

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.E.



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. Μπουλουλή, 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. Σύλλαϊος..... 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 ΚΑΡΠΙΩΝ 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



**ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ & ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ**

ΤΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΤΡΙΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΣΤΗ ΘΕΣΣΑΛΙΑ

Χ. Καβαλάρης, Χ. Καραμούτης, Α. Ταγαράκης και Θ.Α. Γέμτος*
Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Τμήμα Γεωπονίας, Φυτ. Παρ/γής
και Αγρ. Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας,
Οδ. Φυτόκου, Ν. Ιωνία Μαγνησίας, Τ.Κ. 38446
*E-mail: gemtos@agr.uth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη Θεσσαλία δοκιμάστηκαν ποικιλίες τριών ενεργειακών καλλιεργειών και καταρτίστηκαν ενεργειακά ισοζύγια. Η ελαιοκράμβη είχε εξαιρετικά μειωμένες απαιτήσεις σε εισροές με αποτέλεσμα όταν η απόδοση είναι πάνω από 40 kg/στρέμμα να προκύπτει ένα θετικό ενεργειακό ισοζύγιο. Στον ηλιάνθο, η εισαγωγή της άρδευσης επιβαρύνει σημαντικά την παραγωγική διαδικασία. Παρόλα αυτά οι υψηλές αποδόσεις της καλλιέργειας (>350 kg/στρ) δίνουν συντελεστές απόδοσης της ενέργειας 1,5-6,4. Τέλος το γλυκό σόργο, ήταν μια καλλιέργεια που προσαρμόστηκε ικανοποιητικά στις συνθήκες της περιοχής. Αν και είχε υψηλές απαιτήσεις σε εισροές, οι υψηλές αποδόσεις εξασφάλισαν τον υψηλότερο συντελεστή απόδοσης (7,8 - 13,1).

Λέξεις κλειδιά: ελαιοκράμβη, ηλιάνθος, γλυκό σόργο, ενεργειακό ισοζύγιο, βιοκαύσιμα.

ENERGY BALANCES FOR THREE ENERGY CROPS IN THESSALY

C. Cavalaris, C. Karamoutis, A. Tagarakis and T.A. Gemtos*
Dept. of Agriculture Crop Prod. & Rural Env., Sch. of Agricultural Sc.,
University of Thessaly, Fytokou Str, 38446, N. Ionia Magnesia
*E-mail: gemtos@agr.uth.gr

ABSTRACT

Varieties of three energy crops were tested in the region of Thessaly. The energy budgets showed that the oilseed rape had significant low energy requirements and so, even with yields as low as 500 kg/ha presented positive energy balance. The irrigation necessary the sunflower increased significantly energy inputs. However the high yields obtained provided energy ratios (efficiencies) between 1,5 – 6,4. Sweet sorghum, presented a satisfactory adaptation to the local conditions. Even with the highest energy requirements, the high yields provided energy rations from 7,8 to 13,1.

Key words: oilseed rape, sunflower, sweet sorghum, energy balance, biofuels.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η σύγχρονη γεωργία στηρίζεται στη χρήση ορυκτών καυσίμων τα αποθέματα των οποίων είναι πεπερασμένα. Η αναζήτηση εναλλακτικών μορφών αποτελεί επιτακτική ανάγκη για την διατήρηση των επιπέδων της γεωργικής παραγωγής στο μέλλον. Ειδικά για τη γεωργία, η παραγωγή και αξιοποίηση ενεργειακών καλλιιεργειών αποτελεί την πλέον πρόσφορη λύση μιας και τα προϊόντα της παραγωγής μπορούν να χρησιμοποιηθούν εντός της αγροτικής επιχείρησης για να καλύψουν ενεργειακές ανάγκες ή ακόμη και να τη καταστήσουν αυτόνομη ενεργειακά. Βασική προϋπόθεση είναι η επίτευξη ενός θετικού ενεργειακού ισοζυγίου από την καλλιέργεια. Τα δύο τελευταία έτη, σε όλους τους νομούς της Θεσσαλίας δοκιμάστηκαν διάφορες ποικιλίες από τρεις υποψήφιες ενεργειακές καλλιέργειες για την αναδιάρθρωση των καλλιιεργειών της πεδιάδας (ελαιοκράμβη, ηλίανθος, γλυκό σόργο). Για όλες τις ποικιλίες και για κάθε περιοχή, με βάση τα στοιχεία της παραγωγής καταρτίστηκαν ενεργειακά ισοζύγια με σκοπό την αξιολόγηση της ενεργειακής αποδοτικότητας των καλλιιεργειών.

Η ελαιοκράμβη (*Brasica napus*) είναι μια σχετικά καινούργια καλλιέργεια για την ελληνική γεωργία. Μέχρι στιγμής έχει δοκιμαστεί σε περιορισμένα πειράματα και σε αγρούς επίδειξης επιτυγχάνοντας αποδόσεις από 70-300 kg/στρ [Panoutsou et al., 2008]. Στην Ελλάδα, για να ολοκληρώσει τον βιολογικό της κύκλο θα πρέπει να σπαρεί το φθινόπωρο και μάλιστα νωρίς ώστε να προλάβει να εγκατασταθεί πριν από τις παγωνιές του χειμώνα. Οι ελαιούχοι σπόροι έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε λάδι (περίπου 35-40%) [Venturi and Venturi, 2003] που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή βιοκαυσίμου [Alonso et al., 2008].

Ο ηλίανθος (*Helianthus annuus*) προωθήθηκε με τη μορφή ενισχύσεων στην ελληνική γεωργία μετά την ένταξη της χώρας στην Ε.Ε. Σήμερα καλλιεργείται κυρίως στη Μακεδονία και τη Θράκη ως ξηρική καλλιέργεια καταλαμβάνοντας μια έκταση περί τα 47500 στρέμματα. Αποτελεί την πλέον διαδεδομένη καλλιέργεια ελαιούχου σπόρου για παραγωγή βρώσιμου ελαίου [Panoutsou et al., 2008]. Η χρησιμοποίησή της για παραγωγή βιοκαυσίμων έχει ερευνηθεί και μελετηθεί εκτενώς [Crookes, 2006; Alonso et al., 2008; Gustavo et al., 2009]. Τα υπολείμματα της καλλιέργειας μπορούν επίσης να αξιοποιηθούν για την παραγωγή ενέργειας [Smith and Lindley, 1988]. Η απόδοση της ξηρικής καλλιέργειας κυμαίνεται στα 150 kg/στρ ενώ ως αρδευόμενη δύναται να υπερδιπλασιάσει την παραγωγή.

Τέλος το σόργο (*Sorgum bicolor*) είναι μια καλλιέργεια που διερευνάται διεθνώς για τη δυνατότητα παραγωγής ενέργειας μέσω της ζύμωσης των σακχάρων του χυμού και την παραγωγή αιθανόλης [Coble and Egg, 1984; McBee et al., 1988]. Είναι εαρινή καλλιέργεια που για να δώσει υψηλές αποδόσεις χρειάζεται άρδευση. Ωστόσο παρουσιάζει αυξημένες ανοχές σε διαστήματα έλλειψης νερού [Olufayo et al., 1997]. Οι νέες βελτιωμένες ποικιλίες είναι ικανές να δώσουν νωπές αποδόσεις μεγαλύτερες από 6 t/στρ [Monk et al., 1984].

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Στους τέσσερις νομούς της Θεσσαλίας εγκαταστάθηκαν πειράματα ελέγχου διαφορετικών ποικιλιών ελαιοκράμβης (*Brasica napus*), ηλίανθου (*Helianthus annuus*) και γλυκού σόργου (*Sorgum bicolor*) [Γέμος κ.α., 2009]. Τα πειράματα είχαν διάρκεια δύο έτη. Για κάθε ποικιλία και κάθε έτος καταρτίστηκαν ενεργειακά ισοζύγια που καταδεικνύουν την δυναμικότητα των καλλιιεργειών στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της περιοχής. Η κατάρτιση των ενεργειακών ισοζυγίων στηρίχθηκε σε αποτελέσματα προηγούμενων ερευνών [Cavalariis and Gemtos, 2004] και σε βιβλιογραφικά στοιχεία, έγινε δε με βάση τις καλλιιεργητικές τεχνικές που εφαρμόστηκαν (Πίνακας 1) και λαμβάνοντας υπόψη τα στοιχεία της παραγωγής.

Πίνακας 1. Οι καλλιεργητικές τεχνικές που εφαρμόστηκαν στις καλλιέργειες.

			Ελαιοκράμβη		Ηλιάνθος				Σόργο		
			Γιάνουλη	Καλυβάκια	Τρίκαλα	Στεφανοβίκεια	Καλυβάκια	Βασιλικά	Καλυβάκια	Ψυχικό	Βελεστίνο
Κατεργασία εδάφους											
Άροτρο			1	1	1	1	1	1	1	1	1
Υπεδ/γητής											
Βαρύς καλ/τής								1			
Μέσος καλ/τής					1	1	1			1	
Περ. καλ/τής						1					
Ελ. καλ/τής								3		2	3
Δισκοσβάρνα			2	2	2	1	3		3	1	2
Λίπανση											
Αζωτο	kg/στρ		2.75	2.2	10.75	3.85	3.5	6.9	16.55	6.75	9.3
Φώσφορος	kg/στρ		3.75	3	3.75	5.25	3.5	6.25	3.75	4.5	4.5
Κάλιο	kg/στρ		3.75	3	3.75	5.25	3.5	2	3.75	4.5	4.5
Ζιζανιοκτονία											
Treflan	kg/στρ		0.2	0.2		0.25	0.25	0.25			
Προμετρίνη	kg/στρ				0.33		0.32	0.33			
Σπορά											
Ποσότη. σπόρου	kg/στρ		0.35	0.35	0.5	0.5	0.5	0.5	0.15	0.15	0.15
Αρδευση											
Βάθος άντλησης	m				10	120	40	80	20	75	75
Τρόπος εφαρμ.					K / Σ	K / Σ	Σ	K / Σ	K / Σ	K / Σ	K / Σ
Ποσότητα	m ³ / στρ*έτος				260	190	278	373	500	530	638

*K/Σ σημαίνει αρχική άρδευση με καρούλι για το φύτευμα και στη συνέχεια με στάγδην

Η προετοιμασία του εδάφους των πειραματικών αγρών έγινε με διάφορες μεθόδους αναλόγως του τύπου του εδάφους και της περιόδου διεξαγωγής της κατεργασίας (Πίνακας 1). Για την εκτίμηση των ενεργειακών εισροών σε αυτό το στάδιο χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα δυναμομετρήσεων στον αγρό [Cavalaris and Gemtos, 2004] και στοιχεία από τη βιβλιογραφία [Bowers, 1992].

Για τις καλλιεργητικές επεμβάσεις της λίπανσης της σποράς και της χημικής καταπολέμησης των ζιζανίων (Πίνακας 1) υπολογίστηκε η ενέργεια των γεωργικών εφοδίων με βάση στοιχεία που προσφέρονται στη βιβλιογραφία [Helsel, 1992]. Στις παραπάνω τιμές προστέθηκε και η ενέργεια του μηχανικού εξοπλισμού που χρησιμοποιείται για την εκάστοτε εφαρμογή (Πίνακας 1).

Η ενέργεια για την άρδευση υπολογίστηκε με βάση τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των πειραματικών αγρών (είδος υδάτων, βάθος άντλησης), συναρτήσει του συστήματος εφαρμογής (τρόπος εφαρμογής, είδος μηχανολογικού εξοπλισμού) και ανάλογα με την ποσότητα του νερού που εφαρμόστηκε (Πίνακας 1). Εκτιμήθηκαν οι έμμεσες εισροές ενέργειας από την απόσβεση των σταθερών στοιχείων του αρδευτικού εξοπλισμού και η άμεση κατανάλωση ενέργειας ($E_{αρδ}$) ηλεκτρικού ρεύματος ή καυσίμου (σε MJ/στρ) σύμφωνα με τη σχέση:

$$E_{αρδ} = \frac{Q \cdot TDH}{1000 \cdot EF_p \cdot EF_l \cdot EF_c}$$

Q = Η ετήσια δόση άρδευσης (m³/στρ)

TDH = Το ολικό μανομετρικό ύψος άντλησης του νερού (kPa)

ΕFρ ο συντελεστής απόδοσης της μονάδας ισχυροδότησης της αντλίας. Όταν η αντλία ισχυροδοτείται από ηλεκτροκινητήρα ο συντελεστής είναι ίσος με $0,18$ ($0,18 = 0,25 \times 0,85 \times 0,825$, όπου $0,25$ = συντελεστής απόδοσης κατά την μετατροπή της ενέργειας των ορυκτών καυσίμων σε ηλεκτρική, $0,85$ = συντελεστής απόδοσης του δικτύου διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας και $0,825$ = συντελεστής απόδοσης του ηλεκτροκινητήρα) [Sloggett, 1992]. Όταν για την ισχυροδότηση χρησιμοποιείται πετρελαιοκινητήρας ο συντελεστής λαμβάνεται ίσος με $0,185$ ($0,185 = 0,218 \times 0,85$, όπου $0,218$ ο μέσος συντελεστής απόδοσης του πετρελαιοκινητήρα και $0,85$ ο συντελεστής διύλησης, επεξεργασίας και διανομής του πετρελαίου).

ΕFι είναι ο συντελεστής απόδοσης της αντλίας ο οποίος κυμαίνεται για υποβρύχιες αντλίες περίπου στο 76% [Sloggett, 1992].

ΕFε ο συντελεστής απόδοσης του συστήματος διανομής και μεταφοράς του νερού στον αγρό ο οποίος λήφθηκε ίσος με $0,91$ για την στάγδην άρδευση και $0,95$ για εφαρμογή με καταιονισμό [Sloggett, 1992].

Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται πετρελαιοκινητήρας η ενέργεια του καυσίμου προσανξάνεται κατά 4% για να συμπεριλάβει και την ενέργεια των απαιτούμενων λιπαντικών.

Η συγκομιδή της ελαιοκράμβης και του ηλίανθου έγινε με μια θεριζοαλωνιστική πειραματικών τεμαχίων (Hege 125E) του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Η συγκομιδή του σόργου πραγματοποιήθηκε χειρονακτικά. Καθότι καμία από τις παραπάνω περιπτώσεις δεν αντιπροσωπεύει πραγματικές συνθήκες, η κατανάλωση ενέργειας υπολογίστηκε θεωρητικά από στοιχεία της βιβλιογραφίας. Η ενέργεια σταθερών στοιχείων υπολογίστηκε λαμβάνοντας υπόψη ένα ισοδύναμο $86,77 \text{ MJ/kg}$ για την κατασκευή, $8,8 \text{ MJ/kg}$ για τη μεταφορά και ένα συντελεστή $0,24$ της αρχικής ενέργειας για επισκευές και συντήρηση [Bowers, 1992].

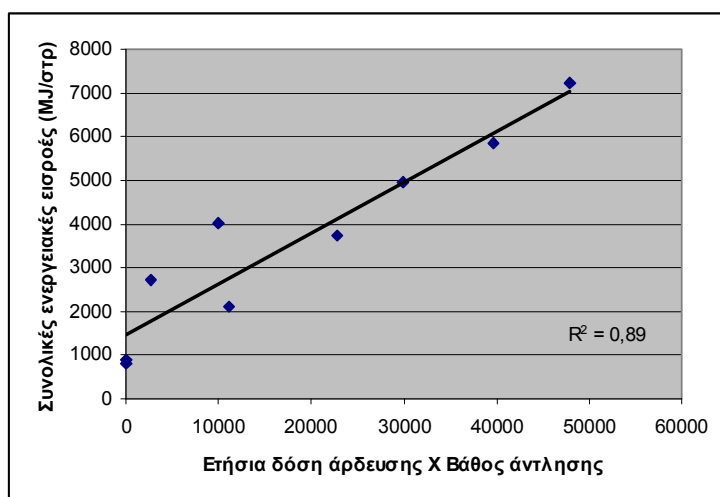
Για την ελαιοκράμβη και τον ηλίανθο οι εκροές ενέργειας υπολογίστηκαν με βάση τα ενεργειακά ισοδύναμα του ελαίου ($39,4 \text{ MJ/kg}$), της πίτας ($19,6 \text{ MJ/kg}$) και των στελεχών ($14,3 \text{ MJ/kg}$) [Kallivroussis et al., 2002]. Για το γλυκό σόργο λήφθηκε υπόψη ένα ενεργειακό ισοδύναμο $0,4$ τόνων πετρελαίου ανά τόνο ξηρά ουσίας [Νικολάου κ.α., 2000].

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Από τις τρεις καλλιέργειες που δοκιμάστηκαν, η πλέον ενεργοβόρος ήταν το σόργο. Αντίθετα η ελαιοκράμβη εμφανίζεται με εξαιρετικά μειωμένες απαιτήσεις (Πίνακας 2). Η διαφοροποίηση αυτή κατά κύριο λόγο οφείλεται στην άρδευση και κατά δεύτερο, στη λίπανση. Από τον Πίνακα 2 είναι φανερό ότι όταν πραγματοποιείται άρδευση, αυτή καταλαμβάνει το 39-76% των συνολικών εισροών, επηρεάζεται δε από το βάθος άρδευσης και την ετήσια δόση άρδευσης (Διάγραμμα 1). Η λίπανση ως δεύτερη σημαντικότερη κατηγορία εισροών καταλαμβάνει περίπου το 35% των εισροών ενέργειας για την ελαιοκράμβη όπου δεν πραγματοποιείται άρδευση και το 11-35% των εισροών στον ηλίανθο και το σόργο που είναι αρδευόμενες καλλιέργειες (Πίνακας 2). Από τα τρία βασικά στοιχεία, το κύριο μερίδιο των εισροών οφείλεται στο άζωτο. Τρίτη σημαντικότερη κατηγορία είναι η κατεργασία του εδάφους. Αυτή καταλαμβάνει το 40% περίπου των εισροών στην ελαιοκράμβη και το 6-23% των εισροών στον ηλίανθο και το γλυκό σόργο (Πίνακας 2).

Πίνακας 2. Εισροές ενέργειας στα πειράματα.

	Εισροές ενέργειας (MJ/στρ)								
	Ελαιοκράμβη		Ηλίανθος				Σόργο		
	Γιάνουλη	Καλυβάκια	Τρίκαλα	Στεφανοβίκειο	Καλυβάκια	Βασιλικά	Καλυβάκια	Ψυχικό	Βελεστίνο
Κατεργασία εδάφους	339	339	433	569	472	539	380	487	437
Σπορά	82	82	52	52	52	49	27	27	27
Λίπανση	332	268	945	459	382	667	1389	660	855
Ψεκασμοί - Φυτοφάρμακα	39	39	123	47	123	123	0	0	0
Άρδευση	0	0	1069	2500	952	3472	1988	4419	5652
Συγκομιδή	95	95	112	112	112	112	239	239	239
Σύνολο	887	823	2734	3739	2093	4962	4023	5831	7209



Σχήμα 1. Συσχέτιση μεταξύ της ετήσιας δόσης άρδευσης και του βάθους άντλησης του νερού με τις συνολικές ενεργειακές απαιτήσεις των καλλιεργειών.

Οι διάφορες ποικιλίες που δοκιμάστηκαν παρουσίασαν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους [Γέμτος κ.α., 2009]. Για την κατάρτιση των ενεργειακών ισοζυγίων επιλέχθηκαν οι τρεις περισσότερο αποδοτικές από την κάθε καλλιέργεια.

Η ελαιοκράμβη ήταν μια ιδιαίτερα δύσκολη καλλιέργεια με αρκετούς κινδύνους μέσα στην καλλιεργητική περίοδο. Από τα τέσσερα πειράματα που εγκαταστάθηκαν μόνο τα δυο έδωσαν παραγωγή, εκ των οποίων στο ένα ήταν ιδιαίτερα χαμηλή (Πίνακας 3). Παρόλα αυτά, οι εξαιρετικά περιορισμένες ενεργειακές απαιτήσεις, (χωρίς άρδευση), καθιστούν την ελαιοκράμβη μια ενδιαφέρουσα ενεργειακή καλλιέργεια που μπορεί να εξασφαλίσει ένα συντελεστή απόδοσης ενέργειας μεγαλύτερο από τη μονάδα, ακόμη και με μια ελάχιστη απόδοση 40 kg σπόρου/στρ. Όταν όμως η απόδοση σε σπόρο προσεγγίζει τα 200 kg (περίπτωση PR46A09, Καλυβάκια) ο συντελεστής απόδοσης της ενέργειας ανέρχεται στο 5,18 καθιστώντας την ελαιοκράμβη μια ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα ενεργειακή καλλιέργεια. Οι συντελεστές αυτοί γίνονται διπλάσιοι αν στις εκροές συμπεριληφθούν και τα στελέχη.

Πίνακας 3. Ενεργειακό ισοζύγιο ποικιλιών ελαιοκράμβης.

ΕΛΑΙΟΚΡΑΜΒΗ	Γιάννουλη			Καλυβάκια		
	PR46W09	PR46W10	EXACT	PR46W09	PR46W10	EXACT
Απόδοση σε σπόρο (kg/στρ)	50	41	63	195	160	152
Βάρος στελεχών (kg/στρ)	79	65	101	312	257	243
Εκροές ενέργειας (MJ/στρ)						
Έλαιο	413	345	496	1625	1363	1190
Πίτα	671	545	867	2635	2152	2082
Στελέχη	1137	930	1445	4466	3671	3468
Σύνολο	2221	1820	2808	8726	7186	6740
Καθαρή ενέργεια (MJ/στρ)	1334	934	1921	7903	6363	5917
Συντελεστής απόδοσης (σε σπόρο)	1,22	1,00	1,54	5,18	4,27	3,98
Συντελεστής απόδοσης (σπόρο & στελέχη)	2,50	2,05	3,17	10,60	8,73	8,19

Πίνακας 4. Ενεργειακό ισοζύγιο ποικιλιών ηλίανθου.

ΗΛΙΑΝΘΟΣ	Τρίκαλα			Στεφανοβίκειο			Καλυβάκια			Βασιλικά		
	PR63A90	PR64A70	GARYSOL	PR63A90	PR64A70	GARYSOL	PR63A90	PR64A70	GARYSOL	PR63A90	PR64A70	GARYSOL
Απόδοση σε σπόρο (kg/στρ)	395	388	391	279	234	247	581	508	517	432	389	380
Βάρος στελεχών (kg/στρ)	503	495	498	356	298	315	741	648	659	551	496	485
Εκροές ενέργειας (MJ/στρ)												
Έλαιο	4736	4657	4689	3351	2802	2963	6974	6094	6203	5185	4663	4560
Πίτα	4375	4302	4332	3096	2588	2737	6443	5630	5731	4790	4308	4213
Στελέχη	7197	7077	7126	5092	4257	4503	10598	9261	9427	7879	7086	6930
Σύνολο	16307	16036	16146	11539	9647	10203	24015	20985	21362	17853	16056	15704
Καθαρή ενέργεια (MJ/στρ)	13574	13302	13413	7800	5908	6464	21922	18892	19269	12891	11094	10742
Συντελεστής απόδοσης (σε σπόρο)	3,33	3,28	3,30	1,72	1,44	1,52	6,41	5,60	5,70	2,01	1,81	1,77
Συντελεστής απόδοσης (σπόρο & στελέχη)	5,97	5,87	5,91	3,09	2,58	2,73	11,47	10,03	10,21	3,60	3,24	3,16

Αντίθετα με την ελαιοκράμβη, ο ηλίανθος προσαρμόστηκε εύκολα στις συνθήκες της περιοχής δίνοντας σε όλα τα πειράματα από ικανοποιητικές έως υψηλές αποδόσεις [Γέμτος κ.α., 2009]. Ως αρδευόμενη καλλιέργεια είχε υψηλότερες ενεργειακές εισροές από την ελαιοκράμβη (Πίνακας 2) αν και οι απαιτήσεις της σε νερό είναι μικρότερες από τις άλλες αρδευόμενες καλλιέργειες της περιοχής (βαμβάκι, αραβόσιτος). Στο Στεφανοβίκειο ο χαμηλός υδατικός ορίζοντας σε συνδυασμό με τις χαμηλές αποδόσεις που σημειώθηκαν εξαιτίας αυξημένων απωλειών από τα πτηνά, οδήγησαν σε μια σημαντική πτώση του συντελεστή απόδοσης της ενέργειας (1,44-1,72) (Πίνακας 3). Αντίθετα, την επόμενη χρονιά, στα Καλυβάκια όπου ο υδατικός ορίζοντας βρίσκονταν ιδιαίτερα υψηλά και επιτεύχθηκαν ιδιαίτερα υψηλές αποδόσεις, ο συντελεστής απόδοσης ανήλθε στο 6,4. Για αντίστοιχη περίπτωση και απόδοση 324 kg/στρ ο Τσατσαρέλης [2000] αναφέρει συντελεστή απόδοσης 2,37 ενώ για μια ξηρική καλλιέργεια οι Kallivrousis et al. [2002] υπολόγισαν συντελεστή απόδοσης ίσο με 4,5. Και για τον ηλίανθο όπως και με την ελαιοκράμβη, όταν στις εκροές συμπεριλαμβάνονται και τα στελέχη, ο συντελεστής απόδοσης διπλασιάζεται αγγίζοντας το 11,5.

Τέλος το σόργο αποδείχθηκε μια πολλά υποσχόμενη καλλιέργεια, ιδιαίτερα ανταγωνιστική στα ζιζάνια, η οποία ωστόσο είχε τις υψηλότερες ενεργειακές εισροές εξα-

τίας των αυξημένων απαιτήσεων σε νερό και λιπάσματα (Πίνακας 2). Οι ιδιαίτερα υψηλές αποδόσεις ωστόσο σε ξηρά ουσία (2,5 – 3,5 τόνους/στρέμμα) αντισταθμίζουν τις αυξημένες εισροές δίνοντας τους υψηλότερους συντελεστές απόδοσης της ενέργειας (έως και 13) (Πίνακας 5). Ανάλογα υψηλές αποδόσεις έχουν διαπιστωθεί σε αντίστοιχα πειράματα από τους Νικολάου κ.α. [2000].

Πίνακας 5. Ενεργειακό ισοζύγιο ποικιλιών σόργου

ΣΟΡΓΟ	Καλυβάκια			Ψυχικό			Βελεστίνο		
	Dale	M81-E	Sugargraze	Dale	M81-E	Sugargraze	Dale	M81-E	Sugargraze
Ξηρό βάρος στελεχών (kg/στρ)	2770	3492	3182	2557	2924	2844	2713	2859	3222
Εκροές ενέργειας (MJ/στρ)	52107	59931	59530	48682	55636	52996	52300	52103	59786
Καθαρή ενέργεια (MJ/στρ)	47552	55371	54947	42437	49322	46742	44688	44551	52188
Συντελεστής απόδοσης	11,44	13,14	12,99	7,80	8,81	8,47	6,87	6,90	7,87

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Και οι τρεις καλλιέργειες που δοκιμάστηκαν φαίνονται ικανές να παίξουν ένα πρωτεύοντα ρόλο στην εισαγωγή και την χρησιμοποίηση ενεργειακών φυτών για την παραγωγή βιοκαυσίμων. Η ελαιοκράμβη με τις εξαιρετικά περιορισμένες εισροές ως ξηρική καλλιέργεια, δίνει εύκολα ένα συντελεστή απόδοσης μεγαλύτερο από τη μονάδα και μπορεί να υποκαταστήσει μη αρδευόμενες καλλιέργειες. Αν μάλιστα ξεπεραστούν ορισμένες δυσκολίες που αφορούν την έγκαιρη εγκατάσταση και διαχείριση της καλλιέργειας τα αποτελέσματα πιθανόν να είναι ακόμη καλύτερα από αυτά που διαπιστώθηκαν στα πειράματα. Στον αντίποδα με την ελαιοκράμβη βρίσκεται το γλυκό σόργο. Αρδευόμενη καλλιέργεια με υψηλές ενεργειακές εισροές αντισταθμίζει τις απαιτήσεις τις με ιδιαίτερα υψηλές αποδόσεις. Θα μπορούσε κάλλιστα να αντικαταστήσει τμήμα από τις υπάρχουσες αρδευόμενες καλλιέργειες αν ξεπεραστούν ορισμένα προβλήματα διαχείρισης της νωπής παραγωγής και βελτιωθεί η τεχνολογία παραγωγής της αιθανόλης [Coble and Egg, 1984]. Τέλος ο ηλιάνθος φαίνεται ότι εξασφαλίζει υψηλές παραγωγές με σχετικά περιορισμένες εισροές. Εύκολη και ανταγωνιστική καλλιέργεια, μπορεί να καταλάβει αρδευόμενες εκτάσεις με σημαντικό πλεονέκτημα στις περιοχές όπου το υδατικό δυναμικό είναι περιορισμένο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Bowers W. 1992. Agricultural field equipment. In: R.C. Fluck (Editor), *Energy in Farm Production. Energy in world agriculture*, 6. Elsevier, Amsterdam. 117-129.
- Γέμτος, Θ.Α., Καβαλάρης, Χ., Καραμούτης, Χ. και Φουντάς, Σπ., 2009. *Η προσαρμοστικότητα τριών ενεργειακών καλλιεργειών στη Θεσσαλία*. Πρακτικά 6^{ου} Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής. Θεσσαλονίκη 2009.
- Cavalariis, C.C. and Gemtos, T.A., 2004. *Evaluation of tillage efficiency and energy requirements for five methods of soil preparation in the sugar beet crop*. Proceedings of the Union of Scientists 2nd Conference, Energy Efficiency and Agricultural Engineering, Rousse 2004 pp 110-16.
- Coble, G.C. and Richard P. Egg, 1984. *Processing Techniques for Ethanol Production from Sweet Sorghum*. Biomass 6 (1984) 111-117.
- Crookes, R.J.. 2006. *Comparative bio-fuel performance in internal combustion engines*. Biomass and Bioenergy 30 (2006) 461-468.
- Gustavo, A., Pereyra-Irujo, Natalia G. Izquierdo, Mauro, Covi, Susana, M. Nolasco, Facundo, Quiroz, Luis A.N. Aguirrezaba, 2009. *Variability in sunflower oil quality*

- for biodiesel production: A simulation study.* Biomass and Bioenergy. 459-68.
- Helsel, R.Z., 1992. *Energy and alternatives for fertilizer and pesticide use.* In: R.C. Fluck (Ed) *Energy in Farm Production. Energy in world agriculture* 6. Elsevier.177-201.
- Jose Alonso, J.S., Lopez Sastre, J.A., Romero-Avila C., Lopez, E., 2008. *Sunflower and rapeseed vegetable oils in a light boiler.* Biomass & Bioenergy 32 2008. 880-86.
- Kallivroussis, L., Natsis, A. and Papadakis, G., 2002. *The energy balance of sun-flower production for biodiesel in Greece.* Biosystems Engineering 81(3), 347-54.
- McBee, G.G., Creelman, R.A. and Miller, F.R., 1988. *Ethanol Yield and Energy Potential of Stems from a Spectrum of Sorghum Biomass Types.* Biomass 17 203-11.
- Monk, R.L., Miller, F.R. and McBee, G.G., 1984. *Sorghum Improvement for Energy Production.* Biomass 6 (1984) 145-153.
- Νικολάου, Α., Νάματοβ, Ε., Καβαδάκης, Γ., Τσιώτας, Κ., Πανούτσου, Κ. και Δαναλάτος, Ν., 2000. *Αξιολόγηση της ανάπτυξης και της παραγωγικότητας οκτώ γενοτύπων σόργου για παραγωγή βιομάζας και ενέργειας.* Πρακτικά 2^ο Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής. Βόλος 2000. 197-204.
- Olufayo, A.A., Ruelle, P., Baldy, Ch. and Abdallah, Aldaoui, 1997. *Biomass of grain sorghum (Sorghum bicolor L. Moench) under variable water regime.* Biomass and Bioenergy Vol. 12, No, 5, pp. 383-386.
- Panoutsou, C., Namatov, I., Lychnaras, V. and Nikolaou A., 2008. *Biodiesel options in Greece.* Biomass and Bioenergy 32 (2008) 473-481.
- Sloggett, G., 1992. *Estimating energy use in world irrigation.* In: R.C. Fluck (Ed), *Energy in Farm Production. Energy in world agriculture*, 6. Elsevier, 203-217.
- Smith, G.M. and Lindley, J.A., 1988. *An Evaluation of Two Sunflower Residue Fuels.* Biomass 17 (1988) 215-224.
- Τσατσαρέλης, Κ.Α., 2000. *Ενεργειακές εισροές-εκροές κύριων καλλιεργειών της χώρας μας.* Πρακτικά 2^ο Εθνικού. Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής. Βόλος 2000. 167-76.
- Venturi, P. and Venturi, G., 2003. *Analysis of energy comparison for crops in European agricultural systems.* Biomass and Bioenergy 25 (2003) 235-255.

Η ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΡΙΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΣΤΗ ΘΕΣΣΑΛΙΑ

Θ.Α. Γέμτος^{*}, Χρ. Καβαλάρης, Χρ. Καραμούτης και Σπ. Φουντάς
Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και
Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, Τηλέφωνο 2421093228,
^{*}E-mail: gemtos@agr.uth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα αποτελέσματα πειραμάτων που έγιναν στη Θεσσαλία το 2007 και 2008 για μελέτη της προσαρμοστικότητας των καλλιεργειών για παραγωγή βιοκαυσίμων παρουσιάζονται σε αυτή την εργασία. Η ελαιοκράμβη, ο ηλίανθος και το γλυκό σόργο είναι οι καλλιέργειες που μελετήθηκαν. Η ελαιοκράμβη δεν έδωσε καλά αποτελέσματα καθώς είναι δύσκολη η εγκατάσταση της φυτείας νωρίς το φθινόπωρο ενώ φαίνεται ευαίσθητη σε ξηρές συνθήκες την άνοιξη. Το αποτέλεσμα ήταν συχνές αποτυχίες των καλλιεργειών. Αντίθετα τόσο ο ηλίανθος όσο και το σόργο έδωσαν υψηλές αποδόσεις (πάνω από 3,5 τόνους σπόρου /ha και 30 τόνους ξηράς /ha αντίστοιχα). Ο ηλίανθος έδωσε τις αποδόσεις με χαμηλές εισροές που είναι ζητούμενο σε μια αειφορική γεωργία.

Λέξεις κλειδιά: Ενεργειακές καλλιέργειες, βιοκαύσιμα, προσαρμοστικότητα, ελαιοκράμβη, ηλίανθος, γλυκό σόργο, αποδόσεις.

ADAPTATION OF THREE ENERGY CROPS IN THESSALY

T.A. Gemtos^{*}, Chr. Kavalaris, Chr. Karamoutis and Sp. Fountas
Laboratory of Farm Mechanisation, University of Thessaly
^{*}E-mail: gemtos@agr.uth.gr

ABSTRACT

The results of experiments carried out in the years 2007 and 2008 in Thessaly, Greece to study the adaptation of crops to produce biofuels are presented in this paper. Rape seed, sunflower and sweet sorghum are the studied crops. Rape seed did not produce good results due to the difficulties of the crop establishment under the dry climatic conditions of Greece early in autumn. The late emergence caused damages to the crop from the early winter frosts and failure of half of the experiments. On the contrary sunflower and sweet sorghum gave high yields (over 3.5 t of seed/ha and over 30 t of dry matter /ha respectively). Especially sunflower gave the results with low inputs a good characteristic for sustainable agriculture.

Key words: Energy crops, biofuels, adaptation, rape seed, sunflower, sweet sorghum, yields.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Ευρωπαϊκή Ένωση είναι μια περιοχή με υψηλή εξάρτηση από εισαγόμενα καύσιμα. Το μεγαλύτερο ποσοστό των ορυκτών καυσίμων εισάγονται. Ιδιαίτερα στον τομέα των καυσίμων για τις μεταφορές η εξάρτηση της ΕΕ από εισαγόμενες πρώτες ύλες φτάνει στο 95% (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2006). Η χώρα μας είναι επίσης φτωχή σε αποθέματα ορυκτών καυσίμων. Διαθέτει κάποια αποθέματα λιγνίτη που χρησιμοποιεί στην ηλεκτροπαραγωγή αλλά τα αποθέματα υγρών και αέριων υδρογονανθράκων είναι περιορισμένα. Δεδομένου ότι οι κύριοι παραγωγοί υδρογονανθράκων είναι χώρες με πολιτική αστάθεια το πρόβλημα της εξασφάλισης ενεργειακών πηγών είναι σημαντικό τόσο για την ΕΕ όσο και για την Ελλάδα. Ταυτόχρονα η ΕΕ και φυσικά η χώρα μας έχουν υπογράψει τη συνθήκη του ΚΥΟΤΟ που υποχρεώνει σε μείωση των εκπομπών CO₂. Γι' αυτό έχουν γίνει σημαντικές προσπάθειες αφ' ενός εξοικονόμησης ενέργειας αφ' ετέρου υποκατάστασης των εισαγόμενων ορυκτών καυσίμων με τοπικά παραγόμενες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ). Πολλά κεφάλαια έχουν επενδυθεί σε Ε&Α στον τομέα των ΑΠΕ στην ΕΕ. Ειδικότερα η χώρα μας πρέπει να συμμορφωθεί με διεθνείς συμβάσεις που την υποχρεώνουν να περιορίσει μέχρι το 2010 τις εκπομπές CO₂ σε 25% πάνω από τις εκπομπές του 1990 (συνθήκη ΚΥΟΤΟ), ενώ το 5,7 % των καυσίμων των μεταφορών να προέρχεται από ΑΠΕ, ενώ προτείνονται μεγαλύτερα ποσοστά για το μέλλον (European Commission, 2008; Biofuels Barometer, 2007). Γι' αυτό είμαστε υποχρεωμένοι να στραφούμε σε πολιτικές εξοικονόμησης ενέργειας και χρήσης ΑΠΕ που έχουν μηδενικές εκπομπές CO₂. Για τη παραγωγή υγρών καυσίμων οι σήμερα εφικτές λύσεις είναι η παραγωγή τους από βιομάζα. Δύο είναι τα κύρια υποψήφια προϊόντα: Τα φυτικά λάδια που μπορούν να υποκαταστήσουν κυρίως το πετρέλαιο Diesel και οι αλκοόλες που μπορούν να αντικαταστήσουν κυρίως τη βενζίνη (Biofuels Technology Platform, 2008; CIGR, 1999).

Από το 2006 εφαρμόζεται στη χώρα μας η νέα κοινή αγροτική πολιτική (ΚΑΠ) που μεταφέρει τις επιδοτήσεις από το προϊόν στον ίδιο το γεωργό. Αυτό κάνει πολλές από τις σημερινές καλλιέργειες οικονομικά μη αποδοτικές. Οι αγρότες βρίσκονται σε αμηχανία καθώς δεν έχουν μελετηθεί εναλλακτικές καλλιέργειες που μπορούν να δώσουν διέξοδο. Οι ενεργειακές καλλιέργειες φαίνεται να είναι μια ομάδα καλλιεργειών που μπορούν να δώσουν μια λύση. Στα τελευταία δύο έτη πραγματοποιήθηκε στη Θεσσαλία πρόγραμμα μελέτης της δυνατότητας παραγωγής βιοκαυσίμων. Το πρόγραμμα πραγματοποιήθηκε από την Κοινοπραξία «Παραγωγή Βιοκαυσίμων στη Θεσσαλία» που συγκροτήθηκε και λειτούργησε στα πλαίσια του Πόλου Καινοτομίας της Περιφέρειας Θεσσαλίας και χρηματοδοτήθηκε από τη ΓΓΕΤ. Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι να παρουσιάσει μέρος των αποτελεσμάτων του προγράμματος μελέτης της προσαρμοστικότητας των καλλιεργειών Ελαιοκράμβης, Ηλίανθου και γλυκού σόργου στη Θεσσαλία. Οι τρεις καλλιέργειες θεωρούνται από τις πλέον ελπιδοφόρες (El Bassam, 1998; Weis, 2000; Γαλανοπούλου, 2002).

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η Θεσσαλία με βάση τα κλιματικά στοιχεία χωρίστηκε σε δύο περιοχές. Την Ανατολική Θεσσαλία με τους νομούς Λάρισας και Μαγνησίας και τη Δυτική με τους νομούς Τρικάλων και Καρδίτσας. Τα πειράματα έγιναν για δύο έτη και στις δύο περιοχές. Καλλιεργήθηκαν 10 ποικιλίες ελαιοκράμβης, 12 ηλίανθου και 5 γλυκού σόργου σε αγρούς της Ανατολικής και Δυτικής Θεσσαλίας για τα έτη 2007 και 2008 δηλαδή έξι συνολικά πειράματα (στην εργασία αναφέρονται τα αποτελέσματα ενός έτους από έλλειψη χώρου).

Για την **ελαικράμβη** έγινε εγκατάσταση δυο πειραμάτων. Ένα πείραμα εγκαταστάθηκε στο αγρόκτημα του Π.Θ. στο Βελεστίνο και ένα πείραμα στην κοινότητα

Γιάννουλης στη Λάρισα. Ο πειραματικός αγρός στη Γιάννουλη προέρχονταν από σιτάρι στον οποίο έγινε καλοκαιρινό όργωμα και προετοιμασία του χωραφιού με ελαφρύ καλλιεργητή το φθινόπωρο. Στο πείραμα του Βελεστίνου ο αγρός προέρχονταν από σιτάρι και η προετοιμασία του χωραφιού έγινε με περιστροφικό καλλιεργητή λίγο πριν τη σπορά. Έγινε αξιολόγηση 8 ποικιλιών και 2 υβριδίων ελαιοκράμβης. Το πειραματικό σχέδιο ήταν πλήρως τυχαιοποιημένες ομάδες με τέσσερις επαναλήψεις σε κάθε περιοχή. Τα πειραματικά τεμάχια είχαν διαστάσεις 2,5X10 m στο Βελεστίνο και 1,8X10 στη Λάρισα περιλαμβάνοντας και στις δύο περιπτώσεις 5 γραμμές καλλιέργειας. Για την λίπανση σε κάθε αγρό προστέθηκαν 25 kg/στρ 11-15-15 ως βασική. Για τον έλεγχο των ζιζανίων έγινε ψεκασμός με 220 g/στρ trifluralin. Για την σπορά της ελαιοκράμβης χρησιμοποιήθηκε μια 5σειρη σπαρτική σκαλιστικών καλλιεργειών πνευστού τύπου. Η σπορά έγινε στις 6/11/06 στο Βελεστίνο και στις 14/11/06 στη Λάρισα. Οι αποστάσεις των γραμμών ήταν 0,3 m και των σπόρων πάνω στη γραμμή 5,4 cm (σπάρθηκαν 61.728 σπόροι/στρέμμα). Σπάρθηκαν τα εξής υβρίδια και ποικιλίες: Α = PIONEER PR46W09 (X01W692C) υβρίδιο, Β = PIONEER PR46W10 (X01W694C) υβρίδιο, Γ = PIONEER PR45W04 (NW3385) ποικιλία, Δ = PIONEER PR45D01 ποικιλία, Ε = SYNGENDA RECITAL (Lot F0144 S 787469) ποικιλία, Ζ = DEKALB EXACT ποικιλία, Η = HERO ποικιλία, Θ = SYNGENDA ROYAL F1 ποικιλία, Ι = CALIFORNIUM ποικιλία, Κ = EXECUTIVE ποικιλία.

Έγινε παρακολούθηση του φυτρώματος και του πληθυσμού της καλλιέργειας παίρνοντας τρεις μετρήσεις στις 30/1/06, 15/1/07 και 4/4/07. Σε κάθε μέτρηση καταμετρήθηκαν τα φυτά δυο γραμμών μήκους 2,5 m από κάθε πειραματικό τεμάχιο. Επίσης παρακολουθήθηκε η εξέλιξη της ανάπτυξης των ποικιλιών παίρνοντας μετρήσεις του ύψους των φυτών. Μετρήσεις λήφθηκαν στις 4/4/07 και 21/4/07. Από κάθε πειραματικό τεμάχιο μετρήθηκαν τυχαία 10 φυτά.

Δύο πειραματικοί αγροί με **Ηλίανθο** σε πλήρως τυχαιοποιημένες ομάδες με 4 επαναλήψεις σε δυο περιοχές: κοινότητα Στεφανοβικείου, Δήμος Κάρλας (Μαγνησία) και κοινότητα Πατουλιά (Τρικάλα). Σγκρίθηκαν 12 ποικιλίες ηλίανθου (σε παρένθεση η εταιρεία που τις διαθέτει): 1. AURASAL (Bios), 7. NX367 (Syngenta), 2. GAMASOL (Monsanto), 8. OLEKO (Syngenta), 3. GLEDESOL (Monsanto), 9. SANLUKA (Syngenta), 4. MH5222 (Monsanto), 10. PR63A90 (Pioneer), 5. NUTRASOL (Monsanto), 11. PR64A70 (Pioneer), 6. NKSANAY (Syngenta), 12. GARYSOL (Monsanto). Διαστάσεις πειραματικών τεμαχίων: 4X10 m δηλαδή 4 γραμμές σε απόσταση 0,75 μέτρων επί δέκα μέτρα. Η σπορά έγινε με πλάτος σειρών 0,75 μ και 8,280 σπ./στρέμμα στις 11/4/07 στο Στεφανοβίκειο και 15/4/06 στη Πατουλιά. Κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου μετρήθηκε ο αριθμός φυτών σε ένα μήκος σειρών 5 μ. Στις ίδιες σειρές μετρήθηκε η ανάπτυξη της φυτείας μέσω του ύψους των φυτών. Συγκομιδή έγινε με τη θεριζοαλωνιστική αγροκτήματος με συλλογή των δύο μεσαίων σειρών στις 14/9 στο Στεφανοβίκειο και στις 27/8/2007 στη Πατουλιά.

Ο πειραματικός σχεδιασμός για το γλυκό σόργο ήταν πλήρως τυχαιοποιημένες ομάδες με 4 επαναλήψεις σε δυο περιοχές για δύο έτη. Διαστάσεις πειραματικών τεμαχίων 3X10 m (4 γραμμές). Οι 5 ποικιλίες σόργου (*Sorgum hallepense*) ήταν: 1. DALE (Mississippi Foundation Seed), 2. M81-E (Mississippi Foundation Seed), 3. THEIS (Mississippi Foundation Seed), 4. TOPPER 76-6 (Mississippi Foundation Seed), 5. SUGARGRAZE (Pacific Seeds). Η σπορά έγινε με 4σειρη πνευματική σπαρτική με δίσκους οπών 2,1 mm (τεύλων) με πλάτος γραμμών 0,75 m και 8.230 σπ./στρέμμα. Κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου μετρήθηκαν τα ακόλουθα στοιχεία της καλλιέργειας: α) το φύτρωμα. Μετρήθηκε ο αριθμός φυτών σε ένα μήκος γραμμής 5 μ σε δύο σειρές. β) Ο αριθμός των αδελφιών που παρήχθησαν στις ίδιες σειρές και θέσεις. γ) Η εξέλιξη του ύψους των φυτών καθώς και το υγρό βάρος των φυτών ανά 0,50 μ ύψους. Πέντε

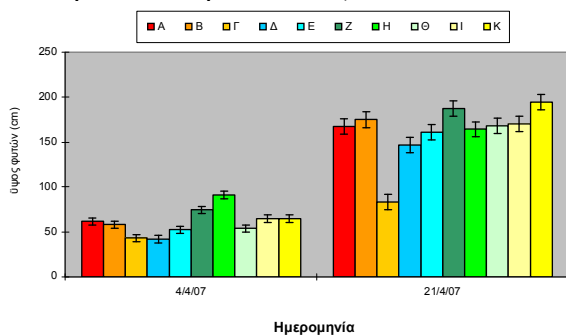
φυτά σε κάθε πειρακτικό τεμάχιο επελέγησαν για μέτρηση του ύψους ενώ πέντε φυτά κόβονταν, τεμαχίζονταν ανά 0,50 μ και ζυγίζονταν υγρά. Εν συνεχεία δείγματα μεταφέρονταν στο εργαστήριο για προσδιορισμό της υγρασίας τους με ξήρανση στους 72° C για 48 ώρες. δ) Έγινε εκτίμηση της περιεκτικότητας των φυτών σε σάκχαρα. Η εκτίμηση έγινε με μέτρηση των σακχάρων στα ίδια τεμάχια των 0,50 μ που έγινε η εκτίμηση της υγρού βάρους και της υγρασίας. Χρησιμοποιήθηκε ένα διαθλασίμετρο της Karl Zeiss Iena. Η συγκομιδή έγινε με δειγματοληπτική χειροσυλλογή φυτών από 2 γραμμές μήκους 2 μέτρων στο Ψυχικό στις 26/10/2007 και στα Καλυβάκια στις 30/10/2007.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

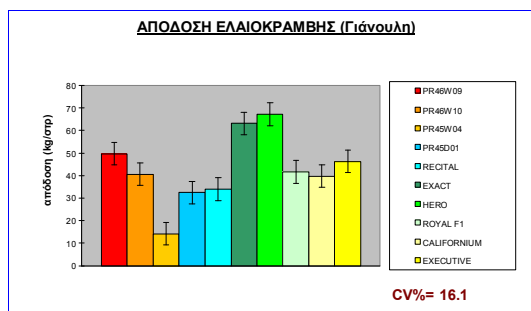
Οι καιρικές συνθήκες ήταν ιδιαίτερα ξηρές και τα δύο έτη. Το 2007 η χρονιά ήταν εξαιρετικά ξηρή (περίπου 200 mm βροχής έναντι μέσου όρου 490 mm) ενώ οι θερμοκρασίες ήταν ιδιαίτερα υψηλές. Επισημαίνεται ότι σημειώθηκαν δύο καύσωνες. Ο ένας στα τέλη Ιουνίου που ήταν ένα σπάνιο φαινόμενο και προφανώς επηρέασε τις δύο ανοιξιάτικες καλλιέργειες. Ιδιαίτερα στον Ηλίανθο υπήρξαν σε κεφαλές με μη γονιμοποιημένους σπόροι που πρέπει να αποδοθούν στην υπερβολική ζέστη. Είναι ένα φαινόμενο που παρατηρήθηκε και στον αραβόσιτο. Οι καιρικές συνθήκες του έτους 2007-2008 ήταν επίσης ξηρές αλλά όχι τόσο θερμές.

Ελαιοκράμβη

Το πείραμα στο Βελεστίνο απέτυχε λίγο μετά το φύτευμα διότι στον αγρό φύτεψε παράλληλα ένα μεγάλος πληθυσμός γρούβας το οποίο ήταν δύσκολο να ελιχθεί. Το είδος ανήκει στην ίδια οικογένεια με την ελαιοκράμβη και δεν υπάρχουν διαθέσιμα ζιζανιοκτόνα. Στο πείραμα της Λάρισας οι συνθήκες ήταν πολύ πιο ευνοϊκές διότι είχε προηγηθεί θερινό όργωμα γεγονός που επέτρεψε την προετοιμασία μιας πολύ καλής σποροκλίνης. Το ποσοστό φυτρώματος ήταν υψηλό (μέσος όρος ≈55%). Στις δυο πρώτες μετρήσεις δεν διαπιστώθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές, στην τρίτη όμως η ποικιλία Α εμφάνισε καλύτερα αποτελέσματα ενώ η Ι τα χειρότερα. Η ανάπτυξη των ποικιλιών έδωσε σημαντικές διαφορές. Στις 4/4/07 τα υψηλότερα φυτά παρουσίαζαν οι ποικιλίες Ζ και Η ενώ στις 21/4/07 υπερτερούσαν οι ποικιλίες Ζ και Κ και υστερούσε η Γ (Σχήμα 1). Στις 6/4/2007 έγιναν παρατηρήσεις για την εξέλιξη της φυτείας στο πείραμα της Γιάννουλης. Παρατηρήθηκε σημαντική διαφορά μεταξύ των ποικιλιών στο στάδιο ανάπτυξης που βρίσκονταν. Η ποικιλία Η ήταν σε πλήρη ανθοφορία, οι ποικιλίες Α, Β, Ζ, Ι, στην αρχή της ανθοφορίας, οι ποικιλίες Ε, Θ, Κ ήταν στο στάδιο της έκπτυξης των κεφαλών, και οι ποικιλίες Γ, Δ είχαν χαμηλά καθυστερημένα φυτά Η συγκομιδή έγινε στις 14/6/07 με τη Θ/Α πειραματικών τεμαχίων του Π.Θ. Έγινε συγκομιδή των τριών μεσαίων γραμμών (πλάτος θεριζοαλωνιστικής αγροκλήματος 1,50 μέτρα). Οι αποδόσεις (Σχήμα 2) ήταν πολύ χαμηλές με χαμηλή ποιότητα σπόρου (μικρή περιεκτικότητα σε λάδι).



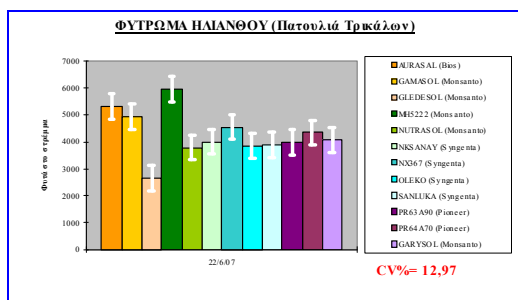
Σχήμα 1. Εξέλιξη του ύψους των φυτών της ελαιοκράμβης στον πειραματικό αγρό της Λάρισας.



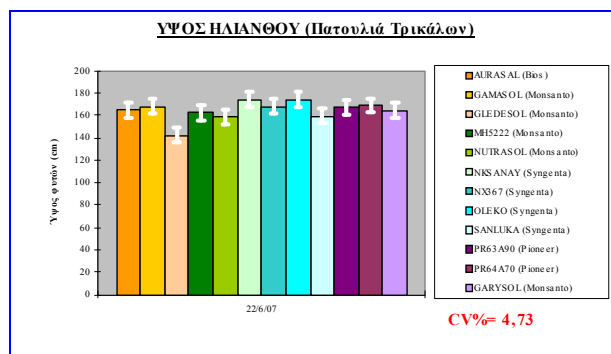
Σχήμα 2. Παραγωγή ελαιοκράμβης το 2006-7.

Ηλιάνθος

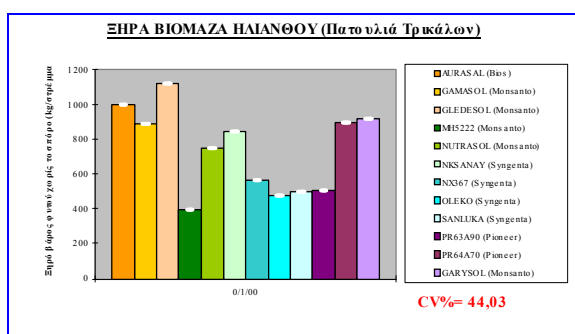
Οι πληθυσμοί των φυτών κυμάνθηκαν από 3000-6000 φυτά ανά στρέμμα (Σχήμα 3). Οι περισσότερες ποικιλίες είχαν μικρότερους πληθυσμούς από το στόχο των 5000-5500 φ/στρέμμα. Είναι προφανές ότι το φύτευμα περίπου του 50% των σπόρων δεν είναι ικανοποιητικό. Η βλαστική ικανότητα των σπόρων ήταν σύμφωνα με τις εταιρείες που προμήθευσαν του σπόρους υψηλή. Πιθανώς η καθυστερημένη σπορά να είχε αρνητική επίδραση ύψος των φυτών στις αρχές Ιουλίου ξεπερνούσε το 1,70 μ που είναι ικανοποιητικό. Η ποικιλία SANLUKA είχε τα υψηλότερα φυτά με τις OLEICO, N3367, GAMASOL, GARYSOL να ακολουθούν (Σχήματα 4).



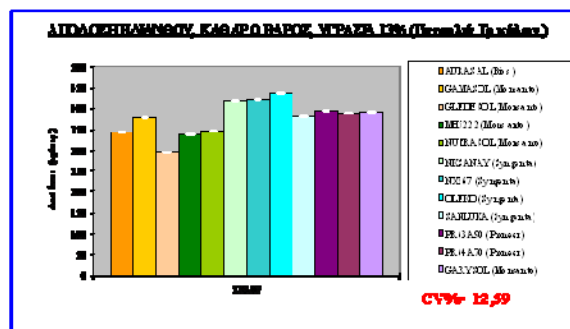
Σχήμα 3. Φύτευμα ηλιάνθου 2006-07.



Σχήμα 4. Ύψος ηλιάνθου 2006-07.



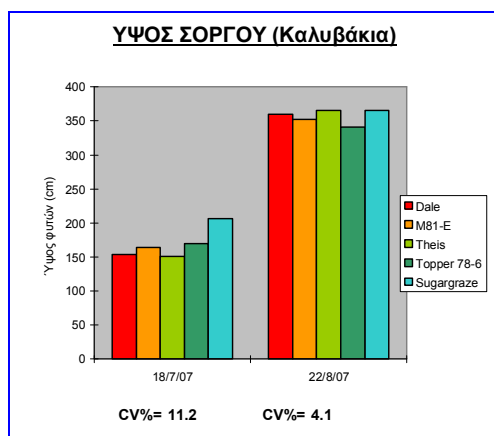
Σχήμα 5. Παραγωγή ξηρής βιομάζας στη Πατουλιά 2006-07.



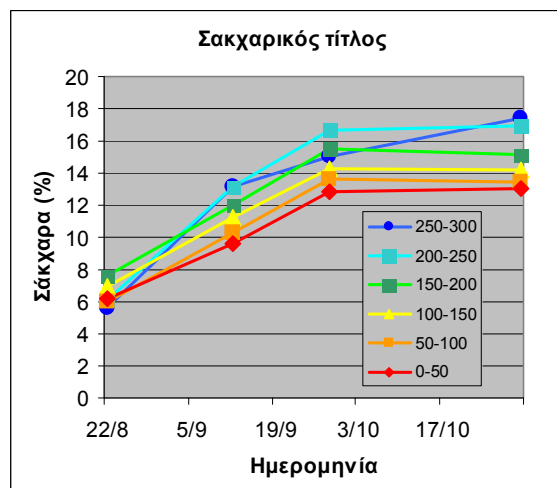
Σχήμα 6. Παραγωγή σπόρου στη Πατουλιά 2006-07.

Οι διάφορες ποικιλίες έδωσαν διάφορα μεγέθη κεφαλών. Τις μεγαλύτερες κεφαλές είχε η Gledesol και τις μικρότερες η Nutrasol. Σοβαρό πρόβλημα παρουσιάστηκε στο πείραμα του Στεφανοβικείου από κατανάλωση σπόρων από πουλιά. Το χωράφι συνόρευε προς δύο κατευθύνσεις με αγρούς με αμυγδαλιές. Τα πουλιά βρίσκαν καταφύγιο και ασφάλεια στις αμυγδαλιές και τρέφονταν από τον ηλιάνθο. Ακόμα και όταν εγκαταστάθηκε κανονάκι με υγραέριο το αποτέλεσμα ήταν μικρό καθώς τα πουλιά φεύγαν με το θόρυβο και επανέρχονταν. Γενικά ο ηλιάνθος κατά την ωρίμανση έχει τις κεφαλές γεμμένες προς τα κάτω. Ορισμένες ποικιλίες έχουν τις κεφαλές περισσότερο στραμμένες προς τα κάτω και άλλες λιγότερο. Φαίνεται ότι τα πουλιά (σπουργίτια) ευνοούνται από λιγότερο στραμμένες προς τα κάτω κεφαλές καθώς μπορούν να «καθίσουν» και να φάνε ενώ στα άλλα αδυνατούν να πετούν και να τρώνε ταυτόχρονα. Είναι χαρακτηριστικές η μικρότερες αποδόσεις του ηλιάνθου στο Στεφανοβικείο.

Η παραγωγή ξηρής βιομάζας του ηλίανθου είναι μια εκτίμηση της συνολικής παραγωγής του φυτού. Παρ' όλο που για την ώρα το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στον σπόρο η παραγωγή των στελεχών μπορεί να αποτελέσει στοιχείο πρόσθετου εισοδήματος για τον παραγωγό. Οι AURASAL και GLEDESOL έχουν τη μεγαλύτερη απόδοση, οι GAMASOL, MH5222, NUTRASOL, NKSANAY και η GARYSOL έχουν την ενδιάμεση και οι OLEKO, SANLUKA, PR63A90, PR64A70 και η NX367 έχουν τη μικρότερη (Σχήμα 5). Η απόδοση σε σπόρο στην Πτουλιά ήταν ικανοποιητική από 300 έως 450 κιλά το στρέμμα ενώ στο Στεφανοβίκειο ήταν μειωμένη λόγω των πουλιών και κυμάνθηκε από 170 έως 270 κιλά το στρέμμα. Στην Πατουλιά τις καλύτερες αποδόσεις έδωσαν οι OLEKO, NX367 και η NKSANAY μια δεύτερη ομάδα είναι οι GARYSOL, SANLUKA, PR63A90, PR64A70 και μια Τρίτη με τις AURASAL, GAMASOL, GLEDESOL, MH5222 και η NUTRASOL (Σχήματα 9,10). Στο Στεφανοβίκειο τα αποτελέσματα είναι αρκετά διαφορετικά με την PR63A90 να δίνει την μεγαλύτερη παραγωγή. Η φωτογραφία του παραρτήματος δείχνει ιδιαίτερα κεκαμμένες κεφαλές. Η AURASAL δεύτερη. Η GLEDESOL, και η NUTRASOL έχουν τις χαμηλότερες αποδόσεις (η GLEDESOL έχει λιγότερο γερμένες τις κεφαλές όχι όμως η NUTRASOL).



Σχήμα 7. Εξέλιξη της φυτείας Καλυβάκια, 2006-07.

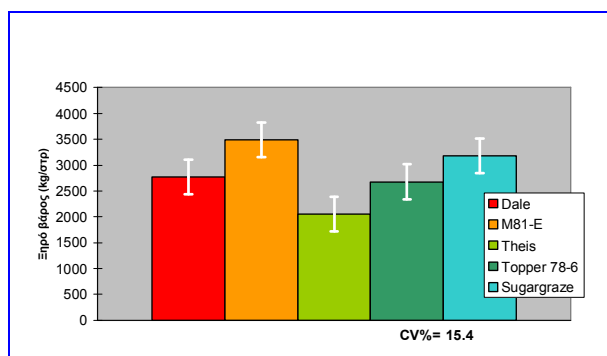


Σχήμα 8. Εξέλιξη του σακχαρίνου τίτλου των φυτών.

Γλυκό Σόργο

Το φύτευμα για όλες τις Αμερικανικές ποικιλίες ήταν γενικά μη ικανοποιητικό. Παρ' όλο που η φυτρωτική ικανότητα στο εργαστήριο ήταν μάλλον υψηλή (άνω του 80%) οι τελικοί πληθυσμοί ήταν κάτω από τον επιθυμητό αριθμό φυτών στο στρέμμα. Αργότερα στην περίοδο με το αδελφωμα συμπληρώθηκε ο αριθμός αλλά αυτό δεν καλύπτει την σχετικά κακή αρχή. Ερώτημα παραμένει η αιτία του κακού φυτρώματος. Είναι αλήθεια ότι λίγο μετά τη σπορά παρατηρήθηκε μια αλλαγή του καιρού με βροχές και χαμηλές θερμοκρασίες. Είναι δυνατόν αυτό να επηρέασε την αρχική εγκατάσταση;

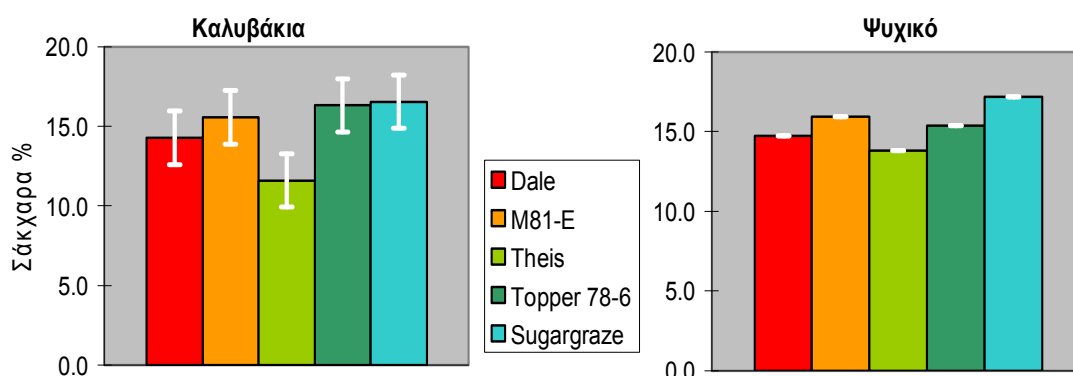
Τα φυτά αναπτύχθηκαν ιδιαίτερα ικανοποιητικά. Στα μέσα Ιουλίου ήταν 2 μ ύψος. Στις 22 Αυγούστου τα φυτά ήταν ήδη 3 μ ύψος (Σχήμα 7). Η περιεκτικότητα των σακχάρων ήταν σχετικά χαμηλή (6-8%). Στις 22 Σεπτεμβρίου τα φυτά ξεπέρασαν τα 3,50 μ με την κατανομή του βάρους που φαίνεται στα διαγράμματα. Η υγρασία των στελεχών ήταν μειωμένη ενώ τα σάκχαρα ήταν πολύ υψηλότερα στο επίπεδο του 15%. Στις 28/9/2007 το ύψος του φυτού σταθεροποιείται, η υγρασία είναι στο επίπεδο του 80% επί υγρού βάρους, ενώ τα σάκχαρα είναι το ύψος του 15% (Σχήμα 8).



Σχήμα 9. Παραγωγή σε ξηρά ουσία στα Καλυβάκια

Στο Σχήμα 9 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της παραγωγής για κάθε ποικιλία. Οι ποικιλίες Dale, M81E και η Sugatr Graze έδωσαν το πιο εύρωστα φυτά τόσο στο Ψυχικό όσο και στα Καλυβάκια. Την καλύτερη παραγωγή ανά στρέμμα στα Καλυβάκια έδωσε η ποικιλία M81E με τη Dale και τη Sugar Graze να ακολουθούν.

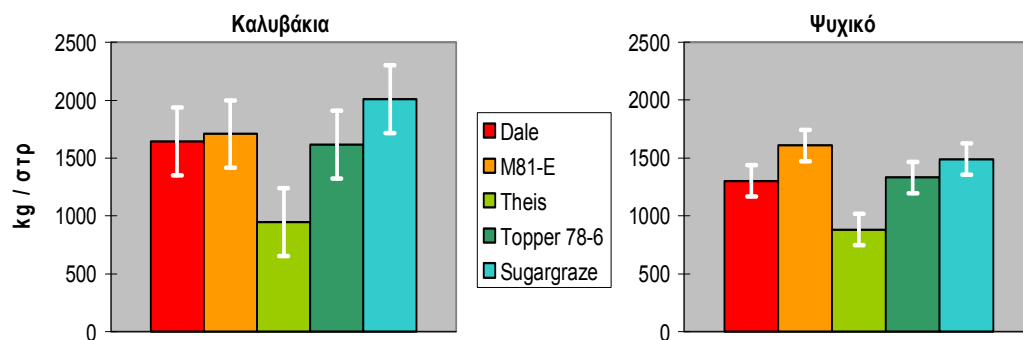
Η παραγωγή στα Καλυβάκια έφτασε τα 3600 κιλά Ξ.Ο. ανά στρέμμα που είναι μια ιδιαίτερα μεγάλη παραγωγή. Στο ψυχικό η παραγωγή είναι λίγο μικρότερη αλλά με την ίδια σειρά των ποικιλιών. Το υψηλότερο στεμματοσάκχαρο παρήγαγε η Sugar Graze στα Καλυβάκια (2000 κιλά το στρέμμα) ενώ στο Ψυχικό η M81E με μικρότερη παραγωγή (λίγο πάνω από τα 1500κιλά/στρέμμα) (Σχήμα 11).



Σχήμα 10. Περιεκτικότητα σε σάκχαρο σε Καλυβάκια και Ψυχικό

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα πειράματα της ελαιοκράμβης γενικά είχαν περιορισμένη επιτυχία καθώς ήταν ιδιαίτερα δύσκολη η εγκατάσταση της φυτείας έγκαιρα ώστε τα φυτά να είναι αρκετά μεγάλα (τουλάχιστον 4 μόνιμα φύλλα) πριν από τις παγωνιές του χειμώνα. Επί πλέον τα φυτά είναι ευαίσθητα σε ξηρές συνθήκες αλλά και σε προσβολές εντόμων. Από τα τέσσερα πειράματα που εγκαταστάθηκαν σε δύο περιπτώσεις υπήρξε πλήρης αποτυχία (σε μια περίπτωση τα φυτά καταστράφηκαν από παγωνιά και στη άλλη από υπερβολική προσβολή από γρούβα) σε μια η εξέλιξη της φυτείας ήταν ικανοποιητική αλλά οι αποδόσεις κυμάνθηκαν στα 70 κιλά το στρέμμα και μόνο ένα πείραμα έδωσε καλά αποτελέσματα με μεγαλύτερη απόδοση τα 200 κιλά το στρέμμα.



Σχήμα 11. Παραγωγή σε σάκχαρο (στρεμματόσακχαρο) σε Καλυβάκια και Ψυχικό

Ο ηλίανθος έδωσε γενικά καλά αποτελέσματα στη παραγωγή με χαμηλές εισροές. Οι αποδόσεις των περισσότερων ποικιλιών ήταν πάνω από τα 350 κιλά το στρέμμα με μέγιστο τα 600 κιλά το στρέμμα. Γενικά οι απαιτήσεις σε εισροές ήταν χαμηλή (Ζιζανιοκτονία με τρεφλάν, καλλιέργεια ιδιαίτερα ανταγωνιστική στα ζιζάνια, λίπανση ανάλογη του βαμβακιού, ποτίσματα μέχρι τις 20 Ιουλίου με περίπου 250 m³/στρέμμα). Η καλλιέργεια του ηλίανθου φαίνεται να παρουσιάζει ενδιαφέρον για εισαγωγή σε αμειψισπορές ενώ παρουσιάζει ενδιαφέρον και η χρήση των υπολειμμάτων της καλλιέργειας που φτάνουν τα 600 κιλά ξηράς ουσίας το στρέμμα. Η απόδοση σε λάδι ήταν της τάξεως του 35-37% για ψυχρή συμπίεση και 38-40% για εξαγωγή με εκχύλιση.

Το γλυκό σόργο έδωσε επίσης πολύ καλά αποτελέσματα με την παραγωγή να φτάνει και ξεπερνά τους 3 τόνους ξηράς ουσίας το στρέμμα. Η καλλιέργεια σπέρνεται στα μέσα Μαΐου οπότε υπάρχει δυνατότητα μιας δεύτερης παραγωγής που θα εκμεταλλεύεται τις χειμερινές βροχές είτε ως κανονική καλλιέργεια είτε για χλωρή λίπανση.

Από τις τρεις καλλιέργειες ο ηλίανθος και το γλυκό σόργο έδωσαν τα καλύτερα αποτελέσματα με υψηλές αποδόσεις και χαμηλές γενικά εισροές.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Biofuels Barometer, 2007. Found in the site <http://www.eurec.be/content/view/60/49/1/1/>.
- Biofuels Technology Platform, 2008. *European Biofuels Technology Platform: Strategic research agenda & strategy deployment document*. CPL Press, UK, January 2008.
- Γαλανοπούλου-Σενδουκά Στ., 2002. *Βιομηχανικά Φυτά*. Εκδόσεις Σταμούλης.
- CIGR, 1999. *Handbook of Agricultural Engineering Volume IV Energy and Biomass Engineering*. American Society of Agricultural Engineers, Michigan USA.
- El Bassam, N., 1998. *Energy plant species* MPG Books Ltd, UK.
- European Commission, 2006. *Biofuels in the European Union: A vision for 2030 and beyond*. Final Report of the biofuels advisory Counsel, DG research Sustainable Energy Systems EU 22066.
- European Commission, 2008. *Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use of energy by renewable sources*. COM (2008) yyy final.
- Weis, E.A., 2000. *Oil seed crops*. 2nd Edition, Blackwell Science.

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΣΟΡΓΟΥ ΣΤΗΝ ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΕΛΛΑΔΑ

Χ. Παπανικολάου και Μ. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη *

Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής, Τμήμα Γεωπονίας, Φυτ. Παρ/γής
και Αγρ. Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας,
Οδός Φυτόκου, Ν. Ιωνία Μαγνησίας, 38446,

*E-mail: msak@uth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται μια προσπάθεια υπολογισμού του ενεργειακού ισοζυγίου της καλλιέργειας του φυτού σόργου στην Κεντρική Ελλάδα υπό συνθήκες γεωργίας χαμηλών εισροών. Οι καλλιεργητικές τεχνικές που εφαρμόστηκαν ήταν παρόμοιες με αυτές που εφαρμόζονται για την καλλιέργεια του καλαμποκιού. Χρησιμοποιήθηκε επιφανειακή στάγδην άρδευση και η δόση άρδευσης ήταν 50%, 70% και 100% των αναγκών της καλλιέργειας σε νερό. Για τον υπολογισμό των δόσεων άρδευσης χρησιμοποιήθηκε εξατμισόμετρο τύπου Α και αισθητήρας μέτρησης υγρασίας εδάφους. Τέλος, πραγματοποιήθηκε σύγκριση της υγρασίας εδάφους με την εξατμισοδιαπνοή.

Λέξεις κλειδιά: ενεργειακό ισοζύγιο καλλιέργειας, επιφανειακή στάγδην άρδευση, εξατμισοδιαπνοή, υγρασία εδάφους.

ENERGY EVALUATION OF SORGHUM CROP IN CENTRAL GREECE

Ch. Papanikolaou and M. Sakellariou-Makrantonaki *

Laboratory of Agricultural Hydraulics, Department of Agriculture, Crop Science and Rural Environment, University of Thessaly, Fytoko Street, 38446, Nea Ionia Volos

*E-mail: msak@uth.gr

ABSTRACT

In this paper an attempt to calculate the energy balance of sorghum crop in Central Greece under low-input farming system, is presented. Cultivation techniques, such as those which are used in corn crop, were used. Surface drip irrigation was used and the amount of water was equal to 50%, 70% and 100% of the total water requirements of the crop. The amount of water was determined by using an A class evaporation pan and a soil moisture sensor. Finally, a comparison between the soil moisture and the evapotranspiration was made.

Key words: crop energy balance, surface drip irrigation, evapotranspiration, soil moisture.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αυξανόμενη χρήση συμβατικών μορφών ενέργειας έχει δημιουργήσει αρκετά περιβαλλοντικά προβλήματα (φαινόμενο θερμοκηπίου, όξινη βροχή κ.λπ.) ενώ η εξάντληση των αποθεμάτων πετρελαίου, φυσικού αερίου και άνθρακα καθιστούν επίκαιρη την αναζήτηση εναλλακτικών μορφών ενέργειας (Χωραφά, 2003). Στο μέλλον οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θα συμβάλουν ολοένα και περισσότερο στην κάλυψη των αναγκών σε ενέργεια (El Bassam, 1998).

Ως πρώτο μέτρο για την παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή εξέδωσε την Οδηγία 2003/30 η οποία ορίζει ότι μέχρι το 2010 το 5,75% των καυσίμων που καταναλώνονται στις μεταφορές πρέπει να παράγονται από ανανεώσιμες πηγές και σύμφωνα με την οποία πρέπει να συμμορφωθούν όλα τα Κράτη Μέλη (Αγερίδης κ.α., 2006). Μια μορφή ανανεώσιμης πηγής ενέργειας αποτελεί η βιομάζα. Με τον όρο αυτό χαρακτηρίζεται κάθε υλικό που προέρχεται από ζώντες ή πρόσφατα αποθανόντες φυτικούς και ζωικούς οργανισμούς (Biomass Energy Centre, 2007). Σύμφωνα με τη Χωραφά (2003) βιομάζα εννοείται η παραγωγή ενέργειας από οργανικές ύλες. Η βιομάζα χρησιμοποιείται για την παραγωγή βιοκαυσίμων, όπως η βιοιθανόλη και το βιοντίζελ, ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θέρμανσης. Η χρήση της βιομάζας συμβάλει στην μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα σε σύγκριση με την χρήση των ορυκτών καυσίμων (Hall et al., 1993, Χωραφά, 2003). Η συμβολή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι 56% στην συνολική παραγωγή ενέργειας και από αυτό 18% προέρχεται από καλλιεργούμενα φυτά (Monti and Venturi, 2003).

Διάφορα είδη φυτών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή βιομάζας. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την Ελλάδα παρουσιάζει το σόργο (γλυκό και ινώδες). Το σόργο (*Sorghum bicolor* L. Moench) είναι ένα τροπικό φυτό το οποίο ανήκει στην οικογένεια των Αγρωστωδών (Poaceae). Ως C₄ φυτό έχει μεγάλη φωτοσυνθετική αποδοτικότητα όταν αναπτύσσεται σε κατάλληλες συνθήκες φωτισμού και θερμοκρασίας και υπό αυτές τις προϋποθέσεις παρουσιάζει υψηλό δυναμικό παραγωγής βιομάζας. Απαιτεί ζεστό, υγρό και καλά αεριζόμενο έδαφος. Σπέρνεται σε αποστάσεις 75-80cm μεταξύ των γραμμών και 5-6cm επί των γραμμών για περιοχές όπου η ετήσια βροχόπτωση κυμαίνεται από 400-600mm (πχ. Θεσσαλία). Η ζιζανιοκτονία μπορεί να γίνει είτε με μηχανικά είτε με χημικά μέσα. Γενικά η εφαρμογή 4-10Kg/στρ. πλήρων λιπασμάτων θεωρείται ικανοποιητική (Kneipp and Serafin, 2006). Το σόργο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή θέρμανσης μέσω της απευθείας καύσης της παραγόμενης βιομάζας (Gosse, 1996). Παρουσιάζει σταθερότητα στην παραγωγή βιομάζας ακόμα και σε συνθήκες περιορισμένης διαθεσιμότητας νερού εξαιτίας της ικανότητάς του να διακόπτει την ανάπτυξη προσωρινά (Foti et al., 1996). Πολύ καλά αποτελέσματα παραγωγής βιομάζας δίνει υπό συνθήκες ελλειμματικής άρδευσης (Sakellariou-Makrantonaki et al., 2007).

Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι η καλλιέργεια του φυτού σόργου θα πρέπει πλέον να θεωρείται μια από τις πολλά υποσχόμενες ενεργειακές καλλιέργειες υπό συνθήκες ελλιπούς άρδευσης. Για το σκοπό αυτό κρίθηκε αναγκαία η μελέτη του ενεργειακού ισοζυγίου της καλλιέργειας υπό συνθήκες εφαρμογής γεωργίας χαμηλών εισροών. Παράλληλα μελετήθηκε η πιθανότητα εξοικονόμησης νερού άρδευσης με την εφαρμογή μειωμένων δόσεων άρδευσης εφαρμόζοντας την μέθοδο της επιφανειακής στάγδην άρδευσης καθώς και η επίδραση στην εξατμισοδιαπνοή της χρήσης συστημάτων νέας τεχνολογίας. Στα πλαίσια της μελέτης της επίδρασης αυτής πραγματοποιήθηκε σύγκριση της υγρασίας εδάφους με την εξατμισοδιαπνοή. Απώτερος σκοπός αυτής της μελέτης είναι η μεγιστοποίηση της ενεργειακής ωφέλειας από την καλλιέργεια του ενεργειακού φυτού σόργου με σύγχρονα συστήματα άρδευσης.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε στο χώρο του αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, στο Βελεστίνο (γ.π. $39^{\circ} 23'$, γ.μ. $22^{\circ} 45'$, υψόμετρο 70m) κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου 2008. Περιελάμβανε ένα σύστημα άρδευσης (επιφανειακή στάγδην άρδευση), τρεις μεταχειρίσεις και τέσσερις επαναλήψεις πλήρως τυχαιοποιημένες. Κάθε μεταχείριση είχε έκταση 200m^2 και κάθε επανάληψη 50m^2 , (4m πλάτος επί 12,5m μήκος). Οι τρεις μεταχειρίσεις είναι: α) Επιφανειακή στάγδην άρδευση με δόση άρδευσης ίση με το 70% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής (E70%ET), β) Επιφανειακή στάγδην άρδευση με δόση άρδευσης ίση με το 50% της εξατμισοδιαπνοής (E50%ET) και γ) Επιφανειακή στάγδην άρδευση με δόση άρδευσης ίση με το 100% των αναγκών της καλλιέργειας σε νερό (A100%ET). Στις δύο πρώτες μεταχειρίσεις οι ανάγκες της καλλιέργειας σε νερό καθορίζονταν με την χρήση εξατμισόμετρου τύπου A. Στην τρίτη μεταχείριση οι ανάγκες σε νερό καθορίστηκαν με βάση την μεταβολή της εδαφικής υγρασίας όπως αυτή καταγράφονταν από αισθητήρα μέτρησης υγρασίας εδάφους σε ποσοστό %κ.ο. Οι διάφορες τιμές της περιεχόμενης στο έδαφος υγρασίας καταγράφονταν σε data logger, ο οποίος ήταν συνδεδεμένος με ηλεκτροβάνα. Με την βοήθεια κατάλληλου λογισμικού ορίστηκε το ανώτατο όριο υγρασίας εδάφους, στο οποίο τερματίζονταν η άρδευση, και το κατώτατο όριο αυτής στο οποίο άρχιζε η άρδευση. Ως ανώτατο όριο εδαφικής υγρασίας ορίστηκε η περιεχόμενη υγρασία εδάφους στην υδατοικανότητα και ως κατώτατο όριο ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας εδάφους περίπου ίσο με 24%κ.ο. Το κατώτατο όριο υγρασίας εδάφους υπολογίστηκε λαμβάνοντας υπόψη την περιεχόμενη υγρασία εδάφους μεταξύ υδατοικανότητας (32.68%κ.ο., Μ.Ο στα 0-60cm) και σημείου μόνιμης μάρανσης (18,5%κ.ο., Μ.Ο στα 0-60cm), το βάθος του ενεργού ριζοστρώματος (0,6m) και το όριο εξάντλησης υγρασίας για την καλλιέργεια του σόργου (0,6).

Το δίκτυο εφαρμογής περιλάμβανε σταλακτηφόρους σωλήνες από πολυαιθυλένιο εσωτερικής διαμέτρου 20mm που απείχαν μεταξύ τους 1,6m. Ο σταλακτηφόρος αγωγός περιλαμβάνει αυτοκαθαριζόμενους και αυτορυθμιζόμενους σταλακτήρες με ισαποχή 80cm (in line) και παροχή του κάθε σταλάκτη 2,3 l/h. Η τοποθέτηση των σταλακτηφόρων αγωγών έγινε με ειδικό υπεδαφοθέτη σε βάθος 0,45m. Η σπορά του σόργου πραγματοποιήθηκε στις 14 Μαΐου 2008 με σπαρτική μηχανή 6 σειρών, ενώ η ποικιλία που χρησιμοποιείται ήταν η H132. Κάθε πειραματικό τεμάχιο περιελάμβανε έξι γραμμές σόργου και ο πληθυσμός φυτών ήταν 10φυτά/ m^2 .

Οι εργασίες που πραγματοποιήθηκαν μετά το φύτευμα ήταν κοινές για όλες τις μεταχειρίσεις. Κατά την καλλιεργητική περίοδο 2008 πραγματοποιήθηκε χημική ζιζανιοκτονία με το ζιζανιοκτόνο atrazine αμέσως μετά τη σπορά και πριν το φύτευμα της καλλιέργειας με δόση $200\text{cm}^3/\text{στρ.}$ και ένα μόνο σκάλισμα με το χέρι όταν τα φυτά είχαν μέσο ύψος 50cm. Της χημικής ζιζανιοκτονίας ακολούθησε άρδευση με τεχνητή βροχή. Δεν πραγματοποιήθηκε κανενός είδους λιπαντική ή άλλη χημική επέμβαση.

Κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου εφαρμόστηκαν έξι δόσεις άρδευσης με το σύστημα της τεχνητής βροχής από τη σπορά έως ότου τα φυτά αναπτύξουν ριζικό σύστημα ικανό να απορροφά το νερό που χορηγείται με την στάγδην άρδευση. Η έναρξη του προγράμματος στάγδην άρδευσης πραγματοποιήθηκε στις 25/6/2008 και τερματίστηκε στα μέσα Σεπτεμβρίου (15/9/2008).

Οι μετρήσεις των παραγωγικών χαρακτηριστικών της καλλιέργειας (ύψος φυτού, δείκτης φυλλικής επιφάνειας, χλωρή και ξηρή βιομάζα) πραγματοποιούνταν από τις δύο μεσαίες γραμμές σποράς, κάθε εβδομάδα. Για τον προσδιορισμό της παραγωγής σε βιομάζα λαμβάνονταν δείγματα τα οποία ζυγίζονταν με ζυγό ακριβείας για να προσδιοριστούν τα αντίστοιχα βάρη με βάση τα οποία έγινε η αναγωγή σε στρεμματική απόδοση και σύγκριση των μεταχειρίσεων. Τα δείγματα ξεραίνονταν στους 105°C

μέχρι σταθεροποίησης του βάρους τους.

Το ενεργειακό ισοζύγιο μιας ενεργειακής καλλιέργειας υπολογίζεται από το πηλίκο της παραγόμενης ενέργειας δια την καταναλισκόμενη ενέργεια για την παραγωγή μιας ορισμένης ποσότητας προϊόντος (Acaroglu and Semi, 2005). Η συνολική καταναλισκόμενη ενέργεια είναι το άθροισμα επιμέρους ποσοτήτων ενέργειας που καταναλώνεται σε κάθε καλλιεργητική εργασία. Στον Πίνακα 1 φαίνεται η ενέργεια που καταναλώθηκε σε κάθε μεταχείριση κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου 2008 από την έναρξη (καλλιεργητικές εργασίες προετοιμασίας και σποράς) έως και την μεταφορά και πλήρη επεξεργασία της βιομάζας έως ότου μορφοποιηθεί σε πέλλετς (διαστάσεις 10cm x 20cm). Οι τιμές στον Πίνακα 1 προκύπτουν από τις αντίστοιχες μοναδιαίες τιμές καταναλισκόμενης ενέργειας για κάθε εργασία, όπως αναφέρονται στη βιβλιογραφία για βαριά εδάφη, πολλαπλασιασμένες με τις αντίστοιχες ποσότητες που καταγράφηκαν κατά την διάρκεια της έρευνας. Στις τιμές αυτές συμπεριλαμβάνεται η κατανάλωση ενέργειας για την λειτουργία του εξοπλισμού που χρησιμοποιήθηκε για την πραγματοποίηση της κάθε εργασίας καθώς και η κατανάλωση καυσίμου και λιπαντικών. Η καταναλισκόμενη ενέργεια για άρδευση υπολογίστηκε για το σύνολο της ποσότητας νερού που χορηγήθηκε σε κάθε μεταχείριση (καταιονισμός και στάγδην άρδευση) και για μέσο βάθος άντλησης τα 250m. Η παραγόμενη ενέργεια υπολογίστηκε πολλαπλασιάζοντας την ξηρή βιομάζα (Kg/ha) επί το συντελεστή μετατροπής της συνολικής βιομάζας (σπόροι, στελέχη, υπολείμματα) για το ινώδες σόργο (17.5 MJ/Kg) (El Bassam, 1998).

Η στατιστική ανάλυση έγινε με τη μέθοδο της ανάλυσης της παραλλακτικότητας (ANOVA) σε επίπεδο σημαντικότητας 5%. Για τη σύγκριση των μέσων όρων εφαρμόστηκε το τεστ Duncan. Για τη στατιστική ανάλυση χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πακέτο SPSS version 14.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ

Από τον Πίνακα 1 γίνεται αντιληπτό ότι παρόλο που η κατανάλωση ενέργειας σε κάθε μεταχείριση είναι σημαντική, το ίδιο σημαντική είναι και η παραγωγή ενέργειας. Επομένως, το ισοζύγιο ενέργειας είναι θετικό και για τις τρεις μεταχειρίσεις. Μια τάση υπεροχής φαίνεται να παρουσιάζει η μεταχείριση A100%ET η οποία δίνει μεγαλύτερο ενεργειακό ισοζύγιο κατά 2,6% και 6.4% σε σύγκριση με τις μεταχειρίσεις E70%ET και E50%ET, αντίστοιχα. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η μεταχείριση E50%ET στην οποία το ενεργειακό ισοζύγιο είναι θετικό και αρκετά υψηλό παρόλο που οι ανάγκες της καλλιέργειας καλύφθηκαν μόνο κατά το 50%.

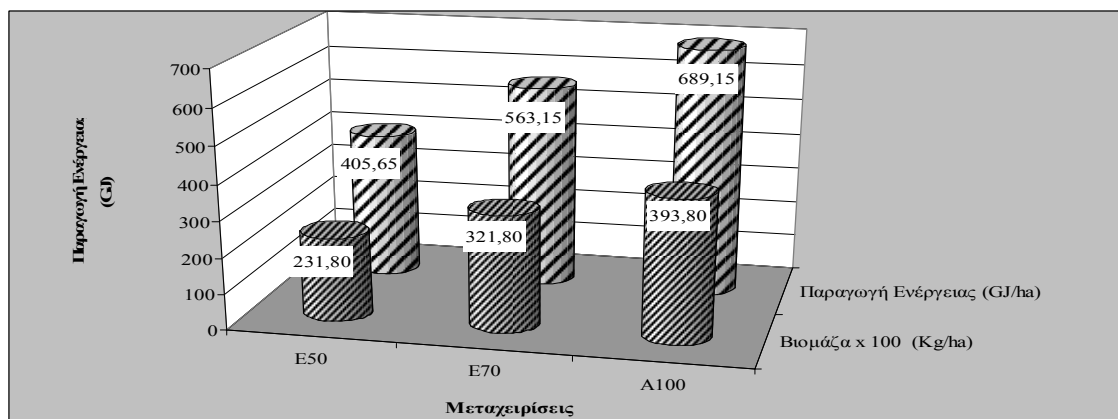
Από τον ίδιο πίνακα προκύπτει ότι η περισσότερη ενέργεια καταναλώνεται κυρίως για τη μεταφορά και τη μεταποίηση της βιομάζας σε πέλλετς και δευτερευόντως για την άρδευση. Η μεταφορά και μεταποίηση της ξηρής βιομάζας από τη μεταχείριση E50%ET απαιτεί 77,6% της συνολικά καταναλισκόμενης ενέργειας ενώ τα αντίστοιχα ποσοστά για τις μεταχειρίσεις E70%ET και A100%ET είναι 80,5% και 82,6%, διαφορά που οφείλεται στην διαφορετική παραγωγικότητα των τριών μεταχειρίσεων. Εξετάζοντας την άρδευση (καταιονισμός και επιφανειακή στάγδην άρδευση) ως προς την κατανάλωση ενέργειας προκύπτει ότι αυτή συμβάλει σε ποσοστό 10,9% για τη μεταχείριση E50%ET, 10,6% για τη μεταχείριση E70%ET και 9,8% για τη μεταχείριση A100%ET. Αξιοσημείωτη είναι η παρατήρηση ότι μείωση της ποσότητας στάγδην άρδευσης κατά 50% (μεταχείριση E50%ET) αντιστοιχεί σε εξοικονόμηση ενέργειας για άρδευση σε ποσοστό 42,6% σε σύγκριση με την μεταχείριση A100%ET ενώ μείωση της άρδευσης κατά 30% (μεταχείριση E70%ET) αντιστοιχεί σε εξοικονόμηση ενέργειας σε ποσοστό

9,8% σε σύγκριση με τη μεταχείριση A100%ET. Επομένως, καθίσταται σαφές ότι εφαρμογή της ελλειμματικής άρδευσης στο φυτό σόργο δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα και ως προς την εξοικονόμηση νερού άρδευσης αλλά παράλληλα συμβάλλει και στην εξοικονόμηση ενέργειας.

Πίνακας 1. Κατανάλωση και παραγωγή ενέργειας από τη βιομάζα που παράχθηκε σε κάθε μεταχείριση κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου 2008 (MJ/ha).

Καλ/κές Εργασίες Αριθ. Επεμβάσεων	E50%	E70%	A100%	Τιμή Μονάδος	Αναφορές
Βαρύς Καλ/της (1)	238	238	238	278 MJ/ha	Nagy, 1999
Ελαφρύς Καλ/της (1)	122	122	122	143 MJ/ha	Nagy, 1999
Φρεζάρισμα (2)	2796	2796	2796	1398 MJ/ha	Monti and Venturi, 2003
Σπορά	62	62	62	17,1 Kwh/ha	Τσατσαρέλης, 2006
Σπόρος (6,5 Kg/ha)	351	351	351	54 MJ/Kg	Monti and Venturi, 2003
Ζιζανιοκτονία (1)	42	42	42	11,8 Kwh/ha	Τσατσαρέλης, 2006
Ζιζανιοκτόνο (2 L/ha)	499	499	499	249 MJ/ha/L	Helsel, 1987
Συγκομιδή (1)	107	148	182	0,7-1,85 Kwh/τόνο	Τσατσαρέλης, 2006
Χορτ/λογή Δεμ/ση (1)	124	172	210	1,1-1,85 Kwh/τόνο	Τσατσαρέλης, 2006
Μεταφορά (έως 60Km)	12823	17802	21785	9,22 MJ/τόνο/Km	Acaroğlu and Şemi, 2005
Πελλετοποίηση	23180	32180	39380	1,0 MJ/Kg	Acaroğlu and Şemi, 2005
Εργασία	965	1063	1137	1,87 MJ/h	Acaroğlu and Şemi, 2005
Άρδευση (mm)	5076	6588	7236	4,9 MJ/mm	Pimentel, 2003
Σύνολο Καταν/νης Ενέργειας	46385	62063	74040		
Παρ/γή Ενέργειας	405650	563150	689150	17,5MJ/Kg	El Bassam, 1998
Ισοζύγιο	8,75	9,07	9,31		

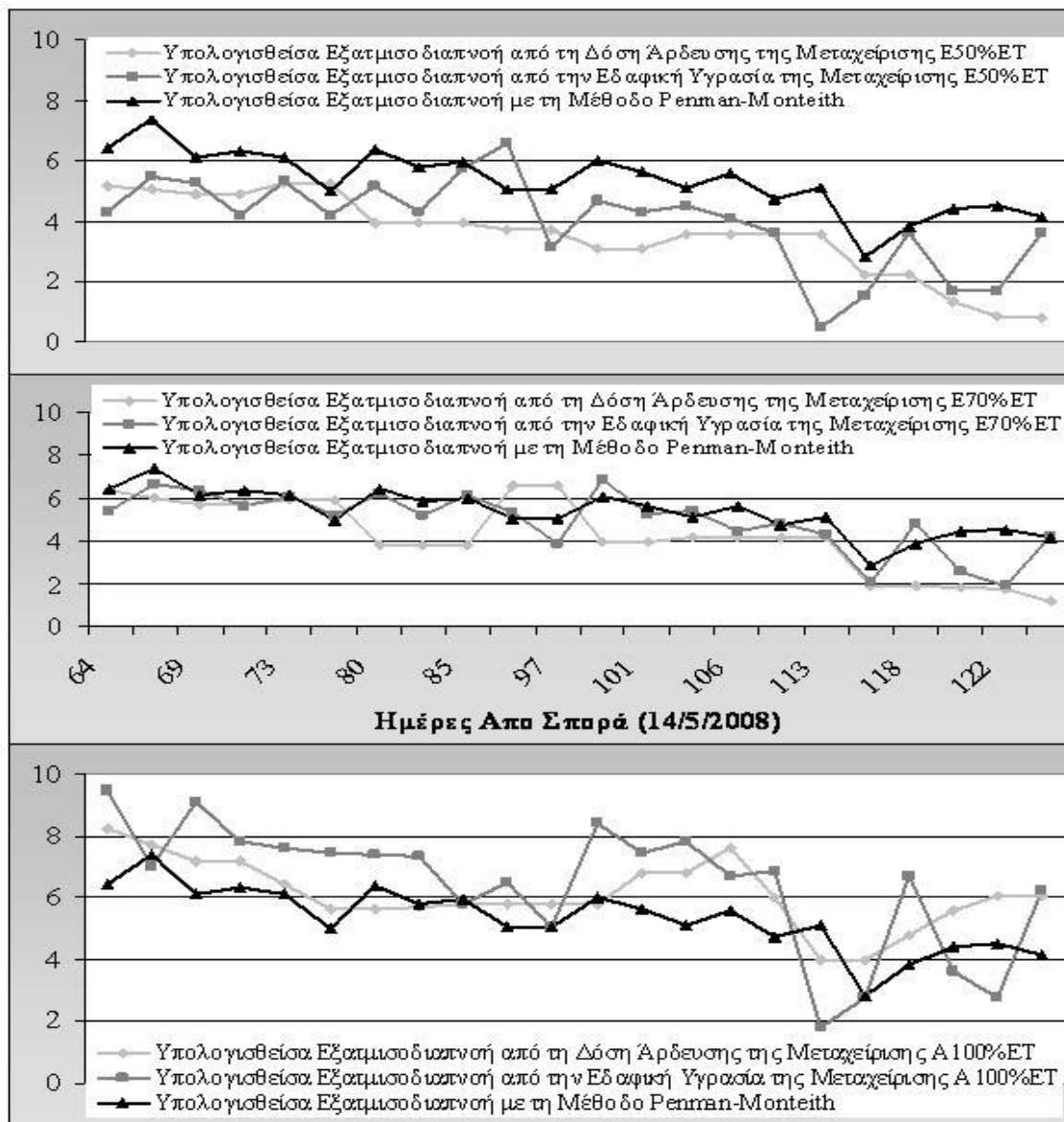
Στο Σχήμα 1 φαίνεται η παραγωγή βιομάζας και ενέργειας για κάθε μεταχείριση.



Σχήμα1. Παραγωγή βιομάζας και ενέργειας από κάθε μεταχείριση.

3.2. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ ΚΑΙ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ

Κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου 2008 πραγματοποιούνταν καταγραφή της εδαφικής υγρασίας με αισθητήρες μέτρησης υγρασίας εδάφους. Η λειτουργία των συγκεκριμένων αισθητήρων βασίζεται στη θεωρία της μετάδοσης ηλεκτρομαγνητικού κύματος (T.D.R.). Στο Σχήμα 2 απεικονίζεται η διακύμανση της εξατμισοδιαπνοής όπως υπολογίστηκε από τις δόσεις άρδευσης και από την καταγραφή της εδαφικής υγρασίας.



Σχήμα 2. Διακύμανση της υπολογισθείσας εξατμισοδιαπνοής από τη συνολική ποσότητα νερού άρδευσης και τις μετρήσεις εδαφικής υγρασίας.

Οι μετρήσεις υγρασίας πραγματοποιούνταν πριν από κάθε άρδευση και 24 ώρες μετά την ολοκλήρωσή της. Έτσι, γνωρίζοντας την εδαφική υγρασία 24 ώρες μετά από κάθε άρδευση και πριν από την επόμενη, μπορούσε να υπολογιστεί η ποσότητα νερού που χάνονταν ως αποτέλεσμα της εξατμισοδιαπνοής. Στην μεταχείριση E50%ET χρησιμοποιήθηκε αισθητήρας μήκους 75cm, ο οποίος κατέγραφε την υγρασία σε βάθη 0-15, 15-30, 30-45, 45-60 και 60-75cm. Στις άλλες δύο μεταχειρίσεις τοποθετήθηκαν αισθητήρες μήκους 120cm, οι οποίοι κατέγραφαν την εδαφική υγρασία σε βάθη 0-15,

15-30, 30-60, 60-90 και 90-120cm. Επιλέχθηκε η συγκεκριμένη διάταξη για να ελέγχεται η τυχόν βαθιά διήθηση στις μεταχειρίσεις E70%ET και A100%ET.

Η εξατμισοδιαπνοή υπολογίστηκε με δύο διαφορετικές μεθόδους την περίοδο 16/7-15/9/2008. Σύμφωνα με την πρώτη μέθοδο η συνολική ποσότητα νερού άρδευσης που εφαρμόζονταν σε κάθε μεταχείριση διαιρέθηκε με την επιφάνεια εδάφους στην οποία εφαρμόστηκε και το πηλίκο της διαίρεσης θεωρήθηκε ότι αποτελεί την εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας που κάλυπτε τη συγκεκριμένη επιφάνεια (ET_1). Η δεύτερη μέθοδος υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής βασίστηκε στην καταγραφή της εδαφικής υγρασίας πριν και μετά από κάθε άρδευση (ET_2). Οι παραπάνω τιμές συγκρίθηκαν με τις αντίστοιχες τιμές εξατμισοδιαπνοής, οι οποίες υπολογίστηκαν με τη μέθοδο Penman-Monteith (ET_{PMon}) για όλη την καλλιεργητική περίοδο 2008.

Από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων προέκυψε ότι οι τιμές της εξατμισοδιαπνοής διέφεραν μεταξύ τους. Αναλυτικά, οι τριάδες των μέσων ημερήσιων τιμών (ET_1 , ET_2 , ET_{PMon}) για τις τρεις μεταχειρίσεις A100, E70 και E50 ήταν (6,12^{ab}mm, 6,44^amm, 5,35^bmm), (4,24^bmm, 4,93^{ab}mm, 5,35^amm) και (3,53^bmm, 3,98^bmm, 5,35^amm). Η διαφορές που παρατηρήθηκαν μεταξύ (ET_1 - ET_2 , ET_1 - ET_{PMon} , ET_2 - ET_{PMon}) ήταν (5,2%, 14,4%, 20,4%), (16,3%, 26,2%, 8,5%) και (12,7%, 51,6%, 34,4%) για τις μεταχειρίσεις A100, E70 και E50 αντίστοιχα. Η διαφορά μεταξύ ET_1 - ET_2 πιθανόν να οφείλεται στο νερό που αποθηκεύονταν στο έδαφος εξαιτίας των ιδιοτήτων του (αργιλοπηλώδες, βαρύ έδαφος) και καταγράφονταν ως υγρασία εδάφους στην επόμενη μέτρηση. Η διαφορετική εξατμισοδιαπνοή μεταξύ των μεταχειρίσεων οφείλεται πιθανόν στο γεγονός ότι στις μεταχειρίσεις που αρδεύτηκαν ελλειμματικά το διαθέσιμο νερό για εξατμισοδιαπνοή ήταν λιγότερο και επομένως η συνολική εξατμισοδιαπνοή ήταν μικρότερη σε σχέση με τη μεταχείριση A100 καθώς και με την εξατμισοδιαπνοή που υπολογίστηκε με τη μέθοδο Penman-Monteith. Η διαφορά μεταξύ ET_1 - ET_{PMon} οφείλεται πιθανόν στο γεγονός ότι η τιμή της ET_1 υπολογίστηκε από τη δόση άρδευσης, η οποία περιελάμβανε ποσότητα νερού όση ακριβώς έπρεπε να εφαρμοστεί έτσι ώστε η υγρασία εδάφους να φτάσει την υδατοικανότητα, ενώ η ET_{PMon} υπολογίζονταν από τις κλιματικές παραμέτρους που επικρατούσαν στην περιοχή χωρίς να λαμβάνεται υπόψη το ποσοστό της εδαφικής υγρασίας.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τη μελέτη των αποτελεσμάτων προέκυψαν τα ακόλουθα συμπεράσματα.

- Η μέση παραγωγή ξηρής βιομάζας (39375Kg/ha) που παρατηρήθηκε στη μεταχείριση A100%ET διέφερε σημαντικά σε επίπεδο σημαντικότητας 0,05 από τις μεταχειρίσεις E50%ET (23180Kgr/ha) και E70%ET (32180Kg/ha).
- Το ενεργειακό ισοζύγιο ήταν θετικό για όλες τις μεταχειρίσεις ενώ το ενδιαφέρον εστιάζεται στην μεταχείριση E50%ET η οποία δίνει θετικό και αρκετά υψηλό ενεργειακό ισοζύγιο παρόλο που οι ανάγκες της καλλιέργειας σε νερό καλύφθηκαν μόλις κατά 50% σε σύγκριση με τις πραγματικές.
- Μείωση της δόσης άρδευσης κατά 50% συμβάλει σε εξοικονόμηση ενέργειας για άρδευση κατά 78,5% ενώ αντίστοιχη μείωση κατά 30% συμβάλει σε εξοικονόμηση ενέργειας κατά 26,5%.
- Η διαφορά μεταξύ ET_1 - ET_2 δεν ήταν στατιστικά σημαντική για όλες τις μεταχειρίσεις.
- Μεταξύ ET_1 - ET_{PMon} δεν παρουσιάστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στις μεταχειρίσεις A100%ET και E70%ET ενώ στη μεταχείριση E50%ET οι διαφορές ήταν στατιστικά σημαντική.
- Μεταξύ ET_2 - ET_{PMon} παρουσιάζεται στατιστικά σημαντική διαφορά σε όλες τις μεταχειρίσεις.

Ευχαριστίες

Το έργο συγχρηματοδοτείται

- 80% της Δημόσιας Δαπάνης από την Ευρωπαϊκή Ένωση-Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο
- 20% της Δημόσιας Δαπάνης από το Ελληνικό Δημόσιο-Υπουργείο Ανάπτυξης-Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας
- και από τον Ιδιωτικό Τομέα

στο πλαίσιο του Μέτρου 8.3 του Ε.Π. Ανταγωνιστικότητα-Γ' Κοινοτικό Πλαίσιο Στήριξης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αγερίδης, Γ. και Χρήστου, Μ., 2006. *Τα βιοκαύσιμα και ο αναπτυξιακός τους ρόλος για τη βιομηχανία και τον αγροτικό τομέα*. ΤΕΕ/ΤΚΜ, Δημερίδα, 3-4 Νοεμβρίου, Θεσσαλονίκη, pp. 1-6.
- Acaroğlu, M. and Şemi Aksoy, 2005. *The cultivation and energy balance of Miscanthus×giganteus production in Turkey*. Biomass and Bioenergy, 29: 42-48.
- Biomass Energy Centre, 2007. www.biomassenergycentre.org.uk.
- El Bassam, N., 1998. *Fundamental of sustainability in agriculture production systems and global food security*. In: El Bassam, N., Behl, R.K., Prochnow, B. (Eds), Proc. Of the Int. Conference Sustainable Agriculture for Food, Energy and Industry, 1, pp. 3-11.
- Foti, S., Cosentino, S.L., Copani, V., Patanè, C. and Guarnaccia, P., 1996. *Growth and yield of C₄ species for biomass production in mediterranean environment*. Proc. 9th European Bioenergy Conference Biomass for energy and environment, pp. 616-621.
- Gosse, G., 1996. *Overview on a different filières for industrial utilization of sorghum*. Proc. First seminar on sorghum for energy and industry. Toulouse, 1-3 April 1996, pp. 10-15.
- Hall, D.O., Rossilo-Calle, F., Williams, R.H. and Woods J., 1993. *Renewable energy source for fuel and electricity*. Earthscan Publications Ltd., London.
- Helsel, Z.R., 1987. *Energy in World Agriculture*. Volume 2: Energy in Plant Nutrition and Pest Control. Elsevier Science Publishing Company Inc., New York, 1987.
- Kneipp, J. and Serafin, L., 2006. *Grain sorghum: NSW planting guide 2006-07*. NSW Department of Primary Industries Publications. New South Wales. www.dpi.nsw.gov.au/primefacts , pp. 1-10.
- Monti, A. and Venturi, G., 2003. *Comparison of energy performance of fibre sorghum, sweet sorghum and wheat monocultures in northern Italy*. European Journal of Agronomy, 19: 35-43.
- Nagy, N.N., 1999. *Energy Coefficients for Agriculture Inputs in Western Canada*. www.csale.usask.ca/PDFDocuments/energyCoefficientsAg.
- Pimentel, D., 2003. *Ethanol Fuels: Energy Balance, Economics, and Environmental Impacts are Negative*. Natural Resources Research, 12(2): 127-134.
- Sakellariou-Makrantonaki, M., Papalexis, D., Nakos, N. and Kalavrouziotis, I. K., 2007. *Effect of modern irrigation methods on growth and energy production of sweet sorghum (var. Keller) on a dry year in Central Greece*. Agricultural Water Management, 90: 181-189.
- Τσατσαρέλης, Α.Κ., 2006. *Διαχείριση Γεωργικών Μηχανημάτων*. Εκδόσεις Γιαχούδη, Θεσσαλονίκη, p. 477-514.
- Χωραφά, Μ., 2003. *Βιομάζα: Μια σημαντική εναλλακτική μορφή ενέργειας*. www.industrynews.gr.

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΤΡΟΠΟΥ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΣΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΓΛΥΚΟΥ ΣΟΡΓΟΥ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Κ.Χ. Αγγελόπουλος^{1*}, Α.Β. Κούβελας¹, Α. Καμπράνης, Α.Ν. Θεοδωρακοπούλου¹

¹Τμήμα Βιολογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πανεπιστημιούπολις Ρίον 26500

*E-mail: agelop@upatras.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Θα παρουσιασθούν δεδομένα για την εφαρμογή βιολογικών τρόπων διαχείρισης καλλιέργειας γλυκού σόργου [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] για παραγωγή βιομάζας και σακχάρων. Μελετήθηκε η επίδραση βιολογικού χειρισμού της γονιμότητας του εδάφους έναντι του συμβατικού στις αποδόσεις του γλυκού σόργου σε νωπή και ξηρή βιομάζα, περιεκτικότητα των στελεχών σε σάκχαρα και στους δείκτες φυλλικής επιφάνειας. Οι αποδόσεις σε νωπή βιομάζα κυμάνθηκαν από 9.5-10.2 kg m⁻² και τα ζυμώσιμα σάκχαρα 491,43 g m⁻² στο συμβατικό και 389,61 g m⁻² στο βιολογικό τρόπο διαχείρισης. Στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων έδειξαν ότι δεν υπήρξαν σημαντικές διαφορές στις αποδόσεις σε βιομάζα και σάκχαρα μεταξύ των δύο χειρισμών. Σε εφαρμογή σε αποδεικτικούς αγρούς οι αποδόσεις σε ολική νωπή βιομάζα κυμάνθηκαν από 14,6-20,47 kg m⁻² στο συμβατικό χειρισμό και 20-21 kg m⁻² στο βιολογικό.

Λέξεις κλειδιά: γλυκό σόργο, βιολογική καλλιέργεια, αποδόσεις βιομάζας, LAI.

IMPLEMENTATION OF BIOLOGICAL FARMING MANAGEMENT IN SWEET SORGHUM CROP FOR BIOMASS PRODUCTION

K.C. Angelopoulos^{1*}, A.B. Kouvelas¹, A. Kampranis, A.N. Theodorakopoulou¹

¹Department of Biology, University of Patras, Panepistimioupoli Rion-Patras 26500

*E-mail: agelop@upatras.gr

ABSTRACT

The implementation of biological farming management in sweet sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] crop for biomass and sugar production will be presented. First biological versus conventional soil fertility management on sweet sorghum yields was studied. In both treatment sweet sorghum fresh biomass yields ranged between 9,5-10,2 kg m⁻² and the mean fermented sugars 491,43 g m⁻² in conventional and 389,61 g m⁻² in biological treatment. One way ANOVA in biomass and sugar yields showed that there are not significant differences between the two treatments. Moreover no differences were also found in leaf area indices. Experiments at demonstration farms, sweet sorghum fresh biomass yields ranged between 14,6-20,47 kg m⁻² in the conventional treatment and 20-21 kg m⁻² in the biological treatment.

Key words: sweet sorghum, biological farming, biomass yields, LAI.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η προώθηση και εφαρμογή των ενεργειακών καλλιεργειών για την παραγωγή βιομάζας και βιοκαυσίμων ανέδειξε μια σειρά προβλήματα μεταξύ των οποίων και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκαλούνται από τη χρήση των αγροχημικών στις καλλιέργειες. Η Ε.Ε. στην απόφαση της COM (2006) 845 εξέφρασε την ανησυχία της και για το ανωτέρω πρόβλημα και πρότεινε να εφαρμοστούν εναλλακτικοί τρόποι διαχείρισης των ενεργειακών καλλιεργειών με μειωμένες εισροές μεταξύ των οποίων και το βιολογικό τρόπο καλλιέργειας. Η καλλιέργεια του γλυκού σόργου [*Sorghum bicolor* (L) Moench] είναι μια σχετικά νέα καλλιέργεια για το Μεσογειακό χώρο και πολλά υποσχόμενη δεδομένου ότι το φυτό του γλυκού σόργου έχει C₄ φωτοσυνθετικό μεταβολισμό, αξιοποιεί άριστα την ηλιακή ακτινοβολία και το άζωτο του εδάφους, είναι σχετικά ανθεκτικό στην έλλειψη νερού την περίοδο της καλλιέργειας και δίνει υψηλές αποδόσεις σε βιομάζα και ζυμώσιμα σάκχαρα (Dalianis, 1996a, 1996b; Mastroianni et al., 1999; Curt et al., 1995, Sakellariou-Makrantonaki et al., 2007; Kavadas et al., 2001).

Ο στόχος των πειραμάτων ήταν να διερευνηθεί η δυνατότητα εφαρμογής του βιολογικού τρόπου διαχείρισης της γονιμότητας του εδάφους και γενικότερα η βιολογική καλλιέργεια γλυκού σόργου με βάση τον Ε.Κ. 2092/91 ή με τον 834/2007 που τον αντικατέστησε πρόσφατα. Βασική υπόθεση εργασίας είναι ότι ο βιολογικός τρόπος διαχείρισης είναι εξ' ίσου αποδοτικός ως και ο συμβατικός αρκεί να μελετηθεί η δυναμική των αλληλεπιδράσεων μεταξύ όλων των παραγόντων που συμμετέχουν στις ανάπτυξης και παραγωγής της βιομάζας.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ

Τα πειράματα εγκαταστάθηκαν στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Πατρών στο Ρίον Πάτρας (Γ.Π. 38ο 25' Β και Γ.Μ. 21ο 8' Α) το 2004/2005. Εγκαταστάθηκε ένα πείραμα 2 χειρισμών της γονιμότητας του εδάφους, ο «συμβατικός» στον οποίο προστέθηκαν ανόργανα λιπάσματα για τις ανάγκες της καλλιέργειας σε ανόργανα θρεπτικά στοιχεία και ο «βιολογικός» σύμφωνα με τον κανονισμό Ε.Ε. 2092/91, με 3 επαναλήψεις ανά χειρισμό σε ένα πλήρως τυχαίοποιημένο σχέδιο. Τα πειραματικά τεμάχια είχαν διαστάσεις 7X7 m². Η καλλιεργητική περίοδος του 2005 άρχισε στις 15/11/2004 με φρεζάρισμα του εδάφους και σπορά του ψυχανθούς φυτού βίκου (*Vicia sativa* L.) σε ποσότητα 14 kg σπόρου/στρέμμα στα πειραματικά τεμάχια με βιολογική διαχείριση. Το πρώτο δεκαπενθήμερο του Μαΐου έγινε η σπορά του γλυκού σόργου ποικιλίας Keller σε μικρές πλαστικές καρτέλες με υπόστρωμα τύρφης τύπου Βαλτικής. Η ανάδυση των πρώτων σποροφύτων άρχισε στις 24 Μαΐου και ολοκληρώθηκε αρχές Ιουνίου. Η μεταφύτευση των σποριόφυτων στα πειραματικά τεμάχια έγινε στις αρχές Ιουνίου σε γραμμές απόστασης 0,70 μ. μεταξύ τους και 0,20 μ. επί της γραμμής.

2.2. ΕΔΑΦΟΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Κοκκομετρική ανάλυση δειγμάτων εδάφους των πειραματικών τεμαχίων έδωσε: Άργιλλος 23%, Άμμος 48.0%, Ιλύς 29.0%. Το pH κυμάνθηκε μεταξύ 7,7-7,8, η οργανική ουσία 1,3-1,7%. Ο αφομοιώσιμος φωσφόρος (κατά Olsen) 3-5 ppm, ολικό ανθρακικό ασβέστιο 4-5%. Ca: 23-24,41 meq/100gr εδάφους, Mg: 1,13 meq/100gr εδάφους, K: 0,4-0,5 meq/100gr εδάφους, Na: 0,17 meq/100gr εδάφους. Ο υδατοκορεσμός (SP) των εδαφικών δειγμάτων κυμάνθηκε μεταξύ 37-40%.

2.3. ΧΕΙΡΙΣΜΟΣ ΓΟΝΙΜΟΤΗΤΑΣ ΕΛΑΦΟΥΣ

Στα πειραματικά τεμάχια με τη συμβατική διαχείριση προστέθηκε το σύνθετο λίπασμα Complet (4,9 Kg 12-12-17+2MgO). Στα πειραματικά τεμάχια με τη βιολογική διαχείριση εκτός από τη χλωρή λίπανση προστέθηκαν οργανική ουσία (τύρφη τύπου Βαλτικής με βάση το *sphagnum*) (Ο.Ο. 91%, pH=5,5) σε ποσότητα 300 λίτρων/π.τ., Πάντετ Κάλι (0-0-48) 1,73 Kg και μικροοργανισμοί, αζωτοδεσμευτικά μη συμβιωτικά βακτήρια, ριζοβακτήρια και μυκόρριζες. i) Το Compete Plus (Plant Health Care, Inc), ένα μίγμα μικροβιακών πληθυσμών που περιλαμβάνει 6 είδη του γένους *Bacillus*, μύκητες του γένους *Trichoderma*, και ακτινομύκητες του γένους *Streptomyces*, και (ii) το Mycor Tree Injectable (Plant Health Care, Inc), το οποίο περιέχει ενδομυκόρριζες (3 είδη του γένους *Glomus* και το *Entrophospora columbiana*), εκτομυκόρριζες (*Pisolithus tinctorius*), ριζοβακτήρια (5 είδη του γένους *Bacillus* και το *Paenibacillus azotofixans*).

2.4. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΡΔΕΥΣΗΣ

Η κάλυψη των αναγκών των φυτών σε νερό έγινε με στάγδην άρδευση. Το συνολικό νερό που προστέθηκε σε 17 αρδεύσεις κατά τη διάρκεια της καλλιεργείας ήταν 512 mm. Η ανωτέρω ποσότητα νερού αποτελεί το άθροισμα των ποσοτήτων του νερού που προστέθηκε στις αρδεύσεις. Η κάθε άρδευση επαναλαμβανόταν με κριτήριο την περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό με βάση τις μετρήσεις της εδαφικής υγρασίας στα 20 εκατοστά με αισθητήρες υγρασίας (Profile probe type PR1, Delta Devices, UK). Η καλλιεργητική περίοδος διήρκεσε 160 ημέρες.

2.5. ΛΟΙΠΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας μετρήθηκε in situ σε μόνιμες θέσεις εντός των πειραματικών τεμαχίων με τη συσκευή Plant Canopy Analyzer LAI-2000 (LI-COR, Inc., Nebraska USA). Σε κάθε θέση ελαμβάνοντο 5 μετρήσεις (1 στην κορυφή της φυτικής κόμης και 4 στο επίπεδο του εδάφους).

Οι αποδόσεις σε βιομάζα μετρήθηκαν με κοπή φυτών από γραμμές μήκους τεσσάρων μέτρων (20 φυτά) στο τέλος της καλλιεργητικής περιόδου. Η ξηρά βιομάζα μετρήθηκε μετά από ξήρανση των φυτών σε θερμοκρασία 90°C επί 72 ώρες. Τα διαγράμματα και ο ρυθμός αύξησης έγιναν με το πρόγραμμα Origien 6.1

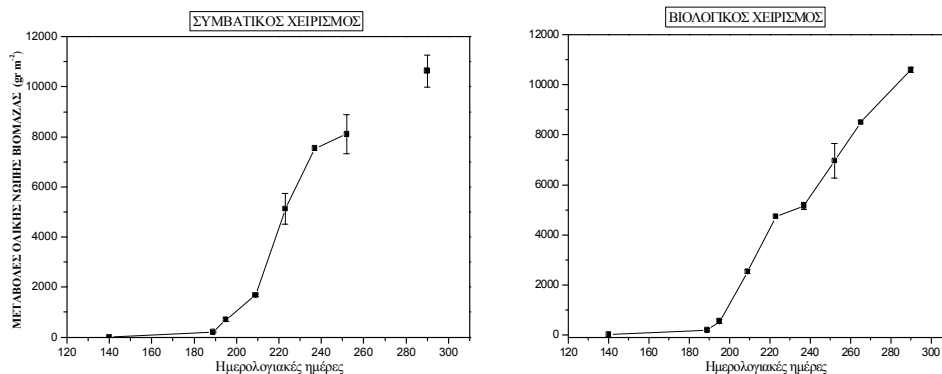
2.6. ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΜΕΓΑΛΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ .

Τα πειράματα μεγάλης κλίμακας πραγματοποιήθηκαν στο Δήμο Θεσπιαίων του Ν. Αιτωλοακαρνανίας. Εγκαταστάθηκαν 5 στρέμματα με συμβατική καλλιεργεία και 5 στρέμματα με βιολογική καλλιεργεία γλυκού σόργου ποικιλίας Keller. Η σπορά έγινε με πνευματική σπαρτική καλαμποκιού (Δίσκος 36X2,5) σε αποστάσεις 18 cm επί των γραμμών και 75 cm μεταξύ των γραμμών. Για τη γονιμότητα του εδάφους στη συμβατική καλλιεργεία προστέθηκαν με λιπασματοδιανομέα ως βασική λίπανση 50 κιλά/στρέμμα σύνθετο λίπασμα 11-15-15 ενώ στη βιολογική καλλιεργεία προστέθηκαν 40 κιλά/στρέμμα 5-5-10 (Super Eco Vas, ΒΑΣΙΛΟΠΟΥΛΟΣ ΑΕ). Τα ανωτέρω οργανικά υλικά είναι συμβατά με τον ΕΚ 2092/91 για τη βιολογική καλλιεργεία και περιέχουν αζωτοδεσμευτικά μη συμβιωτικά βακτήρια. Στο σκάλισμα προστέθηκαν οργανικό διαλυτό άζωτο 12-0-0 20 κιλά /στρέμμα ως επιφανειακή λίπανση στη βιολογική καλλιεργεία. Στη συμβατική καλλιεργεία προστέθηκαν 20 κιλά/στρέμμα νιτρικής αμμωνίας. Η συγκομιδή της νωπής βιομάζας πραγματοποιήθηκε στις αρχές Νοεμβρίου.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

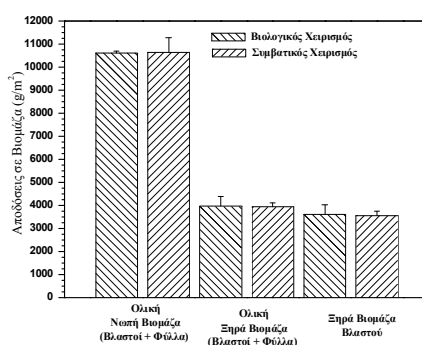
Από τα διαγράμματα συνάγεται ότι η αύξηση της βιομάζας του γλυκού σόργου ποικιλίας Keller ολοκληρώνεται μετά από 100-120 ημέρες (15-25 Σεπτεμβρίου) στις

εδαφοκλιματικές συνθήκες του Ρίου Πάτρας. Πέρα από την ανωτέρω περίοδο έχει διαπιστωθεί ότι η ολική βιομάζα αρχίζει σταδιακά να μειώνεται λόγω γήρανσης και πτώσης των φύλλων σε ένα χρονικό διάστημα περίπου 60 ημερών.



Σχήμα 1. Μεταβολές της νωπής βιομάζας φυτών γλυκού σόργου από το συμβατικό χειρισμό και το βιολογικό χειρισμό κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας.

Οι μέσες αποδόσεις σε νωπή βιομάζα ανήλθαν σε $10.601 \pm 96,67 \text{ g m}^{-2}$ στο βιολογικό χειρισμό και $10.634 \pm 645,15 \text{ g m}^{-2}$ στο συμβατικό. Οι αποδόσεις σε ξηρά βιομάζα ήταν $3.959,2 \text{ g m}^{-2}$ και $3.935,33 \text{ g m}^{-2}$ στο βιολογικό και συμβατικό χειρισμό αντιστοίχως (Σχήμα 2). Η στατιστική ανάλυση (ANOVA) έδειξε ότι δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των αποδόσεων τόσο σε νωπή όσο και σε ξηρά βιομάζα στους δύο χειρισμούς. Οι ανωτέρω αποδόσεις του γλυκού σόργου σε ξηρά βιομάζα είναι από τις μεγαλύτερες που έχουν επιτευχθεί σε πειράματα στον ελληνικό χώρο στο βαθμό που χρησιμοποιούσαν πυκνότερες σπορές (Sakellariou-Makrantonaki et al., 2007; Kavadas et al., 2000; Alexoroulou et al., 2000) και διεθνώς καθώς προσεγγίζουν το δυναμικό παραγωγής του γλυκού σόργου και της ποικιλίας Keller (Mastrorilli et al., 1999). Οι αποδόσεις σε σάκχαρα ήταν $491,43 \text{ g m}^{-2}$ στο συμβατικό και $389,61 \text{ g m}^{-2}$ στο βιολογικό χειρισμό. Ομοίως δεν διαπιστώθηκε σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο χειρισμών στις αποδόσεις σε σάκχαρα (Πίνακας 1)

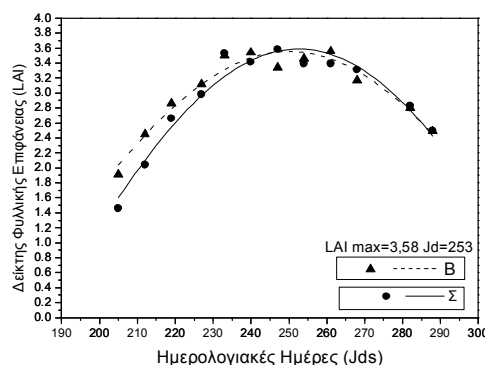


Σχήμα 2. Αποδόσεις της καλλιέργειας σε νωπή και ξηρή βιομάζα

Πίνακας 1. Αποδόσεις σε σάκχαρα στους δύο χειρισμούς

	Βιολογικός χειρισμός	Συμβατικός Χειρισμός
Αποδόσεις (g m^{-2})	$389,26 \pm 40,68$	$491,42 \pm 37,45$
Σάκχαρα % Ξ. Β. Βλαστού	18,61	21,96
Σάκχαρα % Ν.Β. Βλαστού	6,69	8,41

Ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI) είναι ένα μέτρο της φωτιζόμενης φυλλικής επιφάνειας μέσα στη φυτική κόμη της καλλιέργειας. Κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας αυξήθηκε σταδιακά μέχρι μιας μέγιστης τιμής (LAI=3,58) την περίοδο της άνθησης και κατόπιν μειώθηκε σταδιακά λόγω της γήρανσης και πτώσης των παλαιότερων φύλλων (Σχήμα 3). Στη βιβλιογραφία έχουν αναφερθεί τιμές του δείκτη φυλλικής επιφάνειας πάνω από 5. Οι τιμές αυτές αφορούν τη μετρηθείσα φυλλική επιφάνεια φυτών που αντιστοιχούν σε 1 τ.μ. (οριζόμενη διεθνώς ως GLAI) και όχι την προβαλλόμενη φυλλική επιφάνεια ανά τ.μ. και επομένως τα μεγέθη δεν είναι συγκρίσιμα. Και στους δύο χειρισμούς οι ρυθμοί αύξησης της καλλιέργειας (CGR) αυξάνουν μέχρι την περίπου 230^η που έχουμε τους μέγιστους ρυθμούς αύξησης, μένουν σταθεροί για περίπου 20 ημέρες οπότε και αρχίζει η μείωση τους. Οι μέγιστοι ρυθμοί αύξησης της καλλιέργειας (CGR) υπολογίστηκαν σε 59,18 gm⁻²d⁻¹ στο συμβατικό χειρισμό και 59,35 gm⁻²d⁻¹ στο βιολογικό χειρισμό. Οι Dolciotti et al. (1998) υπολόγισαν μέγιστους ρυθμούς αύξησης της καλλιέργειας για την ποικιλία Wray 42,7 gm⁻²d⁻¹ ενώ οι Kavadas et al. (2001) 34-46,5 7 gm⁻²d⁻¹ ανάλογα με το επίπεδο άρδευσης. Πιο πρόσφατα οι Sakelariou-Makrantonaki et al. (2007) υπολόγισαν μέγιστους ρυθμούς αύξησης για την ποικιλία Keller 49-50 gm⁻²d⁻¹ για δύο διαφορετικούς τρόπους άρδευσης της καλλιέργειας.



Σχήμα 3. Μεταβολές του LAI κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας

Στα πειράματα μεγάλης κλίμακας οι μέσες αποδόσεις σε ολική νωπή βιομάζα για τη βιολογική καλλιέργεια του σόργου ήταν 21,22 τόνοι/στρέμμα (Kg/m²) έναντι 14,66 - 20,47 τόνοι/στρέμμα (Kg/m²) του συμβατικού. Οι αποδόσεις της βιολογικής καλλιέργειας θεωρούνται ότι υπερβαίνουν το δυναμικό παραγωγής και ενδεχομένως είναι αποτέλεσμα υψηλής περιεκτικότητας της NB σε υγρασία και στατιστικού λάθους.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα ανωτέρω αποτελέσματα μικρής κλίμακας αλλά και στους αποδεικτικούς αγρούς επιβεβαιώνουν την υπόθεση εργασίας του πειράματος ότι η βιολογική διαχείριση της καλλιέργειας του γλυκού σόργου είναι εξίσου αποδοτική όσο και η συμβατική χωρίς επιπλέον δαπάνες προμήθειας αγροχημικών (κυρίως ανόργανων λιπασμάτων) ενώ παράλληλα δεν επιβαρύνεται το περιβάλλον. Επί πλέον η καλλιέργεια του γλυκού σόργου αποδεικνύεται αρκετά αποδοτική έτσι ώστε να αποτελέσει τη βάση έναντι των άλλων σιτηρών και του αραβοσίτου για παραγωγή αιθανόλης ως βιοκαυσίμου.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Curt, M.D., Fernandez, J., Martinez, M., 1995. *Productivity and water use efficiency of sweet sorghum (Sorghum bicolor (L.) Moench) cv. "Keller" in relation to water regime*. Biomass Bioenergy 8(6):401-409.

- Dalianis, C.D., 1996a. *Sorghum in EU agriculture: Driving forces, restrains and perspectives*. In: Proceedings of First European Seminar on sorghum for energy and Industry, Toulouse, France -April 1-3, 1996, pp. 64-70.
- Dalianis, C.D., 1996b. *Adaptation, productivity and agronomic aspects of sweet sorghum under EU conditions*. In: Proceedings of First European Seminar on sorghum for energy and Industry, Toulouse, France - April 1-3, 1996, pp.15-25.
- Dolcioti, A., Mambelli, S., Grandi, S., Venturi, G., 1996. *Comparison of two Sorghum genotypes for sugar and fiber production*. Ind. Crops Prod., 7:265–272.
- Kavadakis, G., Nikolaou, A., Panoutsou, C., Danalatos, N., 2001. *The effect of two irrigation and three fertigation rates on growth and productivity of two sweet sorghum cultivars in central Greece*. In :James & James Ltd. 1st World Conference on Biomass for Energy and Industry Sevilla Spain 5-9 June 2000.
- Mastrorilli, M., Katerji, N., Rana, G., 1999. *Productivity and water use efficiency of sweet sorghum as affected by soil water deficit occurring at different vegetative growth stages*. European. Journal of Agronomy 11: 207-215.
- Sakellariou-Makrantonaki, M., Papalexis, D., Nakos, N., Kalavrouziotis, I.K., 2007. *Effect of modern irrigation methods on growth and energy production of sweet sorghum (var Keller) on a dry year in Cenral Greece*. Agricultural water management 90: 181-189.

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΑΠΟ ΤΥΡΟΓΑΛΑ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΕΝΟ ΜΕ ΥΓΡΑ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΧΟΙΡΟΣΤΑΣΙΟΥ

Αν. Κακούρος¹, Δ. Γεωργακάκης² και Β. Φούντα³

Τομέας Αγροτικών Κατασκευών και Γεωργικής Μηχανολογίας, Τμήμα Αξιοποίησης
Φυσικών Πόρων & Γ. Μηχανικής, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, 11855 Αθήνα
E-mails: ¹kakana@mail.gr, ²digeo@aua.gr, ³fountavioletta@yahoo.com

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή μελετήθηκε η παραγωγή βιοαερίου από τυρόγαλα στο οποίο προστέθηκαν υγρά μηχανικού διαχωρισμού αποβλήτων χοιροστασίου στις εργαστηριακές εγκαταστάσεις του Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών του Γ.Π.Α. για διάστημα 8 μηνών περίπου. Δοκιμάστηκαν διάφορα μίγματα τυρογάλακτος και υγρών με σκοπό την αριστοποίηση της διαδικασίας, ως προς την σταθερότητά της και το ύψος παραγωγής βιοαερίου στη μεσόφιλη περιοχή (35°C). Τα αποτελέσματα υπήρξαν πολύ ενθαρρυντικά, καθόσον επιτεύχθηκαν υψηλές τιμές παραγωγής βιοαερίου και ικανοποιητική σταθερότητα της αναερόβιας χώνευσης. Με την ως άνω εφαρμογή διευκολύνεται και η αντιμετώπιση ενός ιδιαίτερα προβληματικού σήμερα υποπροϊόντος, όπως είναι το τυρόγαλα, χωρίς δυσμενείς επιπτώσεις στο περιβάλλον.

Λέξεις κλειδιά : τυρόγαλα, βιοαέριο, αναερόβια χώνευση, απόβλητα χοιροστασίου.

BIOGAS PRODUCTION FROM WHEY ENRICHED WITH PIG WASTE MECHANICAL SEPARATOR EFFLUENTS

A. Kakouros¹, D. Georgakakis² and V. Founta³

Department of Land Reclamation and Agricultural Engineering, Agricultural
University of Athens, 11855 Athens, Greece
E-mails: ¹kakana@mail.gr, ²digeo@aua.gr, ³fountavioletta@yahoo.com

SUMMARY

In this study biogas production from whey mixed with pig waste mechanical separator effluent was studied in the Laboratory of Agricultural Structures of the Agricultural University of Athens for about 8 months. Different mixtures of whey and mechanical separator effluent have been tried in an attempt to optimize the process concerning biogas production and anaerobic digestion stability in the mesophilic region (35°C). The results were very promising since increased biogas production has been obtained under stable anaerobic digestion conditions. In addition, the efficient treatment of an increased pollution organic load waste such as whey is greatly enhanced by the process, without adverse effect to the environment.

Key words: whey, biogas, anaerobic digestion, pig wastes, mechanical separation

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παραγωγή βιοαερίου από οργανικής προέλευσης υγρά απόβλητα συνιστά μια πολύ ελπιδοφόρα πρακτική σήμερα, στα πλαίσια της γενικότερης προσπάθειας, που έχει αναληφθεί παγκοσμίως για την προστασία του περιβάλλοντος και την προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Seb. Wulf, 2005; Χρ. Μπουχέλος, 2006). Κάθε προσπάθεια αύξησης της παραγωγής βιοαερίου συμβάλλει ιδιαίτερα προς την κατεύθυνση αυτή και ως εκ τούτου, είναι ιδιαίτερα επιθυμητή.

Προς την κατεύθυνση αυτή κινείται και η παρούσα εργασία η οποία στοχεύει στη μεγιστοποίηση της παραγωγής βιοαερίου από τυρόγαλα, υλικού πλούσιου σε οργανικό άνθρακα, μετά από ανάμιξή του με υγρά μηχανικού διαχωρισμού αποβλήτων χοιροστασίου, πλούσιων σε αμμωνιακό άζωτο, το οποίο διασφαλίζει την σταθερότητα της αναερόβιας χώνευσης (Δ. Γεωργακάκης, 1979).

Με την εφαρμογή μηχανικού διαχωρισμού στα υγρά απόβλητα των χοιροστασίων επιτυγχάνεται η ομοιογένειά τους, μετά την απομάκρυνση των κυτταρινούχων υπολειμμάτων ζωοτροφής, τα οποία αιωρούνται στην υγρή μάζα των αποβλήτων δημιουργώντας πληθώρα προβλημάτων στο χειρισμό τους.

Το παραγόμενο βιοαέριο μπορεί να αξιοποιηθεί για την κάλυψη θερμικών αναγκών τυροκομείων ή, σε περίπτωση συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας (Antonopoulou G, 2008), με πώληση ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο της ΔΕΗ και ακόμα, όπου είναι εφικτό, με πώληση βιοαερίου σε δίκτυο παροχής φυσικού αερίου (μετά από κατεργασίες καθαρισμού του).

Τέλος μειώνεται σημαντικά το οργανικό φορτίο και διευκολύνεται έτσι η ολοκληρωμένη διαχείριση ενός ιδιαίτερα προβληματικού σήμερα απόβλητου, όπως είναι το τυρόγαλα, με μελετημένη ενσωμάτωσή του στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας των αποβλήτων του χοιροστασίου ή του τυροκομείου προέλευσής του.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. ΑΝΑΜΙΞΗ ΤΥΡΟΓΑΛΑΚΤΟΣ ΜΕ ΥΓΡΑ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΧΟΙΡΟΣΤΑΣΙΟΥ

Για τις ανάγκες της εργασίας αυτής χρησιμοποιήθηκαν υγρά μηχανικού διαχωρισμού αποβλήτων ενός χοιροστασίου, που λειτουργεί στην Τανάγρα Βοιωτίας και τυρόγαλα ενός τυροκομείου, που λειτουργεί στην Αργολίδα.

Την πειραματική εγκατάσταση αποτελούσαν 4 θερμαινόμενοι αναερόβιοι χωνευτήρες, ωφέλιμης χωρητικότητας 25,6 λίτρων ο καθένας. Οι χωνευτήρες διατηρούνταν στους 35°C περίπου και τροφοδοτούνταν, ανά 48 ώρες, με 3,2 L υγρών διατηρουμένου έτσι ενός χρόνου παραμονής τους 16 ημερών. Το pH των υγρών εκροής και η ποσότητα του παραγόμενου βιοαερίου μετριόταν σταθερά σε 48ωρη βάση.

Αρχικά μελετήθηκε η παραγωγή βιοαερίου αμιγώς από τα υγρά μηχανικού διαχωρισμού των αποβλήτων του χοιροστασίου αναφοράς, σε πρώτη φάση στο επίπεδο 1% και μετέπειτα στο επίπεδο 2% Ο.Σ., το οποίο συναντάται συνηθέστερα στην πράξη (Δ. Γεωργακάκης, 2009). Για το λόγο αυτό, στις επόμενες φάσεις της παρούσας εργασίας, έγινε προσπάθεια διατήρησης της συγκέντρωσης των ολικών στερεών των υγρών μηχανικού διαχωρισμού γύρω από την ως άνω τιμή του 2%_{κ.β.} με την εφαρμογή αραιώσεων με νερό, όπου αυτό ήταν απαραίτητο.

Στη συνέχεια ξεκίνησε η σταδιακή ανάμιξη τυρογάλακτος σε διάφορες δόσεις με τα υγρά μηχανικού διαχωρισμού σε κάθε χωνευτήρα. Δοκιμάστηκαν 5 διαφορετικές δόσεις ανάμιξης τυρογάλακτος και υγρών χοιροστασίου κατ' όγκον και μία με 100% τυρόγαλα, χωρίς την προσθήκη υγρών χοιροστασίου, όπως φαίνεται στους Πίνακες 1, 2 και 3.

Αρχικά προσθέτονταν πτητικά στερεά μόνο των αποβλήτων του χοιροστασίου, τα οποία στη συνέχεια βαθμιαία αντικαθίστανται με ολοένα μεγαλύτερες ποσότητες πτητικών στερεών τυρογάλακτος, πυκνώνοντας στην ουσία τα μίγματα τροφοδοσίας (αύξηση της περιεκτικότητάς τους σε ολικά στερεά), διατηρουμένου όμως του συνολικού τους όγκου σταθερού (3,2 L/48ωρο), για σταθερό χρόνο παραμονής τους στους αναερόβιους χωνευτήρες.

Πίνακας 1. Αποτελέσματα προσδιορισμού ολικών στερεών (Ο.Σ.), πτητικών στερεών (Π.Σ.) και χημικής ζήτησης οξυγόνου (COD) των πρώτων υλών των μιγμάτων τροφοδοσίας των αναερόβιων χωνευτήρων, κατά την 10μηνη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας (Κακούρος, 2009)

Μίγμα τροφοδοσίας [Όγκος(Π)/Όγκος(Χ)]	Ο.Σ. χοιρ. [%κ.β]	Π.Σ. χοιρ. [%Ο.Σ κ.β]	Π.Σ. χοιρ. [%κ.β]	Ο.Σ. τυρ. [%κ.β]	Π.Σ. τυρ. [%Ο.Σ κ.β]	Π.Σ. τυρ. [%κ.β]	COD _{χοιρ.} (mg/L)	COD _{τυρ.} (mg/L)
Χοιρ. Α (1% Ο.Σ.)	1,04	56,92	0,60	-	-	-	-	-
Χοιρ. Β (2% Ο.Σ.)	2,03	65,36	1,33	-	-	-	8.350	-
Μίγμα Α (0,60/1)	1,45	59,62	0,90	5,64	89,30	5,04	8.350	55.400
Μίγμα Β (1,00/1)	1,90	64,39	1,23	5,50	87,27	4,80	9.450	59.600
Μίγμα Γ (1,67/1)	1,89	63,33	1,20	5,31	88,16	4,68	11.200	57.000
Μίγμα Δ (3,00/1)	2,07	63,39	1,31	5,56	86,94	4,84	10.600	60.200
Μίγμα Ε (7,00/1)	1,82	64,45	1,17	6,17	89,71	5,54	10.800	62.700
Τυρόγαλα (100%)	-	-	-	6,17	89,71	5,54	-	57.000
M.O.	1,87	63,22	1,26	5,64	87,92	4,84	9.800	58.700

Στους Πίνακες 2 και 3 φαίνονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων και προσδιορισμών μετά τη σταθεροποίηση της λειτουργίας των αναερόβιων χωνευτήρων με κάθε μίγμα τροφοδοσίας,

Η περιεκτικότητα του βιοαερίου σε μεθάνιο μετριόταν ογκομετρικά με απορρόφηση του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) σε κορεσμένο διάλυμα υδροξειδίου του νατρίου (NaOH) και το pH των υγρών εκροής, μετά την σταθεροποίηση των τιμών τους. Οι τιμές της περιεκτικότητας σε μεθάνιο (CH₄) κυμάνθηκαν από 67% έως 84%.

Στο Σχήμα 1 απεικονίζονται η ογκομετρική παραγωγή βιοαερίου και το pH σε σχέση με την ογκομετρική φόρτιση, με βάση τα στοιχεία του Πίνακα 2. Η ιδιαιτερότητα του Σχήματος 1 έγκειται στο γεγονός, πως οι τιμές ογκομετρικής φόρτισης των μιγμάτων τροφοδοσίας είναι σύνθετες αποτελούμενες από το άθροισμα των πτητικών στερεών του τυρογάλακτος και των υγρών διαχωρισμού των αποβλήτων του χοιροστασίου, με συγκεκριμένη κάθε φορά σχέση μεταξύ τους.

Από το εν λόγω Σχήμα προκύπτει, πως η ογκομετρική παραγωγή βιοαερίου ακολουθεί το γενικό μοντέλο των βιολογικών διεργασιών (Georgakakis et al., 2002) και εμφανίζει μια μέγιστη τιμή 3,50 m³/m³_{χων} - 48ωρο στο επίπεδο ογκομετρικής φόρτισης

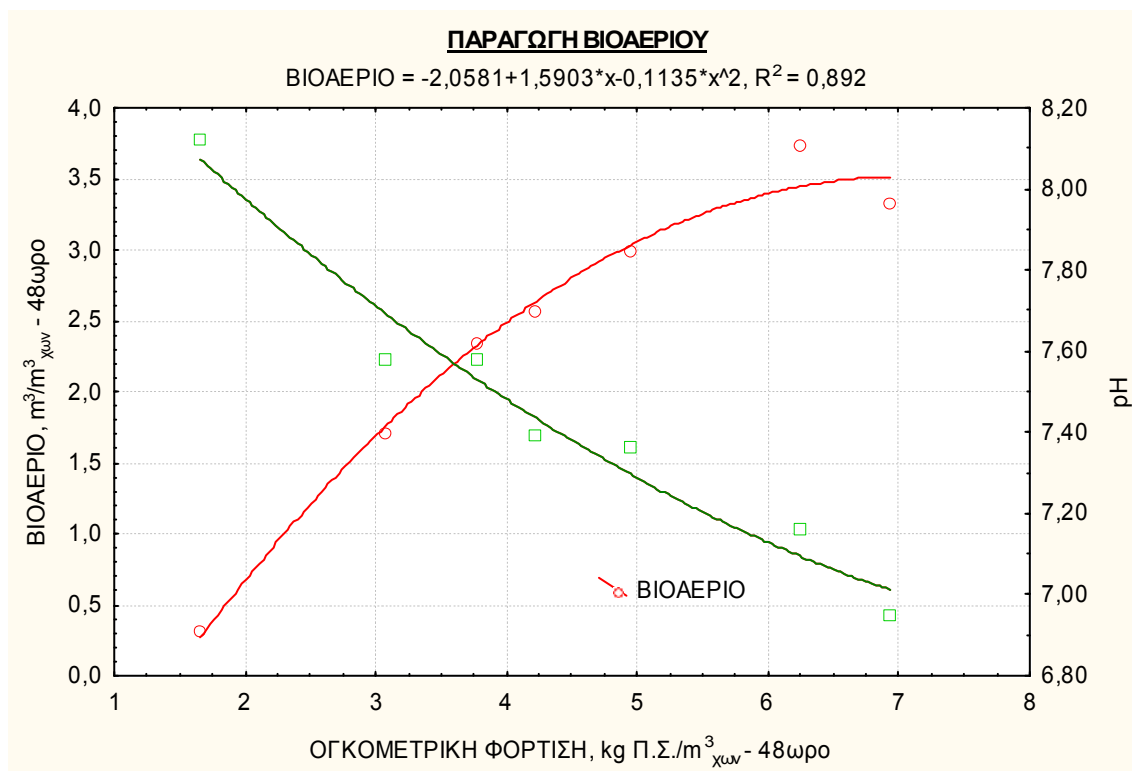
6,75 kg Π.Σ./m³_{χων} - 48ωρο. Στο επίπεδο αυτό της φόρτισης, το σύνολο των πτητικών στερεών (οργανικής ύλης), που προστίθεται προέρχεται πρακτικά μόνο από το τυρόγαλα, καθόσον η συμμετοχή των πτητικών στερεών των αποβλήτων του χοιροστασίου έχει βαθμιαία μηδενιστεί.

Πίνακας 2. Ογκομετρική παραγωγή βιοαερίου, pH και ογκομετρική φόρτιση των αναερόβιων χωνευτήρων (Κακούρος, 2009)

Μίγμα αποβλήτων	Βιοαέριο m ³ /m ³ _{χων.} -48ωρο	Μεθάνιο m ³ /m ³ _{χων.} -48ωρο	pH	Π.Σ. _{εισερχ.} kg/m ³ _{χων.} -48ωρο	Σχέση Π.Σ. _(Τ) /ΠΣ _(Χ)
Χοιρ. Α (1% Ο.Σ.)	0,20	0,16	8,03	0,75	-
Χοιρ. Β (2% Ο.Σ.)	0,31	0,23	8,12	1,66	-
Μίγμα Α (0,60/1)	1,70	1,44	7,58	3,07	3,36
Μίγμα Β (1,00/1)	2,34	1,94	7,58	3,77	3,91
Μίγμα Γ (1,67/1)	2,57	1,95	7,39	4,22	6,51
Μίγμα Δ (3,00/1)	2,99	2,30	7,36	4,95	11,05

Πίνακας 3. Συγκεντρωτικά στοιχεία ελάττωσης του οργανικού φορτίου των υγρών

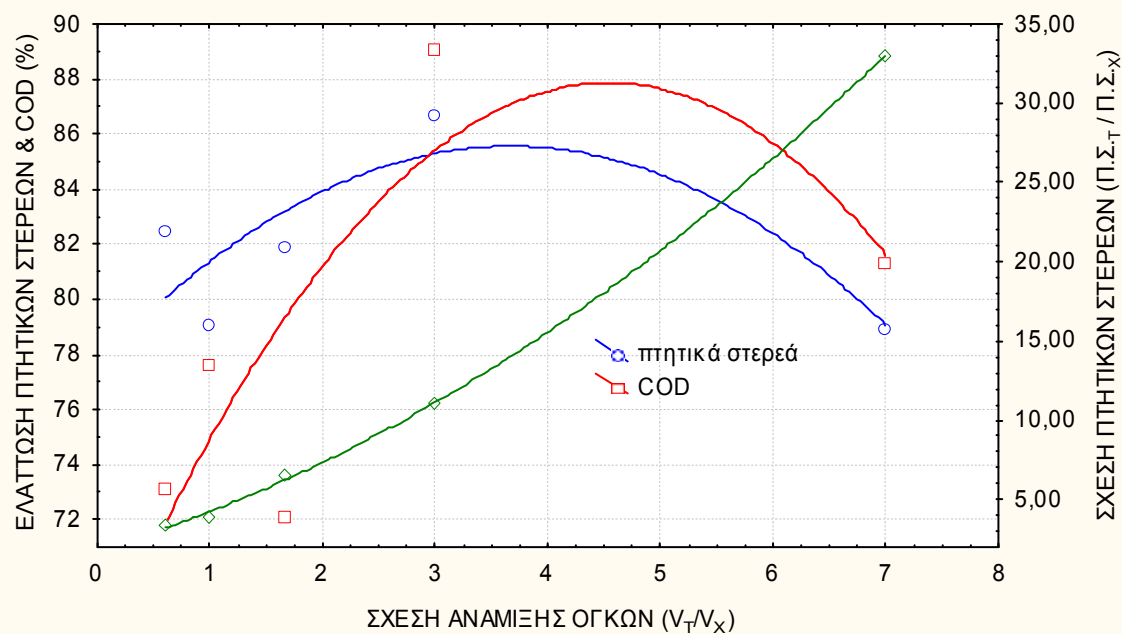
Αραίωση- Ανάμιξη	Εισερχόμενα Χωνευτήρα		Εξερχόμενα Χωνευτήρα		Ελάττωση Οργανικού Φορτίου %	
	COD %	Π.Σ %	COD %	Π.Σ %	Π.Σ %	COD %
2%-0,00/1	8.350	0,96	3.400	0,25	74,23	59,29
0,60/1	26.000	2,45	7.000	0,43	82,45	73,13
1,00/1	39.300	3,02	8.350	0,63	79,05	77,58
1,67/1	38.650	3,38	8.800	0,61	81,91	72,07
3,00/1	48.350	3,96	5.250	0,53	86,65	89,08
7,00/1	53.200	4,45	9.950	0,94	78,92	81,30
100% Τυρ	57.000	6,93	8.750	0,64	90,79	84,68



Σχήμα 1. Ογκομετρική παραγωγή βιοαερίου και pH σε σχέση με την ογκομετρική φόρτιση

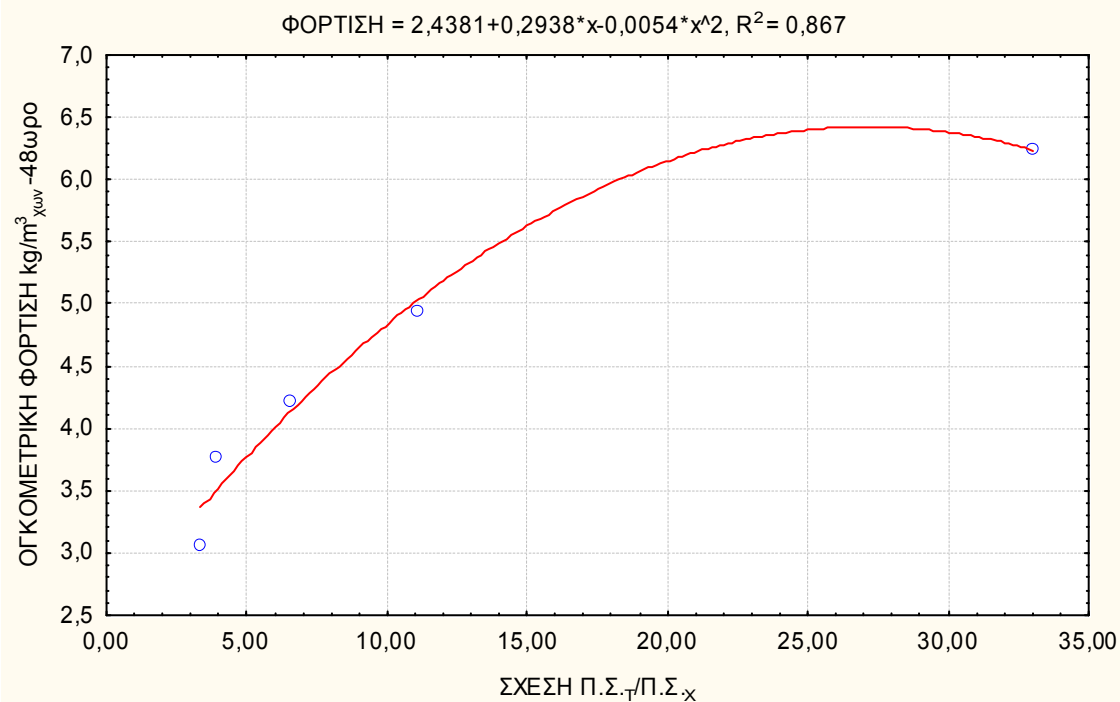
Από το ίδιο Σχήμα προκύπτει, πως με τη βαθμιαία αύξηση της συγκέντρωσης των πτητικών στερεών του τυρογάλακτος και την ελάττωση, μέχρι μηδενισμού, των πτητικών στερεών των αποβλήτων χοιροστασίου στο μίγμα τροφοδοσίας μεγιστοποιείται η παραγωγή βιοαερίου, αλλά η αναερόβια χώνευση σταθεροποιείται σε ολοένα πιο χαμηλό pH. Αυτό είναι ενδεικτικό της βαθμιαίας μείωσης της ρυθμιστικής ικανότητας του υγρού περιεχομένου των αναερόβιων χωνευτήρων και εξ αυτής, της σταθερότητας της αναερόβιας χώνευσης (Δ. Γεωργακάκης 1979; Marisa Handajani 2004).

Μια εγκατάσταση παραγωγής βιοαερίου στην πράξη θα πρέπει να συνδυάζει την παραγωγή βιοαερίου για ενεργειακούς σκοπούς με τις καλύτερες δυνατές συνθήκες σταθερότητας και αποτελεσματικότητας της αναερόβιας χώνευσης στη μείωση του οργανικού φορτίου (πτητικών στερεών και COD) του μίγματος τροφοδοσίας του αναερόβιου χωνευτήρα. Στην παρούσα εργασία αυτό επιτυγχάνεται με τη βοήθεια του Σχήματος 2, όπου παρουσιάζεται ο βαθμός μείωσης του οργανικού φορτίου και ο λόγος Π.Σ._T/Π.Σ._X σε σχέση με την ογκομετρική φόρτιση.



Σχήμα 2. Ελάττωση οργανικού φορτίου

Από το Σχήμα 2 προσδιορίζεται ως ζώνη αυξημένου ποσοστού μείωσης οργανικού φορτίου (πάνω από 83%) η σχέση ανάμιξης όγκων μεταξύ των τιμών 3 και 5,5. Το εύρος αυτό αντιστοιχεί σε ένα εύρος σχέσης Π.Σ.Τ./Π.Σ.Χ 11/1 - 24/1 (από το ίδιο Σχήμα).



Σχήμα 3. Συσχέτιση ογκομετρικής φόρτισης με το λόγο Π.Σ.Τ./Π.Σ.Χ

Οι τιμές του λόγου των πτητικών στερεών 11-24/1 αντιστοιχούν σε ένα εύρος ογκομετρικής φόρτισης 5,0 - 6,4 kg/m³_{χων}-48ωρο (Σχήμα 3) και παραγωγής βιοαερίου 3,0-3,5 m³/m³_{χων}-48ωρο (Σχήμα 1).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Antonopoulou G., Stamatelatos K., Bebelis S., Lyberatos G., 2008. *Electricity generation from cheese whey using a microbial fuel cell*. 18th International Congress of Chemical and Process Engineering, 8th European Symposium of Electrochemical Engineering, Prague, Czech Republic.
- Γεωργακάκης Δ., 1979. *Bacterial Response to Salts in an Anaerobic Dairy Lagoon*. TRANSACTIONS of the ASAE (Vol 22, No 1, pp 162-168).
- Γεωργακάκης Δ., 2009. *Διαχείριση αποβλήτων Τεύχος 2^ο*. Έκδοση Γ.Π.Α., Αθήνα.
- Handajani Marisa. *Degradation of whey in an Anaerobic Fixed Bed Reactor*. University of Karlsruhe.
- Κακούρος Αν., 2009. *Παραγωγή βιοαερίου από τυρόγαλα εμπλουτισμένο με υγρά μηχανικού διαχωρισμού αποβλήτων χοιροστασίου*. Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών, Γ.Π.Α., Αθήνα.
- Wulf Seb., 2005. *Anaerobic digestion and biogas production*. 1st Bonner Summer School on Sustainable Agriculture August 2005.

ΝΕΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΨΥΚΤΙΚΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ ΓΙΑ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟ

Α. Λεβέντη και Γρ. Λαμπρινός

Τμήμα Α.Φ.Π. & Γ.Μ., Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Ιερά Οδός 75,
Τ.Κ. 11855, Αθήνα, Τηλ. 210 529 4031 & 4035, Fax. 210 529 4032
E-mail: refrigenergy@aua.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ανάγκη επαναξιολόγησης των κριτηρίων επιλογής ψυκτικού ρευστού, μας οδήγησε σε αυτήν την ερευνητική εργασία, σκοπός της οποίας είναι η επιλογή και ιεράρχηση κριτηρίων καθώς και η μεθόδευση του τρόπου χρήσεως τους ώστε για μια συγκεκριμένη εφαρμογή όπως είναι ο κλιματισμός αγροτικών κτιρίων να διευκολύνεται η επιλογή από Περιβαλλοντικής, Υγειονομικής, Ενεργειακής και Οικονομικής απόψεως του πλέον κατάλληλου ψυκτικού ρευστού. Η διαδικασία ήταν η εξής: επελέγησαν τα ψυκτικά ρευστά που ικανοποιούν τους κύκλους κλιματισμού μιας κτηνοτροφικής μονάδας, απορρίπτοντας αυτά που δεν ικανοποιούν το κριτήριο της κρίσιμης θερμοκρασίας. Η περιβαλλοντική ιεράρχηση των απομενόντων ψυκτικών ρευστών οδηγεί στην απομόνωση ολίγων ψυκτικών ρευστών 6 έως 8 τον αριθμό, τα οποία αξιολογούνται τελικώς με βάση την θερμοδυναμική τους απόδοση, το κόστος και τη διαθεσιμότητά τους. Η τελική αξιολόγηση κατέληξε στα ψυκτικά ρευστά R134a, R717 και R407C για κλίμα που επικρατούν τα φορτία του χειμώνα και στα R407C, R717 και R134a αντίστοιχα για τα θέρος με φθηνότερα κατά σειράν τα R717, R134a και R407C.

Λέξεις κλειδιά: ψυκτικά ρευστά, κλιματισμός, κριτήρια επιλογής, αντλία θερμότητας.

NEW CRITERIA AND A SELECTION METHOD OF REFRIGERANT FLUIDS FOR AIR CONDITIONING

A. Levendi and Gr. Lambrinos

Dep. of Natural Resources Development & Agricultural Engineering,
Agricultural University of Athens, 75 Iera Odos Str., 118 55, Athens–Greece,
Tel. +3 210 5294029 & 4031, Fax. +3 210 5294032
E-mail: refrigenergy@aua.gr

ABSTRACT

This study was aimed to evaluate and set the criteria for selection of the appropriate refrigerant based on environmental, hygiene, energy and economic demands. The procedure consisted of choosing initially the refrigerants that meet the demands of air conditioning of animal buildings in terms of thermodynamics cycles. The fluids that could not satisfy the critical temperature criterion were rejected. Next, the remaining fluids were ranked based on their environmental impact. From this procedure 6 to 8 refrigerants were isolated and moved to the next ranking procedure, which was based on the three criteria; the thermodynamic efficiency, the cost and the availability of the refrigerants. The overall evaluation gave three refrigerants for winter use (in cold climates, where winter loads are predominated), the R134a, R717, R407C and similarly three for summer use the R717, R134a, R407C. In both cases the three refrigerants are ranked from the cheapest (R717) to the less cheap fluid (R407C).

Keywords: refrigerant fluids, air conditioning, selection criteria, heat pump.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Πριν μια εικοσαετία, για την επιλογή του ψυκτικού ρευστού μιας ψυκτικής εγκατάστασης υπήρχαν πέντε κλασσικοί κανόνες ή κριτήρια: (i) η κρίσιμη θερμοκρασία του ρευστού, (ii) οι πιέσεις χρήσης και κυρίως η σχέση συμπίεσης, (iii) ο συντελεστής συμπεριφοράς, (iv) η ογκομετρική (θερμική ή ψυκτική) παραγωγή και (v) η ασφάλεια (στην οποία περιλαμβανόταν η τοξικότητα και η ευφλεκτότητα του ρευστού). Με βάση τα παραπάνω κριτήρια, τα CFC και τα HCFC αποτελούσαν σχεδόν την μόνιμη επιλογή με εξαίρεση την αμμωνία η οποία παρά την τοξικότητά της, λόγω του υψηλού COP και της υψηλής ογκομετρικής θερμικής ή ψυκτικής παραγωγής της, αποτελούσε την No 1 επιλογή στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις.

Τα περιβαλλοντικά όμως προβλήματα όπως, η 'τρύπα του όζοντος' κυρίως και δευτερευόντως η 'υπερθέρμανση του πλανήτη' έχουν οδηγήσει σε σημαντικές αλλαγές τόσο σε ό,τι αφορά τις προτεραιότητες επιλογής των κριτηρίων όσο και στα χρησιμοποιούμενα ή παραγόμενα σήμερα ψυκτικά ρευστά.

Είμαστε λοιπόν σήμερα αναγκασμένοι να επαναξιολογήσουμε τα κριτήρια επιλογής του ψυκτικού ρευστού για οποιαδήποτε εφαρμογή, διαφοροποιώντας τόσο τη μεθοδολογία επιλογής όσο τη σειρά προτεραιότητας των κριτηρίων επιλογής, δίνοντας πρώτα έμφαση στα περιβαλλοντικά και κατόπιν στα θερμοδυναμικά και οικονομικά κριτήρια.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η επιλογή κριτηρίων και η μεθόδευση του τρόπου χρήσεως των, ώστε για συγκεκριμένη εφαρμογή, να επιλέγουμε από Περιβαλλοντική, Υγειονομική, Ενεργειακή και Οικονομική άποψη το πλέον κατάλληλο ψυκτικό ρευστό.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Στη παρούσα εργασία θεωρήσαμε μια γεωργική εφαρμογή γενικότερου ενδιαφέροντος όπως τα πτηνοτροφεία και τα χοιροστάσια πάχυνσης. Αυτά αναφέρονται σε ένα συγκεκριμένο εύρος θερμοκρασιών στέγασης βάση του οποίου, προσδιορίζονται τα κριτήρια επιλογής του κατάλληλου ψυκτικού ρευστού. Πιο συγκεκριμένα τα θεωρούμενα πτηνοτροφεία και τα χοιροστάσια πρώτου σταδίου πάχυνσης είναι εγκαταστημένα συνήθως σε περιοχές με κλίμα ανάλογο του νομού Αττικής. Εάν η ιδανική θερμοκρασία περιβάλλοντος για ζώα πρώτου σταδίου πάχυνσης είναι 27 °C, οι συνθήκες λειτουργίας της κλιματιστικής εγκατάστασης θα είναι 0 °C (εξάτμιση) και 40 °C (συμπύκνωση) για τον χειμώνα, ενώ οι αντίστοιχες συνθήκες θέρους θα είναι 10 °C και 50 °C.

Για τους υπολογισμούς και τη σύγκριση των κριτηρίων (συσχετίσεις) των ψυκτικών ρευστών χρησιμοποιήθηκαν τα εξής λογισμικά πακέτα: NIST REFPROP v.6.0–PIR, SOLKANE (DuPont Refrigerants) και EXCEL.

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε σε πρώτη φάση ήταν η εξής: αρχικά συγκεκριντήθηκαν από τον κατάλογο των ψυκτικών ρευστών εκείνα που ικανοποιούν και τους δύο κύκλους. Λαμβάνοντας υπόψιν κριτήρια ασφαλείας, ευφλεκτότητας και τοξικότητας, επιλέγονται αντίστοιχα εκείνα τα ψυκτικά ρευστά που ανήκουν στην κατηγορία ασφαλείας A1. Στη συνέχεια προσδιορίζεται ένα θερμοδυναμικό κριτήριο έτσι ώστε ο κύκλος να μην κινείται κοντά στην κρίσιμη περιοχή του αντίστοιχου ψυκτικού ρευστού. Το κριτήριο αυτό είναι ο λόγος των θερμοκρασιών συμπύκνωσης και της κρίσιμης θερμοκρασίας του ψυκτικού ρευστού, ο οποίος πρέπει να είναι μικρότερος ή ίσος του 0.90. Σε μια δεύτερη και ουσιαστικότερη φάση, η επιλογή συνεχίζεται με περιβαλλοντικά κριτήρια όπως είναι το Δυναμικό Καταστροφής του Όζοντος (ODP) και το Δυναμικό Υπερθέρμανσης του πλανήτη (GWP) των επιλεγμένων ήδη ψυκτικών ρευστών. Ένα άλλο θερμοδυναμικό κριτήριο που θα μελετηθεί σε αυτή την φάση είναι η σχέση συμπίεσης r , όπου $r = P_c/P_e$, για τους δύο πάλι κύκλους. Στη συνέχεια υπολογίζονται οι

συντελεστές συμπεριφοράς και για τους δύο κύκλους. Ακολουθεί ο υπολογισμός της ειδικής ογκομετρικής θερμικής / ψυκτικής παραγωγής, δηλ. ο λόγος q_0/v_1 και q_w/v_1 , που βοηθά να αντιληφθεί κανείς το μέγεθος του συμπιεστή, και η μελέτη καταλήγει σε έρευνα αγοράς που αφορά την διαθεσιμότητα και την τιμή των ψυκτικών ρευστών.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Η διαδικασία της πρώτης φάσης οδήγησε σε ένα κατάλογο (Πίνακας 1) ψυκτικών ρευστών που ανήκουν στην κατηγορία A1, ικανοποιούν τους δύο κύκλους αλλά και το θερμοδυναμικό κριτήριο (T_c/T_{cr}). Φυσικά διατηρείται και το ψυκτικό ρευστό R717 (αμμωνία) που ναι μεν ανήκει στην κατηγορία B2 (τοξικό) αλλά χαρακτηρίζεται από πολλά περιβαλλοντικά και θερμοδυναμικά πλεονεκτήματα.

Πίνακας 1. Πίνακας ψυκτικών ρευστών που ικανοποιούν και τους δύο κύκλους.

a/a	R-Αριθμός	Σύσταση	T_c/T_{cr}
1	12	CCl ₂ F ₂	0.84
2	22	CHClF ₂	0.87
3	124	CHClFCF ₃	0.82
4	134a	CH ₂ FCF ₃	0.86
5	236fa	CF ₃ CH ₂ CF ₃	0.81
6	401A	R-22/152a/124 (53.0/13.0/34.0). MP39	0.85
7	401B	R-22/152a/124 (61.0/11.0/28.0) . MP66	0.86
8	407C	R-32/125/134a (23.0/25.0/52.0). Klea 66; Suva 9000	0.90
9	409A	R-22/124/142b (60.0/25.0/15.0)– FX–56	0.85
10	717	NH ₃ . ammonia	0.80

Στους Πίνακες 2 και 3 παρουσιάζονται οι τιμές του Δυναμικού Καταστροφής του Οζοντος (ODP) και του Δυναμικού Υπερθέρμανσης (GWP) των επιλεγμένων ψυκτικών ρευστών καθώς και η σύγκριση αυτών.

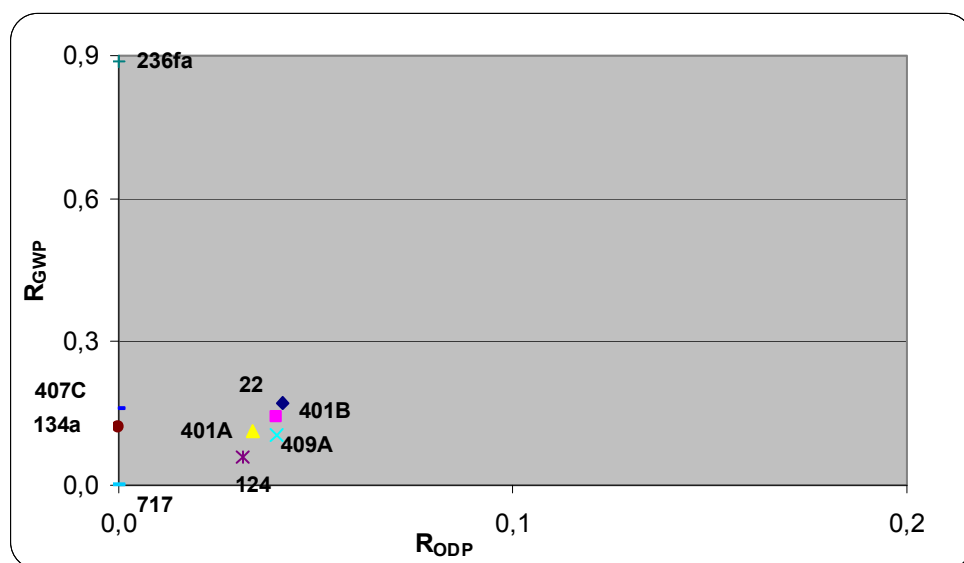
Πίνακας 2. Σχετική ταξινόμηση των ψυκτικών ρευστών με βάση την τιμή του ODP.

R-Αριθμός	Σύσταση	ODP	ODP _{max}	$R_{ODP}=ODP/ODP_{max}$
12	CCl ₂ F ₂	0.82	0.82	1.000
22	CHClF ₂	0.034	0.82	0.041
409A	CHClFCF ₃	0.033	0.82	0.040
401B	CH ₂ FCF ₃	0.028	0.82	0.034
401A	CF ₃ CH ₂ CF ₃	0.027	0.82	0.033
124	R-22/152a/124 (53.0/13.0/34.0). MP39	0.026	0.82	0.032
134a	R-22/152a/124 (61.0/11.0/28.0) . MP66	0	0.82	0.000
236fa	R-32/125/134a (23.0/25.0/52.0). Klea 66; Suva 9000	0	0.82	0.000
407C	R-22/124/142b (60.0/25.0/15.0)– FX–56	0	0.82	0.000
717	NH ₃ . ammonia	0	0.82	0.000

Πίνακας 3. Σχετική ταξινόμηση των ψυκτικών ρευστών με βάση την τιμή του GWP.

R- Αριθμός	Σύσταση	GWP	GWP _{max}	R _{GWP} =GWP/GWP _{max}
12	CCl ₂ F ₂	10600	10600	1.000
236fa	CHClF ₂	9400	10600	0.887
22	CHClFCF ₃	1700	10600	0.160
407C	CH ₂ FCF ₃	1700	10600	0.160
409A	CF ₃ CH ₂ CF ₃	1500	10600	0.142
134a	R-22/152a/124 (53.0/13.0/34.0). MP39	1300	10600	0.123
401B	R-22/152a/124 (61.0/11.0/28.0) . MP66	1200	10600	0.113
401A	R-32/125/134a (23.0/25.0/52.0). Klea 66; Suva 9000	1100	10600	0.104
124	R-22/124/142b (60.0/25.0/15.0)– FX–56	620	10600	0.058
717	NH ₃ . ammonia	1	10600	0.000

Το γράφημα που ακολουθεί (Σχήμα 1) βοηθά στη σύγκριση ώστε να απορριφθούν εκείνα τα ψυκτικά ρευστά που βλάπτουν περισσότερο το περιβάλλον.

Σχήμα 1. Χαρτογράφηση των ψυκτικών ρευστών βάσει των R_{ODP} και R_{GWP}.

Από τους Πίνακες 2 και 3 και το Σχήμα 1 καταλήγει κανείς στα εξής συμπεράσματα: (i) από τη λίστα των ψυκτικών ρευστών απορρίπτεται (έχει ήδη καταργηθεί) το R12, γιατί έχει πολύ υψηλό λόγο ODP και GWP και άρα είναι πολύ βλαβερό για το περιβάλλον, (ii) απορρίπτεται επίσης και το R236fa αν και έχει μηδενική τιμή ODP λόγω της πολύ μεγάλης τιμής GWP που πλησιάζει αυτή του R12.

Ο υπολογισμός της σχέσης συμπίεσης $r=P_c/P_e$, των βαθμών απόδοσης η_i , η_m , η_{ol} και των συντελεστών συμπεριφοράς για τους δύο κύκλους COP^c_θ , COP^c_ψ στα εναπομείναντα οκτώ ψυκτικά ρευστά παρουσιάζεται στους Πίνακες 5 και 6. Για τα μεγέθη αυτά χρησιμοποιήθηκαν οι σχέσεις του Πίνακα 4.

Πίνακας 4. Μεγέθη και σχέσεις υπολογισμού θερμοδυναμικών χαρακτηριστικών της αντλίας θερμότητας.

n_i	=	1- 0.05r, σχέση Lorentzen,	ενδεικνυμένος βαθμός απόδοσης
n_m	=	0.85, από κατασκευαστές,	μηχανικός βαθμός απόδοσης
$n_{ολ}$	=	$n_i * n_m$	ολικός βαθμός απόδοσης
COP^c_{θ}	=	$T_{\theta}/(T_{\theta}-T_{\psi})$	θεωρητικός θερμικός συντελεστής συμπεριφοράς (αντίστροφου κύκλου Carnot)
COP^c_{ψ}	=	$T_{\psi}/(T_{\theta}-T_{\psi})$	θεωρητικός ψυκτικός συντελεστής συμπεριφοράς (αντίστροφου κύκλου Carnot)
COP^{th}_{θ}	=	Q_c/W_{th}	θεωρητικός θερμικός συντελεστής συμπεριφοράς (βάσει θεωρητικού θερμοδυναμικού κύκλου)
COP^{th}_{ψ}	=	Q_c/W_{th}	θεωρητικός ψυκτικός συντελεστής συμπεριφοράς (βάσει θεωρητικού θερμοδυναμικού κύκλου)
COP^r_{θ}	=	$COP^{th}_{\theta} * n_{ολ} * q_{\theta}$	πραγματικός θερμικός συντελεστής συμπεριφοράς
COP^r_{ψ}	=	$COP^{th}_{\psi} * n_{ολ} * q_{\psi}$	πραγματικός ψυκτικός συντελεστής συμπεριφοράς

Πίνακας 5. Πραγματική απόδοση για εφαρμογή το χειμώνα.

40 – 0									
R– Αριθμός	Pc (MPa)	Pe (MPa)	Pc/Pe	n_i	n_m	$n_{ολ}$	COP^c_{θ}	COP^{th}_{θ}	COP^r_{θ}
22	1534	498	3.0803	0.8460	0.85	0.7191	7.825	5.6269	4.0462
409A	1182	288	4.1042	0.7948	0.85	0.6756	7.825	5.2864	3.5713
401B	1954	325	6.0123	0.6994	0.85	0.5945	7.825	4.6518	2.7654
401A	1152	302	3.8146	0.8093	0.85	0.6879	7.825	5.3827	3.7026
124	593	163	3.6380	0.8181	0.85	0.6954	7.825	5.4414	3.7838
134a	1017	293	3.4710	0.8265	0.85	0.7025	7.825	5.4969	3.8615
407C	1749	461	3.7939	0.8103	0.85	0.6888	7.825	5.3895	3.7121
717	1555	429	3.6247	0.8188	0.85	0.6959	7.825	5.4458	3.7900

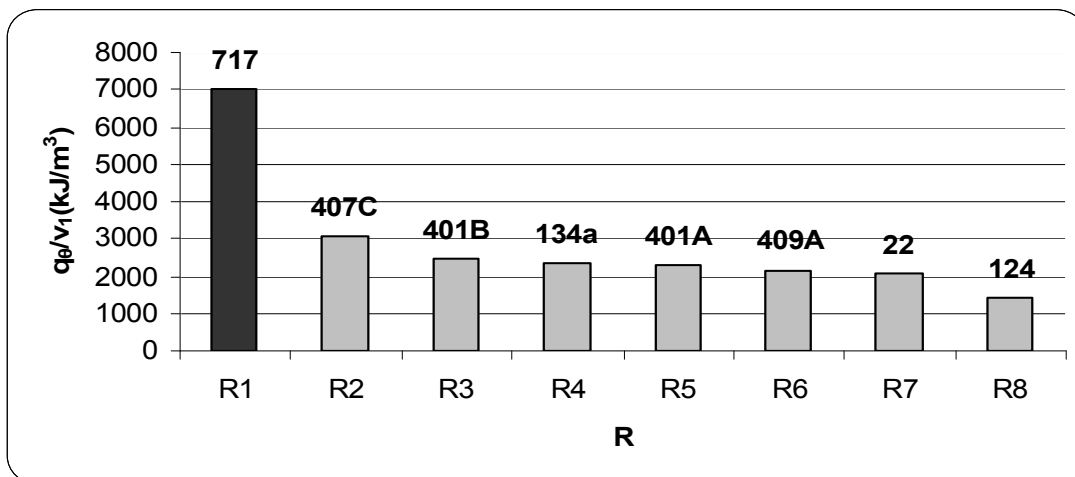
Πίνακας 6. Πραγματική απόδοση για εφαρμογή το θέρος.

50 – 10									
R– Αριθμός	Pc (MPa)	Pe (MPa)	Pc/Pe	n_i	n_m	$n_{ολ}$	COP^c_{ψ}	COP^{th}_{ψ}	COP^r_{ψ}
22	1943	681	2.8532	0.8573	0.85	0.7287	7.075	5.1558	3.7573
124	775	234	3.3120	0.8344	0.85	0.7092	7.075	5.0179	3.5589
134a	1318	415	3.1759	0.8412	0.85	0.7150	7.075	5.0588	3.6172
401A	1468	500	2.9360	0.8532	0.85	0.7252	7.075	5.1309	3.7211
401B	2456	897	2.7380	0.8631	0.85	0.7336	7.075	5.1905	3.8079
407C	2216	776	2.8557	0.8572	0.85	0.7286	7.075	5.1551	3.7562
409A	1499	521	2.8772	0.8561	0.85	0.7277	7.075	5.1486	3.7468
717	2034	615	3.3073	0.8346	0.85	0.7094	7.075	5.0193	3.5609

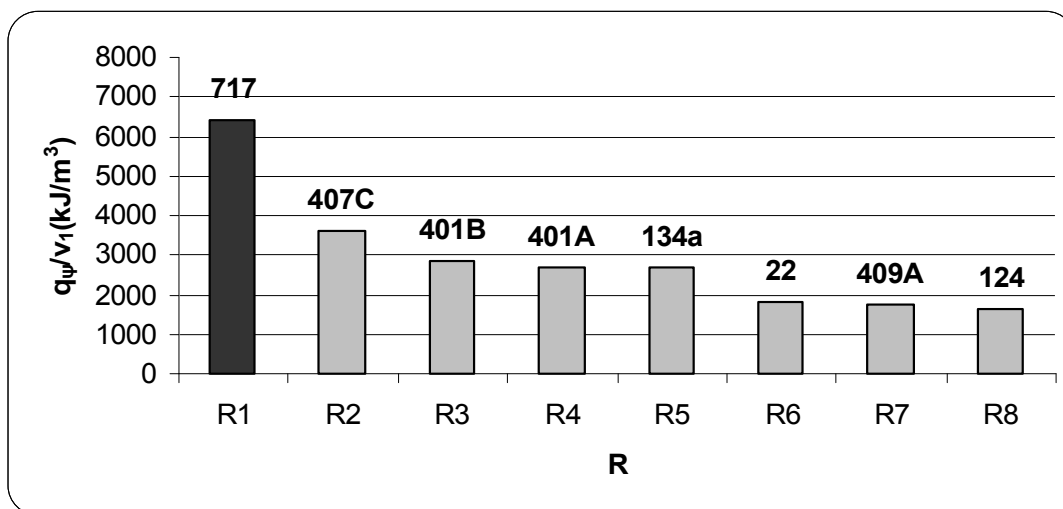
Από τους Πίνακες 5 και 6 καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι για το χειμώνα την καλύτερη απόδοση την έχει το R22, το R134a και η Αμμωνία. Αν και το R22 έχει την

καλύτερη απόδοση από τα υπόλοιπα πρόκειται να καταργηθεί, για αυτό η επιλογή μας για τον χειμώνα είναι μεταξύ του R134a και της αμμωνίας που έχουν ελάχιστη διαφορά μεταξύ τους. Για το θέρος την καλύτερη απόδοση έχει το R401B.

Ο υπολογισμός της ειδικής ογκομετρικής θερμικής / ψυκτικής παραγωγής, q_θ/v_1 και q_ψ/v_1 βοηθάει να αντιληφθούμε το μέγεθος του συμπιεστή. Στα Σχήματα 2 και 3 φαίνεται η φθίνουσα ταξινόμηση της ειδικής ογκομετρικής θερμικής / ψυκτικής παραγωγής των διαφόρων ψυκτικών ρευστών.



Σχήμα 2. Φθίνουσα ταξινόμηση των ψυκτικών ρευστών με βάση την ειδική ογκομετρική θερμική παραγωγή q_θ/v_1 .



Σχήμα 3. Φθίνουσα ταξινόμηση των ψυκτικών ρευστών με βάση την ειδική ογκομετρική ψυκτική παραγωγή q_ψ/v_1 .

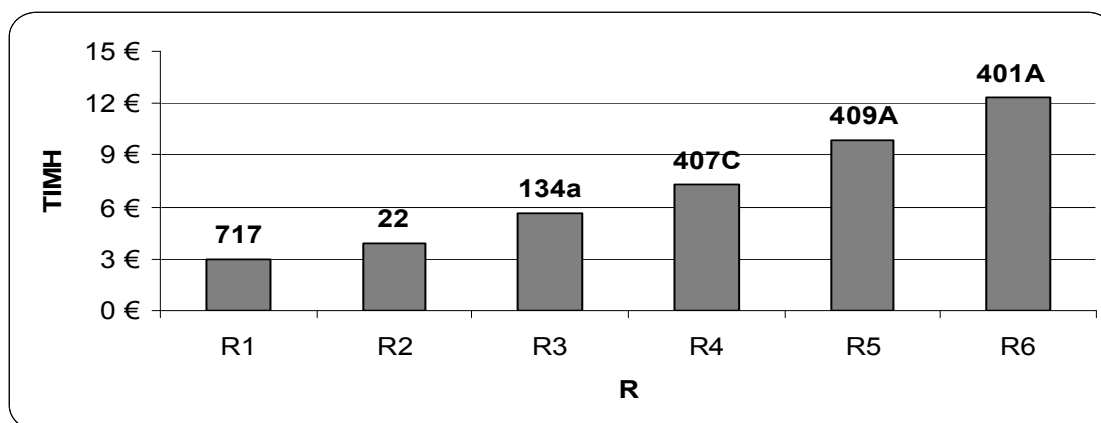
Από τα Σχήματα 2 και 3 καταλαβαίνουμε ότι ο μικρότερος σε μέγεθος συμπιεστή απαιτείται στην Αμμωνία, με πολύ μεγάλη διαφορά από τα υπόλοιπα ψυκτικά ρευστά και σε αντίθεση με το R124 που χρειάζεται τον μεγαλύτερο.

Η έρευνα αγοράς που έγινε για τα ψυκτικά, ρευστά στα οποία έχουμε καταλήξει ως τώρα, σχετικά με την διαθεσιμότητά τους σε τρεις γνωστές εταιρείες φαίνεται στον Πίνακα 7. Από τον πίνακα αυτό καταλαβαίνουμε ότι στην ελληνική αγορά σε μεγάλη διαθεσιμότητα βρίσκουμε σήμερα το R22, το R134a και το R407C, με μικρή δυσκολία το R409A, το R401A και την Αμμωνία, ενώ δεν κυκλοφορούν ευρέως το R401B και το R124.

Ο υπολογισμός της μέσης τιμής των ψυκτικών ρευστών που διατίθενται στην αγορά παρουσιάζεται στο Σχήμα 4. Από το Σχήμα 4 φαίνεται ότι το πιο οικονομικό ψυκτικό ρευστό είναι η Αμμωνία και το πιο ακριβό το R401A. Η διαδικασία καταλήγει λοιπόν στα εξής ψυκτικά ρευστά: R22, R134a, R407C, R409A, R401A και R717 που συνοψίζονται με τα βασικά από όλα τα εξετασθέντα κριτήρια στους Πίνακες 8 και 9.

Πίνακας 7. Διαθεσιμότητα Ψυκτικών Ρευστών

R-Αριθμός	1 ^η Εταιρεία ΣΟΛΛΑΤΟΣ	2 ^η Εταιρεία CONDES	3 ^η Εταιρεία ΕΛΒΙΚΛΙΜΑ ABEE
22	Ναι	Ναι	Ναι
409A	Ναι	Όχι	Όχι
401B	Όχι	Όχι	Όχι
401A	Όχι	Ναι	Όχι
124	Όχι	Όχι	Όχι
134a	Ναι	Ναι	Ναι
407C	Ναι	Ναι	Ναι
717	Όχι	Όχι	Ναι



Σχήμα 4. Γραφική παράσταση ταξινόμησης των Μέσων Τιμών Διάθεσης των Ψυκτικών Ρευστών.

Η τελική αξιολόγηση οδηγεί στα ψυκτικά ρευστά R134, R717 και R407C για τον χειμώνα και στα R407C, R717 και R134a αντίστοιχα για το θέρος με φθηνότερα κατά σειρά τα R717, R134a και R407C. Συμπεραίνει επίσης κανείς πως η αμμωνία (R717) παραμένει πάντα το καλύτερο ψυκτικό ρευστό αλλά για έμμεσο κλιματισμό.

Ωστόσο το ρευστό που τελικά θα επιλεγεί εξαρτάται και από τις ανάγκες κλιματισμού ανάλογα με το τοπικό κλίμα. Για παράδειγμα διαφορετικές είναι οι ανάγκες για ψύξη και θέρμανση στη Κρήτη και διαφορετικές σε μια ορεινή περιοχή της Μακεδονίας. Στη Κρήτη λοιπόν θα επιλεγόταν το R407C για χρήση μέσα στην πόλη ενώ για βιομηχανική χρήση η Αμμωνία. Στην ορεινή περιοχή της Μακεδονίας όμως θα επιλεγόταν το R134a για την πόλη και η Αμμωνία εκτός πόλεως. Η εφαρμογή που μελετήθηκε ανήκει σε κλίμα χωρίς έντονες εποχιακές διαφορές φορτίων, όπως είναι αυτό της Αττικής. Για αυτό ενδιαφέρει να είναι εξίσου καλή η απόδοση του ψυκτικού ρευστού που θα επιλεγεί και στους δύο κύκλους, χειμώνα – καλοκαίρι.

Πίνακας 8. Συνοπτικός πίνακας ψυκτικών ρευστών και κριτηρίων για εφαρμογή το χειμώνα.

40 – 0					
R-Αριθμός	R _{ODP}	R _{GWP}	COP _r _θ	q _θ /v ₁ (kJ/m ³)	Τιμή (€)
22	0.041	0.160	4.0462	2089.74	3.90
409A	0.040	0.142	3.5713	2140.99	9.90
401A	0.033	0.104	3.7026	2304.64	12.30
134a	0.000	0.123	3.8615	2352.09	5.70
407C	0.000	0.160	3.7121	3087.12	7.30
717	0.000	0.000	3.7900	7017.88	3.00

Πίνακας 9. Συνοπτικός πίνακας ψυκτικών ρευστών και κριτηρίων για εφαρμογή το θέρος.

50 – 10					
R-Αριθμός	R _{ODP}	R _{GWP}	COP _r _ψ	q _ψ /v ₁ (kJ/m ³)	Τιμή (€)
22	0.041	0.160	3.7468	1807.98	3.90
409A	0.040	0.142	3.7573	1745.22	9.90
401A	0.033	0.104	3.6172	2683.82	12.30
134a	0.000	0.123	3.7211	2672.06	5.70
407C	0.000	0.160	3.8079	3605.26	7.30
717	0.000	0.000	3.7562	6433.48	3.00

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα ψυκτικά ρευστά που θα επιλεγούν σε μια παρόμοια εφαρμογή θα πρέπει να είναι μη τοξικά και άφλεκτα, να έχουν πολύ μικρή τιμή ODP και δυναμικό μικρό για το φαινόμενο του Θερμοκηπίου, να είναι σταθερές ουσίες χωρίς διολίσθηση θερμοκρασιακή κατά την αλλαγή φάσης, η τιμή του COP_r να ικανοποιεί τις ανάγκες ανάλογα με το κλίμα έχοντας πάντα υπόψη το μέγεθος και την οικονομική επένδυση σε συμπιεστή και τέλος την τιμή σε συνδυασμό με την διαθεσιμότητα αυτών.

Για την γεωργική εφαρμογή που μελετήθηκε για κλιματισμό χοιροστασίου ή πτηνοτροφείου στο στάδιο πάχυνσης στη περιοχή Αττικής η καλύτερη επιλογή θα ήταν το R134a, για γεωργική εφαρμογή κάπου κοντά σε πόλη, και η Αμμωνία, για έμμεση ψύξη και θέρμανση μιας μέσου ή μεγάλου μεγέθους μονάδας και φυσικά εκτός πόλεως.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Anonymus. *Thermophysical properties of refrigerants*. www.dupon.gr.
 Anonymus. *Thermophysical properties of refrigerants*. www.solkane.gr.
 NIST –REFROP. *Thermophysical properties of refrigerants*, I.I.R., code FRIG16 (www.iifir.org).
 Λεβέντη Α., 2008. *Μεθοδολογία εκλογής κατάλληλου Ψυκτικού Ρευστού για Αντλία Θερμότητας*. Μεταπτυχιακή διατριβή, ΓΠΑ, σ. 67.

ΕΠΟΧΙΑΚΗ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΜΕ ΑΝΤΛΙΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Μ. Χιονίδης και Γρ. Λαμπρινός

Εργ. Γεωργικής Μηχανολογίας, Τμήμα Α.Φ.Π. & Γ.Μ.,
Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Ιερά Οδός 75, Τ.Κ. 11855, Αθήνα
Τηλ.: 210 529 4031 & 4035, Φαξ: 210 529 4032
E-mail: refrigenergy@aua.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία παρουσιάζει μια διάταξη συλλογής και εποχιακής αποθήκευσης θερμικής ηλιακής ενέργειας για θέρμανση θαλάμου προπάχυνσης χοίρων βάρους από 18kg έως 45 kg με αναβάθμισης της θερμικής ενέργειας με αντλία θερμότητας. Με την χρήση υπολογιστικού μοντέλου, γίνεται προσομοίωση και εκτίμηση της απόδοσης του συστήματος για ότι αφορά την επιφάνεια και την κλίση των συλλεκτών, τα χαρακτηριστικά της δεξαμενής (διατομή, βάθος, μόνωση), την απόδοση της αντλίας θερμότητας για διάφορα φορτία και ψυκτικά ρευστά (R22, R134a, R152a, R407c), καθώς και τα οικονομικά στοιχεία του συστήματος. Η βέλτιστη λύση προκύπτει με βάση το κόστος του συστήματος και αποτελείται από αντλία θερμότητας 25kW, επιφάνεια συλλεκτών 60 m² και δεξαμενή 300m³ με βαθμό κάλυψης ετήσιων θερμικών φορτίων 120%.

Λέξεις κλειδιά: εποχιακή αποθήκευση, ηλιακή ενέργεια, ηλιακοί συλλέκτες, αντλία θερμότητας, χοιροστάσιο.

SEASONAL SOLAR ENERGY STORAGE AND THERMAL ENERGY UTILIZATION FOR HEATING BY THE USE OF HEAT PUMP

M. Chionidis and Gr. Lambrinos

Dep. of Natural Resources Development & Agricultural Engineering,
Agricultural University of Athens, 75 Iera Odos Str., 118 55, Athens, Greece
Tel.: +3 210 5294029 & 4031, Fax: +3 210 5294032
E-mail: refrigenergy@aua.gr

ABSTRACT

This dissertation presents a seasonal solar thermal storage system with thermal energy upgrading by the use of a heat pump, for heating purposes of a piggery for 18 to 45 kg weight swine fattening. A simulation and evaluation of the system's efficiency has been carried out, with the use of a computational model, concerning the area of the solar collectors and their aptitude, the characteristics of the storage tank (cross section area, depth, insulation), the efficiency of the heat pump for a variety of load and refrigerants (R22, R134a, R152a, R407c) and the economics of the system as well. The optimum solution is based to system's cost and consists of a 25kW heat pump, 60 m² solar collectors, and a 300m³ water storage. The coverage of the annual heating demands is 120%.

Key words: seasonal storage, solar energy, solar collectors, heat pump, piggery.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Έχουν γίνει πολλές μελέτες και κατασκευές σχετικές με την αποθήκευση θερμικής ενέργειας από τον ήλιο και μετέπειτα χρησιμοποίηση της για τη θέρμανση κατοικιών.

Στη Γερμανία, (Schmidt et al., 2003), για συγκρότημα κατοικιών, αξιολογήθηκε η δυνατότητα εποχιακής αποθήκευσης ηλιακής ενεργείας για την κάλυψη μεγάλου ποσοστού, έως και 60% των συνολικών ετήσιων αναγκών θέρμανσης 100 διαμερισμάτων.

Σε άλλη μελέτη (Lindenderger et al., 2000), εκτιμώνται οι απαραίτητες διαστάσεις του συστήματος, σε συνδυασμό με διάφορες μεθόδους αναβάθμισης της ενέργειας για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης και ζεστού νερού χρήσης 100 διαμερισμάτων στο Μόναχο.

Συνδυασμός εποχιακής αποθήκευσης θερμικής ενέργειας με εφεδρικές πηγές θερμότητας με λέβητα αερίου ή βιομάζας, κ.α. εξετάζεται σε μια σειρά από εγκαταστάσεις θέρμανσης μεγάλων συγκροτημάτων ως και 1300 κατοικιών σε διάφορες χώρες της Ευρώπης, με διαφορετικά είδη δεξαμενών (Fisch et al., 1998) όπου επιτυγχάνεται κάλυψη ως και 75% των θερμικών αναγκών. Τέλος πολλές εργασίες έχουν γίνει για την αξιολόγηση του εδάφους ως χώρου εποχιακής αποθήκευσης (Reuss et al., 1997; Hellstrom et al., 2000) εκτιμώντας τις κατάλληλες ιδιότητες του εδάφους και τις διαστάσεις της δεξαμενής.

Η παρούσα διατριβή έχει ως στόχο την παρουσίαση ενός μοντέλου για τη διαστασιολόγηση, ανάλυση και προσομοίωση της απόδοσης λειτουργίας μιας θεωρητικής διάταξης για την εποχιακή αποθήκευση θερμικής ενέργειας από τον ήλιο, και την αξιοποίηση της, μετά από αναβάθμιση της θερμικής ενεργείας με αντλία θερμότητας, για την κάλυψη αναγκών θέρμανσης θαλάμου πάχυνσης χοιριδίων βάρους από 18 έως 45 kg, κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών.

Επιπλέον στην παρούσα εργασία επιχειρείται διαστασιολόγηση του συστήματος και προσομοίωση της λειτουργίας του σε ημερήσια βάση με πραγματικά μετεωρολογικά δεδομένα, καθώς και εκτίμηση της επίδρασης των υποσυστημάτων στη συνολική απόδοση.

2. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Ακολουθεί περιγραφή του θεωρητικού θαλάμου πάχυνσης που χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση και διαστασιολόγηση του συστήματος συλλογής και αποθήκευσης ηλιακής ενέργειας καθώς και εκτίμηση των αναγκών του για αερισμό και θέρμανση.

Ο θερμαινόμενος χώρος είναι ένας θάλαμος πάχυνσης χοιριδίων με σωματικό βάρος 18 kg έως 45 kg, δηλαδή χοίρους πάχυνσης από την 8η έως και την 13η εβδομάδα ανάπτυξης. Ο θάλαμος διαθέτει ένα κύριο διάδρομο πλάτους 1m, στην μία πλευρά του κτηρίου, 18 κελία διαστάσεων 2,20x 2,50m², και τρεις διαδρόμους πλάτους 0,8 m. Το κτήριο αποτελείται από μεταλλικό σκελετό, τοιχώματα από προκατασκευασμένα στοιχεία με μόνωση από αφρό πολυουρεθάνης πάχους 5cm, μεταλλική δίρικτη στέγη με εσωτερική μόνωση στο επίπεδο της στέγης από αφρό πολυουρεθάνης πάχους 7cm. Το δάπεδο των κελιών είναι μεταλλικό εσχαρωτό και βρίσκεται σε ύψος 75cm από το πυθμένα της τάφρου των λυμάτων του θαλάμου. Το δάπεδο της τάφρου βρίσκεται σε επαφή με το φυσικό έδαφος και είναι μονωμένο ως προς αυτό με αφρομπετόν πάχους 10cm. Η εισαγωγή αέρα γίνεται από ανοίγματα τοποθετημένα στον τοίχο του κύριου διαδρόμου κυκλοφορίας τα οποία διαθέτουν ρυθμιζόμενα διαφράγματα, ενώ η εξαγωγή γίνεται από την απέναντι πλευρά του θαλάμου από κοινό αεραγωγό που συνδέεται με αξονικό ανεμιστήρα υποπίεσης. Στις θέσεις των στομιών εισαγωγής αέρα τοποθετούνται τα θερμαντικά σώματα. Ο υπολογισμός των θερμικών αναγκών του κτιρίου έγινε με τη μέθοδο των βαθμοημερών με τιμή βάσης τους 24°C. Ο υπολογισμός των θερμικών απωλειών τόσο του θαλάμου όσο και της δεξαμενής, ως προς το έδαφος, έχει

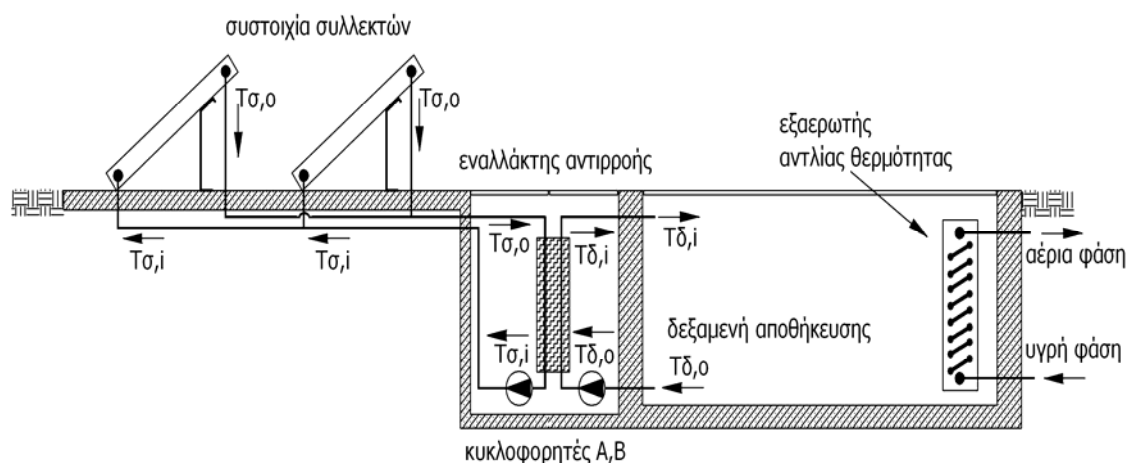
ληφθεί με βάση τη διακύμανση της θερμοκρασίας του εδάφους.

Το υποσύστημα συλλογής και αποθήκευσης της ηλιακής ενέργειας, (Σχήμα 1) αποτελείται από:

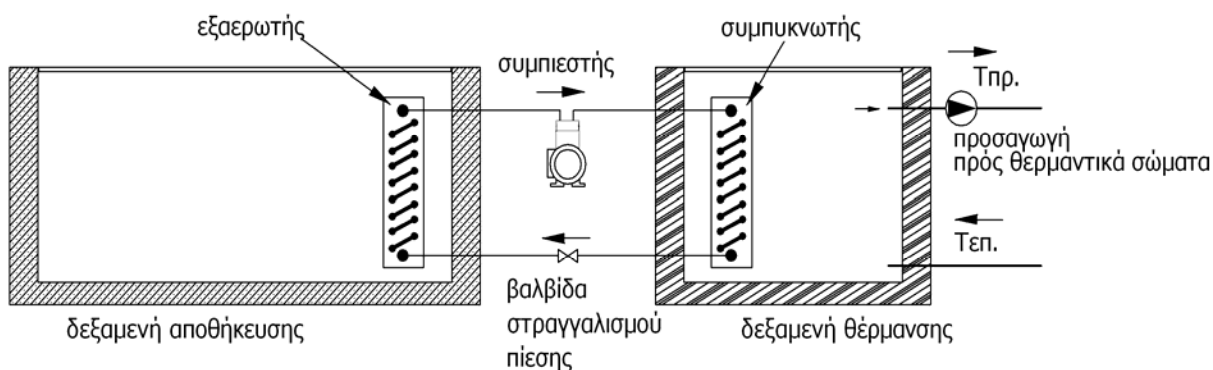
Συστοιχία επίπεδων ηλιακών συλλεκτών, με μονό κάλυμμα και επιλεκτική επιφάνεια, κατάλληλα συνδεδεμένων εν παραλλήλω, ανεξάρτητο κλειστό υδραυλικό κύκλωμα ηλιακών συλλεκτών με κυκλοφορητή, ανεξάρτητο υδραυλικό κύκλωμα δεξαμενής αποθήκευσης με κυκλοφορητή, εναλλάκτη αντιρροής, δεξαμενή-αποθήκη νερού

Το υποσύστημα αναβάθμισης και διανομής της θερμικής ενέργειας αποτελείται:

Την αντλία θερμότητας με εναλλάκτες νερού-νερού, το υδραυλικό κύκλωμα ανακυκλοφορίας του ζεστού νερού, τους εναλλάκτες νερού-αέρος (αερόθερμα) τα οποία είναι τα θερμαντικά σώματα που θερμαίνουν τον χώρο του θαλάμου.(Σχ.2)



Σχήμα 1. Συλλογή και αποθήκευση της θερμικής ενέργειας.



Σχήμα 2. Αναβάθμιση με αντλία θερμότητας νερού –νερού και διανομή της θερμικής ενέργειας.

Τα ψυκτικά ρευστά που χρησιμοποιήθηκαν στη μοντελοποίηση της λειτουργίας του συστήματος είναι τα R22, R134a, R152a, R407c.

Τα μετεωρολογικά δεδομένα έχουν ληφθεί για την περιοχή της Μάνδρας Αττικής για την περίοδο 2006-2007 και 2007-2008.

Οι υπολογισμοί και η προσομοίωση του συστήματος έγινε με τη μορφή υπολογιστικού φύλλου excel και με τρόπο ώστε να είναι δυνατή η αλλαγή όλων των παραμέτρων οι οποίες επηρεάζουν την ισορροπία του συστήματος. Για τους υπολογισμούς των χαρακτηριστικών των ψυκτικών ρευστών χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Refrigeration Utilities v.1.1.

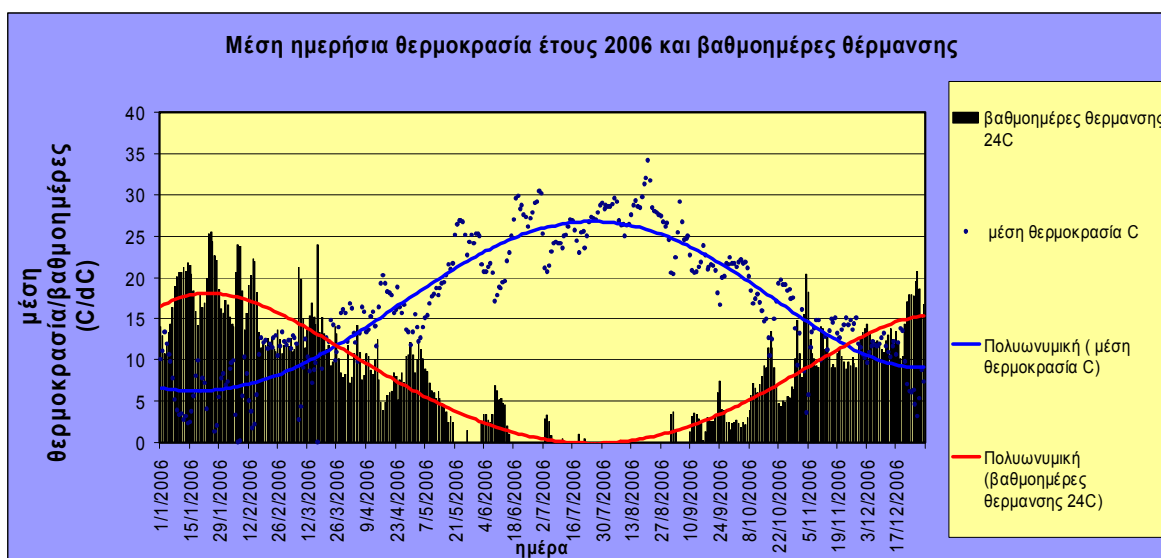
Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης δίνουν την ημερήσια μέση θερμοκρασία της δεξαμενής αποθήκευσης, τη συνολική ενέργεια για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης και το βαθμό κάλυψης που εξασφαλίζει το σύστημα.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑ

Πρώτα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την προσομοίωση της λειτουργίας του συστήματος και στην συνέχεια αναλύεται η ευαισθησία των επί μέρους υποσυστημάτων του.

3.1. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Στο σχήμα 3 δίνεται ενδεικτικά η μέση θερμοκρασία του τόπου για το έτος 2006 καθώς και μια προσεγγιστική καμπύλη τάσης, ενώ συγχρόνως φαίνονται με μορφή ράβδων οι απαιτούμενες βαθμομέρες θέρμανσης για σταθερή εσωτερική θερμοκρασία 24°C.

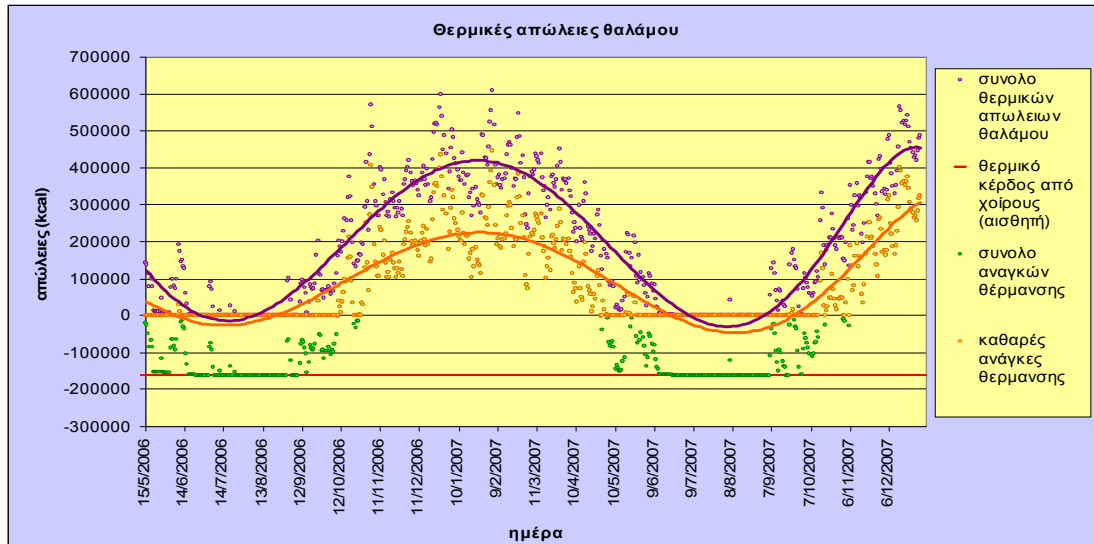


Σχήμα 3. Διακύμανση μέσης εξωτερικής θερμοκρασίας και βαθμομέρες θέρμανσης για το 2006.

Τα δύο έτη παρουσιάζουν παρόμοια διακύμανση εξωτερικής θερμοκρασίας βαθμομερών.

Οι απαιτήσεις του κτιρίου για θέρμανση ελαχιστοποιούνται την περίοδο από τον Μάιο έως το Σεπτέμβριο, ενώ το μεγαλύτερο φορτίο θέρμανσης προκύπτει από τον αερισμό του θαλάμου και οι απώλειες όπως είναι αναμενόμενο ακολουθούν την κατεύθυνση της εξωτερικής θερμοκρασίας του αέρα.

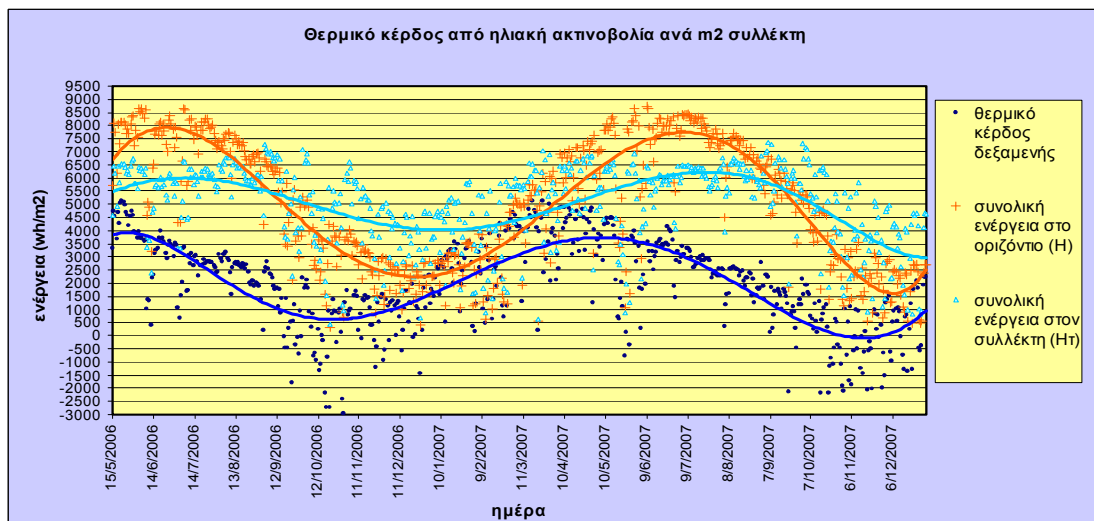
Στο σχήμα 4 διακρίνουμε την καμπύλη που δίνει τις συνολικές απώλειες του θαλάμου, την ευθεία γραμμή που εκφράζει το θερμικό κέρδος από τους χοίρους (αισθητή θερμότητα), την καμπύλη που δίνει τη διαφορά απωλειών και την καμπύλη που δίνει το πραγματικό θερμικό φορτίο του θαλάμου θέρμανση του θαλάμου.



Σχήμα 4. Θερμικές απώλειες θαλάμου.

Οι θερμικές απώλειες από τα δομικά στοιχεία της δεξαμενής αποτελούν πολύ μικρό ποσοστό της θερμότητας που αντλείται από την αντλία θερμότητας για τη θέρμανση του θαλάμου στέγασης των χοίρων.

Στο σχήμα 5 εμφανίζεται η διακύμανση της ηλιακής ενεργείας που προσπίπτει σε οριζόντιο επίπεδο, το τμήμα αυτής που προσπίπτει σε επίπεδο συλλέκτη με κλίση 50° ως προς το οριζόντιο επίπεδο και η διακύμανση της ενέργειας που τελικά αποδίδεται για αποθήκευση στη δεξαμενή με τη μορφή θερμικής ενέργειας.

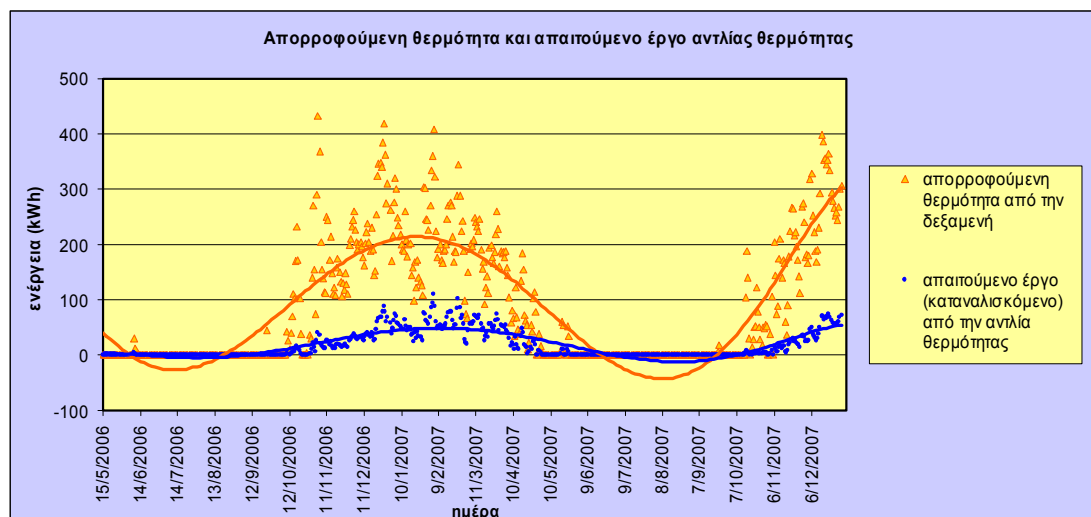


Σχήμα 5. Διακύμανση ημερήσιας προσπίπτουσας και απορροφημένης ενέργειας.

Είναι φανερό πως ο συλλέκτης συλλέγει περισσότερη ενέργεια από αυτή που προσπίπτει στο οριζόντιο επίπεδο κατά τους χειμερινούς μήνες. Η καμπύλη θερμικού κέρδους της δεξαμενής, παρουσιάζει «αδράνεια» σε σχέση με τη συλλεγόμενη ενέργεια διότι δεν μπορεί να μεταφέρει όλη την ποσότητα της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας από τους συλλέκτες στη δεξαμενή.

Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι μεγαλύτερο ποσοστό κέρδους στη δεξαμενή επιτυγχάνεται όταν η θερμοκρασία του νερού της δεξαμενής είναι χαμηλή.

Στο σχήμα 6 δίνεται η μεταβολή του απαιτούμενου μηχανικού έργου της αντλίας θερμότητας καθώς και της θερμικής ενέργειας που αντλείται από τη δεξαμενή αποθήκευσης.



Σχήμα 6. Απορροφημένη ενέργεια από τη δεξαμενή και απαιτούμενο μηχανικό έργο.

Καθίσταται φανερό πως το μεγαλύτερο ποσό θερμότητας αλλά και μηχανικού έργου δαπανάται κατά την χειμερινή περίοδο. Ο θεωρητικός συντελεστής θερμικής συμπεριφοράς (COP_{θ}) της αντλίας θερμότητας και για τα τέσσερα ψυκτικά ρευστά κυμαίνεται μεταξύ 20 (Οκτώβριο) και 5 (Ιανουάριο-Φεβρουάριο). Τα ψυκτικά ρευστά εμφανίζονται σχεδόν ισοδύναμα, ως προς τον COP_{θ} , με ελαφρώς καλύτερο το R152a.

Η θερμοκρασία της δεξαμενής (με χρήση αντλίας θερμότητας) κυμαίνεται μεταξύ 5°C (τέλη Φεβρουαρίου) και 57°C (μέσα Σεπτεμβρίου).

3.2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΤΩΝ ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.

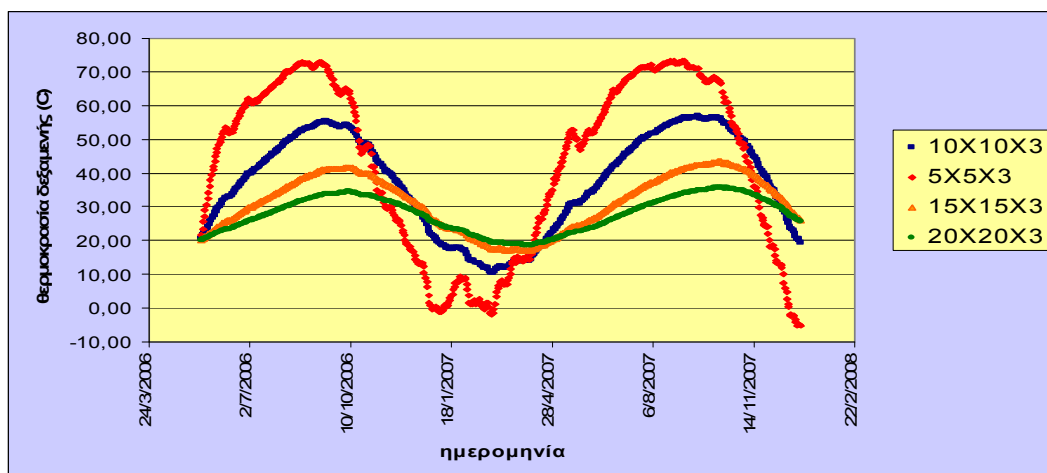
Η αύξηση του εμβαδού της επιφάνειας των ηλιακών συλλεκτών οδηγεί σε αύξηση της ελάχιστης θερμοκρασίας της δεξαμενής η οποία τείνει ασυμπτωτικά σε ένα μέγιστο όριο 25°C. Αντίστοιχα το απαιτούμενο έργο της αντλίας θερμότητας μειώνεται τείνοντας ασυμπτωτικά ένα ελάχιστο όριο κοντά στις 6000 KWh. Γίνεται φανερό ότι η αύξηση του εμβαδού των ηλιακών συλλεκτών από μια τιμή και μετά δεν επιδρά καθόλου και επομένως από το σημείο που καλύπτονται οι ελάχιστες θερμικές απαιτήσεις, το πρόβλημα της διαστασιολόγησης καθίσταται καθαρά οικονομικό.

Η βέλτιστη κλίση των ηλιακών συλλεκτών, για την καλύτερη απόδοση του συστήματος εξαρτάται από το σύνολο των επιμέρους υποσυστημάτων καθώς επηρεάζεται τόσο από την επιφάνεια των συλλεκτών όσο και τη χωρητικότητα της δεξαμενής αποθήκευσης.

Αυτό που γίνεται από τα αποτελέσματα αντιληπτό είναι ότι για μικρό εμβαδόν ηλιακών συλλεκτών καλύτερο αποτέλεσμα δίνει μια τοποθέτηση με μικρή κλίση, ενώ για μεγάλη επιφάνεια συλλεκτών είναι προτιμότερη η τοποθέτηση με μεγάλη κλίση.

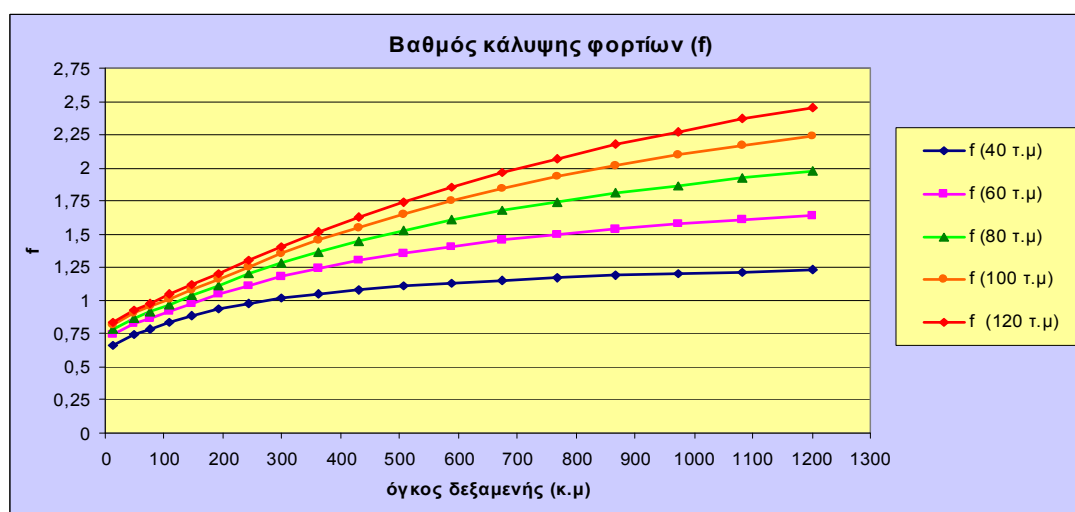
Σε ότι αφορά το μέγεθος της δεξαμενής, το βάθος αυξάνει την ελάχιστη θερμοκρασία της δεξαμενής μέχρι ενός ορίου 23°C ενώ παράλληλα μειώνει το καταναλισκόμενο μηχανικό έργο της αντλίας θερμότητας μέχρι μια ελάχιστη τιμή 8500 kWh.

Όπως φαίνεται στο σχήμα 7, όσο μεγαλώνει ο όγκος της δεξαμενής τόσο αυξάνει και η αποθήκευση ενέργειας, η διακύμανση δε της θερμοκρασίας περιορίζεται καθώς ο μεγαλύτερος όγκος νερού παρουσιάζει υψηλότερη αδράνεια.



Σχήμα 7. Μεταβολή της θερμοκρασίας νερού της δεξαμενής για τέσσερις όγκους της δεξαμενής που διαφοροποιούνται ως προς την επιφάνεια.

Ωστόσο η αύξηση της επιφάνειας της δεξαμενής με σταθερό βάθος δεν επιτρέπει την αύξηση της ελάχιστης θερμοκρασίας πέρα των 19°C , σε αντίθεση με την αύξηση του όγκου διαφοροποιώντας το βάθος, όπου η ελάχιστη θερμοκρασία του νερού της δεξαμενής έχει υψηλότερο τοπικό μέγιστο. Αυτό μπορεί εύκολα να ερμηνευτεί καθώς η σε βάθος ανάπτυξη της δεξαμενής έχει μικρότερες θερμικές απώλειες από όταν η δεξαμενή αναπτύσσεται σε επιφάνεια. Παράλληλα (σχήμα 8) η αύξηση της επιφάνειας συλλογής και του όγκου της δεξαμενής οδηγεί σε υψηλότερους βαθμούς κάλυψης των θερμικών φορτίων.



Σχήμα 8. Βαθμός κάλυψης των θερμικών φορτίων του θαλάμου από το σύστημα συλλογής και αποθήκευσης θερμικής ενέργειας.

Τελικά η διαστασιολόγηση του συστήματος εξαρτάται από τον ρυθμό συλλογής θερμικής ενέργειας, από την χωρητικότητα της αποθήκης αλλά και από τον ρυθμό χρησιμοποίησης της αποθηκευμένης ενέργειας.

Η χρήση ωστόσο της αντλίας θερμότητας είναι απαραίτητη, για την αναβάθμιση της θερμότητας σε θερμοκρασιακό επίπεδο κατάλληλο για την χρήση της από το σύστημα θέρμανσης ακόμα και όπου ο βαθμός κάλυψης είναι μεγάλος και υπερκαλύπτει τα θερμικά φορτία του έτους. Η τελική επιλογή των υποσυστημάτων (αντλία θερμότητας 25kW, συλλεκτήρια επιφάνεια 60 m^2 , και δεξαμενή 300 m^3) έχει βαθμό κάλυψης 1,2 δηλαδή υπερκαλύπτει τα θερμικά φορτία κατά 20%, με ένα συνολικό

κόστος επένδυσης 22.000 €, το οποίο θα μπορούσε να μειωθεί περαιτέρω με την ένταξη της επένδυσης σε κάποιο επιδοτούμενο πρόγραμμα.

Η αντλία θερμότητας εξοικονομεί ετησίως 3.000€ σε σύγκριση με καυστήρα πετρελαίου, ενώ ο αντίστοιχος χρόνος απόσβεσης του κόστους επένδυσης του συστήματος αποθήκευσης και θέρμανσης ανέρχεται στα 13 έτη, με τιμή πετρελαίου στα 0,65 €/λτ (μέση τιμή έτους 2008, λογιζόμενη ως σταθερή καθόλη την διάρκεια της ανάλυσης).

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η διαστασιολόγηση του συστήματος, εξαρτάται συγχρόνως από το εμβαδό των ηλιακών συλλεκτών, από τον όγκο της δεξαμενής και από τις θερμικές ανάγκες του κτιρίου.

Η απόδοση του συστήματος αυξάνει με την επιφάνεια των ηλιακών συλλεκτών και τον όγκο της δεξαμενής αποθήκευσης.

Είναι προτιμότερη η ανάπτυξη του όγκου της δεξαμενής σε βάθος καθώς έτσι έχει τις μικρότερες θερμικές απώλειες.

Η βέλτιστη κλίση των συλλεκτών εξαρτάται από τα επιμέρους υποσυστήματα καθώς επηρεάζεται τόσο από την επιφάνεια των συλλεκτών όσο και από την χωρητικότητα της δεξαμενής αποθήκευσης.

Όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία του νερού της δεξαμενής, τόσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία εξάτμισης του κύκλου της αντλίας θερμότητας, και ως εκ τούτου υψηλότερος ο συντελεστής θερμικής συμπεριφοράς

Το κόστος της εγκατάστασης αυξάνει με την μείωση του θερμικού φορτίου.

Η καλύτερη λύση είναι η οικονομικότερη δυνατή διαστασιολόγηση που καλύπτει αφ ενός μεν τις θερμικές ανάγκες του θαλάμου αφ ετέρου δε τις απαιτήσεις λειτουργίας των υποσυστημάτων.

Κρίνεται σκόπιμη μελλοντικά η μελέτη της απόδοσης της αντλίας θερμότητας με βάση την ογκομετρική απόδοση της (μέγεθος και κόστος συμπίεστή), της απόδοσης του συστήματος με βάση τη λειτουργία της αντλίας θερμότητας με 3 ή περισσότερους ετήσιους κύκλους και τέλος εναλλακτικών υλικών αποθήκευσης θερμικής ενέργειας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Anonymous, 1996. Software: Refrigeration Utilities v1.1 ©1996, Dep. of Energy Engineering, Technical University of Denmark.
- Βραχόπουλος, Μ., Παπαγεωργάκης, Ι., 1998. *Εκμεταλλεύσιμη Ηλιογενής και Γηγενής Θερμότητα στο Αβαθές Υπέδαφος της Αττικής*. Επιστημονικές Εκδόσεις ΤΕΕ, Τεχνικά Χρονικά IV, τεύχος 1:55-66.
- Βραχόπουλος, Μ., 2000. *Ψυκτικές διατάξεις*. Εκδ. Ίων, Αθήνα.
- Fisch, M.N., Guigas, M., Dalenback, J.O., 1998. *A review of large scale solar heating systems in Europe*. Solar Energy.63:355-366.
- Hellstrom, G., Larson, S.A., 2000. *Seasonal thermal energy storage-the HYDROCK concept*. Bull Eng. Geol. Env. 60:145-156.
- Lindenderger, D., Bruckner, T., Groscurth, H-M., Kummel, R., 2000. *Optimization of solar district heating systems: seasonal storage, heat pumps, and cogeneration*. Energy 25:59-608.
- Reuss, M., Beck, M., Muller, J.P., 1997. *Design of a seasonal thermal energy storage in the ground*. Solar Energy 59:247-257.
- Schmidt, T., Mangold, D., Muller-Steinhagen, H., 2003. *Central solar heating plants with seasonal storage in Germany*. Solar Energy 2003.
- Χιονίδης, Μ., 2008. *Εποχιακή αποθήκευση ηλιακής ενέργειας και θέρμανση με αντλία θερμότητας*. Μεταπτυχιακή εργασία. στο τμήμα Α.Φ.Π & Γ.Μ Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.