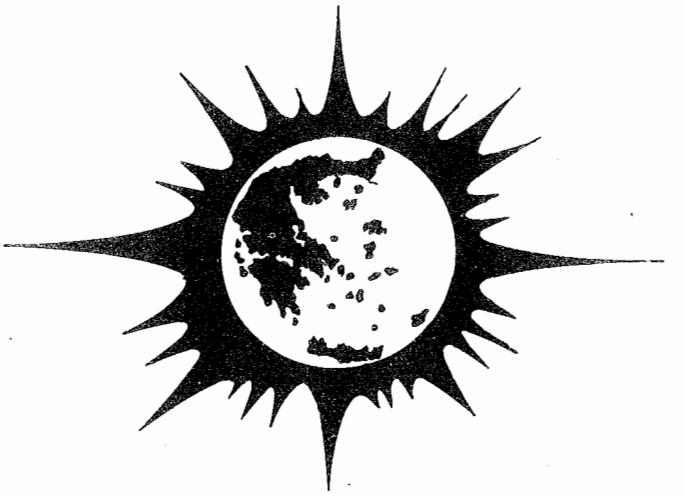
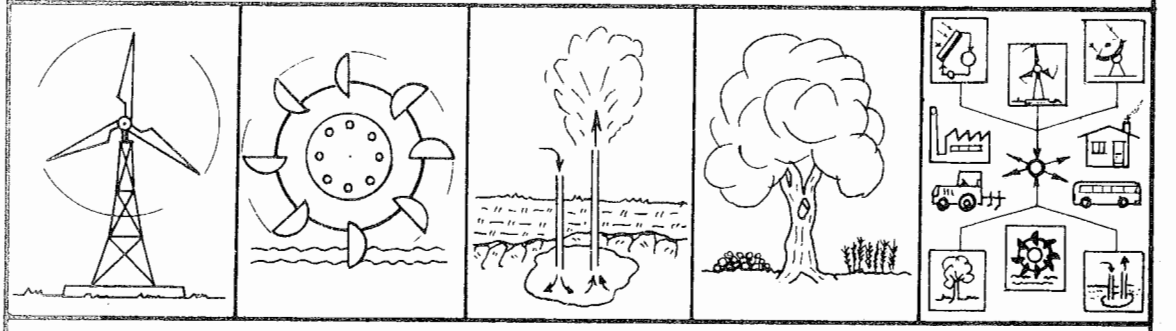
ΔΕΥΤΕΡΟ ΕΘΝΙΚΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ

# ΗΠΙΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

## Τόμος Β


10. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ - 11. ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ
12. ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ - 13. ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ - 14. ΒΙΟΜΑΖΑ
15. ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΑ ΚΑΙ Η ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥΣ - 16. ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΥΜΑΤΩΝ
17. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΗΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ
18. ΝΟΜΙΚΑ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΙΣ ΗΠΙΕΣ ΜΟΡΦΕΣ
19. ΗΠΙΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ




ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΗΛΙΑΚΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ, 6-8 ΝΟΕΜ. 1985

Φωτοστοιχειοθεσία - Εκτύπωση OFFSET ΓΙΑΧΟΥΔΗ - ΓΙΑΠΟΥΛΗ Ο.Ε.
Σερρών 39, Τριανδρία, Τηλ. 919-717 - Θεσσαλονίκη

# ΑΝΤΙ ΠΡΟΛΟΓΟΥ

Είναι πολύ δύσκολο, αλλά και ευχάριστο, το να προλογίζει κανείς την προκαταρκτική έκδοση των Επιστημονικών Εργασιών που θα παρουσιαστούν στο Δεύτερο Εθνικό Συνέδριο για τις Ήπιες Μορφές Ενέργειας.

Έχει προηγηθεί ένα εξαιρετικά πετυχημένο Πρώτο Εθνικό Συνέδριο που έγινε πριν τρία χρόνια και αποτέλεσε ορόσημο στην Ελληνική Επιστημονική δραστηριότητα. Η τέλεια οργάνωσή του, και η επιστημονική πληρότητα των εργασιών που παρουσιάστηκαν ήταν ένα κέντρισμα για πολλή δουλειά και προσπάθεια ώστε και το Δεύτερο Εθνικό Συνέδριο να φτάσει την στάθμη της επιτυχίας του Πρώτου Εθνικού Συνεδρίου για τις Ήπιες Μορφές Ενέργειας.

Η Επιστημονική Επιτροπή του Δεύτερου Εθνικού Συνεδρίου που αποτελέστηκε από τους καθηγητές κ.κ. Β. Σωτηρόπουλο (Πρόεδρο), Α. Καράμπελα, Ν. Κουμούτσο Π. Ντοκόπουλο, Ν. Οικονόμου, Κ. Πανέτσο, Μ. Παπαδόπουλο, Π. Παρασκευόπουλο, Κ. Πάττα, Δ. Ψωϊνό και τους Διπλ. Μηχ-Ηλ. κ.κ. Θ. Παφύλια και Ε. Τσίγκα αφού μελέτησε με μεγάλη προσοχή τις περιλήψεις των Επιστημονικών Ερνασιών που υποβλήθηκαν για παρουσίαση στο Δεύτερο Εθνικό Συνέδριο, διεπίστωσε με ιδιαίτερη ικανοποίηση ότι όλες αυτές οι εργασίες κάλυψαν με μεθοδικότητα τους στόχους που είχαν τεθεί τόσο σ' ότι αφορά στην επιστημονική εμβάθυνση όσο και στα πλαίσια των επιστημονικών πεδίων που είχαν προκαθοριστεί ως στοχοι του Συνεδρίου. Ακόμη ευχάριστη έκπληξη προκάλεσε η επιστημονική συμμετοχή στο Συνέδριο με εργασίες Ελλήνων και Ξένων ερευνητών από το Εξωτερικό.

Η Οργανωτική Επιτροπή που την αποτέλεσαν οι κ.κ. Ε. Τσίγκας (Πρόεδρος), Θ. Παφύλιας, Γ. Ράλλης, Α. Σπυρίδωνος, και Σ. Καλαμβοκίδης είχε αμέριστη βοήθεια από πολλούς φίλους και αξιοποίησε κατάτο δυνατό την πλούσια εμπειρία από την οργάνωση του Πρώτου Συνεδρίου.

Η Γραμματεία προετοιμασίας του Δεύτερου Εθνικού Συνεδρίου που αποτελέστηκε από την Διπλ. Μηχανολόγο δίδα Μαριάνθη Γρηγοριάδου και τους κ.κ. Χαράλαμπο Πρινέα και Στυλιανό Καλαμβοκίδη είχε να αντιμετωπίσει πληθώρα θεμάτων που τα έλυσε με τον καλύτερο τρόπο.

Το Δεύτερο Εθνικό Συνέδριο για τις Ήπιες Μορφές Ενέργειας έγινε ειδικά αυτή την χρονιά μέσα στα πλαίσια των πολύπλευρων εκδηλώσεων που οργανώθηκαν για τον γιορτασμό των 2.300 χρόνων της πόλης της Θεσσαλονίκης.

Το Διοικητικό Συμβούλιο του Ινστιτούτου Ηλιακής Τεχνικής αισθάνεται ιδιαίτερη χαρά εκφράζοντας τις ευχαριστίες του για την συμπαράσταση που εκδηλώθηκε για την οργάνωση του Συνεδρίου από πληθώρα Δημοσίων, Ιδιωτικών και Ξένων Φορέων. Θερμά ευχαριστούμε για την ηθική και υλική συμπαράσταση τα Υπουργεία Πολιτισμού, Βιομηχανίας, Ενέργειας και Τεχνολογίας, Παιδείας και Θρησκευμάτων, Βόρειας Ελλάδας, τον Δήμο Θεσσαλονίκης, το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, το Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, την Διεθνή Έκθεση Θεσσαλονίκης, την ΔΕΗ, τον ΟΤΕ, τις Προξενικές Αρχές των διαφόρων φίλων κρατών, την ΕΛΕΤΗΛΕΝ, τις ιδιωτικές Επιχειρήσεις Stiebel-Eltron, Calpac και Dow, την Υπηρεσία Γιορτασμού των 2.300 χρόνων της Θεσσαλονίκης και γενικά όλους όσους στάθηκαν δίπλα μας.

Τέλος θα ήταν παράλειψη αν δεν εκφράζαμε τις ιδιαίτερες ευχαριστίες μας στον Γενικό Γραμματέα του Υπουργείου Βόρειας Ελλάδας κ. Αντώνη Κούρτη και τον Πρύτανη του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης κ. Δημήτρη Φατούρο για την θερμή τους συμπαράσταση σ' όλο το διάστημα προετοιμασίας του 2ου Εθνικού Συνεδρίου για τις Ήπιες Μορφές Ενέργειας.

Β.Α. Σωτηρόπουλος
Καθηγητής Πολυτεχνικής Σχολής
Αριστοτελείου Πανεπιστημίου
Θεσσαλονίκης
Πρόεδρος Ι.Η.Τ.

# ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

## Τόμος Α


**ΠΡΟΛΟΓΟΣ**

**Πίνακας Περιεχομένων**

**ΕΙΣΗΓΗΣΕΙΣ**

**1. ΜΕΤΡΗΣΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ**

Τα χαρακτηριστικά των ηλιοφέγγων ημερών στη Θεσσαλονίκη κατά την ψυχρή περίοδο. — ΜΕΤ- 1 - 8
Α. Αρσένη-Παπαδημητρίου
Π. Μαχαίρας

Στοχαστική προσομοίωση της ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας. — ΜΕΤ- 9 - 16
Α. Μπαλουκτσής
Δ. Τσανάκας
Γ. Βαχτσεβάνος

Ποσοτική προσέγγιση σε δύο ατμοσφαιρικές παραμέτρους που συνδέονται άμεσα με την ηλιακή ακτινοβολία. — ΜΕΤ- 17 - 24
Α. Τσιούμης

Πρόβλεψη της προσπίπτουσας ολικής ενέργειας σε διάφορες περιοχές της Ελλάδας σαν συνάρτηση της καταγραφόμενης ηλιοφάνειας του ύψους του ηλίου και του συντελεστή θολότητας. — ΜΕΤ- 25 - 32
Α. Τσιούμης

## 3. ΕΝΕΡΓΗΤΙΚΑ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Μέθοδος προσδιορισμού της απόδοσης ηλιακού θερμοσίφωνου. HEE- 1 - 8
Α. Μαραντάς

Παρακολούθηση αποδόσεως και λειτουργίας θερμοσιφωνικής μονάδας σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας. HEE- 9 - 16
Θ. Παφύλιας
Π. Κανελλόπουλος

Θεωρητική και πειραματική διερεύνηση αεροηλιοθέρμου. HEE- 17 - 24
Θ. Ντούνας
Χ. Πολίτης
Μ. Σωτηριάδης
Α. Μήτσογλου
Β.Α. Σωτηρόπουλος

Καμπύλη απόδοσης ηλιακού θερμαντήρα νερού με φυσική κυκλοφορία.- Θεωρητική και πειραματική επιβεβαίωση. HEE- 25 - 32
Ε. Βαζαίος
Π. Κανελλόπουλος

Επιδόσεις ενός ενεργητικού ηλιακού συστήματος θέρμανσης και ψύξης στην Ελλάδα. HEE- 33 - 40
Π.Ι. Αξαόπουλος

Παραμετρικός σχεδιασμός ηλιακών εγκαταστάσεων παραγωγής νερού χρήσης. HEE- 41 - 48
Ε. Παπασταθοπούλου
Χ. Κορρές
Ν. Κουμούτσος

Βέλτιστη σχεδίαση δικτύου σωληνώσεων για την διασύνδεση συστοιχίας ηλιακών συλλεκτών. HEE- 49 - 56
Ε. Βαζαίος
Α. Μακρύλλος

Δυνατότης χρησιμοποιήσεως αλογονομένων φθοριούχων υδρογονανθράκων εις τους θερμοσωλήνες. ΗΕΕ- 57 - 66
Α.Β. Σπυρίδωνος

Σχεδίαση και λειτουργία ηλιακών θερμαντικών συστημάτων κολυμβητικών δεξαμενών στην Ελλάδα. ΗΕΕ- 67 - 74
Ε. Βαζαίος
Κ.Δ. Ρακόπουλος

Θέρμανση, δροσισμός και θέρμανση νερού χρήσης ξενοδοχειακού συγκροτήματος στα Χανιά με υβριδικά ηλιακά συστήματα. ΗΕΕ- 75 - 82
Γ. Καλλιγέρης
Μ. Σανταμούρης
Π. Χαρώνης
Φ. Τριάντη

Τεχνολογικά χαρακτηριστικά της ηλιακής εγκατάστασης θέρμανσης-ψύξης του Αμερικανικού Κολλεγίου Ελλάδος. ΗΕΕ- 83 - 90
Χ.Ι. Κορρές
Ε.Ε. Μπαρδάκας

## 4. ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ

Συμπεράσματα στατιστικών μεγάλης κλίμακας και εκτίμηση παραμέτρων των ενεργειακών αναγκών στον οικιακό τομέα. ΕΕΚ- 1 - 8
Δ. Ασημακόπουλος
Π. Καλογερόπουλος
Ν. Κουμούτσος

Εξοικονόμηση ενέργειας σε δίκτυα αγωγών με βελτιστοποιημένο υπολογιστικό σχεδιασμό. ΕΕΚ- 9 - 22
Ν. Σουμαλεύρης
Β. Πανταζής
Δ. Παπανίκας

Αντίσταση θερμοδιαφυγής κτιριακών στοιχείων και εξοικονόμηση ενέργειας. ΕΕΚ- 23 - 30
Α. Φραγκουδάκης

'Ενα μοντέλο πρόβλεψης μέσων θερμοκρασιών με χρήση σε αυτόματο σύστημα ελέγχου κεντρικής θέρμανσης/ψύξης. ΕΕΚ- 31 - 38
Ε.Α. Καγιάφας
Γ. Καμπουράκης
Σ. Ποριάζης

Προσομοίωση σπιτιού στον ήλιο.'Ενα γενικό μοντέλο προσομοίωσης της δυναμικής θερμικής συμπεριφοράς κτιρίου. ΕΕΚ- 39 - 46
Β.Α. Σωτηρόπουλος
Δ.Α. Μπόζης
Α.Χ. Χριστοφορίδης

'Ελεγχος εγκατάστασης κεντρικής θέρμανσης με περιορισμό στη μέγιστη κατανάλωση ενέργειας. ΕΕΚ- 47 - 54
Ε.Α. Καγιάφας
Γ.Ε. Καμπουράκης
Μ.Χ. Παππάς

Βιοκλιματική ανάλυση σταυλικών εγκαταστάσεων και βέλτιστος ενεργειακός σχεδιασμός στον Ελληνικό χώρο. ΕΕΚ- 55 - 62
Π. Αξαόπουλος
Σ. Κυρίτσης
Γ. Λαμπρινός

Θέρμανση αίθουσας τοκετών χοιροστασίου με ηλιακή ενέργεια. ΕΕΚ- 63 - 72
Γ.Γ. Μαρτζόπουλος

## 5. ΗΛΙΑΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΡΕΥΣΤΩΝ

Διερεύνηση των επιδόσεων ενός ηλιακού συλλέκτη κατασκευασμένου με την μορφή μιας σκάφης σε σύγκριση με ένα επίπεδο συλλέκτη. ΣΥΛ- 1 - 6
Π.Γ. Χαρώνης

Οπτικές και θερμικές δυνατότητες ενός παραβολικού ηλιακού συλλέκτη. ΣΥΛ- 7 - 14
Σ. Τσιτομενέας
Γ. Σταυρακάκης

Ηλιακός συλλέκτης αέρα φυσικής κυκλοφορίας σε λειτουργία βρόγχου. ΣΥΛ- 15 - 22
Α.Δ. Σφαιρίδης
Ε.Π. Τσίγκας
Μ.Α. Παπαδόπουλος

Φασματική μέθοδος Chebyshev μικρών διαταραχών για τη μελέτη των θερμικών ασταθειών ροής ελεύθερης συναγωγής μέσα σε κατακόρυφους ηλιακούς συλλέκτες. ΣΥΛ- 23 - 30
Β.Γ. Στεργιόπουλος
B. Brenier

## 6. ΗΛΙΑΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ

Δυνατότητες κάλυψης θερμικού φορτίου ξήρανσης με σύστημα επιπέδων ηλιακών συλλεκτών αέρα. ΘΕΔ- 1 - 8
Π. Μάντζαρη
Ζ. Μαρούλης
Γ. Ραουζαίος
Δ. Μαρίνος-Κουρής

Συμβολή των φωτοδιαφανών θερμομονωτικών υλικών στην εξέλιξη της ηλιακής τεχνικής. ΘΕΔ- 9 - 16
Α. Φραγκουδάκης

Η ηλιακή λίμνη ως ηλιοθερμικός μετατροπέας και διάταξη αποθηκεύσεως θερμότητας.-Σχεδίαση και θερμική απόδοση για τις Ελληνικές κλιματολογικές συνθήκες. ΘΕΔ- 17 - 24
Π.Θ. Τσιλιγγίρης

## 7. ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Συνιστώσες της θερμικής διαδικασίας σε ένα θερμικό στρώμα στερεών. ΑΠΘ- 1 - 8
Α.Ε. Μοσχάτος

Μελέτη της επίδρασης της θερμικής αγωγιμότητας στην αξιοποίηση ενός υδροφορέα χαμηλής ενθαλπίας σε συνδυασμό με αποθήκευση θερμικής ενέργειας. ΑΠΘ- 9 - 16
Α. Μπαγτζόγλου
Γ. Αποστολίδης
Δ. Τολίκας
Κ. Κατσιφαράκης

Διαμόρφωση και πειραματική επαλήθευση μαθηματικού προτύπου σε σύστημα επιπέδου ηλιακού συλλέκτη αέρα και θερμικής αποθήκης στερεών σωματιδίων. ΑΠΘ- 17 - 24
Ν. Λεονταρίδης
Ζ. Μαρούλης
Γ. Ραουζαίος
Δ. Μαρίνος-Κουρής

## 8. ΗΛΙΑΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Ανάπτυξη πρότυπης μονάδας φωτοβολταϊκού σταθμού 132 W, με αυτόματη παρακολούθηση της κίνησης του ήλιου. ΗΛΣ- 1 - 8
Π.Χ. Στεφανίδης

Αξιοπιστία και παράμετροι αυτής. Μια μέθοδος βέλτιστου σχεδιασμού αυτόνομων φ/β συστημάτων. ΗΛΣ- 9 - 16
Φ.Γ. Τσαλίδης
Α. Θαναηλάκης

Ηλιακό ηλεκτρικό εργοστάσιο, μέσω δημιουργίας ρεύματος αέρος (Sonnenaufwindkraftwerk). ΗΛΣ- 17 - 24
Μ. Παπαδοπούλου

## 9. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥΣ

Επίδραση της εποχιακής μεταβολής της γωνίας κλίσης των επιφανειών φωτοβολταϊκών στοιχείων στην παραγόμενη ενέργεια. ΗΕΦ- 1 - 8
Α. Μπαλουκτσής
Δ. Τσανάκας
Γ. Βαχτσεβάνος

Κατασκευή και μελέτη φωτοβολταϊκών στοιχείων τύπου Schottky από πολυκρυσταλλικό πυρίτιο. ΗΕΦ- 9 - 16
Δ. Γκιργκινούδη

Σχεδίαση φωτοβολταϊκού αντλητικού συστήματος για άρδευση στην περιοχή Μενετών Καρπάθου. ΗΕΦ- 17 - 24
Ε. Βαζαίος
Ι. Αβαριτσιώτης
Μ. Τσίλης

# Τόμος Β

## Πίνακας Περιεχομένων

## ΕΙΣΗΓΗΣΕΙΣ

## 10. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ

Δυνατότητα θέρμανσης του θερμοκηπίου με την χρησιμοποίηση της ηλιακής ενέργειας και υπογείου εναλλάκτη θερμότητας εδάφους-αέρα. ΗΕΓ- 1 - 8
Γ.Ν. Μαυρογιαννόπουλος
Σ. Κυρίτσης

Ανάπτυξη ενός παθητικού ηλιακού συστήματος για θέρμανση θερμοκηπίων. ΗΕΓ- 9 - 16
Μ. Γραφιαδέλλης

Αντλία ύδατος που λειτουργεί με ηλιακό συγκεντρωτικό φως προσπίπτον επάνω σε φωτοβολταϊκά στοιχεία. ΗΕΓ- 17 - 24
Κ.Π. Νεράντζης

Ξήρανση σουλτανίνας με ηλιακή ενέργεια. ΗΕΓ- 25 - 32
Γ.Σ. Ραουζαίος
Ζ.Β. Μαρούλης
Δ.Σ. Μαρίνος-Κουρής

Ηλιακός ξηραντήρας παραγωγής σταφίδας. ΗΕΓ- 33 - 40
Μ. Μαρούσης
Μ. Τσαμπαρλής

Συνδυασμένη παραγωγή αλατιού και νερού με ηλιακή ενέργεια. ΗΕΓ- 41 - 48
Δ.Α. Τσίτσης

## 11. ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Βελτιστοποίηση διάταξης ανεμογεννητριών σε αιολικό πάρκο. ΑΙΟ- 1 - 8
Α. Παπακωνσταντίνου
Γ. Μπεργελές
Ν. Αθανασιάδης

Εκτίμηση κόστους παραγόμενης αιολικής KWH. ΑΙΟ- 9 - 14
Γ. Καραμανζάνης

Εκτίμηση του αιολικού δυναμικού στη Β. Ελλάδα. ΑΙΟ- 15 - 22
Τ.Ι. Μακρογιάννης
Χ.Σ. Σαχσαμάνογλου

Συγκριτική αξιολόγηση της απόδοσης των ανεμογεννη- ΑΙΟ- 23 - 30

τριών του αιολικού πάρκου της Κύθνου.
Σ. Σάββας
Ι. Χατζηβασιλειάδης
Γ. Μπεργελές
Ν. Αθανασιάδης

Βελτιστοποίηση και πρόβλεψη της απόδοσης του ρότορα ενός ανεμοκινητήρα με οριζόντιο άξονα. ΑΙΟ- 31 - 38
Χ. Γεωργαλάς
Α. Κόρας
Σ. Τρωϊανός

Μελέτη των επιδόσεων ανεμοκινητήρων κατακορύφου άξονα Darrieus μέσα σε διατμητικό στρώμα αέρα με μια μέθοδο πολλαπλών σωλήνων ροής και ασυμμετρική λειτουργία του ανάντη και κατάντη τμήματος του δρομέα. ΑΙΟ- 39 - 44
Β.Γ. Στεργιόπουλος
M. Botrini

Μέθοδος πρόλεξης του μη μόνιμου τρισδιάστατου απορρεύματος ανεμοκινητήρα κατακόρυφου άξονα τύπου V απλού ή πολλαπλού δρομέα. ΑΙΟ- 45 - 52
Β.Γ. Στεργιόπουλος

Χαρακτηριστικά λειτουργίας της ανεμογεννήτριας κατακόρυφου άξονα με ευθύγραμμα πτερύγια. ΑΙΟ- 53 - 60
Α. Ζερβός
Ν. Απέργης
Ν. Αθανασιάδης

Αυτόνομη αιολική μονάδα ηλεκτροπαραγωγής. ΑΙΟ- 61 - 68
Χ. Βούρος
Α. Ανδρούτσος
Δ. Βούρος

## 12. ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Μελέτη της επιλογής και τροποποιήσεις αντλίας για την αντίστροφη λειτουργία ως υδροστροβίλου. ΥΔΡ- 1 - 8
Δ. Παπαντώνης
Ν. Αθανασιάδης

Η εκμετάλευση των μικρών υδροηλεκτρικών έργων. ΥΔΡ- 9 - 16
Σ. Περδίος

Μικρουδροηλεκτρική μονάδα στα Σέλλα Ευρυτανίας. ΥΔΡ- 17 - 20
Γ. Αργυρόπουλος
Γ. Βέκιος
Σ. Κυρίτσης

## 13. ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Ο ρόλος της νεοτεκτονικής στη γεωθερμική έρευνα. ΓΕΩ- 1 - 8
Σ. Παυλίδης
Κ. Σημαιάκης

Γεωθερμική ενέργεια και τηλεθέρμανση. ΓΕΩ- 9 - 14
Ο.Ν. Πλανάκης

Αξιοποίηση του θερμομεταλλικού νερού σε αντλία θερμότητας. ΓΕΩ- 15 - 22
Γ.Δ. Βασιλάτος

Εφαρμογή του κύκλου του Rankine στην αξιοποίηση γεωθερμικών ρευστών. ΓΕΩ- 23 - 30
Ι. Νικολαΐδης
Σ.Β. Παράς
Α.Ι. Καράμπελας

Αφαλάτωση θαλασσινού νερού με χρήση επιφανειακών γεωθερμικών πεδίων.-Περίπτωση εφαρμογής στη νήσο Μήλο. ΓΕΩ- 31 - 38
Ν. Κουμούτσος
Ι. Μακατσώρης

Γεωθερμική ενέργεια από πεδία θερμών εδαφών και ατμίδων στη Μήλο. ΓΕΩ- 39 - 46
Μ. Φυτίκας
Γ. Μαυρογιαννόπουλος

Θέρμανση θερμοκηπίων με γεωθερμική ενέργεια χαμηλής ενθαλπίας στα ελαιοχώρια Χαλκιδικής. ΓΕΩ- 47 - 52
Χ. Νικήτα-Μαρτζοπούλου

## 14. BIOMAZA

Θερμοχημική μετατροπή βιομάζας. Βασική και τεχνολογική μελέτη της πυρόλυσης της βιομάζας. ΒΙΟ- 1 - 8
G. Maschio
A. Lucchesi

Μοντέλο ροών μάζας και ενέργειας σε ολοκληρωμένα συστήματα παραγωγής βιομάζας και προϊόντων από βιομάζα. ΒΙΟ- 9 - 14
Ε.Γ. Κούκιος
Κ. Χατζηγιαννάκης
Δ. Ασημακόπουλος

Παραγωγή βιομάζας από φυτείες ειδών και οικογενειών πλατάνου με μικρό περίτροπο χρόνο. Αποτελέσματα δεύτερης αποψιλωτικής υλοτομίας. ΒΙΟ- 15 - 22
Κ.Π. Πανέτσος

Παραγωγή βιομάζας από φυτείες κλώνων λεύκης μικρού περίτροπου χρόνου. ΒΙΟ- 23 - 32
Κ.Π. Πανέτσος
Α.Β. Σκαλτσογιάννης

Αναερόβια ζύμωση της πράσινης βελανιδιάς σε κλειστό αντιδραστήρα. ΒΙΟ- 33 - 38
Α. Γείτονας

Επίλυση του προβλήματος κατσιγάρων και όλων των άλλων παρομοίων με τα λιόζουμα υγρών αποβλήτων με την ντόπια βιοηλιακή μας αναερόβιο μέθοδο απορύπανσης σε λιμνοδεξαμενώσεις παραγωγής πολλών προϊόντων.
Θ. Χριστοφορίδης — BIO- 39 - 46

Βελτιστοποίηση της απόδοσης των εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας σε κτηνοτροφικές μονάδες.
Δ. Γεωργακάκης
Σ. Ξενικός
Σ. Κυρίτσης — BIO- 47 - 54

Εφαρμογή της ηλιακής ενέργειας στην επεξεργασία οργανικών αποβλήτων με συμπαραγωγή βιομάζας.
Φ.Α. Μπατζιάς — BIO- 55 - 62

Αξιοποίηση γεωργικών υπολειμμάτων στην παραγωγή ασβέστη.
Γ. Αργυρόπουλος — BIO- 63 - 70

Μια εφαρμογή της τεχνικής του χωνευτήρα με σταθερή βακτηριακή κλίνη για την μεθανοποίηση του τυρόγαλου ενός τυροκομίου που παράγει τυρί συμπιεσμένου.
H. Bouillez
J.L. Blanchard
P. Lemaire — BIO- 71 - 78

Το ύψος της μεθανοποίησης απορριμάτων ζώων στη Γαλλία μέχρι την 1.1.85.
N. Bouillez
H. Blanchard — BIO- 79 - 86

Αιθανόλη από γεωργικά παραπροϊόντα σε στήλες ακινητοποιημένων μικροοργανισμών.
Ε.Γ. Κούκιος, Γ. Χατζούδης
Δ. Οικονομίδης, Δ. Κέκος
Θ. Τσούτσος — BIO- 87 - 94

Παραγωγή ενεργειακής αλκοόλης από αγροτικά παραπροϊόντα. Ολοκληρωμένη τεχνικο-οικονομική αντιμετώπιση. BIO- 95 -102
Ε.Γ. Κούκιος
Δ. Οικονομίδης
Θ. Τσούτσος
Δ. Κέκος

Αλατούχα εδάφη: Μια ρεαλιστική προοπτική για ενεργειακές φυτείες στην Ελλάδα. BIO-103 -106
Ι. Στάμου

## 15. ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΑ ΚΑΙ Η ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥΣ

Δυνατότητες ενεργειακής αξιοποίησης των οικιακών απορριμάτων στην Ελλάδα. ΑΞΑ- 1 - 8
Δ. Διακουλάκη
Ν. Κουμούτσος

Ανάκτηση υλικών από οικιακά απορρίματα μείζονος περιοχής Θεσσαλονίκης. ΑΞΑ- 9 - 16
Δ. Κούλης
Α. Ζαμπανιώτου
Α.Ι. Καράμπελας

## 16. ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΥΜΑΤΩΝ

Κύματα εσωτερικής βαρύτητας. Μελλοντική υπόσχεση για παραγωγή ενέργειας. ΚΥΜ- 1 - 8
Δ. Κανελλόπουλος

Στοιχεία ενεργειακής τεχνικο-οικονομικής ανάλυσης μονίμων συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τους θαλάσσιους κυματισμούς. ΚΥΜ- 9 - 16
Μ. Σπυριδάκης

## 17. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΗΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ

Καταλυτική δράση ενός συμπλόκου του βολφραμίου στη φωτοχημική διάσπαση του νερού. ΤΦΜ- 1 - 8
Χ. Μητσοπούλου
Δ. Κατάκης
Ε. Βραχνού-'Αστρα
Ι. Κωνσταντάτος

Φωτοχημεία διαλυμάτων του δις-2-χλωροδιθειοβενζιλονικελίου (ΙΙ) παρουσία Edta και $MV^{2+}$ σε διαλύτη ακετόνη-νερό (70:30). ΤΦΜ- 9 - 16
Η. Χοντζόπουλος
Ε. Βραχνού-Αστρα
Ι. Κωνσταντάτος

Φωτοχημική μετατροπή και αποθήκευση ηλιακής ενέργειας με πολυοξομεταλλικές ενώσεις Mo,W ή V . Παραγωγή υδρογόνου, φωτοκατάλυση, φωτογαλβανικά στοιχεία. ΤΦΜ- 17 - 24
Η. Παπακωνσταντίνου
Π. Αργείτης
Δ. Δημοτίκαλη
Α. Χισκιά
Α. Ιωαννίδης

Το θειϊκό ασβέστιο σαν βελτιωτικό της συμπιεστότητας και των ξηρών συστατικών της πούλπας σε εργοστάσιο ζάχαρης. ΤΦΜ- 25 - 32
Ι. Βελέντζα
Π. Χριστοδούλου

Η παραγωγή ενέργειας και χημικών πρώτων υλών από λιγνιτοκυτταρινούχα υποστρώματα με όξινη υδρόλυση. ΤΦΜ- 33 - 40
Ι. Παπαδόπουλος

## 18. ΝΟΜΙΚΑ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΙΣ ΗΠΙΕΣ ΜΟΡΦΕΣ

Ανάπτυξη τεχνολογίας ήπιων μορφών ενέργειας και οι παράγοντες που την καθορίζουν
Κ.Π. Νεράντζης — ΗΜΟ- 1 - 6

'Ηπιες μορφές ενέργειας και οικονομική ανάπτυξη.
Σ. Καραγιάννη
Α. Φραγκουδάκης — ΗΜΟ- 7 - 14

Ενεργειακός πολεοδομικός σχεδιασμός. Θεσμικά και προγραμματικά προβλήματα.
Ν. Καλογήρου — ΗΜΟ- 15 - 20

Κόστος KWH σε εργοστάσιο συμπαραγωγής ατμού-ηλεκτρισμού λαμβάνοντας υπόψη τον εξεργειακό βαθμό απόδοσης.
Π. Χριστοδούλου — ΗΜΟ- 21 - 28

'Ενα μοντέλο για τις ήπιες μορφές ενέργειας στις Κυκλάδες.
Α. Λελεδάκης
Θ. Γκούμας
Μ. Σαμουηλίδης — ΗΜΟ- 29 - 36

Πολυκριτηριακή ανάλυση του προβλήματος αξιοποίησης της γεωθερμίας της Μήλου. Εφαρμογή των μεθόδων Electre.
Σ. Παπαθανασίου
Π. Κάπρος
Μ. Σαμουηλίδης — ΗΜΟ- 37 - 44

Μακροοικονομικές επιπτώσεις της παραγωγής αιθανόλης από γεωργικές πρώτες ύλες και της χρήσης της ως καυσίμου. Μέθοδος υπολογισμού και εφαρμογή στη περίπτωση της Γαλλίας.
Ι. Φλωρεντίν — ΗΜΟ- 45 - 52

## 19. ΗΠΙΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

'Ηπιες μορφές ενέργειας και επίδραση στο περιβάλλον. ΠΕΡ- 1 - 8
Ο.Ν. Πλανάκης

Η ενέργεια και η πόλη. ΠΕΡ- 9 - 16
Π. Σταθακόπουλος

Ο πολεοδομικός σχεδιασμός έκφραση θεμελίωσης των παθητικών συστημάτων ενέργειας. ΠΕΡ- 17 - 20
Μ. Βαλασσά
Α. Τσαλαπάτας

Ενέργεια και περιβάλλον. Βιοκλιματική αρχιτεκτονική μια προοπτική για την ισορροπία χτισμένου/φυσικού περιβάλλοντος. ΠΕΡ- 21 - 28
Ε. Ανδρεαδάκη-Χρονάκη

ΗΕΓ-1

# ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ-ΑΕΡΑ

Από τους: Γ.Ν.Μαυρογιαννόπουλο και Σπ.Κυρίτση,
Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών της
Ανωτάτης Γεωπονικής Σχολής Αθηνών

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σ'ένα θερμοκήπιο 150 $m^2$ και σε βάθος 2 m μέσα στο έδαφος, εγκαταστάθηκε ένας εναλλάκτης θερμότητας εδάφους αέρα που αποτελείτο από 20 αλουμινοσωλήνες μήκους 15 m, διαμέτρου 0,2 m και πάχους 0,2 mm.

Η θερμοκρασία του χώρου του θερμοκηπίου ρυθμιζόταν με την κυκλοφορία του αέρα σε κλειστό κύκλωμα, μέσα από το σύστημα του εναλλάκτη και στο χώρο του θερμοκηπίου. Η κυκλοφορία του αέρα γινόταν με τη λειτουργία ενός ανεμιστήρα οποτεδήποτε η θερμοκρασία του χώρου έπεφτε κάτω από 12°C ή ανέβαινε πάνω από 28°C.

Η λειτουργία αυτού του συστήματος κατά τήν περίοδο από Νοέμβριο 1981 έως Μάϊο 1984, είχε σαν αποτέλεσμα η θερμοκρασία στο χώρο του θερμοκηπίου να μην πέσει κάτω από 7°C, έστω κι αν η θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα έπεφτε στους -3°C.

Η ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται από τον ανεμιστήρα του εναλλάκτη κατά τη διάρκεια του χειμώνα, είναι περίπου το 20% της ενέργειας που προσφέρεται για τη θέρμανση του θερμοκηπίου από τον εναλλάκτη.

ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ
Εναλλάκτης θερμότητας εδάφους-αέρα, ηλιακή ενέργεια, θερμοκήπιο.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Για να γίνει κατανοητό το πρόβλημα της ενέργειας στο θερμοκήπιο, θα πρέπει να σημειώσουμε τις ιδιομορφίες που παρουσιάζει το θερμοκήπιο συγκριτικά με άλλες κατασκευές.

1. Κάθε θερμοκήπιο, επειδή καλύπτεται με διαφανές υλικό, δέχεται στο εσωτερικό του την προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια, που το χειμώνα μπορεί να φθάσει μέχρι και 400 $W/M^2$ σε οριζόντιο επίπεδο και πολύ περισσότερο το καλοκαίρι.
2. Οι απώλειες του θερμοκηπίου σε ενέργεια είναι πολύ μεγάλες, 6-12 φορές μεγαλύτερες μιάς άλλης συνηθισμένης γεωργικής κατασκευής.

Αυτό έχει σαν συνέπεια: α) Η θερμοκρασία στο χώρο του θερμοκηπίου τις ηλιόλουστες ώρες να ανέρχεται σε πολύ υψηλά επίπεδα, και β) τις ψυχρές νύχτες να πέφτει σε πολύ χαμηλά επίπεδα.
Και στις δύο περιπτώσεις τα αποτελέσματα για τα φυτά που αναπτύσσονται είναι πολύ δυσμενή, ακόμα και καταστροφικά.

Το κυριότερο πρόβλημα επομένως των θερμοκηπίων δημιουργείται από την περίσσεια θερμικής ενέργειας κατά τη διάρκεια της ημέρας και την έλλειψή της κατά τη διάρκεια της νύχτας.

Το φαινόμενο αυτό οδηγεί στη σκέψη για διερεύνηση της δυνατότητας αποθήκευσης της περίσσειας ενέργειας κατά τη διάρκεια της ημέρας και απόδοσής της κατά τη διάρκεια της νύχτας.

Για να διερευνήσουμε αυτό το θέμα θα πρέπει πρώτα να προσδιορίσουμε: πόση ενέργεια απαιτείται για να κρατηθεί η θερμοκρασία του θερμοκηπίου στο επιθυμητό επίπεδο κυρίως κατά τη νύχτα, και πόσο είναι το περίσσευμα της ηλιακής ενέργειας στο χώρο του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Ο προσδιορισμός των απαιτήσεως σε ενέργεια στην παρούσα εργασία έγινε με τον προσδιορισμό του μέσου ολικού συντελεστή απωλειών του πειραματικού θερμοκηπίου, που βρέθηκε 5.5 $W/^{o}C\ m^{2}$ καλύμματος.

Ο προσδιορισμός της περίσσειας της ηλιακής ενέργειας στο χώρο του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια της ημέρας, έγινε από τη μετρούμενη με πυρανόμετρο προσπίπτουσα ενέργεια στο χώρο του θερμοκηπίου, τη χρονική περίοδο που η θερμοκρασία στο χώρο του θερμοκηπίου είχε φθάσει στους 28 $^{o}C$, μείον τις απώλειες του θερμοκηπίου στη θερμοκρασία αυτή.

Το αποτέλεσμα των μετρήσεων είναι ότι τον Δεκέμβριο και Ιανουάριο η περίσσεια ενέργειας την ημέρα ήταν μόνο 11% και 12% αντίστοιχα της απαιτουμένης κατά τη διάρκεια της νύχτας, το Φεβρουάριο 31% και τους άλλους μήνες μεγαλύτερη από την απαιτούμενη.

Από τα αποτελέσματα αυτής της προκαταρκτικής εργασίας, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι κατά τους χειμερινούς μήνες δεν μπορεί να προσδοκά κανείς πολλά από την περίσσεια ενέργειας μέσα στο θερμοκήπιο για να αντιμετωπίσει τις ανάγκες θέρμανσης.

Επειδή οι ανάγκες του θερμοκηπίου σε ενέργεια είναι πολύ μεγάλες κατά την περίοδο του χειμώνα, για να γίνει δυνατή η θέρμανση του θερμοκηπίου με ηλιακή ενέργεια όταν χρησιμοποιείται το ίδιο το θερμοκήπιο σαν συλλέκτης ηλιακής ενέργειας, θα πρέπει να καταφύγει κανείς στη μακροχρόνια αποθήκευση ενέργειας διάρκειας, καλοκαίρι-χειμώνα.

Η χρησιμοποίηση επομένως μιάς φθηνής αποθήκης πολύ μεγάλης, που να αποθηκεύει ει δυνατόν με φυσικό τρόπο ενέργεια από το καλοκαίρι και να τη διατηρεί μέχρι και το χειμώνα, είναι απαραίτητη.

Σ'αυτή την εργασία θελήσαμε να διερευνήσουμε αν το υπέδαφος στο οποίο υπάρχει αρκετά υψηλή θερμοκρασία στις κλιματικές συνθήκες της χώρας μας, χωρίς μεγάλες διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια του έτους, μπορεί να χρησιμοποιηθεί γι'αυτό το σκοπό.

Η χρησιμοποίηση του εδάφους σαν αποθήκη θερμότητας έχει μελετηθεί στο παρελθόν από τους Civoni(1), Shelton J.(5), Scott et al(4), Portales et al(2), Walter et al(6), Σανταμούρης κ.ά.(3). Υπάρχει όμως ακόμα ανάγκη να μελετηθεί η δυνατότητα χρησιμοποίησης του υπόγειου εναλλάκτη θερμότητας εδάφους-αέρα σε εμπορική θερμοκηπιακή εγκατάστασηόπου δίνεται πρώτη προτεραιότητα στη δημιουργία του άριστου περιβάλοντος για την ανάπτυξη των φυτών και μετά στη μεγιστοποίηση της συλλεγόμενης ηλιακής ένέργειας, ώστε να βγουν συγκεκριμένα συμπεράσματα για την ενέργεια που είναι δυνατό να συλλεγεί και να αποδοθεί σ'ένα θερμοκήπιο από ένα τέτοιο σύστημα.

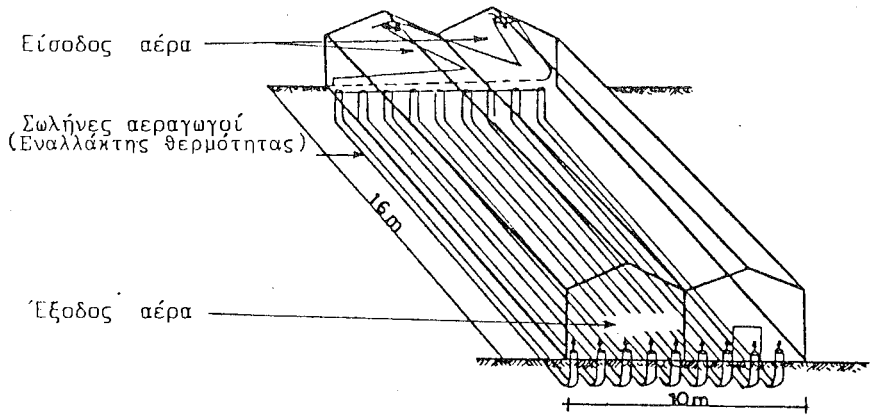
## ΥΛΙΚΑ - ΜΕΘΟΔΟΙ

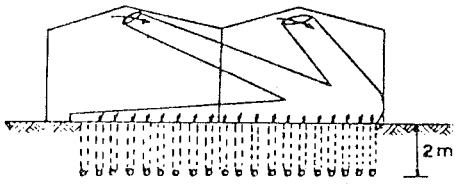
Για τη μεταφορά θερμότητας από το υπέδαφος και προς το υπέδαφος, χρησιμοποιήθηκαν σωλήνες χωμένοι σε 2 m βάθος και με τα άκρα τους στον ελεύθερο χώρο του θερμοκηπίου. Ο αέρας του θερμοκηπίου κυκλοφορεί δυναμικά μεταξύ του ελεύθερου χώρου του θερμοκηπίου και των χωμένων στο υπέδαφος σωλήνων, απ'όπου αποσπά ή αποδίδει θερμότητα.

Στην αρχή έγινε μιά δοκιμή με σωλήνες διαφόρων υλικών, όπου είδαμε ότι ο αλουμινοσωλήνας είχε την καλύτερη αποδοτικότητα. Μετά, σ'ένα από τα πειραματικά θερμοκήπια του Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών εγκαταστήσαμε έναν εναλλάκτη θερμότητας που αποτελείται από 20 αλουμινοσωλήνες $\phi$ 20 cm, μήκους 20 m ο κάθε ένας. Τα θερμοκήπια είναι διαστάσεων 10X15 m μήκους, ύψους χαμηλής πλευράς 2,7 m και υψηλότερο σημείο στο κέντρο 3,4 m. Το θερμοκήπιο σχηματίζεται από δύο αψίδες, η κατασκευή του σκελετού είναι από ξύλο και η κάλυψη είναι από απλό φύλλο πολυαιθυλενίου. Ο τύπος αυτός του θερμοκηπίου είναι ο συνηθέστερος στην ελληνική κηποκομία.

Στο θερμοκήπιο αυτό έγινε εκσκαφή μέχρι 2,10 m και τοποθετήθηκαν οι σωλήνες κατά μήκος του. Η απόσταση σωλήνα από σωλήνα ήταν 0,40 m. Το ανατολικό άκρο κάθε σωλήνα καταλήγει σε κεντρικό τσιμέντινο αεραγωγό, απ'όπου κατανέμεται ο αέρας που φέρνει ένας φυσητήρας σε όλους τους σωλήνες. Το άλλο άκρο τους καταλήγει στον ελεύθερο αέρα του θερμοκηπίου, 1 m πάνω από το έδαφος. Μετά την τοποθέτηση των σωλήνων ξανατοποθετήθηκε το χώμα με προσοχή μέσα στην εκσκαφή με ταυτόχρονη διαβροχή του, ώστε να μην παραμένουν κενοί χώροι μέσα σ'αυτό.

ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ ΜΕ ΥΠΟΓΕΙΟ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ-ΑΕΡΑ




Κάθετη τομή

Η λειτουργία του συστήματος στο πειραματικό θερμοκήπιο χωρίστηκε σε δύο φάσεις:

1η φάση: Ο φυσητήρας μπαίνει αυτόματα σε λειτουργία με θερμοστάτη, όταν η θερμοκρασία στο θερμοκήπιο υπερβεί τους 28°C, που θεωρείται ότι είναι η άριστη θερμοκρασία την ημέρα για την ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών της τομάτας, που καλλιεργείται σ'αυτό.

Όταν λειτουργεί ο φυσητήρας ανάγκάζει το θερμό αέρα του θερμοκηπίου να περάσει μέσα από τους σωλήνες

που είναι χωμένοι μέσα στο υπέδαφος. Περνώντας ο αέρας, επειδή το υπέδαφος είναι ψυχρότερο από τη θερμοκρασία που έχει ο αέρας, αφήνει ένα μέρος από τη θερμότητά του, με αποτέλεσμα ο μεν αέρας του θερμοκηπίου να ψύχεται, το δε υπέδαφος να εμπλουτίζεται με θερμότητα που προέρχεται από την περίσσεια ενέργειας στο θερμοκήπιο.

2η φάση: Όταν η θερμοκρασία του χώρου του θερμοκηπίου πέσει τη νύχτα κάτω από 11°C κατά την περίοδο Μαρτίου-Απριλίου, που θεωρείται ότι είναι μιά ανεκτή νυκτερινή θερμοκρασία για την καλλιέργεια της τομάτας, τότε ο φυσητήρας μπαίνει πάλι αυτόματα σε λειτουργία, απορροφώντας τον ψυχρό αέρα του θερμοκηπίου. Ο αέρας αυτός προωθούμενος μέσα από τους παραχωμένους σωλήνες θερμαίνεται από τα θερμότερα τοιχώματα των σωλήνων που βρίσκονται στο υπέδαφος και ξαναγυρίζει θερμότερος στον ελεύθερο χώρο του θερμοκηπίου.

Η θερμότητα που αποσπά ο αέρας τη νύχτα από το υπέδαφος προέρχεται τόσο απ'αυτή που έχει αποθηκευθεί κατά τη διάρκεια της ημερήσιας λειτουργίας του συστήματος, όσο και από αυτή που βρίσκεται μέσα στην ευρύτερη μάζα του υπεδάφους από φυσική μεταφορά.

Το πρόβλημα που αντιμετωπίσαμε σ'αυτό το στάδιο ήταν να βρούμε έναν τρόπο ώστε να μπορέσουμε να μετρήσουμε τήν ένέργεια που δέχεται το θερμοκήπιο από αυτό το σύστημα.

Ο απλούστερος τρόπος σ'αυτές τις περιπτώσεις είναι να προσδιορισθεί θεωρητικά από τις απώλειες ενέργειας του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια της νύχτας, αφού προηγουμένως έχει προσδιορισθεί ό μέσος ολικός συντελεστής απωλειών θερμότητας του θερμοκηπίου. Ο τρόπος όμως αυτός δεν παύει να είναι ένας έμμεσος τρόπος και γι'αυτό δεν βασισθήκαμε μόνο σ'αυτόν, άλλά θελήσαμε να εξασφαλίσουμε καλύτερα το αποτέλεσμα. Σ'ένα δεύτερο θερμοκήπιο, εντελώς όμοιο με το προηγούμενο και στον ίδιο άξονα με αυτό, εγκαταστήσαμε ένα ηλεκτρόθερμο, ισχύος 90 KW. Το ηλεκτρόθερμο αυτό συνδέθηκε με διαφορικό θερμοστάτη, του οποίου το ένα αισθητήριο τοποθετήθηκε στο πειραματικό θερμοκήπιο με τον εναλλάκτη και το άλλο στο θερμοκήπιο με το ηλεκτρόθερμο. Με τη σύνδεση που κάναμε, το ηλεκτρόθερμο λειτουργεί μόνον όταν η θερμοκρασία του χώρου του είναι χαμηλότερη από τη θερμοκρασία του χώρου του θερμοκηπίου με τον εναλλάκτη. Επομένως, όταν δεν υπάρχει ηλιακή ακτινοβολία η θερμοκρασία του θερμοκηπίου με το ηλεκτρόθερμο κρατιέται πάντα ίση με αυτή του θερμοκηπίου με τον εναλλάκτη.

Η κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται γι'αυτή την εξίσωση της θερμοκρασίας μετριέται με KWHμετρο και θεωρείται ίση με αυτή που προσφέρει ο εναλλάκτης.

Εκτός όμως από τα δύο αυτά θερμοκήπια, υπάρχει και τρίτο, ακριβώς όμοιο με τα προηγούμενα, με τον ίδιο προσανατολισμό και τοποθετημένο 20 m βορειότερα. Στο θερμοκήπιο αυτό δεν υπάρχει καμιά πηγή θερμότητας και απλώς καταγράφεται η θερμοκρασία του.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Θερμοκρασία: Κατά την περίοδο από 15 Νοεμβρίου ως 30 Απριλίου 1983, που ήταν μία περίοδος ιδιαίτερα δυσμενής από πλευράς χαμηλών θερμοκρασιών για την περιοχή Αττικής, η θερμοκρασία στο θερμοκήπιο με τον εναλλάκτη δεν έπεσε σε καμιά περίπτωση κάτω από 7°C, έστω κι αν η εξωτερική θερμοκρασία ήταν -3°C.

Γενικά, η απόλυτη ελάχιστη θερμοκρασία έπεσε κάτω από 8°C, μόνο όταν η εξωτερική θερμοκρασία ήταν κάτω από 0°C.

Η μέση μηνιαία νυχτερινή θερμοκρασία ήταν:

ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΝΥΧΤΕΡΙΝΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΣΕ °C

| ΜΗΝΑΣ | Θερμοκηπίου με τον εναλλάκτη | Εξωτερικού αέρα | Θερμοκηπίου χωρίς θέρμανση |
|---|---|---|---|
| Δεκέμβριος | 11,5 | 8,1 | 8,4 |
| Ιανουάριος | 11,0 | 6,0 | 6,0 |
| Φεβρουάριος | 11,0 | 5,6 | 5,8 |
| Μάρτιος | 13,9 | 9,2 | 10,0 |
| Απρίλιος | 14,3 | 12,3 | 13,8 |

Η μεγίστη απόλυτη θερμοκρασία μέσα στο θερμοκήπιο με τον εναλλάκτη από 15 Νοεμβρίου μέχρι 20 Μαρτίου με κλειστά τα παράθυρα και τις πόρτες, σε καμιά περίπτωση δεν ανέβηκε πάνω από τους 28°C. Από τις 20 Μαρτίου και έπειτα το σύστημα ήταν αδύνατο να ψύξει το θερμοκήπιο με κλειστά παράθυρα.

Διαπιστώσαμε λοιπόν ότι το σύστημα αυτό παρουσιάζει αδυναμία να κρατήσει τη θερμοκρασία του θερμοκηπίου στους 28°C όταν η περίσσεια ενέργειας στο θερμοκήπιο υπερβεί τις 170 KWH την ημέρα.

Ενέργεια που αποδίδεται και καταναλίσκεται: Η θερμική ενέργεια που απέδωσε το σύστημα των εναλλακτών για να επιτευχθούν τα θερμοκρασιακά αποτελέσματα που προαναφέραμε στο χώρο του θερμοκηπίου με τον εναλλάκτη, η περίσσεια ενέργειας στο θερμοκήπιο κατά τη διάρκεια της ημέρας, καθώς και η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από το φυσητήρα, φαίνεται στον παρακάτω Πίνακα.

| ΜΗΝΑΣ | Ενέργεια που απέδωσε το σύστημα εναλλακτών σε KWH | Ενέργεια που κατανάλωσε ο φυσητήρας σε KWH | Κατανάλωση του φυσητήρα σε σχέση με την ενέργεια που απέδωσε το σύστημα | Περίσσεια ενέργειας στο θερμοκήπιο την ημέρα σε KWH | Περίσσεια ενέργειας σε σχέση με την ενέργεια που απέδωσε το σύστημα % | Προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια στο χώρο του θερμοκηπίου σε KWH | Περίσσεια ενέργειας σε σχέση με την προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Νοέμβριος | 1225 | 378 | 30,9 | 1314 | 107,3 | 5515 | 23,8 |
| Δεκέμβριος | 3431 | 742 | 21,6 | 440 | 12,8 | 4601 | 9,6 |
| Ιανουάριος | 4418 | 858 | 19,4 | 565 | 12,8 | 5980 | 12,3 |
| Φεβρουάριος | 3770 | 761 | 20,2 | 1257 | 33,3 | 6167 | 20,4 |
| Μάρτιος | 3139 | 625 | 19,9 | 3279 | 104,5 | 10204 | 32,1 |
| Απρίλιος | 1246 | 498 | 40 | - | - | 15015 | - |

Η ενέργεια που κατανάλωσε ο φυσητήρας, ημέρα-νύχτα, για την κίνηση του αέρα μέσα στους εναλλάκτες στο πειραματικό θερμοκήπιο για τους μήνες Δεκέμβριο, Ιανουάριο, Φεβρουάριο και Μάρτιο, αποτελεί το 20% περίπου της ενέργειας που επωφελείται το θερμοκήπιο από το σύστημα. Το μήνα Νοέμβριο το ποσοστό αυτό γίνεται 30,1% και τον Απρίλιο 40%. Το αυξημένο ποσοστό τους μήνες Νοέμβριο και Απρίλιο οφείλεται στις μικρές ποσότητες ενέργειας που απαιτούνται κατά τη διάρκεια της νύχτας, ενώ παράλληλα η λειτουργία του κινητήρα για αποθήκευση κατά τη διάρκεια της ημέρας είναι αυξημένη.

Κατά τη διάρκεια του χειμώνα η περίσσεια θερμότητας την ημέρα μέσα στο θερμοκήπιο, αποτελεί μικρό μόνο ποσοστό της αποδιδομένης από το σύστημα του εναλλάκτη κατά τη διάρκεια της νύχτας (12,8 τον Δεκέμβριο-Ιανουάριο).

Κατά τη διάρκεια του χειμώνα επομένως το σύστημα αντλεί περισσότερο θερμική ενέργεια που βρίσκεται στο υπέδαφος, σαν αποτέλεσμα φυσικής αποθήκευσης. Τους φθινοπωρινούς και ανοιξιάτικους μήνες αντίθετα, αντλεί περισσότερο τη δυναμικά αποθηκευόμενη ενέργεια κατά τη διάρκεια της ημέρας (Πίνακας 2).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αν ληφθεί υπόψη ότι οι θερμοκρασίες που επικράτησαν κατά τη διάρκεια του πειραματισμού ήταν από τις χαμηλότερες που παρουσιάστηκαν στην περιοχή της Αττικής και ότι οι θερμοκρασίες στο υπέδαφος καθώς και στο εξωτερικό περιβάλλον είναι υψηλότερες στις νοτιότερες περιοχές της χώρας μας, οπωσδήποτε η εφαρμογή ενός όμοιου συστήματος στη Νότια Ελλάδα αναμένεται να έχει καλύτερα αποτελέσματα από αυτά που περιγράψαμε.

Πιστεύουμε ότι το σύστημα θέρμανσης του θερμοκηπίου με υπόγειο εναλλάκτη θερμότητας εδάφους αέρα ενδιαφέρει κυρίως τα θερμοκήπια που δεν διαθέτουν καμιά πηγή θέρμανσης (αποτελούν το 95% των θερμοκηπίων παραγωγής λαχανικών στη χώρα μας), γιατί χωρίς καμία συμπληρωματική πηγή θερμότητας εξασφαλίζει αντιπαγετική προστασία καθώς και σημαντική βελτίωση του θερμοκρασιακού περιβάλλοντος στο χώρο του θερμοκηπίου, με τις γνωστές επιπτώσεις στην ποσότητα και ποιότητα των παραγομένων προϊόντων.

Ένα άλλο επίσης σοβαρό πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι κατά τη διάρκεια του χειμώνα το θερμοκήπιο λειτουργεί με κλειστά παράθυρα, κάτι που επιτρέπει τη χρησιμοποίηση του $CO_2$ για εμπλουτισμό του χώρου του θερμοκηπίου με τα γνωστά για την παραγωγή θετικά αποτελέσματα. Στις συνήθεις περιπτώσεις των θερμοκηπίων ο εμπλουτισμός με $CO_2$ είναι σχεδόν αδύνατο να γίνει, γιατί ανοίγονται τα παράθυρα ώστε να αποφευχθεί η υπερθέρμανση και το $CO_2$ παρασύρεται έξω.

Το γενικό συμπέρασμα από αυτή τήν εργασία είναι ότι η χρησιμοποίηση υπόγειου εναλλάκτη θερμότητας εδάφους αέρα είναι μιά αποτελεσματική μέθοδος χρησιμοποίησης της ηλιακής ενέργειας για τη θέρμανση του θερμοκηπίου, γιατί εκμεταλλεύεται ένα φυσικό τρόπο αποθήκευσης της ηλιακής ενέργειας από το καλοκαίρι μέχρι και το χειμώνα και επομένως αδάπανο. Δεν απαιτούνται μόνώσεις και δημιουργία ακριβών αποθηκών θερμότητας, ενώ μπορεί να καλυφθούν κατά μεγάλο ποσοστό οι ανάγκες του θερμοκηπίου. Το κόστος εγκατάστασης όμως του εναλλάκτη είναι ακόμα αρκετά υψηλό (υπολογίζουμε μιά απόσβεσή του στα 5 χρόνια). Γι'αυτό απαιτείται περαιτέρω μελέτη για την οικονομική αριστοποίηση του συστήματος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Civoni B.;"Underground Longtherm Storage of Solar Energy-An Overview" Solar Energy 1977,Vol.19,pp.617-623
2. Portales B.,Martin M.Le Ray M.:"Stoquage de l' Energie Solaire dans le Sol pour le Chauffage des serres".Colloque International sur l' énergie Solaire de Toulouse,Octobre 1981
3. Σανταμούρης,Αργυρίου Θ.,Ρηγόπουλος Ρ.;"Μελέτη οριζόντιου κυλινδρικού εναλλάκτη αέρα γης".Πρακτικά Πρώτου Εθνικού Συνεδρίου για τις Ήπιες Μορφές Ενέργειας 1983,Τόμος Α ΗΕΧ99-106.
4. Scott N.R.,Parson R.A. and Koehler T.A.:"Analysis and Performance of an Earth-Air Heat Exchanger",ASAE Paper No 65-840,1965
5. Shelton J.;"Underground Storage of heat in Solar Heating systems" Solar Energy 137-143, 1975
6. Walter C.N.and Buxton J.W.;"Can Circulating Air through a baried pipe be used to heat and cool greenhouses". J.Amer. Hort.Sci. 1977,102(5) pp.626-629.

ΗΕΓ-9

ΤΙΤΛΟΣ ΕΙΣΗΓΗΣΗΣ: ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΕΝΟΣ ΠΑΘΗΤΙΚΟΥ ΗΛΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ

ΣΥΓΓΡΑΦΕΥΣ: Γραφιαδέλλης Μαυριανός
Κέντρο Γεωργικής Έρευνας
Βόρειας Ελλάδας
Θεσσαλονίκη

ΠΕΡΙΛΗΨΗ:

Ύστερα από πολυετείς προσπάθειες σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε στο Κέντρο Γεωργικής Έρευνας Βόρειας Ελλάδας ένα πολύ απλό και πολύ αποτελεσματικό παθητικό ηλιακό συστημα για θέρμανση θερμοκηπίων. Με το σύστημα αυτό η συλλογή της ηλιακής ενέργειας γίνεται με πλαστικές σακκούλες που απλώνονται στο έδαφος ανάμεσα στις γραμμές των φυτών και γεμίζουν με νερό. Κάτω από τις σακκούλες του νερού στρώνεται ένα μαύρο φύλλο πολυαιθυλένιου που συλλέγει την ηλιακή ακτινοβολία, καθώς και ένα μονωτικό πλαστικό που μειώνει τις απώλειες θερμότητας προς το έδαφος. Το ίδιο σύστημα χρησιμοποιείται για αποθήκευση και για διανομή της θερμότητας στα θερμοκήπια. Από τα ερευνητικά στοιχεία που συγκεντρώθηκαν βρέθηκε ότι, οι σακκούλες του νερού γεμισμένες πρέπει να έχουν διάμετρο 31,2 cm, να κατασκευάζονται από διαφανές πολυαιθυλένιο, να καλύπτουν το 35 - 40% του εδάφους του θερμοκηπίου και να περιέχουν 80 -100 $m^3$ νερού για κάθε στρέμμα θερμοκηπίου.

ΛΕΞΕΙΣ - ΚΛΕΙΔΙΑ: θερμοκήπιο, πολυαιθυλένιο, θέρμανση, αερόθερμο, ηλιακή ενέργεια, πλαστικές σακκούλες, αποθήκη θερμότητας, ωφέλιμη ενέργεια, ελαχίστη θερμοκρασία, μεγίστη θερμοκρασία.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ:

Τα θερμοκήπια είναι από τα πιό σημαντικά μέσα με τα οποία μπορούμε να αξιοποιήσουμε το προνομιούχο κλίμα της χώρας μας και τον ήλιο που τόσο πλουσιοπάροχα μας χάρισε η φύση. Το μεγαλύτερο όμως πρόβλημα που αντιμετωπίζουν οι καλλιεργητές των θερμοκηπίων είναι η εξασφάλιση ικανοποιητικών θερμοκρασιών για την ανάπτυξη των φυτών. Οι κατά καιρούς έρευνες που έγιναν από ιδρύματα έρευνας και οι εφαρμογές από παραγωγούς έδειξαν οτι, η χρησιμοποίηση συστημάτων θέρμανσης στα θερμοκήπια που καταναλώνουν πετρέλαιο, είναι τις περισσότερες φορές αντιοικονομική.

Ο πρώτος που συνέλαβε την ιδέα για τη χρησιμοποίηση της ηλιακής ενέργειας αναφέρεται ο μεγάλος σοφός της αρχαιότητας ο Αρχιμήδης, που το 212π.χ με εμπρηστικά κοίλα κάτοπτρα έκαψε από απόσταση το ρωμαϊκό στόλο.

Οι πρώτες αξιόλογες προσπάθειες για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας για θέρμανση των θερμοκηπίων άρχισαν μετά την κρίση του πετρέλαιου του 1973. Στα 12 χρόνια που πέρασαν από τότε, αναπτύχθηκαν εκατοντάδες ηλιακά συστήματα, κυρίως σε χώρες της Δ.Ευρώπης και

στις Η.Π.Α. . Σε μερικά από τα συστήματα χρησιμοποιήθηκαν εξωτερικοί ηλιακοί συλλέκτες από φύλλα ή από σκληρά πλαστικά, στα οποία η ηλιακή ενέργεια συλλέγεται με την κυκλοφορία νερού πάνω στη μαύρη επιφάνεια και αποθηκεύεται σε υπόγεια μονωμένη δεξαμενή ( Montero and Short 4, Grafiadellis and Kyritsis 3, Roberts and Mears 6). Σε άλλα πάλι συστήματα σαν συλλέκτες ηλιακής ενέργειας χρησιμοποιήθηκαν τα ίδια τα θερμοκήπια, σα μέσο μεταφοράς της ενέργειας ο αέρας και σαν αποθήκη θερμότητας οι πάγκοι των φυτών, ή δεξαμενές χαλικιών, ή το έδαφος των θερμοκηπίων (Mori 5, Ross et al 7, Wiegand 8, Yamamoto 9, Γραφιαδέλλης 2). Στη Γαλλία πάλι κατασκευάσθηκε ένα σύστημα στο οποίο η ηλιακή ενέργεια συλλέγεται με την κυκλοφορία νερού στη στέγη του θερμοκηπίου και αποθηκεύεται σε δεξαμενή. Από τα συστήματα όμως αυτά που αναπτύχτηκαν κανένα δε βρήκε αξιόλογη πρακτική εφαρμογή γιατί τα θερμοκήπια από την κατασκευή τους είναι πολύ απαιτητικά σε ενέργεια και γιατί η ηλιακή ενέργεια είναι διάχυτη και για να συγκεντρωθεί απαιτούνται μεγάλες επιφάνειες, μεγάλες αποθήκες θερμότητας και μέσα διανομής της ενέργειας, που όλα έχουν ψηλό κόστος.

## ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν τη διετία 1984-85 στο Τμήμα Λαχανοκομίας του Κ.Γ.Ε.Β.Ε., στη Θεσσαλονίκη. Για τις έρευνες χρησιμοποιήθηκαν τέσσερα θερμοκήπια των 150m² και άλλα τέσσερα των 500m² που καλύφθηκαν με φύλλα πλαστικού πολυαιθυλένιου. Την πρώτη χρονιά λύθηκαν μόνο τεχνικά προβλήματα του νέου ηλιακού συστήματος όπως είναι, η διάμετρος και το πάχος της πλαστικής σακκούλας, το είδος του πλαστικού, ο όγκος του απαιτούμενου νερού, οι τρόποι συγκόλλησης της σακκούλας του πολυαιθυλένιου κ.ά. Τη δεύτερη χρονιά εγκαταστάθηκαν δύο πειράματα.

Στο ένα πείραμα χρησιμοποιήθηκαν τέσσερα θερμοκήπια των 150m² που όλα έφεραν διπλή κάλυψη στις μικρές πλευρές και κάτω από τα ανοίγματα του αερισμού και καλύφθηκαν : το πρώτο με ένα φύλλο πολυαιθυλένιου και θερμάνθηκε με ένα συλλέκτη - διανομέα ηλιακής ενέργειας, το δεύτερο ήταν μάρτυρας χωρίς θέρμανση αλλά έφερε αντιπαγετική θερμάστρα, το τρίτο θερμάνθηκε με σακκούλες πολυαιθυλένιου γεμισμένες με νερό και καλύφθηκε με θερμικό πολυαιθυλένιο ($PE_{IR}$) και το τέταρτο θερμάνθηκε με τις ίδιες πλαστικές σακκούλες αλλά καλύφθηκε με δύο φύλλα πολυαιθυλένιου. Στο ίδιο πείραμα κατά καιρούς χρησιμοποιήθηκε και άλλο ένα θερμοκήπιο σα μάρτυρας. Στα θερμοκήπια αυτά καλλιεργήθηκαν από τις αρχές Μαρτίου 1985 το υβρίδιο τομάτας GC 204, η πιπεριά Π13, το υβρίδιο αγγουριού Mazurka και το υβρίδιο μελιτζάνας Α811. Στα περιθώρια του πειραματικού φυτεύθηκαν σπορόφυτα τομάτας από τις 15 Δεκεμβρίου 1984 και παρά τις πολύ χαμηλές εξωτερικές θερμοκρασίες (-11°C) επέζησαν και έδωσαν ικανοποιητική παραγωγή.

Το δεύτερο πείραμα εγκαταστάθηκε σε τέσσερα θερμοκήπια των 500m², από τα οποία το ένα καλύφθηκε με ένα

φύλλο πολυαιθυλένιου και θερμάνθηκε με τις σακκούλες γεμισμένες με νερό,το δεύτερο έφερε διπλή κάλυψη μόνο στη στέγη και θερμάνθηκε με τα ίδια μέσα όπως το πρώτο,το τρίτο καλύφθηκε με ένα φύλλο πολυαιθυλένιου, θερμάνθηκε όπως τα πρώτα δύο με πλαστικές σακκούλες και επιπλέον έφερε ανεμιστήρα παροχής 7000$m^3$ αέρα ανά στρέμμα για ανακυκλοφορία του αέρα και το τέταρτο θερμοκήπιο καλύφθηκε με ένα φύλλο πολυαιθυλένιου και θερμάνθηκε με αερόθερμο στους 12°C. Στα θερμοκήπια αυτά καλλιεργήθηκαν τέσσερα υβρίδια τομάτας τα, GC 204, GC 760, Fantastic και Jolly. Τα τέσσερα αυτά υβρίδια μεταφυτεύθηκαν στα θερμοκήπια αρχές Μαρτίου 1985, ενώ σε ένα μέρος όλων των θερμοκηπίων μεταφυτεύθηκε το υβρίδιο Jolly στις 27 Φεβρουαρίου 1985, τότε που η θερμοκρασία αέρα του περιβάλλοντος ήταν -6°C.

Το νεό παθητικό ηλιακό σύστημα σχεδιάστηκε και κατασκευάθηκε στο Τμήμα Λαχανοκομίας του Κ.Γ.Ε.Β.Ε. Με το σύστημα αυτό η συλλογή της ηλιακής ενέργειας γινόταν με πλαστικές σακκούλες πολυαιθυλένιου που απλωνόταν ανάμεσα στις γραμμές των φυτών και γέμιζαν με νερό. Οι ίδιες σακκούλες χρησιμοποιούνταν και για αποθήκευση της ενέργειας και για διανομή της θερμότητας. Την πρώτη χρονιά χρησιμοποιήθηκαν σακκούλες νερού διάφορων ειδών πλαστικών, χρωμάτων, διαμέτρων και πάχους,ενώ τη δεύτερη χρονιά και ύστερα από πολλές επιλογές χρησιμοποιήθηκαν μόνο σακκούλες από διαφανές πολυαιθυλένιο μεγάλης διάρκειας ζωής, πάχους 250 μικρών, διαμέτρου 31,8cm που κάλυπταν το 35% του εδάφους του θερμοκηπίου. Για να έχει καλύτερη απόδοση το ηλιακό σύστημα, κάτω από τις σακκούλες του νερού απλωνόταν ένα μαύρο φύλλο πολυαιθυλένιου που συνέλεγε την ηλιακή ακτινοβολία που περνούσε από το νερό και τη μετέδιδε σ'αυτό και πιο κάτω τοποθετούνταν ένα μονωτικό πλαστικό (αεροπλάστ) για να μειώνει τις απώλειες θερμότητας προς το έδαφος.

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Από τα στοιχεία που συγκεντρώθηκαν κατά το διάστημα της διετίας βρέθηκαν τα εξής:

1.- Το πιό κατάλληλο μέχρι τώρα υλικό για την κατασκευή της πλαστικής σακκούλας, είναι το διαφανές πολυαιθυλένιο μεγάλης διάρκειας ζωής, πάχους 250 μικρών και διαμέτρου 31,8cm.

2.- Οι σακκούλες του νερού πρέπει να καλύπτουν το 35% τουλάχιστο του εδάφους του θερμοκηπίου και να περιλείουν 80 $m^3$ νερού σε κάθε στρέμμα θερμοκηπίου.

3.- Για να αυξάνεται η απόδοση του νέου ηλιακού συστήματος πρέπει κάτω από τις σακκούλες του νερού να απλώνεται ένα μαύρο φύλλο πολυαιθυλένιου και κάτω από αυτό ένα μονωτικό πλαστικό (αεροπλάστ).

4.- Όπως φαίνεται στον πίνακα 1,η ηλιακή ενέργεια που συλλέχθηκε από 15 Ιανουαρίου μέχρι 31 Μαΐου 1985, σε ένα στρέμμα θερμοκηπίου, με τις πλαστικές σακκούλες,ήταν 93.204.800 kcal και ισοδυναμεί με 11.650 l πετρέλαιου ντίζελ. Στο ίδιο διάστημα η ολική ηλιακή ακτινοβολία που έπεσε σε οριζόντιο επίπεδο στην ίδια έκταση

ήταν 501.993.000 kcal (23.647.000kcal τον Ιανουάριο, 71.176.000 kcal το Φεβρουάριο, 71.858.000 kcal το Μάρτιο, 142.110.000 kcal τον Απρίλιο και 193.192.000 kcal το Μάϊο). Η ανά ημέρα μέση απόδοση του παθητικού ηλιακού συστήματος ήταν 680.327 kcal (93.204.800 kcal : 137 ημ.) Σε ηλιόλουστες μέρες η απόδοση του ηλιακού συστήματος ήταν πολύ μεγαλύτερη.

5.- Όπως δείχνουν τα στοιχεία του πίνακα 2, οι πλαστικές σακκούλες επηρέασαν περισσότερο την ελαχίστη θερμοκρασία του αέρα στα θερμοκήπια που καλύφθηκαν με θερμικό πολυαιθυλένιο και με δύο φύλλα πλαστικού πολυαιθυλένιου και λιγότερο σ΄αυτά που καλύφθηκαν με ένα φύλλο πολυαιθυλένιου, ενώ ελάχιστα μείωσαν έναντι του μάρτυρα τη μεγίστη θερμοκρασία του αέρα. Στον ίδιο πίνακα φαίνεται ότι όταν η μέση ελαχίστη θερμοκρασία αέρα στο θερμοκήπιο που δε θερμαινόταν ήταν 0,75 °C, στα θερμοκήπια που εφαρμόσθηκε το νέο παθητικό ηλιακό σύστημα η μέση ελαχίστη θερμοκαρασία του αέρα ήταν : 6,40 °C σ΄αυτό που έφερε διπλή κάλυψη, 6,06 °C σ΄εκείνο που καλύφθηκε με θερμικό πολυαιθυλένιο και 4,70 °C σ΄αυτό που καλύφθηκε με ένα φύλλο πολυαιθυλένιου.

6.- Από τα στοιχεία που παραθέτονται στον πίνακα 3 φαίνεται το τη μεγαλύτερη πρώιμη παραγωγή έδωσε το θερμοκήπιο που έφερε διπλή κάλυψη στη στέγη και θερμαινόταν με σακκούλες πολυαιθυλένιου, ενώ τη μεγαλύτερη συνολική απόδοση έδωσε το θερμοκήπιο που καλύφθηκε με ένα φύλλο πολυαιθυλένιου και το οποίο θερμαινόταν με σακκούλες νερού, η δε διαφορές στις περισσότερες περιπτώσεις ήταν στατιστικά σημαντικές σε επίπεδο 0,05. Η μικρή ολική απόδοση που έδωσε το θερμοκήπιο με διπλή κάλυψη οφείλεται σε προσβολή των φυτών από φυτόφθορα.

7.- Το θερμοκήπιο το οποίο θερμαινόταν με αερόθερμο στους 12 °C, το οποίο από αρχές Μαρτίου μέχρι τέλος Μαΐου 1985 κατανάλωσε 6.000 l πετρέλαιου ντίζελ, στο στρέμμα, έδωσε μικρότερη πρώιμη παραγωγή από το θερμοκήπιο με διπλή κάλυψη και μικρότερη συνολική παραγωγή από τα άλλα δύο θερμοκήπια που θερμαινόταν με το παθητικό ηλιακό σύστημα.

8.- Το νέο ηλιακό σύστημα στοιχίζει με τις σημερινές τιμές των φύλλων των πλαστικών 50.000 δρχ./στρέμμα, έχει διάρκεια ζωής 3 χρόνια, αποσβαίνεται ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες σε 2 - 4 εβδομάδες, είναι απλό, αποτελεσματικό, δεν απαιτεί κατανάλωση ενέργειας και κατασκευάζεται από τους ίδους τους παραγωγούς με υλικά που υπάρχουν στην Ελληνική αγορά.

9.- Από την εμπειρία που αποκτήθηκε και τα στοιχεία που συγκεντρώθηκαν φαίνεται ότι το νέο ηλιακό σύστημα όπως σχεδιάστηκε μπορεί να προστατέψει την παραγωγή της τομάτας από θερμοκρασία αέρα περιβάλλοντος -7 °C και σε κατάλληλα μονωμένα με διπλή κάλυψη θερμοκήπια μέχρι -11°C.

10.- Παρόλο που τα λεπτομερή μας στοιχεία για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας αφορούν το χρονικό διάστημα από 15 Ιανουαρίου μέχρι 31 Μαΐου 1985, όμως οι παραπέρα υπολογισμοί μας έδειξαν οτι από αρχές Οκτωβρίου μέχρι τέλη Μαΐου με νέο ηλιακό σύστημα δεσμεύθηκε ηλιακή ενέργεια που ισοδυναμούσε με 18.000 l πετρέλαιο ντίζελ.

## ΣΥΖΗΤΗΣΕΙΣ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τη μελέτη των μετεωρολογικών στοιχείων φαίνεται οτι η χώρα μας είναι ιδιαίτερα ευνοϊμένη για τον ήλιο της. Έρευνα που έγινε έδειξε ότι και σε πολύ αντίξοες καιρικές συνθήκες, όπως ήταν ο Φεβρουάριος του 1985, στή Θεσσαλονίκη, που η θερμοκρασία του αέρα του περιβάλλοντος κατέβηκε πολλές φορές κάτω από -7 $^{o}$C , η ηλιακή ακτινοβολία που έπεσε πάνω σε ένα στρέμμα θερμοκηπίου ήταν 71.176.000 kcal, από τα οποία τα 21.033.600 kcal (που ισοδυναμούν με 2.629 l πετρέλαιου ντίζελ) συνελέγησαν με το ηλιακό μας σύστημα.

Με την εφαρμογή του νέου ηλιακού συστήματος στα 100.000 στρέμματα των θερμοκηπίων και των χαμηλών σκεπάστρων της χώρας μας υπολογίζουμε οτι θα δεσμεύεται κάθε χρόνο ηλιακή ενέργεια ισοδύναμη με 1.800.000 τόνους πετρέλαιου ντίζελ, που θα αυξήσει το ετήσιο γεωργικό εισόδημα κατά πενήντα περίπου δισεκατομμύρια δραχμές. Εξάλλου παράλληλα με την αύξηση της παραγωγής θα βελτιωθεί η ποιότητα των κηπευτικών και θα δημιουργηθεί τεράστια συναλλαγματική ωφέλεια από την πραγματοποίηση εξαγωγών και κυρίως τομάτας.

Ήδη το νέο μας ηλιακό σύστημα άρχισε να εφαρμόζεται στα θερμοκήπια της χώρας μας, γιατί είναι απλό, οικονομικό και αποτελεσματικό και στον τομέα αυτό έφερε τη χώρα μας πρωτοπόρο σε παγκόσμια κλίμακα.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ


1. CHIAPALE, J.P., 1978.Une année de mesures sur le nouveau procede de "serre solaire" resultants physiques et agronomiques.Acta Hort. 76:219-299.
2. ΓΡΑΦΙΑΔΕΛΛΗ, Μ., 1982.Η κατασκευή ενός συλλέκτη-διανομέα ηλιακής ενέργειας για θερμοκήπια.Πρώτο εθνικό συνέδριο "ήπιες μορφές ενέργειας", τόμος Α, ΗΕΧ - 177 έως ΗΕΧ 184.
3. GRAFIADELLIS, M. and kyritsis, S., 1981.Heating greenhouses with solar energy.Acta Hort. 115(1): 553 - 564.
4. MONTERO, J. and SHORT T.H., 1982. Low cost solar collectors for heating greenhouses in Wooster, Ohio (U.S.A) and Malaga (southern Spain). Proc, Atelier Inter. La serre solair, Architecture, p.p 233 - 250, France, (May, 1982).
5. MORI, I., 1978.Utilization of solar energy for winter cropping greenhouse tomato. Acta Hort. 87 : 321 - 327.
6. ROBERTS, W.J. and MEARS,D.R., 1978.A solar heating system for a 0,54 ha greenhouse.Acta Hort. 87 : 311 - 319.
7. ROSS, D.S., ROBERTS, W.J., PARSONS, R.A., BARTOK, J.W. and ALDRICH, R.A., 1978. Energy conservation and solar heating for greenhouses. Northeast Regional Agricultural Engineering Service, U.S.A., Department of Agriculture. Bul NRHES 3pp. 48.
8. WIEGAND, J.B., 1976.Greenhouse solar heating.Technigues and economics. Poc.Solar Energy Fuel - Food Workshop.Univ.of Arisona, Tucson p. 28 - 40.
9. YAMAMOTO, Y., 1973.Temperature conditions and thermal characteristics in the Earth - Air heat exchange greenhouse, J.Agr. Meteorol. 29 (1) : 11 - 15.

Εικ.1 Πλαστικές σακκούλες γεμισμένες με νερό, με τις οποίες συλλέγεται, αποθηκεύεται και διανέμεται η ηλιακή ενέργεια στα θερμοκήπια.

Πίν.1 Ενέργεια σε kcal που συλλέχτηκε με σακκούλες πολυαιθυλένιου από θερμοκήπιο ενός στρέμματος κατά το χρονικό διάστημα, από 15 Ιανουαρίου 1985 μέχρι 31 Μαΐου 1985.

| Χρονικό διάστημα | Μέση μεγίστη θερμοκρασία νερού, $^{O}C$ | Μέση ελαχίστη θερμοκρασία νερού, $^{O}C$ | Μέση διαφορά θερμοκρασιών νερού ανά ημέρα, $^{O}C$ | Ωφέλιμη ενέργεια που συλλέχθηκε, σε kcal |
|---|---|---|---|---|
| 15-31/1/85 | 13,91 | 7,24 | 6,67 | 9.071.200 |
| 1-28/2/85 | 15,46 | 6,07 | 9,39 | 21.033.600 |
| 1-31/3/85 | 18,80 | 12,45 | 6,35 | 15.748.000 |
| 1-30/4/85 | 26,13 | 17,87 | 8,26 | 19.824.000 |
| 1-31/5/85 | 34,51 | 23,41 | 11,10 | 27.528.000 |
| | Άθροισμα | | | 93.204.800 |

Σημείωση: Η ωφέλιμη ενέργεια σε kcal που συλλέχθηκε είναι 93.204.800 kcal και αντιστοιχεί με 11.650 l πετρέλαιου ντίζελ.

Πίν.2 Μεγίστη και ελαχίστη θερμοκρασία αέρα, σε $^{o}C$ που σημειώθηκε σε θερμοκήπια, που καλυπτόταν με φύλλο πλαστικού πολυαιθυλένιου και θερμαινόταν με ηλιακή ενέργεια, στη Θεσ/νίκη.

| | A | | B | | Γ | | Δ | | E | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ημερομηνία | Μεγ. | Ελαχ. | Μεγ. | Ελαχ. | Μεγ. | Ελαχ. | Μεγ. | Ελαχ. | Μεγ. | Ελαχ. |
| 30-10-84 | 28 | 15 | 28 | 16 | 27 | 13 | 27 | 9 | 20 | 10 |
| 2-11-84 | 26 | 11 | 27 | 11 | 26 | 9 | 27 | 4 | 19 | 5 |
| 4-11-84 | 23 | 10 | 24 | 11 | 22 | 8 | 23 | 4 | 18 | 4 |
| 8-11-84 | 31 | 14 | 32 | 16 | 30 | 13 | 31 | 7 | 21 | 5 |
| 15"11-84 | 26 | 5 | 27 | 5 | 23 | 3 | 24 | 0 | 17 | 1 |
| 25-11-84 | 30 | 5 | 30 | 6 | 31 | 4 | 33 | 1 | 18 | 0 |
| 30-11-84 | 19 | 5 | 19 | 6 | 19 | 3,5 | 18 | 0 | 14 | -1 |
| 6-12-84 | 24 | 1 | 25 | 1 | 25 | 0 | 29 | -4 | 13 | -5,5 |
| 10-12-84 | 21 | 0 | 22 | 0,5 | 22 | -2 | 30 | -5 | 12 | -7 |
| 13-12-84 | 22 | 0,5 | 22 | 1 | 21 | 0 | 20 | -6 | 10 | -6,5 |
| 17-12-84 | 18 | 1,5 | 19 | 2 | 18 | 0 | 18 | -4 | 10 | -4 |
| 28-12-84 | 20 | 2 | 18 | 2 | 18 | 1 | 19 | -5 | 9 | -4 |
| 8- 1-85 | 26 | 6 | 26 | 6 | 25 | 4,5 | 26 | 1 | 17 | 0 |
| 12- 1-85 | 23 | -3 | 23 | -3 | 24 | -4 | 21 | -9 | 12 | -9 |
| 24- 1-85 | 23 | 8 | 23 | 8,5 | 25 | 7 | 21 | 4 | 12 | 3 |
| 31- 1-85 | 26 | 1 | 27 | 1,5 | 26 | -1 | 26 | -4 | 9 | -4 |
| 1- 2-85 | 17 | 0 | 18 | 1 | 17 | -1 | 17 | -5 | 9 | -5 |
| 4- 2-85 | 26 | 2 | 25 | 2 | 25 | 0 | 26 | -4 | 15 | -5 |
| 13- 2-85 | 23 | 4 | 24 | 5 | 22 | 3 | 24 | -2 | 15 | -2 |
| 18- 2-85 | 17 | -2 | 18 | -2 | 16 | -4 | 15 | -8 | 4 | -7 |
| 20- 2-85 | 22 | -2 | 23 | -2 | 21 | -4 | 19 | -9 | 4 | -9 |
| 26- 2-85 | 27 | -3,5 | 27 | -4 | 28 | -5 | 28 | -9.5 | 8,5 | -7 |
| 6- 3-85 | 30 | 7 | 30 | 7 | 29 | 6 | 28 | 2 | 16 | 0 |
| 13- 3-85 | 30 | 5,5 | 30 | 6 | 32 | 5,5 | 33 | 1 | 14 | 0 |
| 18- 3-85 | 31 | 9 | 32 | 10 | 32 | 8,5 | 32 | 4 | 17 | 3,5 |
| 31- 3-85 | 17 | 6 | 18 | 6 | 19 | 5 | 18 | 2 | 12 | 0 |
| 15- 4-85 | 28 | 10 | 28 | 10 | 29 | 9 | 30 | 5 | 23 | 4 |
| 28- 4-85 | 31 | 14 | 32 | 14 | 34 | 12 | 35 | 8 | 31 | 7 |
| 14- 5-85 | 34 | 19 | 32 | 19 | 33 | 17 | 34 | 15 | 31 | 13 |
| 23- 5-85 | 35 | 20 | 34 | 20 | 36 | 19 | 36 | 16 | 34 | 15 |
| 30- 5-85 | 33 | 17 | 30 | 17 | 33 | 16 | 34 | 15 | 32 | 13 |
| Μ.Ο. | 25,3 | 6,06 | 25,5 | 6,4 | 25,4 | 4,7 | 25,8 | 0,75 | 16,0 | 0,24 |

Σημείωση:

Α.θερμοκήπιο που καλυπτόταν με θερμικό πολυαιθυλένιο και θερμαινόταν με σακκούλες πλαστικές γεμισμένες με νερό.

Β.θερμοκήπιο που καλυπτόταν με διπλά φύλλα πλαστικού πολυαιθυλένιου και θερμαινόταν με σακκούλες πολυαιθυλένιου γεμισμένες με νερό.

Γ.θερμοκήπιο που καλυπτόταν με ένα φύλλο πλαστικού και θερμαινόταν με σακκούλες πολυαιθυλένιου γεμισμένες με νερό.

Δ.θερμοκήπιο μάρτυρας που καλυπτόταν με ένα φύλλο πολυαιθυλένιου και δεν έφερε μέσο θέρμανσης.

Ε.θερμοκρασία αέρα εξωτερικού περιβάλλοντος.

Πίν.3 Αποτελέσματα επίδρασης του μέσου θέρμανσης στην παραγωγή τεσσάρων υβρίδιων τομάτας στη Θεσσαλονίκη, το 1985.

| Υβρίδια / Επεμβάσεις | GC 204 | | GC 760 | | Jolly B φύτεψης | | Fantastic | | Jolly A φύτεψης | | Μέσοι όροι | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Παραγ. πρώιμη | g/φυτό συνολ. | Παραγ. πρώιμη | g/φυτό συνολ. | Παραγ. πρώιμη | g/φυτό συνολ. | Παραγ. πρώιμη | g/φυτό συνολ. | Παραγ. πρώιμη | g/φυτό συνολ. | Παραγ. πρώιμη | Παραγ. συνολ. |
| Θερμοκήπιο που καλυπτόταν με ένα φύλλο πλαστικού και θερμαινόταν με σακκούλες πολυαιθυλένιου. | 411b | 7492a | 431c | 7638a | 320c | 7440a | 328b | 7090a | 833a | 5107b | 464 | 6953 |
| Θερμοκήπιο που έφερε διπλή κάλυψη και θερμαινόταν με σακκούλες πολυαιθυλένιου. | 739a | 4987b | 843a | 4867c | 732a | 5448c | 518a | 4662b | 834a | 5924a | 733 | 5177 |
| Θερμοκήπιο που θερμαινόταν με σακκούλες και στο οποίο ανακυκλοφορούσε ο αέρας. | 515b | 6686a | 465c | 6800a | 494b | 6702b | 441a | 6765a | 474c | 6217a | 477 | 6634 |
| Θερμοκήπιο το οποίο θερμαινόταν με αερόθερμο στους 12 °C | 580a | 6791a | 650b | 6560b | 487b | 6909a | 442a | 6176a | 694b | 5872a | 570 | 6461 |

ΤΙΤΛΟΣ ΕΙΣΗΓΗΣΗΣ: "ΑΝΤΛΙΑ ΥΔΑΤΟΣ ΠΟΥ ΛΕΙΤΟΥΡΓΕΙ ΜΕ ΗΛΙΑΚΟ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟ ΦΩΣ ΠΡΟΣΠΙΠΤΟΝ ΕΠΑΝΩ ΣΕ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ"

ΣΥΓΓΡΑΦΕΑΣ : ΚΩΣΤΑΣ Π.ΝΕΡΑΝΤΖΗΣ
ΔΙΠΛ.ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ Δ.Π.Θ.
MSc "ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ"
READING UNIVERSITY, U.K.
ΙΦΙΓΕΝΕΙΑΣ 9, 551.33 ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Ο στόχος της εργασίας ήταν:

- πρώτον, ο σχεδιασμός, η κατασκευή και ο έλεγχος του πρωτοτύπου μιας αντλίας ύδατος που λειτουργεί με φωτοβολταϊκά στοιχεία, στα οποία προσπίπτει συγκεντρωτικό φως ηλίου μέσω παραβολικού κατόπτρου και η οποία προσανατολίζεται χειροκίνητα.
- δεύτερον, να γίνει σύγκριση ως προς την ισχύ , του προαναφερόμενου συγκεντρωτικού συστήματος και ενός αντιστοίχου επιπέδου φωτοβολταϊκού σύστήματος.
- τρίτον, η αξιολόγηση του συστήματος όσον αφορά την ισχύ του και την οικονομική βιωσιμότητά του.

Σαν συμπέρασμα αναφέρεται ότι το συγκεντρωτικό σύστημα χρειάζεται κατά ένα παράγοντα 4-5 φορές λιγότερα φωτοβολταϊκά στοιχεία για να έχει την ίδια ισχύ εξόδου με ένα αντίστοιχο επίπεδο σύστημα.

Δίνεται το κόστος του συστήματος και γίνεται μια οικονομική μελέτη συναρτήσει διαφόρων τιμών επιτοκίων, χρόνου εξοφλήσεως και ποσοστού επιδοτήσεως.

Το εκτιμούμενο κόστος του αντλουμένου ύδατος δίνει τιμές που ακόμη απέχουν από τις τιμές κόστους των συμβατικών συστημάτων και αναλύονται οι παράγοντες που καθορίζουν την διαφορά αυτή.

ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ: Ηλιακή αντλία, παραβολικός συλλέκτης, φωτοβολταϊκά στοιχεία, χειροκίνητος προσανατολισμός, συντελεστής συγκεντρώσεως, οικονομική αξιολόγηση.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ: Η άντληση ύδατος με τη βοήθεια ηλιακών συστημάτων έχει προξενήσει αρκετό ενδιαφέρον γιατί εμφανίζεται σαν μια ελκυστική πρόταση.

Τα ξηρά, ηλιόλουστα κλίματα κατάλληλα για την εκμετάλλευση ηλιακής ενέργειας είναι αυτά ακριβώς που θα έχουν ανάγκη από ύδωρ.

Η άρδευση έχει να παίζει ολοένα και σπουδαιότερο ρόλο στην παραγωγή τροφίμων. Τα ηλιακά αυτά συστήματα είναι αθόρυβα και περιβαλλοντολογικώς ουδέτερα, με μικρό κόστος λειτουργίας και συντήρησης. Πολλά μέρη του συστήματος θα μπορούν να κατασκευασθούν τοπικά και έτσι μια αγορά που θα χρηματοδοτείται από κυβερνήσεις και διεθνείς οργανισμούς μπορεί να ανοίξει για τους κατασκευαστές.

Η ηλιακή άντληση ύδατος για άρδευση φαίνεται να είναι εφαρμόσιμη για αγρούς όπου α) απαιτείται άντληση από μικρό βάθος β) παράγονται προϊόντα υψηλού κόστους γ) η ανάγκη για ύδωρ είναι συχνή δ) υπάρχει πιθανότητα καλλιέργειας και δεύτερης συγκομιδής.

Η κατασκευή ενός χάρτη της χώρας με σημεία όπου τέτοιου είδους άντληση μπορεί να είναι επιτυχής απαιτεί την κατεργασία δεδομένων όπως η ύπαρξη αγροτικών τοποθεσιών με ανάγκες άρδευσης, η πιθανότητα να καλυφθούν τέτοιες ανάγκες με συμβατικά συστήματα και η οικονομική θεώρηση για συμβατικά και εναλλακτικά συστήματα ώστε να φανούν οι συνθήκες κάτω από τις οποίες τα δεύτερα είναι βιώσιμα.

Σ'αυτή την εργασία ένα τέτοιο σύστημα μοντέλο κατασκευάστηκε με στόχο να ελαττωθεί το κόστος παραγωγής και επιχειρήθηκε μια οικονομική θεώρηση.

## 2. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΥ ΣΥΛΛΕΚΤΗ

### 2.1. Αρχικές έρευνες

Το σύστημα έχει τρεις συνιστώσες: την αντλία και τον κινητήρα που έχουν γνωστές μεταβλητές και την ηλιακή συνιστώσα (παραβολική επιφάνεια και τα φωτοβολταϊκά στοιχεία "φβ.στ."). Μια σειρά λύσεων μπορεί να προταθεί για την κατασκευή του συλλέκτη. Οι παραβολικές επιφάνειες μπορούν να έχουν άνοιγμα επιφάνειας από 1/4 έως 2$m^2$, χρησιμοποιώντας διάφορα υλικά όπως ξύλο, ίνες εξ υάλου (fibre-glass) ή μεταλλικά φύλλα. Αυτές καλύπτονται από αντανακλαστικές επιφάνειες όπως ο καθρέπτης, πλαστικό φίλμ ή μέταλλο.

Η ακρίβεια σχήματος, η ακαμψία και η ευκολία χειρισμού καθορίζουν τις επιλογές αφού αυτές εξετασθούν σε πραγματικές συνθήκες.

### 2.2. Επιλογή του αντανακλαστικού υλικού

Μετά από πειράματα 6 μηνών στην Αγγλία και 2 στην Ιορδανία για να εξετασθούν η υποβάθμιση 6 διαφορετικών υλικών λόγω καιρικών συνθηκών, καθαρισμού και εκτριβής επιλέχθηκε το υλικό 3M Y5-91 γιατί είναι ελαφρύ, φθηνό και παρουσιάζει ανθεκτικότητα (1).

### 2.3. Επιλογή των φωτοβολταϊκών στοιχείων

Δώδεκα διαφορετικά "φβ.στ." 4 εταιριών δοκιμάσθηκαν σε συγκεντρωτικό φώς της τάξεως από 1-12 ήλιους. Το στοιχείο της SOLAR PAK No 1 παρουσίασε τα καλύτερα αποτελέσματα όσον αφορά την ισχύ εξόδου που σε συνθήκες 6 ήλιων είναι 6X92,85% φορές την ισχύ εξόδου σε 1 ήλιο (700W/$m^2$) και σε συνθήκες 12 ήλιων είναι 8 φορές μεγαλύτερη (1)

### 2.4. Επιλογή του δείκτη συγκεντρώσεως φωτός

Η οικονομική ανάλυση δείχνει ότι η επιλογή μιας κατασκευής στη βάση της μέγιστης ισχύος καταλήγει σ'ένα αντιοικονομικό σύστημα (2). Η καμπύλη ισχύος του "φβ.στ." SOLARPAK No 1 αρχίζει να κορέννυται σ' ένα δείκτη συγκεντρώσεως της τάξεως των 12 ήλιων. Δηλαδή, το ποσοστό αύξησης της ισχύος σε σχέση με την αύξηση της ηλιακής προσπώσεως είναι μικρό και αύξηση της ηλιακής προσπτώσεως σημαίνει μεγαλύτερους συλλέκτες και γενικά πιο δαπανηρά συστήματα. Ετσι, ο γεωμετρικός συντελεστής συγκεντρώσεως (γ.σ.σ.) διαλέχθηκε να έχει την τιμή των 12 φορών, τιμή που είναι εναρμονιζόμενη με τα πειράματα του Πανεπιστημίου της Arizona (2).

### 2.5. Η γεωμετρία του συλλέκτη

Ο ήλιος είναι ένας δίσκος που στέλνει τις ακτίνες του υπό ένα τόξο περίπου $0.25^0$, ήτοι το είδωλο του δεν είναι σημείο αλλά ένα μακρύ ορθογώνιο(3). Ο δέκτης στην περίπτωσή μας, αποτελείται από συλλέκτες αναλόγου σχήματος υπό γωνία $90^0$ μεταξύ τους και τοποθετημένους όχι επακριβώς στον άξονα εστιάσεως για να επιτευχθή πλήρης φωτισμός τους.

### 2.6. Συχνότητα παγίδευσης

Ο συλλέκτης σχεδιάστηκε έτσι ώστε να τοποθετείται χειροκίνητα. Τα κριτήρια για τον καθορισμό της συχνότητας παγίδευσης ήταν πρώτο, ότι ο συλλέκτης επανατοποθετείται ανά χρονική περίοδο όσο το δυνατό μεγαλύτερη και τέτοια ώστε να επιτυγχάνεται πάντοτε πλήρης φωτισμός της διάταξης των φβ.στ.,δεύτερον, δεδομένου ότι ισχύει αυτό, η χρονική αυτή περίοδος να είναι η μεγαλύτερη δυνατή. Συμπεραίνεται ότι η χρονική αυτή περίοδος είναι 3 ώρες (1).

## 3. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΥ ΣΥΛΛΕΚΤΗ

### 3.1. Το σώμα του συλλέκτη

Το σχήμα του σώματος του συλλέκτη είναι παραβολικό. Σχεδιάστηκε η καμπύλη και αποτυπώθηκε σ'ένα φύλλο νοβοπάν πάχους 12 mm ., το οποίο κόπηκε κατά

μήκος της καμπύλης επακριβώς. Άλλα επτά τέτοια κομμάτια κόπηκαν για να σχηματίσουν τις δύο κοιλότητες του συλλέκτη, αφού ενώθηκαν ανά τέσσερα με δύο φύλλα νοβοπάν πάχους 6 mm . (1).

3.2.Το αντιστήριγμα του ανακλαστικού φίλμ

Χρησιμοποιήθηκε πολυστερίνη και πλαστική ύαλος (PERSPEX). Η ποιότητα της πλαστικής υάλου είναι ανώτερη, είναι πιο ευλύγιστη αλλά το κόστος της ήταν £30/$m^2$ έναντι £5/$m^2$ της πολυστερίνης. Οι τιμές που παρουσιάζονται στην ανακοίνωση αναφέρονται σε λίρες Αγγλίας 1983. Ι ΛΙΡΑ = 150 δρχ.

3.3. Το ανακλαστικό φίλμ 3M ECO-91A

Το ανακλαστικό φίλμ κολλήθηκε πάνω στα φύλλα πολυστερίνης και πλαστικής υάλου. Κατόπιν τα φύλλα κολλήθηκαν με κολλητική ταινία διπλής όψεως και βιδώθηκαν προσεκτικά πάνω στις κοιλότητες. Σχισμές εμφανίστηκαν στην πολυστερίνη ενώ η πλαστική ύαλος δεν παρουσίασε πρόβλημα.

3.4. Το υποστήριγμα του συλλέκτη

Η κύρια λειτουργία του υποστηρίγματος αυτού είναι να ενώσει και να φέρει τις δύο κοιλότητες (1). Επίσης τα υποστηρίγματα του σωλήνα,που έχει τα "φβ.στ", είναι τοποθετημένα πάνω του και δύο χαλύβδινες ράβδοι των 8 mm το ενώνουν με το χαλύβδινο υποπλαίσιο για να ρυθμίζεται το σύστημα εποχιακά (1).

3.5. Το υποπλαίσιο

Κατασκευάστηκε από σίδερο των 25 mm που συγκολλήθηκε σε ένα χαλύβδινο σωλήνα των 27 mm και ζυγίζει 7.2 Kgr . (1).

Φέρει το βάρος του συλλέκτη και του υποστηρίγματός του και αντιστέκεται στο φορτίο του ανέμου. Τα υποστηρίγματά του είναι το ένα χαλύβδινο, ακριβώτερο και πιο πολύπλοκο στην κατασκευή και φέρει το μεγαλύτερο μέρος του φορτίου και το άλλο ξύλινο. Κατασκευάστηκαν έτσι ώστε να έχουν μια κλίση σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο, γωνίας όσης είναι το τοπικό γεωγραφικό πλάτος.Λαμβάνοντας υπ'όψη την εποχιακή ρύθμιση, η κατασκευή που ενώνει το υποστήριγμα του συλλέκτη και το υποπλαίσιο πρέπει να είναι τόσο υψηλή, ώστε να επιτρέπει μια ανοχή περισσότερη από 23 1/2$^{o}$ που είναι η ηλιακή απόκλιση. Δύο ράβδοι ενώνουν και σταθεροποιούν το υποπλαίσιο με την βάση από dexion για να ρυθμίζεται το σύστημα καθημερινά.

3.6. Το μοντάρισμα του σωλήνα των φωτοβολταϊκών στοιχείων

Ο σωλήνας κρατείται με στηρίγματα από dexion σε μια απόσταση 300 mm όση δηλαδή η απόσταση εστιάσεως. Οι σχισμές τύπου "L" του dexion επιτρέπουν κινήσεις του σωλήνα μικρές αλλά ικανές να επιτευχθεί πλήρης φωτισμός. Το μήκος του είναι μικρότερο του μήκους της κοιλότητας του συλλέκτη ώστε να φωτίζονται όλα τα στοιχεία. (1).

3.7. Η διάταξη των φωτοβολταϊκών στοιχείων

Η τοποθέτηση των στοιχείων πάνω στον σωλήνα παρουσίασε κάποια προβλήματα γιατί έπρεπε αφ'ενός να είναι ηλεκτρικά μονωμένα μεταξύ τους και αφ'ετέρου να έχουν καλή θερμική αγωγιμότητα με τον σωλήνα (1).

3.8. Το σύστημα ψύξης

Ένα απλό σύστημα ψύξης υιοθετήθηκε. Ένας ελαφρύς σωλήνας διαμέτρου 95 mm . ενσωματώθηκε μέσα στον αλουμινένιο για να επιτευχθεί τελικώς μια μείωση βάρους της τάξης του 1,5 Kgr . (1).

3.9. Το ηλεκτρικό σύστημα

Τα 42 "φβ.στ" τύπου SOLAREX διαστάσεων 50 mm .X50 mm . ,πολυκρυσταλλικά (21 σε κάθε πλευρά του σωλήνα) συνδέθηκαν εν σειρά.

### 3.10. Το σύστημα παγίδευσης

Ο συλλέκτης έχει κατασκευαστεί με μια ελευθερία κινήσεως $2^{ου}$ βαθμού ώστε να παρακολουθεί την ημερήσια και την ετήσια κίνηση του ήλιου. Η ακριβής ευθυγράμμιση γίνεται, δεδομένου ότι έχει βρεθεί ο πολικός άξονας επακριβώς. Η βάση μπορεί να κατασκευασθεί μόνιμα σύμφωνα με τον πολικό άξονα. Πρέπει να σημειωθεί ότι ο προσανατολισμός του συλλέκτη δεν είναι κατά μήκος του πολικού άξονα αλλά κάθετα σ'αυτό δηλαδή παράλληλα με την κίνηση του ήλιου από Ανατολή προς Δύση.

## 4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

Ο σκοπός του ελέγχου αυτού είναι να ερευνηθεί και να συγκριθεί η λειτουργία της διάταξης των "φβ.στ". κάτω από συνθήκες συγκεντρωτικού φωτός και κανονικές συνθήκες. Το επίπεδο σύστημα χρησιμοποιεί τη συνολική ηλιακή ακτινοβολία ενώ το συγκεντρωτικό σύστημα χρησιμοποιεί μόνο την άμεση ηλιακή ακτινοβολία.

### 4.1. Αρχικές διεργασίες

Ο συλλέκτης τοποθετείται κάθετα στις ακτίνες του ηλίου γιατί οι μετρήσεις γίνονται για την εύρεση της μέγιστης ισχύος.

Με ένα ειδικό κύκλωμα τροφοδοτείται με διαφορετικές τιμές ρεύματος η διάταξη των φβ.στ. και καταμετρείται το αντίστοιχο δυναμικό, ώστε να κατασκευαστεί η χαρακτηριστική καμπύλη I-V από το σημείο Voc έως το Isc και να βρεθεί η ισχύς Pcon= VI (4.1)

### 4.2. Το μοντέλο της ανάλυσης

Ορίζουμε τον γεωμετρικό συντελεστή συγκεντρώσεως (γ.σ.σ.) σαν τον λόγο του πλάτους του ανοίγματος του συλλέκτη προς το πλάτος της ζώνης εστιάσεως που είναι το πλάτος του στοιχείου. Ήτοι:

$$\gamma.\sigma.\sigma.= \frac{60cm}{5\ cm} = 12.$$

Ο πειραματικός συντελεστής συγκεντρώσεως (π.σ.σ.) είναι ο αριθμός που εξάγεται συγκρίνοντας την απόδοση του στοιχείου κάτω από συγκεντρωτικές και κάτω από κανονικές συνθήκες.

Ήτοι $$\pi.\sigma.\sigma.= \frac{Pcon}{Pflat} \qquad (4.2)$$

### 4.3. Το πείραμα της 21ης Ιουλίου

Τροφοδοτούμε με ρεύμα μια διάταξη 18 φβ.στ. με βήμα ανά 0.4A και καταγράφουμε το δυναμικό της διάταξης. Η μέγιστη ισχύς είναι Pc=V.I=5.66X2.4= 13.58W που αντιστοιχεί σε Pc= 13.58/18=0.754W για κάθε στοιχείο. Με βάση προηγούμενες δοκιμές έχει βρεθεί ότι Pf= 0.4375Isc-0.045 (4-3) και ότι η τιμή Isc= 0.55A αντιστοιχεί σε 945 $W/m^2$. Σύμφωνα με το φβ.στ. αναφοράς Pf=0.178W. Ήτοι:

$$\pi.\sigma.\sigma.= \frac{Pc}{Pf} = \frac{0.754}{0.178} = 4.24$$

### 4.4. Σύγκριση μεταξύ γεωμετρικού και πειραματικού συντελεστή συγκεντρώσεως

Οι απώλειες που παρατηρήθηκαν στο συγκεντρωτικό σύστημα και σχεδόν υποδιπλασίασαν τον θεωρητικό (γ.σ.σ.) συνοψίζονται ως εξής:

| | | Κλάσμα ισχύος που παραμένει διαθέσιμο |
|---|---|---|
| 100% | γ.σ.σ.=12 | |
| | 15% απώλεια λόγω ανακλάσεως στον συλλέκτη | 0.85 |
| | 10.2 | |
| | 10% απώλεια λόγω της διάχυτης ακτινοβολίας | 0.90 |
| | 9.2 | |
| | 33% απώλεια που οφείλεται στην χαρακτηριστική καμπύλης της ισχύος του φβ.στ. | 0.67 |
| | 6.2 | |
| | 10% απώλεια οφειλομένη σε ατέλειες του σχήματος του συλλέκτη | 0.90 |
| | 5.5 | |
| | 10% απώλεια οφειλόμενη στο συντελεστή συλλήψεως της ακτινοβολίας από τη διάταξη των σφ.στ. | 0.90 |
| 41.5% | π.σ.σ.=4.89 | 0.415 |

## 4.5. Προβλήματα που αφορούν το πείραμα

Τα φβ.στ. είναι συνδεδεμένα εν σειρά, γι'αυτό η κακή λειτουργία έστω και ενός επηρεάζει την συνολική απόδοση. Ο κακός φωτισμός έστω και ενός στοιχείου (λιγότερο από 1/4 της επιφανείας του) οδηγεί σε πτωχά συνολικά αποτελέσματα.

## 4.6. Ανάλυση της λειτουργίας της διάταξης των φωτοβολταϊκών φωτοβολταϊκών στοιχείων.

Αν εξομοιώσουμε τις ηλιακές συνθήκες κάτω από τις οποίες βγήκαν οι κατά μέσον όρο τιμές ισχύος Pc και Pf , τότε είναι Pc=0.754W, T=50°C και P=0.152W, T=34°C. Ήτοι π.σ.σ.= 4.96 τιμή που είναι σχεδόν ίδια με την τιμή 4.89 που προέρχεται από τον πίνακα.

## 4.7. Η επίδραση της θερμοκρασίας

Η θερμοκρασία αποτελεί ένα από τους πιο κρίσιμους παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση ενός συγκεντρωτικού συστήματος. Έχει καθοριστεί ότι η απόδοση ισχύος ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου μειώνεται κατά 0,6% για αύξηση θερμοκρασίας 1°C (4).

Δηλαδή , αν μ'ένα καλό σύστημα ψύξης επιτευχθεί θερμοκρασία T=34°C όση για το σύστημα κάτω από Κ.Σ. τότε Pc=0.754(1.096)= 0.826W.

$$\text{Ήτοι π.σ.σ.} = \frac{Pc}{Pf} = \frac{0.826}{0.152} = 5.43$$

## 4.8. Το πείραμα των 3 ωρών

Ο π.σ.σ. που υπολογίσθηκε μέχρι τώρα αναφεράταν σε μέγιστες τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας. Επειδή ο σκοπός μας είναι να επανατοποθετούμε τον συλλέκτη κάθε 3 ώρες, ένα αντίστοιχο πείραμα έγινε. Οι μετρήσεις έγιναν ανά 30 λεπτάκαι καθοριζόταν η μεγίστη ισχύς και ο π.σ.σ. Η μέση τιμή του π.σ.σ. προσδιορίστηκε τελικά $\text{π.σ.σ.}_{3h}$= 4.33.Λαμβάνοντας δε υπ'όψη την θερμοκρασία, έγινε $\text{π.σ.σ.}_{3h}$=4.75.

## 4.9. Συμπεράσματα

Η ισχύς εξόδου της διάταξης των φβ.στ. στο αναφερθέν σύστημα ήταν μεγα-

λύτερη της ισχύος εξόδου της ίδιας διάταξης αλλά στραμένης προς τον ήλιο κατά ένα παράγοντα της τάξης των 4.5 Η σημασία της τιμής αυτής είναι ότι το σύστημα αυτό χρειάζεται λιγότερο από το ένα τέταρτο του κόστους των φβ.στ. συγκρινόμενο με ένα επίπεδο σύστημα. Το μειονέκτημά του είναι ότι χρειάζεται μεγαλύτερη επιφάνεια από ένα επίπεδο σύστημα της ίδιας ισχύος πράγμα που είναι σημαντικό για τον αγρότη . Λαμβάνοντας υπ'όψη όμως ότι το κόστος των φβ.στ. αποτελεί το μεγαλύτερο εμπόδιο για να γίνουν ανταγωνιστικά τέτοια συστήματα, το μειονέκτημα αυτό είναι αποδεκτό.

## 5. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

### 5.1. Το κόστος κεφαλαίου

Για να καθοριστεί η τιμή του ύδατος πρέπει να αξιολογηθεί το σύστημα, ήτοι να βρεθεί το απαιτούμενο κατά τήν διάρκεια ζωής του συστήματος κόστος και η ποσότητα του αντλούμενου ύδατος. Μερικές υποθέσεις που θεωρούνται απαραίτητες είναι:

α) Η διάρκεια ζωής Το του συστήματος είναι 6,8 ή 10 χρόνια.
β) Δύο συλλέκτες με άνοιγμα 1.8 $m^2$ είναι συνδεδεμένοι εν σειρά.
γ) Κατασκευάζονται 4 συλλέκτες ανά εβδομάδα.

Τελικά λαμβανομένου υπ'όψη του κόστους παραγωγής (£1649), της επιβαρύνσεως εισαγωγών (60%), του κέρδους του εργοστασίου (£508),της μεταφοράς και εγκατάστασης (£40) και των απροόπτων (10%) το συνολικό κόστος κεφαλαίου C ανέρχεται σε £ 2465

### 5.2. Η εξόφληση του δανείου

Θεωρείται καθοριστικό ότι η ηλιακή τεχνολογία χρηματοδοτείται και πριμοδοτείται από εθνικούς και διεθνείς πόρους. Ένας αγρότης που λαμβάνει δάνειο ετησίου τύπου (δηλαδή η επαναπληρωμή είναι ισόποση) πρέπει να πληρώσει ετήσιες δόσεις ίσες με:

$$A=C(1+r_m)^n \frac{(1+r_m)-1}{(1+r_m)^n-1}$$

όπου C το κόστος κεφαλαίου, $r_m$ ο τόκος αγοράς και n ο χρόνος επαναπληρωμής σε έτη. Υπό τύπο πινάκων παρουσιάζονται διάφορες περιπτώσεις εξόφλησης.

| Χρόνος επαναπληρωμής σε έτη | 4 | 6 | 8 | 10 |
|---|---|---|---|---|
| Επιτόκιο $r_m$ | | | | |
| 8% | 30.10% | 21.63% | 17.40% | 14.90% |
| 14% | 34.32% | 25.71% | 21.56% | 19.17% |
| 20% | 38.62% | 30.07% | 26.06% | 23.85% |

Πίνακας 5.1. Η ετήσια δόση συναρτήσει του χρόνου επαναπληρωμής ή και του τόκου αγοράς δοσμένη σαν ποσοστό επί τοις εκατό του κεφαλαίου C.

| Εκατοστιαίο ποσοστό του C που πριμοδοτείται | | | |
|---|---|---|---|
| | 0% | 20% | 40% |
| Κόστος κεφαλαίου C που πρέπει να εξοφληθεί | | | |
| | £2465 | £1972 | £1479 |
| Συνθήκες δανείου | | | |
| $r_m$=8%, n=10ετη | £367 (14,9%) | £294 (14,9%) | £220 (14,9%) |
| $r_m$=20%,n=4έτη | £952 (38,68%) | £762 (38,68%) | £571 (38,68%) |

Πίνακας 5.2. Η ετήσια δόση συναρτήσει δύο διαφορετικών δανείων ετησίου τύπου και του ποσοστού του κεφαλαίου C που πριμοδοτείται.

## 5.3. Η ανάλυση της ροής ενέργειας

Η τιμή της ηλιακής ισχύος υπολογισμένη κατά μέσον όρο ανά 24ωρο είναι 250W/$m^2$. Λαμβάνοντας υπ'όψη διαδοχικά τους συντελεστές για την άμεση ηλιακή ακτινοβολία (0.90),την ανακλαστικότητα του συλλέκτη (0.85), την ακρίβεια του σχήματος του συλλέκτη (0.9), τη σύλληψη της ακτινοβολίας (0.9), την ισχύ (0.67), την απόδοση των φβ.στ.(0.07),την απόδοση του κινητήρα (0.75), την απόδοση της αντλίας (0.50) και την σύνδεση των συνιστωσών του συστήματος (0.70) ως συνολική απόδοση του συστήματος εξάγεται η τιμή 0,76%. Ήτοι για δύο συλλέκτες με άνοιγμα 1.8$m^2$ έκαστος,η συνολική εκτιμούμενη ισχύς εκάστου είναι:

$$P_o = \frac{P_{in}}{n} = \frac{250W/m^2 X 1.8m^2}{0.76} = 3.43\ W$$

## 5.4. Η τιμή του αντλούμενου ύδατος

Η κατά μέσον όρον υδραυλική ισχύς του συστήματος ανά μέρα είναι P=pgQH= (2X3.43)W. Για τιμή στήλης ύδατος H=5m., η παροχή ύδατος είναι Q=8.41lit/min. Δηλαδή η ποσότητα που αντλείται σ'ένα έτος λειτουργίας (200 ημέρες) είναι $Q_I$=2423$m^3$. Αντιστοιχώντας την τιμή αυτή στον πίνακα 5.2. προκύπτει ένας αντίστοιχος πίνακας που δίνει το κόστος ανά $m^3$ ύδατος με ένα εύρος τιμών 9.1p/$m^3$ έως 39p/$m^3$ (1).

## 5.5. Χρηματοδοτική και οικονομική αποτίμηση

Η τιμή του αντλουμένου ύδατος, όταν ο αγρότης πρέπει να ξεπληρώσει όλο το κόστος του κεφαλαίου με εμπορικό επιτόκιο (π.χ. 20%), καθορίζεται με την χρηματοδοτική αποτίμηση. Η τιμή του ύδατος για να έλθει ο αγρότης στα λεφτά του θα έπρεπε να ήταν 39p/$m^3$. Η κυβέρνηση ή άλλοι φορείς πριμοδοτούν την όλη διαδικασία γιατί σύμφωνα με την δική τους οικονομική αποτίμηση υπάρχουν επιπρόσθετα κέρδη στην εθνική οικονομία όπως η εξοικονόμηση υγρών καυσίμων, η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών. Η Διεθνής Τράπεζα (W.B.) δίνει π.χ. δάνεια με επιτόκιο 6% και χρόνο εξόφλησης 20 έτη. Αυτό σημαίνει ότι η ετήσια δόση θα ήταν £215 και η τιμή του ύδατος 8.9p/$m^3$.

## 5.6. Σύγκριση συστημάτων

Μια απόπειρα σύγκρισης του συστήματος μας με άλλα πραγματοποιήθηκε. Η

W.B. εγκατέστησε 12 μικρά συστήματα αντλήσεως ύδατος για σκοπούς ερευνητικούς (5). Ένα απ'αυτά που χαρακτηρίστηκε σαν λίαν ικανοποιητικό εγκαταστάθηκε στις Φιλιππίνες από την γαλλική φίρμα Briau. Τοφωτοβολταϊκό αυτό σύστημα επιπέδου πλάκας με μέγιστη υδραυλική ισχύ 100W για μια στήλη 5 μέτρων παρέχει 11,250$m^3$ ύδατος το έτος. Με κόστος κεφαλαίου C=$25,000, η τελική τιμή του ύδατος ανέρχεται σε 18.9 c/$m^3$ που είναι της αυτής τάξεως με το δικό μας σύστημα.

## 5.7. Συζήτηση. Συμπεράσματα

Η τιμή του αντλούμενου ύδατος με τις καλλίτερες συνθήκες εξόφλησης του δανείου είναι περίπου 9 p/$m^3$. Τα σχετικά συγγράμματα (6)(7)(8) δίνουν σαν αποδεκτή τιμή 2-4 p/$m^3$. Υπάρχουν συγκεκριμμένοι λόγοι που δικαιολογούν την διαφορά αυτή. Το μεγάλο κόστος κεφαλαίου αποτελεί το μεγαλύτερο εμπόδιο. Τα φβ.στ. έχουν απόδοση γύρω στο 8-10% και χρειάζονται σαφώς καλλίτερες αποδόσεις και το κόστος των στοιχείων πυριτίου είναι γύρω $12-$20 ανά μέγιστο Watt. Η W.B. (5) αναφέρει ότι η λειτουργία των φβ.διατάξεων (απόδοση, διάρκεια ζωής) ήταν γύρω στο 10% κάτω από τις προδιαγραφές που αναφέρονται από τους κατασκευαστές.

Η υδραυλική ισχύς εξόδου είναι γύρω στα 10W ενώ χρειάζεται τουλάχιστο δεκαπλάσια ισχύς για αντλητικούς σκοπούς. Χρειάζονται λοιπόν περισσότεραι συλλέκτες που θα καταλάβουν όμως αρκετή επιφάνεια καλλιεργήσιμη.

Οι κινητήρες και οι αντλίες είναι στοιχεία πλήρως ερευνημένα από μόνα τους αλλά όχι σε συνδυασμό με φβ.στ. Χρειάζονται να χρησιμοποιούνται κινητήρες με απόδοση μεγαλύτερη του 85%. Η παράμετρος - κλειδί στις αντλίες είναι η απόδοσή της σε διαφορετικές ταχύτητες στην απαιτούμενη στήλη ύδατος όπως και η πτώση της απόδοσης σε λειτουργία στήλης διαφορετικής από την ιδανική. Για στήλη ύδατος κάτω των 5 μ. και σίγουρα κάτω από 10 μ., οι φυγοκεντρικές αντλίες εμφανίζονται να έχουν καλή λειτουργία σε συνδυασμό με το συμπαγές της κατασκευής και τις χαμηλές απαιτήσεις εκκινήσεως της ροπής στρέψεως.

Ένας σπουδαίος παράγοντας είναι το ταίριασμα της διάταξης των φβ.στ., του κινητήρα και της αντλίας. Η έξοδος της διάταξης δίνεται από την χαρακτηριστική I-V. Για μια συγκεκριμμένη ηλιακή ακτινοβολία, η μέγιστη ισχύς εξόδου δίνεται από ένα συγκεκριμμένο συνδυασμό τιμών δυναμικού και ρεύματος. Για διαφορετικές τιμές ακτινοβολίας τότε, μια γραμμή μπορεί να σχεδιασθεί κατά μήκος των μεγίστων σημείων ισχύος. Για να επιτευχθεί λοιπόν η μέγιστη δυνατόν απόδοση του συστήματος για κάθε τιμή ακτινοβολίας η χαρακτηριστική I-V του κινητήρα-αντλίας πρέπει να ταιριάξει με αυτή την γραμμή. Η διαδικασία αυτή απαιτεί ένα προσεκτικό σχεδιασμό.

Η διάρκεια ζωής του συστήματος είναι επίσης σημαντική μεταβλητή. Κάθε συνιστώσα του συστήματος πρέπει να ελεγχθεί κάτω από πραγματικές συνθήκες πεδίου για να εξακριβωθούν τα αληθινά δεδομένα για την διάρκεια ζωής της. Προς το σκοπό αυτό ένα εκτεταμένο πρόγραμμα εγκατάστασης τέτοιων συστημάτων πρέπει να προωθηθεί.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ


1) Nerantzis, C.P., 1983 "A mannually positioned concentrating photovoltaic water pump"
2) Kreider, J.F. and Kreith F., 1978, "Principles of solar Engineering"
3) Lunde, P.J., "Solar thermal engineering"
4) Garret, C., Mahasneh, E. and Smith, I, 1983 "Project report of photovoltaic cell and reflector testing", University of Reading.
5) Halcrow, Sir William and Partners/ITDG, 1982, "Small scale solar powered irrigation pumping system-Phase I Project report" W.B. Pr.
6) Bentley, R.W., 1981 "Solar water pumping using optical concentration", University of Reading.
7) Dunn, P., 1981, "Solar energy conversion" University of Reading.
8) Eden, R. et al, 1980, "Energy Economics", University of Cambridge.

ΗΕΓ-25

# ΞΗΡΑΝΣΗ ΣΟΥΛΤΑΝΙΝΑΣ ΜΕ ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Γ.Σ.Ραουζαίος, Ζ.Β. Μαρούλης και Δ.Σ.Μαρίνος-Κουρής

Εθνικο Μετσοβιο Πολυτεχνείο
Τμήμα Χημικών Μηχανικών
Εργαστήριο Τεχνικής Φυσικών Διεργασιών

Περίληψη

Σε πειραματική εγκατάσταση ξήρανσης που περιλαμβάνει συλλέκτη, αποθήκη θερμότητας (κλίνη σωματιδίων), βοηθητική πηγή ενέργειας,και ξηραντήρα (τύπου συραγγας) έγιναν μετρήσεις ξήρανσης σουλτανίνας. Το υλικό πριν εισαχθεί στον ξηραντήρα υφίσταται κατεργασία που έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση του χρόνου ξήρανσης.

Από τις πειραματικές μετρήσεις διαπιστώθηκε η επίδραση της ανακυκλοφορίας και της ταχύτητας του αέρα στους χρόνους ξήρανσης που βρέθηκαν να είναι αισθητά μικρότεροι άλλων ερευνητών.

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι σε συνεχή λειτουργία της συσκευής (με χρησιμοποίηση βοηθητικής πηγής ενέργειας) και ανακυκλοφορία του ρεύματος αέρα παρατηρήθηκε ο ελάχιστος χρόνος ξήρανσης (0,8 ημέρες) και η μικρότερη κατανάλωση ενέργειας (30,1 kWh).

Λέξεις Κλειδιά

αποθήκη (θερμότητας), ανακυκλοφορία, βοηθητική πηγή, ξήρανση, ξηραντήρας, λειτουργία (συνεχής, ασυνεχής), σουλτανίνα, συλλέκτης, ελαϊκός αιθυλεστέρας

## Εισαγωγή

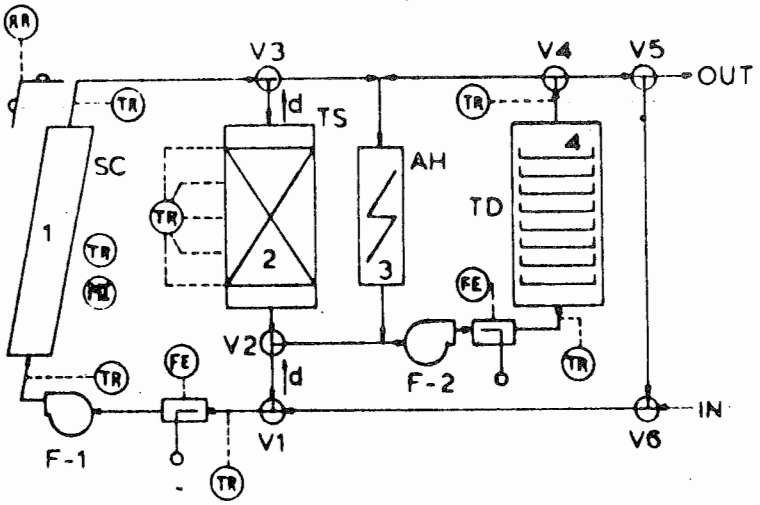
Η ξανθή σουλτανίνα είναι από τα πλεόν σημαντικά γεωργικά προϊόντα της χώρας μας. Η τυπική μέση ετήσια παραγωγή ανέρχεται σε 100.000 τόννους, από τους οποίους 70.000 τόννοι ξηραίνονται και από αυτούς 45.000 - 50.000 τόννοι εξάγονται με σημαντικό οικονομικό όφελος (1). Στην Ελλάδα η ξήρανση της σουλτανίνας γίνεται με την παραδοσιακή μέθοδο, "στ'αλώνι". Η μέθοδος αυτή έχει αρκετά μειονεκτήματα όπως οι μεγάλοι χρόνοι ξήρανσης, χαμηλοί ρυθμοί παραγωγής, μέτριας ποιότητας, τελικό προϊόν κ.α. Τα μειονεκτήματα αυτά, σε συνδυασμό με τις απαιτήσεις, οδήγησαν στην εφαρμογή της μηχανικής ξήρανσης, με κατανάλωση συμβατικών καυσίμων, μιας ιδιαίτερα ενεργοβόρας διεργασίας.

Στην εργασία αυτή εξετάζονται οι δυνατότητες ξήρανσης με χρησιμοποίηση ηλιακής ενέργειας για τη θέρμανση του αέρα, προκειμένου να επιτευχθεί σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας ώστε να γίνει δυνατή η αντικατάσταση στο μέλλον των ξηραντήρων συμβατικών καυσίμων.

Πειραματική εγκατάσταση ξήρανσης με ηλιακή ενέργεια

Τα πειράματα ξήρανσης με ηλιακή ενέργεια πραγματοποιήθηκαν σε πειραματική εγκατάσταση (Σχ.1) που αποτελείται από, επίπεδο ηλιακό συλλέκτη θέρμανσης αέρα ($3m^2$), αποθήκη αισθητής θερμότητας με κλίνη πληρωτικών υλικών (σφαίρες διαμέτρου 4cm, με βάση το τσιμέντο, $0,2m^3$) συνολικής θερμοχωρητικότητας 250 MJ/K, έναν ξηραντήρα ρεύματος αέρα με ράφια δυναμικότητας 20 kg νωπής σταφίδας, μία βοηθητική πηγή ενέργειας από ηλεκτρικές αντιστάσεις (4 kW) και δύο ανεμιστήρες για την κυκλοφορία του ρεύματος αέρα (1.2 και 0.5 kW).

Η εγκατάσταση είναι εξοπλισμένη με τα απαραίτητα όργανα μέτρησης και καταγραφής. Κατά τη λειτουργία της μετρώνται και καταγράφονται, η προσπίπτουσα ολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο και κεκλιμένο επίπεδο συλλέκτη, η ατμοσφαιρική θερμοκρασία, η σχετική υγρασία, η παροχή του ρεύματος αέρα που τροφοδοτείται στο συλλέκτη και τον ξηραντήρα, η θερμοκρασία του ρεύματος αέρα στην είσοδο και έξοδο του συλλέκτη και του ξηραντήρα και τα μέτωπα της θερμοκρασίας του αέρα και του πληρωτικού υλικού στην κλίνη.




SC: επίπεδος ηλιακός συλλέκτης θέρμανσης αέρα
TS: αποθήκη αισθητής θερμότητας (κλίνη με πληρωτικά υλικά)
AH: βοηθητική πηγή ενέργειας. TD: ξηραντήρας με ράφια
F-1,2: ανεμιστήρες. V1,6: βάννες
RR: σύστημα μέτρησης και καταγραφής της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας
TR: σύστημα μέτρησης και καταγραφής της θερμοκρασίας του αέρα και των πληρωτικών υλικών της αποθήκης θερμότητας.
MI: ενδεικτικό της ατμοσφαιρικής υγρασίας.
FE: στοιχεία μέτρησης της παροχής του ρεύματος αέρα.

Σχήμα 1. Διάγραμμα ροής της πειραματικής εγκατάστασης ξήρανσης με ηλιακή ενέργεια.

Ο τύπος λειτουργίας της εγκατάστασης επιλέγεται συναρτήσει των μετεωρολογικών συνθηκών, το στάδιο της ξήρανσης και της θερμικής-θερμοκρασιακής κατάστασης της αποθήκης θερμότητας. Έτσι, ανάλογα με τον τύπο λειτουργίας, η αποθήκη θερμότητας είναι δυνατό να συμπεριληφθεί ή να απομονωθεί από την υπόλοιπη εγκατάσταση. Επίσης το ρεύμα αέρα που εγκαταλείπει τον ξηραντήρα είναι δυνατό, ανάλογα της ψυχρομετρικής του κατάστασης, να ανακυκλώνεται στην είσοδο του ξηραντήρα, ή του ηλιακού συλλέκτη. Εξ άλλου συνδέοντας τη βοηθητική ενεργεια στο κύκλωμα η εγκατάσταση λειτουργεί σε 24ωρη βάση.

Πειραματικές Μετρήσεις

Ως υλικό για τα πειράματα ξήρανσης χρησιμοποιήθηκε Κορινθιακή σουλτανίνα, προέλευσης Ζεμενού. Πρίν την ξήρανση τα δείγματα προκατεργάζονται με εμβάπτιση σε αλκαλικό διάλυμα. Η προκατεργασία έχει θετική επίδραση στην ποιότητα του τελικού προϊόντος, ενώ ταυτόχρονα ελαττώνει σημαντικά το χρόνο ξήρανσης. Τα παραπάνω υποστηρίζονται από σχετικές μελέτες όπως Ινστιτούτο Τεχνολογίας Φυτικών Προϊόντων (2), Radler (3), Pontin et. al (4), Grucurevic et al. (5), Bolin et al, (6) και Eissen (7).

Πίνακας 1. Συνθήκες εκτέλεσης των πειραμάτων ξήρανσης

| Αριθμός Πειράματος | Τύπος Λειτουργίας | Μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος ($^0$C) | Μέση θερμοκρασία ξήρανσης κατά τις ώρες της ηλιοφάνειας ($^0$C) | Μέση θερμοκρασία ξήρανσης κατά τις νυχτερινές ώρες ($^0$C) | Ταχύτητα ρεύματος αέρα ξήρανσης (m/s) | Διάλυμα και συνθήκες προκατεργασίας | Αρχική περιεκτικότητα υγρασίας (kg $H_2O$/kg d.s.) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1α | Α | 27.5 | 39.3 | - | 0.2 | I | 3.60 |
| 1β | Α | 27.5 | 39.3 | - | 0.2 | C | 3.60 |
| 2α | Β | 30.0 | 46.5 | - | 0.4 | I | 3.53 |
| 2β | Β | 30.0 | 46.5 | - | 0.4 | C | 3.53 |
| 3α | Β | 24.4 | 39.1 | - | 2.5 | I | 3.30 |
| 3β | Β | 24.4 | 39.1 | - | 2.5 | C | 3.30 |
| 4α | Α | 27.0 | 41.0 | - | 2.5 | I | 3.10 |
| 4β | Α | 27.0 | 41.0 | - | 2.5 | C | 3.10 |
| 5α | Γ | 26.3 | 46.3 | 49.7 | 0.8 | I | 3.18 |
| 5β | Γ | 26.3 | 46.3 | 49.7 | 0.8 | III | 3.18 |
| 6α | Γ | 25.0 | 38.3 | 45.0 | 2.0 | II | 3.18 |
| 6β | Γ | 25.0 | 38.3 | 44.3 | 2.0 | III | 3.18 |

Α: ηλιακός συλλέκτης-αποθήκη θερμότητας-ξηραντήρας (ασυνεχής λειτουργία)
Β: ηλιακός συλλέκτης-ξηραντήρας (ασυνεχής λειτουργία)
Γ: ηλιακός συλλέκτης-αποθήκη θερμότητας-ξηραντήρας-βοηθητική πηγή ενέργειας, ανακυκλοφορία του ρεύματος αέρα που εγκαταλείπει τον ξηραντήρα (συνεχής λειτουργία).
C: ακατέργαστο
I: 0.5% NaOH, 30 sec, 80$^0$C
II: 0.5% NaOH + 2% E.O., 30 sec., 80$^0$C
III: 2.5% $K_2CO_3$ + 2% E.O., 30 sec., 80$^0$C

E.O.= Ελαϊκός αιθυλεστέρας

Ο τύπος λειτουργίας της εγκατάστασης (συνεχής, ασυνεχής, με ή χωρίς ανακυκλοφορία κλπ), οι συνθήκες ξήρανσης (ταχύτητα αέρα, θερμοκρασία) η αρχική υγρασία του υλικού καθώς και οι συστάσεις των διαλυμάτων προκατεργασίας αναγράφονται στον Πίν. 1. Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν τις περιόδους Σεπτέμβρης - Οκτώβρης 1983 και Οκτώβρης 1984.

Αποτελέσματα - Συζήτηση

Τα αποτελέσματα των πειραμάτων ξήρανσης με ηλιακή ενέργεια δίνονται στον Πίνακα 2, όπου συγκεκριμένα αναγράφονται η τελική υγρασία, ο συνολικός χρόνος ξήρανσης και η κατανάλωση ενέργειας για την κυκλοφορία του αέρα και την παραγωγή βοηθητικής θερμότητας για ξήρανση.

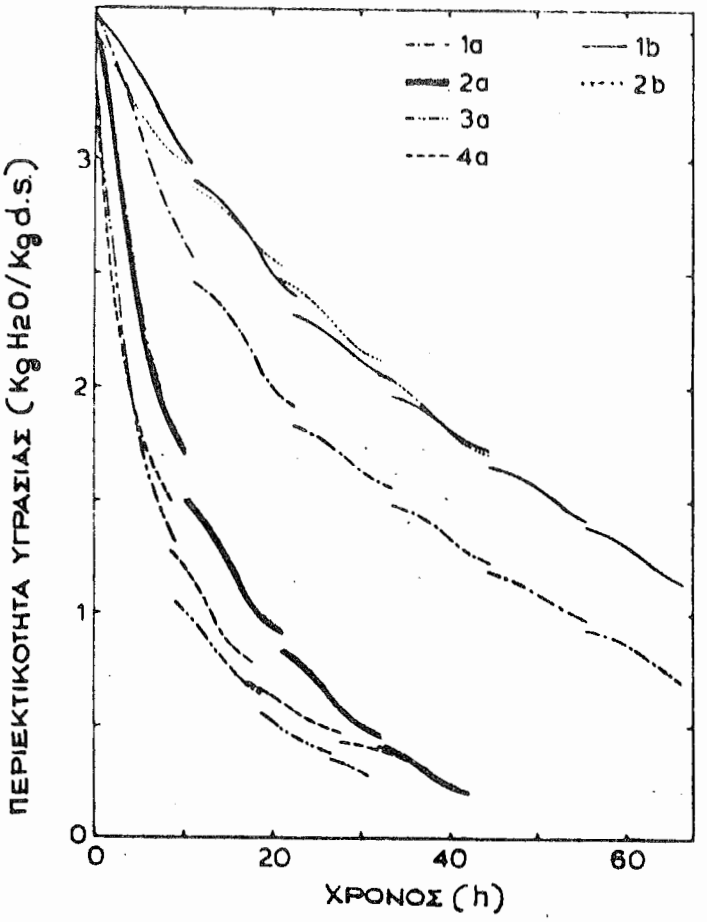
Από τον Πίν.2 προκύπτει ότι οι χρόνοι ξήρανσης κυμάνθηκαν μεταξύ 66.5 και 19.0 h. Ο Eissen et al (7) για ξήρανση σουλτανίνας προσδιόρισε χρόνους που κυμαίνονται από 4-20 ημέρες ανάλογα με τον τύπο του ξηραντήρα και τη σύσταση του διαλύματος προκατεργασίας.

Πίνακας 2. Αποτελέσματα ξήρανσης

| Αριθμός Πειράματος | Τελική περιεκτικότητα υγρασίας ($kgH_2O/kg$ d.s.) | Ώρες λειτουργίας την ημέρα | Ώρες λειτουργίας τη νύκτα | Συνολικές ώρες λειτουργίας | Κατανάλωση βοηθητικής ενέργειας (kW) | Κατανάλωση ενέργειας για την κυκλοφορία του αέρα (kWh) | Συνολική κατανάλωση ενέργειας (kWh) εκτός ηλιακής |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1α | 0.71 | 66.5 | - | 66.5 | - | 79.8 | 79.8 |
| 1β | 1.14 | 66.5 | - | 66.5 | - | 79.8 | 79.8 |
| 2α | 0.21 | 42.0 | - | 42.0 | - | 50.4 | 50.4 |
| 2β | 1.73 | 44.0 | - | 44.0 | - | 52.8 | 52.8 |
| 3α | 0.28 | 30.5 | - | 30.5 | - | 36.6 | 36.6 |
| 3β | 1.81 | 30.5 | - | 30.5 | - | 36.6 | 36.6 |
| 4α | 0.37 | 34.5 | - | 34.5 | - | 41.4 | 41.4 |
| 4β | 1.65 | 34.5 | - | 34.5 | - | 41.4 | 41.4 |
| 5α | 0.16 | 26.5 | 33.5 | 60.0 | 42.0 | 61.8 | 103.8 |
| 5β | 0.16 | 23.5 | 30.5 | 54.0 | 36.5 | 55.2 | 91.7 |
| 6α | 0.16 | 8.0 | 11.0 | 19.0 | 11.0 | 19.1 | 30.1 |
| 6β | 0.16 | 8.0 | 16.0 | 24.0 | 16.0 | 21.6 | 37.6 |

Στα Σχήματα 2 και 3 απεικονίζονται οι καμπύλες ξήρανσης για ένα περιορισμένο αριθμό πειραμάτων (οι ασυνέχειες των καμπυλών του Σχ. 2 οφείλονται στην ασυνεχή λειτουργία της εγκατάστασης).

Η επίδραση της προκατεργασίας στους χρόνους ξήρανσης φαίνεται παραστατικά στο Σχ. 2 (σύγκριση καμπυλών 1α, 2α, 1β και 2β). Η προκατεργασία με NaOH αντί $K_2CO_3$ ελαττώνει το χρόνο ξήρανσης κατά 20% (βλ. Πιν. 2, σύγκριση πειραμάτων 6α και 6β). Η ξήρανση επιταχύνεται σημαντικά παρουσία του ελαϊκού αιθυλεστέρα (βλ. Σχ. 3, καμπύλες 5α και 5β) όπως εξ άλλου παρατηρείται από τους Juarez et al (8) και Radler (3).



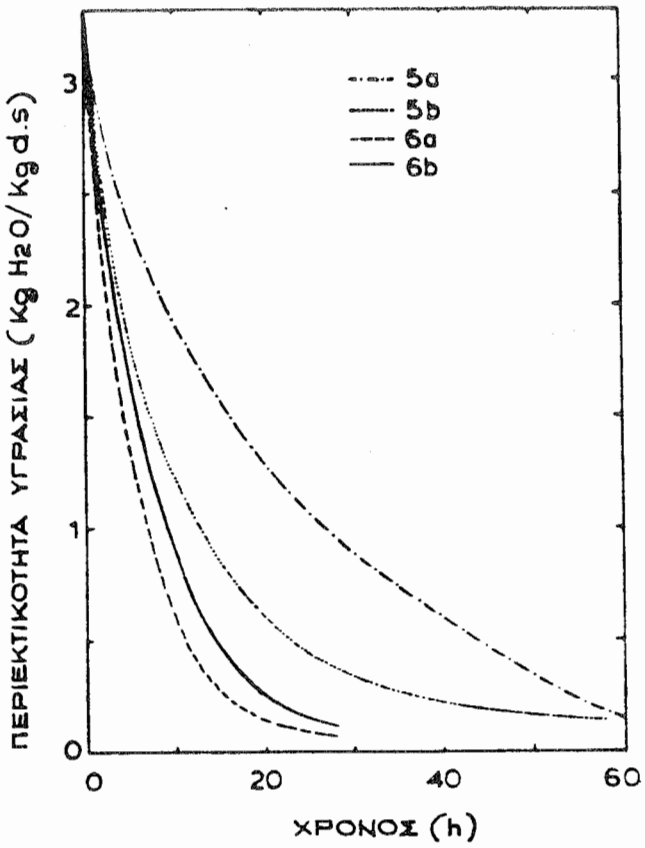

Σχήμα 2. Καμπύλες ξήρανσης ξανθής σουλτανίνας με ηλιακή ενέργεια σε ασυνεχείς συνθήκες λειτουργίας

Ο χρόνος ξήρανσης σουλτανίνας στο αλώνι προσδιορίσθηκε σε 8 ημέρες για προκατεργασμένο δείγμα ( με $K_2CO_3$ 6% και ελαιόλαδο 0.3%) και σε 20 ημέρες για ακατέργαστο (2). Ο Maroussis et al (9) επέτυχε ξήρανση της μαύρης σταφίδας σε 11-22 ημέρες ασυνεχούς λειτουργίας (χωρίς προκατεργασία).

Η αναμενόμενη μείωση των χρόνων ξήρανσης με αύξηση της ταχύτητας του αέρα φαίνεται στον Πίν. 2 και τα Σχ. 2-3 (βλ. καμπύλες 1α, 2α, 3α, 4α και 5β, 6β).

Η ανακυκλοφορία του ρεύματος αέρα μειώνει δραστικά τον απαιτούμενο χρόνο ξήρανσης (βλ. Πιν. 3 σύγκριση πειραμάτων 1-4 με 5 και 6). Με την ανακυκλοφορία επιτυγχάνεται ταυτόχρονα μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας, λόγω της απαιτούμενης θερμότητας από το ρεύμα αέρα που εγκαταλείπει τον ξηραντήρα.

Από τη συνολική θεώρηση των αποτελεσμάτων προκύπτει, ότι με συνεχή ξήρανση (χρησιμοποίηση βοηθητικής πηγής ενέργειας) και ανακυκλοφορία του αέρα κάτω από ορισμένες συνθήκες (προκατεργασία υλικού και ταχύτητα αέρα 2 m/s) επιτυγχάνεται ε-




Σχήμα 3. Καμπύλες ξήρανσης ξανθής σουλτανίνας με ηλιακή ενέργεια σε συνεχείς συνθήκες λειτουργίας.

λαχιστοποίηση του χρόνου ξήρανσης σε 19h (ή 0.8 ημέρες). Αξιοσημείωτο στην περίπτωση αυτή είναι το γεγονός ότι, παρατηρείται η ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση (βοηθητική) και κυκλοφορία του αέρα (30.1 kWh).

Πρέπει να αναφερθεί ότι σε όλες τις περιπτώσεις ξήρανσης παράγεται προϊόν υψηλής ποιοτικής στάθμης (χρώμα καστανόξανθο χωρίς κρυσταλλική ζάχαρη στη σάρκα ή την επιδερμίδα).

Συμπεράσματα

Η ξήρανση της σουλτανίνας σε ξηραντήρα που χρησιμοποιεί για τη θέρμανση του αέρα ηλιακή ενέργεια υπερτερεί συντριπτικά (ως προς τους χρόνους ξήρανσης) συγκρινόμενη με την παραδοσιακή μέθοδο στο αλώνι.

Η προκατεργασία της σουλτανίνας συνεπάγεται αισθητή μείωση των χρόνων ξήρανσης.

Η χρησιμοποίηση κυκλώματος ανακυκλοφορίας του αέρα και βοηθητικής πηγής θερμότητας έχει ως αποτέλεσμα κάτω από ορισμέ-

νες λειτουργικές συνθήκες την ελαχιστοποίηση των χρόνων ξήρανσης και της καταναλισκόμενης ενέργειας.

Η ελάττωση των χρόνων ξήρανσης αυξάνει τη δυναμικότητα παραγωγής των ξηραντήρων με συνέπεια τη σχετική μείωση του κόστους εγκατάστασης.

Η εκτίμηση του κόστους της προκατεργασίας και της ηλιακής εγκατάστασης σε βιομηχανική κλίμακα απομένει να εκτιμηθεί ώστε να διαπιστωθεί η οικονομικότητα ή μη της μεθόδου σε σύγκριση με ξηραντήρες συμβατικών καυσίμων.

Βιβλιογραφία


1. Εθνική Στατιστική Υπηρεία Ελλάδας, Στατιστικό Δελτίο για τα έτη μέχρι 1982, Αθήνα, 1983.
2. Έξαρχος Κ. και Α. Μωϋσίδης, 1965 "Επίδραση μεταβλητών τινών επί της ταχύτητος ξηράνσεως της σουλτανίνας και της ποσότητας του τελικού προϊόντος", Ινστιτούτο Τεχνολογίας Φυτικών Προϊόντων, Δελτίο No. 3, σελ. 43-64.
3. Radler, F., 1964 "The prevention of browning during drying by the cold dipping treatment of sultana grapes", I. Sci. Fd. Agric. 15, 864-868.
4. Pontin, J.D., et. al. 1970 "Temperature and dipping treatment effects on drying rates and drying times of grapes, prumes and other vaxy fruits", Fd. Techn., 24, 1043-1406 (85-88).
5. Grucurevic, M. et. al., 1971, "Browning of sultana grapes berries during drying", J. Sci. Fd. Agric., 22, 270-272.
6. Bolin, H.R. et. al., 1975, "Characteristics of mechanically havoested raisins produced by dehydration and by field drying", J. Fd.Sci., 40, 1036-1038.
7. Eissen, W. et. al. 1983, "Development of low cost solar grape dryers", Prac. of the International Symposium "Solar Drying and Rural Development",263-272,Bordeau (France).
8. Juarez, C. et.al. 1984, "A preliminary steaty on the effect of ethyl. aleate dipping breatment on drying rate of grain-corn", J.Fd.Sci., 49, 236-238.
9. Maroussis, M. et. al. 1984, "Drying of grapes in a cabinet solar dryer-Preliminary results", First Ec. Conference on Solar Heating, Amsterdam (Holland).

ΗΕΓ-33

ΤΙΤΛΟΣ ΕΙΣΗΓΗΣΗΣ:

# ΗΛΙΑΚΟΣ ΞΗΡΑΝΤΗΡΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΤΑΦΙΔΑΣ

ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ:
Ματθαίος Μαρούσης και Μιχάλης Τσαμπαρλής
Εργαστήριο Μηχανολογίας και Σχεδίων,
Φυσικό Τμήμα, Πανεπιστήμιο Αθηνών
Αθήνα 15771.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ:
Παρουσιάζεται ένας ηλιακός ξηραντήρας μαύρων σταφυλιών pilot μεγέθους, ο οποίος λειτούργησε κατά τα έτη 1983-84. Συζητείται η δομή και τα χαρακτηριστικά του κάθε μέρους του ξηραντήρα και σχολιάζονται τα αποτελέσματα των πειραμάτων.

ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ:
Ηλιακός Ξηραντήρας-Συλλέκτες αέρος-Σταφίδα-Pilot.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η βιομηχανική ξήρανση αγροτικών προϊόντων μπορεί να αποτελέσει μια σημαντική πηγή εξαγωγικού εμπορίου για την Ελλάδα. Ήδη ένα κύριο αγροτικό προϊόν είναι η ξανθειά σταφίδα και η μαύρη (Κορινθιακή) σταφίδα, οι οποίες φέρνουν στην χώρα μας χρήσιμο εξαγωγικό συνάλαγμα. Στην Εικόνα 1 απεικονίζετε η ετήσια παραγωγή σταφίδας κατά τα τελευταία είκοσι χρόνια καθώς και το αντίστοιχο συναλαγματικό όφελος, όπως προκύπτουν από τα στοιχεία της Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας (1). Από τα σχεδιαγράμματα αυτά φαίνεται ότι από μια μέση ετήσια παραγωγή 150.000 τόννων περίπου, 85.000 τόννοι (δηλαδή 57%) εξάγονται επιφέροντας στη χώρα μας 32.106 $US (τιμές $ τέλους 1984).

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται ένα πρότυπο ηλιακό ξηραντήριο σταφίδας το οποίο κατασκευάστηκε και λειτούργησε στο Φυσικό Τμήμα του Πανεπιστημίου Αθηνών κατά τα έτη 1983-1984.

## ΤΟ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ

Η σταφίδα είναι ένα από τα πολλά γεωργικά προϊόντα (πχ. καπνός, φρούτα κτλ.) που θα μπορούσαν, αφού ξηρανθούν κατάλληλα, να εξαχθούν στην παγκόσμια αγορά. Παρουσιάζει συνεπώς ενδιαφέρον η μελέτη της ξήρανσης τόσο από επιστημονική (δηλαδή εργαστηριακή) σκοπιά όσο και από την άποψη του σχεδιασμού ξηραντηρίων μεγάλης κλίμακας τα οποία θα μπορούσαν να υλοποιήσουν βιομηχανικά τα εργαστηριακά συμπεράσματα.

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται ένα πρότυπο ηλιακό ξηραντήριο σταφίδας το οποίο κατασκευάστηκε και λειτούργησε στο Φυσικό Τμήμα του Πανεπιστημίου Αθηνών κατά τα έτη 1983-1984. Στόχος της έρευνας αυτής ήταν:
α) Να χρησιμοποιηθούν ηλιακοί επίπεδοι συλλέκτες αέρα με μεγάλο λόγο κόστος απόδοση που είχαν ήδη σχεδιαστεί, κατασκευαστεί και βαθμονομηθεί σύμφωνα με πρότυπα της ΕΟΚ, στο πιο πάνω εργαστήριο.
β) Να τεθούν οι βάσεις για το μελλοντικό σχεδιασμό ενός ηλιακού ξηραντηρίου το οποίο θα απέδιδε προϊόν (σταφίδα) εξαιρετικής ποιότητας και εξασφαλισμένα, δηλαδή, χωρίς τούς γνωστούς κινδύνους απώλειας προϊόντος που υφίσταται η παραδοσιακή ξήρανση και οι διάφορες παραλλαγές της.

Η ερευνητική προσπάθεια στηρίχθηκε στα δεδομένα (εργαστηριακά και εμπειρικά που υπήρχαν για το προϊόν αυτό. Τα δεδομένα αυτά, σύμφωνα με όσα γνωρίζουμε, περιορίζονται, τουλάχιστον σε συστηματοποιημένη μορφή, στη ξανθή σταφίδα μόνον. Η μαύρη σταφίδα (currants) που μας απασχόλησε σε πρώτη φάση, μια και η ξήρανσή της είναι ευκολότερη - κύρια γιατί δεν απαιτεί προκατεργασία η οποία είναι ένα πολύπλοκο εργαστηριακό φαινόμενο από μόνο του - δεν φαίνεται να έχει μελετηθεί στην εγχώρια και διεθνή βιβλιογραφία. Γι΄ αυτό αναγκαστήκαμε πέρα από το καθαρά ηλιακό και μηχανολογικό μέρος να αρχίσουμε ένα εργαστηριακό ερευνητικό πρόγραμμα με θέμα τις ιδιότητες της μαύρης σταφίδας που ενδιαφέρουν στο σχεδιασμό και τη λειτουργία ενός ηλιακού ξηραντηρίου. Το πρόγραμμα αυτό βρίσκεται σε εξέλιξη.

Όσον αφορά την ξανθειά σταφίδα (σουλτανίνα) υπάρχουν εργαστηριακές μελέτες στην Ελληνική αλλά και στη διεθνή βιβλιογραφία. Από την διεθνή βιβλιογραφία αναφέρουμε τα **(2,3,4,5)** που έχουν να κάνουν με τις ισόθερμες απορρόφησης, το χρώμα και την επίδραση της εμβάπτισης (όσον αφορά τη θερμοκρασία, το διάλυμα και το χρόνο εμβάπτισης) στο τελικό προϊόν. Στον Ελληνικό χώρο εργαστηριακά πειράματα έγιναν κατά τα τελευταία χρόνια στο Εργαστήριο Φυσικών Διεργασιών στο ΕΜΠ και παλαιότερα στο Ινστιτούτο Τεχνολογίας Γεωργικών προϊόντων του Υπουργείου Γεωργίας στη Λυκόβρυση Αττικής. **(6,7)**

Ηλιακοί ξηραντήρες σταφίδας έχουν μελετηθεί, εκτός του Εργαστηρίου Μηχανολογίας και Σχεδίων του Πανεπιστημίου Αθηνών **(8)**, και από το Εργαστήριο Φυσικών Διεργασιών (σε μικρή κλίμακα μοντέλου μόνον) καθώς σε ένα διακρατικό πρόγραμμα Ελλάδας-Γερμανίας με συμμετοχή του Institute of Agriculture of the Hohenheim University of Stuttgard και του Κέντρου Αγροτικών Ερευνών στα Χανιά, Κρήτη. Στο δεύτερο πρόγραμμα ( **9** ) έ-

χουν μελετηθεί διάφοροι τύποι ηλιακών ξηραντηρίων σταφίδας οι οποίοι κύρια αποσκοπούν στη κατασκευή φθηνών ('φτιάχτο μόνος σου') ξηραντηρίων χρησιμοποιώντας τοπικά υλικά (πλαστικό PVC κτλ.).

Κανένα από τα προγράμματα δεν έχει καταλήξει σε ένα αποδοτικό και τελειωτικό ηλιακό ξηραντήριο σταφυλιών και φαίνεται ότι υπάρχουν σημεία στον μηχανολογικό σχεδιασμό που πρέπει να μελετηθούν σε βάθος και πάντοτε σε συνάρτηση με τα εργαστηριακά δεδομένα. Η μελέτη αυτή θα πρέπει να είναι τόσο θεωρητική όσο και πειραματική κύρια όσον αφορά τις κατανομές της θερμοκρασίας και το πεδίο ταχυτήτων του ξηρού ρεύματος αέρα μέσα στον ξηραντήρα.

## Ο ΗΛΙΑΚΟΣ ΞΗΡΑΝΤΗΡΑΣ

Ο ηλιακός ξηραντήρας αποτελείται από δύο βασικά μέρη (Εικόνα 2 ). Το θάλαμο ξήρανσης με τον κατάλληλο ανεμιστήρα αερισμού και το ηλιακό μέρος (θερμαντικό μέρος). Ο ρόλος του πρώτου είναι να δημιουργεί ελεγχόμενες συνθήκες στη διαδικασία της ξήρανσης του προϊόντος ενώ ο ρόλος του δεύτερου είναι να ανυψώσει την θερμοκρασία του ξηραίνοντος ρεύματος αέρα με σκοπό την επιτάχυνση του φαινομένου της ξήρανσης,κύρια στην δεύτερη φάση του, η οποία διέπεται από το φαινόμενο της διάχυσης του ύδατος μέσα στη μάζα του υλικού.

Ο θάλαμος ξήρανσης του ηλιακού ξηραντήρα που κατασκευάστηκε έχει διαστάσεις 1.06 m x 1.28 m x1.61 m δηλαδή καταλαμβάνει όγκο περίπου 2.2 $m^3$. Ο σκελετός του θαλάμου είναι στραντζαριστό σίδερο στο οποίο στηρίζονται τα πλαίσια-τοιχώματα με κατάλληλες βίδες και κατά τρόπο τέτοιο ώστε να αποφεύγονται οι θερμογέφυρες με το σκελετό. Τα τοιχώματα αποτελούνται από σάντουϊτς βαμμένου αλουμινίου πάχους 1 mm με 4 cm πάχους πολυουρεθάνης έτσι ώστε ο θάλαμος ξήρανσης να είναι καλά θερμικά μονωμένος. Το προς ξήρανση προϊόν (μαύρα σταφύλια) τοποθετείται σε συρτάρια βάθους περίπου 20 cm ώστε να είναι δυνατή η εναπόθεση πολλών στρωμάτων σταφυλιών (περίπου 100 Kg φρέσκου προϊόντος ανά συρτάρι).

Ρεύμα θερμού αέρα ενφυσάται στο θάλαμο ξήρανσης από έξη κυκλικά ανοίγματα στό πάτο του θαλάμου ξήρανσης. Ένα μέρος του ρεύματος αυτού επιστρέφει στον ανεμιστήρα και επανακυκλοφορεί (περίπου 50% στην πρώτη φάση της ξήρανσης) ενώ ένα κομμάτι φρέσκου αέρα απορροφάται μέσα από τους συλλέκτες όπου και θερμαίνεται πριν εισαχθεί στο θάλαμο ξήρανσης.

Τα χαρακτηριστικά του φυσιτήρα είναι 30.000 $m^3$ / h και 1500 Pascals(150 mm νερού). Για το δεδομένο ξηραντήριο ο ανεμιστήρας αυτός πρέπει να θεωρηθεί υπερβολικός κύρια γιατί οδηγεί σε μεγάλο κόστος λειτουργίας ανά κιλό ξηρού προϊόντος. Σε μελλοντικούς σχεδιασμούς του ξηραντήρα (1985) αυτό το γεγονός ελήφθει υπόψη με αποτέλεσμα να χρησιμοποιούνται ανεμιστήρες με κατανάλωση 2 KWatt έναντι των 13 Kwatt του πιο πάνω.

Στο θάλαμο ξήρανσης γίνονται οι ακόλουθες μετρήσεις:

α) Μέτρηση (μέσης) θερμοκρασίας επάνω και κάτω από κάθε συρτάρι. Το αισθητήριο για κάθε μέτρηση είναι ένα δίκτυο από θεμοζεύγη (16 το πλήθος) κατάλληλα τοποθετη-

μένα σε κάθε επίπεδο. Οι τάσεις των αισθητηρίων αθροίζονται και μετά διαιρούνται προκειμένου να παρθεί η μέση (αριθμητική) τιμή. Αποτέλεσμα των μετρήσεων αυτών είναι το προφίλ της θερμοκρασίας κατακόρυφα μέσα στο θάλαμο ξήρανσης. Η χρήση του προφίλ αυτού είναι ότι δίνει μια εκτίμηση για την ομοιογένεια των άλλων δύο παραμέτρων, υγρασία και ταχύτητα ρεύματος ξηρού αέρα, στο θαλαμο ξήρανσης.

β) Μέτρηση θερμοκρασίας υγρού και ξηρού θερμομέτρου στην έξοδο του ξηραντήρα. Η μέτρηση αυτή πραγματοποιείται πάλι με θερμοζεύγη κατά τον κλασσικό τρόπο. Σκοπό έχει την εκτίμηση της υγρασίας στο ξηραντήρα σε σύγκριση με την αντίστοιχη υγρασία του περιβάλλοντος αέρα.

γ) Στο κάθε συρτάρι ξήρανσης υπήρχαν 5 δείκτες μαζών τοποθετημένοι κατά κανονικό τρόπο έτσι ώστε να καλύπτουν όλη την επιφάνεια του συρταριού. Στους δείκτες αυτούς τοποθετείται μια αρχική ποσότητα φρέσκου προϊόντος και αριθμούνται. Κατά την διάρκεια της ξήρανσης και ανά τακτά χρονικά διαστήματα (συνήθως 6 ή 8 ώρες) οι δείκτες αυτοί ζυγίζονται, με διακοπή της λειτουργίας του ξηραντηρίου, και μετά επανατοποθετούνται στη θέση τους. Σκοπός της μέτρησης αυτής είναι η χάραξη της καμπύλης ξήρανσης για κάθε συρτάρι καθώς και η εκτίμηση της ομοιογένειας, ή μή, της ξήρανσης στο κάθε συρτάρι και κατά συνέπεια στο ξηραντήριο.

Εξετάζουμε τώρα το θερμαντικό μέρος.

Το μέρος αυτό του ξηραντηρίου, όπως ήδη αναφέραμε, αποτελείται από 6 επίπεδους συλλέκτες αέρα συνδεδεμένους κατά το μικτό τρόπο ώστε να επιφέρουν μεγαλύτερη αύξηση θερμοκρασίας. Οι συλλέκτες αυτοί είναι δύο τύπων (Τύποι Α και Β) και χαρακτηρίζονται από υψηλό λόγο κόστος/απόδοση. Η καμπύλη της στιγμιαίας απόδοσης των συλλεκτών αυτών έγινε μέ μια πρότυπη σύραγγα βαθμονόμησης συλλεκτών αέρα η οποία κατασκευάστηκε στο Εργαστήριο Μηχανολογίας και Σχεδίων του Φυσικού Τμήματος του Πανεπιστημίου Αθηνών στα πλαίσια ενός Κοινοτικού προγράμματος έρευνας. Στο πρώτο τύπο συλλεκτών (τύπος Α) ο απορροφητής αποτελείται από επίπεδο φύλλο αλουμινίου ενωμένο με διαμορφωμένο τραπεζοειδές αλουμίνιο ώστε να σχηματίζει αγωγούς ροής αέρα. Η πλάτη του συλλέκτη είναι μονωμένη με 3 cm διογκωμένη πολυουρεθάνη φέρει δεστο οπτικό του παράθυρο ένα κοινό τζάμι.

Ο άλλος τύπος συλλεκτών (τύπος Β) αποτελείται από μια κλειστή κασσέτα πάχους περίπου 3 cm η οποία περιέχει, σημειακά ηλεκτροσυγκολλημένα, σπειροειδή ελατήρια κοινού σύρματος διαμορφωμένα στον τόρνο, για τη δημιουργία στροβίλων. Η μια πλευρά της κασσέττας έχει βαφτεί μαύρη και αποτελεί την απορροφητική επιφάνεια. Η όλη κασσέττα είναι τοποθετημένη σε κατάλληλο πλαίσιο και φέρει στην μεν πλάτη 3 cm μόνωση υαλοβάμβακα και πολυουρεθάνη στο δε οπτικό παράθυρο του συλλέκτη κοινό τζάμι πάχους 3 mm. Οι καμπύλες της στιγμιαίας απόδοσης των δύο συλλεκτών φαίνονται στην Εικόνα 3. Παρατηρούμε ότι οι συλλέκτες τύπου Β είναι σαφώς ενεργειακά καλύτεροι (φυσικά πιο ακριβοί) από τους συλλέκτες τύπου Α.

Παρ' όλο που είχαν τοποθετηθεί στον ξηραντήρα ηλεκτρικές αντιστάσεις 2 Kwatt εθεωρήθηκε σκόπιμο να

μην χρησιμοποιηθούν.

Οι μετρήσεις που γίνονται στο θερμαντικό μέρος είναι:

α) Ολική ηλιακή ακτινοβολία
β) Θερμοκρασία περιβάλλοντος
γ) Θερμοκρασία εξόδου αέρα από τους συλλέκτες
δ) Τελική συνολική παροχή αέρα στο θάλαμο ξήρανσης από τη συστοιχία των συλλεκτων
ε) Εκτίμηση του ανέμου.

Οι μετρήσεις αυτές είναι απαραίτητες προκειμένου να σχεδιαστεί το ενεργιακό διάγραμμα του ξηραντηρίου. Η σύνδεση του θερμαντικού μέρους με το θάλαμο ξήρανσης φαίνεται στην Εικόνα 2.

## ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ

Το (δεύτερο) πείραμα έγινε μεταξύ 20 και 30 Αυγούστου 1984 στο Πανεπιστήμιο Αθηνών με σταφύλια από την περιοχή της Νεμέας (Κορινθία). Τοποθετήθηκαν χωρίς καμμία επεξεργασία (βούτηγμα, ράντισμα) στα ράφια ξήρανσης με μέση πυκνότητα δύο στρωμάτων σταφυλιών πάχους 8-10 cm. Αυτή η φόρτωση έδωσε περίπου 50 Kg φρέσκου προϊόντος ανά ράφι. Τα ράφια τοποθετήθηκαν στο θάλαμο ξήρανσης και παρέμειναν μέχρις ότου η ξήρανση ολοκληρώθηκε (δηλαδή μέχρι η υγρασία του προϊόντος να ελαττωθεί περίπου στο 15% υγρή βάση). Κατά τη διάρκεια του πειράματος, μετριώνταν οι διάφορες παράμετροι που αναφέραμε τα δε αποτελέσματα φαίνονται στις Εικόνες 4 και 5.

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις πειραματικές μετρήσεις είναι:

α) Η μέση θερμοκρασία λειτουργίας στο θάλαμο ξήρανσης ήταν μεταξύ 30°C και 34°C ή 10°C πάνω από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος (Εικόνα 4). Η θερμοκρασία αυτή πρέπει να θεωρηθεί χαμηλή μια και το εργαστηριακό πείραμα έδειξε ότι για ταχύτερη ξήρανση πρέπει η θερμοκρασία ξήρανσης να είναι μεταξύ 50°C και 55°C. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να χρησιμοποιηθούν καλύτεροι και περισσότεροι συλλέκτες, ενώ οι τύποι των συλλεκτών που χρησιμοποιήθηκαν, για τις μεγάλες παροχές που δούλευαν, μπορούν να χρησιμοποιηθούν βασικά μόνο για προθέρμανση. Επίσης λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών δεν μπόρεσε να καταδειχθεί στο πείραμα αυτό η θερμική επίδραση του σχεδιασμού του θαλάμου ξήρανσης. Αυτό θα γίνει σε μελλοντικά πειράματα.

β) Στην Εικόνα 5 φαίνεται η ολική ηλιακή ακτινοβολία στους συλλέκτες και η μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος κατά τη διάρκεια της περιόδου ξήρανσης. Όπως είναι φανερό από τις καμπύλες, ενώ οι πρώτες μέρες της ξήρανσης είχαν υψηλή ηλιοφάνεια οι επόμενες ήταν συννεφιασμένες με αποτέλεσμα να επιτυγχάνονται χαμηλές θερμοκρασίες λειτουργίας του θαλάμου ξήρανσης.

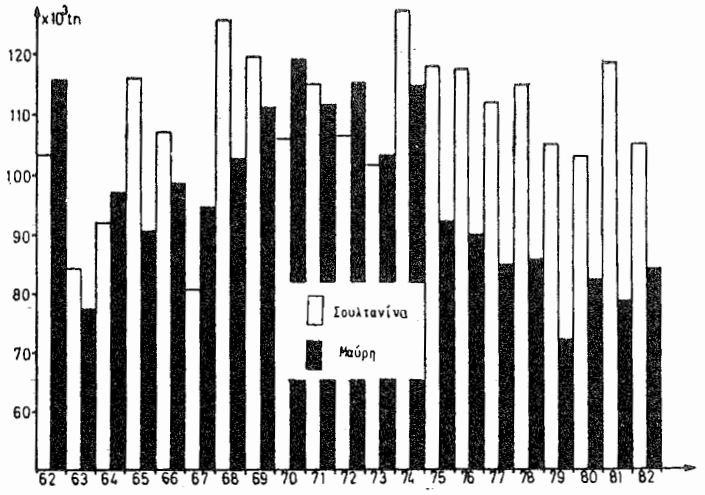
γ). Στην Εικόνα 6 φαίνονται οι καμπύλες ξήρανσης για το πρώτο και για το τελευταίο συρτάρι. Οι καμπύλες ουσιαστικά συμπίπτουν το οποίο σημαίνει ότι υπάρχει ομοιογένεια όσον αφορά τη ταχύτητα ξήρανσης μεταξύ των συρταριών ή ισοδύναμα, ότι υπάρχει επαρκής αερισμός του ξηρανόμενου προϊόντος.

Η περίοδος ξήρανσης είναι περίπου 10 ημέρες (διακοπτώμενης ξήρανσης) η οποία θεωρείται πολύ μακρυά από το στόχο του προγράμματος (5 ημέρες διακοπτώμενης ξήρανσης ή 40 ώρες συνεχούς λειτουργίας).

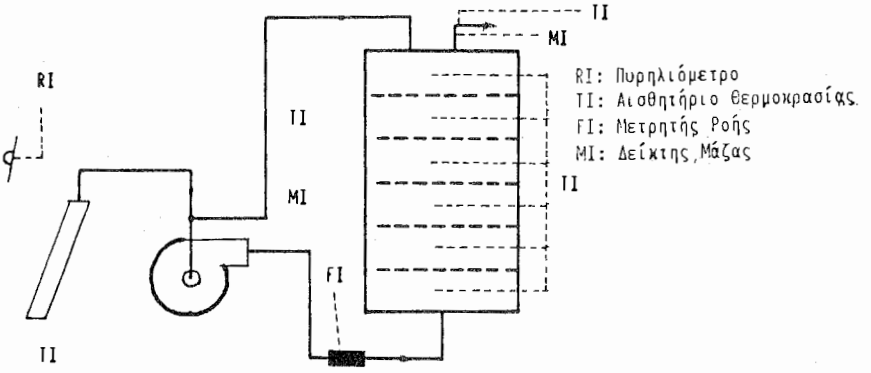
Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε ότι το προτεινόμενο ηλιακό ξηραντήριο λειτούργησε ικανοποιητικά παρ' όλο που δεν ικανοποίησε πλήρως τους στόχους του προγράμματος. Θα πρέπει όμως να σημειωθεί ότι ο κύριος λόγος γι' αυτό ήταν τα σχετικά ισχνά διαθέσιμα οικονομικά μέσα που δεν επέτρεψαν την κατασκευή περισσότερων συλλεκτών. Αυτό το πρόβλημα όμως έχει λυθεί και ήδη κατασκευάζεται ένα μεγαλύτερο ξηραντήριο με περισσότερους και βελτιωμένους συλλέκτες καθώς και με συλλέκτες κενού οι οποίοι επιτυγχάνουν μεγάλες θερμοκρασίες και θα χρησιμοποιηθούν προκειμένου να ανεβάσουν την θερμοκρασία λειτουργίας του θαλάμου ξήρανσης στα απαιτούμενα επίπεδα. Το πείραμα θα επαναλειφθεί με το νέο ξηραντήριο και τα αποτελέσματα που θα προκύψουν θα ανακοινωθούν σε μια προσεχή ανακοίνωση.

**ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

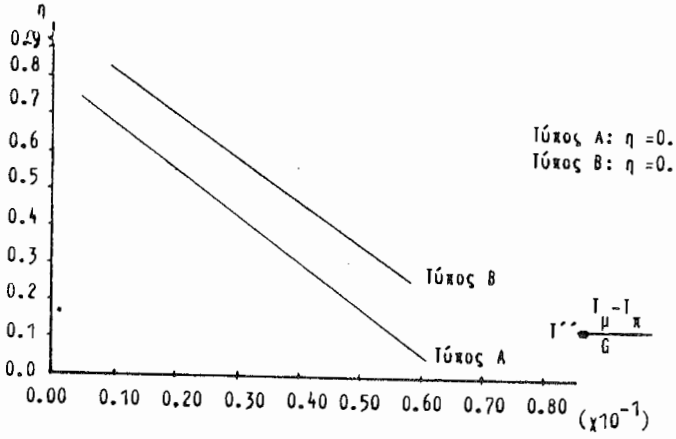
1. Αγροτική Στατιστική Υπουργείο Γεωργίας, Τμήμα Στατιστικής Υπηρεσίας, Αθήνα (1982).
2. Bolin, H.R. "Relation of moisture to water activity in prunes and raisins" J. Food Sci. **45** (1980), 1190.
3. Pixton, S.W. and Warburton, S. "Determination of moisture content and equilibrium relative humidity in dried fruit-sultanas" J. Stored Prod. Res. **8** (1972), 263.
4. Pointing J. D. and Mc Bean D.M. "Temperature and dipping treatment effect on drying rates and drying times of grapes, prunes and other waxy fruits" Food Techn. **24** (1970).
5. Radler F. "The prevention of browning during drying by the cold dipping treatment of sultana grapes" J. Sci. Fd. Agric. **15** (1964).
6. Μωυσίδης Α. Περιγραφή μιας απλουστέρας και ταχυτέρας μεθόδου προσδιορισμού της εργασίας εις την σουλτανίναν Χημικά Χρονικά **22** (1957), 143.
7. Μωυσίδης Α. Προσδιορισμός του εξωτερικού χρώματος ξερής σουλτανίνας Γεωργική Έρευνα **6** (1982), 269-280.
8. Marousis M., Tsamparlis M., Raouzeos G. "Drying of grapes in a cabinet solar dryer: Preliminary results" First EEC Conference on Solar Energy, Amsterdam May 1984, 769-773.
9. Eissen W. "Trocknung von Trauben mit Solarenergie" PhD Thesis, Institure fur Agratecknik der Universität Hohenheim (1983).



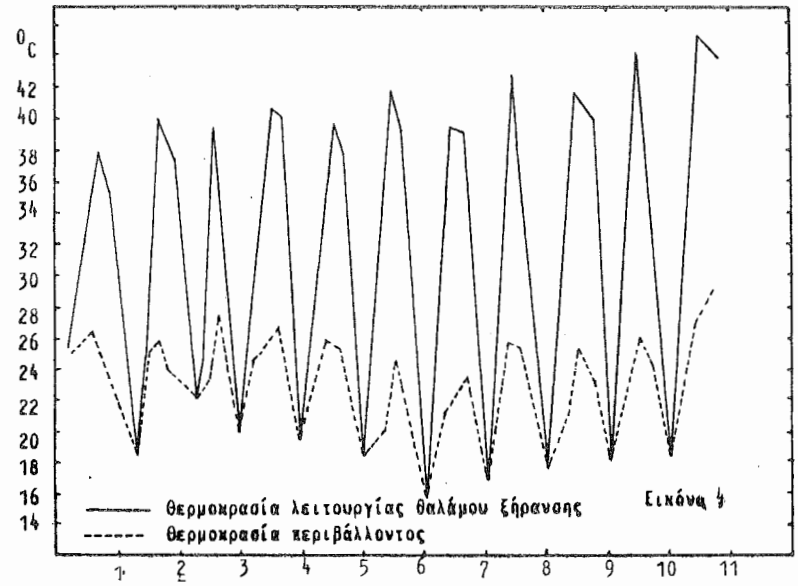

Εικόνα 1



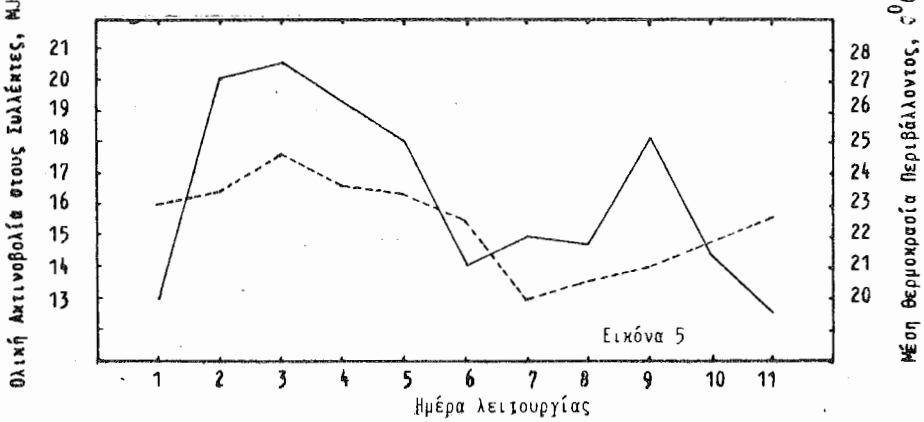

Εικόνα 2



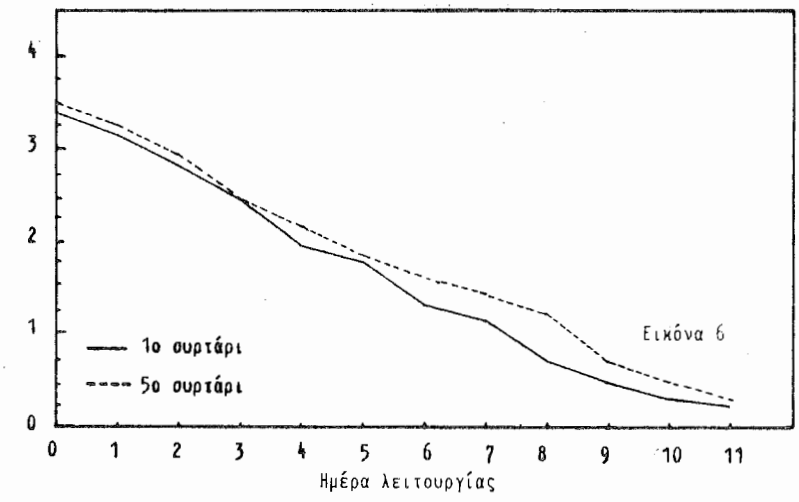

Εικόνα 3




Εικόνα 4




Εικόνα 5




Εικόνα 6

ΗΕΓ-41

ΤΙΤΛΟΣ ΕΙΣΗΓΗΣΗΣ:

# ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΛΑΤΙΟΥ ΚΑΙ ΝΕΡΟΥ ΜΕ ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

ΣΥΓΓΡΑΦΕΑΣ:

ΔΙΟΜΗΔΗΣ Α. ΤΣΙΤΣΗΣ
Τεχνικός Σύμβουλος στην Εταιρεία Μελετών
FRANK E. BASIL, INC.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ:

Ο στόχος της παρούσης εισήγησης αφορά την συνδυασμένη παραγωγή αλατιού και νερού με τη βοήθεια της ηλιακής και αιολικής ενέργειας.

Ως φορέας της απόσταξης χρησιμοποιείται ο ατμοσφαιρικός αέρας, ο οποίος θερμαίνεται με ηλιακή ενέργεια, παρασύρει εν συνεχεία τους υδρατμούς από τον ηλιακό αποστακτήρα και τους συμπυκνώνει σε ξεχωριστό υδρόψυκτο συμπυκνωτήρα με κυκλωνικού τύπου διαχωριστήρα αέρα. Το παραγόμενο αλάτι που βρίσκεται στον πυθμένα του αποστακτήρα απάγεται με σύστημα κενού.

Η εγκατάσταση αποτελείται από αντλιοστάσιο θαλασσινού νερού, υδατόπυργο θαλασσινού νερού, ηλιακούς αποστακτήρες-συμπυκνωτήρες (MODULES), δεξαμενή απεσταγμένου νερού,αντλίες θαλασσινού και απεσταγμένου νερού,σύστημα κενού και διακίνησης αλατιού, ανεμογεννήτρια, φωτοβολταϊκή γεννήτρια και ηλεκτρικούς συσσωρευτές για την ηλεκτροκίνηση των ατλιών νερού και κενού.

Όλη η εγκατάσταση σχεδιάζεται να είναι αυτοδύναμη και μπορεί να ειπωθεί ότι είναι πολύ πιό αποδοτική από τις παραδοσιακές αλυκές με επί πλέον κέρδος την ταυτόχρονη παραγωγή πόσιμου νερού.

Η παρούσα εργασία βρίσκεται στο προκαταρτικό στάδιο θεωρητικής μελέτης και σχεδιασμού, ως και μελέτης σκοπιμότητας.

ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ:

ΗΛΙΑΚΗ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ - ΑΛΥΚΕΣ - ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΛΑΤΙΟΥ ΚΑΙ ΝΕΡΟΥ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ:

Το χλωριούχο νάτριο (NaCl), το γνωστό μας αλάτι είναι ένα προϊόν μεγίστης σημασίας τόσο για την διατροφή ανθρώπων και ζώων όσο και ως πρώτη ύλη για την παραγωγή πολλών χημικών προϊόντων όπως, σόδα, χλωριούχο άσβέστιο, θειϊκό νάτριο, υδροχλώριο, χλωρίνη και άλλα. Το θαλασσινό νερό περιέχει περίπου 35.000 ppm διαλελυμένων αλάτων από τα οποία το περισσότερο είναι NaCl. Η πλέον συνηθισμένη μέθοδος παραγωγής αλατιού είναι η απόσταξη θαλασσινού νερού. Στην Ελλάδα και σε άλλες χώρες που περιβρέχονται απο θάλασσα, η συνηθισμένη μέθοδος είναι οι αλυκές, όπου το νερό εξατμίζεται με την ηλιακή ενέργεια αφήνοντας στο πυθμένα το αλάτι. Η μέθοδος αυτή απαιτεί μεγάλες εκτάσεις γης και είναι πολύ

βραδεία. Θεωρώντας μία μέση συμπύκνωση αλατιού 35.000 ppm στο θαλασσινό νερό, με πυκνότητα στούς 20°C 1024,3 Kg/m$^3$, υπολογίζεται ότι από 1 m$^3$ θαλασσινού νερού μπορούμε να πάρουμε 35,85 Kg αλατιού και 988,45 Kg απεσταγμένου νερού ή 3,5% αλατιού και 96,5% απεσταγμένο νερό κατ'όγκον, δηλαδή για παραγωγή π.χ. 1 τόννου αλατιού απαιτείται εξάτμιση 27,6 τόννων νερού, το οποίο στην περίπτωση των συνήθων αλυκών πάει χαμένο.

Με την προτεινόμενη μέθοδο η οποία είναι τροποποίηση και βελτίωση της Ελληνικής εφεύρεσης αρ. 66725
"Πλωτός αυτοδύναμος ηλιακός αποστακτήρ" (1)
μπορούμε ταυτόχρονα να παράγουμε αλάτι και νερό πολύ πιό αποδοτικά από τις συνήθεις αλυκές.

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ:

Η προτεινόμενη εγκατάσταση Σχ. 1 συνίσταται από ένα ή περισσότερα στοιχεία (MODULES),όπως φαίνεται στο Σχ. 2 "Προτεινόμενη Συσκευή Απόσταξης", αποτελούμενο έκαστο από:

- 'Ενα ηλιακό θερμαντήρα αέρα και εξατμιστήρα νερού, (γυάλινο κώνο ή πυραμίδα).
- 'Εναν υδρόψυκτο συμπυκνωτήρα συνδεδεμένο με αεραγωγό στη κορυφή της πυραμίδας.

Τα στοιχεία (MODULES)θα είναι τοποθετημένα το ένα πλησίον του άλλου ώστε να αποτελούν συγκρότημα. Η εγκατάσταση θα είναι εφοδιασμένη με έναν υδατόπυργο θαλασσινού νερού για τη τροφοδότηση των ηλιακών εξατμιστήρων, με μιά δεξαμενή του απεσταγμένου νερού, με μιά ανεμογεννήτρια, μιά φωτοβολταϊκή γεννήτρια και ηλεκτρικούς συσσωρευτές για την κίνηση των αντλιών θαλασσινού νερού, απεσταγμένου νερού και συστήματος κενού για την διακίνηση της άλμης ή αλατιού.

Το θαλασσινό νερό από τον υδατόπυργο αποθήκευσης διοχετεύεται διά βαρύτητος μέσω του υδρόψυκτου συμπυκνωτήρα σε ένα απλό υδροστόβιλο αντιδράσεως ('Ηρωνος), μέσα στον ηλιακό εξατμιστήρα που ταυτόχρονα κινεί ανεμιστήρα απαγωγής του υγρανθέντος αέρα προς τον οριζόντιο υδρόψυκτο συμπυκνωτήρα όπου συμπυκνώνεται σε απεσταγμένο νερό, αφού διαχωρισθεί στον κυκλωνικό διαχωριστήρα αέρα. Στήν έξοδο του αέρα υπάρχει ένα περιστρεπτό ακροφύσιο αέρα για να ενισχύει τον ελκυσμό με τη βοήθεια του ανέμου. Ο αέρας κατά την είσοδό του στον εξατμιστήρα προθερμαίνεται μέσω ηλιακού θερμαντήρα αέρα.

ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ:

Η θεωρία της ταυτόχρονης μεταφοράς μάζης καθ θερμότητας, όπως και η ψυχρομετρική ανάλυση μαζύ με εμπειρικές εξισώσεις εξάτμισης, χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του εξατμιστήρα και συμπυκνωτήρα. Η σχηματική εξομοίωση της διεργασίας φαίνεται στο Σχ. 3 και η ψυχρομετρική θεώρησή της φαίνεται στο Σχ. 4. Λόγω

του περιορισμένου χώρου της εισήγησης δεν παρατίθενται εξισώσεις και υπολογισμοί. Ένα πρόγραμμα ηλεκτρονικού υπολογιστού απαιτείται για να καλυψει την ετήσια λειτουργία (παραγωγή) μιάς εγκατάστασης.

Βασικοί παράμετροι υπολογισμού είναι: 1) Θερμοκρασία εισόδου αέρα, ξηρού βολβού 2) Θερμοκρασία εισόδου αέρα υγρού βολβού ή σχετική υγρασία 3) Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας 4) Θερμοκρασία εισόδου νερού (θάλασσας) 5) Ταχύτητα ανέμου.

ΠΡΟΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ:

Βάσει του διαγράμματος εξάτμισης του νερού Σχ. 5 και του ψυχρομετρικού διαγράμματος αέρα καταλήγουμε στα εξής πρσκαταρτικά αποτελέσματα:

1° Για μιά αύξηση της ταχύτητας αέρα από 0,1 m/s σε 10 m/s επιτυγχάνεται αύξηση της εξάτμισης περίπου 10 φορές.

2° Για μιά αύξηση της θερμοκρασίας του νερού κατά 10°C επιτυγχάνεται αύξηση εξάτμισης κατά 2 φορές περίπου.

3° Για μιά ταυτόχρονη αύξηση της ταχύτητας του αέρα από 0,1 m/s σέ 10 m/s και μιά αύξηση της θερμοκρασίας του νερού κατά 10°C έχουμε αύξηση εξάτμισης κατά 20 φορές.

4° Για μιά αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα κατά 30°C (με θερμοκρασία νερού 50°C) έχουμε αύξηση εξάτμισης κατά 5,27 φορές.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την περιγραφή και τις προηγούμενες προεκτιμήσεις προκύπτουν τα παρακάτω πλεονεκτήματα της προτεινόμενης εγκατάστασης σε σύγκριση με τις παραδοσιακές αλυκές:

1° Ο συνδυασμός αύξησης της θερμοκρασίας του αέρα, του νερού και της ταχύτητας του αέρα, μαζύ με τον καταιωνισμό του νερού έχει ως αποτέλεσμα την σημαντική αύξηση εξάτμισης (20 φορές περίπου).

2° Μπορεί να συνεχίσει την λειτουργία του (μειωμένη) και το βράδυ ή και με βροχή, χωρίς προθέρμανση αέρα, αλλά με ελκυσμό που προέρχεται από τον άνεμο και τον ανεμιστήρα-υδροστρόβιλο.

3° Είναι αυτοδύναμη εγκατάσταση.

4° Μπορεί να κατασκευασθεί εύκολα σε διάφορα μεγέθη. Η τυποποίηση του στοιχείου εξάτμισης-συμπύκνωσης (MODULE) μειώνει το κόστος της εγκατάστασης.

5° Η παραγωγή αλατιού ανά $m^2$ είναι πολλές φορές μεγαλύτερη (20 φορές περίπου) των παραδοσιακών αλυκών.

6° Το κόστος παραγωγής αλατιού προβλέπεται μικρότερο διότι με την ίδια εγκατάσταση παράγονται δύο προϊόντα, αλάτι και νερό.

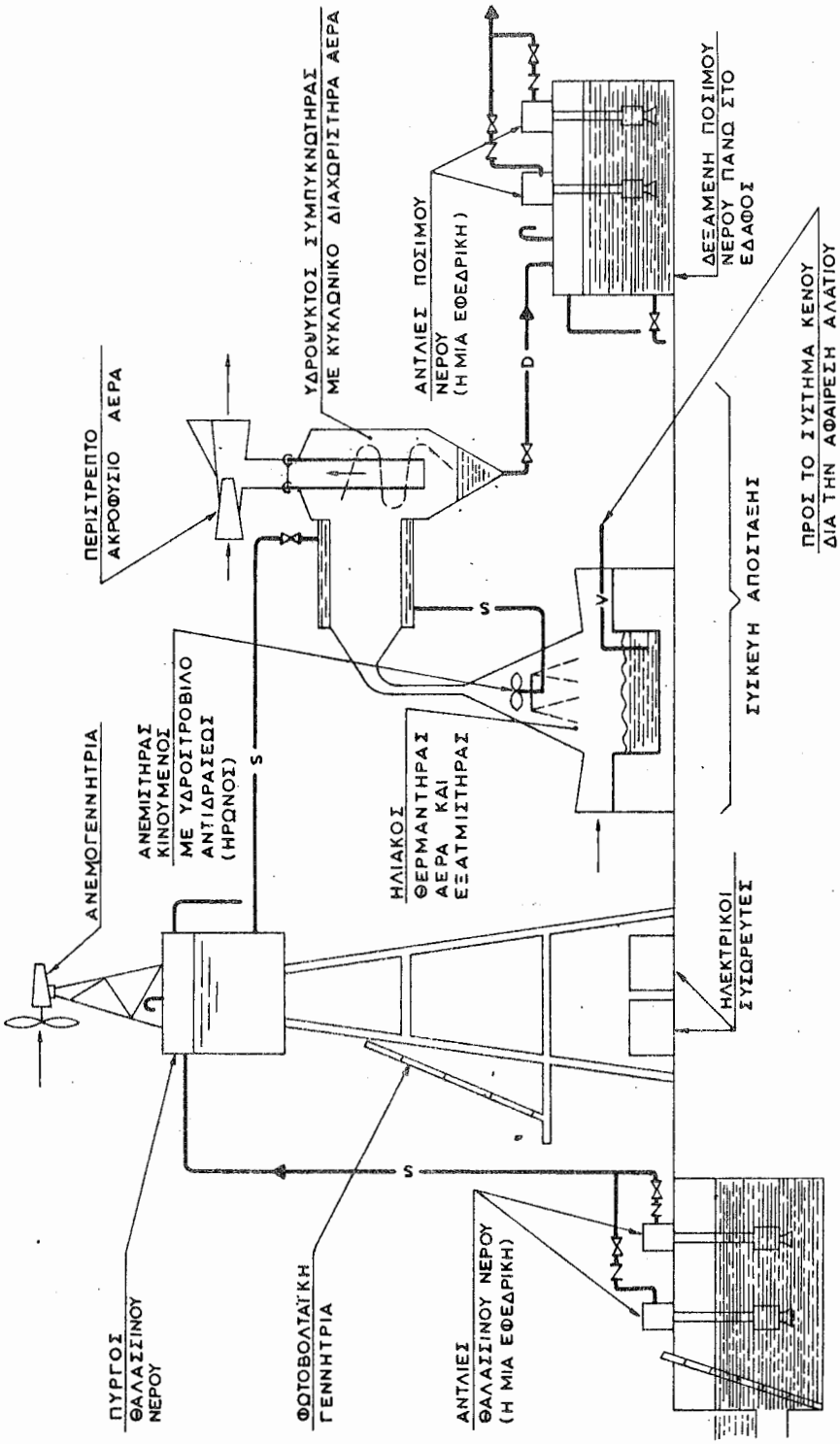
7° Η προτεινόμενη εγκατάσταση μπορεί να χρησιμοποιηθεί τροποποιημένη, με αερόψυκτο συμπυκνωτήρα (2) ως δεύτερη βαθμίδα εξάτμισης άλμης ή λυμμάτων ή μολυσμένων νερών.

Μία πειραματική εγκατάσταση κρίνεται σκόπιμη για τον πραγματικό καθορισμό της παραγωγής και βελτιστοποίηση των αποτελεσμάτων.

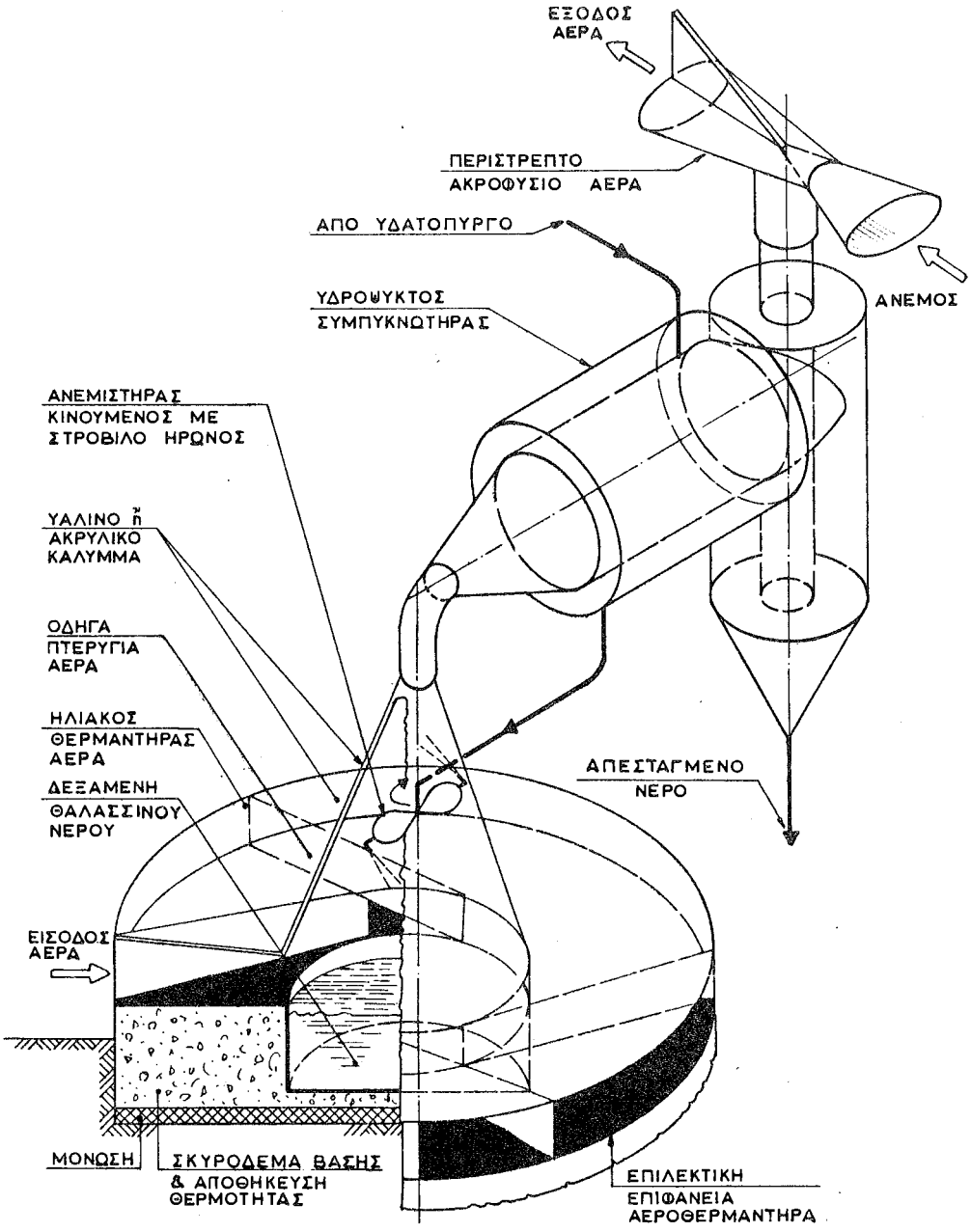
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:

1. Δ. Α. Τσίτση: 1982 Πλωτός αυτοδύναμος ηλιακός αποστακτήρ ΗΕΧ-249 Α'Εθνικό Συνέδριο: Ήπιες μορφές ενέργειας, Τόμος Α.

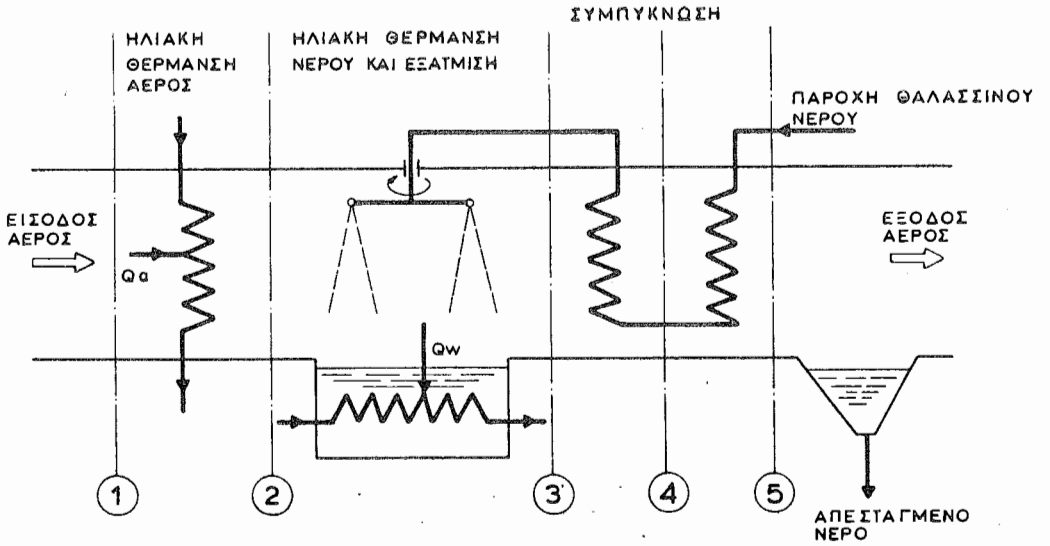
2. D. A. Tsitsis: 1984 Contribution to the simultaneous production of fresh water and salt, page 764, First E.C.Conference on Solar Heating.




ΣΧ. 1 ΣΧΗΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ




ΣΧ.2 Η ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΣΥΣΚΕΥΗ ΑΠΟΣΤΑΞΗΣ

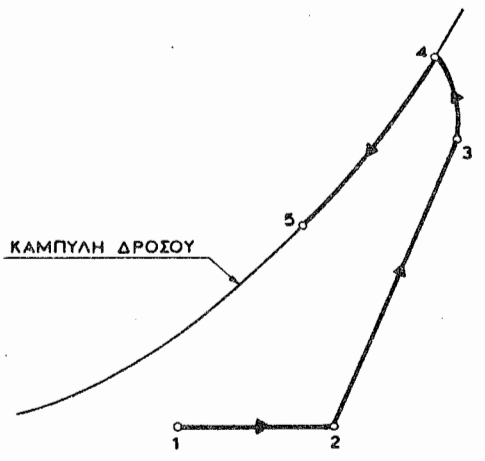



Qa = ΗΛΙΑΚΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΑΕΡΟΣ

Qw = ΗΛΙΑΚΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΕΞΑΤΜΙΣΗ

Qc = ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ

ΣΧ.3 ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΕΞΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ



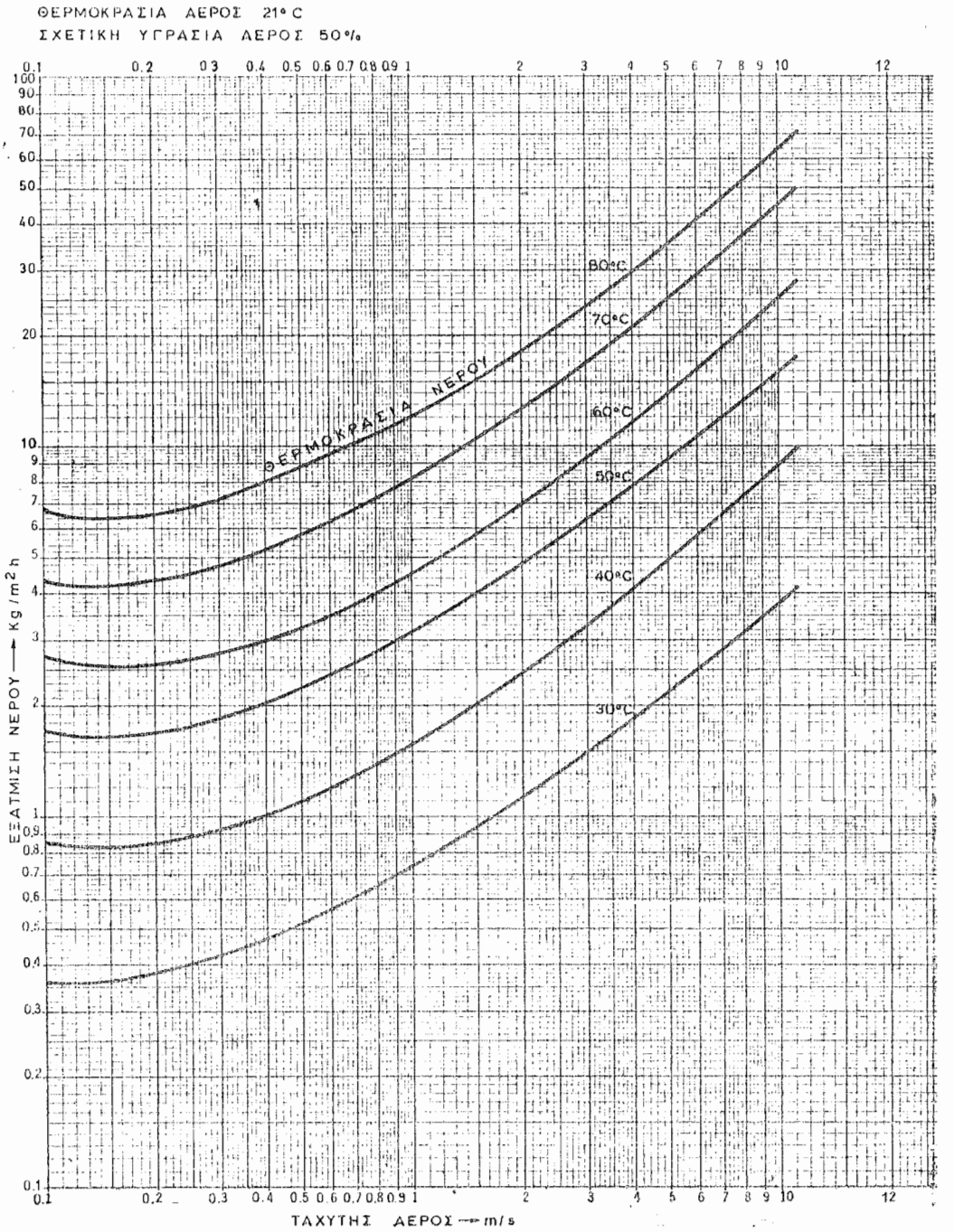

1-2 ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΑΕΡΟΣ

2-3 ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΝΕΡΟΥ & ΕΞΑΤΜΙΣΗ

3-4 ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ

4-5 ΥΠΟΨΥΞΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΜΑΤΟΣ

ΣΧ.4 ΨΥΧΡΟΜΕΤΡΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ




ΣΧ. 5 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΞΑΤΜΙΣΗΣ ΝΕΡΟΥ

ΑΙΟ-1

# ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΣΕ ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ

Α. Παπακωνσταντίνου, Μεταπτυχιακός Σπουδαστής

Γ. Μπεργελές, Αναπληρωτής Καθηγητής

Ν. Αθανασιάδης, Καθηγητής

Εργαστήριο Αεροδυναμικής Ε.Μ.Π.
Πατησίων 42 - 106 82 ΑΘΗΝΑ

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η αλληλεπίδραση του ομορρου ανεμογεννητριών σε μια συστοιχία έχει γίνει αντικείμενο μελετών που αναφέρονται στον καθορισμό της ισχύος εξόδου της συστοιχίας, στις διάφορες διατάξεις των ανεμογεννητριών στη συστοιχία καιστην απόδοση για διάφορες διευθύνσεις ανέμου και μεγέθη ανεμοκινητήρων.

Στην παρούσα μελέτη έγινε οπτική παρατήρηση της ροής και μετρήσεις της διανομής ταχυτήτων στο κατακόρυφο και στο οριζόντιο επίπεδο που διέρχονται από τον άξονα ανεμοκινητήρων οριζοντίου τύπου (D=H=10 m) ενός προτύπου συστοιχίας 31 ανεμοκινητήρων, σε τριγωνική διάταξη και σε κλίμακα 1:200. Η μελέτη δείχνει ότι στο κατακόρυφο επίπεδο η επιβράδυνση της ροής λόγω της ύπαρξης των ανεμογεννητριών περιορίζεται σε σχετικά μικρά ύψη στις πρώτες σειρές ανεμογεννητριών, ενώ αυξάνει σημαντικά στις κατάντη αποστάσεις. Παρατηρώντας τις μεταβολές ταχύτητας στο οριζόντιο επίπεδο και σε τομές κάθετες στη διεύθυνση του ανέμου, συμπεραίνεται ότι ο ομόρρους μιας ανεμογεννήτριας τέμνει τον ομόρου της ανεμογεννήτριας της διπλανής στήλης σε απόσταση της τάξης των 10D κατάντι, με μέση πτώση ταχύτητας μεταξύ εισόδου-εξόδου στη συστοιχία περίπου 65%.

ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ: Ανεμογεννήτριες, Ομορρους, Αιολικό Πάρκο, Ενέργεια.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην παρούσα εργασία γίνεται πειραματική μελέτη σε ομοίωμα, της αλληλεπίδρασης του ομορρου ανεμοκινητήρων σε συστοιχία. Σκοπός της μελέτης είναι η κατανόηση των φαινομένων της ανάπτυξης του ομόρρου και η επίδραση του στην ενεργειακή απόδοση ανεμογεννητριών που βρίσκονται μέσα σ' αυτόν. Γίνεται χρήση μεθόδων οπτικής παρακολούθησης της ροής καθώς και ποσοτικών μετρητικών τεχνικών· τα αποτελέσματα οδηγούν στη θέσπιση κανόνων διάταξης ανεμογεννητριών σε αιολικό πάρκο για τη μεγιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσής του.

Παπακωνσταντίνου, Μπεργελές, Αθανασιάδης
2ο Εθνικό Συνέδριο "Ήπιες Μορφές Ενέργειας"
Θεσσαλονίκη 6-8 Νοεμβρίου 1985

## ΕΙΣΗΓΗΣΗ

Σχετικά με την αλληλεπίδραση του ομορρου ανεμογεννητριών σε μια συστοιχία και τη βέλτιστη διάταξη τους σ' αυτήν έχουν γίνει διάφορες μελέτες, με πρωταρχικό σκοπό τον καθορισμό της ισχύος εξόδου της συστοιχίας ως συνάρτηση της διάταξης των μηχανών και του μεγέθους της συστοιχίας.

Η μεθοδολογία που ακολουθείται στις μελέτες αυτές ποικίλει, αλλά οι περισσότερες ασχολούνται με επαλήθευση υποθέσεων σε πειραματικά ομοιώματα με θεωρητικές εκτιμήσεις της εξόδου από συστοιχίες. Έτσι, οι δοκιμές που έγιναν από τον Builtjes(3) με συστοιχία 37 μοντέλων σε τετραγωνική διάταξη με αποστάσεις 7,1 D έδωσαν απόδοση της συστοιχίας 0.58 για προσπίπτοντα άνεμο κάθετο στις σειρές των ανεμογεννητριών και 0.93 για άνεμο υπό $15^0$ γωνία. Οι δοκιμές που έγιναν στα C.E.R.L. (4),(5) έδωσαν απόδοση 0.65 και 0.82 αντίστοιχα. Στην εργασία αυτή εξετάζεται πειραματικά η αλληλεπίδραση του όμορρου Ανεμογεννητριών σε κατάλληλη διάταξη Αιολικού πάρκου.

## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ

Η εργασία αυτή έγινε στην αεροσήραγγα του εργαστηρίου αεροδυναμικής του Ε.Μ.Π.. Χρησιμοποιήθηκε το τμήμα δοκιμών (Β) της αεροσήραγγας, με διατομή ορθογώνιο διαστάσεων 3,5 x 2,5 $m^2$ και μήκος 12 m. Το ομοίωμα καθώς και η διαδικασία των μετρήσεων περιγράφονται στη συνέχεια:

### 1. Το ομοίωμα - Η διάταξη

Για τη μελέτη αυτή χρησιμοποιήθηκε ομοίωμα συστοιχίας 31 ανεμογεννητριών σε επίπεδη έκταση, σε κλίμακα 1:200. Υποτέθηκε μηχανές οριζοντίου άξονα, διαμέτρου D = 10 m και ύψους πύργου H = 10 m (φυσικό μέγεθος), οι οποίες προσομοιώθηκαν απόμοιώματα με διάμετρο δρομέα D = 50 mm και ύψος άξονα H = 50 mm.

Για την προσομοίωση μιας ανεμογεννήτριας, γενικά, πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένα ομοίωμα που, σε συνδυασμό με την προσομοίωση του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος, να συμπεριλαμβάνει όσο το δυνατόν περισσότερες από τις συνθήκες που εμφανίζονται στην πράξη, όπως: η ώση, η παρουσία του πύργου στήριξης, η ελικοειδής κίνηση που προσδίνει στον όμορρου η περιστροφή του δρομέα, οι ανωμαλίες του εδάφους κλπ. Η ώση της ανεμογεννήτριας είναι ο σπουδαιότερος παράγοντας για την ανάπτυξη και τον διασκορπισμό του ομορρου, ενώ η περιστροφική κίνησή του δεν θεωρείται από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά για την επανενεργοποίηση της ροής (1). Επιτυχής προσομοίωση της ώσης γίνεται με χρήση διάτρητου δίσκου ή πλέγματος, με κατάλληλο αριθμό οπών ή μέγεθος διακένων. Στην εργασία αυτή χρησιμοποιήθηκε συρμάτινο πλέγμα με τετράγωνα διάκενα 1 mm x 1 mm και με συντελεστή αντίστασης $C_D$ = 1.0 (Φωτ. 1) που προσομοιώνει τις συνθήκες μεγίστης φόρτισης της ανεμογεννήτριας.

Αναφορικά με τον πύργο στήριξης χρησιμοποιήθηκε στυλίσκος κυκλικής διατομής Φ 8 mm, που επαρκεί για την προσομοίωση σωληνωτού πύργου σε τέτοιες κλίμακες μοντέλων (1), (3), (4).

Τα 31 ομοιώματα ανεμογγενητριών που χρησιμοποιήθηκαν, τοποθετή-

θηκαν σε διάταξη ισόπλευρων τριγώνων πλευράς 7D (350 mm υπό κλίμακα) (φωτ. 1,2) και τοποθετήθηκαν σε κυκλικό τραπέζι διαμέτρου 2.5 m.

Λόγω του μεγάλου μήκους του τμήματος δοκιμών (12 m ) της αεροσήραγγας που χρησιμοποιήθηκε, η φυσική ανάπτυξη του οριακού στρώματος στο δάπεδο του τμήματος δοκιμών δημιουργούσε πάχος οριακού στρώματος περίπου 15 cm, και διανομή ταχυτήτων που ικανοποιούσε το νόμο του εκθέτη (1/6). Οι μικρές διαστάσεις της Ανεμογεννήτριας ως προς το φυσικό οριακό στρώμα (λόγος 10 m/300 m) επιτρέπουν την θεώρηση ότι η ανεμογεννήτρια λειτουργεί μέσα σε σχεδόν παράλληλη ροή, οπότε η παρούσα προσομοίωση αποτελεί ικανοποιητική προσέγγιση της πραγματικότητας.

## 2. Διαδικασία μετρήσεων

Οι μετρήσεις έγιναν σε δύο στάδια:

- Πρώτα έγινε οπτική παρακολούθηση της ροής με τη βοήθεια καπνού, για να ληφθεί μια εικόνα της ροής μέσα στη συστοιχία και να καθοριστούν οι πιο κατάλληλες θέσεις μέτρησης ποσοτικών μεγεθών.

- Ακολούθως οι ποσοτικές μετρήσεις έδωσαν ακριβέστερες πληροφορίες για τη ροή μέσα στη συστοιχία. Χρησιμοποιήθηκε το πλέγμα των σημείων μέτρησης που φαίνεται στο σχήμα 1 για τις μετρήσεις στο οριζόντιο επίπεδο και σε ύψος άξονα ανεμογεννήτριας. Υπάρχουν 21 θέσεις μέτρησης κάθετα στη διεύθυνση του ανέμου και σε αποστάσεις 2D μεταξύ τους. Στο σχήμα 1 φαίνονται οι θέσεις μέτρησης των κατακόρυφων διανομών ταχυτήτων, που η καθεμιά αποτελείται από 14 ÷ 18 σημεία, ξεκινώντας από το επίπεδο του εδάφους, ανά D/5.

Για τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκε σωλήνας Pitot και ηλεκτρονικό μικρομανόμετρο και βολτόμετρο.

## ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Τα αποτελέσματα της εργασίας αυτής, ποιοτικά και ποσοστικά, φαίνονται στις φωτογραφίες 3,4 και στα σχήματα 1,2 και 3

Σε ύψος άξονα ανεμογεννήτριας (φωτ. 3), η δέσμη του καπνού διασκορπίζεται σε μεγάλο πλάτος, πράγμα που σημαίνει ότι ο ομορρους της ανεμογεννήτριας, σχετικά μικρός ακόμη σε μήκος, χαρακτηρίζεται από μικρές ταχύτητες και μεγάλη τύρβη πίσω από τη μηχανή (περίπου 7D). Τοποθετώντας το ακροφύσιο του καπνογόνου πάνω από το άκρο του δρομέα (1.5D), έχουμε δέσμη καπνού λεπτή και επιμήκη (φωτ. 4), πράγμα που σημαίνει ότι στο ύψος αυτό η ροή είναι σαφώς επιταχυνόμενη και χαμηλής έντασης τύρβης. Η κλίση της δέσμης προς τα πάνω δίνει την εικόνα της αύξησης των ορίων του ομορρου με την κατάντη απόσταση· επιβεβαίωση των παρατηρήσεων αυτών γίνεται στο σχήμα 1 όπου φαίνεται η έντονη κλίση ταχύτητας 1,5 D πρίν από κάθε Α Κ.

Στο σχήμα 2 φαίνεται το έλλειμα της ταχύτητας λόγω της παρουσίας των ανεμογεννητριών στην κεντρική στήλη μηχανών, (της συστοιχίας) στην παράπλευρη στήλη ανεμογεννητριών και στο διάκενο μεταξύ τους. Σε κάθε στήλη ανεμογεννητριών, παρατηρείται μεγάλη πτώση της ταχύτητας στη θέση κάθε μηχανής και ολίγον κατάντη και στη συνέχεια σταδιακή ανάκτηση της ταχύτητας με μέγιστη ανάκτηση σε απόσταση περίπου 2D εμπρός από την επόμενη ανεμογεννήτρια. Στη συνέχεια έχουμε πάλι πτώση της ταχύτητας λόγω της παρουσίας της επόμενης ανεμογεννήτριας

κ.ο.κ. Η καμπύλη που αντιστοιχεί στην άλλη στήλη μηχανών είναι όμοια με την προηγούμενη, μετατοπισμένη κατά 6D πράγμα που οφείλεται στην τριγωνική διάταξη των μηχανών στη συστοιχία. Η ταχύτητα στο διάκενο μεταξύ των στηλών ανεμογεννητριών είναι σχετικά υψηλή (της τάξης του 0.8 $U_\infty$). Το έλλειμμα της στο διάκενο αυξάνει όσο προχωρούμε προς τα πίσω λόγω της παρουσίας μεγαλύτερου αριθμού μηχανών, των οποίων ο ομορρους επιβραδύνειτη ροή στο διάκενο. Από τα τοπικά μέγιστα της καμπύλης αυτής, σε συνδυασμό με τις άλλες δύο καμπύλες, συμπεραίνουμε ότι ο ομορρους μιας ανεμογεννήτριας τέμνει τον ομόρου της Ανεμογεννήτριας της διπλανής στήλης σε απόσταση περίπου 10D κατάντη.

Στο κατακόρυφο επίπεδο, οι ταχύτητες φτάνουν τα 0.9 $U_\infty$ σε σχετικά μικρά ύψη (1.5 ÷ 2D) στις πρώτες σειρές ανεμογεννητριών, ενώ όσο προχωρούμε προς τα πίσω η ανάκτηση της ταχύτητας πετυχαίνεται σε μεγαλύτερα ύψη, φτάνοντας στα 3D στις τελευταίες σειρές, όπως φαίνεται και από την ανάπτυξη του οριακού στρώματος στο σχήμα . 3. Ολοκλήρωση της διανομής των ταχυτήτων στο οριζόντιο επίπεδο και στο ύψος άξονα δίνει μέση ταχύτητα στην έξοδο από την συστοιχία είναι 65% της ταχύτητας που προσπίπτει στην πρώτη σειρά ανεμογεννητριών, οπότε η ισχύς του ανέμου στην έξοδο από τη συστοιχία είναι 28% της ισχύος του στην εισοδο και επομένως η απορροφούμενη από τη συστοιχία αιολική ισχύς είναι 72%. Το αποτέλεσμα αυτό συγκρίνεται ικανοποιητικά με το αντίστοιχο των εργασιών (3) και (4); οπότε συμπεραίνεται ότι η τριγωνική διάταξη μηχανών με 7D στο παρόν ομοίωμα αποτελεί μια ικανοποιητική πρόταση διάταξης Ανεμογεννητριών σε Αιολικό πάρκο.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Παρουσιάστηκαν εδώ τα αποτελέσματα μιας προκαταρκτικής πειραματικής μελέτης του πεδίου ροής του ανέμου μέσα σε ένα ομοίωμα συστοιχίας 31 ανεμογεννητριών σε διάταξη ισόπλευρων τριγώνων πλευράς 7D, υπό κλίμακα 1:200.

Η οπτική παρακολούθηση της ροής σε συνδυασμό με τις ποσοτικές μετρήσεις, έδειξαν ότι η ταχύτητα αποκαθίσταται σχετικά γρήγορα καθ' ύψος και ο ομορρους μιας ανεμογεννήτριας τέμνει τον ομόρου της Ανεμογεννήτριας της διπλανής στήλης σε απόσταση 10D κατάντη, απόσταση που είναι ικανοποιητική για την επανεργοποίηση του ρευστού.

Αύξηση του αριθμού των ανεμογεννητριών της συστοιχίας (η παρούσα εργασία ασχολείται με πεπερασμένη συστοιχία) η μεταβολή της πυκνότητας και της διάταξης των ανεμογεννητριών και η ενεργειακή απόδοση της συστοιχίας σε διάφορες διευθύνσεις προσπίπτοντος ανέμου αποτελούν αντικείμενα εργασίας που συνεχίζεται.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. P.M. Sforza, P. Sheerin, M. Smorto , Sept. 1981: "Three dimensional wakes of simulated wind turbines" AIAA Paper 80-0626R Vol. 19.

2. P. Vermeulen, 1978: "A wind tunnel study of the wake of a horizontal axis wind turbine" T.N.D. Report 78 - 09674.

3. P.J. Builtjes, 1978: "The interaction of windmill wakes" Proc. 2nd Int. Symp. on wind energy systems, Amsterdam, BHRA, Cranfield.

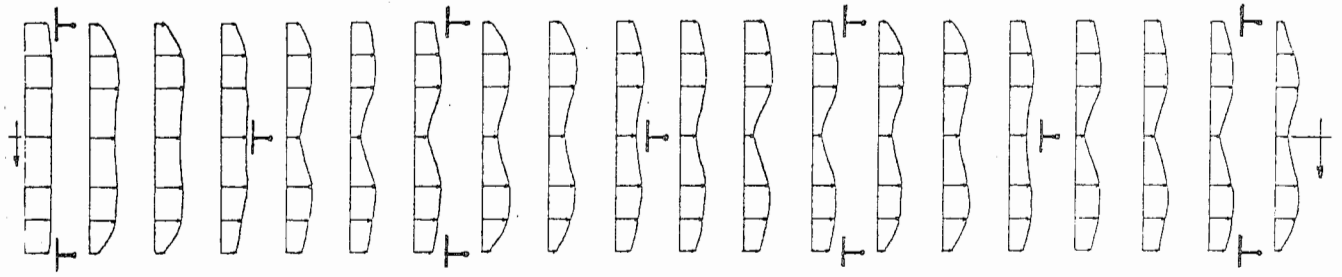
Παπακωνσταντίνου, Μπεργελές, Αθανασιάδης

4. D.J. Milborrow, 1979: "Wind tunnel measurelents on wind turbine clusters" BWEA wind energy workshop, Cranfield, Multiscience, London.

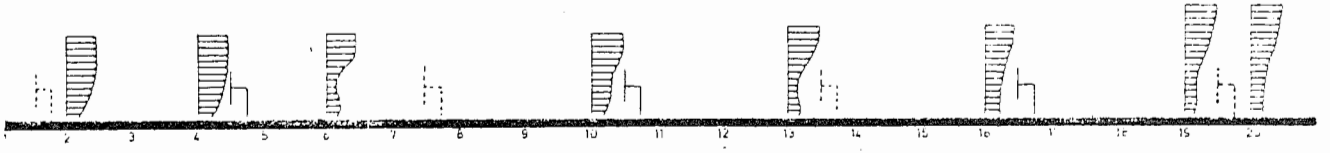
5. D.J. Milborrow, 1980: "The performance of arrays of wind turbines" Journal of Industrial Aerodynamics, 5(1980) σελ. 403÷430, Amsterdam.

ΣΧΗΜΑ 1

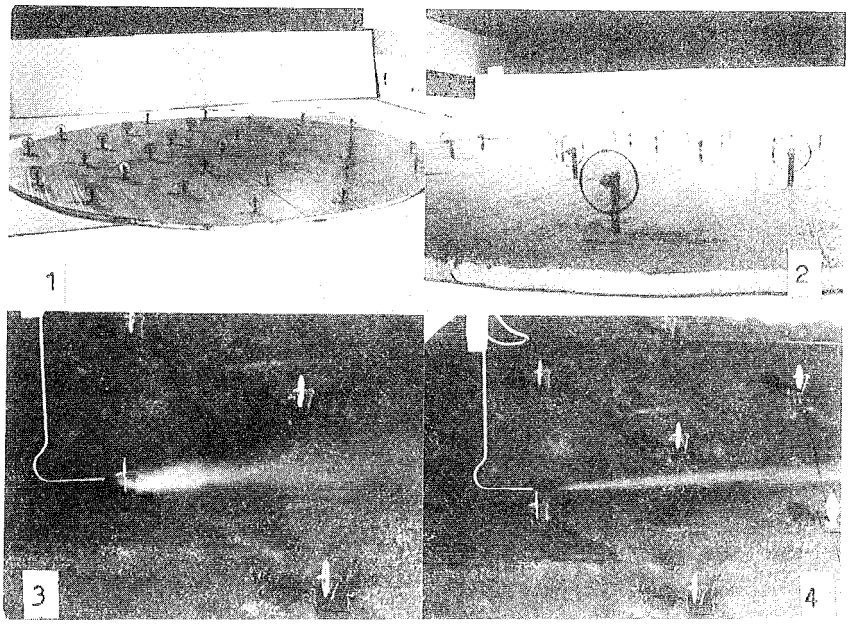
Κλιμακα ταχυτήτων : 1m/sec _ 1.25mm



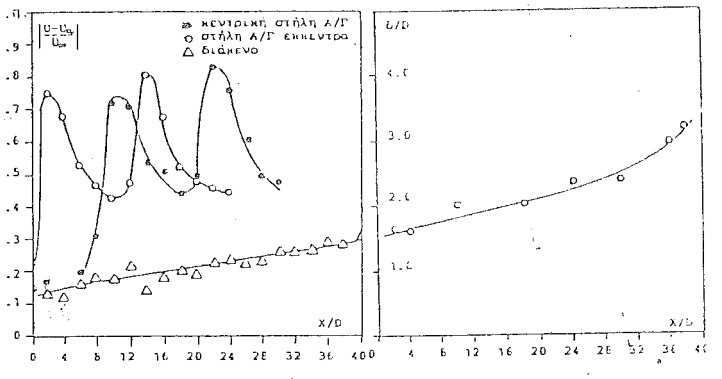
Διανομή ταχυτήτων οτό οριζόντιο επίπεδο




Διανομή ταχυτήτων στό κατακόρυφο επίπεδο




Φωτ. 1-2: Η πειραματική διάταξη.
Φωτ. 3-4: Οπτική παρατήρηση της ροής.




Σχ. 2: Ελειμα ταχυτητας λόγω παρουσίας των Α/Γ.

Σχ. 3: Ανάπτυξη οριακού στρώματος διά της κεντρικής στήλης Α/Γ.

ΑΙΟ-9

# ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΑΙΟΛΙΚΗΣ KWH

ΓΕΩΡΓ. Ν. ΚΑΡΑΜΑΝΖΑΝΗΣ
ΗΛΕΚΤΡ.-ΜΗΧΑΝΟΛ. ΕΜΠ
M.Sc. ΠΑΝ. CAMBRIDGE
ΔΕΗ/ΔΕΜΕ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ : Στην ανακοίνωση αυτή γίνεται εκτίμηση του κόστους της παραγόμενης KWH από ανεμογεννήτριες μεσαίου μεγέθους (100-200 KW) με βάση την αρχική επένδυση κεφαλαίου και τον αναμενόμενο χρόνο ζωής (20 έτη). Η εκτίμηση γίνεται επαγωγικά με βάση μια συγκεκριμένη θέση στη νήσο ΜΥΚΟΝΟ όπου υπάρχουν εκτεταμένες ανεμολογικές μετρήσεις και για δύο συγκεκριμένες ανεμογεννήτριες (100-250 KW) οι εταιρείες των οποίων έδωσαν με βάση τα στοιχεία ανέμου και πρόγραμμα υπολογιστού τις αναμενόμενες κατά περίπτωση KWH/έτος. Ακολουθεί συζήτηση πάνω στην αντικειμενικότητα των αποτελεσμάτων και στα γενικότερα συμπεράσματα και προβληματισμούς που συνάγονται.

ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ : Ανεμογεννήτρια, κόστος KW, κόστος KWH, διάρκεια ζωής, ετήσια επιβάρυνση κεφαλαίου, μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου, απόσβεση κεφαλαίου.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ : Η εκτίμηση της αναμενόμενης τιμής της παραγόμενης KWH είναι σημαντικό στοιχείο ανάμεσα στα κριτήρια που εξετάζονται για να εκτιμηθεί η οικονομικότητα ή μή της εγκατάστασης ανεμογεννητριών.
Σε συνδυασμό με την τιμή της KWH είναι και η εκτίμηση του ετήσιου κέρδους που επιτυγχάνεται με την υποκατάσταση αντίστοιχου καυσίμου (πετελαίου) και εξ αυτού υπολογίζεται ο χρόνος απόσβεσης της επένδυσης κεφαλαίου που έγινε με την εγκατάσταση της ανεμογεννήτριας. Αυτά τα δύο βασικά μεγέθη απασχολούν την παρούσα ανακοίνωση.

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ :

Για την εκτίμηση της τιμής της παραγόμενης αιολικής KWH χρησιμοποιείται η μέθοδος της επαγωγής. Δηλαδή λαμβάνεται σαν δείγμα μία συγκεκριμένη θέση στο νησί της Μυκόνου όπου υπάρχουν ικανά ανεμολογικά στοιχεία και όπου πρόκειται να υλοποιηθεί ένα επιδεικτικό πρόγραμμα στα πλαίσια των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, χρηματοδοτούμενο κατά 40% από την 17η Γεν.Δ/νση της ΕΟΚ. Η ανεμογεννήτρια θα λειτουργεί διασυνδεδεμένη παράλληλα στο τοπικό δίκτυο του νησιού που αποτελείται από γεννήτριες DIESEL και έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά :

| | |
|---|---|
| ΙΣΧΥΣ ΑΣΠ ΜΥΚΟΝΟΥ | : 14,25MVA/9,05MW |
| ΥΠΟ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ Η/Ζ | : 2X2500 KW |
| ΜΕΓΙΣΤΗ ΖΗΤΗΣΗ ΙΣΧΥΟΣ 1984 | : 5480 KW |
| ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΖΗΤΗΣΗ ΙΣΧΥΟΣ 1984 | : 600 KW |
| ΕΤΗΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚ.ΕΝΕΡΓ.1984 | : 15920 MWH |
| ΚΟΣΤΟΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΑΠΟ DIESEL KWH | : 11,7 Δρχ/KWH |

Στη θέση που πρόκειται να εγκατασταθεί η ανεμογεννήτρια Α/Γ έχουμε ανεμολογικά στοιχεία από 2ετίας συγκεντρωμένα από τον Τομέα Μετρήσεων Στοιχείων Περιβάλλοντος της ΔΕΜΕ/ΔΕΗ. Αυτά περιλαμβάνουν στιγμιαίες ταχύτητες ανά ώρα, μέσες ημερήσιες ταχύτητες και μέσες μηνιαίες, και ετήσιες ταχύτητες ανέμου σε m/sec καθώς και διεύθυνση ανέμου. Η μέση ταχύτητα το έτος 1983 ανήλθε σε 10,8 m/sec°η θέση δηλαδή είναι εξαιρετικά ευνοϊκή από ανεμολογική άποψη.
Στους ακόλουθους πίνακες 1,2 φαίνονται ορισμένα ανεμολογικά στοιχεία αναλυτικώτερα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1

ΜΕΣΕΣ ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ ΑΝΕΜΟΥ 1983 (ΣΕ m/sec)

| Ι | Φ | Μ | Α | Μ | Ι | Ι | Α | Σ | Ο | Ν | Δ | ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΤΙΜΗ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 11,8 | 13,2 | 12,7 | 7,6 | 7,8 | 10 | 10,3 | 12,6 | 13,1 | 9,9 | 12,3 | 8,3 | 10,8 |

ΠΙΝΑΚΑΣ 2

ΣΤΙΓΜΙΑΙΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ ΑΝΕΜΟΥ ΑΝΑ ΩΡΑ (ΣΕ m/sec)

| ΩΡΑ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 1983 ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ 13,4 | 13 | 13,1 | 13,2 | 13,2 | 13,3 | 13,1 | 13,6 | 13,3 | 13,5 | 13,5 | 13 | 13 | 13,2 | 13 | 13,6 | 13,8 | 14,2 | 13,9 | 14 | 13,7 | 13,9 | 13,6 | 12,5 | 13,1 |
| ΙΟΥΛΙΟΣ 1983 ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ 10,3 | 9,3 | 9,8 | 8,8 | 9,6 | 10,2 | 10,1 | 10,9 | 11,3 | 11 | 10,5 | 11,7 | 11,6 | 11,7 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 10,5 | 10,4 | 9,9 | 10 | 10 | 9,9 | 9,4 | 9,7 |
| ΑΠΡΙΛΙΟΣ 1983 ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ 7,6 | 6,8 | 6,6 | 6,9 | 7,3 | 6,7 | 6,8 | 7,7 | 8 | 7,4 | 7,9 | 8,4 | 8,6 | 8,1 | 8,8 | 8,7 | 8,8 | 8,3 | 8,7 | 8,4 | 7,4 | 7,2 | 6,3 | 6,4 | 6,7 |

Με βάση τα στοιχεία ανέμου για όλους τους μήνες του έτους 1983 έγινε πρόβλεψη για τις παραγόμενες KWH ετησίως σε δύο περιπτώσεις: μιας Α/Γ ανεμογεννήτριας 108 KW και μιάς 250 KW. Η πρόβλεψη έγινε από τις αντίστοιχες εταιρείες στη μιά περίπτωση με χρήση ειδικού προγράμματος υπολογιστή στην άλλη βάσει πινάκων που έχουν συνταχθεί για το σκοπό αυτό.
Από στοιχεία εξ άλλου της Διανομής, έχουμε το κόστος της παραγόμενης από Diesel KWH στη νήσο ΜΥΚΟΝΟ.
Η τιμή της φθάνει τις 11,7 Δρχ/KWH. Με βάση την τιμή αυτή, το αρχικό κόστος επένδυσης για κάθε περίπτωση και ορισμένες οικονομικές παραδοχές υπολογίζεται στην ακόλουθη τεχνικοοικονομική ανάλυση το κόστος της παραγόμενης KWH.

Οι οικονομικές παραδοχές είναι :

| | |
|---|---|
| Διάρκεια ζωής εγκατάστασης | 20 έτη |
| Επιτόκιο | 8% |
| Ετήσια επιβάρυνση Κεφαλαίου με βάση το επιτόκιο | 10,19% |

Για τα έξοδα συντηρήσεως λαμβάνεται το 4% του κόστους εγκατάστασης.
Το κόστος των εξόδων συντηρήσεως ενέχει πολλά στοιχεία αβεβαιότητος, δεδομένου ότι οι εγκαταστάσεις αυτές γίνονται για πρώτη φορά και μάλιστα σε απομακρυσμένες και απομονωμένες θέσεις, όπου η πρόσβαση είναι δύσκολη και η αποστολή συνεργείων δαπανηρή.

ΤΕΧΝΙΚΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Ι

Στην περίπτωση της ανεμογεννήτριας των 108 KW το κόστος εγκατάστασης ανέρχεται σε Κ=29.061.338 Δρχ. Το ανηγμένο κόστος ανά μονάδα ισχύς είναι Κ:108 δηλαδή ίσο με 269.000 Δρχ/KW που αντιστοιχούν σε $1922 δολ/KW, τιμή που είναι γενικά παραδεκτή ίσως μάλιστα και λίγο υψηλότερη από τα σημερινά διεθνή δεδομένα. Τούτο γιατί στο πιό πάνω κόστος εγκατάστασης περιλαμβάνεται και ένα μικρό συγκρότημα ελέγχου και μετρήσεων, καθώς και απαιτούμενα μικρά έργα πολιτικού μηχανικού.
Η ετήσια δαπάνη συντήρησης εκτιμάται σε Μ=4% Χ Κ =
= 1.162.454 Δρχ/έτος.
Με βάση τα πιό πάνω οικονομικά δεδομένα που έγιναν αποδεκτά και την εκτίμηση ότι η παραγωγή θα ανέρχεται σε 350.000 KWH ετησίως, το κόστος της KWH είναι

$$\text{Δρχ/KWH} = \frac{\text{K X 10,19\% + M}}{350.000} = 11,8 \text{ Δρχ/KWH.}$$

Η τιμή της παραγόμενης KWH είναι λοιπόν η ίδια περίπου με την τιμή της παραγόμενης από το σταθμό Diesel. Βέβαια στην ειδική περίπτωση που εξετάζουμε λόγω της Κοινοτικής Χρηματοδότησης η επιβάρυνση της ΔΕΗ αντιστοιχεί μόνο στο 50% του πιό πάνω κόστους της KWH (11,8 Δρχ). Αυτό όμως δεν αποτελεί γενικό κανόνα.
Για μιά προσεγγιστική εκτίμηση της απόσβεσης του κεφαλαίου εγκατάστασης θεωρούμε ότι η απόσβεση προκύπτει από την εξοικονόμηση πετρελαίου.

Αυτή σύμφωνα με τα δεδομένα της Διανομής ανέρχεται σε 65% της τιμής της παραγόμενης από Diesel KWH, ήτοι 65% Χ 11,7 Δρχ/KWH = 7,60 Δρχ/KWH.
Δηλαδή η συνολική εξοικονόμηση πετρελαίου ετησίως θα είναι 350.000 KWH/έτος Χ 7,60 Δρχ/KWH = 2.661.750 Δρχ/έτος. Και η απόσβεση της εγκατάστασης θα γίνει σε Κ: 2.661.750 Δρχ. = 11 έτη περίπου.

ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΙΙ

Στην περίπτωση της ανεμογεννήτριας των 250 KW το κόστος της εγκατάστασης ανέρχεται σε Κ=52.000.000 Δρχ. Το ανηγμένο κόστος ανά μονάδα ισχύος είναι Κ:250 δηλαδή ίσο με 208.000 Δρχ/KW που αντιστοιχούν σε $ 1458 Δολ/KW, τιμή γενικά παραδεκτή διεθνώς. Παρατηρείται μάλιστα ότι αυξανόμενης της ονομαστικής ισχύος το ανηγμένο κόστος ανά KW μειώνεται, γεγονός που αναμένεται. Στο κόστος Κ περιλαμβάνονται και όσα αναφέρθηκαν στην περίπτωση Ι.
Η ετήσια δαπάνη συντήρησης εκτιμάται κατά τα οικονομικά δεδομένα σε Μ=4% Χ Κ = 2.080.000 Δρχ/έτος.
Με βάση τις οικονομικές παραδοχές που έγιναν και την αναμενόμενη παραγωγή ενέργειας ίση με 900.000 KWH/έτος είναι :

$$\text{Δρχ/KWH} = \frac{\text{Κ Χ 10,19\% + Μ}}{900.000} = 8,2 \text{ Δρχ/KWH}$$

Δηλαδή η παραγόμενη KWH στην περίπτωση ΙΙ έχει κόστος μικρότερο από το κόστος της παραγόμενης από Diesel.
Η εξοικονόμηση πετρελαίου αντιστοιχεί και πάλι, όπως στην περίπτωση Ι σε 900.000 KWH/έτος Χ 7,60Δρχ/KWH = = 6.840.000 Δρχ/έτος. Με βάση την εξοικονόμηση αυτή η απόσβεση του αρχικού κεφαλαίου θα γίνει σε Κ: 6.840.000 Δρχ. = 7,6 έτη περίπου.

ΚΡΙΤΙΚΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οπως γίνεται φανερό η εγκατάσταση ανεμογεννητριών τουλάχιστον σύμφωνα με τις πιό πάνω περιπτώσεις αρχίζει να γίνεται ανταγωνιστική από απόψεως κόστους KWH με την παραγόμενη από σταθμούς Diesel στα νησιά της χώρας μας. Η πιό πάνω όμως μεθοδολογία και τα δείγματα-περιπτώσεις που μελετήθηκαν έχουν ορισμένα αδύνατα σημεία που πρέπει να αναφερθούν προτού προχωρήσουμε σε τελικά συμπεράσματα. Τα αδύνατα ή αόριστα σημεία είναι τα ακόλουθα :

1. Η θέση εγκατάστασης που ελήφθη στις περιπτώσεις Ι,ΙΙ είναι εξαιρετικά ευνοϊκή από πλευράς ανέμου. Η μέση τιμή των 10,8 m/sec της ταχύτητος ανέμου είναι εξαιρετικά υψηλή και δεν είναι οπωσδήποτε διαθέσιμη παντού στον Ελληνικό χώρο. Πάντως οι KWH που εκτιμήθηκαν από τις εταιρείες, παρά την υψηλή ταχύτητα ανέμου, αντιστοιχούν σε 3500 ώρες συνεχούς λειτουργίας ανά έτος, χρόνος που είναι γενικά παραδεκτός σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα. Αρα αυτό το σημείο δεν μπορεί να θεωρηθεί ότι μειώνει σημαντικά την γενικότητα των συμπερασμάτων.

2. Το κόστος συντήρησης, ειδικά για απομακρυσμένες θέσεις όπως τα ελληνικά νησιά, ενέχει πολλή αβεβαιότητα. Αυτό το κόστος θα μπορούσε σημαντικά να επιβαρύνει το κόστος της KWH.
Είναι άλλωστε γνωστό πόσο υψηλό κόστος απαιτεί η αποστολή συνεργείων σε απομονωμένα μέρη (εκτός έδρας, προβλήματα πρόσβασης, υποστήριξης κλπ)

Σύμφωνα με τα αναφερθέντα συνάγονται τα ακόλουθα γενικώτερα συμπεράσματα για ανεμογεννήτριες διασυνδεδεμένες με τοπικά δίκτυα, (όχι αυτόνομα συστήματα).

1. Το κόστος της παραγόμενης αιολικής KWH μπορεί να είναι ανταγωνιστικό του κόστους της KWH από σταθμούς Diesel ιδιαίτερα στο νησιωτικό χώρο, όπου πολλές φορές η τελευταία ξεπερνάει τις 20-30 Δρχ/KWH.

2. Για να είναι το κόστος της αιολικής KWH χαμηλό πρέπει η οργάνωση της συντήρησης να είναι κατά το δυνατόν τέλεια ώστε το κόστος συντήρησης και επισκευών να παραμένει μικρό. Για να επιτευχθεί αυτό πρέπει οι τύποι των ανεμογεννητριών που θα εγκατασταθούν να είναι τελειοποιημένοι τα μέγιστα και να μήν απαιτούν συχνές συντηρήσεις. Πρέπει επίσης οι απλές συντηρήσεις-επιθεωρήσεις και επισκευές να γίνονται από εκπαιδευμένους τεχνίτες των τοπικών σταθμών Diesel. Αρα απαιτείται εκπαίδευση, εξοικείωση των τεχνιτών αυτών με το αντικείμενο και συστηματοποίηση-τυποποίηση των ελέγχων - συντηρήσεων.

3. Ειναι προφανές ότι για να γίνεται ουσιαστική απόσβεση του κεφαλαίου εγκατάστασης των ανεμογεννητριών και να έχουν νόημα ουσιαστικό οι χρόνοι απόσβεσης που υπολογίστηκαν στις περιπτώσεις I,II πρέπει οι ανεμογεννήτριες που θα εγκατασταθούν να κατασκευάζονται εγχωρίως. Μόνο έτσι η εξοικονόμηση πετρελαίου έχει πραγματικό συναλλαγματικό όφελος. Αλλοιώς, σε περίπτωση εισαγομένων ανεμογεννητριών, ότι κερδίζουμε σε συνάλλαγμα από την εξοικονόμιση πετρελαίου, το δαπανούμε (και μάλιστα πολλαπλασίως) σε συνάλλαγμα για την αγορά ανεμογεννητριών από το εξωτερικό.

4. Ειναι προφανές ότι για την ΔΕΗ το κόστος εγκατάστασης αλλά και συντήρησης και άρα η τιμή της παραγόμενης αιολικής KWH θα είναι μειωμένο δραστικά όταν οι αιολικές εγκαταστάσεις πάρουν τη μορφή αιολικών πάρκων συνισταμένων από ανεμογεννήτριες ομοίου τύπου.

ΑΙΟ-15

# ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΣΤΗ Β.ΕΛΛΑΔΑ

Τ.Ι.ΜΑΚΡΟΓΙΑΝΝΗΣ - Χ.Σ.ΣΑΧΣΑΜΑΝΟΓΛΟΥ
ΕΠ.ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ ΣΤΟΝ ΤΟΜΕΑ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ - ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ ΤΟΥ ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΤΟΥ Α.Π.Θ.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.

Μελετούμε το αιολικό δυναμικό (αιολική ισχή) στο Β. Ελλαδικό χώρο, ο οποίος εμφανίζεται σημαντικά λιγότερο ανεμώδης, συγκρίνοντας τον με το χώρο του Αιγαίου Πελάγους. Παρουσιάζουμε το αιολικό δυναμικό τοπικά και χρονικά με την ελπίδα ότι θα αποτελέσει χρήσιμο βοήθημα σ'ένα μελλοντικό σχεδιασμό εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας στη Βόρειο Ελλάδα. Επίσης δίνουμε και τις τιμές του αιολικού δυναμικού που παρατηρούνται μέσα στην πόλη της Θεσσαλονίκης κατά τη διάρκεια του 24ωρου.

ΛΕΞΕΙΣ - ΚΛΕΙΔΙΑ : Αιολική ενέργεια - 'Ανεμος.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.

Τα τελευταία χρόνια, ακόμα και στη χώρα μας, παρουσιάζεται επιτακτικό το πρόβλημα της αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας. Η λειτουργία κατά το παρελθόν χιλιάδων ανεμομύλων σε διάφορες περιοχές της χώρας μας, κυρίως νησιωτικές, αλλά και οι επιστημονικές μελέτες, δείχνουν ότι σε ορισμένες περιοχές της χώρας μας, υπάρχουν οι κατάλληλες ανεμολογικές συνθήκες για την εκμετάλευση της αιολικής ενέργειας. Οι μελέτες των Zerefos Ch.(1), Θεοχαράτος Γ.-Τσελεπιδάκη Η. (2), Lalas D.-Tselepidaki I.-Theoharatos G(3), Παπαγιαννάκης Σ.(5), κ.ά. έδωσαν τιμές και εκτιμήσεις του αιολικού δυναμικού της νησιωτικής κυρίως Ελλάδας. Στη μελέτη μας αυτή δίνουμε μια εκτίμηση του αιολικού δυναμικού στο Β. Ελλαδικό χώρο, μια περιοχή που η ιστορία δείχνει ότι δεν προσφέρεται γενικά για εκμετάλλευση της κινητικής ενέργειας του ανέμου. Στη μελέτη μας αυτή χρησιμοποιούμε τα ανεμολογικά δεδομένα των μετ.σταθμών που αναφέρονται στο ΣΧΗΜΑ 3.1., όπως αυτά παρουσιάζονται στα σχετικά δελτία της ΕΜΥ για την περίοδο (1968-1977(δέκα χρόνια). 'Οπως είναι γνωστό, η ΕΜΥ εκτιμά την ταχύτητα του ανέμου με βάση την φαινομενολογική κλίμακα BEAUFORT στις ώρες 0600, 1200 και 1800GMT. Το γεγονός αυτό καθώς και ο περιορισμένος αριθμός μετ. σταθμών που διαθέτουν ανεμολογικά στοιχεία , δικαιολογεί τον όρο "εκτίμηση" που αναφέρεται στον τίτλο της μελέτης αυτής. Πρέπει βέβαια να αναφερθεί, με κάποια επιφύλαξη, ότι σύμφωνα με σχετική μελέτη των Lalas D.-Tselepidaki I.-Theoharatos G.(3) που αναφέρεται σε ένα σημαντικό αριθμό μετ. σταθμών της χώρας μας, δεν εμφανίζονται σημαντικές διαφορές στον υπολογισμό του μέσου ετήσιου ή μηνιαίου αιολικού δυναμικού όταν χρησιμοποιούνται οι τιμές της ταχύτητας του ανέμου μόνο των τριών παραπάνω προαναφερθεισών ωρών, αντί των τιμών της ταχύτητας του ανέμου των 24ρων ωρών της ημέρας. Στην περίπτωση του υπολογισμού του αιολικού δυναμικού στην πόλη της Θεσ/νίκης , αυτός έγινε με βάση τις ωριαίες τιμές της ταχύτητας του ανέμου μετρημένη με ανεμόμετρα, για την περίοδο 1970-1982.

## 2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Είναι γνωστό ότι η κινητική ενέργεια $E_κ$ μιας μάζας ατμ. αέρα που κινείται με ταχύτητα U κάποια χρονική στιγμή είναι:

$$E_κ=\frac{1}{2}\,m.U^2 \qquad 2.1$$

Ο όγκος dV του αέρα που περνά με ταχύτητα U κάθετα από μια επιφάνεια εμβαδού A σε χρόνο dt είναι: dV=Audt. Επομένως η ατμ. μάζα πυκνότητας ρ που αντιστοιχεί στον όγκο αυτό θα είναι: dm=ρAudt. Έτσι για χρονικό διάστημα dt η σχέση 2.1 γράφεται:

$$E_κ=\frac{A}{2}\int_o^t \rho\overline{U^3}\,dt \qquad 2.2$$

όπου $\overline{U^3}$ ο μέσος κύβος της ταχύτητας του ανέμου σ'αυτό το χρονικό διάστημα. Χρησιμοποιούμε, τη μέση τιμή των κύβων της ταχύτητας επειδή οι διακυμάνσεις των, που είναι αποτέλεσμα των διακυμάνσεων της ταχύτητας του ανέμου γύρω από τη μέση τιμή, δεν παρουσιάζουν πρακτικό ενδιαφέρον.

Θεωρόντας σταθερή την πυκνότητα του αέρα και ίση με $1,293\,Kgr/m^3$ και την επιφάνεια A ίση με $1m^2$, προκύπτει ότι η ισχύς P του ανέμου (αιολικό δυναμικό) θα είναι:

$$P=0,646\overline{U^3} \quad (W/m^2) \qquad 2.3$$

Ο παράγοντας $\overline{U^3}$ υπολογίζεται από τη γνωστή σχέση:

$$\overline{U^3}=\frac{\sum_1^{12} f_i U_i^3}{\sum_1^{12} f_i} \qquad 2.4$$

όπου $U_i$ η κεντρική τιμή της ταχύτητας της κλάσεως i της κλίμακας BEAUFORT και $f_i$ η αντίστοιχη συχνότητα.

Με βάση τη σχέση 2.3 μπορούμε να υπολογίσουμε τη μέση ισχύ του ανέμου, σε ετήσια, μηνιαία και ημερήσια κλίμακα. Πρέπει να τονίσουμε ότι η ισχύς του ανέμου που υπολογίζεται με τη βοήθεια της σχέσης 2.3 αναφέρεται στην "αρχική" ισχύ του ανέμου, που όπως είναι γνωστό μέρος μόνο αυτής είναι δυνατόν να εκμεταλλευτούμε, διότι πλήρης εκμετάλλευσης σημαίνει πλήρη ακινητοποίηση της αέριας μάζας, γεγονός πρακτικά αδύνατο. Στην πράξη με τους συνηθισμένους "ανεμοτροχούς" πετυχαίνουμε μια εκμετάλλευση που αντιπροσωπεύει μια τιμή γύρω στα 59% της "αρχικής" ισχύος (απόδοση Betz).

## 3. ΤΑ ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ ΣΤΟ Β.ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ.

'Ολοι οι χερσαίοι μετ. σταθμοί της Β. Ελλάδος που μελετήθηκαν, παρουσιάζουν σαν κοινό χαρακτηριστικό το πολύ υψηλό ποσοστό άπνοιας που γενικά ξεπερνά το 50%. Το ποσοστό της άπνοιας παρουσιάζεται περισσότερο αυξημένο κατά την διάρκεια των κατ'εξοχή χειμερινών μηνών, με εξαίρεση την περιοχή της Ορεστιάδας που παρουσιάζει πολύ μικρό ποσοστό άπνοιας, ομοιόμορφα κατανεμημένο σ'όλο το χρόνο (ΣΧΗΜΑ 3.1)

Συχνότερα πνέει άνεμος στο ανατολικό τμήμα της εξεταζόμενης περιοχής, αλλά με ανέμους "ασθενείς" ως "μέτριους" σε πολύ μεγάλη αναλογία σε σχέση με τους "θυελλώδεις". Στο δυτικό τμήμα της Β. Ελλάδος η αναλογία αυτή γίνεται πιό μικρή (ΣΧΗΜΑ 3.2).

## 4. ΤΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΣΤΟ Β.ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ.

Με τη βοήθεια της σχέσης 2.3 υπολογίσαμε το μέσο ετήσιο (ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1) καθώς και το μέσο μηνιαίο αιολικό δυναμικό για κάθε μετ. σταθμό, στηριζόμενοι στις τρεις ανεμολογικές παρατηρήσεις που γίνονται καθημερινά από την ΕΜΥ. Από την μελέτη των στοιχείων διαπιστώνεται μια αύξηση του μέσου ετήσιου αιολικού δυναμικού από την ανατολική προς τη δυτική πλευρά του Β.Ελλαδικού χώρου. (ΧΑΡΤΗΣ 4.1). Εξαίρεση αποτελεί η περιοχή της Αλεξανδρουπόλεως. Οι σχετικά μεγάλες τιμές της τυπικής απόκλισης του μέσου ετήσιου αιολικού δυναμικού, δείχνουν την έλλειψη σταθερότητας, από απόψεως ταχύτητας που παρουσιάζει ο άνεμος από έτος σε έτος στην εξεταζόμενη περιοχή. Υπάρχουν δηλαδή χρονιές με ανέμους με πολύ μικρές ταχύτητες και χρονιές με αρκετά μεγάλες.

Μελετώντας το αιολικό δυναμικό της περιοχής από μήνα σε μήνα (ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2) παρατηρούμε ότι στις περιοχές Ιωαννίνων και Αλεξανδρούπολης το αιολικό δυναμικό παρουσιάζεται σημαντικά αυξημένο κατά την διάρκεια του χειμώνα και οφείλεται στους, με μικρή συχνότητα εμφανιζόμενους, θυελλώδεις ανέμους που παρατηρούνται στις περιοχές αυτές κατά την εποχή αυτή. Οι υπόλοιπες περιοχές παρουσιάζουν μια σχεδόν ομοιόμορφη κατανομή του αιολικού τους δυναμικού μέσα στο χρόνο.

## 5. ΤΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

'Οπως παρατηρούν οι LIVADAS G. - SAHSAMANOGLOU H.(4) η Θεσσαλονίκη είναι μια πόλη που δεν μπορεί να χαρακτηριστεί "ανεμώδης" αφού το ποσοστό της άπνοιας είναι σημαντικά υψηλό (ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1) και που γίνεται ακόμη υψηλότερο κατά τη διάρκεια της νύχτας. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι στην πόλη της Θεσσαλονίκης οι ώρες της άπνοιας αυξάνουν από χρόνο σε χρόνο (ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1)

Χαρακτηριστικό των ηπειρωτικών πόλεων της Ελλάδας, αλλά και της Θεσσαλονίκης (γεωγραφικά δεν είναι πόλη ηπειρωτική) είναι το γεγονός ότι υπάρχει σημαντικός αριθμός ημερών, συνεχόμενων ή μη, με πλήρη άπνοια. Για την πόλη της Θεσσαλονίκης και για τους τρεις κύριους χειμερινούς μήνες (ΔΕΚ. , ΙΑΝ., ΦΕΒ.) ο αριθμός των ημερών με πλήρη άπνοια

κυμαίνεται από 3 μέχρι 5 ημέρες τον κάθε μήνα.

Κατά την διάρκεια των ψυχρών μηνών (ΝΟΕ. , ΔΕΚ., ΙΑΝ. ΦΕΒ.) οι τιμές του αιολικού δυναμικού εμφανίζονται υψηλότερες σε σχέσει με εκείνες των υπόλοιπων μηνών, ενώ κατά τη διάρκεια των θερμών μηνών (ΜΑΙ. , Ιου., Αυγ.) οι τιμές είναι οι μικρότερες που παρατηρούνται στην πόλη (ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2) . Ιδιαίτερα τις ώρες που στην πόλη φυσά η θαλάσσια αύρα, οι τιμές της αιολικής ισχύος είναι οι μικρότερες αφού όπως αναφέρει ο ΣΑΧΣΑΜΑΝΟΓΛΟΥ Χ. (6) η ταχύτητα της θαλάσσιας αύρας στη Θεσσαλονίκη είναι γενικά μικρή με μέγιστες τιμές 2-3m/sec.

## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.

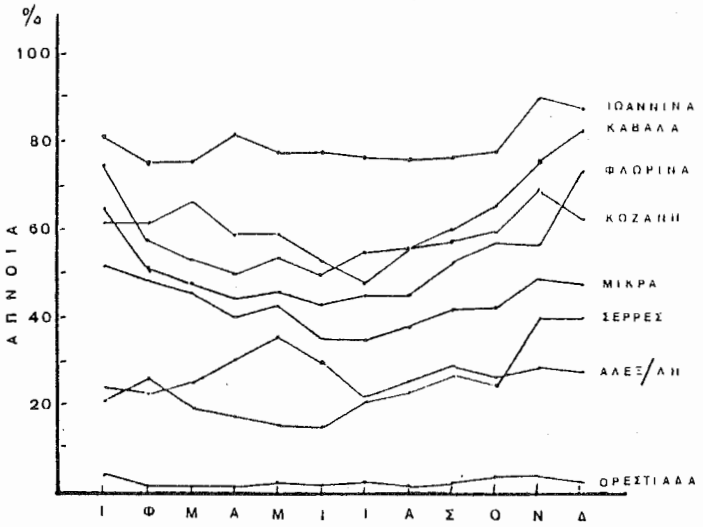
Χαρακτηριστικό του Β. Ελλαδικού χώρου είναι το μεγάλο ποσοστό άπνοιας που επικρατεί.

Ο άνεμος παρουσιάζει ταχύτητες που αυξάνουν από το ανατολικό προς το δυτικό τμήμα της Β. Ελλάδας. Κατά συνέπεια και το αιολικό δυναμικό παρουσιάζει αντίστοιχη γεωγραφική κατανομή. Γενικά η Β. Ελλάδα είναι από άποψης αιολικού δυναμικού πολύ φτωχή σε σχέση με την περιοχή του Αιγαίου Πελάγους. Εξαίρεση αποτελούν ορεινές περιοχές με υψόμετρο μεγαλύτερο από 200m (π.χ. κορυφαίο τμήμα Ολύμπου).

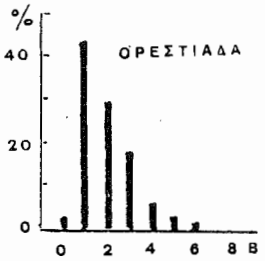
Η πόλη της Θεσσαλονίκης παρουσιάζεται φτωχή από άποψης αιολικού δυναμικού και από άποψης εκμετάλλευσης προβληματική, εξαιτίας της πολύωρης νυχτερινής άπνοιας και των πολλών συνεχών ημερών με τέλεια άπνοια ιδίως κατά την διάρκεια των φθινοπωρινών μηνών.

## 7. ΑΝΑΦΟΡΕΣ.

1. ZEREFOS Ch. 1978. "Surface wind energy density over Eastern Greece". Arch. Met. Geogh. Biokl. Ser. B, 26, 81-86.
2. ΘΕΟΧΑΡΑΤΟΣ Γ. - ΤΣΕΛΕΠΙΔΑΚΗ Η. 1982."Οι ανεμολογικές συνθήκες και το διαθέσιμο αιολικό δυναμικό στην περιοχή του Ιουνίου Πελάγους και της Δυτικής Ελλάδας". Δελτίο ΕΜΤΕ, Τόμος 7ος , 27-45.
3. LALAS D. - TSELEPIDAKI I. - THEOHARATOS G. 1983. "An analysis of wind power potential in Greece". Solar Energy Vol. 30, No. 6, 497-505.
4. LIVADAS G. - SAHSAMANOGLOU H. 1973. "Wind in Thessaloniki - Greece". Sci. Annals, Fac. Phys. and Mathem. Univ. Thessaloniki, 13, 411-443.
5. ΠΑΠΑΓΙΑΝΝΑΚΗΣ Σ. 1980. "Αιολική ενέργεια". Μετεωρολογικά No. 69, Α.Π.Θ., 253-262.
6. ΣΑΧΣΑΜΑΝΟΓΛΟΥ Χ. 1976. "Η θαλάσσια άύρα εις την Θεσσαλονίκη". Δελτίο ΕΜΤΕ, Τόμος 1ος, Τεύχος 2, 19-23.

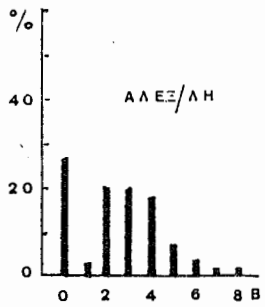


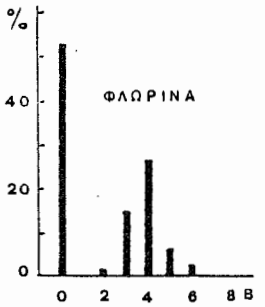

ΣΧΗΜΑ 3.1

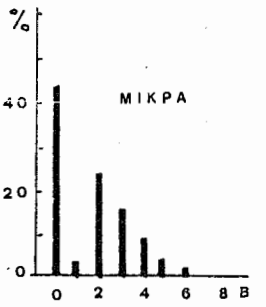


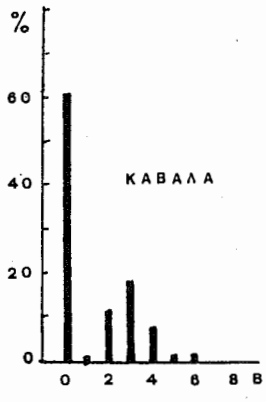

ΣΧΗΜΑ 3.2

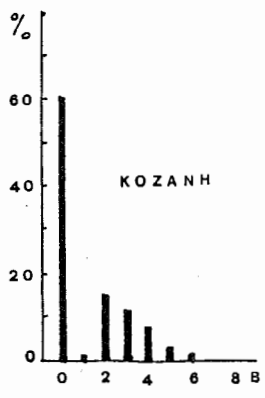
ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ
ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ
ΣΕ BEAUFORT
ΠΕΡΙΟΔΟΣ 1968 - 1977

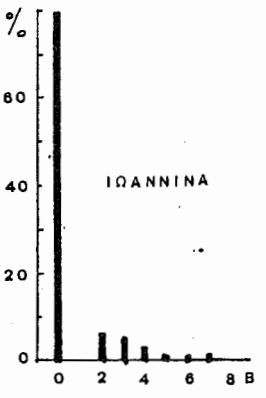


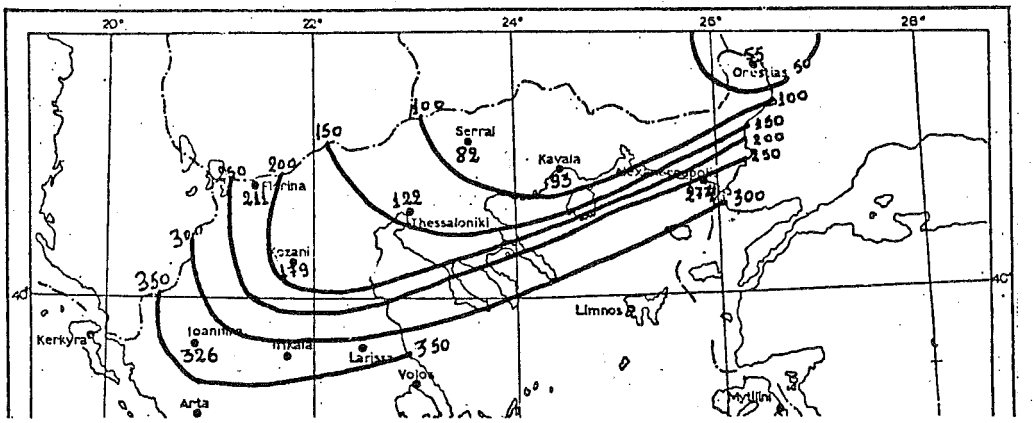



## Π Ι Ν Α Κ Α Σ 4.1

### ΟΙ ΕΤΗΣΙΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΟΥ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΣΤΗ Β.ΕΛΛΑΔΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 1968 - 77

$W/m^2$

| Μ. ΣΤΑΘΜΟΣ | ΜΕΓΙΣΤΗ | ΜΕΣΗ | ΕΛΑΧΙΣΤΗ |
|---|---|---|---|
| ΟΡΕΣΤΙΑΔΑ | 92(1969) | 55±20 | 28(1975) |
| ΑΛΕΞ/ΠΟΛΗ | 351(1977) | 274±54 | 191(1971) |
| ΚΑΒΑΛΑ | 138(1969) | 93±21 | 68(1972) |
| ΣΕΡΡΕΣ | 164(1973) | 82±31 | 40(1976) |
| ΜΙΚΡΑ | 184(1973) | 122±23 | 99(1971) |
| ΚΟΖΑΝΗ | 339(1972) | 179±81 | 80(1974) |
| ΦΛΩΡΙΝΑ | 311(1970) | 211±45 | 148(1968) |
| ΙΩΑΝΝΙΝΑ | 623(1975) | 326±196 | 82(1977) |




ΧΑΡΤΗΣ 4.1

### ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2

ΟΙ ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΟΥ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΣΤΗ Β. ΕΛΛΑΔΑ
ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 1968-77

$W/m^2$

| Μ. ΣΤΑΘΜΟΣ | Ι | Φ | Μ | Α | Μ | Ι | Ι | Α | Σ | Ο | Ν | Δ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ΟΡΕΣΤΙΑΔΑ | 69 | 64 | 55 | 44 | 42 | 61 | 45 | 45 | 34 | 50 | 72 | 72 |
| ΑΛΕΞ/ΛΗ | 455 | 390 | 349 | 180 | 121 | 139 | 137 | 161 | 194 | 334 | 339 | 410 |
| ΚΑΒΑΛΑ | 114 | 110 | 80 | 116 | 85 | 83 | 83 | 76 | 86 | 85 | 109 | 100 |
| ΣΕΡΡΕΣ | 75 | 78 | 123 | 88 | 81 | 91 | 107 | 88 | 58 | 91 | 72 | 72 |
| ΜΙΚΡΑ | 175 | 186 | 99 | 77 | 84 | 104 | 112 | 103 | 98 | 133 | 163 | 186 |
| ΚΟΖΑΝΗ | 266 | 206 | 195 | 172 | 148 | 129 | 115 | 119 | 198 | 202 | 230 | 241 |
| ΦΛΩΡΙΝΑ | 207 | 227 | 206 | 237 | 207 | 220 | 197 | 200 | 187 | 197 | 205 | 241 |
| ΙΩΑΝΝΙΝΑ | 511 | 374 | 253 | 166 | 105 | 68 | 73 | 80 | 129 | 441 | 153 | 260 |

Π Ι Ν Α Κ Α Σ 5.1

ΠΟΣΟΣΤΟ % ΑΠΝΟΙΑΣ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

| ΠΕΡΙΟΔΟΣ | ΙΑΝ. | ΦΕΒ. | ΜΑΡ. | ΑΠΡ. | ΜΑΙ. | ΙΟΥ. | ΙΟΥ. | ΑΥΓ. | ΣΕΠ. | ΟΚΤ. | ΝΟΕ. | ΔΕΚ. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1931-1971* | 47,1 | 44,9 | 45,5 | 47,5 | 48,3 | 46,4 | 44,5 | 47,5 | 51,0 | 56,9 | 56,2 | 50,9 |
| 1970-1982 | 53,3 | 45,9 | 48,7 | 49,5 | 48,6 | 46,1 | 44,4 | 50,9 | 54,7 | 57,3 | 58,4 | 58,2 |

*"WIND IN THESSALONIKI" G.C.LIVADAS - H.S.SAHSAMANOGLOU

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ Η ΑΙΟΛΙΚΗ ΙΣΧΥΣ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΣ 1970 - 1982

w/m²

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ΙΑΝ. | 58.8 | 73.1 | 74.0 | 81.9 | 60.7 | 64.8 | 60.1 | 44.2 | 59.9 | 62.4 | 68.8 | 50.2 | 53.6 | 30.6 | 53.8 | 45.1 | 58.6 | 53.4 | 51.1 | 47.2 | 71.2 | 63.4 | 53.6 | 63.9 |
| ΦΕΒ. | 51.9 | 53.7 | 50.6 | 52.7 | 62.7 | 40.3 | 43.1 | 34.5 | 63.1 | 53.7 | 79.4 | 78.6 | 91.7 | 86.8 | 84.5 | 58.5 | 50.4 | 64.7 | 59.0 | 30.5 | 61.5 | 62.3 | 58.5 | 51.2 |
| ΜΑΡ. | 58.9 | 53.9 | 57.2 | 47.9 | 55.4 | 79.3 | 74.1 | 63.8 | 44.8 | 38.4 | 34.6 | 36.5 | 35.1 | 24.9 | 36.0 | 38.7 | 30.7 | 30.1 | 30.3 | 29.2 | 34.2 | 34.8 | 57.4 | 56.0 |
| ΑΠΡ. | 36.5 | 38.3 | 40.6 | 30.1 | 34.2 | 36.7 | 23.7 | 24.8 | 29.8 | 26.2 | 26.2 | 24.2 | 26.9 | 21.5 | 24.3 | 28.6 | 26.0 | 23.1 | 20.6 | 19.0 | 19.8 | 22.9 | 41.3 | 38.1 |
| ΜΑΙ. | 37.9 | 24.8 | 27.4 | 24.6 | 28.0 | 22.0 | 29.5 | 39.2 | 28.8 | 30.9 | 23.7 | 24.0 | 22.2 | 20.7 | 27.3 | 38.9 | 44.3 | 46.7 | 35.8 | 16.8 | 50.1 | 39.3 | 27.6 | 27.5 |
| ΙΟΥΝ. | 25.3 | 42.0 | 30.0 | 21.5 | 24.1 | 23.3 | 27.7 | 29.3 | 24.4 | 22.2 | 18.0 | 16.5 | 18.0 | 16.7 | 22.9 | 18.3 | 20.1 | 22.6 | 24.8 | 12.4 | 16.2 | 14.9 | 21.0 | 29.6 |
| ΙΟΥΛ. | 34.2 | 35.3 | 28.1 | 27.3 | 28.9 | 36.2 | 34.2 | 29.4 | 32.4 | 25.3 | 25.4 | 18.1 | 22.2 | 15.9 | 21.2 | 22.7 | 23.7 | 28.2 | 40.3 | 19.5 | 27.1 | 38.6 | 27.6 | 46.9 |
| ΑΥΓ. | 24.1 | 26.4 | 23.1 | 22.0 | 23.9 | 25.7 | 37.6 | 35.1 | 18.9 | 18.7 | 22.7 | 17.3 | 17.4 | 25.3 | 20.6 | 28.8 | 38.4 | 44.6 | 51.8 | 27.5 | 34.0 | 30.3 | 50.4 | 17.6 |
| ΣΕΠ. | 40.8 | 30.8 | 40.4 | 38.9 | 36.0 | 42.0 | 51.0 | 36.9 | 43.8 | 37.0 | 26.0 | 23.0 | 25.7 | 20.9 | 27.8 | 26.8 | 33.1 | 31.3 | 31.2 | 32.3 | 31.9 | 32.4 | 38.5 | 40.2 |
| ΟΚΤ. | 48.5 | 44.4 | 44.4 | 43.1 | 34.4 | 32.5 | 27.7 | 26.1 | 35.9 | 38.3 | 30.2 | 27.2 | 25.4 | 18.9 | 25.4 | 37.8 | 33.5 | 37.6 | 40.4 | 28.6 | 45.1 | 60.8 | 70.1 | 59.7 |
| ΝΟΕΜ. | 85.4 | 56.4 | 45.6 | 49.2 | 51.6 | 46.8 | 49.7 | 87.6 | 80.0 | 52.0 | 51.4 | 39.4 | 34.5 | 26.9 | 25.0 | 25.3 | 30.2 | 32.0 | 39.0 | 32.9 | 37.1 | 41.8 | 59.6 | 67.0 |
| ΔΕΚ. | 89.5 | 80.4 | 68.9 | 62.4 | 61.4 | 65.1 | 59.1 | 47.4 | 71.0 | 102.5 | 99.8 | 68.8 | 90.6 | 62.9 | 62.6 | 62.9 | 61.2 | 68.9 | 72.0 | 40.8 | 74.0 | 78.4 | 95.6 | 1631 |

2ο Εθνικό Συνέδριο "Ηπιες μορφές ενέργειας "
Θεσσαλονίκη Νοέμβριος 1985

AIO-23

# ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΤΟΥ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΤΗΣ ΚΥΘΝΟΥ

Σ.Σάββας, Ι.Χατζηβασιλειάδης,
Γ.Μπεργελές, Ν.Αθανασιάδης
Εργαστήριο Αεροδυναμικής Ε.Μ.Π., Τηλ. 6519381,
Αθήνα 10682

ΠΕΡΙΛΗΨΗ:

Στο Αιολικό πάρκο της Κύθνου είναι εγκαταστημένοι πέντε ανεμοκινητήρες οριζόντιου άξονα διαμέτρου D=11,6 m και ονομαστικής ισχύος 20 KW οι οποίοι μέσω ασυγχρόνων γεννητριών παρέχουν την ηλεκτρική ενέργεια στο τοπικό δίκτυο της ΔΕΗ του νησιού.

Στην εργασία αυτή γίνεται στατιστική επεξεργασία ορισμένων στοιχείων που έχουν συλλεγεί από τα καταγραφικά των Ανεμοκινητήρων για τα τελευταία 2 χρόνια και εξάγονται ενδιαφέροντα συμπεράσματα σχετικά με τη λειτουργική απόδοση των ανεμοκινητήρων. Συγκεκριμένα διαπιστώνεται ότι ο μέγιστος βαθμός απόδοσης των Ανεμοκινητήρων φθάνει στα 33% για την ανεμογεννήτρια Νο 3 και για βόρειους ανέμους, ενώ ο ελάχιστος βαθμός απόδοσης είναι γύρω στα 22% για τον ανεμοκινητήρα Νο 1 και Νο 5 για Ανατολικούς και Βόρειους ανέμους αντίστοιχα. Οι Ανεμοκινητήρες, ονομαστικής ισχύος 20 KW, φαίνονται ως γεννήτριες συνεχούς λειτουργίας με ονομαστική ισχύ περίπου 8,6 KW δηλαδή εμφανίζουν ένα συντελεστή ισχύος 43%.

Αναφορικά με την ενεργειακή απόδοση των Ανεμομηχανών διαπιστώνεται ότι κατά σειρά απόδοσης οι Α Κ αξιολογούνται ως Νο 3, Νο 4, Νο 5, Νο 2 με χειρότερο τον Ανεμοκινητήρα Νο 1.

Τέλος λαμβάνοντας υπόψη το ανάγλυφο της περιοχής γίνεται θεωρητική εξήγηση της διαφοροποίησης της ενεργειακής απόδοσης των.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Ανεμομηχανή, Αιολικό πάρκο, Αιολική ενέργεια.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ:

Στην εργασία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα στατιστικής επεξεργασίας των μετρήσεων του αυτόματου συστήματος συλλογής στοιχείων που είναι εγκατεστημένο στο Αιολικό Πάρκο της Κύθνου. Η επεξεργασία των μετρήσεων καλύπτει περίοδο 2000 ωρών πραγματικής λειτουργίας των Αιολικών μηχανών. Τα αποτελέσματα εκτός από το ειδικότερο ενδιαφέρον που παρουσιάζουν γιατον Αιολικό σταθμό αποδεικνύουν ότι η επιλογή της θέσης εγκατάστασης των Ανεμομηχανών σε Αιολικό πάρκο είναι ίσως κυριώτερος παράγοντας επίδρασης στην ενεργειακή απόδοση του Αιολικού πάρκου από μια επιτυχή Αεροδυναμική σχεδίαση της Ανεμομηχανής.

ΕΙΣΗΓΗΣΗ:

Στη νήσο Κύθνο που βρίσκεται περίπου 60 ΚΜ νότια των Αθηνών και με πληθυσμό 1700 κατοίκων η ΔΕΗ σε συνεργασία με την Μ.Α.Ν έχει εγκαταστήσει και λειτουργεί από το 1982 πέντε Ανεμοκινητήρες. Οι Ανεμοκινητήρες (Α Κ) είναι δίπτεροι, οριζόντιου άξονα, διαμέτρου 11,6 m και μετατρέπουν την Αιολική ισχύ σε ηλεκτρική μέσω ασύγχρονης γεννήτριας μεγάλης σχετικά ολίσθησης ονομαστικής ισχύος 20 KW. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια διοχετεύεται στο τοπικό ηλεκτρικό δίκτυο του νησιού που τροφοδοτείται από οκτώ ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη (Η Ζ). Η μεγίστη ζήτηση ηλεκτρικής ισχύος του νησιού είναι περίπου 550 KW με ελάχιστη ζήτηση 60 KW η δε στρατηγική του συστήματος ελέγχου της ισχύος Αιολικού πάρκου και Η Ζ δεν επιτρέπει την ισχύ των Η Ζ να κατέλθει κάτω των 25 KW για αποφυγή ταλαντώσεων συχνότητος.
Το σύστημα καταγραφής Ανεμολογικών στοιχείων άρχισε να αναπτύσσεται από το 1979 και σήμερα μαζί με το αυτόματο σύστημα καταγραφής της λειτουργικής απόδοσης των ΗΖ και Α Κ συλλέγει και κωδικοποιεί μετρήσεις τις τυπώνει σε διάφορες μορφές για διάφορες ποσότητες ως συνοπτικά φαίνονται κατωτέρω:

.ώρες λειτουργίας των Α Κ
.ενεργειακή απόδοση των Α Κ
.συνολική απόδοση του Αιολικού πάρκου
.ταχύτητα ανέμου στις τρείς θέσεις των ανεμομέτρων
.συνολική ισχύς του σταθμού των Η Ζ
.παραγόμενη ενέργεια του σταθμού Η Ζ

Το σχήμα 1 από την εργασία [1] συνοψίζει τα αποτελέσματα των Ανεμολογικών μετρήσεων στην περιοχή του Αιολικού πάρκου ενώ συγχρόνως δείχνει την θέση εγκατάστασης των πέντε Α Κ (Νο 1,2,3,4,5) ως και ενδείξεις της τοπογραφίας της περιοχής γύρω από τους Α Κ. Η εμπειρία των συγγραφέων της εργασίας αλλά και η διεθνής συσσωρευόμενη εμπειρία αρχίζουν να υποδεικνύουν ότι μια από τις βασικότερες αιτίες μη ικανοποιητικής λειτουργίας των Α Κ είναι η κακή επιλογή θέσης εγκατάστασης των ως σε περιοχή που βρίσκονται μέσα στον ομόρου παραπετμένων κτιρίων ή δένδρων ή σε τελείως ανώμαλα εδάφη όπου η δημιουργούμενη διαταραχή της ροής επεκτείνεται μεσα στο ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα σε αποστάσεις πολύ μεγαλύτερες από το ύψος του πύργου του Α Κ. Γι αυτό η επιτυχής επιλογή της θέσης εγκατάστασης των Α Κ σε Αιολικό πάρκο σε συνδυασμό με την τοπογραφία της περιοχής αποτελεί ίσως το σημαντικότερο παράγοντα επίδρασης στην ενεργειακή απόδοση του Αιολικού πάρκου. Το Αιολικό πάρκο της Κύθνου είναι έναπρωτοποριακό ενεργειακό πάρκο σε παγκόσμιο επίπεδο και η λειτουργία του αποτελεί αντικείμενο θεωρητικών και πειραματικών μελετών, Papaconstinou κλπ[2] ,Bergeles κλπ [3] αναφορικά με την επίδραση της τοπογραφίας της περιοχής στην ενεργειακή απόδοση των Αιολικών Πάρκων ή την σύνδεση των Α Κ με το τοπικό ηλεκτρικό δίκτυο της νήσου.

Στην εργασία αυτή έγινε στατιστική επεξεργασία των ωριαίων στοιχείων εξόδου του αυτόματου συστήματος συλλογής στοιχείων του Αιολικού σταθμού της Κύθνου που δόθηκαν στην ομάδα από την Διεύθυνση εναλλακτικών μορφών ενέργειας της ΔΕΗ. Εγινε προσπάθεια συσχέτισης της κατεύθυνσης του ανέμου, της ταχύτητας του και της ενεργειακής απόδοσης του κάθε Α Κ ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα για την επίδραση της τοπογραφίας της περιοχής στην λειτουργική απόδοση των Α Κ με την προϋπόθεση βάβαια ότι και οι πέντε Α Κ είναι ίδιοι κατα σκευαστικά Στην συνέχεια της εργασίας παρουσιάζονται επιλεκτικά ορισμένα αποτελέσματα από την στατιστική αυτή ανάλυση ενώ συγχρόνως πρέπει να τονισθεί ότι ο αριθμός των δειγμάτων που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση μας (2000 ώρες λειτουργίας κάθε μηχανής) μπορεί να θεωρηθεί οριακά ικανοποιητικός γιανα είναι τα αποτελέσματα στατιστικά αφρι-

βή, και ότι οι θέσεις των Ανεμομέτρων δεν συμπίπτουν με τις θέσεις των Α Κ οπότε υπεισέρχονται λάθη στην εκτίμηση της ταχύτητας του ανέμου σε κάθε θέση των Α Κ.

Παρουσίαση και συζήτηση των Αποτελεσμάτων.

Οι Ανεμολογικές μετρήσεις της ΔΕΗ στην περιοχή του Αιολικού πάρκου δίνουν μέση ετήσια ταχύτητα στο ύψος του άξονα των Α Κ ίση με 6,8Μ S, ενώ ο κατασκευαστής , των Α Κ δίνει ταχύτητα ενάρξης λειτουργίας της μηχανής 35 Μ S και ονομαστική ταχύτητα 11,1 Μ S,δηλαδή ταχύτητα όπου ΑΚ αποδίδει την ονομαστική ισχύ των 20 KW.

Ο πίνακας 1 δίνει την ενέργεια που παράχθηκε από τους πέντε Ανεμοκινητήρες με κατάταξη την κατεύθυνση του ανέμου, ο δε πίνακας 2 τον αντίστοιχο αριθμό ωρών λειτουργίας των Α Κ.

Είναι φανερό ότι το Αιολικό πάρκο αποδίδει το μεγαλύτερο ποσό ενέργειας για βόρεια και νότια περίπου κατευθύνσεις ανέμων σε συμφωνία και με το διευθυνσιολόγιο του σχήματος 1 όπου φαίνεται, όπως κι από τον πίνακα 2, ότι κατά τις κατευθύνσεις αυτές επικρατούν οι ισχυρότεροι και μεγαλύτερης διάρκειας άνεμοι. Η συνολική ενεργειακή απόδοση του Αιολικού πάρκου σε περίοδο 10446 ωρών λειτουργίας των μηχανών ανήλθε σε 89515 KWH πράγμα που φανερώνει ότι όταν οι μηχανές αποδίδουν (ταχύτητα ανέμων μεγαλύτερη από 3,5 Μ S και σημαντική ενεργειακή ζήτηση στο νησί) μέση συνεχής ισχύ ίση με P=8,6KW που αποτελεί το 43% της ονομαστικής ισχύος της κάθε μηχανής.

Από τους πίνακες 1 και 2 μπορεί να κατασκευασθεί ο πίνακας 3 που δείχνει τη μέση τιμή ισχύος της κάθε μηχανής για τις διάφορες κατευθύνσεις ανέμου. Για την σπουδαιότερη από την ενεργειακή άποψη κατεύθυνση ανέμου, την βόρεια, ο Ανεμοκινητήρας Νο 3 έχει σαφώς την υψηλότερη απόδοση με τον Ανεμοκινητήρα Νο 1 να έχει την χαμηλότερη

Το συμπέρασμα αυτό έχει βρεθεί και από την πειραματική προσομοίωση του Παπακωνσταντίνου κ.α. [2]και εξηγείται από την τοπογραφία της περιοχής όπου ο Α Κ Νο 3 βρίσκεται σε μια ομαλή πλαγιά όπου η ροή του αέρα είναι συνεχώς επιταχυνόμενη, ενώ ο Α Κ Νο 1 βρίσκεται ακριβώς πίσω από ένα λόφο και μια κοιλάδα όπου η ροή εκεί έχει διαταραχθεί σημαντικά λόγω αποκόλλησης και έχει υψηλό βαθμό Τύρβης. Αντίθετα στην νότια κατεύθυνση επειδή οι Α Κ Νο 1-4 έχουν μπροστά τους ένα ομαλό έδαφος η ροή του αέρα είναι σχεδόν ποιοτικά ίδια σε όλες τις θέσεις των Α Κ και γι αυτό παρουσιάζουν ποσοτική ομοιομορφία στην απόδοσή τους. Ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα σχήματα 1 και 2 σχετικά με το βαθμό απόδοσης των Α Κ Νο 3 και Νο 1 (τον καλύτερο και χειρότερο τουΑιολικούπάρκου). Υπενθυμίζοντας το όριο του BETZ 0,59 για τον μέγιστο θεωρητικό βαθμό απόδοσης των Ανεμοκινητήρων και λαμβάνονται ένα συνολικό βαθμό απόδοσης της μηχανής ίσο με 0,81 ( n=n gener.n gearbox .nmechanical n. electr)θεωρείται ότι ΑΚ με συνολικό βαθμό απόδοσης ίσο με 0,48 ως υψηλής απόδοσης. Το σχήμα 1 δείχνει τον πραγματικό βαθμό απόδοσης του Α Κ Νο 3 για διάφορες κατευθύνσεις ανέμου.

Διαπιστώνεται ότι ο μέγιστος βαθμός απόδοσης των Α Κ συμβαίνει σε ταχύτητα ανέμων 7 Μ/S που αντιστοιχεί περίπου σε λόγο ταχύτητα ακροπτερύγιου λ ίσο με 9. Λόγω της τοπογραφίας του εδάφους η καλλίτερη κατεύθυνση από άποψη απόδοσης είναι η βορεινή με μέγιστο βαθμό απόδοσης ίσο με 33% , ενώ για τον Α Κ Νο 1, σχήμα 2, ο μέγιστος βαθμός απόδοσης ανέρχεται στο 27% για την δυτική κατεύθυνση με ελάχιστο 22% για την βόρεια κατεύθυνση. Είναι φανερό ότι για την βελτίωση της απόδοσης του ΑΚ Νο 1 απαιτείται η μετατόπιση αυτού σε άλλη θέση όπου η τοπογραφία της περιοχής δεν έχει τόση επίδραση στην λειτουργική απόδοσή του.

Η επίδραση της τοπογραφίας της περιοχής εγκατάστασης του Α Κ για διάφορες κατευθύνσεις ανέμων φαίνεται καθαρά στα σχήματα 3,4,5 και6

όπου παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της συγκριτικής απόδοσης των Α Κ κατά κατεύθυνση ανέμου. Είναι φανερό ότι οι Α Κ Νο 1 και Νο 2 παρουσιάζουν τους μικρότερους βαθμούς απόδοσης ενώ οι Α Κ Νο 3 και Νο4 τους υψηλότερους. Και πάλι η συμπεριφορά αυτή είναι εξήγητη και σχετίζεται άμεσα με την ποιότητα της ροής που πλησιάζει τον Α Κ.Τέλος τα σχήματα 7 και 8 παρουσιάζουν την μεταβολή της αποδιδομένης ισχύος για τους Α Κ Νο 1 και Νο 3 για βόρεια κατεύθυνση ανέμου, όπου γίνεται σαφής η επίδραση του βαθμού απόδοσης κάθε μηχανής. Η μεγίστη αποδιδομένη ισχύος του Α Κ Νο 3 για ταχύτητα ανέμου πάνω από 12 Μ διατηρείται περίπου σταθερή στα 15 ΚW λόγω της σταδιακής μείωσης του βαθμού απόδοσης της μηχανής ενώ ο Α Κ Νο 1 δεν αποδίδει την ισχύ των 15 ΚW ούτε στην ταχύτητα των 20 Μ S.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η προηγούμενη ανάλυση έδειξε ότι υπάρχει σημαντική διαφοροποίηση στην λειτουργική απόδοση των Α Κ αν και αυτοί είναι κατασκευαστικά ταυτόσημοι. Η διαφοροποίηση αποδίδεται στο γεγονός ότι οι Α Κ βρίσκονται εγκαταστημένοι σε διάφορες θέσεις μέσα στο Αιολικό Πάρκο και υπάρχει εμφανής επίδραση της τοπογραφίας της περιοχής στην ποιότητα του ανέμου μέσα στον οποίο λειτουργούν οι Α Κ . Αποτέλεσμα της επίδρασης της τοπογραφίας της περιοχής στην απόδοση των Α Κ είναι και το γεγονός ότι η απόδοσή των είναι ισχυρή συνάρτηση της κατεύθυνσης του ανέμου. Ο μέγιστος βαθμός απόδοσης παρουσιάζεται στον Α Κ Νο3 με τιμή γύρω στο 33%, για βόρεια κατεύθυνση ανέμων ενώ ο ελάχιστος γύρω στα 22%-24% για τους Α Κ Νο 1,2 και 5 για την ίδια βόρεια κατεύθυνση. Σύγκριση των προηγουμένων βαθμών απόδοσης οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η επιτυχής επιλογή θέσης εγκατάστασης Α Κ είναι πιο σημαντικός παράγοντας στην λειτουργική απόδοση του από την επιδίωξη βελτιστοποίησης της Αεροδυναμικής σχεδίσης του Α Κ.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1.PPC, DEP of Alternative energy Sources," Data Collection and Processing for the 100 KW Kythnos wind Energy Project", May 1984

2. A.Papaconstantinou, G. Bergeles, N. Athanassiadis,"Experimental Simulation of the flow over the Kythnos wind Park", EWEA Conference, Hamburg 1984

3.G.Bergeles, N. Athanassiadis, "Numerical Simulation of the flow over the Kythnos wind Park", Delphi Workshop on wind Energy Applications, Delrpi, May 1985

Σ.Σάββας κ.λ.π.

| | Βόρεια | Ανατολική | Νότια | Δυτική | Σύνολο |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 5931 KWH | 1967 | 1667 | 3679 | 13244 KWH |
| 2 | 14955 " | 228 | 3977 | 1126 | 20286 " |
| 3 | 18754 " | 532 | 3498 | 1341 | 24126 " |
| 4 | 11622 " | 339 | 3032 | 1878 | 16871 " |
| 5 | 12021 " | 198 | 1742 | 1027 | 14988 " |
| Σύν. | 63284 | 3266 | 13916 | 9051 | 89515 |

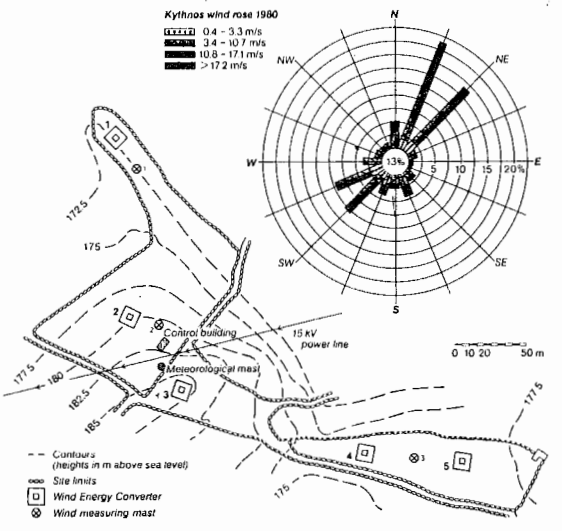
Π1: Συνολική Παραγόμενη ενέργεια από Α Κ

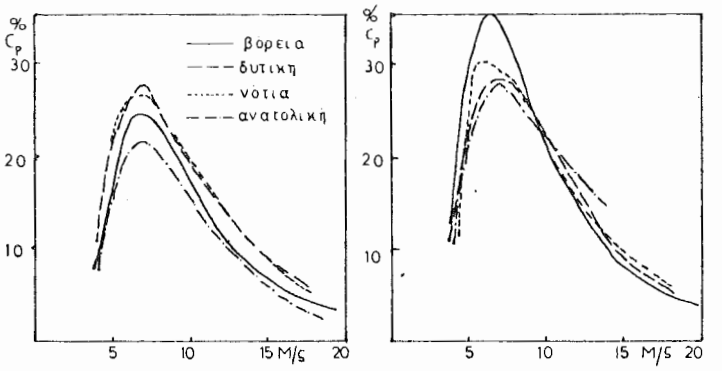
| | Βόρεια | Ανατολική | Νότια | Δυτική | Σύνολο |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 807 | 301 | 195 | 486 | 1789 |
| 2 | 1762 | 44 | 490 | 211 | 2507 |
| 3 | 1777 | 88 | 429 | 228 | 2522 |
| 4 | 1192 | 57 | 342 | 200 | 1791 |
| 5 | 1366 | 41 | 258 | 172 | 1837 |
| Σύν. | 6904 | 531 | 1714 | 1297 | 10446 |

Π2: Σύνολο ωρών λειτουργίας Α Κ

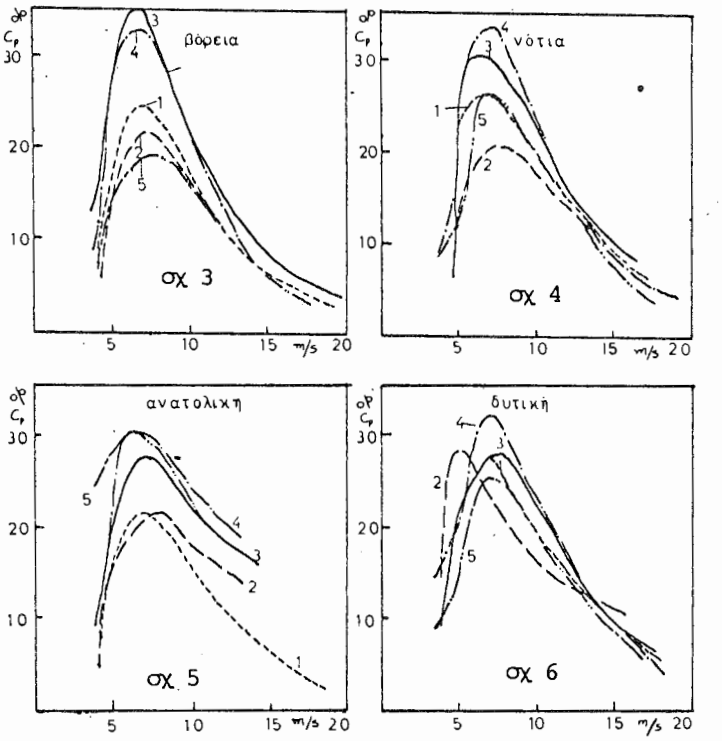
| | Βόρεια | Ανατολική | Νότια | Δυτική | Μέση τιμή |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 7,35 | 6,53 | 8,55 | 7,57 | 7,4 |
| 2 | 8,49 | 5,19 | 8,12 | 5,34 | 8,09 |
| 3 | 10,55 | 6,04 | 8,15 | 5,88 | 9,56 |
| 4 | 9,75 | 5,95 | 8,86 | 9,39 | 9,42 |
| 5 | 8,8 | 4,82 | 6,75 | 5,97 | 8,76 |

Π3: Μέση ισχύς Α Κ κατά κατεύθυνση ανέμου

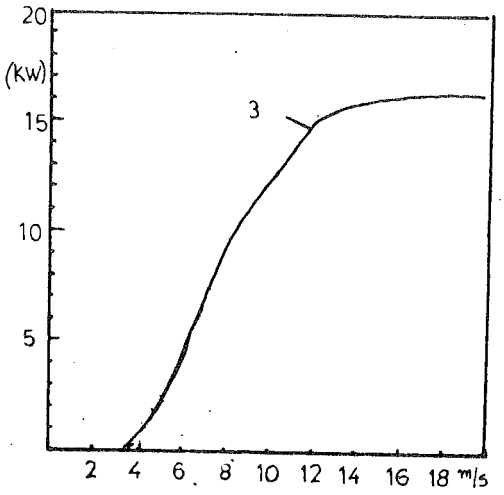




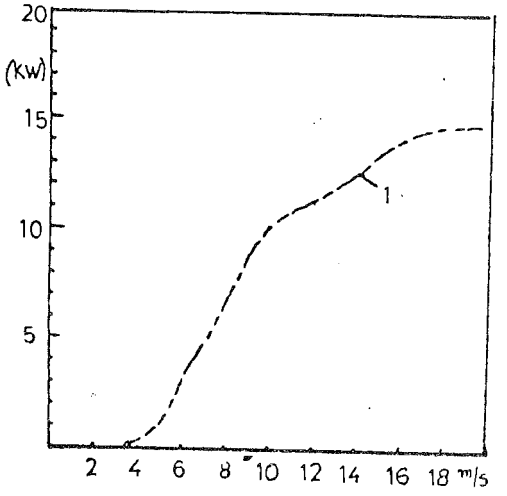

σχ 2: Βαθμοί απόδοσης του 1ου Α Κ σχ 1: Βαθμοί απόδοσης του 3ου Α Κ




Βαθμοί απόδοσης των Α Κ κατά κατεύθυνση




σχ 7 : Καμπύλη ισχύος Α Κ Νο 3, Βόρεια κατεύθυνση




σχ 8 : Καμπύλη ισχύος Α Κ Νο 1, Βόρεια κατεύθυνση

ΑΙΟ-31

# ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΟΥ ΡΟΤΟΡΑ ΕΝΟΣ ΑΝΕΜΟΚΙΝΗΤΗΡΑ ΜΕ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΑΞΟΝΑ

ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ:

Χ.Γεωργαλάς: Φυσικός, Καθηγητής Παν/μίου Πατρών

Α.Κόρας: Φυσικός, Ερευνητής Παν/μίου Πατρών

Σ.Τρωϊάννος: Φυσικός, Ερευνητής Παν/μίου Πατρών

Η εργασία χρηματοδοτείται από την Αγροτική Τράπεζα της Ελλάδος.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Περιγράφεται η μεθοδολογία, βασισμένη στη θεωρία Glauert, για τον προσδιορισμό της βέλτιστης γεωμετρίας του ρότορα ενός ανεμοκινητήρα με οριζόντιο άξονα. Η μεθοδολογία αυτή εφαρμόζεται για το σχεδιασμό του ρότορα ενός ανεμοκινητήρα τύπου "ρόδας ποδηλάτου". Ακολουθεί μία πρόβλεψη της απόδοσης του ρότορα αυτού για διάφορες τιμές της ταχύτητας του ανέμου.

ΛΕΞΕΙΣ - ΚΛΕΙΔΙΑ: Ανεμόμυλος τύπου "ρόδας ποδηλάτου", θεωρία Glauert.

§I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ: Ο ρότορας του ανεμόμυλου τύπου "ρόδας ποδηλάτου " (1), (2) αποτελείται από μία στεφάνη που συνδέεται με την πλήμνη μέσω μεγάλου αριθμού συρμάτινων "ακτίνων". Τα πτερύγια σχηματίζονται από λεπτά φύλλα αλουμινίου που τυλίγονται γύρω από ζεύγη γειτονικών "ακτίνων". Η απόληψη ενέργειας γίνεται περιφεριακώς, με μία ρόδα που ακουμπάει, εξωτερικά, στη στεφάνη. Τα πλεονεκτήματα του τύπου αυτού είναι: α) Απλή ανθεκτική κατασκευή. β) Θεωρητικό ενδιαφέρον. γ) Υψηλή απόδοση, επειδή η στεφάνη αφ'ενός εξαλείφει τους trailing vortices και αφ'ετέρου επενεργεί σα mini-shrowd. δ) Ανύπαρκτο το πρόβλημα πολλαπλασιασμού στροφών και ε) κάποια ομοιότητα προς τους παραδοσιακούς Ελληνικούς ανεμόμυλους.

Στην εργασία αυτή δίνεται ο αεροδυναμικός υπολογισμός της γεωμετρίας μιας τέτοιας φτερωτής και εκτιμάται η απόδοσή της για διάφορες ταχύτητες ανέμου.

## §II. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΡΟΤΟΡΑ (ΦΤΕΡΩΤΗΣ)

### §II. 1 Μέθοδος προσδιορισμού της βέλτιστης γεωμετρίας για μια φτερωτή με Β πτερύγια δεδομένης αεροτομής (profile), που λειτουργεί με ορισμένο λ:

Ο προσδιορισμός αυτός γίνεται με την παρακάτω πορεία:

1. Για τη δεδομένη αεροτομή, προσδιορίζουμε την τιμή της γωνίας προσβολής α για την οποία ο λόγος* $c_L(\alpha)/c_D(\alpha)$ είναι μέγιστος.

2. Θεωρούμε πολλές τιμές του r στο διάστημα $[R_0, R]$. Για κάθε r:

   Α. Προσδιορίζουμε την αντίστοιχη τιμή του $x = \omega r/V_0$ από τη σχέση $x = (r/R)\lambda$.

   Β. Προσδιορίζουμε τις βέλτιστες τοπικές τιμές των συντελεστών επαγωγής, a και a', δηλ. εκείνες για τις οποίες η ισχύς είναι μεγίστη. Αποδεικνύεται (3), (4) ότι οι τιμές αυτές είναι εκείνες που ικανοποιούν τις προσεγγιστικές σχέσεις:

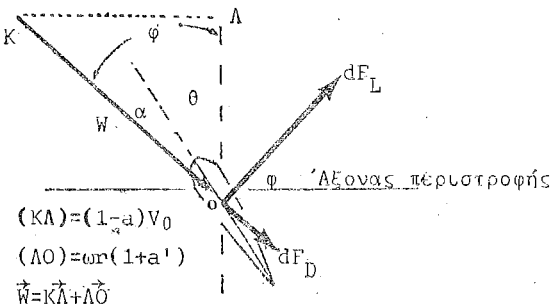
   $$x^2 a'(1+a') = a(1-a), \qquad a' = (1-3a)/(4a-1) \tag{1}$$

   Γ. Υπολογίζουμε τη βέλτιστη τοπική τιμή της γωνίας φ. (Βλ. § V). Από το σχήμα 1 προκύπτει:

   $$\tan\varphi = (1-a)V_0/[\omega r(1+a')] = (1-a)/[(1+a')x] \tag{2}$$

   Δ. Υπολογίζουμε τη βέλτιστη τοπική τιμή της γωνίας θ.

   Είναι:
   $$\theta = \varphi - \alpha \tag{3}$$




Σχήμα 1.

   Ε. Υπολογίζουμε τη βέλτιστη τοπική τιμή της χορδής C(r). Αποδεικνύεται (3), (4) ότι η ισχύς είναι μεγίστη όταν

   $$B\,C(r)c_D\lambda = 8\pi x_r[a/(1-a)].R\sin^2\varphi \tag{4}$$

* Βλ. §V για επεξήγηση των συμβόλων

$$\text{όπου} \quad c_A = c_L(\alpha)\cos\varphi + c_D(\alpha)\sin\varphi \tag{5}$$

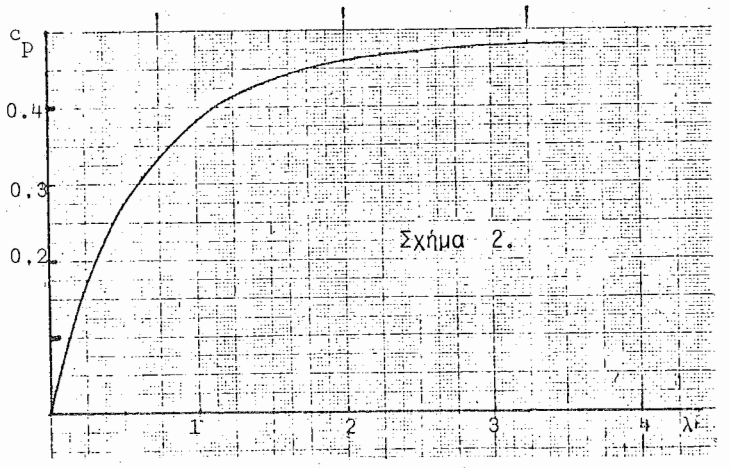
Από την (4), για δεδομένο B, προκύπτει το C(r).

3. Χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα 2Α-2Β για διάφορα r βρίσκουμε το βέλτιστο $c_p$ υπολογίζοντας αριθμητικά το ολοκλήρωμα:

$$c_p^{opt} = \frac{8}{\lambda^2}\int_{\lambda_0}^{\lambda}(1-a)a'x^3dx \tag{6}$$

Η (6) δίνει το μέγιστο συντελεστή ισχύος που μπορεί να επιτευχθεί με τη δεδομένη αεροτομή, για το λ που θεωρούμε

Για κάθε αεροτομή, η παραπάνω πορεία επαναλαμβάνεται για διάφορα λ. Παίρνουμε έτσι το $c_p^{opt}$ συναρτήσει του λ.




Σχήμα 2.

§II. 2 Επιλογή του λ: Η καμπύλη $c_p^{opt}(\lambda)$ είναι ανεξάρτητη από το B και από τη χρησιμοποιούμενη αεροτομή και δείχνεται στο σχήμα 2. Παρατηρούμε ότι για $\lambda > 2$ το $c_p^{opt}$ ελάχιστα βελτιώνεται. Αντίθετα, διάφορα τεχνικά προβλήματα απλουστεύονται αν η φτερωτή σχεδιαστεί για μικρό λ. Επελέγη λοιπόν $\boxed{\lambda = 2}$.

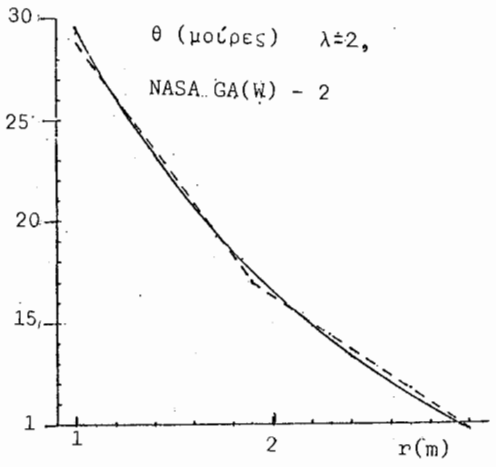
§II. 3 Εκτίμηση της ακτίνας R του ρότορα: Για την απόληψη ισχύος ~ 10 kw από άνεμο ταχύτητας $V_0$ ~ 10 m/s απαιτείται ακτίνα R ~ 3-4 m. Για τις πρώτες τουλάχιστον δοκιμές θα χρησιμοποιηθεί φτερωτή με $\boxed{R = 3m}$. Η τιμή αυτή χρησιμοποιήθηκε στους υπολογισμούς αυτής της εργασίας.

§II. 4 Προσδιορισμός της $R_0$: Δεδομένου ότι η εσωτερική περιοχή της φτερωτής συνεισφέρει πολύ λίγο στην ισχύ που παράγεται ενώ η ευκολία κατασκευής βελτιώνεται σημαντικά για μεγάλα $R_0$, επιλέξαμε τη σχετικά μεγάλη τιμή $\boxed{R_0 = 1m}$.

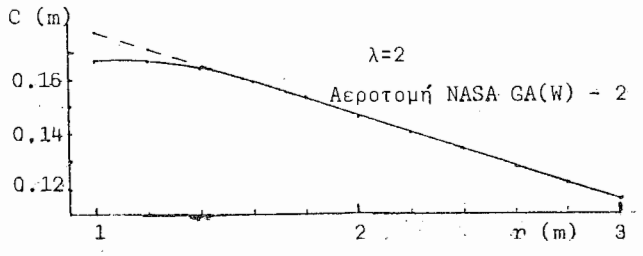
§II. 5 Προσδιορισμός του B: Εξετάστηκαν οι δυνατότητες B=36, 24, 18. Από τις απαιτήσεις: (α) Να πάίρνουμε (κατά το βήμα 2Ε της πορείας της §II.1) μήκη χορδής ευχερώς κατασκευάσιμα και (β) να έχουμε μικρή μάζα φτερωτής οδηγηθήκαμε στη λύση $\boxed{B=24}$.

§II. 6 Επιλογή αεροτομής: Η βέλτιστη γεωμετρία της φτερωτής, η οποία εκφράζεται από τις συναρτήσεις θ(r) και C(r), υπολογίστηκε, για λ=2, για τις αεροτομές: NACA 4412, NACA 4415, NACA 4421, NACA 1412, NACA 23015, NACA $G4_2$-415 και NASA GA(W)-2. Για την τελευταία, τα βέλτιστα μήκη χορδής προκύπτουν σημαντικά μικρότερα, γεγονός που οδηγεί σε μικρότερη μάζα φτερωτής. (π.χ. για r = 1m, C = 16.7 cm και για r = 3m, C = 11.5 cm ενώ π.χ. για την NACA 4412 οι αντίστοιχες τιμές είναι 26.1 cm και 18 cm). Επελέγη λοιπόν η $\boxed{\text{αεροτομή NASA GA(W)-2}}$. Η αεροτομή αυτή χρησιμοποιείται και σε ανεμόμυλους τύπου "ρόδας πο - δηλάτου" Αμερικανικής κατασκευής[2].

§II. 7 Προσδιορισμός των θ(r) και C(r): Τα βέλτιστα θ(r) και C(r), για την αεροτομή NASA GA(W)-2 και για λ=2 δίνονται από τη συνεχή καμπύλη των σχημάτων 3 και 4. Για λόγους κατασκευαστικούς, προσεγγίζου με τις βέλτιστες θ(r) και C(r) με ευθύγραμμα τμήματα.




Σχήμα 3.




Σχήμα 4.

## §III. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΔΥΝΑΜΕΩΝ, ΡΟΠΩΝ ΚΑΙ ΙΣΧΥΟΣ

Με δεδομένη την αεροτομή, το C(r) και το θ(r), μπορούν να εκτιμηθούν οι δυνάμεις και ροπές που ασκεί ο άνεμος στη φτερωτή, η παραγόμενη ισχύς γιά διάφορα $V_0$ και λ και η αεροδυναμική απόδοση της φτερωτής. Για τους υπολογισμούς αυτούς είναι φανερό ότι δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος της §II.1 αφού, στην πράξη, τα a και a' δεν έχουν τις βέλτιστες τιμές τους, που ικανοποιούν την (1). Χρησιμοποιούμε λοιπόν την εξής επαναληπτική (itevative) μέθοδο:

1. Καθορίζουμε τα $V_0$ και λ (ή $V_0$ και ω) για τα οποία γίνεται ο υπολογισμός.
2. Θεωρούμε πολλές τιμές του r στο διάστημα $[R_0, R]$.
3. Για κάθε r:
   - Α. Υπολογίζουμε το αντίστοιχο x.
   - Β. Προσδιορίζουμε τα αντίστοιχα θ(r) και C(r) (π.χ. από ευθύγραμμες προσεγγίσεις στις καμπύλες 3 και 4).
   - Γ. Δεχόμαστε δύο τυχαίες τιμές των a και a'(π.χ. a=a'=0).
   - Δ. Υπολογίζουμε το φ από την (2).
   - Ε. Υπολογίζουμε το α=φ-θ.
   - ΣΤ. Προσδιορίζουμε τα αντίστοιχα $c_L$ και $c_D$ από τις καμπύλες $c_L(\alpha)$ και $c_D(\alpha)$ που χαρακτηρίζουν τη χρησιμοποιουμένη αεροτομή.
   - Ζ. Υπολογίζουμε, τα a, a'. Αποδεικνύεται (3), (4) ότι:

$$a = \left[\frac{8\pi r}{CBc_A}\sin^2\varphi+1\right]^{-1}, \qquad a' = \left[\frac{8\pi r}{CBc_T}\sin\varphi\cos\varphi - 1\right]^{-1} \qquad (7)$$

   όπου το $c_A$ δίνεται από την (5) και $c_T = c_L \sin\varphi - c_D\cos\varphi$ (8)

   - Η. Αν οι τιμές των a και a'που υπολογίστηκαν στο Ζ διαφέρουν πολύ από τις τιμές που είχαμε δεχτεί στο Γ, αντικαθιστούμε τις τιμές που είχαμε δεχτεί με τις νέες τιμές και επαναλαμβάνουμε

τους υπολογισμούς Δ ως Z. Αυτό επαναλαμβάνεται όσες φορές χρειάζεται ώστε η διαφορά μεταξύ των τιμών εισόδου και εξόδου να γίνει αμελητέα.

Θ. Υπολογίζουμε τη φαινόμενη ταχύτητα του ανέμου: $W = V_0(1-a)/\sin\varphi$

I. Υποθέτουμε ότι η επιφάνεια $\pi R^2$ που διαγράφουν τα πτερύγια αποτελείται από ομόκεντρους δακτυλίους εμβαδού $2\pi r.dr$, και υπολογίζουμε την εφαπτομενική δύναμη $dF_T$, την αξονική δύναμη $dF_A$ και τη ροπή dQ που ασκεί σε κάθε πτερύγιο ο αέρας που διαπερνάει ένα τέτοιο δακτύλιο. Είναι:

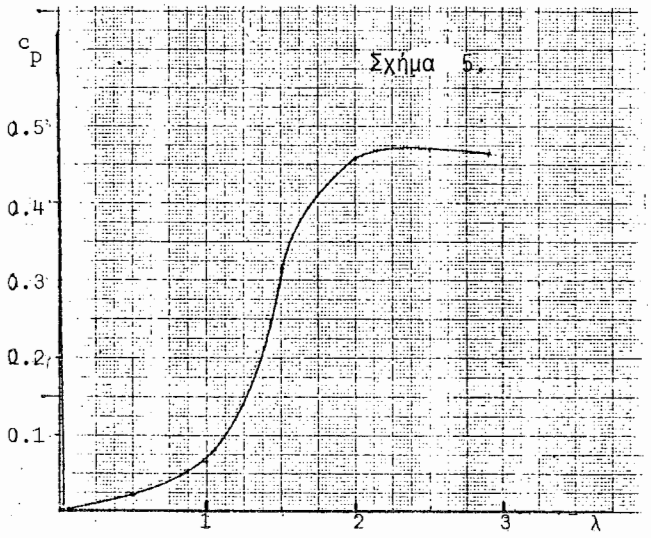
$$dF_T=\frac{1}{2}\rho c_T C(r)drW^2, \quad dF_A=\frac{1}{2}\rho c_A C(r)drW^2, \quad dQ=rdF_T \tag{9}$$

όπου $\rho=1.25$ kg/m$^3$ η πυκνότητα του αέρα

4. Ολοκληρώνοντας (αριθμητικά) από $r=R_0$ ως R βρίσκουμε τα

$$F_A = B\int dF_A, \qquad P = B\omega\int dQ \qquad \text{και} \qquad c_p = P/(\rho\pi R^2 V_0^3/2)$$

Ως δείγμα υπολογισμού με τη μέθοδο αυτή δίνουμε, στο σχήμα 5, το $c_p$ συναρτήσει του λ για τη φτερωτή που προσδιορίστηκε στην §II.



Σχήμα 5.

Οι κυριώτερες απροσδιοριστίες στους υπολογισμούς αυτούς προέρχονται από το ότι οι καμπύλες $c_L(\alpha)$ και $c_D(\alpha)$, για τις περισσότερες αεροτομές, είναι διαθέσιμες μόνο για μεγάλους αριθμούς Reynolds και μόνο για μία μικρή περιοχή γωνιών α. Η προεκβολή των $c_L(\alpha)$ και $c_D(\alpha)$ έξω από την περιοχή αυτή και η αναγωγή τους σε μικρότερους αριθμούς Re υπεισάγει απροσδιοριστίες που μειώνουν την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων.

## §IV. ΤΕΛΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Η εργασία αυτή αποτελεί το πρώτο στάδιο ενός ευρύτερου έργου που ελπίζεται ότι θα οδηγήσει στην κατασκευή και δοκιμή ενός πρωτοτύπου αιολικής μηχανής τύπου "ρόδας ποδηλάτου".

Τα κυριώτερα προβλήματα περιμένουμε ότι θα είναι κατασκευαστικά και θα εμφανιστούν σε μεταγενέστερα στάδια. Πιστεύουμε ότι τα πλεονεκτήματα της "ρόδας ποδηλάτου" (βλ. εισαγωγή) δικαιολογούν ειδική μελέτη (θεωρητική και πειραματική) και ότι, πάντως, ο εξ αρχής υπολογισμός, η σχεδίαση και η κατασκευή της μηχανής θα αποβεί, μακροπρόθεσμα, πολλαπλώς επωφελέστερη από την απλή προμήθεια ή έστω την αντιγραφή μιας από τις μηχανές του τύπου αυτού που κυκλοφορούν στις Η.Π.Α.

## §V. ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ

α: γωνία προσβολής

θ: γωνία που σχηματίζει η χορδή της αεροτομής με το επίπεδο περιστροφής του ρότορα

λ: λόγος της περιστροφικής ταχύτητας ωR του ακροπτερυγίου προς την αδιατάρακτη ταχύτητα $V_0$

ρ: πυκνότητα του αέρα

φ: γωνία που σχηματίζει η φαινομένη ταχύτητα του ανέμου με το επίπεδο περιστροφής

x: λόγος της ταχύτητας περιστροφής ωr σε απόσταση r από τον άξονα περιστροφής προς το $V_0$

ω: γωνιακή ταχύτητα περιστροφής του ρότορα

a: αξονικός συντελεστής επαγωγής (induction factor)

a': εφαπτομενικός συντελεστής επαγωγής

B: αριθμός πτερυγίων (Blades) της φτερωτής

$c_L$, $c_D$, $c_T$, $c_A$: συντελεστής άνωσης (lift), αντίστασης (drag), εφαπτομενικής δύναμης, αξονικής δύναμης

$c_p$: συντελεστής ισχύος

C: χορδή πτερυγίου

$F_A$, $F_T$: αξονική και εφαπτομενική δύναμη που ασκεί ο άνεμος στη φτερωτή

P: παραγόμενη ισχύς

Q: Ροπή που ασκεί ο άνεμος στη φτερωτή

r: απόσταση από τον άξονα περιστροφής: $R_0 < r < R$

$R_0$, R: ελαχίστη και μεγίστη ακτίνα του ρότορα

$V_0$: αδιατάρακτη ταχύτητα ανέμου

W: φαινομένη ταχύτητα ανέμου.

## §VI. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. F.R. Eldridge: Wind Machines. The MITRE Energy Resources and Environment Series. Van Nostrand-Reinhold, New York (1980)

2. O.Smith: Aero Polyblade Turbine Systems:First International Symposium on Non-Conventional Energy. 27 Aug. - 21 Sept. 1979, I.C.T.P, Trieste, Italy
   Επίσης: O. Smith:Wind Turbine System. U.S. Patent 4330714/18-5-82.

3. O.de Vries: Fluid Dynamic Aspects of Wind Energy Conversion. National Aerospace Lab. NLR, Anthony Fokkerweg 2, 1059 CM, Amsterdam, The Netherlands. AGARD - AG - 243 και παραπομπές που δίνονται εκεί.

4. D.Le Gourieres: Energie Eolienne, Eyrolles, Paris, 1980.

ΤΙΤΛΟΣ ΕΙΣΗΓΗΣΗΣ:

# ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΕΠΙΔΟΣΕΩΝ ΑΝΕΜΟΚΙΝΗΤΗΡΩΝ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΥ ΑΞΟΝΑ DARRIEUS ΜΕΣΑ ΣΕ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΟ ΣΤΡΩΜΑ ΑΕΡΑ ΜΕ ΜΙΑ ΜΕΘΟΔΟ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝ ΡΟΗΣ ΚΑΙ ΑΣΥΜΜΕΤΡΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΑΝΑΝΤΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΝΤΗ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΔΡΟΜΕΑ

ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ:

Β.Γ. Στεργιόπουλος*
Docteur d'Etat ès Sciences
Docteur-Ingênieur
D.E.A. Mêcanique des Fluides
Πολιτ. Μηχανικός Α.Π.Θ.
I.M.F.M.-Université d'Aix-Marseille II

M.Botrini**
Docteur de Spêcialitê
D.E.A. Mêcanique des Fluides
Maître ès Sciences
L.D.T.F.-Université d'Aix-Marseille I

ΠΕΡΙΛΗΨΗ:

Στην εργασία αυτή ο ανεμοκινητήρας (Α.Κ.Α.) Darrieus βρίσκεται μέσα σε διατμητικό στρώμα αέρα και παρουσιάζει αεροδυναμική ασυμμετρία στο ανάντη και κατάντη τμήμα του.Η ροή προσεγγίζεται με κατακόρυφη και αξιμουθιακή επαλληλία διπλών συντηρητικών ροϊκών σωλήνων,μεταβλητής οριζόντιας διάστασης,με ταυτόχρονη παρουσία στον καθένα,δυο ενεργειακών δίσκων,αντιπροσωπευτικών των διαφορετικών,ανάντη και κατάντη,ανταλλαγών ενέργειας ρευστού και δρομέα.

ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ:

Ανεμοκινητήρας Darrieus - αιολική ενέργεια - διπλού ροϊκού σωλήνες - ενεργειακού δίσκοι - αεροδυναμικές επιδόσεις

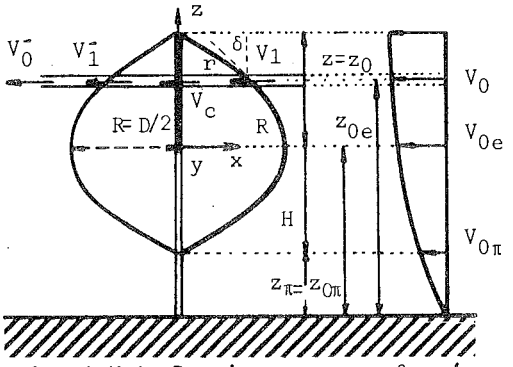
ΕΙΣΑΓΩΓΗ:

Οι διαφορετικής μορφής πτερυγίων και διαφορετικού τύπου αεροτομών ανεμοκινητήρες κατακόρυφου άξονα Darrieus αντιμετωπίζονται στην παρούσα μέθοδο με ενιαίο τρόπο.Η μέθοδος αυτή υπερέχει σε σχέση με τις άλλες τεχνικές απλών ή πολλαπλών σωλήνων ροής,Templin (1),Strickland (2),Paraschivoiu (3),διότι,παράλληλα με τη χρήση των σχέσεων της κλασσικής θεωρίας ορμής των Rankine-Froude-Betz (4) και της θεωρίας στοιχείων πτερυγίων του Theodorsen (5),παίρνει υπόψη τις διαφορετικές ανάντη και κατάντη συνθήκες λειτουργίας των πτερυγίων και προτείνει μια επαλληλία διπλών ροϊκών σωλήνων,των οποίων οι διαφορετικές διαστάσεις προσδιορίζονται με τη βοήθεια της εξίσωσης της συνέχειας.Συγχρόνως προσεγγίζεται ο ρόλος δευτερογενών παρασιτικών κατασκευαστικών επιδράσεων και των πιθανών μεταβολών του κυκλικού βήματος και της έντασης του διατμητικής κατανομής ανάντη ανέμου.

*Περιφερειακής 3,Μελίκη,59031 Ημαθίας **Soc.M.DASSAULT-Toulouse-France

## 1. ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΔΙΠΛΩΝ ΡΟΪΚΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝ

Στο σχήμα 1,ο "εκ περιστροφής" όγκος σάρωσης του δρομέα Darrieus αποτελείται από σειρά ανεξάρτητων κατακόρυφων και αξιμουθιακών ροϊκών σωλήνων με διαστάσεις εγκάρσιας προς τον άνεμο διατομής εισόδου $dz.dy_1 = (dl.\cos\delta).(r.d\theta.|\cos\theta|).dz,d\theta$ και dl είναι αντίστοιχα τα βήματα υπολογισμού κατά την κατακορυφη διεύθυνση z και την παράλληλη προς τον άνεμο διεύθυνση x και το μήκος στοιχειακού εκπετάσματος,θ η γωνιακή θέση, r η ακτίνα της οριζόντιας κυκλικής τομής στη θέση z και δ η γωνία που σχηματίζει σε μεσημβρινή τομή η εφαπτομένη του πτερυγίου με την κατακόρυφη διεύθυνση.Η δέσμευση από τον δρομέα ενέργειας ίσης με τη διαφορά της ανάντη και κατάντη κινητικής ενέργειας του ανέμου προκαλεί επιβράδυνση της ροής και διόγκωση των ροϊκών σωλήνων.Οι διαφορετικές συνθήκες του πεδίου ροής του ανάντη ημικυκλίου σε σχέση με το κατάντη επιβάλλουν τη χρησιμοποίηση διπλών ροϊκών σωλήνων μεταβλητών οριζόντιων διαστάσεων.Στα σημεία τομής κάθε σωλήνα με τα περιστρεφόμενα πτερύγια θεωρούνται δυο ενεργειακοί δίσκοι υπεύθυνοι για τις ενεργειακές ανταλλαγές.Η επιβράδυνση της ροής παίρνεται υπόψη με τη βοήθεια των ανάντη και κατάντη συντελεστών επιβράδυνσης a και $\bar{a}$,σταθερών για κάθε τμήμα του σωλήνα αλλά μεταβλητών κατά τις διευθύνσεις y και z.




Σχ. 1 . A.K.A. Darrieus σε μεσημβρινή τομή

Για τον διπλό ροϊκό σωλήνα του σχήματος 2,οι τοπικές ταχύτητες στις θέσεις ανάντη $y_{0i},y_{1i},y_{ci}$ και τις αντίστοιχες κατάντη $y_{1i}^{-},y_{0i}^{-}$ είναι:

$$V_{0i}\ ,V_{1i}=(1-a_i).V_{0i},V_{ci}=(1-2a_i).V_{0i},V_{1i}^{-}=(1-\bar{a}_i).V_{ci},V_{0i}^{-}=(1-2\bar{a}_i).V_{ci} \quad (1)$$

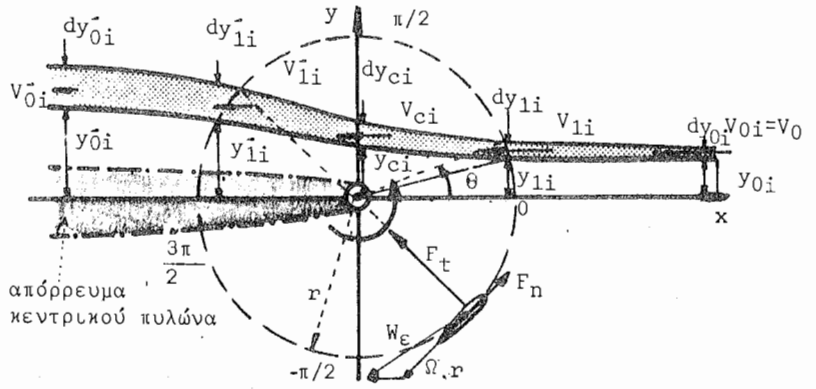
Η ταχύτητα ανέμου $V_{0i}$ ακολουθεί την διατμητικής μορφής σχέση,$V_{0i}=V_{0e}\cdot(z_0/z_{0e})^n$ ,όπου $V_{0e}$ είναι η ταχύτητα στο ισημερινό επίπεδο $z_{0e}$ και n γνωστός εκθέτης.Η διατήρηση της μάζας του ασυμπίεστου ρευστού του σωλήνα δίνει: $V_{0i}.dy_{0i}= V_{1i}.dy_{1i}=V_{ci}.dy_{ci}=V_{1i}^{-}.dy_{1i}^{-}=V_{0i}^{-}.dy_{0i}^{-}$ (2)

$dy_{0i},dy_{1i},dy_{ci},dy_{1i}^{-},dy_{0i}^{-}$ είναι οι παράλληλες προς τον άξονα y διαστάσεις του στις θέσεις $y_{0i},y_{1i},y_{ci},y_{1i}^{-},y_{0i}^{-}$ .Από τις σχέσεις 1 και 2 προκύπτει: $dy_{0i}=(1-a_i).dy_{1i}$ , $dy_{ci}=dy_{1i}.(1-a_i)/(1-2a_i)$ (3)

$dy_{1i}^{-}=dy_{1i}.(1-a_i)/((1-2a_i).(1-\bar{a}_i))$ ,$dy_{0i}^{-}=dy_{1i}.(1-a_i)/((1-2a_i).(1-2\bar{a}_i))$

Ακολουθείται η εξής διαδικασία: Η κάτω γραμμή ροής i του σωλήνα θεωρείται γνωστή από προηγούμενο υπολογισμό για το σωλήνα i-1.Οι συντελεστές $a_i$ και $\bar{a}_i$ καθορίζονται επαναληπτικά επίσης από το σωλήνα i-1 σύμφωνα με την τεχνική που περιγράφεται στην επόμενη παράγραφο.Τότε, για δοσμένη τιμή $dy_{1i}$,προσδιορίζονται από τις εξισώσεις 3 οι διαστάσεις $dy_{0i}$ ; $dy_{ci},dy_{1i}^{-},dy_{0i}^{-}$ και οι θέσεις $y_{0,i+1},y_{c,i+1},y_{1,i+1}^{-},y_{0,i+1}^{-}$ της πάνω

γραμμής ροής.Η γραμμή ροής i=1,που συμπίπτει με το θετικό ημιάξονα x εφάπτεται του κύκλου τομής του κεντρικού πυλώνα της μηχανής και καταλήγει στο σημείο τομής του απορρεύματός του με τον κύκλο σάρωσης του δρομέα,αποτελεί το μηδενικής τάξης ροϊκό σωλήνα,ο οποίος θα δώσει επαναληπτικά τους συντελεστές $a_1$,$\bar{a_1}$,χρήσιμους για το σωλήνα i=1.




Σχ.2. Διπλός ροϊκός σωλήνας μεταβλητής διατομής.

## 2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΔΥΟ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΕΠΙΒΡΑΔΥΝΣΗΣ

Οι συνιστώσες $W_t$,$W_r$,$W_z$,κατά τη διεύθυνση της εφαπτομένης του οριζόντιου κύκλου περιφοράς,τήν ακτίνα και τον άξονα z,της σχετικής τοπικής ταχύτητας $\vec{W}=\vec{V}_1+\vec{\Omega r}$ ,με Ω τη γωνιακή ταχύτητα,είναι: $W_t=\Omega r-V_1.\sin\theta$ ,
$W_r=V_1.\cos\theta$ , $W_z=0$ (4)

Για τον προσδιορισμό των ενεργών δυνάμεων που ασκούνται πάνω στα πτερύγια και παίζουν κύριο ρόλο στην ανάπτυξη της άντωσης επιβάλλεται από τη θεωρία στοιχείων πτερυγίων η αντικατάσταση της $W_r$ από την κάθετη στο εξεταζόμενο στοιχείο συνιστώσα $V_1.\cos\theta.\cos\delta$.Η ενεργή ταχύτητα $W_\varepsilon$ και η ενεργή γωνία προσβολής i ορίζονται,με τη βοήθεια του τοπικού λόγου ταχυτήτων $\lambda=\Omega r/V_1$,από τις σχέσεις:

$W_\varepsilon^2=V_1^2.\left((\lambda-\sin\theta)^2+\cos^2\theta.\cos^2\delta\right)$, $\sin i=V_1.\cos\theta.\cos\delta/W_\varepsilon$ (5)

Οι δυνάμεις $F_t$ και $F_n$ κατά τη διεύθυνση της εφαπτομένης του στοιχείου πτερυγίου και της ακτίνας είναι συναρτήσεις των αντίστοιχων συντελεστών $C_t$,$C_n$,του Lilienthal και των συντελεστών $C_L$,$C_D$ άντωσης και οπισθέλκουσας.

$F_t=0,5.\rho.c.C_t.dl.W_\varepsilon^2$ , $F_n=F_t.C_n/C_t$ (6)

$C_t=C_L.\sin i-C_D.\cos i$ , $C_n=C_L.\cos i+C_D.\sin i$ (7)

όπου c η χορδή της αεροτομής και ρ η πυκνότητα του αέρα.Η μέση τιμή της οριζόντιας δύναμης,που ασκούν στο ρευστό παράλληλα προς τον άξονα x τα N σε πλήθος πτερύγια συναντώντας στο ανάντη ημικύκλιο $[-\pi/2,\pi/2]$ το πρώτο τμήμα του διπλού ροϊκού σωλήνα,βρίσκεται προβάλλοντας τις παραπάνω δυνάμεις στον άξονα x και εφαρμόζοντας το θεώρημα ορμής.Συνεπώς:

$$F_x.N.\frac{d\theta}{2\pi}=(F_n.\cos\delta.\cos\theta+F_t.\sin\theta).N\frac{d\theta}{2.\pi}=\rho.V_1.dy_1.dz.(V_0-V_c) \quad (8)$$

Ο συνδυασμός των εξισώσεων 1,6,8 οδηγεί στην επόμενη σχέση:

$$\frac{N.c}{8\pi.R}\left(C_n.\frac{\cos\theta}{|\cos\theta|}+C_t.\frac{\sin\theta}{|\cos\theta|.\cos\delta}\right).\left(\frac{W_\varepsilon}{V_1}\right)^2.(1-a)=\frac{r}{R}.a \quad (9)$$

R είναι η ακτίνα του κύκλου ισημερινής τομής.Οι συντελεστές $C_L$,$C_D$ είναι συναρτήσεις του τοπικού αριθμού Reynolds $Re_c=W_\varepsilon.c/\nu$ και ανήκουν στα δεδομένα εισόδου του προβλήματος.ν είναι ο συντελεστής κινηματικού

ιξώδους.Για τον αριθμό Reynolds $Re_c$ ισχύει :

$$Re_c = Re_{AKA} \cdot (W_\varepsilon/V_1) \cdot (r/R) \cdot (1/\lambda) \quad \text{με } Re_{AKA}=\Omega,R.c/\nu \qquad (10)$$

Στο δεύτερο ημικύκλιο $[\pi/2,3\pi/2]$ ο προσδιορισμός των συντελεστών α- ακολουθεί ακριβώς την ίδια διαδικασία για τα κατάντη τμήματα των ροϊ- κών σωλήνων.Ολοι οι προηγούμενοι τύποι συνεχίζουν να ισχύουν εαν τα α- νάντη μεγέθη αντικατασταθούν από τα εφοδιασμένα με τόνο ( ' ) κατάντη μεγέθη.

## 3. ΠΡΟΓΝΩΣΗ ΤΩΝ ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΕΠΙΔΟΣΕΩΝ ΤΩΝ Α.Κ.Α. ΤΥΠΟΥ DARRIEUS

Η αναπτυσσόμενη τοπική ροπή στο στοιχείο πτερυγίου εκπετάσματος dl, στη θέση $(\theta,z)$ είναι:

$$dM=r.F_t=0,5.\rho.c.R.\frac{r}{R}.\frac{1}{\cos\delta}.dz.W_\varepsilon^2.C_t \qquad (11)$$

Στο ανάντη ημικύκλιο η αντίστοιχη συνολική τοπική στοιχειακή ροπή που οφείλεται στα N/2 σε πλήθος πτερύγια είναι:

$$dM_{AT}=dM.N/2$$

Η ολοκλήρωση της προηγούμενης σχέσης,με όρια $[-H,H]$ και $\theta$ σταθερό,δί- νει τις ροπές $M_{\theta AT}(\theta)$,ενώ με όρια $[-\pi/2,\pi/2]$ και σταθερό z,τις ροπές $M_{zAT}(z)$.Οι μέσοι συντελεστές ροπής και ισχύος $\bar{C}_{MAT}$,$\bar{C}_{PAT}$,του ανάντη τμήματος του ανεμοκινητήρα προκύπτουν από τις σχέσεις :

$$\bar{C}_{MAT}=\bar{M}_{AT} / (0,5.\rho.S.V_{0e}^2) \quad , \quad \bar{C}_{PAT}=\bar{C}_{MAT} \cdot \lambda_{AKA} \qquad (12)$$

$\bar{M}_{AT}$ είναι το ολοκλήρωμα των $M_{\theta AT}(\theta)$ με όρια $[-\pi/2,\pi/2]$ , S η μετωπι- κή επιφάνεια του δρομέα και $\lambda_{AKA}=\Omega.R/V_{0e}$.

Οι τοπικές ,οι μέσες και οι ολικές τιμές των δυνάμεων,των ροπών καθώς και των συντελεστών ροπής και ισχύος υπολογίζονται με ολοκληρώ- σεις Simpson τόσο για το ανάντη όσο και το κατάντη τμήμα του δρομέα και οδηγούν στην πρόγνωση των ολικών επιδόσεών του.

Το πρόγραμμα H/Y που συντάχτηκε για την παρούσα μέθοδο αποτελεί- ται από δεκαέξι υπορουτίνες.Αντιμετωπίζει ενιαία εικοσιένα διαφορετι- κούς συνδυασμούς Α.Κ.Α. Darrieus με ευθύγραμμα,παραβολικά,σχοινοειδή με και χωρίς δράση του βάρους,αλυσοειδή,τύπου SANDIA,αλλά και γενικό- τερης μορφής καμπυλότητας πτερύγια,με αεροτομές τύπου NACA 0012 -0015 -0018.Μπορεί να λειτουργεί για μια σειρά σαράντα χρονικών βημάτων με- ταβολής του ανάντη ανέμου,σε μια προσπάθεια απλής προσέγγισης των πρα- γματικών εξωτερικών συνθηκών,και για μια σειρά γωνιών προσανατολισμού των πτερυγίων σαν πρώτο βήμα μελέτης του προβλήματος βελτιστοποίησης των αεροδυναμικών επιδόσεων με μεταβλητή γεωμετρία.

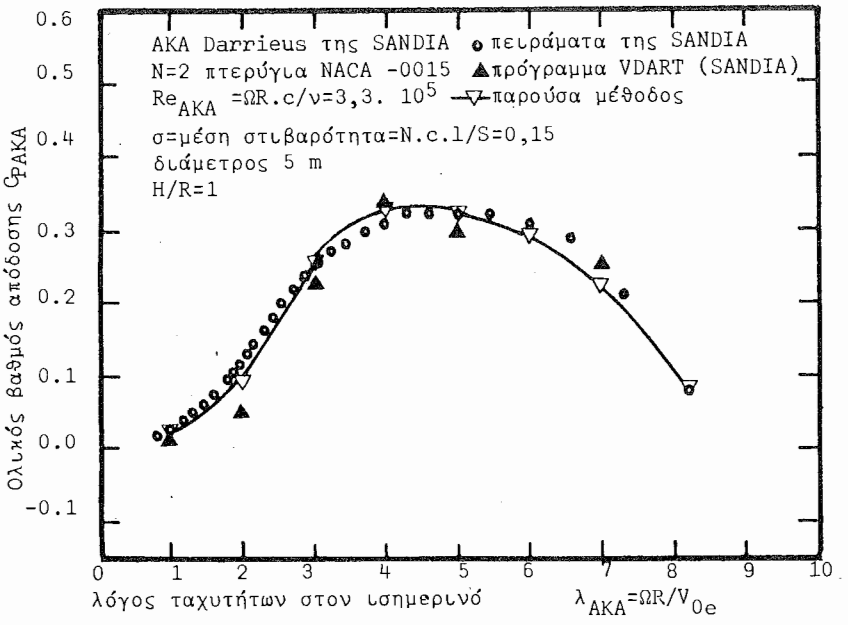
Εκτός από τους μεταβλητής διατομής συντηρητικούς διπλούς ροϊκούς σωλήνες που χρησιμοποιεί,παίρνει προσεγγιστικά υπόψη τη ροπή αντίστα- σης που δημιουργούν διάφοροι πραγματικοί παρασιτικοί παράγοντες,όπως ο κεντρικός πυλώνας στήριξης,οι ράβδοι αλληλοσυγκράτησης των πτερυγίω- ων και οι πλάκες των αεροδυναμικών φρένων.

Εγιναν προσπάθειες ώστε το πρόγραμμα να έχει τη δυνατότητα αυτόμα- της μετατροπής των ροϊκών σωλήνων της παρούσας μεθόδου είτε σε απλούς είτε σε διπλούς μη συντηρητικούς.

Η αξιοπιστία του μοντέλου ελέχτηκε με σύγκριση με τα πειραματικά αποτελέσματα του ανεμοκινητήρα διαμέτρου 5 μέτρων και H/R=1 της SANDIA.Πρόκειται για δρομέα δύο πτερυγίων των οποίων τα ακραία τμή- ματα είναι ευθύγραμμα ενώ το μεσαίο τμήμα τους έχει μορφή κυκλικού τόξου.Οι αεροτομές τους είναι τύπου NACA -0015 και σταθερής χορδής c = 15,24 cm.Η μέση στιβαρότητα του δρομέα είναι $\sigma=N.c.1/S=0,15$.( 1 είναι το εκπέτασμα των πτερυγίων).

Για την περίπτωση λειτουργίας της μηχανής σε 162,5 στροφές/λεπτό και $Re_{AKA} = 3,3 \cdot 10^5$ ,παρουσιάζεται στο σχήμα 3 η σύγκριση των απο- τελεσμάτων της εργασίας αυτής τόσο με τα πειραματικά αποτελέσματα

της SANDIA (6), όσο και το πρόγραμμα VDART της μεθόδου δίνης του Strickland, το οποίο χρησιμοποιεί η SANDIA. Η πρόγνωση του ολικού βαθμού απόδοσης $C_{PAKA}$ σε συνάρτηση με το λόγο ταχυτήτων $\lambda_{AKA}$ κρίνεται ικανοποιητική.




Σχ. 3. Σύγκριση της παρούσας μεθόδου με τα πειραματικά αποτελέσματα της SANDIA για ανεμοκινητήρα Darrieus 5 m με δυο πτερύγια

## 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Μια μέθοδος ενιαίου τρόπου πρόβλεψης των επιδόσεων του συνόλου των συνδυασμών γεωμετρικών διαμορφώσεων των συμβατικών ανεμοκινητήρων παρουσιάστηκε στην εργασία αυτή. Βασίστηκε στην επαλληλία διπλών συντηρητικών σωλήνων ροής μεταβλητής διατομής, οι οποίοι φέρουν ζεύγη ενεργειακών δίσκων διαφορετικής αλλά εξαρτημένης αποστολής. Δευτερογενείς παράγοντες πάρθηκαν υπόψη. Ανταποκρίνεται ικανοποιητικά στις ερευνητικές απαιτήσεις προμελέτης και πραγματικής λειτουργίας, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραμετρικές συγκριτικές μελέτες των Α.Κ.Α. και να δώσει χρήσιμες κατασκευαστικές πληροφορίες.

Οι στατικοί συντελεστές άντωσης και οπισθέλκουσας της απέρατης πτέρυγας δεν μπορούν να οδηγήσουν σε μελέτη του μη μόνιμου προβλήματος της δυναμικής απώλειας στήριξης.

Επιβάλλεται βελτίωση της τεχνικής των ροϊκών σωλήνων ώστε να μελετηθούν τα ρεύματα αντεπιστροφής, οι δευτερογενείς ακτινικές ροές, οι ροές εκπετασματικής ολίσθησης και ο τρισδιάστατος, τυρβώδης και μη μόνιμος χαρακτήρας των απορρευμάτων των Α.Κ.Α.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ

| | |
|---|---|
| $a, a^-$ | = συντελεστές επιβράδυνσης ανάντη-κατάντη |
| $c, C_L, C_D$ | = χορδή, συντελεστές άντωσης και οπισθέλκουσας |
| $C_t, C_n$ | = συντελεστές Lilienthal |
| $C_P, C_M$ | = συντελεστές απόδοσης και ροπής |
| $dz, d\theta, dl$ | = κατακόρυφο και αζιμουθιακό βήμα, στοιχειακό εκπέτασμα |
| $F_t, F_n$ | = εφαπτομενική και ακτινική δύναμη στοιχείου πτερυγίου |
| $H, D$ | = το μισό του ύψους και η διάμετρος του δρομέα |
| $l, M$ | = μήκος εκπετάσματος, ροπή |
| $N, n$ | = αριθμός πτερυγίων, εκθέτης διατμητικού ανέμου |
| $r, R$ | = ακτίνες κύκλου θέσης και ισημερινής τομής |
| $Re_c, Re_{AKA}$ | = αριθμός Reynolds $W_\varepsilon.c/\nu$ και $\Omega R.c/\nu$ |
| $S$ | = μετωπική επιφάνεια του δρομέα |
| $V_0, \bar{V_0}, V_{0e}$ | = ταχύτητες ανέμου ανάντη-κατάντη και στην ισημερινή τομή |
| $V_1, \bar{V_1}, V_c$ | = ταχύτητες στον πρώτο -δεύτερο δέκο και ενδιάμεσα αυτών |
| $W, W_\varepsilon$ | = τοπική σχετική ταχύτητα, ενεργή σχετική ταχύτητα |
| $x, y, z$ | = άξονες συντεταγμένων και συντεταγμένες |
| $z_e$ | = υψομετρική θέση ισημερινής τομής του Α.Κ.Α. |
| $\delta$ | = τοπική γωνία εφαπτομένης πτερυγίου και κατακορύφου |
| $\theta$ | = αζιμουθιακή θέση |
| $\lambda, \lambda_{AKA}$ | = λόγοι περιφερειακής και $V_1$ ή $V_{0e}$, $\Omega r/V_1, \Omega R/V_{0e}$ |
| $\nu, \rho$ | = συντελεστής κινηματικού ιξώδους και πυκνότητα του αέρα |
| $\sigma, \Omega$ | = μέση στερεότητα $N.c.l/S$, γωνιακή ταχύτητα |

Δείκτες

| | |
|---|---|
| $AT, KT$ | = ανάντη και κατάντη τμήμα του ανεμοκινητήρα |
| $AKA$ | = ανεμοκινητήρας κατακόρυφου άξονα, αντίστοιχα μεγέθη του |
| $\bar{}$ | = μεγέθη του κατάντη τμήματος ροϊκού σωλήνα |
| $-$ | = μέσες τιμές |

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ


1. Templin R.J.(1974)."Aerodynamic performance theory for the NRC VAWT",N.R.C. LTR-LA-160,33p.
2. Strickland J.H.(1975)."The Darrieus turbine:A performance prediction model using multiple streamtubes",SANDIA Lab.,SAND75-0431,36p.
3. Paraschivoiu I.(1982)."Aerodynamic load and performance of the Darrieus rotor",AIAA,J.Energy,Vol.6,No.6,pp. 406-412.
4. Durand W.F.(1935)."Aerodynamic theory",Vol. IV,Springer J.,Berlin pp. 251-254.
5. Theodorsen T.(1944)."Theory of propellers",NACA Rep.776.
6. Sheldah R.E.,Klimas P.C.,Feltz L.V.(1980)."Aerodynamic performance of a 5-metre-diameter Darrieus turbine with extruded aluminum NACA-0015 blades",SAND80-0179,33p.

ΑΙΟ-45

ΤΙΤΛΟΣ ΕΙΣΗΓΗΣΗΣ:

# ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΡΟΛΕΞΗΣ ΤΟΥ ΜΗ ΜΟΝΙΜΟΥ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΑΠΟΡΡΕΥΜΑΤΟΣ ΑΝΕΜΟΚΙΝΗΤΗΡΑ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΥ ΑΞΟΝΑ ΤΥΠΟΥ V ΑΠΛΟΥ Η ΠΟΛΛΑΠΛΟΥ ΔΡΟΜΕΑ

ΣΥΓΓΡΑΦΕΑΣ:

Β.Γ. Στεργιόπουλος*
Docteur d'Etat ès Sciences,Docteur-Ingênieur,
D.E.A. de Mêcanique des Fluides,Πολιτ.Μηχανικός Α.Π.θ.
Institut de Mêcanique des Fluides de Marseille
Universitê d'Aix-Marseille II

ΠΕΡΙΛΗΨΗ:

Στην εργασία που ακολουθεί παρουσιάζεται μια μέθοδος πρόγνωσης του τρισδιάστατου απορρεύματος των ανεμοκινητήρων κατακόρυφου άξονα (Α.Κ.Α.),με βάση μια αναλογία με τη διαδικασία εκκίνησης των δρομέων μέσα σε ελεύθερο ρεύμα ανέμου.Με τη στροφή των πτερυγίων εμφανίζονται συστήματα δέσμιων και ελεύθερων στοιχειακών στροβίλων,οι οποίοι παραμορφώνονται και μεταφέρονται κατάντη,δημιουργώντας έτσι το απόρρευμα. Η χωροχρονική διακεκριμενοποίηση οδηγεί στην επίλυση συστημάτων μη γραμμικών εξισώσεων κυκλοφορίας.

ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ:

Απόρρευμα - ανεμοκινητήρας κατακόρυφου άξονα - αιολική ενέργεια - δρομείς τύπου V - εκκίνηση δρομέων - στοιχειακοί στρόβιλοι

ΕΙΣΑΓΩΓΗ:

Σχεδόν όλες οι σύγχρονες μέθοδοι υπολογισμού των επιδόσεων των ανεμοκινητήρων υποεκτιμούν τα πραγματικά τοπικά φορτία τους,εξαιτίας της έλλειψης ή της απλοποιητικής μοντελοποίησης,των μηχανισμών γένεσης και εξέλιξης των τρισδιάστατων,μη μόνιμων απορρευμάτων.Στην παρούσα μέθοδο χρησιμοποιείται η συνθήκη των Kutta-Joukowski (1) για να εκφραστεί η κυκλοφορία κάθε αεροτομής,σαν γινόμενο της κλίσης της αντίστοιχης καμπύλης άντωσης και της ενεργούς γωνίας προσβολής.Η γωνία αυτή παίρνει υπόψη της την επαγωγική ταχύτητα,που σύμφωνα με τη σχέση των Biot-Savart (2) ή τη σχέση των Strickland-Coldman (3),εισάγει σάν διαταραχή στο ροϊκό πεδίο κάθε στρόβιλος.Οι νόμοι μεταφοράς στροβιλότητας του Helmholtz (4) και της χωροχρονικής διατήρησης της κυκλοφορίας,συνδέουν την κυκλοφορία των στροβιλοσωλήνων με αυτήν του πτερυγίου.Ο συνδυασμός των εκφράσεων των επαγωγικών ταχυτήτων και της σχέσης της εκπετασματικής κυκλοφορίας του κάθε πτερυγίου,οδηγεί σε συστήματα εξισώσεων,τα οποία επιλύονται ως προς τις άγνωστες κυκλοφορίες.

* Παρούσα διεύθυνση: Περιφερειακής 3,Μελίκη,59031 Ημαθίας.

## 1. ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΚΠΕΤΑΣΜΑΤΙΚΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ

Η ανά μονάδα μήκους πτερυγίου, χορδής c, άντωση L, δίνεται τόσο από το νόμο των Kutta-Joukowski (1), με βάση την πτερυγιακή κυκλοφορία Γ, όσο και σαν συνάρτηση του πειραματικού συντελεστή άντωσης $C_L$, των αεροτομών σχετικής ταχύτητας $U=\Omega R+V_{\alpha\nu}\sin\Psi$ (1)

$$L=\rho U.\Gamma=0,5\rho.c.C_L.U^2 \qquad (2)$$

ρ είναι η πυκνότητα του αέρα, $V_{\alpha\nu}$ η ταχύτητα της ανάντη ροής, Ψ η αζιμουθιακή γωνία του εξεταζόμενου πτερυγίου από την παράλληλη προς τον άνεμο αρχική του θέση, Ω η γωνιακή ταχύτητα και R η ακτίνα της αεροτομής. Χρησιμοποιώντας προσεγγίσεις μικρών γωνιών προσβολής α στις πειραματικές καμπύλες $C_L(\alpha)$ της απέρατης πτέρυγας, θεωρώντας τις γωνίες α από τη διεύθυνση μηδενικής άντωσης και εισάγοντας για την πτέρυγα πεπερασμένου μήκους την ενεργό γωνία προσβολής, προκύπτει: $C_L=(\alpha_0+W/U).dC_L/d\alpha$ (3)

$\alpha_0$ είναι το άθροισμα των γωνιών, μηδενικής άντωσης, κυκλικού βήματος και συστροφής του πτερυγίου, $dC_L/d\alpha$ η κλίση της καμπύλης $C_L(\alpha)$, και W η κάθετη στο επίπεδο της U επαγωγική ταχύτητα που δημιουργεί πάνω στις αεροτομές η παρουσία του απορρεύματος. Στην περίπτωση κινούμενου δρομέα μέσα σε γνωστών κυκλοφοριακών χαρακτηριστικών απόρρευμα, η ταχύτητα W θα είναι άθροισμα της ταχύτητας $W_0$ που προκαλεί το γνωστό απόρρευμα και της συνολικής αντίστοιχης ταχύτητας που οφείλεται στους άγνωστης κυκλοφορίας $\Gamma_{\lambda\mu}$ φέροντες στροβίλους των πτερυγιακών στοιχείων $(R_\mu,\Psi_\lambda)$. Αν $\sigma_{\lambda\mu}$ είναι οι συντελεστές επιρροής, δηλαδή οι επαγωγικές ταχύτητες που αναπτύσσονται σε μια αεροτομή από τους μοναδιαίας έντασης στροβίλους $(R_\mu,\Psi_\lambda)$, τότε ισχύει:

$$W=W_0+\sum_\lambda\sum_\mu \sigma_{\lambda\mu}.\Gamma_{\lambda\mu} \qquad (4)$$

Ο συνδιασμός των εξισώσεων 1,2,3,4 δίνει, για όλα τα σημεία ακτίνας R, του πτερυγίου αζιμουθιακής θέσης Ψ, την ακόλουθη έκφραση:

$$\Gamma=0,5.\left[\alpha_0(\Omega R+V_{\alpha\nu}\sin\Psi)+W_0+\sum_\mu\sum_\lambda \sigma_{\lambda\mu}.\Gamma_{\lambda\mu}\right].c.dC_L/d\alpha \qquad (5)$$

Η άγνωστη και μεταβλητή από αεροτομή σε αεροτομή κυκλοφορία Γ υπάρχει και στο δεύτερο μέλος της προηγούμενης εξίσωσης, με τη μορφή των αγνώστων εντάσεων $\Gamma_{\lambda\mu}$, όλων των φερόντων στροβίλων και συνεπώς όλων των αεροτομών. Το σύστημα των εξισώσεων της παραπάνω μορφής, που αναφέρεται σε όλα τα σημεία ελέγχου του πτερυγίου, επιλύεται εύκολα με διαδοχικές επαναλήψεις, παίρνοντας στην πρώτη προσέγγιση $\Gamma_{\lambda\mu}=0$. Στη συνέχεια εφαρμόζοντας το νόμο των Biot-Savart (2), προσδιορίζονται σε όλο το ροϊκό πεδίο οι επαγωγικές ταχύτητες.

## 2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ ΤΟΥ ΑΠΟΡΡΕΥΜΑΤΟΣ

Τα πτερύγια και οι στρόβιλοι θεωρήθηκαν αποτελούμενοι από ευθύγραμμα στοιχειώδη τμήματα. Η ταχύτητα διαταραχής $\bar{V}$, που οφείλεται σε ένα μοναχικό στρόβιλο διανυσματικού μήκους $\bar{l}_{ij}$ και έντασης $\Gamma_{ij}$ και που εισάγεται σε σημείο M, καθορισμένο από το διάνυσμα $\bar{r}_{ij}$ ως προς την αρχή του στροβίλου, δίνεται μετά τον προσδιορισμό του ολοκληρώματος των Biot-Savart από τους Strickland-Goldman (3):

$$\bar{V}=\bar{\varepsilon}.(\cos\theta_A+\cos\theta_B).\Gamma_{ij}/(4\pi.h_{ij}) \qquad (6)$$

Τα μεγέθη $\theta_A,\theta_B$ και $h_{ij}$ φαίνονται στο σχήμα 1, ενώ $\bar{\varepsilon}$ είναι μοναδιαίο διάνυσμα παράλληλο προς το διανυσματικό γινόμενο $\bar{l}_{ij}\times\bar{r}_{ij}$. Ο προηγούμενος τύπος μετασχηματίζεται εύκολα, με βάση τη διανυσματική ανάλυση, και οδηγεί στην ολική ταχύτητα διαταραχής, που εισάγεται σε ένα σημείο, συντεταγμένων (X,Y,Z), ακτίνας $R_m$ και γωνιακής θέσης $\Psi_n$, από το σύνολο των στροβίλων.

$$\bar{V}_{mn}=\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\bar{\varepsilon}_{ij}.\sigma_{ij}.\Gamma_{ij} \quad ,i=1,2,\ldots,I \quad , j=1,2,\ldots,J \qquad (7)$$

I και J είναι αντίστοιχα, το πλήθος των αζιμουθιακών στοιχείων κάθε ελεύθερου στροβίλου και το πλήθος ελεύθερων στροβίλων κάθε πτερυγίου.

$$\sigma_{ij}=\frac{1}{2\pi}\cdot\frac{|\bar{r}_{i+1,j}|+|\bar{r}_{ij}|}{|\bar{r}_{i+1}|\cdot|\bar{r}_{ij}|}\cdot\frac{(\eta_x^2+\eta_y^2+\eta_z^2)^{1/2}}{h_{ij}^2} \quad , \quad h_{ij}=\left[|\bar{r}_{ij}|^2-\left(\frac{\bar{l}_{ij}}{|\bar{l}_{ij}|}\cdot\bar{r}_{ij}\right)^2\right]^{1/2} \qquad (8)$$

$\eta_X,\eta_Y,\eta_Z$,είναι τα συνημίτονα κατεύθυνσης του γινομένου $\bar{l}_{ij} \times \bar{r}_{ij}$ .Τα μέτρα $|\bar{r}_{ij}|$ και $|\bar{l}_{ij}|$ σε συνάρτηση των συντεταγμένων $O_{\Xi}$ (X,Y,Z) ως προς το δεξιόστροφο σύστημα αναφοράς (x,y,z),του οποίου η αρχή συμπίπτει με τη ρίζα του δρομέα,ενώ ο άξονας των x είναι παράλληλος της διεύθυνσης του ανέμου,θα είναι: $|\bar{r}_{ij}| = (\sum_{X,Y,Z}(O_{mn}-O_{ij})^2)^{1/2}$, $|\bar{l}_{ij}| = (\sum_{X,Y,Z}(O_{i+1,j}-O_{ij})^2)^{1/2}$

Για να αρθεί η απροσδιοριστία του ολοκληρώματος των Biot-Savart και των σχέσεων 7 και 8 στον υπολογισμό της αυτεπαγωγικής ταχύτητας $\bar{V}_{\alpha}$,την οποία εισάγουν στο κοινό άκρο τους (m,n),δύο γειτονικού στοιχειακού στρόβιλοι εντάσεων $\Gamma_{m-1,n}$ και $\Gamma_{mn}$ και διανυσματικών μηκών $\bar{l}_{m-1,n}$ ,$\bar{l}_{mn}$,προσεγγίστηκε ο νόμος των Biot-Savart με ολοκλήρωση σε κυκλικό τόξο,ακτίνας καμπυλότητας $R_c$ μεγαλύτερης των ακτίνων a των στροβιλοσωλήνων,το οποίο περνά από τα σημεία (m-1,n),(m,n),(m+1,n).Έτσι επεκτάθηκε η ιδέα των Moore-Saffman (5) και των Sheffield-Deffenbaugh (6) του σταθερής ακτίνας πυρήνα των στροβίλων.Σύμφωνα με τους συμβολισμούς του σχήματος 2 προκύπτει:

$$\bar{V}_{\alpha}=\bar{\varepsilon}.\left| F(\Gamma_{m-1,n}, a_{m-1,n}, \Phi_{m-1,n})+F(\Gamma_{mn},a_{mn},\Phi_{mn}) \right|/4\pi \quad (9)$$

$\Phi_{m-1,n},\Phi_{mn}$ είναι οι επίκεντρες γωνίες του τόξου αυτού.Η συνάρτηση F είναι: $F(\Gamma,a,\Phi)=\ln(\tan(\Phi/4).8R_c/a).\Gamma/(2R_c)+1/8$

$$R_c=|\bar{l}_{m-1,n}|.|\bar{l}_{mn}|.|\bar{D}_{mn}| \;/\; (4|\bar{l}^2_{m-1,n}|.|\bar{l}^2_{mn}|-|\bar{l}^2_{m-1,n}|.|\bar{l}^2_{mn}|+|\bar{D}^2_{mn}|)^{1/2} \quad (10)$$

$|\bar{D}_{mn}|$ είναι το μέτρο του διανύσματος των σημείων (m-1,n),(m+1,n).Η ολική επαγωγική ταχύτητα στο σημείο (m,n) θα αποτελείται από τρείς όρους:

$$\bar{V}_{mn}=\bar{V}_{\alpha}+\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1,\neq n}^{J}\bar{\varepsilon}_{ij}.\sigma_{ij}.\Gamma_{ij}+\sum_{i=1,\neq m-1,m}^{I}\bar{\varepsilon}_{in}.\sigma_{in}.\Gamma_{in} \quad (11)$$

Στην οριακή περίπτωση που το σημείο (m,n) βρίσκεται πάνω στα σύνορα του απορρεύματος ενός πτερυγίου ενώ το σημείο (m,n+1) ανήκει σε άλλο απόρρευμα τότε: $\bar{V}_{\alpha,mn}=\lim_{\Gamma_{mn}\to 0}\bar{V}_{\alpha,m,n-1}$ .Ομοίως για m=1: $\bar{V}_{\alpha,1n}=\lim_{\Gamma_{1n}\to 0}\bar{V}_{\alpha,2n}$

## 3. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΓΕΝΕΣΗΣ ΚΑΙ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΤΟΥ ΑΠΟΡΡΕΥΜΑΤΟΣ

Οι αρχικές εντάσεις $\Gamma_{1j}$ όλων των στοιχειακών φερόντων στροβίλων,υπολογίζονται τη χρονική στιγμή t=0,αμέσως μετά την υποθετική εκκίνηση του πτερυγίου,θέτοντας $W_0=0$ στην εξίσωση 5.Σε κάθε σημείο ελέγχου του κατάντη χώρου προσδιορίζονται οι συνιστώσες u,v,w, των επαγωγικών ταχυτήτων.

Οι εκτός πτερυγίου στοιχειακοί στρόβιλοι,στο χρόνο $\Delta t=\Delta\Psi/\Omega$ στροφής της πτέρυγας κατά το βήμα $\Delta\Psi$,παρασύρονται κατάντη από τις αθροιστικές συνιστώσες $V_{\alpha v}+u$, v, w,της συνισταμένης ταχύτητας της ανάντη ταχύτητας του ανέμου και της τοπικής ολικής επαγωγικής ταχύτητας,δίνοντας έτσι το γνωστών χαρακτηριστικών απόρρευμα.

$$O_{i+1,j}(t+\Delta t)=O_{ij}(t)+\bar{V}(O_{ij}(t)).\Delta t,\ i=1,2,..,I,\ j=1,2,..,J$$

$\bar{V}$ είναι η παραπάνω συνισταμένη ταχύτητα.Την επίδραση του νέου απορρεύματος θα δεχτούν τα πτερύγια του δρομέα στή νέα τους θέση.

Η ίδια διαδικασία ακολουθείται για τον υπολογισμό,της πτερυγιακής κυκλοφορίας της νέας θέσης,των επαγωγικών ταχυτήτων και της γεωμετρίας του καινούριου απορρεύματος.

Οι εξισώσεις μεταφοράς στροβιλότητας του Helmholtz (4) και της χωροχρονικής διατήρησης της κυκλοφορίας,μεταφράστηκαν απλά,στη διαδικασία εξέλιξης του απορρεύματος,σαν διατήρηση του όγκου του ασυμπίεστου ρευτού του κάθε στροβιλοσωλήνα και σαν ανεξαρτησία της κυκλοφορίας του από το χρόνο.Συνεπώς ισχύει:

$$a^2_{i+1,j}(t+\Delta t).|\bar{l}_{i+1,j}(t+\Delta t)| = a^2_{ij}(t).|\bar{l}_{ij}(t)|$$

$$\Gamma_{i+1,j}(t+\Delta t) = \Gamma_{ij}(t) \quad ,\ i=1,2,...,I\ ,\ j=1,2,...,J$$

Οι διαστάσεις $a_{ij}$ των πυρήνων των στροβίλων ,των οποίων το ένα άκρο συμπίπτει με ένα σημείο του χείλους εκφυγής της πτέρυγας,προσδιορίστηκαν με τη βοήθεια της εκπετασματικής μεταβολής $\Delta\Gamma$ της κυκλοφορίας και μιας σταθεράς K,ελεγχόμενης στα δεδομένα εισόδου, από σχέσεις της

μορφής : $\Omega \cdot a_{ij}^2 = K \cdot \Delta\Gamma$

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ ΓΙΑ Α.Κ.Α. ΤΥΠΟΥ V ΔΙΠΛΟΥ ΔΡΟΜΕΑ

Στην παρούσα μορφή τόσο της προτεινόμενης μεθόδου όσο και του αντίστοιχου προγράμματος Η/Υ,η εργασία αυτή δε στοχεύει το σύνολο των Α.Κ.Α, αλλά περιορίζεται στούς ανεμοκινητήρες τύπου V,πολύ λίγο γνωστούς,και για τους οποίους διεθνώς δεν υπάρχουν δημοσιευμένες ερευνητικές εργασίες. Σκίτσο αυτού του τύπου Α.Κ.Α παρουσιάζεται στο σχήμα 3,μαζί με το χρησιμοποιούμενο σύστημα συντεταγμένων.Είναι γνωστό από πειράματα του Valensi (7) για την αεροπορική έλικα ότι,μεταξύ των άλλων στροβίλων επικρατέστερος και μεγαλύτερης σημασίας είναι ο ελεύθερος στρόβιλος της ακραίας αεροτομής.Εξάλλου η τρισδιάστατη πορεία αυτών των στροβίλων αποτελεί και την φυσική περιβάλλουσα του απορρεύματος ενός δρομέα.Η πορεία αυτή παρουσιάζεται,τόσο σε κάτοψη όσο και σε μια όψη,στα σχήματα 4 και 5,για δύο υποθετικούς Α.Κ.Α τύπου V,με ομοπεριστρεφόμενους διπλούς δρομείς,αζιμουθιακής διαφοράς $\Delta\Psi=90^{o}$.Το διάταμα R/c,ο αριθμός των περιστροφών ανά λεπτό, ο λόγος $\Omega.R/V_{\alpha\nu}$ της μέγιστης ταχύτητας περιστροφής και της ανάντη ταχύτητας,ο λόγος εκπετασμάτων των πτερυγίων τύπου NACA 0015 του πρώτου ΑΚΑ και τύπου NACA 0012 του δεύτερου,είναι αντίστοιχα: $R/c=10$,$N=220$ t/min,$\Omega.R/V_{\alpha\nu}=5$,$R_1/R_2=1$,και $R/c=10$,$N=60$ t/min,$\Omega R/V_{\alpha\nu}=5$, $R_1/R_2=0,7$.

Από τα πρώτα ποιοτικά αποτελέσματα της εργασίας αυτής, η οποία δεν έχει ακόμη ολοκληρωθεί,γίνεται ολοφάνερη η ασυμμετρία της μορφής του απορρεύματος των Α.Κ.Α. και η μη ρεαλιστικότητα της υπόθεσης της ελικοειδούς μορφής του,ιδίως σε συνθήκες μη μόνιμης ροής.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με βάση την αναλογία εκκίνησης των δρομέων μέσα σε ρεύμα αέρα,τους νόμους των Biot-Savart και Helmholtz καθώς και τη συνθήκη των Kutta - Joukowski,παρουσιάστηκε στο άρθρο αυτό,μια μέθοδος πρώτης προσέγγισης της γεωμετρίας και των χαρακτηριστικών των τρισδιάστατων,μη μόνιμων απορρευμάτων των ανεμοκινητήρων κατακόρυφου άξονα,όπως επίσης και τα πρώτα αποτελέσματα για διπλούς ομοαξονικούς και ομοπεριστρεφόμενους δρομείς τύπου V .Η προτεινόμενη μέθοδος θέτει τις βάσεις,για καλύτερη κατανόηση των μηχανισμών των απορρευμάτων,για βελτιστοποίηση των Α.Κ.Α. σε συνθήκες design και off-design και είναι αρκετά ευέλικτη ώστε να μπορεί εύκολα να προσαρμοστεί και να συνδιαστεί και με άλλες μεθόδους πρόγνωσης των αεροδυναμικών επιδόσεων των ανεμοκινητήρων,όπως αυτή που παρουσιάζεται σε άλλη εργασία στο συνέδριο αυτό (9).

Μια πιθανή επέκταση της μεθόδου αυτής σε προβλήματα αεροελαστικότητας,με πρόγνωση και έλεγχο του συνόλου των ασταθειών,καθώς και σε προβλήματα μεταβλητής γεωμετρίας,θα μπορούσε μελλοντικά να οδηγήσει σε καλύτερη εκτίμηση των στιγμιαίων αεροδυναμικών φορτίων των αεροτομών και σε δημιουργία νέων τύπων Α.Κ.Α. με κατάλληλα σχεδιασμένα πτερύγια.

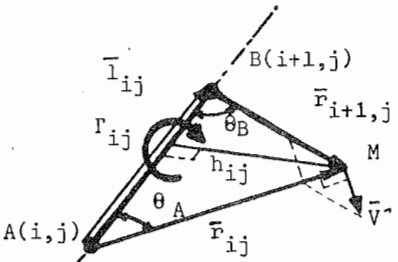
ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ

| | |
|---|---|
| a | = ακτίνα πυρήνα στοιχειακού στροβίλου |
| c | = χορδή αεροτομών |
| $C_L$ | = συντελεστής άντωσης |
| $dC_L/d$ | = κλίση της καμπύλης συντελεστή άντωσης |
| I | = πλήθος τμημάτων κάθε ελευθέρου στροβίλου |
| J | = πλήθος ελευθέρων στροβίλων για κάθε πτερύγιο |
| K | = σταθερά ελέγχου στα δεδομένα εισόδου |
| $\bar{l}$ | = διανυσματικό μήκος στροβίλου |
| N | = αριθμός στροφών ανά λεπτό |
| O | = X , Y , Z , συντεταγμένες των άκρων των στροβίλων |

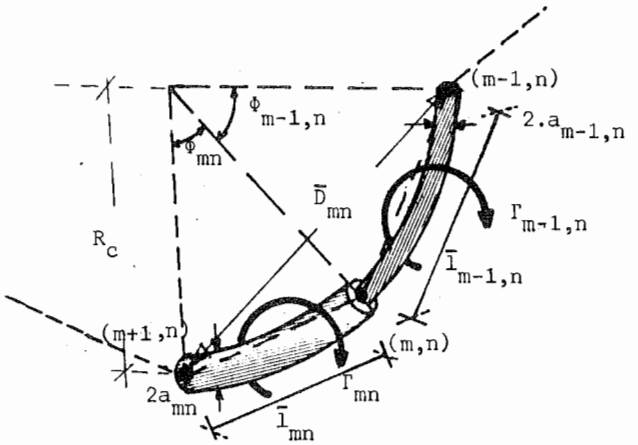
$R$ = ακτίνα πτερυγίου ή εκπέτασμα
$R_c$ = ακτίνα κυκλικού τόξου
$\bar{r}$ = διάνυσμα σημείου ελέγχου-αρχής στροβίλου
$t$ = χρόνος
$U$ = σχετική ταχύτητα
$u,v,w$ = συνιστώσες της $\bar{V}$
$V_{αν}$ = ταχύτητα του ανάντη ανέμου
$\bar{V}_α$ = αυτεπαγωγική ταχύτητα
$\bar{V}$ = επαγωγική ταχύτητα
$W$ = επαγωγική ταχύτητα οφειλόμενη στο απόρρευμα
$W_0$ = επαγωγική ταχύτητα οφειλόμενη στο γνωστό απόρρευμα
$x,y,z$ = άξονες συντεταγμένων
$X,Y,Z$ = συντεταγμένες σημείων ελέγχου
$α$ = γωνία προσβολής
$Γ$ = κυκλοφορία
$Δt,ΔΓ,ΔΨ$ = μεταβολές χρόνου,κυκλοφορίας και αζιμουθιακής θέσης
$\bar{ε}$ = μοναδιαίο διάνυσμα
$θ$ = γωνίες διανυσμάτων του τριγώνου στροβίλου-σημείου ελέγχου
$η_x,η_y,η_z$ = συνημίτονα κατεύθυνσης
$ρ$ = πυκνότητα αέρα
$Σ$ = άθροισμα
$σ$ = συντελεστές επιρροής
$φ$ = επίκεντρος γωνία
$Ψ$ = γωνιακή θέση
$Ω$ = γωνιακή ταχύτητα

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

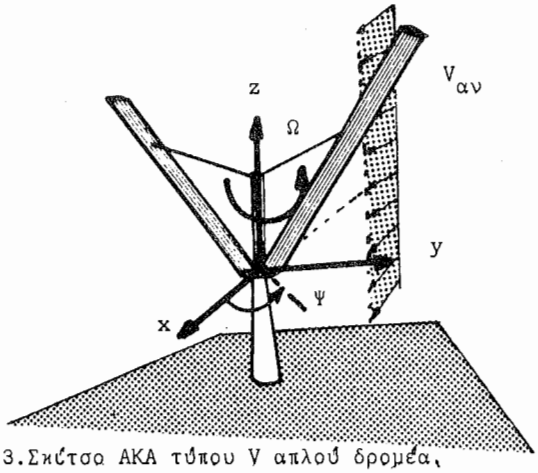
1.Corniglion J.,Luu T.S.,(1975),"Ecoulement instationnaire non linéaire à travers un étage de turbomachine avec émission de nappes tourbillonnaires",A.T.M.A.,pp.613-629.
2.Prandtl l.,(1930),"Applications of modern hydrodynamics to aeronautics",NACA Rerort 116,pp.161-216.
3.Strickland J.H.,Goldman A.L.,(1981),"Preliminary work concerning the near-wake structure of the Darrieus turbine",AIAA,J.Energy,Vol.5, No 2,pp.94-98.
4.Whitham G.R.,(1963),"The Navier-Stokes equations in motion",Oxford Uni.Press,pp.114-128.
5.Moore D.W.,Saffman P.G.,(1972),"The motion of a vortex filament with axial flow".Phil.Trans.R.Soc.Lond.,Vol.272,pp.151-180.
6.Sheffield J.S.,Deffenbaugh F.D.,(1980),"A three dimensional vortex wake model for missiles at high angles of attaque",ARC NAS2-9579,p.52.
7.Valensi J.,(1935),"Etude de l'écoulement de l'air autour d'une hélice", Rapport No 73,I.M.F.M.,pp.1-248.
8.Στεργιόπουλος Β.,(1985),"Μελέτη των επιδόσεων ανεμοκινητήρων κατακόρυφου άξονα τύπου Darrieus μέσα σε διατμητικό στρώμα αέρα,με μια μέθοδο πολλαπλών σωλήνων ροής και ασύμμετρη λειτουργία του ανάντη και κατάντη τμήματος του δρομέα",2ο Εθν.Συν.Η.Μ.Ε.-Τ.Η.Τ.,Θεσ/νίκη.



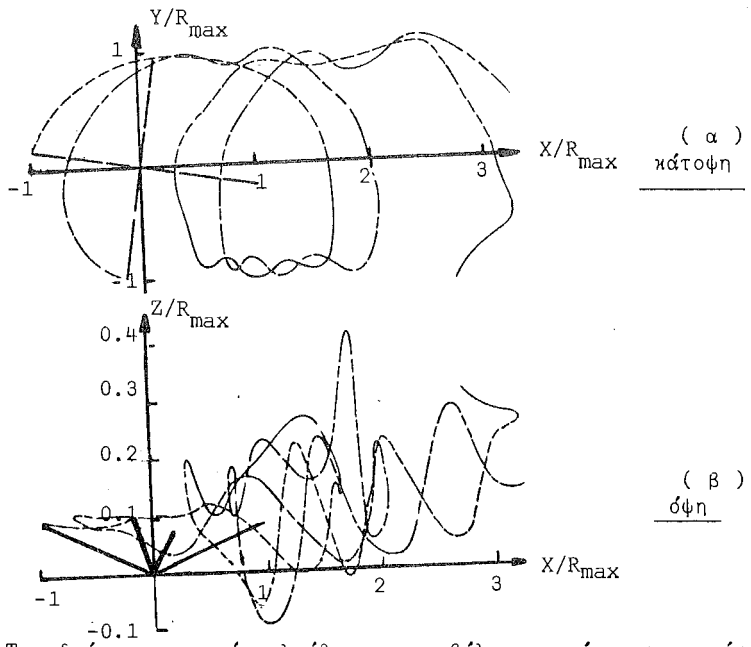

Σχ.1.Μοντέλο επαγωγικής ταχύτητας ενός σημείου,η οποία οφείλεται σε ευθύγραμμο στοιχειακό στρόβιλο έντασης $\Gamma_{ij}$



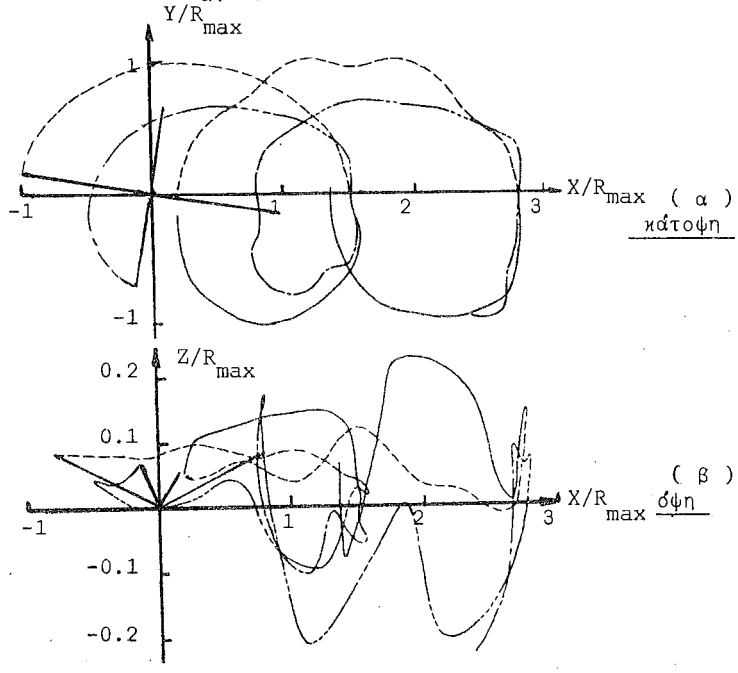

Σχ.2.Μοντέλο αυτεπαγωγικής ταχύτητας στο κοινό άκρο δύο γειτονικών στροβίλων,με προσέγγιση κυκλικού τόξου




Σχ.3.Σκίτσο ΑΚΑ τύπου V απλού δρομέα.
Σύστημα συντεταγμένων.Ταχύτητα $V_{αν}$ παράλληλη με τον άξονα x




Σχ.4.Τρισδιάστατη πορεία ελεύθερων στροβίλων ακραίων αεροτομών μορφής NACA 0015 των πτερυγίων του δικλού δρομέα ΑΚΑ τύπου V. N=220 t/min,ΩR/$V_{αν}$=5,λόγος εκπετασμάτων ίσος με 1.




Σχ.5.Τρισδιάστατη πορεία ελεύθερων στροβίλων ακραίων αεροτομών μορφής NACA 0012 των πτερυγίων του δικλού δρομέα ΑΚΑ τύπου V. N=60 t/min,ΩR/$V_{αν}$= 5,λόγος εκπετασμάτων ίσος με 0,7.

ΤΙΤΛΟΣ ΕΙΣΗΓΗΣΗΣ : ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΥ ΑΞΟΝΑ ΜΕ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΑ ΠΤΕΡΥΓΙΑ

ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ : Α.ΖΕΡΒΟΣ-Λέκτορας Ε.Μ.Π., Ν.ΑΠΕΡΓΗΣ-Μηχ/γος Μηχ/κος, Ν.ΑΘΑΝΑΣΙΑΔΗΣ-Καθηγητής Ε.Μ.Π.
Εργαστήριο Αεροδυναμικής Ε.Μ.Π., Πατησίων 42, Αθήνα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ Στην παρούσα εργασία εξετάζονται τα χαρακτηριστικά λειτουργίας των ΑΚΑ με ευθύγραμμα πτερύγια, με τη χρησιμοποίηση δύο διαφορετικών διδιάστατων αριθμητικών μοντέλων. Το πρώτο μοντέλο χρησιμοποιεί τη μέθοδο πολλαπλού σωλήνα ροής και το δεύτερο τη θεωρία δινών. Η άνωση και η αντίσταση των πτερυγίων υπολογίζεται με τη βοήθεια πινακοποιημένων πειραματικών δεδομένων των αεροτομών. Στην εργασία μελετούνται τα χαρακτηριστικά λειτουργίας της Α/Γ μέσα από τη διεξοδική εξέταση της επίδρασης διαφόρων σημαντικών παραμέτρων: λόγου ταχύτητας ανέμου προς ταχύτητα περιστροφής, στερεότητας δρομέα, αριθμού Reynolds. Τα αποτελέσματα περιλαμβάνουν:συντελεστή ισχύος σαν συνάρτηση του λόγου ταχυτήτων γιά διάφορες τιμές στερεότητας και αριθμού Re, κατανομή ταχυτήτων, γωνία πρόσπτωσης και δυνάμεις σαν συνάρτηση της θέσης των πτερυγίων.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ:
Αιολική Ενέργεια, Ανεμογεννήτριες, Αεροδυναμική, Αριθμητικός υπολογισμός, Πτερύγια, θεωρία δινών, θεωρία ορμής.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ : Οι ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα (ΑΚΑ) παρουσιάζουν πολυάριθμα πλεονεκτήματα σε σχέση με τις ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα. Ανάμεσα τους η κατακόρυφη συμμετρία που απαλάσσει το σύστημα από μηχανισμούς προσανατολισμού προς την διεύθυνση του ανέμου και ο αυτοπεριορισμός ισχύος σε υψηλές ταχύτητες ανέμου. Χάρις στην ύπαρξη του κατακορύφου άξονα βαρείς μηχανισμοί όπως η γεννήτρια και μετάδοση κίνησης τοποθετούνται στο έδαφος και η στήριξή του δρομέα είναι απλή. Τα παραπάνω έχουν σαν συνέπεια την μικρότερη φόρτιση του πύργου, οικονομία υλικού και συντήρησης καθώς και χρησιμοποίηση λιγώτερο πολύπλοκων συστημάτων αυτομάτου ελέγχου.

Από τις δύο βασικές μορφές ΑΚΑ υψηλής απόδοσης (ευθύγραμμα ή σχινοειδούς μορφής πτερύγια) οι ΑΚΑ με ευθύγραμμα πτερύγια παρουσιάζουν επιπλέον ιδιαίτερο ενδιαφέρον σε σειρά εφαρμογών λόγω του χαμηλού κόστους και της ευκολίας κατασκευής των πτερυγίων τους καθώς και των δυνατοτήτων αυτοεκκίνησης. Ακόμα οι ΑΚΑ με ευθύγραμμα

πτερύγια μπορούν να επιτρέψουν βελτιστοποίηση της απόδοσής τους με χρησιμοποίηση πτερυγίων μεταβλητού βήματος(1).

Η ακριβής γνώση των χαρακτηριστικών λειτουργίας αυτού του τύπου των ΑΚΑ είναι απαραίτητη γιά τον σωστό σχεδιασμό τους, καθώς επίσης και γιά τον εντοπισμό των δυνατοτήτων εφαρμογής τους. Γιά τον λόγο αυτό, σ'αυτή την εργασία, εξετάζεται διεξοδικά η επίδραση των διαφόρων παραμέτρων (που σχετίζονται με τη μορφή των πτερυγίων και του δρομέα και με τις συνθήκες λειτουργίας της ανεμογεννήτριας), στην απόδοση, στις δυνάμεις που δέχονται τα πτερύγια και στην διαμόρφωση του πεδίου ταχυτήτων.

Ήδη στο Εργαστήριο Αεροδυναμικής του Ε.Μ.Π. κατασκευάζεται ΑΚΑ με ευθύγραμμα πτερύγια, ο σχεδιασμός της οποίας στηρίχτηκε στα αποτελέσματα αυτής εργασίας.

## 1. ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΑΚΑ

Οι θεωρητικές μέθοδοι αεροδυναμικού υπολογισμού ΑΚΑ χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: σ'αυτές που χρησιμοποιούν τη θεωρία ορμής και σ'αυτές που χρησιμοποιούν τη θεωρία δινών. Οι θεωρίες αυτές είναι κοινές γιά όλους τους τύπους ΑΚΑ.

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούν τη θεωρία ορμής εξισώνουν τις δυνάμεις που ασκούνται στα πτερύγια με τη μεταβολή της ορμής του ρευστού διά μέσου του δρομέα. Χρησιμοποιώντας τις ίδιες βασικές αρχές έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι λιγότερο ή περισσότερο περίπλοκες: η μέθοδος του απλού ροϊκού σωλήνα του Templin (2), του πολλαπλού ροϊκού σωλήνα του Wilson (3), Strickland (4), Shankar (5), του διπλά πολλαπλού ροϊκού σωλήνα του Paraschivoiu (6) και διάφορες παραλλαγές αυτών των μεθόδων. Το βασικό τους χαρακτηριστικό είναι ότι προλέγουν ικανοποιητικά την απόδοση της ανεμογεννήτριας και τις μέσες τιμές των δυνάμεων, ενώ αστοχούν στον υπολογισμό των στιγμιαίων (μεγίστων) δυνάμεων και της δομής του ομόρρου. Η γνώση όμως αυτών των μεγεθών είναι απαραίτητη τόσο γιά τον υπολογισμό της αντοχής των πτερυγίων, όσο και γιά την πρόβλεψη της επίδρασης των ΑΚΑ στο περιβάλλον και των επιπτώσεων της αλληλεπίδρασής τους όταν είναι τοποθετημένες σε σειρές. Τα παραπάνω προβλήματα γίνονται καθοριστικά όταν αναφερόμαστε σε ΑΚΑ μεγάλων διαστάσεων.

Οι αεροδυναμικές μέθοδοι που χρησιμοποιούν τη θεωρία της δίνης προσπάθησαν να καλύψουν τις αδυναμίες των πιό πάνω μεθόδων και σε ένα βαθμό πέτυχαν, αλλά ακόμη όχι απόλυτα ικανοποιητικά. Σε αυτές τις μεθόδους ο ομόρρους προσομοιώνεται με σύστημα ελεύθερων στροβίλων, αποτέλεσμα της μη μόνιμης ροής γύρω από τα πτερύγια και ο υπολογισμός των δυνάμεων γίνεται, είτε ολοκληρώνοντας την κατανομή των πιέσεων στην αεροτομή, είτε υπολογίζοντας την ένταση των δινών του ομόρρου. Αναφέρουμε εδώ τις εργασίες των Fanucci (7), Larsen (8), και Holmes (9) σε διδιάστατο πεδίο ροής καθώς του Strickland (10) σε τρισδιάστατο.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν δύο διδιάστατα αριθμητικά μοντέλα βασισμένα το πρώτο στη μέθοδο πολλαπλού σωλήνα ροής και το δεύτερο στη θεωρία δινών κατά Strickland (10). Η χρησιμοποίηση διδιάστατων μοντέλων δίνει, στην περίπτωση μας, ικανοποιητική ακρίβεια υπολογισμών γιατί τα πτερύγια είναι ευθύγραμμα. Παρουσιάζουμε στη συνέχεια περιληπτικά τις δύο μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν.

1.1 Μέθοδος Πολλαπλού Σωλήνα Ροής (Π.Σ.Ρ) (4,12)

Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στη θεωρία ορμής. Κύριο στοιχείο της θεωρίας είναι ότι οι επαγόμενες ταχύτητες θεωρούνται μόνο κατά τη διεύθυνση της αδιατάρακτης ροής, ενώ οι κάθετες σ'αυτήν αμελούνται. Επίσης βασική παραδοχή είναι ότι η επαγόμενη ταχύτητα στον ομόρρου μακριά από τον ανεμοκινητήρα είναι διπλάσια της επαγόμενης ταχύτητας στον δρομέα. Στη μέθοδο Π.Σ.Ρ. χωρίζουμε το ρεύμα που διαπερνά τον δρομέα σε πολλούς ροϊκούς σωλήνες, όπως φαίνεται στο σχήμα 1, με τέτοιο τρόπο ώστε κάθε σωλήνας να αντιστοιχεί σε σταθερή επίκεντρη γωνία $\Delta\theta$.

Αν $U_\infty$ είναι η ταχύτητα του αέρα (βλ.σχ.1), τότε $U_\infty(1-\varepsilon)$ είναι η ταχύτητα στην περιοχή του δρομέα και $U_\infty(1-2\varepsilon)$ αρκετά μετά τον δρομέα, όπου ε είναι ο συντελεστής επιβράδυνσης, ο οποίος θεωρείται ότι μεταβάλλεται μόνο κάθετα προς τη διεύθυνση της ροής.

Σύμφωνα με το θεώρημα της ορμής η δύναμη που ασκείται κατά την x διεύθυνση είναι:

$$\bar{F}_x = \Delta h R \Delta\theta |\sin\theta| \rho(1-\varepsilon)\, 2\varepsilon U_\infty^2 \qquad (1)$$

όπου ρ είναι η πυκνότητα του αέρα και τα υπόλοιπα μεγέθη ορίζονται στό σχήμα 1. Η δύναμη αυτή είναι η μέση τιμή γιά ένα διάστημα μιάς περιόδου $t=2\pi/\omega$, όπου ω είναι η γωνιακή ταχύτητα του δρομέα. Εξάλλου κάθε πτερύγιο περνά από τον σωλήνα ροής στις θέσεις θ και -θ και ασκεί αντίστοιχα στο ρευστό τις δυνάμεις $F_x(\theta)$ και $F_x(-\theta)$. Οι δυνάμεις αυτές ασκούνται γιά χρόνο $\Delta\theta/\omega$ σε κάθε περιστροφή. Αν έχουμε N πτερύγια τότε η συνολική δύναμη που ασκείται στο ρευστό είναι $N|F_x(\theta)+F_x(-\theta)|$ και τα $F_x$ και $\bar{F}_x$ συνδέονται με τη σχέση

$$\bar{F}_x = N\frac{\Delta\theta}{2\pi}|F_x(\theta)+F_x(-\theta)| \qquad (2)$$

Αν οι δυνάμεις $F_x$ εκφραστούν συναρτήσει του συντελεστή εφαπτομενικής $C_T$ και ακτινικής $C_N$ δύναμης του πτερυγίου τότε καταλήγουμε στη σχέση

$$\varepsilon(1-\varepsilon) = \frac{1}{8\pi}\frac{N\cdot c}{R}\left(\frac{U_R}{U_\infty}\right)^2 |C_N(-\theta)-C_N(\theta) - |C_T(\theta)+C_T(-\theta)|\frac{\cos\theta}{\sin\theta}| \qquad (3)$$

όπου c είναι η χορδή του πτερυγίου και $U_R$ η τοπική σχετική ταχύτητα.

Ο συντελεστής επιβράδυνσης υπολογίζεται αριθμητικά από την εξ. (3) με επαναληπτική διαδικασία. Οι τιμές των $C_T$ και $C_N$ βρίσκονται με τη χρησιμοποίηση πινάκων που δίνουν τα χαρακτηριστικά (συντελεστή ανώσεως $C_L$ και συντελεστή αντίστασης $C_D$) της αεροτομής γιά ένα συγκεκριμένο αριθμό Reynolds. Έχοντας υπολογίσει τα ε, $C_N$ και $C_T$ σε κάθε θέση μπορούν στη συνέχεια να υπολογισθούν όλα τα μεγέθη που ενδιαφέρουν (συντελεστής ισχύος $C_p = T\cdot\omega/\rho\frac{1}{2}\rho A U_\infty^3$, ταχύτητες σε οποιοδήποτε σημείο κλπ.)

1.2 Μέθοδος θεωρίας δινών (Θ.Δ.) (10)

Στη μέθοδο αυτή κάθε πτερύγιο αντικαθίσταται με μία "προσδεδεμένη" δίνη. Κάθε χρονική στιγμή απορρίπτεται και μία δίνη από κάθε πτερύγιο που η ένταση της είναι ίση με τη μεταβολή της έντασης της προσδεδεμένης δίνης, σύμφωνα με το θεώρημα του Kelvin. Η ένταση Γ της προσδεδεμένης δίνης σε κάθε χρονική στιγμή συνδέεται με την τοπική σχετική ταχύτητα $U_R$ του πτερυγίου με τη σχέση

$$\Gamma = \frac{1}{2} C_L\, c\, U_R \qquad (4)$$

όπου c είναι η χορδή της αεροτομής. Η $U_R$ όμως είναι συνάρτηση της επαγώμενης ταχύτητας. Το βασικό πρόβλημα άρα ανάγεται στον υπολογισμό των επαγόμενων ταχυτήτων.

Η ταχύτητα που επάγει μία δίνη σε ένα σημείο του πεδίου ροής δίνεται από το νόμο του Biot-Savart. Η ολική επαγόμενη ταχύτητα σε ένα σημείο προκύπτει από το άθροισμα όλων των επαγόμενων ταχυτήτων που δημιουργούνται από τις προσδεδεμένες και από τις εκφεύγουσες δίνες. Γιά να γίνει ο υπολογισμός χρειάζεται σε κάθε χρονική στιγμή να γνωρίζουμε τη θέση και την ένταση των δινών που αποτελούν τον ομόρρου. Γιά να προσδιοριστεί η θέση της δίνης στην επόμενη χρονική στιγμή η ταχύτητα στο κέντρο κάθε απορριπτόμενης δίνης ταυτίζεται με την τοπική ταχύτητα του ρευστού σ'αυτό το σημείο. Η ταχύτητα αυτή είναι το άθροισμα της ταχύτητας της αδιατάρακτης ροής και της ταχύτητας που επάγεται από όλες τις δίνες στο σημείο αυτό. Η ένταση της δίνης όπως αναφέραμε προσδιορίζεται με την εφαρμογή του θεωρήματος του Kelvin. Με αυτήν την υπολογιστική διαδικασία μπορούμε να υπολογίσουμε την επαγόμενη ταχύτητα σε οποιοδήποτε σημείο του πεδίου.

Οι δυνάμεις που υπολογίζονται στην ανάλυση είναι η εφαπτομενική δύναμη $F_T$ που ασκείται κατά μήκος της χορδής και η κάθετη δύναμη $F_N$ (σχήμα 2). Σε αδιάστατη μορφή δίνονται από τις σχέσεις

$$F_T^+ = C_T \left(\frac{U_R}{U_\infty}\right)^2 \qquad F_N^+ = C_N\left(\frac{U_R}{U_\infty}\right)^2 \qquad (5)$$

όπου οι συντελεστές $C_T$ και $C_N$ βρίσκονται με βάση τα χαρακτηριστικά $(C_L, C_D)$ της αεροτομής και η σχετική ταχύτητα $U_R$ δίνεται από τη σχέση:

$$\vec{U}_R = (U_\infty + U + U_T \cos\theta_B)\vec{i} + (W - U_T \sin\theta_B)\vec{k} \qquad (6)$$

όπου $U_T$ είναι η τοπική εφαπτομενική ταχύτητα, U και W οι ταχύτητες διαταραχής κατά τις διευθύνσεις x και z αντίστοιχα και η $\theta_B$ εκφράζει την θέση του πτερυγίου (βλ.σχήμα 2).

Στη μέθοδο μπορούν να συμπεριληφθούν και δυναμικά φαινόμενα με χρησιμοποίηση ημιεμπειρικών σχέσεων.

## 2. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Από τις δύο μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν, η μέθοδος ΘΔ είναι πιό ακριβής, ενώ η μέθοδος ΠΣΡ απλούστερη και πολύ γρηγορότερη στους αριθμητικούς υπολογισμούς. Χρησιμοποιήθηκε, κατά συνέπεια, η μέθοδος ΠΣΡ εκεί όπου δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα (μέσα μεγέθη) και η μέθοδος ΘΔ εκεί όπου η προηγούμενη αστοχεί (στιγμιαία μεγέθη). Όλοι οι υπολογισμοί έγιναν γιά αεροτομή NACA 0012 τα χαρακτηριστικά της οποίας γιά διάφορους αριθμούς Reynolds πάρθηκαν από τις εργασίες (10) και (11).

Η επίδραση της στερεότητας (solidity) σ στη μορφή της καμπύλης του συντελεστή ισχύος $C_p$ συναρτήσει του λόγου ταχυτήτων λ $(\lambda = \omega R/U_\infty)$ φαίνεται στο σχήμα 3. Παρατηρούμε ότι στα μικρά σ η καμπύλη είναι μετατοπισμένη προς τα δεξιά, που σημαίνει ότι ο συντελεστής ισχύος είναι ικανοποιητικός μόνο στα μεσαία και μεγάλα λ. Όσο το σ μεγαλώνει οι καμπύλες μετατοπίζονται προς τα αριστερά, ελλαττώνοντας σταδιακά το εύρος τους. Επίσης η μέγιστη τιμή του $C_p$ μεγαλώνει όσο αυξάνεται το σ.

Στο σχήμα 4 ο συντελεστής ισχύος $C_p$ δίνεται σαν συνάρτηση του αριθμού Reynolds γιά συγκεκριμένες τιμές των σ και λ. Παρατηρούμε ότι έχουμε σημαντική πτώση του $C_p$ γιά χαμηλούς αριθμούς Re και σχετική σταθεροποίηση του από μία τιμή Re και πάνω (περίπου

Re=360.000).

Στο σχήμα 5 παρουσιάζουμε τη μεταβολή της ροπής συναρτήσει της θέσης του πτερυγίου και με παράμετρο διάφορες τιμές του λόγου λ. Το διάγραμμα παρουσιάζεται κατά το ήμισυ, λόγω συμμετρίας (χρησιμοποίηση μεθόδου ΠΣΡ). Αν και η μέση ροπή είναι πάντα θετική, παρατηρούμε την ύπαρξη περιοχών αρνητικής ροπής, που το εύρος τους αυξάνεται όσο απομακρυνόμαστε από τον λόγο ταχυτήτων, γιά τον οποίο έχουμε μέγιστο συντελεστή ισχύος (στην περίπτωσή μας ίσο με 4,25). Γιά μικρούς λόγους ταχυτήτων (λ=2,3) παρατηρούμε ζώνες αρνητικής ροπής που εξαφανίζονται στις μεγαλύτερες τιμές του λ.

Ενδεικτικά αποτελέσματα του υπολογισμού των στιγμιαίων εφαπτομενικών και ακτινικών δυνάμεων δίνονται στο σχήμα 6, όπου φαίνεται έντονα η επίδραση του ενός πτερυγίου από το άλλο. Η ροή επιβραδύνεται περισσότερο στα κατάντι του δρομέα απ'ότι στα ανάντι, γιαυτό και οι δυνάμεις έχουν εκεί μικρότερες τιμές. Στο σχήμα φαίνεται επίσης ότι τα δυναμικά φαινόμενα παίζουν σημαντικό ρόλο.

Η αύξηση των τιμών των δυνάμεων με την αύξηση του λόγου λ, φαίνεται στο σχήμα 7 γιά την περίπτωση ανεμογεννήτριας με ένα πτερύγιο. Βλέπουμε επίσης την επίδραση που έχει η κίνηση του ίδιου του πτερυγίου στο εαυτό του όταν βρίσκεται στην κατάντι περιοχή. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι κάθετες δυνάμεις είναι μεγαλύτερες από τις εφαπτομενικές κατά μία τάξη μεγέθους.

Το σχήμα 8 αναφέρεται στη γωνία πρόσπτωσης α.. Παράμετρος είναι ο λόγος λ με τρεις αντιπροσωπευτικές τιμές. Όσο μεγαλώνει το λ τόσο μεγαλώνει η συνιστώσα -ωR της σχετικής ταχύτητας και επομένως μικραίνει η γωνία πρόσπτωσης. Στην κατάντι περιοχή η μορφή της καμπύλης αλλάζει ριζικά λόγω της διαφορετικής επιβράδυνσης. Στα μεγάλο λ όπου η επιβράδυνση της ροής είναι πιό μεγάλη,η μείωση της γωνίας πρόσπτωσης στα κατάντι φαίνεται πιό έντονα. Παρατηρούμε ότι μέχρι την τιμή λ=4,75 το πτερύγιο δέχεται και γωνίες μεγαλύτερες της απώλειας στήριξης.

Το σχήμα 9δείχνει τις επαγόμενες ταχύτητες U στην κατεύθυνση της αδιατάρακτης ροής για τρεις τιμές του λ. Έχουμε εκλέξει πέντε σειρές σημείων σε χαρακτηριστικές θέσεις του δρομέα. Όπως βλέπουμε λόγω μεγαλύτερης επιβράδυνσης οι επαγόμενες ταχύτητες είναι μεγαλύτερες στα μεγάλα λ. Στα κατάντι της ροής έχουμε όμοια σχεδόν διαγράμματα στις θέσεις x/R=1,2,4. Παρατηρούμε έλλειψη συμμετρίας με μεγαλύτερες επαγόμενες ταχύτητες στο δεξιό μέρος κάθε καμπύλης,ιδιαίτερα στα μικρό λ.

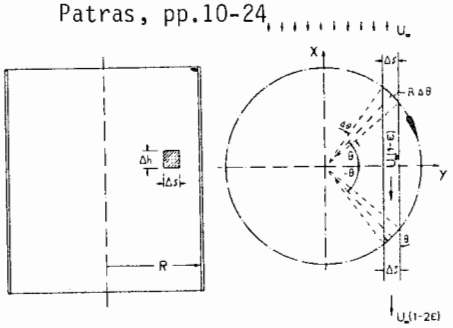
Η μορφή του ομόρρου παρουσιάζεται παραστατικά στο σχήμα 10 σε δύο διαφορετικές χρονικές στιγμές. Στο σχήμα δείχνονται οι γραμμές που δημιουργούνται από στοιχειώδεις όγκους αέρα που εκφεύγουν από την ακμή εκφυγής ενός πτερυγίου. Φαίνεται καθαρά ότι η κοντινή στον δρομέα περιοχή αποκτάει μία σταθερή δομή μέσα σε λίγες περιστροφές, ενώ χαρακτηριστική είναι η παραμόρφωση στα κατάντι των βρόχων που σχηματίζουν οι γραμμές.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

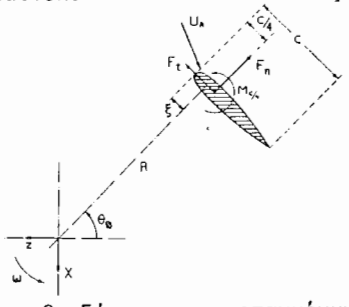
Από την παραπάνω ανάλυση φαίνεται ότι οι ΑΚΑ με ευθύγραμμα πτερύγια μπορούν να επιτύχουν αποδόσεις εφάμιλες των άλλων τύπων ανεμογεννητριών. Η συστηματική παραμετρική ανάλυση που παρουσιάσθηκε είναι παραίτητη γιά τον σωστό σχεδιασμό τέτοιου τύπου ΑΚΑ γιατί δίνει τη δυνατότητα σωστής επιλογής των χαρακτηριστικών (γεωμετρικών και λειτουργίας) του δρομέα, ανάλογα με τις ανάγκες που καλείται να καλύψει η ανεμογεννήτρια.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

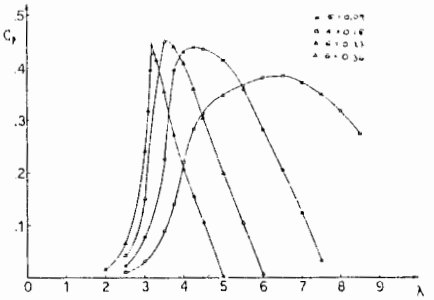

1. Zervos A., Dessipris S., Athanassiadis N., (1984), "Optimization of the Performance of the Variable Pitch Vertical Axis Wind Turbine", Proc. of the European Wind Energy Conference,Hamburg
2. Templin R. (1974), "Aerodynamic Performance Theory for the NRC-VAWT". Nat.Research Council of Canada Report LTR-LA-160
3. Wilson R.E., Lissaman P.B.S.,(1974), "Applied Aerodynamics of Wind Power Machines" Oregon state Univ.
4. Strickland J.H., (1975), "The Darrieus Turbine" A Performance Prediction Model using multiple streamtubes", Santia Laboratory Report SAND - 75 -0431
5. Shankar P.N. (1976),"On the Aerodynamic Performance of a class of Vertical Shaft Windmills", Proc.of the Royal Soc. of London, A. 349 pp.35-51
6. Paraschivoiu I., (1982) "Aerodynamic loads and Performance of the Sarrieus Rotor", J.Energy V6 N6, 1982
7. Fannuci J.B., Walter R.E., (1976) "Innovative Wind Machines:The Theoretical Performance of a VAWT". Proc. of the VAWT Technology Workshop Sandia Laboratory Report SAND 76-5586
8. Larsen H.C. (1975) "Summary of a Vortex Theory of the Cyclogiro", Proc.of the 2nd U.S.Nat.Conf.on Wind Engineering Research, Colorado State Univ.
9. Holmes O.,(1976) "A contribution to the Aerodynamic Theory of the VAWT", Proc. of the Int.Symp.on Wind Energy Systems, Cambridge
10. Strickland J.H. (1980), "A Vortex Model of the Darrieus Turbine: An Analytical and Experimental Study", Final Report SANDIA Report SAND 79-7058
11. A.Michos,G.Bergeles,N.Athanassiadis (1983),"Aerodynamic Characteristics of NACA 0012 Airfoil in Relation to Wind Generators", Wind engineering, Vol.7, No.4
12. Michos A., Bergeles G., Athanassiadis N.(1981), "Theoretical Investigation of the Performance of the Darrieus-Type Wind Turbine", Proc. of Int.Symposium on Applications of Fluid Mechanics, Patras, pp.10-24

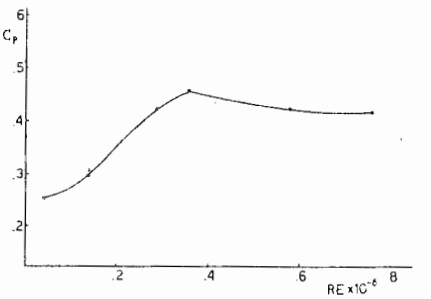

Σχήμα 1. Παράδειγμα ροϊκού σωλήνα



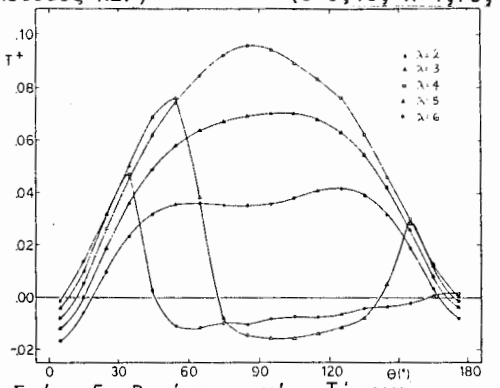

Σχήμα 2. Σύστημα συντεταγμένων πτερυγίου γιά τη μέθοδο ΘΔ



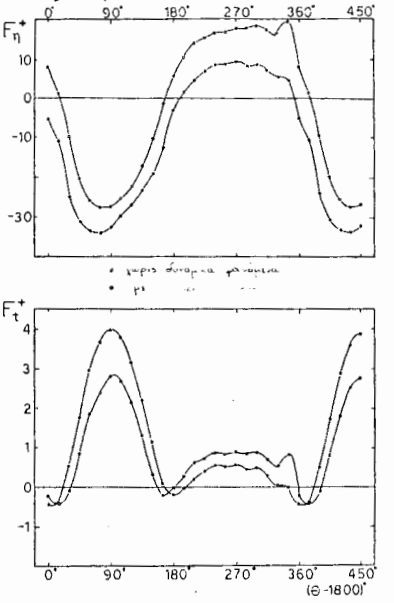

Σχήμα 3. Επίδραση της στερεότητας σ (Re=0,36×10$^6$, Μέθοδος ΠΣΡ)



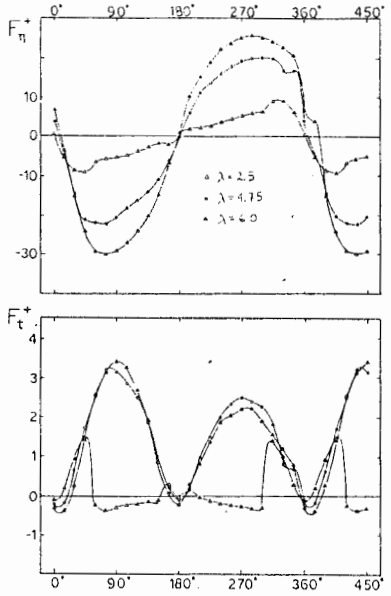

Σχήμα 4. Επίδραση του αριθμού Re (σ=0,18, λ=4,75, Μέθοδος ΘΔ)



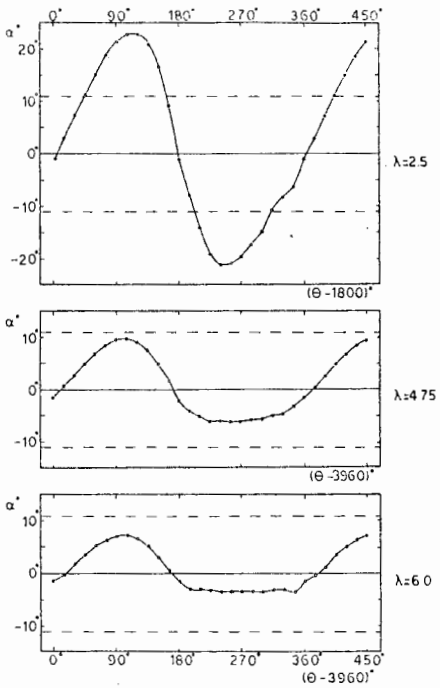

Σχήμα 5. Ροπή πτερυγίου T' σαν συνάρτηση της θέσης θ του δρομέα γιά διάφορα λ (σ=0.18,Re=0.36×10$^6$, Μέθοδος ΘΔ)



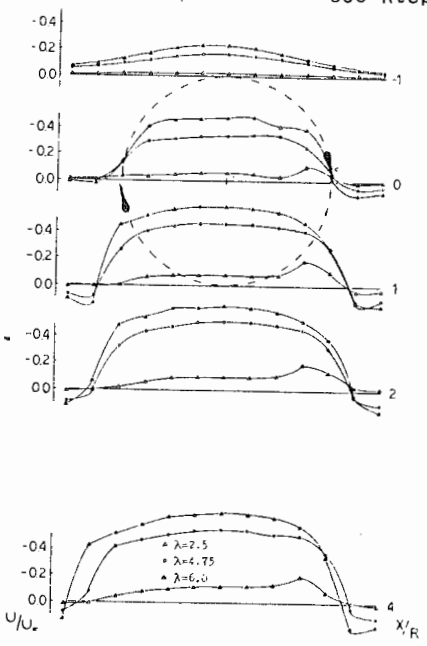

Σχήμα 6. Στιγμιαίες δυνάμεις σε μία περιστροφή.(σ=0.18, λ=6.0,Re=0.36×10$^6$, δύο πτερύγια, Μέθοδος ΘΔ)



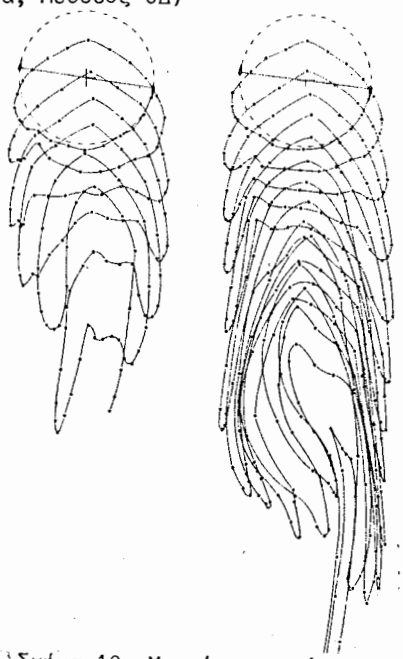

Σχήμα 7. Στιγμιαίες δυνάμεις γιά διάφ λ (σ=0.09, Re=0,36×10$^6$, ένα πτερύγιο, Μέθοδος θΔ)




Σχήμα 8. Γωνία πρόσπτωσης α σαν συνάρτηση της θέσης θ του δρομέα (σ=0.18, Re=0.36×10$^6$, δύο πτερύγια, Μέθοδος θΔ)




Σχήμα 9. Επαγόμενες ταχύτητες σε διάφορες θέσεις (σ=0.18,Re=0.36×10$^6$ δύο πτερύγια, Μέθοδος θΔ)



Σχήμα 10. Μορφή του ομόρρου (Re=0.36×10$^6$, σ=0.27, λ=6.0, Μέθοδος θΔ)

ΤΙΤΛΟΣ ΕΙΣΗΓΗΣΗΣ: ΑΥΤΟΝΟΜΗ ΑΙΟΛΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ: Χ. Βούρος (Μηχανολόγος - Μηχανικός)
Α. Ανδρούτσος (Διπλ. Μηχ/γος-Μηχ/κός Ε.Μ.Π.)
Δ. Βούρος
της WINDSOL Ε.Π.Ε.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Το επιδεικτικό έργο στο οποίο θα γίνει λεπτομερής αναφορά αποτελεί μέρος του προγράμματος Εφαρμοσμένης Έρευνας που πραγματοποιεί η WINDSOL και αναφέρεται στη σχεδίαση, κατασκευή, εγκατάσταση, παρακολούθηση και αξιολόγηση μιας αυτόνομης μονάδας ηλεκτροπαραγωγής που βασίζεται στην Αιολική Ενέργεια. Στόχος του έργου είναι η αδιάλειπτη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε οικισμό που βρίσκεται στην ανατολική Εύβοια. Η προσέγγιση του στόχου επιτυγχάνεται με τη χρήση Ανεμογεννήτριας εφοδιασμένης με δύο ηλεκτρικές μηχανές, αποθήκη ηλεκτρικής ενέργειας, INVERTER και ντηζελογεννήτρια. Η τεχνολογία που εφαρμόζεται είναι εξ' ολοκλήρου Ελληνική και περιλαμβάνει σημαντικές καινοτομίες που αφορούν στη λειτουργικότητα του συστήματος καθώς και στη μεγιστοποίηση της απόδοσής του που επιτυγχάνεται με τη βοήθεια μικροεπεξεργαστή (CONTROLLER MICROPROCESSOR). Ιδιαίτερο βάρος έχει δοθεί στη συλλογή και ανάλυση των στοιχείων λειτουργίας του συστήματος που γίνεται επίσης με τη χρήση μικροεπεξεργαστή που αναπτύχθηκε για το σκοπό αυτό.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Ανεμογεννήτρια, Ντηζελογεννήτρια, Αποθήκευση, Συλλογή δεδομένων, Ανάλυση δεδομένων, Αυτονομία, Καινοτομία.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ: Το ιδιόμορφο ανάγλυφο της χώρας μας και η εδαφική της μορφολογία έχουν αποτελέσει εμπόδιο στην ισόρροπη και ορθολογική της ανάπτυξη. Κι αυτό γιατί μεταπολεμικά η κάθε είδους ανάπτυξη στηρίχθηκε κύρια στη δυνατότητα ή μη επέκτασης του ηλεκτρικού δικτύου. Με την εμφάνιση και εξέλιξη νέων τεχνολογιών στην εκμετάλλευση των ήπιων πηγών ενέργειας, αυτό το εμπόδιο μπορεί τώρα να παρακαμφθεί. Η παρούσα εισήγηση αναφέρεται στη σχεδίαση και εκτέλεση συγκεκριμένου επιδεικτικού προγράμματος που πραγματοποιείται από τη WINDSOL στην Εύβοια με την οικονομική ενίσχυση της XVII Διεύθυνσης Ενέργειας της Ε.Ο.Κ. Το σχέδιο στοχεύει στη διερεύνηση της ικανότητας των αιολικών συστημάτων ν' αποτελέσουν αυτόνομη πηγή ενέργειας για χρήστες μη συνδεδεμένους με το κεντρικό δίκτυο διανομής. Η ανάπτυξη παρόμοιων συστημάτων συντελεί στην αξιοποίηση δύσβατων ή απομακρυσμένων περιοχών με αποφυγή δυσμενών επιπτώσεων στο περιβάλλον και ελαχιστοποίηση της εξάρτησης από το πετρέλαιο.

## 1. ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Η εγκατάσταση ενός πρότυπου οικισμού στην απομακρυσμένη και δύσβατη παραλία Βλαχιάς της ανατολικής Εύβοιας και η ανάγκη ηλεκτροδότησής του αποτέλεσαν την ευκαιρία σχεδιασμού του έργου που περιγράφεται. Αρχικά έγινε εκτίμηση των συνολικών ενεργειακών αναγκών του οικισμού και ακολούθησε ο διαχωρισμός εκείνων που έπρεπε να καλυφθούν με ηλεκτρισμό. Αυτές οι ανάγκες αναλύθηκαν ως εξής:

- Φωτισμός εξωτερικών χώρων,
- Φωτισμός εσωτερικών χώρων,
- Ραδιόφωνο - Τηλεόραση,
- Ψυγείο,
- Συσκευές και εργαλεία με ηλεκτροκινητήρα.

Ακολούθησε μια γενική εκτίμηση του αιολικού δυναμικού της περιοχής με τη βοήθεια καταγραφικών οργάνων. Οι μετρήσεις μας δεν ήταν οι καλύτερες δυνατές γιατί καλύπτουν περίοδο μόνο έξι μηνών (Ιούλιος - Δεκέμβριος). Ο μέσος όρος ταχυτήτων ανέμου του εξαμήνου υπολογίσθηκε στα 6 M/SEC περίπου, τιμή αρκετά ενθαρρυντική. Εντούτοις περιλαμβάνονται παρατεταμένες περίοδοι άπνοιας αλλά και περίοδοι - ευτυχώς μικρές - θυελλωδών ανέμων, κύρια νότιας διεύθυνσης. Αυτές οι ανεμολογικές συνθήκες δημιούργησαν την ανάγκη ύπαρξης αποθήκης με μεγάλη χωρητικότητα και αξιόπιστων συστημάτων προστασίας από καταστροφή, κύρια της ανεμογεννήτριας.

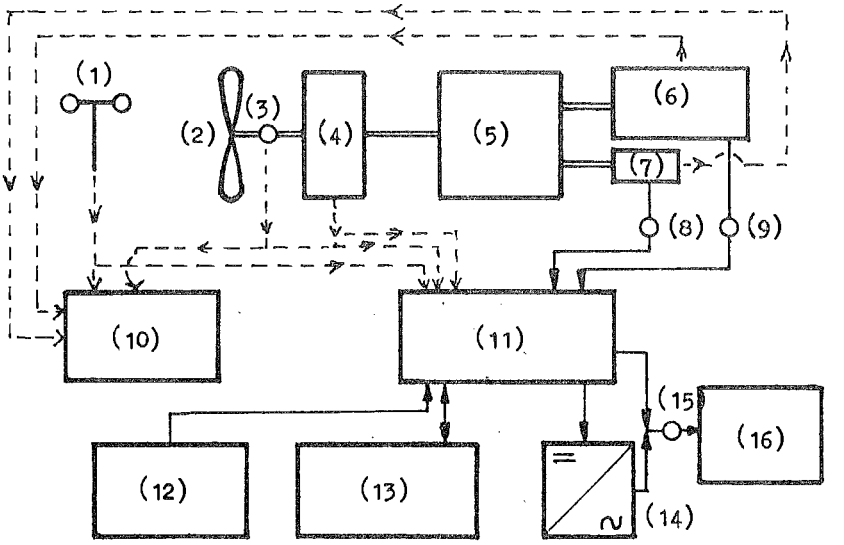
Από τη συνεκτίμηση όλων αυτών των στοιχείων, αλλά και των διαθέσιμων οικονομικών πόρων, κρίθηκε ότι απαραίτητος εξοπλισμός θα ήταν αυτός που περιγράφεται στη συνέχεια και φαίνεται σχηματικά στη διάταξη του σχήματος 1.

α. Μια ανεμογεννήτρια ισχύος 6 KW, εφοδιασμένη με δύο ηλεκτρικές μηχανές εκ των οποίων η μία AC και η άλλη DC για φόρτιση συσσωρευτών.
β. Μια αποθήκη συσσωρευτών.
γ. Ένας μετατροπέας DC/AC.
δ. Ένα υπόγειο δίκτυο διανομής.
ε. Μια ντηζελογεννήτρια ισχύος 5 KVA για υποστήριξη του συστήματος σε περιόδους νηνεμίας και ακόμη όταν η αποθηκευμένη ενέργεια έχει εξαντληθεί με ταυτόχρονη διατήρηση της ζήτησης.

Επειδή η περιοχή εφαρμογής του σχεδίου είναι αρκετά απομονωμένη και δύσβατη, προέκυψε η ανάγκη πραγματοποίησης ενός αριθμού εργασιών υποδομής έτσι ώστε να καταστεί κατάλληλη για τους σκοπούς του σχεδίου. Για παράδειγμα, απαιτήθηκε η διάνοιξη δρόμου 300 μ. για την ευχερή πρόσβαση στην ακριβή τοποθεσία, η κατασκευή επίπεδου πλατώματος για τη θεμελίωση της ανεμογεννήτριας, κ.ο.κ. Το κόστος αυτών των επιπρόσθετων προκαταρκτικών έργων θα έπρεπε να περιληφθεί στο συνολικό κόστος του σχεδίου επιβαρύνοντάς το ανάλογα.

Συγκεκριμένα, το συνολικό κόστος του σχεδίου προϋπολογίσθηκε σε 5 εκατ. δρχ. εκ των οποίων: 1,4 εκ. θα απορροφούσε ο εξοπλισμός, 0,6 εκ. οι μελέτες και η συλλογή ανεμολογικών στοιχείων, 0,8 εκ. τα έργα υποδομής, 1,6 εκ. οι λοιπές δαπάνες του ανθρώπινου δυναμικού και τέλος 0,6 εκ. οι μετρήσεις και η επεξεργασία των δεδομένων λειτουργίας και απόδοσης της μονάδας. Η συνολική Κοινοτική ενίσχυση που απέσπασε το σχέδιο καλύπτει το 40 ο/ο της δαπάνης, ενώ το υπόλοιπο 60 ο/ο καλύπτεται από τη WINDSOL στα πλαίσια των ταμείων της δαπανών για έρευνα και ανάπτυξη.

Σχ. 1 Γενική διάταξη της μονάδας



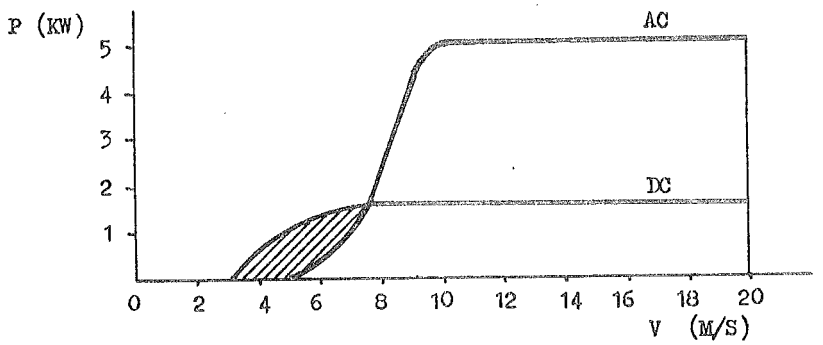

(1) Ανεμόμετρο (2) Δρομέας (3) Στροφόμετρο (4) Συστήματα ελέγχου (5) Κιβώτιο (6) Γεννήτρια 5 KW/220 VAC (7) Γεννήτρια 1,5 KW/24 VDC (8) Μετρητής KWH DC (9) Μετρητής KWH AC (10) Μονάδα συλλογής και ανάλυσης δεδομένων (11) CONTROLLER MICROPROCESSOR (12) Ντηζελογεννήτρια (13) Συσσωρευτές (14) Μετατροπέας (15) Μετρητής KWH κατανάλωσης (16) Φορτία

## 2. ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

### 2.1 Ανεμογεννήτρια (Α/Γ)

Αποτελείται από: α) τρίπτερο ανεμοκινητήρα διαμέτρου D = 6,2 μ. οριζοντίου άξονα που αρχίζει να περιστρέφεται σε ελάχιστη ταχύτητα ανέμου $V_{MIN}$ = 3 M/S ενώ η λειτουργία του διακόπτεται σε μέγιστη ταχύτητα ανέμου $V_{MAX}$ = 20 M/S. Η μέγιστη συνολική ισχύς αποδίδεται σε ταχύτητα ανέμου $V_R$ = 10 M/S. β) μηχανικό κιβώτιο πολλαπλασιασμού δύο εξόδων στις οποίες συνδέονται γ) δύο διαφορετικές ηλεκτρικές μηχανές. Η πρώτη είναι ισχύος 1,5 KW/24-28 V η τάση της οποίας ανορθώνεται για να αποθηκευτεί στους συσσωρευτές που αποτελούν και τη κύρια πηγή ενέργειας σε περιόδους νηνεμίας. Η δεύτερη είναι ισχύος 5 KW, μονοφασική, 220 VAC και το ρεύμα της οδηγείται απευθείας στη κατανάλωση. Η περιοχή διακύμανσης της συχνότητας μπορεί να ρυθμίζεται. Ωστόσο για το έργο που εκτελεί, μια μεταβολή της τάξης του 10 ο/ο έχει κριθεί επιτρεπτή, δεδομένου ότι μικρότερη διακύμανση καταλήγει σε βάρος του χρόνου αξιοποίησης. Η επιλογή της βέλτιστης σχέσης μετάδοσης και ροπής ανεμοκινητήρα, κιβωτίου και των δύο ηλεκτρικών μηχανών επιτρέπει την αξιοποίηση μιας περιοχής ταχυτήτων ανέμου που διαφορετικά θα έμενε ανεκμετάλλευτη όπως φαίνεται στο διάγραμμα που ακολουθεί (σχήμα 2).

Σχ. 2 Διάγραμμα ισχύος Α/Γ




Η συνολική ετησίως παραγόμενη ενέργεια υπολογίσθηκε σε 9.800 KWH περίπου με μέσο όρο ταχύτητας ανέμου $\bar{V} \simeq 6$ M/S.

Για τη προστασία της Α/Γ από ισχυρούς ανέμους, έχει προβλεφθεί η ενσωμάτωση διαφόρων συστημάτων προστασίας όπως ο αξιόπιστος φυγοκεντρικός μηχανισμός μεταβολής του βήματος των πτερών που εξασφαλίζει σταθερό αριθμό στροφών του δρομέα σε ταχύτητες ανέμου μέχρι και 20 M/S. Όταν η ταχύτητα του ανέμου ξεπερνά αυτό το όριο, η λειτουργία της Α/Γ διακόπτεται αυτόματα για να επιτραπεί ξανά όταν η μέση ταχύτητα επί 10' πέσει κάτω από τα 20 M/S. Διακοπή και επαναλειτουργία της Α/Γ πραγματοποιείται επίσης όταν οι στροφές του άξονα και οι ταλαντώσεις του συστήματος ξεπερνούν τα προκαθορισμένα όρια, όταν το τοίχωμα του υλικού πέδησης ελαττωθεί επικίνδυνα, κ.λ.π.
Η ακρίβεια λειτουργίας και η προστασία της Α/Γ ελέγχεται από προγραμματισμένο μικροεπεξεργαστή (MICROPROCESSOR) που είναι ενσωματωμένος στον ψηφιακό πίνακα.

Η άτρακτος στηρίζεται στη κορυφή δικτυωτού πυλώνα πυραμοειδούς μορφής και ύφους 15 μ. ο οποίος ενισχύεται από 4 επίτονα στο ύφος των 11 μ.

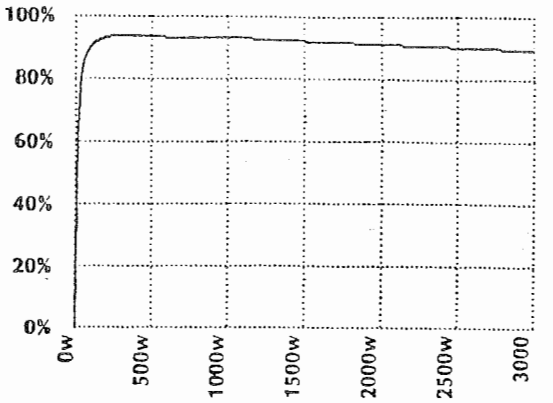
## 2.2 Αποθήκη ηλεκτρικής ενέργειας

Οι συσσωρευτές είναι βαθείας εκφόρτισης και η χωρητικότητά τους ανέρχεται σε 1.000 AH, ποσότητα που θεωρείται επαρκής για την ικανοποίηση των αναγκών ηλεκτροδότησης του οικισμού. Έχει υπολογιστεί ότι σε περίπτωση παρατεταμένης άπνοιας η αποθηκευμένη ενέργεια θα επαρκέσει για 3-4 ημέρες με βαθμό εκφόρτισης των συσσωρευτών 50 ο/ο.

## 2.3 Μετατροπέας (INVERTER)

Ο μετατροπέας χρησιμοποιείται για την εξυπηρέτηση των φορτίων 220 VAC που απαιτούν σταθερή τάση και συχνότητα κυρίως σε περιόδους άπνοιας. Είναι στατού τύπου, ισχύος 3 KW, ενώ η ονομαστική ένταση εξόδου είναι 15 A. Η άεργος ισχύς που καταναλώνεται από τη μονάδα όταν είναι σε θέση αναμονής παραμένει ελάχιστη - μόλις 1,5 WATT - ενώ η κυματομορφή είναι ημιτονοειδούς σχήματος. Ο βαθμός απόδοσης του μετατροπέα φθάνει το 95 ο/ο όπως φαίνεται στο επόμενο διάγραμμα (σχήμα 3).

Σχ. 3 Διάγραμμα βαθμού απόδοσης μετατροπέα




2.4 Ντηζελογεννήτρια

Στην ακραία περίπτωση που υπάρχει νηνεμία και ταυτόχρονα έλλειψη επαρκούς ενέργειας στους συσσωρευτές, τίθεται σε λειτουργία η ντηζελογεννήτρια για να καλύψει το κενό. Στόχος είναι η ελαχιστοποίηση της λειτουργίας της με προσπάθεια ορθολογικής χρονικά κατανομής των διαφόρων καταναλώσεων.

2.5 Σύστημα ελέγχου μέσω μικροεπεξεργαστή (CONTROLIER MICROPROCESSOR)

Η εξασφάλιση της καλής λειτουργίας και η προστασία της Α/Γ επιτυγχάνονται μέσω ενός ηλεκτρονικού ρυθμιστή. Η λειτουργία του βασίζεται σε μικροεπεξεργαστή ο οποίος είναι κατάλληλα προγραμματισμένος για να ακινητοποιεί την Α/Γ όταν συντρέχουν κάποιοι λόγοι και να την απελευθερώνει εφόσον εκλείψουν. Τέτοιοι λόγοι είναι: οι πολύ υψηλές ταχύτητες του ανέμου (π.χ. V > 20 M/S), η υπερτάχυνση του δρομέα, οι ταλαντώσεις του πυλώνα, η φθορά του τοιχώματος του υλικού πέδησης, κ.ο.κ. Ακόμα σε παρατεταμένες περιόδους άπνοιας διακόπτει την εκφόρτιση των συσσωρευτών για τη προστασία τους και ενεργοποιεί τη ντηζελογεννήτρια. Τέλος η μονάδα είναι εφοδιασμένη με ψηφιακή οθόνη όπου εμφανίζονται οι παράμετροι λειτουργίας της, όπως τάση, ένταση, ισχύς, στροφές, ταχύτητα ανέμου (στιγμιαία), ριπές ανέμου, περίοδοι άπνοιας, κ.ά. Αυτά τα δεδομένα μπορούν να γράφονται σε μνήμη EPROM, μαγνητοταινία ή εκτυπωτή για παραπέρα ανάλυση.

2.6 Ενεργειακές ανάγκες - ηλεκτρικά φορτία

Στη συνέχεια παραθέτουμε αναλυτικά κατά κατηγορία τις συνολικές ενεργειακές ανάγκες του οικισμού όπως υπολογίστηκαν:

α. Φωτισμός εξωτερικών χώρων

10 φωτιστικά σώματα X 40 W X 8 ώρες: 3.200 WH/ημέρα

β. Φωτισμός εσωτερικών χώρων

20 φώτιστικά σώματα X 32 W X 4 ώρες: 2.560 WH/ημέρα

γ. Ραδιόφωνο - Τηλεόραση

2 συσκευές X 75 W X 3 ώρες: 450 WH/ημέρα

δ. Ψυγείο

3 ψυγεία X 100 W X 12 ώρες: 3.600 WH/ημέρα

ε. Εργαλεία και συσκευές με ηλεκτροκινητήρα

2 συσκευές X 300 W X 2 ώρες: 1.200 WH/ημέρα

στ. Αντλία νερού

1 αντλία X 1000 W X 1 ώρα: 1.000 WH/ημέρα

Σύνολο ημερήσιων ενεργειακών αναγκών: 12.010 WH/ημέρα
Σύνολο ετήσιων ενεργειακών αναγκών: (περίπου) 4.380 KWH

Το τυχόν περίσσευμα ενέργειας θα χρησιμοποιείται για θέρμανση νερού. Ενώ θεωρητικά η παραγωγή της Α/Γ υπερκαλύπτει τις καταναλώσεις, ωστόσο από την εμπειρία μας γνωρίζουμε ότι θα υπάρξουν περίοδοι αιχμής όπου θα απαιτηθεί η υποστήριξη του ντήζελ.

## 3. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

### 3.1 Γενικά

Το πρόγραμμα μετρήσεων αποτελεί ένα σημαντικό βήμα στη μελέτη, αξιολόγηση και ανάπτυξη Α/Γ μικρού και μεσαίου μεγέθους. Κύριος στόχος είναι η επαλήθευση των θεωρητικών υπολογισμών για την απόδοση και τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την Α/Γ. Στη συνέχεια αναμένεται να υπάρξουν σημαντικά στοιχεία για τη συμπεριφορά της Α/Γ κάτω από αντίξοες καιρικές και κλιματολογικές συνθήκες μια και η θέση εγκατάστασης προσφέρεται ευνοϊκά για το σκοπό αυτό. Ειδικότερα οι μετρήσεις αφορούν:

- ανεμολογικά χαρακτηριστικά της θέσης εγκατάστασης,
- στοιχεία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της Α/Γ και αντίστοιχα της κατανάλωσης του χρήστη,
- χαρακτηριστικά για την απόδοση και λειτουργία της Α/Γ.

Για τη συγκεκριμένη εργασία έχει αναπτυχθεί ηλεκτρονική μονάδα συλλογής και ανάλυσης δεδομένων που είναι βασισμένη σε μικροεπεξεργαστή (MICROPROCESSOR).

### 3.2 Ανεμολογικές μετρήσεις

Οι ανεμολογικές μετρήσεις που γίνονται αφορούν τη μέση ταχύτητα του ανέμου που αποτελεί βασικό ανεμολογικό δεδομένο μιας περιοχής, τη μέγιστη εμφανιζόμενη ταχύτητα του ανέμου (ριπή) καθώς και τη μέγιστη περίοδο άπνοιας. Συμπεριλαμβάνεται επίσης ο προσδιορισμός της κατανομής της συχνότητας εμφάνισης της ταχύτητας του ανέμου με βάση μέσους όρους της ταχύτητας για δεκάλεπτα χρονικά διαστήματα.

### 3.3 Μετρήσεις παραγωγής και κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας

Ένα βασικό μέγεθος για την αξιολόγηση της Α/Γ και την εκτίμηση της συνολικής εγκατάστασης είναι η μηνιαία παραγωγή ενέργειας από την Α/Γ.

Στο παρόν πρόγραμμα γίνεται μέτρηση του μεγέθους αυτού καθώς και της μηνιαίας κατανάλωσης ενέργειας του χρήστη.

3.4 Μέτρηση χαρακτηριστικών της Α/Γ

Για τη μελέτη της συμπεριφοράς της Α/Γ δεν επαρκούν οι μετρήσεις που περιγράφηκαν παραπάνω (παρ. 3.2, 3.3). Γι' αυτό προχωρήσαμε σε παραπέρα ανάλυση της λειτουργίας της, προσδιορίζοντας τις σχέσεις που υπάρχουν ανάμεσα στη ταχύτητα του ανέμου και την ισχύ της (καμπύλη ισχύος) και ανάμεσα στη ταχύτητα του ανέμου και στις στροφές του δρομέα (καμπύλη στροφών). Αυτό γίνεται με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή χρησιμοποιώντας μέθοδο εκλεκτικής επιλογής δεδομένων.

4. ΤΕΧΝΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΣΧΕΔΙΟΥ

Η δημιουργία μιας αυτόνομης μονάδας ηλεκτροπαραγωγής που να στηρίζεται κύρια στην Αιολική Ενέργεια παρουσιάζει πολλά σημεία άξια προσοχής και διερεύνησης. Πρωταρχικό ερώτημα είναι κατά πόσο η μονάδα που περιγράφηκε καλύπτει τις ανάγκες του χρήστη. Όπως αποδείχθηκε από την παρούσα, η Α/Γ υποβοηθούμενη από την αποθήκη της υπερκαλύπτει τις συνολικές ανάγκες του χρήστη και για όλως εξαιρετικές περιπτώσεις προβλέφθηκε η επικουρία της ντηζελογεννήτριας. Για ένα άλλο χρήστη με περισσότερες ή διαφορετικές ανάγκες, θα προσαρμόσουμε το μέγεθος της Α/Γ και τη χωρητικότητα της αποθήκης, λαμβάνοντας υπόψη το τοπικό ανεμολογικό δυναμικό. Μ' άλλα λόγια, σχεδιάστηκε μια μονάδα ελαστική που μπορεί να προσαρμόζεται από πλευράς μεγέθους έτσι ώστε να ικανοποιεί αποτελεσματικά τις ανάγκες κάθε μικρού απομακρυσμένου χρήστη. Θα πρέπει να σημειωθεί πως σαν σύνολο η μονάδα περιλαμβάνει το στοιχείο της καινοτομίας και γι' αυτό επιχορηγείται από την Ε.Ο.Κ. Ωστόσο, εισάγει και επιμέρους ενδιαφέρουσες καινοτομίες όπως το αυτόματο σύστημα ελέγχου και προστασίας καθώς και το τμήμα συλλογής - ανάλυσης και καταγραφής των δεδομένων λειτουργίας και ανέμου που στηρίζεται στη λειτουργία μικροεπεξεργαστή, χωρίς να γίνει αναφορά σε ένα πλήθος μηχανολογικών επινοήσεων.

5. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Ο βαθμός οικονομικής αποδοτικότητας μιας Α/Γ εξαρτάται από:

(α) το αιολικό δυναμικό της περιοχής, (β) την ονομαστική ισχύ της Α/Γ, (γ) την ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, (δ) το κόστος συμβατικής πηγής ενέργειας.

Στο επιδεικτικό σχέδιο που περιγράφηκε θα εξαχθούν στοιχεία οικονομικής αποδοτικότητας με το προσδιορισμό της αξίας της ετήσιας παραγωγής ενέργειας, της αξίας της αιολικής KWH, του λειτουργικού κόστους και κόστους συντήρησης του συστήματος και τέλος του χρόνου επανείσπραξης της επένδυσης σε συνάρτηση με συμβατική εκτίμηση της διάρκειας ζωής της μονάδας 20 χρόνων. Θα υπολογιστεί ακόμη το κόστος ενέργειας από την ανανεώσιμη πηγή σε σχέση με το αντίστοιχο κόστος μιας συμβατικής πηγής για να εξαχθούν στοιχεία οικονομικής βιωσιμότητας τόσο για την υφιστάμενη εγκατάσταση όσο και για παρόμοιες μελλοντικές. Εννοείται ότι για την ορθότητα των υπολογισμών θα απομονωθεί η ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που θα παράγεται από την ντηζελογεννήτρια όπως επίσης και το αντίστοιχο κόστος επένδυσης που καλύπτει. Εκτός απ' αυτούς τους υπολογισμούς όμως που θα πραγματοποιηθούν αφότου το σύστημα συμπληρώσει ωρισμένους μήνες λειτουργίας, έχουν ήδη πραγματοποιηθεί μερικοί συμβατικοί υπολογισμοί - βασισμένοι σε εκτιμήσεις και με δεδομένο το υπάρχον αιολικό δυναμικό - όσον αφορά το προϋπολογισμένο κόστος της αιολικής KWH και το χρόνο

απόσβεσης της μονάδας. Από τους υπολογισμούς αυτούς προκύπτουν τα εξής:

Κατ' αρχήν στην εφαρμογή του παρόντος σχεδίου απαιτήθηκαν επιπρόσθετες εργασίες υποδομής καθώς και πολυδάπανος εξοπλισμός μετρήσεων που δημιούργησαν αντίστοιχες δαπάνες αναφορικά με μια καθαρά εμπορική εφαρμογή του ίδιου συστήματος. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα τη σοβαρή διόγκωση του συνολικού κόστους (περίπου 2,5 με 3 φορές) και κατ' επέκταση την επιμήκυνση του χρόνου απόσβεσης της μονάδας. Συγκεκριμένα, το κόστος της αιολικής KWH (της εν λόγω εφαρμογής πάντα) προϋπολογίζεται σε 27 δρχ. με περίοδο απόσβεσης 32 χρόνια, μεγαλύτερη δηλαδή από τη διάρκεια ζωής του συστήματος. Αυτό το κόστος μειώνεται αισθητά όταν αφαιρεθούν οι επιπλέον δαπάνες (υποδομή, μετρήσεις, κ.λ.π.) που δεν έχουν άμεση σχέση με την Α/Γ και η τελευταία αποτελεί προϊόν βιομηχανικής παραγωγής. Τότε το κόστος της αιολικής KWH κατεβαίνει στις 10 δρχ. και η περίοδος απόσβεσης στα 11,8 χρόνια (έχοντας πάντα υπόψη την ύπαρξη μέσης ετήσιας ταχύτητας ανέμου 6 M/S στη περιοχή). Τέλος αν μιλήσουμε για μια εφαρμογή μεγαλύτερου μεγέθους (π.χ. 20 KW) που εκτιμάται ότι θα αποδώσει 45 - 50.000 KWH το έτος, τότε το κόστος της αιολικής KWH θα ήταν 6-7 δρχ. και ο χρόνος απόσβεσης 7-8 χρόνια.

Με τα στοιχεία αυτά που φαίνονται συγκριτικά στον επόμενο πίνακα, μπορεί να έχει κανείς μια εικόνα της οικονομικής βιωσιμότητας παρόμοιων μονάδων.

| Είδος και ισχύς Α/Γ | Κόστος αιολικής KWH | Χρόνος απόσβεσης | Κόστος επένδυσης (εκ. δρχ.) |
|---|---|---|---|
| 6 KW (σχέδ. επίδειξης) | 27 δρχ. | 32 χρόνια | 3,8 |
| 6 KW (εμπορ. εφαρμ.) | 10 " | 12 " | 1,4 |
| 20 KW(εμπορ. εφαρμ.) | 6-7 " | 7-8 " | 4,3 |

## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το επιδεικτικό σχέδιο που παρουσιάστηκε αποδεικνύει τη δυνατότητα δημιουργίας αυτόνομης ενεργειακής μονάδας βασισμένης στην εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής, και την επικουρική υποστήριξη ντηζελογεννήτριας. Η σωστή εκτίμηση των παραγόντων λειτουργίας του συστήματος οδηγούν σε πλήρη εξυπηρέτηση του χρήστη σχεδόν αποκλειστικά από την Α/Γ, ελαχιστοποιώντας την εξάρτησή του από το πετρέλαιο. Στη συνέχεια αποδεικνύεται η οικονομική βιωσιμότητα παρόμοιων εφαρμογών. Τέλος θα πρέπει να τονισθεί ότι η ανάπτυξη αυτόνομων μονάδων του είδους που περιγράφηκε θα συμβάλει στην αξιοποίηση απομακρυσμένων περιοχών, στην εξοικονόμηση ενέργειας σε εθνική κλίμακα, στην ανάπτυξη εγχώριας τεχνολογίας και συνεπώς μη εξάρτηση από άλλες χώρες και το τελευταίο αλλά όχι λιγότερο σημαντικό στη προστασία του φυσικού περιβάλλοντος.

# ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΕΙΣ ΑΝΤΛΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΩΣ ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥ

Δ. ΠΑΠΑΝΤΩΝΗΣ
Λέκτορας ΕΜΠ

Ν. ΑΘΑΝΑΣΙΑΔΗΣ
Καθηγητής ΕΜΠ

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών - Τομέας Ρευστών
Εργαστήριο Υδροδυναμικών Μηχανών
Πατησίων 42 - 106 82 Αθήνα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ : Η αντίστροφη λειτουργία αντλίας ως υδροστροβίλου έχει αποδειχθεί στην πράξη ότι, γιά πολύ μικρές ισχείς (μέχρι 250 KW περίπου), αποτελεί την πλέον σωστή και τεχνολογικά σωστή λύση. Ομως μεταξύ αυτών των δύο λειτουργιών της ίδιας μηχανής, ως αντλίας και ως υδροστροβίλου, υπάρχουν διαφορές αποτέλεσμα των οποίων είναι ότι, γιά την ίδια ταχύτητα περιστροφής, τα κανονικά σημεία λειτουργίας ως αντλίας και ως υδροστροβίλου διαφέρουν σημαντικά. Στην εργασία αυτή εξετάζονται οι εξής δύο περιπτώσεις :
α) η επιλογή της κατάλληλης αντλίας ώστε, σε συγκεκριμένη υδραυλική πτώση καί παροχή, να επιτυγχάνεται η καλύτερη δυνατή λειτουργία της ως υδροστροβίλου.
β) η σχεδίαση νέας πτερωτής σε μία αντλία ώστε να βελτιστοποιείται η λειτουργία της ως υδροστροβίλου.

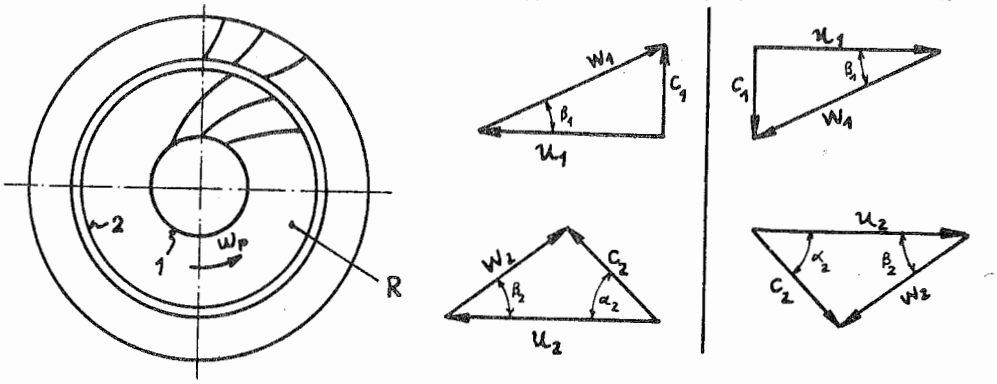
ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ Υδροδυναμικές Μηχανές, Μικροί Υδροστρόβιλοι, Αντλίες, Υδραυλική Ενέργεια.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ : Οπως έχει αποδειχθεί, η συνεισφορά των μικρών υδατοπτώσεων στο ενεργειακό πρόβλημα μπορεί να είναι σημαντική και γιά τον λόγο αυτό, η αξιοποίησή τους άρχισε να εξετάζεται σοβαρά και στην Ελλάδα όπου, λόγω του ορεινού χαρακτήρα της χώρας μας, ο αριθμός τους είναι σημαντικός. Λαμβάνοντας υπ'όψη τα πλεονεκτήματα μιάς μικρής υδροηλεκτρικής μονάδας σε σύγκριση με μιά μεγάλη, όπως τα αναλογικά μικρά έργα πολιτικού μηχανικού, τον μικρό χρόνο κατασκευής, την δυνατότητα τηλεχειρισμού, τις ελάχιστες περιβαντολογικές επιπτώσεις κλπ, προβλέπεται μελλοντικά η εγκατάσταση μεγάλου αριθμού μικρών υδροηλεκτρικών μονάδων. Το όφελος της Ελληνικής Οικονομίας θα ήταν διπλό εάν η Ελληνική Βιομηχανία είχε την απαιτούμενη εμπειρία. Στον αμέσως συγγενικό κλάδο, αυτόν της κατασκευής αντλιών, υπάρχουν σοβαρές κατασκευαστικές μονάδες που θα μπορούσαν σταδιακά να στραφούν προς τον κλάδο των μικρών υδροστροβίλων εάν γιά την αξιοποίηση των πολύ μικρών υδατοπτώσεων γίνει εφαρμογή τυποποιημένων αντλιών που έχουν κατάλληλα επιλεγεί και τροποποιηθεί.

Στην εργασία αυτή εξετάζεται η μεθοδολογία επιλογής της κατάλληλης αντλίας που θα λειτουργήσει αντίστροφα σε δεδομένη υδατόπτωση και μία μεθοδολογία χάραξης νέας πτερωτής γιά την βελτιστοποίηση της λειτουργίας ως υδροστροβίλου.

## 2. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ

Οπως είναι γνωστό, αντιστρέφοντας την φορά περιστροφής της πτερωτής αντλίας ακτινικής η μικτής ροής και την διεύθυνση της ροής (έτσι ώστε να γίνεται από την περιφέρεια προς τον άξονα της πτερωτής) τότε η λειτουργία της φυγόκεντρης μηχανής αντιστοιχεί στην λειτουργία υδροστροβίλου τύπου Francis. Εφαρμόζοντας την ίδια αντιστροφή σε αντλία αξονικής ροής, η λειτουργία του συστήματος αντιστοιχεί σε αυτήν υδροστρόβιλου τύπου Kaplan. Το συμπέρασμα αυτό προκύπτει από την εξέταση των τριγώνων ταχυτήτων στις διατομές (1) και (2) της πτερωτής R, η οποία περιβάλλεται από μία κυκλική στεφάνη σταθερών οδηγητικών πτερυγίων (σχήμα 1).




Σχήμα 1 Τρίγωνα ταχυτήτων κατά την κανονική και αντίστροφη λειτουργία της αντλίας.

Εστω ότι η πτερωτή R, κατά την λειτουργία της ως υδροστρόβιλος, στρέφεται περί τον άξονά της με γωνιακή ταχύτητα $\omega_P=-\omega_T$, όπου $\omega_P$ η γωνιακή ταχύτητα της πτερωτής κατά την λειτουργία της ως αντλία. Παρατηρούμε ότι τα τρίγωνα ταχυτήτων του σχ.1, στην αντίστοιχη διατομή είναι ταυτόσημα γιά την ίδια παροχή διά μέσω της πτερωτής. Αυτό οφείλεται στο ότι, αντιστρέφοντας την φορά της ροής και την φορά περιστροφής της πτερωτής, η στεφάνη των οδηγητικών πτερυγίων παίζει τον ρόλο διανομέα, ο οποίος επιβάλλει στην απόλυτη ταχύτητα της ροής στην διατομή (2) την κλίση $\alpha_2$. Στην περίπτωση που αντί στεφάνης οδηγητικών πτερυγίων υπάρχει σπειροειδές κέλυφος, όπως συνήθως συμβαίνει, η λειτουργία είναι αντίστοιχη.

Εφαρμόζοντας την εξίσωση Euler της ροπής τής ορμής γύρω από την πτερωτή R, το θεωρητικό μανομετρικό ύψος της πτερωτής, σε μέτρα στήλης (ασυμπίεστου) ρευστού, προκύπτει ίσο με :

$$H_u=(u_2 c_{u_2}-u_1 c_{u_1})/g \qquad (1)$$

όπου u η περιφερειακή ταχύτητα και $c_u$ η περιφερειακή συνιστώσα της απόλυτης ταχύτητας. Από την εξίσωση (1), λαμβάνοντας υπόψη τα τρίγωνα ταχυτήτων του σχήματος 1, προκύπτει ότι γιά τις δύο περιπτώσεις λειτουργίας της πτερωτής είναι :

$$H_u=H_{uP}=-H_{uT} \qquad (2)$$

Αποδεικνύεται έτσι ότι από θεωρητικής πλευράς, αντιστρέφοντας την φορά περιστροφής και την φορά της ροής, η εξεταζόμενη πτερωτή λειτουργεί το ίδιο καλά ως πτερωτή

αντλίας και ως στροβίλου. Ομως, εξετάζοντας την στροβιλομηχανή στο σύνολό της, δηλ. λαμβάνοντας υπόψη, εκτός από την πτερωτή, το σπειροειδές κέλυφος και το τμήμα εισόδου, η αντίστροφη λειτουργία της αντλίας ως στρόβιλος διαφέρει από την λειτουργία ως αντλία στα εξής κυρίως σημεία :

α) Στη λειτουργία ως αντλία, το πραγματικό μανομετρικό ύψος $H_P$ είναι μικρότερο από το θεωρητικό ύψος $H_u$ κατά τις υδραυλικές απώλειες της ροής, $\delta h_{fP}$, από την είσοδο ως την έξοδο της μηχανής $H_P=H_u-\delta h_{fP}$. Αντίθετα, κατά την λειτουργία ως υδροστρόβιλος, το καθαρό μανομετρικό ύψος Ητ είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο θεωρητικό $H_u$ κατά τις υδραυλικές απώλειες της ροής $\delta h_{fT}$:
$H_T=H_u+\delta h_{fT}$ .

β) Ενώ κατά την λειτουργία ως αντλία, η παροχή $\dot{V}_P$ διά μέσω της μηχανής είναι μικρότερη από την παροχή $\dot{V}_u$ διά μέσω της πτερωτής κατά τις ογκομετρικές απώλειες $\delta\dot{V}_P$, κατά την λειτουργία ως στρόβιλος η πραγματική παροχή $\dot{V}_T$ είναι μεγαλύτερη από την παροχή διά μέσω της παροχής κατά τις ογκομετρικές απώλειες $\delta\dot{V}_T$ $\dot{V}_T=\dot{V}_u+\delta\dot{V}_T$ .

γ) Λόγω της αναστροφής της διεύθυνσης της ροής, η ανάπτυξη των οριακών στρωμάτων είναι και αυτή αντίστροφη.

δ) Ενώ η ροή διά μέσω μιάς αντλίας είναι (συνήθως) επιβραδυνόμενη, η ροή διά μέσω της ίδιας στροβιλομηχανής, κατά την λειτουργία της ως υδροστρόβιλος θα είναι επιταχυνόμενη. Ο παράγοντας αυτός είναι ευνοϊκός γιά την αντίστροφη λειτουργία γιατί επηρεάζει ευνοϊκά την μη εμφάνιση αποκόλλησης της ροής και ελαττώνει τις υδραυλικές απώλειες, βελτιώνοντας τον βαθμό απόδοσης. Χάρις σ'αυτήν κυρίως την διαφορά, με την αντιστροφή της λειτουργίας μιάς καλά σχεδιασμένης τυποποιημένης αντλίας, προκύπτει ένας καλός υδροστρόβιλος, ενώ το αντίστροφο δεν συμβαίνει. Γιά τον λόγο αυτόν άλλωστε, μία αναστρέψιμη μονάδα δηλ. μία στροβιλοαντλία σχεδιάζεται πρωτίστως γιά την λειτουργία της ως αντλία (/2/,/4/).

Θα πρέπει εδώ να διευκρινισθεί ότι το εξεταζόμενο αντικείμενο δηλ. η αντίστροφη λειτουργία αντλίας ως υδροστροβίλου, διαφέρει από αυτό της σχεδίασης μιάς αναστρέψιμης μονάδας η οποία καλείται να λειτουργήσει και κατά τις δύο φορές. Η σχεδίαση μιάς αναστρέψιμης μονάδας, λόγω κυρίως των διαφορών (α) και (β), αποτελεί αντικείμενο συμβιβασμού αντίθετων επιδιώξεων δεδομένου ότι η υψομετρική διαφορά είναι η ίδια και στις δύο περιπτώσεις.

Στην εξεταζόμενη λειτουργία αντλίας ως υδροστροβίλου σκοπός είναι η επιλογή της κατάλληλης αντλίας ή η νέα χάραξη της πτερωτής της γιά την κατά το δυνατόν καλύτερη λειτουργία της ως υδροστροβίλου

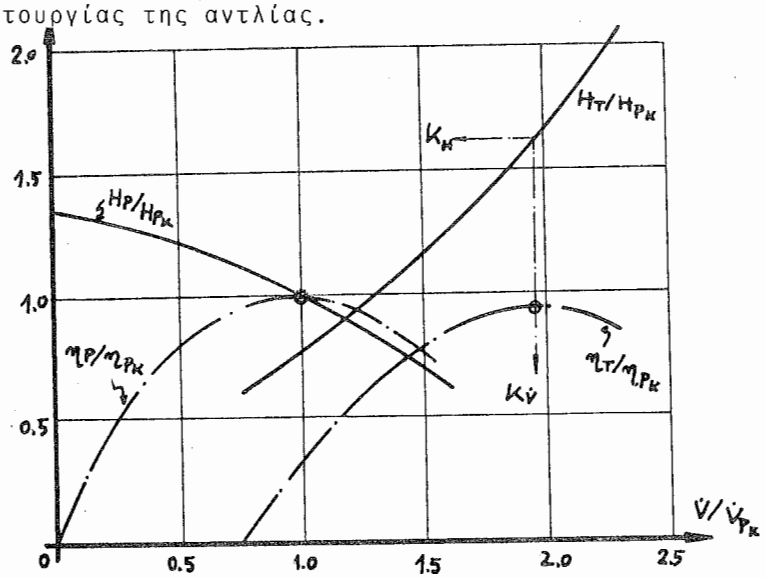
## 3. ΟΡΙΣΜΟΣ ΑΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ

Συμβολίζοντας με V, H, n την παροχή ($m^3/h$), το μανομετρικό ύψος (m) και την ταχύτητα περιστροφής (RPM) αντίστοιχα, γιά το κανονικό σημείο λειτουργίας, δηλ. το σημείο μέγιστου βαθμού απόδοσης και χρησιμοποιώντας τον δείκτη P γιά την λειτουργία ως αντλίας και T γιά την λειτουργία ως υδροστροβίλου, ο ειδικός αριθμός στροφών (ως προς παροχή) είναι ίσος με (/1/)

- γιά την λειτουργία αντλίας : $n_{qP}=n\ V_P^{.5}\ H_P^{-.75}$
- γιά την λειτουργία στροβίλου : $n_{qT}=n\ V_T^{.5}\ H_T^{-.75}$

Μεταξύ των δύο λειτουργιών, γιά τα αντίστοιχα κανονικά σημεία ορίζονται οι εξής αδιάστατοι αριθμοί : $K_V=\dot{V}_T/\dot{V}_P$ , $K_H=H_T/H_P$ και $K_n=n_{qT}/n_{qP}$. Οι $K_V$ και $K_H$ πρέπει, σύμφωνα με όσα αναπτύχθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο, να είναι μεγαλύτεροι της μονάδας ενώ οι αντίστοιχοι μέγιστοι βαθμοί απόδοσης είναι της ίδιας τάξεως μεγέθους.

Στο σχήμα 2 παριστάνονται οι καμπύλες λειτουργίας τυποποιημένης αντλίας, ειδικού αριθμού στροφών $n_{qP}=760$ γιά την λειτουργία ως αντλίας και ως υδροστροβίλου. Τα διάφορα μεγέθη έχουν αδιαστατοποιηθεί ως προς τα αντίστοιχα της κανονικής λειτουργίας της αντλίας.




Σχήμα 2 Χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας αντλίας κατά την κανονική και αντίστροφη λειτουργία.

Ορίζονται επίσης οι αδιάστατοι παράμετροι λειτουργίας (/3/,/4/)

παράμετρος παροχής : $\varphi=\dot{V}/(\pi R_{2T}^3\cdot n)$ (4)

παράμετρος ύψους : $\psi=2gH/(R_{1T}n)$ (5)

αδιάστατος ειδικός αριθμός στροφών : $v=n(\dot{V}/\pi)^{.5}/(2gH)^{.75}$ (6)

όπου $R_{1T}$ και $R_{2T}$ η ακτίνα της διατομής εισόδου και εξόδου της πτερωτής γιά την λειτουργία ως υδροστρόβιλος, $\dot{V}$, H και n η παροχή, μανομετρικό ύψος και ταχύτητα περιστροφής (RPM) γιά την ίδια λειτουργία.

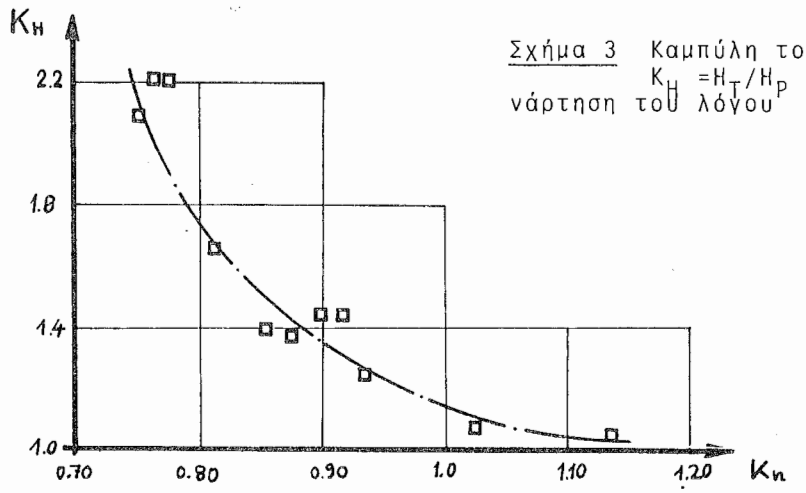
Η ταχύτητα περιστροφής $n_T$ γιά την λειτουργία ως υδροστρόβιλος λαμβάνεται στην συνέχεια ίσος με αυτή γιά την λειτουργία ως αντλίας $n_P$. Η παραδοχή αυτή είναι σύμφωνη με την πρακτική δεδομένου ότι η ταχύτητα περιστροφής τυποποιείται ώστε να είναι σύγχρονη, ενώ μείωση της ταχύτητας περιστροφής γιά την λειτουργία ως υδροστροβίλου θα αντιστοιχούσε σε υπολειτουργία της μηχανής.

## 4. ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΤΑΛΛΗΛΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ

Στην περίπτωση αυτή εξετάζεται η επιλογή της κατάλληλης αντλίας που θα λειτουργεί ως υδροστρόβιλος σε μία

δεδομένη υδατόπτωση, όταν δηλαδή είναι δεδομένα η παροχή $V_T$, το μανομετρικό ύψος Ητ και η ταχύτητα περιστροφής $n_T$, τα οποία θεωρούνται ως τα αντίστοιχα μεγέθη του κανονικού σημείου λειτουργίας. Η αντίστροφη λειτουργία θα γίνει χωρίς αλλαγή στην σχεδίαση της πτερωτής της αντλίας.

Η διαδικασία που ακολουθείται βασίζεται στην επεξεργασία πειραματικών στοιχείων από την αντίστροφη λειτουργία αντλιών (/5/,/6/,/7/,/8/,/11/,/13/,/15/). Οπως προτείνεται από τους Buse /9/ και Shafer /10/, φαίνεται ότι υπάρχει μία συσχέτιση μεταξύ τού λόγου Κn των ειδικών αριθμών στροφών και των λόγων $K_H=H_T/H_P$ και $K_V=V_T/V_P$, στα αντίστοιχα κανονικά σημεία λειτουργίας. Στο σχήμα 3 παριστάνονται οι λόγοι $K_H$ σαν συνάρτηση του Κn γιά τις αντλίες των οποίων διαθέτουμε τα χαρακτηριστικά της αντίστροφης λειτουργίας αντλιών.

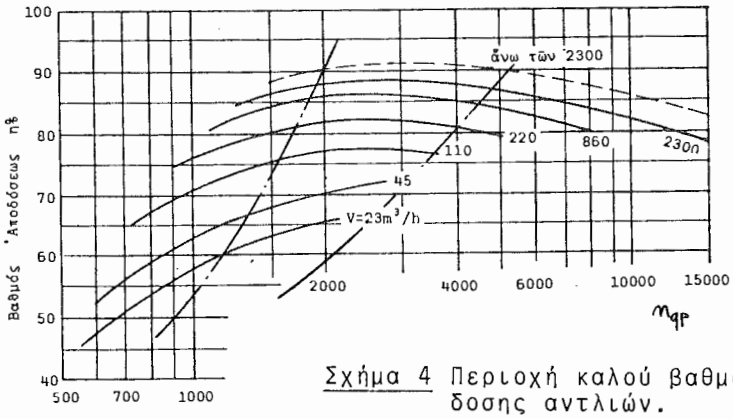



Σχήμα 3 Καμπύλη του λόγου $K_H=H_T/H_P$ σαν συνάρτηση τού λόγου $K_n$.

Οπως φαίνεται από το σχήμα 3 τα σημεία αυτά συσχετίζονται ικανοποιητικά, έτσι ώστε, μέσω της μεθόδου ελαχίστων τετραγώνων, από την επιλογή του λόγου Κn, να προκύπτει ο λόγος $K_H$ και άρα το ύψος της αντλίας στο κανονικό σημείο λειτουργίας της : $H_P=H_T/K_H$. Από τον ορισμό του $n_{qP}=n_{qT}/K_n$ θα είναι τότε γνωστή και η αντίστοιχη κανονική παροχή της αντλίας. Τα χαρακτηριστικά αυτά σημεία λειτουργίας δεν είναι όμως σίγουρο ότι αντιστοιχούν σε μία καλά σχεδιασμένη αντλία. Γιά επιλογή της αντλίας, φροντίζουμε αυτή να αντιστοιχεί γιά την παροχή $V_P$ και τον ειδικό αριθμό στροφών $n_{qP}$, στην περιοχή του στατιστικά μέγιστου βαθμού απόδοσης της αντλίας, όπως αυτή προκύπτει από το διάγραμμα του σχήματος 4, /1/, αν το μετατρέψουμε σε διάγραμμα της κανονικής παροχής $V_P$ σαν συνάρτηση του ειδικού αριθμού στροφών $n_{qP}$.

Η διαδικασία αυτή επιλογής προγραμματίστηκε σε ηλεκτρονικό υπολογιστή έτσι ώστε γιά δεδόμενα $V_T$, $H_T$ και $n_T$ να προκύπτουν τα αντίστοιχα κανονικά μεγέθη $V_P$, $H_P$ και $n_P=n_T$ της αντλίας, δηλαδή να επιλέγεται η κατάλληλη αντλία

γιά την δεδομένη υδατόπτωση. Η εφαρμογή της διαδικασίας στις αντλίες όπου μας είναι γνωστή η αντίστροφη λειτουργία τους έδωσε πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα (προσέγγιση των πραγματικών $V_p$ και $H_p$ της τάξεως του 8%), γεγονός που αποδεικνύει την καλή συσχέτιση των στοιχείων.




Σχήμα 4 Περιοχή καλού βαθμού απόδοσης αντλιών.

## 5. ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΑΝΤΛΙΑΣ ΜΕ ΣΚΟΠΟ ΤΗΝ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Στην παράγραφο αυτή εξετάζεται η μετατροπή αντλίας γιά την βελτιστοποίηση της λειτουργίας της ως υδροστρόβιλος και ο προσδιορισμός του αντίστοιχου κανονικού σημείου λειτουργίας. Με τον όρο μετατροπή εννοούμε κυρίως την χάραξη νέας πτερωτής διατηρώντας σταθερές τις διαστάσεις που δεν μπορούν νά μεταβληθούν γιά κατασκευαστικούς λόγους, όπως την εσωτερική και εξωτερική διάμετρο της πτερωτής και το πάχος της . Η σχεδίαση της νέας πτερωτής βασίστηκε σε κατασκευαστικά στοιχεία που δίνονται από τους Bovet /3/, Graser J. /4/ και F.de Sievro /16/, και συγκεκριμένα στις στατιστικές σχέσεις που συσχετίζουν την τιμή της παράμετρου παροχής φ και της παράμετρου ύψους ψ συναρτήσει του αδιάστατου ειδικού αριθμού στροφών ν :

$$\varphi = 0{,}287 + 0.02\ \nu \qquad (7)$$

$$\psi = 2{,}206 - 0{,}75\ \nu \qquad (8)$$

Εκφράζοντας στις παραπάνω σχέσεις το ν συναρτήσει του φ και ψ μέσω της (6) προκύπτουν οι εξισώσεις :

$$\psi^{1.75} - 2.206\ \psi^{0.75} + 0.75\ \varphi^{0.50}\ (R_{2\tau}/R_{1\tau})^{1.50} = 0 \qquad (9)$$

$$\psi^{0.75}\ \varphi - 0.02 (R_{2\tau}/R_{1\tau})^{1.50}\ \varphi^{0.50} - 0.287\ \psi^{0.75} = 0 \qquad (10)$$

Στις εξισώσεις αυτές ο όρος $(R_{2\tau}/R_{1\tau})$ είναι γνωστός, οπότε η επίλυσή τους θα δώσει τις τιμές των παραμέτρων παροχής και ύψους. Από τις σχέσεις ορισμού του φ και ψ (σχέσεις (4) και (5)) προκύπτουν η παροχή τ και το μανομετρικό ύψος Ητ του στροβίλου στο ονομαστικό σημείο λειτουργίας.

Στην συνέχεια, με σκοπό τον υπολογισμό των γωνιών εισόδου και εξόδου των πτερυγίων της πτερωτής, πρέπει να υπολογιστούν οι ογκομετρικές απώλειες $\delta\dot{V}_T$. Ο υπολογισμός όμως αυτός δεν μπορεί να γίνει κατευθείαν γιατί προκύπτει ότι οι απώλειες $\delta\dot{V}_T$, με γνωστές τις ογκομετρικές απώλειες $\delta\dot{V}_p$ γιά την λειτουργία ως αντλίας, είναι συνάρτηση της απόλυτης ταχύτητας εισόδου στην πτερωτή $c_1$, που είναι ανάλογη προς την παροχή $\dot{V}_u$ διά μέσου της πτερωτής, $\dot{V}_u=\dot{V}_T-\delta\dot{V}_T$. Γιά τον λόγο αυτό ακολουθείται ένας επαναληπτικός υπολογισμός θποθέτοντας αρχικά ότι $\delta\dot{V}=0$. Γιά τον υπολογισμό τώρα των γωνιών των πτερυγίων της πτερωτής στην είσοδο και την έξοδο, υποθέτοντας ότι στην έξοδο, στο ονομαστικό σημείο λειτουργίας, η παραμένουσα τιμή της περιφερειακής συνιστώσας της ταχύτητας είναι της τάξεως του 4% της $u_2$ και αφού έχει επιλεγεί ο αριθμός και το πάχος των πτερυγίων, είναι πλέον δυνατή η χάραξη των πτερυγίων της πτερωτής και άρα ο υπολογισμός των υδραυλικών απωλειών της ροής, λόγω τριβής και κρούσεως, σύμφωνα με την μέθοδο Kovats-Desmur /17/,που θα πρέπει να είναι ίσες με την διαφορά του μανομετρικού ύψους $H_T$, με το θεωρητικό ύψος $H_u$ της πτερωτής που υπολογίζεται από την σχέση (1).

Η όλη διαδικασία αποτελεί ένα πρόγραμμα ηλεκτρονικού υπολογιστού, το οποίο, από τα λειτουργικά στοιχεία της αντλίας στο κανονικό σημείο λειτουργίας της και τα κύρια γεωμετρικά της μεγέθη υπολογίζονται τα αντίστοιχα στοιχεία γιά την χάραξη της νέας πτερωτής γιά την λειτουργία ως υδροστρόβιλου.

Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του προγράμματος Η/Υ σε αντλία ειδικού αριθμού στροφών $n_{qp}=1150$ ($\dot{V}$ σε $m^3/h$) και γωνίες πτερυγίων στις διατομές εισόδου και εξόδου αντίστοιχα : $\beta_{1p}=21$ , $\beta_{2p}=22$ είναι τα εξής : γωνίες εισόδου και εξόδου των πτερυγίων της νέας πτερωτής : $\beta_{1T}=44.5$ $\beta_{2T}=24$ , ογκομετρικό βαθμό απόδοσης $\eta_{VT}=0.962$ και υδραυλικό βαθμό απόδοσης $\eta_h=0.84$, ενώ στο κανονικό σημείο λειτουργίας ως υδροστρόβιλου με την νέα πτερωτή οι αδιάστατοι αριθμοί $K_V=1.52$ και $K_H=2.20$.

## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Η μεθοδολογία που αναπτύχφηκε γιά την επιλογή αντλίας και την μετατροπή της ώστε να λειτουργήσει ως υδροστρόβιλος, βασίστηκε σε θεωρητικά και πειραματικά αποτελέσματα της βιβλιογραφίας. Θεωρώντας χρήσιμη την μεθοδολογία αυτή θα επιδιώξουμε στο προσεχές μέλλον, να διασταυρώσουμε τα αποτελέσματα που δίνει με αυτά από πειράματα που θα διεξαχθούν στο Εργαστήριο Υδροδυναμικών Μηχανών του ΕΜΠ.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ


1 Αθανασιάδης Ν. ,1985,"Υδροδυναμικές Μηχανές-Γενικές Αρχές-Αντλίες ", Ε.Μ.Π.,σελ.208.

2 Sédille M.,1967,"Turbomachines Hydrauliques et Thermiques",Dunod,Paris,p.572.

3 Bovet Th.,1964,"Contribution à l'étude du tracé d'aubage d'une turbine du type Francis"ASME Paper 61-WA-155, p. 24.

4 Graeser J.E., 1974,"Abaque pour turbines hydrauliques" IMH Lausanne,p. 15.

5 Hénry P.,1984,"Essai de la pompe SHF",Rapport d essai, IMH Lausanne,p. 16.

6 Hénry P.,1977,"Essai en turbine d'une pompe Rutchi", Rapport d essai,IMH Lausanne,p. 20.

7 Knöpfel H.D.,Thommes St.,1983,"Pumpen als Turbinen", Rapport KSB,p. 17.

8 Childs S.M.,1962,"Convert Pumps to Turbines and Recover HP",Hydrocarbon Processing,p. 173-175.

9 Buse Fr.,Jan. 1981,"Using centrifugal pumps as hydraulic turbines",Chemical Engineering,p. 113-117.

10 Shafer L.,Nov. 1982,"Pumps as Power Turbines",Mechanical Enginnering,p. 40-43.

11 Hothersall R.,Febr. 1984,"Micro-hydro turbine selection criteria",Water Power,p.58-60.

12 Shafer L.,Agostinelli A., Nov. 1981,"Using pumps as small turbines",Water Power,p. 58-60.

13 Kittredge C.,Jan.1961,"Centrifugal Pumrs Used as Hydraulic Turbines",Transactions of the ASNE,p.74-78.

14 Chappuis J.,1979,"Quelques considérations dans le cadre de notre programme de recherche sur les pompes-turbines",Bulletin Technique Vevey,p. 26-45.

15 Steranoff A.,1957,"Centrifugal and Axial Flow Pumps" J. Wiley,p. 458.

16 de Siervo F.,de Leva F.,Aug. 1976,"Modern trends in selecting and designing Francis Turbines",Water Power, p. 28-35.

17 Kovats A.,Desmur G.,1962,"Pompes,Ventilateurs et Compresseurs",Dunod,p. 474.

ΥΔΡ-9

ΤΙΤΛΟΣ ΕΙΣΗΓΗΣΗΣ : Η ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΤΩΝ ΜΙΚΡΩΝ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

ΣΥΓΓΡΑΦΕΑΣ : Σταμάτης Δ. Περδίος
Μηχανολόγος - Μηχανικός Πολυτεχνείου
Λωζάννης (E.P.F.L.)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ : Η ενεργειακή κρίση - που οφείλεται στην πολιτική των πετρελαιοπαραγωγών χωρών και στην μη ανανέωση των συμβατικών καυσίμων - ανάγκασε όλες τις χώρες να στραφούν στην αξιοποίηση των ήπιων μορφών ενέργειας, σημαντικότερη θέση μεταξύ των οποίων κατέχει η Υδροηλεκτρική ενέργεια. Στην Ελλάδα, η μέση ετήσια παραγωγή των υδροηλεκτρικών σταθμών αντιστοιχεί στο 20% μόνο του οικονομικά εκμεταλλεύσιμου υδροδυναμικού μας, ενώ η αξιοποίηση των μικρών υδροηλεκτρικών έργων (ΜΥΗΕ) δεν έχει ουσιαστικά αρχίσει ακόμη. Τα τελευταία μπορουν να προσφέρουν μιά μέση ετήσια παραγωγή 1130 GWh αλλά και να συμβάλλουν σημαντικά στην εξοικονόμηση ενέργειας, με την ένταξή τους στα ήδη υπάρχοντα μεγάλα ΥΗΕ.

ΛΕΞΕΙΣ - ΚΛΕΙΔΙΑ : Μικρά υδροηλεκτρικά έργα, Μικρές υδατοπτώσεις.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ : Η ενεργειακή κρίση των τελευταίων ετών απέδειξε ότι ο ενεργειακός προγραμματισμός μιάς χώρας, θα πρέπει πλέον να έχει σαν στόχο την καλύτερη δυνατή εκμετάλλευση των ήπιων μορφών ενέργειας, οι οποίες προσφέρονται δωρεάν, είναι ανεξάντλητες, δεν ρυπαίνουν το περιβάλλον και μειώνουν την ενεργειακή εξάρτηση. Η αυξανόμενη ζήτηση ενέργειας, ανάγκασε τις βιομηχανικά ανεπτυγμένες χώρες - μετά την εκμετάλλευση των μεγάλων υδατοπτώσεων - να στραφούν και στην αξιοποίηση των μικρών υδατοπτώσεων, αναπτύσοντας την ανάλογη τεχνολογία, έτσι που να είναι οικονομικά αποδοτικοί οι μικροί υδροηλεκτρικοί σταθμοί. Σκοπός της εισήγησης, είναι η παρουσίαση των δυνατοτήτων εκμετάλλευσης των μικρών υδροηλεκτρικών έργων στην χώρα μας, τα οποία μπορούν να προσφέρουν μιά μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας 1130 GWh περίπου.

## 1. ΕΛΛΗΝΙΚΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ

Οι κυριώτερες διαθέσιμες πηγές ενέργειας της χώρας μας είναι οι λιγνίτες, οι υδατοπτώσεις, η τύρφη, τα κοιτάσματα πετρελαίου της Θάσου και του Ιονίου πελάγους και τα κοιτάσματα ουρανίου της Ανατολικής Μακεδονίας. Το 1983, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας των 22.049 GWh προήλθε κατά 65,60% απο το λιγνίτη, κατά 23,21% απο το πετρέλαιο και κατά 11,19% μόνο απο τις υδατοπτώσεις (ΣΧ.1). Η εξάρτηση απο το εισαγόμενο πετρέλαιο - η οποία φθάνει το 70% στον υπόλοιπο ενεργειακό τομέα της χώρας - δεν επιβαρύνει μόνο συναλλαγματικά την οικονομία, αλλά εγκυμονεί και σοβαρούς κινδύνους για την εξασφάλιση επαρκούς εφοδιασμού. Η σταθεροποίηση της τιμής του πετρελαίου την τελευταία πενταετία, που οφείλεται σε μιά γενικότερη οικονομική ύφεση, δίνει κατά την γνώμη μου μιά πλασματική εικόνα της πραγματικότητας. Την στιγμή μάλιστα που ένα σημαντικό ποσοστό της παγκόσμιας παραγωγής πετρελαίου προέρχεται σήμερα απο χώρες εκτός του ΟΠΕΚ- με πολύ ανώτερο κόστος εξόρυξης σε αναλογία 20:3 -δεν θα πρέπει να περιμένουμε στο μέλλον μιά νέα εποχή φθηνού πετρελαίου. Αντίθετα, η οποιαδήποτε χαλάρωση των προσπαθειών για αξιοποίηση των ήπιων μορφών ενέργειας, θα έχει σαν άμεση συνέπεια μιά νέα έκρηξη των τιμών.

Παρά το γεγονός ότι στα μεταπολεμικά χρόνια, η εκμετάλλευση των υδροδυναμικών πόρων της χώρας σημείωσε αξιόλογη ανάπτυξη, δεν μπορούμε να πούμε ότι σήμερα βρίσκεται σε ικανοποιητικό επίπεδο. Την στιγμή αυτή λειτουργούν 11 υδροηλεκτρικοί σταθμοί συνολικής ισχύος 1815 MW, οι οποίοι δίνουν μια μέση ετήσια παραγωγή που αντιστοιχεί στο 20% περίπου του οικονομικά εκμεταλλεύσιμου υδροδυναμικού της χώρας, όταν το σύνολο σχεδόν των σημερινών αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια, θα μπορούσε να καλυφθεί απο υδροηλεκτρική παραγωγή. Αξίζει τέλος να σημειωθεί ότι στις περισσότερες χώρες της Ευρώπης, αξιοποιείται σήμερα το 70% περίπου του οικονομικά εκμεταλλεύσιμου υδροδυναμικού τους!

## 2. ΜΙΚΡΑ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΕΡΓΑ

Ένάς τομέας που δεν αντιμετωπίσθηκε με την απαραίτητη προσοχή μέχρι σήμερα στην χώρα μας - σε αντίθεση με την ανάπτυξη που γνώρίζει στον διεθνή χώρο (ΠΙΝ.1) - και ο οποίος μπορεί να έχει ουσιαστική συμμετοχή στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, είναι ο τομέας των μικρών υδροηλεκτρικών έργων (ΜΥΗΕ).

Η ισχύς που αναπτύσσεται απο μιά υδατόπτωση με παροχή $Q(m^3/s)$, ύψος πτώσης H (m) και ολικό βαθμό απόδοσης της εγκατάστασης η ($\eta$), δίνεται απο την σχέση:

$$P = 9,8 . Q . H . \eta \quad (KW)$$

Για τα δεδομένα του εθνικού συστήματος, ΜΥΗΕ είναι εκείνα που μπορούν να μας δώσουν ισχύ μέχρι 10 MW ή ενέργεια μέχρι 90 GWh το χρόνο. Μπορούμε λοιπον να έχουμε ΜΥΗΕ απο μικρές παροχές (πηγές ή ρεύματα ποταμών) με αρκετή πτώση, ή απο μεγαλύτερες παροχές με μικρότερες πτώσεις (π.χ. απο την κατασκευή αρδευτικών ή αντιπλημμυρικών έργων).

Τα πλεονεκτήματα των ΜΥΗΕ σε σχέση με τα μεγάλα, είναι τα εξής:

* Μικρός χρόνος κατασκευής
* Περιορισμένες γεωλογικές και γεωτεχνικές έρευνες
* Μικρή επίδραση στο περιβάλλον
* Λιγότερες δαπάνες για την αποκατάσταση μιάς πιθανής ζημιάς
* Δεν απαιτούν μακροχρόνιες μελέτες
* Διάθεση ενέργειας σε απομακρισμένες περιοχές, χωρίς την κατασκευή μεγάλων γραμμών μεταφοράς.

Αντίθετα, παρουσιάζουν τα παρακάτω μειονεκτήματα:

*'Ελλειψη επαρκών υδρολογικών στοιχείων
* Αλληλοσυγκρουόμενες χρήσεις του νερού, με αποτέλεσμα να εμφανίζονται διάφορα νομικά θέματα σχετικά με την κατασκευή και εκμετάλλευση του έργου
* Υψηλό κόστος της παραγόμενης ενέργειας.

## 3. ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΜΙΚΡΩΝ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

Οι κατευθυντήριες γραμμές - για την επίτευξη χαμηλού κόστους - στην εκμετάλλευση των ΜΥΗΕ, είναι οι εξής:

* Απλοποιημένος ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός, με σκοπό την μείωση στο ελάχιστο των εξόδων συντήρησης και λειτουργίας.
* Περιορισμένα έργα πολιτικού μηχανικού, για την ελαχιστοποίηση των εξόδων της αρχικής εγκατάστασης.

Ετσι σε κάθε ΜΥΗΕ που μελετάται, γίνεται προσπάθεια να προσαρμοσθούν τα εξωτερικά έργα υδροληψίας στις τοπικές συνθήκες που υπάρχουν, με σκοπό τον περιορισμό στο ελάχιστο των καλλιεργήσιμων εκτάσεων που θα καταληφθούν ή θα κατακλυσθούν. Αξίζει να σημειωθεί ότι όπου έχει ήδη κατασκευαστεί ένα έργο αρδευτικό, ύδρευσης ή αντιπλημμυρικό, δεν απαιτείται καμιά εργασία πολιτικού μηχανικού και το μόνο που απομένει είναι η εγκατάσταση του ηλεκτομηχανολογικού εξοπλισμού. Παρατηρούμε λοιπόν ότι σε αντίθεση με τα μεγάλα ΥΗΕ, όπου οι δαπάνες για τα έργα πολιτικού μηχανικού φθάνουν μέχρι το 80% του συνόλου, στα ΜΥΗΕ ηκύρια δαπάνη είναι ο ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός, που αντιπροσωπεύει το 50 ÷ 60% του συνολικού κόστους (ΠΙΝ.2).

Διακρίνουμε δύο κατηγορίες σταθμών - όπου γίνεται χρήση και της ανάλογης τεχνολογίας - στην εκμετάλλευση των ΜΥΗΕ:

- **Σταθμοί με μέσες και μεγάλες πτώσεις**
  Χρησιμοποιούνται υδροστρόβιλοι τύπου FRANCIS (ΣΧ.2) και PELTON (ΣΧ.3) για μέσες και μεγάλες πτώσεις αντίστοιχα, καθώς και αγωγός πτώσης απο την υδροληψία μέχρι τον υδροστρόβιλο, με ειδικές διατάξεις διακοπής της ροής του νερού.
- **Σταθμοί με μικρές πτώσεις**
  Χρησιμοποιούνται υδροστρόβιλοι τύπου KAPLAN (ΣΧ.4) ή BULBE (ΣΧ.5). Τέλος για πολύ μικρές πτώσεις(μέχρι 5m), ορισμένες φορές χρησιμοποιείται η διάταξη σίφωνα.

Οι περιοχές εφαρμογής των παραπάνω υδροστροβίλων, σε συνάρτηση με την παροχή και το καθαρό ύψος πτώσης της εγκατάστασης, δίνονται στο σχήμα 6.

Οι μονάδες των ΜΥΗΕ είναιαυτοματοποιημένες και λειτουργούν ουσιαστικά χωρίς προσωπικό, με εντολή απο την στάθμη του νερού και σύμφωνα με το πρόγραμμα που έχει καθοριστεί. Η λειτουργία τουςελέγχεται με τηλεσήμανση, τηλεμετάδοση και τηλεχειρισμό, οι βασικές συντηρήσεις γίνονται στην θερινή περίοδο που είναι περι-

-ορισμένες οι παροχές, ενώ στο υπόλοιπο διάστημα πραγματοποιούνται περιοδικές επιθεωρήσεις και έλεγχοι.

## 4. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΙΚΡΩΝ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Παρά την εντυπωσιακή ανάπτυξη των ΜΥΗΕ σε άλλες χώρες, στην Ελλάδα η αξιοποίησή τους δεν έχει ουσιαστικά αρχίσει ακόμη. Ενώ πριν απο το 1950 λειτουργούσαν σε όλη την χώρα 16 ΜΥΗΕ - εγκατεστημένα απο ιδιώτες ή οργανισμούς τοπικής αυτοδιοίκησης - σήμερα, μετά την εξαγορά τους απο την ΔΕΗ, βρίσκονται σε λειτουργία μόνο 6 σταθμοί συνολικής ισχύος 6MW και μέσης ετήσιας παραγωγής 21 GWh.

Η πρώτη σοβαρή διερεύνηση του υδροηλεκτρικού δυναμικού της χώρας - που αποτέλεσε και την βάση για την μετέπειτα κατασκευή των μεγάλων ΥΗΕ - έγινε απο την ΔΕΗ το 1960. Μιά πιό ουσιαστική απογραφή των θέσεων για υδροδυναμική εκμετάλλευση, με προτεραιότητα στα μέσου μεγέθους (10-100MW) και ΜΥΗΕ, άρχισε 13 χρόνια αργότερα και κατέληξε στο συμπέρασμα ότι υπάρχουν:

* 83 πιθανές ΜΥΗΕ συνολικής ισχύος 270 MW περίπου και μέσης ετήσιας παραγωγής 1130 GWh.
* 24 πιθανές θέσεις μέσου μεγέθους ΥΗΕ συνολικής ισχύος 870 MW περίπου και μέσης ετήσιας παραγωγής 2020 GWh.

Σήμερα, ένας απο τους βασικούς στόχους του προγράμματος ανάπτυξης της ΔΕΗ, είναι η μελέτη και κατασκευή 15 ΜΥΗΕ (ΠΙΝ.3) συνολικής ισχύος 144,1 MW και μέσης ετήσιας παραγωγής 460 GWh περίπου, τα οποία θα ενταχθούν μέχρι το 1992 στο δίκτυο. Παρά τις σοβαρές επιφυλάξεις μου, ως προς την δυνατότητα υλοποίησης του παραπάνω στόχου στα χρονικά όρια που έχουν τεθεί, εύχομαι να επιτύχει αυτή η προσπάθεια. Τα έργα θα είναι ιδιαίτερα χρήσιμα στην τοπική ανάπτυξη, γιατί τα περισσότερα απο αυτά θα είναι πολλαπλού σκοπού. Θα χρησιμοποιηθεί δηλαδή το νερό τους για ύδρευση η άρδευση και όπου είναι δυνατόν θα γίνουν ιχθυοτροφεία στις λίμνες τους και /ή χώροι αναψυχής.

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σε μιά εποχή που η αναζήτηση ενέργειας σε όλες της τις μορφές είναι εθνικό πρόβλημα, η γρήγορη αξιοποίηση των ΜΥΗΕ κρίνεται απαραίτητη. Μαζί με τα μέσου μεγέθους ΥΗΕ μπορούν να προσφέρουν 3150 GWh το χρόνο περίπου, ποσότητα που αντιστοιχεί στο 15% των σημερινών αναγκών μας σε ηλεκτρική ενέργεια. Παράλληλα, σημαντικότατη θα είναι η εξοικονόμηση ενέργειας απο την ένταξη των ΜΥΗΕ στα ήδη υπάρχοντα μεγάλα ΥΗΕ, ώστε να είναι δύνατή η εκμετάλλευση του νερού που διατίθεται τους καλοκαιρινούς μήνες για άρδευση. Χαρακτηριστικά αναφέρουμε ότι μόνο απο το ΥΗΕ Πουρναρίου χάνονται 30 GWh ενέργειας περίπου τον χρόνο, γιατί τα νερά των αρδεύσεων (185.$10^6$ $m^3$/χρόνο) δεν μπορούν να αξιοποιηθούν απο τις μονάδες των 100 MW. Εναλλακτική λύση στο πρόβλημα, όπου βέβαια είναι δυνατό, είναι η κατασκευή αναρυθμιστικών δεξαμενών κατάντη των μεγάλων ΥΗΕ. Τέλος, η δυνατότητα τυποποίησης του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού επιβάλλει την ανάπτυξη εγχώριων βιομηχανικών μονάδων, με αποτέλεσμα την μείωση του κόστους και την δημιουργία ευμενών προεκτάσεων στην εκμετάλλευση τωμ μεγάλων ΥΗΕ.

Β Ι Β Λ Ι Ο Γ Ρ Α Φ Ι Α

(1) ΔΕΗ, 1960, "Έρευνα υδροδυναμικού Ελλάδος".
(2) M. BESLIN, 1973, "Idées actuelles sur laconseption des groupes bulbes", La houille blanche No 2-3.
(3) Δρ. Α. ΘΕΡΙΑΝΟΣ, 1975, "Έκθεσις επι της ανάγκης αναπτύξεως του υδροδυναμικού της Ελλάδος".
(4) Ι. ΧΑΤΖΗΒΑΣΙΛΕΙΑΔΗΣ, 1978, "Συμβολή των μικρών υδατοπτώσεων στο ενεργειακό πρόβλημα", Τεχνικά Χρονικά Μάϊος - Ιούνιος.
(5) INTERNATIONAL UNION OF PRODUCERS AND DISTRIBUTORS OF ELECTRICAL ENERGY, 1982, "Small Hydro Power" , Brussels Congress, Report 30.1.
(6) Κ. ΝΙΚΗΤΟΠΟΥΛΟΣ, Γ. ΣΤΕΦΑΝΑΚΟΣ, 1982, "Μικρά υδροηλεκτρικά έργα στην Ελλάδα".
(7) Ν. ΚΑΡΙΩΤΑΚΗΣ, 1982, "Η Αξιοποίηση του υδροδυναμικού της χώρας και η εξέλιξη των ΥΗΕ στην Ελλάδα."
(8) Ν. ΚΑΡΙΩΤΑΚΗΣ, 1985, "Παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας και υδροηλεκτρικοί σταθμοί".
(9) ΔΕΗ, 1985, "Πρόγραμμα ανάπτυξης της ΔΕΗ".
(10) INSTITUT DE MACHINES HYDRAULIQUES - EPFL, "Feuilles de cours illustrées"

ΠΙΝΑΚΑΣ 1 : ΜΥΗΕ ΣΤΟΝ ΔΙΕΘΝΗ ΧΩΡΟ (6)

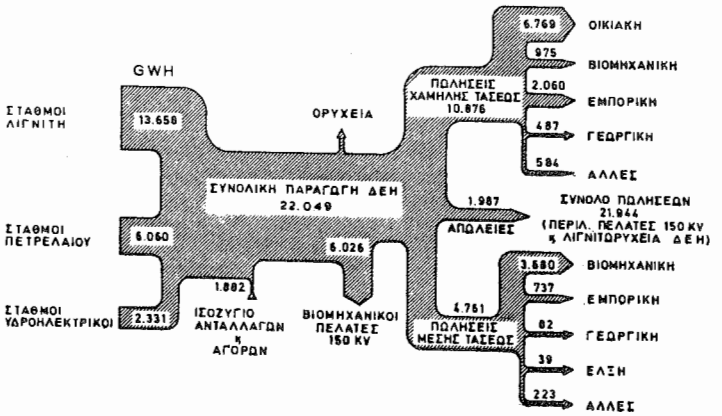
| Κ Ρ Α Τ Ο Σ | ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΥΗΕ | ΟΛΙΚΗ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (MW) | ΜΕΣΗ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥ (MW) |
|---|---|---|---|
| Κίνα | 88.000 | 5.380 | 0,06 |
| Γαλλία | 2.200 | 1.800 | 0,82 |
| Φινλανδία | 175 | 380 | 2,17 |
| Ιαπωνία | 1.350 | 7.000 | 5,19 |
| Νορβηγία | - | 2.200 | - |
| Τουρκία | 110 | 70 | 0,64 |
| Ν. Ζηλανδία | 55 | 430 | 7,82 |
| Αυστρία | 1.200 | - | - |
| Βέλγιο | 14 | - | - |
| Δ. Γερμανία | 3.000 | 950 | 0,30 |
| Πολωνία | 60 | - | - |
| Πορτογαλλία | 82 | - | - |

ΠΙΝΑΚΑΣ 2 : ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΜΕΓΑΛΟΥ ΚΑΙ ΜΙΚΡΟΥ ΥΗΕ (6)

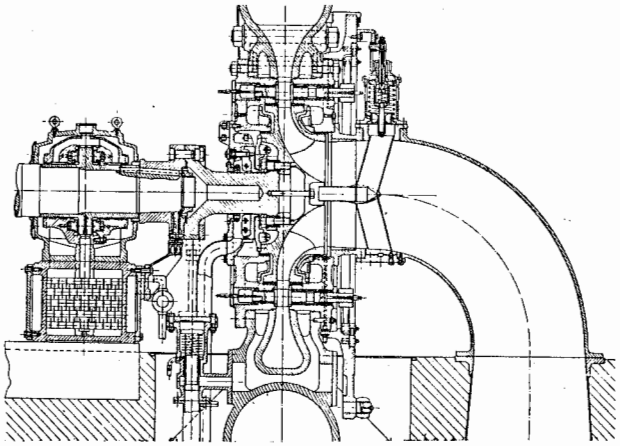
| ΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΗΕ | Κ Ο Σ Τ Ο Σ Ε Ρ Γ Α Σ Ι Ω Ν ( % ) | | |
|---|---|---|---|
| | ΜΕΛΕΤΗ ΕΡΓΟΥ | ΕΡΓΑ ΠΟΛΙΤΙΚΟΥ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ | ΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ |
| Μεγάλο ΥΗΕ (626 MW, 16m) | 5 | 80 | 15 |
| Μικρό ΥΗΕ (1,5 MW, 14m) | 10 ÷ 15 | 30 ÷ 35 | 50 ÷ 60 |

ΠΙΝΑΚΑΣ 3 : ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΜΥΗΕ ΑΠΟ ΤΗΝ ΔΕΗ (9)

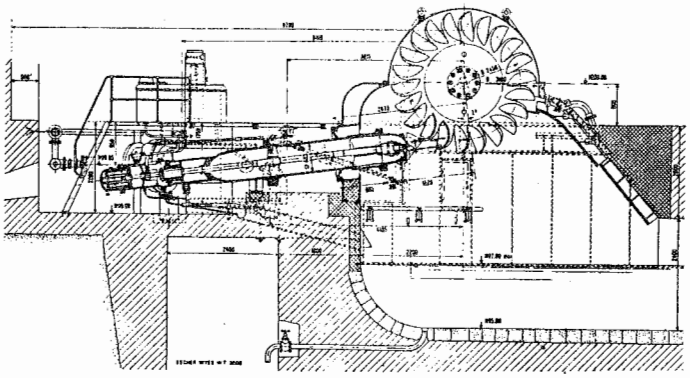
| ΠΕΡΙΟΧΗ | ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (MW) | ΕΤΗΣΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (GWh) | ΧΡΟΝΟΣ ΕΝΤΑΞΗΣ |
|---|---|---|---|
| Γκιώνα | 8,5 | 52 | 12/1987 |
| Μακροχώρι | 11 | 51 ÷ 54 | 10/1988 |
| Σμόκοβο | 12 | 32 | 1989 |
| Ασπρόπυργος | 0,6 | 4,2 | 1988-89 |
| Αγ. Γερμανός | 2 | 7,5 | 1988-89 |
| Κληματιά | 10 | 41 | 1990-91 |
| Παλιουρή | 7 | 28 | 1990-91 |
| Βεγορίτιδα | 1 | 4,2 | 1989-90 |
| Νάουσα | 11 | 40 | 1991-92 |
| Πηνειός Ηλείας | 7 | 20 | 1992 |
| Στυμφαλία | 9 | 30 | 1992 |
| Αλφειός | 4 | 18 | 1992 |
| Στράτος ΙΙ | 6 | 16 | 1987 |
| Πουρνάρι ΙΙ | 30 | 47 | 1989 |
| Μετσοβίτικος | 25 | 68 | 1992 |



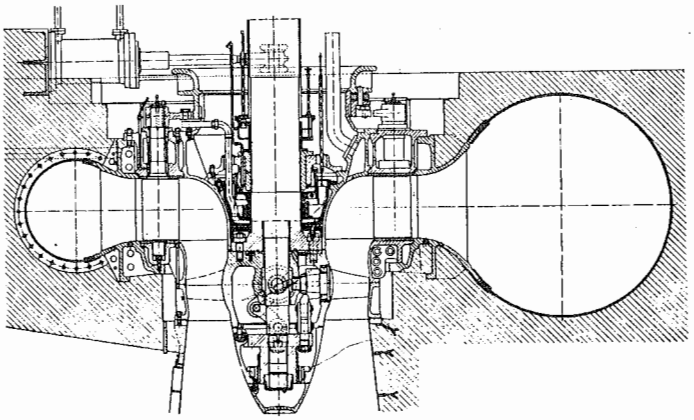

ΣΧΗΜΑ 1: Ισοζύγιο ενέργειας ΔΕΗ 1983 (9)



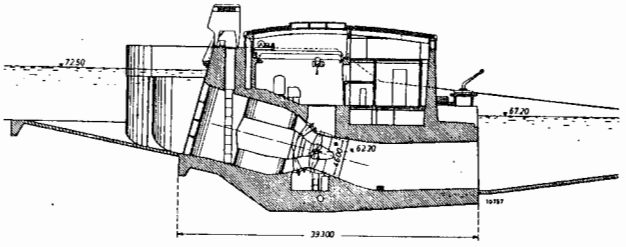
ΣΧΗΜΑ 2: Υδροστρόβιλος FRANCIS (3,7 MW, 240m, LA DERNIER, Ελβετία) (10)



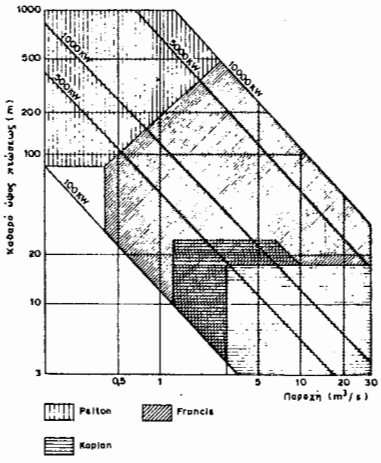
ΣΧΗΜΑ 3: Υδροστρόβιλος PELTON (12,3 MW, 472m, TINZEN - MARMORERA, Ελβετία) (10)



ΣΧΗΜΑ 4: Υδροστρόβιλος KAPLAN (10MW, 60m, BARCIS, Ιταλία) (10)




ΣΧΗΜΑ 5: Υδροστρόβιλος BULBE (4,65 MW, 5,2 m, LEHMEN, Γερμανία) (10)




ΣΧΗΜΑ 6: Περιοχές εφαρμογής Υδροστροβίλων (5)

ΤΙΤΛΟΣ ΕΙΣΗΓΗΣΗΣ:

"ΜΙΚΡΟΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ ΣΤΑ ΣΕΛΛΑ ΕΥΡΥΤΑΝΙΑΣ"

ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ:
- ΓΙΑΝΝΗΣ ΑΡΓΥΡΟΠΟΥΛΟΣ, Μαθηματικός-Οικονομολόγος
  Διεύθυνση Ανάπτυξης της Ε.Τ.Β.Α. Α.Ε.
- ΓΙΑΝΝΗΣ ΒΕΚΙΟΣ, Ηλεκτρολόγος-Μηχανικός,
  Διεύθυνση Ανάπτυξης της Ε.Τ.Β.Α. Α.Ε.
- ΣΠΥΡΟΣ ΚΥΡΙΤΣΗΣ, Μηχανικός-Γεωπόνος,
  Καθηγητής Ανωτάτης Γεωπονικής Σχολής Αθηνών

ΠΕΡΙΛΗΨΗ:

Αξιοποίηση μικρής υδατόπτωσης στην Κοινότητα Σελλών Ευρυτανίας τόσο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας όσο και για την ύδρευση και άρδευση της περιοχής.

ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ:

ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΥΔΑΤΙΝΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ - ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ - ΥΔΡΕΥΣΗ ΚΑΙ ΑΡΔΕΥΣΗ - ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΣ - ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΖΩΗΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ:

Η δυνατότητα εφαρμογής μικρών υδροηλεκτρικών έργων στην Ελλάδα είναι μεγάλη, αλλά μέχρι σήμερα δεν έχει παρουσιασθεί η ανάπτυξη που έπρεπε στον τομέα αυτό. Η Ε.Τ.Β.Α. θέλοντας να προάγει την πολύτιμη αυτή πηγή ενέργειας και πιστεύοντας ότι το έργο στα Σελλά θα αποτελούσε ένα καλό πρότυπο για μελλοντικά σχέδια, υπέβαλε το πρόγραμμα στην XVII Γενική Διεύθυνση των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων απ'όπου έλαβε οικονομική ενίσχυση (Κοινοτική συμμετοχή 40%). Τη μελέτη του έργου ανέλαβε η Δ.Ε.Η., ύστερα από την απόφαση διασύνδεσης του σταθμού με το εθνικό δίκτυο, στο στάδιο δε ολοκλήρωσης του έργου θα βοηθήσει και η εταιρεία ΑΝΑΠΤΥΞΕΩΣ ΕΥΡΥΤΑΝΙΑ Α.Ε.

ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η περιοχή στην οποία πρόκειται να εγκατασταθεί η μικρουδροηλεκτρική μονάδα είναι ορεινή (υψόμετρο πηγής ΣΕΛΛΩΝ 1.350 μέτρα). Ο πληθυσμός ποικίλει από 50 κατοίκους τον χειμώνα μέχρι 200 κατοίκους το καλοκαίρι. Παρουσιάζεται δε συνεχής μείωση του πληθυσμού, λόγω μετανάστευσης και μεταφοράς σε αστικά κέντρα.

Πιστεύεται ότι το έργο αυτό θα προσφέρει ζωή στο χωριό, θα δώσει ευκαιρίες για δημιουργία σταθμών γάλακτος (ψυγείων κλπ) και θα βοηθήσει στο να σταματήσει η φυγή των κατοίκων από τον τόπο τους.

Το κόστος του έργου ανέρχεται σε 32 εκ. δρχ.

ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

| | | |
|---|---|---|
| Παροχή | : | ~40lt/sec |
| Ύψος πτώσεως | : | 235m |
| Εγκατεστημένη ισχύς | : | 70KW |
| Παραγόμενη ενέργεια | : | 557.000KWH/ |
| Τύπος τουρμπίνας και συντελεστής απόδοσης | : | Pelton, 89% |
| Συντελεστής φορτίου | : | ~0,9 |
| Διάρκεια ζωής του έργου: | | 20 χρόνια |

Η συμπαγής μονάδα (στρόβιλος/γεννήτρια) είναι ειδικά κατασκευασμένη για μικρουδροηλεκτρικές μονάδες, αποτελείται δε από ένα στρόβιλο Pelton με κατακόρυφο άξονα ο οποίος συνδέεται απ'ευθείας με μια γεννήτρια κατακόρυφου άξονα.

Το νερό οδηγείται δια μέσου ενός σωλήνα 10" χαμηλής πιέσεως θαμμένου στο έδαφος σε ένα μήκος 2 περίπου χιλιομέτρων. Εν συνεχεία δια μέσου ενός σωλήνα 8" υψηλής πιέσεως θα οδηγείται στο στρόβιλο και στη συνέχεια θα συγκεντρώνεται σε μια δεξαμενή για την εξυπηρέτηση των αναγκών των κατοίκων του χωριού σε ύδρευση και άρδευση.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ

Βλ. συνημμένο σχέδιο.

ΣΚΟΠΟΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

Σκοπός του έργου είναι:

α. να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια στο απομονωμένο χωριό ΣΕΛΛΑ το οποίο βρίσκεται σε απομακρυσμένη περιοχή.
β. να καλύψει τις ανάγκες του χωριού για υδροδότηση και άρδευση σε μικρή κλίμακα.

γ. να βελτιώσει τις συνθήκες ζωής των κατοίκων.
δ. να δώσει τη δυνατότητα εγκατάστασης σταθμών ψύξεως γάλακτος, τυροκομείων κλπ.
ε. να αποτελέσει πρότυπο για την εγκατάσταση παρόμοιων μικρών υδροηλεκτρικών έργων και σε άλλες προβληματικές περιοχές, προβάλλοντας αυτήν τη μορφή ενέργειας που δεν έχει αναπτυχθεί ακόμη στην Ελλάδα.

ΚΟΣΤΟΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Το κόστος εγκατάστασης ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας ανέρχεται σε 2.87 δρχ/KWH

$$\frac{31,987,000}{557,000 \times 20} = 2.87 \text{ δρχ/KWH}$$

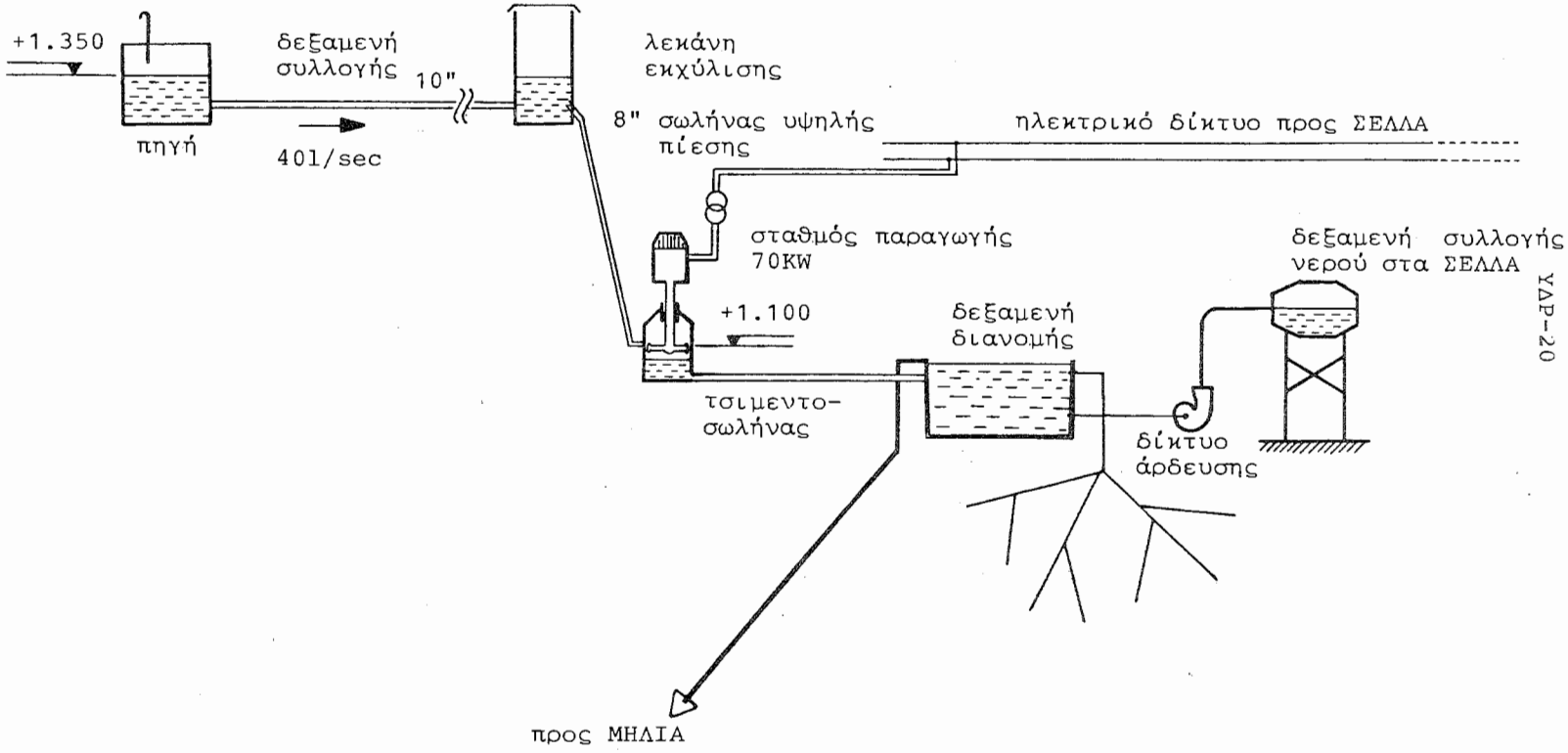
Το λειτουργικό κόστος (συντήρηση, εργατικά, ανταλλακτικά, διάφορα) υπολογίζονται σε 700.000 δρχ. ετησίως και συνεπώς επιβαρύνουν το κόστος της KWH κατά 1.26 δρχ.

$$\frac{700,000}{557,000} = 1.26 \text{ δρχ/KWH}$$

Συνολικό κόστος KWH = 4.13 δρχ.

Το κόστος αυτό είναι αρκετά πιό χαμηλό από το κόστος της ενέργειας που θα παραγόταν με πετρέλαιο.

# ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ




ΥΔΡ-20

ΓΕΩ-1

# Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΝΕΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΣΤΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

ΣΠ. ΠΑΥΛΙΔΗΣ. Δρ. Γεωλόγος, Επιστημονικός Συνεργάτης, Γεωλογικό Τμήμα Α.Π.Θ. (Τομέας Γεωφυσικής). Θεσ/νίκη 54006

ΚΩΝ. ΣΗΜΑΙΑΚΗΣ. Γεωλόγος, Δ/νση Ενεργειακών Πρώτων Υλών (Τμήμα Γεωθερμίας) ΙΓΜΕ, Μεσογείων 70. Αθήνα 115.27

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Στόχος της εργασίας αυτής είναι να παρουσιάσει τις σύγχρονες μεθόδους της νεοτεκτονικής για την ερμηνεία της τεκτονικής δομής τριτογενών-τεταρτογενών βυθισμάτων στα οποία κατά κανόνα εντοπίζονται γεωθερμικά πεδία. Αναλύονται οι μαθηματικές μέθοδοι υπολογισμού των κύριων τεκτονικών τάσεων από τα γεωμετρικά στοιχεία των ρηγμάτων και οι τρόποι προσδιορισμού εκείνων των ρηγμάτων που θα μπορούσαν να βοηθήσουν στην ανοδική πορεία θερμών ρευστών. Δίνονται τα μέχρι σήμερα αποτελέσματα για τη νεότερη τεκτονική του ευρύτερου Ελλαδικού χώρου και εξετάζονται ορισμένες τεκτονικές δομές που φιλοξενούν γεωθερμικά πεδία υψηλής (Μήλος) και χαμηλής ενθαλπίας (Αλμωπία, Στρυμόνας).

ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ: ΝΕΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ, ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ, ΠΕΔΙΟ ΤΩΝ ΤΑΣΕΩΝ, ΝΕΟΓΕΝΕΣ, ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ, ΑΛΜΩΠΙΑ, ΜΗΛΟΣ, ΣΤΡΥΜΟΝΑΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ: Η μετάδοση της θερμικής ενέργειας από την εστία της θερμότητας (συνήθως μαγματική, που βρίσκεται σ' ορισμένο βάθος) προς τον ταμιευτήρα (υδροφόρος ορίζοντας, που βρίσκεται πιο επιφανειακά) εξασφαλίζεται με κάποια κυκλοφορία ρευστών (κυρίως νερό ή ατμός). Η προς τα πάνω κυκλοφορία τους επιτυγχάνεται σε μεγάλο βαθμό αν υπάρχουν ρήγματα ή αν τα πετρώματα είναι ιδιαίτερα τεκτονισμένα. Την κυκλοφορία αυτή διευκολύνουν τα ενεργά ή τα πολύ πρόσφατα ρήγματα ή ασυνέχειες, γιατί τα παλιότερα, κατά κανόνα, είναι κλειστά από την απόθεση των αλάτων. Γίνεται φανερό λοιπόν ότι για τη μελέτη της γεωλογικής δομής περιοχών που παρουσιάζουν γεωθερμικό ενδιαφέρον πέρα από τις γεωλογικές χαρτογραφήσεις, τους λιθοστρωματογραφικούς συσχετισμούς, τις γεωφυσικές, υδρογεωλογικές και γεωχημικές έρευνες, ιδιαίτερη σημασία έχουν οι νεοτεκτονικές μελέτες.

ΜΕΘΟΔΟΙ ΤΗΣ ΝΕΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ: Η Νεοτεκτονική είναι ένας σχετικά καινούργιος κλάδος της Τεκτονικής Γεωλογίας που μελετά τις πιο "πρόσφατες" γεωλογικά τεκτονικές δομές και διεργασίες, δηλαδή εξετάζει όλα τα τεκτονικά φαινόμενα και γεγονότα που έλαβαν χώρα κατά τη διάρκεια του Νεογενούς και Τεταρτογενούς και ιδιαίτερα εκείνα που συνδέονται με τη σύγχρονη (ενεργό) τεκτονική. Ειδικότερα, όσον αφορά το ρόλο της νεοτεκτονικής στη γεωθερμική έρευνα μιας περιοχής, αυτός εντοπίζεται στα ακόλουθα στάδια:

α)Κατασκευή του νεοτεκτονικού χάρτη της περιοχής.

β)Καθορισμό και χρονολόγηση των νεότερων τεκτονικών γεγονότων της περιοχής.

γ)Μικροτεκτονική ανάλυση των παραμορφώσεων που παρατηρούνται στην περιοχή, με σκοπό την αναγωγή τους στις κατευθύνσεις των κύριων παραμορφωτικών τάσεων που επικράτησαν στην περιοχή αυτή.

δ)Συνδυασμό των νεοτεκτονικών και λοιπών γεωδεδομένων της περιοχής, ώστε να εξαχθεί ένα συμπέρασμα ή να διατυπωθεί μια υπόθεση για το γεωθερμικό ενδιαφέρον της περιοχής.

Στα τελευταία χρόνια γίνονται εντεινόμενες προσπάθειες για να εισαχθούν μέθοδοι ποσοτικής επεξεργασίας των γεωτεκτονικών δεδομένων, που να άπτονται τόσο στη θεωρητική (μαθηματική), όσο και στη γεωλογική πλευρά του θέματος. Οι μέθοδοι της ποσοτικής τεκτονικής αφορούν κυρίως τη μικροτεκτονική ανάλυση των παραμορφώσεων [CAREY (1), ANGELIER (2), MICHAEL (3)]. Το μηχανικό μοντέλο που υιοθετείται είναι απλό, δέχεται δηλαδή ότι η ρηξιγενής παραμόρφωση συμβαίνει με διαδοχικές ολισθήσεις πάνω σε προϋπάρχουσες ρηξιγενείς επιφάνειες τυχαίας διεύθυνσης, ότι το μέσο (πέτρωμα) δεν παρουσιάζει πλαστικές παραμορφώσεις και ότι οι μικρές ανομοιογένειες είναι εντοπισμένες αποκλειστικά και μόνο σε μια μικρή περιοχή γύρω από τα ρήγματα. Βασική αρχή των μεθόδων αυτών για τον υπολογισμό των αξόνων κύριας τάσης είναι ότι η τεκτονική ολίσθηση που συμβαίνει πάνω σε ένα επίπεδο ρήγματος και εκδηλώνεται με τις γραμμώσεις τεκτονικής ολίσθησης (striations) γίνεται ακολουθώντας την εφαπτομενική συνιστώσα της τάσης.

Από την ελαχιστοποίηση των παρακάτω σχέσεων υπολογίζονται οι κύριες διευθύνσεις των τάσεων για μια ομάδα ρηγμάτων που έδρασαν σ' ένα συγκεκριμένο όγκο πετρώματος:

$$F_1 = \sum_{K=1}^{K=N} \cos^2 (\vec{\sigma_K}, \vec{o_K}) \qquad \text{Carey (1)}$$

$$F_2 = \sum_{K=1}^{K=N} \sin^2 \frac{(\vec{s_K}, \vec{\tau_K})}{2} \qquad \text{Angelier (2)}$$

όπου N: αριθμός των μετρηθέντων ρηγμάτων, $\vec{\sigma}$: το διάνυσμα της τάσης που δρα πάνω στο επίπεδο του ρήγματος, $\vec{s}$: η παρατηρούμενη γραμμωση τεκτονικής ολίσθησης, $\vec{\tau}$: η εφαπτομενική συνιστώσα της τάσης και $\vec{o}$: το μοναδιαίο διάνυσμα κάθετο στο $\vec{s}$ που κείται πάνω στο επίπεδο του ρήγματος. Στο σχήμα 1 φαίνεται ένα παράδειγμα ε-

φαρμογής της παραπάνω μεθόδου.

Νεοτεκτονικές έρευνες που έγιναν τα τελευταία χρόνια σε διάφορες περιοχές του Ελλαδικού χώρου [MERCIER et al., (4), ANGELIER, (2), MERCIER (5)] έδειξαν ότι η τεκτονική κατάσταση των πρόσφατων γεωλογικών χρόνων χαρακτηρίζεται από ένα εκτεταμένο εφελκυσμό και το σχηματισμό μεγάλης κλίμακας κανονικών ρηγμάτων. Ο εφελκυσμός αυτός που άρχισε στο Μέσο (;)-Ανώτερο Μειόκαινο είχε σταθερή ΒΑ-ΝΔ διεύθυνση και σχεδόν Β-Ν κατά το Τεταρτογενές (Μέσο-Ανώτερο-Πλειστόκαινο-σήμερα) (σχ. 2 και 3). Σύμφωνα με τους παραπάνω αναφερθέντες ερευνητές ή εφελκυστική αυτή νεοτεκτονική κατάσταση δεν ήταν συνεχής. Οι περίοδοι εφελκυσμού διακόπηκαν από σύντομες περιόδους ασθενικών συμπιεστικών φάσεων. Οι φάσεις αυτές εντοπίζονται μεταξύ Ανώτατου Μειόκαινου-Κατώτατου Πλειόκαινου η πρώτη και στο Κατώτερο Τεταρτογενές η δεύτερη. Παράλληλα, εξωτερικά του Ελληνικού τόξου εκδηλώθηκαν περίοδοι έντονης συμπίεσης σαν συνέπεια της σύγκρουσης της Αφρικανικής και της Ευρασιατικής λιθόσφαιρας, οι οποίες εναλλάχτηκαν με περιόδους τεκτονικής ησυχίας.

Όσον αφορά την εφαρμογή της νεοτεκτονικής για την ερμηνεία της τεκτονικής δομής τριτογενών-τεταρτογενών βυθισμάτων του Ελλαδικού χώρου, στα οποία κατά κανόνα εντοπίζονται γεωθερμικά πεδία, αναφέρεται η Μήλος που φιλοξενεί γεωθερμικό πεδίο υψηλής ενθαλπίας (ενεργό Ελληνικό ηφαιστειακό τόξο) και οι λεκάνες της Αλμωπίας και του Στρυμόνα (χαμηλής ενθαλπίας πεδία).

Α) ΜΗΛΟΣ: Βρίσκεται στο δυτικό τμήμα του ηφαιστειακού τόξου Ν. Αιγαίου. Αποτελείται κυρίως από λάβες πλειοτεταρτογενούς ηλικίας, ασβεσταλκαλικής σύστασης.

Τόσο η μορφολογία όσο και η διαμόρφωση των ακτών της Μήλου είναι έντονα επηρεασμένες από δύο μεγάλα συστήματα ρηγμάτων κανονικής μετάπτωσης. Το ένα από τα συστήματα αυτά έχει κατεύθυνση $100^{o}$ έως $130^{o}$ ενώ το άλλο έχει κατεύθυνση $50^{o}$ ως $70^{o}$. Πολλά από τα ρήγματα που ανήκουν στα παραπάνω συστήματα επαναδραστηριοποιήθηκαν και κατά τους πρόσφατους γεωλογικούς χρόνους ενώ άλλα είναι ενεργά.

Από τη μικροτεκτονική και ποσοτική νεοτεκτονική ανάλυση προσδιορίστηκαν δύο κύριες φάσεις εφελκυσμού, διαφορετικής ηλικίας. Η παλιότερη (Πλειόκαινο) έχει διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ και η νεότερη (Τεταρτογενές) έχει διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ. Οι διευθύνσεις των κύριων αξόνων τάσης στην περιοχή προσδιορίζονται από τις παρακάτω τιμές:

α) για την παλιότερη κίνηση (αζιμούθιο και κλίση των κύριων αξόνων τάσης), $\sigma_1$:$215^{o}/73^{o}$, $\sigma_2$:$316^{o}/3^{o}$, $\sigma_3$: $47^{o}/17^{o}$.

β) για τη νεότερη κίνηση (αζιμούθιο και κλίση αξόνων), $\sigma_1$:$83^{o}/82^{o}$, $\sigma_2$:$224^{o}/60^{o}$, $\sigma_3$:$315^{o}/5^{o}$.

Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε ότι τον κύριο ρόλο στην κυκλοφορία των θερμών ρευστών παίζουν τα ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης ρήγματα που η επαναδραστηριοποίησή τους οφείλεται στη νεότερη εφελκυστική φάση του Τεταρτογενούς.

Β) ΑΛΜΩΠΙΑ: Η προέλευση της λεκάνης της Αλμωπίας είναι τεκτονική. Στην περιοχή δεσπόζουν πολλά επιμήκη ρήγματα ΒΔ διεύθυνσης και κλίσης, κύρια προς τα ΒΑ. Τα ρήγματα αυτά συνδέονται με τα τελευταία στάδια των πτυχώσεων, τα οποία όμως φαίνεται να έχουν και νεότερες (νεοτεκτονικές) επαναδραστηριοποιήσεις. Μια δεύτερη ομάδα ρηγμάτων πολλές φορές με μήκη πολλών χιλιομέτρων είναι εκείνα με ΒΑ-ΝΔ ως Α-Δ διεύθυνση (Λουτρακίου 70°, Νησίου 100°, Σωτήρα 30°, Εδεσσαίου 60°). Τα ρήγματα αυτά και ιδιαίτερα εκείνα με Α-Δ διεύθυνση επαναδραστηριοποιήθηκαν στο πολύ πρόσφατο παρελθόν (Τεταρτογενές) και πιθανόν είναι ενεργά και σήμερα. Από μια πρώτη ενδεικτική μικροτεκτονική ανάλυση προσδιορίστηκαν δυο ανεξάρτητες νεοτεκτονικές φάσεις εφελκυσμού, η παλιότερη με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ (Μειόκαινο-Πλειόκαινο;) και η νεότερη με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ (Τεταρτογενές). Η ποσοτική νεοτεκτονική ανάλυση των ρηγμάτων που κόβουν τους ανωπλειοκαινικούς τόφους έδωσε τις εξής τιμές για τις διευθύνσεις των κύριων αξόνων τάσης στην περιοχή:

α) για την παλιότερη κίνηση (αζιμούθιο και κλίση των αξόνων)
$\sigma_1$: 11°/85°, $\sigma_2$: 222°/4°, $\sigma_3$: 132°/2°

β) για τη νεότερη (τεταρτογενή κίνηση)
$\sigma_1$: 301°/86°, $\sigma_2$: 131°/4°, $\sigma_3$: 41°/1° (σχ. 1).

Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε ότι τον κύριο ρόλο στη σύγχρονη διαμόρφωση της λεκάνης καθώς και στην κυκλοφορία των θερμών ρευστών παίζουν τα ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης ρήγματα που επαναδραστηριοποιούνται σαν συνέπεια της νεότερης εφελκυστικής φάσης του Τεταρτογενούς.

Γ) ΣΤΡΥΜΟΝΑΣ: Στην κοιλάδα του Στρυμόνα, από λεπτομερείς γεωλογικές τομές, δεδομένα γεωτρήσεων βάθους και νεοτεκτονικές έρευνες φαίνεται ότι τα θερμά νερά χαμηλής ενθαλπίας που προέρχονται από το κατακερματισμένο προτριτογενές υπόβαθρο της λεκάνης ακολουθούν ανοδική πορεία πάνω σε ρήγματα που βρίσκονται στα άκρα του βυθίσματος του Στρυμόνα. Επίσης τα συμπαγή κροκαλοπαγή και ψηφιδοπαγή του Ανώτερου Μειόκαινου της λεκάνης, που βρίσκονται σε βάθη 2.000 περίπου, αποτελούν τον πρώτο στόχο του γεωθερμικού ενδιαφέροντος της περιοχής [ARONIS et al., (6), σχ. 4]. Για τις σύγχρονες (Τεταρτογενείς) τεκτονικές τάσεις που δρουν στην περιοχή, μια πρώτη ανάλυση των μικροτεκτονικών στοιχείων έδειξε ότι έχουν Β-Ν διεύθυνση.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:

1. CAREY, E. 1976. Analyse numérique d´ un modèle mécanique élémentaire appliqué à l´ étude d´ une population de failles: Calcul d´ un tenseur moyen de contraintes a partir de stries de glissement. Thèse 3em cycle, Univ. de Paris-Sud.

2. ANGELIER, J. 1979. Néotectonique de l´Arc Egéen. Thése de Doctorat d´ Etat, Soc. Géol. du Nord, France, Publ. 3, 418 pp.

3. MICHAEL, J.A. 1984. Determination of Stress From Slip Data: Faults And Folds. J. Geoph. Res., 89, B13, 11517-11526.

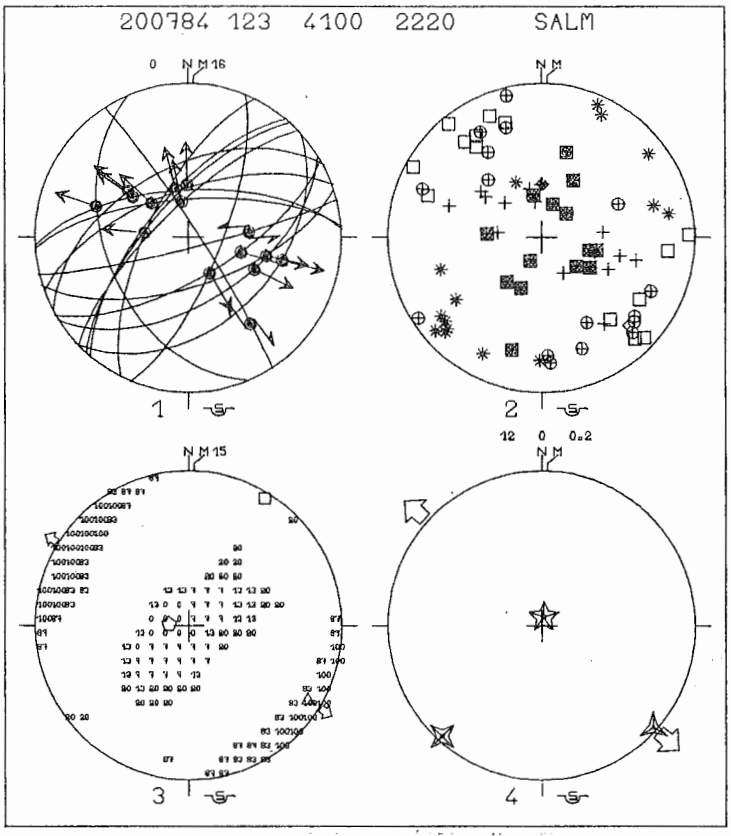
4. MERCIER, J.-L., DELIBASIS, N., GAUTHIER, A., JARRIGE, J., LEMEILLE, F., PHILIP, H., SEBRIER, M. & SOREL; D. 1979. La néotectonique de l´ Arc Egéen. Rev. Georg. Phys. Géol. Dyn., 21, 67-92.

5. MERCIER, J.-L. 1981. Extensional-compressional tectonics associated with the Aegean Arc: comparison with the Andean Cordillera of south Peru-north Bolibia. Phil. Trans. R. Soc. Lond., A 300, 337-355.

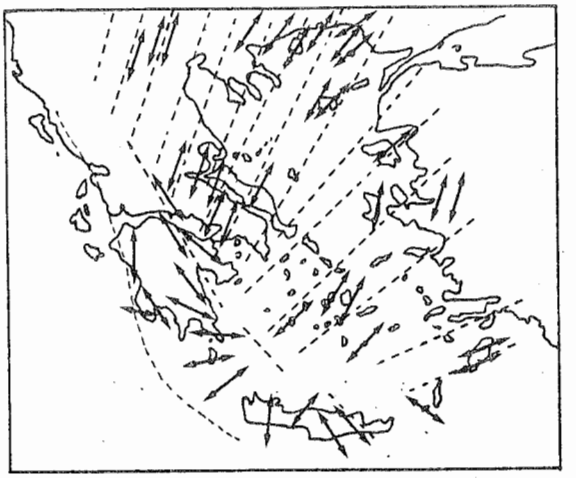
6. ARONIS, C., FYTICAS, M., PANTASIS, M., POLYCHRONIDIS, M. and SIMEAKIS, C. 1983. Technico-Economic Feasibility of the Low-Enthalpy Geothermal Project of Serres (Graben of Strymon) Macedonia, Greece. Seminar of "European Geothermal Update" Munich.

7. MERCIER, J.-L., SIMEAKIS, C.L. SOMERITIS, I. 1982. Neotectonique du domaine nord Egéen Oriental (ile de Lesbos et Thrace). 9e Reunion Annuele des Sciences de la Terre. Soc. Geol. Fr. Edit Paris, 43,

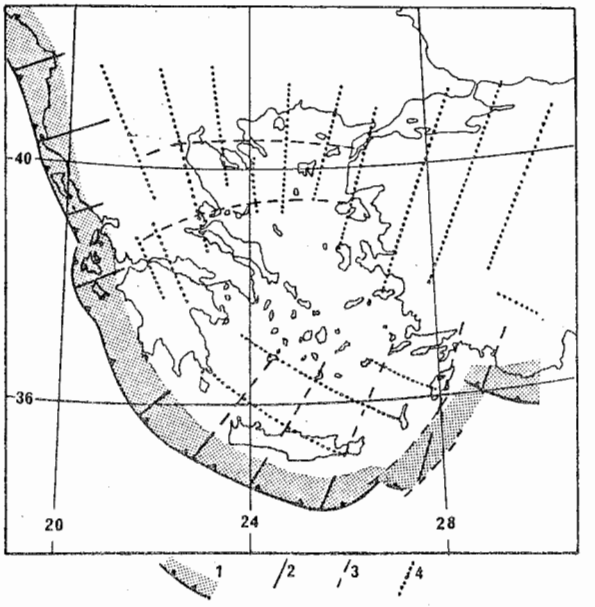
8. ΠΑΥΛΙΔΗΣ, Β.Σ. 1985. Νεοτεκτονική εξέλιξη της λεκάνης Φλώρινας-Βεγορίτιδας-Πτολεμαΐδας (Δ. Μακεδονία). Διδ. διατριβή Θεσ/νίκη 265 σελ.



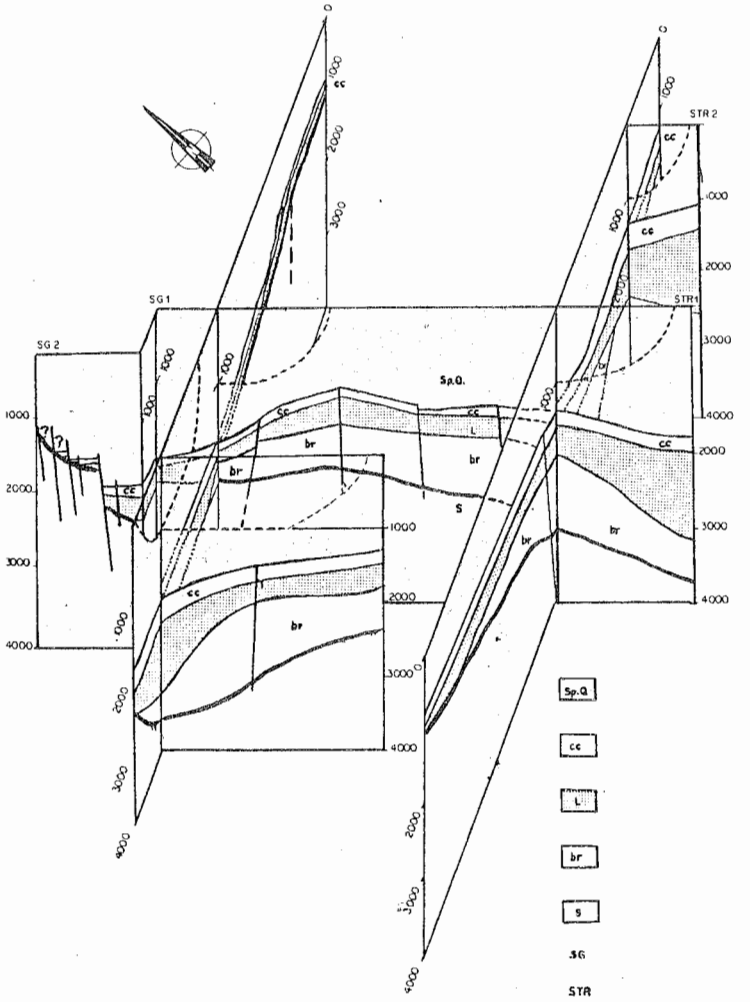

Σχ. 1. Ποσοτική τεκτονική ανάλυση μιας ομάδας ρηγμάτων με νεοτεκτονική (τεταρτογενή) δράση που αναπτύσονται τόσο στους ασβεστολίθους του υποβάθρου, όσο και στους Ανωπλειοκαινικούς τόφους της νότιας Αλμωπίας. 1. Προβολή σε δίκτυο Schmidt (νότιο ημισφαίριο) των μετρηθέντων ρηξιγενών επιφανειών (μέγιστοι κύκλοι) και των αντίστοιχων γραμμώσεων ολίσθησης (βέλη). 2. Προβολές των πόλων των ρηγμάτων (κύκλοι με σταυρό), των γραμμώσεων (σταυροί) και των κύριων κινηματικών αξόνων για κάθε περίπτωση ρήγματος ξεχωριστά ($\sigma_1$: γραμμοσκιασμένο τετράγωνο, $\sigma_2$: αστερίσκος, $\sigma_3$: τετράγωνο). 3. Εφαρμογή της μεθόδου των ορθών διέδρων γωνιών [ANGELIER (2)], $\sigma_1$: πεντάγωνο, $\sigma_2$: τετράγωνο, $\sigma_3$: τρίγωνο. 4. Τελικός υπολογισμός των διευθύνσεων των κύριων αξόνων τάσης [ANGELIER (2)]. Με μαύρα βέλη δηλώνεται η διεύθυνση του επικρατούντα (εφελκυστικού) άξονα.



Σχ. 2. Οι γενικευμένες διευθύνσεις των αξόνων εφελκυσμού (διακεκομμένες γραμμές) στο Αιγαίο και τις γύρω περιοχές, εσωτερικά του Ελληνικού τόξου, κατά το Πλειόκαινο. Τα μαύρα βέλη δείχνουν τις κατά τόπους διευθύνσεις εφελκυσμού που υπολογίστηκαν με νεοτεκτονικές μετρήσεις από πολλούς ερευνητές μεταξύ των οποίων ANGELIER (2), MERCIER (5), MERCIER et al., (7) κ.ά. [Από Παυλίδη (8)]




Σχ. 3. Απλουστευμένο σχήμα από Mercier 1981 του τεκτονικού πεδίου των τάσεων στον Ελλαδικό χώρο κατά τη διάρκεια του Μέσου Πλειστοκαίνου-Σήμερα. 1. Όρια λιθοσφαιρικής βύθισης (ζώνη συμπίεσης εξωτερικά του ελληνικού τόξου). 2. Διευθύνσεις αξόνων συμπίεσης. 3. Διευθύνσεις ενδιάμεσων αξόνων. 4. Διευθύνσεις αξόνων εφελκυσμού.




Σχ. 4. Λιθοστρωματογραφικοί συσχετισμοί βάθους στα ΝΑ των Σερρών
- Sp.Q Χερσαίες αποθέσεις (σειρά Σπηλιάς)
- c.c. Ορίζοντας που χαρακτηρίζεται από εναπόθεση ασβεστόλιθων
- L Χερσαίες αποθέσεις προασβεστολιθικής φάσης
- br Λατυποπαγή βάσης
- S Υπόβαθρο
- SG Γεώτρηση γεωθερμικής βαθμίδας
- STR Γεώτρηση ΔΕΠ

ΓΕΩ-9

ΤΙΤΛΟΣ ΕΙΣΗΓΗΣΗΣ: "ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΤΗΛΕΘΕΡΜΑΝΣΗ".

ΣΥΓΓΡΑΦΕΑΣ: ΟΔΥΣΣΕΑΣ-ΝΙΚΟΣ ΠΛΑΝΑΚΗΣ, ΠΟΛΙΤΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ, ΥΓΕΙΟΝΟΛΟΓΟΣ-ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΟΣ (ΕΙΔΙΚΟΣ ΣΥΝΕΡΓΑΤΗΣ ΤΟΥ ΥΧΟΠ).

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Η Ελλάδα έχει αρκετές δυνατότητες αξιοποίησης γεωθερμικής ενέργειας για ενεργειακούς σκοπούς. Από τις άφθονες θερμές πηγές πού υπάρχουν στην Ελλάδα χρησιμοποιούμε ελάχιστες μόνο για ιαματικούς σκοπούς. Το έλλειμα ηλεκτρικής ενέργειας πού παρουσιάζει η Ελλάδα θα μπορούσε να το καλύψει με την αξιοποίηση των θερμών πηγών. Μιά από τις καλλύτερες μορφές εξοικονόμησης ήπιας μορφής ενέργειας είναι η αξιοποίηση της τηλεθέρμανσης από τα νερά των Θερμών Πηγών. Η τηλεθέρμανση θα εξασφαλίσει θέρμανση των σπιτιών, θερμό νερό χρήσεως Χειμώνα-Καλοκαίρι και θερμό νερό για βιοτεχνίες στή γύρω περιοχή.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Α.Η.Σ. -(Ατμοηλεκτικός Σταθμός),
ΔΤ -(Διαφορά Θερμοκρασίας).

ΕΙΣΑΓΩΓΗ: Οι αρχαίοι Έλληνες θεωρούνται από τους πρώτους στον κόσμο που χρησιμοποίησαν τις θερμές πηγές για λουτρά και οικιακές ανάγκες. Η αξιοποίηση των Θερμών Πηγών από το XV αιώνα π.χ καθώς και το κτίσιμο των Ασκληπιείων γύρω από τις Θερμές Πηγές ακόμα από το XIII αιώνα π.χ. προκάλεσε και προκαλεί το θαυμασμό του κόσμου για τη σοφή αξιοποίηση του φυσικού πλούτου. Σήμερα ή Ελλάδα έχει μείνει αρκετά πίσω σε σχέση με άλλα κράτη, όχι μόνο στη αξιοποίηση της γεωθερμίας αλλά και στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας παρ'όλο πού η Ελλάδα έχει τεράστιες δυνατότητες παραγωγής ηλεκτικής ενέργειας. Οι θερμές πηγές στην Ελλάδα είναι ένας αστήρευτος πλούτος και άν τις αξιοποιήσουμε αυστά θα εξεικονομηθεί τεράστιο οικονομικό όφελος. Εκτός αυτού θα υπάρξει εξυπηρέτηση του πληθυσμού και απαλλαγή του περιβάλλοντος από τη ρύπανση. Τηλεθέρμανση δέ σημαίνει μόνο θέρμανση των κατοικιών αλλά και παροχή θερμού νερού Χειμώνα-Καλοκαίρι για τον πληθυσμό, Βιοτεχνία, Κτηνοτροφία και Γεωργία. Τηλεθέρμανση σε συνδιασμό με αξιοποίηση των θερμών πηγών, την ηλιακή ενέργεια και βιομάζα είναι αναμφισβήτητα μιά από τις καλύτερες μορφές εξοικονόμησης καύσιμης ενέργειας που ισούται με ηλεκτρική ενέργεια. Οι θερμές πηγές ρέουν ακατάπαυστα. Ο ήλιος ακτινοβολεί την Ελλάδα σχεδόν όλο το χρόνο. Οι ενέργειες αυτές χάνονται όπως και η βιομάζα στα δάση της Ελλάδας. Από την άλλη πλευρά εισάγουμε ηλεκτρική ενέργεια από χώρες που δεν έχουν αυτό το φυσικό πλούτο.

Εάν αξιοποιήσουμε τη γεωθερμία στην Ελλάδα ειδικά τις θερμές πηγές θα έχουμε μια μεγάλη ανάπτυξη στην οικονομία του Κράτους. Υπάρχουν τεράστιες δυνατότητες στην Ελλάδα για την εξοικονόμηση ενέργειας. Μια από τις καλύτερες δυνατότητες είναι η αξιοποίηση των θερμών πηγών, που αριθμούν πάνω από 180. Οι θερμές πηγές είναι ανεκτίμητο δώρο της φύσης, που παίζουν σπουδαίο ρόλο στην οικονομία άν αξιοποιηθούν κατάλληλα. Τα κυριώτερα χαρακτηριστικά μιας πηγής είναι τα άλλατα και η θερμότητα. Για την εξοικονόμηση ενέργειας από τις θερμές πηγές τα άλλατα είναι ανεπιθύμητα, ενώ για ιαματικούς σκοπούς τα άλλατα παίζουν βασικό ρόλο.

Τα άλλατα στάθηκαν βασικό εμπόδιο που δεν αξιοποιήθηκαν στην Ελλάδα οι θερμές πηγές για εξοικονόμηση ενέργειας. Η έλλειψη ειδικών σε αυτόν τον τομέα πράξθησε στην Ελλάδα λαθεμένες αντιλήψεις χωρίς καμμία επιστημονική και τεχνική βάση. Διάφοροι φορείς με τις λανθασμένες τους αντιλήψεις διοχετεύουν στην καταστρεπτική οικονομία χωρίς κάν να ευθύνονται για κάθε λανθασμένη αντίληψή τους. Το να εκφράζουν γραπτώς σε επίσημα έγγραφα ότι θα σπάσουν οι αντλίες ύστερα από 6-12 ώρες δουλειάς, λόγω του άλλατος, και ότι τα λάδια από τις αντλίες που ρυπαίνουν το έδαφος 6-7 κιλά την ημέρα είναι λαθεμένα δείχνει την απόλυτη άγνοια του θέματος και δεν έχουν καμμία σχέση με την πραγματικότητα.

Ένας από τους καλύτερους τρόπους σύγχρονης τεχνολογίας είναι η αξιοποίηση των θερμών πηγών για δίκτυα τηλεθέρμανσης. Η τηλεθέρμανση στην Ελλάδα δεν είναι γνωστή γιατί είναι καινούργιος κλάδος της τεχνικής που ασχολείται με την παραγωγή και μεταφορά θερμότητας σε απόσταση. Συγκεκριμένα λέγεται κεντρική θέρμανση κατοικιών. "Κεντρική θέρμανση" στην Ελλάδα έχει άλλη έννοια. Με αυτόν τον όρο εννοείται "τοπική θέρμανση" μεμονομένων κατοικιών ή διαμερισμάτων. Το βασικότερο κόστος μιάς τηλεθέρμανσης είναι το κόστος για την παραγωγή θερμού νερού. Για το σκοπό αυτό εγκαθιστούμε λέβητες και μια σειρά μηχανήματα και για καύσιμη ύλη χρησιμοποιούμε καυσόξυλα, γαιάνθρακες, πετρέλαιο. Στην περίπτωση των θερμών πηγών τα θερμά νερά τα έχουμε δωρεάν. Παραμένουν μόνο τα δίκτυα τηλεθέρμανσης που είναι δευτερεύον πρόβλημα και οι δαπάνες αυτών άμεσα ή έμμεσα επιστέφονται. Τηλεθέρμανση έχουν όλες σχεδόν οι Ευρωπαϊκές χώρες και όλες σχεδόν οι χώρες της ΕΟΚ. Οι ΗΠΑ έχουν τηλεθέρμανση από το 1878. Η Νέα Υόρκη με πάνω από 10 εκατομ. κατοίκους θερμαίνεται με τηλεθέρμανση. Το Λονδίνο, Παρίσι, Βερολίνο λύσαν το πρόβλημα της ρύπανσης μόνο με την τηλεθέρμανση. Στην Ελλάδα επικρατούν πολύ λαθεμένες αντιλήψεις για την τηλεθέρμανση, είτε από άγνοια είτε από σκοπιμότητα για εξυπηρέτηση συμφερόντων.

Για την αξιοποίηση των θερμών πηγών επίσης επικρατούν λαθεμένες αντιλήψεις, και υπάρχει έλλειψη τεχνικής κατάρτισης στον τομέα αυτό, πράγμα που το πληρώνει ο λαός με σπατάλη εθνικού πλούτου. Είναι φοβερό το γεγονός ότι στην Ελλάδα δεν υπάρχουν τεχνικοεπιστημονικές εκδόσεις για τις Θερμές Πηγές που να αναφέρονται στο βαθμό της θερμότητάς τους και στην περιεκτικότητά τους σε χημικά στοιχεία. Ελάχιστες που υπάρχουν δεν τιμούν τη χώρα μας, γιατί έχουν πολλά λάθη, είναι γραμμένες πρόχειρα και οι τεχνικοί όροι δεν έχουν αποδοθεί καλά στα Ελληνικά. Ας σημειωθεί ότι στα συνηθισμένα ελληνικά λεξικά δεν υπάρχουν οι λέξεις "γεωθερμία", "γεωχημεία" ούτε "τηλεθέρμανση". Δεν υπάρχουν προδιαγραφές ούτε νομοθεσία για την πραγματική αξιοποίηση των θερμών πηγών, και ότι σχετικό υπάρχει, ιδιαίτερα παλιότερα, δεν εξυπηρετεί την ελληνική οικονομία. Τον τελευταίο καιρό γίνονται ορισμένες προσπάθειες, αλλά απέχουν πολύ από την προσπάθεια που χρειάζεται για την σωστή αξιοποίηση των θερμών πηγών.

Δίνονται λαθεμένες κατευθύνσεις χωρίς να παίρνεται υπόψη η εμπειρία ξένων κρατών και οι κατακτήσεις τους στον τομέα αυτό. Σπαταλιέται αρκετός χρόνος και χρήματα γιά έρευνες και πειράματα γιά προβλήματα αξιοποίησης των θερμών πηγών, που σε άλλα κράτη από δεκάδες χρόνια είναι στην πρακτική εφαρμογή. Ο φυσικός πλούτος από γαιάνθρακες, φυσικό αέριο και πετρέλαιο προβλέπουν οι ειδικοί ότι θα επαρκέσει γιά 110 - 140 χρόνια. Η εξόρηξή τους είναι όλο και δυσκολότερη και συνεπώς πιό δαπανηρή. Δέν είναι προς της οικονομίας της χώρας η νομοθεσία που υπάρχει και απαγορεύει άλλη χρήση των θερμών πηγών εκεί που γίνονται τα ιαματικά λουτρά. Εάν πάρουμε π.χ. τις θερμές πηγές Λισβορίου Λέσβου που η θερμοκρασία τους είναι 70°C έχουμε μία ξεκάθαρη εικόνα γιά το τι συμβαίνει σε άλλες πηγές. Γιά τα λουτρά απαιτείται θερμοκρασία 36-37°. Στις θερμές πηγές που υπάρχει θερμοκρασία πάνω από 37° οι λουόμενοι περιμένουννα κατέβει το νερό στους 37° γιά να πάρουν, το λουτρό τους, είτε στο θερμό νερό ρίχνουν κρύο - πόσιμο γιά να κατεβεί η θερμοκρασία, πράγμα που έχει σαν αποτέλεσμα να χάνει το θερμό νερό της πηγής τις ιαματικές του ιδιότητες. Στην πραγματικότητα πρέπει να γίνεται το εξής: Να χρησιμοποιείται πρώτα το θερμό νερό γιά τους ενεργειακούς σκοπούς και μετά γιά ιαματικούς. Συγκεκριμένα:

Θερμοκρασία νερού ≃ 70° C
Απώλειες γιά τηλεθέρμανση ΔΤ=25° C
ΔΤ = 70° - 25° ≃ 45° C
Απωλειες σε λουτρά: ΔΤ≃ 45° - 37° ≃ 8° C

Παραμένουν 8 βαθμοί κελσίου γιά θερμικές απώλειες κλπ. Το θερμό νερό γιά την καλύτερη αξιοποίηση να είναι κάτω των 20°C

Μετά από το λουτρό το νερό δεν πρέπει να είναι κάτω από 32° C πράγμα που σημαίνει ότι οι απώλειες στο λουτρό θα είναι 5°C περίπου.

$$\Delta T = 37-5^{o}\ C \simeq 32^{o}\ C + 8^{o}\ C \simeq 40^{o}C,$$

πράγμα που σημαίνει ότι έχουμε στη διάθεσή μας νερό 40°C γιά παραπέρα αξιοποίηση. Πρέπει και μετά τα λουτρά να γίνεται αξιοποίηση, όπως π.χ γιά αγροτικούς κτηνοτροφικούς σκοπούς και θέρμανση του εδάφους.

Ο τρόπος αυτός αξιοποίησης δέν είναι κάτι το καινούργιο. Είναι μόνο μιά εμπειρία από πρακτική των ξένων Κρατών που στην Ελλάδα δεν αξιοποιείται. Από το XIV αιώνα στη Ν. Ζηλανδία χρησιμοποιούσαν γεωθερμική ενέργεια γιά τις οικιακές ανάγκες. Μέχρι σήμερα στη Ν. Ζηλανδία συναντάς ψαράδες που μαγειρεύουν λαχανικά και ψάρια με την ενέργεια της γεωθερμίας. Από πολύ παλιά οι Ετρούσκοι, οι Ισπανοί στο Μεξικό αξιοποιούσαν τις θερμές πηγές για τις οικιακές ανάγκες. Γιά τη θέρμανση των οικιών το 1933 έγιναν γεωτρήσεις σε συνολικό βάθος 15 χι.στη Ρεϋκιαβίκ της Ισλανδίας. Δέκα χρόνια αργότερα από τα θερμά νερά που αξιοποιήθηκαν γιά τηλεθέρμανση ωφελήθησαν πάνω από 2300 σπίτια. Το 1975 περίπου 90.000 κάτοικοι της Ρεϋκιαβίκ επωφελήθηκαν από την τηλεθέρμανση γιά θέρμανση των σπιτιων και άλλες ανάγκες. Εκτός από την τηλεθέρμανση στην πρωτεύουσα της Ισλανδίας αξιοποιείται η κεντρική θέρμανση για μεμονωμένες οικίες, αποτέλεσμα: πάνω από τους μισούς κατοίκους της Ισλανδίας ολόκληρης εκμεταλλεύονται τη γεωθερμία γιά οικιακές και βιοτεχνικές ανάγκες. Στις ΗΠΑ σε μικρή κλίμακα εμφανίστηκε η τηλεθέρμανση από την γεωθερμία , το 1890. Στην Ιαπωνία και στη Ν. Ζηλανδία αξιοποίησαν τα θερμά νερά των θερμών πηγών γιά τηλεθέρμανση καθώς και ανάγκες γεωργικών νοικοκυριών. Από το 1960 σε μεγάλη κλίμακα τηλεθέρμανση από θερμές πηγές γιά οικιακές ανάγκες, αγροτικές και βιοτεχνικές ανάγκες αξιοποιείται στη Ουγγαρία και ΕΣΣΔ. Κατά το 1970 σε δύο φάρμες έξω από το Παρίσι αξιοποιείται η γεωθερμία γιά τις ανάγκες τους. Οι επιτυχίες αυτές στις δύο φάρμες που οι γεωτρήσεις είχαν γίνει γιά ανακάλυψη φυσικού αερίου έγινε αιτία, από το 1976, να επεκταθεί αυτό το σύστημα τηλεθέρμανσης και στα προάστια του Παρισιού.

Γιά την ανάπτυξη της Γεωργίας λειτούργησαν γιά πρώτη φορά δίχτυα τηλεθέρμανσης από το 1920 στην Ισλανδία θερμοκήπια για τις καλλιέργειες, όπου καλλιεργούν φρούτα, μανιτάρια, λουλούδια, φυτά που σε εκείνο το κλίμα ποτέ δεν αναπτύσσονταν σε εκείνες τις συνθήκες. Χάρη στη γεωθερμική ενέργεια βελτιώθηκε πολύ η οικονομία του κράτους της Ισλανδίας στην παραγωγή ειδών διατροφής. Με τη γεωθερμική ενέργεια κατασκευάστηκαν και εξυπηρετούνται πάνω από 140.000 τ.μ. έκτασης θερμοκηπίων στην Ισλανδία. Τον ίδιο καιρό τα θερμοκήπια που θερμαίνονται με γεωθερμία ανέρχονται σε 1,7 εκ. τ. μ. Με αυτό τον τρόπο η αξιοποίηση της γεωθερμίας σε μεγάλη κλίμακα εξελίχθηκε σημαντικά στην ΕΣΣΔ, στην Ιταλία , ΗΠΑ, Ιαπωνία, Ν.Ζηλανδία κ.λ.π.

Εκτός από τη θέρμανση των οικιών αξιοποιείται χορτά η γεωθερμία γιά την κτηνοτροφία, γιά τη θέρμανση καλλιεργήσιμης γής κ.λ.π.

Στην Τουρκία κοντά στη Σμύρνη με τη γεωθερμία αρδεύουν τον κάμπο και θερμαίνουν το έδαφος με αποτέλεσμα η συγκομιδή να είναι πολύ μεγαλύτερη από πρίν. Στο 'Ορεγκον των ΗΠΑ αποδείχθηκε ότι με τη θέρμανση της γής με γεωθερμία αυξάνεται η απόδοση του καλαμποκιού κατά 45% και της ντομάτας 50%. Η θερμοκρασία που χρησιμοποιήθηκε γιά το σκοπό αυτό ήταν από 20-60$^{O}$ C.

Η γεωθερμία επίσης αξιοποιείται στη βιομηχανία και βιοτεχνία. Γιά πρώτη φορά χρησιμοποιήθηκε σε μεγάλη κλίμακα κατά το 1950 στη ΝΖηλανδία σε εργοστάσιο παραγωγής χαρτιού. Άλλα παραδείγματα αξιοποίησης της γεωθερμίας στη βιομηχανία είναι τα εργοστάσια άλατος και θειικού οξέως στην Ιαπωνία, στην Ιταλία και την Τϊβάν. Στην Πολωνία από μια γεώτρηση στη περιοχή Ζακοπάνε σε βάθος 1500 μ. και σε υψόμετρο 2000μ. περίπου εξάγεται θερμό νερό σε 85$^{OC}$ με παροχή 109μ$^{3}$ την ώρα. Η γεωθερμία αυτή θα χρησιμοποιηθεί γιά τηλεθέρμανση και ιαματικούς σκοπούς.

Ο πρώτος Α.Η.Σ από γεωθερμία κατασκευάσθηκε κατά το 1904 στην Ιταλία. Γιά την κίνηση της τουρμπίνας χρησιμοποιήθηκε φυσικός ατμός. Αποτέλεσμα ήταν να έχει γρήγορα μεγάλη φθορά η τουρμπίνα από τα άλατα του ατμού. Τότε άλλαξε το σύστημα και στη θέση του ακαθάριστου ατμού χρησιμοποιήθηκε καθαρός ατμός καθαρισμένος από άλατα. Με αποτέλεσμα να επιμηκυνθεί ο χρόνος λειτουργίας της τουρμπίνας. Καινούργιος Α.Η.Σ απόδοσης 250KW με καθαρό ατμό μπήκε σε κίνηση το 1913. Στο β'παγκ. πόλεμο καταστράφηκε. Σήμερα η Ιταλία έχει σύστημα Α.Η.Σ από γεωθερμία περίπου 400 MW. Το 1950 άρχισαν έρευνες στα στρώματα γεωθερμίας στη Ν. Ζηλανδία με σκοπό να κατασκευάσουν Α.Η.Σ από τη γεωθερμία. Το 1955 η κυβέρνηση της Μ. Βρεττανίας αποφάσισε να ερευνήσει τις δυνατότητες αξιοποίησης του βαρειού ύδατος. Οι έρευνες αυτές στράφηκα προς την κατεύθυνση της αξιοποίησης της γεωθερμίας γιά Α.Η.Σ που καταλήξανε να γίνουν γεωτρήσεις σε μεγάλο βαθμό και απέφεραν την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος 192MW. Μετά από την ενεργειακή κρίση του 1973 πάρθηκε η απόφαση γιά την κατασκευή Α.Η.Σ στη Ν.Ζηλανδία. Παραγωγής 165 MW. Σε συνέχεια κατασκευάστηκε Α.Η.Σ. από γεωθερμία στην Καλλιφόρνια. Το 1960 επίσης λειτούργησε ο πρώτος Α.Η.Σ παροχής 12MW στη Καλλιφόρνια. Το 1976 κατασκευάστηκε εκεί Α.Η.Σ από γεωθερμία με παραγωγή 522MW. Οι δυνατότητες γιά το 2000 μ.χ υπολογίζονται στα 25.000 MW. Κατά το 1960 κατασκευάστηκαν από γεωθερμίες Α.Η.Σ στη Ιαπωνία στη Σοβιετική Ένωση, το Μεξικό, το Σαλβαδόρ, Ισλανδία και Τουρκία. Πρίν από το 1976 η ολική παραγωγή Α.Η.Σ. σ'όλο τον κόσμο υπολογίζεται σε 1.362MW. Στο τέλος του 1970 λειτουργούσαν Α.Η.Σ με γεωθρμία: Ιταλία 3, ΕΣΣΔ 2, Φινλανδία 1, Ισλανδία 2, Ιαπωνία 6, Ν.Ζηλανδία 3, Μεξικό 2, Σαλβαδόρ 1, και μερικοί στις ΗΠΑ.

Το 1980 η συνολική παραγωγή όλων των Α.Η.Σ σ'όλο τον κόσμο είναι 2.500 MW, 1% περίπου ηλεκτρικής ενέργειας σόλον τον κόσμο. Προβλέπεται για το 1990 παραγωγή από Α.Η.Σ από γεωθερμία να φθάσει το 10% και στο 2000 τα 20%. Η Ελλάδα που ήταν η πρώτη στον κόσμο που αξιοποίησε τις θερμές πηγές και έχει τεράστιες δυνατότητες αξιοποίησης

των θερμών πηγών και τηλεθέρμανσης με συνδυασμό γεωθερμίας και βιομάζας βρίσκεται σ'αυτό τον τομέα σε απελπιστικά χαμηλό επίπεδο.
Για να γίνουν σαφή τα παραπάνω αρκεί να αναφερθεί ότι το Λισβόριο Λέσβου με παροχή 20 $\mu^3$ την ώρα και θερμοκρασία νερού 70° C άν αυτά τα αναγάγουμε σε πετρέλαιο είναι 2400 κιλά ανά 24ώρο. Και στην Πολύχνητο Λέσβου με παροχή 50 $\mu^3$ την ώρα και θερμότητα 81° C έχουμε (σε πετρέλαιο) απώλειες 7320 κιλά ανά 24ώρο αυτά είναι αδιάψευστα στοιχεία που δείχνουν τι συμβαίνει σ' αυτόν τον τομέα και ανακύπτει το ερώτημα: Δεν υπάρχουν στη χώρα μας επιστήμονες στον τομέα αυτό οικινομολόγοι, πολιτικοί άνδρες να βγάλουν την Ελλάδα από αυτό το τέλμα και την ταπείνωση;
Τι είδος ήπιες μορφές περιμένουμε να μας χαρίσει ακόμη η φύση.

ΟΔΥΣΣΕΑΣ - ΝΙΚΟΣ
ΠΛΑΝΑΚΗΣ

ΓΕΩ-15

ΤΙΤΛΟΣ ΕΙΣΗΓΗΣΗΣ:

# ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΕ ΑΝΤΛΙΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ: ΓΕΡΑΣΙΜΟΣ ΔΗΜ. ΒΑΣΙΛΑΤΟΣ
ΜΗΧΑΝ/ΓΟΣ - ΗΛΕΚ/ΓΟΣ Ε.Μ.Π.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ:

Η αξιοποίηση της γεωθερμίας που μας παρέχει ενέργεια πρακτικά ανεξάντλητη χωρίς ρύπανση του περιβάλλοντος και χωρίς εξάρτηση από τις διακυμάνσεις των πρώτων υλών είναι λύση με πολλά πλεονεκτήματα. Η συνεργασία των θερμομεταλλικών νερών με ΑΝΤΛΙΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ παρέχει και μεγάλη οικονομία (της τάξης 25% - 38%) αλλά και επίτευξη ιδανικών συνθηκών όχι μόνο το χειμώνα αλλά και το καλοκαίρι.

ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ: ΑΝΤΛΙΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ/ΝΕΡΟΥ, ΘΕΡΜΟΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΝΕΡΑ, ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑ Α-θ & ΘΕΜ.ΝΕΡΟΥ, ΚΟΣΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ:

Μέχρι σήμερα η αποκλειστική χρήση του θερμομεταλλικού νερού ήταν η υδροθεραπεία ενώ πολλά εκατομμύρια θερμίδων, χάνονται στην ατμόσφαιρα είτε από την άσκοπη ροή του θερμού νερού είτε κατά την διαδικασία ψύξης του για να χρησιμοποιηθή σαν μέσο υδροθεραπείας.

Στην περιοχή της ΑΙΔΗΨΟΥ για παράδειγμα χάνονται ωριαίως τουλάχιστον 2.000.000 KCAL που ισοδυναμούν με 235 KG πετρελαίου.

Στην εργασία αυτή προτείνονται μέθοδοι για την αξιοποίηση των θερμομεταλλικών νερών σε συνεργασία με Α.θ. νερού/νερού και συγκρίνεται το κόστος λειτουργίας του συστήματος με τους συμβατικούς τρόπους θέρμανσης.

## 2. ΕΜΠΕΙΡΙΕΣ Α.θ. ΝΕΡΟΥ/ΝΕΡΟΥ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ

Η πείρα έδειξε-ότι οι Α.θ. νερό/νερό είναι ένα σύστημα χωρίς προβλήματα.

Οι δυσκολίες που υπάρχουν στην σύνδεση με νερό φτωχής ποι-

ότητας (π.χ. να περιέχει σίδηρο πάνω από 0,2 MG) από την απόθεση αλάτων ή την διάβρωση, αντιμετωπίζονται με την σημερινή τεχνολογική εξέλιξη.

Στην Ευρώπη σήμερα και μάλιστα σε χωρες ψυχρές(Γερμανία, Ολλανδία κ.λ.π.) χρησιμοποιούνται Α.θ. από το 1974 με εξαιρετική επιτυχία.

Οι εγκαταστάσεις αυτές έδοσαν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Στις περισσότερες περιπτώσεις δεν χρειάσθηκε πρόσθετη θέρμανση (π.χ.ηλεκτρικές αντιστάσεις,λέβητα κ.λ.π.).
- Επικράτησε η χρήση των τοπικών κλιματιστικών μονάδων (FAN COIL UNIT) για ψύξη-θέρμανση ή του ενδοδαπεδίου συστήματος για θέρμανση μόνο.
- Ο βαθμός αποτελεσματικότητας (COP) κυμάνθηκε μεταξύ 3.2 - 4.5 με αξιοσημείωτη οικονομία ενέργειας (της τάξης των 20 - 30%) έναντι των συμβατικών τρόπων θέρμανσης.

Στους πίνακες 1 και 2 φαίνονται οι αποδόσεις Α.θ. νερού νερού που κατασκευάζονται σήμερα.

(θερμοκρασία εισόδου νερού $15^{o}$ C.)

(θερμοκρασία νερού θέρμανσης $50^{o}$ C.)

## 3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ Α.θ. ΘΕΡΜΟΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ

Η χρήση του υπογείου νερού σαν πηγή θερμότητας τον χειμώνα και σαν πηγή ψύξης του στοιχείου συμπύκνωσης το καλοκαίρι σε μια Α.θ. θεωρείται λύση με πολλά πλεονεκτήματα.

Στο σχήμα 1 φαίνεται μια Α.θ. νερού/νερού.

Υπάρχουν τρία κυκλώματα νερού. Όταν το σύστημα δουλεύει σε ψύξη (κύκλωμα νερού με διακεκομμένη γραμμή) το παραγόμενο κρύο νερό ($7^{o}$C) που παράγεται από τον εξατμιστή α οδηγείται στο στοιχείο ψύξης της κλιματιστικής συσκευής. Όταν το σύστημα δουλεύει σε θέρμανση (κύκλωμα νερού με συνεχή γραμμή) το παραγόμενο ζεστό νερό ($50^{o}$C) που παράγεται στον συμπυκνωτή α οδηγείται αφ'ενός στο στοιχείο θέρμανσης της κλιματιστικής συσκευής και αφ'ετέρου σε δεξαμενή για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσεως.

Η Α.θ. είναι εξοπλισμένη μ'ένα δεύτερο συμπυκνωτή για να θερμαίνει και ένα δεύτερο εξατμιστή για να ψύχει το υπόγειο νερό (αξονική γραμμή).

Όταν η τριοδος δυο θέσεων (βλέπε σχήμα 1-τμήμα 2) επιτρέπει την κίνηση του νερού στον εξατμιστή β η Α.θ.παράγει ζεστό νερό, ενώ όταν η τριοδος επιτρέπει την κίνηση του νερού στον συμπυκνωτή η Α.θ. παράγει κρύο νερό.

Για να φθάσει όμως το νερό (αξονική γραμμή)μέχρι την Α.θ. είναι αναγκαίο να γίνουν έργα συλλογής και μεταφοράς του μέχρι την Α.θ.

Το πρόβλημα στις περισσότερες περιπτώσεις είναι ότι τα ιαματικά νερά λόγω της μεγάλης περιεκτικότητάς τους σε συστατικά αφ'ενός με έντονες οξειδωτικές και διαβρωτικές ιδιότητες αφ'ετέρου με τάση να αποχωρίζονται και να επικάθηνται στις σωληνώσεις, απαιτούν μια ειδική Τεχνολογία για την συλλογή,την μεταφορά τους και την αποθήκευσή τους όπου απαιτείται.

Θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν σωλήνες και εξαρτήματα που αντιστέκονται στην οξείδωση και την διάβρωση, όπως σωλήνες PVC για τις χαμηλώτερες θερμοκρασίες (30 - 40$^{0}$ ) σωλήνες πολυπροπυλενίου ή σιδερές εσωτερικώς υαλωμένες σωλήνες για τις υψηλώτερες θερμοκρασίες.

Μια φθηνότερη λύση που τελευταία εφαρμόζεται είναι οι σωλήνες αμιαντοτσιμέντου με την εγγύηση των κατασκευαστριών εταιριών.

Απομένει το πρόβλημα των καθαλατώσεων. Έχει αποδειχθεί ότι δεν παρουσιάζονται καθαλατώσεις όταν το ιαματικό νερό παραμένει σ'όλη την διαδρομή και αποθήκευσή του υπό πίεση τουλάχιστον 0,5 ΑΤ πάνω από την ατμοσφαιρική, ενώ ταυτόχρονα δεν έρχεται σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα και δεν χάνει τα εν διαλύσει ελεύθερα αέρια, που περιέχει.

Για τον σκοπό αυτό φράσσονται υδατοστεγώς και αεροστεγώς τα στόμια των γεωτρήσεων και φροντίζουμε να διατηρείται η απαιτούμενη υπερπίεση είτε με άντληση είτε με την γνωστή μέθοδο του πιεστικού δοχείου, όπου όμως την θέση του αέρος έχει λάβει Ν ή άλλο αδρανές αέριο. Ένα άλλο σημείο που πρέπει να τονίσουμε είναι ότι η ταχύτης του νερού μέσα στους σωλήνες πρέπει να είναι μικρότερη του 0,5 Μ/SEC που αντιστοιχεί στην στρωτή ροή.

Βεβαίως η τεχνολογία δίδει πολύ φθηνότερες λύσεις για τα πιο πάνω προβλήματα δηλ. την αποφυγή οξειδώσεων και καθαλατώσεων με την προσθήκη διαφόρων ειδικών προσθέτων (INHIBITORS). Οι λύσεις αυτές εφαρμόζονται όπου το ιαματικό νερό είναι πολύ περισσότερο του απαιτουμένου για υδροθεραπεία και χρησιμοποιούνται για το πλεονάζον ποσοστό.

Η επόμενη φάση είναι η παραλαβή του θερμικού δυναμικού που περιέχει το ιαματικό νερό. Χρησιμοποιούνται εναλλάκτες προηγμένης τεχνολογίας για την μετάδοση της θερμότητας από το ιαματικό νερό, στο κύκλωμα γλυκού νερού.

Στα σχήματα 2,3 και 4 δείχνουμε τέτοιες διατάξεις. Το υπόγειο νερό μπορεί να μεταφερθεί απ'ευθείας στην Α.Θ.(σχ.2 ) ή μπορεί μεσω εναλλακτών (σχ.3 και 4) να ζεστάνει ή να ψύχει γλυκό νερό το οποίο και μεταφέρεται στην Α.Θ.

Οι εναλλάκτες που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι δυο ειδών.

α) Εναλλάκτες τύπου πλακός
β) Εναλλάκτες σωληνωτοί

α) Εναλλάκτες τύπου πλακός

Οι εναλλάκτες τύπου πλακός είναι στην ουσία εναλλάκτες αντιθέτου ροής.

Οι πλάκες συνδέονται ώστε να αποτελούν δυο ξεχωριστά συστήματα θαλάμων ορθογωνικής διατομής. Στο ένα σύστημα θαλάμων κυκλοφορεί το ψυχόμενο ιαματικό νερό και στο άλλο κυκλοφορεί το θερμαινόμενο γλυκό νερό του κλειστού κυκλώματος.

Οι πλάκες κατασκευάζονται είτε από ευγενείς χάλυβες είτε από άλλα υλικά ανθεκτικά στην διάβρωση όπως ο γραφίτης. Ο τελευταίος τύπος, δηλαδή με τις γραφιτούχες πλάκες κατασκευάζεται στην Ανατολική Γερμανία, είναι οικονομικώτερος και έχει ευρεία διάδοση στις Ανατολικές χώρες.

Σε περίπτωση που παρουσιασθούν καθαλατώσεις στους εναλλάκτες αυτούς, μπορεί να γίνει χημικός καθαρισμός τους με την κυκλοφορία ανάμεσα στις πλάκες ειδικών υγρών.

β) Σωληνωτοί εναλλάκτες

Οι εναλλάκτες αυτοί είναι οι κλασσικής μορφής εναλλάκτες αντιθέτου ροής, κατασκευασμένοι από σωλήνες ευγενούς χάλυβος , υψηλής δαπάνης. Ο καθαρισμός τους γίνεται επίσης με την διέλευση δια μέσου των σωλήνων χημικών διαλυμάτων.

## 4. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ Α-Θ ΘΕΡΜΟΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ ΜΕ ΚΛΑΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ

Ο ακριβής προσδιορισμός του κόστους λειτουργίας μιας Α-Θ απαιτεί πολύπλοκους υπολογισμούς. Υπάρχουν παράμετροι που αλλάζουν συνεχώς. Όπως π.χ. τα εσωτερικά φορτία, τα άτομα το άνοιγμα - κλείσιμο των διαφόρων ανοιγμάτων κ.λ.π.

Επίσης ο COP της ΑΘ εξαρτάται από τις εξωτερικές και εσωτερικές συνθήκες και δεν κρατείται σταθερός.

Το NATIONAL BUREAU OF STANDARDS των Η.Π.Α. προτείνει μια πολύ ρεαλιστική μέθοδο υπολογισμού του ετησίου κόστους λειτουργίας.

Ας πάρουμε για παράδειγμα το κτίριο του Ε.Ο.Τ. στο Λουτράκι. Για την θέρμανσή του χρησιμοποιείται λέβητας 200.000 KCAL/HR. Τα θερμομεταλλικά νερά της περιοχής έχουν παροχή 200 $M^3$/HR και θερμοκρασία 31 °C.

Στο σχήμα 1α φαίνονται οι απώλειες του κτιρίου για τις διάφορες θερμοκρασίες (θεωρούμε γραμμική μεταβολή) καθώς και η θερμική απόδοση Α.Θ.TRANE 207 Μ. (πίνακας 2).

Συμπληρώνουμε τις στήλες του πίνακα 3 λαμβάνοντας υπ' όψη τις Μετεωρολογικές συνθήκες της περιοχής κατά τις ώρες 7 π.μ. έως 10 μ.μ.

Από τον πίνακα 3 προκύπτει:

$$SPΓ = \frac{ΟΛΙΚΟ\ Θ}{ΟΛΙΚΟ\ Η} = \frac{253025.81}{70358.04} = 3.596$$

ΕΤΗΣΙΟ ΚΟΣΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ Δρχ.

= ΟΛΙΚΟ Η Χ Τιμή KWH=

70358.04 KWHR X 1 ΔΡΧ/KWHR = 703.580 ΔΡΧ

Η κατανάλωση ενέργειας ή καυσίμου (κατά VDI 2067-1957) είναι λόγω των θερμικών απωλειών του λέβητα και των σωληνώσεων, μεγαλύτερη από την απαίτηση θερμότητας δηλαδή:

$$B = \frac{BXQH}{HuXNGES}\ \text{σε KG/α}$$

Hu = Θερμογόνος δύναμη καυσίμου σε

NGES = Ολικός συντελεστής λέβητα και διανομής

$Q_H$ = Ωριαία απώλεια θερμότητας σε Λ

Ο ολικός συντελεστής απόδοσης NGES για μια θερμαντική περίοδο συνίσταται

NGES = NK-X NU X NST όπου

NK = Βαθμός απόδοσης του λέβητα (-0,72)

NU = Βαθμός απόδοσης διανομέα (-0,95 - 0,98)

NST = Βαθμός από δοσης στασιμότητας (-I)

'Αρα NGES = 0,72 X 0,98 X I = 0,70

| B(HR) | $Q_H$(KCAL/HR) | B X $Q_H$ |
|---|---|---|
| 14 | 200.000 | 2.800.000 |
| 22 | 175.000 | 3.850.000 |
| 29 | 165.000 | 4.785.000 |
| 92 | 145.000 | 13.340.000 |
| 454 | 115.000 | 52.210.000 |
| 916 | 85.000 | 77.860.000 |
| 653 | 60.000 | 39.180.000 |
| 610 | 35.000 | 21.350.000 |
| 222 | 10.000 | 2.220.000 |
| | | 217.595.000 |

$$B = \frac{217595000}{10000 \times 0,70} = 31085 \text{ LIT}$$

ΕΤΗΣΙΟ ΚΟΣΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ 31085 LIT X 31,5 Δρχ/lit =

= 979.177 Δρχ. και άρα με την Α.Θ. έχουμε οικονομία

$$\frac{703.580}{979.177} = 28,14\%$$ ΔΗΛΑΔΗ 275.597 Δρχ. τον χρόνο

Π Ι Ν Α Κ Α Σ 1.

ΑΠΟΔΟΣΕΙΣ Α.Θ. νερού/νερού MESSRS PFLUGER APPARATEBAU, HERN

| ΤΥΠΟΣ | 1 HWR 15 | 2 HWP 17 | 3 HWP 20 | 4 HWP 25 | 5 HWP 30 | 6 HWP 35 | 7 HWP 40 | 8 HPR 50 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ΘΕΡΜΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ KW | 17,4 | 19,8 | 25,6 | 29,1 | 34,8 | 39,6 | 48,8 | 58 |
| ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ K W | 3,75 | 4,36 | 5,84 | 6,90 | 7,53 | 8,74 | 11,9 | 12,81 |
| COP | 4.64 | 4,54 | 4,38 | 4,22 | 4,62 | 4,53 | 4,10 | 4,53 |

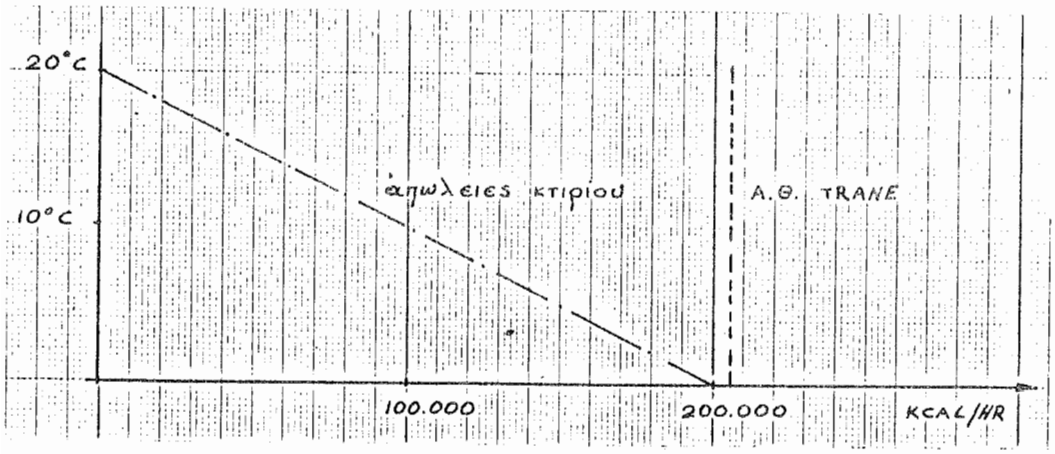
Π Ι Ν Α Κ Α Σ 2

ΑΠΟΔΟΣΕΙΣ Α.Θ. νερού/νερού TRANE EUROPE

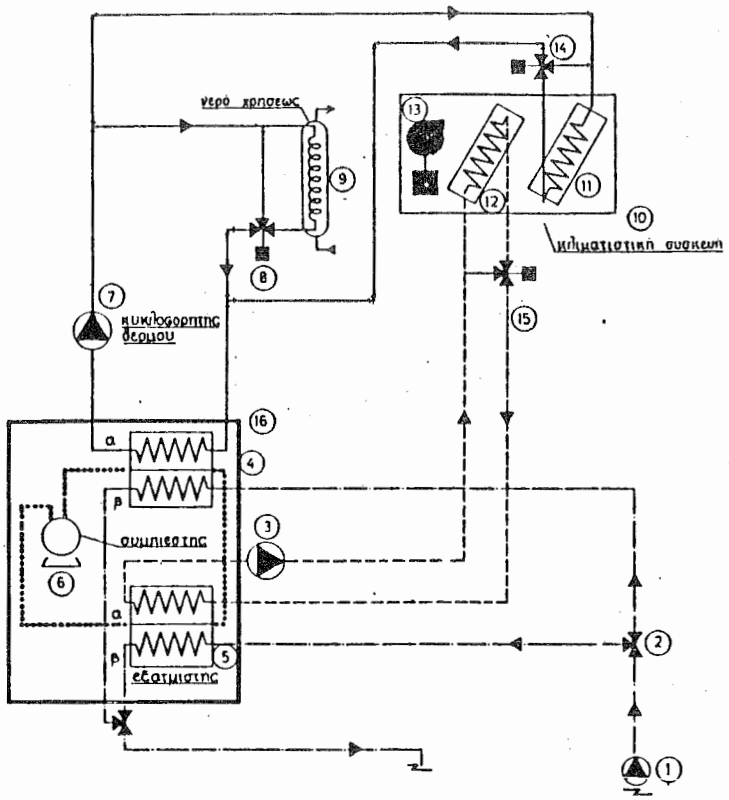
| ΤΥΠΟΣ | 11 207M | 12 208R | 13 209R | 14 211R | 15 213R | 16 214E | 17 215E | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ΘΕΡΜΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ KW | 254,5 | 348,9 | 417,9 | 501,5 | 214.8 | 706.5 | 802 | |
| ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ KW | 63,8 | 84 | 97,5 | 119.9 | 141.3 | 164.5 | 184.5 | |
| COP | 3,99 | 4,15 | 4,29 | 4,18 | 4,13 | 4,29 | 4,35 | |

Π Ι Ν Α Κ Α Σ 3

| ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΞΩΤΕΡ. ΘΕΡΜΟΚ. °C | ΣΥΝΟΛΟ ΩΡΩΝ | ΜΕΣΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΚΤΙΡΙΟΥ KCAL/HR | ΑΠΟΔΟΣΗ Α.Θ. KCAL/HR | ΕΠΙ ΤΟΙΣ % ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ Α.Θ. Ε=100ΧΓ/Δ | ΑΠΟΡΡΟΦΟΥΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΑΠΟ Χ.Θ. KW | ΟΛΙΚΗ ΑΠΟΡΡΟΦΟΥΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ Α.Ε. KWH Η=ΒΧΕΧΖ/100 | ΟΛΙΚΗ ΑΠΟΔΙΔΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΕ KWH ΑΠΟ Α.Θ. $I=\frac{BxExΔ}{86000}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Α | Β | Γ | Δ | Ε | Ζ | Η | Θ |
| 0-2 | 14 | 200.000 | 210.000 | 95.24 | 67.9 | 905.35 | 3255.88 |
| 2,1-3 | 22 | 175.000 | 210.000 | 83,33 | 67,9 | 1244,78 | 4476,56 |
| 3,1-4 | 29 | 165.000 | 210.000 | 78,57 | 67,9 | 1547,12 | 5563,85 |
| 4,1-7 | 92 | 145.000 | 210.000 | 69,05 | 67,9 | 4313,41 | 15512,16 |
| 7,1-10 | 454 | 115.000 | 210.000 | 54,76 | 67,9 | 16880,65 | 60707,19 |
| 10,1-13 | 916 | 85.000 | 210.000 | 40,48 | 67,9 | 25177,10 | 90543,86 |
| 13,1-15 | 653 | 60.000 | 210.000 | 28,57 | 67,9 | 12667,57 | 45555,86 |
| 15,1-18 | 610 | 35.000 | 210.000 | 16,67 | 67,9 | 6904,55 | 24830,55 |
| 18,1-20 | 222 | 10.000 | 210.000 | 4,76 | 67,9 | 717,51 | 2580,36 |
| Σ Υ Ν Ο Λ Ο | | | | | | 70358,04 | 253025,81 |



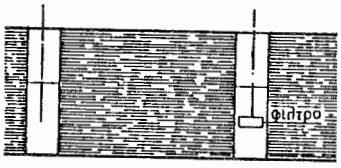

ΣΧΗΜΑ 1α



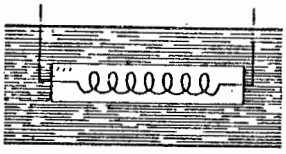

υπόμνημα

| | | | |
|---|---|---|---|
| ① | Αντλία υποχείων υδάτων | ⑨ | Boiler νερού χρήσεως |
| ② | Τρίοδος υποχείων υδάτων | ⑩ | Κλιματιστική συσκευή |
| ③ | Κυκλοφορητής κρύου | ⑪ | Στοιχείο θερμού |
| ④ | Συμπυκνωτής | ⑫ | Στοιχείο ψυχρού |
| ⑤ | Εξατμιστής | ⑬ | Ανεμιστήρας |
| ⑥ | Συμπιεστής | ⑭ | Τρίοδος θερμού |
| ⑦ | Κυκλοφορητής θερμού | ⑮ | Τρίοδος ψυχρού |
| ⑧ | Τρίοδος | ⑯ | Αντλία θερμότητας |

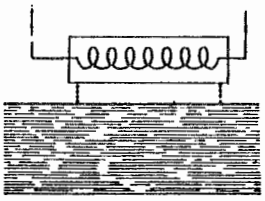
ΣΧΗΜΑ 1




ΣΧΗΜΑ 2



ΣΧΗΜΑ 3



ΣΧΗΜΑ 4

ΓΕΩ-23

# ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ RANKINE ΣΤΗΝ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ

Ι. Νικολαΐδης, Σ. Β. Παράς και Α. Ι. Καράμπελας
Εργαστήριο Τεχνολογίας Χημικών Εγκαταστάσεων
Τμήμα Χημικών Μηχανικών
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Η εφαρμογή του κύκλου Rankine για μετατροπή θερμότητας σε ηλεκτρική ενέργεια απαιτεί τη χρήση βοηθητικού ρευστού με ειδικά τεχνικά χαρακτηριστικά. Για την προκαταρκτική τεχνικοοικονομική μελέτη εγκαταστάσεων βασιζομένων στο κύκλο Rankine και την αξιολόγηση υποψηφίων βοηθητικών ρευστών αναπτύχθηκε κατάλληλο πρόγραμμα Η/Υ. Οι υπολογισμοί δείχνουν, μεταξύ των άλλων, ότι για γεωθερμικά ρευστά θερμοκρασίας μεγαλύτερης των 150$^{o}$C τα βοηθητικά ρευστά που πλεονεκτούν είναι η αμμωνία, το ισοβουτάνιο και το Freon-114, ενώ για θερμοκρασίες μικρότερες των 150$^{o}$C το προπάνιο, η αμμωνία και το Freon-12. Κατάλληλα βοηθητικά ρευστά ($i$-$C_4$, $NH_3$) μπορούν να αποδώσουν ισχύ μεγαλύτερη από 2 MWe ανά 100 ton/hr γεωθερμικού υγρού θερμοκρασίας 190$^{o}$C (περίπτωση Μήλου). Οι εκτιμήσεις του κόστους είναι ενθαρρυντικές, ενώ υπάρχουν προβλήματα που πρέπει να αντιμετωπισθούν.

ΛΕΞΕΙΣ - ΚΛΕΙΔΙΑ: Γεωθερμικά Ρευστά, Κύκλο Rankine ή Δυαδικό, Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας, Πρόγραμμα Η/Υ, Τεχνικοοικονομικοί υπολογισμοί.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ: Η επιλογή κατάλληλου βοηθητικού ρευστού είναι καθοριστική για την αποδοτική λειτουργία του κύκλου Rankine και την οικονομικά συμφέρουσα παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η συστηματική αξιολόγηση βοηθητικών ρευστών απαιτεί ολοκληρωμένους τεχνικοοικονομικούς υπολογισμούς. Για το σκοπό αυτό αναπτύχθηκε αλγόριθμος ο οποίος,με δεδομένα τη θερμοκρασία και παροχή του γεωθερμικού υγρού και τις ιδιότητες του βοηθητικού μέσου, επιτρέπει τον υπολογισμό της δυναμικότητας και του κόστους των συσκευών, της απολαμβανόμενης ισχύος, του βαθμού απόδοσης και του απαιτουμένου νερού ψύξης. Επί πλέον,με τη βοήθεια του αλγορίθμου,γίνεται οικονομική αξιολόγηση της εγκατάστασης με προσδιορισμό του ύψους επένδυσης, του κόστους της παραγόμενης ενέργειας και χαρακτηριστικών οικονομικών δεικτών. Στην εισήγηση αυτή συνοψίζονται τα αποτελέσματα υπολογισμών,ενώ λεπτομέρειες για την εγκατάσταση και τον αλγόριθμο δίδονται αλλού (Νικολαΐδης - 6).

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ - ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ

Τέσσερεις είναι οι βασικές διεργασίες του κύκλου Rankine (Σχήμα 1): α) Προθέρμανση, ατμοποίηση και υπερθέρμανση του βοηθητικού ρευστού σε συστοιχία εναλλακτών. β) Εκτόνωση σε στρόβιλο όπου παράγεται έργο μετατρεπόμενο σε ηλεκτρική ενέργεια. γ) Συμπύκνωση των ατμών του βοηθητικού ρευστού με νερό φύξης (από πύργο φύξης ή θάλασσα). δ) Αύξηση της πίεσης του βοηθητικού υγρού και ανακύκλωση με τη βοήθεια αντλίας.

Μεγάλης σημασίας για τη λειτουργικότητα και οικονομικότητα της εγκατάστασης είναι οι διεργασίες εναλλαγής θερμότητας (α) και (γ). Η απόληψη θερμότητας στο στάδιο (α) μπορεί να γίνει με συμβατικούς εναλλάκτες οπότε προστατεύεται το κύκλωμα του βοηθητικού ρευστού και ο στρόβιλος από ανεπιθύμητα αέρια και άλατα διαλελυμένα στο γεωθερμικό υγρό. Παράλληλα όμως οι εναλλάκτες μπορεί να αντιμετωπίσουν σοβαρά προβλήματα διάβρωσης ή/και απόθεσης αλάτων. Στην εργασία αυτή γίνεται δεκτή η χρήση συμβατικών εναλλακτών και σε άλλη εργασία (Φαλτσή (10)) μελετώνται εναλλάκτες "άμεσης επαφής", που φαίνεται να αποτελούν μιά ελκυστική λύση στο πρόβλημα.

Για τη συμπύκνωση στο στάδιο (γ)η λύση του πύργου φύξης είναι δαπανηρή και προϋποθέτει διαθεσιμότητα νερού, ενώ η συμφερώτερη λύση του θαλασσινού νερού (όταν υπάρχει) πρέπει να μην δημιουργεί προβλήματα θερμικής ρύπανσης. Στην εργασία αυτή έχουν ληφθεί υπόψη και οι δύο λύσεις.

Οι βασικές παραδοχές που έγιναν κατά τους υπολογισμούς είναι οι εξής:

1. Νερό φύξης διαθέσιμο στους $80^{O}F$.
2. Ελάχιστη θερμοκρασιακή προσέγγιση ρευμάτων $20^{O}F$ για εναλλάκτη και $10^{O}F$ για συμπυκνωτή.
3. Συντελεστής ισεντροπικής μεταβολής στροβίλου 0.85. Η τιμή αυτή προτείνεται απ' τους Bergmann και Mafi (1) για πτώση ενθαλπίας στο στρόβιλο μέχρι και 50 Btu/lb, πράγμα που ισχύει για τα περισσότερα υπό εξέταση βοηθητικά ρευστά.
4. Απόδοση αντλίας τροφοδοσίας 75% και γεννήτριας 85%.
5. Το γεωθερμικό ρευστό έχει ιδιότητες καθαρού νερού.
6. Αγνοείται το κόστος των γεωτρήσεων επειδή θεωρείται ότι επιβαρύνει κυρίως τη βασική μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τον ατμό του γεωθερμικού μίγματος.
7. Ετήσιες δαπάνες για συντήρηση - επισκευές 5% της παγίας επένδυσης. Συντελεστής απόσβεσης 10%.
8. Η οικονομική ανάλυση έγινε για το έτος 1985.

ΤΡΟΠΟΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΒΟΗΘΗΤΙΚΟΥ ΡΕΥΣΤΟΥ

Πολλά κριτήρια επιλογής βοηθητικού ρευστού έχουν προταθεί στη βιβλιογραφία (π.χ. Sherwood (8), James (3), Kihara και Fukunaga (4)) και μπορούν να ταξινομηθούν ως εξής:

α) Τεχνικά χαρακτηριστικά του ρευστού. Πίεση συμπύκνωσης, κρίσιμη θερμοκρασία, μοριακό βάρος, κλίση καμπύλης κεκορεσμένου ατμού σε διάγραμμα πίεσης-ενθαλπίας, ειδικός όγκος, λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης-σημείο βρασμού, θερμική αγωγιμότητα, ιξώδες, χημική σταθερότητα, διαβρωτικότητα.

β) Ασφάλεια. Το ρευστό πρέπει να μην είναι τοξικό και εύφλεκτο.

γ) Οικονομικότητα. Επιθυμητό το χαμηλό κόστος προμήθειας και αποθήκευσης του ρευστού.

Ο σχετικά μεγάλος αριθμός κριτηρίων αλλά και υποψηφίων ρευστών καθιστούν δυσχερή την επιλογή.

Όπως δείχνουν οι πρόσφατες ανακοινώσεις των Hirons et al (2), Mink et al (5), Salucci et al (7) και Yihan (9) παρατηρείται σημαντική δραστηριότητα σε διεθνή κλίμακα για την έρευνα και ανάπτυξη μονάδων βασισμένων στο κύκλο Rankine. Οι παραπάνω ανακοινώσεις δείχνουν επίσης ότι υπάρχουν πολλά ερωτήματα, σχετικά με τη επιλογή του βοηθητικού ρευστού και το σχεδιασμό των εγκαταστάσεων, που πρέπει να απαντηθούν.

Στην εργασία αυτή ακολουθείται η εξής μεθοδολογία: Γίνεται συνδυασμένη χρήση των προαναφερομένων κριτηρίων και μελετώνται οι επιπτώσεις των τεχνικών χαρακτηριστικών των ρευστών στην οικονομικότητα της συνολικής εγκατάστασης. Πιστεύεται ότι η μεθοδολογία οδηγεί στη σωστή επιλογή του βοηθητικού μέσου για δεδομένη θερμοκρασία και παροχή του γεωθερμικού ρευστού.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΧΟΛΙΑ

Οι βασικές μεταβλητές που μελετώνται είναι η θερμοκρασία και παροχή του γεωθερμικού υγρού και το είδος του βοηθητικού ρευστού. Επίσης χρησιμοποιείται για συντομία ο όρος "άλμη" αντί γεωθερμικό υγρό.

Θερμοκρασία άλμης. Είναι φυσικό ότι αύξηση της θερμοκρασίας συνεπάγεται αύξηση της απολαμβανόμενης ισχύος P (Σχήμα 2) και μείωση του κόστους C της παραγόμενης ενέργειας (Σχήμα 3). Είναι χαρακτηριστική η μεγάλη αύξηση του κόστους για θερμοκρασίες μικρότερες από ∿ 150°C.

Τα ίδια αποτελέσματα προκύπτουν με διάφορα βοηθητικά ρευστά που εξετάζονται για θερμοκρασίες άλμης 380°F ≃ 193°C (Πίνακας 1) και 185°F = = 85°C (Πίνακας 2). Για θερμοκρασία 185°F η απόδοση (kWh/ton άλμης) είναι μικρή ενώ το κόστος ενέργειας υψηλό με αποτέλεσμα να είναι αντι-

οικονομική η λειτουργία της εγκατάστασης με σημερινά δεδομένα. Για 380°F το κόστος της ενέργειας είναι γενικά 3-4 φορές μικρότερο (σε σχέση με άλμη 185°F), ενώ η παραγόμενη ισχύς είναι 15-20 φορές μεγαλύτερη.

Παροχή άλμης. Είναι ενδιαφέρον ότι το κόστος της ενέργειας δεν επηρεάζεται σημαντικά για παροχές άλμης μεγαλύτερες από ∿ 200 ton/hr (Σχήμα 4). Επίσης η επίδραση της παροχής στο ύψος επένδυσης δεν φαίνεται να είναι μεγάλη στην περιοχή των μεγάλων παροχών (Σχήμα 5).

Επιλογή βοηθητικού ρευστού. Βασικά μεγέθη για την αξιολόγηση βοηθητικών ρευστών είναι η απολαμβανόμενη καθαρή ισχύς, το επενδεδυμένο κεφάλαιο ανά kW, το κόστος της ενέργειας και η καθαρή ισχύς ανά τόνο διαθέσιμης άλμης. Στον Πίνακα 1 δίδονται τα αποτελέσματα υπολογισμών με τα επικρατέστερα βοηθητικά ρευστά για θερμοκρασία άλμης 380°F, παροχή 400 ton/hr και για περιπτώσεις πύργου ψύξης και ψύξης με θαλασσινό νερό. Είναι φανερό ότι η χρησιμοποίηση πύργου ψύξης επιβαρύνει σημαντικά την πάγια επένδυση και τις δαπάνες λειτουργίας.

Καμμία ουσία στον Πίνακα 1 δεν φαίνεται να υπερτερεί και ως προς τα τέσσερα προαναφερθέντα κριτήρια. Εν τούτοις η αμμωνία, το Freon-114 και το ισοβουτάνιο (i-$C_4$) υπερτερούν σχετικά, αφού παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη απόδοση και ισχύ και τη μικρότερη επένδυση ανά kW. Το i-$C_4$, που υστερεί μόνο ως προς το επενδεδυμένο κεφάλαιο αλλά υπερτερεί στα άλλα τρία κριτήρια, συνιστάται από τους περισσότερους ερευνητές (π.χ. Kihara και Fukunaga (4)) γιατί επιπλέον είναι φθηνό, μη τοξικό, μη διαβρωτικό και συμπυκνώνεται σε μέτριες θερμοκρασίες και πιέσεις. Πρέπει να προστεθεί ότι ευνοϊκά αποτελέσματα προκύπτουν από μίγματα βοηθητικών ρευστών ιδιαίτερα όταν απαιτείται πύργος ψύξης.

Στον Πίνακα 2 συνοψίζονται αποτελέσματα για θερμοκρασία άλμης 185°F. Ο αριθμός των υποψηφίων βοηθητικών ρευστών είναι περιωρισμένος (σε σύγκριση με τον Πίνακα 1) γιατί πολλές ουσίες δεν πληρούν βασικές τεχνικές προϋποθέσεις για χαμηλές θερμοκρασίες λειτουργίας. Το προπάνιο, το F-11 και η αμμωνία υπερτερούν σαυτή την περίπτωση.

Αποδοτικότητα Επένδυσης - Προβλήματα. Στο Σχήμα 6 δίδονται τιμές των δεικτών "χρόνος εξόφλησης" (POT) και "απόδοση με βάση την αρχική επένδυση" (ROI), για εγκαταστάσεις με πύργο ψύξης, σαν συνάρτηση της τιμής πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας (¢/kWh). Για τιμές 6-8 ¢/kWh ο χρόνος εξόφλησης κυμαίνεται μεταξύ 5-3 χρόνια και ο δείκτης ROI από 7-20%. Οι τιμές αυτές των δεικτών και οι εκτιμήσεις κόστους της ενέργειας για ρευστά θερμοκρασίας 193°C (περίπτωση Μήλου) και παροχές άνω των 150 tn/hr είναι ενθαρρυντικές. Για να προωθηθεί όμως η εφαρμογή

του κύκλου Rankine πρέπει προηγουμένως να αντιμετωπισθούν επιτυχώς ωρισμένα σοβαρά προβλήματα, όπως ο καθορισμός κατάλληλης μεθόδου εναλλαγής θερμότητας μεταξύ γεωθερμικού ρευστού και βοηθητικού μέσου, όταν το πρώτο έχει την τάση να δημιουργεί αποθέσεις αλάτων. Άλλα προβλήματα επίσης πιθανώς να δημιουργεί η διάθεση του "ψυχρού" γεωθερμικού υγρού μετά την εκμετάλλευση, και η διαθεσιμότητα νερού ψύξης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ


1. Bergmann, D. and D. Mafi, "Selection Guide for Expansion Turbines", Hydrocarbon Process., 58, 8, p. 83, 1979.
2. Hirons, B.W., et al "The Conceptual Design of a 4 MWe Organic Fluid Power Plant for a Geothermal Resource", Proceedings, Intern. Conference on Geothermal Energy, Vol. 2, p. 265, Florence, Italy, May 11-14, 1982.
3. James, C.R. "The Applicability of the Binary Cycle", Proceedings, 2nd U.N.Symposium on the Development and Use of Geothermal Resources, Vol. 1, Sect VIII, p. 2007, San Francisco, 1975.
4. Kihara, D.H. and P.S.Fukunaga, "Working Fluid Selection and Preliminary Heat Transfer Design for a Rankine Cycle Geothermal Power Plant", Proceedings, 2nd U.N. Symposium on the Development and Use of Geothermal Resources, Vol. 1, Sect VIII, p. 2013, S. Franc.,1975.
5. Mink, L.L. et al "The Raft River Idaho 5 MWe Binary Project", Proceedings, Inter. Conference on Geothermal Energy, Vol. 2, p. 283, Florence, May 1982.
6. Νικολαΐδης Ι. "Εφαρμογή του κύκλου Rankine στην αξιοποίηση γεωθερμικών ρευστών", Διπλωμ. Εργασία Τμήμα Χημ. Μηχαν., Α.Π.Θ., Μάϊος 1983.
7. Salucci, B. et al "A 500 kWe ORC Plant for the Recovery of Heat from Geothermal Water, Proceedings, Intern. Conference on Geothermal Energy, Vol. 2, p. 249, Florence, Italy, 1982.
8. Sherwood, T.K. "Process Design for Geothermal Power", Chem. Eng. Progr., 72, 7, p. 83, 1976.
9. Yihan, C. "Research Work on Binary Cycle Geothermal Power Production in China", Proceedings, Intern. Conference on Geothermal Energy, Vol. 1, p. 49, Florence, Italy, May 11-14, 1982.
10. Φαλτσή Ο. "Αρχές σχεδιασμού και μαθηματική προσομοίωση εναλλάκτη άμεσης επαφής", Διπλωμ. Εργασία Τμήμα Χημ. Μηχαν., Α.Π.Θ., 1985.

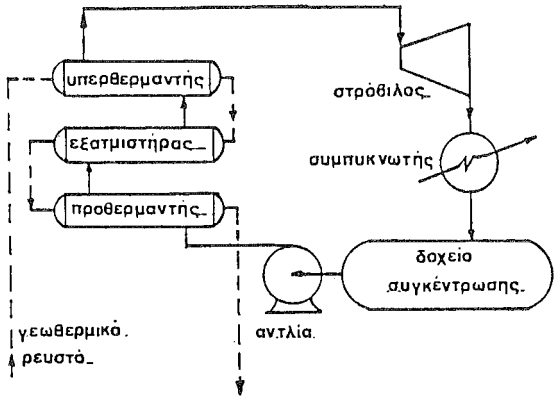
ΠΙΝΑΚΑΣ 1: Αποτελέσματα τεχνικοοικονομικών υπολογισμών για θερμοκρασία άλμης 193°C (380°F) και παροχή 400 tn/hr

| Βοηθητικό Ρευστό | Ισχύς (MW) | Επένδυση ($/kW) | | Κόστος ενέργειας ($/kWh) | | Νερό φύξης/ γεωθερ. ρευστό | Απόδοση ανά τόνο άλμης kWh/MT |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Πύργος φύξης | Θαλασσινό νερό | Πύργος φύξης | Θαλασσινό νερό | | |
| F-11 | 5.445 | 2167 | 1549 | 0.080 | 0.045 | 9.99 | 13.613 |
| F-12 | 7.095 | 2387 | 1792 | 0.090 | 0.054 | 14.57 | 17.738 |
| F-113 | 5.107 | 2327 | 1672 | 0.090 | 0.045 | 9.87 | 12.768 |
| F-114 | 8.223 | 1820 | 1331 | 0.075 | 0.046 | 13.42 | 20.558 |
| F-113/F-114(3:1) | 4.957 | 1770 | 1404 | 0.065 | 0.046 | 3.57 | 12.393 |
| $NH_3$ | 7.296 | 1910 | 1290 | 0.068 | 0.029 | 16.23 | 18.240 |
| $C_2H_5Cl$ | 5.250 | 2107 | 1500 | 0.068 | 0.036 | 9.11 | 13.125 |
| i-$C_4$ | 8.695 | 1916 | 1430 | 0.061 | 0.031 | 14.60 | 21.738 |
| i-$C_5$ | 5.105 | 2239 | 1600 | 0.072 | 0.037 | 9.48 | 12.763 |
| i-$C_4$/i-$C_5$(1:3) | 4.912 | 1890 | 1485 | 0.053 | 0.034 | 4.15 | 12.280 |

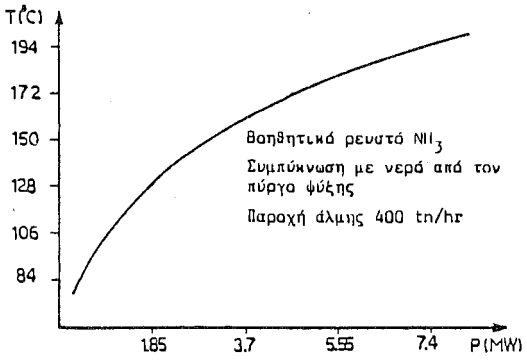
ΠΙΝΑΚΑΣ 2: Αποτελέσματα τεχνικοοικονομικών υπολογισμών για θερμοκρασία άλμης 85°C (185°F) και παροχή 400 tn/hr*

| Βοηθητικό ρευστό | Κόστος ενέργειας ($/kWh) | Επένδυση ($/kW) | Ισχύς (kW) | Απόδοση (kWh/MT) |
|---|---|---|---|---|
| F-12 | 0.250 | 7166 | 397 | 0.993 |
| F-11, F-12 | 0.294 | 8219 | 334 | 0.835 |
| $CH_3Cl$ | 0.205 | 6966 | 388 | 0.970 |
| $CH_3Cl$, $C_2H_5Cl$ | 0.221 | 10399 | 346 | 0.865 |
| $NH_3$ | 0.218 | 7859 | 394 | 0.985 |

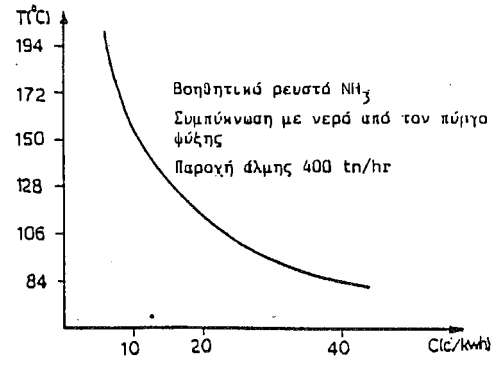
* Συμπύκνωση με θαλασσινό νερό



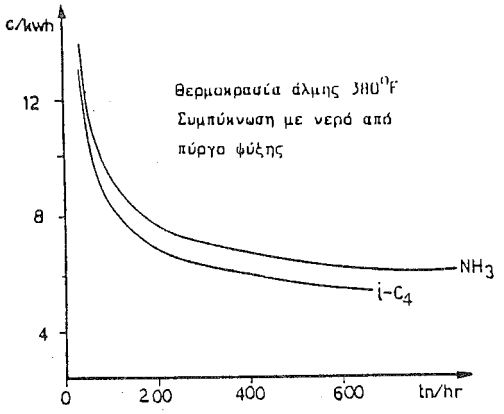

ΣΧΗΜΑ 1
Γενική διάταξη εγκατάστασης για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με κύκλο Rankine



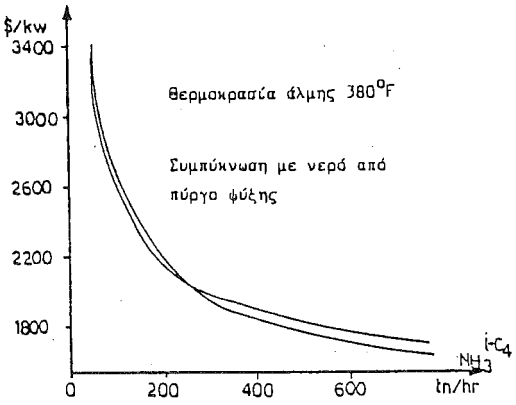

ΣΧΗΜΑ 2
Μεταβολή της ισχύος με τη θερμοκρασία άλμης



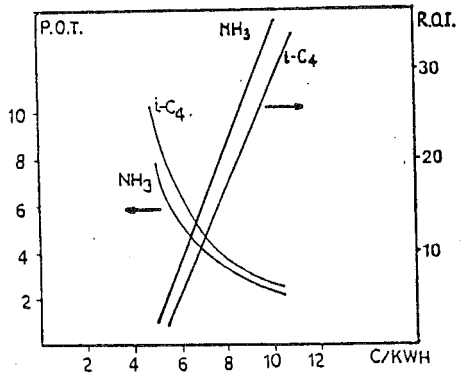

ΣΧΗΜΑ 3
Μεταβολή του κόστους της ενέργειας με την θερμοκρασία της άλμης




ΣΧΗΜΑ 4
Μεταβολή του κόστους ενέργειας με την παροχή της άλμης




ΣΧΗΜΑ 5
Μεταβολή της επένδυσης με την παροχή της άλμης




ΣΧΗΜΑ 6
Εξάρτηση δεικτών POT και ROI από την τιμή πώλησης της ηλεκτρ. ενέργειας (Παροχή άλμης 400 tn/hr, θερμοκρασία άλμης 380°F)

ΓΕΩ-31

# ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ-ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΣΤΗ ΝΗΣΟ ΜΗΛΟ

Ν.Κουμούτσος Καθηγητής ΕΜΠ

Ι.Μακατσώρης Μηχ-Ηλεκτρολόγος Μηχ. Επιστ.Συνεργάτης ΕΜΠ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ : Στην εργασία αυτή εξετάζεται η δυνατότητα αφαλάτωσης νερού με χρήση γεωθερμικής ενέργειας από επιφανειακά πεδία.

Στην αρχή αναφέρονται οι διάφορες μέθοδοι αφαλάτωσης, στη συνέχεια καθορίζονται οι κύριες λειτουργικές παράμετροι μιας μονάδας αφαλάτωσης με γεωθερμικό ρευστό θερμοκρασίας 80 $^{o}$C περίπου και ακολούθως επιλέγεται η μέθοδος αφαλάτωσης. Για την περίπτωση προκρίνεται η μέθοδος των πολλαπλών φαινομένων.

Εξετάζεται ακόμη η γεωθερμική πηγή καθορίζεται ο τρόπος απόληψης της ενέργειας και εκτιμάται το μέγεθος της επιφάνειας συλλογής.

Τέλος προσδιορίζονται οι παράγοντες κόστους της μονάδας και εκτιμάται το κόστος του παραγόμενου νερού.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ : Επιφανειακό γεωθερμικό πεδίο, πολυβάθμια εκρηκτική εξάτμιση, πολυβάθμια απόσταξη με πολλαπλό φαινόμενο, βαθμός αξιοποίησης ενέργειας.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εργασία αυτή αποβλέπει στη διερευνητική μελέτη των δυνατοτήτων αφαλάτωσης θαλάσσιου νερού με αξιοποίηση των επιφανειακών - κοντά στην επιφάνεια του εδάφους - γεωθερμικών πεδίων, μέσης ή χαμηλής ενθαλπίας, που συναντώνται σε πολλά σημεία στη νήσο Μήλο.

Η μελέτη στηρίζεται, όσον αφορά τις μεθόδους αφαλάτωσης, στην εμπειρία που έχει αποκτηθεί και καταγραφεί στη βιβλιογραφία /1/, /2/ καθώς επίσης και στα μέχρι σήμερα αποτελέσματα των ερευνών που διεξάγει το ΙΓΜΕ στη Μήλο για επιφανειακά πεδία χαμηλής ή μέσης ενθαλπίας.

Στη μελέτη αυτή γίνεται διερεύνηση των δυνατοτήτων προσαρμογής των κύριων μεθόδων αφαλάτωσης που χρησιμοποιούν θερμική ενέργεια υπό μορφή ατμού, για λειτουργία με θερμική ενέργεια θερμοκρασίας 80 $^{o}$C. Η επιλογή αυτή γίνεται γιατί κρίνεται πως το αποτέλεσμα από οικονομική σκοπιά μπορεί να είναι ικανοποιητικότερο σε σχέση με τη χρήση γεωθερμικού ατμού, ή τη συμπαραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και αφαλατωμένου νερού. Επιπλέον η προτεινόμενη εγκατάσταση, με τις χαμηλές θερμοκρασίες λειτουργίας της, περιορίζει στο ελάχιστο τα προβλήματα καθαλατώσεων άρα ελαχιστοποιεί τις ανάγκες συντήρησης και μειώνει το λειτουργικό κόστος.

Οι θετικές ενδείξεις της προτεινόμενης μεθόδου τόσο ως προς τις δυνατότητες όσο και ως προς το προϋπολογιζόμενο κόστος, φαίνεται να ανοίγουν κάποιο δρόμο για την αξιολόγηση της μεθόδου με εγκατάσταση και λειτουργία μιας μονάδας πιλότου (pilot-plant). Η λειτουργία μιας τέτοιας μονάδας θα καθορίσει με ακρίβεια και τη δυναμικότητα του πεδίου, αφού θα μπορούμε να έχουμε αποδόσεις και για μια μεγάλη σχετικά επιφάνεια συλλογής και για μια μεγάλη χρονική περίοδο.

## 2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ /1/

Η αφαλάτωση του θαλασσινού νερού έχει καταστεί απαραίτητη για αρκετές περιοχές της χώρας. Η αυξανόμενη ζήτηση πόσιμου νερού και σε ποσότητα και σε ποιότητα δεν μπορεί να καλυφθεί πλέον από υπάρχουσες συμβατικές πηγές.

Αφαλάτωση νερού μπορεί να γίνει με μια από τις ακόλουθες μεθόδους: (α) ηλεκτροδιάλυση, (β) αντίστροφη ώσμωση, (γ) πήξη του νερού και (δ) απόσταξη. Η επιλογή της μεθόδου που θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται κατά κύριο λόγο από την αλατότητα του υπό κατεργασία νερού. Για το θαλασσινό νερό (μέση αλατότητα 35.000 ppm) και το σημερινό επίπεδο ανάπτυξης της τεχνολογίας η πλέον κατάλληλη τεχνική είναι της απόσταξης. Η ηλεκτροδιάλυση και η αντίστροφη όσμωση μόνο σε πειραματικό επίπεδο έχουν εφαρμοστεί για αφαλάτωση θαλασσινού νερού, η δε πήξη πρέπει να αποκλειστεί γιατί είναι ενεργειακά ασύμφορη, ενώ μπορεί να δώσει αποτελέσματα ποιοτικώς ανάλογα με την απόσταξη. Το απόσταγμα έχει συνήθως αλατότητα 50 ppm περίπου.

Οι βασικές τεχνικές της απόσταξης που χρησιμοποιούνται σήμερα σε ευρεία (ευρύτατη) εμπορική εφαρμογή είναι δύο : Η πρώτη και παλιότερη είναι η πολυβάθμια απόσταξη με εκρηκτική εξάτμιση (multi stage flash distillation - MSF), Σχ. 1. Εξέλιξη και τελειοποίηση της προηγούμενης αποτελεί η (πολυβάθμια) απόσταξη πολλαπλού φαινομένου - με βρασμό και εκρηκτική εξάτμιση - (multiple effect distillation- ME), Σχ. 2.

## 3. ΕΠΙΛΟΓΗ ΒΑΣΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

Ο σχεδιασμός μιας μονάδας αφαλάτωσης επιβάλλει τον καθορισμό μιας σειράς παραμέτρων, των οποίων η συνολική εκτίμηση οδηγεί στην αξιολόγηση της οικονομικότητας της επένδυσης και στον καθορισμό του κόστους του τελικού προϊόντος. Οι παράμετροι είναι οι ακόλουθοι :

(α) το ποσοστό του χρόνου λειτουργίας στη διάρκεια του έτους (on stream factor)

(β) η ενέργεια που θα χρησιμοποιηθεί και τό κόστος της

(γ) το είδος, η ποσότητα και το κόστος των χημικών προσθέτων για τον περιορισμό των καθαλατώσεων

(δ) η αναγκαία ποσότητα αφαλατωμένου νερού για την περιοχή άρα το μέγεθος της μονάδας

(ε) οι απαιτήσεις σε καθαρότητα του απεσταγμένου νερού

(στ) η μέθοδος απόσταξης (MSF ή ΜΕ) και ο αριθμός των βαθμίδων σε κάθε περίπτωση

(ζ) ο βαθμός αξιοποίησης της ενέργειας τής μονάδας (Β.Α.Ε.)

(η) οι θερμοκρασίες του κύκλου απόσταξης

(θ) οι μέθοδοι προστασίας από διάβρωση και τα υλικά κατασκευής των διαφόρων στοιχείων της μονάδας.

Οι παράγοντες αυτοί θα εξετασθούν με σκοπό να καθορισθούν τα βασικά χαρακτηριστικά της μονάδας αφαλάτωσης που θα χρησιμοποιεί ως πηγή ενέργειας νερό θερμοκρασίας 80 °C το οποίο θα προέρχεται από την αξιοποίηση επιφανειακών γεωθερμικών πεδίων.

Καθορίζουμε ως Β.Α.Ε. μιας μονάδας αφαλάτωσης την ποσότητα αποστάγματος ανά 1000 Btu προσφερόμενης θερμικής ενέργειας. Για ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους με παράλληλη ελαχιστοποίηση του κόστους κεφαλαίου μια οικονομία μονάδας 8.2 lb/1000 Btu είναι η αρίστη (βλέπε Σχ. 1). Το μέγεθος αυτό καθορίζει τη συνολικά απαιτούμενη ενέργεια για την αφαλάτω-

ση, σε συνδυασμό με τη συνολική απαίτηση παραγωγής πόσιμου νερού /2/.

Ο πληθυσμός της Μήλου σήμερα είναι 4500 κάτοικοι. Αν θεωρήσουμε μέση ημερήσια κατανάλωση 150 lt ανά άτομο τότε απαιτούνται 675 $m^3$ ημερησίως. Για λόγους κάλυψης μελλοντικών αναγκών, διακοπών λειτουργίας κ.λπ. επιλέγεται μονάδα με ικανότητα παραγωγής ποσίμου νερού 1000 $m^3$ ημερησίως.

Οι συνθήκες υπό τις οποίες θα λειτουργεί ο κύκλος της αφαλάτωσης θα καθοριστούν με βάση την υπάρχουσα εμπειρία και τις δυνατότητες που παρέχει η ενεργειακή πηγή. Η ελαχίστη θερμοκρασία στους αποστακτήρες σύμφωνα με τη διεθνή πρακτική μπορεί να είναι 35 $^oC$ περίπου /2/. Η μεγίστη θερμοκρασία του προς απόσταξη νερού καθορίζεται από τη θερμαντική πηγή, της οποίας η θερμοκρασία μπορεί να είναι 80 $^oC$ (ελαχίστη) και είναι συνήθως 75 $^oC$. Προκύπτει έτσι διαφορά θερμοκρασίας 40 $^oC$. Η διαφορά αυτή είναι αρκετά χαμηλή, ώστε να επιβάλλεται η κυκλοφορία μεγαλύτερων ποσοτήτων νερού προς την αποστακτική συσκευή, σε σύγκριση με τη θέρμανσή του με ατμό. Απαιτεί λοιπόν υψηλότερη δαπάνη για την εγκατάσταση και λειτουργία του συγκροτήματος κυκλοφορίας του νερού προς και από τη θάλασσα.

Ο σχεδιασμός της μονάδας πρέπει να γίνει με ποσοστό χρόνου λειτουργίας 85 % σύμφωνα με τη διεθνή πρακτική /2/.

Δεν απαιτείται προσθήκη χημικών προσθέτων για αποφυγή καθαλατώσεων γιατί η μεγίστη θερμοκρασία είναι χαμηλότερη από 170 $^oF$ /2/.

Η απαέρωση και το κενό που είναι αναγκαία για τη λειτουργία της μονάδας μπορεί να γίνονται με χρήση ατμού. Για το σκοπό αυτό πρέπει να εγκατασταθεί μικρή ατμοπαραγωγός μονάδα, που θα παράγει κεκορεσμένο ατμό υψηλής πίεσης.

Η θέρμανση του προς απόσταξη νερού στις απαιτούμενες συνθήκες θα γίνεται σε εναλλάκτη θερμότητας. Στο ένα ρεύμα κυκλοφορεί το προς απόσταξη νερό αφού προηγουμένως προθερμανθεί στους εξατμιστές, ενώ στο άλλο, νερό που θερμαίνεται με αξιοποίηση επιφανειακών γεωθερμικών πεδίων.

Κρίσιμο στοιχείο που πρέπει να προκαθοριστεί είναι η συγκεκριμένη μέθοδος απόσταξης. Η επιλογή θα γίνει μεταξύ των μεθόδων MSF και ΜΕ. Είναι γνωστό ότι στη μέθοδο ΜΕ επιτυγχάνονται καλύτεροι συντελεστές μετάδοσης θερμότητας, άρα απαιτούνται μικρότερες επιφάνειες συναλλαγής, δεν απαιτείται κυκλοφορία σημαντικά μεγαλύτερων ποσοτήτων νερού για απόσταξη πάνω από τη στοιχειομετρικά απαραίτητη, επίσης οι δαπάνες για τις μελλοντικές κατασκευές είναι μειωμένες σε σχέση με αντίστοιχες για τη μέθοδο MSF, επιτυγχάνεται επίσης ενεργειακή οικονομία γιατί το θαλασσινό νερό δεν θερμαίνεται πάνω από το σημείο βρασμού του όπως στην MSF πράγμα κρίσιμο για την περίπτωσή μας, η συγκέντρωση αλάτων του προς απόσταξη υγρού δεν είναι σταθερή στο ανώτατο σημείο αλλά αυξάνει συνεχώς μέχρι τη μεγίστη τιμή που επιτυγχάνεται στην τελευταία βαθμίδα. Αυτό συνεπάγεται τη μικρότερη δυνατή επίδραση στις βαθμίδες από καθαλατώσεις. Η μέθοδος MSF απαιτεί μεγαλύτερη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας λόγω της ανάγκης ανακυκλοφορίας. Τέλος η ΜΕ απαιτεί μονάδα πιο απλή από την MSF γιατί θέλει λιγότερες βαθμίδες (τάξη μεγέθους 1:3). Για τους λόγους αυτούς επιλέγεται η μέθοδος απόσταξης πολλαπλών φαινομένων (ΜΕ) /2/.

## 4. ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ ΣΤΗ ΜΗΛΟ

Στη Μήλο έχουν εντοπισθεί ενδιαφέροντα γεωθερμικά πεδία σε μικρό βάθος από την επιφάνεια, και ήδη έχει αρχίσει η διεξαγωγή ερευνών από το ΙΓΜΕ για να προσδιορισθούν τα χαρακτηριστικά των πεδίων αυτών. Το πρώτο πεδίο που διερευνήθηκε αφορούσε μια περιοχή σε απόσταση 2 km περίπου από τον Αδάμαντα, προς Βορρά. Από τα πειράματα που έγιναν προσδιορίσθηκε ότι η απόδοση των πεδίων σε βάθος 1 m από την επιφάνεια του εδάφους είναι 800÷ 900 kcal/h $m^2$ ενώ η θερμοκρασία στο βάθος αυτό είναι

90 $^{o}$C /3/.

Βέβαια τα αποτελέσματα αυτά έχουν προσωρινό χαρακτήρα γιατί απαιτούνται μακροχρόνια πειράματα για τον ακριβή προσδιορισμό των μεγεθών που αναφέρθηκαν· κυρίως για να διερευνηθεί η επίδραση του χρόνου πάνω σε αυτά. Πάντως, οι εκτιμήσεις που θα ακολουθήσουν θα στηριχθούν σε αυτά τα αποτελέσματα παρ'όλο τον προσωρινό τους χαρακτήρα.

Η συλλογή της θερμότητας μπορεί να γίνεται με τοποθέτηση στο έδαφος σε κατάλληλο βάθος δέσμης οριζοντίων σωλήνων σε παράλληλη διάταξη και σε ικανό μήκος. Αμφότερα τα άκρα των σωλήνων
σε κοινό συλλεκτήριο αγωγό. Από τον εναλλάκτη της μονάδας αφαλάτωσης θα ξεκινά δέσμη σωλήνων στη συνέχεια θα οδεύει μέσα στο έδαφος σε τόσο μήκος ώστε να αυξηθεί η θερμοκρασία του νερού στο μέγιστο δυνατό βαθμό (χωρίς ατμοποίηση) και θα επιστρέφει στον εναλλάκτη. Οι μέχρι τώρα δοκιμές επί τόπου έδειξαν την ανάγκη για χρήση σωλήνων από υλικό που να αντέχει σε υψηλές σχετικά θερμοκρασίες και ταυτόχρονα στη διαβρωτική επίδραση του εδάφους. Έτσι, μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε σιδηροσωλήνες με ειδική ασφαλτική προστασία, είτε σωλήνες πολυπροπυλενίου που αντέχουν σε θερμοκρασίες υψηλότερες των 100 $^{o}$C. Η διάταξή τους μέσα στο έδαφος φαίνεται στο σχήμα 4. Λαμβάνοντας υπόψη την οικονομία της μονάδας όπως καθορίσθηκε προηγουμένως, την ωριαία παραγωγή αφαλατωμένου νερού και την απόδοση του γεωθερμικού πεδίου προκύπτει ότι απαιτείται συλλογή ενέργειας με ρυθμό $3.12 \times 10^{7}$ kcal/h με αντίστοιχη επιφάνεια εναλλαγής θερμοκρασίας ίση με 3670 m$^{2}$.

Οι μεγάλες ποσότητες νερού που πρέπει να κυκλοφορούν μέσα στον εναλλάκτη της μονάδας,σε συνδυασμό με τη χαμηλή θερμοκρασία του, επιβάλλουν την εγκατάσταση της μονάδας κοντά στο γεωθερμικό πεδίο, παρά την αυξημένη δαπάνη για κυκλοφορία του προς αφαλάτωση νερού και του αλμόλοιπου.

## 5. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΟΣΤΟΥΣ

Η τιμή κόστους του παραγόμενου νερού, ανά m$^{3}$, καθορίζεται από τους ακόλουθους παράγοντες :

(α) δαπάνη κεφαλαίου
(β) λειτουργικό κόστος

Η δαπάνη για την κατασκευή της μονάδας είναι 120.000.000 δρχ./4/ ενώ για την επιφάνεια συλλογής 60.000.000 δρχ. /5/ άρα η συνολική δαπάνη ανέρχεται σε Δρχ. 180.000.000. Αν δεχθούμε 20 έτη ως περίοδο πληρωμής του δανείου τότε κάθε χρόνο το κόστος επιβαρύνεται με χρηματοοικονομικά έξοδα 16.650.000 δρχ. (μέση επιβάρυνση τόκων, επιτόκιο 18 %).

Η μονάδα θα πρέπει να αποσβεσθεί σε 10 έτη άρα το κόστος επιβαρύνεται με 18.000.000 δρχ.

Το συνολικό κόστος συνίσταται από δαπάνη προσωπικού, ηλεκτρικής ενέργειας και συντήρησης /2/

| | | |
|---|---|---|
| προσωπικό /2/ | 10 άτομα X 1.000.000 | = 10.000.000 |
| συντήρηση | 3 % X 180.000.000 | = 5.400.000 |
| ηλ.ενέργεια /2/ | 88 KW X 24 X 365 X0,85X8 | = 5.242.000 |
| | | 20.642.000 |

Άρα η συνολική επιβάρυνση του κυβικού μέτρου για παραγωγή 1000 m3 την ημέρα είναι:

$$\alpha_{\eta} = \frac{18.000.000+16.650.000+20.642.000}{1000 \times 365} \approx 151 \text{ δρχ./m}^{3}$$

Αν η παραγωγή αφαλατωμένου νερού είναι 675 $m^3$, δηλαδή η μονάδα ανταποκρίνεται στή σημερινή ζήτηση, τότε η επιβάρυνση είναι:

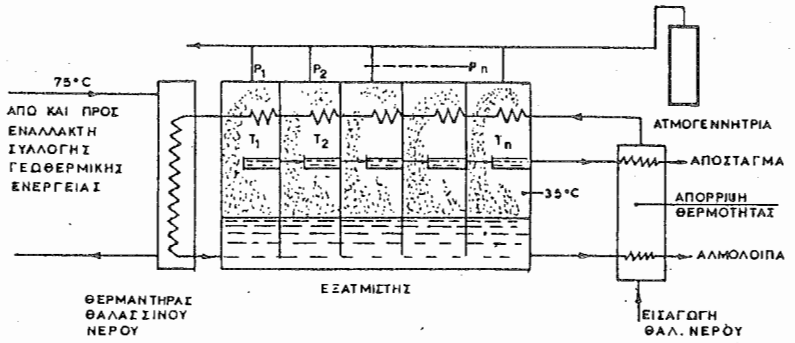
$$a_2 = \frac{18.000.000 + 16.650.000 + 20.642.000}{675 \times 365} = 224 \text{ δρχ./m}^3$$

## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την ανάλυση που προηγήθηκε προκύπτει ότι είναι δυνατή η αξιοποίηση των γεωθερμικών πεδίων χαμηλής ενθαλπίας για την παραγωγή αφαλατωμένου νερού. Η ενδεικνυόμενη μέθοδος αφαλάτωσης είναι η ΜΕ, ενώ το κόστος είναι πράγματι ελκυστικό. Το κόστος κεφαλαίου συμμετέχει κατά 72 % στην τελική διαμόρφωση του κόστους ενώ στις συνηθισμένες περιπτώσεις αφαλάτωσης με ΜΕ και παραγωγή ατμού κατά 50 % /2/, το οποίο σημαίνει ότι το λειτουργικό κόστος είναι πάρα πολύ χαμηλό.

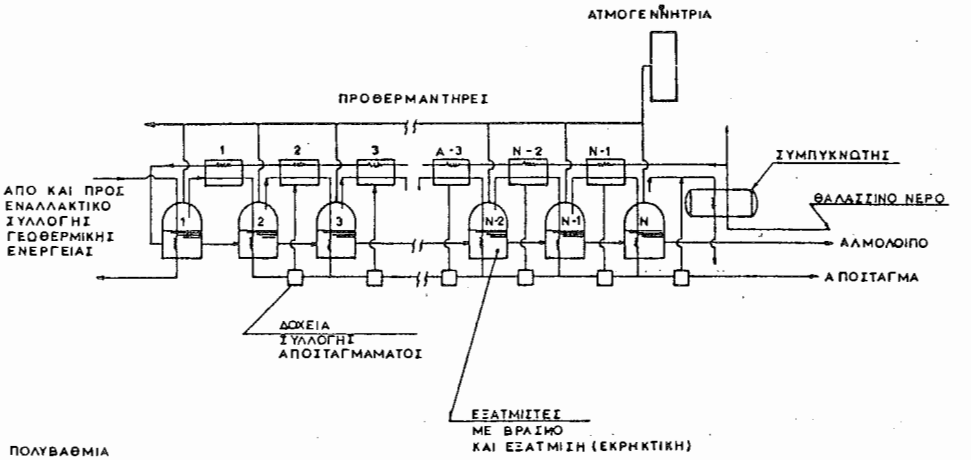
## ΠΗΓΕΣ

1. Andrew Porteous 1975, Saline water distillation Process, Longman Κεφάλαια 1,2,4,5.
2. B. Steinbruchcl and D. Rlinesmith 1979, Design of Distilling Plants, στο βιβλίο Principles of Desalination, Κεφ. 3.
3. Πληροφορίες που τέθηκαν υπόψη των συγγραφέων από τμήμα Γεωθερμίας του ΙΓΜΕ (αρμόδιος κ. Φυτίκας) τους οποίους και ευχαριστούμε.
4. Τα στοιχεία κόστους της μονάδας αφαλάτωσης προέρχονται από την Ιταλική Εταιρεία BOSCO.
5. Εκτιμήσεις των συγγραφέων.



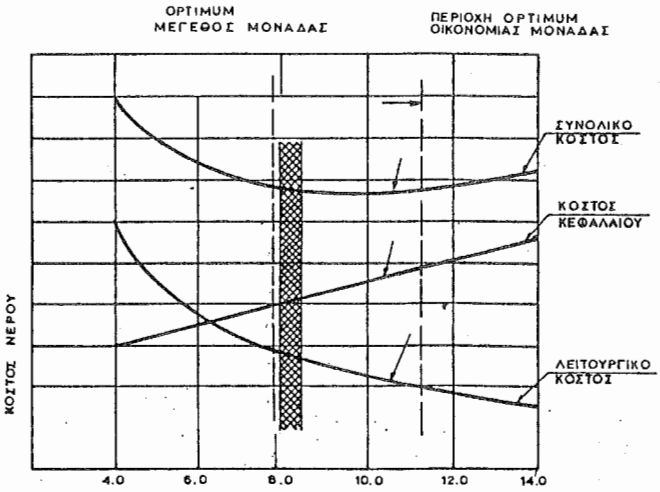

ΠΟΛΥΒΑΘΜΙΑ ΑΠΟΣΤΑΞΗ ΜΕ ΕΚΡΗΚΤΙΚΗ ΕΞΑΤΜΙΣΗ (MSF)

ΣΧ. 1

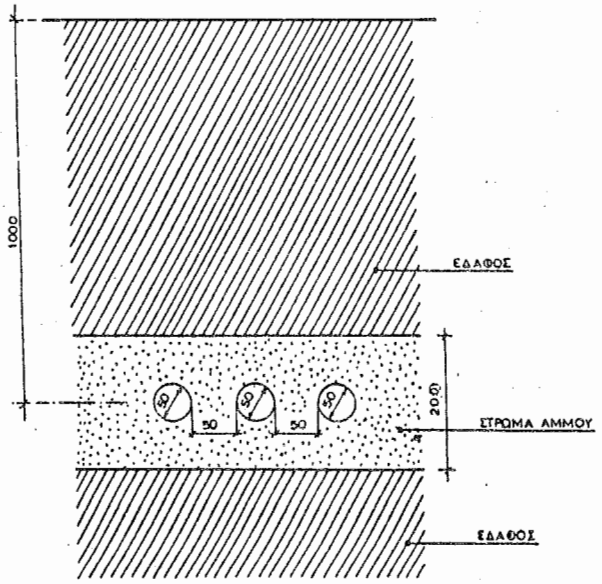



ΠΟΛΥΒΑΘΜΙΑ ΑΠΟΣΤΑΞΗ ΜΕ ΠΟΛΛΑΠΛΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ (Μ.Ε)

ΣΧ. 2




ΙΧ. 3




ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΙΩΛΗΝΩΝΙΤΟ ΕΔΑΦΟΣ

ΙΧ. 4

ΤΙΤΛΟΣ ΕΙΣΗΓΗΣΗΣ :

# ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΠΕΔΙΑ ΘΕΡΜΩΝ ΕΔΑΦΩΝ ΚΑΙ ΑΤΜΙΔΩΝ ΣΤΗ ΜΗΛΟ

ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ :

ΜΙΧ.ΦΥΤΙΚΑΣ, Ι.Γ.Μ.Ε.-Τμ.Γεωθερμίας
ΓΕΩΡΓ.ΜΑΥΡΟΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΣ, Α.Γ.Σ.Α./
Εργαστ. Γεωργ. Κατασκευών

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα πεδία θερμών εδαφών και ατμίδων, με θερμοκρασίες της τάξης των 100°C, γενικά συναντιούνται σε γεωθερμικές περιοχές υψηλής ενθαλπίας και αποτελούν σημεία εύκολης ανόδου θερμικής ενέργειας στην επιφάνεια της γης. Η ενέργεια φτάνει ως την επιφάνεια με τη βοήθεια ρευστών και όχι μόνο με επαγωγή των πετρωμάτων, όπως αποδείχθηκε στην έρευνά μας, και γι' αυτό είναι ποσοτικά αξιόλογη.
Μέχρι σήμερα, η ενέργεια αυτή εξανεμίζεται στην επιφάνεια, χωρίς να αξιοποιείται.

Προκαταρκτικές μετρήσεις προσδιόρισαν μερικά χρήσιμα στοιχεία, που έδειξαν ότι θα ήταν ενδιαφέρον να γίνει μια έρευνα των πεδίων αυτού του τύπου.

Κατασκευάστηκε εναλλάκτης θερμότητας, διαστάσεων 6Χ6m περίπου, από δίκτυο 53 σιδερένιων σωλήνων 2" με δύο συλλεκτήριες 4" και επιλέχτηκε μια αντιπροσωπευτική περιοχή θερμών εδαφών και ατμίδων, κοντά στον Αδάμαντα Μήλου, όπου τοποθετήθηκε ο εναλλάκτης σε βάθος 1 m κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Η θερμοκρασία του εδάφους εκεί είναι 100 - 101°C.

Έγιναν πολυήμερες συστηματικές μετρήσεις των θερμοκρασιών στην είσοδο και έξοδο του εναλλάκτη, ως και στα αντίστοιχα σημεία του εδάφους, με ελεγχόμενη συνεχή κυκλοφορία νερού στον εναλλάκτη. Προσδιορίστηκε, έτσι, η ποσότητα ενέργειας που είναι δυνατό να αποσπαστεί με αυτό το σύστημα καθώς και ο ολικός συντελεστής θερμικής μεταφοράς από το έδαφος στο νερό του εναλλάκτη.

Τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής, ως και οι σχετικές εμπειρίες, που αποκτήθηκαν πάνω στα τεχνικά και κατασκευαστικά προβλήματα, εκτίθενται στη παρούσα εργασία.

Τελικός στόχος της έρευνας στο άμεσο μέλλον είναι η ενεργειακή χρησιμοποίηση της θερμότητας από πεδία αυτού του τύπου για τη θέρμανση π.χ. θερμοκηπίων.

ΛΕΞΕΙΣ - ΚΛΕΙΔΙΑ

Γεωθερμική ενέργεια, θερμά εδάφη, ατμίδες, εναλλάκτης θερμότητας εδάφους - νερού, θέρμανση θερμοκηπίων, απόσπαση θερμότητας από το έδαφος.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε μερικές περιοχές της γης και εξ αιτίας ευνοϊκών γεωλογικών συνθηκών, η άνοδος μέχρι την επιφάνεια πολύ θερμών ρευστών δημιουργεί πεδία ατμίδων και αερίων, πεδία θερμών εδαφών και ζεστές πηγές. Τα πεδία ατμίδων και θερμών εδαφών συνδυάζονται συνήθως με γεωθερμικές περιοχές υψηλής ενθαλπίας και έχουν θερμοκρασίες της τάξης των 100°C. Σημαντικές ποσότητες ενέργειας χάνονται, παρόλο ότι δεν είναι πολύ δύσκολο να "εντοπιστούν" και "συλληφθούν".

Η ιδέα της έρευνάς μας προήλθε από :

- την ενδιαφέρουσα λειτουργία θερμοκηπίων με εκμετάλλευση της φυσικής θερμότητας του υπεδάφους σε μη γεωθερμικές περιοχές (Μαυρογιαννόπουλος (1), 1984) και
- την ύπαρξη στη Μήλο πολλών πεδίων θερμών εδαφών και ατμίδων με θερμοκρασία μέχρι 102°C (Φυτίκας (2), 1977).

Η εργασία αυτή πραγματοποιήθηκε στο πεδίο της Μήλου και έχει θεωρητικό αλλά και πρακτικό μαζί σκοπό, όπως είναι η διερεύνηση της δυνατότητας αξιοποίησης αυτής της ενέργειας για χρήσιμους σκοπούς (π.χ. στη θέρμανση θερμοκηπίων) και πιστεύουμε ότι θα συμβάλλει στη γνώση των συνθηκών σε πεδία θερμών εδαφών και ατμίδων.

Το ερευνητικό έργο πραγματοποιήθηκε σε συνεργασία μεταξύ του Τμήματος Γεωθερμίας του Ι.Γ.Μ.Ε. και του Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών της Α.Γ.Σ.Α., οι δε δαπάνες του βάρυναν ουσιαστικά το Έργο Δ.Ε. "Γεωθερμική Ενέργεια" του Ι.Γ.Μ.Ε.

## 2. Η ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΜΗΛΟΥ ΚΑΙ ΤΑ ΠΕΔΙΑ ΘΕΡΜΩΝ ΕΔΑΦΩΝ ΚΑΙ ΑΤΜΙΔΩΝ

Η Μήλος είναι η πιο ενδιαφέρουσα γεωθερμική περιοχή της Ελλάδας. Αποτελείται από ηφαιστειακούς κυρίως σχηματισμούς και ανήκει στο ενεργό ηφαιστειακό τόξο του νότιου Αιγαίου. Η υδροθερμική δράση ήταν και είναι μέχρι σήμερα πολύ έντονη (Φυτίκας (2), 1977).

Η κατανομή των κυριότερων πεδίων ατμίδων και θερμών εδαφών που παρουσιάζουν ενδιαφέρον δίνονται στο Σχ.1 και δημιουργήθηκαν κατά μήκος μεγάλων και πρόσφατης ηλικίας ρηγμάτων.

Οι περιοχές ατμίδων και θερμών εδαφών της Μήλου είναι αρκετές στο Κεντρικό και Ανατολικό τμήμα του νησιού. Η έκταση της κάθε μιας μερικές φορές φτάνει μέχρι και 10.000 $m^2$, ενώ οι θερμοκρασίες είναι της τάξης των 100°C.

Η γεωθερμική βαθμίδα , ιδιαίτερα στα παραπάνω τμήματα της Μήλου, είναι 5 - 30 φορές μεγαλύτερη από τη μέση γήινη.

Σε γενικές γραμμές, τα πετρώματα των πεδίων θερμών εδαφών και ατμίδων είναι λίγο ή περισσότερο σαθρά, εξ αιτίας της έντονης υδροθερμικής δράσης.

Για να διερευνήσουμε τη δυνατότητα αξιοποίησης των θερμών εδαφών και ατμίδων, κατασκευάσαμε ένα εναλλάκτη θερμότητας εδάφους - νερού.

## 3. ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ - ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Η έρευνά μας περιέλαβε μια σειρά από προκαταρκτικές και αργότερα συστηματικές μετρήσεις. Για τις κύριες μετρήσεις επιλέχτηκε μια αντιπροσωπευτική περιοχή : το πεδίο θερμών εδαφών και ατμίδων στη θέση "Θειάφες", 500 μ. βόρεια του χωριού Αδάμαντα, που έχει έκταση 10.000 $m^2$ και θερμοκρασίες μέχρι 102°C σε βάθος 1 μ.

Ο εναλλάκτης (Σχ.2) αποτελείται από δίκτυο με δύο συλλεκτήριους σωλήνες 4" και μήκους 6 m περίπου, κάθετα στους οποίους κολλήθηκαν 53 παράλληλοι μεταξύ τους σωλήνες 2" και μήκους επίσης 6 m περίπου. Οι αποστάσεις μεταξύ των τελευταίων είναι της τάξης των 5 cm.

Ο εναλλάκτης εδάφους - νερού τοποθετήθηκε σε βάθος 1 m πάνω σε οριζόντια φυσική επιφάνεια και σκεπάστηκε με το ίδιο χώμα που προήλθε από την εκσκαφή (Σχ.3).

Η αντλία ενός πηγαδιού, που βρίσκεται σε απόσταση

200 m, τροφοδοτεί με νερό μια ενδιάμεση δεξαμενή και στη συνέχεια ένας κυκλοφορητής τύπου Willo προωθεί το νερό στον εναλλάκτη και στη συνέχεια το επιστρέφει στο ίδιο πηγάδι.

Ο ρυθμός κυκλοφορίας του συστήματος ήταν αρκετά σταθερός και κατά μέσο όρο 6.54 $m^3/h$.

Τοποθετήθηκαν δύο αισθητήρια θερμότητας χαλκού - κωνσταντάνης μέσα στους σωλήνες του εναλλάκτη, στην είσοδο και στην έξοδο, και δύο αισθητήρια στο έδαφος, στην είσοδο και την έξοδο αντίστοιχα.

Οι μετρήσεις θερμοκρασιών που παίρνονταν κάθε μια ώρα, έγιναν με 4 ψηφιακά όργανα DIGITRON Type K, που έχουν δυνατότητα αναγνώρισης 0,1°C. Ο έλεγχος της σωστής ένδειξης των οργάνων έγινε με πρότυπο θερμόμετρο υδραργύρου.

Οι θερμομετρήσεις διήρκεσαν μια εβδομάδα και γίνονταν 8 - 15 ώρες καθημερινά και με συνεχή κυκλοφορία νερού.

Στην κατασκευή του εναλλάκτη, για μια πρώτη προσέγγιση, καταλήξαμε στη χρήση μεταλλικών σιδερένιων σωλήνων, που έχουν το πλεονέκτημα της μεγάλης θερμικής αγωγιμότητας. Για την εξωτερική προστασία τους από την έντονη διάβρωση, έγιναν επί τόπου επαλήψεις με τρία στρώματα εποξικής ρητίνης. Τοποθετήθηκαν επίσης υδρομετρητές συνολικής παροχής.

Η σύνθεση του εδάφους στη θέση του εναλλάκτη ήταν: μικρές κροκάλες και άμμος σε ποσοστό 59,5%, ιλύς και πηλός 40,5%. Η περιεχόμενη υγρασία του εδάφους σ'αυτό το βάθος ήταν περίπου 45%.

Σ'αυτή τη φάση, επιδιώξαμε να προσδιορίσουμε τη ποσότητα ενέργειας που είναι δυνατό να αποσπαστεί με αυτό το σύστημα, καθώς και τον ολικό συντελεστή θερμικής μεταφοράς από το έδαφος στο νερό του εναλλάκτη.

Η αποσπόμενη θερμότητα από το έδαφος με τον παραπάνω εναλλάκτη εδάφους - νερού μπορεί να υπολογιστεί από τον τύπο :

$$q = M\,C_p\,(to-ti)\,(ASRAE)^{(3)} \qquad (\alpha)$$

όπου : $M\,C_p$ = θερμική ικανότητα του νερού, σε $Kcal/h^oC$
$to$ = θερμοκρασία του εξερχόμενου νερού, σε $^oC$
$ti$ = θερμοκρασία του εισερχόμενου νερού, σε $^oC$.

Η μεταφερόμενη ποσότητα θερμότητας από το έδαφος στο νερό του εναλλάκτη είναι :

$$q = U \cdot A\ \Delta tm\ (ASRAE) \qquad (\beta)$$

όπου : $U$ = ολικός συντελεστής θερμικής μεταφοράς από το έδαφος στο νερό, σε $Kcal/h^oC \cdot m^2$ ή $Kcal/h^oC \cdot m$
$A$ = επιφάνεια του εναλλάκτη σε $m^2$ ή το συνολικό μήκος των σωλήνων που αποτελείται ο εναλλάκτης, σε m
$\Delta tm$ = μέση θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ νερού και εδάφους, σε $^oC$.

Η διαφορά θερμοκρασίας ($\Delta t$) μεταξύ νερού στον εναλλάκτη και εδάφους διαφέρει κατά μήκος του εναλλάκτη.

Η μέση θερμοκρασιακή διαφορά υπολογίζεται από τον τύπο :

$$\Delta tm = \frac{\Delta to - \Delta ti}{2{,}3\ \log_{10} \frac{\Delta to}{\Delta ti}} \quad (ASRAE)$$

όπου $\Delta to$ και $\Delta ti$ είναι η θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ εδάφους νερού στα δύο άκρα του εναλλάκτη.

Δεχόμαστε ότι ο ολικός συντελεστής θερμικής μεταφοράς και η ειδική θερμότητα του εδάφους είναι ίδια και σταθερή σε

όλη την επιφάνεια του εδάφους και ότι δεν υπάρχουν θερμικές απώλειες στο σύστημα.

Συνδυάζοντας τις (α) και (β) ισότητες υπολογίζουμε τον ολικό συντελεστή θερμικής μεταφοράς γι αυτόν τον εναλλάκτη για τη συγκεκριμένη παροχή νερού :

$$U = \frac{MCp\ (to-ti)}{A\ \Delta tm}$$

Τα αποτελέσματα των μετρήσεών μας είναι τα εξής :

- Η θερμότητα που αποσπάστηκε από το έδαφος, με μια μέση παροχή νερού 6,54 $m^3/h$, είναι 24001,8 Kcal/h.
- Η μέση θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ εδάφους - νερού του εναλλάκτη βρέθηκε 18,39°C.
- Ο ολικός συντελεστής θερμικής μεταφοράς από το έδαφος στο νερό υπολογίστηκε σε :

$$U = 22,12\ Kcal/^oChm^2 \quad \text{ή} \quad U = 4,22\ Kcal/^oChm.$$

Οι δαπάνες για τον συγκεκριμένο εναλλάκτη (αγορά υλικών και οργάνων, κατασκευές επί τόπου, διευθέτηση χώρου) ήταν περίπου 500.000 δρχ.

Το κόστος λειτουργίας του συστήματος σε συνθήκες παραγωγής θα πρέπει να περιλάβει το ηλεκτρικό ρεύμα του κυκλοφορητή (περίπου 10 δρχ/h) και τη συντήρηση (που θα πρέπει να θεωρείται ελάχιστη).

## 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι περιοχές θερμών εδαφών και ατμίδων της Μήλου είναι πάνω από 20 και η έκταση της κάθεμιας κυμαίνεται από μερικές εκατοντάδες έως 10 χιλιάδες και πλέον $m^2$.

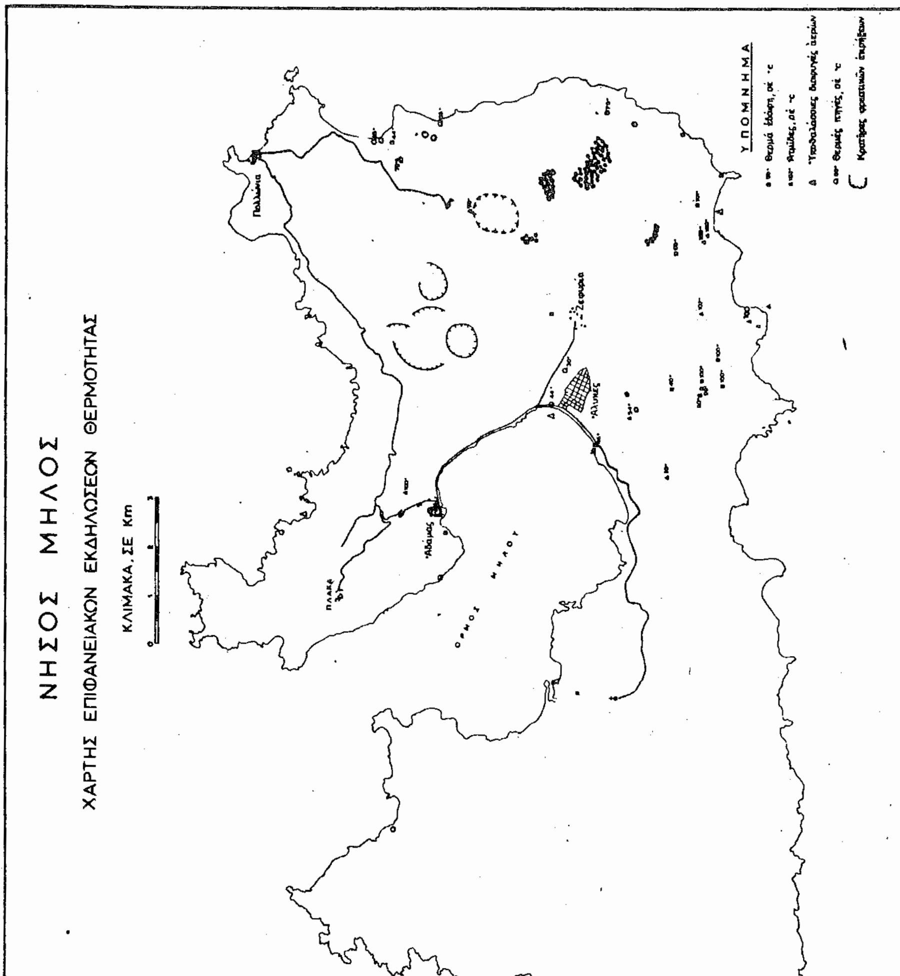
Η θερμότητα που μπορούμε να αποσπάσουμε στην επιφάνεια αποδείχτηκε ότι είναι πράγματι σημαντική. Έτσι, είδαμε ότι από ένα πολύ μικρό τμήμα (επιφάνεια 35 $m^2$) της όλης θερμής περιοχής μπορούμε να αποσπάσουμε 24.000 Kcal/h περίπου, που ισοδυναμούν με τις απαιτήσεις π.χ. ενός θερμοκηπίου 350 $m^2$ (για τα κλιματικά δεδομένα της Μήλου).

Η συνεχής άνοδος ατμών, νερού και αερίων από το εσωτερικό προς της επιφάνεια, στις περιοχές αυτού του τύπου, όπως αποδεικνύεται από την υγρασία που μετρήθηκε στο έδαφος πάνω από τον εναλλάκτη αλλά και τις ορατές διαφυγές αερίων και ατμών, είναι η κύρια αιτία που ο συντελεστής θερμικής μεταφοράς από το έδαφος στο νερό του εναλλάκτη είναι σημαντικά υψηλότερος απ'αυτόν που θα περίμενε κανείς για ένα οποιοδήποτε φυσικό έδαφος.

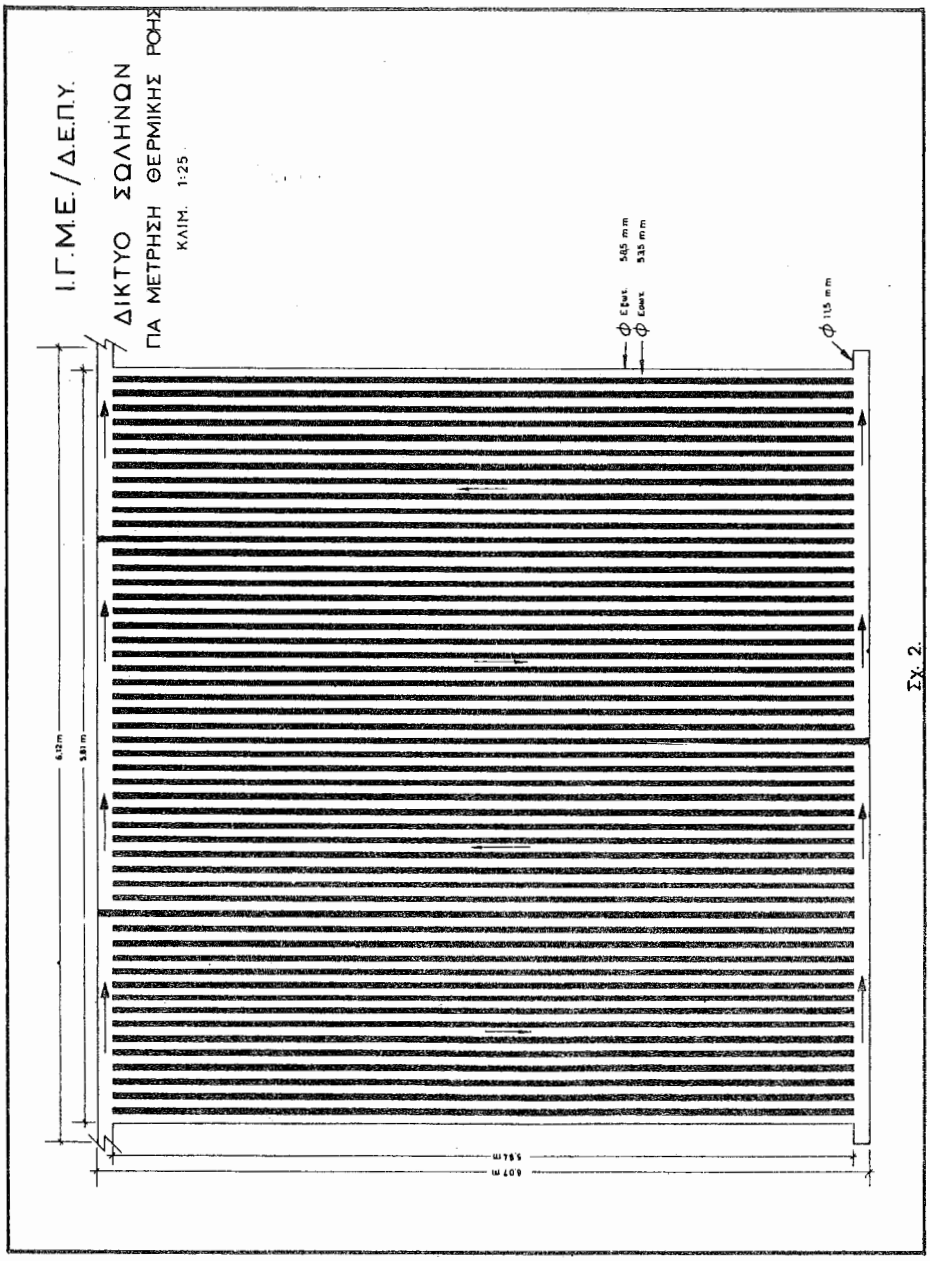
Η απόσβεση του συστήματος γίνεται σε 2 1/2 μόλις χρόνια λειτουργίας για εκμετάλλευση με το σύστημα αυτό στη θέρμανση μικρού θερμοκηπίου 350 $m^2$ επί πέντε μήνες. Η απόσβεση μπορεί να γίνει πιο γρήγορα εφόσον αυξηθεί ο συντελεστής χρήσης της παραγόμενης θερμικής ενέργειας για διάφορες εκμεταλλεύσεις κατά τους υπόλοιπους μήνες του έτους.

Οι δαπάνες κατασκευής και εγκατάστασης ενός τέτοιου εναλλάκτη στο μέλλον θα πρέπει σίγουρα να είναι αρκετά μικρότερες και έτσι ο χρόνος απόσβεσης θα φτάσει σε πολύ χαμηλά επίπεδα.

Μπορεί να κατασκευαστούν εναλλάκτες και από άλλα υλικά, φθηνότερα και ανθεκτικά στη διάβρωση, τα οποία θα επιτρέψουν την ακόμα πιο οικονομική μελλοντική αξιοποίηση των περιο-


ΝΗΣΟΣ ΜΗΛΟΣ
ΧΑΡΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΕΚΔΗΛΩΣΕΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ
ΚΛΙΜΑΚΑ, ΣΕ Km
ΥΠΟΜΝΗΜΑ
Θερμά εδάφη, σε °C
Ατμίδες, σε °C
Υποθαλάσσιες διαφυγές αερίων
Θερμές πηγές, σε °C
Κρατήρες φρεατικών εκρήξεων
Πολλώνια
Ζεφυρία
Αλυκές
Αδάμας
ΠΛΑΚΑ
ΟΡΜΟΣ ΜΗΛΟΥ

Σχ. 1.


Ι.Γ.Μ.Ε./Δ.Ε.Π.Υ.
ΔΙΚΤΥΟ ΣΩΛΗΝΩΝ
ΠΑ ΜΕΤΡΗΣΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΡΟΗΣ
ΚΛΙΜ. 1:25
Φ Εξωτ. 54,5 mm
Φ Εσωτ. 53,5 mm
Φ 11,5 mm
6,12 m
5,81 m
5,84 m
6,07 m

Σχ. 2.

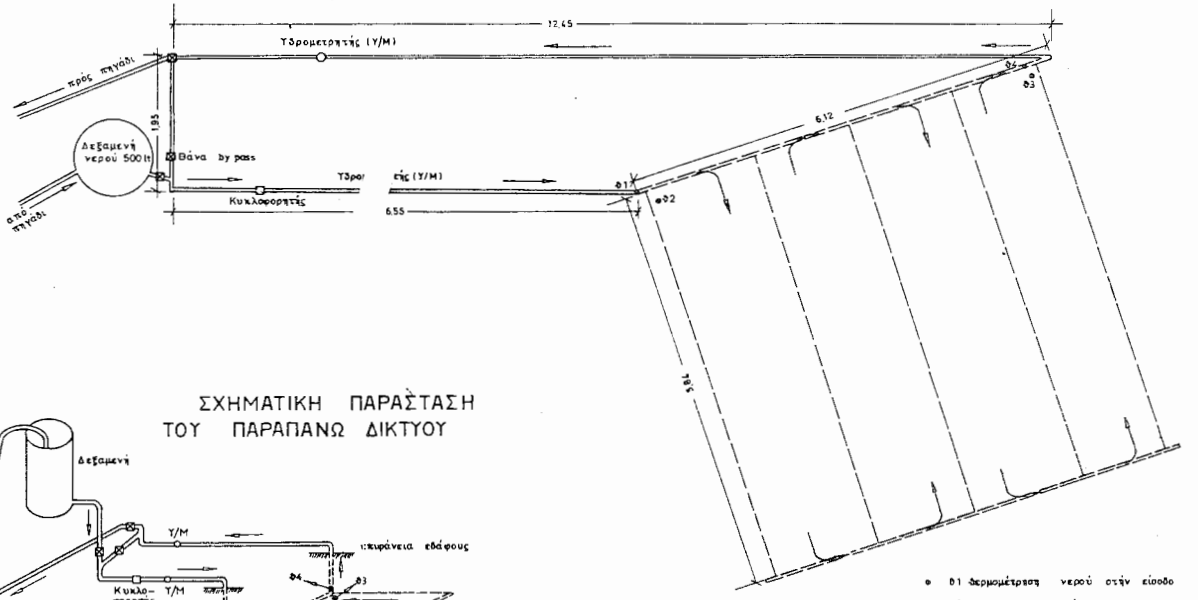
Ι.Γ.Μ.Ε. / Δ.Ε.Π.Υ.

ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΜΗΛΟΥ

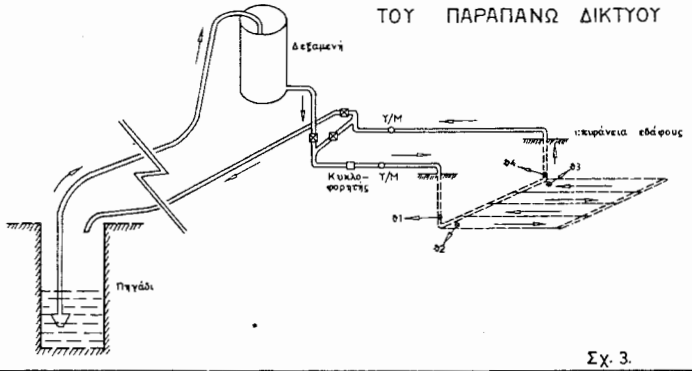
"ΘΕΣΗ ΘΕΙΑΦΕΣ„

ΚΑΤΟΨΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΣΩΛΗΝΩΝ ΓΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΡΟΗΣ ΑΠΟ ΖΕΣΤΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΤΜΙΔΕΣ

ΚΛ. 1:50




ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΠΑΡΑΠΑΝΩ ΔΙΚΤΥΟΥ




Φ Φ1 θερμομέτρηση νερού στην είσοδο

Φ Φ2 " εδάφους " "

Φ Φ3 " " " έξοδο

Φ Φ4 " νερού " "

Σχ. 3.

ΓΕΩ-47

# ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ ΜΕ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΧΑΜΗΛΗΣ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ ΣΤΑ ΕΛΑΙΟΧΩΡΙΑ ΧΑΛΚΙΔΙΚΗΣ

Χ. Νικήτα-Μαρτζοπούλου
Επικ. Καθηγήτρια, Τμήμα Γεωπονίας, Α.Π.Θ.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Στην πρόδρομη αυτή ανακοίνωση περιγράφεται ο σχεδιασμός και οι εγκαταστάσεις θέρμανσης έξι πειραματικών θερμοκηπίων ~210 $m^2$ το καθένα που θερμαίνονται με νερό θερμοκρασίας 34° C. Το νερό, παροχής περίπου 500 $m^3.h^{-1}$ προέρχεται από τη γεωθερμική πηγή της περιοχής Ελαιοχωρίων του Ν. Χαλκιδικής. Γίνεται ακόμη αναφορά στα προβλήματα που ανακύπτουν από τη φύση του νερού σε σχέση με τη χρήση του (γεωργική χρήση) και δίνονται ορισμένα πειραματικά αποτελέσματα που αναφέρονται σε προκαταρκτικές μετρήσεις.

ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ:Γεωθερμική ενέργεια, χαμηλή ενθαλπία, γεωργική χρήση, θερμοκήπια.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ: Η γεωθερμία είναι μια σχετικά καινούργια μορφή εκμεταλλεύσιμης ενέργειας με ευοίωνες προοπτικές αξιοποίησης σε διάφορους τομείς. Ένας από αυτούς είναι και η γεωργία όπου το γεωθερμικό νερό εκτός από τη χρήση του σε ξηραντήρια, ιχθυοκαλλιέργεια, γεωργικές βιομηχανίες κ.λ.π., έχει ήδη χρησιμοποιηθεί στο εξωτερικό με επιτυχία στη θέρμανση θερμοκηπίων. Πρόσφατα στη χώρα μας, που προσφέρεται ιδιαίτερα στις θερμοκηπιακές καλλιέργειες, αναπτύχθηκε έντονα παρόμοιο ενδιαφέρον για την αξιοποίηση των θερμών νερών, που επίσης αφθονούν στον ελληνικό χώρο λόγω των ευνοϊκών γεωλογικών συνθηκών. Ύστερα από την εξεύρεση θερμού νερού στη γεώτρηση των Ελαιοχωρίων Χαλκιδικής και τη συνεργασία του Τμήματος Γεωπονίας του Α.Π.Θ. με το Τμήμα Λαχανοκομίας του Κ.Γ.Ε.Β.Ε. αποφασίστηκε η εκμετάλλευση τού θερμού νερού της παραπάνω περιοχής στη θέρμανση θερμοκηπίων. Το γεωθερμικό νερό σαν εγχώρια πηγή ενέργειας μπορεί ν'αντικαταστήσει τα καύσιμα και να δώσει τοπικά νέα ώθηση στη γεωργία, αντικαθιστώντας τις παραδοσιακές καλλιέργειες με νέες πιο δυναμικές, όπως είναι αυτές των κηπευτικών και ανθοκομικών ειδών στα θερμοκήπια, δημιουργώντας έτσι καινούργιες οικονομικές δραστηριότητες για τη βελτίωση των συνθηκών ζωής.

## ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ ΣΤΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ

Στη χώρα μας, ήδη από το 1970, έχουν αρχίσει έρευνες για τον εντοπισμό και την ανεύρεση θερμών νερών που συνεχίζονται μέχρι σήμερα διότι τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι γεωλογικές συνθήκες στον ελληνικό χώρο είναι πολύ ευνοϊκές (5). Η αξιοποίηση της γεωθερμίας βρήκε εφαρμογή είτε στην παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, όταν τα γεωθερμικά πεδία είναι υψηλής ενθαλπίας (θερμοκρασίες 150-350° C) ή στη θέρμανση κτιρίων, θερμοκηπίων, ιχθυοτροφείων κ.λ.π. όταν πρόκειται για γεωθερμία χαμηλής ενθαλπίας (θερμοκρασίες από 25-150° C). Στη δεύτερη αυτή περίπτωση είναι ιδιαίτερα αξιόλογη η αξιοποίησή της ηλιο-γεωθερμίας, δηλαδή, η χρήση των γεωθερμικών ρευστών σε συνδυασμό με το ηλιοθερμικό δυναμικό που ως γνωστόν είναι άφθονο στην Ελλάδα.

Από το 1978 άρχισαν στη χώρα μας έρευνες για την ανεύρεση θερμών ρευστών χαμηλής ενθαλπίας. Περιοχές που από τα μέχρι τώρα στοιχεία παρουσιάζουν αρκετά μεγάλο ενδιαφέρον είναι τα θερμά Νιγρίτας, Ποταμιά Ξάνθης, Μυγδονία (περιοχή Λιμνών Βόλβης-Λαγκαδά), Ανθεμούντας (περιοχή Θεσ/νίκης), Θέρμη Θεσ/νίκης και Ελαιοχώρια Χαλκιδικής χωρίς βέβαια να εξαιρούνται οι πάρα πολλές πηγές θερμών νερών που σήμερα αξιοποιούνται και σαν ιαματικές.

Το Σεπτέμβριο του 1983 στην τοποθεσία "Ξυνή" της περιοχής Ελαιοχωρίων Ν. Χαλκιδικής ανορύχθηκε ερευνητική αρδευτική γεώτρηση από τη ΙΙ Π.Δ.Ε.Β. Η γεώτρηση ανήκει στο Γεωργικό Συνεταιρισμό Ελαιοχωρίων και το νερό είναι γεωθερμικής προέλευσης με θερμοκρασία 34° C, και παροχή σήμερα περίπου 500 $m^3.h^{-1}$ (εικ. 1).

Όπως ήδη αναφέρθηκε, ύστερα από συνεργασία του Τμήματος Γεωπονίας του Α.Π.Θ. και του Τμήματος Λαχανοκομίας του Κ.Γ.Ε.Β.Ε. αποφασίστηκε η αξιοποίηση του θερμού νερού της παραπάνω περιοχής στη γεωργική παραγωγή και συγκεκριμένα στη θέρμανση θερμοκηπίων για την ανάπτυξη των οποίων προσφέρεται ιδιαίτερα η περιοχή. Με το νερό της γεώτρησης υπάρχει η δυνατότητα θέρμανσης θερμοκηπίων εκτάσεως 200 στρεμμάτων ενώ εάν χρησιμοποιηθεί και το νερό της γεώτρησης του παραγωγού Γιαννακάρα, που βρίσκεται πολύ κοντά στη γεώτρηση του Γεωργικού Συνεταιρισμού Ελαιοχωρίων, τότε η έκταση αυτή μπορεί να διπλασιασθεί. Έτσι, με τη χρηματοδότηση του Υπουργείου Γεωργίας ξεκίνησε ένα ερευνητικό πρόγραμμα που περιλαμβάνει την εγκατάσταση και μελέτη διαφόρων μέσων θέρμανσης μιας πειραματικής μονάδας θερμοκηπίων με τη χρήση του θερμού νερού της περιοχής των Ελαιοχωρίων.

Θερμά νερά γεωτρήσεων έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί με επιτυχία για θέρμανση θερμοκηπίων σε διάφορες χώρες όπως στην Ισλανδία, Βουλγαρία, Ουγγαρία, Ρωσία, Ν. Ζηλανδία κ.ά. (3), ενώ η Ιαπωνία φέρεται σαν η χώρα όπου το 1916 έγινε μια πρωταρχική εκμετάλλευση της γεωθερμίας για τον παραπάνω σκοπό (6). Ενδεικτικά αναφέρεται ότι στην Ουγγαρία το 1973 η έκταση που καταλάμβαναν τα θερμοκήπια με χρήση γεωθερμίας ήταν 1500 στρέμματα (2). Η γεωθερμία στη θέρμανση θερμοκηπίων χρησιμοποιείται ακόμη, αλλά σε μικρότερη κλίμακα, στις Η.Π.Α., Γαλλία, Τσεχοσλοβακία και Ρουμανία.

Στη χώρα μας θερμά νερά γεωτρήσεων, που έγιναν από το Ι.Γ.Μ.Ε. και από μεμονωμένους παραγωγούς έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούνται ή πρόκειται να χρησιμοποιηθούν είτε σε πειραματικές μονάδες θερμοκηπίων βάσει συγκεκριμένων ερευνητικών προγραμμάτων ή σε ιδιωτικά θερμοκήπια όπως είναι αυτά της περιοχής Νιγρίτας, της Ν. Απολλωνίας Θεσ/νίκης και του Δήμου Πολιχνίτου Λέσβου. Ερευνητικό πρόγραμμα για χρήση της γεωθερμίας στη θέρμανση θερμοκηπίων έχει αποφασιστεί να γίνει στα θερμά Νιγρίτας, ύστερα από συνεργασία Ι.Γ.Μ.Ε, Ανωτάτης Γεωπονικής Σχολής και Α.Τ.Ε. χρηματοδοτούμενο από την τελευταία.

Άλλα ερευνητικά προγράμματα με τον ίδιο στόχο πρόκειται να τεθούν σε εφαρμογή στην Ποταμιά Ξάνθης, στη Μυτιλήνη και στη Μήλο. Τη χρηματοδότηση αυτών των προγραμμάτων έχει αναλάβει η Ε.Ο.Κ.

Η δυνατότητα θέρμανσης θερμοκηπίων με τη χρήση της γεωθερμίας, σε περιοχές που υπάρχουν ή πρόκειται να γίνουν γεωτρήσεις, μπορεί να εξασφαλίσει τεράστια οφέλη στην παραγωγή καλλιεργειών υπό κάλυψη, διότι το μεγαλύτερο εμπόδιο της επέκτασης των θερμοκηπίων στη χώρα μας και κυρίως στη Β. Ελλάδα είναι το υψηλό κόστος θέρμανσης. Η γεωθερμία είναι ήπια και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας γι'αυτό και η αξιοποίησή της μπορεί να συμβάλει στην αύξηση της παραγωγής των θερμοκηπιακών καλλιεργειών με σκοπό όχι μόνο την ευρύτερη κάλυψη της εγχώριας κατανάλωσης αλλά και την αύξηση των εξαγωγών.

## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΣΤΑ ΕΛΑΙΟΧΩΡΙΑ

Για τη μελέτη διαφόρων μέσων θέρμανσης θερμοκηπίων με το θερμό νερό της περιοχής Ελαιοχωρίων εγκαταστάθηκαν, σε περιοχή παρακείμενη της γεώτρησης, έξι πειραματικά θερμοκήπια ∿ 210 $m^2$ το καθένα (εικ. 2). Τα πέντε από αυτά έχουν μεταλλικό σκελετό σε σχήμα τόξου, απλή κάλυψη από διετές πολυαιθυλένιο και αναδιπλούμενες πλευρικές επιφάνειες. Το έκτο θερμοκήπιο είναι γνωστό σαν "γεωθερμικό" με διπλό μεταλλικό σκελετό σε σχήμα τόξου και διπλή κάλυψη με διετές πολυαιθυλένιο. Τα δύο στρώματα του πλαστικού κάλυψης απέχουν μεταξύ τους 20-30 cm και ανάμεσα από αυτά πραγματοποιείται ψεκασμός με το γεωθερμικό νερό.

Το πειραματικό σχέδιο προβλέπει τη θέρμανση των έξι θερμοκηπίων (σχ. 1) ως εξής:

Θερμοκήπιο 1: Γεωθερμικό θερμοκήπιο με διπλή κάλυψη και ψεκασμό γεωθερμικού νερού μεταξύ των δύο στρωμάτων του πλαστικού

Θερμοκήπιο 2: Επιφανειακή θέρμανση με δίκτυο σωληνώσεων

Θερμοκήπιο 3: Υπεδάφια θέρμανση

Θερμοκήπιο 4: Πλαστικός εναλλάκτης θερμότητας νερού-αέρα

Θερμοκήπιο 5: Διαφανείς πλαστικές σακκούλες πολυαιθυλένιου που απλώνονται ανάμεσα στις γραμμές των φυτών και μέσα στις οποίες κυκλοφορεί το θερμό νερό (1).

Θερμοκήπιο 6: Μάρτυρας για συγκριτικές μετρήσεις των μέσωνθέρμανσης που θα χρησιμοποιηθούν στα θερμοκήπια 1, 2, 3, 4 και 5. Η θέρμανσή του θα γίνει με συμβατικά μέσα. Στο θερμοκήπιο αυτό έχει επίσης αρχίσει έρευνα για τη συγκέντρωση του βορίου του γεωθερμικού νερού (4) στο έδαφος και τα φυτά.

Όλα τα συστήματα θέρμανσης μπορεί να συνδυασθούν είτε με παραδοσιακούς τρόπους θέρμανσης π.χ. ηλεκτρικές αντιστάσεις ή με ηλιακά συστήματα, κυρίως στην περίπτωση που η μεταφερόμενη με το γεωθερμικό νερό θερμότητα αποδειχθεί ανεπαρκής για την άνοδο της θερμοκρασίας των θερμοκηπίων. Ακόμη θα ερευνηθεί ο βέλτιστος συνδυασμός τριών βασικών παραγόντων για τη μέγιστη αξιοποίηση της θερμότητας του νερού που είναι η παροχή, η ταχύτητα και κυρίως η θερμοκρασία του.

## ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ - ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Ένα πρόβλημα που αντιμετωπίζεται με σοβαρότητα είναι η περιεκτικότητα του νερού σε βόριο. Οι μέχρι τώρα μετρήσεις αναφέρουν ότι η περιεκτικότητα σε βόριο ανέρχεται σε 3.30-4.14 ppm (4). Επομένως πρέπει να διερευνηθεί η καταλληλότητα χρησιμοποίησης του γεωθερμικού νερού για άρδευση των καλλιεργειών, διότι νερό βεβαρυμένο με

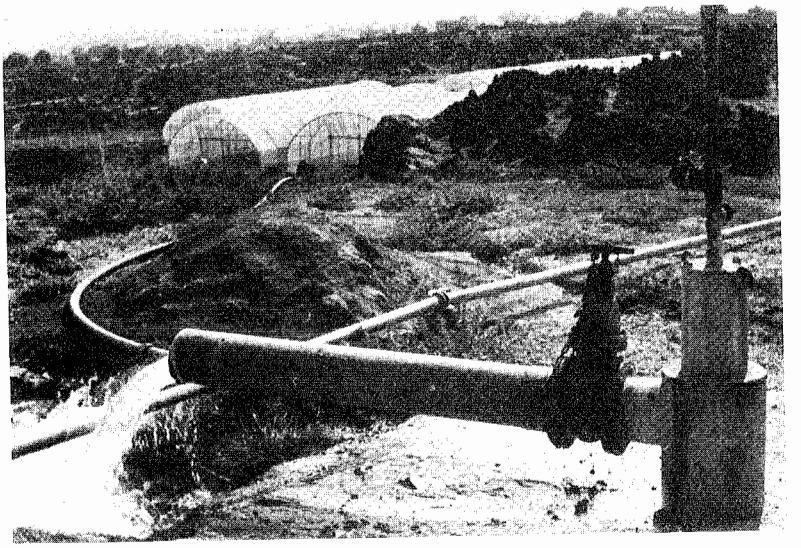
μεγάλη περιεκτικότητα βορίου επιδρά δυσμενώς στο έδαφος, ενώ όταν η περιεκτικότητα του εδάφους σε βόριο ξεπεράσει κάποια όρια μπορεί να καταστεί τοξικό και για τα φυτά. Η απομάκρυνση του βορίου από το έδαφος μπορεί να γίνει με ξέπλυμα του εδάφους, με περίσσεια νερού, όταν επικρατούν συνθήκες καλής στράγγισης και απαιτεί βεβαίως αλλαγή θέσης των θερμοκηπίων μεταξύ των καλλιεργητικών περιόδων. Εάν το ξέπλυμα του εδάφους, για διάφορους λόγους, είναι δύσκολο να πραγματοποιηθεί, τότε πιστεύεται ότι λύση στο πρόβλημα μπορεί να δοθεί με τη χρήση έτοιμου φυτοχώματος (composts) μέσα στα θερμοκήπια.

Για το βαθμό της επίδρασης του βορίου στο έδαφος και τα φυτά έχει αρχίσει έρευνα στο θερμοκήπιο 6 (μάρτυρας) κατά τη διάρκεια της άνοιξης. Το έδαφος του θερμοκήπιου χωρίσθηκε σε έξι plots με πολυαιθυλένιο βυθισμένο κατά 30 cm μέσα στο έδαφος. Καλλιεργήθηκαν 432 φυτά ντομάτας, 72 σε κάθε plot. Όσον αφορά το πότισμα των φυτών στα plots χρησιμοποιήθηκαν τρεις μεταχειρήσεις: καθαρό νερό 100%, καθαρό νερό 60% - γεωθερμικό νερό 40%, γεωθερμικό νερό 100%. Έχουν ήδη παρθεί δείγματα εδάφους και φυτών, ενώ το πείραμα θα συνεχισθεί και το χειμώνα.

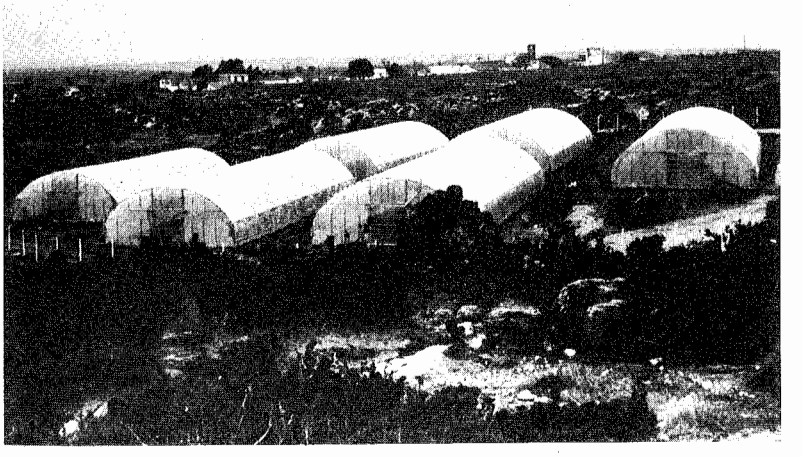
Κατά τη διάρκεια της άνοιξης έγιναν επίσης συγκριτικές μετρήσεις με αυτογραφικό θερμογράφο πολλαπλών θέσεων μεταξύ του γεωθερμικού θερμοκήπιου και ενός άλλου με απλή κάλυψη. Τα αποτελέσματα αξιολογούνται σαν ιδιαίτερα ενθαρρυντικά διότι με αρκετά υψηλές νυκτερινές θερμοκρασίες εξωτερικού περιβάλλοντος π.χ. 17.5$^{0}$ C επιτεύχθηκε διαφορά θερμοκρασίας 4.5$^{0}$ C σε σχέση με το απλό θερμοκήπιο και 5$^{0}$ C από τη θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος. Το πείραμα θα συνεχισθεί και το χειμώνα με καλλιέργεια ντομάτας για να διαπιστωθεί αφενός η λειτουργικότητα του θερμοκήπιου στις χαμηλές θερμοκρασίες που είναι και οι πιο ενδιαφέρουσες από άποψη εξοικονόμησης ενέργειας και αφετέρου η αποτελεσματικότητα του γενικώς σε σχέση με τα υπόλοιπα θερμοκήπια στα οποία θα εφαρμοσθούν άλλα μέσα θέρμανσης με γεωθερμικό νερό όπως αυτά αναφέρθηκαν παραπάνω.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

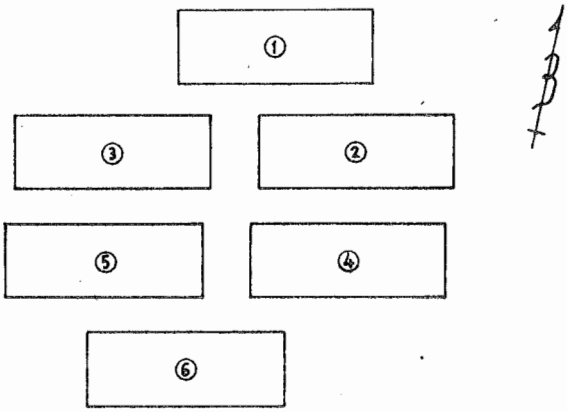
1. Γραφιαδέλλης Μ. 1985. Ανάπτυξη δύο συστημάτων για θέρμανση θερμοκηπίων με γεωθερμική ενέργεια. Επιστημονικό δελτίο, Αρ. 1, Υπουργείο Γεωργίας, Κ.Γ.Ε.Β.Ε. Τμήμα Λαχανοκομίας, Θεσ/νίκη.
2. Dorf. C. R. 1978. Energy Resources and Policy. Addison-Wesley Publishing Company.
3. Energy for Rural Development. 1976. National Academy of Sciences, Washington, D.C. 20523.
4. Έκθεση καταλληλότητας για άρδευση νερών γεωτρήσεων Ελαιοχωρίων Ν. Χαλκιδικής. 1984. Υπουργείο Γεωργίας, Ινστ. Εδαφολογίας Θεσ/νίκης - ΙΙ Περ. Δ/νση Ε. Βελτιώσεων, Τμήμα Προγρ.-Γομ. Θεσ/νίκη.
5. Καβουρίδης, Θ., Κολιός, Ν., Κουρής, Δ., Σπηλιώτης, Γ. και Φυτίκας, Μ. 1982. Γεωθερμική ενέργεια υψηλής και χαμηλής ενθαλπίας στην Ελλάδα. Πρώτο Εθνικό Συνέδριο, Ήπιες Μορφές Ενέργειας, Τόμος Β. Ινστιτούτο Ηλιακής Τεχνικής, Α.Π.Θ.
6. Komagata, S., Iga, H. and Hakamura, Y. 1970. The status of geothermal utilization in Japan. Proc. of U.N. Symp. on D.U.G.S. Pisa, Italy.



Εικ. 1. Η γεώτρηση των Ελαιοχωρίων Ν. Χαλκιδικής.



Εικ. 2. Πειραματική μονάδα θερμοκηπίων στα Ελαιοχώρια Ν. Χαλκιδικής.




ΥΠΟΜΝΗΜΑ

| | | |
|---|---|---|
| θερμοκήπιο | 1 : | Γεωθερμικό |
| " | 2 : | Επιφανειακή θέρμανση (δίκτυο σωληνώσεων) |
| " | 3 : | Υπεδάφια θέρμανση |
| " | 4 : | Εναλλάκτης θερμότητας νερού-αέρα |
| " | 5 : | Διαφανείς πλαστικές σακκούλες |
| " | 6 : | Θέρμανση με συμβατικά μέσα (μάρτυρας-πείραμα θορίου). |

Σχ. 1. Κάτοψη των έξι θερμοκηπίων στα οποία θα μελετηθούν διάφορα μέσα θέρμανσης με το γεωθερμικό νερό της περιοχής Ελαιοχωρίων.

ΒΙΟ-1

# ΘΕΡΜΟΧΗΜΙΚΗ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ: ΒΑΣΙΚΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΠΥΡΟΛΥΣΗΣ ΤΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Χ. ΚΟΥΦΟΠΑΝΟΣ, G. MASCHIO, A. LUCCHESI
Dipartimento di Ingegneria Chimica
Universita di Pisa
Via Diotisalvi 2, I-56100 Pisa (ΙΤΑΛΙΑ).

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στά πλαίσια της παρουσιαζόμενης εργασίας μελετήσαμε τις κυριότερες παραμέτρους και τους ελέγχοντες μηχανισμούς της πυρόλυσης της βιομάζας. Πειραματικά δεδομένα πήραμε με την βοήθεια θερμοζυγού και συσκευής ειδικά σχεδιασμένης για ισόθερμο προσδιορισμό μεταβολής βάρους και μέτρησης θερμοκρασιακών κατανομών πυρολυόμενων σωματιδίων. Τα αποτελέσματα χρησιμοποιήθηκαν για την μοντελοποίηση της κινητικής και των φαινομένων μεταφοράς της πυρόλυσης. Οι αποδόσεις των προϊόντων της πυρόλυσης μετρήθηκαν πειραματικά και μελετήθηκαν τα φυσικοχημικά τους χαρακτηριστικά. Στη βάση της παραπάνω μελέτης καταλήξαμε σε εκτιμήσεις και προτάσεις για την κατασκευή μιας εγκατάστασης πυρόλυσης βιομάζας.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Βιομάζα, Πυρόλυση, Κινητικά μοντέλα
Βιοέλαιο, Άνθρακας

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η πυρόλυση είναι μιά υποσχόμενη διεργασία μετατροπής της βιομάζας σε στερεά, υγρά και αέρια καύσιμα. Επιπλέον συνδιαζόμενη με την διεργασία της αεριοποίησης μπορεί να οδηγήσει στην παραγωγή αερίου με υψηλές συγκεντρώσεις υδρογόνου και μονοξειδίου του άνθρακα (Lucchesi (4) ).

Στα πλαίσια της παρουσιαζόμενης εργασίας μελετήσαμε τις παραμέτρους και τους ελέγχοντες μηχανισμούς της διεργασίας, τις αποδόσεις και τα χαρακτηριστικά των προϊόντων, με τελικό σκοπό τον προσδιορισμό απλών μαθηματικών μοντέλων που να περιγράφουν την πυρόλυση, την διάθεση ποσοτικών πληροφοριών και την διατύπωση προτάσεων για την κλιμάκωση της διεργασίας.

# Ι. ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΠΥΡΟΛΥΣΗΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

## Ι.1 Πειραματικό μέρος

Μετρούμε την πρόοδο της πυρόλυσης παρακολουθόντας την μεταβολή βάρους και τις θερμοκρασιακές κατανομές μεμονωμένων σωματιδίων προερχόμενα απο διαφορετικά λιγνινοκυτταρινικά υλικά, μέσα σε περιβάλλον θερμοκρασιακά ελεγχόμενο και ατμόσφαιρα αδρανή (Άζωτο).

Πειράματα πραγματοποιήθηκαν σε έναν CAHN θερμοζυγό (TGA) και σε συσκευή ειδικά σχεδιασμένη για ισόθερμα πειράματα (λεπτομερής περιγραφή της συσκευής δίνεται αλλού-βλ. Κουφοπάνος (6)). Τα υλικά που χρησιμοποιήσαμε παρουσιάζονται στον Πίνακα 1 μαζί με την χημική τους σύσταση.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ (% σε ξηρή βάση)

| Υλικό | Ημικυτταρίνη | Κυτταρίνη | Λιγνίνη | Εκχυλίσματα(1) | Τέφρα |
|---|---|---|---|---|---|
| Λιγνίνη(2) | - | - | 94.0 | - | 6.0 |
| Βαμβάκι(3) | 0.6 | 99.3 | - | - | 0.1 |
| Ελαιοπυρήνες | 21.1 | 22.2 | 45.0 | 8.1 | 3.6 |
| Ξύλο | 12.7 | 50.5 | 29.6 | 5.3 | 2.0 |

(1): οργανικές ενώσεις διαλυτές σε διάλυμα αλκοόλης-βενζολίου.

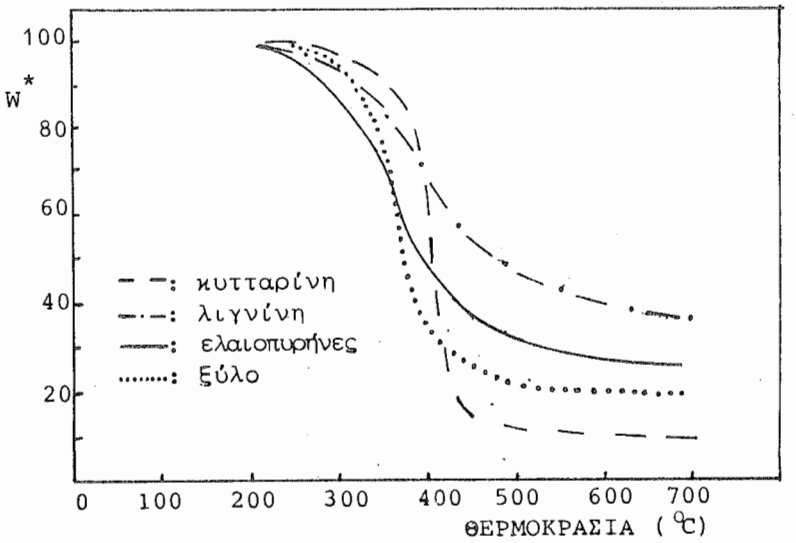
(2): λιγνίνη που διαχωρίστηκε στα εργαστήρια μας με την μέθοδο Klason, απο ελαιοπυρήνες.

(3): μπορεί να θεωρηθεί σαν καθαρή κυτταρίνη.

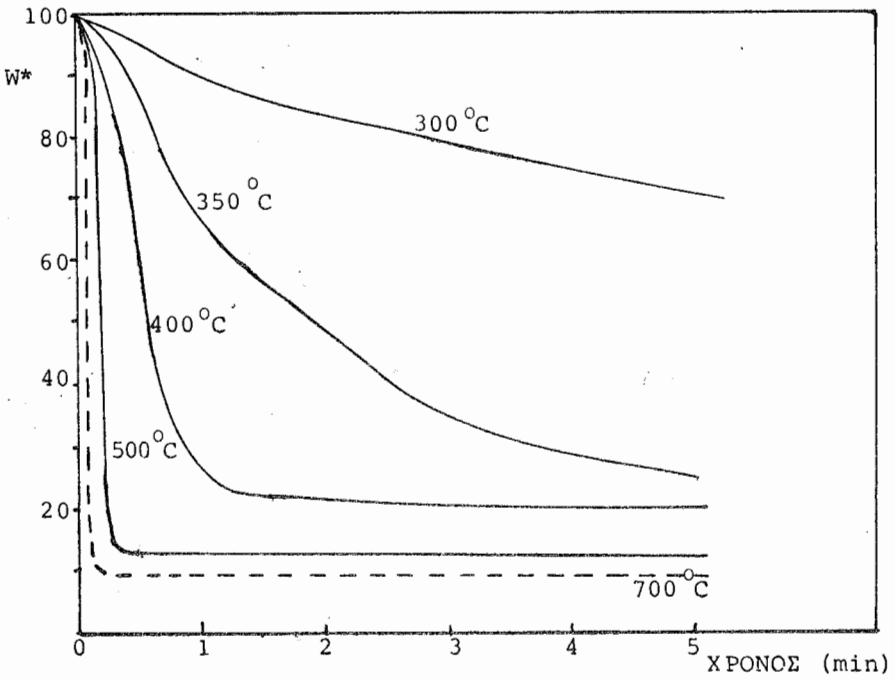
Στο Σχήμα 1 δίνονται ευκρινώς οι διάφορες φάσεις της πυρολυσης, καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία. Μια αναλυτική παρουσίαση της πιθανής φυσικοχημείας των φάσεων αυτών δίνεται από τον Shafizadeh (1). Στο ίδιο σχήμα διακρίνεται η διαφορετική συμπεριφορά υλικών με διαφορετική προέλευση. Αυτές οι διαφορές θα πρέπει να αποδοθούν στην διαφορετική συμμετοχή των κύριων συστατικών της βιομάζας (κυτταρίνη, λιγνίνη, ημικυτταρίνη) στην σύσταση των υλικών.

Η σημαντική επίδραση της θερμοκρασίας και του χρόνου παραμονής του σωματιδίου στην μεταβολή βάρους παρουσιάζονται στο Σχ.2.

Το μέγεθος του πυρολυόμενου σωματιδίου επιρεάζει σημαντικά την πορεία της πυρόλυσης (βλ. στο Σχ.3 μια χαρακτηριστική περίπτωση επίδρασης του μεγέθους του σωματιδίου στην πυρολυτική καμπύλη). Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την μορφή των θερμοκρασιακών κατανομών σε ένα πυρολυόμενο σωματίδιο (Σχ.4) μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η πυρόλυση ελέγχεται απο την μεταφορά της θερμότητας: η θερμότητα μεταδίδεται απο το εξωτερικό μέρος προς το κέντρο του σωματιδίου αυξάνοντας την τοπική θερμοκρασία σε κάθε σημείο η πυρόλυση λαμβάνει χώρα με ρυθμό εξαρτώμενο της τοπικής



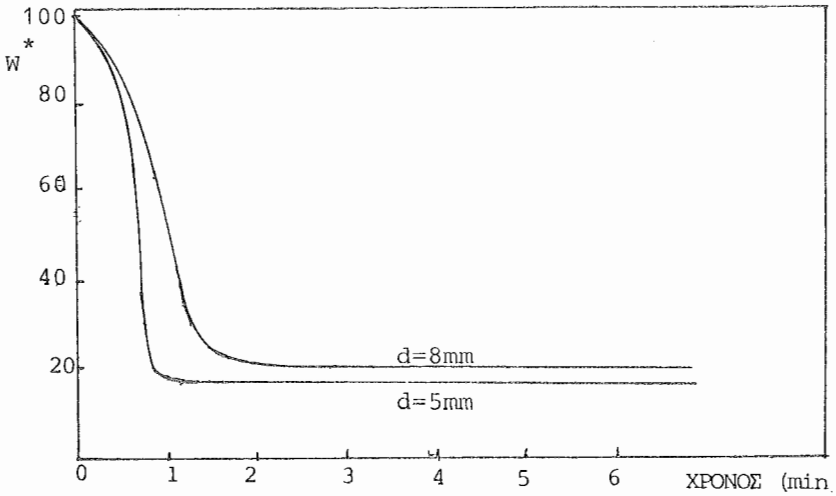

Σχήμα 1. Η πυρόλυση διαφόρων λιγνοκυτταρινικών υλικών. Γραμμική ανύψωση της θερμοκρασίας (20°C/min).



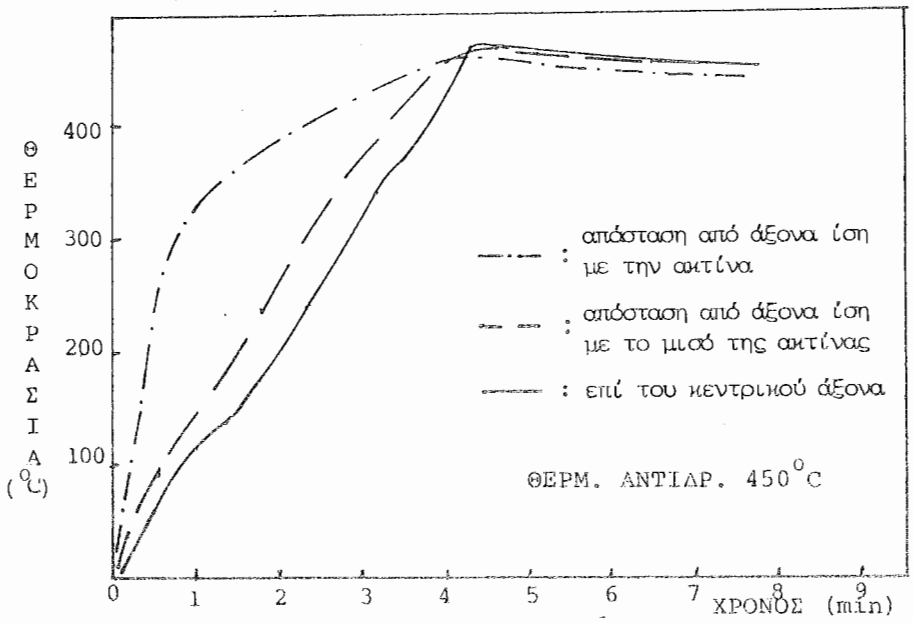

Σχήμα 2. Πυρόλυση ξύλινων σωματιδίων (πάχος μικρότερο από 0.8 mm) σε ισοθερμοκρασιακή λειτουργία του αντιδραστήρα.

θερμοκρασίας (βλ. και εργασίες των Roberts (2) και Pyle (3) ).

Περισσότερες πειραματικές καμπύλες για τις μεταβολές βάρους και τις θερμοκρασιακές κατανομές σε διάφορα λιγνινοκυτταρινικά υλικά, παρουσιάζονται αλλού (Κουφοπάνος (6) ).




Σχήμα 3. Επίδραση του μεγέθους του σωματιδίου στην πυρολυτική καμπύλη. Σφαιρικά σωματίδια από ξύλο. Θερμ.αντιδρ.400 $^{o}$C




Σχήμα 4. Θερμοκρασιακή κατανομή πυρολυόμενου κυλινδρικού σωματιδίου από ξύλο. Διάμετρος 10mm.

I.2 Μοντελοποίηση της πυρόλυσης

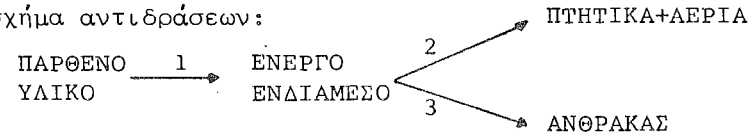
Η μοντελοποίηση προτείνεται να αντιμετωπιστεί με δύο διαφορετικούς τρόπους, αναλόγως της παρουσίας ή όχι των φαινομένων μεταφοράς που αναφέρονται προηγουμένως.

Στην πυρόλυση μικρών σωματιδίων (πάχος μικρότερο από 1mm) αυτά τα φαινόμενα ελαχιστοποιούνται και μπορούμε να θεωρήσουμε ότι ο ελέγχων μηχανισμός είναι η εγγενής κινητική (πράγματι οι πειραματικές καμπύλες για την πυρόλυση σωμα-

τιδίων με διαφορετικό μέγεθος δεν διαφοροποιούνται, κάτω από το όριο του 1mm).

Για την περιγραφή της εγγενούς κινητικής της πυρόλυσης εκλέξαμε σαν αντιδρόντα συστατικά την κυτταρίνη, λιγνίνη, ημικυτταρίνη και εκχυλίσματα και σαν προϊόντα τον άνθρακα, τα πτητικά και τα αέρια προϊόντα. Θεωρήσαμε ότι τα προϊόντα της πυρόλυσης της βιομάζας είναι το άθροισμα των παραγόμενων προϊόντων από κάθε αντιδρόν συστατικό. Κάθε αντιδρόν συστατικό συμμετέχει στην διαμόρφωση του άθροισματος ανάλογα με την συμμετοχή του στην αρχική σύσταση της βιομάζας.

Η πυρόλυση κάθε αντιδρόντος συστατικού περιγράφτηκε με το εξής σχήμα αντιδράσεων:




Η αντίδραση 1 είναι μηδενικής τάξεως, ενώ οι αντιδράσεις 2 και 3 είναι πρώτης τάξεως. Οι κινητικές τους σταθερές ακολουθούν τον νόμο του Arrhenious. Οι τιμές των σταθερών (Πίνακας 2) ελήφθησαν προσαρμόζοντας το μοντέλο στις πειραματικές καμπύλες.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. ΚΙΝΗΤΙΚΕΣ ΣΤΑΘΕΡΕΣ

| Συστατικό | $k_1$ | $E_1$ | $k_2$ | $E_2$ | $k_3$ | $E_3$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Κυτταρίνη | $10^9$ | 123 | $10^9$ | 119 | $10^9$ | 129 |
| Λιγνίνη | $10^8$ | 75 | $10^4$ | 63 | $10^7$ | 103 |
| Ημικυτταρίνη +Εκχυλίσματα | $10^8$ | 75 | $10^6$ | 73 | $10^9$ | 110 |

$k_i$: παράγοντας συχνότητας της $i^{th}$ αντίδρασης. ($min^{-1}$).
$E_i$: ενέργεια ενεργοποίησης της $i^{th}$ αντίδρασης. (kJ/mol).

Οι θεωρητικές καμπύλες που ελήφθησαν σύμφωνα με την παραπάνω διαδικασία έρχονται σε καλή συμφωνία με τις αντίστοιχες πειραματικές.

Για την περιγραφή της πυρόλυσης των μεγάλων σωματιδίων, όπου έχουμε την παρουσία φαινομένων μεταφοράς, προτείνεται η χρήση ενός μοντέλου αποτελούμενου από το ισοζύγιο θερμότητας σε έναν στοιχειώδη πυρολυόμενο όγκο και μιά έκφραση για τον ρυθμό της εγγενούς κινητικής. Η τιμή της θερμότητας της χημικής αντίδρασης μπορεί να υπολογιστεί με την βοήθεια μεθόδων θερμικής ανάλυσης (συνδιασμός TGA και DSC).

## ΙΙ. ΤΑ ΠΡΟΙΟΝΤΑ ΤΗΣ ΠΥΡΟΛΥΣΗΣ

### ΙΙ.1 Αποδόσεις

Οι αποδόσεις των προϊόντων της πυρόλυσης μετρήθηκαν σε έναν αυλωτό αντιδραστήρα, ημιδιαλείποντος έργου (βλ. Lucchesi (5) για την περιγραφή της συσκευής). Τα λαμβανόμενα προϊόντα διακρίνονται σε άνθρακα, υδατικό κλάσμα, βιοέλαιο (tar) και αέρια (Πίνακας 3).

ΠΙΝΑΚΑΣ 3. ΠΡΟΙΟΝΤΑ ΤΗΣ ΠΥΡΟΛΥΣΗΣ (αποδόσεις % κ.β.)

| ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ($^{o}$C) | | 300 | 350 | 350 | 400 | 400 | 500 | 500 | 550 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ΑΧΥΡΟ | Προϊόντα προπυρόλυσης (+) | - | - | - | - | 16.7 | - | 20.0 | - |
| | Άνθρακας | 31.0 | - | - | 30.8 | 30.8 | 30.0 | 30.0 | - |
| | Βιοέλαιο | 6.8 | - | - | 37.5 | 23.3 | 19.0 | 3.3 | - |
| | Υδατικό κλάσμα | 31.0 | - | - | | | | | |
| | Αέρια | 29.2 | - | - | 31.7 | 29.2 | 51.0 | 46.7 | - |
| ΕΛΑΙΟ ΠΥΡΗΝΕΣ | Προϊόντα προπυρόλυσης | - | - | 11.5 | - | 11.9 | - | - | - |
| | Άνθρακας | - | 37.0 | 31.8 | 30.0 | 33.0 | 26.9 | - | 20.0 |
| | Βιοέλαιο | - | 12.0 | 9.3 | 11.0 | 8.5 | 8.7 | - | 7.0 |
| | Υδατικό κλάσμα | - | 32.7 | 19.0 | 31.0 | 22.5 | 23.0 | - | 27.1 |
| | Αέρια | - | 18.3 | 28.4 | 28.0 | 24.1 | 41.4 | - | 46.0 |
| ΞΥΛΟ | Προϊόντα προπυρόλυσης | - | - | 30.0 | - | 33.0 | - | 28.5 | 25.6 |
| | Άνθρακας | - | - | 24.0 | 21.0 | 21.0 | - | 19.2 | 18.2 |
| | Βιοέλαιο | - | - | 8.5 | 7.1 | 10.1 | - | 10.5 | 11.0 |
| | Υδατικό κλάσμα | - | - | 16.5 | 47.4 | 19.0 | - | 18.5 | 17.1 |
| | Αέρια | - | - | 21.1 | 24.6 | 17.1 | - | 23.8 | 29.0 |

(+): πρόκειται κυρίως για $H_2O$ και $CO_2$.

Οι αποδόσεις εξαρτόνται απο την χημική σύσταση της βιομάζας και τις λειτουργικές συνθήκες, με πιό σπουδαία την θερμοκρασία. Η μεγιστοποίηση της απόδοσης σε άνθρακα και βιοέλαιο πραγματοποιείται στην θερμοκρασιακή ζώνη 400-500 $^{o}$C. Αυξάνοντας την θερμοκρασία πάνω από τους 500 $^{o}$C οι αποδόσεις των προϊόντων αυτών ελαττώνονται ενώ αυτή των αερίων αυξάνεται σημαντικά.

Πειράματα με προξηραμένη βιομάζα έδειξαν ότι ο ρυθμός της πυρόλυσης σε αυτή την περίπτωση είναι διπλάσιος του αντίστοιχου της πυρόλυσης της υγρής βιομάζας.

### ΙΙ.2 Χαρακτηριστικά των προϊόντων

Άνθρακας. Ο λαμβανόμενος από την πυρόλυση άνθρακας έχει θερμαντική αξία (LHV) κυμαινόμενη από 23000 έως 30000 kJ/kg και πτητικά 5-25%. Η ποσότητα του περιεχόμενου θείου είναι πολύ μικρή. Οι ροφητικές ικανότητες του άνθρακα είναι κα-

λές και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν ενεργός άνθρακας.

Βιοέλαιο. Αποτελείται από ευρύ φάσμα οργανικών ενώσεων και έχει θερμαντική αξία (LHV) κυμαινόμενη από 21000 έως 28400 kJ/kg . Είναι θερμικά ευαίσθητο και με την άνοδο της θερμοκρασίας πάνω από 150°C αρχίζει να διασπάται. Το ιξώδες του αυξάνεται με την επαφή του με τον αέρα. Το βιοέλαιο έχει όξινα χαρακτηριστικά.

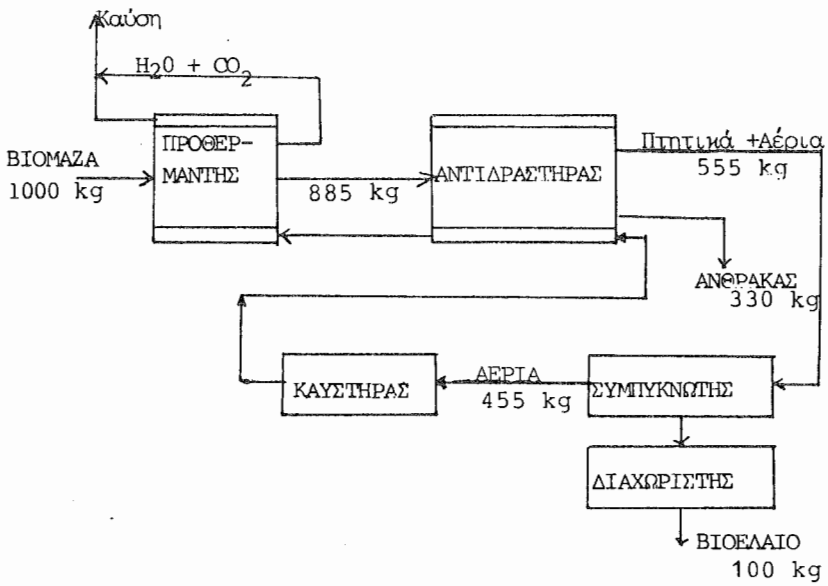
Αέρια. Τα αέρια της πυρόλυσης αποτελούνται κυρίως απο υδρογόνο, διοξείδιο και μονοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο, μικρές ποσότητες υδρογονανθράκων χαμηλού μοριακού βάρους και ατμούς οργανικών ενώσεων. Η θερμαντική τους αξία (LHV) αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας κατά την οποία παράγονται και βρίσκεται μεταξύ 10500 και 14600 kJ/Nm$^3$ . Προτείνεται η χρησιμοποίηση των αερίων να γίνεται κοντά στην εγκατάσταση της πυρόλυσης, σαν καύσιμο για την κάλυψη μέρους των ενεργειακών αναγκών της διεργασίας.

## III. Η ΚΛΙΜΑΚΩΣΗ ΤΗΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ

Με βάση τα πειραματικά αποτελέσματα προχωρήσαμε σε εκτιμήσεις και προτάσεις για τον σχεδιασμό μιάς εγκατάστασης πυρόλυσης, που έχει σαν στόχο την μεγιστοποίηση της παραγωγής άνθρακα και βιοελαίου.

Προτείνεται το διάγραμμα ροής του Σχ.5. Ο αντιδραστήρας είναι τύπου περιστρεφόμενου φούρνου. Η βιομάζα, πριν να τροφοδοτηθεί στον αντιδραστήρα, προθερμαίνεται σε θερμοκρασία 180 °C. Το γεγονός αυτό αφ'ενός μεν ελαττώνει το μέγεθος του αντιδραστήρα, αφ'ετέρου δε ελαττώνει το νερό που περιέχεται στο αέριο της πυρόλυσης. Τα αέρια της πυρόλυσης ψύχονται σε κατάλληλα επιλεγμένη θερμοκρασία, έτσι ώστε να αποφεύγεται η συμπύκνωση του παραγόμενου κατά την προπυρολυτική φάση νερού. Με αυτό τον τρόπο ελαχιστοποιείται η παρουσία του νερού στο βιοέλαιο και μειώνονται οι διαβρωτικές του ιδιότητες.

Υπολογισμοί που έγιναν με βάση το παρουσιαζόμενο διάγραμμα ροής, έδειξαν ότι: 1) επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας και κόστους καίγοντας τα αέρια της πυρόλυσης και χρησιμοποιόντας τα για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της διεργασίας. 2)η συνεχής διεργασία είναι πιό αποδοτική από την διεργασία διαλείποντος έργου. 3)η ενεργειακή απόδοση της πυρόλυσης είναι μεγαλύτερη της αντίστοιχης της καύσης κατά 20% περίπου. Στην ευνοϊκή για την πυρόλυση σχέση θα πρέπει να συνυπολογίσουμε το γεγονός ότι τα προϊόντα της πυρόλυσης έχουν μεγαλύτερη ενεργειακή πυκνότητα και συνεπώς πλεονεκτούν από οικονομική άποψη.




Σχήμα 5. Διάγραμμα ροής μιάς εγκατάστασης πυρόλυσης βιομάζας.

Σημείωση. Το σύμβολο $W^*$ στα σχήματα 1-4 απεικονίζει το υπολειπόμενο βάρος: (Βάρος-Τέφρα)/(Αρχ. βάρος-Τέφρα)x100.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. SHAFIZADEH,F., (1982), "An introduction to the pyrolysis of biomass", J.Anal.Appl.Pyrolysis, 3, pp.283-305.

2. ROBERTS,A.,F., (1971), "Problems associated with the theoretical analysis of the burning of wood", 13th Int. Symp. on Combustion, Pittsburg 1971, pp.893-903.

3. PYLE D.,L., ZAROR C.,A., (1984), "Heat transfer and kinetics in the low temperature pyrolysis of solids", Chem. Eng.Sc., 39, 1, pp. 147-158.

4. LUCCHESI A.,MASCHIO G.,SERRA G.,KOUFOPANOS C.,MENICHILLI U., (1985), "Hydrogen by Pyrolysis-Gasification of Biomass", 2nd Int.Symp.Hydrogen from Renewable Materials, Oct. 22-24, 1985, Florida.

5. LUCCHESI A., MASCHIO G., (1983), Conservation & Recycl. Vol.6, 3, pp.85-90.

6. KOUFOPANOS C.,Reports on the work carried out during the CEC grant period:11.04.1983-30.11.1984.

BIO-9

# ΜΟΝΤΕΛΟ ΡΟΩΝ ΜΑΖΑΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΑΠΟ ΒΙΟΜΑΖΑ

Ε.Γ.Κούκιος[1], Κ.Χατζηγιαννάκης[2], και Δ.Ασημακόπουλος[3]

[1]Τομέας Σύνθεσης και Ανάπτυξης Βιομηχανικών Διαδικασιών, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π.

[2]Υπουργείο Ενέργειας και Φυσικών Πόρων

[3]Τομέας Ανάλυσης, Σχεδιασμού και Ανάπτυξης Διεργασιών και Συστημάτων, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Για την περιγραφή ενός συστήματος ολοκληρωμένης αξιοποίησης της βιόμαζας σε περιφερειακό επίπεδο προτείνεται ένα μοντέλο διαμερισμάτων, ανάμεσα στα οποία υπάρχουν ροές μάζας και ενέργειας. Η μαθηματική διαμόρφωση και επεξεργασία του μοντέλου, σύμφωνα με οικολογικά και οικονομικά δεδομένα, επιτρέπει τη μελέτη της ισορροπίας και της δυναμικής συμπεριφοράς του συστήματος, με έμφαση στην ευστάθεια. Συμπεραίνεται ότι η εισαγωγή μεθόδων βιομηχανικής αξιοποίησης της βιόμαζας σε ένα συμβατικό αγρο-βιομηχανικό σύστημα έχει ευεργετικά αποτελέσματα για τη δομή και τη λειτουργία του συστήματος.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Βιόμαζα, ενέργεια, ολοκληρωμένο σύστημα, ισορροπία, ευστάθεια, διαχείριση

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διαχείριση των βιο-πόρων (bioresources) μιας περιοχής μπορεί να γίνει αποτελεσματικά με τη διαμόρφωση ενός μαθηματικού μοντέλου των ροών μάζας και ενέργειας στα πλαίσια ενός ολοκληρωμένου αγρο-βιομηχανικού συστήματος, όπου η βιόμαζα χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη για την παραγωγή ενέργειας και οργανικών προϊόντων, σύμφωνα με τις οικονομικές και οικολογικές απαιτήσεις της περιοχής αυτής. Με αυτόν τον τρόπο, η συστηματική αξιοποίηση της βιόμαζας με βιοτεχνολογικές και άλλες σύγχρονες αλλά και παραδοσιακές μεθόδους ενσωματώνεται σε ένα ευρύτερο παραγωγικό-οικολογικό σύστημα (1).

Το μοντέλο ροών μάζας και ενέργειας που προτείνεται στην εργασία αυτή στηρίζεται στις αναλύσεις των Ulanowicz (2), May (3) και Smerage (4) και ιδιαίτερα στην εφαρμογή τους από τον Hirata και τους συνεργάτες του (5-9) για τη διερεύνηση διαφόρων παραγωγικών και περιβαλλοντικών προβλημάτων.

ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Η μαθηματική αναπαράσταση που δίνεται εδώ βασίζεται στη θεώρηση ενός συστήματος χωρισμένου σε ν διακριτά και ομογενή υποσυστήματα ή διαμερίσματα (compartments). Η εφαρμογή των κατάλληλων κάθε φορά νόμων διατήρησης (μάζας, ενέργειας, πληθυσμού) στο διαμέρισμα i οδηγεί στην αντίστοιχη διαφορική εξίσωση της μορφής

$$\frac{dF_i}{dt} = \sum_j^{\nu} f_{ji} - \sum_j^{\nu} f_{ij} \qquad (1)$$

όπου $F_i$ η μεταβλητή που χαρακτηρίζει την κατάσταση στο i, $f_{ji}$ και $f_{ij}$ οι ροές προς και από το i, αντίστοιχα, που το συνδέουν με τα υπόλοιπα υποσυστήματα j. Η περαιτέρω διαμόρφωση των διαφορικών εξισώσεων του μοντέλου απαιτεί τη χρησιμοποίηση οικολογικών και οικονομικών δεδομένων, για την έκφραση των ροών $f_{ij}$ συναρτήσει των μεταβλητών κατάστασης $F_i$ και $F_j$. Διακρίνονται ορισμένοι χαρακτηριστικοί τύποι τέτοιων εκφράσεων, που στην περίπτωση ροών μάζας είναι οι εξής (10):

(α) Αλληλεξάρτηση, όπως π.χ. σε περιπτώσεις σχέσεων θύματος-θύτη (μοντέλο Lotka-Volterra):

$$m_{ij} = a_{ij} M_i M_j \qquad (2\alpha)$$

(β) Έλεγχος από τον παραλήπτη, όπως π.χ. στην περίπτωση της κατανάλωσης θρεπτικών ουσιών κατά τη φωτοσύνθεση:

$$m_{ij} = a_{ij} M_j \qquad (2\beta)$$

(γ) Έλεγχος από το δότη, όπως π.χ. συμβαίνει στη δημιουργία απορριμάτων:

$$m_{ij} = a_{ij} M_i \qquad (2\gamma)$$

(δ) Επίδραση της πυκνότητας ενός πληθυσμού, όπως συμβαίνει στην ειδική περίπτωση της ροής νεκρής βιολογικής ύλης προς το περιβάλλον:

$$m_{ij} = p_i M_i + q_i M_i^2 \qquad (2\delta)$$

Χρησιμοποιώντας κάθε φορά την κατάλληλη έκφραση για τις ροές στο εσωτερικό του συστήματος, και μεταξύ των διαφόρων υποσυστημάτων και του εξωτερικού κόσμου (εισαγωγές ή εξαγωγές), οδηγούμαστε στη διαμόρφωση ενός συστήματος ν διαφορικών εξισώσεων, όπου περιέχονται οι ν+1 μεταβλητές $M_1, M_2, \ldots, M_\nu, t$ και ένας μεγάλος αριθμός (ως $\nu^2+2\nu$) συντελεστών μεταφοράς. Ένα τέτοιο σύστημα με 6 διαμερίσματα (έδαφος, φυτική παραγωγή, ζωική παραγωγή, συμβατική βιομηχανία, ανθρώπινη κοινότητα και βιομηχανία βιόμαζας) και 28 συντελεστές περιγράφεται αλλού (10).

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Ένα πρώτο αποφασιστικό βήμα για την ορθολογική διαχείριση του ολοκληρωμένου συστήματος της βιόμαζας είναι ο

προσδιορισμός της θέσης ή των θέσεων ισορροπίας $M_i^*$ του συστήματος αυτού, καθώς και η διατύπωση των αντίστοιχων συνθηκών ισορροπίας που πρέπει να ικανοποιούνται από τους συντελεστές $a_{ij}$. Για το σκοπό αυτό αρκεί να θέσουμε:

$$\frac{dM_i}{dt} = 0 \qquad (3)$$

και να λύσουμε το προκύπτον σύστημα των ν αλγεβρικών εξισώσεων για την εύρεση των ν άγνωστων τιμών $M_i^*$. Το σύνολο των λύσεων αυτών θα δίνουν τη θέση (ή τις θέσεις, σε περίπτωση περισσότερων λύσεων) ισορροπίας, τότε και μόνο τότε όταν έχουν φυσική έννοια, δηλαδή μη-αρνητική τιμή. Στην ειδική περίπτωση που η τιμή ισορροπίας ενός υποσυστήματος βρίσκεται να έχει μηδενική τιμή μπορούμε να συμπεράνουμε ότι το συγκεκριμένο υποσύστημα παύει να αποτελεί μέρος του συστήματος, αρκεί να πρόκειται για θέση ευσταθούς ισορροπίας (11).

Η δυνατότητα διερεύνησης των συνθηκών ευστάθειας του συστήματος αποτελεί τη δεύτερη σημαντική συνεισφορά του προτεινόμενου μοντέλου στην προσπάθεια για συστηματική αξιοποίηση της βιόμαζας. Η διερεύνηση αυτή γίνεται με γραμμικοποίηση των διαφορικών εξισώσεων στη γειτονεία των $M_i^*$, σύμφωνα με την έμμεση μέθοδο του Liapounov (12), και στη συνέχεια προσδιορισμό των ιδιοτιμών του προκύπτοντος γραμμικού συστήματος (13). Καθώς η ευστάθεια ισοδυναμεί με ταυτόχρονη ύπαρξη πραγματικών και αρνητικών ιδιοτιμών, προκύπτουν εύκολα οι αντίστοιχες συνθήκες ευστάθειας, που πρέπει να ικανοποιούνται από τους συντελεστές aij μαζί με τις συνθήκες ισορροπίας. Η παραβίαση των συνθηκών ευστάθειας συνεπάγεται εμφάνιση φαινομένων αστάθειας ή/και ταλαντώσεων γύρω από τη θέση ισορροπίας. Συγκεκριμένα, η εμφάνιση μιάς ή περισσότερων πραγματικών και θετικών ιδιοτιμών ισοδυναμεί με αστάθεια του συστήματος, ενώ οι μιγαδικές ιδιοτιμές σημαίνουν εμφάνιση ταλαντώσεων, που είτε αποκλίνουν (περίπτωση θετικού πραγματικού μέρους), είτε συγκλίνουν (περίπτωση αρνητικού πραγματικού μέρους). Στην περίπτωση φανταστικών ιδιοτιμών, το σύστημα βρίσκεται σε αδιάκοπη ταλάντωση, ενώ μηδενικές ιδιοτιμές σημαίνουν χρονική σταθερότητα της αντίστοιχης τιμής ισορροπίας (11).

Από τη μαθηματική διερεύνηση συγκεκριμένων συστημάτων (10) προκύπτει η αναγνώριση του σημαντικού ρόλου των μη-γραμμικών εκφράσεων, όπως αυτές των σχέσεων (2α) και (2δ), για την ύπαρξη πολλαπλών θέσεων ισορροπίας, την πιθανότητα ταλαντώσεων γύρω από τις θέσεις αυτές καθώς και μετατόπισης της ισορροπίας από τη μία κατάσταση ισορροπίας στην άλλη. Κάθε μία από αυτές τις ιδιαίτερα ενδιαφέρουσες για τη διαχείριση του συστήματος περιπτώσεις αντιστοιχεί σε μια συγκεκριμένη περιοχή τιμών του πολυδιάστατου "χώρου" των συντελεστών aij. Είναι λοιπόν έτσι δυνατόν, όχι μόνο να προβλέπουμε τη συμπεριφορά ενός συστήματος, αλλά και να την επηρεάζουμε μεταβάλλοντας την τιμή ορισμένων κρίσιμων συντελεστών, όπως π.χ. του βαθμού ανακύκλωσης και αξιοποίησης της βιόμαζας, αλλά και επιλέγοντας την κατάλληλη τεχνολογία (14).

Εστιάζοντας την ανάλυση στο επίπεδο του διαμερσίσματος εκείνου, που αντιστοιχεί στη μετατροπή της βιόμαζας σε ενέργεια και οργανικά προϊόντα, παρατηρούμε ότι η εισαγωγή ενός τέτοιου υποσυστήματος στο προϋπάρχον σύστημα διαχείρισης της βιόμαζας (γεωργία, κτηνοτροφία, δάση και σχετική βιομηχανία) συνεπάγεται τα εξής για το προκύπτον σύστημα (10):

- αύξηση της δυνατότητας ελέγχου (controllability),
- ενίσχυση της "συνεκτικότητας" (connectivity),
- ευνοϊκή επίδραση στην ευστάθεια,
- μείωση της ευαισθησίας (sensitivity) σε ενδεχόμενες μεταβολές της τιμής των συντελεστών.

Αποδεικνύεται έτσι πώς η αξιοποίηση της βιόμαζας προάγει την ολοκλήρωση του αγρο-βιομηχανικού ιστού μιας περιφέρειας (15), κυρίως μέσα από την ενίσχυση της αλληλεπίδρασης των τοπικών φυτικών, ζωικών και ανθρώπινων πληθυσμών.

Ταυτόχρονα, η διατύπωση των συνθηκών ισορροπίας και ευστάθειας και η υπόλοιπη μαθηματική επεξεργασία του συστήματος επιτρέπει την ποσοτική εκτίμηση της διαθεσιμότητας (availability) της τοπικής βιόμαζας για μετατροπή σε χρήσιμα προϊόντα δίχως διαταραχή των βιολογικών κύκλων και των οικονομικών λειτουργιών. Η άριστη μορφή της διαχείρισης του ολοκληρωμένου συστήματος μπορεί, σε επόμενη φάση, να προσδιοριστεί από τη μεγιστοποίηση ή ελαχιστοποίηση ενός κατάλληλα επιλεγμένου κριτηρίου (οικονομικό αποτέλεσμα, ενεργειακή αποδοτικότητα, οικολογικές διαταραχές, εξάρτηση από εισαγωγές κλπ). Για το σκοπό αυτό διατίθενται στη βιβλιογραφία διάφορες τεχνικές αριστοποίησης (16-18).

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το μοντέλο των διαμερισμάτων (compartmental model) που προτείνεται στην εργασία αυτή, σε συνδυασμό με γνωστές μαθηματικές τεχνικές διερεύνησης της ευστάθειας και αριστοποίησης ενός συστήματος, επιτρέπει την ορθολογική διαχείριση ενός περιφερειακού συστήματος ολοκληρωμένης αξιοποίησης της βιόμαζας. Συγκεκριμένα, γίνεται δυνατή η πρόβλεψη της δυναμικής συμπεριφοράς του συστήματος, αλλά και ο επηρεασμός της συμπεριφοράς αυτής με τον κατάλληλο σχεδιασμό (design) του συστήματος. Αποδεικνύεται ότι, γενικά, η εισαγωγή δραστηριοτήτων αξιοποίησης της βιόμαζας με τη βοήθεια της σύγχρονης τεχνολογίας βελτιώνει αρκετά από τα επιθυμητά χαρακτηριστικά της δομής και της λειτουργίας του συστήματος συντελώντας αποφασιστικά στην ολοκλήρωση του περιφερειακά αγρο-βιομηχανικού ιστού.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ

| | |
|---|---|
| $\nu$ | αριθμός υποσυστημάτων |
| $i,j$ | τυχόντα υποσυστήματα ($i,j=1,2,\ldots,\nu$) |
| $F_i$ | μεταβλητή κατάστασης στο i |
| $t$ | χρόνος |
| $f_{ij}$ | ροή μάζας ή ενέργειας από το i στο j |
| $m_{ij}$ | ροή μάζας από το i στο j |
| $M_i$ | βιομάζα που περιέχεται στο i |
| $a_{ij}$ | συντελεστής μεταφοράς μάζας από το i στο j |

$p_i, q_i$ συντελεστές παραγωγής νεκρής βιολογικής ύλης στο i

$M_i^*$ τιμή του $M_i$ στην ισορροπία

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ


(1) Ε.Γ.Κούκιος και Κ.Χατζηγιαννάκης (1982), Πρακτικά 1ου Εθνικού Συνεδρίου Ήπιων Μορφών Ενέργειας, τ.Β', Β10 15-22, Ινστιτούτο Ηλιακής Τεχνικής, Θεσσαλονίκη.

(2) R.E.Ulanowicz (1972), J. theor. Biol., 34, 239-253.

(3) R.M.May (1973), J. theor. Biol., 39, 155-163.

(4) G.H.Smerage (176), J. theor. Biol., 57, 203-223.

(5) H.Hirata and T.Fukao (1977), Mathematical Biosciences, 33, 321-334.

(6) H.Hirata and T.Fukao (1978), IEEE Trans on Systems, Man and Cybernetics, 8, 432-435.

(7) H.Hirata and H.Kogo (1978), Int. J. Systems Sci., 9, 1207-1214.

(8) H.Hirata (1979), IEEE Trans on Systems, Man and Cybernetics, 9, 296-300.

(9) H.Hirata (1980), Int. J. Systems Sci., 11, 487-493.

(10) E.G.Koukios, C.Hatziyannakis and D.Assimakopoulos (1985), Biomass (submitted).

(11) A.J.Lotka (1956), Elements of Mathematical Biology, Dover, New York.

(12) L.Pontriaguine (1975), Equations Différentielles Ordinaires, Mir, Moscou.

(13) D.A.Sánchez (1968), Ordinary Differential Equations and Stability Theory, Freeman & Co., San Francisco.

(14) E.G.Koukios and C.Hatziyannakis (1983), in S.G.Tzafestas and M.H.Hamza (eds), Advances in Modeling, 68-71, Acta Press, Zürich.

(15) Ε.Γ.Κούκιος (1979), Διατριβή, Ινστιτούτο Περιφερειακής Ανάπτυξης, Πάντειος Σχολή, Αθήνα.

(16) C.W.Clark (1976), Mathematical Bioeconomics, Wiley-Interscience, New York.

(17) M.Simaan and T.Takayama (1980), Int. J. Systems Sci., 11, 281-290.

(18) G.C.Rausser et al (1983), Int. J. Systems Sci., 14, 829-858.

ΒΙΟ-15

# ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΑΠΟ ΦΥΤΕΙΕΣ ΕΙΔΩΝ ΚΑΙ ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΩΝ ΠΛΑΤΑΝΟΥ ΜΕ ΜΙΚΡΟ ΠΕΡΙΤΡΟΠΟ ΧΡΟΝΟ

## Αποτελέσματα δεύτερης αποψιλωτικής υλοτομίας.

Υπο

Κων/νου Π. Πανέτσου*

## Π Ε Ρ Ι Λ Η Ψ Η

Το 1973 εγκαταστάθηκε με σπορόφυτα, στο φυτώριο Μακρακώμης Φθιώτιδας, πειραματική φυτεία ειδών και οικογενειών πλατάνου. Η φύτευση έγινε σε πυκνό φυτευτικό σύνδεσμο (1Χ1μ.) και είχε ως σκοπό την έρευνα δυνατότητας παραγωγής βιομάζας από φυτείες πλατάνου, με σύστημα διαχείρισης διαδοχικές αποψιλωτικές υλοτομίες ανα 5-6 χρόνια (θεριζόμενο πλατάνι).

Στην ανακοίνωση αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της δεύτερης αποψιλωτικής υλοτομίας, που έγινε πέντε χρόνια μετά την πρώτη. Από τους συγκριτικούς πίνακες παραγωγής 1 και 2, φαίνεται ότι η παραγωγή βιομάζας αναγμένη σε τόννους/εκτάριο/χρόνο, στη δεύτερη υλοτομία (πρεμνοβλαστήματα) υπερέχει κατά 50% και περισσότερο από αυτή της πρώτης υλοτομίας (σπορόφυτα). Ακόμη διαπιστώθηκε ότι η πρεμνοβλαστική ικανότητα δε συσχετίζεται με την ταχύτητα αύξησης, των σποροφύτων.

Τα δεδομένα δείχνουν ότι το σύστημα αυτό φύτευσης και διαχείρισης του πλατάνου, μπορεί να εφαρμοστεί για παραγωγή βιομάζας σε μεγάλες ποσότητες, ανα μικρά χρονικά διαστήματα. Ακόμη ότι η παραγωγή είναι δυνατό να βελτιωθεί σημαντικά με τη χρησιμοποίηση ταχυαυξών κλώνων που να συνδυάζουν πρεμνοβλαστική ικανότητα.

---

* Καθηγητής Δασικής Γενετικής
Τμήμα Δασολογίας & Φ.Π. Α.Π.Θ.

## Ε Ι Σ Α Γ Ω Γ Η

Σε προηγούμενη ανακοίνωση μας (Panetsos 1981) παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα παραγωγής βιομάζας από πυκνή φυτεία (1Χ1 μ.) ειδών πλατάνου, έξι χρόνια μετά την εγκατάσταση της φυτείας με δεντρύλλια. Ο σκοπός του πειράματος ήταν να ερευνηθεί η δυνατότητα παραγωγής βιομάζας από φυτείες ειδών πλατάνου, στις οποίες να γίνονται διαδοχικές αποψιλωτικές υλοτομίες ανα 5-6 χρόνια. Σύμφωνα με το σύστημα αυτό διαχείρισης που προτάθηκε από τον Mc Alpine κ.α. (1966), η αρχική φυτεία γίνεται με δεντρύλλια (από σπόρο ή μοσχεύματα) και μετά την πρώτη αποψιλωτική υλοτομία η αναγέννηση προέρχεται από πρεμνοβλαστήματα. Η διαδικασία αυτή μπορεί να επαναληφθεί τέσσερις με πέντε φορές και μετά θα πρέπει να αρχίσει ο κύκλος από την αρχή, με εκρίζωση των πρέμνων και νέα φύτευση δεντρυλλίων.

Η απόδοση βιομάζας από την υλοτομία της αρχικής φυτείας είναι γενικά μικρότερη από την αναμενόμενη στις επόμενες υλοτομίες των πρεμνοβλαστημάτων. Έχει υπολογιστεί (Dutrow 1971) ότι η παραγωγή από την πρώτη υλοτομία πρεμνοβλαστημάτων, είναι 40-50% μεγαλύτερη από αυτή που προήλθε από την αρχική φυτεία δεντρυλλίων. Στην Ελλάδα τέτοιο πείραμα εγκαταστάθηκε για πρώτη φορά το 1972 με δεντρύλλια πλατάνου από οικογένειες ελεύθερης επικονίασης. Στην ανακοίνωση αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα παραγωγής βιομάζας από την υλοτομία πρεμνοβλαστημάτων και γίνεται σύγκριση με την παραγωγή της αρχικής φυτείας.

## Υ·Λ Ι Κ Ο  Κ Α Ι  Μ Ε Θ Ο Δ Ο Ι

Η φυτεία εγκαταστάθηκε με 1-0 σπορόφυτα το Μάρτιο του 1973, στο εγκαταλελειμένο φυτώριο Μακρακώμης Φθιώτιδας, που παραχωρήθηκε από τη Δασική Υπηρεσία για το σκοπό αυτό. Ο σχεδιασμός της φυτείας περιελάμβανε τέσσερις πλήρης τυχαιοποιημένες ομάδες, με 25 φυτά το κάθε πειραματικό τεμάχιο. Συνολικά φυτεύτηκαν 21 οικογένειες από ελεύθερη επικονίαση, των ειδών Platanus orientalis, P. occidentalis, και P. acerifolia.

Η πρώτη αποψιλωτική υλοτομία έγινε την άνοιξη του 1979, έξι αυξητικές περιόδους μετά τη φύτευση. Μετά την υλοτομία, από κάθε πρέμνο αναπτύχτηκαν πολλά πρεμνοβλαστήματα, από τα οποία στο τέλος της αυξητικής περιόδου αφέθηκε μόνο το κυρίαρχο και τα υπόλοιπα απομακρύνθηκαν. Πέντε χρόνια αργότερα,

την άνοιξη του 1984, η φυτεία υλοτομήθηκε για δεύτερη φορά αποψιλωτικά σε ύψος 4-8 εκ. από το έδαφος, έτσι ώστε τα πρέμνα που έμειναν να δώσουν πρεμνοβλαστήματα για τον επόμενο κύκλο (τρίτο).

Τα δέντρα κάθε πειραματικού τεμαχίου, έγιναν ένα δέμα το οποίο ζυγίστηκε στον τόπο της υλοτομίας με κατάλληλο μεταφερόμενο ζυγό. Έτσι, έγινε καταγραφή του βάρους της βιομάζας, αμέσως μετά την υλοτομία, για κάθε πειραματικό τεμάχιο, οικογένεια και είδος. Σε πειραματικά τεμάχια που υπήρχαν απώλειες φυτών,έγινε εκτίμησή τους,με βάση το συνολικό βάρος του πειραματικού τεμαχίου.

## Α Π Ο Τ Ε Λ Ε Σ Μ Α Τ Α - Σ Υ Ζ Η Τ Η Σ Η

Το βάρος χλωρής βιομάζας για κάθε οικογένεια και είδος, αναγμένο στο Ha/χρόνο παρουσιάζεται στον ΠΙΝΑΚΑ 1. Η ζύγιση έγινε αμέσως μετά την υλοτομία, όπως είχε γίνει και κατά την πρώτη περιφορά, τα αποτελέσματα της οποίας παραθέτονται στον ίδιο πίνακα για σύγκριση. Η εκτίμηση και για τις δύο υλοτομίες προέκυψε από το βάρος κάθε πειραματικού τεμαχίου χωρίς τη ζώνη απομόνωσης. Το χλωρό βάρος περιλαμβάνει τον κορμό και τα κλαδιά όλων των δέντρων, χωρίς τα φύλλα, αφού οι υλοτομίες έγιναν κατά την άνοιξη,πριν την έκπτυξη των φύλλων.

Η υλοτομία των πρεμνοβλαστημάτων (δεύτερος κύκλος) έγινε 15 μέρες αργότερα την άνοιξη,σε σχέση με την πρώτη. Τα αποτελέσματα όμως, θα πρέπει να θεωρηθούν συγκρίσιμα, γιατί η περιεχόμενη υγρασία στον κορμό την άνοιξη, πριν την έκπτυξη των φύλλων, όπως αναφέρει ο Clark (1975) δεν παρουσιάζει σημαντικές διακυμάνσεις. Όσον αφορά την περιεχόμενη υγρασία των κλαδιών, έχει βρεθεί ότι το χειμώνα είναι σημαντικά μικρότερη από κάθε άλλη εποχή του χρόνου. Ο ίδιος ερευνητής, που αναφέρθηκε παραπάνω, διαπίστωσε ότι το βάρος χλωρού ξύλου στην μονάδα όγκου, το καλοκαίρι αυξάνεται σημαντικά, παραμένει σταθερό το φθινόπωρο και το χειμώνα και μειώνεται ελαφρά την άνοιξη. Οι διακυμάνσεις αυτές αποδίδονται στη μεταβολή της περιεχόμενης υγρασίας κατά ένα μέρος και κατά ένα άλλο μέρος στη μεταβολή της περιεχόμενης ξερής μάζας στη μονάδα όγκου, ανάλογα με την εποχή.

Από τους πίνακες 1 και 2 διαπιστώνεται σαφώς, ότι τόσο η αύξηση των πρεμνοβλαστημάτων σε διαστάσεις, όσο και το χλωρό βάρος αυξήθηκε εντυπωσιακά

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Ύψος και στηθιαία διάμετρος σε ηλικία 6 χρόνων (σπορόφυτα) και πέντε χρόνων (πρεμνοβλαστήματα), ειδών και οικογενειών πλατάνου.

| Είδη και Οικογένειες | | Ύψος (m) | | Στηθιαία διάμετρος | | Υπεροχή % πρεμνοβλαστημάτων | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | σπορόφυτα 6 χρόνων | πρεμνο-βλαστήματα 5 χρόνων | σπορόφυτα 6 χρόνων | πρεμνο-βλαστήματα 5 χρόνων | Ύψος | Στηθ. διάμετρος |
| P. occ. No | 65 | 6,91 | 8,91 | 4,85 | 5,70 | 55 | 41 |
| " " " | 91 | 7,02 | 9,07 | 5,12 | 5,99 | 55 | 41 |
| " " " | 96 | 6,80 | 8,84 | 5,15 | 6,16 | 57 | 48 |
| " " " | 97 | 6,79 | 8,26 | 4,72 | 5,77 | 46 | 46 |
| " " " | 113 | 7,00 | 8,92 | 5,04 | 5,80 | 52 | 38 |
| " " " | 115 | 7,10 | 8,44 | 4,79 | 5,57 | 43 | 39 |
| " " " | 116 | 7,03 | 8,41 | 4,89 | 5,60 | 44 | 37 |
| " " " | 121 | 6,76 | 7,86 | 4,92 | 5,15 | 39 | 26 |
| " " " | 128 | 6,47 | 8,36 | 4,78 | 5,62 | 55 | 42 |
| " " " | 131 | 6,72 | 8,05 | 4,77 | 5,40 | 44 | 35 |
| | $\bar{X}$ | 6,86 | 8,51 | 4,90 | 5,68 | 49 | 39 |
| P. ac. No. | 8 | 7,19 | 7,67 | 5,19 | 5,12 | 28 | 17 |
| P. or No | 20 | 6,09 | 8,28 | 5,08 | 5,81 | 63 | 36 |
| " " " | 23 | 6,89 | 7,66 | 4,95 | 5,27 | 33 | 27 |
| " " " | 26 | 6,41 | 8,06 | 4,92 | 5,73 | 50 | 40 |
| " " " | 29 | 6,45 | 7,93 | 5,07 | 5,67 | 47 | 33 |
| " " " | 38 | 5,20 | 7,51 | 4,76 | 6,00 | 72 | 52 |
| " " " | 39 | 6,11 | 7,79 | 5,13 | 5,56 | 53 | 29 |
| " " " | 45 | 6,66 | 7,81 | 4,82 | 5,26 | 41 | 31 |
| " " " | 50 | 6,19 | 7,69 | 4,67 | 5,22 | 50 | 33 |
| " " " | 53 | 5,79 | 6,72 | 4,72 | 4,48 | 38 | 14 |
| | A1 | 5,83 | 9,18 | 5,58 | 7,68 | 89 | 66 |
| | $\bar{X}$ | 6,16 | 7,86 | 4,97 | 5,67 | 54 | 36 |

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Χλωρό βάρος κορμών και κλαδιών, στους δυο περίτροπους χρόνους, αναγμένο σε τόννους/Ha/χρόνο.

| Είδη και Οικογένειες | | | τόννοι/εκτάριο/χρόνο | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 1979 Σπορόφυτα | 1984 Πρεμνοβλαστήματα | % Διαφορά |
| P. occ. | No | 65 | 13,85 | 25,92 | 87,14 |
| " " | " | 91 | 14,43 | 27,16 | 88,21 |
| " " | " | 96 | 17,45 | 28,60 | 63,89 |
| " " | " | 97 | 14,51 | 22,66 | 56,16 |
| " " | " | 113 | 15,68 | 23,98 | 52,93 |
| " " | " | 115 | 13,98 | 22,28 | 59,37 |
| " " | " | 116 | 16,27 | 24,17 | 48,55 |
| " " | " | 121 | 12,84 | 17,60 | 37,07 |
| " " | " | 128 | 12,47 | 23,87 | 91,42 |
| " " | " | 131 | 14,68 | 21,48 | 46,32 |
| | | $\bar{X}$ | 14,58 | 23,76 | 63,10 |
| P. ac. | No | 8 | 18,78 | 21,50 | 14,48 |
| P. or. | No | 20 | 13,31 | 21,71 | 63,11 |
| " " | " | 23 | 15,70 | 20,94 | 33,30 |
| " " | " | 26 | 12,71 | 23,28 | 83,16 |
| " " | " | 29 | 13,01 | 19,18 | 47,04 |
| " " | " | 38 | 10,20 | 17,66 | 73,17 |
| " " | " | 39 | 13,86 | 21,18 | 52,81 |
| " " | " | 45 | 14,51 | 20,41 | 40,70 |
| " " | " | 50 | 13,23 | 19,68 | 48,80 |
| " " | " | 53 | 11,25 | 15,66 | 39,20 |
| " " | " | A1 | 11,80 | 22,29 | 88,90 |
| | | $\bar{X}$ | 12,96 | 20,10 | 56,45 |

στο δεύτερο κύκλο σε σύγκριση με τον πρώτο. Το χλωρό βάρος, αναγμένο σε τόνους /Ha / χρόνο, είναι κατά 63,1% περισσότερο στον αμερικάνικο πλάτανο, κατά 56,45% στον ελληνικό και μόνο στον P. acerifolia (υβρίδιο $F_2$) η αύξηση είναι μικρή (14,48%). Οι διαφορές αυτές, με εξαίρεση τον P. acerifolia, είναι σύμφωνες με τις προβλέψεις του Dutrow (1971), ο οποίος υπολογίζει, η παραγωγή βιομάζας στο πλατάνι, κατά τον πρώτο κύκλο από πρεμνοβλαστήματα, να είναι περίπου 45% μεγαλύτερη από αυτή των σποροφύτων. Τα αποτελέσματα μας παρουσιάζουν κάποια μεγαλύτερη υπεροχή, η οποία θα πρέπει να αποδοθεί στο φυτευτικό σύνδεσμο που χρησιμοποιήσαμε, αλλά και στο χρόνο περιφοράς που εφαρμόζουμε. Όπως αναφέρουν οι Kormanik κ.α. (1973) με βάση αποτελέσματα συγκριτικών φυτειών πλατάνου, για μεγιστοποίηση απόδοσης θα πρέπει να εφαρμόζεται φυτευτικός σύνδεσμος 1,2 X 1,2 ή ακόμη 1,2 X 1,5 μ. και χρόνος περιφοράς 3-5 χρόνια ή και μεγαλύτερος. Ο Steinbeck (1980), αναφέρει επίσης ότι η τάση στη δασοπονία μικρών περιτρόπων χρόνων στην Αμερική είναι, να εφαρμόζεται χρόνος περιφοράς από 3-8 χρόνια και φυτευτικός σύνδεσμος από 1-3,5 $m^2$, για λόγους οικονομικούς και προστασίας των θρεπτικών στοιχείων του εδάφους. Ο συνδυασμός αυτός εξασφαλίζει ικανοποιητική ανάπτυξη κορμών κατά την αρχική εγκατάσταση και στη συνέχεια πετυχημένα πρεμνοβλαστήματα.

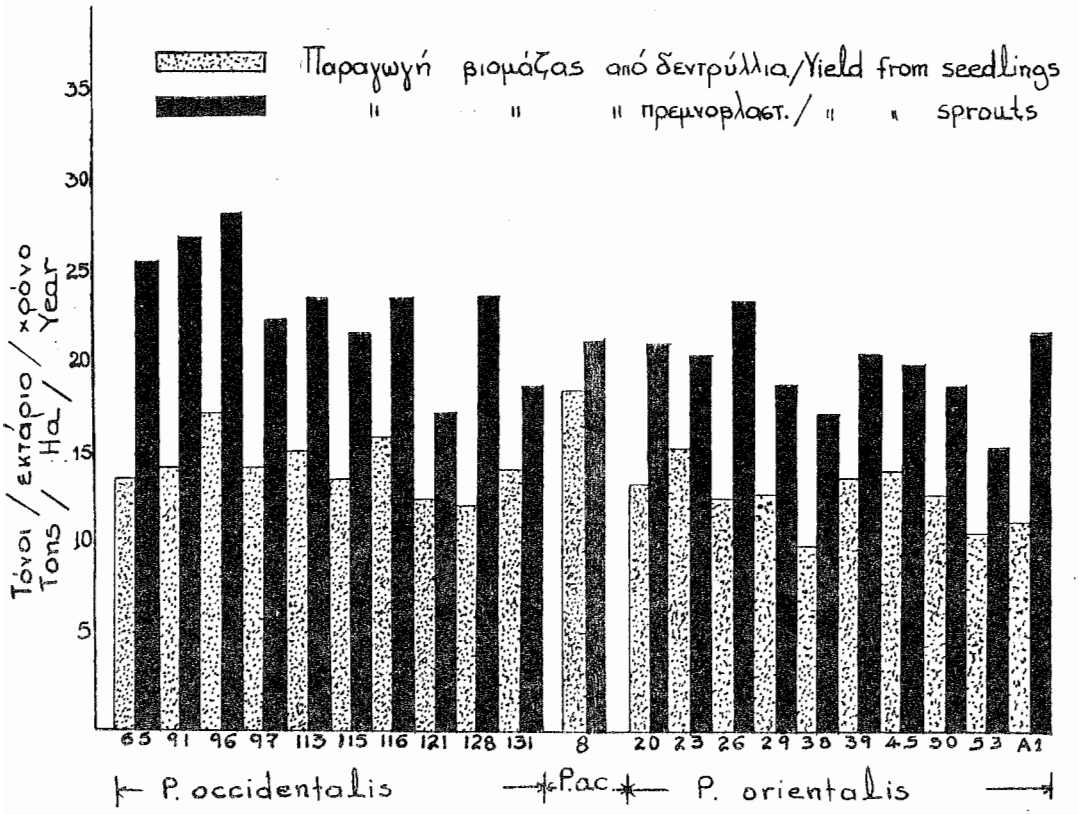
Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα αποτελέσματά μας (Πίνακες 1,2 και Σχ.1) όσον αφορά την πρεμνοβλαστική ικανότητα των διαφόρων οικογενειών που εκπροσωπούν τα δύο είδη στην φυτεία. Για τον P. acerifolia δεν μπορεί να διατυπωθεί καμία πρόβλεψη, γιατί αντιπροσωπεύεται από μια και μόνο οικογένεια.

Έτσι, διαπιστώνεται ότι στον αμερικάνικο πλάτανο η αύξηση βιομάζας στα πρεμνοβλαστήματα κυμαίνεται από 37,07%(οικ. 121) μέχρι 91,42% (οικ. 128), που είναι στατιστικά σημαντική διαφορά. Το ίδιο συμβαίνει και στον ελληνικό πλάτανο με διακύμανση από 33,3% (οικ. 23) μέχρι 88,9%(οικ. A1). Οι διαφορές αυτές δεν παρουσιάζουν καμία συσχέτιση με τη διάμετρο ή το ύψος των δέντρων του πρώτου κύκλου, γιαυτό θα πρέπει η πρεμνοβλαστική ικανότητα να αποδοθεί σε κληρονομικό έλεγχο. Φαίνεται δε ότι η οικογένεια του P. acerifolia διαθέτει πολύ μειωμένη ικανότητα πρεμνοβλάστησης, ενώ αντίθετα κατά τον πρώτο κύκλο (από σποράφυτα) παρουσίασε την καλλίτερη απόδοση σε βιομάζα.

Τα αποτελέσματα αυτά δημιουργούν νέες προοπτικές αλλά και περιορισμούς στην παραγωγή βιομάζας με το σύστημα αυτό διαχείρισης. Για την αύξηση της απόδοσης πρέπει να γίνεται επιλογή όχι μόνο κλώνων ταχυαυξών, αλλά κλώνων οι

Σχ. 1 Παραγωγή βιομάζας – χλωρό βάρος/χρόνο/εκτ. – από φυτεία δεντρυλλίων (πρώτη υλοτομία) και από πρεμνοβλαστήματα (δεύτερη υλοτομία κατά είδος και οικογένεια.

Fig. 1. Biomass yield – green weight/Ha/year. – from seedling and coppice rotation, according to species and half-sib families.



οποίοι να διαθέτουν και ικανότητα πρεμνοβλάστησης, για να εξασφαλιστεί η μέγιστη παραγωγή βιομάζας στους διαδοχικούς κύκλους αποψιλωτικών υλοτομιών.

Η απόδοση βιομάζας που προέκυψε από την πειραματική αυτή φυτεία, δείχνει ότι είναι δυνατή η εξασφάλιση μεγάλων ποσοτήτων βιομάζας με φυτείες πλατάνου και εφαρμογής διαχείρισης διαδοχικών κύκλων υλοτομίας, σε διαστήματα 4-5 χρόνων. Η απόδοση μπορεί να αυξηθεί εντυπωσιακά με επιλογή ταχυαυξών κλώνων, οι οποίοι να συνδυάζουν και ικανότητα πρεμνοβλάστησης. Ακόμη είναι βέβαιο ότι σε άλλα εδάφη η απόδοση θα ήταν μεγαλύτερη, με το ίδιο υλικό, γιατί το φυτώριο που εγκαταστάθηκε η φυτεία έχει καλλιεργηθεί για πολλά χρόνια και οπωσδήποτε είναι υποβαθμισμένο σε ποιότητα εδάφους και θρεπτικά συστατικά. Ένας άλλος παράγοντας που θα μπορούσε να αυξήσει την απόδοση είναι η λίπανση. Το είδος και το ποσό των λιπασμάτων εξαρτάται από το έδαφος και τον κλώνο (ή κλώνους) που θα χρησιμοποιηθεί, γιατί έχει προσδιοριστεί σημαντική αλληλεπίδραση κλώνου X λίπασμα τουλάχιστον στον αμερικάνικο πλάτανο (Steinbeck 1980).

Το εργαστήριό μας έχει ήδη επιλέξει μεγάλο αριθμό κλώνων πλατάνου ελληνικών και ξενικών, ακόμη έχει δημιουργήσει ταχυαυξή υβρίδια. Είναι γιαυτό σκόπιμη η επέκταση των φυτειών βιομάζας, με το νέο υλικό, σε ορισμένα αντιπροσωπευτικά περιβάλλοντα και εφαρμογή διαφόρων χειρισμών σχετικά με το φυτευτικό σύνδεσμό και τον χρόνο υλοτομίας.

## REFERENCES


Dutrow, G.F., (1971) Economic implications of silage sycamore. U.S.D.A. Forest Serv. Res. Pap. SO-66, South For. Exp. Stan., New Orleans, La

Clark, A., III (1975) Seasonal Variation in Weight of Young Coppice Sycamores Wood Science 7: (4) 261-266.

Kormanik, P.P., G.L. Tyre and R.P. Belanger (1973) A case history of two short-rotation coppice plantations of sycamore on Southern piedmont Bottomlands. S.E. Forest Exp. St. U.S.D.A. 351-360.

Mc Alpine, R. G., C.L. Brown, A.M. Herric, and H.E.Ruark. (1966) "Silage" sycamore. Forest Farmer 26 (1) : 6-7, 16.

Panetsos, K.P., (1981) Biomass of short-rotation Platanus species in Greece. Comp of Prod. of Mediterranean Climate Reg. Dr. W. Junk Pub. The Hague/Boston/London.

Steinbeck, K. (1980) Short rotation Forestry as a biomass source: An overview. Int. Conf. Energy from Biomass, Trighton, England 4-7 Nov. 1980.

ΒΙΟ-23

# ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΑΠΟ ΦΥΤΕΙΕΣ ΚΛΩΝΩΝ ΛΕΥΚΗΣ ΜΙΚΡΟΥ ΠΕΡΙΤΡΟΠΟΥ ΧΡΟΝΟΥ

Υπο
Κ.Π.ΠΑΝΕΤΣΟΥ[1] και Α.Β. ΣΚΑΛΤΣΟΓΙΑΝΝΗ[2]

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παραγωγή βιομάζας σε μεγάλες ποσότητες, σε σύντομο χρονικό διάστημα από φυτείες δασοπονικών ειδών, αποτέλεσε αντικείμενο έρευνας ιδιαίτερα μετά την ενεργειακή κρίση.

Η λεύκη αποδείχτηκε ότι συγκεντρώνει πολλά πλεονεκτήματα για να χρησιμοποιηθεί σε "βιομηχανικές" φυτείες, με πυκνό φυτευτικό σύνδεσμο και διαδοχικές αποψιλωτικές υλοτομίες ανα 2-4 χρόνια.

Στην ανακοίνωση αυτή παρουσιάζονται συγκριτικά αποτελέσματα παραγωγής βιομάζας στον πρώτο περίτροπο χρόνο (δύο χρόνια από την εγκατάσταση των φυτειών), από επτά κλώνους λεύκης σε δύο φυτευτικούς συνδέσμους. Η παραγωγή βρέθηκε ότι ποικίλλει σε σχέση με τον κλώνο, τον τρόπο φύτευσής τους (αμιγείς ή σε μίξη) και το φυτευτικό σύνδεσμο.

---

1. Καθηγητής Δασικής Γενετικής, του τμήματος Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, του Α.Π.Θ.
2. Επιστημονικός συνεργάτης στη Δασική Γενετική του τμήματος Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος του Α.Π.Θ.

Ε Ι Σ Α Γ Ω Γ Η

Η ενέργεια που δεσμεύεται κάθε χρόνο με τη φωτοσύνθεση αποθηκεύεται υπό μορφή βιομάζας. Έτσι η βιομάζα είναι ανανεώσιμη πρώτη ύλη, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατά βούληση, για παραγωγή ποικίλων προϊόντων, με τεχνολογία που ήδη υπάρχει και που συνεχώς εξελίσσεται. Παρέχει ακόμη τη δυνατότητα μετατροπής της με χημικές, βιολογικές ή θερμολυτικές μεθόδους, σε ενέργεια ή σε υγρά και αέρια καύσιμα.

Σε ορισμένες υπό ανάπτυξη χώρες το ξύλο καλύπτει το 90% της συνολικής χρησιμοποιούμενης ενέργειας, ενώ σε αναπτυγμένες βιομηχανικά χώρες αποτελεί το 5% της συνολικά καταναλισκόμενης ενέργειας. Σε μερικές χώρες όπως η Σουηδία, υπάρχουν σχέδια, η βιομάζα παραγόμενη κυρίως από φυτείες, να συμβάλλει περισσότερο από 20% στις ενεργειακές ανάγκες της περί το τέλος του αιώνα μας (Morgan et al 1982).

Βιομάζα από δασικά είδη μπορεί να προέρχεται από φυσικά δάση ή από φυτείες που εγκαταστάθηκαν και διαχειρίζονται ειδικά για το σκοπό αυτό. Τεχνητές φυτείες δασικών ειδών με γρήγορη αύξηση αποτέλεσαν αντικείμενο έρευνας αμέσως μετά την ενεργειακή κρίση του 1973. Αντικειμενικός σκοπός των ερευνών ήταν η εγκατάσταση φυτειών εντατικής διαχείρισης, οι οποίες να παράγουν μεγάλες ποσότητες βιομάζας, στο συντομότερο δυνατό χρονικό διάστημα, σε εδάφη καλής ποιότητας, και εκτάσεις με εύκολη προσπέλαση.

Μεταξύ των ειδών που δοκιμάστηκαν, οι λεύκες παρουσιάζουν πολλά πλεονεκτήματα απαραίτητα για βιομηχανικές φυτείες. Η εγκατάστασή τους είναι εύκολη, αυξάνουν γρήγορα σε μια ποικιλία από εδαφικές και κλιματικές συνθήκες και μπορούν να καλλιεργηθούν με διαφορετικούς τρόπους, σε μονοκαλλιέργειες ή σε μίξη με άλλα δασικά είδη ή ακόμη σε συνδυασμό με γεωργικές καλλιέργειες. Το γένος Populus εξ' άλλου διαθέτει ευρεία γενετική ποικιλότητα, πολλά είδη του δημιουργούν πετυχημένα υβρίδια με σημαντική υβριδιακή ρώμη και ακόμη παρουσιάζει εξαιρετικές δυνατότητες αγενούς πολλαπλασιασμού, παράγοντες που ευνοούν την θεαματική γενετική βελτίωση.

Έρευνες του εργαστηρίου μας αλλά και άλλων ιδρυμάτων έχουν δείξει ότι εκτός από τον κλώνο, ή τους κλώνους που χρησιμοποιούνται για την εγκατάσταση των φυτειών, η παραγωγή επηρεάζεται ουσιαστικά από το φυτευτικό σύνδεσμο, την εγκατάσταση μονοκλωνικών ή μικτών φυτειών, τον περίτροπο χρόνο κλπ. ( Panetsos 1980, Steinbeck 1980, Zsuffa and Anderson 1981).

Στην ανακοίνωση αυτή παρουσιάζονται αποτελέσματα παραγωγής βιομάζας, σε σχέση με το φυτευτικό υλικό, το φυτευτικό σύνδεσμο και την απόδοση των μονοκλωνικών (αμιγών) ή πολυκλωνικών (μικτών) φυτειών.-

## Υ Λ Ι Κ Α  Κ Α Ι  Μ Ε Θ Ο Δ Ο Ι

Το πείραμα εγκαταστάθηκε με μοσχεύματα μήκους 20-25 εκ. και πάχους 1,5-3 εκ., το Δεκέμβριο του 1982, στο πειραματικό κέντρο πλατυφύλλων του εργαστηρίου,στο αγρόκτημα του πανεπιστημίου μας. Συνολικά ως φυτευτικό υλικό χρησιμοποιήθηκαν 7 κλώνοι, η προέλευση των οποίων φαίνεται παρακάτω.

| Κλώνος | Π ρ ο έ λ ε υ σ η |
|---|---|
| I-214 | Εισαγωγή από Ιταλία, Υβρίδιο P. deltoides x P. nigra |
| I-262 | " " " " " |
| R-75 | Επιλογή εργαστηρίου από πληθυσμό P. deltoides |
| R-266 | " " " " |
| R-440 | " " " " |
| X-10 | Υβρίδιο του εργαστηρίου: P. deltoides x P. Italica |
| X-3 | " " " " " |

Δοκιμάστηκαν 2 φυτευτικοί σύνδεσμοι 1Χ1 μ. και 0,40Χ0,40 μ., σε περίτροπο χρόνο 2 ετών. Επίσης δύο συνδυασμοί κλώνων: μονοκλωνικά (αμιγή) πειραματικά τεμάχια και σε μίξη, για κάθε φυτευτικό σύνδεσμο. Συνολικά εγκαταστάθηκαν τέσσερις πειραματικές φυτείες ως εξής:

Φυτεία Α. Φυτευτικός σύνδεσμος 1Χ1 μ., 7 κλώνοι σε μίξη με 28 επαναλήψεις.

Φυτεία Β. Ίδιος συνδυασμός αλλά φυτευτικός σύνδεσμος 0,4Χ0,4 μ.

Φυτεία Γ. Φυτεύτηκαν 5 κλώνοι: οι I-262, I-214, X-3, X-10 και R-75, σε τρείς πλήρεις τυχαιοποιημένες ομάδες. Κάθε πειραματικό τεμάχιο περιελάμβανε 49 φυτά του ενός κλώνου (αμιγής φύτευση), σε φυτευτικό σύνδεσμο 1Χ1 μ.

Φυτεία Δ. Φυτεύτηκαν και οι 7 κλώνοι με φυτευτικό σύνδεσμο 0,4Χ0,4 μ. σε τρείς πλήρεις τυχαιοποιημένες ομάδες, με 49 φυτά σε κάθε πειραματικό τεμάχιο/κλώνο.

Για την εξασφάλιση ομοιόμορφης αύξησης οι φυτείες περιεβάλοντο με ζώνη απομόνωσης από το ίδιο υλικό.

Το έδαφος του πειραματικού κέντρου όπως έχει δείξει παλαιότερη εδαφολογική μελέτη, είναι αργιλώδες συνεκτικό και σχεδόν αδιαπέραστο μετά από βάθος 50 εκ. Εδαφικές συνθήκες αρκετά δυσμενείς για λευκοκαλλιέργεια.

Οι καλλιεργητικές φροντίδες συνίσταντο στην απομάκρυνση των ζιζανίων, ενίσχυση του επικορύφου, προληπτικοί ραντισμοί για έντομα και μύκητες και τακτικό πότισμα κατά την αυξητική περίοδο. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι κατά το αρχικό στάδιο του πειράματός μας (ριζοβολία μοσχευμάτων) ή καλλιεργητικές φροντίδες δεν ήταν ικανοποιητικές, με αποτέλεσμα, την απώλεια πολλών ατόμων στην φυτεία Β και λιγότερων στις υπολοιπες.

Τον Φεβρουάριο του 1985 έγιναν αποψιλωτικές υλοτομίες σε ύψος 4-8 εκ. υπεράνω του εδάφους με σύγχρονη ζύγιση κάθε κλώνου χωριστά. Στα αμιγή πειραματικά τεμάχια (φυτείες Γ & Δ) ζυγίστηκαν όλα τα άτομα κάθε κλώνου, χωριστά σε κάθε πειραματικό τεμάχιο και επανάληψη.

Η ζύγιση έγινε αμέσως μετά την υλοτομία και αντιπροσωπεύει το χλωρό βάρος. Επειδή, η όλη διαδικασία κοπής και ζύγισης έγινε κατά την περίοδο λήθάργου, η περιεχόμενη υγρασία είναι στο χαμηλότερο επίπεδο σε σχέση με οποιαδήποτε άλλη εποχή ( Clark 1975).

Κατά την ανάλυση των δεδομένων των φυτειών Γ & Δ,για να έχουμε συγκρίσιμα στοιχεία μεταξύ των,έγινε αναγωγή στο βάρος των 49 ατόμων, όσα δηλαδή έπρεπε να υπάρχουν σε κάθε πειραματικό τεμάχιο.

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Ο σχεδιασμός του πειράματος, όπως ήδη αναφέρθηκε, είχε ως στόχο την αξιολόγηση των επτά κλώνων λεύκης σχετικά με την απόδοσή τους σε βιομάζα: (α) Χωρίς ανταγωνισμό - φύτευση σε φυτευτικό σύνδεσμο 1 Χ 1 μ. - σε φυτείες αμιγείς ή μικτές. (β) Με ανταγωνισμό - φύτευση σε φυτευτικό σύνδεσμο 0,4 Χ 0,4 μ. - επίσης σε φυτείες αμιγείς (ισανταγωνισμός) ή μικτές (αλλανταγωνισμός).

Προηγούμενη έρευνα (Panetsos 1980), έδειξε ότι η ανταγωνιστική ικανότητα είναι χαρακτήρας κάτω από ισχυρό γενετικό έλεγχο, ανεξάρτητος από τον χαρακτήρα "απόδοση". Το γεγονός αυτό έχει μεγάλη σημασία στην επιλογή, γιατί είναι δυνατόν ένας κλώνος με άριστη αύξηση σε συνθήκες χωρίς ανταγωνισμό, να υστερεί όταν φυτευτεί σε πυκνό φυτευτικό σύνδεσμο. Η συμπεριφορά αυτή φαίνεται ότι έχει γενική εφαρμογή στα φυτά όπως προκύπτει από ανάλογη εργασία του Τσαυτάρη (1976) με γεωργικά φυτά.

Οι κλώνοι (γενότυποι) κάτω από συνθήκες αλλανταγωνισμού (μικτές πυκνές φυτείες) μπορεί να παρουσιάζουν την εξής συμπεριφορά (Adams 1981): (α) Ουδέτερη, κανένας κλώνος δεν επηρεάζεται από την παρουσία του άλλου και αντίστοιχα η απόδοσή τους. (β) Συμπληρωματική, η μείωση σε απόδοση του ένα κλώνου συμπληρώνεται από την αύξηση του άλλου. Έτσι κατά μέσο όρο η παραγωγή είναι όμοια με αυτή στις αμιγείς φυτείες τους. (γ) Υπολειπόμενη, η παραγωγή είναι μικρότερη από το μέσο όρο των δύο κλώνων (γενοτύπων) σε αμιγείς φυτείες. (δ) Υπερπαραγωγή, η απόδοση των δύο κλώνων είναι μεγαλύτερη από το μέσο όρο σε αμιγείς φυτείες τους.

Από τον πίνακα 1 α , προκύπτει ότι και στις δύο κατηγορίες φυτειών - με ανταγωνισμό και χωρίς ανταγωνισμό - η παραγωγή βιομάζας μεταξύ των κλώνων, που χρησιμοποιήθηκαν, διαφέρει σημαντικά. Η διαφορά αυτή είναι μεγαλύτερη από 50%, παρόλο ότι το πειραματικό υλικό δεν είναι τυχαίο αλλά επιλεγμένο, αφού πολλοί από τους κλώνους χρησιμοποιούνται ήδη στην λευκοκαλλιέργεια.

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων της φυτείας Α, με φυτευτικό σύνδεσμο 1Χ1 μ. και τους κλώνους σε μίξη, με αυτά της φυτείας Γ, στην οποία οι κλώνοι έχουν φυτευτεί με τον ίδιο φυτευτικό σύνδεσμο όπως στην Α, αλλά σε αμιγή πειραματικά τεμάχια, δείχνει διαφοροποίηση της σειράς κατάτα-

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.α. Μέσος όρος χλωρού βάρους (γραμμάρια) στις τρείς πειραματικές φυτείες. *

| Φυτεία \ Κλώνος | R-440 | I-262 | X-3 | I-214 | R-266 | X-10 | R-75 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Α μικτή 1Χ1 μ. | 3.241 | 2.833 | 2.825 | 2.308 | 2.288 | 2.066 | - |
| Γ αμιγής 1Χ1 μ. | - | 3.773 | 2.961 | 3.651 | - | 2.287 | 2.047 |
| Δ αμιγής 0,4Χ0,4 μ. | 1.720 | 1.416 | 1.552 | 1.347 | - | 1.055 | 1.320 |

β. Αναγωγή αποδόσεων σε ξερό βάρος ανα εκτάριο και έτος.

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Γ αμιγής 1Χ1 μ. | - | 10,9 | 8,5 | 10,5 | - | 6,6 | 6,0 |
| Δ αμιγής 0,4Χ0,4 μ. | 31,0 | 24,2 | 28,0 | 24,4 | - | 19,0 | 23,9 |

Φυτεία Α (μικτή 1Χ1 μ.) απόδοση 7,5 τόννους / Ha / έτος.

*. Η φυτεία Β δεν περιλαμβάνεται στα αποτελέσματα γιατί είχε πολλές αποτυχίες.

ξης των κλώνων, σε σχέση με την απόδοσή τους. Η διαφοροποίηση αυτή θα πρέπει να εξηγηθεί, ως ένδειξη έναρξης ανταγωνισμού, μεταξύ ορισμένων κλώνων στο φυτευτικό αυτό σύνδεσμο, δύο χρόνια μετά την εγκατάσταση της φυτείας. Η απώλεια της φυτείας Β, όπου οι κλώνοι είχαν φυτευτεί σε μίξη και φυτευτικό σύνδεσμο 0,4 Χ 0,4 μ., συνετέλεσε στην αδυναμία εξαγωγής συμπερασμάτων πάνω στην πραγματική συμπεριφορά των κλώνων στον αλλανταγωνισμό. Αυτή ήταν η αιτία που επαναλήφτηκε το όλο πείραμα την άνοιξη του 1985.

Από την σύγκριση της απόδοσης σε βάρος βιομάζας μεταξύ των δύο φυτευτικών συνδέσμων (Πίνακας 1α,β), εμφανίζεται σαφής η υπεροχή του 0,4Χ0,4 (στενού), αφού η απόδοση για τους κλώνους που συγκρίνονται είναι δύο ή τρείς φορές μεγαλύτερη, αναγμένη στο εκτάριο / χρόνο. Εντυπωσιακή είναι η παραγωγή, του κλώνου R-440, η οποία υπολογίστηκε σε ξερό βάρος/ Ha / χρόνο να είναι περίπου 31 τόνοι.

Η υπεροχή αυτή της πυκνής φυτείας όπως γίνεται αντιληπτό, ισχύει για το συγκεκριμένο περίτροπο χρόνο, που αν π.χ. αυξάνονταν σε 3 ή 4 χρόνια να προέκυπταν διαφορετικά αποτελέσματα. Επίσης θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η δαπάνη εγκατάστασης της φυτείας με φυτευτικό σύνδεσμο 0,4 Χ 0,4 , είναι πολλαπλάσια της φυτείας με φυτευτικό σύνδεσμο 1 Χ 1, αφού για τη φύτευση ενός εκταρίου απαιτούνται 72271 μοσχεύματα στην πρώτη περίπτωση και 10000 αντίστοιχα στη δεύτερη. Θα πρέπει να υπολογιστεί ακόμη το ειδικό βάρος της παραγόμενης βιομάζας που έχει σχέση με το ποσοστό φλοιού, το οποίο είναι πολύ μεγαλύτερο στην πυκνή φυτεία ( Geyer, W.A. 1981). Ο φυτευτικός σύνδεσμος έχει επίσης επιπτώσεις στην πρεμνοβλαστική ικανότητα των πρέμνων από,τα οποία θα προκύψει η αναγέννηση της φυτείας μετά την πρώτη υλοτομία. Σε πειράματα με πλατάνι έχει διαπιστωθεί ότι η επιβίωση των πρεμνοβλαστημάτων, η υγεία και η αύξησή τους,έχει σχέση με το φυτευτικό σύνδεσμο ( Kulchol 1971, Kormanik et al 1973). Ειδικά στο πλατάνι, από πειράματα που έγιναν στη χώρα μας (Πανέτσος 1985), προέκυψε ότι η πρεμνοβλαστική ικανότητα ελέγχεται κληρονομικά και ακόμη ότι η παραγωγή βιομάζας στο δεύτερο χρόνο περιφοράς (από πρεμνοβλαστήματα) αυξήθηκε κατά 50% περίπου,σχετικά με την παραγωγή από την αρχική φυτεία.

Στη λεύκη, από πειράματα με την P. deltoides, βρέθηκε ότι η παραγωγή στη δεύτερη υλοτομία - από πρεμνοβλαστήματα - ήταν αυξημένη κατά 62% Geyer, W.A. 1981). Αναμένεται γιαυτό, ανάλογη αύξηση βιομάζας κατά τη δεύτερη υλοτομία (πρεμνοβλαστήματα) από τις πειραματικές μας φυτείες. Η μέθοδος αυτή διαχείρισης εκτός από την αυξημένη παραγωγή, δεν απαιτεί δαπάνες ανανέωσης της φυτείας, αφού προέρχεται από τα πρεμνοβλαστήματα μετά την υλοτομία.

Από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας, όσον αφορά τη λεύκη, προκύπτει ότι λίγοι κλώνοι ξεπέρασαν τους 25 τον./Ha/χρόνο. Έτσι, θα πρέπει να χαρακτηριστεί η απόδοση των 31,0 τόννων/Ha/χρόνο του κλώνου R-440 σαν πολύ ενθαρρυντική. Μπορούμε δηλαδή να πούμε ότι ο κλώνος "R-440", όπως και ο "X-3", είναι κλώνοι κατάλληλοι για βιομηχανικές φυτείες παραγωγής βιομάζας. Αναμένεται δε, όπως αναφέρθηκε παρά πάνω αύξηση της απόδοσής τους κατά τη δεύτερη υλοτομία. Εδώ θα πρέπει να τονιστεί ότι πειράματα με οικονομική αξιολόγηση στον Καναδά, Η.Π.Α., Σουηδία κλπ., έχουν δείξει ότι η ξυλώδης βιομάζα υπερτερεί ενεργειακά κατά 3 ή 4 φορές από οποιαδήποτε άλλη μορφή (υπολείμματα γεωργικών καλλιεργειών, άχυρο κλπ). Ασφαλώς η υπεροχή εξαρτάται από την απόδοση των φυτειών και ο σπουδαιότερος παράγοντας αύξησης, χωρίς ενεργειακή επιβάρυνση, είναι η γενετική βελτίωση του φυτευτικού υλικού (Morgan, D., M. Neenan, L. Zsuffa 1983).

Όπως αναφέρθηκε,η βιομάζα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για χαρτοπολτό, ειδικά της λεύκης για παραγωγή χαρτιού πολυτελείας, ως πρώτη ύλη στη χημική βιομηχανία, επίσης για παραγωγή ινοσανίδων, μοριοσανίδων κλπ. Φυτείες μεγάλων αποδόσεων έχουν εγκατασταθεί με στόχο την παραγωγή βιομάζας αποκλειστικά για ενέργεια. Για την υλοποίηση του σκοπού αυτού εφαρμόζεται ή ερευνάται μια ποικιλία από διαδικασίες και μεθόδους μετατροπής της βιομάζας σε ενέργεια. Με βάση δεδομένα μετατροπής βιομάζας κλώνων λεύκης σε άλλα ισοδύναμα ενέργειας, προκύπτει ότι η παραγωγή του κλώνου "R-440" των 31 τόννων/Ha/χρόνο, αντιστοιχεί σε 6 X $10^2$ GJ ή 96 βαρέλια ακατέργαστου πετρελαίου ή 12.000 lit. αλκοόλης (εθανόλης ή μεθανόλης) ή σε 600 $m^3$ μεθανίου (Morgan, D., M. Neenan and L. Zsuffa 1983). Στον Καναδά έχει υπολογιστεί ότι 260 εκτάρια φυτειών υβριδίων λεύκης για ενέργεια, μπορούν να παράγουν ανανεώσιμη πρώτη ύλη για τη λειτουργία ενός ηλεκτρικού εργοστασίου παραγωγής 1MW.-

# R E F E R E N C E S


Adams, W.T. (1980) Intergenotypic Competition in Forest Trees. Proc. Sixth N. Aner. Biol. workshop, Un. of Ablerta Al. Canada p. 1-14

Clark, A.,III (1975) Seasonal Variation in Weight of Young Coppice Sycamores. Wood Science 7:(4) 261-266

Geyer, W.A. (1981) Growth, yield, and woody biomass characteristics of seven short - rotation hardwoods. Wood Science, 13(4) 209-215

Kormanik, P.P. et al (1973) A case history of two short - rotation Coppice plantations of sycamore on Southern Piedmont bottoms. S.E. Forest Exp. St. U.S.D.A. 351-360

Kulchol, W. (1971) Sprouting -spacing relationships following cutting of a two-year-old hardwood plantation. Unpubl. M.F.R. probl. Sch. For. Resour., Univ. Georgia, Athens.

Morgan, D., M. Neenan and L. Zsuffa (1983) Forest Biomass, Energy and its potential. International Energy Agency, Programme group 'B'9, April 1982.

Panetsos, K.P. (1980) Selection of new poplar clones under various spacings. Silvae Genetica, 29 (3-4) :130-135

Panetsos, K.P. (1981) Biomass yield of short - rotation Platanus species in Greece. Comp. of Prod. of Med. - Climate regions Basic and Applied aspects. W. Junk Publ. The Hague/ Boston/London.

Πανέτσος, Κ.Π. (1985) Παραγωγή βιομάζας από φυτείες ειδών και οικογενειών πλατάνου, μικρού περίτροπου χρόνου. Υποβλήθηκε να ανακοινωθεί στο 2ο Εθνικό Συνέδριο Ήπιων μορφών ενέργειας 6-8 Νοεμ. 1985.

Steinbeck, K. (1980) Short rotation Forestry as a biomass source:An overview. Int. Conf. Energy from biomass, Brishton Engl. 4-7 Nov. 1980.

Τσαυτάρης, Α. Σ. (1976) Επιπτώσεις του ανταγωνισμού εις την επιλογή υπέρτερων γενότυπων σίτου (Triticum aestivum L.), Διατριβή επί διδακτορία, Θεσσαλονίκη

Zsuffa, L., H. Anderson (1981) The potential of poplar plantation. Publ. of Ontario For. Res. Centre Maple, Ontario.

ΒΙΟ-33

ΤΙΤΛΟΣ ΕΙΣΗΓΗΣΗΣ: ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΖΥΜΩΣΗ ΤΗΣ ΠΡΑΣΙΝΗΣ ΒΑΛΑΝΙΔΙΑΣ ΣΕ ΚΛΕΙΣΤΟ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ.

ΣΥΓΓΡΑΦΕΑΣ: Δρ. Γεύτονας Αθανάσιος
Λέκτορας Τομέα Υ.Σ.Ε. Τμήματος Αγρονομών και Τοπογράφων Μηχανικών Πολυτεχνικής Σχολής Α.Π.Θ.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Η εργασία αποβλέπει στο να ερευνηθή η δυνατοτητα της βιομάζας (πράσινη βαλανίδια) να μετατρέπεται με την επίδραση διαφόρων βιοδιασπαστών. Η βιοδιάσπαση επιχειρήθηκε σε κλειστό αντιδραστήρα (BATCH), και μετρήθηκαν, η ταχύτητα έκλυσης βιοαερίου, η σύστασή του, καθώς και οι επικρατούσες συνθήκες κατά την διάρκεια του πειράματος.

ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ: Υπόστρωμα, βιοδιασπαστής, πράσινη βαλανιδιά αναερόβια χώνευση, βιοαέριο, κλειστός αντιδραστήρας, μεθάνιο.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ: Η επιτακτική ανάγκη εξοικονόμησης ενέργειας (λόγω της γνωστής κρίσης), συνετέλεσε να ερευνηθούν διάφορες πηγές από μεθόδους φυσικές, γνωστές από παλιά όσον αφορά το μηχανισμό τους, αλλά μη εφαρμόσιμες σαν μη οικονομικά συμφέρουσες σε σχέση με την παλιά ικανοποιητική τιμή του πετρελαίου. Η παρούσα όμως κρίση στην ενέργεια λόγω της αύξησης της τιμής του πετρελαίου κάνει τις μεθόδους αυτές εφαρμόσιμες και σε μεγάλο βαθμό ανοίγει το δρόμο για τη βελτίωσή τους μέσα από την έρευνα . Μια τέτοια μέθοδος είναι η αναερόβια χώνευση.

ΓΕΝΙΚΟΤΗΤΕΣ:

Η αναερόβια χώνευση είναι μία ζύμωση απουσία οξυγόνου που επιτρέπει τη σταθεροποίηση της οργανικής ύλης μετατρέποντας την σε αέριο μίγμα μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα.

Ορισμένοι ερευνητές (1),(2) διακρίνουν σε τρείς τις φάσεις κατά τη διάρκεια του φαινομένου της αναερόβιας χώνευσης.

. Η πρώτη φάση αντιστοιχεί στην υδρόλυση της οργανικής ύλης και στην μετατροπή της σε ουσίες εν διαλύσει.

. Η δεύτερη φάση είναι η φάση παραγώγης λιπαρών πτητικών οξέων, υδρογόνου και διοξειδίου του άνθρακα που σχηματίζονται αποκλειστικά από βακτηρίδια παραγωγής οξέων.

. Η τρίτη φάση αντιστοιχεί στην παραγωγή μεθανίου από τα προϊόντα της προηγούμενης φάσης αποκλειστικά από αναερόβια βακτηρίδια.

Η μεθανική ζύμωση έχει μια ικανότητα κυτταρικής αποδιοργάνωσης ανάμεσα στις πιο ισχυρές στον βιολογικό κόσμο και επιτρέπει την ελάττωση σε όγκο σημαντικών ποσοτήτων οργανικής ύλης. Επίσης η αναερόβια χώνευση επιτρέπει την σχεδόν πλήρη καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών.

Με την ίδια μέθοδο σταθεροποιούνται και ελαττώνονται σε όγκο οι λάσπες οι εξερχόμενες από λεκάνες οξείδωσης κέντρων επεξεργασίας αποβλήτων. Εκτος από τη βασική αυτή εφαρμογή σε πολλές χώρες από παλιά εχρησιμοποιείτο η μέθοδος αυτή για σταθεροποίηση και ελάττωση του όγκου και σε διάφορα άλλα απορρίματα περισσότερο ή λιγώτερο εμπυδατώμενα.

Στην παρούσα εργασία ερευνάται η δυνατότητα βιοδιάσπασης με αναερόβια χώνευση στερεών φυσικών απορριμάτων όπως είναι η πράσινη βαλανιδιά με κύριο σκοπό την παραγωγή μεθανίου για εξοικονόμηση ενέργειας.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Σαν υλικό ζύμωσης στα πειράματά μας χρησιμοποιήθηκαν κλάδοι και φύλλα πράσινης βαλανιδιάς.

Ο αντιδραστήρας ήταν φιάλη γυάλινη 1 lit.(σχήμα1). Η θερμοκρασία του πειράματος διατηρείται στους 35 $^{o}$ C αφού βυθιστεί η φιάλη μέσα σε λεκάνη με νερό θερμορυθμιζόμενο στην ανωτέρω θερμοκρασία. Η φιάλη φέρει μια έξοδο που οδη-

γει το παραγόμενο αέριο σε ένα κώδωνα αερίου που χρησιμεύει στην μέτρηση της ταχύτητας έκλυσης του αερίου (σχήμα 2).

Η πράσινη βαλανιδιά υποβλήθηκε σε ζύμωση με διαφορετικές μεθόδους.

1.Πράσινη βαλανιδιά μη αλεσμένη (καλλιέργεια με αναερόβια λάσπη από χωνευτήρα κέντρου επεξεργασίας αποβλήτων).

Βάρος πρ.βαλανιδιάς: 65,8 gr

Βάρος αναερ.λάσπης : 110,0 gr

2.Πράσινη βαλανιδιά αλεσμένη, διαλυμένη με αναερόβια λάσπη σε αναλογία 50% σε βάρος.

Βάρος πρ.βαλανιδιάς : 185,7 gr

Βάρος αναερ.λάσπης : 185,7 gr

3.Πράσινη βαλανιδιά αλεσμένη, διαλυμένη με αναερόβια λάσπη σε αναλογία 50% σε βάρος. Το μίγμα υποβλήθηκε σε εμφύσημα αέρα επί 7 λεπτά περίπου.

Βάρος πρ.βαλανιδιάς :172,4 gr

Βάρος αναερ.λάσπης :172,4 gr

4.Πράσινη βαλανιδιά μη αλεσμένη, διαλυμένη με λάσπη πρωτογενούς καθιζανητή σε αναλογία βάρους 50%.

Βάρος πρ.βαλανιδιάς:53,2 gr

Βάρος πρωτογ.λάσπης:53,2 gr

5.Πράσινη βαλανιδιά αλεσμένη, διαλυμένη με πρωτογενή λάσπη σε αναλογία βάρους 50%.

Βάρος πρ.βαλανιδιάς:212,1 gr

Βάρος πρωτογ.λάσπης:212,1 gr

Στην πειραματική μέθοδο μετράται η ταχύτητα παραγομένου αερίου στις 5 περιπτώσεις και αναλύεται το $CH_4$ και το $CO_2$ σε χρωματογράφο αέριας φάσης INTERSMAT 1GC, 120 MB.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Μόνο ο αντιδραστήρας 1 παρήγαγε αέριο η ταχύτητα παραγωγής του οποίου φαίνεται στο σχήμα 3. Οπως φαίνεται στο σχήμα η παραγωγή αερίου δεν είναι ιδιαίτερα ικανοποιητική εν τούτοις η μέγιστη ταχύτητα αγγίζει την τιμή των 5 $cm^3$/ημ. Το ποσοστό $CH_4$ ,$CO_2$ στο αέριο μίγμα φαίνεται στο σχήμα, και είναι περίπου 68% $CH_4$ και 15% $CO_2$ σε όγκο.

Οι άλλοι αντιδραστήρες δεν παρήγαγαν αέριο, αλλά αυτό ερμηνεύεται από τη χαμηλή τιμή που μετρήθηκε στο pH (pH<3,7).

Η ακολουθούμενη μέθοδος φαίνεται λοιπόν ότι παίζει ενεργό ρόλο στη φάση παραγωγής οξέων. Αυτή αναπτύχθηκε πολύ γρήγορα στους αντιδραστήρες από 2-5, με αποτέλεσμα να προκαλέση σημαντική πτώση του pH και να ακινητοποιήση τη φάση παραγωγής μεθανίου.

Πιο αναλυτικά η αλεσμένη βιομάζα υδρολύεται ευκολώτερα και συνεπώς αρχίζει γρήγορα η φάση παραγωγής οξέων. Εξ άλλου όπως έχει παρατηρηθεί (3)η ταχύτητα εξέλιξης της αντίδρασης σ'αυτή τη φάση είναι μεγαλύτερη από αυτήν της φάσης παραγωγής μεθανίου. Ακόμα περισσότερο είναι φανερό αυτό στην περίπτωση 3 που το εμφύσημα με αέρα υποβοηθά τη βιοδιάσπαση αφού είναι μία μέθοδος αερόβιας προζύμωσης.

Οσον αφορά τις περιπτώσεις 4 και 5 έχουμε να παρατηρήσουμε, ότι εδώ είναι καθαρά θέμα βιοδιασπαστή, δηλαδή καλλιέργειας.Από την πρωτογενή λάσπη λείπουν αρχικά τα αναερόβια βακτηρίδια, οπότε ο χρόνος εμφανίσής τους είναι τόσο μεγάλος που δεν δικαιολογεί την αναμονή, σε σχέση με την ταχυτάτη υδρόλυση και μετέπειτα παραγωγή οξέων.

Αντίθετα ο αντιδραστήρας 1 με μη αλεσμένη πράσινη βαλανιδιά συντέλεσε, ώστε το φαίνομενο της αναερόβιας ζύμωσης να εξελιχθεί ομαλά με την καθυστέρηση της υδρόλυσης και της εμφάνισης της φάσης των οξέων, με αποτέλεσμα να μην ακινητοποιηθεί η φάση παραγωγής μεθανίου που ακολουθεί (μετρηθέν pH=6,4).

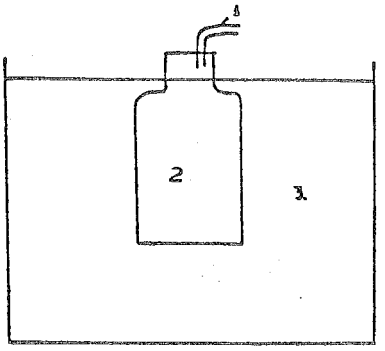
Η μελέτη σε κλειστό αντιδραστήρα της αναερόβιας χώνευσης της πράσινης βαλανιδιάς επέτρεψε να παρατηρηθεί και επαληθευθεί η επίδραση του pH (4),(6) και να αναγνωρισθεί το είδος του μίγματος υποστρώματος-βιοδιασπαστή για την πραγματοποίηση της αναερόβιας βιοδιάσπασης. Η μελέτη μπορεί πλέον να συνεχισθεί σε αντιδραστήρα συνεχή με σκοπό τον υπολογισμό του ισολογισμού μαζών του φαινομένου.

Αν και από τα πειράματα καταδείχθει, ότι η ταχύτητα παραγωγής βιοαερίου δεν είναι μεγάλη, εν τούτοις ο πειραματικός τρόπος που ακολουθήθηκε κατέδειξε επίσης,ότι και ανάλεστη βιομάζα μπορεί να υποστεί αναερόβια ζύμωση

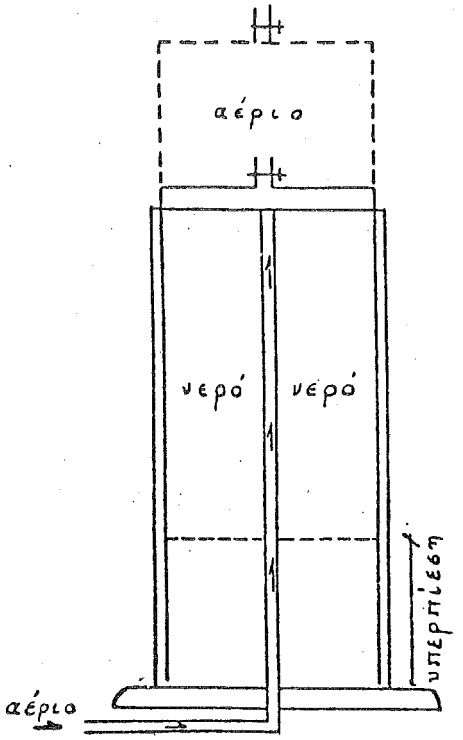
με αποτέλεσμα σημαντικό οικονομικό όφελος στην συνολική παρουσίαση της διεργασίας του φαινομένου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

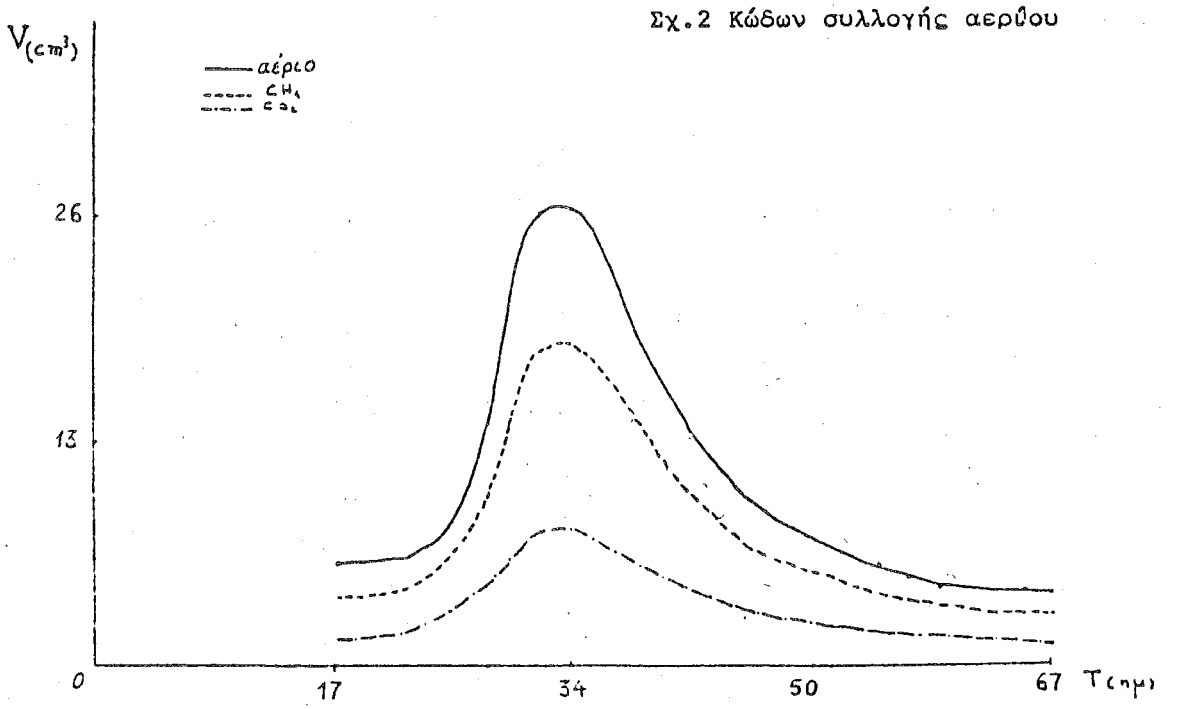
1. M.HENZE and HARREMOËS IAWPR Specialised Seminar June 16-18 1982 Copenhagen Denmark " Anaerobic Treatment of Wastewater in fixed film reactors".
2. A.F.M. VAN VIELSEN (1977).Anaerobic digestion of piggery waste. 1.The influence of detention time and manure concentration. Department of water purification, Agricultural University Wageningen the Netherlands.
3. ANDREWS J.F., COLE R.D., PEARSON E.A. "Kinetics and characteristics of multistage methane fermentation ". Sanitary Engineering Research Laboratory University of California, BERKELAY.
4. MAC BRIDE B.C.,WOLFE R.S. " Biochemistry of methane formation". Anaerobic biological Treatment Processes Advances in Chemistry Series, p 13 (1971).
5. DAGUE R.R., HOKINS R.L.,TOWN R.W.(1970). "Digestion fondamentals applied to digester recovery: two cases studies "I.W.P.C.F. Vol 42,n 9p. 1666--1675.




Σχ.1 Φιάλη




Σχ.2 Κώδων συλλογής αερίου




Σχ.3 Ημερήσιος όγκος παραγομένου αερίου.

ΤΙΤΛΟΣ ΕΙΣΗΓΗΣΗΣ: ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ "ΚΑΤΣΙΓΑΡΩΝ"και ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΑΛΛΩΝ ΠΑΡΟΜΟΙΩΝ ΜΕ ΤΑ ΛΙΟΖΟΥΜΑ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΝΤΟΠΙΑ "ΒΙΟΗΛΙΑΚΗ"μας ΑΝΑΕΡΟΒΙΟ ΜΕΘΟΔΟ ΑΠΟΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΕ "ΛΙΜΝΟΔΕΞΑΜΕΝΩΣΕΙΣ" ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΠΟΛΛΩΝ ΠΡΟΙΟΝΤΩΝ.

ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ: ΘΕΟΔΟΣΗΣ Μ ΧΡΙΣΤΟΦΟΡΙΔΗΣ ΧΗΜΙΚΟΣ ΕΜΠ
ΣΥΜΒΟΥΛΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΟΙΝΟΛΟΓΟΣ τ.ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ Ε.Ι.Ε
τ.ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Τ.Ε.Ι.-Τ.Α.τ.ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ ΜΗΧ/ΚΟΣ
ΥΔΕ τ.ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ ΑΝΑΛΥΤΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΙΣΤΑΜΕΝΟΣ
ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΑΛΛΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΡΟΙΟΝΤΩΝ ΚΑΙΝΟΤΟΜΟΣ ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ ΣΕ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΑ ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΚΑΙΝΟΤΟΜΟΣ ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΤΗΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΕΩΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ
Ζ Ω Η Σ

---

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Μπροστά στο μεγάλο πρόβλημα για τους Ελαιουργούς,αλλά και πολλούς άλλους παραγωγούς υγρών απόβλητων,που δεκαετίες απασχολούν το κοινό και τις αρχές,βρήκαμε μια επαρκή λύση απορύπανσής τους με την ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ ΣΕ ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΛΙΜΝΟΔΕΞΑΜΕΝΩΣΗ ΤΟΥΣ ΜΕ ΑΕΡΟΣΤΕΓΗ ΔΙΑΦΑΝΗ ΚΑΛΥΨΗ ΠΟΛΥ ΦΘΗΝΑ ΤΟΠΙΚΑ ΚΑΙ ΕΓΧΩΡΙΑ με πολλές KWHS ήλιου,δυνατότητες βελτιώσεων με πληθώρα πρόσθετης ΤΕΧΝΟΓΝΩΣΙΑΣ,πολλαπλών αξιοποιήσεων του ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ και των πλούσιων λιπασματικών υπολειμματικών νερών στη ΓΕΩΡΓΙΑ.

ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ: ΡΥΠΑΝΣΗ-ΥΓΡΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΥΨΗΛΟΥ BOD5-ΑΠΟ ΡΥΠΑΝΣΗ-ΒΙΟΑΕΡΙΟ-ΒΙΟΗΛΙΑΚΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ-ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΙΚΑ ΛΙΠΑΣΜΑΤΙΚΑ ΝΕΡΑ-ΛΙΜΝΟΔΕΞΑΜΕΝΩΣΕΙΣ-ΔΙΑΦΑΝΗΣ ΚΑΛΥΨΗ-ΛΙΠΑΣΜΑΤΙΚΟ ΣΚΟΡΠΙΣΜΑ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ:

α) Τ.Α.,Νομαρχίες,Τουρισμός,Υπηρεσίες ελέγχου,Ρυπένοντες Κοινό κ.α.περίμεναν από πολλά χρόνια και ίσως αιώνες την κατάλληλη για τη φύση των λυμάτων,την διασπορά των μονάδων και της οικονομικής τους ανεπάρκειας λογική πραγμάτωση κάποιας λύσης.
β) Τα λιόζουμα και άλλα συναφή και γειτονικά υγρά απόβλητα ρυπαίνουν έντονα έδαφος,επιφανειακά νερά,υπόγειο ορίζοντα και θάλασσες προσβάλοντας συχνά πανίδα,χλωρίδα και πολλούς βιότοπους.
γ) Το υψηλό οργανικό τους φορτίο σε όλη τη χώρα υπερβαίνει τις 100.000 τόννους BOD5 ή το αστικό φορτίο της μισής περίπου Αθήνας.
δ) Η μεγάλη διάδοση της αναερόβιας χώνευσης σε κοπρολύματα και οι επιτυχείς έρευνες στη μεσόγειο για την αναερόβια αξιοποίηση και των λιόζουμων-με θετικό θερμιδικό αποτέλεσμα μέχρι την αυτονομία από το βιοαέριο του Ελαιουργείου-και για την δυνατότητα επωφελούς σκορπίσματός τους στη Γεωργία σαν προσωρινή λύση,
ε) Η αποτυχία εφαρμογής κάθε άλλης μεθόδου απορύπανσης με προτάσεις διεθνών εταιριών για εξάτμιση σε λίμνες,
στ)Το διεθνώς και από την ΕΟΚ αυξανόμενο ενδιαφέρον για ήπιες μορφές ενέργειας,καθαρές τεχνολογίες,αμοιβόμενα προγράμματα σχετικών ερευνών και ενθάρρυνσης για κάθε νέα τεχνογνωσία μάς ώθησε στη πρόταση της πολλαπλής λύσης

ΚΥΡΙΟ ΜΕΡΟΣ ΤΗΣ ΕΙΣΗΓΗΣΗΣ: Πράγματι το πρόβλημα της ΡΥΠΑΝΣΗΣ από τα ΛΙΟΖΟΥΜΑ της Ελαιουργίας λύθηκε και μάλιστα με μεγάλο κέρδος από την ΕΝΕΡΓΕΙΑ και τα άλλα ΠΡΟΙΟΝΤΑ που πέρνουμε με τη βοήθεια του ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟΥ ΗΛΙΟΥ και πολλών ΦΙΛΙΚΩΝ ΣΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΟ ΜΙΚΡΟΒΙΩΝ, κατά την "ΧΩΝΕΥΣΗ" για την ΑΠΟΡΥΠΑΝΣΗ τους σε: ΛΙΜΝΟΔΕΞΑΜΕΝΩΣΕΙΣ ΜΙΚΡΟΥ ΒΑΘΟΥΣ ΣΚΕΠΑΣΜΕΝΕΣ ΑΕΡΟΣΤΕΓΩΣ ΜΕ ΟΠΟΙΑΔΗΠΟΤΕ ΔΙΑΦΑΝΗ ΚΑΛΥΨΗ, ώστε να λειτουργεί η κατά τη γνώμη μας άμεσης αναγκαιότητας και πιο φθηνή μέχρι σήμερα κατά γενική και διεθνή αποδοχή "ΒΙΟΗΛΙΑΚΗ" μας αναερόβια μέθοδο

Από τον πρώτο ή το πολύ μέσα στον δεύτερο χρόνο, ανάλογα με το εγκατεστημένο και το λειτουργικό ή ερευνητικό κόστος, η ΕΠΕΝΔΥΣΗ των 100 έως 500.000 δρχ (100 έως 1.000 δρχ/Μ3) ΑΠΟΣΒΕΝΕΤΑΙ, όχι μόνο από το ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΛΟΓΙΚΟ ΚΕΡΔΟΣ ΑΠΟΦΥΓΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ και ΑΠΟΡΥΠΑΝΣΗΣ, αλλά κι από τα λαμβανόμενα ΠΡΟΙΟΝΤΑ: α) ΒΙΟΑΕΡΙΟ των 6.000 KCAL 10 έως 20 χγρ ή 400 έως 800 δρχ/Μ3 και β) τα πολύτιμα για τη ΓΕΩΡΓΙΑ ΛΙΠΑΣΜΑΤΙΚΑ ΥΔΑΤΙΚΑ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΑ κι οι ΛΑΣΠΕΣ του πάνω από 1ο/ο K2O, P2O5 και N ή 100 έως 500 δρχ/Μ3, αφού θα επέρχεται και συνεχής βελτίωση, τόσο της παραγωγής τους, όσο και της παραγωγικότητάς της και στην ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ τους με οικονομικότερη βάση και σε συνεχώς πολλαπλασιαζόμενες και επικερδέστερες ΧΡΗΣΕΙΣ.

Οπως προτείναμε στην Επιτροπή της ΕΟΚ για την Ενέργεια και νομίζουμε ότι έγινε αμέσως αποδεκτό στα προγράμματα R AND D και ECA η γενική εφαρμογή τουλάχιστον στη χώρα μας με τα 3.500 περίπου ΕΛΑΙΟΥΡΓΕΙΑ και πολλές άλλες χιλιάδες παρόμοια ρυπαίνουσες ΜΟΝΑΔΕΣ, όπως τα κτηνοτροφεία, νομίζουμε ότι η τάξη των 1.000 περίπου "ΒΙΟΗΛΙΑΚΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ" του ενός έως τριών στρεμμάτων φθηνής επαρχειακής γης αναγκαίων παραγωγικών και ερευνητικών εγκαταστάσεων είναι αρκετές σε πρώτη φάση.

Η εντοπιότητα, η απλότητα, η φθήνια, η αυτονομία, η υψηλή μεσογειακή ηλιοφάνεια, το άοσμον κλπ της μεθόδου, που θα προστατέψει το περιβάλλον, την επαρχειακή ύδρευση, την πανίδα, την χλωρίδα, τους βιότοπους και τις θάλασσές μας με τον τουρισμό τους κατά τον εφικτότερο τρόπο και όλα τα ωφέλη από τα πλούσια προϊόντα, δεν αφείνουν περιθώρεια περεταίρω καθυστέρησης μιας τέτοιας αποσοβητικής, ενεργετικής και πλουτοφόρας ΠΡΑΓΜΑΤΩΣΗΣ.

Το φθηνό χωράφι, η φυσική ροή εισαγωγής και εκροής, οι πρώιμες κηπευτικές ανάγκες, η απορρόφηση από την παραγωγή και την οικολογία, τόσο του ενεργειακού αερίου, όσο και της ηλεκτρισμικής του μετατροπής, η άνετη και επωφελέστερη δυνατή προσφορά ενός κατάλληλα προετοιμασμένου λιπασματικού υδατικού υπολείμματος και λασπών, που θα απαιτούσε πάνω από 50 έως 100 στρέμματα οποιασδήποτε αγρτικής γειτωνικής καλλιέργειας, αλλά και ένα συνεχές τεχνολογικό και επιστημονικό ενδιαφέρον στην λεπτομερέστερη ολοκλήρωση του KNOW HOW μας θα ευνοούσαν περισσότερο ακόμη αυτή την πραγμάτωση.

Τα διάφορα υλικά κατασκευών, όλα σχεδόν εγχώριας κατασκευής, όπως οι εκσκαφικές εργασίες, οι διαφανείς καλύψεις, οι θερμοκηπιακές στηρίξεις, οι μονώσεις, οι στεγανοποιήσεις, οι σωληνώσεις, αντλίες, βαλβίδες αερίου, χημικά προϊόντα. τυγόν ανακλάστες κλπ υπάρχουν παντού.

Η οπωσδήποτε κάποια επιχειρησιακή ομαδικότητα της ΟΡγανωσηΣ σε πρωτοβάθμιο επίπεδο από τους τοπικά ενδιαφερόμενους:Ελαιουργούς,Κτηνοτρόφους,άλλους παρόμοιους λυματοπαραγωγούς,Τ.Α.,αγρότες,καλλιεργητές,συνεταιριστές,επιχειρηματίες,γεωτέχνες και άλλους επιστήμονες ή ερευνητικά εργαστήρια και εκπαιδευτικά ιδρύματα,όπως και στο δευτεροβάθμιο επίπεδο για νομό ή ολόκληρο αγροτικό διαμέρισμα με πολλές τέτοιες εγκατεστημένες μονάδες και υψηλότερη επίβλεψη π.χ.ΕΛΑΙΟΥΡΓΙΚΗ ή ΕΟΜΜΕΧ,ΠΕΡΠΑ,ΕΛΚΕΠΑ,ΚΕΠΕ,ΕΙΕ κλπ θα μπορούσε να εκπροσωπηθεί και από τους σχετικά από παλιά προβληματιζόμενους ελαιουργικούς και αγροτικούς συνεταιρισμούς,ενώ σε τριτοβάθμιο κάπως ανεξάρτητο και άκρως εξειδικευμένο επιστημονικά επίπεδο θα μπορούσε κρατικά να ανατεθεί η επιστημονική,ερευνητική,οικονομοτεχνική και νομική εποπτεία όλων των εγκαταστάσεων και της συνεχούς τεχνολογικής και οικονομικής τους εξέλιξης.

Το κέρδος από τον ήλιο και τα παραγόμενα προϊόντα προοιονοίζουν ένα σημαντικό κέρδος σε συνάλλαγμα.

Το ίδιο και με την εξαγωγή αυτού του KNOW HOW μας.

Τα μεσογειακά και περιβαλλοντολογικά ενεργειακά προγράμματα της ΕΟΚ παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον χρηματοδοτήσεων για τη χώρα μας πάνω στο θέμα μας,κι απέδειξαν αμέσως την σχετική βιασύνη τους.....

Τα σχετικά ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΑ όμως,παρά το ξαφνικά βεβισμένο ενδιαφέρον τους,φοβάμαι ότι δεν διαθέτουν την απαραίτητη φαντασία,αποτελεσματικότητα και εμπειρία κατανόησης για την άμεση επωφελή πραγμάτωση,όπως το πιάσαν οι κοινοτικοί αρμόδιοι,κι έπειτα τα περαιτέρω "ψαξήματα"για το τελικό άριστο της απόδοσης στα κέρδη,αλλά και τις σίγουρες,άμα τω έργω,επιδοτήσεις με αρκετές ECU,τόσο για την περιβαλλοντολογική προστασία,όσο και το ενεργειακό και το της "καθαρής"τεχνολογίας ενδιαφέρον στον μεσογειακό κοινοτικό και τουριστικό χώρο.....

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΑΠΛΟΥΣΤΕΡΗΣ ΑΠΟ ΤΙΣ ΠΑΡΑΛΛΑΓΕΣ ΤΗΣ:Το Α για μια τέτοια εγκατάσταση άμεσης και τελείως ανόδυνης εφαρμογής,που θα ερέθιζε το ενδιαφέρον των αρμόδιων πιστοδοτικών και ερευνητικών φορέων στη συνέχεια,και για 1.000 τέτοιες μονάδες εκκίνησης σε ένα έως τρία στρέμματα εκάστε και για 1.000 έως 2.000 Μ3 βαριά υγρά απόβλητα με γύρω στα 10ο/ο οργανικό φορτίο - μετά διαχωρισμό από τα μικρότερης ρύπανσης λύματα της περιοχής - θα απαιτούσε σε πρόχειρη ανάλυση τα εξής:

1)Το καταλληλότερο υφομετρικά,εδαφολογικά,καλιεργητικά γειτνιαστικά κλπ λυματοποσοτικά ισαπέχον ΧΩΡΑΦΙ της περιοχής με ένα ή ομάδα παραγωγών τέτοιων απόβλητων,

2)Τις κατά το δυνατόν αυτόνομες της"Οργάνωσης"ΕΚΣΚΑΦΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ. για τις ΛΙΜΝΟΔΕΞΑΜΕΝΩΣΕΙΣ,οπωσδήποτε μικρότερου του 0,90μ βάθους,διαστάσεων ανάλογα προς τις εμπορικές μορφές της καταλληλότερης προσφερόμενης διαφανούς κάλυψης και των αναμενόμενων υγρών αποβλητων,με τις τεχνολογικά,ερευνητικά και παραγωγικά αναγκαίες μορφοποιήσεις,τα δύο πριν για τις προβλεπόμενες προκατεργασίες στα επεξεργαστέα λύματα και μετά για την προσφορά στη

ΓΕΩΡΓΙΑ κατάλληλα σταθεροποιημένων των τελικών "νερών" ΦΡΕΑΤΙΑ της σωστότερης δυνατής πρόβλεψης όγκου και μορφής και το ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΟ π.χ. ΑΥΛΑΚΙ για την σκυροδετητικά με εμφύτευση μπουλονιών ή άλλως αεροστεγή συγκράτηση της διαφανούς κάλυψης και της άλλης π.χ.πλαστικής μαύρης κάλυψης του πυθμένα κλπ,

3)Την ανωτέρω και πάλι τουλάχιστον εργασιακά αυτόνομη περιφερειακή ΣΚΥΡΟΔΕΤΗΣΗ π.χ.διατομής 0,15 Χ 0,25 Μ2 ανάλογα με το σχήμα,την συνολική επιφάνεια,τα δεχόμενα ατμοσφαιρικά φορτία,τους δευτερεύοντες προορισμούς,την φύση και το βάρος,το πολυετές κλπ της διαφανούς κάλυψης,ενώ από κεί θα πρέπει να διέρχονται αεροστεγώς και όλες οι μικρές ή μεγάλες σωληνώσεις εισόδου και εξόδου λυμάτων νερών,αερίου,δειγματοληψειών,μετρήσεων συνθηκών,βοηθητικών φυσικών και χημικών γνωστών ή μη διεργασιών κλπ,

4)Την κάποια ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ Η ΚΑΙ ΜΟΝΩΣΗ της εσωτερικής επιφάνειας π.χ.με την απλή κάλυψη από μαύρο Ρ.Ε. ή στρώμα αργίλου και όχι απαραίτητα τον ακριβό Μπεντονίτη ή κονίαμα ή και κάποιο παραπροϊόν της περιοχής για φθηνή μόνωση:πούπουλα,ροκανίδι,άχυρο,πλαστικά ανακύκλωσης κλπ ή κι αυτό τούτο το Πολυστηρένιο,

5)Τα κατάλληλα φθηνά αυλάκια ή και σωληνώσεις άφιξης των διαφόρων υγρών απόβλητων και τον ή τους σωληνίσκους απαγωγής και τυχόν μερικής για "μπαρμποτάζ"ανακύκλωσης του βιοαέριου,

6)Τα κατάλληλα ΑΥΛΑΚΙΑ ή και ΣΩΛΗΝΩΣΕΙΣ προσφοράς στη Γεωργία των τελικών νερών,

7)Τυχόν βοηθητική θερμοκηπιακή τεχνολογία ΣΤΗΡΙΞΗΣ της αεροστεγούς διαφανούς κάλυψης και τέλος

8)Μια οποιαδήποτε καθαρή κι επαρκούς βιοσιμότητας ΔΙΑΦΑΝΗ ΚΑΛΥΨΗ απλή ή και διπλή για λόγους μόνωσης,στην αρχή και για τους λόγους της γενικής ερευνητικής βελτίωσης από το φθηνότερο Ρ.Ε.,ενώ και η αρχική απόσταση από την επιφάνεια των υγρών θεωρητικά μηδαμινή,χωρίς όμως τον κίνδυνο της από τους αφρούς της χώνευσης μείωσης της άκρας διαφάνειάς της.Σύμφωνα με το σχήμα των Ρ.Ε. του ΗΡΑΚΛΕΙΟ 13 χ Χ Μ2 για μονοκόματες λιμνοδεξαμενώσεις των π.χ.10 Χ 30 ή 50 ή και πλέον Μ2 θα χρειαζόντουσαν και π.χ.ανά Μ εγκάρσιες στηρίξεις,είτε από τοιχοματάκια μη εκσκαφής,είτε από μεταλλικές ή ξύλινες ράβδους κοκ.Μάλλον θερμοκηπιακή θολωτή ή άλλη μορφή αργότερα,και κυρίως αν αποδειχτεί η επάρκεια και το πολύ επωφελές του αεριοφυλακισμού του βιοαέριου μέσα στον ίδιο το χώρο παραγωγής του.

Το ΚΕΝΟ ΑΕΡΟΣ μεταξύ κάλυψης κι επιφάνειας,αναγκαίο για τις αναερόβιες βιοηλιακές συνθήκες,ίσως κατά το ξεκίνημα της χώνευσης,μπορεί να γίνει με σταδιακή ανύψωση με την εμφύσηση όμοιων,συγγενών ή και αβλαβών αδρανών αερίων (CO2),βοηθούσης και κάποιας π.χ.αρθρωτής κατασκευής ανύψωσης,ενώ στην αρχή με την πιο χαμηλή δυνατή κάλυψη μια στοιχειώδης άντληση του λίγου αέρα είναι αρκετή.Εδώ θα παρατηρούσα τη χρησιμότητα της έμπνευσης των χρησιμοποιούμενων κατά την κατασκευή των τοπικών τεχνιτών και ειδικά εκείνων της εργατικής μας διασποράς στο εξωτερικό που έχουν δόσεο πολλά τεκμήρια σοβαρής τεχνολογικής επιμόρφωσης κι ανάπτυξης σε προηγμένους τομείς.Οπωσδήποτε για να

βγούμε κι εμείς από την υπανάπτυξη και την ήτα στον ντόπιο και ξένο ανταγωνισμό,δεν πρέπει να θεωρούμε κάθε δεδομένη επιχείρηση ή δημιουργιά,όπως και καινοτομική εγκατάσταση σαν μονόπλευρα κατεστημένη και στατική,αλλά σαν ζώντα και σφρυγιλό οργανισμό,ικανό ν ανταπεξέρχεται στις φθορές του χρόνου,των ίππων του και της ύλης,να προσαρμόζεται δε στους εκάστοτε απαιτούμενους νεωτερισμούς,προοδευτικούς χειρισμούς και τη νομοτέλεια της ρεαλιστικής εξέλιξης από κάθε πλευρά,χωρίς κυρίως ν αγνοεί τις πιο ανεπτυγμένες επιστημονικές του ανακλαστικές δυνατότητες.

Η ομορφιά της νομοτέλειας και η εύνοια των συνθηκών θα μπορούσε να εκδηλωθεί και στην περίπτωσή μας.Εάν φέρ' ειπείν η συγκέντρωση των λυμάτων στη μονάδα απορύπανσης, η κατά συνεχή τρόπο και ροή επεξεργασία τους και η απορροή των τελικών νερών γινόταν με φυσική και συνεχή ανόδυνη ροή θα ήταν μεγάλο το κέρδος σε εργατικά και ενέργεια.Εάν πάλι η απορροφητικότητα των τελικών λιπασματικών υδάτων ήταν ή δημιουργόταν πλησίον,πολύ το κέρδος και από την πλευρά της επιστημονικής παρακολούθησης των φυτών Στην περίπτωση κάποιας κλίσης του ίσως μοναδικού χωραφιά με κάποια κυψελωτής μορφής κατασκευή μικρότερων παράλληλων λιμνοδεξαμενώσεων φθείνουσας στάθμης θα πετυχαίναμε και την σταδιακά προς την τελευταία δεξαμένωση συνεχή η εποχειακή,ανάλογα της ζήτησης,χρήσιμη επιφανειακότερη με ταφορά της κάποιας διαυγαστικότητας με τη διαδοχική μετακίνησή της.Βέβαια η συνεχής ή μη λειτουργία ενός τέτοιου συστήματος,αν και στην πρώτη φάση,την ας πούμε φτωχότερη συνιστούμε παντού την καθ όλο το θέρος μόνο ηλιοθερμαινόμενη χώνευση μέχρι της πιθανής πλήρους εξάντλησης,είναι συνυφασμένη και με τις χρονικές και ο/ο αποδόσεις των προϊόντων και με την προτίμηση των ζητήσεων κατανάλωσης στην κάθε περιοχή,οπωσδήποτε παράλληλων οικονομοτεχνικών υπολογισμών και απαραίτητων αλληλοενημερώσεων κάθε μορφής.Το βιοαέριο πριν την αντίληψη της αξίας του από κάποια περιοχή μπορεί να καίγεται ελεύθερα,αφού δεν ρυπαίνει το Μεθάνειο,και βέβαια μετά την πλύση του σε γυάλινο δοχείο από το λίγο Υδρόθειο,που συμπαράγεται.Στο μέλλον θα καθαρίζεται κι από το 30ο/ο περίπου του CO2,που το συνοδεύει,για πιο προηγμένες χρήσεις του.Υπάρχουν περιπτώσεις,που σε ορισμένες παραγωγικές χημικές διεργασίες περισεύουν σαν παραπροϊόντα σημαντικές ποσότητες αλκάλεων.

Πολύ αναφέρεται σήμερα και το μεθάνειο από τα απορρίμματα,όπως αυτό κάπου στην Αγγλία,όπου το μαζεύουν σε σεβαστές ποσότητες από τις χωματερές και γεμίζουν ειδικά ρεζερβουάρ των αστικών απορριμματοφόρων.τους για εμβέλια 70 περίπου μιλια.Δεν γνωρίζουμε εάν η Βιοηλιακή μας μέθοδος δεν θα ήταν κατάλληλη για τα πολλά εκατομμύρια τόνους σκουπίδια των ελληνικών ΧΩΜΑΤΕΡΩΝ με πολλά δις κέρδος από μια σοβαρή τελική τεχνογνωσία.Αλλά επ αυτού θα επανέλθουμε.Είναι όμως καιρός να αναθεωρήσουμε τις χρησιμοποιούμενες μεθόδους με μεγαλύτερη ντόπια καινοτομικότητα και προπάντων αποφασιστικότητα στην εφαρμογή μιας ζωντανής και συνεχώς και ταχύτατα ανανεούμενης ΤΕΧΝΟΓΝΩΣΙΑΣ

Σε περίπτωση απωλειών Μεθανείου σαν πολύ ελαφρύτερο από τον αέρα χάνεται στην υψηλότερη ατμόσφαιρα χωρίς κινδυνο.

Τα υπολειμματικά λιπασματικά νερά με ήδη ουδέτερο PH, καταναλωμένη τη σωματιδιακή φάση, πολύ πεσμένο το BOD5, τα πλούσια ανόργανα λιπασματικά στοιχεία ακέραια για χρήση και σταθεροποιημένα κατάλληλα με κάποια από τις πιο οικονομικές και δοκιμασμένες σε άλλους τεχνολογικούς χώρους μεθόδους: SO2, κολλαρίσματα, ψύξη, γαίες, νεφελωματικά καθιζήσεων, ενεργοί άνθρακες κλπ χωρίς βέβαια ενοχλητικές για τη Γεωργία συγκεντρώσεις ξένων στοιχείων, θα είναι μια σοβαρή πρόκληση για την ελληνική Γεωτεχνία και τις μελέτες συναδέλφων Γεωπόνων. Μας έχει ήδη γίνει αποδεκτή εκ πρώτης όψεως η πρόταση του φθεινοπωρινού τους σκορπίσματος τουλάχιστον σε ελαιώνες, όπου όταν αργεί να βρέξει - και είναι συχνό το φαινόμενο στην Κρήτη τουλάχιστον - τρέμου τα φυλοκάρδια των ελαιοπαραγωγών για την αναμενόμενη ελαιοπενία της χρονιάς αυτής.

Είδαμε κάποτε επίσης, όταν τα υγρά απόβλητα της Βινοποιίας Χένιγγερ ριχνόντουσαν ακόμη σε αυλάκια μέχρι την παρακείμενη ακτή του Ηρακλείου, δυο γείτωνες εκεί αμπελουγούς 4 - 5 στρεμμάτων σουλτανίνας να τσακώνονται κυριολεκτικά για το ποιός θα τα πρωτοπάρει για την λιπασματική άρδευση του αμπελιού του. Επομένως και για οικονομικότερη λειτουργικότητα της μεθόδου θα μπορούσαν να αρδεύσουν μέσα στο καλοκαίρι και αμπέλια, που έχουν και βαθύτερο ρίζωμα, εάν και η ζήτηση του βιοαερίου είχε γίνει νωρίτερα ή και κατά την ελαιουργική περίοδο από τους ίδιους τους ελαιουργούς, τους κτηνοτρόφους κλπ με ή χωρίς υποβοήθηση της βιοηλιακής χώνευσης.

Η Βιολογία επίσης έχει προσδιορίσει συμφέρουσες ποιότητες και συνθήκες των κατάλληλων μικροβίων και δεν μένει παρά να τις εξακριβώσει και περαιτέρω μελετήσει και στην πράξη με ελεύθερες και άκρως επιθυμητές απ όλους παρεμβάσεις της.

Η ΔΕΗ μας έχει ήδη υποσχεθεί έγκαιρη υποβοήθηση Η/Ζ και η αντίστοιχη επιστήμη θα βρει μια ουσιαστική απασχόληση για την προσφορότερη ηλεκτρισμική παραγωγή και κατανάλωση κυρίως στις σοβαρότερες ποσοτικά μονάδες, όπου και η χρονική παραγωγικότητα θα μπορούσε κατάλληλα να αυξηθεί μετά από οικονομοτεχνική μελέτη.

Η Τ.Α. και μετά την κάποια οικονομική, χωροταξική, τεχνική και δικαιωματική εποπτική ανάμιξή της στις μονάδες αυτές απορύπανσης και παραγωγής προϊόντων θα τα ζητήσει ίσως σαν αμοιβή για την Οικολογία και την Ποιότητα Ζωής της περιοχής της: φυτεύσεις, θέρμανση, ηλεκτροφωτήσεις κλπ.

Η κτηνοτροφία, η βιομηχανία, η πρώιμη κηπευτική και πολλές άλλες γνωστές ή καινούριες δραστηριότητες σύντομα θα ζητήσουν επίσης για οικονομικό τους όφελος την χρήση των προϊόντων και τότε πλέον θα έχει επαληθευθεί η πρόβλεψή μας για την άλλη μορφή αυτών των μονάδων: την επιχειρησιακή. Η οικονομική καμπύλη όμως αυτών των επιχειρήσεων, είτε μεμονωμένων, είτε συνεταιριστικών: πρωτοβάθμιου, δευτεροβάθμιου ή και τριτοβάθμιου επιπέδου θα πρέπει ν αρχίσει το συντομότερο και από πολύ χαμηλά με αναμενόμενο σύντομα το πρώτο και δεύτερο άλμα της κρατικής και κοινοτικής οπωσδήποτε παρέμβασης για να παραμείνει κάπως οριζόντια κατά τις ερευνητικές προσπάθειες των πρώτων ετών και να

ανεβαίνει πλέον σταθερά στο μέλλον με την προϋπόθεση της κάποιας συνειδητής αντιμετώπισης των επιδιωκούμενων.

ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ: Μετά από όσα είπαμε φαίνεται καθαρά ότι κάθε καθυστέρηση πραγμάτωσης ΑΠΟ ΕΦΕΤΟΣ ΠΑΝΤΟΥ τουλάχιστον τουλάχιστον στην τελείως εύκολα εφαρμόσημη οικονομικά και τεχνολογικά απλούστερη ανωτέρω μορφή της φθηνής και αποτελεσματικής ΒΙΟΗΛΙΑΚΗΣ αυτής μεθόδου μας,όχι μόνο θα εκτεθούμε για μια ακόμη φορά στις κοινοτικές κομμισιόν έρευνας και επιδοτήσεων,αλλά θα στείλουμε και εφέτος στο περιβάλλον και τη θάλασσα εκατομμύρια κυβικά μέτρα ρυπαντικώτατων υγρών απόβλητων,ενώ αρχίζοντας την απορύπανσή τους με την γενικά πλέον παραδεκτή αυτή μέθοδο θα έχουμε ανακυκλώσει ένα μέρος τουλάχιστον των 100.000 τόννων περίπου BOD5 και το σύνολο ασφαλώς των λιπασματικών τους στοιχείων.Μια τεράστια δραστηριότητα επιστημονικής έρευνας και δοκιμών και με εκπαιδευτικές προεκτάσεις και απασχόλησης πολλών εκατοντάδων φοιτητών και σπουδαστών - κάποτε τελος πάντων απασχολούμενων κι αυτών σε ουσιαστικές εφαρμογές και αναζητήσεις των αναγκών της επαρχίας,ανακυκλώνοντας και έτσι το χθεσινό αστυφιλικό ρεύμα και της επιστήμης - θα έχει αρχίσει αποφασιστικά,συνειδητά και στην ίδια την πράξη, κι ας συνεχίζονται παράλληλα μέσα στα εκπαιδευτικά ιδρύματα τα αέναα φαξήματα για το βέλτστο της επιστημονικής παρατήρησης και τις θεωρητικές επιμορφώσεις σε τομείς όμως,όπως η προχωρημένη ρύπανση του περιβάλλοντος,η υποβοήθηση των οικονομικά και συναλλαγματικά ενεργειακών αναγκών μας με τις πάμπολες ήπιες δυνατότητές τους και η κάποτε εξαντλητική υποβοήθηση της αρκετά κινδυνεύουσας εκ νέου με το νέο αίμα στην ΕΟΚ επαρχιακής και αγροτικής δραστηριότητας και ενώ στην ΕΟΚ προύεται ο κώδωνας κινδύνου και εγρήγορσης για νέες και καθαρές τεχνολογίες κλπ δεν νοείται να μένουν επί πενταετίες και λπέον σαφείς προτάσεις λύσεων,ανάπτυξης κι επειγόντων ντόπιων αμιλλας και διεθνών ανταγωνισμών και να περιοριζόμαστε κοντοφθαλμούντες ή βυζαντινολογούντες σε ερευνητικούς καθορισμούς λεπτομερειών και ντόπιων επαληθεύσεων,ενώ είναι γνωστές οι αστάθειες της σύνθεσης από χρόνο σε χρόνο και ανάλογα με τις κάθε φορά συνθήκες συλλογής,μεταφοράς κλπ για τα λιζζουμα οποιασδήποτε περιοχής σε όλη τη Μεσόγειο

Η διεθνής εμπειρία,τεχνογνωσία και βιβλιογραφία μας έχουν ευτυχώς από καιρό ανοίξει τα μάτια και στο τομέα του θέματος μας,και χώρες όπως η πρωτοπόρα Ισπανία με μεγάλους δάσκαλους ερευνητές,άλαξαν πορεία προς την αναερόβια χώνευση,κι ας είχαν βάλλει μπροστά με βιομηχανικές εγκαταστάσεις άλλους τρόπους αξιοποίησης των λιζζουμων, όπως τη ζωοτροφική μικροβιακή ζύμη ή την συμπύκνωση οι Σουηδοί κλπ.

Πασχίζαμε κάποτε να πείσουμε συναδέλφους σχετικών επιτροπών επίλυσης,ότι δεν χωράνε πρόχειρες λύσεις ή καθυστερήσεις στην επίμονη εξάντληση όλων των δεδομένων,και ήταν ήδη ορατή από τότε - πριν έξι χρόνια - η μέχρι σήμερα ακόμη ανεφάρμοστη Βιοηλιακή λύση.Επίμονα την προβάλαμε και σε διεθνή Συνέδρια και σε τοπικές αρχές από χρόνια και πρόσφατα στη μελέτη μας ΤΑΧΕΙΑΣ ΑΝΑΓΝΩΡΗΣΗΣ ΤΟΥ

ΦΥΣΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ στο ΥΧΟΠ και μόνο με έντονα διαβήματα στον Πρωθυπουργό και τις Επιτροπές των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων καταφέραμε τελικά μετά από πολλά χρόνια να αναγνωρισθεί σαν η τελική κατάλληλη για το πρόβλημα της ρύπανσης από τους "Κατσιγάρους" και σύντομα επιδοτούμενη κι από τήν ΕΟΚ,πιστεύουμε,σε μεγάλη έκταση και όχι μόνο στην χώρα μας.

ΔΙΑΦΟΡΑ ΣΧΕΤΙΚΑ ΤΕΧΝΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ: 1) Το Βιοαέριο είναι μίγμα Μεθάνιου με 30 ο/ο περίπου CO2, 2)Βρίσκεται περίπου στη μισή θερμογόνο αξία του Μεθανίου με 6.000 θερμ/χγρ, 3)Περιέχει μικρές ποσότητες Υδρόθειου κλπ 4) Ο Κατσίγαρος ή Λιόζουμα είναι από τα βαρύτερα οργανικά υγρά απόβλητα και με τις πρώτες μεθόδους λειοτρίβησης έφθανε και ξεπερνούσε τις 100.000 BOD5 ή χλγρ O2/λίτρο.Κατόπιν με τα Πιεστήρια κομαινόταν γύρω στο μισό του προηγουμένου και με τα σημερινά Φυγοκεντρικά συστήματα των Ελαιουργείων - μικρότερη απώλεια λαδιού στην πυρήνα - το BOD5 των Λιόζουμων κατεβαίνει ακόμη περισσότερο και μέχρι περίπου το 1/4 του αρχικού. Το περιεχόμενο των Φυτικών Υγρών στις Ελιές είναι μάλλον σταθερό και γύρω στο 32 έως 40ο/ο έναντι 20 έως 25 ο/ο του λαδιού.Δυστυχώς στα φυγοκεντρικά προστίθεται υπέρμετρο νερό για λόγους θέρμανσης και καλύτερης ή πιο γρήγορης μάλαξης,έτσι ο όγκος των λυμάτων από τα φυτικά υγρά υπερτριπλασιάζεται.Τα οργανικά τότε κατεβαίνουν από 15ο/ο περίπου στο 5 και λιγότερο.Οι διεθνείς τοποθετήσεις για την αναερόβια χώνευση αναφέρουν σαν πιο κατάλληλη πυκνότητα το 10ο/ο σε οργανικά.Τα ανόργανα άλατα είναι της τάξης του 1 έως 1,5ο/ο με κύριο συστατικό κατά τα δύο τρίτα το Κάλιο.Το λιπασματικό σκόρπισμα που οι Γ Γάλλοι ερεύνησαν επιτυχώς και με αυτούσιους Κατσίγαρους Πιεστηρίων με ποσότητες μέχρι 10 Μ3/Στρέμμα δίνει υπερεπάρκεια σε κάλι,αρκετό φωσφόρο και λίγο άζωτο.

ΤΑ ΘΕΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ: Για τις 1.000 μονάδες που θεωρούμε επαρκείς για όλη τη χώρα σε πρώτη φάση θα έχουμε:

1) Πάνω από 10 έως και 60.000 τόννους ΒΙΟΑΕΡΙΟ αξίας πάνω από 2.000.000.000 δρχ το χρόνο,

2) Πάνω από 1.000.000 Μ3 ΛΙΠΑΣΜΑΤΙΚΑ ΝΕΡΑ και ΛΑΣΠΕΣ με 10 έως και 15.000 τόννους κάλι,φωσφόρο,άζωτο,μαγνήσιο κλπ αξίας ασφαλώς για τις καλλιεργητικές ανάγκες της περιοχής πολλών 100δων εκατομμυρίων δρχ

3) ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΕ KWHS πάνω από 1.000 Χ 3.000 Χ 100 Χ 10 Χ 0,3 = 900.000.000 αξίας ασφαλώς αρκετών δις δρχ το χρόνο και

4) Πλήρη προστασία του ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ από τις σχεδόν 100.000 τόννους BOD5 το χρόνο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ,ΣΧΕΔΙΑ,ΠΙΝΑΚΕΣ: Στην Εισήγησή μου του 1980 σελίδα 254 μέχρι 260 των ΠΡΑΚΤΙΚΩΝ του Β΄ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟΥ ΣΥΝΕΔΡΙΟΥ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

BIO-47

# ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ


| | | |
|---|---|---|
| Δημ.Γεωργακάκης | Στ Ξενικός | Σπ. Κυρίτσης |
| Λέκτορας ΑΓΣΑ | Χημ.Μηχανικός | Καθηγητής ΑΓΣΑ |
| Δρ Γ.Μηχανικής | Ειδ.Συνεργάτης | Δ\|ντής Εργ. Γ. |
| | Εργ.Γ.Κατασκευ. | Κατασκευών |



ΠΕΡΙΛΗΨΗ : Η βελτιστοποίηση της απόδοσης των εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας επιτεύχθηκε με δυό τρόπους, την συμπύκνωση αποβλήτων χοιροστασίου και την ανάμιξη αποβλήτων πτηνοτροφείου με ορρό γιαούρτης. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι στην πρώτη περίπτωση ο όγκος εγκατάστασης ελαττώθηκε στο 20% περίπου ενώ η αξιοποιήσιμη ενέργεια αυξήθηκε κατά 10,5 φορές. Στη δεύτερη περίπτωση ο όγκος αυξήθηκε στο διπλάσιο του αρχικού και η ενέργεια κατά 8,8 φορές. Και στις δύο περιπτώσεις η"καθαρή" ενέργεια ήταν σημαντικά αυξημένη (3 και 7,5 φορές αντίστοιχα).



ΛΕΞΕΙΣ - ΚΛΕΙΔΙΑ

Κτηνοτροφικά απόβλητα, ενέργεια, απόδοση συστήματος, ανάμιξη αποβλήτων, συμπύκνωση αποβλήτων, αξιοποιήσιμη ενέργεια, "καθαρή" ενέργεια, Βιομάζα, Βιοαέριο.


## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μια εγκατάσταση παραγωγής ενέργειας από κτηνοτροφικά απόβλητα είναι οικονομική και πρακτικά εφαρμόσιμη όταν, εκτός από την απλότητα κατασκευής και λειτουργίας, παρέχει και τη μέγιστη δυνατή αξιοποιήσιμη και "καθαρή" ενέργεια ανά μονάδα ωφέλιμου όγκου εγκατάστασης. Με τον όρο αξιοποιήσιμη ενέργεια στην παρούσα εργασία νοείται η ενέργεια που απομένει προς αξιοποίηση μετά την αφαίρεση των αναγκών για θέρμανση του χωνευτήρα, ενώ με τον όρο "καθαρή" ενέργεια εκείνη που απομένει μετά την αφαίρεση επί πλέον και των ετήσιων αποσβέσεων και εξόδων λειτουργίας της εγκατάστασης. Με την συμπύκνωση των αποβλήτων χοιροστασίου με φυσική καθίζηση ή την ανάμιξη των αποβλήτων πτηνοτροφείου με υγρά απόβλητα πλούσια σε οργανικό άνθρακα, βελτιώνεται σημαντικά η σχέση μεταξύ της αξιοποιήσιμης και "καθαρής" ενέργειας και του ωφέλιμου όγκου αναερόβιου χωνευτήρα κι έτσι αυξάνεται αισθητά η απόδοση του συστήματος ενεργειακής αξιοποίησης των αποβλήτων.

## ΚΥΡΙΟ ΜΕΡΟΣ ΤΗΣ ΕΙΣΗΓΗΣΗΣ

Η σχέση μεταξύ "καθαρής" ενέργειας και όγκου εγκατάστασης μελετήθηκε με δυο τρόπους ανάλογα με την προέλευση των αποβλήτων που χρησιμοποιήθηκαν. Ο πρώτος τρόπος αφορούσε στη συμπύκνωση των αποβλήτων με φυσική καθίζηση και εφαρμόστηκε σε απόβλητα χοιροστασίων που κατά κανόνα είναι υγρής μορφής με περιεκτικότητα σε στερεά κάτω από 4%. Ο δεύτερος τρόπος αφορούσε στην ανάμιξη αποβλήτων με την αντικατάσταση του νερού αραίωσης με υγρά απόβλητα της γαλακτοβιομηχανίας και εφαρμόσθηκε σε απόβλητα πτηνοτροφείων, που είναι στερεής μορφής με περιεκτικότητα σε στερεά πάνω από 20%.

Ένα βιομηχανικού τύπου χοιροστάσιο, δυναμικότητας 1000 χοιρομητέρων, και μια πτηνοτροφική μονάδα αυγοπαραγωγών ορνίθων, δυναμικότητας 60.000 πτηνών, χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία αυτή σαν πηγές κτηνοτροφικών αποβλήτων, και τα υγρά απόβλητα (ορρός γιαούρτης) μιας γαλακτοβιομηχανίας για την ανάμιξη με τα απόβλητα του πτηνοτροφείου.

Για τους διάφορους υπολογισμούς χρησιμοποιήθηκε και στις δύο περιπτώσεις μια τυπική εγκατάσταση παραγωγής ενέργειας κατάλληλη για κτηνοτροφικά απόβλητα.

Οκτώ εργαστηριακοί αναερόβιοι χωνευτήρες, τέσσερεις για κάθε περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν για την μελέτη της παραγωγής ενέργειας. Μια στήλη καθίζησης από plexiglass ύψους 2μ. και διαμέτρου 0,20 μ. Χρησιμοποιήθηκε για την μελέτη της συμπύκνωσης των αποβλήτων του χοιροστασίου με φυσική καθίζηση των αιωρούμενων στερεών. Ο προσδιορισμός των ολικών και πτητικών στερεών καθώς και της χημικής ζήτησης οξυγόνου έγινε σύμφωνα με τη διαδικασία που προτείνεται στις STANDARD METHODS (1). Ο προσδιορισμός του περιεχόμενου μεθανίου στο παραγόμενο βιοαέριο έγινε ογκομετρικά με τη δέσμευση του διοξείδιου του άνθρακα σε διαλυμα KOH και υπολογισμού της διαφοράς κατ΄όγκον εκφρασμένης επί τοις εκατό του αρχικού όγκου βιοαερίου.

Στον πίνακα 1 παρατίθεται η μέση σύσταση των αποβλήτων που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία. Η διατήρηση των αποβλήτων γινότανε με την τοποθέτησή τους σε ψυγείο - καταψύκτη.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Μέση σύσταση αποβλήτων

| Παράμετρος | Πτηνοτροφείου | Χοιροστασίου | Ορρός Γιαούρτης |
|---|---|---|---|
| Ολικά στερεά | 25,39% | 2,0% | 5,69% |
| Πτητικά στερεά | 16,36% | 1,6% | 4,88% |
| Χημική ζήτηση οξυγόνου | 162514mg/g | 18751mg/l | 91567 mg/l |

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Διάφορα οργανικά φορτία δοκιμάστηκαν για τη μελέτη της παραγόμενης ενέργειας ανά μονάδα ωφέλιμου όγκου χωνευτήρα για τα απόβλητα χοιροστασίου, πτηνοτροφείου και του μίγματος πτηνοτροφείου και ορρού γιαούρτης. Τα αποτελέσματα φαίνονται στο σχήμα 1 μαζί με τη διακύμανση της περιεκτικότητας σε $CH_4$ του βιοαερίου.
Η παραγόμενη ενέργεια σ΄όλα τα απόβλητα παρουσίασε μια μέ-

γιστη τιμή σε κάποιο συγκεκριμένο οργανικό φορτίο διαφορετικό για κάθε περίπτωση απολουθώντας, το ακόλουθο μαθηματικό μοντέλο :$Y = ae^{-bx^2}$ με $R^2$ από 0,925 μέχρι 0,985. Αντίθετα η περιεκτικότητα σε $CH_4$ παρουσίασε γραμμική μεταβολή πλήν της περίπτωσης των αποβλήτων πτηνοτροφείου όπου εμφανίζει ένα μέγιστο στο ίδιο φορτίο μ΄εκείνο που αντιστοιχεί στη μέγιστη παραγωγή ενέργειας. Στον πίνακα 2 φαίνονται τα οργανικά φορτία, που χρησιμοποιήθηκαν και οι μέγιστες τιμές ενέργειας που προέκυψαν.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Οργανικά φορτία και Μέγιστες τιμές ενέργειας

| Απόβλητα | οργανικό φορτίο (gΠΣ\|1ωφ.χων\|μέρα) / παραγωγή ενέργειας ($l_{CH_4}$/1ωφ χων\|μέρα) | | | | | Οργ.Φορτίο max ενέργειας |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Χοιροστασίου | 1,8<br>0,39 | 2,8<br>0,56 | 3,8<br>1,02 | 4,8<br>1,09 | 5,3<br>0,86 | 4,6<br>1,0 |
| Πτηνοτροφείου | 0,92<br>0,35 | 0,74<br>0,20 | 1,22<br>0,43 | 2,54<br>0,52 | -<br>- | 2,5<br>0,55 |
| Πτηνοτο+ορρός | 2,86<br>1,02 | 3,08<br>1,44 | 3,29<br>1,52 | 3,60<br>1,63 | 4,13<br>0,62 | 3,39<br>1,67 |

Από τα παραπάνω στοιχεία φαίνεται ευκρινώς ότι τα απόβλητα χοιροστασίου παρουσιάζουν μέγιστη παραγωγή ενέργειας σε μεγαλύτερα φορτία συγκριτικά με τα απόβλητα πτηνοτροφείου, ενώ η ανάμιξη των αποβλήτων πτηνοτροφείων και ορρού γιαούρτης εμφανίζει τη μέγιστη παραγωγή σ΄ενδιάμεσο φορτίο. Όσον αφορά στις τιμές της παραγόμενης ενέργειας αυτή είναι σημαντικά μεγαλύτερη στην περίπτωση της ανάμιξης, ακολουθούμενη από τα απόβλητα χοιροστασίου και τέλος από τα απόβλητα πτηνοτροφείου. Η συμπεριφορά αυτή των αποβλήτων που προαναφέρθηκαν μπορεί ν΄αποδοθεί στο λόγο C|N που σε κάθε περίπτωση είναι διαφορετικός. Όπως αναφέρουν οι Brune et al(2) και Georgacakis et al (3) ο καλύτερος λόγος C|N για κτηνοτροφικά απόβλητα είναι μεταξύ 15|1 και 16|1. Στους optimum αυτούς λόγους εμπίπτει μόνο η περίπτωση ανάμιξης των αποβλήτων πτηνοτροφείου και ορρού γιαούρτης με λόγο C|N=15|1 περίπου. Τα άλλα απόβλητα που χρησιμοποιήθηκαν είχαν μικρότερο λόγο C|N,του χοιροστασίου 10|1 και του πτηνοτροφείου 7:1 περίπου.

Στο σχήμα 2 φαίνεται η συσχέτιση της παραγόμενης ενέργειας, του βαθμού συμπύκνωσης των αποβλήτων χοιροστασίου και του περιεχόμενου $CH_4$ στο βιοαέριο για διάφορες τιμές οργανικού φορτίου. Από το σχήμα αυτό συνάγεται ότι η μέγιστη παραγωγή ενέργειας προκύπτει όταν προηγηθεί συμπύκνωση των αποβλήτων με φυσική καθίζηση και ληφθούν τα 15,94% του όγκου τους για παραγωγή ενέργειας.

Με παρόμοιο τρόπο συσχετίζονται η παραγόμενη ενέργεια, ο βαθμός ανάμιξης και το περιεχόμενο $CH_4$ με το οργανικό φορτίο και στην περίπτωση της ανάμιξης αποβλήτων πτηνοτροφείου και ορρού γιαούρτης όπως φαίνεται στο σχήμα 3. Στην περίπτωση αυτή η μέγιστη παραγωγή ενέργειας προκύπτει στο φορτίο των 3,39 gΠΣ | 1ωφχων|μέρα όταν η σχέση ανάμιξης είναι 1,6 gΠΣ ορρού : 1gΠΣ αποβλήτων πτηνοτροφείου.

Είναι φανερό ότι τόσο η συμπύκνωση όσο και η ανάμιξη αποβλήτων επηρεάζουν το μέγεθος των εγκαταστάσεων και συνεπώς το κόστος παραγωγής ενέργειας.
Για τον προσδιορισμό της οικονομικότερης εγκατάστασης για κάθε μια από τις δύο αυτές περιπτώσεις έγινε το σχήμα 4. Σ΄αυτό το σχήμα συσχετίζεται ο απαιτούμενος ωφέλιμος όγκος χωνευτήρα α) με την ενέργεια που παράγεται από τα απόβλητα του χοιροστασίου σε διάφορες συμπυκνώσεις και από το μίγμα αποβλήτων πτηνοτροφείου και ορρού γιαούρτης σε διάφορες αναλογίες ανάμιξης. β) Με την αξιοποιήσιμη ενέργεια μετά την αφαίρεση των αναγκών θέρμανσης του χωνευτήρα και γ) με την "καθαρή"ενέργεια μετά την αφαίρεση των δαπανών λειτουργίας και απόσβεσης των εγκαταστάσεων.
Από τα διαγράμματα του σχήματος 4 προκύπτει ότι η οικονομικότερη εγκατάσταση στην περίπτωση της συμπύκνωσης είναι η αντιστοιχούσα στο 20% περίπου της απαιτούμενης αν δεν γινότανε συμπύκνωση. Στο μέγεθος αυτό εγκατάστασης τόσο η αξιοποιήσιμη όσο και η "καθαρή " ενέργεια παρουσιάζουν τη μέγιστή τους τιμή 10,5 και 3 περίπου φορές μεγαλύτερη από εκείνη του μάρτυρα αντίστοιχα.

Στην περίπτωση της ανάμιξης αποβλήτων η μέγιστη τιμή της αξιοποιήσιμης ενέργειας εμφανίζεται για ένα μέγεθος αναερόβιου χωνευτήρα 2,8 φορές μεγαλύτερο εκείνου που απαιτείται, αν χρησιμοποιούνταν μόνο τα απόβλητα πτηνοτροφείου αραιωμένα με ανάλογη ποσότητα νερού. Η μέγιστη τιμή "καθαρής" ενέργειας εμφανίζεται για ένα μέγεθος χωνευτήρα δυο φορές μεγαλύτερου από το μάρτυρα. Και στην περίπτωση αυτή η προκύπτουσα ενέργεια είναι σημαντική,7,5 φορές περισσότερη η "καθαρή" ενέργεια και 8,8 φορές η αξιοποιήσιμη από αντίστοιχη του μάρτυρα.

Από τα παραπάνω στοιχεία προκύπτει ότι τόσο η συμπύκνωση όσο και η ανάμιξη αποβλήτων επιφέρουν αισθητή αύξηση της απόδοσης του συστήματος παραγωγής ενέργειας από κτηνοτροφικά απόβλητα κατά περίπτωση, διευρύνοντας έτσι σημαντικά τα περιθώρια οικονομικής εφαρμογής της μεθόδου στις κτηνοτροφικές μονάδες.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

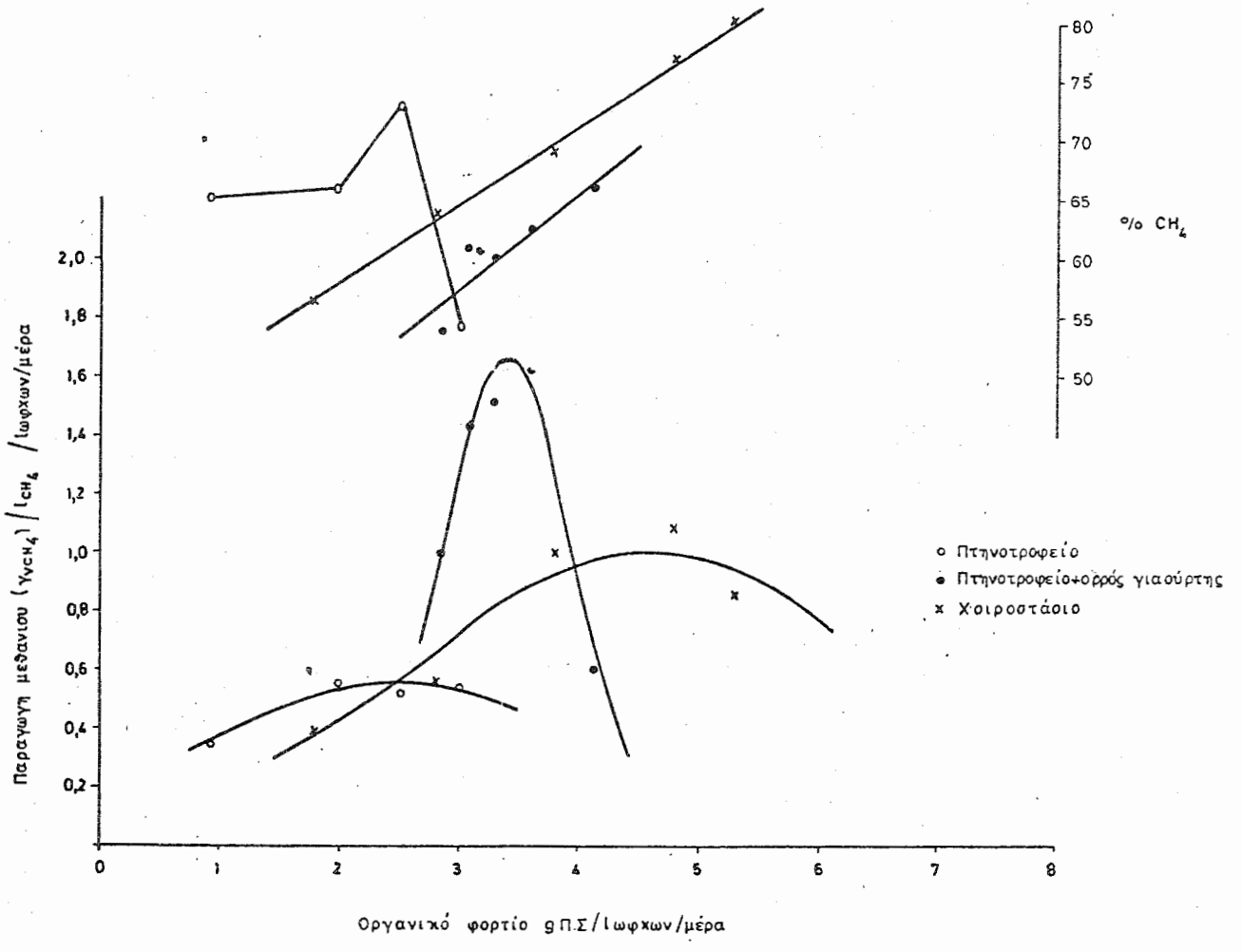

1. American Public Health Association, 1978 "STANDARD METHODS" 14th Edition,1015 8th st.NW Washington, DC 20036, 1160 σελ

2. Sievers D.M., D.E. Brune, 1978 "Carbon Nitrogen, Ratio in Anaerobic Digestion of Swine Waste". Transactions of the ASAE 21(3), σελ. 537-549.

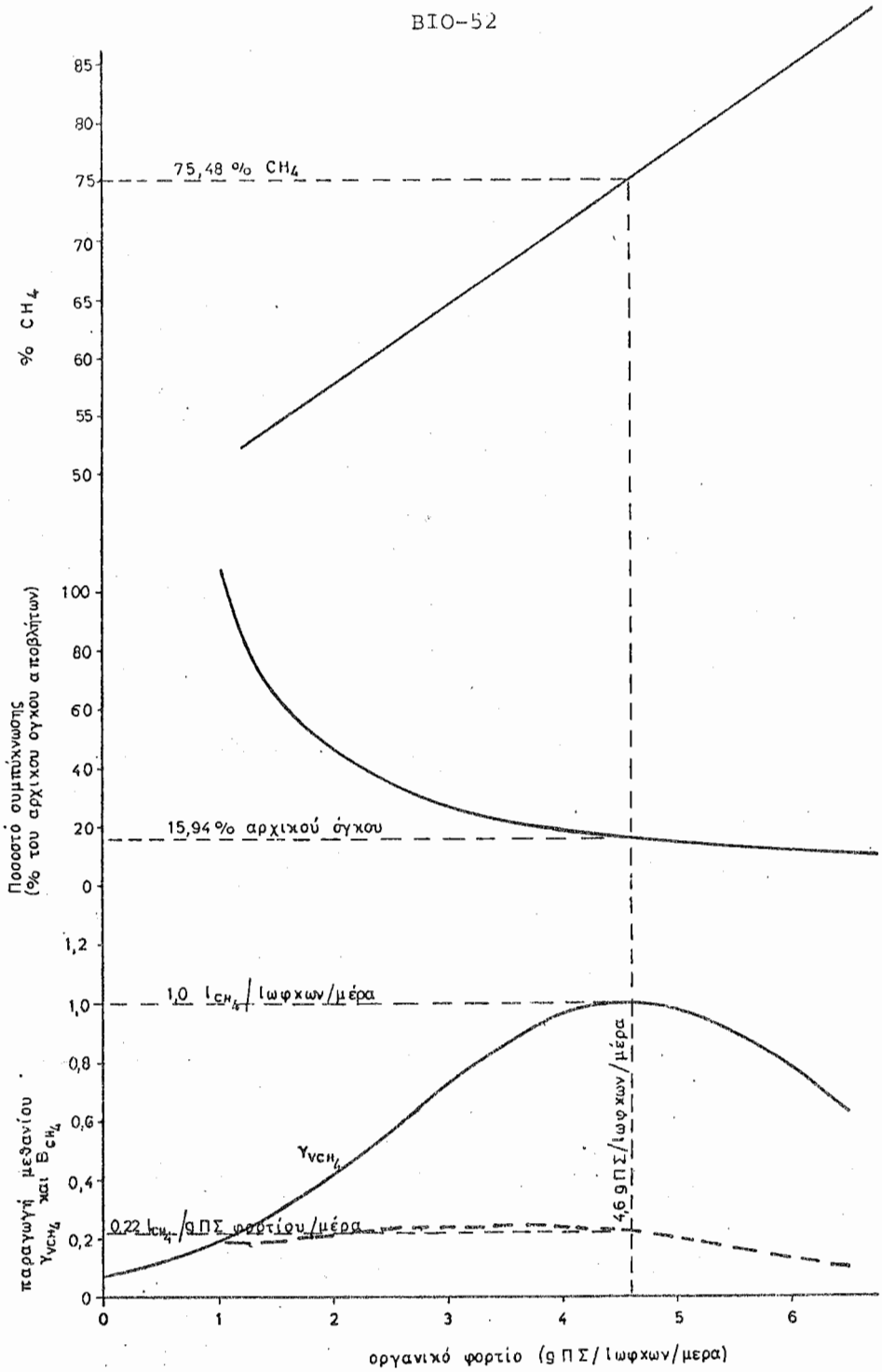
3. Georgacakis D., D.M.Sievers., E.L. Iannotti; 1982. Buffer stability in Manure Di esters".Agricultural Wastes 4, σελ. 427 - 441.

4. Παγανέλλης Γ.,1982 "Οικονομικοτεχνική Μελέτη Εφαρμογής της Μεθόδου Παραγωγής Βιοαερίου στα Ελληνικά Πτηνοτροφεία. Πτυχιακή Μελέτη ΑΓΣΑ. 82 σελίδες.

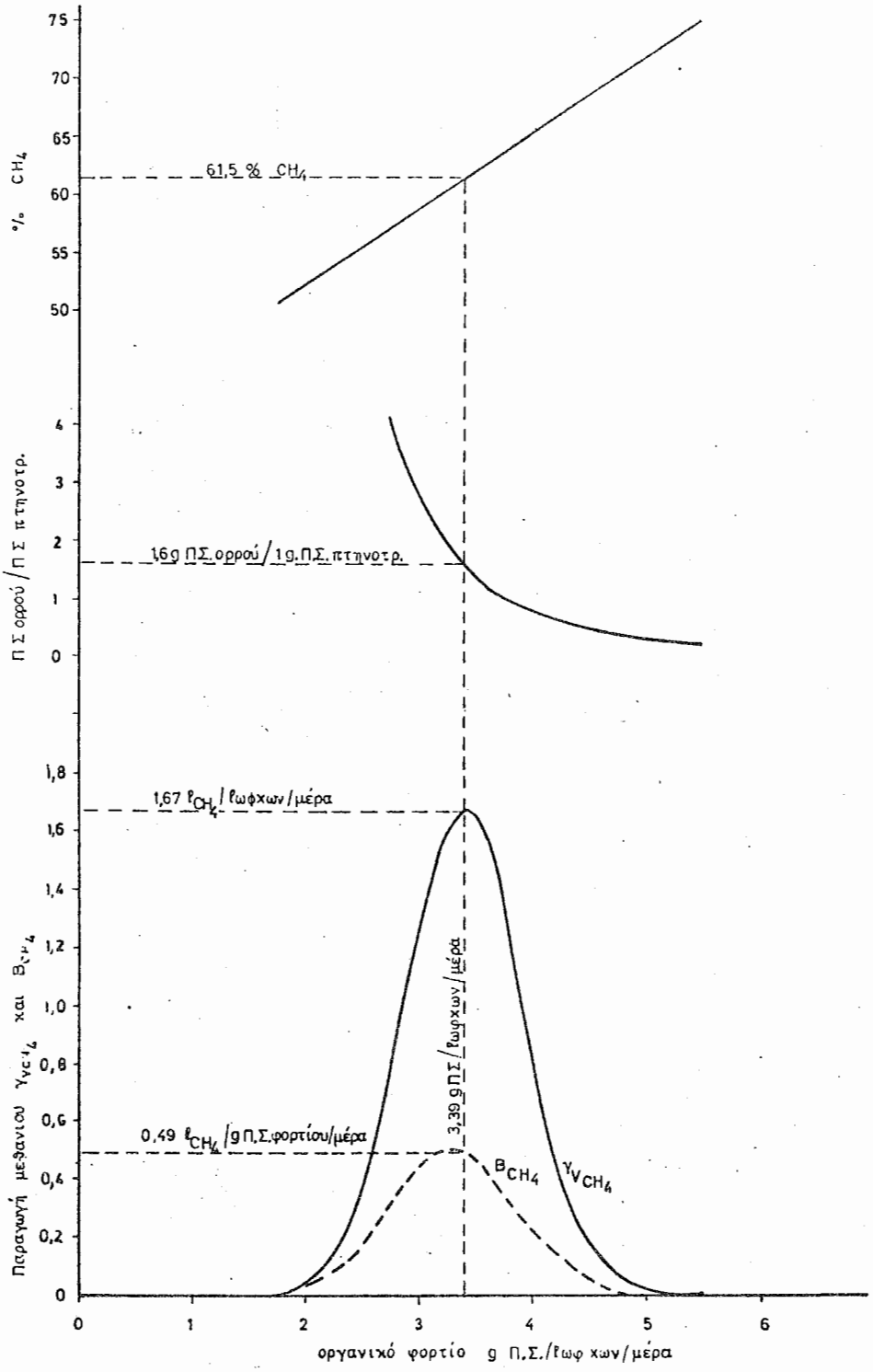
5. Γεωργακάκης Δ., Σπ.Κυρίτσης, 1983. "Βελτίωση του συστήματος Διαχείρισης και Επεξεργασίας των Αποβλήτων της ΕΛΒΙΚ με σύγχρονη Παραγωγή Ενέργειας. Case Study, ΑΓΣΑ , 46 σελίδες.



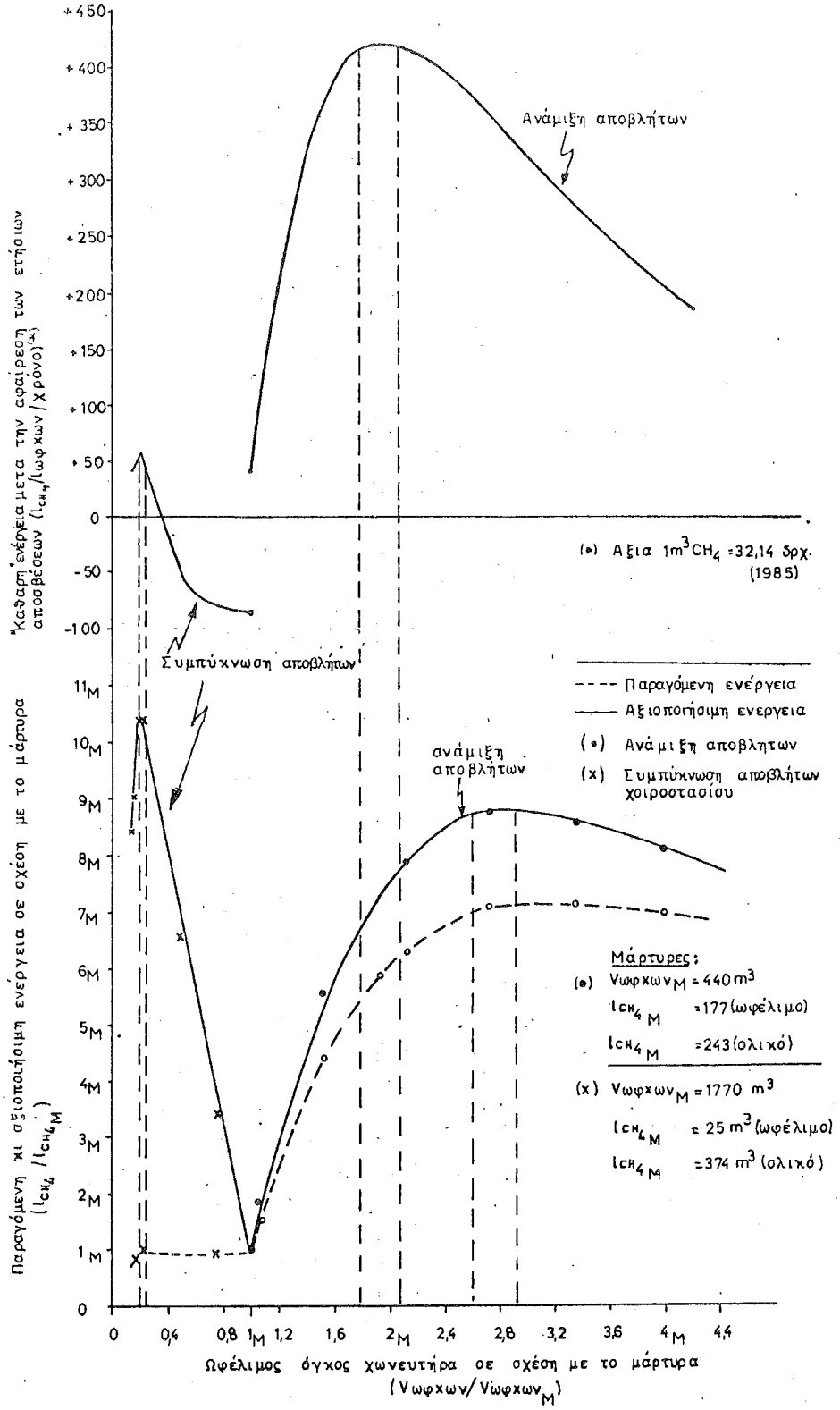

Σχήμα 1 : Διακύμανση της παραγόμενης ενέργειας και του ποσοστού $CH_4$




Σχήμα 2: Συσχέτιση παραγόμενης ενέργειας, βαθμού συμπύκνωσης και ποσοστού $CH_4$ σε απόβλητα χοιροστασίου.




Σχήμα 3: Συσχέτιση παραγόμενης ενέργειας, βαθμού ανάμιξης και ποσοστού $CH_4$ στο μίγμα οργού και αποβλήτων πτηνοτροφείου.




Σχήμα 4. Συσχέτιση παραγόμενης αξιοποιήσιμης και "καθαρής" ενέργειας με τον ωφέλιμο όγκο του μάρτυρα.

BIO-55

# ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΟΡΓΑΝΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΜΕ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Φ. Α. Μπατζιάς (Dr. Eng., Econ.)

Περίληψη

Η χρησιμοποίηση αβαθών δεξαμενών ταχείας αερόβιας επεξεργασίας (high rate aerobic ponds) οργανικών αποβλήτων έχει προβληθεί διεθνώς σαν διεργασία προστασίας του περιβάλλοντος με σύγχρονη εξοικονόμηση ενέργειας, επειδή χρησιμοποιείται ηλιακή ενέργεια για τη φωτοσυνθετική παραγωγή οξυγόνου και δεν απαιτούνται αεριστήρες ενώ συγχρόνως παράγεται βιομάζα. Όμως, όπως έχουμε δείξει σε πρόσφατη εργασία μας, ο βέλτιστος σχεδιασμός των δεξαμενών αυτών, με βάση ένα συνδυασμό εκτίμησης των παραμέτρων της εμπειρικής γραμμικής σχέσης Ångstrom - Black και ενός αλγόριθμου των Benefield - Randall, οδηγεί σε τιμές βάθους δεξαμενών εξαιρετικά χαμηλές, για τις περισσότερες περιοχές της Ελλάδας, όπου υπάρχουν επαρκή στοιχεία ηλιακής ακτινοβολίας. Τόσο μικρά βάθη δεξαμενών συνεπάγονται ορισμένα τεχνικά προβλήματα και εξαιρετικά αυξημένη επιφάνεια, δηλ. δέσμευση σημαντικού κεφαλαίου για την αγορά γής, που είναι συχνά υπερτιμημένη στις περιοχές της έντονης ζήτησης τέτοιων υπηρεσιών προστασίας του περιβάλλοντος.

Στην εργασία που ακολουθεί αποδεικνύεται ότι η χρησιμοποίηση των παραμέτρων της εξίσωσης Ångstrom - Black οδηγεί σε ελαφρά υπερεκτίμηση του βάθους των δεξαμενών και ότι η παραγωγή βιομάζας δεν είναι επαρκές κριτήριο υιοθέτησης των δεξαμενών αυτών. Αντίθετα, αποδεικνύεται ότι η χρησιμοποίηση συστήματος σηπτικών δεξαμενών, που υπολογίζονται με βάση ένα υπόδειγμα προσομοίωσης της δεξαμενής με βιοαντιδραστήρα, οδηγεί σε σημαντική εξοικονόμηση επιφάνειας και κατάλληλη επιλογή του βάθους, για την αποφυγή χρησιμοποίησης επιφανειακών αεριστήρων, οδηγεί σε εξοικονόμηση ενέργειας έναντι άλλων περισσότερο εντατικών μεθόδων. Στην προτεινόμενη λύση, η επίδραση της ηλιακής ενέργειας στην παραγωγή οξυγόνου (για τη μείωση του δείκτη ρύπανσης BOD), δια μέσου της φωτοσυνθετικής παραγωγής φυτικής βιομάζας (φυκών) στην αερόβια ζώνη, ενσωματώνεται στον εμπειρικά εκτιμώμενο συντελεστή της ταχύτητας επεξεργασίας των αποβλήτων.

Λέξεις κλειδιά: Βιομάζα, Φύκη, Φωτοσύνθεση, Επεξεργασία Αποβλήτων, Αερόβιες Δεξαμενές, Σηπτικές Δεξαμενές, Εξοικονόμηση Ενέργειας.

## 1. Εισαγωγή

Η χρησιμοποίηση αβαθών δεξαμενών είναι μια από τις κυριώτερες μεθόδους επεξεργασίας οργανικών αποβλήτων. Οι δεξαμενές αυτές διακρίνονται σε (α) ταχείας αερόβιας επεξεργασίας, βάθους 15 - 45 cm, σχεδιαζόμενες με κριτήριο τη βέλτιστη παραγωγή βιομάζας, ($\beta_1$) απλής αερόβιας επεξεργασίας, βάθους 0,5 - 1,0 m, σχεδιαζόμενες με κριτήρια τη μεγιστοποίηση του βαθμού μετατροπής BOD και την επικράτηση αερόβιων συνθηκών σε όλο τό βάθος, ($\beta_2$) ωρίμανσης, βάθους 0,5 - 1,0 m, σχεδιαζόμενες για μικρά φορτία BOD (≤ 15 kg/ha : d) και χαμηλούς βαθμούς μετατροπής BOD (60 - 80 %) με σκοπό τη συμβολή στην τριτοβάθμια (τελική) επεξεργασία, (γ) σηπτικές, βάθους 1,0 - 2,5 m,

με δύο ζώνες: αερόβιας - αναερόβιας επεξεργασίας, (δ) αναερόβιας επεξεργασίας, βάθους 2,5 - 5,0 m, σχεδιαζόμενες για την υποδοχή υψηλών φορτίων 200 - 500 kg/ha·d και την επικράτηση αναερόβιων συνθηκών σε όλο το βάθος. Στις δεξαμενές τύπου (α) η προμήθεια του απαραίτητου οξυγόνου για την ανάπτυξη της βιολογικά ενεργού βακτηριακής βιομάζας γίνεται δια μέσου της φωτοσυνθετικής παραγωγής φυτικής βιομάζας (φυκών) ενώ στις άλλες δεξαμενές (εκτός των αναερόβιων) ο αερισμός με ελεύθερη διάχυση ή/και μηχανικούς αεριστήρες είναι βασικό κριτήριο σχεδιασμού. Οι αναφερόμενες τιμές βάθους για τα διάφορα είδη δεξαμενών είναι ενδεικτικές και εξαρτώνται από μικρο-κλιματικές συνθήκες, τη σύσταση των οργανικών αποβλήτων, τη μεταβλητότητα αυτής, την εντατικοποίηση των συνθηκών αερισμού - ανάμιξης - ανακύκλωσης κ.ά.

Σκοπός της εργασίας που ακολουθεί είναι η περαιτέρω μελέτη των δεξαμενών τύπου (α), που βασίζονται στην παραγωγή φυτικής βιομάζας, και η σύγκριση αυτών με δεξαμενές τύπου ($\beta_1$) και (γ) που προσομοιάζονται με βιοαντιδραστήρα. Η σύγκριση γίνεται για έξι περιοχές της Ελλάδας, που εκτείνονται από 41 μέχρι 35 deg. Β. Πλάτος, περίπου, για τις οποίες υπάρχουν δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας και ηλιοφάνειας. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην εξοικονόμηση ενέργειας και επιφάνειας, που επηρεάζουν άμεσα το λειτουργικό κόστος και το ύψος του δεσμευόμενου κεφαλαίου, αντίστοιχα.

## 2. Εκτίμηση των Παραμέτρων Σχεδιασμού Δεξαμενής Τύπου (α) και της Παραγωγής Βιομάζας

Το ισοζύγιο ενέργειας του υποσυστήματος παραγωγής νέας φυτικής βιομάζας (βλ. Σχ. 1) είναι δυνατό να δοθεί, κατά τους Oswald - Gotaas [1] και Rich [2], από την έκφραση $$h\,W = E\,S\,A' \qquad (1)$$

όπου, h η θερμότητα καύσης της φυτικής βιομάζας, cal/g

W η παραγόμενη φυτική βιομάζα ανά ημέρα, g/d

E ο συντελεστής απόδοσης της ενεργειακής μετατροπής, αδιάστατος

S η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνεια της δεξαμενής και αντιστοιχεί στην ορατή περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, $cal/cm^2$ d ή langleys/d

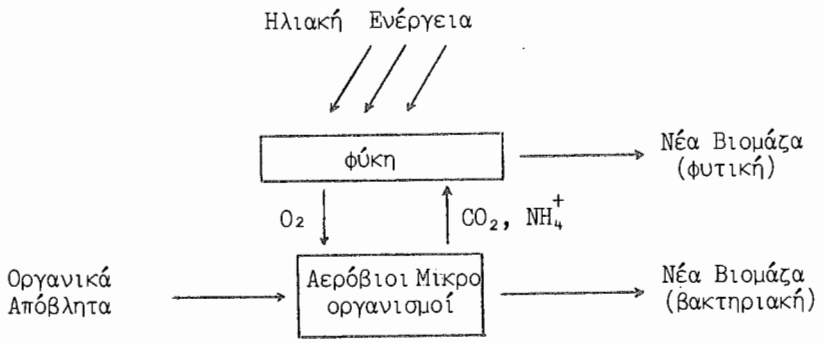
A' η επιφάνεια της δεξαμενής, $cm^2$.

Η μεταβλητή W προσδιορίζεται από τη σχέση $$W_0 = p\,W \qquad (2)$$

όπου, $W_0$ η παραγόμενη ποσότητα οξυγόνου σαν αποτέλεσμα της φωτοσύνθεσης, g/d

p συντελεστής αναλογίας, που εκφράζει την παραγόμενη ποσότητα οξυγόνου ανά μονάδα παραγόμενης φυτικής βιομάζας, αδιάστατος.

Η παράμετρος h εξαρτάται από τη σύσταση της βιομάζας και υπολογίζεται από την εμπειρική σχέση $$h = 10^3(R/7{,}89 + 0{,}40) \qquad (3)\ .$$




Σχ. 1. Το σύστημα παραγωγής βιομάζας από τη συμβιοτική σχέση φυκών - βακτηρίων, κατά την επεξεργασία οργανικών αποβλήτων σε αερόβια δεξαμενή τύπου (α).

Ο συντελεστής R υπολογίζεται από την παρακάτω έκφραση σαν συνάρτηση της περιεκτικότητας της φυτικής βιομάζας σε άνθρακα (C), υδρογόνο (H) και οξυγόνο (O):

$$R = 100[2{,}66(\%C) + 7{,}94(\%H) - (\%O)]/398{,}9 \qquad (4)$$

Κατά τους Jewell - McCarty [3] και Foree - McCarty [4], οι μέσες, ελάχιστες και μέγιστες τιμές των περιεκτικοτήτων της βιομάζας στα κυριώτερα στοιχεία, εκφραζόμενες σαν ποσοστό ξερής ουσίας ελεύθερης τέφρας, είναι αντίστοιχα: Για τον άνθρακα 53,0 - 42,9 - 70,2 , το υδρογόνο 8,0 - 6,0 - 10,5, το οξυγόνο 31,0 - 17,8 - 34,0 , το άζωτο 8,0 - 0,6 - 16,0 και τον φώσφορο 2,0 - 0,16 - 5,0 .

Η φωτοσυνθετική παραγωγή βιομάζας δίνεται από την απλοποιημένη χημική εξίσωση $\alpha\, CO_2 + (0{,}5\beta - 1{,}5\delta)\, H_2O + \delta\, NH_3 \rightarrow C_\alpha H_\beta O_\gamma N_\delta + (\alpha + 0{,}25\beta - 0{,}75\delta - 0{,}5\gamma)\, O_2$ , η οποία για τις παραπάνω αναφερόμενες μέσες τιμές γράφεται*

$$7{,}7\, CO_2 + 5{,}5\, H_2O + NH_3 \rightarrow C_{7{,}7}H_{14}O_{3{,}4}N + 8{,}75\, O_2 \ .$$

Από την εξίσωση αυτή υπολογίζεται ο συντελεστής p ως εξής**:

$$p = 8{,}75 \cdot 32/[7{,}7 \cdot 12 + 14 \cdot 1 + 3{,}4 \cdot 16 + 1 \cdot 14] = 280/174{,}8 = 1{,}6 \ .$$

Ο συντελεστής R υπολογίζεται από την (4) ότι έχει την τιμή 43,5 και η παράμετρος h υπολογίζεται από την (3) ότι είναι 5.913 cal/g.

Η τιμή της S προσεγγίζεται από τις εκφράσεις

$$S_c = S_{min} + M'(S_{max} - S_{min}) \qquad (5a)$$

$$S = S_c(1 + 0{,}001\, e) \qquad (5b)$$

όπου, $S_{min}$, $S_{max}$ η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή της S, όπως λαμβάνεται από πίνακες που έχουν καταρτίσει για το βόρειο ημισφαίριο οι Oswald -

---

* Οι συντελεστές α, β, γ, δ προσδιορίζονται ως εξής: $\alpha = (53/12)1{,}75 = 7{,}7$ , $\beta = (8/1)1{,}75 = 14$ , $\gamma = (31/16)1{,}75 = 3{,}4$ , $\delta = (8/14)1{,}75 = 1$ , όπου 12, 1, 16, 14 τα ατομικά βάρη του άνθρακα, του υδρογόνου, του οξυγόνου και του αζώτου, αντίστοιχα. Ο κοινός παράγοντας 1,75 (= 14/8) χρησιμοποιείται για την αποφυγή συντελεστών μικρότερων της μονάδας.

** Οι Benefield - Randall [5] αποδίδουν χρονική διάσταση στον συντελεστή p αλλά προφανώς πρόκειται για σφάλμα που πιθανώς έχει προκύψει κατά την κατάστρωση του ισοζύγιου ενέργειας.

Gotaas,

M΄ το ποσοστό της ηλιοφάνειας,

e το υψόμετρο της περιοχής, ft.

Ο συντελεστής απόδοσης της ενεργειακής μετατροπής E λαμβάνει τιμές, κατά τον Rich [2], μεταξύ 0,02 και 0,09 με μέση τιμή 0,04.

Σε συνθήκες σταθεροποιημένης ροής (steady state) η προμήθεια οξυγόνου από τη φυτική βιομάζα ισούται με την κατανάλωση από τα βακτήρια και η μεταβλητή $W_o$ προσεγγίζεται ικανοποιητικά από τη μείωση του BOD των αποβλήτων στη μονάδα του χρόνου (g/d).

Με βάση τις παραπάνω τιμές υπολογίζεται η επιφάνεια της δεξαμενής και η παραγόμενη βιομάζα για έξι περιοχές της Ελλάδας (βλ. [5, 8, 11] ).

Το βάθος D (ft) της δεξαμενής υπολογίζεται από την έκφραση που δίνει τη μείωση BOD L΄ (mg/l), σύμφωνα με τους Roesler - Pruel [6] και Oswald [7]:

$$L' = [32{,}808 \ln(U/24)]/D \qquad (6)$$

όπου, U η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, ft-Candles.

Για τον υπολογισμό της U χρησιμοποιούνται μέσες τιμές της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας G, στο οριζόντιο επίπεδο, τυπικής ημέρας - μήνα Δεκεμβρίου. Ο μήνας αυτός λαμβάνεται σαν βάση του σχεδιασμού της δεξαμενής επειδή παρέχει τις δυσμενέστερες συνθήκες για τη βιολογική επεξεργασία. Οι τιμές της G, όπως διαμορφώνονται με τη συνεκτίμηση της επίδρασης του υψόμετρου*, μετατρέπονται σε τιμές της U με πολλαπλασιασμό επί 10F, όπου F το ποσοστό του 24ώρου που ο ήλιος είναι πάνω από τον ορίζοντα (βλ. [5, 8, 11] ).

Οι τιμές του $D_i$ (i = 1,...,6), που αντιστοιχούν σε τιμές αρχικού BOD $L_o$ = 270 - 20i mg/l, για τις έξι περιοχές που εξετάζονται, υπολογίζονται με τη βοήθεια της (6) και τα αποτελέσματα δίνονται στον Πίνακα 1. Σύγκριση των τιμών αυτών με τις αντίστοιχες τιμές που έχουν προκύψει με χρησιμοποίηση εκτιμηθεισών τιμών των παραμέτρων της εμπειρικής γραμμικής εξίσωσης Ångstrom - Black δείχνει μικρή υπερεκτίμηση στη δεύτερη περίπτωση, της τάξης του 1 - 5%, όπως φαίνεται αναλυτικά στον Πίνακα 2.

| Περιοχή | $D_1$ | $D_2$ | $D_3$ | $D_4$ | $D_5$ | $D_6$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Κομοτινή | 0,400 | 0,439 | 0,486 | 0,545 | 0,620 | 0,720 |
| Άρτα | 0,413 | 0,453 | 0,502 | 0,563 | 0,640 | 0,743 |
| Αλίαρτος | 0,470 | 0,516 | 0,571 | 0,641 | 0,729 | 0,846 |
| Ανδραβίδα | 0,440 | 0,483 | 0,535 | 0,600 | 0,683 | 0,792 |
| Ν. Φιλαδέλφεια | 0,466 | 0,511 | 0,566 | 0,635 | 0,722 | 0,838 |
| Τυμπάκι | 0,446 | 0,489 | 0,542 | 0,608 | 0,692 | 0,802 |

Πίνακας 1. Τιμές βάθους $D_i$ δεξαμενών τύπου (α) για τιμές αρχικού BOD που καλύπτουν την τυπική περιοχή 150 - 250 mg/l και δίνονται από τη σχέση $L_o$ = 270 - 20i , (i = 1,...,6). Η τιμή τελικού BOD είναι 25 mg/l.

---

* Χρησιμοποιείται η σχέση $G_e = (1 + 0{,}001\, e)\, G$, κατ΄αναλογία προς την (5b).

| Περιοχή | $D_1$ | $D_2$ | $D_3$ | $D_4$ | $D_5$ | $D_6$ | $D_m$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Κομοτινή | 1,25 | 1,37 | 1,44 | 1,28 | 1,45 | 1,25 | 1,34 |
| Άρτα | 4,60 | 4,64 | 4,78 | 4,62 | 4,84 | 4,71 | 4,70 |
| Αλίαρτος | 1,49 | 1,55 | 1,75 | 1,56 | 1,65 | 1,54 | 1,59 |
| Ανδραβίδα | 2,95 | 3,00 | 2,99 | 3,00 | 2,93 | 2,90 | 2,96 |
| Ν. Φιλαδέλφεια | 1,72 | 1,76 | 1,77 | 1,73 | 1,80 | 1,79 | 1,76 |
| Τυμπάκι | 2,69 | 2,86 | 2,77 | 3,00 | 2,75 | 2,87 | 2,82 |

Πίνακας 2. Ποσοστό (%) υπερεκτίμησης των τιμών $D_i$ όταν χρησιμοποιούνται τιμές των παραμέτρων της εμπειρικής γραμμικής εξίσωσης Angstrom - Black που έχουν εκτιμηθεί σε προηγούμενη εργασία μας [8]. Στην τελευταία στήλη δίνεται η μέση τιμή.

## 3. Εκτίμηση των Παραμέτρων Σχεδιασμού Δεξαμενών Τύπου ($\beta_1$), ($\gamma$) και συγκριτική Ανάλυση των Αποτελεσμάτων ως προς την Εξοικονόμηση Επιφάνειας και Ενέργειας

Η αερόβια δεξαμενή τύπου ($\beta_1$) είναι δυνατό να προσομοιασθεί με αυλωτό βιοαντιδραστήρα, με παράγοντα διασποράς $d \approx 1$, οπότε χρησιμοποιείται η εξίσωση Wehner - Wilhelm [9]:

$$L_e/L_0 = 4a \exp(1/2d)/[(1+a)^2 \exp(a/2d) - (1-a)^2 \exp(-a/2d)] \qquad (7)$$

όπου, $L_e$ η τιμή BOD εκροής, 25 mg/l στην τυπική περίπτωση που εξετάζεται

$a = (1 + 4ktd)^{1/2}$

k η σταθερά κινητικής πρώτης τάξης, 1/h

t ο χρόνος παραμονής των αποβλήτων στη δεξαμενή, h

$d = D/ul$

D ο συντελεστής διασποράς, $m^2/h$

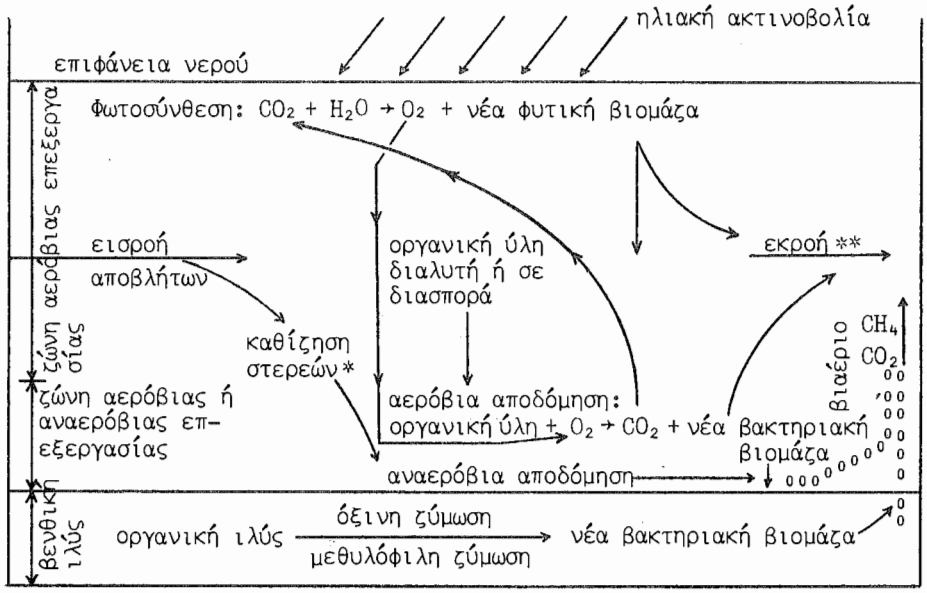
u η ταχύτητα του ρευστού, m/h

l το χαρακτηριστικό μήκος, m.

Πρώτα προσδιορίζουμε το γινόμενο kt από το νομογράφημα* Thirumurthi [10], το οποίο βασίζεται στην παραπάνω εξίσωση, και στη συνέχεια υπολογίζουμε τη σταθερά k από την εμπειρική σχέση $k = k_{20} \cdot 1{,}06^{\theta-20}$, όπου k η σταθερά στη θερμοκρασία θ°C (η οποία λαμβάνεται 10°C στο σχεδιασμό, με βάση το μήνα Δεκέμβριο) και $k_{20}$ η σταθερά στους 20°C, που λαμβάνεται ίση με τη μέση τιμή της 0,25 $d^{-1}$ (1 d = 24 h). Ο προσδιορισμός του χρόνου παραμονής t=V/Q δίνει τον όγκο V της δεξαμενής, για την τυπική περίπτωση που εξετάζεται (παροχή εισροής Q = 0,25 MG/d, βλ. [5, 8, 11]). Στον Πίνακα 3 φαίνεται αναλυτικά η εξοικονόμηση επιφάνειας που επιτυγχάνεται με δεξαμενή του τύπου αυτού και βάθος το μέγιστο δυνατό (1 m, μεγαλύτερο βάθος είναι πιθανό να δημιουργήσει αναερόβιες συνθήκες στον πυθμένα).

---

* Επειδή ο βαθμός μετατροπής $(L_0-L_e)/L_0$ κυμαίνεται, στην εξεταζόμενη τυπική περίπτωση, μεταξύ των σχετικά στενών ορίων (250 - 25)/250 = 90 % και (150 - 25)/150 ≈ 83 % έχει χρησιμοποιηθεί γραμμική παρεμβολή στο τμήμα του νομογραφήματος που για $d \approx 1$ προσεγγίζει την ευθεία γραμμή.




* Περιλαμβάνονται αδιάλυτα υλικά και βιομάζα (φυτική και βακτηριακή).
**Περιέχει διαλυτή οργανική ύλη " " " " " .

Σχ. 2. Σχηματική αναπαράσταση της βιολογικής επεξεργασίας οργανικών αποβλήτων σε σηπτική δεξαμενή.

| Περιοχή | $P_1$ | $P_2$ | $P_3$ | $P_4$ | $P_5$ | $P_6$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Κομοτινή | 36,05 | 33,08 | 30,17 | 27,58 | 25,95 | 26,07 |
| Άρτα | 18,89 | 15,12 | 11,43 | 8,15 | 5,93 | 6,23 |
| Αλίαρτος | 13,51 | 9,50 | 5,57 | 2,07 | -0,31 | -0,03 |
| Ανδραβίδα | 7,51 | 3,22 | -0,99 | -4,73 | -7,27 | -6,93 |
| Ν. Φιλαδέλφεια | 5,44 | 1,06 | -3,24 | -7,07 | -9,66 | -9,30 |
| Τυμπάκι | -21,51 | -27,16 | -32,68 | -37,60 | -40,91 | -40,46 |

Πίνακας 3. Ποσοστό (%) εξοικονόμησης επιφάνειας ($P_i$, κατ'αντιστοιχία προς τους προηγούμενους Πίνακες), λόγω χρησιμοποίησης απλής αερόβιας δεξαμενής βάθους 1 m, σε σχέση με την επιφάνεια που έχει υπολογισθεί για δεξαμενή τύπου (α) με τη βοήθεια της σχέσης (1).

Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 3 δεν υπάρχει εξοικονόμηση επιφάνειας στην περίπτωση της Κρήτης ακόμη και για υψηλές τιμές BOD εισροής. Επίσης, για χαμηλές τιμές BOD εισροής η εξοικονόμηση είναι σχετικά μικρή και περιορίζεται στη Β. Ελλάδα. Αυτό σημαίνει ότι στη Ν. Ελλάδα και ιδιαίτερα στην Κρήτη είναι προτιμότερη η χρησιμοποίηση δεξαμενών τύπου (α), που βασίζονται στη φωτοσυνθετική παραγωγή βιομάζας, από τη χρησιμοποίηση απλών αερόβιων δεξαμενών τύπου ($\beta_1$).

Με όμοιο τρόπο υπολογίζεται η επιφάνεια σηπτικής δεξαμενής τύπου (γ) (βλ. Σχ. 2), για την οποία λαμβάνεται d = 0,5. Η εξοικονόμηση επιφάνειας για βάθος 1,6 m εμφανίζεται αναλυτικά στον Πίνακα 4 και κυμαίνεται για τις διάφορες περιοχές μεταξύ 27 % και 68 %. Για μεγαλύτερα βάθη είναι απαραίτητη η χρήση επιφανειακών αεριστήρων ενώ η περαιτέρω εξοικονόμηση επιφάνειας,

όπως φαίνεται αναλυτικά στον Πίνακα 5, δεν είναι σημαντική, ιδιαίτερα για υψηλές τιμές BOD και για περιοχές της Κεντρικής και Βόρειας Ελλάδας. Αντίθετα, η χρήση εντατικών μεθόδων οδηγεί σε εξοικονόμηση ενέργειας έναντι της χρησιμοποίησης σηπτικών δεξαμενών με επιφανειακούς αεριστήρες, όπως φαίνεται αναλυτικά στον Πίνακα 6.

| Περιοχή | $P_1$ | $P_2$ | $P_3$ | $P_4$ | $P_5$ | $P_6$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Κομοτινή | 68,02 | 66,43 | 64,81 | 63,29 | 62,12 | 61,62 |
| Άρτα | 59,44 | 57,42 | 55,37 | 53,43 | 51,88 | 51,32 |
| Αλίαρτος | 56,75 | 54,60 | 52,42 | 50,35 | 48,68 | 48,10 |
| Ανδραβίδα | 53,76 | 51,45 | 49,11 | 46,90 | 45,12 | 44,49 |
| Ν. Φιλαδέλφεια | 52,72 | 50,37 | 47,98 | 45,72 | 43,90 | 43,26 |
| Τυμπάκι | 39,24 | 36,21 | 33,15 | 30,24 | 27,91 | 27,08 |

Πίνακας 4. Ποσοστό (%) εξοικονόμησης επιφάνειας ($P_i$, κατ'αντιστοιχία προς τους προηγούμενους Πίνακες), λόγω χρησιμοποίησης σηπτικής δεξαμενής βάθους 1,6 m, σε σχέση με την επιφάνεια που έχει υπολογισθεί για δεξαμενή τύπου (α) με τη βοήθεια της σχέσης (1).

| Περιοχή | $P_1$ | $P_2$ | $P_3$ | $P_4$ | $P_5$ | $P_6$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Κομοτινή | 76,74 | 75,59 | 74,41 | 73,30 | 72,45 | 72,09 |
| Άρτα | 70,51 | 69,04 | 67,54 | 66,13 | 65,00 | 64.60 |
| Αλίαρτος | 68,55 | 66,99 | 65,40 | 63,89 | 62,68 | 62,26 |
| Ανδραβίδα | 66,37 | 64,69 | 62,99 | 61,38 | 60,09 | 59,63 |
| Ν. Φιλαδέλφεια | 65,62 | 63,90 | 62,17 | 60,52 | 59,20 | 58,74 |
| Τυμπάκι | 55,81 | 53,61 | 51,38 | 49,26 | 47,57 | 46,97 |

Πίνακας 5. Ποσοστό (%) εξοικονόμησης επιφάνειας ($P_i$, κατ'αντιστοιχία προς τους προηγούμενους Πίνακες), λόγω χρησιμοποίησης σηπτικής δεξαμενής βάθους 2,2 m με επιφανειακούς αεριστήρες, σε σχέση με την επιφάνεια που έχει υπολογισθεί για δεξαμενή τύπου (α) με τη βοήθεια της σχέσης (1).

| L | H | $C_\phi$ | $C_\varepsilon$ | $C_l$ | $C'_\phi$ | $C'_\varepsilon$ | $C'_l$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 250 | 133,066 | 149,034 | 212,906 | 383,231 | 68,50 | 55,00 | 19,00 |
| 230 | 121,238 | 135,783 | 193,981 | 349,166 | 68,80 | 55,43 | 19,78 |
| 210 | 109,410 | 122,539 | 175,056 | 315,101 | 69,17 | 55,95 | 20,71 |
| 190 | 97.582 | 109,292 | 156,131 | 281,036 | 69,60 | 56,58 | 21,84 |
| 170 | 85,754 | 96,044 | 137,206 | 246,971 | 70,15 | 57,35 | 23,23 |
| 150 | 73,926 | 82,797 | 118,281 | 212,906 | 70,83 | 58,33 | 25,00 |

Πίνακας 6. Αναλυτικά αποτελέσματα εξοικονόμησης ενέργειας. H: παραγωγή βιομάζας φυκών (kg/d) σε δεξαμενή τύπου (α) με p = 1,6. $C_\phi$, $C_\varepsilon$, $C_l$: κατανάλωση ενέργειας (kWh/d) για τις εντατικές μεθόδους επεξεργασίας ίσης ποσότητας οργανικού φορτίου με βιολογικά φίλτρα, ενεργό ιλύ και ενεργό ιλύ με αερόβια αποδόμηση ιλύος, αντίστοιχα, όπως υπολογίζεται με βάση δείκτες ειδικής ενεργειακής κατανάλωσης του Imhoff. Οι στήλες $C'_\phi$, $C'_\varepsilon$, $C'_l$ παρουσιάζουν την αντίστοιχη εξοικονόμηση ενέργειας (%), που επιτυγχάνεται με τη χρήση των μεθόδων αυτών, έναντι της χρήσης σηπτικής δεξαμενής με επιφανειακούς αεριστήρες.

4. Συμπεράσματα

α) Η χρησιμοποίηση παραμέτρων της εξίσωσης Ångstrom - Black οδηγεί σε υπερεκτίμηση του βάθους των δεξαμενών ταχείας αερόβιας επεξεργασίας με συμπαραγωγή βιομάζας, της τάξης του 1 - 5 %.

β) Η χρησιμοποίηση απλών αερόβιων δεξαμενών οδηγεί σε εξοικονόμηση μικρού ποσοστού επιφάνειας σε περιοχές της Β. Ελλάδας, ιδιαίτερα για υψηλές τιμές BOD εισροής (στο φάσμα 150 - 250 mg/l, που εξετάζεται). Αντίθετα στη Ν. Ελλάδα και για χαμηλές τιμές BOD υπερισχύει η λύση των δεξαμενών ταχείας αερόβιας επεξεργασίας με συμπαραγωγή βιομάζας· στην περίπτωση της Κρήτης η λύση αυτή υπερέχει σαφώς για οποιαδήποτε τιμή BOD.

γ) Η χρησιμοποίηση σηπτικών δεξαμενών μικρού βάθους οδηγεί σε σημαντική εξοικονόμηση επιφάνειας και ενέργειας σε όλες τις περιοχές. Αύξηση όμως του βάθους αυτών επιφέρει αύξηση του ενεργειακού κόστους λόγω της αναγκαιότητας χρήσης συστημάτων αερισμού, με αποτέλεσμα να εμφανίζονται λιγότερο ενεργειοβόρες οι περισσότερο εντατικές μέθοδοι της ενεργού ιλύος και των βιολογικών φίλτρων (εξοικονόμηση ενέργειας 56 % και 70 %, αντίστοιχα).

## Β Ι Β Λ Ι Ο Γ Ρ Α Φ Ι Α


1. W. J. Oswald and H. B. Gotaas, 1957, "Photosynthesis in Sewage Treatment", Transactions, ASCE, 122, p. 73.
2. L. G. Rich, 1963, "Unit Processes of Sanitary Engineering", John Wiley & Sons, Inc., New York.
3. W. J. Jewell and P. L. McCarty, 1968, "Aerobic Decomposition of Algae and Nutrient Regeneration", Technical Report No. 91, Civil Engineering Dept., Stanford Univ., Calif.
4. E. G. Foree and P. L. McCarty, 1968, "The Decomposition of Algae in Anaerobic Waters", Technical Report No 95, Civil Engineering Dept., Stanford Univ., Calif.
5. L. D. Benefield and C.W. Randall, 1980, "Biological Process Design for Wastewater Treatment", Prentice-Hall. Inc., Englewood Cliffs, N. J., p. 322 - 348.
6. J. F. Roesler and H. C. Pruel, 1970, "Mathematical Simulation of Waste Stabilization Ponds", in "Proceedings of the 2nd Int. Symposium on Waste Treatment Lagoons", Kansas City, Mo.
7. W. J. Oswald, 1963, "Advances in Stabilization Pond Design", in Advances in Biological Waste Treatment", by W. W. Eckenfelder and J. McCabe (Eds.), Pergamon Press, New York.
8. F. Batzias and P. Koronakis, 1985, "Determination of Solar Radiation Parameters for the Design of Wastewater Treatment Aerobic Lagoons", Joint Meeting of the Royal Meteorological Society of G. Britain and the Hellenic Meteorological Society.
9. J. F. Wehner and R. F. Wilhelm, 1958 "Boundary Conditions of Flow Reactor", Chem. Eng. Sci., 6, p. 89.
10. D. Thirumurthi, 1969, "Design Principles of Waste Stabilization Ponds", J. Sanit. Eng. Div., ASCE, 95, No. SA2.
11. Φ. Μπατζιάς, 1985, "Βέλτιστος Σχεδιασμός Αβαθών Δεξαμενών Επεξεργασίας Οργανικών Αποβλήτων με Σκοπό την Εξοικονόμηση Ενέργειας και Επιφάνειας", Πρακτ. 10ου Παν. Συνέδρ. Χημείας "Χημική Έρευνα και Τεχνολογία", Πάτρα 1985 (υπό έκδοση).

ΤΙΤΛΟΣ ΕΙΣΗΓΗΣΗΣ:

# "ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΣΒΕΣΤΗ"

ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ:

ΓΙΑΝΝΗΣ ΑΡΓΥΡΟΠΟΥΛΟΣ
Μαθηματικός - Οικονομολόγος
Διεύθυνση Ανάπτυξης της Ε.Τ.Β.Α. Α.Ε.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ:
Αντικατάσταση των υγρών καυσίμων και γεωργικών υπολειμμάτων σημαντικής αξίας με άλλα μηδενικής σχεδόν αξίας στην παραγωγική διαδικασία του ασβέστη. Συγκεκριμένα χρησιμοποίηση υπολειμμάτων εκκοκκιστηρίων βαμβακιού για καύσιμη ύλη σε σύγχρονο τεχνολογικά καμίνι.

ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ:
ΓΕΩΡΓΙΚΑ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΑ - ΒΑΜΒΑΚΙ - ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΑ ΒΑΜΒΑΚΙΟΥ - ΑΣΒΕΣΤΗΣ - ΣΤΕΡΕΑ ΚΑΥΣΙΜΑ - ΥΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΥΣΙΜΩΝ - ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ:

Στις παρυφές της πόλης των Τρικάλων λειτουργούν από ιδιώτη 2 παραδοσιακά καμίνια παραγωγής ασβέστη που χρησιμοποιούν σαν καύσιμη ύλη μαζούτ και διάφορα γεωργικά υπολείμματα.

Ο ιδιώτης επιχειρηματίας συνεργάστηκε με τεχνικό γραφείο της Θεσσαλονίκης για τη μελέτη κατασκευής σύγχρονου τεχνολογικά καμινιού που θα χρησιμοποιεί σαν καύσιμη ύλη γεωργικά υπολείμματα (υπολείμματα εκκοκκιστηρίων βαμβακιού, φλοιούς ξηρών καρπών κ.α.).

Ταυτόχρονα το πρόγραμμα υποβλήθηκε στην XVII Γεν. Διεύθυνση των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων όπου έλαβε οικονομική ενίσχυση ενώ παράλληλα έτυχε υπαγωγής στον αναπτυξιακό νόμο 1262/82.

1. ΣΚΟΠΟΣ

Σκοπός του προγράμματος είναι:

α. Η εξοικονόμιση ενέργειας και πρώτων υλών με τη χρησιμοποίηση υπολειμμάτων μηδενικής σχεδόν αξίας σε αντικατάσταση του μαζούτ ή άλλων στερεών καυσίμων.

β. Η απόκτηση τεχνολογίας που αφορά την αντικατάσταση των υγρών καυσίμων με στερεά υπολείμματα σε εκσυγχρονισμένη τεχνολογικά ασβεστοκάμινο, καθώς επίσης και η διερεύνηση των δυνατοτήτων εφαρμογής αυτής της τεχνολογίας και σε άλλους βιοτεχνικούς τομείς π.χ. παραγωγής τούβλων κλπ.

γ. Η έρευνα σύνθεσης των παραγόμενων αερίων και η επίδρασή τους στην ποιότητα του ασβέστη.

δ. Μείωση του κόστους παραγωγής του προϊόντος και η ανεξαρτοποίησή του από τα υγρά καύσιμα.

ε. Η προστασία του περιβάλλοντος από την ανεξέλεγκτη διάθεση γεωργικών υπολειμμάτων, που αποτελούν πρόβλημα για τις περιοχές παραγωγής τους.

2. ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Η δυναμικότητα της μονάδας είναι 70 τον. ασβέστη/24ωρο και είναι σχεδιασμένη για 240 ημέρες λειτουργίας το χρόνο, οπότε η ετήσια παραγωγή της θα είναι 16.800 τον.

Η μονάδα αποτελείται από το κλασσικό καμίνι, όπου έχει προστεθεί το τμήμα επεξεργασίας και διακίνησης των υπολειμμάτων για την παραγωγή των καυσίμων και περιγράφεται παρακάτω:

Α. Τμήμα καύσιμης ύλης

Το καύσιμο σαν υπόλειμμα γεωργικών προϊόντων (υπολείμματα εκκοκκισμού βαμβακιού, πυρηνόξυλο, πριονίδια, φλοιοί ξηρών καρπών κ.α.) ποικίλει σε κοκκομετρική διαβάθμιση και υγρασία για τους εξής λόγους:

α. Πολλά υπολείμματα κατά τη φάση της παραγωγής τους έχουν μεγάλο ποσοστό υγρασίας και πολλές κοκκομετρικές διαβαθμίσεις.
β. Τα υπολείμματα αποθηκευμένα συνήθως σε ανοικτούς χώρους προσλαμβάνουν ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες υγρασία.

Η υγρασία όμως, επειδή τα υπολείμματα προορίζονται για καύση, πρέπει να μειωθεί και να φθάσει σε επίπεδα 10-15%, ενώ παράλληλα είναι απαραίτητο η ομοιογενοποίηση της κοκκομετρίας του υλικού και μάλιστα

προς τα μικρά κλάσματα. Για να πραγματοποιηθούν τα παραπάνω ακολουθείται η εξής διαδικασία:

Το υλικό όπως συγκεντρώνεται από τα εκκοκκιστήρια και που δεν έχει ξηρανθεί ("υγρό καύσιμο") με ένα φορτωτή αποθηκεύεται στο χώρο Α. Στη συνέχεια η εκφόρτηση της αποθήκης γίνεται με ένα εκφορτιστή (No. 5) σε ορισμένη ποσότητα και σύμφωνα με τις ανάγκες του καμινιού. Το "υγρό καύσιμο" μετά από το διαχωρισμό του χονδρόκοκκου υλικού με ένα δονητή (No. 9) προωθείται στον κύλινδρο ξήρανσης (No 3) δια μέσου ενός απορροφητήρα (No. 8).

Τα καυσαέρια που εξέρχονται από τον εναλλάκτη (No. 2) είναι θερμοκρασίας 220°C περίπου και κατευθύνονται στον ξηραντήρα. Μέσα στο ξηραντήρα καυσαέρια και "υγρό καύσιμο" πραγματοποιούν τριπλή διαδρομή, οπότε μετά από ορισμένο χρόνο το καύσιμο αφού αποβάλει μεγάλο ποσοστό υγρασίας προωθείται στην αποθήκη Β δια μέσου απορροφητήρα (No. 8). Ο διαχωρισμός καυσαερίων - καυσίμων κατορθώνεται με τη βοήθεια φυγοκεντρικού κυκλώνα.

Στη συνέχεια το "ξηρό καύσιμο" με εκφορτιστή (No. 6) εκφορτίζεται και προωθείται με ταινία (No. 10) στη μηχανή λειοτριβητή (No. 15). Στη συνέχεια, με τον απορροφητήρα (No. 16) μεταφέρεται στην αποθήκη Γ, αφού προηγούμενα γίνει διαχωρισμός με φυγοκεντρικό κυκλώνα και αυτό είναι το "τελικό καύσιμο".

Μετά με εκφορτιστή (No. 7) εκφορτίζεται το "τελικό καύσιμο" σε επιθυμητή ποσότητα σ'ένα κεντρικό σύστημα απ'όπου διαμοιράζεται σε κάθε εστία καύσης σε ίσα μέρη. Η εκτόξευση του καυσίμου σε κάθε εστία γίνεται ανεξάρτητα δια μέσου απορροφητήρα (No. 17).

Η καύση γίνεται μέσα στην εστία και τη μάζα του $CaCO_3$ και κάθε εστία ελέγχεται ανεξάρτητα από πυρόμετρα καταγράφοντας ταυτόχρονα τις συνθήκες λειτουργίας.

Τα καυσαέρια του καμινιού, καθώς επίσης και το $CO_2$ που απελευθερώνονται, απορροφούνται με τον ανεμιστήρα (No. 1) και οδηγούνται σε εναλλάκτη (No. 2) ενώ παράλληλα ποσότητα από τα καυσαέρια ελευθερώνεται πριν από τον εναλλάκτη. Προηγούμενα συγκρατείται η ιπτάμενη τέφρα και σκόνη από τον πολυκυκλώνα.

Η ποσότητα των καυσαερίων που απαιτείται για τη ξήρανση του καυσίμου οδηγείται στον ξηραντήρα. Μέρος της θερμικής ισχύος των καυσαερίων αφαιρείται από τον εναλλάκτη για την προθέρμανση του καυσιγόνου αέρα, που ταυτόχρονα χρησιμοποιείται και για την "πνευματική" μεταφορά του καυσίμου με τον απορροφητήρα (No. 17).

Μ'αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η εκμετάλλευση

των καυσαερίων τόσο για την προθέρμανση του καυσιγόνου αέρα, όσο και για τη ξήρανση του υλικού και η μονάδα ανεξάρτητα από τις καιρικές συνθήκες λειτουργεί ομαλά. Οι διαδικασίες εκφόρτησης,αποθήκευσης, ξήρανσης, λειοτρίβησης, καύσης είναι συνεχείς και αυτόματες.

Β. Τμήμα πρώτης ύλης ($CaCO_3$)

Ο ασβεστόλιθος σε κομμάτια 150-200 mm συγκεντρώνεται στην αποθήκη Δ και εκφορτίζεται σε ποσότητα ανάλογη της παραγωγής του καμινιού με εκφορτιστή(No. 11). Μετά τα κομμάτια του $CaCO_3$ οδηγούνται στο καμίνι με ταινία (No. 13), ενώ παράλληλα τα μικρά κομμάτια με δονητικό κόσκινο (No. 14) διαχωρίζονται, γιατί η παρουσία τους δημιουργεί ανωμαλίες στην πορεία των καυσαερίων μέσα στο καμίνι.

Ο ασβεστόλιθος μετά την πυρόλυση μετατρέπεται σε CaO, που είναι και το τελικό προϊόν της μονάδας, και με εκφορτιστή (No. 12) απομακρύνεται από την αποθήκη ψύξης του καμινιού.

3. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ

Βλ. συνημμένο σχέδιο.

4. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ - ΚΟΣΤΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Για την παραγωγή ασβέστη πρέπει να αναπτύσσονται θερμοκρασίες της τάξης των 1050°C και η θερμογόνος ισχύς του καυσίμου να είναι μεγαλύτερη των 2600 KCAL/KG.

α. Παραδοσιακά καμίνια

Βασικά, στα παραδοσιακά καμίνια χρησιμοποιούνται για καύσιμη ύλη γεωργικά υπολείμματα, ιδιαίτερα πυρηνόξυλο. Για την παραγωγή 1 kg ασβέστη απαιτείται περίπου 1 kg πυρηνόξυλο, με υγρασία περίπου 50%, αξίας 3-3,5 δρχ/kg. Λαμβάνοντας υπόψη δε ότι η τιμή ασβέστη το λιγότερο είναι περίπου 6 δρχ/kg, το κόστος της ενέργειας υπερβαίνει το 50% της τιμής πώλησης. Σε περίπτωση χρησιμοποίησης υπολειμμάτων των εκκοκκιστηρίων απαιτείται περίπου 1 kg υγρού καυσίμου για την παραγωγή 1 kg ασβέστη, που επιβαρύνεται μόνο με το κόστος μεταφοράς (1,5 δρχ/kg περίπου για τη μονάδα που εξετάζεται). Το κόστος αυτό δεν υπερβαίνει το 20-25% της χαμηλότερης τιμής πώλησης.

β. Τεχνολογικά νέα καμίνια

Στα τεχνολογικά νέα καμίνια βασικά χρησιμοποιείται μαζούτ και απαιτείται 0,11 kg "μαζούτ"/kg ασβέστη, δηλ. 3,0-3,2 δρχ/kg που αντιστοιχεί στο 50% της τιμής πώλησης. Αυτό είναι και μία βασική αιτία που άλλα ασβεστοκάμινα κλείνουν και άλλα προχωρούν σε τροποποιή-

σεις της παραγωγικής διαδικασίας που επιτρέπει την χρησιμοποίηση στερεών υπολειμμάτων. Έτσι έχει αρχίσει η χρησιμοποίηση πριονιδίου και πυρηνόξυλου σε ορισμένα.

Τα υπολείμματα των εκκοκκιστηρίων βαμβακιού βασικά θα χρησιμοποιηθούν σ'αυτή τη μονάδα σαν "τελικό καύσιμο", θα έχουν θερμογόνο ισχύ 3700 KCAL με υγρασία 9% περίπου, που όμως στην πράξη είναι 12-13%, με θερμογόνο ισχύ 3500 KCAL και 1 kg υπολείμματος μπορεί να παράγει 3,0 kg ασβέστη. Πρέπει όμως να σημειωθεί ότι τα υπολείμματα που προμηθεύεται η μονάδα έχουν υγρασία 35-40% οπότε, για την παραγωγή 1 kg "τελικού καυσίμου" απαιτείται περίπου ποσότητα 1,3 kg "υγρού καυσίμου" και ισχύει:

$$\frac{3 \text{ kg ασβέστη}}{1 \text{ kg "τελικό καύσιμο"}} \times \frac{1 \text{ kg "τελικό καύσιμο"}}{1{,}3 \text{ kg "υγρό καύσιμο"}} =$$

$$\simeq 2{,}3 \text{ kg ασβέστη/kg "υγρό καύσιμο"}$$

Οπότε το κόστος της ενέργειας ανά kg ασβέστη είναι περίπου:

$$\frac{\text{Κόστος kg "ξηρού καυσίμου"}}{2{,}3 \text{ kg ασβέστη}} = \frac{1{,}5 \text{ δρχ.}}{2{,}3 \text{ kg}} \simeq 0{,}7 \text{ δρχ/kg}$$

Το ποσό αυτό δεν υπερβαίνει το 10% της τιμής πώλησης.

Εάν χρησιμοποιηθούν ποσότητες φλοιών ξηρών καρπών, το κόστος θα μειωθεί ακόμη περισσότερο διότι η θερμογόνος ισχύς τους είναι 4000 KCAL με υγρασία 12% περίπου.

Με βάση τα παραπάνω, σε πλήρη λειτουργία (240 ημέρες/χρόνο), η μονάδα:

α. Θα αξιοποιεί 7500 τον. υπολειμμάτων το χρόνο περίπου.
β. Θα εξοικονομεί 2100 τον. "μαζούτ" το χρόνο, συναλλαγματικής αξίας 60 εκ. δρχ. περίπου.

## 5. ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ

Το ύψος της συνολικής επένδυσης είναι της τάξης των 75 εκ. δρχ., από το ποσό δε αυτό περίπου τα 25 εκ. δρχ. αντιστοιχούν στο κόστος επεξεργασίας των υπολειμμάτων και στις απαραίτητες μελέτες και μετρήσεις που έγιναν και που πρόκειται να γίνουν. Το επιπλέον κόστος της επένδυσης, από τα στοιχεία που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, μπορεί να αποσβεστούν σε λιγότερο από 1 χρόνο.

## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με την κατασκευή και τη λειτουργία των παραπάνω μονάδων θα αποκτηθεί η ανάλογη εμπειρία σε όλα τα επίπεδα (ιδιωτικοί φορείς, χρηματοπιστωτικά ιδρύματα, τεχνικοί κ.α.) για την ευρύτερη χρησιμοποίηση αυτής της τεχνολογίας. Μόνο για την παραγωγή ασβέστη υπάρχει δυνατότητα υποκατάστασης περίπου 20.000 τον. "μαζούτ" το χρόνο τουλάχιστον.

Παράλληλα, με την ανεξαρτοποίηση του κόστους παραγωγής από τη διακύμανση του πετρελαίου θα μειωθεί πολύ σημαντικά το κόστος παραγωγής του ασβέστη, με αποτέλεσμα η τιμή πώλησης είτε να μειωθεί είτε να μείνει σταθερά για μεγάλη περίοδο.

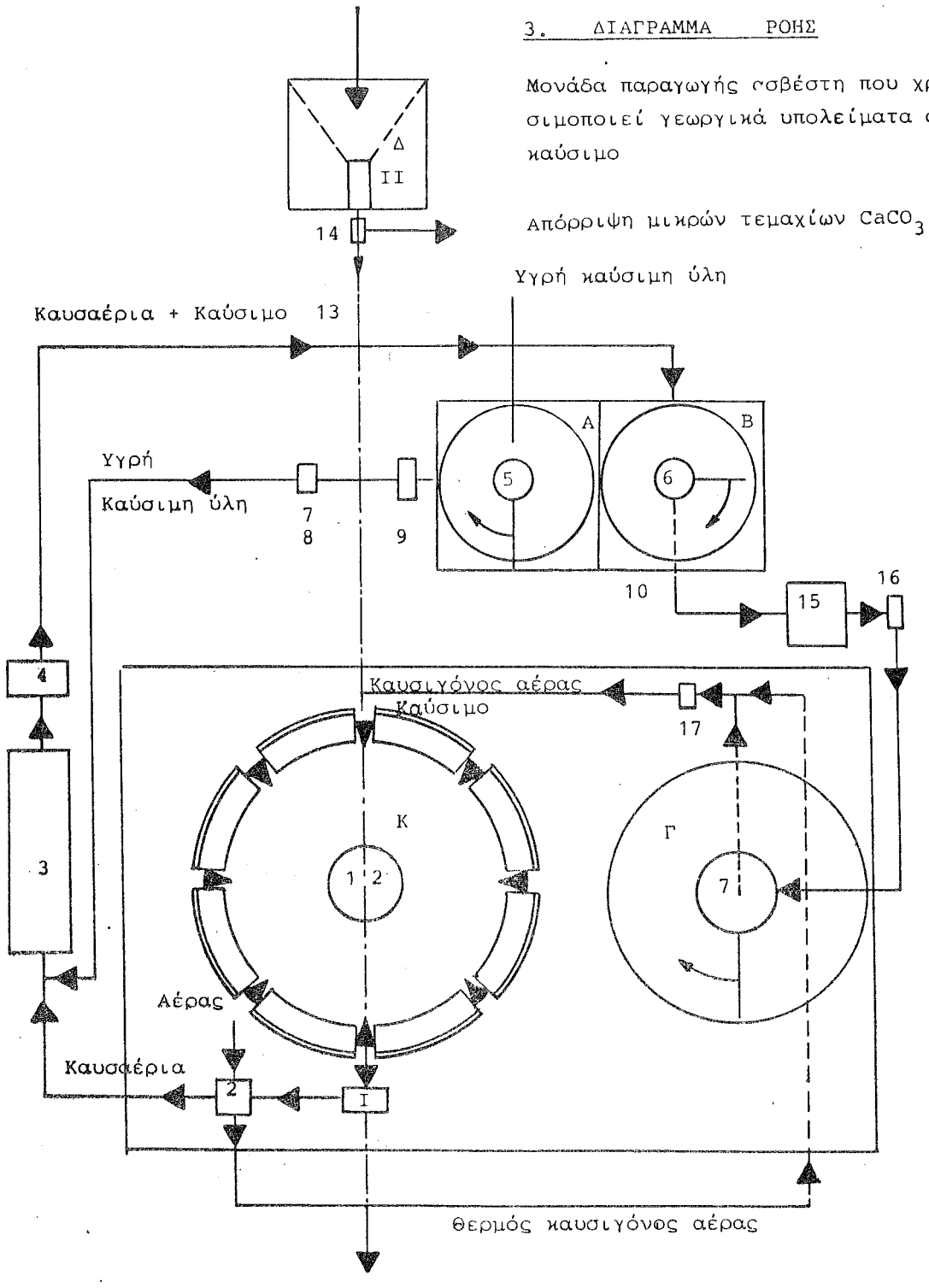
Πρέπει όμως να διερευνηθούν πλήρως τα ενδεχόμενα προβλήματα που μπορούν να παρουσιάσουν π.χ. οι εκπομπές των αερίων, η ανάμειξη του παραγόμενου ασβέστη με τη στάχτη των υπολειμμάτων κ.α. Η μη ύπαρξη ανάλογων προβλημάτων θα επέτρεπε την ταχεία διάδοση και ανάπτυξη αυτής της τεχνολογίας όχι μόνο στη διαδικασία παραγωγής του ασβέστη, αλλά και στην παραγωγή άλλων προϊόντων (π.χ. τούβλα, κεραμίδια κ.α.).

Τέλος, πιστεύεται ότι η τεχνολογία αυτή που καταβάλλεται προσπάθεια να αναπτυχθεί στη χώρα μας μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε άλλες χώρες προσαρμοσμένη όμως στις ανάγκες και στα υπολείμματα και γενικά στις ιδιαιτερότητες που έχει κάθε χώρα.

---

## 3. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ

Μονάδα παραγωγής ασβέστη που χρησιμοποιεί γεωργικά υπολείματα σαν καύσιμο



BIO-71

# ΜΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΤΟΥ ΧΩΝΕΥΤΗΡΑ ΜΕ ΣΤΑΘΕΡΗ ΒΑΚΤΗΡΙΑΚΗ ΚΛΙΝΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΜΕΘΑΝΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΤΥΡΟΓΑΛΟΥ ΕΝΟΣ ΤΥΡΟΚΟΜΕΙΟΥ ΠΟΥ ΠΑΡΑΓΕΙ ΤΥΡΙ ΣΥΜΠΙΕΣΜΕΝΟΥ


H. Bouillez : Απόφοιτος Βιολογικών Επιστημών

J.L. Blanchard : Μηχανολόγος - Ηλεκτρολόγος Μηχανικός. Διευθυντής της εταιρείας GIDEC ο οποίος πραγματοποίησε την εγκατάσταση.

P. Lemaire : Σύμβουλος Μηχανικός ο οποίος επινόησε το σχέδιο.



ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Έκθεση των λόγων που ώθησαν να μελετηθεί η μεθανοποίηση του τυρόγαλου (serum) της τυροκομίας:

- Η χρησιμοποιούμενη τεχνική και τα κυριότερα αποτελέσματα των πραγματοποιηθέντων πειραμάτων σε εργαστηριακά δοκίμια και μετά σε δοκίμιο βιομηχανικό από το I.T.G (Institut Techniquede Gruyere).
- Περιγραφή του βιομηχανικού χωνευτήρα επινοηθέντος και κατασκευασθέντος από την εταιρεία GIDEC (τύπος CYCLOGAZ) , για την μεθανοποίηση σε συνέχεια, των βιομηχανικών και αγροτικών αποβλήτων.
- Πρώτα αποτελέσματα ληφθέντα μετά από 6 μήνες χρησιμοποίησης του CYCLOGAZ με τυρόγαλο . Χρησιμοποίηση του βιοαερίου για την παραγωγή ζεστού νερού.
- Μελέτη των διαφόρων δυνατοτήτων της εξάλειψης του τυρόγαλου (serum) μετά την μεθανοποιήση: απλός διασπορπισμός.
- Εφαρμογή αυτής της τεχνικής της σταθερής βακτηριακής κλίνης στις υγρές απορροές άλλων βιομηχανιών αγροτοτροφών.



ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

1 = Μεθανοποίηση
2 = Μεθάνιο
3 = Χωνευτήρας
4 = Ζυμωτήρας
5 = Βιομάζα
6 = Σταθερή κλίση
7 = Βακτηριακό υπόβαθρο
8 = Ενέργεια
9 = Βιοαέριο
10 = Καθαρισμός
11 = Απομόλλυνση
12 = Λάσπες
13 = Τυρόγαλο
14 = Βιομηχανική δοκιμαστική μονάδα
15 = Χ.Α.Ο=Χημική Απαίτηση Οξυγόνου
16 = Ξ.Υ. = ξηρά υλικά
17 = Β.Α.Ο5=Βιοχημ.Απαιτ.Ο σε 5 ημερ. 18=Ξ.Ε. = Ξηρό εκλείχισμα


ΕΙΣΑΓΩΓΗ: Το τυρόγαλο είναι ένα προϊόν απορροής των Αγροτοτροφικών βιομηχανιών που δικαιολογεί μια μελέτη μεθανοποίησης: Περιεκτικότητα σε Ξ.Υ. της τάξης των 6% και Χ.Α.Ο 60.000

Η I.T.G ανέλαβε αυτή τη μελέτη σε εργαστήριο από το 1979.Η GIDEC λειτούργησε ένα χωνευτήρα με σταθερή βακτηριακή κλίνη βιομηχανοποιηθείσα στις αρχές του 1985. Παρ' όλο που και το πείραμα δεν είναι ακόμη παρά στην αρχή είναι ενδιαφέρον να εκθέσουμε τους λόγους που μας έκαναν να διαλέξουμε αυτήν την τεχνική, τα πρώτα ληφθέντα αποτελέσματα, τις δυνατότητες στον μέλον, για την ανάπτυξή της στη διεργασία των άλλων υγρών αποβλήτων προέλευσης αγροτοτροφικής.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ:

Το τυρόγαλο της τυροκομίας: αποτελεί το 80-90% της ποσότητας του διεργαζομένου γάλακτος ή το 50% του ξηρού εκχειλίσματος (Ξ.Ε.) του αρχικού γάλακτος. Μέσα σε 62g του Ξ.Ε. βρίσκεται 75% ζάκχαρο, 12% πρωτείνες και 12% των ορυκτών. Τα ζάκχαρα παρουσιάζονται κυρίως από την λακτόζη (75 έως 80% του Ξ.Ε. είτε 46-50 g/kg του μέσου τυρόγαλου

Οι πρωτείνες αποτελούν το 12% του ξηρού εκχειλίσματος ή σε βάρος 7,5 gr/kg τυρόγαλου

Αρχικά προέρχονται από το υγροποιημένο μέρος των πρωτεϊνών του γάλακτος: σε εκατοστιαία σύνθεση: albumine = 75% , globulines = 10%.

Αν το διασκορπίσουν το τυρόγαλο αυτό δημιουργεί μια οργανική μόλυνση σημαντική. Ενδείκτες μόλυνσης: $BAO_5$ και Χ.Α.Ο είναι αντίστοιχα της τάξης: 37.000 mg/l (από 22-40.000) και 62.000mg/l (από 44-80.000) Λόγω της χημικής τιμής του προτιμούν να το πετούν ή να το ρίχνουν σε ένα σταθμό βιολογικού καθαρισμού. Το χρησιμοποιούν είτε:

1. Υπό υγρά μορφή (ή συμπεμπυκνωμένη) για τροφοδοσία των ζώων: χοίρων, ενδεχομένως βοοειδών. Για τα τελευταία η παστερίωση του τυρόγαλου συνιστάται για να αποφύγουμε προβλήματα υγιεινής (brucelose).
2. Υπό μορφή σκόνης, μετά από βιομηχανική αποξήρανση σε ένα πύργο για τροφοδοσία του ανθρώπου ή την κατασκευή ειδικών κατασκευασμένων τροφών, τύπου ανακατασκευασμένων γαλάκτων για βοοειδή και μοσχαριών, ή για προϊόντα πιο επεξεργασμένα: τυρόγαλο χωρίς ορυκτά, τυρόγαλο φαρμακευτικό, πρωτείνες από μαγιά κλπ.

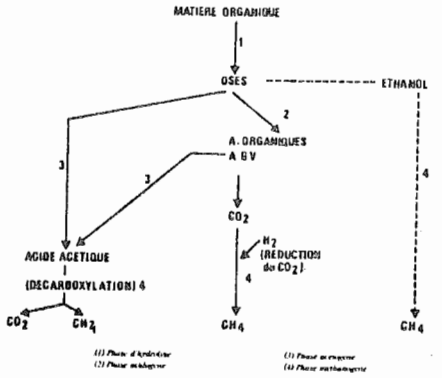
Αυτές οι τεχνικές δεν είναι πάντοτε χρησιμοποιήσιμες είτε γιατί το περιβάλλον δεν επιτρέπει την κατασκευή χοιροστασίου είτε γιατί η σημαντική μεταβολή των ποσοτήτων του διεργαζομένου γάλακτος κατά τη διάρκεια του έτους (από 1,5 έως 2 φορές ανάλογα με το μήνα) καθιστά δύσκολο να ξεκινήσουμε τη χρησιμοποίηση για την ζωϊκή τροφοδοσία είτε γιατί τα τυροκομεία είναι πολύ απομακρυσμένα από ένα βιομηχανικό κέντρο ξήρανσης. Εξ' άλλου η χρηματιστηριακή εκτίμηση του τυρόγαλου όποιος και αν είναι ο τρόπος της χρησιμοποίησής του είναι πολύ διαφορετική . μερικά εκατοστά του γαλλικού φράγκου (ανά λίτρο, ενίοτε μηδενική και ακόμη αρνητική),

Όπως γνωρίζουμε η βιομηχανία γάλακτος απαιτεί ποσότητες ενέργειας ιδιαίτερα σημαντικές ιδίως για την παραγωγή ζεστού νερού που αντικαθιστά προοδευτικά τον ατμό για τη θέρμανση του γάλακτος (οικονομία ενέργειας κατά 50%). Αυτό το ζεστό νερό παράγεται είτε με καύση βαρέος πετρελαίου ή οικιακού, από αέριο, είτε από θέρμανση νερού κατά τη διάρκεια της νύχτας χρησιμοποιώντας το ηλεκτρικό ρεύμα.

Αυτή η συμφωνία των τεχνικών και οικονομικών όρων προέτρεψαν την I.T.G να μελετήσει την μεθανοποίηση του τυρόγαλου για την παραγωγή ενέργειας.

Αυτή η λύση δεν αποκλύει τη βιομηχανική χρησιμοποίηση του τυρόγαλου αλλά φαίνεται να ταιριάζει σε μια χρησιμοποίηση επί τόπου στα μικρά και τα μέσα τυροκομείας (μικρότερα από 0,5 εκατομμύρια λίτρα γάλακτος / ημέρα). Η μεθανοποίηση αποτελεί μια καλύτερη χρησιμοποίηση από τη βιομηχανική χρησιμοποίηση τον acide lactoserum διαφόρων τύπων τυρού ή κατασκευής καζεΐνης. Η μεθανοποίηση σε συνέχεια του τυρόγαλου διευκολύνεται από μια πλευρά γιατί το προϊόν είναι υγρό από την άλλη πλευρά γιατί κυρίως στην περίπτωση των τυροκομείων που το γάλα βράζεται το τυρόγαλο βγαίνει από τους κάδους κατασκευής στους 50° περίπου πράγμα που αποφεύγει την αναθέρμανση του προϊόντος. Τελικά η χρησι-

μοποίηση του αερίου όπως και η παραγωγή του είναι συνεχής μας επιτρέπει μια ρυθμισμένη χρησιμοποίηση του βιοαερίου για την παραγωγή του ζεστού νερού και αποφεύγει μια σημαντική αποθήκευση. Η πορεία της μεθανοποίησης φαίνεται στη πιο κάτω διάταξη.




Σημειώστε ότι η οξύτητα του τυρόγαλου (μέχρι 3,2 ανάλογα με τον σημερινό πειραματισμό) δεν αποτελεί ένα εμπόδιο στην μεθανοποίηση γιατί αυτή η φάση είναι απαραίτητη στην πορεία. Αυτή η τεχνική εφαρμόζεται λοιπόν σε όλους τους τύπους των τυρόγαλων περισσότερο ή ολιγότερο οξέων.

Από το 1980 η ITG έκανε μια εργαστηριακή έρευνα για να μάθει καλύτερα τις δυνατότητες της μεθανοποίησης του τυρόγαλου σε 3 σημεία: ενεργητικό ισοζύγιο, καθαρισμός, παραγωγή ιζημάτων. Αυτή η δουλειά βάσταξε 2 χρόνια.

Μέσα σε αποθήκες 4 λίτρων βάζουν 2,4 λασπών που προέρχονται από ένα πολεοδομικό χωνευτήρα τον τροφοδοτούν καθ' όλη τη διάρκεια του 24ώρου με ημισυνεχή τρόπο κατά την διάρκεια μερικών λεπτών. Τα αποτελέσματα είναι τα πιο κάτω:

- 37 l βιοαερίου / l τυρόγαλου με 62gr ανά ξηρού ολικού εκχυλίσματος

$$CH_4 = 56\%,\ CO_2 = 43{,}5\%\ )$$

- 597 l βιοαερίου / kg ΧΑΟ εισαγόμενου
- Καθαρισμός σε ΧΑΟ, $BAO_5$ μεγαλύτερος από 90%
- Παραγωγή ιζημάτων στους $37^{o}$ C αντιστοιχεί σε 10-14% εισερχόμενου προϊόντος (εκχύλισμα ξηρό των ιζημάτων 30 g/l του οποίου 34% αποτελείται από ορυκτά υλικά και 7,4% άζωτο.

Έτσι στους $37^{o}$ C και 10 ημέρες χρόνου παραμονής μπορούμε να πάρουμε 142.000 Kcal/τόνο) γάλακτος διεργαζόμενου για μια θερμογόνο δύναμη του μεθανίου 8500 Kcal/$m^3$.

Σύμφωνα με τον στόχο της η ITG συνέχισε τις εργασίες μεθανοποίησης κατασκευάζοντας ένα πρώτο δοκιμαστικό χωνευτή "με σταθερή κλίνη" σε ένα τυροκομείο για να μελετήσει τις δυσκολίες που ενδεχόμενα προσάπτονται στις τεχνολογικές μετατροπές από το εργαστήριο στη βιομηχανία.

- Παραγωγή 160.000 kcal/τόνο γάλακτος διεργαζόμενο
- Καθαρισμός σε ΧΑΟ: 90-95%

- Παραγωγή ιζημάτων: 2-8% του εισαγόμενου τυρόγαλου (αποτέλεσμα της βιομηχανοποιημένης δοκιμαστικής συσκευής).

Αυτός ο χωνευτής έχει μια χωρητικότητα 3 $M^3$ και λειτουργεί από τις 15 Οκτωβρίου 1984 που επιβεβαιώνουν τα κύρια συμπεράσματα της δοκιμής του εργαστηρίου. Οι έρευνες στη χρησιμοποίηση των ιζημάτων δεν άρχισαν εξ αιτίας του μικρού μεγέθους των χωνευτήρων. Το Ξ.Υ των ιζημάτων αυτών είναι περίπου 30gr/l των οποίων 34% υπό μορφή ορυκτών υλικών, και 7,4% ολικού αζώτου υπό μορφή πρωτεϊνών.

Η λιπασματική του ικανότητα σε άζωτο είναι:

N = 6% από ξηρά υλικά P = 3,3%, $P_2O_5$ = φωσφορικό οξύ: 7,6%, K = (ποτάσσα) 4,5%, $K_2O$ = ποτάσσα = 5,4%. Άλλες δυνατές χρησιμοποιήσεις θα μελετηθούν προσεχώς.

Η αποκτηθείσα εμπειρία με τις εργασίες της ITG οδήγησε την εταιρεία GIDEC να κατασκευάσει ένα βιομηχανοποιημένο χωνευτήρα των 25 $M^3$ το "CYCLOGAZ" στον συνεταιρισμό SICA των "FERMIERS SAVOUARPS" στο FRANGY. Αυτή η συσκευή άρχισε να εργάζεται στις αρχές του 85 και ο τεχνικός έλεγχος των αποτελεσμάτων δόθηκε στη ITG.

Ο συνεταιρισμός SICA είναι ένα τυροκομείο που διεργάζεται ετησίως 180.000.000 LT γάλακτος δηλαδή 50.000 LT/ημέρα. Η παραγωγή τυριού γίνεται κυρίως σε τυριά ψητά. Η παραγωγή του τυρόγαλου είναι 40 LT την ημέρα της οποίας το μισό χρησιμοποιείται για την τροφοδότηση των χοίρων. Οι ανάγκες σε ενέργεια μόνο για την τυροκομική μετατροπή είναι: 5.800.000 Kcal /ημέρα ή 680 λίτρα οικιακού πετρελαίου ή 5.800.000 KWH ή 6740 KW/h για την παραγωγή ζεστού νερού. Αυτό εξασφαλίζεται με: ένα λέβητα με καυστήρα μικτής καύσης προπανίου/βιοαερίου 580.000 Kcal/h , ένα θερμαντήρα ηλεκτρικό που δουλεύει με νυκτερινό ηλεκτρικό ρεύμα ισχύος 2.800 KW/h X 8 ώρες = 1.900.000 Kcal.

Η λειτουργία του μικτού λέβητα είναι περίπου 7 h κατά τη διάρκεια του πρωϊνού.

Το CYCLOGAZ φωτογραφία και περιγραφεί του οποίου είναι πιο κάτω κατασκευάσθηκε να διεργάζεται 5-6 $m^3$ /ημ. τυρόγαλο. Σε ένα δεύτερο στάδιο αυτός ο χωνευτήρας θα συμπληρωθεί παραλλήλω με ένα άλλο χωρητικότητας 55 $M^3$ για να διεργάζεται 20 $M^3$ τυρόγαλο.

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ: Το CYCLOGAZ υφίσταται σε 2 μονάδες χωρητικότητας 30 $M^3$ και 55 $M^3$ που μπορούν να ενωθούν μεταξύ τους: 30 $M^3$ και 55 $M^3$. Εμφανίζεται με τη μορφή ενός χωνευτήρα κυλινδρικού οριζόντιου με τις συσκευές ελέγχου της εγκατάστασης στο ένα μέρος Διαμέτρου Φ 2500 MM. Το σύνολο είναι μονωμένο με υαλοβάμβακα πάχους 100 MM προστατευομένου με ένα εξωτερικό περίβλημα αλουμινίου. 3 αναρτήρες επιτρέπουν να τον σηκώσουμε με ένα γερανό για να τον βάλουμε σε βάσεις από μπετόν. Αυτή η συσκευή κατασκευάσθηκε εξ ολοκλήρου στο εργοστάσιο και μεταφέρθηκε μονοκόματη οδικώς. Η συναρμολόγηση του χωνευτήρα στην άφιξη του διεργαζόμενου υλικού από το ένα μέρος, η χρησιμοποίηση του αερίου και η εκκένωση του διεργαζόμενου υλικού μετά τη μεθανοποίηση έγινε σε μια εβδομάδα.

Στο χώρο των συσκευών τεχνικού ελέγχου βρίσκεται:

- το ηλεκτρικό ερμάριο που διευθύνεται από τον ηλεκτρονικό υπολογιστή που εξασφαλίζει την τελείως αυτόματη καθοδήγηση του χωνευτήρα.

- Ο χειρισμός του συστήματος καθαρισμού του βακτηριακού φίλτρου
- Η αντλία ανάμειξης ρυθμιζομένης παροχής
- Ο εναλλάκτης θερμότητας που χρησιμεύει για την αναθέρμανση του διεργαζόμενου υλικού που μπαίνει με ανάκτηση των θερμίδων στο κύκλωμα ανάμειξης.
- Ο λέβητας για να κρατάει τη θερμοκρασία όλου του όγκου του διεργαζόμενου υλικού που βρίσκεται στο εσωτερικό του χωνευτήρα.
- Οι διάφορες συσκευές ελέγχου και ρύθμισης για τη λειτουργία του συνόλου: χωνευτήρα και κυκλοφοριτή.
- Μια οθόνη ελέγχου επιτρέπει να βλέπουμε τις διδόμενες εντολές στον χωνευτήρα και τα λαμβανόμενα αποτελέσματα με τη δυνατότητα να προσθέσουμε ένα εκτυπωτή. Για τις μεγάλες βιομηχανικές εγκαταστάσεις μπορεί να εφαρμοσθεί η τηλεπίβλεψη.

Σε σύγκριση με άλλους βιομηχανικούς χωνευτήρες με βακτηριακή κλίνη το CYCLOGAZ παρουσιάζει ορισμένο αριθμό προτερημάτων: κατασκευή στο εργοστάσιο, εγκατάσταση επί τόπου, ελαττωμένη στο ελάχιστο λειτουργία του χωνευτήρα ευνοϊκή μη απαιτούσα περισσότερο από μια ώρα επίβλεψη την ημέρα, ευκολία όλων των συσκευών χωρίς να σταματήσει η παραγωγή ούτε υποχρεούμαστε να περιμένουμε μια περίοδο ξαναξεκινήματος, τυποποίηση των συσκευών για να ελαττώσουμε τα έξοδα της κατασκευής και τα έξοδα επέμβασης σε περίπτωση βλάβης.

Εξ΄ άλλου η βακτηριακή κλίνη δεν απαιτεί προβλήματα συντήρησης. Παρουσιάζει μια επιφάνεια επαφής ανά μονάδα μήκους στοιχείου κλίνης 0,6 $M^2$ δηλαδή 3600 $M^2$ για 30 $M^3$ οφέλιμου όγκου.

΄Ενα ανακάτωμα εσωτερικό κάνει ανακύκλωση του εκρέοντος υγρού στην κλίνη με πολύ μικρή ταχύτητα για να αποκλίσει την απόπλυση, εξαλείφοντας κανονικά τις αποθηκεύσεις ιζημάτων. Η αυτοματοποίηση του χωνευτήρα εμελετήθηκε για να εξασφαλίσει την πιο μεγάλη κανονικότητα λειτουργίας. Η δυνατότητα να βλέπουμε σε μια οθόνη ελέγχου επιτρέπει να ερμηνεύσουμε κάθε στιγμή τα αποτελέσματα και διευκολύνει τη διάγνωση σε περίπτωση βλάβης. Η τοποθέτηση αυτού του υλικού έγινε τον Ιανουάριο 1985 και το ξεκίνημα μεθανοποίησης βάσταξε περίπου 3 μήνες. Προς το παρόν η παραγωγή βιοαερίου είναι περίπου 20% μεγαλύτερη από εκείνη της παραγωγής βιοαερίου που βρήκαμε στο εργαστήριο. Αυτό προφανώς οφείλεται στο γεγονός της μάζας του βιομηχανοποιημένου χωνευτήρα. Το PH σταθεροποιήθηκε περίπου στο 7 (6,8-7,3). Εν τούτοις η εισαγωγή του τυρόγαλου που προβλέφθηκε 6 $M^3$ την ημέρα δεν πραγματοποιήθηκε ακόμη. Δεν είναι δυνατόν να υπολογίσουμε το χρόνο παραμονής στον χωνευτήρα με ακρίβεια. Ο σπάνιος στόχος είναι σε 4 και 5 ημέρες.

Μια τεχνική οδηγία εδόθηκε στην ITG για μια διάρκεια 6 μηνών. Ο τεχνικός έλεγχος θα γίνεται κατά τον ακόλουθο τρόπο:

- Ανάλυση του τυρόγαλου πριν, κατά την διάρκεια και μετά τήν μεθανοποίηση
- PH, σύσταση των Acides gras volatiles(AGV) Ανάλυση Ξηρών Υλικών. Χημική απαίτηση Οξυγόνου.
- Ανάλυση του βιοαερίου, % σε $CH_4$ και $H_2S$
- Ανάλυση των παραγομένων ιζημάτων

Οι έρευνες θα γίνονται για την καλύτερη χρησιμοποίηση των ιζημάτων:
για παράδειγμα:
λίπασμα σε υγρή κατάσταση μετά από βελτίωση ορυκτών (NPK).

Η πλήρης πραγματοποίηση για τη διεργασία του τυρόγαλου με μεθανοποίηση θα στοιχίσει για ένα τυροκομείο που παράγει 20 $M^3$/ημέρα περίπου 1.000.000 $F_r.F \simeq$ 15.000.000 δρχ. (τιμή 1984).

Αν δεχθούμε την απόσβεση σε 7 χρόνια, τα έξοδα λειτουργίας εκτιμήθηκαν σε 69.000 $F_r$/χρόνο για την ημερήσια λειτουργία θα πάρουν τα παρακάτω αποτελέσματα (Δεν υπολογίσθηκαν για τον λογαριασμό αυτό ούτε τα έξοδα χρηματοδότησης ούτε οι πιθανές επιδοτήσεις).

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ: Με μια τιμή των 1000Kcal ίση με 0,3 $F_r$ μια παραγωγή 37 $M^3$ βιοαερίου για 1000 τυρόγαλο και μια θερμογόνο ισχύ 4800 Kcal/$m^3$η καθαρή αξιοποίηση το πρώτο έτος θα είναι 1,9 εκατοστά του φράγκου/λίτρο τυρόγαλου: θα περάσει στα 4,2 εκατοστά/λίτρο κατά τη διάρκεια του όγδοου έτους.

Το "PAY BACK" ή ο χρόνος επιστροφής θα είναι 3,5 χρόνια: το " pay off " ή ο χρόνος επιστροφής λαμβάνοντας υπ' όψη την υποτίμηση με βάση 10% το χρόνο θα είναι 4,5 χρόνια.

Αυτές οι χρηματοδοτικές παρατηρήσεις επιτρέπουν όθεν να πούμε κατά τρόπο ευνοϊκό ότι μπορούμε να πραγματοποιήσουμε μια βιομηχανική εγκατάσταση. Οι υπολογισμοί έγιναν μόνο για την εξοικονόμιση της ενέργειας χωρίς να θεωρήσουμε την μόλυνση και την οικονομική χρησιμοποίηση των ιζημάτων.

Οι συγγραφείς του άρθρου είναι στην διάθεση των συνέδρων αυτής της διάλεξης για να τους ανακοινώσουν τα αποτελέσματα των μετρήσεων που θα δημοσιευθούν κατά τη διάρκεια του 1986.

Συμπερασματικά αυτή η τεχνική του χωνευτήρα με σταθερή βακτηριακή κλίνη εφαρμόζεται ιδιαίτερα στην διεργασία των υγρών απορροών των Αγροτοτροφικών βιομηχανιών με μερικές εφαρμογές ανάλογα με τη φύση των προς διεργασία προϊόντων.

- Συγκράτηση σε Ξ.Υ των υγρών εκροής μεταξύ 3-6%.
- ΧΑΟ ελάχιστο : 300
- Χρόνος παραμονής: 2-10 ημέρες
- Παραγόμενη ενέργεια σε μια μέση θερμοκρασία των 35-37$^{o}$ = 1,86 Kwh

  Ανά kg ΧΑΟ επερχόμενου ή 1868 μεθανίου
  Βαθμός καθαρότητος στο ΧΑΟ = 80-95%

Χωρίς αυτή η λίστα να είναι εξαντλητική οι Αγροτοτροφικές βιομηχανίες που ενδιαφέρονται για την διεργασία των απορροών των είναι πολυάριθμες : διηληστήρια, ζαχαρουργεία, ζυθοποιΐα, κονσερβοποιΐα, εργοστάσια παραγωγής μαγιάς, σφαγεία, γαλακτοπωλεία, αμυλοποιΐα. Η εξοικονόμηση ενέργειας παριστάνει τα 30% της τοποθέτησης κεφαλαίων για τον καθαρισμό και 20-25% για την χρησιμοποίηση του βιοαερίου για τις θερμικές ανάγκες του εργοστασίου.

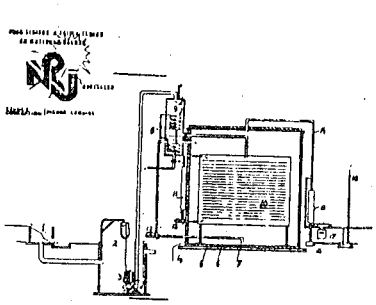
Αν θεωρήσουμε έτσι πλέον ότι η οικονομία που έγινε για τον καθαρισμό αντικαθιστώντας ένα σύστημα αναερόβιο ακριβό σε τοποθέτηση κεφαλαίων και σε έξοδα λειτουργίας η μεθανοποίηση είναι λοιπόν μια ενέργεια πολύ ενδιαφέρουσα. Στη Γαλλία εκτιμούν ότι το σύνολο αυτών των υγρών κατακάθισης που παράγονται από τις Αγροτοτροφικές βιομηχανίες θα αντιπροσωπεύουν το 1980 μια ενεργητική ποσότητα των 200.000 TEP/χρ(τόνοι ισοδύναμων πετρελαίου). Με τον ανταγωνισμό των αεροβιακών συστημάτων που έχουν ήδη εγκατασταθεί με εξέλιξη των κόστων, οι μελλοντικές τεχνολογίες μπορούν λογικά να εκτιμήσουν αυτή την ενεργητική εισφορά σε 80.000 TEP για το 1990.

Μπορούμε να προσθέσουμε σ΄αυτό το ισοδύναμο, τα διάφορα υπόλοιπα ή στερεά κατάλοιπα με μεγάλη συγκράτηση σε νερό (εσωτερικό σπόρων, τεύτλα, κατάλοιπα λαχανικών κλπ) θα έχουμε ένα σύνολο 300.000 TEP/χρόνο.

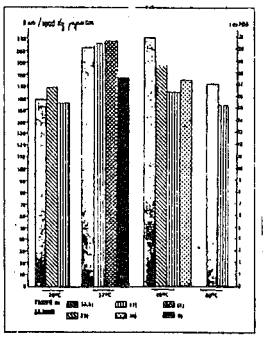
Αυτή η δυναμική ενέργεια εκτιμήθηκε πρέπει να ελαττώσει την αντίστοιχη τιμή άλλων χρησιμοποιήσεων: τροφοδότηση μυϊκή ιδιαίτερα και τελειοποιήσεις των τεχνικών της μεθανοποίησης, το 1985 το CYCLOGAZ χωνευτήρας με σταθερές κυψέλες αποτελεί ήδη ένα χωνευτήρα δεύτερης γενιάς για εντατική μεθανοποίηση.

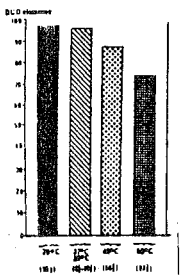
΄Αλλες πρόοδες μπορούν να πραγματοποιηθούν στο μέλλον ιδιαίτερα στον τομέα της γενετικής των μεθανογενών βακτηριδίων.

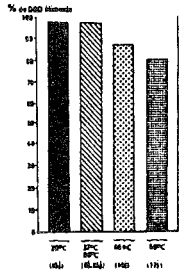
Το Τεχνολογικό Ινστιτούτο Γραβιέρας είναι ένας Οργανισμός Επαγγελματικός που ενώνει τους παραγωγούς γάλακτος και τους βιομηχάνους τυριού οι οποίες εργάζονται για την βελτιστοποίηση της ποιότητας των τυριών, ξεκινώντας από την παραγωγή του γάλακτος μέχρι την κατανάλωση. Ελέγχει την ποιότητα εξασφαλίζει την τεχνική επίβλεψη, την πληροφόρηση και την έρευνα.



1. Αφιξη των απορροών
2. Λάκκος υποδοχής
3. Αντλία εισαγωγής
4. Μεταλλικός κάδος
5. Πλάκα σκυροδέματος
6. Μόνωση
7. Στεγανοποίηση
8. Σωλήνωση μεταξύ των δυο εναλλακτήρων του υγρού απορροής
9. Εναλλάκτης του υγρού απορροής
10. Βακτηριακή κλίνη
11. Θερμικός εναλλάκτης
12. Αντλία-εναλλάκτης
13. Αντλία ανάμιξης
14. Σωλήνωση βιοαερίου
15. Φίλτρο $H_2S$
16. Συμπυκνωτής αερίου
17. Μετρητής αερίου
18. Προ χρησιμοποίηση του βιοαερίου





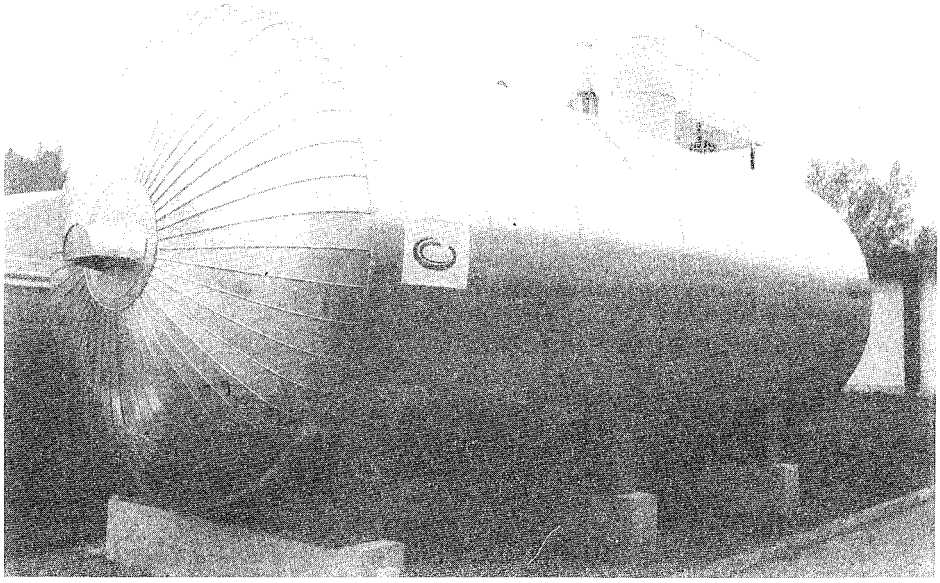


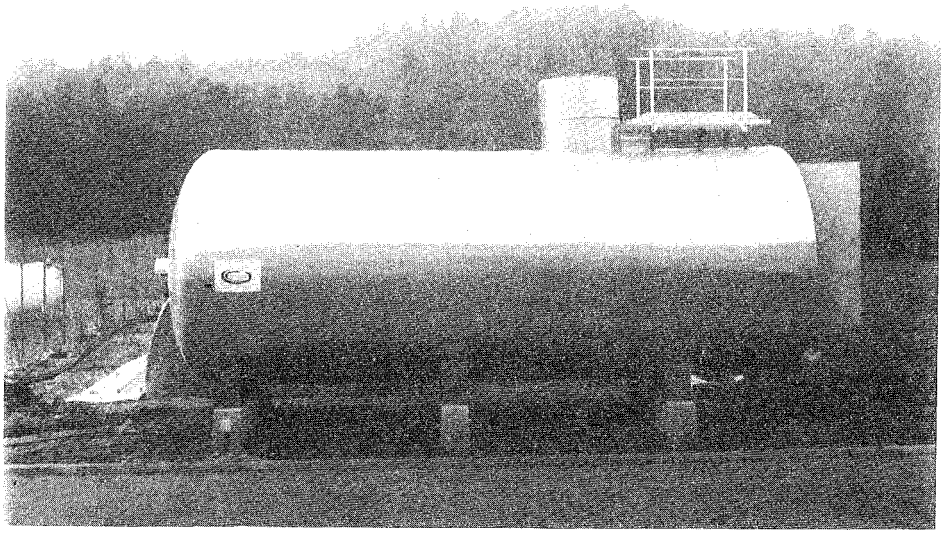
## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Extraits de l'Etude ITG, S.S. 83.10.D 1983 - LA METHANISATION DU LACTO-SERUM

de P.BURY (ITG) 1984 n° du Technicien du Lait Janvier/Février p 21 à 25 : LA METHANISATION DU LACTO-SERUM.

de METHANISATION DES EFFLUENTS D'INDUSTRIES AGRO-ALIMENTAIRES de Professeurs ALBAGNAC & VERRIER du Centre de Recherches de l'Institut National de Recherches Agronomiques (INRA)





# ΤΟ ΥΨΟΣ ΤΗΣ ΜΕΘΑΝΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΠΟΡΡΗΜΜΑΤΩΝ ΖΩΩΝ ΣΤΗ ΓΑΛΛΙΑ ΜΕΧΡΙ ΤΗΝ 1/1/85

N. Bouilliez : Απόφοιτος των Βιολογικών επιστημών
H. Blanchard : Ηλεκτρολόγος-Μηχανολόγος Μηχανικός Διευθυντής της εταιρείας GIDE

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Αναφέρεται στα εξής:

- Στο μηχανισμό της Μεθανοποίησης.
- Στη μελέτη των διαφόρων χωνευτήρων.
- Στις αποθηκεύσεις-Καθαρισμό -Χρησιμοποίηση του Βιοαερίου.
- Πραγματοποίηση των διαφόρων διεργασιών μεθανοποίησης των κτηνοτροφικών αποβλήτων το έτος 1981.
- Ο τεχνικός έλεγχος από την GIDA αυτών των εγκαταστάσεων από το 1982 έως το 1984.
- Η παρουσίαση για πρώτη φορά το 1985 μιας παραγωγής διάδοσης μεθανίου από την AFME: Χρηματοδοτικής ενίσχυσης.
- Συμπεράσματα πάνω στις προοπτικές τις μεθανοποίησης στη Γαλλία, των αζωτούχων αποβλήτων, όπου περιλαμβάνονται τα κτηνοτροφικά απόβλητα.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ:

1.= Μεθανοποίηση
2.= Μεθάνιο
3.= Χωνευτήρας
4.= Σταθερή βακτηριακή κλίνη
5.= Συνεχής ανάμειξη
6.= Σύστημα συνεχούς τροφοδοσίας
7.= Σύστημα διακεκομένης τροφοδοσίας
8.= Ενέργεια
9.= Βιοαέριο
10.= Απομόλυνση
11.= Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (ΧΑΟ)
12.= Βιολογικά Απαιτούμενο Οξυγόνο στις 5 ημέρες($B.AO_5$)
13.= Αποθήκευση Βιοαερίων
14.= Καθαρισμός βιοαερίων
15.= Χρησιμοποίηση βιοαερίων

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ:

Είναι δυνατόν να παράγουμε ενέργεια ξεκινώντας από την βιομάζα μέσω της θερμοχημείας. (Πυρόλυση, αεροποίηση, καύση).

Αυτός ο τρόπος προτιμάται στα προϊόντα εκείνα των οποίων η περιεκτικότητα σε ξηρά υλικά είναι φυσιολογικά σημαντική δίνοντας μια θερμική ισχύ αρκετά ικανοποιητική. Εξ΄ άλλου πλούσια σε οργανικές ύλες και με μεγάλη συγκράτηση σε νερό μπορούν να έχουν μια ενεργειακή αξιοποίηση λαμβάνοντας υπ΄ όψη τα βιοχημικά συστήματα: Δηλαδή την περίπτωση της μεθανικής ζύμωσης.

Οι οργανικές ύλες των διεργαζομένων υλικών υπόκεινται στη δράση των διαφόρων βακτηριακών αναεροβίων πληθυσμών περισσότερο ή λιγώτερο ικανών να συμβιώσουν μέσα σε στενά όρια. Όλα είναι μια σειρά μετασχηματισμών: Τα μικτά βακτηρίδια υδρολυτικά και οξυγενή διαλύουν τα πολύπλοκα οργανικά μόρια (πρωτεΐνες, υδατάνθρακες και λιπίδια) και τα μετασχηματίζουν σε απλά συστατικά: αμυνοξέα, σάκχαρα και λιπαρά οξέα. Μετά, τα ακετογενή βακτηρίδια σε μια φάση ζύμωσης, ξεκινώντας από τα παραπάνω απλά προϊόντα, παράγουν οργανικά οξέα, υδρογόνο, και $CO_2$. Τέλος τα μεθαγενή βακτηρίδια, σε ουδέτερο περιβάλλον (PH από 6,8 έως 8) χωρίς οξυγόνο και σε ορισμένες περιοχές θερμοκρασίας παράγουν αυτό το αε-

ριώδες μείγμα που ονομάζεται βιοαέριο.

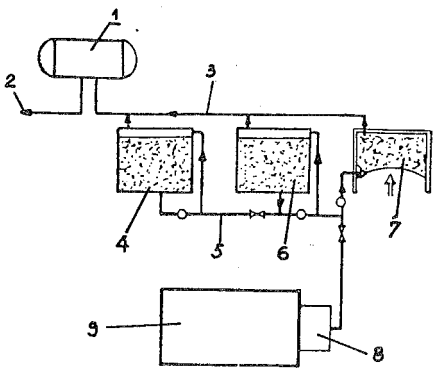
Διακρίνουν 3 περιοχές θερμοκρασίας: την ψυχρόφυλλη: 25°C, την Μεσόφυλλη: 25-45°C (ευνοϊκώτερη 35° και την θερμόφυλλη: 45°C (ευνοϊκώτερη 55/60°C). Οι πιο ενδιαφέρουσες μεταβολές της θερμοκρασίας δεν βλάπτουν σε τίποτα τα μεθανογενή βακτηρίδια επηρεάζουν μόνο την ταχύτητα της φθοράς των οργανικών υλών. Η σταθερή θερμοκρασία, το ουδέτερο PH του μέσου (ή ελαφρά αλκαλικό) η απουσία οξυγόνου (αναερόβιος ζύμωση) καθορίζουν τις προϋποθέσεις που καθορίζουν τον τρόπο κατασκευής του χωνευτή, τον αντιδραστήρα, όπου παράγονται οι βιομηχανικές αντιδράσεις, της μεθανικής ζύμωσης.

Στην περίπτωση των υδαρών κτηνοτροφικών αποβλήτων που περιέχουν κοπριά με περισσότερα ή ολιγώτερα άχυρα, απορρημμάτων χοίρων ή βοοειδών, κουτσουλιές πουλερικών, η περιεκτικότητα σε οργανικά υλικά είναι πολυσύνθετη. Με βάση την περιεκτικότητα σε κυτταρίνη, λιπίδια, ή πρωτεΐνες η παραγωγή σε βιοαέριο και η εκατοστιαία περιεκτικότητα του μεθανίου θα είναι μεταβλητή: 55-80% σε $CH_4$. Η μέγιστη παραγωγή βιοαερίου είναι της τάξης 0,45m³/kg οργανικών υλικών (O.Y) ή 0,35 m³/kg ξηρών υλικών (Ξ.Y). Σε πρώτη προσέγγιση για τα νωπά υλικά (απορρήμματα βοοειδών και χοίρων) εκτιμούν ότι τα Ξ.Y. είναι = 80% O.Y + ανόργανα υλικά. Τέλος ανάλογα αν πρόκειται για κοπριές ή περιττώματα η συγκράτιση σε Ξ.Y είναι μεταβλητή: 15-30% για τα πρώτα υλικά και 14 έως 15% για τα δεύτερα που είναι ρευστά. Αυτό είναι το κριτήριο που θα επιτρέψει να διακρίνουμε τον τύπο του χωνευτήρα τον πιο κατάλληλο για την αναερόβιο διεργασία των ζωϊκών αποβλήτων.

ΔΙΑΦΟΡΟΙ ΤΥΠΟΙ ΧΩΝΕΥΤΗΡΩΝ: 1) Για την διακεκομένη ζύμωση αυτό το σύστημα συνιστάται για τις κοπριές βοοειδών: ίδε σχηματική διάταξη. Η φόρτιση ενός χωνευτήρα είναι από 100-150 kg O.Y/m³ κάδου ή 650 kg/m³ κοπριών περίπου. Η διάρκεια του κύκλου παραγωγής είναι μεταβλητή ανάλογα με την βιοαποβάθμιση του υλικού. Εκτιμούν ότι σε 105 ημέρες ζύμωσης το 80% του βιοαερίου έχει παραληφθεί στο τέλος των 45 πρώτων ημερών χώνευσης. Αυτή η τεχνική είναι αντικείμενο ερευνών αφ' ενός στο πεδίο του μηχανισμού των λειτουργιών πλήρωσης και αδειάσματος και αφ' ετέρου της ανακυκλοφορίας του χωνευτήρα με άντλιση των υγρών από τόν πυθμένα ύγρανσης και ξαναρίξιμο του σωρού των κοπριών.

Η παραγωγή του βιοαερίου είναι περίπου 0,35m³/kg O.Y για ένα κύκλο 45 ημερών στους 35°C (ή 0,21m³/kg O.Y. μεθανίου). Η απαραίτητη ενέργεια της αναθέρμανσης στους 35° του περιεχομένου του χωνευτήρα καταναλίσκεται τον χειμώνα (-7°C) περίπου το 1/3 της παραγωγής. Είναι λοιπόν απαραίτητο να εξασφαλίσουμε μια καλή μείωση του χωνευτήρα.

Σχηματική διάταξη του χωνευτήρα διακεκομένης λειτουργίας.




1 = Αποθήκη $CH_4 + CO_2$
2 = Χρησιμοποίηση βιοαερίου 3 = βιοαέριο
4 = Κάδος κατά τη διάρκεια της μεθανοποίησης
5 = Κυκλοφορία στη βάση του κάδου υγρά + ιλήμα
6 = Κάδος στο τέλος της μεθανοποίησης
7 = " κατά τη διάρκεια της φορτίσης (αφη από πάνω)
8 = Λάκκος με υγρά
9 = " με κοπριά

2) Για την χώνευση συνεχούς λειτουργίας: Προτιμάται στα υδαρή περιττώματα με περιεκτικότητα σε Ξ.Υ $\leq$ 15%. Διακρίνουμε 3 τύπους χωνευτήρων συνεχούς λειτουργίας:

1 - Σύστημα συνεχούς ανάμειξης.
2 - Σύστημα αναερόβιας επαφής με ανακύκλωση ενός μέρους των ενεργών μικροοργανισμών που ξαναπερνούν από ένα εξωτερικό διαχωριστή.
3 - Σύστημα σταθερής βακτηριακής κλίνης. Οι μικροοργανισμοί συγκρατούνται επάνω σε ένα αδρανές πλέγμα (πλαστικό) με μεγάλη επιφάνεια επαφής (0,5-0,8% $m^3$/kg μήκους στοιχείων) ίδε σχηματική διάταξη.

ΑΡΧΗ: Η εισαγωγή των περιττωμάτων γίνεται κάθε ημέρα κατά καθορισμένες ποσότητες. Ο όγκος του χωνευτήρα μένει σταθερός γιατί γίνεται ελάττωση της αντίστοιχης ποσότητας όση η εισαγόμενη των κοπριών. Ο χρόνος παραμονής (διάρκεια της παραμονής μέσα στο χωνευτήρα) είναι μεταβλητές ανάλογα με τη φύση των περιττωμάτων και του τύπου του χωνευτήρα. Στο σύστημα τις συνεχούς ανάμειξης η πιο συνηθισμένη θερμοκρασία είναι 35°C.

Οι μέσοι χρόνοι παραμονής των κοπριών μέσα στον χωνευτήρα είναι: 10 έως 15 ημέρες για περιττώματα χοίρων, 20-30 ημέρες για εκείνα των βοοειδών και πουλερικών. Οι ποσότητες φόρτισης= Φορτίο όγκο kg Ο.Υ/$m^3$

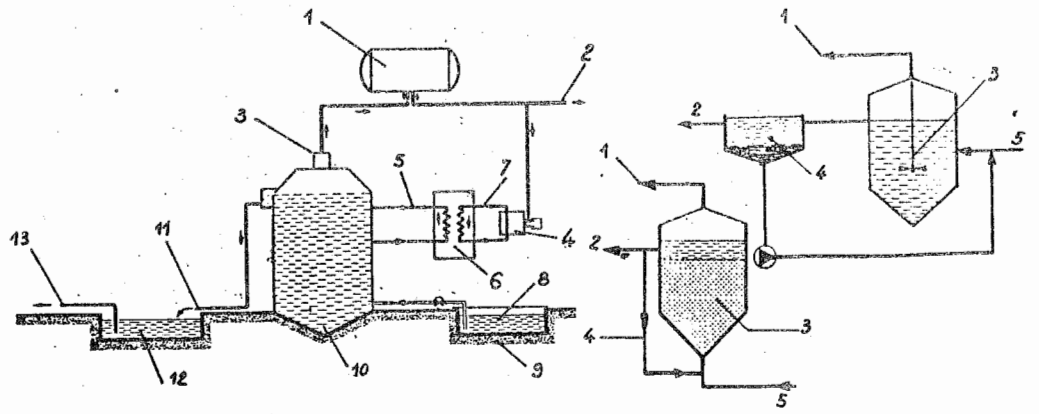
$$\text{χωνευτήρα/ημέρα} = \frac{\text{συμπίκνωση των περιττωμάτων σε kg Ο.Υ/m}^3}{\text{χρόνος παραμονής}} =$$

= 2 - 4 kg/$m^3$ κατά μέσο όρο και ανά ημέρα

Η μέση παραγωγή βιοαερίου ανά kg Ξ.Υ είναι 0,3 $m^3$ βιοαερίου (65-70% μεθάνιο) με κοπριές χοίρων. 0,28 $m^3$ με κοπριές βοοειδών ή ακόμη η μέση ελάχιστη 1 $m^3$ βιοαερίου ανά $m^3$ χωνευτή την ημέρα. Η καθαρή χρησιμοποιήσιμη ενέργεια είναι 70-85% του παραγόμενου βιοαερίου λαμβάνοντας υπ' όψη τις ιδιοκαταναλώσεις λειτουργίας του χωνευτήρα, τις θερμικές απώλειες και τις αναθερμάνσεις των περιττωμάτων στους 35°C.

Τα περιττώματα 1 U.G.B (Unite Gros betail = βοοειδές 600 kg ) = 0,9 l FOD/ημέρα (Fuel oil Domestiques (πετρέλαιο καθημερινής χρήσης) μεικτό = 0,7 l καθαρού.

Σχηματική διάταξη χωνευτήρων συνεχούς τροδοφότησης.




Διάταξη εγκατάστασης αναερόβιας ζύμωσης συνεχούς τροφοδότησης με την παραγωγή βιοαερίου προερχόμενο από κοπριές.

Επί πλέον από την παραγωγή βιοαερίων, η μεθανική ζύμωση μας εξασφαλίζει μια ελάττωση των απορριμμάτων δηλαδή: 60% του $B.AO_5$ (βιολογικά Απαιτούμενου Οξυγόνου την 5η ημέρα). Η πραγματοποιούμενη έτσι οικονομία δεν είναι αμελητέα ιδίως στις περιπτώσεις των κοπριών χοίρων οι οποίες αποτελούν μια σημαντική μόλυνση και δύσκολη να υποστεί επεξεργασία. Επί πλέον οι κοπριές και τα απορρίμματα μετά την μεθανοποίηση διατηρούν όλα τα στοιχεία που τα καθιστούν γόνιμα: ιδιαίτερα το άζωτο και τα ανόργανα στοιχεία: Το Ξ.Υ ελαττώνεται περίπου στο 1/2 και ο όγκος του δεν μεταβάλλεται, έτσι δεν χρειάζεται πρόσθετη ποσότητα λιπάσματος για μια ορισμένη αγροτική έκταση: Τουναντίον η κοπριά είναι πιο ρευστή, άοσμη και σταθεροποιημένη.

Το βιοαέριο, μείγμα αεριούχο περιλαμβάνει κατ' όγκο: 60% μεθανίου (50-80%) και 35% $CO_2$ (20-45%) και 5% διάφορα σώματα των οποίων το $H_2S$ είναι οξειδωτικό για τον χαλκό και τα κράματά του ακόμη και αν είναι σε μικρή περιεκτικότητα (2000 PPM) και μερικές φορές και αμωνία. Ανάλογα με τη χρησιμοποίηση του βιοαερίου είναι λοιπόν απαραίτητο να αφαιρέσουμε το ένα ή και το σύνολο $H_2S$ και $CO_2$. Για το πρώτο με κατακράτιση σε ενεργό άνθρακα ή (με) διέλευση σε οξείδιο του σιδήρου. Για το δεύτερο με πλήση με νερό υπό πίεση: υπό πίεση 70 bar μπορούν να αφαιρεθούν 6 kg $CO_2$/ανά 100 L νερού.

Το λαμβανόμενο βιοαέριο περιέχει υγρασία και είναι απαραίτητο να το ξηράνουμε. Ανάλογα με τη σπουδαιότητα της εγκατάστασης μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφοροι τρόποι. Κατακράτηση με στερεό χλωριούχο ασβέστιο, σε μέτρια πίεση: 5,2 απόλυτη πίεση (bar) επιτρέπει να χαμηλώσει το σημείο δρόσου στους $0^{\circ}C$.

Στην έξοδο του χωνευτήρα το βιοαέριο αποθηκεύεται μετά από καθαρισμό ή όχι είτε σε αποθήκες εύπλαστες κατασκευασμένες από πανί εμποτισμένα με P.V.C ή με νεοπρέν σε μια πίεση 0,1 mbar. Αυτό το είδος της αποθήκευσης ταιριάζει σε μικρούς όγκους βιοαερίου, (μερικές εκατοντάδες $m^3$) απαιτεί μια προστασία ελαφρά και καλά αεριζόμενη, είτε μέσα στα αεριοφυλάκια με μεταλλικό κόδωνα με παρέμβασμα νερού. Η πίεση είναι της τάξης μερικών mbars ή δεκάδες mbars. Μπορούμε επίσης να το συμπιέσουμε για αποθήκευση σε μεταλλικές δεξαμενές τύπου GPL: μέχρι 4 bar χωρίς κανένα κανονισμό, για αποθήκευση σε πίεση 10-40 bars ή περισσότερο υπάρχουν κανονισμοί.

Στην περίπτωση χρησιμοποίησης βιοαερίων σε κινητήρες μετακινούμενους η αποθήκευση γίνεται σε φυάλες χαμηλής πίεσης (Χ.Π) 40 bar και σε φυάλες υψηλής πίεσης (Υ.Π) 150 έως 300 bars. Αυτή η αποθήκευση απαιτεί ένα καθαρισμό πλήρη και ξήρανση του μεθανίου. Το βιοαέριο μπορεί λοιπόν να χρησιμοποιηθεί σαν καύσιμο σε σταθερούς κινητήρες π.χ.:ηλεκτροπαράγωγα ζεύγη, αντλίες κινούμενες με κινητήρα, αγροτικές μηχανές σταθερές και κινητήρες μεταφερόμενους: τρακτέρ, διάφορες άμαξες. Η πιο απλή λύση και η πιο φθηνή είναι πάντοτε η χρησιμοποίηση του βιοαερίου σαν καύσιμο βιομηχανικό και οικιακό που δεν απαιτεί γενικά παρά ένα απλό καθαρισμό από το $H_2S$. Η περιοχή εφαρμογής είναι ευρεία: γκαζιέρες, θέρμανση νερού, καυστήρες διαφόρων ισχύων, θερμαντικές πλακες κ.λ.π.

Η θερμογόνος δύναμης του βιοαερίου είναι όταν είναι ακαθάριστο 5500 Kcal (ή 8400 kcal μετά από καθαρισμό) και F.O.D = 0,65 lt χωρίς καθαρισμό ή 1 lt μετά από καθαρισμό.

ΕΠΙΔΟΤΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΓΑΛΛΙΚΟΥ ΚΡΑΤΟΥΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΗΣ ΜΕΘΑΝΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΩΝ ΖΩΪΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ:

Από το 1979 ετέθη σαν στόχος από Γάλλους ειδικούς το 1-1,5 εκατ. ΤΕΡ μέχρι το 1990 (1 τόννος ισοδύναμων πετρελαίων=4200 $Nm^3$ καθαρού βιοαερίου) τον Απρίλιο του 81 ο οργανισμός ο επιφορτησμένος με τα προβλήματα Ενέργειας στη Γαλλία, η COMES, η Agence National pour la Valorisation de la Recherehe(ANVAR) και η Mission Energa du Ministere de l'Agriculture οργανώνει μια επίσκεψη στους βιομηχάνους και τα Γραφεία Μελετών για να τους προτρέψει να κατασκευάσουν χωνευτήρες ζωϊκών αποβλήτων (κοπριές, κουτσουλιές, σβουνιές), τεχνιτά αξιόπιστους και οικονομικά ανταποκρίσιμους στον αγροτικό κόσμο. Από πλευράς επίδειξης του συστήματός τους οι βιομήχανοι θα πρέπει να διαλέξουν μια ή πολλές αγροτικές εκμεταλεύσεις για να τοποθετήσουν με την συγκατάθεση του αγρότη τις συσκευές παραγωγής, ελέγχου και χρήσης του βιοαερίου.

Μετά από σύγκριση των ενδιαφερομένων οργανισμών τα προγράμματα βοηθήθηκαν οικονομικά μ΄αυτό τον τρόπο:

Για αγροτικές εκμεταλλεύσεις: Επιδότηση 25% του ύψους του προγράμματος που παρέχει η COMES; 25% έκπτωση από τον βιομήχανο.

Για τις βιομηχανικές εκμεταλλεύσεις: Δάνειο 25% του ύψους του προγράμματος με τόκο 1% που παρέχεται από την ANVAR. Το πρόγραμμα άρα βοηθείτε σε ύψος 75% και 25% παρέχεται από τον αγρότη.

85 προτάσεις έχουν έτσι πρωτοκοληθεί που αντιπροσωπεύουν 51 συστήματα: 13 συστήματα τα οποία παρουσιάσθηκαν σε 15 περιοχές διακρίθηκαν τόσο στον τεχνικό τομέα όσο και στον οικονομικό. Σε 15 περιοχές επιδοτήθηκαν (εκτός από το πρόγραμμα της COMES και της ANVAR), για την τεχνική έρευνα και ανάπτυξη γιατί η βαθμίδα οριμότητά τους δεν ήταν ικανοποιητική. Παράλληλα με αυτή την οικονομική προτροπή έχει αποφασισθεί μια τεχνική πλαισίωση της επιχείρησης για να εξαφαλισθεί προ πάντος ένας έλεγχος των αποτελεσμάτων. Αυτό το τμήμα δόθηκε στην GIDA (Groupement Inter-Instituts des Dejections Animales) που προέρχεται από το Τεχνικό Αγροτικό Ινστιτούτο στο οποίο έχει ανατεθεί ο ρόλος σύμβουλου διδασκαλίας και έρευνας στους τομείς των βοοειδών, χοίρων, πτηνών, προβάτων - αιγοειδών για να βοηθήσει την αγροτική ανάπτυξη στη Γαλλία. ΄Ενα πρόγραμμα μέτρησης των εγκαταστάσεων Μεθανοποίησης ήταν το αντικείμενο ενός ακριβούς τεχνικού πρωτοκόλλου με σκοπό να διαπιστωθούν:

1. ΄Ενα ενεργητικό ισοδύναμο: ποσότητα παραγομένου αερίου σχετικά με ένα όγκο του χωνευτήρα, ένα τύπο υλικού, σε ένα χρόνο ζύμωσης, καταναλισκόμενη ποσότητα ενέργειας, για τη λειτουργία της εγκατάστασης και για τις διάφορες χρήσεις με διαχωρισμό στο χειμώνα και το καλοκαίρι.

2. Ισοζύγιο υλικών: Ποσοτική εκμετάλλευση και ποσοτική των προϊόντων που χωνεύθηκαν, των προϊόντων που προήλθαν από τη χώνευση: προϊόντα χωνευμένα και παραχθέν βιοαέριο.

3. ΄Ενα ισοδύναμο χρόνου - εργατικών: το οποίο περιλαμβάνει τον χρόνο για την συντήρηση των υλικών και την λειτουργία της εγκατάστασης, τον χρόνο για την αντικατάσταση των υλικών και την ξανααποκατάσταση της λειτουργίας της εγκατάστασης.

4. Τεχνολογική αξιοπιστία: Αυτός ο έλεγχος έγινε από το 1982 σε μια πενηνταριά εγκαταστάσεις. Διήρκησε περίπου 1 χρόνο. Ο έλεγχος άρχισε 2 μήνες μετά την εκκίνηση του χωνευτήρα. Οι καταχωρημένες παραμέτρους ήταν οι ακόλουθες:

Ημερήσιες: Παραγόμενο βιοαέριο, χρησιμοποιούμενο βιοαέριο, ενέργεια αυτοκαταναλισκόμενη, όγκος του διεργαζομένου υλικού.

Μηνιαίες: Σύσταση του βιοαερίου, ανάλυση του υλικού (πριν και μετά την μεθανοποίηση). Υλικά ξηρά (Υ.Ξ.) και οργανικά Υλικά (Ο.Υ.) Azote Kjeldhal , Αμωνιούχο άζωτο, Ζήτηση χημική σε οξυγόνο ολικού ή διαλυτού οξυγόνου. Πτυτικά λιπαρά οξέα (μερικές φορές).

Η κατανομή των εγκαταστάσεων που ελέχθηκαν είναι η ακόλουθη:

| Περιττώματα | | Κοπριές | | | Διακεκομένο | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Σύστημα συνεχές | Σύστημα συνεχές | Σύστημα διακεκ. | Μεσόφυλλη | θερμοφύλλη | Μεσοφύλλη | |
| χοίροι 20 | 1 | 2 | Ατ.ανάμειξη 35 | 1 | υλικό διεργαζόμενο βυθισμένο σε υγρό μετά από αερισμό βεβαιωμένης κυκλοφορίας 1 στατικό 4. | |
| Πτηνά 3 | 2 | 1 | Σταθ.κλίνης 5 | | | |
| Βοοειδή 10 | 7 | 13 | Επαφής 1 | | | |
| Πρόβατα - | 1 | 1 | με εμβλισμό 2 | | | |

Οι ληφθείσες επιδόσεις: παραγωγή βιοαερίου, σύνθεση έχουν συγκρίσιμες επιδόσεις με τα ανακοινωθέντα αποτελέσματα στις επιστημονικές ανακοινώσεις.

Οι αποσβέσεις των χρηματοδοτήσεων βασιζόμενες μόνο στη χρησιμοποίηση του βιοαερίου περιλαμβάνονται μεταξύ 5-12 χρόνια πρέπει να σημειωθεί ότι πέρα από 10 χρόνια οι επιχειρήσεις δεν λαμβάνονται υπ' όψη στο πλαίσιο του προγράμματος.

Μια και το οριστικό ισοζύγιο του συνόλου του προγράμματος δεν έχει ακόμη ξεκαθαρισθεί ένας ορισμένος αριθμός κυρίων σημείων έχει εκλεγεί:

1. Η μεθανοποίηση δεν είναι μόνο σαν μια σειρά ενεργητικής αξιοποίησης των αποβλήτων αλλά ακόμη ένας τρόπος αποδόμοσης και ελάττωσης των βλαβερών, που είναι ιδιαίτερα οικονομικά και σε ενέργεια σε σχέση με τις κλασικές μεθόδους οξυγόνωσης.

2. Το μέγεθος των κτηνοτροφικών εγκαταστάσεων που είναι ενδιαφέρουσες είναι αυτές που επιτρέπουν να έχουμε την καλύτερη σχέση "ενεργητικού δυναμικού" και την "ελάττωση των επιβλαβών" δηλαδή: 1000 θέσεις χοίρων, 100 UGB (Μονάδες μεγάλων ζώων) τουλάχιστον ή ισοδύναμα. Αυτό δεν αποκλείει την χρησιμοποίηση της μεθανοποίησης σε κτηνοτροφεία μικρότερου ενδιαφέροντος υπό τον όρο να συγκεντρώνουν ένα σύνολο ευνοϊκών συντελεστών: Δυνατότητα κατασκευής από τον ίδιο το χρήστη που βελτιώνει το κόστος της εγκατάστασης, χρησιμοποίηση της ενέργειας σε μεγάλο αριθμό των μηνών του έτους. Ευκολία διασκορπισμού, βελτιωμένη λόγω της αποόσμησης κ.λ.π.

3. Μια κατανάλωση ενέργειας σημαντική υπό θερμική μορφή ή ηλεκτρική (θέρμανση νεογνών χοίρων, παραγωγή γενοτροφών, πότισμα κλπ).

4. Η Agence Francaise pour la Maitrise de l'Energie (AFME) που αντικατέστησε την COMES το 1981, απεφάσισε να κάνει το 1985 μια εκστρατεία διάδοσης του μεθανίου από απορρίμματα χοίρων καί βοοειδών με κριτήρια όπως: ένα μέγεθος ζωοκομικής εγκατάστασης 100 UGB, 1000 θέσεις

χοίρων, που έχουν σημαντικούς όγκους αποβλήτων λίγο διαλυτών, ικανών για μεθανοποίηση.

. Μια κατανάλωση σημαντική ενέργεια, υπό θερμική μορφή ή ηλεκτρική.
. Η ύπαρξη δυσκολειών διασκόρπισης και ή αν θέλουμε να ελαττώνουμε τα βλαβερά.

50 προγράμματα θα είναι το αντικείμενο των χρηματοδοτικών ενισχύσεων κατά τον ακόλουθο τρόπο: Έξη βιομήχανοι επελέγησαν στην Γαλλική επικράτεια μετά από τα αποτελέσματα της εκστρατείας COMES-AFME το 1981 να πραγματοποιήσουν τις μελέτες αξιοπιστίας στις εκλεγείσες εγκαταστάσεις από τις βιομηχανίες με μελέτες δωρεάν για τους κτηνοτρόφους του κόστους των εκτιμηθηθέντων σε 41.000 $F_r \approx$ 610.000 δραχμές επικουρούμενες κατά 70%, και 30% μένουν σε βάρος των βιομηχάνων.

Στη συνέχεια το μισό των καλύτερων προτάσεων θα είναι το αντικείμενο κατασκευής μιας εγκατάστασης μεθανοποίησης με επιχορήγηση της AFME κατά 33% από τον βιομήχανο που θα πραγματοποιήσει την μελέτη. Η μελέτη της δυνατότητας κατασκευής που γίνεται πριν από την πραγματοποίηση της εγκατάστασης μεθανοποίησης απαιτεί μια εκτίμηση πολύ ακριβή της ποσότητας και της ποιότητας των παραμέτρων που θα διεργασθούν καθώς και τις ανάγκες σε ενέργεια της κτηνοτροφίας για να μπορούν να καλυφθούν από την παραγωγή του βιοαερίου. Ξεκινώντας από αυτές τις πληροφορίες θα λογαριάσουμε απ' ευθείας τόσο τη διαστασιολόγηση της εγκατάστασης, όπως και τον τρόπο λειτουργίας και την οικονομική της απόδοση. Αυτή η μελέτη θα καθορίσει τον όγκο των προς διεργασία υλικών, την ποιότητα των υλικών, την απογραφή των ενεργητικών καταναλώσεων. 10 αναλύψεις για ανάλυση θα προσδιορίσουν τα: Ξ.Υ, Ο.Υ, PH, $NNH_3$ (αμωνιούχο άζωτο). Χ.Α.Ο. - ολικό και διαλυτό (αν το υλικό έχει λίγώτερο 6% Ξ.Υ.).

Αυτή η εθνική ενέργεια συμπληρώνεται σε περιφερειακό σχέδιο από τις επιτροπές, των μεγάλων Γαλλικών οικονομικών περιφερειών της AFME. Θα επιτρέψει να αυξήσουμε τον αριθμό των κτηνοτροφιών οι οποίες είναι το αντικείμενο μιας βοήθειας. Σαν συμπέρασμα, η θέληση εκφραζόμενη από Δημόσιες Γαλλικές Υπηρεσίες δια μέσου διαφόρων ενεργειών δείχνει από τη μια πλευρά το ενδιαφέρον στη ενεργητική χρησιμοποίηση της βιομάζας και ειδικώτερα της Μεθανοποίησης των αζωτούχων αποβλήτων αγροτικής προέλευσης, βιομηχανικής ή πολεοδομικής.

Έτσι έχουμε πάρει από ενεργητική εκμετάλλευση των ζωϊκών αποβλήτων απέχει από το να είναι αμελητέο.

Άλλες βοήθειες χρηματικές δίδονται εξ άλλου στη βιομηχάνιση και τους αγρότες στον τομέα της Μεθανοποίησης υπό την αιγίδα κυρίως:

Πολλών υπουργείων όπως: Υπουργείο Βιομηχανίας και Εξωτερικού Εμπορίου, Υπουργείο Έρευνας και Τεχνολογίας και Τράπεζες. Οι Τράπεζες δημιούργησαν εταιρείες χρηματοδότησης ενέργειας: οικονομικά και παραγωγή ενέργειας οι οποίες δίδουν δάνεια ολικά ή μερικά για την πραγματοποίηση των εγκαταστάσεων με επιτόκια ευνοϊκά: 2-3% κάτω από τα υφιστάμενο νόμιμο επιτόκιο.

Στα 1990 η Γαλλία θα πρέπει να πραγματοποιήσει τους στόχους που καθορισε από το 1979 στο πεδίο της μεθανοποίησης των κτηνοτροφικών αποβλήτων που είναι μέρος του συνόλου των Ανανεωσίμων Μορφών Ενέργειας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:

Extraits de l'étude de la DETN du Gaz de France, auteur G. DONAT des Principes fondamentaux des mécanismes de production de Biogaz, par J.D.FINCK, Ingénieur de recherche Elf-Biorecherche et G.GOMA, professeur à l'INSA: Génie Biochimique et Agroalimentaire.

Méthanisation des déjections animales: consultation digesteurs 1981 - COMES

Agence Francaise pour la Maitrise de l'Energie Paris: objectifs du suivi GIDA - AFME, et Méthanisation des effluents liquides d'élevage : opération de prédiffusion des lisiers de porcs et bovins.

ΒΙΟ-87

# ΑΙΘΑΝΟΛΗ ΑΠΟ ΓΕΩΡΓΙΚΑ ΠΑΡΑΠΡΟΪΟΝΤΑ ΣΕ ΣΤΗΛΕΣ ΑΚΙΝΗΤΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ

Ε.Γ. Κούκιος, Δ. Οικονομίδης, Θ. Τσούτσος, Γ.Χατζούδης και Δ. Κέκος

Τομέας Σύνθεσης και Ανάπτυξης Βιομηχανικών Διαδικασιών
Τμήμα Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ, Αθήνα 106 82

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αναλύεται το πρόβλημα της επιλογής βιαντιδραστήρα και οι επιπτώσεις του για τη βιωσιμότητα της τεχνολογίας βιομετατροπής των γεωργικών παραπροϊόντων σε καύσιμη αιθανόλη. Παρουσιάζονται πειραματικά αποτελέσματα από αλκοολική ζύμωση σε στήλη ακινητοποιημένων μικροοργανισμών (S. cerevisae), με πληρωτικό υλικό θηραϊκή γη. Προσδιορίζονται οι συνθήκες λειτουργίας της στήλης για επίτευξη της μέγιστης παραγωγικότητας σε αιθανόλη και γίνεται σύγκριση με την παραγωγικότητα των αντίστοιχων βιοαντιδραστήρων διαλείποντος έργου και συνεχούς έργου με πλήρη ανάδευση.

ΛΕΞΕΙΣ - ΚΛΕΙΔΙΑ : βιόμαζα, αιθανόλη, αλκοολική ζύμωση, S. cerevisae, στήλη ακινητοποιημένων μικροοργανισμών.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ενώ οι εκτιμήσεις για τη διαθεσιμότητα του πετρελαίου και των άλλων μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας διαφέρουν σημαντικά, φαίνεται να υπάρχει γενική συμφωνία πως η εξάντλησή τους είναι τελικά αναπόφευκτη(1).
Για το λόγο αυτό, έχει δοθεί τα τελευταία χρόνια μεγάλη βαρύτητα στην έρευνα για την αξιοποίηση ανανεώσιμων ενεργειακών πηγών, με στόχο την κάλυψη ενός συνεχώς αυξανόμενου τμήματος των ενεργειακών αναγκών (2).

Μια από τις σπουδαιότερες τέτοιες εναλλακτικές πηγές ενέργειας για τη χώρα μας είναι η βιόμαζα, κυρίως με την μορφή των γεωργικών παραπροϊόντων (3). Σύμφωνα με πρόσφατες εκτιμήσεις, τα διαθέσιμα για αξιοποίηση ποσά των υλικών αυτών ισοδυναμούν, σε πρωτογενή ενέργεια, με πάνω από το 20% τωνεθνικών αναγκών (4). Από τις διάφορες τεχνολογικές λύσεις που έχουν προταθεί για την μετατροπή της βιόμαζας σε καύσιμα, αέρια (μεθάνιο, υδρογόνο, προϊόντα θερμοχημικής αεριοποίησης), υγρά (αιθανόλη, μεθανόλη, συνθετικά καύσιμα) ή στερεά (καυσόξυλα, μπρικέτες, ξυ-

λάνθρακες), ξεχωρίζει η βιομετατροπή σε αιθανόλη, για μια σειρά λόγους που αναλύονται αλλού (5-7).

Το βασικό εμπόδιο για τη χρησιμοποίηση αιθανόλης σε υποκατάσταση βενζίνης είναι οικονομικής υφής. Το κόστος παραγωγής της αιθανόλης είναι διπλάσιο από εκείνο της μεθανόλης (που μπορεί να παραχθεί στην Ελλάδα από λιγνίτη) σε ενεργειακή βάση (8). Για να μπορέσει λοιπόν η βιοχημικά παραγόμενη αλκοόλη να ανταγωνιστεί τα άλλα υποψήφια εναλλακτικά καύσιμα, θα πρέπει το κόστος παραγωγής της να μειωθεί σημαντικά. Όπως προκύπτει από τη σχετική ανάλυση (7), ένα από τα σημεία της τεχνολογίας βιομετατροπής, που επιδέχεται βελτιώσεις με σοβαρά αποτελέσματα για την οικονομικότητα της όλης διαδικασίας, είναι εκείνο του βιοαντιδραστήρα.

ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ ΑΚΙΝΗΤΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ

Στους βιοαντιδραστήρες διαλείποντος έργου (batch) απαιτούνται τουλάχιστον 22h για την πλήρη ζύμωση των σακχάρων του υποστρώματος σε αιθανόλη, με την προϋπόθεση ότι το υπόστρωμα είναι απαλλαγμένο από ουσίες που παρεμποδίζουν τη ζύμωση (9). Για την επίτευξη μικρότερων χρόνων παραμονής χρησιμοποιούνται βιοαντιδραστήρες συνεχούς έργου με πλήρη ανάμειξη (CSTR), όπου ο ρυθμός ανάπτυξης του ζυμομύκητα είναι 9πλάσιος από εκείνον της ασυνεχούς καλλιέργειας (10).

Όμως στα συστήματα συνεχούς έργου η αύξηση του ρυθμού αραίωσης με την αύξηση της παροχής οδηγεί σε ταχεία απομάκρυνση της καλλιέργειας από τον βιοαντιδραστήρα και, τελικά, σε ολική έκπλυσή της (wash - out). Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται μερικά με ανακύκλωση, αλλά η παρουσία τοξικών συστατικών μπορεί - περιορίζοντας το ρυθμό ανάπτυξης του μικροοργανισμού - να προκαλέσει και πάλι ολική έκπλυση. Τα προβλήματα αυτά βρίσκουν τη λύση τους με τη χρησιμοποίηση αντιδραστήρων ακινητοποιημένων μικροοργανισμών (ΑΑΜ) (10,11).

Στους ΑΑΜ το υπόστρωμα διοχετεύεται συνεχώς μέσα από ένα στρώμα μικροοργανισμών προσκολλημένο σε ένα αδρανές πληρωτικό υλικό. Το υλικό αυτό συγκρατεί τους μικροοργανισμούς, επιτρέποντας έτσι υψηλούς ρυθμούς αραίωσης, μεγαλύτερους από τον ειδικό ρυθμό ανάπτυξης της μικροβιακής βιόμαζας. Παράλληλα, η βιολογική στοιβάδα συμπεριφέρεται ως σταθερή κλίνη, παρουσιάζοντας αυξημένη σταθερότητα απέναντι τόσο σε τυχόν τοξική δράση του υποστρώματος όσο και σε μεταβολή της παροχής τροφοδοσίας. Επίσης, η ακινητοποίηση συνεπάγεται χαμηλότερο ιζώδες για την υγρή φάση, άρα και βελτιωμένη ανάμειξη και μεταφορά μάζας κατά τη βιομετατροπή. Τέλος, με την κατάλληλη επιλογή πληρωτικού υλικού επιτυγχάνεται εκλεκτική απορρόφηση θρεπτικών συστατικών στη διεπιφάνεια στερεού-υγρού, άρα και υψηλότερη συγκέντρωση θρεπτικών στη στοιβάδα των μικροοργανισμών, με τελικό αποτέλεσμα υψηλότερη παραγωγικότητα (12,13).

Ένα μειονέκτημα των ΑΑΜ είναι οι περιορισμένες δυνατότητες ελέγχου της φυσιολογικής κατάστασης των μικροοργανισμών. Το μειονέκτημα αυτό είναι ιδιαίτερα σοβαρό στις βιομετατροπές, όπου το βασικό προϊόν προκύπτει ως πρωτογενές ή δευτερογενές αποτέλεσμα μεταβολισμού και παράγεται μόνο στις φάσεις στασιμότητας ή κάμψης της καμπύλης ανάπτυξης (14). Ένα άλλο μειονέκτημα, που ενδιαφέρει στην περίπτωση της αλκοολικής ζύμωσης φυσικών υποστρωμάτων, είναι η δυνατότητα κατάλυσης περισσότερων βιοαντιδράσεων, με αποτέλεσμα χαμηλή εκλεκτικότητα. Ακόμα, η φυσική ακινητοποίηση των μικροοργανισμών επιμηκύνει την περίοδο έναρξης (start-up), που μπορεί να φτάσει έτσι τις 8 εβδομάδες. Απέναντι στα διάφορα προβλήματα που θέτει η λειτουργία των ΑΑΜ, ιδιαίτερα κατά τη φάση της έναρξης, διαθέτουμε πολύτιμη πείρα από την πολυετή χρησιμοποίηση ΑΑΜ σε μεικτές καλλιέργειες για το βιολογικό καθαρισμό υγρών αποβλήτων (βιολογικά φίλτρα) (13).

Το κόστος του πληρωτικού υλικού αποτελεί ένα από τα καθοριστικά στοιχεία για την οικονομικότητα της τεχνικής αυτής. Η χρησιμοποίηση φθηνών εγχώριων υλικών με ικανοποιητικές ιδιότητες και απλότητα στη διαχείρισή τους μπορεί έτσι να συντελέσει αποφασιστικά στην υιοθέτηση των ΑΑΜ σε βιομηχανική κλίμακα.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Μελετήθηκε πειραματικά η αλκοολική ζύμωση σε στήλη ακινητοποιημένων μικροοργανισμών με πληρωτικό υλικό θηραϊκή γή (ελαφρόπετρα). Στη φάση αυτή της έρευνας χρησιμοποιήθηκανδιαλύματα καθαρών ουσιών σε συγκεντρώσεις αντίστοιχες με αυτές που προκύπτουν από την υδρόλυση κυτταρινούχων και αμυλούχων γεωργικών παραπροϊόντων (15). Έγιναν πειράματα σε διάφορες τιμές της παροχής του υποστρώματος με στόχο τον προσδιορισμό της μέγιστης παραγωγικότητας σε αιθανόλη.

Χρησιμοποιήθηκε ο μικροοργανισμός Saccharomyces cerevisae, που προέρχεται από τη μαγιά αρτοποιΐας της βιομηχανίας ΖΑΑΕ. Ο ζυμομήκυτας αναπτύχθηκε αρχικά σε αερόβιες συνθήκες και στη συνέχεια ακινητοποιήθηκε στο πληρωτικό υλικό της στήλης. Η ελαφρόπετρα, προέλευσης Θήρας, αλέστηκε ως μέση διάμετρο 3mm και επενδύθηκε με ζελατίνη, που υπέστη πολυμερισμό διασταύρωσης (cross linking) με γλουτεραλδεΰδη.

Η πειραματική διάταξη περιγράφεται στο Σχήμα 1. Η στήλη έχει μήκος 25cm και διάμετρο 3cm. Ο συνολικός της όγκος είναι 177cm$^3$, ενώ ο κενός όγκος 95cm$^3$ (πορώδες 54%). Το υπόστρωμα ήταν διάλυμα γλυκόζης σε δύο συγκεντρώσεις 49,5 και 97g/L και αντίστοιχη περιεκτικότητα σε θρεπτικά (16), και τρεις τιμές παροχής, 80, 180 και 400mL/h. Το διάλυμα σακχάρων και θρεπτικών μετά την αποστείρωσή του (30min στους 121°C) διατηρείται σε δοχείο αποθήκευσης σε ψυγείο, από όπου αντλείται στην καθορισμένη παροχή από τον πυθμένα του δοχείου. Το διάλυμα περνά από εναλλάκτη θερμότητας, όπου θερμαίνεται στους 30°C, και

μετά από ρύθμιση του pH στο 4,1 περνά από φίλτρο αποστείρωσης και εισέρχεται στον βιοαντιδραστήρα, που βρίσκεται σε σταθερή θερμοκρασία 30°C. Κατά τη ζύμωση γίνεται δειγματοληψία από 5 σημεία της στήλης, που απέχουν, αντίστοιχα, 5,7, 10,5, 15,2, 18,5 και 21,5cm από τον πυθμένα της στήλης, καθώς και από την έξοδο. Η επίτευξη μονίμων συνθηκών (steady state) διαπιστώνεται από την σχετική σταθερότητα των συγκεντρώσεων των σακχάρων και της αιθανόλης στην έξοδο με απόκλιση ± 1%. Η ανάλυση αναγωγικών σακχάρων έγινε με τη μέθοδο Schoorl-Regenbogen (17)και της αιθανόλης με τη μέθοδο οξείδωσης με διχρωμικά (18).

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στα Σχήματα 2α και 2β παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων, για τις διάφορες τιμές συγκεντρώσεων και παροχών που δοκιμάστηκαν στη στήλη. Από τα αποτελέσματα αυτά φαίνεται ο σημαντικός ρόλος της αύξησης της παροχής, που γίνεται δυνατή με τη χρησιμοποίηση του συγκεκριμένου είδους αντιδραστήρα. Έτσι, για παροχή 80mL/h παρατηρείται στην έξοδο της στήλης απομείωση των σακχάρων κατά (περίπου) 20%, για παροχή 180mL/h 50%, ενώ για παροχή 400mL/h 70%, όταν η συγκέντρωση της γλυκόζης στο υπόστρωμα είναι 49,5g/L. Τα αντίστοιχα νούμερα για συγκέντρωση γλυκόζης 97g/L είναι (περίπου) 15%, 35% και 60%. Η διαφορά αυτή στο ποσοστό μετατροπής με την αύξηση της συγκέντρωσης του υποστρώματος μπορεί να αποδοθεί, σε πρώτη προσέγγιση, στη συμπεριφορά των ΑΑΜ (βλέπε τα προηγούμενα) καθώς και σε πιθανά φαινόμενα παρεμπόδισης από υψηλή ενδοκυτταρική συγκέντρωση προϊόντος (9). Πλήρης ανάλυση της συμπεριφοράς του συστήματος θα δημοσιευτεί αλλού (15).

Στο Σχήμα 3 δείχνεται η εξάρτηση της παραγωγικότητας της στήλης, σε g αιθανόλης ανά L βιοαντιδραστήρα και h, ως προς την ταχύτητα χώρου αντιδραστήρα, σε $h^{-1}$, που εκφράζει τη σχέση του όγκου του ζυμωτήρα με την ογκομετρική παροχή του υποστρώματος. Φαίνεται καθαρά η ύπαρξη μιας optimum τιμής παροχής (για συγκεκριμένο μήκος αντιδραστήρα), που οδηγεί σε μέγιστη παραγωγικότητα. Παρατηρούμε ότι στην υψηλή συγκέντρωση τροφοδοσίας η μέγιστη παραγωγικότητα εμφανίζεται σε σημαντικά μικρότερη τιμή της ταχύτητας χώρου αντιδραστήρα (δηλαδή της παροχής, για σταθερό όγκο αντιδραστήρα ή μήκος στήλης) από ό,τι στην χαμηλή συγκέντρωση τροφοδοσίας, και είναι υψηλότερη κατά σχεδόν 50%.

Η επίδραση του είδους του βιοαντιδραστήρα στην μέγιστη παραγωγικότητα αιθανόλης φαίνεται στον Πίνακα 1, όπου έχουν συμπεριληφθεί αποτελέσματα από ζυμώσεις σε συστήματα διαλείποντος έργου (19) και συνεχούς έργου με πλήρη ανάμειξη (10). Είναι φανερή η υπεροχή τόσο των συνεχών ως προς τα ασυνεχή συστήματα, όσο και της στήλης σε σχέση με αναδευόμενο συνεχές σύστημα. Ταυτόχρονα διαπιστώνεται η ικανοποιητική συμπεριφορά της θηραϊκής γης ως πληρωτικού υλικού, σε συσχέτιση πάντα με τις συγκεκριμένες συνθήκες της εργασίας αυτής (12).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα κυριότερα συμπεράσματα από την πειραματική μελέτη είναι:
1. Η ικανοποιητική συμπεριφορά του εγχώριου υλικού, που χρησιμοποιήθηκε για την πλήρωση της στήλης.
2. Η δυνατότητα επίτευξης υψηλών βαθμών μετατροπής της γλυκόζης σε αιθανόλη (80,4-88,2% του θεωρητικού) με τη χρησιμοποίηση της στήλης.
3. Η δυνατότητα λειτουργίας του συστήματος σε ρυθμούς αραίωσης 2-3 φορές ανώτερους από τον ειδικό ρυθμό ανάπτυξης σε συνθήκες μέγιστης παραγωγικότητας.
4. Οι ευνοϊκές καταρχήν προοπτικές για εφαρμογή του ίδιου συστήματος για βιομετατροπή γεωργικών παραπροϊόντων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ

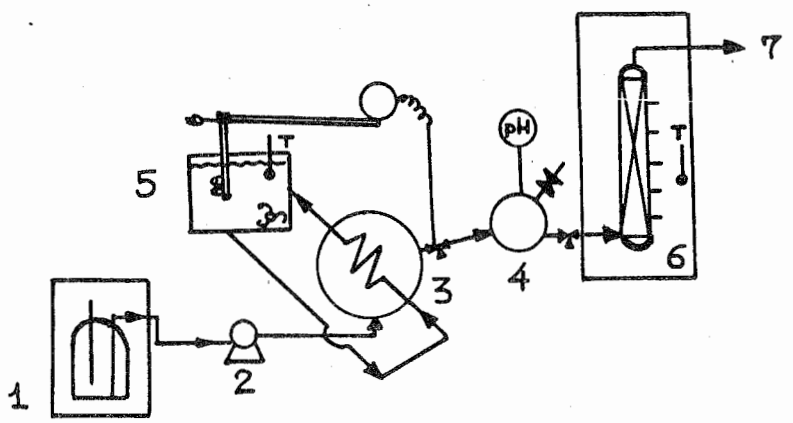
(1) C.L. Wilson (1977), Energy-Global Prospect 1985-2000, McGraw-Hill, New York.
(2) ΙΗΤ (1983), Συμπεράσματα από το 1ο Εθνικό Συνέδριο Ήπιων Μορφών Ενέργειας, ΙΗΤ, Θεσσαλονίκη.
(3) Ε.Γ. Κούκιος (1977), Πρακτικά Συνεδρίου "Το Ενεργειακό Πρόβλημα της Ελληνικής Οικονομίας Σήμερα", ΤΕΕ, Αθήνα.
(4) Ε.Γ. Κούκιος (1982), Εισήγηση για το Πενταετές Πρόγραμμα 1983-1987, Υπουργείο Βιομηχανίας και Ενεργείας, Αθήνα.
(5) W. Scheller and B. Mohr (1977), CHEM.TECH., 7 (10), 616.
(6) Ε.Γ.Κούκιος (1983), Πρακτικά Συνεδρίου "Ημέρες Βιοτεχνολογίας '83", ΥΠΕΤ, Αθήνα.
(7) Ε. Γ.Κούκιος et al.(1985), Πρακτικά 2ου Εθνικού Συνεδρίου Ήπιων Μορφών Ενεργείας, ΙΗΤ, Θεσσαλονίκη
(8) J.H.Keller (1979), Hydrocarbon Processing, April, 127-138.
(9) M.Shoda and S. Aiba (1969), J. Ferment.Technol. 47, 790-794.
(10) Μ. Παπαδογιαννάκης (1985), Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα.
(11) Γ. Χατζούδης (1985), Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα.
(12) O.C.Sitton and J.L. Gaddy (1980), Biotechnol. Bioeng., 22, 1735-1748.
(13) B. Atkinson (1974), Biochemical Reactors, Pion, London.
(14) Ε.Γ.Κούκιος και Δ. Κέκος (1985), Σημειώσεις Βιοχημικής Μηχανικής, ΕΜΠ, Αθήνα.
(15) Δ.Οικονομίδης (1985), Διδακτορική Διατριβή σε εξέλιξη ΕΜΠ, Αθήνα.
(16) Ε.Γ.Κούκιος (1982), Πρακτικά 1ου Εθνικού Συνεδρίου Ήπιων Μορφών Ενέργειας, τ.Β', Β10 115-122, ΤΗΤ, Θεσσαλονίκη.
(17) Σ.Γαλανός (1947), Χημεία Τροφίμων και Ευφραντικών, Παπαζήσης, Αθήνα.
(18) E.A.Dawes (1962), Quantitative Problems in Biochemistry; E.S. Livingstone, London.
(19) Ι. Γιακουμάτος (1984), Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1

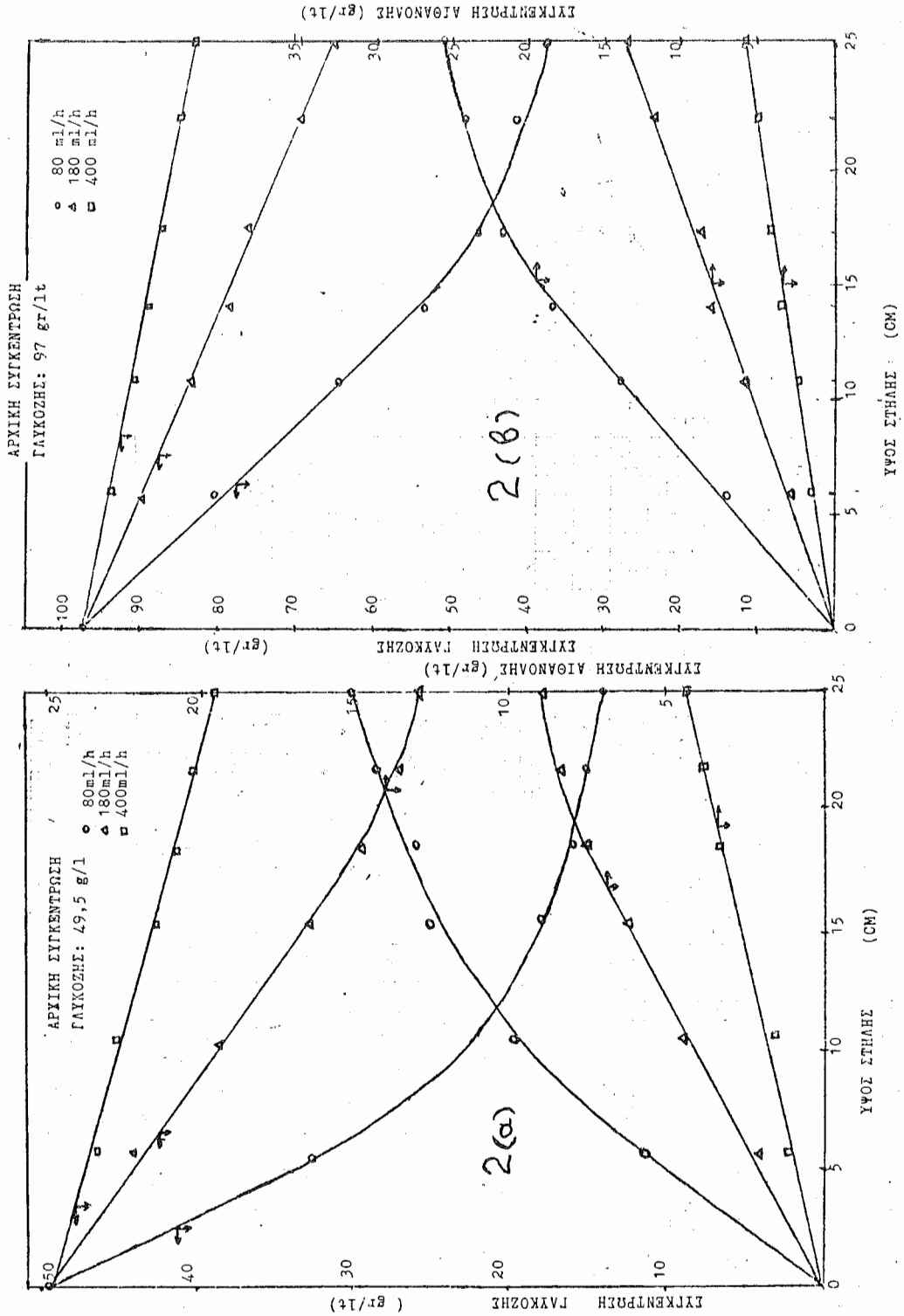
Επίδραση του είδους του βιοαντιδραστήρα στην παραγωγικότητα σε Αιθανόλη*

| ΕΙΔΟΣ ΖΥΜΩΤΗΡΑ | ΑΡΧ.ΣΥΓΚΕΝΤΡ. ΓΛΥΚΟΖΗΣ (g/L) | ΤΑΧΥΤ.ΧΩΡΟΥ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ ($h^{-1}$) | ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΟΤΗΤΑ ΑΙΘΑΝΟΛΗΣ (g/L h) |
|---|---|---|---|
| Διαλείποντος έργου | 20,1 | 0,042 | 0,4 |
| " " | 14,95 | 0,042 | 0,3 |
| Συνεχούς έργου με πλήρη ανάδευση | 50 | 0,062 | 1,4 |
| " " | 50 | 0,074 | 1,5 |
| " " | 50 | 0,093 | 1,8 |
| Στήλη Ακινητοποιημένων μικροοργανισμών | 49,5 | 2,5 | 20** |
| " " | 97 | 1,5 | 29,5** |

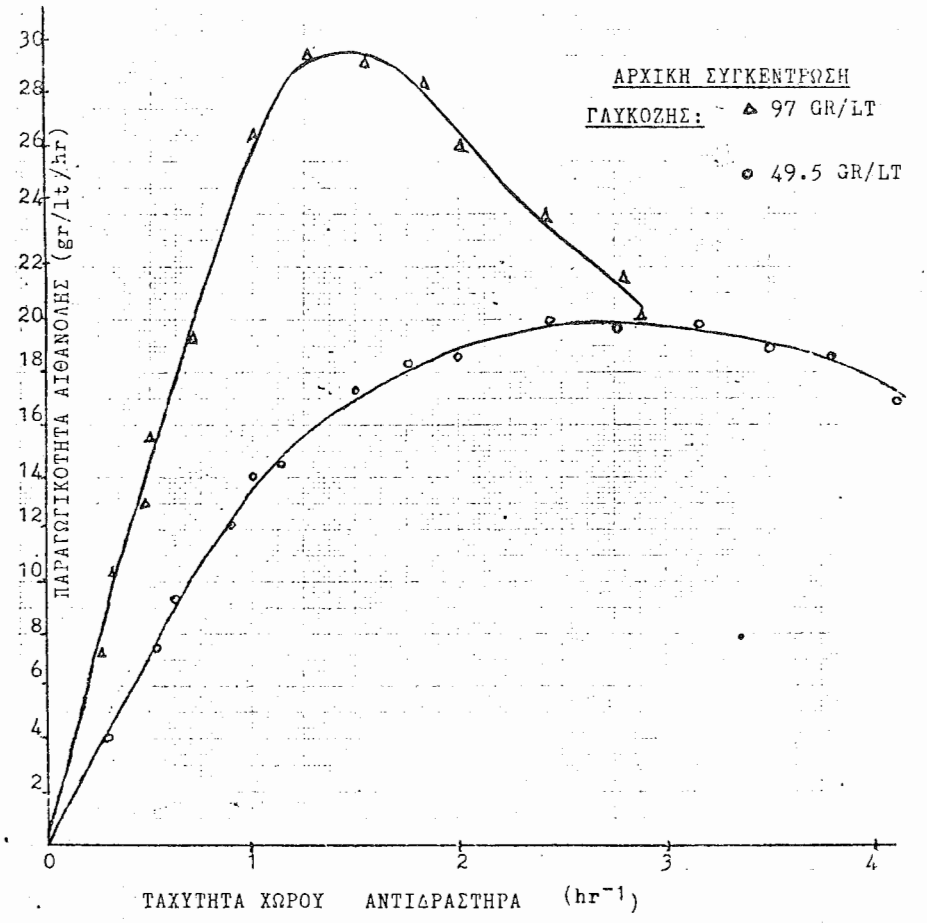
* 30°C, pH 4,1
** μέγιστη




ΣΧΗΜΑ 1 : Πειραματική διάταξη
1. Δοχείο αποθήκευσης, 2. Αντλία, 3. Εναλλάκτης θερμότητας, 4. Δοχείο ελέγχου, 5. Κυκλοφορητής ζεστού νερού, 6. Αντιδραστήρας, 7. Έξοδος υγρού.




ΣΧΗΜΑ 2 : Πειραματικά αποτελέσματα λειτουργίας της στήλης σε διάφορες παροχές και συγκεντρώσεις τροφοδοσίας.




ΣΧΗΜΑ 3: ΕΞΑΡΤΗΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΟΤΗΤΑΣ ΑΙΘΑΝΟΛΗΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΧΩΡΟΥ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ

BIO-95

# ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΛΚΟΟΛΗΣ ΑΠΟ ΑΓΡΟΤΙΚΑ ΠΑΡΑΠΡΟΪΟΝΤΑ: ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΤΕΧΝΙΚΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ

Ε.Γ.Κούκιος, Δ.Οικονομίδης, Θ.Τσούτσος και Δ.Κέκος

Τομέας Σύνθεσης και Ανάπτυξης Βιομηχανικών Διαδικασιών
Τμήμα Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ, Αθήνα 106 82.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Με τη βοήθεια συστηματικής επισκόπησης της διεθνούς βιβλιογραφίας και των εργασιών της Ομάδας Έρευνας για τη Βιόμαζα και τη Βιοτεχνολογία του ΕΜΠ, επισημαίνονται τα κυριότερα προβλήματα τεχνικού και οικονομικού χαρακτήρα για τη βιομηχανική παραγωγή ενεργειακής αιθανόλης. Η αναζήτηση λύσεων για τα προβλήματα αυτά παρουσιάζεται δυνατή μόνο μέσα από τη συστηματική και ολοκληρωμένη μελέτη της συνολικής παραγωγικής αλυσίδας βιόμαζα-συγκέντρωση-προκατεργασία-σακχαροποίηση-καθαρισμός-ζύμωση-διαχωρισμός-καύση.

ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ: βιόμαζα, αιθανόλη, ενέργεια, προκατεργασία, υδρόλυση, αλκοολική ζύμωση, ολοκληρωμένη προσέγγιση

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η περίπτωση της βιόμαζας είναι από τις πιο ενδιαφέρουσες των ήπιων/ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, κυρίως γιατί είναι η μόνη που μπορεί - με τις σημερινές τεχνολογικές δυνατότητες - να δώσει καύσιμες ύλες, αποφεύγοντας έτσι τα προβλήματα αποθήκευσης και μεταφοράς, που χαρακτηρίζουν τις υπόλοιπες ήπιες πηγές, μαζί με τα κυριότερα από τα μειονεκτήματα των ορυκτών πηγών καυσίμων (μη-ανανεώσιμο, υψηλή περιεκτικότητα σε θείο, διάφορες οικολογικές διαταραχές κλπ) (1). Ταυτόχρονα, καθώς οι περισσότερες από τις διαθέσιμες σήμερα για επεξεργασία μορφές βιόμαζας συνιστούν απόβλητα διαφόρων ειδών, η αξιοποίηση των υλικών αυτών εντάσσεται στις δραστηριότητες για προστασία του περιβάλλοντος (2).

Από τις διάφορες τεχνολογίες, που εξετάζονται σε διεθνή κλίμακα για τη μετατροπή της βιόμαζας σε καύσιμα, ξεχωρίζει η βιοχημική παραγωγή αιθανόλης, για το λόγο ότι βασίζεται σε γνωστές τεχνολογικές αρχές παράγοντας ένα υγρό καύσιμο, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υποκατάστατο πετρελαιοειδών καυσίμων δίχως σημαντική μεταβολή της σημερινής τεχνολογίας καύσης (3). Η ενεργειακή αλκοόλη μπορεί λοιπόν να παίζει το ρόλο της γέφυρας προς τον αυριανό "ηλια-

κό" - από ενεργειακή άποψη - κόσμο (4). Για την Ελλάδα, η παραγωγή ενέργειας μέσα από αυτό το δρόμο παρουσιάζει πρόσθετο ενδιαφέρον, καθώς επιτρέπει ομαλότερο και αποδοτικότερο πέρασμα στη βιοτεχνολογική εποχή (5).

Όμως, η μεταφορά σε βιομηχανικό επίπεδο της διαδικασίας παραγωγής καύσιμης αιθανόλης από βιόμαζα προσκρούει σε μια σειρά προβλήματα τεχνικού, οικονομικού, οικολογικού, κοινωνικού και πολιτικού χαρακτήρα, που γίνονται οξύτερα από το γεγονός ότι η κυριώτερη πηγή ζυμώσιμων σακχάρων στη χώρα μας είναι τα αγροτικά παραπροϊόντα (1,2,6,7). Στόχος της εργασίας αυτής είναι η συστηματική θεώρηση των κυριότερων τεχνικών και οικονομικών προβλημάτων, παίρνοντας ως βάση την παραγωγική αλυσίδα που οδηγεί από τη φωτοσύνθεση ως την τελική καύση του οινοπνεύματος (8).

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΕΠΙΛΟΓΗ ΠΡΩΤΗΣ ΥΛΗΣ

Για τη βιοχημική παραγωγή της αιθανόλης προσφέρονται αφενός τα διάφορα σακχαρούχα και αμυλούχα παραπροϊόντα και αφετέρου τα κυτταρινούχα κατάλοιπα. Το πρόβλημα είναι ότι, ενώ η τεχνολογία για τη βιομετατροπή των πρώτων είναι ήδη διαμορφωμένη και ώριμη για βιομηχανική εφαρμογή, ο όγκος των δεύτερων είναι σημαντικά ανώτερος, και μάλιστα χωρίς το παράλληλο πρόβλημα της επιλογής μεταξύ ενεργειακών και μη χρήσεων, που χαρακτηρίζει τα πρώτα (2,7).

Από άποψη δυναμικού, οι υπάρχουσες πρώτες ύλες σε εθνικό επίπεδο επαρκούν για παραγωγή αιθανόλης που ισοδυναμεί ενεργειακά με το σύνολο της καταναλισκόμενης βενζίνης (9). Δηλαδή, για την παραγωγή βενζινόλης (βενζίνη/αιθανόλη 85/15 κ.ο.), αρκεί η μετατροπή μόνο ενός ποσοστού κάτω από 20% του υφιστάμενου δυναμικού, που γενικά βρίσκεται μέσα στα όρια του εφικτού (6). Ιδιαίτερα αξιόλογες παρουσιάζονται οι δυνατότητες εφαρμογής σε περιφερειακό επίπεδο, όπως έχει αποδειχτεί από μελέτες για την Κρήτη, τη Θράκη και την Ήπειρο (10-12), όπου δείχνεται ότι οι τοπικές πηγές μπορούν να αξιοποιηθούν, εκτός από την παραγωγή ενέργειας, ως πρώτες ύλες για τρόφιμα, ζωοτροφές, χαρτί, δομικά υλικά, οργανικά χημικά και λιπάσματα. Κεντρικό πρόβλημα είναι η εκτίμηση της διαθεσιμότητας και καταλληλότητας των διαφόρων μορφών βιόμαζας, που μπορεί να αντιμετωπιστεί μόνο με τη βοήθεια κατάλληλων μοντέλων (13).

ΣΥΛΛΟΓΗ, ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΚΑΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ

Το βασικό πρόβλημα εδώ είναι η οικονομικότερη συγκέντρωση της πρώτης ύλης στη μονάδα επεξεργασίας. Το πρόβλημα αυτό είναι εντονότερο στην περίπτωση των καταλοίπων της καλλιέργειας (αχύρων, στελεχών κλπ), που παρουσιάζουν μεγάλη διασπορά στο χώρο, αλλά και πολύ σημαντικότερο δυναμικό, σε σχέση με τα κατάλοιπα των αγροτικών βιομηχανικών (φλοιοί, απορρίματα ξύλου κλπ) (14).

Για τον ορθολογικό σχεδιασμό του παραγωγικού κυκλώματος απαιτείται η εφαρμογή ενός μοντέλου, που να επιτρέπει την εκτίμηση του κόστους συγκέντρωσης. Ο Overend (15) πρό-

τεινε ένα απλό μοντέλο, που υπολογίζει το ετήσιο έργο μεταφοράς με βάση το μέγεθος της μονάδας, την έκταση της καλλιέργειας, την παραγωγικότητα του εδάφους, τη μορφολογία της περιοχής και τη γεωμετρία του οδικού δικτύου. Προσθέτοντας το κόστος (οικονομικό και ενεργειακό) της συλλογής καθώς και της αποθήκευσης των ογκωδών αυτών υλικών (φαινόμενη πυκνότητα κάτω από 0,5 Kg/L) μπορουμε να προσδιορίσουμε την άριστη μορφή του συστήματος συγκέντρωσης και, στη συνέχεια, να σχεδιάσουμε το σύστημα αυτό, που θα συνδέει τη φωτοσύνθεση με την ενεργειακή βιομηχανία (1,10,14).

Καθώς μεγάλο μέρος του κόστους συγκέντρωσης οφείλεται στη χαμηλή φαινόμενη πυκνότητα της βιόμαζας, θα ήταν ενδιαφέρον να εξεταστεί η εφαρμογή μεθόδων για τη συμπύκνωση των υλικών. Όμως η σακχαροποίηση της βιόμαζας, τόσο μέσω όξινης όσο και μέσω ενζυμικής κατάλυσης, επηρεάζεται αρνητικά από την ελάττωση του πορώδους και γενικά της διαθέσιμης επιφάνειας (16). Έτσι, το έργο μεταφοράς μπορεί να ελαττωθεί μόνο με ενδιάμεση κλασμάτωση των συστατικών της πρώτης ύλης (7), για την οποίαν έχει προταθεί η ιδέα των "αγροτικών διυλιστηρίων" (17).

## ΣΑΚΧΑΡΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΓΚΑΙΕΣ ΠΡΟΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ

Σε αντίθεση με το άμυλο, που υδρολύεται εύκολα τόσο με οξέα όσο και με ένζυμα, η σακχαροποίηση της κυτταρίνης προσκρούει σε σοβαρά εμπόδια. Ειδικότερα, η όξινη υδρόλυση των κυτταρινούχων υλικών με αραιά ανόργανα οξέα παρουσιάζει τα ακόλουθα προβλήματα:
- δυσκολία επίτευξης βαθμών μετατροπής σε γλυκόζη μεγαλύτερων από 50% λόγω της κινητικής που ακολουθείται (18),
- μόλυνση του σακχαροδιαλύματος από τα προϊόντα καταστροφής των σακχάρων,
- απαίτηση για ανθεκτικά σε οξέα υλικά κατασκευής, με αποτέλεσμα υψηλό πάγιο κόστος.

Εξάλλου, η υδρόλυση με πυκνά οξέα, ενώ αποφεύγει τα προβλήματα των χαμηλών αποδόσεων και - σε μικρότερο βαθμό - των μολύνσεων, παρουσιάζει το πρόβλημα της ανάκτησης και ανακύκλωσης του οξέος σε τεχνικά, αλλά κυρίως οικονομικά αποδοτικό βαθμό (19).

Η ενζυμική υδρόλυση της κυτταρίνης παρουσιάζει επίσης σοβαρά προβλήματα, που θα πρέπει να αντιμετωπιστούν προκειμένου να εφαρμοστεί βιομηχανικά, και συγκεκριμένα (20):
- χαμηλές αποδόσεις,
- χαμηλή ταχύτητα σακχαροποίησης,
- ευπάθεια απέναντι στις διάφορες ξένες ουσίες του υποστρώματος,
- υψηλό κόστος ανάκτησης και ανακύκλωσης ενζύμου.

Στους τεχνικούς και οικονομικούς αυτούς περιορισμούς θα πρέπει να προστεθεί η σχετικά περιορισμένη κατανόηση της δράσης του πολύπλοκου συμπλέγματος των κυτταρινασών (21).

Τα περισσότερα προβλήματα της σακχαροποίησης οφείλονται σε δύο σημαντικά χαρακτηριστικά των κυτταρινούχων υλικών: στην ύπαρξη κρυσταλλικών περιοχών στο κυτταρινικό πλέγμα και στην παρουσία της λιγνίνης, ενώ άλλα δομικά χαρακτη-

ριστικά τους που επιρρεάζουν, κυρίως την ενζυμική μετατροπή, είναι ο βαθμός διόγκωσης, οι διαστάσεις και ο βαθμός πολυμερισμού των μεγαλομορίων της κυτταρίνης, το μέγεθος και η διασπορά των καταλυτών, το είδος των υποκαταστατών της κυτταρίνης και των άλλων συστατικών της πρώτης ύλης, στερεοχημικοί παράγοντες κλπ (22).

Για την αντιμετώπιση λοιπόν των προβλημάτων της σακχαροποίησης απαιτείται η εισαγωγή της κατάλληλης φυσικής, χημικής ή βιοχημικής προκατεργασίας (23). Βασικοί τύποι προκατεργασιών είναι:

- Η μηχανική επεξεργασία, που με την αύξηση της διαθέσιμης επιφάνειας και την ελάττωση της κρυσταλλικότητας του υλικού βελτιώνει τόσο την όξινη (24) όσο και την ενζυμική (25) υδρόλυση. Το πρόβλημα της επεξεργασίας αυτού του τύπου είναι το υψηλό ενεργειακό της κόστος.
- Η απομάκρυνση της λιγνίνης ή - γενικώτερα - η θραύση των δεσμών λιγνίνης - υδατανθράκων με φυσικο-χημικές μεθόδους. Οι προκατεργασίες αυτού του τύπου επιδρούν αποφασιστικά στην ενζυμική υδρόλυση, ενώ για να υπάρξει θετικό αποτέλεσμα με όξινη υδρόλυση απαιτείται συμπληρωματική προκατεργασία με άλκαλι (μερσερισμός) του απολιγνινωμένου στερεού (8). Το κυριότερο πρόβλημα εδώ είναι το υψηλό οικονομικό κόστος των διεργασιών.

ΑΛΚΟΟΛΙΚΗ ΖΥΜΩΣΗ ΥΔΡΟΛΥΜΑΤΩΝ

Η ζύμωση των υδρολυμάτων αγροτικών παραπροϊόντων παρουσιάζει χαμηλή ταχύτητα και μικρό βαθμό μετατροπής των καταναλισκόμενων σακχάρων σε αιθανόλη. Τα προβλήματα αυτά οφείλονται στα διαλυτά παραπροϊόντα της υδρόλυσης (κυρίως της όξινης) καθώς και των διαφόρων προκατεργασιών, όπως (26): φουρφουράλη (Φ), υδροξυμεθυλφουρφουράλη (ΥΜΦ), οργανικά οξέα, πεντόζες και άλλα μη-ζυμώσιμα σάκχαρα, ολιγομερή λιγνίνης και ανόργανα άλατα. Ιδιαίτερα έντονη έχει βρεθεί η παρεμπόδιση της αλκοολικής ζύμωσης από Φ και ΥΜΦ (26, 27). Υπάρχουν δύο δρόμοι για την αντιμετώπιση των προβλημάτων ζυμωτικότητας των υδρολυμάτων (28):

- επιλογή και αριστοποίηση των διαδικασιών προκατεργασίας-σακχαροποίησης, και
- επεξεργασία του υδρολύματος για την απομάκρυνση των ανεπιθύμητων ουσιών.

Η λύση φαίνεται να βρίσκεται στον επιτυχημένο συνδυασμό των δύο αυτών προσεγγίσεων.

Τα διάφορα είδη των σακχαρομυκήτων, που χρησιμοποιούνται παραδοσιακά για τη ζύμωση, αφομοιώνουν εξόζες, μαλτόζη, σακχαρόζη, αλλά όχι πεντόζες και ολιγοσακχαρίτες, ενώ παρουσιάζουν αξιόλογη ανθεκτικότητα και ικανότητα εγκλιματισμού σε τοξικό περιβάλλον (20). Για κάθε συγκεκριμένο περιβάλλον υπάρχει ένας άριστος συνδυασμός συνθηκών pH και θερμοκρασίας για την αποδοτικότερη δράση του μικροοργανισμού (29). Η παραγωγικότητα σε αιθανόλη αυξάνει με τη συγκέντρωση της ζύμης, ενώ παρουσιάζεται ένα μέγιστο στην παραγωγικότητα με την αύξηση της συγκέντρωσης των σακχάρων. Ένα ακόμα άριστο σημείο λειτουργίας σχετίζεται με την (χαμηλή) περιεκτικότητα σε οξυγόνο, που

είναι αναγκαία για την πραγματοποίηση της βιομετατροπής (26). Τέλος, η παρουσία του προϊόντος πάνω από μια ορισμένη συγκέντρωση προκαλεί παρεμπόδιση της δράσης, που φτάνει ως την πλήρη αναστολή της (30). Για την ποσοτική διατύπωση των διαφόρων αυτών πλευρών της κινητικής του φαινομένου απαιτούνται ιδιαίτερα πολύπλοκα μαθηματικά μοντέλα (31).

Για τη βελτίωση της αλκοολικής ζύμωσης των φυτικών υδρολυμάτων μπορούν να χρησιμοποιηθούν συνδυασμοί των εξής προσεγγίσεων (28):

(α) Αύξηση της ζυμωτικότητας του υποστρώματος (βλέπε πιο πάνω), και προσδιορισμό άριστων συνθηκών ζύμωσης.

(β) Τροποποίηση της τεχνολογίας της ζύμωσης, με ειδικότερους στόχους:
- αύξηση της συγκέντρωσης των μικροοργανισμών (ανακύκλωση ζύμης, ακινητοποίηση σε στήλες, χρήση αντιδραστήρων με φιλμ ζυμομυκήτων κλπ),
- ελάττωση της συγκέντρωσης της αιθανόλης (ζύμωση σε κενό, εκχύλιση, απορρόφηση κλπ).

(γ) Χρήση ειδικά ανθεκτικών και περισσότερο αποδοτικών μικροοργανισμών (ανάπτυξη-επιλογή ανθεκτικών στελεχών, Zymomonas mobilis, γενετική μηχανική).

ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΑΛΚΟΟΛΗΣ-ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΚΑΥΣΗ

Η απόσταξη ως μέθοδος διαχωρισμού της αιθανόλης είναι το περισσότερο ενεργοβόρο τμήμα τη διαδικασίας. Η κατανάλωση ενέργειας αλλά και το κόστος του διαχωρισμού αυξάνονται κατακόρυφα για συγκέντρωση αιθανόλης στην κορυφή πάνω από 85% (3). Η άριστη λύση φαίνεται να είναι ο διαχωρισμός σε δύο στάδια, όπου την απόσταξη θα ακολουθεί μία από τις επόμενες μεθόδους διαχωρισμού: απόσταξη υπό κενό, αζεοτροπική απόσταξη, εκχυλιστική απόσταξη, εκχύλιση υγρού-υγρού, προσρόφηση σε μοριακά κόσκινα, άμυλο ή κυτταρίνη, χρήση αφυδατικών μεμβρανών κλπ. Τα κριτήρια επιλογής και αριστοποίησης της προσφορότερης μεθόδου είναι οικονομικά, ενεργειακά και τεχνικά (ποιότητα καυσίμου).

Η παραγόμενη αιθανόλη μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο σε μηχανές εσωτερικής καύσεως με τρεις δυνατούς τρόπους (32):

I. Μείγμα με βενζίνη (10-15%, βενζινόλη) χωρίς ουσιαστική μετατροπή των κινητήρων. Απαιτείται πολύ χαμηλή περιεκτικότητα νερού.

II. Παράλληλη χρήση με βενζίνη ή ντίζελ. Χωριστή τροφοδότηση με δύο ανεξάρτητα συστήματα τροφοδοσίας.

III. Χωρίς ανάμειξη, σε τροποποιημένες ή ειδικά σχεδιασμένες μηχανές εφόσον η αιθανόλη υπερβαίνει το 20%. Δυνατή η χρήση αζεότροπης μορφής.

Το ζητούμενο είναι η εκτίμηση του μέγιστου δυνατού βαθμού υποκατάστασης υγρών καυσίμων, που βασίζεται στα τεχνικά χαρακτηριστικά (πλεονεκτήματα-μειονεκτήματα) της αιθανόλης ως καυσίμου, στην τεχνολογία της ανάμειξης (π.χ. χρήση πρόσθετων) και της καύσης και - πάνω από όλα - στις σχετικές τιμές αλκοόλης/πετρελαιοειδών (3).

## ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΠΑΡΑΠΡΟΪΟΝΤΩΝ

Τα κυριότερα παραπροϊόντα, που παράγονται κατά τη μετατροπή των αγροτικών παραπροϊόντων σε αιθανόλη, είναι: πεντόζες, λιγνίνη, ταννίνες, φουρφουράλη, διοξείδιο του άνθρακα, συμπαραγόμενες αλκοόλες, υπόλειμμα ζύμωσης, υπόλειμμα διαχωρισμού και διάφορα στερεά και υγρά απόβλητα. Τα υλικά αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ζωοτροφών, χημικών προϊόντων, οργανικών λιπασμάτων, ως συμπληρωματικές πηγές ενέργειας ή και για παραγωγή αιθανόλης (πεντόζες) με τη βοήθεια άλλων μικροβιακών συστημάτων. Το ενδιαφέρον της αξιοποίησης αυτής βρίσκεται στο ότι η επιτυχία της ή όχι θα επηρεάσει αποφασιστικά την οικονομική αποδοτικότητα της όλης μετατροπής, άρα και την υιοθέτηση της ενεργειακής αιθανόλης στο άμεσο μέλλον.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ανακεφαλαιώνοντας, επισημαίνουμε τα σπουδαιότερα τεχνολογικά "χάσματα" στην εξεταζόμενη παραγωγική αλυσίδα, που οδηγεί από τη βιόμαζα στο καύσιμο οινόπνευμα:

1. Καταγραφή πρώτων υλών, σύσταση, άλλες ιδιότητες, εκτίμηση συνολικού δυναμικού.
2. Εναλλακτικές χρήσεις, διαθεσιμότητα, μεθοδολογία επιλογής πρώτης ύλης, περιφερειακές επιδράσεις.
3. Εκτίμηση κόστους συλλογής-μεταφοράς-αποθήκευσης με αντίστοιχα μοντέλα, αριστοποίηση.
4. Κλασμάτωση συστατικών, "διυλιστήρια βιόμαζας".
5. Επιλογή κατάλληλης προκατεργασίας, αριστοποίηση.
6. Επίτευξη σακχαροποίησης σε ικανοποιητικές από τεχνική και οικονομική άποψη συνθήκες, που να οδηγεί σε υδρολύματα υψηλής ζυμωτικότητας.
7. Καθαρισμός υδρολυμάτων από ανεπιθύμητα/τοξικά συστατικά, αριστοποίηση.
8. Σχεδιασμός αντιδραστήρων υψηλής συγκέντρωσης ζυμομυκήτων.
9. Σχεδιασμός συστημάτων ζύμωσης με συνεχή απομάκρυνση προϊόντος.
10. Μαθηματική προσομοίωση αλκοολικής ζύμωσης, αριστοποίηση.
11. Επιλογή-γενετική μηχανική για βελτίωση μικροοργανισμών.
12. Ελάττωση ενεργειακού κόστους απόσταξης.
13. Επιλογή-αριστοποίηση μεθόδου τελικού διαχωρισμού.
14. Αναζήτηση μεθόδων αύξησης της ανώτατης δυνατής περιεκτικότητας νερού στο καύσιμο οινόπνευμα.
15. Σχεδιασμός-αριστοποίηση συστήματος καύσης.

Από τον πιο πάνω κατάλογο γίνεται φανερός ο ρόλος της "σταδιακής" σύλληψης για την όλη διαδικασία, και συγκεκριμένα για την "καρδιά" της, που την αποτελούν η υδρόλυση και η ζύμωση. Από την άποψη αυτή, η αναζήτηση μικροβιακών συστημάτων για κατευθείαν μετατροπή της βιόμαζας σε αιθανόλη αποδεικνύεται ιδιαίτερα υποσχόμενη. Οι περισσότερες από τις κατευθύνσεις έρευνας, που προκύπτουν σαν απάντηση στα πιο πάνω προβλήματα, βρίσκονται μέσα στις σημερινές δραστηριότητες της Ομάδας Έρευνας για τη Βιόμαζα και τη Βιοτεχνολογία, που λειτουργεί στο ΕΜΠ την τελευταία δεκαετία.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ


(1) Ε.Γ.Κούκιος (1978), Τεχνικά Χρονικά, 5-6/78, 41-50.
(2) Ε.Γ.Κούκιος και Κ.Χατζηγιαννάκης (1982), Πρακτικά Ζ' Πανελληνίου Συνεδρίου Χημείας, Τ.Β', 84-90, ΕΕΧ, Ιωάννινα.
(3) Μ.Μαραγκού et al (1983), "Αιθανόλη ως Καύσιμο-Οικονομική και Ενεργειακή Αριστοποίηση", ΕΜΠ, Αθήνα.
(4) Ε.Γ.Κούκιος (1982), Χημικά Χρονικά, 47, 117-124.
(5) Ε.Γ.Κούκιος (1983), Πρακτικά Συνεδρίου "Ημέρες Βιοτεχνολογίας '83", ΥΠΕΤ, Αθήνα.
(6) Ε.Γ.Κούκιος (1982), "Η Συμβολή της Βιόμαζας στον Ενεργειακό Προγραμματισμό", Υπουργείο Βιομηχανίας και Ενεργείας, Αθήνα.
(7) E.G.Koukios (1985), D.O.Hall et al (eds), in Economics of Ecosystem Management, Dr. Junk, Dordrecht.
(8) Θ.Τσούτσος (1985), Διδακτορική Διατριβή σε εξέλιξη, ΕΜΠ, Αθήνα.
(9) Ε.Γ.Κούκιος (1981), Έκθεση Προόδου Ι, Ερευνητικό Πρόγραμμα 80032/80, ΥΕΕΤ, Αθήνα.
(10) E.G.Koukios (1978), Proc. 1st Int. Conf. "Energy and Community Development, C.4, Athens.
(11) Ε.Γ.Κούκιος (1979), Διατριβή, Ινστιτούτο Περιφερειακής Ανάπτυξης, Πάντειος Σχολή, Αθήνα.
(12) Θ.Τσούτσος et al (1983), "Ενεργειακός Σχεδιασμός σε Περιφερειακό Επίπεδο", ΕΜΠ, Αθήνα.
(13) Ε.Γ.Κούκιος και Κ.Χατζηγιαννάκης (1982), Πρακτικά 1ου Εθνικού Συνεδρίου Ήπιων Μορφών Ενέργειας, Τ.Β', Β10 15-22, ΙΗΤ, Θεσσαλονίκη.
(14) Ε.Γ.Κούκιος et al (1979), Τεχνικά Χρονικά-Εκδ.Χημ. Μηχ., Οκτώβριος-Δεκέμβριος, 5-18.
(15) R.P.Overend (1982), Biomass, 2, 75-79.
(16) Δ.Σιδηράς (1985), Διδακτορική Διατριβή σε εξέλιξη, ΕΜΠ, Αθήνα.
(17) F.Rexen and L.Munck (1984), "Cereal Crops for Industrial Use in Europe", CEE, EUR 9617 EN, Copenhagen.
(18) J.Saeman (1945), Ind. Eng. Chem., 37(1), 43-52.
(19) H.Wenzl (1970), The Chemical Technology of Wood, Academic, New York.
(20) Θ.Τσούτσος (1984), Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα.
(21) Δ.Κέκος και Β.Μακρής (1985), αδημοσίευτα αποτελέσματα, ΚΠΕ "Δημόκριτος".
(22) L.Fan et al (1980), Adv. in Biochem. Eng., 14, 101-117.
(23) E.Lipinsky (1979), in R.Brown et al (eds), Hydrolysis of Cellalose, 1-23, ACS, Washington D.C.
(24) Ε.Γ.Κούκιος et al (1982), Πρακτικά 1ου Εθνικού Συνεδρίου Ήπιων Μορφών Ενέργειας, τ.Β', Β10 115-122, ΙΗΤ, Θεσσαλονίκη.
(25) T.Tassinari and C.Macy (1977), Biotechnol. Bioeng., 19, 1321.
(26) Π.Ταούκης (1982), Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα.
(27) A.Azhar et al (1981), Proc. 3rd Symp. on Biotechnology in Energy Production and Conservation, Gatlinburg, TN.
(28) Δ.Οικονομίδης (1985), Διδακτορική Διατριβή σε εξέλιξη, ΕΜΠ, Αθήνα.

(29) V.Eroshin (1976), Biotechnol. Bioeng., 18, 289-295.
(30) M.Novak et al (1981), Biotechnol. Bioeng., 23, 201-211.
(31) S.Aiba et al (1973), Biochemical Engineering, 2nd ed., Academic, New York.
(32) L.Straunard Pimentel (1980), Biotechnol. Bioeng., 22, 1989.

BIO-103

# ΑΛΑΤΟΥΧΑ ΕΔΑΦΗ: ΜΙΑ ΡΕΑΛΙΣΤΙΚΗ ΠΡΟΟΠΤΙΚΗ ΓΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΦΥΤΕΙΕΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ;

Νικόλαος Ι. Στάμου
(Εργαστήριο) Δασικής Οικονομικής
Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Στην Ελλάδα τουλάχιστον 300.000 στρέμματα αλατούχων εδαφών παραμένουν αναξιοποίητα για την εθνική οικονομία. Το αυτοφυές σ' αυτά φυτό αρμυρίκι (Tamarix sp.) είναι δυνατό να αποτελέσει το μέσο αξιοποίησής τους αν, όπως βάσιμα πιστεύεται, αποδειχθεί κατάλληλο και αποδοτικό για τη βιομηχανική παραγωγή μοριοσανίδων, χαρτοπολτού, μπριγκετών, ξυλοκάρβουνου, καυσόξυλου και ζωοτροφών. Επί πλέον στα επίπεδα αυτά εδάφη οι εργασίες εγκατάστασης της φυτείας με βελτιωμένο φυτευτικό υλικό (μοσχεύματα) και οι εργασίες συγκομιδής επιδέχονται πλήρη εκμηχάνιση. Η ανανέωση της φυτείας μετά τη συγκομιδή γίνεται αδάπανα, αφού το φυτό πρεμνοβλαστάνει. Τα αλατούχα εδάφη μπορούν να αποτελέσουν τη μοναδική σήμερα στην Ελλάδα ρεαλιστική προοπτική για φυτείες ενέργειας.

ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ: Ενεργειακές φυτείες, βιομάζα, αλατούχα εδάφη, αρμυρίκι, Tamarix, αξιοποίηση βιομάζας.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Ελλάδα είναι χώρα έντονα εισαγωγική μεταξύ άλλων σε ξύλο και προϊόντα ξύλου, σε ζωοτροφές και σε μη ανανεώσιμα ενεργειακά καύσιμα. Και οι τρεις αυτοί τομείς είναι σημαντικοί για την οικονομική εξέλιξη της χώρας, το δε αρνητικό του ισοζυγίου τους προκαλεί εξάρτηση από το εξωτερικό. Γι' αυτό και πρέπει να καταβληθεί προσπάθεια, ώστε όλοι οι φυσικοί πόροι να διατεθούν για αξιοποίηση στους πιο πάνω τομείς, εφ' όσον το εναλλακτικό κόστος στα είδη αυτά της αξιοποίησης είναι μικρότερο από αυτό των άλλων ειδών.

Τα αλατούχα εδάφη είτε παραμένουν αναξιοποίητα, είτε τίθενται σε μια μακροχρόνια πορεία εγγείων βελτιώσεων για να αποδοθούν στη γεωργία. Μια εναλλακτική σκέψη θα ήταν να ερευνηθεί η δυνατότητα αξιοποίησης της βιομάζας τους για ένα ή κάποιους από τους πιο πάνω τομείς, χωρίς οποιαδήποτε επέμβαση για βελτίωση του εδάφους μέσω εισροής σ' αυτό χημικών ουσιών ή αποστραγγίσεων κλπ. Η προκείμενη εισήγηση δίνει το σκεπτικό του ερευνητικού αυτού προγράμματος.

2. ΤΑ ΑΛΑΤΟΥΧΑ ΕΔΑΦΗ

Στην πεδιάδα της Θεσσαλονίκης και της Κατερίνης, στην περιοχή της Καβάλας, στην Αιτωλοακαρνανία και στην περιοχή της Άρτας, αλλά και σε άλλες περιοχές της χώρας υπάρχουν εκτάσεις που ως μοναδική ξυλώδη βλάστηση έχουν είδη του φυτού Tamarix, γνωστό με το κοινό όνομα "αρμυρίκι". Τα εδάφη αυτά σχηματίζουν κατά κανόνα επίπεδες λίγο ή πολύ, πεδινές και κατά κανόνα συνεχόμενες εκτάσεις. Η έκτασή του εκτιμάται κατ' ελάχιστο όριο σε 300.000 στρέμματα, από τα οποία τα 100.000 περίπου είναι συγκεντρωμένα στην Περιφερειακή Δ/νση ΥΕΒ Θεσσαλονίκης και τα 90.000 περίπου στην αντίστοιχη Δ/νση Ηπείρου (8, 9).

Τα αλατούχα εδάφη είναι ακατάλληλα για χρήση, εκτός αν τεθούν κάτω από βελτιωτικούς χειρισμούς. Στο παρελθόν ήταν περισσότερα, ορισμένα όμως από αυτά ύστερα από έγγειες βελτιώσεις αποδόθηκαν στη γεωργία. Τα σχετικά προγράμματα εγγείων βελτιώσεων είναι ως γνωστό μακροχρόνια (διαρκούν μέχρι και 20 χρόνια) και δαπανηρά.

3. ΤΟ ΑΡΜΥΡΙΚΙ (Tamarix sp.)

Στο γένος Tamarix ανήκουν 75 είδη ερήμων, στεππών, ραμεσογείων χωρών και της Κ. Ασίας, από τα οποία αυτοφυή στην Ελλάδα είναι γνωστά 5(3). Είναι φυλλοβόλοι θάμνοι ή δενδρύλλια. Στην Ελλάδα φύονται σε όχθες ποταμών και σε αμμώδη υφάλμυρα ή πολύ αλμυρά εδάφη.

Σε περιοχές της Κρήτης αλλά και σε δενδροστοιχίες προαστίων της Θεσ/κης παρατηρήσαμε αρμυρίκια σε δενδρώδη μορφή ύψους 8-12 μέτρων. Ειδικά σε περιοχή της Κρήτης παρατηρήσαμε δενδρώδες αρμυρίκι ύψους 10 μ. διαμέτρου 90 εκ. και ηλικία 27 ετών. Γενικά όμως στις μεγαλύτερες εκτάσεις παρουσιάζεται με θαμνώδη μορφή. Ο Vories (7) αναφέρει για το Tamarix pentandra ότι το ύψος του κυμαίνεται από 3-8 m και ότι φύεται σε εδάφη με PH από 2.2 μέχρι 10.0. Ο Paysen κ.ά. (6) αναφέρουν ότι τα είδη Tamarix της Αμερικής έχουν μεταφερθεί εκεί από την Κ. Ασία και τις χώρες της Μεσογείου και ότι είναι είδη που πρεμνοβλαστάνουν. Πολλαπλασιάζονται δε με σπόρους & μοσχεύματα (4).

4. ΕΝΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΕΡΕΥΝΑΣ

Με δεδομένα ότι 1. Το αρμυρίκι πρεμνοβλαστάνει, 2. φύεται σε πεδινές, επίπεδες, συνεχόμενες εκτάσεις που δεν αξιοποιούνται με άλλο τρόπο, 3. είναι θάμνος ή δένδρο και 4. πολλαπλασιάζεται με μοσχεύματα, προκύπτει η ανάγκη για ένα ολοκληρωμένο πρόγραμμα έρευνας που θα περιλαμβάνει:

α. Τον ακριβή εντοπισμό και υπολογισμό των εκτάσεων στις οποίες φύεται το αρμυρίκι

β. Τη μελέτη του ιδιοκτησιακού καθεστώτος των εκτάσεων αυτών και των προβλημάτων που ενδεχομένως προκύπτουν απ' αυτό.

γ. Την επιλογή και δοκιμή των προελεύσεων με δενδρώδη μορφή.

δ. Την εκτίμηση ποσοτικά και ποιοτικά της παραγωγής ξύλου και γενικά βιομάζας, από τους φυσικούς πληθυσμούς και από τις προελεύσεις που θα επιλεγούν.

ε. Τη δοκιμαστική παραγωγή μοριοσανίδων, μπριγκετ-τών, ξυλοκάρβουνου, χαρτοπολτού και τον έλεγχο των ιδιοτήτων αυτών.

ζ. Την εκτίμηση της εμπορικής αξίας και του κόστους βιομηχανικής παραγωγής των πιο πάνω προϊόντων.

η. Την εκτίμηση της θρεπτικής αξίας του φυλλώματος του *Tamarix* ως αμιγούς ζωοτροφής ή σε μείξη με άλλες ζωοτροφές.

θ. Τέλος τη συνολική αξιολόγηση των εναλλακτικών χρήσεων των αλατούχων εδαφών δηλ.
- μηδενική εναλλακτική χρήση
- χρήση για παραγωγή προϊόντων όπως τα πιο πάνω
- χρήση στη γεωργία ύστερα από έγγειες βελτιώσεις.

5. *ΤΑ ΑΛΑΤΟΥΧΑ ΕΔΑΦΗ Η ΜΟΝΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΓΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΦΥΤΕΙΕΣ;*

Στην Ελλάδα έχουν γίνει και γίνονται γενετικές βελτιώσεις δασοπονικών ειδών για την αύξηση της παραγωγής βιομάζας από φυτείες (5).

Σε άλλες χώρες έχουν ήδη ιδρυθεί πειραματικές ενεργειακές φυτείες, από τις οποίες με δασοπονικά είδη όπως η ιτιά, η λεύκη, το σκλήθρο και η ψευδακακία είναι δυνατό να παραχθούν 10-12 τόννοι ξηρής ουσίας ανά έτος και εκτάριο, που ισοδυναμούν με 4-8 τόννους πετρελαίου. Στη Σκανδιναυία οι αποδόσεις φθάνουν μέχρι και τους 20 τόννους/ha. Η εγκατάσταση και ανάπτυξη φυτειών ενέργειας θεωρούνται στη Σουηδία ως θέμα εθνικής σημασίας (1).

Βασική προϋπόθεση για την αξιοποίηση ενεργειακών φυτειών είναι η δημιουργία αγοράς για εγκαταστάσεις κεντρικής θέρμανσης ή και οικιακές εγκαταστάσεις θέρμανσης που θα στηρίζουν τη λειτουργία τους στη βιομάζα. Μόνο οι επιτυχείς πειραματισμοί και έρευνες στο θέμα αυτό δημιουργούν οικονομικό ενδιαφέρον για τις ενεργειακές φυτείες (2). Αλλά ακόμα και με τη λειτουργία του παραδοσιακού τζακιού ή της θερμάστρας καυσοξύλων, η αξιοποίηση των 250.000 μόνο στρεμμάτων αλατούχων εδαφών για παραγωγή του τυπικού γνωστού καυσόξυλου θα σήμαινε την εξοικονόμηση ενέργειας για 35.000 οικογένειες ή για 35.000Χ4=140.000 κατοίκους (με παραγωγή βιομάζας 10 τόννους κατ' έτος και εκτάριο, με χρησιμοποίηση του 70% αυτής και ετήσιες ανάγκες καυσοξύλων ανά οικογένεια 5 τόννους).

Μια άλλη βασική προϋπόθεση για τη δημιουργία οργανωμένων ενεργειακών φυτειών είναι η διαθεσιμότητα εκτάσεων επίπεδων, που να επιτρέπουν τη μηχανοποίηση των εργασιών τόσο εγκατάστασης της φυτείας, όσο και συγκομιδής. Στην Ελλάδα τέτοιες εκτάσεις δεν υπάρχουν γιατί είναι δεσμευμένες, και δικαιολογημένα, από την εντατική γεωργία. Γι' αυτή τούτη τη λευκοκαλλιέργεια δεν διατίθενται συμπληρωματικά γεωργικές εκτάσεις, παρ' όλο που οι αποδόσεις της είναι εφάμιλλες των γεωργικών καλλιεργειών και παρόλο που η παραγωγή της είναι σημαντική για την εθνική οικονομία. Επομένως δεν είναι διαθέσιμα παρά μόνο τα αλατούχα εδάφη. Αν δε ληφθεί επί πλέον υπόψη ότι η αυτοφυής σ' αυτά βλάστηση του *Tamarix* πρεμνο-

βλαστάνει και πολλαπλασιάζεται με μοσχεύματα γίνεται φανερό πόσο μπορεί να μειωθεί το κόστος πρώτης εγκατάστασης, ενώ μηδενίζεται το κόστος επαναδημιουργίας της φυτείας μετά τη συγκομιδή. Συγκομιδή βέβαια σημαίνει εδώ στην κυριολεξία θερισμό.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ


1. Anonymus 1985: Energiewälder im Kommen. Internationaler Holzmarkt, Wald u. Holz Nr. 15 S. 1, Wien.
2. Anonymus 1985: Energiewälder-interessante Alternative. Internationaler Holzmarkt, Wald u. Holz Nr. 18 S. 3, Wien
3. Γκανιάτσας, Κ. 1967: Συστηματική Βοτανική. Μέρος Β' Θεσ/νίκη, σελ. 469-1057.
4. Forest Service, U.S.A. 1974: Seeds of Woody Plants in th United States. Agric. Handk. No 450. pp. Washington D.C.
5. Πανέτσος, Κ. 1982: Μεγιστοποίηση παραγωγής βιομάζας από φυτείες δασοπονικών ειδών..ΙΗΤ, α' Εθν. συνέδρ. Τόμος Β', σελ. ΣΥΣ 209-218.
6. Paysen, T.E.-Derby, J.A. a.a. 1980: A Vegetation Classification System Applied to Southern California. USDA, For. Serv., RSW-45. pp. 33. Berkeley, Cal.
7. Vories, K.C. 1981: Growing Colorado Plants from Seed A state of the Art. Vol. I, Shrubs. USDA, For. Serv. INT-103. pp. 80. Ogden, Utah
8. ΥΕΒ, Περιφερειακή Δ/νση Θεσ/κης, 1984: Προφορική πληροφορία.
9. ΥΕΒ, Περιφερειακή Δ/νση Ηπείρου, 1984: Προφορική πληροφορία.

ΑΞΑ-1

# ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΩΝ ΟΙΚΙΑΚΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Δ. Διακουλάκη, Ν. Κουμούτσος
Τμήμα Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Η καύση των οικιακών απορριμμάτων είναι η συνηθέστερη μέθοδος άμεσης ενεργειακής αξιοποίησης τους. Η εκμετάλλευση όμως όλου του διαθέσιμου δυναμικού οικιακών απορριμμάτων της χώρας δεν είναι δυνατή εξ αιτίας της ευρύτατης και ανομοιογενούς διασποράς τους στο χώρο.

Στόχος της εργασίας αυτής είναι να διερευνήσει τις δυνατότητες εφαρμογής της μεθόδου της καύσης στην Ελλάδα με βάση:

- την γεωγραφική κατανομή του πληθυσμού
- την παραγόμενη ποσότητα οικιακών απορριμμάτων στη χώρα
- το οικονομικά αποδεκτό μέγεθος των σχετικών μονάδων εκμετάλλευσης.

Απο τη μελέτη προκύπτει ότι οι δυνατότητες ενεργειακής αξιοποίησης είναι αξιόλογες σε σχέση με το συνολικό δυναμικό των οικιακών απορριμμάτων και υπολογίζεται η εξοικονόμηση ενέργειας που συνεπάγεται η εκμετάλλευση όλων αυτών των δυνατοτήτων.

ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ: Καύση- Ενέργεια- Απορρίμματα- Οικιακά απορρίμματα- Διάθεση απορριμμάτων.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ: Το πρόβλημα των οικιακών απορριμμάτων εχει αποκτήσει σήμερα και στην Ελλάδα σημαντικές διαστάσεις τόσο για τον συνεχώς αυξανόμενο όγκο τους, όσο καί γιά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που συνεπάγεται η διάθεση του. Ενας τρόπος αντιμετώπισης του προβλήματος είναι και η καύση. Με την καύση των οικιακών απορριμμάτων επιτυγχάνεται μείωση του όγκου τους κατά 90%, ενώ παράλληλα ανακτώνται σημαντικά ποσά ενέργειας /1/. Για τους λόγους αυτούς την τελευταία 10ετία, αυξάνεται σταδιακά η εφαρμογή της στις περισσότερες βιομηχανικές χώρες /2,3,4/.

Η εξοικονόμηση ενέργειας που προκύπτει απο την ενεργειακή αξιοποίηση των οικιακών απορριμμάτων δεν μπορεί να υπολογισθεί με βάση την συνολική παραγωγή απορριμμάτων στη χώρα, αλλά καθορίζεται απο την κατανομή τους στο χώρο και τους ισχύοντες τεχνικοοικονομικούς περιορισμούς κλίμακας των εγκαταστάσεων καύσης.

Στόχος της εργασίας είναι η εκτίμηση του δυνατού βαθμού ενεργειακής αξιοποίησης των οικιακών απορριμμάτων στην Ελλάδα και ο υπολογισμός της εξοικονόμησης ενέργειας πού θα προκύψει απ'αυτήν.

## 1. Η ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΑ ΜΟΝΑΔΩΝ ΚΑΥΣΗΣ ΜΕ ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Οι εγκαταστάσεις καύσης οικιακών απορριμμάτων με ανάκτηση ενέργειας στην 10ετία του 70 χαρακτηριζόντουσαν από μεγάλη δυναμικότητα. Η ανακτώμενη ενέργεια απο τις μονάδες αυτές αξιοποιείται /3,4,5/:

- ως ατμός σε μεγάλους γειτονικούς βιομηχανικούς καταναλωτές ή σε κεντρικό δίκτυο θέρμανσης πόλεων
- μετά απο μετατροπή της σε ηλεκτρική ενέργεια και πάλι στη βιομηχανία ή στο εθνικό δίκτυο
- για συμπαραγωγή ατμού/ηλεκτρισμού με στόχο μεγαλύτερους βαθμούς θερμικής απόδοσης, με άλλα λόγια καλύτερη ενεργειακή αξιοποίηση.

Στόν πίνακα 1 δίνεται η κατανομή μονάδων καύσης με ανάκτηση ενέργειας στην Δ. Ευρώπη σε συνάρτηση με τη δυναμικότητα τους, όπου η πυκνότητα μονάδων μεγάλης δυναμικότητας -πάνω από 200 τον/ημ- είναι προφανής /6/.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: Δυναμικότητα μονάδων καύσης με ανάκτηση ενεργείας στη Δ. Ευρώπη, στη δεκαετία '70.

| ΧΩΡΑ | ΑΡ. ΕΓΚΑΤ. | ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΝ/ΗΜ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ≤100 | 100-200 | 200-500 | 500-1000 | ≥1000 |
| Δ. ΓΕΡΜΑΝΙΑ | 27 | 1 | 3 | 13 | 8 | 2 |
| ΓΑΛΛΙΑ | 9 | | | 3 | 3 | 3 |
| Μ. ΒΡΕΤΑΝΝΙΑ | 5 | | | 2 | 2 | 1 |
| ΟΛΛΑΝΔΙΑ | 3 | | | 2 | 1 | |
| ΙΤΑΛΙΑ | 3 | | | 2 | 1 | |

Πηγή: Commission of the Europ. Comm. "Secondary Raw Materials", 1979, (Επεξεργασία στοιχείων).

Η τάση αυτή γιγαντισμού των εγκαταστάσεων που υπαγορευόταν κύρια από λόγους οικονομίας κλίμακας άρχισε να αναθεωρείται μετά το 1979 αρχικά στις ΗΠΑ και την Ιαπωνία /4/. Συγκεκριμένα στις ΗΠΑ το 1984 λειτουργούσαν 40 εγκαταστάσεις καύσης με ανάκτηση ενέργειας. Από αυτές οι 25 ήταν δυναμικότητας μεταξύ 50-100 τον/ημ. και άρχισαν στην πλειοψηφία τους (22 από τις 25) να λειτουργούν μετά το 1979. Αντίστοιχα στην Ιαπωνία, όπου το 70% από το σύνολο των οικιακών απορριμμάτων καίγεται, μόνο μετά το 1979 άρχισαν να λειτουργούν 200 νέες εγκαταστάσεις καύσης με ανάκτηση ενέργειας και ημερήσια δυναμικότητα 30-180 τον.

Η αποκεντρωτική αυτή τάση που η επέκταση της εχει αρχίσει τελευταία και στην Ευρώπη έχει στόχο την ευρύτερη εφαρμογή της μεθόδου σε μικρότερες πόλεις ή προάστεια μεγαλύτερων πόλεων και συνεπάγεται την μείωση του κόστους μεταφοράς των απορριμμάτων από πιό απομακρυσμένες περιοχές σε εγκαταστάσεις-μαμμούθ και την ευκολότερη απορρόφηση της παραγόμενης ενέργειας από γειτονικούς μικρούς καταναλωτές. Η ενέργεια αυτή -κυρίως θερμική- χρησιμοποιείται στη βιομηχανία για διάφορες διεργασίες, θέρμανση και κλιματισμό, σε αγροτικά συγκροτήματα, σε εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού για ξήρανση της παραγόμενης

ιλύος κ.ο.κ.

Αν και εξακολουθεί να υφίσταται διαφορά ως προς την οικονομική αποδοτικότητα με μεγαλύτερες αντίστοιχες εγκαταστάσεις εξ αιτίας οικονομιών κλίμακας, η λειτουργία μικρών μονάδων (50-100 τον/ημ.) καύσης με αποδεκτούς οικονομικούς όρους, είναι πιά σήμερα εφικτή.

## 2. ΠΟΣΟΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΟΙΚΙΑΚΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Από επεξεργασία στοιχείων του Υπ. Εσωτερικών σχετικά με τις ετήσιες ποσότητες απορριμμάτων σε δήμους όλης της χώρας προκύπτει ότι η κατά κεφαλή παραγωγή απορριμμάτων ποικίλλει ελαφρά ανάλογα με το μέγεθος της πόλης. Οπως φαίνεται και στον πίνακα 2 η μέση ημερήσια παραγωγή οικιακών απορριμμάτων ανά κάτοικο κυμαίνεται από 0,720 γιά μικρούς δήμους και φθάνει μέχρι 0,910 kg γιά το λεκανοπέδιο της Αττικής.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2: Ημερήσια παραγωγή οικιακών απορριμάτων ανά κάτοικο σε δήμους της Ελλάδας (1983)

| ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ | ΑΡ. ΔΗΜΩΝ | ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ kg/κατ. ημ. |
|---|---|---|
| 5 - 10.000 | 50 | 0,720 |
| 10 - 20.000 | 14 | 0,760 |
| 20 - 40.000 | 18 | 0,820 |
| 40 - 100.000 * | 7 | 0,840 |
| > 100.000 ** | 4 | 0,850 |
| Λεκανοπέδιο Αττικής | Συνολικά *** | 0,910 |
| Τουριστικές πόλεις | 5 | ~ 2,000 |

Πηγή: Υπ. Εσωτερικών, Δ/νση Προγρ/σμού και Μελετών, Τμήμα Προστασίας Περιβάλλοντος, (επεξεργασία στοιχείων).

Οι λόγοι στούς οποίους οφείλεται αυτή η διαφοροποίηση μεταξύ μικρών και μεγάλων δήμων είναι:

- Οι διαφορές βιοτικού επιπέδου μεταξύ αστικών, ημιαστικών και αγροτικών περιοχών που επηρεάζουν αντίστοιχα το ύψος και την σύνθεση της κατανάλωσης
- Η αύξηση της βιομηχανικής και εμπορικής δραστηριότητας στις μεγαλύτερες πόλεις που συνεπάγεται αντίστοιχη αύξηση των απορριμμάτων εξοικιακής προέλευσης.

* Ο πληθυσμός των δήμων είναι ελαφρά διαφοροποιημένος από τα στοιχεία της απογραφής του 1981, σύμφωνα με τις εκτιμήσεις των δημοτικών αρχών.

** Η περιοχή Θεσσαλονίκης θεωρείται 1 Δήμος.

*** Συνολικά ποσοτικά στοιχεία του Ενιαίου Συνδέσμου Δήμων και Κοινοτήτων Νομού Αττικής (Ε.Σ.Δ.Κ.Ν.Α).

- Η αυξανόμενη συμμετοχή της ανεξέλεγκτης απόρριψης ή της μερικής αξιοποίησης (ζωοτροφές,καύσιμα) των απορριμμάτων από τους ίδιους τους κατοίκους στις μικρότερες πόλεις.

Οπωσδήποτε ο μέσος όρος της ανά κάτοικο ημερήσιας ποσότητας απορριμμάτων στα μεγάλα αστικά κέντρα (>100.000 κατ.) βρίσκεται στο επίπεδο τιμών της Ιαπωνίας (0.828 το 1981) και χαμηλότερα από τον μέσο όρο της ΕΟΚ (1.100 το 1981). Εξ άλλου σε πόλεις της Κεντρικής Ιταλίας με πληθυσμό 10-30.000 κατοίκους η αντίστοιχη τιμή είναι 0.783 /4/.

## 3. ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ ΚΑΥΣΗΣ ΤΩΝ ΟΙΚΙΑΚΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Με βάση τον περιορισμό στην δυναμικότητα των μονάδων καύσης και τα στοιχεία γιά την ημερήσια παραγωγή απορριμμάτων στην Ελλάδα, μπορούν να προσδιοριστούν οι πόλοι στους οποίους είναι δυνατή η εγκατάσταση παρομοίων μονάδων.

Στον πίνακα 3 αναφέρονται κατά σειρά μεγέθους οι πόλοι αυτοί που αποτελούνται από τους μεγαλύτερους δήμους της χώρας ή συνδυασμούς μεγάλων δήμων με απόσταση μεταξύ τους όχι μεγαλύτερη από 30-35 χμ.

Ο υπολογισμός της ημερήσιας παραγόμενης ποσότητας απορριμμάτων γίνεται με βάση τα πληθυσμιακά στοιχεία της απογραφής του 1981, αυξημένα κατά 15% έτσι ώστε να περιληφθεί η αύξηση του πληθυσμού των τελευταίων χρόνων που δηλώνεται από τις δημοτικές αρχές, αλλά και ο πληθυσμός γειτονικών δήμων και κοινοτήτων που είναι δυνατόν να εξυπηρετηθούν από μιά τέτοια εγκατάσταση. Αντίστοιχη παραδοχή δεν γίνεται στις περιπτώσεις Αθήνας και Θεσσαλονίκης, μιά που αποτελούν ευρύτερες περιοχές, όπου οι πλυθυσμιακές αυξομειώσεις δεν επηρεάζουν κατά την ίδια τάξη μεγέθους τα αποτελέσματα αυτής της ανάλυσης, καθώς και στην Ρόδο και την Κέρκυρα, όπου καθοριστικό ρόλο στην ποσότητα των παραγομένων απορριμμάτων παίζει ο τουρισμός.

Από τα στοιχεία του πίνακα 3 φαίνεται ότι:

- Μόνο σε δύο περιοχές της χώρας και συγκεκριμένα στο λεκανοπέδιο Αττικής και στην ευρύτερη περιοχή Θεσσαλονίκης είναι δυνατή η εγκατάσταση μεγάλων μονάδων καύσης (δυναμικότητας ≥500 τον/ημ). Οι δύο αυτοί πόλοι όμως συγκεντρώνουν το 40% του πληθυσμού της χώρας.
- Σε 3 δήμους (που συγκεντρώνουν άλλο ένα 5% του συνολικού πληθυσμού) είναι δυνατή η εγκατάσταση μονάδων δυναμικότητας 100-150 τον/ημ.
- Σε 8 πόλους είναι δυνατή η εγκατάσταση μονάδων δυναμικότητας 50-100 τον/ημ. ενώ σε άλλους 7 είναι συζητήσιμη η εφαρμογή της μεθόδου στο άμεσο μέλλον.

Ο συνολικός πληθυσμός των πόλεων αυτών αποτελεί το 54,5% περίπου του πληθυσμού της χώρας και η συνολική μέγιστη ποσότητα οικιακών απορριμμάτων που μπορεί να αξιοποιηθεί με τη μέθοδο της καύσης ξεπερνάει το 58-60%.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3: Ποσότητες παραγόμενων οικιακών απορριμμάτων στούς μεγαλύτερους δήμους της χώρας

| Α/Α | ΔΗΜΟΙ | ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ απογρ.81 | αυξ.15% (χιλ.κατ.) | ΠΑΡΑΓΩΓΗ kg/κατ,ημ. | ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ τον./ημ. | χιλ.τον./ετ. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Αθήνα-Πειραιάς-Δήμοι Λεκανοπεδίου Αττικής | 3268 | (3268) | 0,910 | 2974 | 1085 |
| 2 | Θεσ/νίκη-Δήμοι Επαρχίας Θεσ/νίκης | 700 | ( 700) | 0,850 | 595 | 217 |
| 3 | Πάτρα-Αίγιο | 163 | 187 | 0,850 | 159 | 58 |
| 4 | Λάρισσα | 102 | 119 | 0,850 | 101 | 37 |
| 5 | Ηράκλειο | 102 | 119 | 0,850 | 101 | 37 |
| 6 | Καβάλα-Δράμα | 94 | 108 | 0,840 | 91 | 33 |
| 7 | Τρίκαλα-Καρδίτσα | 73 | 84 | 0,840 | 71 | 26 |
| 8 | Βόλος | 72 | 83 | 0,840 | 70 | 25 |
| 9 | Ρόδος | 41 | ( 41) | 2,000 | 82 | 30 |
| 10 | Κέρκυρα | 37 | ( 37) | 2,000 | 74 | 27 |
| 11 | Βέροια-Νάουσα-Αλεξάνδρεια | 69 | 79 | 0,820 | 65 | 24 |
| 12 | Κοζάνη-Πτολεμαΐδα | 53 | 61 | 0,820 | 50 | 18 |
| 13 | Χανιά-Σούδα | 52 | 60 | 0,840 | 50 | 18 |
| 14 | Καλαμάτα-Μεσσήνη | 49 | 56 | 0,840 | 47 | 17 |
| 15 | Λαμία-Στυλίδα | 47 | 54 | 0,840 | 45 | 16 |
| 16 | Χαλκίδα-Οινόφυτα | 47 | 54 | 0,840 | 45 | 16 |
| 17 | Σέρρες | 46 | 53 | 0,840 | 44 | 16 |
| 18 | Ιωάννινα | 45 | 52 | 0,840 | 44 | 16 |
| 19 | Αγρίνιο-Μεσολογγι | 47 | 54 | 0,820 | 44 | 16 |
| 20 | Κατερίνη-Λιτόχωρο | 45 | 52 | 0,820 | 44 | 16 |
| | ΣΥΝΟΛΟ | 5152 | 5321 | — | 4795 | 1748 |

## 4. ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΑΥΣΗ ΤΩΝ ΟΙΚΙΑΚΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Κατά την καύση γίνεται άμεση αξιοποίηση του ενεργειακού περιεχομένου των οικιακών απορριμμάτων που θεωρείται ίσο με τη θερμογόνο τους δύναμη. Ο βαθμός απόδοσης του λέβητα στην περίπτωση καύσης των απορριμμάτων είναι χαμηλότερος σε σχέση με άλλα συμβατικά καύσιμα και κυμαίνεται μεταξύ 60-75% /5,6/.

Αν και δέν υπάρχουν ακριβή στοιχεία, η θερμογόνος δύναμη των οικιακών απορριμμάτων στην Ελλάδα θεωρείται ίση με 1500 kcal/kg /7/, δηλαδή ελαφρά κατώτερη από την αντίστοιχη τιμή γιά την Ιταλία (1600 kcal/kg) και αισθητά χαμηλότερη από τον μ.ο της ΕΟΚ (1800 kcal/kg) εξ αιτίας της υψηλής περιεκτικότητας σε ζυμώσιμα υλικά και υγρασία που τα χαρακτηρίζουν.

Ετσι οι 1748 χιλ. τον. απορρίμματα το χρόνο που είναι δυνατόν να αξιοποιηθούν με τη μέθοδο της καύσης αντιπροσωπεύουν $10.980 \times 10^6$ MJ. Γιά την καλύτερη εκτίμηση της ενεργειακής αξίας της ποσότητας αυτής των οικιακών απορριμμάτων καταστρώνεται ο επόμενος πίνακας.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4: Σχετική συμβολή των οικιακών απορριμμάτων στό ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας .

| | | |
|---|---|---|
| - ενεργειακό περιεχόμενο οικ. απορριμμάτων | (MJ) | $10.980 \times 10^6$ |
| - ανακτώμενη ενέργεια από οικ. απορρίμματα (β.α λέβητα 0,70) | (MJ) | $7.686 \times 10^6$ |
| - ισοδύναμη θερμική ενέργεια από συμβατικά καύσιμα (β.α λέβητα 0,80) | (MJ) | $9.608 \times 10^6$ |
| | (ΤΙΠ) | 230.000 |
| - ποσοστό επί της συνολικής ενεργ. κατανάλωσης στη χώρα (16,2 εκ. ΤΙΠ/1982), /8/ | % | 1,4 |
| - ποσοστό επι της ενεργ. κατανάλωσης στη βιομηχανία (6,2 εκ. ΤΙΠ/1982), /8/ | % | 3,7 |
| - ποσοστό επι των στερεών καυσίμων που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία (0,59 εκ.ΤΙΠ/1982), /8/ | % | 39 |
| - ισοδύναμη ηλεκτρ. ενέργεια (γιά β.α ηλεκτροπαραγωγής 0,30) | GWh | 802 |
| - ποσοστό επί της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρ. ενέργειας (20.718 GWh/1982), /8/ | % | 3,8 |
| - ποσοστό επί των εισαγωγών ηλεκτρ. ενέργειας (820 GWh/1982), /8/ | % | 98 |
| - ποσοστό επί των εισαγωγών ηλεκτρ. ενέργειας (1700 GWh/1983), /8/ | % | 47 |

Είναι φανερό ότι ο πίνακας μπορεί να συνεχιστεί επ' άπειρον και να οδηγήσει σε λιγότερο ή περισσότερο αισιό-

δοξα συμπεράσματα ανάλογα με τη βάση σύγκρισης. Οπωσδήποτε, το ποσοστό της ανακτώμενης ενέργειας επι της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης, βοηθάει στη διατύπωση συμπεράσματος. Τό ποσοστό αυτό (1.4%) είναι το μέγιστο που είναι δυνατόν να υποκατασταθεί από οικιακά απορρίμματα σε περίπτωση που υπήρχαν οι προϋποθέσεις και διαπιστωνόταν η σκοπιμότητα εγκατάστασης μονάδων καύσης με ανάκτηση ενεργείας σ' όλους τους πόλους που προσδιορίστηκαν στην προηγούμενη ανάλυση. Αξίζει να σημειωθεί ότι στην Δ. Γερμανία ανακτάται σήμερα το ύ.4% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης της χώρας, από την καύση 6,3 εκ.τον. οικιακών απορριμμάτων τον χρόνο που προέρχονται από το 30% του πληθυσμού /4/.

Αν και το ποσοστό αυτό είναι μικρό σε εθνικό επίπεδο εν τούτοις η ενεργειακή εξοικονόμηση από την καύση των απορριμμάτων μπορεί σε τοπικό επίπεδο να είναι σημαντική.

Οπωσδήποτε η σκοπιμότητα προώθησης μεθόδων ενεργειακής αξιοποίησης θα προκύψει μετά από μελέτη κάθε χωριστής περίπτωσης και στάθμισης, όχι μόνο των ενεργειακών, αλλά και τεχνικοοικονομικών, περιβαλλοντικών καί κοινωνικών παραμετρων σε συγκριση και με άλλες μεθόδους διάθεσης. Σ' αυτή την κατεύθυνση θα συνέβαλλε η λειτουργία πειραματικής μονάδας, ιδιαίτερα γιά την διαπίστωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της καύσης και με στόχο την ευρύτερη εφαρμογή της μεθόδου στη χώρα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ


1) Skitt J. "Waste Disposal Management and Practice", Ch. Knight, 1979.

2) Bridgwater A., Lidgren K. (Ed), "Household Waste Management in Europe", Van Nostrand Reinhold, 1981.

3) Thome-Kozmiensky K. (Ed), "Recycling International, 3rd" E. Freitag-Verlag, 1982.

4) Thome-Kozmiensky K. (Ed), "Recycling International, 4th" E. Freitag-Verlag, 1984.

5) Kut D. , Hare G. , "Waste Recycling for Energy Conservation", Archit. Press, 1981.

6) Commission of the Europ. Comm., "Secondary Raw Materials", Vol. IV, 1979.

7) Ε.Σ.Δ.Κ.Ν.Α. και ΥΧΟΠ/ΠΕΡΠΑ, "Αναλύσεις οικιακών απορριμμάτων με στατιστικά παραδεκτές μεθόδους στην ευρύτερη περιοχή Αττικής", 1984.

8) "Ελληνικός Ενεργειακός Οδηγός", Ηλιοτεχνική, 1984.

9) Ενιαίος Σύνδεσμος Δήμων και Κοινοτήτων Νομού Αττικής (Ε.Σ.Δ.Κ.Ν.Α.), "Πρακτικά 3ήμερης συνάντησης γιά την διαχείριση των απορριμμάτων στην Ελλάδα", 1984.

ΑΞΑ-9

# ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΥΛΙΚΩΝ ΑΠΟ ΟΙΚΙΑΚΑ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΑ ΜΕΙΖΟΝΟΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Δ. Κούλης, Α. Ζαμπανιώτου και Α. Ι. Καράμπελας
Εργαστήριο Τεχνολογίας Χημικών Εγκαταστάσεων
Τμήμα Χημικών Μηχανικών
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Μελετάται η δυνατότητα δημιουργίας μιάς μονάδας για ανάκτηση χαρτιού, πλαστικών και σιδηρούχων μετάλλων από οικιακά απορρίμματα της περιοχής Θεσσαλονίκης. Το προτεινόμενο διάγραμμα ροής προβλέπει ανάκτηση των παραπάνω υλικών και καύση των οργανικών υπολειμμάτων. Με προκαταρκτική οικονομο-τεχνική μελέτη εκτιμάται η συνολική επένδυση για μονάδα ετήσιας δυναμικότητας 420.000 τόνων ως και το κόστος ανά τόνο κατεργαζομένων απορριμμάτων. Με συμβατικά οικονομικά κριτήρια η δημιουργία της μονάδας δεν είναι προς το παρόν ελκυστική. Από γενικώτερη όμως περιβαλλοντική άποψη παρουσιάζει σοβαρά πλεονεκτήματα, όπως η μείωση της ποσότητας απορριμμάτων κατά 75-80% και η αποφυγή δυσοσμίας και κινδύνων μόλυνσης και αυταναφλεξης.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Οικιακά απορρίμματα. Ανάκτηση χαρτιού, πλαστικών, σιδηρούχων μετάλλων. Προστασία περιβάλλοντος.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ: Μέχρι σήμερα στη Θεσσαλονίκη και γενικώτερα στην Ελλάδα η διάθεση των απορριμμάτων γίνεται με τη μέθοδο της "ελεγχόμενης απόθεσης". Τα μειονεκτήματα είναι γνωστά· π.χ. δέσμευση χρησίμων εκτάσεων, κίνδυνος ρύπανσης υπογείων υδάτων, δυσοσμία κ.λ.π. Άλλες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στην Ευρώπη και Αμερική είναι η καύση, η ανάκτηση υλικών και η λιπασματοποίηση, ή συνδυασμός αυτών. Καμμία απ' τις παραπάνω μεθόδους δεν φαίνεται να έχει καθιερωθεί οριστικά λόγω των διαφόρων πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων που παρουσιάζουν.

Η ανάκτηση υλικών είναι σχετικά νέα μέθοδος, η οποία πλεονεκτεί έναντι άλλων κατά το ότι τα "προϊόντα" της έχουν ικανοποιητικό βαθμό καθαρότητας ενώ δεν παράγονται καυσαέρια επιβλαβή για το περιβάλλον. Μειονεκτήματα της μεθόδου είναι το σχετικά υψηλό κόστος των εγκαταστάσεων και πιθανώς η διάθεση όλων των ανακτωμένων υλικών. Στην εισήγηση αυτή συνοφίζεται μελέτη (Κούλης - 1) δημιουργίας μονάδας για ανάκτηση ωρισμένων υλικών με παράλληλη καύση των οργανικών υπολειμμάτων για κάλυψη μέρους των ενεργειακών αναγκών της μονάδας.

ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΚΑΙ ΠΟΣΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Ποσότητα των απορριμμάτων. Σύμφωνα με στοιχεία του Δήμου Θεσσαλονίκης (7) η συνολική ποσότητα των απορριμμάτων για το 1981 ανέρχεται σε 260.000 τόνους, δηλ. 712 τόν./ημέρα, κατά μέσο όρο. Από στοιχεία της Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας (8) προκύπτει ότι ο συνολικός πληθυσμός μείζονος περιοχής Θεσσαλονίκης είναι για το 1981 706.180 κάτοικοι. Επομένως, η ποσότητα των απορριμμάτων που αντιστοιχεί σε ένα κάτοικο ανά ημέρα είναι 1.01 Kg. Αν ληφθεί όμως υπόψη η άνοδος του βιοτικού επιπέδου και μιά ετήσια αύξηση του πληθυσμού της περιοχής Θεσ/νίκης κατά περίπου 2.5% (8) προβλέπεται ένας ετήσιος ρυθμός αύξησης της ποσότητας των απορριμμάτων, περίπου 5% (Δήμος Θεσσαλονίκης - 7).

Ποιότητα των απορριμμάτων. Τα στοιχεία που δόθηκαν από τον Δήμο Θεσσαλονίκης (7) για την σύσταση των απορριμμάτων περιλαμβάνονται στον Πίνακα 1. Παρατηρείται ότι είναι σε ικανοποιητική συμφωνία με δεδομένα για τη σύσταση απορριμμάτων των Αθηνών, τα οποία προέκυψαν από πρόσφατες συστηματικές αναλύσεις που έγιναν από το Υπουργείο Χωροταξίας, Οικισμού και Περιβάλλοντος - ΠΕΡΠΑ (Σκορδίλης - 4), όπως δείχνει ο Πίνακας 2. Ο διαχωρισμός σε ζώνες σ' αυτή την μελέτη έγινε με βάση την εισοδηματική κατάσταση και το μορφωτικό επίπεδο των κατοίκων.

Άλλα ποιοτικά χαρακτηριστικά των απορριμμάτων είναι η υγρασία, η πυκνότητα, η τέφρα και η καύσιμη ύλη. Η υγρασία εκφράζεται συνήθως σαν το βάρος της υγρασίας στη μονάδα βάρους των απορριμμάτων επί ύγρής βάσης. Η υγρασία των απορριμμάτων της Θεσσαλονίκης εκτιμάται σε 44% περίπου (Ζαμπανιώτου - 2). Η πυκνότητα των απορριμμάτων γενικά κυμαίνεται από 0.2 - 0.5 tn/$m^3$. Μιά τυπική τιμή για τα απορρίμματα της περιοχής Θεσσαλονίκης είναι 0.3 tn/$m^3$ (Κούλης - 1). Η τέφρα εκτιμάται ότι είναι 20.4% περίπου (1) και η καύσιμη ύλη υπολογίζεται ότι ανέρχεται σε περίπου 29-30% για τα απορρίμματα της Θεσσαλονίκης (Κούλης - 1, Γιαννέζη - 3).

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ

Η προτεινόμενη διαδικασία απαιτεί για το διαχωρισμό των υλικών αέρα ("ξηρή" μέθοδος). Αυτή η μέθοδος φαίνεται ότι πλεονεκτεί έναντι "υγρών" μεθόδων που απαιτούν νερό ή άλλο υγρό (Pavoni et al - 12, Douglas & Birch - 11).

Η διαδικασία επιτρέπει ανάκτηση χαρτιού, πλαστικών και σιδηρούχων μετάλλων. Ανάκτηση γυαλιού και μη σιδηρούχων μετάλλων δεν συμπεριλαμ-

βάνεται επειδή εκτιμάται ότι τα υλικά αυτά βρίσκονται σε μικρή αναλογία στα απορρίμματα Θεσσαλονίκης. Η εγκατάσταση περιλαμβάνει και μονάδα καύσης μέρους των οργανικών υλικών (κυρίως υπολείμματα τροφών) με σκοπό την ελάττωση της τελικής ποσότητας των απορριμμάτων που πρέπει να διατεθούν για ταφή, καθώς και την παραγωγή της απαιτούμενης ποσότητας θερμότητας για την ξήρανση των κατεργαζομένων απορριμμάτων. Το διάγραμμα ροής φαίνεται στο Σχήμα 1. Τα κύρια τμήματα της εγκατάστασης είναι τα εξής (Κούλης - 1):

1. Παραλαβή και ζύγιση των απορριμμάτων. Τα αυτοκίνητα μεταφοράς μόλις φθάσουν στην εγκατάσταση οδηγούνται σε ζυγούς ώστε να καθορισθεί το βάρος των εισερχόμενων απορριμμάτων.

2. Αποθήκη απορριμμάτων. Μετά την ζύγιση τα αυτοκίνητα μεταφοράς οδηγούνται στο χώρο εκφόρτωσης. Η αποθήκη πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη ώστε να μπορέσει να απορροφήσει τις τυχόν διακυμάνσεις της ημερήσιας ποσότητας των απορριμμάτων. Πρέπει επίσης να είναι καλυμμένη και να επικρατεί υποπίεση ώστε να μη δημιουργείται σκόνη κατά την εκφόρτωση και να αποφεύγεται η δυσοσμία στο περιβάλλον. Τέλος, είναι απαραίτητο να υπάρχει πλήρες σύστημα πυρόσβεσης επειδή υπάρχει κίνδυνος αυτανάφλεξης των απορριμμάτων, ιδιαίτερα αν παραταθεί ο χρόνος αποθήκευσης.

3. Σύστημα διαλογής υλικών (Douglas & Birth - 11, Musil & Scholz - 13, Fläkt - 9). Τα απορρίμματα από την αποθήκη οδηγούνται με σύστημα μεταφορικών ταινιών στη μονάδα διαλογής υλικών. Το πρώτο στάδιο κατεργασίας είναι ο τεμαχισμός που έχει σκοπό ν' ανοίξουν οι πλαστικοί σάκκοι, να "διαλυθούν" τα συσσωρευμένα απορρίμματα και μετά να τεμαχιστούν. Στη συνέχεια τα απορρίμματα οδηγούνται στον αεροδιαχωριστή όπου γίνεται διαχωρισμός σε βαρύ και ελαφρύ κλάσμα. Το βαρύ κλάσμα συλλέγεται στον πυθμένα του αεροδιαχωριστή και με την βοήθεια μεταφορικών ταινιών περνάει από ένα σύστημα μαγνητικού διαχωρισμού, όπου διαχωρίζονται τα σιδηρούχα αντικείμενα και το υπόλοιπο οδηγείται στους χώρους τελικής διάθεσης. Το ελαφρύ κλάσμα από τον αεροδιαχωριστή περνά από ένα κυκλώνα για την συγκράτηση της σκόνης και την απομάκρυνση του αέρα και κατόπιν οδηγείται στον ξηραντήρα όπου μειώνεται η υγρασία σε 15%, ποσό βέλτιστο για την διευκόλυνση των επομένων σταδίων διαλογής. Η ξήρανση γίνεται κατ' αντιρροή με θερμά απαέρια από την μονάδα καύσης των απορριμμάτων.

Στη συνέχεια το ρεύμα των απορριμμάτων περνά από ένα κόσκινο με περιστρεφόμενο τύμπανο όπου γίνεται ο διαχωρισμός των υπολειμμάτων τροφών από τα πλαστικά και τα χαρτιά. Το μίγμα χαρτιών και πλαστικών ακολού-

θως υφίσταται νέα κατεργασία με αεροδιαχωρισμό όπου λαμβάνεται ένα κλάσμα προϊόντων πλούσιο σε χαρτί και ένα πλούσιο σε πλαστικά.

4. Μονάδα καύσης (Tchobanoglous et al - 13). Τα υπολείμματα τροφών και άλλα οργανικά συστατικά οδηγούνται στην μονάδα καύσης όπου καίγονται με την βοήθεια αέρα. Τα απαέρια διοχετεύονται σε δεύτερο θάλαμο καύσης για να καούν πλήρως τα απομείναντα οργανικά συστατικά. Τα θερμά απαέρια από την καύση ανακυκλώνονται στην ξηραντήρα με σκοπό να προσδώσουν το απαραίτητο ποσό θερμότητας για την ξήρανση των απορριμμάτων. Υπό κανονικές συνθήκες τα αέρια προϊόντα που παράγονται από την καύση των παραπάνω συστατικών περιέχουν $CO_2$, $O_2$, $H_2O$, $N_2$, $SO_2$. Η σύσταση των απαερίων και η περιεκτικότητα σε οξείδια αζώτου και θείου αναμένεται ότι θα είναι μέσα στα επιτρεπόμενα όρια ώστε να μην χρειάζεται καθαρισμός πριν απ' την απελευθέρωσή των στην ατμόσφαιρα.

ΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η δυναμικότητα της εγκατάστασης πρέπει να επιτρέπει κατεργασία του συνόλου των συλλεγομένων απορριμμάτων. Η ποσότητα των απορριμμάτων για το 1987 (έτος λειτουργίας της μονάδας) προβλέπεται (Κούλης - 1) να φθάσει τους 348.000 τόνους. Η δυναμικότητα όμως της μελετώμενης μονάδας επηρεάζεται απ' τη μέγιστη δυναμικότητα των διαθέσιμων επί μέρους μηχανημάτων και συσκευών. Π.χ. η δυναμικότητα των αεροδιαχωριστών φαίνεται ότι δεν μπορεί να υπερβαίνει τους 20 tn/hr. Έτσι καθορίζεται ότι η μονάδα θα διαθέτει τρεις (3) παράλληλες γραμμές λειτουργίας με δυναμικότητα η κάθε μία 20 tn/hr.

Σύμφωνα με τα παραπάνω δεδομένα η συνολική ετήσια ποσότητα απορριμμάτων που μπορεί να κατεργάζεται η εγκατάσταση φθάνει τους 420.000 τόνους. Η ποσότητα αυτή προβλέπεται ότι θα συγκεντρώνεται κατά το 1991. Μετά το 1991 θα χρειασθεί μιά τέταρτη γραμμή λειτουργίας. Από το ισοζύγιο μάζας της εγκατάστασης έχει υπολογισθεί η δυναμικότητα των βασικών στοιχείων του μηχανολογικού εξοπλισμού, η οποία δίδεται στον Πίνακα 3.

Λεπτομέρειες και αποτελέσματα των τεχνικών υπολογισμών για τις αποθήκες, μεταφορικές ταινίες, μονάδα καύσης, απαέρια κ.λ.π. δίδονται στην εργασία του Κούλη (1). Στην μονάδα καύσης καίγονται όλα τα οργανικά υπολείμματα (υπολείμματα τροφών) και το ποσό θερμότητας που παράγεται είναι 45.500.000 Kwh/hr ενώ η θερμογόνος δύναμη των οργανικών που καίγονται ανέρχεται σε 3.780 Kwh/Kg. Η ποσότητα των απαερίων που προκύπτουν ανέρχεται σε 120.000 $Nm^3/hr$. Η θερμοκρασία εξόδου των από την καμινάδα μπορεί να είναι περίπου 500°C, αν δεν υπάρξει εκμετάλλευση της θερμότητάς των για παραγωγή ατμού ή άλλη χρήση.

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Σαν χρόνος έναρξης λειτουργίας της εγκατάστασης θεωρείται το 1987 ενώ η μελέτη έγινε το 1983. Η οικονομική ζωή μιάς τέτοιας εγκατάστασης θεωρείται 25 χρόνια. Ο συντελεστής λειτουργικότητας λαμβάνεται ίσος με 0.80 και ο χρόνος απόσβεσης της εγκατάστασης 10 χρόνια.

Από την προκαταρκτική μελέτη υπολογίζεται ότι το κόστος του μηχανολογικού εξοπλισμού (CIF) για το 1987 είναι 835.000.000 δρχ. και η συνολική επένδυση ανέρχεται σε 2.323.000 δρχ. Το σύνολο των δαπανών λειτουργίας υπολογίζεται ότι θα είναι 933.000.000 δρχ., δηλαδή 2.200 δρχ./τόνο απορριμμάτων. Τα έσοδα της εγκατάστασης από την πώληση των ανακτηθέντων υλικών εκτιμάται ότι θα ανέρχονται σε 486.000.000 δρχ./έτος. Επομένως η προκύπτουσα ετήσια επιβάρυνση είναι 1.060 δρχ./τόνο απορριμμάτων. Ο τρόπος υπολογισμού των εσόδων δίνεται παρακάτω.

Από στοιχεία για μιά αντίστοιχη μονάδα ανάκτησης υλικών που λειτουργεί από το 1978 στην Ολλανδία κατασκευασμένη από την σουηδική εταιρεία Fläkt Installator A.B. (9), το συνολικό κόστος της ανήλθε σε 4.000.000 $ το 1978, και το κόστος λειτουργίας σε 13 $/τόνο για μιά δυναμικότητα 120.000 τόνων ετησίως. Μετά από αναγωγή σε δυναμικότητα 420.000 τόνων και χρονική αναγωγή για το 1987 προκύπτει ότι το συνολικό κόστος ανέρχεται σε 2.000.000.000 δρχ. και το κόστος λειτουργίας σε 2.200 δρχ./τόνο. Τα αποτελέσματα αυτά σχεδόν συμπίπτουν με τα αποτελέσματα των υπολογισμών που έχουν γίνει στην παρούσα μελέτη.

Έσοδα. Από την μέχρι σήμερα διεθνή εμπειρία το ποσοστό των υλικών που μπορεί να ανακτηθεί (Fläkt -9) και οι αντίστοιχες ποσότητες είναι:

- Σιδηρούχα μέταλλα 95% Ανάκτηση ∿ 16.000 τόνοι/έτος
- Χαρτί 70% " ∿ 58.800 " "
- Πλαστικά 70% " ∿ 26.500 " "

Οι τιμές των ανακτωμένων υλικών στην αγορά φαίνεται ότι υφίστανται έντονες διακυμάνσεις ανάλογα με τη ζήτησή τους και την τιμή της πρώτης ύλης. Οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη και τα αντίστοιχα ετήσια έσοδα είναι:

- Χαρτί 6 δρχ/Kg (Ιακωβίδης - 14), Έσοδα 353.000.000
- Σιδηρούχα μέταλλα 2.5 δρχ/Kg (Τ.Ε.Ε. - 6), " 40.000.000
- Πλαστικά 3.5 δρχ/Kg (Καραδήμος - 5), " 93.000.000

Γενικά οι παραπάνω οικονομικές εκτιμήσεις θεωρούνται συντηρητικές. Επίσης δεν έχει ληφθεί υπόψη ότι η καύση των οργανικών μπορεί να αξιοποιηθεί εκτός από την ξήρανση και για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (σταθμός ισχύος ∿ 0.7 MW).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ


1. Κούλης Δ., "Ανάκτηση υλικών από οικιακά απορρίματα μείζονος περιοχής Θεσσαλονίκης, Προκαταρκτική οικονομοτεχνική μελέτη", Διπλωματική εργασία, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Α.Π.Θ. 1983.
2. Ζαμπανιώτου Α., "Αξιοποίηση των οικιακών απορριμμάτων μείζονος περιοχής Θεσσαλονίκης για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας", Διπλωματική εργασία, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Α.Π.Θ., 1979.
3. Γιαννέζη Τ., "Πυρόλυση δημοτικών απορριμμάτων μείζονος περιοχής Θεσσαλονίκης, προκαταρκτική οικονομοτεχνική μελέτη", Διπλωματική εργασία, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Α.Π.Θ., 1983.
4. Σκορδίλης Α., "Αναλύσεις οικιακών απορριμμάτων με στατιστικά παραδεκτές μεθόδους στην ευρύτερη περιοχή Αθηνών", Τελική Έκθεση, ΥΧΟΠ - ΠΕΡΠΑ, Οκτώβριος 1984.
5. Καραδήμος Κ. και συνεργάτες Ε.Π.Ε., "Πειραματική μονάδα ανάκτησης χρησίμων υλικών από τα απορρίμματα", Μελέτη που υποβλήθηκε στο Υπουργείο Εσωτερικών, Γενική Διεύθυνση Προγραμματισμών και Μελετών, Αθήνα, 1978.
6. Τ.Ε.Ε. - Ομάδα εργασίας, Τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας, "Η διάθεση των απορριμμάτων στη Θεσσαλονίκη", Τεχνική ενημέρωση, Φεβρουάριος - Μάρτιος 1978.
7. Στοιχεία που δόθηκαν από τον κ. Κωνσταντινίδη, Υπηρεσία Καθαριότητας Δήμου Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, 1983.
8. Εθνική Στατιστική Υπηρεσία, Δελτίο Απογραφής Πληθυσμού, Αθήνα, 1982.
9. Fläkt Installator A.B., Fack, S-10460 Stockholm, Sweden, Προσωπική Επικοινωνία, Μάρτιος 1983.
10. Douglas, P.R. Birth, "Recovery of Potentially Reusable Materials from Domestic Refuse by Physical Sorting", Resource Recovery and Conservation, 4, p.p. 319-345, 1976.
11. Pavoni J.L., Heer J.E., Hagerty J.D., "Handbook of Solid Waste Disposal", Van Nostrand Reinhold Company, 1975.
12. Musil J.E., Scholz P.D., "Reduced size model study of two air classifiers", Journal of the Environmental Engineering Division, Vol. 104, No 8, August 1978.
13. Tchobanoglous G., Theisen H., Eliassen R., "Solid Waste Engineering Principles and Management Issues", McGraw-Hill, 1977.
14. Στοιχεία που δόθηκαν από τον κ. Σ. Ιακωβίδη, ΜΕΛ, Θεσσαλονίκη, 1983.

Πίνακας 1: Σύσταση απορριμμάτων περιοχής Θεσ/νίκης

| Συστατικά | Σύσταση (%κ.β.) |
|---|---|
| Χαρτί | 20 |
| Υπολείμματα τροφών | 60 |
| Πλαστικά | 9 |
| Σιδηρούχα μέταλλα | 4 |
| Γυαλιά | 1 |
| Ξύλα - Ράκη | 3 |
| Αδρανή | 3 |
| Μη σιδηρούχα μέταλλα | <<1 |

Πίνακας 2: Ποσοστιαία μέση τιμή αναλύσεων των οικιακών απορριμμάτων της ευρύτερης περιοχής της Αθήνας ανά ζώνη (Σκορδίλης - 4).

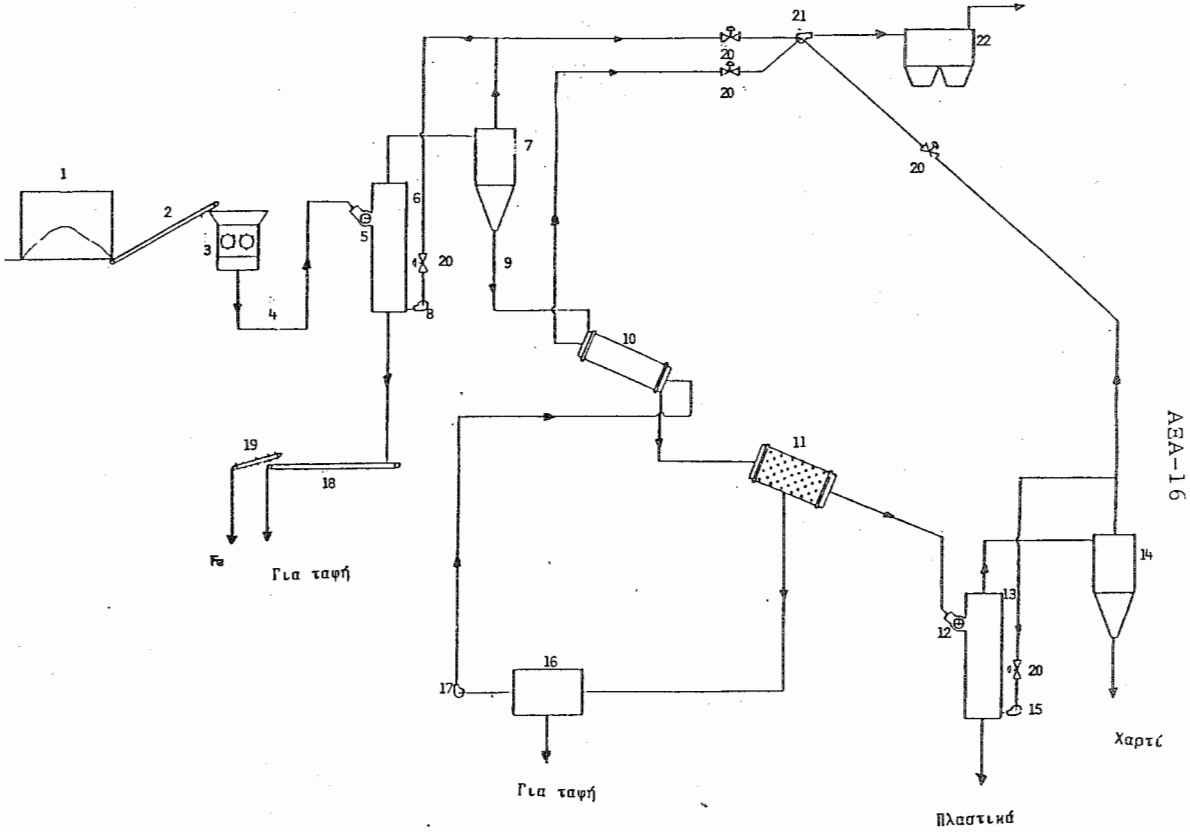
| Υλικά \ Ζώνες | I | II | III | IV |
|---|---|---|---|---|
| - Χαρτί | 20,30 | 19,84 | 18,47 | 18,81 |
| - Υπολείμματα τροφών | 58.00 | 64.21 | 59.07 | 56.42 |
| - Πλαστικά | 7.27 | 7.04 | 6.79 | 7.09 |
| - Μέταλλα | 3.92 | 4.17 | 3.51 | 4.38 |
| - Γυαλιά | 3.00 | 2.82 | 2.06 | 2.64 |
| - Ξύλα - Ράκη | 2.90 | 3.10 | 4.38 | 3.78 |
| - Αδρανή και Υπόλοιπα | 4.71 | 4.77 | 5.60 | 57.00 |

Πίνακας 3: Δυναμικότητα στοιχείων του μηχανολογικού εξοπλισμού

| Είδος εξοπλισμού | Αριθμός | Δυναμικότητα t/hr |
|---|---|---|
| Σύστημα τροφοδοσίας | 3 | 20 |
| Μύλοι τεμαχισμού | 3 | 20 |
| 1ος αεροδιαχωριστής | 3 | 5 |
| Μαγνητικός διαχωριστής | 3 | 5 |
| Ξηραντήρας | 3 | 16 |
| Κόσκινο | 3 | 11 |
| 2ος διαχωριστής | 3 | 6 |
| Μονάδα καύσης | 1 | 14 |

Τα στοιχεία του διαγράμματος ροής είναι:

1. Αποθήκη απορριμμάτων
2. Μεταφορική ταινία
3. Μύλος τεμαχισμού
4. Μεταφορική ταινία
5. Περιστρεφόμενο σύστημα τροφοδοσία
6. Αεροδιαχωριστής
7. Κυκλώνας
8. Ανεμιστήρας
9. Μεταφορική ταινία
10. Ξηραντήρας
11. Κόσκινα με περιστρεφόμενο τύμπανο
12. Περιστρεφόμενο σύστημα τροφοδοσίας
13. Αεροδιαχωριστής
14. Κυκλώνας
15. Ανεμιστήρας
16. Μονάδα καύσης
17. Ανεμιστήρας
18. Μεταφορική ταινία
19. Μαγνητικός διαχωριστής
20. Ρυθμιστικές βαλβίδες
21. Ανεμιστήρας
22. Φίλτρο καθαρισμού απαερίων




Σχήμα 1: Διάγραμμα ροής του προτεινόμενου συστήματος ανάκτησης

ΤΙΤΛΟΣ ΕΙΣΗΓΗΣΗΣ: ΚΥΜΑΤΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ: ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΥΠΟΣΧΕΣΗ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Δημήτριος Κανελλόπουλος
Αεροναυπηγός Μηχανολόγος Μηχανικός B.SC., PH.D.
Παν/μίου MANCHESTER Αγγλίας.
Καθηγητής Τ.Ε.Ι. Πειραιά.
Καλλιδρομίου 34, 114 73 ΑΘΗΝΑ, τηλ: 3606476

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα κύματα εσωτερικής βαρύτητας (Κ.Ε.Β.) αποτελούν ανεξάντλητη πηγή ενέργειας. Η περιοχή της θάλασσας THERMOCLINE παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τη μελέτη των Κ.Ε.Β.

Στην εισήγηση παρουσιάζονται οι εργαστηριακοί τρόποι μελέτης των Κ.Ε.Β. στην περιοχή THERMOCLINE και συγκρίνονται τα πειράματα με τη θεωρία.

ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ: Κύματα εσωτερικής βαρύτητας (INTERNAL GRAVITY WAVES) - Περιοχή THERMOCLINE - Ρευστά σταθερού στρωματισμού.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα κύματα αυτά συμβαίνουν στους ωκεανούς, στις λίμνες και στην ατμόσφαιρα. Η μελέτη τους αποτελεί έναν κλάδο της Μηχανικής των Ρευστών. Τα Κ.Ε.Β. είναι ταλαντώσεις σε ρευστά με σταθερό στρωματισμό (STRATIFIED FLUIDS), όπου η μέγιστη κάθετη μετακίνηση λαμβάνει χώρα κάτω από την επιφάνεια του ρευστού. Η βαρύτητα ενεργεί ως μόνη δύναμη επαναφοράς. Όταν μια ποσότητα ρευστού υψώνεται ή χαμηλώνει από τη θέση ισορροπίας της, τότε οι δυνάμεις άντωσης τείνουν να επαναφέρουν το ρευστό στην αρχική του θέση. Έστω ένα μέρος ρευστού P που μετακινείται από τη θέση ισορροπίας Z στη θέση Z+ζ. Αν υποθέσουμε ότι η πυκνότητα ελαττώνεται με το ύψος, τότε η δύναμη της βαρύτητας τείνει να επαναφέρει το ρευστό P στη θέση Z.

Η δύναμη επαναφοράς F είναι: $F = -\zeta g \frac{d\rho}{dz} V$ , (I.I)

όπου $g$ είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας και V ο όγκος του ρευστού P.

Η εξίσωση κίνησης του ρευστού είναι: $\frac{d^2\zeta}{dz^2} - \frac{g}{\rho}\frac{d\rho}{dz}\zeta = 0$ . (I.2)

Το ρευστό P λοιπόν τίθεται σε απλή αρμονική κίνηση (A.A.K.) και η ιδιοσυχνότητά του είναι:

$$N = \left\{ -\frac{g}{\rho}\frac{d\rho}{dz} \right\}^{1/2} . \qquad (I.3)$$

2. Κ.Ε.Β. στη θάλασσα

Η πυκνότητα της θάλασσας εξαρτάται από την πίεση $p$, τη θερμοκρασία T και την περιεκτικότητα σε άλατα S (αλμυρότητα). Το διάγραμμα I δείχνει τις αλλαγές της θερμοκρασίας και της αλμυρότητας σε διάφορες θάλασσες.

Στο διάγραμμα 2 φαίνεται η πυκνότητα της θάλασσας σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία και αλμυρότητα κάτω από συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης.

Στο διάγραμμα 3 απεικονίζεται η αλλαγή της πυκνότητας σε συνάρτηση με το βάθος της θάλασσας καθώς και η μεταβολή της ιδιοσυχνότητας N. Παρατηρούμε λοιπόν ένα μέγιστο στην τιμή N σε βάθος που κυμαίνεται από 200 έως 1000m. Η περιοχή αυτή λέγεται THERMOCLINE και το πάχος της εξαρτάται από τις γεωγραφικές συντεταγμένες της περιοχής. Το διάγραμμα 3 δείχνει μία ιδανική κατανομή της ιδιοσυχνότητας ανάλογα με το βάθος. Οι πραγματικές μετρήσεις όμως από ωκεανογραφικά πλοία φαίνονται στο διάγραμμα 4:

Οι περιοχές THERMOCLINE διακρίνονται σε εποχιακές και μόνιμες. Το εποχιακό THERMOCLINE είναι φαινόμενο του καλοκαιριού και βρίσκεται κοντά στην επιφάνεια της θάλασσας. Με την αύξηση της T την άνοιξη η θάλασσα δέχεται μεγαλύτερα ποσά θερμότητας απ' ό,τι χάνει. Ο άνεμος κατόπιν αναμιγνύει την επιφάνεια και αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μετάδοση θερμότητας προς τα κάτω. Αυτό δημιουργεί ένα ισόθερμο στρώμα με θερμοκρασία μεγαλύτερη από αυτή του νερού, που βρίσκεται κάτω από το στρώμα αυτό. Αυτό το στρώμα σταθεροποιείται το καλοκαίρι. Το φθινόπωρο η θάλασσα χάνει θερμότητα προς την ατμόσφαιρα και το εποχιακό THERMOCLINE εξαφανίζεται.

Η δυναμική των Κ.Ε.Β. εξαρτάται μόνο από την κατακόρυφη αλλαγή της πυκνότητας $\rho$. Η ιδιοσυχνότητα του ρευστού, που μετατοπίζεται από τη θέση ισορροπίας θα είναι:

$$N(z) = \left\{ -\frac{g}{\rho}\frac{d\rho}{dz} - \frac{g^2}{c^2} \right\}^{1/2}, \qquad (2.I)$$

όπου $c$ = ταχύτητα του ήχου.
Η ιδιοσυχνότητα N(Z) ονομάζεται και συχνότητα VAISALA - BRUNT ή και συχνότητα άντωσης. Για τα Κ.Ε.Β. στη θάλασσα ο όρος $g^2/c^2$ είναι πολύ μικρότερος του πρώτου όρου του δεύτερου μέρους της εξίσωσης 2.I, γι' αυτό μπορούμε να τον θεωρήσουμε αμελητέο.

Η πρώτη αναφορά στο φαινόμενο των Κ.Ε.Β. έγινε από τον εξερευνητή NANSEN το 1893, όταν άρχιζε την εξερεύνηση του Αρκτικού Ωκεανού: Όταν με το πλοίο του προσπάθησε να βγει από ένα φιόρδ, όπου το γλυκό νερό του ποταμού βρισκόταν πάνω από το θαλασσινό, το πλοίο πήγαινε πιο αργά από ό,τι έπρεπε. Το φαινόμενο αυτό το ονόμασε "νεκρό νερό". Πειράματα του EKMAN το 1904 έδειξαν ότι το πλοίο δημιουργούσε Κ.Ε.Β. στην επιφάνεια μεταξύ αλμυρού και γλυκού νερού.

Κ.Ε.Β. όμως δημιουργούνται από φυσικά φαινόμενα· ένα βαρομετρικό πεδίο που μετακινείται μπορεί να προκαλέσει τέτοιου είδους κυματισμούς. Τα κύματα της επιφάνειας έχουν

ως αποτέλεσμα τη μεταφορά της κίνησης προς τα κατώτερα στρώματα της θάλασσας και συνεπώς τη διέγερση Κ.Ε.Β. Η πιό γνωστή όμως αιτία διέγερσης Κ.Ε.Β. είναι η τοπογραφία του πυθμένα. Η ροή των θαλασσίων ρευμάτων πάνω από τον ανώμαλο βυθό είναι παρόμοια με εκείνη του ατμοσφαιρικού αέρα πάνω από τα βουνά. Η κίνηση της παλίρροιας πάνω από την κατάλληλη μορφολογία βυθού μπορεί επίσης να διεγείρει Κ.Ε.Β.

## 3. Εργαστηριακή μελέτη των Κ.Ε.Β.

Τα πειράματα έγιναν σε μια δεξαμενή με γυάλινα τοιχώματα διαστάσεων 1,8 Χ 0,55 Χ 0,9m. Για τη δημιουργία στρωματισμού χρησιμοποιήθηκαν νερό και αλάτι: Μια ορισμένη ποσότητα αλατιού διαλύεται σε νερό και τοποθετείται σε δεξαμενή Α. Μια δεύτερη δεξαμενή Β γεμίζει με νερό. Ο εργαστηριακός χώρος ελέγχεται θερμοστατικά, ώστε να μη παρουσιάζονται διακυμάνσεις λόγω αλλαγών της θερμοκρασίας. Το αλατόνερο από την Α διοχετεύεται μέσα στη Β, όπου αναμιγνύεται καλά. Ταυτόχρονα το διάλυμα διοχετεύεται στη γυάλινη δεξαμενή. Καθώς όλο και περισσότερο μίγμα ρέει στη δεξαμενή Τ, η ειδική πυκνότητα του μίγματος στη δεξαμενή Β αυξάνεται. Το αποτέλεσμα είναι η δημιουργία μιας γραμμικής διαμόρφωσης της πυκνότητας ως προς το ύψος της δεξαμενής Τ: Στην επιφάνεια υπάρχει νερό και στον πυθμένα πυκνό αλατόνερο. Τα πειράματα διεξάγονται σχεδόν αμέσως μετά την πλήρωση της δεξαμενής Τ.

Η δημιουργία μιας περιοχής THERMOCLINE επιτυγχάνεται με αναρρόφηση ποσότητας υγρού από κάποιο συγκεκριμένο ύψος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μια απότομη μεταβολή της πυκνότητας, όπως συμβαίνει και στην πραγματικότητα.

Άλλος τρόπος είναι να γεμίσουμε τη μισή δεξαμενή με νερό και κατόπιν να εισαγάγουμε αλατόνερο ορισμένης πυκνότητας στο κάτω μέρος της δεξαμενής Τ. Η διάχυση που λαμβάνει χώρα δημιουργεί μία περιοχή τύπου THERMOCLINE.

Το διάγραμμα 5 δείχνει την κάτοψη της πειραματικής διάταξης με τους καθρέφτες και τη δεξαμενή· και το διάγραμμα 6 την πρόσοψη της δεξαμενής.

Ο μηχανισμός διέγερσης Κ.Ε.Β. είναι ένας κύλινδρος με μήκος όσο και το πλάτος της δεξαμενής και διάμετρο από 1 έως 10mm. Μέ κατάλληλο μηχανισμό ο κύλινδρος εκτελεί Α.Α.Κ. και οι ταλαντώσεις του έχουν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία Κ.Ε.Β. Οι φωτογραφίες Φ δείχνουν τα Κ.Ε.Β. που δημιουργούνται. Παρατηρούμε δύο είδη αρμονικών:

Στην πρώτη περίπτωση το πάνω μισό μέρος του THERMOCLINE κινείται αντίθετα από το κάτω μισό, ενώ στη δεύτερη ολόκληρη η περιοχή κινείται στην ίδια διεύθυνση.

## 4. Θεωρητική αντιμετώπιση του προβλήματος

Στη θεωρητική ανάλυση τα ρευστά εκλαμβάνονται ως μη τριβώδη και ασυμπίεστα. Χρησιμοποιείται η προσέγγιση

BOUSSINESQ. Δηλαδή: Ενώ η αλλαγή της πυκνότητας από επίπεδο σε επίπεδο δημιουργεί μια σημαντική δύναμη επαναφοράς -και αυτό λαμβάνεται υπ' όψη στην εξίσωση της ορμής, οι ταλαντώσεις του ρευστού γίνονται σε τόσο χαμηλές συχνότητες, ώστε ο ρυθμός της αλλαγής της επιπλέον πυκνότητας δεν επηρεάζει την εξίσωση συνεχείας. Έτσι οι αλλαγές στην πυκνότητα δεν λαμβάνονται υπ' όψη, παρά μόνο όταν πολλαπλασιάζονται με τον συντελεστή βαρύτητας $g$.

Η θεωρητική μορφή της περιοχής THERMOCLINE που χρησιμοποιήθηκε ειναι:

$$\rho = \rho_c \exp\left\{\frac{\Delta\rho}{2\rho_c}\tanh\left(\frac{2Z}{\varepsilon}\right)\right\}, \qquad (4.I)$$

όπου $\rho_c$ = πυκνότητα στο κέντρο του THERMOCLINE
$\Delta\rho$ = διαφορά πυκνότητας πάνω και κάτω στρώματος
$Z$ = κατακόρυφη απόσταση (μετριέται από το κέντρο)
$\varepsilon$ = χαρακτηριστικό πάχος του THERMOCLINE
$N_c$ = ιδιοσυχνότητα στο κέντρο του THERMOCLINE

$$\varepsilon = \frac{g\Delta\rho}{N_c^2\rho_c} \qquad (4.2)$$

Από τις φωτογραφίες έγιναν μετρήσεις του μήκους κύματος λ.

Το διάγραμμα 7 δείχνει τη συμφωνία πειράματος και θεωρίας, όσον αφορά τις δύο αρμονικές που παρατηρήθηκαν.

## 5. Συμπεράσματα

Η παρουσία των Κ.Ε.Β. είναι αρκετά γνωστή και η δυνατότητά τους να μεταφέρουν ενέργεια έχει εξαιρετικό ενδιαφέρον. Μηχανισμοί παρόμοιοι με αυτούς, που έχουν ήδη δοκιμαστεί για την εξαγωγή ενέργειας από τα επιφανειακά κύματα, κατάλληλα τοποθετημένοι στα βάθη που βρίσκεται η περιοχή THERMOCLINE, μπορούν να αντλήσουν πολύτιμη ενέργεια, που ίσως μια μέρα αποδειχθεί απαραίτητη στον άνθρωπο.

Τα εργαστηριακά πειράματα έδειξαν ότι είναι εφικτό να μελετηθούν τα Κ.Ε.Β. κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες, για να βγούν τα απαραίτητα συμπεράσματα, που είναι αναγκαία για τη μελέτη του φαινομένου.

Βιβλιογραφία


I. EKMAN, V.W. (I904) ON DEAD WATER. SCIENTIFIC RESULTS OF THE NORWEGIAN NORTH POLAR EXPEDITION I893 - I896. 5 (I5),I.

2. GORDON, D. (I972) PH.D. THESIS. UNIVERSITY OF MANCHESTER, G.B.

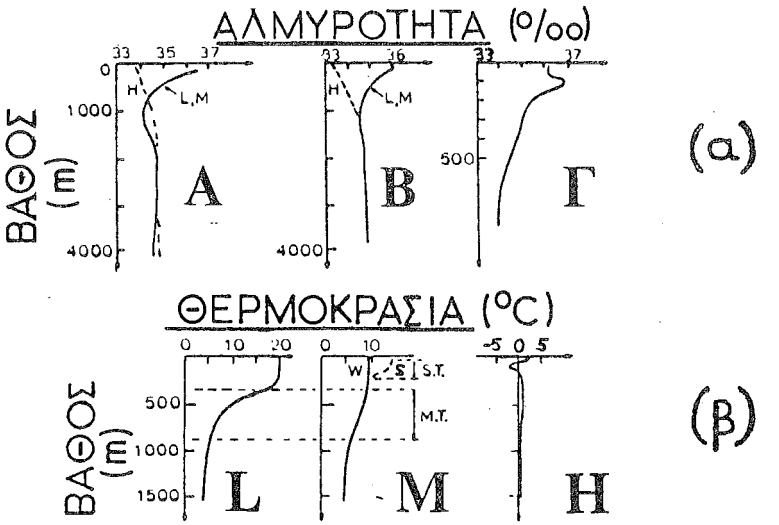
3. KANELLOPULOS, D. (I982) PH.D. THESIS. UNIVERSITY OF MANCESTER, G.B.

4. LIGHTHILL, M.J. (I978) WAVES IN FLUIDS. CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS.

5. PHILLIPS, O.M. (I977) THE DYNAMICS OF THE UPPER OCEAN. SC. ED. CAMERIDGE UNIVERSITY PRESS.

6. PICKARD, G.L. (I963) DESCRIPTIVE PHYSICAL OCEANOGRAPHY. PERGAMON PRESS.

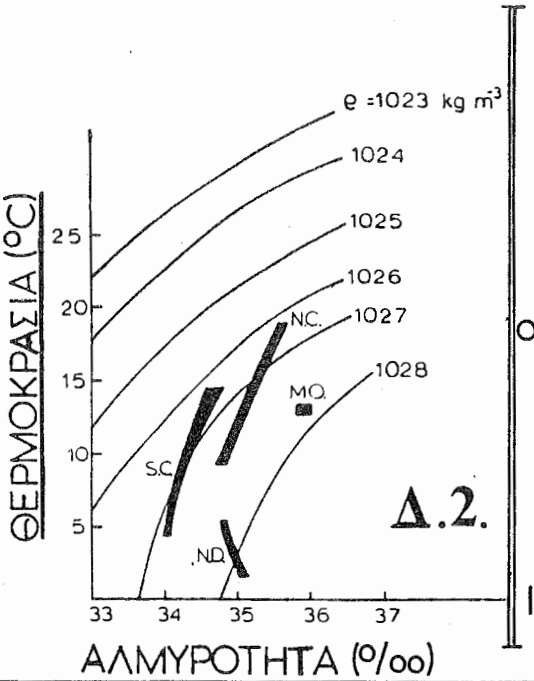
7. ROBERTS, J. (I975) INTERNAL GRAVITY WAVES IN THE OCEAN. MARCEL DEKKER INC. N.Y.

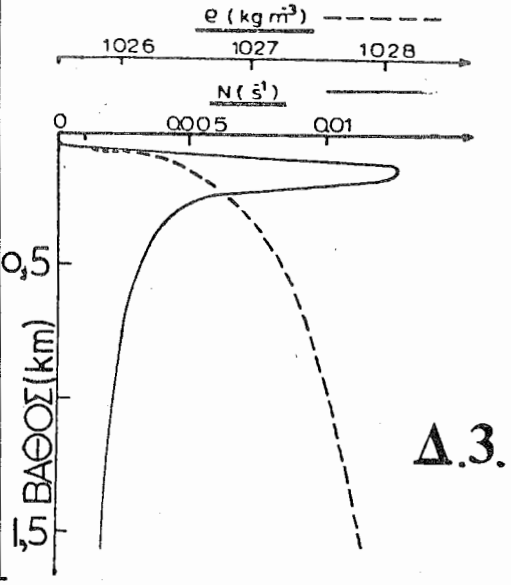

(Α) ΑΤΛΑΝΤΙΚΟΣ (Β)) ΕΙΡΗΝΙΚΟΣ (Γ)ΤΡΟΠΙΚΟΙ
----- ΜΕΓΑΛΟ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΠΛΑΤΟΣ (Γ.Π.)----H---
——— ΜΙΚΡΟ - ΜΕΣΟ Γ.Π. ——— L,M ———

Δ.Ι. Χαρακτηριστικές μεταβολές της (α) αλμυρότητας και (β) θερμοκρασίας στους ανοικτούς ωκεανούς.

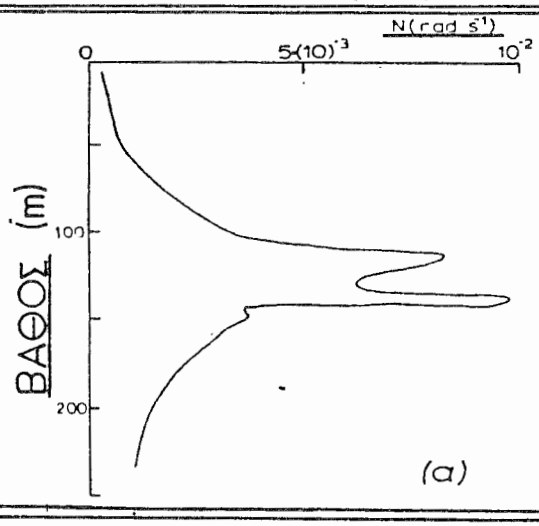
M.T. ΜΟΝΙΜΟ THERMOCLINE
S.T. ΕΠΟΧΙΑΚΟ ———//———
W = ΧΕΙΜΩΝΑΣ : S=ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ

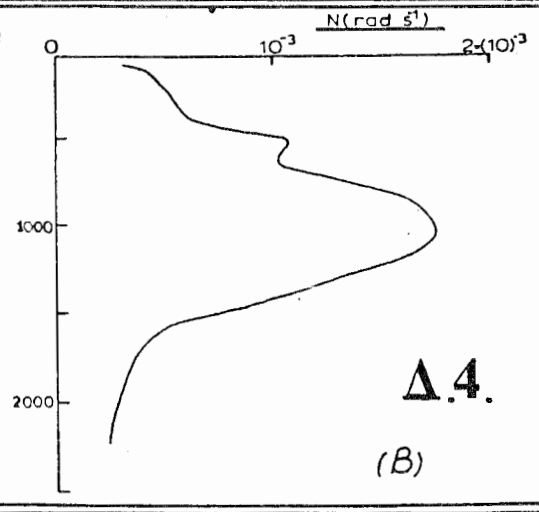



Δ.2.




Δ.3.



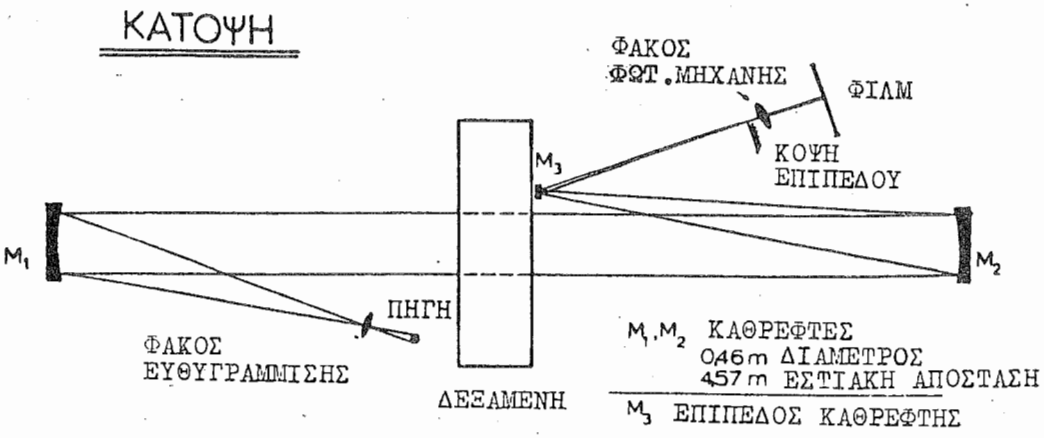




Δ.4.

Δ.2. Η πυκνότητα ρ του νερού ορισμένης θερμοκρασίας και αλμυρότητας κάτω από ατμοσφαιρικές συνθήκες πίεσης. Οι σκιαγραφημένες περιοχές είναι αντιπροσωπευτικές του Ατλαντικού ωκεανού.

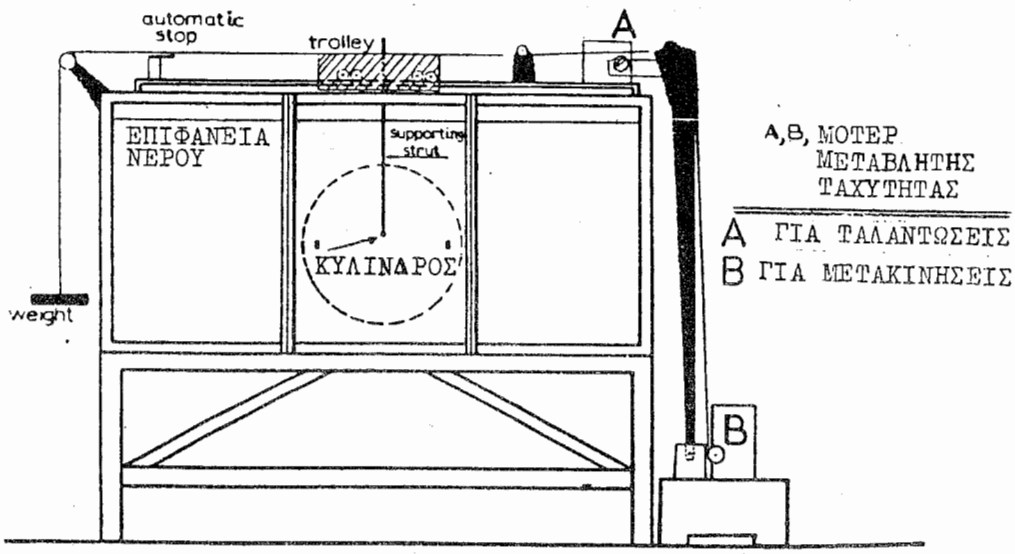
Δ.3. Μεταβολή της πυκνότητας ρ και της ιδιοσυχνότητας N συναρτήσει του βάθους.

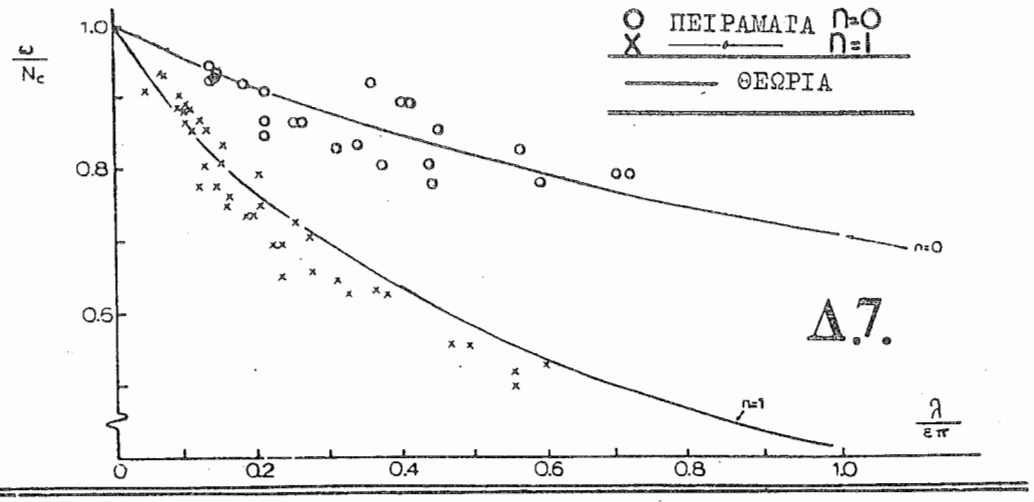
Δ.4. Μεταβολή της ιδιοσυχνότητας σε (α) εποχιακό και (β) μόνιμο THERMOCLINE.



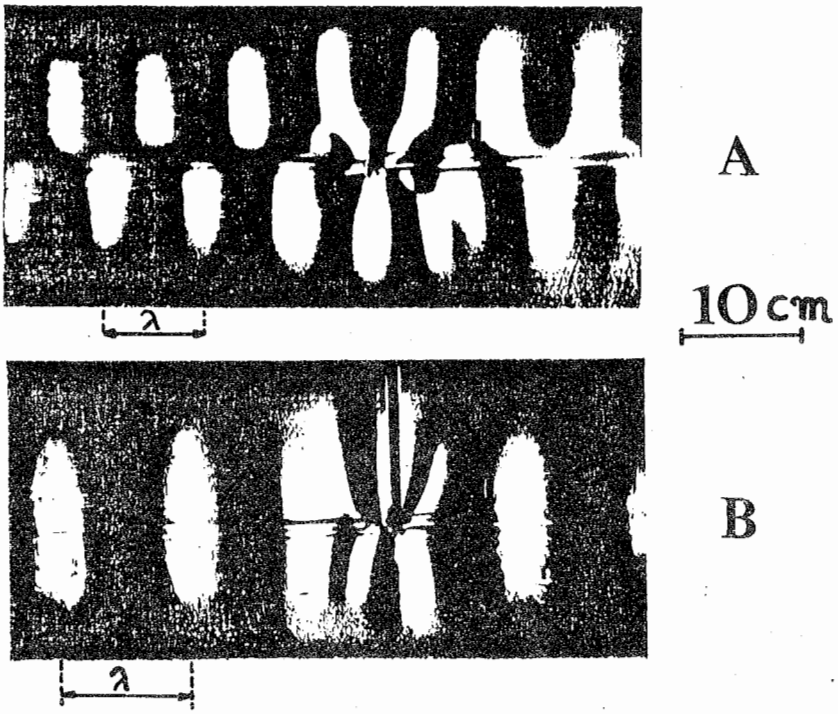

Δ.5. Το οπτικό σύστημα SCHLIEREN.

Δ.6. Η πειραματική διάταξη.






Δ.7.




Φ.

Δ.7. Σύγκριση πειράματος και θεωρίας.
Φ. (Α) Πρώτη Αρμονική η=Ι, $\omega/N_c$= 0,85, $N_c$=0,76 rad/s
ε = 170 mm.
(Β) Βασική Αρμονική η=0, $\omega/N_c$= 0,92.

# ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΤΕΧΝΙΚΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΜΟΝΙΜΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ, ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΘΑΛΑΣΣΙΟΥΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ.

ΜΙΧΑΛΗΣ ΣΠΥΡΙΔΑΚΗΣ
Δρ.Πολ.Μηχ.Ερευνητής στον τομέα Θαλάσσια Μηχανική του L.H.N.-E.N.S.M.- ΓΑΛΛΙΑ.

## I.ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στα τέλη του 1979,το Γαλλικό Ινστιτούτο για την Εκμετάλλευση της Θάλασσας (IFREMER),σε συνεργασία με το Εργαστήριο Υδροδυναμικής (L.H.N.)ανάλαβαν την πρωτοβουλία να ερευνήσουν τις δυνατότητες παραγωγής ενέργειας από τους θαλάσσιους κυματισμούς.Από τότε,πολλές μελέτες (θεωρητικές,αριθμητικές και πειραματικές) έχουν εκπονηθεί.
Μεταξύ των λύσεων που κρίθηκαν αποδοτικές είναι οι μόνιμες εγκαταστάσεις τύπου κεκλιμένου επιπέδου και τριέδρων,(βλ.βιβλ. [1] και [2]).
Ο σκοπός της εργασίας αυτής είναι ο προσδιορισμός της επίδρασης των χαρακτηριστικών παραμέτρων των κεκλιμένων επιπέδων και τριέδρων | πάνω στα κριτήρια σκοπιμότητας και οικονομικής βιοσιμότητας των συστημάτων αυτών.Η ανάλυση έγινε με Η.Υ.και είναι βασισμένη σε πειραματικά αποτελέσματα και πραγματικά τεχνικο-οικονομικά δεδομένα.Εφαρμογή του προγράμματος έγινε στην περίπτωση του νησιού Μαρέ.

## II.ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ

Ενέργεια Κυμάτων-Κεκλιμένα Επίπεδα-Τρίεδρα-Θαλάσσια Μηχανική Παράκτιες Κατασκευές-Οικονομία.

## III.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι εγκαταστάσεις τύπου κεκλιμένου επιπέδου,ή τριέδρων,είναι παράκτιες μόνιμες κατασκευές από ωπλισμένο σκυρόδεμα.Η προς την θάλασσα πλευρά τους έχει την μορφή ράμπας,απλής(βλ.σχ.1) ή εξοπλισμένης με ζεύγη συγκλινόντων εγκάρσιων τοιχωμάτων(βλ.σχ.2).
Τα προσπίπτοντα κύματα υπερπηδούν την στέγη των έργων αυτών, κάτω από ωρισμένες προϋποθέσεις και ποσότητες νερού συγκεντρώνονται στον ταμιευτήρα που βρίσκεται προς την πλευρά της ξηράς. Στη συνέχεια το νερό διοχετεύεται στους υδροστρόβιλους για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας,για να καταλήξει πάλι στη θάλασσα.
Τα συστήματα αυτά παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον,κύρια για τους παρακάτω λόγους.

- έχουν ικανοποιητική απόδοση σε πλατειά περιοχή χαρακτηριστικών των θαλάσσιων κυμάτων.
- οι επιδόσεις τους είναι πρακτικά ανεξάρτητες από το φαινόμενο της παλίρροιας (ιδιαίτερα στην περιοχή της Μεσογείου όπου το μέγιστο εύρος παλίρροιας είναι μικρότερο από 3Μ.).
- οι εκτιμήσεις που έγιναν ως τώρα για το κόστος ανά KWH της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας δίνουν νούμερα χαμηλότερα από την τιμή του KWH Diesel σε απομονωμένες περιοχές,(βλ. βιβλ. [5] ).

Η ανάλυση των συστημάτων παραγωγής ενέργειας από τους κυματισμούς εμπλέκει τρία κύρια σύνολα στοιχείων:

- τους ενεργειακούς παράγοντες (διατιθεμένη ενέργεια των κυματισμών στα ανοιχτά,μπροστά στην εγκατάσταση,πρωτογενώς δεσμευμένη ενέργεια,ζήτηση,εγκατεστημένη ισχύ,σύστημα αποθήκευσης,απώλειες,ετήσια ενέργεια που φθάνει στο δίκτυο...).

- τους τεχνολογικούς παράγοντες (σκοπιμότητα του συστήματος, μέσα και μέθοδοι κατασκευής, εκτίμηση υλικών και εργασιών, ευστάθεια των κατασκευών, χρονοδιάγραμμα κατασκευής....)
- τους οικονομικούς παράγοντες (τιμές εργασιών και υλικών, συνολική δαπάνη κατασκευής, επιτόκια αποσβέσεως δανείων, επένδυση ανά εγκατεστημένο KW, τιμή ανά KWH....)

Όπως σε κάθε σύνθετο σύστημα παραγωγής τα επί μέρους στοιχεία συνδέονται με συγκεκριμένες μαθηματικές σχέσεις. Η βελτιστοποίηση της εγκατάστασης βασίζεται στις σχέσεις αυτές καθώς και σε μερικούς λογικούς περιορισμούς, (βλ.βιβλ.[7]).

## IV. ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ MARE.

Το πρόγραμμα MARE είναι βασισμένο στο οργανόγραμμα του σχ.3 και περιλαμβάνει τα τρία σύνολα στοιχείων που αναφέρθηκαν στην § III.
Τα δεδομένα σχετικά με τους κυματισμούς, ο απολογισμός των εργασιών, οι τιμές, και ο προσδιορισμός με συναρτησιακή μορφή του συνολικά επενδεδυμένου κεφαλαίου αφορούν μία συγκεκριμένη περιοχή (νησί Μαρέ στην Ν.Καληδονία) και μία ιδιότυπη μέθοδο κατασκευής προσαρμοσμένη στον περιωρισμένο διαθέσιμο μηχανικό εξοπλισμό (απομονωμένο νησί, βλ.βιβλ. 6 ).
Το πρόγραμμα προσφέρει την δυνατότητα εκλογής ανάμεσα σε 4 είδη εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας από κυματισμούς.

- ράμπες απλές με κλίση 1/2 ή 1/1.5
- τρίεδρα με κλίση στην βάση 1/2 ή 1/1.5

Μπορούμε επίσης να διαλλέξομε:

- το ύψος στέψης του έργου, πάνω από την Μ.Σ.Θ.σε m
- την εγκατεστημένη ισχύ του συστήματος παραγωγής, σε KW
- την διάρκεια ζωής των μόνιμων έργων σε χρόνια,
- την διάρκεια ζωής των υδροστροβίλλων των μετασχηματιστών των γεννητριών κ.τ.λ.σε χρόνια,
- το επιτόκιο αύξησης των τιμών κατά την διάρκεια της κατασκευής.
- τα έξοδα μελετών και επιβλέψεων, σε ποσοστό,
- το επιτόκιο αποσβέσεως δανείων

Το πρόγραμμα δίνει στην έξοδο.

- την υδροδυναμική απόδοση του συστήματος
- την ηλεκτρική ενέργεια που το σύστημα παράγει ετησίως, σε KWH,
- την μέση παραγόμενη ισχύ σε KW ανά μέτρο μήκους του μετώπου της εγκατάστασης.
- το μερικό κόστος κατασκευής, σε F.F.του 1985
- το συνολικό επενδυμένο κεφάλαιο σε F.F του1985
- το συνολικό ετήσιο κόστος, σε F.F.του1985
- την επένδυση ανά εγκατεστημένο KW σε F.F./KW
- την τιμή της KWH σε F.F/KWH
- την συνολική απόδοση του συστήματος

Η ευστάθεια της κατασκευής ελέγχεται με την βοήθεια του προγράμματος STAB (βλ.βιβλ.[7]).
Η οικονομική βιοσημότητα του συστηματος εξαρτάται πολύ από την γαιομορφολογία και τους κλιματολογικούς παράγοντες της περιοχής.
Ο G.DAMY, μηχανικός στην IFREMER αφού επισκεύθηκε τα νησιά της Νέας Καληδονία τον Μάϊο του 1983, πρότεινε μια τοποθεσία στην νότια-ανατολική ακτή του νησιού Μαρέ, όπου τελικά αποφασίστηκε η κατασκευή ενός πρωτοτύπου.
Στον πίνακα I φαίνεται η κατανομή κατά τάξεις χαρακτηριστικών του κυματισμού στη περιοχή (διεύθυνση, περίοδο, ύψος κύματος) για ένα χρόνο, και οι αντίστοιχες διάρκειες $\Delta t_{ijk}$ σε ώρες:

- διευθύνσεις: ΒΑ, Α, ΝΑ, Ν, ΝΔ.
- Περίοδοι : 5.0 , 6.5, 8.5, 10.5, 12.0, 15.0 SEC.
- ύψη κύματος: 1.25, 2.25, 3.25, 4.75 Μ.

Μπορούμε να παρατηρήσομε ότι η διεύθυνση του κυματισμού βρίσκεται κύρίως μέσα στην δέσμη Α-ΝΑ-Ν.
Για κάθε μία από τις τάξεις κυματισμών υπολογίζομε την διαθέσιμη ετήσια ενέργεια στα ανοιχτά ανά μέτρο μήκους κορυφογραμμής:

$$E_{ijk} = 0.55\, H_i^2\, T_j\, \Delta t_{ijk} \quad , \quad \sigma\epsilon \ \text{Kwh/m} \tag{1}$$

Τα αποτελέσματα υπάρχουν στον πίνακα ΙΙ.
Έτσι, η συνολική ετήσια διαθέσιμη ενέργεια στα ανοιχτά είναι:

$$E_{gl} = 0.55 \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} \sum_{k=1}^{p} H_i^2\, T_j\, \Delta t_{ijk} \quad , \quad \sigma\epsilon \ \text{Kwh/m} \tag{2}$$

Για την περιοχή του σταθμού Μαρέ είναι:

$$E_{gl} = 318\,540 \ \text{Kwh/m} \tag{3}$$

Ενώ η μέση διαθέσιμη ισχύς στα ανοιχτά είναι:

$$P_{ml} = 36.36 \ \text{Kw/m} \tag{4}$$

Η επίδραση του φαινομένου της διάθλασης (ανόρθωση των ορθογωνικών του κυματισμού, εστίαση) πάρθηκε υπ' όψη με εφαρμογή της μεθόδου που παρουσιάζεται στο βιβλ. [5] .
Η πρωτογενής αποκομιζόμενη ισχύς στον ταμιευτήρα ρυθμίσεως της παραγωγής εξαρτάται από την υδροδυναμική απόδοση του χρησιμοποιούμενου συστήματος:

$$R = P/P_i \tag{5}$$

Η τυποποίηση , με αναλυτικές μεθόδους λειάνσεως των πειραματικών αποτελεσμάτων, βιβλ. [5] , επέτρεψε την ανάλυση των τεσσάρων συστημάτων για διάφορα ύψη στέψεως. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο σχήμα 4.

$$R = \frac{\gamma - \gamma_c}{A(\gamma - \gamma_c)^2 + B} \quad , \quad (0.0 \leq \gamma \leq 0.07) \tag{6}$$

όπου

$$\gamma_c = f_i(K_o) \quad , \quad A = \zeta_i(K_o) \quad , \quad B = \Psi_i(K_o)$$

i = 1 στην περίπτωση ράμπας απλής με κλίση 1/2
i = 2 στην περίπτωση ράμπας απλής με κλίση 1/1.5
i = 3 στην περίπτωση τριέδρων με κλίση 1/2
i = 4 στην περίπτωση τριέδρων με κλίση 1/1.5

Διαπιστώνομε ότι για την επιλεγμένη θέση του νησιού Μαρέ (από ενεργειακή μόνο άποψη) τα τρίεδρα με κλίση βάσης 1/2 δίνουν καλύτερα αποτελέσματα. Στην περίπτωση αυτή το βέλτιστο ύψος στέψης του έργου είναι:

$$S = 4.90 \ \text{m} \tag{7}$$

Για την διευκόλυνση της οικονομικής ανάλυσης το τελικό κόστος κατασκευής του έργου $C_t$ εκφράζεται, σαν συνάρτηση, του ύψους στέψης του έργου S και της εγκατεστημένης ισχύος $P_{in}$ σε όλες τις περιπτώσεις.
Το συνολικά επενδεδυμένο κεφάλαιο $C_{ti}$ πήρε την μορφή συγκεκριμένης συνάρτησης για κάθε περίπτωση, με εξάρτηση από τους παράγοντες:

$C_t$ ,αύξηση των τιμών κατά την διάρκεια της κατασκευής W1(%) απρόβλεπτα E1 (%),δαπάνες για μελέτες και επιβλέψεις E2 (%), επιτόκιο απόσβεσης δανείωνW2 (%),περίοδο κατασκευής του έργου $P_{cc}$ σε χρόνια,

$$C_{ti} = F(C_t, W1, E1, E2, W2, P_{cc}), \quad \text{όπου } C_t = Z(S, P_{in}) \qquad (8)$$

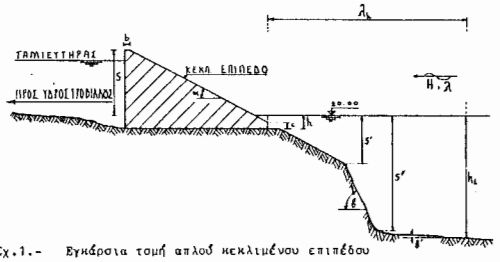
Τα ετήσια έξοδα της επένδυσης υπολογισμένα με την μέθοδο του επιτοκίου εσωτερικής αποδοτικότητας είναι: $C_{AT} = y(A1, A2, C_{ti}, D_{VT}, D_{VS}, D_{VF})$
Όπου A1 και A2 είναι αριθμητικοί συντελεστές που εξαρτώνται από την φύση του έργου και τις τοπικές οικονομικές συνθήκες.
και Dvt = Διάρκ. ζωής υδροστρόβιλλων.
Dvs = Διάρκ. ζωής εξοπλισμού Υ/Σ.
Dvf = Διαρκ. ζωής μόνιμων έργων
Στη συνέχεια υπολογίζομε το κόστος ανά KWH ηλεκτρικής ενέργειας $P_{rkwh}$ αδιαστασιολογημένης με την τιμή KWH Diesel.

ΠΙΝΑΚΑΣ I.-Διάρκεια σε ώρες των κυματισμών στα ανοιχτά του νησιού Μαρέ σε ένα χρόνο.

| H | T | BA | A | NA | N | NΔ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.25M | 5.00SEC | 0.332E102 | 0.632E102 | 0.524E102 | 0.352E102 | 0.352E102 |
| 1.25M | 6.30SEC | 0.324E102 | 0.580E102 | 0.495E102 | 0.326E102 | 0.324E102 |
| 1.25M | 8.30SEC | 0.123E102 | 0.221E102 | 0.183E102 | 0.123E102 | 0.123E102 |
| 1.25M | 10.30SEC | 0.440E101 | 0.79UE101 | 0.653E101 | 0.440E101 | 0.140E101 |
| 1.25M | 12.30SEC | 0.264E101 | 0.474E101 | 0.393E101 | 0.264E101 | 0.264E101 |
| 1.25M | 15.00SEC | 0.880E100 | 0.158E101 | 0.131E101 | 0.880E100 | 0.880E100 |
| 2.25M | 5.00SEC | 0.966E102 | 0.12AE103 | 0.124E103 | 0.956E102 | 0.966E102 |
| 2.25M | 6.30SEC | 0.110E103 | 0.290E103 | 0.292E103 | 0.223E103 | 0.110E103 |
| 2.25M | 8.30SEC | 0.117E103 | 0.316C103 | 0.310E103 | 0.239E103 | 0.117E103 |
| 2.25M | 10.30SEC | 0.366E102 | 0.992E102 | 0.973E102 | 0.731E102 | 0.366E102 |
| 2.25M | 12.30SEC | 0.166E102 | 0.451E102 | 0.442E102 | 0.341E102 | 0.166E102 |
| 2.25M | 15.00SEC | 0.666E101 | 0.190E102 | 0.177E102 | 0.137E102 | 0.666E101 |
| 3.25M | 5.00SEC | 0.189E102 | 0.617E102 | 0.673E102 | 0.490E102 | 0.224E102 |
| 3.25M | 6.30SEC | 0.366E102 | 0.185E103 | 0.202E103 | 0.147E103 | 0.672E102 |
| 3.25M | 8.30SEC | 0.802E102 | 0.262E103 | 0.294E103 | 0.208E103 | 0.932E102 |
| 3.25M | 10.30SEC | 0.448E102 | 0.146E103 | 0.160E103 | 0.116E103 | 0.532E102 |
| 3.25M | 12.30SEC | 0.236E102 | 0.771E102 | 0.841E102 | 0.613E102 | 0.280E102 |
| 3.25M | 15.00SEC | 0.119E102 | 0.383E102 | 0.420E102 | 0.306E102 | 0.140E102 |
| 4.75M | 5.00SEC | 0.549E101 | 0.220E102 | 0.260E102 | 0.189E102 | 0.192E102 |
| 4.75M | 6.30SEC | 0.177E102 | 0.710E102 | 0.818E102 | 0.609E102 | 0.450E102 |
| 4.75M | 8.30SEC | 0.177E102 | 0.710E102 | 0.838E102 | 0.609E102 | 0.450E102 |
| 4.75M | 10.30SEC | 0.110E102 | 0.441E102 | 0.520E102 | 0.379E102 | 0.284E102 |
| 4.75M | 12.30SEC | 0.549E101 | 0.220E102 | 0.260E102 | 0.189E102 | 0.142E102 |
| 4.75M | 15.00SEC | 0.366E101 | 0.147E102 | 0.173E102 | 0.126E102 | 0.948E101 |

ΠΙΝΑΚΑΣ II.Ετήσια ενέργεια κυματισμών, διαθέσιμη στα ανοιχτά του νησιού Μαρέ.

| H | T | BA | A | NA | N | NΔ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.25M | 5.00SEC | 0.151E103 | 0.353E103 | 0.393E103 | 0.318E103 | 0.378E103 |
| 1.25M | 6.30SEC | 0.140E103 | 0.327E103 | 0.354E103 | 0.294E103 | 0.350E103 |
| 1.25M | 8.30SEC | 0.529E102 | 0.124E103 | 0.134E103 | 0.111E103 | 0.132E103 |
| 1.25M | 10.30SEC | 0.189E102 | 0.441E102 | 0.478E102 | 0.397E102 | 0.473E102 |
| 1.25M | 12.30SEC | 0.113E102 | 0.265E102 | 0.287E102 | 0.238E102 | 0.284E102 |
| 1.25M | 15.00SEC | 0.378E101 | 0.883E101 | 0.957E101 | 0.794E101 | 0.945E101 |
| 2.25M | 5.00SEC | 0.449E103 | 0.229E104 | 0.293E104 | 0.280E104 | 0.162E104 |
| 2.25M | 6.30SEC | 0.153E104 | 0.539E104 | 0.691E104 | 0.659E104 | 0.382E104 |
| 2.25M | 8.30SEC | 0.162E104 | 0.371E104 | 0.733E104 | 0.699E104 | 0.406E104 |
| 2.25M | 10.30SEC | 0.510E103 | 0.180E104 | 0.230E104 | 0.220E104 | 0.127E104 |
| 2.25M | 12.30SEC | 0.232E102 | 0.814E102 | 0.105E104 | 0.998E103 | 0.579E103 |
| 2.25M | 15.00SEC | 0.927E102 | 0.326E103 | 0.419E103 | 0.399E103 | 0.232E103 |
| 3.25M | 5.00SEC | 0.548E103 | 0.233E104 | 0.332E104 | 0.299E104 | 0.163E104 |
| 3.25M | 6.30SEC | 0.163E104 | 0.699E104 | 0.997E104 | 0.897E104 | 0.488E104 |
| 3.25M | 8.30SEC | 0.233E104 | 0.990E104 | 0.141E105 | 0.127E105 | 0.691E104 |
| 3.25M | 10.30SEC | 0.130E104 | 0.553E104 | 0.789E104 | 0.710E104 | 0.386E104 |
| 3.25M | 12.30SEC | 0.686E103 | 0.291E104 | 0.415E104 | 0.374E104 | 0.203E104 |
| 3.25M | 15.00SEC | 0.343E103 | 0.146E104 | 0.208E104 | 0.187E104 | 0.102E104 |
| 4.75M | 5.00SEC | 0.341E103 | 0.178E104 | 0.274E104 | 0.246E104 | 0.221E104 |
| 4.75M | 6.30SEC | 0.110E104 | 0.573E104 | 0.884E104 | 0.795E104 | 0.711E104 |
| 4.75M | 8.30SEC | 0.110E104 | 0.573E104 | 0.884E104 | 0.794E104 | 0.711E104 |
| 4.75M | 10.30SEC | 0.681E103 | 0.356E104 | 0.549E104 | 0.493E104 | 0.441E104 |
| 4.75M | 12.30SEC | 0.341E103 | 0.178E104 | 0.274E104 | 0.246E104 | 0.221E104 |
| 4.75M | 15.00SEC | 0.227E103 | 0.119E104 | 0.183E104 | 0.164E104 | 0.147E104 |




Σχ.1.- Εγκάρσια τομή απλού κεκλιμένου επιπέδου

## V. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Παρουσιάζομε μερικά αποτελέσματα σχετικά με τα συστήματα τριέδρων,αποδοτικώτερα από τα απλά κεκλιμένα επίπεδα .
Σε μια πρώτη φάση, με την βοήθεια του προγράμματος MARE ,εξετάσαμε την επίδραση του ύψους στέψης και της εγκατεστημένης ισχύος $P_{in}$ πάνω στην συνολική απόδοση $\eta_{TOT}$ της εγκατάστασης, διατηρώντας σταθερές τις υπόλοιπες παραμέτρους,βλ.σχ. 5.
Στην περίπτωση αυτή εξετάσαμε τις δέσμες τιμών $2.6M \leq S \leq 5.6M$ και $200KW \leq P_{in} \leq 2000KW$. Παρατηρούμε ότι $\eta_{TOT}$ κυμαίνεται μεταξύ 2.88% και 25.13%.
Η υπεροχή των τριέδρων οφείλεται στο ότι παρέχουν καλές πρωτογενείς αποδόσεις για μεγάλα ύψη στέψης,με αποτέλεσμα την καλύτερη απόδοση των υδροστρόβιλλων.
Στο σχήμα 6 παρουσιάζομε την διακύμανση του κόστους της KWH ηλ.εν. $P_{rkwh}$ (αδιαστασιολογημένου με το κόστος ηλ.εν.Diesel στην περιοχή) σε σχέση με τη διάρκεια ζωής των υδροστοβίλλων και την διάρκεια ζωής του υποσταθμού.

Η $P_{rkwh}$ μεταβάλλεται από 0.575 ως 0.799.
Στο σχήμα 7 η $P_{rkwh}$ παρουσιάζεται σαν συνάρτηση του επιτόκιου απόσβεσης δανείου W2 και των απρόβλεπτων El.Εδώ η διακύμανση της $P_{rkwh}$ εξετάστηκε για τις δέσμες $0.05 \leq W2 \leq 0.15$ ,και $0.00 \leq El \leq 0.40$. Η $P_{rkwh}$ κυμαίνεται από 0.416 ως 1.049.

## VI.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η τρίπτυχη ανάλυση (ενεργειακή,τεχνολογική,οικονομική) που παρουσιάσαμε συνοπτικά,οδήγησε στις παρακάτω διαπιστώσεις.

- Για πολλές απομονωμένες τοποθεσίες τα συστήματα που εξετάσαμε προσφέρουν φτηνότερη ηλεκτρική ενέργεια από αντίστοιχες εγκαταστάσεις συγκροτημάτων Diesel (βλ.βιβλ. [3] ).
- Από ενεργειακή άποψη,οι απλές ράμπες,με κλίση 1/2 και τα τρίεδρα με σχέση ανοιγμάτων $r=5$ και κλίση βάσης 1/2,δίνουν ενδιαφέρουσες αποδόσεις.Για την θέση που δώσαμε σαν παράδειγμα οι εγκαταστάσεις τριέδρων υπερέχουν σε σχέση με τις απλές ράμπες.
- Στην περίπτωση που η εγκατεστημένη ισχύς είναι μικρή, η επένδυση ανά εγκατεστημένο KW είναι υψηλή,ενώ η επίδραση του ύψους στέψης είναι πολύ χαρακτηριστική.
  Για μεγαλύτερες εγκατεστημένες ισχείς τα αποτελέσματα αντιστρέφονται.
- Σύμφωνα με το κριτήριο της τιμής ανά KWH ηλ.εν.το βέλτιστο ύψος στέψης των απλών κεκλιμένων επιπέδων είναι 3.80 M και των τριέδρων 5.00M για την θέση του νησιού Μαρέ.
  Στην δεύτερη περίπτωση το σύστημα προσφέρει ηλεκτρική ενέργεια κατά πολύ φθηνότερη των εγκαταστασεων Diesel.
- Η διάρκεια ζωής των υδροστρόβιλλων έχει μέτρια επίδραση πάνω στην $P_{rkwh}$ , όπως εξ άλλου και η περίοδος εκμετάλλευσης του έργου (για τα τρίεδρα αν η $D_{VF}$ περάσει από 20 σε 50 χρόνια στην περίπτωση που $D_{VT}=D_{VS}=2,50$ χρόνια,η $P_{rkwh}$ δεν μειώνεται παρά μόνο 15%!).
- Το επιτόκιο απόσβεσης κεφαλαίου W2 έχει σημαντική επίδραση πάνω στην $P_{rkwh}$.
  Η ακριβής εκτίμηση του W2 είναι απαραίτητη για την οικονομική ανάλυση των συστημάτων που παρουσιάσαμε.
- Όπως αναφέρει ο καθηγητής T.LEWIS [4] , στην έκθεσή του για λογαριασμό της E.O.K.,οι μόνιμες εγκαταστάσεις τύπου κεκλιμένου επιπέδου ή τριέδρων είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν με επιτυχία σε περιοχές της Μεσογείου π.χ. σε απομονωμένα νησιά, ακόμη και σε μερικές ακτές της Κρήτης.

## VII.ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ

CAT...Ετήσια έξοδα εκμετάλλευσης,Ct ...Τελικό κόστος κατασκευής γ... Κυρτότητα του κυματισμού,DVF....Διάρκεια ζωής των μόνιμων εγκαταστάσεων,DVS...Διάρκεια ζωής του εξοπλισμού του υποσταθμού DVT...Διάρκεια ζωής των υδροστρόβιλλων,E...Ενέργεια El...Ποσοστό απρόβλεπτων,E2...Ποσοστό δαπανών για μελέτες και επιβλέψεις,Κο...Αριθμός κύματος,αδιαστασιολογημένος με το ύψος στέψης ΚΛ...Κλίση,λ...Μήκος κύματος,ΜΣΘ...Μέση στάθμη θάλασσας, P...Ισχύς,Pcc ....Προσπίπτουσα ισχύς,$P_r$...Πρωτογενής δεσμευμένη ισχύς, $P_{rkwh}$ ...Τιμή ανά KWH ηλ. εσνέργειας από κυματισμούς,αδιαστασιολογημένης με την τιμή ανά KWH ηλ.ενέργειας συγκροτήματος Diesel.

r=λόγος ανοιγμάτων των τριέδρων, t=χρόνος,T=Περίοδος του κυματισμού.

## VII. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ


1. CLEMENT,A.\SPIRIDAKIS,M.1983 ,"Etude experimentale de la récuperation de l` énergie dela houle par les systèmes à rampe de déferlement",ASSOCIATION TECHNIQUE MARITIME ET AERONAUTIQUE. ΤΟΜΕ 84, σελ. 349-368.

2. CLEMENT,A.\SPIRIDAKIS,M.1984,"Récupération de l`énergie de la houle par déferlement sur des structures trièdres", ASSOCIATION TECHNIQUE MARITIME ET AERONAUTIQUE. ΤΟΜΕ 85.

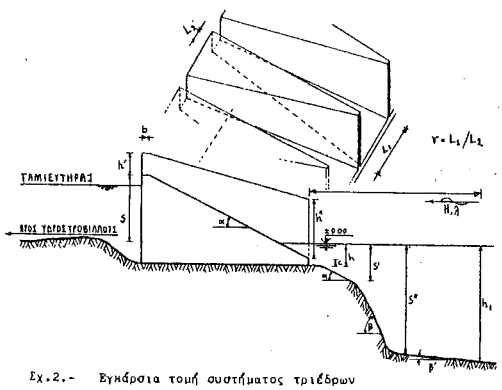
3. CLEMENT,A.\SPIRIDAKIS,M.1984,"Structures trièdres côtières pour la récuperation de l`énergie de la houle". ΔΙΕΘΝΕΣ ΣΥΜΠΟΣΙΟ ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΕΡΓΑ ΣΤΗ ΜΕΣΟΓΕΙΟ ΘΑΛΑΣΣΑ,σελ.3.71-3.78.

4. LEWIS,T.,1984,"Wave energy evaluation for C.E.C.".Final report prepared for the Commission of the European Communities. Directorate General for Energy.Reference XVII/BR/83/495,,σελίδες: 137.

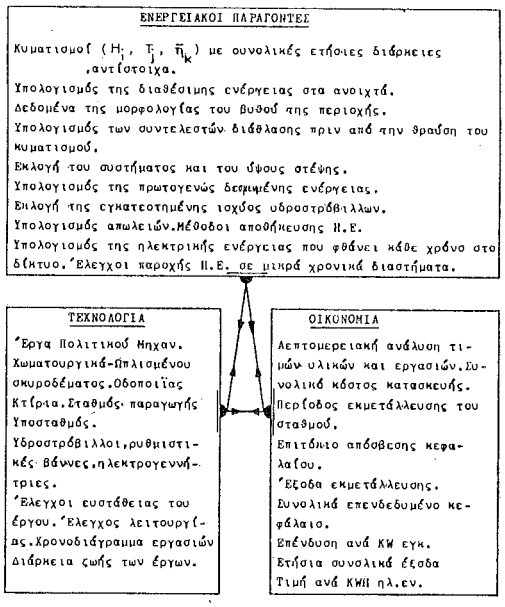
5. SPIRIDAKIS,M.,1983"Récupération de l`énergie des vagues par les systèmes à déferlement"Thèse de Docteur Ingénieur L.H.N.-ENSM, σελίδες:256.

6. SPIRIDAKIS,M.,1984,"Propositions de méthodes de construction des houlomotrices à déferlement".Rapport L.H.N. 8406-CI, σελίδες:16

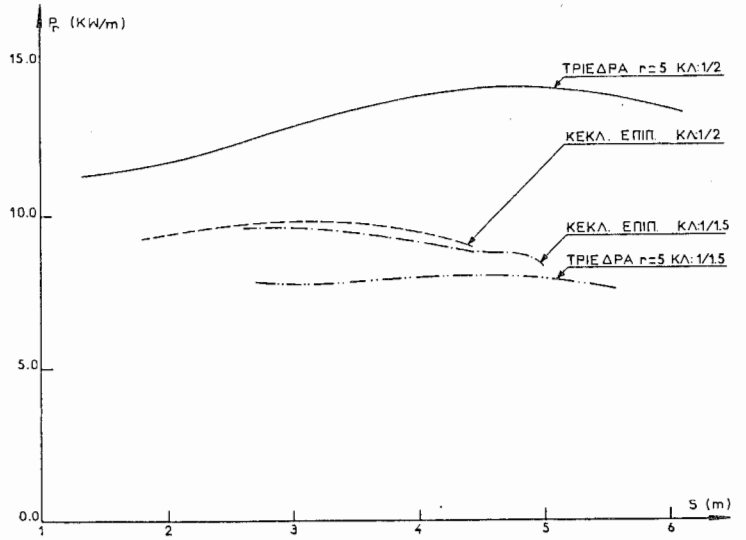
7. SPIRIDAKIS,M.,1984,"Eléments de choix des paramétres dimensionnels des houlomotrices à déferlement".Rapport L.H.N. 8417-Cl,,σελίδες:60

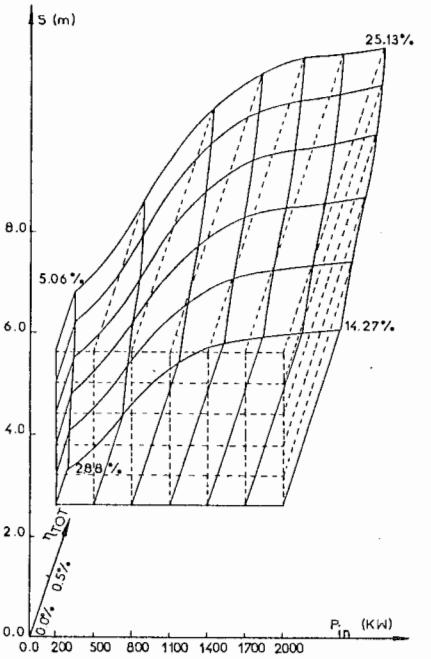

Εχ.2.- Εγκάρσια τομή συστήματος τριέδρων



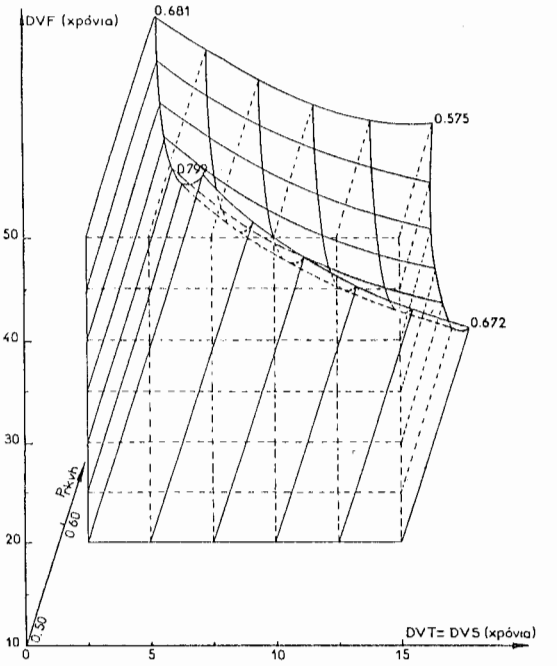

Εχ.3.- Οργανόγραμμα του προγράμματος "MARE"



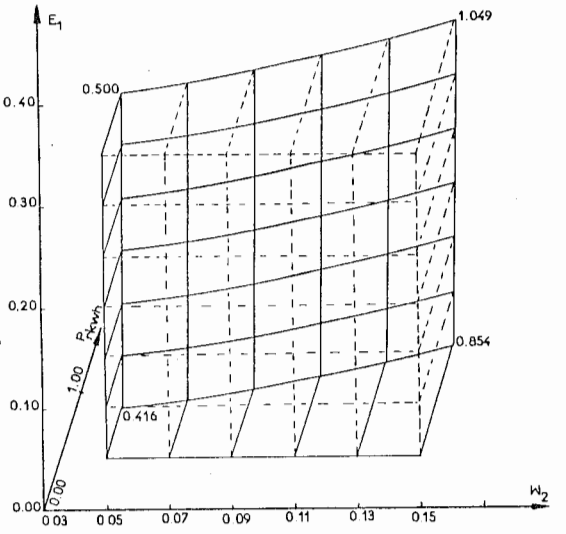

Σχ.4.- Πρωτογενής ισχύς δεσμευμένη ανά μέτρο μετώπου των συστημάτων, σε συνάρτηση με το ύψος των έργων.




Σχ.5.- Συνολική απόδοση $\eta_{tot}$ της εγκατάστασης με τρίεδρα ( r=5 , ΚΛ=1/2) σε συνάρτηση με το ύψος στέψης και την εγκατεστημένη ισχύ. (Pcc= 1 χρόνος, DVF=35 χρόνια, DVT =DVS = 15 χρόνια, E1=E2=W1 = 0.10, W2 = 0.09,Μήκος μετώπου 100 μέτρα)




Σχ. 6.- Τιμή ανά KWh ηλ. ενέργειας PrKWh,αδιαστασιολογημένη με την τιμή ανά KWh Diesel,σε συνάρτηση με την διάρκεια ζωής των υδροστρόβιλλων DVT και του εξοπλισμού του υποσταθμού DVS (= DVT). Διάταξη τριέδρων r=5,ΚΛ = 1/2. (PIN =900 KW, S= 5.00m, Pcc = 1χρόνος, E1=E2=W1= 0,10, **W2 = 0,09)**.




Σχ. 7. - Τιμή ανά KWh ηλ.ενέργειας PrKWh,αδιαστασιολογημένη με την τιμή ανά KWh Diesel, σε συνάρτηση με το επιτόκιο απόσβεσης κεφαλαίου W2 και το ποσοστό απροβλέπτων.Τρίεδρα, r = 5 , ΚΛ =1/2. ( PIN = 900KW, S = 5,00m, Pcc = 1χρόνος, DVF = 35 χρόνια, E2 = W1 = 0.10).

# ΤΙΤΛΟΣ ΕΙΣΗΓΗΣΗΣ: ΚΑΤΑΛΥΤΙΚΗ ΔΡΑΣΗ ΕΝΟΣ ΣΥΜΠΛΟΚΟΥ ΤΟΥ ΒΟΛΦΡΑΜΙΟΥ ΣΤΗ ΦΩΤΟΧΗΜΙΚΗ ΔΙΑΣΠΑΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

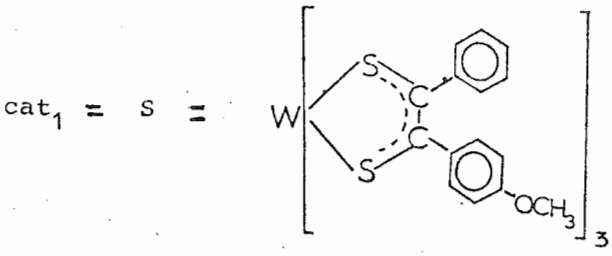
ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ: Χ. Μητσοπούλου, Δ. Κατάκης .
Χημικό Τμήμα, Τομέας ΙΙΙ, Πανεπιστήμιο Αθηνών
Ναυαρίνου 13 Α Αθήνα 10680

Ε. Βραχνού-Αστρά, Ι. Κωνσταντάτος
Διεύθυνση Χημείας, Κέντρο Πυρηνικών Ερευνών "Δημόκριτος", Αγία Παρασκευή , Αττικής.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Το σύμπλοκο τρις-4- μεθοξυδιθειοβένζιλο-βολφράμιο (IV) δρα στη φωτοχημική διάσπαση του νερού και σαν φωτοευαισθητοποιητής και σαν καταλύτης, παραγωγής μοριακού υδρογόνου παρουσία δοτών ηλεκτρονίων. Εδώ περιγράφεται ο μηχανισμός της καταλυτικής αντίδρασης.

ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ: Βολφράμιο, Φωτοευαισθητοποιητής, καταλύτης, φωτοχημική διάσπαση, νερό, υδρογόνο.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ: Η φωτοχημική διάσπαση του νερού είναι, ως γνωστό, μια εξαιρετικά πολύπλοκη διεργασία. Απαιτεί απορρόφηση πολλών φωτονίων, μεταφορά πολλών ηλεκτρονίων, φωτοκαταλύτες, καταλύτες και αντιστρεπτούς δέκτες και δότες.
Ένας από τους πολλούς συνδυασμούς εικονίζεται στο Σχ. 1.
Στήν περίπτωση μας τα πράγματα είναι κάπως απλούστερα επειδή ο φωτοκαταλύτης S ταυτίζεται με τον καταλύτη $cat_1$ :




Πάντως κάθε κύκλος στο πλέγμα του Σχ. 1 εξακολουθεί να είναι πολύπλοκος και χρειάζεται να επαναληφθεί αρκετές φορές για να επιτευχθεί η συσσώρευση φορτίων και

ενέργειας που χρειάζεται για να διασπασθεί το νερό. Γι' αυτό είναι πάλι απαραίτητο, σύμφωνα και με την κοινή τακτική, να μελετηθούν χωριστά οι διάφορες περιοχές του πλέγματος.

## Κύριο Μέρος της Εισήγησης.

Στη παρούσα εισήγηση ανακοινώνουμε τα αποτελέσματα της μελέτης του κομματιού που σημειώνεται με διακεκομμένη γραμμή στο Σχ. 1.
Ως $cat_1$ χρησιμοποιούμαι το σύμπλοκο S, και ως ανηγμένο δέκτη, A , την κατιοντική ρίζα MV + που παρασκευάζεται δι'αναγωγής του $MV^{2+}$ (methylviologen, με ρινίσματα ψευδαργύρου, που έχουν προηγουμένως πλυθεί με αραιό υδροχλωρικό οξύ για να ενεργοποιηθούν και έχουν μετά ξεπλυθεί με νερό.
Η μελέτη γίνεται απουσία αέρα, σε μικτό διαλύτη ακετόνης:νερού (60:40).
Με τη μορφή χημικής εξισώσεως η αντίδραση που σημειώνεται στο Σχ.1 με διακεκομμένη γραμμή γράφεται:

$$2MV^{+} + 2H^{+} \xrightarrow{cat_1} 2MV^{2+} + H_2 \qquad (1)$$

Τα υδρογονιόντα προέρχονται από τη διάσπαση του νερού. Το $MV^{+}$ είναι πάντοτε σε περίσσεια (περίπου 100 φορές) σε σχέση με τον καταλύτη και η θερμοκρασία $35^{o}C$. Η αντίδραση παρακολουθείται φασματοσκοπικά στα 606 nm , όπου το $MV^{+}$ απορροφά ισχυρά και με μέτρηση του εκλυομένου μοριακού υδρογόνου υπο συνθηκες σταθερής πιέσεως με τη συσκευή της οποίας σκίτσο δίνεται στο Σχ. 2
Ταυτοποίηση του υδρογόνου γίνεται αεριοχρωματογραφικά με δύο στήλες εν σειρά, 0.5 και 2,0 m με μοριακά κοσκινα 5A, 100-150 mesh,στους $60^{o}C$ με φέρον αέριο ήλιο.
Η αντίδραση (1) γίνεται σε δύο στάδια.
Το φάσμα (Σχ. 3) δείχνει ότι αρχικά το σύμπλοκο S μετατρέπεται ποσοτικά σε μονοανιόν $S^{-}$ σύμφωνα με την αντίδραση (2):

$$MV^{+} + S \rightarrow MV^{2+} + S^{-} \qquad (2)$$

Η αντίδραση είναι γρήγορη καί δεν μπορούμε να την μελετήσουμε. Έτσι μελετήθηκε το δεύτερο στάδιο, που είναι η αντίδραση (1) αλλά με καταλύτη το ανιόν $S^{-}$ αντί του ουδετέρου συμπλόκου S.
Στο Σχ. 4 φαίνεται η κινητική παραγωγής μοριακού υδρογόνου. Η καταλυτική φύση της αντιδράσεως καταδεικνύεται από το ότι τα moles του παραγομένου μοριακού υδρογόνου είναι αρκετες φορές περισσότερα από τα moles του $S^{-}$ και από το ότι το $S^{-}$ μένει στο τέλος της αντίδρασεως αναλλοίωτο. Στον Πίνακα I συνοψίζονται τα αποτελέσματα εκ της στοιχειομετρίας για διάφορες αναλογίες ακετόνης-νερού. Ως προς το $MV^{+}$ η στοιχειομετρία είναι, εντός πειραματικού σφάλματος 2:1.
Η κινητική καταστροφής του $MV^{+}$ φαίνεται στο Σχ. 5 . Η αντίδραση είναι πρώτης τάξεως ως προς το $MV^{+}$ με

$$Kobs \ . \ 7{,}67 \times 10^{-4} \pm 0.001 \ sec^{-1}$$

Στον πίνακα 2 συνοψίζονται τα δεδομένα για την εξάρτηση της ταχύτητας από την συγκέντρωση του μονοανιόντος και από την θερμοκρασία . Από τα δεδομένα αυτά προκύπτει

ότι η ταχύτητα είναι πρώτης τάξεως ως προς το μονοανιόν και η ενέργεια ενεργοποιήσεως κατα' Arrhenius είναι 52,331 ± 0,001 $Kjmol^{-1}$ και ο προσθετικός παράγοντας είναι $A = 5,96 \times 10^{12} \pm 0,01$.
Ο μηχανισμός που προτείνεται για την αντίδραση που καταλύεται από $S^-$ είναι ο εξής.

$$S^- + MV^{+} + H^+ \longrightarrow (S - H)^{\cdot} + MV^{2+} \qquad (3)\ (\text{αργή})$$

$$(S - H)^{\cdot} + H^+ \longrightarrow S + H_2 \qquad (4)\ (\text{γρήγορη})$$

Το σχηματιζόμενο ουδέτερο S ανάγεται ταχέως σύμφωνα με την εξίσωση (2). Η ταχύτητα καθορίζεται από την αντίδραση (3) που είναι ουσιαστικά μια οξειδωτική προσθήκη, της οποίας οι λεπτομέρειες δεν είναι ακόμα γνωστές.
Οι εξισώσεις για την ταχύτητα που προκύπτουν από τον παραπάνω μηχανισμό συμφωνούν με τον πειραματικά προσδιορισθέντα νόμο ταχύτητας.

Π ί ν α κ α ς 1.

Στοιχειομετρία σχηματισμού μοριακού υδρογόνου σε διαλύματα $MV^{\cdot+}$ (1)

| $H_2O$ % | $CH_3COCH_3$ % | [S] MX$10^5$ | $[MV^{\cdot+}]$ MX$10^3$ | $H_2$ (2) molesX$10^{-5}$ | $\frac{MV^{\cdot+}(moles)}{H_2(moles)}$ | $\frac{H_2(moles)}{S\ (moles)}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 28 | 72 | 8.23 | 2.10 | 2.00 | 1.90 | 10.20 |
| 32 | 68 | 4.20 | 39.00 | 12.00 | 1.98 | 47.50 |
| 40 | 60 | 8.23 | 7.80 | 4.67 | 2.006 | 47.24 |
| 44 | 56 | 7.18 | 6.70 | 4.35 | 1.93 | 48.44 |

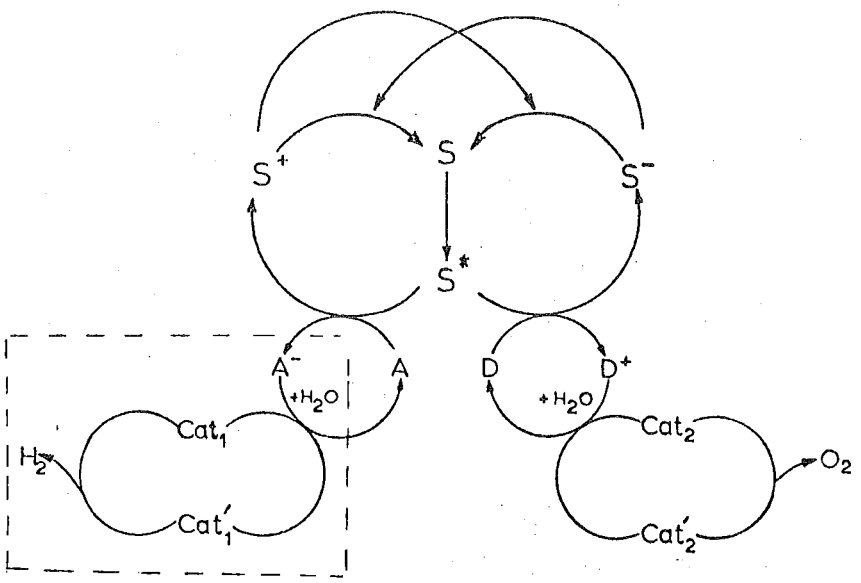
(1) Όγκος διαλυμάτων 12 ml, θερμοκρασία λουτρού 35° C.

(2) Το αέριο μετρήθηκε στους 23° C, αφού τελειώσε η αντίδραση.

Π ί ν α κ α ς 2

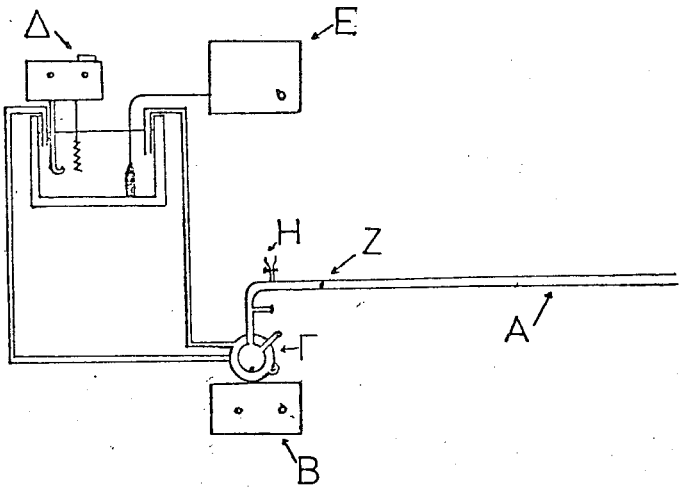
Εξάρτηση της σταθεράς ταχύτητας κατά την καταλυτική οξείδωση του $MV^{\cdot+}$, από τη θερμοκρασία και [S]

| T° (K) | [S] MX$10^5$ | $[MV^+]$ MX$10^4$ | Kobs $s^{-1}$X$10^4$ | $\frac{Kobs}{[C]}$ $s^{-1}\ M^{-1}$ |
|---|---|---|---|---|
| 303 | 0.38 | 1.99 | 2.83 | 74.47 |
| 303 | 1.04 | 1.99 | 7.78 | 74.81 |
| 303 | 2.05 | 1.99 | 15.45 | 76.83 |
| 303 | 6.13 | 1.99 | 48.10 | 78.47 |
| 303 | 10.22 | 1.99 | 76.70 | 75.05 |
| 284 | 1.03 | 1.04 | 2.42 | 23.50 |
| 297 | 1.03 | 1.04 | 6.43 | 62.43 |
| 303 | 1.03 | 1.04 | 9.80 | 95.15 |
| 313 | 1.03 | 1.04 | 18.33 | 177.96 |
| 318 | 1.03 | 1.04 | 25.60 | 248.54 |
| 323 | 1.03 | 1.04 | 36.67 | 356.02 |



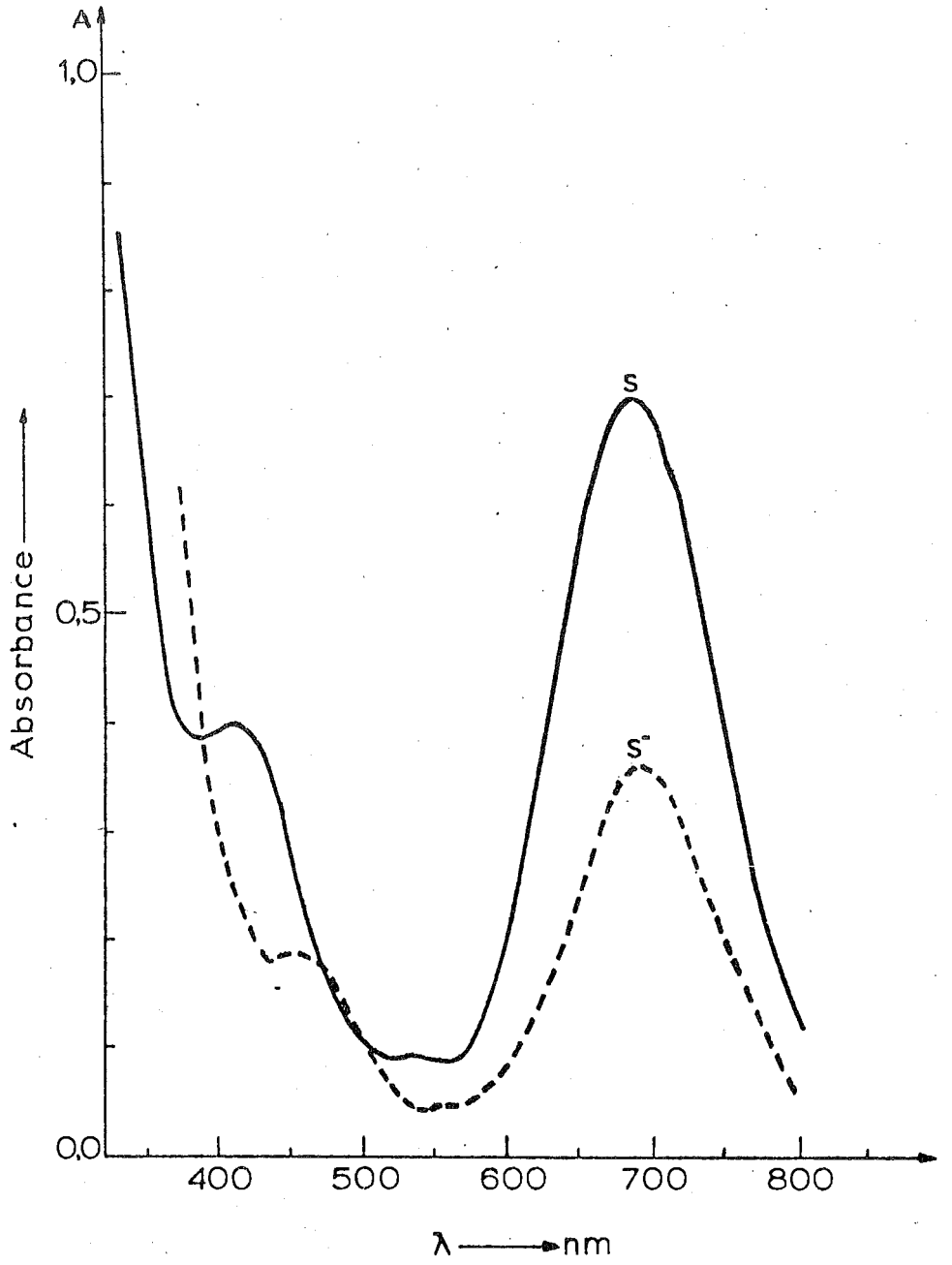

Σχήμα 1.

Ένα από τα δυνατά συστήματα φωτοκαταλύτικής διασπάσεως του νερού.



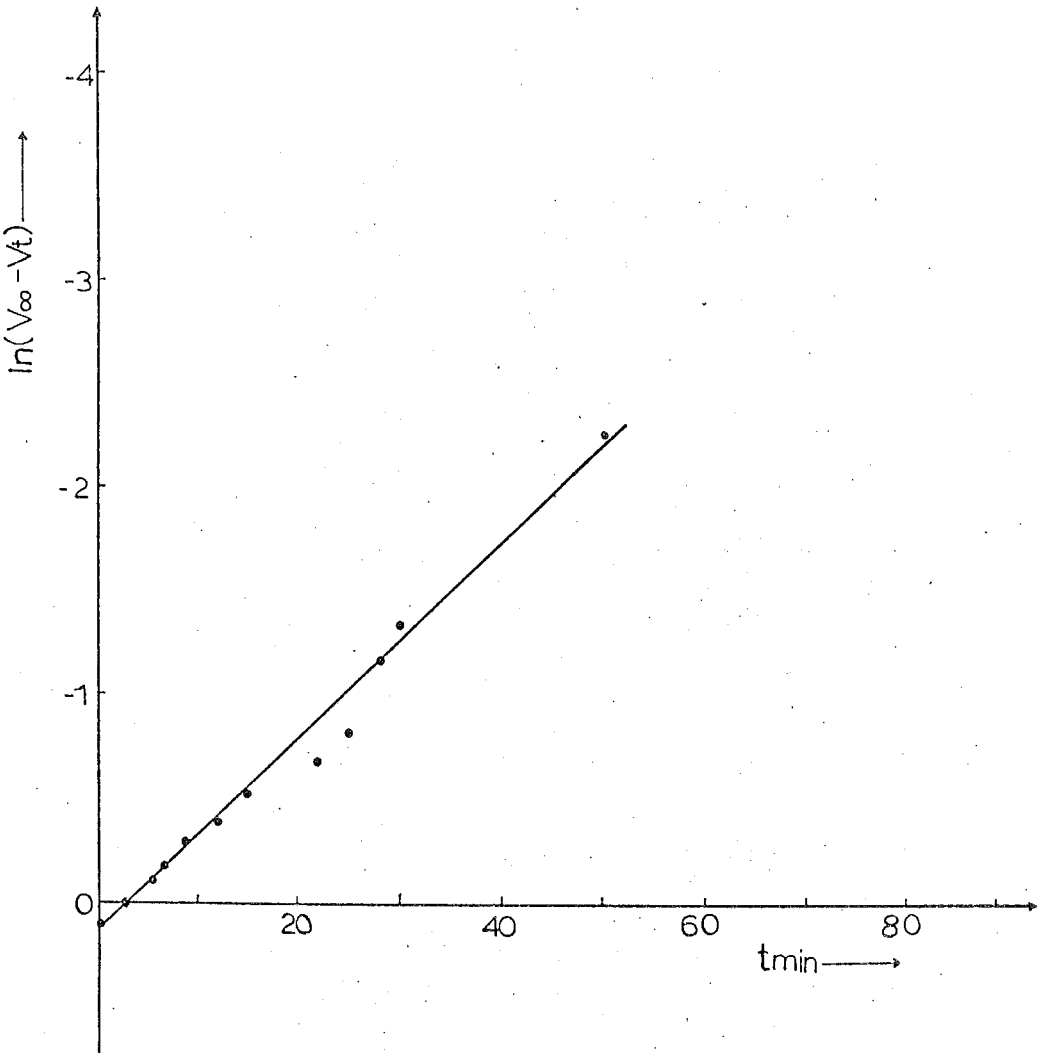

Σχήμα 2.

Σκίτσο της συσκευής μετρήσεως του εκλυομένου μοριακού υδρογόνου.



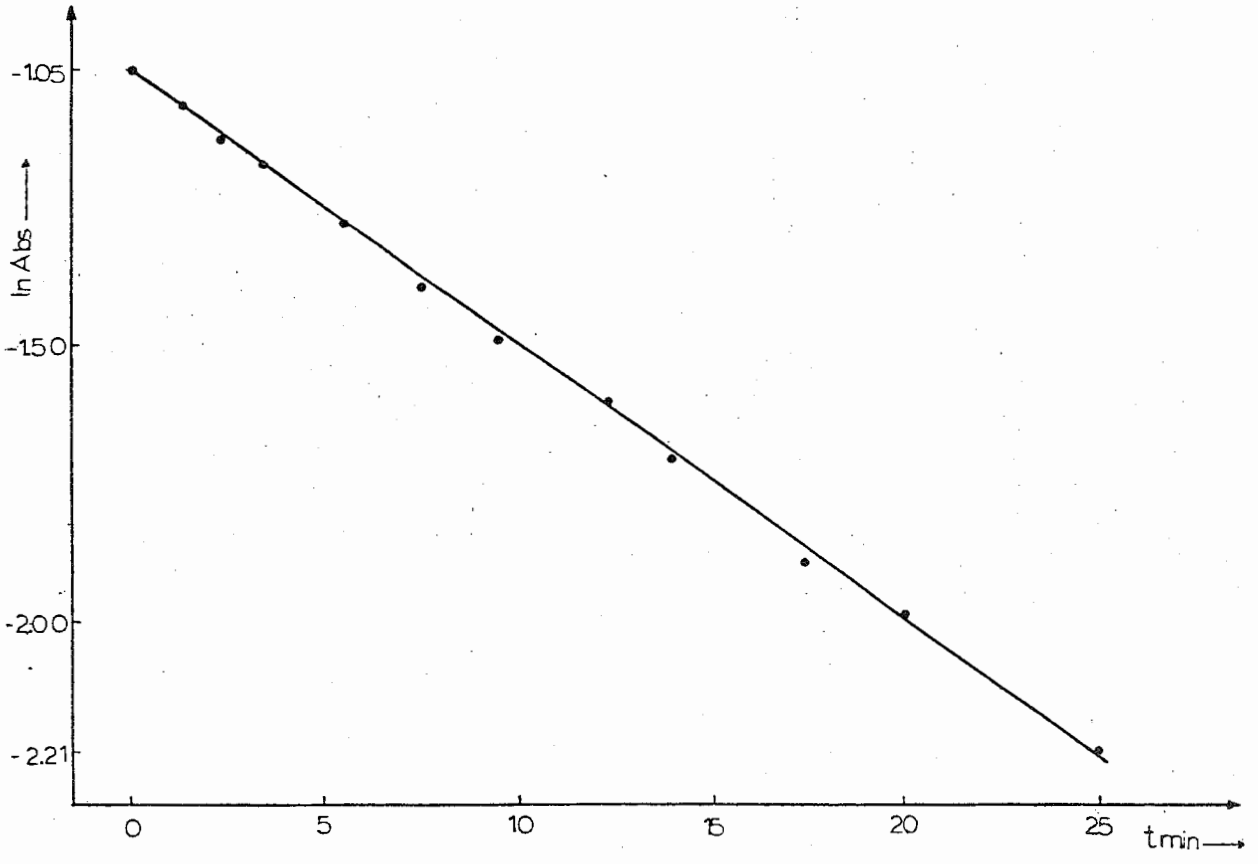

Σχήμα 3.

Ηλεκτρονικά φάσματα απορροφήσεως του τρις-4-μεθοξυδιθειοβενζυλοβολφραμίου (IV) (——— ) και του μονοανιόντος του (-------- ) σε ακετόνη: νερό (60:40), $\{S\} = 3.98 \times 10^{-5}$M




Σχήμα 4.

Κινητική παραγωγής μοριακού υδρογόνου $\{S\}= 8.23\times10^{-5}M$, $\{MV^{+}\}=2.10\times10^{-3}M$ $CH_3COCH_3$: $H_2O$ (60:40), θερμοκρασία $35^{o}C$.




Σχήμα 5.

Καταστροφή του $MV^{\bullet+}$ στη καταλυτική αντίδραση για παραγωγή μοριακού υδρογόνου. {S}: $7.2 \times 10^{-5}$M {$MV^{\bullet+}$} : $6.7 \times 10^{-3}$M
θερμοκρασία 35°C, Παρακολούθηση στα 606 nm.

ΤΙΤΛΟΣ ΕΙΣΗΓΗΣΗΣ: ΦΩΤΟΧΗΜΕΙΑ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΔΙΣ-2-ΧΛΩΡΟΔΙ-ΘΕΙΟΒΕΝΖΙΛΟ-ΝΙΚΕΛΙΟΥ (II) ΠΑΡΟΥΣΙΑ EDTA ΚΑΙ $MV^{2+}$ ΣΕ ΔΙΑΛΥΤΗ ΑΚΕΤΟΝΗ-ΝΕΡΟ (70:30).

ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ: Η. Χοντζόπουλος, Ε. Βραχνού-Αστρά,
Ι. Κωνσταντάτος.
Διεύθυνση Χημείας, Κέντρο Πυρηνικών Ερευνών "Δημοκριτος", Αγία Παρασκευή, Αττικής.

Δ. Κατάκης.
Χημικό Τμήμα, Τομέας ΙΙΙ, Πανεπιστήμιο Αθηνών, Ναυαρίνου 13α, Αθήνα 106 80.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Το σύμπλοκο δίς-2-χλωροδιθειοβένζιλο-νικέλιο (II) δρα σαν φωτοευαισθητοποιητής και σαν καταλύτης παραγωγής μοριακού υδρογόνου, για την φωτοχημική διάσπαση του νερού παρουσία δοτών ηλεκτρονίων. Εδώ περιγραφεται ο μηχανισμός της φωτοχημικής παραγωγής μοριακού υδρογόνου απο το νερό.

ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ: Φωτοχημική δραστικότητα, Νικέλιο, Υδρογόνο, Νερό, Δότης, Φωτοχημική διάσπαση, Καταλύτης, Ενωση προσθήκης, Σύμπλοκο.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ: Μερικά δις-1,2-διθειολενικά σύμπλοκα είναι καλοί φωτοευαισθητοποιητές, δηλ. είναι σταθερά φωτοχημικά και θερμικά, έχουν ισχυρές απορροφήσεις στο ορατό και κοντινό υπέρυθρο, και παρουσία ουσιών που είναι δότες ή δέκτες ηλεκτρονίων δίνουν φωτοοξειδοαναγωγικές αντιδράσεις. Καλοί φωτοευαισθητοποιητές είναι επίσης και τα αντίστοιχα μονοανιόντα.

Τα ουδέτερα δις-1,2-διθειολενικά σύμπλοκα μπορούν να πάρουν αντιστρεπτά μεχρι δύο ηλεκτρόνια και μερικά απ΄αυτά είναι γνωστό ότι δίνουν μη αντιστρεπτά ένα ηλεκτρόνιο σχηματίζοντας ασταθείς ενώσεις.

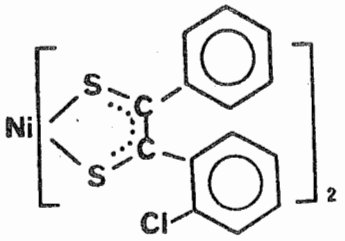
Τα ουδέτερα διθειολενικά σύμπλοκα είναι αδιάλυτα στο νερό, αλλά μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε σε μικτούς διαλύτες είτε σε ετερογενή συστήματα

Ο διθειολενικός φωτοευαισθητοποιητής μπορεί να δράσει και σαν καταλύτης στην παραγωγή μοριακού υδρογόνου απο $MV^{+\cdot}$ και νερό.

## Κύριο Μέρος της Εισήγησης.

Στην εισήγηση που παρουσιάζουμε περιγράφονται οι αντιδράσεις του δις-2-χλωροδιθειοβένζιλο-νικελίου (II) (C) με διάφορους δότες ηλεκτρονίων και στην συνέχεια εξετάζονται οι παράγοντες που επιδρούν στον αρχικό

σχηματισμό $H_2$ και $MV^{+\cdot}$ σε συστήματα που περιέχουν C - EDTA - $MV^{2+}$(όπου C=σύμπλοκο, EDTA=αιθυλενοδιαμινοτετραοξεικό οξύ και $MV^{2+}$=το ιόν του N,N'-διμεθυλο-4,4'-διπυριδινίου).




C

Θερμική και φωτοχημική σταθερότητα. Το σύμπλοκο C είναι σταθερό ακόμη και σε ακτινοβόληση με φως λ > 250nm απουσία ουσιών που είναι καλοί δότες ηλεκτρονίων.

Η φωτοχημική και θερμική δραστικότητα του C έναντι ουσιών που είναι δότες περιέχονται στον πίνακα I και οι δότες χωρίζονται σε τρείς κατηγορίες σύμφωνα με την δράση τους (πιν. I).

Τόσο το σύμπλοκο C, όσο και το μονοανιόν του $C^-$ έχουν ίσχυρες απορροφήσεις στην περιοχή του κοντινού υπερύθρου, με μέγι στα στα 840 και 930 nm αντίστοιχα. Η εξαφάνιση των απορροφήσεων αυτών δείχνει τον σχηματισμό του διανιόντος $C^{2-}$ ή/ και την καταστροφή του συμπλόκου.

Ικανοποιητικός διαλύτης του συμπλόκου είναι μίγμα ακετόνης- νερού (70:30), που ανήκει στην Α΄κατηγορία των δοτών (πιν. I). Σε ακτινοβόληση με όλο το φώς της λάμπας που περιέχει και UV, το σύμπλοκο παραμένει σταθερό. Το ίδιο συμβαίνει και θερμικά. Παρόμοια αποτελέσματα έχουμε και παρουσία $MV^{2+}$ (δέκτης ηλεκτρονίων). Αντιθέτως παρουσία EDTA (δότης) σχηματίζεται το μονοανιόν $C^-$, που δεν αντιδρά παραπέρα. Η αντίδραση μεταξύ EDTA και C γίνεται και θερμικά, αλλά είναι πάρα πολύ πιο αργή. Οταν συνυπάρχουν C,EDTA και $MV^{2+}$ τότε με ακτινοβόληση σχηματίζεται $MV^{+\cdot}$ και $H_2$, αντίδραση που δεν γίνεται θερμικά (πίνακας II).

Σχηματισμός $MV^{+\cdot}$, $H_2$ και $C^-$. Η παρατήρηση του σχηματισμού $MV^{+\cdot}$ γίνεται στα 606 nm όπου η απορρόφηση του είναι πολύ μεγαλύτερη απο των C και $C^-$. Στις εικ.1-3 βλέπουμε την μεταβολή της απορρόφησης στα 606 nm συναρτήσει του χρόνου. Η αρχική πτώση της, οφείλεται στο μετασχηματισμό $C \rightarrow C^-$. Κατα την φάση αυτή το σχηματιζόμενο $MV^{+\cdot}$ δεν μπορεί να μετρηθεί, διότι αυτό αντιδρά προς σχηματισμό $H_2$. Εμφάνιση του μπλέ χρώματος του $MV^{+\cdot}$ γίνεται αργότερα όταν μειώνεται ο ρυθμός σχηματισμού $H_2$. Ο ρυθμός σχηματισμού του $C^-$ είναι ανεξάρτητος από την συγκέντρωση του EDTA που επηρεάζει σημαντικά τον σχηματισμό $MV^{+\cdot}$. Σε μεγάλες [EDTA] το $MV^{+\cdot}$ εμφανίζεται ενωρίτερα με πιό γρήγορο ρυθμό και

το ελάχιστο της απορρόφησης είναι ψηλότερο (εικ. 1).

Ο ρυθμός του μετασχηματισμού $C \rightarrow C^-$ είναι επίσης ανεξάρτητος απο την $[MV^{2+}]$ (εικ. 2) που επηρεάζει την εμφάνιση του $MV^{+\cdot}$. Σε μεγάλες $[MV^{2+}]$ η εμφάνιση του $MV^{+\cdot}$ καθυστερεί και το ελάχιστο της απορρόφησης στα 606 nm είναι χαμηλώτερο.

Η επίραση της αυξησής της [CI] είναι ότι καθυστερεί η εμφάνιση του $MV^{+\cdot}$ (εικ. 3).

Ο γρήγορος αρχικός σχηματισμός $H_2$ φαίνεται στην εικ. 4. Οσο καθυστερεί να εμφανισθεί το $MV^{+\cdot}$ τόσο μεγαλύτερη είναι η παραγωγή $H_2$. Στα πειράματα δεν έχει προστεθεί καταλύτης και χρησιμοποιώντας δευτεριωμένη ακετόνη αποδείχθηκε οτι το $H_2$ προέρχεται απο το νερό.

Το $MV^{+\cdot}$ θερμικά, παρουσία $C^-$ σαν καταλύτη δίνει $H_2$ ενώ η αντίστοιχη θερμική αντίδραση παρουσία C δεν μπορει να συναγωνισθεί την αντίδραση

$$MV^{+\cdot} + C \longrightarrow MV^{2+} + C^-$$

Η αντίδραση αυτή δεν επηρεάζεται απο την παρουσία EDTA. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι το φάσμα του συμπλόκου παρουσία EDTA παρουσιάζει μία πολύ μικρή διαφορά.

Μονοχρωματικό φως. Εγιναν πειράματα χρησιμοποιώντας μονοχρωματικό φώς με μήκος κύματος 410, 593 και 840nm. Στις ακτινοβολήσεις στα 410 και 840 nm έγινε μόνο η μετατροπή $C \rightarrow C^-$ ενω στα 593 nm σχηματίσθηκε και $MV^{+\cdot}$ αφου όμως ολοκληρώθηκε η μετατροπή $C \rightarrow C^-$.

Συζήτηση. Απο τα αποτελέσματα φαίνεται ότι η διεγερμένη κατάσταση του μονοανιόντος $(C^-)^*$ ανάγεται πιο δύσκολα απο την του ουδετέρου $(C^*)$. Βρέθηκαν δότες που αντιδρούν μόνο με το $C^*$ είτε με τα $C^*$ και $(C^-)^*$ αλλα όχι δότες που αντιδρούν μόνο με το $(C^-)^*$.

Η διαφορετική δράση των δοτών οφείλεται μάλλον σε ισορροπία συμπλοκοποίησης που προηγείται της απορρόφησης της ακτινοβολίας. Τέτοιο παράδειγμα είναι η διαφοροποίηση του φάσματος του C παρουσία EDTA που παρατηρήθηκε.

Η φωτοχημεία του συστήματος $C - MV^{2+} - EDTA$ περιγράφεται απο τις αντιδράσεις:

$$C + EDTA \rightleftharpoons [C....EDTA] \qquad (1)$$

$$[C....EDTA] \overset{h\nu}{\rightleftharpoons} [C....EDTA]^* \qquad (2)$$

$$[C....EDTA]^* \longrightarrow C^- + EDTA^+ \qquad (3)$$

$$EDTA^+ \longrightarrow \dot{EDTA} + H^+ \qquad (4)$$

$$\dot{EDTA} + MV^{2+} \longrightarrow (\dot{EDTA}....MV^{2+}) \qquad (5)$$

$$(\dot{EDTA}....MV^{2+}) \xrightarrow[H_2O]{C} \tfrac{1}{2}H_2 + MV^{2+} + P \qquad (6)$$

Η αντίστροφη αντίδραση της (3) δεν γίνεται διότι η αποπρωτονίωση (αντδρ. 4) είναι πολύ γρήγορη. Στην αντιδρ. (6) το $(EDTA....MV^{2+})$ είναι σύμπλοκο μεταφοράς φορτίου και το σύμπλοκο C παίζει το ρόλο του καταλύτη. Η αντίδραση αυτή οδηγεί στην απ΄αρχής παραγωγή $H_2$ και συναγωνίζεται την

$$(\dot{EDTA}....MV^{2+}) \longrightarrow MV^{+\cdot} + P \qquad (7)$$

διότι το EDTA ευνοεί την καταλυτική δράση του C μέσω σχηματισμού ένωσης προσθήκης όπως στην αντίδραση (1). Η συσσώρευση $MV^{+\cdot}$ γίνεται με την αντίδραση

$$MV^{+\cdot} + C \longrightarrow MV^{2+} + C^- \qquad (8)$$

μόλις όλο το C μετατραπεί σε $C^-$. Υπάρχει και η αργή, συγκριτικά μετην (5), αντίδραση

$$\dot{EDTA} + C \longrightarrow C^- + P \qquad (9)$$

όπως φάνηκε απο την φωτοχημεία του συστήματος C-EDTA.

Το σχηματιζόμενο $C^-$ είναι επίσης καταλύτης για την παραγωγή $H_2$ αλλά όχι τόσο καλός όσο το C.

Η διαφορετική φωτοχημική συμπεριφορά στα τρία μήκη κύματος που μελετήθηκαν δείχνει την ύπαρξη τριών διεγερμένων καταστάσεων. Έτσι εξηγείται γιατί το $MV^{+\cdot}$ σχηματίζεται μόνο στα 593 nm και όχι στα 410 και 840 nm που γίνεται μόνο η μετατροπή $C \rightarrow C^-$. Αντίστοιχα όταν η ακτινοβόληση γίνεται με $\lambda > 350$ nm (εικ. 1-3) όλα τα μήκη κύματος συμμετέχουν στην μετατροπή $C \rightarrow C^-$ αλλα μόνο τα μήκη κύματος περι τα 593 nm οδηγούν στο σχηματισμό $MV^{+\cdot}$ και $H_2$.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ


1. Η. Χοντζόπουλος, Χ. Μητσοπούλου, Ε. Βραχνού-Αστρά, Ι. Κωνσταντάτος και Δ. Κατάκης, 1982, "Νέοι Φωτοευαισθητοποιητές για την φωτοκαταλυτική παραγωγή $H_2$ απο το νερό", 1ο Εθνικό Συνέδριο για Ήπιες Μορφές Ενέργειας (πρακτικά), Θεσσαλονίκη 1982.

2. E. Hontzopoulos, E. Vrachnou-Astra, J. Konstantatos and D. Katakis, 1985, "A new photosensitizer-catalyst for the photochemical cleavage of water", J. Photoch. 30, 117.

3. E. Hontzopoulos, J. Konstantatos, E. Vrachnou-Astra and D. Katakis, 1985, "Homogenous catalytic action of a Nickel dithiolene complex, leading to Dihydrogen formation from N,N'-dimethyl-4,4'-dipyridinium radical ion solutions", J. Molec. Catal., in press.

Πίνακας I

Φωτοχημική δραστικότητα του διθειολενικού συμπλόκου (C) με διάφορους δότες

A. Άδρανής δότες που δεν αντιδρούν με το $C^{*}$ ή $C^{-*}$

$C_6H_6$ ($\lambda > 350$, UV), $CHCl_3$ ($\lambda > 350$), $CH_3COCH_3$ ($\lambda > 350$), $CH_3COCH_3/H_2O$ 70:30 ($\lambda > 350$), 2-prOH ($300 < \lambda < 970$), $Et_3N$ ($560 < \lambda < 970$), EtOH (UV, VIS).

B. Δότες που αντιδρούν μόνο με το $C^{*}$ προς $C^{-*}$

DMF ($560 < \lambda < 970$), DMSO ($\lambda > 350$), $Ph_3N$ ($560 < \lambda < 970$, $300 < \lambda < 590$), EDTA($350 < \lambda < 970$)

C. Δότες που αντιδρούν και με το $C^{*}$ και με το $C^{-*}$ και οδηγούν σε καταστροφή του συμπλόκου.

DMF (UV, $\lambda > 350$), THF ($300 < \lambda < 590$), (UV, VIS), $(HOCH_2CH_2)_3N$ ($300 < \lambda < 970$).

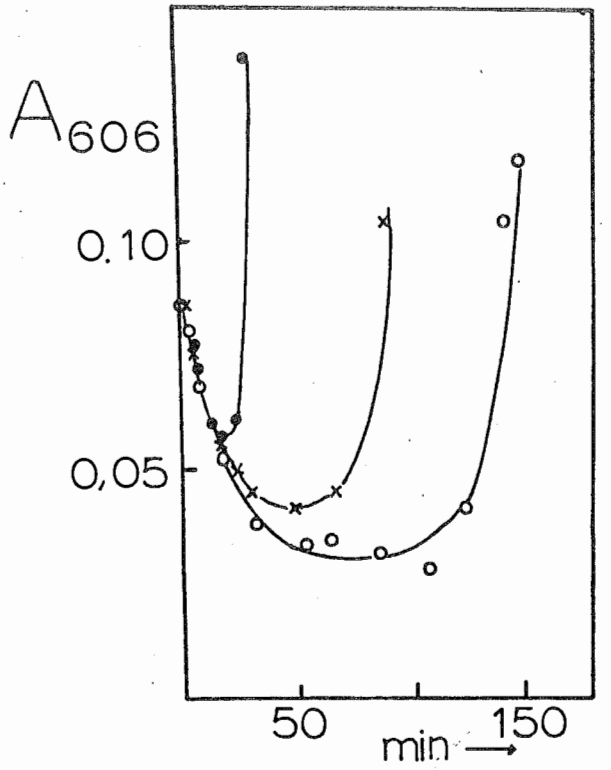
---

Σημ. Τα μήκη κύματος είναι σε nm. Σαν $C^{*}$ και $C^{-*}$ είναι οι διεγερμένες καταστάσεις των C και $C^{-}$ αντίστοιχα. Θερμικά αντιδρούν τα THF, EDTA, DMF.

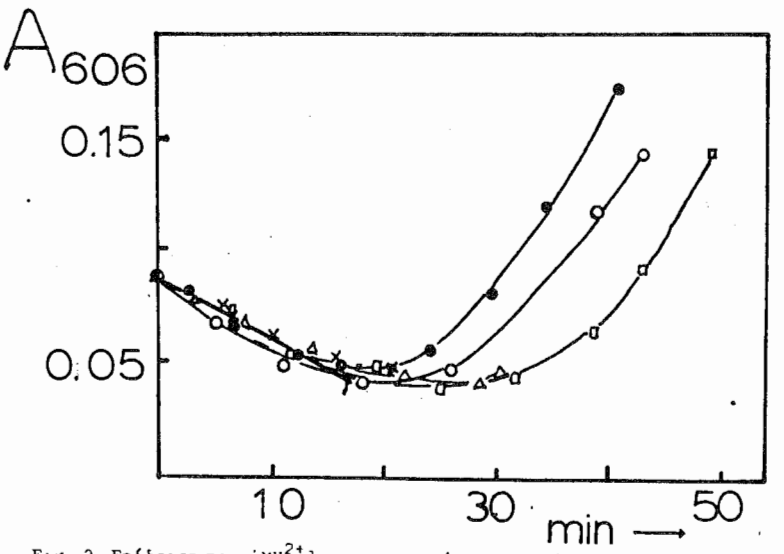
Πίνακας II

Παρατηρήσεις απο ακτινοβολήσεις του συστήματος C - EDTA - $MV^{2+}$ σε ακετόνη- νερό (70:30)

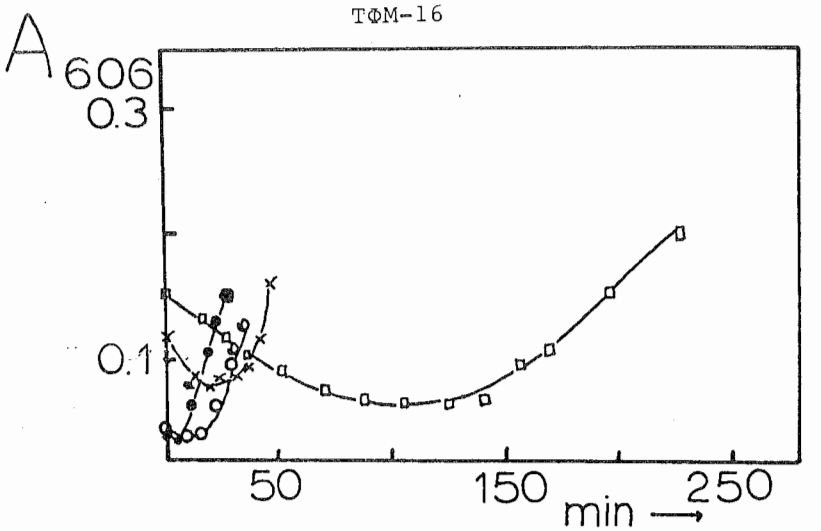
| [C] / M | [EDTA] / M | $[MV^{2+}]$ / M | Φως λ,nm | Παρατηρήσεις |
|---|---|---|---|---|
| $1.2 \times 10^{-5}$ | - | - | 200 | Καμία αλλαγή |
| $1.2 \times 10^{-5}$ | | $2.5 \times 10^{-3}$ | 200 | Καμία αλλαγή |
| - | $1.7 \times 10^{-3}$ | $2.5 \times 10^{-3}$ | 200 | Καμία αλλαγή |
| $8.7 \times 10^{-5}$ | $1.7 \times 10^{-3}$ | - | 350 | Σχηματισμός του $C^-$ |
| $1.5 \times 10^{-5}$ | $7.1 \times 10^{-4}$ | $2.1 \times 10^{-3}$ | 840 | Σχηματισμός του $C^-$ |
| $2.9 \times 10^{-5}$ | $7.1 \times 10^{-4}$ | $7.1 \times 10^{-3}$ | 410 | Σχηματισμός του $C^-$ |
| $1.4 \times 10^{-5}$ | $7.1 \times 10^{-4}$ | $2.1 \times 10^{-3}$ | 593 | Σχηματισμός $C^-$, $MV^{+\cdot}$ και $H_2$ |



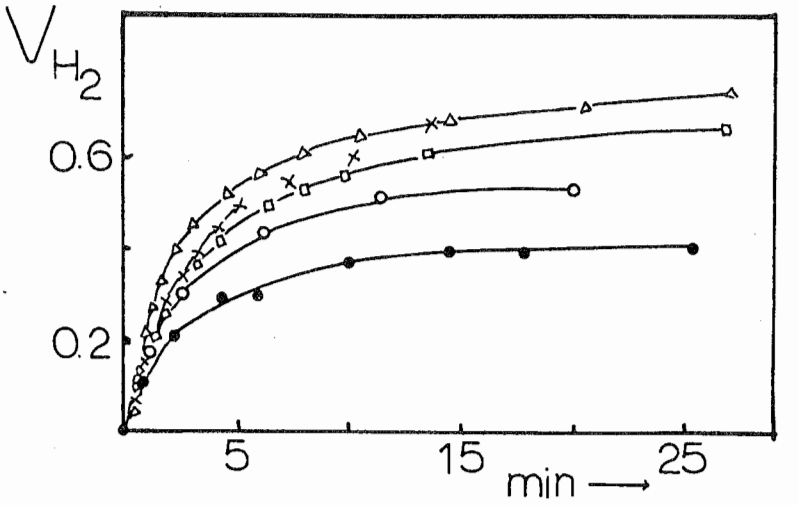

Εικ.1. Επίδραση της [EDTA] στην απορρόφηση στα 606 nm.
Φως $300 < \lambda < 590$ nm, θερμοκρασία δωματίου, κυβ.5cm.
[C]=3.0 x $10^{-5}$ M, [$MV^{2+}$]= 1.1 x $10^{-4}$M.
o [EDTA]= 1.27 x $10^{-3}$M, × [EDTA]= 2.36 x $10^{-3}$M,
• [EDTA]= 4.6 x $10^{-3}$M.




Εικ. 2 Επίδραση της [$MV^{2+}$] στην απορρόφηση στα 606 nm.
Φως $300 < \lambda < 590$ nm, θερμοκρασία δωματίου, κυβ.5cm.
[C]= 3.0 x $10^{-5}$M, [EDTA]= 1.8 x $10^{-3}$M
• [$MV^{2+}$]= 1.3 x $10^{-5}$M, × [$MV^{2+}$]= 1.5 x $10^{-5}$M,
o [$MV^{2+}$]= 1.7 x $10^{-5}$M, Δ [$MV^{2+}$]= 1.9 x $10^{-5}$M,
□ [$MV^{2+}$]= 2.2 x $10^{-5}$M.




Εικ. 3 Επίδραση της [C] στην απορρόφηση στα 606 nm.
Φως $300 < \lambda < 590$ nm, θερμοκρασία δωματίου, κυβ. εκ.
$[EDTA] = 1.8 \times 10^{-3}$M, $[MV^{2+}] = 1.1 \times 10^{-4}$M.
● $[C] = 1.0 \times 10^{-5}$M, o $[C] = 1.2 \times 10^{-5}$M,
× $[C] = 5.0 \times 10^{-5}$M, □ $[C] = 6.2 \times 10^{-5}$M.




Εικ. 4 Όγκος παραγόμενου $H_2$ συναρτήσει του χρόνου.
Όγκος διαλύματος 27 ml, $\lambda > 350$ nm, 23° C.
● $[C] = 4.3 \times 10^{-5}$M, $[EDTA] = 9.5 \times 10^{-4}$M,
$[MV^{2+}] = 2.4 \times 10^{-3}$M // o (όπως με το προηγούμενο αλλά με Pt // □ $[C] = 4.3 \times 10^{-5}$M, $[EDTA] = 2.4 \times 10^{-4}$M,
$[MV^{2+}] = 2.9 \times 10^{-3}$M // Δ $[C] = 4.8 \times 10^{-5}$M,
$[EDTA] = 1.2 \times 10^{-4}$M, $[MV^{2+}] = 2.9 \times 10^{-3}$M //
× $[C] = 4.8 \times 10^{-5}$M, $[EDTA] = 1.2 \times 10^{-4}$M,
$[MV^{2+}] = 2.9 \times 10^{-4}$M.

ΤΦΜ-17

ΤΙΤΛΟΣ ΕΙΣΗΓΗΣΗΣ: ΦΩΤΟΧΗΜΙΚΗ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΚΑΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΠΟΛΥΟΞΟΜΕΤΑΛΛΙΚΕΣ ΕΝΩΣΕΙΣ Mo, W Ή ΚΑΙ V. ΠΑΡΑΓΩΓΗ $H_2$, ΦΩΤΟΚΑΤΑΛΥΣΗ, ΦΩΤΟΓΑΛΒΑΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.

ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ: Η. Παπακωνσταντίνου, Π. Αργείτης, Δ. Δημοτίκαλη, Α. Χισκιά και Α. Ιωαννίδης
Τμήμα Χημείας, Κ.Π.Ε. Δημόκριτος
153 10 Αγία Παρασκευή Αττικής, Τ.Θ. 60228

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Περιγράφεται η χρήση πολυοξομεταλλικών ενώσεων στη φωτοχημική διάσπαση του $H_2O$ και φωτοηλεκτροχημική παραγωγή ρεύματος. Η κβαντική απόδοση είναι περίπου 1 μόριο $H_2$ ή 2 ηλεκτρόνια ανά 100 φωτόνια απορροφούμενης ακτινοβολίας.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: (Υδρογόνο, παραγωγή), (Πολυοξομεταλλικές ενώσεις), Μολυβδένιο, βολφράμιο, Βανάδιο, (Φωτογαλβανικά στοιχεία).

ΕΙΣΑΓΩΓΗ: Πολυοξομεταλλικές ενώσεις μολυβδενίου βολφραμίου ή και βανασίου υφίστανται σταδιακή πολυηλεκτρονιακή αναγωγή με διάφορα χημικά αντιδραστήρια και ηλεκτροχημικές μεθόδους. Η αναγωγή είναι αντιστρεπτή με την έννοια ότι υπό κατάλληλες συνθήκες επανοξειδώνονται από το ατμοσφαιρικό οξυγόνο χωρίς να αλλοιωθεί η δομή τους. Οι ενώσεις αυτές είναι φωτοευαίσθητες στο εγγύς ορατό και υπεριώδες παρουσία μεγάλης ποικιλίας οργανικών ουσιών. Η φωτοευαισθησία οδηγεί στην πολυηλεκτρονιακή αναγωγή των πολυοξομεταλλικών ενώσεων με ταυτόχρονη οξείδωση των οργανικών ουσιών. Οι ιδιότητες αυτές αποτελούν τη βάση για τη χρησιμοποίηση των ουσιών αυτών στην αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας στους τομείς της παραγωγής $H_2$, φωτοκατάλυσης και ηλεκτροχημικής παραγωγής ρεύματος.

Η χημεία των πολυοξομεταλλικών ενώσεων του Mo, W ή και V είναι ευρέος ενδιαφέροντος (1). Εκτός από το ακαδημαϊκό ενδιαφέρον έχουν και πρακτική σημασία στην κατάλυση, στην αναλυτική χημεία κλπ. (2,3).

Η δυνατότητα των ουσιών αυτών στη φωτοχημεία έχει αναγνωριστεί από πολύ παλιά (4) και έχει καταχωρηθεί σε αμερικανικό δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για πιθανή χρήση των στη φωτογραφία (5).

Πολλοί Ρώσσοι επιστήμονες έχουν μελετήσει τη φωτοχημεία των ουσιών αυτών για αναλυτικούς σκοπούς (6).

Είναι πλέον καλά τεκμηριωμένο ότι οι ενώσεις αυτές μπορούν να υποστούν σταδιακή πολυηλεκτρονιακή φωτοαναγωγή χωρίς να αλλοιωθούν.

Προφανώς αυτό αποτελεί τη βάση της καταλυτικής τους δράσης. Από την άλλη πλευρά ενώσεις που είναι πολυηλεκτρονιακά αναγωγικά αντιδραστήρια είναι πρόσφατα περιζήτητες στην προσπάθεια αναγωγής $N_2$, άνθρακα και στη διάσπαση του νερού σε $H_2$ και $O_2$.

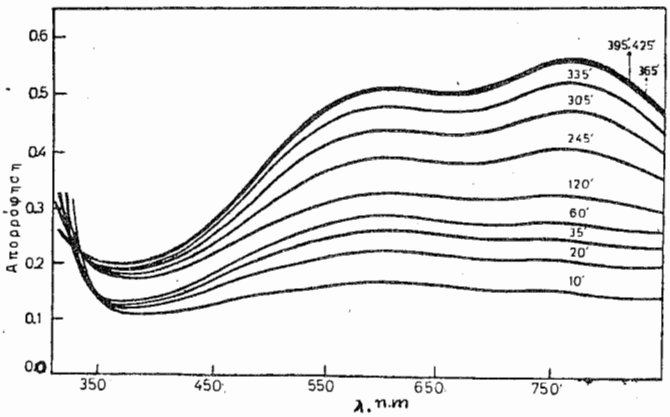
Η εργασία αυτή αναφέρεται στη φωτοχημεία των ετεροπολυενώσεων (HPC), π.χ. του τύπου $PW_{12}O_{40}^{3-}$ ($PW_{12}^{3-}$), $SiW_{12}O_{40}^{4-}$ ($SiW_{12}^{4-}$), $P_2Mo_{18}O_{62}^{6-}$ ($P_2Mo_{18}^{6-}$) κλπ., και στη δυνατότητά των στην αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας και φωτοκατάλυση παρουσιάζοντας μία γενική ανασκόπηση και πρόσφατα αποτελέσματα της δουλειάς που γίνεται στο εργαστήριό μας με έμφαση στην παραγωγή $H_2$.

## Φωτοχημεία βασικές μελέτες

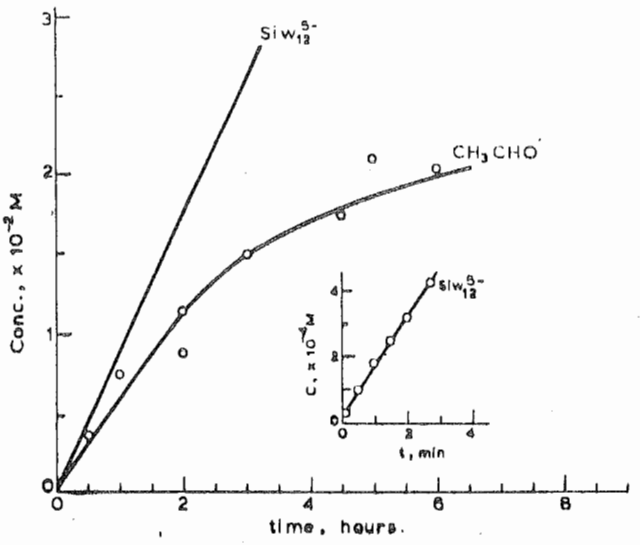
Έχουμε δείξει ότι οι HPC φωτοανάγονται στο εγγύς ορατό και υπεριώδες παρουσία μεγάλης ποικιλίας οργανικών ουσιών σχηματίζοντας τις μπλε ετεροπολυενώσεις (HPB). Κβαντικές αποδόσεις ποικίλουν με την HPC τα οργανικά αντιδραστήρια και το αναγωγικό στάδιο με πτώση περίπου στο 10% από το πρώτο στο δεύτερο ηλεκτρόνιο τουλάχιστον για το $PW_{12}O_{40}^{3-}$($PW_{12}^{3-}$). Μέγιστες αποδόσεις ~15% έχουν επιτευχθεί με αλκοόλες, γλυκόλες, γλυκολικά οξέα ενώ τα καρβοξυλικά οξέα παρουσιάζουν τη μικρότερη φωτοχημική δράση.

Οι σχηματισμοί των ανηγμένων μπλε ετεροπολυενώσεων (HPB) παρακολουθείται άνετα από τα χαρακτηριστικά φάσματα. Σχήμα I. Η φωτοαναγωγή συνοδεύεται από ταυτόχρονη οξείδωση των οργανικών ουσιών. Έτσι π.χ. η ισοπροπυλική αλκοόλη δίνει ακετόνη και η αιθυλική ακεταλδεΰδη σε στοιχειομετρική αναλογία 2:1. Σχήμα II.

Η έκταση της αντίδρασης εξαρτάται από την HPC και αυτό σχετίζεται με την ευκολία με την οποία παίρνει ηλεκτρόνια και από το οργανικό αντιδραστήριο (7).




Σχήμα I. Φωτόλυση $FeW_{12}^{5-}$ $5.6\times10^{-5}$M παρουσία ισοπροπανόλης 2M με λάμπα Xe-UV, χρησιμοποιώντας φίλτρο pyrex, $HClO_4$ 0.1M. Ο χρόνος φωτόλυσης σημειώνεται στα φάσματα.




Σχήμα ΙΙ. Μεταβολή της συγκέντρωσης $SiW_{12}^{5-}$ και $CH_3CHO$, με το χρόνο φωτόλυσης. $SiW_{12}^{4-}$ $5\times10^{-3}$ M αιθανόλη 2M, $HClO_4$ $10^{-4}$M. Φωτόλυση με λάμπα Hg υψηλής πίεσης με pyrex φίλτρο. Η μεταβολή της συγκέντρωσης του $SiW_{12}^{5-}$ με το χρόνο επιτεύχθηκε με προέκταση της αντίστοιχης καμπύλης στο αρχικό στάδιο της αντίδρασης με φασματοσκοπικές μετρήσεις.

Ο πίνακας Ι δείχνει το μέγιστο αριθμό ηλεκτρονίων που προστίθενται φωτοχημικά σε μια σειρά HPC του βολφραμίου. Περισσότερα γι'αυτό το θέμα σε συσχετισμό με την παραγωγή $H_2$.

Πίνακας Ι. Μέγιστος αριθμός ηλεκτρονίων που προστίθενται φωτοχημικά παρουσία $Me_2CHOH$ (1.0M) σε 0.1M $HClO_4$[a] (14b).

| | Μέγιστος αριθ. ηλεκτρ. που προστίθενται | | | Μέγιστος αριθ. ηλεκτρ. που προστίθενται | |
|---|---|---|---|---|---|
| Ένωση | Χωρίς Pt[b] | Με Pt[b] | Ένωση | Χωρίς Pt[b] | Με Pt[b] |
| $PW_{12}^{3-}$ | 2.2 | 1.3 | $FeW_{12}^{5-}$ | 1.4 | 0.3 |
| $SiW_{12}^{4-}$ | 1.7 | 0.9 | $H_2W_{12}^{6-}$ | 1.2 | 0.2 |

[a] Συνθήκες: [HPC] = $5\times10^{-4}$M; Φωτόλυση με λάμπα Xe 150-W χωρίς φίλτρο. Απαέρωση με Ar.

[b] Σφάλμα γύρω στο 20%· συγκέντρωση καταλύτη Pt ~$5\times10^{-6}$M.

Οι σχετικές ταχύτητες σχηματισμοί των HPB είναι συνάρτηση της HPC και της συγκέντρωσης του οργανικού πρόσθετου (7).

Χρησιμοποιώντας π.χ. τα 12-βολφραμικά ιόντα και παριστάνοντάς τα γενικά ως $W_{12}^{4-}$ ο φωτοχημικός μηχανισμός των αντιδράσεων με π.χ.

$Me_2CHOH$ μπορεί να παρασταθεί κατά τον ακόλουθο τρόπο

$$W_{12}^{n-} \xrightarrow{h\nu} *W_{12}^{n-} \quad [1]$$

$$*W_{12}^{n-} \xrightarrow{k_{-1}} W_{12}^{n-} \quad [2]$$

$$*W^{n-} + Me_2CHOH \xrightarrow{k_Q} W_{12}^{(n+1)} + Me_2\dot{C}OH + H^+ \quad [3]$$

$$W_{12}^{n-} + Me_2\dot{C}OH \xrightarrow{k_R} W_{12}^{(n+1)} + Me_2CO + H^+ \quad [4a]$$

$$W_{12}^{(n+1)} + Me_2\dot{C}OH \rightarrow W_{12}^{(n+2)-} + Me_2CO + H^+ \quad [4b]$$

$$W_{12}^{(n+2)-} + W_{12}^{n-} \quad 2W_{12}^{(n+1)-} \quad [4c]$$

Οι αντιδράσεις προχωρούν έως ότου όλο το $W_{12}^{n-}$ έχει μετατραπεί σε $W_{12}^{(n+1)-}$. Η φωτοαντίδραση προχωρεί μα παρόμοιο μηχανισμό σε υψηλότερα αναγωγικά στάδια ανάλογα με τις συνθήκες. Ο μηχανισμός αυτός αρχικά προτάθηκε με βάση ότι η οργανική ένωση πρέπει να έχει άτομα Η που απομακρύνονται εύκολα για να λάβει μέρος στη φωτοχημική αντίδραση και από το γεγονός ότι οι ρίζες που προκύπτουν είναι ισχυρά αναγωγικά αντιδραστήρια (8). Ο μηχανισμός αυτός υιοθετήθηκε αργότερα από τον Darwent (9) και πιστοποιήθηκε από τον Ward χρησιμοποιώντας δευτεριωμένη ισοπροπυλική αλκοόλη (10).

Χρήση των HPC στη δέσμευση και αποθήκευση ηλιακής ενέργειας

Είναι γενικά αποδεκτό ότι προκειμένου ένα σύστημα να είναι κατάλληλο για δέσμευση και αποθήκευση ηλιακής ενέργειας θα πρέπει να πληρεί τους παρακάτω όρους: (α) να απορροφά σημαντικά στο ορατό, (β) να έχει μακρόχρονη διηγερμένη κατάσταση, (γ) να συμμετέχει σε οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις που μπορούν να αποθηκεύσουν την απορροφούμενη ενέργεια, και (δ) να έχουν ένα φωτοαναγωγικό κύκλο ενός εκατομυρίου π.χ. Αυτές βέβαια είναι δύσκολες απαιτήσεις και οι προσπάθειες βασίζονται σε συστήματα που πληρούν τη μία και την άλλη προϋπόθεση. Η έρευνα στο εργαστήριό μας έχει τρεις κατευθύνσεις στον τομέα αυτό που σχετίζονται άμεσα, αλλά η παρουσίαση γίνεται χωριστά για λόγους σαφήνειας: (α) Παραγωγή υδρογόνου, (β) φωτοκαταλυτική οξείδωση οργανικών ουσιών, (γ) φωτογαλβανικά στοιχεία.

1. Παραγωγή $H_2$

Έχει λεχθεί προηγούμενα ότι οι HPC υφίστανται πολυηλεκτρονιακή φωτοαναγωγή παρουσία οργανικών ουσιών με ταυτόχρονη οξείδωση των οργανικών ουσιών. Η προσθήκη ηλεκτρονίων μεταφέρει το δυναμικό οξειδοαναγωγής των HPC σε πιό αρνητικές περιοχές που εύκολα οξειδώνονται από το οξυγόνο του αέρα. Αυτό το χρησιμοποιούμε στη φωτοκαταλυτική οξείδωση οργανικών ουσιών (11). Απουσία $O_2$ τα δυναμικά οξειδοαναγωγής είναι αρκετά αρνητικά ώστε να προκαλέσουν αναγωγή του $H^+$ (12,13).

Η αναγωγή του $H^+$ επιτυγχάνεται παρουσία και απουσία Pt (14). Γενικά η παρουσία καταλύτου είναι αναγκαία για την υπερνίκηση του υψηλού δυναμικού που απαιτείται για την παραγωγή ατομικού υδρογόνου.

Η φωτοαναγωγή των HPC προχωρεί έως ότου η ταχύτητα επανοξείδωσης από το $H^+$ (παραγωγή $H_2$) ισοφαρίζει την ταχύτητα φωτοαναγωγής. Τότε δημιουργείται μία σταθερή κατάσταση με συνεχή παραγωγή υδρογόνου.

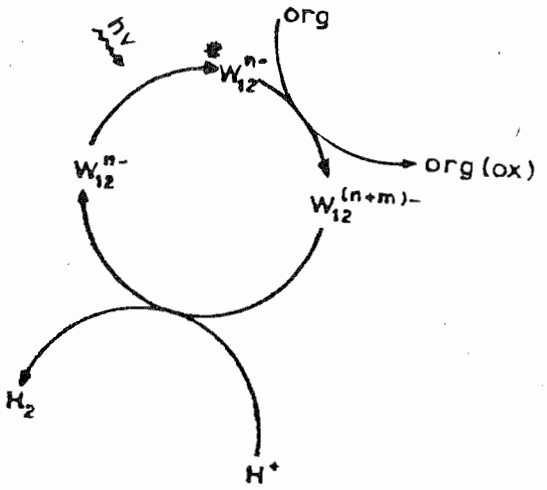
Το αναγωγικό στάδιο στο οποίο συμβαίνει αυτό εξαρτάται από την HPC. Έτσι για το $PW_{12}^{3-}$ απαιτούνται περισσότερα ηλεκτρόνια απ'ότι για το $H_2W_{12}^{6-}$ που έχει πιό αρνητικά δυναμικά οξειδοαναγωγής. Όταν χρησιμοποιείται καταλύτης Pt τότε η σταθερά κατάσταση παραγωγής $H_2$ επιτυγχάνεται σε πιό θετικά δυναμικά· Πίνακας I. Προφανώς οι HPC δρουν ως καταλύτες στην παραγωγή $H_2$ αλλά δεν είναι τόσο αποτελεσματικές όσο η Pt. Ο κύκλος της παραγωγής $H_2$ γενικά για μια ένωση δίνεται στο Σχήμα III.

Η επανοξείδωση των HPB από $H^+$ που παρίσταται γενικά ως

$$2W_{12}^{(n+1)} + 2H^+ \xrightarrow{k_H} 2W_{12}^{n-} + H_2 \qquad [5]$$

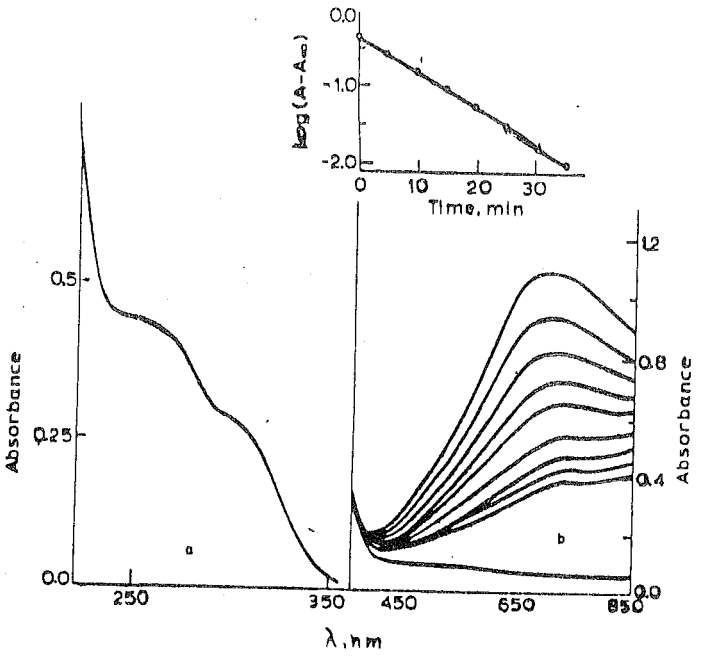
φαίνεται να είναι 100% αποτελεσματική.

Η ταχύτητα επανοξείδωσης παρακολουθείτο από τη μεταφορά της απορρόφησης της ανηγμένης μορφής στα ~700 nm μετά από προσεκτική απαέρωση. Επίσης παρακολουθείτο από την παραγωγή $H_2$· Σχήμα IV.




Σχήμα III. Σχηματική παράσταση παραγωγής $H_2$ με φωτόλυση $W_{12}^{n-}$ παρουσία οργανικής ουσίας (org), m είναι ο αριθμός των ηλεκτρονίων που προστίθενται φωτοχημικά ώστε να είναι εφικτή, από θερμοδυναμική άποψη, η αναγωγή των $H^+$.

Τυπικές σταθερές ταχύτητας ψεύδο πρώτης τάξης για την αντίδραση 5 που μετρήθηκαν στο στάδιο της σταθερής παραγωγής $H_2$ ήταν για τα 12-βολφραμικά ανιόντα $(5.6\pm3.1)\times10^{-4}s^{-1}$ και $(2.6\pm1.8)\times10^{-4}s^{-1}$ με και χωρίς Pt αντίστοιχα. Παρόμοια αποτελέσματα έχουν επιτευχθεί με το $P_2W_{18}^{8-}$ με διαφοροποίηση στη σταθερά ταχύτητας αντίδρασης, όπως είναι φυσικό από θερμοδυναμική άποψη, ανάλογα με το στάδιο αναγωγής. Έτσι για το προϊόν αναγωγής με 2 ηλεκτρόνια, $P_2W_{18}^{8-}$ παρουσία Pt η σταθερά ταχύτητας ψεύδο-πρώτης τάξης είναι $(6.1\pm3.0)\times10^{-4}s^{-1}$, για το $P_2W_{18}^{10-}$ $(17\pm8.0)\times10^{-4}s^{-1}$, ενώ το $P_2W_{18}^{7-}$ δεν παράγει $H_2$. Η συνολική παραγωγή




Σχήμα IV. Φάσματα απορρόφησης και κινητική επανοξείδωσης φωτοανηγμένου $P_2W_{18}^{6-}$ με ταυτόχρονη παραγωγή $H_2$. a Δέσμες μεταφοράς φορτίου από οξυγόνο στο μέταλλο υπεύθυνες για τη φωτοευαισθησία, a. $W_{18}^{6-}$ $1\times10^{-5}$ M σε 0.1M $HClO_4$. b. Φάσματα φωτοανηγμένου $P_2W_{18}^{6-}$ που δείχνουν τη βαθμιαία οξείδωση από το $H^+$ μετά τη διακοπή του φωτισμού. $P_2W_{18}^{6-}$ $1\times10^{-6}$·ισοπροπανόλη 1.1 M σε 0.1 M $HClO_4$. Φωτόλυση με λάμπα Xe με pyrex φίλτρο.

$H_2$ που μετρήθηκε με αεριοχρωματογράφο πιστοποιεί την αντίδραση 5. Η απόδοση είναι περίπου ένα μόριο $H_2$ ανά 100 φωτόνια απορροφούμενης ακτινοβολίας. Η μικρή απόδοση αντικατοπτρίζει τη μικρή κβαντική απόδοση που αντιστοιχεί στα υψηλότερα αναγωγικά στάδια.

Όπως έχει λεχθεί η παραγωγή $H_2$ συνοδεύεται από ταυτόχρονη οξείδωση (κατανάλωση) αλκοόλης ή γενικότερα οργανικών ενώσεων. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να τονιστεί ότι όλα τα συστήματα αυτού του είδους που παράγουν $H_2$ και που βασίζονται κυρίως στο $Ru(bpy)_3^{2+}$ ως ευαισθητοποιητή και $MV^{2+}$ ως μεταφορέαηλεκτρονίων και τα οποία αποτελούν αντικείμενο εντατικής έρευνας, καταναλώνουν τριαιθυλαμίνη ή EDTA που ονομάζουν θυσιαζόμενο (sacrificial) αντιδραστήριο (15).

Προκειμένου για την ισοπροπανόλη η ολική φωτοχημική αντίδραση είναι, στην ουσία, η αφυδρογόνωση της αλκοόλης

$$Me_2CHOH \rightarrow Me_2CO + H_2 \quad \Delta H \sim 37 \text{ kJ}$$

παρ'όλο που το $H_2$ δεν προέρχεται αναγκαστικά από την αλκοόλη. Η αντίδραση αυτή είναι ενδόθερμη (ενδοεργενική) κατά ∿37 kJ/mole ώστε η παραγωγή $H_2$, παρ'όλη την κατανάλωση οργανικής ουσίας, συνοδεύεται,

έστω σε ελάχιστη απόδοση, στην προκειμένη περίπτωση, από αποθήκευση ενέργειας.

2. Φωτοκαταλυτική οξείδωση οργανικών ουσιών

Παρουσία $O_2$ οι ανηγμένες HPC οξειδώνονται εύκολα στην αρχική κατάσταση με ταχύτητες που σχετίζονται με τα δυναμικά οξειδοαναγωγής τους

$$W^{(n+1)-} + \tfrac{1}{2}O_2 + H^+ \rightarrow W_{12}^{n-} + \tfrac{1}{2}H_2O \qquad [6]$$

Οι σταθερές ταχύτητας κυμαίνονται από $\sim 10^2$ σε $\sim 10^5$ $M^{-1}s^{-1}$ για το $PW_{12}^{3-}$ και $H_2W_{12}^{6-}$ αντίστοιχα (11,14e). Υπενθυμίζεται ότι η σταθερά ταχύτητας δεύτερης τάξης προκειμένου για επανοξείδωση με $H^+$ είναι $\sim 5\times10^{-3}$ $M^{-1}s^{-1}$.

Η ιδιότητα αυτή χρησιμοποιείται στη φωτοκαταλυτική οξείδωση οργανικών ουσιών γενικά, με απώτερη επιδίωξη την ελεγχόμενη οξείδωση. Αλλά αυτό αποτελεί θέμα άλλης εργασίας.

3. Φωτογαλβανικά στοιχεία

Σε γενικές γραμμές βασίζονται στη διαφορά δυναμικού που δημιουργείται μεταξύ της φωτοανηγμένης μορφής και της οξειδωμένης HPC. Το σύστημα αποτελείται από ένα "φωτεινό" και ένα "σκοτεινό" ημιστοιχείο. Ο ηλεκτρολύτης και στα δύο συστήματα είναι ίδιος. Αποτελείται από ένα διάλυμα HPC με οργανικό αντιδραστήριο. Περίπου 2 ηλεκτρόνια αντιστοιχούν σε 100 φωτόνια απορροφούμενης ακτινοβολίας. Ο αναγνώστης αναφέρεται για περισσότερες λεπτομέρειες στα πρακτικά του προηγούμενου συνεδρίου (16).

Γενικά υπάρχουν πλεονεκτήματα στη χρήση των HPC στη μετατροπή και αποθήκευση της ηλιακής ενέργειας ως $H_2$ έναντι των άλλων συστημάτων στο ότι η HPC χρησιμεύει ως φωτοευαισθητοποιητής, μεταφορέας ηλεκτρονίων και καταλύτης. Στην πραγματικότητα, εκτός από το θυσιαζόμενο αντιδραστήριο είναι σύστημα ενός αντιδραστηρίου. Μειονεκτεί όμως στο ότι το φως διέγερσης είναι μικρότερο από $\sim$400 nm δηλαδή στο όριο του ηλιακού φάσματος.

Γίνονται προσπάθειες για την ευαισθητοποίηση των HPC στην περιοχή του ορατού με χρωμοφόρες ομάδες όπως ενσωμάτωση στο κρυσταλλικό πλέγμα ιόντων βαναδίου ή και χρήση "εξωτερικών" φωτοευαισθητοποιητών π.χ. $Ru(bpy)_3^{2+}$. Δυστυχώς, μέχρι στιγμής, η ευαισθητοποίηση που επιτυγχάνεται με το βανάδιο δεν συνοδεύεται και από αντίστοιχη βελτίωση των φωτοχημικών αποτελεσμάτων, συγκεκριμένα παραγωγή $H_2$.

Βιβλιογραφία


1. M.T. Pope, "Heteropoly and Isopoly Oxometalates" in Inorganic Chemistry Concepts 8, Ed. C.K. Jørgensen et al. 1983.
2. See for instance: (a) C.H. Kline and V. Kollonitsch, Ind. Eng. Chem., 1965, 57, 53. (b) G.A. Tsigdinos, "Heteropoly Compounds of Molybdenum and Tungsten", Bulletin Cdb-12a Climax Molybdenum Co. of Michigan, USA.
3. (a) A.I. Vogel, "A Text Book of Quantitative Inorganic Analysis", Third Ed., Wiley and Sons Inc., N.Y., 1966. (b) H. Wu, J. Biol. Chem., 1920, 43, 189.
4. M. Rindl, S. African J. Sci., 1916, 11, 362.

5. L. Chalkley, J. Phys. Chem., 1952, 56, 1084.
6. See for instance: (a) A.A. Nemodruk and E.V. Bezrogova, Zhur. Anal. Khim., 1969, 24, 292 (English translation); (b) S.A. Morosanova, N.Ya. Kolli, and T.G. Kushnirenka, ibid. 1977, 32, 96; (c) M.N. Ptushkina, L.I. Lebedeva, ibid. 1979, 49, 1433.
7. E. Papaconstantinou, D. Dimotikali and A. Politou, Inorg. Chim. Acta, 1980, 46, 155; b. D. Dimotikali and E. Papaconstantinou, ibid., 1984, 87, 177.
8. E. Papaconstantinou, J. Chem. Soc., Faraday 1, 1982, 78, 2769.
9. J.R. Darwent, J. Chem. Soc. Chem. Commun., 1982, 798.
10. M.D. Ward, J.F. Brajdil, and R.K. Grasselli, J. Phys. Chem., 1984, 88, 4210.
11. E. Papaconstantinou, J. Chem. Soc. Chem. Commun., 1982, 12.
12. E. Papaconstantinou, D. Dimoticali, A. Ioannidis, and P. Argitis, J. Photochem., 1981, 17, 171.
13. E.N. Savinov, S.S. Saidkhanov, V.N. Parmon and K.I. Zamaraev, React. Kinet. Catal. Lett., 1981, 17, 407.
14. a. S.S. Saidkhanov, A.I. Kokorin, E.N. Savinov, A.I. Vokov, V.N. Parmon, J. Mol. Catal. 1983, 31, 365. b. A. Ioannidis and E. Papaconstantinou, Inorg. Chem., 1985, 24, 439. c. R. Akid and J.R. Darwent, J. Chem. Soc. Dalton Trans., 1985, 395.
15. See for instance: a. "Photogeneration of Hydrogen", Royal Institution Symposium, Eds. A. Harriman and M.A. West, Academic Press, N.Y. 1982. b. "Energy Resources through Photochemistry and Catalysis", M. Gratzel Ed., Academic Press, N.Y., 1983.
16. Η. Παπακωνσταντίνου, Π. Αργείτης, Δ. Δημοτίκαλη και Α. Ιωαννίδης, Πρώτο Εθνικό Συνέδριο, Ινστιτούτο Ηλιακής Τεχνικής "Ήπιες μορφές ενέργειας", Τομ. Α., σελ. ΗΕΗ-21, Θεσσαλονίκη (1982).

ΤΦΜ-25

# ΤΟ ΘΕΙΙΚΟ ΑΣΒΕΣΤΙΟ ΣΑΝ ΒΕΛΤΙΩΤΙΚΟ ΤΗΣ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΞΗΡΩΝ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ ΤΗΣ ΠΟΥΛΠΑΣ, ΣΕ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟ ΖΑΧΑΡΗΣ.

Διπλ.Χημικός Μηχανικός ΙΦ.ΒΕΛΕΝΤΖΑ

Δρ.Χημικός Μηχανικός Π.ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΟΥ

Ελληνική Βιομηχανία Ζάχαρης

ΠΕΡΙΛΗΨΗ:

Στο ξηραντήριο πολτού χρησιμοποιούνται κατά μέσο όρο περίπου το 1/3 των καυσίμων ενός Ζαχαρουργείου. Γιά τον περιορισμό της κατανάλωσης των καυσίμων προσφέρεται η αύξηση των ξηρών συστατικών του πολτού, με καλύτερη συμπίεση. Δοκιμάστηκε η προσθήκη θειικού ασβεστίου ($CaSO_4$). Το διάλυμα γινόταν με την αντίδραση: $Ca(OH)_2$ και $H_2SO_4$. Προστέθηκε στο νερό εκχύλισης. Αναφέρονται τα αποτελέσματα πειραματισμού, απ'όπου προκύπτουν τα πλεονεκτήματα της χρησιμοποίησης του θειικού ασβεστίου γιά την βελτίωση της συμπιεστότητας του πολτού. Τα ξηρά συστατικά αυξήθηκαν από 18% σε 22-23%. Έγινε έλεγχος της πορείας των θειικών ιόντων στην παραγωγική διαδικασία.

ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ: $CaSO_4$, βελτιωτικά, συμπιεστότητα, ξηρά συστατικά, πούλπα.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ:

Η συνεχής προσπάθεια γιά την πρόβλεψη λύσεων που θα μείωναν τις δαπάνες ενέργειας στη Ζαχαροβιομηχανία, έστρεψε την προσοχή των ερευνητών στο τμήμα του ξηραντήριου πολτού, όπου κατά μέσο όρο δαπανώνται το 1/3 των καυσίμων ενός ζαχαρουργείου.
Μιά λύση είναι να μειωθεί η περιεκτικότητα υγρασίας της πούλπας που προορίζεται γιά ξήρανση, παράγοντας πούλπα υπέρ πρεσσαρισμένη με 22-23% ξηρά συστατικά. Γιά το σκοπό αυτό υπάρχουν ήδη στο εμπόριο ειδικές πρέσσες,οι υπερπρέσσες. Δεδομένου όμως ότι τα ζαχαρουργεία διαθέτουν παραδοσιακές πρέσσες που αποδίδουν μέχρι 18% ξηρά συστατικά πούλπας, μιά λύση γιά την αύξηση αυτών είναι η προσθήκη χημικών ουσιών, βελτιωτικών της συμπιεστότητας και των ξηρών συστατικών της πούλπας.
Τα συνηθισμένα βελτιωτικά γιά τον παραπάνω σκοπό είναι: $CaCl_2$, $CaSO_4$, $Ca(HSO_3)_2$, $Al_2(SO_4)_3$,και φυσικά το $H_2SO_4$. Ειδικά αυτό το τελευταίο,προστιθέμενο στο νερό τροφοδοσίας του εκχυλιστήρα ή και στα ενδιάμεσα διαμερίσματα προκειμένου

να διατηρήσει τιμές pH όξινες, συμβάλλει στη συμπιεστότητα της πούλπας.
Η δράση των προαναφερθέντων αλάτων του ασβεστίου και αλουμινίου που προστίθενται ή στο νερό τροφοδοσίας ή και κατ' ευθείαν στον ιμάντα ή στον κοχλία πούλπας που τροφοδοτεί τις πρέσσες, οφείλεται στην απορρόφησή τους από τον ιστό της πούλπας, ώστε τα κατιόντα Ca και Al - συμβάλλοντας και του όξινου περιβάλλοντος - αντιδρούν με τις πηκτίνες και δίδουν προϊόντα,που προσδίδουν στην πούλπα συμπαγή δομή και επομένως πορώδες, με αποτέλεσμα την αύξηση της συμπιεστότητάς της.
Το βελτιωτικό της συμπιεστότητος $CaCl_2$ είναι το πιό συνηθισμένο στη ζαχαροβιομηχανία. Μιά εργασία του υποφαινομένου μαζί με άλλους συνεργάτες με τον τίτλο "Επίδραση του χλωριούχου ασβεστίου στη συμπίεση των εκχυλισθέντων τεμαχιδίων και στην καθαρότητα του χυμού εκχυλίσεως των τεύτλων παρουσία διοξειδίου του θείου",ανακοινώθηκε στο Β'Πανελλήνιο Συνέδριο Χημικών Μηχανικών, 9-14 Ιουνίου 1980 στην Αθήνα και δημοσιεύθηκε στο Τριμηνιαίο Δελτίο της Ελλ. Βιομηχανίας Ζάχαρης αρ.42 (Γ'τριμ. 1980). Σήμερα όμως συστηματικά αρχίζει να αποφεύγεται η χρήση του $CaCl_2$ γιατί είναι διαβρωτικό γιά τις εγκαταστάσεις και επιπλέον το ιόν $Cl^-$ δεν απομακρύνεται με τον καθαρισμό χυμού, και επομένως αυξάνει την παραγωγή μελάσσας.
Γιά τον σκοπό αυτό μελετήθηκε η προσθήκη άλλων χημικών ουσιών σαν βελτιωτικών της συμπιεστότητας και των ξηρών συστατικών της πούλπας, ένα από τα οποία είναι το $CaSO_4$, την μελέτη του οποίου προβλέπει αυτή η εργασία.

## ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η εργασία αυτή που είναι παραλλαγή της αντίστοιχης: "Coadiuvanti della pressabilità della polpa:$CaSO_4$" όπως δημοσιεύθηκε στο ιταλικό περιοδικό "L'Industria Saccarifera Italiana" N.4 Luglio - Agosto 1984, έγινε από την Ιφ.Βελέντζα* σε συνεργασία με επιστημονικό προσωπικό του Πανεπιστημίου της Ferrara και ανακοινώνεται από τον υποφαινόμενο Π.Χριστοδούλου της Ελληνικής Βιομηχανίας Ζάχαρης που συνεργάστηκε με τους ανωτέρω στην διεξαγωγή της έρευνας, η οποία συνεχίζεται με μελέτη άλλων χημικών ουσιών και παραμέτρων. Στο ζαχαρουργείο του Comacchio Ιταλίας, όπου έγινε η έρευνα κατά τη διάρκεια της καμπάνιας ζαχάρεως και συνεχίστηκε στο Πανεπιστήμιο της Ferrara,τοποθετήθηκε μιά εγκατάσταση τελείως αυτοματοποιημένη γιά την επί τόπου παραγωγή του διαλύματος θειικού ασβεστίου, με πρώτες ύλες το γάλα ασβέστου από την ασβεστοκάμινο του εργοστασίου και το $H_2SO_4$.
Το διάλυμα αυτό τροφοδοτήθηκε κατ'ευθείαν στο νερό εκχυλίσεως. Γιά μιά μέγιστη δυναμικότητα επεξεργασίας 8.000t/ημέρα, τεύτλων και γιά μιά παροχή 500g/t τεύτλων του $CaSO_4$, η εγκατάσταση παράγει 170kg/h $CaSO_4$.

* στα πλαίσια της διδακτορικής της διατριβής που θα υποβληθεί στην Πολυτεχνική Σχολή του Α.Π.Θ. Τμήμα Χημικών Μηχανικών.

Ένας πρώτος πειραματισμός έγινε με παραγωγή $CaSO_4$ διατηρώντας το pH του νερού εκχυλίσεως γύρω στο 7-7,2 , γιά να διαπιστωθεί η επίδραση της οξυνίσεως του νερού εκχυλίσεως και η επίδραση της προσθήκης του $CaSO_4$, χωριστά. Ο πειραματισμός αυτός κράτησε γιά μιά εβδομάδα, και με προσθήκη 500g/t του $CaSO_4$, διαπιστώθηκε μιά αύξηση στα ξηρά συστατικά της πρεσσαρισμένης πούλπας κατά 1,8 μονάδες.
Κατά μιά δεύτερη εβδομάδα πειραματισμού, προσθέτοντας την ίδια ποσότητα $CaSO_4$, αλλά οξυνίζοντας το νερό εκχυλίσεως μέχρι 5,7 - 6, διαπιστώθηκε αύξηση των ξηρών συστατικών πούλπας κατά 3,6 μονάδες. Ένας άλλος πειραματισμός έγινε γιά να βρεθούν η επίδραση της οξυνίσεως του νερού εκχυλίσεως από την μιά πλευρά και η επίδραση της ταυτοχρόνου οξυνίσεως και προσθήκης $CaSO_4$. Η οξύνιση μόνο του νερού εκχυλίσεως (pH = 5,7 - 6), επέφερε αύξηση των ξηρών συστατικών της πρεσσαρισμένης πούλπας κατά 2,6 μονάδες περίπου, ενώ η προσθήκη ($H_2SO_4$ + $CaSO_4$) με την ίδια τιμή του pH επέφερε αύξηση κατά 4,4 μονάδες. Πρέπει να σημειωθεί ότι κατά τους προηγούμενους πειραματισμούς σημαντικό ρόλο έπαιξε η ποιότητα του τεύτλου.
Επιπλέον πειραματισμοί έγιναν: στο νερό τροφοδοσίας, στην πούλπα και στους χυμούς προκειμένου να διαπιστωθεί:

α. Πως κατανέμεται το $CaSO_4$ στην πούλπα και στον ακατέργαστο χυμό.
β. Η πορεία του $CaSO_4$ στους διάφορους χυμούς κατά την παραγωγική διαδικασία. Ειδικώτερα να διαπιστωθεί τι ποσοστό εξουδετερώνεται κατά τον καθαρισμό χυμού και άν δημιουργούνται συνθήκες ευνοϊκές γιά μιά πιθανή καθίζηση του $CaSO_4$ στην εξάτμιση.
γ. Κατά πόσο αυξάνουν τα ιόντα Na και K στον ακατέργαστο χυμό, μετά από την πραγματοποιηθείσα κατεργασία.

Γιά να πραγματοποιηθεί το παραπάνω πρόγραμμα καθωρίστηκαν τρείς περίοδοι στον ολικό κύκλο της παραγωγικής διαδικασίας:

1. Καμμία προσθήκη στο νερό της τροφοδοσίας
2. Προσθήκη $H_2SO_4$
3. Προσθήκη $H_2SO_4$ + $CaSO_4$

Όσον αφορά τις διάφορες αναλύσεις, γιά τον προσδιορισμό των κατιόντων χρησιμοποιήθηκε η ατομική απορρόφηση, με μέτρηση κατ'ευθείαν στους χυμούς, ή με κατάλληλη αραίωση. Ο προσδιορισμός των κατιόντων στην τέφρα έγινε, αφού πρώτα έγινε διαλυτοποίηση αυτής με HCl και κατόπιν αραίωση.
Τα θειικά ιόντα προσδιορίστηκαν με την μέθοδο μέτρησης θολερότητας (κατάλληλη προετοιμασία και μέτρηση στο φασματοφωτόμετρο σε λ=440nm).
Κατά την περίοδο του πειραματισμού με μόνο $H_2SO_4$ στο νερό εκχυλίσεως, το pH ήταν 5,7 - 6. Η παροχή του προστιθέμενου οξέος ήταν κατά μέσο όρο 11,7kg/100t τεύτλα.
Κατά την περίοδο του πειραματισμού με ($H_2SO_4$ + $CaSO_4$), το pH ήταν όπως και προηγουμένως 5,7-6. Η τιμή αυτή του pH είναι η βέλτιστη γιά μιά καλή συμπίεση της πούλπας και γιά τον μικρότερο κίνδυνο διαβρώσεως. Το ασβέστιο στο νερό εκχυλίσεως ήταν σε μιά συγκέντρωση 16,6kg/100t τεύτλα. Τα θειικά ιόντα είχαν μιά μέση συγκέντρωση 1,49keq/100t τεύτλα (71,5kg/100t τεύτλα).

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στον Πίνακα 1, δίδεται η σύσταση των τεύτλων, απ'όπου φαίνεται καθαρά ότι παρέμεινε αρκετά σταθερή κατά τις τρείς περιόδους των πειραματισμών, ώστε να μπορούν να γίνουν συγκρίσεις αξιόπιστες. Στον Πίνακα 2, δίδονται οι συστάσεις του νερού τροφοδοσίας εκχυλίσεων (φρέσκο, από βαρομέτρικούς συμπυκνωτές, συμπιέσεως πούλπας και ολικό), στις τρείς περιόδους του πειραματισμού.
Αποτελέσματα σχετικά με την σύσταση της πούλπας που εξέρχεται από την εκχύλιση και από τις πρέσσες, δίδονται στον Πίνακα 3.
Η σύσταση του ακατέργαστου χυμού φαίνεται στον Πίνακα 4.
Στον Πίνακα 5, δίδονται αποτελέσματα που αναφέρονται στα εισερχόμενα ιόντα (τεύτλα + νερό εκχυλίσεως), και στα εξερχόμενα (ακατέργαστος χυμός + πούλπα εξερχόμενη πρέσσών), από τον εκχυλιστήρα.
'Οπως φαίνεται από τα αποτελέσματα του Πίνακα 5, η κατεργασία με $CaSO_4$ προκαλεί κάποια απομάκρυνση των ιόντων Na, K, Mg από την πούλπα, τα οποία όμως επιστρέφουν με το νερό συμπιέσεως πούλπας. Πάντως, η αύξηση των ιόντων αυτών στον ακατέργαστο χυμό μετά από την κατεργασία, είναι ελάχιστη σε σύγκριση με την συγκέντρωση των ήδη υπαρχόντων ιόντων Na, K και Mg στον ακατέργαστο χυμό.
Το ποσοστό του Ca στον ακατέργαστο χυμό ως προς το Ca που εισέρχεται με τα τεύτλα, δεν αυξάνει, με την προσθήκη του $CaSO_4$, ενώ αυξάνει στην πούλπα που εξέρχεται από τις πρέσσες. 'Αρα, όλο το προστιθέμενο ασβέστιο καταλήγει στην πούλπα, αντί στον ακατέργαστο χυμό. 'Οσον αφορά τώρα τα θειικά ιόντα, αυτά αυξάνουν τόσο στην συμπιεσμένη πούλπα όσο και στον ακατέργαστο χυμό.
Τα θειικά ιόντα απομακρύνονται εν μέρει κατά τον καθαρισμό χυμού, η απομάκρυνση όμως αυτή εξαρτάται από την ποσότητα των $SO_4^{--}$ στον ακατέργαστο χυμό, όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.
Δεν σημειώθηκαν αξιόλογες μεταβολές στο περιεχόμενο των $SO_4^{--}$, κατά την διέλευση από τον αραιό στον πυκνό χυμό, ούτε και σημειώθηκαν αξιόλογες επικαθήσεις στους εξατμιστήρες, κατά το τέλος της καμπάνιας. Πάντως πρέπει να σημειωθεί ότι πάντα υπάρχει η πιθανότητα σχηματισμού ιζημάτων στους εξατμιστήρες, ακόμα και όταν δεν προστίθεται $CaSO_4$ κατά την εκχύλιση.
Εξ'άλλου είναι φανερό ότι όσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό των θειικών ιόντων, τόσο μεγαλύτερος είναι και ο κίνδυνος επικαθήσεων. Τέλος, παρατηρείται μιά αύξηση των $SO_4^{--}$ στη μελάσσα περνώντας από την περίοδο πειραματισμού χωρίς καμμιά προσθήκη, σ'εκείνη με προσθήκη ($H_2SO_4$ + $CaSO_4$), το οποίο αποδεικνύει ότι το πλεόνασμα των $SO_4^{--}$ στον αραιό και πυκνό χυμό όταν προστίθενται θειικά ιόντα στην εκχύλιση, τείνει να συσσωρεύεται στη μελάσσα. Αυτό φαίνεται από τα αποτελέσματα του Πίνακα 7.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1. Οικονομία και ευκολία στην παρασκευή του διαλύματος $CaSO_4$, με πρώτες ύλες: $Ca(OH)_2$ και $H_2SO_4$.
2. Αύξηση των ξηρών συστατικών της συμπιεσμένης πούλπας, σε σχέση πάντα με τις προστιθεμένες ποσότητες $H_2SO_4$ και $CaSO_4$.
3. Αύξηση τών $SO_4^{--}$ στον ακατέργαστο χυμό και στη μελάσσα.
4. Μερική κατακρήμνιση των $SO_4^{--}$ κατά τον καθαρισμό χυμού.
5. Μικρή εκατοστιαία αύξηση τών $Na^+$ και $K^+$ στον ακατέργαστο χυμό εξ'αιτίας της κατεργασίας με $H_2SO_4$ και ($H_2SO_4$+ $CaSO_4$).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ


1) J.F.T. Oldfield, M.Shore, N.W.Broughton - Sucrerie Belge 1977, 96,35 - Int. Sugar J., 1977, 79, 157.

2) M.Shore, J.A.Adams, N.W.Broughton, G.C.Jones-Proc. XVII C.I.T.S. 1983, 151 - Zuckerindustrie, 1984, 109,215

3) W.M.Camirad, J.M.Randall, E.M.Zagarosa, H.Neuman-J.of A.S.S.B.T. 1981, 21, 159.

4) D.Becker - Zucker, 1958, 11, 394.

5) A.Carruthers, J.F.T.Oldfield - Int. Sugar J., 1961, 63, 241, 271.

6) G.Zountsas, D.Hadjiantoniou, P.Christodoulou-Hellenic Sugar Ind.,Q.Bull. 1980, 42, 244.

7) J.C. Labesse - Betteravier Franç. 1981, 399, 38.

8) H.Zaorska - Z.Zuckerind, 1975, 25, 616, XV Assemblée Générale de CITS, Vienna 1975.

9) Mc. Ginnis, "Beet Sugar Technology" 3rd Edition 1982, p. 131, 269, 161.

Πίνακας 1 - Σύσταση των επεξεργασθέντων τεύτλων, σε σχέση με τις περιόδους πειραματισμού. Η συγκέντρωση των διαφόρων ιόντων δίδεται σε meq/100g τεύτλων

| Πειραματισμός | Na+ | K+ | Ca++ | Mg++ | $SO_4^{--}$ | Mark | Pol. | Ξηρά συστ.% | Τέφρα% ξηρ.σ. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Καμμιά προσθήκη | 2,80 | 4,79 | 2,07 | 3,19 | 0,83 | 4,07 | 15,16 | 21,86 | 3,77 |
| Με $H_2SO_4$ | 3,03 | 4,64 | 1,86 | 2,93 | 0,76 | 4,15 | 15,24 | 22,21 | 3,40 |
| Με ($H_2SO_4$+$CaSO_4$) | 3,18 | 5,14 | 2,08 | 3,13 | 0,87 | 4,33 | 16,46 | 23,26 | 3,43 |

Πίνακας 2 - Σύσταση νερού: φρέσκου, από βαρομετρικούς συμπυκνωτές, από συμπίεση πούλπας και ολικού, για τροφοδοσία των εκχυλίσεων στις τρείς περιόδους πειραματισμού (meq/100g τεύτλων).

| Πειραματισμός | Τύπος νερού | Na+ | K+ | Ca++ | Mg++ | $SO_4^{--}$ | pH |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Καμμιά προσθήκη | Φρέσκο | 0,41 | 0,02 | 0,22 | 0,14 | 0,13 | 7,60 |
| | Βαρ.συμπυκν. | 0,24 | 0,02 | 0,17 | 0,09 | 0,14 | 7,80 |
| | Συμπ.πούλπας | 0,29 | 0,44 | 0,02 | 0,06 | 0,01 | 6,61 |
| | Ολικό | 0,27 | 0,12 | 0,12 | 0,08 | 0,08 | 8,12 |
| Με $H_2SO_4$ | Φρέσκο | 0,21 | 0,01 | 0,26 | 0,12 | 0,13 | 7,90 |
| | Βαρ.συμπυκν. | 0,18 | 0,02 | 0,18 | 0,08 | 0,14 | 7,90 |
| | Συμπ.πούλπας | 0,31 | 0,48 | 0,02 | 0,05 | 0,49 | 7,02 |
| | Ολικό | 0,20 | 0,15 | 0,14 | 0,07 | 0,52 | 5,76 |
| Με $H_2SO_4$ + $CaSO_4$ | Φρέσκο | 0,52 | 0,02 | 0,26 | 0,18 | 0,13 | 7,60 |
| | Βαρ.συμπυκν. | 0,23 | 0,02 | 0,18 | 0,08 | 0,15 | 7,90 |
| | Συμπ.πούλπας | 0,59 | 0,66 | 0,20 | 0,14 | 1,23 | 6,50 |
| | Ολικό | 0,38 | 0,20 | 0,85 | 0,14 | 1,52 | 5,85 |

Πίνακας 3 - Σύσταση της πούλπας που εξέρχεται από τις εκχυλίσεις και τις πρέσσες, στις τρεις περιόδους του πειραματισμού (meq/100g τεύτλων)

| Πειραματισμός | Σημείο δειγματοληψίας πούλπας | Na+ | K+ | Ca++ | Mg++ | $SO_4^{--}$ | Ξηρά συστ. % | Τέφρα %ξηρ. συστ. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Καμμιά προσθήκη | Από εκχύλιση | 0,78 | 1,01 | 2,61 | 1,11 | 0,33 | 6,44 | 5,10 |
| | Από πρέσσες | 1,90 | 1,97 | 7,12 | 3,29 | 0,94 | 18,41 | 4,77 |
| Με $H_2SO_4$ | Από εκχύλιση | 0,70 | 1,03 | 2,62 | 1,06 | 0,68 | 6,78 | 4,75 |
| | Από πρέσσες | 1,78 | 1,89 | 8,05 | 3,45 | 1,20 | 21,04 | 4,11 |
| Με $H_2SO_4$ + $CaSO_4$ | Από εκχύλιση | 0,82 | 1,04 | 3,33 | 1,04 | 1,22 | 6,70 | 5,50 |
| | Από πρέσσες | 1,54 | 1,67 | 10,66 | 3,13 | 1,54 | 22,81 | 4,29 |

Πίνακας 4 - Σύσταση του ακατέργαστου χυμού στις τρείς περιόδους πειραματισμού (meq/100g τεύτλων).

| Πειραματισμός | Brix | Pol. | Q | pH | Τέφρα %Brix | Na+ | K+ | Ca++ | Mg++ | $SO_4^{--}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Καμμιά πρόσθ. | 13,48 | 11,47 | 85,09 | 5,86 | 3,30 | 1,98 | 3,31 | 0,27 | 1,79 | 0,47 |
| Με $H_2SO_4$ | 13,91 | 11,84 | 85,12 | 6,10 | 3,21 | 2,09 | 3,10 | 0,32 | 1,73 | 0,60 |
| Με $H_2SO_4$ + $CaSO_4$ | 15,41 | 13,13 | 85,20 | 5,94 | 3,40 | 2,39 | 3,85 | 0,26 | 1,89 | 0,95 |

Πίνακας 5 - Εισερχόμενα ιόντα (τεύτλα+νερό εκχυλίσεως)και εξερχόμενα (ακατέργαστος χυμός+πούλπα εξερχόμενη πρεσσών), από τον εκχυλιστήρα, εκφρασμένα σε Keq/100t τεύτλων.

| Πειραματισμός | Δείγμα | Na+ | K+ | Ca++ | Mg++ | $SO_4^{--}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Καμμιά προσθήκη | Τεύτλα | 2,80 | 4,79 | 2,07 | 3,19 | 0,83 |
| | Ολικό νερό εκχύλ. | 0,28 | 0,12 | 0,12 | 0,08 | 0,08 |
| | Ακατέργ. χυμός | 2,60 | 4,35 | 0,35 | 2,35 | 0,62 |
| | Πούλπα από πρέσσες | 0,49 | 0,50 | 1,82 | 0,84 | 0,24 |
| Με $H_2SO_4$ | Τεύτλα | 3,03 | 4,64 | 1,86 | 2,93 | 0,76 |
| | Ολικό νερό εκχυλ. | 0,19 | 0,14 | 0,13 | 0,07 | 0,48 |
| | Ακατέργ. χυμός | 2,66 | 3,95 | 0,41 | 2,20 | 0,76 |
| | Πούλπα από πρέσσες | 0,40 | 0,43 | 1,82 | 0,78 | 0,27 |
| Με $H_2SO_4$ + $CaSO_4$ | Τεύτλα | 3,18 | 5,14 | 2,08 | 3,13 | 0,87 |
| | Ολικό νερό εκχυλ. | 0,37 | 0,20 | 0,83 | 0,14 | 1,49 |
| | Ακατέργ. χυμός | 2,97 | 4,78 | 0,32 | 2,34 | 1,18 |
| | Πούλπα από πρέσσες | 0,35 | 0,38 | 2,42 | 0,71 | 0,35 |

Πίνακας 6 - Περιεχόμενο $SO_4^{--}$ στον ακατέργαστο και στον αραιό χυμό, κατά τις τρείς περιόδους πειραματισμού, και αντίστοιχη εκατοστιαία απομάκρυνσή τους κατά τον καθαρισμό χυμού (σε keq/100t τεύτλων).

| Πειραματισμός | Ακατέργαστος χυμός | Αραιός χυμός | % Απομάκρυνση |
|---|---|---|---|
| Καμμιά προσθήκη | 0,62 | 0,33 | 46,8 |
| Με $H_2SO_4$ | 0,76 | 0,36 | 52,6 |
| Με $(H_2SO_4+CaSO_4)$ | 1,18 | 0,50 | 57,6 |

Πίνακας 7 - Αποτελέσματα από τις αναλύσεις της μελάσσας, κατά τις τρείς περιόδους πειραματισμού.

| Πειραματισμός | Ξηρά συστατικά % | Τέφρα % ξηρά συστ. | $SO_4^{--}$ g % ξηρά συστατ. |
|---|---|---|---|
| Καμμιά προσθήκη | 81,44 | 12,83 | 0,35 |
| Με $H_2SO_4$ | 82,87 | 12,45 | 0,36 |
| Με $(H_2SO_4+CaSO_4)$ | 82,45 | 13,32 | 0,46 |

ΤΦΜ-33

# Η ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΧΗΜΙΚΩΝ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ ΑΠΟ ΛΙΓΝΙΝΟΚΥΤΤΑΡΙΝΟΥΧΑ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΑ ΜΕ ΟΞΙΝΗ ΥΔΡΟΛΥΣΗ.

ΙΩΑΝΝΗΣ ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ (Ph.D.)
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΓΕΩΡΓΙΑΣ
ΙΔΡΥΜΑ ΔΑΣΙΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ
ΧΗΜΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΔΑΣΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ
ΤΕΡΜΑ ΑΛΚΜΑΝΟΣ, 115 28, ΑΘΗΝΑ
ΤΗΛ. 7707-072

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Η μελέτη επιδιώκει την συστηματική και συγκριτική παρουσίαση διαφορετικών μεθόδων υδρόλυσης ξύλου (Betuld verucosa) με ανόργανα οξέα, κάτω από συνθήκες που παρέχουν άριστες αποδόσεις σε προϊόντα ξυλόζης και γλυκόζης. Παράλληλα επιδιώχθηκε η συστηματική μελέτη της δομής της λιγνίνης, με βάση χαρακτηριστικά που δικαιολογούν πιθανή βιομηχανική αξιοποίησή της. Από τις περιγραφόμενες στη βιβλιογραφία μεθόδους υδρόλυσης με ανόργανα οξέα, επιλέχθηκαν για την μελέτη εκείνες που παρουσιάζουν σημέρα ιδιαίτερο οικονομικό ενδιαφέρον όπως, του αραιού θειικού οξέος, του πυκνού υδροχλωρικού οξέος και του ανύδρου υδροφθορικού οξέος.

ΛΕΞΕΙΣ - ΚΛΕΙΔΙΑ: Υδρόλυση λιγνινοκυτταριούχων- ανόργανα οξέα - κυτταρίνη- ημικυτταρίνες- λιγνίνη.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μετά την πρώτη κρίση του πετρελαίου το 1973, παρατηρήθηκε μια σημαντική μεταβολή στο διεθνές ενεργειακό ισοζύγιο, το οποίο προήλθε κυρίως από την ελάττωση της ζήτησης σε ενέργεια. Από τότε οι περισσότερες τις αναπτυγμένες οικονομικά χώρες προσανατολίστηκαν στην εφαρμογή νέας τεχνολογίας με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας, ενώ παράλληλα δραστηριοποίησαν τις προσπάθειες τους στην αξιοποίηση νέων μορφών ενέργειας. Παρά το γεγονός ότι η ενεργειακή κρίση φαίνεται να βρίσκεται σε κάποια ύφεση σήμερα, το ενδιαφέρον για την παραγωγή ενέργειας και χημικών πρώτων υλών από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας συνεχίζεται έντονο, γιατί πιστεύεται ότι θα υπάρξουν αυξημένες ανάγκες στο μέλλον που θα προέλθουν από την αύξηση του πληθυσμού αλλά και του βιοτικού επιπέδου των υποαναπτύκτων και υπο ανάπτυξη χωρών.

Η χρησιμοποίηση των ανανεώσιμων πηγών για την παραγωγή ενέργειας ή χημικών ουσιών σε βιομηχανική κλίμακα έχει εφαρμοσθεί μόνο σε εξαιρετικές περιπτώσεις εκτάκτων εθνικών αναγκών ή σε οικονομίες απόλυτα κατευθυνόμενες. Από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, το ξύλο ως το πλέον άφθονο συγκεντρώνει σήμερα το κύριο ενδιαφέρον για την μετατροπή του σε ενέργεια, καύσιμα, διαλύτες, πολυμερή, πλαστικά κ.α. Η κυτταρίνη, οι ημικυτταρίνες και η λιγνίνη αποτελούν τον κύριο όγκο των χημικών ουσιών που συνιστούν την βιομάζα.

Η παραγωγή αιθυλικής αλκοόλης από λιγνινοκυτταρινούχες πρώτες ύλες, όπως το ξύλο, επιτυγχάνεται με την υδρόλυση της κυτταρίνης σε γλυκόζη και την παραπέρα ζύμωση της γλυκόζης σε αλκοόλη. Επειδή η οικονομικότητα των προτεινομένων μεθόδων εξαρτάται οχεδόν αποκλειστικά από την ολοκληρωμένη αξιοποίηση όλων των παραγομένων προϊόντων,τα

λιγνινοκυτταρινούχα υλικά υφίστανται προϋδρόλυση για την εκλεκτική απομάκρυνση αλλά και αξιοποίηση των ημικυτταρινών. Αποτέλεσμα της προεργασίας αυτής είναι η επίτευξη υψηλών αποδόσεων σε προϊόντα υδρόλυσης κυτταρίνης. Τέλος η λιγνίνη παραμένει σαν αδιάλυτο υπόλειμμα, πλήν όμως η δόμή της έχει υποστεί σημαντικές μεταβολές.

## 2. ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

Η βιομηχανική υδρόλυση του ξύλου με ανόργανα οξέα αναπτύχθηκε κυρίως τα τελευταία 50 χρόνια και αποτελούσε την αποκλειστική τεχνολογία για την παραγωγή αλκοόλης και ζύμης μέχρι την ανάπτυξη της τεχνολογίας της συνθετικής χημείας, οπότε άρχισαν ν'αξιοποιούνται διαφορετικές πρώτες ύλες.

Η υδρόλυση του ξύλου με αραιό θειικό οξύ υπήρξε η πρώτη μέθοδος που αναπτύχθηκε σε βιομηχανική κλίμακα και η μοναδική που παραμένει σ'εφαρμογή στην Ε.Σ.Σ.Δ. και την Βραζιλία. (1) Η μέθοδος χρησιμοποιεί σχετικά υψηλές θερμοκρασίες για να πετύχει την αποδιοργάνωση της κρυσταλλικής δομής της κυτταρίνης και παραπέρα υδρόλυση των γλυκοζιτικών δεσμών. Εν τούτοις η παρατεταμένη έκθεση των προϊόντων της υδρόλυσης στη επίδραση των υψηλών θερμοκρασιών, έχει σαν αποτέλεσμα την καταλυτική αποσύνθεσή τους, δηλαδή μικρότερες αποδόσεις σε τελικά προϊόντα. Επειδή οι ημικυτταρίνες είναι άμορφες και υδρολύονται ταχύτερα, η καταστροφική επίδραση των συνθηκών υδρόλυσης είναι εντονώτερη. Για να αποφευχθούν τα προβλήματα αυτά πριν την υδρόλυση, πραγματοποιείται η προϋδρόλυση σε χαμηλότερες θερμοκρασίες με αποτέλεσμα υψηλότερες αποδόσεις σε προϊόντα υδρόλυσης των ημικυτταρινών. Οι μικρές ποσότητες του θειικού οξέος που χρησιμοποιούνται (0,5-1%) δεν επιτρέπουν την οικονομική ανακύκλωση του. Το γεγονός αυτό, παράλληλα με τις μικρές αποδόσεις σε τελικά προϊόντα έδωσε ώθηση σε τεχνολογίες που χρησιμοποιούν κυρίως πυκνά διαλύμματα ανοργάνων οξέων, όπως του πυκνού υδροχλωρικού οξέος.

Το πλεονέκτημα της μεθόδου συνίσταται στο ότι το πυκνό υδροχλωρικό οξύ προκαλεί άριστη διόγκωση της κυτταρίνης ώστε να επιτυγχάνεται η ποσοτική υδρόλυση της κυτταρίνης και μάλιστα σε υψηλές απόδόσεις. Η μέθοδος αναπτύχθηκε Γερμανία στην διάρκεια του δευτέρου παγκοσμίου πολέμου και η οικονομικότητά της πρέπει να μελετηθεί λαμβάνοντας υπ'όψη ότι τα παραγόμενα προϊόντα ικανοποιούσαν πολεμικές ανάγκες. Αντίθετα σήμερα, η τεχνολογία της μεθόδου έχει βελτιωθεί τόσο με την εισαγωγή της προϋδρόλυσης, όσο και με την πλήρη ανακύκλωση του χρησιμοποιούμενου υδροχλωρικού οξέος.

Παρ'όλο που η υδρόλυτική δράση του άνυδρου υδροφθορικού οξέος στην κυτταρίνη, είναι γνωστή εδώ και 100 χρόνια, το βιομηχανικό ενδιαφέρον για την υδρόλυση των λιγνινοκυτταρινούχων ανανεώθηκε πρόσφατα, παράλληλα την εξέλιξη της τεχνολογίας, χειρισμού και ανακύκλωσης του H-F. Όπως είναι γνωστό το υδροφθορικό οξύ είναι τοξικό και ο χειρισμός του εξαιρετικά επικίνδυνος.

Το αντικείμενο της μελέτης αυτής είναι η συγκριτική παρουσίαση των αποδόσεων των διαφόρων μεθόδων υδρόλυσης που παρουσιάζουν οικονομικό ενδιαφέρον. Με βάση τις άριστες απόδοσεις σε προϊόντα κυτταρινών και ημικυτταρινών την απομόνωση και μελέτη της δομής της λιγνίνης.

## 3. ΥΔΡΟΛΥΣΗ ΜΕ ΑΡΑΙΟ ΘΕΙΙΚΟ ΟΞΥ

Για την προϋδρόλυση του ξύλου επιλέχθηκαν από την βιβλιογραφία οι συνθήκες που αναφέρεται ότι δίδουν τις μεγαλύτερες αποδόσεις (2)

Για την προϋδρόλυση χρησιμοποιήθηκε 0.5% $H_2SO_4$ και θερμοκρασία 140°C, ενώ για την υδρόλυση η ίδια συγκέντρωση οξέος και θερμοκρασίας 180°C. Η πειραματική μεθοδολογία περιγράφεται λεπτομερώς σε προηγούμενη δημοσίευση (3). Από τα σχήματα 1 και 2 γίνεται αντιληπτό, ότι με τις άριστες συνθήκες που επιλέχθηκαν σχετικά μικρές απόδόσεις σε ξυλόζη και γλυκόζη μπορούν να επιτευχθούν. Παρατεταμένη επίσης έκθεση στις συνθήκες προϋδρόλυσης η υδρόλυσης προκαλεί μείωση των αποδόσεων. Η προϋδρόλυση δεν πρέπει να διαρκεί περισσότερο από 40 min ενώ η υδρόλυση πρέπει να διακοπεί σε περίπου 2 ώρες.

## 4. ΥΔΡΟΛΥΣΗ ΜΕ ΠΥΚΝΟ ΥΔΡΟΧΛΩΡΙΚΟ ΟΞΥ

Η προϋδρόλυση πραγματοποιήθηκε με 30% HCl σε 40°C και η υδρόλυση με 43% HCl σε 50°C (4). Η μέθοδος δίνει υψηλές αποδόσεις τόσο σε προϊόντα υδρόλυσης ημικυτταρινών όσο και σε προϊόντα υδρόλυσης κυτταρινών. Η άριστες αποδόσεις σε ξυλόζη και γλυκόζη που παρατηρήθηκαν ήσαν 93% και 87% αντίστοιχα (Σχήματα 3 και 4). Γενικά η μέθοδος χαρακτηρίζεται από τις μέτριες θερμοκρασίες που χρησιμοποιούνται. Κατά συνέπεια δεν πρέπει να θεωρηθεί ως ενεργοβόρα σε σύγκριση με την μέθοδο του αραιού θειικού οξέος. Εν τούτοις η χρησιμοποίηση πυκνών διαλυμάτων απαιτεί ποσοτική ανακύκλωση του HCl τόσο για λόγους προστασίας περιβάλλοντος όσο και οικονομικότητας της μεθόδου. Σχετική μελέτη έδειξε ότι η οικονομικότητα της μεθόδου εξαρτάται κυρίως από την ανακύκλωση του χρησιμοποιούμενου υδροχλωρικού οξέος η οποία θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη του 95% για να υπάρξει κερδοφόρο αποτέλεσμα.

## 5. ΥΔΡΟΛΥΣΗ ΜΕ ΑΝΥΔΡΟ ΥΔΡΟΦΘΟΡΙΚΟ ΟΞΥ

Η υδρόλυση με άνυδρο υδροφθορικό οξύ πραγματοποιήθηκε σ'ενα στάδιο και σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Οι παρατηρούμενες αποδόσεις είναι υψηλές, 91% και 93% για την ξυλόζη και γλυκόζη αντίστοιχα, και σε σύντομο χρονικό διάστημα (Σχήμα 5). Το πλεονέκτημα της χρησιμοποίησης του ανύδρου υδροφθορικού οξέος είναι ότι προκαλεί ταχεία διόγκωση και κατά συνέπεια αποδιοργάνωση της κρυσταλλικής δομής της κυτταρίνης, ένω παράλληλα δεν προκαλεί την καταλυτική αποσύνθεση των προϊόντων υδρόλυσης που απελευθερώνονται στα σακχαροδιαλύματα. (5) Όπως είναι γνωστό τα προϊόντα της καταλυτικής αποσύνθεσης της ξυλόζης και γλυκόζης, η φουρφουράλη και υδροξυμεθυλοφουρφουράλη, εμποδίζουν την παραπέρα ζύμωση των σακχαροδιαλυμάτων σε αλκόολη. Βασικό μειονέκτημα της μεθόδου είναι το υψηλό κόστος ανακύκλωσης. Συμφωνα με πρόσφατες μελέτης η ανακύκλωση του HF πρέπει να πραγματοποιηθεί σε ποσοστό 99% για λόγους οικονομικότητας της μεθόδου αλλά και για λόγους ασφαλείας. Η τεχνολογία ανακύκλωσης του HF έχει εξελιχθεί σε υψηλό βαθμό στη Γαλλία και Γερμανία.

## 6. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΔΟΜΗΣ ΤΗΣ ΛΙΓΝΙΝΗΣ

Η σημασία της αξιοποίησης της λιγνίνης στην οικονομικότητα των διαφόρων μεθόδων υδρόλυσης αναγνωρίσθηκε πρόσφατα (6) και από τότε καταβάλλεται σημαντική προσπάθεια διεθνώς για τον σχεδιασμό της μεθόδου υδρόλυσης που θα επιτρέψει την πλήρη αξιοποίηση όλων των παραγομένων προϊόντων. Μέχρι σήμερα, σαν βασική χρήση της λιγνίνης αναγνωρίζεται η θερμαντική της ικανότητα. Εν τούτοις η τεχνολογία της χρησιμοποίησής της ως προσθέτου συστατικού στις θερμοσκληρυνόμενες ρητίνες, στη βιομηχανία των απορρυπαντικών, την βιο-

μηχανία ελαστικών, καθώς και στην μορφοποίηση της ασφάλτου και του τσιμέντου διαρκώς εξελίσσεται.

Τα τρία διαφορετικά δείγματα λιγνίνης που επιλέχθηκαν για μελέτη απομονώθηκαν στις ακόλουθες συνθήκες υδρόλυσης.

1. $H_2SO_4$-λιγνίνη. Προϋδρόλυση με 0.5% $H_2SO_4$ σε 140°C επί 60 min και υδρόλυση με 0.5% $H_2SO_4$ σε 180°C σε διάρκεια 2 ωρών.
2. HCl- λιγνίνη. Προϋδρόλυση με 30% HCl σε 40°C για χρονική διάρκεια 90 min και υδρόλυση με 43% HCl σε 50°C για 2 ώρες.
3. HF -λιγνίνη. Υδρόλυση με άνυδρο υδροφθορικό οξύ στους 23°C (θερμοκρασία περιβάλλοντος) για 30 λεπτά.

Η δομή της λιγνίνης περιγράφεται σαν τρισδιάστατο φυσικό πολυμερές μη υψηλό βαθμό διασκλάδωσης. Παρ'όλο που η ακριβής φυσικοχημική της δομής είναι άγνωστη, σημαντικές πληροφορίες έχουν συλλεχθεί ύστερα από μελέτες διάσπασης του μακρομορίου της κάτω από απόλυτα ελεγχόμενες συνθήκες. Παρουσία οξέων η λιγνίνη διασπάται σε μικρότερα τμήματα. Τα τμήματα που απελευθερώνονται στα σακχαροδιαλύμματα δεν συσσωρεύονται αλλά με την καταλυτική δράση των οξέων επαναπολυμερίζονται (7). Οι αντιδράσεις συμπύκνωσης της λιγνίνης παίζουν σπουδαίο ρόλο στην παραπέρα αξιοποίησή της γιατί ελέγχουν το μοριακό της βάρος και γιατί καταναλώνουν ενεργές ομάδες. Ο βαθμός συμπύκνωσης της λιγνίνης μπορεί να μετρηθεί με αλκαλική υδρόλυση παρουσία νιτροβενζολίου σε αυστηρά ελεγχόμενες συνθήκες αντίδρασης (8). Ο σχηματισμός νέων δεσμών άνθρακος κατά την συμπύκνωση έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση της απόδοσης σε αρωματικές αλδεΰδες που απομονώνονται από την αλκαλική υδρόλυση με νιτροβενζόλιο. Ο Πίνακας 1 δείχνει ότι το μεγαλύτερο ποσοστό αλδεϋδών και συνεπώς τον μικρότερο βαθμό συμπύκνωσης εμφανίζει η HCl λιγνίνη.

Πίνακας 1. Αλδεΰδες προερχόμενες από διάφορες λιγνίνες ύστερα από αλκαλική υδρόλυση με νιτροβενζόλιο.

| | % ποσοστό αλδεϋδών |
|---|---|
| Ξύλο | 42.6 |
| $H_2SO_4$ - λιγνίνη | 19.3 |
| HCl - λιγνίνη | 25.5 |
| HF - λιγνίνη | 19.8 |

Επίσης παρουσία των οξέων η λιγνίνη διασπάται σε μικρότερα τμήματα ύστερα από υδρόλυση αιθερικών δεσμών με παράλληλη δημιουργία νέων φαινολικών υδροξυλίων. Για να μετρηθεί η αύξηση των υδροξυλίων η λιγνίνη υπέστει μεθυλίωση με διαζομεθάνιο και η αύξηση των μεθοξυλικών ομάδων στην λιγνίνη εκφράζει την αύξηση σε φαινολικά υδροξύλια. Από τον Πίνακα 2 φαίνεται ότι τον μικρότερο αριθμό φαινολικών υδροξυλίων παρουσιάζει η HF-λιγνίνη . Εν τούτοις όταν

Πίνακας 2. Αύξηση σε φαινολικά υδροξύλια εκφρασμένη σε μεθοξυλικές ομάδες.

| | Αρχική περιεκτικότητα σε μεθοξυλία | Περιεκτικότητα σε μεθοξυλία μετά τη μεθυλίωση | Αύξηση της περιεκτικότητας σε μεθοξυλία |
|---|---|---|---|
| $H_2SO_4$ - λιγνίνη | 16.8 | 34.1 | 18.3 |
| HCl - λιγνίνη | 17.3 | 32.5 | 15.2 |
| HF - λιγνίνη | 18.9 | 28.6 | 9.7 |

Η HF - λιγνίνη υποβλήθηκε σε αλκαλική υδρόλυση κάτω από αυστηρά ελεγχόμενες συνθήκες ο αριθμός των μεθοξυλικών ομάδων αυξήθηκε σημαντικά (Πίνακας 3) γεγονός που δηλώνει ότι οι αιθερικοί δεσμοί της λιγνίνης

αυτής δεν έχουν διασπασθεί πλήρως. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώθηκε και από τις καμπύλες μοριακού βάρους των προϊόντων της αλκαλικής υδρόλυσης των διαφορετικών λιγνινών όπως φαίνεται από το σχήμα 6.

Πίνακας 3. Αύξηση της περιεκτικότητας σε μεθοξυλικές ομάδες (2N NaOH, 0.1% AQ, 170° C)

| Χρόνος (min) | Περιεκτικότητα σε μεθοξυλικές Ομάδες |
|---|---|
| 0 | 28.6 |
| 60 | 38.3 |
| 120 | 40.9 |

## 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα πειραματικά στοιχεία που αναφέρθηκαν παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι η υδρόλυση με αραιό θειικό οξύ θα μπορούσε να εφαρμοσθεί στις περιπτώσεις που η οικονομικότητα της μεθόδου δεν εξαρτάται απο την αξιοποίηση της λιγνίνης ή την προστασία του περιβάλλοντος.

Αντίθετα η διαρκής εξέλιξη της τεχνολογίας δίνει μεγαλύτερες πιθανότητες εφαρμογής τόσο στην μέθοδο του πυκνού υδροχλωρικού οξέος όσο και στην μέθοδο του ανύδρου υδροφθορικού οξέος.

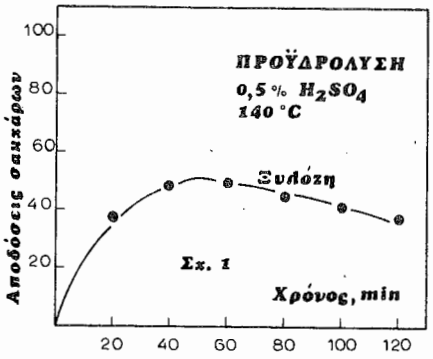
Είναι γεγονός αναμφισβήτητο ότι η οικονομικότητα όλων των μεθόδων υδρόλυσης επηρεάζονται αρνητικά από ένα μεγάλο αριθμό σοβαρών και περιπλόκων προβλημάτων. Εν τούτοις, τα προβλήματα αυτά δεν θα πρέπει να θεωρηθούν δυσκολότερα από αυτά που αντιμετωπίζονται από όλες τις καινούργιες χημικές τεχνολογίας. Πιστεύεται όμως, ότι παράλληλα με τα προβλήματα της διαθεσιμότητας πρώτων υλών, οι αποφάσεις για την εφαρμογή της υπάρχουσας τεχνολογίας ή η χρηματοδότηση για την ανάπτυξη νέας θα εξαρτηθεί σε μεγάλο βαθμό από κοινωνικές και πολιτικές πιέσεις.

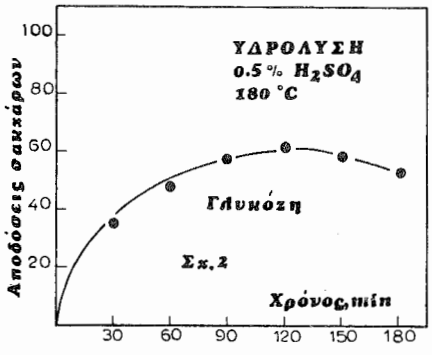
## 8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

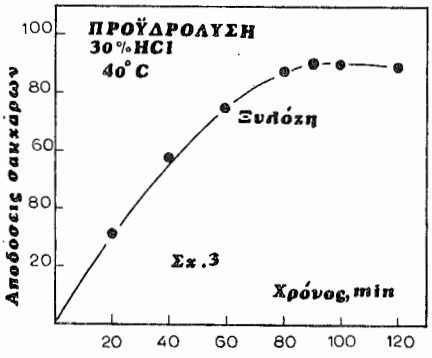

1. H.OSHIMA (1965). Wood Chemistry Process Engineering Aspects. Process. Monograph No 11, Noyes Development Corporation, New York. σελ. 245.
2. J.F. Saeman, (1945). Kinefic of Wood Saccharification. Hydrolvsis of Cellulose and Decomposition of Sugar in Dilute Acid at High Temperatures, Industrial Engin. Chem., 37, σελ. 43-52.
3. J.PAPADOPOULOS.(1983). Some Sructural Characteristics of Acid Hydrolysis Lignins. In Biomass Utilization (W. Côte, ed.)Plenum Press, N.Y. σελ. 299-307.
4. J.PAPADOPOULOS, C.L. CHEN and I.S. GOLDSTEIN, (1983). Behavior of Sweetgum Wood Xylan and Lignin During Hydrolysis with Concentrated Hydrochloric Acid at Moderate Temperatures, Journal of Applied Polymer Science, Applied Polymer Symposium 37, σελ.631-640.
5. J. DEFAYE, A. GADELLE, J. PAPADOPOULOS and C. PEDERSEN (1983). Hydrogen Fluoride Saccharification of Cellulose and Lignocellulosic Materials, Journal of Applied Polymer Science Applied Polymer Symposium 37, σελ. 653-670.
6. I.S. GOLDSTEIN (1975). The Potential for Converting Wood into Plastics. Science 189, σελ. 847-852.
7. Y.Z. LAI and K.V. SARKANEN (1971). In "Lignins" (K.Y. Sarkanen and C. Ludwig, eds), Wiley-Interscience, N.Y. Chapter 5,σελ.

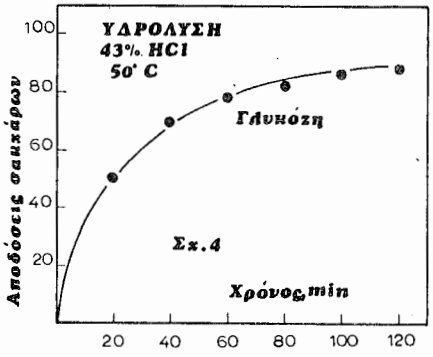
185-186.

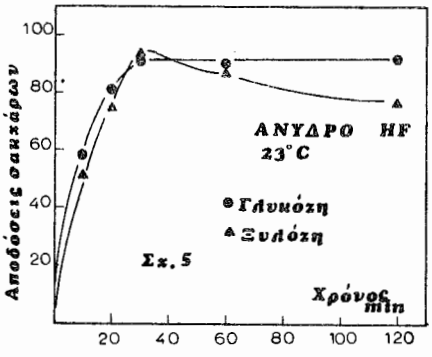
8. J. PAPADOPOULOS, C.L. CHEN and I.S. GOLDSTEIN (1981), The Behavior of Lignin During Hydrolysis of Sweetgum Wood with Concentrated Hydrochloric Acid at Moderate Temperatures, Holzforschung, 35, σελ. 283-286.

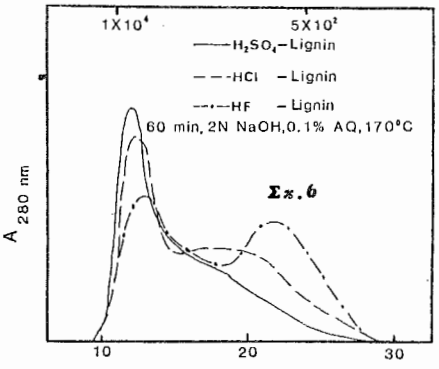

ΠΡΟΫΔΡΟΛΥΣΗ
0,5 % $H_2SO_4$
140 °C
Ξυλόζη
Σχ. 1
Χρόνος, min
Αποδόσεις σακχάρων


ΥΔΡΟΛΥΣΗ
0.5 % $H_2SO_4$
180 °C
Γλυκόζη
Σχ.2
Χρόνος, min
Αποδόσεις σακχάρων


ΠΡΟΫΔΡΟΛΥΣΗ
30 % HCl
40° C
Ξυλόζη
Σχ.3
Χρόνος, min
Αποδόσεις σακχάρων


ΥΔΡΟΛΥΣΗ
43% HCl
50° C
Γλυκόζη
Σχ.4
Χρόνος, min
Αποδόσεις σακχάρων


ΑΝΥΔΡΟ HF
23°C
Γλυκόζη
Ξυλόζη
Σχ. 5
Χρόνος, min
Αποδόσεις σακχάρων


1X10⁴
5X10³
$H_2SO_4$–Lignin
HCl – Lignin
HF – Lignin
60 min, 2N NaOH, 0.1% AQ, 170°C
Σχ.6
$A_{280\ nm}$

ΤΙΤΛΟΣ ΕΙΣΗΓΗΣΗΣ:"ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΗΠΙΩΝ ΜΟΡΦΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΤΗΝ ΚΑΘΟΡΙΖΟΥΝ"

ΣΥΓΓΡΑΦΕΑΣ:ΚΩΣΤΑΣ Π ΝΕΡΑΝΤΖΗΣ
ΔΙΠΛ.ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ Δ.Π.Θ.
MSc "ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ"
READING UNIVERSITY,U.K.
ΙΦΙΓΕΝΕΙΑΣ 9,551 33 ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Ο στόχος της εργασίας είναι:
- Να διατυπωθή το πλαίσιο της Εθνικής Ενεργειακής Πολιτικής(Ε.Ε.Π) και ο ρόλος που έχουν να παίξουν οι ανανεώσιμες μορφές ενέργειας.
- Να εξετασθούν τα κριτήρια και οι περιορισμοί που πρέπει να λαμβάνονται υπ'όψη για την ανάπτυξη της αντίστοιχης τεχνολογίας,ως προς μια κλίμακα γεωγραφική και ως προς μια κλίμακα χρονική.
- Να μελετηθεί η απόσβεση (χρονική ανταπόδωση) ενός εναλλακτικού συστήματος με ενεργειακά και με οικονομικά κριτήρια και να εξηγηθή η διάφορά τους.

ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ: Εθνική Ενεργειακή Πολιτική, Τεχνολογία Ήπιων Μορφών Ενέργειας,Χρόνος Χρηματιστικής και Ενεργειακής Ανταπόδωσης Εναλλακτικού Συστήματος.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ: Η τεχνολογία των Ήπιων Μορφών Ενέργειας είναι μια νεα τεχνολογία και ως εκ τούτου υπόκειται σε νομοτέλειες που καθορίζουν τους ρυθμούς ανάπτυξης της.

Με τη παρούσα εργασία γίνεται μια απόπειρα να διευκρινισθή το "τι και πότε" πρέπει να αναμένεται απο την τεχνολογία αυτή.

## 2.Η ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Η δομή του ενεργειακου σχεδιασμού δίνεται επιγραμματικά στο σχήμα 2.1.

Α. Καθορίζονται οι εθνικοί στόχοι με κοινωνικοοικονομικά κριτήρια όπως ο ρυθμός αυξήσεως του πληθυσμού,η αστικοποίηση του, οι ρυθμοί ανάπτυξης της οικονομίας.

Β. Η Εθνική Ενεργειακή Πολιτική (Ε.Ε.Π) πρέπει να υπόκειται στο γενικώτερο ενεργειακό σχεδιασμό.

Γ. Επίσης,για το πακέτο της ενεργειακής ανάλυσης απαιτούνται πληροφορίες για την χρήση της τρέχουσας ενέργειας και τα επίπεδα διαφόρων οικονομικών δραστηριοτήτων.

Δ. Όλα αυτά αποσκοπούν στον σχηματισμό του σεναρίου.Το σενάριο αυτό πρέπει να συνδέει όλη την ανάλυση δηλαδή,τι ζητήματα πρέπει να τεθούν και να εξετασθούν,ποιοί οι στόχοι,ποιές ειναι οι αναγκαίες προϋποθέσεις.

Ε. Ένας τρόπος για να καθορισθούν οι πιθανές απαιτήσεις της ζήτησης είναι να εξετασθούν οι δραστηριότητες και η ενέργεια που απαιτείται γι'αυτές.

ΣΤ. Εξετάζονται οι αποδόσεις της ενέργειας μέχρι τον τελικό χρήστη της ενέργειας.Επίσης το κόστος κεφαλαίου και λειτουργίας των τεχνολογιών αυτών.

Ζ. Καθορίζονται τα μελλοντικά επίπεδα της έρευνας και το κόστος που απαιτείται γι'αυτή.

Η. Ολες οι πληροφορίες συνθέτονται και

Θ. Καθορίζονται οι πιθανές επιπτώσεις.

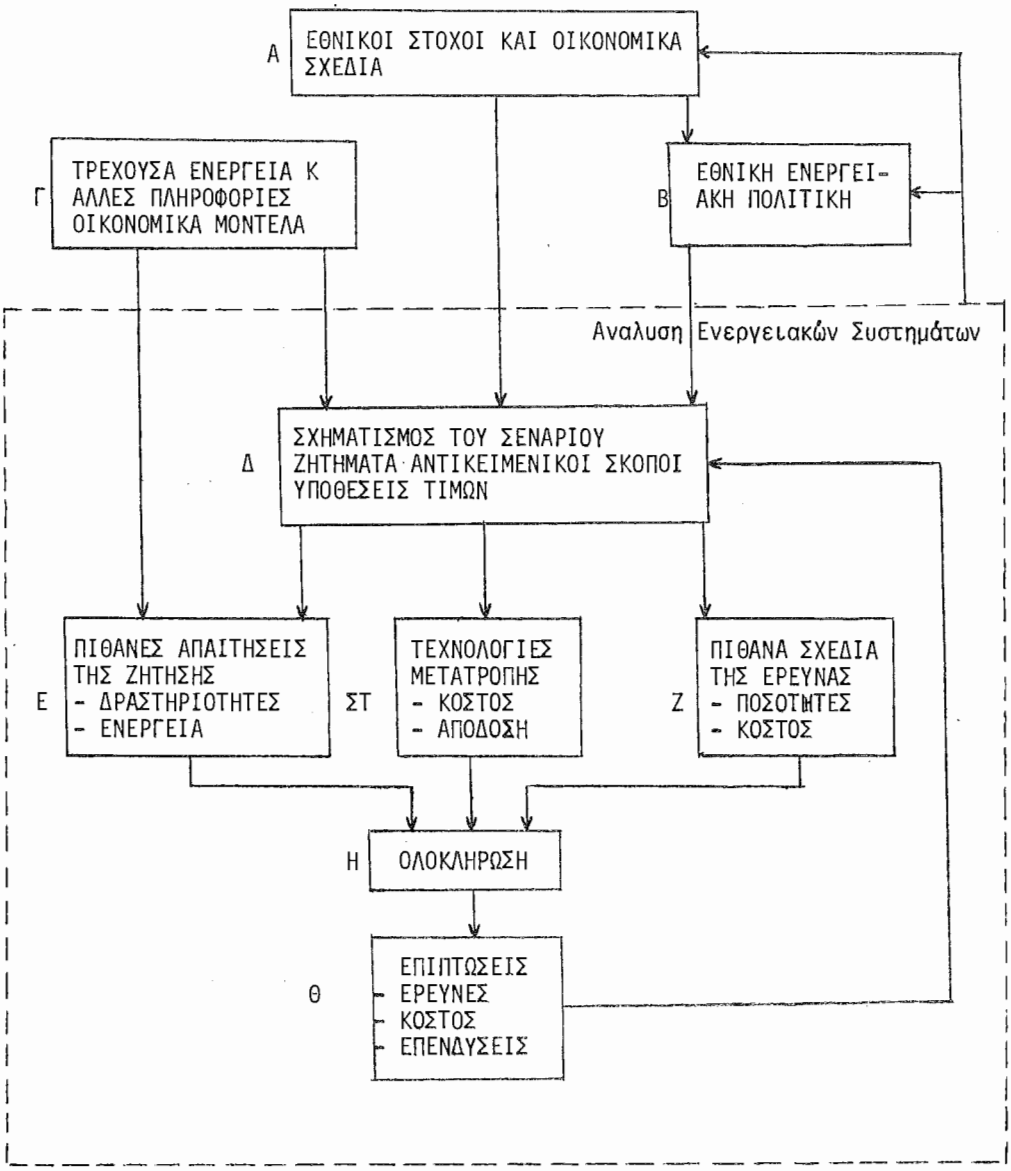
## 3. Η ΕΘΝΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΠΟΛΙΤΙΚΗ

Με το σχήμα 2.1. διατυπώθηκε το πλαίσιο της Ε.Ε.Π.Η Ε.Ε.Π. εμπεριέχει τον καθορισμό των στρατηγικών στόχων και των σχεδίων για να εκπληρώσει τους στόχους αυτούς.

Η ανάλυση των Ενεργειακών Συστημάτων δρα σαν βοήθημα στην Ε.Ε.Π. και εντός του πλαισίου της γίνεται η εκτίμηση των αποφάσεων, των προγραμμάτων και των επιπτώσεων σε σχέση με την χρησιμοποίηση των εναλλακτικών μορφών ενέργειας.

ΗΜΟ-2

Η ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ



Ζητήματα που ενέχονται στη διαμόρφωση της Ε.Ε.Π. είναι οι αποφάσεις για τις Ενεργειακές Επενδύσεις,η Πολιτική των Τιμών, η Πολιτική για την Εξοικονόμηση Ενέργειας,η Πολιτική για την Έρευνα και την Ανάπτυξη, ο Σχεδιασμός της Κοινωνικής και Οικονομικής Ανάπτυξης.

4. ΗΠΙΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Μια απο τις επιλογές της Ε.Ε.Π. πρέπει να έχει σαν στόχο την χρησιμοποίηση των ανανεώσιμων μορφών ενέργειας.Τα κριτήρια για μια τέτοια επιλογή μπορεί ίσως στο παρελθόν να ήταν αυστηρώς οικονομικά.Παράγοντες όπως το κόστος ενέργειας στους διάφορους τομείς καταναλώσεως,οι επενδύσεις κεφαλαίων που απαιτούν διάφορες στρατηγικές και η επίπτωση των στρατηγικών αυτών στο ισοζύγιο πληρωμών ήταν οι απολύτως καθοριστικοί για την ανάπτυξη κάποιας τεχνολογίας.

Τώρα τα αντίστοιχα κριτήρια έχουν σαφώς διευρυνθεί.Νέοι παράγοντες υπεισέρχονται και συνυπολογίζονται στον ενεργειακό σχεδιασμό.Σαν τέτοιοι αναφέρονται:- Λόγοι εθνικής ασφάλειας (με την αποφυγή δυσανάλογων ποσοστιαία εισαγομένων ποσοτήτων ενέργειας και αντίστοιχη εξάρτηση απο άλλα κέντρα).
- Λόγοι ποιότητας περιβάλλοντος.- Δημιουργία νέων θέσεων εργασίας με την ανάπτυξη νέων τεχνολογικών.
- Δυνατότητα παροχής ενέργειας σε περιοχές και μονάδες με ειδικές ανάγκες.

4.1 Εξέταση κριτηρίων σε σχέση με μια κλίμακα γεωγραφική και μια χρονική

4.1.1 Όσον αφορά τη γεωγραφική κλίμακα τα κριτήρια μπορεί να αφορούν:α.Παλλά Έθνη Ποταμοί όπως ο Νέστος,ο Αξιός έχουν τις πηγές τους σε γειτονικά κράτη. Η παροχή ανάλογων ποσοτήτων ύδατος,η ρίψη βιομηχανικών αποβλήτων δεν μπορεί να υπόκεινται σε αποφάσεις άμοιρες διμερών συμφωνιών.
β. Το Έθνος
γ. Το Εθνικό Διαμέρισμα.Η Ελλάδα έχει πλήθος νήσων που έχουν ενεργειακά προβλήματα και πρόσφορες δυνατότητες επίλυσης τους (Μήλος-Κύθνος).
δ. Χωριό : Η τοποθέτηση π.χ. ηλιακών θερμοκηπίων μπορεί να διπλασιάση την εσοδεία και να δώσει την δυνατότητα παραγωγής προϊόντων με πολύ καλύτερους οικονομικούς όρους.
ε. Μονάδα: Η δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας απο τους Δήμους,τις βιομηχανίες και τις επιχειρήσεις σύμφωνα με το κατατεθέν στη Βουλή (Απρίλιος 85) νομοσχέδιο παρέχει μεγαλύτερη ενεργειακή αυτοτέλεια για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών και δίνεται έμφαση στη χρησιμοποίηση των ήπιων μορφών ενέργειας.

Η οπτική γωνία του θέματος δηλαδή είναι τέτοια ώστε να τείνει και προς αποκεντρωμένες λύσεις του ενεργειακού προβλήματος,μέσω δε της αποκέντρωσης αυτής να εξετάζεται η συμμετοχή που μπορούν να έχουν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας.

4.1.2. Η σε χρονική κλίμακα εξέταση δίνει τη πλήρη επισκόπηση της συμμετοχής αυτής και αναλύει τα εμπόδια και τους περιορισμούς που υπάρχουν για την ανάπτυξη της νέας τεχνολογίας.
α. - Περιορισμός λόγω τεχνολογίας: Οι σε μεγάλη κλίμακα ποσοστιαία αλλαγές δύσκολα συμβαίνουν σε λιγότερο απο 20 χρόνια.Απο τη μέρα της εφευρέσεως έως τη πλήρη ανάπτυξη ενός προϊόντος για χρήση μεσολαβεί ενα διάστημα που οφείλεται σε λόγους σύμφυτους με τη δυναμική της τεχνολογίας.

Η πυρηνική ενέργεια αναφέρεται εν προκειμένω μόνο σαν παράδειγμα ανάπτυξης μιας εναλλακτικής μορφής ενέργειας και όχι σαν παράδειγμα ήπιας μορφής. Από τότε λοιπόν που ο Fermi διατύπωσε στη δεκαετία του '40 το θεωρητικό υπόβαθρο έως ότου να φτάση η πυρηνική ενέργεια να καλύπτη ενα μικρό μεν αλλά σημαντικό ποσοστό (4%-10%)ενεργειακών αναγκών στις Γαλλία,ΗΠΑ,Ενωμένο Βασίλειο σήμερα πέρασαν 45 χρόνια.
Διπλασιασμός ποσοστού καλύψεως ενεργειακών αναγκών

Έστω r ο ρυθμός ανάπτυξης μιας νέας τεχνολογίας.

Ήτοι, το 1ο έτος καλύπτεται ποσότητα 1+r
Το 2ο έτος " " $1+r+r(1+r)=(1+r)^2$

Το ν^στό " " " $(1+r)^v$

Δηλαδή, το ποσοστό καλύψεως διπλασιάζεται στο έτος που ισχύει
$2=(1+r)^v \Rightarrow \log 2 = v \log(1+r) \Rightarrow 0.6931 = v\,(r-(r^2/2)+(r^3/3)- \ldots) \Rightarrow$

$\Rightarrow v=\frac{0.69}{r}$

Αν η τοποθέτηση ηλιακών συλλεκτών σε μια χώρα έχει ενα ρυθμό αύξησης 5% θα χρειαστούν $v=0.69/0.05 \simeq 14$ χρόνια για να διπλασιασθούν. Και αν οι ηλιακοί συλλέκτες καλύπτουν 1% των ενεργειακών αναγκών σε ηλεκτρισμό θα χρειαστούν πάνω απο 30 χρόνια για να καλυφθή ενα ποσοστό της τάξης του 5% της αντίστοιχης ενέργειας με δεδομένο οτι η ζήτηση της δεν αυξάνεται.

β. Περιορισμός επενδύσεων Κεφαλαίου

Η ίδια λογική με το προαναφερθέν παράδειγμα διέπει και τους ρυθμούς αύξησης επενδύσεων κεφαλαίων για την ανάπτυξη της τεχνολογίας των ανανεωσίμων μορφών ενέργειας.

γ. Περιορισμοί επιβαλλόμενοι απο κανόνες, κοινωνικές ομάδες και κοινωνικά συστήματα

Οι επιθυμίες, οι επιδιώξεις των ατόμων, οι ενέργειες και η στάση κρατών πρέπει να λαμβάνονται υπ'όψη. Η διαμόρφωση της τιμής πετρελαίου απο τις χώρες του OPEC είναι σαφές παράδειγμα καθορισμού των ρυθμών ανάπτυξης εναλλακτικών συστημάτων.

## 5. ΧΡΗΜΑΤΙΣΤΙΚΗ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΝΤΑΠΟΔΟΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΗΠΙΩΝ ΜΟΡΦΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

### 5.1. Χρόνος χρηματιστικής ανταπόδωσης

Έστω ότι ένα εναλλακτικό σύστημα χρειάζεται επένδυση κεφαλαίου C για να αντικαταστήση ένα σταθμό που κινείται με υγρά καύσιμα. Το ύψος δαπανών των υγρών καυσίμων του τελευταίου έτους είναι $S_0$. Έστω η τιμή των καυσίμων αυξάνεται κατά y% σε πραγματικές τιμές (σε σχέση και πάνω από το ποσοστό i% του πληθωρισμού) και το δάνειο κεφαλαίου δίνεται με επιτόκιο προεξοφλήσεως r% σε πραγματικές τιμές.

Η αξία της ενέργειας που εξοικονομείται στο 1ο έτος: $S_1=S_0(1+y)$

" " " 2ο " : $S_2=S_1(1+y)=S_0(1+y)^2$

" " " ν^στό : $S_v=S_0(1+y)^v$

$S=S_0(1+y)^v=S_0e^{yv}$ $\qquad e^y=1+y \quad y<1$

Οι ετήσιες αυτές εξοικονομήσεις θα μπορούσαν να επενδυθούν στην τράπεζα με το ίδιο επιτόκιο που ισχύει για το κεφάλαιο C. $E_v$ είναι η αθροιστική αξία σε χρήμα της ενέργειας που εξοικονομείται στο ν^στο έτος.

| Αξία της Ενέργειας στο τέλος του έτους | Τιμή των επενδεδυμένων εξοικονομήσεων των προηγουμένων ετών | Τιμή του καυσίμου που εξοικονομείται |
|---|---|---|
| $E_1=$ | 0 | $S_0e^y$ |
| $E_2=$ | $S_0e^ye^r$ | $S_0e^{2y}$ |
| $E_3=$ | $S_0e^ye^{2r}+S_0e^{2y}e^r$ | $S_0e^{3y}$ |
| $E_4=$ | $S_0e^ye^{3r}+S_0e^{2y}e^{2r}+S_0e^{3y}e^r$ | $S_0e^{4y}$ |
| $E_v=$ | $S_0(e^{(v-1)r}+e^{2y}e^{(v-2)r}+e^{3y}e^{(v-3)r}+\ldots+e^{vy})$ | (1) |

Πολλαπλασιάζω την (1) με $e^y/e^r$

$$E_v \frac{e^y}{e^r} = S_o ( e^{2y} e^{(v-2)r} + e^{3y} e^{(v-3)r} + \ldots\ldots\ldots + e^{(v+1)y} e^{-r} ) \qquad (2)$$

Αφαιρώ την (2) από την(1)

$$E_v \left( 1 - \frac{e^y}{e^r} \right) = S_o ( e^{(v-1)r} e^y - e^{(v+1)y} e^{-r} ) = S_o ( e^{vr} - e^{vy} ) \frac{e^y}{e^r} \qquad (3)$$

Η αθροιστική αξία $C_v$ του κεφαλαίου C είναι $C_v = C(1-r)^v = Ce^{vr}$ (4).
Η ανταπόδωση σε χρήμα γίνεται στο $v^{στο}$ έτος όταν η αξία της ενέργειας $E_v$ που εξοικονομήθηκε είναι ίση με την αξία του κεφαλαίου $C_v$ αν αυτό είχε επενδυθεί στην τράπεζα. Τότε $C_v = E_v$.

$$\Rightarrow ce^{vr} = \frac{S_o ( e^{vr} - e^{vr} ) \frac{e^y}{e^r}}{(1 - \frac{e^y}{e^r})} \Rightarrow C = S_o \left( \frac{e^y}{e^r} \right) \left( \frac{1 - (\frac{e^y}{e^r})^v}{1 - (\frac{e^y}{e^r})} \right) \qquad (5)$$

## 5.1.1. Αριθμητικό παράδειγμα

Έστω τοποθετείται ανεμογεννήτρια 3MW με διάρκεια ζωής 25 έτη. Ο συντελεστής φορτίου είναι 15% και το κόστος κεφαλαίου ανά εγκατεστημένο KW είναι £200/KW. Υποτίθεται ότι η τιμή των καυσίμων θα διπλασιασθή σε 20 έτη, η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από τον σταθμό υγρών καυσίμων που θα αντικατασταθή είναι 1/100 £/KWh και το επιτόκιο προεξοφλήσεως r είναι 5%.
Λύση: Η αξία των καυσίμων που εξοικονομούνται είναι:
$S_o$=3,000KWX0.01£/KWhX365d/yrX24h/dX0.15=£39,420
Το ποσοστό αύξησης της τιμής καυσίμων είναι y=0,69/20 = 3,5%

Το κόστος κεφαλαίου είναι C=3MWX£200/KW=£600,000
Λόγω της (5) είναι : $\frac{600,000}{39,420} = \frac{1+0.035}{1+0.050} \left( \frac{1-(\frac{1+0.035}{1+0.050})^v}{1-(\frac{1.035}{1.050})} \right) \Rightarrow v = \frac{\log 0.779}{\log \frac{1.035}{1.05}}$

$\Rightarrow$ v= 17.32 έτη.

## 5.2. Χρόνος ενεργειακής ανταπόδωσης

Βρίσκεται η πρωτογενής ενέργεια που απαιτείται για την κατασκευή του εναλλακτικού συστήματος και χρησιμοποιείται υποθετικά από τον συμβατικό σταθμό για την παραγωγή δευτερογενούς ενεργείας $E_1$ π.χ. ηλεκτρισμού .

Βρίσκεται η δευτερογενής ενέργεια $E_2$ που παράγεται σε ένα χρόνο από το εναλλακτικό σύστημα. Ήτοι ο χρόνος της ενεργειακής ανταπόδωσης είναι $V = E_1/E_2$

## 5.2.1. Αριθμητικό παράδειγμα

Χρησιμοποιούνται τα δεδομένα της §5.1.1. Δίδεται επίσης ότι παράγεται πρωτογενής ενέργεια 20KWh ανά επενδεδυμένη λίρα Αγγλίας και ότι ο συμβατικός σταθμός έχει απόδοση n=30%.
Λύση: Η πρωτογενής ενέργεια που παράγεται για την κατασκευή του εναλλακτικού συστήματος είναι £600,000X20KWh/£=12X$10^6$KWh. Αυτή θα παρήγαγε δευτερογενή

ενέργεια $E_1=0.3X12X10^6 KWh=3.6X10^6 KWh$.

Η δευτερογενής ενέργεια $E_2$ που παράγεται από την ανεμογεννήτρια είναι $E_2=0.15X8,760X3000= 3.9X10^6$ KWh/έτος.

Ητοι ο χρόνος της ενεργειακής ανταπόδωσης είναι:

$$V=\frac{E_1}{E_2}=\frac{3.6X10^6 KWh}{3.9X10^6 KWh/έτος}=0.92 \text{ έτη και 11 μήνες}$$

## 5.3. Διαφορά χρόνου χρηματιστικής και ενεργειακής ανταπόδωσης

Το κόστος κεφαλαίου C είναι $C=C_e+C_o$, όπου $C_e$ το κόστος κεφαλαίου της ενέργειας που καταναλώθηκε για την κατασκευή του εναλλακτικού συστήματος και $C_o$ το κόστος κεφαλαίου των άλλων συντελεστών παραγωγής.

Ο χρόνος ενεργειακής ανταπόδωσης είναι:

$$V_\varepsilon=\frac{E_1}{E_2}=\frac{C_e}{S}$$

όπου S το κόστος της ενέργειας που εξοικονομήθηκε από τη λειτουργία του εναλλακτικού συστήματος.

Ο χρόνος χρηματιστικής ανταπόδωσης είναι $V_x=C/S$ οπότε:

$$C=C_e+C_o \Rightarrow \frac{C}{S}=\frac{C_e}{S}+\frac{C_o}{S} \Rightarrow V_x=V_\varepsilon+\frac{C_o}{S} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_\varepsilon<V_x$$

## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας των ήπιων μορφών ενέργειας πρέπει να αποτελεί ένα από τους στόχους της Εθνικής Ενεργειακής Πολιτικής. Ως εκ τούτου πρέπει να εκμεταλλευθή το ήδη υπάρχον θεσμικό πλαίσιο (κονδύλια ΕΟΚ, κίνητρα για την αγορά ηλιακών θερμοσιφώνων) και να διευρυνθή ακόμη περισσότερο με την ψήφιση καταλλήλων νομοσχεδίων, την δημιουργία νέων θέσεων εργασίας στη ΔΕΗ και τα πανεπιστήμια και την προώθηση νέων ερευνητικών προγραμμάτων. Δεν αναμένεται μεγάλη συμμετοχή ποσοστιαία στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών. Εν τούτοις θα είναι καθοριστική, λόγω της ενεργειακής αποκέντρωσης, σε τοποθεσίες με διάζουσες συνθήκες.

# ΗΠΙΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ

Σ. Καραχιάννη*, Α. Φραγκουδάκης**
* Λέκτορας της Ανωτάτης Βιομηχανικής Σχολής Θεσσαλονίκης.
** Επίκουρος Καθηγητής Τμημ. Αρχιτεκτόνων Πολ. Σχολής Α.Π.Θ.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Στην εργασία αυτή γίνεται μια προσπάθεια ανάλυσης των δυνατοτήτων που προσφέρονται στη χώρα μας από τις εφαρμογές σε μεταβατικό στάδιο ήπιων μορφών ενέργειας, βασισμένων στη χρήση "απλοϊκής" εγχώριας τεχνολογίας πολύ χαμηλού κόστους. Οι εφαρμογές αυτές μπορούν τελικά να συντελέσουν στην ανάπτυξη μελλοντικά υψηλής τεχνολογίας στη χώρα μας αποσεσμεύοντας τα αναγκαία χι' αυτήν την ανάπτυξη κεφάλαια.
ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Οικονομικά προβλήματα.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΓΕΝΙΚΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ

Η βασικότερη διάσταση του διεθνούς ενεργειακού προβλήματος είναι ότι αυτό βρίσκεται σε όξυνση, σαν συνέπεια της συνεχούς αύξησης των ενεργειακών αναγκών, της εξάντλησης των ενεργειακών πηγών και πόρων, της ανισοκατανομής τους σε διεθνές επίπεδο και ακόμη της πρόκλησης σημαντών συνεπειών από την παραγωγή και ανορθολογική εκμετάλλευση της ενέργειας.

Ο πιο άμεσος κίνδυνος παγκόσμια είναι αυτός της εξάντλησης των συμβατικών ενεργειακών αποθεμάτων. Σύμφωνα με μια μελέτη της World Energy Conference υπολογίζεται ότι η αύξηση της παγκόσμιας ζήτησης ενέργειας μέχρι το 2020 θα είναι τριπλάσια ή τετραπλάσια της σημερινής. Από την άλλη πλευρά η παραγωγή πετρελαίου θα φτάσει στο ανώτατο επίπεδό της γύρω στο 1995, ενώ η παραγωγή φυσικού αερίου το 2010. Μετά τα χρόνια αυτά η παραγωγή θα μειωθεί, βλέπε [1]. Κάτω από τις συνήθεις αυτές οι πραγματικές διαστάσεις του ελληνικού ενεργειακού προβλήματος εμφανίζουν δυο όψεις:

- Μια παγκόσμια,που συνδέεται με την υψηλή εξάρτηση της χώρας από ορισμένες πηγές ενέργειας καθώς και με τον κίνδυνο εξάντλησης αυτών των πηγών και
- Μια εθνική,που συνδέεται με την ανάγκη εξασφάλισης της απαιτούμενης ενεργειακής υποδομής,τόσο για αποφυγή επιβράδυνσης του ρυθμού κοινωνικοοικονομικής ανάπτυξης,όσο και για μείωση της ενεργειακής εξάρτησης,κατά το δυνατό.

Πρέπει να τονιστεί ότι ορισμένα από τα αποτελέσματα της ενεργειακής κρίσης είναι χνωστά,όπως αύξηση συναλλαγματικού κόστους λειτουργίας της οικονομίας,παθητικότητα στο ισοζύγιο πληρωμών,αύξηση κόστους θέρμανσης και φωτισμού,τιμής βενζίνης, πληθωρισμός,κ.λ.π. Υπάρχουν όμως επιπτώσεις που δρουν έμμεσα στην αναπτυξιακή διαδικασία,στη διεθνή ανταγωνιστικότητα της οικονομίας και συχνά αποτελούν τις κύριες αιτίες της οικονομικής αποδιάρθρωσης, όταν τα κέντρα λήψης αποφάσεων των τιμών του πετρελαίου αποφασίσουν την αύξησή τους,όπως συνέβη την περίοδο 1973.

Κάτω από τις δεδομένες συνθήκες μείωσης παραγωγής πετρελαίου,της εξάντλησης όλων των φυσικών πόρων σε παγκόσμια κλίμακα,της κρίσιμης εξάρτησης των αναπτυσσομένων μη πετρελαιοπαραγωγών χωρών,τόσο από τα συμβατικά καύσιμα,όσο και από την υψηλή τεχνολογία,της συνεχώς αυξανομένης ζήτησης ενέργειας των χωρών αυτών κατά τη διαδικασία της οικονομικής τους ανάπτυξης,η επιλογή χρήσης και ανάπτυξης ήπιων μορφών ενέργειας δεν αποτελεί "καινοτομία" ή "τεχνολογικό αποτέλεσμα" αλλά επιτακτική ανάγκη.

Η υποκατάσταση φυσικά των παραδοσιακών από ανανεώσιμες μορφές ενέργειας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την έρευνα και την ανάπτυξη της τεχνολογίας. Ο βαθμός και ρυθμός υποκατάστασης διαχρονικά είναι συνάρτηση δυο συντελεστών,της τεχνολογίας και του κόστους τιμής των πηγών αυτών της ενέργειας.

Έχοντας υπόψη μας ότι,για τη μακροπρόθεσμη προσφυγή σε νέες εγχώριες πηγές ενέργειας η επιτυχία των σχετικών αποφάσεων και δραστηριοτήτων εξαρτάται κύρια από τις βιομηχανικές,επιστημονικές, ερευνητικές και χρηματοδοτικές δυνατότητες της ελληνικής οικονομίας, δηλαδή από τη συνεχή κοινωνικοοικονομική ανάπτυξη της χώρας πέρα από τα σημερινά της επίπεδα,υποστηρίζουμε στην εργασία αυτή τη χρήση και ανάπτυξη της ηλιακής και αιολικής ενέργειας,όπως και της βιομάζας,χιατί αυτή μπορεί να βρει βραχυπρόθεσμα εφαρμογές στην Ελλάδα.

## 2.ΣΗΜΕΡΙΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Η έγκαιρη πορεία μετάβασης από τις παραδοσιακές στις ήπιες μορφές ενέργειας για τη χώρα μας είναι όχι μόνο μοναδική ενεργειακή λύση αλλά και συνεπάγεται μακροχρόνια σημαντικά οφέλη,οικονομικά,κοινωνικά και περιβαλλοντικά αλλά κυρίως θ' αποτελέσει "προληπτική τακτική" αντιμετώπισης μιας μελλοντικής ενεργειακής κρίσης.

Είναι βέβαιο ότι οι ανάγκες για ενέργεια διαχρονικά θα διαμορφώνονται με ολοένα αυξανόμενο ρυθμό. Πράγματι ενώ η κατανάλωση ενέργειας εμφανίζει μέσο ετήσιο ρυθμό αύξησης στην περίοδο 1968-1972 12,4 %,μετά την ενεργειακή κρίση ο ρυθμός αυτός παρουσιάζει στην αρχή κάποια μείωση και στη συνέχεια σημαντική αύξηση,βλέπε [2]. Είναι γεγονός ότι,η κατά κεφαλή κατανάλωση ενέργειας στην Ελλάδα είναι χαμηλή και φτάνει το 1/3 περίπου των άλλων χωρών της ΕΟΚ,ενώ πλησιάζει το 1/6 της ενεργειακής κατανάλωσης στις ΗΠΑ,βλέπε [3].

Όσον αφορά τη διάρθρωση της ενεργειακής χρήσης,όπως προκύπτει από τα αντίστοιχα στατιστικά στοιχεία της αναφοράς [4],παρατηρούμε ότι το ποσοστό συμμετοχής της οικιακής και εμπορικής χρήσης καθώς και του τομέα των μεταφορών στην τελική κατανάλωση παρουσιάζει διαχρονικά μια αύξηση. Μάλιστα προβλέπεται στο μέλλον ένας ακόμα ταχύτερος ρυθμός αύξησης,δεδομένου ότι το ποσοστό συμμετοχής της οικιακής και εμπορικής χρήσης στην τελική κατανάλωση είναι από τα χαμηλότερα που εμφανίζονται στην ΕΟΚ. Πρέπει βέβαια να σημειωθεί ότι,η αύξηση της τελικής ενεργειακής κατανάλωσης οφείλεται σε μεγάλο ποσοστό στην αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης στον τομέα των μεταφορών,που αυτό υπερβαίνει σαν ποσοστό κατά πολύ το αντίστοιχο των άλλων χωρών της ΕΟΚ,βλέπε [5]. Αυτό όμως σημαίνει ότι η ήδη μεγάλη εξάρτηση της χώρας από τα υγρά καύσιμα θα εντείνεται ολοένα και περισσότερο με όλες τις δυσμενείς συνέπειες,που αυτη συνεπάγεται. Ακόμα περισσότερο αν ληφθεί υπόψη ότι τα πετρελαιοειδή αποτελούν τη βασική μορφή ενέργειας,αφού συμμετέχουν κατά 70 % στην κάλυψη των συνολικών αναγκών της χώρας,βλέπε [6]. Τα παραπάνω σημαίνουν ταυτόχρονα ετήσια συναλλαγματική αφαίμαξη εκατοντάδων χιλιάδων δολλαρίων,όπως φαίνεται στον πίνακα 1,που δημιουργούν μόνιμο πρόβλημα παθητικότητας στο εμπορικό ισοζύγιο,το οποίο αποτελεί έναν από τους κύριους δείκτες ανάπτυξης μιας χώρας.

Η αξία των εισαχωμένων υγρών καυσίμων εκφρασμένη σαν ποσοστό της συνολικής αξίας των εισαγωγών σημείωσε διαχρονικά σημαντική αύξηση που οφείλεται αποκλειστικά σχεδόν στην αύξηση των τιμών των πετρελαιοειδών.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: Εισαγωγές Καυσίμων-Λιπαντικών

| Ετος | Αξία Καυσίμων-Λιπ. Χιλ. δολλάρια ΗΠΑ | Συνολικές Εισαγωγές Χιλ. δολλάρια ΗΠΑ | % |
|---|---|---|---|
| 1971 | 157.475 | 1.945.257 | 8,09 |
| 1972 | 216.928 | 2.441.344 | 8,88 |
| 1973 | 413.481 | 4.047.158 | 10,22 |
| 1974 | 863.472 | 4.659.390 | 18,53 |
| 1975 | 844.008 | 5.072.218 | 16,64 |
| 1976 | 1.026.091 | 5.560.653 | 18,45 |
| 1977 | 1.061.160 | 6.425.123 | 16,52 |
| 1978 | 1.204.712 | 7.341.315 | 16,41 |
| 1979 | 2.252.772 | 10.109.783 | 22,28 |
| 1980 | 2.982.192 | 10.903.375 | 27,35 |
| 1981 | 3.685.582 | 11.468.076 | 32,13 |
| 1982 | 2.778.443 | 10.068.248 | 27,59 |
| 1983 | 2.647.433 | 9.491.298 | 27,89 |

Πηγή: Τράπεζα της Ελλάδος,Μηνιαίο στατιστικό δελτίο Μάρτιος 1982 και Φεβρουάριος 1985

Αξίζει να σημειωθεί ότι η επιβάρυνση στο ισοζύγιο πληρωμών είναι πολύ μεγαλύτερη από όσο φαίνεται στον πίνακα 1,αν λάβουμε υπόψη τη σημαντική μεταβολή της συναλλαγματικής ισοτιμίας υπέρ του δολλαρίου και σε βάρος της δραχμής. Αλλά και στη διάρθρωση της εθνικής παραγωγής καθώς και στη διανομή του εθνικού εισοδήματος δημιουργούνται σε μεγάλο βαθμό οξύτατα προβλήματα,όπως αύξηση του κόστους παραγωγής
των επιχειρήσεων,μείωση των επενδύσεων,μείωση του πραγματικού εισοδήματος των τελικών καταναλωτών και συνεπώς της καταναλωτικής τους ικανότητας. Με τον τρόπο αυτό επέρχεται μείωση της συνολικής ενεργού ζήτησης της οικονομίας η οποία εκδηλώνεται με την κάμψη της οικονομικής δραστηριότητας και δρά αναστρεπτικά στο ρυθμό ανάπτυξης της χώρας.

Είναι φυσικά αδύνατο ν' αναλυθούν εδώ όλες οι πολυάριθμες και ποικίλλες επιπτώσεις της αύξησης της τιμής,των πετρελαιοειδών,που μάλιστα σύμφωνα με στοιχεία του Ο.Ο.Σ.Α.,θ' αυξάνονται ολοένα και περισσότερο εξαιτίας της αύξησης των αναγκών σε ενέργεια κατά τη διαδικασία της οικονομικής ανάπτυξης στις βιομηχανικές και φυσικά πολύ περισσότερο στις αναπτυσσόμενες χώρες,βλέπε [7].

## 3. ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΧΡΗΣΗΣ ΗΠΙΩΝ ΜΟΡΦΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Σε διεθνή κλίμακα παρατηρείται ότι οι ανεπτυγμένες χώρες κατευθύνουν

την έρευνα προς άλλες μορφές ενέργειας,που στηρίζονται στην υψηλή τεχνολογία και τη μακροχρόνια απόδοση. Οι λιγότερο ανεπτυγμένες χώρες,όπως η Ελλάδα,αντιμετωπίζουν από το στάδιο σχεδιασμού της υποκατάστασης των υγρών καυσίμων με άλλες μορφές ενέργειας,το σοβαρό κίνδυνο να υποκαταστήσουν την εξάρτηση από εισαχθείσες μορφές ενέργειας με την εξάρτηση από εισαχθείσα τεχνολογία.

Ο μόνος τρόπος για να απαλλαγεί η χώρα μας από την υπερβολική ενεργειακή εξάρτηση και παράλληλα να διαμορφώσει μια προοπτική ενεργειακής,ως ένα βαθμό,αυτοδυναμίας είναι η αυξανόμενη χρήση άλλων εγχώριων ενεργειακών πηγών εκτός από τα συμβατικά καύσιμα. Με δεδομένη την ύπαρξη υψηλού γεωθερμικού δυναμικού,ηλιοφάνειας, αιολικού δυναμικού και βιομάζας στην Ελλάδα είναι δυνατή η μετάβαση σε ένα μετα-πετρελαϊκό στάδιο.

Πράγματι,η καλύτερη εναλλακτική λύση για το πετρέλαιο και την πυρηνική ενέργεια, που αναμφίβολα αποτελεί μελλοντικά τη σημαντικότερη ίσως μορφή υποκατάστασης των συμβατικών καυσίμων από τις ανεπτυγμένες χώρες,σε χώρες όπως η Ελλάδα είναι η ανάπτυξη ήπιων μορφών ενέργειας. Οι μορφές αυτές έχουν το πλεονέκτημα,να υπάρχουν σε αφθονία,να είναι ανανεώσιμες και να αξιοποιούνται με χρήση χαμηλής ή ενδιάμεσης τεχνολογίας,που είναι σε θέση να διαθέσει ή να παράχει η χώρα μας στο άμεσο μέλλον. Παράλληλα η ενεργειακή τους εκμετάλλευση δεν αφήνει βλαβερά κατάλοιπα,που δημιουργούν οικολογικά προβλήματα με ανυπολόγιστο μακροχρόνια οικονομικό και κοινωνικό κόστος. Ακόμα η εκμετάλλευση των ήπιων μορφών ενέργειας,σε αντίθεση με όλες τις άλλες,δεν είναι συγκεντρωτική και δεν απαιτεί τεράστια κεφάλαια μακροχρόνιας απόδοσης που μόνο το κράτος μπορεί να διαθέσει με κίνδυνο να προκαλέσει βραχυχρόνια σοβαρά οικονομικά προβλήματα με δυσμενείς επιπτώσεις στην ανάπτυξη,που επιχειρεί. Η Ελλάδα βρίσκεται αυτή τη στιγμή σε πλεονεκτική απέναντι στις άλλες ευρωπαϊκές χώρες, γιατί έχει τη δυνατότητα να στραφεί στις ήπιες μορφές ενέργειας πριν ακόμα φτάσει στα ανώτερα στάδια οικονομικής και βιομηχανικής ανάπτυξης,εξασφαλίζοντας μ' αυτόν τον τρόπο μια μελλοντικά αυξανομένη ενεργειακή αυτοδυναμία.

Για όλους τους παραπάνω λόγους,που μόνο θίξαμε,σε ένα πρώτο στάδιο υποκατάστασης,νομίζουμε ότι, απαιτείται η πραγματοποίηση εξοπλισμών,που να βασίζονται στη χρήση χαμηλής,απλοϊκής θα τολμούσαμε να πούμε,τεχνολογίας και μάλιστα αποκλειστικά αυτής που μπορούν να παράχουν οι εγχώριες βιομηχανίες. Οι ήπιες μορφές ενέργειας,που θα συντελέσουν σε μια σταδιακή και κατά το δυνατό οικονομικά ανώδυνη προσαρμογή της ενεργειακής οικονομίας,είναι η

ηλιακή,η αιολική και η βιομάζα,που θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν με βάση τις σημερινές δυνατότητες αρχικά μόνο για θέρμανση και ζεστό νερό. Πράγματι η κατανάλωση ενέργειας για παραγωγή θερμότητας σε χαμηλή θερμοκρασία για οικιακή χρήση ή για τους ίδιους σκοπούς από τη βιομηχανία,τουριστικές εγκαταστάσεις,γραφεία,κλπ. είναι πολύ μεγάλη. Δεν υπάρχουν βέβαια στοιχεία για το ποσοστό της τελικής κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση νερού και κτιρίων στους τρείς τομείς της οικονομικής δραστηριότητας. Μια μελέτη της επιτροπής της ΕΟΚ υπολογίζει το ποσοστό αυτό σε 30 με 50 % της συνολικής κατανάλωσης,βλέπε [8].

Πολλά κράτη έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούν την ηλιακή ενέργεια σε εθνική βάση. Στο Ισραήλ για παράδειγμα 150.000 κτίρια έχουν ηλιακούς συλλέκτες για θέρμανση νερού εξοικονομόντας έτσι 150.000 τόννους πετρελαίου το χρόνο,βλέπε [8].

## 4. ΕΓΧΩΡΙΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

Η υψηλή τεχνολογία που κατασκευάζεται από τις βιομηχανικά ανεπτυγμένες χώρες λύνει όλα τα προβλήματα παραγωγής ζεστού νερού,θέρμανσης το χειμώνα και ψύξης το καλοκαίρι με τη χρήση αυτοματισμών, μικροϋπολογιστών και πολύπλοκων μηχανολογικών εγκαταστάσεων,με όσο γίνεται μικρότερη ανθρώπινη παρέμβαση προστατεύοντας μ' αυτόν τον τρόπο τη βιομηχανία που έχει μέχρι τώρα αναπτυχθεί στις χώρες αυτές. Ακόμα ο σύγχρονος τρόπος ζωής,που έμμεσα επιβάλλεται από την εφαρμογή αυτής της τεχνολογίας,στοχεύει στον πλήρη αυτοματισμό των εγκαταστάσεων αυτών που από τη μια μεριά αυξάνει το κόστος εγκατάστασής τους και από την άλλη δημιουργεί μια νέα εξάρτηση για τις χώρες που δεν μπορούν να παράχουν αυτήν την τεχνολογία.

Συχνά όμως η τεχνολογία αυτή δεν προσαρμόζεται εύκολα στις κλιματικές συνθήκες τις χώρας μας και ακόμα πιο συχνά βασίζεται σε υλικά που δεν επιβιώνουν κάτω από τον ελληνικό ήλιο το καλοκαίρι χωρίς ιδιαίτερα μέτρα προστασίας (πχ. συνθετικά μονωτικά υλικά,γενικώτερα συνθετικά υλικά με μικρή αντοχή στη θερμοκρασία,μεταλλικές κατασκευές που οξειδώνονται κάτω από την επίδραση του θαλάσσιας αύρας,κλπ.). Μ' αυτόν τον τρόπο οι οικονομικά δυσμενείς επιπτώσεις του κόστους της τεχνολογίας αυτής επιδεινώνονται με την προσθήκη του κόστους όλων των προστατευτικών μέτρων προσαρμοχής της τεχνολογίας αυτής στη χώρα μας.

Σε μια πρώτη προσέγγιση η τεχνολογία που χρειάζεται η χώρα μας απέχει πολύ από αυτήν που προτείνουν οι βιομηχανικά ανεπτυγμένες

χώρες,χιατί οι κλιματικές συνθήκες στην Ελλάδα είναι πολύ ευμενέστερες από αυτές των περισσοτέρων χωρών της Ευρώπης. Η υψηλή τεχνολοχία που χρειάζεται η χώρα μας δεν είναι τελικά αυτή των εχκαταστάσεων αλλά αυτή της παραχωχής υλικών,όπως διάφανων θερμομονωτικών υλικών με εκλεκτική περατότητα ανάλοχα με τη θερμοκρασία τους,κλπ.,βλέπε [9]. Με απλή λοιπόν εφαρμοχή τοίχων Trombe,αεροσυλλεκτών και ηλιακών συλλεκτών χια θέρμανση νερού η εξοικονόμηση ενέρχειας το χειμώνα θα ήταν σημαντική (θα μπορούσε να σημαίνει πλήρη ενερχειακή ανεξαρτησία της κατοικίας χια θέρμανση,ψύξη και ζεστό νερό με την ανάπτυξη της τεχνολοχίας παραχωχής κατάλληλων υλικών,βλέπε [9],που θ' αντικαθιστούσαν τα υλικά της μεταβατικής περιόδου πάνω στην ίδια υποδομή) και μάλιστα αν συνδιαζόταν με τη μετατροπή των ακάλυπτων χώρων σε ηλιακούς (Sun spaces). Η τελευταία αυτή μετατροπή θα μπορούσε να επεκταθεί και στους στενούς δρόμους ανάμεσα στα κτίρια συνδιασμένη με πεζοδρόμηση. Οι ακάλυπτοι χώροι θ' αποκτούσαν έτσι μεχάλη κοινωνική και οικολοχική σημασία,όπως και οι πεζόδρομοι. Η καλοκαιρινή προστασία θα μπορούσε να βασιστεί στις παραδοσιακές λύσεις σκιασμού με φυλλοβόλα φυτά (κληματαριές),ασβέστωμα (που παραχκώνισαν τα σύχχρονα χρώματα παρά τις μεχάλες ηλιοπροστατευτικές του ιδιότητες), αερισμό και αεριζόμενα κελύφη και δώματα.

Όλα όμως αυτά τα μέτρα σημαίνουν πληροφόρηση και μεχάλη συμμετοχή του κοινού ή ακόμα στο μεταβατικό στάδιο του σχετικό περιορισμό των απαιτήσεων χια προσωπική άνεση ή πολυτέλεια. Ένα παράδειχμα που δείχνει καθαρά τις επιπτώσεις της ελλειπούς πληροφόρησης των πολιτών είναι το παράλοχο στην παραχωχή ζεστού νερού. Το παράλοχο αυτό είναι έντονο το καλοκαίρι με τις αυξημένες ανάχκες σε ζεστό νερό (τόσο από εμάς τους ίδιους όσο και από τις εκατοντάδες χιλιάδες τουρίστες) όταν τροφοδοτούμε τις συσκευές με νερό χαμηλής θερμοκρασίας (15 με 20 $^{o}$C) από τους αχωχούς χια να το ζεστάνουμε μέχρι τους 60 με 80 $^{o}$C καταναλώνωντας πολύτιμη ηλεκτρική ενέρχεια,ενώ το θερμόμετρο δείχνει συχνά "40 υπό σκιάν". Μόνο η απλή παραμονή του νερού σ' ένα μεταλλικό δοχείο στο δώμα (όπως την εποχή της έλλειψης νερού στο παρελθόν) θα συντελούσε στην εξοικονόμηση ενέρχειας.

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με τη μείωση της απαιτουμένης ποσότητας πετρελαίου χια την παραχωχή θερμότητας χαμηλής θερμοκρασίας χίνεται σημαντική εξοικονόμηση συναλλάχματος,που με την κατάλληλη κρατική παρέμβαση μπορεί να διατεθεί στην έρευνα χια την ανάπτυξη και παραχωχή της απαραίτητης

τεχνολογίας υποκατάστασης των υγρών καυσίμων. Παράλληλα με την καλλιτέρευση των όρων εμπορίου και του ισοζυγίου πληρωμών δίνεται η ευκαιρία επενδύσεων σε νέους βιομηχανικούς κλάδους.

Για την υλοποίηση των στόχων αυτών πρωταρχική σημασία έχει η θέσπιση νέων διατάξεων,ενημέρωση του κοινού και ο μακροχρόνιος προγραμματισμός. Η αντιμετώπιση της υποκατάστασης των συμβατικών μορφών ενέργειας με ήπιες δεν είναι τελικά ένα "κοινό" οικονομικό ή τεχνολογικό πρόβλημα, αλλά ένα θέμα βασικής υποδομής της ανάπτυξης,που συνδέεται με πλήθος εσωτερικών και διεθνών πολιτικών,οικονομικών και πολιτιστικών παραγόντων. Η επιλογή όμως των ήπιων μορφών ενέργειας στον ανώτερο εκείνο βαθμό,που επιτρέπουν οι δυνατότητες του ελληνικού χώρου,θ' αποτελέσει τελικά ένα μεγάλο βήμα για μερική αρχικά και πιθανόν μελλοντικά για ολοκληρωτική ενεργειακή αυτοδυναμία.

## 6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ


[ 1] Νικολινάκος,Μ.: (1980) Η ενεργειακή Εξάρτηση της χώρας από το Εξωτερικό,Οικονομία και Κοινωνία,Φεβρ.1980,σ. 17.

[ 2] Ε.Σ.Υ.Ε.: (1971-1984) Στατιστική Επετηρίς της Ελλάδος.

[ 3] Ειδικών Συνεργατών: (1980) Αναλυτική Θεώρηση του ελληνικού ενεργειακού προβλήματος,Οικονομία και Κοινωνία,Φεβρ.1980,σ. 29.

[ 4] Σαμουλίδη,Μ.: (1977) Ανάλυση των ενεργειακών αναγκών της οικονομίας,Οικονομικός Ταχυδρόμος 12.5.77,τεύχ.1201,σ. 20.

[ 5] Αρχαλιά,Ε.: (1977) Το ενεργειακό ισοζύγιο της Ελλάδος, Οικονομικός Ταχυδρόμος 12.5.77,τεύχ.1201,σ. 16.

[ 6] Νικολινάκος,Μ.: (1978) Το διεθνές πλαίσιο της ελληνικής ενεργειακής οικονομίας,Πρακτικά Συνεδρίου ΤΕΕ,Τεχνικά Χρονικά, τευχ. 3-4,1978,σ.48.

[ 7] O.C.D.E.: (1983) Report on 1982 Review of National Energy RD&D Programmes by the Committee on Energy Research and Development,IEA/SLT(83)56 IEA/CRD(83)12

[ 8] Δασκαλάκη,Δ.,Σταμπολή,Κ.: Είναι άμεσα εφικτή η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας και στην Ελλάδα; Οικονομικός Ταχυδρόμος 12.5.77,τεύχ.1201,σ. 37.

[ 9] Bertsch,K.,Boy,E.,Frangoudakis,A.,Heim,U.: (1985) Licht-transparente Waermedaemmung-Eine Moegligkeit zur drastischen Reduzierung des Verbrauchs an fossilen Energietraegern im Haushaltsbereich,Proceedings of the First EC Conference on Solar Heating,Amsterdam 30 April - 4 May 1984.

ΗΜΟ-15

# ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ: ΘΕΣΜΙΚΑ ΚΑΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

Νίκος Καλογήρου Αρχιτέκτων-Πολεοδόμος, Λέκτορας ΑΠΘ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Στόχος της ανακοίνωσης είναι να περιγράψει τα προβλήματα που προκύπτουν από την προοπτική εφαρμογής ηπίων μορφών ενέργειας σε αστικό περιβάλλον, που αποτελεί σήμερα το πλαίσιο ζωής για την πλειοψηφία του ελληνικού πληθυσμού. Ο ενεργειακός σχεδιασμός του αστικού χώρου εξαρτάται από μια σειρά κοινωνικών και οικονομικών παραμέτρων που απαιτούν τη θέσπιση των καταλλήλων θεσμικών και προγραμματικών μέτρων. Αφού παρουσιάζονται οι κυριότερες κατηγορίες προβλημάτων που σχετίζονται με τον ενεργειακό πολεοδομικό σχεδιασμό, επισημαίνεται ότι μια συνολική αντιμετώπιση δεν είναι δυνατή χωρίς την αναθεώρηση της γενικότερης σύλληψης της μορφής της πόλης και τις αντίστοιχες μεταβολές στη σφαίρα της κατανάλωσης.
ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Ενεργειακός σχεδιασμός, Πολεοδομία, ήπιες μορφές, βιοκλιματική προσέγγιση, αστικός ιστός.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι εφαρμογές του ενεργειακού σχεδιασμού στην αρχιτεκτονική εμφανίζουν ήδη ικανοποιητικά και ενθαρρυντικά αποτελέσματα. Η γενίκευση όμως της χρήσης ηπίων μορφών ενεργείας στη σύγχρονη πόλη θέτει πολύπλοκα προβλήματα. Αυτά αφορούν όχι μόνο στη μορφή του αστικού χώρου αλλά και στους κοινωνικούς, ιστορικούς και γεωγραφικούς παράγοντες που έχουν οδηγήσει στη συγκεκριμένη δομή κάθε πολεοδομικού συγκροτήματος. Η συνολική ορθολογική διαχείριση της πόλης ώστε να εξασφαλίζει τις άριστες συνθήκες υγιεινής, κυκλοφορίας και κατανάλωσης είναι ένας από τους πρωταρχικούς στόχους της πολεοδομίας που έχει τεθεί από αρκετά χρόνια. Στην γενικότερη αυτή προβληματική μπορεί να ενταχθεί και ο ενεργειακός πολεοδομικός σχεδιασμός.

Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά του "μοντέρνου κινήματος " στην αρχιτεκτονική είναι η επιμονή στην εξασφάλιση των καταλλήλων συνθηκών υγιεινής στην πόλη. Η 17η θέση της "Χάρτας των Αθηνών" (1933) συνδέει άμεσα τις συνθήκες αυτές με την ηλιακή ακτινοβολία καταδικάζοντας "την παραδοσιακή ευθυγράμμιση των κατοικιών κατά μήκος των δρόμων" διότι δεν "εξασφαλίζει τον ηλιασμό παρά μόνο σε ένα ελάχιστο τμήμα των διαμερισμάτων".(1) Οι θέσεις του ιστορικού αυτού κειμένου απηχούν και εξελίσσουν τα μεταρρυθμιστικά κινήματα εξυγί-

ανσης και ορθολογισμού του 19ου αιώνα. Πρωταρχική λειτουργία της πολεοδομίας είναι "να εξασφαλίσει στους ανθρώπους υγιεινές κατοικίες, δηλαδή τόπους όπου ο χώρος, ο καθαρός αέρας και ο ήλιος, αυτές οι τρείς αναγκαίες προϋποθέσεις της φύσης εκπληρώνονται με επάρκεια" (2). Σε επόμενες θέσεις εντάσσονται κατά σειρά η οργάνωση των τόπων εργασίας, του ελευθέρου χρόνου και της κυκλοφορίας. Το πρόβλημα της μορφής της πόλης έχει τεθεί και δεν θα σταματήσει να τίθεται ολοένα και πιο επιτακτικά.

Η ενεργειακή κρίση το επαναφέρει στην επικαιρότητα. Παρά τις θεσμικές αρχές και τους προγραμματικούς στόχους η σύγχρονη μητρόπολη είναι συνδεδεμένη με την ενεργειακή υπερκατανάλωση. Η μορφολογία του άστεος προκύπτει σε μεγάλο βαθμό - και κατά τρόπο ελάχιστα συνειδητό - από μία αντίληψη ενεργειακής αφθονίας που επέτρεψε στους προγραμματιστές να αναπτύξουν την ιδέα ότι μπορούμε να διαχωρίζουμε μέσα στο χώρο και το χρόνο τις διαφορετικές λειτουργίες του κοινωνικού συστήματος: ο διαχωρισμός των λειτουργιών, η εμμονή στο zoning, έχει σαν συνέπεια την αυξανόμενη ενεργειακή εξάρτηση.

Την παραδοσιακή κοινωνία τη στηριγμένη σε διάχυτες και ανανεώσιμες ενεργειακές πηγές (ξυλεία, ανεμόμυλοι, υδρόμυλοι) στην οποία αντιστοιχούσε μια μορφή χρήσης του εδάφους, διαδέχεται συχνά χωρίς ενδιάμεσο στάδιο μια μορφή κοινωνικής οργάνωσης η οποία χρησιμοποιεί τον ηλεκτρισμό και το πετρέλαιο μορφές ενεργείας εύκολα μεταφερόμενες και διαιρετές: πράγμα που διευκολύνει τον κατακερματισμό και τη διάχυση των αστικών οργανισμών. Στο χώρο της πόλης η ενέργεια εξασκεί καταλυτική επίδραση. Ως ικανή και αναγκαία συνθήκη της υπέρμετρης κινητικότητας και προσπελασιμότητας των τμημάτων της πόλης και ως προϋπόθεση δημιουργίας μιας "τεχνητής" άνεσης στην κατοικία (θέρμανση, κλιματισμός, φωτισμός, κατακόρυφη μετακίνηση), ο ενεργειακός παράγοντας επέτρεψε στο άστυ να αγνοήσει τους πατροπαράδοτους περιορισμούς που προκύπτουν από τη γεωγραφική ιδιαιτερότητα του τόπου, το κλίμα και τα τοπικά υλικά.

Ποιά όμως είναι τα όρια μιας ανάλογης εξέλιξης; Αρκεί η σχετική αύξηση των τιμών της ενεργείας για να φανεί ότι αυτά που εθεωρούντο ευκολίες έως πρόσφατα - ο διαχωρισμός των λειτουργιών στην πόλη, οι κυκλοφοριακοί άξονες ή ακόμη τα ελαφρά πετάσματα, οι υάλινες προσόψεις και ο κλιματισμός των οικοδομών - αποδεικνύονται προβληματικά για το μέλλον. Με αυτά τα δεδομένα μπορούμε να αναζητήσουμε τις ενδεχόμενες λύσεις σε διαφορετικές κατευθύνσεις με κοινό στόχο να μειωθεί η ενεργειακή κατανάλωση στην πόλη, ποσοτικά και ποιοτικά.

Ο ενεργειακός προγραμματισμός-σχεδιασμός του αστικού χώρου θέτει μια σειρά από προβλήματα (3). Οι παράμετροι τους είναι ταυτόχρονα πολιτικές (τρόπος παραγωγής, συγκεντρωτική ή αποκεντρωμένη διαχείριση), κοινωνικές (ταξική διάρθρωση, τρόποι ζωής, πολιτισμικοί χαρακτήρες) και πρακτικές (τοπικές πηγές ενέργειας). Κατά συνέπεια οι δυνατές λύσεις μπορούν να προκύψουν από διαφορετικές αφετηρίες και να ανταποκρίνονται σε διαφορετικά επίπεδα του προβλήματος.

Ο ρόλος του συνολικού σχεδιασμού των οικιστικών δομών είναι ακριβώς ο συντονισμός των επί μέρους μελετών που στοχεύουν στην βελτιστοποίηση των συγκεκριμένων παραγόντων που αναφέρονται στο κέλυφος του κτιρίου, στην οργάνωση των χρήσεων και στην ελαχιστοποίηση των

μετακινήσεων. Η κρίσιμη περιοχή είναι η διερεύνηση των διαλεκτικών σχέσεων που οι ανθρώπινες εγκαταστάσεις διατηρούν με τα βιοκλιματικά χαρακτηριστικά του τόπου· σχέσεις που προκύπτουν σε συνάρτηση με τα δεδομένα των τρόπων ιδιοποίησης του χώρου της πόλης και του κοινωνικά καθορισμένου επιπέδου άνεσης.

Μια συνολική ενεργειακή προσέγγιση της πόλης, στηρίζεται στην έννοια του αστικού μεταβολισμού (4) που θεωρεί την πόλη ως ένα οργανισμό διαρθρωμένο από συστήματα επικοινωνίας και ανταλλαγών, που εξαρτώνται από διαδοχικούς κύκλους σχετικούς με τους ρυθμούς της αστικής ανάπτυξης. Η πόλη αποτελεί ένα άμεσα εξαρτημένο σύστημα από την ενδοχώρα για την προμήθεια τροφίμων, πρώτων υλών και ενεργειακών προϊόντων. Η ροή αυτών των προμηθειών έχει ποικίλλες περιβαλλοντικές επιδράσεις. Μιά περισσότερο αναλυτική προσέγγιση - που προϋποθέτει την εμβάθυνση στην διερεύνηση των δομών ενεργειακής κατανάλωσης και την εκτίμηση τού βάρους των κυριοτέρων παραμέτρων - επιτρέπει τον υπολογισμό του ενεργειακού ισοζυγίου της πόλης και την επισήμανση των κλιματικών, φυσικών, κοινωνικών και γενικότερα γεωγραφικών παραγόντων που το επηρρεάζουν. Δεν είναι βέβαια δυνατό να αναπτυχθούν εδώ αναλυτικά οι παράγοντες που υπεισέρχονται στο αστικό ενεργειακό σύστημα. Επιγραμματικά μπορεί να επισημανθεί ότι η πόλη ως οικονομικό σύστημα και οικοσύστημα αποτελεί μια χωροκοινωνική δομή που για να λειτουργήσει καταναλώνει ενέργεια με πολλαπλούς τρόπους όπως:

- ενέργεια ενσωματωμένη στο δομημένο πλαίσιο (παραγωγή δομικών υλικών, εργοτάξια).
- ενέργεια για την θέρμανση - κλιματισμό των χώρων κατοικίας και εργασίας, για τη λειτουργία του οικιακού και του αστικού εξοπλισμού, που ποικίλλει ανάλογα με την τυπολογία και τη μορφολογία του αστικού ιστού.
- ενέργεια που χρησιμοποιείται για τις αστικές μετακινήσεις και ανταλλαγές, εξαρτημένη από την πυκνοδόμηση, τη δομή και τη χωροθέτηση των λειτουργικών περιοχών της πόλης.

Πιο συγκεκριμένα τα θεσμικά-προγραμματικά μέτρα που μπορούν να προταθούν για ένα πολεοδομικό σχεδιασμό στηριγμένο στην εξοικονόμηση ενέργειας και τη χρήση ηπίων μορφών της, κινούνται στις ακόλουθες κατευθύνσεις:

- επιλογή των καταλλήλων τύπων εγκατάστασης οικισμών σε σχέση με τα φυσικά διαθέσιμα και το κλίμα.

- κατάλληλη χωροθέτηση των λειτουργιών της πόλης, περιορισμός της άκριτης εφαρμογής του zoning, ανάμειξη των συμβιβαστών χρήσεων, ρύθμιση και ελαχιστοποίηση των καθημερινών εναλλασσομένων μετακινήσεων (κατοικία - εργασία - αναψυχή).
- μεγιστοποίηση του ηλιασμού-ηλιοπροστασίας και γενικότερα της κλιματικής προσαρμογής του αστικού ιστού εξασφαλίζοντας "το δικαίωμα στον ήλιο" με καταλλήλους πολεοδομικούς και κτιριοδομικούς κανονισμούς.
- σχεδιασμός καταλλήλου κλιματικού περιβλήματος στα κτίσματα και τον αστικό χώρο (μορφή-προσανατολισμός κατοικίας, οικιστικών διατάξεων, φυτεύσεις, ανεμοπροστασία, μονώσεις, εφαρμογή παθητικών και ενεργητικών συστημάτων).
- ενθάρρυνση της χρήσης τοπικών δομικών υλικών που παράγονται με ενδιάμεση τεχνολογία και ενσωματώνουν λιγότερη ενέργεια.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τις παραπάνω παρατηρήσεις διαφαίνεται ότι ο στόχος της εξοικονόμησης ενέργειας με τον κατάλληλο σχεδιασμό των οικισμών δεν μπορεί να επιτευχθεί μονοσήμαντα μέσα από καθαρά τεχνικά μέτρα και διαδικασίες. Κάτω από το γενικό τίτλο των ηπίων μορφών ενεργείας στην αρχιτεκτονική και την πολεοδομία συνδυάζονται συνήθως τα ενεργητικά και παθητικά ηλιακά συστήματα καθώς και όλες οι τεχνικές εξοικονόμησης ενέργειας στο κέλυφος του κτιρίου και στις μετακινήσεις. Πιστεύω όμως ότι η ηλιακή τεχνική πρέπει να εντάσσεται σε μια γενικότερη βιοκλιματική σύλληψη (6) της πόλης. Πρόκειται στην ουσία για μια άλλη μορφή σχεδιασμού του αστικού χώρου που τροφοδοτείται από τη συνειδητοποίηση μιας σειράς κριτηρίων και από την αξιοποίηση των πληροφοριών της τοπικής αρχιτεκτονικής που αγνοούνται στις περισσότερες περιπτώσεις. Μια τέτοια προσέγγιση θέτει σε αμφισβήτηση τη γενικότερη σύλληψη των ανθρωπίνων οικισμών, επανεξετάζοντας την έννοια της άνεσης, του τρόπου ζωής και της ενέργειας που ενσωματώνεται με έμμεσους τρόπους στον αστικό ιστό διαμέσου των μετακινήσεων, ανταλλαγών και των ίδιων των υλικών δόμησης. Στο σημείο αυτό εντοπίζεται και η αντίρρηση στην "τεχνοκρατική" αντιμετώπιση του ενεργειακού προβλήματος. Μια απλή τεχνολογική υποκατάσταση των ενεργειακών πηγών καθώς και η βελτίωση των υπαρχουσών τεχνικών εξοικονόμησης ενεργείας είναι βέβαια χρήσιμη, αλλά στον τομέα που μας ενδιαφέρει, υποκαθιστά απλά την πηγή ενεργείας που χρειάζεται για την θέρμανση-κλιματισμό των χώρων ή οδηγεί στον εξορθολογισμό των αμέσεων χρήσεων (ηλιασμός, μονώσεις, απώλειες κλπ). Είναι βέβαια αναγκαίο να επισημάνουμε ότι η συνολική αντιμετώπιση του ενεργειακού προβλήματος στην πόλη δεν μπορεί να νοηθεί χωρίς μεταβολές στη σφαίρα της κατανάλωσης και της κοινωνικής αναπαραγωγής. Η οργάνωση του αστικού χώρου σύμφωνα με τις αρχές αυτές αντιστοιχεί επίσης σ'ένα άλλο τρόπο χρήσης της πόλης και γενικότερα σ' ένα άλλο τρόπο ζωής και κατανάλωσης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

(1) Le Corbusier, 1957, La Charte d' Athènes, Paris, éd. de Minuit, p. 41.

(2) Le Corbusier, op. cit, p. 100

(3) Η πολυπλοκότητα των προβλημάτων είναι ίσως μια από τις αιτίες που οι συνολικές θεωρήσεις του ενεργειακού πολεοδομικού σχεδιασμού είναι λιγοστές. Μεταξύ αυτών αναφέρουμε:

- G. Bardet, Le facteur soleil en urbanisme, Techniques et Architecture, juillet, 1943.
- Cl. Chaline, J. Dubois-Maury, Energie et Urbanisme, Paris, PUF, 1983.
- D. Drouet, Adaptation urbaine et mutations énergétiques, Paris, CRU, 1979.
- H. Mathieu, Etude sur les relations entre problèmes énergétiques et aménagement urbain, Paris, CRU, 1978
- S. Owens, Energy, urban form and planning, Univ. of Notingham, 1980.
- M. Tilmont, L' infléchissement des politiques urbaines aux Etats-Unis en faveur d' économie d' énergie, Paris, CRU, 1978

(4) Για μια μακροσκοπική θεώρηση της πόλης ως ζωντανού κυττάρου με μηχανισμούς μεταβολισμού βλ:

J. de Rosnay, L' énergie et la ville: L' impact de cette question sur la société, Urbanisme, 171/1979, p. 37.

(5) Από τα πολυάριθμα άρθρα και βιβλία για την βιοκλιματική αρχιτεκτονική συνολικότερη προσέγγιση στο πρόβλημα γίνεται κατά την άποψή μου στο έργο των:

J-L. Izard, A. Guyot, Arhi bio., Paris,Parenthêses, 1979.

ΗΜΟ-21

# ΚΟΣΤΟΣ ΚΨΗ ΣΕ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΤΜΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΛΑΜΒΑΝΟΝΤΑΣ ΥΠΟΨΗ ΤΟΝ ΕΞΕΡΓΕΙΑΚΟ ΒΑΘΜΟ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

Δρ. Χημικός-Μηχανικός Π. ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΟΥ
Ελληνική Βιομηχανία Ζάχαρης

ΠΕΡΙΛΗΨΗ:
Η συνηθισμένη μέθοδος που περιγράφεται στην βιβλιογραφία για τον υπολογισμό του κόστους της kWh που παράγεται σε εργοστάσιο συμπαραγωγής ατμού-ηλεκτρισμού είναι να διαιρεθεί το μηχανικό ισοδύναμο της θερμότητας 3600 kJ/kWh με την απόδοση της στροβιλογεννήτριας (0,70)και την θερμική απόδοση του λέβητα (0,90). Αυτός ο τρόπος υπολογισμού οδηγεί σε τιμές γύρω στις 5400 kJ/kWh που είναι πολύ χαμηλές, περίπου το μισό απ'αυτές που επιτυγχάνονται σε ένα συμβατικό θερμοηλεκτρικό σταθμό με στροβίλους κενού. Ο σωστός τρόπος υπολογισμού που προτείνουμε είναι να ληφθεί υπόψη ο εξεργειακός βαθμός απόδοσης του λέβητα(0,35-0,50) που βελτιώνεται με την αύξηση της πίεσης και υπερθέρμανσης του ατμού. Αυτή η μέθοδος οδηγεί σε κόστος σε διατιθεμένες kJ/kWh αρχικού καυσίμου όμοιο πρός τιμές που επιτυγχάνονται σ'ένα θερμοηλεκτρικό σταθμό.

ΛΕΞΕΙΣ - ΚΛΕΙΔΙΑ: Κόστος kWh, συμπαραγωγή ατμού-ηλεκτρισμού,εξέργεια, εργοστάσια ζάχαρης, ατμολέβητες, στρόβιλοι αντίθλιψης.

## 1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ:

Η Ελληνική Βιομηχανία Ζάχαρης διαθέτει 5 εργοστάσια που λειτουργούν παραγωγικά απο τα μέσα Αυγούστου μέχρι τα τέλη Νοεμβρίου. Στα εργοστάσια εφαρμόζεται η συμπαραγωγή ατμού-ηλεκτρισμού με ατμοστρόβιλους αντίθλιψης. Η εγκαταστημένη ισχύς είναι: Λάρισα 12 MW, Πλατύ 12 MW, Σέρρες 6MW, Ξάνθη 16 MW , Ορεστιάδα 10MW . Σύνολο 56 MW.
Στο τέλος του 1984 ερευνήθηκε η δυνατότητα να διατεθεί ηλεκτρική ενέργεια στο δημόσιο δίκτυο κατά την διάρκεια της καμπάνιας απο τα 5 εργοστάσια ζάχαρης.
Αυτή είναι μια συνήθης πρακτική σε πολλά εργοστάσια ζάχαρης του εξωτερικού αλλά συνήθως η τιμή της διατιθέμενης kWh στο δίκτυο, είναι χαμηλότερη απο την τιμή της αγοραζόμενης kWh απο το δημόσιο δίκτυο. Για το θέμα της εκτίμησης του κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας προτάθηκε απο την πλευρά της Ελληνικής Βιομηχανίας Ζάχαρης στην Δ.Ε.Η. να γίνει μια ανταλλαγή . Είναι γνωστό ότι τα εργοστάσια

ζάχαρης παίρνουν ηλεκτρική ενέργεια απο το δημόσιο δίκτυο κατά την διάρκεια της περιόδου συντήρησης. Θα ήταν δυνατόν να αποδίδεται μια ίση ποσότητα ηλεκτρισμού κατά την διάρκεια της παραγωγικής περιόδου (καμπάνιας) απο ένα μόνο εργοστάσιο για να καλύπτει τις ανάγκες σε ηλεκτρισμό των πέντε ζαχαρουργείων κατά την διάρκεια της συντήρησης. Αυτή η πρόταση δεν έγινε δεκτή απο την Δ.Ε.Η. Έθεσαν το ερώτημα ποιό θα ήταν το κόστος μιάς kWh που παράγεται σ'ένα εργοστάσιο ζάχαρης κατά την διάρκεια της καμπάνιας.

## 2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΟΣΤΟΥΣ KWH ΜΕ ΒΑΣΗ ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ.

Μια απλή μέθοδος που περιγράφεται στην βιβλιογραφία (3,4, 5,6,7) είναι να διαιρεθεί το μηχανικό ισοδύναμο της θερμότητας 3600 kJ/kWh με τον βαθμό απόδοσης της στροβιλογεννήτριας (0,70) και τον ενθαλπικό (ενεργειακό) βαθμό απόδοσης του ατμολέβητα (0,85-0,90) . Μερικές φορές αντί για τον βαθμό απόδοσης της στροβιλογεννήτριας (0,70) χρησιμοποιείται μόνο ο βαθμός απόδοσης της ηλεκτρογεννήτριας (0,95).
Τελικά είναι δυνατόν να βρεθεί το κόστος των απομακρυνόμενων kJ/kWh με αναφορά στην τιμή του καυσίμου και την αντίστοιχη θερμογόνο του δύναμη.
Αυτός ο τρόπος υπολογισμού οδηγεί σε τιμές 4.200 έως 5700 kJ/kWh που είναι πολύ χαμηλές, περίπου το 1/3 έως το 1/2 των τιμών που επιτυγχάνονται σε ένα κλασσικό θερμοηλεκτρικό σταθμό με ατμοστρόβιλο κενού.

## 3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΟΣΤΟΥΣ KWH ΜΕ ΒΑΣΗ ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΕΞΕΡΓΕΙΑΣ.

Το γεγονός ότι αυτός ο τρόπος υπολογισμού δεν είναι σωστός και είναι επιφανειακός γιατί συγκρίνει όχι όμοιες ποσότητες και ποιότητες ενέργειας διευκρινίστηκε το 1962 απο τον Rant και το 1964 απο τον Baloh(1).
Εγραψε ο Rant : "Με την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος σε στροβίλους αντίθλιψης δεν μειώνονται τα έξοδα παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, αλλά μειώνεται το κόστος για την θέρμανση"(2).
Ο καθηγητής Baloh έγραψε: " Η γενική άποψη ότι η ηλεκτροπαραγωγή σε στρόβιλο αντίθλιψης είναι χωρίς κόστος δεν είναι σωστή. Ο σωστός επιμερισμός του κόστους των καυσίμων στην παραγωγή ενέργειας και στην αναγκαία θερμότητα για σκοπούς θέρμανσης μπορεί εύκολα να υπολογισθεί με την βοήθεια των εξεργειακών ροών. Σε μια λειτουργία αντίθλιψης ανέρχεται η ροή εξέργειας του ατμού θέρμανσης $E_h$ και η ροή εξέργειας για παραγωγή ενέργειας $E_{el}$. Στην $E_{el}$ περιλαμβάνονται οι απώλειες στον στρόβιλο και στην γεννήτρια. Η αναγκαία ποσότητα καυσίμου για την παραγωγή του ζωντανού ατμού κατανέμεται ως εξής:
Στην παραγωγή ενέργειας επιμερίζονται:

$$B_{el} = \frac{E_{el}}{E_{el}+E_h} \cdot m_B \qquad (1)$$

Στην απαιτούμενη θερμότητα για σκοπούς θέρμανσης επιμερί-

ζονται:

$$B_h = \frac{E_h}{E_{el}+E_h} \cdot m_B \qquad (2)$$

Τα δύο μαζί δίνουν την συνολική κατανάλωση καυσίμου

$$B_{el}+B_h = m_B \qquad (3)$$

Το άθροισμα $E_{el}+E_h$ παριστάνει επίσης την εξεργειακή ροή του ζωντανού ατμού.
Ετσι ο Rant ανασκεύασε την άποψη ότι το ηλεκτρικό ρεύμα δεν στοιχίζει τίποτε σε εγκατάσταση στροβιλογεννήτριας αντίθλιψης" (1) (2)
Είναι αξιοσημείωτο ότι μετά το γράψιμο αυτών των γραμμών το 1962 και το 1964 δημοσιεύτηκαν πολλά άρθρα και βιβλία με υπολογισμό του κόστους του ηλεκτρικού ρεύματος σε εγκατάσταση συμπαραγωγής με τον απλό τρόπο του ισοζυγίου ενθαλπίας όπως περιγράφηκε προηγούμενα (3,4,5,6,7).

## 4. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΚΑΙ ΕΞΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΟΥ ΑΤΜΟΛΕΒΗΤΑ (8)

Ο ενεργειακός βαθμός απόδοσης του ατμολέβητα δίνεται απο τον ακόλουθο τύπο:

$$\eta_\kappa = \frac{\dot{m}\,(h_2-h_1)}{\dot{m}_B\ \Delta h_u} \qquad (4)$$

Ο εξεργειακός βαθμός απόδοσης του λέβητα δίνεται απο τον ακόλουθο τύπο:

$$\zeta_\kappa = \eta_\kappa \frac{\Delta h_u}{e_B}\left(1 - T_u \frac{s_2-s_1}{h_2-h_1}\right) \qquad (5)$$

Η έκφραση $\frac{h_2-h_1}{s_2-s_1}$ ονομάζεται μέση θερμοδυναμική θερμοκρασία και ο τύπος γίνεται:

$$\zeta_\kappa = \eta_\kappa \frac{\Delta h_u}{e_B}\left(1 - \frac{T_u}{T_m}\right) \qquad (6)$$

Για απλοποίηση των υπολογισμών γίνεται δεκτό, ότι η εξέργεια του καυσίμου ισούται με την κατώτερη θερμογόνο του δύναμη ($e_B \simeq \Delta h_u$) .
Σε σύγχρονους ατμολέβητες ο ενεργειακός βαθμός απόδοσης $\eta_\kappa$ έχει τιμές που είναι πάνω απο 0,9, περίπου 0,92.
Το μέγεθος $\eta_\kappa$ δεν μας πληροφορεί για την θερμοδυναμική πληρότητα της ενεργειακής μετατροπής κατά την έννοια του δευτέρου θερμοδυναμικού αξιώματος.
Ο εξεργειακός βαθμός απόδοσης $\zeta_\kappa$ μας δίνει ποιό τμήμα της εξέργειας του καυσίμου ξαναβρίσκεται σαν επιθυμητή αύξηση της εξέργειας του υδρατμού. Ο εξεργειακός

βαθμός απόδοσης αξιολογεί σε αντίθεση πρός τον $\eta_{\text{ν}}$ την ενεργειακή μετατροπή που γίνεται στον ατμολέβητα. Ο εξεργειακός βαθμός απόδοσης $\zeta_{\text{ν}}$ έχει τιμές απο 0,35 μέχρι 0,50 ανάλογα με την υπερθέρμανση και πίεση του υδρατμού (9). Σ'αυτόν τον χαμηλό βαθμό εξεργειακής απόδοσης εμφανίζονται οι υψηλές εξεργειακές απώλειες του λέβητα. Τις σημαντικές απώλειες δεν αποτελούν οι "παραπλανητικές" ενέργειες που περιέχονται στον όρο $\eta_{\text{ν}}$ αλλά οι μη αντιστρεπτές διεργασίες της καύσης και της μεταφοράς θερμότητας που μετατρέπουν περίπου το μισό της εξέργειας του καυσίμου που παρέχεται σε ανέργεια που όχι μόνο χάνεται για τις μετατροπές ενέργειας που ακολουθούν, αλλά σύγχρονα είναι και κάτι άχρηστο που μεταφέρεται και τελικά πρέπει να αποδοθεί στο περιβάλλον. Ο ατμολέβητας αποδείχνεται σαν πηγή μεγάλων εξεργειακών απωλειών που καθόλου δεν εκφράζεται στον ενεργειακό βαθμό απόδοσης $\eta_{\text{ν}}$ (8).

## 5. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στον πίνακα 1 με εφαρμογή του τύπου (5) και με την παραδοχή σταθερής τιμής για τον ενεργειακό βαθμό απόδοσης $\eta_{\text{ν}}=0,90$ υπολογίζεται ο εξεργειακός βαθμός απόδοσης για διαφορετικές βαθμίδες πίεσης και θερμοκρασίας. Παρατηρούμε ότι μόνο με ανύψωση της υπερθέρμανσης και πίεσης του ατμού δηλαδή με ανύψωση της μέσης θερμοδυναμικής θερμοκρασίας βελτιώνεται ο εξεργειακός βαθμός απόδοσης και μάλιστα απο $\zeta=0,352$ για 25 bar 280°C σε $\zeta=0,459$ για 300 bar και 550°C .

Μέχρι τον Ιούλιο του 1985 η τιμή του καυσίμου με 40 MJ/kg κατώτερη θερμογόνο δύναμη ήταν 22,5 δρχ/kg δηλαδή 0,5625 δρχ/MJ . Σύγχρονα η τιμή εισαγόμενου γαιάνθρακα με 26 MJ/kg κατώτερη θερμογόνο δύναμη ήταν 8,5 δρχ/kg δηλαδή 0,3269 δρχ/MJ.

Η τιμή μιάς kWh που αγοράζεται απο το εθνικό δίκτυο είναι 7,5 μέχρι 9 δρχ. Αυτή η τιμή μειώνεται στις 3 δρχ/kWh σε ειδικές περιπτώσεις βιομηχανικών καταναλωτών μη διακοπτόμενης συνεχούς ετήσιας απόληψης και μόνο κατά τις νυχτερινές ώρες. Αυτή δεν είναι η περίπτωση της Ελληνικής Βιομηχανίας Ζάχαρης.

Στον πίνακα 2 υπολογίζονται με βάση τις τιμές του εξεργειακού συντελεστή του πίνακα 1 το κόστος της kWh που παράγεται σ'ένα εργοστάσιο ζάχαρης με στρόβιλους αντίθλιψης, με αναφορά στην εξέργεια του καυσίμου.

Στην στήλη Α του πίνακα 2 υπολογίζεται το κόστος της kWh που θα μπορούσε να διατεθεί στο δημόσιο δίκτυο λαμβάνοντας υπόψη μόνο την αξία του καυσίμου και όχι την απόσβεση κεφαλαίου, κόστος προσωπικού κλπ.

Με αύξηση της πίεσης και υπερθέρμανσης του ατμού δηλαδή με αύξηση της μέσης θερμοδυναμικής θερμοκρασίας μειώνεται το κόστος της kWh απο 8,22 δρχ/kWh για 25 bar 280°C σε 6,30 δρχ/kWh για 300 bar 550°C.

Η πίεση που χρησιμοποιείται στην βιομηχανία ζάχαρης είναι μέχρι 100 bar σαν μέγιστο. Στην Ελληνική Βιομηχανία Ζάχαρης χρησιμοποιούμε λέβητες με πίεση 45 bar και 450°C θερμοκρασία ατμού.

Σαν καύσιμο χρησιμοποιείται μαζούτ. Θα ήταν προφανώς οικονομικότερο αντί για μαζούτ να χρησιμοποιηθεί άνθρακας γιατί όπως προαναφέρθηκε η τιμή ανά MJ του άνθρακα είναι 58% της τιμής ανά MJ στο μαζούτ. Αυτή η αλλαγή της τιμής του πρωταρχικού καυσίμου θα μπορούσε να μειώσει τις δαπάνες της παραγόμενης kWh. Η αλλαγή όμως του λέβητα από καύση μαζούτ σε καύση άνθρακα είναι συνδεδεμένη με μεγάλες δαπάνες επένδυσης που δύσκολα βρίσκουν απόσβεση σε εποχική λειτουργία 3 μηνών τον χρόνο.
Το υψοζύγιο ενθαλπίας δίνει τις ίδιες τιμές σε kJ/kWh ανεξάρτητα απο την πίεση και υπερθέρμανση του ατμού και αντίστοιχα τιμή 3,21 δρχ/kWh(στήλη Β) διατηρείται σταθερή σ'όλη την κλίμακα των πιέσεων και θερμοκρασιών του ατμού πράγμα που δεν είναι λογικό.
Επειδή δεν επιτεύχθηκε συμφωνία με την Δ.Ε.Η. για την πώληση ηλεκτρισμού στο εθνικό δίκτυο σε λογικές τιμές η Ε.Β.Ζ. αποφάσισε να αξιοποιήσει την περίσσεια της ενέργειας για την εφαρμογή του συστήματος θερμοσυμπίεσης που εφαρμόσθηκε στο Πλατύ το 1981,στις Σέρρες το 1984 και στην Λάρισα το 1985. Με την χρησιμοποίηση της θερμοσυμπίεσης επιτυγχάνεται καλύτερη αξιοποίηση του καυσίμου (10,11,12) χρησιμοποιώντας την εξέργεια του ατμού που κανονικά στραγγαλίζεταιμέσω μιάς βαλβίδας μείωσης της πίεσης. Πρόταση για εφαρμογή συμπαραγωγής ατμού-ηλεκτρισμού στην βιομηχανική περιοχή Θεσ/νίκης έγινε απο μια ομάδα μελέτης του Τ.Ε.Ε. στην οποία συμμετείχε ο γράφων το 1980. (13)

Σύμβολα

| | | |
|---|---|---|
| e | kJ/kg | Ειδική εξέργεια της ενθαλπίας |
| E | kJ | Εξέργεια |
| h | kJ/kg | Ειδική ενθαλπία |
| $\Delta h_u$ | kJ/kg | Κατώτερη θερμογόνα δύναμη |
| $\dot{m}$ | kJ/s | Ροή μάζας |
| m | kg | Μάζα |
| s | kJ/kgK | Ειδική εντροπία |
| T | k | Θερμοδυναμική θερμοκρασία |
| ζ | 1 | Εξεργειακός βαθμός απόδοσης λέβητα |
| η | 1 | Ενεργειακός βαθμός απόδοσης λέβητα |

Δείκτες

| | |
|---|---|
| B | Καύσιμο |
| el | Ηλεκτρικό |
| h | Θέρμανση |
| u | Περιβάλλον |
| K | Λέβητας |
| 1,2... | Καταστάσεις 1,2....(νερό, ατμός) |

ΠΙΝΑΚΑΣ 1

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΞΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΒΑΘΜΟΥ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΑΤΜΟΛΕΒΗΤΑ

$\zeta_{\kappa}=\eta_{\kappa}(1-T_u \cdot \frac{s_2 - s_1}{h_2 - h_1})$, $T_u$ =293K, $\eta_{\kappa}$ = 0,90

| α/α | ατμός P | ατμός °C | ενθαλπία h kJ/kg | εντροπία s kJ/kgK | εξεργειακός βαθμός απόδ. $\zeta_{\kappa}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 1,0 | 90 | 377,0 | 1,1925 | νερό τροφοσίας |
| 1 | 25 | 280 | 2960,3 | 6,5580 | 0,352 |
| 2 | 50 | 450 | 3317,5 | 6,8217 | 0,395 |
| 3 | 75 | 500 | 3403,0 | 6,7545 | 0,416 |
| 4 | 100 | 500 | 3374,6 | 6,5994 | 0,424 |
| 5 | 125 | 500 | 3343,3 | 6,4654 | 0,431 |
| 6 | 150 | 500 | 3310,6 | 6,3487 | 0,437 |
| 7 | 200 | 520 | 3304,2 | 6,2262 | 0,447 |
| 8 | 250 | 520 | 3237,5 | 6,0568 | 0,448 |
| 9 | 300 | 520 | 3166,6 | 5,9014 | 0,455 |
| 10 | 300 | 550 | 3277,4 | 6,0386 | 0,459 |

ΠΙΝΑΚΑΣ 2

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΟΣΤΟΥΣ KWH ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΕΞΕΡΓΕΙΑΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ(Α) ΚΑΙ ΕΝΘΑΛΠΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ (Β) ΤΟΥ ΛΕΒΗΤΑ.

| α/α | $\zeta_{\kappa}$ | kJ/kWh 3600/o,70.$\zeta_{\kappa}$ | A δρχ/kWh | kJ/kWh 3600/0,70.0,90 | B δρχ/kWh |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,352 | 14610,4 | 8,22 | 5714,3 | 3,21 |
| 2 | 0,395 | 13019,9 | 7,32 | 5714,3 | 3,21 |
| 3 | 0,416 | 12362,6 | 6,95 | 5714,3 | 3,21 |
| 4 | 0,424 | 12129,4 | 6,82 | 5714,3 | 3,21 |
| 5 | 0,431 | 11932,4 | 6,71 | 5714,3 | 3,21 |
| 6 | 0,437 | 11768,6 | 6,62 | 5714,3 | 3,21 |
| 7 | 0,447 | 11505,3 | 6,47 | 5714,3 | 3,21 |
| 8 | 0,448 | 11479,6 | 6,46 | 5714,3 | 3,21 |
| 9 | 0,455 | 11303,0 | 6,36 | 5714,3 | 3,21 |
| 10 | o,459 | 11204,5 | 6,30 | 5714,3 | 3,21 |

Προϋποθέσεις: τιμή καυσίμου μαζούτ 22,5 δρχ/kg(μέχρι Ιούλιο 1985) μαζούτ με 40 MJ/kg κατώτερη θερμογόνο δύναμη.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Baloh T. Energie-erzeugung in der Zuckerfabrik in "Exergetische Untersuchungen in der Zuckerfabrik". Zucker 9, (1964), 240.

2. Rant Z. Die Heiztechnik und der zweite Hauptsatz der Thermodynamik, Gas,Wasser,Wärme 12,297-304 (1962).

3. Achim Weise Energieeinsparung und-Kostensenkung bei der Dampf-Wärmenutzung und Eigenstromerzeugung, Beuth Verlag, (1975) 54,55.

4. Mühlhausen F, Dampf und Kraft in "Technologie des Zuckers" Verlag Schaper (1968) 703.

5. A.E.G. Manual, 8th Edition (1966)

6. Benis Th. and Christodoulou P., The cost per kWh in a Sugar Factory H.S.I. Quaterly Bulletin,30 (1977) 343-363.

7. Huber H. und Stolz W. Über die Wirtschaftlichkeit der elektrischen Energieerzeugung für einen zu errichtende Zuckerfabrik, Zucker (1969),179

8. Baehr H.D. Θερμοδυναμική,επιμέλεια Κ.Ν. Πάττα, Θεσ/νίκη (1978), 406-412.

9. Baloh T. Exergie, Berlin (1982),55

10. Christodoulou P., Operation Experiences with the application of a Heat Pump System in the Evaporation Station of a Sugar Factory. XVII General Assembly C.I.T.S. Copenhagen 1983, 291-314

11. Christodoulou P., Betriebserfahrungen mit dem Einsatz einer Wärmepumpe in der Verdampfstation einer Zuckerfabrik. Zuckerind.109 (1984) Nr. 7, 628-634.

12. Χριστοδούλου Π. Εφαρμογή συστήματος αντλίας θερμότητας στον σταθμό εξάτμισης στο εργοστάσιο Ζάχαρης Πλατέος, Πρώτο εθνικό συνέδριο, Ηπιες Μορφές Ενέργειας τομ.β' Θεπ.1-21, Θεσ/νίκη (1982).

13. Γκαλιτσόπουλου Μ. Παγκαλίδης Ν. Παυλίδου Ν. Χριστοδούλου Π .Ορθολογική κάλυψη ενεργειακών αναγκών βιομηχανικών περιοχών (συμπαραγωγή ατμού-ηλεκτρισμού), Θεσ/νίκη (1980).

ΗΜΟ-29

ΤΙΤΛΟΣ ΕΙΣΗΓΗΣΗΣ: ΕΝΑ ΜΟΝΤΕΛΟ ΓΙΑ ΤΙΣ ΗΠΙΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΙΣ ΚΥΚΛΑΔΕΣ

ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ: Α. ΛΕΛΕΔΑΚΗΣ (Διπλ. Χημ. Μηχ. ΕΜΠ)
Θ. ΓΚΟΥΜΑΣ (Διπλ. Μηχ. Ηλ. ΕΜΠ)
Μ. ΣΑΜΟΥΗΛΙΔΗΣ (Αν. Καθηγητής ΕΜΠ)
ΟΜΑΔΑ ΕΡΕΥΝΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΕΜΠ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Στην εργασία αυτή χρησιμοποιείται ένα μοντέλο γραμμικού προγραμματισμού που απεικονίζει το ενεργειακό σύστημα των Κυκλάδων για να εξετασθούν οι τάσεις του συστήματος αυτού, με ιδιαίτερη βαρύτητα στην ανταγωνιστικότητα των ηλιακών, αιολικών και γεωθερμικών συστημάτων σε ήπια χρήση.

Τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν την αρχική υπόθεση ότι οι ήπιες μορφές ενέργειας αποδεικνύονται οικονομικά ανταγωνιστικές όταν δεν εξετάζονται για το σύνολο της χώρας αλλά σε τοπική κλίμακα.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: ήπιες μορφές ενέργειας, οικονομική ανταγωνιστικότητα, ενεργειακά μικροσυστήματα, γραμμικός προγραμματισμός.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Παρά το σημαντικό δυναμικό ήπιων μορφών ενέργειας (ηλιακή, αιολική, γεωθερμική, υδροδυναμικό) που διαθέτει η Ελλάδα, η οικονομική ανταγωνιστικότητα αυτών των ενεργειακών πηγών είναι περιορισμένη όταν εξετάζονται για το σύνολο της χώρας. Αυτό είναι φανερό και από τα αποτελέσματα μοντέλων βελτιστοποίησης του ενεργειακού συστήματος της χώρας για ένα ορισμένο χρονικό ορίζοντα (1), (13).

Σε περιοχές όμως της χώρας όπου, ενώ είναι σχετικά απομακρυσμένες, λείπουν τοπικές ενεργειακές πηγές συμβατικών καυσίμων με αποτέλεσμα το κόστος της χρησιμοποιούμενης ενέργειας να είναι υψηλό, είναι πιθανό η χρήση των ήπιων μορφών ενέργειας, πέρα από τα άλλα πλεονεκτήματά της, να αποδειχθεί και οικονομικά συμφέρουσα.
Για να εξετασθεί η υπόθεση αυτή δημιουργήθηκε ένα μοντέλο που απεικονίζει το ενεργειακό σύστημα των Κυκλάδων, ενός χώρου που ενώ έχει αξιόλογο δυναμικό ηλιακής και αιολικής ενέργειας (11) και έχει ένα από τα μεγαλύτερα γεωθερμικά πεδία στην Ελλάδα (Μήλος, (3), (10)), σήμερα βασίζεται ενεργειακά αποκλειστικά σχεδόν σε υγρά καύσιμα, που μεταφέρονται από την ηπειρωτική Ελλάδα (7), με αποτέλεσμα το κόστος της ενέργειας να είναι ψηλό, ιδιαίτερα στην παραγωγή ηλεκτρισμού (6), (4). Παράλληλα, η πυκνότητα ζήτησης ενέργειας στις Κυκλάδες είναι αρκετά χαμηλή ώστε οι ήπιες μορφές να μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά σε τοπικούς σταθμούς παραγωγής (9). Οι Κυκλάδες μπορούν να θεωρηθούν σαν αντιπροσωπευτικό τμήμα του νησιωτι-

κού χώρου του Αιγαίου, εκτός της Κρήτης, και τα συμπεράσματα από τη μελέτη του ενεργειακού τους συστήματος να επεκταθούν και στα άλλα νησιά.

## 2. ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΜΕΣ-ΠΚ

Το ΜΕΣ-ΠΚ (Μοντέλο Ενεργειακού Συστήματος - Περιφερειακό Κυκλάδων) είναι ένα μοντέλο που βασίζεται στο γραμμικό προγραμματισμό για να επιλύσει το πρόβλημα της βέλτιστης σύνθεσης των τεχνολογιών παραγωγής, μετατροπής και κατανάλωσης ενέργειας για μια σειρά χρονικών περιόδων μέχρι το 2020. Η βελτιστοποίηση γίνεται με κριτήριο το ελάχιστο συνολικό κόστος του ενεργειακού τομέα ή, εναλλακτικά, το ελάχιστο κόστος των εισαγόμενων - από την υπόλοιπη χώρα - καυσίμων.

Το ΜΕΣ-ΠΚ βασίζεται στο ΜΕΣ-6/EFOM 12C, μοντέλο που έχει δημιουργηθεί για το σύνολο του ενεργειακού συστήματος της Χώρας (13). Αποτελείται από μία τράπεζα πληροφοριών, ένα δίκτυο κλάδων-κόμβων που απεικονίζει το ενεργειακό σύστημα των Κυκλάδων, ένα πρόγραμμα βελτιστοποίησης και ένα προσομοίωσης.

Περιλαμβάνει 6 υποσυστήματα: Υγρών καυσίμων, Ήπιων μορφών ενέργειας, Παραγωγής Ηλεκτρισμού, Βιομηχανίας-Γεωργίας, Μεταφορών και Οικιακού -Εμπορικού τομέα. Κάθε υποσύστημα αποτελείται από επί μέρους τεχνολογίες που καλύπτουν την παραγωγή, μεταφορά, διανομή και τελική χρήση διάφορων ενεργειακών μορφών.

Στο μοντέλο εξετάζεται η δυνατότητα υποκατάστασης τεχνολογιών που χρησιμοποιούν υγρά καύσιμα από αντίστοιχες που χρησιμοποιούν ήπιες πηγές (ηλιακή, αιολική, γεωθερμία) στα υποσυστήματα Ηλεκτροπαραγωγής και Οικιακής-Εμπορικής Χρήσης. Τα τεχνικά και οικονομικά στοιχεία για τις διάφορες τεχνολογίες προέρχονται από τις αντίστοιχες ελληνικές εγκαταστάσεις και από διεθνή βιβλιογραφία (14, 12, 11, 5).

Οι περίοδοι που εξετάζονται είναι 1983-86, 1986-90, 1990-2000, 2000-2020. Για κάθε περίοδο καθορίζεται εξωγενώς η αναμενόμενη ζήτηση ενέργειας για κάθε υποσύστημα κατανάλωσης καθώς και οι τιμές των υγρών καυσίμων, που προβλέπονται.

Για να εξετασθούν διάφορες υποθέσεις χρησιμοποιούνται εναλλακτικά σενάρια. Αυτά πέρα από το σενάριο αναφοράς, περιλαμβάνουν ένα σενάριο αυξημένης ζήτησης και ένα σενάριο που εξετάζει τη διασύνδεση με υποβρύχια καλώδια μικρών νησιών με τη Μήλο. Ένα ακόμη σενάριο με διαφορετική αντικειμενική συνάρτηση (το ελάχιστο κόστος των εισαγομένων από την υπόλοιπη χώρα υγρών καυσίμων) χρησιμοποιείται για τη διερεύνηση των ορίων του συστήματος.

## 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

Τα αποτελέσματα της βελτιστοποίησης είναι ενθαρρυντικά για τη χρήση των ήπιων μορφών ενέργειας. Με κριτήριο το ελάχιστο κόστος του ενεργειακού τομέα για το σύνολο των εξεταζόμενων περιόδων (1983-2020) η συμμετοχή των ήπιων μορφών στην πρωτογενή ενέργεια ανεβαίνει από 0,18% το 1983 σε 16,65% το 2000 και 25,46% το 2020 (σχήμα 1).

Η συμμετοχή των ήπιων μορφών ενέργειας είναι ιδιαίτερα σημαντική για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Λόγω του μεγάλου κόστους λειτουργίας των αυτόνομων σταθμών παραγωγής που χρησιμοποιούν ντήζελ, και σε μικρότερο βαθμό μαζούτ, προτιμούνται οι γεωθερμικοί σταθμοί (μόνο

για τη Μήλο) και οι αιολικοί. Η χρήση φωτοβολταϊκών στοιχείων για την παραγωγή ηλεκτρισμού αποδεικνύεται συμφέρουσα μόνο μετά την σημαντική μείωση της τιμής τους που έχει θεωρηθεί μετά το 2000 και πάλι μόνο συγκριτικά με τους σταθμούς ντήζελ. Έτσι, η σειρά με την οποία προτιμά τις τεχνολογίες ηλεκτροπαραγωγής το μοντέλο με οικονομικά κριτήρια είναι:
(i) γεωθερμία, (ii) αιολικά και μαζούτ, (iii) φωτοβολταϊκά (μετά το 2000) και (iv) ντήζελ. Στο σχήμα 2 δίνεται η σύνθεση της ηλεκτροπαραγωγής για το σενάριο αναφοράς. Οι σταθμοί παραγωγής που χρησιμοποιούν μαζούτ εντοπίζονται στα μεγαλύτερα νησιά. Η παραγωγή των αιολικών συστημάτων περιορίζεται σε ένα ποσοστό της συνολικής παραγωγής γιατί δεν προβλέπονται εγκαταστάσεις αποθήκευσης (11,14). Τέλος, η γεωθερμία περιορίζεται εξωγενώς στο νησί της Μήλου.

Αντίθετα, τα παραδοσιακά συστήματα θέρμανσης χώρων με χρήση ντήζελ φαίνονται πιο ανταγωνιστικά από διάφορα συστήματα με χρήση ηλιακών συλλεκτών σε συνδυασμό με ηλεκτρισμό ή ντήζελ που εξετάστηκαν για τον Οικιακό-Εμπορικό τομέα. Μόνο για θέρμανση νερού προτιμούνται οι ηλιακοί θερμοσίφωνες. Η χρήση των γεωθερμικών ρευστών στη Μήλο για περιφερειακή θέρμανση σε συνδυασμό με την παραγωγή ηλεκτρισμού επίσης κρίνεται συμφέρουσα.

## 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΛΟΙΠΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ

Τα αποτελέσματα του σενάριου αυξημένης ζήτησης είναι τελείως αντίστοιχα με το σενάριο αναφοράς με αυξημένες βέβαια τις τιμές των μεγεθών. Τα ποσοστά συμμετοχής όμως των ήπιων μορφών παραμένουν τα ίδια, πράγμα που σημαίνει ότι τα συμπεράσματα ισχύουν για ένα σημαντικό εύρος εξέλιξης της ζήτησης.

Η διασύνδεση με υποβρύχια καλώδια των νησιών Σίφνος, Σύρος, Τήνος και Άνδρος με τη Μήλο ώστε να εκμεταλευτούμε πληρέστερα το γεωθερμικό δυναμικό του νησιού, επίσης κρίνεται οικονομικά συμφέρουσα από το μοντέλο, παρά το υψηλό κόστος των καλωδίων (5). Έτσι στα αποτελέσματα του σενάριου διασύνδεσης το ποσοστό συμμετοχής των ήπιων μορφών φτάνει στο 29% το 2000 και στο 40% το 2020 γιατί αρκετοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής με μαζούτ και ντήζελ αντικαθίστανται (Σχήμα 3,4). Πρέπει να σημειωθεί, αν και δεν εξετάζεται από το μοντέλο, ότι η παραπέρα σύνδεση της Άνδρου με την Εύβοια και το Εθνικό Δίκτυο φαίνεται να είναι συμφέρουσα.

Τέλος, στο σενάριο που χρησιμοποιείται σαν αντικειμενική συνάρτηση η ελαχιστοποίηση του κόστους των υγρών καυσίμων που εισάγονται στις Κυκλάδες, προτιμούνται μετά το 1990, όπου υπάρχουν δυνατότητες υποκατάστασης, αποκλειστικά τεχνολογίες που δεν χρησιμοποιούν υγρά καύσιμα. Βέβαια, η λύση αυτή δεν αντιπροσωπεύει μία πιθανή εξέλιξη του ενεργειακού συστήματος είναι όμως χρήσιμη για να προσδιορισθεί το μέγιστο ποσοστό της πρωτογενούς ενέργειας που μπορούν να καλύψουν οι ήπιες μορφές. Το ποσοστό αυτό υπολογίζεται στο 55% για το 2000 και το 2020, λαμβάνοντας υπόψη, βέβαια, ότι δεν εξετάζονται δυνατότητες υποκατάστασης στα υποσυστήματα της Βιομηχανίας, Γεωργίας και Μεταφορών. Άρα το ποσοστό που προτείνει το σενάριο αναφοράς για τις ήπιες μορφές (25% το 2020) είναι περίπου το μισό του θεωρητικά δυνατού.

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι ήπιες μορφές ενέργειας έχουν σημαντικά πλεονεκτήματα: Δεν μολύνουν το περιβάλλον, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μικρές τοπικές εγκατα-

στάσεις, χρησιμοποιούν κύρια ανανεώσιμες ενεργειακές πηγές. Ιδιαίτερα για την Ελλάδα στα παραπάνω προστίθεται η πιθανή οικονομία συναλλάγματος και το γεγονός ότι πολλά συστήματα ήπιων μορφών μπορούν να κατασκευαστούν στη Χώρα μας. Παρόλα αυτά συχνά το ψηλό κόστος εγκατάστασης είναι απαγορευτικός παράγοντας για τη χρήση τους.

Ωστόσο, τα αποτελέσματα της εργασίας που προηγήθηκε δείχνουν ότι σε κατάλληλα ενεργειακά μικροσυστήματα οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούν ήπιες μορφές ενέργειας μπορούν να είναι οικονομικά συναγωνίσιμες με τις συμβατικές.

Ο νησιωτικός χώρος του Αιγαίου, χαρακτηριστικό τμήμα του οποίου εξετάστηκαν οι Κυκλάδες, είναι ένα τέτοιο 'μικροσύστημα'. Αυτό οφείλεται στη σχετική ενεργειακή απομόνωσή του και την έλλειψη ντόπιων συμβατικών ενεργειακών πηγών σε συνδυασμό με τον πλούτο και το δυναμικό των μη συμβατικώνμορφών ενέργειας που διαπιστωμένα υπάρχουν και στη γεωγραφική ιδιομορφία πού ευνοεί την τοπική περιφερειακή χρήση των συστημάτων παραγωγής ενέργειας.

Ιδιαίτερα ενθαρρυντική φαίνεται η χρήση των ήπιων μορφών ενέργειας στην παραγωγή ηλεκτρισμού. Οι αιολικοί και γεωθερμικοί σταθμοί παραγωγής κρίνονται από το μοντέλο πιό οικονομικοί από τους συμβατικούς που χρησιμοποιούν ντήζελ ή μαζούτ. Οπου υπάρχει αξιόλογο Γεωθερμικό δυναμικό ακόμη και η ένωση των νησιών με υποβρύχια καλώδια ενδείκνυται για την αξιοποίησή του, παρά το κόστος του καλωδίου. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα καθίστανται ανταγωνιστικότερα από τους σταθμούς με ντήζελ μόνο αν μειωθεί σημαντικά η τιμή τους.

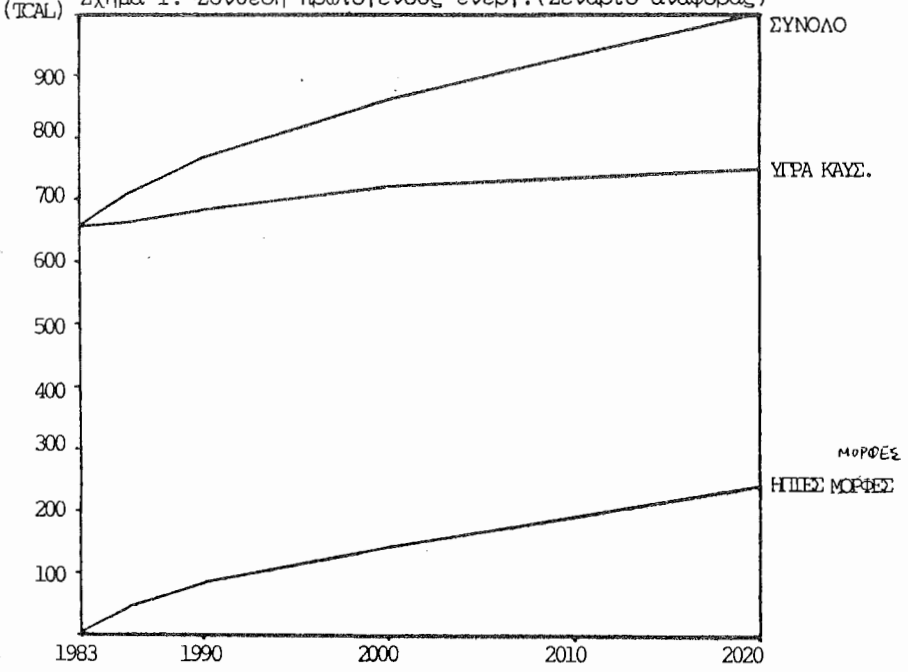
Επίσης θεωρείται συμφέρουσα η χρήση ηλιακών συστημάτων για θέρμανση νερού, όχι όμως και για θέρμανση χώρων. Τέλος, τα γεωθερμικά ρευστά μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για περιφερειακή θέρμανση σε συνδυασμό με την παραγωγή ηλεκτρισμού.

## 6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

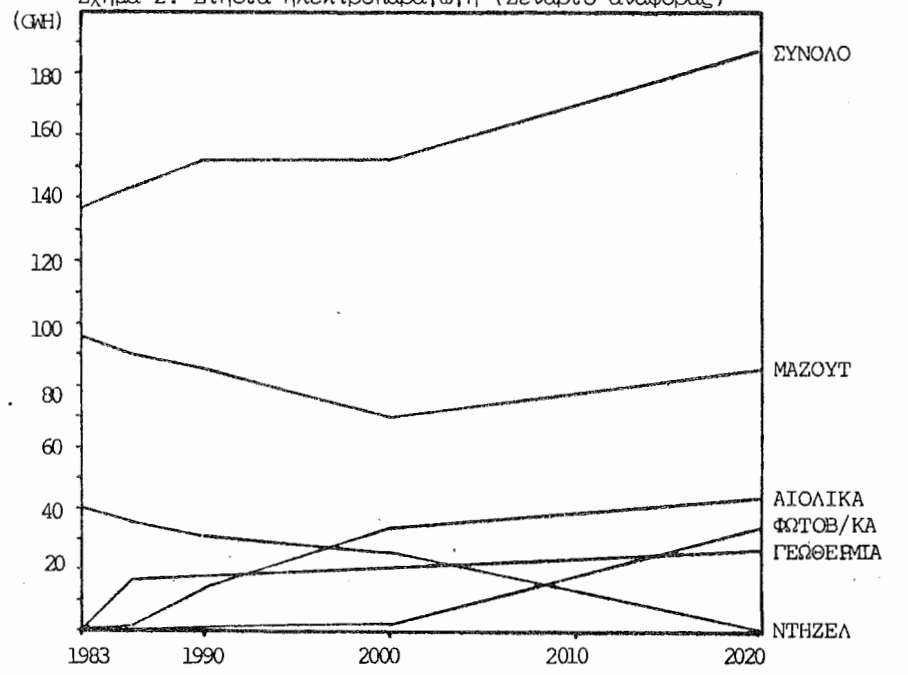

1. ΓΚΟΥΜΑΣ Θ. 'Το μοντέλο του Ελληνικού Ενεργειακού Συστήματος ΜΕΣ-11/MARKAL. Εφαρμογή στις Νέες Τεχνολογίες'. ΕΜΠ 4/84.
2. Commission of the European Communities. Van de Voort et al. "ENERGY SUPPLY MODELLING PACKAGE EFOM-12C" Part I :Mathematical Description Part II:User's Guide LUXEMBURG 1984.
3. ΔΕΗ, Κλάδος Ηπίων Μορφών Ενέργειας. 'Τα πεπραγμένα και οι Προοπτικές για την ανάπτυξη της Γεωθερμικής Ενέργειας στην Ελλάδα'. ΑΘΗΝΑ 9/83
4. ΔΕΗ Διεύθυνση Περιφέρειας Νήσων 'Στατιστικά Στοιχεία Σταθμών Παραγωγής 1982, 1983'. 'Στατιστικά Στοιχεία Κατανάλωσης ανά κατηγορία'.
5. ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΘΝΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ 'Ειδικό Πρόγραμμα Παροχής Ενέργειας για Περιφερειακή Ανάπτυξη των Ελληνικών Νησιών 1984-88'. ΑΘΗΝΑ 1/1984.
6. ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΘΝΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ 'Πρόταση Επέμβασης του Ευρωπαϊκού Ταμείου Περιφερειακής Ανάπτυξης. Τμήμα εντός ποσόστωσης στα Νησιά της Ελληνικής περιφέρειας' ΑΘΗΝΑ 3/1984

7. ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ
'Στατιστικά στοιχεία κατανάλωσης υγρών καυσίμων (1980-84)'.
8. HAFELE W. ET AL.
"Energy in a Finite World" IIASA
Bollinger Publ. Co. (1981)
9. ΚΑΛΟΓΗΡΟΥ Ι., ΚΟΥΜΟΥΤΣΟΣ Ν., ΣΥΡΜΑΛΕΝΙΟΣ Ν., ΣΥΡΜΑΛΕΝΙΟΣ Π., ΦΥΤΙΚΑΣ Μ.:
'Οι εναλλακτικές Χρήσεις της γεωθερμίας στη Μήλο. Δυνατότητες - Επιπτώσεις - Επιλογές'
1ο Συνέδριο για τις Ήπιες Πηγές Ενέργειας.
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 1982.
10. ΜΠΕΡΓΕΛΕΣ Γ. και ΑΘΑΝΑΣΙΑΔΗΣ Ν.:
'Το Αιολικό Δυναμικό της Ελλάδας και οι Ελληνικές Δραστηριότητες στον Τομέα της Αιολικής Ενέργειας'
ΑΘΗΝΑ 1983.
11. MÜELLER, MAHER:
"Summary Report on Technology Characterizations"
IEA JULLICH 12/82.
12. ΟΜΑΔΑ ΕΡΕΥΝΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΕΜΠ:
'Το μοντέλο για το Ελληνικό Ενεργειακό Σύστημα : ΜΕΣ-6/EFOM-12C'
ΕΜΠ 4/84
13. ΟΜΑΔΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΠΑΝ/ΜΙΟΥ ΠΑΤΡΩΝ:
'Δυνατότητες και Προοπτικές για την αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Ελλάδα - Πενταετές πρόγραμμα 1983-87'.
ΠΑΤΡΑ 1982.

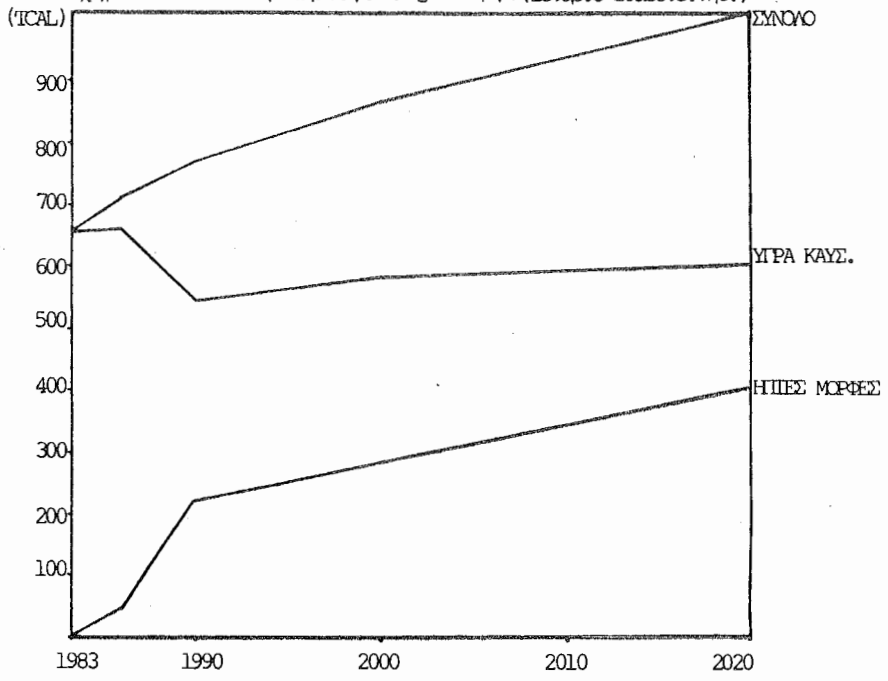
Σχήμα 1: Σύνθεση πρωτογενούς ενέργ.(Σενάριο αναφοράς)



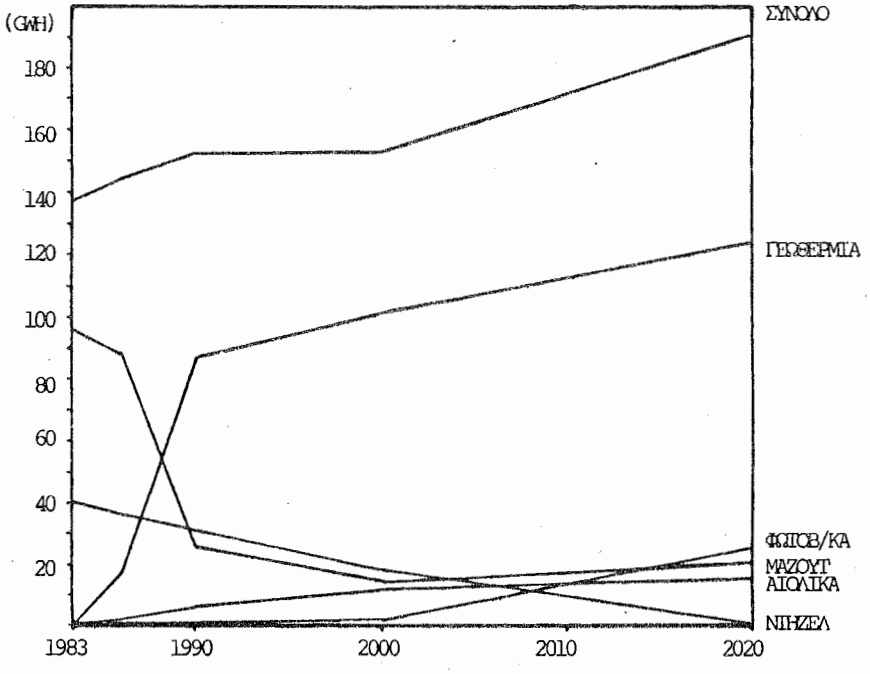

Σχήμα 2: Ετήσια ηλεκτροπαραγωγή (Σενάριο αναφοράς)



Σχήμα 3: Σύνθεση πωρτογενούς ενέργ.(Σενάριο διασύνδ.νησ.)




Σχήμα 4: Ετήσια ηλεκτροπαραγωγή (Σενάριο διασύνδ. νησ.)



ΗΜΟ-37

ΤΙΤΛΟΣ ΕΙΣΗΓΗΣΗΣ: ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ ΤΗΣ ΜΗΛΟΥ. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ELECTRE.

ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ: Σπ. Παπαθανασίου (Διπλ. Ηλεκτρολόγος Ε.Μ.Π.)
Π. Κάπρος (doctorat d'etat)
Μ. Σαμουηλίδης (Αν. Καθηγητής ΕΜΠ)
ΟΜΑΔΑ ΕΡΕΥΝΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΠΟΛΙΤΙΚΗ
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ:
Η προτεινόμενη εκμετάλλευση της γεωθερμίας της Μήλου με γεωθερμοηλεκτρικό συγκρότημα ισχύος 120 MW θ'αποδώσει ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας δυσανάλογα μεγαλύτερη απ'αυτή που μπορεί να απορροφηθεί στη Ν. Μήλο με τις παρούσες συνθήκες. Στόχος της εργασίας είναι η αξιολόγηση διαφόρων εναλλακτικών σχεδίων για την αξιοποίηση αυτού του πλεονάσματος.

Εφαρμόζεται μία πολυκριτηριακή μέθοδος λήψης αποφάσεων που λαμβάνει υπ'όψη όλες τις διαστάσεις του προβλήματος (οικονομικές, κοινωνικές, πολιτικές), καθώς και τις γνώμες των ενδιαφερομένων φορέων.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ:
Πολυκριτηριακή Απόφαση για Αξιοποίηση Γεωθερμίας Μήλου

ΕΙΣΑΓΩΓΗ:
Η ύπαρξη πλούσιου γεωθερμικού δυναμικού στη Μήλο εξασφαλίζει ευνοϊκές προϋποθέσεις για τη μελλοντική ανάπτυξη του νησιού. Παράλληλα με τις πολυάριθμες επιτόπιες χρήσεις της γεωθερμίας έχει εκτιμηθεί ότι τα ρευστά υψηλής ενθαλπίας είναι ικανά να παράγουν μεγάλη ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας τροφοδοτώντας γεωθερμοηλεκτρικό συγκρότημα ισχύος 120 MW για 25 χρόνια (6).

Η ΔΕΗ εντάσσει ήδη στη Μήλο μικρή πειραματική μονάδα (2MW) για το συστηματικό έλεγχο όλων των παραμέτρων μιας τέτοιας επένδυσης. Παρόλα αυτά δεν έχει ληφθεί τελική απόφαση για τη διάθεση της πλεονάζουσας ισχύος ( 110 MW) που θα προκύψει. Οι σχετικές μελέτες της ΔΕΗ στρέφονται προς δύο κύριες κατευθύνσεις, καθοριστικές για τη μελλοντική ανάπτυξη της Μήλου:

- Η πρώτη αφορά την υποβρύχια σύνδεση του νησιού μέσω των Κυκλάδων με το Εθνικό Δίκτυο (σχ.1). Με τη λύση αυτή επιβαρύνεται σημαντικά το κόστος της KWH, αλλά επιτυγχάνεται εξοικονόμηση υγρών καυσίμων που καταναλώνονται σήμερα στους πολυάριθμους διάσπαρτους αυτόνομους σταθμούς DIESEL των Κυκλάδων (7).
- Η δεύτερη προβλέπει επιτόπια κατανάλωση του πλεονάσματος με την εγκατάσταση ηλεκτροβόρας βιομηχανικής μονάδας παραγωγής μεταλλικού πυριτίου. Προϋπόθεση για τη λειτουργία της η ελάχιστη τιμή πώλησης της KWH από πλευράς Δ.Ε.Η. (9). Πάντως οι κάτοικοι της Μήλου αντιτίτενται σε μια τέτοια λύση λόγω των πιθανών αρνητικών επιπτώσεων στην τουριστική ανάπτυξη του νησιού.

Είναι επομένως φανερή η ανάγκη πολυκριτηριακής αξιολόγησης στο συγκεκριμένο πρόβλημα. Με την εφαρμογή της μεθοδολογίας που ακολουθεί, η λήψη της απόφασης στηρίζεται σε φάσμα κριτηρίων, θεωρεί τις γνώμες των ενδιαφερομένων φορέων, ενώ λαμβάνει υπόψη και τα διάφορα πιθανά σενάρια εξέλιξης των παραμέτρων του προβλήματος (2).

## 2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η παρούσα εφαρμογή στηρίζεται σε μια αυστηρή μεθοδολογία που έχει αναπτυχθεί από τον BERNARD ROY (1), (2), (3). Η πολυκριτηριακή αξιολόγηση αναφέρεται σε ένα διακριτό σύνολο επιλογών, σαφώς προσδιορισμένο και χρονικά αμετάβλητο. Τα κριτήρια της λήψης της απόφασης καθορίζονται με τη συστηματική ανάλυση όλων των πιθανών επιπτώσεων του προβλήματος. Πρέπει να αποτελούν κανονικό σύστημα συναρτήσεων κριτηρίων, επαληθεύοντας τους παρακάτω περιορισμούς:

α) κάθε συνάρτηση-κριτήριο ορίζει μία διάταξη πάνω στη διάσταση των πραγματικών αριθμών
β) όλες οι επιπτώσεις περιέχονται στο σύνολο των κριτηρίων
γ) κάθε κριτήριο είναι σημαντικό για τη λήψη της απόφασης αν οι επιλογές είναι ισοδύναμες στα υπόλοιπα κριτήρια
δ) κάθε κριτήριο είναι μοναδικό, δηλαδή δεν μπορεί να ληφθεί απόφαση χωρίς αυτό.

Η αναζήτηση των συνόλων των δυνατών επιλογών, των κριτηρίων και των πιθανών μελλοντικών σεναρίων αποτελεί την τυποποίηση του προβλήματος. Το επόμενο στάδιο είναι η αξιολόγηση των επιλογών στα κριτήρια για κάθε ένα σενάριο. Ακολουθεί η τελική διαδικασία που βαθμολογεί και κατατάσσει τις δυνατές επιλογές, σύμφωνα με τη δεδομένη προτίμηση (διάνυσμα συντελεστών βαρύτητας). Αναλυτικά ο αλγόριθμος παρουσιάζεται στο παράρτημα.

## 3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Το πρόβλημα απόφασης για τη Μήλο μπορεί να απεικονιστεί (σχ. 2) με ένα δένδρο απόφασης, όπου οι κλάδοι καταλήγουν στις δυνατές επιλογές. Καθεμία επιλογή δεν είναι πάντα τελείως καθορισμένη αλλά μπορεί να ανήκει σε μια οικογένεια λύσεων που μεταβάλλονται συνεχώς. Με ένα ειδικό μοντέλο γραμμικού προγραμματισμού προσδιορίζεται για κάθε οικογένεια μία μοναδική λύση, εκείνη που ελαχιστοποιεί την Παρούσα Αξία του συνολικού κόστους. Το σύνολο των δυνατών επιλογών του προβλήματος φαίνεται στον πίνακα 1.

Οι επιπτώσεις του προβλήματος είναι οικονομικές, τεχνολογικές και κοινωνικές-πολιτικές. Η λεπτομερής ανάλυσή τους καταλήγει στο κανονικό σύστημα κριτηρίων του πίνακα 2.

Οι παράμετροι αβεβαιότητας που πρέπει να ληφθούν υπόψη είναι: τιμές πετρελαίου και πυριτίου στη διεθνή αγορά, διάρκεια ζωής του γεωθερμικού δυναμικού. Οι πιθανοί συνδυασμοί εξέλιξής τους δημιουργούν τα έξι σενάρια του πίνακα 3. Στον ίδιο πίνακα σημειώνονται και οι βαθμοί μή επιθυμίας που αντιστοιχούν στα σενάρια αυτά.

Σύμφωνα με τη παραπάνω τυποποίηση έγινε η αξιολόγηση των δυνατών επιλογών στα διάφορα κριτήρια για κάθε σενάριο. Για την αξιολόγηση των επιλογών στα οικονομικά κριτήρια συνέβαλαν τα αποτελέσματα του ειδικού μοντέλου του γραμμικού προγραμματισμού.

## 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η διερεύνηση ύπαρξης αντικρουόμενων στρατηγικών που χαρακτηρίζουν το πρόβλημα είναι ένας από τους κυριώτερους στόχους της εργασίας. Επιτυγχάνεται παίρνοντας μιά διαδοχική σειρά κατατάξεων που αντιστοιχούν σε βαθμιαία μεταβαλλόμενες προτιμήσεις οι οποίες καλύπτουν όλο το φάσμα προτιμήσεων ανάμεσα στις δύο αντικρουόμενες στρατηγικές.

- Για το πρώτο ζεύγος αντικρουόμενων στρατηγικών που αφορά το στόχο της Εθνικής Ανάπτυξης ενάντια στο στόχο της Περιφερειακής Ανάπτυξης υπάρχει σαφής ανταγωνισμός ανάμεσα στις λύσεις 2 και 3 (πίνακας 4). Οπως διαπιστώνεται από τα ποσοστά βαρύτητας, η 3 που ευνοεί την Περιφερειακή Ανάπτυξη κυριαρχεί σε μεγαλύτερο φάσμα προτιμήσεων.

- Η σύγκρουση ανάμεσα στο δεύτερο ζεύγος Τουριστική Ανάπτυξη-Βιομηχανική Ανάπτυξη είναι έντονη όπως διαπιστώνεται από τις κατατάξεις των λύσεων 1 και 2 που ευνοούν την Τουριστική και Βιομηχανική Ανάπτυξη αντίστοιχα. Για όχι ακραίες προτιμήσεις, οι λύσεις 3, 4, 6, βρίσκονται στις πρώτες θέσεις καθώς αυτές αποκλείουν την εγκατάσταση Βιομηχανίας στη Μήλο.

Η ανάλυση βάσει των προτιμήσεων των ενδιαφερομένων φορέων δείχνει (πίνακας 4) ότι η ΔΕΗ και η Κυβέρνηση προτιμούν τη λύση 2. Αντίθετα, οι κάτοικοι της Μήλου προτιμούν τις λύσεις 3 ή 4.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα βγαίνει το συμπέρασμα ότι μία τολμηρή πολιτική με στόχο την Βιομηχανική Ανάπτυξη στην περιοχή (λύσεις 2,3) παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον. Η λύση 3 μάλιστα έχει και το πλεονέκτημα ότι αντιμετωπίζεται ευνοϊκά από τους κατοίκους της Μήλου και δεν εμποδίζει την τουριστική ανάπτυξη του νησιού. Αν παρόλα αυτά δεν ακολουθηθεί μια τέτοια πολιτική τότε θα πρέπει να προτιμηθεί η ηλεκτρική διασύνδεση της Μήλου με τις Κυκλάδες και το Εθνικό Δίκτυο (λύση 4) με προοπτική, ίσως, την κατασκευή μιας μικρής Βιομηχανικής Μονάδας στην ηπειρωτική Ελλάδα (λύση 6).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. B. ROY (1971) : La méthode ELECTRE-II
   METRA, Direction Scientifique, Note de Travail No 142.
2. B. ROY (1975) : Vers une methodologie générale d' aide á la decision. Revue METRA, Vol. XIV, No 3, Paris.
3. B. ROY (1978) : ELECTRE-III: Un algorithme de classement fondé sur une représentation floue des préférences en présence de critéres multiples. Cahiers du Centre Etudes Recherche Opérationnelle, Vol. 20, No 1, pp. 3-24.
4. P. CAPROS (1979) : Analyse multicritère en avenir incertain appliquée au cas du système énérgétique de la Grèce. Université de Paris-Dauphine.
5. J. SISKOS, PH. HUBERT (1983) : Multi-criteria analysis of impacts of energy alternatives : A survey and a new comparative approach. EJOR, 13(3), July, North-Holland.
6. ΔΕΗ. ΔΕΜΕ (1982) : Δραστηριότητες και προγράμματα της ΔΕΗ για την έρευνα και την ανάπτυξη της γεωθερμικής ενέργειας στην Ελλάδα με σκοπό την ηλεκτροπαραγωγή.
7. ΔΕΗ. Τομέας Αναλύσεως Συστήματος (1982) : Ανάλυση οικονομικών μεγεθών στην περίπτωση εξυπηρέτησης των Κυκλάδων με αυτόνομους σταθμούς έναντι της εξυπηρέτησής τους με μεταφορά ισχύος από Γεωθερμικές μονάδες στη Μήλο.
8. Επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, Υπουργείο Εθνικής Οικονομίας (1984) : Ειδικό πρόγραμμα παροχής ενέργειας για περιφερειακή ανάπτυξη των Ελληνικών νησιών 1984-1988.
9. ΕΛΕΒΜΕ Ν. Αποστολίδης (1984) : Προμελέτη σκοπιμότητας κατασκευής εργοστασίου παραγωγής μεταλλικού πυριτίου με χρήση Γεωθερμικής ενέργειας.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Σύμφωνα με τον ακόλουθο συμβολισμό

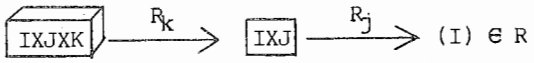
$A = (A_i)$, $i=1,\ldots,I$ το σύνολο των δυνατών επιλογών
$g = (g_k)$, $k=1,\ldots,K$ το σύνολο των κριτηρίων
$F = (F_j)$, $j=1,\ldots,J$ το σύνολο των πιθανών σεναρίων

$V_{ikj} = {}^{g_k}/_{F_j}\ (A_i)$ $\forall$ i,j,k είναι μια συνάρτηση που αναφέρεται στην αξιολόγηση της επιλογής του $A_i$ πάνω στο κριτήριο $g_k$ δεδομένου του σεναρίου $F_j$. Με τη συνάρτηση αυτή, που γενικά παίρνει τιμές στο σύνολο των πραγματικών αριθμών, κατασκευάζεται ο τρισδιάστατος πίνακας αξιολογήσεων :

$$V = (V_{ijk}) \quad \begin{matrix} i = 1,\ldots I \\ j = 1,\ldots J \\ k = 1,\ldots K \end{matrix} .$$

Για την αξιολόγηση και κατάταξη των επιλογών χρειάζεται ένας κανόνας που να μετατρέπει τον τρισδιάστατο πίνακα σε διάταξη πάνω στον άξονα των πραγματικών αριθμών (π.χ. η μέθοδος του μεγίστου αθροίσματος των γινομένων των αξιολογήσεων με συντελεστές βαρύτητας).

Μπορεί να θεωρηθεί ότι ο κανόνας αυτός χωρίζεται σε δύο ανεξάρτητα μέρη $R_j$ και $R_k$.




(ELECTRE III) (ELECTRE II)

Με τον κανόνα $R_k$ για κάθε σενάριο βρίσκεται η κατάταξη των επιλογών (δηλαδή συντίθενται τα k προφίλ) ενώ με τον κανόνα $R_j$ βρίσκεται η κατάταξη των κατατάξεων παίρνοντας υπόψη τα σενάρια (4).

Ο κανόνας $R_k$ είναι ο κανόνας κατάταξης των εναλλακτικών επιλογών σε συνθήκες γνωστού μέλλοντος και ο κανόνας $R_j$ είναι ο κανόνας της διαχείρησης του ρίσκου (ή γενικά της αβεβαιότητας).

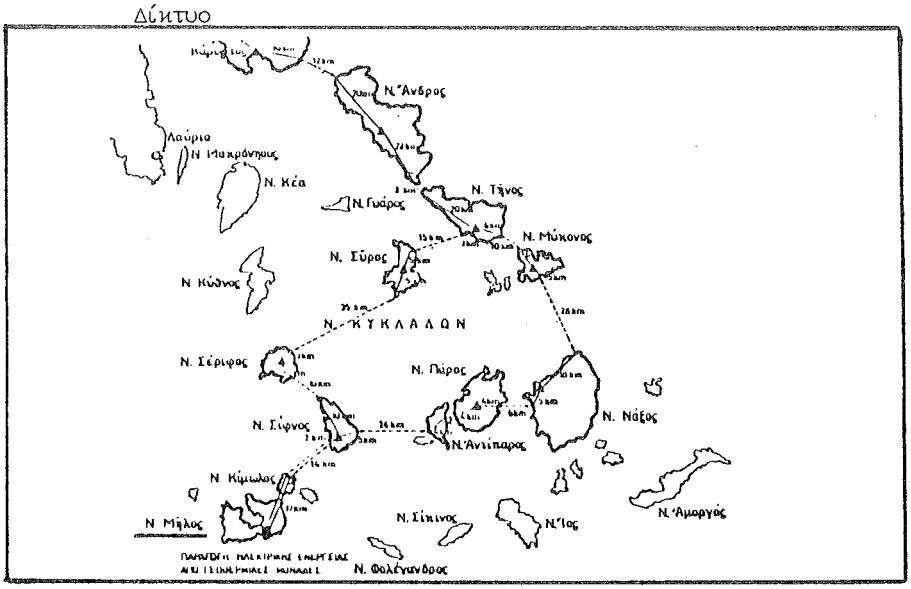
Στη συγκεκριμένη μέθοδο:
Ο κανόνας $R_k$ είναι το μοντέλο ELECTRE III που βασίζεται στη θεωρία των Fuzzy sets, (3). Η τελική κατάταξη προκύπτει με τη σταδιακή κατάταξη των επιλογών σε κλάσσεις ισοδυναμίας βάσει του πίνακα δεικτών αξιοπιστίας. Ο πίνακας αυτός δημιουργείται από τη σύνθεση των δεικτών συμφωνίας και ασυμφωνίας που γενικά εκφράζουν το μέτρο(0,1) στο οποίο οι αξιολογήσεις σε κάθε κριτήριο συμφωνούν με ή αντικρούουν την πρόταση 'η επιλογή a είναι το λιγώτερο εξίσου προτιμητέα της b'. Λόγω της φύσης των κριτηρίων στην ELECTRE III, λαμβάνονται υπόψη ανοχές αδιαφορίας καθαρής προτίμησης και veto.

Ο κανόνας $R_j$ είναι κανόνας τύπου minimax σύμφωνα με τον οποίο καλύτερη στρατηγική θεωρείται εκείνη που δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα στα πιο ανεπιθύμητα σενάρια. Οι κατατάξεις που προήλθαν από τον $R_k$ αφού βαθμολογηθούν συντίθενται μέσω του μοντέλου ELECTRE II με συντελεστές βαρύτητας τους βαθμούς μη επιθυμίας των σεναρίων. Η διαδικασία αυτή καταλήγει στην τελική κατάταξη των επιλογών. Η ποιοτική φύση της κλίμακας βαθμολογίας των κατατάξεων που προήλθαν από

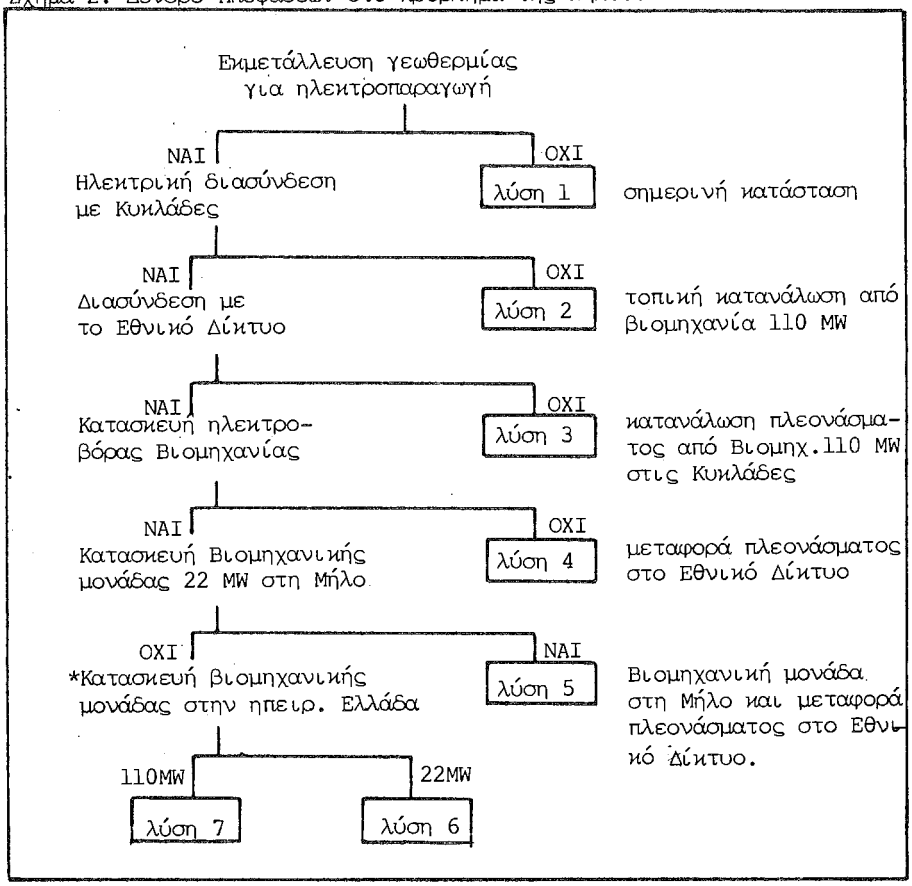
την ELECTRE III επιβάλλει την εφαρμογή της ELECTRE II (1). Η μέθοδος αυτή διαφέρει από την ELECTRE III κυρίως στο ότι χρησιμοποιεί πραγματικά κριτήρια (χωρίς ανοχές). Βασίζεται στην έννοια της επικράτησης. Συγκρίνοντάς τη με την απλή τεχνική του αθροίσματος των γινομένων η ELECTRE II δεν ενισχύει τις μικροδιαφορές στις αξιολογήσεις των επιλογών.

Σημείωση: Τα μοντέλα ELECTRE III και ELECTRE II καθώς και το μικρό μοντέλο γραμμικού προγραμματισμού Μήλος-Κυκλάδες είναι καταχωρημένα στον Η/Υ του ΕΜΠ CYBER 171. Αποτελούν ένα μέρος δύο διπλωματικών εργασιών που καταπιάνονται με τη λήψη απόφασης σε προβλήματα ενεργειακού σχεδιασμού. Οι εργασίες αυτές που παραδόθηκαν το Φεβρουάριο του 1985, έγιναν από τους κ. Χρήστο Αδαμόπουλο και Σπύρο Παπαθανασίου, Ηλεκτρολόγους Μηχανικούς, μέλη της Ομάδας Ερευνας για την Ενεργειακή Πολιτική του Ε.Μ.Π. για τη χάραξη Ενεργειακής Πολιτικής.

Σχήμα 1 . Προβλεπόμενη ηλεκτρική διασύνδεση Μήλου με Κυκλάδες-Εθν. Δίκτυο




Σχήμα 2. Δένδρο Αποφάσεων στο πρόβλημα της Μήλου.



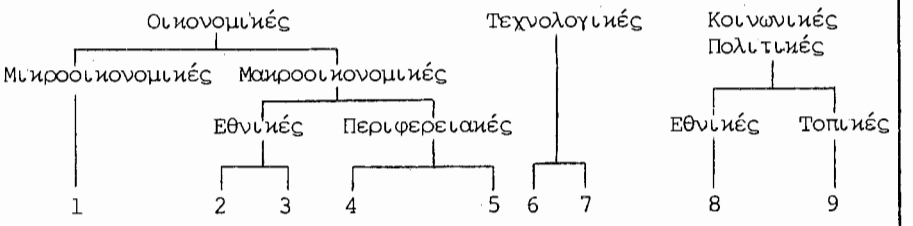

* Η προσθήκη των επιλογών 6 και 7 γίνεται για λόγους σύγκρισης με τις συγγενείς τους επιλογές 5 και 2 αντίστοιχα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Οι δυνατές επιλογές

| | |
|---|---|
| 1 | Δεν γίνεται αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού. Μια μικρή μονάδα καλύπτει τις ανάγκες της Μήλου. |
| 2 | Τοπική κατανάλωση του πλεονάσματος με ηλεκτροβόρο βιομηχανική μονάδα 110MW παραγωγής μεταλλικού πυριτίου |
| 3 | Διασύνδεση Μήλου μόνο με Κυκλάδες. Κατανάλωση του πλεονάσματος μέ ηλεκτροβόρες μονάδες 50MW στις Κυκλάδες |
| 4 | Διασύνδεση Μήλου με Κυκλάδες και Εθνικό Δίκτυο (Μεταφορά της πλεονάζουσας ενέργειας στο Εθνικό Δίκτυο) |
| 5 | Διασύνδεση Μήλου με Κυκλάδες και Εθνικό Δίκτυο Κατασκευή ηλεκτροβόρας βιομηχανικής μονάδας 22MW στη Μήλο |
| 6 | Διασύνδεση Μήλου με Κυκλάδες και Εθνικό Δίκτυο Κατασκευή ηλεκτροβόρας Βιομηχανίας 22 MW στην ηπειρ. Ελλάδα |
| 7 | Διασύνδεση Μήλου με Κυκλάδες και Εθνικό Δίκτυο Κατασκευή ηλεκτροβόρας Βιομηχανίας 110MW στην ηπειρ. Ελλάδα |

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Επιπτώσεις και κριτήρια

Επιπτώσεις




Κριτήρια

1 : Παρούσα Αξία του συνολικού κόστους των επενδύσεων. Υπολογίζεται και με τη βοήθεια του μοντέλου του γραμμικού προγραμματισμού
2 : Εθνική προστιθέμενη αξία οφειλόμενη στις συνολικές επενδύσεις. Αξιολογείται με τη βοήθεια πολλαπλασιαστών.
3 : Το συναλλαγματικό κόστος (μέρος του συνολικού κόστους)
4 : Τουρισμός Μήλου (ποιοτική κλίμακα)
5 : Τοπική προστιθέμενη αξία (άμεση και έμμεση)
6 : Αξιοπιστία του ηλεκτρικού συστήματος (ποιοτική κλίμακα)
7 : Απόκτηση KNOW-HOW (ποιοτική κλίμακα )
8 : Ενεργειακή ανεξαρτησία
9 : Αντίδραση κατοίκων Μήλου (ποιοτική κλίμακα)

ΠΙΝΑΚΑΣ 3. Πιθανά σενάρια

| Παράμετροι αβεβαιότητας | Πιθανές τιμές |
|---|---|
| 1. Διεθνής τιμή πετρελαίου | Σταθερή, Αυξανόμενη |
| 2. Διεθνής τιμή πυριτίου | υψηλή, μέση, χαμηλή |
| 3. Διάρκεια ζωής γεωθερμικού δυναμικού | 12 χρόνια, 25 χρόνια |

| ΣΕΝΑΡΙΑ | | | Α/Α Σεναρίου | Βαθμός μή επιθυμίας |
|---|---|---|---|---|
| τιμή πετρελαίου | τιμή πυριτίου | διάρκεια γεωθ. | | |
| αυξανόμενη | υψηλή | 12 | 1 | 0,25 |
| | | 25 | 2 | 0,05 |
| σταθερή | μεσαία | 12 | 3 | 0,20 |
| | | 25 | 4 | 0,05 |
| | χαμηλή | 12 | 5 | 0,30 |
| | | 25 | 6 | 0,15 |

ΠΙΝΑΚΑΣ 4. Αποτελέσματα

| Εθνική Ανάπτυξη % | | | Περιφερειακή Ανάπτυξη % | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 100-0 | 80-20 | 60-40 | 40-60 | 20-80 | 0-100 |
| 2-5 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| | 3 | 2 | 2 | 2 | 4 |
| 3 | 5 | 4 | 6 | 4 | 2 |
| 6 | 6 | 1-6 | 1-4 | 6 | 6 |
| 4 | 4 | | | 1-7 | 7 |
| 7 | 1 | 5 | 7 | | 1 |
| 1 | 7 | 7 | 5 | 5 | 5 |

| Βιομηχανική Ανάπτυξη % | | | Τουριστική Ανάπτυξη-Κοινωνική γαλήνη % | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 100-0 | 80-20 | 60-40 | 40-60 | 20-80 | 0-100 |
| 2 | 2 | 3 | 3-4-6 | 3-4-6 | 1 |
| 5 | 3 | 2-6 | | | 4-6-7 |
| 3 | 1 | | | | |
| 4-6 | 4-5 | 1 | 2 | 2-7 | |
| | | 4 | 1-7 | | 2-3 |
| 1-7 | 6-7 | 7 | | 1 | |
| | | 5 | 5 | 5 | 5 |

ΠΡΟΤΙΜΗΣΕΙΣ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΜΕΝΩΝ ΦΟΡΕΩΝ

| ΔΕΗ | ΚΑΤΟΙΚΟΙ ΜΗΛΟΥ | ΚΥΒΕΡΝΗΣΗ |
|---|---|---|
| 2 | 3 | 2 |
| 4-6 | 4 | 3-6 |
| | 7 | |
| 5 | 2-6 | 1 |
| 1 | | 4 |
| 3 | 1 | 7 |
| 7 | 5 | 5 |

# ΜΑΚΡΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΙΘΑΝΟΛΗΣ ΑΠΟ ΓΕΩΡΓΙΚΕΣ ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΩΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΜΕΘΟΔΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΓΑΛΛΙΑΣ

ΙΩΣΗΦ ΦΛΩΡΕΝΤΙΝ

Μηχανικός Παραγωγής - Δρ. Οικονομολόγος

ΠΕΡΙΛΗΨΗ Η παραγωγή και χρήση της αιθανόλης ως καύσιμου κινητήρων δεν ειναι ακόμη συμφέρουσα χωρίς τη βοήθεια του κράτους. Οι υποψήφιοι παραγωγοί διεκδικούν μια τέτοια βοήθεια προβάλλοντας τις μακροοικονομικές επιπτώσεις αυτής της δραστηριότητας (έσοδα του κράτους, δημιουργία θέσεων εργασίας, βελτίωση του εμπορικού ισοζυγίου κλπ.).

Στην εισήγηση αυτή παρουσιάζεται μία μέθοδος υπολογισμού αυτών των επιπτώσεων, βασισμένη στη χρήση του Πίνακα Εισροών-Εκροών.

Προκύπτει οτι τα οφέλη αυτά δεν δικαιολογούν την ενθαρρυνση μιας τέτοιας παραγωγής. Το αποτέλεσμα όμως αυτό πρέπει να θεωρηθεί προσωρινό. Παράγοντες όπως η δυσκολία διάθεσης της παραγωγής σιτηρών της ΕΟΚ στη διεθνή αγορά μπορει να αποδειχτούν σημαντικότεροι.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ Αιθανόλη Καύσιμα Βιομάζα Μακροοικονομία

ΕΙΣΑΓΩΓΗ Η εργασία αυτή αποτελεί μέρος μιας διατριβής με θέμα την οικονομική ανάλυση της παραγωγής και χρήσης της αιθανόλης σε χαμηλή αναλογία μέσα στη βενζίνη. (1)

Βασικό χαρακτηριστικό της είναι η θεώρηση του συνόλου των οικονομικών εταίρων των οποίων η συμμετοχή είναι καθοριστική για τη παραγωγή της αιθανόλης, σαν μονάδων κάθε μια από τις οποίες έχει στόχο τη βελτιστοποίηση του οικονομικού της όφελους. Οι αγρότες (παραγωγοί της πρώτης ύλης), οι βιομήχανοι (των αποστακτηρίων ή των ζαχαρουργείων), οι παραγωγοί ζωοτροφών (καταναλωτές των παραπροϊόντων της απόσταξης) οι παραγωγοί βενζίνης (που θα πρέπει να βρούν τη τιμή της αιθανόλης συμφέρουσα σε σχέση με τις ιδιότητές της και τις τιμές των άλλων συστατικών της βενζίνης) συμμετέχουν ή όχι στο σύστημα παραγωγής και χρήσης της αιθανόλης ανάλογα με τις εναλλακτικές δραστηριότητες που τους προσφέρονται.

Χρησιμοποιόντας μια σειρά συνδεδεμένων μεταξύ τους μοντέλων (ο πίνακας Π.1 μας δίνει μια εικόνα του τρόπου σύνδεσης τους) μπορουμε να προσδιορίσουμε την απόκριση αυτού του συστήματος στη μεταβολή των τιμών διαφόρων παραμέτρων όπως: οι τιμές των πρώτων υλών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη παραγωγή της αιθανόλης (δημητριακά, τεύτλα, μελάσσα, ενδιάμεσα προϊόντα ζαχαρουργείων), οι τιμές των διάφορων μορφών ενέργειας, οι τιμές των προϊόντων που χρησιμοποιούνται στη σύνθεση των ζωοτροφών. Η απόκριση αυτή αφορά στις επιλογές: πρώτης ύλης, τεχνολογίας απόσταξης, πηγής ενέργειας, τύπου και μεγέθους αποστακτηρίου. Τα στοιχεία αυτά χρησιμοποιούνται σαν δεδομένα από το μοντέλο υπολογισμού των μακροοικονομικών επιπτώσεων, που περιγράφεται παρακάτω.

Με τον τρόπο αυτό οι επιπτώσεις που υπολογίζονται αναφέρονται σε μια ορισμένη κάθε φορά κατάσταση: αυτή που ανάλογα με το οικονομικό τους περιβάλλον καθορίζουν οι εταίροι με τις αποφάσεις που καθένας τους παίρνει ανεξάρτητα από τους άλλους.

ΕΙΔΗ ΚΑΙ ΣΧΕΣΕΙΣ ΤΩΝ ΜΑΚΡΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ Σε μια προσπάθεια απαρίθμησής τους μπορούμε να αναφέρουμε τις εξής

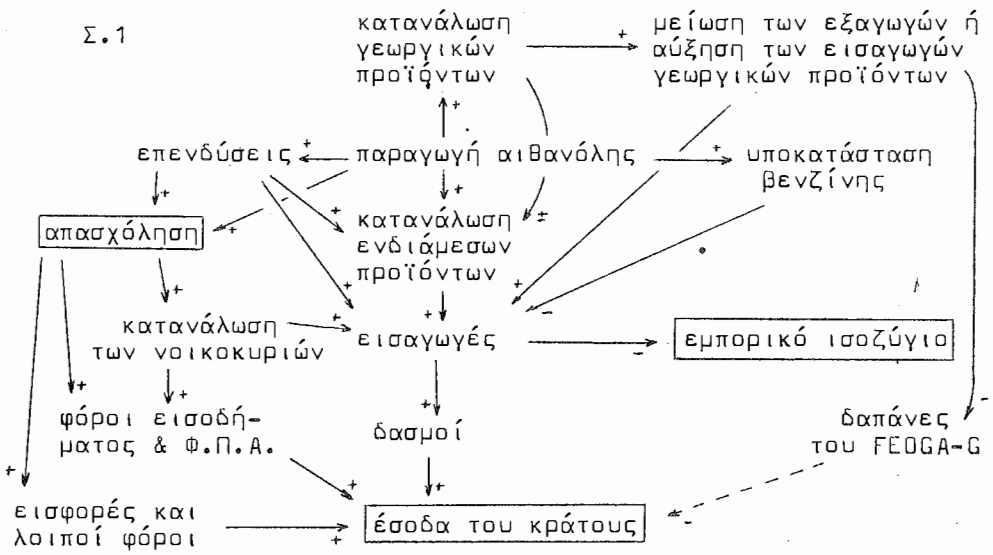
- Απασχόληση, γενικά ή ειδικότερα σε ορισμένες αγροτικές περιοχές.
- Εσοδα του κράτους: από φόρους
  από εισφορές (κοινωνικές ασφαλίσεις, ταμείο ανεργίας κλπ.)
  από δασμούς
- Εμπορικό ισοζύγιο
- Αποταμίευση
- Βαθμός ενεργειακής ανεξαρτησίας
- Μόλυνση του περιβάλλοντος

Πέρα από αυτές τις επιπτώσεις που ενδιαφέρουν κάθε κράτος ξεχωριστά, μπορούμε να αναφέρουμε και μια που αφορα την ΕΟΚ σαν σύνολο:

- Κόστος στήριξης της γεωργικής παραγωγής από το τμήμα εγγυησης του FEOGA

Ο γράφος του σχήματος Σ.1 παριστά το πλέγμα των σχέσεων ανάμεσα στη παραγωγή της αιθανόλης και τις μακροοικονομικές της επιπτώσεις

Σ.1




Ο γράφος αυτός δεν είναι πλήρης. Δεν περιέχει π.χ. τα κλειστά μονοπάτια:

- Ζήτηση ενδιάμεσων προϊόντων--Απασχόληση--Κατανάλωση των νοικοκυριών--Ζήτηση ενδιάμεσων προϊόντων
- Ζήτηση ενδιάμεσων προϊόντων--Επενδύσεις--Ζήτηση ενδιάμεσων προϊόντων

Αν τα περιείχε θα έπρεπε η δράση τους να ισορροπείται από αντίθετα μονοπάτια που θα αντικατόπτριζαν:

- τη σπανιότητα των συντελεστών παραγωγής
- την ελαστικότητα της κατανάλωσης ως προς το εισόδημα
- τη μεταβολή του συστήματος τιμών ισορροπίας

Αυτές οι πλευρές του προβλήματος δεν θα μας απασχολήσουν κυρίως διότι τα εργαλεία με τα οποία συνήθως μελετώνται αν-

τιστοιχούν σε μια κλίμακα πολύ μεγαλύτερη από αυτή των φαινομένων που θέλουμε να μελετήσουμε.

Οι σημαντικότερες από τις σχέσεις που περιέχει ο γράφος μας είναι:

•η υποκατάσταση των εξαγωγών γεωργικών προϊόντων από τη χρήση αυτών των προϊόντων για τη παραγωγή αιθανόλης (ή η υποκατάσταση της καλλιέργειας ενός εξαγώγιμου προϊόντος από τη καλλιέργεια της πρώτης ύλης της αιθανόλης)

•η μείωση των εισαγωγών βενζίνης ή πετρελαίου.

ΜΕΘΟΔΟΣ Για τον προσδιορισμό των άμεσων επιπτώσεων στην απασχόληση, τα έσοδα του κράτους και το εμπορικό ισοζύγιο, θα αρκούσε ενας αναλυτικός υπολογισμός με βάση μεγέθη γνωστά από τη πρακτική του κάθε τομέα και από τις Εθνικές Στατιστικές. Για να υπολογίσουμε όμως το σύνολο των επιπτώσεων από την αντίδραση της οικονομίας στη νέα δραστηριότητα χρειαζόμαστε ενα πολύ πιο σύνθετο εργαλείο. Χρησιμοποιήσαμε τον Πίνακα Εισροών-Εκροών (ΠΕΣ)(πίνακα LEONTIEFF) 39 κλάδων. (Σ.2)

Σ.2

| | J=1 , 39 | |
|---|---|---|
| I=1 , 39 | Πίνακας C των καταναλώσεων ενδιάμεσων προϊόντων | Τελική ζήτηση D |
| | Παραγωγή Y | |
| | Προστιθέμενη αξία | |
| | Εισαγωγές I | |

Εστω X ο πίνακας των τεχνικών συντελεστών $x_{IJ}=C'_{IJ}/Y_J$ όπου $C'_{IJ}$ το μέρος της κατανάλωσης προϊόντων του κλάδου J από τον κλάδο I, που προέρχεται από την εγχώρια παραγωγή.

Αν γνωρίζουμε το διάνυσμα της συνολικής αύξησης της ζήτησης ΔD που προκύπτει από τη δραστηριότητα του συστήματος παραγωγής της αιθανόλης μπορούμε να υπολογίσουμε τη συνολική αύξηση της παραγωγής ΔY εφ'όσον :

$$\left.\begin{array}{l} Y=C+D \\ C=X\cdot Y \end{array}\right\} \Rightarrow D=Y-C \Rightarrow D=Y(I-X) \Rightarrow Y=(I-X)^{-1}\cdot D \Rightarrow \Delta Y=(I-X)^{-1}\cdot \Delta D$$

Πρόσφατα παραδείγματα χρήσης αυτής της μεθόδου έχουμε στις μελέτες των OUTREQUIN (2) και BERTRAND (3) πάνω στη δημιουργία θέσεων απασχόλησης από το Γαλλικό πρόγραμμα παραγωγης ηλεκτροπυρηνικής ενέργειας.

Στη περίπτωσή μας η μέθοδος εφαρμόζεται (όπως σχηματικά παριστάται στο Σ.3) ως εξής:

Υπολογίζουμε, με βάση τα αποτελέσματα των υπόλοιπων μοντέλων, τα διανύσματα:

-ΔD Μεταβολή της τελικής ζήτησης που περιλαμβάνει

•τη μεταβολή της ζήτησης των προϊόντων που απαιτούνται για τη γεωργική παραγωγή (καύσιμα, λιπάσματα κλπ. καθώς και νέα γεωργικά μηχανήματα)

•τις επενδύσεις για τη κατασκευή νέων αποστακτηρίων ή τη μετατροπή των υπαρχόντων και ο,τι απαιτείται για τη λειτουργία τους (μεταφορά πρώτων υλών, ενέργεια, αναλώσιμα χημικά προϊόντα κλπ.)

-ΔΕ Μεταβολή της άμεσης απασχόλησης που περιλαμβάνει τη δημιουργία θέσεων εργασίας στους τομείς της γεωργικής παραγωγής, της μεταφοράς των πρώτων υλών, της κατασκευής και λει-

τουργίας των αποστακτηρίων, της κατασκευής γεωργικών μηχανημάτων.

-ΔF Μεταβολή των εσόδων του κράτους που περιλαμβάνει

•τους φόρους και τις εισφορές που συνδέονται με τη γεωργική παραγωγή

•τους φόρους που επιβαρύνουν τη κατανάλωση καυσίμων για τη γεωργική παραγωγή και τη μεταφορά των πρώτων υλών

•τους φόρους επι των κερδών των επιχειρήσεων που παράγουν την αιθανόλη (Ο Φ.Π.Α. που αντιστοιχεί στην αυξημένη κατανάλωση ενδιάμεσων προϊόντων δεν υπολογίζεται)

-ΔΙ Μεταβολή του εξωτερικού εμπορίου που περιλαμβάνει

•τη μείωση των εισαγωγών βενζίνης ή πετρελαίου

•τη μείωση των εξαγωγών ή αύξηση των εισαγωγών δημητριακών, ζάχαρης, μελάσσας

•την εισαγωγή ενεργειακών προϊόντων για τη λειτουργία των αποστακτηρίων,

•την εισαγωγή γεωργικών μηχανημάτων

•την εξαγωγή των παραπροϊόντων της απόσταξης ή τη μείωση των εισαγωγών ομοειδών προϊόντων που χρησιμοποιούνται στη σύνθεση των ζωοτροφών. Σ'αυτό το τελευταίο σημείο χρησιμοποιήθηκε ενα πρόγραμμα βελτιστοποίησης της σύνθεσης διαφόρων ζωοτροφών που μας υπέδειξε τα προϊόντα που θα μπορούσαν να υποκατασταθούν από αυτά τα παραπροϊόντα.

Μετά τον προσδιορισμό αυτών των άμεσων και έμμεσων μεγεθών υπολογίζουμε με τη βοήθεια του Π.Ε.Σ. τα παράγωγα μεγέθη

Με μια πρώτη χρήση του Π.Ε.Σ. βρίσκουμε την αύξηση της παραγωγής στο σύνολο της οικονομίας και με βάση τα στοιχεία της Εθνικής Λογιστικής προσδιορίζουμε τη παράγωγη δημιουργία θέσεων εργασίας ΔΕγ

Με μια δεύτερη χρήση του Π.Ε.Σ. μπορούμε να βρούμε τη συνολική αύξηση της παραγωγής ΔΥτ. Αυτή περιλαμβάνει εκτός από τις ανάγκες του συστήματος παραγωγής αιθανόλης, και τη παραγωγή εγχώριων αγαθών για την ικανοποίηση της ζήτησης των νοικοκυριών που αντιστοιχεί στα εισοδήματα των νέων θέσεων εργασίας.

Πρέπει εδώ να σημειώσουμε ότι η μείωση του αριθμού των ανέργων δεν είναι ίση με τη δημιουργία θέσεων εργασίας. Οπως έχουν δείξει οι μελέτες των SALAIS και EYMAR-DUVERNAY (4) η δημιουργία νέων θέσεων προσελκύει στην αγορά εργασίας νέες κατηγορίες ατόμων που έχουν τα απαραίτητα για τις θέσεις προσόντα αλλά σε μεγαλύτερο από αυτές αριθμό. Το φαινόμενο αυτό ποικίλλει σε ένταση ανάλογα με τον τομέα. Η δημιουργία θέσεων εργασίας στη βιομηχανία π.χ. είναι πολύ αποτελεσματικότερη από τη δημιουργία του ίδιου αριθμού θέσεων στο τομέα των υπηρεσιών.(ABRAHAM-FROIS (5))

Το ποσοστό μείωσης της ανεργίας είναι απαραίτητο για τον υπολογισμό της επίπτωσης στα έσοδα του κράτους το οποίο θα εισπράξει αυξημένες εισφορές από τους εργοδότες και τους εργαζόμενους καθώς και αυξημένους φόρους εισοδήματος ενώ θα μειώσει τις δαπάνες για επιδόματα ανεργίας .

Η διαδικασία υπολογισμού των υπόλοιπων μεγεθών φαίνεται στο σχήμα Σ.3

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ Θα παρουσιάσουμε τα αποτελέσματα σε τρεις περιπτώσεις για να δείξουμε την επίδραση της δυναμικότητας του αποστακτηρίου και της επιλογής της πρώτης ύλης.

Στον πίνακα Π.2 που ακολουθεί έχουμε διακρίνει το έτος (Ο) κατά το οποίο θεωρούμε ότι πραγματοποιούνται όλες οι επενδύσεις, και τα επόμενα έτη (α) στα αποτελέσματα των οποίων δεν έχουν ληφθεί υπ'όψη ούτε οι επενδύσεις ούτε η αντίστοιχη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας.

Π.2

| Δυναμικότητα (χιλιόλιτρα/ημ.) | | 100 | 300 | 300 |
|---|---|---|---|---|
| Πρώτη ύλη | | | Μελάσσα | Σιτάρι |
| Αύξηση της ζήτησης | α | 15,0 | 14,8 | 15,9 |
| | Ο | 44,1 | 24,1 | 33,8 |
| Αύξηση των εισαγωγών | α | 3,7 | 3,7 | 4,2 |
| | Ο | 6,8 | 4,7 | 6,0 |
| Δημιουργία θέσεων εργασ. | α | 3,4 | 2,6 | 3,1 |
| | Ο | 9,5 | 4,5 | 6,8 |
| Μείωση της ανεργίας | α | 1,7 | 1,1 | 1,5 |
| | Ο | 6,0 | 2,5 | 4,0 |
| ΔΕσοδα του κράτους | α | 5,4 | 3,8 | 4,8 |
| | Ο | 14,7 | 7,0 | 10,5 |
| ΔΕμπορικό ισοζύγιο | α | 4,3 | 4,4 | -5,0 |
| | Ο | -0,2 | 2,9 | -7,7 |

(χρηματικά ποσά σε δραχμές(1983) ανά λίτρο
απασχόληση σε θέσεις εργασίας ανά χιλιόλιτρο και έτος)

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ-ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΔΥΝΑΜΙΕΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ Με αφορμή τα στοιχεία του πίνακα Π.2 μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι:

•η αύξηση των εσόδων του κράτους είναι αρκετά χαμηλότερη από τη διαφορά τιμής ανάμεσα στη βενζίνη και την αιθανόλη ( της τάξης των 25δρχ/λίτρο στη Γαλλία σε τιμές 1983)

•οι επιπτώσεις εξαρτώνται έντονα από τη δυναμικότητα των αποστακτηρίων (λόγω των οικονομιών κλίμακος που εμφανίζονται στις μεγαλύτερες μονάδες), και από την επιλογή της πρώτης ύλης. Η χρήση των δημητριακών απαιτεί μεγαλύτερες επενδύσεις για την προετοιμασία της πρώτης ύλης και την κατεργασία των παραπροϊόντων, καθώς και περισσότερο προσωπικό.

•οι μακροοικονομικές επιπτώσεις είναι σημαντικότερες στις περιπτώσεις εκείνες που είναι δυσμενέστερες για τους επενδυτές Οι ευνοϊκότερες είναι αυτές στις οποίες μελάσσα ή ενδιάμεσα προϊόντα ζαχαρουργείων κατεργάζονται σε μονάδες μεγάλης δυναμικότητας. Αντίθετα η σχετικά μεγαλύτερη προστασία που παρέχει η Κ.Α.Π. στα δημητριακά δυσκολεύει τη χρησιμοποίηση τους

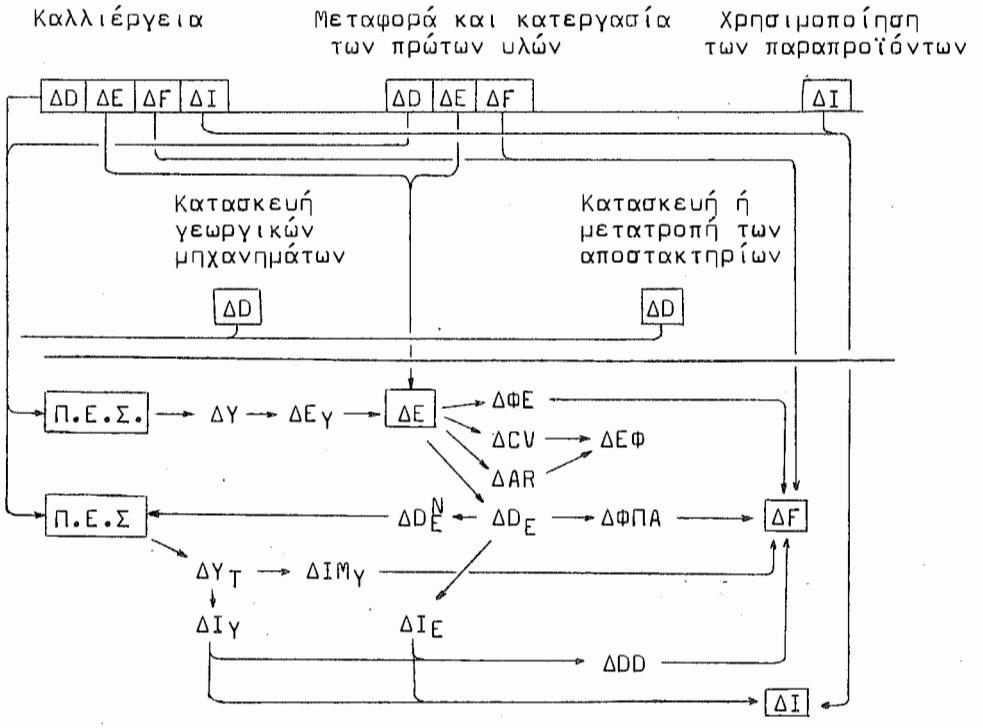
Δεν θα πρέπει όμως, διαβάζοντας τα αποτελέσματα αυτά να παραβλέπει κανείς ότι η διαθεσιμότητα μελάσσας ή τεύτλων για απόσταξη έχει σχετικά μικρά περιθώρια για αύξηση, και ότι ένα εκτεταμένο πρόγραμμα παραγωγής αιθανόλης-καύσιμου στην Ευρώπη θα έπρεπε υποχρεωτικά να στηριχτεί στα δημητριακά. Πρέπει ακόμα να λάβουμε υπ'όψη, όταν συγκρίνουμε τις επιπτώσεις των δύο προϊόντων στο εμπορικό ισοζύγιο, ότι η τιμή της μελάσσας ήταν το 1984 αρκετά χαμηλή ενώ η τιμή του σιταριού ήταν (χάρη στη τιμή του δολλαρίου) αρκετά υψηλή στη διεθνή αγορά. Στη πραγματικότητα αυτή η υψηλή τιμή είναι συχνά πλασματική μια και συμβαδίζει με μια δυσκολία εξαγωγής που πιέζει τις τιμές στο εσωτερικό της ΕΟΚ κάτω από τις τιμές παρέμβασης.

•η δημιουργία νέων θέσεων εργασίας είναι πιθανότατα υπερεκτιμημένη. Αυτό οφείλεται στη γραμμικότητα της μεθόδου υπολογισμού που ακολουθήσαμε η οποία αγνοεί την ελαστικότητα της

παραγωγής ως προς την εργασία. Αντίθετα η αύξηση των εισαγωγών που αντιστοιχεί στα νέα εισοδήματα των νοικοκυριών έχει υποεκτιμηθεί. Αυτό συμβαίνει διότι χρησιμοποιήσαμε τη μέση ροπή προς κατανάλωση εισαγομένων προϊόντων αντί της οριακής που δεν δίνεται από τις στατιστικές (και η οποία, όπως έδειξαν οι παρενέργειες της πολιτικής αύξησης του διαθέσιμου εισοδήματος που ακολούθησε η Γαλλία το 1981 και 1982, είναι σημαντικά μεγαλύτερη).

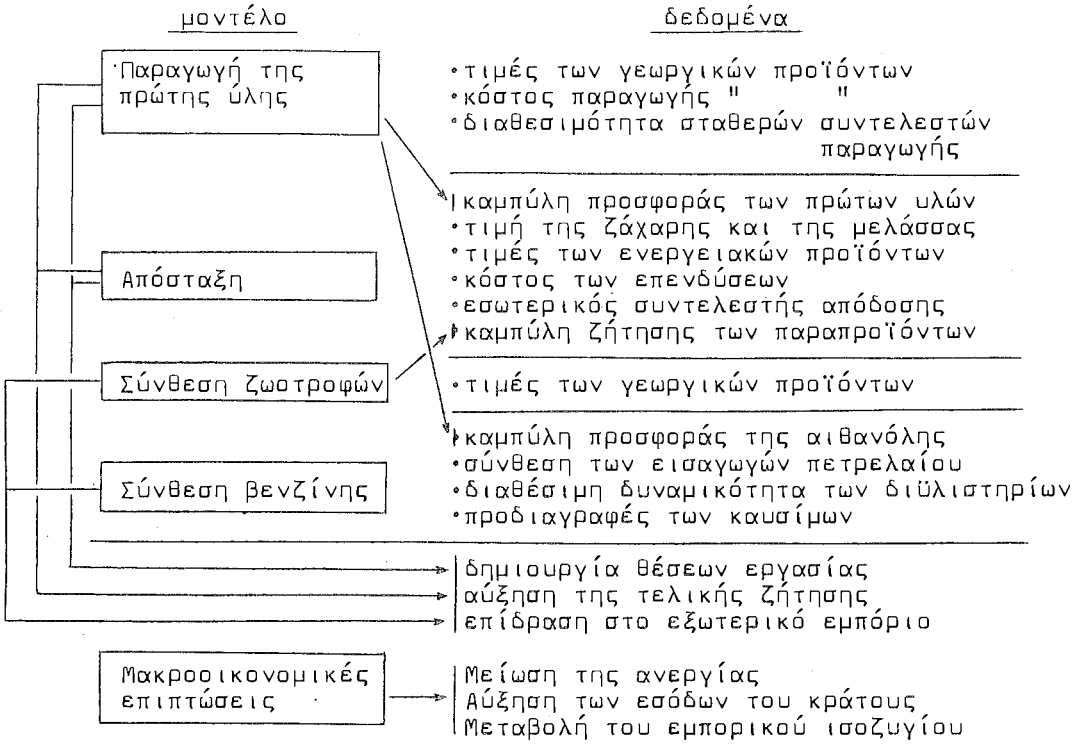
Η μέθοδος που ακολουθήσαμε σ'αυτή τη μελέτη έχει το βασικό πλεονέκτημα της εξαντλητικής έρευνας των επιπτώσεων μιας νέας δραστηριότητας. Τα μειονεκτήματα που παρουσιάζει ειναι η γραμμικότητα της και η συγχώνευση συγγενών αλλά διαφορετικών δραστηριοτήτων στην ίδια κατηγορία της Εθνικής Λογιστικής. Γι'αυτούς τους λόγους τα αποτελέσματα που παρουσιάσαμε πρέπει να χρησιμοποιούνται σαν δείκτες μιας τάξης μεγέθους και με γνώση των παραδοχών και των δεδομένων που χρησιμοποιήσαμε.

Σ.3 Σχηματοποίηση της μεθόδου υπολογισμού των μακροοικονομικών επιπτώσεων της παραγωγής και χρήσης της αιθανόλης




D Διάνυσμα της τελικής ζήτησης
E " " απασχόλησης
F " των εσόδων από τη φορολογία
ΕΦ " " " " εισφορές-επιδοτήσεις
I " των εισαγωγών
Y " της παραγωγής
$D_E$ " της ζήτησης των νοικοκυριών
$I_E$ " των εισαγωγών που αντιστοιχούν στη ζητήση των νοικοκυριών
$I_Y$ " " " " στη κατανάλωση ενδιάμεσων προϊόντων
DD " " εσόδων των τελωνείων
$IM_Y$ " " " από φόρους που βαρύνουν τις επιχειρήσεις
ΦΕ Φόρος εισοδήματος
CV Εργοδοτικές και εργατικές εισφορές
AR Επιδόματα ανεργίας
ΦΠΑ Φόρος προστιθεμένης αξίας

Π.1 Γενικό σχήμα ενός μοντέλου του συστήματος παραγωγής αιθανόλης-καύσιμου




ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. FLORENTIN J. 1985 "ANALYSE ECONOMIQUE DE LA PRODUCTION ET UTILISATION DE L'ETHANOL-CARBURANT" (THESE):INSTN-INRA, 224σ.

2. OUTREQUIN P. 1980 "EMPLOI ET FILIERES ENERGETIQUES" : CEREN-ISMEA

3. BERTRAND 1981 "IMPACT DE L'INDUSTRIE ELECTRONUCLEAIRE SUR L'ECONOMIE FRANCAISE" (THESE) UNIVERSITE DE PARIS-I , 193σ.

4. EYMARD-DUVERNAY F.,SALAIS R. 1975 "UNE ANALYSE DES LIENS ENTRE L'EMPLOI ET LE CHOMAGE"-ECONOMIE & STATISTIQUE (69) σελ.19-32

5. ABRAHAM-FROIS G. 1983 "ELEMENTS DE DYNAMIQUE ECONOMIQUE": DALLOZ

ΠΕΡ-1

ΤΙΤΛΟΣ ΕΙΣΗΓΗΣΗΣ: ΗΠΙΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ.

ΣΥΓΓΡΑΦΕΑΣ: ΟΔΥΣΣΕΑΣ - ΝΙΚΟΣ ΠΛΑΝΑΚΗΣ

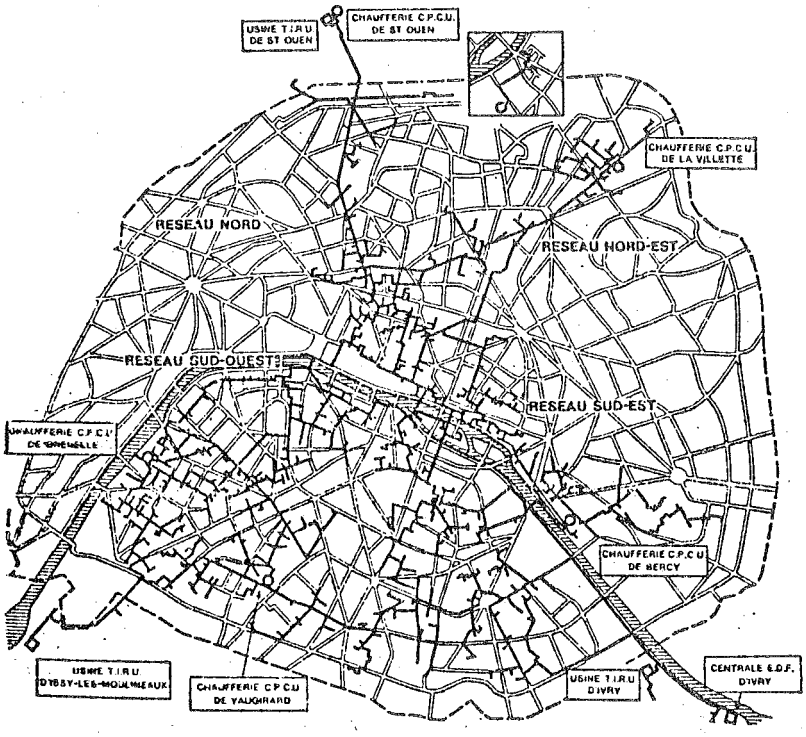
ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Στην Ελλάδα υπάρχουν αρκετές πηγές ενέργειας ανεκμετάλλευτες. Αυτές μπορούμε να τις κατατάξουμε σε δύο κατηγορίες: στην πρώτη κατηγορία ανήκει ο ανεκμετάλλευτος φυσικός πλούτος (θερμές πηγές, η ηλιακή ενέργεια, η βιομάζα, ηφαίστεια, λιγνίτης, τύρφη κ.λ.π.), στη δεύτερη κατηγορία έχουμε το σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία θα μπορούσε να γινόταν σε συμπαραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και τηλεθέρμανσης, καθώς και αξιοποίηση της Βιομηχανίας.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Α.Η.Σ= Ατμοπλοϊκός Σταθμός.
ΔΤ= Πτώσις Θερμοκρασίας.

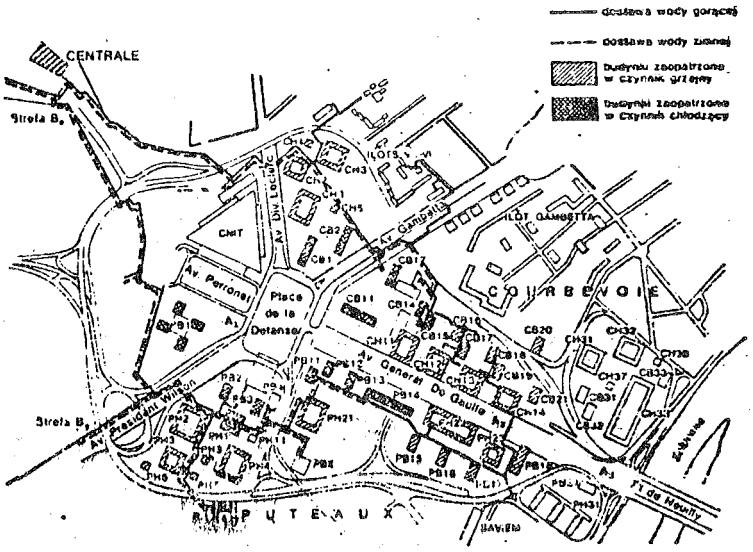
ΕΙΣΑΓΩΓΗ: Στα τελευταία χρόνια συχνά ακούμε είτε διαβάζουμε γιά την αύξηση των τιμών του πετρελαίου, άλλων καυσίμων και ηλεκτρικού ρεύματος ακόμα και γιά ενεργειακή κρίση. Είναι επόμενο με την αύξηση των αναγκών του πληθυσμού αναπτύσσεται και η βιομηχανία για καινούργια και περισσότερα προϊόντα. Σε κάθε αλλαγή της βιομηχανίας αλλάζει η τεχνολογία και το κόστος παραγωγής. Στην Ελλάδα πολλές τεχνολογίες παραμένουν επί δεκάδες χρόνια στο παλιό σύστημα. Χαρακτηριστική είναι η περίπτωση παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος. Από τους πρώτους Α.Η.Σ που κατασκευάστηκαν με παλιά τεχνολογία ακόμα και γιά εκείνα τα χρόνια, άλλαξαν σε πολλές περιπτώσεις μόνο οι λέβητες και η καύσιμη ύλη γιά παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Αλλά το αναχρονιστικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος παραμένει και επιβαρύνει αρκετά την οικονομία του Κράτους. Είναι απαράδεκτο σήμερα γία την οικονομία μας, να παράγουμε μόνο ηλεκτρική ενέργεια από ΑΗΣ ενώ θάπρεπε να παράγεται σε συμπαραγωγή με τηλεθέρμανση, όπως γίνεται σ'όλο σχεδόν τον κόσμο. Η συμπαραγωγή αυτή δεν είναι ωφέλιμη μόνο γιά το καλό της εθνικής οικονομίας αλλά και γιά τον πληθυσμό, γιατί λύνει το πρόβλημα της ρύπανσης που προέρχεται απ'τις καπνοδόχους της κεντρικής θέρμανσης.

Από τα παλιά χρόνια ακούμε ότι η Ελλάδα είναι φτωχή σε φυσικό πλούτο καιδεν μπορεί να αναπτυχθεί η βιομηχανία. Αυτό δεν ανταποκρίνεται στην αλήθεια γιατί υπάρχουν πολλές χώρες που είναι πολύ φτωχότερες σε φυσικό πλούτο από την Ελλάδα και έχουν αναπτύξει τη βιομηχανία τους. Το βασικό είναι η ύπαρξη μιάς πραγματικής επιστημονικής τοποθέτησης και η αξιοποίηση του φυσικού πλούτου σε μία προγραμματισμένη παραγωγή προσαρμοσμένη στις ελληνικές συνθήκες.
Υπάρχουν τεράστιες δυνατότητες αξιοποίησης τηλεθέρμανσης από τους ΑΗΣ της ΔΕΗ, από τις θερμές πηγές,από βιομάζα, ηλιακή ενέργεια και απορρίματα πόλεων. Η τηλεθέρμανση δεν είναι γνωστή ακόμα στην Ελλάδα. Δεν υπάρχουν βιβλία. Δεν υπάρχει καμία απολύτως νομοθεσία και προδιαγραφές σ'αυτό τον τομέα. Τα μόνα που υπάρχουν είναι μερικά άρθρα που δημοσιεύθηκαν στον τύπο, όπως του καθηγητή κ. Λέφα, του κ.Α. Βακάλη,του Οδυσ. Πλανάκη καθώς και εισηγήσεις του κ. Βακάλη και Πλανάκη σε διεθνή συνάντηση που οργανώθηκε από το ΥΧΟΠ το 1984. Γιά να γίνει κατανοητός είμαι υποχρεωμένος να τα πω πιό αναλυτικά και να επαναλάβω μερικά γνωστά αλλά βασικά σημεία.
Η τηλεθέρμανση είναι καινούργιος κλάδος της τεχνικής που καταγίνεται με την παραγωγή και μεταφορά θερμότητος σε απόσταση. Η τηλεθέρμανση μπορεί να είναι από ατμό είται από θερμό νερό υψηλής ή χαμηλής τάσης από 70 - 150$^{o}$, ακόμα και 180$^{o}$. Στην Ελλάδα δεν διδάσκεται στα Ανώτατα Ιδρύματα τηλεθέρμανση. Τηλεθέρμανση δεν είναι το ίδιο με την τοπική θέρμανση (κεντρική θέρμανση). Η τηλεθέρμανση καταγίνεται με τη μεταφορά θερμού νερού ή ατμού συνήθως σε μεγάλες πόλεις και σε υψηλή τάση γιά θέρμανση χώρου πόλεων ή θερμού νερού χρήσεως πόλεων Χειμώνα-Καλοκαίρι. Στην Ελλάδα έγινε κακή αρχή στον τομέα της παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος από την εγκατάσταση ακόμα των πρώτων ατμοηλεκτρικών σταθμών και το κακό συνεχίζεται. Επικρατούν λαθεμένες αντιλήψεις και είναι δύσκολο ακόμα να κατανοήσουν οι αρμόδιοι φορείς ότι το σύστημα αυτό που υπάρχει είναι καταστροφή γιά την οικονομία του Κράτους. Πρέπει να αλλάξει το σύστημα παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος και να γίνει σύστημα συμπαραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος και τηλεθέρμανσης, όπως είναι σ'όλο τον κόσμο. Η αλήθεια γιά την τηλεθέρμανση διαστρευλώνεται. Έχουν γίνει προτάσεις γιά να γίνουν πειράματα στην τηλεθέρμανση, πράγμα που δεν είναι αναγκαίο γιατί υπάρχει η σχετική εμπειρία άλλων χωρών εδώ και έναν αιώνα. Φαίνεται, ότι αυτοί που κάνουν τέτοιες προτάσεις ότι είναι εντελώς απληροφόρητοι, γιατί θα έπρεπε να ξέρουν ότι οι ΗΠΑ έχουν τηλεθέρμανση από το 1878, ότι σε διεθνές συνέδριο που έγινε το 1932 οι ΗΠΑ έκαναν γνωστό ότι ήδη είχαν τηλεθέρμανση σε 161 πόλεις κι ότι τα δύχτια τηλεθέρμανσης είχαν μήκος 1.420.000 μ. Η Ν Υόρκη σήμερα με πάνω από 10 εκ. κατοίκους έχει τηλεθέρμανση. Ενας ουρανοξύστης 67 ορόφων είναι συνδεδεμένος με τηλεθέρμανση απο το 1930. Το Ντητρόϊ, η Φιλαδέλφεια με πάνω από 4 εκ. κατοίκους η κάθε μία έχουν τηλεθέρμανση . Το Λονδίνο, Παρίσι σχήμ. αρ 1-2 Βερολίνο λύσαν το πρόβλημα της ρύπανσης μόνο με τηλεθέρμανση. Οι ισχυρισμοί ότι στην Ελλάδα το έδαφος είναι βραχώδες, ότι υπάρχουν αρχαία και ότι απαιτούνται τεράστιες δαπάνες γιά εγκατάσταση τηλεθέρμανσης δεν ανταποκρίνονται στην αλήθεια. Όπως επίσης δεν είναι αλήθεια ότι χρειάζεται μεγάλο κεφάλαιο γιά να αλλαχθεί ο παλιός μηχανισμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με μηχανισμό συμπαραγωγής ηλ.ενέργειας-τηλεθέρμανσης. Η αλήθεια είναι ότι η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, με το

σύστημα συμπαραγωγής, μπορεί να μειωθεί σ'ένα μικρό βαθμό αλλά η οικονομία σε ενέργεια είναι τεράστια. Εκτός της υποκατάστατης καύσιμης ύλης έχουμε ένα τεράστιο οικονομικό όφελος και διευκόλυνση των κατοίκων σε θερμό




Τηλεθέρμανση της πόλης του Παρισιού αρ 1




Τηλεθέρμανση συνοικίας Παρισιού αρ.2

νερό Χειμώνα-Καλοκαίρι και απαλλαγή από τη ρύπανση. Ξέρουμε συγκεκριμένα ότι η ρύπανση στην Αθήνα στην περίοδο που λειτουργεί η κεντρική θέρμανση αυξάνεται από 40-60%. Έχουμε στο λεκανοπέδιο της Αθήνας χιλιάδες καπνοδόχους και είναι αδύνατο να τους ελέγξουμε. Είναι αδιανόητο σε μία σύγχρονη πολιτεία να θερμαίνουμε τους χώρους με ξεχωριστά λεβητοστάσια σε κάθε κατοικία. Ο καπνός απ τους καπνοδόχους κρατιέται στο επίπεδο των σπιτιών και μπαίνει από τις ανοιχτές πόρτες και παράθυρα μέσα στα σπίτια. Τα ισόγεια έχουν καταντήσει ανυπόφορα από την μυρωδιά των καυστήρων και δεξαμενές πετρελαίου. Το λεκανοπέδιο της Αττικής καταναλώνει 6.000.000 τόν. πετρέλαιο το χρόνο άν υπολογίσουμε ότι έχει 4.000.000 κατοίκους και ότι η περιεκτικότητα του θείου στο πετρελαιο είναι 0,3% τότε παίρνοντας τις ίδιες περίπου συνθήκες γιά την Αθήνα σε 10 ώρες την μέρα θέρμανση και 1.000 ώρες το χρόνο (4 μήνες περίπου το χρόνο), με σύστημα τηλεθέρμανσης θα χρειαζόμασταν μόνο 320 εκ. κιλά πετρέλαιο το χρόνο. Η διαφορά θα ήταν 280.000.000 κιλά πετρέλαιο το χρόνο λιγώτερα επί 28 δρχ. το κιλό ≃ 7.840.000.000δρχ.
Δηλαδή πάνω από 75 δις. δρχ. το χρόνο θα έχουμε κέρδος μόνο από το πετρέλαιο.

Εξ'αιτίας της τοπικής θέρμανσης (κεντρικής θέρμανσης) που υπάρχει σήμερα στην Αθήνα τα επίπεδα καπνού στις κεντρικές περιοχές είναι πολύ μεγαλύτερα σε σύγκριση με άλλες ευρωπαϊκές πόλεις. Η συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων στο λεκανοπέδιο είναι τεράστια. Υπολογίζεται σε 180-232 κυβ. μέτρα Με το σύστημα της τηλεθέρμανσης το βασικώτερο όφελος είναι η εξάλειψη του νέφους, όπως αποδείχθηκε από την πείρα άλλων χωρών. Κλασικό παράδειγμα είναι ο ΑΗΣ Κερατσινίου που χτίστηκε το 1928. Στο Κερατσίνι η συμπύκνωση του ατμού γίνεται με τη μεγαλύτερη σπατάλη με το σύστημα που εφαρμόζεται, δηλ. να παίρνουμε το νερό απ τη μιά μερία της θάλασσας μέσω συμπυκνωτών και να το ρίχνουμε στην άλλη μερία της θάλασσας. Χάνουμε έτσι πάνω από 170.000.000 χιλιοθερμίδες την ώρα, ενέργεια που θα έφτανε να θερμάνουμε πάνω από 213.000 κατοίκους καινα έχουν θερμό νερό Χειμώνα-Καλοκαίρι. Θα ήταν προτιμότερο για την οικονομία μας και γιά τους κατοίκους της περιοχής αυτής να είχαν δωρεάν θέρμανση και ζεστό νερό παρά η ενέργεια αυτή να πετιέται στη θάλασσα.

Από τις μετρήσεις του ΠΕΡΠΑ ξέρουμε ότι η ρύπανση από την κεντρική θέρμανση στο διάστημα της λειτουργίας της αυξάνεται σε σχέση με το Καλοκαίρι από 40-60%. Οι κάτοικοι όμως της περιοχής αυτής θερμαίνουν τα σπίτια τους με την κεντρική θέρμανση που αυξάνει τη ρύπανση του περιβάλλοντος και ακριβοπληρώνουν γιά τη χρήση θερμοσιφώνων πράγμα που θα μπορούσαν να αποφύγουν εάν υπήρχε τηλεθέρμανση. Η τηλεθέρμαση δεν είναι και τόσο δαπανηρή γιά το κράτος. Κάλλιστα θα μπορούσαν να την εγκαταστήσουν μόνοι τους οι κάτοικοι με ένα κόστος 8.000-10.000 το άτομο, με μία συμφωνία με τη ΔΕΗ ότι θα είχαν δωρεάν θέρμανση και ζεστό νερό έως ότου λειτουργήση ο ΑΗΣ με φυσικό αέριο μέσω του αγωγού από τη Σοβιετική Ένωση. Ακόμα στο Κερατσίνη μπορεί και πρέπει να γίνει μιά μικρή αλλαγή με μικρές δαπάνες, δηλαδή να μετατραπεί το σύστημα παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος σε σύστημα συμπαραγωγής. Μ'αυτό το σύστημα θα μειωθεί κατά ορισμένο ποσοστό η ηλεκτρική ενέργεια αλλά θα έχουμε το πλεονέκτημα να υπάρχει θέρμανση και ζεστό νερό σε πάνω από 700χιλ. κατοίκους. Ο ΑΗΣ Κερατσινίου καταναλώνει 500 χιλ. τον. μαζούτ το χρόνο σαν καύσιμη ύλη και γιά

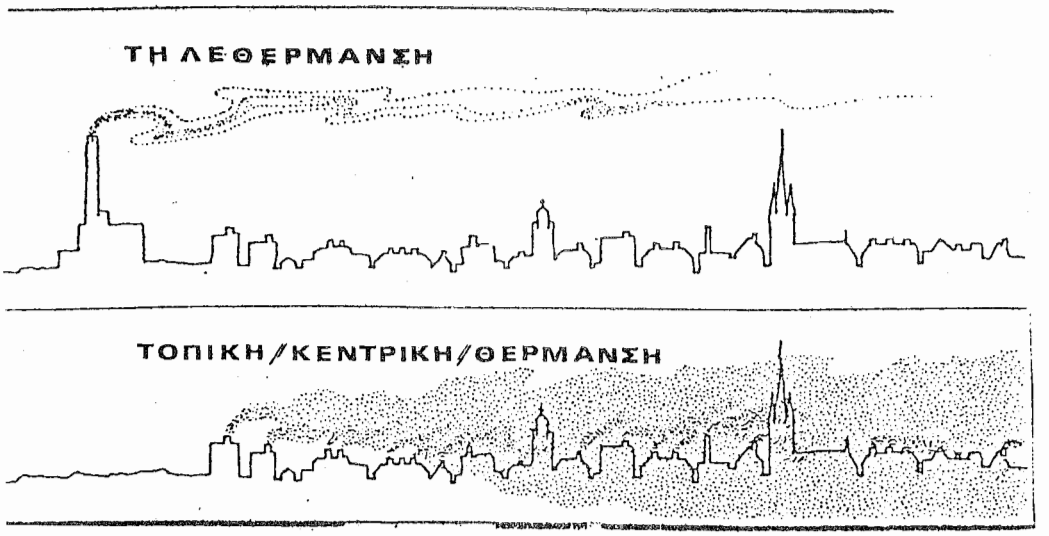
λειτουργία οχημάτων απαιτούνται 405 χιλ. τον. πετρέλαιο το χρόνο. Η βιομηχανία στο λεκανοπέδιο Αττικής καταναλώνει 122.200 τόν. μαζούτ το χρόνο. Επίσης η βιομηχανία του Θριάσιου πεδίου καταναλώνει 178.760 τόν. μαζούτ-3500 το χρόνο, σύνολο 1.204.900 τον. υγρά καύσιμα το χρόνο. Οι πηγές ρύπανσης γιά το λεκανοπέδιο Αττικής είναι πολλές και όχι μόνο το κερατσίνη.

ΠΗΓΕΣ - ΡΥΠΟΣ ΤΟ ΧΕΙΜΩΝΑ ΣΕ %

| ΠΗΓΗ ΡΥΠΟΣ | ΚΑΠΝΟΣ | HCs | $SO^2$ | CO |
|---|---|---|---|---|
| Κερατσίνι | 13,5 | 0,2 | 16,5 | 0,1 |
| Κεντ. θερμ. | 13,5 | 0,5 | 7,5 | 0,1 |
| Κυκλοφοριακό | 46 | 50,1 | 5,6 | 99,5 |
| Βιομηχανία | 47 | 49,2 | 70,4 | 0,3 |

Υπάρχει η δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν φίλτρα στην καμινάδα του ΑΗΣ ύψους 156 μ. ώστε ν'αποφεύγονται απόλυτα η ρύπανση του περιβάλλοντος. Είναι όμως αδύνατο ναβάλουμε φίλτρα στις καπνοδόχους της κεντικής θέρμανσης που ανέρχονται σε χιλιάδες.

Στο σχεδιάγραμμα που επισυνάπτω (αριθ.3) απεικονίζεται ο βαθμός της ρύπανσης από τηλεθέρμανση και την κεντρική θέρμανση.
(σχεδ. αρ. 3)



ΑΠΟΡΡΙΜΑΤΑ

Ένα άλλο σοβαρό πρόβλημα γιά το λεκανοπέδιο Αθηνών και γιά όλες γενικά τις μεγαλουπόλεις της Ελλάδας είναι τα απορρήματα. Θα αναφερθώ μόνο στο ζήτημα της ενέργειας που είναι και αυτή σε συνέχεια μιά από τις σπατάλες που γίνονται στο λεκανοπέδιο Αττικής. Από τους υπολογισμούς που έχω κάνει και έχω δημοσιεύσει στον τύπο έχουμε τουλάχιστο 2.400.000 κιλά απορρίματα την ημέρα με θερμογόνο δύναμη 1.000 χιλιοθερμίδες ανά κιλό, δηλαδή έχουμε 2.400.000.000 την ημέρα χιλιοθερμίδες, και το χρόνο 876 δις χιλιοθερμίδες. Μπορούμε να παράγουμε θέρμανση με τα παραπάνω δεδομένα, σε 304.000 κατοίκους χωρίς διακοπή, γιά 150 μέρες το λιγώτερο. Τα στοιχεία αυτά είναι γιά κατώτερους όρους στην Ελλάδα. Στην πραγματικότητα είναι πολύ περισσότερο γιατί στην Ελλάδα καταναλώνουμε πολύ χαρτί.

ΑΗΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Σχεδόν όλοι οι ΑΗΣ στην Ελλάδα έχουν κατασκευασθεί κατά απαράδεκτο τρόπο γιά οικονομία της χώρας. Ο σκοπός της ΔΕΗ είναι μόνο παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος και όχι θερμό νερό γιά τηλεθέρμανση. Σε όλο τον κόσμο η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται σε συμπαραγωγή με τηλεθέρμανση. Το φοβερό είναι ότι η κατάσταση με τους ΑΗΣ Πτολεμαΐδα είναι χειρότερη. Επρεπε πριν κατασκευασθούν να προβλεφθεί συνδυασμός παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος και τηλεθέρμανσης γιά τις ανάγκες των γύρω περιοχών και της Κοζάνης. Είναι απαραίτητο σχετικά με τους ΑΗΣ Πτολεμαΐδας να ελαττωθεί ελάχιστα η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος για να θερμάνουμε τους γύρω κατοικημένους χώρους και τη Κοζάνη. Η μικρή ελάττωση παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος δε σημαίνει ότι θα έχουμε έλλειψη ρεύματος. Αντίθετα θα έχουμε περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια γιατί γίνεται απλούστατα μιά αλλαγή ενέργειας. Ελάχιστη μείωση της παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος αλλά αξιοποίηση του ατμού γιά την βιομηχανία, βιοτεχνία, θέρμανση των κατοίκων, θερμό νερό χρήσης Χειμώνα-Καλοκαίρι απαλλάσσοντας έτσι τους κατοίκους από χρήση θερμοσιφώνου.

Απαράδεκτο επίσης είναι γιά τη Β. Ελλάδα να θερμάινουμε πόλεις και χωριά ξεχωριστά γιά κάθε κατοικία όπως γίνεται με την κεντρική θέρμανση άσχετα αν χρησιμοποιούμε καυσόξυλα ή πετρέλαιο. Είναι απαραίτητο ειδικά γιά τη Β. Ελλάδα να δημουργηθή τηλεθέρμανση με ένα ή περισσότερα λεβητοστάσια γιά κάθε πόλη και όχι λεβητοστάσιο γιά κάθε κατοικία όπως γίνεται τώρα με την κεντρική θέρμανση. Η αύξηση της τιμής του πετρελαίου θα μας δημιουργεί κάθε χρόνο περισσότερα οικονομικά προβλήματα και μεγαλύτερη ρύπανση του περιβάλλοντος. Θα υποχρεοθούμε το θέλουμε δεν το θέλουμε η τηλεθέρμανση να γίνει. Όσο όμως καθυστερήσουμε τόσο μεγαλύτερη θα είναι η δαπάνη. Οποια μορφή ενέργειας κι αν χρησιμοποιήσουμε στο μέλλον η τηλεθέρμανση παραμένει ίδια.

Παρ'όλα τα προσκόμματα τελευταία γίνεται μελέτη από το ΥΧΟΠ σε συνεργασία με τη ΔΕΗ γιά τηλεθέρμανση στη Κοζάνη απο τονΑΗΣ Καρδιάς Πτολεμαΐδας καθώς και τις γύρω περιοχές.

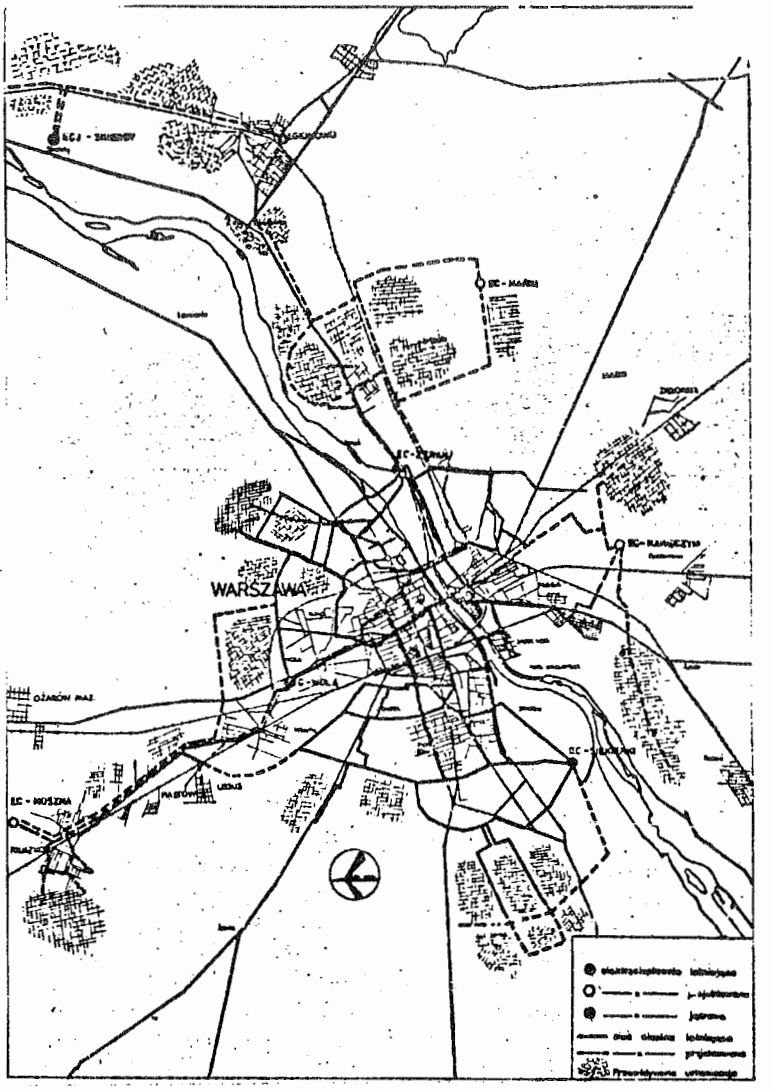
Η ίδια κατάσταση επικρατεί και στη Θεσ/νικη. Θα μπορούσε λογω κλίματος (χαμηλότερη θερμοκρασία) να έχει τηλεθέρμανση από πολύ παλιά.

ΖΑΧΑΡΟΥΡΓΕΙΑ

Επίσης πρέπει να αξιοποιθούν γιά τηλεθέρμανση το 5 ζαχαρουργεία που υπάρχουν στην Ελλάδα δηλ. της Λάρισας, Σερρών, Ξάνθης, Ορεστειάδας, Πλατύ. Σ'αυτά τα ζαχαρουργεία είναι εγκατεστημένοι συνολικά 18 ατμολέβητες με συνολική ατμοπαραγωγή 516 τον. την ώρα και 12 στροβιλογεννήτριες αντιθλήψεως με συνολική ισχύ 55,58 μεγαβάτ. Οι εγκαταστάσεις των ζαχαρουργείων λειτουργούν μόνο 3-4 μήνες τον χρόνο την εποχή συγκομιδής σαχαρότευτλων. Με μικρές δαπάνες μπορούν κάλλιστα να αξιοποιηθούν οι εγκαταστάσεις των ζαχαρουργείων γιά τηλεθέρμανση των περιοχών όπου λειτουργούν αυτά γιά μεγάλη εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας και καύσιμης ύλης. Είναι απαραίτητο στην Ελλάδα να δημιουργηθεί ένα συντονιστικό όργανο γιά να συντονίζει και να αξιοποιεί τις πηγές ενέργειας και να γίνει μιά καταγραφή της ενέργειας των θερμών πηγών που χάνεται ανεκμετάλλευτη. Αυτό το συντονιστικό όργανο θα μπορούσε να συντονίζει κάθε μορφή ενέργειας και να γνωμοδοτεί και να διευθύγει για τη καλύτερη αξιοποίησή τους.

Στο σχήμα αρ. 4 φαίνεται η τηλεθερμανση της πόλης Αννόβερο.
" " " 5 " " " " " στην περιοχή της Βαρσοβίας

Σχῆμα 4




Τηλεθέρμανση περιοχής Βαρσοβίας άρ. 5

ΠΕΡ-9

ΤΙΤΛΟΣ ΕΙΣΗΓΗΣΗΣ:

"Η ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ Η ΠΟΛΗ"

ΣΥΓΓΡΑΦΕΑΣ:

ΠΑΝΟΣ ΣΤΑΘΑΚΟΠΟΥΛΟΣ
Δρ. Αρχιτέκτων - Πολεοδόμος
Κοινωνιολόγος

ΠΕΡΙΛΗΨΗ:

1. Η ενέργεια στη σημερινή πόλη
2. Η αυριανή πόλη σχεδιασμένη σε συνδυασμό με το πρόβλημα της ενέργειας

Στο πρώτο ζήτημα αναφέρομαι στις βασικότερες σημερινές μορφές ενέργειας που υπάρχουν καθώς και στις επιπτώσεις που έχουν στον άνθρωπο, την πόλη, το περιβάλλον και στη ποιότητα ζωής.

Στο δεύτερο ζήτημα,αναφέρομαι στο πως πρέπει να είναι η αυριανή πόλη, η πόλη του μέλλοντος, όπου το μέλλον προετοιμάζεται σήμερα.

ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ:
Ενέργεια, πόλη, ποιότητα ζωής, ποιότητα περιβάλλοντος, Αρχιτεκτονική σύνθεση

ΕΙΣΑΓΩΓΗ:

Θέμα μας είναι η "Ενέργεια και η Πόλη". Ενα ζήτημα που σήμερα πια έχει προσλάβει -βλέποντάς το στην προέκτασή του στο μέλλον- αινιγματικές διαστάσεις και που μας κάνει ν'αναρωτιόμαστε αν έχουμε τη δυνατότητα, στη φάση αυτή, να τοποθετηθούμε ρεαλιστικά και να δώσουμε απαντήσεις στα προβλήματα που προκύπτουν.

Ακόμα και σήμερα δεν παίρνεται ουσιαστικά υπόψη το κόστος και τα διαθέσιμα αποθέματα ενεργείας. Η πόλη αναπτυσσόταν και εξακολουθεί να αναπτύσσεται με τον παράγοντα ενέργεια μηδενικό ή το πολύ-πολύ ουδέτερο. Η συνειδητοποίηση όμως μιας σκληρής πραγματικότητας μας οδηγεί στο ν'ανατρέψουμε αυτή την τάξη πραγμάτων και να δούμε ότι η σημασία του παράγοντα "ενέργεια" ογκώνεται συνεχώς,

για να γίνει κυρίαρχη. Ανεξάρτητα από το γεγονός ότι το πρόβλημα αυτό ανήκει τυπικά στο μέλλον και ότι οι πόλεις, έτσι όπως έχουν, θα επιβάλουν για πολύ ακόμα τους καταναγκασμούς τους, η πορεία των πραγμάτων και η συνειδητοποίηση της πορείας αυτής μπορεί κάλλιστα να μας οδηγήσει σε μιαν εντελώς διαφορετική εννοιολογική σύλληψη της πόλης.

Ετσι, φτάνουμε στην ανάλυση δύο διαφορετικών ζητημάτων -που όμως συνδέονται απολύτως- για την όσο γίνεται καλύτερη προσέγγιση του θέματος που μας αφορά:

- Το ζήτημα της ενέργειας στη σημερινή πόλη.
- Η σύλληψη της αυριανής πόλης σε σχέση με την έλλειψη ενεργείας.

## ΤΟ ΖΗΤΗΜΑ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗ ΣΗΜΕΡΙΝΗ ΠΟΛΗ

Το ερώτημα είναι: Οι σύγχρονες πόλεις μπορούν -και με τι τρόπο και μέχρι ποιό σημείο- να βελτιώσουν τον ενεργειακό τους ισολογισμό; Με άλλα λόγια, οι σύγχρονες πόλεις μπορούν να μειώσουν την κατανάλωση ενεργείας, εκμεταλλευόμενες ταυτόχρονα και άλλες πηγές, ώστε οι χρήσεις της πόλης να μη στερηθούν κεκτημένα αγαθά;

Δε θεωρούμε σκόπιμο -αν και στο μέλλον μπορεί να υποχρεωθούμε- να καταφύγουμε σε νομοθετικά μέτρα ελέγχου των χώρων και περιορισμού της κατανάλωσης, που η αποτελεσματικότητά τους είναι πολύ αμφίβολη αλλά και ενδέχεται να οδηγήσουν σε οξυμένες καταστάσεις. Εκείνο που θεωρούμε ότι πρέπει να γίνει, είναι η ένταση της ενημερωτικής καμπάνιας και η θέσπιση σοβαρών οικονομικών κινήτρων και αντικινήτρων, με στόχο να παγιωθεί ένα πνεύμα οικονομίας στην κατανάλωση της ενέργειας.

Κι όχι μόνον αυτό. Πρέπει επίσης να καταβληθεί κάθε προσπάθεια και να δοθεί κάθε δυνατή βοήθεια για τη δημιουργία νέων υλικών και τεχνικών, που ν'ανταποκρίνονται στις νέες ανάγκες. Για τη σημασία της δημιουργίας αυτής δεν αμφιβάλλει κανείς. Τα παραδείγματα των σύγχρονων υλικών μόνωσης και της θερμαντικής αντλίας αρκούν. Το πρόβλημα είναι ότι η έρευνα αλλά και η εφαρμογή των νέων τεχνικών μεθόδων απαιτούν πολύ μεγάλες επενδύσεις. Αυτό που πρέπει όμως να υπερισχύσει -τόσο στους αρμόδιους του Ιδιωτικού Τομέα αλλά κύρια του Δημοσίου- είναι μια καινούρια αντίληψη με κύριο στοιχείο

όχι μόνο το σκέλος επένδυση και απόσβεσή της αλλά το συνολικό αποτέλεσμα επένδυση και λειτουργία.

Κι εδώ ο ρόλος του Δημοσίου είναι αποφασιστικός, όχι μόνο για τα παραπάνω, αλλά και γιατί στον τομέα που μας ενδιαφέρει ιδιαίτερα η νέα αυτή κατάσταση επιβάλει μιαν αναθεώρηση του συστήματος των τιμών plafond στον τομέα της βοηθούμενης κατοικίας, όπως επίσης και των κριτηρίων επιλογής και επιχορήγησης στα δημόσια έργα καθώς και σ'αυτά των τοπικών συνεταιρισμών και των Οργανισμών Τοπικής Αυτοδιοίκησης.

* * *

Σε ό,τι αφορά την εκμετάλλευση άλλων πηγών ενεργείας, παρόλο ότι η δράση αυτή υπερβαίνει το πρόβλημα της πόλης με τη στενή έννοια, υπάρχουν τομείς, πολύ σημαντικοί, σχετιζόμενοι άμεσα με τον αστικό χώρο, που αξίζει να μελετηθούν.

Η πόλη, εκτός από κέντρο κατανάλωσης ενεργείας, είναι ταυτόχρονα και ένα κέντρο παραγωγής ενεργείας. Και μ'αυτό εννοούμε την απόρριψη και αναδιανομή της εκμεταλλευόμενης ενέργειας, φυσικά υποβαθμισμένης και κάτω από διάφορες μορφές. Σαν θερμότητα που διαφεύγει την ατμόσφαιρα και στο έδαφος, σαν ενέργεια που ενσωματώνεται στα διάφορα βιομηχανικά προϊόντα και σαν ενέργεια που περικλείεται στα απόβλητα. Η δέσμευση και χρησιμοποίηση ενός τμήματος αυτής της ενέργειας είναι ένα ζήτημα πολύ σημαντικό. Ας σκεφθούμε μόνον ότι η επανάκτηση ενεργείας με την αποτέφρωση των οικιακών απορριμάτων μπορεί να φθάσει το 3-4% της κατανάλωσης μιας πόλης.

Από κει και πέρα, μένει φυσικά το ζήτημα της χρησιμοποίησης νέων μορφών ενεργείας, όπως της ηλιακής, της αιολικής και της γεωθερμικής. Ανεξάρτητα από το αν τα μέχρι τώρα αποτελέσματα είναι εντυπωσιακά ή όχι, ανεξάρτητα επίσης από τα τεχνικά προβλήματα που ορθώνονται για τη χρησιμοποίησή τους, το φάσμα της έλλειψης ενεργείας που ορθώνεται μπροστά μας δεν μας επιτρέπει την πολυτέλεια της απόρριψής τους.

Στη Λυκόβρυση θα λειτουργήσει η πρώτη οικιστική μονάδα με εκμετάλλευση της ηλιακής ενεργείας. Στο Melun της Γαλλίας, από το 1970 ήδη, δύο χιλιάδες κατοικίες θερμαίνονται με την εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενεργείας. Είναι βήματα πολύ σημαντικά. Στην Ερευνα εναπόκειται η ένταση της εκμετάλλευσής τους και η άρση των τεχνικών δυσκολιών που παρουσιάζει η χρησιμοποίησή τους.

# Η ΣΥΛΛΗΨΗ ΤΗΣ ΑΥΡΙΑΝΗΣ ΠΟΛΗΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΕΛΛΕΙΨΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Στο ζήτημα της σύλληψης της αυριανής πόλης σε σχέση με την έλλειψη ενεργείας, δε θα ήταν συνετό να ασχοληθούμε με λεπτομερή σχέδια. Εκείνο που μπορούμε και είναι απαραίτητο να γίνει, είναι το να θέσουμε ερωτήματα και να προωθήσουμε τη μελέτη για ορισμένα ζητήματα.

Δύο είναι τα πεδία στα οποία μπορούμε να δράσουμε:

- Το πεδίο της διευθέτησης της πόλης και του Γενικού Τοπογραφικού Σχεδίου
- Το πεδίο της αρχιτεκτονικής σύνθεσης

Στο πρώτο θέμα, είναι λάθος να βλέπουμε μόνο το θέμα μεταφορές. Οι αστικές μεταφορές δεν αντιπροσωπεύουν παρά ένα μικρό ποσοστό της συνολικά καταναλισκόμενης ενέργειας. Υπάρχουν πολλά άλλα ζητήματα που το ειδικό τους βάρος για το εν λόγω θέμα είναι πολύ περισσότερο σημαντικό:

Η επιλογή της οριζόντιας ή κάθετης διευθέτησης έχει πολύ σοβαρές επιπτώσεις στην κατανάλωση ενεργείας. Ετσι, το ζήτημα της ατομικής ή συλλογικής κατοικίας τίθεται κάτω από ένα άλλο σκεφτικό. Σαφώς η ατομική κατοικία έχει πολύ μεγαλύτερες θερμικές απώλειες από το διαμέρισμα μιας πολυκατοικίας, με ίσες συνθήκες μόνωσης. Αλλά, το άλλο ζήτημα αφορά την κυβερνητική πολιτική, που έχει να σταθμίσει όχι μόνο το θέμα της εξοικονόμησης ενεργείας αλλά και την ικανοποίηση των κοινωνικών αναγκών. Ούτως ή άλλως, στο ζήτημα της θέρμανσης των κατοικιών διακρίνονται δύο σαφείς άξονες: απ'τη μία η επίδραση της αστικής πυκνότητας στις θερμικές απώλειες των κατοικιών και η δυνατότητα για επανάκτηση ενός τμήματος της ενέργειας, κι απ'την άλλη, η αποδοτικότητα των διαφόρων τρόπων θέρμανσης που σχετίζεται επίσης, αλλά σε μικρότερο βαθμό, με την αστική πυκνότητα και μορφή.

Επίδραση επίσης έχει στις θερμικές απώλειες των κατοικιών

η τοποθεσία και η μορφή των δρόμων. Απάνεμες περιοχές και δρόμοι όχι ευθύγραμμοι επιδρούν οπωσδήποτε πιό θετικά στην εξοικονόμηση ενεργείας. Κι εδώ θα μπορούσαμε να προσθέσουμε την επίδραση του ανέμου, από την άποψη των θερμικών απωλειών, στις διάφορες μορφές οικοδομικών συγκροτημάτων. Θα ήταν πολύ χρήσιμη η μελέτη των φαινομένων αυτών, η μελέτη δηλαδή των μικροκλιμάκων που δημιουργούνται μέσα στον αστικό χώρο.

Ενα άλλο ζήτημα επίσης που πρέπει να μας προβληματίσει είναι το ζήτημα των "πύργων". Ανεξάρτητα απ'τα πλεονεκτήματα που μπορεί να παρουσιάζουν, είναι γεγονός ότι αυτά τα συγκροτήματα καταβροχθίζουν στην κυριολεξία ενέργεια. Ο πύργος του Maine Montparnasse, που στεγάζει 20.000 εργαζόμενους επί οκτώ ώρες τις εργάσιμες μέρες, έχει μια κατανάλωση ενεργείας ίση με τη συνολική κατανάλωση μιας πόλης 15.000 κατοίκων. Δεν χρειάζεται να επεκταθούμε.
Οπως βλέπουμε από αυτή την πολύ σύντομη αναφορά, τα προβλήματα που θέτει η ενεργειακή σκοπιά είναι τόσο σύνθετα και πολύπλοκα, που πρέπει να γίνουν αντικείμενο μιας πολύ σοβαρής και συνεχούς μελέτης. Παράλληλα όμως πρέπει να ενημερωθούν οι αρμόδιοι φορείς για τις ενεργειακές συνέπειες των επιλογών τους και να προταθούν ορισμένες πρώτες λύσεις, έστω και για πειραματισμό, που να στοχεύουν στην εξοικονόμηση ενεργειας. Εστω για παράδειγμα, η παράλληλη εγκατάσταση ενός εργοστασίου αποτέφρωσης οικιακών απορριμάτων και ενός αστικού λεβητοστασίου ή μιας πισίνας και μιας πίστας πατινάζ δε θεωρούμε ότι είναι προτάσεις για το απώτατο μέλλον.

* * *

Σε ότι αφορά το πεδίο της αρχιτεκτονικής σύνθεσης της κατοικίας, αποδίδουμε πολύ μεγάλη σημασία αφού η ενέργεια που απαιτείται για τη θέρμανση των χώρων φτάνει το 30% περίπου της συνολικά καταναλισκόμενης ενεργείας.

Το να λαμβάνονται υπόψη τα προβλήματα μόνωσης από τη φάση της αρχιτεκτονικής σύνθεσης ήδη, δεν αφορά το αισθητικό αποτέλεσμα

μόνο. Είναι κάτι που θα επιτρέψει την επεξεργασία νέων αρχιτεκτονικών μορφών με άμεση επίπτωση στην κατασκευή και στην εξοικονόμηση ενεργείας.

* * *

Πρέπει να αντιληφθούμε ότι βρισκόμαστε στο κατώφλι μιάς νέας εποχής. Η κρίση του πετρελαίου δεν αποκάλυψε παρά μόνο την κορφή του παγόβουνου. Θα γίνουμε μάρτυρες μεγάλων μεταβολών, που δεν ξέρουμε ποιές μορφές θα πάρουν ούτε ποιές θάναι οι επιπτώσεις τους στις ανθρώπινες δραστηριότητες. Γι αυτό, οι μελέτες που θα γίνουν -οι μελέτες που πρέπει να γίνουν- πρέπει να χαρακτηρίζονται από όύνεση και ευκαμψία. Η πόλη οικοδομείται μακροπρόθεσμα. Οι συνοικίες που δημιουργούνται μια δεδομένη στιγμή, θα λειτουργήσουν για πολλές γενιές. Πρέπει ν'αναζητήσουμε αστικές δομές που να είναι ανοιχτές στο χρόνο, προσαρμόσιμες σε μελλοντικές αλλαγές.

Και για να μην είμαστε πολύ απαισιόδοξοι, ίσως η όλη υπόθεση να μη δημιουργεί ουσιαστικά προβλήματα για την ανθρώπινη κοινωνία, εκτός από τα προβλήματα προσαρμογής. Η υπερκατανάλωση ξέρουμε ότι έχει δημιουργήσει τερατώδεις καταστάσεις. Η μόλυνση του περιβάλλοντος και η συμφόρηση των πόλεων είναι δύο μόνο παραδείγματα. Ισως η ενεργειακή κρίση να επιταχύνει μια εξέλιξη που είναι απολύτως αναγκαία.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ailleret R., (1974) "L'Energie jusqu'a l'an 2000", Sciences et Techniques, no 13.

Gibrat R., (1974) "L'Energie en l'an 2000", Sciences et Techniques, no 14.

Gremon M., (1973) "Ce Monde Affame d'Energie", Laffont, Paris.

Obum H.T., (1971) "Environment Power and Society", Wiley-interscience.

Rosmay J., (1975) "Le Macroscope" Seuil,Paris.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΕΙΔΙΚΗ

Bremond M., (1974) "La Crise de l'Energie", Travaux communaux.

Documentation Francaise (1974) "Energie et Environnement", Paris, D.F. - Collection Environnement.

Felix F., (1974) "La Croissance de la Consommation d'Energie", Analyse et prevision, no 11.

Maillet P. (1973) "L'Energie" P.U.F. Paris.

Martin J.-M. (1978) "L'Economie et l'Energie",courrier du CNRS,no 11.

Puiseux L., (1973) "L'Energie et le Désarroi Post-Industriel", Hachette, 2 volumes, Paris.

Steadman P., (1974) "Energy Conservation Measures in Building: a survey", Environment and planning volume 1, no 1.

# Ο ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΚΦΡΑΣΗ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΤΩΝ ΠΑΘΗΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Μίτση Βαλασά : Αρχιτέκτων Μηχανικός

Αρης Τσαλαπάτας.: Μηχανολόγος Ηλεκτρολόγος

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ:
Η ποιότητα ζωής καθημερινά περνάει στις ασχολίες μας και γίνεται όλο και πιό ευαίσθητη.
Εμείς θα δούμε τη ποιότητα ζωής με τη έκφραση της πολεοδομίας γιατί έτσι πιστεύουμε στη επιστημονική προσφορά γιά τη βελτίωση των παραμέτρων διαβίωσης.
Ο προσανατολισμός της πόλης η υπάρχουσα ρυμοτομία και οι εναλλακτικές λύσεις των μελλοντικών κατασκευών με κίνητρο την ελοικονόμηση ενέργειας θά δώσουν νέα διάσταση στη νομοθέτηση του οικοδομικού κανονισμού στη μορφολογία της οικοδομής και, θα προσφέρουν δουλειά γιά πολεοδομικό σχεδιασμό.
ΛΕΞΕΙΣ- ΚΛΕΙΔΙΑ:
Πολεοδομικός σχεδιασμός
Βιοκλιματική Αρχιτεκτονική
Παθητικά συστήματα
Προσανατολισμός
ΕΙΣΑΓΩΓΗ:
Τά παθητικά συστήματα έχουν τη δυνατότητα να παίζουν σημαντικό ρόλο στη δημιουργία άνετων συνθηκών κλίματος.
Η επιστήμη μας έχει δώσει τόσο γενικές θεωρητικές κατευθύνσεις όσο και ειδικές πρακτικές λύσεις ώστε να επιτυγχάνονται αξιόλογα αποτελέσματα στο σχεδιασμό του κελύφους της οικοδομής.
Οταν όμως το κτίριο εντάσεται σε αστικό περιβάλλον εκτός από το κέλυφος πρέπει να συμβάλει και ο πολεοδομικός σχεδιασμός. Καί μάλιστα αυτός είναι η πρώτη και βασική βαθμίδα από την οποία σε μεγάλο βαθμό εξαρτάται η ενεργειακή συμπεριφορά του κτιρίου.
Στη χώρα μας με εξαίρεση ορισμένες μεμονωμένες περιπτώσεις δεν λαμβάνονται ακόμη σε ικανοποιητικό βαθμό υπ' όψη οι ενεργειακές παράμετροι στο πολεοδομικό σχεδιασμό.
Αυτή η προσωπική μας άποψη, μας έδωσε την αφορμή να τολμήσουμε την εισήγηση αυτή με την ελπίδα να προκαλέσουμε προβληματισμό στους ειδικούς και τους αρμόδιους

# Η ΕΠΕΜΒΑΣΗ ΤΗΣ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ

Το ευρύ κλιματολογικό φάσμα της χώρας μας μεταθέτει το κρίσιμο σημείο του υπολογισμού του φυσικού κλιματισμού αλλο,στο θέρος και αλλού το χειμώνα. Αυτό μαζί με τις μορφολογικές ιδιαιτερότητες κάθε περιοχής δημιουργεί την ανάγκη ενός πυκνού ιστού ερευνών και μελετών γιά να είναι δυνατή η ορθή αντιμετώπιση του θέματος σε κάθε περιοχή και κάθε περίπτωση.
Η διάταξη, οπροσανατολισμός και τα μεγέθη των νέων κατασκευών πάνω σε κάποιο έδαφος είναι δυνατό να επιδράσουν (1)
Στις ακραίες θερμοκρασίες
Στη υφρασία και στα συναφή φαινόμενα
Στην ένταση των ανέμων στη διεθυνση συχνότητας ή και να δημφουργήσουν τοπικά ρεύματα.
Μέ κατάλληλο σχεδιασμό είναι δυνατό να προκύψουν ευνοϊκές συνέπειες στο ενεργειακό ισοζύγιο, επομένως εξασφάλιση άνεσης και βελτίωση των όρων ζωής, χωρίς αυξημένες δαπάνες και ώφελος γιά τη Εθνική Οικονομία.
Συγχρόνως όμως αντιμετωπίζεται η ηχορύπαμση και ρύπανση της ατμόσφαιρας δηλαδή γίνεται πρόσθετη βελτίωση των όρων ζωής (2)(3).
Η επέμβαση του πολεοδομικού σχεδιασμού στα ενεργειακά είναι δυνατό να γίνει σε δύο τομείς.
Στά νέα πολεοδομικά σχέδια
Στά υπάρχουσα σχέδια
Στο πρώτο τομέα και χάρη στις επικρατούσες σήμερα απόψεις γιά χαμηλούς συντελεστές δομησης είναι σχετικά εύκολη.
Αρκεί η τήρηση των γνωστών κλασικών κανόνων του φυσικού κλιματισμού που από πολεοδομική άποψη είναι Νότιος προσανατολισμός,φράγματα φυλλοβόλων και αειθαλών δένδρων προκήπια γιά τη μείωση της ακτινοβολίας και δημιουργία ευνοϊκών διαύλων αερισμού.
Από την μελέτη των συναδέλφων Α.Μ Γεωρ. Καρνάτσου και Καλ. Βασίλα (4) προκύπτει ότι μπορεί να επιτευχθεί η πιό κάτω κατανομή της ετήσιας θερμικής απαίτησης
θερμικής απαίτησης

| | |
|---|---|
| ηλιακή ενέργεια | 40% |
| εσωτερικές προσόδοι | 20% |
| βοηθητική ενέργεια | 40% |

ελαχίστη εσωτερική θερμοκρασία χωρίς βοηθητική θέρμανση 17ο
Δηλαδή ιδιαίτερα ευνοϊκά αποτελέσματα. Βέβαια πάντα είναι χρήσιμη η πειραματική επαλήθευση αυτών των συμπερασμάτων επειδή όσο και μεθοδικός άν έγινε ο υπολογισμός είναι δυνατό να υπάρξουν αποκλίσεις.(7)
Στο δεύτερο τομέα η πολεοδομική επέμβαση είναι δύσκολη επειδή υπάρχει μία δεδομένη κατάσταση που δημιουργεί δεσμεύσεις. Είναι δυνατό όμως σε κάθε περίπτωση να γίνουν βελτιώσεις με φράγματα δένδρων(σκίαση ή ανεμοπροστασία)κ.λ.π Επίσης θα απαιτηθούν θεσμικά μέτρα γιά να δημιουργηθεί ευελιξία και δυνατότητα επεμβάσεων.

ΠΡΟΤΥΠΟ ΠΡΟΣΟΜΕΙΩΣΗΣ

Η εργασία γιά την αντιμετώπιση κάθε συγκεκριμένης περιπτώσεως είναι επίπονη και γι'αυτό θα είναι πολύ χήσιμο ένα πρότυπο προσομείωσης της συμπεριφοράς των αστικών ιστών με υπολογιστή.

Οι εισαγωγές στό πρότυπο θα είναι τα στοιχεία:

Η μορφή και ο προσανατολισμός του αστικού στοιχείου

Η σκίαση σε συνάρτηση με το χρόνο

Η συνολική και η διάχυτη ακτινοβολία ( περιλαμβάνεται και η ανάκλαση) σε κατακόρυφες και οριζόντιες επιφάνειες

Σχέσεις υψών και αποστάσεων

Χρησιμοποιούμενα υλικά και τελειώματα επιφανειών

Ταχύτητα και κατεύθυνση ανέμων

Τό πρότυπο ερευνόντας τις συνθήκες ισορροπίας όλων των ροών ενέργειας θα έχει σαν εξόδους της απώλειες-κέρδη των επιφανειών και τις ενεργούς θερμοκρασίες στους εξωτερικούς χώρους(5)

'Ετσι το πρότυπο συμβάλει στο υπολογισμό των εσωτερικών χώρων και παρέχει δεδομένα γιά τη σχεδίαση των εξωτερικών χώρων ώστε να παρατείνεται εποχιακά κατά το δυνατόν η άνετη χρήση τους γιά κοινωνικές λειτουργίες.

Στή ανακαίωση του SERGIO LOS (6) δίνονται μερικά ποιοτικά συμπεράσματα ενός τέτοιου προτύπου.

ΕΠΙΚΑΙΡΟΤΗΤΑ

Ο οικοδομικός Κανονισμός πρόκειται να αναθεωρηθεί και η ΕΠΑ βρίσκεται σε πλήρη εξέλιξη. Επομένως αν δεν είναι ήδη αργά,παρουσιάζεται μία ιδιαίτερη ευκαιρία να εφαρμοσθεί και στά δύο μέτωπα ενεργειακός προσανατολισμός ειδικά γιά την ΕΠΑ θά πρέπει εκτός από τη ανασυγκρότηση να επιδιώξη και μία γενικότερη πρόβλεψη και ευρύτερο προγραμματισμό γιά το μέλλον, με μιά πολύπλευρη επιστημονική αντιμετώπιση αλλά και συνεχή θεώρηση της εξελίξεως και των αποτελεσμάτων.

ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Η πολεοδομία σήμερα καλείται να λάβει υπόψη της και νέες παραμέτρους τις ενεργειακές όπως επίσης και αυτές που έσουν σχέση με τη ρύπανση της ατμόσφαιρας και τη ηχορύπανση.

Το έργο της γίνεται πιό δύσκολο και γι αύτό απαιτείται πιό στενή συνεργασία με άλλες επιστημονικές ειδικότητες.

θά ήταν χρήσιμο από το Συνέδριο αυτό να αρχίσει μία προσπάθεια γιά τη πληροφόρηση του επιστημονικού κόσμουκαι ιδιαίτερα των μηχανικών που έχουν επαγγελματικό στόχο τη μελέτη και κατασκευή, με ενημερωτικά σεμινάρια και δημοσιεύματα ευρύτερης κυκλοφορίας.

Ετσι θα γίνει πεποίθηση η χρησιμότητα και αναγκαιότητα των παθητικών συστημάτων.

Στη συνέχεια με πρωτοβουλία του ΤΕΕ που είναι ο Τεχνικός σύμβουλος της Διοίκησης και του Ελληνικού Λαού να πραγματοποιηθεί ενημέρωση της Διοίκησης και Λαού

γιά την σημασία που έχει και τις δαπάνες που απαιτεί η έρευνα γιά τα ενεργειακά θέματα και η εφαρμογή στη πράξη. Και να εξηγηθεί με πιστικότητα ότι η δαπάνη αυτή είτε καλύπτει τη έρευνα ήτοι τη αμοιβή της μελέτης ή το αυξημένο κόστος κατασκευής είναι χρήσιμη και αναγκαία επένδυση γιά την εξασφάλιση συνθηκών υγείας και άνεσης στη ζωή και τη εργασία του ανθρώπου.
Τά πανεπιστήμια με το τεράστιο ερευνητικό δυναμικό με τη συμπαράσταση του Κράτους και της Τοπικής Αυτοδιοίκησης θά πρέπει να κάνουν την έρευνα που θα μας δώσουν στοιχεία γιά κάθε περιοχή ώστε να είναι δυνατή η ορθώτερη μελετιτική προσέγγιση του προβλήματος σε κάθε συγκεκριμένο χώρο..
Σά συμπέρασμα προκύπτει ότι γιά να αντιμετωπισθούν τα θέματα που προαναφέραμε απαιτείται πολλή επιστημονική εργασία, και απασχόληση επιστημονικού δυναμικού, που θα ήταν σκόπιμο να αποκτήσει με κρατική μέριμνα εξειδίκευση.
Αυτό βέβαια θα συμβαλει στη απασχόληση επιστημονικού δυναμικού αλλά και θα αποτελέσει κυρίως εκπλήρωση στοιχειώδους υποχρεώσης τις πολιτείας έναντι του κοινωνικού συνόλου στο οποίο θα εξασφαλίσει καλύτερους όρους ζωής

Βιβλιογραφία

(1) G. ESCOURROU. CONSTRUIRE AVEC LE CLIMAT Συνέδριο ΕΛΙΜΑΠ Νάξος 1985
(2) Ν. Τσινίκας Πολεοδομική ηχοπροστασία Θεσσ. 1982
(3) Πρακτικά 1,2 συνεδρίου ΕΑΚΕ Βόλος 1980-1981
(4) Γ. Καρνάτσου- Κ. Βασίλα ΑΜ σχεδιασμός παθητικών ηλιακών κατοικιών κ.λ.π 1ο Εθνικό Συνέδριο Ι Η Τ Θεσσαλονίκη 1982
(5) Μίτση Βαλασά. Etude urbahistigue, expression creative des systemes passits dans là construction Συνέδριο ΕΛΙΜΑΠ Νάξος 1985
(6) DESIGN OF URBAN OUTDOOR SPACE etc. sergio Los Πρακτικά 3ου συνεδρίου PLEA MEXICO CITY 1984
(7) SOLAR HOUSES IN EUROPE. COMMISION OF EUROPIAN COMMUNITIES 1981.

ΤΙΤΛΟΣ ΕΙΣΗΓΗΣΗΣ: ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ
ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ, ΜΙΑ ΠΡΟΟΠΤΙΚΗ
ΓΙΑ ΤΗΝ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ ΧΤΙΣΜΕΝΟΥ/ΦΥΣΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΣΥΓΓΡΑΦΕΑΣ: Ε. ΑΝΔΡΕΑΔΑΚΗ-ΧΡΟΝΑΚΗ
Λέκτορας του Τμήματος Αρχιτεκτόνων
της Πολυτεχνικής Σχολής του Α.Π.Θ.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Πρόθεση αυτής της ανακοίνωσης είναι, να επισημάνει την αλληλεξάρτιση ανάμεσα στο δομημένο περιβάλλον και την ενέργεια, καθώς και τις επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον.
Οι κίνδυνοι μόλυνσης της βιοσφαίρας πολλαπλασιάζονται, το περιβάλλον και κατά συνέπεια η ποιότητα ζωής υποβαθμίζεται, η διαθέσιμη ενέργεια, υπό τη μορφή υγρών καυσίμων μειώνεται ...
Ποιά είναι η ευθύνη των αρχιτεκτόνων και των τεχνικών απέναντι σ'αυτά τα προβλήματα; υπάρχει η δυνατότητα ανάπτυξης μιας εναλλακτικής τεχνολογίας, που ν'αξιοποιεί τις ήπιες μορφές ενέργειας; και σε ποιά κατεύθυνση;
Στα πολύπλοκα αυτά ερωτήματα επιχειρείται να δοθεί μια πρώτη απάντηση.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: ενέργεια, περιβάλλον, οικολογική ισορροπία, αρχιτεκτονική, κλίμα, ηλιακή ενέργεια, φύση, βιοκλιματική αρχιτεκτονική.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ: Η ενεργειακή κρίση, η διατάραξη της οικολογικής ισορροπίας, με τη μόλυνση της ατμόσφαιρας από τα λογής απόβλητα του "πολιτισμού" μας, η αμφισβήτηση της μοντέρνας αρχιτεκτονικής, έχουν οδηγήσει τους αρχιτέκτονες σε αναζητήσεις νέων εναλλακτικών λύσεων για το χτισμένο περιβάλλον και την προσαρμογή του στη φύση.
Η εισήγηση αυτή πραγματεύεται:

- τις επιπτώσεις και τους κινδύνους από τη βαθμιαία υποβάθμιση του περιβάλλοντος, λόγω της υψηλής ζήτησης ενέργειας για την επιβίωση του αστικοβιομηχανικού πληθυσμού.
- τις αναζητήσεις των αρχιτεκτόνων για την εφαρμογή εναλλακτικών, ήπιων μορφών ενέργειας στο σχεδιασμό και τη λειτουργία των κτιρίων, στοχεύοντας σε μια οικολογικά πιο συνετή και κοινωνικά σκοπιμότερη χρήση της τεχνολογίας.
- τη δυνατότητα εφαρμογής, σε μεγαλύτερη κλίμακα, της λεγόμενης "βιοκλιματικής" αρχιτεκτονικής, μιας πρακτικής διαφορετικής για το σχεδιασμό και την αξιοποίηση των ήπιων μορφών ενέργειας.

## 1. ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΥΨΗΛΗ ΖΗΤΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Οι παραινέσεις της ιστορίας, της ανθρωπογεωγραφίας, η πρόσφατη ενεργειακή κρίση, αλλά κυρίως το κίνημα της οικολογίας συνέβαλαν στο να ξαναθυμίσουν στους αρχιτέκτονες ότι, πολύ συχνά, λείπει από το σχεδιασμό των κτιρίων μια βασική παράμετρος: η "ενέργεια".

Η παράλειψη αυτή έχει βέβαια τις ιστορικές της ρίζες. Κυρίως από τις αρχές του 19ου αιώνα, η σημαντική ανάπτυξη των παραγωγικών δυνάμεων, μέσα στα πλαίσια της βιομηχανικής επανάστασης, προϋπέθετε μια μαζική παραγωγή αγαθών και μια σημαντική κατανάλωση ενέργειας.

Κοινωνίες, "χαμηλής ως τότε ενέργειας", απαιτούν πια τη ραγδαία αύξηση της ενέργειας για την τροφοδότηση των νέων κοινωνικών τους δομών πράγμα που αναπόφευκτα προκάλεσε ρήγματα στην πολιτιστική δομή και πρακτική τους. Γιατί δεν είναι δυνατό να εισάγονται άγνωστες, κατά το παρελθόν, ποσότητες ενέργειας σ'ένα πολιτισμό και να μην τον επηρεάσει τόσο πολύ, ώστε ν'αποκοπεί από τις παραδοσιακές του δομές (1).

Το μοντέρνο βιομηχανικό σύστημα, αυτή η γιγάντια μηχανή, πέρα από τα πολιτικά συστήματα και τις διαφορές των θεσμών, στηρίχτηκε στην πεποίθηση ότι η φύση αποτελεί μια αστείρευτη πηγή, απ'όπου μπορούμε ν' αντλούμε χωρίς περιορισμούς την απαραίτητη ενέργεια, έτσι ώστε η παραγωγή αγαθών να τροφοδοτεί μια "κίνηση διαρκή". Οι πηγές ενέργειας που εκμεταλλεύεται ο άνθρωπος έχουν γίνει τόσο απαραίτητες για τους αστικοβιομηχανικούς πληθυσμούς, όσο και ορισμένα συστήματα για τη διατήρηση της ζωής στη φύση.

'Ομως η κοινωνία του 20ου αιώνα κινδυνεύει από τη διασπορά των ραγδαίων ενεργειακών αυξήσεων στο ανανεούμενο περιβάλλον. Η διατήρηση των ισορροπιών στη φύση αποτελεί κατεπείγουσα ανάγκη. Αν ο σύγχρονος πολιτισμός θέλει σοβαρά ν'αποτρέψει τη ρήξη των οικολογικών ισορροπιών και την πτώχευση των πηγών δεν μπορεί να συνεχίσει με τις ίδιες μεθόδους ανάπτυξης, στο όνομα αυτών των ιδεών.

Η υποβάθμιση ωστόσο του περιβάλλοντος δεν ήταν άγνωστη. Ο W. Morris πριν εκατό σχεδόν χρόνια διαπίστωνε ότι: "τα πράσινα λιβάδια μας και τα καθαρά νερά μας, ακόμη και ο αέρας που αναπνέουμε, μεταβάλλονται σε ... βρωμιά" (2).

'Ομως μόνο στην εποχή μας μπόρεσαν οι ειδικοί ν'αντιληφθούν ότι η αυξανόμενη κατανάλωση πρώτων υλών και ενέργειας, η υπερβολική φόρτιση της βιοσφαίρας με λογής απόβλητα, οδηγούν σε επικίνδυνες διαταραχές της

οικολογικής ισορροπίας, που συχνά είναι δύσκολο, αν όχι αδύνατο να επανορθωθούν (3).

Η κριτική της βιομηχανικής κοινωνίας απόκτησε νέα ορμή χάρη στο οικολογικό κίνημα, γνωστό και ως κίνημα της "εναλλακτικής τεχνολογίας", που αναπτύχθηκε κυρίως τις τρεις τελευταίες δεκαετίες, όταν οι δυσμενείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις της αστικοβιομηχανικής ανάπτυξης άρχισαν να γίνονται όλο και πιο φανερές σε ευρύτερες περιοχές του πλανήτη μας.

Ο σχετικός προβληματισμός του οικολογικού κινήματος εκπροσωπείται από στοχαστές όπως, ο H. Marcuse, ο A. Gorz και ο I. Illich (4).

## 2. Ο ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ "ΕΝΕΡΓΕΙΑ" ΣΤΟΝ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΚΑΙ ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Διαπιστώνοντας αυτή την πραγματικότητα ο αρχιτέκτονας ανακαλύπτει τους λεπτούς, ανυποψίαστους δεσμούς, αλλά πολύ ισχυρούς, που συνδέουν το έργο του με τα συστήματα ενέργειας, από τα οποία και ο ίδιος είναι εξαρτημένος μέσα από μια δομή πολιτική, που τον καθορίζει και τον συντηρεί. Οι αρχιτέκτονες συνειδητοποιούν σήμερα, όλο και περισσότερο, ότι δεν είναι πολιτικά αδιάφορη η αναζήτηση της ενέργειας για τη λειτουργία των κτιρίων στο πετρέλαιο ή στον ηλεκτρισμό ή στην πυρηνική ενέργεια. Χρησιμοποιώντας τη μια ή την άλλη μορφή ενέργειας, άμεσα ή έμμεσα, καθίστανται συνυπεύθυνοι ενός οικονομικού κυκλώματος και μιας πολιτικής σκοπιμοτήτων, συμβάλλοντας έτσι στην υποβάθμιση του περιβάλλοντος και συνακόλουθα στην ποιότητα ζωής.

Έτσι η "αρχιτεκτονική φανερώνει την κρυμένη διάσταση της ενέργειας και τις πολιτικές της εξαρτήσεις" (5).

Στη νέα αυτή πραγματικότητα εντάσσονται σήμερα οι αναζητήσεις πολλών αρχιτεκτόνων και άλλων ειδικών για την εξοικονόμηση ενέργειας, σε μια ευρύτερη προσπάθεια να εισαχθεί στη λογική της παραγωγής του δομημένου περιβάλλοντος μια μετριοπαθέστερη τεχνολογία, οικολογικά πιο συνετή και κοινωνικά σκοπιμότερη, που οι οπαδοί της αποκαλούν εναλλακτική, ήπια, ελάχιστη, ριζοσπαστική.

Αρκετοί επιστήμονες "κατέληξαν στην άποψη, πώς οι μόνες ασφαλείς τεχνολογίες είναι αυτές που μιμούνται τη φύση ή τουλάχιστο τη μεταχειρίζονται με κάποιο σεβασμό. Γι'αυτό άρχισαν να δείχνουν ζωηρό ενδιαφέρον για τις παραδοσιακές λύσεις οργάνωσης του χώρου και εκμετάλλευσης των φυσικών πόρων, φτάνοντας συχνά να θεωρούν την "αυτάρκεια" στη μικρή κλίμακα ως μόνη εγγύηση για την επιβίωση", αναφέρει ο Σ. Κονταράτος (6).

Πράγματι η ανώνυμη αρχιτεκτονική προσφέρει αναρίθμητα παραδείγματα πετυχημένης προσαρμογής στο περιβάλλον και στο κλίμα, τόσο με τις μορφές και τους τύπους των κτισμάτων, όσο και με την οργάνωση του χώρου δημιουργώντας "δυναμικά οικολογικά σύνολα" (7). Αυτό δεν σημαίνει βέβαια επιστροφή και μίμηση των μοντέλων του παρελθόντος (αν κι'αυτό δεν αποκλείεται μερικές φορές), όμως πιστεύω ότι η ιστορική εμπειρία, η λαϊκή γνώση και κουλτούρα μπορούν να δώσουν χρήσιμες πληροφορίες και διδάγματα για την αντιμετώπιση των προβλημάτων της σύγχρονης αρχιτεκτονικής.

## 3. Η ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ ΚΑΙ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Η αλληλεξάρτηση ανάμεσα στα συστήματα ενέργειας και τα πολεοδομικά συστήματα φαίνεται ότι είναι πολύ ισχυρή. Ο παράγοντας "ενέργεια" επηρεάζει όχι μόνο την αρχιτεκτονική του κτιρίου, αλλά και την πολεοδομική οργάνωση. Οι κριτικές για τη δομή των πόλεων πολλαπλασιάζονται "χωρίς να παραβλέπεται ή να μηδενίζεται η σημαντική συμβολή της πόλης στον πολιτισμό μας, πρέπει ωστόσο ν'αναγνωριστεί ότι η συνηγορία για τη δομή της περνά σήμερα μέσα από μια αμφισβήτηση για τον τρόπο που γίνεται ο σχεδιασμός της, η κατασκευή των κτιρίων, η ευθύνη για τη διαχείριση των πηγών, του χώρου, της ενέργειας, του χρόνου", συμπεραίνει ο S. Antoine στο άρθρο του "Vers un Ecohabitat" (8).

Η μοντέρνα αρχιτεκτονική και πολεοδομία στον αγώνα της κατά του εκλεκτικισμού του 19ου αιώνα, αντικατέστησε την παλιά ρητορική της εξεζητημένης διακόσμησης και της σπατάλης της ανθρώπινης ενέργειας, με μια άλλη ρητορική, της αυστηρότητας, της απλότητας και της σπατάλης των φυσικών πηγών ενέργειας, που δεν είναι λιγότερο επιζήμια.
Ο μύθος αυτοματισμός = ελευθερία έχει εκλείψει (9).

Η υποταγή του ανθρώπου σε σκοπιμότητες, πολιτικές ή ιδεολογικές, που έρχονται σε αντίθεση με τις πραγματικές του ανάγκες, όπως οι μεγάλες αποστάσεις ανάμεσα στην κατοικία και στον τόπο εργασίας, η σπανιότητα των κοινωνικών εξυπηρετήσεων, η μόλυνση της ατμόσφαιρας, η ψυχολογική απομάκρυνση από τη φύση αποτελούν στοιχεία που αντικατοπτρίζονται στον αστικό χώρο σαν αποτέλεσμα της άμετρης ανάπτυξης.

Στην ενεργειακή αυτονομία των αγροτικών οικισμών του περασμένου αιώνα έδωσε απάντηση η ενεργειακή παράλειψη στην οργάνωση των σημερινών πόλεων και του αστικού χώρου γενικά (10).

Αν υποθέσουμε ότι η κερδοσκοπία παραμένει ένας από τους βασικούς παράγοντες για την κακή και άμετρη ανάπτυξη των πόλεών μας, για την έλλειψη

ισορροπίας ανάμεσα στο χτισμένο και το φυσικό περιβάλλον, άλλο τόσο παραμένει γεγονός ότι "μηδενίσαμε τη συλλογική μνήμη των κατοίκων και τη γνώση τους για το χώρο και την πόλη".

"Το πρόβλημα των αναγκών, από τις οποίες προκύπτουν οι χρήσεις και επικοινωνίες, είναι το κρισιμότερο στον καθορισμό της πολιτικής για την ποιότητα του περιβάλλοντος ... αποτελεί το αντικείμενο διαπάλης ιδεών και πολιτικής πρακτικής. Είναι το κύριο και κρίσιμο πρόβλημα του πολιτισμού" (11).

## 4. ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ, ΜΙΑ ΠΡΟΟΠΤΙΚΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ ΧΤΙΣΜΕΝΟΥ/ΦΥΣΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Η ενεργειακή κρίση σήμανε "τέλος" στις απλουστευμένες λύσεις, όπου ο αρχιτέκτονας σχεδιάζει και ο "θερμικός" υπολογίζει, αντιμετωπίζοντας τις θερμικές ανάγκες του κτιρίου με λύσεις ενισχυμένης, και μόνο, θερμομόνωσης. Κατά συνέπεια η καθαρά τεχνολογική αντιμετώπιση του προβλήματος "ενέργεια και αρχιτεκτονική", ως προϊόν παράθεσης τεχνολογικών μεθόδων και επινοήσεων οδηγεί σε μια νόθα αρχιτεκτονική, με αρκετά προβλήματα αισθητικής και αμφισβητούμενης οικονομικής απόδοσης (12).

Μέσα στα πλαίσια αυτά των "συσσωρευμένων κρίσεων" -της αρχιτεκτονικής, του ενεργειακού, της οικολογικής ισορροπίας- αναπτύχθηκε μια έρευνα, αρχικά προσανατολισμένη προς την κατεύθυνση της εξοικονόμησης ενέργειας. Αργότερα στην προσπάθεια να εναρμονιστεί συνολικά το κτίριο με το φυσικό του περιβάλλον, η έρευνα οδηγήθηκε στην αξιοποίηση και εκμετάλλευση των θετικών κλιματικών παραμέτρων. Σαν αποτέλεσμα προέκυψε η λεγόμενη "βιοκλιματική" αρχιτεκτονική· ο όρος επιχειρεί να εκφράσει την προβληματική του συστήματος "αρχιτεκτονική/κλίμα/περιβάλλον", θεωρώντας το αρχιτεκτονικό αντικείμενο παράγοντα που πλουτίζει το περιβάλλον, το δομεί και το βελτιώνει, με την έννοια ότι εντάσσεται αρμονικά σ'αυτό και ότι αξιοποιεί τις θετικές κλιματικές παραμέτρους για να διασφαλίσει στους ένοικους άνετες συνθήκες κατοικησιμότητας.

Η βιοκλιματική αρχιτεκτονική εισάγει την έννοια του ισοζύγιου στο ενεργειακό κόστος/όφελος, έτσι ώστε να επιλέγονται οι καλύτερες λύσεις από τη σκοπιά της εξοικονόμησης ενέργειας, της κοινωνικής και οικολογικής επιβάρυνσης, των συνθηκών θερμικής άνεσης. Βασίζεται στον κατάλληλο σχεδιασμό του κτιριακού περιβλήματος, έτσι ώστε με καθαρά αρχιτεκτονικές ρυθμίσεις να λειτουργεί εκλεκτικά σε σχέση με το περιβάλλον και τα φαινόμενα ανταλλαγής ενέργειας.

Η προβληματική της συνίσταται, στο ν'αντιμετωπίζει το κτίριο συνολικά, από το στάδιο της αρχικής του σύλληψης, ως ένα ζωντανό, δυναμικό κέλυφος, που προσλαμβάνει και αξιοποιεί τους θετικούς κλιματικούς παράγοντες -ηλιακή ακτινοβολία για το χειμώνα, θαλάσσιες αύρες για το καλοκαίρι- ενώ αποφεύγει τις επιζήμιες κλιματικές επιδράσεις -ψυχροί άνεμοι για το χειμώνα, ηλιακή ακτινοβολία και υπερθέρμανση για το καλοκαίρι-.

Η έννοια της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής αποτελεί ένα είδος σύνθεσης δεδομένων που είναι: το αρχιτεκτονικό πρόγραμμα, οι κλιματικές συνθήκες της περιοχής, η τοποθεσία και το περιβάλλον, η έννοια της θερμικής άνεσης, τα ντόπια υλικά και ο πολιτισμικο-κοινωνικός περίγυρος. Θα τολμούσα να πω, πώς η βιοκλιματική αρχιτεκτονική αποτελεί μια πρόταση και μια προοπτική στην πρόκληση που αναδύθηκε από την ενεργειακή κρίση, οδηγώντας τους αρχιτέκτονες σε μια νέα στάση και αντίληψη για το χτισμένο περιβάλλον και την προσαρμογή του στη φύση, με τη χρησιμοποίηση ήπιων μορφών και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, και φυσικά την πρωταρχική πηγή ενέργειας, τον ήλιο.

"Δεν είναι τυχαίο ότι σήμερα η επιστροφή στην ηλιακή ενέργεια αποτελεί μια έκκληση, που αποβλέπει τόσο στην ανακάλυψη του τρόπου ζωής με τον ήλιο, όσο και στην επαναπόκτηση των στοιχείων της φύσης. Η επανείσοδός τους στο χτισμένο περιβάλλον αποτελούν βαθιές επιθυμίες σύμφυτες με την ανθρώπινη ύπαρξη" (13).

Η σχέση ανάμεσα στον άνθρωπο και τη φύση αντιμετωπίζεται είτε ως κυριαρχία πάνω της, με τη δέσμευση των ζωντανών πηγών, είτε ως αποδεκτή προσαρμογή στους ρυθμούς και τις αντιθέσεις της. "Η βιοκλιματική ιδεολογία του κατοικημένου χώρου θεωρεί τη μεταβολή του κλίματος ευεργετική για τον άνθρωπο, ενώ η υπερβολική ρύθμιση δημιουργεί μια άνεση ισοπεδωτική και μονότονη" (14). Αυτό δεν σημαίνει βέβαια ότι πρόκειται να θεοποιήσουμε τη φύση· πρέπει όμως να πάρουμε υπόψη ότι "η ανθρώπινη δραστηριότητα βρίσκει στη φύση τα εξωτερικά της όρια· αν τα αγνοήσουμε προκαλούνται αντίποινα, που παίρνουν χωρίς χρονοτριβή διάφορες διακριτικές μορφές, καινούργιες αρρώστιες, πτώση των φυσικών αποδόσεων και της οικονομικής αποδοτικότητας, πτώση της ποιότητας ζωής" (15).

## 5. ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συνοψίζοντας θα πρέπει να επισημανθεί ότι, η βιοκλιματική αρχιτεκτονική για να γενικευτεί προϋποθέτει ορισμένες συνθήκες, όρους αναγκαίους: η οικιστική πυκνότητα, η επιθυμία της άνεσης με την αυτοματοποίηση, η

στερεοτυπία της αρχιτεκτονικής έκφρασης, η επικράτηση των τεχνολογικών επινοήσεων σε βάρος της αρχιτεκτονικής σύλληψης, η πολιτική στον τομέα των κατασκευών αποτελούν παράγοντες που δεν ενθαρρύνουν την ιδέα του βιοκλιματισμού, μια διαφορετική πρακτική για το σχεδιασμό, μια πρόταση εναλλακτική για την ισορροπία του συστήματος τεχνητό-φυσικό περιβάλλον.

Ακόμη η βιομηχανία δεν πριμοδοτεί τα φτηνά σε ενέργεια υλικά, ούτε βέβαια εκείνα που ελάχιστα βιομηχανοποιούνται. Η αρχιτεκτονική παραμένει εξαρτημένη από τη λογική του κέρδους, από τεχνικές και υλικά που παράγει η δομική βιομηχανία, πράγμα που συχνά φέρνει σε αντίθεση το άμεσο εμπορικό κόστος/κέρδος με το μακροπρόθεσμο οικολογικό κόστος/όφελος.

Η έρευνα για μια καλύτερη διαχείριση της ενέργειας, σε μια προοπτική σταθεροποίησης της κατανάλωσης και πιο δίκαιης διανομής ανάμεσα σε αναπτυγμένες και υπανάπτυκτες χώρες, περνά μέσα από το ξεπέρασμα αυτών των εμποδίων. "Πέρα από το όνειρο η βιοκλιματική αρχιτεκτονική έχει ορισμένες ευκαιρίες να γενικευτεί. Ακόμη και οι συζητήσεις δεν είναι ευκαιριακές γύρω από ένα θέμα περιθωριακό. Εργαλεία υπολογισμού, μοντέλα χωροενεργειακά, συμβολικές παραστάσεις αναπτύσσονται όλο και περισσότερες" (16).

Ωστόσο, προϋπόθεση ικανή και αναγκαία αποτελεί η κοινωνική αποδοχή του βιοκλιματικού σχεδιασμού και η ενεργός συμμετοχή των κατοίκων στη διαμόρφωση του χτισμένου περιβάλλοντος, μέσα από μια διαδικασία πληροφόρησης και συνειδητοποίησης του σύνθετου προβλήματος "εξοικονόμηση ενέργειας", σε μια προοπτική συνετής διαχείρισης των φυσικών πόρων και ισορροπίας με τα οικοσυστήματα.

## 6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. E.F., Murphy, (1978), "Οι κοινωνικές επιπτώσεις από την υψηλή ζήτηση ενέργειας", Αρχιτεκτονικά θέματα, Τεύχος 14, Αθήνα 1980, σ. 103-108.
2. W. Morris, (1948), "Art and Socialism", G.D.H. Cole (επιμ.) Nonesuch Library, London, σ. 630.
3. Σ.Ι. Κονταράτος, (1978), "Ενεργειακή κρίση, εναλλακτική τεχνολογία και κοινωνική αλλαγή", Αρχιτεκτονικά θέματα, Τεύχος 14, Αθήνα 1980, σ.94-97.
4. Βλ., H. Marcuse, "One- Dimensional Man", Beacon Press, Νέα Υόρκη, 1964
   A. Gorz, "Technical Intelligence and the Capitalist Division of

Labour", Telos 12, (καλοκαίρι 1972)
I. Illich, "Tools for Conviviality", Calder and Boyars, London, 1973, και "Energy and Equity", Harber and Row, Νέα Υόρκη, 1974.

5. F. Nicolas et M. Vaye, (1974), "La face cachée du Soleil", Editions Alternatives et Parallèles, Paris 1974.
6. ο.π., Σ.Ι. Κονταράτος, σ. 94-97.
7. I. Sachs, (1980), "Stratégies de l'Ecodéveloppement", Editions Economie et Humanisme, Les Editions Ouvrières, Paris, σ. 101-103.
8. S. Antoine, (1979), "Vers un Ecohabitat", Urbanisme, No 171, Paris, 1979, σ. 38-43.
9. P. Portoghesi, (1981),"Dopo l'Architettura Moderna", Gius Laterza e Figli Spa, Roma, Bari, 1981, (Editions L'Equerre, Paris, 1981) σ. 33-37.
10. J.-M. Alexandroff, (1977), "Habitat Vernaculaire et Milieu Climatique" Techniques et Architecture, No 315, Juin/Juillet 1977, σ. 24-28.
11. Δ.Α. Φατούρος, (1981), "Αρχιτεκτονική Οργάνωση και Έκφραση", Σειρά Α', Θεσσαλονίκη, 1981, σ. 129.
12. J.-P. Auriault, "Le Solaire sans capteur ou l'Architecture Bioclimatique", Cahiers Techniques du Moniteur, No 22, Avril 1979.
13. P. Bardou et V. Arzoumanian, (1978), "Archi-de Soleil", Editions Parenthèses, Paris 1978, σ. 42.
14. G. et J.-M. Alexandroff, (1982), "Architectures et Climats: Soleil et Energies naturelles dans l'habitat", Editions Berger-Leurault, Paris, Septembre 1982, σ. 24-27.
15. A. Gorz, (1982), "Πολιτική Οικολογία και Οικονομική κρίση", Έκδοση Οικολογία και Περιβάλλον, Τεύχος 5, Αθήνα, 1982, σ. 44-55.
16. J.-P. Auriault, (1979), "L'Architecture Bioclimatique, outils, modèles et représentations", Techniques et Architecture, No 325, Juin/Juillet 1979, σ. 39-41.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ


Ηλεκτροδότηση κατοικίας στην Ελλάδα με φωτοβολταϊκές συστοιχίες. ΠΑΡ-1 - 8
P. Suuronen
O. Ikkala

Ένας αλγόριθμος για τον υπολογισμό του αιολικού δυναμικού στη νήσο Λήμνο. ΠΑΡ-9 - 18
Δ.Π. Λάλας
Μ. Πετράκης

Επί της εφαρμογής των μεθόδων Collares-Pereira και Liu-Jordan για τον υπολογισμό της διάχυτης ακτινοβολίας στην Ελλάδα. ΠΑΡ-19 - 26
Δ.Π. Λάλας
Μ. Πετράκης
Χ. Παπαδόπουλος

Μέθοδος δοκιμής για τον καθορισμό της θερμικής αποδόσεως ηλιακών συστημάτων ζεστού νερού κατοικιών (πρότασις). ΠΑΡ-27 - 36
Dr. D. Gilliaert
P. Tebaldi

Σχεδιασμός και λειτουργία παθητικών ηλιακών θερμαντήρων νερού. ΠΑΡ-37 - 46
Dr. P.C. Jones
Dr. J.J. Mason

Δοκιμές ηλιακών συλλεκτών και συστημάτων. ΠΑΡ-47 - 50
Ι. Κωνσταντίνου

Συστημα ελέγχου επιπέδων ηλιακών συλλεκτών. Μέθοδοι προσδιορισμού καμπύλης στιγμιαίας απόδοσης. ΠΑΡ-51 - 64
Β. Μπελεσιώτης
Π. Ανδρόνικος

Εξοικονόμηση ενέργειας από βελτιστοποίηση σχεδιασμού εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων. ΠΑΡ-65 - 72
Α. Δάκας
Γ. Βαβίζος
Λ. Ψαρουδάκης

Η αντιμετώπιση των καθαλατώσεων του ανθρακικού ασβεστίου ($CaCO_3$) στο γεωθερμικό πεδίο Ποταμιάς-Ν. Κεσσάνης Ξάνθης. ΠΑΡ-73 - 82
Ν. Κολιός

Πολιτικές και οικονομικές προϋποθέσεις για την ανάπτυξη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Ελλάδα. ΠΑΡ-83 - 88
Κ. Σταμπολής

Ένα μέσης-κλίμακας ατμοσφαιρικό μοντέλλο για τον υπολογισμό ανεμολογικών πεδίων και αιολικού δυναμικού. ΠΑΡ-89 - 96
Γ. Κάλλος

ΠΑΡ-1

ΤΙΤΛΟΣ ΕΙΣΗΓΗΣΗΣ : ΗΛΕΚΤΡΟΔΟΤΗΣΗ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΜΕ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΕΣ ΣΥΣΤΟΙΧΙΕΣ

ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ : P. Suuronen and Ikkala
Neste Oy, Technology group, 06850 Kulloo, Finland

P. Nielsen and M.Tossos
Neste Battery Ltd. Oy, Sinikalliontie 9, 02630 Espoo, Finland

ΠΕΡΙΛΗΨΗ :

Η έταιρία Neste Battery Ltd. κατασκεύασε μέσα στό έργοστάσιο τῆς TUDOR ΕΛΛΗΝΟΣΟΥΗΔΙΚΗΣ ΑΒΕ πού εἶναι θυγατρική της στήν Ἑλλάδα, κατοικία πού ἠλεκτροδοτεῖται μέσω φωτοβολταϊκῶν στοιχείων. Στήν κατοικία αὐτή θά ἐγκατασταθεῖ διμελής οἰκογένεια πού θά εἶναι οἱ φύλακες τοῦ ἐργοστασίου.

Η ἐγκατεστημένη ἰσχύς τῆς φωτοβολταϊκῆς συστοιχίας θά εἶναι 1,5 KW. Η αὐτονομία τῆς κατοικίας ἐξασφαλίζεται ἀπό μία συστοιχία μπαταρίας χωρη - τικότητας 22 KW. Γιά λόγους ἀσφάλειας ὑπάρχει τροφοδοσία μέσω δικτύου ΔΕΗ. Η λειτουργία τοῦ συστήματος ἐλέγχεται ἀπό μικροϋπολογιστή ὁ ὁποῖος καταγράφει ὅλα τά δεδομένα τῆς ἐγκατάστασης.

Σκοπός εἶναι ἡ συλλογή πληροφοριῶν πού θά βοηθήσουν στήν μελέτη τοῦ συστήματος ἀλλά καί τῶν ἐπί μέρους στοιχείων ( φωτοβολταϊκά, μεταλλάκτη, συσσωρευτή κ.λ.π. ) ἀπό μία ἐφαρμογή μέ πραγματικές συνθῆκες στήν Ἑλλάδα.

ΛΕΞΕΙΣ - ΚΛΕΙΔΙΑ :

Ἡλιακό σπίτι, συστοιχία συσσωρευτῶν, φωτοβολταϊκά

ΕΙΣΑΓΩΓΗ :

Οἱ φωτοβολταϊκές συστοιχίες καί οἱ ἄλλες ἤπιες μορφές ἐνεργείας ἔχουν ἀποκτήσει ἕνα ἰδιαίτερο ἐνδιαφέρον γιά τήν παροχή ἠλεκτρικῆς ἐνέργειας σέ ἀπομακρυσμένα σημεῖα. Οἱ περιπτώσεις αὐτές περιλαμβάνουν ἠλεκτροδότη - ση ἀπομεμακρυσμένων νησιῶν, μακρινῶν χωριῶν καί τηλεπικοινωνιακές καί ναυτιλιακές ἐφαρμογές.

Σήμερα τά φωτοβολταϊκά συστήματα εἶναι οἰκονομικά βιώσιμα μόνο σάν αὐτό νομες ἐγκαταστάσεις μακριά ἀπό κάθε ἠλεκτρική παροχή καί ἑπομένως ἀπ - αιτοῦνται συστοιχίες μπαταριῶν γιά ἀπρόσκοπτη παροχή ἐνέργειας. Μόνο εἰ - δικές μόνιμες συστοιχίες μποροῦν νά λειτουργήσουν ἀξιόπιστα σέ τέτοιες ἐφαρμογές. Η Neste Battery ἔχει ἀναπτύξει τεχνολογία μπαταριῶν χωρίς ἀντιμόνιο γιά ἐφαρμογές σέ ἡλιακές ἐγκαταστάσεις. Μέ αὐτή τήν τεχνολογία ἐπιτυγχάνεται μικρή αὐτοεκφόρτιση καί μικρή κατανάλωση νεροῦ.

Κατά τήν διάρκεια τῆς ἀνάπτυξης αὐτῆς τῆς τεχνολογίας ἡ ἑταιρία ἔχει ἐγκαταστήσει σέ διάφορες φωτοβολταϊκές ἐγκαταστάσεις μερικές ἀπό τίς ὁποῖες θά ἀναφερθοῦν παρακάτω.

Η Neste Battery ἔχει συμμετάσχει στήν κατασκευή ἐπίσης ἑνός κοινοῦ σπι - τιοῦ τό ὁποῖο ἠλεκτροδοτεῖται ἀπό τόν ἥλιο καί μιᾶς ὑβριδικῆς ἡλιοαιο - λικῆς ἐγκατάστασης γιά τήν ἠλεκτροδότηση ἑνός συστήματος τηλεφωνίας στή Δανία.

ΠΑΡ-2

ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΗ ΗΛΕΚΤΡΟΔΟΤΗΣΗ ΕΝΟΣ ΚΑΤΟΙΚΗΣΙΜΟΥ ΣΠΙΤΙΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Η Neste Battery έχει σχεδιάσει καί κατασκευάσει ένα φωτοβολταϊκό σπίτι στό νέο έργοστάσιο τής TUDOR ΕΛΛΗΝΟΣΟΥΗΔΙΚΗΣ ΑΒΕ στό Σχηματάρι περίπου 60 χιλιόμετρα πρός τά βόρεια τής Αθήνας. Σκοπός τοῦ σχεδίου εἶναι νά άποκτήσουν καί οἱ δύο έμπειρία σέ φωτοβολταϊκά συστήματα σύμφωνα μέ τίς Ἑλληνικές συνθῆκες καί νά άναπτύξει μία κατάλληλη τεχνολογία μπαταριῶν γιά τέτοιες έφαρμογές. Τό σπίτι εἶναι έξοπλισμένο μέ ὅλες τίς οἰκιακές συσκευές καί θά χρησιμοποιηθεῖ άπό μία οἰκογένεια.

Ἕνας άπό τούς τελικούς σκοπούς ἦταν νά κατασκευασθεῖ ἕνα σπίτι τό ὁποῖο δέν διαφέρει άπό ἕνα κοινό ήλεκτροδοτούμενο σπίτι ὅπως τουλάχιστον τό άντιλαμβάνονται οἱ ἄνθρωποι πού ζοῦν μέσα. Γι' αὐτό τό λόγο ἔπρεπε νά συμπεριληφθεῖ ἕνα τελείως αὐτόματο σύστημα γιά τόν ἔλεγχο καί τήν έπί - βλεψη τῆς έγκατάστασης. Μία πλήρως αὐτόνομη λειτουργία έπομένως θεωρήθηκε μή άπαραίτητη καθότι τό σπίτι περιλαμβάνει έπίσης κοινή παροχή ήλεκτρικοῦ ρεύματος ἡ ὁποία μπορεῖ νά θεωρηθεῖ έπί παραδείγματι ὑποκατάστατο μιᾶς ντηζελοκίνητης ήλεκτρογεννήτριας. Κάθε παροχή ένέργειας, σέ κάθε περίπτωση θά παρακολουθεῖται καί θά άναλύεται άπό τό σύστημα ἐλέγχου μέ τήν βοήθεια ήλεκτρονικοῦ ὑπολογιστή.

Κατά άρχήν ἔγινε μία ἐκτίμηση τῶν άναγκῶν σέ ήλεκτρικό ρεῦμα μιᾶς τυπι - κῆς Ἑλληνικῆς οἰκογένειας. Ὁ ήλεκτρισμός σ'αὐτό τό σπίτι χρησιμοποι - εῖται γιά φωτισμό, ραδιόφωνο γιά τήν Τηλεόραση καί ἕνα πλυντήριο. Τό σχῆμα 1 άναπαριστᾶ πῶς μεταβάλλεται κατά τήν διάρκεια τῆς ἡμέρας τό άνα - μενόμενο φορτίο. Η μέση ἡμερήσια κατανάλωση ήλεκτρικῆς ένέργειας εἶναι 3,4 KWh. Μία ἐκτίμηση μέσω τοῦ ὑπολογιστή γιά τήν λετουργία σέ ἐτήσια βάση ὁδήγησε στήν έπιλογή μιᾶς φωτοβολταϊκῆς συστοιχίας μεγέθους ἰσχύος 1,5 KW max. συνδιασμένης μέ μία μπαταρία χωρητικότητας 22 KWh. Αὐτό άντι - προσωπεύει μία αὐτονομία 6 ἡμερῶν, γιά τήν φωτοβολταϊκή λειτουργία. Η άπόδοση σήμερα περιορίζεται άπό τό μέγεθος τῆς φωτοβολταϊκῆς συστοιχίας. Διπλασιάζοντας τό μέγεθος της οὐσιαστικά μεγαλώνει ἡ περίοδος αὐτονομίας τοῦ συστήματος.

Μία άρχιτεκτονική ὄψη τοῦ σπιτιοῦ φαίνεται στό σχῆμα 2. Η φωτοβολταϊκή συστοιχία έχει ένσωματωθεῖ στόν κεκλιμένο τοῖχο τοῦ σπιτιοῦ πού κοιτάζει τόν νότο μέ γωνία κλίσης $60^{o}$. Στόν ἴδιο τοῖχο κάτω άπό τήν φωτοβολταϊκή συστοιχία έχουν τοποθετηθεῖ ἡλιακοί συλλέκτες γιά τήν παραγωγή ζεστοῦ νεροῦ. Τό ὑπόλοιπο διάστημα κάτω άπό τά ἡλιακά κάτοπτρα προορίζεται γιά μία πιθανή έπέκταση τῆς φωτοβολταϊκῆς συστοιχίας. Πίσω άπό τόν τοῖχο ὑπ - άρχει ἕνα άεριζόμενο δωμάτιο άποκλειστικά γιά τήν έγκατάσταση στό ὁποῖο εἶναι τοποθετημένη ἡ συστοιχία τῶν μπαταριῶν καί τά μηχανήματα ἐλέγχου καί έπίβλεψης.

Τό διάγραμμα λειτουργίας τῆς φωτοβολταϊκῆς έγκατάστασης φαίνεται στό σχῆμα 3. Η φωτοβολταϊκή συστοιχία άποτελεῖται άπό 36 κομμάτια ( τῶν 43 W κατά max. ἐκάστη ) φωτοβολταϊκῶν κυψελῶν κρυσταλλικοῦ πυριτίου δια - ταγμένων σέ δύο σειρές έν παραλλήλω μέ αὐτόματους διακόπτες καί διόδους άνεξάρτητους ἡ κάθε μία. Τό σημεῖο λειτουργίας τῆς συστοιχίας έχει έκ - λεγεῖ ὥστε νά εἶναι κοντά στό σημεῖο μέγιστης ἰσχύος γιά τήν μεγαλύτερη τάση τῆς μπαταρίας σέ θερμοκρασία $47^{o}$ C.

Τό σπίτι έχει έξοπλισθεῖ μέ μπαταρίες GRL χαμηλῆς συντήρησης άπό τήν TUDOR ΕΛΛΗΝΟΣΟΥΗΔΙΚΗ ΑΒΕ πού εἶναι θυγατρική τῆς Neste Battery Ltd. Η μπαταρία άποτελεῖται άπό 18 κομμάτια τῶν 12 V τοῦ τύπου 6 GRL100 ὀνομα - στικῆς χωρητικότητας $C_{10h}$ = 100 Ah. Οἱ συμβατικές μπαταρίες άντιμονίου συχνά έχουν ἕνα άνεπιθύμητο ὑψηλό συντελεστή αὐτοεκφόρτισης καί μεγάλη κατανάλωση νεροῦ στίς φωτοβολταϊκές έφαρμογές.

Οἱ GRL μπαταρίες μέ τίς σωληνωτές θετικές πλᾶκες κατασκευάστηκαν ἀπό τό εἰδικό κρᾶμα SNASTAG καί δέν περιέχουν καθόλου ἀντιμόνιο. Αὐτό ἔχει σάν ἀποτέλεσμα νά ἀποφεύγεται τελείως ἡ ἐπιμόλυνση τῆς ἀρνητικῆς πλάκας ἀπό ἀντιμόνιο καί ἡ μπαταρία ἔχει ἕνα πολύ μικρό ρεῦμα αὐτοεκφόρτισης καθόλη τήν διάρκεια ζωῆς ὅπως φαίνεται στό σχῆμα 4/2/. Ἡ ἡμερήσια αὐτοεκφόρτιση εἶναι λιγότερη ἀπό 0,1 % $C_{10h}$ σέ 30° C καί σέ χαμηλότερες θερμοκρασίες εἶναι ἀκόμη λιγότερη. Ἡ ἀπώλεια νεροῦ ἐπίσης εἶναι πολύ μικρή συγκρινόμενη μέ τίς συμβατικές μπαταρίες ἀντιμονίου ὅπως ἐπίσης φαίνεται στό σχῆμα 4. Κατά τήν διάρκεια τῶν τελευταίων ἐτῶν οἱ μπαταρίες GRL ἔχουν εὐρέως χρησιμοποιηθεῖ σέ τηλεπικοινωνιακές ἐφαρμογές ὅπου ἡ πρακτική ἐμπειρία ἔχει ἐπίσης δείξει ὅτι οἱ ἀποκλίσεις τῆς τάσης κάθε στοιχείου παραμένουν μικρές λιγότερο ἀπό + / - 0,03 V. Ὁ ἀριθμός τῶν κύκλων εἶναι ἀρκετά καλός.

Ἡ φωτοβολταϊκή ἐγκατάσταση ἀποδίδει 220 V 50 Hz μονοφασικοῦ ρεύματος μέ τή βοήθεια ἑνός μετατροπέα ( inverter ) ἐμπορίου μικρῶν ἀπωλειῶν (3). Ἡ λειτουργία τοῦ μετατροπέα βασίζεται στή διαμόρφωση πλάτους παλμῶν στή συχνότητα 20/40kHz. Ἡ ὑψηλή συχνότητα εἶναι μή ἀκουστή καί τοιουτοτρόπως δέν ἐνοχλεῖ τούς ἀνθρώπους πού ζοῦν στό σπίτι. Ὁ μετατροπέας ἀποτελεῖται ἀπό στοιχεῖα τῶν 500 VA καί ἡ μέγιστη ἰσχύς εἶναι 3 kVA. Τό ἠλεκτρικό δίκτυο συνυπάρχει καί ἐνεργεῖ σάν πηγή ἐνέργειας ἀνάγκης γιά τήν ἐπαναφόρτιση τῶν μπαταριῶν μέ τή βοήθεια ἑνός ἀνορθωτή 10 A.

Ἡ ἐγκατάσταση παρακολουθεῖται καί ἐλέγχεται ἀπό ἕνα σύστημα βασισμένο σέ μικροϋπολογιστή (4). Ὁ μικροϋπολογιστής αὐτός μπορεῖ νά διαβάζει τήν τάση τό ρεῦμα, τήν κατάσταση φόρτισης, τή θερμοκρασία καί τήν στάθμη τοῦ ἠλεκτρολύτου στά στοιχεῖα τῆς μπαταρίας, τίς ἐντάσεις ρεύματος καί τή θερμοκρασία τῆς φωτοβολταϊκῆς κυψέλης, τό ρεῦμα καί τήν τάση ἐξόδου τοῦ μετατροπέα ( inverter ). Κατά τήν διάρκεια περιόδων φόρτισης περιορίζεται ἡ ὑπερβολική ἀπελευθέρωση ἀερίων ἀπό τίς μπαταρίες μέ τήν ἐξαγωγή τῆς μιᾶς ἤ καί τῶν δύο φωτοβολταϊκῶν σειρῶν ἐκτός, πρᾶγμα πού καθορίζεται ἀπό τήν ἐπικρατοῦσα ἡλιοφάνεια καί τήν κατάσταση φόρτισης τῶν μπαταριῶν.

Τό σύστημα αὐτόματου ἐλέγχου εἰσάγει ἐπίσης τήν ἐφεδρική πηγή ἐνέργειας ἐντός, καί ἀρχίζει τήν ἐπαναφόρτιση τῶν μπαταριῶν κάθε φορά πού ἔχουν ἐκφορτισθεῖ μέχρι ἕνα ὁρισμένο σημεῖο. Τό σύστημα ἐπίσης προειδοποιεῖ κάθε φορά πού κάποια ἀνωμαλία ὑπάρχει. Ἔλεγχος καί παρακολούθηση ἐξ' ἀποστάσεως τοῦ συστήματος εἶναι δυνατοί μέ τή βοήθεια modem τοῦ τύπου RS 232 C.

## ΑΛΛΕΣ ΗΛΙΑΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ NESTE BATTERY Ltd

### Ὑβριδική ἡλιοαιολική ἐγκατάσταση γιά τηλεπικοινωνιακή ἐγκατάσταση

Μία ἀγροτική τηλεπικοινωνιακή ἐγκατάσταση κοντά στό Oelst τῆς Δανίας ἔχει ἠλεκτροδοτηθεῖ ἀπό μία αὐτόνομη ἠλεκτροπαραγωγική μονάδα πού ἀποτελεῖται ἀπό συνδυασμό φωτοβολταϊκῆς, αἰολικῆς καί ντηζελοκίνητης ἐγκατάστασης /5/. Ἡ ἐτήσια κατανάλωση ἠλεκτρικῆς ἐνέργειας τοῦ τηλεφωνικοῦ κέντρου εἶναι 20.000 - 25.000 KWh. Ἡ φωτοβολταϊκή συστοιχία ἀποτελεῖται ἀπό στοιχεῖα ἁπλοῦ κρυσταλλικοῦ πυριτίου μέ μέγιστη ἰσχύ 4,2 KW σέ διάταξη 6 παραλλήλων σειρῶν /1/. Ἡ ἀνεμογεννήτρια ἔχει ὀνομαστική ἰσχύ 18 KW /6/. Ἕνα μικρό ντηζελοκίνητο ἠλεκτροπαραγωγό ζεῦγος ἔχει συμπεριληφθεῖ στό σύστημα σάν πηγή ἀνάγκης. Ἡ Lyac A/S ἡ ὁποία εἶναι ἡ θυγατρική τῆς Neste Battery στή Δανία ἔχει κατασκευάσει τίς μπαταρίες. Ἡ συστοιχία τῶν μπαταριῶν ἀποτελεῖται ἀπό 108 στοιχεῖα μπαταριῶν 3 GRL 300 χαμηλῆς συντήρησης χωρίς ἀντιμόνιο σέ 2 παράλληλες σειρές. Ἡ ὀλική ὀνομαστική χωρητικότητα τῆς συστοιχίας εἶναι 600 Ah. Τό βάθος ἐκφόρτισης ἔχει καθορισθεῖ στό 80 % τῆς φόρτισης πού ἐπιτυγχάνεται ἀπό τήν ἀνεμογεννήτρια ἤ τό ἠλεκτροπαραγωγό ζεῦγος.

Η έμπειρία έχει δείξει ότι οι μπαταρίες GRL ανταποκρίνονται στίς φορτο-εκφορτίσεις αύτοῦ τοῦ τύπου άρκετά καλά /7/. Ο μετατροπέας τοῦ συστήματος ὁ ὁποῖος εἶναι χαμηλῶν άπωλειῶν 3 x 380 V 50 Hz ἔχει μέγιστη ἰσχύ 10 KW /3/. Ἕνα σύστημα αὐτόματου ἐλέγχου καί ἐπίβλεψης βασισμένο σέ μικροϋπολογιστή ἔχει συμπεριληφθεῖ στήν ἐγκατάσταση /4/. Κατασκευαστής αὐτοῦ τοῦ σταθμοῦ ἦταν ἡ τηλεφωνική ἑταιρία Jutland. Η ἐγκατάσταση μπῆκε σέ λειτουργία τό 1984.

Φωτοβολταϊκή ἐγκατάσταση σέ ἕνα κοινό σπίτι στή Δανία

Η Neste Battery ἔχει προμηθεύσει μπαταρίες τύπου GRL χαμηλῆς συντήρησης καί τήν ἐμπειρία της στό τομέα σέ ἕνα φωτοβολταϊκό σπίτι στό Brammínge στή Δανία /8/. Σ' αὐτό τό ἔργο σκοπός ἦταν νά σχεδιαστεῖ καί νά κατασκευασθεῖ ἕνα αὐτόνομο κοινό σπίτι γιά μεσογειακά κλίματα, γι' αὐτό τό λόγο τό σπίτι μέ τίς φωτοβολταϊκές συστοιχίες του ἰσχύος 5 KW κατά μέγιστο ἀπαιτεῖ ἐφεδρική παροχή ἠλεκτρικοῦ ρεύματος δικτύου γιά τό κλίμα τῆς Δανίας. Η συστοιχία μπαταριῶν ἀποτελεῖται ἀπό 2 παράλληλες σειρές μπαταριῶν Lyac 3 GRL 200 μέ συνολική χωρητικότητα 80 KWh. Η τάση ἐξόδου εἶναι 220 V AC. Η φωτοβολταϊκή ἐγκατάσταση ἔχει ἐξοπλισθεῖ μέ ἕνα τελείως αὐτόματο σύστημα ἐλέγχου καί παρακολούθησης /4/. Οἱ μπαταρίες ὑφίστανται ἐπιθεώρηση ὀπτικά καί μέ ὄργανα μία φορά τό μῆνα.

Πειραματική φωτοβολταϊκή ἐγκατάσταση ἑνός (1) KW στή Φινλανδία

Ἕνας πειραματικός φωτοβολταϊκός σταθμός ἔχει ἐγκατασταθεῖ στό κέντρο ἐρευνῶν στή Neste Battery Φινλανδίας γιά συνεχή μελέτη προϊόντων τῆς Neste Battery πού προορίζονται γιά ἡλιακές ἐφαρμογές. Η φωτοβολταϊκή συστοιχία ἀποτελεῖται ἀπό 3 παράλληλες σειρές στοιχείων ἁπλοῦ κρυσταλλικοῦ πυριτίου μέ κορυφαία ἰσχύ ἑνός 1 KW /1/. Η παρούσα συστοιχία μπαταριῶν ἀποτελεῖται ἀπό 51 στοιχεῖα μπαταριῶν 6 GRL 100 τῆς Lyac μέ ὀνομαστική χωρητικότητα 100 Ah. Η τάση ἐξόδου 220 V 50 Hz παρέχεται ἀπό ἕνα τμηματικό διπλῆς κατεύθυνσης μετατροπέα μέ ἐξαιρετικά μεγάλη ἀπόδοση περισσότερο ἀπό 95 % σέ πλῆρες φορτίο /9/. Η λειτουργία καί ὁ ἔλεγχος τοῦ σταθμοῦ εἶναι τελείως αὐτόματα /4/.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Η Neste Battery Ltd ἔχει ἀναπτύξει μία μόνιμη μπαταρία ἐλεύθερου ἀντιμονίου, χαμηλῆς συντήρησης ἡ ὁποία εἶναι ἰδιαίτερα κατάλληλη γιά φωτοβολταϊκές ἐφαρμογές. Η μπαταρία αὐτή σωληνωτῶν πλακῶν χαρακτηρίζεται ἀπό μία χαμηλοῦ βαθμοῦ αὐτοεκφόρτιση μικρότερου ἀπό 0,1 % $C_{10h}$ γιά 24 ὧρες σέ 30° C καθ' ὅλη τή διάρκεια ζωῆς της, μικρή κατανάλωση νεροῦ καί καλό κύκλο φορτοεκφορτίσεων.

Η ἑταιρία Neste Battery ἔχει κατασκευάσει ἕνα κατοικήσιμο φωτοβολ - ταϊκό σπίτι στήν Ἑλλάδα. Η οἰκονομική σκοπιμότητα τέτοιων προγραμμάτων θά μελετηθεῖ κατά τήν διάρκεια τῶν προσεχῶν μηνῶν καί θά συγ - κριθεῖ μέ ἀνάλογες ὑπάρχουσες μελέτες ἄλλων προγραμμάτων. Σ' αὐτή τήν ἔκθεση ἔχουν ἀναπτυχθεῖ τρεῖς ἄλλες ἐφαρμογές φωτοβολταϊκῶν σταθμῶν πού πραγματοποιήθηκαν μέ μπαταρίες τῆς Neste Battery.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ - ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ARCO M 53, ARCO Solar, Inc., Box 4400, Woodland Hills, CA 91365, USA.

2. Low Maintenance Batteries in Combination with Battery Supervision system, R. Elgh and H. Bohman, Proceedings of the 1984 International Telecommunications Energy conference, 4 - 7.11.1984 New Orleans, USA.

3. Alex Grosman A/S, Transformervej 13, DK - 2730 Herlev, Denmark

4. Jutland Telephone Company, Sletvej 30, DK - 8310 Aarhus - Tranbjerg J, Denmark

5. Hybrid Power Plant, Jutland Telephone Company, report 1985

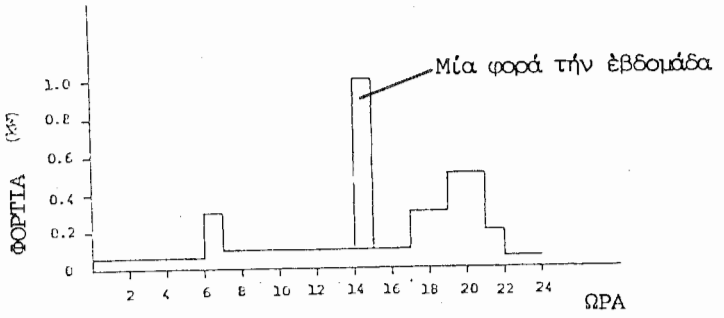
6. Danish Wind Technology A/S, Viborg, Denmark

7. Operational Experience in Connection with Renewable Energy systems, P. Ahm, preprint 1985

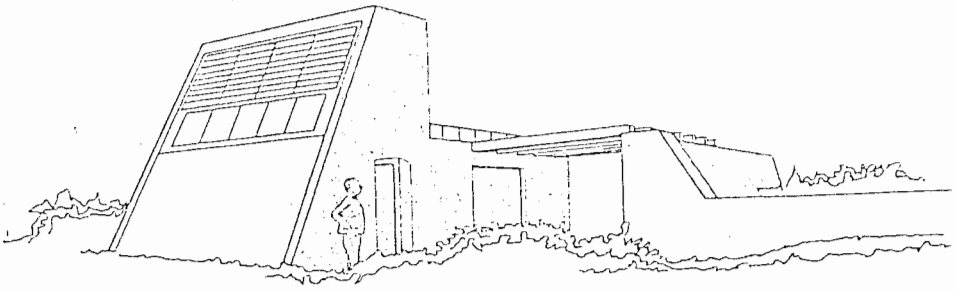
8. Phtovoltaic House, Jutland Telephone Company, report 1984

9. Kymi - Stromberg Oy, PL 69, 65101 Vaasa, Finland

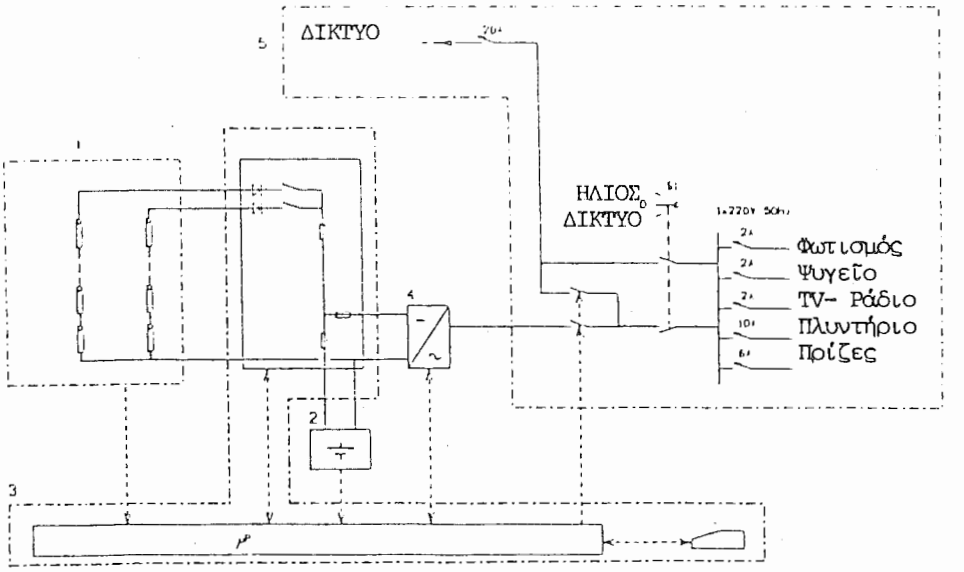
10. Feasible Stand Alone Photovoltaic systems in Creece, K.Soras and V.Makios, Proceedings of the Fifth E.C. Photovoltaic Solar Energy Conference, 17 - 21.10.1983, Athens, Creece.




Σχῆμα 1. Ἀναμενόμενη ἡμερήσια διακύμανση τῆς ἠλεκτρικῆς κατανάλωσης στό φωτοβολταϊκό σπίτι τῆς Neste Battery Ltd στήν Ἑλλάδα.

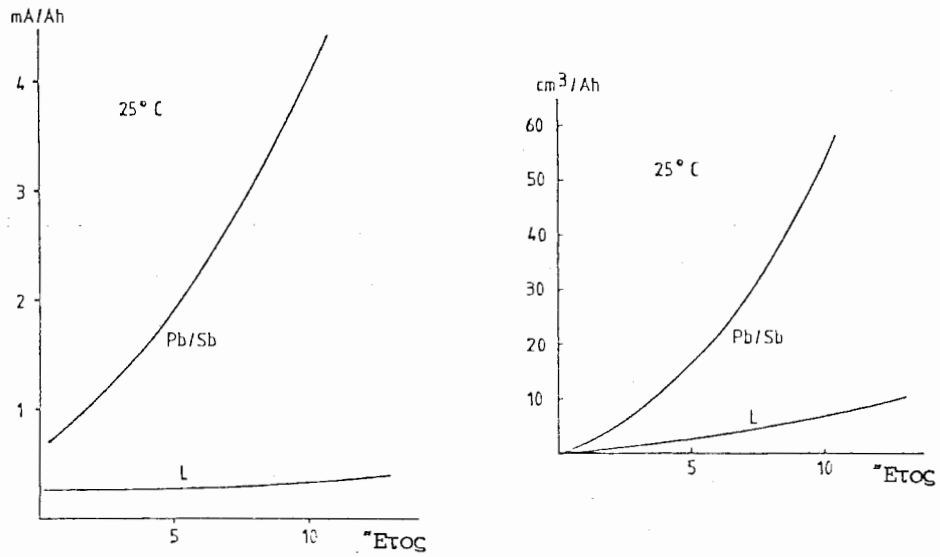


Σχῆμα 2. Γενική ἄποψη τῆς κατοικίας μέ τήν φωτοβολταϊκή ἐγκατάσταση πού κατασκευάστηκε ἀπό τήν Neste Battery Ltd στό Σχηματάρι στήν Ἑλλάδα.




1. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΠΛΑΙΣΙΑ
2. ΜΠΑΤΑΡΙΑ
3. ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ
4. ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑΣ DC/AC
5. ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ

Σχῆμα 3. Σχηματικό διάγραμμα τῆς λειτουργίας τοῦ φωτοβολταϊκοῦ σπιτιοῦ τῆς Neste Battery στό Σχηματάρι στήν Ἑλλάδα ὑποβοηθούμενο ἀπό τήν τάση δικτύου.




Σχῆμα 4. Ρεῦμα αὐτοεκφόρτισης καί ἀνάλωση νεροῦ τῶν GRL ( L ) καί τῶν Pb / Sb συσσωρευτῶν συναρτήσει τῶν ἐτῶν διάρκειας ζωῆς στά 2,25 V / στοιχεῖο στούς $25^{O}$ C.

ΠΑΡ-9

# ΤΙΤΛΟΣ ΕΙΣΗΓΗΣΗΣ: ΕΝΑΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΟΥ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΣΤΗ ΝΗΣΟ ΛΗΜΝΟ

ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ: Δ.Π. ΛΑΛΑΣ, Dpt. of Mechanical Engineering, Wayne State University
Μ. ΠΕΤΡΑΚΗΣ Μετεωρολογικό Ινστιτούτο, Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ:

Ένα κινηματικό μοντέλο υπολογισμού του πεδίου ρόης του ανέμου χρησιμοποιήθηκε για την Λήμνο με δεδομένα από σταθμούς της ΔΕΗ και της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας. Τα αποτελέσματα του μοντέλου χρησίμευσαν για τον υπολογισμό του Αιολικού δυναμικού της νήσου. Μετατροπές του αρχικού μοντέλου επηρεάζουν του υπολογισμούς του θεωρητικά κατακόρυφου προφίλ του ανέμου και του δείκτη τραχύτητας (Roughness index) για την εκτίμηση του πεδίου ροής του επιφανειακού στρώματος. Ο τελικός υπολογισμός του Αιολικού δυναμικού αποδεικνύει την ύπαρξη αξιόλογων πηγών ενέργειας.

ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ:

Πεδίο ροής, άνεμος, αιολικό δυναμικό, Μοντέλο, Κινηματικό, Δυναμικό Μοντέλο, NOABL, Επιφανειακό στρώμα, Κατακόρυφο προφίλ, Δείκτης Τραχύτητας, Λήμνος.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι ανεμολογικές συνθήκες που επικρατούν στα περισσότερα νησιά του Αιγαίου πελάγους αρκετές εκ των οποίων οφείλονται στην ύπαρξη τοπικών φαινομένων, παρουσιάζουν μία ενδιαφέρουσα περιοχή για τον υπολογισμό της διαθέσιμης Αιολικής ενέργειας και την εγκατάσταση Ανεμογεννητριών (Wind Energy Converters) (3).

Ένα από αυτά τα νησιά όπου τα τοπικά φαινόμενα παίζουν πρωταρχικό ρόλο στην δημιουργία του πεδίου ρόης του ανέμου είναι και η Λήμνος στο Βορειοανατολικό τμήμα του Αιγαίου Πελάγους (Σχήμα 1). Ο υπολογισμός του Αιολικού δυναμικού επιτυγχάνεται με την βοήθεια των αποτελεσμάτων ενός κινηματικού μοντέλου που χρησιμοποιεί ως δεδομένα ανεμολογικές μετρήσεις από διάφορους σταθμούς της νήσου καθώς και τοπογραφικά στοιχεία για την δημιουργία του κατακόρυφου προφίλ του ανέμου καθώς και του αρχικού πεδίου ροής για την εκκίνηση του αλγόριθμου.

# ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΡΟΗΣ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ (NOABL) ΓΙΑ ΤΗΝ ΛΗΜΝΟ

Οι υπάρχουσες ανεμολογικές μετρήσεις της Λήμνου προέρχονται από δύο σταθμούς. Ο πρώτος σταθμός που ανήκει στην Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία λειτουργεί από το 1950 στο Μούδρο με υψόμετρο 10m και μετράει τρείς φορές ημερησίως τον άνεμο ενώ ο δεύτερος ανήκει στην ΔΕΗ ευρίσκεται στον Άγιο Δημήτριο με υψόμετρο 120m και μετράει τις ωριαίες τιμές του ανέμου την περίοδο 10/1978 έως 4/1982. Οι δύο σταθμοί απέχουν μεταξύ τους 25 Km.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων των δύο σταθμών αποκαλύπτουν μία επικρατούσα ΝΕ διεύθυνση ανέμου με μια δεύτερη επικρατούσα S διεύθυνση καθώς επίσης και ταχύτητες στην περιοχή των 6-7 m/sec. Επιδεικνύουν επίσης μία ετήσια μέγιστη ταχύτητα τον Ιανουάριο και Φεβρουάριο μέ ένα δεύτερο μέγιστο τον Αύγουστο και ένα ελάχιστο τον Μάιο-Ιούνιο (Fig. 2,3).

Για τον υπολογισμό του πεδίου ροής χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος NOABL - ένα κινηματικό μοντέλο - λαμβάνοντας υπ' όψη ότι η χρησιμοποίηση ενός δυναμικού μοντέλου παρουσιάζει ορισμένα προβλήματα λόγω του μεγάλου χρόνου που χρειάζεται ο υπολογιστής για την επίλυση των διαφορικών εξισώσεων που εμφανίζονται σε αυτά τα μοντέλα - με τον αντίστοιχο αριθμό των οριακών συνθηκών - καθώς επίσης και της κατάλληλης επιλογής οριομένων εμπειρικών συντελεστών για τις διάφορες παραμετροποιήσεις (8). Αντίθετα τα κινηματικά μοντέλα δεν χρησιμοποιούν όλο το φάσμα των εξισώσεων που χαρακτηρίζουν τις διάφορες καταστάσεις της αέριας μάζας αλλά στηρίζονται στην αρχή της διατήρησης της μάζας και ικανοποιούν μόνο ορισμένες πρωτογενείς εξισώσεις. Η συνηθισμένη μέθοδος για την επίλυση αυτών των μοντέλων χρησιμοποιεί τα δεδομένα των ανεμολογικών σταθμών για την δημιουργία ενός αρχικού πεδίου ροής με μιά απλή μέθοδο παρεμβολής και τότε υποθέτοντας ότι η ταχύτητα του ανέμου προέρχεται από ένα δυναμικό πεδίο $\phi$

$$\vec{u} = \nabla\phi \qquad (1)$$

ώστε να ικανοποιείται η εξίσωση συνεχείας

$$\nabla \cdot \vec{u} = \nabla^2\phi = 0 \qquad (2)$$

αποβλέπει στην μείωση της αρχικής τιμής της απόκλισης του πεδίου ροής σε ανεκτές τιμές. Η χρησιμοποίηση του αλγόριθμου στηρίζεται στην ανάπτυξη ενός πλέγματος πλευρών 1Km που καλύπτει την εξεταζόμενη περιοχή και που φυσικά περιέχει τους σταθμούς μέτρησης. Η θέση των σταθμών στο πλέγμα παίζει ένα πολύ σημαντικό ρόλο στην δημιουργία του αρχικού πεδίου ροής για την εκκίνηση του αλγόριθμου λόγω του ότι οι σταθμοί αυτοί μέσω των μετρήσεων εισάγουν έμμεσα τις επιδράσεις τοπικών κυκλοφοριακών συστημάτων εφ' όσον τα κινηματικά μοντέλα δέν

έχουν την δυνατότητα της εσωτερικής γένεσης μέσω εξισώσεων τοπικών ροών όπως η θαλάσσια αύρα. Αυτά τα τοπικά φαινόμενα υπεισέρχονται έμμεσα στο μοντέλο έαν ο σταθμός ευρίσκεται σε περιοχή που επηρεάζεται από τις τοπικές ροές του ανέμου. Εκτός των θέσεων των σταθμών σημαντικό ρόλο παίζει και ο αριθμός τους λόγω του ότι ορισμένα δεδομένα χρησιμοποιούνται ως αρχικές τιμές για την εκκίνηση του μοντέλου ενώ τα υπόλοιπα χρησιμεύουν για σύγκριση με τα αποτελέσματα για την βελτίωση της ακρίβειας τοι αλγόριθμου με τις κατάλληλες μετατροπές.

Για την δημιουργία του κατακόρυφου προφίλ του ανέμου χρησιμοποιήθηκε η σχέση:

$$V = A\ln(Z/Z_o) + B \qquad (3)$$

όπου A είναι μία χαρακτηριστική ταχύτητα και Z, Zo, B παράμετροι όπου Z, Zo εξαρτώνται από την μορφολογία του εδάφους (6) με τιμές του Zo 0.3 για ανώμαλη επιφάνεια και 0.003 σε επίπεδες περιοχές (Terrain roughness index)

Το μοντέλο στην τελική εφαρμογή χρησιμοποιήθηκε με αρχικές τιμές από 16 διαφορετικές διευθύνσεις του ανέμου δηλαδή με θ=0 για την N διεύθυνση έως θ=337.5 για NNW και με 10 διαφορετικά επίπεδα στο κάθετο άξονα που εκτείνονται από το επιφανειακό στρώμα (10m) μέχρι ενός ύψους 1000m που ευρίσκεται σε τουλάχιστον διπλάσιο ύψος από την υψηλότερη τοπογραφική εξαρση του νησιού. Λόγω της γραμμικότητας του μοντέλου και της υπόθεσης της ασυμπιεστότητας των αερίων μαζών ο αλγόριθμος χρησιμοποιήθηκε για 8 μόνο διευθύνσεις δεδομένου του ότι οι διευθύνσεις θ και θ+180 θεωρούνται αντίστοιχες στον υπολογισμό του πεδίου ροής. Τα Σχήματα 2 και 3 δείχνουν τα δεδομένα των μέσων μηνιαίων τιμών ταχύτητας και διευθύνσεις με τις μετρήσεις της ΔΕΗ για την περίοδο 1978 1982, ενώ τα σχήματα 4 και 5 είναι τυπικά αποτελέσματα του μοντέλου για δύο περιπτώσεις αρχικών τιμών ροής από NNW και S. Τα γράμματα της αλφαβήτου στη μηχανογραφική εκτύπωση αντιστοιχούν σε μία κλίμακα τιμών ταχύτητας για τις συντεταγμένες u και v στο επιφανειακό στρώμα ροής που εκτείνεται στα 10m από την επιφάνεια του εδάφους. Τα αποτελέσματα όλων των εφαρμογών του μοντέλου και για τις 16 διευθύνσεις χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό μιάς μέσης τιμής για όλες τις διευθύνσεις με συντελεστή την συχνότητα εμφάνισης κάθε ταχύτητας και διεύθυνσης. Οι τιμές αυτές ακολούθως υπολογίζουν με την βοήθεια της εξίσωσης

$$E_m = 1/2\rho\Sigma_j \tilde{F}_j u_j^3 \qquad (4)$$

την μέση ενεργειακή τιμή της ροής (Wind Energy Flux) σε $W/m^2$ όπου $u_j$ είναι η μέση ταχύτητα του ανέμου στις διάφορες διευθύνσεις και F μία παράμετρος που εξαρτάται από την συχνότητα της εμφάνισης των διαφόρων ταχυτήτων στις 16 προκαθορισμένες διευθύνσεις. Το Σχήμα 6 δείχνει

το πλέγμα της Λήμνου και τις τιμές του Αιολικού δυναμικού στο επιφανειακό στρώμα. Οι τιμές, όπως και προηγουμένως, αντιστοιχούν σε μία κλίμακα ανάλογα με τα γράμματα του αλφαβήτου σύμφωνα με τον πίνακα ακριβώς δίπλα στο σχήμα.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ένα κινηματικό μοντέλο (NOABL) χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό του Αιολικού δυναμικού στην Λήμνο. Η εκλογή του κινηματικού μοντέλου βασίσθηκε στην απλότητα επίλυσης του σε σύγκριση με τα δυναμικά μοντέλα (4). Τα μειονεκτήματα των κινηματικών μοντέλων λόγω της αδυναμίας απεικόνισης τοπικών κυκλοφοριακών ροών μέσω πρωτογενών εξισώσεων καλύπτονται εν μέρει από την επιλογή των σταθμών και την εισαγωγή των τοπικών φαινομένων έμμεσα μέσω των μετρήσεων. Τα κύρια σημεία ενδιαφέροντος και μετατροπών στο αρχικό μοντέλο ευρίσκονται στην παραμετροποίηση της εξίσωσης δημιουργίας του κατακόρυφου προφίλ του ανέμου, την κατάλληλη επιλογή του δείκτη τραχύτητας για την κάθε περιοχή του πλέγματος και τον προσδιορισμό παραμέτρων ευστάθειας της ατμόσφαιρας για το κάθε επίπεδο.

Τα αποτελέσματα του μοντέλου αποδεικνύουν την ύπαρξη ενός Αιολικού δυναμικού ασφαλώς όχι τόσο αξιόλογου όσο της Άνδρου (2) αλλά οπωσδήποτε υπολογίσιμου.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ


1. Andre , J.C., G. De Moor, P. Lacarrere, G. Therry and R. du Vachat, 1978: " Modelling the 24-hour evolution of the mean and turbulent structurew of the planetary boundary layer, " J.Atmos. Sci., 35, 1861--1883.
2. Λάλας, Δ.Π., Μ. Πετράκης, Η. Τσελεπιδάκη και Γ. Θεοχαράτος, 1984. " Αξιολόγηση θέσεων εγκαταστάσεως Ανεμογεννητριών στην Άνδρο "Έκθεση στη ΔΕΗ/ΔΕΜΕ, Αθήνα 1984.
3. Lalas, D.P., H. Tselepidaki and G. Theoharatos, 1983: " An analysis of wind power potential in Greece ", Solar energy,30, 497-505.
4. Lewellen, W.S., R.I. Sykes and D. Oliver, 1982:" The evaluation of MATHEW/ADPIC as a real time dispersion model," NUREG/GR-2199 ARAP Report No 442, U.S. Nuclear Regulatory Comm., Washington, DC.
5. Ming, Z., H.A. Panofsky and R. Ball, 1983: " Wind profiles oner complex terrain ", Boundary-Layer Meteor., 25, 221-228.
6. Panofsky, H.A., 1974: " The atmospheric boundary layer below 150 meters ", Ann. Rev. Fluid Mech., 6, 147-178.
7. Phillips, G.T., 1979: " A preliminary user s quide for the NOABL objective analysis code ", SAI report No. SAI-78-769-LJ, PL0/2, 440-77/10, July 1979.

8. Zhang, D. and R.A. Anthes, 1982: " A high resolution model of the planetary boundary layer, sensitivity tests and comparisons with SESAME-79 data, " J. Appl Meteor., 21, 1594-1609.

## ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1 Χάρτης της Λήμνου με υψομετρικές καμπύλες και τις θέσεις των σταθμών ΔΕΗ και ΕΜΥ.

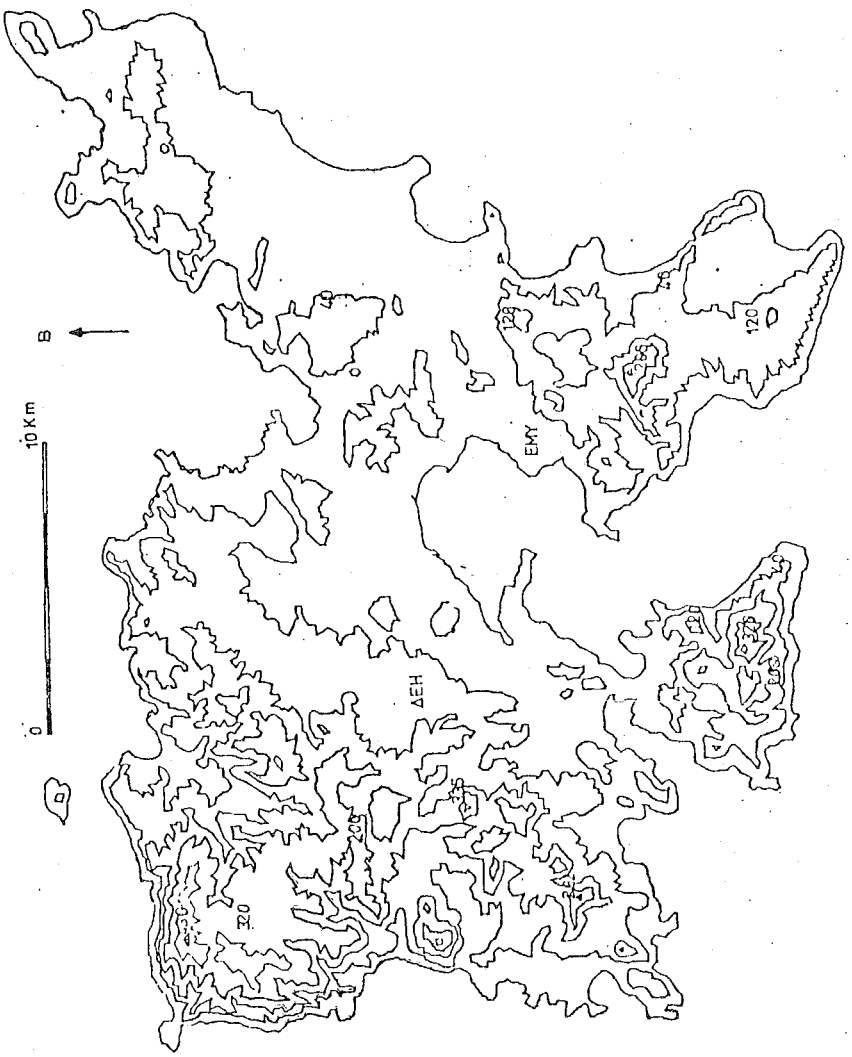
Σχήμα 2 Συχνότητα εμφάνισης ανά διεύθυνση του ανέμου από μετρήσεις της ΔΕΗ στην Λήμνο (●), Θάσο (▲), Αλεξανδρούπολη (×), Μυτιλήνη (○) και Σκόπελο (□) για μια περίοδο 15 χρόνων.

Σχήμα 3 Συχνότητα εμφάνισης ταχυτήτων στο επιφανειακό στρώμα από μετρήσεις της ΔΕΗ στη Λήμνο για την περίοδο 1978-1982.

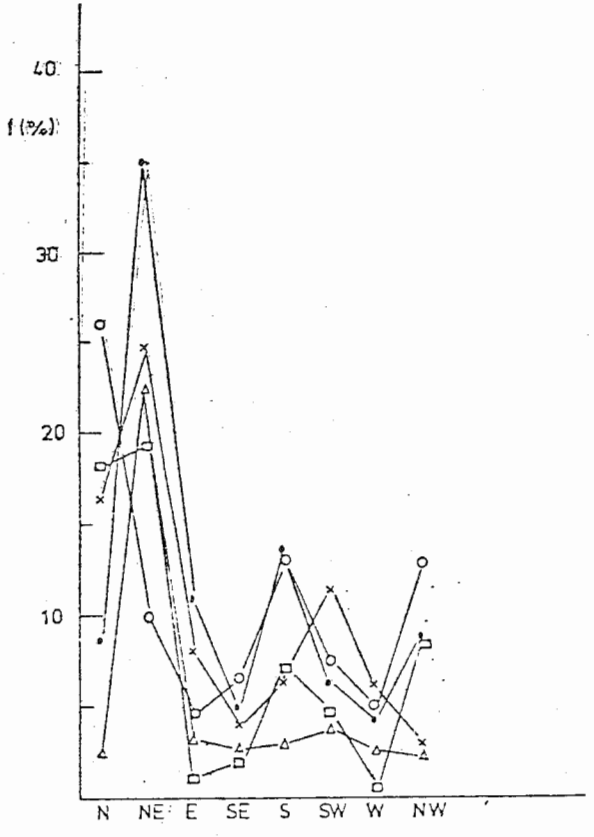
Σχήμα 4 Ταχύτητα του ανέμου υπολογισμένη από το μοντέλο για το επιφανειακό στρώμα και με γεωστροφικό άνεμο S διεύθυνσης ταχύτητας 10m/sec στα 1000m Η επεξήγηση των διαφόρων συμβόλων δίνεται δίπλα στο σχήμα.

Σχήμα 5 Ταχύτητα του ανέμου υπολογισμένη από το μοντέλο για το επιφανειακό στρώμα και με γεωστροφικό άνεμο από NNW διεύθυνση ταχύτητας 10m/sec στα 1000 m . Η επεξήγηση των διαφόρων συμβόλων δίνεται δίπλα στο σχήμα.

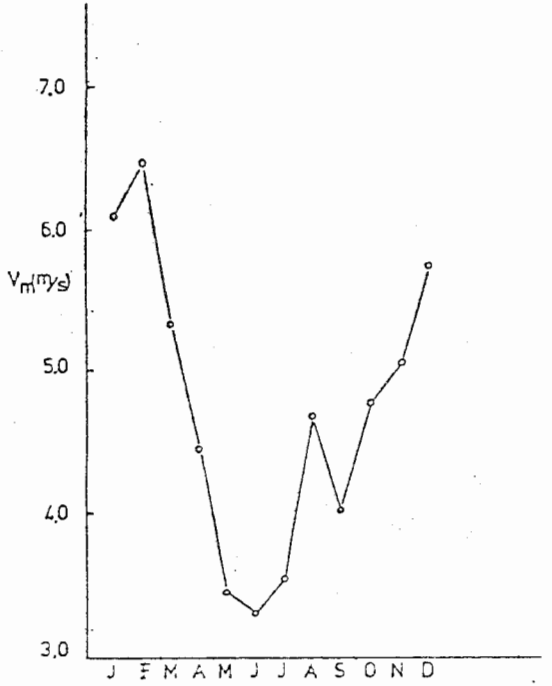
Σχήμα 6 Κατανομή της αιολικής ενέργειας για το επιφανειακό στρώμα (10m) με δεδομένα από την στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων του ανέμου από τον σταθμό της ΔΕΗ για την περίοδο 1978-82. Οι τιμές πρέπει να πολλαπλασιασθούν με το 0.6. Η επεξήγηση των συμβόλων δίνεται δίπλα στο σχήμα.



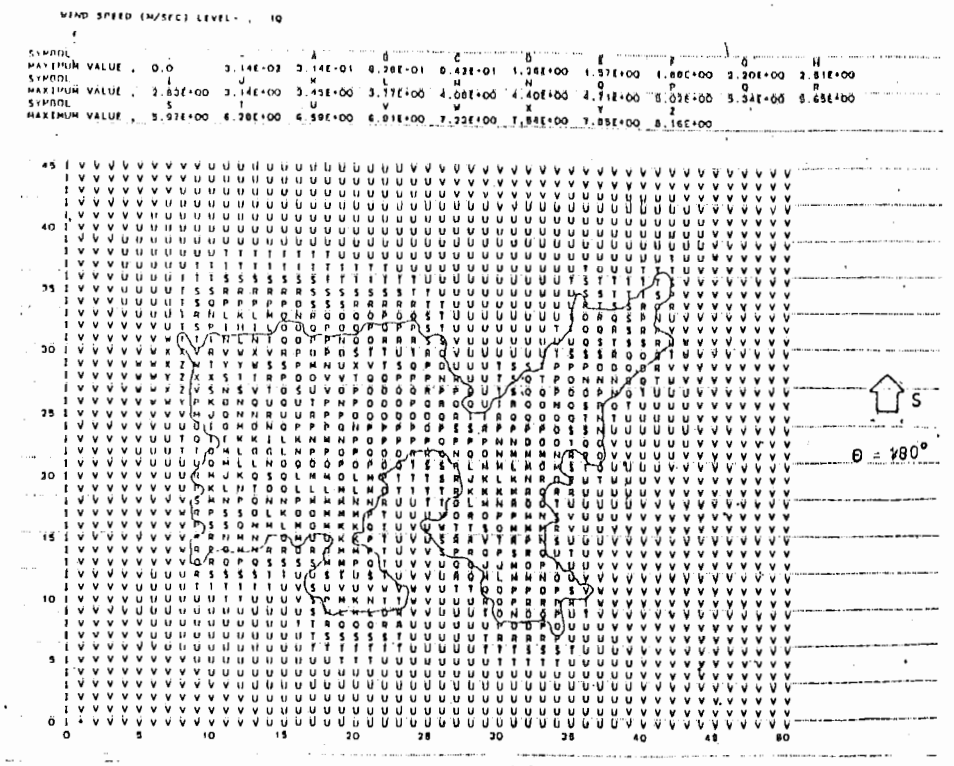

Σχήμα 1

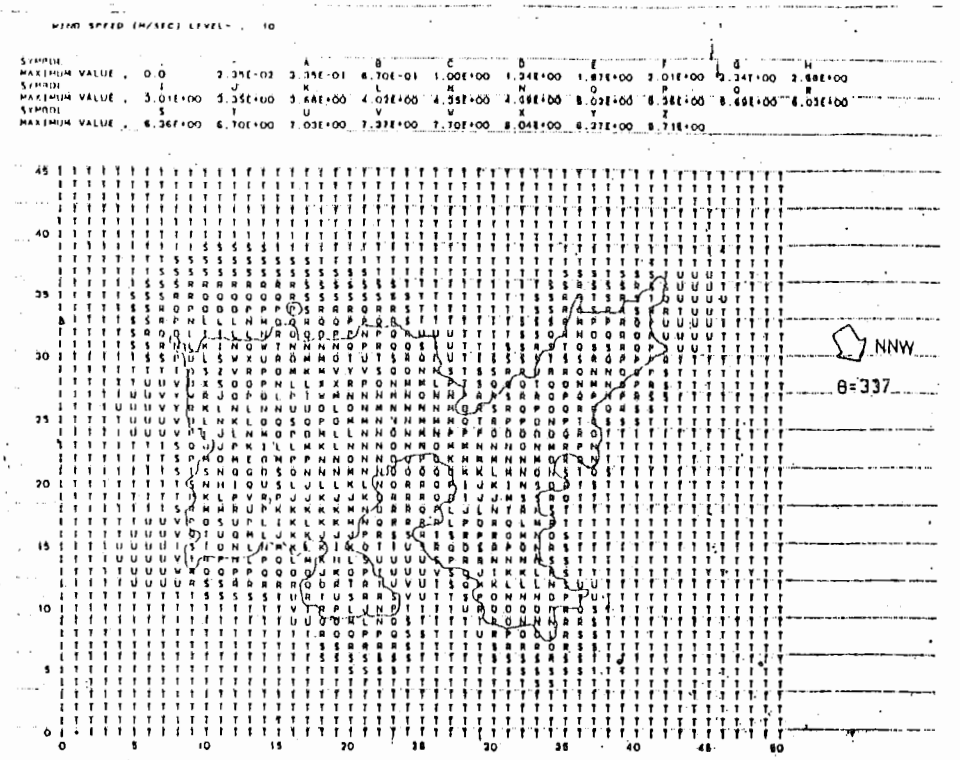



Σχήμα 2.




Σχήμα 3


WIND SPEED (M/SEC) LEVEL- , 10
SYMBOL . - A B C D E F G H
MAXIMUM VALUE , 0.0 3.14E-02 9.14E-01 6.28E-01 0.42E-01 1.26E+00 1.57E+00 1.88E+00 2.20E+00 2.51E+00
SYMBOL I J K L N O P Q R
MAXIMUM VALUE , 2.83E+00 3.14E+00 3.45E+00 3.77E+00 4.08E+00 4.40E+00 4.71E+00 5.03E+00 5.34E+00 5.65E+00
SYMBOL S T U V W X Y Z
MAXIMUM VALUE , 5.97E+00 6.28E+00 6.59E+00 6.91E+00 7.22E+00 7.54E+00 7.85E+00 8.16E+00
7 баллов
S
θ = 180°


WIND SPEED (M/SEC) LEVEL- , 10
SYMBOL . - A B C D E F G H
MAXIMUM VALUE , 0.0 2.35E-02 3.35E-01 6.70E-01 1.00E+00 1.34E+00 1.67E+00 2.01E+00 2.34E+00 2.68E+00
SYMBOL I J K L N O P Q R
MAXIMUM VALUE , 3.01E+00 3.35E+00 3.68E+00 4.02E+00 4.35E+00 4.69E+00 5.03E+00 5.36E+00 5.69E+00 6.03E+00
SYMBOL S T U V W X Y Z
MAXIMUM VALUE , 6.36E+00 6.70E+00 7.03E+00 7.37E+00 7.70E+00 8.04E+00 8.37E+00 8.71E+00
5 баллов
NNW
θ=337

WIND ENERGY POTENTIAL
SYMBOL - A B C D E F G H
MAXIMUM VALUE . 0.0 5.29E+00 5.29E+01 1.06E+02 1.59E+02 2.12E+02 2.65E+02 3.17E+02 3.70E+02 4.23E+02
SYMBOL J K L M N O P Q R
MAXIMUM VALUE . 4.76E+02 5.29E+02 5.82E+02 6.35E+02 6.88E+02 7.41E+02 7.94E+02 8.47E+02 9.00E+02 9.52E+02
SYMBOL S T U V W X Y Z
MAXIMUM VALUE . 1.01E+03 1.06E+03 1.11E+03 1.16E+03 1.22E+03 1.27E+03 1.32E+03 1.38E+03

Σχήμα 6

ΠΑΡ-19

# ΤΙΤΛΟΣ ΕΙΣΗΓΗΣΗΣ: ΕΠΙ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ COLLARES-PERREIRA ΚΑΙ LIU-JORDAN ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ ΔΙΑΧΥΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ: Μ. ΠΕΤΡΑΚΗΣ, Μετεωρολογικό Ινστιτούτο, Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών
Δ. Π. ΛΑΛΑΣ, Dpt. of Mechanical Engineering, Wayne State University
Χ. ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ, Dpt. of Mechanical Engineering, Imperial College

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Οι δύο μέθοδοι των Liu-Jordan και Collares - Perreira για τον υπολογισμό της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας στην Ελλάδα συγκρίθηκαν με πειραματικά δεδομένα μετρήσεων της ολικής ακτινοβολίας από τρείς διαφορετικούς σταθμούς των Αθηνών της Κύθνου και της Ρόδου. Τ' αποτελέσματα αποδεικνύουν ότι η καμπύλη προσομοίωσης των πειραματικών δεδομένων έχει μεγαλύτερο βαθμό συσχέτισης με την θεωρητική καμπύλη του Liu-Jordan παρά με την καμπύλη της πρόσφατα αναπτυχθείσης μεθόδου των Collares - Perreira and Rabl. Η απόκλιση της καμπύλης προσομοίωσης των πειραματικών δεδομένων από την θεωρητική καμπύλη εξηγείται από τις τυπικές Μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν στην Ελλάδα κατά τον χειμώνα και τις μεταβατικές εποχές (Άνοιξη - Φθινόπωρο).

ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ: Ολική, διάχυτος, Άμεση ηλιακή ακτινοβολία, Liu-Jordan, Collares-Perreira and Rabl, Πυρανόμετρο, Cloudiness index, Clearness index, Επίγειος Ακτινοβολία, Συσχέτιση, Αθήνα, Κύθνος, Ρόδος.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ:

Ένας αρκετά μεγάλος αριθμός θεωρητικών μοντέλλων υπολογισμού της διάχυτης ακτινοβολίας έχει αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια βασιζόμενος σε μετρήσεις της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας. Τα περισσότερα από αυτά τα θεωρητικά μοντέλλα όπως των Davies-Hay (3), Hoyt and Bird (4) βασίζονται στην ύπαρξη διαφόρων μετεωρολογικών μεγεθών όπως η ηλιοφάνεια; η νεφοκάλυψη και η ατμοσφαιρική διαπερατότητα εκτός των άλλων κλασσικών μετρήσεων, όπως θερμοκρασία, πίεση, υγρασία. Υπάρχουν όμως πάντοτε οι περιπτώσεις κατά τις οποίες είναι επιθυμητός ο υπολογισμός των θεωρητικών τιμών της διάχυτης και άμεσης ακτινοβολίας σε περιοχές όπου δεν υπάρχουν αυτές οι μετρήσεις και τα μόνα δεδομένα ειναι οι τιμές της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας. Γι αυτές τις περιπτώσεις συσχετίσεις

του τύπου Liu-Jordan (5), Collares-Perreira and Rabl (2) και αλγόριθμοι που βασίζονται στα δεδομένα της ηλιοφάνειας για τον προσδιορισμό ορισμένων εμπειρικών παραμέτρων, (Νοταρίδου και Λάλας (6), Bird and Houlstrom (1)) χρησιμεύουν για την εφαρμογή των μεθόδων υπολογισμού της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας.

Σε μία προσπάθεια ελέγχου των δυνατοτήτων εφαρμογής αυτών των συσχετίσεων για τους υπολογισμούς ορισμένων ηλιακών μεγεθών στην Ελλάδα πειραματικά δεδομένα ολικής ηλιακής ακτινοβολίας από τρεις περιοχές Αθήνα, Ρόδο και Κύθνο, χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία βάσει της μεθόδου Liu-Jordan της αντίστοιχης καμπύλης και την σύγκρισή της με την αντίστοιχη θεωρητική και την καμπύλη του Collares-Perreira and Rabl.

## ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΧΥΤΗΣ ΚΑΙ ΑΜΕΣΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ LIU-JORDAN ΚΑΙ COLLARES-PERREIRA AND RABL.

Η Ελλάδα με χαρακτηριστικό κλίμα το Μεσογειακό και με μεγάλο αριθμό ωρών ηλιοφάνειας είναι μία ιδεώδης περιοχή για την εφαρμογή των μεθόδων των Liu-Jordan και Collares-Perreira and Rabl για τον υπολογισμό της διάχυτης ακτινοβολίας από μετρήσεις της ολικής. Και οι δύο μέθοδοι χρησιμοποιούν μία συσχέτιση των μετρήσεων της ολικής ακτινοβολίας και της θεωρητικής εξωγήινης ακτινοβολίας (Extraterrestrial radiation) για τον υπολογισμό της διαχύτου. Ειδικά η μέθοδος Collares-Perreira and Rabl βασίζεται στην αρχική εργασία του Liu-Jordan και θεωρεί ότι παρ' όλη την διακύμανση των στιγμιαίων τιμών της διάχυτης ακτινοβολίας οι μέσες τιμές χαρακτηρίζονται από μία ομαλή ανάπτυξη και μπορούν να συσχετισθούν με μία χαρακτηριστική παράμετρο της διαπερατότητας της ατμόσφαιρας. Η συσχέτιση αυτή χρησιμοποιεί σαν παράμετρο τον δείκτη νέφωσης (5) (Cloudiness or Clearness index) $K_h$ όπου:

$$K_h = H_h/H_o \qquad (1)$$

δηλαδή τον λόγο της επίγειας $H_h$ προς την εξωγήινη ακτινοβολία $H_o$ όπου σαν εξωγήινη ακτινοβολία ορίζεται αυτή η ακτινοβολία που θα έφτανε στην επιφάνεια της γής εάν δέν υπήρχε ατμόσφαιρα για την απόσβεσή της και δίνεται από τον τύπο:

$$H_o=T/\pi\ I_{o,n}\{1+0.033\cos(2\pi n/365.24)\}\cos\lambda\cos\delta\times(\sin\omega_s-\omega_s\cos\omega_s) \qquad (2)$$

όπου T=διάρκεια της ημέρας, 24 hr, $I_{o,n}$=1353 w/$m^2$=ηλιακή σταθερά, n=ημέρα του έτους (αρχίζοντας από την 1 Ιανουαρίου), λ=γεωγραφικό πλάτος, $\omega_s$=arccos(-tanλtanδ)=γωνία ηλίου την δύση και δ=ηλιακή παρέκλιση που δίνεται από τον τύπο:

$$\sin\delta=0.3979\sin\gamma$$

και στην περίπτωση που θεωρούμε κυκλική την τροχιά της γής το γ είναι:

$$\gamma=\gamma o=2p(n+284)/365.24$$

Για την εφαρμογή της μεθόδου εχρησιμοποιήθηκαν μετρήσεις από τους σταθμούς του Μετεωρολογικού Ινστιτούτου του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, της Κύθνου και της Ρόδου. Τα δεδομένα μετά από μία αρχική επιλογή ώστε να απορριφθούν τιμές που οφείλονται σε διάφορα μηχανικά ή ηλεκτρονικά σφάλματα, χρησιμοποιήθηκαν ώστε να εξαχθούν μέσες τιμές του Hh και $H_o$ που αντιστοιχούν στις διαφορές τιμές του Kh και ακολούθως αυτές οι μέσες τιμές κατανέμονται σε διάφορες κατηγορίες σχετισμένες με τιμές του Kh που κυμαίνονται σε ένα συγκεκριμένο μικρό διάστημα. Για την κατανομή αυτή χρησιμοποιήθηκε ένα διάστημα ΔKh= =0.5 που θεωρήθηκε σαν κατάλληλη τιμή για τον αριθμό των μετρήσεων που υπήρχαν. Τ' αποτελέσματα αυτής της συσχέτισης μαζί με τις θεωρητικές καμπύλες των Collares-Perreira and Rabl και του Liu-Jordan και για 1984 ημέρες παρατηρήσεων όλων των σταθμών φαίνονται στο σχήμα 1. Είναι φανερό ότι τα πειραματικά δεδομένα έχουν μία καλύτερη συσχέτιση με την καμπύλη του Liu-Jordan παρά με την βελτιωμένη καμπύλη των Collares-Perreira and Rabl. Οι μόνες τιμές που φαίνεται ότι τα πειραματικά δεδομένα δεν έχουν μία καλή συσχέτιση με την καμπύλη του Liu-Jordan αλλά ακολουθούν την καμπύλη του Collares-Perreira είναι η περιοχή των δεδομένων που ορίζονται από τιμές Kh>0.5

Για την διερεύνηση της επίδρασης της ατμοσφαιρικής θόλωσης και του γεωγραφικού πλάτους στην μέθοδο προσδιορισμού της διάχυτης ακτινοβολίας διάφορες συσχετίσεις δημιουργήθηκαν με δεδομένα από την Αθήνα την Κύθνο 85Km Νοτιοανατολικά των Αθηνών και την Ρόδο 400 Km επίσης Νοτιοανατολικά των Αθηνών. Το Σχήμα 2 δείχνει τις τέσσερις περιπτώσεις, την την καμπύλη του Liu-Jordan και τις τρείς συσχετίσεις από τους διαφορετικούς σταθμούς μετρήσεων. Όλες οι συσχετίσεις συγκλίνουν πρός την θεωρητική καμπύλη μέχρι την τιμή Kh=0.5 εκτός από τις τιμές της Κύθνου που έχουν μία τάση μετατόπησης προς χαμηλότερες τιμές. Για τιμές του Kt μεγαλύτερες του 0.5 όλες οι πειραματικές τιμές έχουν μετατοπισθεί υψηλότερα των καμπυλών του Collares-Perreira και του Liu-Jordan. Για μία πληρέστερη εξέταση της μεθόδου τα δεδομένα είχαν περαιτέρω διαχωρισθεί ανάλογα με τις εποχές και οι συσχετίσεις είχαν συγκριθεί με τις θεωρητικές τιμές. Αυτός ο διαχωρισμός κατά εποχές δείχνει μία συσσώρευση τιμών γύρω από το σημείο Kt=0.5, ιδιομορφία που είναι περισσότερο εμφανής στην περίπτωση της Ρόδου και της Κύθνου, καθώς επίσης και μία δεύτερη περιοχή συσσώρευσης γύρω από το σημείο Kt=0.8 όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3. Μία πιθανή εξήγηση για την απόκλιση των πειραματικών τιμών από τις θεωρητικές καμπύλες των Liu-Jordan και Collares-Perreira μπορεί να δοθεί βασιζόμενη στην εμφάνιση μικρών μεμονομένων νεφών στον ουρανό κατά την περίοδο του χειμώνα και των μεταβατικών εποχών (άνοιξη - φθινοπωρο). Παρ' όλο που η μερική κάλυψη του

ουρανού από αυτά τα νέφη δημιουργεί τιμές 0.5-0.6 για τον δείκτη νέφωσης εν τούτοις η διάχυτη ακτινοβολία δέν φτάνει υψηλές τιμές λόγω του ότι τα διάσπαρτα νέφη δεν καλύπτουν σε μεγάλη κλίμακα και για μεγάλα χρονικά διαστήματα τον ουρανό.

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Παρ' όλο που η συσχέτιση Collares-Perreira and Rabl παρουσιάζει βελτιώσεις εν σχέσει με την αρχική μέθοδο του Liu-Jordan και έχει αναγνωρισθεί διεθνώς ειδικά μετά την σύγκριση με πειραματικά δεδομένα από την Ινδία, Ισράήλ και Καναδά (2) εν τούτοις η εφαρμογή της για τον υπολογισμό της διάχυτης και άμεσης ακτινοβολίας στην Ελλάδα δείχνει μία απόκλιση των θεωρητικών τιμών από τις πειραματικές. Περαιτέρω η συσχέτιση του Liu-Jordan φαίνεται να παρουσιάζει μία καλύτερη προσέγγιση στα δεδομένα εκτός από ορισμένες τιμές του Kt όπου υπάρχει μία απόκλιση των πειραματικών σημείων από την καμπύλη. Η απόκλιση αυτή βρίσκει σαν εξήγηση την ύπαρξη μικρών μεμονωμένων νεφών στον ουρανό κατά τον χειμώνα, άνοιξη και φθινοπωρο.

## REFERENCES


1. Bird, R.E., Hulstrom, R.L., 1981: "A simplified clear sky model for direct and diffuse insolation on horizontal surfaces" Solar Energy Res. Inst., Golden, Co., SERI/TR 642-761, pp.38.

2. Collares-Perreira, M. and A. Rabl, 1979: "The average distribution of solar-radiation correlations between diffuse and hemispherical and between daily and hourly insolation values" Solar Energy, 22, 155-164.

3. Davies, J.A., Hay, J.E., 1978: "Calculation of the solar radiation incident on a horizontal surface" Proc. First Canadian Solar Radiation Data Workshop, April 17-19, 1978, Canadian Atmospheric Environment Service.

4. Hoy, D.V., 1978: "A Model for the calculation of solar global insolation" Solar Energy, 21 , 27-35.

5. Liu, B.H.Y., and R.C. Jordan, 1960: "The interrelationship and characteristics distribution of direct, diffuse and total solar radiation" Solar Energy, 1-19.

6. Notaridou, V. and D.P. Lalas, 1979: "The distribution of global and net radiation over Greece" Solar Energy 22 505-514.

ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

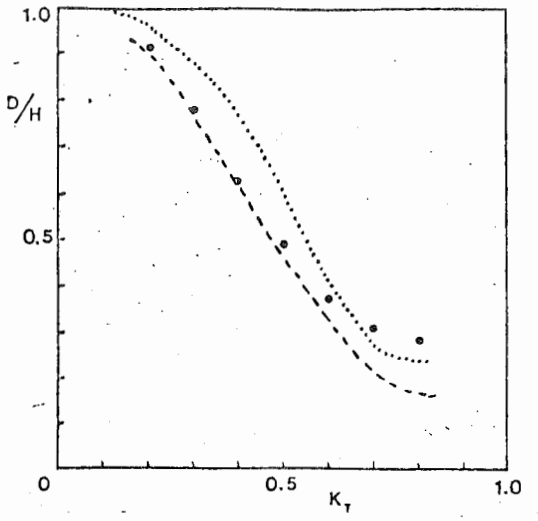
Σχήμα 1 Καμπύλη του λόγου της διάχυτης (D) προς την ολική (H) ακτινοβολία σε ένα οριζόντιο επίπεδο προς τον δείκτη Kt δηλαδή τον λόγο της ολικής ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο προς την εξωγήινη ακτινοβολία. Η καμπύλη με τις παύλες είναι η συσχέτιση του Liu-Jordan η καμπύλη με τις μικρές τελείες είναι του Collares-Perreira και τα σημεία (●) υπολογίσθηκαν από τις μετρήσεις 1484 ημερών στην Ρόδο, Αθήνα και Κύθνο.

Σχήμα 2 Καμπύλη του λόγου της διάχυτης (D) προς την ολική (H) ακτινοβολία σε ένα οριζόντιο επίπεδο προς τον δείκτη Kt δηλαδή τον λόγο της ολικής προς την εξωγήινη ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο. Η καμπύλη με τις παύλες είναι η συσχέτιση Liu-Jordan, τα σημεία (■) είναι υπολογισμοί 525 ημερών στην Αθήνα, τα σημεία (◆) υπολογισμός 567 ημερών στην Ρόδο και τα σημεία (✿) υπολογισμός 365 ημερών στην Κύθνο. Όταν δύο ή τρία σημεία συμπίπτουν υποδεικνύονται από τον αριθμό 2 ή 3.

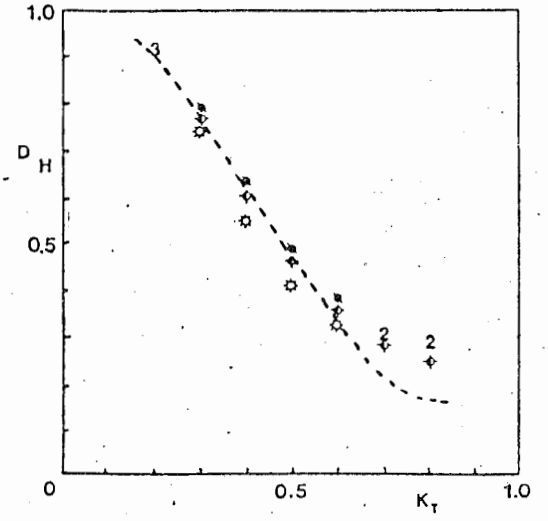
Σχήμα 3 Καμπύλη του λόγου της διάχυτης (D) πρός την ολική (H) ακτινοβολία σε ένα οριζόντιο επίπεδο προς τον δείκτη Kt δηλαδή τον λόγο της ολικής προς την εξωγήινη ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο. Η καμπύλη με τις παύλες είναι η συσχέτιση Liu-Jordan, ενώ τα σημεία είναι οι ημερήσιες τιμές 85 χειμερινών ημερών στην Κύθνο.

Σχήμα 4 Όπως το σχήμα 3 αλλά με 149 ημέρες άνοιξης-φθινοπώρου στην Κύθνο.

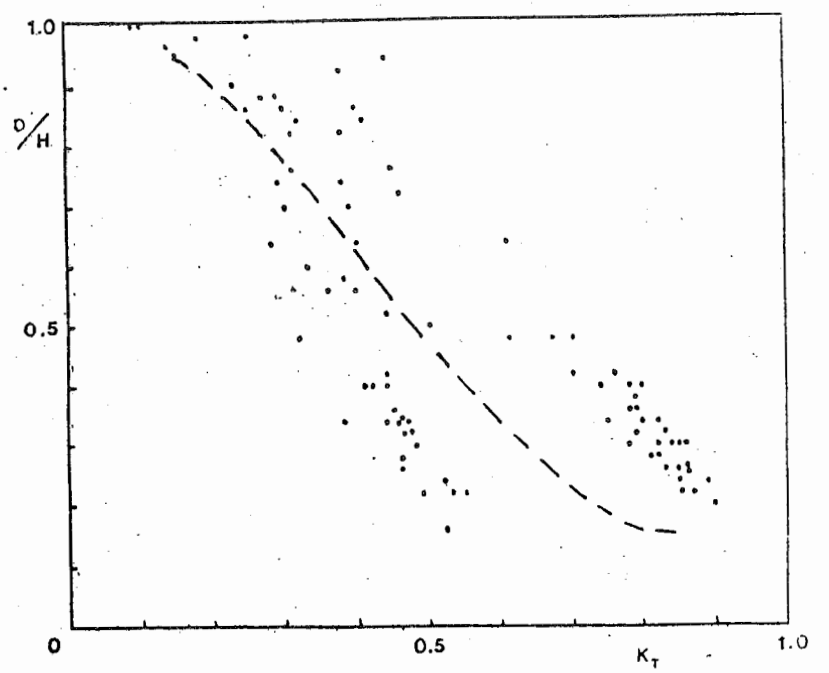
* Η εργασία αυτή αποτελεί μέρος μελέτης χρηματοτούμενης από την ΕΟΚ (ECF) 027 G(B).



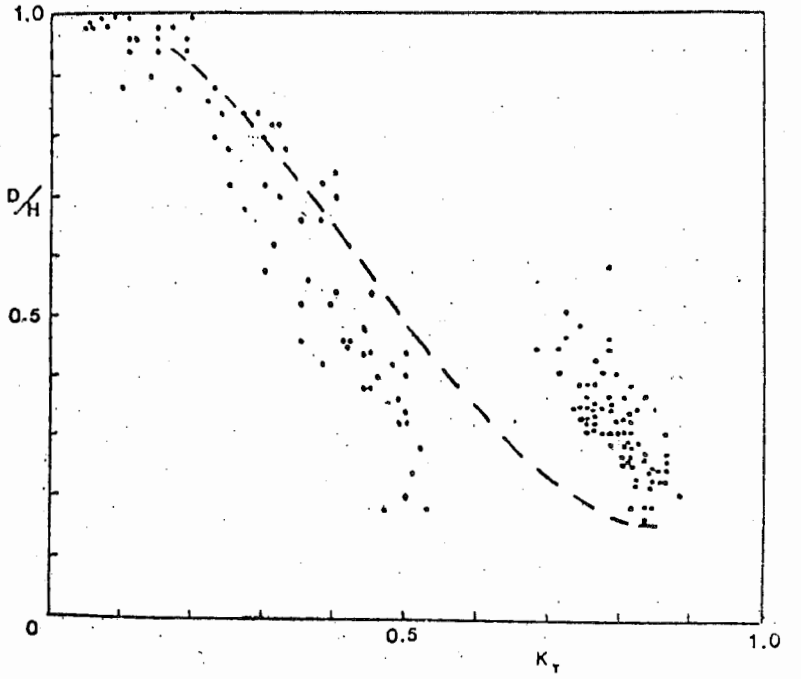

Σχήμα 1




Σχήμα 2




Σχήμα 3




Σχήμα 4

ΠΑΡ-27

# ΜΕΘΟΔΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΕΩΣ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΖΕΣΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΚΑΤΟΙΚΙΩΝ

## (ΠΡΟΤΑΣΙΣ)

DR D. GILLIAERT, P. TEBALDI

Commission of European Communities
Joint Research Center, Ispra Establishment, Italy

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η προτεινόμενη μέθοδος δοκιμής απαιτεί μικρό χρονικό διάστημα, και μπορεί να γίνει τόσο σε εσωτερικό όσο και σε εξωτερικό, χώρο.
Προσδιορίζεται η απόδοση του συστήματος σε συνθήκες που επιτρέπουν την μετρηση μιάς μεγίστης ημερησίας τιμής, επίσης και με συνθήκες χωρίς φορτίο. Τα στοιχεία αυτά σε συνδυασμό με κλιματολογικά δεδομένα (σε απλή μορφή), είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν γιά την εκτίμηση της μακροχρονίου αποδόσεως ενός ηλιακού συστήματος. Η μέθοδος φαίνεται ότι μπορεί να ικανοποιήσει τις ανάγκες των κατασκευαστών και των καταναλωτών.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Ηλιακό Σύστημα, Ζεστό Νερό, Θερμική Απόδοση, Μετρήσεις

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Από τις διάφορες χρήσεις της ηλιακής ενέργειας, η θέρμανση νερού γιά οικιακές ανάγκες παραμένει η πλέον διαδεδομένη, διότι είναι εφαρμογή χαμηλών θερμοκρασιών και απαιτεί απλή τεχνολογία. Από τα αντίστοιχα όμως προϊόντα απαιτείται διάρκεια ζωής και αξιοπιστία. Τα συστήματα ζεστού νερού μπορούν να εγκατασταθούν εύκολα, είναι ανεξάρτητα ή μπορούν να ενσωματωθούν σε υπάρχοντα συστήματα.

Ακόμη και αν τα συστήματα αυτά έχουν μικρή συνεισφορά στις ετήσιες θερμικές ανάγκες μιάς κατοικίας (10% μέχρι 15%) συνήθως αντικαθιστούν συστήματα τα οποία κατά κανόνα έχουν μικρή ολική απόδοση όπως ο ηλεκτρικός θερμοσίφωνας (καύση στο Σταθμό Παραγωγής), ή η χρησιμοποίηση κεντρικού συστήματος θερμάνσεως γιά παραγωγή ζεστού νερού το καλοκαίρι.

Υπάρχει μία μεγάλη ποικιλία ηλιακών θερμαντήρων νερού, πράγμα που προκαλεί δυσκολίες στον καταναλωτή στην επιλογή του πλέον καταλλήλου γιά την περίπτωσή του. Συνήθως δεν έχει πληροφορίες γιά την απόδοση του συστήματος, την διάρκεια ζωής του ή την αξιοπιστία του, πάντοτε φυσικά σε συνδυασμό με την τοποθεσία και το κλίμα της κατοικίας του.

Ο κύριος σκοπός της έρευνας που γίνεται στο Joint Research Center πάνω στο θέμα αυτό, είναι να γίνει γνωστή η θερμική συμπεριφορά των διαφόρων συστημάτων και να καθορισθούν οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοσή τους. Έμφαση δίνεται στην ανάπτυξη πειραματικών μεθόδων γιά τα ηλιακά συστήματα ζεστού νερού.

Μετάφραση και Συμβολή: Δρ. Σ. Παούλιας Διπλ. Μ-Η

## 2. ΓΕΝΙΚΕΣ ΣΚΕΨΕΙΣ

Το ηλιακό σύστημα θερμάνσεως ζεστού νερού μπορεί εύκολα να οριαθεί και να περιγραφεί. Παρ όλα αυτά, υπάρχουν πολλές δυνατότητες σύνθεσης ενός τέτοιου συστήματος από τα "επί μέρους στοιχεία", τα οποία είναι:

- τύπος συλλέκτη
- τρόπος μεταφοράς ενεργείας από συλλέκτη προς δεξαμενή α) θερμοσιφωνική ροή, β) ανοικτό κύκλωμα, γ) χρήση εναλλάκτη και εξατμιζόμενα-συμπυκνούμενα υγρά μεταφοράς θερμότητος.
- αυτοματισμοί και έλεγχος του κλειστού κυκλώματος
- μία ή δύο αποθηκευτικές δεξαμενές
- βοηθητική ενέργεια: α) φυσικό αέριο, β) πετρέλαιο, γ) ηλεκτρική ενέργεια.

Επί πλέον ο σχεδιασμός μιάς μονάδος λαμβάνει υπόψη του και κλιματολογικές συνθήκες και ιδιαίτερα την προστασία σε χαμηλές θερμοκρασίες (παγωνιά).

Μία πειραματική μέθοδος καθορισμού της θερμικής αποδόσεως ηλιακών συστημάτων θερμάνσεως νερού θα πρέπει να παρέχει την δυνατότητα συγκρίσεως αυτών με κοινή βάση. Επί πλέον θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι ειδικές απαιτήσεις τόσο των κατασκευαστών όσο και των καταναλωτών, και μονο έτσι είναι δυνατόν η μέθοδος να γίνει αποδεκτή.

Ο κατασκευαστής περιμένει από την δοκιμή ένα αποτέλεσμα που να δείχνει ότι το σύστημά του έχει καλή θερμική απόδοση, παντοτε μέσα στα πλαίσια των δυνατοτήτων του συστήματος ( απορροφητική επιφάνεια, χαρακτηριστικά συλλέκτη, όγκος δεξαμενής, εναλλάκτης θερμότητος).

Από την άλλη πλευρά, ο καταναλωτής θέλει να ξέρει την ετήσια οικονομία που θα επιτύχει με την αγορά του συστήματος γιά την κατοικία του, η οποία ευρίσκεται σε κάποια περιοχή με το δικό της ιδιαίτερο κλίμα. Η ακρίβεια που μπορεί να έχει κανείς στους υπολογισμούς αυτούς εξαρτάται από τα διαθέσιμα στοιχεία γιά την κατανάλωση ζεστού νερού και από τη γνώση των τοπικών κλιματολογικών συνθηκών. Τόσο η κατανάλωση όσο και τα κλιματολογικά στοιχεία όμως δεν ανταποκρίνονται προς την πραγματικότητα από διάφορες αιτίες που εκτίθενται πιό κάτω.

Γενικά υπάρχουν μεγάλες διαφορές στην κατανάλωση νερού μεταξύ διαφόρων ατόμων. Έχουν μετρηθεί τιμές που κυμαίνονται στην περιοχή των 30-35 λίτρων ανά άτομο και ημέρα, οι οποίες όμως είναι κατά 40% μικρότερες από τις ανεγνωρισμένες πρότυπες τιμές γιά μελέτες, που είναι 60 λίτρα ανά άτομο και ημέρα. Επί πλέον υπάρχουν και διαφορές στο τρόπο με τον οποίο γίνεται η κατανάλωση του νερού κατά την διάρκεια της ημέρας ή και γενικώτερα μιάς μεγαλύτερης χρονικής περιόδου (εβδομάδα, μήνας).

Ως προς τις κλιματολογικές συνθήκες, είναι γνωστό ότι είναι δυνατόν να υπάρχουν διαφορές της τάξεως του 10% στην ετήσια ηλιακή ενέργεια γιά μία περιοχή. Συνήθως η ηλιακή ακτινοβολία είναι γνωστή από τοπικούς μετεωρολογικούς

σταθμούς που συνήθως παρέχουν στοιχεία γιά οριζόντιο επίπεδο και όχι στο κεκλιμένο επίπεδο του συλλέκτη. Διαφορές μπορεί να υπάρχουν και σε άλλες παραμέτρους που είναι η θερμοκρασία περιβάλλοντος και η ταχυτητα του ανέμου. Τέλος, τις περισσότερες φορές, δεν είναι γνωστή η θερμοκρασία νερού της πόλεως και η μεταβολή της κατά την διάρκεια ενός έτους.

Όλες αυτές οι απαιτήσεις, τόσο από τον κατασκευαστή όσο και από τον καταναλωτή, είναι δυνατόν να αντιμετωπισθούν αν το όλο πρόβλημα χωρισθεί σε δύο φάσεις.

Η πρώτη φάση συνίσταται από μία, μικρής χρονικής διάρκειας, δοκιμή λειτουργίας του όλου συστήματος σε καθορισμένες συνθήκες (συνθήκες αναφοράς) κλίματος και φορτίου (δηλ. αφαίρεση ζεστού νερού). Από την δοκιμή αυτή καθορίζονται ωρισμένοι παράμετροι του συστήματος οι οποίοι και το χαρακτηρίζουν.

Κατά την δεύτερη φάση, οι πιό πάνω παράμετροι αυτοί χρησιμοποιούνται, σε συνδυασμό με τα κλιματολογικά δεδομένα της συγκεκριμένης περιοχής, γιά τον υπολογισμό της αποδόσεως του συστήματος σε συνθήκες μεγάλου και μικρού φορτίου.

## 3. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Το ηλιακό σύστημα ζεστού νερού έχει βασικά δύο λειτουργίες. Η πρώτη είναι η συλλογή της ηλιακής ενέργειας και η θέρμανση του νερού και η δεύτερη η αποθήκευση της ενέργειας γιά μία μικρή χρονική περίοδος (μικρότερη της μιάς ημέρας) ώστε να έχει την δυνατότητα ο καταναλωτής να την χρησιμοοιήσει όποτε επιθυμεί. Το σύστημα αποτελείται από διάφορα μέρη, η αλληλεπίδραση των οποίων είτε είναι δύσκολο να περιγραφεί είτε είναι δύσκολο να προβλεφθεί (πχ. θερμοσιφωνική ροή, κτλ).

Γιά τον καθορισμό της θερμικής αποδόσεως των συστημάτων αυτών, απαιτείται δοκιμή ολοκλήρου του συστήματος σε δεδομένες συνθήκες και με ημερήσιο κύκλο (24h). Ο κύριος στόχος της δοκιμής είναι ο καθορισμός της αποδόσεως του συστήματος σε ακραίες συνθήκες ώστε να αποκαλυφθούν τυχόν ελαττώματά του.

Είναι γνωστό ότι η θερμική απόδοση ενός ηλιακού συστήματος ζεστού νερού εξαρτάται γενικά από την ηλιακή ακτινοβολία, την θερμοκρασία περιβάλλοντος, τον άνεμο και το φορτίο του (κατανάλωση νερού).

Η κατανάλωση δεν είναι δυνατό να μπεί σε ωρισμένα πρότυπα αναφοράς, διότι ούτε η ποσότης ούτε η θερμοκρασία ούτε και η χρονική στιγμή χρησιμοποιήσεως του ζεστού νερού είναι δυνατόν να προβλεφθούν. Έτσι είναι αναγκαίο να γίνει δοκιμή του συστήματος σε ακραίες συνθήκες φορτίου. Οι δοκιμές αυτές οδηγούν στο προσδιορισμό μερικών παραμέτρων του συστήματος (σταθερές του συστήματος), οι οποίες έχουν φυσική σημασία και είναι εύκολο να

κατανοηθούν τόσο από τους κατασκευαστές όσο και από τους καταναλωτές.

Οι σταθερές αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν (απλοί υπολογισμοί) για την εκτίμηση της μακροχρονίου αποδόσεως του συστήματος. Οι παράμετροι είναι:

- απόδοση Ηο
- απόδοση χωρίς φορτίο
- συντελεστης θερμοκρασιακής στρωματώσεως
- συντελεστής θερμικών απωλειών δεξαμενής.

Οι δύο αποδόσεις αναφέρονται σε ημερήσια βάση και πάντοτε σε ωρισμένη επιφάνεια συλλογής ηλιακής ενέργειας.

## 3.1 Απόδοση Ηο

Η Παράμετρος Ηο αντιπροσωπεύει το άνω όριο θερμικής αποδόσεως του συστήματος και συνοψίζει σε μία τιμή τις οπτικές ιδιότητες του συστήματος, συμπεριλαμβανομένων και των εξής παραγόντων ή ελαττωμάτων:

- τη γωνία προσπτώσεως της ηλιακής ακτινοβολίας
- την κατώτερη τιμή (κατώφλι) της ηλιακής ακτινοβολίας που απαιτείται για να αρχίσει η θερμοσιφωνική ροή
- την ελάττωση της αποδόσεως του συλλέκτη σε ένα θερμοσιφωνικό σύστημα από μικρές τιμές της ροής του υγρού μεταφοράς θερμότητας
- την κακή λειτουργία των αυτοματισμών ή ακατάλληλη θέση των μετρητικών οργάνων.

Η δοκιμή για τον καθορισμό της αποδόσεως Ηο μπορεί να γίνει μέσα σε διάστημα μερικών ημερών. Κατά την διάρκεια μιάς ημέρας, το σύστημα εκτίθεται σε μία καθορισμένη ηλιακή ακτινοβολία (ηλιακή ημερα). Από το σύστημα αφαιρείται συνεχώς νερό (περίπου 100 λίτρα/h) ενώ τροφοδοτείται με κρύο νερό θερμοκρασίας ίσης προς την μέση θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Κατά την διάρκεια της δοκιμής μετρούνται η ηλιακή ακτινοβολία και η θερμότητα που αφαιρείται από το σύστημα με το νερό. Η ηλιακή ακτινοβολία και η θερμότης (ενεργειακή απολαβή) ολοκληρώνονται στο τέλος της ημέρας. Ο λόγος της ενεργειακής απολαβής προς την συνολική ηλιακή ενέργεια που έπεσε στο συλλέκτη την ίδια ημέρα, καθορίζει την απόδοση Ηο. Η δοκιμή επαναλαμβάνεται για διαφορετικές "ηλιακές ημέρες" και είναι δυνατόν να έχουμε ένα διάγραμμα της αποδόσεως Ηο σαν συνάρτηση της συνολικής ηλιακής ενέργειας που πέφτει επάνω στον συλλέκτη κατά την διάρκεια μιάς ημέρας (Σχ. 1α)

## 3.2 Απόδοση Χωρίς Φορτίο

Η δοκιμή για την μέτρηση της αποδόσεως χωρίς φορτίο προβλέπει την λειτουργία της μονάδας με τρόπο ανάλογο προς την δοκιμή για την Ηο. Η μονάδα γεμίζεται με νερό θερμοκρασίας κατά 5 C μικρότερη από την θερμοκρασία του περιβάλλοντος, εκτίθεται στην συγκεκριμένη "ηλιακή ημέρα", αλλά στην δοκιμή αυτή δεν αφαιρείται καθόλου ζεστό νερό κατά την διάρκεια της ημέρας. Στο τέλος της ημέρας

παίρνουμε όλη η θερμική ενέργεια του συστήματος, την οποία και μετράμε, αφαιρώντας συνεχώς νερό μέχρις ότου η θερμοκρασία εξόδου είναι ίση με την θερμοκρασία εισόδου. Ο λόγος της ενέργειας που λαμβάνεται από το σύστημα προς την ηλιακή ενέργεια είναι ο συντελεστής αποδόσεως χωρίς φορτίο. Η λειτουργία της μονάδος, με τον τρόπο που περιγράφηκε, αποτελεί την χειρότερη περίπτωση λειτουργίας από πλευράς αποδόσεως. Παρ όλα όμως αυτά δεν παύει να είναι μία από τις περιπτώσεις πραγματικών συνθηκών λειτουργίας του καταναλωτού.

Οι δύο παράμετροι που έχουν καθορισθεί μέχρι τώρα εκφράζουν "βαθμό αποδόσεως" και παρέχουν την δυνατότητα αξιολογήσεως ενός συστήματος.
Για εμπορικούς λόγους και για περιπτώσεις όπου υπάρχουν άλλες δυσκολίες, η ενεργειακή απολαβή (σε MJ ή KWh ανά ημέρα) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να χαρακτηρίσει την απόδοση λειτουργίας του συστήματος (Σχήμα 1β).

## 3.3 Συντελεστής Θερμοκρασιακής Στρωματώσεως

Η τρίτη παράμετρος αντιπροσωπεύει την "ποιότητα" της θερμότητας την οποία αποδίδει ένα ηλιακό σύστημα θερμάνσεως νερού. Καθορίζεται από τα αποτελέσματα των μετρήσεων της δοκιμής για τον προσδιορισμό της αποδόσεως χωρίς φορτίο. Είναι ο λόγος της ημερήσιας ενεργειακής απολαβής με θερμοκρασία νερού 25 βαθμούς C πάνω από την μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος (για τις συνθήκες αναφοράς) προς την συνολική ημερήσια ενεργειακή απολαβή. Δείχνει το μέρος της ενέργειας το οποίο παίρνει ο καταναλωτής σε υφηλή και άμεσα χρησιμοποιήσιμη θερμοκρασία.

## 3.4 Συντελεστής Θερμικών Απωλειών Δεξαμενής

Η τελευταία παράμετρος αποτελεί ένα μέτρο των απωλειών της δεξαμενής κατά την διάρκεια της νύχτας. Η δοκιμή εκτελείται σε κλειστό χώρο. Η δεξαμενή και το νερό της θερμαίνονται ομοιόμορφα στους 70 βαθμούς C. Μετά από 12 έως 24 ώρες, το νερό στη δεξαμενή ανακυκλοφορείται ώστε να υπάρξει και πάλι ομοιόμορφη θερμοκρασία. Ο συντελεστής θερμικών απωλειών καθορίζεται από τις μετρήσεις που γίνονται. Στην περίπτωση που η αποθηκευτική δεξαμενή δεν εμποδίζει την ανάστροφη ροή στο κύκλωμα του συλλέκτη ή όταν η δεξαμενή είναι εγκατεστημένη σε εξωτερικό χώρο, τότε τοποθετείται ένα κάλυμμα ("ασπίδα" ακτινοβολίας) μπροστά στους συλλέκτες όταν η θερμοκρασία είναι 20 βαθμούς C κάτω από το περιβάλλον.

## 3.5 Σχόλια

Οι τέσσερες σταθερές (παράμετροι) του συστήματος αντιπροσωπεύουν λειτουργικά στοιχεία αυτού σε ακραίες περιπτώσεις λειτουργίας, οι οποίες όμως είναι δυνατόν να παρουσιασθούν σε καταναλωτές.

Μία δοκιμή διαρκείας τεσσάρων ημερών είναι αρκετή για τον προσδιορισμό των παραμέτρων οιουδήποτε συστήματος και για να αποκαλύψη πιθανά ελαττώματα.

Η δοκιμή συνίσταται στον προσδιορισμό της αποδόσεως Ho και της αποδόσεως χωρίς φορτίο για δύο τιμές της συνολικής ημερησίας ηλιακής ενεργείας. Τιμές ακτινοβολίας της τάξεως των 20 ή και 10 MJ/m2 είναι αντιπροσωπευτικές, για ηλιοφάνεια 12 ωρών. Είναι όμως αναγκαίο να συμπεριληφθεί στο κύκλο της "ηλιακής ημερας", που χρησιμοποιείται στις δοκιμές, και μεταβλητή ακτινοβολία με τιμές που μπορεί να φθάσουν και σε χαμηλά επίπεδα (200-300 W/m2).

Η μεγίστη τιμή της ακτινοβολίας έχει ημιτονοειδή μορφή με πτώση της τάξεως των 250W/m2 στο χρονικό διάστημα από 12:00 μέχρι 13:00.
Η μεταβολή της ακτινοβολίας στα χαμηλότερα επίπεδα θα πρέπει να είναι έντονώτερη.

Συνεχίζεται η ερευνητική εργασία για την επαλήθευση και την ακρίβεια της μεθόδου.

## 4. ΜΑΚΡΟΧΡΟΝΙΟΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Ο απώτερος σκοπός της οιαδήποτε δοκιμής είναι ο καθορισμός της ποσότητος της ενεργείας η οποία εξοικονομείται από ένα ηλιακό θερμαντήρα νερού σε μία δεδομένη τοποθεσία.
Όπως ανεφέρθηκε και πριν, η επίτευξη του σκοπού αυτού απαιτεί τη γνώση των κλιματολογικών συνθηκών της τοποθεσίας και ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η κατανάλωση του ζεστού νερού, πράγμα που δεν είναι εύκολο να προβλεφθεί. Αυτό σημαίνει ότι η πρόβλεψη της μακροχρονίου αποδόσεως ενός συστήματος είναι αληθής μονο για συγκεκριμένες συνθήκες καταναλώσεως. Μία άλλη μέθοδος υπολογισμού, βασισμένη στις παραμέτρους που αναφέρθηκαν προηγουμένως και στα στοιχεία κλίματος σε απλοποιημένη μορφή, θα δώσει μία καλή προσέγγιση της αποδόσεως και καθιστά δυνατή την εξέταση διαφορετικών συνθηκών καταναλώσεως.

Πρόκειται βασικά για μία γραφική μέθοδο η οποία χρησιμοποιεί τα κλιματολογικά στοιχεία αναφοράς της περιοχής. Τα στοιχεία αυτά ταξινομούνται σύμφωνα με τις ημερήσιες τιμές της ακτινοβολίας, με βήμα του 1 MJ/m2.ημέρα, για όλη την περιοχή από πλιόλουστες μέχρι ημέρες με συννεφιά. Το Σχήμα 2 δείχνει την ταξινόμηση των κλιματολογικών στοιχείων, σύμφωνα με την προαναφερθείσα μέθοδο, για τις πόλεις Ispra, Βρυξέλλες και Αμβούργο.
Ο συνδυασμός των κλιματολογικών δεδομένων μιάς περιοχής σε μορφή ανάλογη αυτής του Σχήματος 2, και των αποτελέσματων των δοκιμών του Σχήματος 1, δίνει την δυνατότητα καθορισμού της μακροχρονίου αποδόσεως ενός ηλιακού συστήματος ζεστού νερού σε διαφορετικές τοποθεσίες.

Η μέθοδος η οποία χρησιμοποιεί υπολογισμούς με ηλεκτρονικό υπολογιστή και μετεωρολογικά δεδομένα γιά κάθε ώρα δεν συνιστάται γιά διάφορες αιτίες:

- Είναι δύσκολο να συμπεριληφθούν στους υπολογισμούς ωρισμένα φυσικά φαινόμενα όπως π.χ. η λειτουργία της θερμοσιφωνικής μονάδος ή τα συστήματα με εξατμιζόμενα συμπυκνούμενα υγρά.
- Απαιτείται μεγάλη προσπάθεια γιά την κατάστρωση των εξισώσεων και του προγραμματισμού αυτών, ενώ το κόστος γιά την χρήση Η/Υ είναι υψηλό. Έτσι η μέθοδος αυτή δεν φαίνεται ότι θα γίνει αποδεκτή από τους κατασκευαστές και τους καταναλωτές.
- Η φυσική συμπεριφορά του συστήματος έχει μία σταθερά χρόνου της τάξεως από 1 μέχρι 2 μέρες. Υπολογισμοί γιά μακροχρόνιο (έτος) απόδοση του συστήματος με Η/Υ σημαίνει επανάληψη των ιδίων φυσικών διαδικασιών με ελαφρά διαφοροποιημένες συνθήκες θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Ενας λεπτομερής υπολογισμός με ηλεκτρονικό υπολογιστή είναι χρήσιμος γιά τον σχεδιασμό του ηλιακού συστήματος ζεστού νερού όπου είναι δυνατόν να προσδιορισθεί αναλυτικά η επίδραση διαφόρων παραγόντων/αλλαγών στην ημερήσια απόδοση.

## 5. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ-ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ

Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι πολλαπλά

- Η μέθοδος μπορεί να εφαρμοσθεί σε όλα τα ηλιακά συστήματα ζεστού νερού.
- Η μέθοδος δοκιμής δεν απαιτεί κάποια συγκεκριμένη κατανάλωση νερού. Αυτό είναι πολύ σημαντικό γιά τον κατασκευαστή, ο οποίος έχει την ελευθερία να σχεδιάσει το σύστημά του σύμφωνα με τις δικές του απόψεις γιά τον τρόπο που γίνεται η κατανάλωση του νερού. Δεν είναι υποχρεωμένος να προσαρμοσθεί σε ωρισμένη μορφή καταναλώσεως, η οποία καθορίζεται αυθαίρετα.
- Η δοκιμή απαιτεί μόνο τέσσερες ημέρες σε ωρισμένες συνθήκες ηλιακής ακτινοβολίας
- Η μέθοδος δεν περιορίζει τις δοκιμές μόνο σε εσωτερικό χώρο. Δοκιμές είναι δυνατόν να γίνουν σε εξωτερικό χώρο, αλλά στην περίπτωση αυτή είναι πιθανόν να κρατήσουν μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.
- Η μέθοδος φαίνεται ότι μπορεί να ικανοποιήσει και τους κατασκευαστές και τους καταναλωτές.

Μερικά από τα ελαττώματα της μεθόδου είναι

- Η μέθοδος έχει τον περιορισμό ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο γιά μικρά (οικογενειακά) ηλιακά συστήματα ζεστού νερού
- Η μέθοδος δεν επιτρέπει μεταβολές του συστήματος χωρίς την ανάγκη επαναλήψεως των δοκιμών (πχ. χρησιμοποίηση μεγαλύτερης συλλεκτικής επιφανείας κτλ.).

## 6. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ο σκοπός του ερευνητικού προγράμματος στο Joint Research Centre-Ispra είναι η επαλήθευση της μεθόδου και η διερεύνηση περιορισμών στις δοκιμές. Επί δύο χρόνια μέχρι σήμερα γίνονται πειράματα, σε εξωτερικό χώρο, με τέσσερα συστήματα βεβιασμένης κυκλοφορίας, από αυτά που κυκλοφορούν στην αγορά, και με ελεγχόμενες συνθήκες φορτίου.

Πρόσφατα το πρόγραμμα επεξετάθη και έχει συμπεριλάβει έξη νέα ηλιακά συστήματα ζεστού ερνού, τόσο θερμοσιφωνικά όσο και παθητικά (η αποθηκευτική δεξαμενή είναι και συλλέκτης) και τα οποία ευρίσκονται ήδη σε λειτουργία.

Συγχρόνως γίνονται παράλληλες δοκιμές σε ένα δεύτερο δείγμα των ιδίων συστημάτων στον ηλιακό προσομειωτή LS-1.

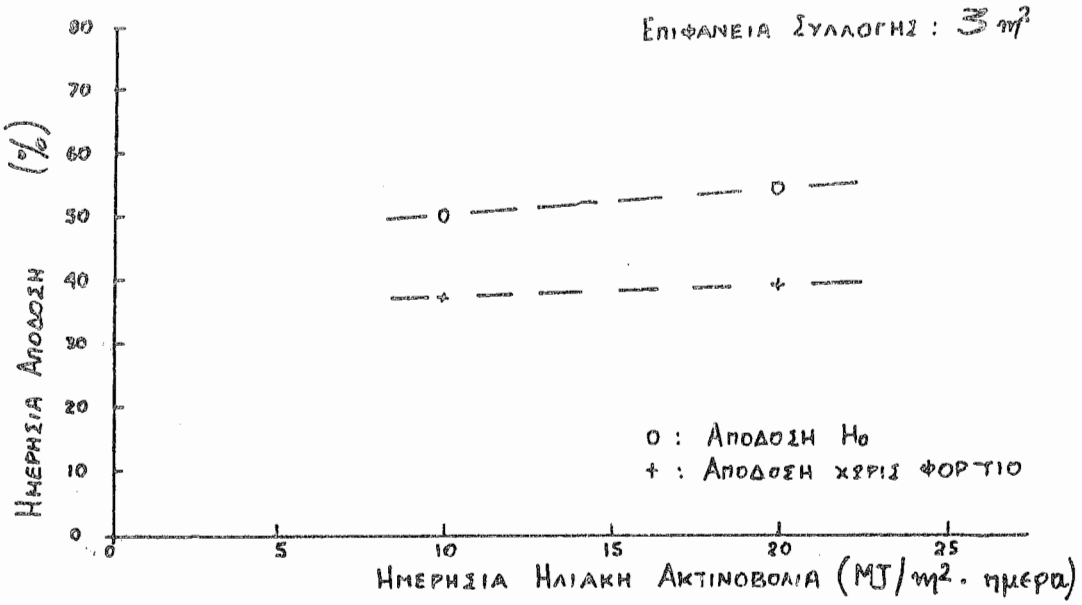
Τα μέχρι σήμερα αποτελέσματα είναι διαθέσιμα και δημοσιεύονται.

## 7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

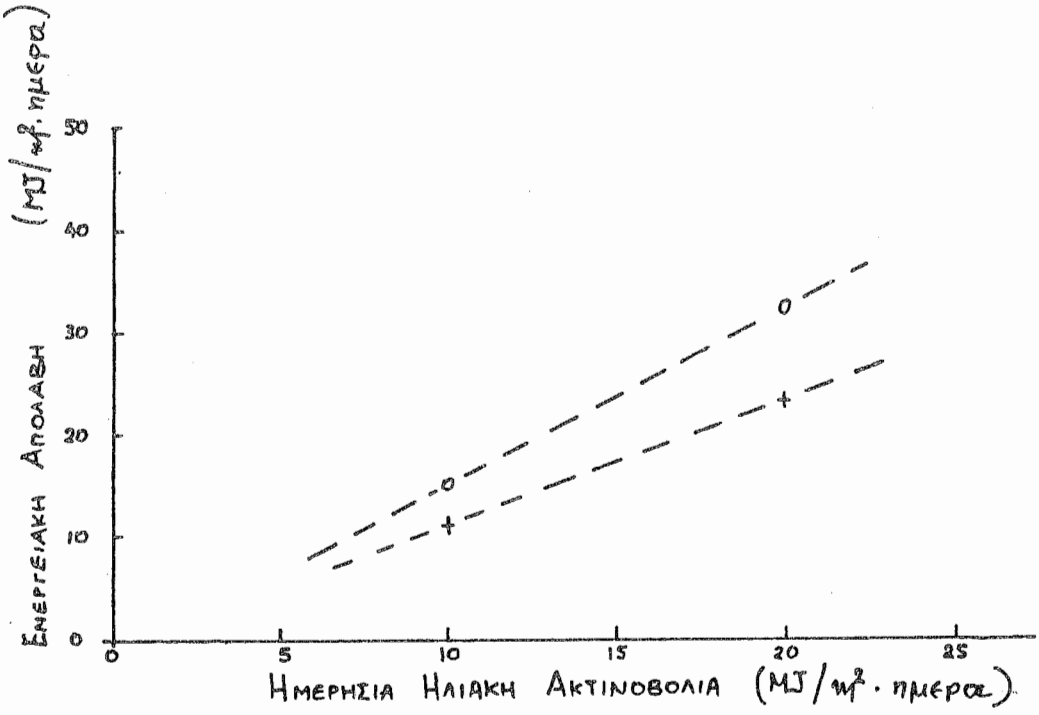
1) "Domestic hot water testing at the Joint Research Cente of the European Communities, Ispra". D. Gilliaert, C. Roumengous, P. Tebaldi; presented at the IEA task 3 meeting, Toronto, March '83.

2) "Investigation of indoor and outdoor performance measurements on solar domestic hot water system". D. Gilliaert, H. Hettinger, P. Rau, C. Roumengous, P. Tebaldi; presented at the 1st EC conference on Solar Heating, Amsterdam, May '84.

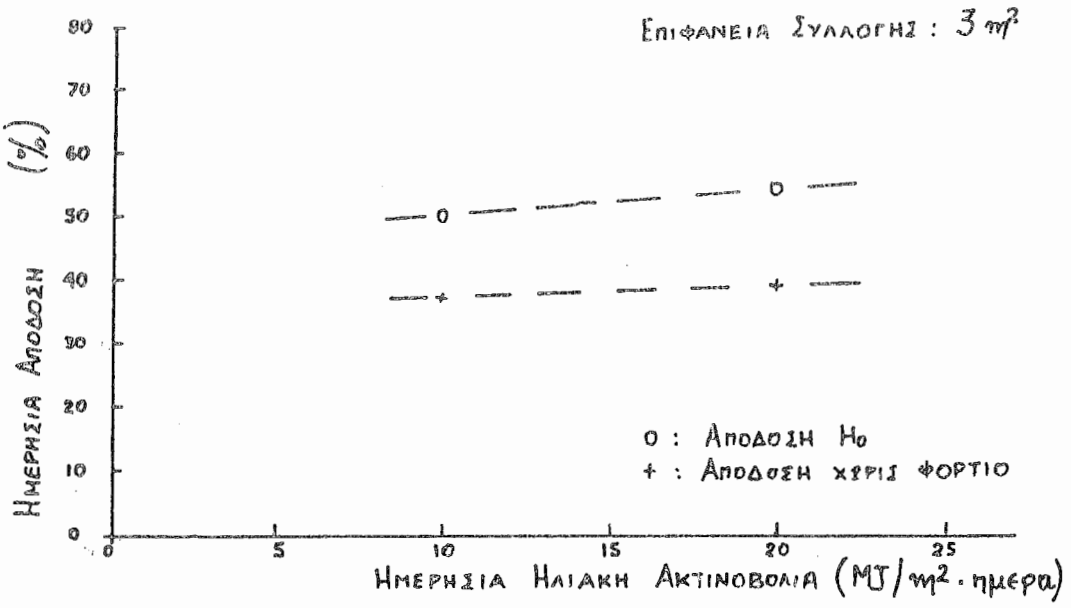
3) "Analysis of long term performance measurements on SDHW systems, in the scope of the development of test standards for European climates" D. Gilliaert, C. Roumengous, P. Tebaldi; presented at the INTERSOL conference, Montreal, June '85.



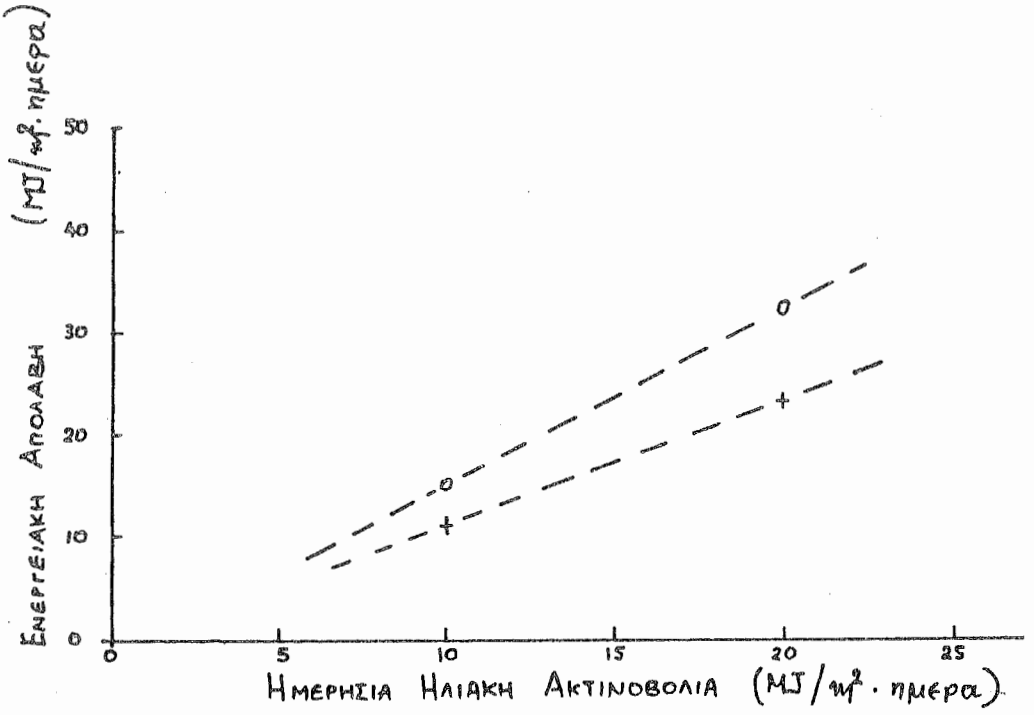

Σχημα 1α : Ημερησια Αποδοση του Συστηματος




Σχημα 1Β : Ενεργειακη Απολαβη του Συστηματος

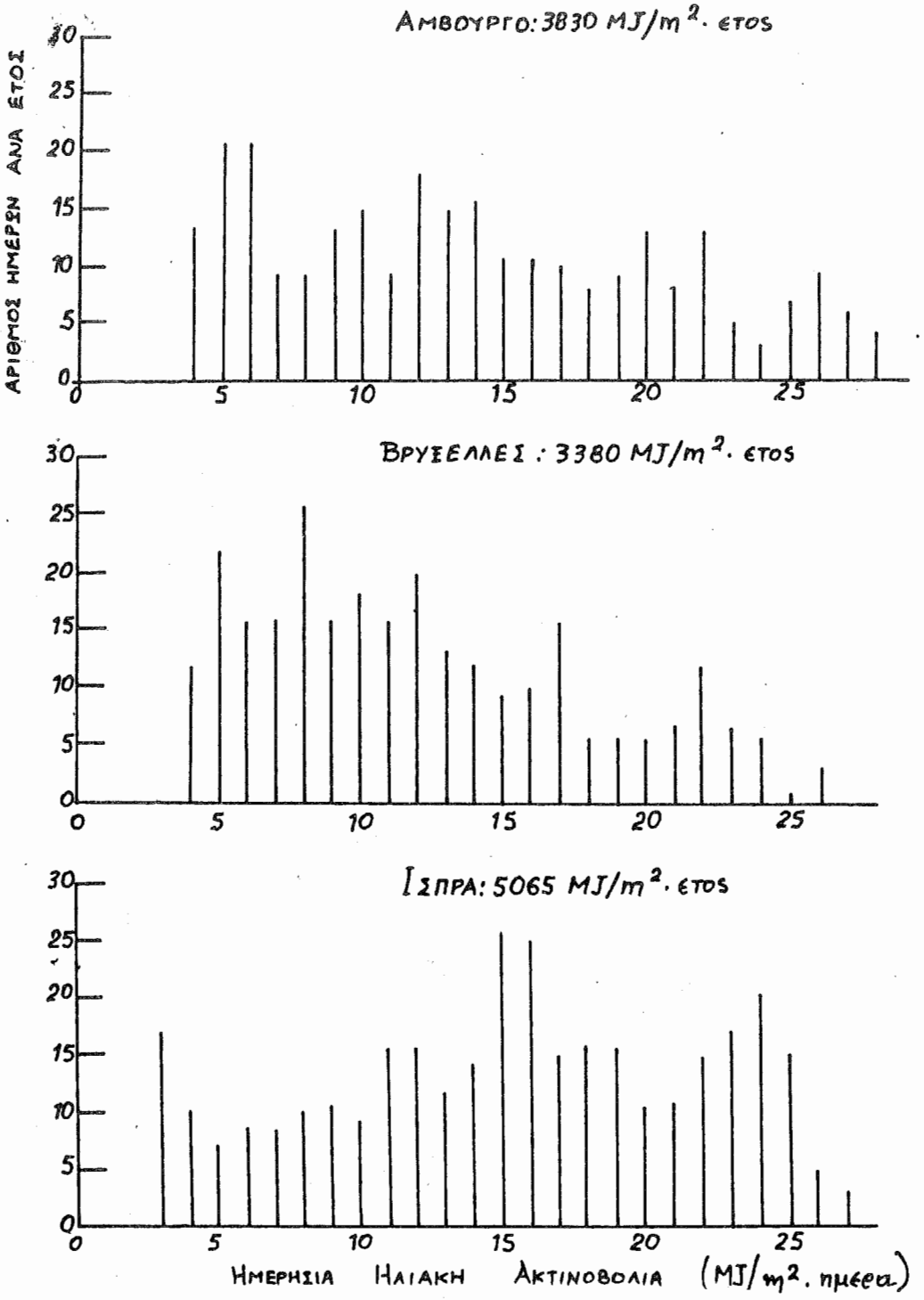



Σχημα 1α : Ημερησια Αποδοση του Συστηματος




Σχημα 1Β : Ενεργειακη Απολαβη του Συστηματος

ΣΗΜ. – ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΤΟΥ ΣΥΛΛΕΚΤΗ
– ΚΛΙΣΗ ΣΥΛΛΕΚΤΗ ≡ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΠΛΑΤΟΣ




ΣΧΗΜΑ 2 : ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΛΙΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΠΟΛΕΙΣ
ΙΣΠΡΑ, ΒΡΥΞΕΛΛΕΣ, ΑΜΒΟΥΡΓΟ

ΠΑΡ-37

# ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΠΑΘΗΤΙΚΩΝ ΗΛΙΑΚΩΝ ΘΕΡΜΑΝΤΗΡΩΝ ΝΕΡΟΥ

Dr. P.C.JONES, Dr. J.J.MASON
Inco Selective Surfaces Ltd. , England

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Περιγράφονται οι διάφοροι τύποι θερμαντήρων νερού όπου ο απορροφητής και η δεξαμενή αποτελούν ενιαίο συγκρότημα (ολοκληρωμένο σύστημα). Τονίζεται η ανάγκη χρησιμοποιήσεως διπλού διαφανούς καλύμματος και επιλεκτικής απορροφητικής επιφανείας.

Εγιναν μετρήσεις σε δύο μονάδες όπου στη μία η δεξαμενή ήταν βαμμένη μαύρη με κάλυμμα POLYCARBONATE και στην άλλη η επιφάνεια ήταν επιλεκτική με κάλυμμα TEDLAR. Στο τέλος μιάς ημέρας λειτουργίας οι μονάδες εδωσαν 60 και 63 βαθμούς C (μέγιστο). Στο επόμενο πρωινό οι αντίστοιχες θερμοκρασίες ήταν 30 και 46 βαθμοί C.

Τέλος παρέχονται στοιχεία αποδόσεως σύμφωνα με το πρότυπο ASHRAE 95-1981 (από καταλόγους SRCC).

## ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Ηλιακή Θέρμανση Νερού, Παθητικό Σύστημα, Ολοκληρωμένο Σύστημα, Απόδοση.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι Παθητικοί Ηλιακοί Θερμαντήρες Νερού ή τα Ολοκληρωμένα Συστήματα Συλλέκτου - Δεξαμενής, όπως επίσης είναι γνωστά, χρησιμοποιούνται σήμερα στις Νότιες Πολιτείες των Η.Π.Α., ενώ αρχίζουν να εμφανίζωνται και σε πολλές Μεσογειακές χώρες.

Τό σύστημα συνδυάζει την αποθήκη νερού και τον ηλιακό συλλέκτη σε μιά μονάδα, δηλαδή η δεξαμενή νερού είναι και ηλιακός συλλέκτης. Ο τυπικός ηλιακός θερμοσίφωνας που χρησιμοποιείται στις Μεσογειακές χώρες και που αποτελείται από συλλέκτη με επιφάνεια περίπου 3 τ.μ. και μία μονωμένη δεξαμενή 150 - 180 λίτρων, αντικαθίσταται από μία μονάδα η οποία έχει την αυτή επιφάνεια συλλογής ηλιακής ενέργειας και δεξαμενή με την ίδια χωρητικότητα.-

Μετάφραση και Συμβολή: Δρ. Θ. Παφύλιας Διπλ. Μ-Η

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΟΝΑΔΟΣ

Οι δύο βασικοί τύποι μονάδων φαίνονται στο Σχήμα 1. Ο τύπος με τις πολλές δεξαμενές μικρής διαμέτρου (σωλήνες) είναι σχετικά λεπτός και έχει μεγάλη επιφάνεια θερμικών απωλειών. Ο θερμαντήρας με μία δεξαμενή είναι ογκώδης, παρουσιάζει μικρή επιφάνεια θερμικών απωλειών και έχει απώλειες από τον ανακλαστήρα (κάποιο μέρος της ημέρας).

Η γεωμετρία της μονάδος με μία δεξαμενή έχει τον περιορισμό ότι το πλάτος της καθορίζεται αυτομάτως από την διάμετρον της δεξαμενής D και είναι π.D. Εκ των πραγμάτων πλέον το μέγεθός της, για μία συγκεκριμένη διάμετρο, καθορίζεται από το μήκος της ( Σχήμα 2 ).

Στις Η.Π.Α, οι περισσότεροι θερμαντήρες με μία δεξαμενή, έχουν σχεδιασθή με όγκο δεξαμενής ίσο προς 70 - 80 λίτρα ανά τ.μ. επιφάνειας συλλογής, ενώ η μονάδα έχει μέγεθος της τάξεως 1.5 τ.μ. μέχρι 2.0 τ.μ. Μία μονάδα με επιφάνεια συλλογής 3 τ.μ. και με 150 λίτρα χωρητικότητα θα έπρεπε να έχει πλάτος 0.63 μ. και μήκος 4.7 μ. Οι διαστάσεις αυτές σημαίνουν ένα δύσχρηστο προϊόν. Μία εναλλακτική λύση θα ήταν να χρησιμοποιηθούν δύο μονάδες διαστάσεων 0.63 μ. χ 2.30 μ., η μία δίπλα στην άλλη, και κατά προτίμηση σε ενιαίο κέλυφος. Και στις δύο περιπτώσεις η διάμετρος της δεξαμενής θεωρήθηκε ίση προς 0.20 μ. Στη μονάδα με πολλές μικρές δεξαμενές υπάρχει μεγαλύτερη ευχέρεια στον καθορισμό των διαστάσεων της επιφάνειας συλλογής και της χωρητικότητας. Συνήθως χρησιμοποιούνται σωλήνες διαμέτρου 0.10 μ. οι οποίες δίνουν χωρητικότητα 75 λίτρων ανά τ.μ. ενώ σωλήνες διαμέτρου 0.08 μ. δίνουν χωρητικότητα 60 λίτρων ανά τ.μ.-

Και οι δύο τύποι συστημάτων τροφοδοτούνται απ'αυθείας από την παροχή κρύου νερού της κατοικίας στο κατώτερο σημείο των δεξαμενών, ενώ η παροχή ζεστού νερού ευρίσκεται εις το υψηλότερο σημείο αυτών. Στο σύστημα με τους πολλαπλούς σωλήνες γίνεται σύνδεση αυτών σε σειρά. Συνήθως τοποθετείται και μία βοηθητική ηλεκτρική αντίσταση. Στις Η.Π.Α χρησιμοποιούνται διάφορα υλικά για την κατασκευή της δεξαμενής εκ των οποίων τα πλέον κοινά είναι χάλυβας με επίστρωση υαλοκράματος, ανοξείδωτος χάλυβας ή χαλκός.

Στα ολοκληρωμένα συστήματα συλλέκτου - δεξαμενής ενδιαφέρει κυρίως η μείωση της αποδόσεως αυτών εξ αιτίας των νυκτερινών απωλειών θερμότητος. Αυτό αφορά ιδιαίτερα, περιοχές που ο νυχτερινός ουρανός είναι χωρίς σύννεφα. Τότε η εκπομπή θερμότητος από τον συλλέκτη προς τον κρύο ουρανό μπορεί να προκαλέσει μεγάλες απώλειες. Γενικά είναι σημαντικό, ο συνολικός συντελεστής απωλειών του συστήματος να είναι όσο το δυνατόν μικρότερος. Σε ένα καλά μονωμένο σύστημα, το μεγαλύτερο μέρος των απωλειών θερμότητος γίνεται από το διαφανές κάλυμμα. Από αυτό φαίνεται κατ'αρχήν η ανάγκη της χρησιμοποιήσεως καταλλήλου καλύμματος. Αλλά αυτό δεν φθάνει, πρέπει να μειωθή σημαντικά και ο συντελεστής εκπομπής θερμότητος από τον απορροφητή-δεξαμενή. Η επίδραση της ποιότητος του καλύμματος και της

απορροφητικής επιφάνειας στην απόδοση του συστήματος φαίνεται με την μέτρηση της αποδόσεως δύο ομοίων συστημάτων, όπου στο ένα η δεξαμενή είναι βαμμένη μαύρη με κάλυμμα POLYCARBONATE και στο άλλο η επιφάνεια της δεξαμενής είναι επιλεκτική (χρησιμοποίηση Maxorb Solar Foil) με κάλυμμα TEDLAR. Στο Σχήμα 3 φαίνεται ότι η θερμοκρασία του νερού έφθασε, προς το τέλος του απογεύματος, στους 60 και 63 βαθμούς Κελσίου αντίστοιχα, ενώ μετά από τράβηγμα 80 λίτρων νερού η θερμοκρασία έπεσε στους 50 βαθμούς. Το Σχήμα 4, δείχνει τα αποτελέσματα ενός παρομοίου πειράματος το οποίο έγινε το επόμενο πρωινό αφού προηγουμένως το σύστημα παρέμεινε στο περιβάλλον κατά την διάρκεια της νύχτας. Στη περίπτωση της δεξαμενής με μαύρο χρώμα η μεγίστη θερμοκρασία έπεσε από τους 60 βαθμούς C στους 30 ενώ στη δεξαμενή με την επιλεκτική επιφάνεια, η θερμοκρασία έπεσε από 63 βαθμούς C στους 46, δηλ. το νερό είναι ακόμη διαθέσιμο σε θερμοκρασία που μπορεί να χρησιμοποιηθή το επόμενο πρωινό.

Μία πρόσφατη μελέτη (1) της ετησίας αποδόσεως ενός ολοκληρωμένου συστήματος στην περιοχή του Denver, Η.Π.Α, έδειξε, όπως άλλωστε και αναμένεται, ότι η ενεργειακή αποβολή αυξάνει με την μείωση του συντελεστού απωλειών UL και με την αύξηση της αποδόσεως Ηο "χωρίς απώλειες". Ο Kenna (2) μέτρησε τιμές των UL και Ηο με τη βοήθεια του πλιακού προσομοιωτού του πανεπιστημίου του Cardiff (Αγγλία) για διάφορα διαφανή καλύμματα εμπρός από επιλεκτικές και μη απορροφητικές επιφάνειες. Αν και οι μετρήσεις έγιναν σε επίπεδο συλλέκτη, κάτω από πρότυπες συνθήκες απωλειών και ακτινοβολίας, οι τιμές αυτές παρέχουν τη δυνατότητα συγκρίσεως όταν παρόμοια υλικά χρησιμοποιούνται σε ολοκληρωμένα/παθητικά συστήματα. Στον Πίνακα 1 δίνονται οπτικές ιδιότητες διαφανών καλυμμάτων και επιφανειών απορροφήσεως. Τιμές των UL και Ηο δίνονται στον Πίνακα 2, συγχρόνως με κατ'εκτίμηση τιμές της ετησίας απολαβής ενέργειας από ένα ολοκληρωμένο σύστημα εγκατεστημένο στην περιοχή Denver. Οι τιμές αυτές δείχνουν το όφελος που προκύπτει από την χρησιμοποίηση επιλεκτικής απορροφητικής επιφανείας και ότι η καλύτερη απόδοση επιτυγχάνεται με συνδυασμό διαφανών φιλμ 0.1mm PVF εξωτερικά και 0.025 mm FEP εσωτερικά. Επίσης αξίζει να σημειωθή η ευκολία που παρέχει η χρησιμοποίηση POLYCARBONATE διπλού τοιχώματος (υπάρχει σε ποιότητα που αντέχει υπεριώδη ακτινοβολία). Είναι προφανές ότι POLYCARBONATE 6mm θα δώση καλύτερη απόδοση από την περίπτωση των 4 mm.

Μία ποικιλία συνδυασμού διπλών διαφανών τοιχωμάτων χρησιμοποιείται στις Η.Π.Α, με προεξέχοντα τον συνδυασμό τζαμιού (χαμηλής περιεκτικότητος σε σίδηρο) για εξωτερικό κάλυμμα και κάποιο φιλμ για εσωτερικό. Ως επιλεκτική επιφάνεια της δεξαμενής χρησιμοποιείται αποκλειστικά Maxorb Foil, του οποίου η επικόλληση πάνω στη δεξαμενή γίνεται σχετικά εύκολα.

.....

## ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Η χρησιμοποίηση προτύπων μεθόδων ελέγχου αποδόσεως συστημάτων, όπως το ASHRAE 95-1981, επιτρέπει τη σύγκριση ολοκληρωμένων συστημάτων μεταξύ τους καθώς και με άλλα συστήματα όπως βεβιασμένης κυκλοφορίας (χρήση κυκλοφορητή) και θερμοσιφωνικά. Στις Η.Π.Α, η εταιρία Solar Rating Certification Company (SRCC) δίνει πιστοποιητικά αποδόσεως ηλιακών συστημάτων για ζεστό νερό σύμφωνα με το πρότυπο που αναφέρθηκε. Οι έλεγχοι που απαιτούνται είναι δοκιμές πιέσεως, δοκιμή εκθέσεως στην ακτινοβολία για 30 ημέρες, δοκιμή σε θερμοκρασιακές διαφορές. Η δοκιμή για τη μέτρηση της αποδόσεως γίνεται σε ηλιακό προσομοιωτή με συνολική προσπίπτουσα ενέργεια 4.7 KWH/m2 σε διάστημα 9 ωρών και με προκαθορισμένη μορφή ακτινοβολίας και γωνίες προσπτώσεως από 0 μέχρι 60 μοίρες. Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος και του νερού παροχής, κατά τη διάρκεια της δοκιμής, είναι 20 βαθμοί C. Η ταχύτης του ανέμου είναι 12.5 Km/h. Η ενέργεια που αφαιρούμε από το σύστημα είναι 11.76 KWH την οποίαν παίρνουμε σε τρία ίσα ποσά των 3.92 KWH στις 08:00, 12:00 και 17:00. Αυτή η θερμότης αντιστοιχεί περίπου σε 130 λίτρα νερού το οποίο έχει ζεσταθή από 22 βαθμούς C στους 49. Η δοκιμή αυτή δίνει την ενέργεια την οποίαν παρέχει το σύστημα (QNET) και την εφεδρική ικανότητα του συστήματος (QRES). Η QRES στην ουσία αποτελεί ένα μέτρο της ανταποκρίσεως της μονάδος σε μεταβολές της ποσότητος του νερού που ζητά ο καταναλωτής καθώς και σε μεταβολές της ηλιακής ενεργείας.

Ο Πίνακας 3 περιέχει τυπικές θερμικές απολαβές από τρείς διαφορετικούς τύπους μονάδων από τους καταλόγους της SRCC. Όλες οι περιπτώσεις αφορούν συλλέκτες με επιλεκτική επιφάνεια. Οι μονάδες με κυκλοφορητή και οι θερμοσιφωνικές έχουν μονό διαφανές κάλυμμα ενώ τα ολοκληρωμένα συστήματα έχουν πολλαπλά καλύμματα. Η πλέον σημαντική παρατήρηση είναι ότι η θερμική απολαβή για όλους τους τύπους μονάδων είναι παρόμοια.

Καλα σχεδιασμένα ολοκληρωμένα/παθητικά συστήματα, είτε με μία δεξαμενή είτε με περισσότερες, μπορούν να έχουν την ίδια θερμική απολαβή με τις θερμοσιφωνικές μονάδες.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ολοκληρωμένα Συστήματα Συλλέκτου-Δεξαμενής έχουν την ίδια θερμική απόδοση με τις συμβατικές θερμοσιφωνικές μονάδες. Με τη μη χρησιμοποίηση συλλεκτών και των σωλήνων συνδέσεως μειώνεται το κόστος της μονάδος. Αντίστοιχα όμως έχουμε αύξηση κόστους λόγω της ανάγκης διπλού διαφανούς καλύμματος και επιλεκτικής επιφανείας της δεξαμενής. Η χρήση νέων υλικών τόσο για διαφανές κάλυμμα όσο και για επιλεκτική επιφάνεια θα βοηθήση στην ελάττωση του προσθέτου κόστους.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. IN REVIEW S.E.R.I VII, No 5, Μάιος 1985, σελ. 1-5
2. Πρακτικά Συνεδρίου UK I.S.E.S., Ιανουάριος 1981

ΠΙΝΑΚΑΣ 1

ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΔΙΑΦΑΝΩΝ ΚΑΛΥΜΜΑΤΩΝ
ΚΑΙ ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΚΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ

| ΥΛΙΚΟ/ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ | ΠΑΧΟΣ (ΜΜ) | α | τ | ε |
|---|---|---|---|---|
| Χρώμα Nextel (3M UK Ltd) | – | 0.97 | – | 0.91 |
| Maxorb Foil (I.S.S Ltd) | – | 0.97 | – | 0.09 |
| Γυαλί | 4 | – | 0.83 | 0.88 |
| Ακρυλικό | 3 | – | 0.88 | 0.90 |
| Polycarbonate (Διπλού τοιχ/τος) | 4 | – | 0.76 | – |
| Tedlar P.V.F. (Du Pont) | 0.10 | – | 0.91 | 0.73 |
| Teflon F.E.P. (Du Pont) | 0.025 | – | 0.96 | 0.44 |

α : Συντελεστής απορροφήσεως
τ : Συντελεστής διαπερατότητος
ε : Συντελεστής εκπομπής

ΠΙΝΑΚΑΣ 2

ΤΙΜΕΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΟΥ ΑΠΩΛΕΙΩΝ UL (W/M2 C),
ΒΑΘΜΟΥ ΑΠΟΔΟΣΕΩΣ Ho ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ
ΑΠΟΛΑΒΗΣ ΑΝΑ ΕΤΟΣ E ( GJ/ΕΤΟΣ )

| ΔΙΑΦΑΝΕΣ ΚΑΛΥΜΜΑ | ΚΟΙΝΟΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΗΣ | | | ΕΠΙΛ/ΚΟΣ ΑΠΟΡ/ΤΗΣ | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | UL | Ho | E | UL | Ho | E |
| Μονό Τζάμι | 7.5 | 0.72 | 4.0 | 4.5 | 0.73 | 5.5 |
| Διπλό Τζάμι | 4.6 | 0.65 | 4.9 | 3.0 | 0.65 | 5.8 |
| POLYCARBONATE (Διπλό Τοίχωμα) | 5.3 | 0.67 | 4.9 | 3.6 | 0.68 | 5.7 |
| PVF + FEP (Films) | – | – | – | 3.4 | 0.78 | 6.7 |

Σημείωση : Τιμές των UL και Ho από KENNA (2)

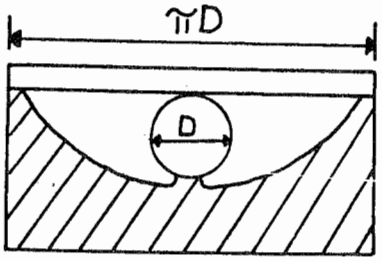
ΠΑΡ-42

ΠΙΝΑΚΑΣ 3

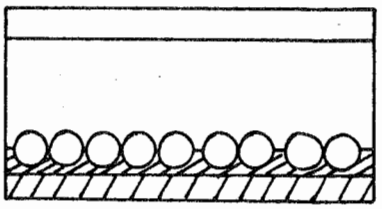
ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΑΠΟ ΤΡΕΙΣ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ ΜΟΝΑΔΩΝ (ASHRAE 95-1981) ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΠΟ ΠΙΝΑΚΕΣ ΤΗΣ SRCC

| ΤΥΠΟΣ ΜΟΝΑΔΟΣ | ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ | ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ (m2) | ΩΝΕΤ KWH | ΩΝΕΤ KWH/m2 |
|---|---|---|---|---|
| Με κυκλοφορητή | 2 | 4.4 | 7.3 | 1.7 |
| Με κυκλοφορητή | 2 | 4.0 | 9.7 | 2.4 |
| Παθητικό I | 2 | 4.1 | 8.9 | 2.2 |
| Παθητικό I | 1 | 2.0 | 4.7 | 2.3 |
| Παθητικό II | 1 | 1.6 | 5.2 | 3.2 |
| Παθητικό II | 1 | 2.9 | 7.1 | 2.4 |
| Θερμοσίφωνας | 1 | 2.1 | 5.9 | 2.8 |
| Θερμοσίφωνας | 2 | 2.7 | 6.8 | 2.5 |
| Θερμοσίφωνας | 2 | 3.7 | 8.6 | 2.3 |

Σημείωση : Ως "Παθητικό I" χαρακτηρίζεται ολοκληρωμένη μονάδα με μία δεξαμενή. Ως "Παθητικό II" χαρακτηρίζεται μονάδα με σωλήνες.

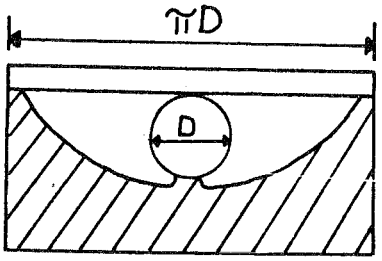



Μια Δεξαμενη με ιδανικη ανακλαστικη επιφανεια

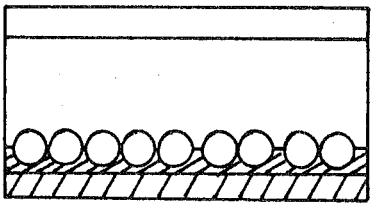


Πολλες Δεξαμενες μικρης διαμετρου

Σχημα 1: Σχηματικη Διαταξη Παθητικου Ηλιακου Θερμαντηρα Νερου

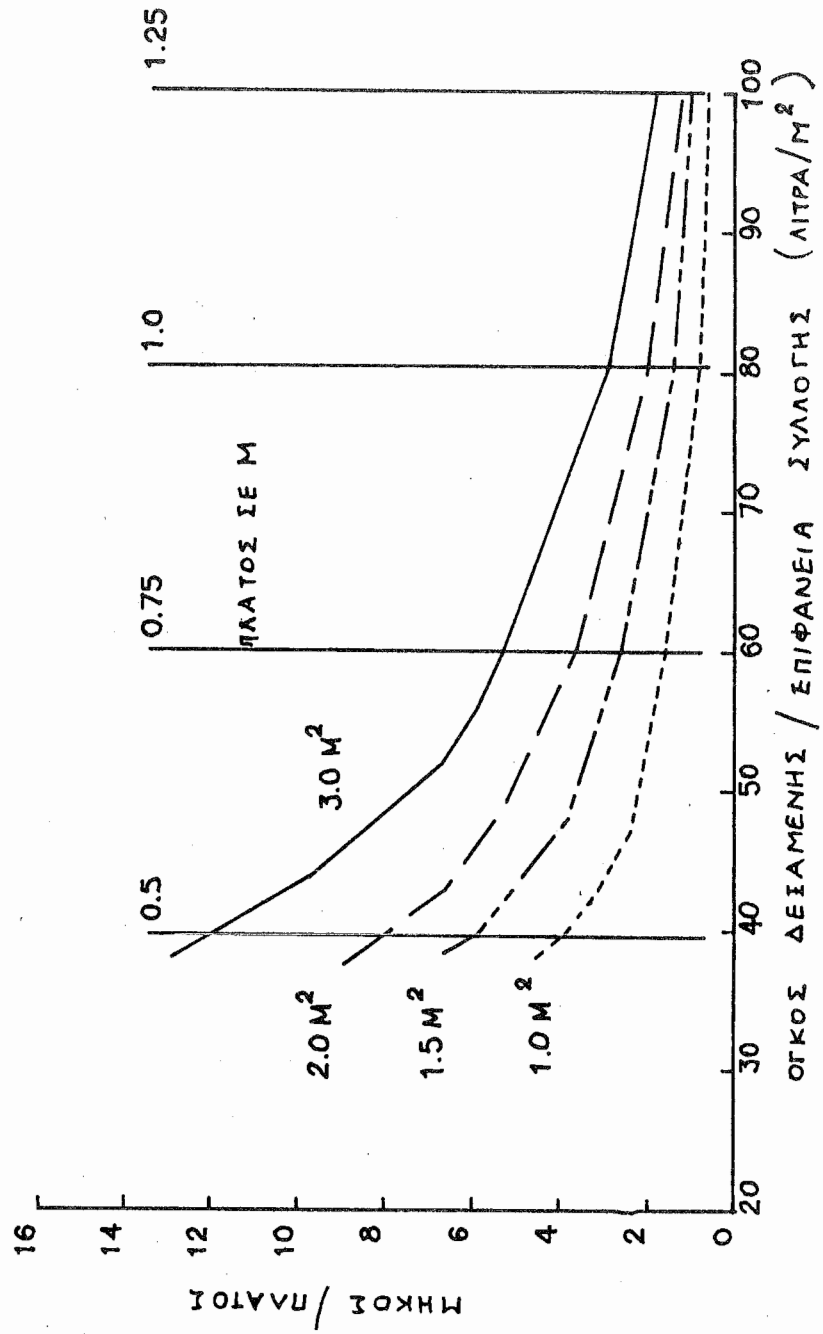



ΜΙΑ ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΜΕ ΙΔΑΝΙΚΗ ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

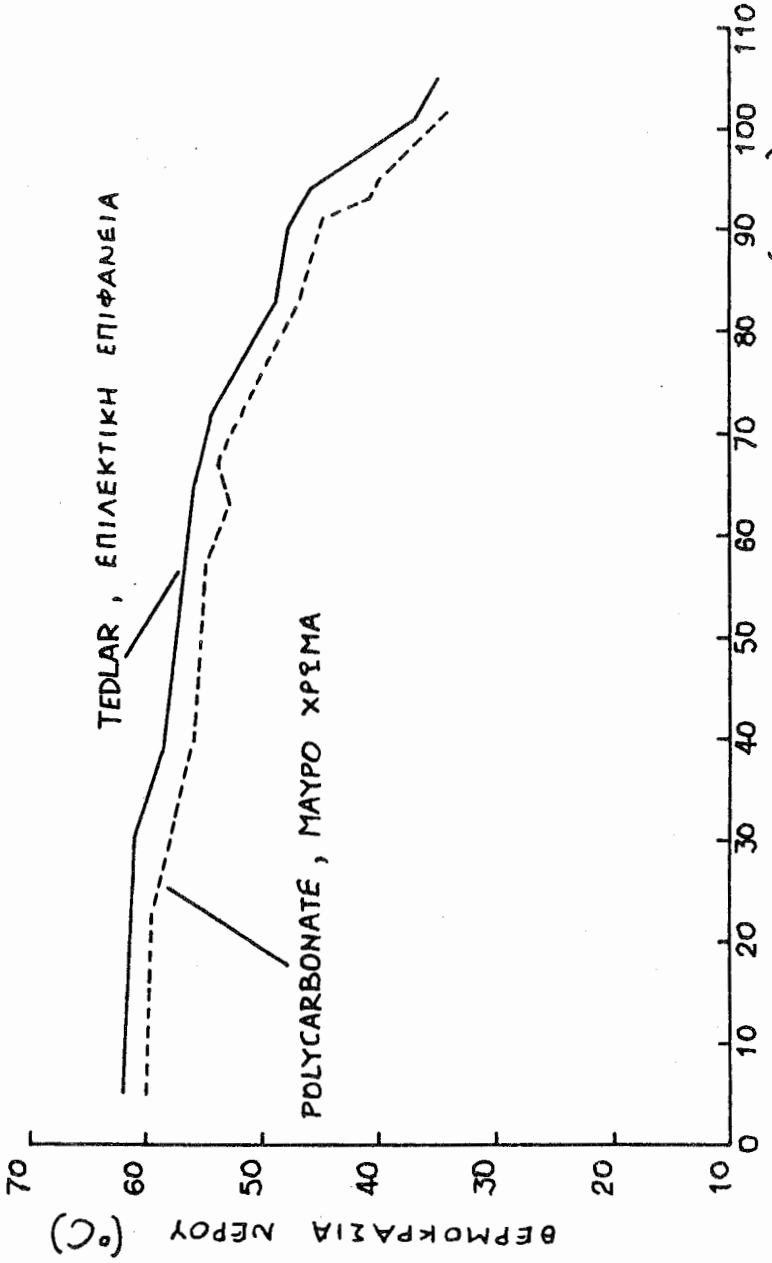


ΠΟΛΛΕΣ ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΜΙΚΡΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ

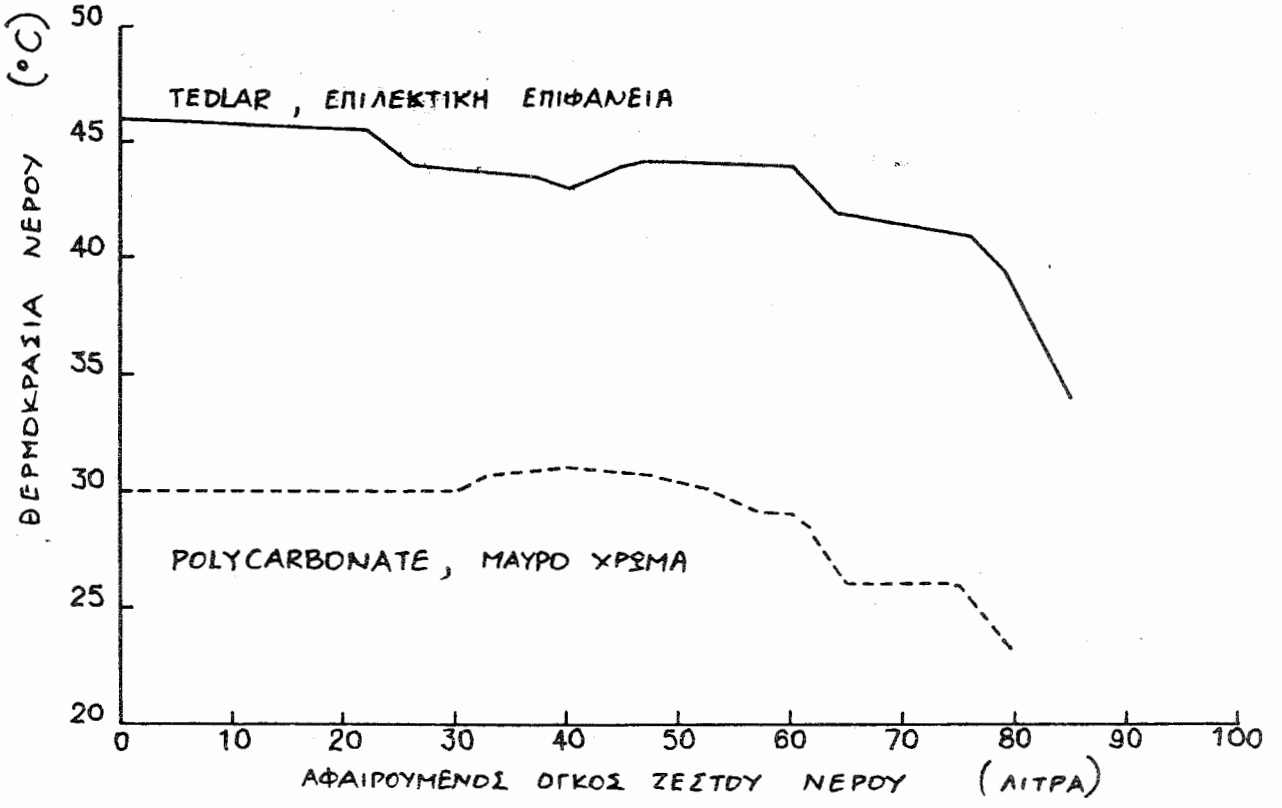
Σχημα 1: Σχηματικη Διαταξη Παθητικου Ηλιακου Θερμαντηρα Νερου




Σχημα 2: Σχεση ογκου δεξαμενης & επιφανειας συλλογης
(θερμανθηρας μιας δεξαμενης)




Σχημα 3: ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΝΕΡΟΥ ΠΟΥ ΑΦΑΙΡΕΙΤΑΙ ΑΠΟ ΔΥΟ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ (ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΟ ΤΕΛΟΣ ΤΟΥ ΑΠΟΓΕΥΜΑΤΟΣ)




Σχημα 4: ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΝΕΡΟΥ ΠΟΥ ΑΦΑΙΡΕΙΤΑΙ ΑΠΟ ΔΥΟ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ (ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΟ ΕΠΟΜΕΝΟ ΠΡΩΙ ΜΕΤΑ ΤΙΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΤΗΣ ΝΥΧΤΑΣ)

ΠΑΡ-47

## ΔΟΚΙΜΕΣ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Ο Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησεως (ΕΛΟΤ) είναι Νομικό Πρόσωπο Ιδιωτικού Δικαίου και λειτουργεί υπό την εποπτεία του Υπουργού Βιομηχανίας, Ενέργειας και Τεχνολογίας.
Ιδρύθηκε με το Νόμο 372/76 που καθορίζει ότι ο σκοπός του ΕΛΟΤ είναι η προαγωγή και η εφαρμογή της Τυποποιήσεως στην Ελλάδα. Ο σκοπός αυτός επιτυγχάνεται μεταξύ άλλων με την εκπόνηση και εφαρμογή των προτύπων.

Ο έλεγχος για την εφαρμογή των προτύπων οδηγεί στη δημιουργία ενός συστήματος πιστοποίησης. Με τον όρο "Σύστημα Πιστοποίησης" εννοούμε το σύνολο των διαδικασιών που βεβαιώνουν ότι το παραγόμενο προϊόν είναι σύμφωνο με ορισμένα πρότυπα, πράγμα που βεβαιώνεται με εργαστηριακές δοκιμές του προϊόντος και με έλεγχο του συστήματος διασφάλισης της ποιότητας (quality assurance) του παραγωγού.

Η συμφωνία του προϊόντος με τις δύο αυτές απαιτήσεις βεβαιώνεται συνήθως με το σήμα ποιότητας . Στόχος του ΕΛΟΤ στον τομέα της Ηλιακής Ενέργειας είναι η χορήγηση σήματος ποιότητας στην θερμοσιφωνική μονάδα φυσικής κυκλοφορίας που ως γνωστό αποτελεί την κυριότερη εφαρμογή της ηλιακής ενέργειας στη χώρα μας. Με την επίτευξη του στόχου αυτού επιδιώκεται η προστασία του καταναλωτή και δημιουργείται ένα βασικό κίνητρο για την οικονομικοτεχνική βελτιστοποίηση της μονάδας με θετικά αποτελέσματα στο ενεργειακό και οικονομικό δυναμικό της χώρας.

Μέσα στα πλαίσια του στόχου αυτού, ο ΕΛΟΤ σήμερα προχωρεί συγχρόνως στην εκπόνηση προτύπων, στη χορήγηση Έκθεσης Δοκιμής Ηλιακού Συλλέκτη σε συνεργασία με το ΕΚΕΦΕ "Δημόκριτος" και στον συντονισμό ερευνητικών προγραμμάτων, προκειμένου να εξακριβώσει την αξιοπιστία μεθόδου προσδιορισμού του βαθμού απόδοσης θερμοσιφωνικής μονάδας φυσικής κυκλοφορίας.

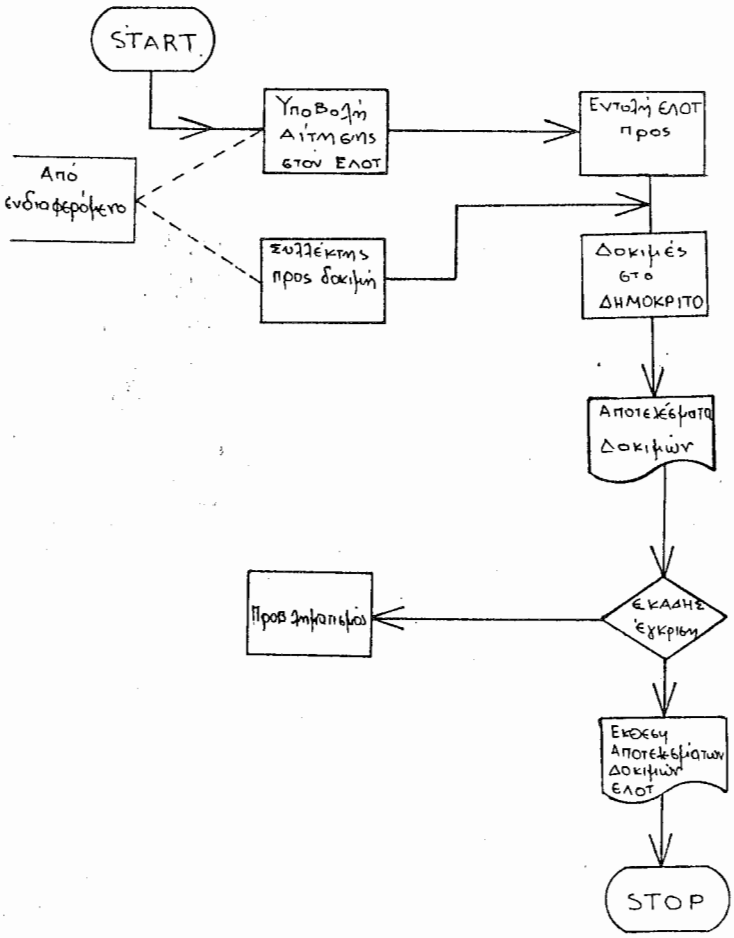
Αναλυτικότερα ο ΕΛΟΤ έχει εκπονήσει δύο πρότυπα, το ΕΛΟΤ 388.1 και 388.2, όπου περιγράφονται δοκιμές και μέθοδοι υπολογισμού για τον προσδιορισμό του στιγμιαίου βαθμού απόδοσης, της σταθεράς χρόνου και της πτώσης πίεσης επιπέδων συλλεκτών.

Αξίζει να τονισθεί ιδιαίτερα ότι έχει επίσης εκπονηθεί το ΣΕΠ ΕΛΟΤ 879 που αναφέρεται στον προσδιορισμό του θερμικού βαθμού απόδοσης θερμοσιφωνικής μονάδας φυσικής κυκλοφορίας, εργασία τελείως πρωτότυπη, αφού δεν υπάρχει ανάλογο ξένο πρότυπο, ούτε επαρκής διεθνής εμπειρία. Η επιτροπή επεξεργασίας του προτύπου αυτού, προκειμένου να εξακριβώσει την αξιοπιστία της μεθόδου προσδιορισμού, διένειμε ερευνητικά προγράμματα σε διάφορα ερευνητικά κέντρα της χώρας.

Παράλληλα ο ΕΛΟΤ προχώρησε στη χορήγηση 'Εκθεσης Δοκιμής, όπου προσδιορίζεται η καμπύλη βαθμού απόδοσης, η σταθερά χρόνου και η πτώση πίεσης δεδομένου συλλέκτη σύμφωνα με τα πρότυπα ΕΛΟΤ 388.1 και 388.2 ή και άλλα πρότυπα, μετά από εκτέλεση δοκιμών στα εργαστήρια του Ε.ΚΕ.ΦΕ"Δημόκριτος".

Κατά τη διαδικασία για τη χορήγηση της 'Εκθεσης Δοκιμής τα αποτελέσματα των Δοκιμών και η αίτηση του ενδιαφερόμενου εξετάζονται από την Επιτροπή Κρίσης Αποτελεσμάτων Δοκιμών Ηλιακών Συλλεκτών (ΕΚΑΔΗΣ), όπου συμμετέχουν εκπρόσωποι του Υπουργείου Βιομηχανίας, Ενέργειας και Τεχνολογίας, του ΤΕΕ, του ΕΛΟΤ, του Ε.ΚΕ.ΦΕ "Δημόκριτος" και της 'Ενωσης Βιομηχανιών Ηλιακής Ενέργειας(ΕΒΗΕ).

Απλουστευμένο διάγραμμα ροής των διαδικασιών δίνεται παρακάτω:



Διευκρινίζεται ότι η χορήγηση 'Εκθεσης Δοκιμής δεν αποτελεί σύστημα πιστοποίησης, αφού εξετάζεται μόνο ο συλλέκτης και μόνο εκείνος που ο κατασκευαστής παρουσίασε.

Η προσπάθεια όμως αυτή του ΕΛΟΤ αποτελεί σημαντικό βήμα στο μελλοντικό σύστημα πιστοποίησης, ενώ δίνει στον 'Ελληνα κατασκευαστή-μελετητή τα στοιχεία εκείνα που θα τον βοηθήσουν στην βέλτιστοποίηση της οικονομικοτεχνικής μελέτης του, με αποτέλεσμα την προστασία του καταναλωτή και την εξοικονόμιση ενέργειας γενικότερα.

Δυστύχώς οι 'Ελληνες κατασκευαστές δεν αντιλήφθηκαν μέχρι σήμερα τα οφέλη που η συνεργασία αυτή ΕΛΟΤ και Δημόκριτου τους παρέχει και δεν έδειξαν το αναμενόμενο ενδιαφέρον.

Στη συνέχεια θα σας αναπτυχθεί από τον επόμενο ομιλητή το σύστημα δοκιμών επιπέδων ηλιακών συλλεκτών, δύο μέθοδοι προσδιορισμού της καμπύλης στιγμιαίου βαθμού απόδοσης καθώς επίσης προβληματισμοί και προοπτικές του εργαστηρίου του Ε.ΚΕ.ΦΕ "Δημόκριτος".

Τέλος θα γίνει αναφορά σε ένα από τα ερευνητικά προγράμματα για τη θερμοσιφωνική μονάδα φυσικής κυκλοφορίας που έχει αναλάβει ο "Δημόκριτος".

Αθήνα, 1985-10-23

ΘΑΝΑΣΗΣ ΚΩΣΤΑΝΤΙΝΟΥ
Μηχ/γος-Μηχανικός ΕΛΟΤ.

ΘΚ/βου

ΠΑΡ-51

# ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ-ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΣΤΙΓΜΙΑΙΑΣ ΑΠΟΔΟΣΗ

Β. Μπελεσιώτης - Π. Ανδρόνικος

## 1.- ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Από αρχές του 1984 και μετά από πρόταση του Υπουργείου Έρευνας λειτουργεί στο ΕΚΕΦΕ "ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ" σύγχρονο εργαστήριο δοκίμων ηλιακών επιπέδων, μη συγκεντρωτικών, συλλεκτών. Οι δοκιμές γίνονται είτε σύμφωνα με τα πρότυπα ΕΛΟΤ 388.1 και ΕΛΟΤ 388.2 είτε σύμφωνα με τις προτάσεις της Επιτροπής Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων (Commission of the European Communities): RECOMMENDATIONS FOR EUROPEAN SOLAR COLLECTOR TEST METHDS 1980.

Στην παρουσίαση αυτή περιγράφεται το σύστημα ελέγχου επιπέδων συλλεκτών που λειτουργεί στο ΕΚΕΦΕ "ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ". Επίσης αναφέρονται οι δύο μέθοδοι μετρήσεων που χρησιμοποιούνται στο εργαστήριο -απόλυτη και συνδιασμένη μέθοδος- και τέλος δίδονται πειραματικά αποτελέσματα δοκιμών συλλεκτών, με βάση τις μεθόδους αυτές, που πραγρατοποιήθηκαν στο "Εργαστήριο Ελέγχου Ηλιακών Συλλεκτών" του ΕΚΕΦΕ "ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ".

## 2.- ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΟΚΙΜΩΝ ΤΟΥ ΕΚΕΦΕ "ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ"

Το σύστημα δοκιμών που περιγράφεται είναι το πλέον σύγχρονο στην Ελλάδα, παρέχει δε την δυνατότητα ταυτόχρονου ελέγχου δύο συλλεκτών στις ίδιες ακριβώς συνθήκες. Η παροχή στους δύο συλλέκτες είναι ίδια διότι οι δύο συλλέκτες είναι σε "εν σειρά σύνδεση" και η εξασφάλιση της ίδιας θερμοκρασίας εισόδου στους συλλέκτες, γίνεται με τη δυνατότητα που παρέχεται από το σύστημα των εναλλακτών θερμότητας σε συνδυασμό με την ψυκτική μονάδα και τον ηλεκτρονικό σταθεροποιητή.
Οι παράμετροι που μετρώνται και καταγράφονται στο σύστημα αυτό είναι:

- Παροχή όγκου του υγρού κυκλοφορίας
- Θερμοκρασία εισόδου στους συλλέκτες

- διαφορές θερμοκρασιών υγρού μεταξύ εξόδου-εισόδου συλλεκτών.
- πτώση πίεσης του υγρού κυκλοφορίας στον συλλέκτη
- ένταση ολικής ηλιακής ακτινοβολίας στα επίπεδα των συλλεκτών
- Γωνία πρόσπτωσης της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας στο παράθυρο του συλλέκτη.
- θερμοκρασία περιβάλλοντος
- ταχύτητα ανέμου
- Διαπερατότητα διαφανούς καλύματος συλλέκτη
- Απορροφητικότητα απορροφητήρα
- θερμικές απώλειες (με κατάλληλο μετρητή θερμικής ροής)

Περιγραφή συστήματος:

Το θερμικό υγρό κυκλοφορίας (Βλέπε σχ.1) από την έξοδο του συλλέκτη C2 περνά μέσα από τον εναλλακτήρα θερμότητας $HE_{2-1}$ και $HE_{2.2}$ όπου υποβιβάζεται η θερμοκρασία του.
Στο δευτερεύον του εναλλακτήρα κυκλοφορεί νερό σταθερής θερμοκρασίας 15°C (η θερμοκρασία αυτή μπορεί να σταθεροποιηθεί μέχρι και τους 5°C) από το ψυκτικό μηχάνημα CM. Η κυκλοφορία του ψυχρού νερού στο δευτερεύον ρυθμίζεται (κατ'όγκο) από τη βάνα ρύθμισης DV η οποία ελέγχεται από τη διαφορά της τελικής θερμοκρασίας εισόδου του εναλλακτήρα $HE_{2.2}$. Η διαφορά θερμοκρασίας είναι ρυθμισμένη σταθερά στους 5°C. Μεταβολές της τιμής αυτής έχουν αποτέλεσμα την αύξηση ή ελάττωση της ροής του ψυχρού νερού των 15°C. Η τελική μικρομετρική ρύθμιση της θερμοκρασίας του νερού στην είσοδο του συλλέκτη C1 πετυχαίνεται από το σταθεροποιητικό EC2 με ακρίβεια 0.1°C, μέσω της θερμικής ηλεκτρικής αντίστασης R2. Το δοχείο ST2 χρησιμεύει για την εξομάλυνση τυχαίων μεταβολών της θερμοκρασίας του υγρού κυκλοφορίας πριν την είσοδο του συλλέκτη. Το ίδιο κύκλωμα επαναλαμβάνεται και για τον συλλέκτη C1. Όλες οι παράμετροι, που αναφέρθηκαν παραπάνω, υπό μορφή ηλεκτρικών σημάτων οδηγούνται, μέσω καταγραφικού στον ηλεκτρικό υπολογιστή ο οποίος μας δίνει τελικά τις καμπύλες του στιγμιαίου βαθμού απόδοσης, των θερμικών απωλειών και τους συντελεστές των αντίστοιχων εξισώσεων.

## 3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ

Η βασική εξίσωση που διέπει κάθε επίπεδο ηλιακό συλλέκτη είναι:

$$q_u = kF'G(\tau\alpha)_e - F'U_L(T_m - T_\alpha) = \frac{M_f C_p \Delta T}{A} \qquad (1)$$

όπου:

$q_u$ : η ροή θερμότητας από τον απορροφητήρα στο υγρό κυκλοφορίας $W/m^2s$

G ; η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτι στον συλλέκτη $W/m^2$

τ : ολικός συντελεστής διαπερατότητος του διαφανούς καλύμματος.

α : συντελεστής απορροφητικότητας του απορροφητήρα.

$(\tau\alpha)_e$ : ενεργό γινόμενο διαπερατότητας-απορροφητικότητας

K : Συντελεστής που εξαρτάται από τη γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας στον συλλέκτη.

F' : συντελεστής που ισούται με τον λόγο της πραγματικής ενέργειας που συλλέγεται από τον συλλέκτη προς την οφέλιμη ενέργεια που θα συλλεγόταν αν ολόκληρη η επιφάνεια του απορροφητή βρισκόταν στη θερμοκρασία $T_m$.

$U_L$ : Συντελεστής θερμικών απωλειών του απορροφητήρα $W/m^2\ ^oC$

$T_m$ : Μέση θερμοκρασία του υγρού κυκλοφορίας $^oC$ .

$T_\alpha$ : θερμοκρασία περιβάλλοντος $^oC$ .

$M_f$ : Παροχή υγρού κυκλοφορίας στον συλλέκτη Kgr/s

$C_p$ :Ειδική θερμότητα υγρού κυκλοφορίας J/KgK

ΔT : Διαφορά θερμοκρασίας υγρού κυκλοφορίας μεταξύ εξόδου-εισόδου στο συλλέκτη K .

A : Επιφάνεια παραθύρου συλλέκτη $M^2$ .

Από την εξίσωση (1) προκύπτει και η σχέση που δίνει τον στιγμιαίο βαθμό απόδοσης του συλλέκτη.

$$\eta = \frac{M_f C_p \Delta T}{A \cdot G} = \eta_o - U_o\left(\frac{T_m - T_a}{G}\right) \qquad (2)$$

όπου:

$\eta_o = KF'(\tau\alpha)_e$ : στιγμιαία απόδοση για $T_m = T_\alpha$

$U_o = F'U_L$ : ολικός συντελεστής θερμικών απωλειών $W/m^2\ ^oC$

Απόλυτη μέθοδος

Η μέθοδος αυτή, για τον προσδιορισμό της καμπύλης στιγμιαίας απόδοσης, βασίζεται στην εξίσωση:

$$\eta = \alpha_o - \alpha_1 T^* - \alpha_2 (T^*)^2 \qquad (3)$$

όπου $T^* = \frac{T_m - T_\alpha}{G}$

Τα $\alpha_o, \alpha_1, \alpha_2$ υπολογίζονται με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων και από ζεύγη τιμών $(\eta, T^*)$ που προκύπτουν από δοκιμές.
Τα $\alpha_1$ και $\alpha_2$ είναι συντελεστές θερμικών απωλειών.
Επιλέγεται η συνάρτηση $\eta(T^*)$ της μορφής (3) γιατί ο ολικός συντελεστής θερμικών απωλειών $U_o$ της (2) είναι της μορφής $U_o = U_1 + U_2(T_m - T_\alpha)$, όπου $U_1$ και $U_2$ σταθερά.

Συνδυασμένη μέθοδος

Κατά τη μέθοδο αυτή ο προσδιορισμός της εξίσωσης (2) γίνεται σε δύο στάδια:

1. Προσδιορισμός $\eta_o$

Όπως αναφέρθηκε το $\eta_o$ εκφράζει την στιγμιαία απόδοση του συλλέκτη για $T_m = T_\alpha$. Σ'αυτή την περίπτωση το $\eta_o$ υπολογίζεται από τη σχέση :

$$\eta_o = \frac{q_u}{G} = \frac{M_f C_p \Delta T}{A \cdot G} \qquad (4)$$

Όταν $T_m > T_\alpha$ τότε:

$$\eta_o = \frac{M_f C_p \Delta T}{A \cdot G} + U_1 \left(\frac{T_m - T_\alpha}{G}\right) \qquad (5)$$

όπου $U_1$ $W/m^2k$ είναι το $U_o$ για $T_m = T_a$

2. Προσδιορισμός του $U_o$

Όταν ο συλλέκτης λειτουργεί σε σταθερές ή σχεδόν σταθερές συνθήκες και με G=0, (συλλέκτης ευρισκόμενος σε σκιά) ο ολικός συντελεστής θερμικών απωλειών δίνεται ως συνάρτηση της διαφοράς $(T_m - T_a)$:

$$U_o = \frac{Q_e}{A(T_m - T_\alpha)} = \frac{-M_f C_p \Delta T}{A(T_m - T_\alpha)}$$

όπου $Q_e$: θερμικές ολικές απώλειες.

Με γραμμική προσέγγιση ελαχίστων τετραγώνων και από ζεύγη τιμών ($U_o$,$T_m$-$T_\alpha$) που προκύπτουν από δοκιμές, παίρνουμε την συνάρτηση:

$$U_o = U_1 + U_2 \ (T_m - T_\alpha)$$

όπου ;

$U_1$ : συντελεστής μεταφοράς θερμότητας $W/m^2k$

$U_2$ : συντελεστής θερμικής μεταφοράς και ακτινοβολίας $W/m^2k$ . Οι συντελεστές αυτοί δίνουν χρήσιμες πληροφορίες για την ποιότητα των βασικών κατασκευαστικών στοιχείων του συλλέκτη. Με συνδιασμό των εξισώσεων (2) και (6) και για κάθε τιμή της παραμέτρου G, μπορεί να υπολογισθεί και να σχεδιαστεί η καμπύλη στιγμιαίας απόδοσης από την εξίσωση:

$$\eta = \eta_o - U_1 \left(\frac{T_m - T_\alpha}{G}\right) - U_2 G \left(\frac{T_m - T_\alpha}{G}\right)^2 \qquad (8)$$

Η χρησιμότητας της (8) έγγειται στο ότι το εργαστήριο ελέγχου ηλιακών συλλεκτών αυξάνει τις δυνατότητες δοκιμών σε λιγότερο χρόνο και τούτο γιατί απαιτείται το πολύ 4 ημερήσιες μετρήσεις (για τον προσδιορισμό του $\eta_o$), εφ'όσον για τις απώλειες είναι δυνατόν να παίρνονται μετρήσεις και σε κατάλληλο εσωτερικό χώρο με $G < 1$ $W/m^2$, ενώ άλλες μέθοδοι απαιτούν 14 σημεία με μέση ολική ηλιακή ακτινοβολία όχι μικρότερη των 630 $W/m^2$.
Εάν συσχετίσουμε τις εξισώσεις (3) και (8) θα έχουμε:

$\eta_o = \alpha_o$, $U_1 = \alpha_1$, $U_2 = \frac{\alpha_2}{G}$ όταν G σταθερό.

Δηλαδή η εξίσωση της απόλυτης μεθόδου και η (8) της συνδυασμένη δίνουν της ίδιες πληροφορίες.

## 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ

Οι μετρήσεις που έγιναν στο εργαστήριο του ΕΚΕΦΕ "Δ" και σύμφωνα με τις προδιαγραφές CEC, παρουσιάζονται σε τρεις επόμενους πίνακας, τους οποίους παίρνουμε στο τέλος κάθε δοκιμής από τον Η/Υ για τον οποίο έχουμε επεξεργαστεί κατάλληλο πρόγραμμα.

Στον πίνακα Π-1 δίνονται όλες οι παράμετροι καθώς και η καμπύλη (σχ.α) τις στιγμιαίας απόδοσης με τους αντίστοιχους συντελεστές

$a_o, a_1, a_2$ της απόλυτης μεθόδους. Στον πίνακα αυτό παρουσιάζεται και η καμπύλη (σχ. b ) της στιγμιαίας απόδοσης του ίδιου συλλέκτη, η οποία προσδιορίστηκε με βάση τις ίδιες μετρήσεις η δε μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων εφαρμόστηκε στην εξίσωση (8) και με μέση ακτινοβολία $G_m$=912 $W/m^2$.

Ο πίνακας Π-2 αναφέρεται στον προσδιορισμό του $\eta_o$ της συνδυασμένης μεθόδου. Όπως φαίνεται για κάθε μέτρηση έχουμε $T_m - T_\alpha \neq 0$. Επομένως σε κάθε τιμή του η θα πρέπει να προστεθεί και ο όρος $U=\frac{(T_m - T_\alpha)}{G}$, όπου $U=U_1$=6.468 (βλέπε πίνακα Π-3), οπότε θα έχουμε τις αντίστηχες τιμές των $\eta_{oi}$ ; 0.846, 0.840, 0.800 και τελικά:

$$\eta_o = \frac{\sum_{i=1}^{4} \eta_{oi}}{4} = 0.835$$

Στον πίνακα Π-3 παρουσιάζονται οι θερμικές απώλειες $Q_e$, ο ολικός συντελεστής θερμικών απωλειών $U_o$, καθώς και οι συντελεστές $U_1$ και $U_2$ της εξίσωσης: $U_o = U_1 + U_2 (T_m - T_\alpha)$
Οπότε με βάση την εξίσωση (8) η καμπύλη της στιγμιαίας απόδοσης του συγκεκριμένου συλλέκτη θα περιγράφεται από την εξίσωση:

$$\eta = 0.835 - 6.47 \cdot T^* - 1.682 10^{-2} \cdot G \cdot (T^*)^2 \qquad (9)$$

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

— Από τη σύγκριση των εξισώσεων του πίνακα Π-1 :

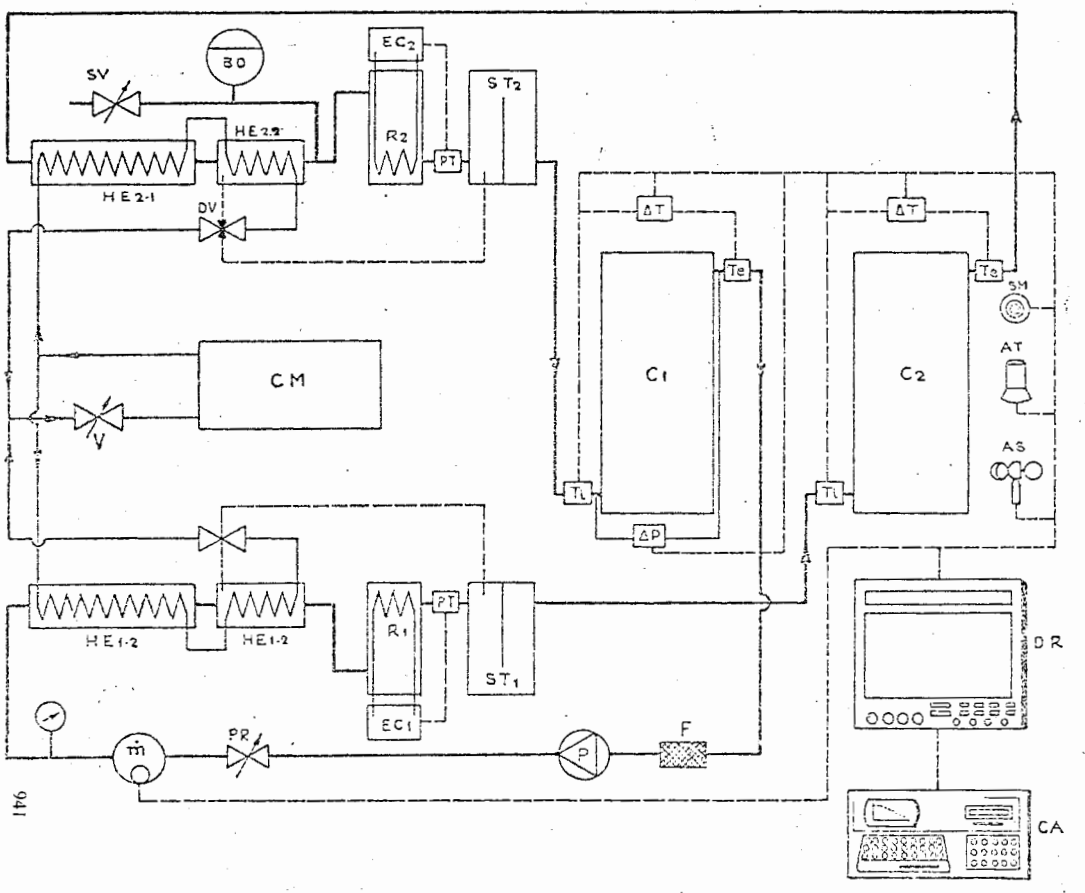
(α) $\eta = 0.834 - 6.9 \cdot T^* - 18.7 \cdot (T^*)^2$

(b) $\eta = 0.834 - 6.9\, T^* - 2.047 10^{-2}\, G\, (T^*)^2$ $\quad G_m = 912\ w/m^2$

και την (9), διαπιστώνεται η σύμπτωση της απόλυτης και συνδυασμένης μεθόδου προσδιορισμού της εξίσωσης της καμπύλης στιγμιαίας απόδοσης επίπεδου συλλέκτη.

Η συνδυασμένη μέθοδος πλεονεκτή, γιατί εκτός του αμέσου προσδιορισμού των $\eta_o = F'(\tau\alpha)e$ και $U_o = F' U_L$ , απαιτεί μόνο 4 μετρήσεις στον περιβάλλοντα χώρο (προσδιορισμός $\eta_o$) ενώ οι υπόλοιπες μετρήσεις μπορούν να πραγματοποιηθούν σε εσωτερικό χώρο (προσδιορισμός $U_o$ ).

# ΔΙΑΤΑΞΗ ΔΟΚΙΜΩΝ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ
## ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑ: ΕΛΟΤ – ΕΚΕΦΕ "ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ"




C : Επίπεδος Συλλέκτης
HE : Εναλλάκτης θερμότητας
CM : Ψυκτική μονάδα
DV : Διαφορική βάνα
EC : Ηλεκτρονικός σταθεροποιητής θερμοκρασίας υγρού
PT : θερμόμετρο πλατίνας
ΔP : Διαφορικό πιεσόμετρο
ΔT : Μετρητής διαφοράς θερμοκρ.
Ti : θερμόμετρο PT (θερμοκ. εισόδ.
Te : " " ( " εξόδ.
ṁ : Ροόμετρο
F : Φίλτρο
P : Κυκλοφορητής
PR : Ρυθμιστής πιέσεως υγρού κυκλοφορίας
SV : Βαλβίδα ασφάλειας
BD : Δοχείο διαστολής
ST : Δοχείο σταθερής θερμοκρασ.
R : Θερμική αντίσταση
V : Βάνα ρύθμισης παροχής υγρού ψύξης
SM : Πυρανόμετρο
AT : Αισθητήριο θερμοκρ. περιβαλ.
AS : Μετρητής ταχύτητας ανέμου
DR : Καταγραφικό δεδομένων
CA : Ηλεκτρονικός υπολογιστής

ΠΑΡ-57

941

6 x 1

DATY:(11-12)/10/1984

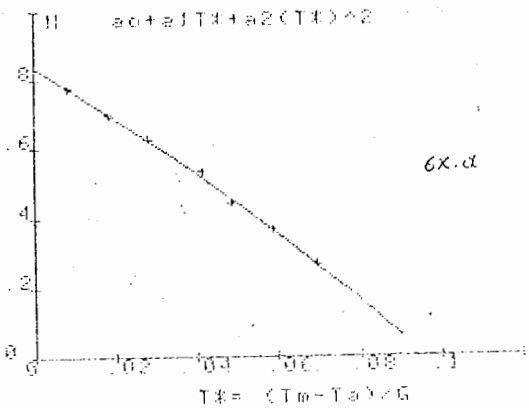
COL. TYPE: SV/1
TESTING PROCEDURE:NBS/ASHRAE:SITE:NRC/ATHENS
REFERENCE AREA:1.943m2

DATA: POINTS:7

Gm= 912.1 W/m^2
Cm=4184.4 Ws/KgK

| G | Ta | Ti | DT | Tm | m | Tm-Ta | T* | n | Vw | Cp |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 870 | 26.85 | 30.30 | 8.02 | 34.31 | .039 | 7.46 | 0.01 | .774 | .8 | 4177 |
| 944 | 27.00 | 40.40 | 7.83 | 44.32 | .039 | 17.32 | 0.02 | .697 | 1.0 | 4178 |
| 933 | 27.00 | 49.80 | 6.98 | 53.29 | .039 | 26.29 | 0.03 | .628 | .7 | 4181 |
| 851 | 27.20 | 59.50 | 5.55 | 62.28 | .038 | 35.08 | 0.04 | .534 | .8 | 4185 |
| 962 | 25.42 | 69.50 | 5.16 | 72.08 | .038 | 46.66 | 0.05 | .439 | 1.4 | 4190 |
| 954 | 25.75 | 79.50 | 4.25 | 81.63 | .038 | 55.88 | 0.06 | .365 | 1.6 | 4197 |
| 871 | 26.50 | 85.70 | 2.84 | 87.12 | .038 | 60.62 | 0.07 | .267 | .6 | 4202 |

ao= 0.834
a1=-6.903E+000
a2=-1.867E+001

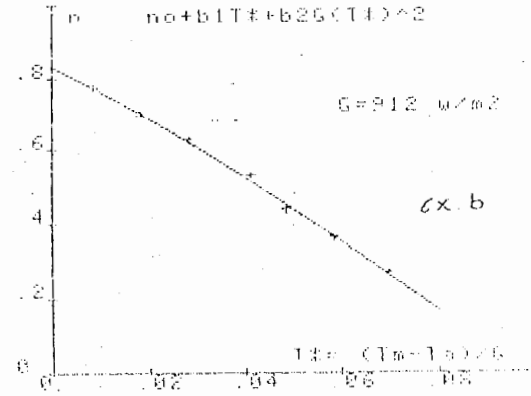



LEAST SQUARE FIT

n= 0.855-8.351E+000T*

n=.834-6.903T*-18.675T*^2

bo= 0.834
b1=-6.903
b2=-2.047E-002




LEAST SQUARE FIT
n= 0.855-8.351T*
n= 0.834-6.903T*-2.047E-002G.T*^2

)ATY:(7-8)/10/1984

:OL. TYPE: S.V/1
:ESTING PROCEDURE:BSE/OUTDOOR:SITE:
'EFERENCE AREA:1.943m2 ,FLUID WATER,SLOPE:45 DEGREE,

)ATA: POINTS: 4

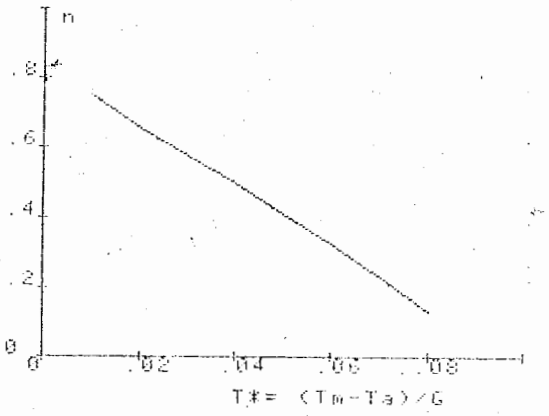
Gm= 839.3 W/m^2
Cm=4179.9 Ws/KgK

| G | Ta | Ti | DT | Tm | ṁ | Tm-Ta | T* | η | $V_w$ | Cp |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 840 | 21.32 | 18.82 | 8.14 | 22.89 | .040 | 1.57 | 0.00 | .834 | .3 | 4180 |
| 851 | 19.60 | 17.50 | 8.30 | 21.65 | .040 | 2.05 | 0.00 | .839 | .9 | 4180 |
| 846 | 21.16 | 18.16 | 8.18 | 22.25 | .040 | 1.09 | 0.00 | .832 | .4 | 4180 |
| 820 | 22.00 | 18.40 | 7.80 | 22.30 | .039 | .30 | 0.00 | .798 | .8 | 4180 |

THE AUTHOR HAS GIVEN THE
FOLLOWING DATA FIT

)= .835 0.0 T*

)= .835 6.470T* 0.000(T*)^2




HE AVERAGED no IF Tm=Ta

no= .826

DATY:(12-13)/10/1984

COL.TYPE: S.V/1
TESTING PROCEDURE:RSE/ASHRAE :SITE:N.R.C-ATHENS
REFERENCE AREA:1.943 m2
NUMBER OF DATA POINTS: 4

DATA:

Dm=.98 KG/l
Cm=4185 J/KG*K

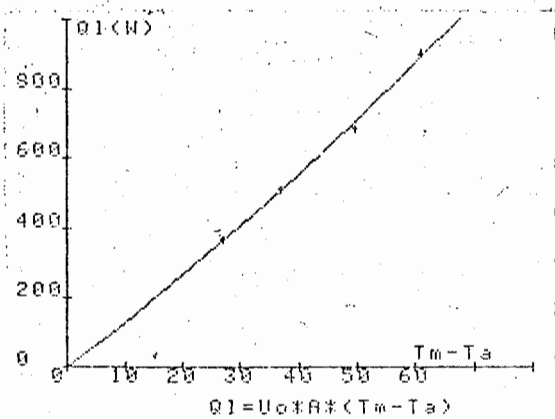
| Ta | Ti | DT | Tm | m | Tm-Ta | Ql | Uo | Vw | Cp |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 20.92 | 49.10 | 2.24 | 47.98 | .039 | 27.06 | 365.6 | 7.0 | .1 | 4185.0 |
| 20.70 | 59.10 | 3.13 | 57.54 | .039 | 36.84 | 510.9 | 7.1 | 0.0 | 4185.0 |
| 18.65 | 70.35 | 4.30 | 68.20 | .038 | 49.55 | 683.8 | 7.1 | .2 | 4185.0 |
| 18.59 | 82.30 | 5.66 | 79.47 | .038 | 60.88 | 900.1 | 7.6 | .5 | 4185.0 |

LEAST SQUARE FIT

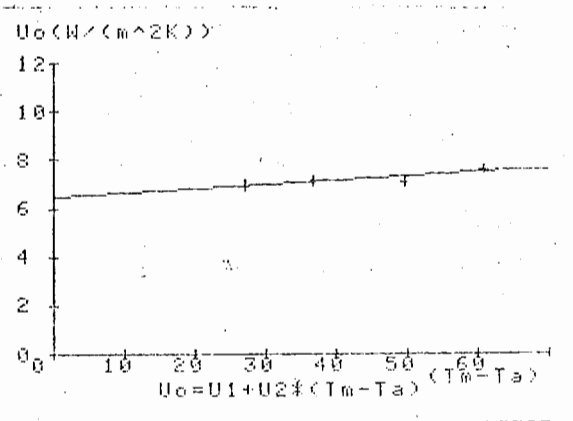
U1=6.468
U2=1.682E-002

Uo=F'U1=6.468+1.682E-002*(Tm-Ta)

GLOBAL THERMAL LOSSES




GLOBAL HEAT TRANSFER COEFFICIENT



ΠΑΡ-61

## ΕΤΗΣΙΑ ΑΠΟΔΟΣΗ ΑΠΛΩΝ ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Η μελέτη της ετήσιας απόδοσης των απλών θερμοσιφωνικών συστημάτων (ΑΘΣ) είναι σημαντική στον Ελληνικό χώρο γιατί:

1. Τα ΑΘΣ καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος των υφισταμένων ηλιακών συστημάτων στον Ελληνικό. Συνεπώς η μελέτη της ετήσιας απόδοσής τους θα συμβάλει (α) στην σωστότερη εκτίμησή τους με επιπτώσεις στο νεαρό μεταποιητικό κλάδο της ηλιακής ενέργειας (β) στο ποσό της εισαγόμενης ενέργειας (γ) στην ποιότητα ζωής (δ) καταπολέμηση της ανεργείας κ.λ.π.

2. Δεν υπάρχει συστηματική μελέτη τέτοιων ολοκληρωμένων συστημάτων ούτε σε ελληνικό ούτε σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Μία τέτοια μελέτη αρχίζει τώρα κάτω από την καθοδήγηση της ΕΟΚ και ευηκταίο είναι να συμμετέχει ισότημα και η Ελλάδα μέσω κατάλληλων εργαστηρίων.

Οι διαδικασίες μελέτης που προτείνει ο ΕΛΟΤ δεν έχουν μελετηθεί ακόμη στην πράξη και σύμφωνα με την ευρωπαϊκή εμπειρία θα πρέπει να επανεκτιμηθούν.

### ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η όλη μελέτη έχει σαν βασική προϋπόθεση τον Ελληνικό χώρο και την Ελληνική μεταποιητική βιομηχανία. Γιαυτό ένα μέρος της αναφέρεται στις συνθήκες που επικρατούν στην Ελλάδα σήμερα ενώ ένα δεύτερο αναφέρεται σε παρακολούθηση συστημάτων κάτω από τις ίδιες συνθήκες. Τα προτεινόμενα στάδια εργασίας είναι:

(i) Απογραφή των υπαρχόντων τύπων ηλιακών συστημάτων στον Ελληνικό χώρο και προκαταρκτική ταξινόμησή τους σε διάφορες ομάδες ανάλογα με την εκτιμούμενη απόδοσή τους.

(ii) Απογραφή υπαρχόντων δεδομένων για το προφίλ της κατανάλωσης ζεστού νερού (θερμοκρασία και ποσότητα) ανά ημέρα, εάν είναι δυνατόν, σε όλη την Ελληνική επικράτεια.

(iii) Έχοντας τα δεδομένα (i),(ii) θα γίνει επιλογή ενός αριθμού αντιπροσωπευτικών συστημάτων (ένα τουλάχιστον από κάθε ομάδα). Τα συστήματα αυτά θα παρακολουθούνται (monitored) σε ετήσια

βάση και για το δεδόμενο προφίλ κατανάλωσης θα μετρώνται η θερμοκρασία εισόδου-εξόδου στο καζάνι, και η ολική ηλιακή ακτινοβολία στους συλλέκτες. Τα δεδόμενα "θα χρησιμεύσουν" στην πιστοποίηση (validation) του θερμοσιφωνικού μοντέλου που θα γίνει. Σύμφωνα με το μοντέλο θα αρκούν πρατηρήσεις λίγων ημερών για την ετήσια εκτίμηση της απόδοσης ενός ΑΘΣ.

(iv) Στο στάδιο αυτό θα γίνει μελέτη των συστημάτων κάτω από πειραματικές συνθήκες στον ελεύθερο χώρο, θεωρόντας το σύστημα σαν "μαύρο κουτί". Οι παράμετροι που θα μετρώνται είναι; θερμοκρασία εξόδου νερού και στιγμιαία ολική ακτινοβολία. Από τα σημεία που θα επιλλέγονται σχεδιάζεται μία καμπύλη (μοντέλο SEU).

$$\eta_{\text{συστήμ.}} = C\ \Phi\left(\frac{H}{G^X}\right)$$

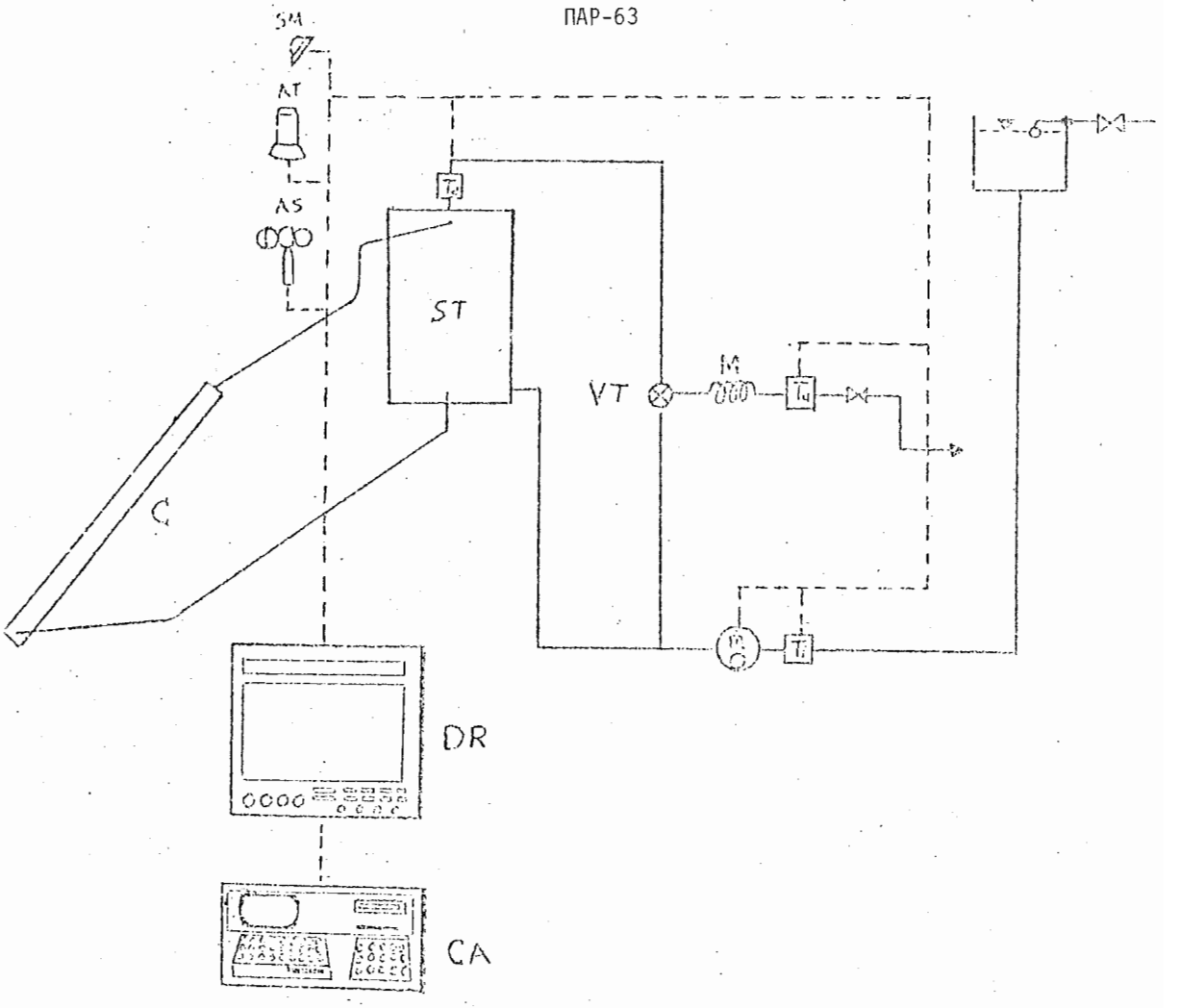
όπου $\eta_{\text{συστήμ}}$: ημερήσια απόδοση συστήματος=

$$\frac{\text{Ενέργεια που αποδίδει στην έξοδο}}{\text{ολική προσπίπτουσα ακτινοβολία στους συλλέκτες}}$$

C: σταθερό
Φ: Χαρακτηριστική συνάρτηση του συστήματος
H: Ολική ημερήσια ακτινοβολία
$G^X$:Μεγίστη ολική ημερήσια ακτινοβολία

Το μοντέλο θα δίνει την ετήσια απόδοση η οποία θα συγκρίνεται με την μετρούμενη προκειμένου να εκτιμηθεί η ακρίβειά της.

3. Αποτελέσματα μιας τέτοιας μελέτης θα είναι η δημιουργία προτύπων για ΑΘΣ, τα οποία θα χρησιμεύσουν για την παραπέρα βελτίωση και ανάπτυξη των συστημάτων αυτών.
Στο τέλος μιας τέτοιας δραστηριότητας θα υπάρχει η υποδομή για δοκιμές ρουτίνας που θα μπορεί να εξυπηρετεί την βιομηχανία.




Schematic Diagram of the Solar Thermosyphonic unit

C: Collector
ST: Tank
SM: Pyranometer
As: Air speed meter
AT: Temperature sensor
VT: Temperature mixing valve
M: Mixing Device
$\dot{m}$: Mass Flow Meter
T: Platinum thermometer
DR: Recorder
CA: Computer

ΠΑΡ-65

# ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ

Αθαν. Δάκας, Χημικός Μηχανικός, ΕΛΚΕΠΑ
Γέωργ. Βαβίζος, Βιολόγος, Ειδικός Συνεργάτης ΕΛΚΕΠΑ
Λευτ. Ψαρουδάκης, Χημικός, Ειδικός Συνεργάτης ΕΛΚΕΠΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ:
Ο Σχεδιασμός εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων σύμφωνα με τον Ν. 696/74 και τιμές ΑΤΥΕ με χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή εξασφαλίζει μειωμένη επικαιροποιημένη αξία κατασκευής και λειτουργίας του έργου, μειωμένο λειτουργικό κόστος, εξοικονόμηση ενέργειας και εξασφαλισμένη αποτελεσματικότητα.
Οι μεταβολές της θερμοκρασίας των λυμάτων δεν επηρεάζουν σημαντικά το κατασκευαστικό κόστος του έργου. Έτσι ο σχεδιασμός βιολογικών αντιδραστήρων επεξεργασίας αστικών λυμάτων μπορεί να γίνεται ως προς την μέση τιμή των μεγίστων θερμοκρασιών ατμόσφαιρας για τον πιό θερμό μήνα του έτους, όπως προκύπτει από τα στοιχεία της ΕΜΥ, όταν δεν υπάρχουν αξιόπιστες μετρήσεις θερμοκρασίας λυμάτων.

ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ:
Προστασία περιβάλλοντος - Πληροφορική - Βελτιστοποίηση - - Βιολογικός καθαρισμός - Ξάνθη - Εξοικονόμηση ενέργειας

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ:

Το Ινστιτούτο Τεχνολογικών Εφαρμογών του Ελληνικού Κέντρου Παραγωγικότητας (ΕΛΚΕΠΑ) εκπόνησε το 1985 πρόγραμμα Η/Υ για τον υπολογισμό εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων σε επίπεδο προκαταρκτικής μελέτης σύμφωνα με τις προδιαγραφές του Ν. 696/74.
Το πρόγραμμα εκπονήθηκε από τους Γ. Βαβίζο, Βιολόγο, Αθαν. Δάκα, Χημικό Μηχανικό και Λ. Ψαρουδάκη, Χημικό με την συνεργασία και άλλων επιστημόνων και τεχνικών [2-6].
Η επεξεργασία του προγράμματος έγινε στον υπολογιστή του ΕΛΚΕΠΑ CII HONEY WELL BULL.

Περιγραφή Μεθόδου

Η διαδικασία υπολογισμού βασίζεται σε μαθηματικό μοντέλο που επιλέγει από μιά σειρά εναλλακτικών λύσεων συστημάτων βιολογικού καθαρισμού και επεξεργασίας ιζημάτων, την πιό κατάλληλη αλληλουχία διατάξεων, προσομοιώνει τις φάσεις επεξεργασίας και διαστασιολογεί τα έργα.
Η βελτιστοποίηση του σχεδιασμού γίνεται με προσδιορισμό των κινητικών και βιοκινητικών μεταβλητών [7-10,13] και υπολογισμού της βέλτιστης λύσης για κάθε επιμέρους διάταξη όσο και με το σύνολο των διατάξεων. Οι επιμέρους διατάξεις και το σύνολο του έργου προμετρούνται και προϋπολογίζονται με αναλυτικές τιμές του πίνακα ανάλυσης τιμών υδραυλικών έργων (ΑΤΥΕ) τελευταίου τριμήνου και με

τιμές εμπορίου που προκύπτουν μετά από στατιστική ανάλυση.
Η βέλτιστη λύση προκύπτει από επικαιροποίηση της συνολικής αξίας κατασκευής και λειτουργίας του έργου για 50 χρόνια.
Πιό ειδικά η ανάλυση των διαφόρων διατάξεων του έργου οδηγεί σε υποπρογράμματα που το καθένα εκφράζει μιά οικονομική συνάρτηση και το σύνολό τους την τελική συνάρτηση κόστους. Η βελτιστοποίηση της οικονομικής συνάρτησης γίνεται με τον αλγόριθμο COMPLEX του J. BOX σε βελτιωμένη μορφή. Ο αλγόριθμος αυτός είναι μία πολυμεταβλητή βεβιασμένη αριθμολογική έρευνα που χρησιμοποιείται για την εύρεση του μέγιστου ή του ελάχιστου μιάς γενικά μη γραμμικής συνάρτησης με N ανεξάρτητες μεταβλητές που υπόκεινται σε M περιορισμούς. Ο αριθμός των δοκιμών είναι 30-50 για κάθε βέλτιστη λύση ενώ ο αριθμός των προσομοιώσεων ξεπερνά τις 150. Εκτός από το κύριο πρόγραμμα, γραμμένο σε γλώσσα FORTRAN ADVANCED, χρησιμοποιούνται κατά τον υπολογισμό 10 επιπλέον υποπρογράμματα.
Η χρησιμοποίηση του προγράμματος αυτού επιτρέπει την γρήγορη και οικονομική εκπόνηση της προκαταρκτικής μελέτης για κάθε οικισμό της χώρας καθώς και την μελέτη των στοιχείων που επηρεάζουν το κόστος και την απόδοση των εγκατάστασεων βιολογικού καθαρισμού στη χώρα μας.

Παράδειγμα Επεξεργασίας

Το παράδειγμα επεξεργασίας που παρουσιάζεται στα ακόλουθα αναφέρεται στον σχεδιασμό εγκατάστασης βιολογικού καθαρισμού λυμάτων της πόλης της Ξάνθης. Η επιλογή της Ξάνθης έγινε με την ευκαιρία της παρουσίασης μέρους του προγράμματος αυτού στο συνέδριο του ΥΧΟΠ για την προστασία της λίμνης Βιστωνίδας (28,29 Ιουνίου 1985).
Η Ξάνθη, πόλη των 40.000 κατοίκων, με ρυθμό αύξησης πληθυσμού 1% το χρόνο αντιμετωπίστηκε με προοπτική 40ετίας ή ισοδύναμο πληθυσμό 59.550 κατοίκων, με ειδική συμβολή λυμάτων 250 λίτρα ανά κάτοικο και ημέρα και ειδικό οργανικό φορτίο 75 $gBOD_5$ ανά κάτοικο την ημέρα.
Η μέση μέγιστη θερμοκρασία της περιοχής είναι 31 $^oC$ και η μέση ετήσια θερμοκρασία 15,5 $^oC$. Επειδή δεν υπάρχουν αναλυτικά στοιχεία για τη θερμοκρασία των λυμάτων θεωρήθηκε σαν θερμοκρασία τους, το 80% της μέσης μέγιστης για την πιό δυσμενή περίπτωση. Η τιμή αυτή των 25$^oC$ είναι κοντά στις θερμοκρασίες θαλάσσης [12] της Αλεξανδρούπολης και της Καβάλας όπου υπάρχουν μετρήσεις από την Υδρογραφική Υπηρεσία του Πολ. Ναυτικού. Επειδή τα καθαρισμένα λύματα της Ξάνθης θα καταλήγουν στη Βιστωνίδα καθορίστηκε βαθμός καθαρισμού τους μεγαλύτερος του 90% ή συγκεντρώσεις ως $BOD_5$ μικρότερες για κάθε μέτρηση των 40ppm $BOD_5$ .
Η εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων της Ξάνθης που προέκυψε σαν βέλτιστη λύση αποτελείται από 7 βιολ. αντιδραστήρες τύπου δεξαμενών αερισμού ωφέλιμου όγκου 2.399,14$m^3$ η καθεμιά, όπου η οξυγόνωση γίνεται με επιφ. αεριστήρες ονομαστικής απόδοσης 2,4 kg $O_2$/kwh, ακολουθούμενοι από 4 διαυγαστήρες τύπου δεξ. καθίζησης διαμέτρου 23,28 m και ωφ. όγκου 1276,74 $m^3$. Η σταθεροποίηση της βιομάζας γίνεται στον βιολ. αντιδραστήρα. Ακολουθεί πάχυνση σε παχυντήρα ωφ. όγκου 106,78$m^3$ και αφυδάτωσής τους με φιλτρόπρεσσα ισχύος 13,116kw . Η εγκατάσταση περιλαμβάνει ακόμα απολύμανση σε δεξαμενή χλωρίωσης ωφ. όγκου 372,2$m^3$ με χλωριωτή παροχής 148,78l/h διαλύματος υποχλωριώδους νατρίου.
Στην μελέτη εγκατάστασης δεν περιλαμβάνονται τα έργα εισόδου (αγωγός προσαγωγής λυμάτων - αντλιοστάσιο ανύψωσης - εσχαρισμός, λιποσυλλέκτης, αμμοσυλλέκτης) καθώς και ο αγωγός τελικής διάθεσης, εφόσον δεν είναι γνωστός ο χώρος κατασκευής του έργου.
Η διαδικασία επεξεργασίας των λυμάτων βασίζεται σε συνεχείς αερόβιες καλλιέργειες ιθαγενών μικροβιακών πληθυσμών σε συνθήκες χαμηλής φόρτισης αιωρήματος αερόβιας βιομάζας.

Τα λειτουργικά και τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος περιλαμβάνονται στο Παράρτημα που ακολουθεί.
Επειδή η θερμοκρασία των λυμάτων δεν προκύπτει από μετρήσεις, εξετάστηκε επίσης η επίδραση της θερμοκρασίας (από 8-31 $^{o}$C) στην μελέτη της εγκατάστασης.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1

| Τ $^{o}$C | ΣΥΝΟΛ.ΕΠΙΚΑΙΡ.ΤΙΜΗ (δρχ.) | ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ (δρχ.) | ΑΠΑΙΤΗΣΗ $O_2$[Mg/l.h] | ΕΓΚΑΤ. ΙΣΧΥΣ [kw] |
|---|---|---|---|---|
| 8 | 530.582.784 | 148.491.072 | 21,39 | 186,7 |
| 12 | 533.665.024 | 148.921.728 | 21,08 | 190,45 |
| 14 | 535.094.528 | 149.120.944 | 21,99 | 192,18 |
| 15 | 535.707.904 | 149.206.528 | 22,08 | 192,93 |
| 17 | 536.896.768 | 149.372.064 | 22,24 | 194,38 |
| 19 | 537.222.304 | 149.514.608 | 22,37 | 195,62 |
| 21 | 538.964.480 | 149.659.536 | 22,51 | 196,89 |
| 22 | 539.298.304 | 149.705.968 | 22,56 | 197,30 |
| 24 | 539.781.632 | 149.773.184 | 22,62 | 197,88 |
| 25 | 540.183.552 | 149.828.912 | 22,68 | 198,37 |
| 31 | 540.821.760 | 149.917.600 | 22,77 | 199,15 |
| ΑΡΧΙΚΗ ΤΙΜΗ ΣΕ 25$^{o}$C | 670.851.072 | | | |
| ΜΕ 7 ΠΡΟΣΟΜ. ΣΕ 25$^{o}$C | 565.434.880 | 164.043.920 | 24,67 | 196,90 |
| ΜΕ 37 ΠΡΟΣΟΜ. ΣΕ 25$^{o}$C | 540.183.552 | 149.828.912 | 22,68 | 198,37 |

Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει πως αν λάβουμε σαν θερμοκρασία λυμάτων τους 15$^{o}$C (μέση ετήσια θερμοκρασία αέρα) το κόστος της κατασκευής του έργου είναι 711.072 δρχ. φτηνότερο από τον υπολογισμό του έργου με T=31$^{o}$C δηλαδή την μέση μεγίστη θερμοκρασία του θερμότερου μήνα. Η διαφορά αυτή είναι σε ποσοστό το 0,48% της δαπάνης κατασκευής.
Για θερμοκρασία λυμάτων ίση προς το 80% της μέσης μεγίστης του θερμότερου μήνα (25$^{o}$C στην περίπτωσή μας) προκύπτει η διαφορά κόστους= 622,384 δρχ. ή ποσοστό 0,42%.
Οι διαφορές αυτές από 0,42-0,48% επί του κόστους κατασκευής του έργου πρακτικά προκύπτουν από την αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος για την οξυγόνωση από 192,93Kw για T=15$^{o}$C θερμ. λύματος στα 198,37Kw για T=25$^{o}$C και 199,15Kw για T=31$^{o}$C δηλ. μεγίστη παραπάνω απαίτηση ισχύος ίση προς 6,22Kw

Αποτελέσματα Επεξεργασίας

Από την επεξεργασία των δεξαμενών προκύπτει:
Επικαιροποιημένη τιμή του συνολικού κόστους κατασκευής και λειτουργίας του έργου για 50 χρόνια χωρίς προσομοίωση= 670.851.072 δρχ.
Με 7 προσομοιώσεις δρχ. 565.434.880
Με βελτιστοποίηση δρχ. 540.183.552
Διαφορά 130.667.520
που αντιστοιχεί σε ποσοστό εξοικονόμησης 24,19% της αρχικής τιμής
Το κόστος κατασκευής του έργου προκύπτει:
Με 7 προσομοιώσεις δρχ. 164.043.920
Με βελτιστοποίηση δρχ. 149.828.912
Διαφορά 14.215.008
που αντιστοιχεί σε ποσοστό εξοικονόμησης 9,49% της αρχικής τιμής

Το κόστος λειτουργίας και συντήρησης ανά έτος

| | | |
|---|---|---|
| Με 7 προσομοιώσεις | δρχ./έτος | 46.207.744 |
| Με βελτιστοποίηση | δρχ./έτος | 41.449.984 |
| Διαφορά | δρχ./έτος | 4.757.760 |

που αντιστοιχεί σε ποσοστό εξοικονόμησης 11,48% της αρχικής τιμής

Το κόστος από την κατανάλωση ενέργειας προκύπτει:

| | | |
|---|---|---|
| Με 7 προσομοιώσεις | δρχ./έτος | 33.784.272 |
| Με βελτιστοποίηση | | 29.721.760 |
| Διαφορά | | 4.062.512 |

που αντιστοιχεί σε ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας 13,67% της αρχικής τιμής

Συμπεράσματα

Η επεξεργασία με Η/Υ των στοιχείων που προαναφέρθηκαν και αφορούν την επεξεργασία λυμάτων της πόλης Ξάνθης, οδηγεί στα παρακάτω συμπεράσματα:

1. ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ

1.1. Η επικαιροποιημένη δαπάνη κατασκευής και λειτουργία του έργου για 50 έτη με επιτόκιο 12% μειώνεται μετά από βελτιστοποίηση κατά 24,17%

1.2. Το κόστος κατασκευής του έργου μετά από βελτιστοποίηση μειώνεται κατά 9,49% με αναφορά τις 7 προσομοιώσεις

1.3. Το κόστος λειτουργίας και συντήρησης ανά έτος μειώνεται κατά 11,43% στην βελτιστοποιημένη εγκατάσταση

1.4. Η κατανάλωση ενέργειας μειώνεται κατά 13,67% στην βελτιστοποιημένη εγκατάσταση

2. ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ, ΣΤΗ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΛΥΣΗ

2.1. Η διαφορά κόστους κατασκευής της εγκατάστασης σχεδιασμένης να αντιμετωπίζει την πιό δυσμενή περίπτωση θερμοκρασίας λυμάτων είναι 0,42-0,48%

2.2. Η μικρή διαφορά κόστους κατασκευής επιβάλει τον σχεδιασμό της εγκατάστασης οξυγόνωσης που αποτελεί το πιό ενεργοβόρο τμήμα της εγκατάστασης για τις πιό δυσμενείς συνθήκες στη χώρα μας που διαρκούν σημαντικό χρονικό διάστημα

2.3. Επιβεβαιώνεται ότι η εξοικονόμηση ενέργειας προκύπτει με τον έλεγχο της συγκ. $O_2$ με DO-METER συνδεδεμένο με αυτοματισμό που κανονίζει διαφορική λειτουργία του συστήματος οξυγόνωσης

2.4. Δεν φαίνεται για συνήθεις θερμοκρασίες της χώρας μας να απαιτείται θερμομόνωση των βιολ. αντιδραστήρων

Βιβλιογραφία

[1] Γ. Βαβίζος, Αθ. Δάκας, Λ. Ψαρουδάκης
"Πρόγραμμα υπολογισμού εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων"
ΕΛΚΕΠΑ 1985

[2] Γ. Βαβίζος
"Βιολογικός καθαρισμός"
ΕΛΚΕΠΑ 1985

[3] Αθ. Δάκας, Ν. Βλογιάρης, Ν. Κανελλάκης
"Στρατηγικές ελέγχου Βιολ. Αντιδραστήρων"
ΕΛΚΕΠΑ 1984

[4] Λ. Ψαρουδάκης, Α. Κατζάκης, Θ. Στρουμπούλης
"Σχεδιασμός εγκαταστάσεων Βιολ. Αντιδραστήρων με χρήση Η/Υ"
ΕΛΚΕΠΑ 1984

[5] Γ. Βαλκανάς, Α. Βλυσίδης, Μ. Κούκιος
"Συστήματα αερισμού στην βιολ. επεξεργασία υγρών αποβλήτων"
ΕΛΚΕΠΑ 1984

[6] Γ. Γεωργαδάκης
"Η οξυγόνωση στην Βιολ. Επεξεργασία"
ΕΛΚΕΠΑ 1984

[7] A.W. Lawrence - P.L. Mc Carty,
June 1970 "Unified Basis for Biological Treatment Design and operation" J. Sanit. Eng.

[8] R.E. Mc Kinney, Vol XVI, 1974
"Design and operational model for complete mixing activated sludge system" J. of Biotech. and Bioeng.

[9] D. Tyteca - 1979
"Design and operational charts for complete mixing activated sludge systems" J. of Water Research

[10] L. Barahoma - W.W. Eckenfelder J. 1984
"Relationships between organic loading and zone settling velocity in the Activated sludge Process" J. of Water Research

[11] Ε.Μ.Υ. "Μετεωρολογικά στοιχεία"

[12] Υδρογραφική Υπηρεσία Πολ. Ναυτικού
"Θερμοκρασίες επιφανείας Ελληνικών Θαλασσών"
Αθήνα 1976

[13] Ε.Μ.Π.
"Σεμινάριο για τον σχεδιασμό των εγκαταστάσεων επεξεργασίας δημ. λυμάτων"1984

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΠΟΛΕΩΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ

ΝΟΜΟΣ: ΞΑΝΘΗΣ

ΠΟΛΗ: ΞΑΝΘΗ

ΞΕΥΠΗΡΕΤΟΥΜΕΝΟΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ ΣΗΜΕΡΑ: 40000.0

ΕΤΗΣΙΟΣ ΡΥΘΜΟΣ ΑΥΞΗΣΗΣ: 1.0 %

ΤΕΛΙΚΟΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ 40ΕΤΙΑΣ: 59551.

ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΝΘΟΛΗ ΛΥΜΑΤΩΝ (L/D.AT.):250.0

ΕΙΔΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΛΥΜΑΤΩΝ (GRBOD5/D.AT.): 75.0

ΩΡΕΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΛΥΜΑΤΩΝ (H/D): 18.0

ΜΕΣΗ ΜΕΓΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ: 31.0

ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΓΡΩΝ ΕΞΟΔΟΥ ΣΕ ΜΟΡ-ΒΘΟΣ: 10.8

ΚΟΣΤΟΣ ΓΗΣ ΣΕ ΔΡΑΧΜΕΣ ΑΝΑ Μ2: 200.0

| | ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΙΣΟΔΟΥ | ΕΞΟΔΟΥ |
|---|---|---|
| 1. ΜΕΣΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΠΑΡΟΧΗ ΛΥΜΑΤΩΝ(M3/D): | | 14987.8 |
| ΜΕΓΙΣΤΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΠΑΡΟΧΗ ΛΥΜΑΤΩΝ (M3/D): | | 22331.8 |
| ΜΕΣΗ ΠΑΡΟΧΗ ΛΥΜΑΤΩΝ(L/S): | | 229.8 |
| ΜΕΓΙΣΤΗ ΠΑΡΟΧΗ(L/S): | | 362.5 |
| ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ | | 1.5 |
| ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΙΧΜΗΣ : | | 1.66 |
| ΠΑΡΟΧΗ-ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ (LIT/D): | | 22331760.0 |
| 2. ΕΙΔΟΣ:ΑΣΤΙΚΑ ΛΥΜΑΤΑ | | |
| 3. ΡΥΠΑΝΤΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ - ΤΙΜΕΣ: | ΕΙΣΟΔΟΣ | ΕΞΟΔΟΣ |
| -ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ BOD(MGR/L) | 300.0 | 19.8 |
| -ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ COD(MGR/L) | 705.0 | 25.4 |
| -ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗSS(MGR/L) | | |
| -ΛΟΓΟΣ COD/VSS | 1.50 | 1.50 |
| -ΛΟΓΟΣ BOD5/VSS | | |
| -ΛΟΓΟΣ COD/BOD5 | 2.35 | 2.35 |
| -ΤΙΜΗ PH | 7.0 | 7.0 |
| -ΘΕΡΜ. ΛΥΜ. (ΒΑΘ.C) | 25.0 | 25.0 |

4. ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΡΥΠΑΝΤΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ :

ΗΜΕΡΗΣΙΟ ΦΟΡΤΙΟ BOD5 (KG/D) = 4466.35

ΗΜΕΡΗΣΙΟ ΦΟΡΤΙΟ COD (KG/D) = 10495.92

ΗΜΕΡΗΣΙΟ ΦΟΡΤΙΟ SS (KG/D) =

5. ΑΠΟΔΟΣΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ (%) = 96.4

## 4. ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

### 4.1 ΜΕ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟΥΣ ΑΕΡΙΣΤΗΡΕΣ

#### 4.1.1 ΜΕ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟΥΣ ΑΕΡΙΣΤΗΡΕΣ ΣΤΑΘΕΡΟΥΣ

Α.ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ:

| | |
|---|---|
| ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ= | 7 |
| ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ (Μ2)= | [illegible].71 |
| ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΣ ΟΓΚΟΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ (Μ3)= | 2599.16 |
| ΟΛΙΚΟΣ ΟΓΚΟΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ (Μ3)= | 2797.00 |
| ΑΝΑΔΕΥΤΗΡΑΣ (RPM)= | [illegible].00 |
| ΙΣΧΥΣ ΑΝΑΔΕΥΤΗΡΩΝ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ (ΚΩ)= | 25.94 |
| ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (ΚΩ)= | 198.37 |

Β.ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ:

| | |
|---|---|
| ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΠΑΡΑΜΟΝΗΣ (HR)= | 18.05 |
| ΗΛΙΚΙΑ ΒΙΟΜΑΖΑΣ (DAYS)= | 20.52 |
| ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ (MGR/LT)= | [illegible].09 |
| ΟΛΙΚΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΣΤΕΡΕΩΝ (MGR/LT)= | [illegible].61 |
| ΦΟΡΤΙΣΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ (KGR ΗΟΔ/KGR MLVSS/DAY)= | 0.10 |
| ΠΛΕΟΝΑΣΜΑ ΒΙΟΜΑΖΑΣ (KGR/DAY)= | 3415.56 |
| ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΝΑΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ= | 0.75 |
| ΠΑΡΟΧΗ ΑΝΑΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ (Μ3/DAY)= | 10815.90 |
| ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΛΕΙΤ. ΟΞΥΓΟΝΟΥ (MGR/LT)= | 2.00 |
| ΑΠΑΙΤΗΣΗ ΟΞΥΓΟΝΟΥ (MGR/LT/HR)= | 22.56 |

## 5.ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΑ ΚΑΘΙΖΗΣΗ

Α.ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ:

| | |
|---|---|
| ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ= | 4 |
| ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ (Μ)= | 25.26 |
| ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ (Μ2)= | 425.56 |
| ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΣ ΟΓΚΟΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ (Μ3)= | 1276.74 |
| ΟΛΙΚΟΣ ΟΓΚΟΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ (Μ3)= | 1487.53 |
| ΜΗΚΟΣ ΥΠΕΡΧΕΙΑΙΣΗΣ (Μ)= | 7.11 |
| ΑΠΟΞΕΣΤΗΡΑΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΠΥΟΜΕΝΑ (RPM)= | 2.00 |
| ΜΗΚΟΣ ΑΠΟΞΕΣΤΗΡΑ (Μ)= | 11.64 |
| ΙΣΧΥΣ ΑΠΟΞΕΣΤΗΡΑ (ΚΩ)= | 10.08 |
| ΜΑΝΟΜΕΤΡΙΚΟ ΑΝΤΛΙΑΣ ΙΖΗΜΑΤΩΝ (Μ)= | 5.00 |
| ΙΣΧΥΣ ΑΝΤΛΙΩΝ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ (ΚΩ)= | 52.52 |
| ΠΑΡΟΧΗ ΑΝΤΛΙΩΝ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ (Μ3/HR)= | 1431.06 |
| ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (ΚΩ)= | 250.40 |

Β.ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ:

| | |
|---|---|
| ΧΡΟΝΟΣ ΠΑΡΑΜΟΝΗΣ (HR)= | 4.12 |
| ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ (Μ/DAY)= | 25.00 |
| ΦΟΡΤΙΣΗ ΣΤΕΡΕΩΝ (KGR/Μ2/DAY)= | 196.00 |
| ΦΟΡΤΙΣΗ ΥΠΕΡΧΕΙΑΙΣΗΣ (Μ3/Μ/DAY)= | 76.36 |
| ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΙΖΗΜΑΤΟΣ (MGR/LT)= | 3050.56 |
| ΠΑΡΟΧΗ ΑΝΑΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΠΡΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟ (Μ3/DAY)= | 10815.90 |
| ΠΑΡΟΧΗ ΑΠΑΓΩΓΗΣ ΠΡΟΣ ΠΑΧΥΝΤΗΡΑ (Μ3/DAY)= | 325.00 |

ΠΑΡ-71

ΣΥΝΟΠΤΙΚΟΣ ΠΡΟΫΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

1.ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

| | |
|---|---|
| ΕΡΓΑ ΠΟΛΙΤΙΚΟΥ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ | 81855164.000 |
| ΕΡΓΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΟΥ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΟΥ | 54160755.000 |
| ΚΟΣΤΟΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΧΩΡΟΥ | 11134755.000 |
| ΚΟΣΤΟΣ ΓΗΣ | 2623439.000 |
| ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ | 149823913.000 |

2.ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Α.ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟ

| ΕΙΔΙΚΟΤΗΤΑ | ΘΕΣΕΙΣ |
|---|---|
| ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΟΣ-ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΟΣ | 2 |
| ΒΙΟΛΟΓΟΣ Η ΧΗΜΙΚΟΣ | 1 |
| ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΟΣ ΥΠΑΛΛΗΛΟΣ | 1 |
| ΤΕΧΝΙΤΗΣ | 1 |
| ΝΥΧΤΟΦΥΛΑΚΑΣ | 1 |
| ΕΡΓΑΤΕΣ | 4 |

Β.ΔΑΠΑΝΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

| | |
|---|---|
| 1. ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΕΡΓΩΝ Π/Μ ΑΝΑ ΕΤΟΣ | 578443.138 |
| 2. ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΕΡΓΩΝ Η/Μ ΕΤΟΣ | 1083215.000 |
| 3. ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΝΑ ΕΤΟΣ | 2777761.000 |
| 4. ΑΝΑΛΩΣΙΜΑ ΑΝΑ ΕΤΟΣ | 576179.000 |
| 5. ΕΤΗΣΙΑ ΔΑΠΑΝΗ ΓΙΑ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟ | 630000.000 |
| ΚΟΣΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΑΝΑ ΕΤΟΣ | 44449984.000 |

Γ.ΕΠΙΜΕΡΙΣΜΟΣ ΔΑΠΑΝΗΣ

| | |
|---|---|
| 1.ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΑ ΚΑΤΟΙΚΟ ΑΝΑ ΕΤΟΣ | 696.037 |
| 2.ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΑ Μ3 ΑΥΓΑΤΩΝ ΠΟΥ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΤΗΚΑΝ | 5.156 |

3.ΕΠΙΚΑΙΡΟΠΟΙΗΣΗ ΑΞΙΑΣ ΕΡΓΟΥ

| | |
|---|---|
| Α. ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ | 149823912.000 |
| Β. ΚΟΣΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΓΙΑ 50 ΕΤΗ | 3356214424.000 |
| Γ. ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ Η/Μ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΑΝΑ 17 ΕΤΗ | 7848202.000 |
| ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΝΑΓΜΕΝΗ ΑΞΙΑ ΕΡΓΟΥ | 5401885552.000 |

ΠΑΡ-73

# Η ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΩΝ ΚΑΘΑΛΑΤΩΣΕΩΝ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΙΚΟΥ ΑΣΒΕΣΤΙΟΥ ($CaCO_3$) ΣΤΟ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΠΟΤΑΜΙΑΣ - Ν. ΚΕΣΣΑΝΗΣ ΞΑΝΘΗΣ

ΑΠΟ

Ν. ΚΟΛΙΟ*

Π Ε Ρ Ι Λ Η Ψ Η

Στο γεωθερμικό πεδίο Ποταμιάς - Ν. Κεσσάνης Ξάνθης συνολικής έκτασης 15 $km^2$ το τμήμα γεωθερμίας του ΙΓΜΕ ασχολήθηκε με την αντιμετώπιση των καθαλατώσεων που δημιουργούνται απο την επικάθηση του Ανθρακικού ασβεστίου στα στοιχώματα της γεώτρησης παραγωγής Γ-3. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν ειδικά αντικαθαλωτικά πρόσθετα με πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα.

## Γ Ε Ν Ι Κ Α

Η έρευνα για τον εντοπισμό και την αξιοποίηση πηγών Γεωθερμικής Ενέργειας στην Ελλάδα έχει προχωρήσει σημαντικά την τελευταία 10ετία και ήδη έχουν εντοπιστεί αρκετά Γεωθερμικά Πεδία, για τα οποία εκπονούνται παράλληλα προγράμματα ανάπτυξης και εκμετάλλευσης. Τα σημαντικότερα απο αυτά είναι τα Γεωθερμικά Πεδία υψηλής ενθαλπίας της Μήλου και Νισύρου και τα Γεωθερμικά Πεδία χαμηλής ενθαλπίας των θερμών Νιγρίτας και της Ποταμιάς - Ν. Κεσσάνης του Νομού ΞΑΝΘΗΣ. Επίσης συνεχίζονται οι έρευνες για τον εντοπισμό και άλλων Γεωθερμικών Πεδίων.

Οι κύριοι στόχοι των προγραμμάτων αυτών είναι ο εντοπισμός υδροθερμικών συστημάτων που να πλησιάζουν όσο το δυνατό περισσότερο το κλασσικό γεωθερμικό μοντέλο, δηλαδή να έχουν υψηλές θερμοκρασίες, προσιτά βάθη του ρεζερβουάρ και ικανοποιητική παροχή γεωθερμικού ρευστού.

Για την ανάπτυξη όμως και την αξιοποίηση του εντοπισθέντος Γεωθερμικού Πεδίου είτε για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είτε για απ' ευθείας εκμετάλλευση της θερμότητας, ένας κύριος παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπ' όψη είναι ο παράγοντας ποιότητα του γεωθερμικού ρευστού η οποία έχει άμεση σχέση με την οικονομικότητα εκμετάλλευσης του Γεωθερμικού Πεδίου.

Τα βεβαρυμένα σε διάφορα στοιχεία γεωθερμικά ρευστά (πυριτικά,ανθρακικά, θειικά, κ.λ.π.) δημιουργούν προβλήματα κύρια διάβρωσης και καθαλάτωσης (πίνακας 1) που είναι σε βάρος του συστήματος εκμετάλλευσης (Τουρμπίνες, εναλλάκτες θερμότητας, σωληνώσεις) και της ίδιας της γεώτρησης

* Γεωλόγος - ΙΓΜΕ

παραγωγής.

Οι κυριότερες χημικές ενώσεις που δημιουργούν καθαλατώσεις είναι το $CaCO_3$ δημιουργόντας σκληρά και ανθεκτικά ιζήματα στα τοιχώματα των σωληνώσεων, το $MgCO_3$ που δημιουργεί παρόμοια άλατα μόνο που είναι πιό ευδιάλυτα, το $CaSO_4$ δημιουργόντας συνήθως γύψο, τα πυριτικά δημιουργόντας $MgSiO_3$ και $CaSiO_3$, ο σίδηρος που μετατρέπεται σε $Fe(OH)_3$ δημιουργόντας επικαθήσεις οξειδίων.

## ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ

Τα κύρια εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται στην εκμετάλλευση της Γεωθερμικής Ενέργειας χαμηλής ενθαλπίας είναι αντλίες, εναλλάκτες θερμότητας, αποθήκες ζεστού νερού και σωληνώσεις, μεγάλο μέρος των οποίων βρίσκονται στην αγορά και δεν είναι σχεδιασμένα αποκλειστικά για Γεωθερμική χρήση. Για να περιοριστούν τα προβλήματα που δημιουργούνται απο τις διαβρώσεις και τις καθαλατώσεις πρέπει ή να αντιμετωπιστούν αυτά με ειδική σχεδίαση του συστήματος εκμετάλλευσης ή να γίνει χημική επεξεργασία του γεωθερμικού ρευστού.

Στην πρώτη περίπτωση περίπτωση πρέπει να τηρηθούν τρείς βασικές αρχές :

1. Να περιοριστεί ο αριθμός των εξαρτημάτων που έρχονται σε επαφή με το γεωθερμικό ρευστό.
2. Να σχεδιαστούν έτσι οι εγκαταστάσεις ώστε να καθαρίζονται εύκολα.
3. Να γίνει επιλογή των κατάλληλων υλικών τουλάχιστον γι' αυτά που έρχονται σε επαφή με το γεωθερμικό ρευστό.

Η χημική επεξεργασία των γεωθερμικών ρευστών συνίσταται στην χρησιμοποίηση αντιδιαβρωτικών και αντικαθαλωτικών χημικών πρόσθετων κατ'ευθείαν στο ρευστό όπως αυτό έρχεται απο την γεώτρηση.

Τα τελευταία χρόνια η γεωθερμική έρευνα που γίνεται απο το ΙΓΜΕ έχει στραφεί στον εντοπισμό ρευστών χαμηλής ενθαλπίας στις ιζηματογενείς λεκάνες της Μακεδονίας και θράκης με πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα (Ν. ΚΕΣΣΑΝΗ, Δ. ΝΕΣΤΟΥ, ΝΙΓΡΙΤΑ, ΛΙΘΟΤΟΠΟΣ, ΛΑΓΚΑΔΑΣ).

Στην Λεκάνη ΞΑΝΘΗΣ - ΚΟΜΟΤΙΝΗΣ έχει εντοπιστεί το Γεωθερμικό Πεδίο ΠΟΤΑΜΙΑΣ - Ν. ΚΕΣΣΑΝΗΣ (σχημ. 1) έκτασης 15 $km^2$ όπου σε προσιτά βάθη 150-700 μ. υπάρχει υδροφόρος ορίζοντας που παράγει μίγμα ζεστού νερού και $CO_2$ με θερμοκρασίες που φθάνουν του $78^o$ C.

Η πουότητα του παραγόμενου ρευστού φαίνεται στην παρακάτων χημική ανάλυση :

| | | | me/l | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PH | ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ | TDS | Ca | Mg | Na | K | $HCO_3$ | Cl | $SO_4$ |
| 7.20 | 7.000 | 5.195,54 | 6.36 | 1.64 | 63.25 | 3.75 | 25.4 | 45.00 | 4.86 |

| ppm | | | |
|---|---|---|---|
| B | Fe | $SiO_2$ | $NH_4$ |
| 4.80 | 0.14 | 54.30 | 1.00 |

Η παραγωγή ρευστού στις ερευνητικές γεωτρήσεις της περιοχής δημιουργεί πρόβλημα καθαλατώσεων ανθρακικών αλάτων που κρυσταλλώνουν υπό μορφή Ασβεστίτη και Αραγωνίτη (X RAY DIFFRACTION) ← στην κεφαλή της γεώτρησης και μέσα σ' αυτήν μέχρι βάθους 20 μ. περίπου.

Ο ρυθμός αύξησης της καθαλάτωσης του $CaCO_3$ είναι γρήγορος και στην γεώτρηση Γ-3 διαμέτρου 4" μετά συνεχή λειτουργία 25 ημερών δημιουργήθηκε ένας εσωτερικός δακτύλιος πάχους 2 cm μειώνοντας σημαντικά την διάμετρο και την παροχή του παραγομένου ρευστού.

## ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΚΑΘΑΛΑΤΩΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Το δισανθρακικό ασβέστιο $Ca(HCO_3)_2$ υπάρχει σε διάλυμμα και δημιουργείται απο την αντίδραση του νερού, που περιέχει $CO_2$, με ασβεστολιθικά πετρώματα που στην προκειμένη περίπτωση είναι οι νουμμουλιτικοί ασβεστόλιθοι του Ηωκαίνου ή τα Μάρμαρα της Ροδοπικής Μάζας. Όταν το νερό που περιέχει $Ca(HCO_3)_2$ θερμανθεί η διαλυτότητα του $CO_2$ ελαττώνεται και το οποίο ελευθερώνεται και το $Ca(HCO_3)_2$ μετατρέπεται σε δυσδιάλυτο $CaCO_3$ που δημιουργεί τις καθαλατώσεις όπως φαίνεται στον παρακάτω χημικό τύπο:

$$Ca(HCO_3)_2 \xrightarrow{\text{θερμότητα}} CaCO_3 + CO_2 + H_2O$$

Με τις παραπάνω συνθήκες βλέπουμε ότι ενώ υπάρχουν οι πολύ καλές γεωλογικές και γεωθερμικές προϋποθέσεις, η ποιότητα του παραγομένου ρευστού θα δημιουργήσει προβλήματα στην μελλοντική αξιοποίηση και εκμετάλλευση της θερμότητας.

Στο τμήμα Γεωθερμίας στο ΙΓΜΕ ασχοληθήκαμε με το πρόβλημα και στραφήκαμε στην χρησιμοποίηση αντικαθαλωτικών χημικών προσθέτων.

Σε πρώτη φάση χρησιμοποιήσαμε αντικαθαλωτικά πρόσθετα της ομάδας των πολυκαρβοξυλικών ενώσεων χρησιμοποιόντας ένα προϊόν που βρίσκεται στην αγορά με το εμπορικό όνομα BELCHEME 200.

Η κύρια ιδιότητα του χημικού αυτού πρόσθετου είναι η κρυσταλλική παραμόρφωση επιδρώντας ως εξής. Κατά την διάρκεια που δημιουργούνται οι

κρύσταλλοι του $CaCO_3$ το BELCHEME 200 ενσωματώνεται στην δομή τους. Έτσι με αυτό τον τρόπο οι κανονικοί κρύσταλλοι παραμορφώνονται και δεν έχουν την δυνατότητα να "κολλήσουν" μεταξύ τους ή και να επικαθήσουν στην μεταλλική επιφάνεια των σωλήνων της γεώτρησης ή στις σωληνώσεις της εγκατάστασης εκμετάλλευσης. Το άμορφο πλέον $CaCO_3$ που διατηρείται στο διάλυμμα χωρίς να αποτίθεται, παρασύρεται απο το ρεύμα του νερού στην έξοδο.

Η δεύτερη ιδιότητα είναι "Threshold effect" δηλαδή επιρεάζει τις ελκτικές δυνάμεις σύνδεσης των μορίων, επιτυγχάνοντας να κρατήσει στο διάλυμμα μεγαλύτερο φορτίο απο ότι δικαιολογεί το γινόμενο διαλυτότητας.

Έχοντας υπ' όψιν τις παραπάνω ιδιότητες της άνοιξη του 1985 αρχίσαμε ένα πρόγραμμα πειραματισμού με το παραπάνω πρόσθετο.

Στην ήδη υπάρχουσα γεώτρηση έγιναν οι απαραίτητες μετατροπές στην κεφαλή και χρησιμοποιήσαμε ομοκεντρικά δύο σωλήνες μήκους 35 μ. Μία χάλκινη εσωτερική διαμέτρου 8 mm ώστε να αποφύγουμε την επαφή του υγρού με μεταλλικές επιφάνειες που λόγω του χαμηλού PH 1.0 - 2.0 θα προκαλούσε διάβρωση. Ο σωλήνας αυτός τοποθετήθηκε σε βάθος 30 μ. ώστε να γίνεται ενσωμάτωση του υγρού πριν απο την περιοχή που εμφανίζονται οι καθαλατώσεις που φθάνει σε βάθος 20 μ.

Για την έγχυση του υγρού χρησιμοποιήθηκε μία ηλεκτρονική δοσιμετρική αντλία και στην αρχή η δοσολογία ορίσθηκε σε 5 ppm καταναλώνοντας, για σταθερή παροχή θερμού ρευστού της γεώτρησης 50 $m^3/h$, 250 gr/h αντικαθαλωτικού πρόσθετου.

Μετά απο συνεχή λειτουργία 10 ημερών δεν δημιουργήθηκαν ίχνη επικαθήσεων στην κεφαλή της γεώτρησης. Το πείραμα συνεχίστηκε με 4 ppm ή 200gr/h για 30 ημέρες και πάλι τα αποτελέσματα ήταν θετικά.

Επειδή τα περισσότερα ισχυρά αντικαθαλωτικά υγρά επιρρεάζονται απο την ταχύτητα ροής, παρουσιάζοντας τάση απόθεσης σε περιοχές χαμηλών ταχυτήτων κατασκευάστηκε ένα δίκτιο σωλήνων διαμέτρου 2" μήκους 400 μ. με παροχή 7 $m^3/h$ παρατηρώντας ότι και για σημαντική πτώση της ροής μέχρι την έξοδο δεν δημιουργήθηκαν επικαθήσεις αλάτων. Το άμορφο $CaCO_3$ παρασύρονται στην έξοδο της σωλήνωσης χωρίς να δημιουργεί προβλήματα στο σύστημα κυκλοφορίας.

Στην νέα παραγωγική γεώτρηση (Σχημ. 2) που έγινε για λογαριασμό της ΕΤΒΑ χρησιμοποιήθηκαν εξωτερικές σωληνώσεις που τοποθετήθηκαν σε βάθος 40 μ. κατά την διάρκεια της εκτέλεσης ώστε να μην ενοχλούνε την τοποθέτηση αντλητικού συγκροτήματος. Το κόστος εγκατάστασης δεν ξεπερνά τις 70.000 δρχ. και η επιβάρυνση του κόστους λειτουργίας της γεώτρησης αυτής με παροχή 50 $m^3/h$ $T=78^oC$ και $\Delta T=40^oC$ φθάνει στο 0,8%. Το ερευνητικό

πρόγραμμα θα συνεχιστεί με την χρησιμοποίηση δύο άλλων ισχυρών αντικαθαλωτικών που ανήκουν στην κατηγορία των φωσφωνικών και πολυακρυλαμιδίων για πληρέστερη τεχνικοοικονομική μελέτη του προβλήματος.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το γεωθερμικό πεδίο της Ν. Κεσσάνης - Ξάνθης, παρουσιάζει πολύ ικανοποιητικά γεωλογικά και γεωθερμικά χαρακτηριστικά πλήν όμως η ποιότητα του παραγόμενου ρευστού δημιουργεί προβλήματα καθαλατώσεων $CaCO_3$.

Με την χρησιμοποίηση όμως των κατάλληλων αντικαθαλωτικών πρόσθετων το πρόβλημα μπορεί να ληθεί σε όφελος της οικονομικότητας εγκατάστασης του πρώτου πειραματικού θερμοκηπίου 6 στρεμμάτων.

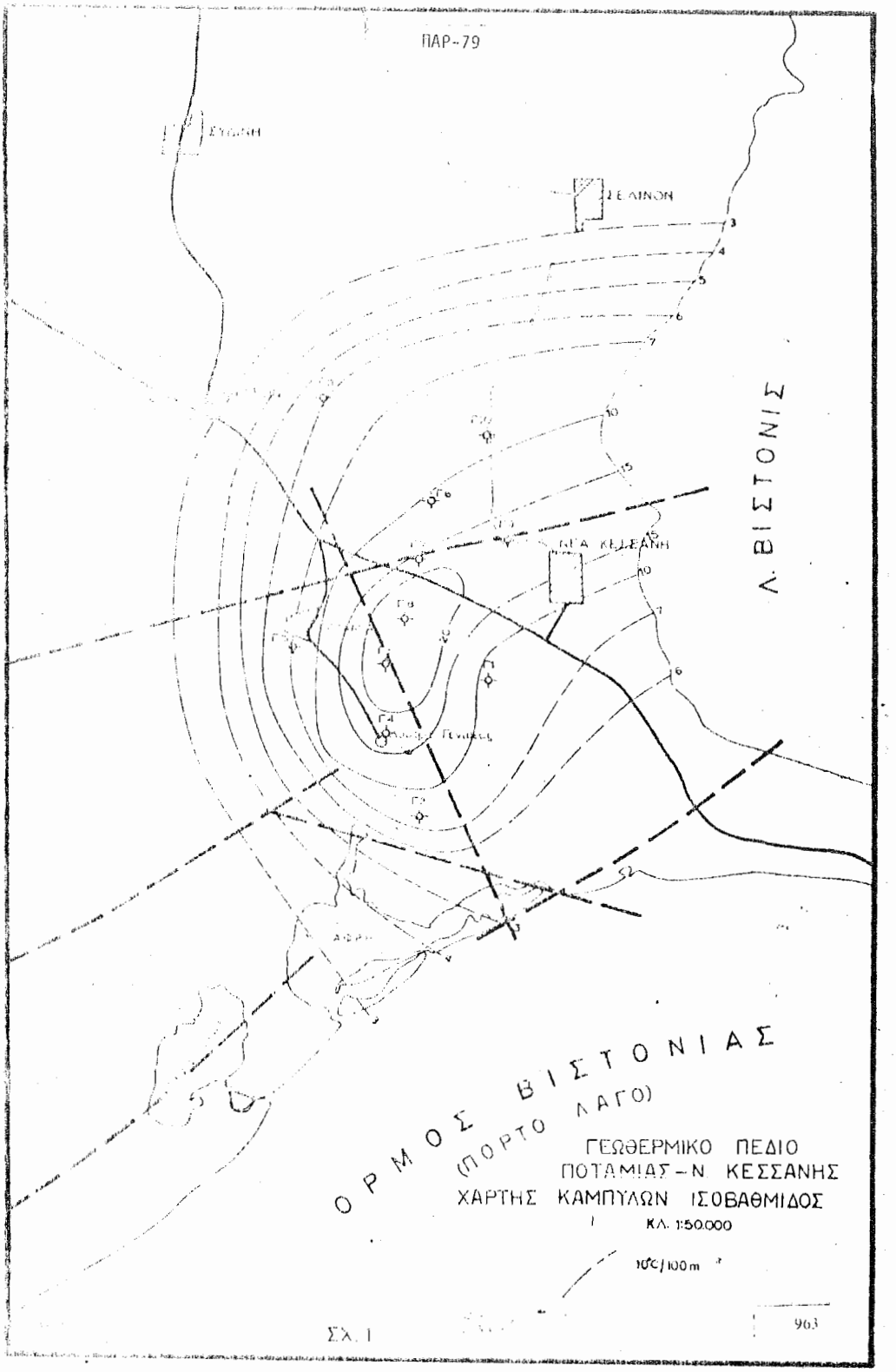
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

CALGON (Chemviron) corporation Research Department special Report

FREAR G.L.-JOHNSTON . J. The solubility of calcium carbonate in certain acqueous solution at 25°C. J. Amer, chem. Soc. 51. 2082.(1929)

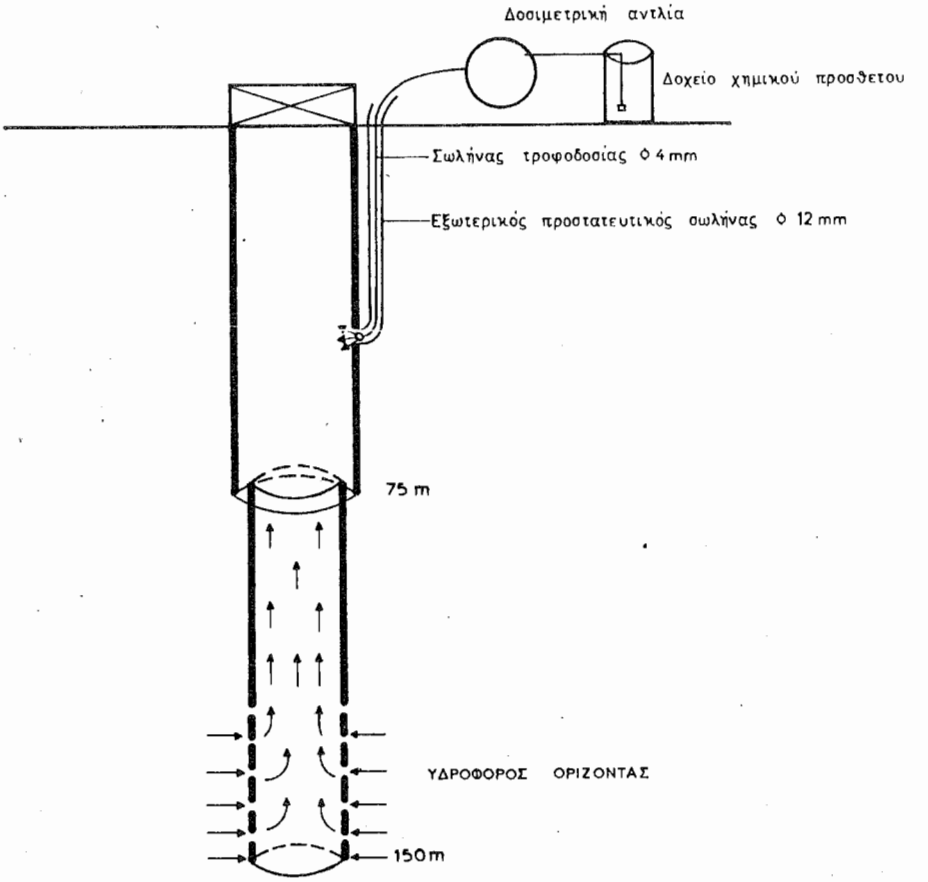
ΚΟΛΙΟΣ Ν. Η Γεωθερμική έρευνα στην περιοχή Ποταμιάς Ν. Κεσσάνης - Ξάνθης, ΙΓΜΕ 1985

REDDY M.M. - NANCOLLAS G.H. Calcite Crystal Growth Inhibition by Phosphonate "Desalination" 12, 61, 1973


ΣΙΔΗΡΟΚΑΣΤΡΟ
ΞΑΝΘΗ
Λ. ΒΙΣΤΩΝΙΣ
ΓΕΩ ΚΕΣΣΑΝΗ
ΟΡΜΟΣ ΒΙΣΤΩΝΙΑΣ
(ΠΟΡΤΟ ΛΑΓΟ)
ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟ ΠΕΔΙΟ
ΠΟΤΑΜΙΑΣ – Ν. ΚΕΣΣΑΝΗΣ
ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΙΣΟΒΑΘΜΙΔΟΣ
ΚΛ. 1:50.000
10°C/100 m
963

Σχ. 1

# ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΩΝ ΚΑΘΑΛΑΤΩΣΕΩΝ $CaCo_3$ ΣΤΗΝ ΓΕΩΤΡΗΣΗ Γ-3β ΤΟΥ ΓΕΟΘΕΡΜΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ Ν. ΚΕΣΣΑΝΗΣ ΞΑΝΘΗΣ




ΣΧ. 2.

ΠΑΡ-81

ΠΙΝΑΚΑΣ 1

## ΚΥΡΙΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΜΕΡΙΚΩΝ ΧΗΜΙΚΩΝ ΟΥΣΙΩΝ

| | |
|---|---|
| ΥΔΡΟΓΟΝΟ (PH) | Διάβρωση |
| ΧΛΩΡΙΟ | Διάβρωση |
| ΥΔΡΟΘΕΙΟ | Διάβρωση |
| ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΟΣ | Διάβρωση |
| ΑΜΜΩΝΙΑ | Διάβρωση |
| ΘΕΙΟΥΧΑ | Διάβρωση |
| ΟΞΥΓΟΝΟ | Διάβρωση |
| ΠΥΡΙΤΙΚΑ | Καθαλάτωση |
| ΑΝΘΡΑΚΙΚΑ | Καθαλάτωση |
| ΘΕΙΙΚΑ | Καθαλάτωση |
| ΟΞΕΙΔΙΑ | Καθαλάτωση |

ΠΑΡ-83

# ΠΟΛΙΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΠΡΟΥΠΟΘΕΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Κ. Σταμπολής
Αρχιτέκτων - Ενεργειολόγος
Αλεξ. Σούτσου 3, 106 71 Αθήνα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ:

Γίνεται μια αναφορά για τις δυσκολίες που υπάρχουν και εμποδίζουν την ανάπτυξη των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε.) στην Ελλάδα. Επισημαίνεται ότι η προώθηση των Α.Π.Ε. σημαίνει συγχρόνως και ανάπτυξη τεχνολογίας. Παρουσιάζονται συνοπτικά διάφορες πολιτικές και οικονομικές προϋποθέσεις που κατά τη γνώμη του συγγραφέα είναι απαραίτητες για την ανάπτυξη των Α.Π.Ε. στην χώρα μας. Τέλος, γίνεται αναφορά για την βραχυπρόθεσμη και μακροπρόθεσμη συμμετοχή των Α.Π.Ε. στο εθνικό ενεργειακό ισοζύγιο.

ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ:
Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, ανάπτυξη, προώθηση, τεχνολογία, οικονομικά κίνητρα, εμπορική εκμετάλλευση, κρατικά έργα, επενδύσεις, ενεργειακό ισοζύγιο.

## ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:

Κατά γενική ομολογία η ανάπτυξη των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε.) στην Ελλάδα έχει υστερήσει σημαντικά σε σύγκριση με το πραγματικά μεγάλο δυναμικό που διαθέτει η χώρα μας, πράγμα που έχει επιστημονικά τεκμηριωθεί από σφαιρική μελέτη στον τομέα αυτό, (1), καθώς και σε σχέση με το τι πράττουν άλλες χώρες. Λαμβάνοντας δε υπ΄ όψη ότι το θέμα της ενέργειας αποτελεί πλέον σοβαρό παράγοντα στην χάραξη της εκάστοτε οικονομικής πολιτικής, που επιδρά άμεσα στην διαμόρφωση των τιμών πολλών προϊόντων, είναι λογικό ότι η ανάπτυξη ή μη των Α.Π.Ε. εξαρτάται άμεσα από πολιτικούς παράγοντες.

Παρά το γεγονός ότι η χώρα μας συγκεντρώνει πολλές φυσικές και οικονομικές προϋποθέσεις που επιτρέπουν την άμεση εισαγωγή και χρησιμοποίηση συστημάτων για την εκμετάλλευση των Α.Π.Ε.,έχουν πραγματοποιηθεί ελάχιστα έργα, τα περισσότερα δε από αυτά έχουν γίνει κυρίως με χρηματοδότηση από τις Ευρωπαϊκές Κοινότητες (2) και από διμερή προγράμματα (π.χ. Αιολικό πάρκο Κύθνου, Ηλιακό Χωριό Λυκόβρυσσης). Μεταξύ των φυσικών προϋποθέσεων είναι οι σχετικά δυνατοί και συνεχείς άνεμοι σε πολλές γεωγραφικές περιοχές της χώρας (Κυκλάδες, Δωδεκάνησα, Κρήτη) μεγάλη ηλιοφάνεια και υψηλά επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας σε όλη σχεδόν την χώρα, υδροηλεκτρικό δυναμικό, βιομάζα και κτηνοτροφικά απόβλητα και γεωθερμικές πηγές

χαμηλής και υψηλής ενθαλπίας.

Στις οικονομικές δε προϋποθέσεις συγκαταλέγονται η ακριβή ηλεκτρική ενέργεια, η μεγάλη εθνική συναλλαγματική δαπάνη για την προμήθεια αργού πετρελαίου (αντιστοιχεί περίπου προς τα 2/3 των εσόδων από τις καθαρές εξαγωγές της χώρας) και οι δυσκολίες στην μεταφορά ενέργειας (είτε ηλεκτρισμού είτε έτοιμων προϊόντων πετρελαίου) σε πολλά μέρη της Ελλάδας. Υπάρχει δε μια ευτυχής σύμπτωση ανάμεσα στο υψηλό κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε πολλές δυσπρόβατες και απομονωμένες περιοχές της χώρας και στην εξακριβωμένη ύπαρξη μεγάλου αιολικού και ηλιακού δυναμικού.

Η μεγάλη ανάπτυξη της εγχώριας αγοράς και βιομηχανίας ηλιακών θερμοσιφώνων, (που με 0.5 εκατ. τετραγωνικά μέτρα περίπου εγκατεστημένων ηλιακών συλλεκτών υπολογίζεται η μεγαλύτερη της Ευρώπης) καθώς και των θερμοκηπίων είναι απόδειξη του μεγάλου ενδιαφέροντος και αναγκών των καταναλωτών αλλά και του ευνοϊκού οικονομικού κλίματος που επέτρεψε την τυχαία ανάπτυξη αυτών των εφαρμογών. Η ανάπτυξη όμως συστημάτων (κεντρικής) ηλιακής θέρμανσης, για κτίρια παραγωγής ηλεκτρισμού από αιολικές μηχανές, φωτοβολταϊκά, υδροηλεκτρικεξ γεννήτριες και γεωθερμία είναι περισσότερο εξειδικευμένες εφαρμογές που η ανάπτυξη τους προυποθέτει μεγαλύτερη πληροφόρηση, τεχνική υποστήριξη και χρηματοδότηση. Κατ΄ αναλογία και τα οικονομικά ωφέλη που μπορεί να προκύψουν από την εφαρμογή των ανωτέρω συστημάτων είναι σαφώς πιο υψηλά τόσο για τον καταναλωτή όσο και για την εθνική οικονομία. Υπάρχουν δε επιπλέον ωφέλη από την προώθηση εφαρμογών Α.Π.Ε. για ηλεκτροπαραγωγή και παραγωγή θερμότητας για κτίρια και βιομηχανίες γιατί προϋποθέτουν την σύγχρονη ανάπτυξη τεχνολογίας. Αυτής της μορφής οι τεχνολογίες ούτε απαιτούν τεράστιες επενδύσεις, ανά μονάδα παραγωγής, ούτε και είναι δυσπρόσιτες από άποψη απόκτησης know-how. Αφήνουν δε και σημαντικά περιθώρια για ανάπτυξη καινοτομιών και δυνατότητες Ελληνικών εξαγωγών στον τομέα αυτό. Από παλαιότερες μελέτες του ΚΕΠΕ (3), από την μελέτη του Πανεπιστημίου Πατρών για το πενταετές (1) και από άλλες μελέτες και αναλύσεις (4) (5) εκτιμάται ότι οι επενδύσεις που θα απαιτηθούν για ειδικές κατασκευές (κατοικίες,κτίρια), αγορά μηχανημάτων και ανάπτυξη τεχνολογίας γενικώτερα αποσβένονται και συμφέρουν από την άποψη ότι το κόστος της παραγώμενης ενέργειας, από Α.Π.Ε. είναι σαφώς πιο χαμηλό από το κόστος της αντικαταστώμενης, και παραγώμενης από συμβατικά καύσιμα, ενέργειας.

## ΠΟΛΙΤΙΚΕΣ ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ.

Κατ΄ αρχάς κρίνεται απαραίτητη η επίσηση έκφραση πολιτικής βούλησης για την ανάγκη εξοικονόμησης ενέργειας και την ανάπτυξη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η ψήφιση του Νόμου (Αρ. 1559 της 28.7.85) για την "ρύθμιση θεμάτων εναλλακτικών μορφών ενέργειας και ειδικών θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις" είναι μεν ένα θετικό βήμα προς αυτήν την κατεύθυνση πλην όμως πάσχει από την έλλειψη ενός γενικώτερου προγραμματισμού για την προώθηση των ανανεώσιμων πηγών. Γιατί χωρίς την κατάλληλη κρατική υποδομή, υπό μορφή παροχής πληροφοριών, τεχνικών συμβουλών και υποστήριξης από ειδική υπηρεσία, υπάρχουν ελάχιστες πιθανότητες για την υλοποίηση του ανωτέρω νόμου και την εξοικονόμηση, σαν αποτέλεσμα της εφαρμογής του, κάποιου αξιοσημείωτου ποσού ενέργειας σε εθνική βάση.

Μια βασική πολιτική προϋπόθεση για την ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι η αναγνώρηση των σαφώς περιορισμένων ενεργειακών επιλογών της Ελλάδας και η αναζήτηση, σαν θέμα υψίστης πολιτικής προτεραιότητας, συμφερουσών για την εθνική οικονομία λύσεων. Είναι αυτονόητο ότι η προώθηση των ανανεωσίμων πηγών ενέργειας είναι μία από τις βασικές λύσεις γιατί συνδυάζει την ανάπτυξη εγχώριας τεχνολογίας, (σ΄ έναν τομέα που δεν έχει ακόμα μονοπωληθεί από μεγάλες ξένες βιομηχανικές και οικονομικές δυνάμεις) και την εξοικονόμηση ενέργειας. Επιπλέον οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας προσφέρουν δυνατότητες για μια πολύ μεγαλύτερη γεωγραφική κάλυψη και άμεση τόνωση των περιφερειακών και τοπικών οικονομιών του κράτους.

Ένας σημαντικός ανασταλτικός παράγων για την μη μέχρι τώρα προώθηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, από όλες τις κυβερνήσεις, είναι η εγγενής αδυναμία άμεσων πολιτικών ωφελών για την κυβέρνηση που θα αναλάβει μια σοβαρή πρωτοβουλία σε αυτόν τον τομέα. Αυτή δε η τοποθέτηση έχει μια λογική γιατί είναι απόλυτα κατανοητό ότι η συνεισφορά των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας θα είναι σταδιακή και μακροπρόθεσμη. Και αυτό γιατί τα παραγόμενα ποσά ενέργειας προέρχονται από χιλιάδες αποκεντρωμένες μονάδες η ενεργειακή συμβολή των οποίων είναι δύσκολο να προβλεφθεί και να εκτιμηθεί σε εθνική βάση. Όμως η αδυναμία των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας να επιδράσουν βραχυπρόθεσμα στην καλυτέρευση του ενεργειακού ισοζυγίου της χώρας δεν πρέπει καθ΄ ανάγκη να αποτελεί ανασταλτικό πολιτικό παράγοντα γιατί ένα μεγάλο μέρος του πολιτικού σκεπτικού εξαρτάται από την μεθόδευση και παρουσίαση της κυβερνητικής επιλογής στον τομέα αυτό. Μία όμως πολύ θετική επίπτωση που φαίνεται όμως να έχει ξεφύγει εντελώς της προσοχής όλων των μέχρι σήμερα πολιτικών ηγεσιών είναι το μεγάλο πολιτικό όφελος από τις δυναμικά μεγάλες σε αριθμό εγκαταστάσεις Α.Π.Ε. Αν και το πραγματικό όφελος υπό μορφή ολικής συμβαλλομένων Kwhs στο εθνικό ενεργειακό ισοζύγιο μπορεί στην αρχή να είναι μικρό, εν τούτοις ο μεγάλος αριθμός τεχνικών και οικονομικών παραγόντων που θα ασχοληθούν με τις απαραίτητες εγκαταστάσεις αλλά και ο μεγάλος αριθμός κοινοτήτων που θα ωφεληθούν άμεσα από την κατά τόπο παραγώμενη ενέργεια, αποτελούν μία όχι τόσο ευκαταφρόνητη πολιτική δύναμη.

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΠΡΟΥΠΟΘΕΣΕΙΣ.

Η βασικότερη οικονομική προϋπόθεση για την διάδοση και προώθηση των ΑΠΕ στην Ελλάδα είναι η οικονομική ανταγωνιστικότητα των σε σύγκριση με άλλες μορφές ενέργειας. Αυτό βέβαια δεν είναι τόσο εύκολο γιατί σε πολλές περιπτώσεις το ηλεκτρικό ή το πετρέλαιο επιδοτούνται πλουσιοπάροχα απο το κράτος. Άρα διακρίνεται εδώ μιά ουσιαστική προϋπόθεση που αφορά την λογιστική αναγνώριση ή και κατάργηση κρατικών επιδοτήσεων. Αυτό θα αποτελούσε και κίνητρο για πολλές κρατικές επιχειρήσεις και φορείς να στραφούν προς την ΑΠΕ. Η οικονομική ανταγωνιστικότητα του ΑΠΕ εξηπακούει συγχρόνως και κάποιο λογικό κόστος παραγωγής και προμήθειας των απαιτουμένων συστημάτων στην Ελλάδα πράγμα που σημαίνει επιχορήγηση και προώθηση σχετικών επενδύσεων και περικοπή ή και κατάργηση δασμών στην περίπτωση εισαγομένων μηχανημάτων, εξαρτημάτων ή και πρώτων υλών. Επίσης μιά άλλη ουσιαστική προϋπόθεση για την ανάπτυξη των ΑΠΕ είναι η χρηματοδοτική διευκόλυνση των καταναλωτών. Τόσο η επιχορήγηση επιτοκίων σε ειδικές περιπτώσεις όσο και η δυνατότητα απλής συνάψεως δανείων μπορούν να συμβάλλουν αποτελεσματικά στο άνοιγμα της αγοράς. Κατα την γνώμη μας όμως αυτά τα μέτρα μπορούν να αποδόσουν μόνο εάν ενταχθούν σε ένα γενικώτερο σχέδιο κυβερνητικής πολιτικής για την στήριξη των ΑΠΕ όπου μεταξύ άλλων θα επεδίωκε :

- την ενημέρωση του κοινού για τις ΑΠΕ.
- την λεπτομερή ενημέρωση των τεχνικών.
- την οικονομική υποστήριξη επιδεικτικών έργων για διάφορους τομείς των ΑΠΕ και σε διαφορετικά μέρη της χώρας.
- την ευρεία εφαρμογή συστημάτων ΑΠΕ σε δημόσια κτίρια και εγκαταστάσεις.
- υψηλές φορολογικές απαλλαγές για εγκαταστάσεις ΑΠΕ σε απομεμακρυσμένα μέρη.
- επιχορήγηση ελληνικών εξαγωγών και ενίσχυση επενδυτικών προσπαθειών στις ΑΠΕ.

Τα ανωτέρω είναι απόλυτα εφικτά και πραγματοποιήσιμα αφού μάλιστα κατα μεγάλο μέρος συμπίπτουν με τους στόχους και τις επιδιώξεις του 5ετούς προγράμματος οικονομικής και κοινωνικής ανάπτυξης της χώρας (6). Θα μπορούσαμε μάλιστα να προσθέσουμε οτι η υλοποίηση του 5ετούς στον τομέα των ΑΠΕ δεν είναι δυνατή εάν δεν υιοθετηθούν τα ανωτέρω ή παρόμοια μέτρα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.

(1) Δυνατότητες και Προοπτικές για την Αξιοποίηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην Ελλάδα, Πενταετές Πρόγραμμα 1983-87. Μελέτη Ομάδας Εργασίας Πανεπιστημίου Πάτρας, Πάτρα 1982.

(2) Κ. Σταμπολής, Προγράμματα της ΕΟΚ στην Ηλιακή Ενέργεια, Πρακτικά, σελ. 59-63. Β΄Σεμινάριο Ηλιακής Ενέργειας, Ενεργητικά Συστήματα, Αθήνα, Μάϊος 1984.

(3) Ν. Γαλάνη, Εφικτότης και Συνθήκες Χρήσεως των Ηπίων Μορφών Ενέργειας εν Ελλάδι, Ερευνητικαί Εργασίαι 6, Κέντρον Προγραμματισμού και Οικονομικών Ερευνών, Αθήναι 1976.

(4) C. Stambolis, A Review of Solar and Wind Energy Applications in Greece, Thessis, pp. 160 Architectural Association Graduate School, London 1982.
(5) Ε. Σαμουηλίδη, Ανάλυση των Ενεργειακών Αναγκών της Ελληνικής Οικονομίας. Κέντρο Προγραμματισμού και Οικονομικών Ερευνών Αθήνα 1982.
(6) Πενταετές Πρόγραμμα Οικονομικής και Κοινωνικής Ανάπτυξης 1983-1987, Εθνικό Τυπογραφείο, Αθήνα 1984.

ΠΑΡ-89

ΤΙΤΛΟΣ ΕΙΣΗΓΗΣΗΣ: ΕΝΑ ΜΕΣΗΣ-ΚΛΙΜΑΚΑΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΛΟ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΑΝΕΜΟΛΟΓΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ ΚΑΙ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ

ΣΥΓΓΡΑΦΕΑΣ: Γ. ΚΑΛΛΟΣ, Τομέας Φυσικής Εφαρμογών, Εργαστήριο Μετεωρολογίας, Πανεπιστήμιο Αθηνών

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Συνήθως σε περιοχές που πρόκειται να εγκατασταθούν ανεμογεννήτριες δεν υπάρχει οργανωμένο δίκτυο μετεωρολογικών σταθμών που να λειτουργεί για αρκετά χρόνια, να είναι αντιπροσωπευτικό της περιοχής και να παρέχει μετρήσεις σε περισσότερα του ενός επίπεδα. Για τις προκαταρκτικές μελέτες κυρίως χρησιμοποιούνται μετεωρολογικά δεδομένα από κοντινά αεροδρόμια, αγροτομετεωρολογικούς σταθμούς κλπ που συνήθως είναι σε ένα επίπεδο, 5-10m πάνω από το έδαφος, όχι αντιπροσωπευτικό του ύψους που συνήθως τοποθετούνται οι ανεμογεννήτριες. Η εγκατάσταση νέων σταθμών στην υπο εξέταση περιοχή παρουσιάζει αρκετά προβλήματα όπως ο τρόπος επιλογής της κατάλληλης θέσης, το πρόβλημα του χρόνου που απαιτείται για τη λειτουργία του σταθμού καθώς και το κόστος λειτουργίας και συντήρησης. Μια εναλλακτική λύση σ'αυτό το πρόβλημα είναι η χρήση αριθμητικών μοντέλλων που βασίζονται στις εξισώσεις κινήσεως και που περιγράφουν τη συμπεριφορά της ατμόσφαιρας πάνω από μια συγκεκριμένη περιοχή. Αυτή η μέθοδος είναι αρκετά ακριβής, κοστίζει φθηνότερα και μπορεί να δώση χρήσιμα αποτελέσματα σε σχετικά μικρό χρονικό διάστημα.

Σ'αυτή την εργασία παρουσιάζονται μερικά προκαταρκτικά αποτελέσματα από ένα τριδιάστατο μοντέλλο που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των ανεμολογικών πεδίων πάνω από την Αττική για συνθήκες θαλάσσιας αύρας.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Μέσης κλίμακας μοντέλλα, εξισώσεις κινήσεως, ανεμολογικά πεδία θαλάσσια-απώγεια αύρα, διαθέσιμο αιολικό δυναμικό, SIGMET, NOABL, προσομοίωση, υδροστατικό, ροή θερμότητας, υγρασίας, ορμής, ισοζύγιο ενέργειας, μεγάλου,μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία, ταχύτητα ανέμου, θερμοκρασία, υγρασία, πλανητικό οριακό στρώμα (ΠΟΣ), βαθμίδα πιέσεως, δυνάμεις τριβής, δύναμη Coriolis, γεωστροφικός άνεμος, διασπορά, Λεκανοπέδιο Αττικής, Πάρνηθα, Πεντέλη, Υμηττός, Ελληνικό, Μεσόγεια, Αστεροσκοπείο Αθηνών, Ισθμός Κορίνθου, κύματα βαρύτητας, οριακές συνθήκες, πλέγμα, τοπογραφία, βαροτροπικό μοντέλλο.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ:

Οι στατιστικές μέθοδοι υπολογισμού του διαθέσιμου αιολικού δυναμικού μιας περιοχής παρουσιάζουν αρκετά μειονεκτήματα όπως το

ύψος που συνήθως δίδονται οι παρατηρήσεις στους διαθέσιμους σταθμούς η μη αντιπροσωπευτική θέση αυτών των σταθμών και η μη επαρκής πυκνότητα του δικτύου των σταθμών. Συνήθως οι σταθμοί που είναι διαθέσιμοι στην υπο εξέταση περιοχή είναι αεροδρόμια ή αγροτομετεωρολογικοί σταθμοί μακρυά απο την πιθανή περιοχή εγκατάστασης ανεμογεννητριών, μη αντιπροσωπευτικοί της περιοχής. Η πυκνότητα του δικτύου επίσης είναι ανεπαρκής. Στις πιο πολλές περιπτώσεις οι σταθμοί αυτοί δίνουν παρατηρήσεις σε ένα μόνο ύψος (περίπου 10m απο το έδαφος). Για άλλα ύψη χρησιμοποιούνται διάφοροι μέθοδοι παρεμβολής και η πιο συνηθισμένη απο αυτές είναι η εκθετική (ιδε πχ Justus et al, 1976) που ο εκθέτης μπορεί να μεταβάλλεται απο 0.5 ως 0.14.

Για να αποφευχθούν τέτοιου είδους ανακρίβειες στους υπολογισμούς τα τελευταια χρόνια έχουν αναπτυχθεί διάφορα μέσης-κλίμακας ατμοσφαιρικά μοντέλλα για τον υπολογισμό των ανεμολογικών πεδίων και του διαθέσιμου αιολικού δυναμικού σε σταθερό πλέγμα με ικανοποιητική ακρίβεια στο χώρο και χρόνο. Ένα τέτοιο μοντέλλο έχει αναπτυχθεί απο τον Pielke (1974) και βελτιωθεί απο τους Mahrer and Pielke (1977) για την προσομοίωση της θαλάσσιας αύρας στη Florida. Αργότερα το ίδιο μοντέλλο χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό του διαθέσιμου αιολικού δυναμικού στις ακτές του Κόλπου του Μεξικού και Ατλαντικού Ωκεανού (Lindsey, 1980). Οι Garstang et al (1980) ανέπτυξαν μια μέθοδο για συνοπτική ταξινόμηση του τύπου καιρού και τη δημιουργία αρχείου δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε σαν είσοδος στο μοντέλλο του Pielke. Η μέθοδος αυτή παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα ειδικά σε περιοχές με σταθερά ημερήσια καιρικά συστήματα για μεγάλα χρονικά διαστήματα όπως είναι τα νησιά του Αιγαίου. Οι Segal et al (1982) χρησιμοποίησαν το μοντέλλο του Pielke για τον υπολογισμό των χαρακτηριστικών του αιολικού δυναμικού στο Κεντρικό Ισραήλ. Αυτοί υπολόγισαν την εμμονή των διαφόρων κλιματικών συνθηκών της περιοχής καθώς και, την κατανομή στο χώρο και χρόνο του διαθέσιμου αιολικού δυναμικού. Επίσης υπολόγισαν με τη χρήση των αποτελεσμάτων του μοντέλλου τον εκθέτη της κατανομής που χρησιμοποιείται για τη συνηθισμένη μέθοδο παρεμβολής (wind power law extrapolation formula). Σ'αυτή τη μελέτη επίσης παρουσιάστηκε η επίδραση της τοπικής ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας (επίδραση ορογραφίας, θαλάσσια-απώγεια αύρα) στη μεταβολή του διαθέσιμου αιολικού δυναμικού στο χώρο και χρόνο.

Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί διάφορα άλλα μοντέλλα όπως το SIGMET (Patnaik, 1979) και NOABL (Traci et al, 1980) για τον υπολογισμό της αιολικής ενέργειας σε περιοχές με πολύπλοκη τοπογραφία. Περισσότερες πληροφορίες και σύγκριση των αποτελεσμάτων του μοντέλλου του Pielke και NOABL μπορούν να βρεθούν στην εργασία των Kallos et al (1984) όπου παρουσιάζεται η προσομοίωση της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας πάνω απο τη Σαρδηνία της Ιταλίας.

Σ'αυτή την εργασία παρουσιάζονται μερικά προκαταρκτικά αποτελέσματα απο την προσομοίωση της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας πάνω απο το Λεκανοπέδιο Αττικής σε συνθήκες θαλάσσιας αύρας. Παρουσιάζονται μερικά πολύ χρήσιμα αποτελέσματα για τη μέσης-κλίμακας κυκλοφορία της περιοχής καθώς και μερικά απο τα προβλήματα που δημιουργούνται κατά την εκτέλεση του μοντέλλου.

## ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΛΟΥ.

Το βασικό μοντέλλο είναι ένα μέσης-κλίμακας, υδροστατικό, τριών διαστάσεων, που βασίζεται στις βασικές εξισώσεις κινήσεως, ενέργειας, συνεχείας και υγρασίας όπως αυτές παρουσιάζονται απο τον Pielke (1974) και τροποποιήθηκαν απο τους Mahrer and Pielke (1977).

Το σύστημα συντεταγμένων ακολουθεί την τοπογραφία. Για το πλανητικό οριακό στράμμα (ΠΟΣ) χρησιμοποιείται λεπτομερής παραμετροποίηση. Οι υπολογισμοί της επιφανειακής ροής της θερμότητας, υγρασίας και ορμής βασίζονται στίς εργασίες του Businger (1973). Το πάχος του ΠΟΣ υπολογίζεται απο την προγνωστική εξίσωση που περιγράφει ο Deardorff (1974). Η θερμοκρασία της επιφάνειας του εδάφους υπολογίζεται απο την εξίσωση του ισοζυγίου ενέργειας. Σ' αυτήν περιλαμβάνεται η θέρμανση απο τον ήλιο, η ροή θερμότητας και λανθάνουσας θερμότητας απο το έδαφος στον αέρα και αντιστρόφως. Η μέθοδος των Atwater and Brown (1974) χρησιμοποιείται για την περιγραφή των μεταβολών της θερμοκρασίας του αέρα λόγω της μικρού και μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίας. Η θέρμανση της ατμόσφαιρας απο τη μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία θεωρείται ότι γίνεται απο την απορρόφηση λόγω των υδρατμών ενώ η θέρμανση ή ψύξη απο τη μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία γίνεται απο την απορρόφηση λόγω των υδρατμών και του διοξειδίου του άνθρακα.

Τα δεδομένα που απαιτούνται για το ξεκίνημα του μοντέλλου είναι η ταχύτητα του ανέμου, η θερμοκρασία και η υγρασία καθ' ύψος καθώς και η θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας. Αρχικά το πάχος του ΠΟΣ θεωρείται σταθερό και ο άνεμος υπολογίζεται απο την εξισορρόπηση της βαθμίδας πιέσεως, της δύναμης Coriolis και των δυνάμεων τριβής. Ο άνεμος πάνω απο το ΠΟΣ θεωρείται γεωστροφικός. Σαν οριακές συνθήκες στα άκρα της υπό εξέταση περιοχής χρησιμοποιούνται οι μηδενικές βαθμίδες όλων των παραμέτρων. Τα αποτελέσματα αποθηκεύονται στην έξοδο σε σταθερό πλέγμα σημείων στο χώρο για χρονικά διαστήματα που προεπιλέγονται και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μοντέλλα για τον υπολογισμό της διασποράς ρυπαντών ή για τον υπολογισμό της διαθέσιμης αιολικής ενέργειας σε ωριαία ή ημερήσια βάση.

## ΠΕΔΙΑ ΡΟΗΣ ΠΑΝΩ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΤΤΙΚΗ.

Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται σ' αυτή την εργασία είναι απο μερικές προκαταρκτικές εκτελέσεις του μοντέλλου για το Λεκανοπέδιο Αττικής. Όπως είναι γνωστό η Αττική παρουσιάζει μια αρκετά πολύπλοκη τοπογραφία με τρείς κύριους ορεινούς όγκους την Πάρνηθα, την Πεντέλη και τον Υμηττό. Οι ορεινοί αυτοί όγκοι δημιουργούν αρκετά και πολύπλοκα προβλήματα όπως η δημιουργία κυμάτων βαρύτητας και η δυσκολία στην επιλογή των οριακών συνθηκών κυρίως στο Δυτικό και Βόρειο τμήμα της περιοχής πάνω απο την οποία γίνεται η προσομοίωση. Για την αποφυγή των προβλημάτων απο τα κύματα βαρύτητας χρησιμοποιείται ένα στράμμα απορρόφησης στα ανώτερα στράμματα της ατμόσφαιρας (πάνω απο τα 5Km ύψος). Ειδικώτερα για την τοπογραφία απαιτείται τα τρία σημεία στα άκρα του πλέγματος να έχουν το ίδιο υψόμετρο γιατί διαφορετικά δημιουργούνται προβλήματα απο τις δευτέρας τάξεως μερικές παραγώγους στις βασικές εξισώσεις. Όπως είναι προφανές τα όρια του πλέγματος δεν μπορούν να είναι στις κορυφές των βουνών. Πρόβλημα επίσης δημιουργείται στην περιοχή του Ισθμού της Κορίνθου λόγω της πολυπλοκότητας της τοπογραφίας (ξηρά-θάλασσα σε στενές ζώνες) που συμπίπτει με τα όρια του πλέγματος του μοντέλλου. Τα προβλήματα αυτά λύνονται μερικά με το να αυξηθεί η απόσταση μεταξύ των σημείων του πλέγματος στα άκρα.

Για να υπάρχει μια αντιπροσωπευτική περιγραφή των μέσης-κλίμακας φαινομένων στην περιοχή χρειάζεται μια ωρισμένη πυκνότητα του πλέγματος (ίδε Kallos et al, 1984). Αυξάνοντας όμως την πυκνότητα των σημείων του πλέγματος ο χρόνος για την εκτέλεση του προγράμματος του μοντέλλου πολλαπλασιάζεται. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε η

απόσταση των 3 km εκτός από τα τέσσερα σημεία στα άκρα του πλέγματος όπου χρησιμοποιήθηκε απόσταση των 15 km.

Η τοπογραφία που χρησιμοποιήθηκε αρχικά ήταν υψομετρικά σημεία κάθε 500 m. Σ' αυτό το αρχικό πλέγμα έγινε μία εξομάλυνση και υπολογίστηκαν τα υψόμετρα ανά 3 km φροντίζοντας ώστε να μην αλλάζουν πολύ τα χαρακτηριστικά των βουνών.

Τα δεδομένα θερμοκρασίας, υγρασίας και ανέμου που χρησιμοποιήθηκαν είναι αυτά του σταθμού ανώτερης ατμόσφαιρας στο Ελληνικό (ραδιοβολήσεις) καθώς επίσης και δεδομένα από άλλους σταθμούς στο Λεκανοπέδιο Αττικής και στα Μεσόγεια. Αυτοί οι σταθμοί χρησιμοποιήθηκαν κυρίως για επαλήθευση. Για θερμοκρασίες εδάφους (έως 1.5 m βάθος) χρησιμοποιήθηκαν οι παρατηρήσεις του Αστεροσκοπείου Αθηνών.

Τα δεδομένα αυτά αντιπροσωπεύουν μιά τυπική περίπτωση θαλάσσιας αύρας στην περιοχή με ασθενείς ανέμους κοντά στο έδαφος, κυρίως από Νοτιοδυτικές κατευθύνσεις κατά τη διάρκεια της ημέρας και ανέμους Βορειοδυτικών κατευθύνσεων στην ανώτερη ατμόσφαιρα. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε γεωστροφικός άνεμος 4 m/s, θερμοκρασία επιφάνειας της θάλασσας 299 $^{O}$K, αρχικό ύψος του ΠΟΣ 400 m, αναλαστικότητα του εδάφους 0.21 και προφίλ θερμοκρασίας και ειδικής υγρασίας όπως δίδεται από τη ραδιοβόληση στο Ελληνικό στις 02:00 τοπική ώρα στις 12 Αυγούστου 1981.

Για το ξεκίνημα του μοντέλλου χρησιμοποιείται αρχικά ένα απλό βαροστροπικό μοντέλλο που υπολογίζει τη γενική κυκλοφορία για διάστημα 6 ωρών και μετά υπολογίζεται η μέση τιμή των παραμέτρων γι' αυτό το χρονικό διάστημα. Το ξεκίνημα του μοντέλλου γίνεται τέσσερες ώρες πριν την ανατολή του ήλιου. Αυτό το χρονικό διάστημα χρησιμοποιείται για να δημιουργηθεί μία κατάσταση ισορροπίας των πεδίων πριν από το κανονικά ξεκίνημα που γίνεται με την ανατολή του ήλιου.

Στο σχήμα 1α παρουσιάζεται το πεδίο ταχυτήτων του ανέμου στα 10 m πάνω από το έδαφος για τις 07:15 τοπική ώρα ενώ στο σχήμα 1β παρουσιάζεται το ανεμολογικό πεδίο στα 500 m από το έδαφος για την ίδια ώρα. Φαίνεται καθαρά το ρεύμα από τη θάλασσα προς την ξηρά στο επίπεδο των 10 m ενώ στο επίπεδο των 500 φαίνεται το ρεύμα επιστροφής. Μπορούμε επίσης να δούμε την επίδραση που ασκεί η τοπογραφία στην τοπική κυκλοφορία. Το ρεύμα αυτό της θαλάσσιας αύρας ενισχύεται με την πάροδο της ημέρας. Στα σχήματα 2α-β παρουσιάζονται τα πεδία ταχυτήτων στα 10 και 500 m αντίστοιχα για τις 15:15 τοπική ώρα. Σε άλλα επίπεδα που δεν παρουσιάζονται εδώ φαίνεται καθαρά ότι η θαλάσσια αύρα εκτείνεται ως τα 700-800 m από το έδαφος. Πάνω από τα 800 m είναι το ρεύμα επιστροφής (από την ξηρά προς τη θάλασσα). Όπως αναφέρθηκε προηγούμενα τα αποτελέσματα αυτά αποθηκεύονται για μελλοντική χρήση. Έτσι είναι αρκετά εύκολο αν χρειαστεί να υπολογιστεί το διαθέσιμο αιολικό δυναμικό σε οποιοδήποτε επίπεδο και για οποιοδήποτε χρονικό διάστημα.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.

Σ' αυτήν την παρουσίαση δόθηκαν σε συντομία τα χαρακτηριστικά ενός μέσης-κλίμακας ατμοσφαιρικού μοντέλλου ικανού να περιγράψη τις μετεωρολογικές συνθήκες πάνω απο μια περιοχή. Η επίδραση του αναγλύφου μιας περιοχής είναι αρκετά σημαντική και θα πρέπει να γίνεται σχολαστική εξέταση των ορίων που θα χρησιμοποιηθούν. Παρουσιάστηκαν επίσης συνοπτικά μερικά απο τα προβλήματα που προκύπτουν σε τέτοιου είδους υπολογισμούς. Το μοντέλλο αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό του διαθέσιμου αιολικού δυναμικού μιας περιοχής.

Η χρήση αυτού του μοντέλλου σε συνδυασμό με τη γνώση των πιο συχνά εμφανιζόμενων ανεμολογικών συνθηκων της περιοχής μπορεί να δώση συνολικές εκτιμήσεις του μέσου διαθέσιμου αιολικού δυναμικού σε περιοχές που παρουσιάζουν ενδιαφέρον. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι απαιτούνται λίγα στιχεία για το ξεκίνημα του μοντέλλου τα οποία είναι εύκολο να βρεθούν σε κάθε περιοχή. Αλλά θα πρέπει όμως να σημειωθεί ότι απαιτείται περισσότερη διερεύνηση του χώρου πού πρόκειται να εγκατασταθούν ανεμογεννήτριες και ειδικώτερα σε κλίμακα μικρότερη της απόστασης μεταξύ των σημείων του πλέγματος.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ.


1. Atwater, M.A., and Brown, P.S. Jr., 1974: Numerical calculation of the Latitudinal Variation of Solar Radiation for an Atmosphere of Varying Opacity. J. Appl. Meteorol., 13, 289-297.

2. Businger, J.A., 1973: Turbulent Transfer in the Atmosphere Surface Layer. Workshop in Micrometeorology, Amer. Meteorol. Soc., Boston, Mass., Chap. 2

3. Deardorff, J., 1974: Three-Dimensional Numerical Study of the Height and Mean structure of a Heated Planetary Boyndary Layer. Boundary-Layer Meteor., 7, 81-106.

4. Garstang, M., Aspliden, C., Nnaji, S., Pielke, R., 1978: Coastal Zone Wind Energy. Part II. Climatology. Final Report. U.S. Dept. of Energy RLO-2344-76/77-6, 188 pp.

5. Justus, C.G., Hargraves, W.R. and Yalcin, A., 1976: Nation-wide Assesment of Potential Output from Wind-powered Generators. J. Appl. Meteorol., 15, 673-678.

6. Kallos, G., Petrakis, M., and D.P. Lalas, 1984: Flow field Modelling for Wind Power Applications. Proceedings of Int. AMSE Conf. "Modelling and Simulation", Athens, June 27-29, 1984, vol. 3.3, p. 297-311.

7. Lindsey, C.G., 1980: Analysis of Coastal Wind Energy Regimes. M.Sc. Thesis, Dept. of Environmental Sciences, University of Virginia, VA. 183 pp.

8. Mahrer, Y., and Pielke, R., 1977: A Numerical Study of the Airflow Over Irregular Terrain. Beitr. zur Phys. der Atm., 50, 98-113

9. Patnaik, P.C., 1979: A Preliminary User's Guide for the SIGMET Mesoscale Meteorology Code. U.S. Dept. of Energy Report, DOE/ET/22280-2, 138 pp.

10. Pielke, R.A., 1974: A Three-dimensional Numerical Model of the Sea-breezes Over South Florida. Mon. Wea. Rev., 102, 115-139.

11. Segal, M., Mahrer, Y., and Pielke, R., 1982: Numerical Study of Wind Energy Characteristics Over Heterogeneous Terrain - Central Israel Case Study. Boundary-Layer Meteorology, 22, 373-392.

12. Traci, R.M., Wyatt, D.C., Patnaik, P.C., and Phillips, G.T.,1980 Wind Energy Siting Methodology. Wind Field Model Verification Program, Science Applications Inc., Report to DOE, RLO/2440-80/2, San Diego, California.

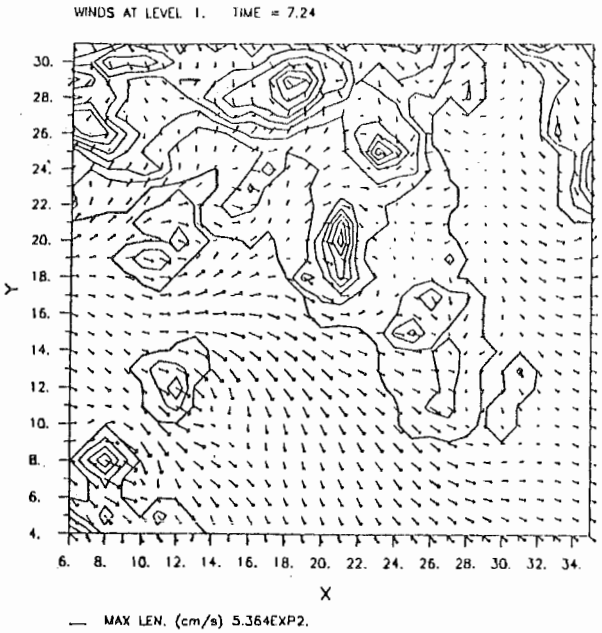
ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΕΙΣ.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω το Georgia Institute of Technology και University of Georgia at Athens για την παραχώρηση δωρεάν χρόνου στους υπολογιστές τους για την εκτέλεση των προγραμμάτων του μοντέλλου. Ευχαριστώ επίσης και τον κο Ιωάννη Γεωργαρουδάκη για τη βοήθειά του στην εκτέλεση των προγραμμάτων.
Η εργασία αυτή αποτελεί μέρος μελέτης που χρηματοδοτείται απο τη Γραμματεία Ερευνας και Τεχνολογίας (ΥΠΕΤ-1063/ΕΡΕ1268/17-11-84).

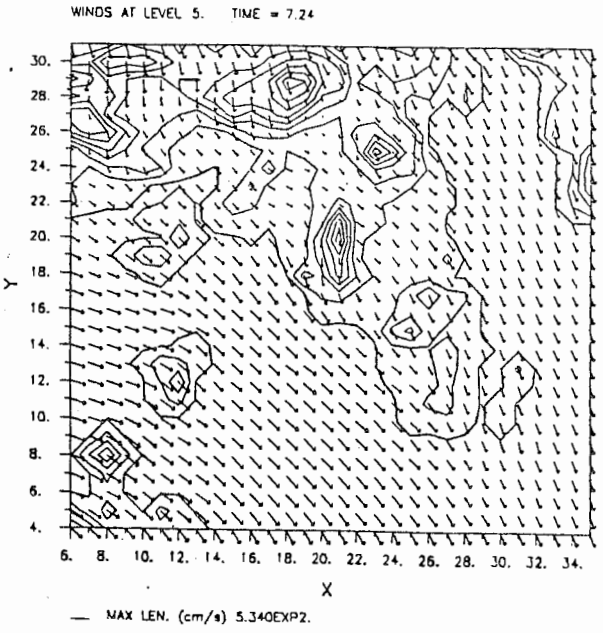
ΕΠΕΞΗΓΗΣΕΙΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.

Σχήμα 1: Πεδίο ταχυτήτων του ανέμου πάνω απο την Αττική (α) στα 10m και (β) στα 500m απο το έδαφος για τις 07:15 τοπική ώρα. Οι άξονες δείχνουν τον αριθμό των σημείων του πλέγματος με αρχή το κάτω αριστερά σημείο (Νοτιοδυτικά). Η απόσταση μεταξύ των σημείων είναι 3Km. Οι συνεχείς γραμμές είναι οι ισοϋψείς της περιοχής και έχουν χαραχθεί ανά 150 m.

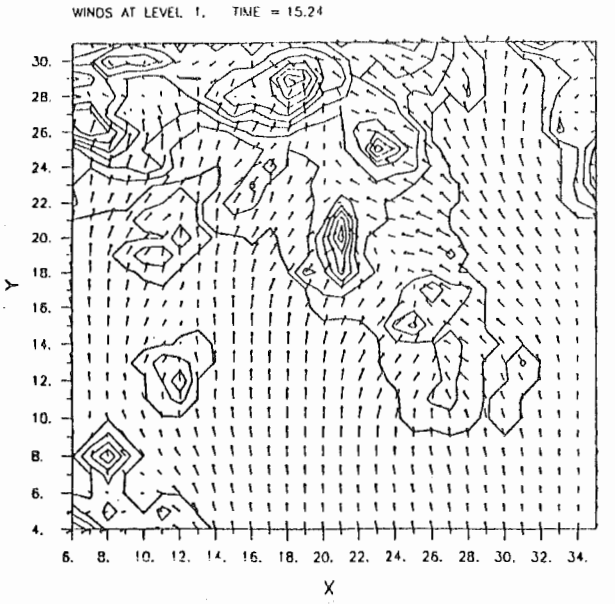
Σχήμα 2: Όπως στο Σχήμα 1 αλλά για τις 15:15 τοπική ώρα.



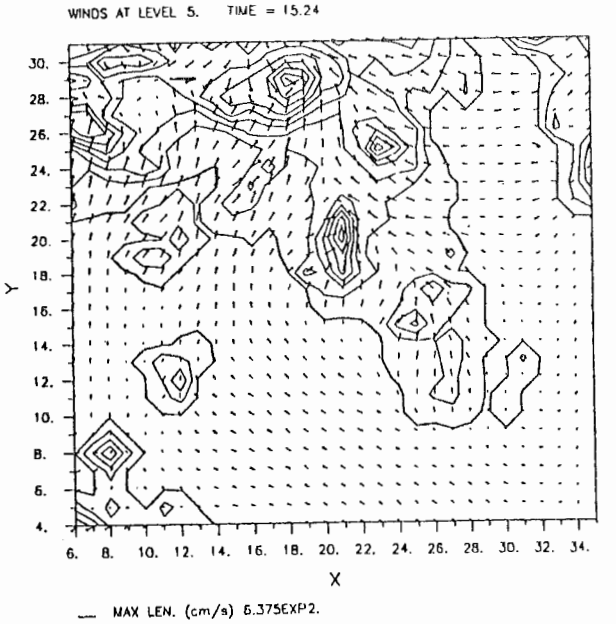

Σχήμα 1α




Σχήμα 1β




Σχήμα 2α




Σχήμα 2β