



Τ.Ε.Ι. Κρήτης

Τμήμα Φυσικών Πόρων & Περιβάλλοντος



ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΝΕΡΟΥ ΜΕ ΑΠΛΑ ΜΕΣΑ

ΧΡΗΣΤΟΣ ΚΟΤΣΙΑΣ

ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΜΑΚΡΗΣ

Επιβλέπων Καθηγητής
Εμμανουήλ Καραπιδάκης

Χανιά

Οκτώβριος 2008

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	1
ABSTRACT	2
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΗΛΙΟΣ	
1.1 Ο Ήλιος και η Γη	5
1.2 Δομή του Ήλιου	6
1.3 Ηλιακές κηλίδες	7
1.4 Ηλιακός άνεμος	8
1.5 Πηγές ενέργειας του Ήλιου	8
1.6 Η ζωή του Ήλιου σε αριθμούς	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	
2.1 Ηλιακή ακτινοβολία	11
2.2 Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία του Ήλιου	11
2.3 Ηλιακή σταθερά 'S'	12
2.4 Ηλιακή ακτινοβολία στην ατμόσφαιρα	13
2.5 Ροή και ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας	14
2.6 Διακόμανση της ηλιακής ακτινοβολίας	15
2.7 Μέτρηση ηλιακής ακτινοβολίας	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΥΛΛΕΚΤΗ	
3.1 Ηλιακή γεωμετρία	18
3.2 Προσανατολισμός του συλλέκτη	21
3.3 Βέλτιστη κλίση	21

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΔΙΑΔΟΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

4.1	Γενικά για την διάδοση της θερμότητας	23
4.2	Διάδοση θερμότητας δια αγωγή	23
4.3	Διάδοση θερμότητας δια μεταφοράς (συναγωγής)	24
4.4	Διάδοση θερμότητας δια ακτινοβολίας	24

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

5.1	Γενικά για τα συστήματα αξιοποίησης ηλιακής ενέργειας	25
5.2	Ενεργητικά ηλιακά συστήματα	25
5.3	Παθητικά ηλιακά συστήματα	27
5.4	Φωτοβολταϊκά συστήματα	29

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΗΛΙΑΚΟΥ ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΑ ΜΕ ΑΠΛΑ ΜΕΣΑ

6.1	Βασική αρχή ηλιακών θερμικών συστημάτων	31
6.2	Η επιφάνεια απορρόφησης	31
6.3	Δεξαμενή αποθήκευσης ζεστού νερού και εναλλάκτης θερμότητας	33
6.4	Τεχνικά χαρακτηριστικά κατασκευής	33
6.5	Πειραματική διαδικασία	35

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΗΛΙΑΚΟΥ ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΑ

7.1	Πρώτη κατηγορία πειραμάτων (χωρίς κάτοπτρα)	36
7.2	Δεύτερη κατηγορία πειραμάτων (με κλίση κατόπτρων 30°)	39
7.3	Τρίτη κατηγορία πειραμάτων (με κλίση κατόπτρων 45°)	42
7.4	Τέταρτη κατηγορία πειραμάτων (με κλίση κατόπτρων 60°)	46
7.5	Συμπεράσματα - Παρατηρήσεις	49

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	56
---------------------	-----------

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη απλών ηλιακών συστημάτων χαμηλού κόστους, με δυνατότητα σε πληθώρα εφαρμογών. Πρόκειται για την κατασκευή ενός απλού ηλιακού θερμοσίφωνα που αποτελείται, από μια μεταλλική δεξαμενή χωρητικότητας 20 λίτρων, συλλέκτη (τζάμι) και παραβολικών κατόπτρων (καθρέφτες). Η κατασκευή μπορεί να συνδεθεί στο δίκτυο ύδρευσης και το νερό θερμαίνεται από την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας από την γυάλινη επιφάνεια της ιδιοκατασκευής. Επιτυγχάνοντας συνθήκες θερμοκηπίου, εγκλωβίζοντας την ηλιακή ακτινοβολία εντός του δοχείου με την βοήθεια της γυάλινης επιφάνειας. Πρέπει να επισημάνουμε ότι η δεξαμενή είναι μαύρου χρώματος (μονωτικό) για την απορρόφηση περισσότερης ποσότητας ηλιακής ακτινοβολίας. Τα κάτοπτρα έχουν σαν αποτέλεσμα την αύξηση της συνολικής προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας, στην επιφάνεια του συλλέκτη (γυάλινη επιφάνεια).

Πραγματοποιήθηκαν πειραματικές διαδικασίες, 8 ημερών οι οποίες κατατάσσονται σε 4 διαφορετικές κατηγορίες, ανάλογα με την κλίση των κατόπτρων. Στην πρώτη κατηγορία τα κάτοπτρα, έχουν κλίση 0° ως προς την επιφάνεια του συλλέκτη (κάτοπτρα εκτός λειτουργίας). Στην δεύτερη κατηγορία τα κάτοπτρα, έχουν κλίση 30° ως προς την επιφάνεια του συλλέκτη. Στην τρίτη κατηγορία τα κάτοπτρα, έχουν κλίση 45° ως προς την επιφάνεια του συλλέκτη και τέλος στην τέταρτη κατηγορία τα κάτοπτρα έχουν κλίση 60° ως προς την επιφάνεια του συλλέκτη. Κατά την διεξαγωγή των μετρήσεων τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν είναι, ψηφιακό θερμοόμετρο (για την ένδειξη θερμοκρασίας περιβάλλοντος και νερού) και πυρανόμετρο για την μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Επειδή πρόκειται για μία ιδιοκατασκευή, χαμηλού κόστους και καλής απόδοσης, θα έβρισκε εφαρμογή σε βιομηχανίες και οικιακές χρήσεις για την προθέρμανση νερού, επίσης θα μπορούσε να τεθεί σε εμπορική εφαρμογή σε χώρες στις οποίες η θερμοκρασία περιβάλλοντος παραμένει σε ικανοποιητικά επίπεδα σε όλη την διάρκεια του έτους, έτσι ώστε αυτός ο απλός ηλιακός θερμοσίφοντας να έχει ακόμα πιο αποδοτική λειτουργία.

ABSTRACT

Subject of the present assignment is the study of simple solar systems of low cost, with the possibility of being used in various applications. It's about the construction of simple solar heater which contains a metal tank with a capacity of 20 liters, a collector (glass) and parabolic reflective surfaces (mirrors). This construction can be connected to water supply and the water heats from the absorption of solar radiation at the glass surface of the construction itself. That succeeds to get greenhouse conditions, by entrapping solar radiation within the vessel, with the help of the glass surface. We need to draw attention to the fact that the tank is black (insulation) for the absorption of a bigger quantity of solar radiation. The reflective surfaces have as a result the augmentation as a whole, of the receiving solar radiation, at the surface of the collector (glass surface).

Attainment 8days experimental procedures, rank in 4 different categories, depending on the slope reflective surfaces. At the first category, the reflective surfaces have a 0° slope as to the surface of the collector (mirrors out of operation). At the second category, the reflective surfaces have a 30° slope as to the surface of the collector. At the third category, the reflective surfaces, have a 45° slope as to the surface of the collector and at the fourth category, the reflective surfaces have a 60° slope as to the surface of the collector. During measuring, the meters that were used are the following: digital thermometer (for the indication of environment and water temperature) and a pyranometer (for the indication of solar radiation).

Because of the fact that this is a self made construction, of low cost and good performance, it could be put into practice in industries and domestic households, for preheating water, and also be used commercially in countries in which environmental temperatures remain in satisfying levels throughout the year, so that this simple solar heater could have an even more efficient function.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Ελλάδα είναι μία χώρα με μεγάλη ηλιοφάνεια που προσφέρεται για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας, δηλαδή της ενέργειας που προέρχεται από την ακτινοβολία του ήλιου και αξιοποιείται μέσω τεχνολογιών που εκμεταλλεύονται τη θερμική και ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία του ήλιου με τη βοήθεια μηχανικών μέσων για τη συλλογή, αποθήκευση και διανομή της. Στο μεγαλύτερο τμήμα της χώρας μας η ηλιοφάνεια διαρκεί περισσότερες από 2700 ώρες το χρόνο. Στη Δυτική Μακεδονία και την Ήπειρο εμφανίζει τις μικρότερες τιμές κυμαινόμενη από 2200 ως 2300 ώρες, ενώ στη Ρόδο και τη νότια Κρήτη ξεπερνά τις 3100 ώρες ετησίως.

Υπάρχουν πολλά διαφορετικά συστήματα τα οποία επωφελούνται από την ενέργεια του ήλιου. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια. Τέτοια στοιχεία συχνά ενσωματώνονται στις στέγες, προσφέροντας το πρόσθετο πλεονέκτημα να μπορούν να προμηθεύσουν ενέργεια σε αραιοκατοικημένες περιοχές, οι οποίες δεν καλύπτονται από τα δίκτυα ηλεκτροδότησης, βελτιώνοντας έτσι την ποιότητα ζωής και προωθώντας την αειφόρο ανάπτυξη.

Οι σταθμοί ηλιακής θερμικής ενέργειας αξιοποιούν τη θερμότητα του ήλιου, συγκεντρώνοντας την ηλιακή ακτινοβολία (π.χ. με τη βοήθεια παραβολικών κατόπτρων) για να θερμάνουν νερό ή κάποιο άλλο μέσο και μετατρέποντας τον ατμό σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω γεννήτριας. Η ηλιακή θερμική ενέργεια θα αποδειχθεί μελλοντικά απαραίτητη στις πόλεις, όπου η ατμοσφαιρική ρύπανση τείνει να είναι μεγάλο πρόβλημα.

Μία σχετικά απλή μέθοδος εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας είναι μέσω της θέρμανσης του νερού, το οποίο στη συνέχεια χρησιμοποιείται όχι μόνο για τις οικιακές ανάγκες αλλά και για τη θέρμανση του κτιρίου. Οι ηλιακοί θερμικοί συλλέκτες χρησιμοποιούν την ηλιακή ακτινοβολία που πέφτει πάνω τους για να ζεστάνουν το νερό της βρύσης και, σε συνεχώς αυξανόμενο αριθμό περιπτώσεων, για να ζεστάνουν νερό για τη θέρμανση εσωτερικών χώρων.

Υπολογίζεται ότι σήμερα στον κόσμο βρίσκονται σε λειτουργία πάνω από 160 εκατ. τ.μ. θερμικοί ηλιακοί συλλέκτες, ενώ η αγορά εκτιμάται ότι ανέρχεται σε 20 εκατ. τ.μ. τον χρόνο, με ετήσιο ρυθμό αύξησης περίπου 20%. Η Ευρώπη (9,6%) δεν αποτελεί ιδιαίτερα σημαντική αγορά, σε σύγκριση με χώρες όπως η Κίνα (45%), η Τουρκία (5,1%) ή το Ισραήλ (3,5%). Ειδικά στην Ευρωπαϊκή Ένωση υπάρχει ένα τεράστιο δυναμικό για τα θερμικά ηλιακά, το οποίο παραμένει ανεκμετάλλευτο. Εντόπιση μάλιστα προκαλεί ότι χώρες όπως η Γερμανία, με χαμηλή σχετικά ηλιοφάνεια, παρουσιάζουν μεγαλύτερη διείσδυση των ηλιακών συλλεκτών σε σχέση με μεσογειακές χώρες όπως η Ιταλία. Η εξήγηση μπορεί να αναζητηθεί στις προτεραιότητες της εθνικής ενεργειακής πολιτικής σε κάθε χώρα.

Στην Ελλάδα εκτιμάται ότι βρίσκονται σε λειτουργία πάνω από 3 εκατ. τ.μ. θερμικοί ηλιακοί συλλέκτες, με εγκατεστημένη θερμική ισχύ που ξεπερνά τα 2100 Mw. Αυτό αποτελεί ποσοστό 50% περίπου της συνολικής επιφάνειας των συλλεκτών που είναι εγκατεστημένοι σε ολόκληρη την Ευρώπη. Οι συλλέκτες αυτοί κυρίως αφορούν τα μικρά οικιακά συστήματα. Στη χώρα μας έχει αναπτυχθεί ένας εύρωστος βιομηχανικός κλάδος που ασχολείται με την παραγωγή ηλιακής ενέργειας, αλλά πάντως ακόμα κι έτσι υπάρχει ανεκμετάλλευτο δυναμικό και μεγάλα περιθώρια ανάπτυξης στο εγγύς μέλλον.

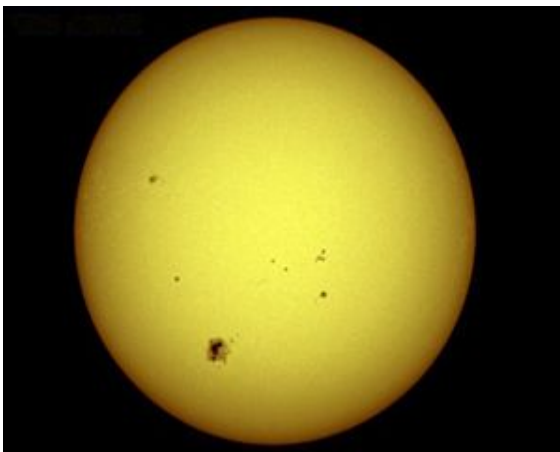
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΗΛΙΟΣ

1.1 Ο ΗΛΙΟΣ ΚΑΙ Η ΓΗ

Ο ήλιος (σχήμα 1.1) είναι μια θερμή σφαίρα αερίων στο εσωτερικό της οποίας γίνονται θερμοπυρηνικές αντιδράσεις. Αποτέλεσμα των αντιδράσεων είναι η παραγωγή ενέργειας η οποία ύστερα από κάποιες εκατοντάδες χιλιάδες χρόνια φτάνει στην επιφάνεια του ήλιου και στη συνέχεια μόλις σε 8,3 λεπτά φτάνει στη γη. Το μεγάλο ενδιαφέρον που παρουσιάζει η μελέτη του ήλιου καθώς και οι ειδικές συνθήκες παρατήρησης του, δημιούργησαν έναν ιδιαίτερο κλάδο της αστροφυσικής, την ηλιακή φυσική. Βέβαια το γεγονός ότι ο ήλιος βρίσκεται κοντά στη γη μας κάνει πολλές φορές να ξεχνάμε ότι είναι και αυτός ένας αστέρας από τους εκατοντάδες του γαλαξία μας που βλέπουμε με γυμνό μάτι στο νυχτερινό ουρανό. Έτσι τα συμπεράσματα από τη μελέτη του μπορούμε να τα γενικεύσουμε για ένα πολύ μεγάλο πλήθος αστέρων.

Η μέση απόσταση του ήλιου από το πλανήτη μας, είναι ίση με 149.5×10^6 km (το μήκος αυτό αντιστοιχεί σε μια αστρονομική μονάδα 1AU), που κυμαίνεται μεταξύ των 147×10^6 km (για το περιήλιο, 1^η Ιανουαρίου) και 152×10^6 km (για το αφήλιο, 1^η Ιουλίου). Η ακτίνα του ήλιου είναι ίση με 695.7×10^3 Km, ο όγκος του $1.412 \times 10^{33} \text{cm}^3$, η επιφάνεια του ίση με $6087 \times 10^{22} \text{cm}^2$ και η μάζα του ίση με $1991 \times 10^{33} \text{gr}$. Η διάμετρος του είναι $13,76 \times 10^6$ km και η μάζα του $2,2 \times 10^{27}$ Ton (334000 φορές μεγαλύτερα από την μάζα της γης). Η θερμοκρασία του Ήλιου αυξάνετε από 6000K στο βαθύτερο



Σχήμα 1.1: Ο ήλιος.

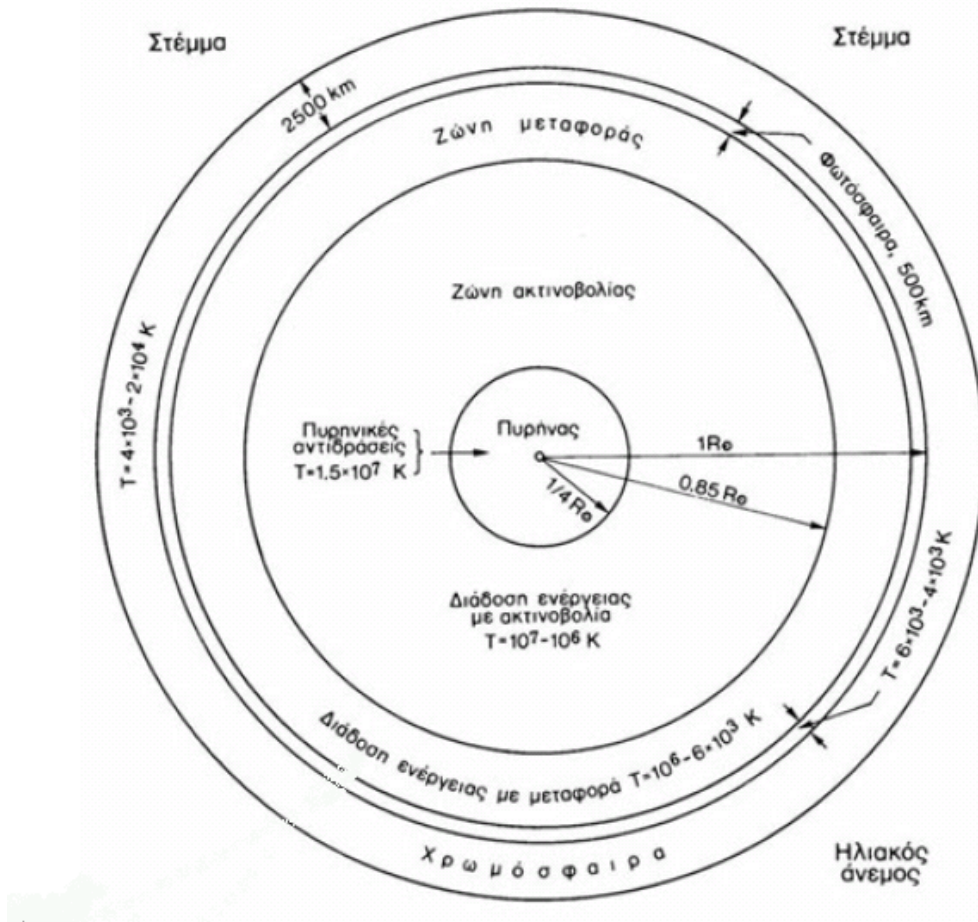
ορατό στρώμα έως $15 \times 10^6 \text{K}$ στο κέντρο του. Πρέπει να τονίσουμε ότι η πυκνότητα του στο κέντρο είναι 100 φορές μεγαλύτερη από την πυκνότητα του νερού. Ο ήλιος εκπέμπει ενέργεια με ρυθμό $3,72 \times 10^{23} \text{KW}$ υπό μορφή ακτινοβολίας που βάση αυτής της ενέργειας συμπεράνουμε ότι η θερμοκρασία της επιφάνειας του είναι 5762K. Η ζωοδόχος αυτή ενέργεια παράγεται από θερμοπυρηνικές αντιδράσεις, τη σύντηξη του υδρογόνου σε ήλιο που λαμβάνει χώρα σε μια σφαίρα

στο κέντρο του Ήλιου (πυρήνα). Από τον πυρήνα η ενέργεια μεταφέρετε προς το σύμπαν, κυρίως με την μορφή ακτινοβολίας πολύ μεγάλης συχνότητας. Ο μέσος

χρόνος που χρειάζεται η ενέργεια από τη στιγμή που θα παραχθεί στον πυρήνα του Ήλιου μέχρι να φτάσει στην επιφάνεια του είναι 7 χρόνια.

1.2 ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ

Η κύρια δομή του ήλιου (σχήμα 1.2) αποτελείται από:



Σχήμα 1.2: Σχηματική παράσταση του ήλιου.

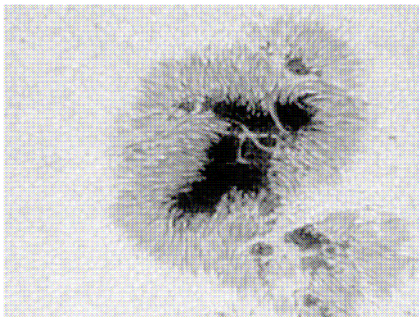
- A) Τον πυρήνα με ακτίνα 0,25 της ηλιακής ακτίνας με θερμοκρασία $1,5 \times 10^7$ K όπου γίνονται οι θερμοπυρηνικές αντιδράσεις σύντηξης του υδρογόνου σε ήλιο οι οποίες αποτελούν την κύρια πηγή ενέργειας του ήλιου.
- B) Τη ζώνη ακτινοβολίας πάχους 0,60 ακτίνες ήλιου που περιβάλλει τον πυρήνα και στην οποία μεταφέρεται η ενέργεια με την μορφή ακτινοβολίας.
- Γ) Τη ζώνη μεταφοράς πάχους 0,15 ακτίνες ήλιου όπου δημιουργούνται φαινόμενα στροβιλισμού από τα ρεύματα μεταφοράς και έτσι η ενέργεια διαδίδεται προς τα έξω με μεταφορά της ύλης.
- Δ) Τη φωτόσφαιρα πάχους 500 km πάνω στην οποία παρατηρούνται φαινόμενα όπως οι κόκκοι, οι κηλίδες και οι πυρσοί και αποτελεί τον ορατό δίσκο του ήλιου. Ακριβέστερα είναι το θερμό αδιαφανές κέλυφος που παράγει το παρατηρούμενο συνεχές φάσμα του ήλιου και αρχίζει ακριβώς μετά τη ζώνη μεταφοράς. Η

φωτόσφαιρα έχει κοκκώδη υφή σαν την επιφάνεια ενός παχύρρευστου υγρού που βράζει. Κάθε μια από τις φυσαλίδες-κόκκους της φωτόσφαιρας έχει ακανόνιστο σχήμα με μέση διάσταση 2.000 km το φαινόμενο αυτό ονομάζεται φωτοσφαιρική κοκκίαση και οφείλεται σε ανοδικά ρεύματα ζεστών αερίων που σχηματίζονται στη βάση της φωτόσφαιρας.

Ε) Τη χρωμόσφαιρα που έχει χρώμα κοκκινωπό και εκτείνεται σε ύψος 10.000-15.000 km. Εκεί παρατηρούνται οι προεξοχές και σε αυτή την περιοχή οφείλονται οι σκοτεινές γραμμές του φάσματος απορρόφησης του ήλιου. Το κοκκινωπό χρώμα της προέρχεται από την εκπομπή ακτινοβολίας από τη γραμμή Ηα του ουδέτερου υδρογόνου. Η πυκνότητα της χρωμόσφαιρας είναι χίλιες φορές μικρότερη από αυτή της φωτόσφαιρας και αυτός είναι ο λόγος που είναι διαφανής στο φως.

Στ) Το στέμμα που εκτείνεται προς το μεσοπλανητικό χώρο χωρίς να έχει σταθερή μορφή. Από το 1930 με το στεματογράφο Lyot μπορεί να παρατηρηθεί κάθε στιγμή και όχι όπως πριν μόνο κατά την διάρκεια των ηλιακών εκλείψεων. Η λαμπρότητα του στέμματος είναι αντίστοιχη με αυτή της πανσελήνου. Το φάσμα του στέμματος έχει κάποιες λαμπρές γραμμές που αποτελούσαν μυστήριο για πολλά χρόνια μια και δεν μπορούσαν οι αστρονόμοι να καταλάβουν ποιο στοιχείο μπορεί να τις προκαλεί. Τελικά αποδείχτηκε ότι προέρχονταν από έντονα ιονισμένα άτομα στοιχείων ο ιονισμός των οποίων οφείλεται στην εξαιρετικά υψηλή θερμοκρασία του στέμματος.

1.3 ΗΛΙΑΚΕΣ ΚΗΛΙΔΕΣ



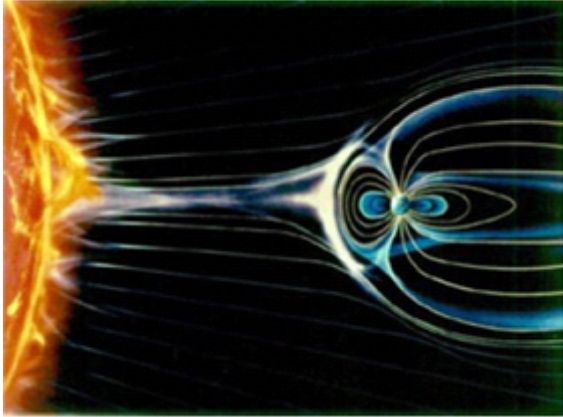
Σχήμα 1.3: Ηλιακή κηλίδα.

Παρατηρώντας τον ήλιο θα δούμε ότι δίνει την εντύπωση πόρινης σφαίρας. Παρατηρείται επίσης μια ελάττωση της λαμπρότητάς του καθώς κοιτάμε προς το χείλος αυτό προκαλείται από το γεγονός ότι οι φωτεινές ακτίνες που μας έρχονται από εκεί διανύουν περισσότερο παχιά ατμόσφαιρα σε σχέση με τις ακτίνες που προέρχονται από το κέντρο του ηλιακού δίσκου. Στην παρατήρηση του ήλιου ακόμα και με μικρό τηλεσκόπιο με ηλιακό φίλτρο εύκολα μπορούμε να διακρίνουμε τις ηλιακές κηλίδες (σχήμα

1.3). Είναι μικρές μαύρες περιοχές στην επιφάνεια του ήλιου. Ο λόγος που οι ηλιακές κηλίδες παρουσιάζονται μαύρες είναι η χαμηλή θερμοκρασία τους σε σχέση με τη θερμοκρασία της φωτόσφαιρας που τις περιβάλλει. Υπολογίζεται ότι η θερμοκρασία της σκιάς είναι περίπου 4100K ενώ της φωτόσφαιρας είναι περίπου 5800K. Αν μπορούσαμε να απομονώσουμε μια ηλιακή κηλίδα από το λαμπρό υπόβαθρο της φωτόσφαιρας θα την βλέπαμε να λάμπει με φαινόμενο μέγεθος -12. Το φαινόμενο μέγεθος του ηλιακού δίσκου είναι -26,74. Η πρώτη παρατήρηση των ηλιακών κηλίδων έγινε το 1610 και από τότε συνεχίζεται η παρακολούθησή τους μέχρι σήμερα. Συνήθως εμφανίζονται ανάμεσα στους κόκκους για να αναπτυχθούν στη συνέχεια παίρνοντας μεγάλες διαστάσεις ως και πάνω από 100.000 km σε μερικές περιπτώσεις καταλαμβάνουν τεράστια έκταση έως και 15° στον ηλιακό δίσκο. Οι

πρώτοι παρατηρητές των ηλιακών κηλίδων ήταν οι εξής: ο Γαλιλαίος, ο Χάρισι, ο Φαμπρίσιους και ο Σάινερ ανεξάρτητα ο ένας από τον άλλο.

1.4 ΗΛΙΑΚΟΣ ΑΝΕΜΟΣ



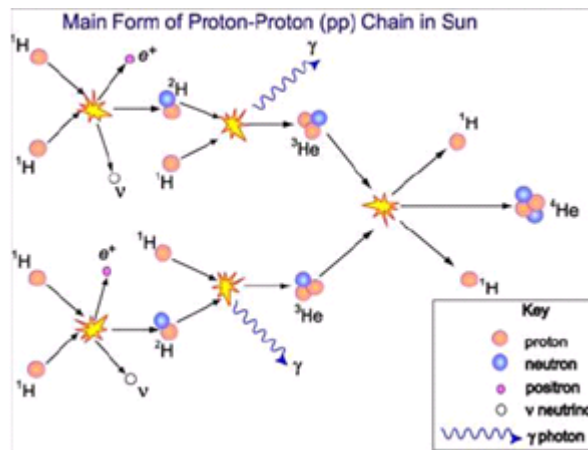
Σχήμα 1.4: Ηλιακός άνεμος.

Η θερμική ενέργεια του αραιού πλάσματος του στέμματος είναι τόσο υψηλή ώστε να υπερνικά το πεδίο βαρύτητας του ήλιου και διαστέλλεται στον μεσοπλανητικό χώρο με την μορφή ανέμου. Ο ηλιακός άνεμος (σχήμα 1.4) που έχει χαρακτηριστεί και σαν ηλιακή σωματιδιακή ακτινοβολία αποτελείται κυρίως από ηλεκτρόνια και πρωτόνια που εκπέμπονται σχεδόν ακτινικά από το στέμμα του ήλιου με υπερηχητικές ταχύτητες. Οι στεμματικές οπές είναι τα κύρια σημεία διαφυγής και επιταχύνσεως του ηλιακού ανέμου δεδομένου ότι οι

στεμματικές οπές βρίσκονται σε περιοχές που χαρακτηρίζονται από ανοικτές μαγνητικές γραμμές, χαμηλή θερμοκρασία και πυκνότητα σε σύγκριση με της αντίστοιχες τιμές του στέμματος. Ο ηλιακός άνεμος εκτοξεύεται από διαφορετικά σημεία της επιφάνειας του ήλιου και με διαφορετική αρχική ταχύτητα λόγω των διαφορετικών συνθηκών που επικρατούν στις στρεμματικές οπές και ως εκ τούτου λόγω της περιστροφής του ήλιου φτάνει στη γη κατά ριπές ή αλλιώς ως ρεύματα ή κύματα ηλιακού ανέμου.

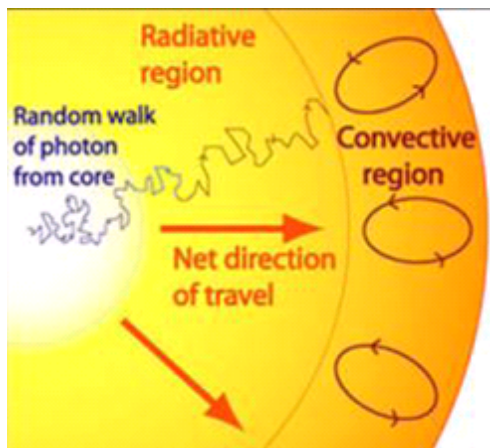
1.5 ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ

Κάτω από κατάλληλες προϋποθέσεις γίνεται δυνατή η απελευθέρωση ενέργειας που περιέχεται στα άτομα με δυο τρόπους: την πυρηνική σχάση και την πυρηνική σύντηξη. Στον ήλιο και σε όλους τους αστέρες η ενέργεια παράγεται με το δεύτερο τρόπο, την πυρηνική σύντηξη. Στην τωρινή φάση της ζωής του ήλιου από το υδρογόνο που υπάρχει στον πυρήνα του μέσω της πυρηνικής σύντηξης παράγεται ήλιο. Η αντίδραση αυτή γίνεται καθώς πρωτόνια συγκρούονται και δημιουργούν πυρήνες ήλιου ενώ ταυτόχρονα απελευθερώνεται ενέργεια με τη μορφή ακτινών γ και νετρίνων. Η συγκεκριμένη αντίδραση ονομάζεται αλυσίδα πρωτονίου-πρωτονίου (p-p) (σχήμα 1.5) και απελευθερώνει ενέργεια $4,2 \times 10^{-12}$ J για τη δημιουργία ενός πυρήνα ήλιου.



Σχήμα 1.5: Αλυσίδα πρωτονίου-πρωτονίου.

Για να δικαιολογηθεί η φωτεινότητα του ήλιου θα πρέπει ηλιακή μάζα ίση με 140 τρισεκατομμύρια τόνους να μετατρέπεται σε ενέργεια κατά τη διάρκεια ενός χρόνου. Με τη διαδικασία p-p αυξάνεται η περιεκτικότητα του ήλιου σε ήλιο και μειώνεται σε



Σχήμα 1.6: Διαδρομή φωτονίου από τον πυρήνα του ήλιου στην επιφάνειά του.

υδρογόνο. Ωστόσο μόνο το υδρογόνο που βρίσκεται κοντά και μέσα στον πυρήνα του ήλιου χρησιμοποιείται, δηλαδή το 10% της ολικής του μάζας. Άρα η ενέργεια που ακτινοβολείται από τον ήλιο προέρχεται από τον πυρήνα του. Ωστόσο ένα φωτόνιο που γεννήθηκε στον πυρήνα του ήλιου για να καταφέρει να φτάσει στην επιφάνειά του απαιτείται πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα, λόγω των συνεχών «συγκρούσεων» (σχήμα 1.6). Συγκεκριμένα οι ακτίνες που βλέπουμε σήμερα έχουν γεννηθεί πριν από εκατοντάδες χιλιάδες χρόνια. Ο ήλιος έχει τεράστια αποθέματα από υδρογόνο. Βέβαια κάποτε το υδρογόνο θα εξαντληθεί και θα αρχίσει σε αυτή τη φάση του ήλιου η σύντηξη ηλίου σε βαρύτερα στοιχεία. Τότε ο ρυθμός παραγωγής ενέργειας θα αλλάξει και όταν συμβεί αυτό η διάμετρος, η θερμοκρασία και η λαμπρότητα του ήλιου θα μεταβληθούν. Οι επιστήμονες εκτιμούν πως ο ήλιος θα συνεχίσει να παράγει ενέργεια από τη σύντηξη του υδρογόνου για πέντε περίπου δισεκατομμύρια χρόνια ακόμα.

1.6 Η ΖΩΗ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ ΣΕ ΑΡΙΘΜΟΥΣ

Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η ιστορία της ζωής του ήλιου σε αριθμούς, πιο συγκεκριμένα για διάφορα σημαντικά γεγονότα έχουν μετρηθεί: η ηλικία, η φωτεινότητα και η διάμετρος του ήλιου.

Πίνακας 1.1: Η ιστορία της ζωής του ήλιου.

Γεγονός	Ηλικίας (εκατομμύρια χρόνια)	Φωτεινότητα (σημερινός Ήλιος =1)	Διάμετρος (σημερινός Ήλιος =1)
Συστολή από νεφέλωμα σε πρωτοαστέρα	0	100	50
Θερμός πυρήνας σχηματίζεται από συστολή	1	20	20
Αρχή της ζωής στην κύρια ακολουθία			
Περατώνεται η συστολή του πρωτομάστορα, αρχίζει η πυρηνική σύντηξη υδρογόνου	70	0,6	1
Σήμερα	4600	1	1
Το υδρογόνο αρχίζει να εξαντλείται στο πυρήνα του ήλιου	7000	1,4	1,2
Η πυρηνική σύντηξη απαιτεί μεγαλύτερες θερμοκρασίες λόγω της συσσώρευσης ηλίου	9000	2	1,5
Η καύση υδρογόνου μετατίθεται σε ένα κέλυφος που περιβάλλει τον πυρήνα από ήλιο	10000	4	5
Τέλος της ζωής στην κύρια ακολουθία			
Το πρώτο στάδιο του ερυθρού γίγαντα φτάνει σε κορύφωση και ξεκινάει η καύση του ηλίου	10600	1500	50
Η καύση ηλίου στο πυρήνα πλησιάζει το μέγιστο	10630	100	10
Αρχίζει το τελικό στάδιο του ερυθρού γίγαντα	10650	1000	100
Η τελική φάση του ερυθρού γίγαντα φτάνει στο αποκορύφωμα καθώς η σύντηξη ηλίου μετατοπίζεται σε ένα κέλυφος γύρο από το πυρήνα.	11000	10000	400
Ο ήλιος αποβάλλει ύλη ως μεταβλητός αστέρας ή πλανητικό νεφέλωμα	11000	μεταβλητός	συστέλλεται
Σχηματίζεται ένας λευκός νάνος μέσα σε 75000 χρόνια	11000	1/300	1/100
Ο λευκός νάνος ψύχεται και γίνεται μαύρος νάνος	50600	0	1/100

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

2.1 ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Ο ήλιος ακτινοβολεί ενέργεια από τα εξωτερικά του στρώματα προς το διάστημα που κατανέμεται σε όλες τις περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Εκπέμπει λοιπόν ακτινοβολία στην περιοχή των ραδιοκυμάτων, του υπέρυθρου, του ορατού και του υπεριώδους, στις ακτίνες Χ και γ. Επιπλέον ο ήλιος εκπέμπει και σωματιδιακή ακτινοβολία μέσω του ηλιακού ανέμου. Κάθε μία από τις ακτινοβολίες αυτές μεταφέρει πληροφορίες οι οποίες αφορούν διαφορετικά φαινόμενα που συμβαίνουν σε διαφορετικά στρώματα του ήλιου. Το ηλιακό φάσμα είναι σύνθετο με έντονο συνεχές υπόβαθρο που διακόπτεται από χιλιάδες σκοτεινές και λίγες φωτεινές γραμμές διάφορων εντάσεων. Πρώτος το μελέτησε ο Φραουνχόφερ και αυτός είναι ο λόγος που φέρει το όνομά του. Από τη μελέτη του ηλιακού φάσματος ανιχνεύονται τα χημικά στοιχεία από τα οποία αποτελείται ο ήλιος καθώς και οι φυσικές συνθήκες που επικρατούν στην ατμόσφαιρά του.

Το συνεχές υπόβαθρο του φάσματος προέρχεται από την φωτόσφαιρα ενώ οι γραμμές απορρόφησης από τα υπερκείμενα στρώματα στα οποία οφείλονται και μερικές λαμπρές γραμμές εκπομπής. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι γραμμές του ηλιακού φάσματος που αρχικά αποδόθηκαν στο υποθετικό στοιχείο κορώνιο αποδείχτηκε ότι ανήκαν σε γνωστά χημικά που όμως βρίσκονταν στις ειδικές φυσικές συνθήκες που επικρατούν στην ατμόσφαιρα του ήλιου.

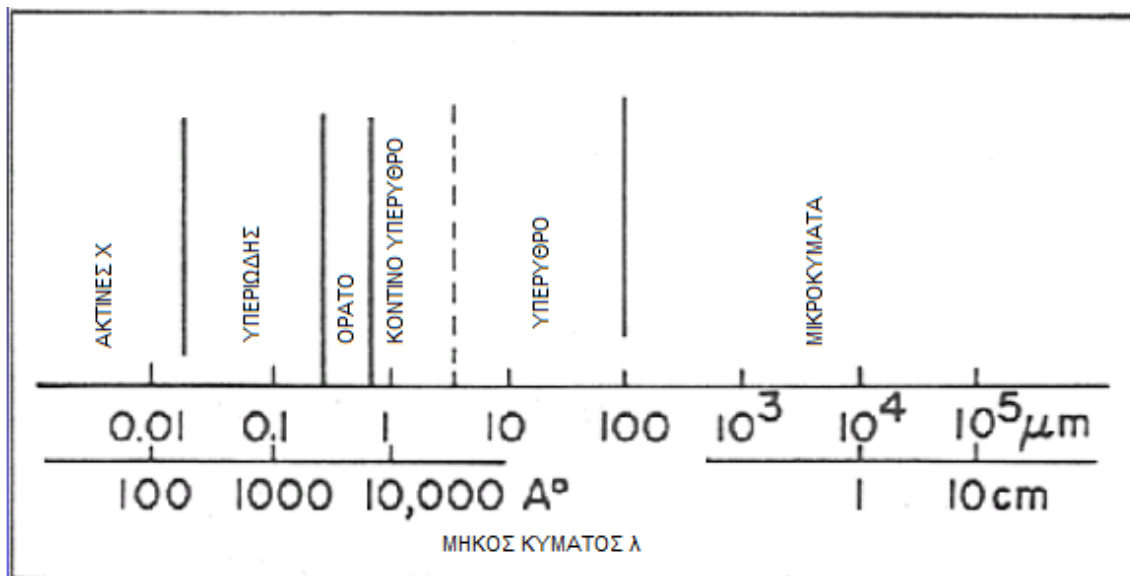
2.2 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ

Η βασική πηγή ενέργειας της ατμόσφαιρας είναι ο ήλιος. Πολύ μικρά ποσά προέρχονται από τα άστρα, το εσωτερικό της γης και από διάφορες ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Για κάθε 100 μονάδες ενέργειας που παρέχονται στην ατμόσφαιρα, τα άστρα συνεισφέρουν 10^{-5} μονάδες, το εσωτερικό της γης 0,005, οι ανθρώπινες δραστηριότητες 0,01 μονάδες και το υπόλοιπο ο ήλιος. Η ηλιακή ενέργεια εκπέμπεται δια μέσου του διαστήματος κυρίως ως ηλεκτρομαγνητική ενέργεια. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα διαδίδονται στο κενό με την ταχύτητα του φωτός ($c=2,998 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$), έτσι ώστε η ακτινοβολία από τον ήλιο διανύει την απόσταση ήλιου-γης (περίπου $149,5 \times 10^6 \text{ km}$) σε περίπου 8,3 λεπτά. Η ηλεκτρομαγνητική (ΗΜ) ακτινοβολία έχει μήκη κύματος από 10^{-14} m έως 10^{10} m , τα οποία αντιστοιχούν σε συχνότητες από 10^{22} s^{-1} ως 10^{-2} s^{-1} . Το σύνολο των μηκών κύματος, ή συχνοτήτων, συνιστούν το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. Κύματα στο άκρο των υψηλών συχνοτήτων του φάσματος (ακτίνες γ) έχουν μήκη κύματος συγκρίσιμα με τις διαστάσεις των ατομικών πυρήνων, ενώ στο άλλο άκρο του φάσματος φτάνουν το 1/10 της

απόστασης ήλιου-γης. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα χωρίζεται σε διάφορες ζώνες (bands) κυμάτων. Το μέρος του ηλιακού φάσματος που ενδιαφέρει τη μελέτη της ατμόσφαιρας εκτείνεται από 10^{-2} μm έως 10^2 μm , δηλαδή από το υπεριώδες μέχρι και το υπέρυθρο. Ο Πίνακας 2.1 δίνει τη σχέση μεταξύ μήκους κύματος και χρώματος στην οπτική περιοχή του φάσματος.

Πίνακας 2.1: Σχέση μεταξύ μήκους κύματος και χρώματος στην οπτική περιοχή του φάσματος.

Χρώμα	Περιοχή μηκών κύματος (nm)	Τυπικό μήκος κύματος (nm)
Ιώδες	390 – 455	430
Βαθύ μπλε	455 – 495	470
Ανοιχτό μπλε	495 – 505	495
Πράσινο	505 – 550	530
Κιτρινοπράσινο	550 – 575	560
Κίτρινο	575 – 585	580
Πορτοκαλί	585 – 620	600
Κόκκινο	620 – 760	640



Σχήμα 2.1: Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα.

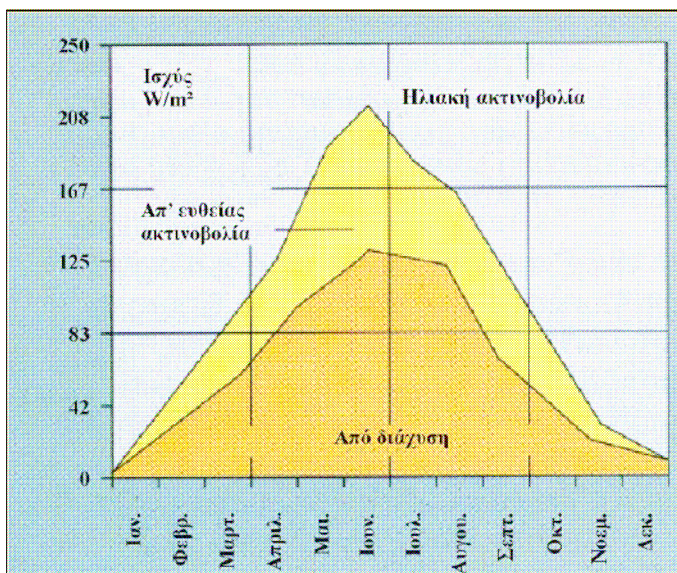
2.3 ΗΛΙΑΚΗ ΣΤΑΘΕΡΑ 'S'

Η **ηλιακή σταθερά, S**, είναι η μέση ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει κάθετα ανά μονάδα επιφάνειας και δευτερολέπτου ηλιακή ακτινοβολία, στο εξωτερικό όριο της ατμόσφαιρας. Ως πρότυπη μονάδα ηλιακής σταθεράς (μετρήσεις δορυφόρου) ορίζεται από $1363 - 1375 \text{ W/m}^2$. Η παραπάνω τιμή εξαρτάται από την απόσταση Ήλιου-Γης η οποία είναι μεταβαλλόμενη κατά την διάρκεια του έτους, εξαρτάται επίσης από την περιοδική εμφάνιση των ηλιακών κηλίδων (ενδεκαετής κύκλος) και από την περιστροφή του Ήλιου γύρω από τον άξονα του (μια πλήρη περιστροφή κάθε μήνα)

που προκαλεί απόκρουση των ηλιακών κηλίδων. Τέλος έχουμε αύξηση της ηλιακής σταθεράς όσο αυξάνετε η ηλικία του ηλιακού μας συστήματος.

2.4 Η ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

Κατά την διέλευση των ηλιακών ακτινών, από την γήινη ατμόσφαιρα, η έντασή τους μειώνετε, καθώς τα φωτόνια σκεδάζονται αφενός στα μόρια της ατμόσφαιρας και στα πολύ μικρής διαμέτρου d , σωματίδια (σκέδαση Rayleigh), αφετέρου, στα μεγαλύτερης διαμέτρου αιωρήματα της, δηλαδή, τους υδρατμούς, την σκόνη και τον καπνό (σκέδαση Mie ή Tyndall). Ένα μέρος της ακτινοβολίας, απορροφάτε από ορισμένα συστατικά της ατμόσφαιρας όπως είναι η απορρόφηση ενός μεγάλου μέρους από τις υπεριώδους ακτινοβολίας από το στρώμα του όζοντος. Όμοιος απορροφούν οι υδρατμοί, το CO₂ τα οξείδια του αζώτου κ.α. άλλες περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Για το λόγο αυτό ένα μέρος της ηλιακής

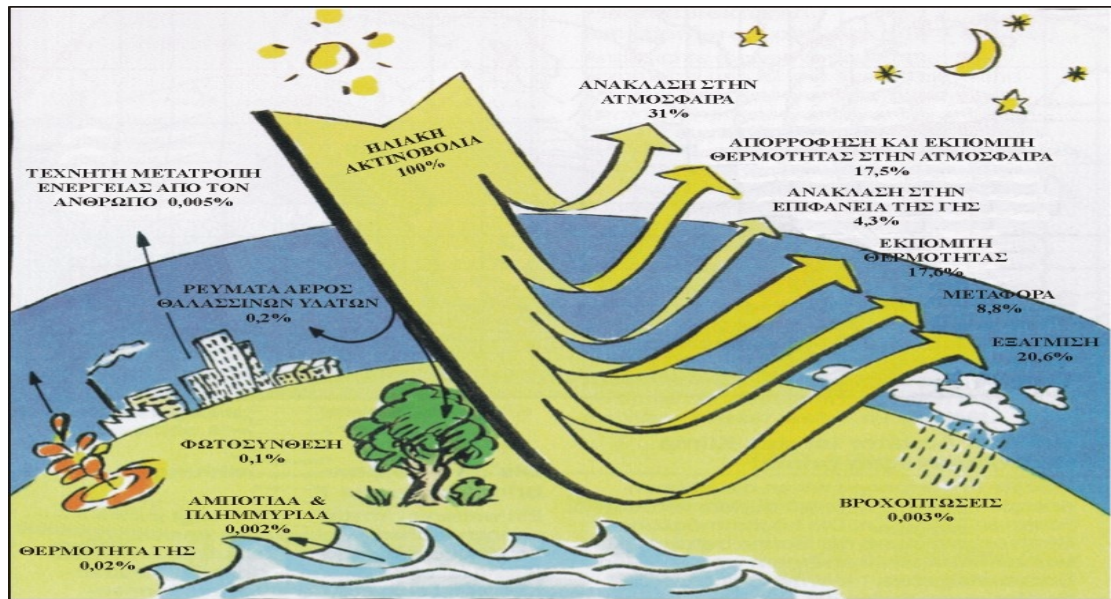


Σχήμα 2.2: Η ισχύς της ηλιακής ακτινοβολίας στην διάρκεια του έτους.

ακτινοβολίας φτάνει στην επιφάνεια της Γής ενώ το υπόλοιπο ανακλάτε πάλι πίσω στο διάστημα (κοσμική ακτινοβολία).

Από τα παραπάνω καταλαβαίνουμε ότι στην επιφάνεια της γης φτάνουν δυο συνιστώσες του ηλιακού φωτός (σχήμα 2.2). Η (απευθείας ή) άμεση (συμβολίζεται με το γράμμα b από την λέξη beam) και η σκεδαζόμενη από τα μόρια του αέρα που ονομάζεται διάχυτη (συμβολίζεται με το γράμμα d diffuse). Η διάχυτη ηλιακή

ακτινοβολία εξαρτάται από το ηλιακό ύψος, το υψόμετρο του τόπου, λευκαύγεια του εδάφους, το ποσό και το είδος των νεφών καθώς και από την παρουσία των σωματιδίων και αερίων που υπάρχει στην ατμόσφαιρα. Το άθροισμά των παραπάνω (δηλαδή άμεση (b)+ (d) διάχυτη) μας κάνει την ολική ακτινοβολία G .



Σχήμα 2.3: Κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας.

Από την ενέργεια η οποία φτάνει στα όρια της ατμόσφαιρας :

- Το ~31% ανακλάται στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας της γης.
- Το ~47% φθάνει μέχρι την επιφάνεια της γης.
- Το ~23% συμβάλει στην δημιουργία των ανέμων, των κυμάτων και γενικά ρυθμίζει το κλίμα.
- Οι ωκεανοί απορροφούν το 33% της ενέργειας που φθάνει στην επιφάνεια της γης.
- Η ξηρά απορροφά το 14% της ενέργειας που φθάνει στην επιφάνεια της γης.
- Το 0,1% της ηλιακής ενέργειας απορροφάται από τα φυτά για την φωτοσύνθεση.

Από την υφιστάμενη εμπειρία είναι γνωστό ότι όσο μεγαλύτερη είναι η απόστασή που διανύει μια ηλιακή ακτίνα μέσα στην ατμόσφαιρα, τόσο μικρότερη είναι το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια της Γης. Αντίστοιχα όσο πιο κάθετα προσπίπτει η ηλιακή ακτινοβολία πάνω σε μία επιφάνεια τόσο μεγαλύτερη είναι η ένταση της.

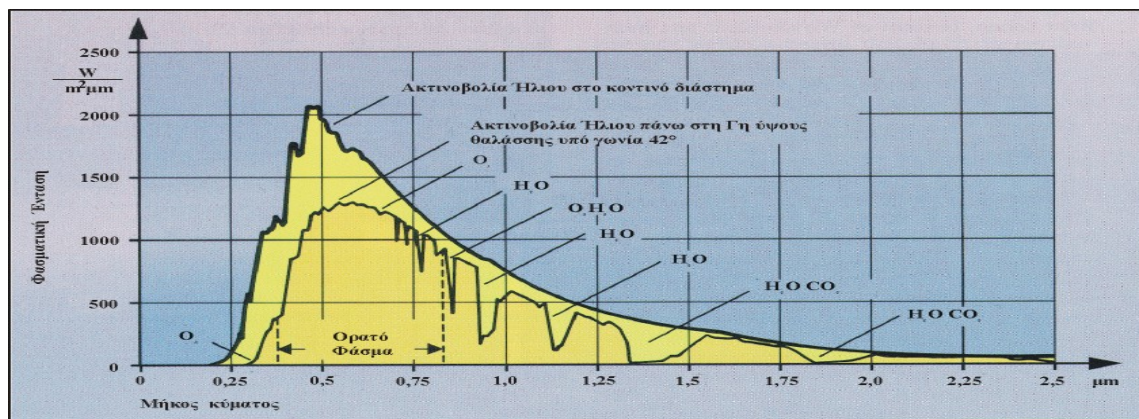
2.5 ΡΟΗ ΚΑΙ ΕΝΤΑΣΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Το πόσο της ενέργειας που περιέχεται στο φως του ήλιου, ονομάζεται ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας. Πιο συγκεκριμένα το μέγεθος που χαρακτηρίζει, την ποσότητα της ενέργειας, την οποία μεταφέρει σε ένα τόπο μία ακτινοβολία που

μεταδίδεται προς μια κατεύθυνση στο χώρο, ονομάζεται ροή ακτινοβολίας (H) ορίζεται, συγκεκριμένα, ως το ποσό της ενέργειας της ακτινοβολίας που περνά στην μονάδα του χρόνου από την μονάδα του εμβαδού μιας επιφάνειας, τοποθετημένη κάθετα στην κατεύθυνση της ακτινοβολίας και εκφράζεται συνήθως σε kW/m^2 .

Ο όρος ροή ακτινοβολίας έχει έννοια όταν πρόκειται μόνο για ακτινοβολία που αποτελείται από δέσμη παράλληλων ακτίνων. Όταν όμως η ακτινοβολία είναι διάχυτη και διαδίδεται προς διαφορές κατεύθυνσης, όπως συμβαίνει συχνά με ένα μεγάλο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας, τότε ως μέτρο του πόσου της ενέργειας που περνά στην μονάδα του χρόνου από την μονάδα μιας επιφάνειας, χρησιμοποιείται περισσότερο ο γενικότερος όρος ένταση της ακτινοβολίας. Με τον ίδιο όρο (ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας), χαρακτηρίζεται και η πυκνότητα της ηλιακής ενέργειας που δέχεται μια επιφάνεια σε ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα.

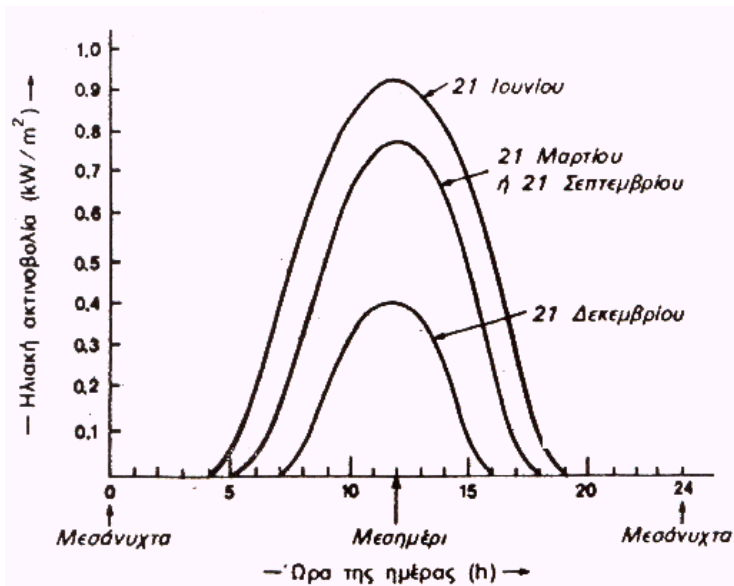
Συχνά δεν μας ενδιαφέρει τόσο η συνολική ενέργεια της ηλιακής ακτινοβολίας, όσο η κατανομή της μέσα στο ηλιακό φάσμα. Ως φασματική ροή ακτινοβολίας (H_λ) ορίζεται το ποσό της ενέργειας μεταξύ λ και $\lambda+d\lambda$, που περνά την μονάδα του χρόνου από την μονάδα του εμβαδού μιας επιφάνειας τοποθετημένης κάθετα στην κατεύθυνση της ακτινοβολίας συνήθως εκφράζεται σε μονάδες $\text{kW}/\text{m}^2 \cdot \mu\text{m}$ (σχήμα 2.4).



Σχήμα 2.4: Η φασματική κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας.

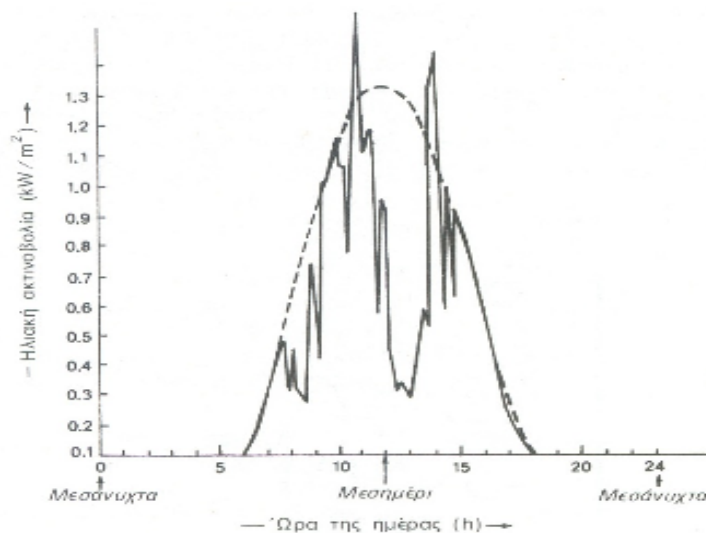
2.6 ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Η ηλιακή ακτινοβολία παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις, στο σχήμα 2.5 φαίνεται η ομαλή μεταβολή της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας κατά την διάρκεια της ημέρας για τέσσερις ενδεικτικές ημερομηνίες (καλοκαίρι, άνοιξη, φθινόπωρο, χειμώνα) σε συνθήκες ιδανικά καθαρού ουρανού. Χαρακτηριστικό μέγεθος είναι η τιμή της μέγιστης έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας (ένταση αιχμής), που μετράται στο ηλιακό μεσημέρι, δηλαδή όταν ο ήλιος βρίσκεται στο μεγαλύτερο ύψος του ορίζοντα. Το παραπάνω ηλιακό μεσημέρι δεν είναι απαραίτητο να συμπίπτει με το ωρολογιακό μεσημέρι, γιατί έχουμε θερινή και χειμερινή ώρα.



Σχήμα 2.5: Διακύμανση της έντασης της ακτινοβολίας στην διάρκεια των φωτεινών ωρών τεσσάρων χαρακτηριστικών ημερομηνιών με εντελώς καθαρό ουρανό που δέχεται μία οριζόντια επιφάνεια.

Όταν επικρατεί συννεφιά η μεταβολή της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της γης, γίνεται ανώμαλη (σχήμα 2.6). Οι παρατηρούμενες απότομες πτώσεις της έντασης οφείλονται στην παρεμβολή ενός νέφους που μετακινεί ο άνεμος. Παρατηρούμε ακόμα εξάρσεις που ξεπερνούν της κανονικές τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας σε συνθήκες καθαρού ουρανού. Προφανώς στα αντίστοιχα χρονικά διαστήματα θα συμβαίνει αθροιστική επίδραση της άμεσης ακτινοβολίας από τον ήλιο, μέσα από ένα άνοιγμα των νεφών και της ανακλώμενης από τα σύννεφα.



Σχήμα 2.6: Διακύμανση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας στην διάρκεια μίας ημέρας με μερική νέφωση. Η διακεκομμένη καμπύλη δείχνει την διακύμανση με εντελώς καθαρό ουρανό.

2.7 ΜΕΤΡΗΣΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Για την μέτρηση της ακτινοβολίας χρησιμοποιείται το πυρηλιόμετρο και το πυρανόμετρο. Το πυρηλιόμετρο είναι ένα όργανο που χρησιμοποιεί ένα παράλληλο ανιχνευτή για την μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας από τον ήλιο και από μια μικρή μερίδα του ουρανού γύρω από τον ήλιο (ακτινοβολία ακτινών) στην κανονική επίπτωση. Το πυρανόμετρο είναι ένα όργανο, για την μέτρησης της συνολικής ημισφαιρικής ηλιακής (άμεσης και διάχυτης ακτινοβολίας), συνήθως σε μία οριζόντια επιφάνεια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

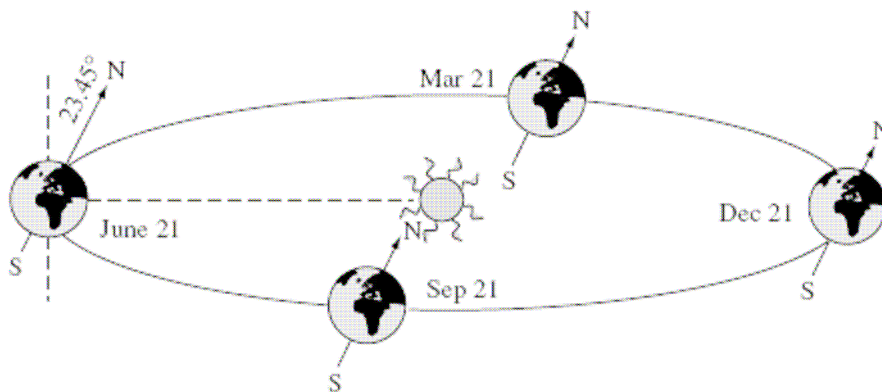
ΗΛΙΑΚΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΥΛΛΕΚΤΗ

3.1 ΗΛΙΑΚΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ

Η γη περιστρέφεται μια φορά την ημέρα γύρω απ' τον άξονα της, ο οποίος περιστρέφεται γύρω από τον ήλιο διατηρώντας μια σταθερή γωνία, $23,45^\circ$. Αυτή η γωνία είναι υπεύθυνη για το ότι ο ήλιος φαίνεται ψηλότερα στον ουρανό το καλοκαίρι απ' ότι το χειμώνα. Επίσης εξαιτίας της γωνίας αυτής είναι μεγαλύτερη η διάρκεια της ημέρας το καλοκαίρι. Στο σχήμα 3.1 φαίνεται η τροχιά της γης γύρω από τον ήλιο και η κλίση του άξονα της. Η γωνία που σχηματίζεται από το επίπεδο του ισημερινού και την ευθεία που ενώνει το κέντρο της γης με αυτό του ήλιου ονομάζεται ηλιακή απόκλιση δ και φαίνεται στο σχήμα 3.2. Η ηλιακή απόκλιση δίνεται από τον τύπο:

$$\delta = 23,45 \cdot \sin\left(\frac{360 \cdot (284 + n)}{365}\right) \quad (3.1)$$

όπου n είναι η ημέρα του έτους που μας ενδιαφέρει. Οι γωνίες βόρεια του ισημερινού θεωρούνται θετικές και αυτές νότια αρνητικές.



Σχήμα 3.1 : Η τροχιά της γης γύρω από τον ήλιο.

Σε μια συγκεκριμένη περιοχή όπου θα τοποθετηθεί ένα σύστημα είναι βολικό να ορίσουμε τη θέση του ήλιου χρησιμοποιώντας δυο γωνίες που θα αναφέρονται η μια στο οριζόντιο και η άλλη στο κάθετο επίπεδο. Στο σχήμα 3.3 φαίνονται οι δυο αυτές γωνίες. Η ηλιακή γωνία ζενίθ θ_{zs} είναι η γωνία μεταξύ του κάθετου άξονα και της κατεύθυνσης της ακτινοβολίας του ηλίου. Και η γωνία ηλιακού αζιμούθιου Ψ_s είναι αυτή μεταξύ της νότιας διεύθυνσης και της προβολής της ακτινοβολίας του ήλιου στο οριζόντιο επίπεδο. Η συμπληρωματική γωνία της γωνίας ζενίθ ονομάζεται ηλιακό ύψος γ_s . Σε κάθε δεδομένη στιγμή οι συντεταγμένες του ήλιου σε κάποιο σημείο με γεωγραφικό πλάτος ϕ , δίνονται από τις εξισώσεις :

$$\cos \theta_{zs} = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos \omega = \sin \gamma_s \quad (3.2)$$

$$\cos \psi_s = \pm \frac{\sin \gamma_s \cdot (\sin \varphi - \sin \delta)}{\cos \gamma_s \cdot \cos \varphi} \left(\begin{array}{l} + \text{ για το βόρειο ημισφαίριο} \\ - \text{ για το νότιο ημισφαίριο} \end{array} \right) \quad (3.3)$$

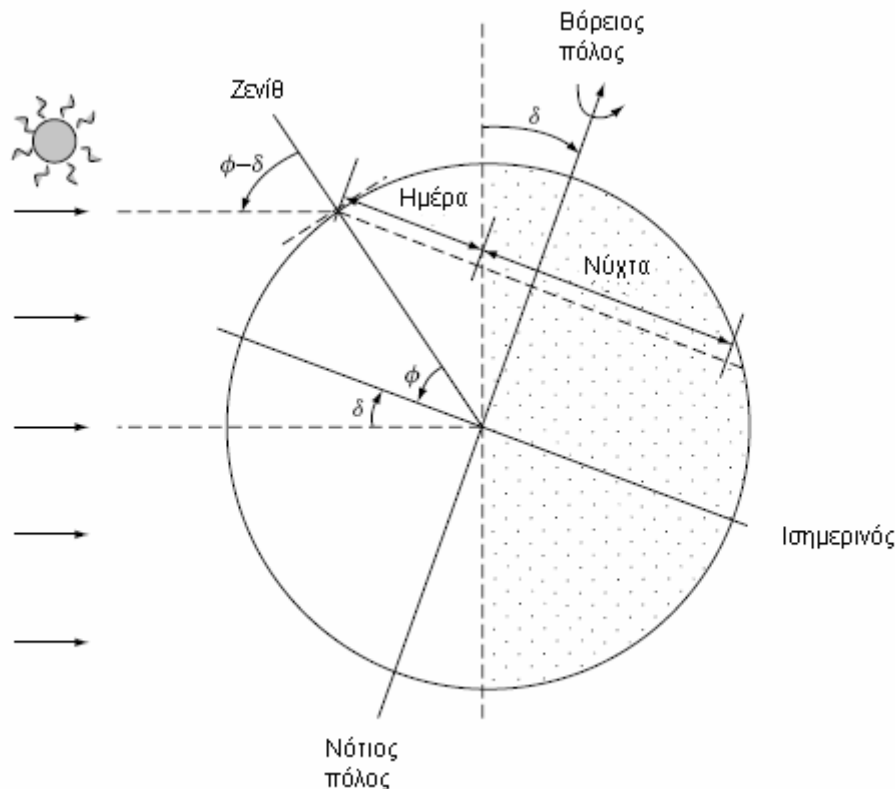
όπου ω είναι η ωριαία γωνία.

$$\omega = 0, 25 \cdot (\text{min από ηλιακό μεσημέρι}) \quad (3.4)$$

Για τη γωνία δύσης του ηλίου ισχύει ότι

$$\omega_s = -\arccos(-\tan \delta \cdot \tan \varphi) \quad (3.5)$$

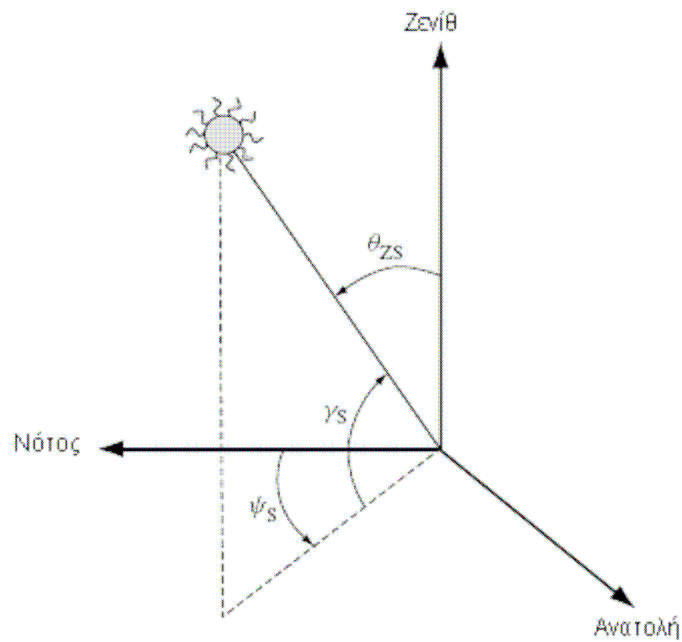
Οι εξισώσεις (3.2) και (3.3) μας δίνουν τις γωνίες θ_{zs} και ψ_s για μια οριζόντια επιφάνεια. Ωστόσο είναι πιο πρακτικό σε κάποιες περιπτώσεις να γνωρίζουμε τη θέση του ήλιου σε σχέση με κεκλιμένες επιφάνειες. Η θέση μιας επιφάνειας μπορεί να περιγραφεί από την κλίση της, β , και από το αζιμουθίο, a , όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.4.



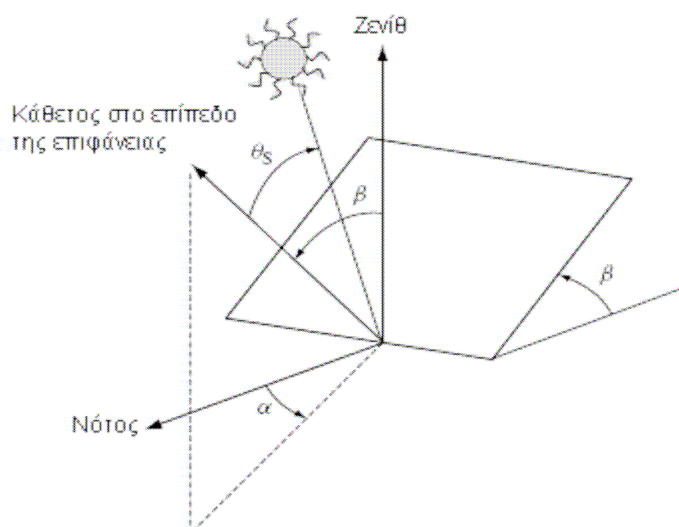
Σχήμα 3.2: Θέση ήλιου - γης κατά το μεσημέρι μιας ημέρας με αρνητική ηλιακή απόκλιση δ .

Η γωνία πρόσπτωσης μεταξύ της ηλιακής ακτινοβολίας και της καθέτου στην επιφάνεια για περιοχές του βόρειου ημισφαιρίου δίνεται από τη σχέση:

$$\begin{aligned} \cos \theta_s = & \sin \delta \cdot \sin \varphi \cdot \cos \beta - \sin \delta \cdot \cos \varphi \cdot \sin \beta \cdot \cos \alpha + \\ & \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \beta \cdot \cos \omega + \cos \delta \cdot \sin \varphi \cdot \sin \beta \cdot \cos \alpha \cdot \cos \omega + \\ & \cos \delta \cdot \sin \alpha \cdot \sin \omega \cdot \sin \beta \end{aligned} \quad (3.6)$$



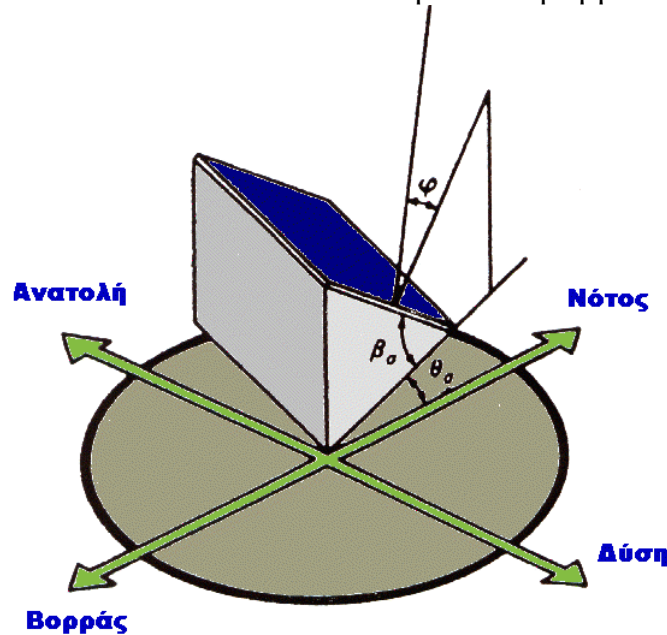
Σχήμα 3.3: Η θέση του ήλιου σε σχέση με κάποιο σημείο στη γη.



Σχήμα 3.4: Θέση επιφάνειας (κλίση β και αζιμούθιο α) και γωνία πρόσπτωσης των ακτινών θ_s .

3.2 ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΥΛΛΕΚΤΗ

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 δυο γωνίες: την κλίση και την αζιμούθια γωνία. Η **κλίση του συλλέκτη (β_σ)** είναι η διεδρη γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στο επίπεδο του συλλέκτη και στον οριζόντα. Δείχνει πόσο γέρνει ο συλλέκτης και μπορεί να πάρει τιμές από 0 μέχρι 180°. Για γωνίες $\beta_\sigma > 90^\circ$ το επίπεδο του συλλέκτη είναι στραμμένο προς τα κάτω.



Σχήμα 3.5: Η κλίση (β_σ) και αζιμούθια γωνία (θ_σ), που χαρακτηρίζουν τον προσανατολισμό ενός επιπέδου ηλιακού συλλέκτη στην επιφάνεια της γης.

Η **αζιμούθια γωνία του συλλέκτη (θ_σ)** είναι η γωνία που σχηματίζεται πάνω στο οριζόντιο επίπεδο ανάμεσα στην προβολή της κατακόρυφου του συλλέκτη και στον τοπικό μεσημβρινό βορρά-νότου. Παίρνει τιμές από -180° μέχρι $+180^\circ$.

3.3 ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΚΛΙΣΗ

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 δυνατόν μικρότερη, κατά την διάρκεια του έτους. Η γωνία πρόσπτωσης της ακτινοβολίας συνδέεται με τις άλλες γωνίες της ηλιακής γεωμετρίας, που αναφέρθηκαν παραπάνω, με την σχέση:

$$\cos \phi = \cos \beta \cdot \sin \beta_\sigma \cdot \cos(\theta_\sigma - \theta) + \sin \beta \cdot \cos \beta_\sigma \quad (3.7)$$

Στο βόρειο ημισφαίριο, η βέλτιστη κλίση του συλλέκτη, για την διάρκεια όλου του έτους, είναι ίση με την γεωγραφική παράλληλο του τόπου, και η αζιμούθια γωνιά είναι 0° (προς το νότο). Αλλά λόγω της μεταβολής της απόκλισης του ήλιου στην 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 κατά την διάρκεια του καλοκαιριού, η κλίση του συλλέκτη επιλέγεται περίπου 10° - 15° μικρότερη από την παράλληλο του τόπου, ενώ για το χειμώνα η κλίση επιλέγεται περίπου 10° - 15° μεγαλύτερη από την παράλληλο του τόπου.

Κατά κανόνα επιλέγουμε νότιο αζιμουθιακό προσανατολισμό για το συλλέκτη, και γωνία κλίσης κοντά στο γεωγραφικό πλάτος του τόπου εγκατάστασης. Όταν η γωνία κλίσης (του συλλέκτη) ισούται ακριβώς με το φ του τόπου, οι ακτίνες του ηλίου πέφτουν κάθετα στο συλλέκτη, δύο φορές το χρόνο (το μεσημέρι τον ισημερινών).

Σημαντικό ρόλο στον προσδιορισμό της βέλτιστης γωνίας συλλέκτη με σταθερή κλίση, παίζουν οι επικρατούσες, στην περιοχή, μετεωρολογικές συνθήκες, οι οποίες καθορίζουν τη σχέση μεταξύ των συνιστωσών της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας, απευθείας και διάχυτης, καθώς και το albedo του εδάφους. Για να προκύψει η βέλτιστη γωνία του συλλέκτη, επιβάλλεται να καταγραφούν στοιχεία σχετικά με τους παράγοντες αυτούς και ιδιαίτερα μετρήσεις της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας, σε διάφορες κλίσεις συλλέκτη. Συνήθως, επειδή τέτοιες μετρήσεις δεν είναι διαθέσιμες, αρκούμαστε σε μετρήσεις σε οριζόντια τοποθετημένα αισθητήρα (πυρανόμετρο), για μια σειρά ετών για αυτή την περιοχή. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν μετρήσεις που έχουν συλλεχθεί στην πλησιέστερη προς αυτή περιοχή, λαμβάνοντας υπόψη πιθανή διαφοροποίηση του albedo του τόπου. Με βάση τις μετρήσεις αυτές και με χρήση καταλλήλων προγραμμάτων, προσδιορίζεται η ολική ακτινοβολία σε συλλέκτη, για κάθε γωνία κλίσης του συλλέκτη από όπου προκύπτει, προσεγγιστικά, η βέλτιστη γωνία κλίσης του για την συγκεκριμένη περιοχή.

Τέλος αν ο συλλέκτης πρέπει να εγκατασταθεί σε περιοχές με φυσικά εμπόδια που τον σκιάζουν ορισμένη περίοδο της ημέρας, π.χ. κτήρια ή δέντρα, τότε ο συλλέκτης προσανατολίζεται έτσι ώστε να προκύπτει η βέλτιστη απόδοση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΔΙΑΔΟΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

4.1. ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΙΑΔΟΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Ο όρος διάδοσης της θερμότητας σημαίνει την μεταβίβαση θερμικής ενέργειας από ένα σώμα σε ένα άλλο ή την μεταφορά θερμικής ενέργειας από μία περιοχή του σώματος σε κάποια άλλη περιοχή (του ίδιου σώματος). Οι μηχανισμοί της για τη διάδοση αυτή είναι: 1. διάδοση θερμικής ενέργειας δια αγωγής, 2. Διάδοση θερμικής ενέργειας δια μεταφοράς (ή δια ρευμάτων), και 3. Διάδοση θερμικής ενέργειας δια ακτινοβολίας.

Η διάδοση της θερμικής ενέργειας είναι ένα από τα φαινόμενα κατά τα οποία, περιλαμβάνεται και η μεταφορά μάζας, και η μεταφορά ορμής. Τα φαινόμενα αυτά περιγράφονται από συγγενικές διαφορικές εξισώσεις στις οποίες χαρακτηριστικό είναι ότι η ροή είναι ανάλογη προς μια διαφορά δυναμικού (δηλαδή από τα θερμά σώματα στα κρύα). Η ροή της θερμότητας στο εσωτερικό των στερεών γίνεται αποκλειστικά δια αγωγής, ενώ στα υγρά και αέρια δια ρευμάτων και ακτινοβολίας.

4.2 ΔΙΑΔΟΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΔΙΑ ΑΓΩΓΗ

Η μετάδοση θερμικής ενέργειας δια αγωγής, είναι η μεταφορά θερμότητας για ένα σώμα από μία περιοχή του σε κάποια άλλη περιοχή του ίδιου σώματος (η σε περίπτωση επαφής θερμού σώματος με ένα ψυχρότερο, διαφορά δυναμικού), λόγω μεταφοράς κινητικής ενέργειας μεταξύ σωματιδίων ή ατόμων. Επομένως, συσχετίζεται με τις κινήσεις μεταφοράς, περιστροφής και ταλαντώσεων των μορίων των ατόμων και των συστατικών τους. Επειδή έχουμε μεταβολή της θερμοκρασίας, έχουμε και μεταβολή του εύρους και της συχνότητας των κινήσεων μεταφοράς και έτσι ο ρυθμός της διάδοσης θερμότητας δια αγωγής μεταβάλλεται με την θερμοκρασία.

Στα αέρια η αγωγιμότητα οφείλεται σε ελαστικές κρούσεις μεταξύ των μορίων. Στα υγρά οφείλεται στον ίδιο μηχανισμό και σε ταλαντώσεις. Στα στερεά οφείλεται σε διαμήκης ταλαντώσεις ολόκληρου του κρυσταλλικού πλέγματος. Ειδικά στα μέταλλα η διάδοση θερμότητας με αγωγή έχει τον ίδιο μηχανισμό διάδοσης με τον ηλεκτρισμό, δηλαδή οφείλεται κυρίως σε ροή ελευθέρων ηλεκτρονίων.

4.3 ΔΙΑΔΟΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΔΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ (ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ)

Η διάδοση θερμότητας δια μεταφοράς αναφέρεται στη μετάδοση θερμότητας σε κινούμενα ρευστά και συνολικά είναι το άθροισμα της μετάδοσης λόγω συγκρούσεων και της μετάδοσης λόγω της μεταφοράς της θερμικής ενέργειας των σωματιδίων μέσω της μακροσκοπικής κίνησης του ρευστού. στην διάδοση θερμότητας δια μεταφοράς όπως είπαμε συνυπάρχουν δύο μηχανισμοί, μετάδοσης της ενέργειας: ο πρώτος μηχανισμός είναι: η διάχυση ενέργειας μέσω των σωματιδιακών αλληλεπιδράσεων (όπως στην περίπτωση της αγωγής), ο δεύτερος μηχανισμός συνδέεται με την μακροσκοπική κίνηση του ρευστού. κατά την μακροσκοπική κίνηση του ρευστού τα στοιχειώδη σωματίδια που απαρτίζουν τα στοιχεία του ρευστού, μεταφέρουν μαζί με την μάζα τους και την θερμική ενέργεια που σχετίζεται με την τυχαία μεταφορική κίνηση τους, την εσωτερική περιστροφή τους και την ταλάντωση τους.

4.4 ΔΙΑΔΟΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΔΙΑ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Κάθε σώμα (στερεό, υγρό ή αέριο) σε θερμοκρασία διαφορετική από 0°K εκπέμπει θερμική ακτινοβολία. Η ακτινοβολία (σε μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων-φωτονίων) δημιουργείται με αλλαγές στην ενεργειακή κατάσταση των ηλεκτρονίων των ατόμων του σώματος και η μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία δεν απαιτεί την ύπαρξη ύλης, αλλά μπορεί να γίνεται και εν κενό (στην πραγματικότητα η μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία γίνεται πιο αποδοτικά εν κενό).

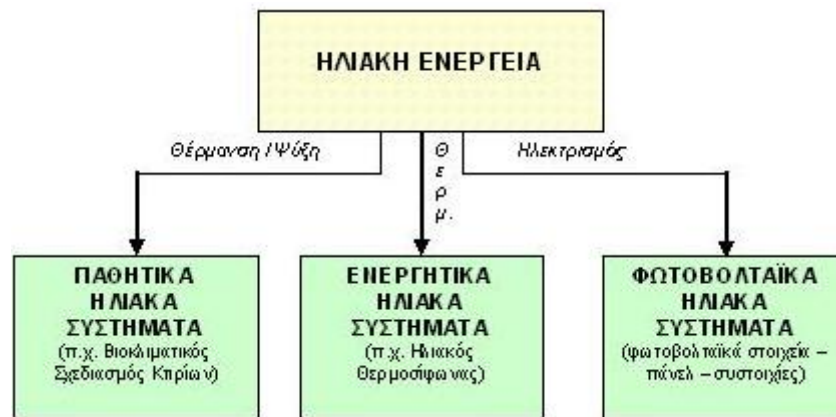
Μια επιφάνεια ονομάζεται: λευκή όταν ανακλά όλες τις προσπίπτουσες ακτινοβολίες (στην πραγματικότητα δεν υπάρχει ιδανικό λευκό σώμα), γκρίζα αν απορροφά όλα τα μήκη κύματος κατά την ίδια ποσότητα, μέλαν αν απορροφά όλες τις ακτινοβολίες. Τα αντικείμενα φαίνονται μαύρα, επειδή απορροφούν όλο το ορατό φως που προσπίπτει στην επιφάνεια τους. Ένα μέλαν σώμα ακτινοβολεί το μέγιστο ποσό ενέργειας. Η θερμική ακτινοβολία που εκπέμπει ένα σώμα σε ορισμένο χρόνο, εξαρτάται από την θερμοκρασία που βρίσκεται το σώμα, δηλαδή σε όσο υψηλότερη θερμοκρασία βρίσκεται ένα σώμα, τόσο μεγαλύτερη ακτινοβολία εκπέμπει. Οι μαύρες επιφάνειες απορροφούν ή εκπέμπουν σε ορισμένο χρόνο περισσότερη θερμική ακτινοβολία από τις λείες και στιλπνές επιφάνειες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

5.1 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

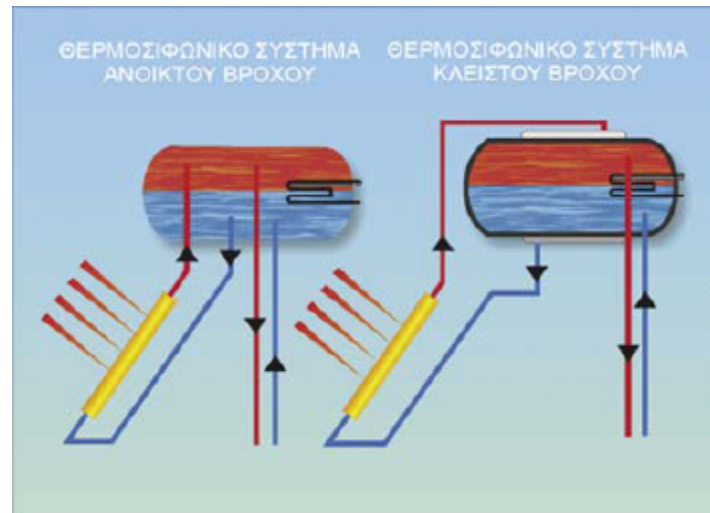
Με αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας μπορούμε να παράγουμε είτε θερμική ή ηλεκτρική ενέργεια. Η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας για παραγωγή θερμότητας μπορεί να πραγματοποιηθεί με δύο ειδών συστήματα: τα ενεργητικά και τα παθητικά, ενώ για την παραγωγή ηλεκτρισμού με ενεργητικά (θερμικά) και φωτοβολταϊκά συστήματα (σχήμα 5.1).



Σχήμα 5.1: Μετατροπή και εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας.

5.2 ΕΝΕΡΓΗΤΙΚΑ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα χρησιμοποιούν κατά βάση μηχανικά μέσα για τη μεταφορά της θερμότητας από τα σημεία συλλογής της στον τόπο αποθήκευσης ή κατανάλωσης. Τα συστήματα χαρακτηρίζονται ως «ανοικτού κυκλώματος» ή «κλειστού κυκλώματος» (σχήμα 5.2). Ένα σύστημα ανοικτού κυκλώματος κυκλοφορεί πόσιμο νερό στο συλλέκτη. Ένα σύστημα κλειστού κυκλώματος χρησιμοποιεί υγρό μεταφοράς θερμότητας (νερό ή διάλυμα αντιψυκτικού) για τη συλλογή θερμότητας και έναν εναλλάκτη θερμότητας για τη μεταφορά της θερμότητας στην κατοικία.



Σχήμα 5.2: Ενεργητικά συστήματα ανοικτού κυκλώματος και κλειστού κυκλώματος.

Ένα ενεργητικό ηλιακό σύστημα αποτελείται από τον ηλιακό συλλέκτη που είναι συνήθως τοποθετημένος στην ταράτσα ή στη στέγη ενός σπιτιού. Η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει πάνω στην επίπεδη μαύρη (για μέγιστη απορρόφηση) επιφάνεια του συλλέκτη. Κάτω από την απορροφητική επιφάνεια βρίσκεται ένα διαφανές κάλυμμα, συνήθως από γυαλί ή πλαστικό, που αφήνει τις ακτίνες να περάσουν, παγιδεύοντας όμως τη θερμικά τους ενέργεια. Τοποθετώντας σωληνώσεις μέσα στις οποίες κυκλοφορεί υγρό, σε επαφή με την απορροφητική επιφάνεια, απάγεται η εγκλωβισμένη ενέργεια η οποία, στη συνέχεια, μεταφέρεται στον τόπο που θα αποθηκευτεί ή θα καταναλωθεί.

Η πιο διαδεδομένη και εμπορικά καταξιωμένη εφαρμογή των ενεργητικών συστημάτων είναι η παραγωγή ζεστού νερού χρήσης, με τη θέρμανση ρευστού σε χαμηλές θερμοκρασίες, όπου χρησιμοποιείται ηλεκτρική αντλία για την κυκλοφορία του υγρού. Η ποσότητα του παραγόμενου ζεστού νερού από τον ηλιακό συλλέκτη εξαρτάται από τον τύπο και το μέγεθος του συστήματος, τη διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία, τη σωστή εγκατάσταση και την κλίση-προσανατολισμό του συλλέκτη. Η σύνηθες μορφή παραγωγής ζεστού νερού στην Ελλάδα είναι τα οικιακά θερμοσιφωνικά συστήματα ενώ για μεγάλες ποσότητες νερού χρησιμοποιούνται κεντρικά ηλιακά συστήματα, όπως σε βιομηχανίες, ξενοδοχεία, αθλητικά κέντρα, κ.ά.

Δυστυχώς, όμως, παρά τις τεράστιες δυνατότητες που έχει η χώρα μας, τα κεντρικά ηλιακά συστήματα δεν έχουν εισχωρήσει επαρκώς στην αγορά και τούτο διότι το κεφάλαιο επένδυσης που απαιτείται είναι υψηλό. Επίσης, για τις βιομηχανικές εγκαταστάσεις, ανασταλτικός παράγοντας χρήσης κεντρικών ηλιακών συλλεκτών είναι το γεγονός ότι η ηλιακή ενέργεια υποκαθιστά την ενέργεια που παράγεται από την καύση πετρελαίου η οποία θεωρείται φθηνή, εφόσον δεν λαμβάνεται υπόψη το περιβαλλοντικό κόστος. Εν γένει, η εγκατάσταση ενός συλλέκτη 1 m^2 μπορεί να εξοικονομήσει σχεδόν 500 kWh το χρόνο. Το περιβαλλοντικό όφελος είναι ότι για 2 m^2 ηλιακού συλλέκτη μειώνεται η εκπομπή CO_2 και άλλων ρύπων σχεδόν κατά 1 tn ετησίως!

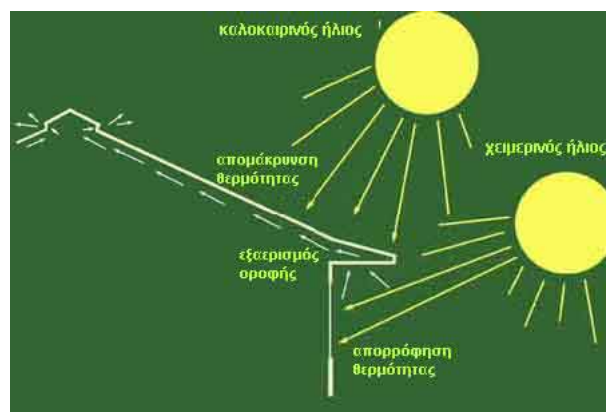
Η Ελλάδα είναι παραγωγός ηλιακών συλλεκτών, με μηδενικές εισαγωγές πλέον, ενώ αποτελεί το μεγαλύτερο εξαγωγέα ηλιακών συλλεκτών στην Ευρώπη.

Ενεργητικά συστήματα χρησιμοποιούνται, επίσης, για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με θέρμανση ρευστού σε υψηλές θερμοκρασίες (θερμικά συστήματα). Με την χρήση κατόπτρων (κυρίως παραβολικών) είναι δυνατή η συγκέντρωση των ηλιακών ακτίνων και τελικά τη θέρμανση του ρευστού σε υψηλές θερμοκρασίες. Η θέρμανση του ρευστού δημιουργεί ατμό που κινεί ατμοστρόβιλο για την παραγωγή μηχανικού έργου.

Τα θερμικά συστήματα χρησιμοποιούνται για τη λειτουργία ηλιοθερμικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής αλλά και την άντληση νερού. Για τις υψηλές θερμοκρασίες που απαιτούνται για τη θερμοδυναμικά αποδοτική λειτουργία τους θα πρέπει να υπάρχει άφθονη άμεση και όχι διάχυτη ακτινοβολία στην περιοχή εγκατάστασης. Στην Ελλάδα δεν υπάρχουν εγκαταστάσεις για την παραγωγή ηλεκτρισμού από ηλιοθερμικά συστήματα αν και αρκετές περιοχές στο νότιο τμήμα της χώρας προσφέρονται για την κατασκευή και λειτουργία ενός τέτοιου συστήματος.

5.3 ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Η κατανάλωση ενέργειας στον κτιριακό τομέα αποτελεί το μεγαλύτερο καταναλωτή ενέργειας στην Ευρώπη καλύπτοντας το 40% περίπου της συνολικής τελικής κατανάλωσης σε εθνικό επίπεδο. Η ένταση των προβλημάτων του εξωτερικού περιβάλλοντος έχει διαμορφώσει ένα πλαίσιο προβλημάτων για το κτίριο, όπου τα προβλήματα ποιότητας του εσωτερικού κλίματος και περιβάλλοντος καθώς και τα ποσοτικά προβλήματα κατανάλωσης και εξοικονόμησης ενέργειας απαιτούν τεχνικές και τεχνολογίες βελτιστοποίησης της κατάστασης. Οι τεχνικές αυτές έχουν κατά βάση τη χρήση ηλιακής ενέργειας και ειδικότερα των παθητικών ηλιακών συστημάτων εντασσόμενα στον βιοκλιματικό σχεδιασμό των κτιρίων.



Σχήμα 5.3: Κτιριακές τεχνικές για την παθητική ψύξη και θέρμανση.

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα δεν έχουν αντλίες - ηλεκτρικά μέρη, σε αντίθεση με τα ενεργητικά, και εκμεταλλεύονται την ηλιακή ενέργεια με «παθητικό» τρόπο. Η έλλειψη μηχανικών μέσων ανεβάζει την αξιοπιστία τους, είναι φθηνότερα από τα ενεργητικά συστήματα αλλά λιγότερο αποδοτικά. Κυρίως αφορούν τα οικοδομήματα και αναφέρονται στην εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας από το ίδιο το κτιριακό κέλυφος (σχήμα 5.3). Η κάλυψη των αναγκών για τη θέρμανση ή την ψύξη των κτιρίων μπορεί να φτάσει και το 100% αλλά για λόγους οικονομίας κατασκευής επιτυγχάνεται κάλυψη συνήθως 50 - 75%.

Η θέρμανση των κτιρίων με παθητικά ηλιακά συστήματα βασίζεται στο «φαινόμενο του θερμοκηπίου» και στηρίζεται:

-Στη συλλογή της ηλιακής ενέργειας και στην μετατροπή της σε χρήσιμη θερμική (συνήθως μέσα από υαλοπίνακες)

-Στην αποθήκευση της θερμικής ενέργειας (μέσα στον ίδιο το σκελετό του κτιρίου, στα δάπεδα, τους τοίχους)

-Στη διατήρηση της θερμότητας στο κτίριο

-Στη διανομή της θερμότητας (μέσα από διαφορετικούς χώρους του κτιρίου)

Έχοντας διασφαλίσει όλα τα μέτρα για την ελάττωση των θερμικών απωλειών και κυρίως τον νότιο προσανατολισμό με απόκλιση $\pm 25^\circ$ (για μέγιστη απορρόφηση ηλιακής ακτινοβολίας στο έτος), μπορούν να εφαρμοστούν συστήματα, με συμβατικά υλικά και χωρίς υψηλό κόστος όπως: το άμεσο ηλιακό κέρδος από νότια προσανατολισμένα ανοίγματα, το προσαρτημένο θερμοκήπιο, ο τοίχος μάζας ή θερμικής αποθήκευσης, το ηλιακό αίθριο, το θερμοσιφωνικό πανέλο κ.ά.

Τα παθητικά συστήματα δροσισμού βασίζονται στην ηλιοπροστασία του κτιρίου και κυρίως στην παρεμπόδιση της εισόδου των ανεπιθύμητων κατά τη θερινή περίοδο ακτίνων του ηλίου στο κτίριο. Αυτό μπορεί να γίνει με ποικίλους τρόπους, όπως με χρήση μόνιμων ή κινητών σκιάστρων (τέντες, δένδροφυτεύσεις, κληματαριές κ.ά.), με την επιλογή κατάλληλων ηλιοπροστατευτικών διατάξεων με τον προσανατολισμό των όψεων έτσι ώστε να απομακρυνθεί η ηλιακή ακτινοβολία από το περίβλημα του κτιρίου (οριζόντιες διατάξεις στον Νότο, κατακόρυφες στην Ανατολή και Δύση με σωστή κλίση σε σχέση με την πορεία των ηλιακών ακτίνων), με τη διευκόλυνση της φυσικής κυκλοφορίας του αέρα στο εσωτερικό των κτιρίων και αν αυτό δεν είναι εφικτό μπορούν να εφαρμοστούν οι τεχνικές των ανοιγμάτων στην οροφή ή η κατασκευή ηλιακής καμινάδας για επιτάχυνση απαγωγής του θερμού αέρα κ.α.

Στην Ελλάδα εκτιμάται ότι υπάρχουν σε λειτουργία περισσότερα από 200 κτίρια τα οποία αξιοποιούν την ηλιακή ενέργεια με ηλιακά παθητικά συστήματα. Ενδεικτικό παράδειγμα αποτελεί το Ηλιακό Χωριό 3 στο δήμο Πεύκης το οποίο αποτελεί έναν υπερσύγχρονο οικισμό 435 «Ηλιακών Κατοικιών» που έχει ως αντικείμενο την ορθολογική χρήση ενέργειας και την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας για την παροχή θέρμανσης - ψύξης και ζεστού νερού χρήσης μέσω παθητικών αλλά και ενεργητικών συστημάτων.

5.4 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Εκτός από την παραγωγή ηλεκτρισμού μέσω ηλιοθερμικών συστημάτων, δύναται η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρισμού με φωτοβολταϊκά συστήματα.

Ένα τυπικό φωτοβολταϊκό (Φ/Β) σύστημα αποτελείται από το Φ/Β πλαίσιο (είδος ηλιακού συλλέκτη), το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας (μπαταρίες - για αυτόνομα συστήματα) και τα ηλεκτρονικά συστήματα που ελέγχουν την ηλεκτρική ενέργεια που παράγει η Φ/Β συστοιχία (σχήμα 5.4).



Σχήμα 5.4: Φ/Β συστοιχία.

Η Φ/Β συστοιχία αποτελείται από Φ/Β πλαίσια συνδεδεμένα σε σειρά ή παράλληλα μεταξύ τους, ανάλογα με την τάση και το ρεύμα λειτουργίας της εφαρμογής, τα οποία με τη σειρά τους αποτελούνται από Φ/Β στοιχεία. Τα Φ/Β στοιχεία κατασκευάζονται κυρίως από πυρίτιο, το δεύτερο πιο διαδεδομένο στοιχείο μετά το οξυγόνο στο φλοιό της γης. Το σύστημα δεν έχει κινούμενα μέρη, οπότε, θεωρητικά, μπορεί να λειτουργήσει για μεγάλο χρονικό διάστημα χωρίς φθορές (εγγύηση περισσότερων κατασκευαστών 20 χρόνια).

Τα Φ/Β συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη έστω και μέρους των ενεργειακών αναγκών απομονωμένων συστημάτων όπως την ηλεκτροδότηση εξοχικών κατοικιών, τουριστικών μονάδων, μικρών οικισμών, για αφαλάτωση νερού, τις τηλεπικοινωνίες (π.χ. δορυφόροι), τα φαρικά συστήματα καθώς και την ηλεκτροδότηση τηλεφωνικών θαλάμων, δημόσιου φωτισμού, παρκόμετρων κ.ά. Επίσης, δύναται να χρησιμοποιηθούν διασυνδεδεμένα με το δίκτυο οπότε ο ιδιοκτήτης του συστήματος έχει τη δυνατότητα να συνδεθεί με το δίκτυο διανομής ηλεκτρισμού και όταν η ενέργεια που παράγει υπερκαλύπτει τις ανάγκες του, μπορεί να πουλήσει το πλεόνασμα στην εταιρία διανομής.

Βασικό μειονέκτημα χρήσης Φ/Β συστημάτων είναι το υψηλό κόστος των Φ/Β πλαισίων, ο χαμηλός βαθμός απόδοσης των συστημάτων (10-12%) και η έλλειψη επαρκούς επιφάνειας για την τοποθέτηση στα κτίρια. Ωστόσο εκτιμάται, έως το 2012,

ότι η μέση ανάπτυξη των Φ/Β συστημάτων θα είναι 30% ανά έτος, γεγονός που θα δημιουργήσει οικονομίες κλίμακας και άρα μείωση του κόστους παραγωγής. Η αναπτυσσόμενη τεχνολογία των Φ/Β συστημάτων θα μπορεί να παρέχει συστήματα απόδοσης έως και 25% ενώ όσον αφορά την επιφάνεια τοποθέτησης, τα Φ/Β πλαίσια μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δομικά στοιχεία για την κάλυψη της οροφής, για την επένδυση της πρόσοψης αντί για υαλοπετάσματα ή και ως σκίαστρα. Επίσης, υπάρχουν ημιδιαφανή πλαίσια, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως φωταγωγοί ή γυάλινες επιφάνειες όπου είναι επιθυμητό να περνάει φως. Τα στοιχεία αυτά μπορούν να αποτελέσουν εναλλακτικές της αρχιτεκτονικής για πρωτότυπες λύσεις ως προς την εμφάνιση των κτιρίων.

Στην Ελλάδα έχουν γίνει αρκετές εγκαταστάσεις αυτόνομων και ιδιωτικών Φ/Β συστημάτων. Η ΔΕΗ έχει εγκαταστήσει κεντρικούς και απομονωμένους Φ/Β σταθμούς για ηλεκτροδότηση σε νησιά (π.χ. Κύθνος, Γαύδος κ.ά.) ενώ το Πολεμικό Ναυτικό έχει εγκαταστήσει περισσότερα από 360 Φ/Β φαρικά συστήματα στο Αιγαίο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΗΛΙΑΚΟΥ ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΑ ΜΕ ΑΠΛΑ ΜΕΣΑ

6.1 ΒΑΣΙΚΗ ΑΡΧΗ ΗΛΙΑΚΩΝ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Η βασική αρχή, κοινή για όλα τα ηλιακά θερμικά συστήματα, είναι απλή: η ηλιακή ακτινοβολία συλλέγεται και η θερμότητα μεταφέρεται σε ένα θερμοχωρητικό υλικό, συνήθως ένα ρευστό (ή μερικές φορές αέρας). Το θερμό ρευστό χρησιμοποιείται είτε άμεσα, (π.χ. παραγωγή ζεστού νερού) είτε έμμεσα με την χρήση ενός εναλλάκτη θερμότητας, ο οποίος μεταφέρει την παραγόμενη θερμότητα στην τελική της χρήση (π.χ. θέρμανση χώρου). Μερικές φορές, το παραγόμενο ζεστό νερό αποθηκεύεται για μελλοντική χρήση. Αυτή είναι η περίπτωση κατά την οποία η παραγωγή δεν συμπίπτει με την χρήση. Είναι επίσης πιθανόν, το ζεστό νερό απλά να προθερμαίνεται από το ηλιακό σύστημα πριν μεταφερθεί σε συμβατικές τεχνολογίες (βενζίνη / πετρέλαιο / ηλεκτρισμός) για να παράσχει την απαιτούμενη θερμοκρασία.

6.2 Η ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ

Το βασικό στοιχείο ενός ηλιακού συλλέκτη είναι η επιφάνεια απορρόφησης. Οι επιφάνειες απορρόφησης είναι συνήθως μαύρες, καθώς οι σκούρες επιφάνειες παρουσιάζουν πολύ υψηλό βαθμό απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας. Καθώς η επιφάνεια θερμαίνεται σε μια θερμοκρασία υψηλότερη από την θερμοκρασία περιβάλλοντος, εκπέμπει ένα μεγάλο μέρος από την συσσωρευμένη ηλιακή ενέργεια σε μορφή θερμικής ακτινοβολίας μεγάλου κύματος. Ο λόγος της απορροφούμενης ενέργειας ως προς την εκπεμπόμενη εξαρτάται από τον βαθμό εκπομπής. Προκειμένου να μειωθούν οι απώλειες ενέργειας μέσω την θερμικής εκπομπής, οι περισσότερες αποδοτικές απορροφητικές επιφάνειες φέρουν μια επιλεκτική επικάλυψη. Η επικάλυψη επιτρέπει την μετατροπή ενός μεγάλου ποσοστού της ηλιακής ακτινοβολίας σε θερμότητα, μειώνοντας ταυτόχρονα την εκπομπή θερμότητας. Η επιλεκτική επικάλυψη παρέχει ποσοστό απορρόφησης της τάξης του 90%. Στην αγορά διατίθενται διάφοροι τύποι ηλιακών συλλεκτών:

1. Συλλέκτης χωρίς γυάλινη κάλυψη/ προστασία

Ένας συλλέκτης χωρίς γυάλινη κάλυψη είναι ιδανική εφαρμογή για την χρήση της ηλιακής ενέργειας για θέρμανση κολυμβητηρίων κατά την διάρκεια της καλοκαιρινής περιόδου. Η μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία της καλοκαιρινής περιόδου μπορεί να χρησιμοποιηθεί με σχετικά απλές τεχνολογίες. Προκειμένου να επιτευχθεί η βέλτιστη θέρμανση για τα κολυμβητήρια, θερμοκρασίες χαμηλότερες από 30 °C είναι αρκετά ικανοποιητικές. Σε πολλές περιπτώσεις, δεν είναι απαραίτητη η ύπαρξη μιας επιπλέον δεξαμενής νερού καθώς το νερό των κολυμβητηρίων έχει την ικανότητα να διατηρήσει την απαιτούμενη θερμοκρασία και μια αντλία εξασφαλίζει

την ανακύκλωση του νερού μέσω της επιφάνειας απορρόφησης. Το ηλιακό σύστημα ελέγχου, με αισθητήρες θερμοκρασίας στην είσοδο του νερού και στις επιφάνειες απορρόφησης, ρυθμίζει αυτόματα και οικονομικά την λειτουργία του θερμικού συστήματος. Οι επιφάνειες απορρόφησης των κολυμβητηρίων είναι συνήθως μαύρα πλαστικά ματ υλικά ή σωλήνες. Οι θερμοκρασίες που απαιτούνται για την συγκεκριμένη χρήση είναι σχετικά χαμηλές σε σχέση με τις θερμοκρασίες που απαιτούνται από άλλα ηλιακά θερμικά συστήματα για θέρμανση νερού και θέρμανση χώρων. Η επιφάνεια απορρόφησης μπορεί να τοποθετηθεί με απλό τρόπο στην οροφή και η έναρξη λειτουργίας του να είναι άμεση.

2. Επίπεδος συλλέκτης με γυάλινη κάλυψη

Ο επίπεδος συλλέκτης αποτελείται από την επιφάνεια απορρόφησης, μια διαφανή κάλυψη, ένα πλαίσιο και ένα μονωτικό υλικό. Συνήθως χρησιμοποιείται ένας υαλοπίνακας ασφαλείας (με μικρή περιεκτικότητα σιδήρου) ως διαφανής κάλυψη, καθώς μεταδίδει μεγάλο ποσοστό του φωτεινού φάσματος μικρού-κύματος. Ταυτόχρονα, μόνο ένα πολύ μικρό μέρος από την εκπεμπόμενη θερμότητα διαφεύγει από την κάλυψη (φαινόμενο του θερμοκηπίου). Επιπρόσθετα, η διαφανής κάλυψη εμποδίζει τον αέρα και τις αβρές να απομακρύνουν τη θερμότητα και επίσης εμποδίζουν την συσσώρευση ακαθαρσίας στην επιφάνεια απορρόφησης. Μαζί με τη πλαίσιο, η κάλυψη προστατεύει την επιφάνεια από αντίξοες καιρικές συνθήκες. Η μόνωση στο πίσω μέρος της επιφάνειας απορρόφησης και στα πλαίσια τοιχώματα ελαχιστοποιεί την απώλεια θερμότητας λόγω αγωγιμότητας. Η μόνωση είναι συνήθως από αφρό πολυουραιθάνης ή ορυκτοβάμβακα, πετροβάμβακα, ή fiberglass. Οι επίπεδοι συλλέκτες μπορούν να έχουν καλό βαθμό οικονομικής απόδοσης, καθώς επίσης και ένα ευρύ φάσμα επιλογών σχετικά με τον τρόπο τοποθέτησής τους (επάνω από την οροφή, μέσα στην οροφή κλπ.). Πρόκειται για πολύ κοινούς συλλέκτες και η κύρια χρήση τους είναι η παραγωγή ζεστού νερού χρήσης.

3. Σωληνωτή απορροφητική επιφάνεια κενού

Πρόκειται για μια απορροφητική επιφάνεια που τοποθετείται σε έναν άδειο και υπό πίεση γυάλινο σωλήνα. Το θερμοαγωγικό ρευστό (συνήθως αέριο) ρέει άμεσα μέσω της επιφάνειας σε σωλήνα-U ή με αντίστροφη ροή μέσω συστήματος αγωγών. Πολλοί απλοί σωλήνες, σειριακά συνδεδεμένοι, ή σωλήνες που συνδέονται μεταξύ τους, απαρτίζουν τον ηλιακό συλλέκτη. Ένας σωληνωτός συλλέκτης εμπεριέχει ένα ειδικό ρευστό, που εξατμίζεται ακόμα και σε χαμηλές θερμοκρασίες. Ο ατμός ανέρχεται στους σωλήνες και προθερμαίνει το ρευστό μεταφοράς θερμότητας στον κύριο σωλήνα, σαν εναλλάκτης θερμότητας. Τότε, το συμπυκνωμένο υγρό, επιστρέφει στην βάση του σωλήνα. Οι σωλήνες κενού έχουν το πλεονέκτημα ότι δουλεύουν αποδοτικά ακόμα και σε υψηλές θερμοκρασίες επιφάνειας απορρόφησης (>120°C) και με χαμηλή ακτινοβολία. Υψηλότερες θερμοκρασίες είναι επίσης δυνατόν να επιτευχθούν για χρήσεις όπως θέρμανση ζεστού νερού, η παραγωγή ατμού και κλιματισμό.

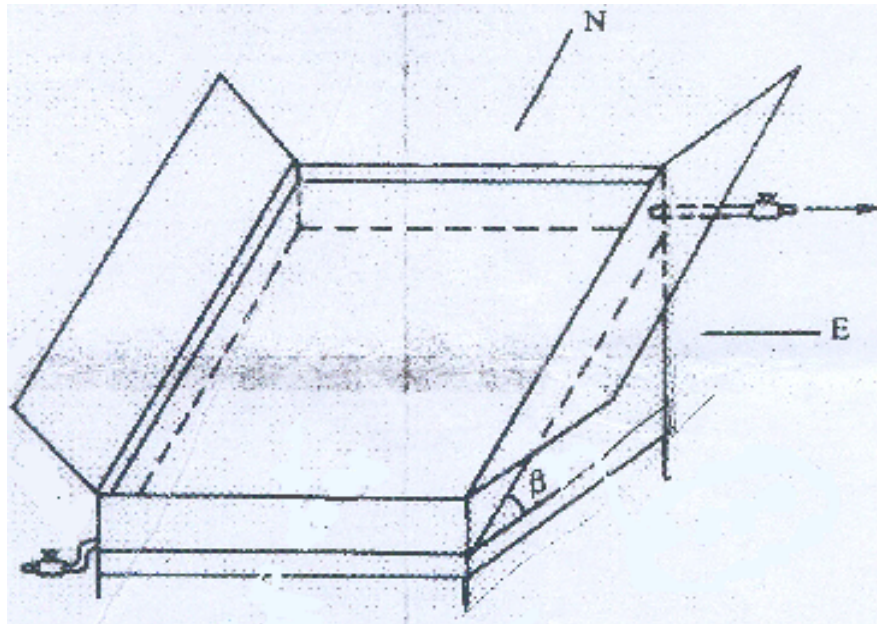
6.3 ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΖΕΣΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Η λειτουργία της δεξαμενής αποθήκευσης ζεστού νερού είναι να εξασφαλίζει απόθεμα ενέργειας για τις μέρες με περιορισμένη ηλιακή ακτινοβολία. Η χωρητικότητά της θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την ημερήσια κατανάλωση ζεστού νερού, για να αποφευχθεί η έλλειψη του, σε ημέρες χωρίς ηλιοφάνεια. Κυρίως χρησιμοποιούνται χαλύβδινες δεξαμενές με επισμάλτωση. Για την προστασία από τη διάβρωση απαιτούν μαγνήσιο. Οι δεξαμενές αποθήκευσης από ανοξείδωτο χάλυβα έχουν μεγαλύτερο χρόνο ζωής αλλά είναι ακριβότεροι. Οι καλές δεξαμενές αποθήκευσης έχουν ένα λεπτό, κυλινδρικό σχήμα προκειμένου να επιτύχουν διαστρωμάτωση της θερμοκρασίας μέσα στην δεξαμενή. Αυτό επιτρέπει την βέλτιστη χρήση του θερμού πόσιμου νερού στην ανώτερη περιοχή της δεξαμενής και έτσι δεν είναι υποχρεωτικό να έχει την απαιτούμενη θερμοκρασία όλο το περιεχόμενο της δεξαμενής. Η ανεπιθύμητη ανάμιξη του περιεχομένου της δεξαμενής με εισερχόμενο κρύο νερό μπορεί να αποφευχθεί μέσω ενός ειδικού αυλού ή με ένα διαχωριστικό δίσκο. Η τοποθέτηση του εναλλάκτη θερμότητας στον πυθμένα της δεξαμενής επιτρέπει την αποδοτικότερη λειτουργία του ηλιακού συστήματος λόγω της χαμηλότερης θερμοκρασίας εισόδου του νερού. Ο εναλλάκτης θερμότητας του συμβατικού θερμοσίφωνα τοποθετείται στο ανώτερο σημείο της δεξαμενής για να τον προστατέψει από την θέρμανση ποσότητας νερού μεγαλύτερης από την απαιτούμενη.

6.4 ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Η κατασκευή της παρούσας εργασίας αποτελεί ένα απλοποιημένο ηλιακό θερμοσίφωνα χαμηλού κόστους ο οποίος θα μπορούσε να προσφέρει μια καλή εναλλακτική λύση για εφαρμογές ώστε να καλυφθούν οι απαιτήσεις ζεστού νερού για οικιακή χρήση ή και βιομηχανική χρήση μικρής κλίμακας.

Η ιδιοκατασκευή αυτή έχει πλάτος συλλέκτη 0,35m, μήκος συλλέκτη 0,63m, πάχος συλλέκτη 0,005m, επιφάνεια του κάθε κάτοπτρου 0,11m² και χωρητικότητα δεξαμενής (ανοξείδωτο χάλυβα) νερού 20lt εκ των οποίων στο πείραμα πληρώθηκαν τα 15 lt. Επίσης υπάρχουν και δύο βάνες για την εύκολη εισαγωγή και εξαγωγή του νερού. Η κατασκευή είναι ένα ενεργό ηλιακό σύστημα το οποίο αποτελείται από: μια ανοξείδωτη χαλύβδινη δεξαμενή η οποία είναι βαμμένη μαύρη στην επιφάνεια συλλογής των ηλιακών ακτίνων . Λόγω του ότι το μαύρο χρώμα "απορροφά" περισσότερο από τα άλλα χρώματα την ηλιακή ακτινοβολία. Η ενέργεια υλών των μηκών κύματος, υποβαθμίζεται σε θερμότητα υψώνοντας την θερμοκρασία του απορροφούντα σώματος. Με αυτόν τον τρόπο καταφέρνουμε να εκμεταλλευτούμε όσο το δυνατόν καλύτερα την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία.



Σχήμα 6.1 Σκαρίφημα της ιδιοκατασκευής.

Πρέπει να τονίσουμε ότι, η ιδιοκατασκευή βρίσκεται υπό γωνία 45° ως προς την επιφάνεια του εδάφους ώστε η γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας να είναι όσο το δυνατόν πιο κάθετα σε σχέση με τον συλλέκτη μας κατά της διάρκεια του έτους. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στην πόλη των Χανίων με γεωγραφικό πλάτος $35^\circ 30'$ και για να έχουμε καλύτερη απόδοση τους χειμερινούς μήνες, όπου και η ζήτηση του θερμού νερού είναι μεγαλύτερη, η κλίση επιλέχθηκε να είναι 10° μεγαλύτερη από την παράλληλο του τόπου, δηλαδή 45° (Σε διαφορετική περίπτωση που θέλαμε καλύτερη απόδοση τους καλοκαιρινούς μήνες, η κλίση θα ήταν 10° έως 15° μικρότερη από την παράλληλο του τόπου). Για να έχουμε μεγαλύτερη εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας, τοποθετούμε κάτοπτρα παραπλεύρως της κατασκευής μας. Ο ρόλος τους είναι να μεταβάλουμε την συγκέντρωση της ηλιακής ακτινοβολίας, την οποία συγκέντρωση μπορούμε να την μεταβάλουμε πολύ απλά αλλάζοντας την κλίση των κατόπτρων ως προς του συλλέκτη. Την δεξαμενή καλύπτοντάς την με μια γυάλινη επιφάνεια με μικρό ποσοστό ανάκλασης, καταφέρνουμε να εγκλωβίσουμε τις ακτίνες του ήλιου με αποτέλεσμα να έχουμε την προσομοίωση του φαινομένου του θερμοκηπίου και την μόνωση των θερμικών απωλειών από το περιβάλλον και την γρηγορότερη θέρμανση του νερού. Όλη η κατασκευή είναι επενδυμένη με φύλλα γυψοσανίδας, που είναι ένα καλό υλικό μόνωσης λόγω της κατασκευής του (δύο φύλλα χαρτιού γεμισμένα στη μέση με γύψο πάχους 20,2mm) και χαμηλού κόστους, ανάμεσα στη γυψοσανίδα και την κατασκευή ο κενός χώρος έχει γεμιστεί με αφρό πολυουραιθάνης και υαλοβάμβακα καθώς και τη κάτω επιφάνεια της κατασκευής την έχουμε γεμίσει με αφρό πολυουρεθάνης που έχει καλύτερες ιδιότητες του υαλοβάμβακα, επειδή είναι πιο συμπαγές και έχει καλύτερες θερμομονωτικές ιδιότητες. Εξωτερικά η επιφάνεια είναι βαμμένη μαύρη για πρόσθετη θερμική μόνωση και μεγαλύτερη απορρόφηση

ηλιακής ακτινοβολίας (ιδιότητες μαύρου χρώματος). Η μόνωση είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας για την απόδοση του συστήματος καθώς η ηλιακή ενέργεια δεν είναι διαθέσιμη 24 ώρες το 24ωρο και έτσι η αποθήκευση της ηλιακής ενέργειας πρέπει να συμβαδίζει με την ζήτηση που έχουμε σε ζεστό νερό και της προσφοράς της. Έτσι τα μονωτικά υλικά είναι ζωτικής σημασίας για να μπορούν να διατηρήσουν την θερμοκρασία για όσο το δυνατόν περισσότερο. Κατά τους χειμερινούς μήνες, η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι μικρή και η ηλιοφάνεια περιορισμένη λόγω καιρικών φαινομένων αλλά και λόγω τροχιάς του ήλιου, ενώ η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι μεγάλη λόγω της χαμηλότερης τροχιάς που έχει ο ήλιος (μικρότερη τροχιά άρα μικρότερη απόσταση γης ήλιου σε σχέση με τους καλοκαιρινούς μήνες μικρότερες μέρες άρα μεγαλύτερη ένταση ηλιακή ακτινοβολία). Τους χειμερινούς μήνες έχουμε και τις μεγαλύτερες απώλειες θερμικών φορτίων και ιδιαίτερα τις νυχτερινές ώρες που θα πρέπει το σύστημα να μπορεί να κρατήσει όσο το δυνατόν τη θερμοκρασία σταθερή σε χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος και με μηδενικές θερμικές παροχές, δεδομένου ότι το ζεστό νερό τους χειμερινούς μήνες απαιτείται νωρίς το πρωί. Στη μόνωση του συστήματος συμβάλλει και το τζάμι στην περιοχή του αποθηκευτικού χώρου του νερού και το ίδιο το νερό βοηθάει στη μόνωση του συστήματος λόγω της μεγάλης θερμοχωρητικότητας που έχει. Το σύστημα αν και είναι καλά μονωμένο η επιφάνεια του είναι μεγάλη και έτσι θα έχει μεγάλες θερμικές απώλειες.

6.5 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Η προετοιμασία για την διεξαγωγή των πειραμάτων είναι, να γεμίσει η δεξαμενή της κατασκευής με νερό 15lt από την βάνια εισαγωγής του νερού και να ρυθμιστούν τα κάτοπτρα ανάλογα την κλίση που εξετάζαμε, εν συνεχεία να τοποθετηθεί στην περιοχή διεξαγωγής του πειράματος που δε σκιαζόταν καθ'όλη τη διάρκεια της ημέρας. Οι μετρήσεις άρχιζαν στις 10πμ και τελείωναν στις 6μμ. Ανά μια ώρα σημειώναμε τις ενδείξεις των οργάνων, πυρανόμετρο για την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας w/m^2 , θερμομέτρα για την ένδειξη θερμοκρασίας του περιβάλλοντος και του νερού της δεξαμενής °C. Κατά τη διάρκεια της νύχτας το σύστημα παρέμενε στην ίδια θέση με τη δεξαμενή γεμάτη και τα κάτοπτρα στην κλίση που είχε εξεταστεί την προηγούμενη μέρα. Την επομένη το πρωί παίρναμε τις ενδείξεις θερμοκρασίας του νερού, ώστε να γνωρίζουμε τις θερμικές απώλειες κατά τις νυχτερινές ώρες.

Τα πειράματα χωρίστηκαν σε 4 κατηγορίες, ανάλογα με την κλίση των κατόπτρων και πραγματοποιήθηκαν δύο πειράματα για κάθε κατηγορία σε τυχαίες μέρες. Για τον υπολογισμό της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας χρησιμοποιήθηκε ο τύπος:

$$Y = 0.7953 \cdot X + 4.8162$$

(6.1)

Όπου X η τιμή της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας από το πυρανόμετρο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΗΛΙΑΚΟΥ ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΑ

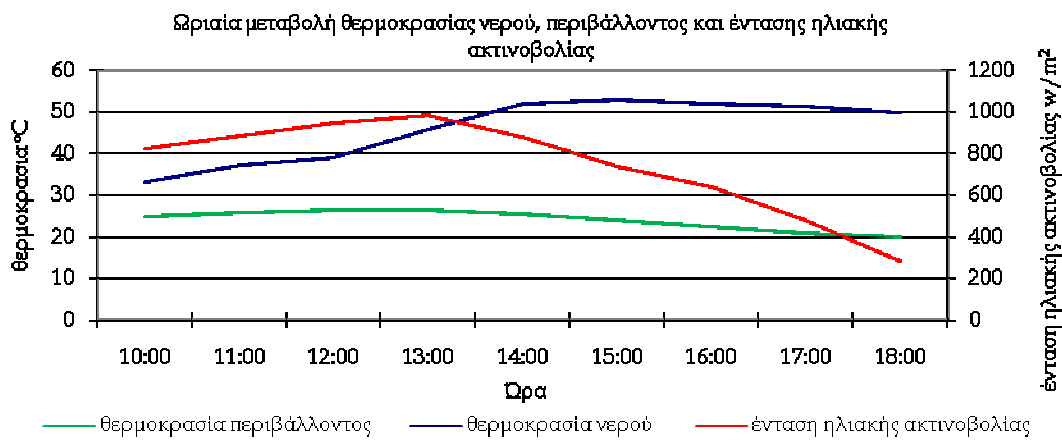
7.1 ΠΡΩΤΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ (ΧΩΡΙΣ ΚΑΤΟΠΤΡΑ)

- 1^ο πείραμα 03/10/06.
- Καιρικές συνθήκες: ηλιοφάνεια.
- Όγκος νερού 15 lt.
- Επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη 0,22 m².
- Χωρίς κάτοπτρα.

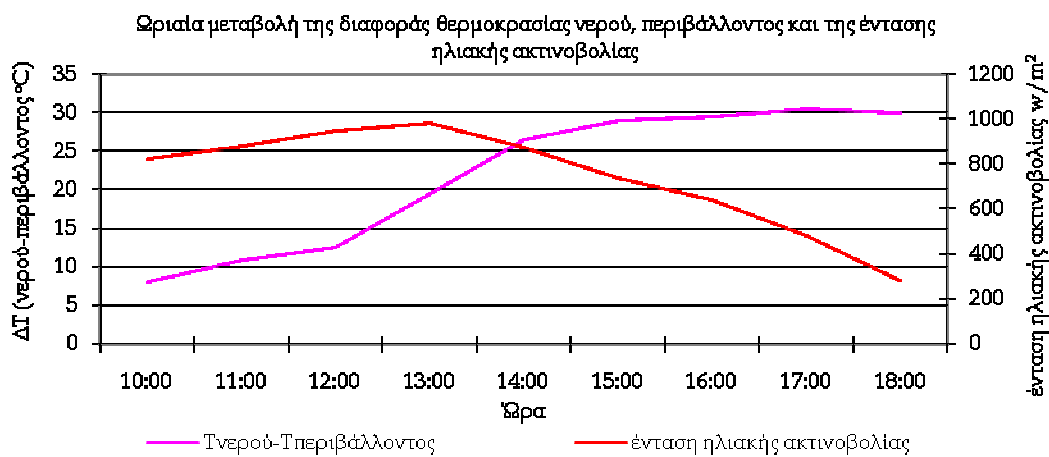
Ωρα	Τ _{θερμοκρασία νερού} (°C)	Τ _{θερμοκρασία περιβάλλοντος} (°C)	Τνερου- Τπεριβάλλοντος (°C)	Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας (w/m ²)
10:00	33,1	25	8,1	825,5658
11:00	37	26	11	882,8274
12:00	39	26,5	12,5	948,8373
13:00	46	26,5	19,5	983,0352
14:00	52	25,5	26,5	875,6697
15:00	53	24	29	738,8781
16:00	52	22,5	29,5	641,0562
17:00	51,5	21	30,5	481,9962
18:00	50	20	30	283,1712

- Κλίση ηλιακού συλλέκτη 45° ως προς την επιφάνεια του εδάφους.

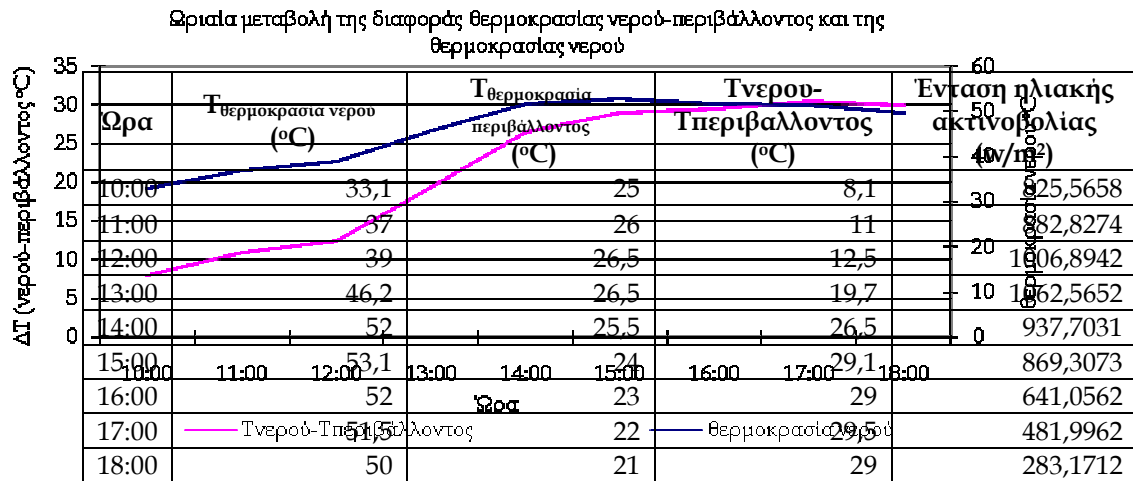
Πίνακας 7.1: Μετρήσεις πειράματος 03/10/06 χωρίς κάτοπτρα.



Σχήμα 7.1: Καμπόλες T νερού, περιβάλλοντος και I ηλιακής ακτινοβολίας.



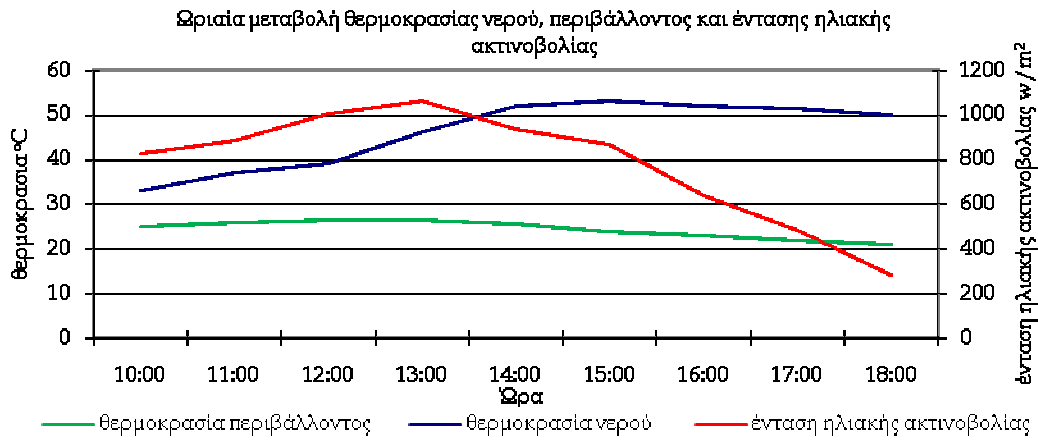
Σχήμα 7.2: Καμπόλες ΔT νερού-περιβάλλοντος και I ηλιακής ακτινοβολίας.



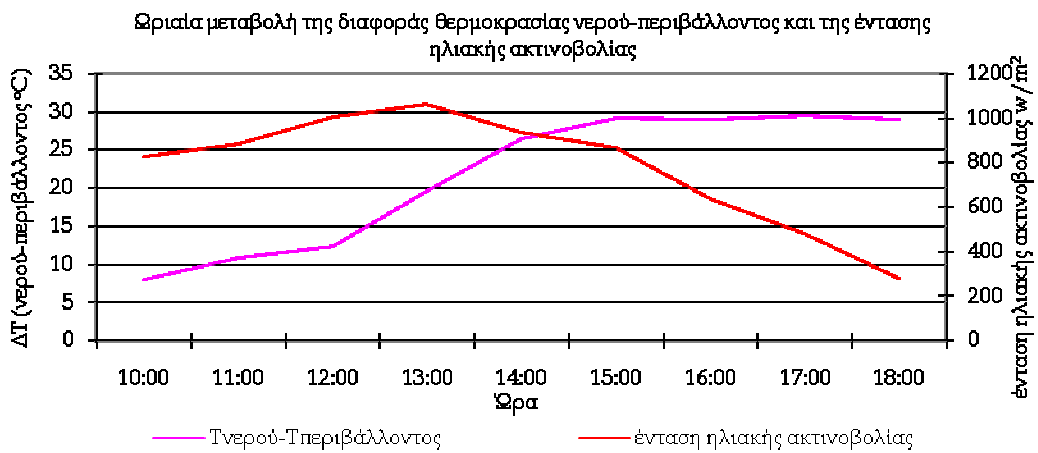
Σχήμα 7.3: Καμπύλες ΔT νερού-περιβάλλοντος και T νερού.

- 2^ο πείραμα 06/10/06
- **Καιρικές συνθήκες:** αραιή συννεφιά.
- Όγκος νερού 15 lt.
- Επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη 0,22 m² .
- Χωρίς κάτοπτρα.
- Κλίση ηλιακού συλλέκτη 45^ο ως προς την επιφάνεια του εδάφους.

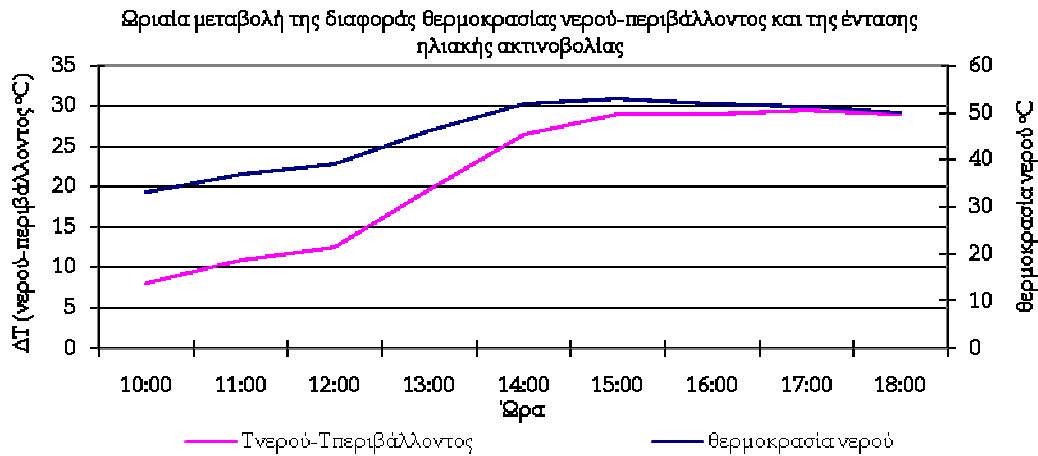
Πίνακας 7.2: Μετρήσεις πειράματος 06/10/06 χωρίς κάτοπτρα.



Σχήμα 7.4: Καμπόλες T νερού, περιβάλλοντος και I ηλιακής ακτινοβολίας.



Σχήμα 7.5: Καμπόλες ΔT νερού-περιβάλλοντος και I ηλιακής ακτινοβολίας.



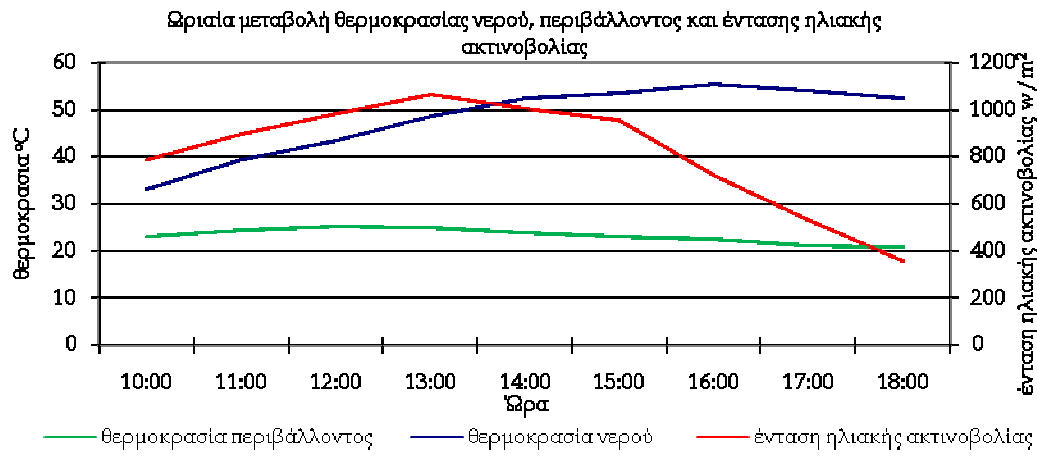
Σχήμα 7.6: Καμπύλες ΔT νερού-περιβάλλοντος και T νερού.

7.2 ΔΕΥΤΕΡΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ (ΜΕ ΚΛΙΣΗ ΚΑΤΟΠΤΡΩΝ 30°)

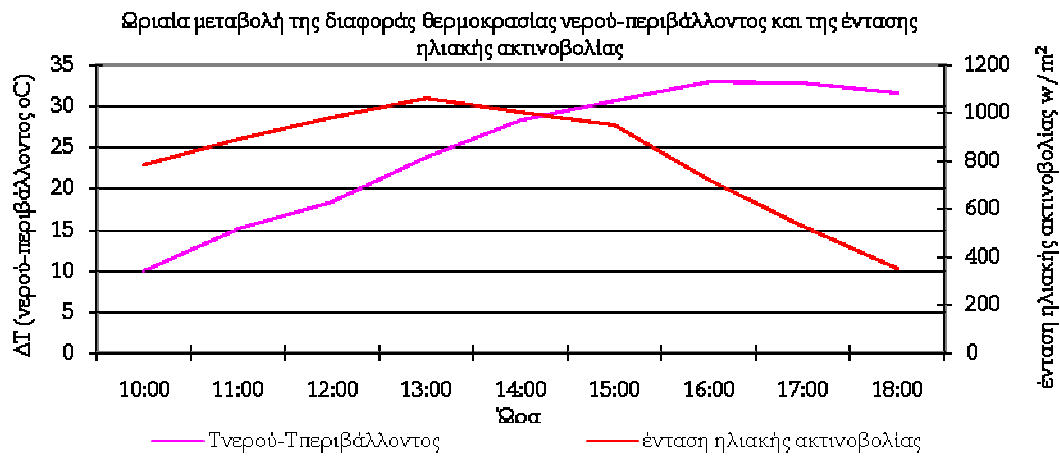
- 1^ο πείραμα 30/09/06.
- **Καιρικές συνθήκες:** ηλιοφάνεια.
- Όγκος νερού 15 lt.
- Επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη 0,22 m².
- Κλίση κατόπτρων 30° ως προς την επιφάνεια του ηλιακού συλλέκτη.
- Κλίση ηλιακού συλλέκτη 45° ως προς την επιφάνεια του εδάφους.

Ωρα	T _{θερμοκρασία νερού} (°C)	T _{θερμοκρασία περιβάλλοντος} (°C)	T _{νερού-Τπεριβάλλοντος} (°C)	Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας (w/m ²)
10:00	33,2	23,2	10	788,1867
11:00	39,5	24,3	15,2	894,7569
12:00	43,6	25,2	18,4	982,2399
13:00	48,8	24,9	23,9	1063,3605
14:00	52,4	24	28,4	1006,0989
15:00	53,7	23	30,7	953,6091
16:00	55,5	22,5	33	722,9721
17:00	54,2	21,3	32,9	531,3048
18:00	52,6	21	31,6	356,3388

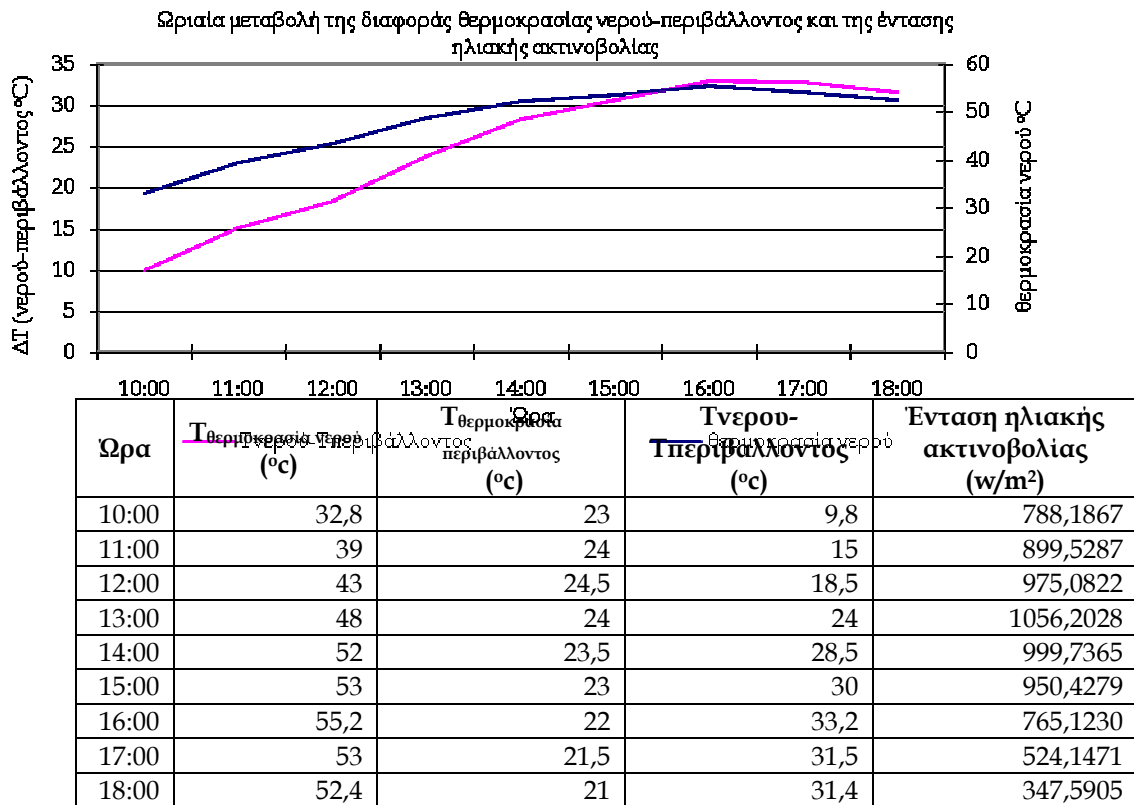
Πίνακας 7.3: Μετρήσεις πειράματος 30/09/06 με κλίση κατόπτρων 30°.



Σχήμα 7.7: Καμπύλες T νερού, περιβάλλοντος και I ηλιακής ακτινοβολίας.



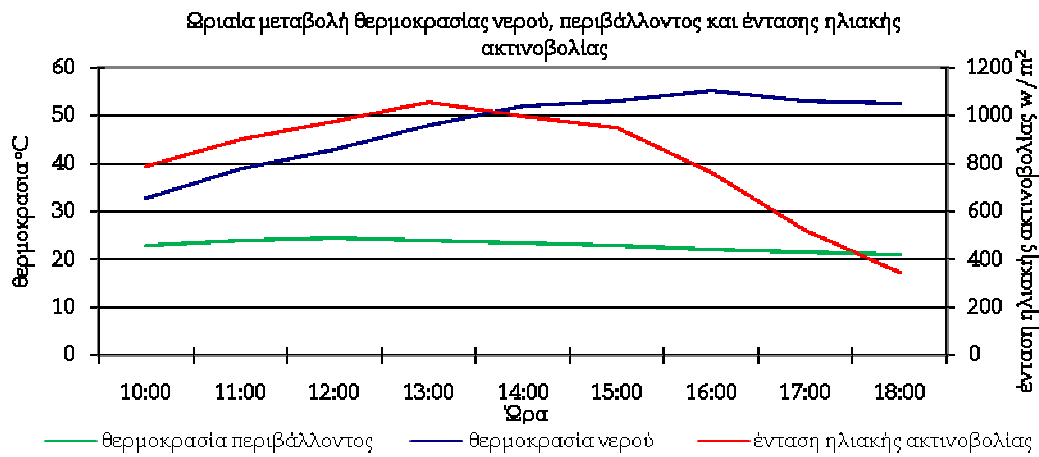
Σχήμα 7.8: Καμπύλες ΔT νερού-περιβάλλοντος και I ηλιακής ακτινοβολίας.



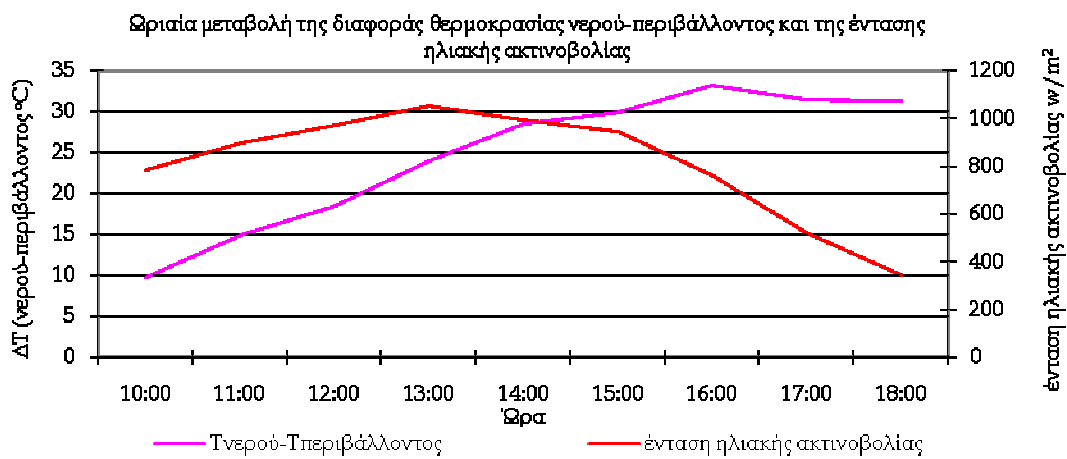
Σχήμα 7.9: Καμπύλες ΔΤ νερού-περιβάλλοντος και Τ νερού.

- 2^ο πείραμα 02/10/06.
- **Καιρικές συνθήκες:** ηλιοφάνεια.
- Όγκος νερού 15 lt.
- Επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη 0,22 m².
- Κλίση κατόπτρων 30^ο ως προς την επιφάνεια του ηλιακού συλλέκτη.
- Κλίση ηλιακού συλλέκτη 45^ο ως προς την επιφάνεια του εδάφους.

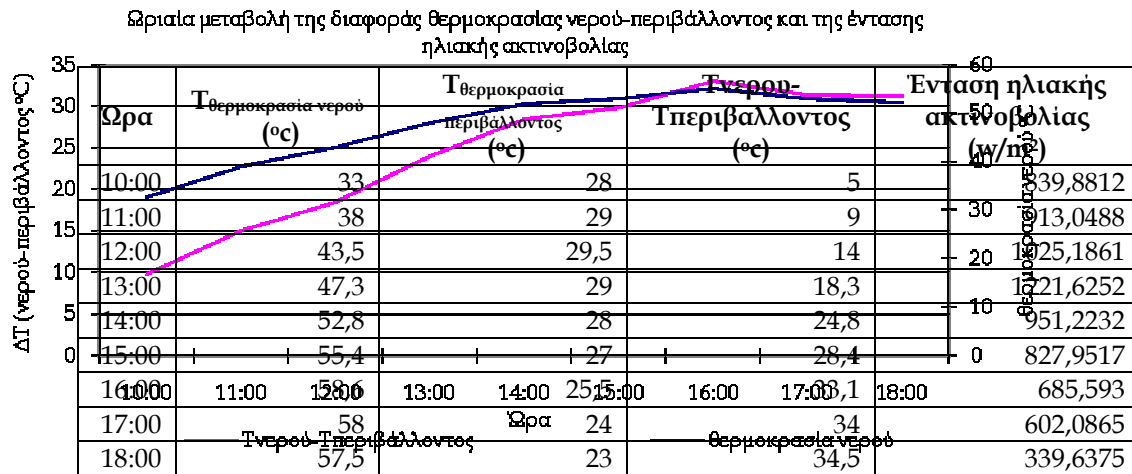
Πίνακας 7.4: Μετρήσεις πειράματος 02/10/06 με κλίση κατόπτρων 30^ο.



Σχήμα 7.10: Καμπύλες T νερού, περιβάλλοντος και I ηλιακής ακτινοβολίας.



Σχήμα 7.11: Καμπύλες ΔT νερού-περιβάλλοντος και I ηλιακής ακτινοβολίας.

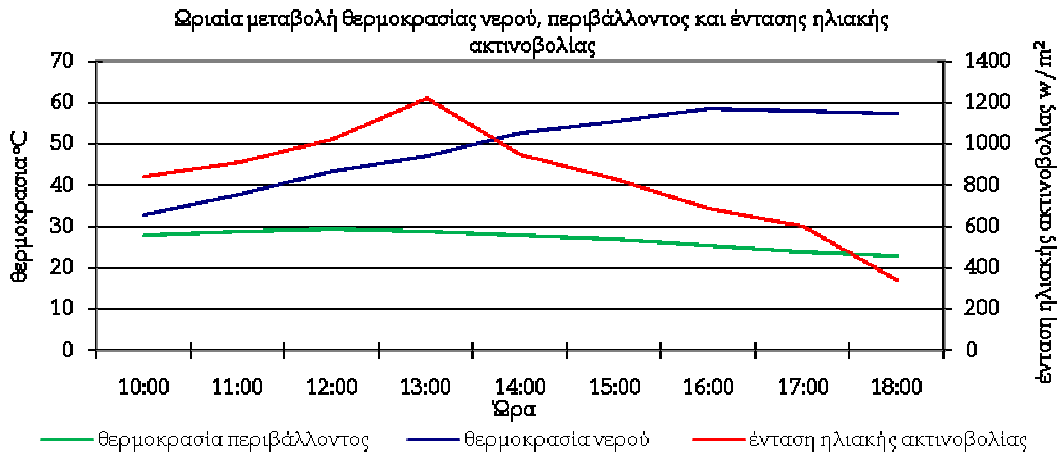


Σχήμα 7.12: Καμπόλες ΔT νερού-περιβάλλοντος και T νερού.

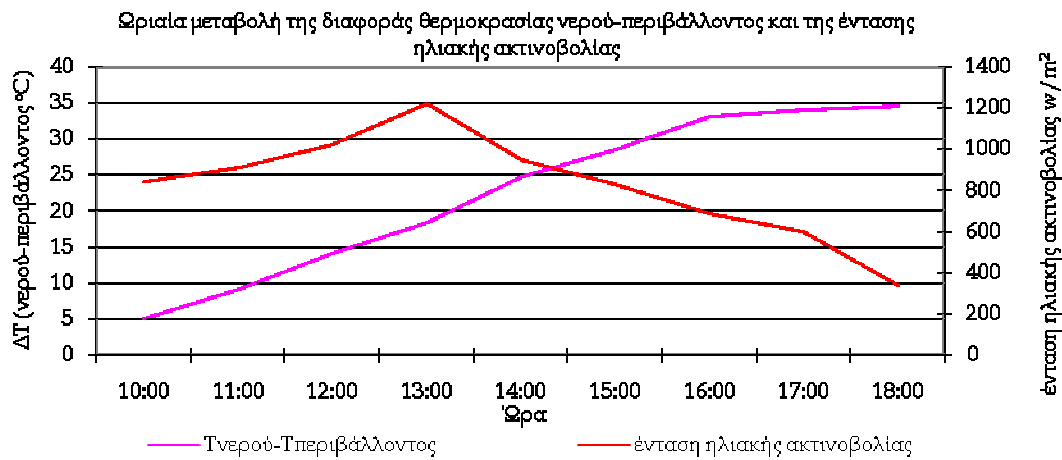
7.3 ΤΡΙΤΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ (ΜΕ ΚΛΙΣΗ ΚΑΤΟΠΤΡΩΝ 45°)

- 1^ο πείραμα 04/10/06.
- **Καιρικές συνθήκες:** ηλιοφάνεια.
- Όγκος νερού 15 lt.
- Επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη 0,22 m².
- Κλίση κατόπτρων 45° ως προς την επιφάνεια του ηλιακού συλλέκτη.
- Κλίση ηλιακού συλλέκτη 45° ως προς την επιφάνεια του εδάφους.

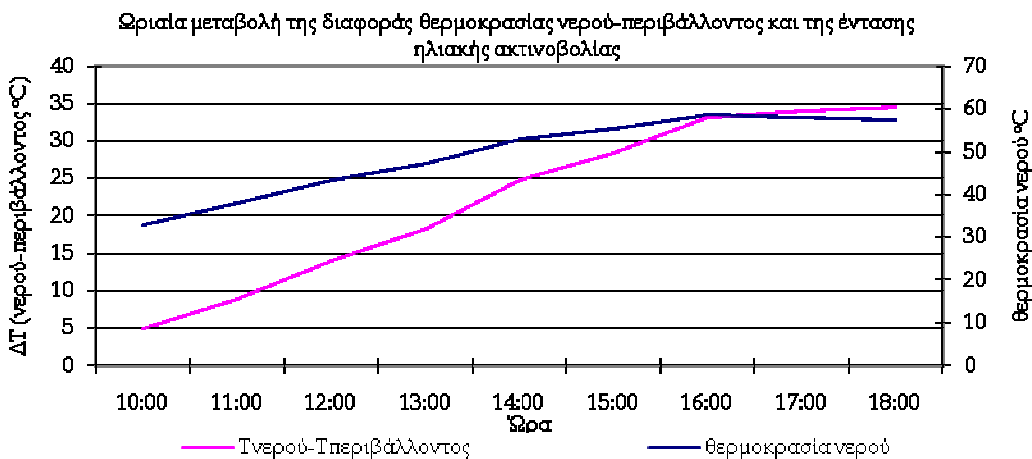
Πίνακας 7.5: Μετρήσεις πειράματος 04/10/06 με κλίση κατόπτρων 45°.



Σχήμα 7.13: Καμπύλες T νερού, περιβάλλοντος και I ηλιακής ακτινοβολίας.

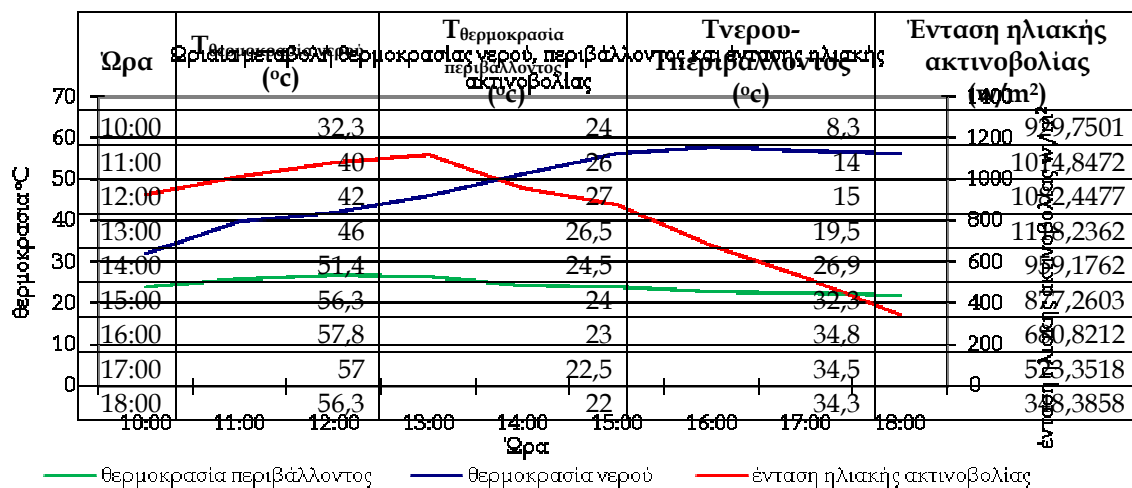


Σχήμα 7.14: Καμπύλες ΔT νερού-περιβάλλοντος και I ηλιακής ακτινοβολίας.

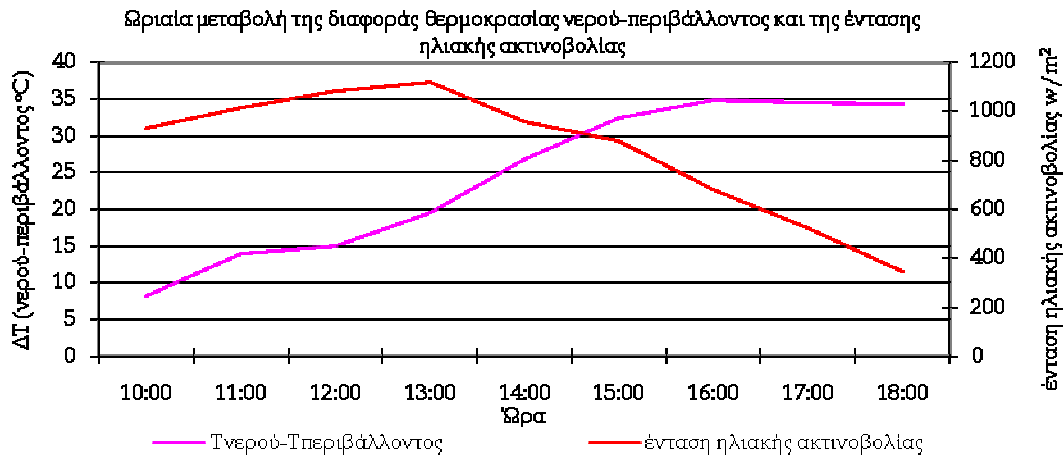


Σχήμα 7.15: Καμπύλες ΔΤ νερού-περιβάλλοντος και T νερού.

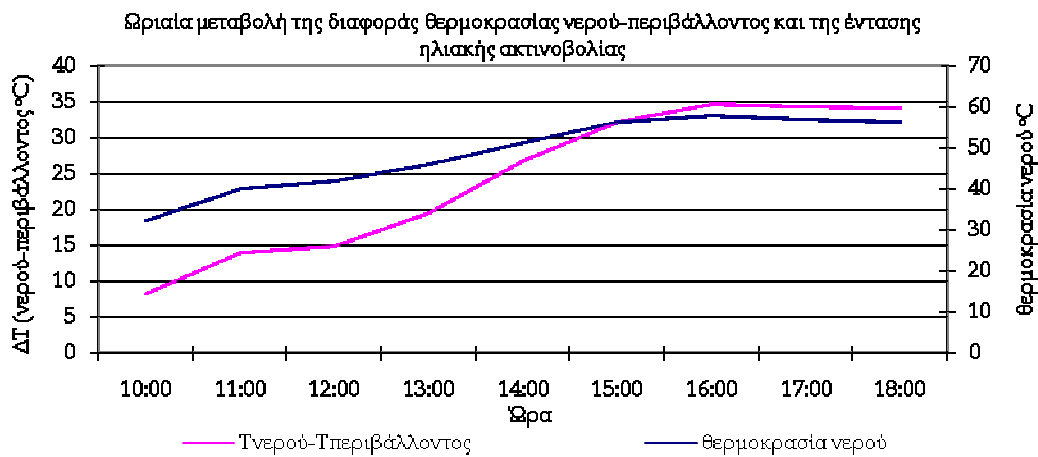
- 2^ο πείραμα 05/10/06.
- **Καιρικές συνθήκες: ηλιοφάνεια.**
- Όγκος νερού 15 lt.
- Επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη 0,22 m².
- Κλίση κατόπτρων 45^ο ως προς την επιφάνεια του ηλιακού συλλέκτη.
- Κλίση ηλιακού συλλέκτη 45^ο ως προς την επιφάνεια του εδάφους.

Πίνακας 7.6: Μετρήσεις πειράματος 05/10/06 με κλίση κατόπτρων 45^ο.

Σχήμα 7.16: Καμπύλες T νερού, περιβάλλοντος και I ηλιακής ακτινοβολίας.



Σχήμα 7.17: Καμπύλες ΔT νερού-περιβάλλοντος και I ηλιακής ακτινοβολίας.

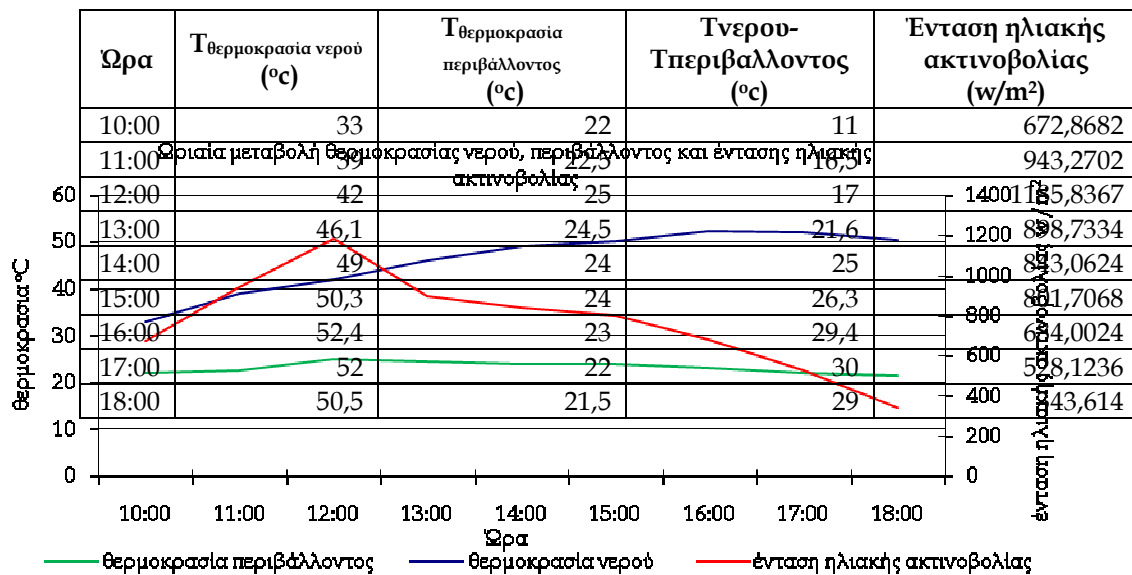


Σχήμα 7.18: Καμπύλες ΔT νερού-περιβάλλοντος και T νερού.

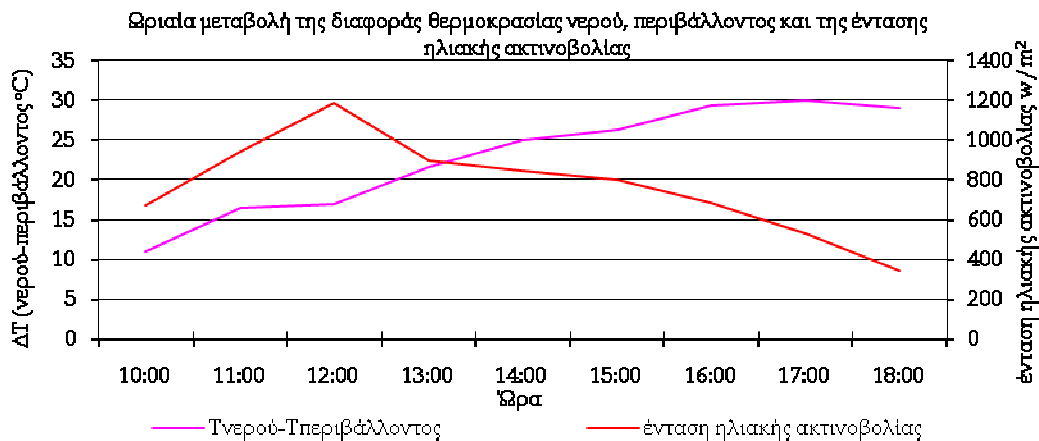
7.4 ΤΕΤΑΡΤΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ (ΜΕ ΚΛΙΣΗ ΚΑΤΟΠΤΡΩΝ 60°)

- 1^ο πείραμα 01/10/06.
- **Καιρικές συνθήκες:** αραιή συννεφιά.
- Όγκος νερού 15 lt.
- Επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη 0,22 m² .
- Κλίση κάτοπτρων 60° ως προς την επιφάνεια του ηλιακού συλλέκτη.
- Κλίση ηλιακού συλλέκτη 45° ως προς την επιφάνεια του εδάφους.

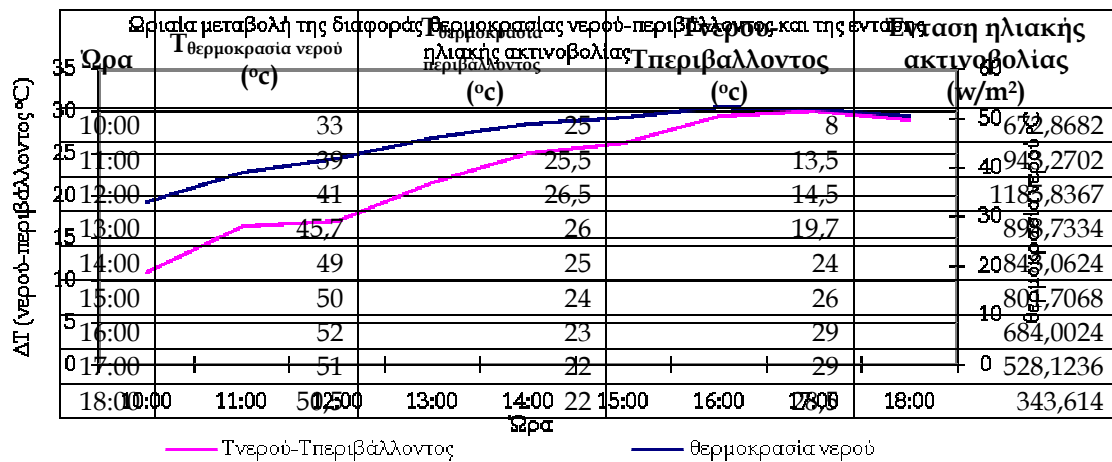
Πίνακας 7.7: Μετρήσεις πειράματος 01/10/06 με κλίση κατόπτρων 60°.



Σχήμα 7.19: Καμπύλες T νερού, περιβάλλοντος και I ηλιακής ακτινοβολίας.



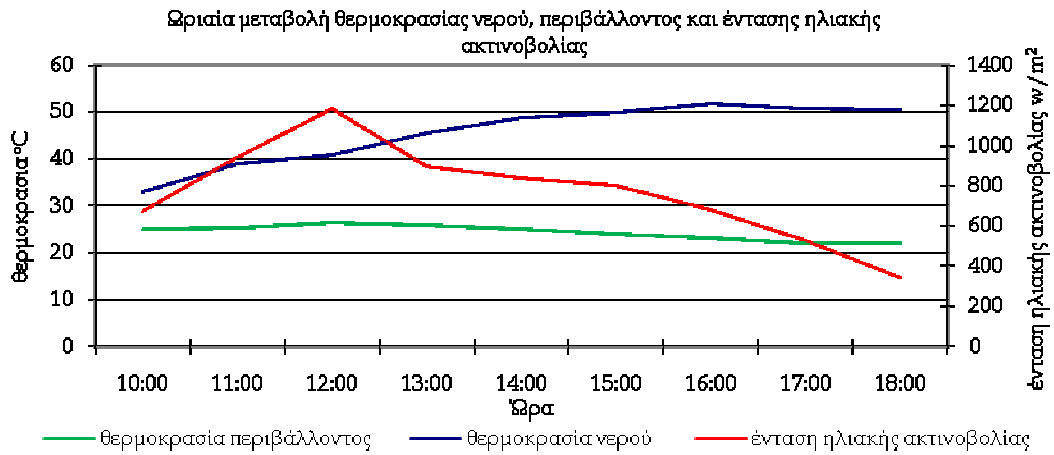
Σχήμα 7.20: Καμπύλες ΔT νερού-περιβάλλοντος και I ηλιακής ακτινοβολίας.



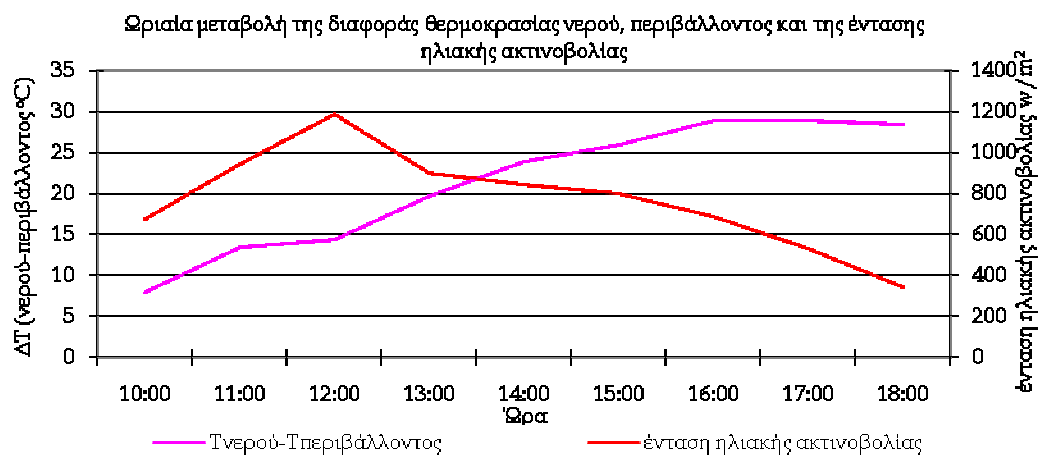
Σχήμα 7.21: Καμπύλες ΔT νερού-περιβάλλοντος και T νερού.

- 2^ο πείραμα 07/10/06.
- **Καιρικές συνθήκες:** αραιή συννεφιά.
- Όγκος νερού 15 lt.
- Επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη 0,22 m² .
- Κλίση κάτοπτρων 60° ως προς την επιφάνεια του ηλιακού συλλέκτη.
- Κλίση ηλιακού συλλέκτη 45° ως προς την επιφάνεια του εδάφους.

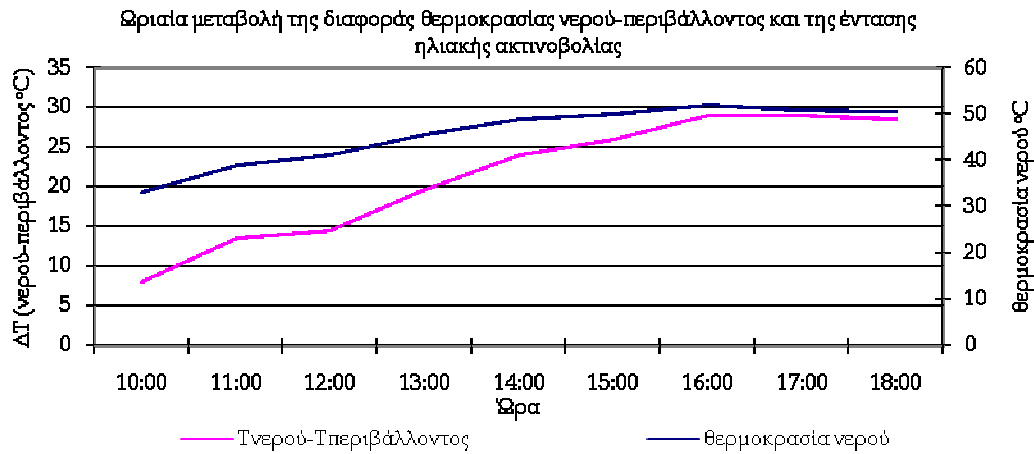
Πίνακας 7.8: Μετρήσεις πειράματος 07/10/06 με κλίση κατόπτρων 60°.



Σχήμα 7.22: Καμπύλες T νερού, περιβάλλοντος και I ηλιακής ακτινοβολίας.



Σχήμα 7.23: Καμπύλες ΔT νερού-περιβάλλοντος και I ηλιακής ακτινοβολίας.



Σχήμα 7.24: Καμπύλες ΔΤ νερού-περιβάλλοντος και Τ νερού.

7.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Για την πρώτη κατηγορία πειραμάτων (χωρίς κάτοπτρα) στο πρώτο πείραμα στις 3/10 σημειώσαμε τα εξής:

Πίνακας 7.9: Ελάχιστες και μέγιστες τιμές πειράματος 3/10 0°.

	Ελάχιστες τιμές	Μέγιστες τιμές
Τ νερού °C	33,1	53
Ωρα	10:00	15:00
Τ περιβάλλοντος °C	20	26,5
Ωρα	18:00	12:00,13:00
ΔΤ (νερού - περιβάλλοντος) °C	8,1	30,5
Ωρα	10:00	17:00
Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας w/m ²	283,1712	983,0352
Ωρα	18:00	13:00

Στο δεύτερο πείραμα στις 6/10 σημειώσαμε τα εξής:

Πίνακας 7.10: Ελάχιστες και μέγιστες τιμές πειράματος 6/10 0^ο.

	Ελάχιστες τιμές	Μέγιστες τιμές
T νερού °C	33,1	53,1
Ωρα	10:00	15:00
T περιβάλλοντος °C	21	26,5
Ωρα	18:00	12:00,13:00
ΔT (νερού - περιβάλλοντος) °C	8,1	29,5
Ωρα	10:00	17:00
Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας w/m²	283,1712	1062,5652
Ωρα	18:00	13:00

Παρατηρούμε και στα δυο πειράματα ότι οι μέγιστες και οι ελάχιστες τιμές στη κάθε μέτρηση σημειώνονται τις ίδιες χρονικές στιγμές. Επίσης παρατηρούμε (σχήματα 7.1 και 7.4) στις 10:00 ότι η θερμοκρασία του νερού στην δεξαμενή είναι σε υψηλότερα επίπεδα από την θερμοκρασία του περιβάλλοντος, αυτό μας δείχνει ότι παρότι στην διάρκεια της νύχτας είχαμε θερμικές απώλειες λόγω πτώσης της θερμοκρασίας περιβάλλοντος, τα μονωτικά υλικά που χρησιμοποιήσαμε λειτούργησαν και περιορίσαν τις απώλειες αυτές. Ακόμα βλέπουμε (σχήμα 7.1) ότι η θερμοκρασία περιβάλλοντος παίρνει την μέγιστη τιμή της όταν έχουμε την μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία στις 13:00, πράγμα που είναι αναμενόμενο. Αξιοσημείωτο είναι ότι η θερμοκρασία του νερού μέσα στο σύστημα, όπως και η ΔT (νερού - περιβάλλοντος), αυξάνονται κατά την διάρκεια της μέρας του πειράματος, ακόμα και όταν η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας μειώνεται (σχήματα 7.1 και 7.2). Δηλαδή η θερμοκρασία του νερού μέσα στην δεξαμενή αυξάνεται επειδή προστίθεται θερμότητα από τον ηλιακό συλλέκτη. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί λόγω της μεγάλης θερμοχωρητικότητας του νερού, που είναι η ικανότητα του να αποθηκεύει θερμότητα κατά την θέρμανση του.

Για την δεύτερη κατηγορία πειραμάτων (κλίση κατόπτρων 30°) στο πρώτο πείραμα στις 30/09 σημειώσαμε τα εξής:

Πίνακας 7.11: Ελάχιστες και μέγιστες τιμές πειράματος 30/09 30°.

	Ελάχιστες τιμές	Μέγιστες τιμές
T νερού °C	33,2	55,5
Ωρα	10:00	16:00
T περιβάλλοντος °C	21	25,2
Ωρα	18:00	12:00
ΔT (νερού - περιβάλλοντος) °C	10	33
Ωρα	10:00	16:00
Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας w/m ²	356,3638	1063,3605
Ωρα	18:00	13:00

Στο δεύτερο πείραμα στις 2/10 σημειώσαμε τα εξής:

Πίνακας 7.12: Ελάχιστες και μέγιστες τιμές πειράματος 2/10 30°.

	Ελάχιστες τιμές	Μέγιστες τιμές
T νερού °C	32,8	55,2
Ωρα	10:00	16:00
T περιβάλλοντος °C	21	24,5
Ωρα	18:00	12:00
ΔT (νερού - περιβάλλοντος) °C	9,8	33,2
Ωρα	10:00	16:00
Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας w/m ²	347,5905	1056,2028
Ωρα	18:00	13:00

Παρατηρούμε ότι οι ελάχιστες και οι μέγιστες τιμές μεταξύ των πειραματικών μετρήσεων είναι παρόμοιες, κάτι που οφείλεται στις όμοιες καιρικές συνθήκες και στο ότι τα δύο πειράματα πραγματοποιήθηκαν με 2 μέρες διαφορά και έτσι οι ημερήσιες μεταβολές είναι σχεδόν ίδιες και δεν υπάρχουν δραματικές μεταβολές, όπως αν η μια μέτρηση ήταν το Δεκέμβριο. Οι θερμικές απώλειες του συστήματος κατά την διάρκεια της νύχτας συμπεριφέρθηκαν όπως ακριβώς και στη προηγούμενη κατηγορία. Παρόλο που η μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία είναι στις 13:00, η μέγιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι στις 12:00 (το αναμενόμενο θα ήταν να έχουμε μέγιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος όταν έχουμε την μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία), αυτό συνέβη διότι στην μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας προστίθεται και η ανακαλούμενη ηλιακή ακτινοβολία των κατόπτρων. Χωρίς την χρήση κατόπτρων η μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία θα ήταν όμοια με την προηγούμενη μέτρηση. Και εδώ η θερμοχωρητικότητα του νερού είναι η υπεύθυνη, για την συνεχή αύξηση της θερμοκρασίας του νερού και της διαφοράς του με το περιβάλλον, ακόμα και όταν η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας μειώνεται.

Για την τρίτη κατηγορία πειραμάτων (κλίση κατόπτρων 45°) στο πρώτο πείραμα στις 4/10 σημειώσαμε τα εξής:

Πίνακας 7.13: Ελάχιστες και μέγιστες τιμές πειράματος 4/10 45°.

	Ελάχιστες τιμές	Μέγιστες τιμές
T νερού °C	33	58,6
Ωρα	10:00	16:00
T περιβάλλοντος °C	23	29,5
Ωρα	18:00	12:00
ΔT (νερού - περιβάλλοντος) °C	5	34,5
Ωρα	10:00	18:00
Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας w/m ²	339,6375	1221,6252
Ωρα	18:00	13:00

Στο δεύτερο πείραμα στις 5/10 σημειώσαμε τα εξής:

Πίνακας 7.14: Ελάχιστες και μέγιστες τιμές πειράματος 5/10 45°.

	Ελάχιστες τιμές	Μέγιστες τιμές
T νερού °C	32,3	57,8
Ωρα	10:00	16:00
T περιβάλλοντος °C	22	27
Ωρα	18:00	12:00
ΔT (νερού - περιβάλλοντος) °C	8,3	34,8
Ωρα	10:00	16:00
Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας w/m²	348,3858	1118,2362
Ωρα	18:00	13:00

Πρέπει να παρατηρηθεί ότι η διακύμανση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας για το δεύτερο πείραμα έχει καλύτερη ωριαία διακύμανση, αλλά το πρώτο πείραμα έχει μεγαλύτερη ωριαία ένταση ηλιακής ακτινοβολίας. Και στα δύο πειράματα αυτής της κατηγορίας οι χρονικές στιγμές που παρουσιάζει η κάθε μέτρηση την μέγιστη και την ελάχιστη τιμή της είναι ίδιες, με εξαίρεση την μέγιστη τιμή της διαφοράς θερμοκρασίας του νερού με το περιβάλλον, όπου στο πρώτο πείραμα είναι στις 18:00 και στο δεύτερο πείραμα είναι στις 16:00. Αυτό οφείλετε στην θερμοχωρητικότητα του νερού. Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας έχει μεγαλύτερη τιμή για την πρώτη περίπτωση, και αυτό είναι το αίτιο, που η διαφορά της θερμοκρασίας νερού περιβάλλοντος διατηρείται για δυο ώρες ακόμα.

Για την τέταρτη κατηγορία πειραμάτων (κλίση κατόπτρων 60°) στο πρώτο πείραμα στις 1/10 σημειώσαμε τα εξής:

Πίνακας 7.15: Ελάχιστες και μέγιστες τιμές πειράματος 1/10 60°.

	Ελάχιστες τιμές	Μέγιστες τιμές
T νερού °C	33	52,4
Ωρα	10:00	16:00
T περιβάλλοντος °C	21,5	25
Ωρα	18:00	12:00
ΔT (νερού - περιβάλλοντος) °C	11	30
Ωρα	10:00	17:00
Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας w/m ²	343,614	1185,8367
Ωρα	18:00	12:00

Στο δεύτερο πείραμα στις 7/10 σημειώσαμε τα εξής:

Πίνακας 7.16: Ελάχιστες και μέγιστες τιμές πειράματος 7/10 60°.

	Ελάχιστες τιμές	Μέγιστες τιμές
T νερού °C	33	52
Ωρα	10:00	16:00
T περιβάλλοντος °C	22	26,5
Ωρα	17:00,18:00	12:00
ΔT (νερού - περιβάλλοντος) °C	8	29
Ωρα	10:00	16:00,17:00
Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας w/m ²	343,614	1185,8367
Ωρα	18:00	12:00

Για την κατηγορία των 60 μοιρών, παρατηρούμε ότι οι μετρούμενες τιμές είναι όμοιες μεταξύ τους όπως και οι καιρικές συνθήκες που επικρατούσαν και για τις δυο ημέρες των πειραματικών διαδικασιών. Αν και θεωρητικά τουλάχιστον θα έπρεπε για κλίση των 60 μοιρών να έχουμε καλύτερες τιμές για την θερμοκρασία του νερού, αλλά λόγω των καιρικών φαινομένων και των δύο πειραμάτων που ήταν και για τις δυο μέρες αραιή συννεφιά, δεν έχουμε τα αναμενόμενα αποτελέσματα.

Η βέλτιστη κλίση των κατόπτρων για το σύστημα μας, είναι οι 45 μοίρες όπως φαίνεται και από την θερμοκρασία του νερού όπου είναι η υψηλότερη από τις υπόλοιπες κλίσεις, σύμφωνα με τα αποτελέσματα ακολουθούν οι 30 μοίρες, οι 60 μοίρες και τέλος οι 0 μοίρες. Κανονικά θα έπρεπε στην δεύτερη κατά σειρά θέση να ήταν οι 60 μοίρες και στην τρίτη οι 30 μοίρες, αυτό έγινε διότι και τις δυο μέρες των πειραματικών διαδικασιών των 60 μοιρών είχαμε αραιή συννεφιά.

Αυτός ο απλός ηλιακός θερμοσίφωνας έχει πολύ καλή σχέση θέρμανσης νερού ανάλογα με την τιμή κατασκευής του, είναι απλός στην κατασκευή του και λειτουργικός ως προς την χρήση του. Ιδανικός για χρήση σε περιοχές με ήπιους χειμώνες με μεγάλες περιόδους ηλιοφάνειας και σε περιοχές κοντά στο επίπεδο του ισημερινού.

Θα μπορούσε να βρει μια πληθώρα εφαρμογών από θέρμανση νερού για οικιακή χρήση με σύνδεση στο δίκτυο ύδρευσης του σπιτιού με κάποιες μικρές μετατροπές, μέχρι βιομηχανική χρήση για προθέρμανση του νερού.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ζερβός Αρθούρος, *Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας*, Αθήνα 2006
2. Αντωνόπουλος Α. Κίμων, *Θερμικά – Ηλιακά συστήματα, Μέρος πρώτο*, Αθήνα 2004
3. Ευθύμιος Βαζαίος, *Εφαρμογές Ηλιακής ενέργειας*
4. Ι.Ε. Φραγκιαδάκης, *Φωτοβολταϊκά Συστήματα*, Θεσσαλονίκη 2006
5. Φρ. Κωτσιανάς-Δ. Χούντρας, *Συλλέκτες Ηλιακής Ενέργειας*, Αθήνα 1977
6. Κ. Καρατζής, *Φωτοβολταϊκά τεχνολογία*, Αθήνα 1992
7. Α. Αθ. Φλόκας, *Μαθήματα Μετεωρολογίας*, Θεσσαλονίκη 1992
8. Ι. Κ. Καδέλλης-Κ.Α. Καββαδίας, *Εργαστηριακές Εφαρμογές Ηπίων Μορφών Ενέργειας*
9. Antonio Luque, Steven Hegedus, *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*, Wiley 2002
10. Markvart Tomas, *Solar electricity, second edition*, Wiley 1994
11. Markvart Tomas, *Practical handbook of photovoltaics: Fundamentals and Applications*, Elsevier 2003

Sites

1. Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών (ΣΕΦ) – <http://www.helapco.gr>
2. Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ) – <http://www.cres.gr>
3. Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ) – <http://www.rae.gr>
4. Ελληνικός Σύνδεσμος Ηλεκτροπαραγωγών από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας – <http://www.hellasres.gr>
5. NASA Surface meteorology and Solar Energy – <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>
6. Οι καλύτερες σελίδες για ενέργεια – <http://www.energia.gr>
7. Fotovoltaikshop GmbH – <http://hellas.fotovoltaik-shop.de/archeio.php>