



**Τ.Ε.Ι. Κρήτης**  
**Τμήμα Φυσικών Πόρων &**  
**Περιβάλλοντος**



**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας στις εγκαταστάσεις της  
Φοιτητικής Εστίας του Πολυτεχνείου Κρήτης**

**Προκοπίου Δανάη**

**Επιβλέπον Καθηγητής :**

**Ιωάννης Κατσιγιαννης**

*XANIA 2016*



**Τ.Ε.Ι. Κρήτης**  
**Τμήμα Φυσικών Πόρων &**  
**Περιβάλλοντος**



**ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ : ΠΡΟΚΟΠΙΟΥ ΔΑΝΑΗ**

**ΤΙΤΛΟΣ : Μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας στις εγκαταστάσεις  
της Φοιτητικής Εστίας του Πολυτεχνείου Κρήτης**

**TITLE: Energy efficiency measures in the Hall of Residences of  
Technical University of Crete**

**Εξεταστική επιτροπή:** Κατσιγιαννης Ιωάννης (επιβλέπων)  
Καραπιδάκης Εμμανουήλ  
Κατσαμάκη Αναστασία

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία στοχεύει στην θεωρητική μελέτη αλλά και διερεύνηση μέσω παραμετρικών αναλύσεων, της συμπεριφοράς και απόδοσης ενός δεδομένου (ήδη εγκατεστημένου) Θερμικού Ηλιακού Συστήματος (Θ.Η.Σ.), στην φοιτητική Εστία του Πολυτεχνείου Κρήτης, στην περιοχή των Χανίων.

Στο πρώτο μέρος της εργασίας περιλαμβάνεται μια βιβλιογραφική έρευνα η οποία καλύπτει θέματα όπως ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, τα είδη των ήπιων μορφών ενέργειας, η ηλιακή ακτινοβολία καθώς και μια γενική περιγραφή των ενεργητικών ηλιακών συστημάτων (συστήματα επίπεδων ηλιακών συλλεκτών και συλλεκτών κενού) για θέρμανση νερού.

Στο δεύτερο μέρος παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ενεργειακής ανάλυσης των συστημάτων με τη μέθοδο καμπυλών f-chart, τα οποία συγκρίνονται με το εξειδικευμένο λογισμικό (T-sol) της μελέτης του Πολυτεχνείου. Στο ήδη εγκατεστημένο σύστημα της Εστίας του Πολυτεχνείου, χρησιμοποιούνται συλλέκτες κενού για τη συλλογή της ηλιακής ακτινοβολίας. Η συλλεγόμενη ενέργεια χρησιμεύει στην παραγωγή ζεστού νερού χρήσης και στην υποβοήθηση του συστήματος θέρμανσης προκειμένου να καλυφθεί ένα ποσοστό του συνολικού φορτίου της Εστίας. Στη συνέχεια ακολουθεί ο υπολογισμός του χρόνου απόσβεσης του υπό μελέτη συστήματος, καθώς και μια ανάλυση ευαισθησίας που μελετά τη διαφοροποίηση του για διάφορες τιμές πετρελαίου.

### Λέξεις κλειδιά :

Ηλιακή ενέργεια, Ηλιοθερμικά συστήματα, Σωλήνες κενού, Μεθοδολογία f-chart, Απόδοση, ανάλυση ευαισθησίας

## **ABSTRACT**

This thesis aims to study and investigate (through parametric analysis), the behavior and efficiency of a given (already installed) thermal solar system in the Hall of Residences of Technical University of Crete (TUC) in Chania.

In the first part of the thesis, a literature survey is included covering topics such as renewable energy sources, solar radiation as well as a general description of the active solar systems (systems of flat solar collectors and collectors of vacant space) for water heating.

In the second part the results of the f-chart method for the energy analysis of the solar thermal systems are presented, which are compared to the specialized software (T-Sol) that was used in the initial study of TUC. On the already installed system of Hall of Residences, vacuum collectors are used to collect solar radiation. The collected energy is used for the production of hot water and as an auxiliary heating system to the main system that uses diesel as a fuel, in order to cover a percentage of the total load of Hall of Residences. Moreover, this study estimates the payback time of the solar thermal system, as well as a sensitivity analysis that studies payback time variation for different diesel prices.

### **Keywords:**

Solar energy, Solar thermal systems, Vacuum collectors, f-chart method, Efficiency, Sensitivity analysis

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου τον Κ. Ιωάννη Κατσιγιαννη, για την δυνατότητα που μου έδωσε να πραγματοποιήσω την παρούσα εργασία καθώς και για την πολύτιμη βοήθειά του κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας πτυχιακής, καθώς και όλους τους καθηγητές του τμήματος μου.

Τέλος, οφείλω να ευχαριστήσω την οικογένεια μου που με στήριξε και με στηρίζει όλα αυτά τα χρόνια και που χωρίς την πολύτιμη παρουσία της δε θα είχα καταφέρει τίποτα από όσα έχω μέχρι σήμερα επιτύχει

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1° .....	8
ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	8
1.1 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας .....	8
1.2 Είδη ήπιων μορφών ενέργειας .....	11
1.2.1 Αιολική ενέργεια .....	11
1.2.2 Ηλιακή ενέργεια .....	12
1.2.3 Υδροδυναμική ενέργεια-Υδατοπτώσεις .....	13
1.2.4 Ενέργεια από κύματα .....	16
1.2.5 Ενέργεια των παλιρροιών .....	16
1.2.6 Θερμική ενέργεια των ωκεανών .....	17
1.2.7 Βιομάζα .....	18
1.2.8 Βιοκαύσιμα.....	19
1.2.9 Γεωθερμική ενέργεια.....	20
1.3 Εξοικονόμηση ενέργειας και η σημασία της .....	23
1.4 Σκοπός Εργασίας .....	24
1.5 Δομή εργασίας .....	24
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2° .....	26
ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ .....	26
2.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	26
2.2 Ηλιακή ακτινοβολία.....	27
2.2.1 Γεωμετρικά στοιχεία ήλιου .....	30
2.2.1.1 Ηλιακή σταθερά $G_{sc}$ .....	31
2.2.1.2 Γεωγραφικό πλάτος του τόπου $\varphi$ .....	31
2.2.1.3 Απόκλιση ( $\delta$ ) του ήλιου.....	33
2.2.1.4 Κλίση $\beta$ .....	34
2.2.1.5 Γωνία $\gamma$ αζιμούθιου του επιπέδου.....	34
2.2.1.6 Αζιμούθια γωνία ηλίου $\gamma_s$ .....	34
2.2.1.7 Γωνία ύψους ήλιου $\alpha$ .....	35
2.2.1.8 Ζενίθια γωνία $\theta_z$ .....	35
2.3 ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ .....	37
2.4 Θερμικό φορτίο και θερμικά χαρακτηριστικά.....	40

2.5 ΜΕΤΡΗΣΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ .....	42
2.6 ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΛΙΣΗ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ.....	46
2.7 ΠΡΑΚΤΙΚΟΙ ΚΑΝΟΝΕΣ ΓΙΑ ΤΗ ΣΥΛΛΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ .....	49
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3° .....	52
ΗΛΙΑΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ.....	52
3.1 ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΗΛΙΟΘΕΡΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ .....	52
3.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ.....	54
3.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....	55
3.3.1 Συστήματα φυσικής κυκλοφορίας .....	55
3.3.1.1 Συμπαγείς θερμαντήρες νερού .....	56
3.3.1.2 Θερμοσιφωνικό σύστημα .....	57
3.3.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΒΕΒΙΑΣΜΕΝΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ.....	58
3.3.2.1 Συστήματα ανοιχτού βρόγχου.....	58
3.3.2.2 Συστήματα κλειστού βρόγχου-Αντιψυκτικό σύστημα.....	59
3.4 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ-ΕΠΙΠΕΔΟΙ ΗΛΙΑΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ .....	59
3.4.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	59
3.4.2 Βασικές αρχές - Συντελεστής διαπερατότητας .....	60
3.4.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΗΛΙΑΚΟΥ ΣΥΛΛΕΚΤΗ .....	61
3.4.4 Απώλειες .....	65
3.5 ΗΛΙΑΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ ΚΕΝΟΥ.....	67
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4° .....	73
ΜΕΘΟΔΟΣ ΚΑΜΠΥΛΩΝ $f$ , ΣΕ ΗΛΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕ ΣΥΛΛΕΚΤΗ ΚΕΝΟΥ, ΣΤΗΝ ΕΣΤΙΑ ΤΟΥ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥ ΚΡΗΤΗΣ.....	73
4.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥ ΚΡΗΤΗΣ .....	73
4.1.1.Πράσινο Πολυτεχνείο .....	74
4.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΚΑΜΠΥΛΩΝ $f$ .....	81
4.2.1 Ανάλυση της μεθόδου $f$ -chart .....	81
4.2.1.1 Βασικές εξισώσεις.....	81
4.2.2 Διορθωτικοί Συντελεστές .....	88
4.2.2.2.1 Διορθωτικός συντελεστής χωρητικότητας δεξαμενής , $K_2$ .....	88
4.2.2.2.2 Διορθωτικός συντελεστής παραγωγής θερμού νερού, $K_3$ .....	90
4.2.2.2.3 Διορθωτικός συντελεστής μεγέθους εναλλάκτη φορτίου, $K_4$ .....	91
4.2.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ $\chi, \gamma$ ΚΑΙ $F$ .....	93

4.2.3 Υπολογισμός χρόνου απόσβεσης συστήματος .....	103
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5° .....	105
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	105
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	108

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1°

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

#### 1.1 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Τα τελευταία χρόνια γίνεται ολοένα πιο επιτακτική η ανάγκη αξιοποίησης εναλλακτικών μορφών ενέργειας. Η συνεχώς αυξανόμενη ενεργειακή ζήτηση, σε συνδυασμό με τη μείωση των αποθεμάτων συμβατικών καυσίμων και τις δυσμενείς επιπτώσεις στο περιβάλλον από την εκτεταμένη χρήση τους, έχουν στρέψει το παγκόσμιο ενδιαφέρον στην ανάπτυξη τεχνολογιών προς εκμετάλλευση ήπιων και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Το ενδιαφέρον αυτό ενισχύεται από το γεγονός ότι σε πολλές περιπτώσεις η τεχνολογία των Α.Π.Ε. όχι μόνο είναι οικονομικά εφικτή αλλά και αρκετά αποδοτική. Από την άλλη πλευρά, το κύριο μειονέκτημά τους είναι η ανικανότητά τους να εκμεταλλευτούν το μεγαλύτερο μέρος της διαθέσιμης ενέργειας, φαινόμενο που ισορροπείται από το γεγονός ότι οι Α.Π.Ε. είναι ανεξάντλητες. Όσον αφορά στην Ελλάδα, αποτελεί μία χώρα με πλούσιο ηλιακό δυναμικό, ενώ τα πολυάριθμα νησιά της, όπως και οι ακτές της, υποστηρίζουν την εγκατάσταση ανεμογεννητριών λόγω της υψηλής έντασης του ανέμου στις περιοχές αυτές.

Τέλος, υπάρχουν και μερικές γεωθερμικές πηγές, που δυστυχώς παραμένουν ανεκμετάλλευτες. Χρησιμοποιώντας τις παραπάνω πηγές ενέργειας η Ελλάδα θα μπορέσει να καλύψει ένα μεγάλο μέρος των ενεργειακών της αναγκών, ελαττώνοντας σημαντικά την εξάρτησή της από τα συμβατικά καύσιμα.

Οι ανανεώσιμες μορφές ενέργειας (ΑΠΕ) ή ήπιες μορφές ενέργειας, ή νέες πηγές ενέργειας, ή πράσινη ενέργεια είναι μορφές



εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχονται από διάφορες φυσικές διαδικασίες, όπως ο άνεμος, η γεωθερμία, η κυκλοφορία του νερού και άλλες.

Ο όρος «ήπιες» αναφέρεται σε δυο βασικά χαρακτηριστικά τους. Καταρχάς, για την εκμετάλλευσή τους δεν απαιτείται κάποια ενεργητική παρέμβαση, όπως εξόρυξη, άντληση ή καύση, όπως με τις μέχρι τώρα χρησιμοποιούμενες πηγές ενέργειας, αλλά απλώς η εκμετάλλευση της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργειας στη φύση.

Δεύτερον, πρόκειται για «καθαρές» μορφές ενέργειας, πολύ «φιλικές» στο περιβάλλον, που δεν αποδεσμεύουν υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα ή τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα, όπως οι υπόλοιπες πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα. Έτσι οι ΑΠΕ θεωρούνται από πολλούς μία αφετηρία για την επίλυση των οικολογικών προβλημάτων που αντιμετωπίζει η Γη.

Ως «ανανεώσιμες πηγές» θεωρούνται γενικά οι εναλλακτικές των παραδοσιακών πηγών ενέργειας (π.χ. του πετρελαίου ή του άνθρακα), όπως η ηλιακή και η αιολική. Ο χαρακτηρισμός «ανανεώσιμες» είναι κάπως καταχρηστικός, αφού ορισμένες από αυτές τις πηγές, όπως η γεωθερμική ενέργεια, δεν ανανεώνονται σε κλίμακα χιλιετιών. Σε κάθε περίπτωση οι ΑΠΕ έχουν μελετηθεί ως λύση στο πρόβλημα της αναμενόμενης εξάντλησης των (μη ανανεώσιμων) αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων. Τελευταία, από την Ευρωπαϊκή Ένωση, αλλά και από πολλά μεμονωμένα κράτη, υιοθετούνται νέες πολιτικές για τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, που προάγουν τέτοιες εσωτερικές πολιτικές και για τα κράτη μέλη. Οι ΑΠΕ αποτελούν τη βάση του μοντέλου οικονομικής ανάπτυξης της πράσινης οικονομίας και κεντρικό σημείο εστίασης της σχολής των οικολογικών οικονομικών, η οποία έχει κάποια επιρροή στο οικολογικό κίνημα.

Οι ήπιες μορφές ενέργειας βασίζονται κυρίως στην ηλιακή ακτινοβολία, με εξαίρεση τη γεωθερμική ενέργεια, η οποία είναι ροή ενέργειας από το εσωτερικό του φλοιού της γης, και την ενέργεια απ' τις παλίρροιες που εκμεταλλεύεται τη βαρύτητα. Οι βασιζόμενες στην ηλιακή ακτινοβολία ήπιες πηγές ενέργειας είναι ανανεώσιμες, μιας και δεν πρόκειται να εξαντληθούν όσο υπάρχει ο ήλιος, δηλαδή για μερικά ακόμα δισεκατομμύρια χρόνια. Ουσιαστικά είναι ηλιακή ενέργεια «συσκευασμένη» κατά τον ένα ή τον άλλο τρόπο: η βιομάζα είναι ηλιακή ενέργεια δεσμευμένη στους ιστούς των φυτών

μέσω της φωτοσύνθεσης, η αιολική εκμεταλλεύεται τους ανέμους που προκαλούνται απ' τη θέρμανση του αέρα ενώ αυτές που βασίζονται στο νερό εκμεταλλεύονται τον κύκλο εξάτμισης-συμπύκνωσης του νερού και την κυκλοφορία του. Η γεωθερμική ενέργεια δεν είναι ανανεώσιμη, καθώς τα γεωθερμικά πεδία κάποια στιγμή εξαντλούνται.

Χρησιμοποιούνται είτε άμεσα (κυρίως για θέρμανση) είτε μετατρεπόμενες σε άλλες μορφές ενέργειας (κυρίως ηλεκτρισμό ή μηχανική ενέργεια). Υπολογίζεται ότι το τεχνικά εκμεταλλεύσιμο ενεργειακό δυναμικό απ' τις ήπιες μορφές ενέργειας είναι πολλαπλάσιο της παγκόσμιας συνολικής κατανάλωσης ενέργειας. Η υψηλή όμως μέχρι πρόσφατα τιμή των νέων ενεργειακών εφαρμογών, τα τεχνικά προβλήματα εφαρμογής καθώς και πολιτικές και οικονομικές σκοπιμότητες εμπόδισαν την εκμετάλλευση έστω και μέρους αυτού του δυναμικού. Ειδικά στην Ελλάδα, που έχει μορφολογία και κλίμα κατάλληλο για νέες ενεργειακές εφαρμογές, η εκμετάλλευση αυτού του ενεργειακού δυναμικού θα βοηθούσε σημαντικά στην ενεργειακή αυτονομία της χώρας.

Το ενδιαφέρον για τις ήπιες μορφές ενέργειας ανακινήθηκε τη δεκαετία του 1970, ως αποτέλεσμα κυρίως των απαντών πετρελαϊκών κρίσεων της εποχής, αλλά και της αλλοίωσης του περιβάλλοντος και της ποιότητας ζωής από τη χρήση κλασικών πηγών ενέργειας. Ιδιαίτερα ακριβές στην αρχή, ξεκίνησαν σαν πειραματικές εφαρμογές. Σήμερα όμως λαμβάνονται υπόψη στους επίσημους σχεδιασμούς των ανεπτυγμένων κρατών για την ενέργεια και, αν και αποτελούν πολύ μικρό ποσοστό της ενεργειακής παραγωγής, ετοιμάζονται βήματα για παραπέρα αξιοποίησή τους. Το κόστος δε των εφαρμογών ήπιων μορφών ενέργειας πέφτει συνέχεια τα τελευταία είκοσι χρόνια και ειδικά η αιολική και υδροηλεκτρική ενέργεια, αλλά και η βιομάζα, μπορούν πλέον να ανταγωνίζονται στα ίσα παραδοσιακές πηγές ενέργειας, όπως ο άνθρακας και η πυρηνική ενέργεια.

## 1.2 Είδη ήπιων μορφών ενέργειας

### 1.2.1 Αιολική ενέργεια



**Εικόνα 1.1: Αιολικό πάρκο**

Γενικά αιολική ενέργεια ονομάζεται η ενέργεια που παράγεται από την εκμετάλλευση του πνέοντος ανέμου. Η ενέργεια αυτή χαρακτηρίζεται "ήπια μορφή ενέργειας" και περιλαμβάνεται στις "καθαρές" πηγές, όπως συνηθίζονται να λέγονται οι πηγές ενέργειας που δεν εκπέμπουν ή δεν προκαλούν ρύπους. Η αρχαιότερη μορφή εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας ήταν τα ιστία (πανιά) των πρώτων ιστιοφόρων πλοίων και πολύ αργότερα οι ανεμόμυλοι στην ξηρά. Ονομάζεται αιολική γιατί στην ελληνική μυθολογία ο Αίολος ήταν ο θεός του ανέμου.

Σήμερα λειτουργούν παγκοσμίως, είτε αυτόνομα είτε συνδεδεμένες σε ένα ευρύτερο ηλεκτρικό δίκτυο, περίπου 30.000 ανεμογεννήτριες συνολικής

εγκατεστημένης ισχύος περίπου 10GW . Αξίζει να σημειωθεί ότι η αιολική ενέργεια είναι από τις πλέον ελκυστικές ήπιες μορφές ενέργειας, ενώ αναμένεται να αξιοποιηθεί ακόμα περισσότερο με την κατασκευή νέων ανεμογεννητριών, που θα μειώσουν το κόστος και θα κάνουν την αιολική ενέργεια ανταγωνιστική σε ακόμα περισσότερα μέρη.

### 1.2.2 Ηλιακή ενέργεια

Χαρακτηρίζεται το σύνολο των διαφόρων μορφών ενέργειας που προέρχονται από τον Ήλιο. Τέτοιες είναι το φως ή φωτεινή ενέργεια, η θερμότητα ή θερμική ενέργεια καθώς και διάφορες ακτινοβολίες . Η ηλιακή ενέργεια στο σύνολό της είναι πρακτικά ανεξάντλητη, αφού προέρχεται από τον ήλιο, και ως εκ τούτου δεν υπάρχουν περιορισμοί χώρου και χρόνου για την εκμετάλλευσή της. Ο ήλιος αποτελεί λοιπόν, τη βασική πηγή ενέργειας του πλανήτη μας. Κάθε χρόνο μεταφέρει στην επιφάνεια της γης ενέργεια της τάξεως των  $10^{18}$  KWh , ποσό που υπερκαλύπτει τις σημερινές παγκόσμιες ενεργειακές ανάγκες. Όσον αφορά στην Ελλάδα, προσπίπτουν ημερησίως, κατά μέσο όρο 4,3KWh ηλιακής ενέργειας ανά τετραγωνικό μέτρο οριζόντιας επιφάνειάς της, κατατάσσοντας τη χώρα μας στις πλέον ευνοημένες περιοχές του πλανήτη. Στο μεγαλύτερο τμήμα της Ελλάδας η ηλιοφάνεια διαρκεί περισσότερες από 2.700 ώρες το χρόνο (στη δυτική Μακεδονία και την Ήπειρο εμφανίζει τις μικρότερες τιμές της, κυμαινόμενη από 2.200 ως 2.300 ώρες, ενώ στη Ρόδο και τη νότια Κρήτη ξεπερνά τις 3.100 ώρες ετησίως). Όσον αφορά την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, θα μπορούσαμε να πούμε ότι χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες εφαρμογών: τα παθητικά ηλιακά συστήματα, τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα ή ηλιοθερμικά συστήματα, και τα φωτοβολταϊκά συστήματα.

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα είναι δομικά στοιχεία του κτιρίου, που, αξιοποιώντας τους νόμους μεταφοράς θερμότητας, συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια, την αποθηκεύουν σε μορφή θερμότητας και τη διανέμουν στο χώρο. Η συλλογή της ηλιακής ενέργειας βασίζεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Τα ενεργητικά (ή θερμικά) ηλιακά συστήματα αποτελούν μηχανολογικά συστήματα που συλλέγουν, την ηλιακή ενέργεια, τη μετατρέπουν σε θερμότητα, την αποθηκεύουν και τη διανέμουν, χρησιμοποιώντας είτε κάποιο

υγρό είτε αέρα ως ρευστό μεταφοράς της θερμότητας. Χρησιμοποιούνται για θέρμανση νερού οικιακής χρήσης, για τη θέρμανση και ψύξη χώρων, για βιομηχανικές διεργασίες, για αφαλάτωση, για διάφορες αγροτικές εφαρμογές, για θέρμανση του νερού σε πισίνες και άλλα. Η πιο απλή και διαδεδομένη μορφή των θερμικών ηλιακών συστημάτων είναι οι γνωστοί σε όλους μας ηλιακοί θερμοσίφωνες. Η χώρα μας είναι η πρώτη χώρα στην Ευρώπη μετά την Κύπρο σε εγκατεστημένους ηλιακούς συλλέκτες ανά κάτοικο.

### 1.2.3 Υδροδυναμική ενέργεια-Υδατοπτώσεις



**Εικόνα 1.2.**

Υδροδυναμική ενέργεια ονομάζεται η ενέργεια που παρέχεται στον άνθρωπο από τη δύναμη του νερού στη φύση. Ο πιο διαδεδομένος τρόπος χρήσης της, είναι μέσω των υδατοπτώσεων αλλά και των φραγμάτων. Μεγάλη προσπάθεια γίνεται τα τελευταία χρόνια για επενδύσεις σε συστήματα που θα εκμεταλλεύονται την ενέργεια των κυμάτων της θάλασσας, αλλά και των παλιρροιών. Η υδροδυναμική ενέργεια είναι μια καθαρή, ανεξάντλητη και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, που δεν μολώνει το περιβάλλον και παρέχεται από τη φύση με περίσσεια.

Οι υδατοπτώσεις προκαλούνται από τη βαρύτητα με τη μεταφορά του ύδατος από ένα σημείο με μεγαλύτερο υψόμετρο σε ένα με χαμηλότερο. Αυτό το φαινόμενο είναι μέρος του κύκλου του νερού του οποίου η κινητήριος δύναμη προέρχεται από τον ήλιο. Η αύξηση της θερμοκρασίας σε θάλασσες και λίμνες, αναγκάζει το νερό να εξατμιστεί στην ατμόσφαιρα και να μεταφερθεί μέσω των ανέμων σε περιοχές με μεγαλύτερο υψόμετρο. Σε αυτές τις περιοχές μέσω της συμπύκνωσης πέφτουν βροχές και χιόνια τα οποία δημιουργούν τους ποταμούς. Τα ποτάμια είναι η μετατροπή της δυναμικής ενέργειας του νερού σε κινητική και είναι αυτή η ενέργεια που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος από τα αρχαία χρόνια για να καλύψει τις ανάγκες του. Η νεροτριβή χρησιμοποιείται ακόμα και τώρα σε ορεινές περιοχές για το πλύσιμο μεγάλων υφασμάτων. Οι υδραυλικοί τροχοί με απόδοση που μπορεί να φτάσει και το 90% έδωσαν κίνηση σε νερόμυλους για το άλεσμα του σιταριού, αλλά και για τη κίνηση διάφορων υδροκίνητων μηχανών όπως για παράδειγμα μηχανών κλωστοϋφαντουργίας, νεροπριόνων και άλλων. Η μετατροπή της ενέργειας των υδατοπτώσεων με τη χρήση υδροηλεκτρικών έργων (υδατοταμιευτήρας, φράγμα, κλειστός αγωγός πτώσεως, υδροστρόβιλος, ηλεκτρογεννήτρια, διώρυγα φυγής) παράγει την υδροηλεκτρική ενέργεια. Τα γνωστά σε όλους υδροηλεκτρικά εργοστάσια βασίζονται στην αρχή των υδραυλικών τροχών, αλλά με τη διαφορά ότι τη θέση του τροχού καταλαμβάνει ο υδροστρόβιλος που μεταφέρει τη κινητική του ενέργεια στην ηλεκτρογεννήτρια.

Ο συγκεκριμένος τρόπος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι εκτός από πολύ αποδοτικός, αλλά και καθαρός, διότι έχει μηδενικές εκπομπές ρύπων αφού δεν εξαρτάται από ορυκτά καύσιμα. Είναι μια αξιόπιστη τεχνολογία με χαμηλά κόστη συντήρησης, μεγάλη διάρκεια ζωής και ποιοτική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η ανάγκη της αδιάλειπτης τροφοδοσίας των υδροηλεκτρικών εγκαταστάσεων με νερό, μας ανάγκασε στη δημιουργία των φραγμάτων. Τα φράγματα είναι ο φυσικός ταμιευτήρας νερού, κατασκευάζεται σε σημεία που υπάρχουν ποταμοί και η μορφολογία του εδάφους το επιτρέπει.

Τα υδροηλεκτρικά έργα ταξινομούνται σε μεγάλης και μικρής κλίμακας. Τα μικρής κλίμακας υδροηλεκτρικά έργα διαφέρουν σημαντικά από της μεγάλης κλίμακας σε ότι αφορά τις επιπτώσεις τους στο περιβάλλον. Οι μεγάλης κλίμακας υδροηλεκτρικές μονάδες απαιτούν τη δημιουργία φραγμάτων και τεράστιων δεξαμενών με σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Η

κατασκευή φραγμάτων περιορίζει τη μετακίνηση των ψαριών, της άγριας ζωής και επηρεάζει ολόκληρο το οικοσύστημα καθώς μεταβάλλει ριζικά τη μορφολογία της περιοχής. Αντίθετα, τα μικρής κλίμακας υδροηλεκτρικά εγκαθίστανται δίπλα σε ποτάμια ή κανάλια και η λειτουργία τους παρουσιάζει πολύ μικρότερη περιβαλλοντική όχληση.

Τα κύρια πλεονεκτήματα της υδροηλεκτρικής ενέργειας που προέρχεται από μονάδες μικρής και μεγάλης κλίμακας είναι: Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί είναι δυνατό να τεθούν σε λειτουργία αμέσως μόλις απαιτηθεί, σε αντίθεση με τους θερμικούς σταθμούς που απαιτούν σημαντικό χρόνο προετοιμασίας. Είναι μία “καθαρή” και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, με τα προαναφερθέντα συνακόλουθα οφέλη (εξοικονόμηση συναλλάγματος, φυσικών πόρων, προστασία περιβάλλοντος). Μέσω των υδατοταμιευτήρων δίνεται η δυνατότητα να ικανοποιηθούν και άλλες ανάγκες, όπως ύδρευση, άρδευση, ανάσχεση χειμάρρων, δημιουργία υγροτόπων, περιοχών αναψυχής και αθλητισμού. Ως μειονεκτήματα αναφέρονται μόνο αποτελέσματα που σχετίζονται με τη δημιουργία έργων μεγάλης κλίμακας, όπως: το μεγάλο κόστος κατασκευής φραγμάτων και εγκατάστασης εξοπλισμού, καθώς και ο συνήθως μεγάλος χρόνος που απαιτείται για την αποπεράτωση του έργου. Η έντονη περιβαλλοντική αλλοίωση της περιοχής του έργου (συμπεριλαμβανομένων της γεωμορφολογίας, της πανίδας και της χλωρίδας). Η ενδεχόμενη μετακίνηση πληθυσμών, η υποβάθμιση περιοχών, οι απαιτούμενες αλλαγές χρήσης γης.

Επιπλέον, σε περιοχές δημιουργίας μεγάλων έργων παρατηρήθηκαν αλλαγές του μικροκλίματος, αλλά και αύξηση της σεισμικής επικινδυνότητας τους. Για τους λόγους αυτούς, η διεθνής πρακτική σήμερα προσανατολίζεται στην κατασκευή έργων μικρότερης κλίμακας, όπως η δημιουργία μικρότερων φραγμάτων, οι συστοιχίες μικρών υδροηλεκτρικών έργων και οι μονάδες μικρής κλίμακας.

#### 1.2.4 Ενέργεια από κύματα



Εικόνα 1.3

Η ενέργεια που περικλείουν τα κύματα, η οποία ακόμα αποτελεί αντικείμενο έρευνας και πειραματισμού για τον ικανοποιητικό τρόπο αξιοποίησης της, αποτελεί μια άλλη μορφή ενέργειας, που έμμεσα οφείλεται στον ήλιο. Όσο μεγαλύτερο είναι το ύψος και το μήκος ενός κύματος, τόσο μεγαλύτερα ποσά ενέργειας μεταφέρει.

#### 1.2.5 Ενέργεια των παλιρροιών

Η παλίρροια, δηλαδή το φαινόμενο υποχώρησης της θάλασσας (άμπωτη) και η, μετά από ορισμένες ώρες, επιστροφή της (πλημμυρίδα), αποτελεί μορφή έμμεσης ηλιακής ενέργειας.

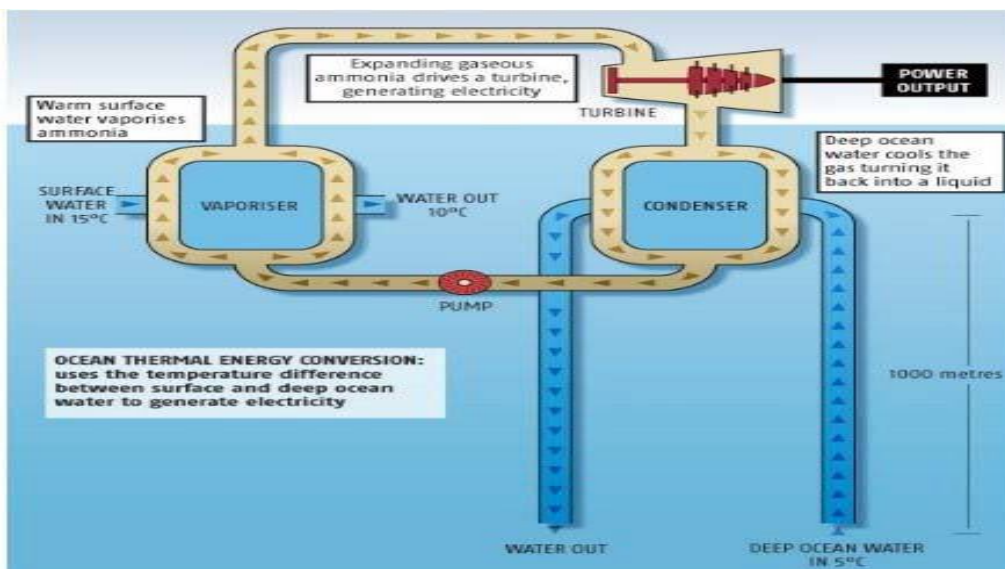




Εικόνα 1.4

Οι παλίρροιες οφείλονται σε δυνάμεις που δημιουργούνται στις υδάτινες μάζες από το πεδίο βαρύτητας, καθώς και από την περιστροφή της γης. Διαρκούν για συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα και έχουν συγκεκριμένη κατεύθυνση. Σήμερα, αν και το ενδιαφέρον γι' αυτή τη μορφή ενέργειας είναι ιδιαίτερα έντονο, το κόστος των εγκαταστάσεων παραμένει αρκετά υψηλό. Εντούτοις, μακροπρόθεσμα θεωρείται μια ενδιαφέρουσα επένδυση λόγω του χαμηλού κόστους λειτουργίας και συντήρησης τέτοιων εγκαταστάσεων.

### 1.2.6 Θερμική ενέργεια των ωκεανών



### Εικόνα 1.5

Μία εκμεταλλεύσιμη πηγή ενέργειας αποτελεί η υπάρχουσα θερμοκρασιακή διαφορά του νερού μεταξύ της επιφάνειας των ωκεανών των τροπικών περιοχών ( 25 – 30°C ) και των βαθύτερων στρωμάτων όπου εντοπίζονται ψυχρά θαλάσσια ρεύματα από τους πόλους προς τον Ισημερινό ( 4 – 6°C). Λόγω όμως των μεγάλων τεχνικοοικονομικών προβλημάτων δεν προβλέπεται ελπιδοφόρος εκμετάλλευση.

#### 1.2.7 Βιομάζα



Εικόνα 1.6

Με τον όρο βιομάζα εννοούμε, τα καυσόξυλα, τα φυτικά και δασικά υπολείμματα (κλαδοδέματα, άχυρα, πριονίδια, ελαιοπυρήνες, κουκούτσια), τα ζωικά απόβλητα, τα φυτά που καλλιεργούνται στις ενεργειακές φυτείες ειδικά για να χρησιμοποιηθούν ως πηγή ενέργειας, τα αστικά απορρίμματα και απόβλητα, καθώς και τα υπολείμματα της βιομηχανίας τροφίμων και της αγροτικής βιομηχανίας.

Οι θερμικές ιδιότητες της μάζας είναι ότι έχουν: περιεκτικότητα σε υγρασία, περιεκτικότητα τέφρας, περιεκτικότητα σε πτητικά συστατικά, στοιχειακή ανάλυση, θερμαντική ικανότητα και πυκνότητα. Στην Ελλάδα χρησιμοποιείται κυρίως με την μορφή καυσόξυλων στον οικιακό τομέα

(θέρμανση χώρων και νερού). Σήμερα παράγονται εξευγενισμένα καύσιμα βιομάζας: θρύμματα ξύλου (woodchips) οι πελλέτες (pellets).

Τα τελευταία χρόνια η χρήση βιομάζας, κυρίως η καύση καυσόξυλων, βρίσκει εφαρμογή τόσο στην κεντρική θέρμανση (σύγχρονα τζάκια με υψηλούς βαθμούς απόδοσης, κλπ.) όσο και στην τοπική (τζάκια, σόμπες κλπ.). Η χρήση πελλετών και θρυμμάτων βιοκαυσίμων, να σημειωθεί, είναι ακόμα σχετικά άγνωστη. Η τεχνολογία λεβήτων βιομάζας την τελευταία δεκαετία έχει επιτύχει μεγάλη μείωση των εκπομπών, ενώ οι αποδόσεις είναι αντίστοιχες των λεβήτων των πετρελαίου και αερίου. Επίσης έχει ενισχυθεί και η αξιοπιστία της αυτόματης λειτουργίας του λέβητα. Ακόμη υπάρχει ευρύ φάσμα από ποιότητες στην αγορά καυσίμων βιομάζας.

Οι σύγχρονοι λέβητες που χρησιμοποιούν τεμάχια ξύλου ( woodchips) ή πελλέτες είναι συσκευές υψηλής τεχνολογίας με αυτόματη τροφοδοσία καυσίμου, λειτουργούν σε υψηλές θερμοκρασίες και με ηλεκτρονικά ελεγχόμενη παροχή αέρα και έχουν απόδοση περισσότερο από 90% της ενέργειας που περιέχεται στο ξύλο για θέρμανση. Σε σύγκριση με το 10% που αποδίδει ένα τζάκι, ή το 50% ενός συμβατικού λέβητα ξύλου είναι προφανώς αποδοτικά. Οι σύγχρονοι λέβητες ξύλου δεν παράγουν ορατό καπνό και οι εκπομπές τους είναι τόσο χαμηλές, όσο και αυτές των λεβήτων φυσικού αερίου. Τα πιο εξελιγμένα μοντέλα διαθέτουν αυτόματο σύστημα καθαρισμού των επιφανειών εναλλακτών θερμότητας και αυτόματη απομάκρυνση της τέφρας. Ορισμένα μοντέλα συμπερίζουν την τέφρα, ώστε το καθάρισμα να είναι αναγκαίο μόνο δύο φορές το χρόνο.

### 1.2.8 Βιοκαύσιμα

Βιοκαύσιμα ονομάζονται τα καύσιμα εκείνα, στερεά, υγρά ή αέρια, τα οποία προέρχονται από τη βιομάζα, το βιοδιασπώμενο δηλαδή κλάσμα προϊόντων ή αποβλήτων διαφόρων ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Τα βιοκαύσιμα προέρχονται από οργανικά προϊόντα και θεωρούνται ανανεώσιμα καύσιμα.

Ως ανανεώσιμα καύσιμα έχουν το χαρακτηριστικό των χαμηλότερων εκπομπών CO<sub>2</sub> στο συνολικό κύκλο ζωής τους σε σχέση με τα συμβατικά ορυκτά καύσιμα, στοιχείο που εξαρτάται άμεσα από την

προέλευση τους, τη χρήση τους αλλά και τον τρόπο παραγωγής και διανομής τους. Κατά την καύση τους τα καύσιμα αυτά εκπέμπουν περίπου ίσες ποσότητες CO<sub>2</sub> με τα αντίστοιχα πετρελαϊκής προέλευσης. Επειδή όμως είναι οργανικής προέλευσης ο άνθρακας τον οποίο περιέχουν έχει δεσμευτεί κατά την ανάπτυξη της οργανικής ύλης από την ατμόσφαιρα στην οποία επανέρχεται μετά την καύση κι έτσι το ισοζύγιο εκπομπών σε όλο τον κύκλο ζωής του βιοκαυσίμου είναι θεωρητικά μηδενικό. Στην πράξη επειδή κατά την παραγωγή και διακίνηση της πρώτης ύλης αλλά και των ίδιων των βιοκαυσίμων υπεισέρχονται και άλλες δραστηριότητες κατά τις οποίες παράγονται εκπομπές CO<sub>2</sub> το τελικό όφελος από τα καύσιμα αυτά μπορεί να είναι από πολύ μεγάλο έως μηδαμινό. Για να αποφανθεί κανείς ασφαλώς για τα περιβαλλοντικά οφέλη κάποιου βιοκαυσίμου πρέπει να πραγματοποιήσει εξειδικευμένη ανάλυση κύκλου ζωής.

### 1.2.9 Γεωθερμική ενέργεια



**Εικόνα 1.7**

Γεωθερμία (γεωθερμικό δυναμικό), ονομάζεται η αποθηκευμένη ενέργεια υδρολογικών και γεωλογικών σχηματισμών του φλοιού της γης σε μορφή θερμότητας, όταν η θερμοκρασία του σχηματισμού υπερβαίνει τους 25 °C. Η θερμοκρασία του γεωθερμικού ρευστού (θερμό νερό ή/και ατμός, θερμός

αέρας) ποικίλει από περιοχή σε περιοχή και μπορεί να έχει τιμές από 25 – 350 °C. Σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία, τα γεωθερμικά πεδία διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

- Στα πεδία χαμηλής θερμοκρασίας, στα οποία η θερμοκρασία του προϊόντος (νερού, ατμού) κυμαίνεται από 25 °C έως και 90 °C και
- Στα πεδία υψηλής θερμοκρασίας, στα οποία η θερμοκρασία του προϊόντος (νερού, ατμού) υπερβαίνει τους 90 °C.

Δυνατότητα όμως εκμετάλλευσης ενέργειας γεωλογικού ή υδρολογικού σχηματισμού υπάρχει και όταν η θερμοκρασία είτε του προϊόντος, είτε του σχηματισμού είναι μικρότερη από 25 °C. Στις περιπτώσεις αυτές το βάθος εκμετάλλευσης συνήθως δεν υπερβαίνει τα 150m από την επιφάνεια του εδάφους και για το λόγο αυτό χαρακτηρίζεται από τους επιστήμονες ως αβαθής γεωθερμία. Η διαφορά ανάμεσα στις δύο μορφές έγκειται στο γεγονός ότι η αβαθής γεωθερμική ενέργεια προέρχεται κυρίως από την αποθήκευση προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στη γήινη επιφάνεια, ενώ η κάθε αυτού γεωθερμική ενέργεια, προϊόν γεωθερμικού δυναμικού, οφείλεται στη μεταφορά θερμότητας από το μάγμα του πυρήνα της Γης στα ανώτερα στρώματα του εδάφους. Αν και η γεωθερμία παρουσιάζει μεγαλύτερη δυνατότητα παραγωγής ενέργειας ανά μονάδα μάζας του γεωθερμικού προϊόντος, η αβαθής γεωθερμία πλεονεκτεί στο ότι βρίσκεται διαθέσιμη και εκμεταλλεύσιμη παντού, είναι αρκετά εύκολη στην αξιοποίησή της και μπορεί να συνδυαστεί και με άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως π.χ. με την ηλιακή. Αποτελεί μια εναλλακτική πρόταση για τη θέρμανση αλλά και την ψύξη των κατοικιών η οποία εφαρμόζεται εδώ και πολλά χρόνια σε χώρες του δυτικού κόσμου όπως στις ΗΠΑ, τη Γαλλία, τη Φιλανδία κ.α. είναι η χρήση γεωθερμικών αντλιών θερμότητα (ΓΑΘ). Τα συστήματα αυτά εκμεταλλεύονται τη σταθερή θερμοκρασία της γης για να αντλήσουν ενέργεια από αυτή και να θερμάνουν ή για να αποβάλλουν θερμότητα σε αυτή και να ψύξουν το κτήριο.

Τα συστήματα ΓΑΘ αποτελούνται από τρία τμήματα.

Το πρώτο μέρος δεν είναι τίποτε άλλο από ένα δίκτυο σωληνώσεων μέσα στο οποίο υπάρχει νερό και ονομάζεται γεωθερμικός εναλλάκτης κλειστού κυκλώματος. Οι σωλήνες αυτοί απλώνονται σε χαντάκια όπου υπάρχει διαθέσιμη ελεύθερη έκταση οικοπέδου ή σε πολλαπλές κάθετες γεωτρήσεις

όπου υπάρχει περιορισμένη ή βραχύδης έκταση. Αντί για το δίκτυο σωληνώσεων μπορούν να χρησιμοποιηθούν τυχόν υπόγεια ύδατα, μια μικρή λίμνη ή ακόμα και η θάλασσα. Στην περίπτωση αυτή, ο γεωθερμικός εναλλάκτης ονομάζεται ανοικτού κυκλώματος.

Το δεύτερο τμήμα είναι η ίδια η αντλία θερμότητας. Εκεί φτάνει το νερό από το δίκτυο του γεωθερμικού εναλλάκτη - σε σταθερή θερμοκρασία - και χρησιμοποιείται είτε για να αυξήσει τη θερμοκρασία του κτηρίου είτε για να τη μειώσει. Στην ουσία πρόκειται για μια λειτουργία παρόμοια με αυτή των κοινών κλιματιστικών, με τη διαφορά ότι ενώ τα κλιματιστικά χρησιμοποιούν τη θερμοκρασία του αέρα του περιβάλλοντος εξαερώνοντας ή υγραποιώντας το πτητικό αέριο που περιέχουν, η γεωθερμική αντλία χρησιμοποιεί τη θερμοκρασία του νερού.

Το τρίτο μέρος του συστήματος είναι ένα ακόμα δίκτυο σωληνώσεων που είναι μέσα στο δίκτυο στο οποίο αποδίδει ή από το οποίο παραλαμβάνει θερμότητα. Το δίκτυο αυτό μπορεί να είναι είτε ενδοδαπέδιο, είτε επιτοίχιο, είτε ένα δίκτυο με fan coils (θερμαντικά σώματα με ενσωματωμένο ανεμιστήρα).

Συνοπτικά, λοιπόν, αναφερόμαστε στη θερμική ενέργεια που προέρχεται από το εσωτερικό της γης στοχεύοντας στην εκμετάλλευση της ενέργειας από το εσωτερικό της γης, την εκμετάλλευση δηλαδή της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών και νερών επιφανειακών ή υπογείων. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση μιας γεωθερμικής αντλίας θερμότητας, όπου επιτρέπεται η μεταφορά θερμότητας από και προς το έδαφος για παραγωγή δροσιμού, θέρμανσης και ζεστού νερού χρήσης για οικιακές αλλά και ευρύτερης κλίμακας εφαρμογές.

Η γεωθερμία αποτελεί μια καινοτομία εξέλιξης στον τομέα της θέρμανσης-δροσιάς. Η χρήση της ενδεικνύεται για όλους τους χώρους (οικιακούς χώρους, ξενοδοχειακές επιχειρήσεις, βιομηχανικές εγκαταστάσεις, κτηνοτροφικές μονάδες, θερμοκήπια, ιχθυοκαλλιέργειες) όπου απαιτείται η ύπαρξη θέρμανσης και δροσιάς. Στις περιπτώσεις που τα γεωθερμικά ρευστά έχουν υψηλή θερμοκρασία (πάνω από 150 °C), η γεωθερμική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί κυρίως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Όταν, όμως, η θερμοκρασία είναι χαμηλότερη, η γεωθερμική ενέργεια αξιοποιείται για τη θέρμανση κατοικιών και άλλων κτιρίων ή κτιριακών εγκαταστάσεων, θερμοκηπίων, κτηνοτροφικών μονάδων και ιχθυοκαλλιεργειών.

### 1.3 Εξοικονόμηση ενέργειας και η σημασία της

Εξοικονόμηση ενέργειας ονομάζεται οποιαδήποτε προσπάθεια με την οποία επιτυγχάνεται περιορισμός της σπατάλης των ενεργειακών αποθεμάτων.

Γενικά σήμερα ιδιαίτερα στις μεγαλουπόλεις απαιτείται πολύ μεγάλη ποσότητα ενέργειας για θέρμανση, φωτισμό, κλιματισμό και άλλα, πέρα από εκείνη της τροφοδοσίας των διαφόρων μηχανών των Βιομηχανιών. Για την απρόσκοπτη όμως εξασφάλιση αυτής της ενέργειας γίνεται εξαιρετικά μεγάλη κατανάλωση κυρίως σε καύσιμα, όπως το πετρέλαιο, γαιάνθρακες και φυσικό αέριο. Όμως τα αποθέματα αυτών των καυσίμων είναι περιορισμένα. Έτσι καθίσταται αναγκαία η λήψη διαφόρων μέτρων περιορισμού τουλάχιστον της σπατάλης ώστε να διαρκέσουν αυτά περισσότερο ή ακόμα και να βρεθούν νέες τεχνολογίες ανεξάρτητες από αυτά. Αυτό μπορεί να συμβεί με επιλογή οικονομικότερων μηχανών σε καύσιμη ύλη, αποδοτικότερων οικιακών εγκαταστάσεων (μονώσεις κλπ) αλλά και οικονομικότερη (λιγότερη) κατανάλωση ενέργειας. Αναμφίβολα τέτοια μέτρα είναι γεγονός ότι ανεξάρτητα των οικονομικών κερδών, επιφέρουν και πολύ μικρότερη ατμοσφαιρική ρύπανση.

Η εξοικονόμηση ενέργειας είναι αναμφίβολα ο ταχύτερος, ο οικονομικότερος και ο πιο αποτελεσματικός τρόπος για μείωση της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα καθώς και για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα εξαιτίας της χρήσης τους. Το σκεπτικό της εξοικονόμησης ενέργειας βασίζεται στην προσπάθεια για εξεύρεση τρόπων που θα μειώσουν την κατανάλωση ενέργειας και θα βελτιώσουν την ενεργειακή απόδοση του εξοπλισμού που καταναλώνει ενέργεια, χωρίς να επηρεάζονται οι συνθήκες άνεσης των χρηστών. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται μείωση της ζήτησης ενέργειας και κατά συνέπεια και μείωση της κατανάλωσης καυσίμων.

Κύριοι λόγοι εξοικονόμησης ενέργειας είναι οι παρακάτω :

- Μείωση της κατανάλωσης των ορυκτών καυσίμων που είναι μη ανανεώσιμα και τείνουν να εξαντληθούν.
- Βοήθεια στην προσπάθεια της χώρας να μειώσει τις εισαγωγές καυσίμων και να εξαρτάται λιγότερο από αυτά.
- Μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος.

#### 1.4 Σκοπός Εργασίας

Σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας είναι η μελέτη ενός ηλιοθερμικού συστήματος το οποίο είναι τοποθετημένο στην Φοιτητική Εστία του Πολυτεχνείου Κρήτης, χρησιμοποιώντας την μέθοδο f-chart. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν συγκρίνονται με αυτά του εξειδικευμένου λογισμικού T-Sol, που χρησιμοποιήθηκε στη μελέτη του Πολυτεχνείου Κρήτης. Η μελέτη γίνεται για να ελεγχθεί η αποδοτικότητα της ηλιακής εγκατάστασης και το ποσοστό εξοικονόμησης που μπορεί να επιτευχθεί.

#### 1.5 Δομή εργασίας

Στο παρόν κεφάλαιο έγινε μια εισαγωγή στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε) και στα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από τη χρήση τους.

Στο **Κεφάλαιο 2** μελετάται η Ηλιακή Ακτινοβολία. Παρουσιάζονται οι απαραίτητες γεωμετρικές αναλύσεις, τα δεδομένα ακτινοβολίας που είναι διαθέσιμα καθώς και οι μέθοδοι επεξεργασίας τους, ώστε να ληφθεί τελικά η ακτινοβολία που προκύπτει σε επιφάνειες διαφόρων κλίσεων και προσανατολισμών στην επιφάνεια της Γης. Τέλος ακολουθούν πρακτικοί κανόνες για τη συλλογή της μέγιστης ηλιακής ακτινοβολίας.

Το **Κεφάλαιο 3** έχει ως αντικείμενο τους ηλιακούς συλλέκτες. Γίνεται αναφορά στους διάφορους τύπους συλλεκτών που έχουν επικρατήσει καθώς και περιγραφή επίπεδων ηλιακών συλλεκτών και πιο αναλυτικά των ηλιακών συλλεκτών κενού.

Στη συνέχεια, στο **Κεφάλαιο 4** αρχικά γίνεται μια περιγραφή του Πολυτεχνείου Κρήτης καθώς και της φοιτητικής Εστίας στην οποία είναι τοποθετημένοι ηλιακοί συλλέκτες κενού, άμεσης ροής. Έπειτα εξετάζεται η προσεγγιστική μέθοδος εξομοίωσης, f-chart, ενώ επεξηγούνται όλες οι παράμετροι που απαιτούνται για την εφαρμογή της. Τα αποτελέσματα που



διεξάγονται συγκρίνονται με αποτελέσματα της μελέτης του εξειδικευμένου λογισμικού του Πολυτεχνείου T-Sol.

Τέλος στο **Κεφάλαιο 5** αναφέρονται τα συμπεράσματα που καταλήγουμε από τη συγκεκριμένη εργασία.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2°

### ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

#### 2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Ηλιακή ενέργεια είναι η ενέργεια που προέρχεται από τον ήλιο και αξιοποιείται μέσω τεχνολογιών που εκμεταλλεύονται τη θερμική και ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία του ήλιου με τη χρήση μηχανικών μέσων για τη συλλογή, αποθήκευση και διανομή της.

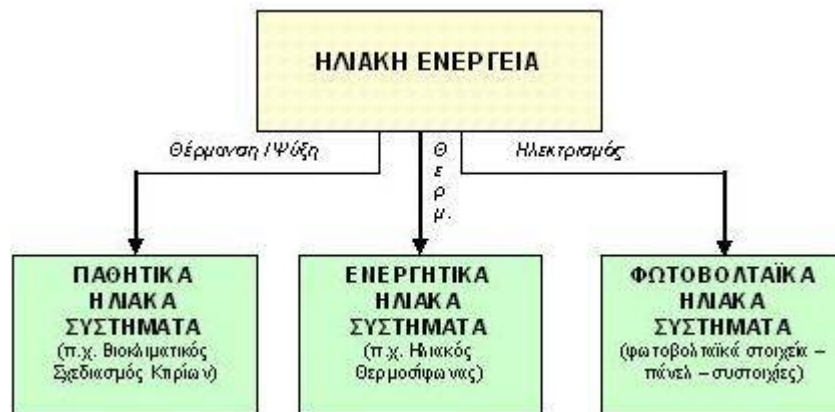
Η ηλιακή ενέργεια είναι ανεξάντλητη πηγή δεδομένου ότι ο ήλιος θα παρέχει ενέργεια επί πέντε δισεκατομμύρια έτη και η ίδια υπερβαίνει κατά 2.500 φορές την ποσότητα που καταναλώνουμε ετησίως. Το γεγονός αυτό είναι αρκετά σημαντικό αν λάβουμε υπόψη μας ότι τα ενεργειακά αποθέματα της Γης εξαντλούνται. Χαρακτηριστικά τα αποθέματα άνθρακα εκτιμάται ότι επαρκούν για περίπου 150 έτη ενώ τα αποθέματα πετρελαίου και φυσικού αερίου θα έχουν εξαντληθεί σε περίπου 40 χρόνια.

Όσον αφορά την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, θα μπορούσαμε να πούμε ότι χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες εφαρμογών: τα παθητικά ηλιακά συστήματα, τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα, και τα φωτοβολταϊκά συστήματα (**Εικόνα 2.1**). Τα παθητικά και τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα ή αλλιώς ηλιακά θερμικά συστήματα εκμεταλλεύονται τη θερμότητα που εκπέμπεται μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας δηλαδή χρησιμοποιούνται κατάλληλοι συλλέκτες για τη δέσμευση της ηλιακής ακτινοβολίας και την μετατροπή της σε θερμότητα.

Πιο αναλυτικά με τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα που συλλέγουν την ηλιακή ακτινοβολία και τη μετατρέπουν σε θερμότητα σε κάποια θερμομονωμένη δεξαμενή, όπου την αποθηκεύουν.

Με τα παθητικά ηλιακά συστήματα, δηλαδή όλα τα κατάλληλα σχεδιασμένα και συνδυασμένα δομικά στοιχεία των οικοδομικών κατασκευών (κτιρίων) που υποβοηθούν την καλύτερη άμεση ή μέση εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας είτε για τη θέρμανση των κτιρίων το χειμώνα είτε για τον κλιματισμό το καλοκαίρι.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα στηρίζονται στη μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρικό ρεύμα μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου.



Εικόνα 2.1. Κατηγορίες εφαρμογών για εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας

Το κλίμα της Γης και οι μεταβολές της του οφείλονται στην ηλιακή ενέργεια που θερμαίνει τη ξηρά και τις θαλάσσιες μάζες. Η Ελλάδα είναι μια Μεσογειακή χώρα. Η θέση της στη Βόρεια πλευρά της μεσογειακής λεκάνης, της εξασφαλίζει όλα τα χαρακτηριστικά του μεσογειακού κλίματος δηλαδή μεγάλη ηλιοφάνεια σχεδόν καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου, κανονικές τιμές υγρασίας όλες τις εποχές, παρατεταμένα καλοκαίρια με σχετικά μέτριες τιμές θερμοκρασιών και μικρούς σχετικά μέτριους χειμώνες.

## 2.2 Ηλιακή ακτινοβολία

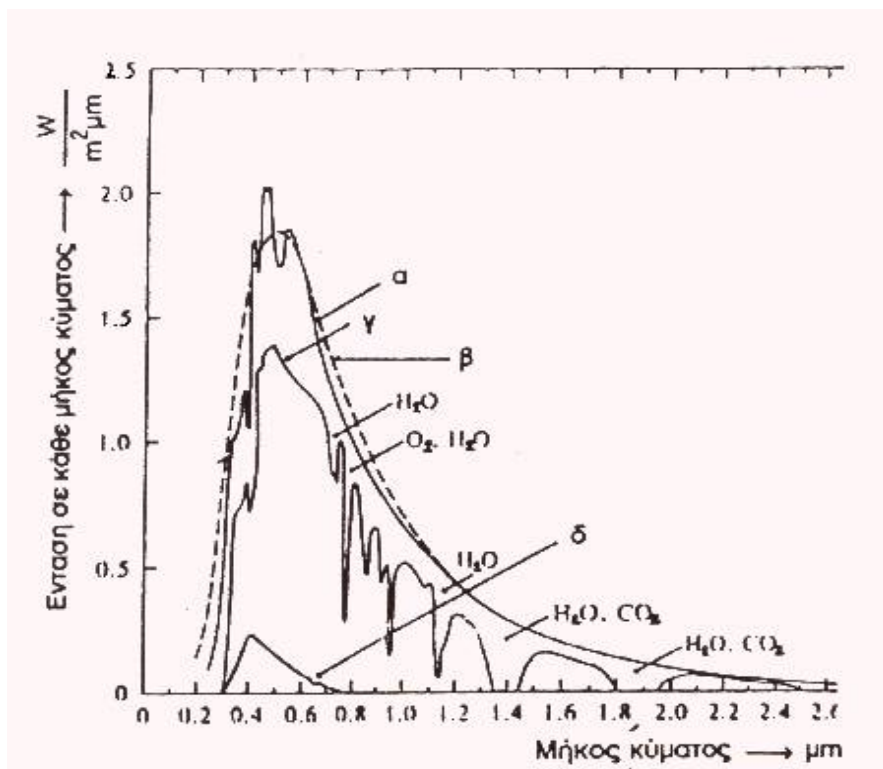
Ο ήλιος παρέχει ενέργεια με την μορφή της ακτινοβολίας, χωρίς την οποία η ζωή δεν θα μπορούσε να υπάρχει. Είναι ένας αστέρας με μάζα  $2 \cdot 10^{30} \text{ kg}$ , ακτίνα 700.000 km, ηλικία 5.000.000.000 χρόνια και προσδόκιμο χρόνο ζωής άλλα τόσα χρόνια περίπου. Η επιφανειακή θερμοκρασία του εκτιμάται σε  $5.800^\circ \text{ Kelvin}$ , η θερμοκρασία του πυρήνα του σε  $14.000.000^\circ \text{ Kelvin}$  και η μέση απόσταση από τη γη είναι 150.000.000 km. Για να διανύσει αυτή την απόσταση το φως με την ταχύτητα των 300.000 km/s, απαιτούνται περίπου 8,5 min.

Η υψηλή θερμοκρασία του ήλιου οφείλεται στις αυτοσυντηρούμενες θερμοπυρηνικές αντιδράσεις, που συμβαίνουν στον πυρήνα του. Αυτές μετατρέπουν κάθε δευτερόλεπτο 564 εκατομμύρια τόνους υδρογόνου σε 560 εκατομμύρια τόνους ήλιο. Η μάζα που χάνεται μετασχηματίζεται σε ενέργεια. Υπολογίζεται ότι από τη μετατροπή 1g υδρογόνου παράγεται ενέργεια ίση με  $1,67 \times 10^8 \text{ kWh}$ . Η ηλιακή ενέργεια που εκπέμπεται σε 20 min είναι ίση με την

ενέργεια, που καταναλώνει ο πληθυσμός της γης σε ένα ολόκληρο χρόνο. Η ηλιακή ενέργεια διαδίδεται στο σύμπαν κυρίως με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, αλλά και με σωματιδιακή.

Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελείται από ένα σύνολο ηλεκτρομαγνητικών ακτινοβολιών με μήκη κύματος από 0.3 $\mu\text{m}$  μέχρι 3 $\mu\text{m}$ , με μέγιστο ενεργειακό περιεχόμενο στην περιοχή των 0.5 $\mu\text{m}$  και μπορεί περίπου να εξομοιωθεί με την ακτινοβολία που εκπέμπει ένα μέλαν σώμα σε θερμοκρασία 5762°Kelvin, όπως φαίνεται στο **Σχήμα 2.2** όπου,

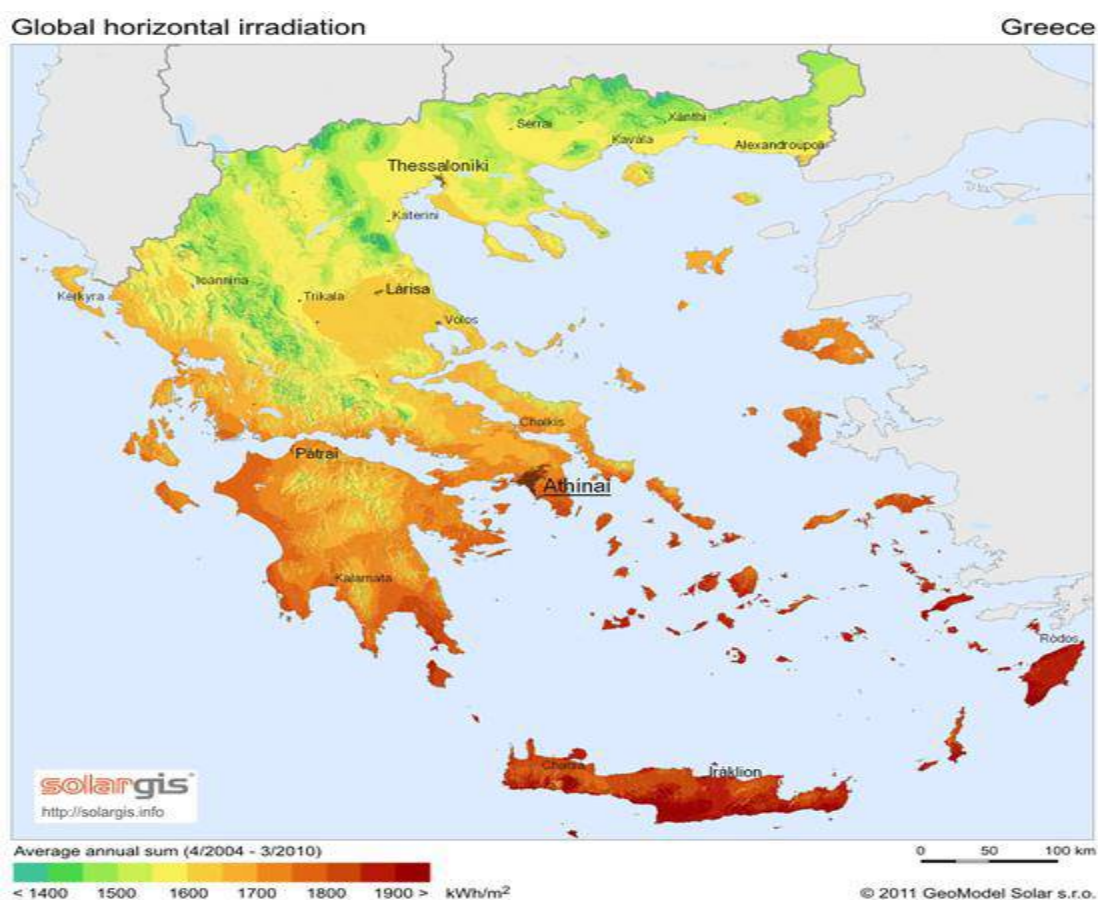
- α) Ηλιακό φάσμα έξω από την ατμόσφαιρα
- β) Κατανομή ακτινοβολίας από μέλαν σώμα στους 5762° Kelvin
- γ) Η ακτινοβολία έχει διαπεράσει την ατμόσφαιρα κάθετα προς την επιφάνεια της Γης
- δ) Διάχυτη ακτινοβολία.



**Εικόνα 2.2.** Καμπύλες φασματικής κατανομής

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στη Γη έξω από την ατμόσφαιρα είναι σταθερή και ανεξάρτητη από τις εποχές του έτους. Το

μέγεθος όμως, η διάρκεια και οι μεταβολές της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της Γης σε μια περιοχή ποικίλει ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου, το ύψος από την επιφάνεια της θάλασσας, την ώρα της ημέρας, την εποχή του έτους και το κλίμα της περιοχής.

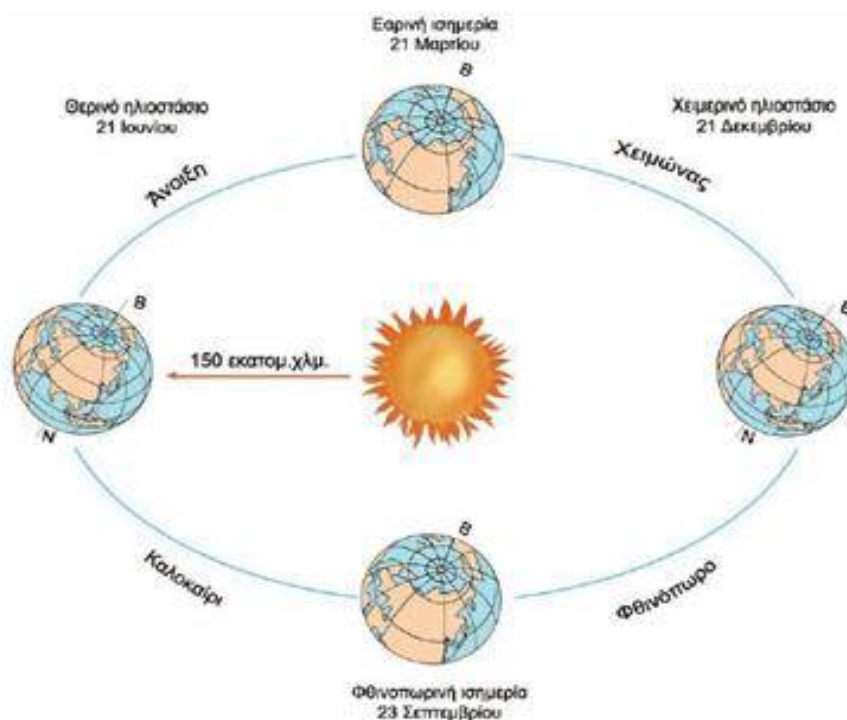


Εικόνα 2.3. Ηλιακή ακτινοβολία στην Ελλάδα

Η Γη αποτελεί έναν από τους 9 πλανήτες του ηλιακού μας συστήματος, κινείται γύρω

από τον ήλιο με περίοδο 365,25 ημερών σε ελαφρώς ελλειπτική τροχιά (Εικόνα 2.3). Κατά την περιφορά της καταλαμβάνει δύο ακραίες θέσεις, την 21<sup>η</sup> Ιουνίου και την 21<sup>η</sup> Δεκεμβρίου. Στο βόρειο ημισφαίριο της γης στις 21 Ιουνίου έχουμε τη μεγαλύτερη ημέρα του έτους (θερινό ηλιοστάσιο), ενώ στις 21 Δεκεμβρίου έχουμε τη μικρότερη ημέρα του έτους (χειμερινό ηλιοστάσιο). Στις 21 Μαρτίου και 23 Σεπτεμβρίου η διάρκεια της ημέρας είναι ίση με τη

διάρκεια της νύχτας, οπότε έχουμε την εαρινή και τη φθινοπωρινή ισημερία αντίστοιχα.



Εικόνα 2.4. Ελλειπτική τροχιά της γης γύρω από τον ήλιο

Η Γη εκτελεί επίσης μία πλήρη περιστροφή, γύρω από τον άξονα της, με σχεδόν σταθερή γωνιακή ταχύτητα, σε 24 ώρες περίπου. Με την κίνηση της γης γύρω από τον ήλιο εξασφαλίζει τη διαδοχή των εποχών και με την περιστροφή της γύρω από τον άξονά της εξασφαλίζει τη διαδοχή της ημέρας και της νύχτας.

### 2.2.1 Γεωμετρικά στοιχεία ήλιου

Ο σημαντικότερος παράγοντας που διαμορφώνει την ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας είναι η θέση του ήλιου σε σχέση με το σημείο της γης που δέχεται την ακτινοβολία. Με βάση αυτή την αρχή διακρίνουμε τα παρακάτω γεωμετρικά στοιχεία.

### 2.2.1.1 Ηλιακή σταθερά $G_{sc}$

Η συνολική ενέργεια στη μονάδα του χρόνου (ισχύς) που προέρχεται από μια πηγή ακτινοβολίας και προσπίπτει σε μια μοναδιαία επιφάνεια, αποτελεί την πυκνότητα ισχύος ή ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και μετριέται σε ( $W/m^2$ ). Συμβολίζεται γενικά με το γράμμα  $G$ . Η τιμή της σε ορισμένη ώρα και σημείο στην επιφάνεια της γης εξαρτάται έντονα από την θέση του ήλιου στον ουρανό, αλλά και τις μετεωρολογικές συνθήκες.

Όταν η ηλιακή ακτινοβολία εισέρχεται στην ατμόσφαιρα της γης, ένα μέρος της απορροφάται από τα μόρια του αέρα, τα σύννεφα κλπ., ένα άλλο διαχέεται εντός της ατμόσφαιρας και ένα τρίτο προσπίπτει απ' ευθείας στην επιφάνεια του συλλέκτη (άμεση ή ακτινική ακτινοβολία). Η συνολική ακτινοβολία που φθάνει στην επιφάνεια του συλλέκτη είναι το άθροισμα της ακτινικής ή άμεσης ακτινοβολίας, που προσπίπτει επί αυτού απ' ευθείας, και της διάχυτης ακτινοβολίας, που προέρχεται από αυτήν που διαχέεται στην ατμόσφαιρα. Επιπλέον, όταν ο συλλέκτης εγκαθίσταται με κλίση προς το οριζόντιο επίπεδο, προστίθεται και ένα μικρό σχετικά ποσοστό προερχόμενο από ανάκλαση σε παρακείμενα αντικείμενα. Το μεγαλύτερο ποσοστό της ενέργειας, ιδίως σε όχι πολύ βόρειες περιοχές, προέρχεται από την άμεση ακτινοβολία, σημαντική όμως είναι και η συμβολή της διάχυτης.

Η πυκνότητα της ηλιακής ακτινοβολίας στο διάστημα κυμαίνεται σε μικρά όρια περί μέση τιμή  $G_{sc} = 1353 \left[ \frac{W}{m^2} \right]$ , και ονομάζεται ηλιακή σταθερά.

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας εκτός της ατμόσφαιρας, η οποία εξαρτάται από την κίνηση της γης περί τον ήλιο, μπορεί να υπολογίζεται με ακρίβεια, με βάση γεωμετρικές σχέσεις. Αντίθετα η μείωση που υφίσταται αυτή, κατά την διαδρομή της στην ατμόσφαιρα, εξαρτάται από την κατάσταση της και αποτελεί στατιστικό μέγεθος.

### 2.2.1.2 Γεωγραφικό πλάτος του τόπου $\varphi$

Το γεωγραφικό πλάτος του τόπου εκφράζει τη γωνία που σχηματίζει ο τόπος με τον ισημερινό και είναι:

$$-90^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$$

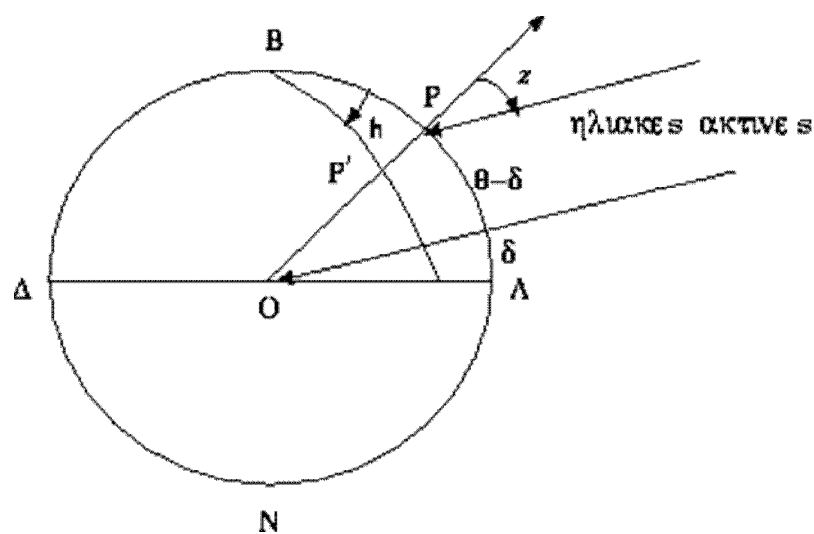
Πόλη ή περιοχή	Γεωγραφικό πλάτος
Σιδηρόκαστρο, Διδυμότειχο, Ορεσιτιάδα, Φλώρινα, Έδεσσα, Γιαννιτιά, Κιλκίς, Σέρρες, Δράμα, Καβάλα	41°
Εάνθη, Κομοτηνή, Αλεξανδρούπολη	41°
Καστοριά, Πτολεμαΐδα, Κοζάνη, Νάουσα, Βέροια, Κατερίνη, Θεσσαλονίκη, Πολύγυρος, Σαμοθράκη	40°
Κόνιτσα, Γρεβενά, Λιτόχωρο, Κασσάνδρα, Λήμνος	40°
Κέρκυρα, Ηγουμενίτσα, Ιωάννινα, Μέτσοβο, Τρίκαλα, Καρδίτσα, Λάρισα, Βόλος	39°
Λευκάδα, Πρέβεζα, Άρτα, Καρπενήσι, Λαμία, Σκύρος, Μυτιλήνη	39°
Κεφαλληνία, Ιθάκη, Αγρινίο, Μεσολόγγι, Πάτρα, Αμφιλοχία, Λιβαδειά, Θήβα, Χαλκίδα, Χίος	38°
Ζάκυνθος, Αμαλιάδα, Καλάβρυτα, Κόρινθος, Μέγαρα, Ελευσίνα, Αθήνα, Ραφήνα, Κάρυστος, Άνδρος, Ικαρία, Σάμος	38°
Πύργος, Μεγαλόπολη, Τρίπολη, Άργος, Ναύπλιο, Πόρος, Σύρος, Πάτμος	37°
Πύλος, Καλαμάτα, Σπάρτη, Πάρος, Νάξος, Κάλυμνος, Κως	37°
Γύθειο, Μήλος, Σαντορίνη, Ρόδος	36°
Κύθηρα, Καστελόριζο	36°
Χανιά, Ρέθυμνο, Ηράκλειο, Κάσος, Κάρπαθος	35°
Χώρα Σφακίων, Ιεράπετρα, Αγ. Νικόλαος Κρήτης, Κύπρος	35°

**Πίνακας 1. Γεωγραφικό πλάτος (κατά προσέγγιση) διαφόρων Ελληνικών πόλεων και περιοχών.**



### 2.2.1.3 Απόκλιση ( $\delta$ ) του ήλιου

Κατά τη διάρκεια της έτους, η θέση του ήλιου παίρνει πολύ διαφορετικές τιμές σαν αποτέλεσμα της μεταβολής της απόκλισης  $\delta$ , δηλαδή της γωνίας που σχηματίζεται ανάμεσα στη 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 της τιμές είναι  $+23,45^\circ$  της 21<sup>ης</sup> Ιουνίου (θερινό ηλιοστάσιο για το βόρειο ημισφαίριο) και  $-23,45^\circ$  της 21<sup>ης</sup> Δεκεμβρίου (χειμερινό ηλιοστάσιο). Άμεση συνέπεια των διαφορετικών τιμών της απόκλισης του ήλιου κατά τη διάρκεια του έτους είναι οι κυκλικές τροχιές που διαγράφονται βορειότερα στο ουρανό το καλοκαίρι, με νωρίτερη ανατολή και αργότερη δύση στο βόρειο ημισφαίριο, ενώ το χειμώνα συμβαίνει το αντίθετο. Παράλληλα διαμορφώνονται οι αντίστοιχες μετεωρολογικές και κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν σε διάφορες εποχές του έτους. Ιδιαίτερα χρήσιμα μεγέθη για τη γενική εκτίμηση της καθημερινής και της εποχιακής διακύμανσης της ακτινοβολίας σε ένα τόπο, είναι η θεωρητική ηλιοφάνεια, δηλαδή το χρονικό διάστημα από την ανατολή μέχρι τη δύση του ήλιου, καθώς και η μέση πραγματική ηλιοφάνεια που δείχνει το μέσο όρο των ωρών που ο ήλιος δεν καλύπτεται από σύννεφα. Ο αριθμός των ημερών με ηλιοφάνεια, στη διάρκεια των οποίων ο ήλιος δεν καλύπτεται από σύννεφα, καθώς και των ανήλιων ημερών, που ο ήλιος καλύπτεται από σύννεφα σε ολόκληρο το διάστημα της ημέρας.



Εικόνα 2.5. Η απόκλιση του ήλιου

Η απόκλιση του ήλιου δίνεται από την εξίσωση :

$$\delta = 23,45^\circ * \sin\left(360 * \frac{n+284}{365}\right)$$

όπου  $n$  οι ημέρες του έτους  $n=1,2,3,\dots,365$

Θεωρούμε το επίπεδο με κλίση  $\beta$  ως το οριζόντιο επίπεδο, που δέχεται ηλιακή ακτινοβολία στην **Εικόνα 2.5**.

#### **2.2.1.4 Κλίση $\beta$**

Ορίζεται η γωνία μεταξύ του επιπέδου αναφοράς και του οριζοντίου επιπέδου. Η γωνία αυτή μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ :  $0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$ .

#### **2.2.1.5 Γωνία $\gamma$ αζιμούθιου του επιπέδου**

Ορίζεται η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της προβολής στο οριζόντιο επίπεδο της καθέτου επί της κεκλιμένης επιφάνειας και της γραμμής Β-Ν (Βορρά-Νότου). Η αζιμούθια γωνία επιφάνειας είναι μηδέν όταν η προβολή της καθέτου στο οριζόντιο επίπεδο συμπίπτει με το Νότο, αρνητική εφόσον είναι της την Ανατολή και θετική εφόσον είναι της τη Δύση.

#### **2.2.1.6 Αζιμούθια γωνία ηλίου $\gamma_s$**

Ορίζεται η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της προβολής στο οριζόντιο επίπεδο της ευθείας που συνδέει τον ήλιο με την κεκλιμένη επιφάνεια και της γραμμής Β-Ν (Βορρά-Νότου).

### 2.2.1.7 Γωνία ύψους ήλιου $\alpha$

Ορίζεται η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της ευθείας που συνδέει τον ήλιο με την κεκλιμένη επιφάνεια και το οριζόντιο επίπεδο. Οι γωνίες  $\Psi$  και  $\alpha$  ονομάζονται σφαιρικές συντεταγμένες και καθορίζουν σε κάθε χρονική στιγμή τη θέση του ήλιου.

### 2.2.1.8 Ζενίθια γωνία $\theta_z$

Ορίζεται η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ των ευθειών, που συνδέουν την κεκλιμένη επιφάνεια με τον ήλιο και το ζενίθ. Η γωνία αυτή είναι συμπληρωματική της γωνίας ύψους του ηλίου ( $\theta_z = 90 - \alpha$ ) και υπολογίζεται από τη σχέση :

$$\cos\theta_z = \cos\delta \cdot \sin\varphi \cdot \cos\omega + \sin\delta \cdot \sin\varphi$$

όπου,

$\delta$  [°] : η ηλιακή απόκλιση,

$\varphi$  [°] : το γεωγραφικό πλάτος,

$\omega$  [°] : ωριαία γωνία απόκλισης ήλιου, που υπολογίζεται από τη σχέση

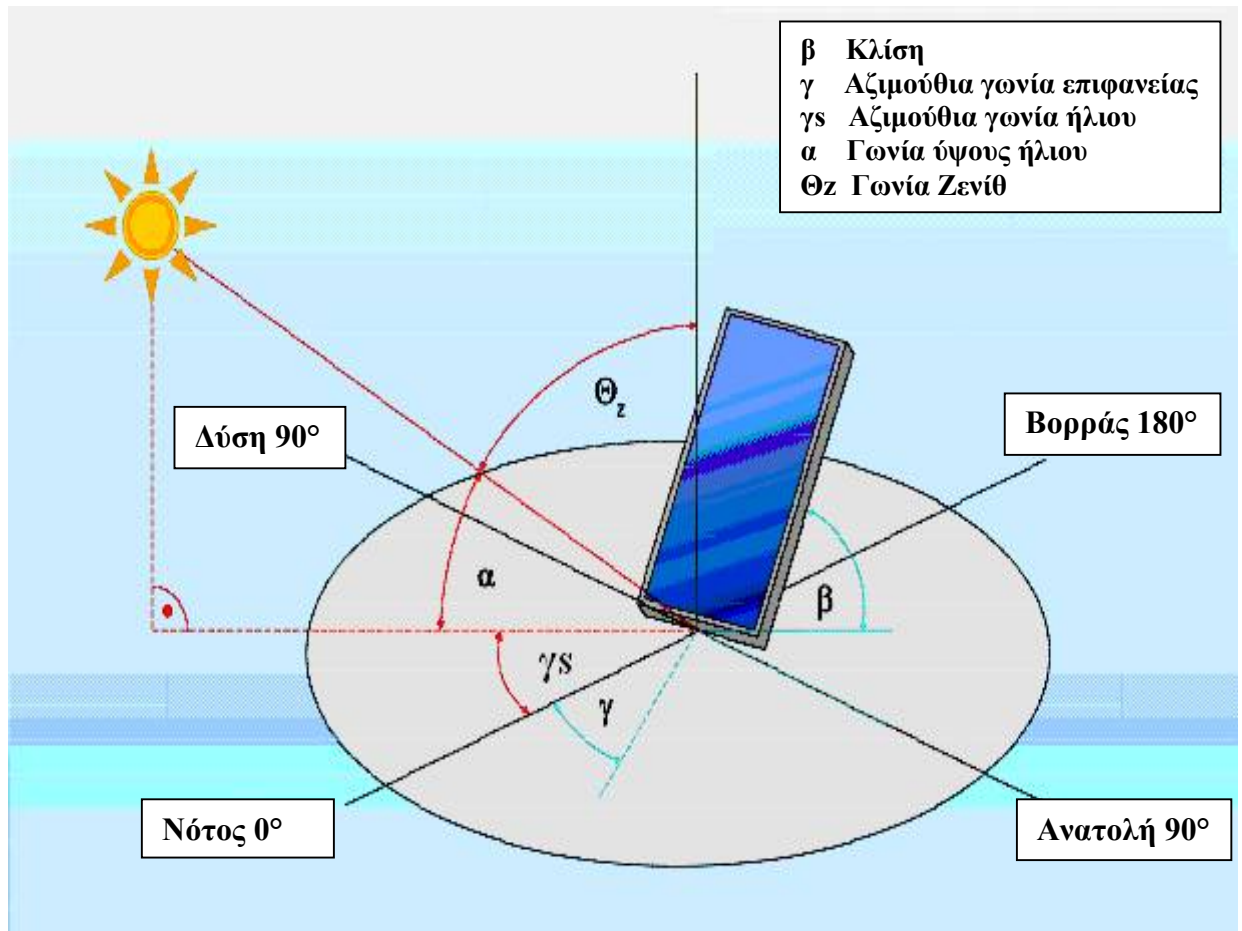
$$\omega = 15 (\text{HX} - 12) \text{ [}^\circ\text{]}$$

όπου,

HX [h] : ο ηλιακός χρόνος τόπου, όπου μετράτε με βάση τη φαινόμενη κίνηση του

ήλιου στον ουρανό.

Λαμβάνεται  $\omega > 0$  για μ.μ. και  $\omega < 0$  για π.μ.



Εικόνα 2.6. Γεωμετρικές παράμετροι θέσης ήλιου - κεκλιμένης επιφανείας

### 2.3 ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Η ενέργεια της ηλιακής ακτινοβολίας μεταδίδεται με τη μορφή διακεκριμένων ποσοτήτων ενέργειας, που ονομάζονται φωτόνια ή κβάντα φωτός. Τα φωτόνια κινούνται στο κενό με την ταχύτητα του φωτός και κάθε ένα από αυτά μεταφέρει ενέργεια  $E$ , που υπολογίζεται από τη σχέση:

$$E = h \cdot \nu = h \cdot c/\lambda \text{ [J]}$$

Όπου,

$h$  [J·s] : σταθερά του Planck ( $h = 6,67 \cdot 10^{-34}$  J·s)

$\nu$  [s<sup>-1</sup>] : συχνότητα ακτινοβολίας

$c$  [m/s]: ταχύτητα φωτός ( $c = 3 \cdot 10^8$  m/s)

$\lambda$  [m] : μήκος κύματος

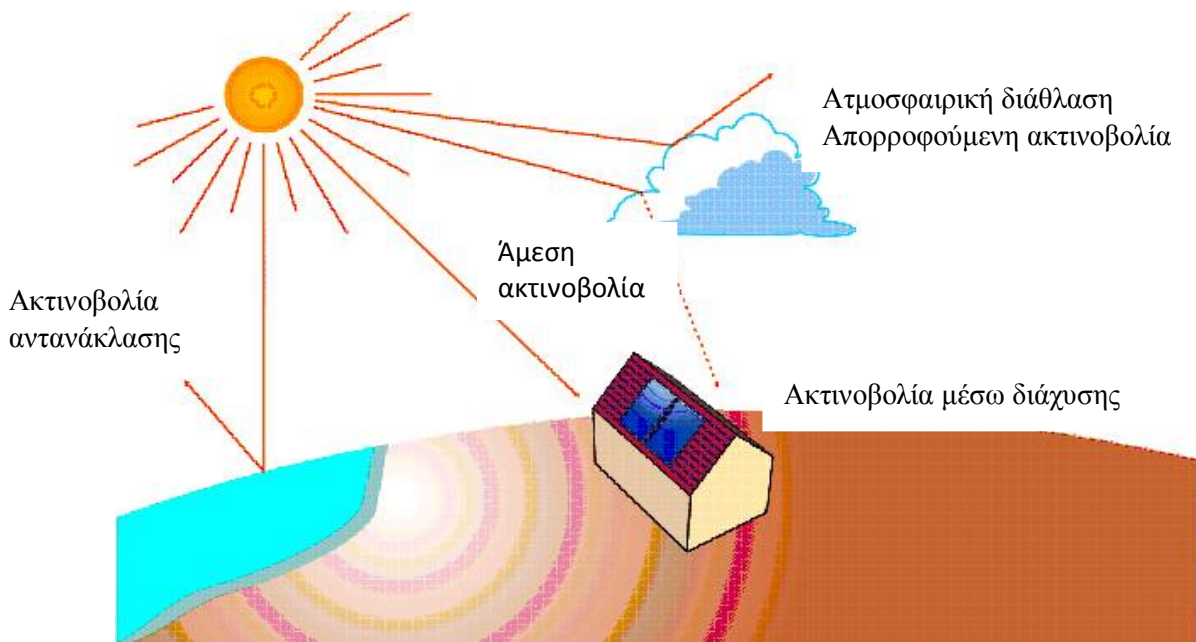
Λαμβάνοντας υπόψη ότι η συνήθης έκφραση του μήκους κύματος  $\lambda$  είναι σε (nm) και

η ενέργεια του φωτονίου  $E$  σε [eV], η προηγούμενη σχέση γράφεται:

$$E = 1240 / \lambda \text{ [eV]}$$

Όπου  $\lambda$  [nm]: μήκος κύματος.

Λόγω του φαινομένου κατά το οποίο οι ηλιακές ακτίνες εισέρχονται από τη γήινη ατμόσφαιρα, τα φωτόνια σκεδάζονται της υδρατμούς, τη σκόνη, τον καπνό και τα διάφορα σωματίδια. Όλα αυτά έχουν σαν αποτέλεσμα την αποσύνθεση της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σ' ένα σώμα στην επιφάνεια της γης, σε τρία διαφορετικά συστατικά.



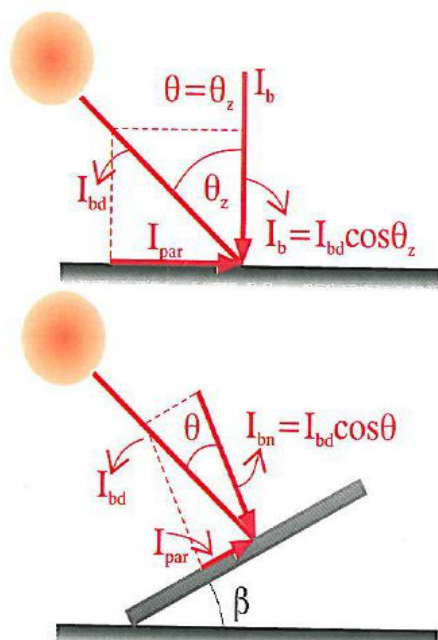
Εικόνα 2.7. Η ηλιακή ακτινοβολία στα τρία διαφορετικά συστατικά

Επομένως :

- Άμεση ( $I_b$ ) που έρχεται κατευθείαν από τον ήλιο.
- Διάχυτη ( $I_d$ ) που προέρχεται από ολόκληρο τον ουράνιο θόλο και γεννιάται κατά τη σκέδαση της άμεσης ακτινοβολίας σε άτομα, μόρια και αιωρούμενα σωματίδια.
- Ανακλώμενη ( $I_r$ ) που προέρχεται από διάφορες γειτονικές επιφάνειες όταν η επιφάνεια αναφοράς είναι κοντά σε κτίρια υψώματα ή δεν είναι οριζόντια οπότε δέχεται ακτινοβολία από το έδαφος.

Άρα:  $I = I_b + I_d + I_r$

**Άμεση** είναι η ακτινοβολία που προέρχεται από τον ηλιακό δίσκο, έχει ορισμένη κατεύθυνση για ορισμένο επίπεδο αναφοράς και ορισμένη χρονική στιγμή. Με καθαρό ουρανό αποτελεί το μεγαλύτερο ποσοστό της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει στο επίπεδο αναφοράς αλλά αυτή η αναλογία διαφοροποιείται εξαιτίας σκόνης, καπνού, αιωρούμενων σωματιδίων και ανατρέπεται τις συννεφιασμένες ημέρες. Μετράτε σε  $\text{Joule}/\text{m}^2$ . Για της διάφορους υπολογισμούς την αναλύουμε σε δύο συνιστώσες (Εικόνα 2.8), μία κάθετη και μία παράλληλη στην επιφάνεια της γης ή του συλλέκτη ανάλογα με την περίπτωση. Η οριζόντια συνιστώσα δεν αλληλοεπιδρά με την επιφάνεια της γης ή του συλλέκτη αντίστοιχα και δε συνεισφέρει στη μετατροπή της ακτινοβολίας σε θερμική ενέργεια.



Η γωνία πρόσπτωσης  $\theta$  στην περίπτωση αυτή ταυτίζεται με την έννοια της ζενιθίας γωνίας.

Όπου  $\theta$  η γωνία πρόσπτωσης

**Εικόνα 2.8. Ανάλυση ακτινοβολίας σε δύο συνιστώσες**

**Διάχυτη** είναι η ακτινοβολία που προέρχεται από όλο τον υπόλοιπο ουράνιο θόλο, εκτός του δικτύου του ήλιου. Είναι ισχυρότερη στο τμήμα του ουρανού κοντά στον ήλιο και γίνεται ασθενέστερη μακριά από τον ηλιακό δίσκο, σε περίπτωση καθαρού χωρίς σύννεφα ουρανού. Για το επίπεδο αναφοράς δεν έχει ορισμένη κατεύθυνση όπως η άμεση ακτινοβολία αλλά προέρχεται από όλα τα σημεία του ουρανού. Στην περίπτωση που το επίπεδο αναφοράς είναι οριζόντιο, δέχεται τη διάχυτη ακτινοβολία από ολόκληρο τον ουράνιο θόλο εφόσον δεν μεσολαβούν φυσικά ή τεχνητά εμπόδια (κτίρια, λόφοι κλπ). Το κατακόρυφο επίπεδο δέχεται τη μισή διάχυτη ακτινοβολία για τις ίδιες συνθήκες. Οποσδήποτε ούτε τις συννεφιασμένες και ομιχλώδεις ημέρες ούτε τις καθαρές είναι ισοτροπική. Ωστόσο για πρακτικές εφαρμογές δεχόμαστε ότι είναι ισοτροπική.

**Η ανακλώμενη** ηλιακή ακτινοβολία φτάνει στο επίπεδο αναφοράς μετά από ανάκλαση σε φυσικές ή τεχνητές επιφάνειες, που υπάρχουν στον

περιβάλλοντα χώρο. Έτσι η γνώση της απαιτεί κάθε φορά καλή γνώση της τοπογραφίας του χώρου και του δείκτη ανακλαστικότητας των επιφανειών, που ανακλούν την ηλιακή ακτινοβολία.

Δείκτης αιθριότητας είναι ο λόγος της μέσης ημερήσιας ολικής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο στο έδαφος κάθε μήνα ,προς τη μέση ημερήσια ολική ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο εκτός ατμόσφαιρας, αντίστοιχα ημερήσιος δείκτης αιθριότητας είναι ο λόγος της ημερήσιας ολικής ακτινοβολίας μιας ημέρας σε οριζόντιο επίπεδο στο έδαφος, προς την ολική ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο εκτός ατμόσφαιρας την ίδια μέρα.

#### **2.4 Θερμικό φορτίο και θερμικά χαρακτηριστικά**

Κύριος σκοπός λοιπόν της συλλογής ηλιακής ενέργειας είναι να καλύψει θερμικές καταναλώσεις. Μια θερμική κατανάλωση έχει δύο βασικά χαρακτηριστικά:

- 1) Το μέγεθος και τις ενδεχόμενες μεταβολές της συναρτήσει του χρόνου
- 2) Τη θερμοκρασία

Με τον όρο θερμικό φορτίο εννοούμε το ποσοστό της θερμότητας που πρέπει να αφαιρείται από έναν κλιματιζόμενο χώρο την μονάδα του χρόνου μέσο κάποιας κλιματιστικής (ή ενεργειακής εγκατάστασης). Από το μέγεθος του θερμικού φορτίου εξαρτάται η επιφάνεια των ηλιακών συλλεκτών που θα χρησιμοποιήσουμε, από τις μεταφορές του και το μέγεθος της θερμικής αποθήκης που θα χρησιμοποιηθεί.

Το είδος των ηλιακών συλλεκτών καθορίζεται από τη θερμοκρασία. Επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες χρησιμοποιούνται όταν θέλουμε να καλύψουμε θερμικά φορτία υπό θερμοκρασία κάτω των 100°C. Για υψηλότερες θερμοκρασίες πρέπει να χρησιμοποιηθούν γενικά συγκεντρωτικοί (επίπεδοι) συλλέκτες. Ο οικιστικός τομέας περιλαμβάνει φορτία που προορίζονται για θέρμανση κτιρίων και νερού χρήσης. Ο βιομηχανικός και αγροτικός τομέας περιλαμβάνει γενικά θέρμανση στερεών, υγρών ή αερίων σε χαμηλές, μέσες ή υψηλές θερμοκρασίες. Σε αυτή την περίπτωση τα χαρακτηριστικά των θερμικών φορτίων εξαρτώνται κάθε φορά από την παραγωγική διαδικασία.



Για τους θερμικούς υπολογισμούς αναγκαία είναι τα θερμικά χαρακτηριστικά που προέρχονται από τις θερμικές απώλειες κτιρίων. Αυτά είναι:

1. Θερμική αγωγιμότητα, είναι ιδιότητα κάθε υλικού η οποία καθορίζει το ποσό θερμότητας που διαρρέει μια επιφάνεια του υλικού αυτού, όταν βρίσκεται σε ένα θερμοκρασιακό πεδίο, υπό την επίδραση της κάθετης προς την επιφάνεια αυτή θερμοκρασιακής πτώσης. Η θερμική αγωγιμότητα μετράτε με το συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda$ , που δίνει την ποσότητα θερμότητας σε σταθερή θερμική κατάσταση την ώρα ,μέσα από μια στρώση του υλικού επιφάνειας  $1\text{m}^2$ , όταν η θερμική πτώση κατά τη διεύθυνση της ροής θερμότητας είναι  $1^\circ\text{C}$  ανά  $\text{m}$  (μονάδα μέτρησης είναι  $\text{kcal}/\text{mh}^\circ\text{C}$  ή  $\text{W}/\text{mK}$  και η σχέση τους  $1 \text{ kcal}/\text{mh}^\circ\text{C}$  είναι  $1163 \text{ W}/\text{mK}$ ).
2. Η θερμοδιαφυγή, χαρακτηρίζει τη μετάδοση θερμότητας μέσα από μια στρώση πάχους  $l$  και μετράτε με το συντελεστή θερμοδιαφυγής  $\Lambda$ , που μας δίνει την ποσότητα θερμότητας η οποία διαρρέει ,σε σταθερή κατάσταση ,σε μια ώρα, μια επιφάνεια  $1\text{m}^2$  από στρώση υλικών πάχους  $l$  κάτω από την επίδραση κάθετης προς την στρώση αυτής θερμοκρασιακής πτώσης, όταν μεταξύ των δυο επιφανειών της, υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας  $1^\circ\text{C}$ (μονάδα μέτρησης είναι  $\text{kcal}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$  ή  $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ).
3. Συντελεστής θερμικής μετάβασης, ο συντελεστής αυτός δίνει την ποσότητα θερμότητας που μεταδίδει σε σταθερή θερμική κατάσταση, σε μια ώρα, μεταξύ  $1\text{m}^2$  από την επιφάνεια ενός οικοδομικού στοιχείου προς τον αέρα που βρίσκεται σε επαφή με αυτό, όταν μεταξύ τους υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας  $1^\circ\text{C}$  (μονάδες μέτρησης είναι  $\text{kcal}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$  ή  $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ).
4. Θερμοπερατότητα, καθορίζει την ποσότητα θερμότητας που μεταδίδεται από τη μια πλευρά ενός υλικού στην άλλη όταν και από τις δυο πλευρές όταν το υλικό έρχεται σε επαφή με τον αέρα , δηλαδή η θερμοπερατότητα λαμβάνει υπόψη την θερμοδιαφυγή του υλικού και την θερμική μετάβαση και για τις δυο πλευρές του. Μετράτε με το συντελεστή θερμοπερατότητας  $U$ , που δίνει τη ποσότητα θερμότητας η οποία μεταδίδεται σε σταθερή θερμική κατάσταση, σε μια ώρα, από μια επιφάνεια του υλικού  $1\text{m}^2$ , όταν η διαφορά θερμοκρασίας του αέρα

που είναι σε επαφή από τις δυο πλευρές με το υλικό είναι  $1^{\circ}\text{C}$  (μονάδες μέτρησης είναι  $\text{kcal}/\text{m}^2\text{h}^{\circ}\text{C}$  ή  $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ).

5. Θερμοχωρητικότητα ενός υλικού καλείται η ικανότητα του να αποθηκεύει ποσά θερμότητας. Η θερμότητα που αποθηκεύει είναι τόσο μεγαλύτερη όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας του υλικού και της θερμοκρασίας του αέρα που το περιβάλλει και όσο μεγαλύτερη είναι η ειδική θερμοχωρητικότητα και η μάζα του υλικού.

Οι ηλιακοί συλλέκτες γενικά είναι συσκευές που μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε χρήσιμη θερμική. Ειδικά στους ηλιακούς συλλέκτες καμία οπτική συγκέντρωση των ηλιακών ακτινών και η ηλιακή ενέργεια άμεση, έμμεση και ανακλώμενη απορροφάται κατευθείαν και μετατρέπεται σε θερμότητα στην απορροφητική επιφάνεια. Σύμφωνα με αυτό, πέρα από τους γνωστούς τύπους των ηλιακών συλλεκτών, και οι παθητικοί ηλιακοί τοίχοι ή οροφές μπορούν να θεωρηθούν ότι αποτελούν ειδικές περιπτώσεις επίπεδων ηλιακών συλλεκτών.

Η λειτουργία του ηλιακού συλλέκτη και ιδιαίτερα των δυο στοιχείων του δηλαδή της καλύπτουσας και της απορροφητικής επιφάνειας στηρίζεται στο εξής φαινόμενο, όταν οποιοδήποτε υλικό εκτεθεί σε ηλιακό φως ή σε φως άλλης πηγής, ένα μέρος του φωτός ανακλάται, ένα μέρος του απορροφάται και τέλος ένα μέρος του μπορεί να περάσει μέσα από το υλικό, εφόσον αυτό είναι διαφανές.

## **2.5 ΜΕΤΡΗΣΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ**

Η μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας γίνεται με ειδικά όργανα των οποίων η αρχή λειτουργίας βασίζεται σε φυσικά φαινόμενα. Αυτά είναι οι θερμικούς αισθητήρες, των οποίων η ένδειξη οφείλεται στη θέρμανση της φωτιζόμενης (μαύρης) επιφάνειας, μιας πλάκας από ορισμένο υλικό και της αισθητήρες ηλεκτρονικής διέγερσης, της οποίας η μέτρηση οφείλεται της ενεργειακές μεταβάσεις των ηλεκτρονίων του υλικού, κατά την απορρόφηση φωτονίων.

➤ Θερμικοί ανιχνευτές (Thermal detectors)

Για μεγαλύτερη ευαισθησία των θερμικών αισθητήρων, φροντίζουμε η μάζα της πλάκας που απορροφά την ακτινοβολία να είναι μικρή, ώστε μικρά ποσά απορροφημένης ενέργειας να προκαλούν μεγάλη μεταβολή στη θερμοκρασία της. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν α) το πυρανόμετρο, β) ο πυροηλεκτρικός κρύσταλλος και γ) τα βολτόμετρα (μεταξύ των οποίων και το thermistor).

- Πυρανόμετρα

Η αρχή λειτουργίας του βασίζεται στο φαινόμενο του θερμοηλεκτρισμού. Αποτελείται από δύο πλάκες και ένα μεγάλο αριθμό θερμοηλεκτρικών ζευγών και μετράει την ολική ηλιακή ακτινοβολία με μήκος κύματος  $\lambda = 0,3-3 \mu\text{m}$ . Η πάνω πλάκα με το μαύρο χρώμα, στην οποία προσπίπτει η ακτινοβολία, θερμαίνεται ενώ η πλάκα που βρίσκεται στο εσωτερικό παραμένει σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Έτσι, δημιουργείται διαφορά θερμοκρασιών μεταξύ τους. Η ενεργός επιφάνεια (μαύρη) περιβάλλεται από δύο ομόκεντρα κρυστάλλινα ημισφαίρια, για προστασία από την υγρασία και την ψύξη λόγω αέριων ρευμάτων. Οι μισές επαφές πολλών θερμοηλεκτρικών ζευγών (Thermocouples), συνδέονται σε σειρά, είναι εντυπωμένες στην πάνω επιφάνεια, η οποία έχει υποστεί επεξεργασία αμαύρωσης και οι της μισές στην κάτω η οποία αποτελεί σώμα θερμοκρασίας αναφοράς (αντιστάθμιση). Ο συνδυασμός πολλών θερμοηλεκτρικών ζευγών, δημιουργεί μεγάλη ολική τάση στα δύο ελεύθερα άκρα της (μερικά mV), με σκοπό να είναι εύκολα μετρήσιμη με ένα βολτόμετρο. Η ακρίβεια των οργάνων αυτών πρώτης τάξης είναι  $\pm 1\%$ .

- Πυροηλεκτρικός κρύσταλλος

Η αρχή λειτουργίας του βασίζεται στην τροποποίηση της διπολικής ηλεκτρικής ροής διηλεκτρικών υλικών, που ονομάζονται υδροηλεκτρικά (Πυροηλεκτρικό φαινόμενο). Η αύξηση της θερμοκρασίας, υδροηλεκτρικού υλικού οδηγεί σε εμφάνιση ηλεκτρίσης, δηλαδή, πόλωσης του υλικού λόγω θέρμανσης του. Χαρακτηρίζεται από σταθερή απόκριση (Ampere/Watt), σε ευρεία περιοχή μηκών κύματος, δηλαδή, απόκριση ανεξάρτητη του μήκους κύματος,  $\lambda$  κι αυτό τον καθιστά ιδανικό για καταγραφή φασμάτων, στην περιοχή ευαισθησίας του.

- Βολόμετρα ή αισθητήρες θερμοκρασίας με βάση την αντίσταση του υλικού

Η αρχή λειτουργίας του βασίζεται στη μεταβολή της ηλεκτρικής αντίστασης της υλικού, με την θερμοκρασία του, λόγω απορρόφησης της ενέργειας της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Για αυξημένη απόκριση του αισθητήρα, το

υλικό του πρέπει να χαρακτηρίζεται από υψηλή απορροφητικότητα της ακτινοβολίας, σε ευρύ φάσμα συχνοτήτων και μικρή θερμοχωρητικότητα. Κατασκευάζονται από ποικιλία υλικών, τόσο σε στοιχειακή (π.χ. Si, Ge, Bi, Au) όσο και σε σύνθετη μορφή (Bi σε συνδυασμό με ίνες από νάυλον, Ge με προσμίξεις και ίνες νάυλον). Μια πολύ σημαντική κατηγορία βολομέτρων είναι τα μεταλλικά (π.χ. λευκόχρυσου ή πλατίνας Pt) και τα thermistors (ημιαγωγοί).

➤ Αισθητήρες ηλεκτρονικής διέγερσης

Η αρχή λειτουργίας της βασίζεται είτε στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, δηλαδή, την εκπομπή ηλεκτρονίων από την επιφάνεια της μετάλλου είτε στη διέγερση ηλεκτρονίων από τη ζώνη σθένους στη ζώνη αγωγιμότητας, στην περίπτωση των ημιαγωγών.

I. Κατηγορία αισθητήρων που βασίζονται στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο

- Οι φωτοδιόδοι κενού ή φωτοκύτταρα.

Αποτελούνται από δύο ηλεκτρόδια (άνοδο και κάθοδο), ενσωματωμένα σε μια διάταξη υψηλού κενού. Η κάθοδος, πάνω στην οποία προσπίπτει το φως, αποτελείται από υλικό χαμηλού έργου εξόδου των φωτοηλεκτρονίων. Η άνοδος βρίσκεται σε ορισμένο ηλεκτρικό δυναμικό σε σχέση με την κάθοδο, συλλέγοντας τα φωτοηλεκτρόνια. Η διάταξη χαρακτηρίζεται από εξαιρετικά μικρό χρόνο απόκρισης, (Response time), μικρότερο των 10 ns.

- Οι φωτοπολλαπλασιαστές

Στην περίπτωση ακτινοβολιών χαμηλής έντασης χρησιμοποιούνται σύνθετες διατάξεις, που αποτελούνται από συνδυασμό πολλών φωτοδίοδων σε σειρά (κάθοδος - αντικάθοδοι - άνοδος). Η κάθοδος και οι αντικάθοδοι είναι επιχρισμένες από υλικό χαμηλού έργου εξόδου. Η κάθοδος, ειδικά διαμορφωμένη, αποτελεί το παράθυρο

«εισόδου» της ακτινοβολίας, δημιουργώντας εσωτερικά, τα αρχικά ηλεκτρόνια (φωτοηλεκτρόνια). Τα φωτοηλεκτρόνια επιταχυνόμενα προσπίπτουν στην πρώτη αντικάθοδο, παράγοντας το καθένα, ανάλογα με το υλικό και την εφαρμοζόμενη ηλεκτρική τάση, μερικά δευτερογενή ηλεκτρόνια κ.ο.κ.. Έτσι, στην άνοδο συλλέγεται μεγάλο πλήθος ηλεκτρονίων που αντιστοιχούν σ' ένα αρχικό φωτόνιο. Η διάταξη, δηλαδή, λειτουργεί ως αισθητήρας ακτινοβολίας χαμηλής εντάσεως, ενισχύοντας σταδιακά, το

ασθενικό πρώτο ηλεκτρικό σήμα. Η ενίσχυση μπορεί να ξεπερνά τον παράγοντα 1010 (για κάθε φωτοηλεκτρόνιο).

## II. Κατηγορία αισθητήρων που βασίζονται στη φωτοαγωγιμότητα του υλικού

- Φωτοαντιστάσεις

Είναι ημιαγωγοί, ενδογενείς ή προσμείξεων, οι οποίοι εμφανίζουν έντονη φωτοαγωγιμότητα. Δηλαδή, η απορρόφηση φωτός στο ημιαγωγικό υλικό διεγείρει ηλεκτρόνια από τη ζώνη σθένους στη ζώνη αγωγιμότητας, αυξάνοντας την ηλεκτρική αγωγιμότητα του ημιαγωγού.

- Φωτοδίοδος ημιαγωγών

Είναι μια δίοδος επαφής ημιαγωγών, που όταν φωτίζεται στο εσωτερικό της παράγονται επιπλέον ζεύγη ηλεκτρονίου-οπής τα οποία διαχωριζόμενα από το πεδίο επαφής, 18 συμβάλλουν στη δημιουργία αυξημένου ηλεκτρικού ρεύματος, (στο κύκλωμα περιλαμβάνονται: η ηλεκτρική πηγή, η δίοδος και μια αντίσταση). Η επιφάνεια τους είναι συνήθως πολύ μικρή, της τάξης του mm<sup>2</sup>, ώστε να χαρακτηρίζονται από μικρή χωρητικότητα επαφής και άρα πολύ καλή χρονική απόκριση (Response time), της τάξης του 10 s.

Διακρίνονται σε διάφορους τύπους: σε φωτοδιόδους p-n, p-i-n, τύπου Schottky, χιονοστιβάδας και ετεροεπαφών. Για να λειτουργεί μια φωτοδίοδος, έτσι ώστε, το ρεύμα να είναι ανάλογο της ροής της ακτινοβολίας και ταυτόχρονα να χαρακτηρίζεται από μικρό χρόνο κίνησης φορέων (λειτουργία ταχείας απόκρισης), πολώνεται ανάστροφα. Αν δεν ενδιαφέρει η απαίτηση αυτή, η φωτοδίοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε λειτουργία φωτοβολταϊκού στοιχείου (Photovoltaic mode).

- Φωτοβολταϊκή κυψελίδα ή φωτοβολταϊκό στοιχείο

Εδώ επισημαίνουμε την διαφορετικότητα του με τη φωτοδίοδο. Αναφέρθηκε ότι η επιφάνεια της διόδου είναι πολύ μικρή. Αντίθετα, το ΦΒ στοιχείο χαρακτηρίζεται από όσο το δυνατόν μεγαλύτερη επιφάνεια και ο λόγος είναι ότι προορίζεται για πηγή ηλεκτρικής ενέργειας κι όχι για αισθητήρας.

➤ Φασματογράφος

Διάταξη με την οποία αναλύεται η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μιας πηγής (ηλεκτρομαγνητικό φάσμα). Η ανάλυση βασίζεται στη χρήση είτε πρίσματος είτε οπτικών φραγμάτων (ανάκλασης ή διέλευσης).

➤ Φασματοραδιόμετρο -Φασματοφωτόμετρο

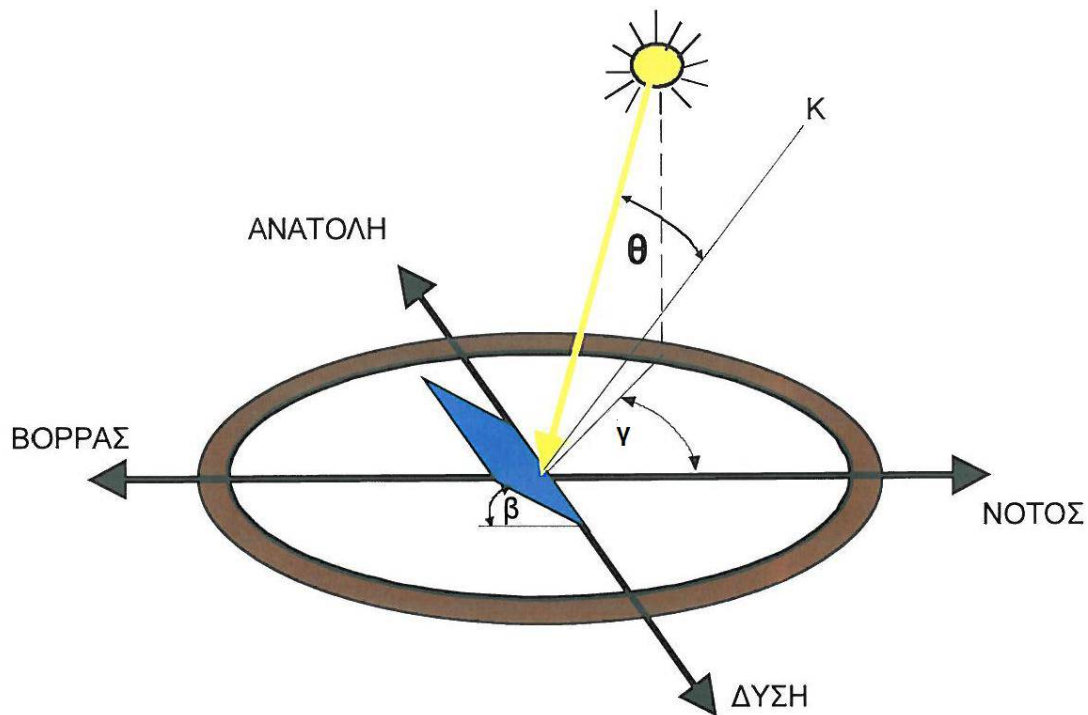
Είναι ένα φασματοσκόπιο εφοδιασμένο με μηχανισμούς κίνησης, ώστε το φάσμα να σαρώνεται σ' όλο το λειτουργικό εύρος μηκών κύματος και να καταγράφεται σε ηλεκτρονική «μνήμη». Ο χρόνος καταγραφής του ηλιακού φάσματος είναι 1-2 min. Στο σημείο εισόδου το φασματογράφου τοποθετείται μια «σφαίρα ολοκλήρωσης», προκειμένου η προσπίπτουσα ακτινοβολία να καταγράφεται ανεξάρτητα από τη γωνία πρόσπτωσης.

## 2.6 ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΛΙΣΗ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ

Για να είναι εφικτή η μεγιστοποίηση της ενεργειακής παραγωγικότητας των συλλεκτών, θα πρέπει να επιτυγχάνεται βέλτιστη εκμετάλλευση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Συγκεκριμένα, εφόσον η πορεία του ήλιου αλλάζει τόσο με την ώρα της ημέρας όσο και με τη μέρα του έτους, εύλογα αντιλαμβάνεται κανείς πως για να απορροφήσει τη μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία θα πρέπει να είναι σε θέση να περιστρέφεται ώστε να μπορεί να ακολουθεί την τροχιά του ήλιου και να είναι συνεχώς κάθετο στην κατεύθυνση της ακτινοβολίας. Στην πλειονότητα των ηλιοθερμικών συστημάτων επιλέγεται σταθερός προσανατολισμός των ηλιακών συλλεκτών, ώστε να επιτυγχάνεται μέση ετήσια γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας όσο το δυνατό πιο κοντά στις 90°. Η επίτευξη αυτού του στόχου έγκειται στην σωστή επιλογή της κλίσης και της αζιμούθιας γωνίας του συλλέκτη. 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. Η κλίση του συλλέκτη ( $\beta$ ) είναι η διεδρη γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στο επίπεδο του συλλέκτη και στον οριζόντιο και μπορεί να πάρει τιμές από 0° μέχρι 18°. Για γωνίες  $\beta > 90^\circ$  το επίπεδο του συλλέκτη είναι στραμμένο προς τα κάτω (**Σχήμα 2.9**).

Η αζιμούθια γωνία του συλλέκτη ( $\gamma$ ) 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°. Η γωνία - 180° (που συμπίπτει με την +180°) αντιστοιχεί σε τοποθέτηση του συλλέκτη προς το βορρά, η γωνία -90° προς την ανατολή, η γωνία 0° προς το νότο και η γωνία +90° προς τη δύση. Προφανώς, η

πυκνότερη ισχύς μιας δέσμης ηλιακής ακτινοβολίας, πάνω σε ένα επίπεδο συλλέκτη θα πραγματοποιείται όταν η επιφάνεια του είναι κάθετη προς τη κατεύθυνση της ακτινοβολίας, δηλαδή όταν η γωνία πρόσπτωσης ( $\theta$ ) είναι  $0^\circ$ . Η συνθήκη όμως αυτή δεν είναι εύκολο να εξασφαλιστεί καθώς ο ήλιος συνεχώς μετακινείται στον ουρανό κατά τη διάρκεια της ημέρας. Έχουν κατασκευαστεί μηχανικές διατάξεις που επαναπροσανατολίζουν συνεχώς τον συλλέκτη (π.χ. με τη βοήθεια υπολογιστή ή φωτοκότταρων) ώστε η επιφάνεια του να αντικρίζει πάντα κάθετα τον ήλιο. Οι διατάξεις όμως αυτές είναι πολύπλοκες και δαπανηρές. Έτσι, η χρήση τους δικαιολογείται μόνον σε περιπτώσεις εφαρμογών όπως στα συστήματα συγκεντρωμένης ακτινοβολίας με φακούς ή κάτοπτρα.



**Σχήμα 2.9 Η κλίση του συλλέκτη ( $\beta$ ), το αζιμούθιο του συλλέκτη ( $\gamma$ ) και η γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτινών στο συλλέκτη ( $\theta$ ).**

Η κλίση του συλλέκτη ( $\beta$ ), το αζιμούθιο του συλλέκτη ( $\gamma$ ) και η γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτινών στο συλλέκτη ( $\theta$ ). 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.

Η γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας συνδέεται με τις άλλες γωνίες της ηλιακής γεωμετρίας, που αναφέρθηκαν παραπάνω, με τη σχέση :

$$\cos\theta = \sin\delta \sin\varphi \cos\beta - \sin\delta \cos\varphi \sin\beta \cos\gamma + \cos\delta \cos\varphi \cos\beta \cos\omega + \cos\delta \sin\varphi \sin\beta \cos\gamma \cos\omega + \cos\delta \sin\beta \sin\omega \sin\gamma$$

Οι επίπεδοι συλλέκτες χρησιμοποιούν την άμεση και τη διάχυτη ακτινοβολία και συνήθως τοποθετούνται υπό σταθερή κλίση και προσανατολισμό κατά τη διάρκεια του έτους. Η επιλογή του ευνοϊκού προσανατολισμού και της κλίσης του συλλέκτη είναι το σημαντικότερο μέτρο για τη βελτίωση του ηλιακού κέρδους. Η θέση του συλλέκτη (προσανατολισμός και κλίση) επηρεάζει την απόδοσή του κατά δύο τρόπους. Πρώτα επηρεάζει σημαντικά το ποσό της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει στην επιφάνεια του συλλέκτη. Ακόμα η θέση του συλλέκτη επηρεάζει τον συντελεστή διάβασης των διαφανών καλυμμάτων και το συντελεστή απορρόφησης του απορροφητήρα, αφού οι δύο συντελεστές είναι συναρτήσεις της γωνίας, που η ακτινοβολία προσπίπτει στην επιφάνεια του συλλέκτη. Γενικά η μεγαλύτερη ποσότητα της ηλιακής ενέργειας, λαμβάνεται σε μία Νότια προσανατολισμένη κλίση. Εάν η επιφάνεια του συλλέκτη δεν αντικρίζει ακριβώς το νότο, το ποσό της ωφέλιμης ενέργειας, μειώνεται ελαφρά σε μία γωνία 30° ανατολικά, δυτικά ή νότια. Η κλίση για συστήματα που λειτουργούν όλο το χρόνο είναι 45° ενώ αντίθετα για συστήματα που λειτουργούν καλοκαιρινούς μήνες π.χ. ξενοδοχεία η κλίση λαμβάνεται μικρότερη περίπου 25°. Έτσι είναι δυνατόν να αξιολογηθεί ορθά η εγκατάσταση ηλιακών συστημάτων (π.χ. ηλιακοί συλλέκτες) ώστε να βελτιστοποιηθεί η απόδοσή τους. Τέλος, η τοποθέτηση τους είναι πολύ σημαντική και συμβάλλει στην μεγιστοποίηση της απόδοσης του συλλέκτη. Οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες τοποθετούνται στο έδαφος, σε οριζόντιες στέγες (ταράτσες), σε κεκλιμένες στέγες, σε στέγαστρα και σε προσόψεις κτιρίων (Εικόνα 2.10).



Στο έδαφος



Σε οριζόντια στέγη





Σε κεκλιμένη στέγη

Εικόνα 2.10. Εγκαταστάσεις επίπεδων ηλιακών συλλεκτών

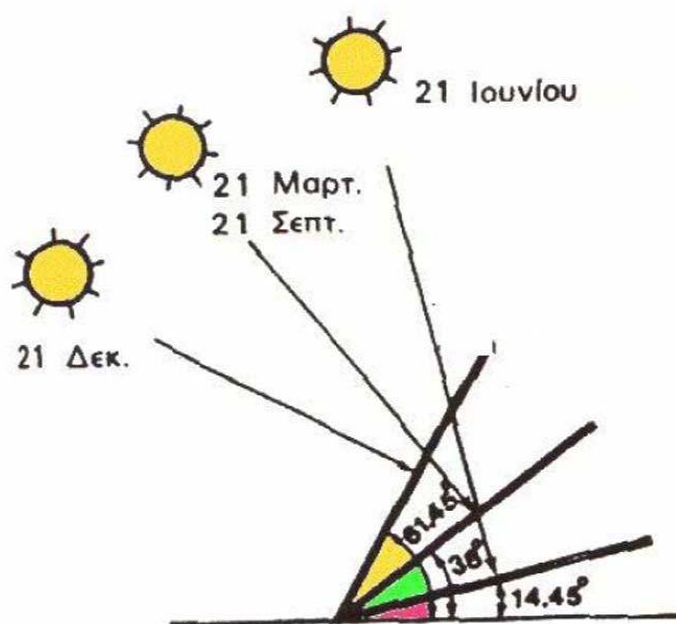
## 2.7 ΠΡΑΚΤΙΚΟΙ ΚΑΝΟΝΕΣ ΓΙΑ ΤΗ ΣΥΛΛΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Στο βόρειο ημισφαίριο, η βέλτιστη κλίση του συλλέκτη, για τη διάρκεια του έτους, είναι ίση με τον γεωγραφικό παράλληλο του τόπου, και η αζιμούθια γωνία είναι  $0^\circ$  (προς το νότο). Λόγων όμως 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  $10^\circ$  ως  $15^\circ$  μικρότερη από την παράλληλο του τόπου, ενώ για τον χειμώνα η κλίση επιλέγεται περίπου  $10^\circ$  ως  $15^\circ$  μεγαλύτερη από την παράλληλο του τόπου. Στο Σχήμα 2.11 δίνεται ένα παράδειγμα της βέλτιστης κλίσης για τον ηλιακό συλλέκτη στις χαρακτηριστικές ημερομηνίες του έτους.

Συνοψίζοντας: η βέλτιστη γωνία κλίσης ( $\beta$ ) θα πρέπει να είναι περίπου ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου ( $\varphi$ ). Κατά την διάρκεια της θερινής περιόδου: η βέλτιστη γωνία κλίσης ( $\beta$ ) πρέπει να είναι περίπου  $10^\circ$ - $15^\circ$  μικρότερη από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου ( $\varphi$ ). Κατά την διάρκεια της χειμερινής περιόδου: η βέλτιστη γωνία κλίσης ( $\beta$ ) πρέπει να είναι περίπου  $10^\circ$ - $15^\circ$  μεγαλύτερη από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου ( $\varphi$ ). Αν στο έδαφος υπάρχει επιφάνεια με μεγάλο συντελεστή ανάκλασης (π.χ. χιόνι) απαιτείται μεγαλύτερη κλίση. Ο βέλτιστος προσανατολισμός (αζιμούθιο  $A$ ) είναι νότιος ( $A=0$ ), ενώ απόκλιση κατά  $20^\circ$ - $30^\circ$  από νότο έχει μικρή επίδραση στην ετήσια

συλλεγόμενη ενέργεια. Η βέλτιστη κλίση ενός ηλιακού συλλέκτη στις χαρακτηριστικές μέρες του έτους, στη Κρήτη είναι με γεωγραφικό πλάτος  $35,5^\circ$ . Τα ύψη του ηλίου αφορούν τα αντίστοιχα ηλιακά μεσημέρια.

Τα παραπάνω ισχύουν για τη συλλογή της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας που έρχεται σαν δέσμη από τον ήλιο. Για τις άλλες, από ενεργειακή άποψη λιγότερο σημαντικές, μορφές της ηλιακής ακτινοβολίας, ο κυριότερος παράγοντας είναι η απόλυτη τιμή της κλίσης του συλλέκτη, ανεξάρτητα από τη θέση του ήλιου. Έτσι, όσο η κλίση απέχει περισσότερο από το οριζόντιο, τόσο μεγαλύτερο ποσό ανακλώμενης ακτινοβολίας από το έδαφος δέχεται ο συλλέκτης, αλλά και τόσο μικρότερο ποσό διάχυτης ακτινοβολίας από τον ουρανό.



Σχήμα 2.11. Η βέλτιστη κλίση ενός ηλιακού συλλέκτη

Για παράδειγμα, σε περιοχές με υγρό κλίμα, όπου λόγω των σταγονιδίων του νερού στην ατμόσφαιρα, ένα μεγάλο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας διαχέεται στον ουρανό, η βέλτιστη κλίση του ηλιακού συλλέκτη για τη διάρκεια ολόκληρου του έτους είναι περίπου 10 - 15% μικρότερη από τη γωνία του τοπικού γεωγραφικού πλάτους. Έτσι, ο συλλέκτης αντικρίζει περισσότερο τον ουρανό και δέχεται αφθονότερα τη διάχυτη ακτινοβολία.

Η ποσότητα της ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το υλικό που καλύπτει την επιφάνεια που δέχεται την ακτινοβολία. Η ικανότητα της ανάκλασης εκφράζεται από ένα συντελεστή που κυμαίνεται από 0, για πλήρη απορρόφηση της ακτινοβολίας, μέχρι 1, για πλήρη ανάκλαση.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>

### ΗΛΙΑΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ

#### *3.1 ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΗΛΙΟΘΕΡΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ*

Στη παρούσα εργασία θα πραγματοποιηθεί ανάλυση μόνο των ενεργητικών ηλιακών συστημάτων. Στα ενεργητικά ηλιακά συστήματα, η μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε θερμότητα επιτυγχάνεται μέσω των ηλιακών συστημάτων τα οποία χρησιμοποιούν συλλέκτες και δεξαμενές αποθήκευσης ως χωριστά υποσυστήματα, ενώ η μεταφορά της ενέργειας μέσω ενός θερμινόμενου ρευστού (π.χ. νερό, αέρας) πραγματοποιείται είτε με φυσική ροή είτε μέσω εξαναγκασμένης ροής (κυκλοφορητή).

Το τελευταία χρόνια, παρατηρείται μία αυξημένη ζήτηση στα πιο υψηλής τεχνολογίας φωτοβολταϊκά συστήματα παρόλο που σαν σύστημα μετατροπής ηλιακής ενέργειας τα θερμικά ηλιακά συστήματα έχουν μεγαλύτερη απόδοση που φτάνει μέχρι και τρεις φορές πάνω από τη φωτοβολταϊκή τεχνολογία. Η σύγκριση, φυσικά, μεταξύ των δύο συστημάτων είναι λανθασμένη διότι οι τεχνολογίες στις οποίες στηρίζονται είναι διαφορετικές όπως και οι τρόποι απόσβεσης αν θεωρήσουμε πως γίνεται αναφορά σε δύο επενδύσεις.

Η επένδυση σε ένα θερμικό ηλιακό σύστημα για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης είναι οικονομικά αποδοτική για κάθε καταναλωτή. Η αξιόπιστη τεχνολογία στην οποία στηρίζεται προσφέρει μακροπρόθεσμη απόδοση με χαμηλή συντήρηση και σχετικά γρήγορη απόσβεση των χρημάτων της απόδοσης.

Ανάλογα με το σύστημα επιλογής, ένα ηλιακό σύστημα είναι ικανό να προσφέρει το σύνολο ή τουλάχιστον ένα σημαντικό μέρος της αναγκαίας ποσότητας σε ζεστό νερό χρήσης για μία μεγάλη περίοδο του έτους. Για να υπάρξει μέγιστη απόδοση, είναι σημαντικό να δοθεί μεγάλη προσοχή στη διαστασιολόγηση και σχεδίαση ενός τέτοιου συστήματος, λαμβάνοντας υπόψη το κλίμα της περιοχής και τις ανάγκες των καταναλωτών.

Οι ηλιακοί συλλέκτες λοιπόν είναι «συσκευές» που μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε χρήσιμη θερμική. Έτσι, η ενέργεια μεταφέρεται από μία μακρινή ακτινοβολούσα πηγή (ήλιος) σε ένα ρευστό για την άμεση εκμετάλλευσή της. Υπάρχουν διάφοροι τύποι ηλιακών συλλεκτών, με πιο διαδεδομένους τους επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες (**Σχήμα 3.1.α** και **β**).



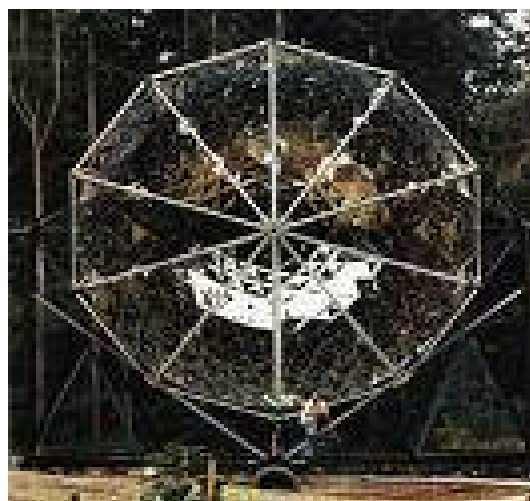
Σχήμα α και β επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες

Οι επίπεδοι συλλέκτες χρησιμοποιούνται ευρύτατα διότι δεν παρουσιάζουν δυσκολίες στην κατασκευή τους και είναι σχετικά χαμηλού κόστους.

Άλλα ευρέως διαδεδομένα συστήματα εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας είναι οι συγκεντρωτικοί ηλιακοί συλλέκτες (Σχ.3.2.α και β).



Σχ.3.2.α



Σχ.3.2.β

και οι ηλιακοί συλλέκτες κενού(Σχ.3.3.α και β).



Σχ.3.3.α



Σχ.3.3.β

### 3.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

Ένα τυπικό σύστημα παραγωγής ζεστού νερού αποτελείται από τους ηλιακούς συλλέκτες, μία δεξαμενή αποθήκευσης του ζεστού νερού, τις απαραίτητες σωληνώσεις και το σύστημα ελέγχου. Η ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται από το συλλέκτη και η συλλεγόμενη θερμότητα αντλείται, με φυσικό ή τεχνητό τρόπο στη δεξαμενή.

Το παραγόμενο ζεστό νερό χρήσης από θερμικά ηλιακά συστήματα αποθηκεύεται σε ειδικές δεξαμενές προκειμένου στη συνέχεια να καταναλωθεί σε διάφορα σημεία (ντους, κουζίνες, πλυντήρια κλπ.) του κτιρίου στο οποίο βρίσκεται η εγκατάσταση.

Τα θερμικά ηλιακά συστήματα ποικίλουν από τα χαμηλού κόστους, συμβατικά θερμοσιφωνικά (χωρίς παρεκκόμενο μηχανολογικό εξοπλισμό) έως τα πιο αποτελεσματικά, περίπλοκα και δαπανηρά κεντρικά ηλιακά συστήματα όπου χρησιμοποιούνται αντλίες, εναλλάκτες θερμότητας, αισθητήρες και συστήματα ελέγχου.

### 3.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Η χρήση των θερμικών ηλιακών συστημάτων ποικίλει ανάλογα την εφαρμογή για την οποία προορίζονται, την τεχνολογία που χρησιμοποιείται, το μέγεθός τους, τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής και άλλα. Για το σκοπό αυτό μπορούν να χρησιμοποιηθούν διαφορετικού τύπου θερμικά ηλιακά συστήματα. Η ποικιλία που παρουσιάζεται στις διατάξεις των συστημάτων αυτών οφείλεται κυρίως στους διαφορετικούς τρόπους με τους οποίους επιτυγχάνεται η κυκλοφορία του ζεστού νερού και στους τρόπους με τους οποίους προστατεύονται τα συστήματα αυτά.

Ανάλογα με τη λειτουργία των θερμικών ηλιακών συστημάτων διακρίνονται σε ενεργητικά (συστήματα φυσικής κυκλοφορίας) και παθητικά (συστήματα εξαναγκασμένης κυκλοφορίας). Ένα ενεργητικό σύστημα χρησιμοποιεί αντλία για την κυκλοφορία του υγρού μεταφοράς θερμότητας ενώ ένα παθητικό όχι. Γενικά με βάση τα παραπάνω κριτήρια τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα διακρίνονται :

- σε συστήματα ανοιχτού βρόχου ή άμεσα, στα οποία το σύστημα κυκλοφορεί το νερό του δικτύου στο συλλέκτη (δεν ενδείκνυται για κλίματα χαμηλών θερμοκρασιών) και
- σε συστήματα κλειστού βρόχου ή έμμεσα, όπου το σύστημα χρησιμοποιεί ένα υγρό ως μέσο μεταφοράς θερμότητας που κυκλοφορεί σε κλειστό κύκλωμα στο σύστημα.

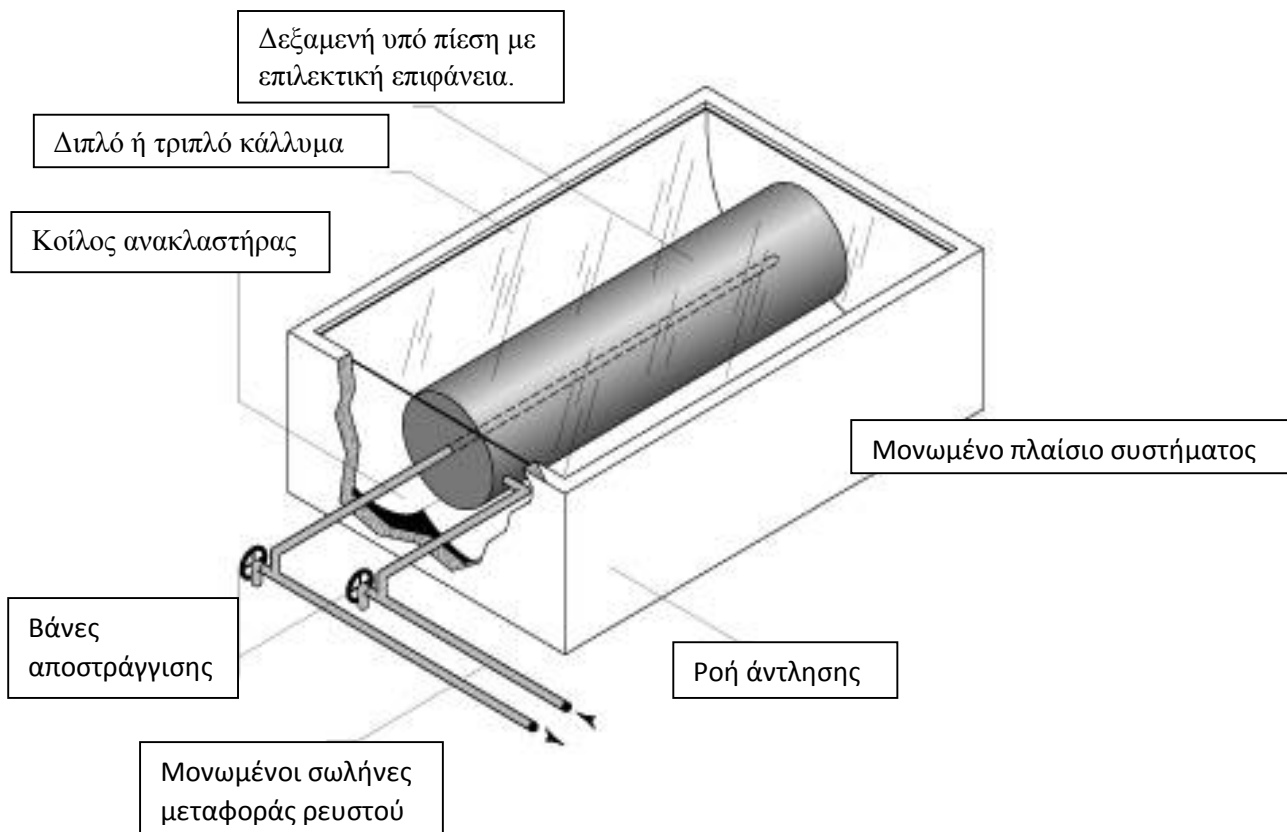
#### 3.3.1 Συστήματα φυσικής κυκλοφορίας

Τα συστήματα φυσικής κυκλοφορίας χωρίζονται σε δύο ομάδες :

- τους συμπαγείς θερμαντήρες νερού (solar batch heaters) και
- τα θερμοσιφωνικά συστήματα.

### 3.3.1.1 Συμπαγείς θερμαντήρες νερού

Οι συμπαγείς θερμαντήρες νερού ή τα ολοκληρωμένα συστήματα συλλέκτη αποθήκευσης (integrated collector storage – ICS) (Σχήμα 3.4). Τοποθετούνται σε ένα μονωμένο περίβλημα με τη διαφανή πλευρά προς τον ήλιο (νότιος προσανατολισμός). Ο συλλέκτης και το δοχείο συνδυάζονται σε μία μονάδα. Μία δεξαμενή νερού που εσωκλείεται σε ένα μονωμένο κουτί που καλύπτεται με γυαλί, τοποθετείται κάτω από τον ήλιο με νότιο προσανατολισμό. Το κρύο νερό διοχετεύεται στο κάτω μέρος της δεξαμενής. Ζεστό νερό λαμβάνεται από την κορυφή. Όποτε υπάρχει κατανάλωση ζεστού νερού, η πίεση του νερού από το σπίτι κινεί ζεστό νερό από την κορυφή του ηλιακού συλλέκτη αφού κρύο νερό ωθείται στο κάτω μέρος.



Σχήμα 3.4. Τομή συμπαγούς συλλέκτη με ενσωματωμένη δεξαμενή νερού



### 3.3.1.2 Θερμοσιφωνικό σύστημα

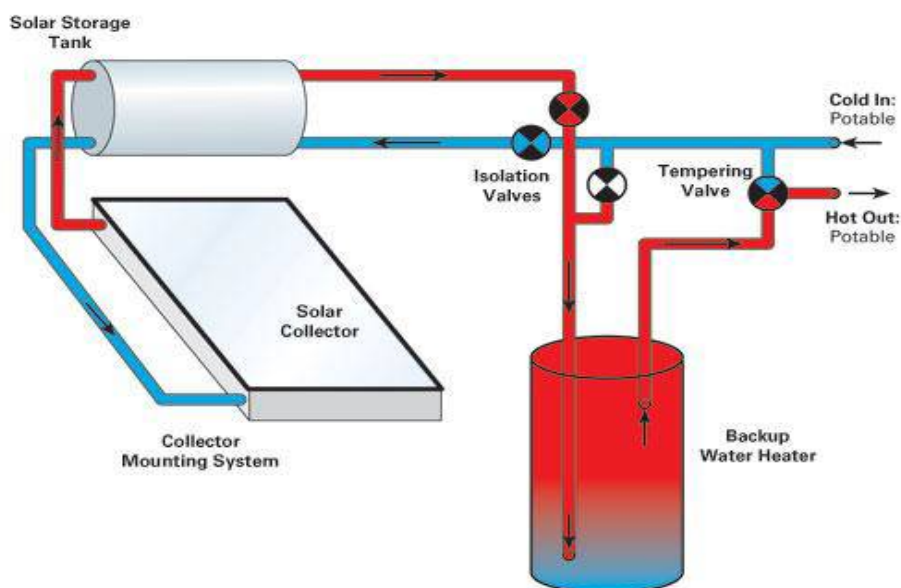
Ένα άλλο, πιο απλό και πιο σύνηθες στο καταναλωτικό κοινό, ηλιακό σύστημα θέρμανσης νερού, είναι ο ηλιακός θερμοσίφωνας.

Τα θερμοσιφωνικά συστήματα (Σχήμα 3.5) αποτελούνται από ένα ή δύο συλλέκτες και μία δεξαμενή αποθήκευσης, η οποία τοποθετείται ακριβώς πάνω από τους συλλέκτες. Καθώς το νερό θερμαίνεται στον ηλιακό συλλέκτη γίνεται ελαφρύτερο και ανέρχεται με φυσικό τρόπο προς τη δεξαμενή αποθήκευσης ενώ το ψυχρότερο νερό της δεξαμενής ρέει μέσω των σωληνώσεων προς το κατώτερο σημείο του συλλέκτη δημιουργώντας κυκλοφορία σε όλο το σύστημα.

Σε ψυχρότερα κλίματα χρησιμοποιούνται αντιψυκτικά υγρά διαλύματα, όπως η προπυλενογλυκόλη σε κλειστό κύκλωμα και σωληνώσεις ανθεκτικές στον παγετό κατασκευασμένες συνήθως από υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο σταυροειδών δεσμών.

Το σημείο στο οποίο υπερτερεί το θερμοσιφωνικό σύστημα εν συγκρίσει με το σύστημα του συμπαγούς θερμαντήρα νερού είναι ότι η θερμότητα αποθηκεύεται σε μία καλά μονωμένη δεξαμενή που εξασφαλίζει μειωμένες απώλειες κατά τη διάρκεια

της νύχτας με αποτέλεσμα την κάλυψη σε ζεστό νερό, όποτε αυτό ζητηθεί, μέχρι την επόμενη ηλιόλουστη ημέρα.



Σχήμα 3.5 Θερμοσιφωνικό σύστημα

### 3.3.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΒΕΒΙΑΣΜΕΝΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ

Τα συστήματα βεβιασμένης κυκλοφορίας χρησιμοποιούν ηλεκτρικές αντλίες, βαλβίδες και συστήματα ελέγχου για την εξασφάλιση της κυκλοφορίας του νερού ή των άλλων ρευστών μεταφοράς της θερμότητας μέσα στους συλλέκτες. Τα συστήματα αυτά διακρίνονται σε δύο τύπους :

- α) συστήματα ανοιχτού βρόγχου
- β) συστήματα κλειστού βρόγχου

Η διαφορά των δύο τύπων έγκειται στην αρχή λειτουργίας τους, όπου τα συστήματα ανοιχτού βρόγχου χρησιμοποιούν αντλίες για την κυκλοφορία του νερού του δικτύου στους συλλέκτες εν αντιθέσει με του κλειστού τα οποία αντλούν το ρευστό μεταφοράς θερμότητας συνήθως από ένα μίγμα γλυκόλης και νερού μέσα στους συλλέκτες. Η θερμότητα στη δεύτερη περίπτωση μεταφέρεται μέσω εναλλακτών θερμότητας από το ρευστό στο νερό που αποθηκεύεται στις δεξαμενές αποθήκευσης.

#### 3.3.2.1 Συστήματα ανοιχτού βρόγχου

Τα συστήματα ανοιχτού βρόγχου (open - loop direct systems) χρησιμοποιούνται σε θερμά κλίματα κυρίως όπου η πιθανότητα παγετού εξαλείφεται. Συνήθως το σύστημα περιλαμβάνει μία δεξαμενή με ηλεκτρικό θερμαντή (ηλεκτρικό στοιχείο) περίπου 200 λίτρων και ένα συλλέκτη περίπου 3,5 - 3,7 m<sup>2</sup>. Η δεξαμενή αποθήκευσης χρησιμοποιείται στην πλειονότητα των περιπτώσεων για αποθήκευση προθερμασμένου νερού (το ηλεκτρικό στοιχείο δεν είναι ενεργό συνήθως) που τροφοδοτεί έναν υπάρχοντα βοηθητικό (backup) θερμαντή νερού.

Στην κορυφή του ηλιακού συλλέκτη υπάρχει αυτόματο ή χειροκίνητο εξάρτημα εξαερισμού για την απομάκρυνση του αέρα. Η αντλία είναι ένας μικρός κυκλοφορητής που δεν καταναλώνει παραπάνω από 10 W και μπορεί να τροφοδοτείται από ένα μικρό φωτοβολταϊκό στοιχείο 10 W ή από μία αντλία εναλλασσόμενου ρεύματος που ελέγχεται από θερμοστάτη. Σε κάποιες περιπτώσεις προτείνεται η εγκατάσταση αισθητήρα θερμότητας που διακόπτει την παροχή σε δεδομένη θερμοκρασία και που ελέγχει τη θερμοκρασία στην οποία θα φτάσει η ηλιακή δεξαμενή νερού. Οι κοινοί αισθητήρες για τις εφαρμογές αυτές, παίρνουν τιμές θερμοκρασιών που κυμαίνονται μεταξύ 71 °C και 82 °C.

### **3.3.2.2 Συστήματα κλειστού βρόγχου-Αντιψυκτικό σύστημα**

Τα συστήματα κλειστού βρόγχου (closed loop) χρησιμοποιούνται σε κλίματα όπου εμφανίζονται χαμηλές θερμοκρασίες. Το εισερχόμενο νερό δικτύου κατευθύνεται στην δεξαμενή αποθήκευσης αλλά ποτέ στους συλλέκτες. Ένα μίγμα αντιψυκτικού υγρού (γλυκόλη) και νερού κυκλοφορεί από τους συλλέκτες σε σπειροειδή σωλήνωση στην δεξαμενή αποθήκευσης και στη συνέχεια αντλείται πίσω στους συλλέκτες. Στα περισσότερα κλίματα ένα μίγμα 50/50 προπιλεγλυκόλης και νερού προστατεύει το συλλέκτη από την ψύξη. Το νερό του δικτύου θερμαίνεται μέσω της επαφής με τη σπειροειδή σωλήνωση του ζεστού νερού που έρχεται από το συλλέκτη μέσα στη δεξαμενή. Αυτά τα συστήματα απαιτούν την ύπαρξη δοχείου διαστολής και κάποια άλλα βοηθητικά στοιχεία για το γέμισμα, την εξαέρωση και τη συντήρηση του συστήματος. Ένα αδιαμφισβήτητο πλεονέκτημα του αντιψυκτικού συστήματος είναι ότι οι συλλέκτες μπορεί να τοποθετηθούν οπουδήποτε. Τα συστήματα αυτά είναι σχεδόν η μόνη λύση σε πολύ ψυχρά κλίματα.

## **3.4 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ-ΕΠΙΠΕΔΟΙ ΗΛΙΑΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ**

### **3.4.1 ΓΕΝΙΚΑ**

Η πλέον διαδεδομένη συσκευή εκμετάλλευσης της ηλιακής ακτινοβολίας είναι ο επίπεδος ηλιακός συλλέκτης. Οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες χρησιμοποιούνται κυρίως για θέρμανση νερού χρήσεως σε μικρής αλλά και μεγάλης κλίμακας συστήματα. Στην ουσία είναι ένας εναλλάκτης θερμότητας ο οποίος μετατρέπει την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε θερμότητα. Η ροή της ακτινοβολίας στο επίπεδο της γης έχει συνήθως ένα μέγιστο της τάξεως του  $1100 \text{ W/m}^2$  και ευρίσκεται, όπως έχουμε δει στο μήκος κύματος μεταξύ  $0.29$  και  $2.5 \mu\text{m}$ . Η θερμοκρασία εξόδου του ρευστού από έναν επίπεδο ηλιακό συλλέκτη είναι της τάξεως μέχρι  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  (οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες

φθάνουν σε υψηλότερες θερμοκρασίες). Ο επίπεδος ηλιακός συλλέκτης εκμεταλλεύεται την άμεση, την διάχυτη και την ανακλώμενη από το έδαφος ηλιακή ακτινοβολία και χρειάζεται δε μικρή μόνο συντήρηση.

### 3.4.2 Βασικές αρχές - Συντελεστής διαπερατότητας

Η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στο συλλέκτη απορροφάται από την απορροφητική πλάκα, μεταφέρεται μέσω κάποιου ρευστού που κυκλοφορεί μέσα στους σωλήνες και αποθηκεύεται σε μία δεξαμενή υπό μορφή αισθητής ή λανθάνουσας θερμότητας. Η θερμότητα που μεταφέρεται στο ρευστό, είναι το ωφέλιμο ενεργειακό κέρδος, ενώ το υπόλοιπο ποσό ενέργειας χάνεται στο περιβάλλον με τις διαδικασίες της αγωγής, μεταφοράς και ακτινοβολίας, ως θερμικές απώλειες.

Η δέσμευση της ακτινοβολίας από τον απορροφητή έχει ως συνέπεια την αύξηση της θερμοκρασίας του και σύμφωνα με το νόμο των Stefan - Boltzmann, την εκπομπή (emission) ακτινοβολίας στο υπέρυθρο,  $Q = \epsilon \sigma A T^4$ . Μόνο όμως ένα μικρό κλάσμα της εκπεμπόμενης από τη μαύρη επιφάνεια ακτινοβολίας διαφεύγει στο περιβάλλον, καθώς αυτή η μορφή ακτινοβολίας (μεγάλου μήκους κύματος) δε μπορεί να διαπεράσει το γυάλινο κάλυμμα του συλλέκτη λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου ( $\Rightarrow$  μείωση απωλειών ακτινοβολίας).

Φαινόμενο του θερμοκηπίου ονομάζεται το φαινόμενο κατά το οποίο η διάβαση της ακτινοβολίας κατά τη μια φορά είναι υψηλή, ενώ κατά την αντίστροφη φορά ελαττώνεται κατά πολύ, επιτρέποντας τον εγκλωβισμό της ακτινοβολίας-θερμότητας στο σύστημα(ηλιακό συλλέκτη).

Επίσης, το ίδιο αυτό κάλυμμα στην εμπρόσθια επιφάνεια του απορροφητή παρέχει προστασία έναντι των καιρικών συνθηκών (αέρας, βροχή, χιόνι κ.τ.λ.), μειώνοντας έτσι τις απώλειες με μεταφορά. Το μονωτικό υλικό στην οπίσθια και τις παράπλευρες επιφάνειες του απορροφητή μειώνει τις θερμικές απώλειες με αγωγή.

Κρίσιμες παράμετροι για την ανάπτυξη του φαινομένου του θερμοκηπίου στους

επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες:

- Διαπερατότητα γυάλινης επιφάνειας στην ηλιακή ακτινοβολία  $\rightarrow$  max.
- Απορροφητικότητα της πλάκας στην ηλιακή ακτινοβολία  $\rightarrow$  max.
- Συντελεστής εκπομπής της πλάκας για μεγάλα μήκη κύματος  $\rightarrow$  min.

- Διαπερατότητα γυάλινης επιφάνειας για μεγάλα μήκη κύματος  $\rightarrow \min$ .

Όταν οποιοδήποτε υλικό εκτεθεί σε ηλιακό φως ή σε φως άλλης πηγής, ένα μέρος του φωτός ανακλάται, ένα μέρος του απορροφάται, και τέλος ένα μέρος του μπορεί να περάσει μέσα από το υλικό, εφόσον αυτό είναι διαφανές. Ισχύει:

$$\tau + \rho + \alpha = 1$$

όπου  $\tau$  είναι ο συντελεστής διαπερατότητας,  $\rho$  ο συντελεστής ανακλαστικότητας και  $\alpha$  ο συντελεστής απορρόφησης.

Φωτοαπορροφητική επιφάνεια καλείται η επιφάνεια που απορροφά το μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας που πέρασε από τη διαφανή επιφάνεια. Δεδομένου ότι η επιφάνεια αυτή είναι αδιαφανής, δηλαδή  $\tau=0$ , ισχύει:

$$\rho + \alpha = 1$$

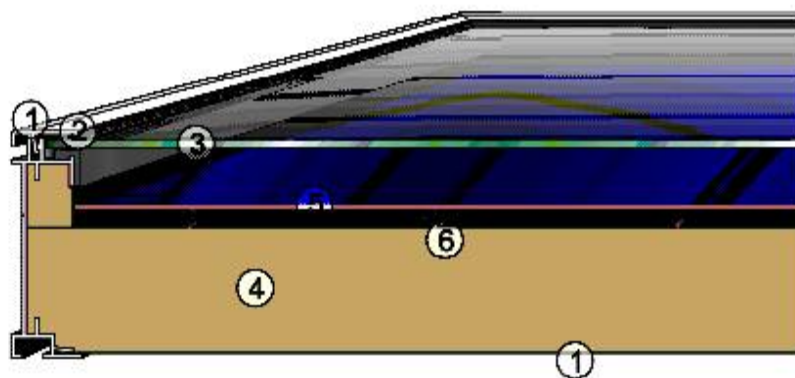
Ταυτόχρονα, επειδή η απορροφητική επιφάνεια βρίσκεται σε μια θερμοκρασία της τάξης των 200°C, εκπέμπει με συντελεστή εκπομπής  $\epsilon$  ένα μέρος της ακτινοβολίας που απορροφά υπό μορφή θερμικών ακτινοβολιών. Οι ακτινοβολίες αυτές για μια απορροφητική πλάκα σε επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες που βρίσκεται σε θερμοκρασία 200°C, έχουν κατά 99% μήκη κύματος  $\lambda$  μεγαλύτερα των 3 $\mu\text{m}$ . Αντίθετα, η ηλιακή ακτινοβολία έχει μήκη κύματος  $\lambda$  μικρότερα των 3 $\mu\text{m}$  σε ποσοστό 98%. Είναι προφανές ότι αυτό που επιδιώκεται με την απορροφητική πλάκα είναι μεγάλη τιμή του συντελεστή απορρόφησης  $\alpha$  για τα μικρά μήκη κύματος, ενώ ταυτόχρονα μικρός συντελεστής εκπομπής  $\epsilon$  για τα μεγάλα μήκη κύματος.)

### 3.4.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΗΛΙΑΚΟΥ ΣΥΛΛΕΚΤΗ

Τα βασικά στοιχεία ενός επίπεδου ηλιακού συλλέκτη είναι όπως φαίνεται και στο **Σχήμα 3.6** :

- το κουτί: το οποίο συνήθως αποτελείται από γυαλί αλλά και από διαφανές πλαστικό ή μεταλλικό πλαίσιο, περιέχει όλα τα στοιχεία του συλλέκτη και χρησιμεύει για να προστατεύει από εξωτερικούς παράγοντες. Υπάρχουν σε διάφορους τύπους και υλικά.

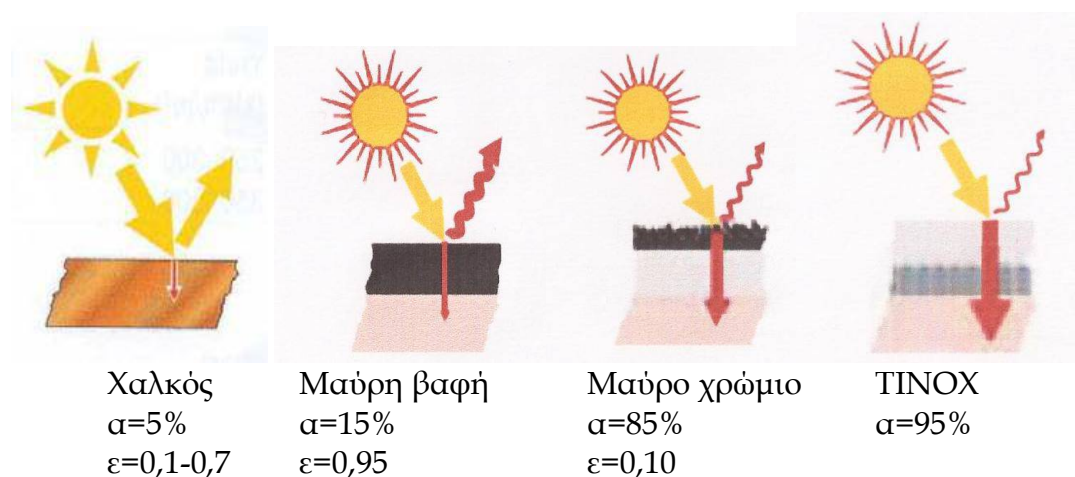
- η μόνωση στεγανοποίησης, η οποία αποτελείται από ελαστικό υλικό το οποίο χρησιμεύει στη στεγανότητα του συλλέκτη, εμποδίζοντας την εισροή του νερού σε περίπτωση βροχής, της υγρασίας και της σκόνης.
- η διάφανη επένδυση, η οποία τοποθετείται προς την πλευρά που είναι εκτεθειμένη στον ήλιο. Είναι υπεύθυνη για την εμφάνιση του «φαινομένου του θερμοκηπίου» της απορρόφησης, αποτελώντας βασικό στοιχείο για του ηλιακού συλλέκτη. Επιτρέπει να περάσει μεγάλο μέρος της επικείμενης ηλιακής ακτινοβολίας και εμποδίζει την έξοδο της υπέρυθρης ακτινοβολίας που παράγει το στρώμα απορρόφησης.
- η θερμομόνωση, η οποία τοποθετείται στο πίσω μέρος και τα πλάγια. Μόνωση πάχους μεγαλύτερου από 15cm για την πίσω πλευρά του συλλέκτη κρίνεται συνήθως ικανοποιητική.
- το στρώμα απορρόφησης, που είναι το μέρος του συλλέκτη στο οποίο συμβαίνει η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας στην εσωτερική ενέργεια του υγρού, το οποίο πρέπει να βρίσκεται στο εσωτερικό του απορροφητή. Προτιμάται ο χαλκός ή το αλουμίνιο γιατί είναι ο καλύτερος μεταφορέας θερμότητας (εκτός από τον άργυρο).
- το δίκτυο μεταφοράς του ρευστού (σωλήνες), που συνήθως είναι ενσωματωμένο με την μαύρη απορροφητική επιφάνεια και στην ουσία από εκεί περνά ο υγρός θερμομεταφορέας που μεταφέρει την ενέργεια που αποθηκεύεται στους συλλέκτες.



Σχήμα 3.6 Περιγραφή του επίπεδου ηλιακού συλλέκτη

Η διάφανη επένδυση θα πρέπει να έχει μεγάλο συντελεστή διαπερατότητας  $\tau$  (να περάσει δηλαδή το μεγαλύτερο δυνατό ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας) και μικρούς συντελεστές απορροφητικότητας  $\alpha$  και ανακλαστικότητας  $\rho$  (να απορροφά και να ανακλά το μικρότερο τμήμα της). Η διάφανη επένδυση είναι συνήθως από γυαλί πάχους 3-4 mm.

Το στρώμα απορρόφησης έχει δυνατότητα να απορροφάει ηλιακή ακτινοβολία με μήκη κύματος μικρότερα των 3 $\mu$ m σε ποσοστό 98% και προκαλεί αύξηση θερμοκρασίας του στους 200 °C περίπου. Ως συνέπεια αυτού, το στρώμα απορρόφησης εκπέμπει με ένα συντελεστή εκπομπής  $\varepsilon$  υπέρυθρη ακτινοβολία, η οποία έχει μήκη κύματος μεγαλύτερα των 3  $\mu$ m σε ποσοστό 99%. Αυτό που επιδιώκεται είναι ο μεγάλος συντελεστής απορροφητικότητας  $\alpha$  για τα μικρή μήκη κύματος και ο μικρός συντελεστής εκπομπής  $\varepsilon$  για τα μεγάλα μήκη κύματος. Η επιφάνεια που έχει τις παραπάνω ιδιότητες ονομάζεται επιλεκτική. Γενικά το στρώμα απορροφητή είναι κατασκευασμένο με επενδυμένο από βερνίκι μέταλλο ή από μία μαύρη ουσία υψηλού βαθμού απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας (Σχήμα 3.7).



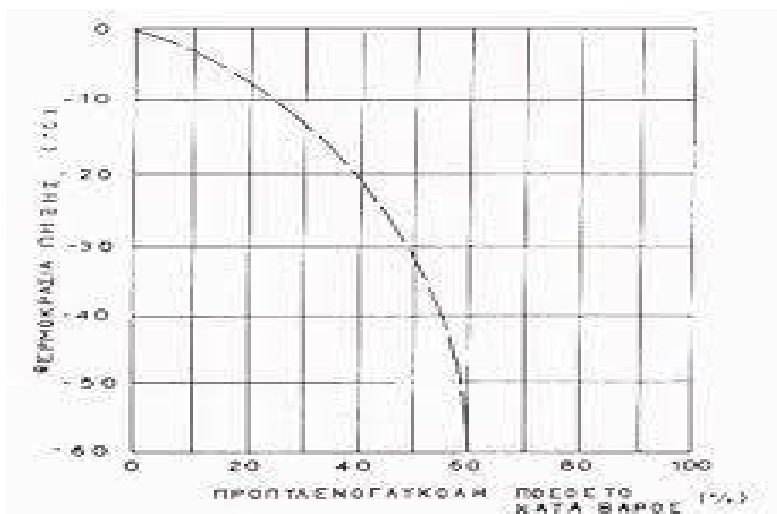
**Σχήμα 3.7 Απορροφητικότητα εκπομπή και χρήση θερμότητας επιλεκτικών επιφανειών**

Βασικό στοιχείο που συντελεί στην καλύτερη απόδοση του ηλιακού συλλέκτη είναι η καλή επαφή των σωλήνων με το στρώμα απορρόφησης, η οποία εξασφαλίζει τη βέλτιστη μετάδοση θερμότητας στο υγρό, το οποίο κυκλοφορεί

μέσα σε αυτούς. Η απόσταση μεταξύ των σωλήνων είναι συνήθως 100 - 120 mm. Το υγρό πρέπει να έχει τις εξής ιδιότητες :

- Υψηλή θερμοχωρητικότητα
- Υψηλή θερμική αγωγιμότητα
- Χαμηλό ιξώδες

Το νερό αποτελεί υγρό με τις παραπάνω ιδιότητες και για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται τις περισσότερες φορές ως μέσο μεταφοράς της θερμότητας. Λόγω των χημικών ιδιοτήτων του (παγώνει στους 0 °C και εξατμίζεται στους 100 °C) γίνεται προσθήκη προπυλενογλυκόλης σε ποσοστό 40% κατά βάρος, με αποτέλεσμα να μειώνεται το σημείο πήξης στους -23 °C και το σημείο βρασμού να αυξάνεται στους 150 °C (Σχήμα 4.8). Το αντιπηκτικό αυτό πρόσθετο μειώνει τη θερμοχωρητικότητα και τη θερμική αγωγιμότητα, αυξάνει το ιξώδες και κάνει το νερό πιο διαβρωτικό επομένως είναι απαραίτητη η προσθήκη ουσιών που προστατεύουν τους σωλήνες από τη διάβρωση.



Σχήμα 3.8. Μεταβολή σημείου πήξης προπυλενογλυκόλης

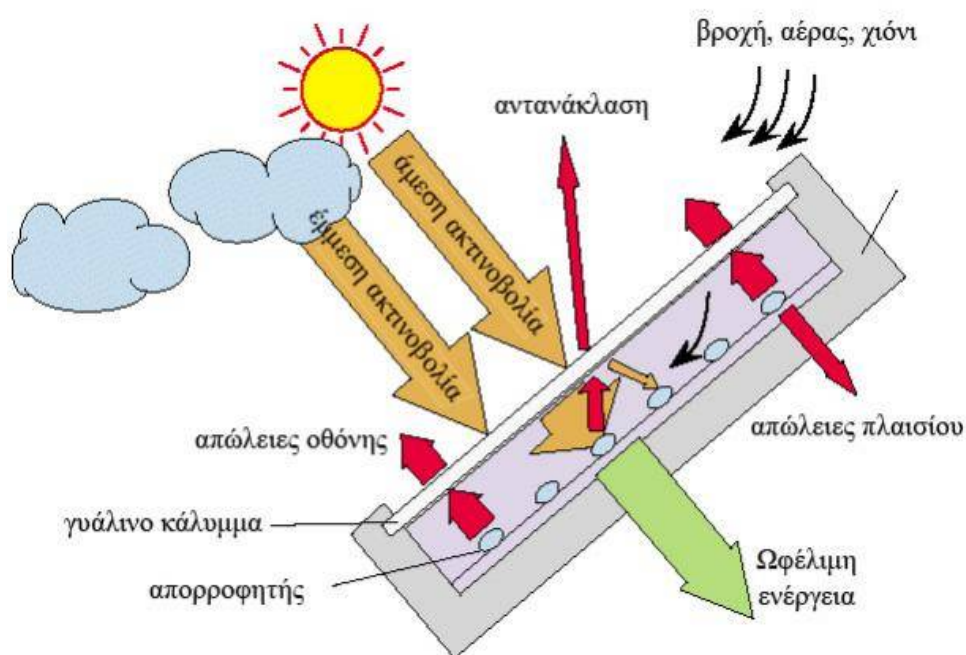
Η πιο απλή μορφή επίπεδου ηλιακού συλλέκτη είναι ο συλλέκτης που κατασκευάζεται χωρίς διαφανή επένδυση και μόνωση και περιλαμβάνει στρώμα απορρόφησης από πλαστικό και τους σωλήνες. Ένας τέτοιος συλλέκτης βρίσκει εφαρμογή στη θέρμανση του νερού σε ανοιχτές κολυμβητικές δεξαμενές και για την προθέρμανση νερού οικιακής χρήσης, δηλαδή σε εφαρμογές χαμηλών θερμοκρασιών (έως 30 °C). Τα βασικά χαρακτηριστικά του είναι το χαμηλό κόστος, οι μεγάλες θερμικές απώλειες και η μικρή συλλεγόμενη ενέργεια ανά τετραγωνικό μέτρο συλλέκτη (250 - 300 kWh/m<sup>2</sup> για ετήσια ηλιακή ακτινοβολία 1000 kWh/m<sup>2</sup>).



### 3.4.4 Απώλειες

Σε ότι αφορά τις απώλειες που παρουσιάζονται (Σχήμα 3.9) κατά τη λειτουργία του ηλιακού συλλέκτη, κατηγοριοποιούνται ως εξής:

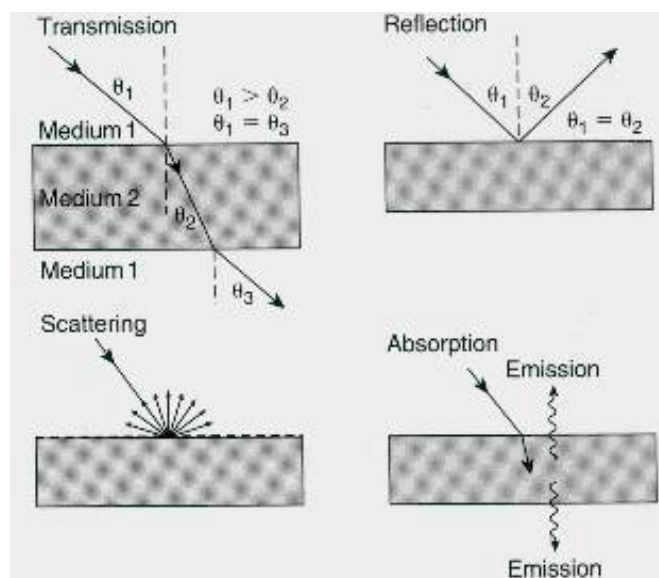
- Της οπτικές απώλειες, λόγω αντανάκλασης (ποσοστό περίπου 4-6% της επιδρούσας ακτινοβολίας) όπου ανάλογα με την ποιότητα του γυαλιού που χρησιμοποιείται ο βαθμός αντανάκλασης μεταβάλλεται και
- Θερμικές απώλειες, οι περισσότερες εκ των οποίων παράγονται στην πρόσθια πλευρά του συλλέκτη και αποτελούν το 80% των συνολικών απωλειών. Οι υπόλοιπες απώλειες παράγονται διαμέσου της οπίσθιας και πλαϊνής πλευράς του συλλέκτη, η οποία εξαρτάται από την υπάρχουσα μόνωση, την ταχύτητα του ανέμου και την κατάσταση της θερμοκρασίας.



Σχήμα 3.9. Απώλειες επίπεδου συλλέκτη

Η θερμική ενέργεια, που τελικά δεσμεύεται από τον απορροφητή, διαφέρει (είναι μικρότερη) από την ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει στη συλλεκτική επιφάνεια κατά ένα ποσό, το οποίο καλούμε οπτικές απώλειες.

Αυτές οι απώλειες ενέργειας οφείλονται σε ανάκλαση και απορρόφηση από το διαφανές κάλυμμα του συλλέκτη και σε ανάκλαση στον απορροφητή.



Σχήμα 3.10.

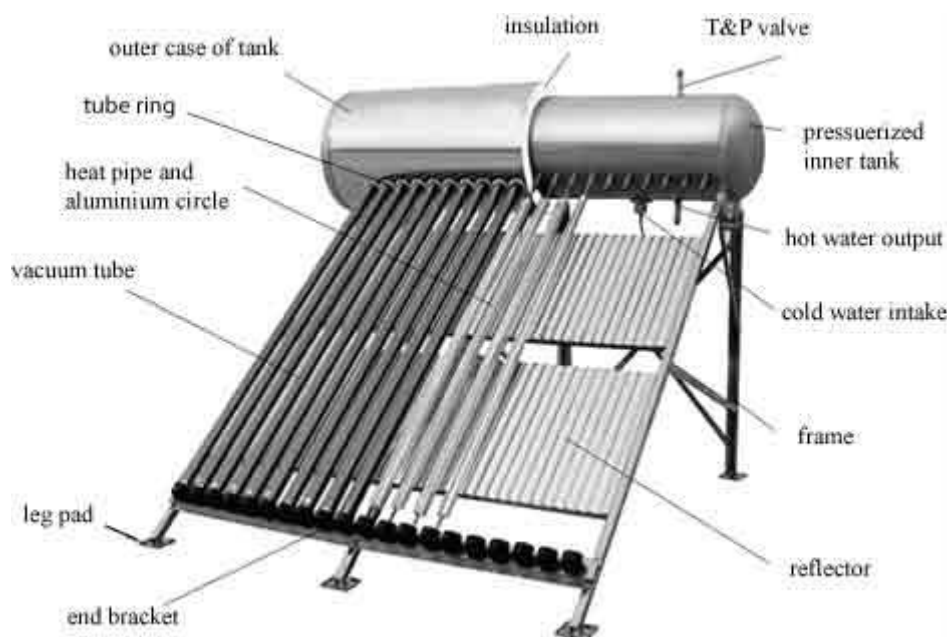
Η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια ενός επίπεδου συλλέκτη είναι το άθροισμα της άμεσης, έμμεσης και της ανακλώμενης από το έδαφος συνιστώσας της ακτινοβολίας.

Ωστόσο, ένα μέρος της ολικής ακτινοβολίας ανακλάται (reflection) στο διαφανές κάλυμμα του συλλέκτη και χάνεται στο περιβάλλον, ένα άλλο μέρος απορροφάται (absorption) από το κάλυμμα, ενώ το υπόλοιπο μέρος το διαπερνά (transmission) και προσπίπτει στη μαύρη απορροφητική επιφάνεια. Μέρος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας επί του απορροφητή δεσμεύεται (absorption), ενώ το υπόλοιπο μέρος ανακλάται - διαχέεται (reflection - scattering) προς το διαφανές κάλυμμα. Στη συνέχεια, μέρος της ανακλώμενης - διαχεόμενης ή και εκπεμπόμενης (emission) από τον απορροφητή ακτινοβολίας διαπερνά (transmission) το γυάλινο κάλυμμα και εξέρχεται στο περιβάλλον, ενώ το υπόλοιπο μέρος ανακλάται (reflection) στη μέσα επιφάνεια του γυάλινου καλύμματος και επιστρέφει πάλι στον απορροφητή, όπου απορροφάται (absorption), ανακλάται (reflection), διαχέεται (scattering).

Κατ' αυτόν τον τρόπο, ένας επίπεδος ηλιακός συλλέκτης, έχει την ιδιότητα να αποτρέπει τη διαφυγή της ακτινοβολίας στο περιβάλλον και βρίσκεται λοιπόν σε θέση να απορροφά περισσότερη ενέργεια από μια απλή μαύρη επιφάνεια, η οποία εκτίθεται στον ήλιο.

### 3.5 ΗΛΙΑΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ ΚΕΝΟΥ

Η τεχνολογία των ηλιακών συλλεκτών με σωλήνες κενού αναπτύσσεται τα τελευταία 30 χρόνια, καθώς αυτοί μπορούν να περιορίσουν σημαντικά τις θερμικές απώλειες που παρουσιάζουν οι επίπεδοι συλλέκτες σε υψηλές θερμοκρασίες.



Σχήμα 3.11. Ηλιακός συλλέκτης κενού

Οι συλλέκτες αυτού του τύπου δομούνται από την παράλληλη διάταξη γυάλινων αεροστεγών σωλήνων, όπως φαίνεται στα παρακάτω σχήματα:



**Σχήμα 3.12. Αεροσταγής σωλήνες**

Κάθε αεροστεγής σωλήνας αποτελείται από δύο γυάλινους σωλήνες. Ο εξωτερικός σωλήνας είναι κατασκευασμένος από διαφανές βοριοπυριτικό γυαλί υψηλής αντοχής που είναι ικανό να απορροφήσει κρούση από χαλάζι διαμέτρου μέχρι και 25[mm]. Ο εσωτερικός σωλήνας είναι επίσης κατασκευασμένος από βοριοπυριτικό γυαλί, αλλά καλύπτεται με μία ειδική συλλεκτική επίστρωση που έχει τις εξέχουσες ιδιότητες της άριστης απορρόφησης της ηλιακής θερμότητας και της ελάχιστης θερμικής αντανάκλασης.

Από το διάστημα μεταξύ των δύο γυάλινων σωλήνων αφαιρείται ο περιεχόμενος αέρας και σχηματίζεται έτσι κενό αέρος, το οποίο εξουδετερώνει την αγωγή και μεταγωγή απώλεια θερμότητας.



**Σχήμα 3.13.**

Για την διατήρηση του κενού αέρος μεταξύ των δύο γυάλινων στρωμάτων, χρησιμοποιείται ένα υλικό απορρόφησης αερίων σε κενό (getter) από βάριο (όπως και στους σωλήνες της τηλεόρασης). Κατά την κατασκευή αυτό το υλικό εκτίθεται σε υψηλές θερμοκρασίες που προκαλούν την επικάλυψη της βάσης του αεροστεγούς σωλήνα με ένα στρώμα από καθαρό βάριο. Το στρώμα βαρίου απορροφά ενεργά κάθε CO, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O και H<sub>2</sub> που εκλύεται από τον σωλήνα κατά την αποθήκευση και λειτουργία, βοηθώντας έτσι στη διατήρηση του κενού.

Επίσης το στρώμα βαρίου παρέχει μια καθαρή οπτική ένδειξη της κατάστασης του κενού. Το ασημί στρώμα βαρίου θα γίνει λευκό αν ποτέ χαθεί το κενό όπως φαίνεται και στο **Σχήμα 3.14**. Αυτό κάνει εύκολο τον προσδιορισμό αν λειτουργεί σωστά ή όχι ο σωλήνας.



**Σχήμα 3.14**

Οι ηλιακοί θερμαντήρες νερού και οι ηλιακοί συλλέκτες αεροστεγών σωλήνων εξακολουθούν να παρέχουν άριστα αποτελέσματα ακόμα και τις συννεφιασμένες μέρες. Αυτό γίνεται επειδή οι σωλήνες είναι ικανοί να απορροφούν την ενέργεια από τις υπέρυθρες ακτίνες που μπορούν να διαπεράσουν τα σύννεφα.

Ο άνεμος και οι χαμηλές θερμοκρασίες έχουν λιγότερη επίδραση στη λειτουργία των αεροστεγών σωλήνων σε σύγκριση με τους ηλιακούς συλλέκτες επίπεδου πλαισίου, χάρη στις μονωτικές ικανότητες του κενού.

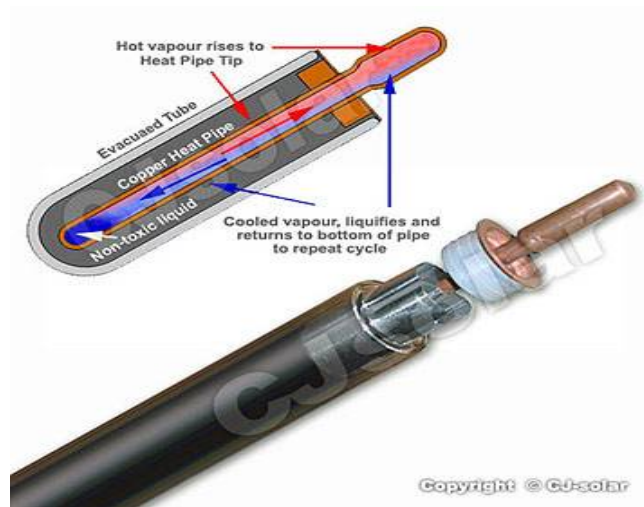
Το σχήμα των σωλήνων παρέχει ανώτατη απορρόφηση σε σύγκριση με τους επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες, καθώς ο σωλήνας είναι στρογγυλός και έτσι οι ηλιακές ακτίνες πέφτουν στην επιφάνεια του πάντα σε ορθή γωνία, μειώνοντας την αντανάκλαση



**Σχήμα 3.15. Ηλιακοί συλλέκτες κενού**

Ο ανόργανος κανονικός θερμαντικός σωλήνας αποτελείται από το γυάλινο αεροστεγή σωλήνα και επιπλέον ένας χάλκινος θερμαντικός αυλός εγκαθίσταται μέσα σε αυτόν. Ο χάλκινος θερμαντικός αυλός ξεκινά μέσα από τον αεροστεγή σωλήνα και καταλήγει στην άκρη του (συμπυκνωτής). Ο τελευταίος είναι ταπωμένος μέσα σε ένα μονωμένο αυλό που βρίσκεται μέσα στο σύστημα πολλαπλών σωληνώσεων. Καθώς το νερό περνά από τον μονωμένο αυλό, μεταφέρεται θερμότητα από τον χάλκινο θερμαντικό αγωγό στο νερό.





Σχήμα 3.16. Γυάλινος αεροστεγής σωλήνας

Το παραπάνω **Σχήμα 3.16** δείχνει το γυάλινο αεροστεγή σωλήνα, το χάλκινο θερμαντικό αυλό και τα διαμορφωμένα αλουμινένια περυγία μετάδοσης θερμότητας. Ο θερμαντικός αυλός εισάγεται μέσα στο γυάλινο σωλήνα, τοποθετημένος μεταξύ των δύο αλουμινένιων περυγίων. Τα περυγία είναι διαμορφωμένα έτσι ώστε να μεγιστοποιούν την επιφάνεια επαφής τόσο με τον θερμαντικό αυλό όσο και με την εσωτερική επιφάνεια του αεροστεγούς σωλήνα. Αυτή η διάταξη περυγίων βελτιώνει κατά πολύ την μετάδοση θερμότητας στο χάλκινο θερμαντικό αυλό και εν τέλει στο νερό μέσα στο σύστημα πολλαπλών σωληνώσεων.

Ο θερμαντικός αυλός μεταφέρει θερμότητα στο σύστημα πολλαπλών σωληνώσεων με μια πολύ απλή μέθοδο. Ο χάλκινος θερμαντικός αυλός είναι κούφιος και περιλαμβάνει ένα πατενταρισμένο ανόργανο μη τοξικό υγρό μετάδοσης θερμότητας. Το κούφιο εσωτερικό του θερμαντικού αυλού είναι αεροστεγές, έτσι ώστε ακόμα και σε θερμοκρασίες γύρω στους 25-30°C το μείγμα να εξατμίζεται.

Όταν ο ατμός θερμαίνεται, ανεβαίνει στην άκρη (συμπυκνωτής) του θερμαντικού αυλού, όπου η θερμότητα μεταδίδεται στο νερό που ρέει διαμέσου του συστήματος πολλαπλών σωληνώσεων. Η απώλεια θερμότητας προκαλεί την συμπύκνωση του ατμού και τη ροή του προς τα κάτω μέσα στον θερμαντικό αυλό, ενώ η διαδικασία επαναλαμβάνεται διαρκώς. Οι θερμαντικοί αυλοί που χρησιμοποιούν ανόργανα μείγματα μετάδοσης θερμότητας παρουσιάζουν απόδοση μετάδοσης θερμότητας που είναι μέχρι και 30.000 φορές αυτής του αργύρου. Χρησιμοποιώντας ανόργανους

θερμαντικούς αυλούς, η θερμότητα μεταφέρεται πολύ αποτελεσματικά από τον γυάλινο αεροστεγή σωλήνα στο νερό. Οι θερμαντικοί αυλοί έχουν ευρεία χρήση σε πολλές εφαρμογές συμπεριλαμβανομένου του κλιματισμού και των υπολογιστών (ψύξη CPU), καθώς παρέχουν αξιόπιστη απόδοση μεγάλης διάρκειας.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4°

### ΜΕΘΟΔΟΣ ΚΑΜΠΥΛΩΝ f, ΣΕ ΗΛΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕ ΣΥΛΛΕΚΤΗ ΚΕΝΟΥ, ΣΤΗΝ ΕΣΤΙΑ ΤΟΥ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥ ΚΡΗΤΗΣ

#### *4.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥ ΚΡΗΤΗΣ*

Το Πολυτεχνείο Κρήτης ιδρύθηκε με το νόμο 545/17.02.1977 «Περί ιδρύσεως Τεχνολογικού Πανεπιστημίου υπό την επωνυμία Πολυτεχνείο Κρήτης και άλλων τινών διατάξεων». Στις 17 Ιουλίου 1977 συνεδρίασε η πρώτη Διοικούσα Επιτροπή, με πρόεδρο τον ακαδημαϊκό Περικλή Θεοχάρη και παρουσία του τότε Υπουργού Παιδείας Γεωργίου Ράλλη, στην οποία συμμετείχαν ο Δήμαρχος Χανίων και ο Πρόεδρος του Τμήματος Δυτικής Κρήτης του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας. Η Επιτροπή ασχολήθηκε με τη διαδικασία απαλλοτρίωσης 3.500 στρεμμάτων γης και τη σύνταξη των σχετικών μελετών για την ανέγερση μόνιμων κτηριακών εγκαταστάσεων στο Ακρωτήρι. Φρόντισε επίσης για την απόκτηση και αναστήλωση ιστορικών κτηρίων των Χανίων για την άμεση στέγαση των υπηρεσιών (Παλαιές Φυλακές & Στρατώνες, Μεραρχία, Γαλλική Σχολή). Παράλληλα, η Διοικούσα Επιτροπή ασχολήθηκε με την οργάνωση και στελέχωση των Υπηρεσιών του Ιδρύματος, κυρίως δε με το θεσμικό πλαίσιο λειτουργίας του και τη σύσταση των πρώτων εκλεκτορικών σωμάτων για τις προκηρυχθείσες θέσεις μελών Διδακτικού Εκπαιδευτικού Προσωπικού. Αγοράστηκε επίσης ο πρώτος ηλεκτρονικός εξοπλισμός καθώς και βιβλία και περιοδικά για τη βιβλιοθήκη.

Το 1981 ορίστηκε νέα Διοικούσα Επιτροπή με πρόεδρο τον Καθηγητή Θαλή Αργυρόπουλο (1982-1988) και στη συνέχεια τον Καθηγητή Θεόδωρο Λιανό (1988-89). Οι νέες Διοικούσες Επιτροπές προώθησαν το διορισμό των πρώτων μελών Διδακτικού Εκπαιδευτικού Προσωπικού το 1984 καθώς και τις μελέτες ανέγερσης των μόνιμων κτηριακών εγκαταστάσεων στο Ακρωτήρι, η θεμελίωση των οποίων έγινε το Δεκέμβριο 1988.

Όσον αφορά τον εκπαιδευτικό προσανατολισμό και προγραμματισμό του Πολυτεχνείου Κρήτης, το ακαδημαϊκό έτος 1984-85 άρχισε την εκπαιδευτική του λειτουργία το Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης με την

εισαγωγή των πρώτων 120 φοιτητών καθώς και το Γενικό Τμήμα. Ακολούθησαν το Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων κατά το ακαδημαϊκό έτος 1987-88.

Από το Σεπτέμβριο του 1989, η νέα Διοικούσα Επιτροπή προώθησε με ταχείς ρυθμούς την ανάπτυξη της Πολυτεχνειούπολης στο Ακρωτήρι και δρομολόγησε την ανέγερση των κατάλληλων αμφιθεάτρων, εργαστηρίων και υποδομών που επιβάλλουν οι σύγχρονες απαιτήσεις σε ένα ανώτατο εκπαιδευτικό ίδρυμα. Το Τμήμα Ηλεκτρονικής και Μηχανικών Υπολογιστών λειτούργησε κατά το ακαδημαϊκό έτος 1990-1991. Το 1993 τα Τμήματα του Ιδρύματος λειτούργησαν αυτόνομα με εκλεγμένα όργανα διοίκησης. Αμέσως μετά, κινήθηκαν οι διαδικασίες εκλογής Πρυτανικών Αρχών, σηματοδοτώντας την αυτοδύναμη πλέον λειτουργία του Πολυτεχνείου Κρήτης. Το Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος λειτούργησε για πρώτη φορά το 1997 και μερικά χρόνια αργότερα, το 2004 ιδρύθηκε το Τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών.

Έκτοτε, το Πολυτεχνείο Κρήτης σημειώνει συνεχή ανάπτυξη. Η Πολυτεχνειούπολη με σύγχρονα κτήρια διδασκαλίας και έρευνας, βιβλιοθήκη, φοιτητική εστία, φοιτητικό εστιατόριο και χώρους αναψυχής, είναι από τις καλύτερες στην Ελλάδα.

#### 4.1.1. Πράσινο Πολυτεχνείο

Η ιδέα για το Πράσινο Πολυτεχνείο προέκυψε ως αναγκαιότητα στην καθημερινότητα της κοινότητας του Πολυτεχνείου Κρήτης τόσο λόγω του οικονομικού αδιεξόδου που προκλήθηκε από την οικονομική κρίση που βιώνει η χώρα μας όσο και λόγω της συνειδητοποίησης ότι όχι μόνο μπορούμε αλλά και θέλουμε μια βιώσιμη ανάπτυξη για το Πολυτεχνείο Κρήτης.

Το Πολυτεχνείο Κρήτης έχει ξεκινήσει τη δημιουργία Στρατηγικού Σχεδίου Βιώσιμης Ανάπτυξης το οποίο θα είναι "ζωντανό" και θα αλλάζει στην διάρκεια υλοποίησης του, θα έχει μετρήσιμα αποτελέσματα, θα προωθεί το Πολυτεχνείο να γίνει ένα "ανοιχτό εργαστήριο" έρευνας και τεχνολογίας σε θέματα βιώσιμης ανάπτυξης και θα συμβάλει στην υγεία και ευζωία όχι μόνο της πανεπιστημιακής κοινότητας, αλλά και της ευρύτερης κοινωνίας στο σύνολο της.

Είναι γεγονός ,ότι οι ενεργειακές πηγές δεν είναι ανεξάντλητες και για αυτό το λόγο πρέπει να χρησιμοποιούνται υπεύθυνα. Συνεπώς, η συμβολή του στην προστασία του περιβάλλοντος έχει δύο διαστάσεις, εσωτερική και εξωτερική.

Η εσωτερική διάσταση αναφέρεται τόσο στην προσπάθειά του για μείωση του κόστους λειτουργίας του με την υιοθέτηση πρακτικών εξοικονόμησης πόρων και ορθότερης διαχείρισης όσο και στην προσπάθεια αύξησης της περιβαλλοντικής αντίληψης των φοιτητών και του προσωπικού του.

Η εξωτερική διάσταση αναφέρεται στη δέσμευσή του για συνεχή μείωση των επιπτώσεων από τη λειτουργία του, παρακολουθώντας και μετρώντας τις περιβαλλοντικές του επιδόσεις, θέτοντας στόχους βελτίωσης, εφαρμόζοντας και αξιολογώντας δράσεις περιβαλλοντικής διαχείρισης σε τομείς όπως η εξοικονόμηση ενέργειας και νερού, η διαχείριση απορριμμάτων-ανακύκλωσης, η μείωση μετακινήσεων και η προώθηση πράσινων προμηθειών.



**Εικόνα 4.1. Πανοραμική φωτογραφία Πολυτεχνείου Κρήτης**

Οι Υπηρεσίες του Πολυτεχνείου Κρήτης, σε συνεργασία με την Επιτροπή Περιβάλλοντος, έχουν σχεδιάσει ένα σύστημα παρακολούθησης και ενεργειακής καταγραφής σε επίπεδο Πολυτεχνειούπολης. Το σύστημα

βρίσκεται ήδη σε λειτουργία. Το εν λόγω σύστημα βοηθάει στην λεπτομερή καταγραφή της οποιασδήποτε ενεργειακής σπατάλης και αποτελεί ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για τη διαχείριση των κτηρίων και των συστημάτων υποστήριξης από την Τεχνική Υπηρεσία. Παράλληλα, δίνει τη δυνατότητα ανάπτυξης ερευνητικής δραστηριότητας στον τομέα της πρόβλεψης της ενεργειακής ζήτησης και της κάλυψης με εναλλακτικές τεχνικές.

#### 4.1.2. Περιγραφή φοιτητικής εστίας Πολυτεχνείου

Το Πολυτεχνείο περιέχει Φοιτητική Εστία η οποία βρίσκεται στις ιδιόκτητες εγκαταστάσεις του Πολυτεχνείου Κρήτης, παρέχει τη δυνατότητα στέγασης σε 78 φοιτητές. Όλα τα δωμάτια της Φοιτητικής Εστίας είναι πλήρως εξοπλισμένα και διαθέτουν ατομικό λουτρό, τηλέφωνο με δυνατότητα εισερχόμενων κλήσεων καθώς και σύνδεση με το διαδίκτυο (Internet). Υπάρχουν 11 επιμέρους πυρήνες οι οποίοι περιέχουν κοινόχρηστους χώρους με καθιστικά, τηλεοράσεις, ψυγεία και κουζίνα.



**Εικόνα 4.2 Φοιτητική εστία Πολυτεχνείου**

Η θέρμανση της εστίας αρχικά πραγματοποιούταν με χρήση πετρελαίου. Λόγω όμως του ότι η χρήση του ήταν πολύ ακριβή, ξεκίνησε η υλοποίηση της ιδέας για τοποθέτηση ηλιακών συστημάτων θέρμανσης και αντλίας θερμότητας για περισσότερη εξοικονόμηση ενέργειας. Στην εστία πλέον είναι τοποθετημένοι ηλιακοί συλλέκτες κενού, άμεσης ροής. Αποτελούνται από τον σωλήνα κενού, την επιφάνεια συλλογής μέσα στον συλλέκτη κενού και το κολλεκτέρ. Η επιφάνεια συλλογής αποτελείται από το περύγιο συλλογής, δύο σωλήνες μέσα στους οποίους ρέει το ηλιακό υγρό . Η τοποθέτηση των ηλιακών συλλεκτών κενού πραγματοποιήθηκε ως εξής :

- Περιλαμβάνονται 5 συστοιχίες με 40 σωλήνες κενού ανά συστοιχία
- Διαστάσεις-συστοιχίας: 4800 X 2126 X 150 (πλάτος X μήκος X ύψος mm) = 10 m<sup>2</sup>
- Οι ηλιακοί συλλέκτες αποτελούνται από 2 πεδία. (1 πεδίο με μία συστοιχία και 1 πεδίο με 4 συστοιχίες).
- Συνολική επιφάνεια συλλεκτών =51 m<sup>2</sup> (5 συστοιχίες =5 \* 10 m<sup>2</sup>).

Ο σταθμός μεταφοράς θερμότητας αποτελείται από τα εξής :

- Βάνες ελέγχου,
- θερμομέτρα προσαγωγής και επιστροφής,
- μανόμετρο,
- μετρητή παροχής,
- κυκλοφορητή πρωτεύοντος και δευτερεύοντος,
- αυτόματο εξαεριστικό,
- βαλβίδα ασφαλείας 6 bar,
- δοχείο διαστολής 200lt,
- εναλλάκτη θερμότητας (πλακοειδής ανοξειδωτος) : 25l / (m<sup>2</sup>\*h), 35kW για διαφορά θερμοκρασίας 20°K ,διαφορικός θερμοστάτης (ελεγκτής).

Σύμφωνα με την μελέτη τα βασικά στοιχεία προσομοίωσης είναι τα εξής :

- Συνολική επιφάνεια συλλεκτών 51 m<sup>2</sup>.
- Όγκος νερού 4.000l.
- Λέβητας πετρελαίου 200kW με ενσωματωμένο κυκλοφορητή.
- Προσανατολισμός Νοτιοδυτικός.
- Γωνιά κλίσης 45°.
- Γεωγραφικό μήκος : 23,991°.
- Γεωγραφικό πλάτος : 35,507°.
- Υψόμετρο 23m.
- Μέση εξωτερική θερμοκρασία 18,4°C.
- Ετήσια συνολική ακτινοβολία 1.958,1kWh/ m<sup>2</sup>.
- Ετήσια διάχυτη ακτινοβολία 527,2kWh/ m<sup>2</sup>.

Επιπλέον μερικά ενδεικτικά αποτελέσματα ηλιοθερμικής ενέργειας είναι τα ακόλουθα :

- Συνολική ηλιακή κάλυψη 34,8%.
- Ηλιακή κάλυψη σε ζεστό νερό 39,3%.
- Συνολικό πεδίο απόδοσης συλλεκτών 33.844kWh..
- Ενεργειακή απόδοση συλλέκτη συναρτήσει της συνολικής επιφάνειας του  
663,3kWh/ m<sup>2</sup>/έτος.
- Μέγιστη ετήσια εξοικονόμηση καυσίμου 3.982l.
- Μέγιστη ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας 39.816,6 kWh.

Κάποιες ενδεικτικές μετρήσεις που έγιναν έδειξαν :

Πίνακας 4.1.2.α. Ενδεικτικές μετρήσεις

α/α	ημερομηνία	ώρα	καιρός	Κυκλοφορική	πίεση (bar)	Τεπ	Τα προσαγ.	Δ Τ	Ενέργεια (Mwh)	Ημερήσιο κέρδος ενέργειας (Mwh)	Tcol	Tstd	Υδροστάτης	Κατανάλωση m <sup>3</sup> /h	Ημερήσια κατανάλωση από προηγούμενη μέτρηση (m <sup>3</sup> /h)
1	22/8/2013	11	ήλιος	οκ	3,8	-	-	10	25		60	40	40	2526	
2	12/9/2013	11	ήλιος	οκ	3,8	57	45	12	27,591	0.123381	58.3	42.5	40	2623	4.61904
3	13/10/2013	11	ήλιος	οκ	3	50	40	10	31,773	0.102	51.4	28.5	40	2859	5.75609
4	30/10/2013	10	ήλιος	οκ	3	40	30	10	32,5	0.103857	41.1	26	50	2904	6.42857
5	19/11/2013	17	ήλιος όλη μέρα	δε λειτουργεί	2,6	38	30	8	33,43	0.0465	40.1	48.8	45	3028	6.2

Όπου Tcol είναι η θερμοκρασία του συλλέκτη,

και  $T_{std}$  που είναι η θερμοκρασία του δοχείου για ζεστό νερό χρήσης.



## 4.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΚΑΜΠΥΛΩΝ $f$

Για να αξιολογηθεί η απόδοση ενός κεντρικού συστήματος ηλιακού συλλέκτη σε σχέση με συγκεκριμένη ζήτηση φορτίου, έχουν αναπτυχθεί διάφορες προσεγγιστικές μέθοδοι. Η πιο γνωστή μέθοδος υπολογισμού είναι η μέθοδος καμπυλών  $f$  που έχει επίσης ενσωματωθεί στο εθνικό και Ευρωπαϊκό πρότυπο. Η μέθοδος καμπυλών  $f$  λοιπόν χρησιμοποιείται για να αξιολογηθεί η μακροχρόνια ενεργειακή απόδοση ενός συστήματος ηλιακού συλλέκτη. Αναπτύχθηκε από τους S.Klein, W.A. Beckman και J.A. Duffie το 1976. Με την εν λόγω μέθοδο αναλύονται συστήματα θέρμανσης χώρων, καθώς και συστήματα παροχής ζεστού νερού χρήσης.

Η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της μηνιαίας και ετήσιας θερμικής απόδοσης ενεργητικών ηλιακών συστημάτων υπολογίζοντας το ποσοστό του ολικού θερμικού φορτίου που θα καλυφθεί από την ηλιακή ενέργεια. Η βασική παράμετρος είναι η επιφάνεια των συλλεκτών ( $A_c$ ). Δευτερεύουσες παράμετροι είναι ο τύπος του συλλέκτη, η δυνατότητα αποθήκευσης, ο ρυθμός ροής μάζας και το μέγεθος των εναλλακτών που χρησιμοποιούνται στη πλευρά του συλλέκτη και του φορτίου.

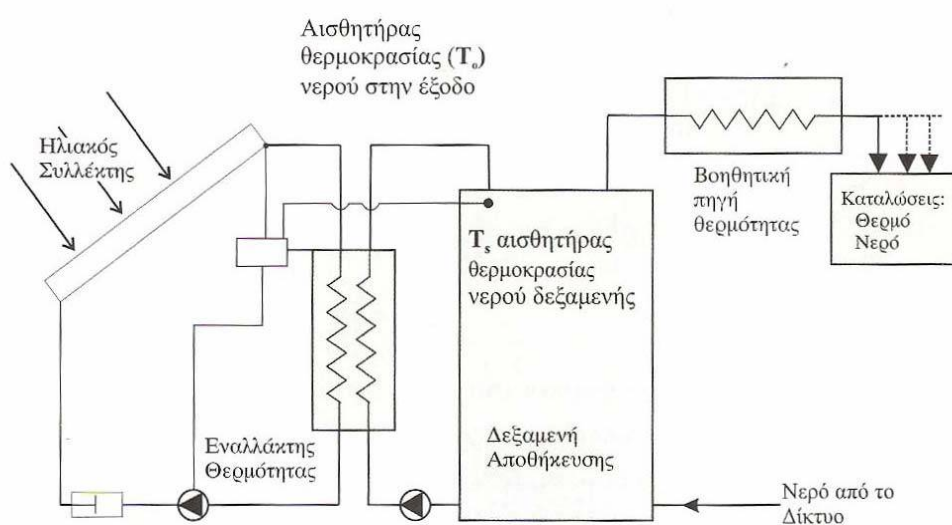
### 4.2.1 Ανάλυση της μεθόδου $f$ -chart

#### 4.2.1.1 Βασικές εξισώσεις

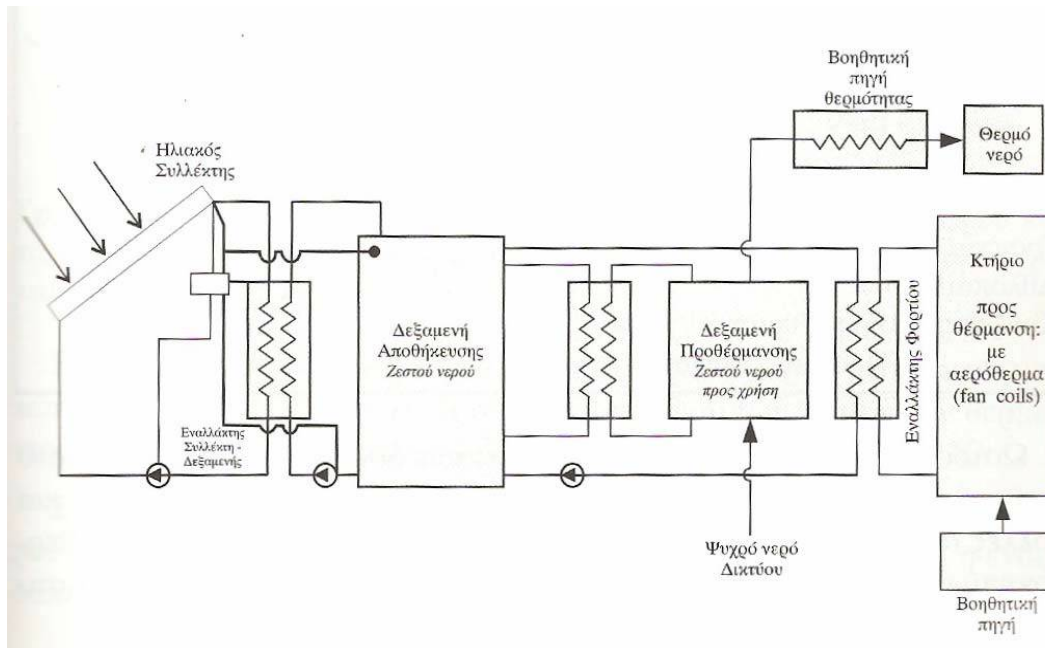
Ένα θερμικό ηλιακό σύστημα καλύπτει συνήθως μόνο ένα ποσοστό του συνολικού θερμικού φορτίου,  $L$ . Το ποσοστό αυτό ονομάζεται κάλυψη και εκλέγεται βάσει οικονομικών κριτηρίων.

Με τη μέθοδο των καμπυλών- $f$  προσδιορίζεται για κάθε μήνα του έτους η κάλυψη που παρέχεται από το ηλιακό σύστημα με επιφάνεια συλλεκτών,  $A_c$ . Επίσης, είναι δυνατός ο υπολογισμός της απαραίτητης επιφάνειας των συλλεκτών  $A_c$ , που θα πρέπει να διαθέτει το ηλιακό σύστημα για να καλύψει συγκεκριμένο επιθυμητό ποσοστό του ολικού θερμικού φορτίου (ζεστό νερό - θέρμανση). Η εν λόγω προσεγγιστική μέθοδος έχει αναπτυχθεί και

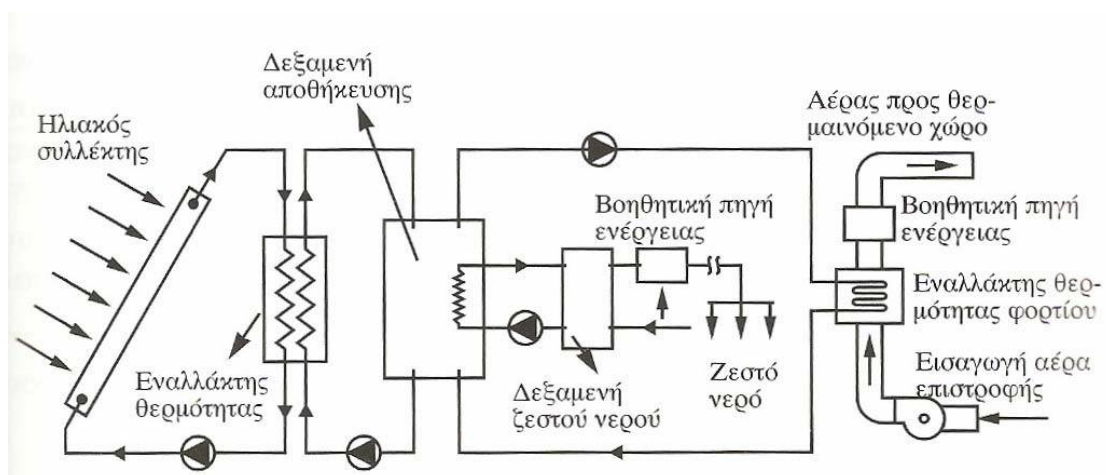
εφαρμόζεται κυρίως για εγκαταστάσεις όπως αυτές που παρουσιάζονται στα ακόλουθα Σχήματα 4α, 4β, 4γ και 4δ:



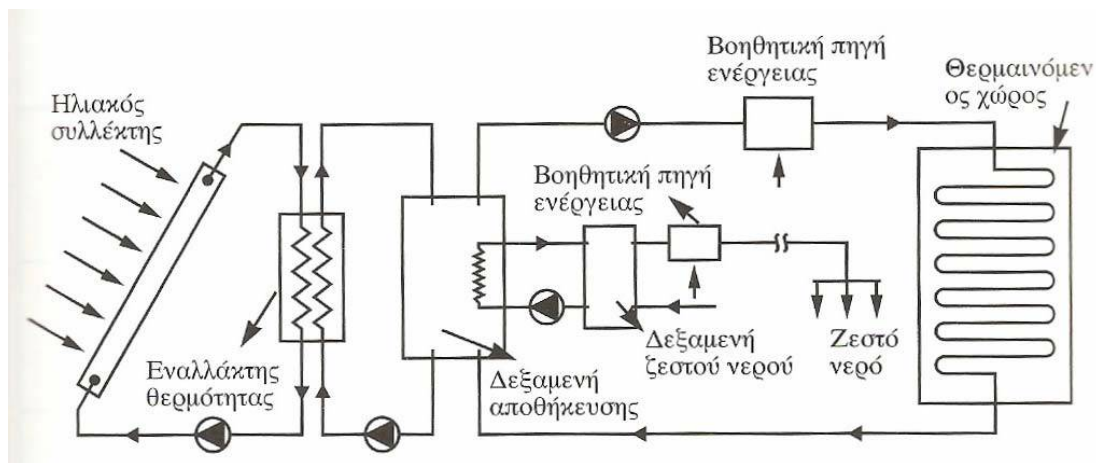
Σχήμα 4.α. Η τυπική διαμόρφωση συστήματος για θέρμανση νερού μόνο.



Σχήμα 4.β. Σχηματική αναπαράσταση της τυπικής διαμόρφωσης συστήματος που χρησιμοποιεί μέσα αποθήκευσης.



Σχήμα 4.γ. Σύστημα θέρμανσης χώρου με ζεστό αέρα και παραγωγής ζεστού νερού.



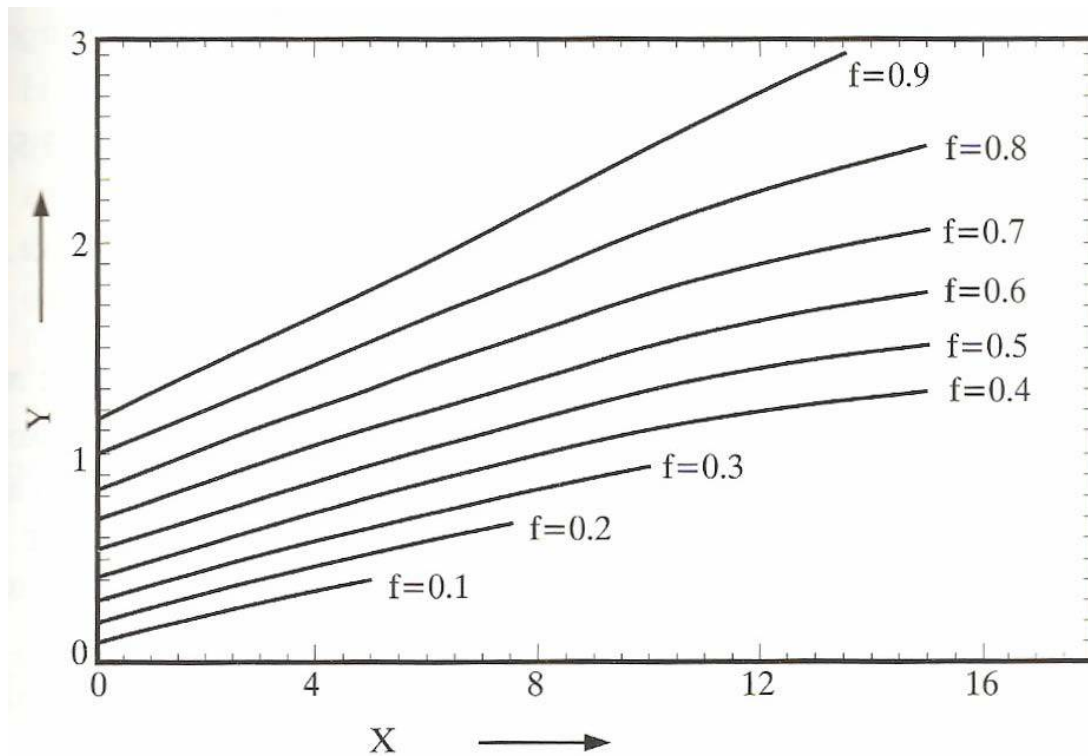
Σχήμα 4.δ. Σύστημα θέρμανσης χώρου με ζεστό νερό χαμηλής θερμοκρασίας και παραγωγής ζεστού νερού.

Το μηνιαίο ποσοστό κάλυψης του φορτίου,  $f$ , προκύπτει ως συνάρτηση δύο αδιάστατων παραμέτρων  $X$  και  $Y$ . Η φυσική υπόσταση των παραμέτρων αυτών σχετίζεται για την μεν πρώτη ( $X$ ) όπου είναι η αναλογία των απωλειών του συλλέκτη σε φορτία θέρμανσης και για την δεύτερη ( $Y$ ) είναι η αναλογία της ακτινοβολίας που απορροφάται σε θερμικά φορτία.

$$X = \frac{\text{αναφορά απώλειας ενέργειας συλλέκτη κατά τη διάρκεια ενός μήνα}}{\text{συνολικό φορτίο θέρμανσης κατά τη διάρκεια ενός μήνα}}$$

$$Y = \frac{\text{συνολική ενέργεια που απορροφά ο συλλέκτης σε ένα μήνα}}{\text{συνολικό φορτίο θέρμανσης κατά τη διάρκεια ενός μήνα}}$$

Ένα τυπικό διάγραμμα καμπυλών  $f$  δίδεται στο παρακάτω διάγραμμα:



Εικόνα 4.3. Διάγραμμα καμπυλών  $f$

Η σχέση των  $f$ ,  $X$ ,  $Y$ , υπό μορφή εξίσωσης είναι :

$$F(X, Y) = 1.029 \cdot Y - 0.065 \cdot X - 0.245 \cdot Y^2 + 0.0018 \cdot X^2 + 0.0215 \cdot Y^3 \quad (1)$$

Επιπλέον, οι δύο αδιάστατες παράμετροι  $X$ ,  $Y$  δίδονται από:

$$X = F_R \cdot U_L \cdot (F'_R / F_R) \cdot (T_{ref} - T_\alpha) \cdot \Delta\tau \cdot A_c / L \cdot K_2 \cdot K_3 \quad (2)$$

$$Y = F_R \cdot (\tau\alpha)_n \cdot (F'_R / F_R) \cdot (\tau\alpha) / (\tau\alpha)_n \cdot H\tau \cdot N \cdot A_c / L \cdot K_4 \quad (3)$$

Όπου:

$F_R \cdot U_L$  = χαρακτηριστικό μέγεθος που προκύπτει από τις δοκιμές του συλλέκτη.

( $F_R$  = συντελεστής θερμικής απολαβής συλλέκτη,  $U_L$  = ισοδύναμος συντελεστής θερμικών απωλειών του συλλέκτη).

$$\frac{F'_R}{F_R}$$

$F'_R$  = διορθωτικός συντελεστής εναλλάκτη-συλλέκτη δεξαμενής σε περίπτωση που παρεμβάλλεται εναλλάκτης θερμότητας όπως σε κλειστό σύστημα ηλιακού συλλέκτη.

Το πηλίκο αυτό παίρνει τιμές από 0÷1 και εξαρτάται από τις θερμικές ιδιότητες της επιφάνειας συναλλαγής και τις θερμοκρασίες των δύο ρευστών. Συνήθης τιμή της παραμέτρου αυτής είναι 0.80÷0.95.

$T_{ref}$  = εμπειρική θερμοκρασία αναφοράς (100°C).

$T_a$  = μέση μηνιαία θερμοκρασία περιβάλλοντος.

$\Delta t$  = χρονική περίοδος κάθε μήνα (σε sec).

$A_c$  = επιφάνεια του συλλέκτη ( m<sup>2</sup> ). Σύμφωνα με την ΤΟΤΕΕ 20701-1/2010, η συνήθης πρακτική είναι η εγκατάσταση 1 m<sup>2</sup> απλού επιπέδου ηλιακού συλλέκτη για κάθε άτομο, προκειμένου να καλυφθούν οι ανάγκες. Αντίστοιχα, για τη θέρμανση χώρων αντιστοιχεί 1 m<sup>2</sup> επιπέδου απλού ηλιακού συλλέκτη για θερμικό φορτίο 700W.

$L$  = μέσο μηνιαίο φορτίο για θέρμανση χώρων και παροχή ζεστού νερού (Joule).

$F_R * (\tau\alpha)_n$  = χαρακτηριστικό μέγεθος που προκύπτει από τις δοκιμές του συλλέκτη.

$\tau\alpha$  = μέσο μηνιαίο γινόμενο διαπερατότητας x απορροφητικότητα.

$(\tau\alpha)_n$  = γινόμενο διαπερατότητα x απορροφητικότητα σε κάθετη πρόσπτωση.

$$\frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n}$$

$\frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n}$  = διορθωτικός συντελεστής που λαμβάνει υπόψη του την κλίση του συντελεστή (αυτός ο συντελεστής χρησιμοποιείται γιατί η κλίση της ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της μέρας δεν προσπίπτει πάντα κάθετα στην επιφάνεια του συλλέκτη, με αποτέλεσμα η έντασή της πάνω στην απορροφητική επιφάνεια να είναι μικρότερη).

$H_t$  = Μέση μηνιαία ημερήσια ακτινοβολία ανά μονάδα επιφάνειας (J/m<sup>2</sup>) στο συλλέκτη.

$N$  = αριθμός ημερών του εκάστοτε μήνα.

Τέλος, μία πολύ σημαντική ποσότητα είναι το ετήσιο ποσοστό κάλυψης του φορτίου,  $F$ , που προκύπτει από το άθροισμα των μηνιαίων ενεργειακών συνεισφορών σε όλους τους μήνες του έτους διαιρούμενο με το ετήσιο ολικό φορτίο.

$$F = \frac{\sum_{i=0}^{i=12} f_i * L_i}{\sum_{i=0}^{i=12} L_i} \quad (4)$$

Έτσι, για τον υπολογισμό της βέλτιστης οικονομικά επιφάνειας συλλεκτών υπολογίζεται το ετήσιο ποσοστό κάλυψης,  $F$ , που αντιστοιχεί σε διάφορες τιμές της επιφάνειας των συλλεκτών και χαράσσεται η αντίστοιχη καμπύλη. Η καμπύλη αυτή σε συνδυασμό με οικονομικοτεχνικές αναλύσεις μας οδηγεί στην πλέον αποδεκτή λύση.

Πιο συνοπτικά λοιπόν η μέθοδος f-chart παρέχει ένα μέσο για τη γρήγορη εκτίμηση της μακροπρόθεσμης απόδοσης των ηλιακών συστημάτων θέρμανσης πρότυπων διαμορφώσεων με λιγότερη υπολογιστική βοήθεια. Τα στοιχεία που απαιτούνται είναι η μηνιαία μέση θερμοκρασία και ακτινοβολία, οι παράμετροι του συλλέκτη διαθέσιμες από τις συνήθεις δοκιμές συλλέκτη καθώς επίσης και οι εκτιμήσεις των φορτίων.

Θα πρέπει να εκτιμηθεί ότι υπάρχουν αβεβαιότητες στις εκτιμήσεις που προέρχονται από τη διαδικασία f-chart. Οι μεγάλες αβεβαιότητες προκύπτουν από διάφορες πηγές. Πρώτον, τα μετεωρολογικά δεδομένα μπορεί να είναι λανθασμένα με ποσοστό σφάλματος της τάξεως του 5 έως 10%, ιδιαίτερα όταν τα οριζόντια δεδομένα μετατρέπονται σε ακτινοβολία στο επίπεδο του συλλέκτη. Δεύτερον, στους υπολογισμούς χρησιμοποιούνται οι μέσες τιμές των δεδομένων και κάθε συγκεκριμένο έτος μπορεί να διαφέρει σημαντικά από το μέσο όρο. Τρίτον, είναι εξαιρετικά δύσκολο να προβλεφθεί τι φορτία θέρμανσης απαιτούνται δεδομένου ότι εξαρτώνται από τις συνήθειες του εκάστοτε ενοίκου. Τέταρτον, τα συστήματα πρέπει να είναι σωστά σχεδιασμένα και κατασκευασμένα με ελάχιστες απώλειες θερμότητας, διαρροές και άλλα μηχανικά και θερμικά προβλήματα. Τέλος (και ίσως λιγότερο σημαντικό), υπάρχουν ορισμένες διαφορές μεταξύ της συσχέτισης της f-chart και μεμονωμένων σημείων δεδομένων.

Είναι δύσκολο να εκτιμηθούν ποσοτικά οι επιπτώσεις αυτών των αβεβαιοτήτων στα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη μέθοδο. Ωστόσο, δύο γενικεύσεις μπορούν να γίνουν. Πρώτον, οι σχετικές επιδράσεις των αλλαγών σχεδιασμού μπορούν να καθοριστούν. Για παράδειγμα, οι επιδράσεις στην ετήσια απόδοση μιας μεταβολής στην απορροφητικότητα της πλάκας και τη διαπερατότητα μπορούν να παρουσιαστούν. Το δεύτερο δεκαδικό ψηφίο θεωρείται σημαντικό στο σημείο αυτό. Δεύτερον, η μέθοδος θα προβλέψει την απόδοση ενός δεδομένου συστήματος, αλλά λόγω των αβεβαιοτήτων μόνο το πρώτο δεκαδικό ψηφίο θα πρέπει να κριθεί ως σημαντικό.

#### 4.2.2.2 Διορθωτικοί Συντελεστές

##### 4.2.2.2.1 Διορθωτικός συντελεστής χωρητικότητας δεξαμενής, $K_2$

Η θεωρία των καμπυλών-f (συνεπώς και το αντίστοιχο διάγραμμα **Εικόνα 4.3** και η εξίσωση 1) έχει προσδιοριστεί για χωρητικότητα της δεξαμενής αποθήκευσης θερμού νερού ίσης με 75lt ανά m<sup>2</sup> επιφάνειας συλλεκτών. Για χωρητικότητες διαφορετικές από την ανωτέρω, απαιτείται ο υπολογισμός του συντελεστή  $K_2$ , ο οποίος δίδεται από την ακόλουθη σχέση :

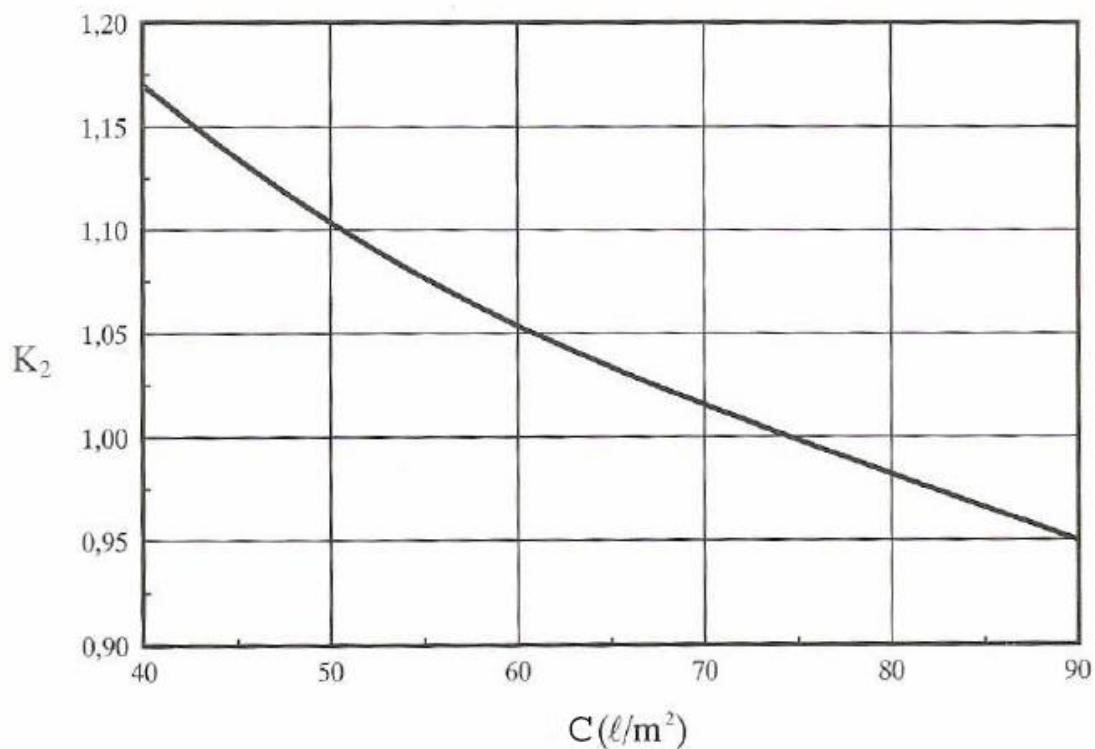
$$K_2 = \left(\frac{C}{75}\right)^{0.25} \quad (5)$$

όπου C είναι η χωρητικότητα της δεξαμενής σε λίτρα ανά m<sup>2</sup> επιφάνειας συλλεκτών.



Έτσι, όταν η χωρητικότητα της δεξαμενής ισούται με  $75 \frac{\text{lt}}{\text{m}^2}$ , ο συντελεστής  $K_2$  ισούται με τη μονάδα, ενώ στην περίπτωση που το  $C$  είναι μικρότερο ή μεγαλύτερο αυτής της τιμής, θα πρέπει να υπολογίζεται ο συντελεστής  $K_2$  και να πολλαπλασιάζεται με την αδιάστατη παράμετρο  $X$ .

Η νέα αυτή τιμή της παραμέτρου  $X$  θα χρησιμοποιηθεί στην **Εικόνα 4.3**, ώστε να λάβουμε το ποσοστό κάλυψης,  $f$ . Η μεταβολή του  $K_2$  συναρτήσει της χωρητικότητας της δεξαμενής αποθήκευσης,  $C$ , φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί :



**Εικόνα 4.4.** Μεταβολή του  $K_2$  συναρτήσει της χωρητικότητας της δεξαμενής αποθήκευσης  $C$ .

Από την **Εικόνα 4.4**, είναι εμφανές ότι για μικρή χωρητικότητα δεξαμενής ανά  $\text{m}^2$  συλλεκτικής επιφάνειας, έχουμε μεγαλύτερο ποσοστό θερμικών

απωλειών από το σύστημα στο περιβάλλον σε σχέση με το φορτίο,  $L$ . Η συμπεριφορά αυτή του συντελεστής  $K_2$  αιτιολογείται από το γεγονός πως με μικρότερη δεξαμενή θερμού νερού για σταθερή τιμή  $A_c$ , επιτυγχάνεται υψηλότερη θερμοκρασία στην αποθήκη θερμού νερού όπως και στη θερμοκρασία ρευστού που κυκλοφορεί στο συλλέκτη, με συνέπεια να έχουμε αύξηση των θερμικών απωλειών.

#### 4.2.2.2.2 Διορθωτικός συντελεστής παραγωγής θερμού νερού, $K_3$

Στην περίπτωση που το σύστημα ηλιακών συλλεκτών χρησιμοποιείται αποκλειστικά για την παραγωγή ζεστού νερού ή το φορτίο για παραγωγή ζεστού νερού είναι αρκούντως υψηλό σε σχέση με το φορτίο θέρμανσης, θα πρέπει να υπολογίζεται ο συντελεστής  $K_3$ .

$$K_3 = \frac{11.6 + 1.18 * T_w + 3.86 * T_m - 2.32 * \bar{T}_\alpha}{100 - \bar{T}_\alpha} \quad (6)$$

$T_w$  = επιθυμητή θερμοκρασία ζεστού νερού (περίπου 40°C).

$T_m$  = θερμοκρασία νερού τροφοδοσίας (δικτύου της πόλης).

$\bar{T}_\alpha$  = μέση μηνιαία θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Προφανώς, ο διορθωτικός συντελεστής  $K_3$ , σε αντίθεση με τον συντελεστή  $K_2$ , πρέπει να υπολογίζεται για κάθε μήνα, καθώς εξαρτάται από τα μεγέθη  $T_m$  και  $\bar{T}_\alpha$  που έχουν διαφορετική μηνιαία τιμή.

Στη συνέχεια, πολλαπλασιάζεται με την αδιάστατη παράμετρο  $X$ , όπου η νέα αυτή τιμή της χρησιμοποιείται στην Εικόνα 4.4, ώστε να ληφθεί το ποσοστό κάλυψης,  $f$ .

#### 4.2.2.2.3 Διορθωτικός συντελεστής μεγέθους εναλλάκτη φορτίου, $K_4$

Στην περίπτωση της θέρμανσης χώρων από ηλιακούς συλλέκτες, όταν το μέγεθος του εναλλάκτη φορτίου μειώνεται (βλ. Σχήμα 4β), η θερμοκρασία της δεξαμενής πρέπει να αυξηθεί ακόμα περισσότερο ώστε να αποδώσει στο φορτίο το ίδιο ποσό ενέργειας, να καλύψει δηλαδή τις ανάγκες κατά το ίδιο ποσοστό.

Ορίζουμε την παράμετρο:

$$\lambda = \frac{\varepsilon^* C_{min}}{(UA)_b} \quad (7)$$

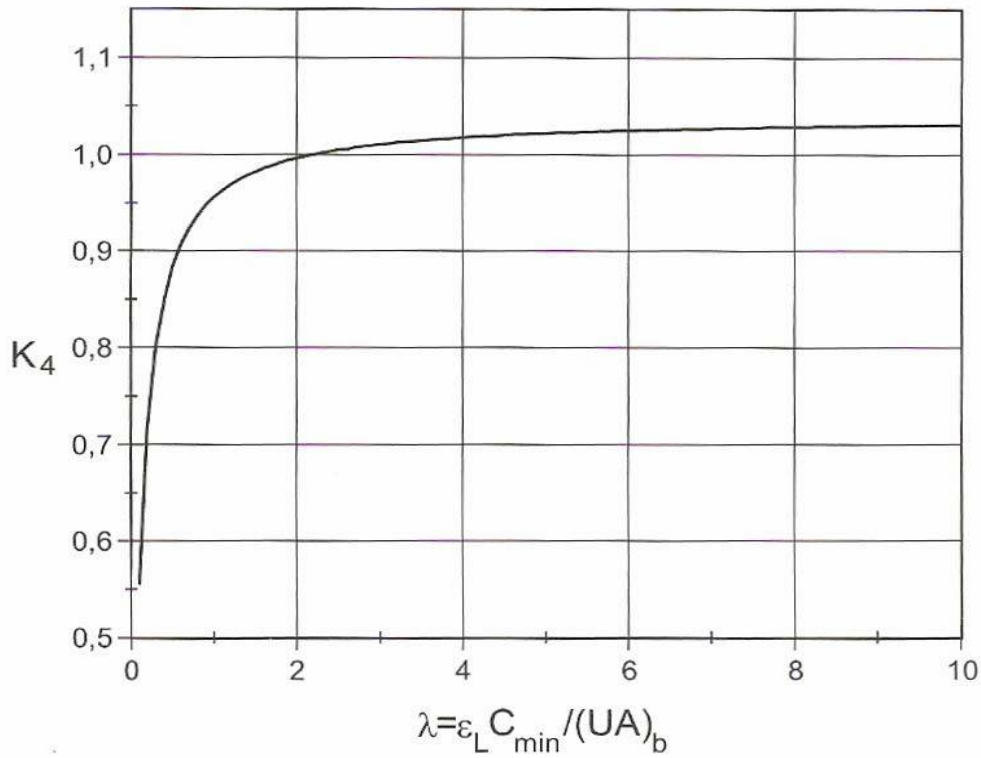
που αποτελεί ένα μέτρο του μεγέθους του εναλλάκτη που απαιτείται για τη θέρμανση του κτιρίου, ενώ:

$\varepsilon$  = συντελεστής εκμετάλλευσης του εναλλάκτη.

$C_{min}$  = ελάχιστη θερμοχωρητική παροχή στον εναλλάκτη.

$(UA)_b$  = μέσος συντελεστής θερμικών απωλειών επί την εξωτερική επιφάνεια κτιρίου

Ο συντελεστής αυτός πολλαπλασιάζεται με την αδιάστατη παράμετρο Υ, όπου η νέα αυτή τιμή της χρησιμοποιείται στην Εικόνα 4.4, ώστε να ληφθεί το ποσοστό κάλυψης,  $f$ . Η μεταβολή του συντελεστή  $K_4$  συναρτήσει του παράγοντα  $\lambda$  φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί:



Εικόνα 4.5. Η μεταβολή συντελεστή  $K_4$  συναρτήσει του παράγοντα  $\lambda$

Από το παραπάνω σχήμα είναι εμφανές ότι για  $\lambda=2$  ο συντελεστής  $K_4$  ισούται με τη μονάδα ( $K_4=1$ ), ενώ για  $\lambda>2$  ισχύει  $K_4>1$ . Μία τέτοια επιλογή ( $\lambda>2$ ) συνεπάγεται αύξηση της απόδοσης του συστήματος αλλά ταυτόχρονα αυξάνει σημαντικά το κόστος του εναλλάκτη.

#### 4.2.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ Χ,Υ ΚΑΙ F

Η κλιματική αλλαγή, η ενεργειακή απεξάρτηση από τρίτες χώρες και η αναγκαιότητα αναβάθμισης του υπάρχοντος κτηριακού αποθέματος οδήγησαν την Ευρώπη στην έκδοση της Κοινοτικής Οδηγίας 2002/91/ΕΚ περί ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων. Η χώρα μας, ως όφειλε απέναντι στις απαιτήσεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης και κυρίως απέναντι στους Πολίτες της, εναρμόνισε την εθνική μας νομοθεσία με την Κοινοτική Οδηγία, σύμφωνα με τον Νόμο 3661/2008.

Προϋπόθεση για την εφαρμογή του Νόμου υπήρξε η έκδοση του Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων (Κ.Εν.Α.Κ) και το Προεδρικό διάταγμα που θα καθόριζε τις προδιαγραφές και τις διαδικασίες εφαρμογής του συστήματος των Ενεργειακών Επιθεωρητών των Κτηρίων.

Η προσπάθεια έκδοσής τους διήρκησε συνολικά τρία χρόνια και έχει πια ολοκληρωθεί. Σε αυτήν τη μακρά πορεία δοκιμάστηκαν πολλά διαφορετικά μοντέλα επιστημονικής μεθοδολογίας και άλλαξαν αμέτρητες φορές οι επιμέρους διατάξεις.

Το ΤΕΕ ως Τεχνικός Σύμβουλος της πολιτείας, συνέβαλλε καθοριστικά στην σύνταξη του Κ.Εν.Α.Κ και των Τεχνικών Οδηγιών του ΤΕΕ (ΤΟΤΕΕ), οι οποίες εξειδικεύουν τα πρότυπα των μελετών και των επιθεωρήσεων της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων στα ελληνικά κλιματικά και κτηριακά δεδομένα.

Στο Πολυτεχνείο Κρήτης λοιπόν είναι τοποθετημένοι ηλιακοί συλλέκτες κενού, άμεσης ροής. Αποτελούνται από τον σωλήνα κενού, την επιφάνεια συλλογής μέσα στον συλλέκτη κενού και το κολλεκτέρ. Η επιφάνεια συλλογής αποτελείται από το πτερύγιο συλλογής, δύο σωλήνες μέσα στους οποίους ρέει το ηλιακό υγρό. Σύμφωνα με αυτά που αναφέρθηκαν στην **Ενότητα 4.1.2**, με τα βασικά στοιχεία προσομοίωσης ακολουθούν πίνακες που με τη βοήθεια του excel και με τις προτεινόμενες τιμές ΤΟΤΕΕ βοήθησαν στην εύρεση των παραμέτρων  $X$  και  $Y$  αλλά και  $F$  (ηλιακής κάλυψης). Ακολουθούν αναλυτικά σε πίνακες όλα τα δεδομένα που μας βοήθησαν στην διεξαγωγή των αποτελεσμάτων.

**Πίνακας 4.2.2.α. μέση μηνιαία θερμοκρασία ημέρας για τον κάθε μήνα στα Χανιά με βάση των δεδομένων του ΤΟΤΕΕ.**

Μήνες	T <sub>a</sub> (°C)	T <sub>ημέρ</sub> (°C)
Ιανουάριος	12,9	14,2
Φεβρουάριος	13,2	13,4
Μάρτιος	14,6	13,7
Απρίλιος	17,7	15,4
Μάιος	21,5	17,8
Ιούνιος	25,8	20,9
Ιούλιος	27,6	23
Αύγουστος	27,3	24,1
Σεπτέμβριος	24,6	23,6
Οκτώβριος	20,7	21,7
Νοέμβριος	17,5	19
Δεκέμβριος	14,5	16,1
$\overline{T_a}$	19,825	

Στον παρακάτω πίνακα ακολουθούν τα αποτελέσματα της μέσης ηλιακής ακτινοβολίας από τα δεδομένα ΤΟΤΕΕ της περιοχής των Χανίων, και ειδικά για κλίση επιφάνειας 45° (Νοτιοανατολικά/Νοτιοδυτικά), καθώς και τα αντίστοιχα αποτελέσματα από την μελέτη του Πολυτεχνείου.

Πίνακας 4.2.2.β. Μέση μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία για τα Χανιά ΤΟΤΕΕ

Μήνες	$N \cdot HT(kWh/m^2)$ ΤΟΤΕΕ3	$N \cdot HT(J/m^2)$ Μελέτη Πολυτεχνείου	$N \cdot HT(J/m^2)$ ΤΟΤΕΕ3 45° ΝΑ/ΝΔ
Ιανουάριος	82	$2232 \cdot 10^6$	$2952 \cdot 10^6$
Φεβρουάριος	93	$2880 \cdot 10^6$	$3348 \cdot 10^6$
Μάρτιος	130	$4464 \cdot 10^6$	$4680 \cdot 10^6$
Απρίλιος	156	$6012 \cdot 10^6$	$5616 \cdot 10^6$
Μάιος	186	$7632 \cdot 10^6$	$6696 \cdot 10^6$
Ιούνιος	186	$7920 \cdot 10^6$	$6696 \cdot 10^6$
Ιούλιος	193	$8100 \cdot 10^6$	$6948 \cdot 10^6$
Αύγουστος	189	$7380 \cdot 10^6$	$6804 \cdot 10^6$
Σεπτέμβριος	164	$5796 \cdot 10^6$	$5904 \cdot 10^6$
Οκτώβριος	129	$3996 \cdot 10^6$	$4644 \cdot 10^6$
Νοέμβριος	104	$2808 \cdot 10^6$	$3744 \cdot 10^6$
Δεκέμβριος	83	$2124 \cdot 10^6$	$2988 \cdot 10^6$

Πολύ σημαντικό ρόλο στην διεξαγωγή των αποτελεσμάτων παίζει και το φορτίο. Οι τιμές των μηνιαίων φορτίων (σε kWh) που προήλθαν από δεδομένα του Πολυτεχνείου Κρήτης και αναγράφονται στον **πίνακα 4.2.2.γ**. Στον ίδιο πίνακα γίνεται και η μετατροπή των φορτίων σε Joule επειδή έτσι συνίσταται στην μέθοδο f-chart.

**Πίνακας 4.2.2.γ. Μηνιαίο φορτίο (L) για θέρμανση χώρου και παροχή ζεστού νερού.**

Μήνες	Li(kWh)	Li(J)
Ιανουάριος	8305	29898*10 <sup>6</sup>
Φεβρουάριος	7640	27504*10 <sup>6</sup>
Μάρτιος	8448	30412,8*10 <sup>6</sup>
Απρίλιος	8000	28800*10 <sup>6</sup>
Μάιος	7960	28656*10 <sup>6</sup>
Ιούνιος	7382	26575,2*10 <sup>6</sup>
Ιούλιος	7339	26420,4*10 <sup>6</sup>
Αύγουστος	7174	25826,4*10 <sup>6</sup>
Σεπτέμβριος	6959	25052,4*10 <sup>6</sup>
Οκτώβριος	7377	26557,2*10 <sup>6</sup>
Νοέμβριος	7421	26715,6*10 <sup>6</sup>
Δεκέμβριος	8006	28821,6*10 <sup>6</sup>
Μέση τιμή ( $\bar{L}$ )	7667,6	27603,3*10 <sup>6</sup>

Στον Πίνακα 4.2.2.δ περιλαμβάνονται τα δεδομένα αναφορικά τον αριθμό ημερών κάθε μήνα (N), καθώς και η χρονική περίοδος κάθε μήνα ( $\Delta t$ ) σε δευτερόλεπτα, τα οποία απαιτούνται από την εφαρμογή της μεθόδου καμπολών f.



**Πίνακας 4.2.2.δ. Χρονικά δεδομένα μηνών**

<b>Μήνες</b>	<b>N</b>	<b>Δτ(sec)</b>
Ιανουάριος	31	$26784 \cdot 10^2$
Φεβρουάριος	28	$24192 \cdot 10^2$
Μάρτιος	31	$26784 \cdot 10^2$
Απρίλιος	30	$25920 \cdot 10^2$
Μάιος	31	$26784 \cdot 10^2$
Ιούνιος	30	$25920 \cdot 10^2$
Ιούλιος	31	$26784 \cdot 10^2$
Αύγουστος	31	$26784 \cdot 10^2$
Σεπτέμβριος	30	$25920 \cdot 10^2$
Οκτώβριος	31	$26784 \cdot 10^2$
Νοέμβριος	30	$25920 \cdot 10^2$
Δεκέμβριος	31	$26784 \cdot 10^2$

Στη συνέχεια ακολουθεί η μέση μηνιαία ημερήσια ακτινοβολία ανά μονάδα επιφάνειας ( $J/m^2$ ) στο συλλέκτη από τα δεδομένα της μελέτης .

Πίνακας 4.2.2.ε. Η μέση μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία ΤΟΤΕΕ

Μήνες	H(J/ m <sup>2</sup> )
Ιανουάριος	223,2*10 <sup>6</sup>
Φεβρουάριος	288*10 <sup>6</sup>
Μάρτιος	446,4*10 <sup>6</sup>
Απρίλιος	601,2*10 <sup>6</sup>
Μάιος	763,2*10 <sup>6</sup>
Ιούνιος	792*10 <sup>6</sup>
Ιούλιος	810*10 <sup>6</sup>
Αύγουστος	738*10 <sup>6</sup>
Σεπτέμβριος	579,6*10 <sup>6</sup>
Οκτώβριος	399,6*10 <sup>6</sup>
Νοέμβριος	280,8*10 <sup>6</sup>
Δεκέμβριος	212,4*10 <sup>6</sup>
<b><math>\bar{H}</math></b>	<b>6134,4*10<sup>6</sup></b>

Με τη βοήθεια της εξίσωσης του διορθωτικού συντελεστή παραγωγής θερμού νερού,  $K_3$ , και έχοντας ως δεδομένα ότι  $T_w=50^\circ\text{C}$  και οι τιμές του  $\bar{T}_e$  που είναι εμφανές στον Πίνακα 4.2.2.α, ακολουθούν τα αποτελέσματα του συντελεστή για κάθε μήνα ξεχωριστά που θα μας βοηθήσουν στη μέθοδο f-chart.

**Πίνακας 4.2.2.στ. Διορθωτικός συντελεστής παραγωγής θερμού νερού**

<b>Μήνες</b>	<b><math>K_3</math></b>
Ιανουάριος	1,09
Φεβρουάριος	1,05
Μάρτιος	1,04
Απρίλιος	1,08
Μάιος	1,13
Ιούνιος	1,23
Ιούλιος	1,31
Αύγουστος	1,37
Σεπτέμβριος	1,38
Οκτώβριος	1,34
Νοέμβριος	1,25
Δεκέμβριος	1,15

Καθώς οι τιμές των χαρακτηριστικών μεγεθών που προκύπτουν από τις δοκιμές του συλλέκτη αλλάζουν ανάλογα με τον τύπο του συλλέκτη, ακολουθεί ο **Πίνακας 4.2.2.δ**, ο οποίος μας δείχνει την τιμή τους καθώς και μια μικρή περιγραφή για κάθε τύπο ξεχωριστά.

Πίνακας 4.2.2.ζ. Χαρακτηριστικά μεγέθη διαφόρων συλλεκτών.

Τύπος	Περιγραφή	$F_R * (\tau\alpha)_n$	$F_R * U_L$
1	Μαύρο χρώμα 1 τζάμι	0,82	7,5
2	Μαύρο χρώμα 2 τζάμια ή επιλεκτική επιφάνεια	0,75	5,0
3	Σωλήνες κενού	0,45	1,25
4	Πλαστικός συλλέκτης χωρίς τζάμι και μόνωση (ταχύτητα ανέμου 2,2m/s)	0,86	21,5

Η επιφάνεια του ηλιακού συλλέκτη (κενού) της εστίας του Πολυτεχνείου έχει την τιμή  $A_c=51 \text{ m}^2$ .

Το χαρακτηριστικό μέγεθος που προκύπτει από τις δοκιμές του συλλέκτη έχει την τιμή :

$F_R * U_L = 1.25 \text{ W/ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$  (Πίνακας 4.2.2.δ για σωλήνες κενού), που είναι ίσο με  $63.75 \text{ W/}^\circ\text{C}$  ( $*51 \text{ m}^2$ ).

Ο διορθωτικός συντελεστής εναλλάκτη-συλλέκτη δεξαμενής έχει τοπική τιμή :

$$\frac{F'_{Rf}}{F_R} = 0.9$$

Η εμπειρική θερμοκρασία αναφοράς σύμφωνα με τη μελέτη έχει τιμή:  $T_{ref}=100^\circ\text{C}$  (σταθερή), επομένως μπορούμε να υπολογίσουμε εύκολα τον όγκο της δεξαμενής C,

$$C = \frac{4000 \text{ lt}}{51 \text{ m}^2} = 78.43 \text{ lt/ m}^2$$

Βάσει των παραπάνω, ο διορθωτικός συντελεστής χωρητικότητας της δεξαμενής είναι ίσος με  $K_2 = 0,98$

Με τη βοήθεια του excel, και την αντικατάσταση των παραπάνω αποτελεσμάτων στις εξισώσεις των Χ και Υ (Εξισώσεις 2,3) προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα για τις μεταβλητές Χ και Υ αλλά και της ηλιακής κάλυψης για κάθε μήνα :

**Πίνακας 4.2.2.η.**

Μήνες	Χ	Υ	Fi (%)
Ιανουάριος	0,687	0.248	19.72
Φεβρουάριος	0,647	0.306	25.17
Μάρτιος	0,634	0.387	32.27
Απρίλιος	0,643	0.491	40.77
Μάιος	0,671	0.588	48.22
Ιούνιος	0,716	0.634	51.41
Ιούλιος	0,776	0.662	53.09
Αύγουστος	0,835	0.663	52.81
Σεπτέμβριος	0,869	0.593	47.37
Οκτώβριος	0,861	0.440	35.28
Νοέμβριος	0,805	0.352	28.24
Δεκέμβριος	0,739	0.261	20.52

Άρα με την αντικατάσταση όλων των παραπάνω αποτελεσμάτων στην **εξίσωση 4** η ετήσια κάλυψη θα έχει την τιμή :  $F=37,50\%$  .Αυτό σημαίνει ότι το

37,50% του ετήσιου θερμικού φορτίου για την κάλυψη των αναγκών σε ζεστό νερό χρήσης της φοιτητικής εστίας στην περιοχή των Χανίων, προέρχεται από την ηλιακή ενέργεια (για σύστημα συλλέκτη κενού).

Σύμφωνα λοιπόν με την μέθοδο καμπυλών  $f$  και τα βασικά στοιχεία της μελέτης του Πολυτεχνείου Κρήτης, ακολουθεί ο πίνακας με τις τιμές της ηλιακής κάλυψης από την μέθοδο καμπυλών  $f$  και από την μελέτη. Όπως μπορεί να παρατηρηθεί από τη σύγκριση των μηνιαίων και της ετήσιας κάλυψης, παρατηρείται μικρή απόκλιση μεταξύ τους :

**Πίνακας 4.2.2.θ. Τιμές ηλιακής κάλυψης**

<b>Μήνες</b>	<b>Fi (%) με τη μέθοδο f-chart</b>	<b>Fi (%) από τη μελέτη</b>
Ιανουάριος	19,72	19,2
Φεβρουάριος	25,17	20,7
Μάρτιος	32,27	32,9
Απρίλιος	40,77	34,0
Μάιος	48,22	43,2
Ιούνιος	51,41	48,9
Ιούλιος	53,09	51,3
Αύγουστος	52,81	50,8
Σεπτέμβριος	47,37	45,3
Οκτώβριος	35,28	34,9
Νοέμβριος	28,24	23,1
Δεκέμβριος	20,52	16,4
Ετήσια τιμή	37,50	34,8

#### 4.2.3 Υπολογισμός χρόνου απόσβεσης συστήματος

Έχοντας λοιπόν το είδη τοποθετημένο σύστημα ηλιακών συλλεκτών κενού στην Εστία του Πολυτεχνείου, καθώς και τα αποτελέσματα που βρήκαμε από με την μέθοδο f-chart στην **Ενότητα 4.2.2.**, μπορούμε να υπολογίσουμε κάποιες επιπλέον παραμέτρους σχετικά με την απόσβεση του συστήματος αυτού.

Θεωρώντας ότι στα 20 m<sup>2</sup> συλλεκτών κενού γίνεται εξοικονόμηση 1,3 τόνων πετρελαίου, προκύπτει ότι στα 51 m<sup>2</sup> συλλεκτών του Πολυτεχνείου εξοικονομούνται 3,315 τόνους πετρελαίου. Στη συνέχεια με βάση την πυκνότητα του πετρελαίου η οποία είναι ίση με  $d=820\text{kg}/\text{m}^3$  ή αλλιώς 0,82kg/lit ,ο 1 τόνος πετρελαίου αντιστοιχεί σε 1200lit, έτσι και οι 3,315 τόνοι πετρελαίου που βρήκαμε παραπάνω, αντιστοιχούν σε 3978lit, που θα και είναι η εξοικονόμηση του καυσίμου στο Πολυτεχνείο.

Θεωρώντας ότι ένας λέβητας δίνει 10kWh ενέργεια για κάθε 1lt πετρελαίου προκύπτει ότι στα 3978lit πετρελαίου η μέγιστη ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας θα είναι 39.780KWh.

Επομένως, σύμφωνα με την προσομοίωση του συστήματος και τις ενδεικτικές μετρήσεις μας καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η μέγιστη ετήσια εξοικονόμηση καυσίμου θα είναι περίπου 4.000lit.

Είναι γνωστό ότι η τιμή του καυσίμου (πετρελαίου) δεν είναι σταθερή αλλά μεταβάλλεται κάθε χρόνο. Στη συνέχεια λοιπόν θα γίνει μια ανάλυση ευαισθησίας για διαφορετικές τιμές πετρελαίου και θα υπολογιστεί σε κάθε περίπτωση η απόσβεση που αναμένεται να έχει το υπό μελέτη σύστημα.

Το αρχικό κόστος των σωλήνων κενού που έχουν τοποθετηθεί θεωρείται ίσο με 500€/m<sup>2</sup>. Καθώς η επιφάνεια των συλλεκτών είναι 51 m<sup>2</sup>, προκύπτει ότι το αρχικό κόστος του συστήματος είναι :

$$500\text{€/m}^2 * 51\text{m}^2 = 25.000\text{€}$$

Αν υποθέσουμε ότι η τιμή πετρελαίου είναι 1€/lit, και με δεδομένο ότι η ετήσια εξοικονόμηση καυσίμου είναι 4000lit, ο υπολογισμός της απόσβεσής μας θα γίνει ως εξής :

4000lt \* 1€=4000 €/έτος εξοικονομούνται

Επομένως η απόσβεση θα γίνει σε  $\frac{25000}{4000} = 6,4$  έτη.

Ακολουθεί μια ανάλυση ευαισθησίας με διάφορες τιμές πετρελαίου όπου ακολουθήθηκε η ίδια μέθοδος για την διεξαγωγή των αποτελεσμάτων των υπόλοιπων τιμών. Είναι προφανές πως όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του πετρελαίου, τόσο πιο γρήγορη είναι η απόσβεση του συστήματος των ηλιακών συλλεκτών.

**Πίνακας 4.2.3. Τιμές πετρελαίου και τιμές απόσβεσης σε έτη για κάθε τιμή**

Τιμή πετρελαίου (€/lt)	Απόσβεση (Ετη)
0,8	7,9
1,0	6,4
1,3	4,9
1,5	4,25

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, ο μέσος όρος ζωής των συλλεκτών με σωλήνες κενού είναι κοντά στα 20 χρόνια. Σε κάθε περίπτωση λοιπόν προκύπτει ότι η εγκατάσταση συλλεκτών κενού στο κτήριο της φοιτητικής εστίας του Πολυτεχνείου Κρήτης είναι μια οικονομικά συμφέρουσα επένδυση.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5°

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

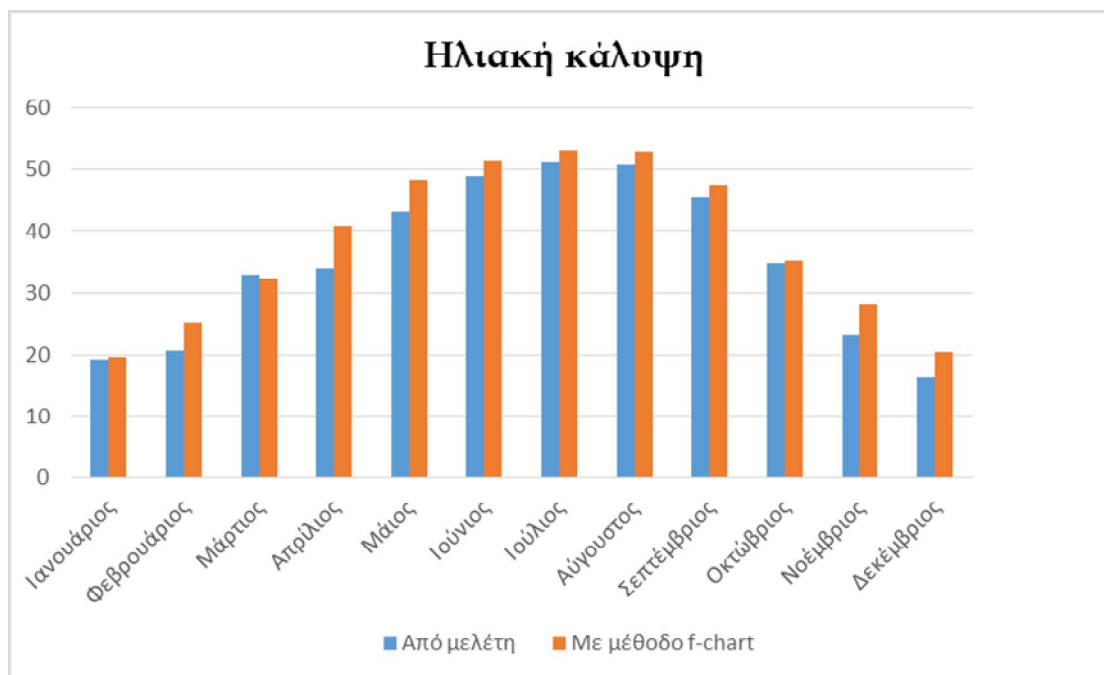
Η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) και η σταδιακή απεξάρτηση από τα συμβατικά καύσιμα αποτελεί επιτακτική ανάγκη στην σύγχρονη εποχή. Δε το επιβάλλουν μόνο η δραματική μείωση των αποθεμάτων των συμβατικών καυσίμων (με την παράλληλη αύξηση των τιμών τους και τη μόλυνση του περιβάλλοντος )αλλά και η ανάγκη για την ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτησίας της Ελλάδας (ενεργειακή ασφάλεια), ειδικά σε μια χώρα με πλούσιο εκμεταλλεύσιμο δυναμικό ΑΠΕ όπως αυτή η Ελλάδα.

Όσον αφορά τους ηλιακούς συλλέκτες για θέρμανση νερού η Ελλάδα κατέχει το 50% τέτοιων συστημάτων σε όλη την Ευρωπαϊκή Ένωση και γίνεται εξοικονόμηση 1300GW ανά έτος. Το γεγονός αυτό έχει ως άμεσο αποτέλεσμα τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) κατά 1.600.000 τόνοι το χρόνο ,αέριο που συμβάλλει σημαντικά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου (υπακοή στο Πρωτόκολλο του Κιότο). Παρ όλα αυτά η χρήση τους παραμένει ελάχιστη σε σχέση με αυτή που θα έπρεπε να είναι δηλαδή κάτω από 20% των νοικοκυριών στην Ελλάδα έχουν ηλιακούς θερμοσίφωνες.

Στην παρούσα λοιπόν εργασία αναλύθηκε η κατηγορία των ηλιακών θερμικών συστημάτων που είναι τοποθετημένοι στην Εστία του Πολυτεχνείου Κρήτης. Αυτοί είναι ηλιακοί συλλέκτες κενού - άμεσης ροής (direct flow) SEIDO 2 της SUNDA. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση αυτή, η οποία πραγματοποιήθηκε με την μέθοδο καμπυλών f-chart, συγκρίθηκαν με τα αποτελέσματα της μελέτης του Πολυτεχνείου (που έγινε χρησιμοποιώντας το εξειδικευμένο λογισμικό T-Sol), και έδειξαν ότι είχαν μικρή απόκλιση μεταξύ τους.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση ενός συστήματος σωλήνων κενού στην περιοχή των Χανίων είναι ιδιαίτερα σημαντικά. Όσον αφορά το ενεργειακό επίπεδο, η εγκατάσταση ενός συστήματος στην Εστία του Πολυτεχνείου υπολογίστηκε ότι, εξοικονομεί 39.780KWh σε ετήσια βάση. Η ετήσια εξοικονόμηση καυσίμου ανέρχεται στα 3982lt πετρελαίου θέρμανσης. Στην συνέχεια ακολουθεί ένα διάγραμμα σύγκρισης της ηλιακής

κάλυψης που βρήκαμε με την μέθοδο f-chart, τα οποία συγκρίνονται με τα αποτελέσματα της μελέτης.



Εικόνα 5.1. Διάγραμμα σύγκρισης της ηλιακής κάλυψης

Με βάση λοιπόν, τις παραμετρικές αναλύσεις που έχουν έως εδώ πραγματοποιηθεί, διαπιστώνεται πως η μέθοδος f-chart προσεγγίζει αρκετά ικανοποιητικά την αναλυτική μέθοδο εξομοίωσης του συστήματος που χρησιμοποιήσαμε, δίνοντας παραπλήσια ποσοστά κάλυψης του φορτίου. Ωστόσο, για ορισμένες ακραίες τιμές κάποιων εκ των παραμέτρων οι δύο αυτές μέθοδοι αποκλίνουν σημαντικά, παρουσιάζοντας διαφορές στα ποσοστά κάλυψης. Σε γενικές γραμμές, πάντως, η προσεγγιστική μέθοδος f-chart μπορεί να αποτελέσει ένα ισχυρό εργαλείο για μία πρώτη ενδεικτική εκτίμηση της συμπεριφοράς και απόδοσης του συστήματος.

Στη συνέχεια ακολουθήθηκαν κάποιοι υπολογισμοί για το πότε θα έχει απόσβεση το σύστημα αυτό. Στο οικονομικό λοιπόν επίπεδο τα αποτελέσματα είναι ιδιαίτερα ενθαρρυντικά, διότι με βάση τα αποτελέσματα που

περιλαμβάνονται στην **Ενότητα 4.2.3.** καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι το υπό μελέτη σύστημα είναι οικονομικά συμφέρον, καθώς γίνεται στο 1/3 του χρόνου ζωής του συστήματος (ή και λιγότερο, ανάλογα με τη θεωρούμενη τιμή του πετρελαίου).

Ανακεφαλαιώνοντας, η εγκατάσταση ενεργητικών ηλιακών συστημάτων στην Ελλάδα μπορεί να χαρακτηριστεί ως μια αναγκαία σύμβαση για την ελληνική κοινωνία, δεδομένου του ηλιακού δυναμικού της χώρας και των τρεχόντων ενεργειακών, οικονομικών και περιβαλλοντικών συνθηκών.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) Ανδρέας Ε. Μοσχάτος Δρ. Μηχανολόγος-Ηλεκτρολόγος, Ηλιακή Ενέργεια Συνιστώσες της Ηλιακής Θερμικής Διαδικασίας, Έκδοση τεχνικού επιμελητηρίου Ελλάδος 1992.
- 2) Ε. Βαζαίος, Εφαρμογές της Ηλιακής Ενέργειας, Αθήνα, 1987.
- 3) Duffie, John A., and William A. Beckman. Solar engineering of thermal processes. Vol. 3. New York etc.: Wiley, 1980
- 4) Ιωάννης Κ. Καλδέλλης, Κοσμάς Α.Καβαδίας, Εργαστηριακές εφαρμογές Ήπιων Μορφών Ενέργειας, Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης, Αθήνα 2001
- 5) Ιωάννης Κ. Καλδέλλης, Γιώργος Χ. Σπυρόπουλος, Κοσμάς Α. Καβαδίας, Υπολογιστικές Εφαρμογές Ήπιων Μορφών Ενέργειας, Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης, Αθήνα 2007
- 6) R.K.Suri,S. Ayyash,K.Al-Madani,Performance analysis of solar space heating system, Solar Energy Vol.31(2), 1993.
- 7) Παναγιώτης Κεραμιτζής, Διπλωματική Εργασία, Διαχείριση Δεδομένων Μέτρησης της Ηλιακής Ενέργειας, Αθήνα, Μάρτιος 2010.
- 8) Δημήτρης Αλ.Κατσαπράκης, Ηλιακή Ενέργεια-Ηλιακοί Συλλέκτες, Εργαστήριο Αιολικής Ενέργειας Τ.Ε.Ι Κρήτης.
- 9) Κατάρτιση Ενεργειακών Επιθεωρητών Εκπαιδευτικό Υλικό, Θεματική Ενότητα : ΔΕ4, Τεχνολογίες Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.
- 10) ΤΟΤΕΕ-20701-3, Κλιματικά δεδομένα ελληνικών περιοχών, 3<sup>η</sup> Έκδοση, 2014.
- 11) [lyk-siatist.koz.sch.gr/morfes-energeias/](http://lyk-siatist.koz.sch.gr/morfes-energeias/)
- 12) [https://el.wikipedia.org/wiki/Ανανεώσιμες\\_πηγές\\_ενέργειας](https://el.wikipedia.org/wiki/Ανανεώσιμες_πηγές_ενέργειας)
- 13) [https://el.wikipedia.org/wiki/Ηλιακή\\_ενέργεια](https://el.wikipedia.org/wiki/Ηλιακή_ενέργεια)
- 14) [www.4green.gr/data/fotovoltaika/news/preview\\_news/92677.asp](http://www.4green.gr/data/fotovoltaika/news/preview_news/92677.asp)
- 15) <https://www.tuc.gr/4992.html>
- 16) [www.EBHE.gr](http://www.EBHE.gr)