



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ
ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Εξοικονόμηση Ενέργειας με Εφαρμογή Ηλιοθερμικών Συστημάτων

Χρήστος Ι. Τσαρτσάλης

Επιβλέποντες : Μαρία Γ. Ιωαννίδου, Καθηγήτρια ΕΜΠ

Ευθύμιος Καραλής, Ηλεκτρολόγος Μηχανικός ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούνιος 2012



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Τομέας ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ
ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Εξοικονόμηση Ενέργειας με Εφαρμογή Ηλιοθερμικών Συστημάτων

Χρήστος Ι. Τσαρτσάλης

Επιβλέποντες : Μαρία Γ. Ιωαννίδου, Καθηγήτρια ΕΜΠ

Ευθύμιος Καραλής, Ηλεκτρολόγος Μηχανικός ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 31^η Ιούνιος 2012.

Αθήνα, Ιούνιος 2012

.....
Μαρία Γ. Ιωαννίδου
Καθηγήτρια ΕΜΠ

.....
Νικόλαος Θεοδώρου
Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Παναγιώτης Τσαραμπάρης
Λέκτορας ΕΜΠ

.....

Χρήστος Ι. Τσαρτσάλης

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Χρήστος, Τσαρτσάλης, 2012

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζεται η ισχύουσα νομοθεσία σε ότι αφορά τη μελέτη θέρμανσης και πραγματοποιείται προσομοίωση με λογισμικό, του συστήματος ηλιοθερμίας (ηλιοθερμικό σύστημα) για αντικατάσταση υφιστάμενης εγκατάστασης θέρμανσης σε μία κατοικία.

Στην εγκατάσταση χρησιμοποιούνται επίπεδοι συλλέκτες 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 κατοικίας. Η μελέτη γίνεται για να ελεγχθεί η αποδοτικότητα της ηλιακής εγκατάστασης και το ποσοστό εξοικονόμησης που μπορεί να επιτευχθεί. Στη συνέχεια πραγματοποιείται σύγκριση και ανάλυση της αποδοτικότητας του έργου σε σύγκριση με συμβατικές μορφές ενέργειας.

Προκειμένου να καταστεί ολοκληρωμένη η εικόνα της εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας, παρουσιάζονται αναλυτικά στοιχεία. Συγκεκριμένα:

- Το πρώτο κεφάλαιο αποτελείται από την εισαγωγή και την πραγματοποίηση αναφοράς, γενικά, στην ενεργειακή απόδοση κτιρίων, μέσα από το νομοθετικό ισχύον πλαίσιο της χώρας μας. Στη συνέχεια, υπάρχει εισαγωγή σε κάθε ενότητα από την οποία αποτελείται η παρούσα διπλωματική εργασία.
- Το δεύτερο κεφάλαιο αναφέρεται στη θέρμανση και τα συστήματα τα οποία χρησιμοποιούνται συνήθως στις υφιστάμενες ή στις νέες κατοικίες, όπως και στα καύσιμα που χρησιμοποιούνται για τη λειτουργία τους.
- Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται μία ανάλυση για την ηλιακή ενέργεια και υπολογίζονται οι διάφορες παράμετροι της ηλιακής ακτινοβολίας.
- Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται αναλυτικά η δομή και ο τρόπος λειτουργίας των ηλιοθερμικών συστημάτων με κύρια αναφορά στα απλά συστήματα βεβιασμένης κυκλοφορίας παραγωγής ζεστού νερού χρήσης και στα συστήματα υποβοήθησης στη θέρμανση (Συστήματα Combi).
- Τέλος στο πέμπτο κεφάλαιο πραγματοποιείται υπολογισμός και προσομοίωση ενός ηλιοθερμικού συστήματος βεβιασμένης κυκλοφορίας για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης και υποβοήθηση στη θέρμανση (Συστήματα Combi) σε κατοικία.

Λέξεις κλειδιά:

Ενεργειακή απόδοση κτιρίων, Θέρμανση, Ηλιακή ενέργεια, Ηλιοθερμικά συστήματα, Συστήματα Combi

ABSTRACT

In the present thesis, first, is examined the Greek legislation, which refers to the study of heating systems and second, is taking place a simulation, with a software, of a solar-thermal system which is going to replace an existent thermal installation in a residential house.

In the installation, are used flat plate collectors for the collection of solar radiation. The collected energy is used for the production of hot water and as an auxiliary heating system, in order to cover a percentage of the total load of the residential house. This study is placed, in order to be controlled the efficiency of thermal installation and the percentage of saving, which can be achieved. Afterwards, is becoming a comparison and analysis of the efficiency of the system in comparison with conventional means of energy.

In order to having the total view of the exploitation of solar energy, a data analysis is following. Specifically:

- The first chapter includes an introduction and an accomplishment of a report about generally in the energy efficiency of houses through the legislative framework which is in force in our country. Then, there is an introduction in every chapter of this thesis.
- The second chapter is referring to the heat and the systems which are often being used, into existent or new residential homes, and to the fuels which these systems are using for their operation.
- In the third chapter, is presented an analysis about solar energy and are calculated the different parameters of solar radiation.
- In the fourth chapter, is presented analytically the structure and the operation way of solar-thermal systems, with main reference to simple systems of forced circulated systems of production hot water use and to the auxiliary heating systems (Combi systems).
- Finally, in the fifth chapter, is made a computation and a simulation of a solar-thermal of forced circulated system for hot water production and auxiliary in the resident's heat (Combi systems).

Keywords:

Energy efficiency of houses, Heat, Solar energy, Solar-thermal systems, Combi systems

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την καθηγήτρια κα. Μαρία Ιωαννίδου για την υπόδειξη του θέματος, για τη δυνατότητα που μου έδωσε να πραγματοποιήσω την παρούσα εργασία καθώς και για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής.

Ευχαριστώ εκ βαθέων τον υποψήφιο διδάκτορα κ. Ευθύμιο Καραλή για τον πολύτιμο χρόνο που διέθεσε για την περάτωση της διπλωματικής μου εργασίας καθώς και για τις πολύτιμες υποδείξεις και συμβουλές του, όπως και τον Μηχανολόγο Μηχανικό κ. Γιώργο Μουτούση για το χρόνο και τις γνώσεις που μου προσέφερε και τα οποία αποτέλεσαν καθοριστικά στοιχεία για την περάτωση αυτής της εργασίας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους συμφοιτητές και συμφοιτήτριες μου για τα όμορφα φοιτητικά χρόνια που περάσαμε μαζί, όπως και τη φίλη μου Ένα για τη στήριξη και τις πολύτιμες συμβουλές της κατά τη διάρκεια της φοιτητικής μου ζωής.

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.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Συνθήκη Ανέσεως-Ιστορική αναδρομή	σελ.11
1.1.1 Συνθήκες θερμοκρασίας ανέσεως	σελ.11
1.1.2 Εισαγωγή στον Κ.Εν.Α.Κ	σελ.12
1.1.3 Κλιματικές ζώνες.....	σελ.14
1.1.4 Συνθήκες λειτουργίας κτιρίων	σελ.16
1.1.5 Απαιτήσεις ενεργειακής κατανάλωσης κτιρίων	σελ.17
1.2 Εισαγωγή στα Συστήματα θέρμανσης.....	σελ.20
1.3 Εισαγωγή στα Ηλιοθερμικά Συστήματα	σελ.21

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΘΕΡΜΑΝΣΗ

2.1 Σκοπός της θέρμανσης	σελ.25
2.1.1 Διάκριση ειδών θέρμανσης	σελ.25
2.2 Πηγές θερμικής ενέργειας	σελ.27
2.2.1 Θερμογόνος δύναμη καυσίμων	σελ.27
2.2.2 Συμβατικά καύσιμα	σελ.29
2.2.3 Βιομάζα	σελ.32
2.2.4 Γεωθερμία	σελ.34
2.2.5 Αντλία θερμότητας	σελ.36
2.3 Διάκριση με τη θέση της πηγής παροχής θερμικής ενέργειας	σελ.38
2.3.1 Κεντρική Θέρμανση	σελ.38
2.3.1.1 Λέβητες.....	σελ.39
2.3.1.2 Καυστήρες	σελ.41
2.3.1.3 Κυκλοφορητές	σελ.45
2.3.1.4 Δεξαμενή καυσίμων	σελ.46
2.3.1.5 Διατάξεις ασφαλείας	σελ.47
2.3.1.6 Σωληνώσεις	σελ.48
2.3.1.7 Καπνοδόχος	σελ.49
2.3.1.8 Τερματικές Μονάδες Θέρμανσης	σελ.50
2.3.2 Τοπική Θέρμανση	σελ.51
2.3.2.1 Θερμάστρες αερίου	σελ.51
2.3.2.2 Ηλεκτρικές θερμάστρες ακτινοβολίας	σελ.52

2.3.2.3 Αερόθερμα	σελ.52
2.3.2.4 Τζάκια	σελ.53
2.3.2.5 Θερμάστρες υπέρυθρης ακτινοβολίας με Πετρέλαιο	σελ.54
2.3.2.6 Τοπικοί θερμοσυσσωρευτές	σελ.54

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

3.1 Εισαγωγή στην Ηλιακή Ενέργεια	σελ.55
3.2 Η ηλιακή ακτινοβολία	σελ.55
3.2.1 Γεωμετρικά στοιχεία του ηλίου	σελ.57
3.2.1.1 Ηλιακή σταθερά G_{sc}	σελ.57
3.2.1.2 Γεωγραφικό πλάτος του τόπου φ	σελ.58
3.2.1.3 Απόκλιση δ του ήλιου	σελ.58
3.2.1.4 Κλίση β	σελ.60
3.2.1.5 Γωνία γ αζιμουθίου του επιπέδου	σελ.60
3.2.1.6 Αζιμούθια γωνία ηλίου γ_s	σελ.60
3.2.1.7 Γωνία ύψους ηλίου α	σελ.60
3.2.1.8 Ζενίθια γωνία Θ_z	σελ.60
3.3 Συνιστώσες ηλιακής ακτινοβολίας	σελ.61
3.3.1 Μέθοδος υπολογισμού της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο	σελ.65
3.3.2 Απλουστευμένη μέθοδος υπολογισμού	σελ.68
3.4 Μέτρηση ηλιακής ακτινοβολίας	σελ.71
3.5 Προσανατολισμός και κλίση ηλιακών συλλεκτών	σελ.75
3.6 Πρακτικοί κανόνες για την συλλογή της μέγιστης ηλιακής ακτινοβολίας	σελ.78

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΗΛΙΟΘΕΡΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

4.1 Εισαγωγή στα Θερμικά Ηλιακά Συστήματα	σελ.81
4.2 Περιγραφή της τεχνολογίας	σελ.81
4.3 Κατηγορίες Θερμικών Ηλιακών Συστημάτων	σελ.82
4.3.1 Συστήματα φυσικής κυκλοφορίας	σελ.83
4.3.1.1 Συμπαγείς θερμαντήρες νερού	σελ.83
4.3.1.2 Θερμοσιφωνικό σύστημα	σελ.84
4.3.2 Συστήματα βεβιασμένης κυκλοφορίας	σελ.84
4.3.2.1 Συστήματα ανοιχτού βρόχου	σελ.85

4.3.2.2 Συστήματα κλειστού βρόχου – Αντιψυκτικό σύστημα (γλυκόλης υπό πίεση)	σελ.86
4.4 Τεχνολογία ηλιακών συλλεκτών	σελ.87
4.4.1 Επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες	σελ.87
4.4.1.1 Περιγραφή του επίπεδου ηλιακού συλλέκτη	σελ.87
4.4.1.2 Περιγραφή του ηλιακού συλλέκτη σωλήνων κενού	σελ.91
4.4.2 Θερμική Ανάλυση	σελ.92
4.4.3 Καμπύλη απόδοσης του ηλιακού συλλέκτη	σελ.93
4.4.4 Σύνδεση ηλιακών συλλεκτών	σελ.95
4.5 Συσσωρευτές ενέργειας	σελ.97
4.5.1 Τυπολογία συσσωρευτών ενέργειας	σελ.98
4.5.2 Διαστρωμάτωση θερμοκρασίας	σελ.99
4.5.3 Μόνωση συσσωρευτών	σελ.100
4.5.4 Εναλλάκτες θερμότητας	σελ.102
4.6 Διαστασιολόγηση σωληνώσεων	σελ.103
4.6.1 Γενικά	σελ.103
4.6.2 Επιλογή διαμέτρου	σελ.104
4.6.3 Όγκος νερού στις σωληνώσεις	σελ.105
4.6.4 Απώλειες πίεσης και παροχή	σελ.105
4.6.5 Μόνωση σωληνώσεων	σελ.105
4.7 Σύστημα κυκλοφορητή	σελ.106
4.8 Όργανα ασφαλείας	σελ.108
4.8.1 Δοχείο διαστολής	σελ.108
4.8.2 Βαλβίδα ασφαλείας	σελ.110
4.8.3 Εξαεριστικό	σελ.110
4.9 Διαφορικός πίνακας ελέγχου	σελ.111
4.10 Υγρό μεταφοράς της θερμότητας	σελ.111
4.11 Στάδια σχεδιασμού ηλιοθερμικής εγκατάστασης	σελ.112
4.11.1 Υπολογισμός Φορτίων	σελ.112
4.11.1.1 Υπολογισμός θερμικών φορτίων για θέρμανση	σελ.112
4.11.1.2 Φορτίο Θέρμανσης Ζεστού Νερού Χρήσης	σελ.113
4.11.1.3 Υπολογισμός Φορτίου Κολυμβητηρίων	σελ.114
4.11.2 Επιλογή μεγέθους ηλιοθερμικής εγκατάστασης	σελ.114
4.11.3 Η Μέθοδος Σχεδιασμού Ηλιακών Συστημάτων καμπυλών f	σελ.115

4.12 Εφαρμογές Ηλιοθερμικών Συστημάτων	σελ.119
4.12.1 Ηλιοθερμική εγκατάσταση για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης σε κατοικία	σελ.119
4.12.2 Ηλιοθερμική εγκατάσταση για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης και ηλιακή θέρμανση σε κατοικία (Σύστημα combi)	σελ.123

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΗΛΙΟΘΕΡΜΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ COMBI

5.1 Στόχος	σελ.127
5.2 Περιγραφή και συλλογή δεδομένων υφιστάμενου συστήματος	σελ.127
5.3 Περιγραφή Ηλιοθερμικού Συστήματος	σελ.128
5.3.1 Κλειστό κύκλωμα ηλιακών συλλεκτών	σελ.129
5.3.2 Ηλιακοί συλλέκτες	σελ.130
5.3.3 Κυκλοφορητής	σελ.130
5.3.4 Ηλεκτρικός πίνακας ελέγχου	σελ.130
5.3.5 Συσσωρευτής ενέργειας	σελ.131
5.3.6 Κλειστό κύκλωμα λέβητα	σελ.132
5.3.7 Κλειστό κύκλωμα ενδοδαπέδιας θέρμανσης	σελ.133
5.3.8 Τρίοδη ηλεκτροκίνητη βάννα	σελ.133
5.3.9 Ανοιχτό κύκλωμα ζεστού νερού χρήσης	σελ.134
5.3.10 Κτίριο	σελ.134
5.3.11 Χρόνος προσομοίωσης	σελ.135
5.4 Ενεργειακά Αποτελέσματα και Σχόλια	σελ.135
5.5 Παράμετροι - προοπτικές ανάπτυξης	σελ.139
5.6 Συμπεράσματα	σελ.140
Βιβλιογραφία	σελ.142
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	σελ.142

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΕΙΣΑΓΩΓΗ – Κ.ΕΝ.Α.Κ.

1.1 Συνθήκη Ανέσεως - Ιστορική αναδρομή

Από τα πρώτα χρόνια ύπαρξης του ανθρώπου, γινόταν προσπάθεια να προστατευθεί κάθε ζωντανός οργανισμός από ακραίες (και επομένως επικίνδυνες ή έστω ενοχλητικές) θερμοκρασιακές μεταβολές, που ήταν αναπόσπαστα συνδεδεμένες με τη φυσική – βιολογική προσπάθεια για επιβίωση. Γι' αυτό ο άνθρωπος, από τα πανάρχαια χρόνια προσπαθούσε να εξασφαλίσει μία ευχάριστη, ή έστω ανεκτή κατάσταση περιβάλλοντος, στους χώρους και τις περιοχές παραμονής, διαμονής και απασχολήσεως του. Το κλίμα και οι συνθήκες που επικρατούσαν σε αυτό, διετέλεσαν σημαντικοί παράγοντες για την επιλογή περιοχών και χωρών εγκατάστασης των ανθρώπων.

Ο πρωτόγονος άνθρωπος επέλεξε σαν πρώτη κατοικία τη σπηλιά, που τον προστάτευε από την παγωνιά του χειμώνα και το θερινό καύσωνα. Στη συνέχεια η φωτιά, που αποτέλεσε βασικός παράγοντας αναπτύξεως του πολιτισμού για πολλές χιλιάδες χρόνια έδωσε τη δυνατότητα στον άνθρωπο να μεταβάλλει, με δική του πρωτοβουλία και δράση, τη θερμοκρασία του άμεσου περιβάλλοντος του, διαφοροποιώντας την τεχνητά από τον υπόλοιπο περίγυρο.

Ο πρώτες προσπάθειες για θέρμανση με στόχο την "άνεση", έγιναν αρκετά αργότερα και βαθμιαία, όταν το πρόβλημα της επιβίωσης στο ψυχρό περιβάλλον είχε πια ξεπεραστεί. Οι νέες απαιτήσεις που είχε ο άνθρωπος κατά τη διάρκεια εξέλιξης του, τον οδήγησαν σε αναζητήσεις και νέες βελτιώσεις, που οδήγησαν στα τζάκια, αλλά και εντυπωσιακά πρωτοποριακής κατασκευής πρωτόγονα συστήματα κεντρικής θέρμανσης, όπως για παράδειγμα η οπή στην κορυφή της σπηλιάς που έδιωχνε έξω τον καπνό. Η ανθρώπινη εφευρετικότητα στην πέραση των ετών οδήγησε σε πολλές καινοτομίες, οι οποίες κατά καιρούς ξεπερνούσαν τις τεχνολογικές γνώσεις και δυνατότητες της εποχής.

Στην παρούσα μελέτη, θα γίνει μία προσπάθεια προσέγγισης στο σύγχρονο τρόπο θέρμανσης, με ιδιαίτερη αναφορά στα ηλιοθερμικά συστήματα, αλλά και τους κανόνες που ισχύουν στη χώρα μας σε ότι αναφορά την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων.

1.1.1 Συνθήκες θερμοκρασίας ανέσεως

Οι "ιδανικές" συνθήκες ανέσεως ανταποκρίνονται στις στατιστικά διαπιστωμένες προτιμήσεις μεγάλου αριθμού ανθρώπων και ποικίλουν ανάλογα την εποχή του έτους. Ενδεικτικά, το πρότυπο ASHRAE 55, *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy* (Πίνακας.1.1), προτείνει συνθήκες, οι οποίες έχουν θεμελιωθεί πειραματικά και γίνονται αποδεκτές σε ποσοστό 80%, τουλάχιστον, από τους

ενοίκους που βρίσκονται στο χώρο. Η διακύμανση της πειραματικής θερμοκρασίας που προτείνεται για κτίριο ενοίκων, με τυπική ενδυμασία (0.8 ως 1.2 clo) ορίζεται από 20° C ως 23.5° C. Η προτεινόμενη διακύμανση θερμοκρασίας για ενοίκους με θερμική ένδυση (0.35 ως 0.6 clo) ορίζεται από 22.5° C ως 26° C.

GUIDELINE ROOM AIR TEMPERATURES				
Type of Space	°F		°C	
	Summer	Winter	Summer	Winter
Residences, apartments, hotel and motel guest rooms, convalescent homes, offices, conference rooms, classrooms, courtrooms, and hospital patient rooms	74–78	68–72	23–26	20–22
Theaters, auditoriums, churches, chapels, synagogues, assembly halls, lobbies, and lounges	76–80	70–72	24–27	21–22
Restaurants, cafeterias, and bars	72–78	68–70	22–26	20–21
School dining and lunch rooms	75–78	65–70	24–26	18–21
Ballrooms and dance halls	70–72	65–70	21–22	18–21
Retail shops and supermarkets	74–80	65–68	23–27	18–20
Medical operating rooms ^a	68–76	68–76	20–24	20–24
Medical delivery rooms ^a	70–76	70–76	21–24	21–24
Medical recovery rooms and nursery units	75	75	24	24
Medical intensive care rooms ^a	72–78	72–78	22–26	22–26
Special medical care nursery units ^a	75–80	75–80	24–27	24–27
Kitchens and laundries	76–80	65–68	24–27	18–20
Toilet rooms, service rooms, and corridors	80	68	27	20
Bathrooms and shower areas	75–80	70–75	24–27	21–24
Steam baths	110	110	43	43
Warm air baths	120	120	49	49
Gymnasiums and exercise rooms	68–72	55–65	20–22	13–18
Swimming pools	75 or above	75	24	24
Locker rooms	75–80	65–68	24–27	18–20
Children's play rooms	75–78	60–65	24–26	16–18
Factories and industrial shops	80–85	65–68	27–29	18–20
Machinery spaces, foundries, boiler shops, and garages	—	50–60	—	10–16
Industrial paint shops	—	75–80	—	24–27

^a Variable temperature range required with individual room control.

Πίνακας.1.1 Προτεινόμενες Διακυμάνσεις Θερμοκρασίας Χώρου

1.1.2 Εισαγωγή στη ενεργειακή απόδοση κτιρίων

Σύμφωνα με στοιχεία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, η κατανάλωση ενέργειας στον κτιριακό τομέα για θέρμανση, ψύξη, φωτισμό και ζεστό νερό χρήσης αναλογεί στο 40% περίπου της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης στην Ευρώπη. Ο οικιακός και τριτογενής κτιριακός τομέας αποτελούν πλέον το μεγαλύτερο τελικό καταναλωτή ενέργειας εκτοπίζοντας τους παραδοσιακά μεγάλους καταναλωτές, τη βιομηχανία και τις μεταφορές. Επί πλέον, η παραγωγή και χρήση ενέργειας είναι η αιτία για το 94% των Εκπομπών CO₂, με ένα σημαντικό μερίδιο τουλάχιστον 45% να αναλογεί στον κτιριακό τομέα.

Τα τελευταία χρόνια, λόγω των προαναφερόμενων παραγόντων και των συνεχόμενων αυξανόμενων περιβαλλοντικών προβλημάτων, έχει δοθεί διεθνώς ιδιαίτερη έμφαση στους τομείς της ορθολογικής χρήσης και εξοικονόμησης της ενέργειας. Ένα μεγάλο ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας είναι εφικτό για τα κτίρια, καθώς εκτιμάται ότι με απλές και ενεργειακά αποδοτικές τεχνικές, μπορεί να επιτευχθεί εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης του 22% μέχρι το 2020. Ειδικότερα:

- Για τη θέρμανση των κτιρίων, 10 εκατομμύρια οικιακοί λέβητες από τους συνολικά εγκατεστημένους στην Ε.Ε. είναι παλιότεροι από 20 ετών και η αντικατάστασή τους μπορεί να επιφέρει 5% εξοικονόμηση ενέργειας,
- Για τον κλιματισμό των κτιρίων, η κατανάλωση ενέργειας αναμένεται να διπλασιαστεί ως το 2020, ποσοστό που μπορεί να μειωθεί κατά 25% με την εγκατάσταση συστημάτων κλιματισμού που εξασφαλίζουν απαιτήσεις ελάχιστης απόδοσης,
- Η εφαρμογή παθητικών και ηλιακών συστημάτων, βιοκλιματικού σχεδιασμού, φυσικού φωτισμού και φυσικού δροσισμού μπορεί να μειώσει την ενεργειακή κατανάλωση κατά 60%, ενώ,
- Επιπρόσθετη εξοικονόμηση, είναι εφικτή με την αξιοποίηση τοπικά διαθέσιμων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, την εγκατάσταση συστημάτων ΠΗΣ, ΣΗΘ, τηλεθέρμανσης και αντλιών θερμότητας.

Τα ενεργειακά και περιβαλλοντικά οφέλη από την εφαρμογή των αρχών του ενεργειακού βιοκλιματικού σχεδιασμού κατά την ανακαίνιση κτιρίων είναι ακόμα μεγαλύτερα, καθώς το υφιστάμενο κτιριακό απόθεμα στην Ε.Ε. είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε μέγεθος. Σύμφωνα με εκθέσεις της Ε.Ε., η ανακαίνιση των παλαιότερων κτιρίων στην Ευρώπη με απλή θερμομόνωση των κτιρίων μπορεί να επιφέρει μείωση των εκπομπών ρύπων CO₂ κατά 42%.

Η εξοικονόμηση ενέργειας αποτελεί πρωταρχικό μέτρο για την προστασία του περιβάλλοντος, αλλά και για τον περιορισμό της εκροής συναλλάγματος από την εθνική οικονομία, προς εξασφάλιση της απαιτούμενης ποσότητας ρυπογόνων ορυκτών καυσίμων, κυρίως του πετρελαίου. Ειδικότερα, η ανάγκη για εξοικονόμηση ενέργειας είναι πολύ εμφανής στα ελληνικά κτίρια τόσο του οικιακού όσο και του τριτογενούς τομέα, όπου η χρήση των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων και συσκευών καλύπτει ένα ποσοστό 40% περίπου της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας στη χώρα, με μέσο ετήσιο ρυθμό αύξησης 3% από τις αρχές της δεκαετίας του '90.

Επιπλέον, η λειτουργία των κτιριακών ενεργειακών συστημάτων προκαλεί το 40% περίπου των συνολικών εκπομπών CO₂ στην ατμόσφαιρα, ενός αερίου που ως γνωστόν ευθύνεται για τη δημιουργία του φαινομένου του θερμοκηπίου. Η εκπόνηση μελέτης ενεργειακής απόδοσης είναι υποχρεωτική, βάσει του νόμου 3661/2008 «Μέτρα για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτηρίων και άλλες διατάξεις» (ΦΕΚ Α 89). Για όλα τα νέα ή ριζικά ανακαινιζόμενα κτίρια με τις εξαιρέσεις του άρθρου 11, όπως αυτός τροποποιήθηκε σύμφωνα με τα άρθρα 10 και 10Α του νόμου 3851/2010. Η μελέτη ενεργειακής απόδοσης εκπονείται βάσει του Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων - Κ.Εν,Α.Κ. (Φ.Ε.Κ. Β 407/6.4.2010) και τις Τεχνικές Οδηγίες του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας του συντάχθηκαν υποστηρικτικά του κανονισμού όπως αυτές ισχύουν επικαιροποιημένες. Ειδικότερα, η μελέτη ενεργειακής απόδοσης βασίζεται στις εξής Τ.Ο.Τ.Ε.Ε.:

- 20701-1/2010: «Αναλυτικές Εθνικές Προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτηρίων και την έκδοση πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης».
- 20701-2/2010: «Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας των κτηρίων».
- 20701-3/2010: «Κλιματικά δεδομένα ελληνικών πόλεων».

- 20701-4/2010: «Οδηγίες και έντυπα ενεργειακών επιθεωρήσεων κτιρίων, λεβητών και εγκαταστάσεων θέρμανσης και εγκαταστάσεων κλιματισμού».

Η ενσωμάτωση παθητικών ηλιακών συστημάτων (Π.Η.Σ.) πέραν του άμεσου κέρδους, εγκαταστάσεων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ.) και συστημάτων συμπαραγωγής ηλεκτρισμού - θέρμανσης (Σ.Η.Θ.) θα καλυφθεί στην αμέσως επόμενη φάση με την έκδοση των ακόλουθων Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. που θα καθορίσουν με σαφήνεια τις παραμέτρους και τις προδιαγραφές των σχετικών μελετών - εγκαταστάσεων:

- 20701-X/2010: «Βιοκλιματικός σχεδιασμός».
- 20701-X/2010: «Εγκαταστάσεις ΑΠΕ. σε κτήρια».
- 20701-X/2010: «Εγκατασταθείς Σ.Η.Θ. σε κτήρια».

Σύμφωνα με την εγκύκλιο οικ.1603/4.10.2010: «Για την καλύτερη δυνατή εφαρμογή των απαιτήσεων της παραγράφου 1 του άρθρου 3 «Σχεδιασμός Κτιρίου», απαιτείται συστηματική προσέγγιση των αρχών του βιοκλιματικού σχεδιασμού του κτιρίου με επαρκή τεχνική τεκμηρίωση, στη βάση της διαθέσιμης βιβλιογραφίας και έως την έκδοση σχετικής Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. Στην περίπτωση που αποδεδειγμένα υπάρχουν αρκετά περιορισμοί (πολεοδομικού, τεχνικού, αισθητικού, οικονομικού χαρακτήρα, κ.ά.) που ενδεχομένως αποκλείουν την εφαρμογή της βέλτιστης ενεργειακά λύσης, υποβάλλεται υποχρεωτικά Τεχνική Έκθεση, η οποία θα τεκμηριώνει επαρκώς τους λόγους μη εφαρμογής κάθε μίας από τις περιπτώσεις της παρ. 1 του άρθρου 8.

Στόχος της ενεργειακής μελέτης είναι η ελαχιστοποίηση κατά το δυνατόν της κατανάλωσης ενέργειας για την σωστή λειτουργία του κτιρίου, μέσω:

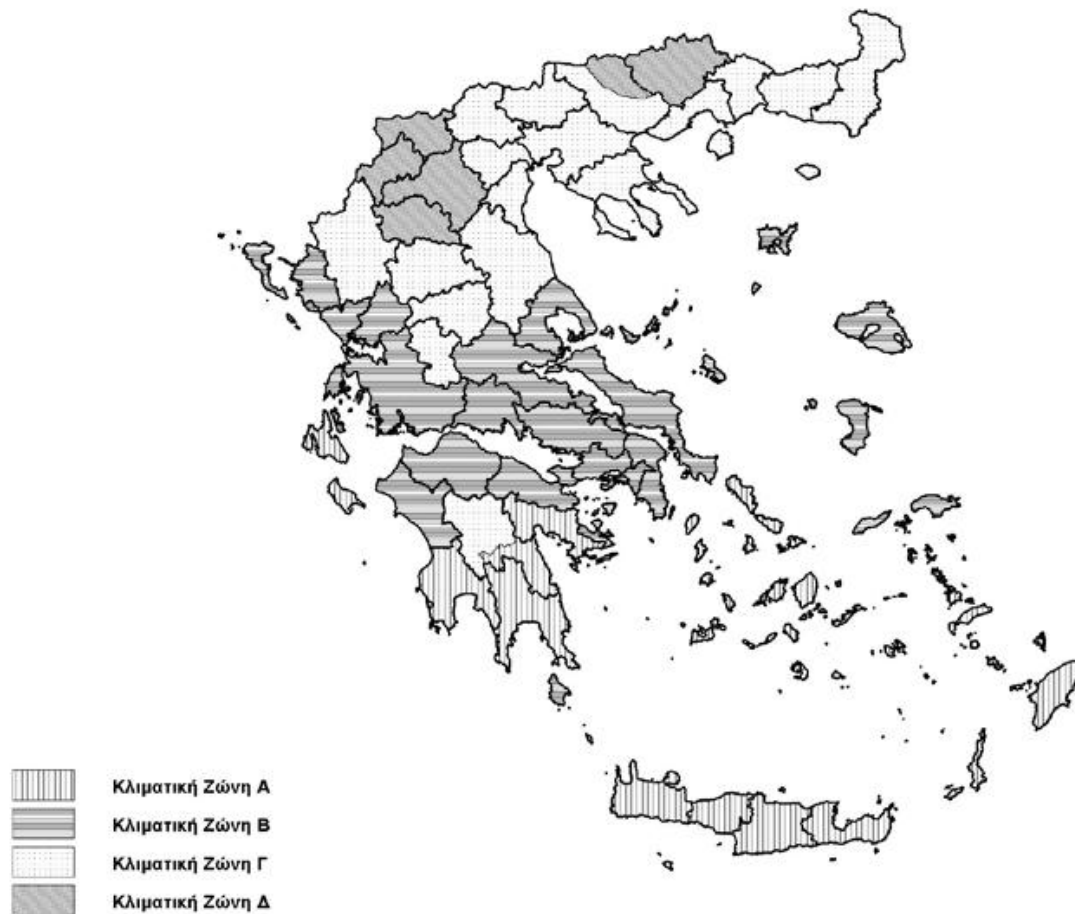
- του βιοκλιματικού σχεδιασμού του κτηριακού κελύφους, αξιοποιώντας τη θέση του κτιρίου ως προς τον περιβάλλοντα χώρο. την ηλιακή διαθέσιμη ακτινοβολία ανά προσανατολισμό όψης, κ.ά.,
- της θερμομονωτικής επάρκειας του κτιρίου με την κατάλληλη εφαρμογή θερμομόνωσης στα αδιαφανή δομικά στοιχεία αποφεύγοντας κατά το δυνατόν τη δημιουργία θερμογεφυρών, καθώς και την επιλογή κατάλληλων κουφωμάτων, δηλαδή συνδυασμό υαλοπίνακα αλλά και πλαισίου,
- της επιλογής κατάλληλων ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων υψηλής απόδοσης, για την κάλυψη των αναγκών σε θέρμανση, ψύξη, κλιματισμό, φωτισμό και ζεστό νερό χρήσης με την κατά το δυνατόν ελάχιστη κατανάλωση (ανηγμένης) πρωτογενούς ενέργειας.
- της χρήσης τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Α.Π.Ε.) όπως ηλιοθερμικά συστήματα, φωτοβολταϊκά συστήματα, γεωθερμικές αντλίες θερμότητας (εδάφους, υπόγειων και επιφανειακών νερών) κ. ά. και

της εφαρμογής διατάξεων αυτομάτου ελέγχου της λειτουργίας των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων, για τον περιορισμό της άσκοπης χρήσης τους.

1.1.3 Κλιματικές Ζώνες

Τα όρια για τους συντελεστές θερμικής διαπερατότητας των δομικών στοιχείων ποικίλουν ανάλογα με τις κλιματικές ζώνες. Οι κλιματικές ζώνες διαχωρίζονται με

τον εξής τρόπο. Τα σύνορα κάθε κλιματικής ζώνης συνίστανται από ισοθερμικές καμπύλες της ετήσιας μέσης θερμοκρασίας περιβάλλοντος που διαφέρει τουλάχιστον κατά 4° C. Κατά αυτόν τον τρόπο διακρίνονται 4 κλιματικές ζώνες (Α, Β, Γ, Δ) για τον ελλαδικό χώρο, όπως παρουσιάζονται στο σχήμα 1.1.



Σχήμα 1.1 Σχηματική Απεικόνιση κλιματικών ζωνών ελληνικής επικράτειας

ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ	ΝΟΜΟΙ
ΖΩΝΗ Α	Ηρακλείου, Χανίων, Ρεθύμνου, Λασιθίου, Κυκλάδων, Δωδεκανήσου, Σάμου, Μεσσηνίας, Λακωνίας, Αργολίδας, Ζακύνθου, Κεφαλληνίας & Ιθάκης, Κύθηρα & νησιά Σαρωνικού (Αττικής), Αρκαδίας (πεδινή)
ΖΩΝΗ Β	Αττικής (εκτός Κυθήρων & νησιών Σαρωνικού), Κορινθίας, Ηλείας, Αχαΐας, Αιτωλοακαρνανίας, Φθιώτιδας, Φωκίδας, Βοιωτίας, Ευβοίας, Μαγνησίας, Λέσβου, Χίου, Κέρκυρας, Λευκάδας, Θεσπρωτίας, Πρέβεζας, Άρτας
ΖΩΝΗ Γ	Αρκαδίας (ορεινή), Ευρυτανίας, Ιωαννίνων, Λάρισας, Καρδίτσας, Τρικάλων, Πιερίας, Ημαθίας, Πέλλης, Θεσσαλονίκης, Κιλκίς, Χαλκιδικής, Σερρών (εκτός ΒΑ τμήματος), Καβάλας, Ξάνθης, Ροδόπης, Έβρου
ΖΩΝΗ Δ	Γρεβενά, Κοζάνη, Καστοριά, Φλώρινα, Σερρών (ΒΑ τμήμα), Δράμας

Πίνακας 1.2 Νομοί ελληνικής επικράτειας ανά κλιματική ζώνη

Στον Πίνακα 1.2 προσδιορίζονται οι νομοί που υπάγονται στις τέσσερις κλιματικές ζώνες (από τη θερμότερη στην ψυχρότερη)

Σε κάθε νομό, οι περιοχές που βρίσκονται σε υψόμετρο άνω των 500 μέτρων, εντάσσονται στην επόμενη ψυχρότερη κλιματική ζώνη από εκείνη στην οποία ανήκουν σύμφωνα με τα παραπάνω.

1.1.4 Συνθήκες λειτουργίας κτιρίων

Οι πραγματικές συνθήκες λειτουργίας ενός κτιρίου μπορεί να διαφέρουν κατά περίπτωση, ανάλογα τη χρήση ή/και τους χρήστες του κτιρίου. Επομένως, είναι απαραίτητο να καθοριστούν και να 'τυποποιηθούν' σε εθνικό επίπεδο οι αποδεκτές, κατά τα πρότυπα, συνθήκες λειτουργίας ενός κτιρίου συγκεκριμένης χρήσης, προκειμένου να προσδιορίζεται πιο εύκολα και με μικρότερη επίδραση της υποκειμενικότητας του μελετητή η εκτιμώμενη κατανάλωση ενέργειας, η οποία και τελικά θα χαρακτηρίζει την ενεργειακή απόδοση του κτιρίου σύμφωνα και με τα ευρωπαϊκά πρότυπα. Με την παραδοχή και χρήση καθορισμένων τιμών για τις συνθήκες λειτουργίας ανά χρήση κτιρίου ή θερμικής ζώνης, προσδιορίζεται κατά τους υπολογισμούς η εκτιμώμενη κατανάλωση ενέργειας, η οποία και τελικά θα χαρακτηρίζει την ενεργειακή απόδοση του κτιρίου. Οι συνθήκες λειτουργίας του κτιρίου ή της θερμικής ζώνης που επηρεάζουν την ενεργειακή συμπεριφορά του κτιρίου είναι οι εξής:

- η χρονική περίοδος και ωράριο λειτουργίας κτιρίου,
- η επιθυμητή θερμοκρασία του χώρου για την θερινή και χειμερινή περίοδο,
- η επιθυμητή υγρασία του χώρου για την θερινή και χειμερινή περίοδο,
- ο απαιτούμενος νωπός αέρας του χώρου,
- η στάθμη γενικού φωτισμού του χώρου,
- η τυπική κατανάλωση ζεστού νερού χρήσης ανά τύπο κτιρίου

Να σημειωθεί ότι σε ειδικές περιπτώσεις κτιρίων ή/και ειδικών χώρων κτιρίων και γενικότερα σε περιπτώσεις που χρήζουν πιο λεπτομερούς αντιμετώπισης, οι συνθήκες λειτουργίας καθορίζονται από τις συνθήκες σχεδιασμού κατά περίπτωση.

Οι ειδικές συνθήκες λειτουργίας των επί μέρους χώρων ενός κτιρίου (διαδρόμων, αποθηκών, κ.ά.) λαμβάνονται υπόψη μόνο κατά το σχεδιασμό του κτιρίου ή κατά το σχεδιασμό της θερμικής ζώνης, ενώ κατά την ενεργειακή μελέτη για κάθε παράμετρο (θερμοκρασία, σχετική υγρασία κ.ά.) λαμβάνεται υπόψη μια ενιαία τιμή, η οποία αντιστοιχεί στη γενική χρήση του κτιρίου, κατά τους αντίστοιχους πίνακες.

Επίσης, σε όσες υποκατηγορίες κτιρίων δεν υπάρχει καθορισμένη τιμή παραμέτρων (θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας, κ.ά.), λαμβάνεται υπόψη η γενική τιμή της κατηγορίας. Για παράδειγμα, οι αποθήκες μουσείων μπορούν να λάβουν την τιμή που δίνεται για τις αποθήκες γενικώς, εκτός αν απαιτούνται ειδικές συνθήκες.

1.1.5 Απαιτήσεις ενεργειακής κατανάλωσης κτιρίων

Για τον καθορισμό των απαιτήσεων ενεργειακής κατανάλωσης για τα νέα και τα ανακαινιζόμενα κτίρια και των κατηγοριών για την κατάταξη των κτιρίων, βάσει της ενεργειακής τους κατανάλωσης, χρησιμοποιήθηκε η μεθοδολογία του προτύπου prEN 15217:2006 και το Σχέδιο Κανονισμού για την Ενεργειακή Αποδοτικότητα των κτιρίων-KENAK.

Σύμφωνα με το πρότυπο, βάσει της ενεργειακής κατανάλωσης του κτιρίου ("EK"), για θέρμανση, ψύξη, ζεστό νερό χρήσης (ZNX) και φωτισμό, εκφρασμένης σε kWh/(m²*έτος), ορίζονται κατηγορίες ενεργειακών ορίων, από το Α έως το Η, συναρτήσει:

- του δείκτη ενεργειακής κατανάλωσης αναφοράς του κανονισμού, R_r . Αυτός αντιστοιχεί στη μέγιστη επιτρεπόμενη από τον κανονισμό τιμή ενεργειακής κατανάλωσης, τόσο για τα νέα κτίρια, όσο και για τα υφιστάμενα άνω των 1.000 τ.μ. που υφίστανται ριζική ανακαίνιση.
- του δείκτη ενεργειακής κατανάλωσης αναφοράς του κτιριακού αποθέματος, R_s . Αυτός αντιστοιχεί στην ενεργειακή κατανάλωση που αγγίζει περίπου το 50% του εθνικού κτιριακού αποθέματος (μέση τιμή).

Οι δείκτες R_r και R_s αφορούν στο σύνολο των ενεργειακών απαιτήσεων (θέρμανση, ψύξη, φωτισμό και ζεστό νερό χρήσης). Και οι δύο δείκτες είναι εκφρασμένοι σε kWh/(m²*έτος).

Βάσει του προτύπου, ο δείκτης R_r τοποθετείται στα όρια μεταξύ των κλάσεων Β και C, ενώ αντίστοιχα ο δείκτης R_s τοποθετείται ανάμεσα στις κλάσεις D και E.

Για την περαιτέρω βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας των κτιρίων που κατατάσσονται στις κατηγορίες Α και Β, θεσπίστηκαν οι κατηγορίες Α+ και Β+. Έτσι, τα όρια των ενεργειακών κατηγοριών που προκύπτουν, έχουν ως εξής:

Κατηγορία	Όρια κατηγορίας	Όρια κατηγορίας
A+	$EP \leq 0,33R$	$T \leq 0,33$
A	$0,33 RR < EP \leq 0,50 RR$	$0,33 < T \leq 0,50$
B+	$0,50 RR < EP \leq 0,75 RR$	$0,50 < T \leq 0,75$
B	$0,75 RR < EP \leq 1,00 RR$	$0,75 < T \leq 1,00$
Γ	$1,00 RR < EP \leq 1,41 RR$	$1,00 < T \leq 1,41$
Δ	$1,41 RR < EP \leq 1,82 RR$	$1,41 < T \leq 1,82$
E	$1,82 RR < EP \leq 2,27 RR$	$1,82 < T \leq 2,27$
Z	$2,27 RR < EP \leq 2,73 RR$	$2,27 < T \leq 2,73$
H	$2,73 RR < EP$	$2,73 < T$

Πίνακας 1.3 Όρια ενεργειακών κατηγοριών KENAK

Ο δείκτης R_R είναι ίσος με την υπολογιζόμενη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του κτιρίου αναφοράς. Ο λόγος T είναι το πηλίκο της υπολογιζόμενης κατανάλωσης

πρωτογενούς ενέργειας του εξεταζόμενου κτιρίου (EP) προς την υπολογιζόμενη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του κτιρίου αναφοράς (R_R) και αποτελεί το κριτήριο για την κατάταξη του κτιρίου στην αντίστοιχη κατηγορία ενεργειακής απόδοσης. Η ετήσια συνολική κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του κτιρίου αναφοράς αντιστοιχεί στο άνω όριο της κατηγορίας ενεργειακής απόδοσης B. Κτίρια με χαμηλότερη ή υψηλότερη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας κατατάσσονται στην αντίστοιχη ενεργειακή κατηγορία.

Στους πίνακες που ακολουθούν, δίνεται η κλίμακα ενεργειακής βαθμολόγησης του κτιρίου, αναλόγως της ενεργειακής του κατανάλωσης, ανά κατηγορία χρήσης κτιρίου και ανά κλιματική ζώνη. Όλα τα νέα κτίρια, καθώς και τα υφιστάμενα άνω των 1000 τ.μ. που υφίστανται ριζική ανακαίνιση, θα πρέπει να βρίσκονται -κατ' ελάχιστον- εντός του εύρους ενεργειακής κατανάλωσης της κατηγορίας B.

ΓΡΑΦΕΙΟ												
Μέγιστες και ελάχιστες τιμές ενεργειακής κατανάλωσης [(kWh/m ² *έτος)]												
Κλιματική Ζώνη												
		Α			Β			Γ			Δ	
A+		EK<	40		EK<	45		EK<	50		EK<	55
A	40	≤	60	45	≤ EK<	70	50	≤ EK<	75	55	≤ EK<	85
B+	60	≤ EK<	90	70	≤ EK<	100	75	≤ EK<	110	85	≤ EK<	125
B	90	≤ EK<	120	100	≤ EK<	135	110	≤ EK<	145	125	≤ EK<	165
Γ	120	≤ EK<	140	135	≤ EK<	155	145	≤ EK<	170	165	≤ EK<	195
Δ	140	≤ EK<	160	155	≤ EK<	175	170	≤ EK<	195	195	≤ EK<	220
E	160	≤ EK<	200	175	≤ EK<	220	195	≤ EK<	240	220	≤ EK<	275
Z	200	≤ EK<	240	220	≤ EK<	265	240	≤ EK<	290	275	≤ EK<	330
H	240	≤ EK		265	≤ EK		290	≤ EK		330	≤ EK	

Πίνακας 1.4 Όρια ενεργειακών κατηγοριών γραφείων για τις 4 κλιματικές ζώνες

ΜΟΝΟΚΑΤΟΙΚΙΑ												
Μέγιστες και ελάχιστες τιμές ενεργειακής κατανάλωσης [(kWh/m ² *έτος)]												
Κλιματική Ζώνη												
		Α			Β			Γ			Δ	
A+		EK<	0		EK<	60		EK<	65		EK<	75
A	60	≤ EK<	0	60	≤ EK<	80	65	≤ EK<	90	75	≤ EK<	100
B+	80	≤ EK<	10	80	≤ EK<	115	90	≤ EK<	125	100	≤ EK<	140
B	110	≤ EK<	40	115	≤ EK<	145	125	≤ EK<	160	140	≤ EK<	180
Γ	140	≤ EK<	55	145	≤ EK<	165	160	≤ EK<	180	180	≤ EK<	205
Δ	155	≤ EK<	75	165	≤ EK<	185	180	≤ EK<	205	205	≤ EK<	230
E	175	≤ EK<	15	185	≤ EK<	225	205	≤ EK<	250	230	≤ EK<	285
Z	215	≤ EK<	55	225	≤ EK<	265	250	≤ EK<	300	285	≤ EK<	335
H	255	≤ EK		265	≤ EK		300	≤ EK		335	≤ EK	

Πίνακας 1.5 Όρια ενεργειακών κατηγοριών μονοκατοικιών για τις 4 κλιματικές ζώνες

ΠΟΛΥΚΑΤΟΙΚΙΑ												
Μέγιστες και ελάχιστες τιμές ενεργειακής κατανάλωσης [(kWh/m ² *έτος)]												
Κλιματική Ζώνη												
		Α			Β			Γ			Δ	
A+		EK<	55		EK<	60		EK<	65		EK<	70
A	55	≤ EK<	70	60	≤ EK<	75	65	≤ EK<	80	70	≤ EK<	90
B+	70	≤ EK<	95	75	≤ EK<	105	80	≤ EK<	110	90	≤ EK<	125
B	95	≤ EK<	120	105	≤ EK<	130	110	≤ EK<	140	125	≤ EK<	160
Γ	120	≤ EK<	135	130	≤ EK<	150	140	≤ EK<	160	160	≤ EK<	185
Δ	135	≤ EK<	155	150	≤ EK<	165	160	≤ EK<	180	185	≤ EK<	205
E	155	≤ EK<	185	165	≤ EK<	200	180	≤ EK<	220	205	≤ EK<	255
Z	185	≤ EK<	220	200	≤ EK<	240	220	≤ EK<	260	255	≤ EK<	300
H	220	≤ EK		240	≤ EK		260	≤ EK		300	≤ EK	

Πίνακας 1.6 Όρια ενεργειακών κατηγοριών πολυκατοικιών για τις 4 κλιματικές ζώνες

Από τους παραπάνω πίνακες μπορούν να εξαχθούν τα εξής συμπεράσματα. Καταρχάς, παρατηρείται ότι οι αυστηρότερες τιμές αναφοράς για την ενεργειακή κατανάλωση εμφανίζονται όπως είναι λογικό στα γραφεία. Είναι γεγονός ότι τα

γραφεία είναι μετά τις βιομηχανικές εγκαταστάσεις, ο πιο ενεργοβόρος τύπος κτιρίων και επομένως έχουν θεσπιστεί τα αυστηρότερα μέτρα. Ακολουθούν οι πολυκατοικίες και τελευταίες οι μονοκατοικίες που έχουν τη μικρότερη κατανάλωση (σε kWh), και με τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές ενεργειακής κατανάλωσης να είναι ελαστικότερες.

Επιπλέον, είναι αξιοσημείωτη η διάκριση που γίνεται ανάμεσα στις κλιματικές ζώνες. Ειδικότερα παρατηρείται ότι αυξανόμενη της κλιματικής ζώνης από Α σε Δ, αυξάνονται και τα όρια ενεργειακής κατανάλωσης.

Ωστόσο, έχει ενδιαφέρον να αναφερθεί διαχρονικά η κατάσταση στη χώρα, όσο και προβλέψεις που έχουν γίνει σχετικά με την ενεργειακή κατανάλωση κτιρίων. Ο παρακάτω πίνακας καταγράφει στατιστικά δεδομένα σχετικά με την ετήσια ηλεκτρική και θερμική ενεργειακή κατανάλωση (kWh/m²) σε ελληνικά κτίρια ανάλογα με την κλιματική ζώνη που ανήκουν. Τα κτίρια που αναφέρονται είναι γραφεία, ξενοδοχεία, σχολεία καθώς και νοσοκομεία, που κατασκευάστηκαν το 1980, και το 2001.

1.3 Εισαγωγή στα Συστήματα Θέρμανσης

Με τον όρο θέρμανση και θερμομόνωση ενός κτιρίου υπονοείται η συλλογή ή/και παραγωγή των κατάλληλων ποσοτήτων θερμότητας για την κάλυψη των θερμικών αναγκών του κτιρίου, η αποθήκευση και διατήρηση της θερμότητας εντός κτιρίου και η διανομή της στους διάφορους χώρους του.

Στην πορεία των ετών οι ανάγκες των ανθρώπων, τα διαθέσιμα καύσιμα, το επίπεδο της τεχνολογίας, οι οικονομικές και κοινωνικές δυνατότητες και πολλοί άλλοι παράγοντες, έδωσαν λύσεις απλές ή πολύπλοκες, στην ανάγκη να αντιμετωπιστούν ακραίες εχθρικές, ή έστω ενοχλητικές θερμοκρασιακές καταστάσεις του περιβάλλοντος.

Τα παραπάνω, κατέστησαν αναγκαίο ένα σύστημα παραγωγής, προσαγωγής ή απαγωγής θερμικής ενέργειας, σχεδόν πάντοτε βασισμένο σε κάποια καύση. Χρήση της παραγόμενης θερμότητας είναι δυνατόν να γίνει άμεσα (π.χ. προσέγγιση σε εστία φωτιάς) ή έμμεσα, με τη βοήθεια ενός υλικού μέσου (συνήθως νερού ή αέρα), που μεταφέρει θερμότητα σε κάποια απόσταση από την εστία καύσεως ή το σημείο όπου υπάρχει διαθέσιμη θερμότητα.

Τα συστήματα θέρμανσης αναφέρονται στον τρόπο, με το οποίο η θερμική ενέργεια χρησιμοποιείται ώστε να καλύψει ωφέλιμα σε λειτουργίες που αφορούν στη βιομηχανία, μεταφορές και σε κατοικίες, όπως επίσης και στο ρόλο που διαδραματίζουν στη μελέτη της ζωής των ανθρώπων, των ζώων και των φυτών. Στα συστήματα θέρμανσης ανήκουν και η συλλογή, μεταφορά και μετατροπή της ενέργειας. Με βάση τα προαναφερόμενα, η θέρμανση μπορεί να διαχωριστεί σε "άμεση" και "έμμεση" θέρμανση

Στα συστήματα και τις μονάδες αμέσου θερμάνσεως συμπεριλαμβάνονται οι ανοικτές εστίες, τα τζάκια, οι θερμάστρες καύσεως, οι θερμάστρες που λειτουργούν με ηλεκτρική αντίσταση κ.ά. Χαρακτηριστικό των μονάδων αυτών είναι ότι το σύστημα παραγωγής της θερμότητας βρίσκεται μέσα στο χώρο που θερμαίνει.

Οι έμμεσες θερμάνσεις μπορούν ποσοτικά (χώρο – γεωγραφικά) και ποιοτικά να ανταποκριθούν σε αυξημένες απαιτήσεις. Ένα καύσιμο ή άλλη πηγή ενέργειας (π.χ. ηλεκτρικό ρεύμα, νερό από γεωθερμική πηγή, ηλιακός συλλέκτης κ.ά.), θερμαίνουν ένα ρευστό, το φορέα της θερμότητας (συνήθως νερό, αέρας, λάδι), ο οποίος οδηγείται στον ή στους χώρους που επιθυμούμε και με τη βοήθεια καταλλήλων εναλλακτών, προσφέρει θερμότητα με αγωγή, μεταφορά και ακτινοβολία. Στα συστήματα αυτά η μονάδα παραγωγής της θερμότητας βρίσκεται έξω από τους θερμαινόμενους χώρους, συνήθως σε κατάλληλα διαμορφωμένα λεβητοστάσια.

Τα συστήματα θερμάνσεως διακρίνονται σε “μεμονωμένα”, “αυτόνομα” ή “τοπικά” και σε “κεντρικές θερμάνσεις”, με κριτήριο τον αριθμό των θερμαινόμενων χώρων από μία κεντρική πηγή θερμάνσεως. Επίσης με κριτήριο τον τρόπο μεταφοράς της θερμότητας στους χώρους, διακρίνονται σε θερμάνσεις ζεστού νερού, θερμάνσεις υπέρθερμου νερού, θερμάνσεις ατμού, θερμάνσεις αέρα κ.ά. Τέλος, με κριτήριο το καύσιμο, οι θερμάνσεις διακρίνονται σε θερμάνσεις πετρελαίου, βιομάζας, φυσικού αερίου κ.ά. τα οποία θα αναλυθούν συστηματικά στη συνέχεια του συγγράμματος.

1.4 Εισαγωγή στα Ηλιοθερμικά Συστήματα

Κύριο αντικείμενο της παρούσης πτυχιακής εργασίας είναι η παρουσίαση των σύγχρονων ηλιοθερμικών συστημάτων, με τη χρήση των οποίων είναι εφικτή η ενεργειακή βελτιστοποίηση κτιρίων και η οικονομία που επιτυγχάνεται τόσο στη χρήση θέρμανσης ενός κτιρίου όσο και στην παραγωγή Ζεστού Νερού Χρήσης σε αυτό. Τα ηλιοθερμικά συστήματα αξιοποιούν την ηλιακή ενέργεια δηλ. την ενέργεια που προέρχεται από τον ήλιο και που είναι μια μορφή ανανεώσιμης πηγής ενέργειας. Η Ελλάδα είναι χώρα με μεγάλη ηλιοφάνεια και προσφέρεται για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας.

Τα ηλιοθερμικά συστήματα βρίσκουν εφαρμογή σε ένα πολύ μεγάλο φάσμα χρήσεων της καθημερινότητας μας. Χρησιμοποιούνται:

- ◆ σε μικρά και μεγάλα κτίρια για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης, θέρμανση (ηλιακή θέρμανση) και κλιματισμό χώρων,
- ◆ σε κολυμβητικές δεξαμενές για τη θέρμανση νερού,
- ◆ για θέρμανση εδάφους σε θερμοκήπια,
- ◆ για παραγωγή ζεστών νερών που απαιτούνται σε παραγωγικές διαδικασίες όπως σαπωνοποιεία, βαφεία, ζυθοποιεία κλπ.
- ◆ στην αφαλάτωση νερού και
- ◆ στην παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος (μέσω ατμοηλεκτρικών μονάδων παραγωγής)

Ανάλογα με το ρευστό, που κυκλοφορεί στους συλλέκτες, η λειτουργία των οποίων θα αναλυθεί στη συνέχεια της εργασίας, τα ηλιοθερμικά συστήματα διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

- I. Ηλιοθερμικά συστήματα με συλλέκτες νερού.

II. Ηλιοθερμικά συστήματα με συλλέκτες αέρα.

Τα ηλιοθερμικά συστήματα, επίσης, διακρίνονται με *βάση της λειτουργίας* των σε τέσσερις κατηγορίες:

- I. Ηλιοθερμικά συστήματα παραγωγής Ζεστού Νερού Χρήσης.
- II. Ηλιοθερμικά συστήματα παραγωγής Ζεστού Νερού Χρήσης και θέρμανσης χώρων.
- III. Ηλιοθερμικά συστήματα κλιματισμού.
- IV. Ηλιοθερμικά συστήματα ανοιχτών κολυμβητικών δεξαμενών.

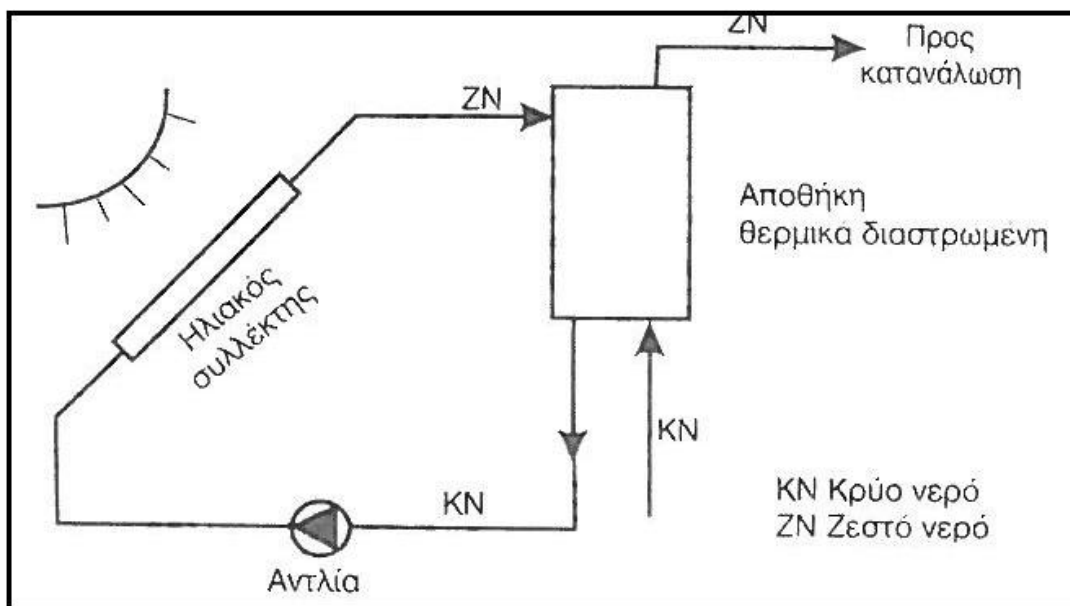
Τα συστήματα που ανήκουν στην κατηγορία I. διακρίνονται σε:

- Τοπικά ή ατομικά (ηλιακοί θερμοσίφωνες),
- Κεντρικά (Boiler ζεστού νερού με συστοιχία ηλιακών συλλεκτών),

ενώ αυτά που ανήκουν στη κατηγορία II, διακρίνονται σε δύο τύπους:

- Ηλιοθερμικά συστήματα ανοιχτού κυκλώματος,

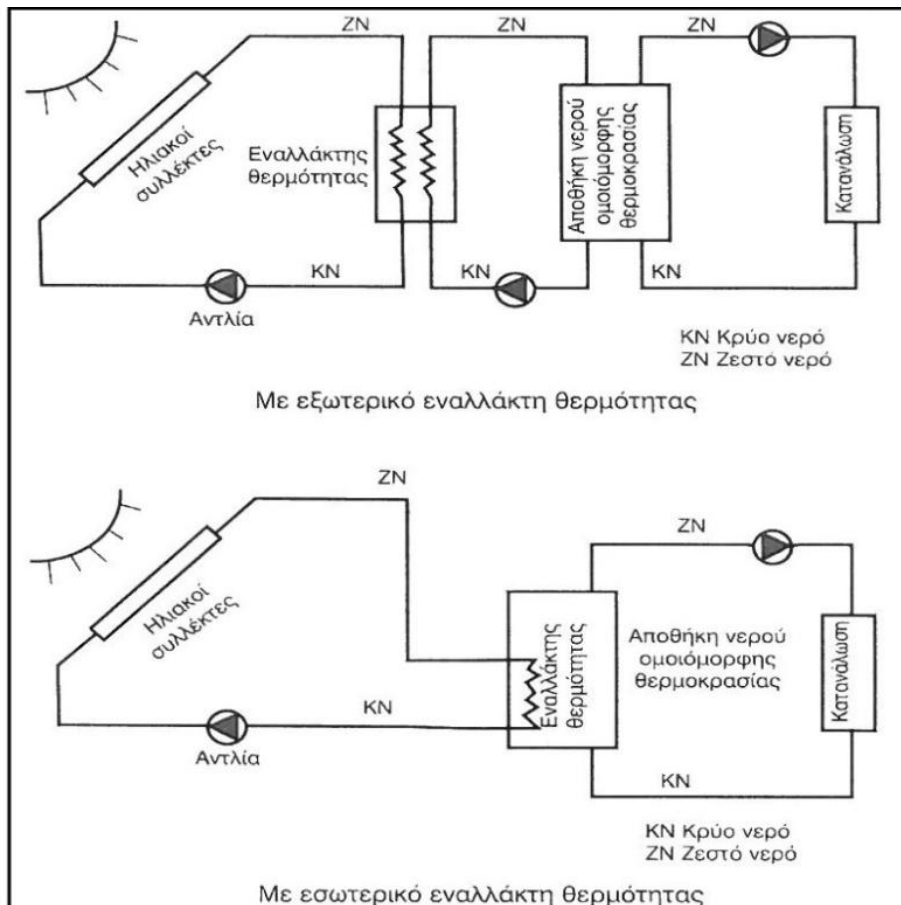
Στα συστήματα αυτά, Σχ. 1.2, το νερό της δεξαμενής αποθήκευσης διέρχεται από τους ηλιακούς συλλέκτες.



Σχήμα 1.2 Ηλιοθερμικό σύστημα ανοιχτού κυκλώματος για παραγωγή ζεστού νερού

- Ηλιοθερμικά συστήματα κλειστού κυκλώματος,

Στα συστήματα αυτά, Σχ. 1.3, μεταξύ των συλλεκτών και της δεξαμενής αποθήκευσης παρεμβάλλεται ένας εναλλάκτης θερμότητας, οπότε το υδατικό διάλυμα των συλλεκτών δεν αναμειγνύεται με το νερό της δεξαμενής.



Σχήμα 1.3 Ηλιοθερμικά συστήματα κλειστού κυκλώματος για παραγωγή ζεστού νερού και θέρμανση χώρων

Τα ηλιοθερμικά συστήματα ανοιχτού και κλειστού κυκλώματος διακρίνονται σε παθητικά συστήματα ή συστήματα φυσικής κυκλοφορίας και σε ενεργητικά ή συστήματα βεβιασμένης κυκλοφορίας. Τα συστήματα φυσικής κυκλοφορίας που ονομάζονται και θερμοσίφωνικά ή ηλιακοί θερμοσίφωνες λειτουργούν χωρίς αντλία, ενώ στα συστήματα βεβιασμένης κυκλοφορίας η χρήση της αντλίας είναι απαραίτητη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΘΕΡΜΑΝΣΗ

2.1 Σκοπός Θέρμανσης

Ο βασικός σκοπός μιας εγκατάστασης θερμάνσεως, είναι να μην επιτρέπει στη θερμοκρασία ενός χώρου να κατεβαίνει κάτω από μία ελάχιστη τιμή. Για την επίτευξη του σκοπού αυτού, η εγκατάσταση θερμάνσεως προσθέτει θερμότητα στο χώρο , όποτε χρειάζεται. Η θερμότητα αυτή παράγεται είτε τοπικά μέσα στο χώρο είτε κεντρικά κάπου μακριά από το χώρο και μεταφέρεται σε αυτόν με ένα δίκτυο μεταφοράς.

2.1.1 Διάκριση ειδών θέρμανσης

Γενικά περί εγκατάστασης θέρμανσης.

α. Εγκατάσταση θέρμανσης ενός κτιρίου είναι το σύνολο των συσκευών, κατασκευών, μηχανισμών κλπ. που απαιτούνται για την πρόσδοση θερμικής ενέργειας στους διαφόρους χώρους του κτιρίου, με σκοπό να καλύψει τις θερμικές απώλειες προς το περιβάλλον και να διατηρήσει τη θερμοκρασία των χώρων του κτιρίου στα επιθυμητά επίπεδα άνεσης.

β. Οι εγκαταστάσεις θέρμανσης κατατάσσονται σε κατηγορίες, ανάλογα με διάφορα κριτήρια.

Με κριτήριο:

☞ Τη θέση της πηγής παροχής θερμικής ενέργειας μέσα σε ένα κτίριο, έχουμε:

- Τοπικές θερμάνσεις
- Κεντρικές θερμάνσεις
- Περιφερειακές θερμάνσεις πόλης (τηλεθερμάνσεις).

☞ Την πηγή παροχής θερμικής ενέργειας, έχουμε:

- Θερμάνσεις με στερεά καύσιμα
- Θερμάνσεις με υγρά καύσιμα
- Θερμάνσεις με αέρια καύσιμα
- Θερμάνσεις με ηλεκτρική ενέργεια
- Θερμάνσεις με αντλία θερμότητας
- Θερμάνσεις με ηλιακή ενέργεια

☞ Το φορέα της θερμικής ενέργειας έχουμε:

- Θερμάνσεις με νερό (θερμό και υπέρθερμο)
- Θερμάνσεις με ατμό (χαμηλής και υψηλής πίεσης)
- Θερμάνσεις με αέρα

☞ Τον τρόπο μετάδοσης της θερμικής ενέργειας στο χώρο, έχουμε:

- Θερμάνσεις με ακτινοβολία θερμότητας
- Θερμάνσεις με μεταβίβαση θερμότητας
- Συνδυασμό των δύο παραπάνω.

γ. Ανεξάρτητα από το σύστημα θέρμανσης που θα επιλεγεί για να καλύψει τις ανάγκες των χώρων κτιρίου, όλη η εγκατάσταση θέρμανσης θα πρέπει να υπολογίζεται, κατασκευάζεται και λειτουργεί με τρόπο, ώστε να εξασφαλίζεται:

- Η ασφάλεια των ατόμων που τη χρησιμοποιούν, καθώς και η ασφάλεια του κτιρίου και των γειτονικών ιδιοκτησιών, όπου είναι εγκατεστημένη.
- Η άνεση των χρηστών της εγκατάστασης
- Η επάρκεια και η ορθή και απρόσκοπτη λειτουργία της εγκατάστασης, σε συνδυασμό με την ελαχιστοποίηση του κόστους λειτουργίας της
- Κατά το δυνατό, η αυτόματη λειτουργία της και να λαμβάνονται τα απαραίτητα κάθε φορά μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας.

Το σύστημα παροχής θερμότητας υπολογίζεται με βάση τις ολικές θερμικές απώλειες του κτιρίου. Ο υπολογισμός των θερμικών απωλειών του κτιρίου γίνεται σύμφωνα με τα οριζόμενα στον κανονισμό θερμομόνωσης (ΠΔ/1-6-79 ΦΕΚ-362/Δ/79) όπως εκάστοτε ισχύει.

δ. Τα υλικά, οι συσκευές ή εξαρτήματα και οι αυτοματισμοί που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή της εγκατάστασης της θέρμανσης θα πρέπει να είναι κατάλληλα για τη χρήση που προορίζονται, άριστης ποιότητας και εφοδιασμένα με αντίστοιχη έγκριση καταλληλότητας. Ο τρόπος κατασκευής των εγκαταστάσεων και η ποιότητα των υλικών, καθώς και συστάσεις και οδηγίες καθορίζονται από τις εγκεκριμένες τεχνικές οδηγίες.

ε. Η ενσωμάτωση στοιχείων της εγκατάστασης θέρμανσης στο φέροντα οργανισμό απαγορεύεται. Ενσωμάτωση αυτών στα μη φέροντα μέρη της οικοδομής πρέπει να αποφεύγεται, στις περιπτώσεις όμως που είναι αναπόφευκτη, επιτρέπεται εφόσον:

- i. πιθανή βλάβη του κτιρίου ή της εγκατάστασης θέρμανσης από σεισμό ή άλλη αιτία δεν θα επιφέρει αχρηστία στην εγκατάσταση θέρμανσης ή βλάβη στην οικοδομή και γενικά η αποκατάσταση των βλαβών να είναι σχετικά εύκολη, σύντομη και οικονομική.
- ii. δεν δημιουργούνται κακοτεχνίες και αντισταθμιστικές κατασκευές.
- iii. εξασφαλίζεται ελεύθερη συστολή - διαστολή των σωληνώσεων και έντεχνα τελειώματα.
- iv. τα ενσωματωμένα υλικά είναι κατάλληλα σύμφωνα με τις σχετικές προδιαγραφές και την τεχνική εμπειρία και δεν αλληλεπιδρούν μεταξύ τους.

Η στήριξη και η διέλευση των στοιχείων των εγκαταστάσεων θέρμανσης επιτρέπεται στα φέροντα και μη τμήματα της οικοδομής, εφόσον έχει γίνει σχετική πρόβλεψη από τη στατική και αντισεισμική μελέτη και εφαρμόζονται οι παραπάνω διατάξεις i, ii, iii και iv της παρούσας υποπαραγράφου. Εάν δεν έχει γίνει σχετική πρόβλεψη στην στατική και αντισεισμική μελέτη είναι δυνατόν να επιτραπούν διελεύσεις και στηρίξεις σε φέροντα ή μη τμήματα της οικοδομής, εάν δεν ελαττώνεται κάτω από τα επιτρεπτά όρια η φέρουσα ικανότητα και αντοχή αυτών, μετά από έγγραφη βεβαίωση του επιβλέποντα τις στατικές εργασίες μηχανικού, εφαρμοζομένων και πάλι των διατάξεων i, ii, iii και iv της παρούσας υποπαραγράφου.

στ. Εφόσον οι κλιματολογικές συνθήκες το απαιτούν, η εγκατάσταση θέρμανσης πρέπει να κατασκευάζεται με τέτοιο τρόπο, ώστε να εξασφαλίζεται επαρκής προστασία από τον παγετό, για όλα τα τμήματα της εγκατάστασης.

ζ. Η εγκατάσταση πρέπει να είναι υπολογισμένη και κατασκευασμένη κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να μη δημιουργείται θόρυβος κατά τη λειτουργία ούτε να διευκολύνεται η μετάδοση του θορύβου. Σε χώρους με ειδικές απαιτήσεις στάθμης θορύβου, πρέπει να λαμβάνονται ειδικά μέτρα. Επίσης μέτρα πρέπει να λαμβάνονται και σε χώρους με πηγές θορύβου (πχ λεβητοστάσια), ώστε να μη δημιουργείται ενόχληση σε παρακείμενους χώρους.

2.2 Πηγές θερμικής ενέργειας

Οι κύριες εφαρμογές καυσίμων που μας ενδιαφέρουν στη μελέτη είναι οι κεντρικές και τοπικές θερμάνσεις χώρων και η θέρμανση ζεστού νερού χρήσης. Τα βασικότερα από τα συμβατικά καύσιμα για τις εφαρμογές αυτές είναι τα φυσικά αέρια, το πετρέλαιο και τα στερεά καύσιμα. Σε ότι αφορά τις ήπιες μορφές ενέργειας θα μας απασχολήσει μόνο το κομμάτι της ηλιακής ενέργειας, το οποίο θα αναλυθεί σε παρακάτω κεφάλαιο.

2.2.1 Θερμογόνος δύναμη καυσίμων

Η θερμογόνος δύναμη αποτελεί κριτήριο για τη σωστή επιλογή καυσίμου και κατ'επέκταση για τη σωστή και πιο αποδοτική επιλογή μέσου θέρμανσης. Είναι το ποσό της θερμότητας, που απελευθερώνει 1 kg καυσίμου, καιόμενο. Μετράται σε kcal/kg. Εάν οι παραγόμενοι υδρατμοί υγροποιηθούν μιλάμε για ανώτερη θερμογόνο δύναμη, εάν δεν υγροποιηθούν μιλάμε για κατώτερη θερμογόνο δύναμη. Δεδομένου, ότι οι υδρατμοί παράγονται από το ενυπάρχον υδρογόνο, είτε από την υγρασία του καυσίμου,

$$H_u = H_o - (9 \cdot h + w) \cdot 600 \text{ kcal/kg}$$

Όπου,

H_o , H_u η ανώτερη και κατώτερη θερμογόνος δύναμη του καυσίμου,

h η ποσοστιαία αναλογία υδρογόνου, και

w η ποσοστιαία αναλογία της υγρασίας του καυσίμου

Ο παράγοντας 600 είναι η θερμότητα ατμοποίησης του νερού υπό ατμοσφαιρική πίεση. Είναι δυνατόν με ικανοποιητική προσέγγιση, κυρίως για τα στερεά καύσιμα, να υπολογίσουμε τη θερμογόνο δύναμη από ημιεμπειρικές σχέσεις, όπως:

$$H_u = 8100 c + 29000 (h - 0/8) + 2500 s - 600 w \text{ (kcal/kg)}$$

ή

$$H_u = 8130 c + 24300 h + 1500 n + 4560 s - 2300 o - 600 w \text{ (kcal/kg)}$$

όπου c, h, n, s, o, w , η κατά βάρος αναλογία του άνθρακα, του υδρογόνου, του οξυγόνου, του θείου, του αζώτου και της υγρασίας.

Για τα διάφορα αέρια μείγματα δίνονται οι σχέσεις:

$$H_o = 3050 h_2 + 3020 co + 9250 ch_4 + 18050 c_n h_m$$

$$H_u = 2570 h_2 + 3020 co + 8550 ch_4 + 17000 c_n h_m$$

όπου $h_2, co, ch_4, c_n h_m$ η κατ' όγκο αναλογία (Nm^3 / Nm^3) υδρογόνου, μονοξειδίου του άνθρακα, μεθανίου και βαρέων υδρογονανθράκων. Η θερμογόνος δύναμη προκύπτει σε $kcal / Nm^3$. Στον Πίνακα 2.1 παρατηρούμε τη θερμογόνο δύναμη για διάφορα στοιχεία.

ΚΑΥΣΙΜΟ	ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΤΑ ΒΑΡΟΣ (%)						ΜΕΓΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΓΟΝΟΣ ΔΥΝΑΜΗ	
	C	H	O+N	S	H ₂	Τέφρα	kJ/kg	Btu/lb
Ανθρακίτης	83-87	3,5-4,0	3,0-4,7	0,9	1-3	4-6	32.500-34.000	14.000-14.500
Ημιανθρακίτης	63-76	3,5-4,8	8-10	0,5-1,8	5-15	4-14	26.700-32.500	11.500-14.000
Παχύς γαιάνθρακας	46-56	3,5-5,0	9-16	0,2-3,0	18-32	2-10	17.000-23.250	7.300-10.000
Λιγνίτης	37	7	13,5	0,5	37	5	16.300	7.000
Τύρφη	38-49	3,0-4,5	19-28	0,2-1,0	16-29	1-9	13.800-20.500	5.500-8.800
Κάκ	80-90	0,5-1,5	1,5-1,5	0,5-1,5	1-5	5-12	28.000-31.000	12.000-13.500
Ξυλάνθρακας	84	1	-	-	12	3	29.600	12.800
Ξύλο	35-45	3,5-5,0	34-42	-	7-22	0,3-3,0	14.400-17.400	6.200-7.500
							kJ/m ³	Btu/ft ³
Αέριο πόλεως	26	56	18	-	-	-	18.600	500
Φυσικό αέριο	75	25	-	-	-	-	37.200	1000
Προπάνιο (C ₃ H ₈)	82	18	-	-	-	-	93.900	2520
Βουτάνιο (C ₄ H ₁₀)	83	17	-	-	-	-	130.000	3490
							kJ/lit	Btu/gal
Πετρέλαιο	86,2	13,0	-	0,8	-	-	38.000	164.000
Αεριέλαιο	85,0	10,8	-	3,8	-	-	41.200	177.000

Πίνακας 2.1 Πληροφοριακά στοιχεία και θερμογόνος δύναμη για τα συνηθέστερα καύσιμα

2.2.2 Συμβατικά καύσιμα

Εδώ με τον όρο συμβατικά καύσιμα εννοούμε τα καύσιμα που ήταν γνωστά πριν την ανακάλυψη της πυρηνικής ενέργειας. Σήμερα, ο όρος «καύσιμα» χρησιμοποιείται και για νέες μορφές καυσίμων, όπως π.χ. τα πυρηνικά καύσιμα. Παρακάτω ακολουθεί αναφορά στα πιο κύρια συμβατικά καύσιμα που χρησιμοποιούνται για παραγωγή θερμότητας είτε αναφερόμαστε σε κεντρική είτε σε τοπική θέρμανση.

1) **Φυσικό αέριο**, είναι ένα σχεδόν άοσμο και άχρωμο αέριο το οποίο συγκεντρώνεται στα ανώτερα τμήματα των πηγαδιών πετρελαίου και σε πηγάδια αερίου. Ακατέργαστο φυσικό αέριο είναι μίγμα από μεθάνιο (55% - 98%), βαρύτερους υδρογονάνθρακες (κυρίως αιθάνιο) και μη καύσιμα αέρια. Μερικά ανεπιθύμητα συστατικά, κυρίως υδρατμοί, υδρόθειο, ήλιο, υγροποιημένα πετρελαέρια και βενζίνη, απομακρύνονται πριν από τη διανομή των φυσικών αερίων. Από τα συστατικά αυτά ιδιαίτερα ανεπιθύμητα είναι τα θειούχα, γιατί κατά την καύση τους σχηματίζουν διοξείδιο του θείου, το οποίο μολύνει το ατμοσφαιρικό περιβάλλον. Η απομάκρυνση των παραπάνω συστατικών γίνεται με σειρά επεξεργασιών (ζήρανση, απόπλυση κλπ.). Η σύνθεση ενός φυσικού αερίου που διανέμεται για να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο ποικίλει ανάλογα με την προέλευσή του και μπορεί να μεταβάλλεται ελαφρά (γιατί η άντληση του αερίου γίνεται από διάφορες πηγές), αλλά η θερμαντική του ικανότητα διατηρείται πρακτικά σταθερή για λόγους ελέγχου και ασφαλείας. Η θερμαντική ικανότητα των φυσικών αερίων κυμαίνεται από 32000 kJ/m³ μέχρι 44000 kJ/m³ αλλά τα περισσότερα φυσικά αέρια έχουν θερμαντική ικανότητα γύρω στις 37000 kJ/m³ (πάνω από τη διπλάσια της μέσης θερμαντικής ικανότητας του φωταερίου). Τα φυσικά αέρια μεταφέρονται με αγωγούς, κάτω από μεγάλες πιέσεις, ή με δεξαμενόπλοια αφού πρώτα υγροποιηθούν. Στα δίκτυα αγωγών υπάρχουν ενδιάμεσοι σταθμοί για την κάλυψη των απωλειών πίεσεως, καθώς και υπόγειες δεξαμενές μεγάλης χωρητικότητας. Για λόγους ασφαλείας, στο φυσικό αέριο προστίθενται συνήθως και διάφορες ουσίες που του δίνουν μία χαρακτηριστική οσμή. Πάντως τα φυσικά αέρια δεν είναι δηλητηριώδη γιατί δεν περιέχουν CO, γεγονός που τα καθιστά πολύ πλεονεκτικά απέναντι στο φωταέριο, πέρα βέβαια από την κατά πολύ αυξημένη θερμαντική τους ικανότητα.

2) **Υγρά καύσιμα**, τα σπουδαιότερα υγρά καύσιμα περιλαμβάνουν διάφορα πετρέλαια για θέρμανση τα οποία ονομάζονται πετρέλαια εξωτερικής καύσεως και καύσιμα μηχανών ολικής ενέργειας. Στην παρούσα μελέτη μας ενδιαφέρουν τα πετρέλαια θερμάνσεων.

Τα υγρά καύσιμα, με πολύ λίγες εξαιρέσεις, είναι μίγμα υδρογονανθράκων τα οποία προέρχονται από το αργό πετρέλαιο (το ακατέργαστο προϊόν των πετρελαιοπηγών), μέσω των διαδικασιών διυλίσεως. Εκτός από υδρογονάνθρακες, το αργό πετρέλαιο περιέχει συνήθως και μικρές ποσότητες από άλλες ανεπιθύμητες προσθήκες, όπως θείο, οξυγόνο, άζωτο, βανάδιο, κλπ., καθώς και νερό και καθιζήματα. Διευκρινίζεται εδώ, ότι το αργό πετρέλαιο δεν είναι πυκνόρρευστο και δυσανάφλεκτο, όπως είναι τα βαριά πετρέλαια που προκύπτουν από αυτό, αλλά επειδή ακριβώς περιέχει όλα τα προϊόντα της μετέπειτα διυλίσεώς του, είναι ρευστό και ευανάφλεκτο.

Η διύλιση του αργού πετρελαίου παράγει μία ποικιλία από καύσιμα και άλλα προϊόντα μέσω της κλασματικής απόσταξης που διαχωρίζει τα συστατικά του πετρελαίου, ανάλογα με το σημείο βρασμού του καθενός. Σχεδόν όλοι οι ελαφρότεροι υδρογονάνθρακες διυλίζονται σε ελαφρά καύσιμα, ενώ οι βαριοί υδρογονάνθρακες

διυλίζονται σε βαριά πετρέλαια και άλλα προϊόντα (π.χ. λιπαντικά λάδια, κεριά, άσφαλτος κλπ.). Τα καύσιμα που προέρχονται από τους ελαφρότερους υδρογονάνθρακες είναι βασικά, κατά σειρά ελαφρότητας, τα εξής:

- Τα υγροποιημένα πετρελαερία ή υγραέρια.
- Η βενζίνη.
- Τα καύσιμα πυραύλων.
- Το πετρέλαιο ντήζελ (Diesel).
- Τα ελαφρά πετρέλαια θερμάνσεως.

Τα πετρέλαια θερμάνσεως χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες που δεν είναι ίδιες σε όλο τον κόσμο. Συνήθως, χωρίζονται σε ελαφρά πετρέλαια θερμάνσεως και σε βαριά πετρέλαια θερμάνσεως. Έτσι στις Η.Π.Α π.χ. υπάρχουν πέντε κατηγορίες (grades) πετρελαίου θερμάνσεως, από τις οποίες οι Νο 1 και Νο 2 θεωρούνται ελαφρά πετρέλαια ενώ οι Νο 4, Νο 5 και Νο 6 θεωρούνται βαριά πετρέλαια.

Στη χώρα μας χρησιμοποιούνται οι εξής δύο κατηγορίες πετρελαίων στις εγκαταστάσεις θερμάνσεως:

- Το ελαφρύ πετρέλαιο ή πετρέλαιο ντήζελ, που αντιστοιχεί περίπου στο αμερικάνικο Νο 2.
- Το βαρύ πετρέλαιο ή μαζούτ 1500, που αντιστοιχεί περίπου στο αμερικάνικο Νο 5.

Το μαζούτ επιτρέπεται μόνο για τις θερμάνσεις των βιομηχανικών κτιρίων. Οι χαρακτηριστικές διαφορές μεταξύ πετρελαίου μαζούτ (βαρύ πετρέλαιο) και πετρελαίου ντήζελ (ελαφρύ πετρέλαιο) είναι οι εξής:

- α) Το μαζούτ παράγει καυσαέρια που ρυπαίνουν περισσότερο το περιβάλλον. Το κυριότερο ρυπαντικό συστατικό των καυσαερίων από καύση μαζούτ είναι το SO_2 .
- β) Η θερμαντική ικανότητα του ντήζελ είναι λίγο καλύτερη από ότι του μαζούτ ($42000 \text{ kJ/m}^3 \text{ K.}\Theta.\text{I}$ του ντήζελ έναντι 40000 kJ/m^3 περίπου του μαζούτ).

Η χαρακτηριστική διαφορά (β) ήταν αυτή που προκάλεσε και την επιβολή περιορισμών στη χρήση του μαζούτ, τους οποίους αναφέραμε παραπάνω.

Η επιλογή, γενικά, κατηγορίας υγρού καυσίμου για μια συγκεκριμένη εφαρμογή βασίζεται σε οικονομικούς παράγοντες τις περισσότερες φορές. Οι παράγοντες αυτοί περιλαμβάνουν:

- Το κόστος καυσίμου,
- Το κόστος προθερμάνσεως και γενικά χειρισμού του καυσίμου,
- Το κόστος των συσκευών καύσεως,

Πάντως σχετικά με την επιλογή του πετρελαίου θερμάνσεως είναι γενικά αποδεκτές οι παρακάτω δύο αρχές:

α) οι μικρές εγκαταστάσεις με χαμηλή ετήσια κατανάλωση καυσίμου δεν μπορούν να δικαιολογήσουν το κόστος θέρμανσης, κλπ., ώστε να χρησιμοποιήσουν βαρύ πετρέλαιο:

β) οι πολύ μεγάλες εγκαταστάσεις με υψηλή ετήσια κατανάλωση καυσίμου δεν μπορούν να δικαιολογήσουν το κόστος για την προμήθεια ελαφρύ πετρελαίου, ώστε να το χρησιμοποιήσουν.

3) Στερεά καύσιμα

Τα στερεά καύσιμα περιλαμβάνουν:

- Το κάρβουνο (ή γαιάνθρακα ή ορυκτό άνθρακα).
- Το κωκ.
- Το ξύλο.
- Τα στερεά υπολείμματα βιομηχανικών και γεωργικών λειτουργιών.

Από αυτά μόνο το κάρβουνο χρησιμοποιείται διεθνώς, σε κάποια σοβαρή κλίμακα, σε εφαρμογές θερμάνσεως.

Η πολύπλοκη σύνθεση του κάρβουνο καθιστά δύσκολη την υποδιαίρεσή του σε ξεχωρισμένους με σαφήνεια τύπους. Από χημική άποψη, το κάρβουνο αποτελείται από άνθρακα, υδρογόνο, οξυγόνο, άζωτο, θείο, νερό και τέφρα (μεταλλικά κατάλοιπα). Μια χημική ανάλυση δίνει κάποια ένδειξη της ποιότητας του κάρβουνο, αλλά δεν καθορίζει ικανοποιητικά τα χαρακτηριστικά της καύσεως του. Εκείνες οι ιδιότητες που κυρίως ενδιαφέρουν τον καταναλωτή κάρβουνο είναι:

- Διαθέσιμη θερμότητα ανά χιλιόγραμμο κάρβουνο.
- Υγρασία.
- Ποσότητα παραγόμενης τέφρας και σκόνης.
- Ιδιότητες χειρισμού και αποθηκεύσεως.
- Χαρακτηριστικά καύσεως.

Το κάρβουνο, όταν έχει μεγάλη περιεκτικότητα σε τέφρα, χαρακτηρίζεται «κακής ποιότητας». Η περιεκτικότητα σε τέφρα μπορεί να μειωθεί με διάφορες κατεργασίες. «Καθαρό» κάρβουνο είναι εκείνο που δεν περιέχει τέφρα αλλά ούτε και υγρασία. Η υγρασία απομακρύνεται τελείως μόνο αν η θερμοκρασία του κάρβουνο υπερβεί τους 100 °C.

Ο λιγνίτης αποτελεί για την Ελλάδα μια από τις βασικές πλουτοπαραγωγικές της πηγές και το βασικότερο εγχώριο πρωτογενή πόρο ενέργειας – εκτός βέβαια της υδατοπτώσεως. Η χώρα μας κατέχει τη δεύτερη θέση σε παραγωγή λιγνίτη στην Ευρωπαϊκή Ένωση και την έκτη θέση παγκοσμίως. Με βάση τα συνολικά αποθέματα και τον προγραμματιζόμενο ρυθμό κατανάλωσης στο μέλλον, υπολογίζεται ότι στην Ελλάδα οι υπάρχουσες ποσότητες λιγνίτη επαρκούν για τα επόμενα 45 χρόνια. Μέχρι σήμερα έχουν εξορυχτεί συνολικά 1,3 δις. τόνοι λιγνίτη ενώ τα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα ανέρχονται σε 3,1 δις. τόνους περίπου. Το 2006 εξορύχτησαν συνολικά 62,5 εκ. τόνοι. Σήμερα, οι 8 λιγνιτικοί σταθμοί της ΔΕΗ αποτελούν το 42% της εγκατεστημένης ισχύος της και παράγουν το 56% περίπου της καθαρής ηλεκτρικής παραγωγής της ΔΕΗ.

Τα συνολικά βεβαιωμένα γεωλογικά αποθέματα λιγνίτη στη χώρα ανέρχονται σε περίπου 5 δις. τόνους. Τα κοιτάσματα αυτά παρουσιάζουν αξιοσημείωτη γεωγραφική εξάπλωση στον ελληνικό χώρο. Με τα σημερινά τεχνικο-οικονομικά δεδομένα τα κοιτάσματα που είναι κατάλληλα για ενεργειακή εκμετάλλευση, ανέρχονται σε περίπου 3,2 δις τόνους και ισοδυναμούν με 450 εκ. τόνους πετρελαίου. Τα κυριότερα εκμεταλλεύσιμα κοιτάσματα λιγνίτη βρίσκονται στις περιοχές Πτολεμαΐδας, Αμυνταίου και Φλώρινας με υπολογισμένο απόθεμα 1,8 δις τόνους, στην περιοχή της Δράμας με απόθεμα 900 εκ. τόνους και στην περιοχή Ελασσόνας με 169 εκ. τόνους. Επίσης στην Πελοπόννησο, περιοχή Μεγαλόπολης, υπάρχει λιγνιτικό κοιτάσμα με απόθεμα περίπου 223 εκ. τόνους.

Με βάση τα συνολικά εκμεταλλεύσιμα αποθέματα λιγνίτη της χώρας και τον προγραμματιζόμενο ρυθμό κατανάλωσης στο μέλλον, υπολογίζεται ότι τα αποθέματα αυτά επαρκούν για περισσότερο από 45 χρόνια. Μέχρι σήμερα οι εξορυχθείσες ποσότητες λιγνίτη φτάνουν περίπου στο 29% των συνολικών αποθεμάτων. Εκτός από λιγνίτη η Ελλάδα διαθέτει και ένα μεγάλο κοιτάσμα Τύρφης στην περιοχή των Φιλιππων (Ανατολική Μακεδονία). Τα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα στο κοιτάσμα αυτό εκτιμώνται σε 4 δις κυβικά μέτρα και ισοδυναμούν περίπου με 125 εκατ. τόνους πετρελαίου.

Γενικά η ποιότητα των ελληνικών λιγνιτών είναι χαμηλή. Η θερμογόνος δύναμη κυμαίνεται από 975-1380 kcal/kg στις περιοχές Μεγαλόπολης, Αμυνταίου και Δράμας, από 1261-1615 kcal/kg στην περιοχή Πτολεμαΐδας και 1927-2257 στις περιοχές Φλώρινας και Ελασσόνας. Σημαντικό συγκριτικό πλεονέκτημα των λιγνιτών της χώρας μας είναι η χαμηλή περιεκτικότητα σε καύσιμο θείο. Στον Πίνακα 2.2 αναφέρεται η κατάταξη των συνηθισμένων καυσίμων.

ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ		
		Υδρογονάνθρακες	Υπόλοιπες ουσίες
ΑΕΡΙΑ	Κυρίως μία ουσία	CH ₄ , φυσικά αέρια C ₃ H ₈ , υγραέρια	Αεριογόνο (CO + N ₂)
	Μείγματα ουσιών		Ανθρακάριο (H ₂ + CH ₄) Υδραέριο (CO + H ₂)
	Κυρίως μία ουσία		Μεθανόλη, CH ₃ OH
ΥΓΡΑ	Μείγματα ουσιών	Αργό πετρέλαιο Αποστάγματα, όπως π.χ. Βενζίνες, κεροζίνες κ.λπ.	
ΣΤΕΡΕΑ	Κυρίως μία ουσία	Ανθρακες Ανθρακίτης	Κωκ (κυρίως C)
	Μείγματα ουσιών	Λιθάνθρακες Λιγνίτης κ.λπ.	Ξύλα και διάφορα στερεά απόβλητα κ.λπ.

Πίνακας 2.2 Κατάταξη των συνηθισμένων καυσίμων

2.2.3 Βιομάζα

Με τον όρο βιομάζα εννοούμε τα : καυσόξυλα 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 απόβλητα, καθώς και , τα υπολείμματα της βιομηχανίας τροφίμων και της αγροτικής βιομηχανίας βιομηχανίας.

Θερμικές ιδιότητες βιομάζας:

- 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 & 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 τεμαχίδια ξύλου (wood chips) 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 συμπιέζουν την τέφρα, ώστε το καθάρισμα να είναι αναγκαίο μόνο δύο φορές το χρόνο.

Κριτήρια για την επιλογή βιοκαυσίμου:

- Πελλέτες: είναι τυποποιημένο κυλινδρικό βιολογικό καύσιμο που παρασκευάζεται με τη συμπίεση ξηρών πριονιδιών και τεμαχιδίων από καθαρά υπολείμματα ξύλουβιομηχανιών επεξεργασίας ξύλου.
- Θρύμματα βιοκαυσίμων: είναι μικρά τεμαχίδια ξύλου μήκους 5-50 mm. Υπάρχουν 3 είδη θρυμμάτων:
 - Θρύμματα από δασικά υπολείμματα
 - Θρύμματα βιομάζας από τα πριονιστήρια
 - Θρύμματα βιομάζας από αραίωμα χωρίς κλαδιά και φύλλα που αφήνονται να ξηραθούν πριν το θρυμματίσμα.

Στον Πίνακα 2.3 αναγράφονται κάποια βασικά χαρακτηριστικά των παραπάνω βιοκαυσίμων

	Πελλέτες	Θρύματα βιομάζας
Θερμογόνος δύναμη	1,7 GJ/t	13,4 GJ/t
Ανά kg	4,7 kWh/kg	3,7 kWh/kg
Ανά m³	3077 kWh/m m³	744 kWh/m m³
Περιεχόμενη υγρασία	8%	25%
Φαινόμενη πυκνότητα	650 kg/m m³	200 kg/m m³
Στάχτη	0,5%	1%

Πίνακας 2.3 Χαρακτηριστικά βιοκαυσίμων

2.2.4 Γεωθερμία

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.



Εικόνα 2.1 Σπίτι με χρήση γεωθερμικών αντλιών θερμότητας

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 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 βραχώδης 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 υγροποιώντας το πτητικό αέριο που περιέχουν, η γεωθερμική αντλία χρησιμοποιεί τη θερμοκρασία του νερού. Το τρίτο μέρος του συστήματος είναι ένα ακόμα δίκτυο σωληνώσεων που ... 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).

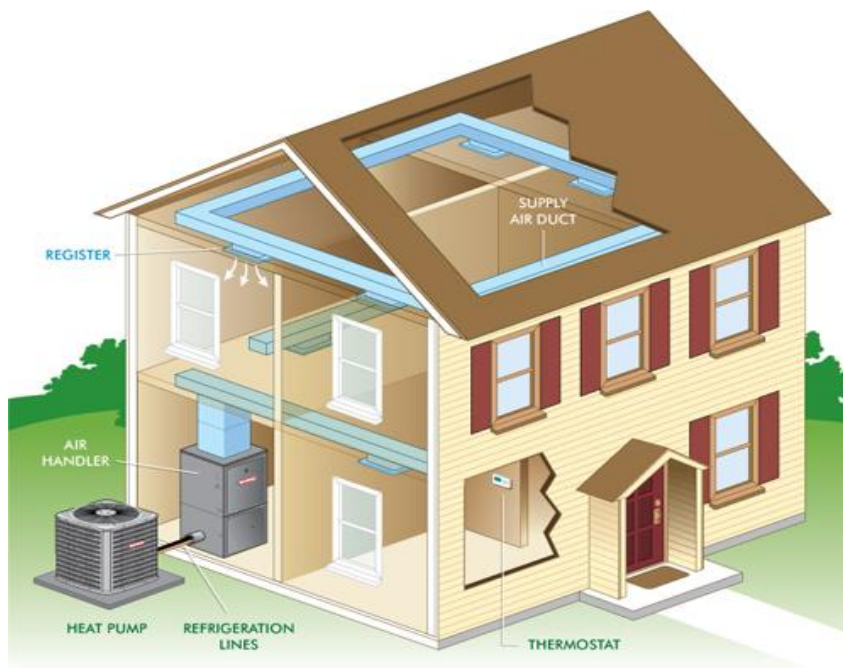
Συνοπτικά, λοιπόν, αναφερόμαστε στη θερμική ενέργεια που προέρχεται από το εσωτερικό της γης στοχεύοντας στην εκμετάλλευση της ενέργειας από το εσωτερικό της γης, την εκμετάλλευση δηλαδή της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών και νερών επιφανειακών ή υπογείων. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση μιας γεωθερμικής αντλίας θερμότητας, όπου επιτρέπεται η μεταφορά θερμότητας από και προς το έδαφος για παραγωγή δροσισμού, 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 ενδείκνυται 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, ιχθυοκαλλιεργειών κ.λ.π.

2.2.5 Αντλία θερμότητας

Η **αντλία θερμότητας** είναι η συσκευή που αντλεί θερμική ενέργεια από μια θερμή δεξαμενή (αναφέρεται ως πηγή) που βρίσκεται σε χαμηλή θερμοκρασία προς μια καταβόθρα (συνήθως αέρας ή νερό) που βρίσκεται σε υψηλότερη θερμοκρασία είτε (α) με την χρήση μηχανικού έργου είτε (β) με την βοήθεια μιας θερμής δεξαμενής πολύ υψηλής θερμοκρασίας.

Η αρχή λειτουργίας της αντλίας θερμότητας εφαρμόζεται ως επί το πλείστον σε ψυγεία, καταψύκτες και συσκευές κεντρικού κλιματισμού κτιρίων και ζεστού νερού χρήσης. Η διαφορά μεταξύ μιας αντλίας θερμότητας και ενός κοινού κλιματιστικού είναι ότι η αντλία θερμότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για θέρμανση όσο και για ψύξη λειτουργώντας βάση του ίδιου θερμοδυναμικού κύκλου του οποίου η λειτουργία μπορεί να αντιστραφεί ανάλογα με την ανάγκη (θέρμανση ή ψύξη). Σε ψυχρά κλίματα είναι μάλιστα σύνηθες να σχεδιάζονται και να κυκλοφορούν στην αγορά αντλίες θερμότητας μόνο για θέρμανση ενώ στα θερμότερα κλίματα είναι σύνηθες η χρήση τόσο για θέρμανση όσο και για ψύξη.



Εικόνα 2.2 Κατοικία με αντλία θερμότητας

Στις συσκευές κλιματισμού που απαιτούν μηχανικό έργο για την συντήρηση του θερμοδυναμικού κύκλου (παρέχουν θέρμανση, ψύξη ή ζεστό νερό) σε κτίρια, ο όρος αντλία θερμότητας αναφέρεται σε μηχανές που λειτουργούν με την χρήση συμπιεζόμενου αερίου ως μέσο μεταφοράς της ενέργειας ανάμεσα σε πηγή και καταβόθρα με την χρήση διάταξης κυκλοφορητή, συμπιεστή, βαλβίδας αντεπιστροφής και εναλλακτών θερμότητας ώστε η κατεύθυνση άντλησης της θερμικής ενέργειας να μπορεί να αντιστραφεί. Οι πιο κοινές πηγές άντλησης θερμότητας για τέτοιες μηχανές είναι ο ατμοσφαιρικός αέρας και το έδαφος. Ανάλογα με την φύση της πηγής και αντίστοιχα της καταβόθρας οι αντλίες θερμότητας διαχωρίζονται σε αέρα-αέρα, αέρα-νερού, εδάφους-αέρα και εδάφους-νερού.

Στον Πίνακα 2.4 παρουσιάζονται τα κόστη, για την περίοδο του χειμώνα 2011-2012, ανάλογα με το είδος καυσίμου που χρησιμοποιήθηκε στην πλειοψηφία του καταναλωτικού κοινού.

Υπολογισμένη περίοδος: Χειμώνας 2011- 2012

Τιμή Καυσίμου:

- ✓ Ξύλο: 190 €/τόνο ή 0,19 λεπτά/kg
- ✓ Πετρέλαιο: 0,997 €/Lt
- ✓ Αέριο: 0,684 €/Nm³ ή 0.06 €/ kwh
- ✓ Pellet: 320 €/τόνο ή 0,32λεπτά/kg
- ✓ Ρεύμα: 0,13 €/kwh

ΚΑΥΣΙΜΟ	ΤΥΠΟΣ ΚΑΥΣΤΗΡΑ Ή ΕΣΤΙΑΣ-ΣΟΜΠΕΣ	Μ.Μ	ΑΠΟΔΟΣΗ	ΘΕΡΜΙΚΗ ΙΣΧΥΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ-ΘΕΡΜΟΓΟΝΟΣ ΔΥΝΑΜΗ	ΑΠΟΔΟΣΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΒΑΣΗ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ	ΩΡΙΑΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ	ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ Χ 12 ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ	ΜΗΝΙΑΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ Η 30 ΗΜΕΡΩΝ	ΗΜΕΡΗΣΙΟ ΚΟΣΤΟΣ ΣΕ ΕΥΡΩ	ΜΗΝΙΑΙΟ ΚΟΣΤΟΣ ΣΕ ΕΥΡΩ	ΚΟΣΤΟΣ ΣΕ ΕΥΡΩ ΓΙΑ ΧΕΙΜΩΝΑ 150 ΗΜΕΡΩΝ ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ 5°C
ΞΥΛΟ	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΕΣΤΙΑΣ-ΣΟΜΠΕΣ ΜΕ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΜΕΤΑΚΑΥΣΗΣ ΚΑΥΣΑΦΕΡΙΩΝ	kg	81%	4,2 kWh	3,41 kWh	2,94 kg	35,28 kg	1058 kg	6,7	201	1005
ΞΥΛΟ	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΕΣΤΙΑ ΣΥΜΒΑΤΙΚΗ	kg	70%	4,2 kWh	2,94 kWh	3,49 kg	41,83 kg	1255 kg	7,95	238,5	1192,5
ΞΥΛΟ	ΑΝΟΙΧΤΗ ΕΣΤΙΑ ΤΖΑΚΙΟΥ	kg	10-12%	4,2 kWh	0,5 kWh	20 kg	240 kg	7200 kg	45,6	1368	6840
ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ	ΛΕΒΗΤΑΣ ΑΕΡΙΟΥ	Nm ³	95%	11 kWh	10,45 kWh	1,196 Nm ³	14,35 Nm ³	430,5 Nm ³	9,82	295	1475
ΠΕΛΜΕΤ	ΛΕΒΗΤΑΣ ΣΟΜΠΑ-ΠΕΛΜΕΤ	kg	85%	5,2 kWh	4,42 kWh	2,26 kg	27,20 kg	813,6 kg	8,7	261	1305
ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ	ΚΑΥΣΤΗΡΕΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΡΙΝ ΤΟ 2000	Lt	80%	11,9 kWh	9,52 kWh	1,313 Lt	15,76 Lt	472 Lt	15,71	472	2360
ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ	ΚΑΥΣΤΗΡΕΣ ΝΕΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΜΕΤΑ ΤΟ 2000	Lt	93%	11,9 kWh	11,067 kWh	1,130 Lt	13,56 Lt	406 Lt	13,52	405,6	2028
ΡΕΥΜΑ	ΚΛΙΜΑΤΙΣΤΙΚΟ	kWh	140%	1,4 kWh	1,4 kWh	7,14 kWh	85,71 kWh	2571 kWh	11,65	349,6	1748

Πίνακας 2.4 Υπολογισμός κόστους ανάλογα με το είδος καυσίμου

2.3 Διάκριση με τη θέση της πηγής παροχής θερμικής ενέργειας

2.3.1 Κεντρική Θέρμανση

1. Κεντρική Θέρμανση ονομάζεται η παραγωγή θερμότητας για τη θέρμανση χώρων ή/και την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης από ένα κεντρικό σύστημα εγκατεστημένο σε ένα κτίριο (ή σύνολο κτιρίων) για το σκοπό αυτό.

2. Εγκαταστάσεις κεντρικής θέρμανσης:

α. Εγκατάσταση κεντρικής θέρμανσης ενός κτιρίου ή τμήματός του είναι το σύνολο των συσκευών, κατασκευών, μηχανισμών κλπ που παραλαμβάνουν θερμική ενέργεια από μια πηγή μέσω ενός φορέα μεταφοράς θερμότητας (θερμαντικού μέσου) και την κατανέμουν στους διάφορους χώρους του κτιρίου ή τμήματός του, προκειμένου να καλύψουν τις θερμικές απώλειες αυτών και να διατηρήσουν την θερμοκρασία τους σε επιθυμητά επίπεδα.

β. Η εγκατάσταση κεντρικής θέρμανσης περιλαμβάνει το σύστημα παραγωγής του θερμαντικού μέσου, το σύστημα διανομής και μεταφοράς του θερμαντικού μέσου, το σύστημα μετάδοσης της θερμότητας στο χώρο και το σύστημα ελέγχου και αυτοματισμού της εγκατάστασης. Η εγκατάσταση κεντρικής θέρμανσης υπολογίζεται και κατασκευάζεται με τρόπο, ώστε να εξασφαλίζει την επιθυμητή θερμοκρασιακή άνεση στους επιμέρους χώρους του κτιρίου, την ασφάλεια των χρηστών και την οικονομική και απρόσκοπτη λειτουργία της. Για τον υπολογισμό της εγκατάστασης της κεντρικής θέρμανσης των κτιρίων εφαρμόζονται τα αναφερόμενα στα γενικά περί εγκαταστάσεων θέρμανσης.

γ. Οι εγκαταστάσεις κεντρικής θέρμανσης πρέπει να πληρούν τα αναφερόμενα στις υποπαραγράφους γ, δ, ε, στ και ζ της παρ.1 του παρόντος άρθρου. Ειδικότερα για τις κεντρικές θερμάνσεις εφαρμόζονται: οι διατάξεις της ΤΟΤΕΕ-2421/86, μέρος 1 δίκτυα που εγκρίθηκε με την Αποφ-ΕΗΙ/596/22-1-88 (ΦΕΚ-67/Β) του ΥΠΠΕΧΩΔΕ και μέρος 2 λεβητοστάσια (ΦΕΚ-177/Β/88). Τα πρότυπα: ΕΛΟΤ-234 (βαθμός απόδοσης λεβητών). ΕΛΟΤ-352 (εξοπλισμός ασφάλειας). ΕΛΟΤ-810 (εγκατάσταση ασφάλειας). Η Αποφ-30322/1170/83 (ΦΕΚ-364/Β/83) του ΥΠΠΕΧΩΔΕ «Σύσταση Κλιμακίων Ελέγχου Ποιότητας Περιβάλλοντος – ΚΕΠΠΕ Κεντρικής Θέρμανσης» καθώς και η Κοινή Αποφ-54678/86 (ΦΕΚ-938/Β/86) των ΥΠΠΕΧΩΔΕ και Βιομηχανίας, Ενέργειας και Τεχνολογίας «Ρύθμιση θεμάτων σχετικών με τις σταθερές εστίες καύσης για τη θέρμανση κτιρίων και νερού» ή άλλες διατάξεις που τροποποιούν τα παραπάνω.

δ. Το σύστημα παραγωγής του θερμαντικού μέσου μιας εγκατάστασης κεντρικής θέρμανσης περιλαμβάνει όλες τις απαραίτητες συσκευές, διατάξεις, κατασκευές, μηχανισμούς κλπ που είναι απαραίτητες για την ανύψωση της θερμοκρασίας του θερμαντικού μέσου (θέρμανσή του) και συγκεκριμένα από το λέβητα, τον καυστήρα, τον κυκλοφορητή, τη δεξαμενή καυσίμων, τις διατάξεις ασφαλείας, τις σωληνώσεις, την καπνοδόχο και τις τερματικές μονάδες. Η θέρμανση του μέσου μπορεί να γίνει είτε με άμεσο τρόπο με απευθείας πρόσδοση ενέργειας στο θερμαντικό μέσο, που προέρχεται από καύση σε εστία μιας καύσιμης ύλης από ηλεκτρική ενέργεια κλπ, είτε με έμμεσο τρόπο, δηλαδή τη θέρμανσή του με ένα άλλο θερμαντικό μέσο υψηλότερης θερμοκρασίας (νερό, ατμό κλπ).

2.3.1.1 Λέβητες



Εικόνα 2.3 Λέβητες

Για να επιτευχθεί η επιθυμητή θερμοκρασία στους χώρους ενός κτιρίου, πρέπει να εξασφαλιστεί κατάλληλη πηγή θερμότητας και σύστημα μεταφοράς της στα κατάλληλα σημεία. Ο συνηθέστερος τρόπος παραγωγής θερμότητας είναι η καύση στερεών, υγρών ή αερίων καυσίμων στο λέβητα (ή τους λέβητες) κάθε εγκατάστασης.

Οι λέβητες των κεντρικών θερμάνσεων που χρησιμοποιούνται σε εγκαταστάσεις τις οποίες καλύπτει η T.O.TEE 2421/2 προορίζονται για τη θέρμανση νερού μέχρι θερμοκρασίας 110°C και πίεση λειτουργίας μέχρι 6 bar. Για δίκτυα που λειτουργούν με ατμό ή υψηλότερες θερμοκρασίες ή πιέσεις, πρέπει να γίνονται ειδικές αναφορές σε αυστηρότερους κανονισμούς και τεχνικές προδιαγραφές.

Ο τύπος του λέβητα που χρησιμοποιείται καθορίζεται κυρίως από την απαιτούμενη θερμοκρασία και πίεση του παραγόμενου ατμού ή νερού. Η πιο διαδεδομένη σχεδίαση είναι ο λέβητας φλογοσωλήνων (ή κυψελωτός), όπου τα καυσαέρια διέρχονται μέσω συστοιχίας σωλήνων προσαρμοσμένων στο κύριο σώμα του λέβητα. Μερικές φορές χρησιμοποιούνται πτερυγιοφόροι σωλήνες για την αύξηση της επιφάνειας θερμικής συναλλαγής, βελτιώνοντας έτσι την απόδοση και ελαχιστοποιώντας το μέγεθος των μονάδων. Αυτός ο τύπος λέβητα γενικά περιορίζεται μέχρι μια μέγιστη πίεση 25 bar και μέγιστη θερμοκρασία 300°C. Πέρα από τα όρια αυτά συνηθίζεται να χρησιμοποιούνται μονάδες υδροσωλήνων. Σε αυτόν τον τύπο λέβητα, οι σωλήνες περιέχουν το νερό και τα καυσαέρια διέρχονται γύρω από τους σωλήνες και μεταφέρουν τη θερμότητα από την εξωτερική επιφάνεια των σωλήνων προς το εσωτερικό. Οι λέβητες διακρίνονται σύμφωνα με το υλικό κατασκευής τους σε χυτοσίδηρους και χαλύβδινους. Οι χυτοσίδηροι αντέχουν καλύτερα στη διάβρωση, μπορούν να επιδεχθούν προσθήκες στοιχείων και χρειάζονται μικρότερες ποσότητες νερού κατά τη λειτουργία τους. Οι χαλύβδινοι έχουν μικρό βάρος και αντέχουν καλύτερα στις πιέσεις και στις απότομες αλλαγές θερμοκρασίας. Οι διαστάσεις τους προσαρμόζονται καλύτερα στις διάφορες απαιτήσεις και έχουν χαμηλό κόστος.

Σε γενικές γραμμές επίσης, οι λέβητες μπορούν να καταταγούν ανάλογα με το μέγεθος τους, σε μικρούς, κανονικούς ή μεγάλου μεγέθους. Ανάλογα με την διαδικασία καύσης διακρίνονται σε λέβητες υπερκείμενης ζώνης καύσης και επιστρεφόμενης φλόγας και ως προς το είδος του καυσίμου σε λέβητες στερεών,

υγρών και αερίων καυσίμων. Ανάλογα με την μορφή θαλάμου καύσης διακρίνονται σε λέβητες διπλής, τριπλής και τετραπλής διαδρομής.

Ανάλογα με την θερμοκρασία εξόδου του νερού που προορίζεται για θέρμανση έχουμε λέβητες υψηλής θερμοκρασίας(περίπου 80 – 90 ο C) για συνηθισμένες εγκαταστάσεις κεντρικών θερμάνσεων και χαμηλών θερμοκρασιών (50 – 60 ο C) για υποδαπέδια και επίτοιχα συστήματα.

ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΛΕΒΗΤΩΝ

Βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά ενός λέβητα είναι τα παρακάτω :

- Η θερμική ισχύς του σε Kcal/h, KW ή Btu/h: Διακρίνονται σε
 - μικρούς, όταν η ισχύς είναι μέχρι 60KW (52.000Kcal/h)
 - μεσαίους, όταν η ισχύς είναι από 52.000 μέχρι 300.000Kcal/h
 - Μεγάλους, όταν ισχύς υπερβαίνει τα 300.000Kcal/h
- Το είδος του καυσίμου που μπορεί να χρησιμοποιηθεί (υγρά, αέρια ή στερεά καύσιμα)
- Ο βαθμός απόδοσης (πρέπει να είναι υψηλός)
- Οι διαστάσεις του (μήκος, πλάτος, ύψος)
- Ο αριθμός των διαδρόμων που κάνουν τα καυσαέρια
- Η πίεση λειτουργίας
- Η πίεση στον χώρο καύσης

ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΛΕΒΗΤΑ

Βασικά κριτήρια για την επιλογή ενός λέβητα είναι τα παρακάτω :

- Το είδος του καυσίμου
- Το κόστος αγοράς
- Ο βαθμός απόδοσης
- Η στάθμη θορύβου
- Οι διαστάσεις
- Η ποιότητα κατασκευής
- Η τεχνική υποστήριξη
- Το κόστος της τεχνικής υποστήριξης
- Ευκολία καθαρισμού

2.3.1.2 Καυστήρες



Εικόνα 2.4 Καυστήρες

Οι καυστήρες που χρησιμοποιούνται στην βιομηχανία και στις εγκαταστάσεις κεντρικών θερμάνσεων, πρέπει να εξασφαλίζουν οικονομική και ασφαλή λειτουργία(καύση), με ταυτόχρονη επιδίωξη την ελαχιστοποίησης ρύπανση του περιβάλλοντος.

Βασικά δεδομένα για την επιλογή του καυστήρα, είναι το είδος του καυσίμου που θα χρησιμοποιηθεί, η αναγκαία θερμική ισχύς, η διαμόρφωση του φλογοθαλάμου και η αντίθλιψη του λέβητα με τον οποίο θα συνεργαστεί.

Τα υλικά κατασκευής των καυστήρων, τα εξαρτήματα και τα όργανα με τα οποία συνδέονται, πρέπει να αντέχουν στις μηχανικές και στις θερμικές καταπονήσεις που είναι δυνατόν να υποστούν κατά την διάρκεια λειτουργίας του συστήματος “λέβητα – καυστήρα”.

Σύμφωνα με την Τ.Ο.ΤΕΕ 2421, ο καυστήρας, σε συνεργασία με τον φλογοθάλαμο του λέβητα με τον οποίο θα συνδεθεί, πρέπει να εξασφαλίζει πλήρη και ασφαλή καύση του καυσίμου και να παρέχει την προβλεπόμενη από τον κατασκευαστή ισχύ λειτουργίας και επίπεδο πίεσεως.

Τα κινούμενα μέρη του καυστήρα πρέπει να είναι προστατευμένα, ώστε να αποκλείεται ο κίνδυνος ατυχήματος.

Η κατασκευαστική διαμόρφωση του τμήματος συνδέσεως του καυστήρα πρέπει να εξασφαλίζει εύκολη προσαρμογή στον λέβητα και η θέση των σχετικών εξαρτημάτων του να συνδυάζεται απόλυτα με την κατασκευαστική διαμόρφωση του λέβητα.

ΔΙΑΚΡΙΣΗ ΚΑΥΣΤΗΡΩΝ

Στην αγορά κυκλοφορεί μεγάλη ποικιλία καυστήρων , με χαρακτηριστικά που διαφέρουν σημαντικά ανάλογα με το καύσιμο για το οποίο προορίζονται, την διαδικασία τις εναύσεως και συντηρήσεως της καύσεως, τη μέθοδο αναμίξεως καυσίμου και αέρα κ.ά.

- ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟ ΕΙΔΟΣ ΤΟΥ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

Συνεπώς η πρώτη βασική διάκριση των καυστήρων βασίζεται όπως προαναφέραμε στο είδος του καυσίμου για το οποίο προορίζεται :

- A) Καυστήρες κονιοποιημένων στερεών
- B) Καυστήρες υγρών καυσίμων
- Γ) Καυστήρες αερίων καυσίμων
- Δ) Μικτοί καυστήρες (υγρών και αερίων καυσίμων, εναλλακτικά).

- ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΣΚΟΡΠΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

Άλλος διαχωρισμός των καυστήρων βασίζεται στο σύστημα διασκορπισμού του καυσίμου όπου αναφέρονται :

- A) Καυστήρες με μηχανικά σύστημα διασκορπισμού (για πετρέλαιο και μαζούτ)
- B) Καυστήρες με πνευματικό διασκορπισμό (μαζούτ).

- ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟΝ ΤΡΟΠΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ:

A) Μονοβάθμιοι: Είναι οι καυστήρες που λειτουργούν με ένα μοναδικό σύστημα τροφοδοτήσεως και κατά συνέπεια η παροχή του ατμοσφαιρικού αέρα και του καυσίμου δεν αλλάζει κατά την διάρκεια της λειτουργίας του.

B) Πολυβάθμιοι: Είναι οι καυστήρες που λειτουργούν με δύο ή περισσότερες συνθήκες τροφοδοσίας. Η αλλαγή από την μια κατάσταση τροφοδοσίας στην άλλη, μπορεί να γίνει αυτόματα ή χειροκίνητα.

Γ) Αυτόματοι καυστήρες: Είναι οι καυστήρες που προορίζονται για λειτουργία σε συνθήκες που απαιτούν τροφοδοσία αυτόματα μεταβλητή, κατά τρόπο συνεχή.

- ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΙΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΠΙΕΣΕΩΣ ΣΤΟΝ ΦΛΟΓΟΘΑΛΑΜΟ ΤΩΝ ΛΕΒΗΤΩΝ:

A) Καυστήρες φυσικού ελκυσμού: Είναι οι καυστήρες που χρησιμοποιούνται σε πολύ μικρές εγκαταστάσεις. Το καύσιμο προσάγεται χωρίς ιδιαίτερη πίεση και η καύση βασίζεται στη ροή που προκαλεί ο φυσικός ελκυσμός.

B) Πιεστικοί καυστήρες: Είναι οι καυστήρες που προσάγουν το καύσιμο υπό πίεση, και συνήθως το εκτοξεύουν στον φλογόθαλαμο.

Στις σύγχρονες εγκαταστάσεις μικρού και μεσαίου μεγέθους συνιστάται η χρήση καυστήρων ελαφρού ακάθαρτου πετρελαίου και φυσικού αερίου.

Στη χώρα μας χρησιμοποιούμε ως πετρέλαιο καύσης πετρέλαιο Diesel που είναι κλάσμα της αποστάξεως του αργού πετρελαίου. Είναι γνωστό ότι κάθε κλάσμα της αποστάξεως του αργού πετρελαίου μπορεί, με προσαγωγή του κανονικού ελαφρού κλάσματος πετρελαίου θέρμανσης όπως π.χ. το πετρέλαιο EL της γερμανικής τυποποίησεως, τάξη 360-380 c.

Η καύση του πετρελαίου πραγματοποιείται με φλόγα. Σαν φλόγα του πετρελαίου μπορούμε να ορίσουμε τον χώρο μέσα στον οποίο πραγματοποιούνται οι αντιδράσεις της καύσης του κατά τις οποίες ελευθερώνεται θερμική, κινητική και ηχητική ενέργεια.

Οι διαφορές επί μέρους διεργασίες που αποτελούν την καύση του πετρελαίου, είναι κατά χρονική σειρά οι εξής :

- Δημιουργία μίγματος καυσίμου και αέρα
- Θέρμανση αυτού μέχρι της θερμοκρασίας εναύσεως

- Έναυση στο μέτωπο της φλόγας
- Διεργασίες οξειδώσεως
- Απόδοση θερμότητας

Σημειώνεται ότι με το οξυγόνο του αέρα αντιδρούν μόνον αέρια και ατμοί. Έτσι η δημιουργία μίγματος προϋποθέτει την μετάβαση του υγρού καυσίμου στην αέριο φάση.

Είναι λοιπόν αναγκαίο να προηγηθούν ατμοποίηση του πετρελαίου, διασκορπισμός και ανάμιξη.

Οι καυστήρες πετρελαίου είναι ηλεκτροκίνητες συσκευές που διαθέτουν τον αναγκαίο εξοπλισμό και τους κατάλληλους αυτοματισμούς για την προσαγωγή, τον διασκορπισμό, την ανάμιξη του αέρα και την καύση του πετρελαίου. Ο διασκορπισμός και η ανάμιξη των σταγονιδίων με τον αέρα, λαμβάνουν χώρα μέσα στον φλογοθάλαμο του λέβητα.

Η σχετική διαδικασία πραγματοποιείται με τρεις τρόπους, οι οποίοι και αποτελούν χαρακτηριστικά λειτουργίας των καυστήρων, δηλαδή οδηγούν στη διάκριση, σε :

A) Καυστήρες εξατμίσεως

B) Καυστήρες διασκορπισμού

Γ) Καυστήρες περιστροφής

ΚΥΡΙΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΚΑΥΣΤΗΡΑ

Παρά τις σημαντικές διαφορές που μπορεί να εμφανίζουν στη μορφή τους οι καυστήρες των διαφόρων κατασκευαστών, υπάρχουν πολλά κοινά στοιχεία στον εξοπλισμό τους, τα οποία συναντώνται σε όλους ή σχεδόν σε όλους τους τύπους :

- i. Κέλυφος του καυστήρα (ή περίβλημα), το οποίο περιβάλλει όλα τα εξαρτήματα του καυστήρα.
- ii. Άνοιγμα προσαγωγής αέρα με ρυθμιζόμενο διάφραγμα (ντάμπερ). Το διάφραγμα (ντάμπερ) καθορίζει, σε κάποια όρια, την ποσότητα του προσαγόμενου αέρα.
- iii. Ηλεκτρικός κινητήρας, ο οποίος συνδέει λειτουργικά τον άξονα του ανεμιστήρα με την αντλία καυσίμου.
- iv. Ο ανεμιστήρας με κεκλιμένα πτερύγια, οποίος εξασφαλίζει την αναγκαία ροή του αέρα
- v. Ο ηλεκτρικός πίνακας αυτόματης λειτουργίας, οποίος περιλαμβάνει όλα τα όργανα (ρελέ, αντιστάσεις κ.λπ), που ρυθμίζουν την λειτουργία του καυστήρα και την διακόπτουν σε περίπτωση έλλειψη φλόγας ή καυσίμου ή για άλλο λόγο.
- vi. Ο μετασχηματιστής έναυσης, ο οποίος εξασφαλίζει την αναγκαία τάση (6.000V – 10.000 V) για την δημιουργία ηλεκτρικού σπινθήρα, μεταξύ δύο ηλεκτροδίων που βρίσκονται κοντά στο ακροφύσιο και είναι αναγκαίο για την έναυση.
- vii. Η αντλία καυσίμου, απορροφά το καύσιμο από την δεξαμενή και δια του ακροφύσιου διασκορπισμού το εκτινάσσει με πίεση 10 -12 bar, στην περίπτωση του μαζούτ. Η παροχή της αντλίας είναι πάντα μεγαλύτερη από εκείνη του ακροφύσιου και υπάρχει πρόβλεψη ώστε η περίσσεια να επιστρέφει στην δεξαμενή.

iii. Το ακροφύσιο διασκορπισμού (μπεκ), είναι το τμήμα του καυστήρα από το οποίο εξέρχεται το καύσιμο. Μετατρέπει την πίεση (δυναμική ενέργεια) σε κινητική ενέργεια, δηλαδή σε υψηλή ταχύτητα. Η διαμόρφωση του ακροφύσιου επιτρέπει στο καύσιμο τον διασκορπισμό του με την μορφή μικρών σταγονιδίων τον οποίο αναμιγνύονται με τον αέρα.

ix. Το φωτοκύτταρο εντοπισμού της φλόγας παρακολουθεί την εξέλιξη της καύσης και, όσο υπάρχει φλόγα, επιτρέπει τη ροή καυσίμου. Εάν η φλόγα εκλείπει, το φωτοκύτταρο επεμβαίνει στο ηλεκτρικό κύκλωμα, το οποίο διακόπτει τη λειτουργία του καυστήρα.

x. Η κεφαλή καύσης πρέπει να εξασφαλίζει την πλήρη ανάμιξη του καυσίμου με τον αέρα, τη σταθεροποίηση της φλόγας και γενικότερα την ικανοποιητική λειτουργία της καύσης. Το σημαντικότερο στοιχείο της κεφαλής της καύσης είναι ο "σταθεροποιητής" ή δίσκο ανάμιξης. Αποτελείται από ένα χαλύβδινο δίσκο που διαθέτει ομόκεντρο στόμιο και σε διάφορες αποστάσεις από το κέντρο διάφορες οπές. Προκαλεί διαφοροποίηση της ταχύτητας ροής ποσοτήτων αέρα και υποβοηθάει την ανάμιξη με το καύσιμο.

ΦΑΣΕΙΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΥΣΤΗΡΑ

1. Ξεκίνημα του καυστήρα: Αρχίζει η λειτουργία του ανεμιστήρα προσαγωγής αέρα και ανοίγει το σχετικό ρυθμιστικό διάφραγμα (ντάμπερ). Το καύσιμο, αφού διέλθει από κάποιο φίλτρο, οδηγείται απ' ευθείας στο ακροφύσιο ή πρώτα αναμιγνύεται με πρωτεύοντα αέρα.

2. Τελική ανάμιξη και εξαέρωση : το καύσιμο εκσφενδονίζεται με πίεση και με μορφή λεπτών σταγονιδίων στον χώρο καύσης και αναμιγνύεται πλήρως με στροβολίζοντα αέρα.

3. Έναυση : ελάχιστα δευτερόλεπτα μετά την έναρξη ροής καυσίμου, ρεύμα υψηλής τάσης που προέρχεται από τον μετασχηματιστή προκαλεί στα ηλεκτρόδια ηλεκτρική εκκένωση (σπινθήρα), δια του οποίου επιτυγχάνεται η έναυση.

4. Διακοπή λειτουργίας: Για την διακοπή λειτουργίας του καυστήρα πρέπει πρώτα να διακοπεί η ροή του καυσίμου και σχεδόν αμέσως μετά διακόπτετε η ροή του αέρα και κλείνει το σχετικό διάφραγμα (ντάμπερ).

ΑΠΟΔΟΣΗ ΚΑΥΣΤΗΡΑ

Για τους καυστήρες δεν μπορούμε να μιλάμε για βαθμό απόδοσης αλλά για καλή ποιότητα, που κρίνεται από τα παρακάτω στοιχεία:

-Ασφάλεια λειτουργίας (κανονισμός DIN 4787)

-Περιεκτικότητα CO₂*(%) – υψηλή (DIN 4702)

-Περιεκτικότητα CO₂ – χαμηλή < 0,1 %

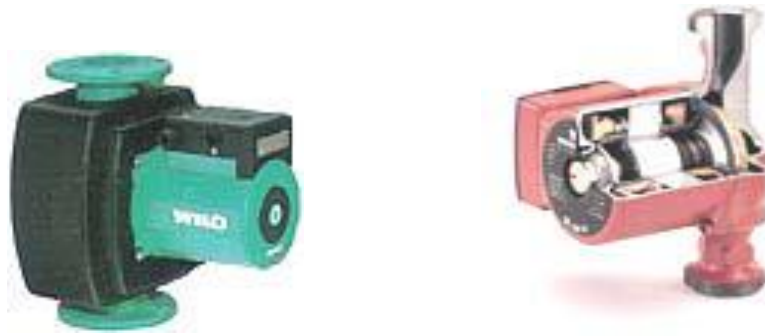
-Δείκτης αιθάλης μικρός < 3

-Ικανότητα λειτουργίας σε λέβητα αντίθλιψης

-Ικανότητα υπερνίκησης αρχικού κύματος υπερπίεσης κατά την έναυση του πετρελαίου

-Σταθερότητα λειτουργίας της φ

2.3.1.3 Κυκλοφορητές



Εικόνα 2.5 Κυκλοφορητές

Σε μια εγκατάσταση κεντρικής θέρμανσης, οι κυκλοφορητές μεταφέρουν το νερό από τον λέβητα στα θερμαντικά σώματα και αντιστρόφως. Ο κυκλοφορητής είναι αντλία φυγοκεντρικού τύπου και κινείται με τη βοήθεια ηλεκτρικού ρεύματος. Συνήθως τοποθετούνται μέσα στο λεβητοστάσιο και κοντά στον λέβητα.

Η θερμική ενέργεια που παράγεται από το σύστημα : καυστήρας – λέβητας, έχει τελικό προορισμό τα θερμαντικά σώματα, τα κλιματιστικά κ.λπ. Ως μεταφορικό μέσο της θερμότητας χρησιμοποιείται το νερό, ο ατμός ή ο αέρας. Στο κοινό καλοριφέρ χρησιμοποιείται το νερό.

Η διακίνηση του νερού μπορεί να γίνει με δύο τρόπους :

- A) Με φυσική κυκλοφορία και
- B) Με κυκλοφορητές

Οι κυκλοφορητές είναι αντλίες οι οποίες έχουν σκοπό τη βεβιασμένη μεταφορά του ζεστού νερού από το λέβητα στα θερμαντικά σώματα. Το μέγεθος τους εξαρτάται από την ποσότητα νερού που διακινούμε και τις αντιστάσεις του δικτύου.

ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΥΚΛΟΦΟΡΗΤΗ

Τα κυριότερα χαρακτηριστικά επιλογής ενός κυκλοφορητή είναι :

1. Η παροχή Q, (m³/h)
2. Το μανομετρικό H (m. Υ.Σ)
3. Η διάμετρος των σωλήνων του εισόδου – εξόδου
4. Η απαιτούμενη ισχύς του κινητήρα (Watt ή HP)

Η παροχή του κυκλοφορητή υπολογίζεται από τον τύπο :

$$G = Q / \Delta T \cdot 1000$$

Όπου,

$G [m^3/h]$: η παροχή νερού,

$Q [kcal/h]$: η ισχύ του λέβητα

ΔT είναι η διαφορά θερμοκρασίας εισόδου - εξόδου νερού (για μονοσωλήνιο σύστημα θέρμανσης παίρνει τιμή 15) και 1000 = σταθερός αριθμός.

Όμως για απλές εγκαταστάσεις μπορούμε να υπολογίσουμε την παροχή του κυκλοφορητή $Q(m^3/h)$, με βάση την παραδοχή ότι κάθε κυβικό μέτρο νερού αποδίδει

στους θερμαινόμενους χώρους 15.000Kcal/h. Δηλαδή εάν έχουμε έναν λέβητα 50.000 Kcal/h τότε η παροχή του κυκλοφορητή πρέπει να είναι $50.000/ 15.000 = 3,33 m^3/h$.

Αρχικά υπολογίζουμε την παροχή και το μανομετρικό του απαιτούμενου κυκλοφορητή, το οποίο εκφράζεται σε m.Υ.Σ (μέτρα στήλης νερού) και εκτιμάται πολλαπλασιάζοντας, το συνολικό μήκος (L σε m) των σωλήνων προσαγωγής (ζεστού) και επιστροφής (κρύου) του δυσμενέστερου (μεγαλύτερου σε μήκος) θερμαντικού σώματος της εγκατάστασης, επί το 16 ή μανομετρικό = $L * 16$ σύμφωνα με τα παραπάνω.

Τα παραπάνω βέβαια προϋποθέτουν και σωστό υπολογισμό των διαμέτρων των σωλήνων, σύμφωνα με το μεταφερόμενο απ' αυτούς θερμικό φορτίο (Kcal/h).

2.3.1.4 Δεξαμενή καυσίμων

Η δεξαμενή καυσίμων αποτελεί άλλο ένα σημαντικό στοιχείο μιας εγκατάστασης κεντρικής θέρμανσης καθώς εκεί αποθηκεύεται το πετρέλαιο. Μια δεξαμενή καυσίμων μπορεί να είναι είτε μεταλλική είτε πλαστική.

Είναι αυτονόητο ότι το μέγεθος της δεξαμενής καυσίμου, είναι συνάρτηση του μεγέθους της εγκατάστασης και της πιθανής μέσης ημερησίας καταναλώσεως. Στην εκλογή του μεγέθους της όμως, υπεισέρχεται και η ευκολία προσάγεται το καύσιμο. Σε περιοχές που η επάρκεια είναι για λίγες μέρες κατασκευάζονται μικρότερες δεξαμενές ενώ σε ακραίες περιπτώσεις (δυσπρόσιτες, απομακρυσμένες περιοχές), είναι δυνατόν να επιλεγεί μέγεθος δεξαμενής, το περιεχόμενο της οποίας να επαρκεί για μια ολόκληρη χειμερινή περίοδο. Για συνήθεις εγκαταστάσεις, που δεν υπάρχουν ειδικές δυσχέρειες στην τροφοδότηση, οι δεξαμενές πετρελαίου επιλέγονται για επάρκεια από 20 ημέρες μέχρι 1 ½ μήνα, συνήθους καταναλώσεως. Υπάρχει και η δυνατότητα επιλογής από τυποποιημένους πίνακες όπως ο Πίνακας 2.5.

Ισχύς λέβητα (kcal/h)	Δεξαμενή πετρελαίου
μέχρι 50000	1,00 m × 1,00 m × 1,00 m
50000 - 120000	1,00 m × 2,00 m × 1,00 m
120000 - 170000	1,20 m × 2,40 m × 1,20 m

Πίνακας 2.5 Διαστάσεις δεξαμενής πετρελαίου

Για μεσαίες και μεγάλες εγκαταστάσεις ή δεξαμενές σε απομακρυσμένες περιοχές, γίνεται αναλυτικός υπολογισμός, με αφετηρία την πιθανή κατανάλωση πετρελαίου, η οποία προκύπτει από τη σχέση:

$$B = B_o \cdot H_\theta \cdot Q \text{ (σε Kg/έτος)}$$

Όπου,

B_o [Kg/h]: είναι η ειδική κατανάλωση πετρελαίου

H_θ [h]: ο πιθανός συνολικός αριθμός ωρών, σε ετήσια βάση, που προβλέπεται να λειτουργεί η θέρμανση, και

Q [Kcal/h]: το σύνολο των θερμικών απωλειών των χώρων

Για αστικές περιοχές της κεντρικής Ελλάδας (όχι ορεινής), μπορεί να ληφθεί

$H_\theta = 1000$ h, οπότε:

$$B = 1000 \cdot B_o \cdot Q$$

Η ειδική κατανάλωση καυσίμου μιας εγκατάστασης υπολογίζεται από τη σχέση:

$$B_o = Z/\Delta t_{\max} \cdot H_u \cdot \eta$$

Όπου,

Z είναι ο συντελεστής ημερήσιας λειτουργίας της εγκατάστασης

Δt_{\max} [°C]: είναι η μέγιστη πιθανή θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ ενδεικτικής επιθυμητής θερμοκρασίας των χώρων και της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος

H_u [Kcal/ Kg]: η κατωτέρα θερμογόνος δύναμη του καυσίμου και

η ο βαθμός αποδόσεως της εγκατάστασης.

Ο ιδιαίτερος χώρος στον οποίο τοποθετείται η δεξαμενή πετρελαίου, ο οποίος προτείνεται σύμφωνα με την Τ.Ο.ΤΕΕ 2421, για εγκαταστάσεις μεγαλύτερες των 150 kW (125.000 Kcal/h), πρέπει να διαχωρίζεται από το λεβητοστάσιο και κάθε άλλο σχετικό χώρο, με τοίχο από πρακτικά άκαυστο υλικό.

2.3.1.5 Διατάξεις ασφαλείας

Οι διατάξεις ασφαλείας εξασφαλίζουν τη λειτουργία μιας εγκατάστασης κεντρικής θέρμανσης και αποτελούνται από το κλειστό δοχείο διαστολής, τον αυτόματο πληρώσεως, τη βαλβίδα ασφαλείας και τη βαλβίδα ανοδικής προστασίας θερμομέτρα εμβαπτίσεως κυαθίου για και θερμομέτρα επαφής για κεντρικές στήλες θέρμανσης. Μέσω αυτών εξασφαλίζεται η σταθερή πίεση του νερού μέσα στην εγκατάσταση θέρμανσης και η προστασία από ηλεκτρόλυση.

2.3.1.6 Σωληνώσεις



Εικόνα 2.6 Σωληνώσεις

Η μεταφορά του νερού από το λέβητα στα θερμαντικά σώματα και η επιστροφή του πίσω στο λέβητα επιτυγχάνεται μέσω του δικτύου σωληνώσεων. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται τρία είδη σωλήνων: Χαλκοσωλήνες, χαλυβδοσωλήνες και λαστικοί σωλήνες. Οι χαλκοσωλήνες είναι οι πιο διαδεδομένοι σήμερα, οι πλαστικοί χρησιμοποιούνται ολοένα και περισσότερο, ενώ οι χαλυβδοσωλήνες έχουν εγκαταλειφθεί.

Οι χαλκοσωλήνες που κυκλοφορούν στο ελεύθερο εμπόριο είναι τυποποιημένοι με βάση την ονομαστική τους διάμετρο, την ονομαστική πίεση και την πίεση λειτουργίας.

Η ονομαστική διάμετρος χαρακτηρίζει ουσιαστικά τα εξαρτήματα του δικτύου σωληνώσεων.

Η ονομαστική πίεση είναι η πίεση για την οποία υπολογίζονται σωληνώσεις και εξαρτήματα, για την κανονική λειτουργία.

Η πίεση λειτουργίας είναι χαρακτηριστική για τη χρησιμοποίηση του υλικού και, για μία συγκεκριμένη θερμοκρασία (20 °C), ισούται με την ονομαστική. Για υψηλότερες θερμοκρασίες είναι γενικά μικρότερη.

Τέλος **η πίεση δοκιμής ή ελέγχου** αφορά τη δοκιμασία του υλικού από τον κατασκευαστή και είναι πολλαπλάσια της ονομαστικής.

Τους βρίσκουμε είτε μαλακούς σε κουλούρες είτε σκληρούς σε ράβδους. Σε κουλούρες βέβαια τους βρίσκουμε μόνο σε διαμέτρους μικρότερες από 22 mm. Οι χαλκοσωλήνες χρησιμοποιούνται όλο και σε μεγαλύτερη κλίμακα, σε μικρές κυρίως εγκαταστάσεις, επειδή αντέχουν περισσότερο στη διάβρωση, έχουν μεγαλύτερη ευκολία στη συναρμολόγηση και οι απώλειες, λόγω των τριβών στο εσωτερικό τους είναι μικρές.

Η χρησιμοποίηση πλαστικών σωλήνων δεν είναι συνήθης στις εγκαταστάσεις κεντρικών θερμάνσεων, τουλάχιστον προς το παρόν. Και αυτό γιατί η θερμοκρασία του θερμού νερού που κυκλοφορεί μέσα σε αυτούς δε μπορεί να είναι μεγαλύτερη από 80 °C. Έχουμε πολλούς τύπους πλαστικών σωλήνων όπως:

- Σωλήνες χλωριδίου του πολυβινυλίου (σωλήνες PVC).
- Σωλήνες πολυαιθυλενίου (σωλήνες PE).
- Σωλήνες πολυπροπυλενίου.

Τα τελευταία χρόνια συναντώνται στις εγκαταστάσεις των ενδοδαπέδιων θερμάνσεων όπου η θερμοκρασία εισαγωγής του νερού δεν ξεπερνάει τους 45 °C.

Είναι πολύ σημαντικό να γίνεται σωστή και λεπτομερής μελέτη των σωληνώσεων που πρόκειται να εγκατασταθούν, ώστε το σύστημα θέρμανσης να αποδίδει στη μέγιστη ζήτηση. Ο στόχος υπολογισμού του δικτύου σωληνώσεων είναι διπλός:

- Να καθορισθούν οι διατομές (οι διάμετροι) του δικτύου των σωληνώσεων ώστε οι ταχύτητες του νερού μέσα σ' αυτές να βρίσκονται σε επιθυμητά όρια (συνήθως όχι μεγαλύτερες από 1 m/s), ανάλογα με το μεταφερόμενο θερμικό φορτίο.
- Να υπολογισθούν οι πτώσεις πίεσεως λόγω τριβών τόσο στις σωληνώσεις όσο και στα λοιπά στοιχεία του δικτύου, όπως θερμαντικά σώματα, διακόπτες, καμπύλες, γωνίες κλπ. Έτσι είναι δυνατό να επιλεγεί κυκλοφορητής με κατάλληλη δρώσα πίεση, ώστε να υπερκαλύπτει τις παραπάνω απώλειες.

Οι πτώσεις πίεσεως στα λοιπά στοιχεία του δικτύου δίνονται πίνακες από τους κατασκευαστές ή σε τεχνικά εγχειρίδια.

2.3.1.7 Καπνοδόχος

Οι καπνοδόχοι χρησιμεύουν για την απόρριψη των καυσαερίων από την εστία του λέβητα στο περιβάλλον. Βασικά στοιχεία μιας καπνοδόχου είναι :

1. Η διατομή (ορθογωνική ή κυκλική)
2. Το ύψος(από την είσοδο του καπναγωγού μέχρι την κορυφή) και
3. Το υλικό κατασκευής (μας ενδιαφέρουν η αντοχή και οι αντιστάσεις τριβής).

Η καπνοδόχος πρέπει να θερμομονώνεται ή το υλικό κατασκευής της να είναι θερμομονωτικό (από ελαφρόπετρα ή διπλό τοίχωμα κλπ.). Η πορεία της πρέπει να είναι, κατά το δυνατόν, ευθύγραμμη και χωρίς αλλαγές στη διατομή. Διαφορετικά αυξάνουν σημαντικά οι αντιστάσεις ροής των καυσαερίων. Η μικρή διατομή δυσχεραίνει τη ροή των καυσαερίων και μειώνει την απόδοση του λέβητα. Η μεγάλη διατομή σε συνδυασμό και με την έλλειψη θερμομόνωσης ή τις χαμηλές θερμοκρασίες προκαλεί υγραποίηση των καυσαερίων σε θειικό οξύ, που διαβρώνει τον καπναγωγό και τους χαλύβδινους λέβητες. Μεγάλο οριζόντιο τμήμα, σε σύγκριση με το κατακόρυφο, μειώνει τον φυσικό ελκυσμό τους και πιθανόν να απαιτηθεί η τοποθέτηση ανεμιστήρα που θα διευκολύνει την απαγωγή των καυσαερίων. Οι καπνοδόχοι που τοποθετούνται στο εσωτερικών των κτιρίων πρέπει να ηχομονώνονται, να θερμομονώνονται και να μην πλησιάζουν πολύ ηλεκτρικά ή άλλα δίκτυα. Κάθε λέβητας πρέπει να έχει τη δική του καπνοδόχο. Κατ' εξαίρεση σε υφιστάμενα κτίρια πρέπει να χρησιμοποιηθεί η ίδια καπνοδόχος για δύο λέβητες, υπό προϋποθέσεις (μηχανική απαγωγή καυσαερίων, επάρκεια διατομής κλπ). Η κατάλληλη των καπνοδόχων στη στέγη πρέπει να γίνεται τουλάχιστον ένα μέτρο πάνω από το σημείο εξόδου της και 0,7 m πάνω από οποιαδήποτε ακμή του κτιρίου, που ευρίσκεται

σε ακτίνα 1,5 m. Επίσης να απέχει τουλάχιστον 1,5m από υλικά που καίγονται. Σε περίπτωση που σε οριζόντια απόσταση μικρότερη των 10 m και ψηλότερα από την κατάληξη της καπνοδόχου ευρίσκονται παράθυρα ή πόρτες άλλων κτιρίων για να αποφεύγουμε την ενόχληση τους πρέπει να λάβουμε ειδικά μέτρα (π.χ. ανύψωση της καπνοδόχου).

Ο καπναγωγός κατασκευάζεται από υλικά ανθεκτικά στις υψηλές θερμοκρασίες (άνω των 3000 °C) και στη διάβρωση. Αν το υλικό του καπναγωγού είναι χαλυβδοέλασμα, τότε το πάχος του να είναι τουλάχιστον 3 mm.

Οι καπναγωγοί πρέπει να έχουν ανοδική κλίση από τον λέβητα προς την καπνοδόχο, τουλάχιστον 15%, και διατομή 20% μεγαλύτερη από την καπνοδόχο. Στην βάση της καμινάδας να προβλέπεται άνοιγμα καθαρισμού. Ο καπναγωγός συνδέεται με την καμινάδα, σε ύψος που εξαρτάται από τον λέβητα, χωρίς να εισέρχεται σ' αυτήν. Οι συνδέσεις του καπναγωγού με τον λέβητα και με την καμινάδα πρέπει να είναι αεροστεγείς για να μην έχουμε διαρροή καυσαερίων μέσα στο λεβητοστάσιο. Η καπνοδόχος πρέπει να στηρίζεται καλά στο δάπεδο και στο κτίριο, σε όλο το ύψος της.

2.3.1.8 Τερματικές Μονάδες Θέρμανσης

Τα θερμαντικά σώματα αποτελούν τις τερματικές μονάδες ενός συστήματος εγκατάστασης κεντρικής θέρμανσης μέσω των οποίων η θερμότητα που μεταφέρει το θερμαντικό ρευστό μεταδίδεται στους εσωτερικούς χώρους. Τα σώματα είναι συνήθως κατασκευασμένα από χάλυβα ή αλουμίνιο. Τα χυτοσίδηρα σώματα έχουν εγκαταλειφθεί σήμερα καθώς είναι πιο βαριά, και ενώ διατηρούν τη θερμοκρασία τους για πολλή ώρα αργούν να ζεσταθούν. Τα θερμαντικά σώματα διαθέτουν ειδικούς διακόπτες που επιτρέπουν την απομόνωσή τους προκειμένου να μην ξοδεύεται ενέργεια άσκοπα σε χώρους που δεν κατοικούνται. Διαθέτουν επίσης βαλβίδες εξαερισμού για την εξαέρωσή τους σε περιπτώσεις που συσσωρεύεται αέρας μη επιτρέποντας την ομαλή κυκλοφορία του νερού στο εσωτερικό τους.

Επίσης, η ενδοδαπέδια θέρμανση είναι μια αξιόπιστη και αποτελεσματική τερματική μονάδος θέρμανσης που συνδυάζει συνθήκες θερμικής άνεσης και οικονομικής λειτουργίας. Στο σύστημα αυτό, ζεστό νερό θερμοκρασίας 35-45 °C κυκλοφορεί μέσα σε κύκλωμα σωληνώσεων που είναι ενσωματωμένο στο δάπεδο του χώρου, μετατρέποντας το ίδιο το δάπεδο σε θερμαντικό σώμα. Η μετάδοση της θερμότητας πραγματοποιείται με ακτινοβολία από το δάπεδο προς τον θερμαινόμενο χώρο, από τα χαμηλότερα στρώματα προς τα υψηλότερα σε όλη την επιφάνεια του χώρου χωρίς ισχυρά ρεύματα. Επιτυγχάνεται με αυτόν τον τρόπο η επιθυμητή διαστρωμάτωση της θερμοκρασίας, δηλαδή στο ύψος της κεφαλής η θερμοκρασία ανέρχεται στους 18-20°C. Η θέρμανση μέσω σωληνώσεων που διατρέχουν όλη την επιφάνεια του χώρου εξασφαλίζει τις βασικές απαιτήσεις της σύγχρονης ζωής δηλαδή άνετη και υγιεινή διαβίωση σε συνθήκες θερμικής θαλπωρής και με αισθητική χωρίς περιορισμούς στην σύγχρονη μοντέρνα κατοικία (όπως και με φιλικότητα προς το περιβάλλον αν υποστηρίζεται από ηλιοθερμικό σύστημα).

Τέλος, τα σώματα εξαναγκασμένης κυκλοφορίας (Fan coil), είναι ακόμα μία τερματική μονάδα, τα οποία μπορούν να θερμάνουν άμεσα ένα χώρο και σε συνδυασμό με τη χρήση κατάλληλων αεραγωγών καλύπτουν απαιτήσεις εξαερισμού.

Στα συστήματα αυτά, μπορούν να εφαρμοστούν τόσο με συμβατικές μεθόδους θέρμανσης (λέβητας) και ψύξης (chiller) όσο και με συστήματα που εκμεταλλεύονται τις ήπιες μορφές ενέργειας π.χ. Ηλιακοί συλλέκτες, λέβητες βιομάζας, κλπ.

2.3.2 Τοπική Θέρμανση

Τοπική θέρμανση είναι το σύστημα θέρμανσης χώρων, στο οποίο η ενέργεια παράγεται και προσδίδεται μέσα στον ίδιο χώρο, χωρίς την παρεμβολή συστήματος μεταφοράς.

Οι τοπικές θερμάνσεις διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

- τοπικές θερμάνσεις με φορητές συσκευές (θερμάστρες αερίου, ηλεκτρικές θερμάστρες ακτινοβολίας, αερόθερμα κλπ).
- τοπικές θερμάνσεις με διατάξεις ενσωματωμένες εν όλω ή εν μέρει στο κτίριο (τζάκια, θερμάστρες πετρελαίου, αερίου ή υγραερίου με καπναγωγούς, θερμοσυσσωρευτές κλπ).

Οι χρησιμοποιούμενες συσκευές στις τοπικές θερμάνσεις είτε φορητές είτε όχι, ανεξάρτητα από το χώρο που θα τοποθετηθούν, πρέπει απαραίτητα να είναι εγκεκριμένες από τον αρμόδιο φορέα (π.χ. Υπουργείο Ανάπτυξης, ΕΛΟΤ κλπ.) και πρέπει κατά τη χρήση τους ή την τοποθέτησή τους να λαμβάνονται από τον κατασκευαστή τα συνιστώμενα μέτρα ασφάλειας.

- i. Συσκευές που χρησιμοποιούν υγρά καύσιμα πρέπει να φέρουν ενσωματωμένο δοχείο καυσίμου, απαγορευόμενης της τροφοδότησής τους από αποθήκη καυσίμων εντός κατοικούμενων χώρων του κτιρίου. Σε εξαιρετικές περιπτώσεις, επιτρέπεται μόνο, ύστερα από άδεια της αρμόδιας αρχής και γνώμη της πυροσβεστικής υπηρεσίας, η τροφοδότηση πολλών τοπικών θερμαστρών πετρελαίου από κεντρική δεξαμενή καυσίμου που βρίσκεται εκτός των χώρων παραμονής ατόμων και πιεστικού δικτύου διανομής πετρελαίου. Για τις περιπτώσεις αυτές, για το χώρο αποθήκευσης καυσίμων, ισχύουν οι διατάξεις της παραγράφου 2δ.γγ για αποθήκευση καυσίμων για τις κεντρικές θερμάνσεις, ανεξαρτήτως μεγέθους δεξαμενής ή θερμικής ισχύος της εγκατάστασης, και για το σύνολο της εγκατάστασης ισχύουν οι αντίστοιχοι γερμανικοί κανονισμοί.
- ii. Για τις καπνοδόχους των θερμαστρών στερεών, υγρών ή αερίων καυσίμων ισχύουν τα αναφερόμενα στην παράγραφο 2δ.ββ. θθθ για τις καπνοδόχους λεβήτων κάτω των 25 KW για τις κεντρικές θερμάνσεις. Για τις καπνοδόχους των ανοικτών εστιών (τζάκια) ισχύουν οι περιορισμοί της Παραγράφου 2δ. ββ. δδδ του παρόντος άρθρου.
- iii. Οι ηλεκτρικοί θερμοσυσσωρευτές πρέπει να είναι εφοδιασμένοι με όλες τις απαραίτητες διατάξεις αυτοματισμού και ελέγχου ώστε να αξιοποιούν κατά τον καλύτερο τρόπο ειδικά τιμολόγια ηλεκτρικής ενέργειας.
- iv. Για όλες τις συσκευές τοπικής θέρμανσης, εκτός από τις φορητές, ισχύουν τα αναφερόμενα στις υποπαραγράφους ε, στ και ζ της παρ. 1 του άρθρου αυτού.

2.3.2.1 Θερμάστρες αερίου

Το αέριο (φυσικό, υγραέριο ή φωταέριο), είναι ευγενές καύσιμο που εξασφαλίζει υψηλή απόδοση και "καθαρή" καύση. Όταν ληφθούν προσεκτικά όλα τα αναγκαία

μέτρα και οι απαραίτητες προφυλάξεις, οι θερμάστρες αερίου παρέχουν την επιθυμητή θέρμανση. Πλεονεκτήματα των θερμαστών αερίου, θεωρούνται:

- Η ευκολία στη χρήση (άμεση έναρξη λειτουργίας, ρύθμιση σύμφωνα με τις ανάγκες, απλή διακοπή λειτουργίας)
- Ο μικρός χρόνος προθερμάνσεως
- Η καθαρότητα της λειτουργίας τους
- Η διαρκής ετοιμότητα για λειτουργία
- Εύκολος υπολογισμός του κόστους εγκατάστασής είναι της δαπάνης λειτουργίας
- Δε χρειάζεται καπνοδόχος όταν η θερμάστρα είναι μικρή
- Δεν προκαλεί ρύπανση του περιβάλλοντος

Πρέπει να τοποθετούνται σε κάποια απόσταση από στερεά τοιχώματα ή έπιπλα ή εύφλεκτα διακοσμητικά στοιχεία (κουρτίνες, χαλιά, κ.ά.), τόσο για να κυκλοφορεί ελεύθερα ο αέρας σε όλο το περίγραμμά τους (να μην υπάρχει κίνδυνος συσσωρεύσεως ή εγκλωβισμού ποσοτήτων καυσίμου αερίου ή καυσαερίων) και ακόμη για να αποφευχθούν επικίνδυνες τοπικές υπερθερμάνσεις (π.χ. σε ηλεκτρικούς αγωγούς ή σωλήνες ρευστών που διέρχονται μέσα από τοίχους, οροφές και δάπεδα).

2.3.2.2 Ηλεκτρικές θερμάστρες ακτινοβολίας

Μία ηλεκτρική, σπειροειδής αντίσταση που ερυθροπυρώνεται, είναι μία αμέσου αποδόσεως, ισχυρή πηγή θερμάνσεως. Η αντίσταση αυτή τυλίγεται σ' έναν κεραμικό πυρήνα (μεγάλης αντοχής σε υψηλές θερμοκρασίες) και συνδυάζεται με σφαιρικό ή παραβολικό ανακλαστήρα, ο οποίος κατευθύνει τη θερμική ακτινοβολία προς την επιθυμητή κατεύθυνση. Για μικρές ισχείς 0,5 – 1 kW, οι συσκευές είναι εξαιρετικά απλές με υποτυπώδες προστατευτικό πλέγμα, στήριγμα δαπέδου (πόδια) και καλώδιο προσαγωγής του ηλεκτρικού ρεύματος. Λίγο μεγαλύτερες μονάδες 1 – 4kW, έχουν συνήθως ορθογωνική μορφή, περισσότερες σειρές σπειροειδών περιελίξεων και διακόπτες που επιτρέπουν την παροχή ρεύματος σε κάθε αντίσταση (συνήθως 1 kW) χωριστά. Χρειάζεται προσοχή κατά την τοποθέτηση και γενικά κατά την προσέγγισή τους γιατί επάνω στις αντιστάσεις αναπτύσσεται θερμοκρασία περίπου 2000 °C ή (στα σωληνωτά συστήματα) θερμοκρασία 600 °C έως 700 °C.

2.3.2.3 Αερόθερμα

Με το γενικό όρο αερόθερμα αναφερόμαστε σε μία μεγάλη ποικιλία συσκευών οι οποίες παρέχουν θερμό αέρα με εξαναγκασμένη ροή (διαθέτουν ανεμιστήρα), θερμαίνοντας τοπικά, ποσότητες αέρα του ίδιου του χώρου. Η πηγή της θερμικής ενέργειας που δίδεται στον αέρα μπορεί να είναι ηλεκτρική αντίσταση, ζεστό νερό, ατμός ή μία μικρή μονάδα καύσεως (θάλαμος καύσεως με καυστήρα και καπνοδόχο). Τα πολύ απλά αερόθερμα είναι φορητές ηλεκτρικές θερμάστρες που διαθέτουν ανεμιστήρα για να επιτυγχάνουν εξαναγκασμένη ροή αέρα. Τέτοιες συσκευές χρησιμοποιούνται σε κατοικίες και γραφεία για εφεδρική, συμπληρωματική ή περιστασιακή θέρμανση (ώρες που δεν λειτουργεί η κεντρική θέρμανση).

2.3.2.4 Τζάκια

Τα τζάκια ανήκουν στα τοπικά συστήματα αμέσου θερμάνσεως με χρήση συνήθως ξύλων, άλλα και κάρβουνου, πετρελαίου ή αερίου. Είναι το μέρος όπου στεγάζεται μια ανοιχτή εστία φωτιά, χρησιμοποιούμενη για θέρμανση ενός χώρου, μερικές δε φορές και μαγείρεμα. Συνοδεύεται απαραίτητα από μια καμινάδα, η οποία αποτελεί προέκταση του τζακιού και έχει διπλή αποστολή:

- Να δημιουργεί το κατάλληλο ρεύμα, ώστε να συντηρείται η φωτιά.
- Να απομακρύνει από τον κατοικήσιμο χώρο τα πτητικά προϊόντα της καύσεως (καπνό κλπ.).

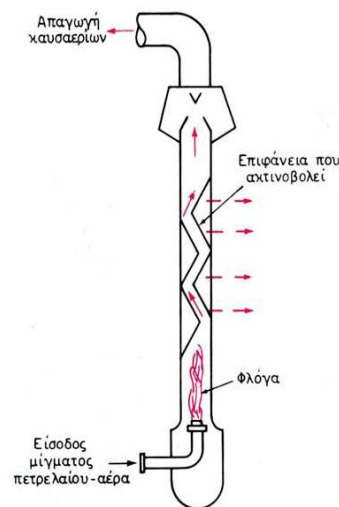
Τα τζάκια θερμαίνουν βασικά με ακτινοβολία από την ίδια τη φωτιά και από τα ανακλαστικά τοιχώματα που την περιβάλλουν, όταν δεν είναι ανοικτά και από όλες τις τέσσερις πλευρές. Η απόδοσή τους είναι πολύ μικρή, η μικρότερη από όλες τις συσκευές θερμάνσεως (περίπου 20-25%). Για την αύξηση αυτής της απόδοσης έχουν πραγματοποιηθεί κατά καιρούς διάφορες κατασκευαστικές βελτιώσεις των τζακιών, οι σπουδαιότερες από τις οποίες είναι:

- Η προσθήκη σχάρας οπότε διευκολύνεται η καύση.
- Η προσαγωγή αέρα κάτω από τη σχάρα οπότε επιτυγχάνεται ακόμα τελειότερη καύση.
- Η προσαγωγή αέρα στην εστία από τον εξωτερικό χώρο, οπότε μειώνεται η απώλεια θερμού αέρα από το θερμαινόμενο χώρο.
- Η δημιουργία καναλιών αέρα στα τοιχώματα του τζακιού, μέσα από τα οποία κυκλοφορεί μέρος του αέρα του χώρου, οπότε εκτός από την ακτινοβολία έχουμε μετάδοση θερμότητας και με επαφή-μεταφορά.
- Η τοποθέτηση των πλευρικών τοιχωμάτων σε αμβλεία γωνία προς την «πλάτη» του τζακιού, οπότε αυξάνεται η ακτινοβολούμενη θερμότητα.
- Η τοποθέτηση του τζακιού απέναντι από χονδρούς τοίχους ικανούς να διατηρούν και να επανακτινοβολούν θερμότητα, οπότε αξιοποιείται περισσότερη από την ακτινοβολία του τζακιού και διατηρείται πιο όμορφη θερμοκρασία στο θερμαινόμενο χώρο.

Το τζάκι χρησιμοποιείται ακόμα ως συσκευή θερμάνσεως κυρίως σε χώρες με ήπιο χειμώνα τα διακοσμητικά του όμως πλεονεκτήματα δημιουργούν τις προϋποθέσεις για ακόμα ευρύτερη χρήση. Παρά το ότι, στην απλή του κυρίως μορφή, συνεχίζει να είναι ο λιγότερο αποδοτικός τρόπος θερμάνσεως, το τζάκι έχει ορισμένα πλεονεκτήματα, όπως το ότι έχει ευεργετική επίδραση στο αίσθημα της ανέσεως του ανθρώπου το ότι η θερμική ακτινοβολία που εκπέμπεται από το τζάκι περιλαμβάνει μήκη κύματος συνεχώς μεταβαλλόμενα σ'ένα ευρύτατο φάσμα, από την έντονη ακτινοβολία της φλόγας μέχρι την απαλή ακτινοβολία χαμηλής θερμοκρασίας των τούβλων και γενικά των τοιχωμάτων που περιβάλλουν την εστία.

2.3.2.5 Θερμάστρες υπέρυθρης ακτινοβολίας με πετρέλαιο

Οι θερμάστρες πετρελαίου, παράγουν θερμότητα καίγοντας μία ειδική ποιότητα “καθαρού” πετρελαίου (που έχει επικρατήσει να λέγεται “φωτιστικό πετρέλαιο”) το οποίο έχει σημείο βρασμού 180 – 250 °C. Στις θερμάστρες υπέρυθρης ακτινοβολίας με πετρέλαιο η καύση γίνεται στο εσωτερικό του σώματος που ακτινοβολεί, το οποίο μπορεί να είναι κεραμικό ή μεταλλικό. Η επιφάνεια που ακτινοβολεί φθάνει σε χαμηλότερες θερμοκρασίες από ότι στις θερμάστρες αερίου (μέχρι 650 °C), γι’ αυτό και η απόδοση της είναι χαμηλή (μέχρι περίπου 200 W/m²), με χρόνο προθερμάνσεως 180 s (τριπλάσιο από τις θερμάστρες αερίου που αναφέρθηκαν). Στις θερμάστρες αυτές πρέπει να γίνεται και απαγωγή των καυσαερίων, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.7, όπου φαίνεται η τομή μιας τέτοιας θερμάστρας.



Σχήμα 2.7 Θερμάστρα υπέρυθρης ακτινοβολίας με πετρέλαιο

2.3.2.6 Τοπικοί θερμοσυσσωρευτές

Οι τοπικοί θερμοσυσσωρευτές είναι αυτόνομες ηλεκτρικές μονάδες θέρμανσεως οι οποίες χαρακτηρίζονται από τη μεγάλη μάζα τους, υψηλής θερμοσυσσωρευτικής ικανότητας. Συνήθως οι μονάδες αυτές παραλαμβάνουν ενέργεια (με τη βοήθεια ηλεκτρικών αντιστάσεων) κατά τη νύκτα (εφ’ όσον υπάρχει φθινό νυκτερινό τιμολόγιο ρεύματος), την αποθηκεύουν σε ειδικά τούβλα μεγάλης θερμοσυσσωρευτικής ικανότητας ή λάδι και την αποδίδουν την ημέρα (όταν τεθεί σε λειτουργία μικρός ανεμιστήρας που διαθέτουν). Οι τοπικοί θερμοσυσσωρευτές μπορούν να θεωρηθούν μεμονωμένες μονάδες κεντρικού συστήματος θέρμανσεως με θερμοσυσσώρευση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

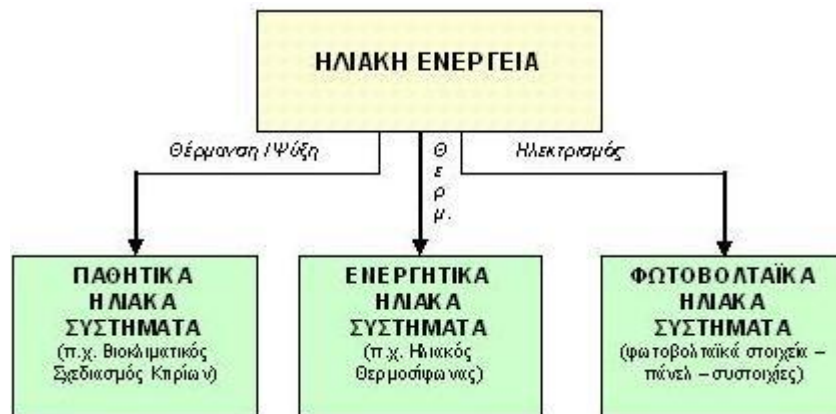
ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ

ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

3.1 Εισαγωγή στην Ηλιακή Ενέργεια

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 ή ενέργεια ακτινοβολίας.

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. 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 3.1). Τα παθητικά και τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα εκμεταλλεύονται τη θερμότητα που εκπέμπεται μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ τα φωτοβολταϊκά συστήματα στηρίζονται στη μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρικό ρεύμα μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου.

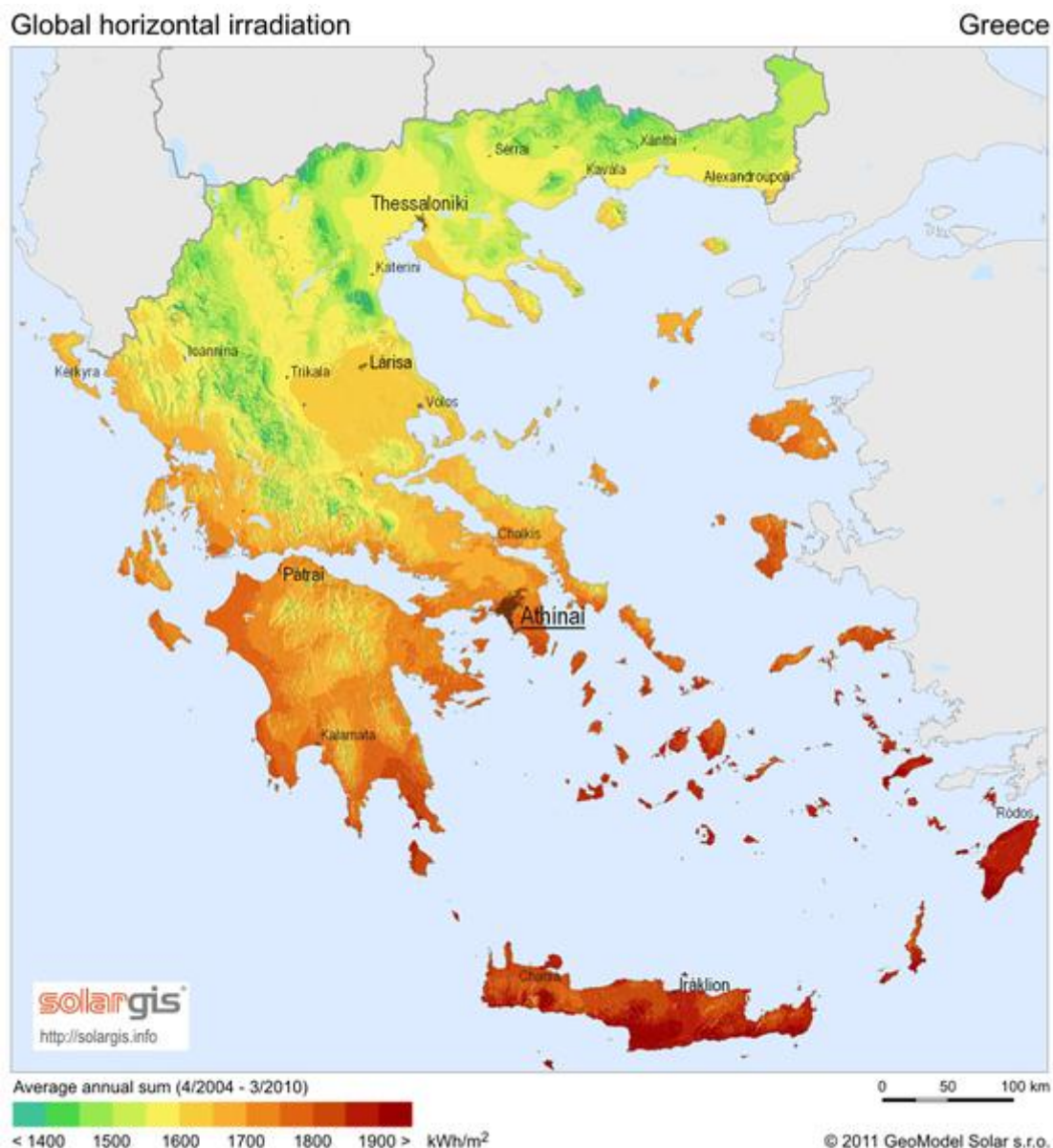


Εικόνα 3.1

3.2 Η 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 2×10^{30} 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 K, η θερμοκρασία του πυρήνα του σε 14.000.000 K 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.

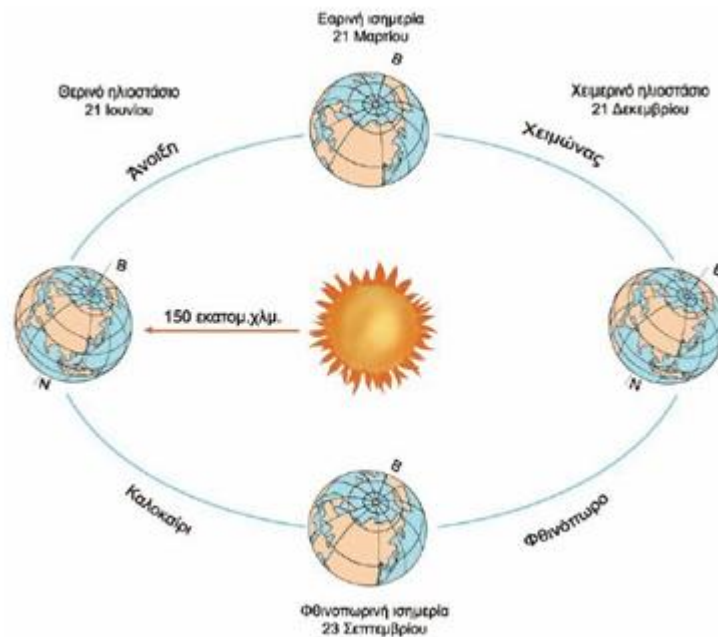
Η υψηλή θερμοκρασία του ήλιου οφείλεται στις αυτοσυντηρούμενες θερμοπυρηνικές αντιδράσεις, που συμβαίνουν στον πυρήνα του. Αυτές μετατρέπουν κάθε δευτερόλεπτο 564 εκατ. τόνους υδρογόνου σε 560 εκατ. τόνους ήλιο. Η μάζα που χάνεται μετασηματίζεται σε ενέργεια. Υπολογίζεται ότι από τη μετατροπή 1g υδρογόνου παράγεται ενέργεια ίση με $1,67 \times 10^5$ 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.



Εικόνα 3.2 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 3.3). Κατά την περιφορά της καταλαμβάνει δύο ακραίες θέσεις, την 21^η Ιουνίου και την 21^η 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 3.3 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.

3.2.1 Γεωμετρικά στοιχεία του ηλίου

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.

3.2.1.1 Ηλιακή σταθερά G_{sc}

Ως ηλιακή σταθερά ορίζεται η ροή της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε μία μοναδιαία επιφάνεια κάθετη στις ακτίνες του ήλιου στο όριο της ατμόσφαιρας:

$$G_{sc} = 1353 \text{ W/m}^2$$

Εξαιτίας των μεταβολών της πυκνότητας και της κατεύθυνσης, καθώς και της αλληλεπίδρασης με διάφορες ουσίες στα υπερκείμενα στρώματα αέρα, η ισχύς της ηλιακής ακτινοβολίας μειώνεται στα 1000 W/m^2 , όταν η θέση του ηλίου είναι κατακόρυφη και πάνω από την περιοχή.

Λόγω της μεταβολής της απόστασης ήλιου-γης κατά την διάρκεια του έτους χρησιμοποιείται η ακόλουθη σχέση για τον υπολογισμό της διαχρονικής μεταβολής της ηλιακής σταθεράς:

$$G_{on} = G_{sc} \left(1 + 0.0033 \cos \frac{360 \cdot n}{365} \right)$$

Όπου:

n οι ημέρες του έτους n=1,2,3,...,365

G_{on} η ακτινοβολία που δέχεται επίπεδο εκτός ατμόσφαιρας και κάθετο στις ακτίνες του ήλιου.

3.2.1.2 Γεωγραφικό πλάτος του τόπου φ

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

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

Στον Πίνακα 3.1, δίνονται τα γεωγραφικά πλάτη διαφόρων ελληνικών περιοχών.

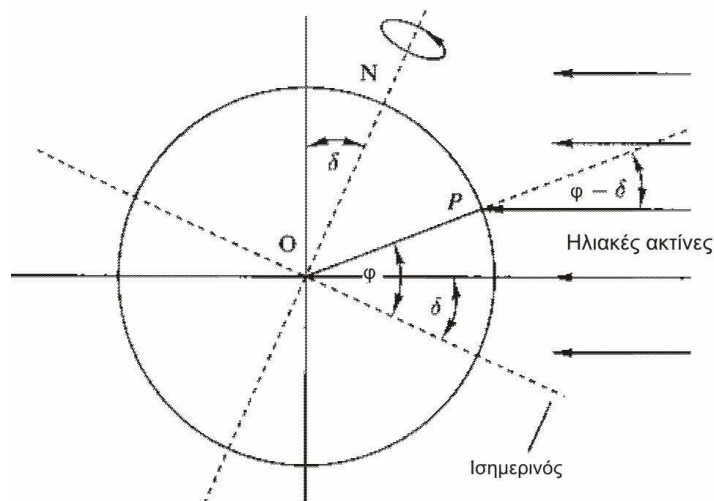
Πόλη ή περιοχή	Γεωγραφικό πλάτος
Σιδηρόκαστρο, Διδυμότειχο, Ορεστιάδα, Φλώρινα, Έδεσσα, Γιαννιτσά, Κιλκίς, Σέρρες, Δράμα, Καβάλα	41° 30'
Ξάνθη, Κομοτηνή, Αλεξανδρούπολη	41°
Καστοριά, Πτολεμαίδα, Κοζάνη, Νάουσα, Βέροια, Κατερίνη, Θεσσαλονίκη, Πολύγυρος, Σαμοθράκη	40° 30'
Κόνιτσα, Γρεβενά, Λιτοχωρό, Κασσάνδρα, Λήμνος	40°
Κέρκυρα, Ηγουμενίτσα, Ιωάννινα, Μέτσοβο, Τρίκαλα, Καρδίτσα, Λάρισα, Βόλος -	39° 30'
Λευκάδα, Πρέβεζα, Άρτα, Καρπενήσι, Λαμία, Σκύρος, Μυτιλήνη	39°
Κεφαλληνία, Ιθάκη, Αγρίνιο, Μεσολόγγι, Πάτρα, Αμφιλοχία, Λιβαδειά, Θήβα, Χαλκίδα, Χίος	38° 30'
Ζάκυνθος, Αμαλιάδα, Καλάβρυτα, Κόρινθος, Μέγαρο, Ελευσίνα, Αθήνα, Ραφήνα, Κάρυστος, Άνδρος, Ικαρία, Σάμος	38°
Πύργος, Μεγαλόπολη, Τρίπολη, Άργος, Ναύπλιο, Πόρος, Σύρος, Πάτμος	37° 30'
Πύλος, Καλαμάτα, Σπάρτη, Πάρος, Νάξος, Κάλυμνος, Κως	37°

Γύθειο, Μήλος, Σαντορίνη, Ρόδος	36° 30'
Κύθηρα, Καστελόριζο	36°
Χανιά, Ρέθυμνο, Ηράκλειο, Κάσος, Κάρπαθος	35° 30'
Χώρα Σφακίων, Ιεράπετρα, Αγ.Νικόλαος Κρήτης, Κύπρος	35°

Πίνακας 3.1 Γεωγραφικό πλάτος (κατά προσέγγιση) διαφόρων Ελληνικών πόλεων και περιοχών.

3.2.1.3 Απόκλιση δ του ήλιου

Κατά τη διάρκεια της έτους, η θέση του ήλιου παίρνει πολύ διαφορετικές τιμές σαν αποτέλεσμα της μεταβολής της απόκλισης δ , δηλαδή της γωνίας που σχηματίζεται ανάμεσα στη ευθεία που ενώνει το κέντρο της γης με το κέντρο του ήλιου, και στο επίπεδο του ισημερινού (Εικόνα 3.2.1.3). 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 Ιουνίου (θερινό ηλιοστάσιο για το βόρειο ημισφαίριο) και $-23,45^\circ$ της 21 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. Της, 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 3.4 Η απόκλιση του ήλιου

Η απόκλιση του ήλιου δίνεται από την εξίσωση:

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

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

Θεωρούμε το επίπεδο με κλίση β ως το οριζόντιο επίπεδο, που δέχεται ηλιακή ακτινοβολία στην Εικόνα 3.4.

3.2.1.4 Κλίση β

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

3.2.1.5 Γωνία γ αζιμουθίου του επιπέδου

Ορίζεται η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της προβολής στο οριζόντιο επίπεδο της καθέτου επί της κεκλιμένης επιφάνειας και της γραμμής B-N (Βορρά-Νότου). Η αζιμουθια γωνία επιφανείας 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.

3.2.1.6 Αζιμούθια γωνία ηλίου γ_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 B-N (Βορρά-Νότου).

3.2.1.7 Γωνία ύψους ήλιου α

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

3.2.1.8 Ζενίθια γωνία Θ_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,

δ [$^\circ$] : η ηλιακή απόκλιση,

φ [$^\circ$] : το γεωγραφικό πλάτος,

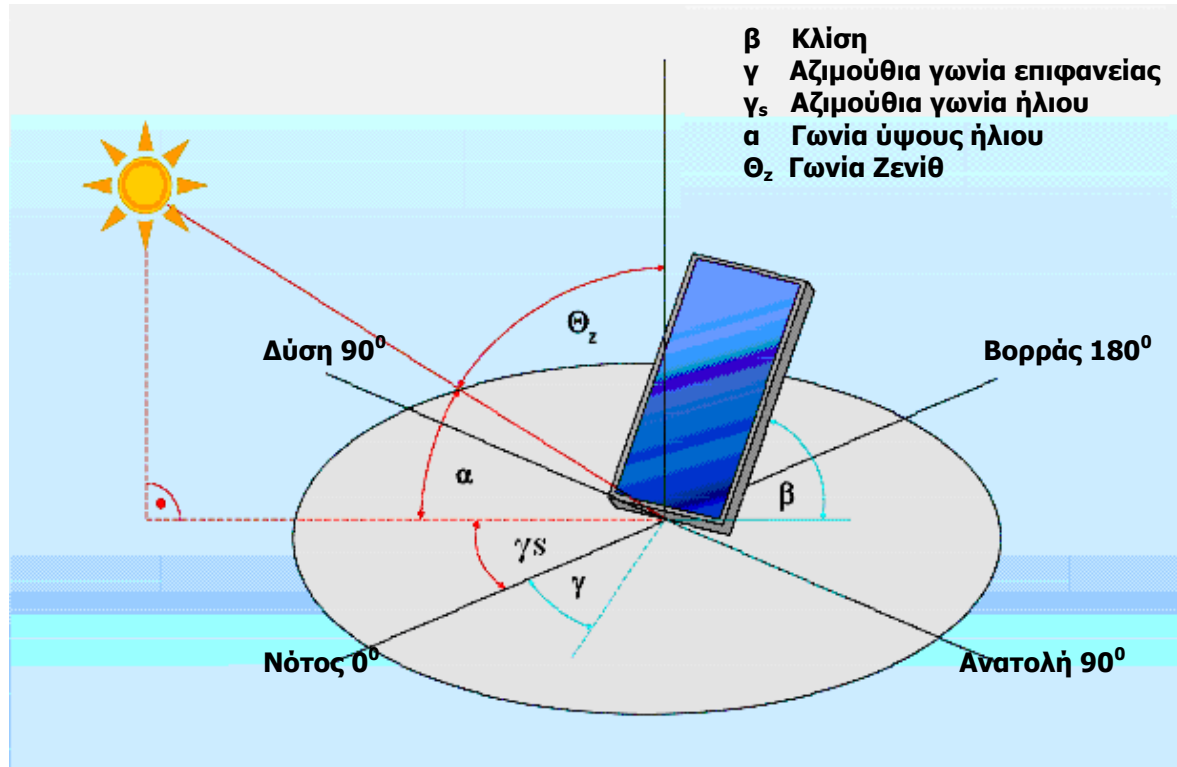
ω [$^\circ$] : ωριαία γωνία απόκλισης ήλιου, που υπολογίζεται από τη σχέση

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

όπου,

HX [h] : ο ηλιακός χρόνος τόπου, όπου μετράται με βάση τη φαινόμενη κίνηση του ήλιου στον ουρανό.

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



Εικόνα 3.5 Γεωμετρικές παράμετροι θέσης ήλιου – κεκλιμένης επιφανείας

3.3 Συνιστώσες ηλιακής ακτινοβολίας

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:

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

Όπου,

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

$\nu [s^{-1}]$: συχνότητα ακτινοβολίας

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

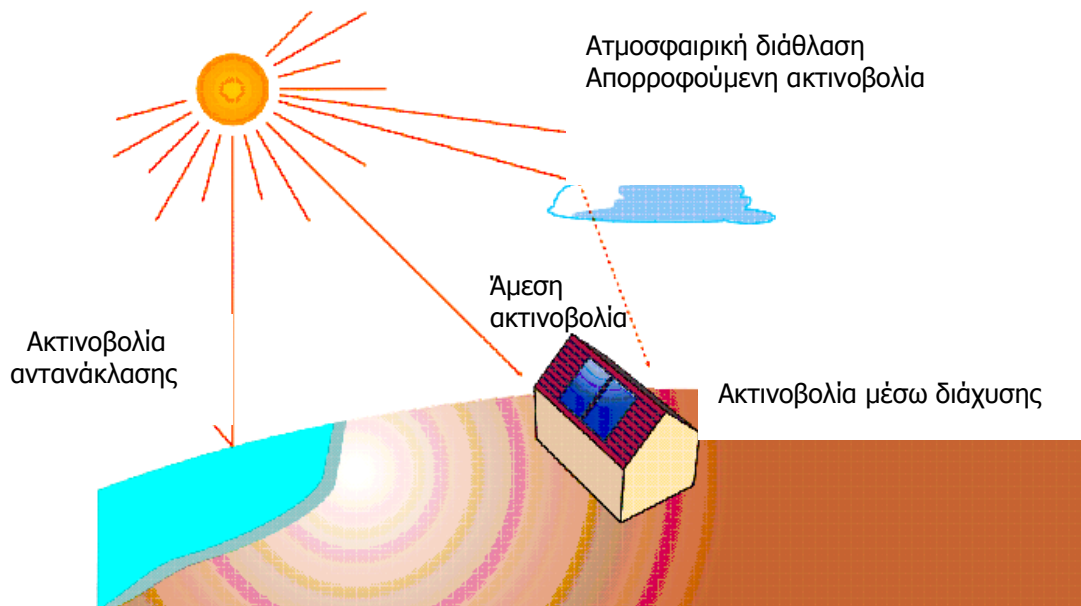
$\lambda [m]$: μήκος κύματος

Λαμβάνοντας υπόψη ότι η συνήθης έκφραση του μήκους κύματος λ είναι σε (nm) και η ενέργεια του φωτονίου E σε [eV], η προηγούμενη σχέση γράφεται:

Όπου $\lambda [nm]$: μήκος κύματος

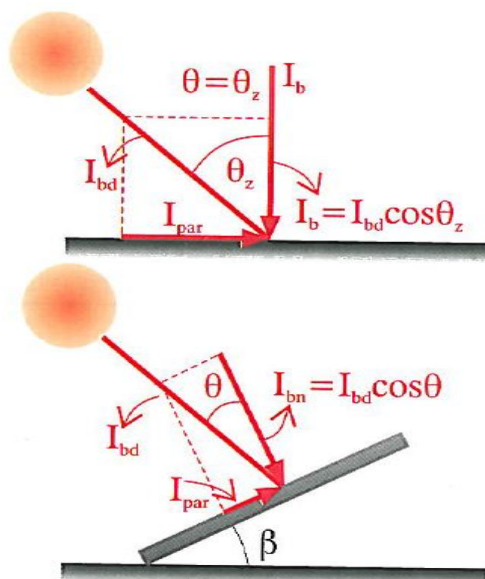
$$E = 1240 / \lambda [eV]$$

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 3.6).



Εικόνα 3.6 Η ηλιακή ακτινοβολία στα τρία διαφορετικά συστατικά

- Στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία, I_b που είναι αυτή που φτάνει κατευθείαν από τον ήλιο χωρίς να υποστεί αντανάκλαση ή διασκορπισμό. Μετράται σε Joule/m^2 . Για της διάφορους υπολογισμούς την αναλύουμε σε δύο συνιστώσες (Εικόνα 3.7), μία κάθετη και μία παράλληλη στην επιφάνεια της γης ή του συλλέκτη ανάλογα με την περίπτωση. Η οριζόντια συνιστώσα δεν αλληλεπιδρά με την επιφάνεια της γης ή του συλλέκτη αντίστοιχα και δε συνεισφέρει στη μετατροπή της ακτινοβολίας σε θερμική ενέργεια.



Η γωνία πρόσπτωσης θ στην περίπτωση αυτή ταυτίζεται με την έννοια της ζενίθιας γωνίας, δηλ. $\theta = \theta_z$

όπου θ η γωνία πρόσπτωσης

Εικόνα 3.7 Ανάλυση ακτινοβολίας σε δύο συνιστώσες

- στη διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία, I_d

που προέρχεται από τον ολόκληρο τον ουράνιο θόλο και δημιουργείται από τη σκέδαση της άμεσης ακτινοβολίας από σωματίδια της ατμόσφαιρας ή σύννεφα. Μετράται σε Joule/m^2 .

- στην ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία, I_r

που προέρχεται από ανάκλαση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας από διάφορα γειτονικά αντικείμενα ή από το έδαφος. Η τοπογραφία του χώρου και ο συντελεστής διάχυτης ανάκλασης AL των επιφανειών δίνει σημαντικές πληροφορίες στη γνώση της. Ο συντελεστής αυτός ονομάζεται albedo (αλμπέντο) και οι διάφορες τιμές του δίνονται στον Πίνακα 3.2. Μας ενδιαφέρει το ποσοστό της που φθάνει τελικά στην επιφάνεια που μελετούμε π.χ. στο σύστημα ηλιακών συλλεκτών ή της τοίχους μιας κατοικίας.

Είδος επιφάνειας	Συντελεστής Ανάκλασης
Επιφάνεια νερού, Θάλασσα	0.05
Ασφαλτόστρωμα	0.07
Αγρός με σκοτεινόχρωμα χώμα	0.08
Πράσινος αγρός	0.15
Βραχώδη επιφάνεια	0.20
Επιφάνεια παλαιού τσιμέντου	0.24
Επιφάνεια νέου τσιμέντου	0.30
Χιόνι	0.60

Πίνακας 3.2 Τιμές albedo για διάφορες κατηγορίες επιφανειών

- στην ολική ακτινοβολία, I

που προσπίπτει σε μια επιφάνεια και ορίζεται το άθροισμα των τριών παραπάνω συνιστωσών. Μετράται σε Joule/m^2 . Η ολική ωριαία ακτινοβολία σε ένα οριζόντιο επίπεδο δίνεται από τη σχέση

$$I = I_b + I_d \text{ [W/m}^2\text{]}$$

Όπου:

I_b [W/m^2]: άμεση ωριαία ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο

I_d [W/m^2]: διάχυτη ωριαία ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο

Ενδεικτικά έχει πινακοποιηθεί σαν μέση ηλιακή ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο, ανά μήνα για ένα ευρύ φάσμα περιοχών της χώρας, και φαίνεται στον Πίνακα 3.3.

Περιοχή/μήνας	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΙΑ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
Αθήνα (Ελληνικό)	63,0	79,0	117,7	154,3	195,4	214,0	222,4	202,7	152,6	109,0	70,7	55,7
Αθήνα (Φιλαδέλφεια)	63,3	77,7	118,9	152,7	190,4	207,4	214,5	198,6	156,0	111,1	68,1	54,4
Αγρίνιο	63,5	78,3	119,4	148,4	189,9	214,1	224,2	200,3	151,3	109,8	69,8	55,1
Αγχίαλος	61,3	74,3	112,5	149,2	189,7	212,7	217,4	195,1	146,8	98,8	63,1	51,5
Αλεξανδρούπολη	50,7	68,9	107,3	141,8	182,8	205,8	211,6	192,3	144,2	99,4	57,8	43,7
Αλιάρτος	51,0	70,0	114,0	158,0	206,0	216,0	220,0	204,0	153,0	102,0	66,0	49,0
Ανδραβίδα	68,4	83,4	128,4	159,5	200,2	220,6	228,4	205,5	156,1	115,6	75,2	60,1
Άραξος	62,6	78,6	119,7	155,6	196,1	210,9	217,8	197,6	152,4	110,2	69,4	54,6
Άραγος (Πυργέλα)	68,7	83,6	127,7	159,5	202,5	220,6	229,0	206,4	157,2	115,5	74,8	59,2
Αργαστόλι	65,0	80,0	124,9	157,3	204,3	219,4	226,1	203,1	155,6	112,6	72,6	56,1
Ζάκυνθος	64,2	77,6	110,1	158,8	190,8	200,1	218,5	203,8	154,0	104,3	65,4	52,8
Άρτα	65,5	79,7	120,4	149,1	190,2	211,2	218,1	196,4	150,6	110,0	69,5	56,2
Ηράκλειο	65,6	81,6	125,0	166,5	207,3	222,4	227,1	207,0	163,0	117,3	78,6	61,2
Θεσσαλονίκη	52,6	67,5	103,2	140,7	179,1	198,6	209,5	184,7	136,7	91,4	56,6	45,5
Ιεράπετρα	73,0	89,0	137,0	174,0	210,0	220,0	224,0	205,0	165,0	125,0	89,0	69,0
Ιωάννινα	51,8	66,4	105,2	134,9	178,3	202,1	212,0	190,3	136,5	96,1	57,6	45,1
Καλαμάτα	68,2	82,3	126,1	156,2	198,7	216,0	222,0	200,9	154,9	114,5	75,2	59,3
Καστοριά	57,6	71,3	111,2	141,1	173,6	201,8	206,3	185,5	138,5	97,0	60,0	47,7
Κέρκυρα	57,7	73,5	116,7	149,9	195,4	213,6	221,0	197,8	148,2	103,1	64,4	50,7
Κομοτηνή	50,0	65,0	105,0	145,0	188,0	209,0	215,0	193,0	145,0	99,0	58,0	45,0
Κόνιτσα	53,0	65,0	112,0	138,0	190,0	200,0	216,0	194,0	141,0	99,0	63,0	50,0
Κόρινθος (Βέλο)	65,4	82,8	123,4	157,9	201,7	218,3	223,2	201,9	154,2	111,9	72,0	55,2
Κύθηρα	68,0	81,0	127,0	161,0	210,0	220,0	223,0	204,0	160,0	117,0	78,0	60,0
Λαμία	59,4	73,1	113,9	150,5	188,8	210,3	214,1	193,4	145,5	100,3	65,3	52,1
Λάρισα	55,1	71,4	112,1	151,1	190,9	210,8	215,8	194,3	145,9	97,8	61,2	47,8
Λήμνος	51,1	69,6	112,3	154,3	199,5	215,3	220,9	198,5	150,8	104,6	61,3	46,0
Μεθώνη	62,0	78,0	125,0	155,0	207,0	215,0	220,0	199,0	157,0	116,0	77,0	57,0
Μήλος	56,0	67,0	120,0	175,0	213,0	223,0	226,0	205,0	164,0	112,0	77,0	52,0
Μυτιλήνη	52,0	70,0	113,0	156,0	209,0	219,0	223,0	201,0	156,0	109,0	67,0	50,0
Νάξος	60,3	77,0	122,6	161,2	204,7	220,4	224,5	204,8	159,1	115,9	73,7	55,6
Πάρος	60,0	80,0	125,0	168,0	211,0	220,0	223,0	202,0	160,0	117,0	75,0	58,0
Πάτρα	55,0	72,0	124,0	147,0	200,0	215,0	218,0	197,0	153,0	107,0	66,0	53,0
Πύργος	68,4	83,1	127,5	157,9	200,4	215,6	223,8	202,1	155,0	115,9	75,5	59,3
Ρέθυμνο	62,0	81,0	119,0	164,0	211,0	218,0	223,0	204,0	160,0	106,0	81,0	58,0
Ρόδος	69,9	85,1	130,8	164,0	203,0	217,2	225,1	204,3	158,9	120,2	79,2	61,2
Σάμος	64,9	82,1	126,7	162,5	206,8	224,9	230,6	209,6	163,7	120,5	78,6	58,5
Σέρρες	50,8	68,0	105,7	141,0	180,5	202,8	209,7	187,7	140,8	94,7	56,5	43,7
Σητεία	66,5	83,0	128,4	165,2	207,4	223,2	227,1	207,5	163,7	119,3	80,4	61,9
Σκύρος	51,2	69,1	109,9	153,3	197,2	214,2	219,7	198,8	151,7	102,5	62,9	47,7
Σούδα	65,0	81,7	130,7	166,5	208,5	221,9	228,5	209,3	163,6	116,3	76,8	60,3
Σύρος	58,0	80,0	121,0	172,0	212,0	219,0	225,0	204,0	160,0	199,0	74,0	57,0
Τανάγρα	59,1	74,2	112,7	151,9	194,0	215,4	222,0	201,3	153,1	104,5	64,7	51,2
Τρίκαλα (Ημαθίας)	57,3	72,2	105,6	140,2	178,0	202,9	206,4	185,8	138,6	94,0	59,7	49,1
Τυμπάκιο	73,4	90,5	137,5	169,0	207,8	222,9	228,7	209,8	166,3	127,2	85,9	67,7
Χανιά	62,0	80,0	124,0	167,0	212,0	220,0	225,0	205,0	161,0	111,0	78,0	59,0
Χίος	55,0	72,0	119,0	161,0	210,0	220,0	225,0	203,0	159,0	116,0	71,0	53,0
Χρυσούπολη	57,5	78,0	111,3	137,6	189,9	204,0	208,8	187,6	141,8	97,7	62,1	43,3

Πίνακας 3.3 Μέση μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο [kWh/(m².mo)]

3.3.1 Μέθοδος υπολογισμού της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο

Ο υπολογισμός της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας H_T σε κεκλιμένο επίπεδο είναι απαραίτητος για να εκτιμηθούν τα παθητικά ηλιακά κέρδη στα κτίρια αλλά και για τη διαστασιολόγηση των ηλιακών συλλεκτών. Η μεθοδολογία ακολουθεί τα παρακάτω βήματα:

Βήμα 1^ο: Υπολογισμός γεωμετρικού παράγοντα R_b ολικής ηλιακής ακτινοβολίας.

$$R_b = \frac{[\cos(\varphi - \beta) \cdot \cos\delta \cdot \sin\omega_s + (\frac{\pi}{180}) \cdot \omega_s \cdot \sin(\varphi - \beta) \cdot \sin\delta]}{[\cos\varphi \cdot \cos\delta \cdot \sin\omega_s + (\frac{\pi}{180}) \cdot \omega_s \cdot \sin\varphi \cdot \sin\delta]} \quad [-]$$

Όπου,

φ [°]: γεωγραφικό πλάτος τόπου (Πίνακας 3.1)

β [°]: κλίση επιπέδου

δ [°]: ηλιακή απόκλιση

ω_s [°]: ωριαία γωνία δύσης ηλίου, υπολογιζόμενη από τη σχέση

$$\omega_s = \min \{ \text{Toξ}\cos(-\tan\varphi \cdot \tan\delta), \text{Toξ}\cos[-\tan(\varphi - \beta) \cdot \tan\delta] \} \quad [^\circ]$$

για $\beta \neq 0$ και $\gamma = 0$

Βήμα 2^ο: Υπολογισμός λόγου διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας H_d σε οριζόντιο επίπεδο, προς την ολική ηλιακή ακτινοβολία H στο ίδιο επίπεδο.

Λόγος H_d/H

$$\frac{H_d}{H} = 1,39 - 4,03K_T + 5,53K_T^2 + 3,11K_T^3 \quad [-]$$

Όπου:

K_T [-]: μηνιαίος δείκτης αιθριότητας Πίνακας 3.4

ΠΟΛΗ	ΙΑΝ.	ΦΕΒ.	ΜΑΡ.	ΑΠΡ.	ΜΑΪΟΣ	ΙΟΥΝ.	ΙΟΥΛ.	ΑΥΓ.	ΣΕΠΤ.	ΟΚΤ.	ΝΟΕΜ.	ΔΕΚ.
Αθήνα	0,41	0,44	0,46	0,51	0,56	0,59	0,63	0,64	0,59	0,52	0,48	0,42
Αλιάρτος	0,35	0,39	0,42	0,48	0,54	0,57	0,59	0,67	0,55	0,46	0,42	0,37
Άραξος	0,42	0,43	0,46	0,49	0,53	0,55	0,60	0,62	0,58	0,51	0,47	0,41
Αργοστόλι	0,44	0,43	0,46	0,47	0,56	0,60	0,63	0,63	0,58	0,51	0,47	0,41
Άρτα	0,45	0,42	0,46	0,45	0,53	0,56	0,60	0,61	0,56	0,51	0,46	0,43
Ηράκλειο	0,38	0,42	0,44	0,51	0,58	0,62	0,65	0,65	0,60	0,50	0,47	0,41
Θεσσαλονίκη	0,39	0,41	0,42	0,47	0,51	0,54	0,59	0,57	0,53	0,46	0,41	0,38
Ιεράπετρα	0,46	0,48	0,50	0,52	0,57	0,63	0,66	0,66	0,62	0,56	0,54	0,48
Ιωάννινα	0,36	0,37	0,41	0,43	0,49	0,51	0,57	0,57	0,51	0,47	0,40	0,36
Καλαμάτα	0,45	0,45	0,47	0,46	0,57	0,61	0,63	0,63	0,58	0,52	0,50	0,41
Κέρκυρα	0,41	0,41	0,44	0,48	0,53	0,58	0,63	0,62	0,56	0,50	0,44	0,40
Κομοτινή	0,40	0,40	0,40	0,45	0,49	0,53	0,56	0,57	0,53	0,48	0,42	0,40
Κόνιτσα	0,40	0,38	0,43	0,41	0,48	0,51	0,56	0,57	0,51	0,46	0,44	0,42
Κόρινθος	0,39	0,42	0,45	0,48	0,55	0,58	0,60	0,62	0,57	0,50	0,47	0,42
Κύθηρα	0,45	0,44	0,46	0,49	0,56	0,62	0,63	0,63	0,59	0,52	0,48	0,43
Λαμία	0,38	0,38	0,44	0,48	0,53	0,58	0,59	0,60	0,54	0,47	0,45	0,42
Λάρισα	0,36	0,39	0,43	0,48	0,53	0,55	0,58	0,60	0,54	0,47	0,45	0,37
Λήμνος	0,34	0,39	0,43	0,49	0,54	0,58	0,59	0,62	0,57	0,50	0,42	0,37
Μεθώνη	0,41	0,42	0,46	0,46	0,55	0,59	0,61	0,61	0,57	0,52	0,48	0,41
Μήλος	0,36	0,35	0,44	0,55	0,59	0,66	0,70	0,70	0,65	0,49	0,48	0,37
Μυτιλήνη	0,38	0,40	0,43	0,48	0,56	0,60	0,64	0,64	0,60	0,51	0,46	0,40
Νάξος	0,37	0,40	0,44	0,49	0,54	0,58	0,60	0,61	0,58	0,51	0,47	0,41
Πάρος	0,39	0,43	0,46	0,51	0,58	0,63	0,64	0,64	0,60	0,52	0,46	0,41
Πάτρα	0,38	0,40	0,47	0,45	0,52	0,58	0,59	0,59	0,56	0,49	0,43	0,41
Πύργος	0,45	0,44	0,48	0,47	0,56	0,60	0,62	0,63	0,59	0,53	0,50	0,46
Ρέθυμνο	0,39	0,43	0,42	0,49	0,57	0,60	0,64	0,64	0,57	0,45	0,48	0,39
Ρόδος	0,43	0,44	0,49	0,53	0,58	0,62	0,65	0,66	0,64	0,56	0,52	0,45
Σάμος	0,42	0,44	0,46	0,50	0,55	0,61	0,64	0,64	0,62	0,55	0,49	0,42
Σέρρες	0,38	0,39	0,42	0,46	0,50	0,54	0,57	0,58	0,53	0,46	0,43	0,40
Σητεία	0,39	0,43	0,46	0,51	0,57	0,62	0,65	0,64	0,60	0,50	0,48	0,40
Σκύρος	0,33	0,38	0,40	0,48	0,55	0,60	0,62	0,62	0,57	0,47	0,42	0,36
Σούδα	0,39	0,43	0,45	0,51	0,57	0,60	0,64	0,66	0,60	0,48	0,47	0,41
Σύρος	0,39	0,45	0,45	0,53	0,58	0,60	0,65	0,65	0,61	0,55	0,47	0,42
Τυμπάκι	0,44	0,46	0,51	0,51	0,57	0,62	0,64	0,67	0,62	0,55	0,52	0,46
Χανιά	0,39	0,42	0,45	0,50	0,58	0,63	0,66	0,66	0,59	0,48	0,47	0,40
Χίος	0,39	0,41	0,45	0,50	0,58	0,62	0,65	0,65	0,61	0,54	0,47	0,41

Πίνακας 3.4 Μηνιαίος δείκτης αιθριότητας K_T σε διάφορες πόλεις της Ελλάδας

Βήμα 3^ο: Υπολογισμός συντελεστή μετατροπής

Ο συντελεστής μετατροπής εκφράζει τη συμμετοχή των τριών συνιστωσών της ηλιακής ακτινοβολίας (άμεσης – διάχυτης – ανακλώμενης) που προσπίπτει στο κεκλιμένο επίπεδο και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$R = \left(1 - \frac{H_d}{H}\right) \cdot R_b + 0,5 \left(\frac{H_d}{H}\right) \cdot (1 + \cos\beta) + 0,5AL \cdot (1 - \cos\beta) [-]$$

Όπου:

H_d/H [-]: λόγος διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο προς την ολική ηλιακή ακτινοβολία στο ίδιο επίπεδο

R_b [-]: γεωμετρικός παράγοντας ολικής ηλιακής ακτινοβολίας

β [-]: κλίση επιπέδου.

AL: συντελεστής ανακλαστικότητας εδάφους ή albedo και οι τιμές αναγράφονται στον Πίνακα 3.2

Βήμα 4^ο: Υπολογισμός ολικής ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο

Ολική ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο

$$H_T = R \cdot H \text{ [kWh/m}^2\text{]}$$

Όπου:

R [-]: συντελεστής μετατροπής

H [kWh/m²·μήνα]: μηνιαία ολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο που οι τιμές της αναγράφονται στον Πίνακα 3.5

ΠΟΛΗ	ΙΑΝ.	ΦΕΒ.	ΜΑΡ.	ΑΠΡ.	ΜΑΪΟΣ	ΙΟΥΝ.	ΙΟΥΛ.	ΑΥΓ.	ΣΕΠ.	ΟΚΤ.	ΝΟΕΜ.	ΔΕΚ.	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΗΛΙΑ- ΚΗΣ ΑΚΤΙΝ. [kWh/m ² -μήνα]	ΕΤΗΣΙΑ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝ. [kWh/m ² -έτος]
Αθήνα	58	74	110	147	190	204	219	202	149	104	70	54	132	1581
Αλιάρτος	48	64	102	139	182	197	205	210	138	91	61	47	124	1483
Άραξος	59	71	111	143	181	189	207	195	147	103	68	52	127	1527
Αργοστόλι	61	72	111	137	190	207	217	198	146	102	67	52	130	1559
Άρτα	60	68	109	130	178	193	208	192	141	100	65	52	125	1497
Ηράκλειο	59	75	110	151	196	214	226	205	157	105	75	58	136	1631
Θεσσαλονίκη	49	64	96	135	174	186	205	178	131	87	55	44	117	1403
Ιεράπετρα	72	85	127	155	195	216	227	211	164	120	87	69	144	1728
Ιωάννινα	48	59	95	124	165	177	196	177	127	91	56	42	113	1357
Καλαμάτα	66	76	116	135	192	209	217	198	149	106	75	55	133	1596
Κέρκυρα	54	65	103	137	178	201	217	193	140	97	60	48	124	1493
Κομοπηνή	50	61	92	128	165	183	194	177	130	91	55	45	114	1368
Κόντσα	52	61	100	118	163	174	193	176	126	89	59	49	113	1361
Κόρινθος	54	69	110	139	185	199	208	194	145	101	69	54	127	1526
Κύθηρα	67	77	114	143	190	212	218	200	153	109	74	59	135	1615
Λαμία	51	62	105	137	180	198	204	187	135	92	63	52	122	1466
Λάρισα	47	62	100	138	179	189	202	186	135	91	61	44	119	1433
Λήμνος	45	62	101	140	184	200	206	192	142	96	58	44	123	1469
Μεθώνη	59	73	113	136	186	202	213	194	147	107	73	55	130	1556
Μήλος	53	60	107	159	200	227	241	220	168	102	72	49	138	1660
Μυτιλήνη	51	65	102	138	189	207	222	200	150	101	64	49	128	1539
Νάξος	54	69	107	142	183	199	207	192	150	105	70	54	128	1531
Πάρος	58	75	114	151	198	216	223	202	155	108	72	56	136	1629
Πάτρα	53	67	113	129	177	199	203	185	141	99	62	51	123	1479
Πύργος	64	73	117	138	191	206	216	198	149	106	74	59	133	1592
Ρέθυμνο	59	76	106	145	194	206	222	203	149	95	76	56	132	1587
Ρόδος	64	77	122	155	196	214	227	211	166	117	79	61	141	1686
Σάμος	60	74	111	144	188	210	221	202	158	111	72	54	134	1606
Σέρρες	47	60	97	130	170	185	196	178	129	87	56	45	115	1380
Σητεία	60	75	115	149	195	212	224	202	156	107	77	58	136	1630
Σκύρος	45	61	95	139	187	205	215	194	142	93	59	45	123	1480
Σούδα Κρήτης	59	75	112	149	196	206	221	208	156	102	74	57	135	1616
Σύρος	56	75	109	154	198	208	226	204	155	112	70	55	135	1621
Τυμπάκι	69	83	128	152	193	213	223	213	162	118	83	66	142	1703
Χανιά	59	75	112	149	198	215	229	210	154	101	74	56	136	1630
Χίος	53	67	108	144	195	214	226	205	155	107	67	52	133	1594

Πίνακας 3.1.3 Μηνιαία ολική ακτινοβολία διάφορων πόλεων της Ελλάδας σε οριζόντιο επίπεδο

3.3.2 Απλουστευμένη μέθοδος υπολογισμού

Για τον υπολογισμό της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας H_T , σε κεκλιμένο επίπεδο, απαιτείται μία μεθοδολογία σχετικά χρονοβόρα και επίπονη. Για το λόγο αυτό η διαδικασία που ακολουθείται γίνεται πιο απλή αν στη σχέση της H_T ο συντελεστής R πάρει προσεγγιστικές τιμές, οι οποίες δίνονται στον Πίνακα 3.6 και αναφέρονται στις 6 κλιματικές ζώνες (Εικόνα 3.8) στις οποίες διαιρείται η Ελλάδα σε ηλιοθερμικό επίπεδο.



Εικόνα 3.8 Κλιματικές ζώνες στην Ελλάδα

ΖΩΝΗ 1										
ΚΛΙΣΗ	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
Ιαν	1.00	1.18	1.33	1.46	1.55	1.60	1.61	1.59	1.52	1.42
Φεβ	1.00	1.12	1.22	1.30	1.34	1.35	1.34	1.29	1.21	1.10
Μαρ	1.00	1.07	1.13	1.16	1.16	1.14	1.09	1.01	0.92	0.80
Απρ	1.00	1.03	1.04	1.02	0.99	0.93	0.85	0.76	0.65	0.53
Μαϊ	1.00	0.99	0.97	0.93	0.87	0.79	0.70	0.60	0.49	0.38
Ιουν	1.00	0.98	0.94	0.89	0.82	0.73	0.64	0.53	0.42	0.32
Ιουλ	1.00	0.98	0.95	0.90	0.84	0.75	0.66	0.55	0.44	0.33
Αυγ	1.00	1.01	1.01	0.99	0.94	0.87	0.78	0.68	0.57	0.45
Σεπ	1.00	1.06	1.11	1.13	1.12	1.08	1.02	0.93	0.82	0.70
Οκτ	1.00	1.12	1.22	1.30	1.34	1.34	1.32	1.26	1.17	1.06
Νοε	1.00	1.18	1.34	1.47	1.56	1.62	1.63	1.60	1.53	1.42
Δεκ	1.00	1.20	1.38	1.53	1.64	1.71	1.74	1.72	1.66	1.56

ΖΩΝΗ 2										
ΚΛΙΣΗ	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
Ιαν	1.00	1.19	1.36	1.49	1.59	1.65	1.67	1.59	1.59	1.49
Φεβ	1.00	1.13	1.24	1.32	1.36	1.38	1.37	1.24	1.24	1.13
Μαρ	1.00	1.07	1.13	1.16	1.17	1.14	1.10	1.02	0.93	0.81
Απρ	1.00	1.03	1.03	1.02	0.99	0.93	0.86	0.77	0.66	0.55
Μαϊ	1.00	0.99	0.97	0.93	0.88	0.80	0.71	0.61	0.51	0.40
Ιουν	1.00	0.98	0.94	0.89	0.82	0.74	0.65	0.54	0.44	0.33
Ιουλ	1.00	0.99	0.96	0.91	0.85	0.77	0.67	0.57	0.46	0.35
Αυγ	1.00	1.02	1.01	0.99	0.95	0.88	0.80	0.70	0.58	0.46
Σεπ	1.00	1.06	1.11	1.12	1.11	1.08	1.02	0.93	0.83	0.71
Οκτ	1.00	1.12	1.22	1.29	1.33	1.34	1.32	1.26	1.18	1.06
Νοε	1.00	1.19	1.35	1.49	1.58	1.64	1.66	1.63	1.56	1.46
Δεκ	1.00	1.20	1.38	1.53	1.64	1.71	1.74	1.72	1.66	1.56

ΖΩΝΗ 3										
ΚΛΙΣΗ	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
Ιαν	1.00	1.20	1.37	1.51	1.62	1.69	1.71	1.69	1.63	1.53
Φεβ	1.00	1.13	1.24	1.32	1.37	1.39	1.38	1.33	1.25	1.15
Μαρ	1.00	1.08	1.13	1.17	1.17	1.15	1.11	1.03	0.94	0.83
Απρ	1.00	1.03	1.04	1.03	0.99	0.94	0.87	0.78	0.68	0.56
Μαϊ	1.00	1.00	0.98	0.94	0.88	0.81	0.72	0.62	0.52	0.41
Ιουν	1.00	0.98	0.95	0.90	0.83	0.75	0.66	0.55	0.45	0.34
Ιουλ	1.00	0.99	0.96	0.92	0.85	0.77	0.68	0.58	0.47	0.36
Αυγ	1.00	1.02	1.02	1.00	0.95	0.89	0.81	0.71	0.60	0.48
Σεπ	1.00	1.07	1.11	1.13	1.12	1.09	1.03	0.95	0.85	0.72
Οκτ	1.00	1.12	1.23	1.30	1.35	1.36	1.33	1.28	1.20	1.08
Νοε	1.00	1.19	1.35	1.48	1.58	1.63	1.65	1.62	1.56	1.45
Δεκ	1.00	1.21	1.39	1.55	1.66	1.74	1.77	1.70	1.70	1.60

ΖΩΝΗ 4										
ΚΛΙΣΗ	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
Ιαν	1.00	1.18	1.33	1.46	1.55	1.61	1.62	1.60	1.54	1.44
Φεβ	1.00	1.12	1.22	1.29	1.34	1.35	1.33	1.28	1.21	1.11
Μαρ	1.00	1.07	1.13	1.15	1.16	1.14	1.09	1.02	0.93	0.82
Απρ	1.00	1.03	1.04	1.03	0.99	0.94	0.87	0.78	0.68	0.56
Μαϊ	1.00	1.00	0.98	0.94	0.88	0.81	0.73	0.63	0.52	0.41
Ιουν	1.00	0.98	0.95	0.90	0.83	0.75	0.66	0.56	0.45	0.35
Ιουλ	1.00	0.99	0.96	0.92	0.85	0.77	0.68	0.58	0.47	0.36
Αυγ	1.00	1.02	1.02	1.00	0.95	0.89	0.81	0.71	0.60	0.48
Σεπ	1.00	1.06	1.11	1.13	1.12	1.09	1.03	0.94	0.84	0.72
Οκτ	1.00	1.12	1.22	1.29	1.33	1.34	1.32	1.26	1.18	1.07
Νοε	1.00	1.17	1.32	1.44	1.53	1.58	1.59	1.57	1.50	1.40
Δεκ	1.00	1.19	1.37	1.51	1.61	1.68	1.71	1.69	1.64	1.54

ΖΩΝΗ 5										
ΚΛΙΣΗ	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
Ιαν	1.00	1.17	1.32	1.44	1.52	1.57	1.59	1.56	1.50	1.41
Φεβ	1.00	1.12	1.22	1.30	1.35	1.36	1.35	1.30	1.22	1.12
Μαρ	1.00	1.07	1.13	1.16	1.17	1.15	1.10	1.03	0.94	0.83
Απρ	1.00	1.03	1.04	1.03	1.00	0.95	0.88	0.79	0.69	0.57
Μαϊ	1.00	1.00	0.98	0.94	0.89	0.82	0.73	0.64	0.53	0.42
Ιουν	1.00	0.98	0.95	0.91	0.84	0.76	0.67	0.57	0.47	0.37
Ιουλ	1.00	0.99	0.96	0.92	0.86	0.78	0.69	0.59	0.49	0.38
Αυγ	1.00	1.02	1.02	1.00	0.96	0.90	0.82	0.72	0.61	0.49
Σεπ	1.00	1.07	1.11	1.13	1.13	1.09	1.04	0.96	0.86	0.74
Οκτ	1.00	1.12	1.22	1.29	1.34	1.35	1.33	1.27	1.19	1.08
Νοε	1.00	1.19	1.35	1.48	1.58	1.63	1.65	1.63	1.57	1.46
Δεκ	1.00	1.20	1.37	1.52	1.63	1.70	1.73	1.72	1.66	1.57

ΖΩΝΗ 6										
ΚΑΙΣΗ	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
I	1.00	1.18	1.34	1.48	1.57	1.64	1.66	1.64	1.58	1.49
Φ	1.00	1.13	1.23	1.31	1.36	1.38	1.37	1.32	1.25	1.15
M	1.00	1.08	1.13	1.17	1.17	1.16	1.11	1.04	0.96	0.85
A	1.00	1.03	1.04	1.04	0.99	0.96	0.89	0.80	0.70	0.59
M	1.00	1.00	0.98	0.95	0.88	0.83	0.74	0.65	0.55	0.44
I	1.00	0.98	0.96	0.91	0.82	0.77	0.68	0.58	0.48	0.38
I	1.00	0.99	0.97	0.93	0.85	0.79	0.71	0.61	0.50	0.39
A	1.00	1.02	1.02	1.01	0.95	0.91	0.83	0.73	0.62	0.51
Σ	1.00	1.07	1.11	1.14	1.11	1.10	1.05	0.97	0.87	0.75
O	1.00	1.12	1.23	1.30	1.33	1.36	1.34	1.29	1.21	1.10
N	1.00	1.19	1.35	1.48	1.58	1.64	1.66	1.64	1.58	1.48
Δ	1.00	1.22	1.41	1.57	1.64	1.78	1.82	1.81	1.76	1.67

Πίνακας 3.6 Προσεγγιστικές τιμές συντελεστή R για τις κλιματικές ζώνες της Ελλάδας

3.4 Μέτρηση ηλιακής ακτινοβολίας

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 οποίους 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 βολόμετρα (μεταξύ των οποίων και το thermistor).

▪ Πυρανόμετρο (Εικόνα 3.4.(α))

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 (αντισταθμισμό). 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 (Εικόνα 3.4.(δ))

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, λ 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 (Quantum detectors)

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 φωτοдиодοι 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

- Φωτοαγωγοί ή 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 (Εικόνα 3.4.(β))

Είναι μια δίοδος επαφής ημιαγωγών, που όταν φωτίζεται στο εσωτερικό της παράγονται επιπλέον ζεύγη ηλεκτρονίου-οπής τα οποία διαχωριζόμενα από το πεδίο επαφής, 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 mm², 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 φωτοδίοδους 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

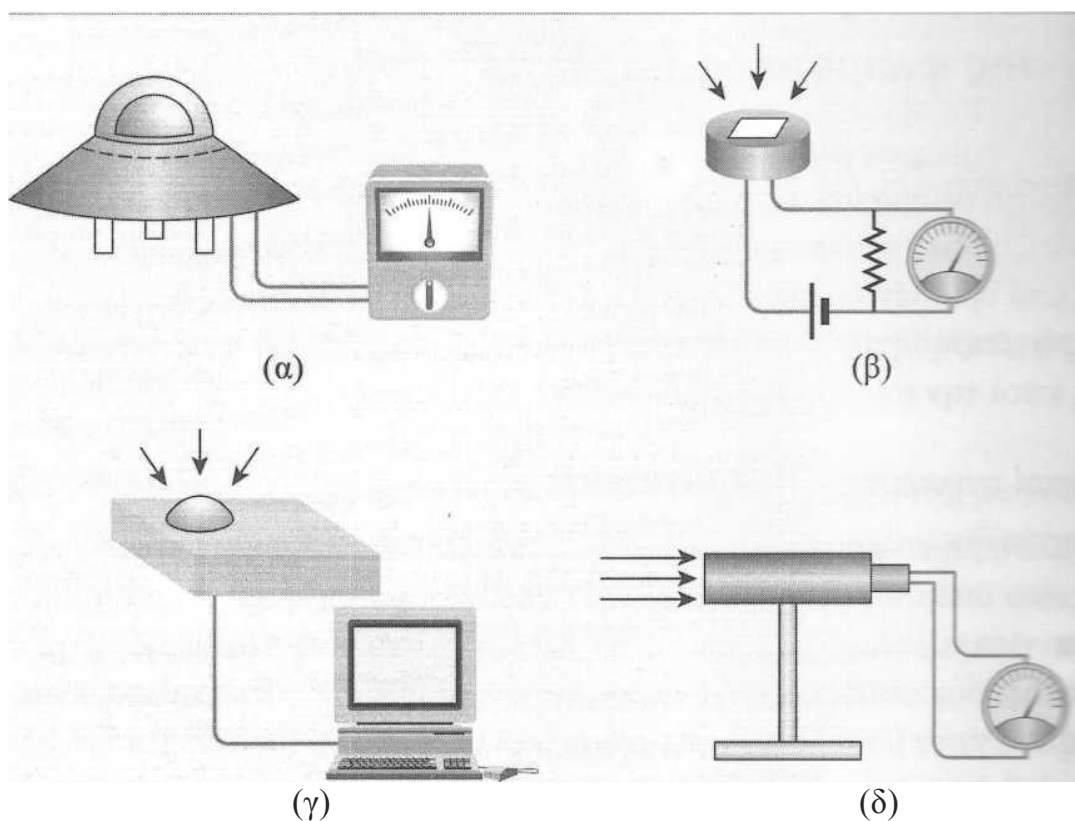
Εδώ επισημαίνουμε την διαφορετικότητα του με τη φωτοδίοδο. Αναφέρθηκε ότι η επιφάνεια της διόδου είναι πολύ μικρή. Αντίθετα, το ΦΒ στοιχείο χαρακτηρίζεται από όσο το δυνατόν μεγαλύτερη επιφάνεια και ο λόγος είναι ότι προορίζεται για πηγή ηλεκτρικής ενέργειας κι όχι για αισθητήρας.

➤ 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 (Εικόνα 3.4.(γ)), 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.



Εικόνα 3.4 (α) πυρανόμετρο (β) φωτοδίοδος (γ) φασματοραδιόμετρο (δ) υδροηλεκτρικός κρύσταλλος

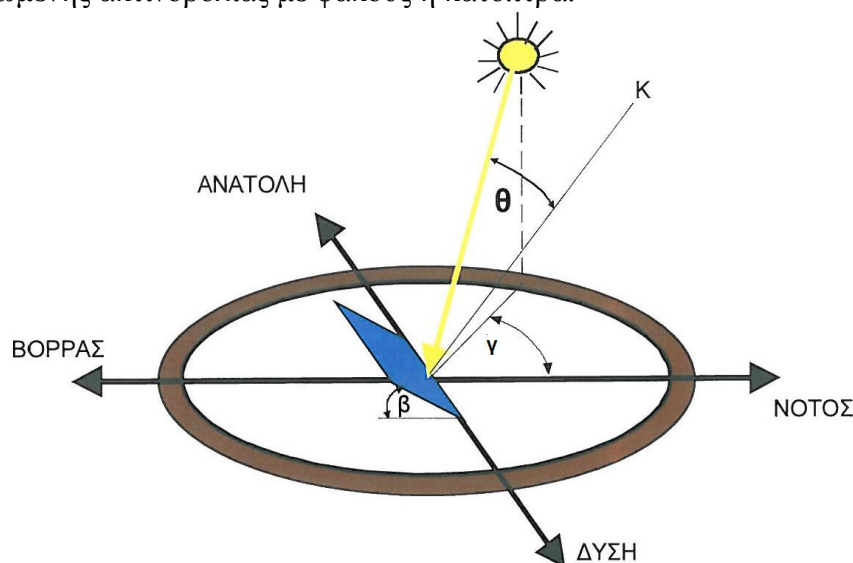
3.5 Προσανατολισμός και κλίση ηλιακών συλλεκτών

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 επίπεδου στην επιφάνεια της γης περιγράφεται από δύο γωνίες : την κλίση και την αζιμούθια γωνία. Η κλίση του συλλέκτη (β) είναι η διέδρη γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στο επίπεδο του συλλέκτη και στον ορίζοντα και μπορεί να πάρει τιμές από 0° μέχρι 180° . Για γωνίες $\beta > 90^\circ$ το επίπεδο του συλλέκτη είναι στραμμένο προς τα κάτω (Σχήμα 3.1).

Η αζιμούθια γωνία του συλλέκτη (γ) είναι η γωνία που σχηματίζεται πάνω στο οριζόντιο επίπεδο ανάμεσα στην προβολή της κατακόρυφου του συλλέκτη και στον τοπικό μεσημβρινό βορρά-νότου. Παίρνει τιμές από -180° μέχρι $+180^\circ$. Η γωνία -180° (που συμπίπτει με την $+180^\circ$) αντιστοιχεί σε τοποθέτηση του συλλέκτη προς το βορρά, η γωνία -90° προς την ανατολή, η γωνία 0° προς το νότο και η γωνία $+90^\circ$ 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 (θ) είναι 0° . 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 φωτοκύτταρων) 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 3.1 Η κλίση του συλλέκτη (β), το αζιμούθιο του συλλέκτη (γ) και η γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτίνων στο συλλέκτη (θ)

Η κλίση του συλλέκτη (β), το αζιμούθιο του συλλέκτη (γ) και η γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτίνων στο συλλέκτη (θ)

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.

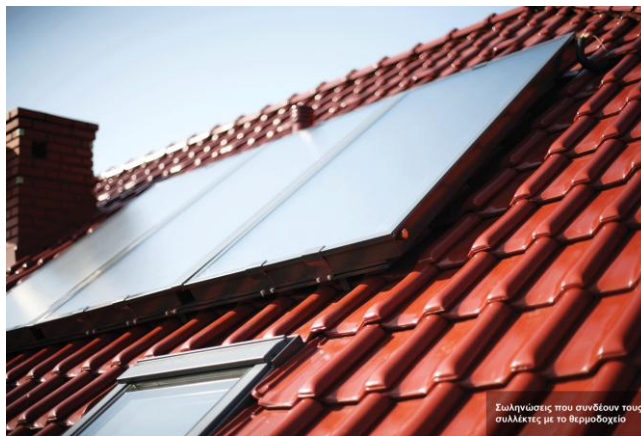
Τέλος, η τοποθέτηση τους είναι πολύ σημαντική και συμβάλλει στην μεγιστοποίηση της απόδοσης του συλλέκτη. Οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες τοποθετούνται στο έδαφος, σε οριζόντιες στέγες (ταράτσες), σε κεκλιμένες στέγες, σε στέγαστρα και σε προσόψεις κτιρίων.



Στο έδαφος



Σε οριζόντια στέγη



Σε κεκλιμένη στέγη

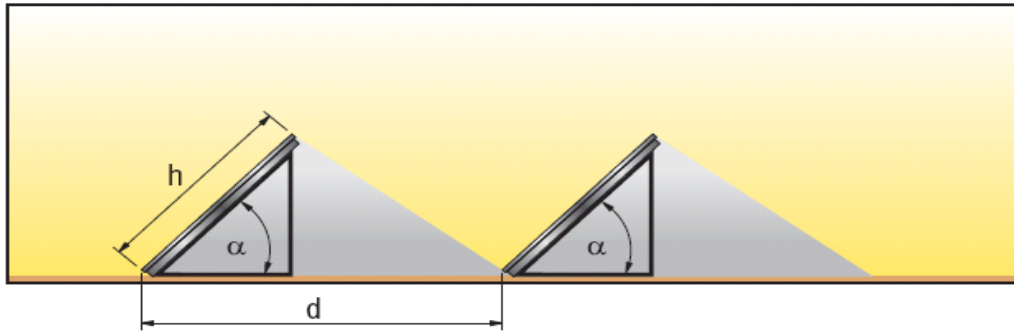
Εικόνα 3.9 Εγκαταστάσεις επίπεδων ηλιακών συλλεκτών

Στην περίπτωση της στέγης, αν έχει ελάχιστη κλίση 20° οι συλλέκτες μπορούν να ενσωματωθούν σε αυτή αντικαθιστώντας τα κεραμίδια. Αν επιλεγθεί ο παραπάνω τρόπος εγκατάστασης απαιτείται υψηλός βαθμός στεγανοποίησης και έχει μεγαλύτερες δυσκολίες στην κατασκευή από μία απλή στήριξη των συλλεκτών πάνω στη στέγη.

Στην περίπτωση που επιλεγθεί οριζόντια επιφάνεια (έδαφος ή ταράτσα), πρέπει να εξασφαλιστεί η ελάχιστη απόσταση μεταξύ των συστοιχιών των συλλεκτών, ώστε να μη σκιάζεται η επόμενη. Η ελάχιστη απόδοση υπολογίζεται από τη σχέση:

$$D = \frac{h}{\tan \alpha} = \frac{l \cdot \sin \beta}{\tan \alpha} \quad [\text{m}]$$

Όπου, h [m], l [m], β [°], α [°] φαίνονται στο Σχήμα 3.2.



Σχήμα 3.2 Θέση τοποθέτησης ηλιακών συλλεκτών

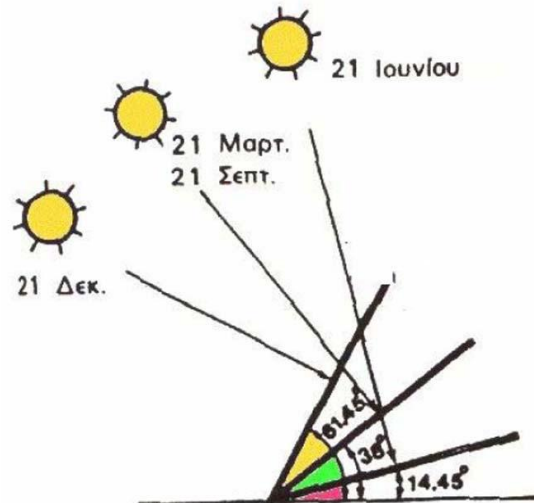
3.6 Πρακτικοί κανόνες για την συλλογή της μέγιστης ηλιακής ακτινοβολίας

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° (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° ως 15° μικρότερη από την παράλληλο του τόπου, ενώ για τον χειμώνα η κλίση επιλέγεται περίπου 10° ως 15° μεγαλύτερη από την παράλληλο του τόπου. Στο Σχήμα 3.3 δίνεται ένα παράδειγμα της βέλτιστης κλίσης για τον ηλιακό συλλέκτη στις χαρακτηριστικές ημερομηνίες του έτους.

Συνοψίζοντας: Η βέλτιστη γωνία κλίσης (β) θα πρέπει να είναι περίπου ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου (φ). Κατά την διάρκεια της θερινής περιόδου: Η βέλτιστη γωνία κλίσης (β) πρέπει να είναι περίπου 10° - 15° μικρότερη από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου (φ). Κατά την διάρκεια της χειμερινής περιόδου: Η βέλτιστη γωνία κλίσης (β) πρέπει να είναι περίπου 10° - 15° μεγαλύτερη από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου (φ). 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° - 30° από νότο έχει μικρή επίδραση στην ετήσια συλλεγόμενη ενέργεια.

Η βέλτιστη κλίση ενός ηλιακού συλλέκτη στις χαρακτηριστικές μέρες του έτους, στη Κρήτη 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 3.3 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 4^ο

ΗΛΙΟΘΕΡΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

4.1 Εισαγωγή στα Ηλιοθερμικά Συστήματα

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 θερμαινόμενου 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

4.2 Περιγραφή της τεχνολογίας

Ένα τυπικό σύστημα παραγωγής ζεστού νερού αποτελείται από τους ηλιακούς συλλέκτες, μία δεξαμενή αποθήκευσης του ζεστού νερού, τις απαραίτητες σωληνώσεις και το σύστημα ελέγχου (Σχήμα 4.1). 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.

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.

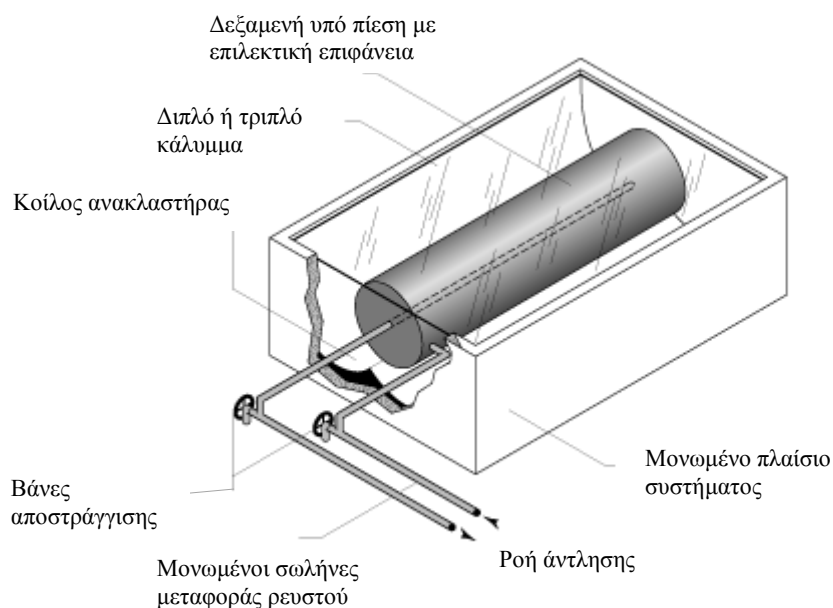
4.3.1 Συστήματα φυσικής κυκλοφορίας

Τα συστήματα φυσικής κυκλοφορίας χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

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

4.3.1.1 Συμπαγείς θερμαντήρες νερού

Οι συμπαγείς θερμαντήρες νερού ή τα ολοκληρωμένα συστήματα συλλέκτη – αποθήκευσης (integrated collector storage – ICS) (Σχήμα 4.2). 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 4.2 Τομή συμπαγούς συλλέκτη με ενσωματωμένη δεξαμενή νερού

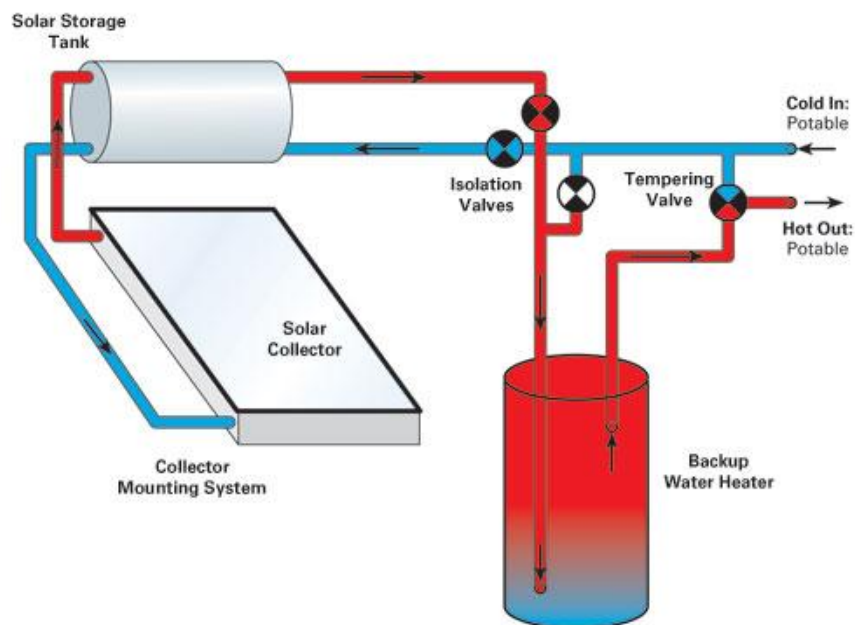
4.3.1.2 Θερμοσιφωνικό σύστημα

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

Τα θερμοσιφωνικά συστήματα (Σχήμα 4.3) αποτελούνται από ένα ή δύο συλλέκτες και μία δεξαμενή αποθήκευσης, η οποία τοποθετείται ακριβώς πάνω από το ή 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 (PEX).

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 4.3 Θερμοσιφωνικό σύστημα

4.3.2 Συστήματα βεβιασμένης κυκλοφορίας

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:

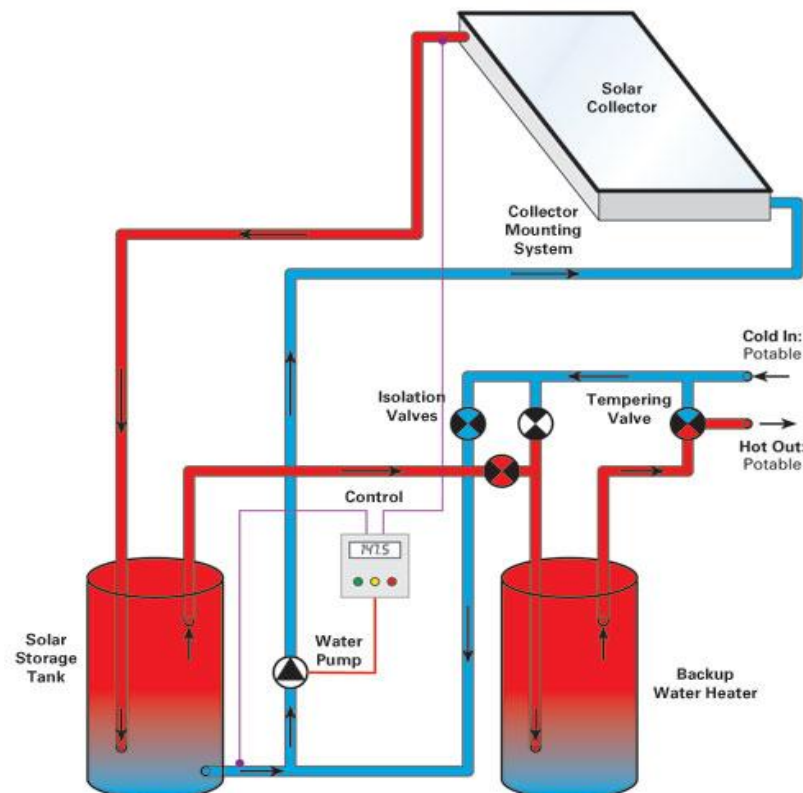
- τα συστήματα ανοιχτού βρόχου και
- τα συστήματα κλειστού βρόχου

Η διαφορά των δύο τύπων έγκειται στην αρχή λειτουργίας τους, όπου τα συστήματα ανοιχτού βρόχου 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.

4.3.2.1 Συστήματα ανοιχτού βρόχου

Τα συστήματα ανοιχτού βρόχου (open – loop direct systems) (Σχήμα 4.4) 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 m². 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.

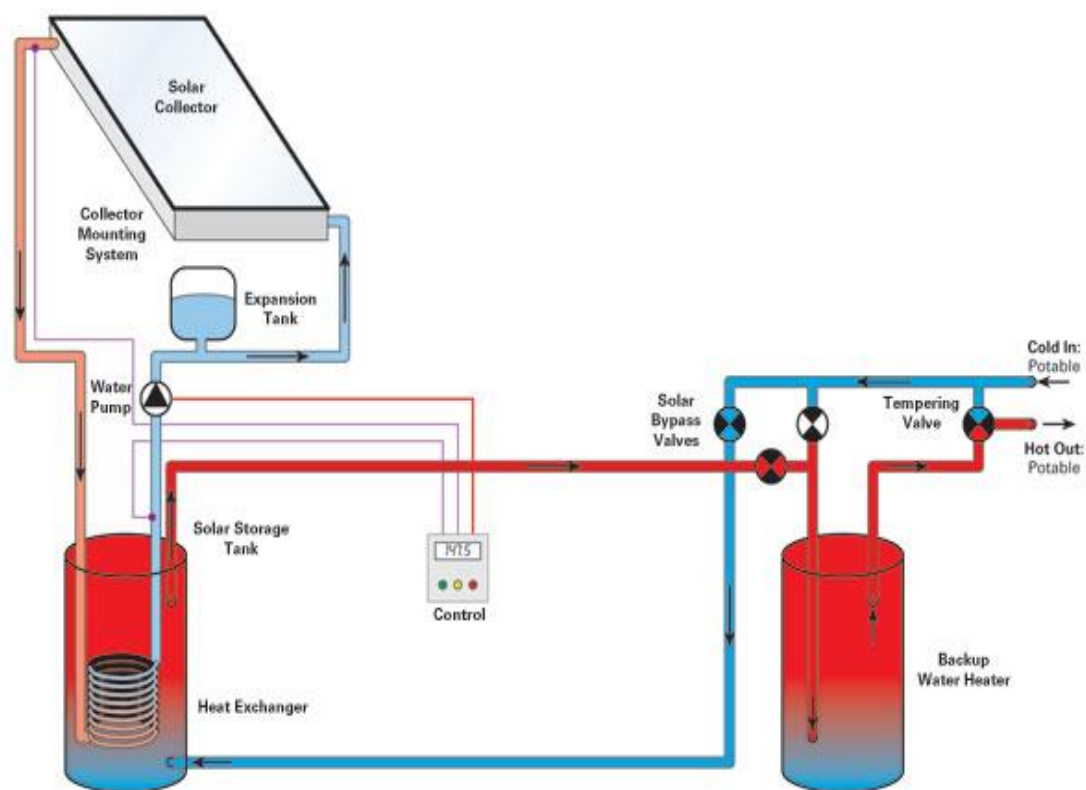
Στην κορυφή του ηλιακού συλλέκτη υπάρχει αυτόματο ή χειροκίνητο εξάρτημα εξαερισμού για την απομάκρυνση του αέρα. Η αντλία είναι ένας μικρός κυκλοφορητής που δεν καταναλώνει παραπάνω από 10 Watt και μπορεί να τροφοδοτείται από ένα μικρό φωτοβολταϊκό στοιχείο 10 Watt ή από μία αντλία εναλλασσόμενου ρεύματος 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° και 82° C.



Σχήμα 4.4 Συστήματα ανοιχτού βρόχου

4.3.2.2 Συστήματα κλειστού βρόχου - Αντιψυκτικό σύστημα (γλυκόλης υπό πίεση)

Τα συστήματα κλειστού βρόχου (Closed loop) (Σχήμα 4.5) 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 προπυλεγλυκόλης 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.



Σχήμα 4.5 Σύστημα κλειστού βρόχου - Αντιψυκτικό σύστημα (γλυκόλης υπό πίεση)

4.4 Τεχνολογία ηλιακών συλλεκτών

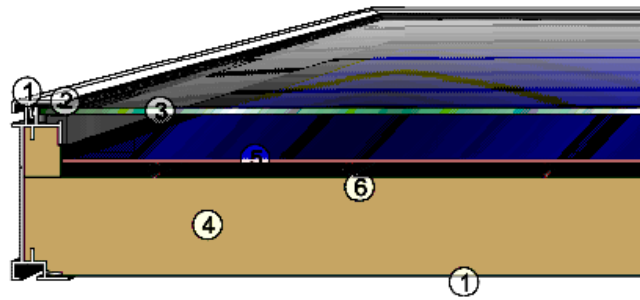
4.4.1 Επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες

Η πλέον διαδεδομένη συσκευή εκμετάλλευσης της ηλιακής ακτινοβολίας είναι ο επίπεδος ηλιακός συλλέκτης. 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 W/m² και ευρίσκεται, όπως έχουμε δει στο μήκος κύματος μεταξύ 0.29 και 2.5 μm. Η θερμοκρασία εξόδου του ρευστού από έναν επίπεδο ηλιακό συλλέκτη είναι της τάξεως μέχρι 100 °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, χρειάζεται δε μικρή μόνο συντήρηση.

4.4.1.1 Περιγραφή του επίπεδου ηλιακού συλλέκτη

Τα βασικά στοιχεία ενός επίπεδου ηλιακού συλλέκτη είναι όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.6 :

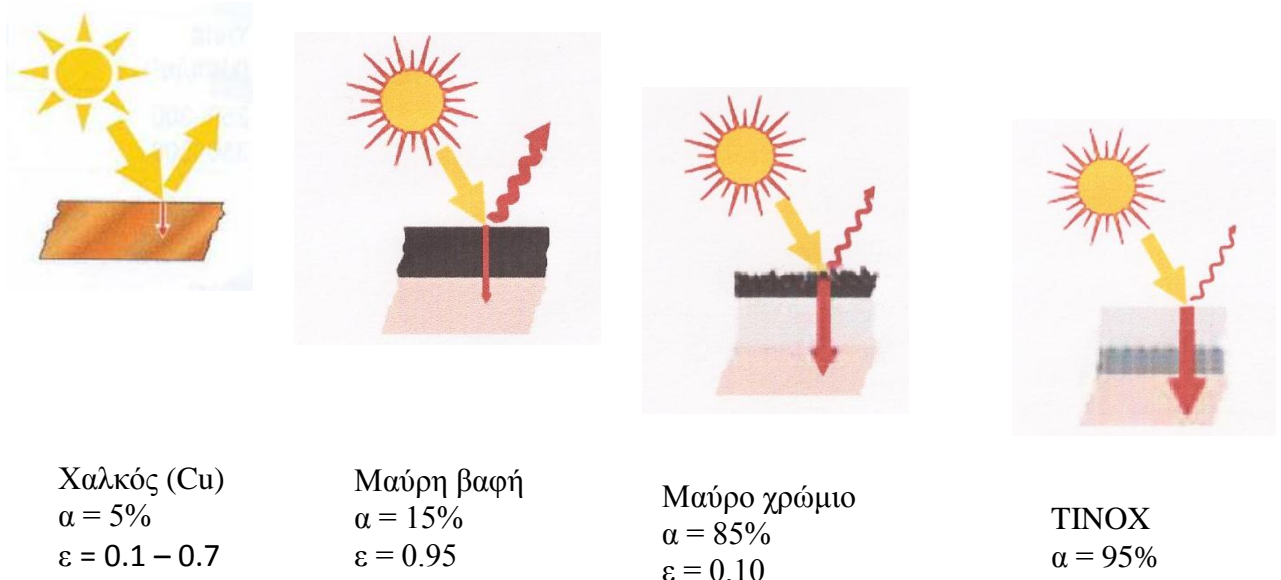
- i. το κουτί: το οποίο συνήθως αποτελείται από γυαλί αλλά και από διαφανές πλαστικό ή μεταλλικό πλαίσιο, περιέχει όλα τα στοιχεία του συλλέκτη και χρησιμεύει για να προστατεύει από εξωτερικούς παράγοντες. Υπάρχουν σε διάφορους τύπους και υλικά
- ii. η μόνωση στεγανοποίησης, η οποία αποτελείται από ελαστικό υλικό το οποίο χρησιμεύει στη στεγανότητα του συλλέκτη, εμποδίζοντας την εισροή του νερού σε περίπτωση βροχής, της υγρασίας και της σκόνης
- iii. 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
- iv. 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
- v. 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)
- vi. 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.



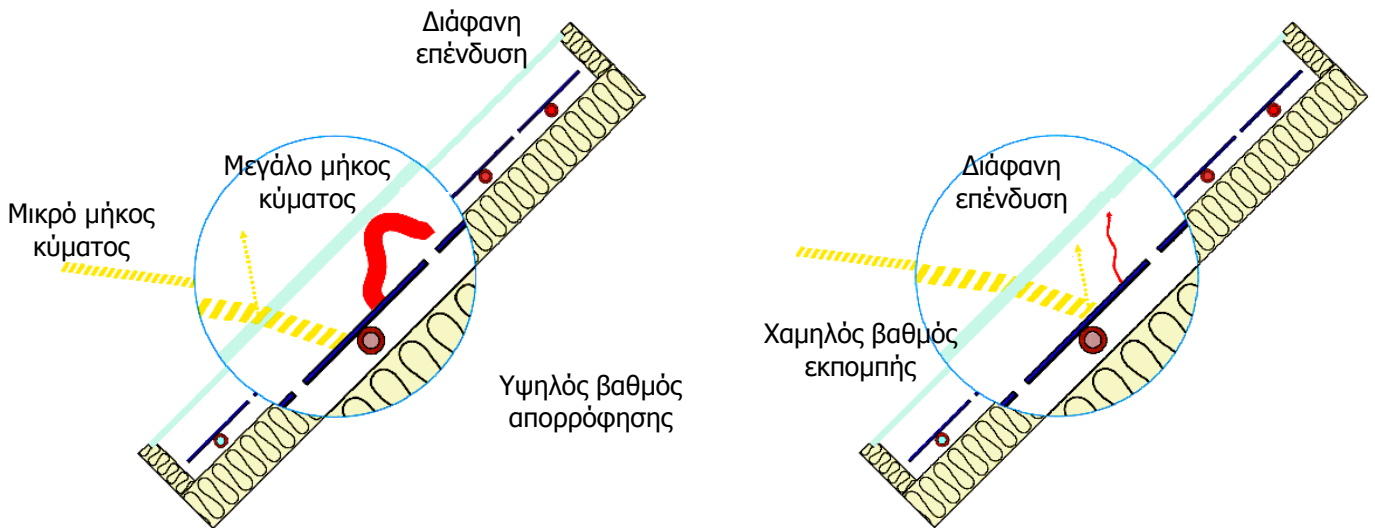
Σχήμα 4.6 Περιγραφή του επίπεδου ηλιακού συλλέκτη

Η διάφανη επένδυση θα πρέπει να έχει μεγάλο συντελεστή διαπερατότητας τ (να περάσει δηλαδή το μεγαλύτερο δυνατό ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας) και μικρούς συντελεστές απορροφητικότητας α και ανακλαστικότητας ρ (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 μm σε ποσοστό 98% και προκαλεί αύξηση θερμοκρασίας του στους 200 °C περίπου. Ως συνέπεια αυτού, το στρώμα απορρόφησης εκπέμπει με ένα συντελεστή εκπομπής ε υπέρυθη ακτινοβολία, η οποία έχει μήκη κύματος μεγαλύτερα των 3 μm σε ποσοστό 99%. Αυτό που επιδιώκεται είναι ο μεγάλος συντελεστής απορροφητικότητας α για τα μικρή μήκη κύματος και ο μικρός συντελεστής εκπομπής ε 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 4.7).



Σχήμα 4.7 Απορροφητικότητα, εκπομπή και χρήσιμη θερμότητα επιλεκτικών επιφανειών

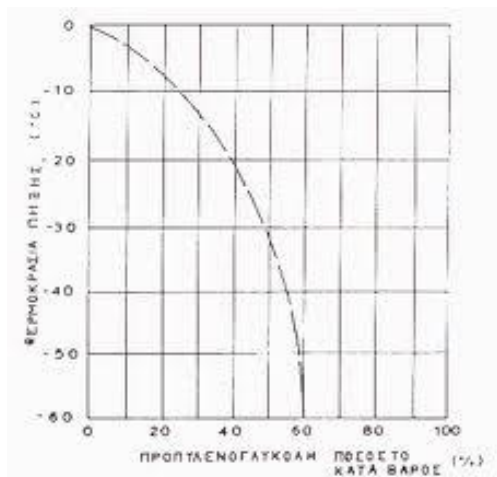


Σχήμα 4.8 Απορρόφηση και εκπομπή

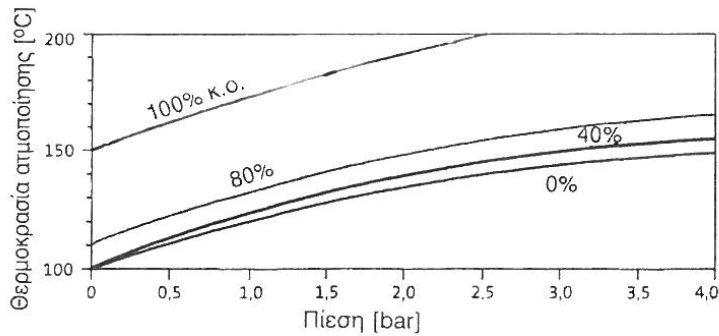
Βασικό στοιχείο που συντελεί στην καλύτερη απόδοση του ηλιακού συλλέκτη είναι η καλή επαφή των σωλήνων με το στρώμα απορρόφησης (Σχήμα 4.8), η οποία εξασφαλίζει τη βέλτιστη μετάδοση θερμότητας στο υγρό, το οποίο κυκλοφορεί μέσα σε αυτούς. Η απόσταση μεταξύ των σωλήνων είναι συνήθως 100 – 120 mm. Το υγρό 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 4.9 και Σχήμα 4.10). Το αντιπηκτικό αυτό 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 4.9 Μεταβολή σημείου πήξης προπυλενογλυκόλης

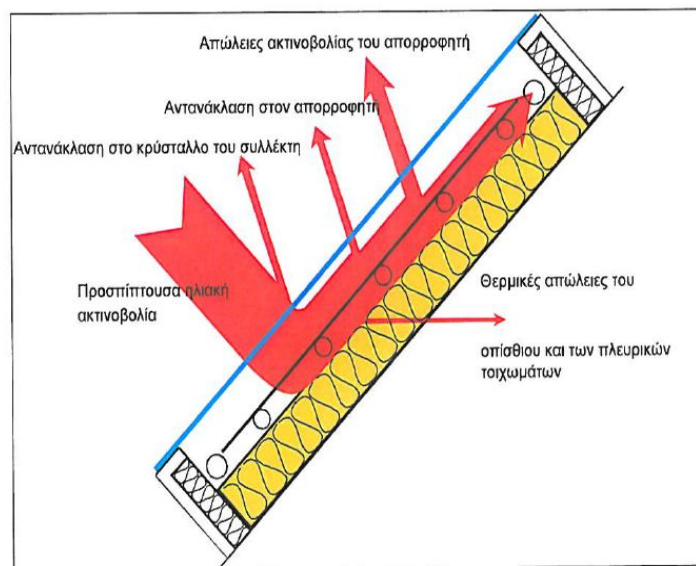


Σχήμα 4.10 Μεταβολή θερμοκρασίας ατμοποίησης προπυλενογλυκόλης

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/m².έτος για ετήσια ηλιακή ακτινοβολία 1000 kWh/m².έτος)

Τέλος, σε ότι αφορά τις απώλειες (Σχήμα 4.11) που παρουσιάζονται κατά τη λειτουργία του ηλιακού συλλέκτη, κατηγοριοποιούνται ως εξής:

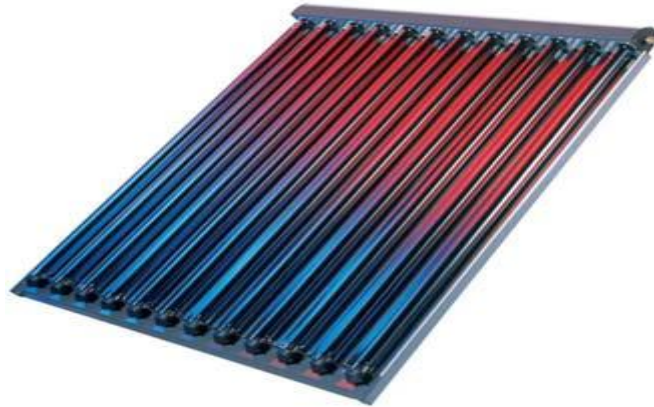
- Στις οπτικές απώλειες, λόγω αντανάκλασης (ποσοστό περίπου 4-6% της επιδρούσας ακτινοβολίας) όπου ανάλογα με την ποιότητα του γυαλιού που χρησιμοποιείται ο βαθμός αντανάκλασης μεταβάλλεται και
- Θερμικές απώλειες, οι περισσότερες εκ των οποίων παράγονται στην πρόσθια πλευρά του συλλέκτη και αποτελούν 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 4.11 Απώλειες επίπεδου συλλέκτη

4.4.1.2 Περιγραφή του ηλιακού συλλέκτη σωλήνων κενού

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας και η ανάγκη για μείωση των θερμικών απωλειών οδήγησε στην κατασκευή των ηλιακών συλλεκτών σωλήνων κενού (Σχήμα 4.12) Δεν είναι τίποτα περισσότερο από επίπεδους συλλέκτες που έχουν σαν φιλοσοφία λειτουργίας τη δημιουργία κενού αέρα μεταξύ της διαφανούς επιφανείας και του στρώματος απορρόφησης, με την οποία πραγματοποιείται διακοπή του μηχανισμού μετάδοσης της θερμότητας.

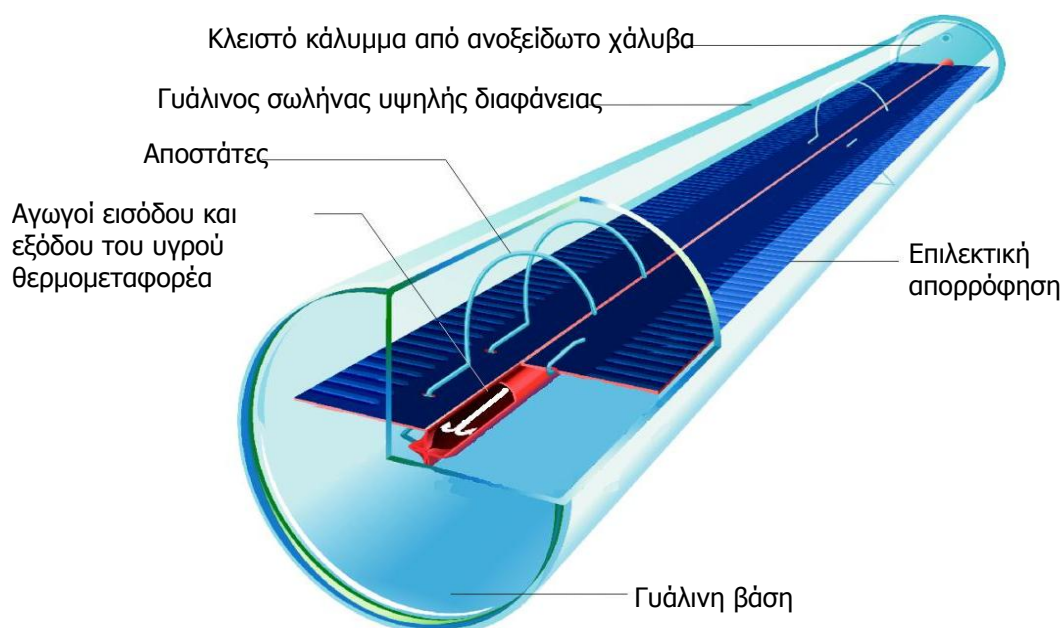


Σχήμα 4.12 Ηλιακός συλλέκτης σωλήνων κενού

Υπάρχουν δύο χαρακτηριστικοί τύποι ηλιακών συλλεκτών σωλήνων κενού:

- σωλήνων με τη μέθοδο κενού αέρα άμεσης εκροής (Σχήμα 4.13)

Με τη συγκεκριμένη μέθοδο επιτυγχάνονται υψηλές αποδόσεις λόγω της άμεσης μετάδοσης θερμότητας. Αυτό πραγματοποιείται λόγω του γεγονότος ότι το υγρό μεταφοράς της θερμότητας διασχίζει απευθείας τις σωληνώσεις κενού της απορρόφησης. Ένα στοιχείο επίσης που ενισχύει την απόδοση του συγκεκριμένου τύπου συλλεκτών είναι πως προσανατολίζονται καλύτερα προς τον ήλιο, μέσω της περιστροφής, των μονών σωληνώσεων τη στιγμή της εγκατάστασης (προσαρμόζονται ανάλογα τις ανάγκες).



Σχήμα 4.13 Σωλήνας κενού με τη μέθοδο άμεσης εκροής

- σωλήνων κενού βασιζόμενοι στην αρχή του σωλήνα θερμότητας

Σύμφωνα με τη συγκεκριμένη αρχή, σε περίπτωση αποσυμπίεσης, μικρή ποσότητα υγρού (νερού ή άλλου υγρού σύμφωνα με τις ανάγκες της θερμοκρασίας), εξατμίζεται στο σωλήνα απορρόφησης, συμπυκνώνεται στο συμπυκνωτή και επιστρέφει σε υγρή μορφή στον απορροφητή. Ο συμπυκνωτής μεταφέρει τη θερμότητα με τη βοήθεια του ενδιάμεσου υγρού μεταφοράς θερμότητας που κυκλοφορεί στο συλλέκτη.

Σε αντίθεση με τους σωλήνες άμεσης εκροής, αυτή η αρχή απαιτεί την ελάχιστη κλίση του σωλήνα απορρόφησης, που συμπεριλαμβάνεται γενικά ανάμεσα στους 20° και 30°.

Τα πλεονεκτήματα των ηλιακών συλλεκτών τύπου κενού είναι:

- Οι υψηλές θερμοκρασίες που επιτυγχάνουν σε σχέση με τους επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες. Για το λόγο αυτό προτιμάται η εγκατάστασή τους σε περιοχές χαμηλών θερμοκρασιών
- Μειωμένες θερμικές απώλειες χάρη στην άριστη θερμική μόνωση
- Λόγω της υψηλής τους απόδοσης, καταλαμβάνουν μικρότερη επιφάνεια εγκατάστασης σε σχέση με τους επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες.

Παρουσιάζουν όμως και μειονεκτήματα τα οποία είναι:

- Υψηλές θερμοκρασίες στεγανοποίησης με την πλήρωση (κυρίως στα υλικά που βρίσκονται κοντά στο συλλέκτη και το υγρό μεταφοράς της θερμότητας)
- Κατά τη στεγανοποίηση εμφανίζονται μεγάλοι σχηματισμοί ατμών
- Οικονομικά πλεονεκτήματα μόνο σε περιπτώσεις όπου οι θερμοκρασίες λειτουργίας είναι υψηλές
- Σε επιφάνεια σκεπής δεν επιτρέπεται ο εντοιχισμός τους

4.4.2 Θερμική Ανάλυση

Το ισοζύγιο ενέργειας σε έναν επίπεδο ηλιακό συλλέκτη δίνει την ποσότητα θερμότητας που αποδίδει ο συλλέκτης συναρτήσει του εμβαδού της επιφανείας του, την απορροφούμενη από την μαύρη επιφάνεια ηλιακή ακτινοβολία, τον συνολικό συντελεστή θερμικών απωλειών του συλλέκτη και της διαφοράς ανάμεσα στην μέση θερμοκρασία του συλλέκτη και την θερμοκρασία του περιβάλλοντος αέρα:

$$Q_u = A_c \cdot [S - U \cdot (t_m - t_a)]$$

Όπου,

Q_u [W]: η ωφέλιμη θερμότητα που αποδίδεται από τον συλλέκτη

A_c [m²]: η επιφάνεια του συλλέκτη

S [kW/m²]: η απορροφούμενη ηλιακή ακτινοβολία

U [$\text{kW}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$]: ο ολικός συντελεστής απωλειών προς το περιβάλλον του συλλέκτη

t_m [$^{\circ}\text{C}$]: η μέση θερμοκρασία του συλλέκτη

t_a [$^{\circ}\text{C}$]: η θερμοκρασία του περιβάλλοντος

Ο ολικός συντελεστής απωλειών προς το περιβάλλον του συλλέκτη U

αποτελείται από τρεις όρους :

$$U = U_u + U_d + U_s$$

U_u [$\text{kW}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$]: συντελεστής απωλειών προς τα επάνω.

U_d [$\text{kW}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$]: συντελεστής απωλειών προς τα κάτω.

U_s [$\text{kW}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$]: συντελεστής απωλειών προς τα πλάγια.

Η μέση θερμοκρασία του συλλέκτη είναι δύσκολο να υπολογιστεί. Για τον λόγο αυτό εισάγεται ένα νέο μέγεθος, ο Συντελεστής Απομάκρυνσης Θερμότητας από τον συλλέκτη F_R , ο οποίος είναι ανηγμένο μέγεθος στην θερμοκρασία εισόδου του συλλέκτη :

$$F_R = \frac{m \cdot c_p \cdot (t_{in} - t_{out})}{A_{\text{συλλέκτη}} \cdot [S - U \cdot (t_{in} - t_{\text{αέρα}})]}$$

Το μέγιστο δυνατό θερμικό κέρδος σε ένα ηλιακό συλλέκτη επιτυγχάνεται, όταν όλος ο συλλέκτης βρίσκεται στην θερμοκρασία εισόδου του ρευστού σε αυτόν. Τότε το πραγματικό θερμικό κέρδος είναι :

$$Q = A_{\text{συλλέκτη}} \cdot F_R \cdot [S - U \cdot (t_{in} - t_{\text{αέρα}})]$$

4.4.3 Καμπύλη απόδοσης του ηλιακού συλλέκτη

Οι ηλιακοί συλλέκτες ελέγχονται ως προς την απόδοσή τους σύμφωνα με τα πρότυπα EN12975-1 του 2001, το EN12975-2 του 2002 όπως και από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης CEN (Comité Européen de Normalisation). Οι δοκιμές των ηλιακών συλλεκτών γίνονται τόσο σε ειδικά εργαστήρια – δοκιμαστήρια όσο και σε εξωτερικούς χώρους (πραγματικές συνθήκες), για συνθήκες $1000 \text{ W}/\text{m}^2$ και θερμοκρασία αέρα $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Η απόδοση εξ ορισμού είναι το πηλίκο της απορριφθείσας ενέργειας προσπίπτουσας ενέργειας και εξαρτάται ανάλογα από την ηλιακή ακτινοβολία. Η στιγμιαία απόδοση η_i ενός συλλέκτη δίδεται από τον τύπο

$$\eta_i = \frac{Q_u}{Q_i}$$

όπου,

Q_u [W]: η ωφέλιμη θερμότητα που αποδίδεται από τον συλλέκτη

Q_i [W]: η προσπίπτουσα ακτινοβολούσα ισχύς

Η απόδοση όπως φαίνεται και από τις παραπάνω σχέσεις παραμένει σε υψηλά επίπεδα αν έχουμε αξιοσημείωτη διαφορά (t_e-t_i). Αυτό επιτυγχάνεται αν η θερμοκρασία εισόδου νερού είναι χαμηλή.

Θεωρούμε $Q_i = A \cdot G^*$, όπου G^* η προσπίπτουσα ακτινοβολούσα ισχύς σε W/m^2 , η οποία ποικίλει ανάλογα με την επιφάνεια. Η απόδοση υπολογίζεται στην επιφάνεια συσσώρευσης και στο άνοιγμα της επιφάνειας, επομένως είναι απαραίτητη η γνώση των διαστάσεων της επιφάνειας του συλλέκτη κατά τον υπολογισμό. Ανάλογα με τη μεταβολή των συνθηκών λειτουργίας και του περιβάλλοντος η μεταβολή της απόδοσης δίνεται από τον τύπο:

$$\eta = \eta_0 - c_1 \cdot \frac{t_m - t_a}{G^*} - c_2 \cdot \frac{(t_m - t_a)^2}{G^*}$$

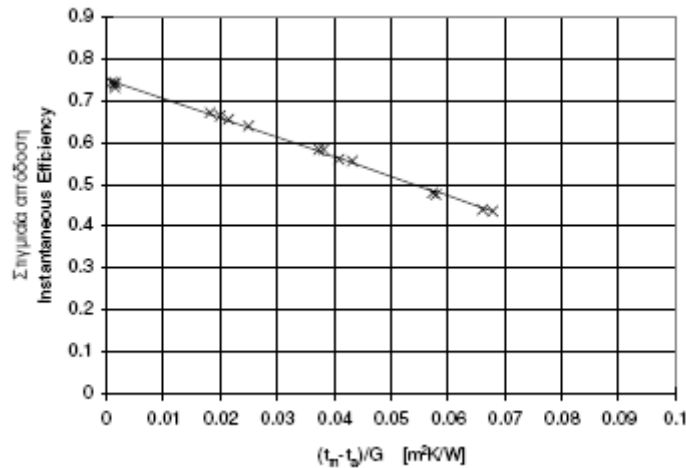
όπου,

t_m [°C]: μέση θερμοκρασία υγρού μεταφοράς της θερμότητας στο συλλέκτη

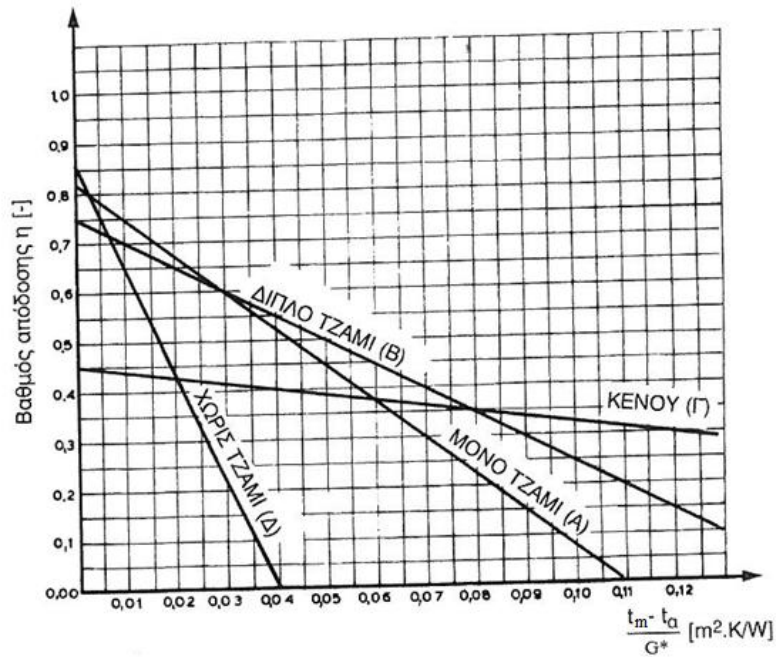
$$t_m = \frac{t_i + t_e}{2}$$

t_a [°C]: θερμοκρασία εξωτερικού χώρου

η_0 : υπολογισμένη απόδοση σε $t_m = t_a$



Σχήμα 4.14 Καμπύλη απόδοσης επίπεδου ηλιακού συλλέκτη



Σχήμα 4.15 Καμπύλες απόδοσης διάφορων τύπων επίπεδων συλλεκτών

4.4.4 Σύνδεση ηλιακών συλλεκτών

Είναι πολύ σημαντικό το κύκλωμα των ηλιακών συλλεκτών να εξασφαλίζει σταθερή παροχή ρευστού μέσα σε κάθε συλλέκτη. Η μη σταθερή παροχή μειώνει το βαθμό απόδοσης του συστήματος λόγω της δημιουργίας περιοχών με χαμηλή ροή. Η σύνδεση πολλών συλλεκτών μεταξύ τους αποτελεί μία συστοιχία. Υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τρόποι σύνδεσης:

➤ Σύνδεση σε σειρά

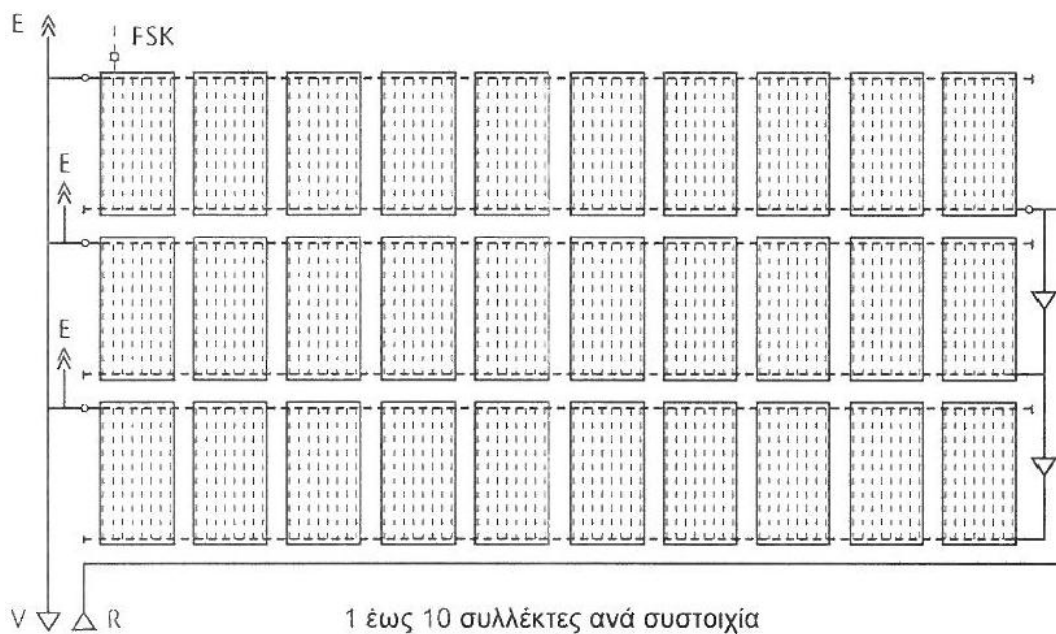
Το υγρό μεταφοράς της θερμότητας περνάει από τον ένα συλλέκτη στον επόμενο, οπότε η συνολική παροχή είναι ίση με την παροχή του ενός συλλέκτη Σχήμα 4.16. Οι επίπεδοι συλλέκτες κατασκευάζονται συνήθως για παροχή 40 – 80 lt/h·m². Αν γίνει παραδοχή για σύνδεση 4 συλλεκτών σε σειρά επιφάνειας 2,5 m² και παροχής 40 lt/h·m², η συστοιχία θα καταλαμβάνει επιφάνεια 4 x 2,5 = 10 m² και θα έχει παροχή 2,5 x 40 = 100 lt/h. Το βασικό μειονέκτημα της σύνδεσης σε σειρά είναι η σημαντική πτώση πίεσης του κυκλώματος λόγω της άθροισης των απωλειών όλων των συλλεκτών, κάτι που περιορίζει τον αριθμό σύνδεσης συλλεκτών σε μία συστοιχία σύνδεσης σε σειρά.



Σχήμα 4.16 Σύνδεση ηλιακών συλλεκτών σε σειρά

➤ Παράλληλη σύνδεση

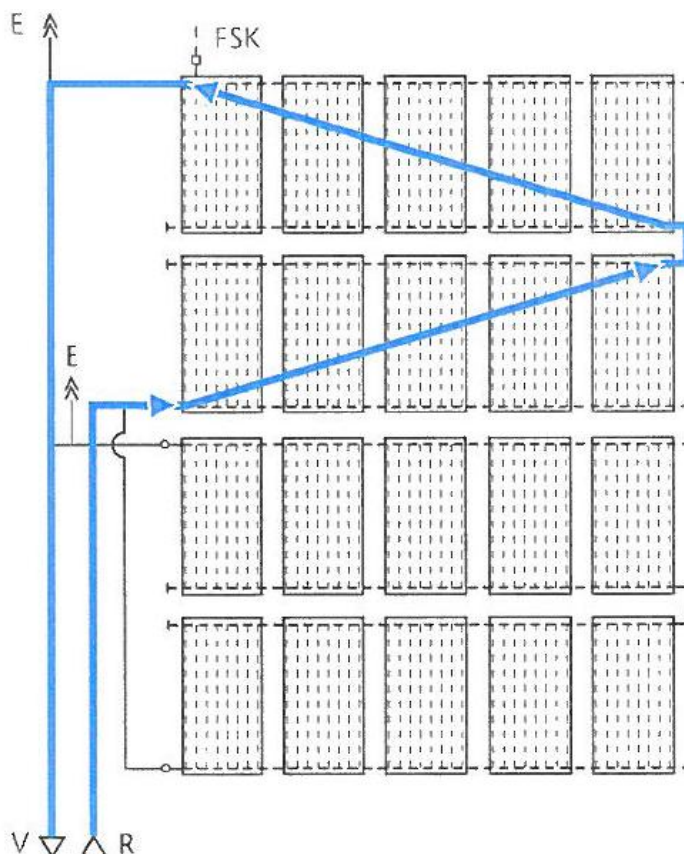
Όταν υπάρχουν περισσότεροι από 10 επίπεδοι συλλέκτες ή 36 σωλήνες απαιτείται παράλληλη σύνδεση των συστοιχιών συλλεκτών. Στην παράλληλη σύνδεση οι συλλέκτες τοποθετούνται μεταξύ δύο σωλήνων, οι οποίοι εξασφαλίζουν την εισαγωγή και την εξαγωγή του υγρού μεταφοράς της θερμότητας από τους συλλέκτες Σχήμα 4.17. Κάθε συλλέκτης συνδέεται με τους σωλήνες αυτούς στο πάνω και στο κάτω μέρος και όλα τα τμήματα έχουν το ίδιο μήκος. Για να εξασφαλιστεί η σταθερή παροχή του υγρού μεταφοράς της θερμότητας, οι συλλέκτες θα πρέπει να έχουν την ίδια πτώση πίεσης. Για να συμβαίνει αυτό η τιμή της παροχής θα πρέπει να είναι τριπλάσια της αντίστοιχης των σωλήνων εισόδου ή εξόδου του υγρού. Οι παράλληλα συνδεδεμένες συστοιχίες πρέπει να αποτελούνται από όμοιο αριθμό συλλεκτών και να συνδέονται υδραυλικά σύμφωνα με την αρχή Tichelmann. Η διάμετρος σωλήνα θα πρέπει να είναι όμοια. Εάν αυτό δεν είναι εφικτό, θα πρέπει να πραγματοποιείται υδραυλική εξισορρόπηση. Για την ελαχιστοποίηση των απωλειών θερμότητας πρέπει να προβλέπεται ένας βρόχος Tichelmann στην επιστροφή. Πεδία συλλεκτών που είναι τοποθετημένα το ένα δίπλα στο άλλο μπορούν να τοποθετηθούν συμμετρικά, με τρόπο που και τα δύο πεδία να μπορούν να συνδεθούν στο κέντρο σε ένα κατακόρυφο αγωγό. Πρέπει να χρησιμοποιηθούν συλλέκτες μόνο ενός τύπου, διότι οι κάθετοι και οι οριζόντιοι συλλέκτες έχουν διαφορετικές απώλειες πίεσης. Αν κάνουμε την ίδια παραδοχή, όπως στη σύνδεση σε σειρά, και συνδεθούν οι ηλιακοί συλλέκτες παράλληλα η συστοιχία θα καταλαμβάνει επιφάνεια $4 \times 2,5 = 10 \text{ m}^2$ και θα έχει παροχή $4 \times 2,5 \times 40 = 400 \text{ lt/h}$. Το βασικό πλεονέκτημα της παράλληλης σύνδεσης είναι πως εξασφαλίζονται μεγάλες παροχές και πολύ μικρές απώλειες στο κύκλωμα των συλλεκτών.



Σχήμα 4.17 Σύνδεση ηλιακών συλλεκτών παράλληλα

➤ Μικτή σύνδεση

Σε αυτή την περίπτωση, η συστοιχία αποτελείται από έναν αριθμό κλάδων συνδεδεμένων παράλληλα μεταξύ τους, καθένας από τους οποίους περιλαμβάνει ένα μικρό αριθμό πλαισίων συνδεδεμένων σε σειρά Σχήμα 4.18. Η μικτή σύνδεση εξασφαλίζει ομοιόμορφη παροχή σε κάθε συλλέκτη και χαμηλή πτώση πίεσης στο κύκλωμα. Η συνιστώμενη μέγιστη πτώση πίεσης σε μία συστοιχία επίπεδων συλλεκτών δίνεται στον Πίνακα 4.1. Τέλος, κάθε κλάδος θα πρέπει να απομονωθεί μέσω διακοπών για τη συνηθισμένη συντήρηση ή τυχόν επισκευές.



Σχήμα 4.18 Μικτή σύνδεση ηλιακών συλλεκτών

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΣΥΣΤΟΙΧΙΑΣ [m ²]	50	200	500	1000
ΠΤΩΣΗ ΠΙΕΣΗΣ [kPa]	30	60	80	100

Πίνακας 4.18 Συνιστώμενη μέγιστη πτώση πίεσης σε μία συστοιχία επίπεδων συλλεκτών

4.5 Συσσωρευτές ενέργειας

Η θερμική ενέργεια που παράγεται σε μία ηλιοθερμική εγκατάσταση εξαρτάται από την ηλιακή ακτινοβολία, η οποία μεταβάλλεται συναρτήσει του χρόνου. Επίσης μεταβάλλονται και οι θερμικές ανάγκες και οι οποίες σπάνια συμπίπτουν χρονικά με την παραγόμενη ενέργεια. Για το λόγο αυτό είναι σημαντικό η ενέργεια που

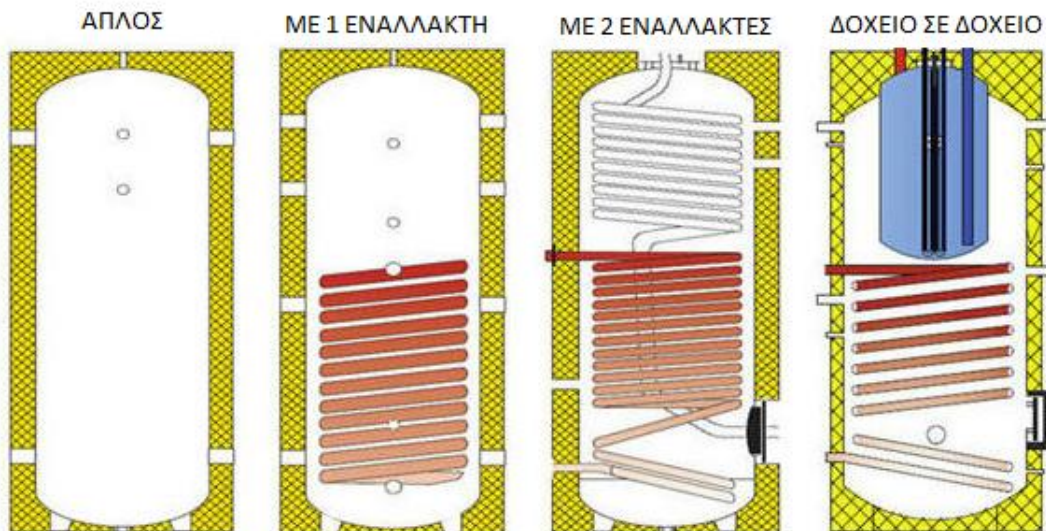
παράγεται να συσσωρεύεται και έπειτα, κατά τη χρήση, να μπορεί να ρυθμίζεται η προσφορά (ήλιος) και η ζήτηση (ζεστό νερό κατ' απαίτηση από το χρήστη). Η αποθήκευση είναι το στοιχείο της εγκατάστασης, που επιτρέπει την αποθήκευση της θερμικής ενέργειας, με την ελάχιστη δυνατή απώλεια ενέργειας. Ο ειδικός χώρος στον οποίο αποθηκεύεται η απαιτούμενη ενέργεια είναι συνήθως οι συσσωρευτές ενέργειας (boiler).

4.5.1 Τυπολογία συσσωρευτών ενέργειας

Σήμερα τα πιο συνηθισμένα είδη συσσωρευτών ενέργειας είναι τα θερμικά μονωμένα boiler, με (ή χωρίς) ενσωματωμένο εναλλάκτη θερμότητας. Τα κύρια χαρακτηριστικά ενός συσσωρευτή είναι η μηχανική του αντοχή, η διάρκειά του και η ποιότητα της μόνωσης, που υπολογίζεται σε W/K. Όσο μικρότερος είναι ο συντελεστής των απωλειών (που εξαρτάται από τον τύπο και το πάχος της μόνωσης), τόσο καλύτερη θα είναι η συμπεριφορά του συσσωρευτή. Οι τύποι των συσσωρευτών (Σχήμα 4.19) διακρίνονται σε

- οριζόντια ή κάθετη θέση
- χωρίς εναλλάκτη ή με ενσωματωμένο εναλλάκτη. Στην τελευταία περίπτωση, με σερπαντίνα ή βρεχόμενος,
- ανάλογα με το υλικό που χρησιμοποιείται.

Για ορισμένες εφαρμογές (π.χ. σε εγκαταστάσεις που συνδυάζουν την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης και θέρμανσης) υπάρχουν ειδικοί τύποι.



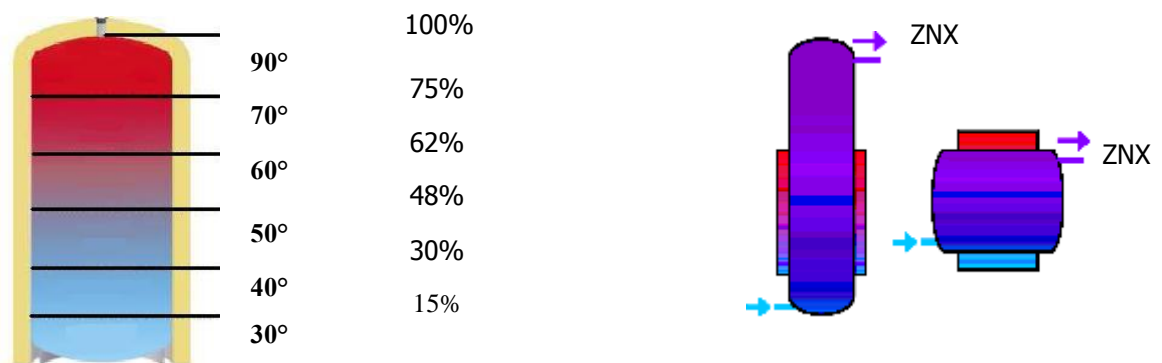


Σχήμα 4.19 Τύποι συσσωρευτών

4.5.2 Διαστρωμάτωση θερμοκρασίας

Για σωστή λειτουργία, ο συσσωρευτής σχεδιάζεται, ώστε να επιτρέπει τη “διαστρωμάτωση” (Σχήμα 4.20), δηλαδή η θερμοκρασία του νερού να διανέμεται κάθετα. Αυτό βελτιστοποιεί τη λειτουργία της εγκατάστασης.

Το βασικό πλεονέκτημα της διαστρωμάτωσης είναι ότι επιτρέπει τη λήψη του ζεστού νερού κατανάλωσης από το ανώτερο τμήμα του συσσωρευτή. Το νερό που επιστρέφει στο συλλέκτη είναι πιο κρύο, παράγοντας που αυξάνει την απόδοση του ίδιου του συλλέκτη.



Σχήμα 4.20 Σωστή “Διαστρωμάτωση” θερμοκρασίας σε συσσωρευτή ενέργειας

Στην πράξη, η θερμική διαστρωμάτωση εξασφαλίζεται όταν:

- ◇ η είσοδος του ζεστού νερού από το συλλέκτη βρίσκεται στο πάνω μέρος του συσσωρευτή και η έξοδος του κρύου νερού προς αυτόν είναι στο κάτω μέρος και
- ◇ η παροχή του νερού είναι μικρή, έτσι ώστε να μην αναμιγνύεται το εισερχόμενο ζεστό νερό με το εξερχόμενο κρύο.

Καθώς το ζεστό νερό έχει μικρότερη πυκνότητα από το κρύο παραμένει στο πάνω μέρος του συσσωρευτή, ενώ το κρύο βρίσκεται στον πυθμένα του. Οι συσσωρευτές ενέργειας που λειτουργούν με τη συγκεκριμένη μέθοδο έχουν κυλινδρικό σχήμα με ιδανική αναλογία ύψους – διαμέτρου 2,5:1 και όγκο $V = 40 - 70/\text{ατ.ημ.}$

Αν θεωρήσουμε αμελητέες τις θερμικές απώλειες στο δίκτυο σωληνώσεων και το συσσωρευτή, τότε η ωφέλιμη θερμική ενέργεια του ηλιακού συλλέκτη Q προσδίδεται στο νερό του συσσωρευτή και ανυψώνει τη θερμοκρασία του κατά Δt_δ .

Με το πέρασμα του χρόνου T , ο συσσωρευτής έχει πλέον ομοιόμορφη θερμοκρασία t_δ , που υπολογίζεται από τη σχέση:

$$t_\delta = t_{\delta 0} + \frac{Q}{m_\delta \cdot c_{p\delta}} \text{ [K]}$$

Όπου,

$t_{\delta 0}$ [K]: η αρχική θερμοκρασία νερού του συσσωρευτή

Q [kJ/μήνα]: ωφέλιμη θερμική ενέργεια επίπεδου συλλέκτη

m_δ [kg]: μάζα νερού συσσωρευτή

$c_{p\delta}$ [kJ/kg·K]: ειδική θερμότητα νερού συσσωρευτή

$$c_{p\delta} \approx 4,19 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

Πλεονεκτήματα ταμιευτήρα διαστρωμάτωσης:

1. Μπορεί να δεχθεί πολλές διαφορετικές πηγές (λέβητας, αντλία θερμότητας, ενεργειακό τζάκι, κ.α.) και να εξυπηρετήσει διαφορετικές χρήσεις (σώματα, ενδοδαπέδια, ζ.ν.χ., πισίνα, κ.α.).
2. Εξασφαλίζει για τους συλλέκτες την χαμηλότερη δυνατή θερμοκρασία, άρα και τον βέλτιστο βαθμό απόδοσης.
3. Όταν φορτίζεται από πηγή διαφορετική από τον ήλιο δεν χρειάζεται να φορτιστεί πλήρως, άρα εξασφαλίζει μεγάλη απόδοση για το Η/Θ σύστημα.
4. Επιτρέπει την θέση προτεραιοτήτων στις πηγές θερμότητας (κατηγορία Α διατάξεων αυτομάτου ελέγχου στον Κ.Εν.Α.Κ.).
5. Όχι κινητά μέρη εντός του ταμιευτήρα.
6. Απλοποιεί την εγκατάσταση.

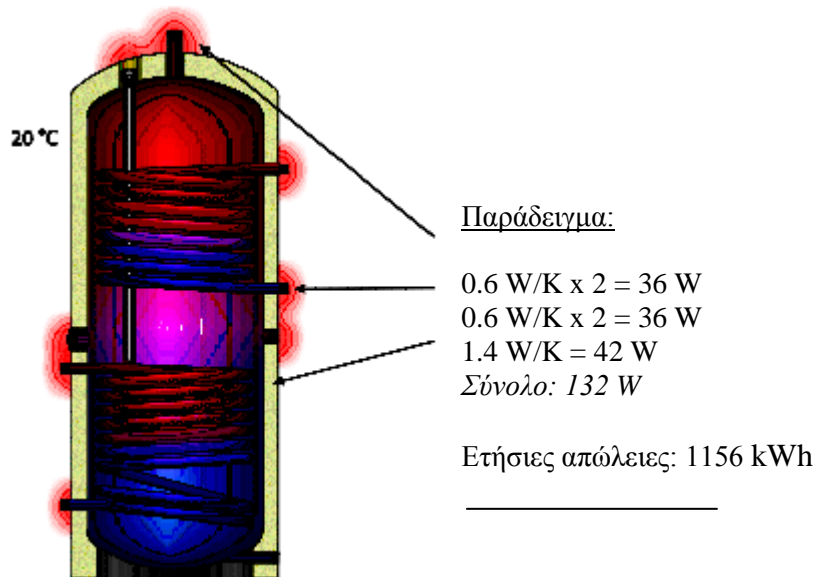
4.5.3 Μόνωση συσσωρευτών

Το νερό αποτελεί το καλύτερο μέσο αποθήκευσης της θερμικής ενέργειας, αφού καλύπτει σε μεγάλο βαθμό τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- μεγάλη ειδική θερμότητα
- μεγάλη θερμική διάχυση

- μεγάλο ειδικό βάρος
- χημική και γεωμετρική σταθερότητα
- ευρύ φάσμα θερμοκρασιών λειτουργίας
- μη εύφλεκτο
- μη διαβρωτικό
- μη τοξικό

Η ποσότητα ενέργειας, που παραλαμβάνει από τους ηλιακούς συλλέκτες, μεταφέρεται με ελάχιστες απώλειες έως το συσσωρευτή ενέργειας για να αποθηκευτεί. Η μόνωση του συσσωρευτή παίζει σημαντικό ρόλο στη διατήρηση της θερμοκρασίας του νερού που αποθηκεύεται στο συσσωρευτή ενέργειας, γιατί περιορίζονται οι θερμικές απώλειες προς το περιβάλλον. Για το λόγο αυτό συνίσταται προσοχή στο υλικό και στις διαστάσεις του μονωτικού υλικού. Τα μονωτικά υλικά που συνήθως χρησιμοποιούνται έχουν συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας $\lambda \leq 0,035 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. Η χρήση του πολυβινοχλωριδίου (PVC) πρέπει να αποφεύγεται. Η σημασία της θερμικής μόνωσης ενός συσσωρευτή φαίνεται από το γεγονός ότι, σε ένα συσσωρευτή 300 lt (τυπική οικιακή εγκατάσταση) όχι σωστά μονωμένο, οι θερμικές απώλειες μπορεί να φτάσουν περίπου σε 1200 kWh το χρόνο.



Σχήμα 4.21 Παράδειγμα θερμικών απωλειών σε ένα συσσωρευτή

Άλλο ένα σημαντικό θέμα που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη είναι ύπαρξη των βακτηρίων της λεγιονέλλας στο νερό, τα οποία πολλαπλασιάζονται σε θερμοκρασίες 30 – 45 °C και καταστρέφονται σε θερμοκρασίες άνω των 50 °C. Για να αντιμετωπιστεί το παραπάνω πρόβλημα, επιβάλλεται η συνεχή διατήρηση της θερμοκρασίας του νερού στους 60 °C εφόσον ο συσσωρευτής ενέργειας έχει όγκοισαχθούν στον ανθρώπινο οργανισμό από το στόμα μαζί με το νερό (πλύσιμο δοντιών, κολύμβηση σε πισίνα κ.λ.π.). Πρόβλημα, ισοδύναμο της πνευμονίας που σε κάποιες περιπτώσεις οδηγεί και σε θάνατο, δημιουργείται κυρίως όταν φτάνουν στους πνεύμονες μέσω της εισπνοής του αέρα, που περιέχει μικρά σταγονίδια νερού θερμοκρασίας 30 - 45 °C (π.χ. ντους).

4.5.4 Εναλλάκτες θερμότητας

Οι εναλλάκτες θερμότητας ορίζονται ως συσκευές, που έχουν τη δυνατότητα να μεταφέρουν τη θερμική ενέργεια μεταξύ δύο ρευστών διαφορετικής θερμοκρασίας. Η διάκριση τους γίνεται βάση της διαδικασίας μεταφοράς της θερμότητας, οπότε έχουμε

- τους εναλλάκτες άμεσης επαφής και
- τους εναλλάκτες έμμεσης επαφής

Στην πρώτη περίπτωση τα δύο ρευστά διαφορετικής φάσης έρχονται σε άμεση επαφή, ανταλλάσσουν θερμότητα και στη συνέχεια διαχωρίζονται και πάλι. Στη δεύτερη περίπτωση τα ρευστά παραμένουν χωρισμένα και η ανταλλαγή γίνεται μέσω μίας διαχωριστικής επιφανείας. Στους εναλλάκτες έμμεσης επαφής, η μετάδοση θερμότητας από το ζεστό στο κρύο ρευστό γίνεται με τρεις τρόπους:

- I. με μετάβαση από το ζεστό ρευστό στο τοίχωμα*
- II. με αγωγιμότητα μέσα στο τοίχωμα*
- III. με μετάβαση από το τοίχωμα στο ψυχρό ρευστό.*

Στα ηλιοθερμικά συστήματα όπου το ρευστό των ηλιακών συλλεκτών είναι διαφορετικό από το ρευστό του συσσωρευτή (συστήματα κλειστού κυκλώματος), χρησιμοποιούνται οι εναλλάκτες θερμότητας έμμεσης επαφής. Ο σκοπός τους είναι η μεταφορά της θερμικής ενέργειας του ζεστού ρευστού των συλλεκτών (υδατικό διάλυμα προπυλενογλυκόλης) στο κρύο ρευστό του συσσωρευτή (νερό).

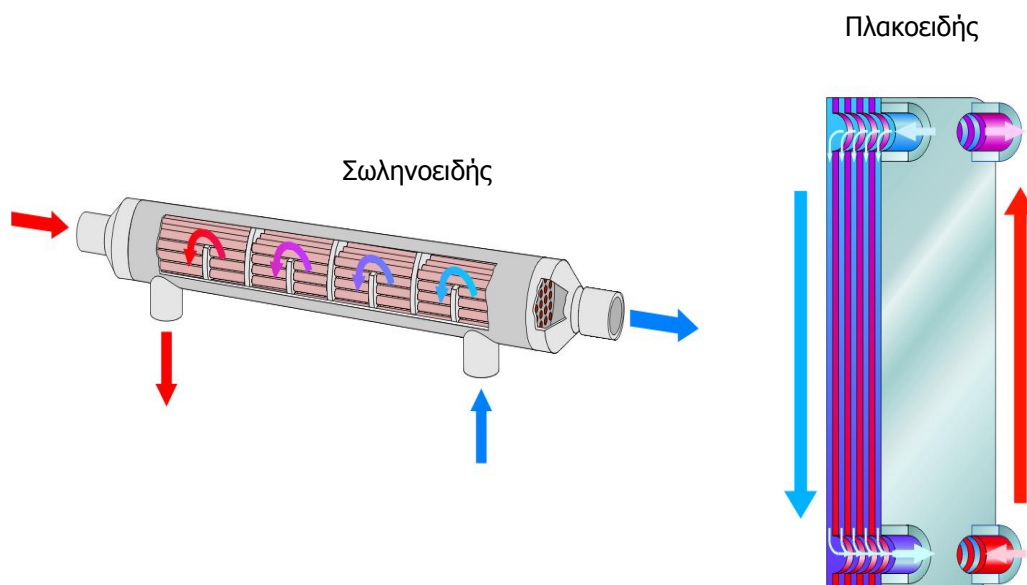
Ανάλογα με τη θέση τους διακρίνονται σε εσωτερικούς και εξωτερικούς. Ο εσωτερικός εναλλάκτης τοποθετείται μέσα στο συσσωρευτή (Σχήμα 4.22) και αποτελείται από σωλήνες χαλκού ή ανοξείδωτου χάλυβα.



Σχήμα 4.22 Εσωτερικοί εναλλάκτες

Ο εξωτερικός εναλλάκτης θερμότητας τοποθετείται μεταξύ του ηλιακού συλλέκτη και του συσσωρευτή και είναι τύπου αντίρροψης (τα δύο ρευστά κινούνται με αντίθετη φορά). Χρησιμοποιούνται πλακοειδείς ή σωληνωειδείς εναλλάκτες (Σχήμα 4.23), που κατασκευάζονται από χαλκό ή ανοξείδωτο χάλυβα και η κυκλοφορία των δύο ρευστών γίνεται με τη βοήθεια αντίστοιχων αντλιών.

Οι εσωτερικοί εναλλάκτες έχουν μικρότερο κόστος αλλά η απόδοσή τους μειώνεται λόγω της απόθεσης αλάτων από το νερό. Ενδεικτικά ένα στρώμα 2 mm μειώνει την ικανότητα μεταφοράς της θερμότητας κατά 20%. Η διαφορά θερμοκρασιών εισόδου και εξόδου του υδατικού διαλύματος του συλλέκτη στον εναλλάκτη, στους εσωτερικούς εναλλάκτες πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 10 °C περίπου από τη διαφορά θερμοκρασιών εισόδου και εξόδου του νερού στο συσσωρευτή. Για μία τέτοια διαφορά η επιφάνεια μεταφοράς της θερμότητας του εναλλάκτη είναι $A = 0,1 - 0,2 \text{ m}^2/\text{m}^2$ συλλέκτη.



Σχήμα 4.23 Πλακοειδείς και σωληνοειδείς εναλλάκτες

Στους εξωτερικούς εναλλάκτες θερμότητας η διαφορά θερμοκρασιών εισόδου και εξόδου του υδατικού διαλύματος του συλλέκτη στον εναλλάκτη πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 5° C περίπου από τη διαφορά θερμοκρασιών εισόδου και εξόδου του νερού στο συσσωρευτή.

4.6 Διαστασιολόγηση σωληνώσεων

4.6.1 Γενικά

Για τη μεταφορά ενέργειας, ανάμεσα στους ηλιακούς συλλέκτες και το boiler αποθήκευσης, χρησιμοποιείται υγρός θερμομεταφορέας (νερό) με την προσθήκη αντιπαγετικών και αντιδιαβρωτικών μη τοξικών ουσιών (προπυλενογλυκόλη). Η μεταφορά γίνεται μέσω σωληνώσεων κατάλληλων διαστάσεων ικανών, ώστε να μεταφέρουν την παραγόμενη ενέργεια. Το δίκτυο των σωληνώσεων πρέπει να είναι συμβατό με το υδατικό διάλυμα των συλλεκτών και να παρουσιάζει θερμική σταθερότητα για θερμοκρασίες από -20 °C έως 150 °C. Σωλήνες από χαλκό, χάλυβα ή ανοξείδωτο χάλυβα θεωρούνται οι καλύτερες επιλογές για τις ηλιοθερμικές εγκαταστάσεις. Οι γαλβανισμένοι σωλήνες δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται λόγω της χημικής αντίδρασης μεταξύ ψευδαργύρου και προπυλενογλυκόλης, αλλά και της

μειωμένης αντοχής σε υψηλές θερμοκρασίες. Οι συνδέσεις των σωληνώσεων πρέπει να αντέχουν στις συνθήκες λειτουργίας (πίεση, θερμοκρασία) του κυκλώματος.

4.6.2 Επιλογή διαμέτρου

Η διάμετρος των χαλκοσωλήνων διαστασιολογείται σε σχέση με την επιλεχθείσα ροή. Η εσωτερική διάμετρος των σωλήνων υπολογίζεται από τη σχέση:

$$D_i = \sqrt{\frac{4 \cdot G_c \cdot A_c}{\pi \cdot \rho \cdot v}} \text{ [m]}$$

Όπου,

G_c [kg/s·m²]: παροχή μάζας υδατικού διαλύματος ανά τετραγωνικό μέτρο επιφανείας συλλέκτη

$G_c = 0,015$ kg/s·m² κανονική παροχή

$G_c = 0,005$ kg/s·m² μικρή παροχή

A_c [m²]: επιφάνεια συλλέκτη

ρ [kg/m³]: πυκνότητα υδατικού διαλύματος ($\rho = 1000$ kg/m³)

v [m/s]: ταχύτητα ροής υδατικού διαλύματος

Για κυκλώματα ηλιακών συλλεκτών με αντλία μπορούμε να επιλέξουμε την εσωτερική διάμετρο των σωλήνων από τον Πίνακα 4.2. Για κυκλώματα χωρίς αντλία θα πρέπει να αυξήσουμε την εσωτερική διάμετρο ή/και να μειώσουμε το μήκος του δικτύου.

Πίνακας 4.2 Εσωτερική διάμετρος σωληνώσεων D_i [mm] σε κυκλώματα ηλιακού συλλέκτη με αντλία					
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΣΥΛΛΕΚΤΗ A_c [m ²]	ΜΗΚΟΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ L [m]				
	10	20	30	40	50
< 5	15	15	15	15	15
6-12	18	18	18	18	18
13-16	18	22	22	22	22
17-20	22	22	22	22	22
21-25	22	22	22	22	22
26-30	22	22	22	22	22

4.6.3 Όγκος νερού στις σωληνώσεις

Μετά τον καθορισμό της διατομής και το σχεδιασμό του δικτύου είναι απαραίτητος ο υπολογισμός του όγκου νερού στις σωληνώσεις, που σε συνδυασμό με τον όγκο νερού στους συλλέκτες, επιτρέπει την ορθή επιλογή του όγκου γλυκόλης, που απαιτείται να προστεθεί στην εγκατάσταση. Για τον υπολογισμό του όγκου νερού στην εγκατάσταση μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα στοιχεία του Πίνακα 4.3.

Πίνακα 4.3 Όγκος υγρού ανάλογα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά των σωληνώσεων			
ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ	ΕΞΩΤ. ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ x ΠΑΧΟΣ $D_e \times s$ [mm]	ΕΣΩΤ. ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ D_i [mm]	ΟΓΚΟΣ ΠΛΗΡΩΣΗΣ [lt/m]
	10x1	8	0,050
	12x1	10	0,079
DN 12	15x1	13	0,133
DN 15	18x1	16	0,201
DN 20	22x1	20	0,314
DN 25	28x1,5	25	0,491

4.6.4 Απώλειες πίεσης και παροχή

Η απώλεια πίεσης είναι μεγαλύτερη στους ανοξείδωτους εύκαμπτους σωλήνες σε σχέση με λείες εσωτερικές επιφάνειες και επομένως, η διατομή τους πρέπει να είναι μεγαλύτερη.

Η παροχή της ροής στο εσωτερικό του ηλιακού κυκλώματος πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη, ώστε να εγγυάται την καλή μεταφορά της θερμότητας του συλλέκτη. Εάν η παροχή ροής είναι πολύ υψηλή όμως, αυξάνει ως επακόλουθο την απώλεια πίεσης στις σωληνώσεις και επομένως και τη χρήση ενέργειας που πρέπει να παρέχεται από τον κυκλοφορητή.

Η παροχή ροής πρέπει να είναι περίπου 40 – 50 lt/(m²·h) για κάθε τετραγωνικό μέτρο ηλιακού συλλέκτη. Η παροχή των ηλιακών συλλεκτών για τα συστήματα βεβιασμένης κυκλοφορίας κλασσικού τύπου, πρέπει να είναι περίπου 50 lt/h και δεν πρέπει ποτέ να ξεπερνά τα 110 lt/h ανά m² του συλλέκτη.

4.6.5 Μόνωση σωληνώσεων

Για τη μεταφορά της θερμικής ενέργειας του συλλέκτη στο συσσωρευτή, στα συστήματα βεβιασμένης κυκλοφορίας κλασσικού τύπου με καλή μόνωση, το $\Delta\theta$ ανάμεσα στην προσαγωγή και επιστροφή του ηλιακού συλλέκτη πρέπει να είναι ανάμεσα στους 10 °C και 15 °C. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στη μόνωση των σωληνώσεων, διαφορετικά πρέπει να υπολογιστούν οι απώλειες ενέργειας που

υπάρχουν στα δίκτυα. Στον Πίνακα 4.4 παρουσιάζεται το ελάχιστο πάχος μόνωσης για θερμομονωτικό υλικό με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας $\lambda=0,035\text{W/m}\cdot\text{K}$. Τα θερμομονωτικά υλικά πρέπει να έχουν αντοχή στις υψηλές θερμοκρασίες (170 °C κοντά στο συλλέκτη και τουλάχιστον 120 °C μακρύτερα) και μικρό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας. Κατάλληλα υλικά είναι ο υαλοβάμβακας, ο ορυκτοβάμβακας και το κυψελοειδές γυαλί.

Πίνακα 4.4 Ελάχιστο πάχος μόνωσης σε δίκτυα σωληνώσεων ηλιοθερμικών συστημάτων για υλικό με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας $\lambda=0,035\text{W/m}\cdot\text{K}$	
ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΣΩΛΗΝΩΝ D_i [mm]	ΕΛΑΧΙΣΤΟ ΠΑΧΟΣ ΜΟΝΩΣΗΣ δ [mm]
< 22	20
22-35	30
36-100	$\delta = D_i$
>100	100

Τέλος, στα εξωτερικά δίκτυα απαιτείται η προστασία της μόνωσης με φύλλα αλουμινίου ή ανοξείδωτου χάλυβα. Η ετήσια μείωση του πάχους σε πόλεις είναι 1,9-5,2 μm , σε βιομηχανικές ζώνες 6,4-13,8 μm και σε παραθαλάσσιες 2,2-7,2 μm .

4.7 Σύστημα κυκλοφορητή

Ο κυκλοφορητής είναι η αντλία, η οποία εξασφαλίζει την κυκλοφορία του υδατικού διαλύματος στο κύκλωμα των ηλιακών συλλεκτών. Η λειτουργία του, ξεκινάει όταν η θερμοκρασία του υδατικού διαλύματος στο πάνω μέρος των συλλεκτών, είναι μεγαλύτερη κατά ορισμένους βαθμούς από τη θερμοκρασία του νερού στο κάτω μέρος του συσσωρευτή ενέργειας. Χρειάζεται προσοχή στη διαστασιολόγηση του συστήματος του κυκλοφορητή, γιατί αν η ισχύς του κυκλοφορητή είναι χαμηλή, υπάρχει περίπτωση δημιουργίας μεγάλων θερμικών απωλειών στο εσωτερικό του κυκλώματος του ηλιακού συλλέκτη και επομένως την πολύ χαμηλή απόδοσή του. Αντίθετα, μεγάλη ισχύς, προκαλεί άσκοπη κατανάλωση ενέργειας.

Ο κυκλοφορητής των ηλιοθερμικών συστημάτων πρέπει να καλύπτει τρία βασικά χαρακτηριστικά:

- 1) Δυνατότητα λειτουργίας σε θερμοκρασίες 100 - 120 °C.
- 2) Συμβατότητα με το υδατικό διάλυμα προπυλενογλυκόλης.
- 3) Μεγάλη παροχή με μικρό μανομετρικό ύψος.

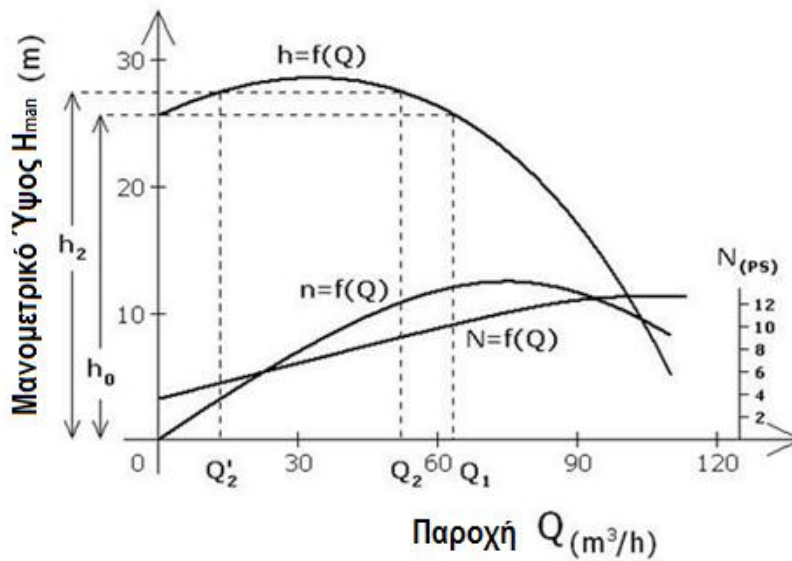
Στα συστήματα ηλιοθερμίας, χρησιμοποιείται ένα σύστημα κυκλοφορητή με “έξυπνη” λειτουργία (pump station – Σχήμα 4.24), το οποίο περιλαμβάνει, εκτός από ένα κυκλοφορητή inverter, όλα τα συστήματα ασφαλείας και τον ηλεκτρικό πίνακα ελέγχου (controller) του συστήματος, ο οποίος ανάλογα με τις θερμοκρασίες των συλλεκτών και του συσσωρευτή, καθώς και άλλα δεδομένα της εγκατάστασης, αποφασίζει την ταχύτητα λειτουργίας του κυκλοφορητή ελέγχοντας την παροχή ροής, ώστε να βελτιστοποιηθεί το αποτέλεσμα μεταφοράς της ενέργειας ανάλογα των

συνθηκών. Τα σύγχρονα συστήματα, διαθέτουν αισθητήρια υπολογισμού της ενέργειας που προέρχεται από τον ήλιο.

Στην περιγραφή του κατάλληλου τύπου κυκλοφορητή, περιλαμβάνεται και το διάγραμμα καμπυλών μανομετρικού ύψους H_{MAN} – παροχής Q (Σχήμα 4.25)



Σχήμα 4.24 Σύστημα κυκλοφορητή με ελεγκτή (pump station)



Σχήμα 4.25 Το διάγραμμα καμπυλών μανομετρικού ύψους H_{MAN} – παροχής Q (για $n=1965$ rpm)

Το σημείο τομής των χαρακτηριστικών καμπυλών του κυκλοφορητή και του κυκλώματος είναι το σημείο λειτουργίας του κυκλοφορητή.

Τα κυριότερα τεχνικά χαρακτηριστικά του κυκλοφορητή, είναι η ηλεκτρική ισχύς, η παροχή και η πίεση στην έξοδο του κυκλοφορητή, που λέγεται και μανομετρικό ύψος. Η πίεση που πρέπει να υπερβεί ο κυκλοφορητής είναι η συνολική πτώση πίεσης ΔP_T του κυκλώματος των ηλιακών συλλεκτών, η οποία δίνεται από τη σχέση:

$$\Delta P_T = \Delta P_C + \Delta P_R + \Delta P \text{ [mbar]}$$

Όπου,

ΔP_C [mbar]: η πτώση πίεσης στους ηλιακούς συλλέκτες

ΔP_R [mbar]: η πτώση πίεσης στο δίκτυο των σωληνώσεων

ΔP [mbar]: η πτώση πίεσης στον εναλλάκτη θερμότητας

Η πτώση πίεσης ΔP_C στους ηλιακούς συλλέκτες εξαρτάται από τον τρόπο σύνδεσης και τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά.

4.8 Όργανα ασφαλείας

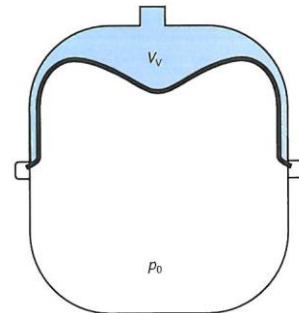
Τα όργανα ασφαλείας είναι οι διατάξεις εκείνες, που εξασφαλίζουν την ασφαλή λειτουργία της εγκατάστασης και την προστασία των χρηστών. Τα σπουδαιότερα όργανα ασφαλείας είναι το δοχείο διαστολής, η βαλβίδα ασφαλείας και το εξαεριστικό.

4.8.1 Δοχείο διαστολής

Το δοχείο διαστολής (Σχήμα 4.26), είναι ένα μεταλλικό δοχείο, που χωρίζεται σε δύο μέρη από μία ελαστική μεμβράνη (4.27). Η μεμβράνη χωρίζει το πάνω μέρος στο οποίο περιέχεται το υδατικό διάλυμα των συλλεκτών από το κάτω μέρος που περιέχει άζωτο, υπό αρχική πίεση.



Σχήμα 4.26 Δοχείο διαστολής



Εικόνα 4.27 Εσωτερικό δοχείου διαστολής

Το δοχείο διαστολής χρησιμεύει στο να δέχεται την αύξηση όγκου στην αύξηση της θερμοκρασίας του υγρού μεταφοράς της ενέργειας και σε περίπτωση “στεγανοποίησης” της εγκατάστασης χρησιμεύει στο να δέχεται όλο το υγρό, που περιέχεται στο εσωτερικό του συλλέκτη. Για το λόγο αυτό, πρέπει να υπολογιστεί ο κατάλληλος όγκος του δοχείου διαστολής, ώστε να αποφεύγεται η λειτουργία της βαλβίδας ασφαλείας. Ο ελάχιστος όγκος του δοχείου διαστολής υπολογίζεται από τη σχέση:

$$V_{\min} = V \cdot \frac{P_{\max} + 1}{P_{\max} - P_{\text{in}}} \text{ [lt]}$$

Όπου,

V [lt]: ο χρήσιμος όγκος του δοχείου διαστολής

P_{\max} [bar]: η μέγιστη πίεση λειτουργίας του συστήματος

P_{in} [bar]: η αρχική πίεση του συστήματος

Η αρχική πίεση του συστήματος πρέπει να είναι τουλάχιστον 0,5 bar στο υψηλότερο σημείο της εγκατάστασης:

$$P_{\text{in}} = (0,5 - 3) + P_{\Sigma} \text{ [bar]}$$

Όπου,

P_{Σ} [bar]: η στατική πίεση του δοχείου διαστολής

$$P_{\Sigma} = 0,1 \cdot h_{\Sigma} \text{ [bar]}$$

h_{Σ} [m]: το στατικό ύψος (κατακόρυφη απόσταση μεταξύ δοχείου διαστολής και υψηλότερου σημείου της εγκατάστασης)

Ο χρήσιμος όγκος του δοχείου διαστολής υπολογίζεται από τη σχέση

$$V = V_c + 0,1 \cdot V_s \text{ [lt]}$$

Όπου,

V_c [lt]: ο όγκος πλήρωσης των ηλιακών συλλεκτών (από κατασκευαστή)

V_s [lt]: ο όγκος πλήρωσης του συστήματος

$$V_s = V_c + V_p + V_E \text{ [lt]}$$

Όπου,

V_p [lt]: ο όγκος πλήρωσης του δικτύου σωληνώσεων (η τιμή του Πίνακα 4.4 πολλαπλασιάζεται με το μήκος L του δικτύου)

V_E [lt]: ο όγκος πλήρωσης του εναλλάκτη θερμότητας (από κατασκευαστή)

Η μέγιστη πίεση λειτουργίας του συστήματος πρέπει να είναι μικρότερη από 0,3 bar από την ονομαστική πίεση της βαλβίδας ασφαλείας:

$$P_{\max} = P_{SS} - 0,3 \text{ [bar]}$$

Όπου,

P_{SS} [bar]: η ονομαστική πίεση της βαλβίδας ασφαλείας (επιλέγεται από τον Πίνακα 4.5 για $P_{SS} > P_{\text{in}} + P_{\Sigma}$)

ΑΡΧΙΚΗ ΠΙΕΣΗ ΔΟΧΕΙΟΥ ΔΙΑΣΤΟΛΗΣ [bar]	1	1,5	3	6
ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΠΙΕΣΗ ΒΑΛΒΙΔΑΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ [bar]	20	4	6	10

Πίνακα 4.5 Τιμές αρχικής πίεσης δοχείου διαστολής και ονομαστικής πίεσης βαλβίδας ασφαλείας

Τα δοχεία διαστολής έχουν τυποποιημένα μεγέθη (8 lt, 12 lt, 18 lt, 25 lt, 33 lt, 50 lt κλπ). Έχοντας υπολογίσει τον ελάχιστο απαιτούμενο όγκο V_{\min} επιλέγεται το κατάλληλο μέγεθος δοχείου διαστολής με όγκο ίσο ή τον αμέσως μεγαλύτερο.

4.8.2 Βαλβίδα ασφαλείας

Η βαλβίδα ασφαλείας είναι το όργανο εκείνο, που εκκενώνει μία ποσότητα ατμού από το κύκλωμα σε περίπτωση υπερπίεσης, ώστε η πίεση να επανέρχεται στο όριο ασφαλείας.

Η βαλβίδα ασφαλείας δεν επιδέχεται ρύθμιση και λειτουργεί στην ονομαστική πίεση. Η επιλογή της γίνεται από τον Πίνακα 4.8.1 και εξαρτάται από την αρχική πίεση P_{in} του συστήματος και τη στατική πίεση P_{Σ} ($P_{SS} > P_{in} + P_{\Sigma}$). Η ενδεδειγμένη θέση τοποθέτησης είναι μετά τον κυκλοφορητή στο σωλήνα προσαγωγής του υδατικού διαλύματος στο συλλέκτη. Σε περίπτωση εγκατάστασης συστοιχιών ηλιακών συλλεκτών σε παράλληλους κλάδους, προβλέπεται μία βαλβίδα για κάθε κλάδο και μία κεντρική βαλβίδα, που τοποθετείται σε χαμηλότερη θέση. Ο ρόλος της κεντρικής βαλβίδας είναι λόγω της μεγαλύτερης στατικής πίεσης που έχει, να λειτουργήσει πριν από τις άλλες. Η επιλογή της βαλβίδας ασφαλείας εξαρτάται από την επιφάνεια των ηλιακών συλλεκτών όσον αφορά τη διάμετρο της (Πίνακας 4.6) ενώ για τα επίπεδα πίεσης επιλέγεται ίση με την ονομαστική πίεση P_{SS} .

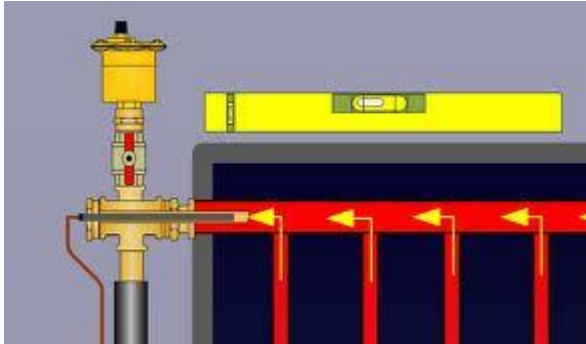
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΒΑΛΒΙΔΑΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ [mm]	15	20	25	32	40
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ [m ²]	50	100	200	350	600

Πίνακας 4.6 Διάμετρος βαλβίδας ασφαλείας

4.8.3 Εξαεριστικό

Όταν υπάρχει απουσία υδατικού διαλύματος, το κύκλωμα των ηλιακών συλλεκτών γεμίζει με αέρα. Κατά την εισαγωγή του υδατικού διαλύματος μεγάλο ποσοστό του αέρα απομακρύνεται από το κύκλωμα μέσω ειδικών οργάνων, τα εξαεριστικά (Σχήμα 4.28).

Τοποθετούνται στο υψηλότερο σημείο του συστήματος ηλιοθερμίας και πρέπει να έχουν αντοχή σε βαθμούς θερμοκρασίας 200 °C.



Σχήμα 4.28 Εξαεριστικό

4.9 Διαφορικός πίνακας ελέγχου

Οι διαφορικοί πίνακες ελέγχου, επιτρέπουν την επαρκή χρήση και τον έλεγχο της λειτουργίας της ηλιοθερμικής εγκατάστασης ή της θέρμανσης. Είναι αρκετά λειτουργικοί και απλοί στη χρήση. Σε κάθε φάση προγραμματισμού τα δεδομένα συνδέονται σε καθορισμένες λειτουργίες ανάλογα με τις ανάγκες του χρήστη. Υπάρχουν διάφορα προεγκατεστημένα προγράμματα, από τα οποία ο χρήστης μπορεί να επιλέξει αυτό που του καλύπτει τις ανάγκες του. Κατά βάση, αποτελούν το βασικό εργαλείο ελέγχου της εγκατάστασης.

Οι διαφορικοί πίνακες ελέγχου καλύπτουν τις διάφορες υδραυλικές και ηλεκτρολογικές συνδέσεις του συστήματος, που περιγράφονται παρακάτω:

- Περιγραφή των γραφημάτων και των κειμένων στην οθόνη.
- Απλός έλεγχος των τρεχουσών μετρήσιμων τιμών.
- Ανάλυση και έλεγχος του συστήματος μέσω στατιστικών γραφημάτων κλπ.
- Το μπλοκ του μενού μπορεί να ενεργοποιηθεί, ώστε να αποφευχθούν ανεπιθύμητες τροποποιήσεις.

4.10 Υγρό μεταφοράς της θερμότητας

Το ηλιοθερμικό σύστημα πρέπει να προστατεύεται από τον παγετό. Για τη δημιουργία μίγματος, από το οποίο αποτελείται το υγρό μεταφοράς της θερμότητας, συνίσταται πάντα η χρήση αντιπαγετικών προσθετικών και αντιδιαβρωτικών μη τοξικών ουσιών.

Η περιεκτικότητα σε προπυλενογλυκόλη πρέπει να ορίζεται με τις ενδείξεις του με τρόπο ώστε να υπάρχει αντιπαγετική ασφάλεια έως τη θερμοκρασία των 10K, θερμοκρασία μικρότερη της μέσης ελάχιστης θερμοκρασίας στην οποία γίνεται ο υπολογισμός σχεδιασμού της εγκατάστασης της θέρμανσης. Για παράδειγμα, εάν η θέρμανση διαστασιοποιείται για μία μέση ελάχιστη θερμοκρασία των -5°C , η περιεκτικότητα σε προπυλενογλυκόλη θα έπρεπε να επαρκεί, ώστε να εγγυάται την

αντιπαγετική προστασία στη θερμοκρασία των -15°C . Το αντιδιαβρωτικό υγρό είναι ήδη αναμειγμένο στις μεγαλύτερες περιπτώσεις της αγοράς με τα αντιπαγετικά υγρά για ηλιοθερμικές εγκαταστάσεις. Παρατίθεται ο Πίνακας 4.6, στον οποίο αναγράφεται τα σημεία ψύξης και βρασμού σε υγρά διαλύματα.

Πίνακας 4.6 Σημεία ψύξης και βρασμού σε υγρά διαλύματα.		
Σε όγκο %	Σημείο ψύξης $^{\circ}\text{C}$	Σημείο βρασμού $^{\circ}\text{C}$
0	0	100
10	-2	100
20	-7	101
30 (33)	-12 (-15)	102
40	-21	103
50	-33	105

4.11 Στάδια σχεδιασμού ηλιοθερμικής εγκατάστασης

Στο σχεδιασμό της ηλιοθερμικής εγκατάστασης περιλαμβάνονται ο διαθέσιμος χώρος στον οποίο θα τοποθετηθούν οι συλλέκτες, η χρήση του κτιρίου (κατοικία ή επαγγελματική χρήση – π.χ. ξενοδοχείο), τα ιστορικά δεδομένα κατανάλωσης του κτιρίου, ενώ για υφιστάμενο κτίριο απαιτείται η καταγραφή της υφιστάμενης λειτουργίας και των υφιστάμενων μηχανολογικών, ηλεκτρολογικών και υδραυλικών εγκαταστάσεων. Με την ορθή λήψη των παραπάνω στοιχείων θα αποφασιστεί το αρχικό μέγεθος και η τυπολογία του ηλιοθερμικού συστήματος για την προς μελέτη ηλιοθερμική εγκατάσταση. Σε κάθε περίπτωση, εκπονείται μηχανολογική μελέτη ενεργειακής απόδοσης του ηλιοθερμικού συστήματος σύμφωνα και με την Ευρωπαϊκή Οδηγία EN12976.

4.11.1 Υπολογισμός Φορτίων

4.11.1.1 Υπολογισμός θερμικών φορτίων για θέρμανση

Ένα ηλιακό σύστημα θέρμανσης καλύπτει ένα ποσοστό του ολικού θερμικού φορτίου και αυτό χαρακτηρίζει και το μέγεθος του. Η απόδοση του ποσοστού κάλυψης κι επομένως του μεγέθους της ηλιοθερμικής εγκατάστασης γίνεται με οικονομικά κριτήρια. Ο υπολογισμός του απαιτούμενου θερμικού φορτίου για θέρμανση σε κατοικία γίνεται με τη μέθοδο των βαθμοημερών (degree days). Το στοιχείο στο οποίο βασίζεται η συγκεκριμένη μέθοδος είναι η διαφορά θερμοκρασίας του χώρου και του εξωτερικού περιβάλλοντος και επομένως στο ποσό ενέργειας που απαιτείται για τη διατήρηση της θερμοκρασιακής άνεσης

Το μηνιαίο φορτίο για την θέρμανση του χώρου είναι ανάλογο του αριθμού των βαθμοημερών για τον συγκεκριμένο τόπο και δίνεται από τον τύπο:

$$L = 24 \cdot (UA)_b \cdot D \cdot f$$

$(UA)_b$: το γινόμενο του ολικού συντελεστή απωλειών του κτιρίου, U , επί την επιφάνεια του κτιρίου, A .

D : ο αριθμός βαθμοημερών του μήνα.

f : συντελεστής εξοικονόμησης ενέργειας.

4.11.1.2 Φορτίο Θέρμανσης Ζεστού Νερού Χρήσης

Για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης απαιτείται ένα ποσό ενέργειας για να αυξηθεί η θερμοκρασία του νερού μέχρι την επιθυμητή θερμοκρασία και να καλυφθούν οι απώλειες του δικτύου διανομής του ζεστού νερού. Το απαιτούμενο ποσό εξαρτάται από το είδος του κτιρίου (κατοικία, ξενοδοχείο κλπ), από το μέγεθος του κτιρίου και από τον τρόπο ζωής όσων χρησιμοποιούν το νερό.

Το φορτίο δίνεται από την σχέση :

$$L_w = N \cdot V_w \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_w - T_m)$$

Όπου,

N : αριθμός ημερών του μήνα.

V_w [L] : μέση ημερησία κατανάλωση ζεστού νερού

T_w [°C]: θερμοκρασία κρύου νερού

ρ [kg/m³]: ειδικό βάρος του νερού

c_p [J/kg °C]: ειδική θερμότητα του νερού

T_m [°C]: θερμοκρασία του κρύου νερού

Θα πρέπει επίσης να συνυπολογιστούν οι μέσες μηνιαίες θερμικές απώλειες του δικτύου διανομής του ζεστού νερού L_δ :

$$L_\delta = N \cdot t \cdot \Sigma (U_d \cdot l_d)$$

Όπου,

t [h]: οι ώρες λειτουργίας του δικτύου την ημέρα

U_d [W/m]: ο συντελεστής θερμικών απωλειών του δικτύου

l_d [m]: το ολικό μήκος του δικτύου

4.11.1.3 Υπολογισμός Φορτίου Κολυμβητηρίων

Στην περίπτωση των κολυμβητηρίων οι θερμικές απώλειες οφείλονται σε: εξάτμιση από την επάνω επιφάνεια, συναγωγή και ακτινοβολία. Στους υπολογισμούς δεν λαμβάνονται υπόψη οι απώλειες προς το έδαφος, οι οποίες είναι πολύ δύσκολο να εκτιμηθούν. Για τις δεξαμενές το θερμικό φορτίο L για έναν μήνα υπολογίζεται :

$$L = A \cdot \{ N \cdot (Q_e + Q_r + Q_c) - 0.8 \cdot H \}$$

όπου

N :ο αριθμός ημερών του μήνα

A :το εμβαδόν της επιφανείας της δεξαμενής

Q_e :οι θερμικές απώλειες λόγω εξάτμισης

Q_r :οι θερμικές απώλειες λόγω ακτινοβολίας

Q_c : οι θερμικές απώλειες λόγω συναγωγής από την ελεύθερη επιφάνεια της δεξαμενής

H : η μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία, η προσπίπτουσα στην επιφάνεια της δεξαμενής

Οι παρακάτω εμπειρικοί τύποι χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των θερμικών απωλειών:

$$Q_r = 5450 + \{ 360 + 2.4 \cdot (T_s + T_a) \} \cdot (T_s - T_a)$$

$$Q_c = (490 + 66 \cdot u) \cdot (T_s - T_a)$$

$$Q_e = f_s \cdot (790 + 530 \cdot u) \cdot (P_s - P_a)$$

με

T_s : η θερμοκρασία της δεξαμενής

T_a : η θερμοκρασία του περιβάλλοντος

U [m/s] : ταχύτητα ανέμου

f_s : ποσοστό χρόνου χωρίς θερμικό κάλυμμα

p_s : πίεση υδρατμών θερμοκρασίας T_s

$$p_s = 70 \cdot \{ \exp(0.053 \cdot T_s - 2) - 0.05 \}$$

p_a : πίεση υδρατμών περιβάλλοντος αέρα

4.11.2 Επιλογή μεγέθους ηλιοθερμικής εγκατάστασης

Μετά τον υπολογισμό των θερμικών φορτίων, επιλέγεται το μέγεθος της ηλιοθερμικής εγκατάστασης. Η κάλυψη των αναγκών είναι το σημαντικότερο στοιχείο στην επιλογή του μεγέθους. Αναφερόμαστε σε μικρή κάλυψη όταν το ποσοστό είναι 10 – 30% της κάλυψης των ενεργειακών απαιτήσεων από το ηλιοθερμικό σύστημα, σε μεσαία κάλυψη όταν το ποσοστό είναι 30 – 50% και σε μεγάλη κάλυψη όταν το ποσοστό

αυτό είναι μεγαλύτερο από 60%. Η πιο συνήθης κάλυψη είναι η μεσαία, η οποία ταυτόχρονα αποτελεί και την πιο προσοδοφόρα επένδυση. Η επιλογή του ηλιοθερμικού συστήματος γίνεται ανάλογα με το αν απαιτείται μόνο παραγωγή ζεστού νερού χρήσης ή παραγωγή ζεστού νερού χρήσης και υποστήριξη στη θέρμανση. Με τη βοήθεια της τεχνολογίας και ειδικά προγραμμάτων προσημείωσης, για μία εγκατάσταση σε ιδανικές συνθήκες τοποθέτησης (νότος, κλίση $\approx 30^\circ$) ενδεικτικά είναι δυνατή η χρήση των παρακάτω υπολογιστικών Πινάκων 4.7 και 4.8 :

Πίνακας 4.7 Μόνο παραγωγή ζεστού νερού χρήσης	
ΜΟΝΟ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΖΕΣΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΧΡΗΣΗΣ	
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ	0,5-0,8m ² ανά άτομο
ΔΟΧΕΙΟ (Boiler)	60-70lt/m ² επιφάνειας συλλέκτη

Πίνακας 4.8 Παραγωγή ζεστού νερού χρήσης και νερού θέρμανσης	
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΖΕΣΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΧΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΝΕΡΟΥ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ	
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ	1,5-2,0m ² / MWh ετήσιας θέρμανσης κτιρίου
ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΗΣ (Boiler)	60-100lt/m ² συλλέκτη

4.11.3 Η Μέθοδος Σχεδιασμού Ηλιακών Συστημάτων καμπυλών f

Η μέθοδος των καμπυλών f είναι η πιο γνωστή προσεγγιστική μέθοδος υπολογισμού, η οποία αναπτύχθηκε από τους Αμερικανούς S.Klein, W.Beckman και J.Duffie του πανεπιστημίου του Wisconsin. Εφαρμόζεται σε τρεις κατηγορίες ηλιοθερμικών συστημάτων ανοιχτού ή κλειστού κυκλώματος:

- α) παραγωγής ζεστού νερού χρήσης
- β) θέρμανσης χώρων και
- γ) παραγωγής ζεστού νερού και θέρμανσης χώρων

Η μέθοδος αυτή στηρίχθηκε σε προσομοιώσεις ηλιακών συστημάτων για ένα μεγάλο εύρος διαστάσεων και στον προσδιορισμό των σημαντικότερων αδιάστατων μεταβλητών των ηλιακών συστημάτων. Μόλις υπολογιστεί το f μπορεί να καθοριστεί, το ποσό ανανεώσιμης ενέργειας που αντικαθιστά τη συμβατική ενέργεια για τη θέρμανση νερού. Η μέθοδος επιτρέπει τον υπολογισμό του μηνιαίου ποσού ενέργειας που δίδεται από τα συστήματα ζεστού νερού με αποθήκευση, λαμβάνοντας υπόψη τις μηνιαίες τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας, της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος και του φορτίου. Απαιτούνται μηνιαία μετεωρολογικά δεδομένα και σε συνδυασμό με στοιχεία κόστους μπορούν να δώσουν την θερμική συμπεριφορά του συστήματος.

Η βασική εξίσωση είναι το θερμικό ισοζύγιο ενός ηλιακού συστήματος, το οποίο, για περίοδο ενός μηνός, γράφεται ως:

$$Q - L + E = \Delta U$$

Όπου,

Q : η ολική, χρήσιμη ηλιακή ενέργεια που αποδόθηκε κατά την διάρκεια του μήνα

L : οι συνολικές θερμικές απώλειες κατά την διάρκεια του μήνα.

E : η συνολική ποσότητα θερμότητας που δόθηκε από το βοηθητικό σύστημα κατά την διάρκεια του μήνα.

ΔU η μεταβολή της ενέργειας στην αποθηκευτική μονάδα.

Η μεταβολή της ενέργειας στην αποθηκευτική μονάδα είναι συνήθως μικρή, και λαμβάνεται ίση με μηδέν για την περίπτωση που εξετάζουμε, άρα $\Delta U = 0$.

Το ποσοστό f έχει συσχετιστεί με τους αδιάστατους συντελεστές X και Y , που εκφράζουν, ο πρώτος, τις απώλειες ως προς το θερμικό φορτίο, και ο δεύτερος, την απορροφούμενη ηλιακή ακτινοβολία ως προς το φορτίο:

$$X = \frac{A_c \cdot F_R' \cdot U_L \cdot (T_{ref} - T_{αέρα}) \cdot \Delta\tau}{L}$$

$$Y = \frac{A_c \cdot F_R' \cdot (\tau_a) \cdot H \cdot N}{L}$$

Όπου,

A_c [m^2]: το εμβαδόν επιφάνειας του συλλέκτη

F_R : είναι ο τροποποιημένος συντελεστής απωλειών θερμότητας συλλεκτών

U_L : είναι ο συνολικός συντελεστής θερμικών απωλειών των συλλεκτών

T_{ref} [$^{\circ}C$]: είναι μια εμπειρική θερμοκρασία αναφοράς ίση με $100^{\circ}C$

$T_{αέρα}$ [$^{\circ}C$]: θερμοκρασία αέρα

(τ_a) : είναι η μέση μηνιαία θερμοκρασία περιβάλλοντος

$\Delta\tau$: είναι ο αριθμός δευτερολέπτων μέσα στο μήνα

L [J]: είναι το μηνιαίο συνολικό φορτίο θέρμανσης

H [J/m^2]: είναι η μηνιαία, μέση ημερήσια ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει στο επίπεδο συλλογής

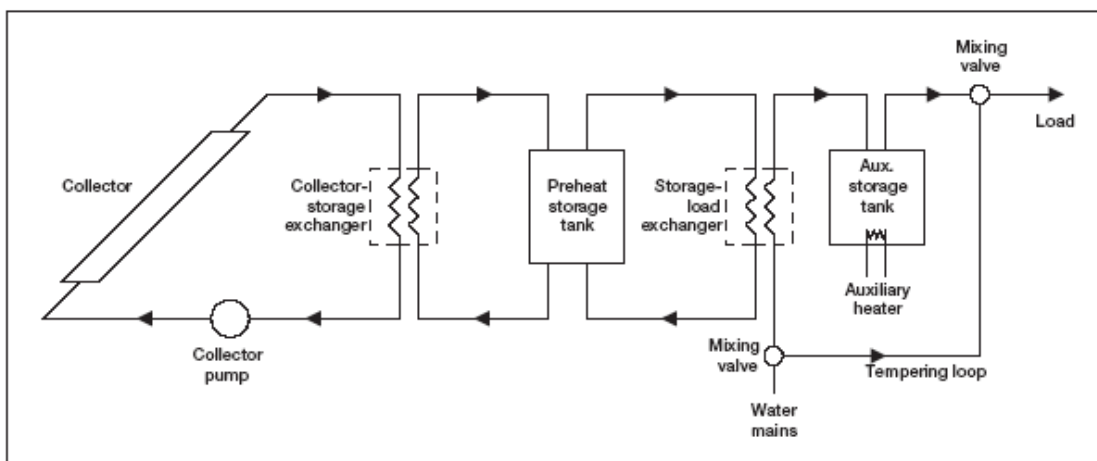
N : είναι ο αριθμός ημερών το μήνα

Η μέθοδος αυτή στηρίχτηκε σε προσομοιώσεις ηλιακών συστημάτων για ένα μεγάλο εύρος διαστάσεων και στον προσδιορισμό των σημαντικότερων αδιάστατων μεταβλητών των ηλιακών συστημάτων. Ισχύει για συστήματα νερού ή αέρα, και για θέρμανση χώρων ή/και νερού. Απαιτούνται μηνιαία μετεωρολογικά δεδομένα και σε συνδυασμό με στοιχεία κόστους μπορούν να δώσουν την θερμική συμπεριφορά του συστήματος.

Το $F_{R'}$ είναι ένας συντελεστής αποκόμισης θερμότητας του συλλέκτη (Σχήμα 4.29 για ένα διάγραμμα του συστήματος). Ο λόγος $F_{R'}/F_R$ είναι ο διορθωτικός συντελεστής συλλέκτη-εναλλάκτη, που δείχνει την ωφέλιμη ισχύ σαν ποσοστό αν δεν παρεμβαλλόταν ο εναλλάκτης.

$$\frac{F_{R'}}{F_R} = \left[1 + \left(\frac{A_c \cdot F_R \cdot U_L}{(\dot{m} \cdot C_p)_c} \right) \cdot \left(\frac{(\dot{m} \cdot C_p)_c}{\varepsilon \cdot (\dot{m} \cdot C_p)_{\min}} - 1 \right) \right]^{-1}$$

Όπου το \dot{m} είναι ο αριθμός ροής και το C_p είναι η ειδική θερμότητα του νερού.



Σχήμα 4.29 Διάγραμμα ενός οικιακού ηλιακού συστήματος ζεστού νερού .

Εάν δεν υπάρχει κανένας εναλλάκτης θερμότητας, το $F_{R'}$ είναι ίσο με F_R . Εάν υπάρχει ένας εναλλάκτης θερμότητας, το μοντέλο υποθέτει ότι ο ρυθμός ροής και από τις δύο πλευρές του εναλλάκτη θερμότητας είναι ίδιος. Η ειδική θερμότητα του νερού είναι $4,2 \text{ (kJ/kg)/}^\circ\text{C}$, και αυτό της γλυκόλης ορίζεται $3,85 \text{ (kJ/kg)/}^\circ\text{C}$. Τελικά το πρόγραμμα υποθέτει ότι η αναλογία A_c/\dot{m} είναι ίση με $140 \text{ m}^2 \cdot \text{s/kg}$. Αυτή η τιμή προκύπτει από θερμοδυναμικά τεστ των συλλεκτών (περιοχή συλλογής $2,97 \text{ m}^2$, ρυθμός ροής δοκιμής 0.0214 kg/s)

Το X πρέπει να διορθωθεί και για το μέγεθος αποθήκευσης και για τη θερμοκρασία κρύου νερού. Η μέθοδος διαγραμμάτων f αναπτύχθηκε για μια τυποποιημένη ικανότητα αποθήκευσης 75 lt του αποθηκευμένου νερού ανά τετραγωνικό μέτρο της περιοχής συλλεκτών. Για άλλες ικανότητες χωρητικότητας το X πρέπει να πολλαπλασιαστεί με έναν παράγοντα διορθώσεων X_c/X , ο οποίος ορίζεται από :

$$\frac{X_c}{X} = \left(\frac{\text{Πραγματική ικανότητα αποθήκευσης}}{\text{τυποποιημένη ικανότητα αποθήκευσης}} \right)^{-0,25}$$

Αυτή η εξίσωση ισχύει για τις αναλογίες των πραγματικών και τυποποιημένων ικανοτήτων αποθήκευσης μεταξύ 0,5 και 4. Τέλος, για να λογαριάσουμε τη διακύμανση της θερμοκρασίας του νερού ανεφοδιασμού (κεντρικοί αγωγοί) T_m και της ελάχιστης αποδεκτής θερμοκρασίας ζεστού νερού T_w , μεγέθη τα οποία έχουν μια επιρροή στην απόδοση του ηλιακού συστήματος και τα δυο, το X πρέπει να πολλαπλασιαστεί με έναν παράγοντα διορθώσεων X_{cc}/X και μπορεί να καθοριστεί από:

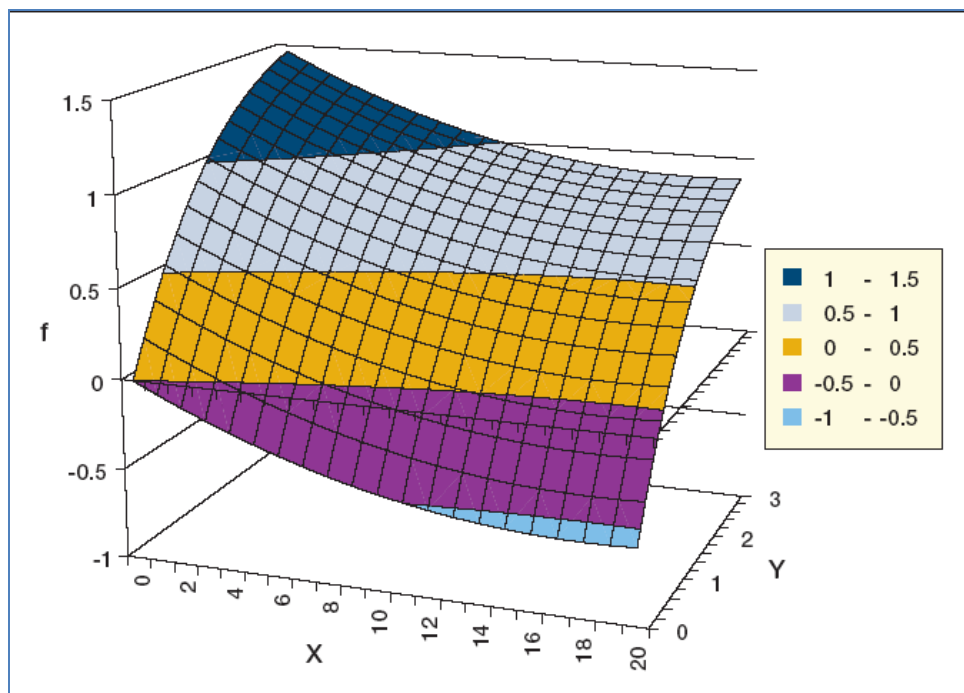
$$\frac{X_{cc}}{X} = \left(\frac{11,6 + 1,18T_w + 3,86T_m - 2,32 \cdot T_a}{100 - T_a} \right)$$

όπου το T_a είναι η μέση μηνιαία θερμοκρασία περιβάλλοντος .

Το ποσοστό f του μηνιαίου συνολικού φορτίου που παρέχεται από το ηλιακό σύστημα θέρμανσης νερού δίνεται ως συνάρτηση του X και του Y :

$$f = 1.029Y - 0.065X - 0.245Y^2 + 0.0018X^2 + 0.0215Y^3$$

Υπάρχουν μερικοί περιορισμοί προκειμένου να ισχύει αυτός ο τύπος . Εντούτοις όπως φαίνεται στο σχήμα 4.30, η επιφάνεια που περιγράφεται από την παραπάνω σχέση είναι αρκετά ομαλή, έτσι η επέκταση εφαρμογής της δεν είναι πρόβλημα και για άλλες τιμές. Εάν ο τύπος μας δώσει μια τιμή του f λιγότερο από 0, χρησιμοποιείται μια τιμή 0,εάν το f είναι μεγαλύτερο από 1, χρησιμοποιείται η τιμή 1.

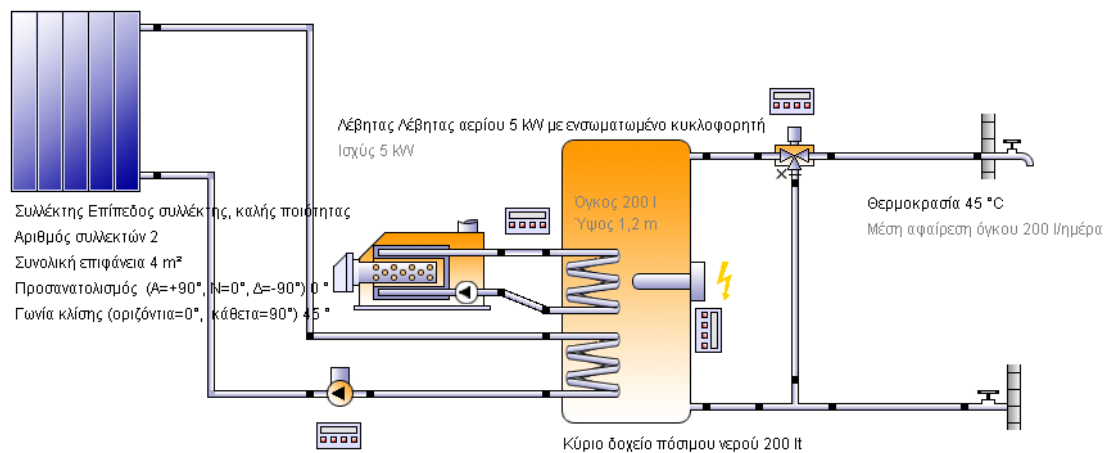


Σχήμα 4.30 Διάγραμμα-f. Συσχετισμός

4.12 Εφαρμογές Ηλιοθερμικών Συστημάτων

4.12.1 Ηλιοθερμική εγκατάσταση για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης σε κατοικία

Στον πιο απλό σχεδιασμό του ένα τέτοιο σύστημα (Σχήμα 4.31) αποτελείται από ένα συσσωρευτή ενέργειας (συνήθως 160 - 200lt), στον οποίο η προσδιδόμενη βοηθητική ενέργεια προέρχεται από λέβητα 5 kW αερίου με ενσωματωμένο κυκλοφορητή και μία ηλεκτρική αντίσταση 4 kW. Υπάρχει δυνατότητα για διάφορους συνδυασμούς, όπως για παράδειγμα η τοποθέτηση και δεύτερου συσσωρευτή ενέργειας, όπου στον πρώτο γίνεται η προθέρμανση του νερού από τον εναλλάκτη του συστήματος των ηλιακών συλλεκτών και στο δεύτερο επιτυγχάνεται η τελική θερμοκρασία. Σε αυτές τις περιπτώσεις είναι προφανές πως η βοηθητική ενέργεια προσδίδεται στο δεύτερο συσσωρευτή. Τέτοιες περιπτώσεις προτείνονται συνήθως για μεγάλες καταναλώσεις. Άλλη μία παραλλαγή είναι η τοποθέτηση ενός συσσωρευτή δοχείο σε δοχείο (tank in tank). Το νερό της «εξωτερικής δεξαμενής» θερμαίνεται από τον εναλλάκτη του κυκλώματος των ηλιακών συλλεκτών και τη βοηθητική ενέργεια. Το νερό στην «εσωτερική δεξαμενή» θερμαίνεται μέσω του φαινομένου της αγωγιμότητας και της μετάβασης. Λόγω του μικρού όγκου θερμαίνεται πολύ γρήγορα και οδηγείται στην κατανάλωση. Σε όλες τις περιπτώσεις η βοηθητική ενέργεια μπορεί να καλυφθεί από διάφορες πηγές ενέργειας, όπως έχουν αναφερθεί σε προηγούμενες ενότητες της παρούσας εργασίας.



Σχήμα 4.31 Ηλιοθερμική εγκατάσταση για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης σε κατοικία

Ένα τέτοιο ηλιοθερμικό σύστημα παραγωγής ζεστού νερού χρήσης με κλειστό κύκλωμα βεβιασμένης κυκλοφορίας και ένα συσσωρευτή ενέργειας περιλαμβάνει τρία κυκλώματα νερού:

- Κλειστό κύκλωμα ηλιακών συλλεκτών

Αποτελείται από τους συλλέκτες, τον κυκλοφορητή και τον εναλλάκτη θερμότητας, που βρίσκεται μέσα στο συσσωρευτή ενέργειας (εσωτερικός). Στο κύκλωμα κυκλοφορεί το υδατικό διάλυμα προπυλενογλυκόλης. Τρεις αισθητήρες θερμοκρασίας, που καταλήγουν σε ένα διαφορικό θερμοστάτη του ηλεκτρικού πίνακα

ελέγχου (controller) καθορίζουν τη λειτουργία του. Ο ένας αισθητήρας τοποθετείται στο πάνω μέρος του τελευταίου συλλέκτη. Ένας δεύτερος τοποθετείται στο κάτω μέρος του συσσωρευτή και ο τρίτος τοποθετείται στο πάνω δεξιό μέρος του.

Το κύκλωμα περιλαμβάνει επίσης: α) μία ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα, που παραμένει ανοιχτή κατά τη λειτουργία του κυκλοφορητή και κλείνει το κύκλωμα όταν αυτός σταματήσει. β) τα απαραίτητα όργανα ασφαλείας, δηλαδή το δοχείο διαστολής, η βαλβίδα ασφαλείας και το αυτόματο εξαεριστικό. γ) τη βαλβίδα αντεπιστροφής, που αποκλείει την αντιστροφή της ροής κατά τη διάρκεια της νύχτας. δ) τις απαραίτητες βάνες που τοποθετούνται πριν και μετά τα διάφορα μέρη του κυκλώματος για την εύκολη αποσύνδεση και επανασύνδεσή τους. ε) τα διάφορα όργανα (μανόμετρο, θερμόμετρο κ.λπ.).

Ο διαφορικός θερμοστάτης, όταν η θερμοκρασία του νερού στον τελευταίο συλλέκτη t_c είναι μεγαλύτερη κατά 8-10 °C από τη θερμοκρασία στο κάτω μέρος της δεξαμενής $t_{σκ}$ ($t_c - t_{σκ} = 8-10$ °C), θέτει σε λειτουργία τον κυκλοφορητή. Ο κυκλοφορητής διακόπτεται να λειτουργεί όταν $t_c - t_{σκ} = 2-3$ °C ή $t_{σα} > 85 - 95$ °C, όπου $t_{σα}$ είναι η θερμοκρασία του νερού στο πάνω δεξιό μέρος του συσσωρευτή.

- Κλειστό κύκλωμα λέβητα

Ο ρόλος του λέβητα ζεστού νερού, είναι να εξασφαλίζει τη συμπληρωματική κάλυψη των αναγκών σε δυσμενείς συνθήκες (π.χ. περίοδοι συννεφιάς). Όταν δεν λειτουργεί (π.χ. θερινή περίοδος) μία ηλεκτρική αντίσταση τοποθετημένη στο εσωτερικό του συσσωρευτή, αναλαμβάνει το ρόλο της βοηθητικής ενέργειας.

Αποτελείται από το λέβητα, τον κυκλοφορητή και τον εναλλάκτη θερμότητας, που βρίσκεται στο εσωτερικό του συσσωρευτή (εσωτερικός). Στο κύκλωμα κυκλοφορεί νερό και η λειτουργία του κυκλοφορητή καθορίζεται από δύο αισθητήρες που καταλήγουν σε ένα διαφορικό θερμοστάτη του ηλεκτρικού πίνακα ελέγχου (controller). Οι αισθητήρες είναι τοποθετημένοι στην είσοδο και στην έξοδο του εναλλάκτη θερμότητας.

Η έναρξη λειτουργίας του κυκλοφορητή γίνεται μόλις η θερμοκρασία του νερού στο κάτω μέρος του συσσωρευτή $t_{δκ}$ είναι κατώτερη της αναμενόμενης. Ο κυκλοφορητής δε λειτουργεί όταν ο λέβητας είναι σε κατάσταση παύσεως ή όταν η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εισόδου t_i και εξόδου t_e του νερού του εναλλάκτη είναι μικρότερη από 3 °C ($t_i - t_e < 3$ °C). Όταν ο λέβητας είναι σε κατάσταση παύσεως και η θερμοκρασία νερού στο πάνω δεξιό μέρος του συσσωρευτή είναι $t_{δδ}$ είναι κατώτερη της αναμενόμενης, λειτουργεί η ηλεκτρική αντίσταση για να ανεβεί η θερμοκρασία του νερού στο επιθυμητό επίπεδο.

Το κύκλωμα περιλαμβάνει επίσης:

α) μία ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα, που παραμένει ανοιχτή κατά τη λειτουργία του κυκλοφορητή και κλείνει το κύκλωμα όταν αυτός σταματήσει.

β) τα απαραίτητα όργανα ασφαλείας, δηλαδή το δοχείο διαστολής, η βαλβίδα ασφαλείας και το αυτόματο εξαεριστικό.

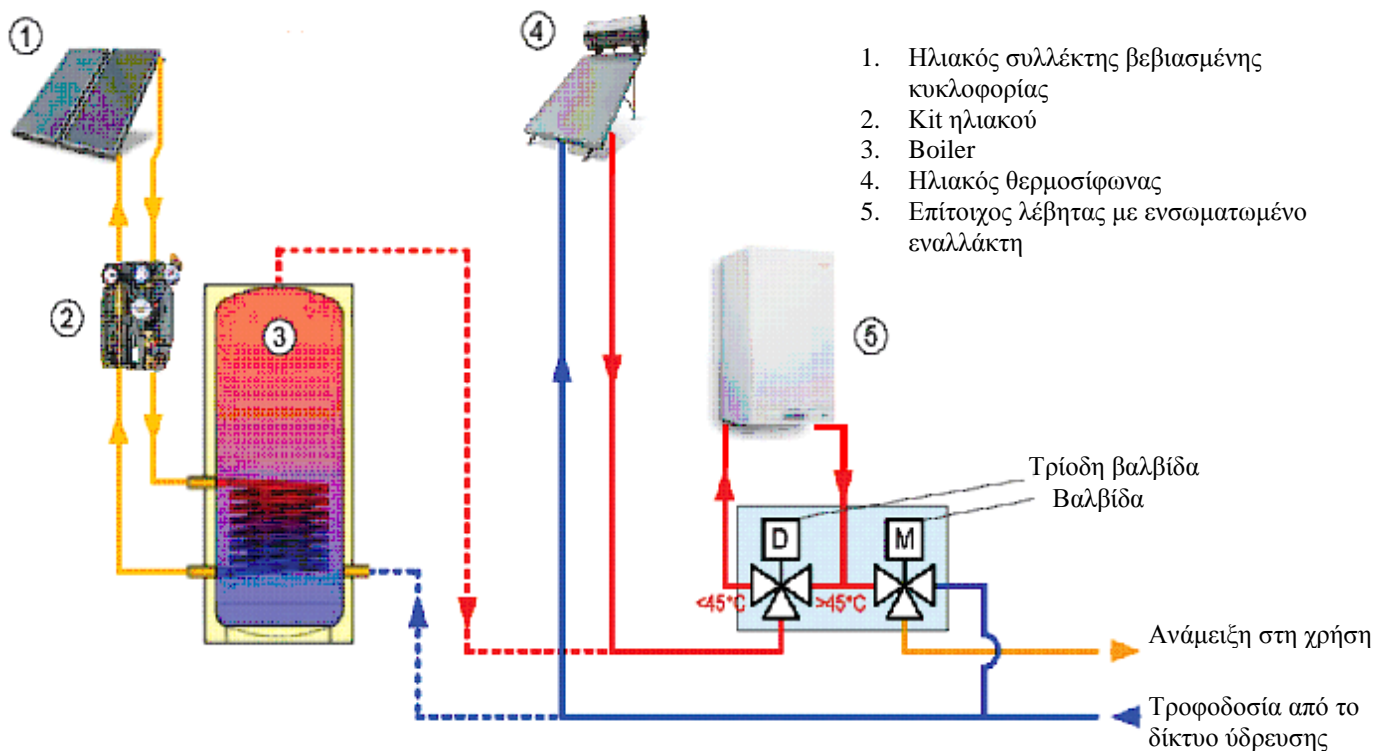
γ) τις απαραίτητες βάνες που τοποθετούνται πριν και μετά τα διάφορα μέρη του κυκλώματος για την εύκολη αποσύνδεση και επανασύνδεσή τους. ε) τα διάφορα όργανα (μανόμετρο, θερμόμετρο κ.λπ.).

- Ανοιχτό κύκλωμα ζεστού νερού χρήσης

Το κύκλωμα τίθεται σε λειτουργία μέσω ωρολογιακού μηχανισμού, που υπάρχει στον ηλεκτρικό πίνακα ελέγχου και περιλαμβάνει τον κυκλοφορητή, τη βαλβίδα ασφαλείας και τη θερμοστατική βαλβίδα ανάμειξης. Η βαλβίδα αναμειγνύει το ζεστό νερό του συσσωρευτή με το κρύο νερό του δικτύου, καθορίζοντας έτσι μία επιθυμητή θερμοκρασία (45 -55 °C περίπου) στις καταναλώσεις ζεστού νερού.

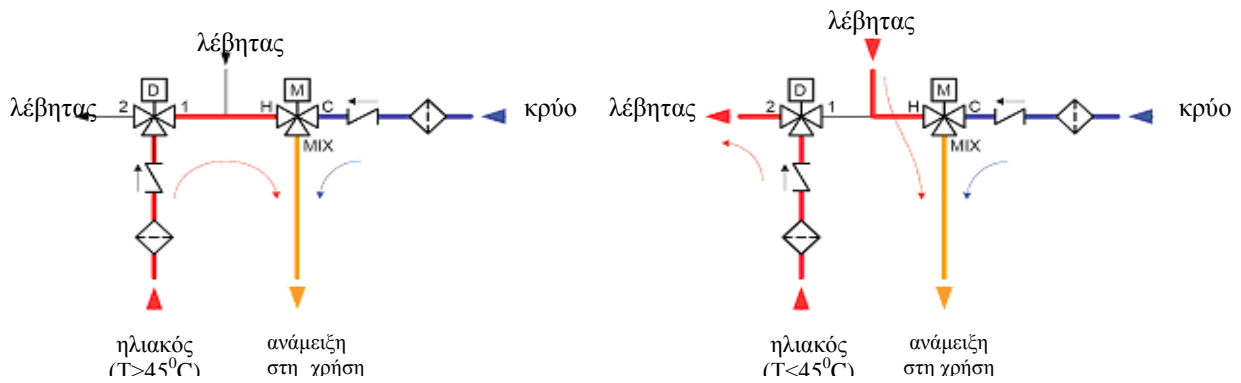
Τέλος, το ηλιοθερμικό σύστημα περιλαμβάνει ακόμη το δίκτυο παροχής κρύου νερού, που τροφοδοτεί το κάτω μέρος του συσσωρευτή ενέργειας και τις καταναλώσεις, δοχείο διαστολής, βαλβίδα αντεπιστροφής, αυτόματο πλήρωσης και μανόμετρο.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, υπάρχουν διάφοροι συνδυασμοί στα ηλιοθερμικά συστήματα. Ένα τέτοιο σύστημα όπως παραπάνω, μπορεί να συνδυαστεί με τους ηλεκτρικούς θερμοσίφωνες (Σχήμα 4.32) σε μία πολυκατοικία, αρκεί να εξαιρεθεί το σύστημα της βοηθητικής ενέργειας στο σύστημα του συσσωρευτή ενέργειας.




Σχήμα 4.12


Σχήμα 4.32 Σύστημα συνδυαζόμενο με ηλεκτρικό θερμοσίφωνα



Τρίοδη θερμοστατική βαλβίδα σταθερής ρύθμισης: έξοδος προς τη θύρα, εάν η θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη των 45°C. Ποος τη θύρα 2 εάν είναι μικρότερη των 45°C.

Θερμοστατική βαλβίδα ανάμειξης ρυθμιζόμενη από 35°C έως 65°C: είσοδος H ζεστού νερού από το ρακόρ. Είσοδος C κρύου νερού από το δίκτυο νερού. Έξοδος MIX ζεστού νερού ανάμειξης προς τη χρήση.

 Αντεπίστροφη βαλβίδα ηλιακού

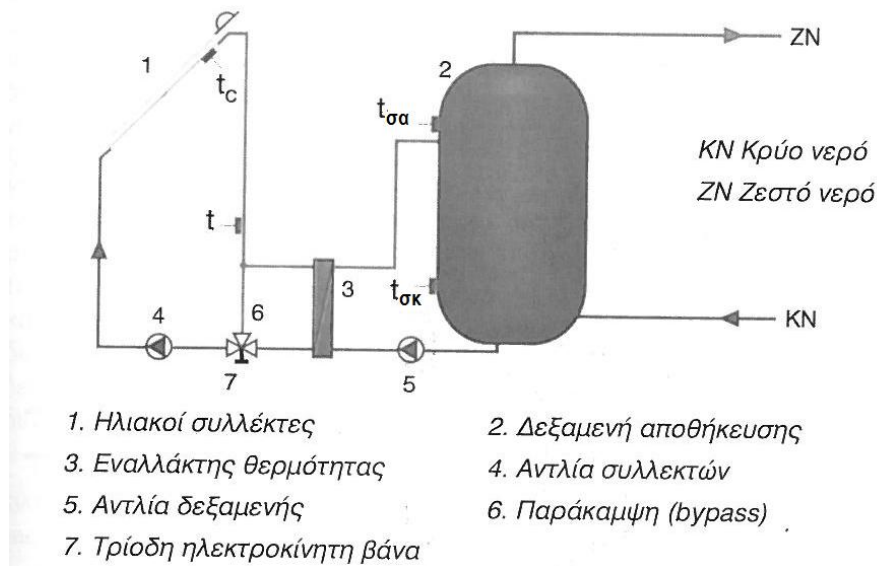
 Φίλτρο

Σχήμα 4.33 Λειτουργία με θερμοκρασία του συσσωρευτή ηλιακών μεγαλύτερη των 45°C

Σχήμα 4.34 Λειτουργία με θερμοκρασία συσσωρευτή ηλιακών μικρότερη των 45°C

Στα ηλιοθερμικά συστήματα παραγωγής ζεστού νερού χρήσης με κλειστό κύκλωμα βεβιασμένης κυκλοφορίας και εξωτερικό εναλλάκτη θερμότητας, η κυκλοφορία του νερού στο κύκλωμα εναλλάκτη – συσσωρευτή ενέργειας, γίνεται με τη βοήθεια κυκλοφορητή. Ο κυκλοφορητής τίθεται σε λειτουργία, όταν η θερμοκρασία t του υδατικού διαλύματος του κυκλώματος των ηλιακών συλλεκτών (πριν τον εναλλάκτη) είναι μεγαλύτερη κατά 5 °C από τη θερμοκρασία του νερού $t_{σκ}$ στο κάτω μέρος του συσσωρευτή, δηλαδή όταν $t - t_{σκ} = 5 \text{ } ^\circ\text{C}$. Είναι απαραίτητο και ο κυκλοφορητής του κυκλώματος των ηλιακών συλλεκτών να βρίσκεται σε λειτουργία.

Η προϋπόθεση αυτή είναι σημαντική γιατί αν η θερμοκρασία t μετρηθεί στο εσωτερικό ενός κτιρίου με πολύ υψηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος, η ένδειξη δε θα είναι σωστή. Αν συμβεί αυτό, μπορεί να λειτουργεί ο κυκλοφορητής του συσσωρευτή και όχι αυτός των ηλιακών συλλεκτών. Η λειτουργία του κυκλοφορητή του συσσωρευτή διακόπτεται όταν $t - t_{σκ} < 3 \text{ } ^\circ\text{C}$.

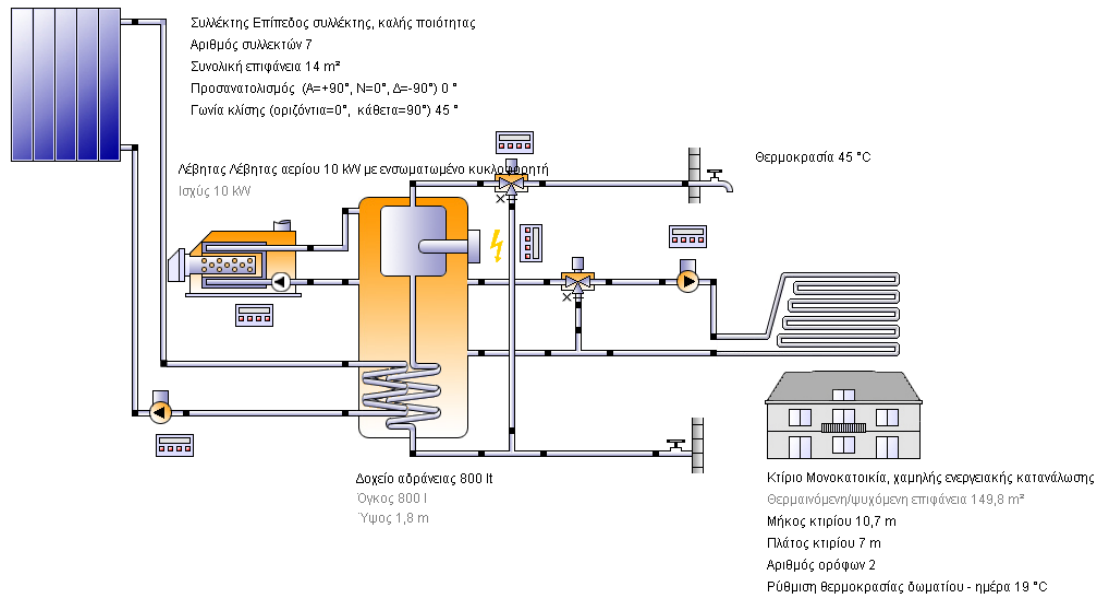


Σχήμα 4.35 Ηλιοθερμικό σύστημα παραγωγής ζεστού νερού χρήσης με κλειστό κύκλωμα βεβιασμένης κυκλοφορίας και εξωτερικό εναλλάκτη θερμότητας

Όταν τα συστήματα αυτά εγκαθίστανται σε περιοχές με δυσμενείς χειμερινές συνθήκες, προβλέπεται μία παράκαμψη (bypass) στο κύκλωμα των ηλιακών συλλεκτών. Όσο η θερμοκρασία t του υδατικού διαλύματος του κυκλώματος των συλλεκτών (πριν τον εναλλάκτη) είναι μικρότερη από $3\text{ }^{\circ}\text{C}$, η παράκαμψη παραμένει στον εναλλάκτη θερμότητας. Έτσι, το νερό του συσσωρευτή που υπάρχει στον εναλλάκτη δεν παγώνει κι έτσι αποφεύγονται σοβαρές ζημιές.

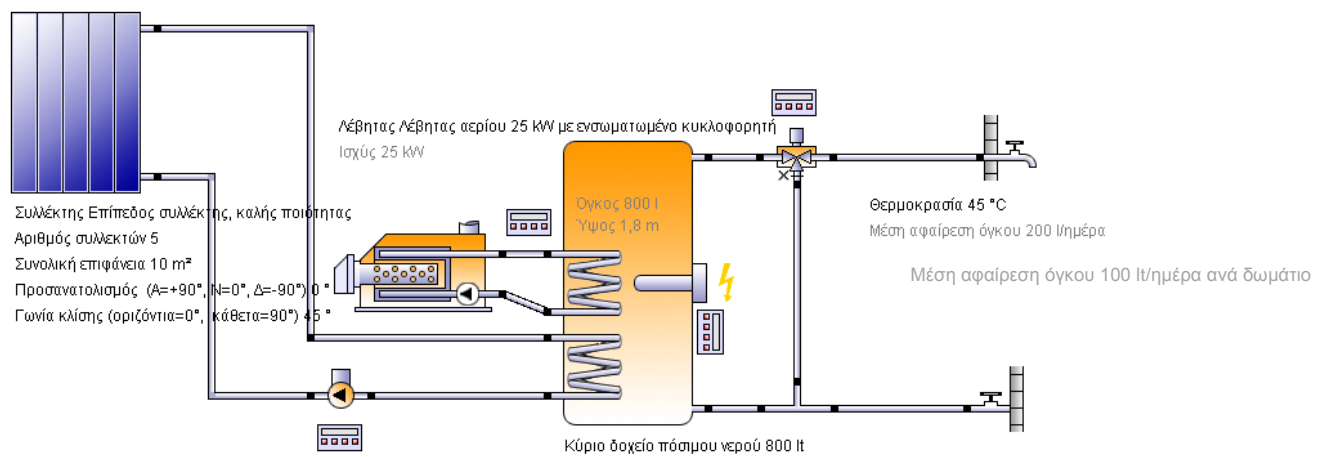
4.12.2 Ηλιοθερμική εγκατάσταση για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης και ηλιακή θέρμανση σε κατοικία (Σύστημα combi)

Τα ηλιοθερμικά συστήματα παραγωγής ζεστού νερού και θέρμανσης χώρων (Συστήματα combi - Σχήμα 4.36), συνδυάζονται με συστήματα διανομής της θερμικής ενέργειας χαμηλών θερμοκρασιών, επειδή το εργαζόμενο μέσο (νερό ή αέρας) θερμαίνεται σε θερμοκρασίες $50 - 60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Έτσι, ο καλύτερος συνδυασμός γίνεται με το ενδοδαπέδιο σύστημα θέρμανσης, τις τοπικές κλιματιστικές συσκευές (Fan coil units σε περίπτωση που συνδυάζεται και κλιματισμός) και τις κεντρικές κλιματιστικές μονάδες. Ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν κάθε στιγμή, το σύστημα αυτοματισμού της εγκατάστασης εξασφαλίζει τη σωστή εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας. Έτσι, αν υπάρχει διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια η κάλυψη των θερμικών αναγκών γίνεται απευθείας από τους ηλιακούς συλλέκτες. Σε περίπτωση που υπάρχει διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια αλλά δεν υπάρχουν θερμικές ανάγκες, η διαθέσιμη ενέργεια προστίθεται στο συσσωρευτή ενέργειας. Αν υπάρχει μόνο αποθηκευμένη ενέργεια, η κάλυψη των θερμικών αναγκών γίνεται απευθείας από το συσσωρευτή ενέργειας. Τέλος, αν δεν υπάρχει ούτε αποθηκευμένη ενέργεια, η κάλυψη των θερμικών αναγκών γίνεται από τη βοηθητική συμβατική πηγή ενέργειας. Στο επόμενο κεφάλαιο της παρούσης εργασίας θα επεξηγηθεί αναλυτικά και σχηματικά ο τρόπος λειτουργίας ενός συστήματος combi.

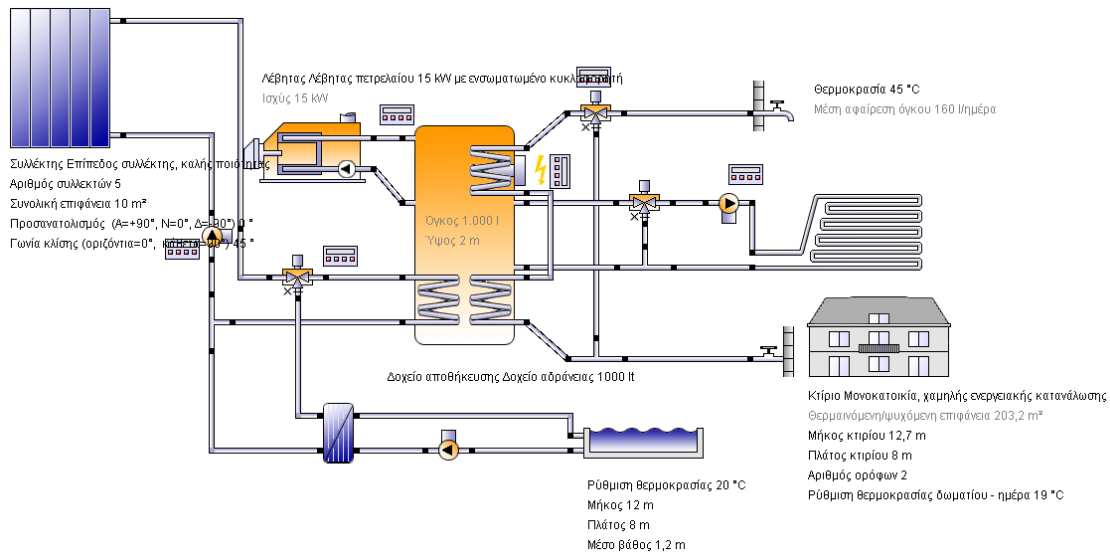


Σχήμα 4.36 Σύστημα combi

Στις παρακάτω εικόνες, ακολουθούν διάφορες εφαρμογές ηλιοθερμικών συστημάτων τόσο για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης όσο και για υποβοήθηση στη θέρμανση.



Σχήμα 4.37 Ηλιοθερμική εγκατάσταση για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης σε μικρές ξενοδοχειακές μονάδες 10-16 κλινών



Σχήμα 4.38 Ηλιοθερμική εγκατάσταση για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης, υποβοήθηση στη θέρμανση και θέρμανση πισίνας σε κατοικία

Στις παραπάνω περιπτώσεις λαμβάνονται και τα επιμέρους δεδομένα. Στην περίπτωση της κατοικίας λαμβάνεται υπόψη η ύπαρξη πισίνας, η διαθεσιμότητα εγκατάστασης ενεργειακού τζακιού και το είδος του συμβατικού καυσίμου που χρησιμοποιείται. Η ηλιακή θέρμανση στο γενικό κανόνα εφαρμόζεται με καλύτερη απόδοση σε κατοικίες με καλή θερμομόνωση και με συστήματα θέρμανσης χαμηλών θερμοκρασιών. Σε ένα ξενοδοχείο λαμβάνονται υπόψη οι πληρότητες (μέση και μέγιστη), η εποχικότητα και οι όποιες μηχανολογικές εγκαταστάσεις.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΗΛΙΟΘΕΡΜΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ COMBI

5.1 Στόχος

Η παρούσα διπλωματική πραγματεύεται την ενεργειακή συμπεριφορά ενός ηλιοθερμικού συστήματος με συσσωρευτή ενέργειας για να καλύψει τις ανάγκες μίας κατοικίας (μεζονέτας) που βρίσκεται στην περιοχή της Αθήνας. Η κατοικία βρίσκεται σε στάδιο ανακαίνισης και μελετάται πρόταση αντικατάστασης του υφιστάμενου συστήματος θέρμανσης με σύστημα ηλιοθερμίας, για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης και υποβοήθηση στη θέρμανση η οποία αποτελείται από σύστημα ενδοδαπέδιας.

5.2 Περιγραφή και συλλογή δεδομένων υφιστάμενου συστήματος

Το προς μελέτη κτίριο βρίσκεται στην περιοχή του Παπάγου - Αθήνα. Το εμβαδόν του κτιρίου είναι 121,2 m². Το παρόν κτίριο καλύπτει τις ανάγκες κατανάλωσης σε θέρμανση από ένα λέβητα πετρελαίου, ισχύος 25 kW και η θερμαινόμενη επιφάνεια καλύπτεται από 8 θερμαντικά σώματα.

Η ενέργεια που απαιτείται για τις ανάγκες της θέρμανσης υπολογίζεται από τη σχέση:

$$Q = A \cdot h \cdot \zeta$$

Όπου,

$$A = 121,2 \text{ m}^2$$

$$h = 3 \text{ m}$$

$$\zeta = 45 \text{ Συντελεστής ταυτοχρονισμού θερμικών αναγκών αερισμού}$$

$$\text{Επομένως, } Q = 16200 \text{ Kcal} \rightarrow Q = 16200/860 = \underline{18,83 \text{ kW}}$$

Η κατανάλωση σε ζεστό νερό χρήσης καλύπτεται από έναν ηλεκτρικό θερμοσίφωνα αντίστασης 3,5 kW. Η κατοικία φιλοξενεί τετραμελή οικογένεια. Λαμβάνεται σαν μέγιστη κατανάλωση ζεστού νερού τα 50 lt/άτομο. Η ενέργεια που καταναλίσκεται υπολογίζεται από τη σχέση:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t$$

Όπου,

$$m = 50 \text{ lt} \cdot 4 \text{ μέλη} = 200 \text{ lt}$$

$c = 1 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{rad}^{-1}$ η ειδική θερμοχωρητικότητα του νερού

$$\Delta t = \text{εξωτερική θερμοκρασία κτιρίου} - \text{εσωτερική θερμοκρασία κτιρίου} = 35 \text{ }^\circ\text{C} - 20 \text{ }^\circ\text{C} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{Επομένως } Q = 200 \cdot 1 \cdot 15 = 3000 \text{ kcal} \rightarrow Q = 3000/860 = 3,48 \text{ kW} = \underline{3,5 \text{ kW}}$$

$$\text{Η συνολική κατανάλωση ενέργειας, είναι } Q = 18,83 \text{ kW} + 3,5 \text{ kW} = \underline{22,33 \text{ kW}}$$

Επομένως ο λέβητας πετρελαίου ισχύος 25 kW ικανοποιεί την ζήτηση στο ολικό φορτίο.

Η ετήσια κατανάλωση πετρελαίου υπολογίσθηκε ως:

Ώρες/ημέρα	Θερμοκρασία	Κατανάλωση
8	20 °	2000 lt

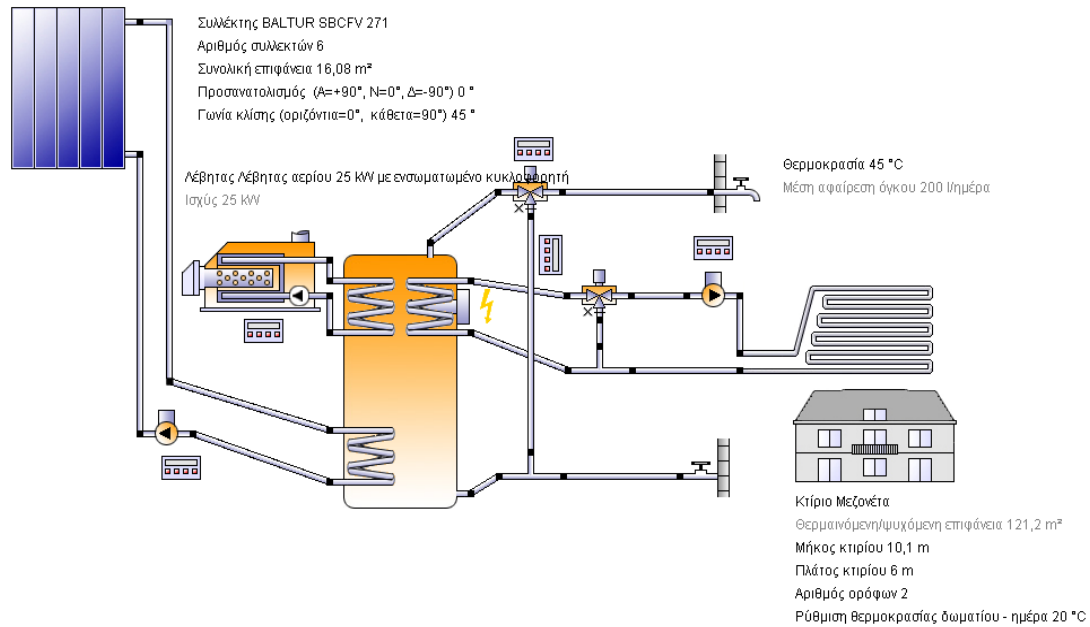
Εν συνεχεία γνωρίζοντας ότι 1 lt πετρελαίου θέρμανσης έχει θερμογόνο δύναμη περίπου 10.5 kWh, για το παρόν κτίριο έχουμε:

$$\text{Κατανάλωση ενέργειας} = Q_{\text{all}} = 2000 \cdot 10.5 = 21.000 \text{ kWh, η οποία κρίνεται υψηλή.}$$

5.3 Περιγραφή ηλιοθερμικού συστήματος

Το εν λόγω σύστημα αποτελείται από τους ηλιακούς συλλέκτες, την συσσωρευτή ενέργειας, τους κυκλοφορητές, το δίκτυο σωληνώσεων, τις συσκευές ελέγχου καθώς και το προς θέρμανση κτήριο. Οι σωληνώσεις παραλείπονται κάνοντας τη ρεαλιστική υπόθεση ότι οι θερμικές απώλειες αποτελούν πολύ μικρό ποσοστό των συνολικών απωλειών.

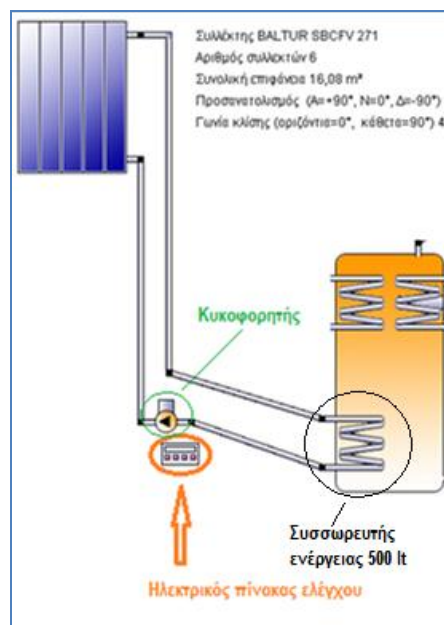
Στα Σχήματα 5.1 φαίνεται το σύστημα όπως μοντελοποιήθηκε στο Polysun της εταιρείας Vela Solaris. Για περισσότερες πληροφορίες των μοντέλων που χρησιμοποιούνται ο αναγνώστης μπορεί να ανατρέξει στο κεφάλαιο 4 της παρούσας διπλωματικής εργασίας ή στο εγχειρίδιο του Polysun σχετικά με την παρουσίαση των μοντέλων.



Σχήμα 5.1 Σχηματική απεικόνιση του συστήματος της μελέτης

5.3.1 Κλειστό κύκλωμα ηλιακών συλλεκτών

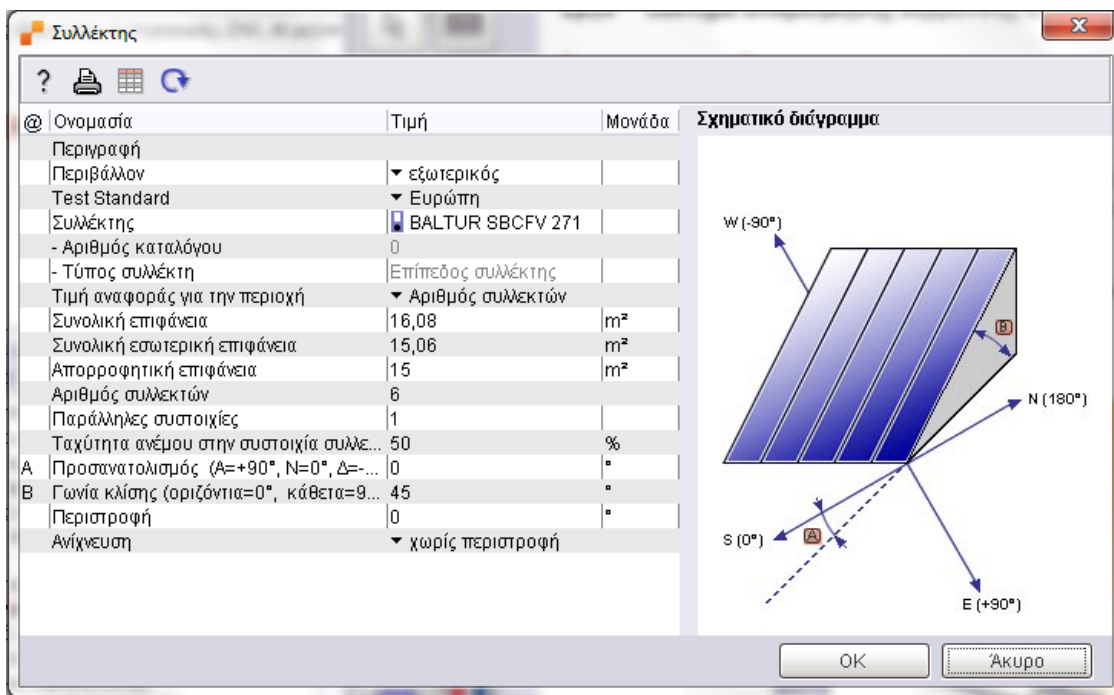
Το κλειστό κύκλωμα ηλιακών συλλεκτών αποτελείται συλλέκτες, τον κυκλοφορητή και τον εναλλάκτη θερμότητας, που βρίσκεται μέσα στο συσσωρευτή ενέργειας (εσωτερικός).. Απαραίτητη, για την σωστή λειτουργία του κυκλώματος, είναι η ύπαρξη συσκευής ελέγχου. Σκοπός του κυκλώματος είναι η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας ώστε να επιτευχθεί η φόρτιση του συσσωρευτή. Στο Σχήμα 5.2, το οποίο προέρχεται από το πρόγραμμα Polysun της εταιρείας Vela Solaris, φαίνεται σχηματικά το κλειστό κύκλωμα ηλιακών συλλεκτών.



Σχήμα 5.2 Το κλειστό κύκλωμα ηλιακών συλλεκτών

5.3.2 Ηλιακοί συλλέκτες

Υποθέτουμε ότι δεν υπάρχει σκίαση στο πεδίο των επίπεδων συλλεκτών. Τα μετεωρολογικά δεδομένα εισάγονται από το πρόγραμμα μέσω των στατιστικών στοιχείων που εμπεριέχονται σε αυτό, όπως είναι η ηλιακή ακτινοβολία ολική και άμεση και θερμοκρασία περιβάλλοντος. Η κλίση των συλλεκτών επιλέγεται 45° στραμμένοι προς το νότο, ώστε να μεγιστοποιηθεί η ενεργειακή απολαβή. Η επιφάνεια που καλύπτουν είναι 15 m^2 αποτελείται από μία συστοιχία 6 συλλεκτών του οίκου Baltur.



Σχήμα 5.3 Ρυθμίσεις συλλεκτών

5.3.3 Κυκλοφορητής

Είναι μίας ταχύτητας με μέγιστη ροή μάζας $12,5 \text{ lt/min}$. Η λειτουργία του εξαρτάται από τον ηλεκτρικό πίνακα ελέγχου. Όταν δέχεται σήμα 0 τότε ο κυκλοφορητής δεν λειτουργεί, επομένως δεν υπάρχει κυκλοφορία του εργαζόμενου μέσου. Όταν το σήμα γίνει 1 τότε το ρευστό κυκλοφορεί στο κύκλωμα.

5.3.4 Ηλεκτρικός πίνακας ελέγχου

Είναι υπεύθυνος για τη λειτουργία του κλειστού κυκλώματος των ηλιακών συλλεκτών. Πρακτικά, ελέγχει την θερμοκρασία στην έξοδο του συλλέκτη (T_{coil}), στον πυθμένα ($T_{\text{tank-b}}$) και στην κορυφή της δεξαμενής ($T_{\text{tank-p}}$) καθώς και την προηγούμενη κατάσταση και τελικά παράγει κάποιο σήμα, $\gamma=0$ ή 1 , το οποίο στέλνεται στην αντλία.

Όταν η προηγούμενη κατάσταση είναι 1 τότε:

$$T_{\text{coll}} - T_{\text{tank-b}} > 2 \text{ τότε } \gamma = 1$$

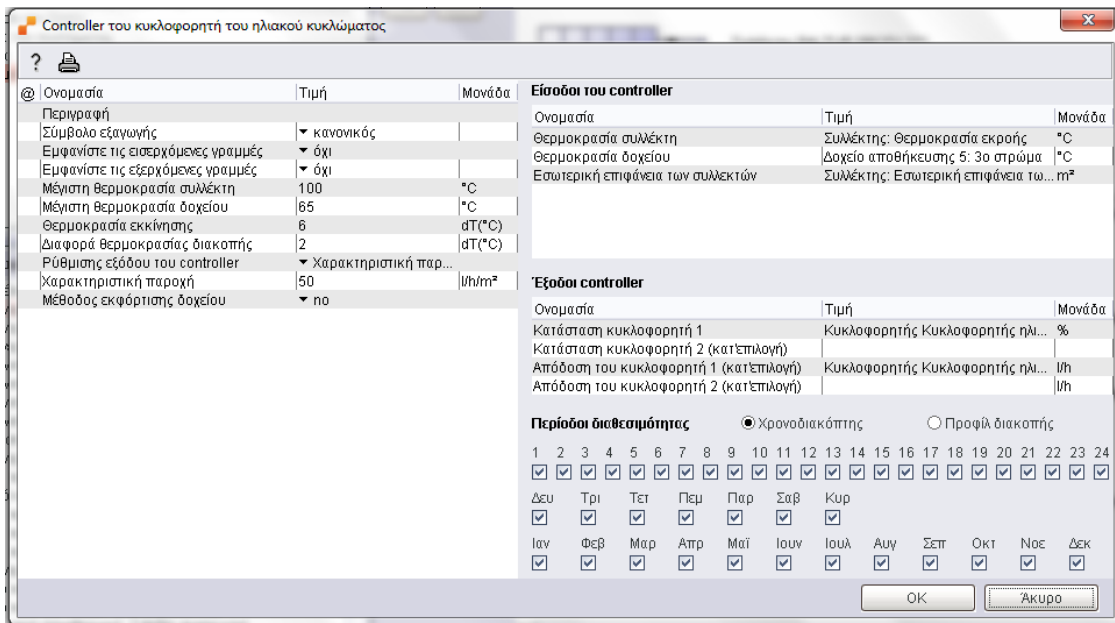
$$T_{\text{coll}} - T_{\text{tank-b}} < 2 \text{ τότε } \gamma = 0$$

Όταν η προηγούμενη κατάσταση είναι 0 τότε:

$$T_{\text{coll}} - T_{\text{tank-b}} > 10 \text{ τότε } \gamma = 1$$

$$T_{\text{coll}} - T_{\text{tank-b}} < 10 \text{ τότε } \gamma = 0$$

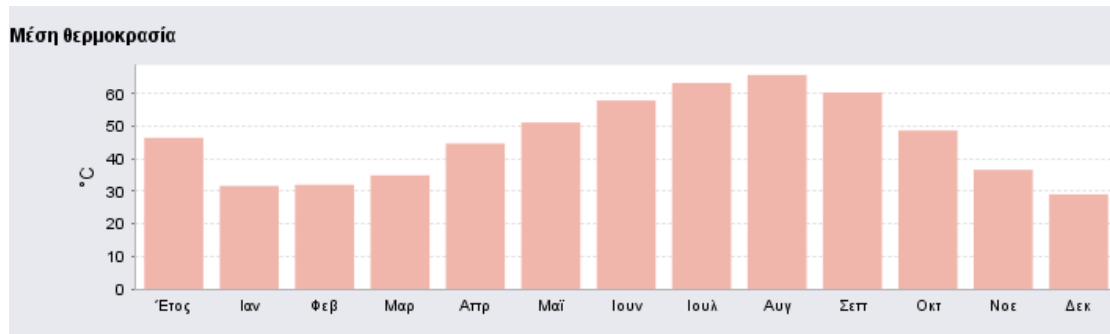
Ταυτόχρονα παρακολουθείται η θερμοκρασία στην κορυφή της δεξαμενής έτσι ώστε η τιμή της να μην υπερβεί τους 65 °C.



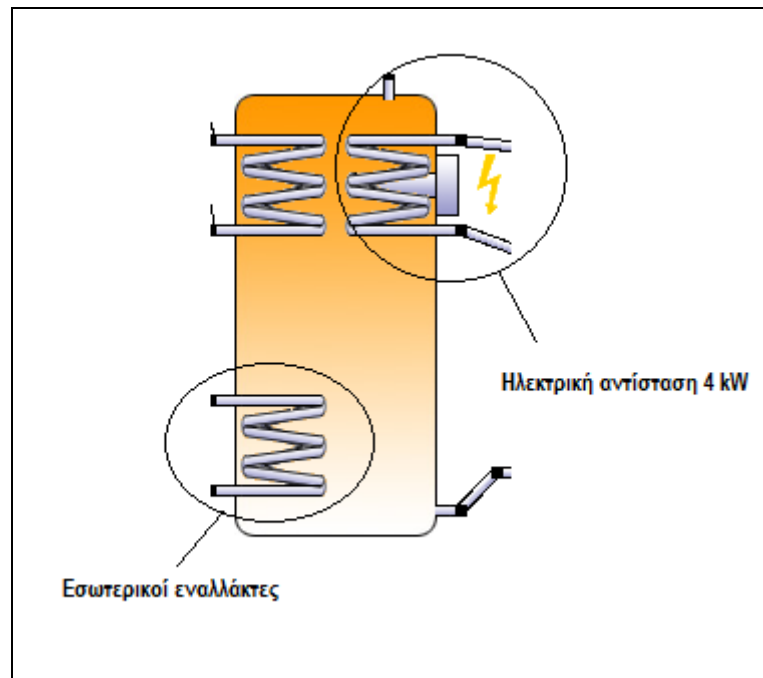
Σχήμα 5.4 Ρυθμίσεις κυκλοφορητή ηλιακού κυκλώματος

5.3.5 Συσσωρευτής ενέργειας

Ο συσσωρευτής ενέργειας έχει κυλινδρικό σχήμα και είναι τοποθετημένος στο λεβητοστάσιο της κατοικίας για τον περιορισμό των εξωτερικών απωλειών θερμότητας. Ο όγκος του συσσωρευτή εξετάζεται παραμετρικά. Σε πραγματικές συνθήκες εμφανίζονται φαινόμενα διαστρωμάτωσης. Στο μοντέλο αυτό υποθέτουμε 10 στρώματα. Η έξοδος του νερού που παράγεται γίνεται από την κορυφή του συσσωρευτή. Λόγω του ύψους του συσσωρευτή και επειδή οι απώλειες εξαρτώνται από την εξωτερική θερμοκρασία και υπολογίστηκαν σε 466,6 kWh/έτος. Στο Σχήμα 5.3 υπολογίζεται η μέση θερμοκρασία σε όλα τα στρώματα συνολικά του συσσωρευτή.



Διάγραμμα 5.1 Μέση θερμοκρασία σε όλα τα στρώματα συνολικά του συσσωρευτή

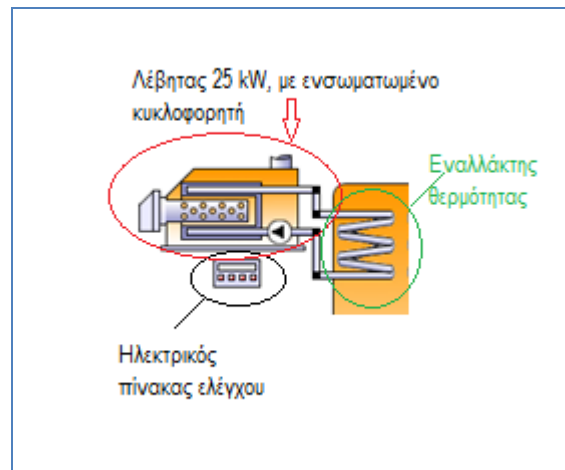


Σχήμα 5.5 Συσσωρευτής ενέργειας

5.3.6 Κλειστό κύκλωμα λέβητα

Το κλειστό κύκλωμα του λέβητα αποτελείται από ένα λέβητα 25 kW, φυσικού αερίου, τον ηλεκτρικό πίνακα ελέγχου και τον εναλλάκτη θερμότητας, που βρίσκεται μέσα στο συσσωρευτή ενέργειας (εσωτερικός) (Σχήμα 5.3).

Ο λέβητας σε περίπτωση συνθηκών, που δεν επιτρέπουν τη λειτουργία του κυκλώματος των ηλιακών συλλεκτών, εργάζεται ως βοηθητική ενέργεια στο σύστημα. Ένας διαφορικός θερμοστάτης που βρίσκεται στον ηλεκτρικό πίνακα ελέγχου, είναι υπεύθυνος να θέσει σε λειτουργία το κλειστό κύκλωμα του λέβητα. Τα αισθητήρια, τα οποία καταλήγουν στο διαφορικό θερμοστάτη, παρακολουθούν τη θερμοκρασία στο 8^ο στρώμα του συσσωρευτή και όπου έχουμε κατανάλωση, ώστε να καλύπτεται η ζήτηση σε απαίτηση ζεστού νερού χρήσης. Για να τεθεί το σύστημα σε λειτουργία πρέπει να τηρούνται οι παρακάτω προϋποθέσεις. Η θερμοκρασία του κτιρίου να βρίσκεται κάτω από 20 °C και η θερμοκρασία του νερού του συσσωρευτή που βρίσκεται στο πάνω στρώμα να υπερβαίνει τους 38 °C.



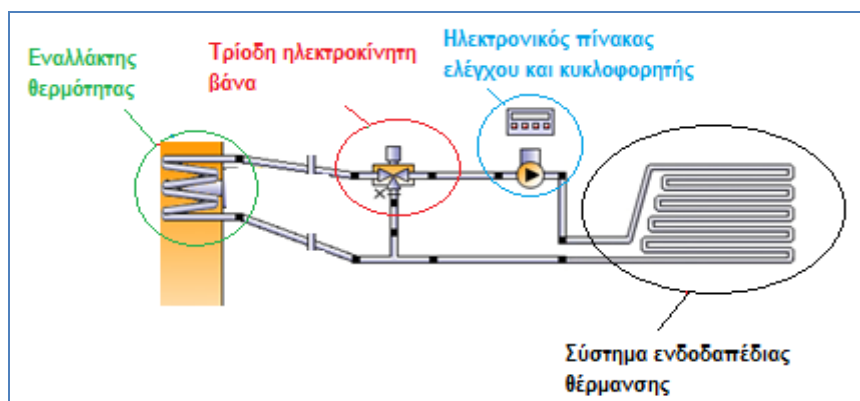
Σχήμα 5.6 Το κλειστό κύκλωμα του λέβητα

5.3.7 Κλειστό κύκλωμα ενδοδαπέδιας θέρμανσης

Το κλειστό κύκλωμα ενδοδαπέδιας θέρμανσης, αποτελείται από τη διαστρωμάτωση των σωληνώσεων της ενδοδαπέδιας, μία τρίοδη ηλεκτροκίνητη βάνα ανάμειξης, τον κυκλοφορητή με τον ηλεκτρικό πίνακα ελέγχου και τον εναλλάκτη θερμότητας, που βρίσκεται μέσα στο συσσωρευτή ενέργειας (εσωτερικός) (Σχήμα 5.4). Ο ρόλος του ηλεκτρικού πίνακα ελέγχου είναι να θέτει σε λειτουργία την τρίοδη ηλεκτροκίνητη βάνα, ώστε να επιτυγχάνουμε θερμοκρασία προσαγωγής νερού στο σύστημα της ενδοδαπέδιας 45 °C.

5.3.8 Τρίοδη ηλεκτροκίνητη βάνα

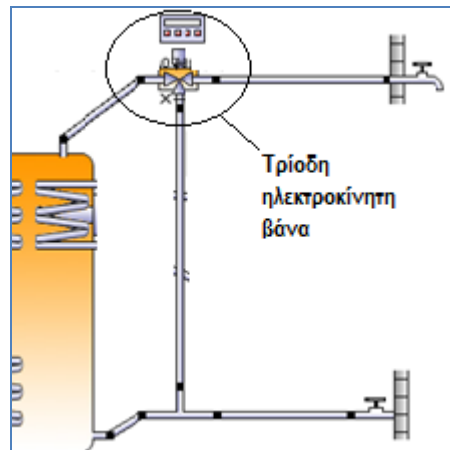
Η τρίοδη ηλεκτροκίνητη βάνα λειτουργεί ως εξής: Ζεστό νερό (60 – 65 °C), εξέρχεται από τον εναλλάκτη θερμότητας στο 10^ο στρώμα του συσσωρευτή και εισέρχεται στην τρίοδη ηλεκτροκίνητη βάνα. Το νερό που κινείται μέσα στο σύστημα της ενδοδαπέδιας, ψύχεται σχετικά και μία ποσότητα εισάγεται κατά την επιστροφή του στην τρίοδη βάνα, όπου αναμιγνύεται με το ζεστό νερό, ώστε να επιτυγχάνεται η επιθυμητή θερμοκρασία λειτουργίας του συστήματος της ενδοδαπέδιας. Με αυτό τον τρόπο λειτουργίας επιτυγχάνεται μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας, αφού η ποσότητα καυσίμου που απαιτείται για τη θέρμανση του νερού εισαγωγής στην τρίοδη βάνα από τον εναλλάκτη θερμότητας είναι ελάχιστο λόγω της μικρής αύξησης τη θερμοκρασίας που απαιτείται για το επιθυμητό αποτέλεσμα.



Σχήμα 5.7 Κλειστό κύκλωμα ενδοδαπέδιας θέρμανσης

5.3.9 Ανοιχτό κύκλωμα ζεστού νερού χρήσης

Το κύκλωμα τίθεται σε λειτουργία μέσω ωρολογιακού μηχανισμού, που υπάρχει στον ηλεκτρικό πίνακα ελέγχου και περιλαμβάνει την τρίοδη ηλεκτροκίνητη βάννα (Σχήμα 5.5). Η βάννα αναμειγνύει το ζεστό νερό του συσσωρευτή με το κρύο νερό του δικτύου, καθορίζοντας έτσι μία επιθυμητή θερμοκρασία (45 -55 °C περίπου) στις καταναλώσεις ζεστού νερού.



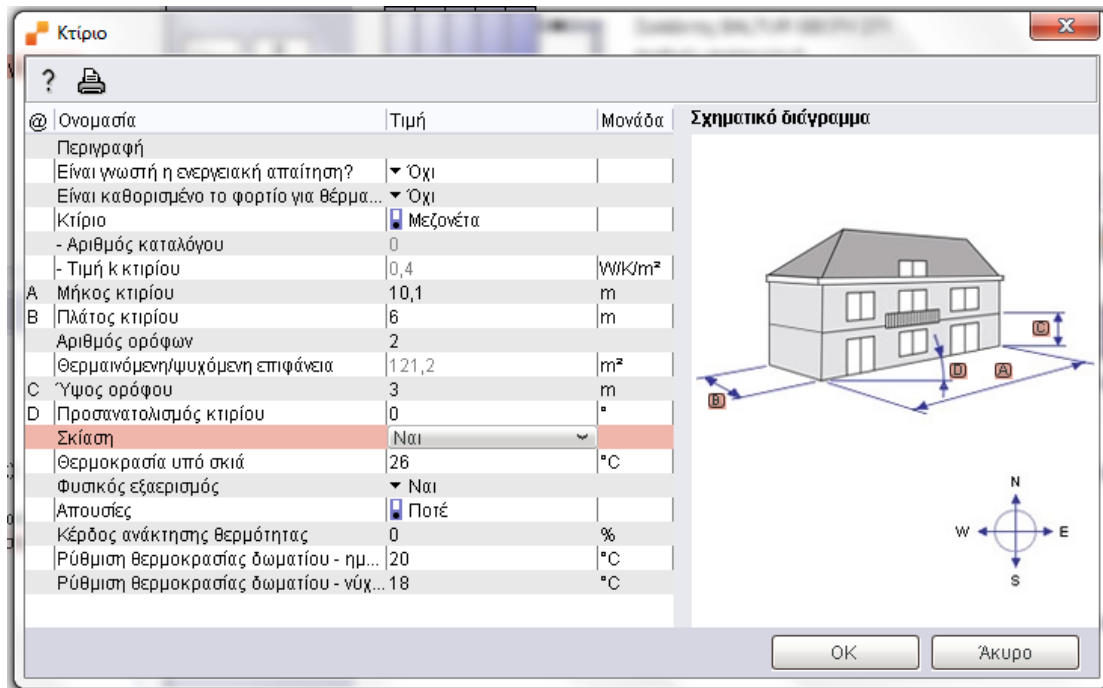
Σχήμα 5.8 Ανοιχτό κύκλωμα ζεστού νερού χρήσης

5.3.10 Κτίριο

Το υπό μελέτη κτήριο αποτελείται από δύο ορόφους (μεζονέτα), με συνολικό εμβαδόν 121,2 m². Το κτήριο μελετάται στο σύνολο του ως μία θερμική ζώνη. Τα παράθυρα καλύπτουν το 20% της επιφάνειας των τοίχων που είναι στραμμένοι στην ανατολή και στη δύση, το 23% στο νότο, ενώ στο βορρά 10%.

Στο μοντέλο του κτιρίου εισάγονται:

- Τιμή k του κτιρίου, όπου k (ή U) είναι ο σημαντικός δείκτης της θερμομονωτικής ικανότητας, η θερμοπερατότητα, η οποία δίνεται από τους κατασκευαστές με την τιμή (K ή U) και εκφράζεται σε W/m²/K (όπου K θερμοκρασία σε Kelvin)
- Μήκος κτιρίου (10,1 m)
- Πλάτος κτιρίου (6 m)
- Ύψος ορόφου (3 m)
- Σκίαση (Ναι)
- Θερμοκρασία σκίασης (26 °C)
- Φυσικός εξαερισμός (Ναι)
- Ρύθμιση θερμοκρασίας δωματίου – ημέρα (20 °C)
- Ρύθμιση θερμοκρασίας δωματίου – νύχτα (18 °C)



Σχήμα 5.9 Ρυθμίσεις κτιρίου

5.3.11 Χρόνος προσομοίωσης

Το κριτήριο επιλογής του χρόνου προσομοίωσης είναι η εξαγωγή αποτελεσμάτων, με τιμές οι οποίες επαναλαμβάνονται κάθε χρόνο. Σε όλες τις περιπτώσεις που εξετάζεται το σύστημα έρχεται σε ισορροπία κι εμφανίζει περιοδικότητα μετά το δεύτερο ή τρίτο χρόνο προσομοίωσης. Η διαφορά αυτή έγκειται στο γεγονός ότι η ενεργειακή συμπεριφορά του συσσωρευτή, εξαρτάται από τον συνδυασμό επιφάνειας συλλεκτών, όγκου συσσωρευτή ενέργειας και θερμικού φορτίου.

5.4 Ενεργειακά Αποτελέσματα και Σχόλια

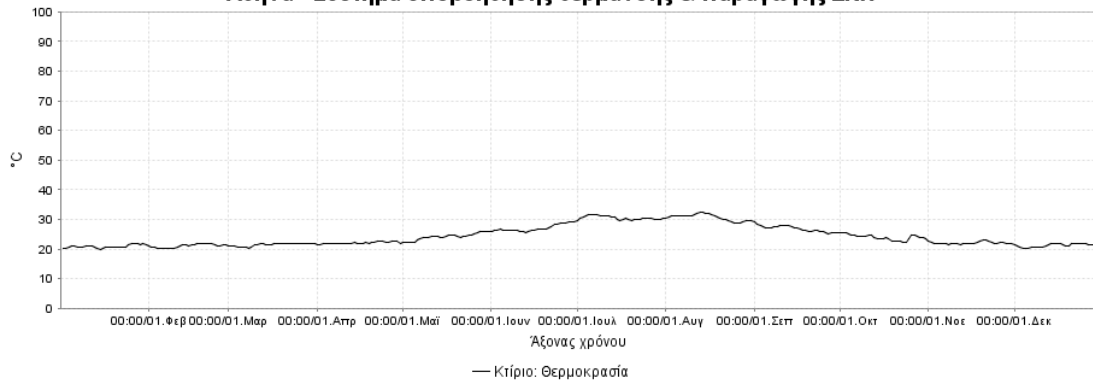
Στο Διάγραμμα 5.2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τη θερμοκρασία που επιτυγχάνεται στο κτίριο για περίοδο ενός έτους. Στο Διάγραμμα 5.3, παρουσιάζεται η θερμοκρασία νερού που επιτυγχάνεται από το σύστημα στα διάφορα στρώματα του, ξεκινώντας από το χαμηλότερο και καταλήγοντας στο υψηλότερο.

Στο Διάγραμμα 5.4, παρατηρούμε τις απώλειες στη θέρμανση που παρουσιάζει ο συσσωρευτής ενέργειας λόγω των διάφορων συνθηκών. Στο Διάγραμμα 5.5, έχουμε τη θερμοκρασία που αποδίδει το σύστημα ενδοδαπέδιας θέρμανσης στο θερμαινόμενο χώρο.

Στο Διάγραμμα 5.6 διακρίνεται η θερμοκρασία εκροής του υδατικού διαλύματος από το κύκλωμα των ηλιακών συλλεκτών. Το υδατικό διάλυμα κατά την κυκλοφορία του στο συσσωρευτή παρουσιάζει κάποιες απώλειες όπως αναφέρθηκαν και σε προηγούμενο κεφάλαιο της παρούσης εργασίας.

Ο Πίνακας 5.1, παρουσιάζει τιμές για τα δεδομένα των συλλεκτών και στο Διάγραμμα 5.7, είναι τα αποτελέσματα της ενεργειακής απόδοσης των συλλεκτών. Στον Πίνακα 5.2 και στο Διάγραμμα 5.8, λαμβάνουμε τα ποσοστά κάλυψης από τον ήλιο γενικά στο σύστημα.

Έργο Σύστημα υποβοήθησης θέρμανσης & παραγωγής ΖΝΧ, σε μεζονέτα στην περιοχή Παπάγου-Αθήνα - Σύστημα υποβοήθησης θέρμανσης & παραγωγής ΖΝΧ



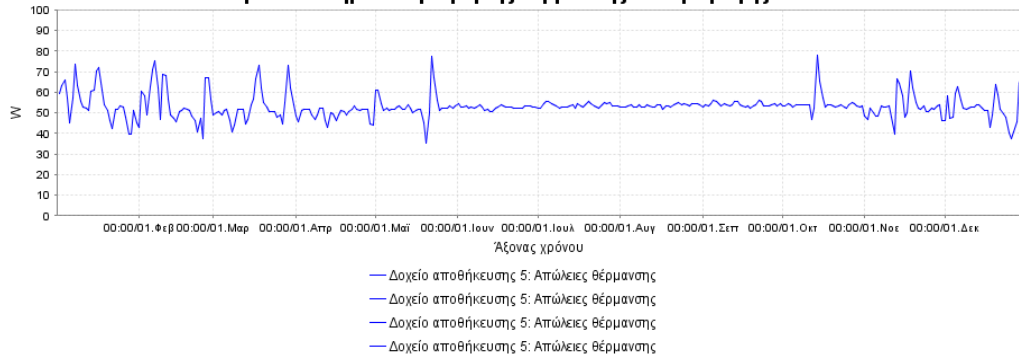
Διάγραμμα 5.2 Θερμοκρασία κτιρίου

Έργο Σύστημα υποβοήθησης θέρμανσης & παραγωγής ΖΝΧ, σε μεζονέτα στην περιοχή Παπάγου-Αθήνα - Σύστημα υποβοήθησης θέρμανσης & παραγωγής ΖΝΧ



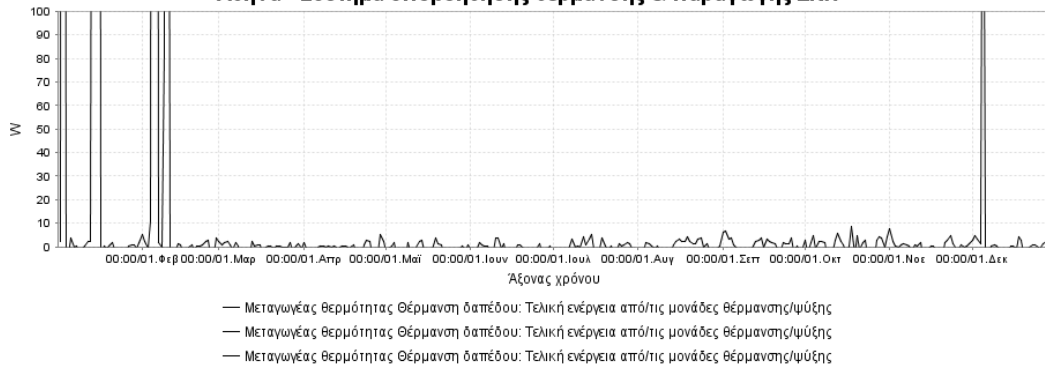
Διάγραμμα 5.3 Θερμοκρασία νερού στο συσσωρευτή ενέργειας (ή δοχείο αποθήκευσης) στα διάφορα στρώματα (χαμηλό, μεσαίο, υψηλό)

Έργο Σύστημα υποβοήθησης θέρμανσης & παραγωγής ΖΝΧ, σε μεζονέτα στην περιοχή Παπάγου-Αθήνα - Σύστημα υποβοήθησης θέρμανσης & παραγωγής ΖΝΧ



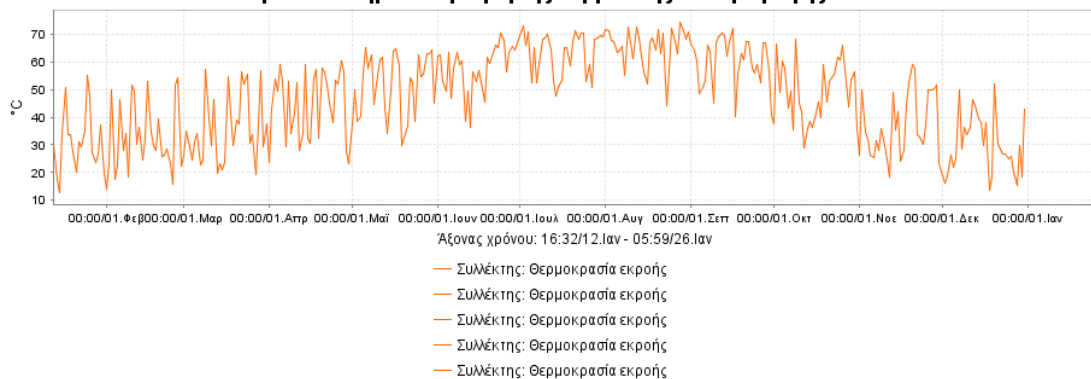
Διάγραμμα 5.4 Απώλειες θέρμανσης στο συσσωρευτή ενέργειας (ή δοχείο αποθήκευσης)

Έργο Σύστημα υποβοήθησης θέρμανσης & παραγωγής ΖΝΧ, σε μεζονέτα στην περιοχή Παπάγου-Αθήνα - Σύστημα υποβοήθησης θέρμανσης & παραγωγής ΖΝΧ



Διάγραμμα 5.5 Θέρμανση που αποδίδεται από το σύστημα της ενδοδαπέδιας

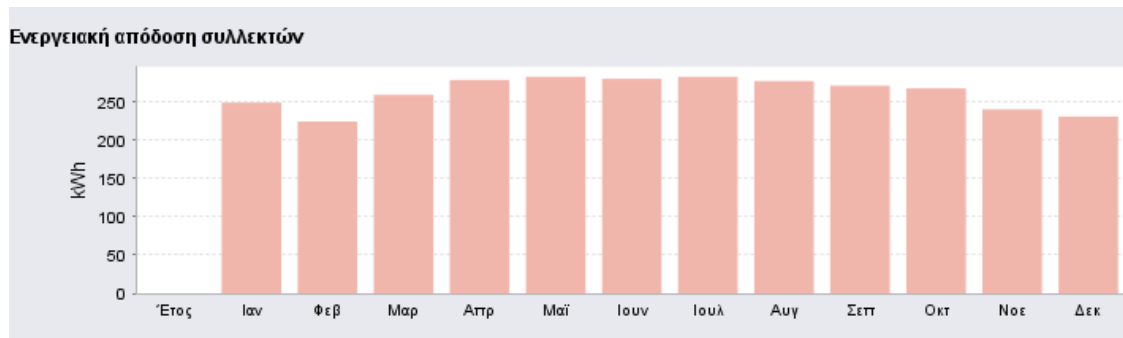
Έργο Σύστημα υποβοήθησης θέρμανσης & παραγωγής ΖΝΧ, σε μεζονέτα στην περιοχή Παπάγου-Αθήνα - Σύστημα υποβοήθησης θέρμανσης & παραγωγής ΖΝΧ



Διάγραμμα 5.6 Θερμοκρασία εκροής υδατικού διαλύματος από το συλλέκτη

Αποτελέσματα Συλλέκτης															
Όνομα	Σύμβ...	Μονά...	Έτος	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαϊ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
Μέση θερμοκρασία		*C	46,5	32,2	32,3	35,2	44,6	51,3	57,8	63,2	65,5	60,1	48,8	36,9	29,4
Ελάχιστη τιμή		*C	0,6	0,7	0,6	2,9	7	13,7	18,1	21,7	21,3	17	10,4	7,2	2,3
Μέγιστη τιμή		*C	196,1	174,6	174,6	176,4	179,8	181,3	183,8	184,9	194	196,1	192,2	176,2	165,3
Παροχή		l/h	753	753	753	753	753	753	753	753	753	753	753	753	753
Ενεργειακή απόδοση συλλεκτών		Gsol	3.148,2	249,5	224,8	259,5	279	283,1	280,6	283,1	277,4	271,6	268	240,4	231,2
Ελάχιστη τιμή (Ιαχύς)		W	-6.968,4	-6.720,4	-6.292,9	-4.861,9	-4.419,8	-5.564,9	-3.952	-4.535,5	-4.302	-4.989,7	-6.968,4	-4.275	-4.216,7
Μέγιστη τιμή (Ιαχύς)		W	11.687	9.705,4	10.132,9	11.089,6	11.687	10.395,1	7.473,2	7.447,2	7.486,8	7.843,3	9.296	10.325,3	7.946,6
Ακτινοβολία στην επιφάνεια του συλλεκτή		Esol	25.690,9	1.695,6	1.572,7	1.822,3	2.215,6	2.366,8	2.449,2	2.692,5	2.897,9	2.738,4	2.245,3	1.609,5	1.385,2
Ελάχιστη τιμή (Ιαχύς)		W	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Μέγιστη τιμή (Ιαχύς)		W	16.642,8	15.056,5	16.315,8	16.642,8	16.349,6	15.627,8	14.170,6	14.602,5	15.922,9	16.218,5	16.282,2	15.782,2	14.400,2
Κατάσταση		%	49,8	38,6	44,6	48,3	54,2	57,9	62,5	61,3	54,2	51,7	45,2	41,7	37,5
Θερμοκρασία εκροής		*C	46,7	32,4	32,6	35,4	44,7	51,4	57,9	63,2	65,6	60,2	49	37,1	29,7
Ελάχιστη τιμή		*C	0,6	0,7	0,6	2,9	7	13,7	18,1	21,7	21,3	17	10,4	7,2	2,3
Μέγιστη τιμή		*C	196,1	174,6	174,6	176,4	179,8	181,3	183,8	184,9	194	196,1	192,2	176,2	165,3
Θερμοκρασία κατά την περίοδο λειτουργίας		*C	56,6	55,6	54,7	53,4	56,3	56,1	59,3	59,6	59,9	59,6	58,6	55,8	54
Ελάχιστη τιμή		*C	22,5	24,3	23,1	22,5	26,9	27,9	37,2	39,6	40	41,4	32,4	25,9	22,5
Μέγιστη τιμή		*C	102	98,6	102	99,5	99,3	99,5	100,5	100,5	101,5	99,5	100,1	100,6	99,6
Χρόνος αεράσεις		%	4,6	1,1	2,3	2,4	3,8	4,8	4,8	8,1	10,4	9,7	4,8	1,8	0,6
Εσωτερική επιφάνεια των συλλεκτών		m²	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1
Παγκόσμια ακτινοβολία λαμβάνοντας υπόψη την γωνία πρόσπτωσης		kWh	24.282,9	1.637,2	1.512,4	1.725	2.086,2	2.198,4	2.262,9	2.500,5	2.723,3	2.604,6	2.150,9	1.549,9	1.331,6
Ελάχιστη τιμή (Ιαχύς)		W	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Μέγιστη τιμή (Ιαχύς)		W	16.428,7	14.965	16.203,5	16.428,7	16.087,4	15.362	13.942,2	14.413,6	15.776,9	16.090,3	16.166,6	15.598,7	14.314
Άμεση ακτινοβολία λαμβάνοντας υπόψη την γωνία πρόσπτωσης		kWh	14.988,5	1.098,7	949,2	931,5	1.184,1	1.240,7	1.247,4	1.522,2	1.806,3	1.784,2	1.387,6	985,2	851,3
Ελάχιστη τιμή (Ιαχύς)		W	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Μέγιστη τιμή (Ιαχύς)		W	14.726	13.693,3	14.726	14.060,4	13.184,1	12.696,6	11.989,6	12.370,5	13.977,7	14.374,3	14.620,6	13.454	13.133,6
Διαγόμενα ακτινοβολία λαμβάνοντας υπόψη την γωνία πρόσπτωσης		kWh	9.294,4	538,5	563,2	793,5	902,1	957,7	1.015,5	978,3	917	820,4	763,3	564,7	480,2
Ελάχιστη τιμή (Ιαχύς)		W	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Μέγιστη τιμή (Ιαχύς)		W	6.561,3	4.654,3	5.612,7	5.958,7	6.029,1	6.285,9	6.256,5	6.561,3	5.995,5	5.871	5.550,2	4.880,6	3.849,3
Ακτινοβολία στον συλλέκτη		kWh/m²	1.612,4	108,7	100,4	114,5	138,5	146	150,3	166	180,8	172,9	142,8	102,9	88,4
Ελάχιστη τιμή (Ιαχύς)		W/m²	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Μέγιστη τιμή (Ιαχύς)		W/m²	1.090,9	993,7	1.075,9	1.080,9	1.068,2	1.020,1	925,8	957,1	1.047,6	1.068,4	1.073,5	1.035,6	950,5

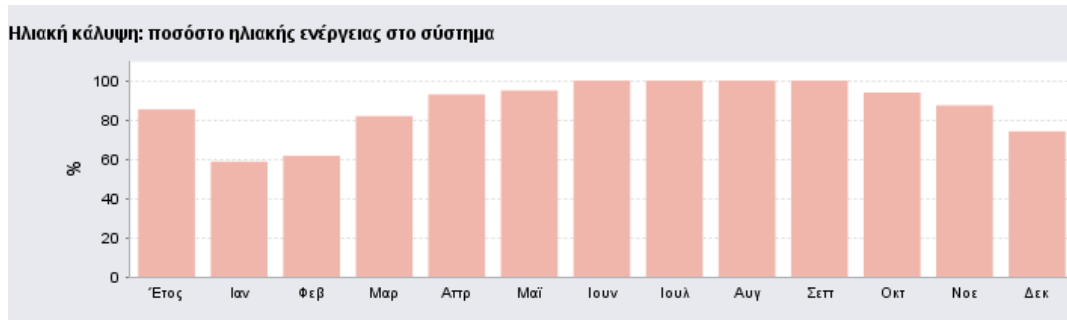
Πίνακας 5.1 Αποτελέσματα μετρήσεων για τα διάφορα στοιχεία του συλλέκτη



Διάγραμμα 5.7 Ενεργειακή απόδοση συλλεκτών

Αποτελέσματα Περιοσίση αποτελεσμάτων ηλιοθερμικής ενέργειας (επίσης ημεζ)																
Όνομα	Σύμβ...	Μονά...	Έτος	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαϊ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ	
Ηλιακή κάλυψη ποσοστό ηλιακής ενέργειας στο δοχείο		SFI	%	84,9	57,6	61,2	81,5	94,1	93,6	100	100	100	100	93,7	87,1	73,8
Ηλιακή ενέργεια στο δοχείο		Ssol	kWh	3.061,9	242,2	219,2	252	271,4	274,2	272,6	275,7	270,4	264	259,9	233,9	226,3
Ενέργεια από την μονάδα παραγωγής θερμότητας στο δοχείο		Saux	kWh	543	178,3	139,9	57,3	17,1	18,9	0,4	0,0003	0,01	-0,04	17,4	34,7	80,4
Απαιτούμενη θερμότητα από το δοχείο		Sout	kWh	-2.766,8	-362,9	-286,2	-236,4	-224	-221,3	-204,5	-202,5	-197,6	-191,8	-203,8	-206,2	-229,6
Ηλιακή κάλυψη ποσοστό ηλιακής ενέργειας στο σύστημα		SFh	%	85,3	58,7	61,7	81,9	92,9	95	100	100	100	100	93,9	87,4	74,1
Ηλιοθερμική ενέργεια στο σύστημα		Ssol	kWh	3.148,2	249,5	224,8	259,5	279	283,1	280,6	283,1	277,4	271,6	268	240,4	231,2
Ενέργεια μονάδας παραγωγής θερμότητας στο σύστημα (ενέργεια από ηλιοθερμικά δεν περιλαμβάνεται)		Saux	kWh	541,8	175,4	139,6	57,5	21,2	14,9	-0,0001	-0,0001	-0,0001	-0,0001	17,5	34,7	81
Συνολική ενεργειακή κατανάλωση		Souse	kWh	2.588,3	347,6	272,9	223	210,8	207,2	189,5	186,1	181	176,4	188,4	191,2	214,3
Συνολική ενεργειακή απαίτηση		Sodem	kWh	2.558,8	345,7	271,4	221,1	208,2	204,8	186,7	183,1	177,9	173,4	185,5	188,6	212,3
Κυκλοφορητές θέρμανσης του συστήματος		Spar	kWh	60,1	6	5,3	5,3	5,7	5	4,6	4,3	3,8	3,8	4,5	5,1	6,7
Απώλειες θερμότητας στο εσωτερικό δωμάτιο (περιλαμβάνει απώλειες μονάδας παραγωγής θερμότητας)		Sint	kWh	1.486,1	175	157,9	135,9	97,7	114,6	97,1	102,6	102,3	99,9	114,8	118,3	150
Απώλειες θερμότητας στο περιβάλλον γύρω (μη συμπεριλαμβανόμενου ατμικών του συλλέκτη)		Sext	kWh	64,5	6,4	5,6	5,8	6,2	5,5	4,7	4,2	4,1	4,7	5,7	5,6	6
Ηλιακή κάλυψη ποσοστό ακτινοβολίας στην επιφάνεια του συλλέκτη		SFg	%	96,9	87,3	88,4	94,9	98,7	98,8	100	100	100	100	98,8	96,6	91,3
Ακτινοβολία στην επιφάνεια του συλλέκτη		Esol	kWh	25.690,9	1.695,6	1.572,7	1.822,3	2.215,6	2.366,8	2.449,2	2.692,5	2.897,9	2.738,4	2.245,3	1.609,5	1.385,2
Κατανάλωση καυσίμου και ηλεκτρικής ενέργειας της μονάδας παραγωγής θερμότητας		Saux	kWh	823,8	246,3	205,7	97	29,3	29,6	0	0	0	28,3	56,3	132,2	
Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας των κυκλοφορητών		Spar	kWh	106,3	10,8	9,5	9,3	10,1	8,8	8,1	7,7	6,8	6,8	8,9	11,8	
Συνολική κατανάλωση καυσίμου ή και ηλεκτρικής ενέργειας του συστήματος		Slat	kWh	930,2	257,1	215,2	106,4	38,4	38,4	8,1	7,7	6,8	6,8	36,3	65,2	143,8
Μέγιστη ετήσια μείωση εκπομπής CO2		Slimp...	kg	810,1	64,2	57,8	66,8	71,8	72,8	72,2	72,9	71,4	69,9	69	61,9	59,5

Πίνακας 5.2 Αποτελέσματα ηλιοθερμικής ενέργειας



Διάγραμμα 5.8 Διάγραμμα ποσοστού κάλυψης ηλιακής ενέργειας στο σύστημα

Στο παράρτημα Α, παρουσιάζεται αναλυτικά η αναφορά αποτελεσμάτων της προσομοίωσης από το λογισμικό πρόγραμμα Polysun με το οποίο πραγματοποιήθηκε η παραπάνω μελέτη.

5.5 Παράμετροι - προοπτικές ανάπτυξης

Με την προσομοίωση στην παρούσα εργασία, ενός συστήματος combi, επετεύχθη εξοικονόμηση που φθάνει σε ποσοστό 88,4% στην παραγωγή ζεστού νερού χρήσης και σε ποσοστό 43,3% στην υποβοήθηση της θέρμανσης (ειδικά η συνολική ενεργειακή κατανάλωση – αέριο και ρεύμα – μειώνεται από τις 21.000 στις 2.588,3 kWh), οδηγώντας μας στο συμπέρασμα ότι η αγορά των συστημάτων θα αναπτυχθεί στην Ελλάδα τα επόμενα έτη.

Θεωρήθηκε επίσης ότι τα συστήματα combi, όντας πρωτοποριακά, θα τύχουν ισχυρής υποστήριξης από τους καταναλωτές. Με αυτά τα δεδομένα, και αν θεωρήσουμε σαν συμβατικό καύσιμο το πετρέλαιο θέρμανσης με κόστος για το χειμώνα 2012 – 2013 1,50 €/lt, τότε ο χρόνος απόσβεσης ενός συστήματος combi προκύπτει ίσως με περίπου 2,5 χρόνια. Είναι λοιπόν προφανές ότι με τις παραπάνω ευνοϊκές συνθήκες τα συστήματα combi παρουσιάζουν και οικονομικό ενδιαφέρον, δεδομένου ότι ο χρόνος ζωής τους είναι πάνω από 20 χρόνια.

Αξίζει πάντως να σημειωθεί εδώ ότι η το οικονομικό όφελος είναι μόνο μια παράμετρος και μάλιστα όχι πάντα η κρισιμότερη στην διάδοση μιας νέας τεχνολογίας. Μεταξύ άλλων παραμέτρων για τον συγκεκριμένο τομέα συγκαταλέγονται οι εξής: το έμπρακτο ενδιαφέρον των πολιτών για την εξοικονόμηση ενέργειας και την προστασία του περιβάλλοντος, η απόκτηση μεγαλύτερης ενεργειακής αυτονομίας και ασφάλειας, η ευχάριστη αίσθηση του ενδιαφερόμενου ότι εκτός από χρήστης γίνεται και παραγωγός ενέργειας κ.ά.

Είναι προφανές ότι τέτοιες παράμετροι έπαιξαν σπουδαίο λόγο στην πολύ μεγάλη διάδοση των ηλιακών συστημάτων στην Γερμανία και στην Αυστρία όπου το ποσοστό των combi στο σύνολο των ηλιακών συστημάτων είναι περίπου 40%. Στη χώρα μας, το πλήθος των εγκατεστημένων θερμοσιφωνικών συστημάτων (που παράγουν αποκλειστικά ζεστό νερό χρήσης και αποτελούν την συντριπτική

πλειοψηφία του συνόλου των ηλιακών συστημάτων) είναι της τάξης του ενός εκατομμυρίου. Αν υποθέσουμε ότι στο εύρος μιας εικοσαετίας (στην οποία τα συστήματα αυτά θα έχουν στην πλειονότητά τους αντικατασταθεί), η διείσδυση των combi θα είναι ανάλογη με αυτή της Γερμανίας και της Αυστρίας (40%), το αποτέλεσμα θα είναι έξι (6) εκατομμύρια συλλέκτες μόνο για τα ελληνικά συστήματα combi. Κάτι τέτοιο μοιάζει ασύλληπτο, είναι όμως ένα υπάρχον δυναμικό αν μάλιστα σκεφτεί κανείς τη ραγδαία εξέλιξη των συστημάτων ηλιακού κλιματισμού.

Στο (μάλλον ρεαλιστικό) σενάριο της διείσδυσης στην αγορά συστημάτων ηλιακού κλιματισμού, ο όρος combi αυτόματα θα περικλείει τον κλιματισμό των χώρων· είναι δε προφανές ότι σε μια τέτοια περίπτωση η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας το καλοκαίρι θα βελτιώσει άρδην τις οικονομικές παραμέτρους των συστημάτων combi.

5.6 Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία αναλύθηκε η κατηγορία των ηλιακών θερμικών συστημάτων και πραγματοποιήθηκε προσομοίωση σε μία κατοικία για εγκατάσταση ηλιοθερμικού συστήματος combi που συνεισφέρει στην παραγωγή όχι μόνο ζεστού νερού χρήσης αλλά και στην θέρμανση χώρων. Δόθηκε έμφαση σε δύο βασικά σημεία:

- Τα συστήματα combi είναι ήδη διαδεδομένα στην Ευρώπη και διατίθενται σε ευρύ φάσμα τυπολογιών.
- Οι προσομοιώσεις για τον Ελληνικό χώρο έδειξαν ότι τα συστήματα combi μπορούν να συνδυαστούν με συμβατικά συστήματα θέρμανσης, δίνοντας αξιόλογα ενεργειακά αποτελέσματα και καλύψεις του συνολικού θερμικού φορτίου που φτάνουν έως και 70%.

Αξίζει να σημειωθεί ότι τα ενεργειακά αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν βασίζονται σε ρεαλιστικές υποθέσεις. Πιο συγκεκριμένα, δεδομένης της μικρής (προς το παρόν) διάδοσής τους, δεν εξετάστηκαν οι παρακάτω ευνοϊκές παράμετροι συνθήκες:

- Δεν έχει ληφθεί υπ' όψη το γεγονός της ενεργής συμμετοχής του χρήστη στην εξοικονόμηση καυσίμου (μετατοπίζοντας, όσο είναι δυνατό, το φορτίο του ζεστού νερού στις ημέρες ηλιοφάνειας).
- Δεν έχει ληφθεί υπ' όψη η δυνατότητα σύνδεσης των πλυντηρίων ρούχων και πιάτων στο δίκτυο ζεστού νερού· κάτι τέτοιο όχι μόνο θα μεγάλωνε την απόδοση του ηλιακού συστήματος αλλά θα εξοικονομούσε ενέργεια τριπλάσιου κόστους (ηλεκτρική).
- Δεν εξετάστηκε η περίπτωση των βιοκλιματικών κτιρίων. Ενδεικτικά αναφέρεται πως στην περίπτωση ενός βιοκλιματικού κτιρίου με ενδοδαπέδια θέρμανση στην Αθήνα η κάλυψη των συνολικών θερμικών αναγκών (από ένα ηλιακό σύστημα σαν αυτό που εξετάστηκε στο άρθρο) ξεπερνά το 75%.

Όλα τα παραπάνω δείχνουν ότι οι προοπτικές εξέλιξης των συστημάτων combi στη χώρα μας (σε συνδυασμό με την εφαρμογή μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας στα κτίρια) είναι υπαρκτές και αξιόλογες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

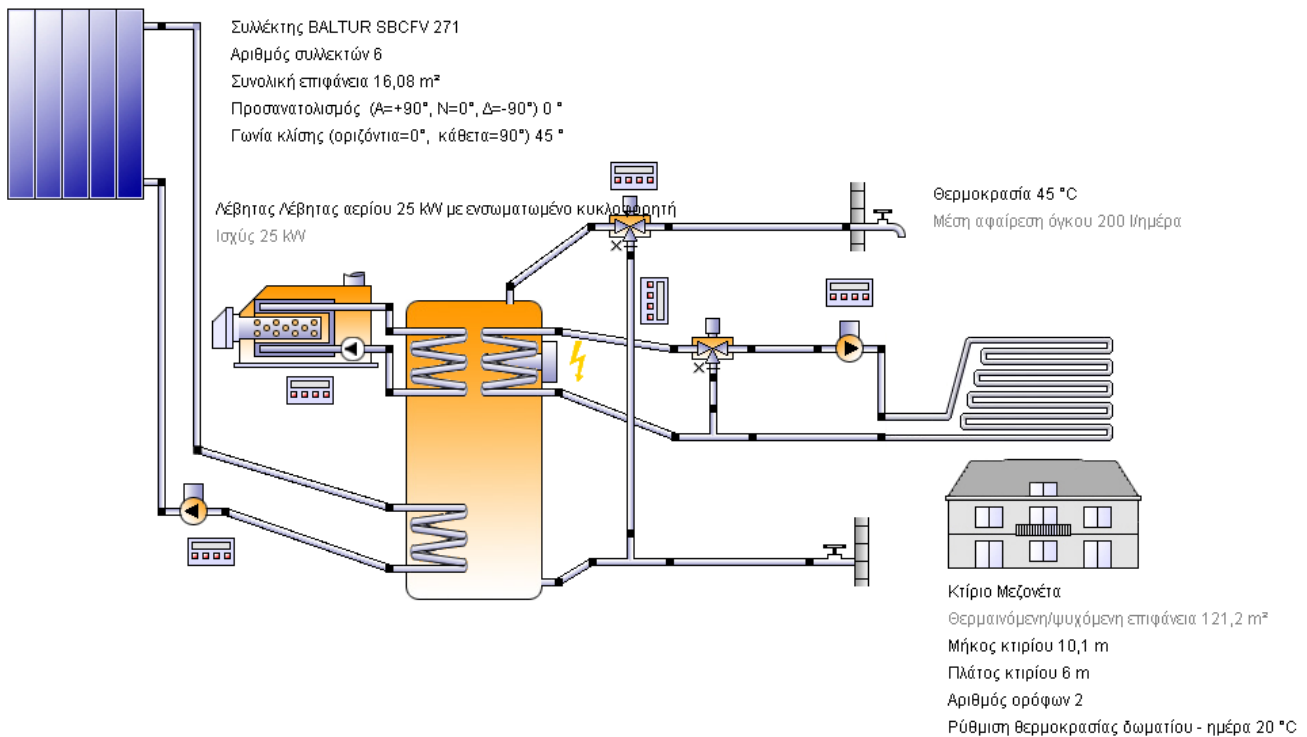
- 1) Γιώργος Μουτούσης, Ηλιοθερμικά Συστήματα από το σχεδιασμό στην εγκατάσταση, σημειώσεις από www.energylines.gr , Μάρτιος 2012
- 2) Β. Η Σελλούντος και Σια Ο.Ε, Θέρμανση-Κλιματισμός, Εκδόσεις "ΦΟΙΒΟΣ", Οκτώβριος 1995
- 3) Σταμάτης Δ. Πέρδιος, Ηλιοθερμικές Εγκαταστάσεις, Εκδόσεις Τεκδορική, Αθήνα 2009
- 4) Michael J. Morgan, Howard N. Shapiro, Bruce R. Munson, David P. DeWitt, John Wiley & Sons Inc., 2003
- 5) «Εξοικονόμηση Ενέργειας στις Οικιακές Εγκαταστάσεις Κεντρική Θέρμανσης με Πετρέλαιο» Δραστηριότητα του Προγράμματος SAVE, ΚΑΠΕ, Μάρτιος 2012
- 6) «Θέρμανση των Κτιρίων με Λέβητες & η Μέτρηση της Καταναλισκόμενης Ενέργειας» περιοδικό ΤΕΧΝΙΚΑ, Σεπτέμβριος 2001
- 7) Σωκράτης Ν. Καπλάνης, Ηλιακή Μηχανική, Εκδόσεις Ίων, Αθήνα 2004
- 8) Οδηγίες για την Εγκατάσταση Φ/Β Συστημάτων σε Κτηριακές Εγκαταστάσεις, ΚΑΠΕ, Απρίλιος 2012
- 9) Παναγιώτης Δ. Τσεκούρας , Διπλωματική Εργασία, Παραμετρική μελέτη θέρμανσης χώρων με εποχιακή αποθήκευση με χρήση του προγράμματος TRNSYS, Αθήνα Φεβρουάριος 2008
- 10) Δημήτρης Αλ. Κατσαπρακάκης, Ηλιακή Ενέργεια - Ηλιακοί συλλέκτες, Εργαστήριο Αιολικής Ενέργειας, Τ.Ε.Ι Κρήτης, Ιούνιος 2012
- 11) Ηρακλής Π. Κακουρης , Διπλωματική Εργασία, Οικονομοτεχνική Μελέτη Εγκατάστασης Ηλιακών Συλλεκτών σε Νοσοκομεία, Αθήνα, Μάρτιος 2003
- 12) www.dei.gr
- 13) www.cres.gr
- 14) www.interplast.gr/endodapedia_thermansileitourgia.aspx
- 15) www.energyhomes.gr/material/pages/nrginfo/susthermikis4.html
- 16) www.ecogreenconstruction.gr
- 17) www.imarinakiss.webs.com
- 18) <http://www.buderus.gr>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Παρακάτω, δίνεται η αναφορά από την προσομοίωση του προγράμματος.

Σύστημα υποβοήθησης
θέρμανσης & παραγωγής ZNX,
σε μεζονέτα στην περιοχή
Παπάγου-Αθήνα

Σύστημα υποβοήθησης θέρμανσης & παραγωγής ZNX



Τοποθεσία του συστήματος

Παπάγου

Γεωγραφικό μήκος: 23,794°

Γεωγραφικό πλάτος: 37,987°

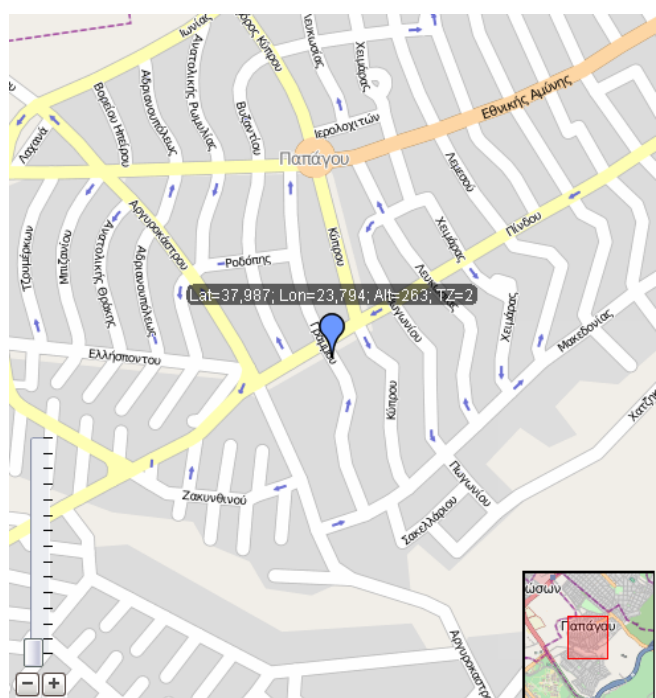
Υψόμετρο: 263 m

Η αναφορά αποτελεσμάτων έχει δημιουργηθεί από:

Τσαρτσάλης Χρήστος, Διπλ. Ηλεκτρολόγος
Μηχανικός

Energylines
Μητροπόλεως 43
151 24, Μαρούσι

Τμήμα του χάρτη



Αναφορά Professional

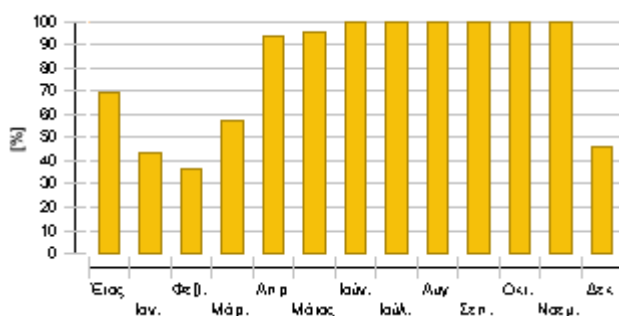
Παρουσίαση συστήματος (ετήσιες τιμές)

Συνολική κατανάλωση καυσίμου ή/και ηλεκτρικής ενέργειας του συστήματος [Etot]	2.476 kWh
Συνολική ενεργειακή κατανάλωση [Quse]	4.102 kWh
Απόδοση συστήματος (Quse / Etot)	1,66
Απαίτηση κατανάλωσης	Καλύφθηκε η ενεργειακή απαίτηση

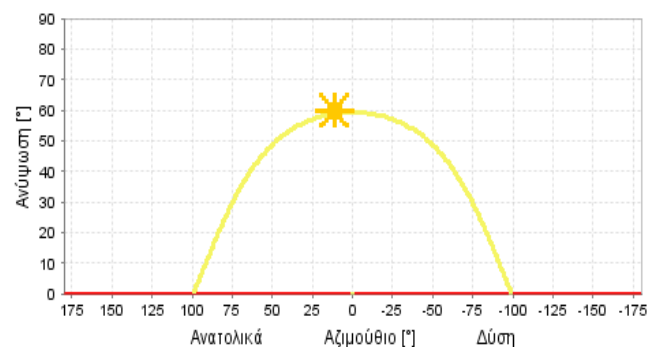
Παρουσίαση αποτελεσμάτων ηλιοθερμικής ενέργειας (ετήσιες τιμές)

Επιφάνεια συλλεκτών	26,8 m ²
Συνολική ηλιακή κάλυψη	69,4%
Ηλιακή κάλυψη σε ζεστό νερό [SF _n H _w]	88,4 %
Ηλιακή κάλυψη στην θέρμανση [SF _n B _d]	43,3 %
Συνολικό πεδίο απόδοσης συλλεκτών	4.015 kWh
Ενεργειακή απόδοση συλλέκτη συναρτήσει της συνολικής επιφάνειας του	149,8 kWh/m ² /Ετος
Ενεργειακή απόδοση συλλέκτη συναρτήσει της εσωτερικής επιφάνειας του	160 kWh/m ² /Ετος
Μέγιστη ετήσια εξοικονόμηση καυσίμου	424,9 m ³ (gas): [Φυσικό αέριο Η]
Μέγιστη ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας	4.461,1 kWh
Μέγιστη ετήσια μείωση εκπομπής CO ₂	1.033,1 kg

Ηλιακή κάλυψη: ποσοστό ηλιακής ενέργειας στο σύστημα [SF_n]



Γραμμή του ορίζοντα



Μετεωρολογικά δεδομένα-Σύνοψη

Μέση εξωτερική θερμοκρασία	17,9 °C
Ετήσια συνολική ακτινοβολία	1.566,2 kWh/m ²
Ετήσια διάχυτη ακτινοβολία	647 kWh/m ²

Αναφορά Professional

Παρουσίαση εξαρτημάτων (ετήσιες τιμές)

Λέβητας	Λέβητας αερίου 25 kW με ενσωματωμένο κυκλοφορητή	
Ισχύς	kW	25
Συνολική απόδοση	%	71,8
Ενέργεια από/στο σύστημα [Q _{aux}]	kWh	1.770,7
Κατανάλωση καυσίμου και ηλεκτρικής ενέργειας [E _{aux}]	kWh	2.467,7
Ενεργειακή εξοικονόμηση ηλιοθερμικού	kWh	4.461,1
CO ₂ εξοικονόμηση ηλιοθερμικού	kg	1.033,1
Εξοικονόμηση καυσίμου ηλιοθερμικού	m ³ (gas)	424,9

Συλλέκτης	BALTUR SBCFV 271	
Πηγή δεδομένων		u139727
Αριθμός συλλεκτών		10
Παράλληλες συστοιχίες		2
Συνολική επιφάνεια	m ²	26,8
Συνολική εσωτερική επιφάνεια	m ²	25,1
Απορροφητική επιφάνεια	m ²	25
Γωνία κλίσης (οριζόντια=0°, κάθετα=90°)	°	45
Προσανατολισμός (Α=+90°, Ν=0°, Δ=-90°)	°	0
Ενεργειακή απόδοση συλλεκτών [Q _{sol}]	kWh	4.015
Ακτινοβολία στην επιφάνεια του συλλεκτή [E _{sol}]	kWh	42.818,2
Απόδοση συλλέκτη [Q _{sol} / E _{sol}]	%	9,4
Άμεση ακτινοβολία λαμβάνοντας υπόψη την γωνία πρόσπτωσης	kWh	24.980,8

Απαίτηση σε ζεστό νερό	Συνεχής	
Όγκος κατανάλωσης /καθημερινή κατανάλωση	l/d	202,1
Ρύθμιση θερμοκρασίας	°C	45
Απαίτηση ενέργειας [Q _{dem}]	kWh	2.324,3

Αναφορά Professional

Κτίριο	TEST	
Θερμαινόμενη/ψυχόμενη επιφάνεια	m ²	150
Ρύθμιση θερμοκρασίας δωματίου	°C	19,5
Απαίτηση για ενέργεια θέρμανσης εξαιρώντας το ζεστό νερό [Qdem]	kWh	1.762,1
Καθορισμένη απαίτηση για ενέργεια θέρμανσης εξαιρώντας το ζεστό νερό [Qdem]	kWh/m ²	11,7
Θερμικά κέρδη μέσω των παραθύρων	kWh	14.480,9
Συνολικές ενεργειακές απώλειες	kWh	20.948,6

Μεταγωγέας θερμότητας Θέρμανση δαπέδου	Θέρμανση δαπέδου 1000 W	
Αριθμός κυκλωμάτων θέρμανσης/ψύξης	-	9
Ισχύς ανά στοιχείο θέρμανσης υπο κανονικές συνθήκες	W	1.000
Θερμοκρασία προσαγωγής υπό κανονικές συνθήκες	°C	40
Θερμοκρασία επιστροφής υπό κανονικές συνθήκες	°C	35
Τελική ενέργεια από/τις μονάδες θέρμανσης/ψύξης	kWh	1.737,5

Δοχείο αποθήκευσης 5	Δοχείο 500 lt θέρμανσης και ζεστού νερού χρήσης	
Όγκος	l	500
Ύψος	m	1,5
Υλικό		Ανοξείζωτος χάλυβας
Μόνωση		Στέρεος PU αφρός
Πάχος της μόνωσης	mm	80
Απώλειες θέρμανσης	kWh	678,1
Απώλειες σύνδεσης	kWh	556,5

Κυκλοφορητής Κυκλοφορητής κυκλώματος θέρμανσης	Αντλία Eco, μεσαία	
Πτώση πίεσης κυκλώματος	bar	0,009
Παροχή	l/h	892,8
Κατανάλωση καυσίμου και ηλεκτρικής ενέργειας [Epar]	kWh	5,5

Κυκλοφορητής Κυκλοφορητής ηλιακού	Αντλία Eco, μικρή	
Πτώση πίεσης κυκλώματος	bar	0,173
Παροχή	l/h	1.004
Κατανάλωση καυσίμου και ηλεκτρικής ενέργειας [Epar]	kWh	2,8

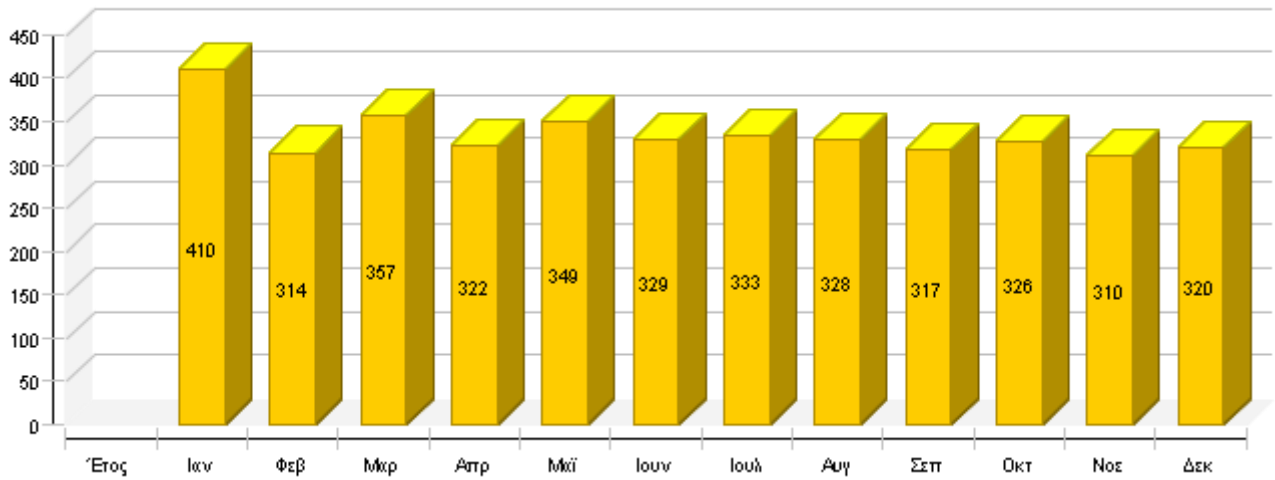
Αναφορά Professional

Κύκλωμα

Ηλιακό κύκλωμα		
Μίγμα υγρού		Μίγμα αιθυλενίου
Περιεκτικότητα υγρού	%	33,3
Όγκος ρευστών	l	104,3
Πίεση στην κορυφή του κυκλώματος	bar	4

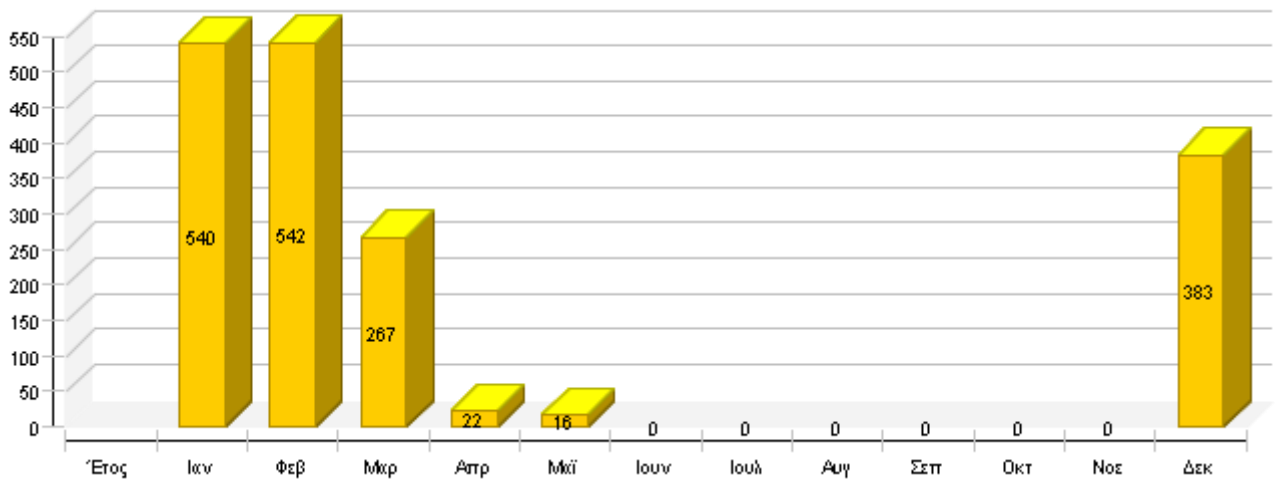
Ηλιοθερμική ενέργεια στο σύστημα [Qsol]

kWh



Ενέργεια μονάδος παραγωγής θερμότητας στο σύστημα (ενέργεια από ηλιοθερμία δεν περιλαμβάνεται) [Qaux]

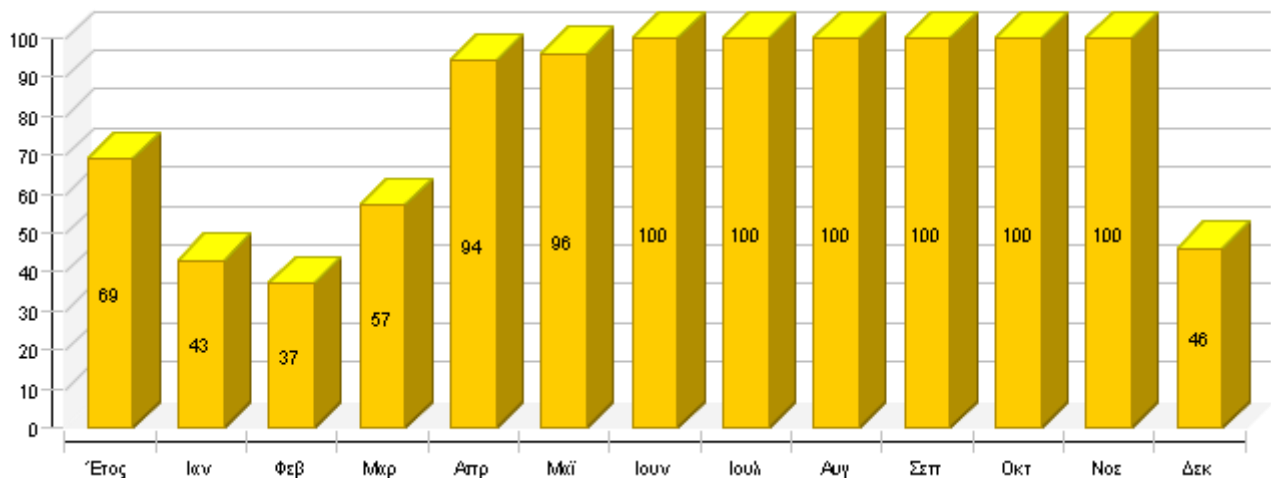
kWh



Αναφορά Professional

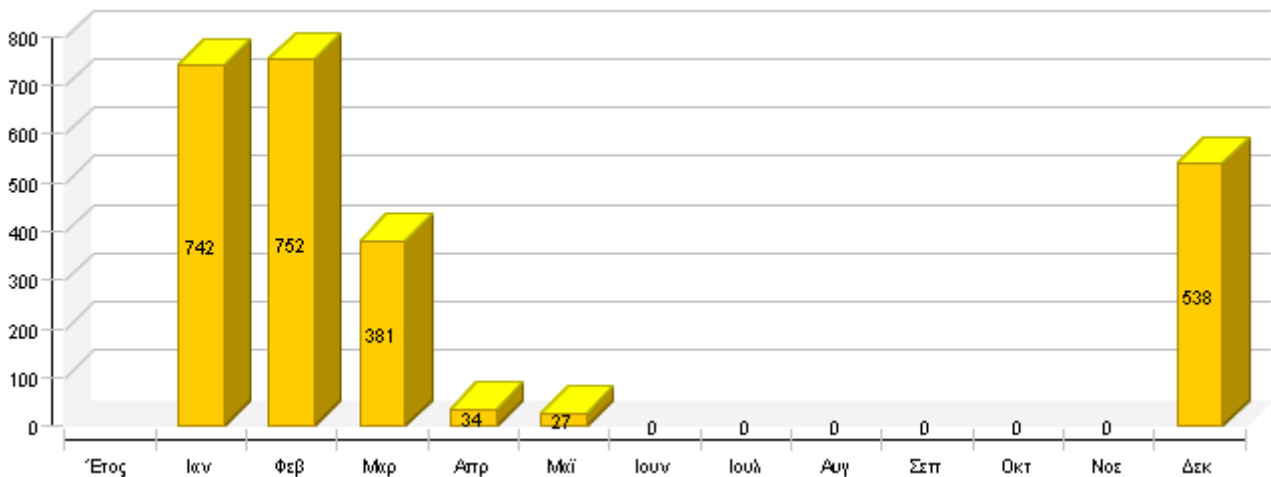
Ηλιακή κάλυψη: ποσοστό ηλιακής ενέργειας στο σύστημα [SFn]

%



Συνολική κατανάλωση καυσίμου ή/και ηλεκτρικής ενέργειας του συστήματος [Etot]

kWh



Έτος	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαΐ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
------	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	-----	-----	-----	-----	-----

Ηλιοθερμική ενέργεια στο σύστημα [Qsol]

kWh	4015	410	314	357	322	349	329	333	328	317	326	310	320
-----	------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Ενέργεια μονάδος παραγωγής θερμότητας στο σύστημα (ενέργεια από ηλιοθερμία δεν περιλαμβάνεται) [Qaux]

kWh	1771	540	542	267	22	16	0	0	0	0	0	0	383
-----	------	-----	-----	-----	----	----	---	---	---	---	---	---	-----

Κατανάλωση καυσίμου και ηλεκτρικής ενέργειας της μονάδας παραγωγής θερμότητας [Eaux]

kWh	2468	740	750	380	34	27	0	0	0	0	0	0	536
-----	------	-----	-----	-----	----	----	---	---	---	---	---	---	-----

Ηλιακή κάλυψη: ποσοστό ηλιακής ενέργειας στο σύστημα [SFn]

%	69,4	43,1	36,7	57,2	93,5	95,5	100	100	100	100	100	100	45,5
---	------	------	------	------	------	------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------

Συνολική κατανάλωση καυσίμου ή/και ηλεκτρικής ενέργειας του συστήματος [Etot]

kWh	2476	742	752	381	34	27	0	0	0	0	0	0	538
-----	------	-----	-----	-----	----	----	---	---	---	---	---	---	-----

Ακτινοβολία στην επιφάνεια του συλλέκτη [Esol]

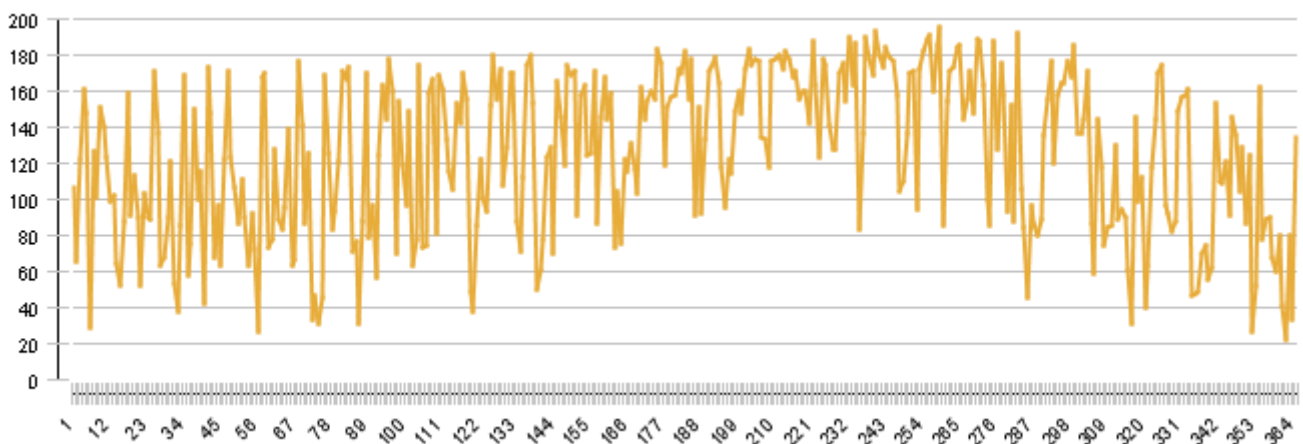
kWh	42818	2826	2621	3037	3693	3945	4082	4488	4830	4564	3742	2683	2309
-----	-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Αναφορά Professional

Έτος	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαϊ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας των κυκλοφορητών [Epar]												
kWh	8	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	2
Απώλειες θερμότητας στο εσωτερικό δωμάτιο (περιλαμβάνει απώλειες μονάδας παραγωγής θερμότητας) [Qint]												
kWh	2314	347	340	242	136	144	135	143	138	137	124	286
Απώλειες θερμότητας στο περιβάλλον χώρο (μη συμπεριλαμβανομένου απωλειών του συλλέκτη) [Qext]												
kWh	99	10	8	9	8	9	8	8	8	9	8	8
Συνολική ενεργειακή κατανάλωση [Quse]												
kWh	4102	795	741	472	233	206	188	185	180	175	187	552

Συλλέκτης

Μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία [°C]



Διάγραμμα ροής ενέργειας

