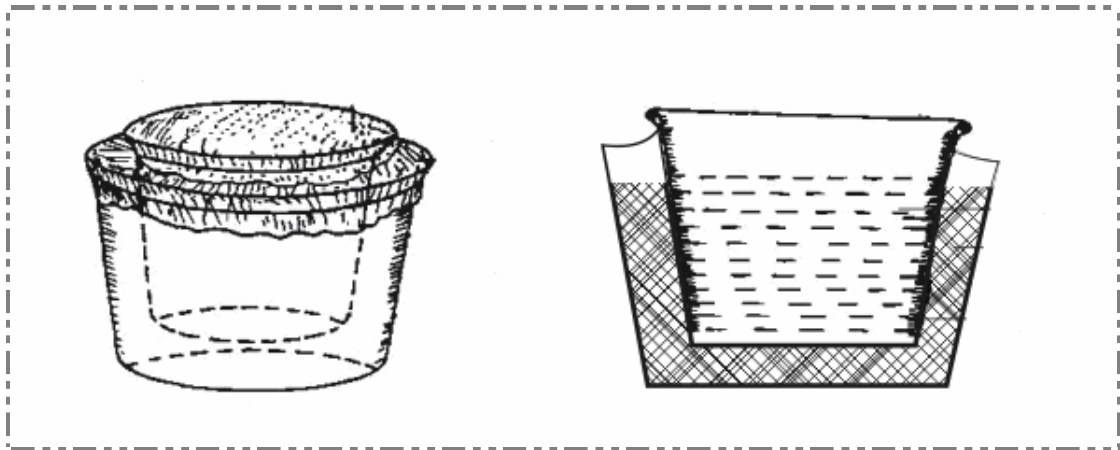


ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΕΝΟΣ ΗΛΙΑΚΟΥ
ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΑ ΧΑΜΗΛΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΣΤΑ ΧΑΝΙΑ-ΚΡΗΤΗΣ

ΟΙΚΟΝΟΜΟΥ ΑΝΘΗ



Επιβλέπων Καθηγητής: Ι. ΒΟΥΡΔΟΥΜΠΑΣ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη απλών ηλιακών συστημάτων χαμηλού κόστους με δυνατότητα εφαρμογής σε φτωχές αναπτυσσόμενες χώρες. Πρόκειται για μια κατασκευή ενός απλού ηλιακού θερμοσίφωνα, που αποτελείται από δύο πλαστικά δοχεία, μονωτικό υλικό (υαλοβάμβακας) και ένα διαφανές πλαστικό φύλλο. Η κατασκευή δεν χρειάζεται σύνδεση παροχής νερού και το νερό θερμαίνεται μέσω της απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας από την επιφάνεια του δοχείου.

Πραγματοποιήθηκαν πειράματα έντεκα ημερών τα οποία κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία το δοχείο δεν είναι καλυμμένο με διαφανές πλαστικό φύλλο, στην δεύτερη κατηγορία το δοχείο είναι καλυμμένο με μονό πλαστικό φύλλο και στην τρίτη κατηγορία το δοχείο είναι καλυμμένο με διπλό πλαστικό φύλλο. Κατά την διεξαγωγή των πειραμάτων χρησιμοποιήθηκε ένα πυρανόμετρο για την μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας, ένα θερμόμετρο για την μέτρηση θερμοκρασίας περιβάλλοντος και άλλο ένα θερμόμετρο για την μέτρηση θερμοκρασίας νερού.

Επειδή πρόκειται για μια κατασκευή αρκετά χαμηλού κόστους, η μελέτη αυτή αποσκοπεί στη χρήση της κατασκευής σε χώρες στις οποίες η πλειοψηφία των κατοίκων είναι φτωχοί και δεν έχουν τη οικονομική δυνατότητα για την κάλυψη απλών αναγκών, όπως είναι η διαθεσιμότητα ζεστού νερού στα σπίτια τους.

Η κατασκευή αυτή θα μπορούσε να τεθεί σε εμπορική εφαρμογή σε χώρες στις οποίες η θερμοκρασία περιβάλλοντος παραμένει σε ικανοποιητικά επίπεδα καθ' όλη την διάρκεια του χρόνου, για παράδειγμα να πέφτει σπάνια κάτω από τους 15°C, έτσι ώστε ο απλός ηλιακός θερμοσίφωνας να έχει ικανοποιητικό βαθμό απόδοσης.

SUMMARY

INVESTIGATION OF THE BEHAVIOUR OF A LOW COST SOLAR HEATER IN CHANIA-CRETE-GREECE

Object of present work is the study of simple solar systems of low cost with possibility of application in poor developing countries. It is a manufacture of simple solar heater that is constituted by two plastic containers, an insulant material (glass-wool) and a transparent plastic cover. The manufacture does not need connection of supplies of water and the water is heated via the absorption of solar radiation by the surface of container.

Experiments were realised of eleven days which are classified in three categories. In the first category the container is not covered with transparent plastic cover, in the second category container is covered with only one plastic cover and in the third category container is covered with double plastic cover. At the conduct of experiments were used a pyranometer for measurement of solar radiation, a thermometer for the measurement of temperature of environment and an other thermometer for the measurement of temperature of water.

Because it is a manufacture of rather low cost, this study aims in the use of manufacture in countries in which the majority of residents are poor and do not have the economic possibility for the cover of simple needs, as the availability of hot water is in their houses.

This manufacture could be placed in commercial application in countries in which the temperature of environment remains in satisfactory levels at all the duration of time, for example it seldom falls under their 15°C, so the simple solar heater has satisfactory degree of output.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Για την πραγματοποίηση και συγγραφή της παρούσας εργασίας, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου:

- Στον **κ. Ιωάννη Βουρδουμπά**, Καθηγητή και επιβλέποντα, για την άριστη συνεργασία που είχαμε και για την συμβολή στην συγκέντρωση στοιχείων για την εργασία αυτή.

- Στον **κ. Ταξιάρχη Παπακώστα**, Καθηγητή και Προϊστάμενο Τμήματος, όπως επίσης και στον Καθηγητή **κ. Νικόλαο Λυδάκη** για την εξέταση της παρούσας εργασίας.

Χανιά, Σεπτέμβριος 2006

Ανθή Οικονόμου

*αφιερώνεται
στα αγαπημένα μου πρόσωπα*

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<u>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</u>	1
1. ΠΡΩΤΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ	3
1.1 Γενικά.....	3
1.2 Ορισμοί.....	4
1.3 Ο ήλιος.....	6
1.3.1. Η φύση και η διαθεσιμότητα της ηλιακής ακτινοβολίας	8
1.3.2. Η ηλιακή σταθερά.....	9
1.3.3. Ροή της ηλιακής ακτινοβολίας.....	10
1.4. Ο ηλιακός πόρος σε σχέση με τα ηλιακά συστήματα.....	11
1.4.1. Θερμική Μετατροπή.....	14
1.5. Συμβατικοί ηλιακοί θερμοσίφωνες.....	19
1.5.1. Βασικοί τύποι ηλιακών θερμοσίφωνων.....	23
1.5.2. Ενεργά ηλιακά συστήματα.....	23
1.5.3. Παθητικά ηλιακά συστήματα	25
1.5.4. Η λειτουργία ενός ηλιακού συστήματος.....	27
1.6. μελέτη ενός απλού ηλιακού θερμοσίφωνα.....	30
1.6.1. Μελέτη απόδοσης για τους θερμοσίφωνες.....	31
1.6.2. Αποτελέσματα.....	31
2. ΔΕΥΤΕΡΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ	33
2.1. Σχεδιασμός και κατασκευή ηλιακού θερμοσίφωνα χαμηλού κόστους.....	33
2.2 Ο ρόλος των υλικών μόνωσης.....	36

3. ΤΡΙΤΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ	38
3.1 Διεξαγωγή πειραμάτων	38
3.1.1 Πρώτο πείραμα	41
3.1.2 Δεύτερο πείραμα	44
3.1.3 Τρίτο πείραμα	47
3.1.4 Τέταρτο πείραμα	50
3.1.5 Πέμπτο πείραμα	53
3.1.6 Έκτο πείραμα	56
3.1.7 Έβδομο πείραμα	59
3.1.8 Όγδοο πείραμα	62
3.1.9 Ένατο πείραμα	65
3.1.10 Δέκατο πείραμα	68
3.1.11 Ενδέκατο πείραμα	71
4. ΤΕΤΑΡΤΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ	75
4.1 Σχολιασμός αποτελεσμάτων των πειραμάτων	75
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	
81	
Ελληνική Βιβλιογραφία	81
Διεθνής Βιβλιογραφία	81

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο ήλιος είναι μια πηγή απεριόριστης ενέργειας, το μεγαλύτερο μέρος της οποίας δεν χρησιμοποιείται, αλλά εντούτοις μας προσφέρει ισχύ εκατομμυρίων *Watts*. Γενικά, η ηλιακή ενέργεια είναι μία ασφαλής και μη ρυπογόνος μορφή ενέργειας, η οποία εξελίσσεται συνεχώς.

Η ισχύς της ακτινοβολίας που δέχεται η γη από τον ήλιο είναι κατά μέσο όρο $173 \cdot 10^{15} W$. Για σύγκριση αναφέρεται ότι οι ετήσιες ενεργειακές ανάγκες της ανθρωπότητας είναι $61 \times 10^{10} Wh$ (1976), και αντιστοιχούν σε μία ισχύ $7 \cdot 10^{12} W$. Είναι δηλαδή η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία κατά 25.000 μεγαλύτερη από τις ενεργειακές ανάγκες όλης της ανθρωπότητας. Ο αριθμός αυτός δείχνει την τεράστια ποσότητα ενέργειας, που δέχεται η γη από τον ήλιο. Η γη εκπέμπει βέβαια ίσο ποσό ενέργειας στο διάστημα και έτσι δημιουργείται μία κατάσταση ισορροπίας, με αποτέλεσμα να διατηρείται η μέση θερμοκρασία της γης σταθερή, γύρω στους $7^{\circ}C$ περίπου.

Η απορρόφηση της ατμόσφαιρας μειώνει την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας κατά ένα ποσό, που εξαρτάται πρώτα από το μήκος της διαδρομής μέσα στην ατμόσφαιρα και ύστερα από την κατάσταση της ατμόσφαιρας (συννεφιά, αιωρούμενα σωματίδια). Όταν ο ήλιος είναι στο ζενίθ, η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, που μετράται σε οριζόντιο επίπεδο, μπορεί να φθάσει την τιμή $1 kW/m^2$, στο επίπεδο της θάλασσας. Το ετήσιο ποσό της ακτινοβολίας, που δέχεται ένα συγκεκριμένο μέρος, εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος και τις τοπικές κλιματολογικές συνθήκες.

Το πεδίο εφαρμογών της ηλιακής ενέργειας είναι πολύ ευρύ. Η θέρμανση νερού χρήσης είναι η πλέον διαδεδομένη εφαρμογή με επιτυχία τόσο από τεχνική όσο και από οικονομική πλευρά, όσον αφορά τον ιδιώτη καταναλωτή αλλά και το κράτος.

Οι συλλέκτες ηλιακής ενέργειας είναι οι μηχανισμοί που πραγματοποιούν τη θερμική μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας. Ενώ τα φωτοβολταϊκά στοιχεία αποτελούν ίσως το μέλλον στην εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, οι συλλέκτες που μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε θερμότητα, αποτελούν το παρόν.

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη ενός απλού ηλιακού θερμοσίφωνα, ο οποίος είναι αρκετά χαμηλού κόστους και μπορεί να προσφέρει την καλύτερη εναλλακτική λύση σε φτωχές αναπτυσσόμενες χώρες, για τις εσωτερικές εφαρμογές, ιδιαίτερα στις μικρές οικογένειες για τη κάλυψη απαιτήσεων καυτού ύδατος.

Για την πραγματοποίηση της παρούσας εργασίας αρχικά χρειάστηκαν κάποια υλικά για την κατασκευή του ηλιακού θερμοσίφωνα, τα οποία ήταν δύο πλαστικά δοχεία, όπου το ένα, στο οποίο τοποθετείται το νερό (4 lt), βάφτηκε μαύρο για να αυξηθεί η ηλιακή επίδραση ακτινοβολίας, υαλοβάμβακας, ο οποίος τοποθετήθηκε ως μονωτικό υλικό ενδιάμεσα στα δύο δοχεία και ένα διαφανές πλαστικό φύλλο για την κάλυψη της επιφάνειας του δοχείου με το νερό.

Ο στόχος αυτής της εργασίας είναι να μελετηθεί η απόδοση αυτού του συστήματος. Πραγματοποιήθηκε μια πειραματική μελέτη προκειμένου να καθορισθεί η απόδοση. Ελήφθησαν μετρήσεις θερμοκρασίας περιβάλλοντος, θερμοκρασίας νερού με τη χρήση δύο θερμομέτρων και ηλιακής ακτινοβολίας με τη χρήση ενός πυρανόμετρου για κάποιες μέρες του Ιουλίου ,του Αυγούστου και του Σεπτεμβρίου μελετώντας τον βαθμό απόδοσης και το πώς αυτός επηρεάζεται από την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία, την θερμοκρασία περιβάλλοντος και από τις απώλειες θερμότητας.

Οι απώλειες θερμότητας του ηλιακού συλλέκτη είναι αρκετά υψηλές κατά τη διάρκεια της νύχτας και η θερμοκρασία του αποθηκευμένου θερμού ύδατος μειώνεται αρκετά. Με την κάλυψη του συλλέκτη όμως με το διαφανές πλαστικό φύλλο και την υπάρχουσα μόνωση στα τοιχώματα του δοχείου έγινε εφικτή μια μικρή μείωση των απωλειών θερμότητας.

Το σύνολο των πειραματικών μετρήσεων διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες όπου στην πρώτη κατηγορία το δοχείο δεν είναι καλυμμένο με διαφανές πλαστικό φύλλο, στην δεύτερη κατηγορία το δοχείο είναι καλυμμένο με μονό πλαστικό φύλλο και στην τρίτη κατηγορία το δοχείο είναι καλυμμένο με διπλό πλαστικό φύλλο. Για την κάθε κατηγορία σχεδιάστηκαν διαγράμματα με βάση τις μετρήσεις που παρήχθησαν κατά την διεξαγωγή των πειραμάτων.

Τέλος, καταγράφονται και συγκρίνονται τα συμπεράσματα για τις τρεις κατηγορίες των πειραμάτων, όπως επίσης αναφέρονται και οι παρατηρήσεις.

1^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει αναφορά πρώτιστα σε βασικούς όρους που θα χρησιμοποιηθούν για τη διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία και στα όργανα που χρησιμοποιούνται για τις μετρήσεις, τα ηλιακά στοιχεία ακτινοβολίας που είναι διαθέσιμα και ο υπολογισμός των αναγκαίων πληροφοριών από τα διαθέσιμα στοιχεία.

Επίσης το κεφάλαιο αυτό εστιάζει στη δομή και τα χαρακτηριστικά του ήλιου και το πώς αυτά καθορίζουν τη φύση της ενέργειας, την ένταση και τη φασματική διανομή του. Θα γίνει αναφορά για την ακτινοβολία σε μια σειρά μήκους κύματος 0,25 έως 3,0 μm , η μερίδα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που περιλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας που ακτινοβολείται από τον ήλιο.

Το τρίτο σημαντικό θέμα σε αυτό το κεφάλαιο είναι η ηλιακή γεωμετρία, δηλ., η θέση του ήλιου στον ουρανό. Το τέταρτο και σημαντικότερο θέμα που αναπτύσσεται είναι το πεδίο εφαρμογών της ηλιακής ενέργειας, το οποίο είναι πολύ ευρύ. Η θέρμανση νερού χρήσης είναι η πλέον διαδεδομένη εφαρμογή με επιτυχία τόσο από τεχνική όσο και από οικονομική πλευρά, όσον αφορά τον ιδιώτη καταναλωτή αλλά και το κράτος. Για παράδειγμα, θα γίνει μια αναφορά σε απλούς και πολύπλοκους θερμοσίφωνες οι οποίοι αποτελούν τους μηχανισμούς που πραγματοποιούν τη θερμική μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας.

Τέλος, θα αναφερθεί ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα μελέτης για μία απλή κατασκευή ηλιακού θερμοσίφωνα, στην οποία απλοποιήθηκε ένας συμβατικός ηλιακός θερμοσίφοντας και θα γίνει και αναφορά των συμπερασμάτων .

1.2 ΟΡΙΣΜΟΙ

Στη παράγραφο αυτή παρουσιάζονται διάφοροι ορισμοί οι οποίοι θα είναι χρήσιμοι στην κατανόηση της ισορροπίας αυτού του κεφαλαίου.

Άμεση ακτινοβολία: είναι η ηλιακή ακτινοβολία που παραλαμβάνεται από τον ήλιο χωρίς διασπορά από την ατμόσφαιρα. (Η ακτινοβολία ακτινών αναφέρεται συχνά ως άμεση ηλιακή ακτινοβολία,)

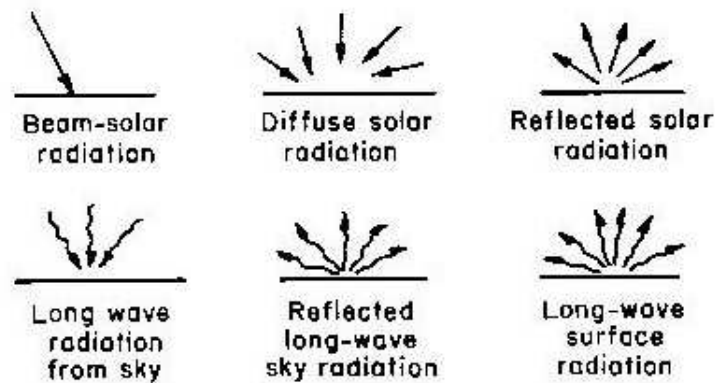
Διάχυτη ακτινοβολία: είναι η ηλιακή ακτινοβολία που παραλαμβάνεται από τον ήλιο αφού έχει αλλάξει η κατεύθυνσή της με τη διασπορά από την ατμόσφαιρα.

Συνολική ηλιακή ακτινοβολία: είναι το ποσό των ακτινών και η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία σε μια επιφάνεια. (οι πιο κοινές μετρήσεις της ηλιακής ακτινοβολίας είναι η συνολική ακτινοβολία σε μια οριζόντια επιφάνεια, συχνά καλούμενη ως σφαιρική ακτινοβολία στην επιφάνεια).

Το σχήμα 1.1 παρουσιάζει αρχικές ροές ακτινοβολίας σε μια επιφάνεια ή κοντά στο έδαφος που είναι σημαντικές σχετικά με τις ηλιακές θερμικές διαδικασίες. Είναι κατάλληλο να εξεταστεί η ακτινοβολία σε δύο σειρές μήκους κύματος:

A) Ηλιακή ακτινοβολία, ή μικρόκυμα: είναι η ακτινοβολία που προέρχεται από τον ήλιο, σε σειρά μήκους κύματος 0,3 έως 3 μm .

B) Η μακρών κυμάτων ακτινοβολία είναι ακτινοβολία που προέρχεται από πηγές σε θερμοκρασίες κοντά στις συνηθισμένες περιβαλλοντικές θερμοκρασίες και έτσι ουσιαστικά, όλα τα μήκη κύματος είναι μεγαλύτερα από 3 μm . Η μακρών κυμάτων ακτινοβολία εκπέμπεται από την ατμόσφαιρα, από έναν συλλέκτη, ή από οποιοδήποτε άλλο σώμα στις συνηθισμένες θερμοκρασίες. (Αυτή η ακτινοβολία, εάν προέρχεται από το έδαφος, αναφέρεται ως "επίγεια" ακτινοβολία).



Σχήμα 1.1: Οι ακτινοβολούσες ενεργειακές ροές σπουδαιότητας στις ηλιακές θερμικές διαδικασίες. Η ηλιακή ακτινοβολία μικροκύματος δείχνεται με \rightarrow . Μακρών κυμάτων ηλιακή ακτινοβολία δείχνεται με \sim .

Τα όργανα για τη μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι δύο βασικών τύπων:

Το πυρηλιόμετρο είναι ένα όργανο που χρησιμοποιεί έναν παράλληλο ανιχνευτή για τη μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας από τον ήλιο και από μια μικρή μερίδα του ουρανού γύρω από τον ήλιο (δηλ., ακτινοβολία ακτινών) στην κανονική επίπτωση.

Το πυρανόμετρο είναι ένα όργανο για τη μέτρηση της συνολικής ημισφαιρικής ηλιακής (άμεσης και διάχυτης) ακτινοβολίας, συνήθως σε μια οριζόντια επιφάνεια.

Ακτινοβολία ή έκθεση σε ακτινοβολία, J/m^2 : Η συναφής ενέργεια ανά περιοχή μονάδων σε μια επιφάνεια, που βρίσκεται από την ολοκλήρωση της ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια ενός καθορισμένου χρόνου, συνήθως μια ώρα ή μια ημέρα. Η έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία είναι ένας όρος που ισχύει συγκεκριμένα για την ακτινοβολία ηλιακής ενέργειας.

1.3 Ο ΗΛΙΟΣ

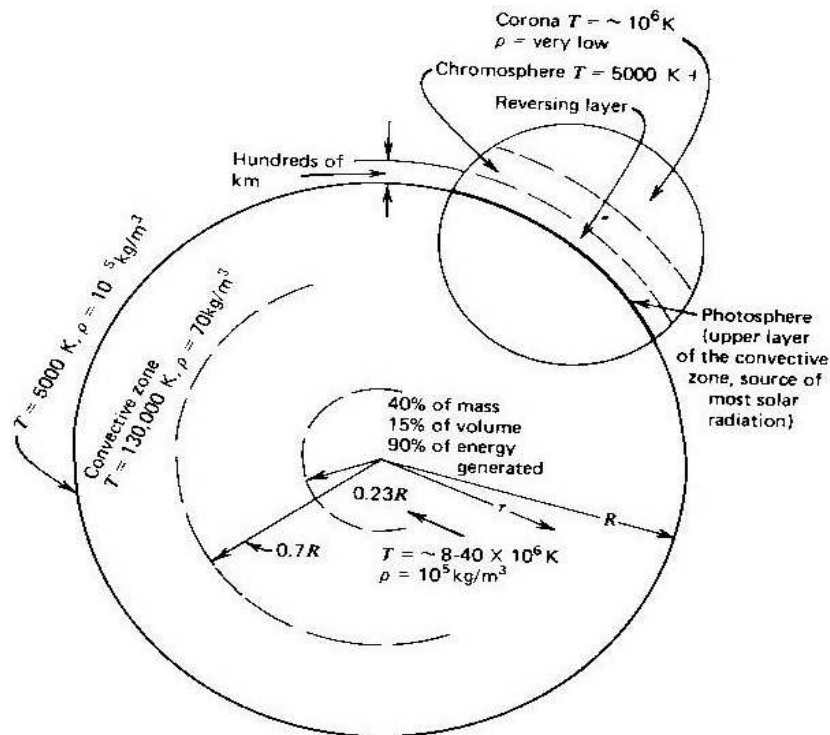
Ο ήλιος είναι μια σφαίρα έντονα καυτής αεριώδους ύλης με μια διάμετρο $1.39 \cdot 10^9 \text{ m}$. Όπως φαίνεται από τη γη, ο ήλιος περιστρέφεται στον άξονά του περίπου μία φορά κάθε τέσσερις εβδομάδες. Εντούτοις, δεν περιστρέφεται ως στερεό σώμα, ο ισημερινός διαρκεί περίπου 27 ημέρες και οι πολικές περιοχές παίρνουν περίπου 30 ημέρες για κάθε περιστροφή.

Ο ήλιος έχει μια αποτελεσματική θερμοκρασία 5777 K. Η θερμοκρασία στις κεντρικές εσωτερικές περιοχές υπολογίζεται ποικιλοτρόπως σε 8×10^6 έως $40 \times 10^6 \text{ K}$ και η πυκνότητα υπολογίζεται να είναι περίπου 100 φορές αυτή του ύδατος. Ο ήλιος είναι, στην πραγματικότητα, ένας συνεχής αντιδραστήρας τήξης με τα ιδρυτικά αερίά του. Διάφορες αντιδράσεις τήξης έχουν προταθεί για να παρέχουν ενέργεια που ακτινοβολείται από τον ήλιο. Μια σημαντική διαδικασία είναι αυτή στην οποία το υδρογόνο (δηλ., τέσσερα πρωτόνια) συνδυάζονται να διαμορφώσουν το ήλιο (δηλ., ένας πυρήνας ηλίου). Η μάζα του πυρήνα του ηλίου είναι λιγότερη από αυτή των τεσσάρων πρωτονίων, μάζα που έχει χαθεί στην αντίδραση και που μετατρέπεται σε ενέργεια.

Η ενέργεια που παράγεται στο εσωτερικό της ηλιακής σφαίρας σε θερμοκρασίες πολλών εκατομμυρίων βαθμών πρέπει να μεταφερθεί έξω στην επιφάνεια και να ακτινοβοληθεί έπειτα στο διάστημα. Μια διαδοχή των της ακτινοβολίας και εκ μεταφοράς διαδικασιών εμφανίζεται με τη διαδοχική εκπομπή, την απορρόφηση, και την εκ νέου ακτινοβολία. Η ακτινοβολία στον πυρήνα του ηλίου είναι στα μέρη των ακτινών X και ακτινών-γ του φάσματος, με τα μήκη κύματος της ακτινοβολίας που αυξάνονται όσο η θερμοκρασία πέφτει σε μεγαλύτερες ακτινωτές αποστάσεις.

Μια σχηματική δομή του ηλίου παρουσιάζεται στο σχήμα 2.2. Υπολογίζεται ότι 90% της ενέργειας παράγεται στην περιοχή 0 ως $0.23R$ (όπου R είναι η ακτίνα του ηλίου), η οποία περιέχει 40% της μάζας του ηλίου. Σε μια απόσταση $0.7R$ από το κέντρο, η θερμοκρασία έχει μειωθεί σε περίπου 130.000 K και η πυκνότητα έχει μειωθεί σε 70 kg/m^3 . Εδώ οι διαδικασίες μεταφοράς αρχίζουν να γίνονται σημαντικές, και η ζώνη από $0,7$ έως $1,0R$ είναι γνωστή ως εκ μεταφοράς ζώνη. Μέσα σε αυτήν την ζώνη η θερμοκρασία πέφτει σε περίπου 5000 K και η πυκνότητα σε περίπου 10^{-5} kg/m^3 .

Η επιφάνεια του ηλίου εμφανίζεται να συγκροτείται από κόκκους (ανώμαλα κύτταρα μεταφοράς), με διαστάσεις από 1000 έως 3000 km και με διάρκεια ζωής κυττάρων μερικά λεπτά.



Σχήμα 1.2: Δομή του ήλιου

Άλλα χαρακτηριστικά γνωρίσματα της ηλιακής επιφάνειας είναι μικρές σκοτεινές περιοχές αποκαλούμενες ως πόροι, οι οποίοι είναι του ίδιου μεγέθους με τα συνδεδεμένα κύτταρα, και οι μεγαλύτερες σκοτεινές περιοχές καλούνται ηλιακές κηλίδες, οι οποίες ποικίλλουν στο μέγεθος. Το εξωτερικό στρώμα της εκ μεταφοράς ζώνης καλείται φωτόσφαιρα. Η άκρη της φωτόσφαιρας καθορίζεται αισθητά, ακόμα κι αν είναι χαμηλής πυκνότητας. Είναι ουσιαστικά αδιαφανές, δεδομένου ότι τα αέρια από τα οποία αποτελείται, ιονίζονται έντονα και είναι ικανά να απορροφήσουν και να εκπέμπουν ένα συνεχές φάσμα της ακτινοβολίας. Η φωτόσφαιρα είναι η πηγή της περισσότερης ηλιακής ακτινοβολίας.

Έξω από τη φωτόσφαιρα είναι μια λίγο πολύ διαφανής ηλιακή ατμόσφαιρα, αισθητή κατά τη διάρκεια της συνολικής ηλιακής έκλειψης. Επάνω από τη φωτόσφαιρα είναι ένα στρώμα πιο δροσερών αερίων αρκετά χιλιόμετρα πιο βαθύ το οποίο καλείται αντιστρέφοντας στρώμα. Έξω από αυτό είναι ένα στρώμα καλούμενο ως χρωμόσφαιρα, με ένα βάθος περίπου 10.000 km . Αυτό είναι ένα αεριώδες στρώμα με θερμοκρασίες κάπως υψηλότερες από αυτές της φωτόσφαιρας

αλλά με χαμηλότερη πυκνότητα. Επιπλέον πιο έξω είναι η κορώνα, μια περιοχή πολύ χαμηλής πυκνότητας και πολύ υψηλής θερμοκρασίας ($10^6 K$).

Αυτή η απλουστευμένη εικόνα του ήλιου, η φυσική δομή του, οι κλίσεις της θερμοκρασίας και πυκνότητας θα χρησιμεύσουν ως μια βάση για το τι είναι ο ήλιος. Στην πραγματικότητα, δεν λειτουργεί ως θερμαντικό σώμα σε μια σταθερή θερμοκρασία. Μάλλον, η εκπεμπόμενη ηλιακή ακτινοβολία είναι ένα σύνθετο αποτέλεσμα των διάφορων στρωμάτων που εκπέμπουν και απορροφούν την ακτινοβολία των διάφορων μηκών κύματος.

1.3.1 Η ΦΥΣΗ ΚΑΙ Η ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Ο ήλιος είναι ένας τεράστιος αντιδραστήρας τήξης, ο οποίος μετατρέπει το υδρογόνο σε ήλιο σε ποσοστό 4 εκατομμυρίων τόνων ανά δευτερόλεπτο. Ακτινοβολεί την ενέργεια προς τη γη δυνάμει της υψηλής θερμοκρασίας της επιφάνειάς του, περίπου $6000\text{ }^\circ\text{C}$.

Από αυτήν την ακτινοβολία, περίπου το ένα τρίτο αυτού του γεγονότος στη γη απλά αντανακλάται πίσω. Το υπόλοιπο απορροφάται και αναμεταδίδεται τελικά στο βαθύ διάστημα ως μακρών κυμάτων υπέρυθρη ακτινοβολία. Η γη επανακτινοβολεί ακριβώς τόση πολλή ενέργεια όση λαμβάνει και κάθεται σε μια σταθερή ενεργειακή ισορροπία σε μια θερμοκρασία κατάλληλη για τη ζωή.

Θεωρούμε την ηλιακή ακτινοβολία ως άσπρο φως. Στην πραγματικότητα, διαδίδει ένα ευρύτερο φάσμα μηκών κύματος, από τις υπέρυθρες ακτίνες "μικροκύματα" (από το κόκκινο φως) στην υπεριώδη ακτίνα (κοντύτερη στο ιώδες). Το σχέδιο της διανομής μήκους κύματος καθορίζεται αυστηρά από τη θερμοκρασία της επιφάνειας του ήλιου.

Η γη, που έχει μια μέση ατμοσφαιρική θερμοκρασία $-20\text{ }^\circ\text{C}$ ακτινοβολεί την ενέργεια ως μακρών κυμάτων υπέρυθρες ακτίνες στο βαθύ διάστημα, η θερμοκρασία του οποίου είναι μόνο μερικοί βαθμοί επάνω από απόλυτο μηδέν, $-273\text{ }^\circ\text{C}$.

Όταν οι ακτίνες του ήλιου χτυπούν την ατμόσφαιρα, λίγο ή πολύ το φως διασκορπίζεται, ανάλογα με την κάλυψη των σύννεφων. Ένα ποσοστό αυτού του διεσπαρμένου φωτός έρχεται στη γη ως διάχυτη ακτινοβολία. Στο έδαφος, αυτό εμφανίζεται να προέρχεται από όλο τον ουρανό. Χωρίς αυτό, ο ουρανός θα εμφανιζόταν μαύρος.

Το ενδιαφέρον για την ηλιακή ενέργεια έχει προτρέψει την ακριβή μέτρηση και τη χαρτογράφηση των πόρων ηλιακής ενέργειας σε όλη την υδρόγειο. Αυτό γίνεται κανονικά χρησιμοποιώντας τα πυρανόμετρα. Αυτά περιλαμβάνουν τα

προσεκτικά βαθμολογημένα θερμοηλεκτρικά στοιχεία που εγκαθίστανται κάτω από μια κάλυψη γυαλιού, η οποία είναι ανοικτή σε ολόκληρο τον θόλο του ουρανού. Μια τάση άμεσα ανάλογη προς τη συνολική συναφή ελαφριά ενέργεια παράγεται και καταγράφεται έπειτα ηλεκτρονικά.

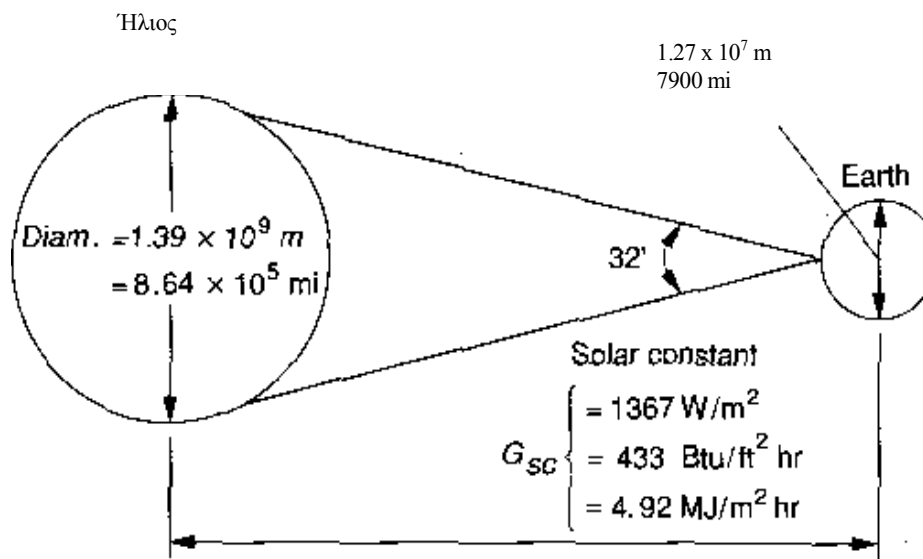
Οι περισσότερες μετρήσεις πυρανόμετρων καταγράφονται απλά ως συνολικό ενεργειακό γεγονός στην οριζόντια επιφάνεια. Οι πιο λεπτομερείς μετρήσεις χωρίζουν την άμεση και διάχυτη ακτινοβολία. Αυτοί μπορούν έπειτα να επανασυνδυαστούν από μαθηματική άποψη για να υπολογίσουν την ακτινοβολία στις γερμένες και κάθετες επιφάνειες.

Η ετήσια συνολική ηλιακή ακτινοβολία σε μια οριζόντια επιφάνεια είναι υψηλότερη κοντά στον ισημερινό, πάνω από 2000 *kWh* ανά τετραγωνικό μέτρο ανά έτος (*kWh/m⁻²* ετησίως), και ιδιαίτερα υψηλή στις ηλιόλουστες περιοχές των ερήμων. Αυτές οι περιοχές είναι ευνοημένες σε σχέση με την Αγγλία και τη βορειοδυτική Ευρώπη, οι οποίες λαμβάνουν μόνο περίπου 1000 *kWh/m⁻²* ετησίως.

1.3.2 Η ΗΛΙΑΚΗ ΣΤΑΘΕΡΑ

Το σχήμα 2.3 παρουσιάζει σχηματικά τη γεωμετρία των σχέσεων ήλιου-γης. Η εκκεντρικότητα της γήινης τροχιάς είναι τέτοια που η απόσταση μεταξύ του ήλιου και της γης ποικίλλει κατά 1,7%. Σε μια απόσταση μιας αστρονομικής μονάδας $1.495 \times 10^{11} m$, η μέση απόσταση γη-ήλιου, ο ήλιος υποτείνει μια γωνία 32'. Η ακτινοβολία που εκπέμπεται από τον ήλιο και η χωρική σχέση της στη γη οδηγούν σε μια σχεδόν σταθερή ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας έξω από τη γήινη ατμόσφαιρα. Η ένταση της ακτινοβολίας, που φθάνει στα ακρότατα όρια της ατμόσφαιρας έχει μικρές διακυμάνσεις, αλλά η μέση τιμή, $1395 W/m^2$, ονομάζεται ηλιακή σταθερά. Η δραστηριότητα των κηλίδων μπορεί να μεταβάλλει την ισχύ της εκπεμπόμενης ενέργειας κατά $\pm 2\%$ και υπάρχει επίσης μία διακύμανση $\pm 3,5\%$ λόγω της μεταβολής της απόστασης ήλιου-γης.

Η ηλιακή σταθερά, G_{sc} , είναι η ενέργεια από τον ήλιο, ανά μονάδες χρόνου, που παραλαμβάνεται σε έναν τομέα μονάδων της κάθετου επιφάνειας στην κατεύθυνση της διάδοσης της ακτινοβολίας, στη μέση απόσταση γη-ήλιου, έξω από την ατμόσφαιρα.



$$\text{Η απόσταση είναι } \left\{ \begin{array}{l} = 1.495 \cdot 10^{11} \text{ m} \\ = 9.3 \cdot 10^7 \text{ mi} \end{array} \right\} \pm 1.7\%$$

Σχήμα 1.3: Σχέσεις ήλιου-γης

1.3.3 ΡΟΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Η ισχύς της ακτινοβολίας που δέχεται η γη από τον ήλιο είναι κατά μέσο όρο $173 \cdot 10^{15} \text{ W}$. Για σύγκριση αναφέρεται ότι οι ετήσιες ενεργειακές ανάγκες της ανθρωπότητας είναι $61 \times 10 \text{ Wh}$ (1976), και αντιστοιχούν σε μία ισχύ $7 \cdot 10^{12} \text{ W}$. Είναι δηλαδή ή προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία κατά 25.000 μεγαλύτερη από τις ενεργειακές ανάγκες όλης της ανθρωπότητας. Ο αριθμός αυτός δείχνει την τεράστια ποσότητα ενέργειας, που δέχεται η γη από τον ήλιο. Η γη εκπέμπει βέβαια ίσο ποσό ενέργειας στο διάστημα και έτσι δημιουργείται μία κατάσταση ισορροπίας, με αποτέλεσμα να διατηρείται η μέση θερμοκρασία της γης σταθερή, γύρω στους 7°C περίπου.

Περίπου 30% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας ανακλάται απευθείας στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας χωρίς αλλαγή του μήκους κύματος. Περίπου 47% απορροφάται από την ατμόσφαιρα και την επιφάνεια της γης, προκαλεί ανύψωση της θερμοκρασίας και στη συνέχεια επανακτινοβολείται στο διάστημα. Το υπόλοιπο 23% γίνεται η κινητήρια δύναμη των ανέμων, των ρευμάτων, των

κυμάτων, διαμορφώνει το κλίμα και προκαλεί τον υδρολογικό κύκλο. Τελικά και αυτή η ενέργεια επανακτινοβολείται στο διάστημα.



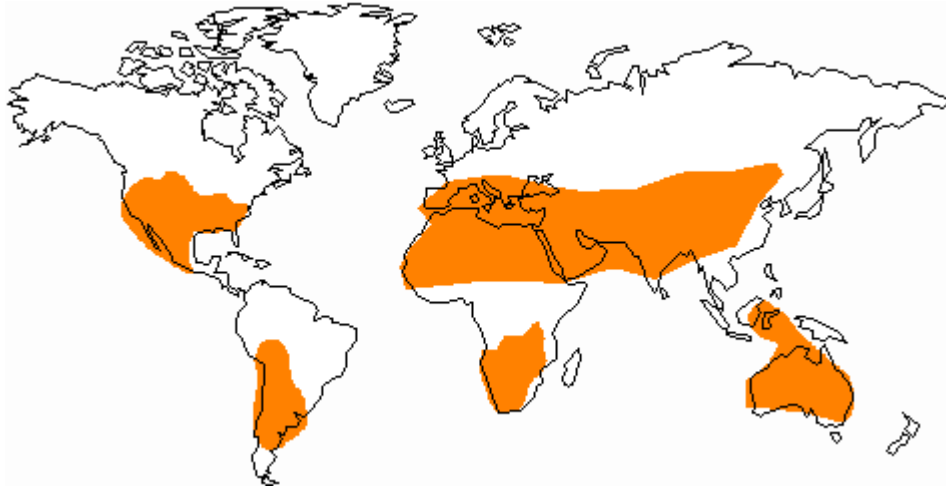
Σχήμα 1.4 Ροή της ηλιακής ενέργειας στο γήινο σύστημα

1.4 Ο ΗΛΙΑΚΟΣ ΠΟΡΟΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΑ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Αφού ο βασικός πόρος για όλα τα συστήματα ηλιακής ενέργειας είναι ο ήλιος, η γνώση της ποσότητας και της ποιότητας της διαθέσιμης ηλιακής ενέργειας σε μια συγκεκριμένη θέση είναι πρωταρχικής σπουδαιότητας για το σχέδιο οποιουδήποτε συστήματος ηλιακής ενέργειας. Αν και η ηλιακή ακτινοβολία (έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία) είναι σχετικά σταθερή έξω από τη γήινη ατμόσφαιρα, οι τοπικές επιρροές κλίματος μπορούν να προκαλέσουν ευρείες παραλλαγές στη διαθέσιμη έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία στη γήινη επιφάνεια από περιοχή σε περιοχή. Επιπλέον, η σχετική κίνηση του ήλιου όσον αφορά τη γη θα επιτρέψει στις επιφάνειες με τους διαφορετικούς προσανατολισμούς να παρεμποδίσουν τα διαφορετικά ποσά ηλιακής ενέργειας.

Το σχήμα 1.5 παρουσιάζει περιοχές υψηλής έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία όπου τα συστήματα μετατροπής ηλιακής ενέργειας θα παραγάγουν το μέγιστο ποσό ενέργειας από συλλέκτες συγκεκριμένου μεγέθους. Εντούτοις, η ηλιακή ενέργεια είναι διαθέσιμη σε ολόκληρη την υδρόγειο και ο αρχικός στόχος ενός σχεδιαστή συστημάτων ηλιακής ενέργειας είναι να καθορίσει το ποσό, την ποιότητα και το

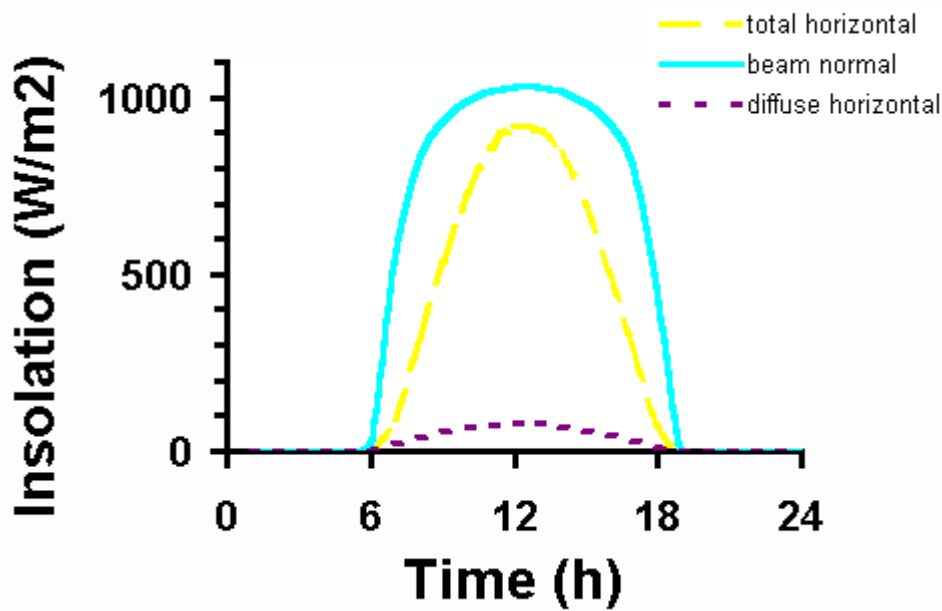
συγχρονισμό της διαθέσιμης ηλιακής ενέργειας επί του τόπου που επιλέγεται για την εγκατάσταση ενός συστήματος μετατροπής ηλιακής ενέργειας.



Σχήμα 1.5 :Περιοχές του κόσμου με υψηλή έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία.

Ακριβώς έξω από τη γήινη ατμόσφαιρα, η ενέργεια του ήλιου είναι συνεχώς διαθέσιμη σε ποσοστό 1.367 Watt σε κάθε τετραγωνικό μέτρο που αντιμετωπίζει τον ήλιο λόγω της γήινης περιστροφής, της ασύμμετρης τροχιάς για τον ήλιο, και του περιεχομένου της ατμόσφαιράς του, ένα μεγάλο μέρος αυτής της ενέργειας δεν φθάνει στο έδαφος.

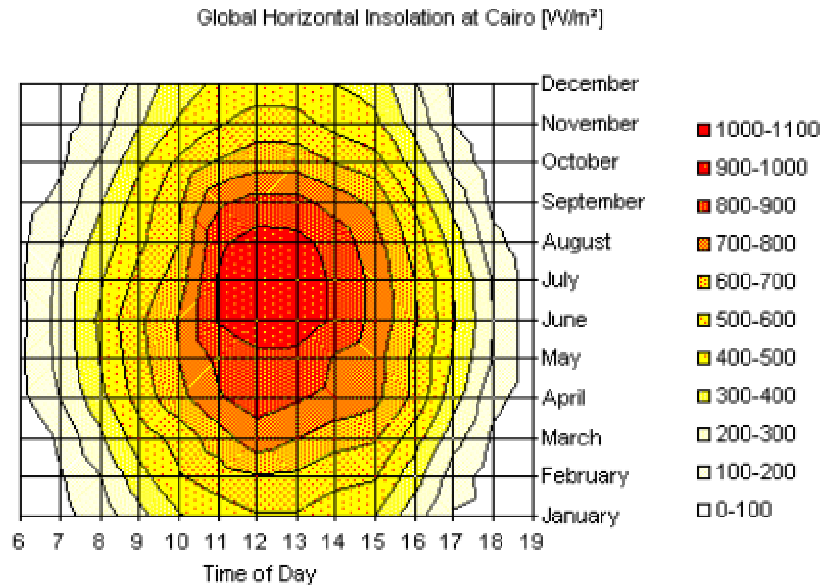
Το σχήμα 1.6 παρουσιάζει την παραλλαγή της έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία κατά τη διάρκεια μιας πλήρους, καθαρής ημέρας το Μάρτιο στη Καλιφόρνια, μια μετεωρολογική περιοχή μέτρησης κοντά στις εγκαταστάσεις ηλιακής παραγωγής ενέργειας συνδέσεων Kramer. Η εξωτερική καμπύλη, που αντιπροσωπεύει το μέγιστο ποσοστό συναφούς ενέργειας, παρουσιάζει την ενέργεια που προέρχεται άμεσα από τον ήλιο (*κανονική έκθεση στην ηλιακή άμεση ακτινοβολία*) και που αφορά ένα τετραγωνικό μέτρο της επιφάνειας της περιοχής που δείχνει προς τον ήλιο. Το μέγιστο ποσοστό συναφούς ηλιακής ενέργειας εμφανίζεται το μεσημέρι γύρω στις 12:00 και είναι 1.030 Watt ανά τετραγωνικό μέτρο. Κατά τη διάρκεια μιας πλήρους ημέρας, 10.6 kWh της ενέργειας αφορούν κάθε τετραγωνικό μέτρο της επιφάνειας της περιοχής όπως αντιπροσωπεύεται από την περιοχή κάτω από αυτήν την καμπύλη.



Σχήμα 1.6: στοιχεία έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία από Daggett, Καλιφόρνια μια καθαρή ημέρα Μαρτίου.

Η μέση καμπύλη αντιπροσωπεύει το ποσοστό ηλιακής ενέργειας που αφορά μια οριζόντια επιφάνεια στην ίδια θέση. Αυτή η καμπύλη περιλαμβάνει και την ενέργεια που προέρχονται άμεσα από το δίσκο του ήλιου, και επίσης αυτή που διασκορπίζεται από τα μόρια και τα μόρια στην ατμόσφαιρα (*συνολική οριζόντια έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία*). Αυτή η διεσπαρμένη ενέργεια παρουσιάζεται ως η κατώτατη καμπύλη (*διάχυτη έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία*). Κατά τη διάρκεια ολόκληρης της ημέρας, 6.7 kWh της ηλιακής ενέργειας αφορούν κάθε τετραγωνικό μέτρο της οριζόντιας επιφάνειας, της οποίας 0.7 kWh προέρχονται από όλες τις κατευθύνσεις εκτός από άμεσα από τον ήλιο

Ένα παράδειγμα ενός πλήρους συνόλου κανονικών στοιχείων έκθεσης στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία για μια δεδομένη θέση παρουσιάζεται στο σχήμα 2.7. Εδώ βλέπουμε τα ωριαία στοιχεία έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία, που συνοψίζονται κατά τη διάρκεια μιας ημέρας, για κάθε μήνα ενός έτους. Με αυτόν τον τύπο στοιχείων για μια συγκεκριμένη περιοχή, είναι δυνατό να προβλεφθεί ακριβώς η παραγωγή ενός συστήματος μετατροπής ηλιακής ενέργειας, εάν είναι ένα θερμικό σύστημα χαμηλής θερμοκρασίας, ένα θερμικό σύστημα υψηλής θερμοκρασίας ή ένα φωτοβολταϊκό σύστημα.



Σχήμα 1.7: Χρόνος και περιγραφή ημερομηνίας του σφαιρικού, οριζόντιου ηλιακού πόρου έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία για το Κάιρο-Ινδία.

Εκτός από τον υπολογισμό του ποσού ενέργειας που προέρχεται από τον ήλιο, ο σχεδιαστής πρέπει επίσης να είναι σε θέση να προβλέψει τη θέση του ήλιου. Η θέση του ήλιου πρέπει να μαθευτεί για να προβλεφθεί το ποσό ενέργειας που αφορά τις γερμμένες επιφάνειες, και για να καθοριστεί η κατεύθυνση προς την οποία ένας ακολουθώντας μηχανισμός πρέπει να δείξει έναν συλλέκτη.

Χρησιμοποιώντας μόνο τέσσερις παραμέτρους (γεωγραφικό πλάτος, γεωγραφικό μήκος, ημερομηνία και τοπική ώρα), οι εξισώσεις παράγονται για να καθορίσουν τη θέση του ήλιου στον ουρανό.

1.4.1 ΘΕΡΜΙΚΗ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ

Όταν ενέργεια με μορφή ακτινοβολίας πέφτει πάνω σε μία μαύρη ματ επιφάνεια το μεγαλύτερο μέρος της απορροφάται. Το φαινόμενο της απορρόφησης είναι αρκετά περίπλοκο, αλλά το τελικό αποτέλεσμα είναι ότι η ακτινοβολούμενη ενέργεια υλών των μηκών κύματος υποβαθμίζεται σε θερμότητα, υψώνοντας τη θερμοκρασία του απορροφώντα σώματος. Ο βαθμός απορρόφησης των διαφόρων απορροφητών κυμαίνεται από 0,8 μέχρι 0,98 [το υπόλοιπο 0,2 έως 0,02 ανακλάται]. Ένα μέρος από τη θερμότητα μεταδίδεται με αγωγή μέσα στον απορροφητή, ενώ το υπόλοιπο μεταδίδεται πάλι στο περιβάλλον με συναγωγή και ακτινοβολία. Αυτή η εκπομπή θερμότητας εξαρτάται από τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της

επιφάνειας και του περιβάλλοντος. Έτσι καθώς η επιφάνεια θερμαίνεται οι απώλειες θερμότητας αυξάνονται. Όταν η ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας ισούται με τις απώλειες, τότε αποκαθίσταται στην επιφάνεια μια θερμοκρασία ισορροπίας.

Αν η επιφάνεια του απορροφητή σκεπαστεί με ένα τζάμι (με ελεύθερη απόσταση 20-30 mm μεταξύ επιφανείας και τζαμιού), οι θερμικές απώλειες μειώνονται σημαντικά, χωρίς σπουδαία μείωση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Αυτό οφείλεται στην εκλεκτική διαπερατότητα του τζαμιού. Το τζάμι μειώνει επίσης τις απώλειες συναγωγής. Αυτό είναι το γνωστό φαινόμενο του "θερμοκηπίου".

Στη παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε διαφανές πλαστικό φύλλο. Όταν οι ακτίνες του ήλιου πέσουν πάνω στο διαφανές κάλυμμα του συλλέκτη, ένα μέρος τους απορροφάται, ένα άλλο αντανακλάται, και το υπόλοιπο το διαπερνά και φθάνει στην απορροφητική επιφάνεια, όπου μετατρέπεται σε θερμότητα.

Όσο ανεβαίνει η θερμοκρασία στον συλλέκτη, αυξάνονται και οι απώλειες. Οι απώλειες παρουσιάζονται λόγω μεγάλης θερμικής ακτινοβολίας της επιφάνειας, λόγω μεταφοράς αγωγιμότητας. Όλα αυτά συνθέτουν τον βαθμό απόδοσης του συλλέκτη, ο οποίος ορίζεται ως ο λόγος της θερμικής ενέργειας που αναπτύσσεται στο νερό από τον συλλέκτη, προς το συνολικό ποσό ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει πάνω στην επιφάνεια.

Ο βαθμός απόδοσης του συλλέκτη δεν είναι σταθερό μέγεθος, αλλά μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία του αέρα, την ταχύτητά του και την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας. Για τη βελτίωση του βαθμού απόδοσης ενός συλλέκτη, πρέπει να μεγιστοποιηθούν μερικά μεγέθη και, φυσικά, να ελαχιστοποιηθούν κάποια άλλα. Για παράδειγμα, μεγιστοποίηση χρειάζεται η διαπερατότητα του διαφανούς καλύμματος, το σχήμα του για την αποφυγή όσο το δυνατόν περισσότερων ανακλάσεων, το υλικό κατασκευής του για την αύξηση του χρόνου ζωής του, ο συχνός καθαρισμός του (από σκόνη, νερά βροχής, φύλλα, κ.λ.π.), ο βαθμός απορροφητικότητας της επιφάνειας του απορροφητή και ο τρόπος μετάδοσης της θερμότητας.

Μέσα από μια συνήθη γυάλινη επιφάνεια (τζάμι), περνάει το 85% της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας.

Πολύ καλή διαπερατότητα παρουσιάζουν διάφορα πλαστικά. Παρ' όλη όμως την άριστη διαφάνεια τους, δεν έχουν μεγάλο χρόνο ζωής γιατί ο ήλιος, και ιδίως οι υπεριώδεις ακτίνες του, προσβάλλει τη χημική σύσταση, αποσυνδέει το πολυμερές πλέγμα και μετά από μερικά χρόνια, τα πλαστικά θαμπώνουν και καταστρέφονται.

Έχουν βρεθεί όμως συνθετικά υλικά που ανταγωνίζονται τη μειωμένη αντοχή των περισσότερων τέτοιων υλικών στο χρόνο. Παρ' όλα αυτά, οι έρευνες εξακολουθούν να στρέφονται και σ' αυτή την κατεύθυνση, για την κατασκευή ενός

υλικού που θα είναι πολύ πιο ανθεκτικό και θα ζει μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, αν και η τάση της σύγχρονης τεχνικής (εμπόριο) είναι να ζουν τα υλικά χρονικό διάστημα 7-12 ετών, για να αντικαθίστανται μετά. Αυτό αποτελεί κοινό χαρακτηριστικό όλων των εταιριών εν γένει, για οποιοδήποτε τμήμα των συσκευών. Βάσει αυτής της αρχής, κυρίως στην Αμερική, δεν ενδιαφέρει καθόλου αν πρόκειται να αχρηστευθεί ένα τμήμα του συλλέκτη, αφού οι κατασκευαστές του είναι πρόθυμοι να το αντικαταστήσουν αμέσως με ένα νέο.

Μια άλλη λειτουργία του διαφανούς καλύμματος, είναι να μειώνει τις απώλειες του απορροφητή. Αυτό επιτυγχάνεται με την εκμετάλλευση του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Για να συλλεχθεί όσο το δυνατόν περισσότερη ακτινοβολία, μια επιφάνεια πρέπει να "βλέπει" προς τον ήλιο. Το πόσο μια επιφάνεια πρέπει να γείρει προς τον ήλιο εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος και τι ώρα του έτους απαιτείται η περισσότερη ηλιακή συλλογή.

Ο επίπεδος ηλιακός συλλέκτης είναι τοποθετημένος έτσι ώστε να βλέπει το νότο, η γωνία κλίσης του ως προς το έδαφος και τον ορίζοντα, είναι, περίπου ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου. Είναι ακίνητος, με μόνη διαφορά ότι σε ορισμένους τόπους και για τις αλλαγές των εποχών, μπορεί να μεταβάλλεται η κλίση του. Η γη περιβάλλει τον ήλιο με τον πολικό άξονά της που γέρνει προς τη τροχιά της περιστροφής. Τον Ιούνιο, η γη "κάθεται" με το βόρειο πόλο προς τον ήλιο. Οι ακτίνες του ήλιου χτυπούν έτσι το βόρειο ημισφαίριο πιο κάθετα και ο ήλιος εμφανίζεται υψηλότερος στον ουρανό. Το Δεκέμβριο, ο βόρειος πόλος είναι γερμένος μακριά από τον ήλιο και οι ακτίνες του χτυπούν πιο πλάγια, που δίνουν μια χαμηλότερη ενεργειακή πυκνότητα. Η ενεργειακή πυκνότητα εδώ σημαίνει τον αριθμό kWh του ενεργειακού γεγονότος σε ένα τετραγωνικό μέτρο της γήινης επιφάνειας σε μια δεδομένη χρονική περίοδο.

Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας είναι ότι όσο χαμηλότερα είναι ο ήλιος στον ουρανό, τόσο οι ακτίνες του περνάνε μέσω της ατμόσφαιρας, που τους δίνει περισσότερες ευκαιρίες να διασκορπίζονται πίσω στο διάστημα. Όταν ο ήλιος είναι σε 60 μοίρες στην κατακόρυφο, η μέγιστη ενεργειακή πυκνότητά της στο έδαφος θα έχει μειωθεί στο ένα τέταρτο όταν ο ήλιος θα είναι κάθετα υπερυψωμένος. Αυτό που καλούμε κανονικά "ηλιοφάνεια", αυτή η μερίδα φωτός που εμφανίζεται να προέρχεται κατ' ευθείαν από τον ήλιο, είναι γνωστή ως άμεση ακτινοβολία. Στην πράξη, αυτό περιλαμβάνει ένα ορισμένο ποσό διάχυτης ακτινοβολίας, η οποία εμφανίζεται να προέρχεται από την περιοχή του ουρανού αμέσως γύρω από τον ήλιο. Μια "καθαρή" ημέρα, η άμεση ακτινοβολία μπορεί να πλησιάσει μια πυκνότητα ισχύος 1 kw/m^2 γνωστή ως "1 ήλιος" για εξεταστικούς λόγους ηλιακών συσσωρευτών. Στην Αγγλία οι

πρακτικές μέγιστες πυκνότητες ισχύος είναι ακριβώς κάτω από 900 Watt ανά τετραγωνικό μέτρο.

Στη βορειοδυτική Ευρώπη, κατά μέσον όρο κατά τη διάρκεια του έτους, περίπου 50% της ηλιακής ακτινοβολίας είναι διάχυτη και 50% άμεση. Και οι δύο είναι χρήσιμες για τις περισσότερες ηλιακές θερμικές εφαρμογές, αλλά μόνο η άμεση ακτινοβολία μπορεί να εστιαστεί για να παράγει πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Αφ' ετέρου, η διάχυτη ακτινοβολία είναι αυτή που παρέχει το μεγαλύτερο μέρος του φωτός της ημέρας.

Η απορρόφηση της ατμόσφαιρας μειώνει την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας κατά ένα ποσό, που εξαρτάται πρώτα από το μήκος της διαδρομής μέσα στην ατμόσφαιρα και ύστερα από την κατάσταση της ατμόσφαιρας (συννεφιά, αιωρούμενα σωματίδια). Όταν ο ήλιος είναι στο ζενίθ, η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, που μετράται σε οριζόντιο επίπεδο, μπορεί να φθάσει την τιμή 1 kW/m^2 , στο επίπεδο της θάλασσας.

Το ετήσιο ποσό της ακτινοβολίας, που δέχεται ένα συγκεκριμένο μέρος, εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος και τις τοπικές κλιματολογικές συνθήκες.

Παρακάτω αναφέρονται ορισμοί που σχετίζονται με την ηλιακή γεωμετρία.

Φ Το γεωγραφικό πλάτος: η γωνιακή θέση βόρεια ή νότια του ισημερινού, βόρειο θετικό $-90^\circ < 0 < 90^\circ$.

δ Η απόκλιση: Η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στην ευθεία που ενώνει το κέντρο της γης με το κέντρο του ήλιου και στο επίπεδο του ισημερινού. Οι τιμές της απόκλισης του ήλιου είναι θετικές για το βόρειο ημισφαίριο και αρνητικές για το νότιο. Οι ακραίες τιμές είναι $+23,45^\circ$ στις 21 Ιουνίου (θερινό ηλιοστάσιο για το βόρειο ημισφαίριο) και $-23,45^\circ$ στις 21 Δεκεμβρίου (χειμερινό ηλιοστάσιο) $-23,45^\circ < \delta < 23,45^\circ$.

Παρακάτω αναφέρονται σημαντικοί όροι που σχετίζονται με τα ηλιακά συστήματα:

β Η κλίση: η γωνία μεταξύ του επιπέδου της εν λόγω επιφάνειας και του οριζώντιου $0 < \beta < 180$

γ γωνία αζιμουθίου επιφάνειας: η γωνία που σχηματίζεται πάνω στο οριζόντιο επίπεδο ανάμεσα στην προβολή της κατεύθυνσης του ήλιου και στον τοπικό μεσημβρινό βορρά-νότου. $-180^\circ < \gamma < 180^\circ$.

ω γωνία ώρας, η γωνιακή μετατόπιση του ήλιου ανατολικά ή δυτικά του τοπικού μεσημβρινού λόγω της περιστροφής της γης στον άξονά της σε 15 ανά ώρα, πρωί αρνητικό, απόγευμα θετικό.

Θ γωνία της πρόσπτωσης, η γωνία μεταξύ της άμεσης ακτινοβολίας σε μια επιφάνεια και η κανονική σε εκείνη την επιφάνεια.

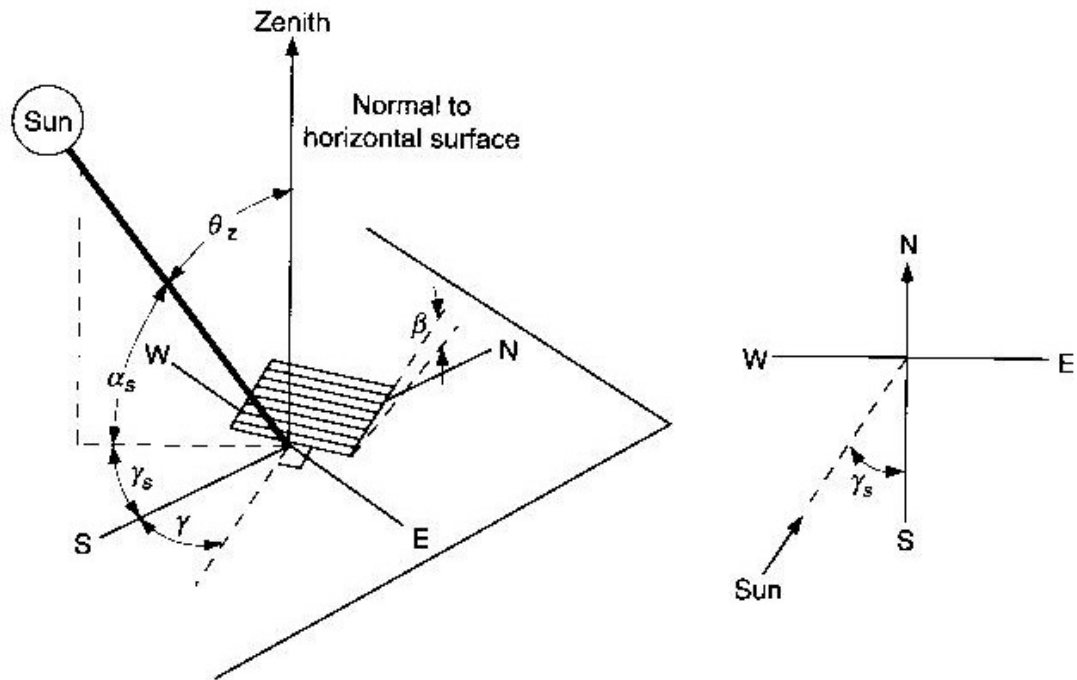
Οι πρόσθετες γωνίες που καθορίζονται περιγράφουν τη θέση του ήλιου στον ουρανό:

Θ_z γωνία ζενίθ, η γωνία ανάμεσα στην κατεύθυνση του ήλιου και στη κατακόρυφο δηλ., η γωνία πρόσπτωσης της άμεσης ακτινοβολίας σε μια οριζόντια επιφάνεια.

α_s ηλιακή γωνία ύψους, η γωνία μεταξύ του οριζώντιου και της γραμμής στον ήλιο. δηλ., το συμπλήρωμα της γωνίας ζενίθ.

γ_s ηλιακή γωνία αζιμουθίου, η γωνιακή μετατόπιση από το νότο της προβολής της άμεσης ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο, που παρουσιάζεται στο σχήμα 1.8.

Οι μετατοπίσεις ανατολικά του νότου είναι αρνητικές και δυτικά του νότου είναι θετικές.



Σχήμα 1.8: (α)γωνία ζενίθ, κλίση, γωνία αζιμουθίου επιφάνειας και ηλιακή γωνία αζιμουθίου για μια γερμένη επιφάνεια. (β) Άποψη σχεδίου που παρουσιάζει την ηλιακή γωνία αζιμουθίου.

Η μαύρη επιφάνεια απορρόφησης επιλέγεται έτσι ώστε να έχει υψηλό συντελεστή θερμικής εκπομπής. Η επιλεκτικότητα της επεκτείνεται σε όλο το ηλιακό φάσμα ($0.2\mu\text{m} - 3\mu\text{m}$) και πολύ μικρή εκπομπή στις περιοχές $3\mu\text{m}$ και $30\mu\text{m}$, που αντιστοιχούν στην εκπομπή της υπέρυθρης ακτινοβολίας ένεκα των θερμοκρασιών που αποκτά ο συλλέκτης.

1.5 ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΙ ΗΛΙΑΚΟΙ ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΕΣ

Η ηλιακή θέρμανση ύδατος είναι ο απλούστερος τρόπος να χρησιμοποιηθούν οι ακτίνες του ήλιου για την εξοικονόμηση ενέργειας και χρημάτων. Με έναν συμβατικό θερμοσίφωνα, το κρύο νερό από τον κύριο υδροσωλήνα εισάγεται στη δεξαμενή όπου ένας αισθητήρας στη δεξαμενή ανιχνεύει ότι η θερμοκρασία ύδατος είναι πάρα πολύ χαμηλή, ένα στοιχείο θέρμανσης ανοίγει για να θερμάνει το νερό στην επιθυμητή θερμοκρασία.

Ένας ηλιακός θερμοσίφωνας έχει δύο αισθητήρες θερμοκρασίας, έναν στη δεξαμενή, όπως στο ηλεκτρικό σύστημα θέρμανσης και άλλον ένα στο συλλέκτη. Όταν οι αισθητήρες δείχνουν ότι η θερμοκρασία ύδατος στη δεξαμενή είναι αρκετά

χαμηλή από τη θερμοκρασία στο συλλέκτη, ένα σύστημα ελεγκτών ενεργοποιεί μια αντλία για να κυκλοφορήσει το νερό μέσω των σωλήνων στο συλλέκτη. Οι ακτίνες του ήλιου παρέχουν έπειτα την αρχική πηγή για να θερμάνουν το νερό.



Σχήμα 1.9 :Η ηλιακή θέρμανση ύδατος μπορεί να είναι μια πολυτέλεια στις αναπτυγμένες χώρες, αλλά είναι μια ανάγκη σε ένα μεγάλο μέρος του υπόλοιπου κόσμου. Οι ηλιακοί συλλέκτες όπως αυτοί βρίσκονται σε πολλά σπίτια σε όλη την Κίνα, ακόμη και σε μικρά σπίτια σε στενούς δρόμους γύρω από την απαγορευμένη πόλη (*Ken Sheinkopf*).

Οι αρχές της ηλιακής θέρμανσης ύδατος είναι πολύ βασικές και εύκολο να κατανοηθούν. Τα ηλιακά συστήματα θέρμανσης ύδατος λειτουργούν ως εξής: οι σωλήνες των συλλεκτών μέσα σε ένα μονωμένο κιβώτιο απορροφούν την ακτινοβολία του ήλιου και μεταφέρουν αυτή τη θερμότητα στο νερό ή σε ένα άλλο υγρό που διατρέχει τους σωλήνες. Όταν χρειάζεται το καυτό νερό μέσα στο σπίτι, το σύστημα σύρει αυτό το θερμαμένο νερό μέσα για χρήση.

Το βασικό σημείο είναι αυτό: η χρήση της ηλιακής ενέργειας αντί του αερίου, της ηλεκτρικής ενέργειας, της κηροζίνης, του πετρελαίου, ή οποιουδήποτε άλλου τύπου καυσίμων για να θερμανθεί το νερό στο σπίτι για τις οικιακές χρήσεις και τις λοιπές ανάγκες. Η ηλιακή ενέργεια δεν πρόκειται να εξαντληθεί, να αυξηθεί η τιμή της, ή να εκπέμπει ρύπους στην ατμόσφαιρα. Το καλύτερο από οικονομικής άποψης, είναι η αποταμίευση αφού τα έξοδα για την αγορά και τοποθέτηση του συστήματος θα καλυφθούν μέσα σε λίγα έτη.

Κάθε έτος στις Ηνωμένες Πολιτείες, περισσότερα από τέσσερα δισεκατομμύρια δολάρια ξοδεύονται από τους καταναλωτές σε ενέργεια για τη θέρμανση εγχώριου ύδατος. Το ποσό ενέργειας που χρησιμοποιείται για αυτή την ανάγκη θα μπορούσε να κατανοηθεί καλύτερα με μια απλή αναλογία. Ένας

ηλεκτρικός θερμοσίφωνας που παρέχει 80 γαλόνια καυτού ύδατος ανά ημέρα (για μια μέση οικογένεια τεσσάρων ατόμων) θα χρησιμοποιήσει 11,4 ισοδύναμα βαρέλια πετρελαίου κάθε έτος. Στην πραγματικότητα, ένας ηλεκτρικός θερμοσίφωνας είναι ο μόνος που χρησιμοποιείται περισσότερο σε πολλές οικιακές συσκευές σε ένα σπίτι. Οι μελέτες έχουν δείξει ότι η θέρμανση ύδατος αποτελεί περίπου το ένα τέταρτο της συνολικής ενέργειας που χρησιμοποιείται σε ένα χαρακτηριστικό απλό οικογενειακό σπίτι .

Οι έρευνες για τις οικογένειες με ηλιακά συστήματα στα σπίτια τους έχουν διαπιστώσει ότι οι περισσότεροι άνθρωποι είναι εξαιρετικά ευχαριστημένοι από την απόδοση του συστήματός τους. Η κυβέρνηση ενός κράτους υποστήριξε μια έρευνα στη Florida, για παράδειγμα, αποκάλυψε ότι 95% ιδιοκτητών ηλιακών συστημάτων που πέρασαν από συνέντευξη ικανοποιήθηκαν με τα συστήματά τους, και 84% είπαν ότι θα επέλεγαν έναν ηλιακό θερμοσίφωνα για το επόμενο σπίτι τους. Μόνο 7% των εγχώριων ιδιοκτητών είχαν αντιμετωπίσει ένα πρόβλημα με τη λειτουργία του συστήματός τους και περίπου 90% των εν λόγω προβλημάτων διορθώθηκαν. Τα συστήματα που χρησιμοποιούνται στη Florida είναι χαρακτηριστικά του συστήματος που χρησιμοποιείται στο υπόλοιπο των Ηνωμένων Πολιτειών.

Οι ερευνητές στο κέντρο ηλιακής ενέργειας της Florida έχουν μελετήσει την πιθανή αποταμίευση των σημαντικότερων τύπων συστημάτων θέρμανσης ύδατος και έχουν διαπιστώσει ότι τα συστήματα ηλιακής ενέργειας προσφέρουν τη μεγαλύτερη πιθανή αποταμίευση στους ιδιοκτήτες σπιτιού (πίνακας 1.1). Οι μελέτες τους δείχνουν ότι οι ιδιοκτήτες ηλιακών συστημάτων μπορούν να σώσουν μέχρι 85% στους λογαριασμούς χρησιμότητάς τους πέρα από τις δαπάνες της ηλεκτρικής θέρμανσης ύδατος, σε αντιδιαστολή με την αποταμίευση από τις μονάδες διατήρησης σταθερής θερμοκρασίας (20 έως 50%), τις αντλίες θερμότητας (40 έως 50%), και το φυσικό αέριο (59 έως 65%).

Εκτός από την οικονομική αποταμίευση, υπάρχουν άλλοι σημαντικοί λόγοι για τους οποίους οι άνθρωποι αγοράζουν τα ηλιακά συστήματα θέρμανσης ύδατος. Οι άνθρωποι αγοράζουν επίσης αυτά τα συστήματα επειδή η ηλιακή ενέργεια είναι μη ρυπογόνος και εύκολα διαθέσιμη.

Πίνακας 1.1: Ετήσια σύγκριση αποταμίευσης ενέργειας: εναλλακτικές επιλογές θερμότητας νερού και συστήματα ηλεκτρικής αντίστασης.

Type of Water Heating	Retail System Price	40 Gal per Day Use	70 Gal per Day Use	Percent Savings
Electric Resistance	\$150-\$350	—	—	—
Heat Recovery Unit	\$600-\$1000	\$32-\$95	\$57-\$166	20%-50%
Heat Pump	\$900-\$1100	\$65-\$95	\$113-\$166	40%-50%
Solar	\$2000-\$3500	\$81-\$162	\$142-\$282	50%-85%
Natural Gas	\$350-\$450	\$97-\$125	\$168-\$217	59%-65%

Η ηλιακή θέρμανση ύδατος μπορεί να είναι πιο οικονομική κατά τη διάρκεια του χρόνου ζωής του συστήματος σε αντίθεση με τη θέρμανση νερού με ηλεκτρική ενέργεια, πετρέλαιο καυσίμων ή το αέριο προπανίου. Σε κράτη ηλιόλουστων ζωνών, τα ηλιακά συστήματα θερμότητας ύδατος μπορούν εύκολα να παρέχουν γρηγορότερα επιστροφή όταν η αποταμίευση από το σύστημα υπερβαίνει την αγορά κόστους. Για κάθε μέρος της χώρας, τα ηλιακά συστήματα θα ξεπληρώσουν το κόστος τους κατά τη διάρκεια ζωής τους. Γενικά, μπορεί να υπολογιστεί ότι ένα σύστημα θα ξεπληρώσει το κόστος του μέσα σε λίγο διάστημα όπως από τρία ή τέσσερα έτη ή περίπου σε επτά ή οκτώ έτη, ανάλογα με τη γεωγραφική θέση, το ποσό καυτού ύδατος που χρησιμοποιείται, τα ποσοστά χρησιμότητας και άλλους παράγοντες.

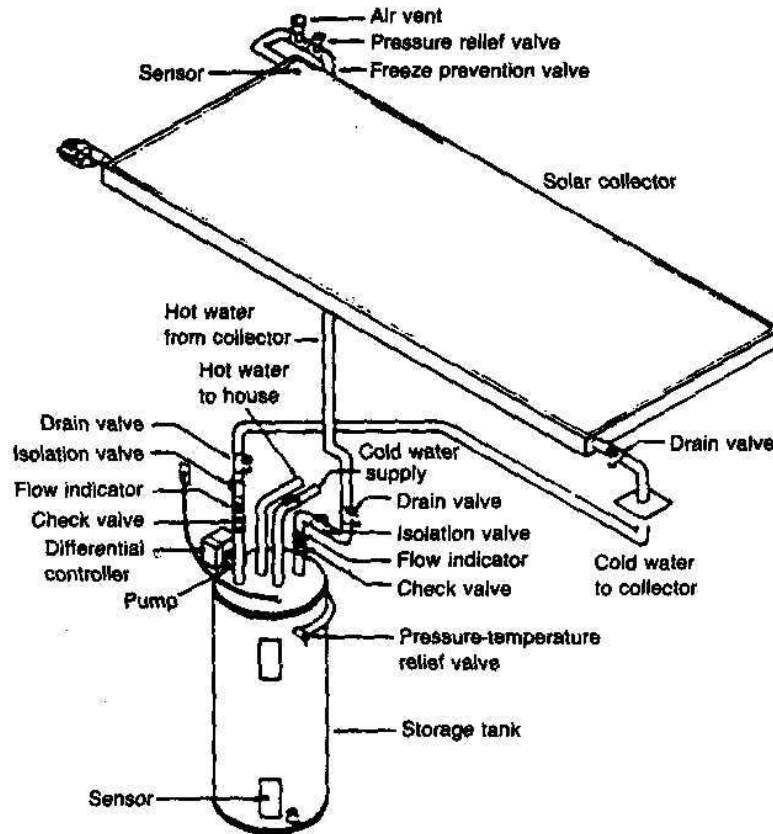
Το κόστος ενός εγκατεστημένου ηλιακού συστήματος ποικίλλει ευρέως σήμερα, ανάλογα με τα υλικά που χρησιμοποιούνται από τους διάφορους κατασκευαστές και τις υπηρεσίες που προσφέρονται από τους πωλητές. Οι τρέχουσες μέσες τιμές στις ΗΠΑ για ένα εγκατεστημένο, ενεργό σύστημα που θα ικανοποιούσε τις ανάγκες ενός απλού οικογενειακού σπιτιού, αποτελούμενο από τέσσερα άτομα, κυμαίνονται από \$2.500 έως \$5,000 περίπου. Συγκρινόμενο με το κόστος αγοράζοντας έναν συμβατικό ηλεκτρικό, πετρέλαιο καυσίμων, ή θερμοσίφωνα αερίου, αυτό είναι μια πολύ υψηλότερη αρχική επένδυση.

1.5.1 ΒΑΣΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ ΗΛΙΑΚΩΝ ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΩΝ

Βασικά υπάρχουν δύο τύποι ηλιακών θερμοσιφώνων που είναι διαθέσιμοι σήμερα. Ο ένας καλείται "ενεργό" σύστημα, χρησιμοποιεί μια αντλία και άλλους ελέγχους για να πιέσει το νερό μέσω του συλλέκτη και πίσω στο σπίτι. Αυτός ο τύπος συστήματος είναι πολύ δημοφιλής σε όλα τα μέρη της χώρας, και συστήνεται ειδικά για τα πιο κρύα κλίματα όπου κάποιος τύπος προστασίας παγώματος είναι απαραίτητος για το σύστημα. Ο άλλος σημαντικός τύπος θερμοσίφωνα καλείται "παθητικό" σύστημα, επειδή στηρίζεται στις φυσικές δυνάμεις παρά σε μια αντλία για να κινήσει το νερό. Δύο διαφορετικοί τύποι παθητικών συστημάτων χρησιμοποιούνται ευρέως νοτιοδυτικά και νοτιοανατολικά των ΗΠΑ.

1.5.2 ΕΝΕΡΓΑ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Στα ενεργά ηλιακά συστήματα διακρίνονται τα συστήματα σε "ανοικτών βρόχων" ή "κλειστών βρόχων". Στο σύστημα ανοιχτού βρόχου το νερό θερμαίνεται άμεσα για τη χρήση ενώ στα συστήματα κλειστού βρόχου ένα αντιψυκτικό υγρό θερμαίνεται πριν μεταφέρει τη θερμότητά του στο νερό μέσω ενός ανταλλάκτη θερμότητας. Ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες και το κλίμα σε κάποια περιοχή καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου, ένα από αυτά τα συστήματα μπορεί να λειτουργήσει πολύ καλά.



An active pumped system (Florida Solar Energy Center).

Σχήμα 1.11: Ένα ενεργό σύστημα αντλίας

Και τα δύο αυτά τα συστήματα είναι συστήματα συλλεκτών "επίπεδης πλάκας", πράγμα που σημαίνει ότι χρησιμοποιούνται οι συμβατικοί επίπεδοι ηλιακοί συσσωρευτές που ήταν σε χρήση σε αυτήν την χώρα για τα τελευταία 100 έτη.

Σε ένα ενεργό σύστημα, μια αντλία κυκλοφορεί το νερό (ή ένα αντιψυκτικό ρευστό) μέσω των συλλεκτών, που βρίσκονται συνήθως στη στέγη του σπιτιού. Το νερό στους συλλέκτες θερμαίνεται από τον ήλιο, κατόπιν επιστρέφεται στη δεξαμενή αποθήκευσης στο σπίτι όπου διατηρείται καυτό μέχρι να χρειαστεί. Τα ηλιακά συστήματα τυπικά χρησιμοποιούν καλύτερα μονωμένες, μεγαλύτερες δεξαμενές από ότι τα ηλεκτρικά ή απολιθωμένων καυσίμων συστήματα, έτσι το νερό μένει καυτό περισσότερο. Αυτό βοηθά να βεβαιώσει τη διαθεσιμότητα του καυτού ύδατος κατά τη διάρκεια της νύχτας και όταν υπάρχουν μερικές ημέρες νεφελώδους καιρού.

Στα θερμότερα μέρη της χώρας, το πόσιμο νερό τυπικά κυκλοφορεί μέσω του συστήματος και πίσω στη δεξαμενή αποθήκευσης. Σαν προστιθέμενη προφύλαξη ενάντια στον παγωμένο καιρό, τα συστήματα στα πιο κρύα μέρη των ΗΠΑ κυκλοφορούν συχνά μια βελτιωμένη λύση αντιψυκτικού που περνά μέσω του συστήματος. Όταν αυτό το υγρό θερμαίνει επάνω, περνά μέσω ενός ανταλλάκτη θερμότητας που μεταφέρει τη θερμότητα άμεσα στο πόσιμο νερό. Οι διπλοί τοίχοι στον ανταλλάκτη θερμότητας και άλλα δομικά σχέδια βεβαιώνουν ότι τα δύο υγρά δεν έρχονται σε άμεση επαφή. Ένα άλλο γνωστό σχέδιο είναι όπως αυτό το σύστημα κλειστών βρόγχων με έναν ανταλλάκτη θερμότητας. Στο πάγωμα του καιρού, το νερό που θα μπορούσε να προκαλέσει ζημιά στραγγίζει πίσω σε μια μικρή δεξαμενή εκμετάλλευσης όπου η αντλία κλείνει. Μερικοί άλλοι τύποι προστασίας παγώματος περιλαμβάνουν το νερό στραγγίγματος από το σύστημα κατά τη διάρκεια του πολύ κρύου καιρού ή το κυκλοφορώντας θερμό νερό μέσω των συλλεκτών για να αποτρέψουν το πάγωμα.

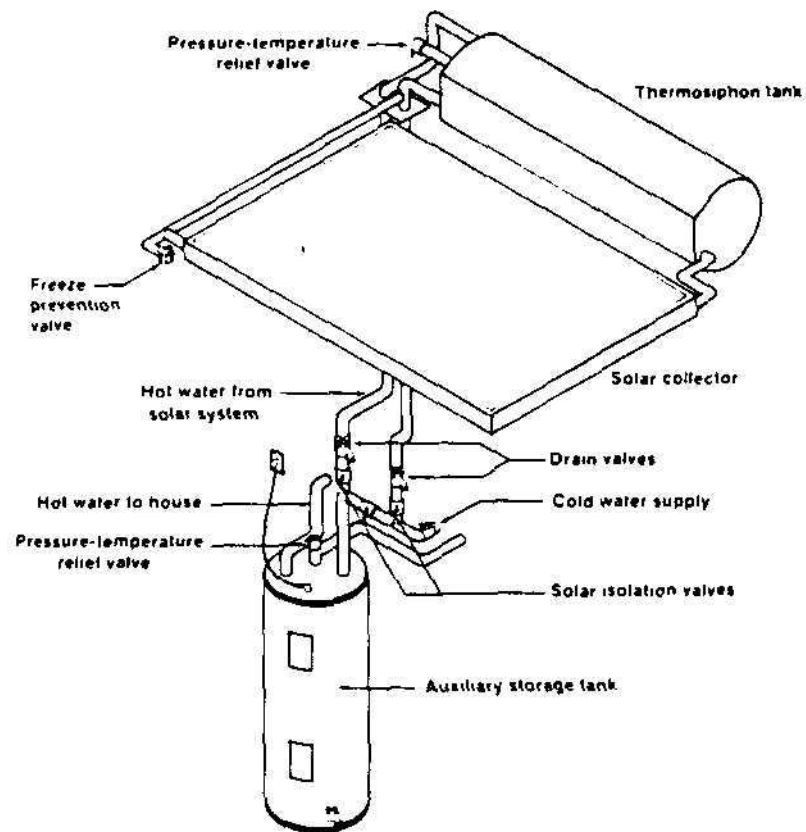
Πρέπει να σημειωθεί ότι όλα τα ηλιακά συστήματα περιλαμβάνουν κάποιο τύπο συνοδευτικής θερμάστρας για τις παραταθείσες περιόδους κακοκαιρίας ή τους χρόνους υπερβολικής χρήσης. Όταν τα ηλιακά συστήματα τίθενται στα υπάρχοντα σπίτια, οι ανάδοχοι αφήνουν συχνά τον ηλεκτρικό ή θερμοσίφωνα αερίου ως εφεδρικό σύστημα. Αυτές οι μονάδες ανοίγουν για να θερμάνουν το ύδωρ όταν δεν μπορεί να παρέχει το ηλιακό σύστημα αρκετό καυτό ύδωρ για να ικανοποιήσει τις οικογενειακές ανάγκες.

1.5.3 ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Αυτά τα συστήματα συχνά επιλέγονται στις νότιες Ηνωμένες Πολιτείες λόγω της απλότητας και του σχετικά χαμηλότερου κόστους τους. Δύο σημαντικοί τύποι χρησιμοποιούνται ευρέως γύρω από τη χώρα, και οι δύο είναι ιδιαίτερα αξιόπιστοι. Ο απλούστερος τύπος συστήματος είναι το αέριο σύστημα συλλεκτών (ολοκληρωμένα κυκλώματα), στο οποίο ο συλλέκτης και η δεξαμενή αποθήκευσης συνδυάζονται σε μια μονάδα. Η μονάδα βρίσκεται συνήθως στη στέγη ή στο έδαφος κοντά στο σπίτι έτσι ώστε ο ήλιος χτυπώντας τον συλλέκτη πηγαίνει άμεσα στη δεξαμενή αποθήκευσης, όπου θερμαίνει το νερό. Το καυτό νερό ρέει έπειτα προς τα κάτω σε έναν συμβατικό θερμοσίφωνα στο σπίτι, για το οποίο τα ολοκληρωμένα κυκλώματα χρησιμεύουν ως ένας προθερμαστής.

Ο άλλος τύπος παθητικού συστήματος είναι μια μονάδα "θερμοσίφωνα", στην οποία μια δεξαμενή αποθήκευσης βρίσκεται στη στέγη επάνω από το συλλέκτη. Δεδομένου

ότι το νερό στο συλλέκτη θερμαίνεται και γίνεται ελαφρύτερο, ανυψώνεται φυσικά προς τη δεξαμενή επάνω από τον συλλέκτη. Το βαρύτερο κρύο νερό βυθίζεται στο χαμηλότερο σημείο στο ηλιακό σύστημα, το οποίο είναι ο συλλέκτης. Όπως άλλα παθητικά συστήματα, αυτός ο τύπος είναι ιδιαίτερα αξιόπιστος επειδή δεν χρησιμοποιεί κανένα κινούμενο μέρος.



A thermosiphon system (Florida Solar Energy Center).

Σχήμα 1.12: Ένα σύστημα θερμοσίφωνα

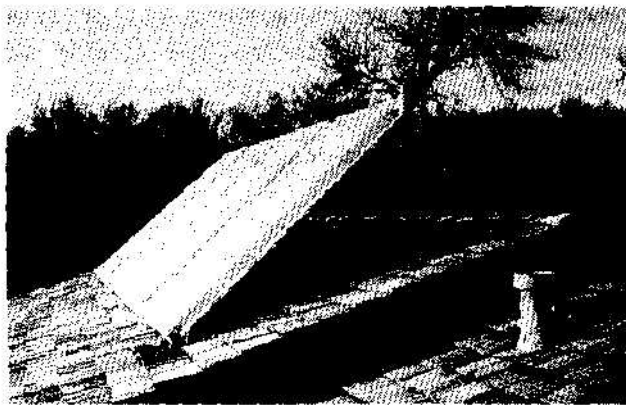
1.5.4 Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΕΝΟΣ ΗΛΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Το κύριο μέρος ενός ενεργού ηλιακού συστήματος είναι ο συλλέκτης. Οι ηλιακοί συσσωρευτές απορροφούν την ενέργεια του ήλιου και την μετατρέπουν σε ενέργεια θερμότητας.

Ο χαρακτηριστικός συλλέκτης επίπεδης πλάκας, που είναι ένας τύπος ευρύτατα χρησιμοποιούμενος στις Ηνωμένες Πολιτείες, είναι ένα ορθογώνιο κιβώτιο. Μέσα στο συλλέκτη είναι μια επιφάνεια απορρόφησης φτιαγμένη συνήθως από χαλκό ή αργίλιο και βαμμένη μαύρη για να απορροφήσει όσο το δυνατόν περισσότερο φως του ήλιου. Μια σειρά ρευστών σωλήνων τρέχει κατά μήκος του κιβωτίου, και υγρό από τις δεξαμενές αποθήκευσης ρέει μέσω των σωλήνων. Δεδομένου ότι η απορροφητική πλάκα θερμαίνεται από την έκθεση στο φως του ήλιου, μεταφέρει τη θερμότητα στο υγρό στους σωλήνες.

Το κατώτατο σημείο και οι πλευρές του απορροφητή μέσα στο κιβώτιο συλλεκτών είναι μονωμένα για να περικόψουν την απώλεια θερμότητας. Επιπλέον, ένα ειδικό διαφανές γυαλί ή μια πλαστική κάλυψη τοποθετείται πάνω από το συλλέκτη για να επιτρέψει στο φως του ήλιου να χτυπήσει τον απορροφητή. Αυτή η κάλυψη επίσης μειώνει το ποσό θερμότητας που μπορεί να δραπετεύσει από το σύστημα.

Οι ηλιακοί συσσωρευτές τοποθετούνται συνήθως στη στέγη του κτιρίου, αν και μπορούν να βρεθούν στο έδαφος ή σε μια άλλη δομή κοντά. Για να είναι περισσότερο αποτελεσματικοί, οι συλλέκτες πρέπει να προσανατολιστούν προς το νότο, ή μέσα σε 45 μοίρες ανατολικά ή δυτικά του οφειλόμενου νότου, και να γείρουν μεταξύ 20 και 40 μοιρών οριζόντια. Μια καλή εμπειροτεχνική μέθοδος είναι να τοποθετηθεί ο συλλέκτης έτσι ώστε η γωνία του στον οριζόντιο να είναι ίση με τη γωνία του γεωγραφικού πλάτους της περιοχής στην οποία είναι τοποθετημένος. Αυτό θα παράσχει τη βέλτιστη καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου απόδοση. Εάν η κλίση της στέγης των σπιτιών δεν θα επιτρέπει στο συλλέκτη να τοποθετηθεί ισόπεδα στη στέγη και να προσανατολιστεί ακόμα κατάλληλα, οι συλλέκτες μπορούν να τοποθετηθούν γερμένοι στη στέγη. Οι περισσότεροι άνθρωποι προτιμούν να τοποθετήσουν τους συλλέκτες δεξιά επάνω στη στέγη επειδή είναι ισχυρότεροι και κοιτάζουν καλύτερα αισθητικά. Εντούτοις, οι συλλέκτες μπορούν να τοποθετηθούν σε πλαίσια και να γέρνουν μακριά από τη στέγη χωρίς απώλεια οποιασδήποτε από την αποτελεσματικότητά τους.



Σχήμα 1.13: Για τον κατάλληλο ηλιακό προσανατολισμό, οι συλλέκτες μπορούν να τοποθετηθούν σε άκαμπτα πλαίσια

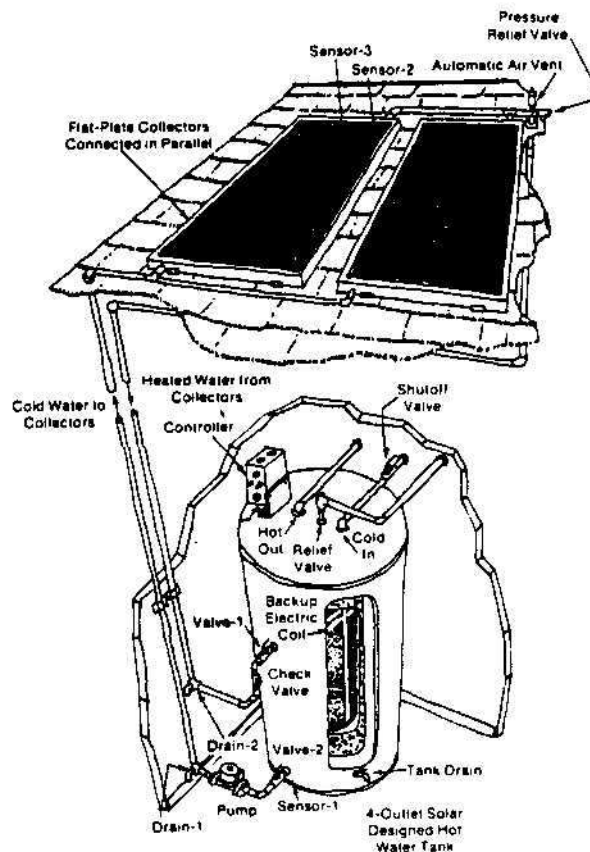
Το δεύτερο σημαντικό μέρος ενός ηλιακού συστήματος είναι η δεξαμενή αποθήκευσης. Τα ηλιακά συστήματα χρησιμοποιούν συνήθως μια ειδικά σχεδιασμένη και ορισμένου μεγέθους έξοχα-μονωμένη δεξαμενή, αν και πολλά συστήματα χρησιμοποιούν μετατρεπόμενες ηλεκτρικές δεξαμενές ή η ηλιακή δεξαμενή γαντζωμένη επάνω με τη συμβατική δεξαμενή. Από μία άποψη, τα ηλιακά συστήματα προθερμαίνουν το ύδωρ για τη χρήση στο σπίτι. Κατά τη διάρκεια του ηλιόλουστου καιρού, αυτό είναι αρκετό να φέρει το νερό στην επιθυμητή θερμοκρασία, με τα συστήματα ικανά να φτάσουν τους 140 βαθμούς Fahrenheit ή αρκετά περισσότερο για τη κάλυψη όλων των οικιακών αναγκών. Κατά τη διάρκεια της κακοκαιρίας, η συνοδευτική θερμάστρα ωθεί το ύδωρ στην επιθυμητή θερμοκρασία.

Ενεργά συστήματα τα οποία χρησιμοποιούν αντλίες και ελέγχους για τη κυκλοφορία του νερού συνήθως έχουν αυτά τα δύο συστατικά τοποθετημένα κοντά ή πάνω στη δεξαμενή αποθήκευσης. Η αντλία είναι ένας μικρός κυκλοφορώντας τύπος, συνήθως 1/100 έως 1/12 ιπποδύναμη. Ο ελεγκτής, ο οποίος ρυθμίζει το πότε, πόσο καιρό, και μερικές φορές πόσο γρήγορα λειτουργεί η αντλία, είναι συνήθως μια στερεάς κατάστασης ηλεκτρονική συσκευή. Λειτουργεί από κοινού με τους αισθητήρες δεξαμενών και συλλεκτών για να καθορίσει πότε ο συλλέκτης είναι σε θέση να θερμάνει το ύδωρ στη δεξαμενή και ανοίγει την αντλία. Όταν το ύδωρ στη δεξαμενή θερμαίνει μέσα σε τρεις έως πέντε βαθμούς από τη θερμοκρασία του συλλέκτη, ο ελεγκτής κλείνει την αντλία.

Άλλες συσκευές χρησιμοποιούνται μερικές φορές για να ελέγξουν τη ροή του ύδατος μεταξύ της δεξαμενής και του συλλέκτη. Τα χρονόμετρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ενεργοποιήσουν την αντλία σε μερικά συστήματα. Οι

διακόπτες μπορούν να ενεργοποιήσουν την αντλία όταν θερμαίνει ο συλλέκτης σε μια διευκρινισμένη θερμοκρασία.

Η ανάπτυξη σε δημοτικότητα ως ελεγκτή είναι μια ηλιακή ηλεκτρική (φωτοβολταϊκή) τροφοδοτημένη συσκευή, στην οποία το φως του ήλιου που χτυπά το μικρό φωτοβολταϊκό πλαίσιο (panel) μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια, τροφοδοτώντας άμεσα την κυκλοφορώντας αντλία. Σε αυτόν τον τύπο συστήματος, δεν είναι απαραίτητο να συνδεθεί η αντλία του συστήματος με την ηλεκτρική ενέργειά, δεδομένου ότι η αντλία χρησιμοποιεί μόνο ένα μικρό ποσό ηλεκτρικής ενέργειας, αυτό δίνει ένα περισσότερο μέτρο ενεργειακής ανεξαρτησίας και αποταμίευσης.



Σχήμα 1.14: Ένα πλήρες ηλιακό σύστημα θέρμανσης ύδατος

Ένας άλλος παράγοντας πρέπει να εξεταστεί κατά την απόφαση για το πόσο καλά θα λειτουργήσει ένα σύστημα. Είναι σημαντικό η στέγη του σπιτιού (ή άλλη θέση όπου θα τοποθετηθούν οι συλλέκτες) να μην είναι σκιασμένη κατά τη διάρκεια των ωρών 9 π.μ. με 3 μ.μ., όταν ο ήλιος εκπέμπει την περισσότερη ακτινοβολία. Τέτοια αντικείμενα όπως τα δέντρα, τα κτίρια, οι φράκτες και άλλες δομές μπορούν να δημιουργήσουν σκιά κατά τη διάρκεια της ημέρας οι οποίες θα

σκιάσουν τους συλλέκτες και θα περικόψουν την απόδοσή τους. Αυτό το πρόβλημα μπορεί να είναι ιδιαίτερα δύσκολο για επακριβή αποτίμηση πριν την εγκατάσταση λόγω της μεταβαλλόμενης πορείας του ήλιου στον ουρανό κατά τη διάρκεια των διαφορετικών εποχών.

1.6. ΜΕΛΕΤΗ ΕΝΟΣ ΑΠΛΟΥ ΗΛΙΑΚΟΥ ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΑ

Στο Πανεπιστήμιο της Dhaka στο Bangladesh πραγματοποιήθηκε το 1996 μια μελέτη προκειμένου να απλοποιηθεί ένας ηλιακός θερμοσίφωνα ο οποίος θα ήταν ικανός να παρέχει καυτό νερό χρησιμοποιώντας την ηλιακή ενέργεια η οποία είναι μια εμπορική εφαρμογή που είναι οικονομικά βιώσιμη (Butti και Perlin, 1977) σχεδόν σε όλες τις χώρες.

Στο Bangladesh η περιβαλλοντική θερμοκρασία πηγαίνει σπάνια κάτω από 15 °C και η διαθεσιμότητα καυτού ύδατος στα σπίτια δεν είναι προτεραιότητα, ωστόσο το χειμώνα θα έπρεπε να βελτιωθεί η ποιότητα της ζωής. Επειδή η μεγάλη πλειοψηφία των ανθρώπων που ζουν στα χωριά είναι φτωχή σχεδιάστηκαν δύο τύποι ηλιακών θερμοσίφωνων χαμηλότερου κόστους.

Οι δύο τύποι ηλιακών θερμοσιφώνων χαμηλού κόστους δεν χρειάζονται σύνδεση παροχής νερού. Ο πρώτος αποτελέσθηκε από δύο πλαστικά δοχεία διαφορετικού μεγέθους. Η διάμετρος του μεγάλου ήταν 46 cm. και του μικρού ήταν 38. cm. Η επιφάνεια του μικρού ήταν 0,12 m² και είχε χωρητικότητα νερού 12 lt. Το μικρό δοχείο τοποθετήθηκε στο μεγάλο με πάχος 5 cm. μόνωσης ενδιάμεσα. Τσαλακωμένες μπάλες εφημερίδων χρησιμοποιήθηκαν σαν μονωτικό μέσο. Ένα πλαστικό φύλλο χρησιμοποιήθηκε για να προστατεύσει τη μόνωση από το νερό της βροχής. Ένα μαύρο πλαστικό φύλλο τοποθετήθηκε στο πάτο του εσωτερικού δοχείου για να αυξήσει την απορρόφηση της ηλιακής έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία, το διαφανές πλαστικό φύλλο χρησιμοποιήθηκε ως κορυφαία κάλυψη πάνω από το μικρό δοχείο. Διαπιστώθηκε ότι το νερό που τοποθετείται μέσα στο μικρότερο δοχείο αύξησε τη θερμοκρασία του κατά 18C πάνω από την περιβαλλοντική θερμοκρασία μέσα σε τέσσερις ώρες όταν η μέση έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία ήταν περίπου 600 kWh/m².

Ο δεύτερος τύπος θερμοσίφωνα αποτελέσθηκε από δύο πήλινα δοχεία αντί των πλαστικών δοχείων .και υαλοβάμβακας ως μονωτικό μέσο Η άνοδος θερμοκρασίας ύδατος ήταν 20°C κάτω από την ίδια ακτινοβολία. Η διάμετρος του μεγάλου δοχείου ήταν 50 cm και του μικρού ήταν 36 cm.. Η επιφάνεια του μικρού δοχείου ήταν 0.11 m² και είχε χωρητικότητα 12 lt νερού. Το εσωτερικό μέρος του

μικρού δοχείου ήταν χρωματισμένο μαύρη για να αυξήσει την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Εάν καθένας από τους θερμοσίφωνες καλύπτεται με υαλοβάμβακα για μόνωση το απόγευμα, η θερμοκρασία παραμένει 13°C επάνω από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος στις αρχές του επόμενου πρωινού. Το κόστος του υλικού ήταν γύρω στα \$ 4,50 για τον θερμοσίφωνα με τα πλαστικά δοχεία ενώ για τον θερμοσίφωνα με τα πήλινα δοχεία ήταν γύρω στα \$ 3,50.

1.6.1 ΜΕΛΕΤΕΣ ΑΠΟΛΟΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΕΣ

Κάθε ένα από τους θερμοσίφωνες γέμισαν με 8 lt νερό και τοποθετήθηκε στον ήλιο στις 10 πμ. Πραγματοποιήθηκαν οι ακόλουθες δύο δοκιμές :

1. Η θερμοκρασία νερού μετρήθηκε κάθε 20 λεπτά από τις 10 πμ μέχρι τις 3 μ.μ. περίπου.
2. Οι θερμοσίφωνες καλύφθηκαν τη νύχτα με μονωτικές καλύψεις και η θερμοκρασία μετρήθηκε στις 8:30 πμ. .

Ο θερμοσίφωνα με τα πλαστικά δοχεία παρέμεινε μέσα σε δωμάτιο από το τέλος του απογεύματος μέχρι το επόμενο πρωί που λήφθηκε η θερμοκρασία του νερού μέσα στο δοχείο, ενώ ο θερμοσίφωνα με τα πήλινα δοχεία είχε αφεθεί στην ύπαιθρο.

Η αποδοτικότητα των θερμοσιφώνων υπολογίστηκε με τη χρησιμοποίηση της σχέσης

$$\eta = \frac{\int q_w dt}{\int A_p I_T dt} \times 100\% \text{ (Sukhatme, 1984)}$$

1.6.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Από τον πίνακα φαίνεται ότι χωρίς κορυφαία κάλυψη η θερμοκρασία του ύδατος αυξήθηκε το μέγιστο γύρω στους 6,5°C επάνω από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος στον θερμοσίφωνα πλαστικών δοχείων και 7.5 °C στο θερμοσίφωνα πήλινων δοχείων για την ίδια έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία. Επίσης εκτιμήθηκε ότι με την κορυφαία κάλυψη η θερμοκρασία νερού αυξάνεται επάνω από τη περιβαλλοντική θερμοκρασία 18 °C στον θερμοσίφωνα πλαστικών δοχείων και 20 °C στο θερμοσίφωνα πήλινων δοχείων στις 2:30 μ.μ. Το επόμενο πρωί η θερμοκρασία νερού παρέμεινε 13 °C επάνω από τη περιβαλλοντική και για τους δύο

θερμοσίφωνες. Βρέθηκε ότι η κορυφαία κάλυψη βοήθησε στην ενίσχυση για την αύξηση της αποδοτικότητας κατά ένα σημαντικό ποσό.

2^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

2.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΗΛΙΑΚΟΥ ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΑ ΧΑΜΗΛΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ

Ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία κάθε συστήματος που εκμεταλλεύεται την ηλιακή ενέργεια είναι ο προσανατολισμός του ηλιακού συλλέκτη σε σχέση με την κατεύθυνση της ηλιακής ακτινοβολίας. Όπως η θέση του ήλιου στον ουρανό έτσι και ο προσανατολισμός ενός επιπέδου στην επιφάνεια της γης περιγράφεται από δύο γωνίες: την κλίση και την αζιμούθια γωνία. Στις συνηθισμένες περιπτώσεις οι συλλέκτες τοποθετούνται σε σταθερή κλίση και αζιμούθια γωνία, που επιλέγονται ώστε η γωνία της πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας να είναι όσο το δυνατό μικρότερη, κατά τη διάρκεια του έτους. Στο βόρειο ημισφαίριο, η βέλτιστη κλίση του συλλέκτη, για τη διάρκεια ολόκληρου του έτους, είναι ίση με τον γεωγραφικό παράλληλο του τόπου, και η αζιμούθια γωνία είναι 0° (προς το νότο). Αλλά λόγω της μεταβολής της απόκλισης του ήλιου στη διάρκεια του έτους, η βέλτιστη κλίση του συλλέκτη είναι διαφορετική για κάθε εποχή. Έτσι, αν επιδιώκεται να παράγει το σύστημα όσο το δυνατόν περισσότερη ενέργεια στη διάρκεια του καλοκαιριού, η κλίση του συλλέκτη επιλέγεται περίπου 10° ως 15° μικρότερη από την παράλληλο του τόπου, ενώ για τον χειμώνα η κλίση επιλέγεται περίπου 10° ως 15° μεγαλύτερη από την παράλληλο του τόπου.

Για την παρούσα εργασία, όπου τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν στα Χανιά Κρήτης, το γεωγραφικό πλάτος είναι 35° 30'.

Παρακάτω στον πίνακα 2.1 αναφέρονται τιμές για την συνολική μηνιαία και ετήσια ηλιακή ακτινοβολία για την περιοχή των Χανίων για τις κλίσεις 0°, 30°, 45°, 60° και 90°.

Πίνακας 2.1: Συνολική μηνιαία και ετήσια ηλιακή ακτινοβολία (Kwh/m²) για τα Χανιά.

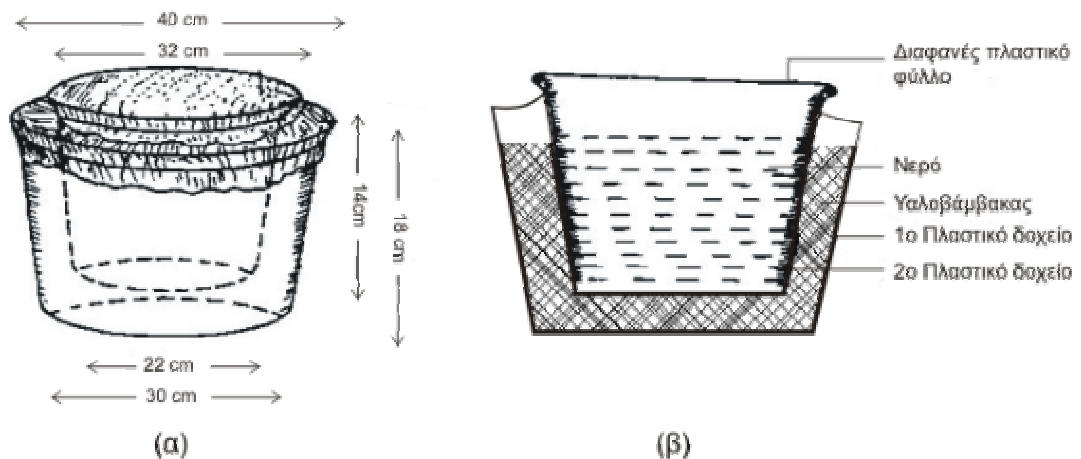
Συνολική Μηνιαία και Ετήσια Ηλιακή Ακτινοβολία (Kwh/m ²) για τα Χανιά.														
Κλίση	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	Μ.Ο.	Συνολική
0	59	75	112	149	196	215	229	210	154	101	74	56	136	1630
30	83	97	128	152	183	191	208	207	172	127	107	83	145	1738
45	90	100	127	143	164	167	183	190	168	131	115	90	139	1667
60	91	99	119	127	138	137	151	164	155	128	117	93	126	1517
90	79	81	88	80	75	69	76	94	106	102	101	82	86	1033

Η κατασκευή της παρούσας εργασίας αποτελεί έναν απλοποιημένο ηλιακό θερμοσίφωνα χαμηλού κόστους ο οποίος θα μπορούσε να προσφέρει την καλύτερη εναλλακτική λύση για τις εσωτερικές εφαρμογές, ιδιαίτερα σε μικρές οικογένειες για να καλυφθούν οι απαιτήσεις θερμού ύδατος.

Οι κορυφαίες απώλειες θερμότητας τέτοιων ηλιακών θερμοσιφώνων είναι αρκετά υψηλές κατά τη διάρκεια της νύχτας και η θερμοκρασία του αποθηκευμένου θερμού ύδατος μειώνεται αρκετά, εκτός αν καλύπτεται με κάποιο υλικό μόνωσης το βράδυ. Έτσι λοιπόν αναφέρονται και τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για να αντιμετωπιστούν κατά ένα ποσοστό τα προβλήματα που παρουσιάστηκαν κατά τη διεξαγωγή των πειραμάτων.

Η κατασκευή του ηλιακού θερμοσίφωνα χαμηλού κόστους αποτελείται από δύο δοχεία διαφορετικού μεγέθους, όπου το μικρότερο δοχείο είναι τοποθετημένο μέσα στο μεγαλύτερο. Η διάμετρος της άνω επιφάνειας του μεγάλου δοχείου είναι 40cm και η διάμετρος της κάτω επιφάνειας είναι 30cm. Στο εσωτερικό δοχείο η διάμετρος της άνω επιφάνειας είναι 32 cm και η διάμετρος της κάτω επιφάνειας είναι

22 cm. Το εσωτερικό δοχείο έχει βαφτεί μαύρο για την επίτευξη μεγαλύτερης απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας, έχει χωρητικότητα 4lt νερού, ενώ η επιφάνεια που χρησιμοποιείται για την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι 0,08m². Ανάμεσα στα δύο δοχεία έχει παρεμβληθεί μονωτικό υλικό (υαλοβάμβακας) πάχους 4cm για την ελαχιστοποίηση απωλειών της θερμότητας. Τέλος, χρησιμοποιήθηκε διαφανές πλαστικό φύλλο για την κάλυψη της επιφάνειας των δοχείων με σκοπό την αύξηση της θερμοκρασίας του νερού και τη μείωση απωλειών θερμότητας.



Σχήμα 2.1 α, β: Σχηματική αναπαράσταση ηλιακού θερμοσίφωνα χαμηλού κόστους .



Εικόνα 2.1 α,β : φωτογραφίες από την κατασκευή του απλού ηλιακού θερμοσίφωνα χαμηλού κόστους

2.2 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΜΟΝΩΣΗΣ

Η ηλιακή ενέργεια, που είναι διαλείπουσας φύσης, δεν είναι διαθέσιμη 24 ώρες το 24ωρο. Η αποθήκευση της ηλιακής ενέργειας είναι ουσιαστική να ταιριάζει με το χάσμα μεταξύ της ζήτησης ηλιακής ενέργειας και της προσφοράς της. Η αποθήκευση της ηλιακής ενέργειας εξαρτάται από πολλές πτυχές. Μια από αυτές τις πτυχές είναι τα μονωτικά υλικά που διαδραματίζουν έναν ζωτικής σημασίας ρόλο για να διατηρήσουν την ηλιακή θερμότητα για την επιθυμητή περίοδο. Στη χειμερινή εποχή, το θερμό νερό απαιτείται νωρίς το πρωί. Για να διατηρηθεί το θερμό νερό που θερμαίνεται από την ηλιακή ενέργεια μέχρι την επιθυμητή περίοδο, ο υαλοβάμβακας χρησιμοποιείται ως μονωτικό υλικό στο σύστημα αποθήκευσης, το οποίο περικλείει το δοχείο με δύο στρώματα για να διατηρήσει το ηλιακό θερμαμένο νερό για τη διάρκεια μιας νύχτας.

Έχει δοθεί ιδιαίτερη προσοχή για την μείωση των κορυφαίων απωλειών θερμότητας από το σύστημα του ηλιακού συλλέκτη. Η χρήση του διαφανούς υλικού μόνωσης έχει το πλεονέκτημα ότι είναι ευνοϊκό στην απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας και συγχρόνως μειώνει τις κορυφαίες θερμικές απώλειες. Το πεδίο αυτής της διαφανούς μόνωσης μπορεί επίσης να επεκταθεί για να αποτρέψει τις κορυφαίες απώλειες θερμότητας κατά τη διάρκεια της νύχτας και να αποβάλει έτσι την ανάγκη της πρόσθετης κάλυψης μετά τις απογευματινές ώρες.

Για την αξιολόγηση της χρήσης του διαφανούς πλαστικού φύλλου ως μόνωση στον ηλιακό θερμοσίφωνα, πραγματοποιήθηκε μια μελέτη συγκρίνοντας τις μετρήσεις που λήφθηκαν με τη κάλυψη της επιφανείας του συλλέκτη με το διαφανές πλαστικό

φύλλο και χωρίς τη κάλυψη. Κατ'αυτό τον τρόπο μπόρεσε να καθοριστεί ο ρόλος του στη μείωση των απωλειών θερμότητας. Επομένως με τις μετρήσεις που πάρθηκαν το επόμενο πρωί μετά από κάθε πείραμα μπόρεσε να διεξαχθεί το αποτέλεσμα ότι η θερμοκρασία του νερού (33 °C) μετά από ένα βράδυ όπου ο ηλιακός θερμοσίφωνας ήταν καλυμμένος με το διαφανές πλαστικό φύλλο είχε μια διαφορά 8 βαθμών κελσίου σε σύγκριση με αυτή τη θερμοκρασία του νερού (25 °C) όπου ο συλλέκτης δεν ήταν καλυμμένος με πλαστικό φύλλο.

Ο συγκεκριμένος ηλιακός θερμοσίφωνας θα είναι αρκετά χρήσιμος για τις απαιτήσεις θερμού ύδατος για τις μικρές οικογένειες σε περιοχές κοντά στον ισημερινό (δηλ. τροπικές χώρες) όπου η έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία είναι αρκετή και ευνοϊκή. Αυτός ο τύπος ηλιακού θερμοσίφωνα μπορεί να έχει πιθανές εφαρμογές στην Ινδία (ιδιαίτερα στα μέσα και νότια μέρη) όπου η μέση καθημερινή οριζόντια έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία είναι διαθέσιμη από 5,0 έως 6,0 kWh/m και η περιβαλλοντική θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της νύχτας κατά τη χειμερινή εποχή δεν είναι πολύ χαμηλή. Η θερμοκρασία κρύου νερού σε αυτές τις περιοχές κατά τη διάρκεια της χειμερινής εποχής (Νοέμβριος μέχρι τον Μάρτιο) γενικά κυμαίνεται από 15 ως 25C, που μπορεί να αυξηθεί από ένα ηλιακό σύστημα θερμού νερού για το επόμενο πρωί. Ο ηλιακός θερμοσίφωνας χαμηλού κόστους είναι πολύ απλός να κατασκευαστεί και μπορεί να αποδειχθεί σαν όφελος για να ικανοποιήσει κατά μέσο όρο τις ινδικές οικογένειες (χαμηλότερες και μέσες οικογένειες κατηγορίας) και για να καλύψει τις απαιτήσεις θερμού ύδατος το χειμώνα δεδομένου ότι θα είναι σε μια προσιτή σειρά με την ελάχιστη συντήρηση σε αντίθεση με τους συμβατικούς ηλιακούς θερμοσίφωνες που δεν είναι ακόμα οικονομικοί για τις κοινές μάζες κατοίκων.

3^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

3.1 ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι μετρήσεις έντεκα ημερών, που ελήφθησαν κατά τη διάρκεια της διεξαγωγής των πειραμάτων. Οι μετρήσεις κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες. Στη πρώτη κατηγορία ανήκουν οι μετρήσεις οι οποίες πραγματοποιήθηκαν τις ημερομηνίες 26 και 27 Ιουλίου, χωρίς η κατασκευή του ηλιακού θερμοσίφωνα να είναι καλυμμένη με διαφανές πλαστικό φύλλο. Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν τις ημερομηνίες 28 και 29 Ιουλίου κατά τις οποίες η κατασκευή ήταν καλυμμένη με μονό διαφανές πλαστικό φύλλο, ενώ στη τρίτη κατηγορία πειραμάτων ανήκουν οι μετρήσεις που ελήφθησαν τις ημερομηνίες 5, 9, 10 και 11 Αυγούστου, όπως επίσης 23, 26 και 27 Σεπτεμβρίου με τη κατασκευή να είναι καλυμμένη με διπλό διαφανές πλαστικό φύλλο, όπως φαίνεται παρακάτω στον πίνακα 3.1.

Η διεξαγωγή των πειραμάτων πραγματοποιήθηκε ακολουθώντας τα εξής βήματα και για τις τρεις κατηγορίες: αρχικά γέμισε το δοχείο της κατασκευής με 4 lt νερό και στη συνέχεια η κατασκευή τοποθετήθηκε σε ένα σημείο στο οποίο η επιφάνεια του συλλέκτη δε σκιαζόταν καθ'όλη τη διάρκεια της ημέρας. Οι μετρήσεις άρχιζαν στις 10:00 το πρωί και επαναλαμβάνονταν κάθε μισή ώρα μέχρι τις 16:00 το απόγευμα. Επίσης η κατασκευή έμενε στο ίδιο σημείο καθ'όλη τη διάρκεια της νύχτας και την επόμενη το πρωί μετρούσαν η θερμοκρασία νερού και περιβάλλοντος για να σημειωθούν οι απώλειες θερμότητας και κατά πόσο διατηρείται η θερμοκρασία νερού στο δοχείο. Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τα θερμόμετρα για τη μέτρηση θερμοκρασίας νερού και περιβάλλοντος και ένα πυρανόμετρο για τη μέτρηση ηλιακής ακτινοβολίας.

Πίνακας 3.1 Διεξαχθέντα πειράματα

ΔΙΕΞΑΧΘΕΝΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ		
πείραμα	ημερομηνία πραγματοποίησης	περιγραφή
1 ^ο (Α' Κατηγορία)	26/07/05	Η επιφάνεια του ηλιακού θερμοσίφωνα δεν ήταν καλυμμένη με διαφανές πλαστικό φύλλο.
2 ^ο (Α' Κατηγορία)	27/07/05	Η επιφάνεια του ηλιακού θερμοσίφωνα δεν ήταν καλυμμένη με διαφανές πλαστικό φύλλο.
3 ^ο (Β' Κατηγορία)	28/07/05	Η επιφάνεια του ηλιακού θερμοσίφωνα ήταν καλυμμένη με μονό πλαστικό φύλλο.
4 ^ο (Β' Κατηγορία)	29/07/05	Η επιφάνεια του ηλιακού θερμοσίφωνα ήταν καλυμμένη με διπλό πλαστικό φύλλο.
5 ^ο (Γ' Κατηγορία)	5/08/05	Η επιφάνεια του ηλιακού θερμοσίφωνα ήταν καλυμμένη με διπλό πλαστικό φύλλο.
6 ^ο (Γ' Κατηγορία)	9/08/05	Η επιφάνεια του ηλιακού θερμοσίφωνα ήταν καλυμμένη με διπλό πλαστικό φύλλο.
7 ^ο (Γ' Κατηγορία)	10/08/05	Η επιφάνεια του ηλιακού θερμοσίφωνα ήταν καλυμμένη με διπλό πλαστικό φύλλο.
8 ^ο (Γ' Κατηγορία)	11/08/05	Η επιφάνεια του ηλιακού θερμοσίφωνα ήταν καλυμμένη με διπλό πλαστικό φύλλο.
9 ^ο (Γ' Κατηγορία)	23/09/05	Η επιφάνεια του ηλιακού θερμοσίφωνα ήταν καλυμμένη με διπλό πλαστικό φύλλο.
10 ^ο (Γ' Κατηγορία)	26/09/05	Η επιφάνεια του ηλιακού θερμοσίφωνα ήταν καλυμμένη με διπλό πλαστικό φύλλο.
11 ^ο (Γ' Κατηγορία)	27/09/05	Η επιφάνεια του ηλιακού θερμοσίφωνα ήταν καλυμμένη με διπλό πλαστικό φύλλο.

Τέλος, έχουν σχεδιαστεί πέντε διαγράμματα για τη κάθε ημέρα μετρήσεων που δείχνουν για τη κάθε κατηγορία, τις μεταβολές του συνολικού βαθμού απόδοσης ,της θερμοκρασίας νερού και περιβάλλοντος και της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ νερού και περιβάλλοντος σε σχέση με την ηλιακή ακτινοβολία και τη θερμοκρασία νερού συναρτήσει του χρόνου. Αποκλειστικά, για τη τρίτη κατηγορία μετρήσεων έχουν βρεθεί οι μέσες τιμές ηλιακής ακτινοβολίας για τα επτά πειράματα, κατά τα οποία η κατασκευή του συλλέκτη ήταν καλυμμένη με διπλό πλαστικό φύλλο, και έχει σχεδιαστεί ένα διάγραμμα που δείχνει τις καμπύλες μεταβολής της μέγιστης

θερμοκρασίας και μέγιστης διαφοράς θερμοκρασίας συναρτήσει των μέσων τιμών ηλιακής ακτινοβολίας

✍ Για τον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας χρησιμοποιήθηκε ο τύπος:

$$Y=0.7953*X+4.8162$$

Όπου X η τιμή της ηλιακής ακτινοβολίας που μετρήθηκε με την χρήση του πυρανόμετρου.

✍ Για τον υπολογισμό του ωριαίου και συνολικού βαθμού απόδοσης χρησιμοποιήθηκε ο τύπος:

$$n(\%) = \frac{kg(H_2O) * p * \Delta T}{h * \bar{I}(W / m) * A(m^2)}$$

(για τον ωριαίο βαθμό απόδοσης, h=1, για τον συνολικό βαθμό απόδοσης, h=οι ώρες που έχουν περάσει από τις 10:00 μέχρι την εκάστοτε χρονική στιγμή για την οποία υπολογίζεται ο βαθμός απόδοσης.)

p: η πυκνότητα του νερού

ΔT : η διαφορά μεταξύ των διαφορών θερμοκρασίας νερού & περιβάλλοντος

h: ώρες

\bar{I} : η μέση ηλιακή ακτινοβολία

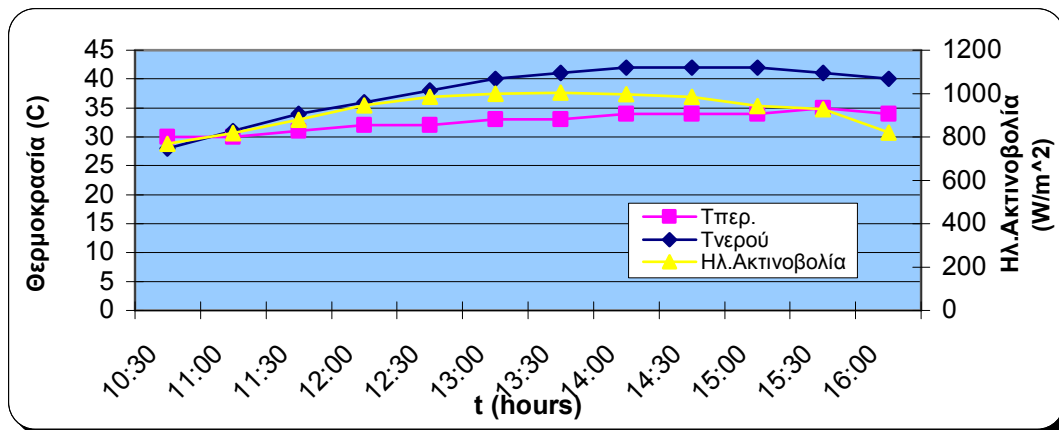
A: Η επιφάνεια του ηλιακού συλλέκτη

3.1.1 1^ο ΠΕΙΡΑΜΑ (26/07/05)

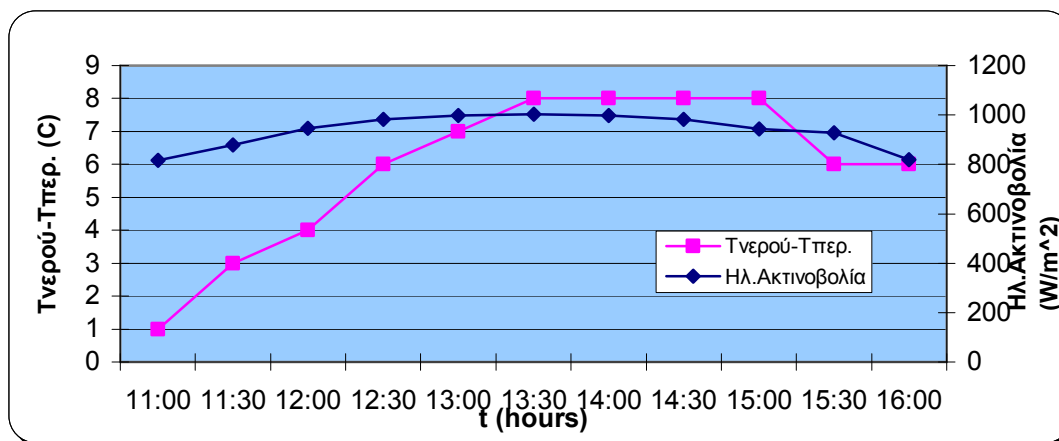
- Εμβαδόν άνω επιφάνειας δοχείου:0,08m²
- Το δοχείο δεν είναι καλυμμένο με πλαστικό φύλλο
- 4lt νερό

Πίνακας 3.2: Αποτελέσματα μετρήσεων πρώτου πειράματος (26/07/05).

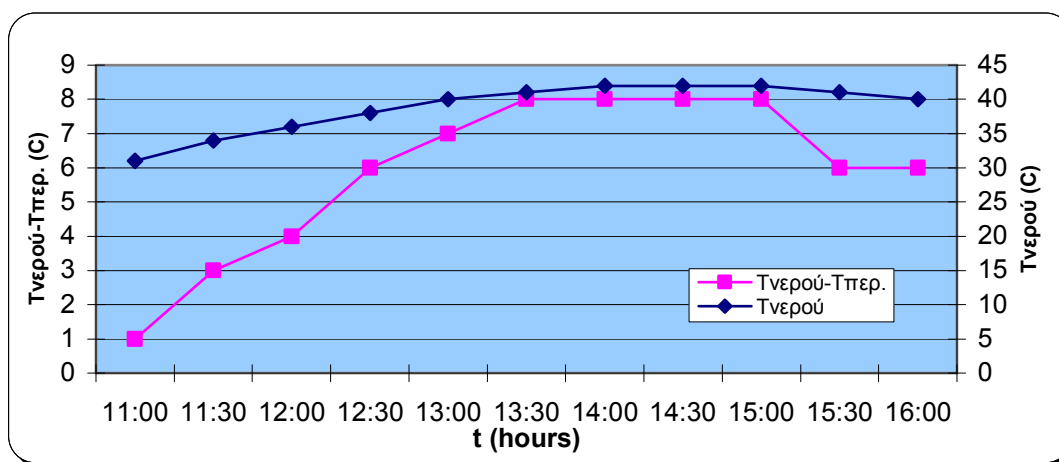
	Τπεριβάλλοντος	Τνερού	Ηλιακή Ακτινοβολία	Τνερού-Τπερ.
10:30	30	28	768,3042	-2
11:00	30	31	816,0222	1
11:30	31	34	879,6462	3
12:00	32	36	944,8608	4
12:30	32	38	983,0352	6
13:00	33	40	998,9412	7
13:30	33	41	1003,713	8
14:00	34	42	996,5553	8
14:30	34	42	983,0352	8
15:00	34	42	943,2702	8
15:30	35	41	927,3642	6
16:00	34	40	819,9987	6
Μέση ηλιακή ακτινοβολία			922.0622	



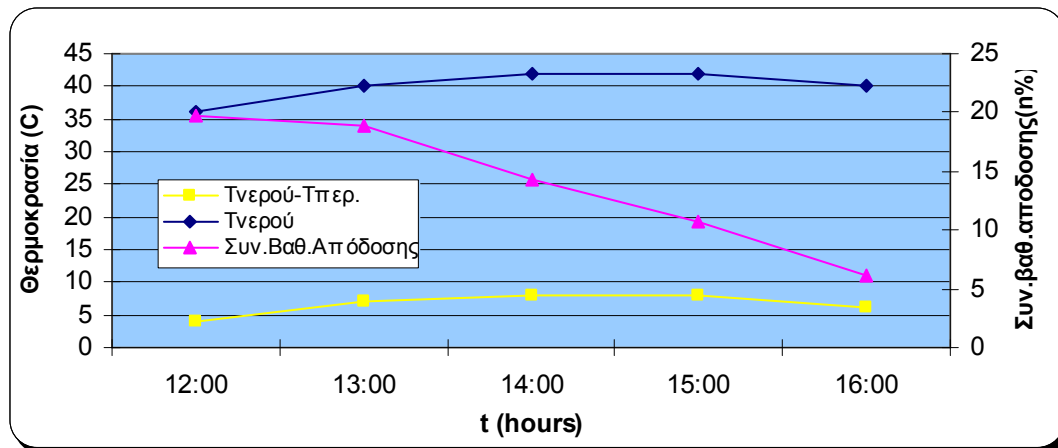
Σχήμα 3.1: Καμπύλες μεταβολής θερμοκρασίας νερού, θερμοκρασίας περιβάλλοντος & ηλιακής ακτινοβολίας συναρτήσει του χρόνου (26/07/05, το δοχείο δεν είναι καλυμμένο με πλαστικό φύλλο).



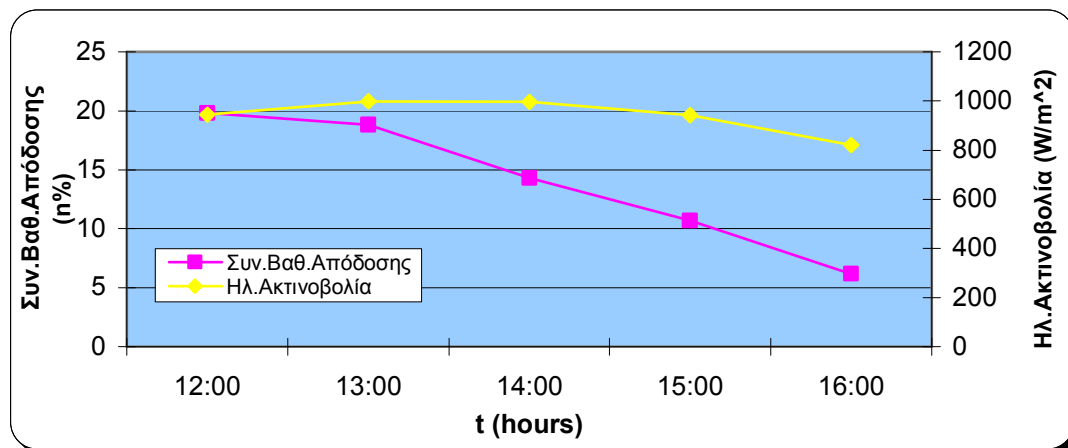
Σχήμα 3.2: Καμπύλες μεταβολής διαφοράς θερμοκρασίας νερού-περιβάλλοντος & ηλιακής ακτινοβολίας συναρτήσει του χρόνου (26/07/05, το δοχείο δεν είναι καλυμμένο με πλαστικό φύλλο)..



Σχήμα 3.3: Καμπύλες μεταβολής διαφοράς θερμοκρασίας νερού-περιβάλλοντος & θερμοκρασίας νερού συναρτήσει του χρόνου (26/07/05, το δοχείο δεν είναι καλυμμένο με πλαστικό φύλλο).



Σχήμα 3.4: Καμπύλες μεταβολής διαφοράς θερμοκρασίας νερού-περιβάλλοντος, θερμοκρασίας νερού & συνολικού βαθμού απόδοσης συναρτήσει του χρόνου (26/07/05, το δοχείο δεν είναι καλυμμένο με πλαστικό φύλλο).



Σχήμα 3.5: Καμπύλες μεταβολής συνολικού βαθμού απόδοσης & ηλιακής ακτινοβολίας συναρτήσει του χρόνου (26/07/05, το δοχείο δεν είναι καλυμμένο με πλαστικό φύλλο).

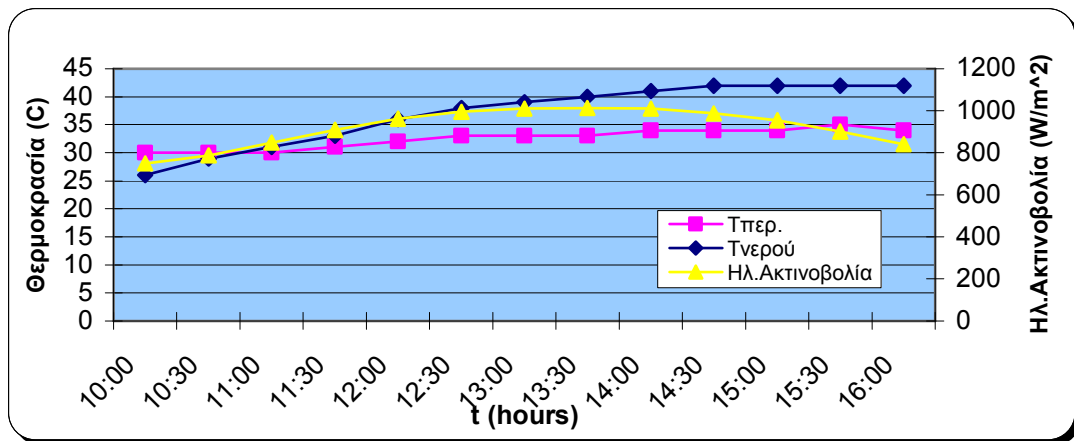
✍ Στα παραπάνω διαγράμματα ο συνολικός βαθμός απόδοσης στις 11:00 αντιστοιχεί στο χρονικό διάστημα από τις 10:00-11:00, στις 12:00 αντιστοιχεί στο χρονικό διάστημα από τις 10:00-12:00 κ.ο.κ

3.1.2 2^ο ΠΕΙΡΑΜΑ (27/07/05)

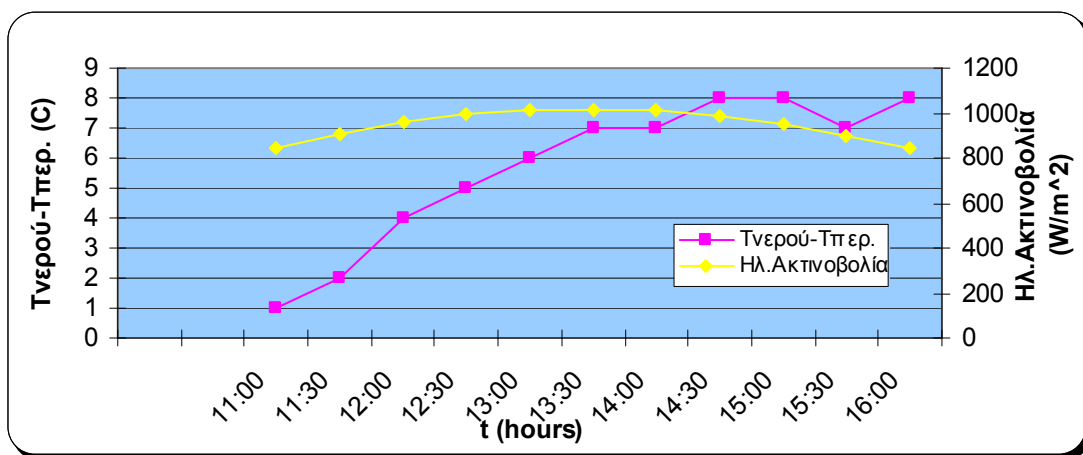
- Εμβαδόν άνω επιφάνειας δοχείου:0,08m²
- Το δοχείο δεν είναι καλυμμένο με πλαστικό φύλλο
- 4lt νερό
- Το δοχείο με το νερό έχει διατηρηθεί το βράδυ έξω σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.
- Η θερμοκρασία του νερού το επόμενο πρωί ήταν 25 °C σε θερμοκρασία περιβάλλοντος 30 °C.

Πίνακας 3.3: Αποτελέσματα μετρήσεων δεύτερου πειράματος (27/07/05).

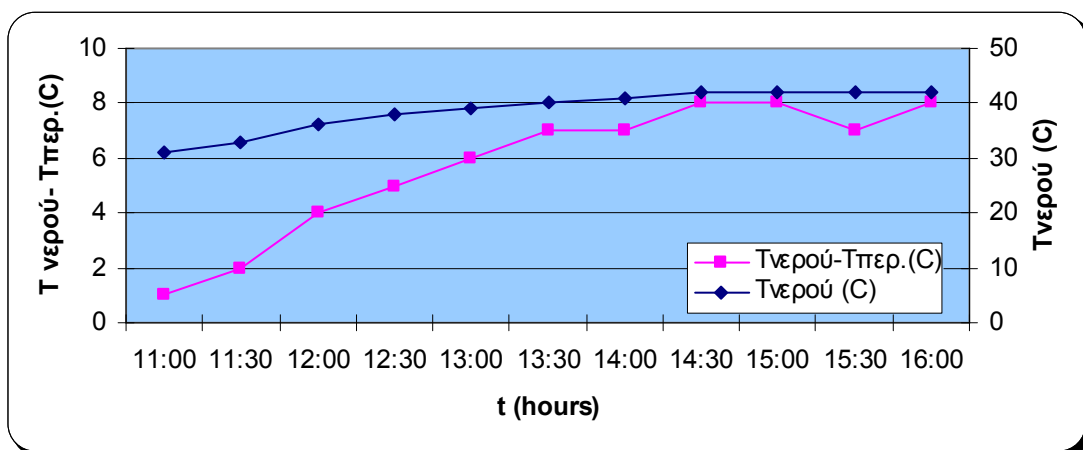
Χρόνος	Τπεριβάλλοντος	Τνερού	Ηλιακή Ακτινοβολία	Τνερού-Τπερ.
10:00	30	26	748,4217	-4
10:30	30	29	788,1867	-1
11:00	30	31	847,8342	1
11:30	31	33	909,0723	2
12:00	32	36	960,7668	4
12:30	33	38	995,76	5
13:00	33	39	1010,8707	6
13:30	33	40	1013,2566	7
14:00	34	41	1009,2801	7
14:30	34	42	987,807	8
15:00	34	42	955,1997	8
15:30	35	42	900,324	7
16:00	34	42	841,4718	8
<i>Μέση ηλιακή ακτινοβολία</i>			920.6347	



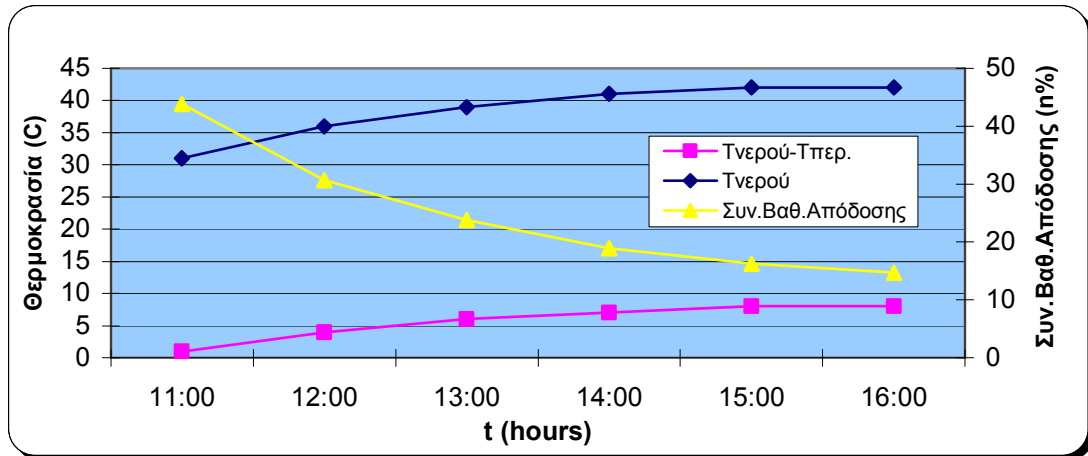
Σχήμα 3.6: Καμπύλες μεταβολής θερμοκρασίας νερού, θερμοκρασίας περιβάλλοντος & ηλιακής ακτινοβολίας συναρτήσεσι του χρόνου (27/07/05, το δοχείο δεν είναι καλυμμένο με πλαστικό φύλλο).



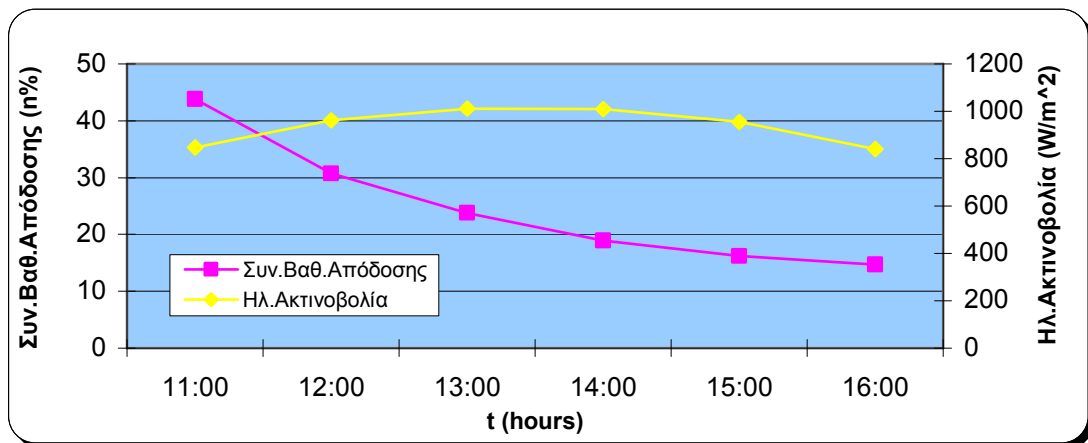
Σχήμα 3.7: Καμπύλες μεταβολής διαφοράς θερμοκρασίας νερού-περιβάλλοντος & ηλιακής ακτινοβολίας συναρτήσεσι του χρόνου (27/07/05, το δοχείο δεν είναι καλυμμένο με πλαστικό φύλλο).



Σχήμα 3.8: Καμπύλες μεταβολής διαφοράς θερμοκρασίας νερού-περιβάλλοντος & θερμοκρασίας νερού συναρτήσεσι του χρόνου (27/07/05, το δοχείο δεν είναι καλυμμένο με πλαστικό φύλλο).



Σχήμα 3.9: Καμπύλες μεταβολής διαφοράς θερμοκρασίας νερού-περιβάλλοντος, θερμοκρασίας νερού & συνολικού βαθμού απόδοσης συναρτήσει του χρόνου (27/07/05, το δοχείο δεν είναι καλυμμένο με πλαστικό φύλλο).



Σχήμα 3.10: Καμπύλες μεταβολής συνολικού βαθμού απόδοσης & ηλιακής ακτινοβολίας συναρτήσει του χρόνου (27/07/05, το δοχείο δεν είναι καλυμμένο με πλαστικό φύλλο).

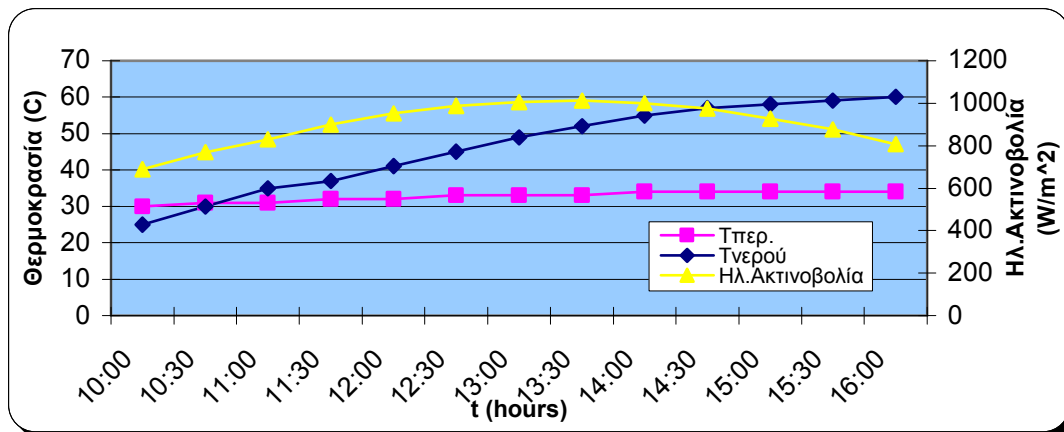
Στα παραπάνω διαγράμματα ο συνολικός βαθμός απόδοσης στις 11:00 αντιστοιχεί στο χρονικό διάστημα από τις 10:00-11:00, στις 12:00 αντιστοιχεί στο χρονικό διάστημα από τις 10:00-12:00 κ.ο.κ

3.1.3 3^ο ΠΕΙΡΑΜΑ (28/07/05)

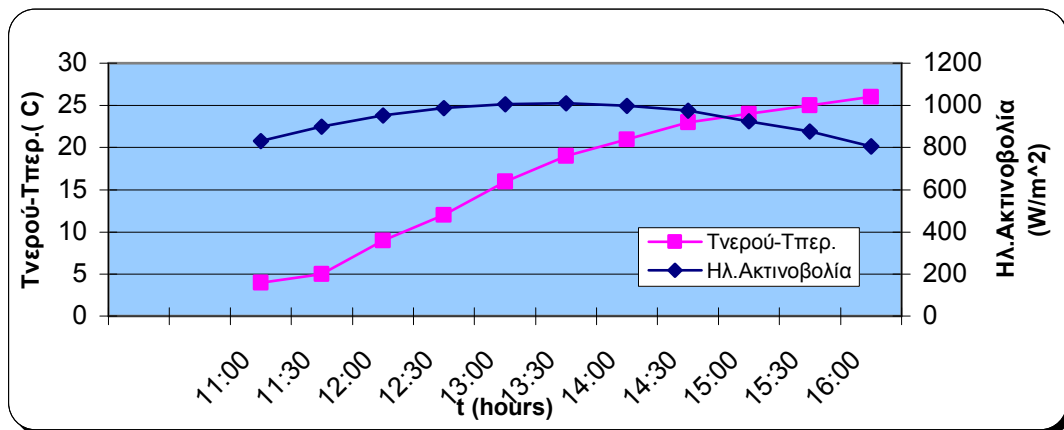
- Εμβαδόν άνω επιφάνειας δοχείου:0,08m²
- Το δοχείο είναι καλυμμένο με μονό πλαστικό φύλλο
- 4lt νερό
- Το δοχείο με το νερό έχει διατηρηθεί το βράδυ έξω σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.
- Η θερμοκρασία του νερού το επόμενο πρωί ήταν 33 °C σε θερμοκρασία περιβάλλοντος 31 °C.

Πίνακας 3.4: Αποτελέσματα μετρήσεων τρίτου πειράματος (28/07/05).

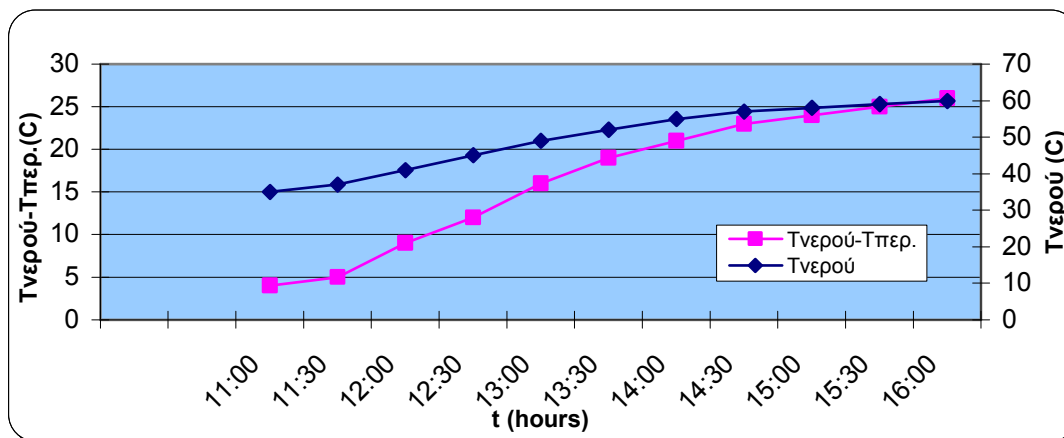
Χρόνος	Τπεριβάλλοντος	Τνερού	Ηλιακή Ακτινοβολία	Τνερού-Τπερ.
10:00	30	25	688,7742	-5
10:30	31	30	768,3042	-1
11:00	31	35	830,3376	4
11:30	32	37	898,7334	5
12:00	32	41	951,2232	9
12:30	33	45	987,807	12
13:00	33	49	1004,5083	16
13:30	33	52	1011,666	19
14:00	34	55	998,9412	21
14:30	34	57	974,2869	23
15:00	34	58	925,7736	24
15:30	34	59	876,465	25
16:00	34	60	806,4786	26
<i>Μέση ηλιακή ακτινοβολία</i>			901.7922	



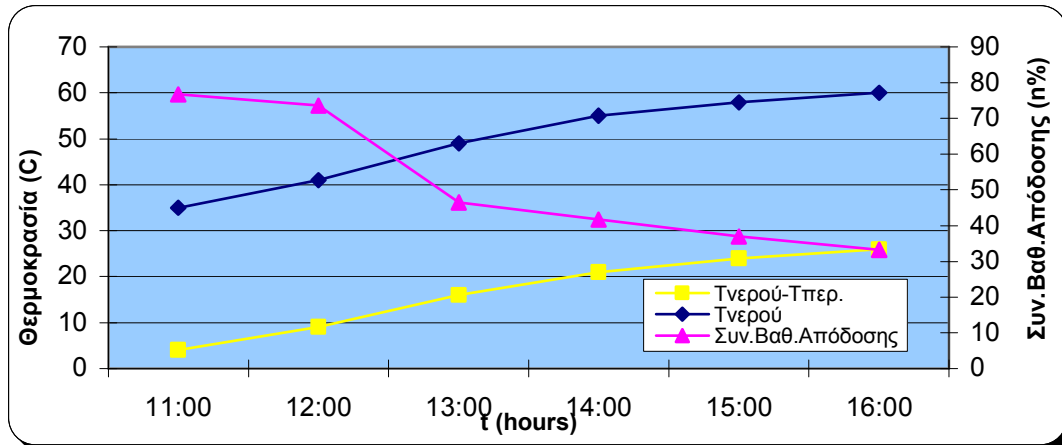
Σχήμα 3.11: Καμπύλες μεταβολής θερμοκρασίας νερού, θερμοκρασίας περιβάλλοντος & ηλιακής ακτινοβολίας συναρτήσει του χρόνου (28/07/05, το δοχείο είναι καλυμμένο με μονό πλαστικό φύλλο).



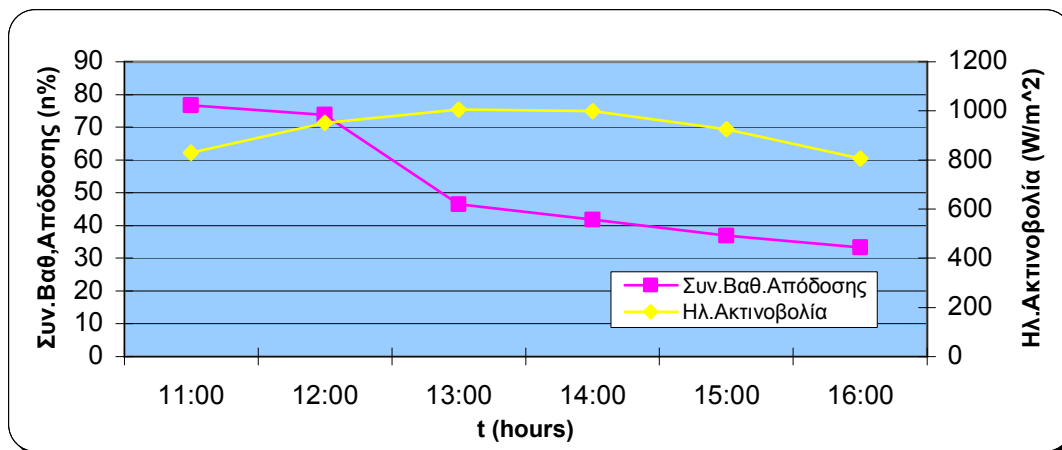
Σχήμα 3.12: Καμπύλες μεταβολής διαφοράς θερμοκρασίας νερού-περιβάλλοντος & ηλιακής ακτινοβολίας συναρτήσει του χρόνου (28/07/05, το δοχείο είναι καλυμμένο με μονό πλαστικό φύλλο).



Σχήμα 3.13: Καμπύλες μεταβολής διαφοράς θερμοκρασίας νερού-περιβάλλοντος & θερμοκρασίας νερού συναρτήσει του χρόνου (28/07/05, το δοχείο είναι καλυμμένο με μονό πλαστικό φύλλο).



Σχήμα 3.14: Καμπύλες μεταβολής διαφοράς θερμοκρασίας νερού-περιβάλλοντος, θερμοκρασίας νερού & συνολικού βαθμού απόδοσης συναρτήσει του χρόνου (28/07/05, το δοχείο είναι καλυμμένο με μονό πλαστικό φύλλο).



Σχήμα 3.15: Καμπύλες μεταβολής συνολικού βαθμού απόδοσης & ηλιακής ακτινοβολίας συναρτήσει του χρόνου (28/07/05, το δοχείο είναι καλυμμένο με μονό πλαστικό φύλλο).

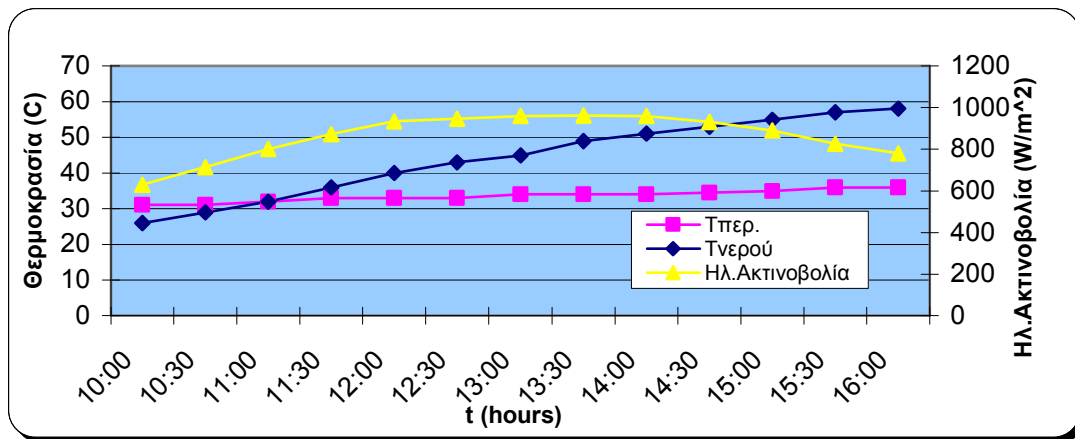
✎ Στα παραπάνω διαγράμματα ο συνολικός βαθμός απόδοσης στις 11:00 αντιστοιχεί στο χρονικό διάστημα από τις 10:00-11:00, στις 12:00 αντιστοιχεί στο χρονικό διάστημα από τις 10:00-12:00 κ.ο.κ

3.1.4 4^ο ΠΕΙΡΑΜΑ (29/07/05)

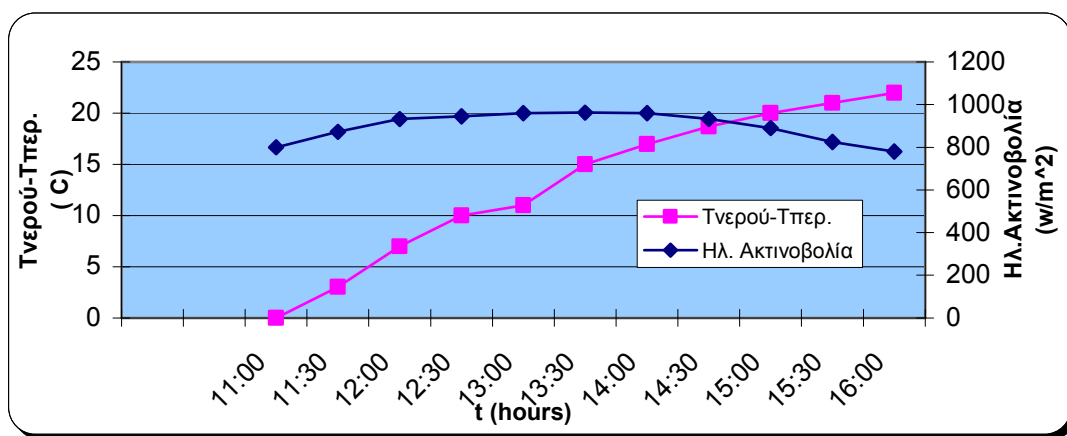
- Εμβαδόν άνω επιφάνειας δοχείου:0,08m²
- Το δοχείο είναι καλυμμένο με μονό πλαστικό φύλλο
- 4lt νερό

Πίνακας 3.5: Αποτελέσματα μετρήσεων τέταρτου πειράματος (29/07/05).

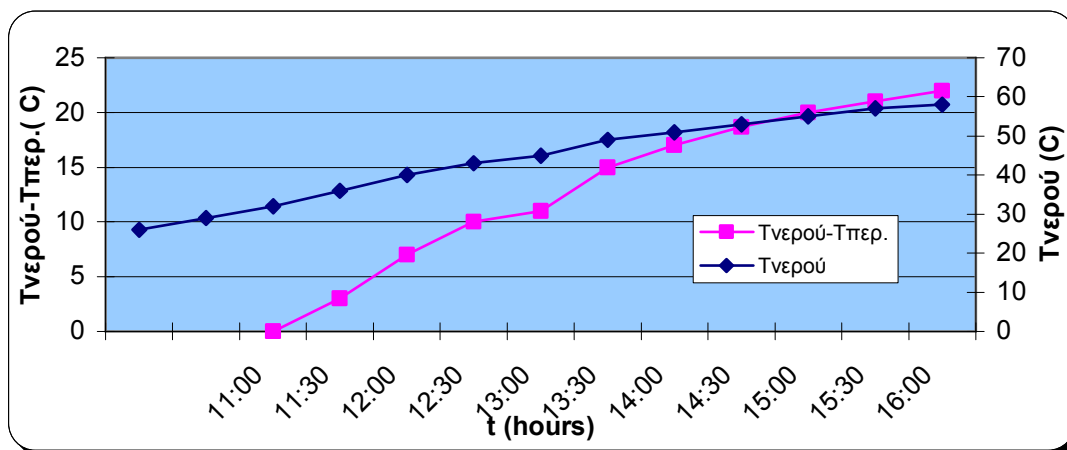
Χρόνος	Τπεριβάλλοντος	Τνερού	Ηλιακή Ακτινοβολία	Τνερού-Τπερ.
10:00	<i>31</i>	<i>26</i>	<i>860.0272</i>	<i>-5</i>
10:30	<i>31</i>	<i>29</i>	<i>712.6332</i>	<i>-2</i>
11:00	<i>32</i>	<i>32</i>	<i>800.1162</i>	<i>0</i>
11:30	<i>33</i>	<i>36</i>	<i>872.4885</i>	<i>3</i>
12:00	<i>33</i>	<i>40</i>	<i>933.7266</i>	<i>7</i>
12:30	<i>33</i>	<i>43</i>	<i>945.6561</i>	<i>10</i>
13:00	<i>34</i>	<i>45</i>	<i>960.7668</i>	<i>11</i>
13:30	<i>34</i>	<i>49</i>	<i>962.3574</i>	<i>15</i>
14:00	<i>34</i>	<i>51</i>	<i>960.7668</i>	<i>17</i>
14:30	<i>34.5</i>	<i>53</i>	<i>931.3407</i>	<i>18.7</i>
15:00	<i>35</i>	<i>55</i>	<i>890.7804</i>	<i>20</i>
15:30	<i>36</i>	<i>57</i>	<i>825.5658</i>	<i>21</i>
16:00	<i>36</i>	<i>58</i>	<i>781.029</i>	<i>22</i>
<i>Μέση ηλιακή ακτινοβολία</i>			<i>860.0272</i>	



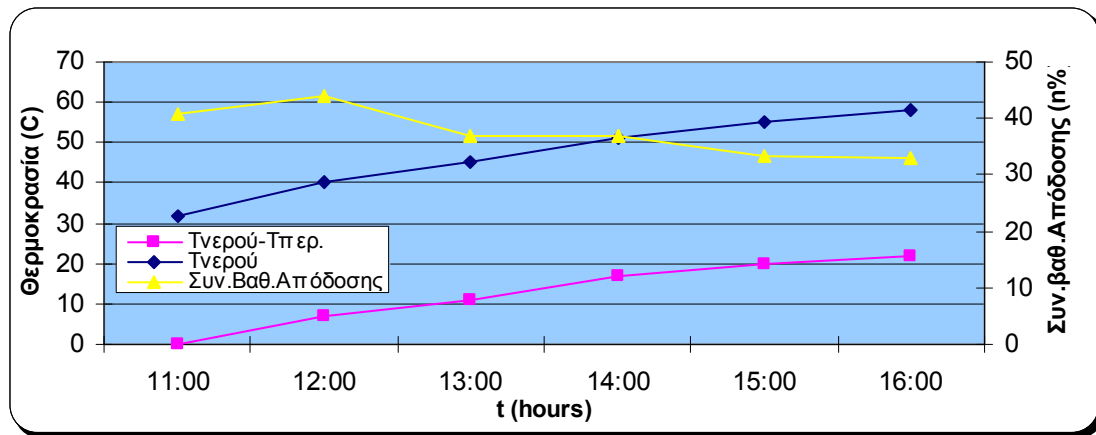
Σχήμα 3.16: Καμπύλες μεταβολής θερμοκρασίας νερού, θερμοκρασίας περιβάλλοντος & ηλιακής ακτινοβολίας συναρτήσει του χρόνου (29/07/05, το δοχείο είναι καλυμμένο με μονό πλαστικό φύλλο).



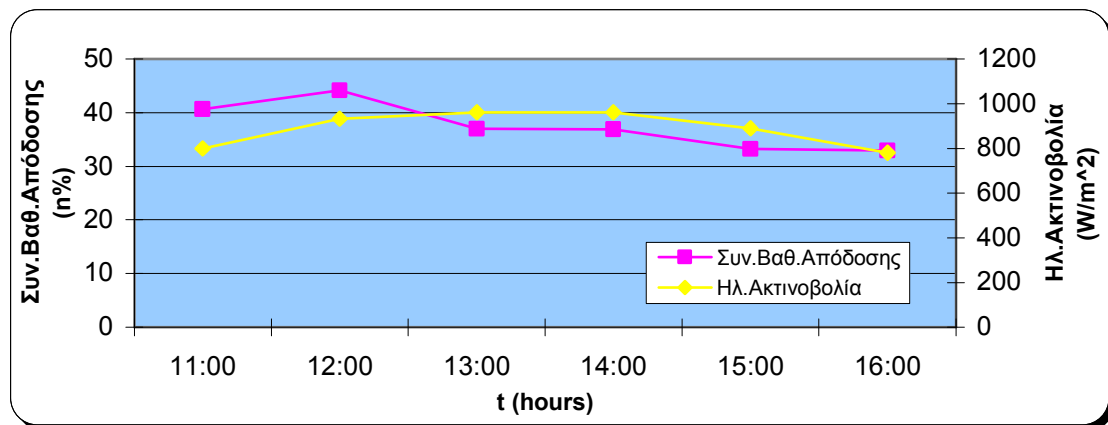
Σχήμα 3.17: Καμπύλες μεταβολής διαφοράς θερμοκρασίας νερού-περιβάλλοντος & ηλιακής ακτινοβολίας συναρτήσει του χρόνου (28/07/05, το δοχείο είναι καλυμμένο με μονό πλαστικό φύλλο).



Σχήμα 3.18: Καμπύλες μεταβολής διαφοράς θερμοκρασίας νερού-περιβάλλοντος & θερμοκρασίας νερού συναρτήσει του χρόνου (28/07/05, το δοχείο είναι καλυμμένο με μονό πλαστικό φύλλο).



Σχήμα 3.19: Καμπύλες μεταβολής διαφοράς θερμοκρασίας νερού-περιβάλλοντος, θερμοκρασίας νερού & συνολικού βαθμού απόδοσης συναρτήσει του χρόνου (28/07/05, το δοχείο είναι καλυμμένο με μονό πλαστικό φύλλο).



Σχήμα 3.20: Καμπύλες μεταβολής συνολικού βαθμού απόδοσης & ηλιακής ακτινοβολίας συναρτήσει του χρόνου (28/07/05, το δοχείο είναι καλυμμένο με μονό πλαστικό φύλλο).

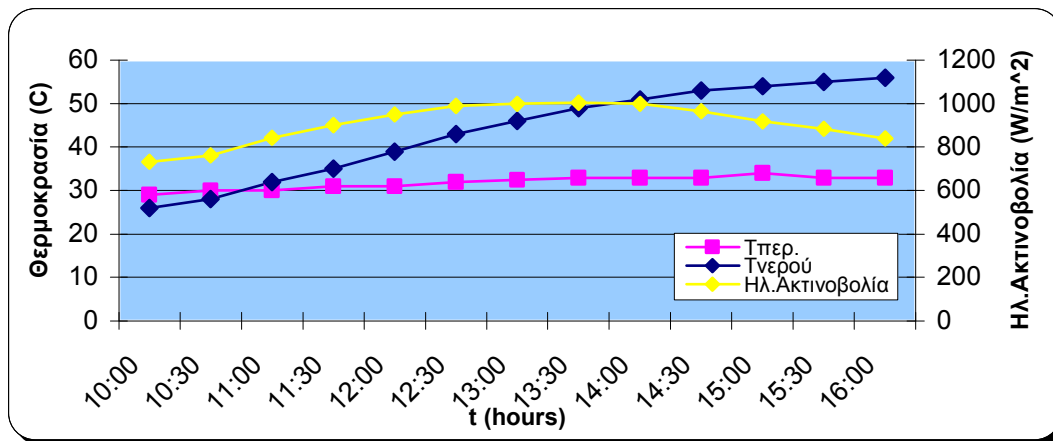
Στα παραπάνω διαγράμματα ο συνολικός βαθμός απόδοσης στις 11:00 αντιστοιχεί στο χρονικό διάστημα από τις 10:00-11:00, στις 12:00 αντιστοιχεί στο χρονικό διάστημα από τις 10:00-12:00 κ.ο.κ

3.1.5 5^ο ΠΕΙΡΑΜΑ (05/08/05)

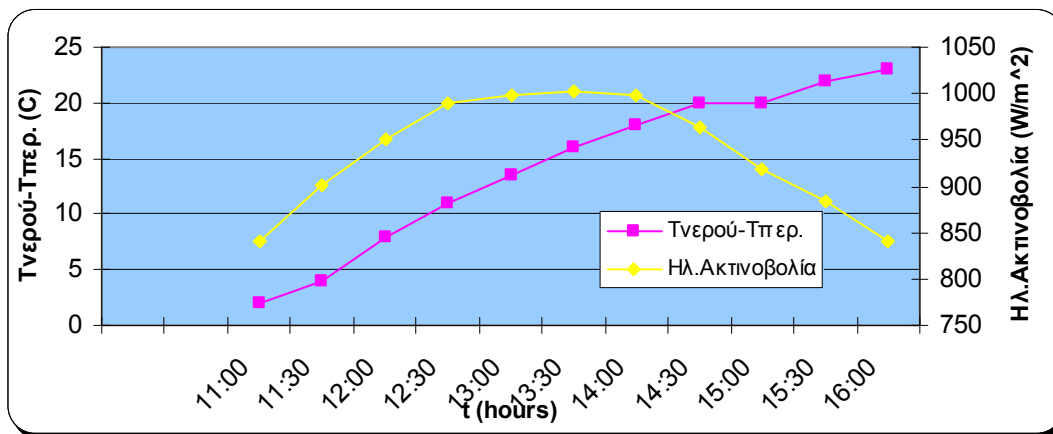
- Εμβαδόν άνω επιφάνειας δοχείου:0,08m²
- Το δοχείο είναι καλυμμένο με διπλό πλαστικό φύλλο
- 4lt νερό

Πίνακας 3.6: Αποτελέσματα μετρήσεων πέμπτου πειράματος (05/08/05).

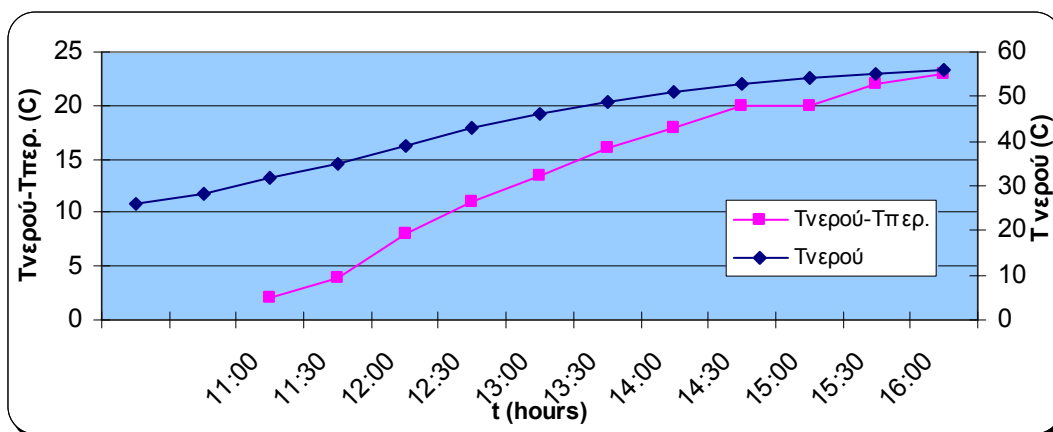
Χρόνος	Τπεριβάλλοντος	Τνερού	Ηλιακή Ακτινοβολία	Τνερού-Τπερ.
10:00	29	26	733.311	-3
10:30	30	28	762.7371	-2
11:00	30	32	841.4718	2
11:30	31	35	900.324	4
12:00	31	39	950.4279	8
12:30	32	43	989.3976	11
13:00	33.5	46	998.9412	13.5
13:30	33	49	1002.9177	16
14:00	33	51	998.9412	18
14:30	33	53	963.948	20
15:00	34	54	919.4112	20
15:30	33	55	884.418	22
16:00	33	56	839.8812	23
Μέση ηλιακή ακτινοβολία			906.62	



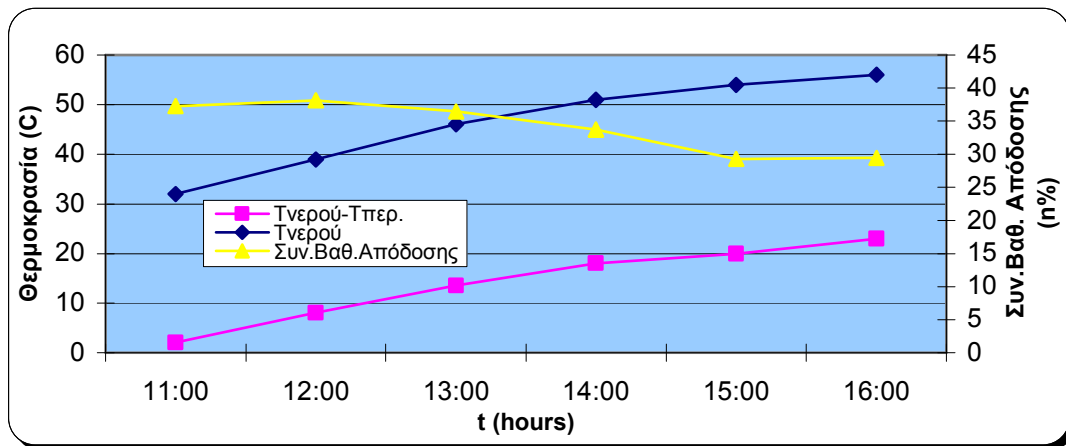
Σχήμα 3.21: Καμπύλες μεταβολής θερμοκρασίας νερού, θερμοκρασίας περιβάλλοντος & ηλιακής ακτινοβολίας συναρτήσεσι του χρόνου (05/08/05, το δοχείο είναι καλυμμένο με διπλό πλαστικό φύλλο).



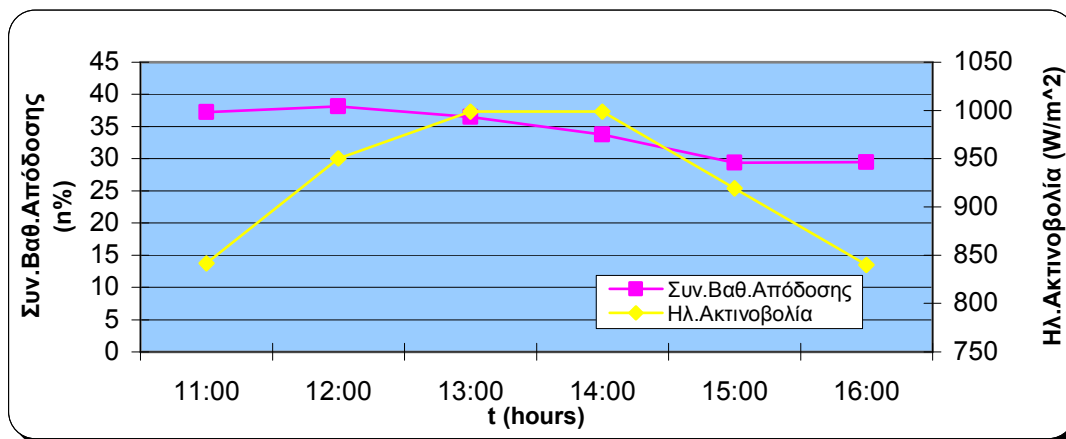
Σχήμα 3.22: Καμπύλες μεταβολής διαφοράς θερμοκρασίας νερού-περιβάλλοντος & ηλιακής ακτινοβολίας συναρτήσεσι του χρόνου (05/08/05, το δοχείο είναι καλυμμένο με διπλό πλαστικό φύλλο)



Σχήμα 3.23: Καμπύλες μεταβολής διαφοράς θερμοκρασίας νερού-περιβάλλοντος & θερμοκρασίας νερού συναρτήσεσι του χρόνου (05/08/0, το δοχείο είναι καλυμμένο με διπλό πλαστικό φύλλο).



Σχήμα 3.24: Καμπύλες μεταβολής διαφοράς θερμοκρασίας νερού-περιβάλλοντος, θερμοκρασίας νερού & συνολικού βαθμού απόδοσης συναρτήσει του χρόνου (05/08/05, το δοχείο είναι καλυμμένο με διπλό πλαστικό φύλλο).



Σχήμα 3.25: Καμπύλες μεταβολής συνολικού βαθμού απόδοσης & ηλιακής ακτινοβολίας συναρτήσει του χρόνου (05/08/05, το δοχείο είναι καλυμμένο με διπλό πλαστικό φύλλο).

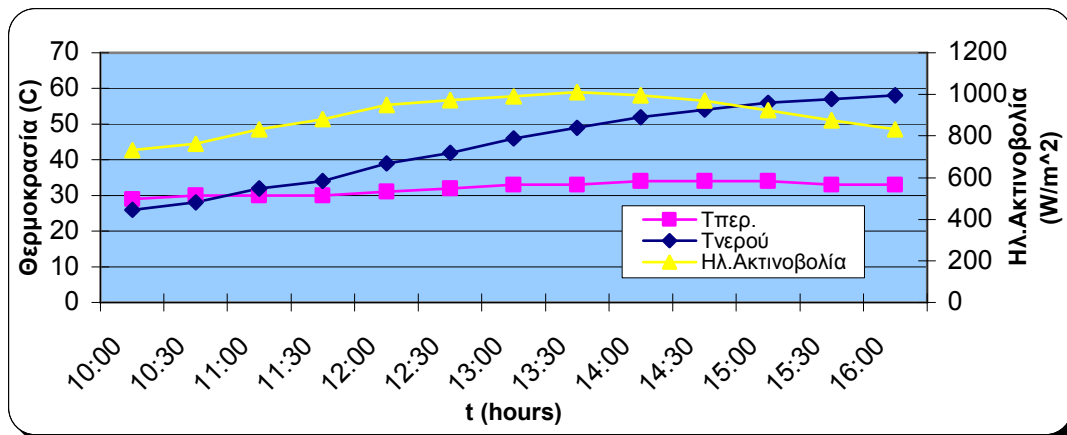
☞ Στα παραπάνω διαγράμματα ο συνολικός βαθμός απόδοσης στις 11:00 αντιστοιχεί στο χρονικό διάστημα από τις 10:00-11:00, στις 12:00 αντιστοιχεί στο χρονικό διάστημα από τις 10:00-12:00 κ.ο.κ

3.1.6 6^ο ΠΕΙΡΑΜΑ (09/08/05)

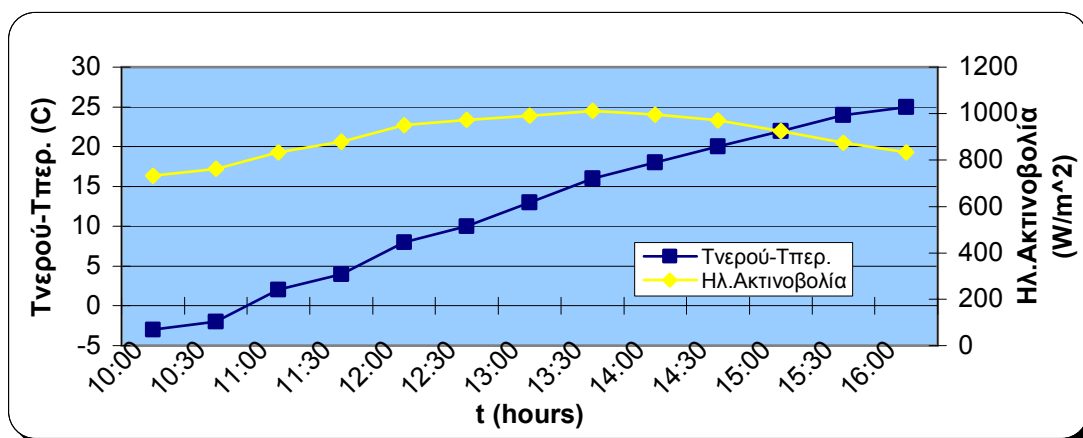
- Εμβαδόν άνω επιφάνειας δοχείου:0,08m²
- Το δοχείο είναι καλυμμένο με διπλό πλαστικό φύλλο
- 4lt νερό
- Το δοχείο με το νερό έχει διατηρηθεί το βράδυ έξω σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.
- Η θερμοκρασία του νερού το επόμενο πρωί ήταν 31 °C σε θερμοκρασία περιβάλλοντος 31°C.

Πίνακας 3.7: Αποτελέσματα μετρήσεων έκτου πειράματος (09/08/05).

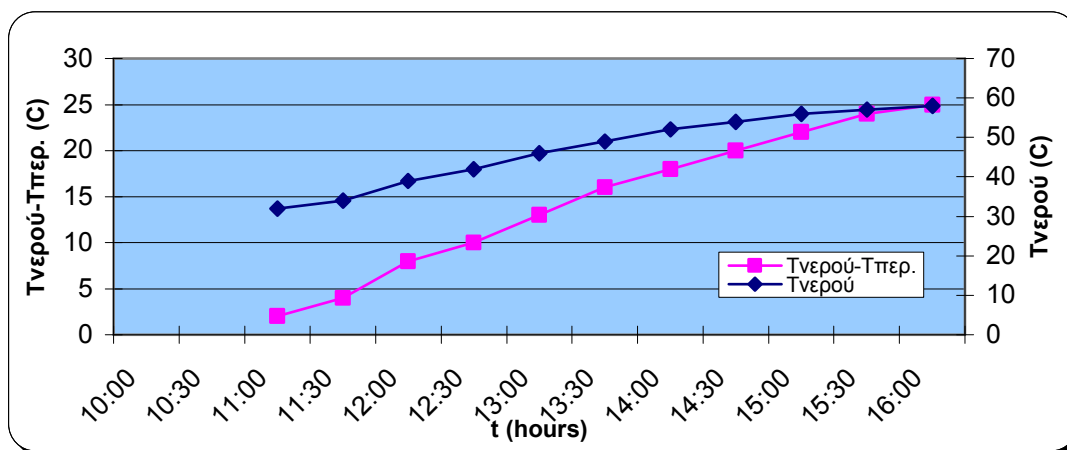
Χρόνος	Τπεριβάλλοντος	Τνερού	Ηλιακή Ακτινοβολία	Τνερού-Τπερ.
10:00	29	26	730.9251	-3
10:30	30	28	762.7371	-2
11:00	30	32	831.9282	2
11:30	30	34	879.6462	4
12:00	31	39	950.4279	8
12:30	32	42	971.901	10
13:00	33	46	990.9882	13
13:30	33	49	1010.8707	16
14:00	34	52	996.5553	18
14:30	34	54	970.3104	20
15:00	34	56	924.183	22
15:30	33	57	874.0791	24
16:00	33	58	831.9282	25
<i>Μέση ηλιακή ακτινοβολία</i>			902.03	



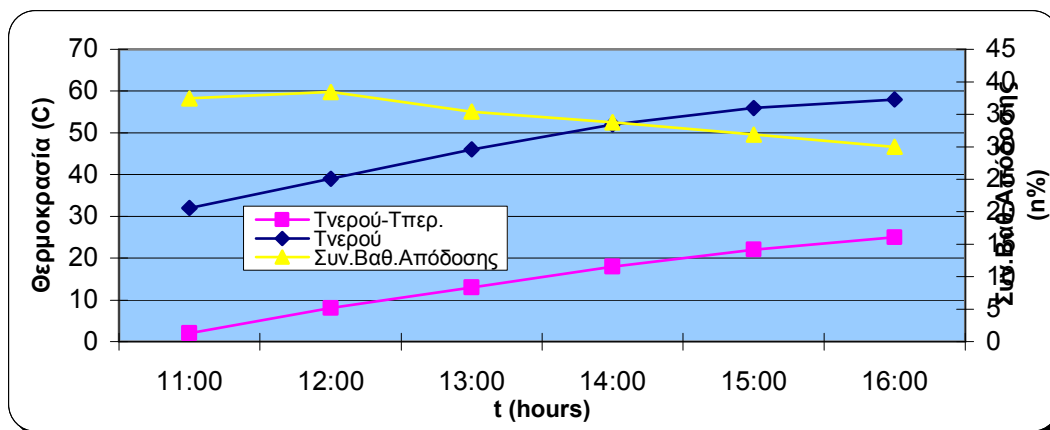
Σχήμα 3.26: Καμπύλες μεταβολής θερμοκρασίας νερού, θερμοκρασίας περιβάλλοντος & ηλιακής ακτινοβολίας συναρτήσει του χρόνου (09/08/05, το δοχείο είναι καλυμμένο με διπλό πλαστικό φύλλο).



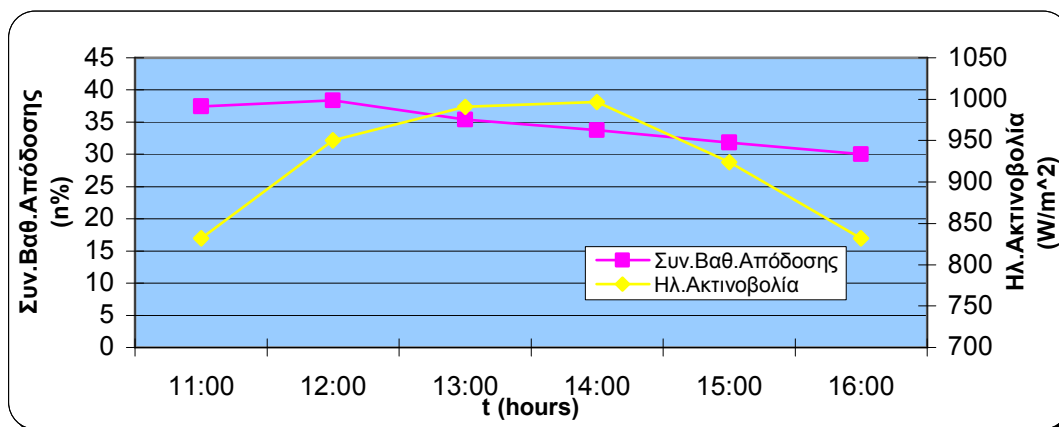
Σχήμα 3.27: Καμπύλες μεταβολής διαφοράς θερμοκρασίας νερού-περιβάλλοντος & ηλιακής ακτινοβολίας συναρτήσει του χρόνου (09/08/05, το δοχείο είναι καλυμμένο με διπλό πλαστικό φύλλο).



Σχήμα 3.28: Καμπύλες μεταβολής διαφοράς θερμοκρασίας νερού-περιβάλλοντος & θερμοκρασίας νερού συναρτήσει του χρόνου (09/08/05, το δοχείο είναι καλυμμένο με διπλό πλαστικό φύλλο).



Σχήμα 3.29: Καμπύλες μεταβολής διαφοράς θερμοκρασίας νερού-περιβάλλοντος, θερμοκρασίας νερού & συνολικού βαθμού απόδοσης συναρτήσει του χρόνου (09/08/05, το δοχείο είναι καλυμμένο με διπλό πλαστικό φύλλο).



Σχήμα 3.30: Καμπύλες μεταβολής συνολικού βαθμού απόδοσης & ηλιακής ακτινοβολίας συναρτήσει του χρόνου (09/08/05, το δοχείο είναι καλυμμένο με διπλό πλαστικό φύλλο).

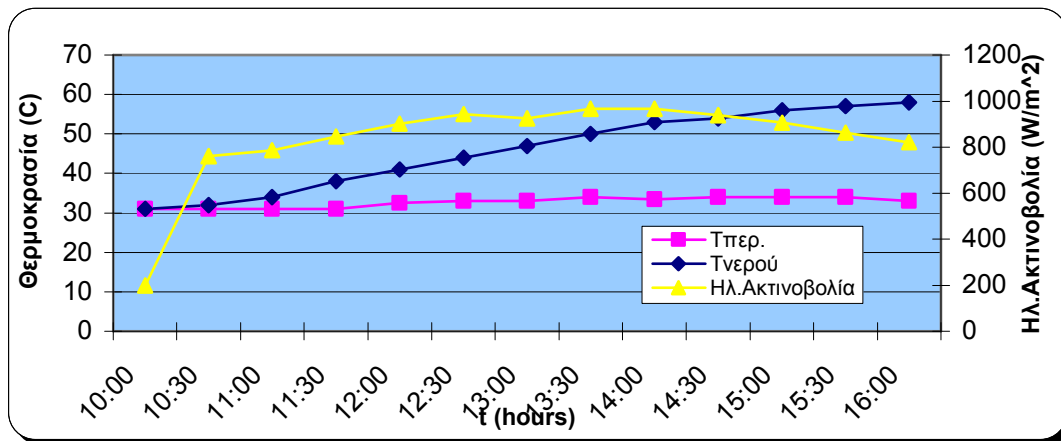
✍️ Στα παραπάνω διαγράμματα ο συνολικός βαθμός απόδοσης στις 11:00 αντιστοιχεί στο χρονικό διάστημα από τις 10:00-11:00, στις 12:00 αντιστοιχεί στο χρονικό διάστημα από τις 10:00-12:00 κ.ο.κ

3.1.7 7^ο ΠΕΙΡΑΜΑ (10/08/05)

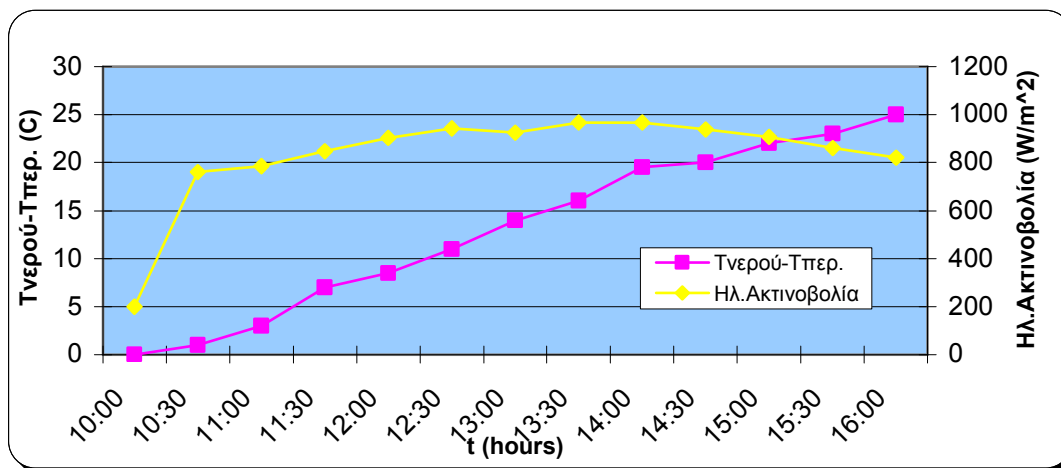
- Εμβαδόν άνω επιφάνειας δοχείου:0,08m²
- Το δοχείο είναι καλυμμένο με διπλό πλαστικό φύλλο
- 4lt νερό
- Το δοχείο με το νερό έχει διατηρηθεί το βράδυ έξω σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.
- Η θερμοκρασία του νερού το επόμενο πρωί ήταν 35 °C σε θερμοκρασία περιβάλλοντος 31°C.

Πίνακας 3.8: Αποτελέσματα μετρήσεων εβδομίου πειράματος (10/08/05).

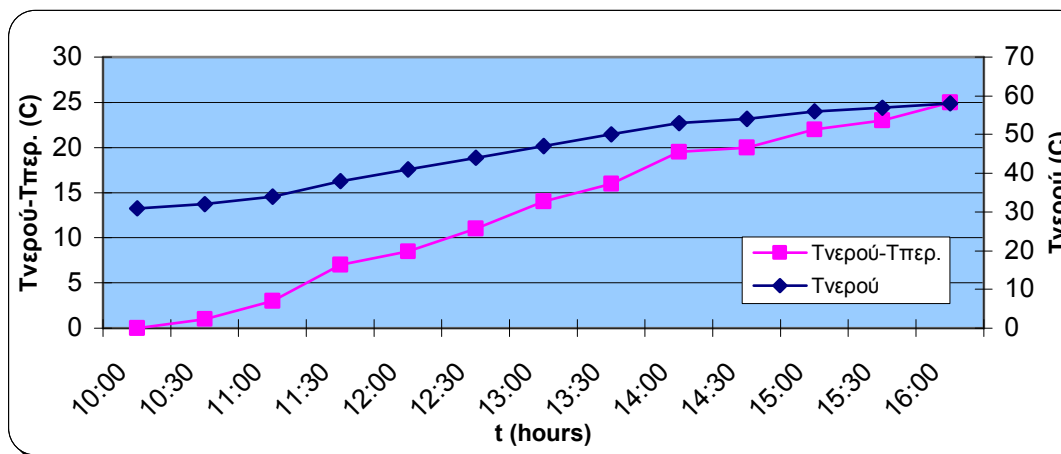
Χρόνος	Τπεριβάλλοντος	Τνερού	Ηλιακή Ακτινοβολία	Τνερού-Τπερ.
10:00	31	31	199.6647	0
10:30	31	32	760.3512	1
11:00	31	34	785.8008	3
11:30	31	38	846.2436	7
12:00	32.5	41	902.7099	8.5
12:30	33	44	943.2702	11
13:00	33	47	924.9783	14
13:30	34	50	967.1292	16
14:00	33.5	53	967.1292	19.5
14:30	34	54	938.4984	20
15:00	34	56	907.4817	22
15:30	34	57	861.3543	23
16:00	33	58	819.9987	25
Μέση ηλιακή ακτινοβολία			832,6	



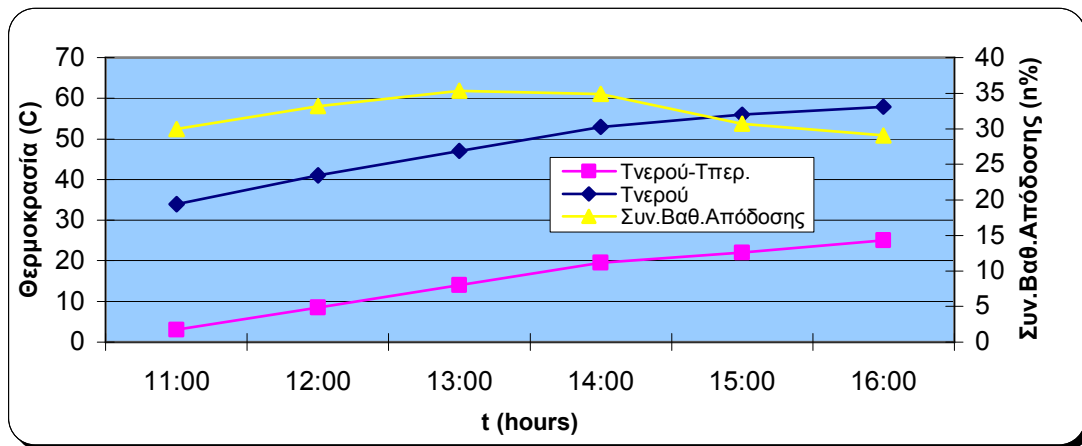
Σχήμα 3.31: Καμπύλες μεταβολής θερμοκρασίας νερού, θερμοκρασίας περιβάλλοντος & ηλιακής ακτινοβολίας συναρτήσει του χρόνου (10/08/05, το δοχείο είναι καλυμμένο με διπλό πλαστικό φύλλο).



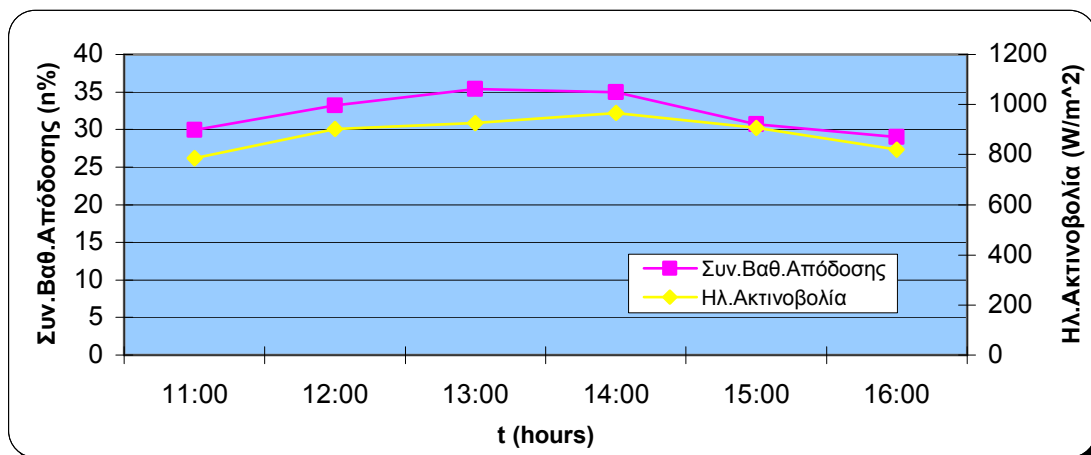
Σχήμα 3.32: Καμπύλες μεταβολής διαφοράς θερμοκρασίας νερού-περιβάλλοντος & ηλιακής ακτινοβολίας συναρτήσει του χρόνου (10/08/05, το δοχείο είναι καλυμμένο με διπλό πλαστικό φύλλο).



Σχήμα 3.33: Καμπύλες μεταβολής διαφοράς θερμοκρασίας νερού-περιβάλλοντος & θερμοκρασίας νερού συναρτήσει του χρόνου (10/08/05, το δοχείο είναι καλυμμένο με διπλό πλαστικό φύλλο).



Σχήμα 3.34: Καμπύλες μεταβολής διαφοράς θερμοκρασίας νερού-περιβάλλοντος, θερμοκρασίας νερού & συνολικού βαθμού απόδοσης συναρτήσει του χρόνου (10/08/05, το δοχείο είναι καλυμμένο με διπλό πλαστικό φύλλο).



Σχήμα 3.35: Καμπύλες μεταβολής συνολικού βαθμού απόδοσης & ηλιακής ακτινοβολίας συναρτήσει του χρόνου (10/08/05, το δοχείο είναι καλυμμένο με διπλό πλαστικό φύλλο).

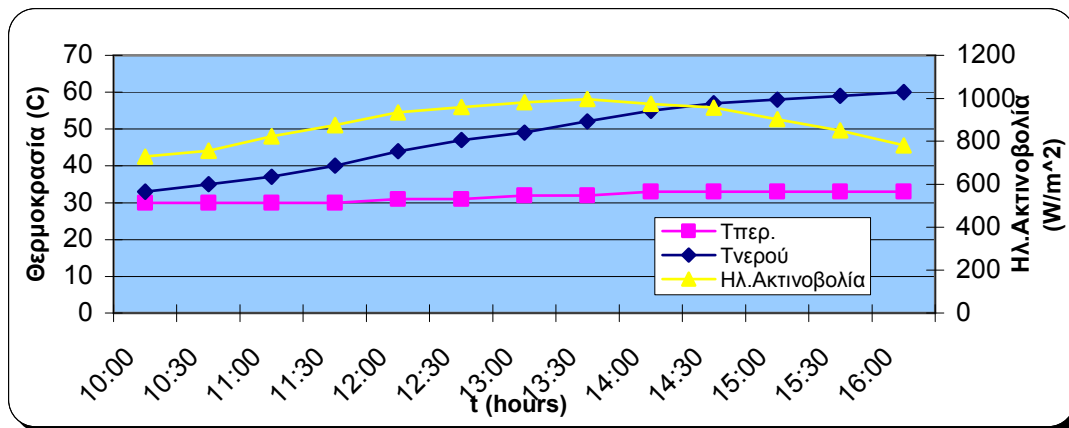
☞ Στα παραπάνω διαγράμματα ο συνολικός βαθμός απόδοσης στις 11:00 αντιστοιχεί στο χρονικό διάστημα από τις 10:00-11:00, στις 12:00 αντιστοιχεί στο χρονικό διάστημα από τις 10:00-12:00 κ.ο.κ

3.1.8 8^ο ΠΕΙΡΑΜΑ (11/08/05)

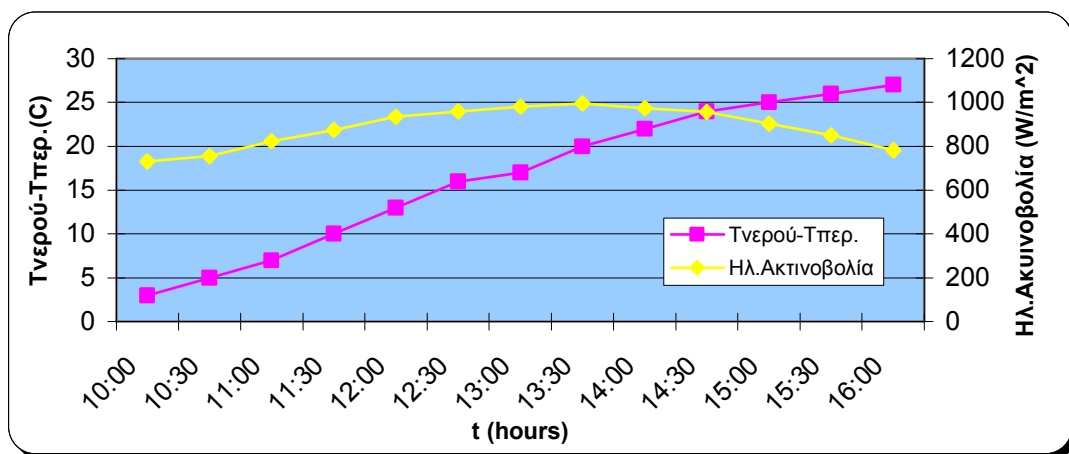
- Εμβαδόν άνω επιφάνειας δοχείου:0,08m²
- Το δοχείο είναι καλυμμένο με διπλό πλαστικό φύλλο
- 4lt νερό

Πίνακας 3.9: Αποτελέσματα μετρήσεων όγδοου πειράματος (11/08/05).

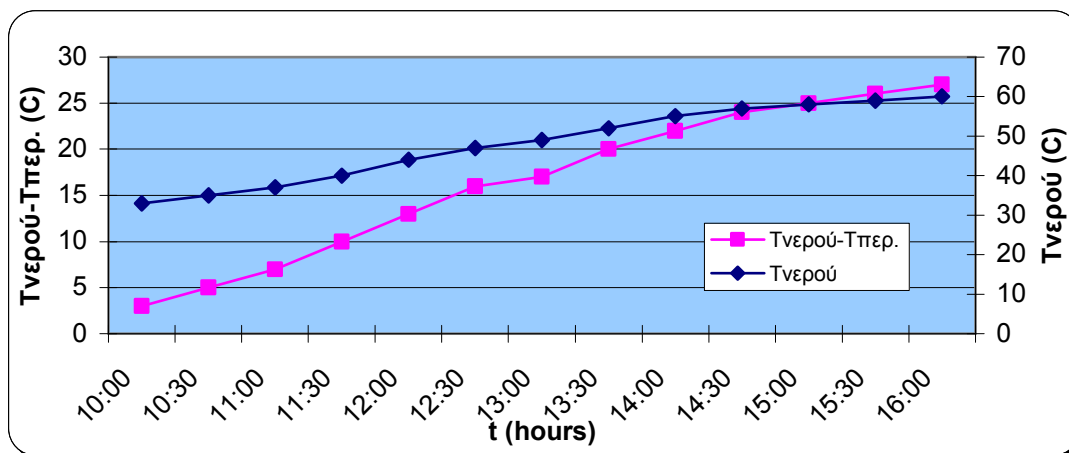
Χρόνος	Τπεριβάλλοντος	Τνερού	Ηλιακή Ακτινοβολία	Τνερού-Τπερ.
10:00	30	33	730.1298	3
10:30	30	35	756.3747	5
11:00	30	37	822.3846	7
11:30	30	40	874.8744	10
12:00	31	44	934.5219	13
12:30	31	47	959.1762	16
13:00	32	49	981.4446	17
13:30	32	52	995.76	20
14:00	33	55	975.0822	22
14:30	33	57	955.955	24
15:00	33	58	903.5052	25
15:30	33	59	849.4248	26
16:00	33	60	781.029	27
Μέση ηλιακή ακτινοβολία			886,12	



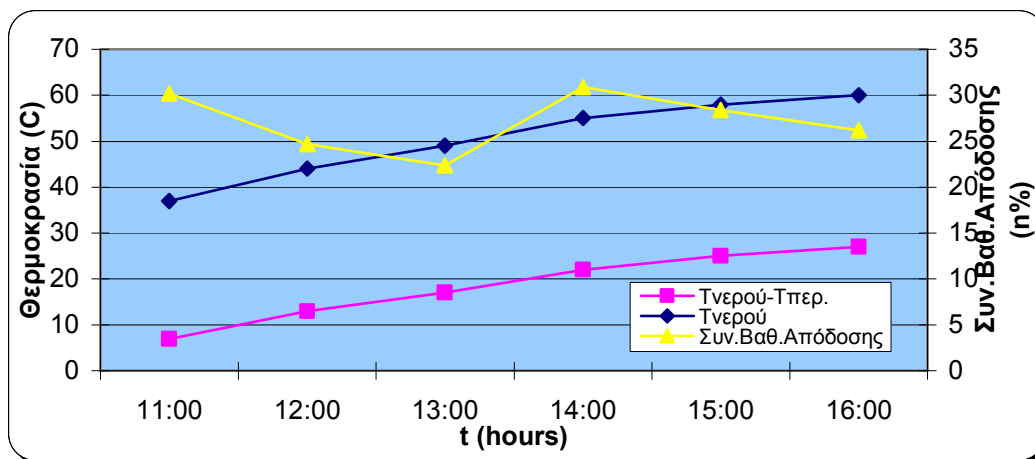
Σχήμα 3.36: Καμπύλες μεταβολής θερμοκρασίας νερού, θερμοκρασίας περιβάλλοντος & ηλιακής ακτινοβολίας συναρτήσεσι του χρόνου (11/08/05, το δοχείο είναι καλυμμένο με διπλό πλαστικό φύλλο).



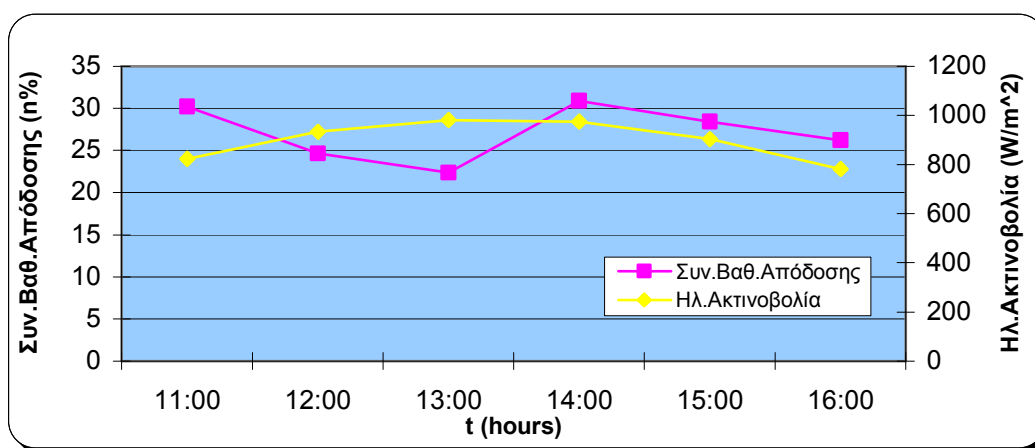
Σχήμα 3.37: Καμπύλες μεταβολής διαφοράς θερμοκρασίας νερού-περιβάλλοντος & ηλιακής ακτινοβολίας συναρτήσεσι του χρόνου (11/08/05, το δοχείο είναι καλυμμένο με διπλό πλαστικό φύλλο).



Σχήμα 3.38: Καμπύλες μεταβολής διαφοράς θερμοκρασίας νερού-περιβάλλοντος & θερμοκρασίας νερού συναρτήσεσι του χρόνου (11/08/05, το δοχείο είναι καλυμμένο με διπλό πλαστικό φύλλο).



Σχήμα 3.39: Καμπύλες μεταβολής διαφοράς θερμοκρασίας νερού-περιβάλλοντος, θερμοκρασίας νερού & συνολικού βαθμού απόδοσης συναρτήσει του χρόνου (11/08/05, το δοχείο είναι καλυμμένο με διπλό πλαστικό φύλλο).



Σχήμα 3.40: Καμπύλες μεταβολής συνολικού βαθμού απόδοσης & ηλιακής ακτινοβολίας συναρτήσει του χρόνου (11/08/05, το δοχείο είναι καλυμμένο με διπλό πλαστικό φύλλο).

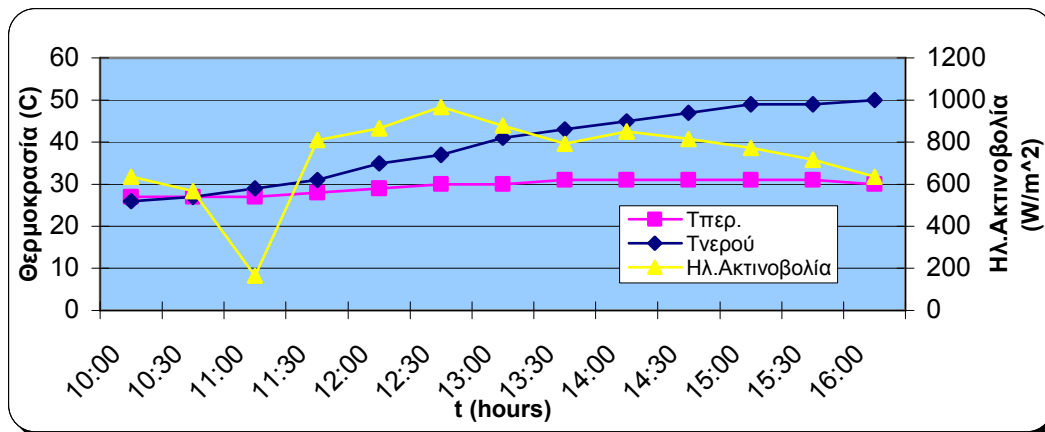
Στα παραπάνω διαγράμματα ο συνολικός βαθμός απόδοσης στις 11:00 αντιστοιχεί στο χρονικό διάστημα από τις 10:00-11:00, στις 12:00 αντιστοιχεί στο χρονικό διάστημα από τις 10:00-12:00 κ.ο.κ

3.1.9 9^ο ΠΕΙΡΑΜΑ (23/09/05)

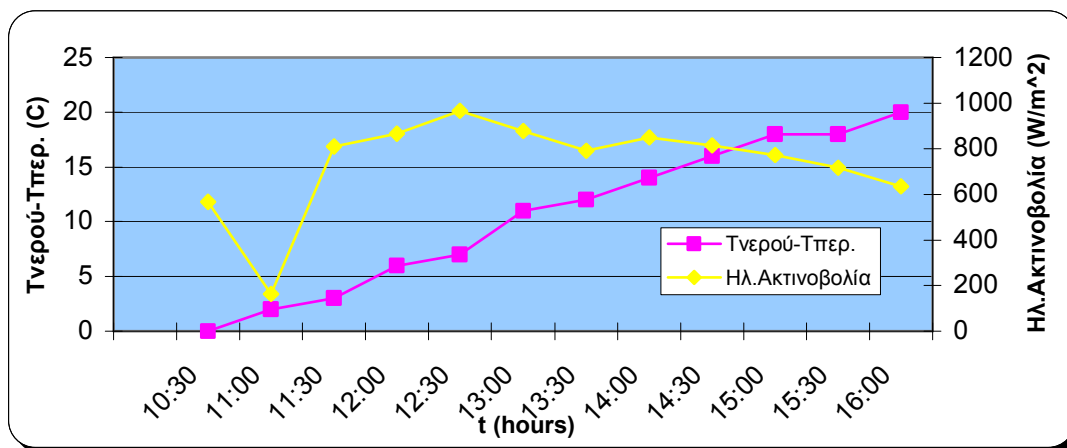
- Εμβαδόν άνω επιφάνειας δοχείου:0,08m²
- Το δοχείο είναι καλυμμένο με διπλό πλαστικό φύλλο
- 4lt νερό

Πίνακας 3.10: Αποτελέσματα μετρήσεων ένατου πειράματος (23/09/05).

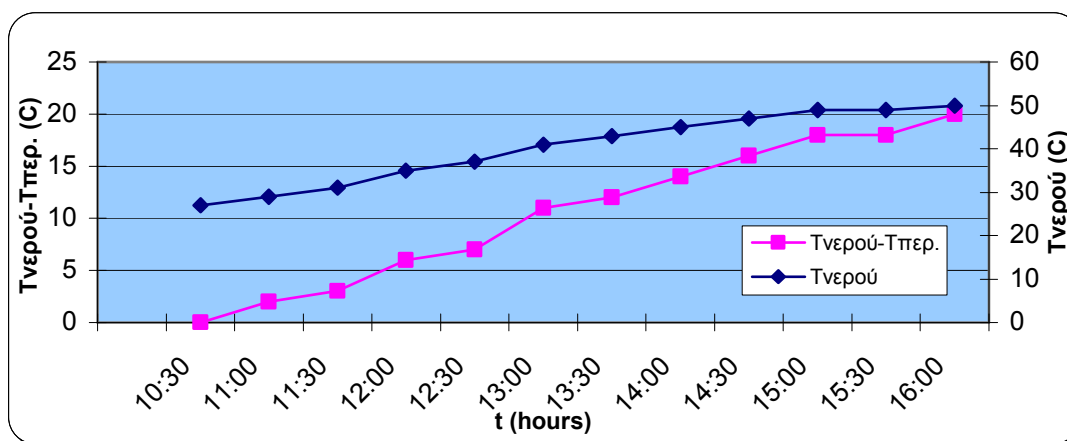
Χρόνος	Τπεριβάλλοντος	Τνερού	Ηλιακή Ακτινοβολία	Τνερού-Τπερ.
10:00	27	26	635.4891	-1
10:30	27	27	566.928	0
11:00	27	29	163.8762	2
11:30	28	31	811.2504	3
12:00	29	35	866.9214	6
12:30	30	37	967.1292	7
13:00	30	41	877.2603	11
13:30	31	43	792.1632	12
14:00	31	45	849.4248	14
14:30	31	47	815.2269	16
15:00	31	49	772.2807	18
15:30	31	49	716.6097	18
16:00	30	50	634.6938	20
<i>Μέση ηλιακή ακτινοβολία</i>			<i>728,4</i>	



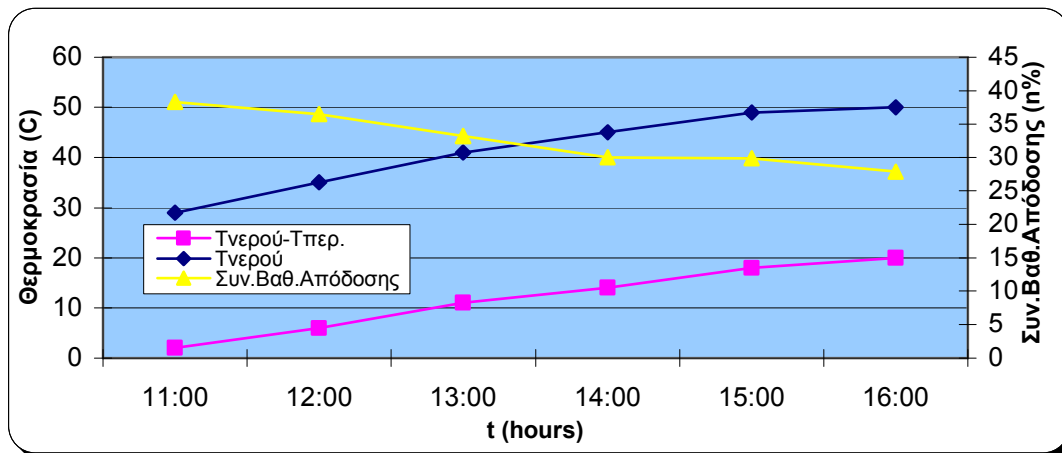
Σχήμα 3.41: Καμπύλες μεταβολής θερμοκρασίας νερού, θερμοκρασίας περιβάλλοντος & ηλιακής ακτινοβολίας συναρτήσει του χρόνου (23/09/05, το δοχείο είναι καλυμμένο με διπλό πλαστικό φύλλο).



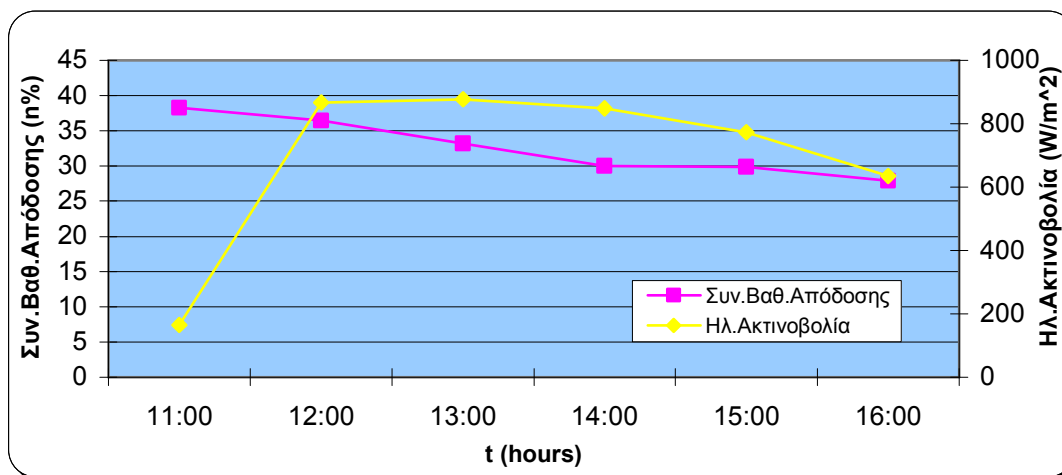
Σχήμα 3.42: Καμπύλες μεταβολής διαφοράς θερμοκρασίας νερού-περιβάλλοντος & ηλιακής ακτινοβολίας συναρτήσει του χρόνου (23/09/05, το δοχείο είναι καλυμμένο με διπλό πλαστικό φύλλο).



Σχήμα 3.43: Καμπύλες μεταβολής διαφοράς θερμοκρασίας νερού-περιβάλλοντος & θερμοκρασίας νερού συναρτήσει του χρόνου (23/09/05, το δοχείο είναι καλυμμένο με διπλό πλαστικό φύλλο).



Σχήμα 3.44: Καμπύλες μεταβολής διαφοράς θερμοκρασίας νερού-περιβάλλοντος, θερμοκρασίας νερού & συνολικού βαθμού απόδοσης συναρτήσει του χρόνου (23/09/05, το δοχείο είναι καλυμμένο με διπλό πλαστικό φύλλο).



Σχήμα 3.45: Καμπύλες μεταβολής συνολικού βαθμού απόδοσης & ηλιακής ακτινοβολίας συναρτήσει του χρόνου (23/09/05, το δοχείο είναι καλυμμένο με διπλό πλαστικό φύλλο).

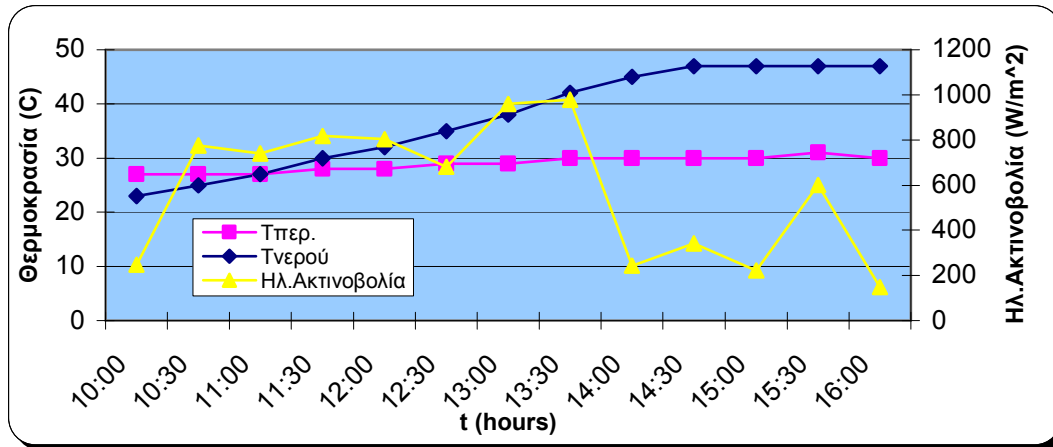
✎ Στα παραπάνω διαγράμματα ο συνολικός βαθμός απόδοσης στις 11:00 αντιστοιχεί στο χρονικό διάστημα από τις 10:00-11:00, στις 12:00 αντιστοιχεί στο χρονικό διάστημα από τις 10:00-12:00 κ.ο.κ

3.1.10 10^ο ΠΕΙΡΑΜΑ (26/09/05)

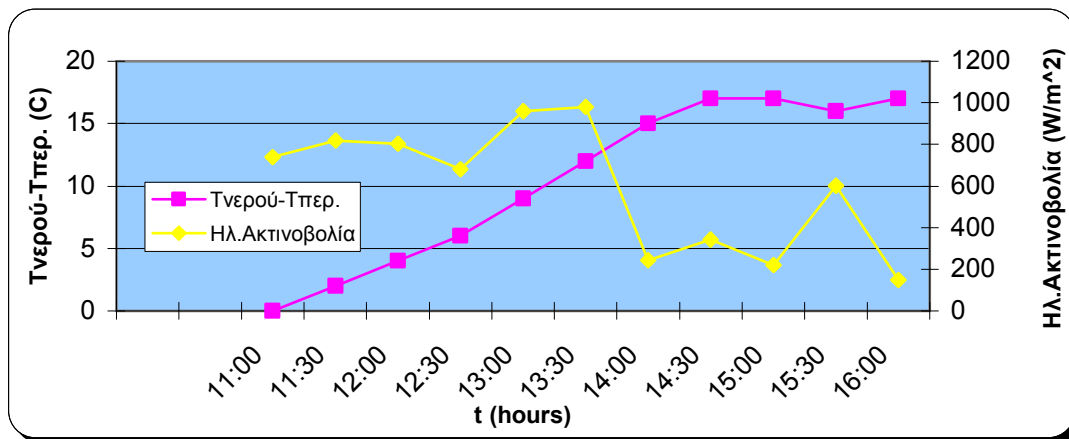
- Εμβαδόν άνω επιφάνειας δοχείου:0,08m²
- Το δοχείο είναι καλυμμένο με διπλό πλαστικό φύλλο
- 4lt νερό
- Το δοχείο με το νερό έχει διατηρηθεί το βράδυ έξω σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.
- Η θερμοκρασία του νερού το επόμενο πρωί ήταν 26°C σε θερμοκρασία περιβάλλοντος 27°C.

Πίνακας 3.11: Αποτελέσματα μετρήσεων δέκατου πειράματος (26/09/05).

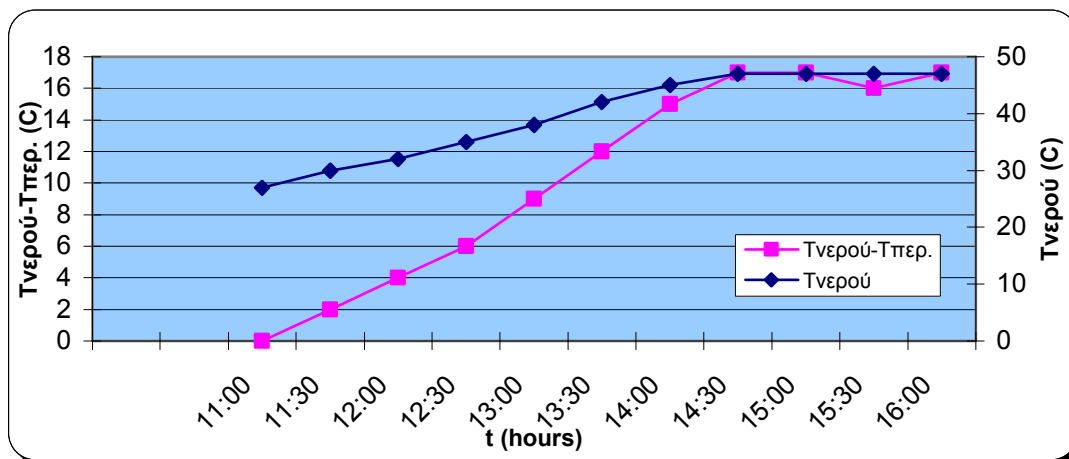
Χρόνος	Τπεριβάλλοντος	Τνερού	Ηλιακή Ακτινοβολία	Τνερού-Τπερ.
10:00	27	23	247.3827	-4
10:30	27	25	776.2572	-2
11:00	27	27	740.4687	0
11:30	28	30	817.6128	2
12:00	28	32	804.0927	4
12:30	29	35	680.8212	6
13:00	29	38	959.1762	9
13:30	30	42	979.0587	12
14:00	30	45	243.4062	15
14:30	30	47	342.8187	17
15:00	30	47	221.1378	17
15:30	31	47	601.2912	16
16:00	30	47	147.9702	17
<i>Μέση ηλιακή ακτινοβολία</i>			581.6	



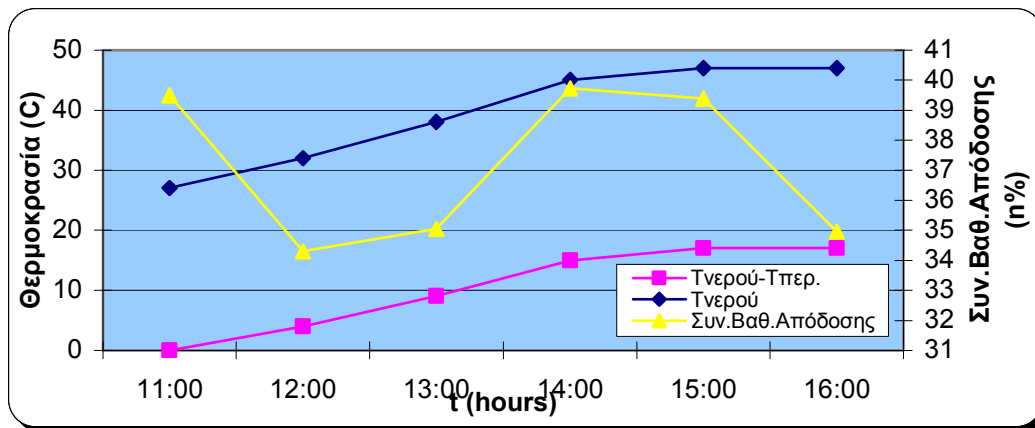
Σχήμα 3.46: Καμπύλες μεταβολής θερμοκρασίας νερού, θερμοκρασίας περιβάλλοντος & ηλιακής ακτινοβολίας συναρτήσει του χρόνου (26/09/05, το δοχείο είναι καλυμμένο με διπλό πλαστικό φύλλο).



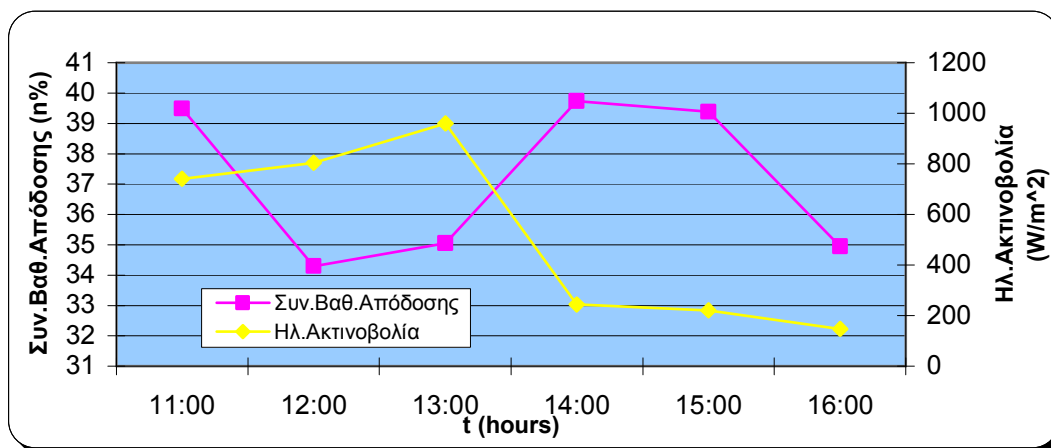
Σχήμα 3.47: Καμπύλες μεταβολής διαφοράς θερμοκρασίας νερού-περιβάλλοντος & ηλιακής ακτινοβολίας συναρτήσει του χρόνου (26/09/05, το δοχείο είναι καλυμμένο με διπλό πλαστικό φύλλο).



Σχήμα 3.48: Καμπύλες μεταβολής διαφοράς θερμοκρασίας νερού-περιβάλλοντος & θερμοκρασίας νερού συναρτήσει του χρόνου (26/09/05, το δοχείο είναι καλυμμένο με διπλό πλαστικό φύλλο).



Σχήμα 3.49: Καμπύλες μεταβολής διαφοράς θερμοκρασίας νερού-περιβάλλοντος, θερμοκρασίας νερού & συνολικού βαθμού απόδοσης συναρτήσει του χρόνου (26/09/05, το δοχείο είναι καλυμμένο με διπλό πλαστικό φύλλο).



Σχήμα 3.50: Καμπύλες μεταβολής συνολικού βαθμού απόδοσης & ηλιακής ακτινοβολίας συναρτήσει του χρόνου (26/09/05, το δοχείο είναι καλυμμένο με διπλό πλαστικό φύλλο).

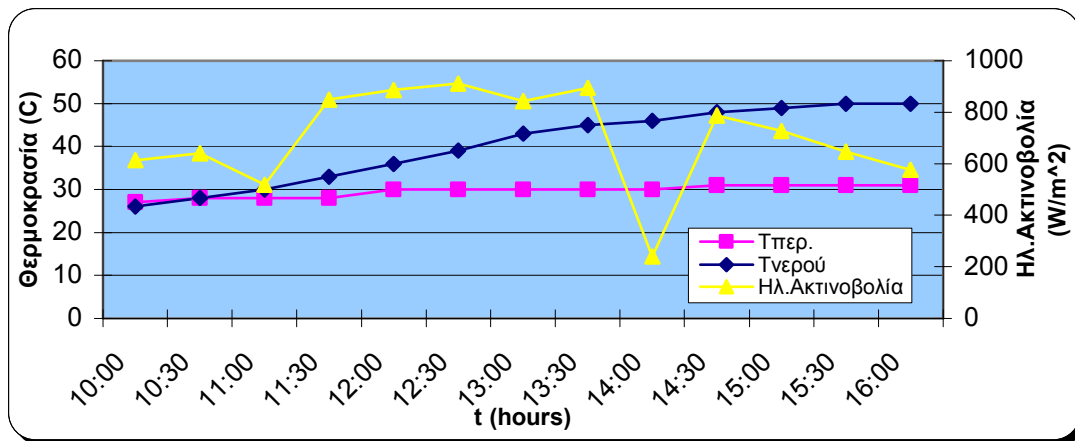
✍ Στα παραπάνω διαγράμματα ο συνολικός βαθμός απόδοσης στις 11:00 αντιστοιχεί στο χρονικό διάστημα από τις 10:00-11:00, στις 12:00 αντιστοιχεί στο χρονικό διάστημα από τις 10:00-12:00 κ.ο.κ

3.1.11 11^ο ΠΕΙΡΑΜΑ (27/09/05)

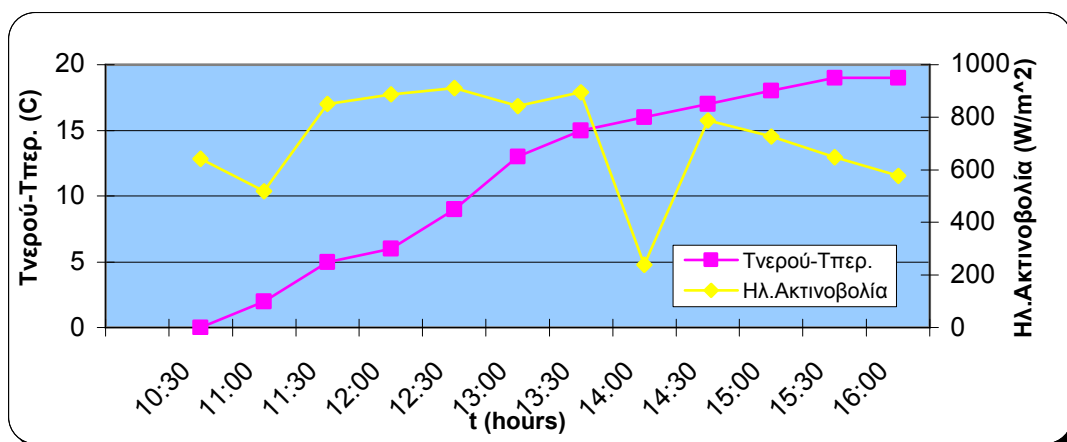
- Εμβαδόν άνω επιφάνειας δοχείου:0,08m²
- Το δοχείο είναι καλυμμένο με διπλό πλαστικό φύλλο
- 4lt νερό

Πίνακας 3.12: Αποτελέσματα μετρήσεων ενδέκατου πειράματος (27/09/05).

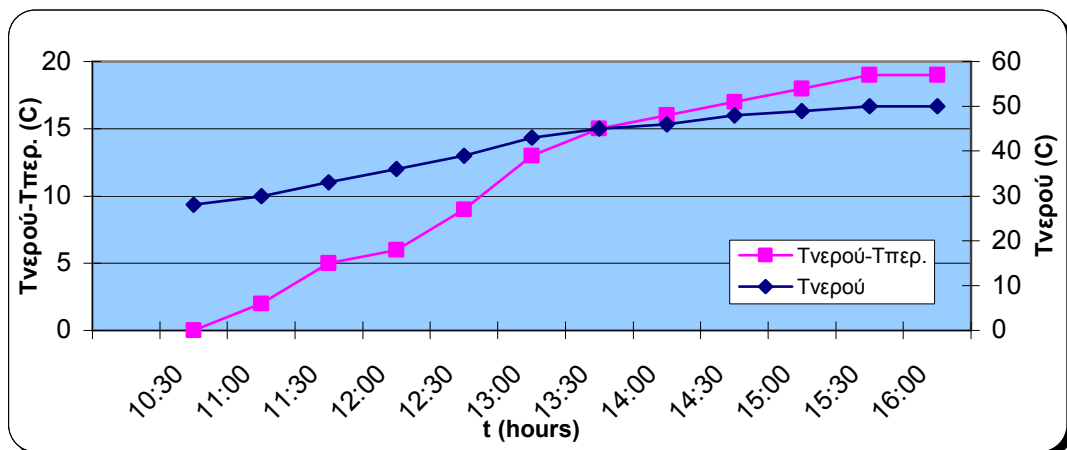
Χρόνος	Τπεριβάλλοντος	Τνερού	Ηλιακή Ακτινοβολία	Τνερού-Τπερ.
10:00	27	26	614.016	-1
10:30	28	28	641.0562	0
11:00	28	30	518.58	2
11:30	28	33	849.4248	5
12:00	30	36	886.0086	6
12:30	30	39	911.4582	9
13:00	30	43	843.0624	13
13:30	30	45	895.5522	15
14:00	30	46	239.4297	16
14:30	31	48	788.1867	17
15:00	31	49	726.9486	18
15:30	31	50	647.4186	19
16:00	31	50	577.4322	19
<i>Μέση ηλιακή ακτινοβολία</i>			702,96	



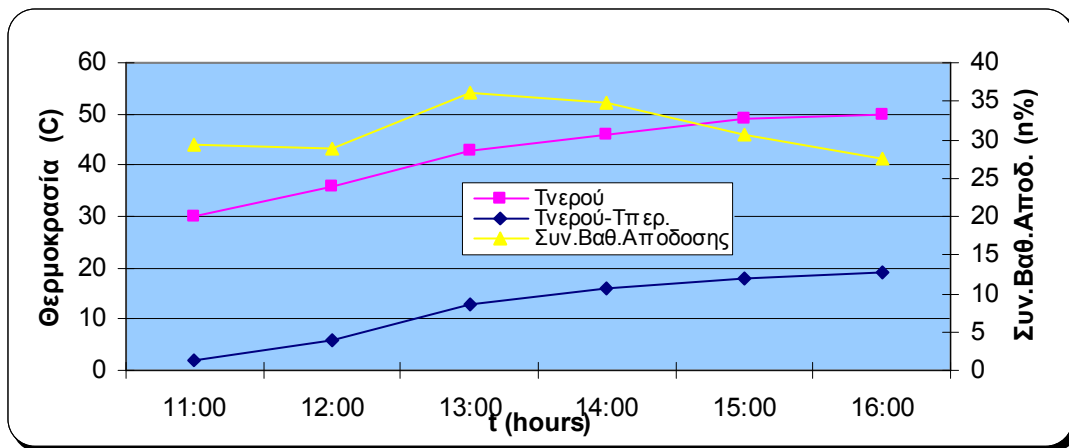
Σχήμα 3.51: Καμπύλες μεταβολής θερμοκρασίας νερού, θερμοκρασίας περιβάλλοντος & ηλιακής ακτινοβολίας συναρτήσει του χρόνου (27/09/05, το δοχείο είναι καλυμμένο με διπλό πλαστικό φύλλο).



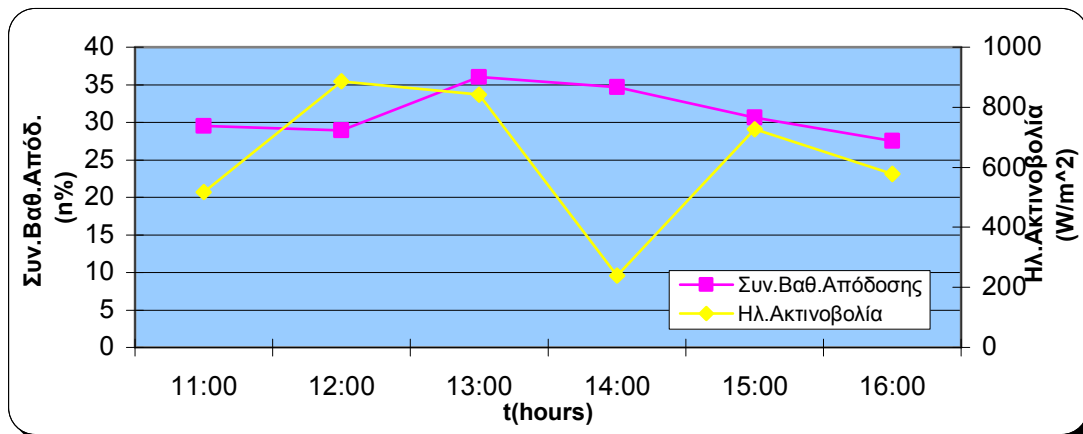
Σχήμα 3.52: Καμπύλες μεταβολής διαφοράς θερμοκρασίας νερού-περιβάλλοντος & ηλιακής ακτινοβολίας συναρτήσει του χρόνου (27/09/05, το δοχείο είναι καλυμμένο με διπλό πλαστικό φύλλο).



Σχήμα 3.53: Καμπύλες μεταβολής διαφοράς θερμοκρασίας νερού-περιβάλλοντος & θερμοκρασίας νερού συναρτήσει του χρόνου (27/09/05, το δοχείο είναι καλυμμένο με διπλό πλαστικό φύλλο).



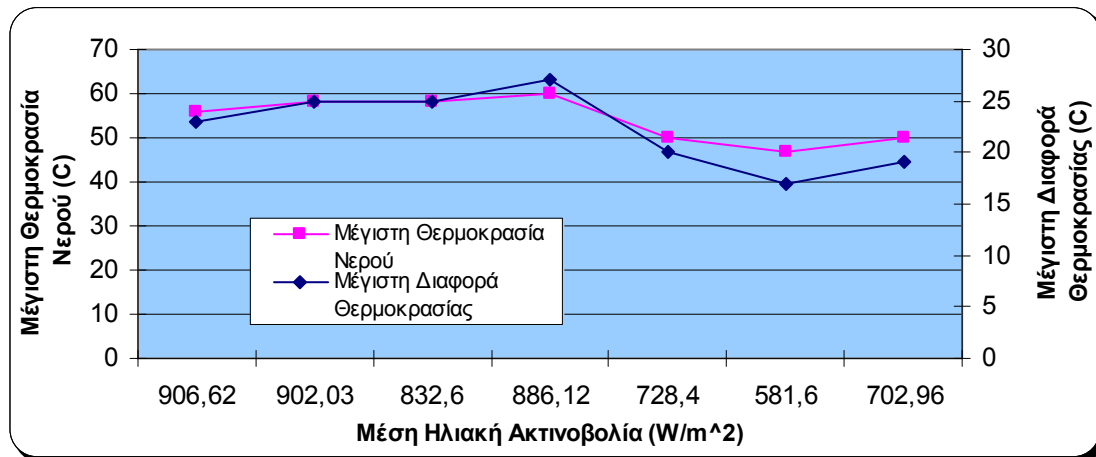
Σχήμα 3.54: Καμπύλες μεταβολής διαφοράς θερμοκρασίας νερού-περιβάλλοντος, θερμοκρασίας νερού & συνολικού βαθμού απόδοσης συναρτήσει του χρόνου (27/09/05, το δοχείο είναι καλυμμένο με διπλό πλαστικό φύλλο).



Σχήμα 3.55: Καμπύλες μεταβολής συνολικού βαθμού απόδοσης & ηλιακής ακτινοβολίας συναρτήσει του χρόνου (27/09/05, το δοχείο είναι καλυμμένο με διπλό πλαστικό φύλλο).

Στα παραπάνω διαγράμματα ο συνολικός βαθμός απόδοσης στις 11:00 αντιστοιχεί στο χρονικό διάστημα από τις 10:00-11:00, στις 12:00 αντιστοιχεί στο χρονικό διάστημα από τις 10:00-12:00 κ.ο.κ

Το παρακάτω διάγραμμα έχει σχεδιαστεί με βάση τις μετρήσεις των επτά πειραμάτων της τρίτης κατηγορίας, κατά την οποία το δοχείο με το νερό του ηλιακού θερμοσίφωνα έχει καλυφθεί με διπλό πλαστικό φύλλο.



Σχήμα 3.56: Καμπύλες μεταβολής μέγιστης θερμοκρασίας νερού & μέγιστης διαφοράς θερμοκρασίας νερού-περιβάλλοντος συναρτήσει της μέσης ηλιακής ακτινοβολίας για τις μετρήσεις της 3^{ης} κατηγορίας (το δοχείο καλυμμένο με διπλό πλαστικό φύλλο).

4^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

4.1 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Από τη μελέτη και την επεξεργασία των μετρήσεων που λήφθηκαν κατά τη διεξαγωγή των πειραμάτων, εξάγονται τα παρακάτω συμπεράσματα για την κάθε κατηγορία μετρήσεων όπως επίσης και κάποια συγκριτικά συμπεράσματα μεταξύ των κατηγοριών.

Στην πρώτη κατηγορία μετρήσεων περιλαμβάνονται οι μετρήσεις που έχουν ληφθεί στις 26/07/05 και 27/07/05, όπου το δοχείο δεν είναι καλυμμένο με πλαστικό φύλλο. Παρακάτω παρουσιάζονται οι εξής παρατηρήσεις:

1. Ο βαθμός απόδοσης φαίνεται να είναι πιο αυξημένος κατά τις πρωινές ώρες παρουσιάζοντας μια σταδιακή μείωση με τη πάροδο των ωρών.
2. Η μέγιστη θερμοκρασία νερού στο δοχείο είναι 42°C στις 16:00 το απόγευμα σε θερμοκρασία περιβάλλοντος 34°C και με την ηλιακή ακτινοβολία να κυμαίνεται από 820 W/m²-840 W/m².
3. Η μέγιστη διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας του νερού μέσα στο δοχείο και της θερμοκρασίας περιβάλλοντος είναι 8°C από τις 14:00 μέχρι τις 16:00 περίπου.
4. Η θερμοκρασία του νερού στο δοχείο την επόμενη το πρωί, ενώ το δοχείο είχε παραμείνει όλο το βράδυ έξω σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, είναι 25°C και μετρήθηκε σε θερμοκρασία περιβάλλοντος 30°C.
5. Η ηλιακή ακτινοβολία κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 748 W/m² -1013 W/m²
6. Ο βαθμός απόδοσης επηρεάζεται σημαντικά από την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία. Όσο υψηλότερες είναι οι τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας καθ' όλη την διάρκεια της ημέρας, τόσο ο βαθμός απόδοσης διατηρείται σε υψηλά επίπεδα.

Στην δεύτερη κατηγορία μετρήσεων περιλαμβάνονται οι μετρήσεις που έχουν ληφθεί στις 28/07/05 και 29/07/05, όπου το δοχείο είναι καλυμμένο με μονό πλαστικό φύλλο. Παρακάτω παρουσιάζονται οι εξής παρατηρήσεις:

1. Ο βαθμός απόδοσης στην δεύτερη κατηγορία μετρήσεων εμφανίζει υψηλότερες τιμές σε σύγκριση με αυτόν της πρώτης κατηγορίας μετρήσεων, φτάνοντας το 76,73%. Επίσης φαίνεται να είναι πιο αυξημένος κατά τις πρωινές ώρες παρουσιάζοντας μια σταδιακή μείωση τις απογευματινές ώρες.
2. Η μέγιστη θερμοκρασία νερού στο δοχείο είναι 60°C στις 16:00 το απόγευμα σε θερμοκρασία περιβάλλοντος 34°C και με την ηλιακή ακτινοβολία να κυμαίνεται από 781 W/m²-806 W/m².
3. Η μέγιστη διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας του νερού μέσα στο δοχείο και της θερμοκρασίας περιβάλλοντος είναι 26°C από τις 14:00 μέχρι τις 16:00 περίπου.
4. Η θερμοκρασία νερού στο δοχείο την επόμενη το πρωί, ενώ το δοχείο είχε παραμείνει όλο το βράδυ έξω σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, είναι 33°C και μετρήθηκε σε θερμοκρασία περιβάλλοντος 31°C.
5. Η ηλιακή ακτινοβολία κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 629 W/m² -1011 W/m².
6. Ο βαθμός απόδοσης επηρεάζεται σημαντικά από την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία. Όσο υψηλότερες είναι οι τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας καθ' όλη την διάρκεια της ημέρας, τόσο ο βαθμός απόδοσης διατηρείται σε υψηλά επίπεδα.

Στην τρίτη κατηγορία μετρήσεων περιλαμβάνονται οι μετρήσεις που έχουν ληφθεί στις 05/08/05, 9/08/05, 10/08/05, 11/08/05, όπως επίσης και στις 23/09/05, 26/09/05 και στις 27/09/05 όπου το δοχείο είναι καλυμμένο με διπλό πλαστικό φύλλο. Παρακάτω παρουσιάζονται οι εξής παρατηρήσεις:

1. Ο βαθμός απόδοσης στην τρίτη κατηγορία μετρήσεων είναι αυξημένος κατά τις πρωινές ώρες και παρουσιάζει μια σταδιακή μείωση τις απογευματινές ώρες εκτός από τις μετρήσεις που λήφθηκαν τις μέρες του Σεπτεμβρίου όπου υπήρχαν περιόδους νεφώσεων κατά την λήψη των μετρήσεων και ο βαθμός απόδοσης παρουσιάζει κάποιες απότομες αυξομειώσεις λόγω των χαμηλών τιμών ηλιακής ακτινοβολίας.

2. Η μέγιστη θερμοκρασία νερού στο δοχείο είναι 60°C στις 16:00 το απόγευμα και με την ηλιακή ακτινοβολία να κυμαίνεται από 780 W/m^2 -840 W/m^2 , εκτός των μετρήσεων του Σεπτεμβρίου όπου η μέγιστη θερμοκρασία φτάνει τους 50°C και με την ηλιακή ακτινοβολία να κυμαίνεται από 147 W/m^2 -634 W/m^2 τις μέρες με περιόδους νεφώσεων.
3. Η μέγιστη διαφορά θερμοκρασίας νερού και περιβάλλοντος είναι 27°C εκτός των μετρήσεων του Σεπτεμβρίου όπου η μέγιστη διαφορά είναι 20°C
4. Η θερμοκρασία νερού στο δοχείο την επόμενη το πρωί είναι 35°C σε θερμοκρασία περιβάλλοντος 31°C εκτός των μετρήσεων του Σεπτεμβρίου όπου η θερμοκρασία νερού στο δοχείο την επόμενη το πρωί είναι 26°C σε θερμοκρασία περιβάλλοντος 27°C.
5. Η ηλιακή ακτινοβολία κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 730 W/m^2 -1010 W/m^2 ενώ στις μετρήσεις του Σεπτεμβρίου κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 147 W/m^2 -967 W/m .
6. Ο βαθμός απόδοσης επηρεάζεται σημαντικά από την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία. Όσο υψηλότερες είναι οι τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας καθ' όλη την διάρκεια της ημέρας ,τόσο ο βαθμός απόδοσης διατηρείται σε υψηλά επίπεδα.

Στον πίνακα 4.1 αναγράφονται συνοπτικά οι μετρήσεις της μέσης ηλιακής ακτινοβολίας, της μέγιστης θερμοκρασίας νερού και η αντίστοιχη θερμοκρασία περιβάλλοντος όπως επίσης και η διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας νερού και περιβάλλοντος.

Πίνακας 4.1: Μετρήσεις μέσης ηλιακής ακτινοβολίας, μέγιστης θερμοκρασίας νερού και η αντίστοιχη θερμοκρασία περιβάλλοντος με τη διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας νερού και περιβάλλοντος.

Πειράματα	Μέση Ηλιακή Ακτινοβολία	T_{max}	T_{περ.}	ΔT
1^ο (Α' κατηγορία)	922,0622	40	34	6
2^ο (Α' κατηγορία)	920,6347	42	34	8
3^ο (Β' κατηγορία)	901,7922	60	34	26
4^ο (Β' κατηγορία)	860,0272	58	36	22
5^ο (Γ' κατηγορία)	906,82	56	33	23
6^ο (Γ' κατηγορία)	902,03	58	33	25
7^ο (Γ' κατηγορία)	832,6	58	33	25
8^ο (Γ' κατηγορία)	886,12	60	33	27
9^ο (Γ' κατηγορία)	728,4	50	30	20
10^ο (Γ' κατηγορία)	581,6	47	30	17
11^ο (Γ' κατηγορία)	702,96	50	31	19

Έχοντας καταγράψει τα συμπεράσματα μεμονωμένα για την κάθε κατηγορία πειραμάτων, δηλαδή, στη πρώτη κατηγορία η κατασκευή χωρίς να είναι καλυμμένη με διαφανές πλαστικό φύλλο, στη δεύτερη κατηγορία να είναι καλυμμένη με μονό διαφανές πλαστικό φύλλο και στη τρίτη κατηγορία να είναι καλυμμένη με διπλό διαφανές πλαστικό φύλλο, εξάγονται κάποια συγκριτικά συμπεράσματα τα οποία είναι τα ακόλουθα:

1. Από τη μελέτη των πειραματικών μετρήσεων μπορεί να αναφερθεί το γεγονός ότι ο ρόλος του πλαστικού φύλλου που καλύπτει το δοχείο με το νερό είναι σημαντικός στην μείωση των απωλειών θερμότητας, αφού στη πρώτη κατηγορία, όπου το δοχείο δεν είναι καλυμμένο με πλαστικό φύλλο, η θερμοκρασία του νερού την επόμενη το πρωί ενώ το δοχείο είχε παραμείνει έξω σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, είναι μικρότερη κατά 8 βαθμούς κελσίου περίπου από τη θερμοκρασία νερού των άλλων δύο κατηγοριών των πειραμάτων όπου η επιφάνεια του ηλιακού θερμοσίφωνα είναι καλυμμένη με μονό και διπλό διαφανές πλαστικό φύλλο.
2. Επίσης παρατηρήθηκε ότι η κάλυψη της επιφάνειας του δοχείου του νερού με μονό και διπλό πλαστικό φύλλο δεν παρουσιάζει διαφορά στην θερμοκρασία του νερού απ'ότι έδειξαν οι μετρήσεις που λήφθηκαν το επόμενο πρωί όπου η κατασκευή του ηλιακού θερμοσίφωνα είχε παραμείνει όλο το βράδυ έξω σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.
3. Επιπλέον, συγκρίνοντας τις τρεις κατηγορίες των πειραμάτων τα συμπεράσματα που μπορούν να διεξαχθούν είναι ότι ο βαθμός απόδοσης και για τις τρεις περιπτώσεις κυμαίνεται σε ικανοποιητικά επίπεδα, στο 45% περίπου, έχοντας φτάσει επίσης και το 76% μία ημέρα.
4. Ο βαθμός απόδοσης φαίνεται να παρουσιάζει την ίδια πορεία και στις τρεις κατηγορίες μετρήσεων, δηλαδή κατά τις πρωινές ώρες αυξάνεται πιάνοντας τις μέγιστες τιμές του μεταξύ 10:00 και 13:00 και στη συνέχεια παρουσιάζει μια σταδιακή καθοδική πορεία κατά τις απογευματινές ώρες.

Εντέλει, θα ήταν σημαντικό να συγκριθούν τα συμπεράσματα της παρούσης εργασίας με τα συμπεράσματα της μελέτης που πραγματοποιήθηκε στο Bangladesh. Στο Bangladesh είχαν κατασκευαστεί δύο τύποι απλών ηλιακών θερμοσίφωνων. Ο ένας αποτελείται από δύο πλαστικά δοχεία, μονωτικό υλικό και πλαστική κάλυψη ενώ ο δεύτερος αποτελείται από δύο πήλινα δοχεία, μονωτικό υλικό και πλαστική κάλυψη.

5. Στον απλό ηλιακό θερμοσίφωνα με τα πλαστικά δοχεία, χωρίς πλαστική κάλυψη, η θερμοκρασία του νερού είναι 6.5 °C πάνω από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος, ενώ σε αυτόν με τα πήλινα δοχεία είναι 7.5 °C για την ίδια ηλιακή έκθεση. Ενώ με τη πλαστική κάλυψη η διαφορά θερμοκρασίας του νερού αυξάνεται

18 °C πάνω από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος για τον θερμοσίφωνα με τα πλαστικά δοχεία και 20 °C για αυτόν με τα πήλινα δοχεία στις 14:30 το μεσημέρι περίπου.

6. Το ίδιο ισχύει περίπου και για τον θερμοσίφωνα της παρούσας εργασίας αφού χωρίς πλαστική κάλυψη, η θερμοκρασία του νερού είναι 8 °C πάνω από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος μετά τις 13:30 μ.μ. Ενώ με τη πλαστική κάλυψη, η διαφορά θερμοκρασίας του νερού είναι μεγαλύτερη από αυτή των θερμοσίφωνων της μελέτης του Bangladesh, αφού αυξάνεται μέχρι και 27 °C πάνω από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος.

7. Για τη μελέτη του Bangladesh, η θερμοκρασία του νερού μέσα στο πλαστικό δοχείο το επόμενο πρωί ήταν 13 °C πάνω από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος, ενώ είχε παραμείνει το βράδυ σε θερμοκρασία δωματίου. Ενώ για τον θερμοσίφωνα με τα πήλινα δοχεία η θερμοκρασία του νερού το επόμενο πρωί ήταν 13 °C πάνω από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος, ενώ είχε παραμείνει το βράδυ έξω σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

8. Για την συγκεκριμένη εργασία η θερμοκρασία του νερού μέσα στο πλαστικό δοχείο το επόμενο πρωί ήταν μόλις 4 °C πάνω από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος αλλά με την παραμονή του δοχείου με το νερό έξω, σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Επομένως αν ο συγκεκριμένος θερμοσίφοντας είχε διατηρηθεί ένα βράδυ σε θερμοκρασία δωματίου θα μπορούσε ενδεχομένως η διαφορά να ξεπεράσει τους 10 °C .

9. Έχοντας ο ηλιακός θερμοσίφοντας χαμηλού κόστους ένα τέτοιο βαθμό απόδοσης, φθάνοντας η θερμοκρασία του νερού στους 60 °C, θα μπορούσε να σημειωθεί ότι μια τέτοια κατασκευή θα μπορούσε να καλύψει τις οικιακές ανάγκες μιας φτωχής οικογένειας η οποία ζει σε περιοχές με υψηλή έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία, όπως είναι οι φτωχές αναπτυσσόμενες χώρες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ευθύμιος Βαζαΐος, (1987). "Εφαρμογές Ηλιακής Ενέργειας: υπολογισμός και σχεδίαση συστημάτων". 3^η έκδοση
Εκδόσεις: Χ.Ε
2. Κ. Καγκαράκη, (1992). "Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία" Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.

ΔΙΕΘΝΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Godfrey Boyle, "Renewable Energy: Power For a Sustainable future".
Εκδόσεις: Oxford University Press in association with the Open University, 1996.
2. A. Beckman, John A. Duffie "Solar Engineering of thermal Processes".
2^η Έκδοση, Wiley, 1991.
3. Scott Sklar and Kenneth Sheinkopf, (2002). "Consumer Guide to Solar Energy". Εκδόσεις: Bonus Books.
4. M. Hussain and Tania Parveen Urmee, (1996). "Design and Fabrication of Low Cost Water Heaters". Physics Department and Renewable Energy Research Centre, Faculty of Science, University of Dhaka, Bangladesh.