

# ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ ΗΛΙΑΚΩΝ ΛΙΜΝΩΝ ΓΙΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ ΣΤΗ ΚΡΗΤΗ

ΓΙΑΝΝΗΣ ΒΟΥΡΑΟΥΜΠΙΑΣ\*

\*ΧΗΜΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ, ΕΚΤΑΚΤΟΣ ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ  
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ  
Τ.Ε.Ι. ΠΡΑΚΛΕΙΟΥ - ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ηλιακή λίμνη θεωρείται κάθε διάταξη αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας που σχετίζεται με την απορρόφηση και την αποθήκευση της σε μάζες νερού. Σε μια ηλιακή λίμνη μπορούν να επιτευχθούν θερμοκρασίες που πλησιάζουν τους 100°C και η θερμότητα που παράγεται μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, τη θέρμανση νερού και χώρων, αφαλάτωση καθώς και σε διάφορες άλλες εφαρμογές. Η χρησιμοποίηση των ηλιακών λιμνών για θέρμανση θερμοκηπίων έχει βρεί διεθνώς ορισμένες εφαρμογές (όχι όμως και στη χώρα μας) και η Κρήτη λόγω της έντονης ηλιοφάνειας που παρατηρείται προσφέρεται για το σκοπό αυτό. Ο βαθμός απόδοσης των ηλιακών λιμνών κυμαίνεται από 15-25% ενώ οι θερμοκρασίες θερμού νερού θα απαιτούνται για τη θέρμανση των θερμοκηπίων το χειμώνα στη Κρήτη κυμαίνονται μεταξύ 50-55°C και είναι εύκολα επιτεύξιμες σε μία ηλιακή λίμνη. Οι ηλιακές λίμνες έχουν διάφορα πλεονεκτήματα καθώς και μειονεκτήματα αν συγκριθούν με άλλα συστήματα θέρμανσης θερμοκηπίων με ηλιακή ενέργεια (Παθητικό ηλιακό σύστημα, Σύστημα με Υπόγειο Εναλλάκτη Θερμότητας) ή με βιομάζα και γεωθερμία και τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω :

Λόγω του ότι η κατασκευή μιας ηλιακής λίμνης απαιτεί την ύπαρξη κάποιου έκτασης κοντά στο χώρο του θερμοκηπίου που είναι καθοριστική για την εφαρμογή της, υπολογίζεται στο κείμενο που ακολουθεί η απαιτούμενη έκταση μιας ηλιακής λίμνης για τη θέρμανση ενός θερμοκηπίου στη Κρήτη.

**ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ:** Ηλιακή λίμνη, Θέρμανση θερμοκηπίων, Ηλιακή ενέργεια, Εναλλακτικές μορφές ενέργειας.

## ABSTRACT

The use of solar ponds for heating greenhouses has found internationally some applications but not in Greece. Crete is offered for such applications because of its sunny climate.

In this paper the advantages and disadvantages of the solar ponds for heating greenhouses are described and a preliminary estimation of the necessary area for the solar pond installation is made. Land availability seems to be a serious disadvantage for using solar ponds for heating greenhouses in Crete.

**KEY WORDS:** Solar pond, Greenhouse heating, Solar Energy, Renewable Energy Sources.

## Η ΗΛΙΑΚΗ ΛΙΜΝΗ

Η ηλιακή λίμνη συνίσταται από μία δεξαμενή νερού ορισμένου βάθους η οποία απορροφά την ηλιακή ακτινοβολία και αποθηκεύει τη παραγόμενη θερμότητα. Για τη διατήρηση υψηλότερης θερμοκρασίας στο πυθμένα της λίμνης που είναι επιθυμητή στις πρώτες ηλιακές λίμνες δημιουργούνται διαδοχικές στρώσεις αλατούχου νερού διαφορετικής πυκνότητας με τέτοιο τρόπο που στο πυθμένα της λίμνης να υπάρχει πυκνότερο υδατικό διάλυμα από ότι στο αμείσως υπερκείμενο στρώμα και τελικά στην επιφάνεια της λίμνης να υπάρχει καθαρό νερό. Με το τρόπο αυτό, δηλαδή με την επίτευξη διαφορετικής πυκνότητας αλατούχου (συνήθως NaCl) υδατικού διαλύματος υψηλότερης στο πυθμένα και χαμηλότερης στην επιφάνεια της λίμνης εγκλωβίζονται τα θερμά στρώματα του διαλύματος στον πυθμένα έτσι που μπορούν να επιτευχθούν θερμοκρασίες που πλησιάζουν τους 100°C.

Για να αποφευχθούν τα προβλήματα που δημιουργούνται με τις λίμνες αλατούχου υδατικού διαλύματος δηλαδή:

- α) Τη δυσκολία αρχικής κατασκευής των διαφορετικής πυκνότητας στρώσεων αλατούχου διαλύματος.
- β) Τη πιθανότητα διαρροής και μόλυνσης των υπόγειων υδάτων
- γ) Το κόστος του άλατος.

Έχουν επινοηθεί τα τελευταία χρόνια μέθοδοι που εμποδίζουν τα θερμικά ανοδικά ρεύματα συναγωγής διατηρώντας έτσι υψηλές θερμοκρασίες στο πυθμένα της λίμνης χωρίς να χρησιμοποιούνται υδατικά αλατούχα διαλύματα. Οι μέθοδοι αυτές περιλαμβάνουν :

- α) Χρήση μη μίγνυομένων διαφανών υγρών.
- β) Χρήση επιπλεόντων μονωτικών συστημάτων.
- γ) Χρήση πολλών ημιδιαφανών μονωτικών συστημάτων κ.άλ.

Οι ηλιακές λίμνες διακρίνονται σε αβαθείς ή βαθείς.

Η αβαθής λίμνη δεν μπορεί να αποθηκεύσει θερμότητα, και μετά τη δύση του ηλίου το νερό μεταφέρεται σε ένα κλειστό καλά μονωμένο δοχείο.

Σε μια βαθιά ηλιακή λίμνη που αποθηκεύει θερμότητα, μέσω βάθους 1,5-2 μέτρων μπορούν να παρατηρηθούν διαφορές θερμοκρασίας στο πυθμένα της λίμνης 10-20°C και να αντιμετωπισθούν διαφορετικά θερμικά φορτία κατά τη διάρκεια του χειμώνα.

Η ανάκτηση θερμότητας από το διάλυμα στο πυθμένα της λίμνης γίνεται συνήθως με ένα εναλλάκτη θερμότητας που είναι τοποθετημένος δίπλα στο πυθμένα και ο οποίος κυκλοφορεί (με αντλία) θερμό νερό μέχρι τη τοποθεσία χρήσης του. Η διαφορά θερμοκρασίας του θερμού νερού που απάγεται και του ψυχρού νερού που επανέρχεται στον εναλλάκτη μπορεί να είναι 10°C περίπου.

## Η ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ ΣΤΗ ΚΡΗΤΗ ΚΑΙ Η ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΧΡΗΣΗΣ ΗΛΙΑΚΩΝ ΛΙΜΝΩΝ.

Στη Κρήτη βρίσκονται σήμερα περίπου το 50% των θερμοκηπίων της χώρας εκ των οποίων το μεγαλύτερο ποσοστό δεν θερμαίνεται λόγω των ήπιων κλιματολογικών συνθηκών. Για τη θέρμανση των θερμοκηπίων στη Κρήτη χρησιμοποιείται κυρίως πετρέλαιο ενώ πρόσφατα το Υπουργείο Γεωργίας επιδοτεί τη χρήση ηλιακής ενέργειας και βιομάζας για τη θέρμανση των θερμοκηπίων.

Συνήθως χρησιμοποιείται το παθητικό ηλιακό σύστημα θέρμανσης και το πυρηνόξιλο ενώ λιγότερο χρησιμοποιείται το υγραέριο.

Οι ηλιακές λίμνες θα μπορούσαν στο μέλλον να χρησιμοποιούνται για θέρμανση θερμοκηπίων εφόσον:

- α) η κατασκευή τους είναι εύκολη.
- β) δεν παρουσιάζουν υψηλό κόστος συντήρησης και έχουν χαμηλό λειτουργικό κόστος.
- γ) μπορούν να επιτύχουν υψηλό βαθμό κάλυψης των θερμικών αναγκών του θερμοκηπίου.

Οι θερμικές ανάγκες ενός θερμοκηπίου στη Κρήτη κυμαίνονται ανάλογα με τη τοποθεσία και τη καλλιέργεια και είναι χαμηλότερες για τα οπωροκηπευτικά και υψηλότερες για τα ανθοκομικά. Για υπολογιστικούς λόγους θα θεωρήσουμε τις ανάγκες θέρμανσης ενός θερμοκηπίου στη Κρήτη σε 100.000 Kcal/ώρα.στρέμμα.

Η εξαγωγή θερμότητας από μια ηλιακή λίμνη μπορεί να γίνει με εναλλάκτη θερμότητας ο οποίος βρίσκεται στο πυθμένα της λίμνης όπου αναπτύσσονται υψηλότερες θερμοκρασίες. Το θερμό νερό από το εσωτερικό του εναλλάκτη αντλείται και με μονωμένους σωλήνες μεταφέρεται στο θερμοκήπιο όπου κυκλοφορεί σε επιδαπέδιους πλαστικούς σωλήνες, θερμαίνοντας έτσι το χώρο του θερμοκηπίου. Στη συνέχεια οδηγείται πίσω στον εναλλάκτη για να ξαναθερμανθεί.

Η θερμοκρασία του νερού στους πλαστικούς σωλήνες του θερμοκηπίου είναι 55-60°C και οι θερμοκρασίες αυτές είναι εύκολα επιτεύξιμες με την ηλιακή λίμνη. Η πτώση θερμοκρασίας στην είσοδο και την έξοδο των επιδαπέδιων πλαστικών σωλήνων του θερμοκηπίου μπορεί να κυμανθεί μεταξύ 5-10°C.

### ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ ΜΕ ΗΛΙΑΚΗ ΛΙΜΝΗ ΣΤΗ ΚΡΗΤΗ

Η θέρμανση με ηλιακή λίμνη σε αντίθεση με τις άλλες μεθόδους θέρμανσης θερμοκηπίων απαιτεί την ύπαρξη κατάλληλου χώρου κοντά στο χώρο του θερμοκηπίου. Παρακάτω θα υπολογισθεί η έκταση μιας ηλιακής λίμνης σχήματος ορθογωνίου παραλληλεπίπεδου που θα απαιτηθεί για τη θέρμανση ενός στρέμματος θερμοκηπίου στη Κρήτη.

Για υπολογιστικούς σκοπούς θα θεωρήσουμε :

- 1) Ανάγκες σε θέρμανση ενός στρέμματος θερμοκηπίου στη Κρήτη 100.000 Kcal/h.
  - 2) Ωρες θέρμανσης θερμοκηπίου ημερησίως 8
  - 3) Μέση ισχύς προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας τους χειμερινούς μήνες Οκτώβριο-Απρίλιο σε επίπεδο με κλίση 0° στα Χανιά 89 KWH/m<sup>2</sup>.μήνα (8).
  - 4) Βαθμός μετατροπής στη λίμνη της ηλιακής ενέργειας σε θερμική 18%.
  - 5) Μέση θερμοκρασία στο πυθμένα της ηλιακής λίμνης 65-70°C.
  - 6) Βάθος λίμνης 1,8 m.
- α) Ανάγκες θέρμανσης θερμοκηπίου 1.000 m<sup>2</sup>

$$100.000 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}} \times 8 \frac{\text{h}}{\text{day}} = 800.000 \frac{\text{Kcal}}{\text{day}}$$

β) Παραγόμενη θερμική ενέργεια στην ηλιακή λίμνη

$$\frac{89 \frac{\text{KWH}}{\text{m}^2 \cdot \text{month}} \cdot 860 \frac{\text{Kcal}}{\text{KWH}} \cdot 0,18}{30 \frac{\text{days}}{\text{month}}} = 459 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{day}}$$

γ) Η απαιτούμενη επιφάνεια ηλιακής λίμνης για θέρμανση 1000 μ<sup>2</sup> θερμοκηπίου είναι :

$$\frac{800.000 \frac{\text{Kcal}}{\text{day}}}{459 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{day}}} = 1743 \text{ m}^2$$

δ) Η ποσότητα νερού εντός της ηλιακής λίμνης θα είναι για λίμνη σχήματος ορθογώνιου παραλληλεπίπεδου :

Όγκος = Εμβαδό \* βάθος

Όγκος =  $1743 * 1,8 \mu = 3137 \mu 3$

Η απαγωγή θερμότητας από τον πυθμένα της λίμνης με ένα εναλλάκτη θερμότητας δεν παρουσιάζει τεχνικές δυσκολίες αφού το κύκλωμα του νερού είναι κλειστό. Για τη συγκεκριμένη ηλιακή λίμνη μείωση της θερμοκρασίας του νερού της κατά  $10^{\circ}\text{C}$  ισοδυναμεί με απώλειες θερμότητας που δίνονται από τη σχέση :  $Q = m.Cp.\Delta T$ , δηλαδή :

$$Q = 3,137.00 \text{ Kg} * 1 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}} * 10^{\circ}\text{C} = 31,370,000 \text{ Kcal}$$

Η θερμότητα αυτή ισοδυναμεί με τις θερμικές ανάγκες του θερμοκηπίου για διάστημα

$$\frac{31.370.000 \text{ Kcal}}{800.000 \text{ Kcal/day}} = 39,2 \text{ ημερών}$$

### ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΗΣ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ ΜΕ ΗΛΙΑΚΕΣ ΛΙΜΝΕΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΆΛΛΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ Α.Π.Ε.

Θέρμανση θερμοκηπίων με τη βοήθεια ηλιακών λιμνών δεν έχει γίνει στη χώρα μας σε σχέση με άλλες μεθόδους θέρμανσης που αξιοποιούν την ηλιακή ενέργεια όπως το παθητικό ηλιακό σύστημα θέρμανσης και η θέρμανση με υπόγειο εναλλάκτη θερμότητας που έχουν εφαρμοσθεί σε μικρότερη ή μεγαλύτερη κλίμακα. Από τα προλεχθέντα πάντως προκύπτει ότι η θέρμανση με τη βοήθεια ηλιακής λίμνης μπορεί να καλύψει όλες σχεδόν τις ανάγκες θέρμανσης ενός θερμοκηπίου, όμως για την εφαρμογή της απαιτεί την ύπαρξη σημαντικού διαθέσιμου χώρου κοντά στο θερμοκήπιο που αποτελεί και το κύριο μειονέκτημα της.

Η ηλιακή λίμνη γλυκού ύδατος δεν παρουσιάζει τα λειτουργικά προβλήματα που παρουσιάζει η λίμνη αλμυρού ύδατος.

Το λειτουργικό κόστος θέρμανσης θερμοκηπίων με μία ηλιακή λίμνη είναι χαμηλό. Η θέρμανση με ηλιακή λίμνη μπορεί να συγκριθεί σε αποτελεσματικότητα με τη θέρμανση με βιομάζα και γεωθερμία όμως απαιτεί σημαντικό αρχικό κόστος για τη κατασκευή του συστήματος.

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1. Η θέρμανση θερμοκηπίων με ηλιακές λίμνες αν και δεν έχει εφαρμοσθεί μέχρι σήμερα στη χώρα μας θα μπορούσε να βρει ορισμένες εφαρμογές στο μέλλον δεδομένης της υψηλής ηλιοφάνειας.

2. Οι θερμοκρασίες που απαιτούνται για τη θέρμανση θερμοκηπίων  $60-80^{\circ}\text{C}$  στο πυθμένα της λίμνης είναι εύκολα επιτεύξιμες στη χώρα μας.

3. Σαν πλεονεκτήματα της θέρμανσης θερμοκηπίων με ηλιακή λίμνη θα μπορούσαν να αναφερθούν :

α) Η δυνατότητα κάλυψης όλων των θερμικών αναγκών του θερμοκηπίου.

β) Το πολύ χαμηλό λειτουργικό κόστος του συστήματος.

Ενώ σαν μειονεκτήματα :

- α) Η σχετικά μεγάλη απαιτούμενη έκταση για τη κατασκευή της ηλιακής λίμνης
  - β) Το υψηλό αρχικό κόστος κατασκευής του συστήματος της λίμνης.
4. Η μεγάλη έκταση που απαιτείται για τη κατασκευή της ηλιακής λίμνης περιορίζει τις προοπτικές εφαρμογής της σε θερμοκήπια που έχουν ή μπορούν να βρουν διαθέσιμους χώρους όχι απαγορευτικού κόστους απόκτησης σε μικρή απόσταση.

### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Η.Θ. Τσιλιγγίρης "Οι εφαρμογές των ηλιακών λιμνών". 4ο Εθν. Συνέδριο ΗΜΕ, 1992, Ξάνθη, Σελ. ΑΠΘ 33-40.
2. Α.Β. Σπυρίδωνος "Θερμική συμπεριφορά μιας ηλιακής λίμνης μί αλατούχου ύδατος". 3ο Εθν. Συνέδριο ΗΜΕ, 1988, Θεσ/ίκη, Σελ. ΑΠΘ 9-16
3. Α.Β. Σπυρίδωνος, Γ.Σ. Αναγνωστάκος, "Ηλιακές λίμνες" 4ο Εθνικό Συνέδριο ΗΜΕ, 1992, Ξάνθη, Σελ. ΑΠΘ 17-24.
4. H. Tabor "Solar ponds" Solar Energy, Vol. 27, No 3, pg. 181-194, 1981
5. M. Sokolof, A. Arbel, "Fresh water floating Collector type solar pond", Solar Energy, Vol. 44, No 1, pg.13-21, 1990.
6. H. Weinberger, "The physics of solar pond" Solar Energy, Vol. 8, No 2, 1964, pg.45-56.
7. W.C. Dickinson, A.Clark, J.A. Day, L.F. Wonters, "The Shallow solar pond Energy Conversion System", Solar Energy, Vol. 18, pg. 3-10, 1976.
8. Κ. Καγκαράκη "Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία", Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 1987.
9. Μ. Γραφιαδέλλη, "Σύγχρονα Θερμοκήπια", Εκδ. Γαρταγάνη, Θεσ/ίκη, 1987.
10. "Business opportunities for Energy Technology in the field of Greenhouse Horticulture in Southern Europe". Πρακτικά Ευρωπαϊκού Σεμιναρίου που έγινε στα πλαίσια του Thermie στο Ηράκλειο Κρήτης στις 12-14 Νοεμβρίου 1992.
11. Γ. Ν. Μαυρογιαννόπουλος, Σ. Κυρίτσης, "Αυτοαπόθληξη Θέρμανσης του θερμοκηπίου με τη χρησιμοποίηση της ηλιακής ενέργειας και υπόγειου εναλλάκτη θερμότητας εδάφους - αέρα". Πρακτικά 2ου Εθν. Συνεδρίου για τις ΗΜΕ, Θεσ/ίκη 6-8 Νοεμβρίου 1985, Σελ. ΗΕΓ 1-8.
12. Μ. Γραφιαδέλλη "Ανάπτυξη ενός παθητικού ηλιακού συστήματος για Θέρμανση θερμοκηπίων", Πρακτικά 2ου Εθνικού Συνεδρίου για τις ΗΜΕ, Θεσ/ίκη 6-8 Νοεμβρίου 1985, σελ. ΗΕΓ 9-16.
13. Γ. Μαυρογιαννόπουλος, "Θερμοκήπια", Εκδ. Σταμούλης, Ηειραιάς, 1990.