

4ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωργικής Μηχανικής
Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών

6 - 8 Οκτωβρίου 2005



ΠΡΑΚΤΙΚΑ
ΑΝΑΛΥΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΛΗΨΕΩΝ



ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΛΛΑΔΟΣ

Ε.Γ.Μ.Ε.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

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

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

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

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

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

Αθήνα, Οκτώβριος 2005

Καθηγητής Γρηγ. Π. Λαμπρινός

Πρόεδρος Οργανωτικής Επιτροπής

Οργανωτική Επιτροπή

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

Επιστημονική Επιτροπή

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

Ευχαριστίες

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

Γρ. Λαμπρινός
Πρόεδρος ΕΓΜΕ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΣΗΓΗΤΩΝ

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

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΝΟΤΗΤΑ 1: ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

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

ΕΝΟΤΗΤΑ 2: ΓΕΩΡΓΙΚΑ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ

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

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

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

ΕΝΟΤΗΤΑ 3: ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ - ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ

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

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

ΕΝΟΤΗΤΑ 4: ΕΚΜΗΧΑΝΙΣΗ- ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ - ΑΣΦΑΛΕΙΑ

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

ΕΝΟΤΗΤΑ 5: ΝΕΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ – ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

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

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

ΕΝΟΤΗΤΑ 6: ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ - ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΓΡΟΤΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ

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

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

ΕΝΟΤΗΤΑ 7^η ΥΔΑΤΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ

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

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

**ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΗΛΙΑΚΟΥ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΧΟΙΡΟΣΤΑΣΙΩΝ
Ταμβακίδης Στέλιος *, Κουκλίδης Χαράλαμπος, Μαρτζόπουλος
Γεράσιμος,**

Εργαστήριο Εναλλακτικών Ενεργειακών Πόρων στην Γεωργία, Γεωπονική Σχολή,
Α.Π.Θ., 54124 Θεσσαλονίκη, * e-mail: Tamvakidis@mail.com

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται μια νέα μέθοδος θέρμανσης χοιροστασίων και ειδικότερα της αίθουσας τοκετών με την χρήση Ηλιακών Συστημάτων. Στην πειραματική διάταξη χρησιμοποιείται ένα ενεργειακό Test Shell με Τοίχο Μάζας προκειμένου να καλυφθούν οι θερμικές ανάγκες των χοιρομητέρων ενώ για τα νεογνά δημιουργήθηκε ειδικό σχαρωτό δάπεδο με ενσωματωμένους σωλήνες που θερμαίνονται με νερό με την χρήση συστημάτων ηλιακών συλλεκτών και αποθήκευσης του θερμού νερού. Το προτεινόμενο σύστημα θέρμανσης συγκρίνεται με τα αυτά που χρησιμοποιούν ηλεκτρικούς αναθερπτήρες .

**DEVELOPMENT AND EVALUATION OF SOLAR
SYSTEM OF HEATING OF PIG HOUSES**

**Tamvakidis Stelios *, Kouklidis Charalampos, Martzopoulos
Gerasimos,**

Laboratory of Alternative Energy Resources in Agriculture, School of Agriculture,
A.U.TH., 54124 Thessaloniki, * e - mail: Tamvakidis@mail.com

ABSTRACT

In this paper a new method of heating of pig houses and more specifically the swine nurseries with the use of Solar Heating Systems. In the proposed method is used a Test Shell with Solar Mass Wall, is used to service the heating needs of nursing sows while for the nurslings was created a special flooring (pad) with embodied heated pipes, throw a system of solar collectors and heating storage tank. The proposed solar heating system is compared with the conventional electric heating lamps.

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η θέρμανση των χοιροστασίων και ειδικότερα των αιθουσών τοκετού παρουσιάζει την ιδιομορφία της δημιουργίας μικροκλίματος του χώρου ανάπτυξης των νεογνών σε ότι αφορά τη θέρμανση. Οι χοίροι είναι ομοθερμικά ζώα και προσπαθούν να διατηρήσουν την θερμοκρασία του σώματός τους σταθερή στους 39° C. Η optimum θερμοκρασία που απαιτείται για τα νεογνά είναι 35 - 36° C και ελαττώνεται κατά 1° C, κάθε μέρα μέχρι και τους 25° C [1]. Αντίθετα η χοιρομητέρα που παραμένει στο ίδιο κελί τοκετού απαιτεί θερμοκρασία περιβάλλοντος 16 – 20°C [1,2,4]. Στην πειραματική διάταξη χρησιμοποιείται ένα ενεργειακό Test Shell με Τοίχο Μάζας προκειμένου να καλυφθούν οι θερμικές ανάγκες των χοιρομητέρων, ενώ για τα νεογνά δημιουργήθηκε ειδικό σχαρωτό δάπεδο με ενσωματωμένους σωλήνες. Τα νεογέννητα χοιρίδια καταφεύγουν στο θερμαινόμενο δάπεδο (καταφύγιο) για να αναπαυθούν. Η διάταξη συντίθεται από το σχαρωτό δάπεδο, έναν επίπεδο ηλιακό συλλέκτη, ένα αυτοσχέδιο σωληνωτό ηλιακό απορροφητή που έχει τοποθετηθεί στο διάκενο του Τοίχου Μάζας, μία δεξαμενή αποθήκευσης του θερμαντικού μέσου και μία δεύτερη δεξαμενή ‘κατανάλωσης’. Το νερό, ως μέσο μεταφοράς θερμότητας, ανακυκλοφορεί σε τρία διακριτά κυκλώματα βεβιασμένης κυκλοφορίας.

2.ΜΕΘΟΔΟΙ

Η κάλυψη των αναγκών του συστήματος σε θερμότητα, γίνεται από την παραγωγή θερμού νερού σε συνδυασμένο σύστημα τριών κλειστών κυκλωμάτων βεβιασμένης κυκλοφορίας (χρήση κυκλοφορητών). Το σύστημα συντίθεται από ένα επίπεδο ηλιακό συλλέκτη, ένα αυτοσχέδιο σωληνωτό απορροφητή και δύο δεξαμενές ζεστού νερού (200 lt & 40 lt) συνδεδεμένων εν σειρά. Ως βοηθητική πηγή ενέργειας χρησιμοποιήθηκε ηλεκτρική ενέργεια.

Στην οροφή του Test Shell εγκαταστάθηκε, ένας επίπεδος ηλιακός συλλέκτης τύπου NOVASOL πιστοποιημένος κατά ISO. Ο συλλέκτης είναι διαστάσεων 2,05 X 1,1 m, συνολικής επιφάνειας 2,26 m² και έχει ειδική βάση που επιτρέπει την στήριξη του σε κλίση 30°, 45° ή 60° (καλοκαίρι, χειμώνας).

Ένας αυτοσχέδιος σωληνωτός απορροφητής έχει τοποθετηθεί κατακόρυφα, στο διάκενο του Τοίχου Μάζας. Ο απορροφητής συντίθεται από μια συστοιχία 40 παράλληλων μεταξύ τους, σωλήνων χαλκού, διαμέτρου DN15. Η συστοιχία τροφοδοτείται από έναν καταναεμητή στο κάτω άκρο της και τροφοδοτεί έναν συλλέκτη στο πάνω άκρο της. Ο αυτοσχέδιος σωληνωτός απορροφητής έχει εξωτερικές διαστάσεις 1,7 m X 1,4 m και συνολική επιφάνεια εναλλαγής 3,04 m².

Η παραγωγή του θερμού νερού, τόσο από τον επίπεδο ηλιακό συλλέκτη όσο και από τον αυτοσχέδιο ηλιακό απορροφητή, γίνεται στη δεξαμενή αποθήκευσης 200 lt, εντός του Test Shell, με εναλλαγή θερμότητας σε δύο διακριτούς σωληνωτούς σπειροειδείς εναλλάκτες (‘σερπαντίνες’). Η δεξαμενή έχει αγορασθεί έτοιμη από το εμπόριο και χαρακτηρίζεται ως ‘‘διπλής ενέργειας’’. Οι δεξαμενές αυτές κατασκευάζονται έχοντας ως κύρια πηγή ενέργειας, λέβητα ζεστού νερού (μέση θερμοκρασία νερού 80° C) και βοηθητική πηγή ηλιακούς συλλέκτες. Λόγω της ιδιομορφίας αυτής, ο ένας εκ των δύο σωληνωτών σπειροειδών εναλλακτών έχει μικρότερο αριθμό σπειρών, άρα μικρότερη επιφάνεια εναλλαγής και συνεπώς μικρότερο βαθμό απόδοσης. Για το λόγο αυτό, έχει εγκατασταθεί μια διάταξη By Pass, μεταξύ των κυκλωμάτων του επίπεδου συλλέκτη, του αυτοσχέδιου απορροφητή και των δύο εναλλακτών, προκειμένου να υπάρχει η δυνατότητα της εκ περιτροπής αξιολόγησης της απόδοσης του κάθε συστήματος.

Η δεξαμενή των 200 lt χρησιμοποιείται ως δεξαμενή προθέρμανσης-αποθήκευσης νερού, που τροφοδοτεί την δεξαμενή των 40 lt και μέσω αυτής το θερμαινόμενο δάπεδο της θερμομητέρας (Pad). Η δεξαμενή των 40 lt, αποτελεί τη δεξαμενή κατανάλωσης και έχει ενσωματωμένη ηλεκτρική αντίσταση ισχύος 1,2 kW, προκειμένου να διασφαλίζεται η συνεχής τροφοδοσία του θερμαινόμενου δαπέδου της θερμομάνας (Pad) με νερό της απαιτούμενης κάθε φορά θερμοκρασίας.

Η περιγραφή λειτουργίας του συστήματος, γίνεται στην συνέχεια για κάθε ένα από τρία κλειστά κυκλώματα.

A. Κύκλωμα επίπεδου ηλιακού συλλέκτη

Το κύκλωμα περιλαμβάνει τον επίπεδο ηλιακό συλλέκτη, τον κυκλοφορητή (K1) και είναι (σε κανονική διάταξη) συνδεδεμένο με το σπειροειδή εναλλάκτη με την μικρότερη επιφάνεια εναλλαγής (δεδομένου ότι αναμένεται η θερμοκρασία του νερού του κυκλώματος να είναι υψηλότερη από την αντίστοιχη του αυτοσχέδιου απορροφητή) στη δεξαμενή αποθήκευσης των 200lt.

Ένας διαφορικός θερμοστάτης, λαμβάνει ενδείξεις από δύο θερμομέτρα επαφής, ένα στην δεξαμενή αποθήκευσης των 200lt (T2) και ένα στην έξοδο του συλλέκτη (T1), και όταν η θερμοκρασία T1 είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη T2, τότε δίνεται εντολή στον κυκλοφορητή (K1) να εκκινήσει.

B. Κύκλωμα αυτοσχέδιου ηλιακού απορροφητή

Το κύκλωμα περιλαμβάνει τον αυτοσχέδιο ηλιακό απορροφητή, έναν άλλο κυκλοφορητή (K2) και είναι (σε κανονική διάταξη) συνδεδεμένο με το σπειροειδή εναλλάκτη με τη μεγαλύτερη επιφάνεια εναλλαγής (δεδομένου ότι αναμένεται η θερμοκρασία του νερού του κυκλώματος να είναι χαμηλότερη από την αντίστοιχη του ηλιακού συλλέκτη) στην δεξαμενή αποθήκευσης των 200lt.

Ένας δεύτερος διαφορικός θερμοστάτης, λαμβάνει ενδείξεις από δύο θερμομέτρα επαφής, ένα στη δεξαμενή αποθήκευσης των 200lt (T4) και ένα στην έξοδο του αυτοσχέδιου ηλιακού απορροφητή (T3), και δίνει εντολή στον κυκλοφορητή (K2) να εκκινήσει όταν η θερμοκρασία T3 είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη T4.

Μπροστά από το υαλοστάσιο του τοίχου μάζας υπάρχει ένα ηλεκτροκίνητο κάλυμμα που ελέγχεται από προγραμματιζόμενο χρονοδιακόπτη προκειμένου να μην υπάρχουν απώλειες με ακτινοβολία από το τοίχο μάζας κατά τις βραδινές ώρες.

Στην συνέχεια της παρούσας έρευνας σχεδιάζεται να αξιολογηθεί η συνεισφορά στο ενεργειακό κέρδος δυο ανακλαστήρων, ενός λευκού χρώματος και ενός αλουμινίου, που θα τοποθετηθούν μπροστά από τον αυτοσχέδιο απορροφητή ηλιακής ενέργειας και σε γωνία 90° [3].

Γ. Κύκλωμα Δεξαμενών Αποθήκευσης - θερμαινόμενο δάπεδο της θερμομάνας (Pad)

Το κλειστό κύκλωμα συντίθεται από τη δεξαμενή προθέρμανσης-αποθήκευσης νερού των 200 lt, την δεξαμενή κατανάλωσης των 40 lt με ενσωματωμένη ηλεκτρική αντίσταση 1,2 kW, έναν τρίτο κυκλοφορητή (K3), μία τρίοδη βάνα ανάμειξης (B1), μία τρίοδη βάνα διανομής (B2) και το θερμαινόμενο δάπεδο της θερμομάνας (Pad) .

Το θερμαινόμενο δάπεδο της θερμομάνας (Pad) είναι κατασκευασμένο από φύλλα ανοξείδωτου χάλυβα, μορφοποιημένα σε τραπεζοειδή διατομή και στο εσωτερικό τους έχουν τοποθετηθεί χαλκοσωλήνες, οι οποίοι περιβάλλονται από ασβεστοτσιμεντοκονίαμα (προκειμένου να αυξηθεί η θερμοχωρητικότητα του pad).

Η ηλεκτρική αντίσταση στη δεξαμενή κατανάλωσης, διασφαλίζει την απαιτούμενη θερμοκρασία νερού τροφοδοσίας του pad, σε καταστάσεις ελαττωμένης έντασης ηλιακής ακτινοβολίας.

Η διάταξη της εν σειρά σύνδεσης της δεξαμενής προθέρμανσης-αποθήκευσης και της δεξαμενής τελικής κατανάλωσης, αποσκοπεί στη μέγιστη αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας.

Η επιλογή χρησιμοποίησης μίας μόνο δεξαμενής, με δύο σωληνωτούς σπειροειδείς εναλλάκτες και ηλεκτρική αντίσταση (τριπλής ενέργειας), θα ακύρωνε ουσιαστικά το θερμικό κέρδος από τα ηλιακά συστήματα σε ημέρες με μέση ή μικρή ηλιοφάνεια (χειμερινή περίοδος). Έτσι για την περίπτωση όπου η απαιτούμενη θερμοκρασία τροφοδοσίας του *rad* ήταν 40,5 °C (απαίτηση θερμοκρασίας στην επιφάνεια του *rad* 36 °C) και η θερμοκρασία του νερού στην δεξαμενή ανέρχονταν στους 30°C, αξιοποιώντας πλήρως την απόδοση των ηλιακών συστημάτων, θα ενεργοποιούνταν η ηλεκτρική αντίσταση έως ότου η θερμοκρασία ανέλθει στην επιθυμητή τιμή. Η άνοδος της θερμοκρασίας της δεξαμενής θα ενεργοποιούσε τους θερμοδιαφορικούς διακόπτες, οι οποίοι θα διέκοπταν την λειτουργία των κυκλοφορητών, ακυρώνοντας την όποια θερμική απολαβή από τα ηλιακά συστήματα. Οι θερμοδιαφορικοί διακόπτες θα έδιναν εντολή επανεκκίνησης στους κυκλοφορητές μόνο στην περίπτωση όπου η θερμοκρασία στην έξοδο του ηλιακού συλλέκτη ή/και του ηλιακού απορροφητή αντίστοιχα, ήταν μεγαλύτερη των 40,5 °C (σπάνια ή και καθόλου κατά την χειμερινή λειτουργία).

Αντίθετα, η διάταξη με την δεξαμενή προθέρμανσης-αποθήκευσης και την δεξαμενή κατανάλωσης, χρησιμοποιείται για τη μέγιστη δυνατή απολαβή της θερμικής ενέργειας από τον ηλιακό συλλέκτη ή/και τον ηλιακό απορροφητή.

Η διάταξη εκμεταλλεύεται με αυτόν τον τρόπο την όποια θερμική απόδοση των ηλιακών συστημάτων και η ηλεκτρική αντίσταση καλύπτει μόνο το έλλειμμα της θερμότητας σε περίπτωση ανεπαρκούς ηλιακής ενέργειας. Η κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας για την παραγωγή θερμού νερού μετράται από αναλυτή ηλεκτρικής ενέργειας (MicroVip) ο οποίος έχει τοποθετηθεί στον ηλεκτρικό πίνακα, με δυνατότητα επιλογής του χρόνου καταγραφής.

Ο κυκλοφορητής K3 εκκινεί από μικροαντόματο ηλεκτρικό διακόπτη και παραμένει σε λειτουργία καθόλη την χρονική περίοδο που απαιτείται θέρμανση στο *rad*.

Η δεξαμενή κατανάλωσης τροφοδοτείται με προθερμασμένο νερό από την δεξαμενή αποθήκευσης. Αν η θερμοκρασία του νερού της δεξαμενής αποθήκευσης είναι μικρότερη των 40,5 °C, το εμβαπτισμένο θερμόμετρο (T5) της δεξαμενής κατανάλωσης ενεργοποιεί την ηλεκτρική αντίσταση προκειμένου η θερμοκρασία του νερού να ανέλθει στην επιθυμητή, οπότε και απενεργοποιείται.

Για την περίπτωση όπου το νερό, στην έξοδο του από τη δεξαμενή κατανάλωσης, είναι θερμοκρασίας μεγαλύτερης των 40,5 °C (ημέρα με μεγάλη ηλιοφάνεια, όπου η θερμοκρασία στην δεξαμενή αποθήκευσης είναι μεγαλύτερη των 40,5 °C ή βλάβη στο θερμοστάτη της τελικής δεξαμενής), και προκειμένου να προστατευθούν τα χοιρίδια, τοποθετείται τρίοδη βάνα μίξης (B1) στην έξοδο της δεξαμενής κατανάλωσης. Αισθητήριο θερμοκρασίας (T6) το οποίο τοποθετείται μπροστά από την τρίοδη βάνα, αναλαμβάνει την προοδευτική λειτουργία της βάνας, ώστε να επιτυγχάνεται τροφοδοσία του *rad* με νερό θερμοκρασίας, όχι μεγαλύτερη από 41 °C, με ανάμειξη με το νερό εξόδου από το *rad*.

Τέλος τρίοδη βάνα διανομής τοποθετείται στο δίκτυο επιστροφής από το *rad*. Θερμοδιαφορικός θερμοστάτης αντιλαμβάνεται την διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα σ' αυτή της εξόδου από το *rad* και αυτή της δεξαμενής αποθήκευσης. Ο θερμοστάτης ρυθμίζει την τρίοδη διανομής σε δύο δυνατές θέσεις, αυτή της τροφοδοσίας της δεξαμενής προθέρμανσης και αυτή της δεξαμενής κατανάλωσης. Έτσι όταν η θερμοκρασία T7 εξόδου από το *rad* είναι μεγαλύτερη από την θερμοκρασία T8 της δεξαμενής προθέρμανσης, η τρίοδη βάνα ρυθμίζεται σε θέση τέτοια ώστε να οδηγεί το

νερό στη δεξαμενή κατανάλωσης. Στην αντίθετη περίπτωση θα οδηγεί το νερό στη δεξαμενή προθέρμανσης. Με αυτό τον τρόπο διασφαλίζεται ότι δε θα γίνεται χρήση της ηλεκτρικής αντίστασης για τη θέρμανση της συνολικής ποσότητας του νερού και των δύο δεξαμενών και συνεπώς της ακύρωσης της αποδοτικότητας των δύο ηλιακών συστημάτων (οι λόγοι αναφέρονται παραπάνω και είναι αυτοί που οδήγησαν στη συγκεκριμένη διάταξη).

3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

3.1 Υπολογισμός ισχύος rad

Στη διάταξη που περιγράφεται παραπάνω χρησιμοποιείται υφιστάμενο rad. Για την διαστασιολόγηση του επιμέρους εξοπλισμού του συστήματος, έπρεπε να υπολογισθεί η θερμική ισχύς του rad.

Χρησιμοποιώντας ως δεδομένα τις διαστάσεις του rad και τα υλικά από τα οποία κατασκευάστηκε υπολογίστηκε η απαιτούμενη θερμοκρασία του νερού τροφοδοσίας του προκειμένου να επιτευχθούν οι επιθυμητές θερμοκρασίες στην επιφάνεια του.

Αναλύοντας το συνδυασμένο φαινόμενο μετάδοσης θερμότητας από το μέσο μεταφοράς στην επιφάνεια του rad, προκύπτει ότι

- Η μετάδοση θερμότητας από το μέσο μεταφοράς, στην εσωτερική επιφάνεια του σωλήνα, γίνεται με συναγωγή.

Η θερμοροή ανάμεσα στο ρευστό και την εσωτερική επιφάνεια του σωλήνα (Q_{conv}) δίνεται από την σχέση :

$$Q_{\text{conv}} = a_i 2 \pi r_i l (\theta_m - \theta_{si}) \quad (3.1)$$

Όπου

a_i – ο συντελεστής συναγωγής στο εσωτερικό του σωλήνα

r_i – η εσωτερική διάμετρος του σωλήνα

l – το μήκος του σωλήνα

θ_m – η μέση θερμοκρασία του νερού

θ_{si} – η μέση θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειας του σωλήνα

π – 3,14

- Δισδιάστατη θερμική αγωγή πραγματοποιείται
 - στα τοιχώματα του σωλήνα
 - μεταξύ της εξωτερικής επιφάνειας του σωλήνα και του ασβεστοτσιμεντοκονιάματος
 - μεταξύ του ασβεστοτσιμεντοκονιάματος και του εξωτερικού μεταλλικού περιβλήματος του rad

Η θερμοροή στη δισδιάστατη θερμική αγωγή (Q_{ay}) δίνεται από την σχέση

$$Q_{\text{ay}} = \lambda S (\theta_{se} - \theta_o) \quad (3.2)$$

Όπου

λ – η θερμική αγωγιμότητα του υλικού τοποθέτησης

S – ο συντελεστής μορφής για πολυδιάστατη αγωγή (η σχέση δίνεται από πίνακες ανάλογα με την γεωμετρία του υλικού

θ_{se} – η μέση θερμοκρασία της εξωτερικής επιφάνειας του σωλήνα

θ_o – η θερμοκρασία επιφάνειας της σχάρας

- Με ελεύθερη συναγωγή πραγματοποιείται μετάδοση θερμότητας ανάμεσα στην εξωτερική επιφάνεια του rad και τον αέρα.

Η θερμοροή ανάμεσα στον αέρα και την εξωτερική επιφάνεια της σχάρας ($Q_{\text{συν}, \delta-a}$) δίνεται από την σχέση

$$Q_{\text{συν}, \delta-a} = \alpha_{\delta} A (\theta_o - \theta_{oo}) \quad (3.3)$$

Όπου

$\alpha_{\delta} = 8,00 + 0,04 (\theta_o - \theta_{oo})$ – Ο συντελεστής ελευθέρως συναγωγής επιφάνειας σχάρας – αέρα

A – Επιφάνεια που αντιστοιχεί στο συνολικό μήκος σωλήνωσης &

θ_{oo} – Η θερμοκρασία περιβάλλοντος

Από τις παραπάνω σχέσεις καθώς και από την σχέση που υπολογίζεται η μεταδιδόμενη θερμοροή από το ρευστό

$$Q_p = m C_p (\theta_1 - \theta_2)$$

m – η παροχή μάζας του ρευστού

C_p – η θερμοχωρητικότητα στην μέση θερμοκρασία του ρευστού

θ_1 & θ_2 – οι θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου του ρευστού από το pad

υπολογίζεται η απαιτούμενη θερμοκρασία του νερού τροφοδοσίας στο pad για τις επιθυμητές θερμοκρασίες στην εξωτερική επιφάνεια αυτού.

Για τους παραπάνω υπολογισμούς συντάχθηκε ειδικό φύλλο υπολογισμού στο οποίο εισάγονται οι σταθερές των υλικών και οι διαστάσεις του pad καθώς και η ογκομετρική παροχή του νερού. Από το φύλλο υπολογίζεται η θερμοκρασία του νερού τροφοδοσίας (και συνεπώς η ισχύς του pad) για διαφορετικές θερμοκρασίες στην επιφάνεια του pad καθώς και για διαφορετικές θερμοκρασίες στον εσωτερικό χώρο του Test Shell. [6]

3.2 Διαστασιολόγηση αυτοσχέδιου ηλιακού απορροφητή

Ο αυτοσχέδιος ηλιακός απορροφητής θα τοποθετηθεί στο διάκενο τοίχου μάζας. Ουσιαστικά αποτελεί διάταξη παράλληλων σωλήνων που τροφοδοτούνται στο κάτω μέρος τους από ίσης διατομής κατανεμητή και απολήγουν στο πάνω μέρος τους, σε ίσης διατομής συλλέκτη.

Για τη διαστασιολόγηση του ηλιακού απορροφητή

- Υπολογίσθηκε η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας σε κατακόρυφη επιφάνεια για κάθε ώρα της ημέρας, μέση για κάθε μήνα, από την μέση ημερήσια ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο για κάθε μήνα. Ο υπολογισμός έγινε με την μέθοδο των Liu & Jordan και αφού προηγουμένως υπολογίσθηκε η μέση ημερήσια διάχυτη ακτινοβολία για κάθε μήνα κατά Colares – Pereira. [5]
- Αναλύθηκε το συνδυασμένο φαινόμενο μετάδοσης θερμότητας από τον αέρα του διάκενου του τοίχου μάζας προς το μέσο μεταφοράς στο εσωτερικό του σωλήνα.

Από την ανάλυση προκύπτει ότι

- Με ελεύθερη συναγωγή πραγματοποιείται μετάδοση θερμότητας ανάμεσα στην εξωτερική επιφάνεια του αυτοσχέδιου ηλιακού απορροφητή και τον αέρα στο διάκενο του τοίχου μάζας. Η θερμοροή ανάμεσα στον αέρα και την εξωτερική επιφάνεια του σωλήνα δίνεται από τη σχέση (3.3)

- Στα τοιχώματα του σωλήνα πραγματοποιείται δισδιάστατη θερμική αγωγή. Η θερμοροή στην δισδιάστατη θερμική αγωγή δίνεται από τη σχέση (3.2)
- Η μετάδοση θερμότητας από το μέσο μεταφοράς, στην εσωτερική επιφάνεια του σωλήνα, γίνεται με συναγωγή. Η θερμοροή ανάμεσα στο ρευστό και την εσωτερική επιφάνεια του σωλήνα δίνεται από τη σχέση (3.1)
- Με ελεύθερη συναγωγή πραγματοποιείται μετάδοση θερμότητας ανάμεσα στην εξωτερική επιφάνεια του rad και τον αέρα.

Η θερμοροή ανάμεσα στον αέρα και την εξωτερική επιφάνεια της σχάρας δίνεται από την σχέση

$$Q_{\text{conv}, \delta-a} = \alpha_{\delta} A_a (\theta_{se} - \theta_a)$$

Όπου

α_{δ} – Ο συντελεστής ελεύθερας συναγωγής εξωτερικής επιφάνειας σωλήνα – αέρα

A - Επιφάνεια που αντιστοιχεί στο συνολικό μήκος σωλήνωσης του ηλιακού απορροφητή &

θ_{se} – η μέση θερμοκρασία της εξωτερικής επιφάνειας του σωλήνα

θ_a – η θερμοκρασία του αέρα στο διάκενο του τοίχου μάζας

Για τον υπολογισμό της ωριαίας θερμοκρασίας του αέρα στο διάκενο του τοίχου μάζας, για κάθε ημέρα, μέση για κάθε μήνα, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα καταγραφών θερμοκρασίας του Test Shell. Ειδικότερα χρησιμοποιήθηκαν ωριαίες καταγραφές τόσο της θερμοκρασίας στο διάκενο του τοίχου μάζας, όσο και της εξωτερικής θερμοκρασίας, για κάθε ημέρα, ενός χρόνου. Υπολογίστηκε η σχέση που αποτυπώνει την συσχέτιση ανάμεσα στην θερμοκρασία του τοίχου μάζας και την εξωτερική θερμοκρασία.

Χρησιμοποιώντας την παραπάνω σχέση και την μέση ωριαία θερμοκρασία για κάθε ημέρα, μέση για κάθε μήνα, όπως προκύπτει από μετρήσεις δεκαετίας, υπολογίστηκε η ωριαία θερμοκρασία στο εσωτερικό του τοίχου μάζας, για κάθε ημέρα, μέση για κάθε μήνα.

- Υπολογίστηκε το ενεργειακό ισοζύγιο στον αυτοσχέδιο απορροφητή με παράλληλο υπολογισμό του συντελεστή θερμικής απολαβής του συλλέκτη, του διορθωτικού συντελεστή απορροφητή-εναλλάκτη και του διορθωτικού συντελεστή (τα)/(τα)_n.

Βάση των παραπάνω σχέσεων, συντάχθηκε ειδικό φύλλο υπολογισμού από το οποίο υπολογίζεται η ωριαία ενεργειακή απόδοση του αυτοσχέδιου ηλιακού απορροφητή, για κάθε ώρα της ημέρας, μέσης για κάθε μήνα, για την χρονική περίοδο Νοεμβρίου – Απριλίου, προκειμένου για την θέρμανση νερού χρήσης στο rad. [5,6]

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

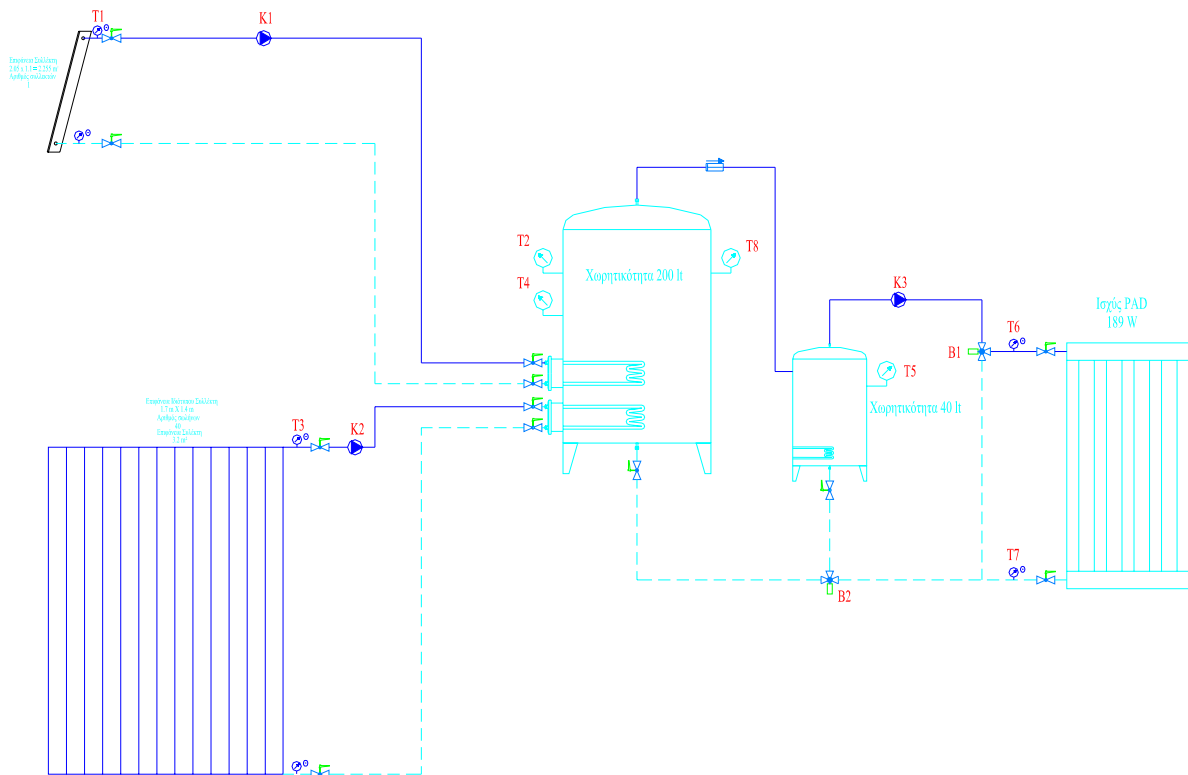
Κατά την πρώτη φάση λειτουργίας του συστήματος (20 – 30/4/2005) από τα πρώτα αποτελέσματα που επεξεργαστήκαμε προκύπτουν τα ακόλουθα:

- Η ενδοδαπέδια θέρμανση πλεονεκτεί της συμβατικής με λάμπα υπέρυθρης ακτινοβολίας επειδή παρουσιάζει μικρότερες διακυμάνσεις καθώς επηρεάζεται λιγότερο από τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος
- Η ορθογωνική διάταξη του δαπέδου προσφέρει πιο άνετο καταφύγιο για τα νεογνά, λόγω του σχήματος, σε σχέση με το κυκλικό γύρω από την λάμπα, όπως ορίζεται νοητά από τις ισόθερμες, για την δημιουργία «ζώνης άνεσης» [1]
- Η ρύθμιση της θερμοκρασίας των καταφυγίων με το προτεινόμενο σύστημα είναι εύκολη και ακριβής σε αντίθεση με τους συμβατικούς τρόπους όπου η ρύθμιση γίνεται κατ'εκτίμηση και εξαρτάται από την απόσταση της λάμπας από το καταφύγιο και την θερμοκρασία του χώρου
- Η κατανάλωση ενέργειας με το προτεινόμενο σύστημα αναμένεται να είναι πολύ μικρότερη από αυτή με τους ηλεκτρικούς αναθρεπτήρες. Επιπλέον κάθε μείωση της θερμοκρασίας, ανάλογα με την ηλικία των χοιριδίων προϋποθέτει και μείωση της κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας, γεγονός που δεν συμβαίνει με τις λάμπες που έχουν σταθερή κατανάλωση

Τέλος, σημειώνεται ότι η έρευνα βρίσκεται σε εξέλιξη και αναμένεται να προκύψουν αξιόλογα και ακριβή συμπεράσματα σε σχέση με την εξοικονόμηση ενέργειας στις αίθουσες τοκετών των χοιροστασίων.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Μαρτζόπουλος Γ. 1985. Θέρμανση αίθουσας τοκετών χοιροστασίου με ηλιακή ενέργεια. Πρακτικά Δεύτερου Εθνικού Συνεδρίου στις Ήπιες Μορφές Ενέργειας, ΙΗΕ, Θεσσαλονίκη
2. M.J.Milanuk, J.A.DeShazer, D.D.Schutle. 1989. Performance comparisons of naturally- and mechanically- ventilated solar-assisted swine nurseries. Transactions of the ASAE
3. T.J.Siebenmorgen, A.C.Dale, H.W.Jones 1986. Trombe wall solar heating system augmented with planar reflectors. Transactions of the ASAE
4. M.A.Diesch, D.P.Froelich. 1988. Production and environmental simulations in livestock housing. Transactions of the ASAE
5. Βαζαίος Η. Ε 1990. Εφαρμογές της ηλιακής ενέργειας, Υπολογισμός και σχεδίαση συστημάτων
6. VDI-WARMEATLAS .1991. Έκτη έκδοση. Μετάδοση θερμότητας, Τεχνοεκδοτική



Σχ.1 Διάγραμμα Ροής Συνδυασμένου Συστήματος Παραγωγής Θερμού νερού με Αξιοποίηση Ηλιακής Ενέργειας

Βελτίωση της αποδοτικότητας παθητικού ηλιακού συστήματος στα θερμοκήπια με εμπλουτισμό CO₂

Βαφειάδης Δ., Κωτσόπουλος Θ., Νικήτα- Μαρτζοπούλου Χ.

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

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία αυτή διερευνά τη δυνατότητα βελτίωσης της απόδοσης του ηλιακού παθητικού συστήματος με πλαστικούς σωλήνες με νερό σε ένα θερμοκήπιο που εμπλουτίζεται με CO₂. Η αυξημένη συγκέντρωση CO₂ στην ατμόσφαιρα του θερμοκηπίου επιτρέπει την καλλιέργεια φυτών σε θερμοκρασίες υψηλότερες από τις κανονικές, με αποτέλεσμα το παθητικό ηλιακό σύστημα να συλλέγει περισσότερη ενέργεια. Από την έρευνα αυτή προέκυψε ότι ο εμπλουτισμός με CO₂ συμβάλλει στην καλύτερη αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας. Οι διαφορές στις θερμοκρασίες του αέρα, του εδάφους και του νερού είναι εμφανείς ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια της νύχτας. Επιπλέον τα φυτά στο πειραματικό θερμοκήπιο παρουσίασαν καλύτερη ανάπτυξη και μεγαλύτερη απόδοση.

The efficiency improvement of a passive solar system in the greenhouses with CO₂ enrichment

Vafiadis, D., Kotsopoulos, Th., Nikita- Martzopoulou, Ch.

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

ABSTRACT

This work investigates the possibility of improvement of a solar passive system with plastic pipes filled by water in a greenhouse enriched with CO₂. Increased CO₂ concentration in the greenhouse atmosphere allows the plants grow in temperatures higher than common, so as the passive solar system to collect more energy. The result of this research is that the CO₂ enrichment contributes in the better exploitation of solar energy. The differences in temperatures of air, soil and water are obvious particularly during the night. Moreover the plants in the experimental greenhouse presented better growth and productivity.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η γεωγραφική κατανομή των θερμοκηπίων στην Ελλάδα καθορίζεται από τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν. Σε περιοχές με ήπιο χειμώνα, χωρίς παγετούς, είναι συγκεντρωμένα τα περισσότερα θερμοκήπια, γιατί μειώνονται σημαντικά οι ανάγκες σε θέρμανση. Τέτοιες περιοχές είναι η Κρήτη, η Νοτιοδυτική Πελοπόννησος, η Αττική, οι Κυκλάδες και οι παραθαλάσσιες περιοχές της Κεντρικής Μακεδονίας. Στη Βόρεια Ελλάδα βρίσκεται εγκατεστημένο το 24,3 % των συνολικών θερμοκηπίων της χώρας από τα οποία το 18,5% στην Κεντρική Μακεδονία [1]. Το συγκριτικό πλεονέκτημα της Κεντρικής Μακεδονίας είναι η γεωγραφική της θέση καθώς, είτε μέσω της Εγνατίας οδού και του λιμανιού της Ηγουμενίτσας είτε οδικώς από τις χώρες της πρώην Γιουγκοσλαβίας, τα θερμοκηπιακά προϊόντα μπορούν να εξάγονται στις μεγάλες λαχαναγορές της Κεντρικής Ευρώπης ευκολότερα από ό,τι τα προϊόντα που παράγονται στη Νότια Ελλάδα. Η σημερινή κατάσταση είναι τέτοια που όχι μόνο δεν γίνονται εξαγωγές προϊόντων της Κεντρικής Μακεδονίας, αλλά δεν καλύπτεται ούτε η ζήτηση των τοπικών αγορών. Το αποτέλεσμα είναι να εισάγονται μεγάλες ποσότητες θερμοκηπιακών προϊόντων, ακόμη και από χώρες της Βόρειας Ευρώπης (Ολλανδία), σε πολύ υψηλές τιμές. Για να αλλάξει αυτή η κατάσταση θα πρέπει να δημιουργηθούν πολλές νέες θερμοκηπιακές μονάδες που να λειτουργούν πιο αποδοτικά και με μικρότερο ενεργειακό κόστος παραγωγής. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με :

- 1.) Την κατασκευή σύγχρονων -τυποποιημένων θερμοκηπίων που να φέρουν εξοπλισμούς ελέγχου περιβάλλοντος (τεχνητό φωτισμό, εμπλουτισμό με CO₂).
- 2.) Την ελαχιστοποίηση της χρήσης συμβατικών καυσίμων κατά τη διάρκεια των ψυχρών περιόδων του έτους.
- 3.) Το συνδυασμό των ανωτέρω.

Ο περιορισμός της χρήσης συμβατικών καυσίμων επιτυγχάνεται με δυο τρόπους:

α.) Τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπου το κόστος της πρώτης ύλης για την παραγωγή θερμότητας είναι συγκριτικά πολύ χαμηλό (π.χ. καύση βιομάζας, γεωθερμική ενέργεια, ηλιακά παθητικά συστήματα).

β.) Με συστήματα εξοικονόμησης και διατήρησης της ενέργειας.

Ένας από τους επικρατέστερους τρόπους αποκατάστασης συμβατικών καυσίμων στα θερμοκήπια είναι η εγκατάσταση πλαστικών σωλήνων με νερό. Πρόκειται για ένα ηλιακό παθητικό σύστημα που μπορεί και εκμεταλλεύεται τόσο την άμεση όσο και την έμμεση ακτινοβολία. Οι σωλήνες αποτελούνται συνήθως από εύκαμπτο λεπτό διαφανές πολυαιθυλένιο και τοποθετούνται κατά μήκος των σειρών των φυτών, πάνω σε πλαστικό εδαφοκάλυψης χρώματος μαύρου, το οποίο ενισχύει την αποτελεσματικότητα του συστήματος. Η διάμετρος των σωλήνων κυμαίνεται συνήθως από 0,1 ως 0,4 m και συνιστάται να καλύπτουν το 35-40% της επιφάνειας του θερμοκηπίου.

Από πολυετή πειράματα που έγιναν κυρίως σε μεσογειακές χώρες προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα, [2]-[9]:

- Οι θερμοκρασίες του αέρα των θερμοκηπίων με το ηλιακό παθητικό σύστημα ήταν κατά 2 °C ως 8 °C υψηλότερες από ό,τι σε αντίστοιχα θερμοκήπια - μάρτυρες.
- Γίνεται ομαλοποίηση τυχόν έντονων διακυμάνσεων της θερμοκρασίας σ' ένα θερμοκήπιο.
- Υπάρχει η δυνατότητα αντιπαγετικής προστασίας.
- Είναι δυνατή η επέκταση της καλλιεργητικής περιόδου για αρκετές ημέρες, ανάλογα με τις επικρατούσες κλιματολογικές συνθήκες, χωρίς να απαιτείται η χρήση συμβατικών καυσίμων.

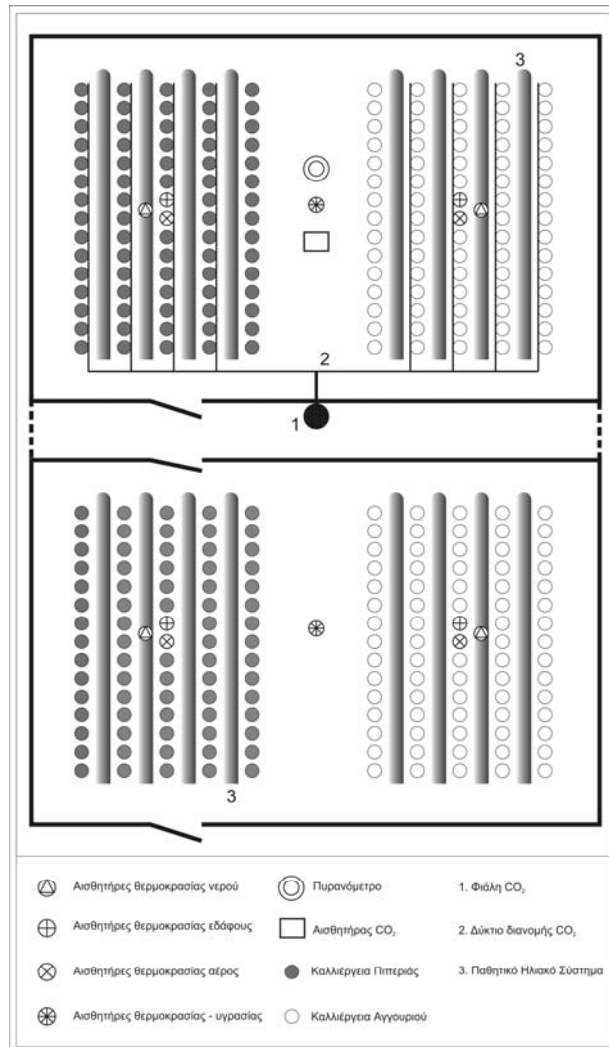
2. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Ένας τρόπος για να αυξηθεί η αποτελεσματικότητα του συστήματος ιδιαίτερα την άνοιξη και το φθινόπωρο, είναι ο εμπλουτισμός των θερμοκηπίων με CO₂. Κατά τη διάρκεια των δυο αυτών εποχών του έτους υπάρχουν πολλές ημέρες όπου οι θερμοκρασίες μέσα στο θερμοκήπιο είναι υψηλότερες από 23 °C την ημέρα και χαμηλότερες από 16 °C κατά τη διάρκεια της νύχτας. Αυτό συνεπάγεται την αναγκαιότητα δροσισμού των θερμοκηπίων κατά τη διάρκεια της ημέρας και θέρμανσης κατά τη διάρκεια της νύχτας, καθώς τα περισσότερα καλλιεργούμενα φυτά στα θερμοκήπια (C3) έχουν άριστες θερμοκρασίες ανάπτυξης ημέρας τους 23 °C και νύχτας τους 16 °C. Όταν όμως η συγκέντρωση του CO₂ στον αέρα του θερμοκηπίου βρίσκεται σε πολύ υψηλότερα επίπεδα από τα κανονικά τότε τα φυτά αναπτύσσονται κανονικά μέχρι και τους 30 °C -32 °C. Το γεγονός αυτό παράλληλα με την εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας από τη μη χρήση του συστήματος δροσισμού, επιτρέπει στο ηλιακό παθητικό σύστημα να συλλέγει πολύ περισσότερη ενέργεια. Η ενέργεια αυτή αποδίδεται κατά τη διάρκεια της νύχτας περιορίζοντας έτσι τη χρήση του συστήματος θέρμανσης με συμβατικά καύσιμα. Επισημαίνεται ότι το ενεργειακό κόστος, κατά τη διάρκεια των ψυχρών περιόδων του έτους, μπορεί να φθάσει μέχρι και το 80% του συνολικού κόστους παραγωγής μιας θερμοκηπιακής μονάδας. Το γεγονός αυτό αποτυπώνεται στις τιμές των προϊόντων όπου οι τιμές πώλησης σε πολλές περιπτώσεις μπορεί να είναι και 10πλάσιες κατά τη διάρκεια του χειμώνα από ότι το καλοκαίρι. Έτσι η οποιαδήποτε προσπάθεια εξοικονόμησης ενέργειας έχει άμεση θετική επίδραση τόσο στην δυνατότητα παραγωγής, όσο και στην τιμή των θερμοκηπιακών προϊόντων.

3.ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε το Φθινόπωρο του 2004 σε θερμοκήπιο του Κέντρου Ελέγχου Γεωργικών Κατασκευών, (Κ.Ε.Γ.Κ.) στο αγρόκτημα του Α.Π.Θ.. Πρόκειται για ένα τροποποιημένο τοξωτό πολλαπλό θερμοκήπιο έκτασης 308 m² με υλικό κάλυψης το πολυαιθυλένιο. Για το σκοπό του πειράματος το θερμοκήπιο χωρίστηκε σε δύο ίσα τμήματα 140 m² με ενδιάμεσο διαχωριστικό τμήμα. Σε κάθε τμήμα τοποθετήθηκαν 75 φυτά πιπεριάς και 75 φυτά αγγουριάς. Το έδαφος όλου του θερμοκηπίου καλύφθηκε με μαύρο υδατοδιαπερατό πλαστικό εδαφοκάλυψης. Κατά μήκος των σειρών των φυτών τοποθετήθηκαν σωλήνες διαφανούς πολυαιθυλενίου με νερό, περιμέτρου 120 cm. Το συνολικό μήκος των σωλήνων για κάθε τμήμα ήταν 64 m, και ο όγκος του νερού 7331 m³. Κάθε σωλήνας περιείχε 15gr πενταένυδρου θειικού χαλκού (CuSO₄.5H₂O) για την αποφυγή της ανάπτυξης μικροφυκών. Ο εμπλουτισμός με CO₂ γινόταν στο πειραματικό τμήμα με τη βοήθεια ενός δικτύου σωληνώσεων μέσα στις σειρές των φυτών και σε ύψος 0,5 m από το έδαφος. Οι σωλήνες είχαν στο κάτω μέρος τους οπές ανά ένα μέτρο. Το CO₂ προερχόταν από φιάλη που υπήρχε στο διαχωριστικό τμήμα. Ένας εκτονωτής πίεσης βοηθούσε την ομαλή ροή του αερίου καθώς αυτό βρισκόταν υπό πίεση σε υγρή μορφή. Για τον έλεγχο και την καταγραφή των δεδομένων σε κάθε τμήμα υπήρχαν 7 αισθητήρες θερμοκρασίας. Από αυτούς 3 κατέγραφαν τη θερμοκρασία του αέρα, 2 του εδάφους και 2 του νερού των σωλήνων. Σε κάθε τμήμα είχε επίσης τοποθετηθεί και ένα υγρασιόμετρο. Στο πειραματικό τμήμα τοποθετήθηκε επιπλέον ένας αισθητήρας CO₂ και ένα πυρανόμετρο (σχήμα 1). Έξω από το θερμοκήπιο λειτουργεί μετεωρολογικός σταθμός. Η συλλογή των μετρήσεων έγινε σε καταγραφικό δεδομένων που είναι απευθείας συνδεδεμένο με υπολογιστή. Οι μετρήσεις από τους αισθητήρες θερμοκρασίας καταγράφονταν ανά 10 λεπτά, του πυρανόμετρου ανά 5 λεπτά, του αισθητήρα CO₂ ανά 1 λεπτό και του υγρασιόμετρου

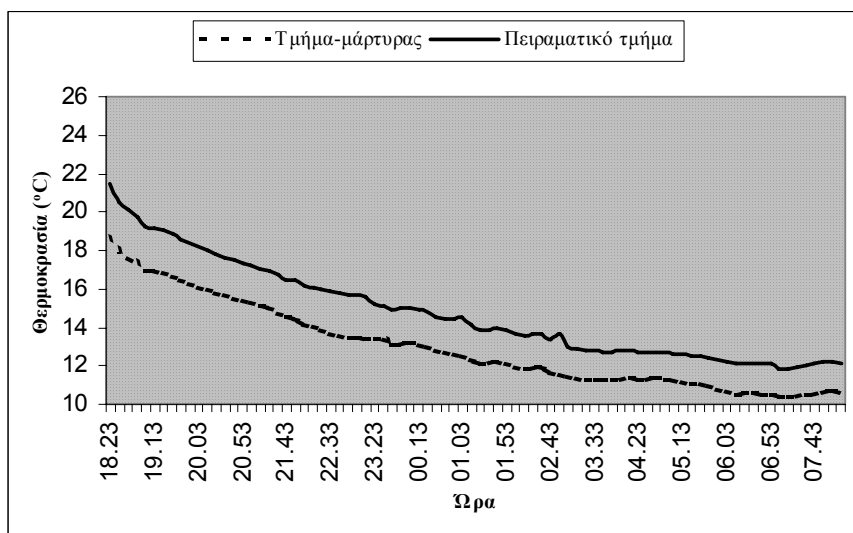
ανά 3 λεπτά. Το πρόγραμμα του υπολογιστή έδινε τη δυνατότητα παρακολούθησης των μετρήσεων σε πραγματικό χρόνο. Η διαδικασία της καλλιέργειας των φυτών ήταν η ίδια και στα δύο θερμοκήπια. Η θερμοκρασία έναρξης του αερισμού του πειραματικού τμήματος ήταν οι 30 με 32 °C , ενώ του τμήματος μάρτυρα οι 23 °C. Όταν η θερμοκρασία στο πειραματικό τμήμα υπερέβαινε τους 23 °C γινόταν εμπλουτισμός, με σκοπό τη διατήρηση μιας μέσης συγκέντρωσης του CO₂ 3 φορές υψηλότερη (1000 ppm) από τα κανονικά επίπεδα (350 ppm).



Σχήμα 1. Κάτοψη του θερμοκηπίου

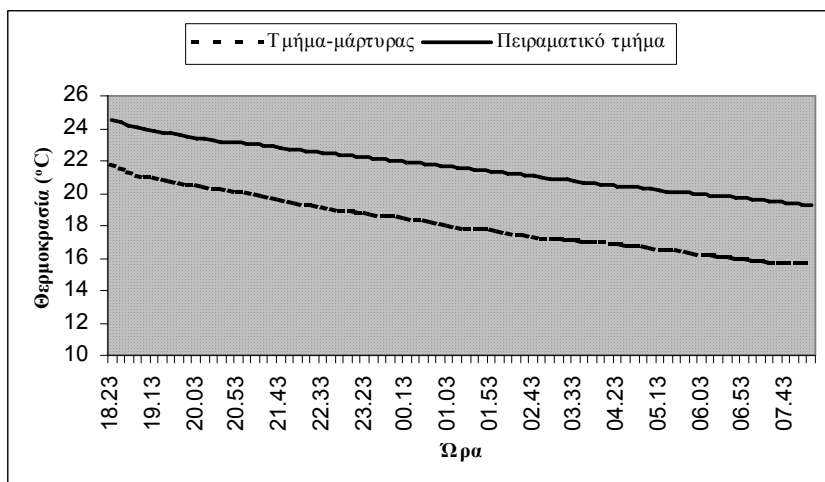
4.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Ο κυριότερος παράγοντας που επηρέασε τη διαφοροποίηση των δύο τμημάτων του θερμοκηπίου στα ποσά της ενέργειας που συλλέγονταν από τους πλαστικούς σωλήνες, ήταν η συνολική χρονική περίοδος κατά την οποία τα παράθυρα αερισμού παρέμειναν περισσότερη ώρα κλειστά στο πειραματικό τμήμα σε σχέση με τα παράθυρα αερισμού στο τμήμα μάρτυρας. Η κύρια φάση του πειράματος διεξήχθη από 17.10.2004 ως 20.11.2004. Στην περίοδο αυτή η μικρότερη χρονική διάρκεια κατά την οποία τα παράθυρα στο πειραματικό τμήμα παρέμειναν περισσότερη ώρα κλειστά ήταν 3 ώρες και η μεγαλύτερη χρονική διάρκεια 8 ώρες, για δύο συγκεκριμένες μέρες. Για τις υπόλοιπες μέρες η χρονική αυτή περίοδος κυμαινόταν μεταξύ των δύο αυτών τιμών. Στο σχήμα 2α παρουσιάζονται οι διακυμάνσεις των θερμοκρασιών του αέρα στα δύο τμήματα από τη δύση του ηλίου στις 5 Νοεμβρίου μέχρι την ανατολή του ηλίου στις 6 Νοεμβρίου (ενδεικτική νύχτα). Κατά τη διάρκεια της προηγούμενης ημέρας (5/11) τα παράθυρα στο πειραματικό τμήμα παρέμειναν περισσότερη ώρα κλειστά κατά 6 ώρες και 50 λεπτά από ότι στο τμήμα μάρτυρας. Όπως προκύπτει από το σχήμα 2α, η θερμοκρασία στο πειραματικό τμήμα έπεσε κάτω από τους 16 °C στις 22:23, ενώ στο τμήμα μάρτυρας στις 20:13, δηλαδή κατά 2 ώρες και 10 λεπτά νωρίτερα. Επίσης η θερμοκρασία στο πειραματικό τμήμα έπεσε κάτω από τους 12 °C (που αποτελεί μια κρίσιμη για τα φυτά θερμοκρασία), στις 7:24 και στο τμήμα μάρτυρας στις 2:42, δηλαδή κατά 4 ώρες και 42 λεπτά νωρίτερα.

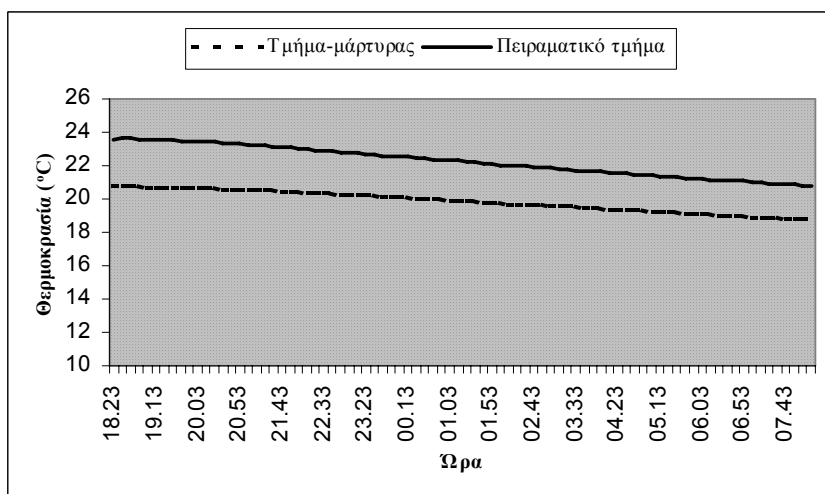


Σχήμα 2α. Διαφοροποίηση της θερμοκρασίας του αέρα των δύο τμημάτων κατά τη διάρκεια της νύχτας.

Στα σχήματα 2β και 2γ παρουσιάζονται οι διακυμάνσεις των θερμοκρασιών του νερού των σωλήνων και του εδάφους αντίστοιχα, στα δύο τμήματα του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια της ίδιας νύχτας.



Σχήμα 2β. Διαφοροποίηση της θερμοκρασίας του νερού των σωλήνων των δύο τμημάτων του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια της νύχτας.



Σχήμα 2γ. Διαφοροποίηση της θερμοκρασίας του εδάφους των δύο τμημάτων του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια της νύχτας.

Από την ανάλυση των διαφοροποιήσεων των θερμοκρασιών κατά τη διάρκεια των ημερήσιων κύκλων όλης της πειραματικής περιόδου εξήχθησαν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Η διαφορά των θερμοκρασιών του αέρα μεταξύ των δύο τμημάτων του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια της νύχτας δεν υπερέβαινε τον 1°C όταν τα παράθυρα αερισμού στο

πειραματικό τμήμα την προηγούμενη ημέρα παρέμεναν λιγότερο από 4 ώρες κλειστά σε σχέση με τα παράθυρα του τμήματος μάρτυρα.

- Η θερμοκρασία του αέρα του τμήματος μάρτυρα ακολουθούσε πιο έντονα τη μεταβολή της θερμοκρασίας του εξωτερικού αέρα.

- Η διαφορά της θερμοκρασίας μεταξύ των δύο τμημάτων τόσο του εδάφους όσο και του νερού των σωλήνων δεν μηδενίσθηκε ποτέ καθ' όλη τη διάρκεια του πειραματικού κύκλου.

- Σύγκληση της θερμοκρασίας του αέρα μεταξύ των δύο τμημάτων κατά τη διάρκεια της νύχτας παρουσιαζόταν μόνο όταν υπήρχε απότομη πτώση της εξωτερικής θερμοκρασίας σε επίπεδα κάτω των 10 °C.

5.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την ανάλυση των πειραματικών μετρήσεων προέκυψε ότι ο εμπλουτισμός με CO₂ συμβάλλει στην καλύτερη αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας από το ηλιακό παθητικό σύστημα των σωλήνων πολυαιθυλενίου με νερό. Η διατήρηση υψηλών επιπέδων CO₂ με εμπλουτισμό μείωσε τις ανάγκες αερισμού του πειραματικού θερμοκηπίου από 3 ως 8 ώρες ανά ημέρα συμβάλλοντας έτσι στη δέσμευση μεγαλύτερων ποσών ενέργειας. Το γεγονός αυτό αποτυπώνεται ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια της νύχτας, στις διαφορές των θερμοκρασιών του αέρα, του εδάφους και του νερού των σωλήνων μεταξύ των δύο θερμοκηπίων. Τα φυτά στο πειραματικό θερμοκήπιο απορροφούσαν έντονα το CO₂ και παρουσίασαν καλύτερη ανάπτυξη σε σύγκριση με τα φυτά στο θερμοκήπιο-μάρτυρα, παρά το γεγονός ότι αναπτύσσονταν σε υψηλότερες από τα κανονικά επίπεδα θερμοκρασίες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Υπουργείο Γεωργίας. 2001. Δ/νση Αγροτικής πολιτικής & Τεκμηρίωσης, Τμήμα Εισοδηματικής Πολιτικής, Ακαθάριστη Αξία Γεωργικής Παραγωγής. Αθήνα.
2. Jelinkova H. 1988. The Czechoslovak experience with passive solar system in greenhouses. Proc. of FAO CNRE Workshop, Adana, Turkey, Vol. 21: 18-20.
3. Mougou A. and Verlodt H. 1989. Use of passive solar heating system to improve greenhouse bioclimate. In: von Zabeltitz C. (ed.), Greenhouse heating with solar energy. REUR technical series, 1/Fao CNRE Study No 1, Rome 1987, pp58-64.
4. Baitorun N. 1989. Investigation of the effect of solar heating systems in greenhouses. In: von Zabeltitz C. (ed.), Passive solar heating of greenhouses with water filled polyethylene tubes. FAO-Regional Office for Europe, pp65-68.
5. Medany M. A. and Abou-Hadid A. F., 1989. Studies on the heat requirement of sweet pepper plants grown under plastic houses in Egypt. Acta Hort. 287: 255-260.
6. Grafiadellis M., Spanomitsios G., and Mattas K., 1990. Recent developments introduced in the passive solar system for heating greenhouses. Acta Hort., 263:111-119.
7. Segal 1990b. Passive solar heating of greenhouses utilizing water tubes. Proc. Int. Sem. And British-Israel Workshop on Greenhouse Technology. Bet-Dagan, Aug., 1990.
8. Mavrogianopoulos G. and Kyritsis S. 1993. Analysis and performance of a Greenhouse with water filled passive solar sleeves. Agricultural and Forest Meteorology, 65:47-61.
9. Photiades I. 1994. Heating plastic greenhouses with a solar passive water-sleeve system. Ministry of Agriculture, Natural Resources and the Environment, Agriculture Research Institute. Nicosia. Report No. 62.

ΜΕΛΕΤΗ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΗΛΙΑΚΩΝ ΑΠΟΣΤΑΚΤΗΡΩΝ

**Χρυσοβαλάντου Λαμνάτου*, Γεώργιος Παπαδάκης¹, Στυλιανός
Ροζάκης²**

*¹Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής, ²Τμήμα Αγροτικής
Οικονομίας & Ανάπτυξης, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Ιερά Οδός 75, 11855,
Αθήνα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία αυτή αφορά τη μαθηματική προσομοίωση ενός συστήματος αφαλάτωσης ηλιακών αποστακτήρων. Για τη μαθηματική προσομοίωση βασιστήκαμε στα ενεργειακά ισοζύγια του αποστακτήρα και καταλήξαμε σε σύστημα εξισώσεων με αγνώστους τη θερμοκρασία του νερού της βάσης και του καλύμματος του αποστακτήρα. Χρησιμοποιώντας ωριαία κλιματικά δεδομένα της Αθήνας του έτους 1985, βρέθηκε ότι η παραγωγή όλου του έτους είναι 1,370 kg/m², ενώ το κόστος του νερού κυμαίνεται από 10.41 ως 12.46 €/m³ εξαρτώμενο από διάφορους παράγοντες όπως το κόστος της γης και το κόστος των αποστακτήρων.

INVESTIGATION OF A SOLAR STILL DESALINATION SYSTEM

Chrysovalantou Lamnatou*, George Papadakis¹, Stylianos Rozakis²

*¹Dept. of Natural Resources & Agricultural Engineering, ²Dept. of Agricultural
Economics & Rural Development, 75 Iera Odos street, 11855, Athens

ABSTRACT

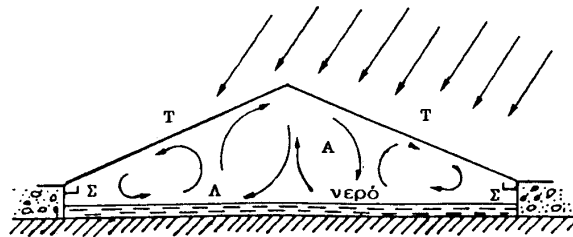
This paper is about a mathematical simulation of a solar still desalination system. Based on the energy balance of the solar still, there was found out a system of two equations with two unknown quantities, the temperature of the water of the base and the temperature of the cover of the still. Then hourly meteorological data of Athens for the year 1985 are used to calculate the fresh water production. Finally the yearly production of water was found to be 1,370 kg/m² and the cost of the water was calculated to be between 10.41 and 12.46 €/m³, depending on several factors such as the cost of land and the cost of solar stills.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αφαλάτωση αποτελεί μια φυσική διεργασία μέσω της οποίας επιτυγχάνεται αποχωρισμός αλάτων και νερού από υδατικά διαλύματα. Σε μία εγκατάσταση αφαλάτωσης η πρώτη ύλη για την τροφοδοτήσή της είναι νερό θαλάσσιο ή υφάλμυρο του οποίου η περιεκτικότητα σε άλατα υπερβαίνει το ανώτατο επιτρεπτό όριο των προδιαγραφών για τη συγκεκριμένη χρήση. Η εξάτμιση ή απόσταξη μέσω της ηλιακής ενέργειας αποτελεί μία εκ των μεθόδων αφαλάτωσης και ονομάζεται ηλιακή αφαλάτωση. Στην ηλιακή αφαλάτωση η χρήση της ηλιακής ενέργειας μπορεί να είναι άμεση ή έμμεση. Άμεση χρήση της ηλιακής ενέργειας έχουμε σε ορισμένες συσκευές οι οποίες ονομάζονται ηλιακοί αποστακτήρες [1].

2. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΗΛΙΑΚΟΥΣ ΑΠΟΣΤΑΚΤΗΡΕΣ

Οι ηλιακοί αποστακτήρες (Solar Stills) κατατάσσονται στα παθητικά ηλιακά συστήματα και αποτελούνται από μία βάση η οποία περιέχει το προς εξάτμιση νερό και από ένα διαφανές κάλυμμα μέσω του οποίου διεισδύει η ηλιακή ακτινοβολία. Το κάλυμμα (συνήθως γυάλινο) και η βάση σχηματίζουν ένα αεροστεγή χώρο όπου λαμβάνει χώρα η διεργασία της εξάτμισης – συμπύκνωσης. Το απόσταγμα συλλέγεται σε κανάλια τα οποία βρίσκονται εντός της κατασκευής. Ο πιο συνηθής τύπος αποστακτήρα είναι ο τύπος θερμοκηπίου (σχήμα 1) στον οποίο το κάλυμμα είναι σε ισόπλευρη διάταξη [1]. Επίσης το πλάτος ενός αποστακτήρα κυμαίνεται από 0.5-2 m ενώ το μήκος του ποικίλει. Επιπρόσθετα η βάση του αποστακτήρα μπορεί να είναι ρηχή (0.01 ως 0.03 m) έχοντας το πλεονέκτημα υψηλότερων θερμοκρασιών νερού ή βαθιά (0.10 ως 0.15 m) έχοντας το πλεονέκτημα της συνέχισης της εξάτμισης και κατά τη διάρκεια της νύχτας καθώς λειτουργεί και ως αποθήκη θερμότητας [2].



Σχήμα 1. Ηλιακός αποστακτήρας τύπου θερμοκηπίου. Τ το διαφανές κάλυμμα, Α η λεκάνη (βάση) στην οποία περιέχεται το νερό προς αφαλάτωση και Σ τα κανάλια συλλογής του αποστάγματος (Πηγή: [1]).

3. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΗΛΙΑΚΩΝ ΑΠΟΣΤΑΚΤΗΡΩΝ

3.1. Βασικές αρχές λειτουργίας των ηλιακών αποστακτήρων

Η ηλιακή ακτινοβολία διέρχεται μέσα από το κάλυμμα του αποστακτήρα και απορροφάται από τη μάζα του νερού της βάσης η οποία καλύπτεται από ένα απορροφητικό υλικό π.χ. μαύρο χρώμα [3-6], με στόχο την αύξηση της απορροφητικότητας της ηλιακής ακτινοβολίας. Έτσι το νερό της βάσης θερμαίνεται,

εξατμίζεται, συμπυκνώνεται στο εσωτερικό του καλύμματος και ρέει προς τα κανάλια συλλογής όπου συλλέγεται [1]. Κάτω από το κάλυμμα στον ελεύθερο χώρο Α (σχήμα 1), έχουμε σχηματισμό ρευμάτων μίγματος αέρα-ατμών λόγω διαφοράς θερμοκρασίας νερού βάσης-καλύμματος. Το μίγμα ακριβώς κάτω από το κάλυμμα έχει χαμηλότερη θερμοκρασία και είναι ακόρεστο σε υδρατμούς ενώ στην επιφάνεια του νερού η θερμοκρασία του μίγματος είναι υψηλότερη, έχει μικρότερη πυκνότητα και είναι κορεσμένο σε υδρατμούς. Έτσι έχουμε δημιουργία ανοδικών ρευμάτων του κορεσμένου σε υδρατμούς θερμού μίγματος προς την επιφάνεια του καλύμματος, όπου ψύχεται και ένα μέρος των υδρατμών συμπυκνώνεται. Το υπόλοιπο μίγμα αντιστρέφει την πορεία του και κινείται προς την επιφάνεια του νερού της βάσης [1].

3.2. Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των ηλιακών αποστακτήρων

Λαμβάνοντας υπόψη τις βασικές αρχές λειτουργίας των αποστακτήρων συμπεραίνουμε ότι με την αύξηση της θερμοκρασιακής διαφοράς μεταξύ νερού βάσης και καλύμματος, έχουμε αύξηση της θερμότητας που μεταφέρεται μέσω εξατμικής – συμπύκνωσης στο κάλυμμα και άρα αύξηση της παραγωγής αποστάγματος [7]. Κατά συνέπεια είναι φανερό ότι οι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των ηλιακών αποστακτήρων είναι η θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος και η ένταση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας [8]. Η παραγωγή αποστάγματος είναι δυνατή για θερμοκρασίες εξωτερικού περιβάλλοντος πάνω από 4°C [9] καθώς στις πολύ χαμηλές θερμοκρασίες εξωτερικού περιβάλλοντος, το νερό της βάσης βρίσκεται σε χαμηλότερη θερμοκρασία σε σχέση με το κάλυμμα και έτσι δεν μπορεί να διεξαχθεί η διαδικασία της εξατμικής-συμπύκνωσης και άρα δεν υπάρχει παραγωγή αποστάγματος [10].

Ένας άλλος παράγοντας ο οποίος επηρεάζει την απόδοση του συστήματος είναι η ταχύτητα του ανέμου του εξωτερικού περιβάλλοντος [11-13]. Με την αύξηση της ταχύτητας του ανέμου έχουμε αφενός μείωση της θερμοκρασίας του καλύμματος του αποστακτήρα και άρα αύξηση της θερμοκρασιακής διαφοράς καλύμματος-νερού βάσης, και αφετέρου αύξηση των απωλειών θερμότητας από το κάλυμμα προς τα έξω με συναγωγή [11,14]. Γενικά θεωρείται ότι η επίδραση της ταχύτητας του ανέμου είναι πιο έντονη τη νύχτα και οδηγεί σε αύξηση της έντασης του φαινομένου εξατμικής-συμπύκνωσης και τελικά σε μικρή αύξηση της απόδοσης. Ωστόσο σε μία τέτοια περίπτωση έχουμε πτώση της θερμοκρασίας του νερού της βάσης κατά την επόμενη μέρα και άρα μείωση της παραγωγής κατά τις ώρες της ημέρας [11]. Από την άλλη πλευρά λόγω του ότι η θερμοκρασία της βάσης εξαρτάται κυρίως από την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία, η μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου κατά τη διάρκεια της ημέρας δεν επιδρά σημαντικά στη λειτουργία του αποστακτήρα [11].

3.3. Στόχος κατά το σχεδιασμό

Κατά το σχεδιασμό των αποστακτήρων στόχος μας είναι να μεγιστοποιήσουμε τη θερμότητα που μεταφέρεται στο νερό της βάσης για εξατμική και αποδεσμεύεται από τον ατμό για συμπύκνωση δηλ. η μεγιστοποίηση του ρυθμού παραγωγής αποστάγματος. Και τα δύο αυτά μεγέθη συνδέονται με τη διαφορά στην πίεση ατμού μεταξύ νερού βάσης και καλύμματος. Με άλλα λόγια πρέπει η θερμοκρασία του νερού της βάσης να είναι κατά το δυνατόν υψηλότερη διότι έτσι αυξάνεται ο λόγος μεταφορά θερμότητας με εξατμική-συμπύκνωση προς μεταφορά θερμότητας με συναγωγή και ακτινοβολία [2]. Γενικά οι θερμοκρασιακές διαφορές του νερού της βάσης και του καλύμματος μέσα στον αποστακτήρα είναι η κινητήρια δύναμη που προκαλεί φυσική κυκλοφορία του

υγρού αέρα και συμπύκνωση του ατμού στο εσωτερικό του καλύμματος [15-17]. Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι προτιμάται η κατασκευή αποστακτήρων με ρηχές βάσεις (βέλτιστο βάθος 0.03 m, [18]) με μικρή θερμική χωρητικότητα καθώς ζεσταίνονται γρηγορότερα σε σχέση με τις βαθιές βάσεις και έτσι το σύστημα λειτουργεί σε υψηλότερες θερμοκρασίες [2].

4. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

4.1. Ενεργειακά ισοζύγια – Μάζα παραγόμενου νερού

Η εξίσωση (1) αποτελεί το ενεργειακό ισοζύγιο όλου του αποστακτήρα [9], αν υποθέσουμε ότι οι απώλειες με αγωγή από τη μονωμένη βάση του αποστακτήρα προς το εξωτερικό περιβάλλον είναι μηδέν και ότι σε κάθε χρονικό βήμα επίλυσης του συστήματος των εξισώσεων (1) και (2) η κατάσταση είναι στάσιμη (steady state) [19]. Επίσης η εξίσωση (2) αποτελεί το ενεργειακό ισοζύγιο του καλύμματος του αποστακτήρα [9] και η εξίσωση (3) δίνει την παραγωγή αποστάγματος [10].

$$\alpha_g I + \alpha_w \tau I = (2.8 + 3.8V)(T_g - T_a) + \varepsilon_g \sigma [T_g^4 - (T_a - 20)^4] \quad (1)$$

$$(2.8 + 3.8V)(T_g - T_a) + \varepsilon_g \sigma [T_g^4 - (T_a - 20)^4] = [0.884[(T_w - T_g) + ((P_w - P_g)T_w)/(268,900 - P_w)]]^{1/3} (T_w - T_g) + [0.9\sigma(T_w^4 - T_g^4)] + [(0.884 \cdot 16.28 \cdot 10^{-3}) [(T_w - T_g) + ((P_w - P_g)T_w)/(268,900 - P_w)]]^{1/3} (P_w - P_g) + \alpha_g I \quad (2)$$

$$m = [16.28 \cdot 10^{-3} [0.884[(T_w - T_g) + ((P_w - P_g)T_w)/(268,900 - P_w)]]^{1/3} (P_w - P_g) 3,600] / h_{fg} \quad (3)$$

α_g : η απορροφητικότητα του γυαλιού του καλύμματος

I : η συνολική προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντια επιφάνεια σε W/m^2

α_w : η απορροφητικότητα του νερού

τ : η περατότητα του γυαλιού του καλύμματος

$(2.8 + 3.8V)$: ο συντελεστής βεβιασμένης συναγωγής σε W/m^2K

V : η ταχύτητα του ανέμου σε m/s

T_g : η θερμοκρασία του γυαλιού του καλύμματος σε K

T_a : η θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα σε K

ε_g : η εκπεμπτικότητα του γυαλιού του καλύμματος

σ : η σταθερά Stefan – Boltzmann. Ίση με $5.67 \cdot 10^{-8} W/m^2K^4$

$(T_a - 20)$: η θερμοκρασία του ουρανού σε K , [9]

T_w : η θερμοκρασία του νερού της βάσης του αποστακτήρα σε K

P_w : η πίεση κορεσμού του ατμού του νερού σε θερμοκρασία ίση με T_w σε Pa

P_g : η πίεση κορεσμού του ατμού του νερού σε θερμοκρασία ίση με T_g σε Pa

m : η παραγωγή σε αποσταγμένο νερό σε kg/m^2h

h_{fg} : η μεταβολή ενθαλπίας για την εξάτμιση του νερού σε J/kg

4.2. Υλικά και μέθοδοι

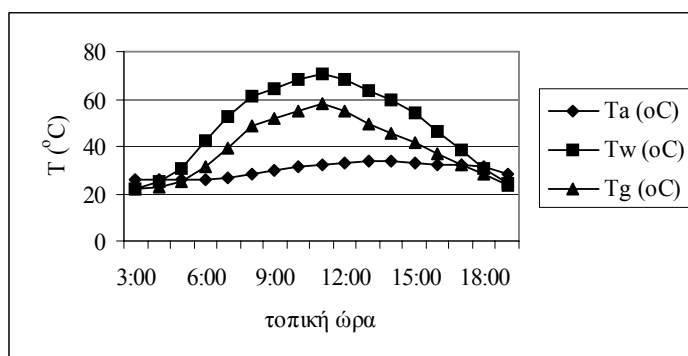
Τα δεδομένα εισαγωγής (inputs) για την επίλυση του συστήματος των εξισώσεων (1)-(2) είναι τα μετεωρολογικά στοιχεία της Αθήνας για το 1985 το οποίο θεωρείται παρόμοιο με το τυπικό μετεωρολογικό έτος [20]. Τα δεδομένα αφορούν την ένταση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας I (σε οριζόντιο επίπεδο) (W/m^2), την ταχύτητα του ανέμου U (m/s) και τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος (του εξωτερικού αέρα) T_a

(°C) [21]. Επίσης οι τιμές των τριών αυτών μεγεθών αποτελούν μέσες ωριαίες τιμές. Η επίλυση του συστήματος των εξισώσεων (1)-(2) θα γίνει μέσω του προγράμματος Matlab. Στόχος μας είναι η εύρεση της θερμοκρασίας του νερού της βάσης και του καλύμματος, κάθε μία ώρα, για όλες τις ώρες του έτους στις οποίες η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι $> 0 \text{ W/m}^2$. Η παραγωγή σε απόσταγμα προκύπτει από την αντικατάσταση των τιμών των δύο αυτών μεγεθών στην εξίσωση (3) [19].

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

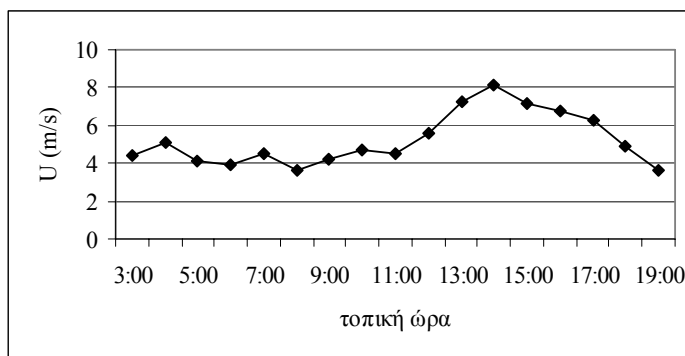
5.1. Η μέρα του έτους με τη μέγιστη απόδοση

Με βάση τις υποθέσεις που κάναμε, από τη μαθηματική προσομοίωση προέκυψε ότι η μέρα του έτους με τη μέγιστη απόδοση είναι η 10/6. Πιο συγκεκριμένα στα σχήματα 2 και 3 μπορούμε να δούμε τη μεταβολή των θερμοκρασιών του εξωτερικού περιβάλλοντος T_a , του νερού της βάσης T_w και του καλύμματος του αποστακτήρα T_g , καθώς και τη μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου U σε συνάρτηση με την τοπική ώρα.

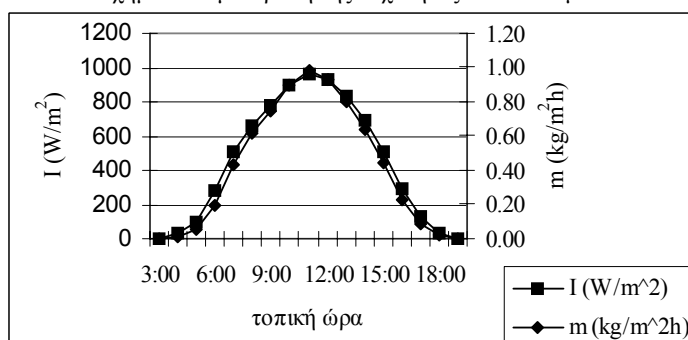


Σχήμα 2. Η μεταβολή των θερμοκρασιών του εξωτερικού περιβάλλοντος T_a , του νερού της βάσης T_w και του καλύμματος του αποστακτήρα T_g .

Επίσης από το σχήμα 2 παρατηρούμε ότι η θερμοκρασία του καλύμματος και του νερού της βάσης σχετίζονται με την κατανομή της θερμοκρασίας του εξωτερικού περιβάλλοντος. Ακόμα η θερμοκρασία του νερού της βάσης είναι υψηλότερη από τη θερμοκρασία του καλύμματος και από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Κατά τον ίδιο τρόπο η θερμοκρασία του καλύμματος είναι υψηλότερη από τη θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος [19].



Σχήμα 3. Η μεταβολή της ταχύτητας U του ανέμου.

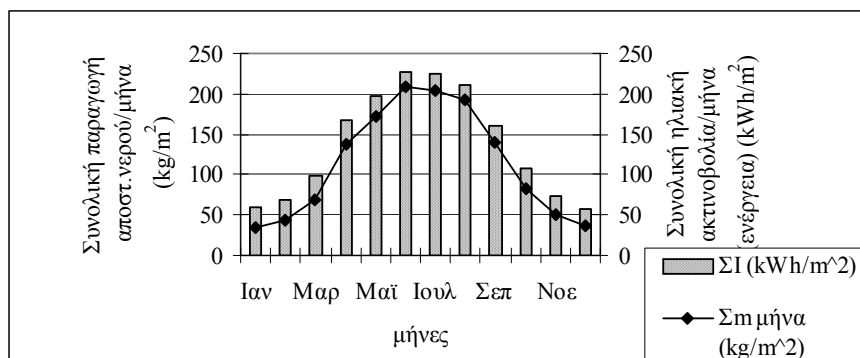


Σχήμα 4. Η μεταβολή της έντασης της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας I και της παραγόμενης ποσότητας αποστάγματος m .

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το σχήμα 4 στο οποίο παρατηρούμε ότι η παραγόμενη ποσότητα αποστάγματος m μεταβάλλεται ανάλογα με την ένταση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας I και ότι σε ένταση προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας περίπου $1,000 \text{ W/m}^2$ αντιστοιχεί παραγωγή περίπου $1 \text{ kg/m}^2\text{h}$ [19].

5.2. Η απόδοση όλου του έτους

Στο σχήμα 5 βλέπουμε τη μεταβολή της συνολικής παραγωγής αποστάγματος Σm ανά μήνα και της συνολικής προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας ΣI (ενέργειας) ανά μήνα, για όλο το έτος 1985. Παρατηρούμε ότι η παραγωγή είναι μεγαλύτερη στους καλοκαιρινούς μήνες (μέγιστη τον Ιούνιο: 209.54 kg/m^2) από ότι στους χειμερινούς μήνες (ελάχιστη τον Ιανουάριο: 34.85 kg/m^2). Το γεγονός αυτό είναι αναμενόμενο και οφείλεται στις μεγαλύτερες τιμές της έντασης της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας του εξωτερικού αέρα που σημειώνονται κατά το καλοκαίρι. Επίσης την άνοιξη και το φθινόπωρο η παραγωγή κυμαίνεται σε ενδιάμεσα επίπεδα και η παραγωγή όλου του έτους είναι $1,370 \text{ kg/m}^2$. Επιπρόσθετα θα πρέπει να σημειώσουμε ότι η παραγωγή αναφέρεται στο 1 m^2 επιφάνειας βάσης του αποστακτήρα [19].



Σχήμα 5. Η μεταβολή της συνολικής παραγωγής αποστάγματος Σm ανά μήνα και της συνολικής προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας ΣI (ενέργειας) ανά μήνα, για όλο το έτος.

5.3. Το κόστος του παραγόμενου νερού

Ο υπολογισμός του κόστους του παραγόμενου νερού έγινε με βάση την Καθαρή Παρούσα Αξία της επένδυσης [22] και θεωρώντας ένα σύστημα 80 αποστακτών διαστάσεων $1 \times 5 \text{ m}^2$, τύπου θερμοκηπίου με γυάλινο κάλυμμα, βάση fiberglass, πλαίσιο καλύμματος από γαλβανισμένο σίδηρο, κανάλια συλλογής του αποστάγματος από ανοξείδωτο ατσάλι, μονωτικό βάσης από πολυστηρόλη. Η ετήσια παραγωγή του συγκεκριμένου συστήματος είναι 544 m^3 καλύπτοντας τις ανάγκες σε πόσιμο νερό μιας κοινότητας 300 κατοίκων [23]. Οι υποθέσεις που κάνουμε για την εγκατάσταση του συστήματος είναι: 1) Εγκατάσταση στην Αθήνα, κόστος γης 150 €/έτος, 2) Εγκατάσταση στην Αθήνα, κόστος γης μηδενικό, 3) Εγκατάσταση σε νησί με παρόμοιες κλιματικές συνθήκες με την Αθήνα, κόστος γης 150 €/έτος, επιδότηση 35%, 4) Εγκατάσταση σε νησί με παρόμοιες κλιματικές συνθήκες με την Αθήνα, κόστος γης μηδενικό, επιδότηση 35%. Με βάση τις προηγούμενες υποθέσεις προκύπτει ότι η ελάχιστη τιμή του παραγόμενου νερού είναι 12.46 €/m³ για την υπόθεση 1, 12.18 €/m³ για την υπόθεση 2, 10.69 €/m³ για την υπόθεση 3 και 10.41 €/m³ για την υπόθεση 4. Ωστόσο το κόστος του νερού ενδέχεται να διαφέρει από τις παραπάνω τιμές, ανάλογα την περίπτωση διότι εξαρτάται από παράγοντες που προσδίδουν αβεβαιότητα στην οικονομική μελέτη (όπως κόστος εργατικών, κόστος αποστακτών, κόστος γης) [19].

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με την εργασία αυτή αποδείχθηκε ότι οι παράγοντες που επηρεάζουν σημαντικά την απόδοση των ηλιακών αποστακτών είναι η ένταση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας, η θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος, του νερού της βάσης και του καλύμματος. Επίσης η παραγωγή αποστάγματος την ημέρα μεταβάλλεται ανάλογα με την ένταση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας και είναι μεγαλύτερη κατά τους καλοκαιρινούς μήνες (μέγιστη τον Ιούνιο: 209.54 kg/m^2) από ότι τους χειμερινούς μήνες (ελάχιστη τον Ιανουάριο: 34.85 kg/m^2). Αυτό οφείλεται στις μεγαλύτερες τιμές της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας του εξωτερικού αέρα που σημειώνονται το καλοκαίρι. Την άνοιξη και το φθινόπωρο η παραγωγή σε απόσταγμα βρίσκεται σε ενδιάμεσα επίπεδα και η παραγωγή όλου του έτους είναι $1,370 \text{ kg/m}^2$. Το κόστος παραγωγής του αποσταγμένου νερού, είναι 12.46 €/m³ για κόστος γης 150

€/έτος και 12.18 €/m^3 για κόστος γης μηδενικό, στην περίπτωση εγκατάστασης του συστήματος στην Αθήνα ενώ αν υποθέσουμε ότι το σύστημα εγκαθίσταται σε νησί με κλιματικές συνθήκες παρόμοιες με της Αθήνας, τότε το νερό κοστίζει λιγότερο λαμβάνοντας υπόψη ότι υπάρχει και επιδότηση 35%. Στην περίπτωση αυτή το νερό κοστίζει 10.69 €/m^3 για κόστος γης 150 €/έτος και 10.41 €/m^3 για κόστος γης μηδενικό.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστούμε τον Δρ. Πασγιάνο Γεώργιο για τη βοήθειά του στην επεξεργασία των μετεωρολογικών στοιχείων μέσω του προγράμματος Matlab.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Δεληγιάννη Ε. και Μπελεσιώτης Β. (1995), *Μέθοδοι και Συστήματα Αφαλάτωσης – Αρχές διεργασιών αφαλάτωσης*, ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», Αθήνα.
2. Duffie J. and Beckman W. (1991), *Solar Engineering of Thermal Processes*, John Wiley & Sons, USA.
3. Akash B., Mohsen M., Osta O. and Elayan Y. (1998), Experimental evaluation of a single basin solar still using different absorbing materials, *Renewable Energy* 14, 307-310.
4. Morcos V. (1994), Some experimental and theoretical studies of a single basin solar still, *Renewable Energy* 4, 401-407.
5. Tiwari G., Gupta S. and Lawrence S. (1989), Transient analysis of solar still in the presence of dye, *Energy Conversion and Management* 29, 59-62.
6. Kumar S. and Tiwari G. (1996), Estimation of convective mass transfer in solar distillation systems, *Solar Energy* 57, 459-464.
7. Porta-Gandara M., Rubio E. and Fernandez J. (1997), Experimental measurement of the water to cover heat transfer coefficient inside shallow solar stills, *Applied Thermal Engineering* 18, 69-72.
8. Mohamad M., Soliman S., Abdel-Salam M. and Hussein H. (1995), Experimental and financial investigation of asymmetrical solar stills with different insulation, *Applied Energy* 52, 265-271.
9. Ghoneyem A. and Ileri A. (1997), Software to analyze solar stills and an experimental study on the effects of the cover, *Desalination* 114, 37-44.
10. Rubio-Cerda E., Porta-Gandara M., Fernandez-Zayas J. (2002), Thermal performance of the condensing covers in a triangular solar still, *Renewable Energy* 27, 301-308.
11. Voropoulos K., Mathioulakis E. and Belessiotis V. (2002), Analytical simulation of energy behavior of solar stills and experimental validation, *Desalination* 153, 87-94.
12. Al-Hinai H., Al-Nassri M. and Joubran B. (2002), Effect of climatic, design and operational parameters on the yield of a simple solar still, *Energy Conversion & Management* 43, 1639-1650.
13. Maalej A. (1991), Solar still performance, *Desalination* 82, 197-205.
14. Zurigat Y. and Abu-Arabi M. (2004), Modeling and performance analysis of a regenerative solar desalination unit, *Applied Thermal Engineering* 24, 1061-1072.

15. Voropoulos K., Mathioulakis E. and Belessiotis V. (2000), Transport phenomena and dynamic modeling in greenhouse-type solar stills, *Desalination* 129, 273-281.
16. Rubio E., Porta M. and Fernandez J. (2000), Cavity geometry influence on mass flow rate for single and double slope solar stills, *Applied Thermal Engineering* 20, 1105-1111.
17. Kumar A. and Tiwari G. (1990), Use of waste hot water in double slope solar still through heat exchanger, *Energy Conversion and Management* 30, 81-89.
18. El-Haggar S. and Awn A. (1993), Optimum conditions for a solar still and its use for a greenhouse using the nutrient film technique, *Desalination* 94, 55-68.
19. Λαμινάτου Χ., *Διερεύνηση της λειτουργίας ενός συστήματος αφαλάτωσης τύπου ηλιακού αποστακτήρα μέσω μαθηματικής προσομοίωσης*, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
20. Argiriou A., Lykoudis S., Kontoyiannidis S., Balaras C., Asimakopoulos D., Petrakis M. and Kassomenos P. (1999), Comparison of methodologies for TMY generation using 20 year data for Athens, Greece, *Solar Energy* 66, 33-45.
21. Upatras, 2005. <http://helios.mech.upatras.gr>
22. Gittinger J. (1984), *Economic Analysis of Agricultural Projects*, Economic Development Institute The World Bank, London.
23. Itdg, 2004. <http://www.itdg.org>

ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΤΟΥ H_2 ΩΣ ΜΕΣΟ ΕΠΟΧΙΑΚΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΑΥΤΟΝΟΜΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Γεώργιος Δ. Κυριακάρκος, Γεώργιος Σ. Παπαδάκης

Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργ. Μηχανικής
Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας
Ιερά Οδός 75, 11855 Αθήνα τηλ. 210 5294046 e-mail: gk@aua.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αυτή η εργασία περιγράφει τη σύγκριση μέσω προσομοίωσης δύο αυτόνομων ηλεκτροπαραγωγικών συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την κάλυψη αναγκών μιας κατοικίας. Και τα δύο συστήματα βασίζονται στην ίδια φωτοβολταϊκή συστοιχία. Το πρώτο σύστημα χρησιμοποιεί για αποθήκευση της ηλιακής ενέργειας συσσωρευτές, ενώ το δεύτερο ένα υποσύστημα υδρογόνου. Το υποσύστημα αυτό αποτελείται από κυψέλη καυσίμου τεχνολογίας P.E.M., μονάδα ηλεκτρόλυσης του νερού τεχνολογίας P.E.M., μονάδα αποθήκευσης του υδρογόνου αποτελούμενη από δοχεία μεταλλοϋδριδίων, έναν ελεγκτή και ένα μικρό συσσωρευτή. Με την πραγματοποίηση αυτών των προσομοιώσεων παρατηρούμε πως είναι τεχνικά εφικτή η αντικατάσταση των συμβατικών συσσωρευτών με ένα σύστημα υδρογόνου.

POSSIBILITIES TO USE H_2 AS A LONG TERM ENERGY STORAGE MEDIUM IN AUTONOMOUS PHOTOVOLTAIC SYSTEMS

George D. Kyriakarakos, George S. Papadakis

Agricultural University of Athens
Department of Natural Resources and Agricultural Engineering
Laboratory of Agricultural Engineering
Iera odos St. 75, 11855 Athens tel. 210 5294046 email: gk@aua.gr

ABSTRACT

This paper describes the comparison through a numerical simulation of two renewable energy autonomous electricity producing systems aiming to cover the needs of a home. Both systems are based on the same photovoltaic array. The first system uses batteries for the energy storage, whereas the second uses a hydrogen subsystem. This subsystem includes a PEM fuel cell, a PEM electrolyzer, metal hydride tank hydrogen storage and a small battery. With the realization of these simulations it is evident that it is technically possible to replace batteries with a hydrogen subsystem.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στις μέρες μας τα περισσότερα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα χρησιμοποιούν συσσωρευτές μεγάλης χωρητικότητας για να μπορέσουν να αποθηκεύσουν την παραγόμενη ενέργεια. Οι συσσωρευτές όμως, όπως γνωρίζουμε, περιέχουν στοιχεία τοξικά πράγμα που τους κάνει μη φιλικούς προς το περιβάλλον, ενώ ταυτόχρονα έχουν μικρή διάρκεια ζωής με μεγάλο κόστος αντικατάστασης. Το υδρογόνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέσο αποθήκευσης της ενέργειας τόσο βραχυπρόθεσμα, όσο και μακροπρόθεσμα αποθηκεύοντας την περίσσια της ενέργειας που παράγει η φωτοβολταϊκή συστοιχία τους θερινούς μήνες για την κάλυψη των χειμερινών αναγκών και συνεπώς έχουν την δυνατότητα να αντικαταστήσουν πλήρως τους συμβατικούς συσσωρευτές^{1,2}.

Για την προσομοίωση χρησιμοποιήθηκε το TRNSYS (Transient System Simulation Program). Το TRNSYS είναι ένα πρόγραμμα προσομοίωσης μεταβλητών ενεργειακών συστημάτων με αρθρωτή μορφή. Το TRNSYS βασίζεται στην αρθρωτή του δομή για να λύνει μεγάλα συστήματα εξισώσεων που περιγράφονται από υπορουτίνες γραμμένες σε FORTRAN. Κάθε υπορουτίνα της FORTRAN περιέχει ένα μοντέλο για ένα τμήμα του συστήματος. Κάθε υπορουτίνα έχει εισόδους (inputs), εξόδους (outputs) και παραμέτρους (parameters). Στο αρχείο εισόδου ο χρήστης συνδέει διάφορες υπορουτίνες μεταξύ τους οι οποίες σαν σύνολο αποτελούν το προς προσομοίωση σύστημα. Η μηχανή επίλυσης του TRNSYS καλεί τις υπορουτίνες που αναφέρονται στο αρχείο εισόδου και προσπαθεί να βρει λύση για κάθε χρονικό βήμα. Οι συνδέσεις που μπορεί να έχουν οι διάφορες υπορουτίνες είναι πολλές δίνοντας πολύ μεγάλη ελευθερία στο χρήστη. Επίσης ένα ακόμα χαρακτηριστικό που κάνει το πρόγραμμα τρομερά ευέλικτο είναι η δυνατότητα που δίνει στο χρήστη να γράψει μια δικιά του υπορουτίνα σε FORTRAN και να την ενσωματώσει στο TRNSYS. Αυτή η δυνατότητα χρησιμοποιήθηκε και έτσι γράφηκαν νέες υπορουτίνες για την ενεργειακή προσομοίωση της κυψέλης καυσίμου, της μονάδας ηλεκτρόλυσης, των δοχείων μεταλλοϋδριδίων και του ελεγκτή του συστήματος^{3,4}.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Σύστημα Πρώτο

Το πρώτο σύστημα αποτελείται από φωτοβολταϊκή συστοιχία 8.4 kWp και συσσωρευτές 1250 Ah.

- Χρησιμοποιήθηκαν κρυσταλλικά πάνελ πυριτίου Solarex MSX-30, 280 σε σύνολο. Τα χαρακτηριστικά τους φαίνονται στον Πίνακα 1. Η φωτοβολταϊκή συστοιχία είναι συνδεδεμένη με έναν ελεγκτή μέγιστου σημείου ισχύος με απόδοση ίση με 98%
- Χρησιμοποιήθηκαν 4 συσσωρευτές που είναι συνδεδεμένοι σε σειρά με χωρητικότητα 1250 Ah και με ονομαστική τάση 6 V.

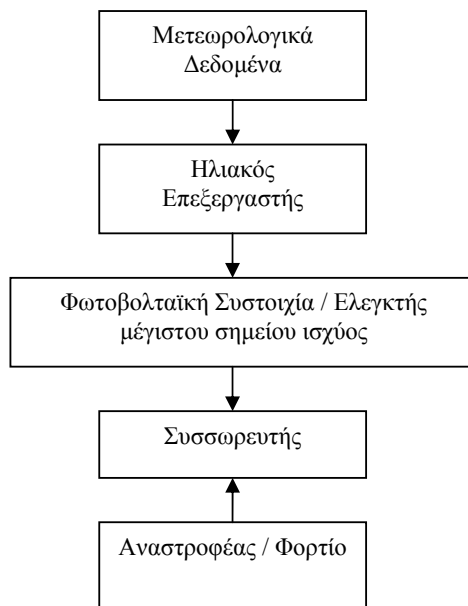
2.2 Σύστημα Δεύτερο

Το δεύτερο σύστημα αποτελείται από την ίδια φωτοβολταϊκή συστοιχία με το πρώτο αλλά ο μεγάλης χωρητικότητας συσσωρευτής έχει αντικατασταθεί από ένα υποσύστημα υδρογόνου. Αναλυτικότερα

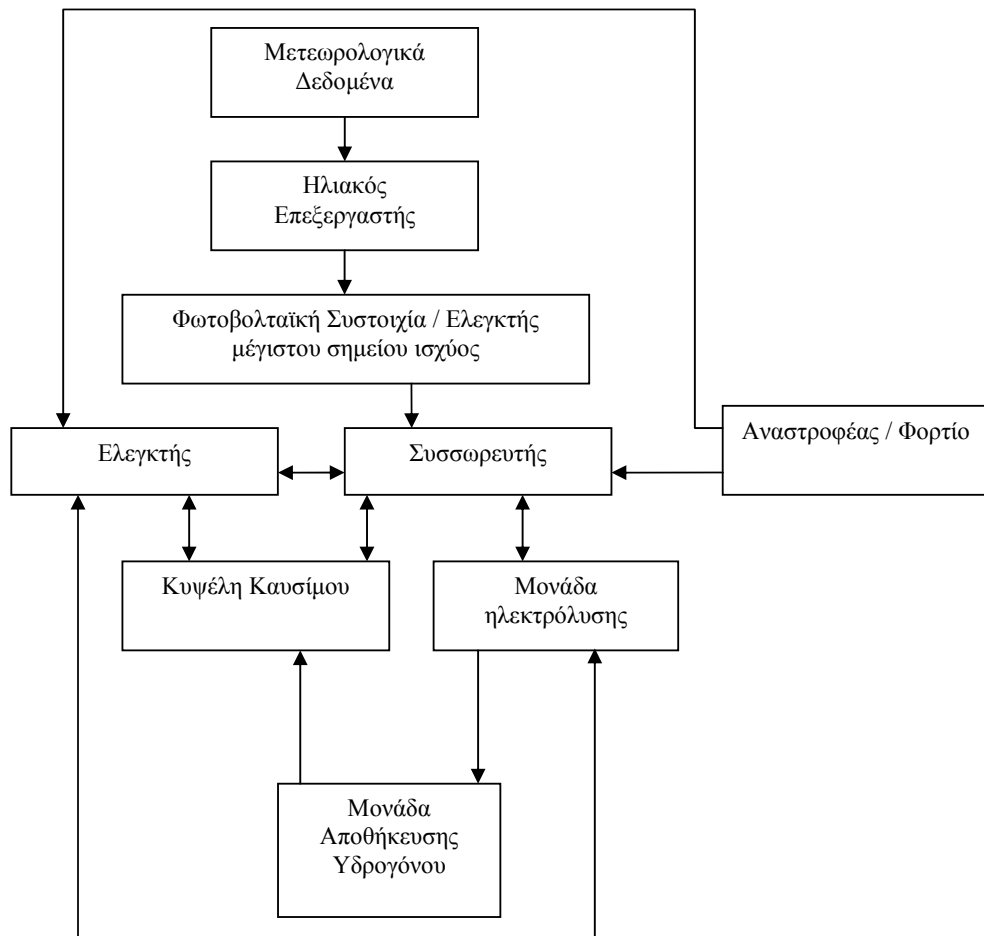
- Χρησιμοποιήθηκαν πάνελ πυριτίου Solarex MSX-30, 280 σε σύνολο. Η φωτοβολταϊκή συστοιχία είναι συνδεδεμένη με έναν ελεγκτή μέγιστου σημείου ισχύος με απόδοση ίση με 98%
- Κυψέλη καυσίμου τεχνολογίας PEM ονομαστικής ισχύος 1650 W με ενσωματωμένο μετατροπέα συνεχούς ρεύματος και συνολικής ονομαστικής απόδοσης 40 %.
- Μονάδα ηλεκτρόλυσης τεχνολογίας PEM ονομαστικής ισχύος 5000 W με ενσωματωμένο μετατροπέα συνεχούς ρεύματος και συνολικής απόδοσης 60%.
- Μονάδα αποθήκευσης υδρογόνου αποτελούμενη από δοχεία μεταλλοϋδριδίων χωρητικότητας 50 Nm³ H₂.
- 12 συσσωρευτές 150 Ah με τάση 2 V συνδεδεμένοι σε σειρά. Η ύπαρξη του μικρού συσσωρευτή αποσκοπεί στην προστασία του συστήματος, καθώς και για την εξομάλυνση των φορτίων λόγω της μικρής χρονικής καθυστέρησης που παρατηρείται κατά την εκκίνηση των ηλεκτροχημικών εξαρτημάτων του συστήματος.
- Ελεγκτής ο οποίος έχει σχεδιαστεί με λογική ακολουθίας του φορτίου, που όμως ταυτόχρονα σε κάθε χρονικό βήμα ελέγχει την κατάσταση του συστήματος μέσω του σημείου φόρτισης του συσσωρευτή προστατεύοντας τον από βαθιές εκφορτίσεις και αποτρέποντας την άσκοπη εκκίνηση των ηλεκτροχημικών συσκευών.

2.3 Προσομοίωση με το TRNSYS

Και για τα δύο συστήματα χρησιμοποιήθηκαν ωριαία μετεωρολογικά στοιχεία από την περιοχή της Αθήνας. Πιο συγκεκριμένα τα στοιχεία αυτά είναι η άμεση ηλιακή ακτινοβολία, η ολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο και η θερμοκρασία ξηρού βολβού. Τα δεδομένα αυτά καλύπτουν ένα ημερολογιακό έτος. Αυτά τα δεδομένα και μέσω της υπορουτίνας του ηλιακού επεξεργαστή (Type 16) τροφοδοτήθηκαν στην υπορουτίνα των φωτοβολταϊκών (Type 94). Ο ηλιακός επεξεργαστής υπολογίζει ηλιακά δεδομένα για χρονικά βήματα μικρότερα της μιας ώρας και για διάφορες γωνίες πρόπτωσης. Τα φωτοβολταϊκά είναι συνδεδεμένα στο συσσωρευτή (Type 47) μέσω ενός ελεγκτή μέγιστου σημείου ισχύος και σε κλίση ίση με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής. Γράφηκε υπορουτίνα προσομοίωσης του ελεγκτή μέγιστου σημείου ισχύος, όπως επίσης γράφηκαν υπορουτίνες σε Fortran για την ενεργειακή προσομοίωση των ηλεκτροχημικών υποσυστημάτων - της κυψέλης καυσίμου και της μονάδας ηλεκτρόλυσης. Επίσης γράφηκαν και ενσωματώθηκαν στο TRNSYS υπορουτίνες για την προσομοίωση των δοχείων μεταλλοϋδριδίων (με την παραδοχή ότι η διαδικασία φόρτισης-εκφόρτισης των δεν έχει απώλειες) και υπορουτίνα για τον ελεγκτή του συστήματος. Στις εικόνες 1 και 2 φαίνεται σχηματικά το διάγραμμα ροής του TRNSYS για τα 2 συστήματα αντίστοιχα⁵.



Εικόνα 1. Διάγραμμα ροής του TRNSYS για το 1^ο σύστημα



Εικόνα 2. Διάγραμμα ροής του TRNSYS για το 2^ο σύστημα

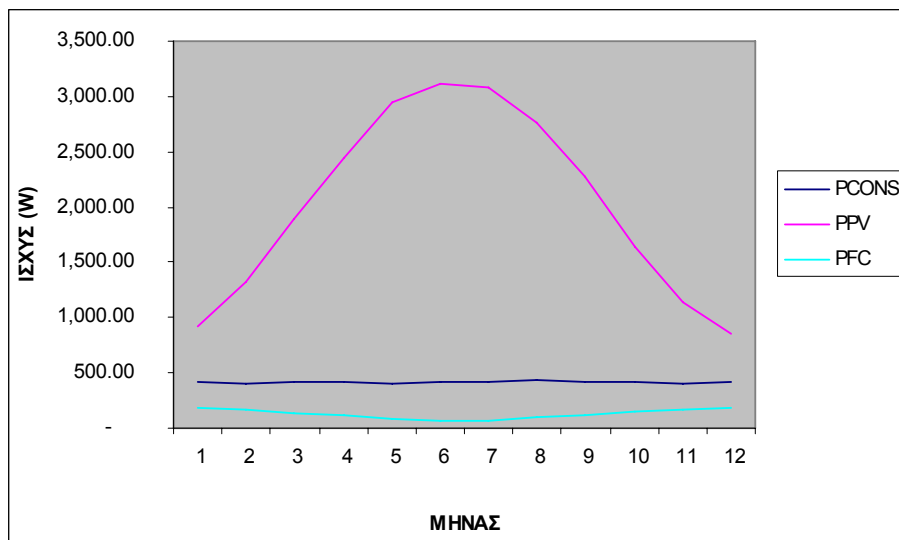
Για την προσομοίωση χρησιμοποιήθηκαν τυπικές καταναλώσεις ηλεκτρικού ρεύματος μιας κατοικίας. Η μέση κατανάλωση κατά τη διάρκεια του έτους ήταν 440 W, η μέγιστη κατανάλωση 1734 W και η ελάχιστη 35 W. Το σύστημα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι συνδεδεμένο με το δίκτυο της κατοικίας μέσω ενός αναστροφέα με ονομαστική απόδοση ίση με 95%. Σε κάθε περίπτωση υπήρχε σαν απαίτηση από το κάθε σύστημα η μηδενική έλλειψη ηλεκτρικής ενέργειας σε όλη τη διάρκεια του έτους. Επίσης θεωρήσαμε ότι η κατάσταση φόρτισης των συσσωρευτών στην εκκίνηση της

προσομοίωσης την 1^η Ιανουαρίου ήταν 100 % και ότι υπήρχαν αποθηκευμένα 17 Nm³ H₂ στα δοχεία μεταλλοϋδριδίων.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

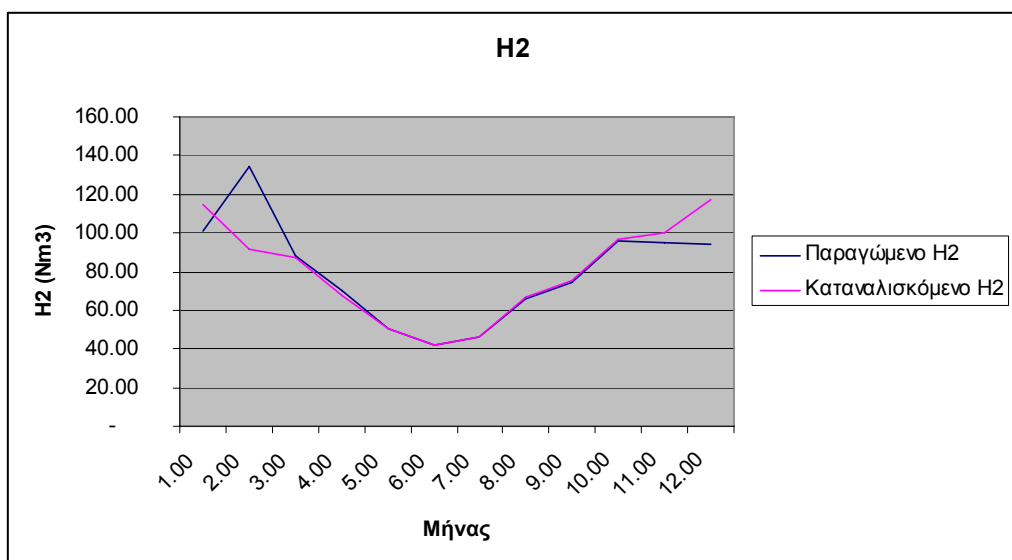
Ο σκοπός των δύο συστημάτων ήταν να καλύψουν στο 100% τις ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια μιας κατοικίας. Από τα αποτελέσματα βλέπουμε πως και τα δυο συστήματα μπορούν να ανταπεξέλθουν σε αυτό σκοπό. Επίσης βλέπουμε πως και οι συσσωρευτές και των δύο συστημάτων δεν υφίστανται βαθιά εκφόρτιση σε καμία χρονική στιγμή κατά τη διάρκεια του έτους. Πιο συγκεκριμένα στο πρώτο σύστημα η κατάσταση φόρτισης του συσσωρευτή παίρνει χαμηλότερη τιμή ίση με 0.36 %, ενώ για το δεύτερο 0.27 %. Ο μέσος όρος για το πρώτο σύστημα είναι 0.91 %, ενώ για το δεύτερο 0.69 %. Η διατήρηση της κατάστασης φόρτισης του συσσωρευτή σε υψηλά επίπεδα έχει ως αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη διάρκεια ζωής του συσσωρευτή.

Στην Εικόνα 1 βλέπουμε ένα διάγραμμα με την ισχύ κατανάλωσης, την ισχύ που παράγει η φωτοβολταϊκή συστοιχία και την ισχύ που παράγει η κυψέλη καυσίμου όσο αφορά το δεύτερο σύστημα.

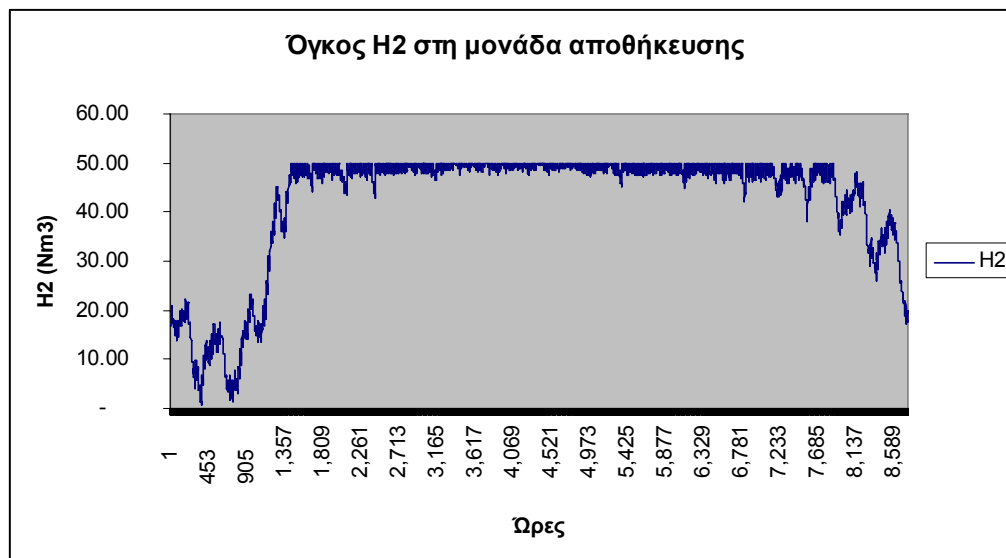


Εικόνα 1 Διάγραμμα Ηλεκτρικής ισχύος

Ενδιαφέρον είναι να εξετάσουμε τον τρόπο λειτουργίας του δεύτερου συστήματος. Στο διάγραμμα της εικόνας 2 βλέπουμε την παραγωγή και την κατανάλωση υδρογόνου από το σύστημα, ενώ στις εικόνας 3 το υδρογόνο που είναι αποθηκευμένο στη μονάδα αποθήκευσης. Όπως βλέπουμε στην ουσία έλλειμμα υδρογόνου έχουμε μόνο τους χειμερινούς μήνες. Αυτό το έλλειμμα καλύπτεται ήδη από τους πρώτους μήνες της άνοιξης και σε ημερησία βάση η μονάδα αποθήκευσης είναι γεμάτη. Στα παρακάτω διαγράμματα θα δούμε τη διακύμανση των καταναλώσεων του υδρογόνου σε ημερήσια βάση. Η εποχιακή αποθήκευση στην ουσία λαμβάνει χώρα το καλοκαίρι και έρχεται να καλύψει τις ανάγκες τις περιόδου που ξεκινά μέσα Οκτώβρη και τελειώνει αρχές Μάρτη.

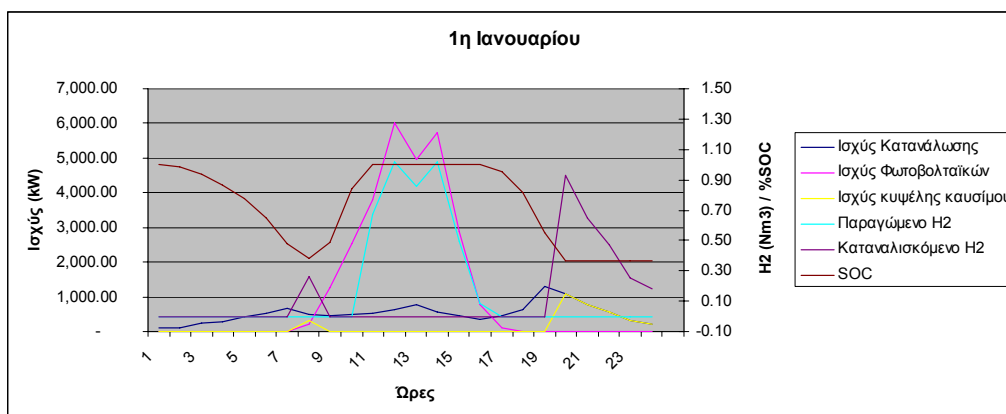


Εικόνα 2 Παραγωγή & Κατανάλωση H₂

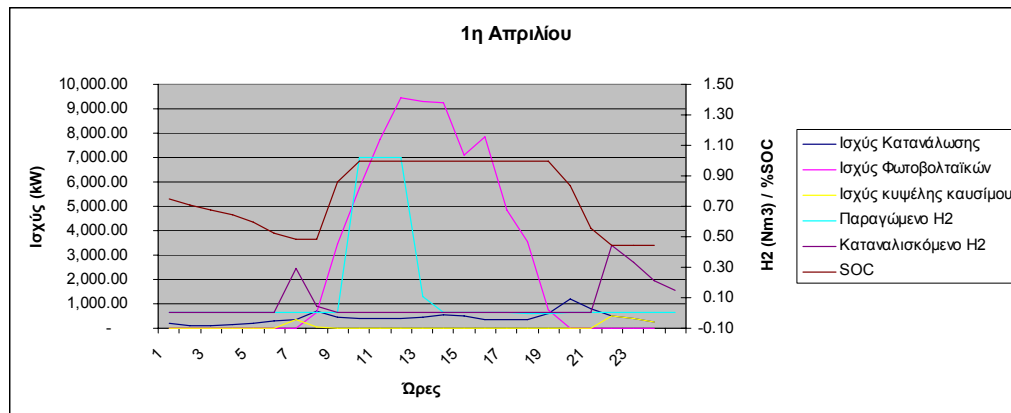


Εικόνα 3 Όγκος H₂ στη μονάδα αποθήκευσης

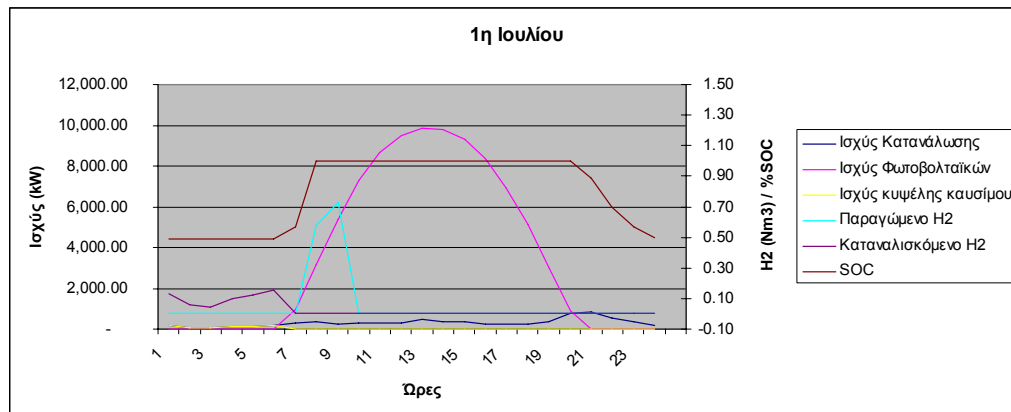
Στις εικόνες 4, 5, 6 και 7 βλέπουμε τις ημερήσιες καταναλώσεις σε ισχύ και σε υδρογόνο, καθώς και την κατάσταση φόρτισης του συσσωρευτή του δευτέρου συστήματος για την πρώτη μέρα του μεσαίου μήνα κάθε εποχής.



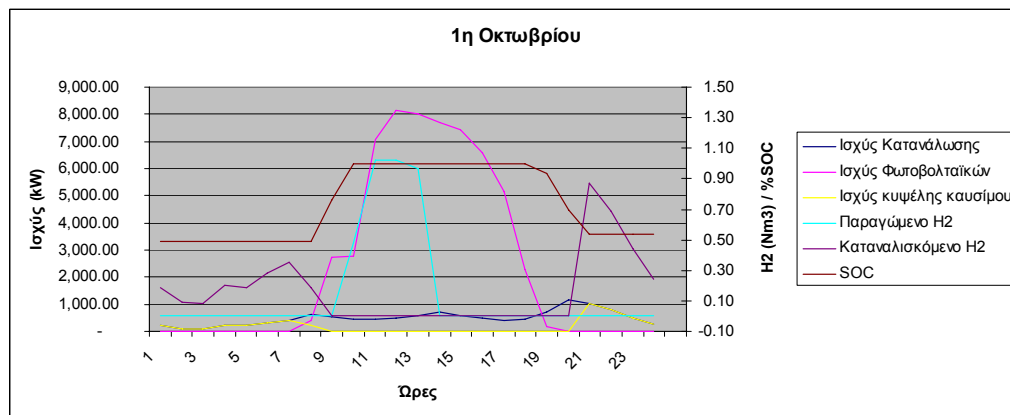
Εικόνα 4 Κατάσταση συστήματος την 1 Ιανουαρίου



Εικόνα 5 Κατάσταση συστήματος την 1 Απριλίου



Εικόνα 6 Κατάσταση συστήματος την 1 Ιουλίου



Εικόνα 7 Κατάσταση συστήματος την 1 Οκτωβρίου

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

- Οι μεγάλης χωρητικότητας συσσωρευτές μπορούν να αντικατασταθούν από υποσύστημα υδρογόνου
- Η εποχιακή αποθήκευση της ενέργειας σε υδρογόνο είναι τεχνικά εφικτή
- Ο συνδυασμός του μεγέθους της μονάδας ηλεκτρόλυσης και του μεγέθους της μονάδας αποθήκευσης του υδρογόνου εξαρτώνται από το προφίλ του φορτίου κατανάλωσης σε ημερήσια και εποχιακή βάση
- Η αρθρωτή δομή του TRNSYS και η δυνατότητα συγγραφής νέων υπορουτίνων έκανε εύκολη την προσομοίωση των πραγματικών παραμέτρων του συστήματος.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. P.C. Ghosh , B. Emonts, D. Stolten “Comparison of hydrogen storage with diesel-generator system in a PV–WEC hybrid system” Solar Energy 2003, Article in Press
2. Kodjo Agbossou, Mohan Lal Kolhe, Jean Hamelin, Etienne Bernier, Tapan K. Bose “Electrolytic hydrogen based renewable energy system with oxygen recovery and re-utilization”, Renewable Energy 29, 1305-1318
3. S.E.L., “TRNSYS Manual”

4. Κυριακαράκος Γ. “Τεχνική ανάλυση και σύγκριση δυο φωτοβολταϊκών συστημάτων άντλησης νερού μέσω μαθηματικής-φυσικής προσομοίωσης”, 2003, Πτυχιακή Μελέτη, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
5. Oystein Ulleberg “The importance of control strategies in PV–hydrogen systems”, Solar Energy 76, 323-329

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΝΟΣ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΠΟ
ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ ΚΑΙ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΠΟΥ ΤΡΟΦΟΔΟΤΕΙ
ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΩΣΜΩΣΗΣ**

***Essam Sh. Mohamed¹, Γ. Παπαδάκης¹, Ε. Μαθιουλάκης² και Β. Μπελεσιώτης²**

¹Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής
75 Ιερά Οδός 118 55 Αθήνα, *e-mail: esamsh@aau.gr Τηλ. 210 529 4046,
Fax. 210 594023

²Εργαστήριο Ηλιακών & Ενεργειακών Συστημάτων Εθνικό Κέντρο Έρευνας Φυσικών Επιστημών -
ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος – 15310 Αγ. Παρασκευή

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία παρουσιάζει την πειραματική διερεύνηση ενός αυτόνομου συστήματος αφαλάτωσης θαλασσινού νερού με την τεχνολογία της αντίστροφης ώσμωσης, που τροφοδοτείται με ηλεκτρική ενέργεια παραγόμενη από ανεμογεννήτρια (Α/Γ) και φωτοβολταϊκά (Φ/Β). Το σύστημα αυτό είναι εγκαταστημένο στο Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών. Η παραγωγικότητα της μονάδα αφαλάτωσης είναι 2.2 m³/day εξοπλισμένη με σύστημα ανάκτησης της υδραυλικής ενέργειας της άλμης για εξοικονόμηση ενέργειας και μείωση της εγκαταστημένης ισχύος.

**THEORETICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF
AN AUTONOMOUS REVERSE OSMOSIS DESALINATION
SYSTEM POWERED BY WIND TURBINE AND
PHOTOVOLTAICS**

***Essam Sh. Mohamed¹, Γ. Παπαδάκης¹, Ε. Μαθιουλάκης² και Β. Μπελεσιώτης²**

Essam Sh. Mohamed^{1*}, G. Papadakis¹, E. Mathioulakis² and V. Belessiotis², ¹Agricultural University of Athens,
Faculty of Natural Resources and Agricultural Engineering, 75 Iera Odos, Street, GR 11855 Athens, Greece

²NCSR“Demokritos”, Laboratory of Solar and Other Energy Systems, 153-10 Aghia Paraskevi Attikis,
Greece *e. mail esamsh@aau.gr

ABSTRACT

This paper presents a design, simulation and preliminary experimental results of a stand alone hybrid wind-photovoltaic system powering a reverse osmosis (RO) desalination unit with an energy recovery system of Clark pump type. This system is installed at the Agricultural University of Athens.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Πολλές νησιωτικές και παράκτιες περιοχές υποφέρουν από έλλειψη νερού ή το υπάρχον νερό είναι υποβαθμισμένης ποιότητας (υφάλμυρο). Ταυτόχρονα, στις περισσότερες νησιωτικές περιοχές το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι υψηλό και αυτό έχει ως αποτέλεσμα η παραγωγή φρέσκου νερού μέσω αφαλάτωσης να έχει επίσης υψηλό κόστος. Όμως στις περισσότερες νησιωτικές περιοχές υπάρχει υψηλό ηλιακό και αιολικό δυναμικό ώστε να προσφέρεται η δυνατότητα συνδυασμού τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) με συστήματα αφαλάτωσης για την παραγωγή φρέσκου νερού. Η λύση αυτή είναι σήμερα τεχνικά και οικονομικά εφικτή αλλά και περιβαλλοντικά αποδεκτή.

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε αυτόνομους σταθμούς, μπορεί να στηρίζεται στη συνεργασία ηλεκτρικών πηγών διαφόρου είδους, όπου η μια πηγή να δρα συμπληρωματικά προς την άλλη, ώστε να μειώνεται το συνολικό κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας του συστήματος. Οι σταθμοί αυτού του τύπου ονομάζονται «υβριδικοί», αφού αποτελούνται από τμήματα διαφορετικών τεχνολογιών. Ειδικότερα, στα αυτόνομα υβριδικά φωτοβολταϊκά συστήματα, η συνεργασία της Φ/Β γεννήτριας γίνεται συνήθως με ηλεκτροπαραγωγή ζεύγη ντίζελ ή με ανεμογεννήτριες ή και με τα δύο.

Συχνά, η οικονομική σύγκριση του κόστους εγκατάστασης και λειτουργίας ενός υβριδικού σε σχέση με το αντίστοιχο καθαρά φωτοβολταϊκό σύστημα, είναι θετική υπέρ του υβριδικού συστήματος [1].

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται η προσομοίωση λειτουργίας ενός υβριδικού συστήματος ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) που αποτελείται από ανεμογεννήτρια και φωτοβολταϊκά. Το υβριδικό σύστημα καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες ενός συστήματος αφαλάτωσης αντίστροφης ώσμωσης με ανάκτηση ενέργειας. Επίσης παρουσιάζονται τα πρώτα αποτελέσματα από την δοκιμή του συστήματος της αφαλάτωσης.

2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

2.1 Περιγραφή του υβριδικού συστήματος

Το υβριδικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αποτελείται από μία ανεμογεννήτρια (Α/Γ) 1 kW και 845 Wp φωτοβολταϊκά πλαίσια (Φ/Β). Η ανεμογεννήτρια και τα φωτοβολταϊκά πλαίσια είναι συνδεδεμένα παράλληλα με τους συσσωρευτές μέσου των ρυθμιστών φόρτωσης, ένας για την ανεμογεννήτρια που είναι και ανορθωτής της ισχύς και ένας για τα Φ/Β πλαίσια. Η αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας επιτυγχάνεται με τη χρήση ηλιακών συσσωρευτών βαθιάς εκφόρτωσης χωρητικότητας 315 Ah (βλ. Πίνακα 1).

4	<i>Ανεμογεννήτρια</i>	Whisper H-80
	Διάμετρος πτερυγίου	3 m
	Αριθμός πτερυγίων	3
	Ταχύτητα έναρξης λειτουργίας	3.1 m/s
	Μέγιστη ισχύ	1 kW
	Ύψος ιστού	6 m
	Γεννήτρια	3 Φ μεταβλητή συχνότητα και στροφές
	<i>Φωτοβολταϊκά πλαίσια</i>	Arco Solar
	Μέγιστη ισχύ	47 Wp
	Ρεύμα μέγιστης ισχύς	3.3 A
	Τάση σημείου μέγιστης ισχύς	14.2 V
	Ρεύμα βραχυκυκλώματος	3.9 A
	Τάση ανοιχτού κυκλώματος	22 V
	Αριθμός πλαισίων σε σειρά	9
	Αριθμός πλαισίων παράλληλα	2
	<i>Συσσωρευτές</i>	FIAMM TMHD 425/3
	Χωρητικότητα	315 Ah
	Τάση ενός στοιχείου	2 V
	Αριθμός στοιχείων σε σειρά	12
	Αριθμός παράλληλων στοιχείων	1

Πίνακα 1: Τεχνικά χαρακτηριστικά του υβριδικού συστήματος

2.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

Η μονάδα αφαλάτωσης αποτελείται από:

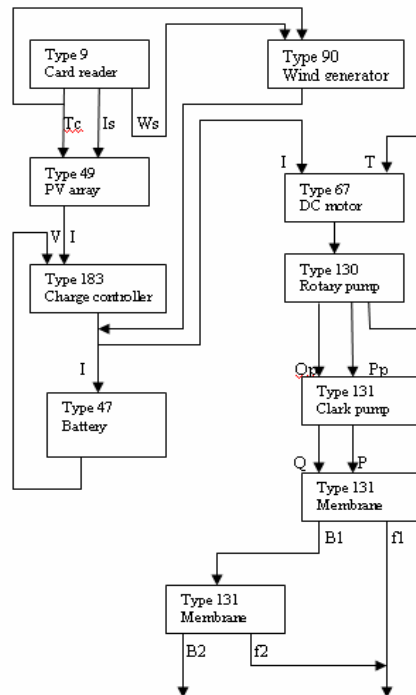
Δεξαμενή τροφοδοσίας, η οποία είναι κατασκευασμένη από μαύρο πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας, χωρητικότητας 1 m^3 . Στη δεξαμενή αυτή παρασκευάζεται η επιθυμητή αλατότητα του νερού τροφοδοσίας στη μονάδα αφαλάτωσης διαλύοντας χλωριούχο νάτριο σε νερό του δικτύου της πόλης.

Σύστημα προεπεξεργασίας του νερού τροφοδοσίας που αποτελείται από δύο διαδοχικά

3. ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Ο σχεδιασμός και η εξομοίωση του υβριδικού συστήματος, καθώς και του συστήματος της αφαλάτωσης έγινε με την χρήση του προγράμματος TRNSYS 15. Το TRNSYS είναι ένα πρόγραμμα δυναμικής προσομοίωσης ενεργειακών συστημάτων με αρθρωτή μορφή. Το TRNSYS βασίζεται στην αρθρωτή του δομή για να λύνει μεγάλα συστήματα εξισώσεων που περιγράφονται από υποπρογράμματα γραμμένους σε FORTRAN. Κάθε υποπρόγραμμα της FORTRAN περιέχει ένα μοντέλο για ένα κομμάτι του συστήματος. Η μηχανή επίλυσης του TRNSYS καλεί τα υποπρογράμματα που αναφέρονται στο αρχείο εισόδου και προσπαθεί να βρει λύση για κάθε χρονικό βήμα. Οι συνδέσεις που μπορεί να έχουν τα διάφορα υποπρογράμματα είναι πολλές δίνοντας πολύ μεγάλη ελευθερία στο χρήστη. Επίσης ένα ακόμα χαρακτηριστικό που κάνει το πρόγραμμα τρομερά ευέλικτο είναι η δυνατότητα που δίνει στο χρήστη να γράψει ένα δικό του υποπρόγραμμα σε FORTRAN και να το ενσωματώσει στο TRNSYS [4].

Τα καινούρια υποπρογράμματα τα οποία έχουν συνδεθεί με το TRNSYS είναι το υποπρόγραμμα της μεμβράνης, της αντλίας και του συστήματος ανάκτηση της υδραυλικής ενέργειας της άλμης (Clark Pump) που αντικαθιστά την αντλία ψηλής πίεσης στο σύστημα αντίστροφης όσμωσης. Στο Σχήμα 2 φαίνεται το διάγραμμα ροής του προγράμματος [5].



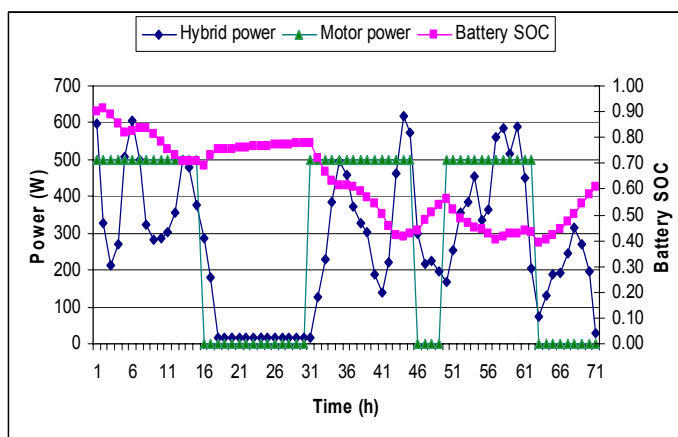
Σχήμα 2: Διάγραμμα ροής του TRNSY 15

3.1 Αποτελέσματα προσομοίωσης

Σύμφωνα με τα μετεωρολογικά δεδομένα της Αθήνας του 1985, ο Ιανουάριος έχει την χαμηλότερη τιμή ηλιακής ακτινοβολίας και ο Ιούλιος την υψηλότερη τιμή, για το λόγο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα προσομοίωσης του συστήματος στους μήνες Ιανουάριο και Ιούλιο.

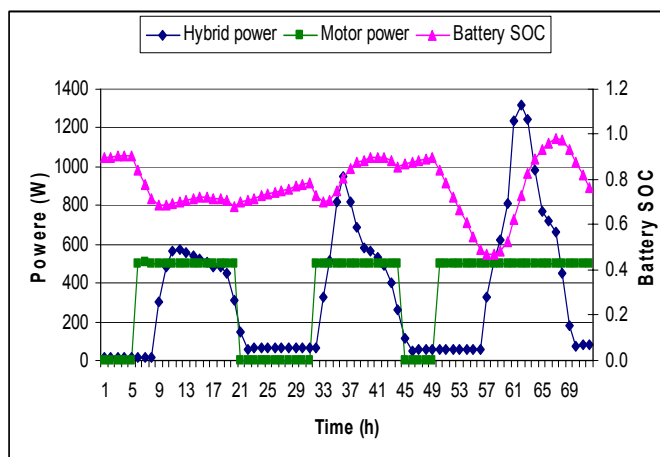
Ο στόχος της προσομοίωσης είναι η κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του συστήματος αφαλάτωσης με υπαρκτή ικανοποιητικής κατάστασης φόρτωσης των συσσωρευτών.

Στο Σχήμα 3 παρουσιάζεται η συμπεριφορά του συστήματος τον μήνα Ιανουάριο. Το σύστημα της αντίστροφης όσμωσης λειτουργεί 12 ώρες/ ημέρα παράγοντας περίπου 1.3 m³/d, με ειδική κατανάλωση ενέργειας 5.5 kWh/m³ διατηρώντας την κατάσταση φόρτωσης της μπαταρίας πάνω από 40%.



Σχήμα 3 : Προσομοίωση του συστήματος τον μήνα Ιανουάριο

Το μήνα Ιούλιο το σύστημα της αντίστροφης όσμωσης λειτουργεί 15 ώρες/ ημέρα παράγοντας περίπου 1.8 m³/d, με ειδική κατανάλωση ενέργειας 4 kWh/m³ διατηρώντας την κατάσταση φόρτωσης της μπαταρίας πάνω από 40%. Η μείωση στην ειδική κατανάλωση ενέργειας οφείλεται στην αύξηση της θερμοκρασίας του νερού και εκεί ως αποτέλεσμα τη μείωση της καταναλισκόμενης ισχύος ανά παραγόμενο κυβικό νερού (βλ. Σχήμα 4).



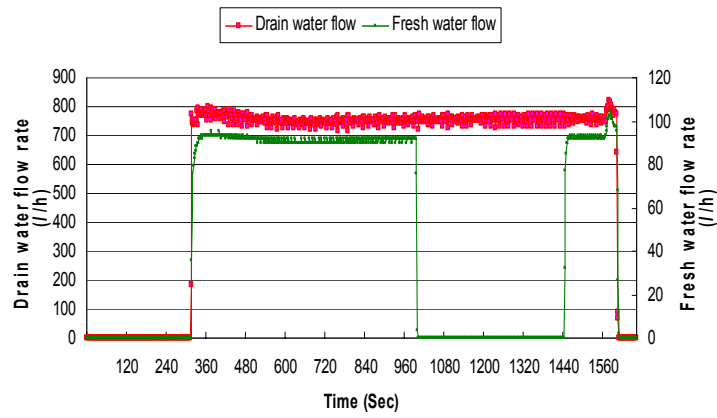
Σχήμα 4 : Προσομοίωση του συστήματος τον μήνα Ιούλιο

4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

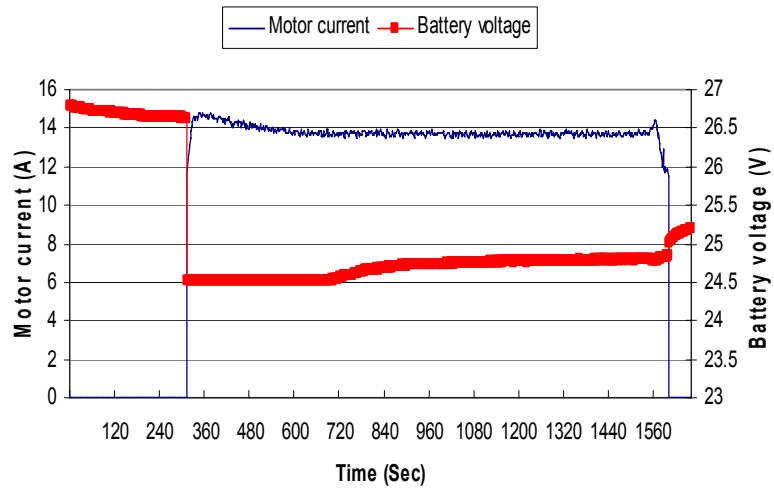
Οι παράμετροι οι οποί καταγράφηκαν στο σύστημα είναι :

- Παροχή του φρέσκου νερού και της άλμης
- Πίεση εισόδου και εξόδου της μεμβράνης
- Πίεση της αντλίας τροφοδοσίας
- Ρεύμα από τις συσσωρευτές
- Τάση συσσωρευτών
- Ηλεκτρική αγωγιμότητα του φρέσκου νερού και της άλμης

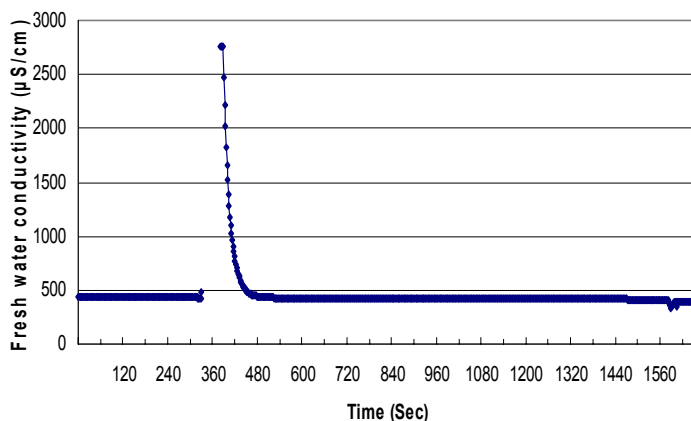
Η παροχή του φρέσκου νερού που καταγράφηκε την δεύτερη μέρα του Ιουνίου (βλ. Σχήμα 5), ήταν 92 l/h και το σύστημα λειτούργησε για 17 συνεχόμενες ώρες καταναλώνοντας 13.7 A ηλεκτρικό ρεύμα και 24.77 V (βλ. Σχήμα 6) τάση συσσωρευτή. Η ειδική κατανάλωση ενέργειας σε αυτό το μήνα ήταν 4.7 kWh/m³. Η ποιότητα του φρέσκου νερού ήταν λιγότερο από το επιτρεπτό όριο της αλατότητας του πόσιμου νερού της παγκόσμιας οργάνωσης υγείας που είναι περίπου 1000 μS/cm (βλ. Σχήμα 5) .



Σχήμα 5: Παροχή φρέσκου νερού και άλμης



Σχήμα 6 : Κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος και τάση



Σχήμα : 7 Ποιότητα του παραγόμενο νερό

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Τα υβριδικά συστήματα είναι μια λύση τεχνικά εφικτή και οικονομικά αποδεκτή για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των μικρών συστημάτων αφαλάτωσης.
- Η ανάκτηση της υδραυλικής απορριπτόμενης ενέργειας της άλμης είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες για τη μείωση της καταναλισκόμενης και της εγκαταστημένης ισχύς.
- Το υπολογιστικό πρόγραμμα TRNSYS 15 απεδείχθη κατάλληλο πρόγραμμα για το σχεδιασμό και προσομοίωση του δυναμικού ενεργειακού συστήματος .

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Καγκαράκη Κ. (1992) *Φωτοβολταϊκή τεχνολογία*, εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.
- [2] Spectra (2003). *Clark Pump Field Repair & Rebuild Manual*, 22/08/03, Spectra Watermakers, San Rafael, California. Also available at: <http://www.spectrawatermakers.com/documents/Repair3.pdf>
- [3] DOW (1995). *FILMTEC Membrane Elements - Technical Manual*, April 1995, Dow Liquid Separations. Also available at: http://www.dow.com/liquidseps/lit/down_lit.htm
- [4] TRNSYS, a transient system simulation program manual, solar energy laboratory, University of Wisconsin – Madison, February 2000, USA
- [5] Essam Sh. Mohamed and G. Papadakis, A TRNSYS dynamic simulation model for a stand alone pv system powering a reverse osmosis desalination unit with energy recovery systems. *In proceedings of the 19th photovoltaic solar energy conference and exhibition*, 7 – 11 June 2004 Paris, France.

ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΑΠΟ ΛΥΜΑΤΑ ΑΓΕΛΑΔΩΝ

Θ. Κωτσόπουλος, Δ. Βαφειάδης, Γ. Μαρτζόπουλος

Εργαστήριο Εναλλακτικών Ενεργειακών Πόρων στη Γεωργία
Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής
Σχολή Γεωπονίας Α.Π.Θ., 54006 Θεσσαλονίκη
Τηλ.: 2310998714, 6977602360 e-mail: mkotsop@agro.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το υδρογόνο είναι μια ιδανική, καθαρή και εναλλακτική πηγή ενέργειας με υψηλή ενεργειακή αξία 122kJ/g. Σήμερα, η παραγωγή του υδρογόνου γίνεται κυρίως από τα ορυκτά καύσιμα. Η αναερόβια επεξεργασία των ζωικών λυμάτων με παράλληλη παραγωγή υδρογόνου αποτελεί ένα πεδίο που χρήζει έρευνας. Στην παρούσα εργασία γίνεται λόγος των προοπτικών που υπάρχουν για παραγωγή υδρογόνου από ζωικά λύματα. Επιπλέον αναφέρονται χρήσιμα συμπεράσματα που προέκυψαν από πείραμα που έγινε με χρήση λυμάτων από αγελάδες.

PROSPECTS OF HYDROGEN PRODUCTION FROM CATTLE WASTES

Th. Kotsopoulos, D. Vafiadis, G. Martzopoulos

Laboratory of Alternative Energy Sources in Agriculture
Department of Hydraulics, Soil Sciences and Agricultural Engineering
School of Agriculture, Aristotle University, 54124 Thessaloniki
Tel: 2310998714, 6977602360 e-mail: mkotsop@agro.auth.gr

ABSTRACT

Hydrogen is an ideal, clean and alternative energy source with high energy value 122kJ/g. Today, the production of hydrogen is mainly done from fossil fuels. Anaerobic treatment of animal wastes with parallel production of hydrogen is an area which requires investigation. This work refers to the prospects which exist for hydrogen production from animal wastes. Furthermore useful conclusion are reported from the experiment which has been done with the use of cattle wastes.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ζωτικής σημασίας για την ευημερία και την οικονομική ανάπτυξη της κοινωνίας αποτελεί η επάρκεια ενέργειας. Σήμερα οι παγκόσμιες ανάγκες σε ενέργεια καλύπτονται από τα ορυκτά καύσιμα (περίπου 80% της παρούσας ενεργειακής ζήτησης)[1]. Αυτή η υπερβολική ζήτηση οδηγεί στην αύξηση της τιμής του πετρελαίου με επακόλουθο να δυσχεραίνεται η παγκόσμια οικονομία.

Η σημερινή εξάρτηση της παραγωγικής δραστηριότητας από τα ορυκτά καύσιμα, ως πρωταρχική πηγή ενέργειας επιδρά δυσμενώς στο περιβάλλον. Παγκόσμιες κλιματικές αλλαγές, υποβάθμιση του περιβάλλοντος, και προβλήματα υγείας είναι το αποτέλεσμα της χρήσης των ορυκτών καυσίμων [2].

Το υδρογόνο έχει χαρακτηριστεί από πολλούς ως το καύσιμο του μέλλοντος και όχι άδικα, εξαιτίας του ότι είναι καθαρό καύσιμο με υψηλή ενεργειακή απόδοση (122kJ/g)[3]. Είναι καθαρό, αποδοτικό καύσιμο και δεν παράγει τοξικά προϊόντα σε αντίθεση με τα άλλα ενεργειακά προϊόντα. (βλ. πίνακα 1) [4].

Πίνακας 1. Ποσότητες ρυπαντικού υλικού σε καυσάερια τεσσάρων τύπων καυσίμου						
Καύσιμο	Συγκέντρωση ρυπαντικού φορτίου στα καυσάερια (kg/kg καυσίμου)					
Τύπος	CO ₂	SO ₂	N _x O	Σκόνη και άκαυστο υλικό	H ₂ O	Pb(C ₂ H ₅) ₄
C	1,893	0,012	0,008	0,1	0,633	0
CH ₄	2,75	0,03	0,0075	0	2,154	0
C ₈ H ₁₇	3,09	0,01	0,0115	0,85	1,254	0,001
H ₂	0	0	0,016	0	7	0

Το υδρογόνο σήμερα παράγεται κυρίως από τα ορυκτά καύσιμα, από τη βιομάζα και το νερό χρησιμοποιώντας χημικές ή βιολογικές μεθόδους. Η βιολογική παραγωγή υδρογόνου υπερέχει των άλλων μεθόδων γιατί είναι περιβαλλοντικά φιλική και απαιτεί λιγότερη κατανάλωση ενέργειας [1]. Η παραγωγή του υδρογόνου από βιομάζα χρησιμοποιώντας βιολογικές μεθόδους είναι μια ενδιαφέρουσα νέα αναπτυσσόμενη τεχνολογία, η οποία προσδίδει τη δυνατότητα της χρήσης ποικίλων πρώτων υλών για παραγωγή ενέργειας, όπως τη χρήση των λυμάτων [3]. Οι βιολογικές μέθοδοι αποδίδουν ενέργεια και παράγουν χρήσιμες χημικές ουσίες καθώς επιτυγχάνουν ως ένα βαθμό να ελέγξουν τη ρύπανση του περιβάλλοντος [5]. Προς το παρόν έχει επιτευχθεί η παραγωγή υδρογόνου από οργανικά οικιακά λύματα καθώς και από λύματα βιομηχανιών τροφίμων[6][7]. Παραγωγή υδρογόνου από ζωικά λύματα δεν έχει ακόμη αναφερθεί.

Στην παρούσα εργασία γίνεται αναφορά στις δυνατότητες που υπάρχουν για παραγωγή υδρογόνου από ζωικά λύματα καθώς και στα συμπεράσματα που προέκυψαν από πείραμα που διεξήχθη χρησιμοποιώντας λύματα αγελάδων ως αρχικό μόλυσμα. Για τον λόγο αυτό η παρούσα έρευνα αποσκοπεί στο να διαφανούν τυχόν προοπτικές

παραγωγής υδρογόνου από τα ζωικά λύματα και γίνεται εκτενής αναφορά στην αναερόβια αποικοδόμηση για την παραγωγή.

1.1. Βιολογικές μέθοδοι παραγωγής υδρογόνου

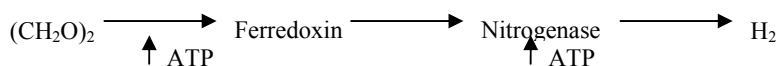
Οι βιολογικές μέθοδοι παραγωγής υδρογόνου μπορούν να ταξινομηθούν στις παρακάτω κατηγορίες[8]:

- Βιοφωτόλυση του νερού με χρήση φυκών και κυανοβακτηρίων.
- Φωτοδιάσπαση οργανικών ουσιών με φωτοσυνθετικά βακτήρια.
- Παραγωγή υδρογόνου με αναερόβια επεξεργασία οργανικών ουσιών.
- Υβριδικά συστήματα με χρήση φωτοσυνθετικών και ζυμωτικών βακτηρίων.

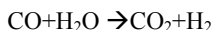
Η διαδικασία της βιοφωτόλυσης που γίνεται από τα φύκη είναι παρόμοια με αυτήν της φωτοσύνθεσης. Η βιοφωτόλυση περιλαμβάνει την απορρόφηση του φωτός από δύο εμφανή φωτοσυνθετικά συστήματα τα οποία λειτουργούν σε σειρά: η διάσπαση του νερού και η παραγωγή οξυγόνου (φωτοσύνστημα II, PSII) και ένα δεύτερο φωτοσύστημα (PSI), το οποίο λειτουργεί αναγωγικά για τη μείωση του CO₂. Σε αυτήν τη διπλή διαδικασία, δύο φωτόνια (ένα ανά φωτοσύστημα) χρησιμοποιούνται για κάθε απομάκρυνση ηλεκτρονίου από το νερό και γίνεται μείωση του CO₂ ή παράγεται υδρογόνο. Στα φυτά μόνο μείωση του διοξειδίου του άνθρακα λαμβάνει χώρα διότι το ένζυμο που καταλύει το σχηματισμό υδρογόνου (υδρογενάση) απουσιάζει[9]. Ο ρυθμός παραγωγής του υδρογόνου με τη βιοφωτόλυση είναι χαμηλός, και εκτός αυτού μικρές ποσότητες οξυγόνου που παράγονται επιδρούν δυσμενώς στην υδρογενάση.

Τα κυανοβακτήρια είναι γνωστό ότι διασπούν το νερό, παρουσία φωτός, σε υδρογόνο και οξυγόνο σε αντιδράσεις που περιλαμβάνουν τη νιτρογενάση και την υδρογενάση. Στη διαδικασία αυτή όπως και στην προηγούμενη το οξυγόνο που παράγεται αναστέλλει τη δράση της υδρογενάσης.

Η φωτοδιάσπαση των οργανικών ουσιών για παραγωγή H₂ γίνεται με την παρακάτω γενική εξίσωση :



Το μονοξείδιο του άνθρακα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και αυτό από τα φωτοσυνθετικά βακτήρια ως ακολούθως[10] :



Τα πλεονεκτήματα της διαδικασίας αυτής είναι: α) η υψηλή θεωρητική απόδοση, β) η ικανότητα χρήσης μεγάλου εύρους φάσματος φωτός, γ) η ικανότητα χρήσης οργανικής ουσίας που περιέχεται στα λύματα και δ) η έλλειψη παραγωγής οξυγόνου, το οποίο αναστέλλει διάφορα βιολογικά συστήματα.

Η παραγωγή υδρογόνου κατά τη διαδικασία της αναερόβιας αποικοδόμησης των οργανικών ουσιών φαίνεται να υπερέχει έναντι των προηγούμενων βιολογικών διεργασιών διότι[1]:

- Τα ζυμωτικά βακτήρια εμφανίζουν πολύ υψηλή παραγωγή υδρογόνου.
- Υπάρχει σταθερή παραγωγή υδρογόνου κατά τη διάρκεια της ημέρας όσο και της νύχτας.
- Ο ρυθμός αύξησης των βακτηρίων είναι υψηλός άρα υπάρχει η δυνατότητα επεξεργασίας μεγάλου όγκου λυμάτων.

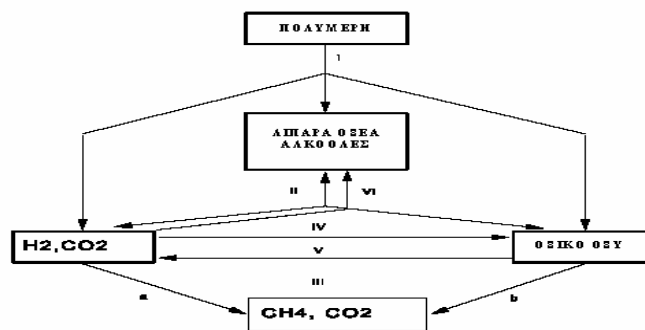
Γι' αυτούς τους λόγους η αναερόβια διάσπαση των οργανικών ουσιών πλεονεκτεί έναντι των φωτοχημικών διαδικασιών παραγωγής υδρογόνου. Τα υβριδικά συστήματα είναι συστήματα που χρησιμοποιούν συνδυασμό των παραπάνω μεθόδων.

1.2. Αναερόβια αποικοδόμηση

Το γενικό μοντέλο που περιγράφει την αποσύνθεση της οργανικής ουσίας (πολυμερή όπως υδρογονάνθρακες, πρωτεΐνες, και λίπη) κάτω από αναερόβιες συνθήκες λειτουργεί με τρεις κυρίως ομάδες βακτηρίων, τα οποία δουλεύοντας συνδυαστικά μετασχηματίζουν την οργανική ουσία σε μεθάνιο, διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Στο σχήμα 1 διακρίνονται τα στάδια της αναερόβιας βιοαποικοδόμησης [11]. Τα ζυμωτικά βακτήρια (ομάδα I) υδρολύουν με τη βοήθεια εξωκυτταρικών ενζύμων τα πολυμερή σε oligομερή και μονομερή.

Οι αλκοόλες και τα λιπαρά οξέα οξειδώνονται με τη βοήθεια βακτηρίων (ομάδα II) και σχηματίζουν οξικό οξύ και μυρμηκικό οξύ με παράλληλη παραγωγή υδρογόνου και CO_2 . Τα ενδιάμεσα προϊόντα που δημιουργήθηκαν με τη βοήθεια των βακτηρίων των ομάδων I και II μετασχηματίζονται σε μεθάνιο με τη βοήθεια των μεθανογενών βακτηρίων (ομάδα III, περιλαμβάνει τα βακτήρια που καταναλώνουν το υδρογόνο (a) καθώς και τα βακτήρια που καταναλώνουν το οξικό οξύ (b) για την παραγωγή μεθανίου).

Τα τρία στάδια της αναερόβιας αποικοδόμησης όπως αναλύθηκαν, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να δοθεί μια γενική εικόνα σχετικά με τη διαδικασία. Το μοντέλο που περιγράφει καλύτερα τη βιοαποικοδόμηση περιλαμβάνει και άλλες ομάδες βακτηρίων οι οποίες διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην όλη διαδικασία.



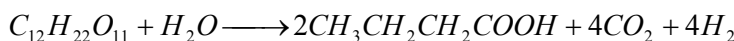
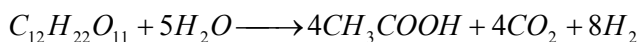
Σχήμα 1. Μοντέλο αναερόβιας αποικοδόμησης

Τα βακτήρια της ομάδας (IV) (homoacetogenic bacteria) χρησιμοποιούν το υδρογόνο για τη δημιουργία του οξικού οξέος. Μια ειδική υποκατηγορία της προηγούμενης ομάδας, που αντιστρέφει όμως τη διαδικασία, είναι τα βακτήρια που οξειδώνουν το οξικό οξύ σε υδρογόνο, διαδικασία (V).

Η ομάδα (VI) περιλαμβάνει βακτήρια τα οποία είναι ικανά να αντιστρέψουν τη διαδικασία που προκαλούν τα βακτήρια της ομάδας (II).

Επομένως κατά την αναερόβια αποικοδόμηση παράγεται υδρογόνο το οποίο όμως καταναλώνεται ραγδαίως για την παραγωγή είτε μεθανίου είτε οξικού οξέος. Η κύρια οδός μέσω της οποίας καταναλώνεται κυρίως το υδρογόνο είναι η μεθανογένεση. Εάν βρεθεί τρόπος να σταματήσουν οι διαδικασίες κατανάλωσης του υδρογόνου, το υδρογόνο που παράγεται θα απελευθερωθεί.

Το υδρογόνο παράγεται κυρίως κατά το στάδιο της παραγωγής των κατώτερων λιπαρών οξέων όπως οξικό οξύ καθώς και βουτυρικό οξύ σύμφωνα με τις παρακάτω αντιδράσεις[12]:



Τα τελευταία έτη κάποιοι ερευνητές πέτυχαν την παραγωγή υδρογόνου από απόβλητα βιομηχανίας τροφίμων [7], και από οικιακά λύματα [13] μειώνοντας τον υδραυλικό χρόνο συγκράτησης των αποβλήτων (HRT) σε επίπεδα της μισής ώρα με μία. Μια άλλη παράμετρος που χρησιμοποιήθηκε για να διακοπεί η μεθανογένεση και να παραχθεί υδρογόνο ήταν το pH το οποίο κυμάνθηκε σε πολύ όξινο περιβάλλον[14]. Οι δύο παραπάνω τρόποι αποσκοπούσαν στο να διακοπεί η μεθανογένεση δεδομένου ότι τα μεθανογενή βακτήρια αναπτύσσονται σε ουδέτερο περιβάλλον και απαιτούν μεγαλύτερο χρόνο ανάπτυξης σε σχέση με τα οξεογενή βακτήρια. Η παραγωγή υδρογόνου από ζωικά απόβλητα δεν έχει ακόμη επιτευχθεί διότι δεν έχει βρεθεί μέθοδος διακοπής της διαδικασίας μεθανογένεσης σε αυτά.

Η παραγωγή του μεθανίου σε θερμοκρασία 70°C είναι δύσκολη [15][16][17]. Επομένως ένας τρόπος που πιθανόν να βοηθάει στην παραγωγή του υδρογόνου είναι η χρήση αυτής της θερμοκρασίας. Στο πείραμα που έγινε, χρησιμοποιήθηκε η θερμοκρασία αυτή και βγήκαν κάποια χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με την παραγωγή υδρογόνου από λύματα αγελάδων.

2. ΥΛΙΚΑ – ΜΕΘΟΔΟΙ

Στην έρευνα που πραγματοποιήθηκε δοκιμάστηκαν λύματα αγελάδων τα οποία πάρθηκαν από αντιδραστήρα συνεχούς ανάδευσης (CSTR: Continuously Stirred Tank Reactor) ο οποίος λειτουργούσε στη θερμοφιλή ζώνη στους 55°C για παραγωγή μεθανίου. Τα λύματα τοποθετήθηκαν μετέπειτα σε αντιδραστήρα ανοδικής ροής λυμάτων διαμέσου αναερόβιας στρώσης λάσπης (UASB: Upflow Anaerobic Sludge

Blanket Reactor) που λειτουργούσε σε θερμοκρασία 70°C. Μέσα στον αντιδραστήρα αυτόν τοποθετήθηκαν 110ml διαλύματος (βασικό διάλυμα ανάπτυξης αναερόβιων βακτηρίων) το οποίο περιείχε την πιο κάτω σύσταση σε (mg/l): NH_4Cl 1000; NaCl 100; $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 100; $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 50; $\text{K}_2\text{HPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 400; Resazurin 0,5; $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 2; H_3BO_3 0,05; ZnCl_2 0,05; CuCl_2 0,03; $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 0,05; $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot \text{H}_2\text{O}$ 0,05; AlCl_3 0,05; $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0,05; NiCl_2 0,05; EDTA 0,5; H_2SeO_3 0,49; NaHCO_3 2500; Na_2S 250 και διάλυμα βιταμίνης όπως αναφέρεται από τους Angelidaki et al. [18]. Επίσης τοποθετήθηκε μέσα στον αντιδραστήρα 1gr γλυκόζης.

Ο αντιδραστήρας που χρησιμοποιήθηκε είχε όγκο 220ml και ήταν κατασκευασμένος από διπλό γυαλί. Η θερμοκρασία των 70°C επιτεύχθηκε με τη ροή νερού ίδιας θερμοκρασίας μεταξύ των τοιχωμάτων. Ο αντιδραστήρας λειτουργούσε μόνο με ανακυκλοφορία των λυμάτων και όχι με συνεχόμενη τροφοδότηση με λύματα. Η ανακυκλοφορία γινόταν με τη χρήση περισταλτικής αντλίας.

Η ποσότητα του παραγόμενου βιοαερίου μετρήθηκε με τη μέτρηση της ποσότητας του νερού που απομάκρυνε το βιοαέριο. Το υδρογόνο, το μεθάνιο και το CO_2 στην αέρια φάση αναλύθηκε με τη χρήση αερίου χρωματογράφου ο οποίος ήταν εξοπλισμένος με έναν αναλυτή θερμικής αγωγής (TCD) και μία στήλη Porapak Q (50/80 mesh). Η θερμοκρασία λειτουργίας της εισόδου έκχυσης ήταν 100°C, του φούρνου ήταν 55°C για το διοξείδιο του άνθρακα και οι 80°C για το υδρογόνο, και του αναλυτή η θερμοκρασία ήταν οι 100°C. Σαν φέρον αέριο χρησιμοποιήθηκε το Ήλιο με παροχή 30ml/min.

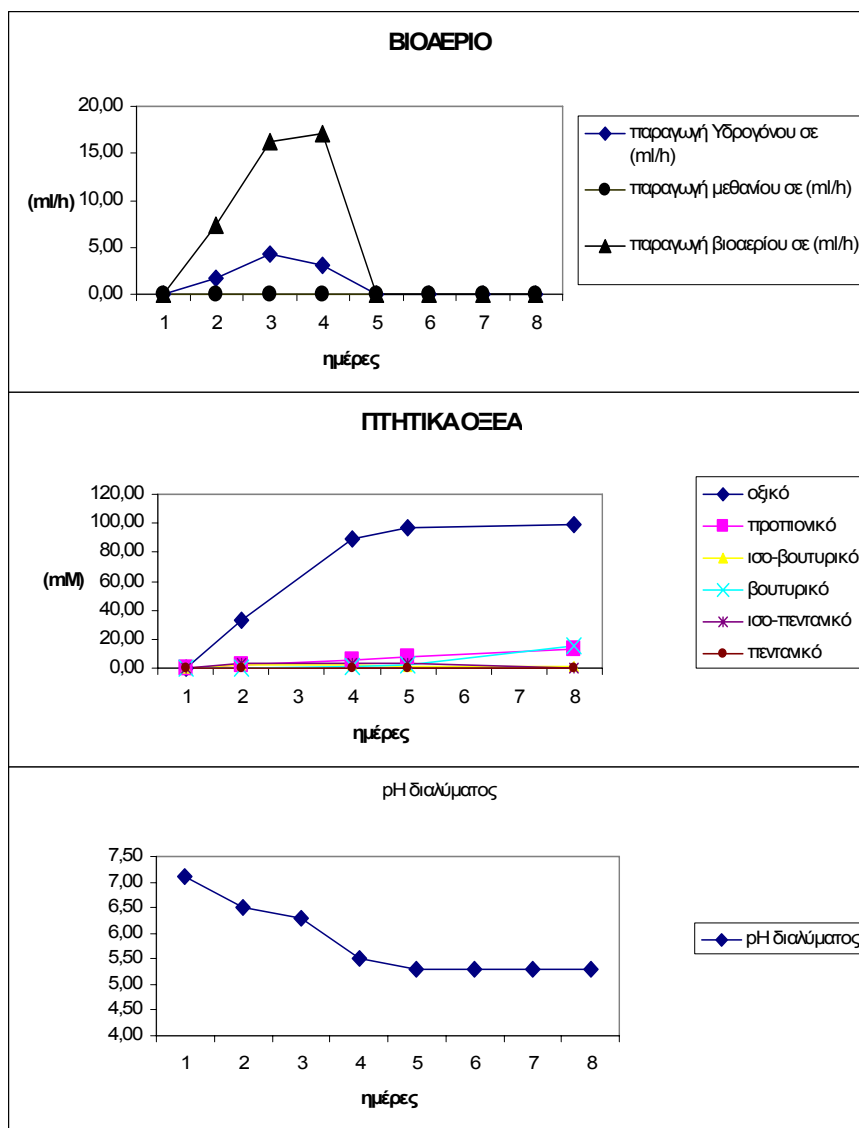
Η συγκέντρωση των κατώτερων λιπαρών οξέων μετρήθηκε με τη βοήθεια αερίου χρωματογράφου (HP 5890 series II), ο οποίος ήταν με έναν αναλυτή φλόγας ιόντων και μια HP FFAP στήλη (διαστάσεων 30m 0.53mm 1.0 mm). Η αρχική θερμοκρασία της στήλης ήταν οι 70°C και η θερμοκρασία αυξανόταν μέχρι τους 190°C με ρυθμό 10°C/min. Πριν εισαχθούν τα διαλύματα για ανάλυση, το διάλυμα γινόταν όξινο με τη χρήση φωσφορικού οξέος 17%.

Κάθε ημέρα γινόταν τροφοδότηση του αντιδραστήρα με γλυκόζη 0,5g. και παράλληλα λαμβάνονταν μετρήσεις της ποσότητας του παραγόμενου βιοαερίου, της σύνθεσής του, του pH, καθώς και της συγκέντρωσης των λιπαρών οξέων (VFA) μέσα στον αντιδραστήρα.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα που μετρήθηκαν εμφανίζονται στα παρακάτω διαγράμματα του σχήματος 2. Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι:

- Δεν υπήρξε παραγωγή μεθανίου.
- Υπήρξε παραγωγή υδρογόνου από την αρχή που τοποθετήθηκαν τα λύματα στον αντιδραστήρα.
- Η παραγωγή γενικώς του βιοαερίου σταμάτησε σε διάστημα λίγων ημερών.
- Οξικό οξύ ήταν το κύριο λιπαρό οξύ που παραγόταν.
- Το pH έπεσε γύρω στο 5 σε σύντομο σχετικά διάστημα.



Σχήμα 2. Χρονική Μεταβολή του βιοαερίου, του pH και των πτητικών οξέων.

Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι η υψηλή θερμοκρασία ανέστειλε τη δράση των μεθανογενών βακτηρίων τουλάχιστον για το χρονικό διάστημα που αναφέρεται στο πείραμα. Υπήρξε παραγωγή υδρογόνου έστω και για μικρό σχετικά διάστημα. Πιθανόν το χαμηλό pH ή η υψηλή συγκέντρωση οξικού οξέος ανέστειλε την παραγωγή του βιοαερίου. Επίσης η άμεση σχεδόν παραγωγή βιοαερίου από την τοποθέτηση των λυμάτων στον αντιδραστήρα δείχνει ότι τα οξεογενή βακτήρια αναπτύσσονται ταχύτατα ακόμη και σε αυτή τη θερμοκρασία.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Debabrata D., Veziroglou TN. 2001. Hydrogen production by biological processes: a survey of literature. *Int. J Hydrogen Energy* 26:13-28.
2. Bockris JO'M. 2002. The origin of ideas on a hydrogen economy and its solution to the decay of the environment. *Int. J Hydrogen Energy* 27:731-40.
3. Levin DB., Pitt L., Love M. 2003. Biohydrogen production: prospects and limitations to practical application. *Int. J Hydrogen Energy* 29:173-85.
4. Arienti R. and Nicoletti G. 1990. La definizione di un indice entropico ambientale di alcuni combustibili, 45th Cngresso Nazionale A.T.I., Cagliari.
5. Angenent LT., Karim K., Al-Dahhan MH., Wrenn BA., Espinosa RD. 2004. Production of bioenergy and biochemicls from industrial and agricultural wastewater. *Trends in Biotechnology* 22:477-85.
6. Yu H., Zhu Z., Hu W., Zhang H. 2002. Hydrogen production from rice winery wastewater in an upflow anaerobic reactor by using mixed anaerobic cultures. *Int. J Hydrogen Energy* 27:1359-65.
7. Han SK., Shin HS. 2004. Biohydrogen production by anaerobic fermentation of food waste. *Int. J Hydrogen Energy* 29:569-77.
8. Vijayaraghavan K., Soom MAM. 2004. Trends in biological hydrogen production – a review. *Int. J Hydrogen Energy* , in press.
9. Ramachandran R., Menon RK. 1998. An overview of industrial use of hydrogen. . *Int. J Hydrogen Energy* 23:593-8.
10. Uffen RL. 1976. Anaerobic growth of a *Rhodopseudomonas* species in the dark with carbon monoxide as sole source of carbon and energy substrate. *Pro Natl Acad Sci USA* 73:3298-302.
11. Angelidaki I., Schmidt JE. 2003. THE ANAEROBIC PROCESS, Chapter 3, Anaerobic Microbiology. Environment & Resources DTU.
12. Khanal S.K., Chen WH., Li L., Sung S. 2004. Biological hydrogen production: effects of pH and intermediate products. *Int. J Hydrogen Energy* 29:1123-31.
13. Hawkes F. R., Dinsdale R., Hawkes D.L., Hussy I. 2002. Sustainable fermentative hydrogen production: challenges for process optimization. *Int. J Hydrogen Energy* 27: 1339-47.
14. Fang H.P., Liu H. 2002. Effect of pH on hydrogen production from glucose by a mixed culture. *Bioresource Technology* 82:87-93.
15. Lepisto R., Rintala J. 1997. The effect of extreme temperatures (70-80°C) on the effluent quality and sludge characteristics of UASB reactors. *Wat. Sci. Tech.* 36:325-32.
16. Lepisto R., Rintala J. 1999. Extreme thermophilic (70°C), VFA-FED UASB reactor: Performance, temperature response, load potential and comparison with 35 and 55°C UASB reactors. *Wat. Res.* 33:3162-70.
17. Lepisto R., Rintala J. 1999. Kinetics and characteristics of 70°C, VFA-grown, UASB granular sludge. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 52: 730-6.
18. Angelidaki I., Petersen SP., Ahring BK. 1990. Effects of lipids on thermophilic anaerobic-digestion and reduction of lipid inhibition upon addition of bentonite. *APPL. MICROBIOL. BIOT.* 33: 469-72.

ΤΕΧΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΔΥΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΝΤΛΗΣΗΣ ΝΕΡΟΥ ΜΕΣΩ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗΣ-ΦΥΣΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Γεώργιος Δ. Κυριακάρκος, Γεώργιος Σ. Παπαδάκης

Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργ. Μηχανικής
Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας
Ιερά Οδός 75, 11855 Αθήνα τηλ. 210 5294046 e-mail: gk@aua.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε αυτή την εργασία έχει γίνει προσομοίωση για τη διάρκεια ενός έτους δυο φωτοβολταϊκών αντλητικών συστημάτων που αποτελούνται από φωτοβολταϊκά, ελεγκτή μέγιστης ισχύος, ηλεκτροκινητήρα συνεχούς ρεύματος και φυγόκεντρη αντλία. Η διαφορά του ενός συστήματος από το άλλο έγκειται στον τύπο του χρησιμοποιούμενου ηλεκτροκινητήρα. Στη μία περίπτωση χρησιμοποιήθηκε ηλεκτροκινητήρας διέγερσης σειράς και στην άλλη ηλεκτροκινητήρας ξένης διέγερσης. Η προσομοίωση έγινε με το λογισμικό TRNSYS. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης δείχνουν ότι η χρήση ηλεκτροκινητήρα ξένης διέγερσης είναι προτιμότερη γιατί μπορούμε να έχουμε τα ίδια αποτελέσματα σε όγκο αντλούμενου νερού με μικρότερη εγκατάσταση φωτοβολταϊκών.

TECHNICAL ANALYSIS AND COMPARISON OF TWO PHOTOVOLTAIC WATER PUMPING SYSTEMS THROUGH NUMERICAL SIMULATION

George D. Kyriakarakos, George S. Papadakis

Agricultural University of Athens
Department of Natural Resources and Agricultural Engineering
Laboratory of Agricultural Engineering
Iera odos St. 75, 11855 Athens tel. 210 5294046 email: gk@aua.gr

ABSTRACT

In this paper a one year simulation has taken place for two photovoltaic water pumping systems which include photovoltaic panels, maximum power point tracker, direct current electricity generator and centrifugal pump. The difference between the two systems lies on the type of the used generator. In the first case a series dc generator is used and in the second a separately excited dc generator. The simulation took place with the software package TRNSYS. The results of the simulation show that the use of a separately excited dc generator is preferred because we can achieve the same results in the volume of the pumped water with a smaller photovoltaic array.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην εποχή μας η καθημερινή μας ζωή βασίζεται πάνω σε τεχνολογικά αγαθά όσο ποτέ άλλοτε. Τα περισσότερα από τα αγαθά αυτά απαιτούν την κατανάλωση μεγάλων ποσών ενέργειας και ειδικότερα ηλεκτρικής ενέργειας. Από το 1970 μέχρι σήμερα έχει διπλασιαστεί η παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας ενώ ο ρυθμός αύξησης της κατανάλωσης μεγαλώνει συνεχώς. Οι συμβατικές μέθοδοι παραγωγής ενέργειας καταφέρνουν να καλύψουν αυτή τη ζήτηση με πολύ μεγάλο όμως περιβαλλοντικό κόστος, κόστος που πια δεν μπορεί να αγνοηθεί από κανέναν¹.

Στις ημέρες μας επίσης, η αναγκαιότητα του νερού είναι σημαντική. Το νερό είναι ένα αγαθό σε έλλειψη και τα τελευταία χρόνια οι δαπάνες για εξασφάλιση του μεγάλες όσο ποτέ. Ακόμα όμως και έτσι υπάρχουν πολλές περιοχές του πλανήτη οι οποίες βιώνουν καθημερινά την έλλειψη του νερού.

Οι επιλογές για την άντληση νερού σε απομακρυσμένες περιοχές τα τελευταία χρόνια έχουν αυξηθεί σημαντικά με τη χρήση αντλιών που παίρνουν ενέργεια είτε από τον ήλιο είτε από τον άνεμο με τη χρήση φωτοβολταϊκών και ανεμογεννητριών αντίστοιχα. Τα συστήματα που βασίζονται στα φωτοβολταϊκά έχουν επιδείξει τη μεγαλύτερη αποδοτικότητα σε συνδυασμό με το μικρότερο κόστος σε μεγάλο αριθμό εφαρμογών¹.

Ειδικότερα στη γεωργία αυτόνομα συστήματα άντλησης νερού μπορούν να καλύψουν τις αρδευτικές ανάγκες καλλιεργειών, όπως και την απαραίτητη παροχή νερού σε κτηνοτροφικές μονάδες. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνουμε αύξηση της παραγωγής με αρκετά ανταγωνιστικό κόστος¹.

2. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Όπως είδαμε το ενδιαφέρον για αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα άντλησης νερού είναι μεγάλο. Στην παρούσα μελέτη επιλέχθηκε να γίνει σύγκριση δύο συστημάτων που χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα. Τα συστήματα για τα οποία έγινε η σύγκριση είναι δύο που περιλαμβάνουν φωτοβολταϊκά, ελεγκτή μέγιστης ισχύος, ηλεκτροκινητήρα και φυγόκεντρη αντλία. Η διαφορά του ενός συστήματος από το άλλο έγκειται στον τύπο του χρησιμοποιούμενου ηλεκτροκινητήρα. Στη μία περίπτωση χρησιμοποιήθηκε ηλεκτροκινητήρας διέγερσης σειράς και στην άλλη ηλεκτροκινητήρας

ξένης διέγερσης. Σκοπός ήταν να κατανοήσουμε τη λειτουργία του κάθε υποσυστήματος θεωρητικά και μέσω της προσομοίωσης να δούμε πως αλληλεπιδρούν αυτά τα υποσυστήματα μεταξύ τους, δίνοντας βάρος στην τελική απόδοση σε ποσότητα αντλούμενου νερού.

Η τεχνική ανάλυση και σύγκριση των δύο συστημάτων έγινε με τη βοήθεια του λογισμικού πακέτου TRNSYS². Οι ρουτίνες που χρησιμοποιήθηκαν είτε ήταν ενσωματωμένες στο λογισμικό πακέτο, είτε γράφθηκαν από τον Jürgen Helmut Eckstein³ και προστέθηκαν στο πακέτο. Πιο συγκεκριμένα οι ρουτίνες που ενσωματώθηκαν στον κώδικα του TRNSYS αφορούν τη φυγόκεντρη αντλία με το υδραυλικό φορτίο, τον ελεγκτή μέγιστης ισχύος και τους ηλεκτροκινητήρες.

3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

3.1 Διάταξη φωτοβολταϊκών συστημάτων

3.1.1 Φωτοβολταϊκά

Χρησιμοποιήθηκαν πάνελ πυριτίου Solarex MSX-30, 140 σε σύνολο, ανά 12 ήταν συνδεδεμένα σε σειρά και ανά 9 συνδεδεμένα παράλληλα. Η κλίση των πάνελ είναι ίση με το γεωγραφικό πλάτος της τοποθεσίας εγκατάστασης που για την Αθήνα είναι 38°. Τα χαρακτηριστικά όπως δίνονται από τον κατασκευαστή φαίνονται στον πίνακα 2.2.1.

3.1.2 Φυγόκεντρη αντλία

Χρησιμοποιήθηκε φυγόκεντρη αντλία με ονομαστική παροχή ίση με 5 l/s και ονομαστικό μανομετρικό ίσο με 45 m

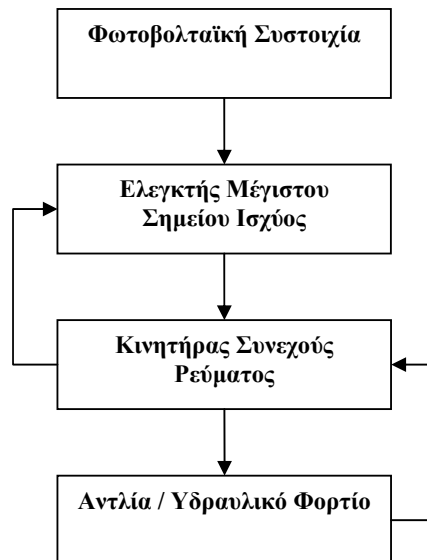
3.1.3 Ελεγκτής σημείου μέγιστης ισχύος

Χρησιμοποιήθηκε ένας τυπικός ελεγκτής με απόδοση 97%

3.1.4 Ηλεκτροκινητήρες

Ο πρώτος είναι ένας διέγερσης σειράς και ο δεύτερος ένας ξένης διέγερσης ηλεκτροκινητήρας. Και οι δύο έχουν ονομαστική ισχύ 5 HP (3.68 kW).

3.2 Διάγραμμα ροής του συστήματος

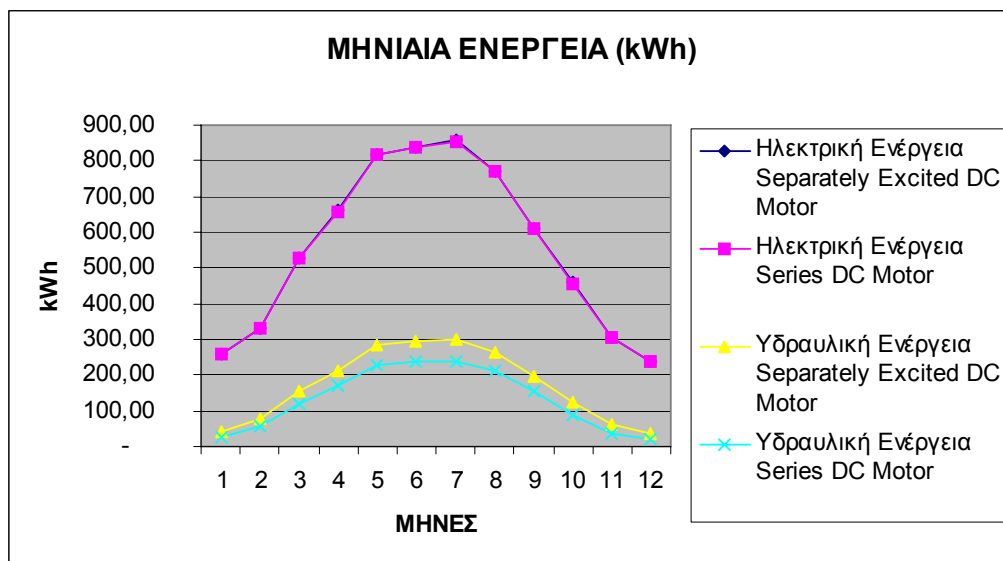


Εικόνα 1: Διάγραμμα ροής του συστήματος

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

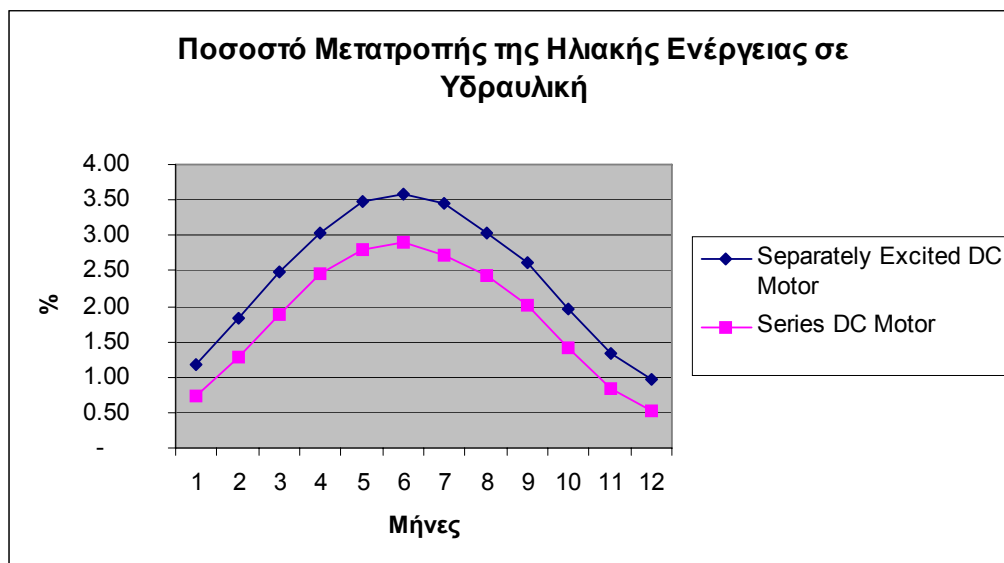
4.1 Ενεργειακά αποτελέσματα

Από τις προσομοιώσεις που έγιναν πήραμε τα αποτελέσματα που φαίνονται στα παρακάτω συγκριτικά διαγράμματα.



Εικόνα 2: Ηλεκτρική και Υδραυλική ενέργεια

Από την Εικόνα 2 γίνεται φανερή η υπεροχή του συστήματος που χρησιμοποιεί τον ξένης διέγερσης κινητήρα. Η ηλεκτρική ενέργεια είναι πρακτικά η ίδια και στους δύο ηλεκτροκινητήρες πράγμα που δικαιολογείται από το γεγονός ότι τροφοδοτούνται από την ίδια συστοιχία φωτοβολταϊκών. Όμως το σύστημα που είναι εξοπλισμένο με τον κινητήρα ξένης διέγερσης μετατρέπει μεγαλύτερο ποσοστό αυτής της ηλεκτρικής ενέργειας σε υδραυλική. Αυτό οφείλεται στην μεγαλύτερη ισχύ που μπορεί να αποδώσει με μικρότερο ρεύμα εισόδου. Αυτή η μεγαλύτερη ισχύς επιτρέπει την έναρξη λειτουργίας της αντλίας με μικρότερη ηλιακή ακτινοβολία, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερο όγκο αντλούμενου νερού.

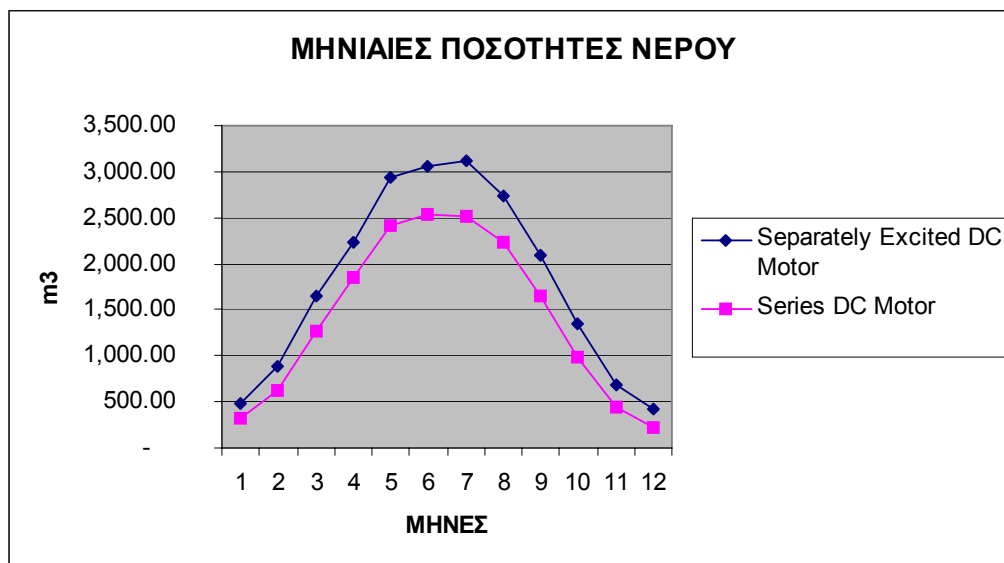


Εικόνα 3: Ποσοστό Μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε υδραυλική

Ενεργειακά τέλος είναι ενδιαφέρον να δούμε το συνολικό ενεργειακό βαθμό απόδοσης των προς σύγκριση συστημάτων, δηλαδή το ποσοστό μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε υδραυλική σε κάθε περίπτωση. Από την εικόνα 3 μπορούμε να δούμε καθαρά πως το σύστημα που είναι εξοπλισμένο με τον κινητήρα ξένης διέγερσης πλεονεκτεί σε όλη τη διάρκεια του έτους με το πλεονέκτημα να είναι μεγαλύτερο τους μήνες με μεγάλη ηλιακή ακτινοβολία. Γίνεται αντιληπτό, λοιπόν, πως για εφαρμογές άντλησης νερού με τη χρήση κινητήρα συνεχούς ρεύματος ο κινητήρας ξένης διέγερσης αποδίδει καλύτερα και θα πρέπει να προτιμάται παρά το μεγαλύτερο κόστος του.

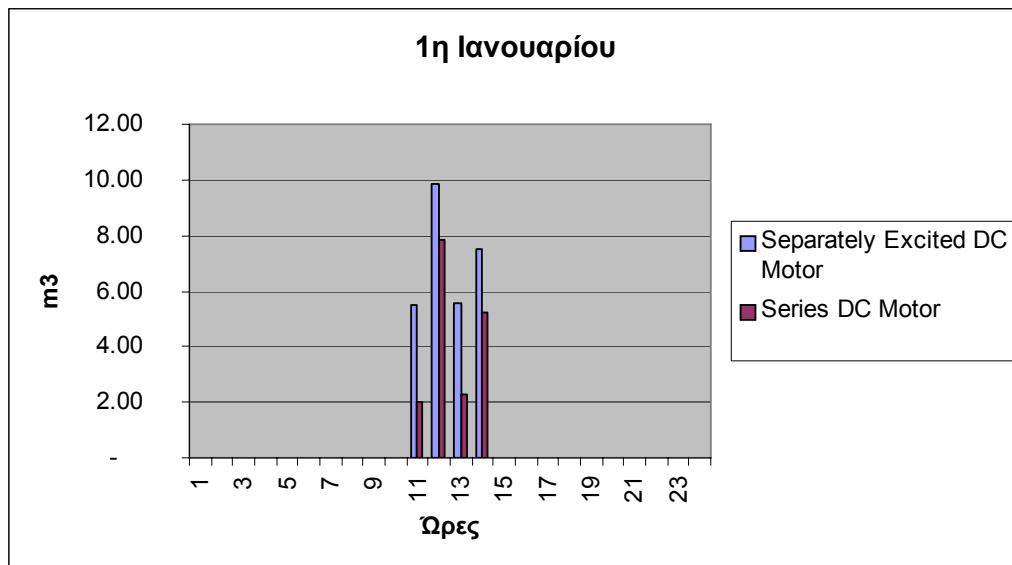
4.2 Αποτελέσματα άντλησης νερού

Ο σκοπός των συστημάτων που εξετάσαμε είναι η άντληση νερού και η τελική σύγκριση μπορεί να γίνει μόνο μέσα από συγκρίσεις στην παροχή νερού για ένα ολόκληρο έτος. Στην εικόνα 4 φαίνεται η παροχή και των δύο συστημάτων στη διάρκεια του έτους.

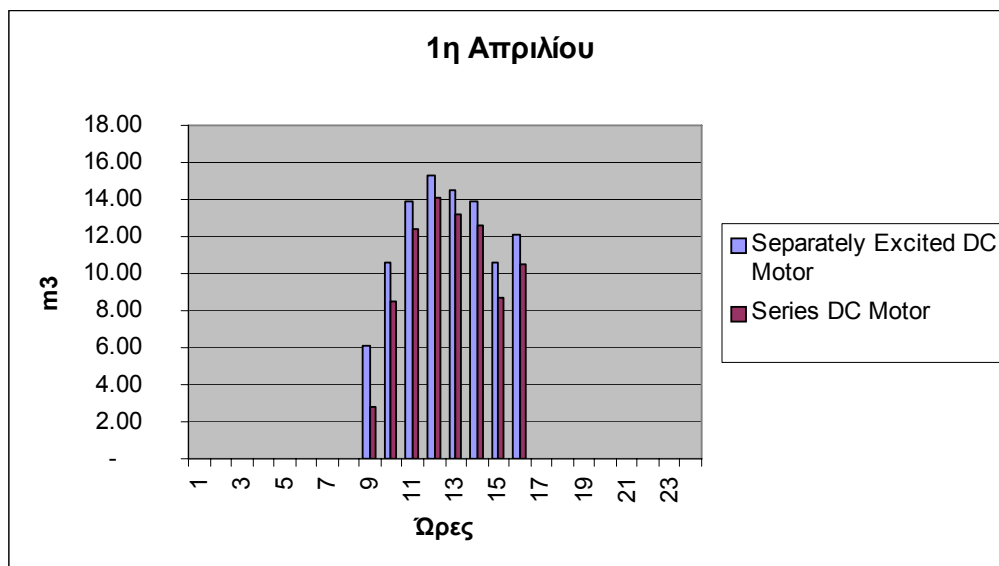


Εικόνα 4: Μηνιαίες Ποσότητες Νερού

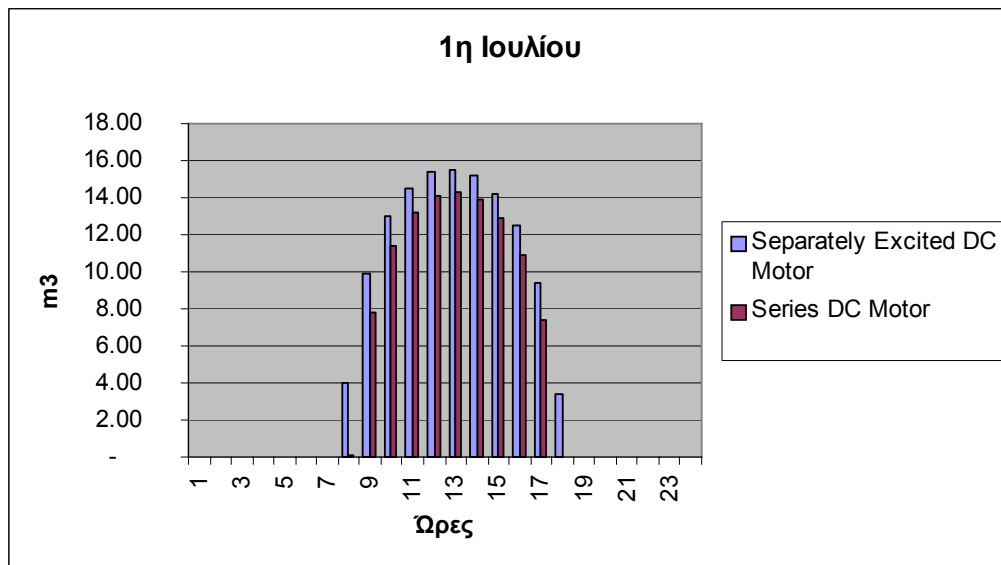
Η συνολική παροχή νερού των δύο συστημάτων είναι για το σύστημα που είναι εξοπλισμένο με τον ηλεκτροκινητήρα διέγερσης σειράς 17067.15 m^3 , ενώ για το σύστημα με τον κινητήρα ξένης διέγερσης είναι 21621.24 m^3 . Είναι φανερό πως το σύστημα που είναι εφοδιασμένο με τον κινητήρα ξένης διέγερσης παράγει πολύ περισσότερο νερό. Επίσης στις εικόνες 5, 6, 7 και 8 παρουσιάζονται ημερήσια στοιχεία για τη λειτουργία του κάθε συστήματος για 4 αντιπροσωπευτικές ημέρες του έτους (1 από κάθε εποχή) για να γίνει φανερό και ποιες είναι οι διαφορές στην απόδοση των δύο συστημάτων κατά τη διάρκεια μιας ημέρας. Το σύστημα με τον κινητήρα ξένης διέγερσης αντλεί περισσότερο νερό σε όλη τη διάρκεια του έτους και μάλιστα αρχίζει να αντλεί νωρίτερα το πρωί και τελειώνει την άντληση αργότερα το απόγευμα.



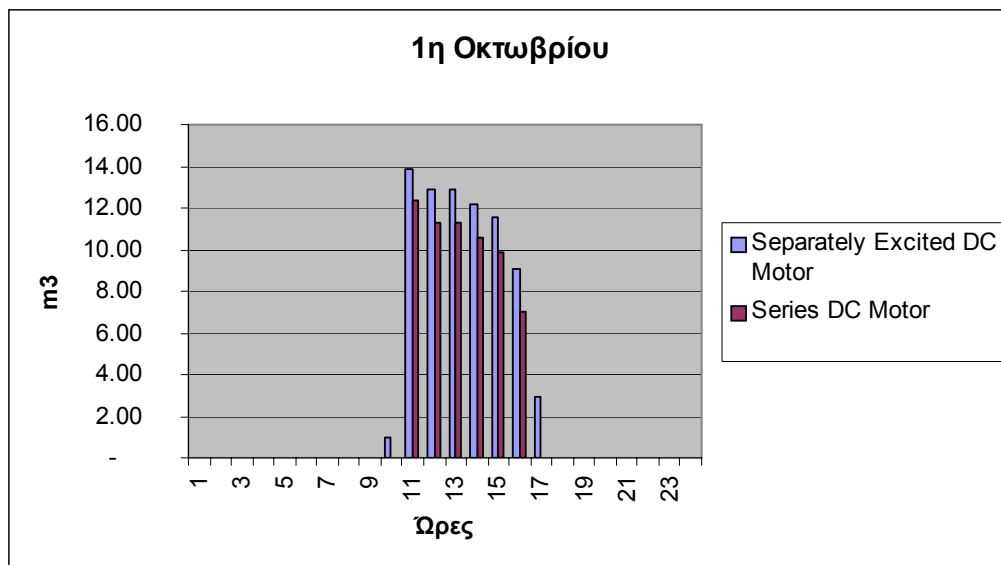
Εικόνα 5: Ωριαίες Ποσότητες Νερού 1^η Ιανουαρίου



Εικόνα 6: Ωριαίες Ποσότητες Νερού 1^η Απριλίου



Εικόνα 7: Ωριαίες Ποσότητες Νερού 1^η Ιουλίου



Εικόνα 8: Ωριαίες Ποσότητες Νερού 1^η Οκτωβρίου

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

- Είναι φανερό πως το σύστημα που είναι εξοπλισμένο με τον ξένης διέγερσης ηλεκτροκινητήρα πλεονεκτεί κατά πολύ σε σχέση με το σύστημα που είναι εξοπλισμένο με τον ηλεκτροκινητήρα διέγερσης σειράς. Η διαφορά αυτή είναι πολύ μεγάλη αγγίζοντας το 27% στο αντλούμενο νερό κατά τη διάρκεια ενός έτους.
- Το σύστημα με τον ξένης διέγερσης ηλεκτροκινητήρα ξεκινά να αντλεί νερό νωρίτερα το πρωί και σταματά να αντλεί νερό αργότερα το απόγευμα από το σύστημα με τον ηλεκτροκινητήρα διέγερσης σειράς.
- Τις χειμωνιάτικες ημέρες με μικρή ηλιοφάνεια το σύστημα με τον κινητήρα διέγερσης σειράς αντλεί σημαντικά μικρότερες ποσότητες νερού σε σύγκριση με το σύστημα που είναι εξοπλισμένο με τον κινητήρα ξένης διέγερσης.
- Η μεγαλύτερη ποσότητα αντλούμενου νερού παραλαμβάνεται κατά τους θερινούς μήνες και η μικρότερη κατά τους χειμερινούς, πράγμα αναμενόμενο.
- Η αρθρωτή δομή του TRNSYS έκανε εύκολη την προσομοίωση των πραγματικών παραμέτρων του συστήματος. Η επιφάνεια εργασίας δεν είναι πλήρως γραφική ειδικά όσο αφορά την κατασκευή του αρχείου εισόδου, πράγμα που δυσκολεύει αρχικά το χρήστη. Όμως όταν ο χρήστης εξοικειωθεί με το πρόγραμμα γίνονται κατανοητές οι πολύ μεγάλες δυνατότητες προσομοίωσης του λογισμικού σε μια πληθώρα εφαρμογών.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Michael G. Thomas, “Water Pumping: The solar alternative”, 1996
2. S.E.L., “TRNSYS Manual”
3. Jürgen Helmut Eckstein, “Detailed Modeling of Photovoltaic System Components”, Wisconsin 1990

ΝΕΕΣ ΤΑΣΕΙΣ ΣΤΑ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ

Λ. Γερονικολού, Σπ. Κυρίτσης

Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Τμήμα Αξιοπ. Φυσικών Πόρων & Γεωργ. Μηχανικής.
Ιερά Οδός 75, 11855 Αθήνα τηλ. 210 5294046 e-mail: gelou@aua.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα βιοκαύσιμα μπορούν να αντικαταστήσουν ή να συμπληρώσουν τα ορυκτά καύσιμα και να χρησιμοποιηθούν σε εμβολοφόρους κινητήρες ή αεριοστροβίλους, με μικρή ή καθόλου τροποποίηση στους κινητήρες ή στο σύστημα τροφοδοσίας. Μεγάλες ποσότητες βιοκαυσίμων χρησιμοποιούνται σε πολλές χώρες, και υπάρχει προοπτική να διαδοθεί σε μεγάλο βαθμό η χρήση τους στο μέλλον.

Για τη χώρα μας, χάρη στις μεγάλες στρεμματικές αποδόσεις σε ενεργειακή βιομάζα και τη νέα Κοινή Αγροτική Πολιτική, οι παραγωγοί μας μπορούν να βρουν, μέσα από την προοπτική παραγωγής βιοκαυσίμων, μια ενδιαφέρουσα εναλλακτική καλλιέργεια.

NEW TRENDS IN BIOFUELS

L. Geronikolou, S. Kyritsis

Agricultural University of Athens
Dept. of Natural Resources and Agr. Engineering.
75, Iera Odos str, 11855 Athens tel.+30 210 5294046 e-mail: gelou@aua.gr

ABSTRACT

Biofuels could substitute or supplement fossil fuels and be used in IC engines or turbines, with slight or no modification to the engines or the feeding system. Large quantities of biofuels are already used in many countries, and there is prospect that their use is disseminated to a great extent in the future.

For our country, due to the high yields in biomass production that could be achieved and the new Common Agricultural Policy, our farmers could find, through the perspective of biofuels production, an interesting alternative energy crop.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα βιοκαύσιμα είναι υγρά ή αέρια που χρησιμοποιούνται ως καύσιμα κυρίως στις μεταφορές και παράγονται κυρίως από βιομάζα. Παραδείγματα αποτελούν η αιθανόλη, το βιοντήζελ, το βιοαέριο ή άλλα αέρια (από αεριοποίηση, αναερόβια ζύμωση κλπ.) προϊόντα αντλούμενα από φυτικές καλλιέργειες, φυτικά υπολείμματα ή απορρίμματα.

Οι λόγοι που απαιτούν την αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων με βιοκαύσιμα είναι περιβαλλοντικοί, για μείωση των εκπομπών ρύπων, λόγοι στρατηγικής, για εξασφάλιση ασφάλειας τροφοδοσίας, καθώς και οικονομικοί και κοινωνικοί λόγοι. Η ικανοποίηση της αυξανόμενης παγκόσμιας ζήτησης για ενέργεια με άντληση ορυκτών καυσίμων απαιτεί μεγάλο ποσό πρόσθετων επενδύσεων [1], ενώ η παραγωγή βιομάζας μπορεί να συμβάλλει στην τοπική ανάπτυξη, με ενίσχυση της γεωργίας και δημιουργία νέων θέσεων εργασίας (αναφέρεται [2] ότι στην Ευρώπη για παραγωγή ενέργειας από βιομάζα ύψους 133 ΜΤΟΕ ετησίως το 2020, θα δημιουργηθούν 1.509.000 νέες θέσεις εργασίας), συμβάλλοντας έτσι στην ανάπτυξη ενός αειφόρου ενεργειακού συστήματος όπου θα εξασφαλίζονται ταυτόχρονα, ασφάλεια τροφοδοσίας καυσίμων, οικονομική αποδοτικότητα και περιβαλλοντική προστασία.

1. ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΑ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ ΚΑΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΙΚΑΝΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥΣ

Προκειμένου τα βιοκαύσιμα να μπορέσουν να αντικαταστήσουν αποδοτικά τα υπάρχοντα ορυκτά καύσιμα, δύο προϋποθέσεις πρέπει να ικανοποιούνται: Να εκπέμπουν σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής τους μικρότερες ποσότητες ρύπων από ό,τι τα ορυκτά καύσιμα, και να ανταγωνίζονται οικονομικά τα ορυκτά καύσιμα.

1.1 Απαιτήσεις για περιβαλλοντική προστασία από τα βιοκαύσιμα

Η χρήση των βιοκαυσίμων μπορεί να μειώσει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και άλλων επιβλαβών ρύπων που σχετίζονται με την παγκόσμια αλλαγή του κλίματος.

Στη διάρκεια ανάπτυξής τους τα φυτά δεσμεύουν διοξείδιο του άνθρακα από την ατμόσφαιρα για να επιτελέσουν τη μοναδική από αυτά λειτουργία της φωτοσύνθεσης, απαραίτητης για τη θρέψη τους. Όταν τα παραγόμενα βιοκαύσιμα χρησιμοποιούνται για παραγωγή ενέργειας, το διοξείδιο του άνθρακα που ελευθερώνεται δεν συμβάλλει στην αύξηση του CO₂ της ατμόσφαιρας αθροιστικά, αφού ποσότητα CO₂ έχει δεσμευθεί κατά την παραγωγική διαδικασία της φυτικής καλλιέργειας, ανακυκλώνοντας έτσι αποδοτικά τον άνθρακα.

Πολλά βιοκαύσιμα επίσης έχουν την ικανότητα να μειώνουν τις εκπομπές άλλων ανεπιθύμητων ρυπαντών κατά την καύση τους μαζί με ορυκτά καύσιμα. Για παράδειγμα, η χρήση οξυγονούχων βιοκαυσίμων, όπως η αιθανόλη και ο Ethyl-Tertiary-Boutyl-Ether ETBE, σε μίγματα με βενζίνη, μειώνει τις εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα, και η χρήση αιθανόλης στις μηχανές diesel μειώνει τις εκπομπές σωματιδίων κοντά στο μηδέν. Η χρήση του βιοντήζελ μειώνει τις εκπομπές CO, άκαυστων υδρογονανθράκων και καπνιάς σε σύγκριση με το diesel.

Η περιβαλλοντική επίπτωση των βιοκαυσίμων εξαρτάται από τα ειδικά χαρακτηριστικά του κύκλου ζωής των διάφορων βιοκαυσίμων, όπως η περιοχή, η πηγή παραγωγής τους, το όχημα, η ειδική κατανάλωση καυσίμου του οχήματος, η χρήση των υπο-προϊόντων, η χρήση της γεωργικής γης, το ποσοστό συμμετοχής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο σύστημα, η μορφή της τεχνολογίας. Αυτά τα χαρακτηριστικά διαμορφώνουν τη διακύμανση στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις κάθε περίπτωσης. Γενικά πάντως, μπορεί να λεχθεί ότι τα

περισσότερα βιοκαύσιμα παρουσιάζουν σημαντικά μικρότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στον κύκλο ζωής τους σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα [1] (Summary Biofuel Fact Sheet, VIEWLS Reference Results).

Η βιομηχανία αυτοκινήτων δεσμεύτηκε να μειώσει τις εκπομπές CO₂ στα 140 g/km έως το 2008 (κατανάλωση καυσίμου: ~ 5.7 l/100km). Επιπλέον μείωση στα 120 g/km έως το 2012 επιφέρει πρόσθετο κόστος ~ 4,000 € /όχημα με επεμβάσεις στους κινητήρες [3]. Τα βιοκαύσιμα αποτελούν μια πολύτιμη, εναλλακτική λύση για τις βιομηχανίες αυτοκινήτου, ώστε να επιτύχουν τους στόχους των εκπομπών CO₂ και αποτελούν μια όχι ακριβή λύση για τους καταναλωτές. Η ικανοποίηση του στόχου των χαμηλών εκπομπών ρύπων μπορεί να επιτευχθεί με επιλογή κατάλληλων βιοκαυσίμων στα οποία το ποσοστό συμμετοχής των ορυκτών καυσίμων στη διαδικασία παραγωγής τους ελαχιστοποιείται. Στην περίπτωση αυτή οι εκπομπές CO₂ ορυκτής προέλευσης σχεδόν μηδενίζονται.

1.2 Απαιτήσεις για οικονομική ανταγωνιστικότητα των βιοκαυσίμων έναντι των ορυκτών καυσίμων

Στη διαμόρφωση της τιμής αγοράς των βιοκαυσίμων σημαντική επίδραση έχει το είδος της πρώτης ύλης και το κόστος παραγωγής της, καθώς και η τεχνολογία που χρησιμοποιείται για την παραγωγή του καυσίμου.

Η επίδραση της πρώτης ύλης στη διαμόρφωση της τιμής αγοράς του βιοκαυσίμου αναδεικνύεται χαρακτηριστικά στην περίπτωση παραγωγής βιοαιθανόλης από σάκχαρα και αμυλούχες ουσίες, με μεγάλο εύρος στο κόστος παραγωγής βιοαιθανόλης (Πίνακας 1). Η παραγωγικότητα της καλλιέργειας και ο βαθμός μετατροπής της πρώτης ύλης σε βιοκαύσιμο (Lit/t) διαμορφώνουν σημαντικές διαφορές. Το κόστος τέλος των εργατικών φαίνεται επίσης να επιδρά καταλυτικά (περίπτωση παραγωγής βιοαιθανόλης από ζαχαροκάλαμο στη Βραζιλία).

Πίνακας 1. Παραγωγή βιοαιθανόλης, αποδοτικότητα παραγωγής, και κόστος σε \$/m³ [4]

Νέες τάσεις διαμορφώνονται για εύρεση φθηνότερης πρώτης ύλης βιολογικής προέλευσης, είτε μέσω αύξησης των στρεμματικών αποδόσεων, είτε με χρησιμοποίηση απορριμμάτων και αποβλήτων. Νέα παραγωγικά υβρίδια ηλίανθου σε πειραματικές δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν από το Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, έδωσαν αποδόσεις υψηλότερες των 4.5 t/ha [5]. Στις Η.Π.Α. σχεδιάζουν παραγωγή 83-170 εκ. m³ ετησίως Biodiesel από mustard oil (κόστος 0.22\$/l), του οποίου το άλφιτο έχει υψηλή αξία ως φυτοφάρμακο, γεγονός που κρατά χαμηλά την τιμή του λαδιού. Επιπλέον, το συγκεκριμένο λάδι συνδέεται με χαμηλές εκπομπές NO_x λόγω της περιεκτικότητάς του σε κορεσμένα ελεύθερα λιπαρά οξέα (20%) Στην Ινδία εκτιμάται [6] ότι η παραγωγή biodiesel από το φυτό *Jatropha Curcas* θα πλησιάσει την τιμή κόστους του diesel. Οικονομικό ενδιαφέρον παρουσιάζουν τέλος τα λάδια ως υποπροϊόντα καλλιιεργειών (βαμβάκι, καπνός, τομάτα, αγγουραγινάρα κ.α.), ενώ τεχνολογίες έχουν αναπτυχθεί για παραγωγή biodiesel με πρώτη ύλη χρησιμοποιημένα, τηγανισμένα λάδια.

Η τεχνολογία παραγωγής του καυσίμου από την πρώτη ύλη επηρεάζει σημαντικά το τελικό κόστος του βιοκαυσίμου. Αναφέρεται η διαδικασία παραγωγής αιθανόλης από λιγνοκυτταρινούχες πρώτες ύλες καθώς και η παραγωγή πετρελαίου ή βενζίνης από απορρίμματα με συνδυασμό αεριοποίησης και σύνθεσης καυσίμου. Περισσότερες λεπτομέρειες θα αναφερθούν παρακάτω, στην περιγραφή των αυριανών βιοκαυσίμων.

2. ΤΑ ΕΠΙΚΡΑΤΟΥΝΤΑ ΣΗΜΕΡΑ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ ΚΑΙ ΤΑ ΑΝΑΛΥΟΜΕΝΑ ΣΤΗΝ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΑΓΟΡΑ - ΑΥΡΙΑΝΑ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ

Η τεχνογνωσία σήμερα στο πεδίο των βιοκαυσίμων θα μπορούσε να διαχωρισθεί σε τεχνογνωσία έτοιμη για μεγάλης κλίμακας εφαρμογές και σε τεχνογνωσία σε προεμπορικό-επιδεικτικό ή πειραματικό στάδιο.

2.1 Σημερινά βιοκαύσιμα

Το **Biodiesel** είναι μεθυλ- ή αιθυλ- εστέρας λιπαρών οξέων από παρθένα ή χρησιμοποιημένα φυτικά λάδια (τόσο βρώσιμα όσο και μη βρώσιμα) και ζωϊκά λίπη. Η διαδικασία παραγωγής του είναι μέσω της μετεστεροποίησης των λαδιών, δηλαδή της αντίδρασης των τριγλυκεριδίων των λαδιών με μεθανόλη ή αιθανόλη. Ένας τόνος λαδιού και 110 kg μεθανόλης παράγουν ένα τόνο biodiesel και 110 kg γλυκερίνης.

Το biodiesel χρησιμοποιείται σε μίγματα με diesel από 5% (B5) στη Γαλλία έως 20% στις Η.Π.Α. (B20) και αυτούσιο (B100) στην Αυστρία, Σουηδία και Γερμανία. Αναφέρεται κόστος παραγωγής biodiesel από ελαιοκράμβη 0.557 €/lit (IPPTS 2002), 0.35 €/lit [7] ή και 0.67 €/lit από ηλιάνθο στην Ισπανία [8]. Η πρώτη ύλη που συμμετέχει με το μεγαλύτερο ποσοστό στην παγκόσμια παραγωγή biodiesel είναι η ελαιοκράμβη (84%), και ακολουθεί ο ηλιάνθος (13%) [9]. Κύριες χώρες παραγωγής στην Ευρώπη είναι η Γερμανία, Γαλλία και Ιταλία με συνολική παραγωγή στην Ευρώπη των 25 1,550,000 τόνους το έτος 2002.

Καθαρό φυτικό έλαιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μηχανές IC με μικρή προσαρμογή του κινητήρα – προσάρτηση πρόσθετων εξαρτημάτων. Μερικές μικρές εταιρίες στην Ευρώπη έχουν αναπτύξει σε εμπορική κλίμακα πρόσθετα εξαρτήματα τροποποίησης κινητήρων (Hausmann Company, Gruber GmbH, W. UHLIG – U.T.G. Austria κ.α.). Τα πλεονεκτήματα χρήσης καθαρού φυτικού λαδιού συνίστανται στο ότι μπορούν να παραχθούν και να χρησιμοποιηθούν από μικρές αγροτικές εκμεταλλεύσεις, είναι οικονομικότερα σε σχέση με το biodiesel, και αποφεύγεται η κατανάλωση ή απώλεια ενέργειας κατά την παραγωγή biodiesel.

Η **βιοαιθανόλη** από απλά σάκχαρα και αμυλούχες ουσίες είναι ένα υγρό εναλλακτικό καύσιμο με χημικό τύπο C_2H_5OH και ενεργειακό περιεχόμενο κατά 30% λιγότερο από τη βενζίνη. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μίγματα με βενζίνη ή πετρέλαιο ή αυτούσια σε οχήματα ειδικά για αιθανόλη. Σακχαρούχα και αμυλούχα φυτά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή της είναι τα ζαχαρότευτλα, το ζαχαροκάλαμο, το γλυκύ σόργο (Στην Ισπανία χρησιμοποιείται και περίσσεια αραγωγής σταφυλιών), και το σιτάρι, αραβόσιτος, πατάτες αντίστοιχα. Η διαδικασία παραγωγής της συνίσταται στη ζύμωση των σακχάρων ή του αμύλου.

Σήμερα χρησιμοποιούνται μίγματα αιθανόλης 5 ως 10% με βενζίνη. Τα καινούρια οχήματα χρησιμοποιούν τα μίγματα αιθανόλης με μικρή ή καθόλου τροποποίηση. Αυτοκινητοβιομηχανίες όπως η Ford κατασκεύασαν Flexible Fuel Vehicles για τις ΗΠΑ, Σουηδία και Βραζιλία που μπορούν να χρησιμοποιούν καύσιμα από καθαρή βενζίνη, μέχρι μίγματα 85% αιθανόλης με βενζίνη (E85). Η ένυδρη αλκοόλη (5% νερό) χρησιμοποιείται επίσης αντί του diesel σε λεωφορεία. Στη Βραζιλία η άνυδρη αιθανόλη (99.6 GL) χρησιμοποιείται σε μίγματα με βενζίνη σε οποιαδήποτε αναλογία. Μίγματα 22% σε 6 εκ. αυτοκίνητα χωρίς τροποποίηση, ενώ η ένυδρη αιθανόλη (95.5GL) χρησιμοποιείται αυτούσια σε 4 εκ. αυτοκίνητα που έχουν όμως κατάλληλα τροποποιηθεί.

Συγκρίνοντας τις ανάγκες των φυτειών παραγωγής B-A σε νερό και χημικά καθώς και το ενεργειακό ισοζύγιο της διαδικασίας παραγωγής (εκροές:εισροές) όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 2, φαίνεται πως η καλλιέργεια γλυκού σόργου είναι λιγότερο απαιτητική σε νερό και λιπάσματα, δίνοντας ένα υψηλότερο ενεργειακό ισοζύγιο.

Πίνακας 2. Ανάγκες των φυτειών παραγωγής B-A σε Νερό και Χημικά και Ενεργειακό Ισοζύγιο [2]

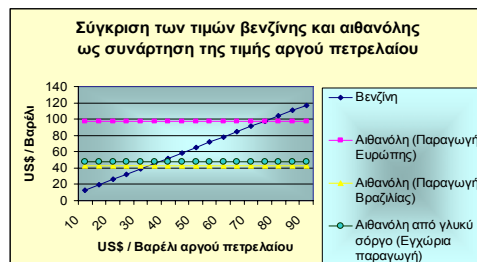
Φυτεία	Νερό mm	Λιπάσματα μονάδες στοιχείου Εκροές/Εισροές /στρέμμα.	Ενεργειακό Ισοζύγιο Εκροές/Εισροές
Ζαχαρότευτλα	750	N = 5 P = 1-2 K = 5-6	1.76
Ζαχαροκάλαμο	500	N = 1 P = 1 K = 5	2.50 – 9.0
Γλυκό Σόργο	250	N = 0.9 P = 0.9 K = 1.3	2.50 – 5.0
Αραβόσιτος	500	N = 10 P = 4 K = 5	1.30

Το κόστος παραγωγής βιοαιθανόλης από σακχαρούχα φυτά φαίνεται χαμηλότερο σε σχέση με το κόστος παραγωγής από αμυλούχα φυτά (Πίν. 1), με εξαίρεση, ίσως τον αραβόσιτο, του οποίου όμως, λόγω της εντατικότητας καλλιέργειας, το ενεργειακό ισοζύγιο είναι πολύ χαμηλό ή και αρνητικό [10]

Το γλυκό σόργο σε πειραματική καλλιέργεια από το Γ.Π.Α. στην Ορεστιάδα απέδωσε 12 t/στρέμμα σε χλωρή μάζα ενώ σε μερικές άλλες περιπτώσεις (στη Νότια Ελλάδα από το ΚΑΠΕ), έφθασε τα 14t/στρέμμα. Θεωρείται ότι ένας μέσος όρος παραγωγής στην Ελλάδα μπορεί να είναι 10 t/στρέμμα σε χλωρή μάζα. Κατά μέσο όρο στην

Ελλάδα, σε εδάφη αραβοσίτου, βάμβακα, ποιοτικού καπνού, αναμένεται απόδοση > 4,5 t αιθανόλης / ha.

Με σύγκριση των τιμών βενζίνης και αιθανόλης ως συνάρτηση της τιμής αργού πετρελαίου (Διάγραμμα 1), θα μπορούσε να πει κανείς ότι η Ελλάδα με εγχώρια παραγωγή αιθανόλης από γλυκό σόργο μπορεί να επιτύχει τιμή αιθανόλης τέτοια, ώστε αυτή να γίνει προϊόν εξαγωγής στην υπόλοιπη Ευρώπη.



Διάγραμμα 1. Σύγκριση των τιμών βενζίνης και αιθανόλης ως συνάρτηση της τιμής πετρελαίου

2.2 Αναδυνάμενα στην παγκόσμια αγορά – αυριανά βιοκαύσιμα

2.2.1. Βιοαλκοόλες από λιγνο-κυτταρινούχες πρώτες ύλες

Σήμερα έχει επιτευχθεί η αποδοτική ζύμωση κυτταρίνης και ημι-κυτταρίνης από λιγνοκυτταρινούχες πρώτες ύλες, σε εμπορική πλέον κλίμακα στη Σουηδία, Η.Π.Α., και Βραζιλία, για παραγωγή αιθανόλης. Διάφορες μέθοδοι έχουν εφαρμοσθεί για αποδοτική ζύμωση της κυτταρίνης, με ιδιαίτερη σημασία αφού μπορούν να αξιοποιηθούν έτσι και τα υπολείμματα των σακχαρούχων φυτών (ζαχαροκάλαμο στη Βραζιλία – Μέθοδος γρήγορης υδρόλυσης Dedini) καθώς και άλλα απορρίμματα με λιγνοκυτταρινούχο σύσταση. Η δυσκολία των μεθόδων έγκειται στην επίτευξη πρόσβασης στις κυτταρινούχες ύλες μέσα από το περίβλημα λιγνίνης. Ένας τρόπος είναι η εφαρμογή διαλύτη, ενώ μελετώνται και βιολογικές μέθοδοι.

Το οικονομικό ενδιαφέρον της μεθόδου είναι έντονο, αφού η παραγωγή αιθανόλης στη μονάδα έκτασης καλλιέργειας σακχαρούχων φυτών σχεδόν διπλασιάζεται, και το κόστος παραγωγής μειώνεται σημαντικά σε σχέση με τον παραδοσιακό τρόπο παραγωγής.

2.2.2. Βιοσυνθετικά καύσιμα – Διαδικασία Fischer-Tropsch

Μεγάλο εύρος καθαρών βιοκαυσίμων μπορούν να προκύψουν από το βιοαέριο σύνθεσης, (με σχηματισμό διαφορετικών πολυμερών αλυσίδων από τα βασικά μόρια CO και H₂) αντλούμενο από τη βιομάζα, όπως: FT Diesel, Βιοβενζίνη FT, βιομεθάνιο. Η πρώτη ύλη της διαδικασίας είναι βιομάζα.

Για τη χρήση τους δεν υπάρχει ανάγκη σημαντικής τροποποίησης του κινητήρα των οχημάτων και η αγορά για τα προϊόντα της διαδικασίας έχει αναπτυχθεί. Ωστόσο, το κόστος παραγωγής είναι ακόμα υψηλό και υπάρχει ανάγκη ανάπτυξης αγοράς των υπο-προϊόντων της διαδικασίας.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η Τεχνολογία Carbo-V Choren που αναπτύχθηκε στη Γερμανία [11, 12]. Η μονάδα αεριοποίησης βιομάζας συνδέεται με μονάδα Fischer-Tropsch για παραγωγή FT diesel. Υπάρχει δυνατότητα παραγωγής συνθετικού καυσίμου sundiesel από απορρίμματα υγρασίας <35% για κίνηση οχημάτων ή για συμπαραγωγή ισχύος και θερμότητας. Το ενδιαφέρον είναι μεγάλο σε αυτή την περίπτωση λόγω υψηλού περιβαλλοντικού οφέλους, ενώ το οικονομικό όφελος είναι εφικτό στο άμεσο μέλλον.

2.2.3. Βιο-Μεθανόλη (BIO-MEOL)

Η βιο-μεθανόλη μπορεί να παραχθεί από μίγματα σύνθεσης αερίου H₂ και CO μέσω της γνωστής διαδικασίας οξυγονο-αλλοθερμικής αεριοποίησης από βιομάζα, αναδόμηση ατμού από τον ξυλάνθρακα και την επακόλουθη διαδικασία καταλυτικής σύνθεσης του CO₂ και H₂. Μπορεί να αποτελέσει μελλοντικό καύσιμο για οχήματα κυψελών καυσίμου, (με μετατροπή σε υδρογόνο πάνω στο όχημα) λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς της σε υδρογόνο.

Προς το παρόν η μεθανόλη παράγεται από φυσικό αέριο (παγκόσμια παραγωγή 27 mio t/year) με απόδοση μετατροπής ~55%. Η Βιο-Μεθανόλη έχει μακροπρόθεσμα την οικονομική δυνατότητα να αντικαταστήσει τη μεθανόλη από φυσικό αέριο. Πειράματα σύνθεσης βιομεθανόλης με καταλυτική ηλεκτρόλυση διαλύματος CO₂-νερού έδειξαν θετικά αποτελέσματα με απόδοση ~100%.

2.2.4. Βιο-αέρια με αεριοποίηση υγρής βιομάζας

Με αεριοποίηση υγρής βιομάζας σε steam gasifiers επιτυγχάνεται παραγωγή αερίων πλούσιων σε H₂ (60%) και CH₄ (40%). Εφαρμογές μπορούν να αποτελέσουν οι κινητήρες I.C. και τουρμπίνες ή ειδικές κυψέλες καυσίμου (Solid Oxide Fuel Cells, SOFC).

2.2.5. BIO-MTBE (Bio-Methyl-Tertiary Butyl Ether)

Πρόκειται για παρόμοιο βιοκαύσιμο με τον Bio-ETBE (Bio-Ethyl-Tertiary Butyl Ether) και παράγεται από μίξη βιομεθανόλης (36% κ.ο.) και τριτογενή βουτανόλη με θερμότητα και

καταλύτη. Ολλανδία και Γαλλία εξάγουν σήμερα μεγάλες ποσότητες MTBE σε άλλες χώρες συμπεριλαμβανομένων των Η.Π.Α.

2.2.6. Βιο-Διμεθυλ-αιθέρας (Bio-DME)

Παρουσιάζει ευνοϊκά χαρακτηριστικά για εφαρμογές σε μηχανές diesel λόγω των πολύ χαμηλών εκπομπών. Είναι υγρό σε πίεση ~5 bar. Είναι παρόμοιο με το LPG (μίγμα προπάνιου και βουτάνιου) όσον αφορά τα φυσικά χαρακτηριστικά του. Χρησιμοποιείται ως πρόσθετο στη βενζίνη, ή μίγμα με diesel ή ως υποκατάστατο του diesel σε τροποποιημένες μηχανές. Πιθανή συμμετοχή του στη βενζίνη είναι σε ποσοστό 2%.

Μπορεί να παραχθεί από bio-syn-gas (βιοαέριο σύνθεσης). Προς το παρόν ο DME παράγεται από μεθανόλη με όξινο καταλύτη σε χαμηλή πίεση και θερμοκρασία, ενώ σε εξέλιξη είναι η απευθείας μετατροπή από CO με οικονομικό ενδιαφέρον.

2.2.7. Βιοαέριο (μίγμα 60% μεθάνιο, 40% CO₂)

Εξευγενισμένο βιομεθάνιο (χωρίς CO₂) μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μηχανές φυσικού αερίου. Ήδη λεωφορεία δημοτικών γραμμών λειτουργούν με βιοαέριο ή φυσικό αέριο.

Το αέριο παράγεται με αναερόβια ζύμωση (CH₄ +CO₂) και το CO₂ απομακρύνεται με διάφορες μεθόδους (έκπλυση, πίεση – αποπίεση) και συμπιέζεται στα 220 bars για να μειωθεί ο όγκος του. Στη Σουηδία υπάρχει μικρό δίκτυο πρατηρίων βιοαερίου. Εγκαταστάσεις παραγωγής βιοαερίου μικρού μεγέθους είναι ευρέως διαδεδομένες σε αναπτυσσόμενες χώρες (~10 εκ. μονάδες στην Κίνα), ενώ στην Ευρώπη, βρήκαν υψηλή εφαρμογή στη Δανία, Αυστρία, όπου το παραγόμενο μεθάνιο διοχετεύεται στο δίκτυο φυσικού αερίου.

2.2.8. Πυρολυτικό λάδι (Flash pyrolysis oil)

Η παραγωγή και αναβάθμιση πυρολυτικού λαδιού έχει δοκιμασθεί σε εργαστήρια και πιλοτικές εγκαταστάσεις. Η πρώτη πιλοτική μονάδα στην Ευρώπη έγινε στο Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών το 1995. Το πυρολυτικό λάδι παράγεται από θέρμανση βιομάζας για πολύ μικρό χρονικό διάστημα απουσία αέρα ή οξυγόνου. Το παραγόμενο λάδι μοιάζει εμφανισιακά με το ακατέργαστο λάδι αλλά έχει διαφορετική χημική σύνθεση. Έχουν πραγματοποιηθεί δοκιμές του πυρολυτικού λαδιού σε μηχανές diesel και αεριοστροβίλους, αλλά δεν είναι ακόμα διαθέσιμο ως καύσιμο στις μεταφορές.

2.2.9. Βιο-Υδρογόνο: Υδρογόνο παραγόμενο από βιομάζα

Είναι ένα εξαιρετικό καθαρό καύσιμο, με μεγάλη ενεργειακή αξία (~3 φορές του πετρελαίου ανά μονάδα μάζας) και οι εκπομπές CO₂ κατά την καύση του είναι μηδενικές.

Μπορεί να παραχθεί:

Με καταλυτική μετατροπή από bio-syn-gas, μίγμα CO₂-H₂ από βιομάζα. Από δοκιμές φαίνεται ότι μπορεί να παραχθεί σε λογικό κόστος (~1700 €/t) μέσω αναδόμησης ατμού (steam reforming) των pellets ξυλάνθρακα από υπολείμματα βιομάζας χαμηλού κόστους (30 €/dt).

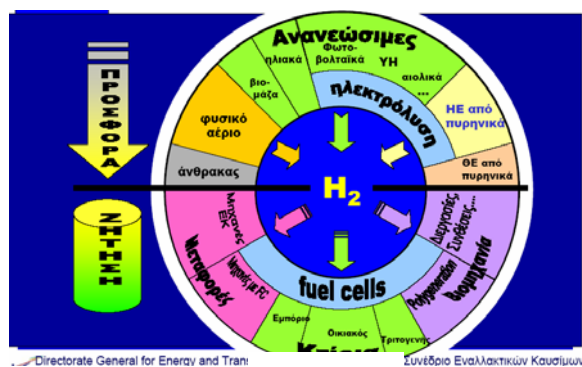
Με διαχωρισμό μεμβράνης από βιοαέριο σύνθεσης.

Από διάλυμα βιομεθανόλης-νερού (99% απόδοση μετατροπής – ισοζύγιο μάζας, 75% απόδοση μετατροπής – ισοζύγιο ενέργειας)

Από βιομεθανόλη με αναδόμηση ατμού (steam reforming).

Το κόστος παραγωγής υδρογόνου από φυσικό αέριο (παραδοσιακή μέθοδος, 3 €/MMBTU Φ.Α.) είναι ~1600 €/t με επένδυση ~220 mio €. Τα επόμενα 20 χρόνια αναμένεται κόστος φυσ. αερίου 7\$/MMBTU.

Η Ευρώπη οραματίζεται την παραγωγή υδρογόνου από όλες τις μελλοντικές πηγές ενέργειας και τη χρήση του σε όλες τις μορφές ζήτησης ενέργειας (Σχήμα 1).



Σχήμα 1. Το όραμα της Ευρώπης για το υδρογόνο [13]

Κατά το επιδεικτικό Ευρωπαϊκό πρόγραμμα CUTE - Clean Urban Transport for Europe έχουν οργανωθεί οι παρακάτω δράσεις:

- Στόλος 27 Η 2- κίνητων λεωφορείων
- Επιδεικτικές δράσεις σε 9 Ευρωπαϊκές πόλεις (Πόρτο, Μαδρίτη, Βαρκελώνη, Λονδίνο, Λουξεμβούργο, Αμβούργο, Άμστερνταμ και Στοκχόλμη)
- Παραγωγή, διανομή και ανεφοδιασμός
- Χρήση ΑΠΕ ως πρωτογενής μορφή ενέργειας

Ωστόσο, παρά τα επιδεικτικά προγράμματα, οι ειδικοί τοποθετούν την εμπορική χρήση του υδρογόνου στα Αυριανά Βιοκαύσιμα μετά το 2020.

3. Η ΝΕΑ ΚΟΙΝΗ ΑΓΡΟΤΙΚΗ ΠΟΛΙΤΙΚΗ (ΚΑΠ) ΚΑΙ ΟΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΓΕΩΡΓΙΑ

Σύμφωνα με τη νέα ΚΑΠ η Ευρωπαϊκή Ένωση στοχεύει στην αποδέσμευση της γεωργικής παραγωγής από τις οικονομικές ενισχύσεις. Για την ικανοποίηση του στόχου αυτού προβλέπει τη χορήγηση οικονομικής ενίσχυσης στους παραγωγούς οι οποίοι καλλιεργούσαν επιδοτούμενες καλλιέργειες κατά την ιστορική περίοδο 2000-2002, με βάση τη μέση στρεμματική απόδοση των τριών αυτών ετών και ποσοστά αποδέσμευσης από την παραγωγή μέχρι 100%.

Αυτό σημαίνει ότι, ανεξάρτητα με το είδος της καλλιέργειας που ο παραγωγός θα εγκαταστήσει τα επόμενα χρόνια στους αγρούς όπου καλλιεργούσε επιδοτούμενο προϊόν, θα του χορηγείται το ποσοστό αποδεσμευμένης ενίσχυσης της παρελθούσης επιδοτούμενης καλλιέργειας, όπως αυτό ορίζεται σε εθνικό επίπεδο.

Παρά το γεγονός ότι το Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης δεν έχει ορίσει ακόμη ποσοστά αποδέσμευσης για τις διάφορες καλλιέργειες (δέσμευση για αποσαφήνιση έως τον Ιούλιο του τρέχοντος έτους), επιχειρήθηκε να εκτιμηθεί η καθαρή πρόσδοδος στον παραγωγό που θα αποφασίσει να εγκαταστήσει ενεργειακές καλλιέργειες (επιλέχθηκαν τα παραδείγματα καλλιέργειας ηλιάνθου για παραγωγή φυτικού λαδιού και biodiesel, και καλλιέργειας γλυκού σόργου για παραγωγή αιθανόλης από απλά σάκχαρα) σε αντικατάσταση καλλιεργειών βαμβακιού, αραβόσιτου, μαλακού και σκληρού σιταριού, και ποσοστά αποδεσμευμένης ενίσχυσης από 50% ως 100%.

Τα διάφορα πιθανά σενάρια δίνονται στους Πίνακες 3 και 4 που ακολουθούν. Για την περίπτωση του ηλιάνθου έχουν ληφθεί υπόψη αποδόσεις από 300 – 380 kg/στρέμμα, σε

συνθήκες αγρού, αν και αποδόσεις ως 450 kg/στρέμμα, είναι επιτεύξιμες με σπορά παραγωγικών υβριδίων [5]. Στους υπολογισμούς έχει συμπεριληφθεί και η χαμηλή πρόσθετη επιδότηση των 4.5 €/στρέμμα στις καλλιέργειες για παραγωγή προϊόντων για ενεργειακή χρήση όπως προβλέπεται από τον Κανονισμό 1782/2003 της Ε.Ε., L 270/1, η οποία όμως δεν επιφέρει σημαντική επίδραση, ό,τι κι αν τελικά αποφασισθεί σχετικά με τη χορήγηση αυτής της μικρής πρόσθετης ενίσχυσης από το Υπ. Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων ή την Ε.Ε..

ΠΙΝΑΚΑΣ 3		
ΗΛΙΑΝΘΟΣ	Ξηρικός με βροχοπτώσεις	Ποτιστικός
Απόδοση (kg/στρέμμα)	300	380
Τιμή πώλησης (€/kg)	0.18	0.18

Καθαρή πρόσδοδος €/στρέμμα	Ποσοστό αποδέσμευσης			Υπό αντικατ. Καλλιέργεια Ή Τιμή αναφοράς
Σε αντικατάσταση	100%	65%	50%	
Βαμβάκι	197	134.4		154.48
Καπνός			281	
Αραβόσιτος	77.5			141.54
Σιτάρι Σκληρό	79	56.5		59.19
Σιτάρι Μαλακό	46.11	39.5		19.54

ΠΙΝΑΚΑΣ 4		
ΓΛΥΚΟ ΣΟΡΓΟ		
Απόδοση (kg/στρέμμα)		1200
Πρόσοδος από Πώληση Προϊόντος (€/στρέμμα)		152.6

Καθαρή πρόσδοδος €/στρέμμα	Ποσοστό αποδέσμευσης			Υπό αντικατ. καλλιέργεια Τιμή αναφοράς
Σε αντικατάσταση	100%	65%	50%	
Βαμβάκι	333	270		154.48
Καπνός			281	
Αραβόσιτος	199	175		141.54
Σιτάρι Σκληρό	200	176		59.19
Σιτάρι Μαλακό	166	159		19.54

Σύμφωνα με τα διάφορα πιθανά σενάρια, η καλλιέργεια του ηλίανθου φαίνεται να αποφέρει συμφέρουσα καθαρή πρόσδοδο στον παραγωγό σε ξηρικά χωράφια, σε αντικατάσταση καλλιεργειών σιταριού, ενώ η πρόσδοδος του παραγωγού δεν εξασφαλίζεται στην περίπτωση αντικατάστασης βαμβακιού ή αραβόσιτου. Ενδιαφέρον πιθανώς να έχει και η περίπτωση καλλιέργειας ηλίανθου σε αντικατάσταση καπνού, λόγω της υψηλής χορηγούμενης ενίσχυσης στην περίπτωση αυτή, αλλά πρέπει να υπάρξουν διευκρινήσεις από το Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης.

Δυστυχώς, δεν στάθηκε δυνατό, προς το παρόν, η εύρεση στοιχείων για την καθαρή πρόσδοδο των παραγωγών καπνού σήμερα, ώστε να υπάρξει μέτρο σύγκρισης.

Η καλλιέργεια του γλυκού σόργου, λόγω των πολύ υψηλών αποδόσεων, φαίνεται να μπορεί να σταθεί σε όλες τις περιπτώσεις αντικατάστασης υπάρχουσων καλλιεργειών, από τις οποίες σημειωτέον ότι αυτές του μαλακού και σκληρού σιταριού δίνονται μόνο για αναφορά, αφού η καλλιέργεια γλυκού σόργου αφορά μόνο ποτιστικούς αγρούς. Το εισόδημα μάλιστα του παραγωγού φαίνεται να μπορεί να εξασφαλισθεί και με ελάχιστη έως καθόλου οικονομική ενίσχυση, δηλαδή μόνο από την πρόσδοδο πώλησης του προϊόντος.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ανασκόπηση σε παγκόσμιο επίπεδο έδειξε ότι σημαντική τεχνολογία έχει αναπτυχθεί για την παραγωγή βιοκαυσίμων προς αντικατάσταση των ορυκτών πρώτων υλών, και η στροφή προς τη χρήση τους αποτελεί άμεση αναγκαιότητα για τους λόγους που ήδη αναπτύχθηκαν παραπάνω, αλλά και δέσμευση προς το πρωτόκολλο Kyoto και την Ευρωπαϊκή πολιτική για επίτευξη συγκεκριμένων στόχων σε ορισμένα διαστήματα (χρήση 5.75% βιοκαυσίμων έως το 2010).

Η χρήση όμως των βιοκαυσίμων συνδέεται άμεσα αλλά και εξαρτάται από την παραγωγή της πρώτης ύλης. Με τη νέα Κοινή Αγροτική Πολιτική και χάρη στις δυνατές μεγάλες στρεμματικές αποδόσεις σε ενεργειακή βιομάζα στην Ελλάδα, οι παραγωγοί μας μπορούν να βρουν μέσα από την προοπτική παραγωγής βιοκαυσίμων μια ενδιαφέρουσα εναλλακτική καλλιέργεια. Η χώρα μας δεν φαίνεται να έχει αποφασίσει ακόμα: θα εισάγει ή θα παράγει βιοκαύσιμα;

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Exxonmobil, A report on Energy Trends, Greenhouse Gas Emissions and Alternative Energy, 2004. www.exxonmobil.com
2. EUBIA, 2004
3. J. Modl – VOGELBUSCH, Proceedings of Central European Biomass Conference 2005, 26-29 Jan. 2005, Graz, Austria
4. 9th LAMNET Project Workshop. Ribeirão Preto - September 15th, 2004
5. Geronikolou L., Danalatos N. G., Kalavriotou P., Archondoulis S., Papadakis G., 2004. An experimental study of sunflower oil production in Greece to be used as an alternative fuel. Proceedings 2nd World Biomass Conference- Rome, 10-14 May 2004
6. Satish Lele. Biodiesel in India www.svlele.com
7. S. Rozakis and J. -C. Sourie Micro-economic modelling of biofuel system in France to determine tax exemption policy under uncertainty *Energy Policy, Volume 33, Issue 2, January 2005, Pages 171-182*
8. J. Fernandez, 2nd World Biomass Conference, Rome, 10-14 May 2004.
9. Austrian Biofuels Institute, 1997
10. Pimentel D., 2003. Ethanol Fuels: Energy balance, Economics and Environmental Impacts are negative. Natural Resources Research, Vol. 12, June 2003
11. Eberhard Oettel. State-of-the-art of Gasification of Biomass and Waste in Germany. First Meeting of IEA International Energy Agency Thermal Gasification of Biomass Task in Germany, November 21 to 23, 2001
12. Michael Deutmeyer – CHOREN Industries GmbH. Proceedings of Central European Biomass Conference 2005, 26-29 Jan. 2005, Graz, Austria
13. Κυριάκος Μανιάτης – DG TREN Biofuels and Industry. 1^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Εναλλακτικών Καυσίμων, Αθήνα 27-28/01/2005
14. Γερονικολού Λ., Κυρίτσης Σ., Έκθεση αποτελεσμάτων επιδεικτικής καλλιέργειας Ηλίανθου στον κάτω Μόρνο, 2004.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΛΑΔΙΟΥ ΗΛΙΑΝΘΟΥ ΜΕ ΣΚΟΠΟ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΩΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

Λ. Γερονικολού¹, Ν. Δαναλάτος^{2,3}, Σ. Αρχοντούλης² Γ. Παπαδάκης¹

¹Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Τμήμα Αξιοπ. Φυσικών Πόρων & Γεωργ. Μηχανικής.

Ιερά Οδός 75, 11855 Αθήνα τηλ. 210 5294046 e-mail: gelou@aua.gr

²Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

Τμήμα Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος

Φυτόκου 38446 Βόλος τηλ. 24210 93121 e-mail: danal@uth.gr

³Πανεπιστήμιο Αιγαίου. Τμήμα Επιστήμης Περιβάλλοντος

Λόφος Ξενία 81100 Μυτιλήνη τηλ. 22510 36204

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα φυτικά έλαια θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως εναλλακτικά καύσιμα σε κινητήρες εσωτερικής καύσης, τουρμπίνες ή καυστήρες θέρμανσης σε μίγματα με καύσιμο diesel ή αυτούσια είτε μετά από κατάλληλη επεξεργασία (αναφέρεται μετεστεροποίηση, πυρόλυση), είτε με ελαφρά τροποποίηση των κινητήρων, με προσαρμογή πρόσθετων εξαρτημάτων.

Μεταξύ των ενεργειακών πηγών από τον ευρύτερο τομέα της Βιομάζας, η καλλιέργεια του ηλιανθου ως πηγή παραγωγής φυτικού λαδιού παρουσιάζει ιδιαίτερο καλλιεργητικό ενδιαφέρον για τη χώρα μας, υπό τις κλιματολογικές συνθήκες της οποίας, προσαρμόζεται αρκετά καλά.

EXPERIMENTAL STUDY OF SUNFLOWER OIL PRODUCTION TO BE USED AS AN ALTERNATIVE FUEL

L. Geronikolou¹, N. G. Danalatos^{2,3}, S. Archodoulis² G. Papadakis¹

¹Agricultural University of Athens

Dept. of Natural Resources and Agr. Engineering.

75, Iera Odos str, 11855 Athens tel.+30 210 5294046 e-mail: gelou@aua.gr

²University of Thessaly.

Dept. of Crop production and Agricultural Environment.

Fytoco, 38446 Volos, Greece

Tel. +30 24210 93121 e-mail: danal@uth.gr

³ University of Aegean, Department of Environmental Sciences

University Hill, Mytilini 81100, Greece tel. +30 22510 36204

ABSTRACT

Vegetable oils could be used as alternative fuels in IC engines, turbines or boilers in mixtures with diesel fuel or simple either after specific treatments (transesterification, pyrolysis), or slight modifications slight modifications to the engines by adjusting additional components.

Sunflower cultivation for alternative fuel production constitutes an important energy carrier from the wider field of biomass with especial interest for Mediterranean countries, under the climatic conditions of which, shows very good adaptation.

1. ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΚΑΙ ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Ο σκοπός της εργασίας ήταν να εξετασθούν 4 ποικιλίες ηλίανθου όσον αφορά την απόδοσή τους σε σπόρο και ενεργειακό κέρδος, υπολογιζόμενο με βάση τις ενεργειακές εισροές και εκροές, με τις πρώτες να διαφοροποιούνται στο εσωτερικό του πειραματικού τεμαχίου ώστε να γίνει δυνατή η παρατήρηση της επίδρασης αυτών στην απόδοση σε σπόρο και λάδι, κι επομένως και στο ενεργειακό ισοζύγιο. Επιπλέον, ακολούθησε προσδιορισμός βασικών ιδιοτήτων των παραγόμενων λαδιών ύστερα από εργαστηριακές αναλύσεις που διεξήχθησαν στο Εργαστήριο Τεχνολογίας Καυσίμων και Λιπαντικών της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, με σκοπό την παρατήρηση τυχόν επίδρασης των διαφόρων παραγόντων (ποικιλίας και ενεργειακών εισροών) στις ιδιότητες των ελαίων. Αναφέρονται χαρακτηριστικά μερικές από τις ιδιότητες που καθορίστηκαν : Ανώτερη Θερμογόνος Δύναμη, σημείο ανάφλεξης, υπόλειμμα άνθρακα, τέφρα, θείο, αριθμός κετανίου, ιξώδες, σημείο ροής, πυκνότητα.

Οι ποικιλίες του ηλίανθου που εξετάστηκαν ήταν V_1 = Golden World (Ελληνικό υβρίδιο), V_2 = Panther (Ιταλικό υβρίδιο), V_3 = Peredovic (Ισπανική ποικιλία) και V_4 = Turbo (Ελληνικό υβρίδιο). Το πειραματικό σχέδιο που εφαρμόστηκε ήταν ένα πλήρως τυχαίοποιημένο σχέδιο τριών παραγόντων $4 \times 3 \times 2$ σε υπαίθριο πειραματικό αγρό με τρεις επαναλήψεις. Έτσι ο αριθμός των επιμέρους τεμαχίων (plots) του πειραματικού αγρού που προέκυψαν ήταν 72 που αποτέλεσαν και τα δείγματα του πειράματος. Ο πειραματικός αγρός είχε συνολική έκταση 0.2808 ha. Οι τρεις παράγοντες του πειράματος ήταν πρώτον η εφαρμογή άρδευσης, σε τρεις επεμβάσεις: $I_1 = 25\%$, $I_2 = 50\%$ και $I_3 = 100\%$ της δυναμικής εξατμισοδιαπνοής (Potential Evapotranspiration, PET), δηλαδή σε συνολικές ποσότητες εφαρμογής άρδευσης $I_1 = 800 \text{ m}^3/\text{ha}$, $I_2 = 1400 \text{ m}^3/\text{ha}$ και $I_3 = 2480 \text{ m}^3/\text{ha}$, δεύτερον οι 4 ποικιλίες και τρίτος παράγοντας η λίπανση αζώτου, στις επεμβάσεις $N_1 = 150 \text{ kg N/ha}$ (500 kg λιπάσματος (33-0-0)/ha), και $N_0 = 0 \text{ kg N/ha}$. Η λίπανση φωσφόρου και καλίου εφαρμόστηκε σε όλα τα plots του πειραματικού τεμαχίου στις ποσότητες των $100 \text{ kg P}_2\text{O}_5$ (0-46-0) ha^{-1} και $200 \text{ kg K}_2\text{O}$ (0-0-50) ha^{-1} . Η ποσότητα σπόρων που σπάρθηκαν ήταν 4 kg/ha και ο έλεγχος των ζιζανίων πραγματοποιήθηκε με 1.7 lt/ha ζιζανιοκτόνου Linagan 50%. Ο υπολογισμός του ενεργειακού ισοζυγίου έγινε με βάση τις αντίστοιχες ενεργειακές ισοτιμίες από τη βιβλιογραφία [1] – [6], που αφορούν τις πραγματικές ενεργειακές εισροές και εκροές, ενώ ο προσδιορισμός των ιδιοτήτων καυσίμου των ελαίων στο εργαστήριο διεξήχθη σύμφωνα με τα αντίστοιχα πρότυπαδοκιμών.

2. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΗΛΙΑΝΘΟΥ

Η περιοχή όπου εγκαταστάθηκε η καλλιέργεια παρουσίασε κάποια ιδιομορφία σε σχέση με το καθεστώς υγρασίας, αφού ο υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας βρισκόταν αρκετά υψηλά δίνοντας, κατά πάσα πιθανότητα, τη δυνατότητα στην καλλιέργεια στο σύνολό της να εκμεταλλευτεί την εδαφική υγρασία και επομένως να μη δώσει κάποια διαφοροποίηση στις αποδόσεις σε σχέση με τις διαφορετικές επεμβάσεις άρδευσης, κάνοντας φανερή τη δυνατότητα του ηλίανθου να εκμεταλλεύεται αποτελεσματικά την εδαφολογική υγρασία, λόγω του βαθιού ριζικού συστήματός του. Επιπλέον, η αζωτούχος λίπανση δεν είχε καμία επίδραση στην απόδοση σε σπόρο ενώ είχε μια μικρή επιρροή στην παραγωγή της υπόλοιπης βιομάζας. Το γεγονός αυτό, μαζί με την υψηλή παραγωγικότητα μερικών ποικιλιών – η V_1 ήταν η περισσότερο παραγωγική – που υπερέβη σε μερικές περιπτώσεις τους $4.9 \text{ t σπόρο ha}^{-1}$, οδήγησε σε έναν υψηλότερο, σε σχέση με εκείνα που έχουν αναφερθεί μέχρι τώρα στη βιβλιογραφία [1], ενεργειακό ισοζύγιο.

2.1 Επίδραση των διαφόρων επεμβάσεων στις αποδόσεις της καλλιέργειας (σπόρος, λάδι, φυτικά στελέχη)

Οι αποδόσεις της καλλιέργειας ηλίανθου σε σπόρο, φυτομάζα και λάδι για τις τέσσερις ποικιλίες, σε ελάχιστες και μέγιστες τιμές των διαστημάτων 95% εμπιστοσύνης για τα 72 δείγματα του πειράματος παρουσιάζονται στον Πίνακα 1 που ακολουθεί.

Η εξαγωγή του λαδιού έγινε στο εργαστήριο, με εκχύλιση με συσκευή soxhlet και χρήση διαλύτη εξανίου μετά από άλεσμα του σπόρου.

Στα Διαγράμματα 1 έως 5 που ακολουθούν απεικονίζονται τα διαστήματα ελάχιστης σημαντικής διαφοράς σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95% για τις διάφορες επεμβάσεις: ποικιλίες, αζωτούχο λίπανση και άρδευση.

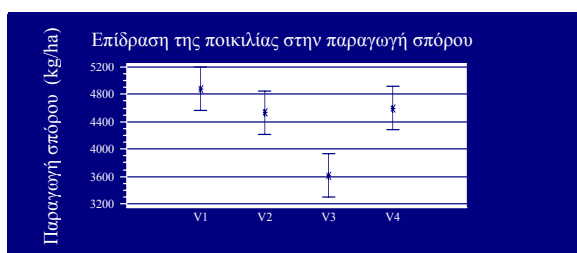
Πίνακας 1. Αποδόσεις των τεσσάρων ποικιλιών (t/ha)

Ποικιλία	Σπόρος		Λάδι		Φυτομάζα	
	min	max	min	max	min	max
V ₁	4.49	5.27	1.81	2.06	7.28	9.62
V ₂	3.77	5.29	1.19	1.68	5.43	8.56
V ₃	3.02	4.21	0.98	1.62	5.30	8.83
V ₄	4.23	4.96	1.33	1.76	4.48	12.19

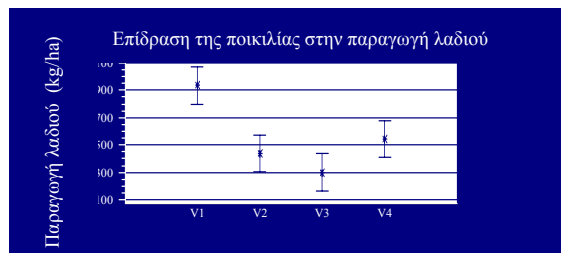
Παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά στην απόδοση της καλλιέργειας σε σπόρο και λάδι ανάμεσα στα δείγματα των 4 ποικιλιών ηλίανθου που δοκιμάστηκαν. (Διαγράμματα 1, 2). Το υβρίδιο V₁ ξεχώρισε σε απόδοση σε λάδι με στατιστικά σημαντική διαφορά σε σχέση με τις υπόλοιπες ποικιλίες, ενώ δεύτερη σε απόδοση λαδιού ποικιλία ήταν το υβρίδιο V₄. Οι δύο παραπάνω ποικιλίες φάνηκε να έχουν μία τάση για επίσης υψηλότερη παραγωγή φυτομάζας.

Η αζωτούχος λίπανση δεν φαίνεται να επηρέασε την παραγωγή, ωστόσο φάνηκε μία τάση για υψηλότερη παραγωγή λαδιού στην περίπτωση που δεν εφαρμόστηκε αζωτούχος λίπανση με αντίθετα αποτελέσματα όσον αφορά την παραγωγή φυτομάζας, η οποία ήταν ελαφρώς υψηλότερη στα πειραματικά τεμάχια που δέχθηκαν λίπασμα αζώτου (Διαγράμματα 3, 4).

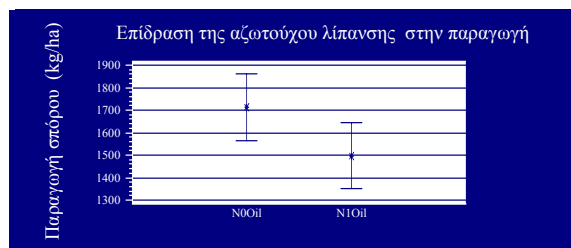
Η επέμβαση της άρδευσης φάνηκε να έχει κάποια επίδραση μόνο στην παραγωγή φυτομάζας, η οποία ευνοήθηκε στις μεγαλύτερες δόσεις άρδευσης (Διάγρ. 5).



Διάγραμμα 1: Διαστήματα ελάχιστης σημαντικής διαφοράς για τις 4 ποικιλίες όσον αφορά την παραγωγή σπόρου σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%



Διάγραμμα 2: Διαστήματα ελάχιστης σημαντικής διαφοράς για τις 4 ποικιλίες όσον αφορά την παραγωγή λαδιού σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%



Διάγραμμα 3: Διαστήματα ελάχιστης σημαντικής διαφοράς για τις επεμβάσεις της αζωτούχου λίπανσης όσον αφορά την παραγωγή λαδιού σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%



Διάγραμμα 4: Διαστήματα ελάχιστης σημαντικής διαφοράς για τις επεμβάσεις της αζωτούχου λίπανσης όσον αφορά την παραγωγή φυτομάζας σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%



Διάγραμμα 5: Διαστήματα ελάχιστης σημαντικής διαφοράς για τις επεμβάσεις άρδευσης όσον αφορά την παραγωγή φυτομάζας σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%

2.2 Υπολογισμός ενεργειακού ισοζυγίου

Για τον υπολογισμό των ενεργειακών εισροών χρησιμοποιήθηκαν σχετικοί ενεργειακοί συντελεστές από τη βιβλιογραφία. Συγκεκριμένα οι ενεργειακές εισροές για τα χρησιμοποιούμενα στην καλλιέργεια ηλιανθου μηχανήματα, ελκυστήρα, ανθρώπινη εργασία και καύσιμο (Machinery, Tractor, Labour and Fuel, MTLF) λήφθηκαν στην τιμή των 5.0 GJ/ha [1].

Οι ενεργειακές εισροές της άρδευσης αντιστοιχούν σε στάγδην άρδευση με πλαστικούς σωλήνες ϕ 20 και αντλία επιφανείας παροχής $Q = 40 \text{ m}^3/\text{h}$ και ολικού μανομετρικού ύψους $H = 30 \text{ m}$, και ο υπολογισμός τους έγινε με βάση τους ενεργειακούς συντελεστές που αναφέρονται στην βιβλιογραφία [2]. Η ενέργεια που απαιτείται για άντληση 100 m^3 νερού συνίσταται από την ενέργεια κατασκευής της αντλίας, την άμεση ενέργεια του νερού που καταναλώνεται, και την ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνει ο ηλεκτροκινητήρας. Το άθροισμα των παραπάνω τριών πηγών κατανάλωσης ενέργειας κατά την άντληση έδωσε την τιμή της απαιτούμενης ενέργειας για άντληση 100 m^3 νερού των 235 MJ. Ο υπολογισμός των ενεργειακών εισροών για τους χρησιμοποιούμενους σωλήνες έγινε με βάση το χρησιμοποιούμενο μήκος τους στη μονάδα έκτασης και το αντίστοιχο βάρος (από σχετικό Πίνακα) και ενεργειακό συντελεστή 10 MJ/kg -έτος για την ενέργεια που καταναλώθηκε για την κατασκευή τους. Για τα διάφορα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν (λιπάσματα, σπόροι, ζιζανιοκτόνο) λήφθηκαν οι παρακάτω ενεργειακοί συντελεστές: 61.53 MJ/kg N , $12.54 \text{ MJ/kg P}_2\text{O}_5$, $6.69 \text{ MJ/kg K}_2\text{O}$, 418.22 MJ/kg ενεργής ουσίας ζιζανιοκτόνου [2], 52.6 MJ/kg σπόρου [1] (διπλάσια του ενεργειακού περιεχομένου του σπόρου ώστε να συμπεριλαμβάνεται και η ενέργεια που καταναλώνεται για την παραγωγή του).

Η διαφοροποίηση των τιμών των ενεργειακών εισροών μεταξύ των διάφορων συνδυασμών επεμβάσεων αζωτούχου λίπανσης και άρδευσης, $\text{In}(\text{puts})1=\text{I}_1\text{N}_0$, $\text{In}2=\text{I}_2\text{N}_0$, $\text{In}3=\text{I}_3\text{N}_0$, $\text{In}4 = \text{I}_1\text{N}_1$, $\text{In}5=\text{I}_2\text{N}_1$, $\text{In}6=\text{I}_3\text{N}_1$, απεικονίζεται στον Πίνακα 2.

Για τον υπολογισμό των ενεργειακών εκροών χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθες ενεργειακές ισοτιμίες : Σπόρος : 26.3 MJ/kg [3], Φυτομάζα : $14.3 \text{ MJ/kg dry matter}$ [4], Λάδι : 39.4 MJ/kg [5], Πίττα : 19.6 MJ/kg [6].

Διαπράττοντας τις αντίστοιχες ενεργειακές εκροές των διαφορετικών πειραματικών τεμαχίων (plots) με τις αντίστοιχες ενεργειακές εισροές που εφαρμόστηκαν σε κάθε πειραματικό τεμάχιο, προέκυψαν 72 διαφορετικές τιμές ενεργειακού ισοζυγίου, των οποίων τα διαστήματα 95% εμπιστοσύνης ανά ποικιλία παρουσιάζονται στον Πίνακα 3. Τα ενεργειακά ισοζύγια που προέκυψαν είναι υψηλότερα σε σχέση με αυτά που έχουν ως τώρα αναφερθεί στη βιβλιογραφία για την καλλιέργεια του ηλιανθου, φθάνοντας την τιμή $7.36 : 1$ για την περίπτωση παραγωγής σπόρου από την ποικιλία V_1 με τις μικρότερες ενεργειακές εισροές. Τα ενεργειακά ισοζύγια για την παραγωγή φυτικών στελεχών ήταν αντίστοιχα υψηλά, φθάνοντας σε ένα μέσο συνολικό ενεργειακό ισοζύγιο παραγωγής βιομάζας $11.19 : 1$ για την περίπτωση της περισσότερο παραγωγικής ποικιλίας V_1 , *Golden World*.

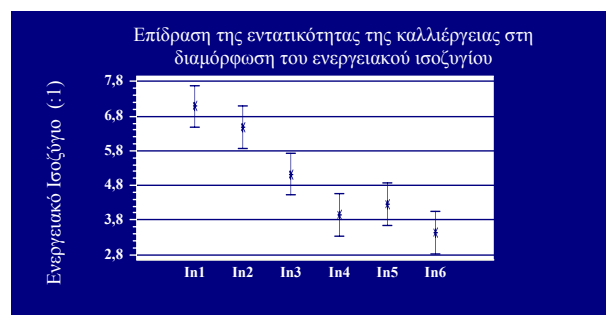
Ενδιαφέρον παρουσιάζει η επίδραση των εισροών $\text{In}1$ ως $\text{In}6$, με αύξουσα εντατικότητα καλλιέργειας, στη διαμόρφωση του ενεργειακού ισοζυγίου (Διάγραμμα 6). Το ενεργειακό ισοζύγιο μεγιστοποιείται στην περίπτωση των ελάχιστων ενεργειακών εισροών $\text{In}1$, δηλαδή με μηδενική εφαρμογή αζωτούχου λίπανσης και ελάχιστη δόση άρδευσης, γεγονός που έχει διαπιστωθεί και από άλλες αναφορές [7].

Πίνακας 2 Υπολογισμός ενεργειακών εισροών (GJ/ha)

ΕΙΣΡΟΕΣ (GJ/ha)	I ₁ N ₀	I ₂ N ₀	I ₃ N ₀	I ₁ N ₁	I ₂ N ₁	I ₃ N ₁
M.T.L.F.	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Άρδευση Σωλήνες	6.74	6.74	6.74	6.74	6.74	6.74
Αντληση I ₁ = 800m ³ /ha	1.88			1.88		
I ₂ =1400m ³ /ha		3.29			3.29	
I ₃ =2480m ³ /ha			5.83			5.83
Υλικά						
Λιπάσματα Επέμβαση N ₀ (Κ και Ρ)	2.59	2.59	2.59			
Επέμβαση N ₁ (Κ, Ρ και Ν)				11.81	11.81	11.81
Σπόροι	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
Ζιζανιοκτόνο	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67
Σύνολο	17.09	18.50	21.04	26.31	27.72	30.26

Πίνακας 3 Ενεργειακά ισοζύγια (εκροές : εισροές) της πειραματικής καλλιέργειας ηλίανθου για τις τέσσερις ποικιλίες

Ενεργειακό Ισοζύγιο (:1)	V ₁			V ₂			V ₃			V ₄		
	min	mean	max	min	mean	max	min	mean	max	min	mean	max
Σπόρος	4.13	5.75	7.36	3.69	5.08	6.46	2.94	4.26	5.57	4.33	5.32	6.30
Φυτομάζα	3.68	5.44	7.20	3.07	4.43	5.79	3.23	4.44	5.66	3.64	5.00	6.36
Λάδι	2.36	3.11	3.86	2.23	2.91	3.59	1.27	2.15	3.04	1.73	2.51	3.29

**Διάγραμμα 6:** Διαστήματα ελάχιστης σημαντικής διαφοράς για τους διάφορους συνδυασμούς ενεργειακών εισροών In1 έως In6 όσον αφορά τη διαμόρφωση του ενεργειακού ισοζυγίου (επίπεδο εμπιστοσύνης 95%) In1=I₁N₀, In2=I₂N₀, In3=I₃N₀, In4 = I₁N₁, In5=I₂N₁, In6=I₃N₁

2.3 Προσδιορισμός Ιδιοτήτων καυσίμου του παραγόμενου λαδιού

Οι ιδιότητες καυσίμου του παραγόμενου ελαίου καθορίστηκαν σύμφωνα με τα σχετικά πρότυπα δοκιμών, και οι τιμές τους δεν ήταν μακριά από τις τιμές που έχουν αναφερθεί μέχρι τώρα (Πίνακας 4). Αυτό που, εντούτοις, είναι ενδιαφέρον είναι ότι παρατηρήθηκε κάποια διαφοροποίηση σε ορισμένες ιδιότητες καυσίμου (ιζώδες, αριθμό κετανίου, περιεκτικότητα σε

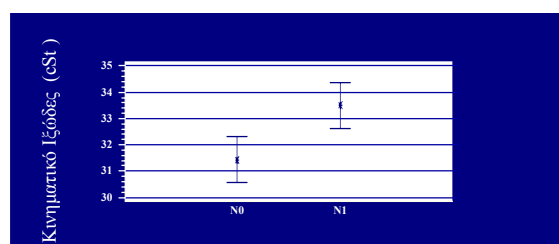
θείο, υπόλειμμα άνθρακα) των λαδιών σε συνάρτηση με τα χαρακτηριστικά των ποικιλιών και των καλλιεργητικών τεχνικών που εφαρμόστηκαν (Διαγράμματα 7-9).

Συγκεκριμένα, το ιξώδες του παραγόμενου ελαίου παρουσίασε μια στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στα δείγματα στα οποία εφαρμόστηκε λίπανση αζώτου και τα δείγματα τα οποία δεν δέχτηκαν καμία αζωτούχο λίπανση, με τα τελευταία να επιδεικνύουν σαφώς χαμηλότερες τιμές ιξώδους όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 7 που ακολουθεί.

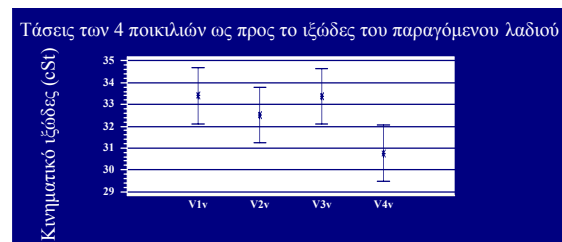
Ανάμεσα στις τέσσερις διαφορετικές ποικιλίες παρουσιάστηκαν συγκεκριμένες τάσεις σε ορισμένες ιδιότητες, με τις ποικιλίες V_1 και V_4 να επιδεικνύουν περισσότερο ευνοϊκά χαρακτηριστικά, μικρής ωστόσο σημασίας. Ειδικότερα, η V_4 ποικιλία έδειξε μια τάση για χαμηλότερο ιξώδες (Διάγραμμα 8) και περιεκτικότητα σε θείο, και η ποικιλία V_1 μια τάση για υψηλότερο αριθμό κετανίου (Διάγραμμα 9) και μικρότερο υπόλειμμα άνθρακα.

Πίνακας 4 Αποτελέσματα εργαστηριακών αναλύσεων του παραγόμενου λαδιού πειραματικής καλλιέργειας ηλίανθου (μέσες τιμές)

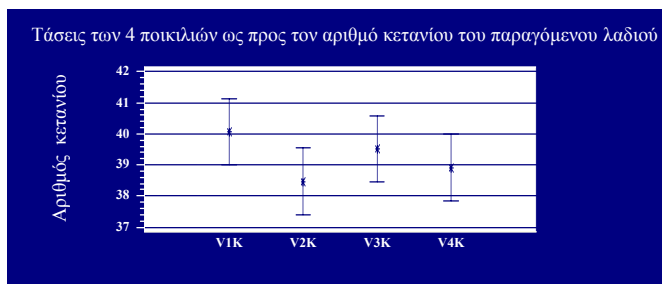
Ιδιότητα	Μονάδες	Αποτελέσματα
Δυναμικό ιξώδες στους 40°C	cP	30.387
Κινηματικό ιξώδες στους 40°C	mm ² /sec	32.51
Πυκνότητα στους 40°C	kg/m ³	905
Πυκνότητα στους 15°C	kg/m ³	921
Υγρασία	mg/kg	584
Τέφρα	% m/m	<0.01
Περιεκτικότητα σε θείο	mg/kg	1.4925 ~ 0 % m/m
Σημείο ανάφλεξης	° C	>230
Σημείο ροής	° C	-14
Αριθμός Κετανίου	-	39.24
Υπόλειμμα άνθρακα	% m/m	0.130356
Ανώτερη Θερμογόνος Δύναμη	MJ/kg	39.04



Διάγραμμα 7: Διαστήματα ελάχιστης σημαντικής διαφοράς για τις δύο επεμβάσεις αζωτούχου λίπανσης όσον αφορά το κινηματικό ιξώδες του παραγόμενου λαδιού



Διάγραμμα 8: Διαστήματα ελάχιστης σημαντικής διαφοράς για τις τέσσερις ποικιλίες όσον αφορά το κινηματικό ιξώδες του παραγόμενου λαδιού



Διάγραμμα 9: Διαστήματα ελάχιστης σημαντικής διαφοράς για τις τέσσερις ποικιλίες όσον αφορά τον αριθμό κετανίου του παραγόμενου λαδιού

2.4 Οικονομική ανάλυση κόστους καλλιέργειας ηλίανθου

Για τον σκοπό αυτόν της μελέτης χρησιμοποιήθηκε το οικονομικό μοντέλο που αναπτύχθηκε από το Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών με την ονομασία Bioenergy Economic Evaluation (EU Project: Bioenergy Chains, Contract no ENKG –CT 2001-00524, [8], το οποίο υπολογίζει το κόστος για κάθε καλλιεργητική εργασία με βάση τις ανάγκες σε μηχανήματα, ανθρώπινη εργασία και υλικά που αναλύσκονται.

Η οικονομική ανάλυση έγινε για καλλιέργεια ηλίανθου έκτασης 2.5 ha σε αρδευόμενη γη με κόστος αγοράς 3200.00 €/ha και κόστος ενοικίασης 600.00 €/ha. Το κόστος για την εργασία των μηχανημάτων υπολογίζεται ως κόστος κεφαλαίου και συντήρησης σε ωριαία βάση, σύμφωνα με το κόστος αγοράς τους, τον αναμενόμενο χρόνο ζωής τους, τις ετήσιες ώρες λειτουργίας και ποσοστά που ορίζονται για τόκο κεφαλαίου 9%, πληθωρισμό 4% και επιτόκιο προεξόφλησης 10%. Στο παραπάνω κόστος προστίθεται και η κατανάλωση καυσίμου, για τα μηχανήματα που καταναλίσκουν καύσιμο.

Για τον υπολογισμό των αναγκών σε ώρες εργασίες και λίτρα καυσίμου για κάθε καλλιεργητική επέμβαση χρησιμοποιήθηκαν οι συντελεστές που αναφέρονται στη βιβλιογραφία [9], [1].

Στα λειτουργικά έξοδα υπολογίστηκε το κόστος νερού ως πάγιο ανά μονάδα έκτασης, όπως χρεώνεται από τοπικούς οργανισμούς σε πολλές περιοχές της χώρας, στην τιμή των 94 €/ha και στην τιμή αυτή προστέθηκαν και άλλα 150 €/ha για διάφορα λειτουργικά έξοδα και υπηρεσίες. Η εργασία της μηχανικής συλλογής με θεριζοαλωνιστική μηχανή θεωρήθηκε ενοικιαζόμενη όπως συνηθίζεται από παραγωγούς των 2.5 ha, με τιμή ενοικίασης 75 €/ha.

Ο υπολογισμός του κόστους με τα δεδομένα της πειραματικής καλλιέργειας περιορίστηκε στις δύο ακραίες ενεργειακές εισροές, ελάχιστης και μέγιστης, μιας και οι υπόλοιπες τιμές δεν θα ήταν παρά ενδιάμεσες. Οι τιμές που προέκυψαν ανά καλλιεργητική εργασία και κατηγορία ανάγκης, δίνονται στον Πίνακα 5.

Με βάση το κόστος ανά εκτάριο καλλιεργούμενης έκτασης που προέκυψε παραπάνω και τις στρεμματικές αποδόσεις των διαφόρων ποικιλιών σε σπόρο, λάδι και φυτικά στελέχη όπως δόθηκαν στον Πίνακα 1, το ελάχιστο κόστος παραγωγής λαδιού προκύπτει από τη περισσότερο παραγωγική ποικιλία V_1 και τις ελάχιστες ενεργειακές εισροές I_1N_0 , το οποίο είναι 0.669 €/l λαδιού για πυκνότητα 0.92 kg/l στους 15°C.

Αν ληφθεί υπόψη το ενεργειακό περιεχόμενο του παραγόμενου λαδιού, το κόστος παραγωγής ανά μονάδα ενέργειας ανέρχεται στα 15.75 €/GJ. Η τιμή πώλησης του πετρελαίου (0.6 €/l) αντιστοιχεί σε 15.79 €/GJ. Αν συμπεριληφθεί σε αυτό, το ουσιαστικό περιβαλλοντικό κόστος λόγω εκπομπών και δημιουργίας πετρελαιοκηλίδων από τα ορυκτά καύσιμα, υπολογιζόμενο στα 0.67 €/l καυσίμου [10], ή 17.60 €/GJ ενέργειας, το φυτικό λάδι ηλίανθου τείνει να καταστεί ένα ανταγωνιστικό εναλλακτικό καύσιμο.

Το κόστος της συνολικής μέσης τιμής ενέργειας που παράγεται από την καλλιέργεια (λάδι, ηλιόπιττα, και φυτικά υπολείμματα) από την ποικιλία V_1 ανέρχεται στα 2.57 €/GJ ή 0.009 €/kWh.

Πίνακας 5: Ανάλυση κόστους καλλιέργειας ηλίανθου

Κόστος	ανά	κατηγορία	ανάγκης	(€/ha)	Total by	operation	%	%
	Μηχανήματα	Ανθρώπινη εργασία	Υλικά	Ενοικίαση	min inputs	max inputs	min	max
Επέμβαση	33.17	20.79	—	—	53.96	53.96	4.26	3.41
Όργωμα	6.85	5.60	—	—	12.45	12.45	0.98	0.79
Δισκοσβάρνισμα	3.38	12.00	40.00	—	55.38	55.38	4.37	3.50
Σπορά	8.00	18.88	—	—	26.88	26.88	2.12	1.70
Σκάλισμα	0.59	4.90	0.58	—	6.07	6.07	0.48	0.38
Ζιζανιοκτονία	7.51	7.00	63.00	—	77.51	—	6.12	—
Λίπανση N_0	11.25	10.50	168.00	—	—	189.75	—	11.99
Λίπανση N_1	71.58	6.40	—	—	77.98	—	6.16	—
Άρδευση I_1	268.20	14.00	—	—	—	282.20	—	17.82
Άρδευση I_3	—	—	—	75.00	75.00	75.00	5.92	4.74
Συλλογή	2.64	5.60	—	—	8.24	8.24	0.65	0.52
Μεταφορά	—	—	—	—	—	—	—	—
Μετακίνηση προς και από τον αγρό	12.37	16.8	—	—	29.17	29.17	2.3	1.84
Σύνολο I_1N_0	146.09	97.97	103.58	75.00	422.64	—	33.37	—
Σύνολο I_3N_1	346.45	109.07	208.58	75.00	—	739.10	—	46.69
Κόστος γης	—	—	—	600.00	600.00	600.00	47.37	37.90
Λειτουργικές δαπάνες	—	—	—	—	244.00	244.00	19.26	15.41
ΓΕΝΙΚΟ	ΣΥΝΟΛΟ	ΚΟΣΤΟΥΣ	€/ha	1266.64	1583.10	100.0	100.0	

3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η δοκιμή της καλλιέργειας ηλίανθου στην κεντρική Ελλάδα έδωσε ενθαρρυντικά αποτελέσματα σε σχέση με τις αποδόσεις σε σπόρο και λάδι, και το καθαρό ενεργειακό κέρδος με υψηλά ενεργειακά ισοζύγια που έφθασαν την τιμή 7.75:1 για την ποικιλία V_1 στην περίπτωση των χαμηλότερων ενεργειακών εισροών. Από τις ποικιλίες που δοκιμάστηκαν οι πιο παραγωγικές ήταν οι ποικιλίες *Golden World* ακολουθούμενη από την *Turbo*.

Η πειραματική καλλιέργεια απέδειξε ότι οι εντατικές ενεργειακές εισροές δεν ευνόησαν τις αποδόσεις της καλλιέργειας, ελαχιστοποιώντας έτσι το ενεργειακό ισοζύγιο. Από την άλλη, η

αποφυγή της περισσότερο δαπανηρής ενεργειακά αζωτούχου λίπανσης έδειξε μια αξιοσημείωτη τάση για χαμηλότερες τιμές εξόδους στο παραγόμενο λάδι. Παρά το υψηλό ενεργειακό όφελος, το οικονομικό κόστος παραγωγής φυτικού λαδιού από ηλίανθο παραμένει υψηλό, σε σχέση πάντα με την παρούσα χαμηλή τιμή πώλησης του πετρελαίου, στη διαμόρφωση του οποίου αξιοσημείωτο είναι ότι, ποσοστό ίσο με 47 % συνιστά το κόστος της γης. Η αναγνώριση του περιβαλλοντικού κόστους των ορυκτών καυσίμων απαλύνει το υψηλό οικονομικό κόστος παραγωγής λαδιού ηλίανθου, η δυνατότητα διάθεσης στην αγορά και των υπολοίπων προϊόντων της καλλιέργειας, φυτομάζας και ηλιόπιπτας, θα μείωνε το τελικό κόστος, και μια μικρή επιδότηση της καλλιέργειας θα καθιστούσε το λάδι ηλίανθου ένα ανταγωνιστικό εναλλακτικό καύσιμο.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

- Η εργασία χρηματοδοτήθηκε από το Ευρωπαϊκό Ερευνητικό Πρόγραμμα ‘‘Εναλλακτικά καύσιμα για αεριοστροβίλους’’, AFTUR, Contract n° ENK5-CT-2002-00662
- Οι αναλύσεις για τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων του παραγόμενου λαδιού έγιναν στο Εργαστήριο Τεχνολογίας Καυσίμων και Λιπαντικών της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π.
- Οι σπόροι για την σπορά του πειραματικού αγρού ήταν ευγενική παραχώρηση των εταιριών Αγροτ. Οίκος Σπύρου Α.Ε. και Υψίλον Α.Ε.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Kallivroussis L., Natsis A., Papadakis G., 2002. The energy balance of sunflower production for biodiesel in Greece. *J. Biosystems Engineering* vol. 81, pp. 347-354.
2. Pimentel D., 1980. Handbook of Energy utilization in Agriculture, New York State College of Agriculture and Life Science, Cornell University. CRC PRESS.
3. McIntosh C S; Smith S M; Withers R V, 1984. Energy balance of on-farm production and extraction of vegetable oil for fuel in the United States Inland Northwest. *Energy in Agriculture* 3, pp. 155–166
4. Apostolakis M., Kyritsis S., Souter X., 1987. The biomass energy potential of agricultural and forest wood wastes, Publication of the Greek Productivity Centre, Athens
5. Pryde E H., 1981. Vegetable oils vs. diesel fuel, chemistry and availability of vegetable oils, Regional Proceedings of Workshop on Alcohol and Vegetable Oil as Alternative Fuels, USDA, Washington DC.
6. Rossell J B; Pritchard J L R., 1991. Analysis of Oilseeds Seeds, Fats and Fatty Foods, Elsevier Applied Science, London and New York.
7. Bona S., Mosca G., Vamerali T., 1999. Oil crops for biodiesel production in Italy. *J. Renewable Energy* vol. 16, pp.1053-1056.
8. Soldatos P. G., Lychnaras V., Assimakis D., 2003. *Bee, Bioenergy Economic Evaluation* software. EU Project: Bioenergy Chains, Contract no ENKG –CT 2001-00524.

9. Natsis A., Kerkides P., Pitsilis J., 2001. Farm Machinery Selection to Minimize the Cost of Agricultural Operations. *Rural and Environmental Engineering* No. 41 (2001.8), pp. 47-56.
10. Chapman R.N., 1996. Hybrid Power Technology for Remote Military Facilities. Power Quality Solutions/ Alternative Energy Proceedings, IEEE Annual Meeting, September, pp. 415-427

ΑΠΟΣΤΑΞΗ ΜΕ ΜΕΜΒΡΑΝΗ

Γ. Λύχνος*, Γ. Λαμπρινός*, Μ. Μ. Vahdati**

*Γ.Π.Α, Τμήμα Α.Φ.Π. – ΓΜ, Εργαστήριο Γ. Μηχ/γίας, Ιερά Οδός 75, 11855 Αθήνα

**University of Reading, Department of Construction Management and Engineering,
Whiteknights, Reading RG6 6AH, UK

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή γίνεται μια προσπάθεια ανασκόπησης της σύγχρονης τεχνικής διαχωρισμού γνωστής ως “απόσταξη με μεμβράνη” (membrane distillation). Η απόσταξη με μεμβράνη (ΑΜ) αποτελεί μια μέθοδο διαχωρισμού που μελετάται διεθνώς ως μια διεργασία απόσταξης/συμπύκνωσης χαμηλού κόστους, εναλλακτική άλλων παρεμφερών μεθόδων όπως η διήθηση, η απόσταξη, η ηλεκτροδιάλυση, η κρυοσυμπύκνωση και η αντίστροφη όσμωση. Η ΑΜ χρησιμοποιείται κυρίως πειραματικά. Η μεταφορά μάζας και θερμότητας, η θερμοκρασιακή πόλωση, καθώς και η κατασκευή αποδοτικών μεμβρανοστοιχείων έχουν αποτελέσει αντικείμενα μελέτης.

MEMBRANE DISTILLATION

G. Lichnos*, G. Lambrinos*, M. M. Vahdati**

* Agricultural University of Athens, Dept. of Agricultural Engineering, 75 Iera Odos street – 11855 Greece

**University of Reading, Department of Construction Management and Engineering,
Whiteknights, Reading RG6 6AH, UK

ABSTRACT

This study reviews the distillation process known as membrane distillation. Membrane distillation is investigated worldwide as a low operating cost distillation process with low mechanical requirements and high mass flux, alternative to other processes such as filtration, conventional distillation, electro dialysis, reverse osmosis and freezing process. Membrane distillation is used mainly at the laboratory scale. The effects of mass transfer, heat transfer and temperature polarization as well as the effectiveness of the membrane modules have been investigated.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

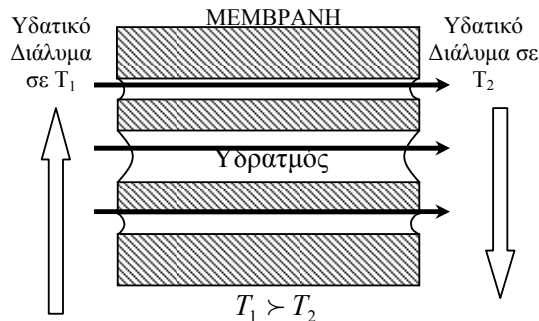
Στις μέρες μας η αφαλάτωση του θαλασσινού νερού, των υφάλμυρων υδάτων ή νερού υψηλής περιεκτικότητας σε άλατα έχει γίνει αναγκαία κυρίως σε νησιωτικές και παράκτιες περιοχές. Η απόσταξη με μεμβράνες (AM) είναι μια μέθοδος που μπορεί να εφαρμοσθεί για παραγωγή πόσιμου νερού σε μικρή και μεσαία κλίμακα. Η AM έχει αποτιμηθεί ως διεργασία αφαλάτωσης νερού τεχνικά δυνατή αλλά οικονομικά βιώσιμη κάτω από προϋποθέσεις. Ο κύριος παράγοντας είναι το κόστος της ενέργειας που χρειάζεται για να δημιουργηθεί η απαραίτητη για τη λειτουργία της διεργασίας διαφορά θερμοκρασίας. Γενικά η AM έχει αποδειχθεί ανταγωνιστική άλλων μεθόδων σε περιπτώσεις όπου χρησιμοποιείται η απορριπτόμενη θερμότητα ενός εργοστασίου ή όταν το κόστος χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας είναι υψηλό.

2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

Η απόσταξη με μεμβράνες (AM), όπως και η διεξάτμιση είναι διεργασία η οποία λειτουργεί με κινούσα δύναμη τη διαφορά θερμοκρασίας. Διαχωρίζει δύο υγρά τα οποία βρίσκονται υπό διαφορετική θερμοκρασία εκατέρωθεν των πλευρών μιας μεμβράνης. Η διαφορά της θερμοκρασίας μεταφέρει τα μόρια των σχηματιζόμενων ατμών του θερμότερου διαλύματος μέσα από τους πόρους μιας διαχωριστικής υδρόφοβης μεμβράνης ως αποτέλεσμα της διαφοράς πίεσης υδρατμών. Συνεπώς ο μηχανισμός μεταφοράς από τον τροφοδότη (feed) έως το απόσταγμα (permeate) μπορεί να αναλυθεί σε τρεις φάσεις:

- 1) Εξάτμιση στην πλευρά της υψηλής θερμοκρασίας
- 2) Μεταφορά των μορίων του ατμού διαμέσου των πόρων της υδρόφοβης μεμβράνης
- 3) Συμπύκνωση των ατμών στην πλευρά της χαμηλής θερμοκρασίας.

Στο σχήμα 1 απεικονίζεται η διεργασία που περιγράφηκε προηγουμένως για ένα μεμβρανο - στοιχείο άμεσης επαφής.



Σχήμα 1. Απόσταξη με μεμβράνη

Η μέθοδος αυτή βρίσκεται σε εφαρμογή σε διαχωρισμούς όπου:

- α) το διερχόμενο ρευστό ή απόσταγμα είναι το κύριο προϊόν όπως π.χ στην αφαλάτωση, στον καθαρισμό του νερού λυμάτων για επαναχρησιμοποίηση του ως πόσιμο, νερό χρήσης ή για γεωργικούς σκοπούς.
- β) το συμπύκνωμα είναι το κύριο προϊόν π.χ

συμπύκνωση χυμών φρούτων και λαχανικών, γ) το συμπύκνωμα και το απόσταγμα είναι τα προϊόντα (σε αζεotropicούς διαχωρισμούς). Στη συνέχεια θα αναλυθεί κυρίως η εφαρμογή της μεθόδου στην αφαλάτωση που έχει ερευνηθεί περισσότερο. Σε ένα υδατικό διάλυμα αλάτων (σαν τέτοιο μπορεί να θεωρηθεί το θαλασσίνο νερό) μόνο το καθαρό νερό έχει πίεση ατμών (πίεση υδρατμών) που σημαίνει ότι μόνο το νερό περνά διαμέσου της μεμβράνης και συνεπώς επιτυγχάνονται υψηλές εκλεκτικότητες.

3. ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΜΑΖΑΣ

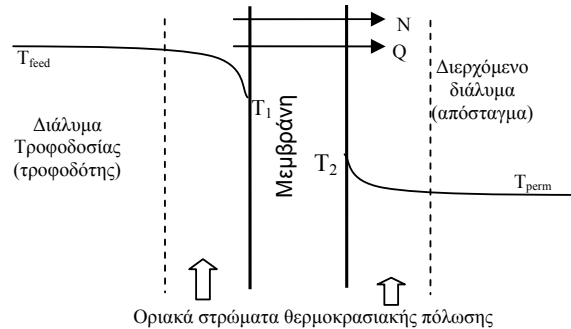
3.1 Μεταφορά θερμότητας

Η ΑΜ είναι σύνθετη φυσική διεργασία στην οποία λαμβάνουν χώρα φαινόμενα μεταφοράς θερμότητας και μάζας ταυτόγχρονα. Ειδικότερα όσον αφορά τη μεταφορά θερμότητας στην αρχή, θερμότητα μεταδίδεται από το θερμαινόμενο διάλυμα τροφοδοσίας διαμέσου του θερμικού οριακού στρώματος στην επιφάνεια της μεμβράνης με συναγωγή. Στη συνέχεια η θερμότητα περνά διαμέσου της μεμβράνης τόσο ως λανθάνουσα θερμότητα των υδρατμών όσο και ως αισθητή θερμότητα με αγωγή. Τελικά η θερμότητα απάγεται από την ψυχόμενη επιφάνεια της μεμβράνης διαμέσου του οριακού στρώματος του διερχόμενου ψυχρού διαλύματος (σχ.2).

Συνεπώς η μεταφορά θερμότητας με τη μορφή ροής μπορεί να εκφρασθεί με τις ακόλουθες σχέσεις:

1. μέσα στο οριακό στρώμα του θερμαινόμενου διαλύματος $q_{feed} = h_{feed}(T_{feed} - T_1)$ (1)
2. διαμέσου της μεμβράνης $q_m = N \cdot \Delta H + h_m(T_1 - T_2)$ (2)
3. μέσα στο οριακό στρώμα του ψυχρό-μενου διαλύματος $q_{perm} = h_{perm}(T_2 - T_{perm})$.

Σε σταθεροποιημένη κατάσταση θα ισχύει $q_{feed} = q_m = q_{perm}$



Σχήμα 2. Θερμοκρασιακή πόλωση στην ΑΜ

3.2 Μεταφορά μάζας

Η έρευνα που έχει γίνει στην μοντελοποίηση της μεταφοράς μάζας στην ΑΜ, αφορά δύο διακριτές περιοχές. Η πρώτη αφορά τη μοντελοποίηση της μεμβράνης δηλαδή το μηχανισμό μεταφοράς διαμέσου της μεμβράνης. Η δεύτερη αφορά τη συνολική μοντελοποίηση στην οποία προβλέπεται η ροή μάζας διαμέσου της μεμβράνης σε συγκεκριμένες συνθήκες λειτουργίας.

Στην πρώτη περίπτωση έχουν προταθεί τα εξής μοντέλα:

α) Το μοντέλο της αέριας σκόνης (Dusty Gas Model), που είναι ένα γενικό μοντέλο ροής μάζας διαμέσου ενός πορώδους μέσου, και που δίνεται στην ΑΜ από δύο

$$\text{εξισώσεις } \frac{N_i^D}{D_{ie}^k} + \sum_{j=1 \neq i}^n \frac{p_j N_i^D - p_i N_j^D}{D_{ije}^0} = \frac{-1}{RT} \nabla p_i \text{ και } N_i^V = \frac{-p_i B_o}{RT\mu} \nabla P$$

Το πρόβλημα που παρουσιάζει το συγκεκριμένο μοντέλο είναι ότι αφορά ισόθερμες διεργασίες ροής μάζας. Το DGM βρίσκει εφαρμογή στην ΑΜ με κενό αέρος, όπου κυριαρχούν οι συγκρούσεις των μορίων του υδρατμού με τα τοιχώματα των πόρων σε

μεμβράνες με μικρούς πόρους, λέγεται και μοντέλο Knudsen-περιορισμένης διάχυσης

δίνεται δε από την εξίσωση: $N_i = \frac{K_0}{RT} \left(\frac{8RT}{\pi M_i} \right)^{1/2} \frac{\Delta p_i}{\delta}$.

β) Για μεμβράνες με ακόμα μικρότερους πόρους ($<0.5\mu\text{m}$) όπου οι συγκρούσεις των μορίων του υδρατμού με τα τοιχώματα των πόρων είναι το ίδιο συχνές με τις μεταξύ των μορίων συγκρούσεις προτάθηκε το μοντέλο του Knudsen-μοριακής διάχυσης:

$$N_1 = \frac{-1}{RT} \left[\frac{1}{D_{1e}^k} + \frac{P_2}{D_{12e}^0} \right]^{-1} \nabla p_1 \quad [5]$$

Επειδή η παραπάνω εξίσωση δεν ολοκληρώνεται εύκολα έχουν βρεθεί ημειμπειρικές εξισώσεις όπως αυτές που ακολουθούν :

έστω N η ροή μάζας και υποθέτοντας ότι αυτή είναι ανάλογη με τη διαφορά της τάσης των υδρατμών διαμέσου της μεμβράνης τότε, $N = C[P_1 - P_2]$ όπου C είναι ο

συντελεστής της απόσταξης με μεμβράνη που υπολογίζεται πειραματικά, P_1 και P_2 οι τάσεις των υδρατμών στην επιφάνεια της μεμβράνης που βρίσκεται σε επαφή με το θερμαινόμενο διάλυμα τροφοδοσίας και στην επιφάνεια της μεμβράνης που βρίσκεται σε επαφή με το ψυχρόμενο διερχόμενο διάλυμα αντίστοιχα. Η διεργασία της μεταφοράς μάζας χαρακτηρίζεται από τρεις ανεξάρτητους μηχανισμούς που είναι οι εξής: α) η διάχυση Knudsen (κυρίαρχο φαινόμενο οι συγκρούσεις των μορίων με τα τοιχώματα), β) η μοριακή διάχυση (κυριαρχούν οι μεταξύ των μορίων συγκρούσεις, γ) η ροή Poiseuille όπου το αέριο συμπεριφέρεται σαν ένα συνεχές ρευστό που κινείται λόγω της διαφοράς πίεσης (πάλι κυριαρχούν οι μεταξύ των μορίων συγκρούσεις)[9].

Σύμφωνα με τους Schofield et al [7] στο πρώτο μηχανισμό η τιμή της C υπολογίζεται από την εξίσωση $C_1 = 1.064 \frac{r\varepsilon}{\tau\delta} \left(\frac{M}{RT_m} \right)^{0.5}$, στο δεύτερο από την εξίσωση

$$C_2 = \frac{1}{y_{1n}} \frac{D\varepsilon}{\tau\delta} \left(\frac{M}{RT_m} \right) \text{ και στη τρίτη από την εξίσωση } C_3 = 0.125 \frac{r^2\varepsilon}{\tau\delta} \left(\frac{Mp_m}{\eta RT_m} \right)$$

Ακόμα όμως και οι εξισώσεις που αναφέρθηκαν προηγουμένως δεν είναι πρακτικές για τη πρόβλεψη των συντελεστών των μεμβρανών εξαιτίας της σύνθετης γεωμετρίας και της αβεβαιότητας των χαρακτηριστικών τους [9].

Στο δεύτερο μοντέλο Knudsen (αυτό της μοριακής διάχυσης) συγκαταλέγεται και το υπομοντέλο που ακολουθεί

$$N \cong C \left. \frac{dp}{dT} \right|_m (T_1 - T_2) \quad \text{όπου} \quad \left. \frac{dp}{dT} \right|_m \text{ είναι η κλίση της τάσης των υδρατμών με τη}$$

θερμοκρασία υπολογιζόμενη σε $T_m = (T_1 - T_2) / 2$

Η κλίση $\left. \frac{dp}{dT} \right|_m$ δίνεται από την σχέση Clausius-Clapeyron για καθαρό νερό τροφοδοσίας

$$\frac{dp}{dT} = \frac{P_m \cdot \Delta H \cdot M}{RT_m^2}.$$

Για υδατικά διαλύματα αλάτων ισχύει $N = \frac{CMP_m \Delta H^2 (T_1 - T_2)}{RT_m^2} - CP_m(1 - \gamma\chi)$ όπου γ ο

συντελεστής δραστηριότητας του νερού και χ ο μοριακός τίτλος του διαλύματος. Η P_m δίνεται από την εξίσωση του Antoine $P_m = \exp[23,238 - 3841/(T_m - 45)]$ όπου $T_m = (T_1 + T_2)/2$

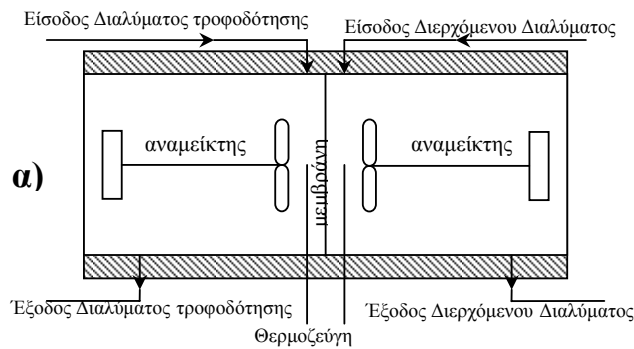
$$\text{Η } T_1 \text{ είναι } T_1 = \frac{T_{feed} \left(\frac{k}{\delta} + \frac{k_m}{\delta_m} \right) + \frac{k_m}{\delta_m} T_{perm} - \dot{m} \Delta H}{2 \frac{k_m}{\delta_m} + \frac{k}{\delta}} \text{ και η } T_2 \text{ είναι } T_2 = T_{feed} - T_1 + T_{perm}$$

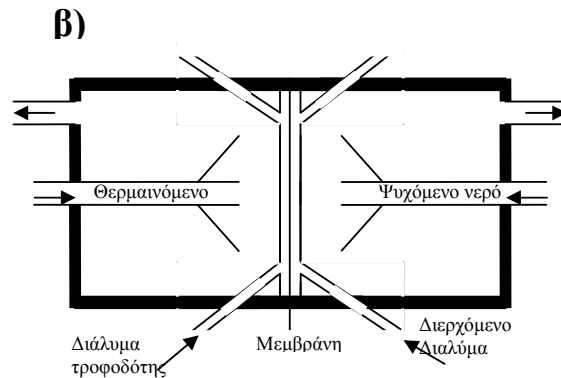
όπου k η θερμική αγωγιμότητα του νερού στο οριακό στρώμα και δ το πάχος των οριακών στρωμάτων [6]. Με επαναληπτικές μεθόδους είναι δυνατή η λύση των παραπάνω εξισώσεων και συνεπώς είναι δυνατή η πρόβλεψη της ροής μάζας σε συγκεκριμένες συνθήκες λειτουργίας.

4. ΤΥΠΟΙ ΜΕΜΒΡΑΝΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ

4.1 Τύποι Μεμβρανοστοιχείων

Η διαφορά πίεσης υδρατμών διαμέσου της μεμβράνης μπορεί να επιτευχθεί με διάφορες μεθόδους και διατάξεις όπως: α) με άμεση επαφή όπου το απόσταγμα έρχεται σε άμεση επαφή με τη μεμβράνη, β) με διάκενο αέρος, γ) με ρεύμα αδρανούς αερίου και δ) με κενό αέρος όπου το διερχόμενο ρευστό ή απόσταγμα δεν έρχεται σε άμεση επαφή με τη μεμβράνη αλλά συμπυκνώνεται μακριά αυτής σε μία ψυχρόμενη επιφάνεια.





Σχήμα 3. α) Μembrανοστοιχείο Lewis, **β)** Μembrανοστοιχείο με κανάλια μικρής διατομής

Η πιο απλή μέθοδος όσον αφορά τη λειτουργία με ελάχιστο εξοπλισμό είναι η ΑΜ με άμεση επαφή και χρησιμοποιείται κυρίως σήμερα στην αφαλάτωση και στη συμπύκνωση χυμών φρούτων και λαχανικών.

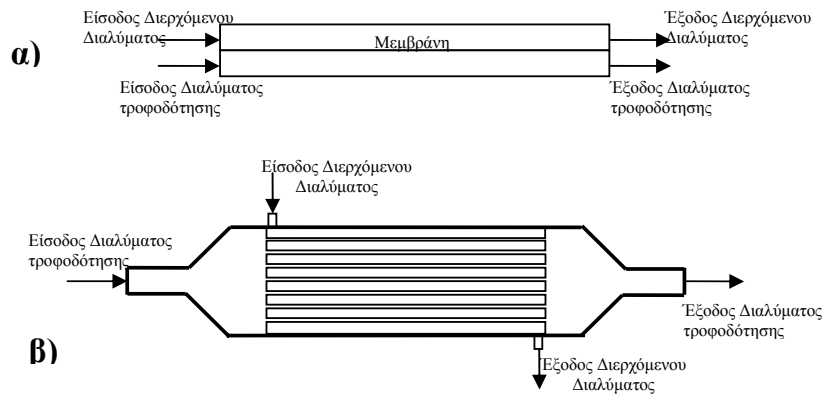
Οι κυριότεροι τύποι μεμβρανοστοιχείων άμεσης επαφής που έχουν χρησιμοποιηθεί στην έρευνα είναι: α) το μεμβρανοστοιχείο Lewis που έχει τη δυνατότητα ανάμιξης (σχ.3α), β) το μεμβρανοστοιχείο με κανάλια μικρής διατομής που χρησιμοποίησαν οι Schofield et al (σχ.3β), γ) το βασικό δισκοειδές μεμβρανοστοιχείο (σχ.4α), δ) το μεμβρανοστοιχείο λεπτών ή κοίλων πορωδών ινών (σχ.4β) και ε) το μεμβρανοστοιχείο ελικοειδούς περιελίξεως της μεμβράνης (σχ.5).

Το μεμβρανοστοιχείο του Lewis είναι κατάλληλο μόνο για εργαστηριακή χρήση ενώ τα υπόλοιπα έχουν παρόμοιες ικανότητες αποδοτικής λειτουργίας. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα μεμβρανοστοιχεία ελικοειδούς περιελίξεως της μεμβράνης είναι συμπαγείς κατασκευές στις οποίες επιτυγχάνεται ενιαία ανάκτηση της θερμότητας συμπύκνωσης επιτρέποντας την αποδοτική τους χρήση σε χαμηλές θερμοκρασίες [3].

4.2 Χαρακτηριστικά Μεμβρανών

Η ΑΜ βασίζεται στην αρχή ότι η απόσταση λαμβάνει χώρα διαμέσου μιας πορώδους μεμβράνης που δεν πρέπει να διαβρέχεται. Αν διαβραχεί τότε το υγρό θα εισχωρήσει αυθόρμητα μέσα στους πόρους της μεμβράνης και θα έχει ως αποτέλεσμα την διαρροή του διαλύματος τροφοδοσίας διαμέσου στο απόσταγμα.

Η ικανότητα διαβροχής εξαρτάται από τρεις παράγοντες: α) το μέγεθος των πόρων (r), β) την επιφανειακή τάση του υγρού (γ_L), γ) την δια-επιφανειακή τάση του υλικού της μεμβράνης ή γωνία επαφής (θ ή $\sin\theta$). Η σχέση μεταξύ του μέγιστου επιτρεπόμενου



Σχήμα 4. α) Βασικό δισκοειδές μεμβρανοστοιχείο, **β)** Μεμβρανοστοιχείο λεπτών ή κοίλων πορωδών ινών.

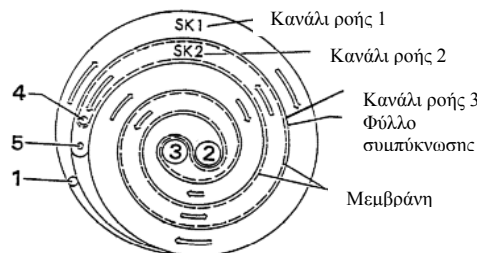
μεγέθους των πόρων και των συνθηκών λειτουργίας δίνεται από την εξίσωση του Laplace:

$$P_{υγρού} - P_{υδρατμού} = \Delta P = \frac{-2B\gamma_L \sin\theta}{r_{\max}} < \Delta P_{\text{εισόδου}}$$

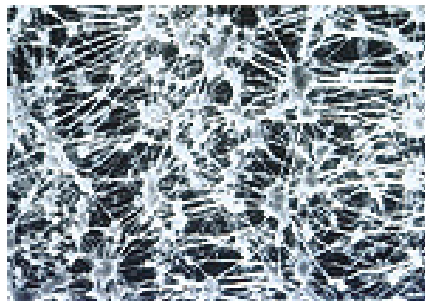
όπου το B είναι γεωμετρικός παράγοντας που καθορίζεται από την δομή των πόρων (π.χ για κυλινδρικής διατομής πόρους $B = 1$).

Το μέγεθος των πόρων των μεμβρανών που χρησιμοποιούνται στην ΑΜ κυμαίνεται από $100 \text{ \AA}$ έως $1 \mu\text{m}$. Όταν επιλέγεται το μέγεθος των πόρων θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν ο κίνδυνος διαβροχής εφόσον το μέγεθος των πόρων είναι μεγάλο αλλά και η επιθυμητή ροή μάζας. Η μοριακή ροή διαμέσου ενός πόρου εξαρτάται από τη μέση τιμή του μεγέθους των πόρων r^a της μεμβράνης, από το πορώδες ε , από το συντελεστή οφιοειδούς διαδρομής τ (tortuosity) και το πάχος της μεμβράνης δ . Αυξάνοντας το πορώδες και το μέγεθος των πόρων με παράλληλη μείωση του δρόμου μεταφοράς της μάζας διαμέσου της μεμβράνης (γινόμενο $\tau \cdot \delta$) επιτυγχάνεται αύξηση της μοριακής ροής. Η σχέση που συνδέει τη μοριακή ροή μέσα από ένα πόρο είναι η ακόλουθη :

$$N \propto \frac{(r^a) \cdot \varepsilon}{\tau \cdot \delta} \quad [5]$$



1 Είσοδος τροφοδοσίας, 2 Είσοδος θερμαντήρα, 3 Έξοδος θερμαντήρα, 4 Έξοδος Συμπυκνώματος, 5 Έξοδος Αποστάγματος
Σχήμα 5. Μεμβρανοστοιχείο ελικοειδούς περιελίξεως της μεμβράνης. [3]



Σχήμα 6. Φωτογραφία μεμβράνης PTFE πάχους 0.2μm σε μεγέθυνση 5000:1
(Πηγή <http://devicelink.com/mpb/archive/97/03/002.html>)

Τα υλικά κατασκευής των μεμβρανών που χρησιμοποιούνται στην AM είναι το πολυπροπυλένιο (PP), το πολυτετραφθοροαιθυλένιο (PTFE ή Teflon) και το πολυβινυλοδιφθορίδιο (PVDF). Η θερμική αγωγιμότητα των μεμβρανών που υπάρχουν στο

εμπόριο κυμαίνεται από 0.04 έως 0.06 $\frac{W}{m \cdot K}$ (είναι αντιστρόφως ανάλογη του

πορώδους). Αξίζει να σημειωθεί ότι η μεμβράνη κατά την διεργασία διαχωρισμού δεν έχει καμία επίδραση, απλά δρα ως φράγμα μεταξύ των δύο διαλυμάτων.

4.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα – Σύγκριση με συμβατικές μεθόδους αφάλατωσης

Τα πλεονεκτήματα της AM έναντι των άλλων μεθόδων αφάλατωσης είναι: 1) 100% (θεωρητική) απόρριψη ιόντων, μακρομορίων, κολλοειδών, κυττάρων και άλλων μη πτητικών ενώσεων, 2) χαμηλότερες θερμοκρασίες λειτουργίας σε σύγκριση με τις συμβατικές μεθόδους απόσταξης, 3) χαμηλότερες πιέσεις λειτουργίας σε σύγκριση με τις συμβατικές μεθόδους διαχωρισμού με μεμβράνες υπό πίεση, 4) μειωμένη χημική αλληλεπίδραση μεταξύ της μεμβράνης και των διαλυμάτων, 5) λιγότερες μηχανικές απαιτήσεις στις προδιαγραφές του υλικού κατασκευής της μεμβράνης, 6) μικρότερη επιφάνεια σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους απόσταξης [5]. Όσον αφορά την αφάλατωση, συστήματα AM επιτυγχάνουν πυκνότητα ροής μάζας έως και 75 kg/m² h που είναι συγκρίσιμη με αυτή συστημάτων αντίστροφης ώσμωσης. Μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι τα διαλύματα πρέπει να είναι υδατικά και επαρκώς διαλυτά για να μην διαβρέχεται η υδρόφοβη μεμβράνη.

Πίνακας 1. Συγκριτικό κόστος εγκατάστασης και παραγωγής διαφόρων τεχνικών αφάλατωσης, (MSF η πολυβάθμια εκρηκτική εξάτμιση, MED η πολυβάθμια εξάτμιση, VC η εξάτμιση με επανασυμπίεση, RO αντίστροφη ώσμωση, MD ή AM η απόσταξη με μεμβράνη). Πηγές : [7]; [1]

	MSF	MED	VC	RO	MD
Κόστος εγκατάστασης \$/m ² /ημέρα	1200-1500	900-1000	950-1000	700-900	-
Κόστος παραγωγής \$/m ³	1.10-1.25	0.75-0.85	0.87-0.95	0.68-0.92	2*

Στο πίνακα 1 γίνεται σύγκριση του κόστους εγκατάστασης και παραγωγής διαφόρων μεθόδων αφαλάτωσης συμπεριλαμβανομένης της AM. Το κόστος λειτουργίας της AM που αναφέρεται στον πίνακα 1 εκτιμάται για ένα σύστημα που περιλαμβάνει μόνο έναν ανακτητή θερμότητας σε μία εγκατάσταση που παράγει $5\text{m}^3/\text{h}$ αποσταγμένου νερού. Συνεπώς με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ή τη χρήση της απορριπτόμενης θερμότητας ενός εργοστασίου για θέρμανση του θαλασσινού νερού τροφοδοσίας, μπορεί να επιτευχθεί περαιτέρω μείωση του κόστους παραγωγής. Οι Foster et al (2001) πρότειναν την εφαρμογή αντλίας θερμότητας – ψύξης στην AM με την οποία γίνεται ανάκτηση και απόδοση της λανθάνουσας θερμότητας των υδρατμών στο σύστημα. Πρόσφατα, έρευνα που έγινε με πειραματική διάταξη προσομοίωσης του ρόλου της αντλίας θερμότητας [9], κατέδειξε ότι είναι δυνατή η αύξηση της πυκνότητας ροής μάζας και συνεπώς και της παραγωγής κατά 30% με την ανάλογη αύξηση της απόδοσης.

4.4 Προβλήματα στην AM

Η διολίσθηση της πυκνότητας ροής της AM αποτελεί ένα πρόβλημα που δεν έχει πλήρως κατανοηθεί. Πιθανά αίτια του φαινομένου είναι: α) η διαβροχή της μεμβράνης που έχει ως αποτέλεσμα την αναστολή της ροής στα σημεία διαβροχής της μεμβράνης [2], β) η ρύπανση της μεμβράνης (fouling) που οφείλεται σε ανόργανα και οργανικά κολλοειδή συστατικά καθώς και σε μικροοργανισμούς ή μικρόβια [10], τα οποία φράζουν την επιφάνεια των πόρων της μεμβράνης.

Επίσης η θερμοκρασιακή πόλωση στην επιφάνεια της μεμβράνης μειώνει την κινούσα δύναμη που είναι η διαφορά θερμοκρασίας γιατί παρατηρείται μείωση της διαφοράς αυτής στις επιφάνειες της μεμβράνης όπως φαίνεται στο σχήμα 5. Ο συντελεστής θερμοκρασιακής πόλωσης λαμβάνεται σοβαρά υπ'όψη στο σχεδιασμό συστημάτων AM και ορίζεται ως

$$TPC = \frac{1}{1 + \frac{U}{h_{feed}} + \frac{U}{h_{perm}}}$$

Ο ιδανικός TPC θα πρέπει να είναι ίσος με τη μονάδα.

Σύμβολα

h_{feed} = συντελεστής θερμοπερατότητας του οριακού στρώματος στην επιφάνεια της μεμβράνης και στη πλευρά του διαλύματος-τροφοδότη (W/m^2K) h_{perm} = συντελεστής θερμοπερατότητας του οριακού στρώματος στην επιφάνεια της μεμβράνης από τη πλευρά του διερχόμενου διαλύματος ή αποστάγματος (W/m^2K) T_1 = η θερμοκρασία στην επιφάνεια της μεμβράνης από τη πλευρά του τροφοδότη (K) T_2 = η θερμοκρασία στην επιφάνεια της μεμβράνης από τη πλευρά του αποστάγματος (K) μ = ιξώδες T_{feed} = η θερμοκρασία του τροφοδότη (K)	T_{perm} = η θερμοκρασία του αποστάγματος (K) N_i^D = πυκνότητα ροής διάχυσης N_i^V = πυκνότητα viscous ροής D_{ie}^k, D_{ije}^0 = πραγματική διαχυτότητα K_o = συντελεστής διάχυσης Knudsen ΔH = λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης (J/kg) $\dot{m}$ = πυκνότητα ροής μάζας (kg/m^2s) δ_m = το πάχος της μεμβράνης (mm) δ = το πάχος του οριακού στρώματος (mm) U = ο ολικός συντελεστής θερμοπερατότητας (W/m^2K)
---	--

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] A. Burgoyne, M.M. Vahdati (2001) "Direct contact membrane distillation", *Separation and Purification Technology*, 35 (8), pp.1257-1284
- [2] A.C.M Franken, J.A.M Nolten, M.H.V Mulder, D. Bargeman and C.A. Smolders (1987) "Ethanol-Water separation by membrane distillation: Effect of temperature polarization", *Synthetic Polymeric Membranes*, Walter de Gruyter and Co., Berlin, New York, 1987, pp 515-529.
- [3] C. Bier and U. Plantikow (1995) "Solar-Powered Desalination by Membrane Distillation (MD)", *IDA World Congress on Desalination and Water Sciences Abu Dhabi*, November 18-24
- [4] Kevin W. Lawson, Douglas R. Lloyd (1997) "Membrane distillation", *Journal of Membrane Science* 124, 1-25
- [5] P.J. Foster, A. Burgoyne, M.M. Vahdati (2001) "Improved process topology for membrane distillation", *Separation and Purification Technology* 21, 205-217
- [6] R. Semiat (2000) "Desalination: Present and Future", *Water International*, 25 (1) 54-65
- [7] R.W. Schofield, A.G. Fane and C.J.D. Fell (1987) "Heat and mass transfer in membrane distillation", *Journal of Membrane Science* 33, 299-313
- [8] Zhongwei Ding, Runyu Ma, A.G. Fane (2002) "A new model for mass transfer in direct contact membrane distillation", *Desalination* 151, 217-227
- [9] G. Lichnos (2004) "Investigation of Implementing a Heat Pump in a Membrane Distillation System", *MSc Dissertation, Department of Engineering, University of Reading*
- [10] Ε. Δελγιάννη και Β. Μπελεσιώτης (1995) "Μέθοδοι και Συστήματα Αφαλάτωσης", *Γραφικές Τέχνες: Χρυσ. Παπαχρυσάνθου α.ε., Αθήνα*

Ο ΝΟΜΟΣ 3175/2003 ΩΣ ΑΝΑΠΤΥΞΙΑΚΟ ΕΡΓΑΛΕΙΟ ΓΙΑ ΤΙΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Α. Στοϊμενίδης, Γ. Μαρτζόπουλος

Α. Π. Θ. Τμήμα Γεωπονίας, Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής
Μηχανικής, Εργαστήριο Εναλλακτικών Ενεργειακών Πόρων.
54006 Θεσσαλονίκη. Τηλ.- fax : 2310998714. E-mail: astoimen@agro.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η αποτύπωση των σημαντικότερων σημείων του νέου θεσμικού πλαισίου για την γεωθερμία. Οι βελτιώσεις που επέφερε ο 3175/2003 στον 1475/1984 και πως αυτές μπορούν να συντελέσουν στην αύξηση του σημερινού ποσοστού αξιοποίησης (10%) του γεωθερμικού πεδίου της χώρας μας. Ο 1475/1984 δεν ανταποκρινόταν πλέον στις σημερινές ανάγκες. Με τον 3175/2003 <<Αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού, τηλεθέρμανση και άλλες διατάξεις>> και τις σχετικές Υ.Α εφαρμογής, γίνεται μια προσπάθεια για τη δημιουργία ενός ενιαίου και ολοκληρωμένου θεσμικού πλαισίου που εναρμονίζεται με την κοινοτική νομοθεσία.

LAW 3175/2003 AS A DEVELOPING TOOL IN GEOTHERMICAL APPLICATIONS

A. Stoimenidis , G.Martzopoulos

Aristotle University of Thessaloniki, . Department of Agricultural. Sector of Landed
Improvements, Pedology and Agricultural Mechanics. Laboratory of Soft Energy
Applications. 54006 Thessaloniki . Tel.- fax : 2310998714.
E-mail: astoimen@agro.auth.gr

ABSTRACT

Aim of this project is to indicate the most valuable points of the new institutional frame for geothermy .The improvements of 3175/2003 over 1475/1985 and how they can increase the present percentage of exploitation (10%) , of the geothermal field in our country. 1475/1985 could not respond to our present needs any longer. With 3175/2003 “Exploitation of geothermal dynamic, tele-heat and other settings” and the relevant minister application settings, there is an effort to create a united and complete institutional frame that will be enharmonized with the community’s legislation.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η γεωθερμική ενέργεια αποτελεί μια ήπια, εναλλακτική, ανανεώσιμη πηγή ενέργειας η αξιοποίηση της οποίας μπορεί να συμβάλει στην οικονομική ανάπτυξη των τοπικών κοινωνιών και των περιφερειών και στην μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος από την υποκατάσταση των συμβατικών καυσίμων [1].

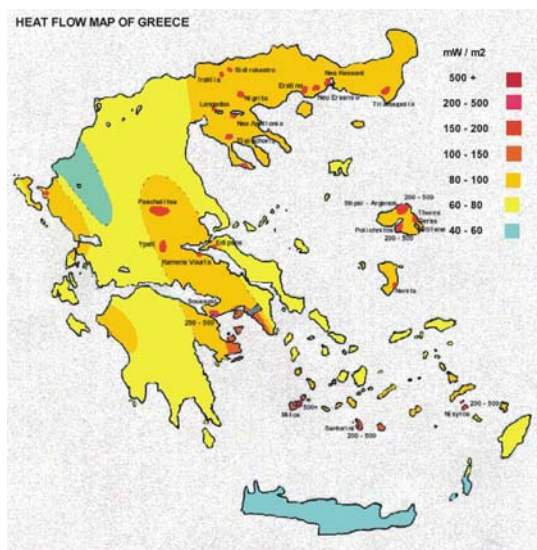
Η οικονομική ανάπτυξη και υψηλή βιομηχανοποίηση προκαλούν αυξημένες ενεργειακές ανάγκες, η κάλυψη των οποίων από συμβατικές ενεργειακές πηγές έχει ως αποτέλεσμα την επιβάρυνση, και σε ορισμένες περιπτώσεις, την καταστροφή του φυσικού περιβάλλοντος, με συχνά ανεπανόρθωτες επιπτώσεις στη ζωή των ανθρώπων.

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή εκτιμώντας ότι η χρήση και αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) αποτελεί την μοναδική ενεργειακή διέξοδο, υιοθέτησε σχετική Οδηγία για την προώθηση των ΑΠΕ, στις οποίες περιλαμβάνει και τη γεωθερμία, με την οποία καλεί τα κράτη-μέλη να δημιουργήσουν ένα ενιαίο περιβάλλον για την αύξηση των επενδύσεων στον τομέα αυτό. Με τη Λευκή Βίβλο έθεσε τρεις στρατηγικούς στόχους:

- την προώθηση της ανταγωνιστικότητας του ευρωπαϊκού ενεργειακού τομέα και της ευρωπαϊκής οικονομίας
- την ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού
- την προστασία του περιβάλλοντος

Με βάση τους στόχους που είχε θέσει η Ευρωπαϊκή Ένωση, απαιτούνταν ο διπλασιασμός του μεριδίου των ανανεώσιμων πηγών (ηλιακής, αιολικής, βιομάζας, γεωθερμίας, υδροηλεκτρισμού) από το 6% στο 12% της ακαθάριστης ενεργειακής ζήτησης της Ευρωπαϊκής Ένωσης έως το έτος 2010 [2].

Η Ελλάδα, εξαρτάται άμεσα από το εισαγόμενο ακριβό πετρέλαιο. Διαθέτει όμως τεράστιο δυναμικό ΑΠΕ. Λόγω των ειδικών γεωλογικών συνθηκών της, είναι πλούσια



Χάρτης Θερμικής Ροής της Ελλάδας

σε γεωθερμική ενέργεια κυρίως σε περιοχές της Βόρειας Ελλάδας και σε νησιά του Βορειοανατολικού και Κεντρικού Αιγαίου. Το ελληνικό γεωθερμικό δυναμικό είναι σημαντικό τόσο στην χαμηλή όσο και την υψηλή ενθαλπία. Παρέχει μεγάλη εγκαταστημένη ισχύ, που είναι συνεχώς διαθέσιμη και δεν επηρεάζεται από τις καιρικές συνθήκες.

Η αξιοποίηση αυτού του σημαντικού γεωθερμικού δυναμικού σε άμεσες και έμμεσες χρήσεις, παρά το μικρό σχετικά βάθος του, δεν αναπτύχθηκε όσο αναμενόταν. Περιορίστηκε σε εφαρμογές μικρής κλίμακας όπως της θέρμανσης θερμοκηπίων. Η άμεση και συστηματική αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας πρέπει να αποτελεί συνειδητό στόχο υψηλής προτεραιότητας της ελληνικής οικονομίας καθώς και της ενεργειακής και περιβαλλοντικής πολιτικής.

Το νομοθετικό πλαίσιο για τη γεωθερμία στην Ελλάδα μέχρι και πριν την ψήφιση του 3175/2003 όχι μόνο δε στήριζε αλλά και αποτέλεσε τροχοπέδη για την ανάπτυξη σοβαρών επιχειρηματικών σχεδίων για την αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας.

2. ΝΟΜΟΣ 1475/84: ΑΝΕΣΤΕΙΛΕ ΤΗΝ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ

Το θεσμικό πλαίσιο που ρύθμιζε τα θέματα της γεωθερμίας στη χώρα μας μέχρι την ψήφιση του 3175/2003 αποτελούσαν :

- Ο νόμος 210/73 για τον Μεταλλευτικό Κώδικα.
- Ο νόμος 1475/84 για την Αξιοποίηση του Γεωθερμικού Δυναμικού.
- Η από 31.12.93 Υπουργική Απόφαση για τον καθαρισμό μισθώματος.
- Ο νόμος 2244/94 για την Ρύθμιση θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ
- Ο νόμος 2467/98 για την Μεταφορά Αρμοδιοτήτων Υπ. Ανάπτυξης.
- Ο νόμος 2773/99 για την απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας [3].

Το θεσμικό αυτό πλαίσιο δεν ανταποκρινόταν πλέον στις σημερινές ανάγκες, περιείχε αντιφατικές ρυθμίσεις, δεν συμβάδιζε με το ευρωπαϊκό κεκτημένο και είχε μία σειρά από προβλέψεις που δεν ευνοούσαν την ανάπτυξη της γεωθερμίας ούτε την προώθηση επενδύσεων στο τομέα αυτό.

Τα κύρια αρνητικά στοιχεία του 1475/84 μπορούν να καταγραφούν ως εξής [4] :

- Το γεωθερμικό δυναμικό θεωρούνταν μέταλλευμα και όχι ΑΠΕ, σε αντίθεση με το ευρωπαϊκό κεκτημένο, με συνέπεια να υπόκειται σε χρονοβόρες και πολυέξοδες διαδικασίες και να στερείται των ειδικών κινήτρων που προβλέπονται για τις ΑΠΕ ενώ παράλληλα άλλος νόμος, ο 2244/1994 και οι σχετικές οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης το χαρακτηρίζουν ως ΑΠΕ.
- Το γεωθερμικό πεδίο δεν αντιμετωπιζόταν ως ενιαίο «κοίτασμα-πηγή» και δεν προβλέπονταν η ενιαία διαχείριση του με συνέπειες την ανυπαρξία ολοκληρωμένου ενεργειακού σχεδιασμού ανάπτυξης του γεωθερμικού πεδίου, την έλλειψη συντονισμού των δραστηριοτήτων, την δυσκολία ανάπτυξης ενός μηχανισμού ελέγχου και παρακολούθησης της συμπεριφοράς τόσο του γεωθερμικού ταμιευτήρα όσο και των γεωθερμικών εγκαταστάσεων και τη μη διασφάλιση της ανανεωσιμότητας του γεωθερμικού πόρου.
- Δεν κάλυπτε το γεωλογικό ρίσκο της έρευνας γεωθερμικών πεδίων, γεγονός που απαιτεί υψηλό κεφάλαιο αρχικής επένδυσης υπό παρατεταμένη αβεβαιότητα απόδοσης του, χαρακτηριστικά τα οποία αποθάρρυναν την επενδυτική δραστηριότητα.
- Η ανυπαρξία ίσων επενδυτικών ευκαιριών. Η έλλειψη διαγωνιστικών διαδικασιών και ολοκληρωμένων επενδυτικών προτάσεων για όλο το φάσμα των προϊόντων,

παραπροϊόντων και υποπροϊόντων της γεωθερμίας. Η προτεραιότητα δικαιωμάτων σε Οργανισμούς Τοπικής Αυτοδιοίκησης και Έλληνες του εξωτερικού που συνήθως είχαν αντικειμενική αδυναμία να αξιοποιήσουν τα γεωθερμικά πεδία.

- Όλα τα κατάλληλα για ηλεκτροπαραγωγή πεδία υψηλής ενθαλπίας είχαν παραχωρηθεί χωρίς αντάλλαγμα στη ΔΕΗ, η οποία δεν τα είχε αξιοποιήσει αλλά τα δέσμευε, μαζί με τα αντίστοιχα γεωθερμικά ρευστά που θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν
- Δεν παρείχε δικαίωμα πώλησης της γεωθερμικής ενέργειας σε τρίτους με συνέπεια αφενός μεν να μην υπάρχει ορθολογική αξιοποίησή της, αφετέρου δε να μην είναι ελκυστική για μεγάλες ιδιωτικές επενδύσεις. Είναι πρωτοφανής και εντελώς παράλογη η απαγόρευση διάθεσης της ενέργειας όταν απαιτείται μία σοβαρή αρχική επένδυση με γεωλογικό ρίσκο

3. ΤΟ ΝΕΟ ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΜΟΧΛΟΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

Με τον νόμο 3175/2003 επιχειρήθηκε η δημιουργία ενός ανανεωμένου, ενιαίου και ολοκληρωμένου θεσμικού πλαισίου εναρμονισμένου με την κοινοτική νομοθεσία. Στόχος είναι η προαγωγή της αξιοποίησης του γεωθερμικού δυναμικού της χώρας με άρση των δυσκολιών που υπήρχαν λόγω του αναχρονιστικού παλαιού πλαισίου.

Οι κύριες κατευθύνσεις και μεταβολές που επέφερε ο νέος νόμος αναφέρονται παρακάτω:

- Δίνεται σαφής ορισμός του γεωθερμικού δυναμικού: ως γεωθερμικό δυναμικό θεωρούνται οι γηγενείς φυσικοί ατμοί, τα θερμά νερά και η θερμότητα των γεωλογικών σχηματισμών που υπερβαίνουν τους 25⁰ C [5].
- Το γεωθερμικό πεδίο στο πλαίσιο ενός ολοκληρωμένου ενεργειακού σχεδιασμού ανάπτυξης αντιμετωπίζεται πλέον ως ενιαίο «κοίτασμα-πηγή» και προβλέπεται η ενιαία διαχείρισή του. Ο κατακερματισμός που υπήρχε με τις διαδικασίες επιμέρους μισθώσεων δυσκόλευε την ορθολογική εκμετάλλευση των γεωθερμικών κοιτασμάτων [6].
- Το γεωθερμικό πεδίο χαρακτηρίζεται ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, η οποία συμβάλει στην αειφόρο ανάπτυξη και στη δημόσια ωφέλεια. Δίνεται έτσι η δυνατότητα ένταξης των σχετικών επενδυτικών σχεδίων στα ειδικά ευνοϊκά χρηματοδοτικά καθεστώτα που παρέχει η Ε.Ε για την αξιοποίηση των ΑΠΕ. Στην Ελλάδα είναι σε εξέλιξη το πρόγραμμα Ανταγωνιστικότητα που διαχειρίζεται το Υπουργείο Ανάπτυξης.
- Καθιερώθηκε συγκεκριμένη διαγωνιστική διαδικασία για όλο το φάσμα προϊόντων, παραπροϊόντων και υποπροϊόντων δημιουργώντας ένα ασφαλές και ευνοϊκό επενδυτικό περιβάλλον. Ο φορέας που θα αναλαμβάνει την εκμετάλλευση θα επιλέγεται με βάση την τεχνική και οικονομική ικανότητα και την πληρότητα της πρότασής του.
- Καταργήθηκε η ανισότητα υπέρ των ΟΤΑ και των Ελλήνων του εξωτερικού με την άνευ διαγωνισμού προτεραιότητα που τους δίνονταν στην εκμετάλλευση των γεωθερμικών πεδίων.
- Δόθηκε η δυνατότητα για πώληση της παραγόμενης ενέργειας.
- Αποσαφηνίστηκε η διάκριση βεβαιωμένου δηλαδή προσδιορισμένου με φυσικά χαρακτηριστικά και άρα προς άμεση εκμίσθωση και αξιοποίηση γεωθερμικού

πεδίου από το πιθανό, εκείνο που δεν έχει επαρκώς προσδιορισμένα χαρακτηριστικά και χρήζει περαιτέρω έρευνας.

- Εντάχθηκε στο νομικό πλαίσιο η έκδοση Υπουργικών Αποφάσεων για το σαφή καθορισμό των χαρακτηριστικών κάθε γεωθερμικού πεδίου και των όρων εκμετάλλευσης και υπολογισμού του μισθώματος που διασφαλίζουν την ενιαία αντιμετώπιση και την εύρυθμη λειτουργία του πλαισίου. Αυτό κρίθηκε αναγκαίο λόγω της αποκέντρωσης των αρμοδιοτήτων για την εκμίσθωση γεωθερμικού δυναμικού στις Περιφέρειες της χώρας.
- Ανεξαρτητοποιείται για πρώτη φορά το πλαίσιο εκμετάλλευσης της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών θερμοκρασίας κάτω των 25°C και θεσπίζεται η χορήγηση αδειών από τις κατά τόπους Νομαρχίες στους ιδιοκτήτες των εκτάσεων.
- Για τα γεωθερμικά πεδία χαμηλής θερμοκρασίας ($25-90^{\circ}\text{C}$) η αρμοδιότητα υπάγεται στις Περιφέρειες που ανήκουν, ενώ για τα πεδία με θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 90°C αρμόδιο είναι το Υπουργείο Ανάπτυξης με την έκδοση Υπουργικών Αποφάσεων.
- Προβλέπει τη δυνατότητα να συνδυάζεται η εκμίσθωση για την εκμετάλλευση γεωθερμικού δυναμικού με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή τη διανομή θερμού νερού και τη χορήγηση της αντίστοιχης άδειας. Για το σκοπό αυτό προβλέπεται η διαδικασία διαγωνισμού.
- Για τους χώρους και τα πεδία που δεν έχουν ερευνηθεί εκμίσθώνεται το δικαίωμα έρευνας, πάλι με διαγωνισμό, για πέντε χρόνια, με δικαίωμα παράτασης για άλλα δύο. Εάν η έρευνα έχει θετικά αποτελέσματα, παρέχεται στον μισθωτή και το δικαίωμα διαχείρισης χωρίς νέο διαγωνισμό.
- Το δικαίωμα έρευνας και διαχείρισης ανήκει στο Δημόσιο. Στα βεβαιωμένα πεδία εκμίσθώνεται το δικαίωμα διαχείρισης σε τρίτους ύστερα από πλειοδοτικό διαγωνισμό για 25 χρόνια και δυνατότητα μονομερούς παράτασης από τον μισθωτή για άλλα πέντε χρόνια. Το 30% του μισθώματος προορίζεται για τους ΟΤΑ, στην περιοχή των οποίων βρίσκεται το πεδίο.

Από την ψήφιση του 3175 μεσολάβησαν δύο Υπουργικές Αποφάσεις εφαρμογής:

1. Με την Υ.Α Δ9Β ΦΕΚ 208 05/02/2004 καθορίζεται επακριβώς ο χαρακτηρισμός των γεωθερμικών πεδίων [7].

- Ως **βεβαιωμένο γεωθερμικό πεδίο υψηλής θερμοκρασίας** μπορεί να χαρακτηριστεί, ένα πεδίο που συγκεντρώνει απαραίτητα τουλάχιστον τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

Α) Έχουν γίνει γνωστά και τεκμηριωμένα από ερευνητικές εργασίες τόσο η γεωμετρία του ταμιευτήρα όσο και η έκταση του πεδίου με απόκλιση μικρότερη του 10% και βαθμό εμπιστοσύνης μεγαλύτερο του 90%.

Β) Είναι γνωστά από παραγωγικές γεωτρήσεις και δοκιμές άντλησης με απόκλιση μέχρι 10% και βαθμό εμπιστοσύνης μεγαλύτερο του 90% η θερμοκρασιακή κατανομή στον ταμιευτήρα και η θερμοκρασία εξόδου των ρευστών στην επιφάνεια (έξοδο των γεωτρήσεων) και τα δεδομένα παροχής και πίεσης ρευστού.

Γ) Είναι γνωστά τα στοιχεία των χαρακτηριστικών της χημικής σύστασης του ρευστού

Δ) Υπάρχει εκτίμηση για τα πιθανά παραπροϊόντα και υποπροϊόντα.

- Ως **βεβαιωμένο γεωθερμικό πεδίο χαμηλής θερμοκρασίας** μπορεί να χαρακτηριστεί, ένα πεδίο που συγκεντρώνει απαραίτητα τουλάχιστον τα παρακάτω χαρακτηριστικά.

Α) Έχουν γίνει γνωστά και τεκμηριωμένα από ερευνητικές εργασίες η έκταση του πεδίου και η κατακόρυφη εξάπλωσή του (ελάχιστο / μέγιστο βάθος) με απόκλιση μικρότερη του 10% και βαθμό εμπιστοσύνης μεγαλύτερο του 90%.

Β) Είναι γνωστά με βαθμό εμπιστοσύνης μεγαλύτερο του 90% για κατάσταση ισορροπίας χωρίς να λαμβάνονται υπόψη μεταβολές από παρατεταμένη εκμετάλλευση ή φαινόμενα υπεραντλήσεων, η θερμοκρασία εξόδου των ρευστών στην επιφάνεια (έξοδο των γεωτρήσεων) με απόκλιση μέχρι 10% και τα δεδομένα παροχής και πίεσης ρευστού με απόκλιση μέχρι 15%.

Γ) Είναι γνωστά τα στοιχεία των χαρακτηριστικών της χημικής σύστασης του ρευστού

Δ) Υπάρχει εκτίμηση για τα πιθανά παραπροϊόντα και υποπροϊόντα.

Ως **πιθανό γεωθερμικό πεδίο** μπορεί να χαρακτηριστεί ένα πεδίο που συγκεντρώνει απαραίτητα τουλάχιστον τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

Α) Υπάρχουν δεδομένα από γεωτρήσεις ώστε να είναι δυνατόν να καθοριστεί η θερμοκρασία εξόδου των ρευστών στην επιφάνεια (έξοδο των γεωτρήσεων) με απόκλιση μικρότερη του 20% και βαθμό αξιοπιστίας τουλάχιστον 70%.

Β) Μπορεί να προσδιοριστεί η έκταση και κατακόρυφη εξάπλωσή του πεδίου με απόκλιση μικρότερη του 30% και βαθμό αξιοπιστίας τουλάχιστον 70%.

2. Με την πρόσφατα εκδοθείσα Υ.Α Δ9Β ΦΕΚ 635 Β 12/05/2005 καθορίζεται με σαφήνεια η διαχείριση των γεωθερμικών πεδίων στη χώρα μας.

Η συγκεκριμένη Υπουργική Απόφαση αφορά στους όρους και την διαδικασία εκμίσθωσης του δικαιώματος του δημοσίου για την έρευνα και την διαχείριση του γεωθερμικού δυναμικού και της εν γένει διαχείρισης των γεωθερμικών πεδίων της χώρας στο πλαίσιο της ολοκληρωμένης διαχείρισής τους.

Σύμφωνα με την Απόφαση οι σχετικοί διαγωνισμοί θα προκηρύσσονται από τις Περιφέρειες στην περίπτωση που αφορούν την εκμετάλλευση βεβαιωμένων πεδίων που προορίζονται για θερμική χρήση. Αντίστοιχα στην περίπτωση μίσθωσης του δικαιώματος έρευνας μη βεβαιωμένων πεδίων ή εκμετάλλευσης πεδίων υψηλής θερμοκρασίας για ηλεκτροπαραγωγή, τον διαγωνισμό θα προκηρύσσει ο υπουργός Ανάπτυξης. Η Απόφαση σέβεται και δεν ανατρέπει τα υπάρχοντα δικαιώματα εκμετάλλευσης πεδίων τα οποία συνεχίζουν να ισχύουν. Επιπλέον, αναμένεται να δώσει σημαντική ώθηση σε ένα νέο σχετικά επιχειρηματικό κλάδο, τη Γεωθερμία και έτσι να συμβάλλει στην επίτευξη των περιβαλλοντικών δεσμεύσεων της χώρας.

Εντός του 2005 θα ακολουθήσει η Απόφαση για την κατάταξη των γεωθερμικών πεδίων σε πιθανά και μη βεβαιωμένα, σύμφωνα με γνωμοδότηση που ετοιμάζει το ΙΓΜΕ σε συνεργασία με τις υπηρεσίες του Υπουργείου.

Στο νέο θεσμικό πλαίσιο δεν έχει προβλεφθεί έως τώρα η σύσταση ενιαίου φορέα διαχείρισης της γεωθερμίας όπως της Δημόσιας Εταιρίας Παροχής Αερίου για το φυσικό αέριο. Η δημιουργία ενός τέτοιου θεσμού πιστεύουμε ότι μπορεί να συμβάλει θετικά στην αξιοποίηση της γεωθερμίας στην πατρίδα μας.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Στην Ελλάδα το θεσμικό πλαίσιο για τη γεωθερμία μέχρι την ψήφιση του νόμου 3175 τον Ιούλιο του 2003 ήταν διαμορφωμένο με τον νόμο 1475/1984 όπως αυτός ίσχυε μετά από τροποποιήσεις που υπέστη.
- Ο 1475/1984 δεν ανταποκρινόταν πλέον στις σημερινές ανάγκες. Περιείχε αντιφατικές ρυθμίσεις, δεν συμβάδιζε με το ευρωπαϊκό κεκτημένο καθώς

χαρακτήριζε το γεωθερμικό δυναμικό, αποκλειστικά, μετάλλευμα και όχι ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και είχε μία σειρά από σύνθετες και ασαφείς προβλέψεις που δεν ευνοούσαν την ανάπτυξη της γεωθερμίας ούτε την προώθηση επενδύσεων στο τομέα αυτό.

- Με τον 3175/2003 <<Αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού, τηλεθέρμανση και άλλες διατάξεις>> και τις Υπουργικές Αποφάσεις εφαρμογής, γίνεται μια προσπάθεια για τη δημιουργία ενός ενιαίου και ολοκληρωμένου θεσμικού πλαισίου που εναρμονίζεται με την κοινοτική νομοθεσία, η οποία επιβάλλει την αντιμετώπιση της γεωθερμίας ως ανανεώσιμης πηγής ενέργειας που συμβάλει στην αειφόρο ανάπτυξη. Ορίζεται απλά και με σαφήνεια, η διαδικασία απόκτησης άδειας έρευνας και εκμετάλλευσης. Το γεωθερμικό πεδίο αντιμετωπίζεται πλέον ως ενιαίο κοίτασμα-πηγή και προβλέπεται η ενιαία διαχείρισή του, ενώ παρέχεται η δυνατότητα πώλησης της παραγόμενης ενέργειας. Αντιμετωπίζονται παράλληλα και τα ζητήματα τηλεθέρμανσης καλύπτοντας ένα σημαντικό νομικό κενό που υπήρχε σε αυτό το τομέα.
- Ο νέος νόμος αποτελεί μία αξιόπιστη θεσμική βάση για την αύξηση των γεωθερμικών εφαρμογών και την ουσιαστική συμβολή τους σε επίπεδο τοπικής και περιφερειακής ανάπτυξης
- Η δημιουργία ενός ενιαίου φορέα διαχείρισης του γεωθερμικού δυναμικού πιστεύουμε ότι μπορεί να συμβάλει θετικά στην αξιοποίηση της γεωθερμίας στην πατρίδα μας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Μαρτζόπουλος Γ. 2001. ΑΠΕ- Τεχνολογικές Εφαρμογές στη Γεωργία . Πανεπιστημιακό Σύγγραμμα. Θεσσαλονίκη.75.
2. COM 26.11.1997. Λευκή Βίβλος για Κοινοτική Στρατηγική και Σχέδιο Δράσης- Ενέργεια για το Μέλλον- Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Βρυξέλλες. 75-122
3. http://www.cres.gr/kape/datainfo/plaisio/national_ape_geotherm.htm
4. Μαντέλης Αν. 2002. Πρόταση Νόμου για τη Γεωθερμία. Συμπόσιο για τη Γεωθερμία. Εισήγηση. Αθήνα
5. Φυτίκας Μ. και Ανδρίτσος Ν. 2004. Γεωθερμία. Εκδόσεις Τζιόλα. Θεσσαλονίκη. 367-368
6. Περιοδικό Υδροθεμα. 2003. Ο νέος νόμος για τη γεωθερμία. Τεύχος Σεπτεμβρίου. Αθήνα. 9-13.
7. Υπουργείο Ανάπτυξης. Γ. Δ/ση Φυσικού Πλούτου. Δ/ση Ενεργειακών Πόρων. Τμήμα Β. Υ.Α Δ9Β ΦΕΚ 208 05/02/2004. Αθήνα
8. http://www.ypan.gr/c_announce/index_1944 cms.htm