



**Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών
Τομέας Θερμότητας**

Διπλωματική Εργασία

«Σύγκριση μεθόδου καμπυλών f με τον ακριβή
(ανά ώρα) υπολογισμό για θέρμανση νερού
χρήσης στην περιοχή της Αθήνας»

Νίκη Σκουρλή

Επιβλέπων: Κίμων Α. Αντωνόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ 2017

«Σύγκριση μεθόδου καμπυλών f με τον ακριβή (ανά ώρα) υπολογισμό για
θέρμανση νερού χρήσης στην περιοχή της Αθήνας»

Αθήνα , Οκτώβριος 2017

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	9
Εισαγωγή	10
1. Ηλιακή Ενέργεια και ηλιακά συστήματα	11
1.1 Αξιοποίηση της Ηλιακής Ενέργειας	11
1.2 Ενεργητική Ηλιακή Θέρμανση	12
1.1.1. Ηλιακός Θερμοσίφωνα.....	13
1.1.2. Ηλιακοί συλλέκτες	17
1.2.3. Δεξαμενή αποθήκευσης.....	18
1.2.4. Αρχή λειτουργίας ηλιακού θερμοσίφωνα	19
1.2.5. Εγκατάσταση των ηλιακών θερμοσιφώνων	19
1.2.6. Ο ηλιακός θερμοσίφωνα σαν οικολογική συσκευή.....	20
1.3. Παθητικά Ηλιακά Συστήματα	22
1.3.1. Παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης.....	23
1.3.2. Παθητικά Συστήματα και Τεχνικές Φυσικού Δροσισμού	25
1.3.3. Συστήματα και Τεχνικές Φυσικού Φωτισμού	26
1.3.4. Βασικά χαρακτηριστικά παθητικών ηλιακών συστημάτων:.....	27
1.3.5. Ενεργειακές ροές.....	29
1.3.6. Παθητικά ηλιακά συστήματα και η απόδοσή τους στην Ελλάδα.....	29
1.3.7. Είδη παθητικών ηλιακών συστημάτων για θέρμανση.....	31
1.3.8. Συμπεράσματα	36
1.4. Ηλιακή Ενέργεια και ηλιακό δυναμικό	37
1.5. Εφαρμογές θερμικής ενεργειακής αποθήκευσης (ΘΕΑ) και ηλιακής ενέργειας στα κτίρια.	38
2.1 Λειτουργία ηλιακών συλλεκτών.....	41
2.2 Είδη ηλιακών συλλεκτών	42
2.2.1 Ηλιακοί συλλέκτες χωρίς κάλυμμα	43
2.2.2. Συλλέκτες κενού	44
2.2.3. Επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες.....	46
2.4 Ενεργειακό ισοζύγιο.....	49
2.5. Η απόδοση της θερμότητας στο θερμικό σύστημα.....	50
3.1 Ωφέλιμη θερμική ισχύς Q επίπεδου ηλιακού συλλέκτη	53
3.2. Μονάδα ενεργειακής αποθήκευσης.....	55
3.2.1. Υδάτινες αποθήκες ομοιόμορφης θερμοκρασίας	56

3.2.2. Θερμικά διαστρωματωμένη υδάτινη αποθήκη	59
3.3 Εναλλάκτες θερμότητας	61
3.4. Βοηθητική ενέργεια.....	63
3.5 Συστήματα ελέγχου	64
3.6 Σωληνώσεις	65
4.1 Εισαγωγή	66
4.2 Ανάλυση της μεθόδου f-chart	68
4.2.1 Βασικές εξισώσεις	68
4.2.2 Διορθωτικοί συντελεστές	73
4.2.3. Υπολογισμός θερμικού φορτίου, L	78
5.1 Υπολογισμός Ολικής ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου.....	84
5.2 Διαγράμματα Gb-t, Gd-t, Gt-t	89
5.3 Υπολογισμός Θερμοκρασίας Περιβάλλοντος.....	91
5.4 Διάγραμμα Ta-t.....	92
5.5. Υπολογισμός μέσης ημερήσιας Ολικής Ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου HT	92
6.1 Γενικά.....	94
6.2 Παραμετρική ανάλυση θερμικού ηλιακού συστήματος	95
6.2.1. Μέθοδοι Υπολογισμού Κάλυψης Φορτίου.	95
6.2.2 Παραμετρική ανάλυση θερμικού ηλιακού συστήματος.....	96
6.3. Ανάλυση με παράμετρο την επιφάνεια του ηλιακού συλλέκτη	99
6.4. Αρχική Θερμοκρασία Δεξαμενής Αποθήκευσης.....	106
6.5. Ανάλυση με παράμετρο τη χωρητικότητα ανά τετραγωνικό επιφάνειας ηλιακού συλλέκτη και κατ' επέκταση τον όγκο της δεξαμενής αποθήκευσης.	112
6.6. Ανάλυση με παράμετρο την επιθυμητή θερμοκρασία νερού T_w και την συλλεκτική επιφάνεια.	115
Συμπεράσματα	121
Βιβλιογραφία	122

Ευχαριστίες

Ολοκληρώνοντας την εργασία αυτή θα ήθελα πρωτίστως να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κύριο Κίμωνα Α. Αντωνόπουλο για την ανάθεση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας και τη δυνατότητα που μου έδωσε να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο θέμα, για την αμέριστη κατανόηση και τη βοήθειά του καθώς επίσης και για την ενθάρρυνση και το χρόνο που διέθεσε για την επιτυχή ολοκλήρωσή της κατά τη διάρκεια της συνεργασίας μας.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τη μητέρα μου Μαρία για όσα μου έχει προσφέρει όλα αυτά τα χρόνια, τη φίλη μου Δανάη και όλους τους φίλους μου και για τη στήριξη και τη συμπαράσταση που μου προσέφεραν όλον αυτόν τον καιρό.

Εισαγωγή

Σκοπός της παρούσης διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση, μέσω παραμετρικών αναλύσεων, της συμπεριφοράς και απόδοσης ενός δεδομένου **Θερμικού Ηλιακού Συστήματος (Θ.Η.Σ.)** για την περιοχή της Αθήνας.

Στα πλαίσια αυτά, στο πρώτο μέρος της εργασίας περιλαμβάνεται μία βιβλιογραφική έρευνα, η οποία καλύπτει θέματα όπως η ηλιακή ακτινοβολία, κατηγορίες - εφαρμογές και ανάλυση των κύριων συνιστωσών ολοκληρωμένων Θ.Η.Σ., καθώς επίσης και μεθόδους εξομοίωσης τους.

Στο δεύτερο μέρος αναπτύσσεται πρόγραμμα υπολογιστή, το οποίο αφ' ενός υπολογίζει την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε μία επιφάνεια στην περιοχή της Αθήνας, αφ' ετέρου προσδιορίζει, μέσω δύο μεθόδων (*αναλυτική* και *f-chart*), τα μηνιαία ποσοστά κάλυψης του φορτίου ενός δεδομένου Θ.Η.Σ. κατά τους χειμερινούς μήνες. Η μελέτη αυτή πραγματοποιείται κατά την 21^η ημέρα των μηνών που μελετάμε.

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων αυτών εμφανίζονται στη συνέχεια σε σχετικά γραφήματα παρέχοντας διάφορα χρήσιμα συμπεράσματα.

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε υπό την επίβλεψη του κυρίου Κίμωνα Α. Αντωνόπουλου, καθηγητή Ε.Μ.Π. στον τομέα Θερμότητας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 :

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

1. Ηλιακή Ενέργεια και ηλιακά συστήματα

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

1.1 Αξιοποίηση της Ηλιακής Ενέργειας

Σήμερα αξιοποιούμε με πολλούς τρόπους την ευεργετική δράση της ηλιακής ακτινοβολίας:

1. Με τη χρήση των θερμικών ηλιακών συστημάτων που συλλέγουν την ηλιακή ακτινοβολία και τη μετατρέπουν σε θερμότητα σε κάποια θερμομονωμένη δεξαμενή, όπου την αποθηκεύουν και ονομάζονται ενεργητικά ηλιακά συστήματα.
2. Με τα παθητικά ηλιακά συστήματα, δηλαδή όλα τα κατάλληλα σχεδιασμένα και συνδυασμένα δομικά στοιχεία των οικοδομικών κατασκευών (κτιρίων) που υποβοηθούν την καλύτερη άμεση ή έμμεση εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας είτε για τη θέρμανση των κτιρίων το χειμώνα είτε για το δρόσισμα τους το καλοκαίρι.

3. Με την κατευθείαν μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική με τη χρήση των φωτοβολταϊκών συστημάτων .

Η Ελλάδα, χώρα με μεγάλη ηλιοφάνεια, προσφέρεται για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας. Η μέση ημερήσια ενέργεια που δίνεται από τον ήλιο στην Ελλάδα είναι 4,6 KWh/m²

Τα θερμικά ηλιακά συστήματα μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε θερμότητα. Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι ηλιακών συστημάτων θέρμανσης: παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης και ενεργητικά ηλιακά συστήματα (ενεργητική ηλιακή θέρμανση).

1.2 Ενεργητική Ηλιακή Θέρμανση

Η ενεργητική ηλιακή θέρμανση είναι παρόμοια με την παθητική ηλιακή θέρμανση, αλλά είναι μια πολύ πιο περίπλοκη διαδικασία και παράγει πολύ περισσότερη θερμότητα από ότι τα παθητικά συστήματα.

Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα χρησιμοποιούν τους συλλέκτες και τη δεξαμενή αποθήκευσης ως χωριστές συνιστώσες και η μεταφορά της ενέργειας γίνεται με τη βοήθεια κάποιας αντλίας συστήματος.

Τα ενεργητικά συστήματα θέρμανσης μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες: τα συστήματα αέρα και τα συστήματα υγρού.

Ένα θερμικό ηλιακό σύστημα συλλέγει, αποθηκεύει και διανέμει την ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιώντας είτε κάποιο υγρό, είτε αέρα, ως ρευστό μεταφοράς της θερμότητας των συλλεκτών.

Οι διαφορές στα συστήματα θέρμανσης βρίσκονται στον τρόπο, με τον οποίο η ηλιακή ενέργεια συσσωρεύεται στον ηλιακό συλλέκτη.

Τα συστήματα υγρού χρησιμοποιούν ένα υγρό για να συλλέγουν την ενέργεια στον ηλιακό συλλέκτη. Υπόψη ότι τα συστήματα αέρα απορροφούν την ενέργεια μέσω του αέρα.

Δεδομένου ότι οι ηλιακοί συλλέκτες συνήθως εγκαθίστανται στην οροφή του κτιρίου που θερμαίνεται, το καλύτερο είναι να τοποθετηθεί η ζεστή έξοδος του αέρα στην οροφή, για να συντομεύσει την πορεία του αγωγού.

Ένα σύστημα που εγκαθίσταται με αυτόν τον τρόπο, αναμιγνύει τον αέρα σε ένα κτίριο, σαν ένα ανεμιστήρα οροφής, εκτός από την παροχή ηλιακής θερμότητας. Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για θέρμανση νερού οικιακής χρήσης, για τη θέρμανση και ψύξη χώρων (μπόιλερ), για βιομηχανικές διεργασίες, για αφαλάτωση, για διάφορες αγροτικές εφαρμογές, για θέρμανση πισίνων κ.τ.λ.

Η επιφάνεια ηλιακών συστημάτων, που βρίσκονται σε λειτουργία στη χώρα μας, είναι περίπου 4.000.000. Ήδη, περισσότερες από 1.000.000 ελληνικές οικογένειες καλύπτουν περίπου 80% των ετήσιων αναγκών τους σε ζεστό νερό χρήσης με ηλιακό θερμοσίφωνα και περίπου 60% των ετήσιων αναγκών θέρμανσης του σπιτιού τους. Η απόδοση των ηλιακών συλλεκτών και η ποιότητα τους γενικά έχουν βελτιωθεί τα τελευταία χρόνια. Η Ελλάδα κατέχει αυτή τη στιγμή την Τρίτη θέση (μετά την Αυστρία) στην ευρωπαϊκή αγορά ως προς την εγκατεστημένη επιφάνεια ηλιακών συλλεκτών. Η Ελλάδα είναι ο μεγαλύτερος εξαγωγέας σε όλη την Ευρώπη και μάλιστα σε χώρες με ιδιαίτερη βιομηχανική παράδοση, όπως η Γερμανία .

1.1.1. Ηλιακός Θερμοσίφωνας

Ο ηλιακός θερμοσίφωνας είναι ένα ενεργητικό ηλιακό σύστημα που ζεσταίνει νερό χρησιμοποιώντας την ηλιακή ακτινοβολία. Χρησιμοποιείται ευρύτατα στις χώρες που έχουν μεγάλη ηλιοφάνεια, όπως για παράδειγμα στις χώρες της Μεσογείου και στην Ελλάδα.

Ο ηλιακός θερμοσίφωνας είναι η απλούστερη και η γνωστότερη ηλιακή συσκευή. Κατά την λειτουργία του γίνεται εκμετάλλευση δυο φυσικών φαινομένων. Με την αρχή του θερμοσιφώνου επιτυγχάνεται η κυκλοφορία του νερού με φυσικό τρόπο χωρίς μηχανικά μέρη (αντλίες κλπ.) ενώ η θέρμανση του νερού γίνεται με την εκμετάλλευση του φαινομένου του θερμοκηπίου που αναπτύσσεται στους συλλέκτες του.

Ιστορία του Ηλιακού Θερμοσίφωνα

Ο ηλιακός θερμοσίφωνας άρχισε να χρησιμοποιείται στην Καλιφόρνια γύρω στο 1880 και πατενταρίστηκε για πρώτη φορά απ' τον Κλάρενς Κεμπ το 1891. Έφτασε να χρησιμοποιείται στο 30% των σπιτιών της Καλιφόρνιας, αλλά η χρήση του ατόνησε με το γύρισμα του αιώνα, λόγω της χρήσης του άφθονου τότε πετρελαίου και του εξηλεκτρισμού. Μετά την πετρελαϊκή κρίση της δεκαετίας του '70 και ιδιαίτερα τη δεκαετία του '80 άρχισε να χρησιμοποιείται ευρύτατα στις χώρες με ηλιοφάνεια. Στην Κύπρο αναλογεί ένας ηλιακός θερμοσίφωνας για κάθε πέντε κατοίκους, ενώ στο Ισραήλ η χρήση τους είναι υποχρεωτική στις καινούργιες οικοδομές. Σε πολλές άλλες χώρες η χρήση τους επιδοτείται.

Στην Ελλάδα η διάδοση των ηλιακών συσκευών είναι πολύ εντυπωσιακή: το πρώτο μοντέλο λανσαρίστηκε το 1974, το 1980 υπήρχαν εγκατεστημένα περίπου εκατόν πενήντα χιλιάδες τετραγωνικά μέτρα συλλεκτών και το 2004 περίπου τρία

εκατομμύρια τετραγωνικά μέτρα συλλεκτών. Μέρος της επιτυχίας αυτής των ηλιακών θερμοσιφώνων στην Ελλάδα οφείλεται στα φορολογικά κίνητρα που είχε θεσπίσει το Ελληνικό κράτος. Σήμερα οι ηλιακοί θερμοσίφωνες χρησιμοποιούνται από περισσότερους από ένα εκατομμύριο καταναλωτές. Μέχρι και τα τελευταία χρόνια, η Ελλάδα ήταν απ' τις κύριες κατασκευάστριες χώρες ηλιακών θερμοσιφώνων.

Είδη ηλιακών θερμοσιφώνων

Διακρίνουμε δύο είδη ηλιακών θερμοσιφώνων ανάλογα με το κύκλωμα κυκλοφορίας του θερμαινόμενου μέσου:

- Ανοικτού κυκλώματος:

απευθείας θέρμανση του νερού χρήσης

(το θερμαινόμενο μέσο είναι το ίδιο το νερό που θα χρησιμοποιήσουμε).

- Κλειστού κυκλώματος:

έμμεση θέρμανση του νερού χρήσης

(το θερμαινόμενο μέσο κυκλοφορεί σε ιδιαίτερο κύκλωμα το οποίο θερμαίνει το νερό που θα χρησιμοποιήσουμε χωρίς να γίνεται ανάμιξή τους, μέσω εναλλάκτη θερμότητας).

Οι ηλιακοί θερμοσίφωνες ανοικτού κυκλώματος είναι απλούστεροι και φθηνότεροι, έχουν όμως προβλήματα σε χαμηλές θερμοκρασίες (παγετούς) γιατί δεν μπορούμε να τους προσθέσουμε αντιψυκτικά μίγματα (το θερμαινόμενο μέσο είναι το ίδιο το νερό χρήσης). Στους ηλιακούς θερμοσίφωνες κλειστού κυκλώματος μπορεί το θερμαινόμενο μέσο να είναι και άλλο ρευστό (πχ. λάδι). Αν είναι νερό, έχει αντιψυκτικά και αντιδιαβρωτικά πρόσθετα για προστασία της συσκευής.

Επίσης μπορούμε να κατηγοριοποιήσουμε τους ηλιακούς θερμοσίφωνες ανάλογα με τον αριθμό ενεργειακών πηγών που μπορούν να εκμεταλλευτούν σε:

- Διπλής ενέργειας:

Ο θερμοσίφωνας λειτουργεί εκμεταλλευόμενος είτε την ηλιακή ενέργεια είτε το ηλεκτρικό ρεύμα (π.χ. κατά την διάρκεια συννεφιάς οπότε η ηλιακή ενέργεια δεν είναι αρκετή για να ζεστάνει το νερό). Για τον σκοπό αυτό, υπάρχει ηλεκτρική αντίσταση τοποθετημένη εντός του τμήματος αποθήκευσης.

- Τριπλής ενέργειας:

Λειτουργεί όπως ο ηλιακός θερμοσίφωνας διπλής ενέργειας αλλά έχει επιπλέον μια είσοδο για να εκμεταλλευτεί ως θερμαντικό μέσο το ζεστό νερό του καλοριφέρ που παράγεται από τον λέβητα κεντρικής θέρμανσης. Προϋπόθεση για την εγκατάσταση ηλιακού θερμοσίφωνα τριπλής ενέργειας είναι να υπάρχει η κατάλληλη υποδομή στο οίκημα υπό την μορφή ξεχωριστών σωληνώσεων (ανά διαμέρισμα εάν πρόκειται για πολυκατοικία) που να συνδέουν το λεβητοστάσιο με τον χώρο εγκατάστασης του ηλιακού θερμοσίφωνα (ταράτσα ή σκεπή).

Μέρη ηλιακού θερμοσίφωνα

Οι ηλιακοί θερμοσίφωνες, ανεξάρτητα από το είδος τους, αποτελούνται από δύο βασικά μέρη:

- Το τμήμα συλλογής (οι ηλιακοί συλλέκτες, η επιφάνεια απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας).
- Το τμήμα αποθήκευσης (η δεξαμενή αποθήκευσης του νερού).

Τα δύο αυτά μέρη είναι συναρμολογημένα μαζί και συνδέονται με σωληνώσεις, αλλά σε μεγαλύτερα συστήματα μπορούν να είναι και χωριστά και να

χρησιμοποιούνται αντλίες για την κυκλοφορία του θερμαινόμενου μέσου, ειδικά όταν το τμήμα αποθήκευσης δεν βρίσκεται στον ίδιο χώρο με το τμήμα συλλογής. Το τμήμα αποθήκευσης διαθέτει και ηλεκτρική αντίσταση με θερμοστάτη, για να μπορεί να παράγεται ζεστό νερό και σε άσχημες καιρικές συνθήκες. Οι ακριβότεροι ηλιακοί θερμοσίφωνες διαθέτουν και κάποια λίγα εξαρτήματα ελέγχου όπως βαλβίδα υπερπίεσης ή αυτόματα εξαεριστικά.

1.1.2. Ηλιακοί συλλέκτες

Το κυριότερο μέρος ενός ηλιακού θερμοσίφωνα είναι οι ηλιακοί συλλέκτες (ή καθρέπτες), που είναι η επιφάνεια συλλογής της ηλιακής ακτινοβολίας. Αυτή αποτελείται από τέσσερα μέρη:

- Την πλάκα συλλογής της ακτινοβολίας
- Τους σωλήνες ροής του νερού
- Την κάλυψη (κρύσταλλο) της πλάκας απορρόφησης και
- Το θερμικά μονωμένο πλαίσιο πάνω στο οποίο στερεώνονται τα υπόλοιπα εξαρτήματα.

Λειτουργία ηλιακών συλλεκτών

Η λειτουργία των συλλεκτών του ηλιακού θερμοσίφωνα βασίζεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου που αναπτύσσεται στο χώρο ανάμεσα στην πλάκα απορρόφησης και τη γυάλινη επικάλυψη. Καταρχήν η ηλιακή ακτινοβολία πέφτει στην (συνήθως μαύρη) απορροφητική πλάκα, ανεβάζοντας τη θερμοκρασία της. Η πλάκα με τη σειρά της εκπέμπει μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία (θερμική ακτινοβολία) για την οποία το τζάμι που καλύπτει την πλάκα είναι σχεδόν αδιαφανές. Έτσι η μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία (η ζέστη)

παγιδεύεται ανάμεσα στην πλάκα και το τζάμι, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η απόδοση όσον αφορά τη θέρμανση του νερού (που κυκλοφορεί σε σωλήνες που είναι σ' επαφή με την πλάκα στο πίσω μέρος της ή ενσωματωμένοι σ' αυτή).

Οι κρίσιμοι παράγοντες για την καλή απόδοση του συστήματος είναι η μεγάλη απορροφητικότητα της πλάκας στην ηλιακή ακτινοβολία, ο μικρός συντελεστής εκπομπής της πλάκας στη μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία και η μεγάλη αδιαφάνεια του κρυστάλλου για τη δεύτερη. Τα υλικά που προσφέρουν την καλύτερη σχέση απόδοσης-τιμής είναι γυαλί και επιφάνεια από αλουμίνιο ή χαλκό χρωματισμένη μαύρη.

1.2.3. Δεξαμενή αποθήκευσης

Η δεξαμενή αποθήκευσης του νερού χρήσης έχει χωρητικότητα που κυμαίνεται από 100 έως 200 λίτρα για συνήθεις οικιακές εφαρμογές. Η χωρητικότητά της είναι συνάρτηση της συλλεκτικής επιφάνειας που διαθέτει. Είναι συνήθως χαλύβδινη, με εσωτερική επίστρωση για προστασία από την διάβρωση. Η επίστρωση αυτή είναι συνήθως από ειδικά πλαστικά ή εποξειδικά χρώματα ή εμαγιέ (υαλόκραμα). Εναλλακτικά και για ακριβότερα συστήματα η δεξαμενή αποθήκευσης μπορεί να είναι χάλκινη ή ανοξειδωτή. Εξωτερικά έχει πολύ καλή μόνωση συνήθως από πολυουρεθάνη ή υαλοβάμβακα.

Συνήθως έχει ενσωματωμένη κάποια ηλεκτρική αντίσταση. Στα συστήματα κλειστού κυκλώματος έχει επιπλέον ενσωματωμένο εναλλάκτη (σερπαντίνα) για την κυκλοφορία του θερμαινόμενου μέσου ή σε πιο ακριβά συστήματα είναι διπλών τοιχωμάτων (ανάμεσα στα δύο τοιχώματα κυκλοφορεί το θερμαινόμενο μέσο).

1.2.4. Αρχή λειτουργίας ηλιακού θερμοσίφωνα

Ο ηλιακός θερμοσίφοντας κατά την λειτουργία του εκμεταλλεύεται το φυσικό φαινόμενο της ροής των ρευστών λόγω διαφοράς θερμοκρασίας (διαφοράς πυκνότητας), γνωστό και σαν αρχή του θερμοσιφώνου. Έτσι επιτυγχάνεται με φυσικό τρόπο χωρίς κυκλοφορητή (αντλία) συνεχής ροή του θερμαινόμενου μέσου, από το θερμότερο σημείο (ηλιακοί συλλέκτες) προς το ψυχρότερο (δεξαμενή νερού), μέχρις ότου τα δύο σημεία να αποκτήσουν παρόμοιες θερμοκρασίες. Για να είναι αυτό δυνατό πρέπει το ψυχρότερο σημείο να είναι ψηλότερα από το θερμότερο σημείο και για τον λόγο αυτό σε όλους τους ηλιακούς θερμοσίφωνες η δεξαμενή αποθήκευσης είναι πάντα ψηλότερα από τους ηλιακούς συλλέκτες.

Η συνολική απόδοση του ηλιακού θερμοσίφωνα εξαρτάται κι απ' τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, τη νεφοκάλυψη και την αποτελεσματικότητα της θερμικής μόνωσης του συστήματος.

1.2.5. Εγκατάσταση των ηλιακών θερμοσιφώνων

Ο καλύτερος προσανατολισμός για την τοποθέτηση των ηλιακών θερμοσιφώνων (ακριβέστερα των ηλιακών συλλεκτών) είναι ο νότιος, για να εκμεταλλεύεται ο θερμοσίφοντας όσο περισσότερες ώρες ηλιοφάνειας γίνεται. Απόκλιση μέχρι 15 μοίρες από τον νότο δεν έχει μεγάλη επίπτωση στην απόδοσή του. Σε μεγαλύτερη απόκλιση παρατηρείται μείωση της απόδοσης. Ακόμα η κλίση του ηλιακού συλλέκτη πρέπει να είναι 20-50 μοίρες. Μεγαλύτερη ή μικρότερη κλίση μειώνει την απόδοση.

Οι προβλεπόμενες συνδέσεις για την λειτουργία του είναι δύο υδραυλικές (είσοδος κρύου νερού, έξοδος ζεστού νερού χρήσης) και μία ηλεκτρική (ηλεκτρική αντίσταση). Στην είσοδο του κρύου νερού πρέπει να τοποθετηθεί βάννα για να είναι δυνατή η απομόνωσή του από το δίκτυο σε περίπτωση συντήρησης ή επισκευής. Καλό είναι στις υδραυλικές σωληνώσεις να τοποθετηθεί βαλβίδα ασφαλείας έναντι υπερπίεσης και αυτόματο εξαεριστικό, αν δεν υπάρχουν ήδη ενσωματωμένα από τον κατασκευαστή. Καλό είναι επίσης στην σωλήνωση εξόδου του ζεστού νερού χρήσης να τοποθετηθεί εξωτερικό μονωτικό περίβλημα καλής ποιότητας.

Χρειάζεται στοιχειώδης συντήρηση, κυρίως καθαρισμός των πλακών επιφανειακά, αντικατάσταση της αντιδιαβρωτικής προστασίας όποτε αυτό απαιτείται σύμφωνα με τον κατασκευαστή και συμπλήρωση με αντιψυκτικό υγρό τον χειμώνα (μόνο στους ηλιακούς θερμοσίφωνες κλειστού κυκλώματος). Ακόμα σε περιπτώσεις ισχυρού ψύχους (χιόνι, παγετός κλπ) συνιστάται η κάλυψη των κρυστάλλων με πανί ή χαρτόνι για να αποφευχθεί η καταστροφή τους (θραύση). Σημειώνεται ότι η κάλυψη των κρυστάλλων δεν προσφέρει καμία προστασία σε περίπτωση θερμοσίφωνων ανοικτού κυκλώματος. Το μόνο αποτελεσματικό μέτρο σε τέτοιες περιπτώσεις είναι το πλήρες άδειασμα του θερμοσίφωνα από το νερό μέχρι να αυξηθεί η θερμοκρασία του περιβάλλοντος πάνω από το μηδέν.

1.2.6. Ο ηλιακός θερμοσίφωνας σαν οικολογική συσκευή

Ο ηλιακός θερμοσίφωνας είναι μια απ' τις "καθαρότερες" και πιο αποδοτικές συσκευές που χρησιμοποιούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Στη διάρκεια ζωής του ο ηλιακός θερμοσίφωνας εξοικονομεί περίπου δυο χιλιάδες ευρώ απ' τους

λογαριασμούς ρεύματος σε τιμές 2005, ενώ αποφεύγεται η έκλυση περίπου τριάντα τόνων διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Κάθε ντους με νερό από ηλιακό θερμοσίφωνα ισοδυναμεί με τρία κιλά διοξειδίου του άνθρακα λιγότερα στην ατμόσφαιρα.

Πέρα από την οικιακή χρήση, η οποία είναι και η πιο διαδεδομένη σήμερα, ενεργητικά ηλιακά συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν οπουδήποτε απαιτείται θερμότητα χαμηλής ενεργειακής στάθμης. Έτσι, η χρήση της ηλιακής ενέργειας για την παραγωγή ψύξης, για τον κλιματισμό χώρων και άλλες εφαρμογές, εμφανίζεται ως μια από τις πολλά υποσχόμενες προοπτικές, λόγω της αυξημένης ηλιακής ακτινοβολίας ακριβώς την εποχή που απαιτούνται τα ψυκτικά φορτία. Υπάρχουν ήδη μερικές επιτυχημένες εφαρμογές τέτοιων συστημάτων στη χώρα μας και αναμένεται να έχουν ταχεία ανάπτυξη.

Μια άλλη εφαρμογή που έχει εξαπλωθεί στην ευρωπαϊκή αγορά, ενώ μπαίνει σταδιακά και στη χώρα μας, είναι ο συνδυασμός παραγωγής ζεστού νερού χρήσης και θέρμανσης χώρων με ενεργητικά ηλιακά συστήματα. Η χρήση των συστημάτων αυτών στις ελληνικές κλιματικές συνθήκες, για τη θέρμανση χώρων, θεωρείται τεχνικά, αλλά και οικονομικά αποδοτική, αν συνδυαστεί με την κατάλληλη μελέτη/κατασκευή του κτιρίου (καλή μόνωση, εκμετάλλευση των παθητικών ηλιακών ωφελειών, κ.τ.λ.) και τη συνεργασία του χρήστη. Μπορεί να εξοικονομήσει συμβατική ενέργεια σε νέα ή παλιά κτίρια, στα οποία έχουν ληφθεί όλα τα εφικτά μέτρα για την ελαχιστοποίηση των απωλειών και τη μεγιστοποίηση της οικονομικότητας της εγκατάστασης. Είναι πάντως πολύ σημαντικός ο σωστός σχεδιασμός του ηλιακού συστήματος και η προσεκτική εξέταση της οικονομικότητας της εγκατάστασης για την αποφυγή λανθασμένων επιλογών και τη βελτιστοποίηση της απόδοσης.

Τέλος, στην ευρωπαϊκή αγορά αρχίζει να εισχωρεί και ο ηλιακός κλιματισμός, δηλαδή η χρήση ηλιακής ενέργειας, όχι μόνο για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης

και θέρμανσης χώρων, αλλά και ο κλιματισμός τους την καλοκαιρινή περίοδο. Η χρήση των συστημάτων αυτών στις ελληνικές κλιματικές συνθήκες είναι τεχνικά, αλλά και οικονομικά αποδοτική, δεδομένων των εξαιρετικά υψηλών απαιτήσεων σε κλιματισμό, σε συνδυασμό με την ταυτόχρονη υψηλή, δωρεάν ηλιακή ενέργεια. Τέτοιες εγκαταστάσεις επιδρούν θετικά και στην ηλεκτροπαραγωγή της χώρας μας, καθώς η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας ενός συστήματος ηλιακού κλιματισμού είναι από 90% έως και 97% χαμηλότερη από αυτή ενός συμβατικού κλιματιστικού συστήματος.

Η δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας τόσο σε απομακρυσμένες όσο και σε κατοικημένες περιοχές, χωρίς επιπτώσεις στο περιβάλλον, κάνει ελκυστική τη χρήση θερμικών ηλιακών συστημάτων στην Ελλάδα.

1.3. Παθητικά Ηλιακά Συστήματα

Τα Παθητικά Ηλιακά Συστήματα είναι αναπόσπαστα κομμάτια - δομικά στοιχεία ενός κτιρίου που λειτουργούν χωρίς μηχανολογικά εξαρτήματα ή πρόσθετη παροχή ενέργειας και με φυσικό τρόπο θερμαίνουν, αλλά και δροσίζουν τα κτίρια.

Τα Παθητικά Συστήματα χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

1. Παθητικά Ηλιακά Συστήματα Θέρμανσης
2. Παθητικά Συστήματα και Τεχνικές Φυσικού Δροσισμού
3. Συστήματα και Τεχνικές Φυσικού Φωτισμού

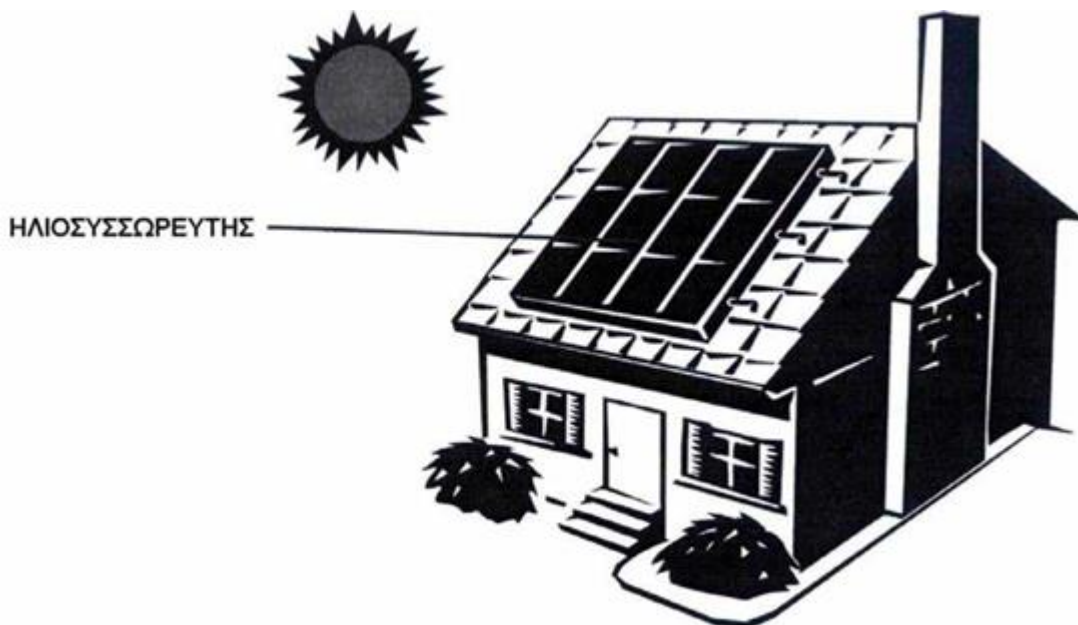
Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός ενός κτιρίου συνεπάγεται τη συνύπαρξη και συνδυασμένη λειτουργία όλων των συστημάτων, ώστε να συνδυάζουν θερμικά και οπτικά οφέλη καθ'όλη τη διάρκεια του έτους.

1.3.1. Παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα στα κτίρια αξιοποιούν την ηλιακή ενέργεια για θέρμανση των χώρων το χειμώνα, καθώς και για παροχή φυσικού φωτισμού.

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια, την αποθηκεύουν υπό μορφή θερμότητας και τη διανέμουν στο χώρο.

Η συλλογή της ηλιακής ενέργειας βασίζεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και ειδικότερα, στην είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας μέσω του γυαλιού ή άλλου διαφανούς υλικού και τον εγκλωβισμό της προκύπτουσας θερμότητας στο εσωτερικό του χώρου που καλύπτεται από το γυαλί. Όλα τα παθητικά ηλιακά συστήματα πρέπει να έχουν προσανατολισμό περίπου νότιο, ώστε να υπάρχει ηλιακή πρόσπτωση στα ανοίγματα κατά τη μεγαλύτερη διάρκεια της ημέρας το χειμώνα.



Τυπική διάταξη ηλιακού συλλέκτη σε κατοικία.

Το συνηθέστερο παθητικό ηλιακό σύστημα (σύστημα άμεσου κέρδους) βασίζεται στην αξιοποίηση των παραθύρων κατάλληλου προσανατολισμού, σε συνδυασμό με την κατάλληλη θερμική μάζα (βαριά υλικά, όπως πέτρα, πλάκες, μπετόν στους τοίχους και στα δάπεδα, χωρίς να είναι καλυμμένα, π.χ. από χαλιά), η οποία απορροφά μέρος της θερμότητας και την «προσφέρει» στο χώρο αργότερα και έτσι διατηρείται ο χώρος θερμός για πολλές ώρες. Ένα νότιο οριζόντιο σκίαστρο μπορεί να εμποδίσει τον καλοκαιρινό ήλιο που έρχεται από πιο ψηλά να μπει απ' ευθείας στο χώρο.

Τα υπόλοιπα παθητικά συστήματα είναι συστήματα έμμεσου κέρδους και ταξινομούνται στις παρακάτω κατηγορίες:

- **Ηλιακοί τοίχοι** : Έχουν στην εξωτερική τους πλευρά, σε μικρή απόσταση από την τοιχοποιία τζάμι (υαλοπίνακα) και λειτουργούν ως ηλιακοί συλλέκτες, μεταφέροντας τη θερμότητα είτε μέσω του υλικού του τοίχου (τοίχος θερμικής αποθήκευσης), είτε μέσω θυρίδων (θερμοσιφωνικό πανέλο) στον εσωτερικό χώρο. Συνδυασμός των δύο λειτουργιών είναι ο τοίχος μάζας με θυρίδες τοίχος Trombe - Michel .
- **Θερμοκήπια (ηλιακοί χώροι)** : Είναι κλειστοί χώροι που ενσωματώνονται σε νότια τμήματα του κτιριακού κελύφους και περιβάλλονται από υαλοστάσια. Η ηλιακή θερμότητα από το θερμοκήπιο μεταφέρεται στους κυρίως χώρους του κτιρίου μέσω ανοιγμάτων ή και διαπερνά τον τοίχο.
- **Ηλιακά αίθρια**: είναι εσωτερικοί χώροι του κτιρίου οι οποίοι έχουν στην οροφή τους τζάμι και λειτουργούν όπως τα θερμοκήπια.

Όλα τα Παθητικά Ηλιακά Συστήματα πρέπει να συνδυάζονται με την απαιτούμενη θερμική προστασία (θερμομόνωση) και την απαιτούμενη θερμική μάζα του κτιρίου, η οποία αποθηκεύει και αποδίδει τη θερμότητα στο χώρο με

χρονική υστέρηση, ομαλοποιώντας έτσι την κατανομή της θερμοκρασίας μέσα στο εικοσιτετράωρο. Τα παθητικά ηλιακά συστήματα θα πρέπει το καλοκαίρι να συνδυάζονται με ηλιοπροστασία και συχνά με δυνατότητα αερισμού.

1.3.2. Παθητικά Συστήματα και Τεχνικές Φυσικού Δροσισμού

Οι πιο συνηθισμένες και απλές μέθοδοι φυσικού δροσισμού είναι:

- Η ηλιοπροστασία (σκίαση) του κτιρίου, η οποία επιτυγχάνεται με διάφορους τρόπους και μέσα, όπως η φυσική βλάστηση, τα γεωμετρικά στοιχεία (προεξοχές) του κτιρίου, σκίαστρα μόνιμα ή κινητά, εξωτερικά ή εσωτερικά των ανοιγμάτων, υαλοπίνακες με ειδικές επιστρώσεις ή ειδικής επεξεργασίας (ανακλαστικοί, επιλεκτικοί, ηλεκτροχρωμικοί, κ.λ.π.).
- Ο φυσικός εξαερισμός με κατάλληλο σχεδιασμό και λειτουργία των ανοιγμάτων στο κέλυφος και θυρίδες στο πάνω και κάτω τμήμα των διαχωριστικών εσωτερικών τοίχων που επιτρέπουν την κίνηση του αέρα στους εσωτερικούς χώρους.
- Ο νυχτερινός διαμπερής αερισμός είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικός, ιδιαίτερα τις θερμές ημέρες, κατά τις οποίες ο ημερήσιος αερισμός δεν είναι δυνατός. Ο νυχτερινός αερισμός συνεισφέρει στην αποθήκευση «δροσιάς» στη θερμική μάζα του κτιρίου, με αποτέλεσμα την μειωμένη επιβάρυνση του κτιρίου κατά την επόμενη μέρα.
- Η χρήση ανεμιστήρων, ιδιαίτερα ανεμιστήρων οροφής, ενισχύει το φαινόμενο του φυσικού αερισμού, με ελάχιστη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, συνεισφέρει στην επίτευξη θερμικής άνεσης σε θερμοκρασίες υψηλότερες από τις συνήθεις (περίπου 2-3°C), καθώς με την κίνηση του αέρα που δημιουργείται μεταφέρεται θερμότητα από το ανθρώπινο σώμα.

- Η χρήση της θερμικής μάζας για τη μείωση των θερμοκρασιακών διακυμάνσεων κατά τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου.
- Μείωση των εσωτερικών κερδών του κτιρίου (θερμότητα που παράγεται από τις ηλεκτρικές, κυρίως συσκευές).

Άλλες μέθοδοι παθητικού δροσισμού πιο σύνθετες και όχι τόσο ευρείας εφαρμογής, επιφέρουν επιπρόσθετα οφέλη ψύξης, και είναι:

- Θερμική προστασία του κτιριακού περιβλήματος με τεχνικές όπως φυτεμένο δώμα, αεριζόμενο κέλυφος, ανακλαστικά επιχρίσματα εξωτερικών επιφανειών, φράγμα ακτινοβολίας.
- Ενίσχυση του φυσικού εξαερισμού με πύργους αερισμού ή ηλιακές καμινάδες
- Δροσισμός με εξάτμιση νερού με τεχνικές όπως: επιφάνειες νερού, πύργος δροσισμού, ψυκτικές μονάδες εξάτμισης (άμεσης, έμμεσης ή συνδυασμένης εξάτμισης), ή και βλάστηση (μέσω της εξατμισοδιαπνοής των φυτών)
- Δροσισμός με απόρριψη της θερμότητας στην ατμόσφαιρα με ακτινοβολία στο νυχτερινό ουρανό
- Δροσισμός με απόρριψη της θερμότητας από το κτίριο στη γη με αγωγή, (υπόσκαφα ή ημιυπόσκαφα κτίρια, ή υπεδάφιο σύστημα αγωγών και εναλλάκτες εδάφους-αέρα).

1.3.3. Συστήματα και Τεχνικές Φυσικού Φωτισμού

Ο φυσικός φωτισμός στοχεύει στην επίτευξη οπτικής άνεσης μέσα στα κτίρια, αλλά και στη γενικότερη βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης μέσα στους χώρους, συνδυάζοντας φως, θέα, δυνατότητα αερισμού, αξιοποίηση και ρύθμιση της

εισερχόμενης ηλιακής ενέργειας. Ιδιαίτερη σημασία κατά το σχεδιασμό των συστημάτων φυσικού φωτισμού έχει η κατά το δυνατόν μεγαλύτερη κάλυψη των απαιτήσεων σε φωτισμό από το φυσικό φως, ανάλογα με τη χρήση του κτιρίου και την εργασία που επιτελείται μέσα στους χώρους.

Μέσω των κατάλληλων συστημάτων και τεχνικών εξασφαλίζεται στους εσωτερικούς χώρους επαρκής ποσότητα (στάθμη φωτισμού), αλλά και ομαλή κατανομή, ώστε να αποφεύγονται έντονες διαφοροποιήσεις της στάθμης, οι οποίες προκαλούν φαινόμενο «θάμβωσης».

Τα συστήματα φυσικού φωτισμού διακρίνονται σε τέσσερις μεγάλες κατηγορίες:

1. Ανοίγματα στην κατακόρυφη τοιχοποιία
2. Ανοίγματα οροφής
3. Αίθρια
4. Φωταγωγοί

Τα συστήματα αυτά συνδυάζονται με συγκεκριμένες τεχνικές που αφορούν στο σχεδιασμό των ανοιγμάτων, στις οπτικές ιδιότητες των υαλοπινάκων, στα φωτομετρικά χαρακτηριστικά επιφανειών του χώρου και των ανοιγμάτων του (υφή, χρώμα, φωτοδιαπερατότητα υλικών) και στη χρήση ανακλαστήρων, για την εξασφάλιση επάρκειας και ομαλής κατανομής του φυσικού φωτός. Οι συνηθέστερες τεχνολογίες φυσικού φωτισμού αφορούν υαλοπίνακες με συγκεκριμένες ιδιότητες, πρισματικά φωτοδιαπερατά στοιχεία, διαφανή μονωτικά υλικά και ανακλαστήρες (ράφια φωτισμού ή ανακλαστικές περσίδες).

1.3.4. Βασικά χαρακτηριστικά παθητικών ηλιακών συστημάτων:

Εκμετάλλευση της τοπικής ενέργειας.

Τα παθητικά συστήματα παρέχουν θέρμανση και δροσισμό ,με την εκμετάλλευση των φυσικών πόρων και καταβόθρων ενέργειας.

Πηγή ενέργειας αποτελεί οποιοδήποτε στοιχείο του περιβάλλοντος που συνεισφέρει θερμότητα σε ένα κτίριο, ενώ το στοιχείο που απορροφά θερμότητα συνιστά καταβόθρα.

Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί την κυριότερη φυσική πηγή ενέργειας, ενώ ο ουρανός την κυριότερη καταβόθρα. Δε συνειδητοποιούμε πάντοτε ότι σε μια μέρα η γη δέχεται από τον ήλιο περισσότερη ενέργεια από εκείνη που εμείς καταναλώνουμε σε ένα έτος. Δεδομένου ότι η μέση θερμοκρασία της γης είναι σχεδόν σταθερή, προκύπτει το συμπέρασμα ότι αυτή η εντυπωσιακή ποσότητα θερμότητας αποβάλλεται προς τον ουρανό, κυρίως μέσω της νυκτερινής επανακτινοβολίας.

Θερμική εκμετάλλευση των κτιρίων.

Στα παθητικά συστήματα, τα στοιχεία συλλογής, αποθήκευσης, μετάδοσης και διάχυσης της θερμότητας αποτελούν αναπόσπαστα μέρη των αρχιτεκτονικών στοιχείων, π.χ. των τοίχων και της στέγης. Έτσι, ένα αρχιτεκτονικό στοιχείο, εκτός από την οριοθέτηση του χώρου ή τον προσδιορισμό της μορφής του κτιρίου, μπορεί να χρησιμεύει και στη θέρμανση ή το δροσισμό του.

Αυτό έρχεται σε αντίθεση με τη παραδοσιακή αντίληψη, σύμφωνα με την οποία η λειτουργία κάθε στοιχείου έχει μια μοναδική αποστολή. Ο συνδυασμός των λειτουργιών εξασφαλίζει μεν οικονομικές λύσεις, αλλά μπορεί να οδηγήσει σε πολύπλοκα ενεργειακά συστήματα, η συμπεριφορά των οποίων δεν είναι προβλέψιμη.

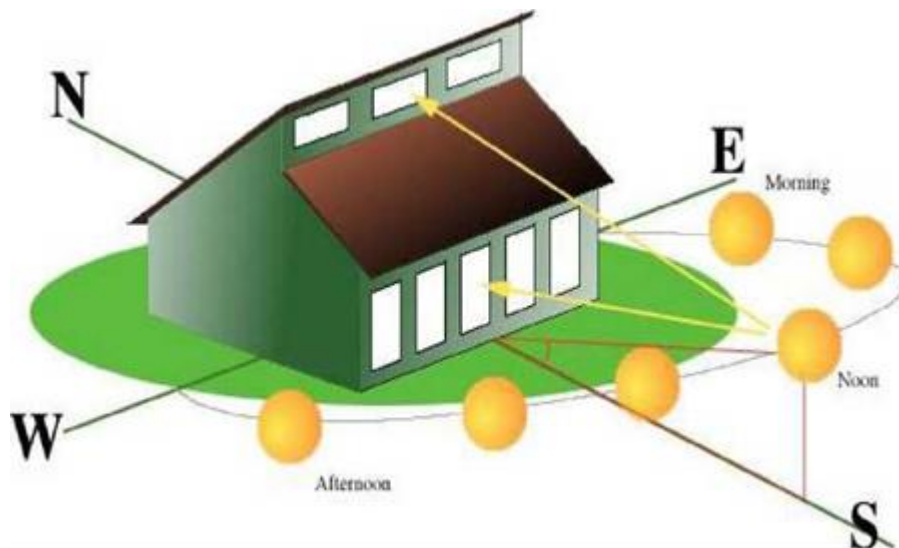
Με λίγα λόγια, τα παθητικά συστήματα χρησιμοποιούν την ενέργεια που συγκεντρώνεται στη συγκεκριμένη θέση, τις φυσικές ροές ενέργειας και τις παραδοσιακές αρχιτεκτονικές διατάξεις με σκοπό τη θέρμανση και το δροσισμό των κτιρίων. Επιπλέον, ανταποκρίνονται στα σύγχρονα κριτήρια άνεσης, ενώ συγχρόνως ελαττώνουν τη χρήση ορυκτών καυσίμων, και μάλιστα με οικονομικό τρόπο.

1.3.5. Ενεργειακές ροές

Κατά τη χρήση των παθητικών συστημάτων, συμβαίνουν ενεργειακές ροές. Έτσι θερμότητα και φως εισρέουν από τους υαλοπίνακες ενώ θερμότητα εισρέει από τους τοίχους.

Πάντα υπάρχουν δυο σημαντικές ροές θερμότητας μέσα και έξω από το κτίριο. Η μια είναι η εισροή ηλιακής ακτινοβολίας και η άλλη η απόρριψη θερμότητας τους κρύους μήνες η συσσώρευση τους θερινούς. Και οι δυο ροές μεταβάλλονται σημαντικά εξαρτώμενες από την ώρα της ημέρας και την εποχή του χρόνου. Προσθέτοντας κάποιο διαφανή υαλοπίνακα είναι η βασική στρατηγική για την ομαλή προσαρμογή στις οποιαδήποτε εξωτερικές μεταβολές της θερμότητας. Είναι ένας τρόπος πλήρους εκμετάλλευσης των απαιτούμενων ενεργειακών ροών και μείωσης ανεπιθύμητων ποσών έξω. Τέτοια στρατηγική αντιμετώπισης υποθέτει βέβαια ότι έχουν παρθεί μέτρα διατήρησης ενεργείας .

1.3.6. Παθητικά ηλιακά συστήματα και η απόδοσή τους στην Ελλάδα



Προσανατολισμός των ανοιγμάτων σύμφωνα με τη θέση του ήλιου κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Αναγκαία προϋπόθεση για τη σωστή λειτουργία των παθητικών ηλιακών συστημάτων ώστε να αξιοποιήσουν όσο το δυνατό περισσότερο την ηλιακή ενέργεια, είναι ένας κατάλληλος σχεδιασμός του κτιρίου. Αυτό σημαίνει ότι το κέλυφος πρέπει να επιτρέπει :

- Τη μέγιστη ηλιακή συλλογή
- Τη μέγιστη θερμοχωρητικότητα
- Τις ελάχιστες θερμικές απώλειες

Η λειτουργία των παθητικών συστημάτων βασίζεται σε 3 μηχανισμούς

- Το φαινόμενο του θερμοκηπίου (συλλογή της ηλιακής ακτινοβολίας και η διατήρηση της στο εσωτερικό του κτιρίου για την θέρμανση των χώρων)
- Τη θερμική υστέρηση των υλικών (θερμοχωρητικότητα)
- Τις αρχές μετάδοσης της θερμότητας (την ιδιότητα της θερμότητας να μεταφέρεται από το θερμό στο κρύο αντικείμενο)

1.3.7. Είδη παθητικών ηλιακών συστημάτων για θέρμανση

- Άμεσο κέρδος
- Έμμεσο κέρδος
- Απομονωμένο κέρδος

Άμεσο κέρδος

Το πιο απλό σύστημα που αξιοποιεί την ηλιακή ακτινοβολία για την θέρμανση του κτιρίου είναι το άμεσο κέρδος μέσω των νότια προσανατολισμένων ανοιγμάτων.

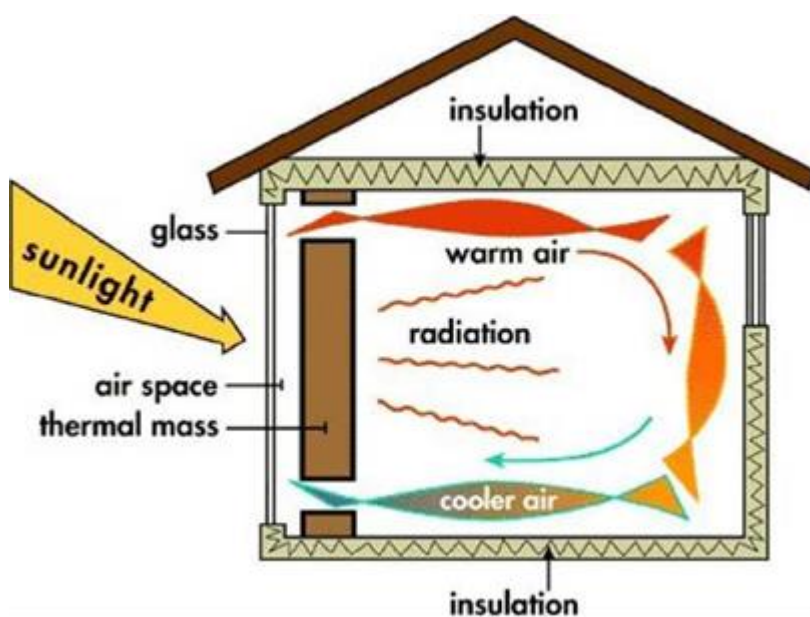
Η αποτελεσματικότητα ενός τέτοιου συστήματος επηρεάζεται από τους εξής παράγοντες :

- Προσανατολισμός
- Θέση ανοιγμάτων
- Μέγεθος ανοιγμάτων

Σημαντικό ρόλο για τη σωστή εφαρμογή του συστήματος παίζει η επιλογή των τύπων των υαλοπινάκων και η επιλογή των δομικών στοιχείων (τοίχοι, δάπεδο, οροφή). Αυτά πρέπει να έχουν τουλάχιστον 9 φορές μεγαλύτερη επιφάνεια από τα ανοίγματα και πρέπει να κατασκευάζονται από υλικά μεγάλης θερμοχωρητικότητας για την αποθήκευση του ηλιακού θερμικού κέρδους.

Έμμεσο κέρδος

Ανήκουν τα συστήματα που αξιοποιούν έμμεσα τα ηλιακά οφέλη για την θέρμανση του κτιρίου. Αυτά τα συστήματα απορροφούν την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στο κέλυφος και ύστερα επιτρέπουν στη θερμότητα να διεισδύσει στους χώρους διαβίωσης.



Αναπαράσταση παθητικού ηλιακού συστήματος έμμεσου κέρδους.

Ο θερμικός τοίχος (τοίχος μάζας, Trombe ή τοίχος νερού) το δώμα θερμικής αποθήκευσης και ο τοίχος μεταξύ του θερμοκηπίου και του χώρου διαβίωσης, είναι οι κύριες εφαρμογές των μηχανισμών έμμεσου κέρδους.

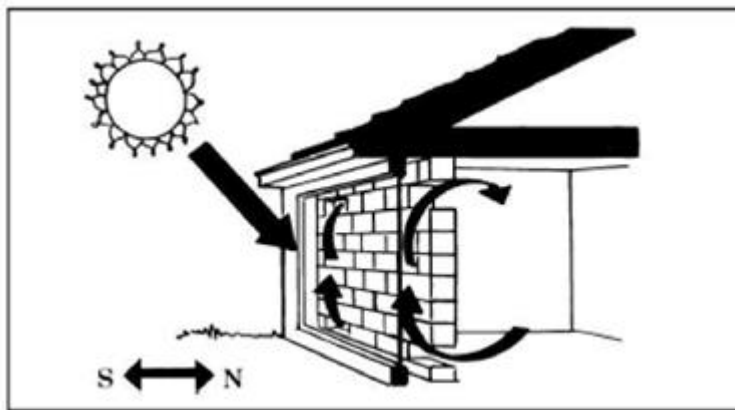
Τοίχος θερμικής αποθήκευσης

Είναι ένας συνδυασμός τοίχου νότιου προσανατολισμού και μιας εξωτερικής διάφανης επιφάνειας (συνήθως γυαλί) στη εξωτερική πλευρά του τοίχου σε

απόσταση συνήθως 10cm. Η εξωτερική επιφάνεια του τοίχου πρέπει να είναι σκουρόχρωμη ώστε να μεγιστοποιεί την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Ο τοίχος κατασκευάζεται από υλικά μεγάλης θερμοχωρητικότητας για να διασφαλίζει χρονική υστέρηση τουλάχιστον 6h ώστε η εσωτερική του επιφάνεια να έχει τη μέγιστη θερμοκρασία στην αρχή της νύχτας.

Τοίχος Trombe

Είναι ένας τοίχος θερμικής αποθήκευσης που σε όλο το επάνω και κάτω μέρος του μήκους του υπάρχουν θυρίδες για να διευκολύνουν την κίνηση του αέρα. Η λειτουργία του βασίζεται στο φαινόμενο του θερμοσιφωνισμού και πραγματοποιείται κίνηση του αέρα λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας.



Απεικόνιση της μορφής ενός τυπικού συστήματος trombe τοίχου- υαλοπίνακα και της ανακυκλοφορίας αέρα που επιτυγχάνεται.

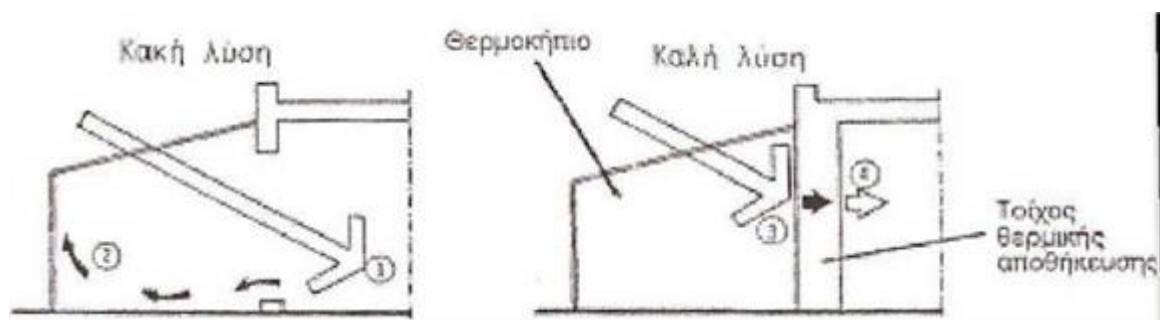
Θερμός αέρας

Κατά τη διάρκεια της ημέρας ο θερμός αέρας κινείται προς τα πάνω και εισέρχεται στο χώρο απ' την πάνω θυρίδα, ενώ ο ψυχρότερος αέρας από τον εσωτερικό χώρο περνάει από τη κάτω θυρίδα και αντικαθιστά το κενό που δημιουργήθηκε μεταξύ τοίχου και υαλοπίνακα.

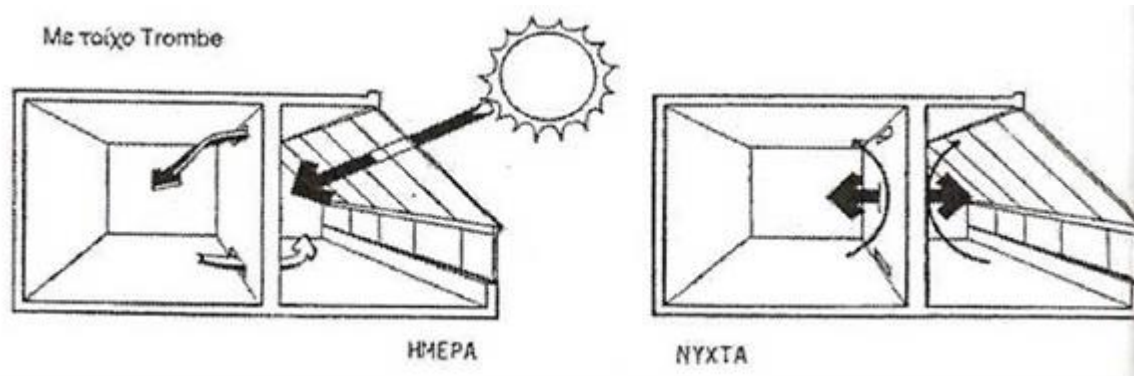
Το καλοκαίρι βασική προϋπόθεση καλής λειτουργίας είναι ο τοίχος να σκιάζεται με σταθερό ή κινούμενο σκίαστρο και ο φεγγίτης στο πάνω μέρος του υαλοστασίου να ανοίγει για να εξασφαλιστεί η απομάκρυνση του θερμού αέρα.

Θερμοκήπιο

Το θερμοκήπιο ή σέρα ή ηλιακός χώρος είναι ένας κλειστός χώρος με μεγάλο ποσοστό γυάλινης επιφάνειας και νότιο προσανατολισμό προσαρτημένο σε τμήμα του κτιρίου. Το σύστημα λειτουργεί καλύτερα αν μεταξύ του θερμοκηπίου και του κτιρίου υπάρχει τοίχος θερμικής αποθήκευσης κατασκευασμένος από υλικά μεγάλης θερμοχωρητικότητας .



Η απόδοση του βελτιώνεται αν προβλεφθούν θυρίδες στο πάνω και κάτω μέρος του τοίχου για τη κίνηση του αέρα.



Τοποθέτηση τοίχου θερμικής αποθήκευσης μεταξύ του θερμοκηπίου και του κτιρίου.

Το μέγεθος του εξαρτάται από τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής.

Οι συνθήκες υπερθέρμανσης που δημιουργούνται το καλοκαίρι αντιμετωπίζονται με σκιασμό του θερμοκηπίου (εξωτερικά) και ανοίγματα στην οροφή για την απομάκρυνση του θερμού αέρα.

Απομονωμένο κέρδος

Στα συστήματα απομονωμένου κέρδους η επιφάνεια ηλιοσυλλογής δεν βρίσκεται σε επαφή με τον χώρο που επιθυμούμε να θερμάνουμε. Μεταξύ αυτής της επιφάνειας και του χώρου διαβίωσης υπάρχει ένας μηχανισμός μετάδοσης της θερμότητας όπως για παράδειγμα ένας ανεμιστήρας. Στα πραγματικά παθητικά ηλιακά συστήματα η μετάδοση της θερμότητας γίνεται με μη μηχανικά μέσα και βασίζεται κυρίως στην άνωση, μεταγωγή και ακτινοβολία της θερμότητας. Παράδειγμα απομονωμένου κέρδους είναι το θερμοσιφωνικό πάνελο και το rock bed.

1.3.8. Συμπεράσματα

Η χρήση των παθητικών ηλιακών συστημάτων αξιοποιείται κυρίως για ενεργειακά οφέλη κατά τους χειμερινούς μήνες, ενώ για το καλοκαίρι χρησιμοποιούνται απλές τεχνικές δροσισμού όπως ηλιοπροστασία και φυσικός αερισμός.

Από την μελέτη εφαρμογών των συστημάτων αυτών στη Ελλάδα και από μετρήσεις που έγιναν από το ΚΑΠΕ, βλέπουμε ότι η εξοικονόμηση ενέργειας για θέρμανση που παρουσιάζουν τα παθητικά ηλιακά συστήματα είναι ιδιαίτερα σημαντική, με την προϋπόθεση ότι πρέπει να συνδυαστούν με αντίστροφες μεθόδους ηλιοπροστασίας και σκίασης ώστε να ελαχιστοποιήσουν τα ηλιακά κέρδη το καλοκαίρι.

Πιο συγκεκριμένα εκτός από την πολύ σημαντική συνεισφορά του άμεσου ηλιακού κέρδους, τα συστήματα έμμεσου κέρδους συνεισφέρουν στο ενεργειακό ισοζύγιο :

Ηλιακοί χώροι - Θερμοκήπια έως 60 %

Θερμικοί τοίχοι 20 - 35 %

Φυσικά, η εφαρμογή ενός ή περισσοτέρων παθητικών συστημάτων σε ένα κτίριο δεν σημαίνει ότι το κτίριο γίνεται αυτομάτως βιοκλιματικό. Ο στόχος του βιοκλιματικού σχεδιασμού είναι να προσφέρει ένα θερμικά άνετο και υγιεινό εσωτερικό περιβάλλον, μειώνοντας στο ελάχιστο την επίδραση τους στο περιβάλλον, προστατεύοντας την υγεία του ανθρώπου και βελτιώνοντας την ποιότητα ζωής. Ένας τρόπος επίτευξης αυτών των στόχων είναι τα παθητικά ηλιακά συστήματα, τα οποία εκμεταλλεύονται την ηλιακή ακτινοβολία για τη

θέρμανση των κτιρίων, αλλά εξίσου σημαντικός είναι ο οικολογικός τρόπος δόμησης με τη προσεχτική επιλογή υλικών και ο ορθός σχεδιασμός που συνεισφέρει τα μέγιστα στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης .

1.4. Ηλιακή Ενέργεια και ηλιακό δυναμικό

Η ηλιακή θερμότητα λειτουργεί απορροφώντας ηλιακή ακτινοβολία και μετατρέποντας την σε θερμική ενέργεια. Η έννοια της κυκλοφορίας του αέρα, που ονομάζεται φυσική συναγωγή, αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι όλων των επιτυχημένων εγκαταστάσεων ηλιακής θέρμανσης.

Εάν ένα ηλιακό σύστημα θέρμανσης λειτουργεί με φυσική συναγωγή, ο θερμός αέρας ανεβαίνει και ο κρύος αέρας πέφτει, τότε το αποτέλεσμα σε επίπεδο άνεσης μπορεί να υπερβεί τις προσδοκίες.

Η ηλιακή θέρμανση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη θέρμανση του χώρου στο σπίτι σας ή για τη θέρμανση του νερού στο υδραυλικό σύστημα σας.

Υπάρχουν πολλά οφέλη για την ενσωμάτωση ενός ηλιακού συστήματος θέρμανσης στο σχεδιασμό του σπιτιού σας:

Η ηλιακή θερμότητα είναι φιλική προς το περιβάλλον, δεν ρυπαίνει ή παράγει αέρια θερμοκηπίου, βοηθά στη διατήρηση των ενεργειακών πόρων της Γης. Επίσης, είναι η καλύτερη επιλογή για τα άτομα με προβλήματα αλλεργίας και ευαισθησίες χημικών.

Έχει σταθερή τιμή, και έτσι προστατεύεστε από τον πληθωρισμό και τις πολιτικές / οικονομικές εκπλήξεις που έρχονται με άλλα καύσιμα.

1.5. Εφαρμογές θερμικής ενεργειακής αποθήκευσης (ΘΕΑ) και ηλιακής ενέργειας στα κτίρια.

Η ικανότητα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας είναι σημαντική για αποτελεσματική χρήση της ηλιακής ενέργειας στα κτίρια. Σήμερα, το ενδιαφέρον έχει στραφεί στα παθητικά συστήματα για θέρμανση χώρου και στα ενεργειακά συστήματα για θέρμανση νερού.

Για θέρμανση κτιρίων, χρησιμοποιούνται τυπικά υλικά παθητικής ΘΕΑ, συμπεριλαμβανομένων: νερό, πέτρες, τοιχοποιία και μπετόν. Για καλή απόδοση, αυτά τα υλικά αποθήκευσης πρέπει να είναι συμπαγή. Επειδή η επιτρεπόμενη θερμοκρασία τους μεταβάλλεται, περιορίζονται από τις συνθήκες άνεσης, οι οποίες πρέπει να διατηρούνται στο εσωτερικό του κτιρίου.

Με εφαρμογές κατασκευής «ελαφρών» κτιρίων, όπως αυτές που έχουν γίνει στις ΗΠΑ, ένα «ελαφρύ», λανθάνον ΘΕΑ σύστημα, το οποίο εύκολα εγκαθίσταται σε ένα κτίριο, θα μπορούσε να είναι αποδοτικό. Ένα πρόβλημα είναι η αποτελεσματικότητα και η οικονομική ανάσχεση ενός PCM στην υγρή φάση του. Σωλήνες, ράβδοι, φιάλες και μεταλλικά κουτιά που περιέχουν PCM, που λιώνει στο εύρος της θερμοκρασίας δωματίου, έχουν μελετηθεί με ποικίλους βαθμούς επιτυχίας. Οι περισσότεροι αποδείχθηκαν μη οικονομικοί.

Μια πιο ενδιαφέρουσα προσέγγιση είναι η γυψοσανίδα (wallboard) που περιέχει PCM. Με τη γυψοσανίδα παρέχοντας περιεχόμενο PCM, καθώς εξυπηρετεί μια αρχιτεκτονική λειτουργία, τα οικονομικά βελτιώνονται.

Επιπλέον η μεγάλη περιοχή θερμικής μεταφοράς του τοίχου, υποστηρίζει μεγάλη θερμική ροή οδηγούμενη από μικρές θερμοκρασιακές διαφορές.

Η εποχιακή αποθήκευση έχει ελεγχθεί πιλοτικά και έχει χρησιμοποιηθεί σε μεγάλο αριθμό χώρων για αποθήκευση ηλιακής ενέργειας για παροχή θέρμανσης χώρου το χειμώνα, από κοινού με θερμικά συστήματα περιοχής.

Η Σουηδία έχει εφαρμόσει πολλά τέτοια συστήματα. Ένα σύστημα ΘΕΑ εξετασμένο από το Πανεπιστήμιο της Μασαχουσέτης στο Άμχερστ (Tomlinson και Kannberg, 1990), ξεκίνησε χρησιμοποιώντας μια μακροχρόνια εποχιακή θερμική αποθήκευση ηλιακής ενέργειας σε μια υπο- επιφάνεια πήλινης διαμόρφωσης για θέρμανση σε ένα τοπικό αθλητικό κέντρο.

Χρήση της εποχιακής αποθήκευσης μπορεί να ελαττώσει σημαντικά το κόστος παροχής ηλιακού ενεργειακού συστήματος που μπορεί να υποστηρίξει το 100% των ενεργειακών αναγκών λόγω της μειωμένης περιοχής συλλογής που απαιτείται.

Σε περιοχές με μεγάλο γεωγραφικό πλάτος, η αποθήκευση είναι ουσιαστικά απαραίτητη για να παρέχει ένα μεγάλο ποσοστό της θέρμανσης από ηλιακή ενέργεια. Τα οικονομικά της κλίμακας ευνοούν σχετικά μεγάλα συστήματα.

Το σύστημα αποθήκευσης είναι η καρδιά της ηλιακής θερμότητας και του κλιματιστικού συστήματος. Η αποθήκευση ακόμα και έξω από τα ακραία όρια της θερμοκρασίας, προκαλείται από τον καθημερινό κύκλο της ηλιακής διαθεσιμότητας, επιτρέποντας στις εσωτερικές θερμοκρασίες να παραμένουν άνετες κατά τη διάρκεια της μέρας, καθώς επίσης παρέχοντας θέρμανση τη νύχτα.

Το συστατικό αποθήκευσης ενός ηλιακού συστήματος επηρεάζει σημαντικά το σχέδιο και την κατασκευή και κατ'επέκταση το κόστος. Ο αποθηκευτικός φορέας και η αξιοπιστία που απαιτούνται από ένα σύστημα, καθορίζουν το μέγεθος αποθήκευσης και σε κάποιο βαθμό την τοποθεσία του. Τα περισσότερα συστήματα αποθήκευσης δεν έχουν το μέγεθος για να παρέχουν 100% τις

ανάγκες θέρμανσης, όταν το φως του ήλιου δεν είναι διαθέσιμο. Αφού η ηλιακή διαθεσιμότητα και μη-διαθεσιμότητα είναι δύσκολο να προβλεφθούν στις περισσότερες περιπτώσεις 100% συστήματα αποθήκευσης θα ήταν πολύ μεγάλα, αλλά και το μεγαλύτερο μέρος της χωρητικότητας θα παρέμενε αχρησιμοποίητο τον περισσότερο χρόνο. Όντας πρόθυμος να ανεχθεί μερικές καθημερινές θερμοκρασιακές μεταβολές, μπορεί να ελαττώσει το μέγεθος μιας θερμικής ενεργειακής αποθήκευσης.

Όλα τα υλικά έχουν μια θερμική χωρητικότητα και ικανότητα να κρατούν ένα συγκεκριμένο ποσό θερμότητας. Το νερό μπορεί να αποθηκεύσει τεράστια ποσά θερμότητας. Η πέτρα έχει περίπου το 1/5 της θερμικής χωρητικότητας του νερού, αλλά σαν το τούβλο και το μπετόν, έχει μεγαλύτερη πυκνότητα .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2:

ΗΛΙΑΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ

Το κυριότερο μέρος ενός ηλιακού θερμοσίφωνα είναι οι ηλιακοί συλλέκτες ή αλλιώς καθρέπτες ,που είναι η επιφάνεια συλλογής της ηλιακής ενέργειας.

Η επιφάνεια αυτή αποτελείται από τέσσερα βασικά μέρη:

1. Την πλάκα συλλογής της ακτινοβολίας
2. Τους σωλήνες ροής του νερού
3. Την κάλυψη (κρύσταλλο) της πλάκας απορρόφησης (1 ή 2)
4. Το θερμικά μονωμένο πλαίσιο πάνω στο οποίο στερεώνονται τα υπόλοιπα εξαρτήματα

2.1 Λειτουργία ηλιακών συλλεκτών

Η λειτουργία των συλλεκτών του ηλιακού θερμοσίφωνα βασίζεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου που αναπτύσσεται στο χώρο ανάμεσα στην πλάκα απορρόφησης και τη γυάλινη επικάλυψη.

Αρχικά η ηλιακή ακτινοβολία πέφτει στη συνήθως μαύρη απορροφητική πλάκα ανεβάζοντας τη θερμοκρασία της. Η πλάκα με τη σειρά της εκπέμπει μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία (θερμική ακτινοβολία) για την οποία το τζάμι που καλύπτει την πλάκα είναι σχεδόν αδιαφανές. Έτσι η μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία (ζέστη) παγιδεύεται ανάμεσα στην πλάκα και το τζάμι με αποτέλεσμα να αυξάνεται η απόδοση όσον αφορά τη θέρμανση νερού (που κυκλοφορεί σε σωλήνες που είναι σε επαφή με την πλάκα στο πίσω μέρος της ή ενσωματωμένοι σε αυτή).

Οι κρίσιμοι παράγοντες για την καλή απόδοση του συστήματος είναι:

1. Η μεγάλη απορροφητικότητα της πλάκας στην ηλιακή ακτινοβολία
2. Ο μικρός συντελεστής εκπομπής της πλάκας στη μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία
3. Η μεγάλη αδιαφάνεια του κρυστάλλου
4. Η χρήση γυαλιού για την κάλυψη της απορροφητικής πλάκας
5. Η χρήση αλουμινίου ή χαλκού για την κατασκευή της συνήθως χρωματισμένης μαύρης απορροφητικής επιφάνειας

2.2 Είδη ηλιακών συλλεκτών

Οι ηλιακοί συλλέκτες με βάση τις θερμοκρασίες λειτουργίας τους χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες :

A) Μη συγκεντρωτικοί (Χαμηλές-Μέσες θερμοκρασίες) :

- i. Ηλιακοί συλλέκτες χωρίς κάλυμμα
- ii. Επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες

iii. Συλλέκτες κενού

B) Συγκεντρωτικοί (Υψηλές θερμοκρασίες):

i. Ηλιακοί πύργοι

ii. Ηλιακοί δίσκοι

iii. Συλλέκτες Φρενέλ

iv. Παραβολικά κοίλα

2.2.1 Ηλιακοί συλλέκτες χωρίς κάλυμμα

Ιδιότητες:

- Εφαρμογές μόνο σε κολυμβητικές δεξαμενές ,όπου η επιθυμητή θερμοκρασία είναι σχετικά χαμηλή(οC)
- Χαμηλό κόστος (70-100 € /m²), χρόνος αποπληρωμής 1-5 έτη
- Απαιτούμενη επιφάνεια m² συλλεκτών= 0.8 m² πισίνας (Ελλάδα)

Πλεονεκτήματα:

- Δεν απαιτείται επιπρόσθετος εξοπλισμός (πχ. μονάδα αποθήκευσης, εναλλάκτες θερμότητας),που επιβαρύνει τον προϋπολογισμό.
- Η αισθητική ένταξη των συλλεκτών του συστήματος είναι αρκετά ομαλή.
- Στα ψυχρά κλίματα παρέχεται νερό σε ιδανική θερμοκρασία για κολύμβηση το καλοκαίρι. Στα θερμά κλίματα η κολυμβητική περίοδος επεκτείνεται από τον Απρίλιο μέχρι τον Οκτώβριο.

Λειτουργία :

Το νερό της πισίνας κυκλοφορεί μέσα στον ηλιακό συλλέκτη, θερμαίνεται από τον ήλιο και διοχετεύεται απευθείας στην πισίνα. Ενδείκνυται η χρήση πλαστικού καλύμματος για μείωση απωλειών θερμότητας.

2.2.2. Συλλέκτες κενού



Ιδιότητες :

- Υψηλό κόστος
- Κύλινδροι από γυαλί με εσωτερικό απορροφητή, εκκενωμένοι (105 bar)
- Απώλειες θερμότητας μόνο λόγω ακτινοβολίας και όχι συναγωγής
- Υψηλή θερμοκρασία λειτουργίας
- Ιδανικοί για ψυχρά κλίματα

Εφαρμογές:

- Δε συνιστώνται σε κατοικίες, αφού το καλοκαίρι η θερμοκρασία στο εσωτερικό τους ξεπερνάει τους 300oC.
- Κυρίως χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπου απαιτούνται θερμοκρασίες νερού μεγαλύτερες των 80o C (ηλιακός κλιματισμός, βιομηχανία).

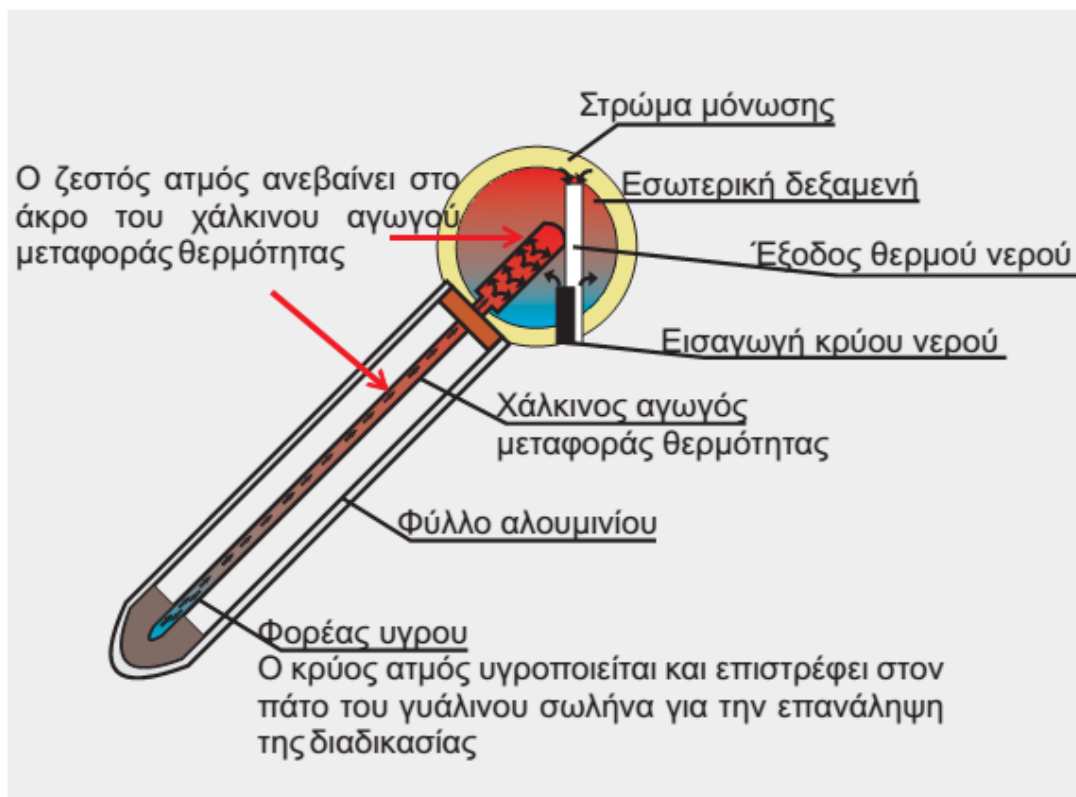
Είδη συλλεκτών κενού:

- Άμεσης ροής: Ένας εσωτερικός σωλήνας τύπου U
- Παραβολικός συγκεντρωτικός: Ένας διπλός σωλήνας (σωλήνας με απορροφητική επιφάνεια και εσωτερικά ένας σωλήνας U, δύο εξωτερικές ανακλαστικές επιφάνειες
- Σωλήνας θερμότητας: Επίπεδη απορροφητική λωρίδα μέσα σε σωλήνα κενού, ο οποίος συνδέεται με σωλήνα θερμότητας που περιέχει διάλυμα σε κενό. Το διάλυμα εξατμίζεται και η θερμότητά του μεταφέρεται μέσω εναλλάκτη στο μέσο:
- Ξηρής σύνδεσης: Ο εναλλάκτης συνδέεται με τον συλλέκτη
- Υγρής σύνδεσης: Ο εναλλάκτης βρίσκεται μέσα στο ρευστό μεταφοράς θερμότητας

Λειτουργία:

Αρχικά η συλλεγόμενη θερμότητα μεταφέρεται με τη βοήθεια φύλλων αλουμινίου (μέσω αγωγής) σε ένα χάλκινο σωλήνα που περιέχει ένα ανόργανο μη τοξικό πτητικό ρευστό(εξατμίζεται στους 25 oC).Το ρευστό αυτό μετατρέπεται σε υπέρθερμο ατμό, ανεβαίνει στην πάνω πλευρά του σωλήνα που είναι τοποθετημένος μέσα στον εναλλάκτη θερμότητας και ζεσταίνει το νερό χρήσης. Το ρευστό μεταφέροντας τη θερμότητα στο νερό

συμπυκνώνεται και κατεβαίνει στην κάτω πλευρά του αυλού όπου επαναλαμβάνεται η διαδικασία.

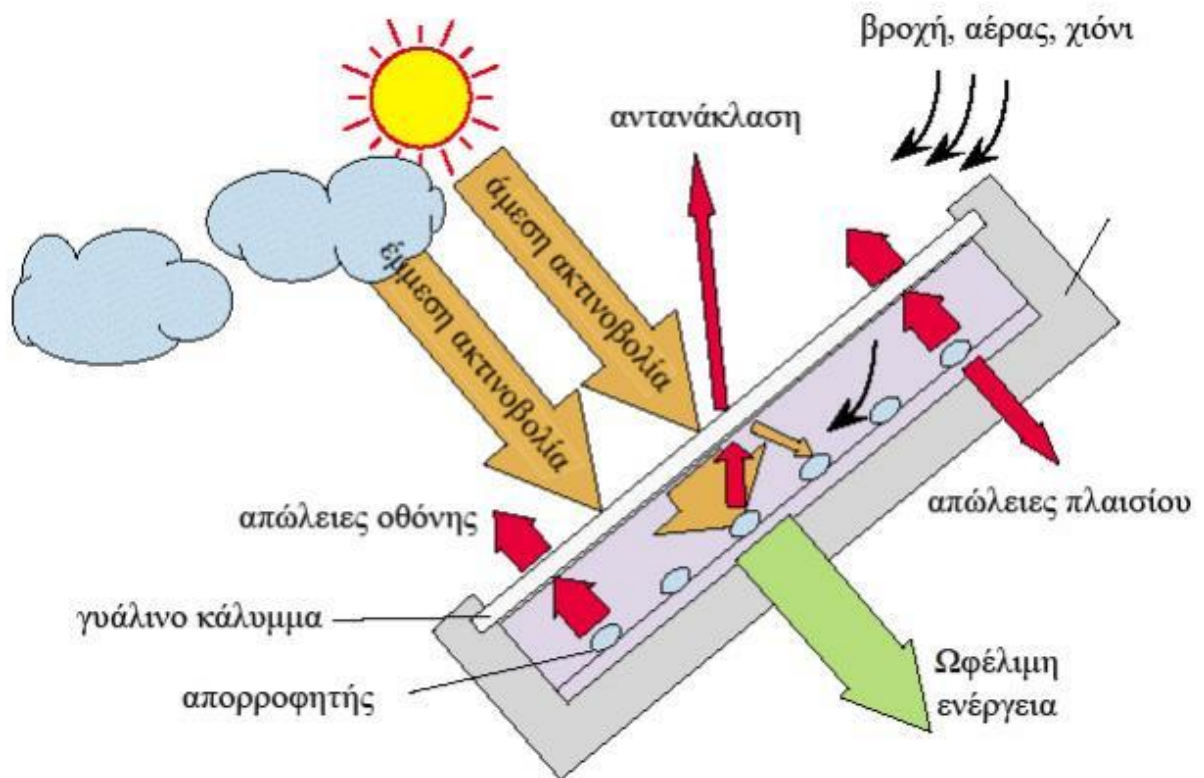
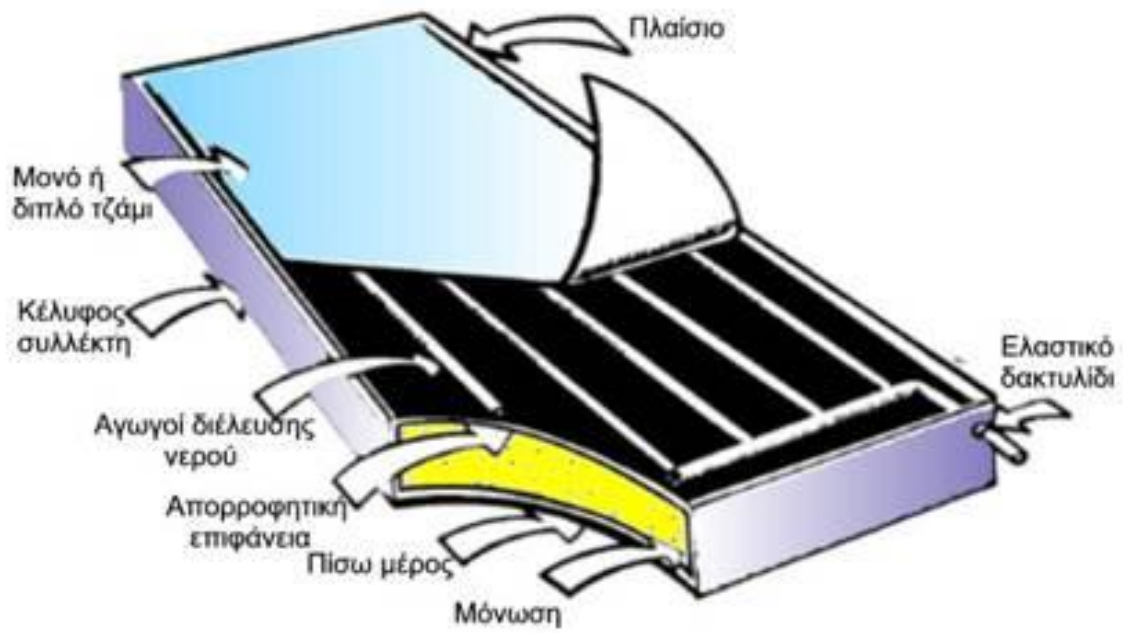


2.2.3. Επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες



Ιδιότητες:

- Μεσαίου κόστους
- Υψηλή θερμοκρασία λειτουργίας (150- 200οC)
- Βαρύτερος (23-32kg/m²) και πιο εύθραυστος
- Κάλυμμα από γυαλί ή πλαστικό, πάχους 3-4 mm με συντελεστή διαπερατότητας 91 %
- Απορροφητική επιφάνεια: διατίθεται σε διάφορους τύπους: μαύρη μπογιά, ημιεπιλεκτική επιφάνεια και επιλεκτική επιφάνεια
- Επιλεκτική επιφάνεια: διακρίνεται από μεγάλη απορροφητικότητα (90-95%) και ελάχιστη ανάκλαση (5-15 %) στα μικρά μήκη κύματος της ηλιακής ακτινοβολίας και από ελάχιστη ανάκλαση στα μεγαλύτερα μήκη κύματος. Δηλαδή απορροφά την ενέργεια του ήλιου χωρίς να την ανακλά.
- Συντελεστής απώλειας θερμότητας : $U_L = 3.5 \text{ W/m}^2 \text{ K}$



Εφαρμογές:

- Για ζεστό νερό χρήσης

- Για θέρμανση χώρου
- Για ηλιακό κλιματισμό (επιλεκτική επιφάνεια)

2.4 Ενεργειακό ισοζύγιο

Το βασικό ενεργειακό ισοζύγιο ενός ηλιακού συλλέκτη είναι:

$$Q_u = Q_a - Q_l$$

Όπου:

Q_u συλλεγόμενη ωφέλιμη ενέργεια

Q_a η απορροφούμενη ενέργεια

Q_l οι θερμικοί απώλειες του συλλέκτη

Η θεωρητική αντιμετώπιση του προβλήματος της μετάδοσης της θερμότητας απλουστεύεται όταν το πρόβλημα μελετηθεί με βάση τη μόνιμη κατάσταση και τη μονοδιάστατη ροή της θερμότητας.

Έτσι, η ωφέλιμη θερμική ισχύς δίνεται από τον τύπο:

$$Q_u = A_c \cdot [G_T \cdot (\tau\alpha) - U_L \cdot (T_c - T_a)] \quad [W]$$

Η παραπάνω σχέση είναι μία από τις πιο χρήσιμες σχέσεις στην ηλιακή διαδικασία και μας αποκαλύπτει αρκετά στοιχεία για την συμπεριφορά του συλλέκτη.

Παρατηρούμε ότι η ωφέλιμη ενέργεια που μας αποδίδει είναι η διαφορά δύο όρων που ο ένας δεν επηρεάζει τον άλλον. Έτσι, οποιαδήποτε αύξηση ή ελάττωση της ηλιακής ακτινοβολίας, G_T , συνεπάγεται αντίστοιχη αύξηση ή ελάττωση της συλλεγόμενης ενέργειας, ενώ οι τιμές των απωλειών

παραμένουν ανεξάρτητες από τις μεταβολές του G_T . Επίσης, οποιαδήποτε μεταβολή της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος, T_a , μεταβάλλει τις θερμικές απώλειες του συλλέκτη, χωρίς να επηρεάζει την απορροφούμενη ενέργεια.

Η θερμοκρασία του συλλέκτη, μεταβάλλεται κατά μήκος του αγωγού και αυξάνεται καθώς το ρευστό ανακτά θερμότητα από την επιφάνεια του συλλέκτη. Προφανώς, η τιμή της θερμοκρασίας αυτής δεν είναι δυνατόν να προσδιορισθεί εύκολα και για τους υπολογισμούς θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν τιμές θερμοκρασίας που μπορούν άμεσα να γίνουν επακριβώς γνωστές ή να είναι πειραματικά μετρήσιμες. Τέτοιες είναι οι τιμές της θερμοκρασίας του ρευστού στην είσοδο T_{fi} και στην έξοδο T_{fo} του κυκλώματος, οι οποίες μετρώνται και πειραματικά με χρήση θερμοζευγών.

2.5. Η απόδοση της θερμότητας στο θερμικό σύστημα

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, ο ηλιακός συλλέκτης, εκτός από συλλεκτήρα ηλιακής ακτινοβολίας, αποτελεί έναν καλό εναλλάκτη θερμότητας.

Αυτή η θεώρηση προκύπτει από το γεγονός ότι σε επαφή με την απορροφητική πλάκα υπάρχουν σωλήνες (ή αεραγωγοί), μέσα στους οποίους διέρχεται ένα ρευστό (συνήθως νερό ή αέρας) και το οποίο απάγει τα συλλεγόμενα ποσά θερμότητας και τα μεταφέρει σε μία θερμική αποθήκη (π.χ. δεξαμενή αποθήκευσης "ζεστού" νερού). Αν δεν υπήρχε αυτή η διαδικασία απομάκρυνσης της συλλεγόμενης θερμότητας, η θερμοκρασία του συλλέκτη θα αύξανε διαρκώς, μέχρις ότου οι θερμικές του απώλειες εξισώνονταν με τη συλλογή ηλιακής ενέργειας. Εάν η θερμότητα απομακρύνεται μέσω κάποιου ρευστού, τότε για μία ορισμένη θερμοκρασία

του συλλέκτη η συλλεγόμενη ενέργεια ισούται με τη χρήσιμη ενέργεια που απομακρύνεται συν τις θερμικές του απώλειες.

Το ρευστό, διερχόμενο μέσα από το συλλέκτη, απορροφά ποσά θερμότητας, τα οποία είναι ανάλογα προς τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ απορροφητικής επιφάνειας και ρευστού. Συνέπεια αυτού είναι η αύξηση της θερμοκρασίας του ρευστού.

Η μετάδοση της θερμότητας από την απορροφητική πλάκα προς το ρευστό εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη γεωμετρία και τα υλικά από τα οποία αποτελείται το σύστημα «απορροφητική πλάκα - διέλευση ρευστού».

Υπάρχουν διάφορες κατασκευές του συστήματος αυτού και όλες έχουν ως κύριο στόχο την επίτευξη υψηλού συντελεστή μετάδοσης της θερμότητας συνδυασμένη με χαμηλό κόστος κατασκευής.

Είναι χρήσιμο να ορίσουμε μία ποσότητα (συντελεστής διόρθωσης), ισοδύναμη με το βαθμό εκμετάλλευσης ενός συμβατικού εναλλάκτη θερμότητας, με χρήση της οποίας θα μπορούμε να λαμβάνουμε υπ' όψιν την "αντίσταση" μεταφοράς της θερμότητας από τον απορροφητή στο ρευστό. Ο διορθωτικός αυτός συντελεστής καλείται **συντελεστής θερμικής απολαβής** (ή συντελεστής απομάκρυνσης θερμότητας), συμβολίζεται με F_R και ορίζεται ως το πηλίκο της πραγματικής μεταφοράς θερμότητας προς τη μέγιστη δυνατή μεταφορά.

Στην περίπτωση του επίπεδου ηλιακού συλλέκτη, η μέγιστη μεταφορά θερμότητας επιτυγχάνεται όταν ολόκληρος ο συλλέκτης βρίσκεται στη θερμοκρασία εισόδου του ρευστού, οπότε και έχουμε και τις ελάχιστες απώλειες. Η επίδραση δηλαδή του συντελεστή F_R συνίσταται στη μείωση της ωφέλιμης ενέργειας από την τιμή που θα είχε, αν ο απορροφητής βρισκόταν

στη θερμοκρασία εισόδου του νερού, T_{fi} , που στην πράξη δεν αντικατοπτρίζει την πραγματική κατάσταση.

Ο συντελεστής F_R εξαρτάται από την παροχή και τα φυσικά χαρακτηριστικά του ρευστού που τον διατρέχει και τον τρόπο κατασκευής του συλλέκτη. Χωρίς να υπεισέλθουμε σε αναλυτικούς υπολογισμούς και θεωρήσεις, παραθέτουμε την παρακάτω σχέση:

$$F_R = \frac{1}{\frac{1}{n_F} + \frac{U_L \cdot A_c}{U_f \cdot A_f} + \frac{U_L \cdot A_c}{2 \cdot m_f \cdot C_{pf}}}$$

η οποία μας δίνει την τιμή του συντελεστή F_R , με

n_F συντελεστής μετάδοσης θερμότητας τμήματος απορροφητικής επιφάνειας

m_f μέτρο ροής μάζας ρευστού

C_{pf} ειδική θερμοχωρητικότητα του ρευστού

U_L συντελεστής θερμικών απωλειών του τμήματος

U_f συντελεστής μετάδοσης θερμότητας του ρευστού

A_c επιφάνεια του τμήματος

A_f εσωτερική αντίστοιχη επιφάνεια του σωλήνα

Από τα παραπάνω προκύπτει η πολύ σημαντική σχέση :

$$Q_u = F_R \cdot A_c \cdot [G_T \cdot (\tau\alpha) - U_L \cdot (T_{fi} - T_a)] [W]$$

Η οποία δίνει τη συνολική ωφέλιμη θερμική ισχύ που μπορεί να απορροφήσει το ρευστό από το συλλέκτη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΜΟΝΑΔΕΣ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

3.1 Ωφέλιμη θερμική ισχύς Q επίπεδου ηλιακού συλλέκτη

Το ωφέλιμο ενεργειακό κέρδος από έναν επίπεδο συλλέκτη , σε μία δεδομένη χρονική στιγμή, είναι η διαφορά του ποσού της ηλιακής ενέργειας που

απορροφάται από τον απορροφητήρα και των απωλειών ενέργειας στο περιβάλλον. Ο υπολογισμός της ωφέλιμης θερμικής ισχύος δίνεται από τη σχέση :

$$Q = A_C \cdot G_T \cdot F_R(\tau\alpha)_n - A_C \cdot F_R U_L \cdot (T_{\epsilon\iota\sigma} - T_\alpha) \quad (3.1)$$

Όπου :

Q ωφέλιμη ισχύς (W)

A_C επιφάνεια συλλέκτη (m^2)

G_T ένταση της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια του συλλέκτη (W/m^2)

F_R συντελεστής θερμικής απολαβής του συλλέκτη

τ διαπερατότητα του απορροφητήρα στην ηλιακή ακτινοβολία

U_L συνολικός ισοδύναμος συντελεστής ενεργειακών απωλειών του συλλέκτη ($W/m^2/^\circ C$)

T_{ε\iota\sigma} θερμοκρασία του ρευστού στην είσοδο του συλλέκτη ($^\circ C$)

T_α θερμοκρασία περιβάλλοντος ($^\circ C$)

F_RU_L το γινόμενο του παράγοντα θερμικής απολαβής του συλλέκτη **F_R** και του συντελεστή μεταφοράς θερμότητας **U_L** ($W/m^2/^\circ C$), που εκφράζει τις θερμικές απώλειες από τον συλλέκτη στο περιβάλλον διάγωγής, συναγωγής και ακτινοβολίας.

Οι συντελεστές **(τ α)_n** με δείκτη n, αναφέρονται σε επίπεδο κάθετο στις ακτίνες του ήλιου.

Οι τιμές των χαρακτηριστικών παραμέτρων ενός συλλέκτη (**F_R(τ α)_n** και **F_RU_L**) προκύπτουν από τις δοκιμές απόδοσης και πιστοποίησης του συγκεκριμένου

συλλέκτη από αναγνωρισμένο εργαστήριο δοκιμών (πχ. Κέντρο Δοκιμών Ηλιακών Συλλεκτών του Δημόκριτου).

Το Q πολλαπλασιάζεται με τα δευτερόλεπτα της κάθε ώρας. Η μηνιαία ωφέλιμη θερμική ισχύς υπολογίζεται από το άθροισμα των ανά ώρα υπολογισμών της θερμικής ισχύος για την 21^η μέρα του μήνα το οποίο πολλαπλασιάζεται με το πλήθος ημερών του μήνα.

3.2. Μονάδα ενεργειακής αποθήκευσης

Όπως γίνεται εύκολα κατανοητό, τόσο η διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια όσο και οι ενεργειακές ανάγκες που αυτή καλείται να καλύψει, είναι μεταβαλλόμενες συναρτήσεις του χρόνου.

Με στόχο την εξομάλυνση των διακυμάνσεων στον εφοδιασμό ενός ενεργειακού συστήματος και την επάρκεια κάλυψης των αναγκών και των διακυμάνσεων της κατανάλωσης, κατέστη αναγκαία η δημιουργία και η ανάπτυξη της θερμικής αποθήκης.

Πολλοί είναι οι παράγοντες που πρέπει να εξετασθούν για να αποφασισθεί το υλικό μέσο αποθήκευσης της θερμικής ενέργειας. Ωστόσο, κάποια από τα επιθυμητά χαρακτηριστικά του είναι η υψηλή ειδική θερμοχωρητικότητα, η χημική σταθερότητα, η ικανοποιητική μηχανική αντοχή, το ευρύ φάσμα θερμοκρασιών λειτουργίας, το χαμηλό κόστος και τέλος να μην είναι εύφλεκτο, τοξικό και να μη διαβρώνεται.

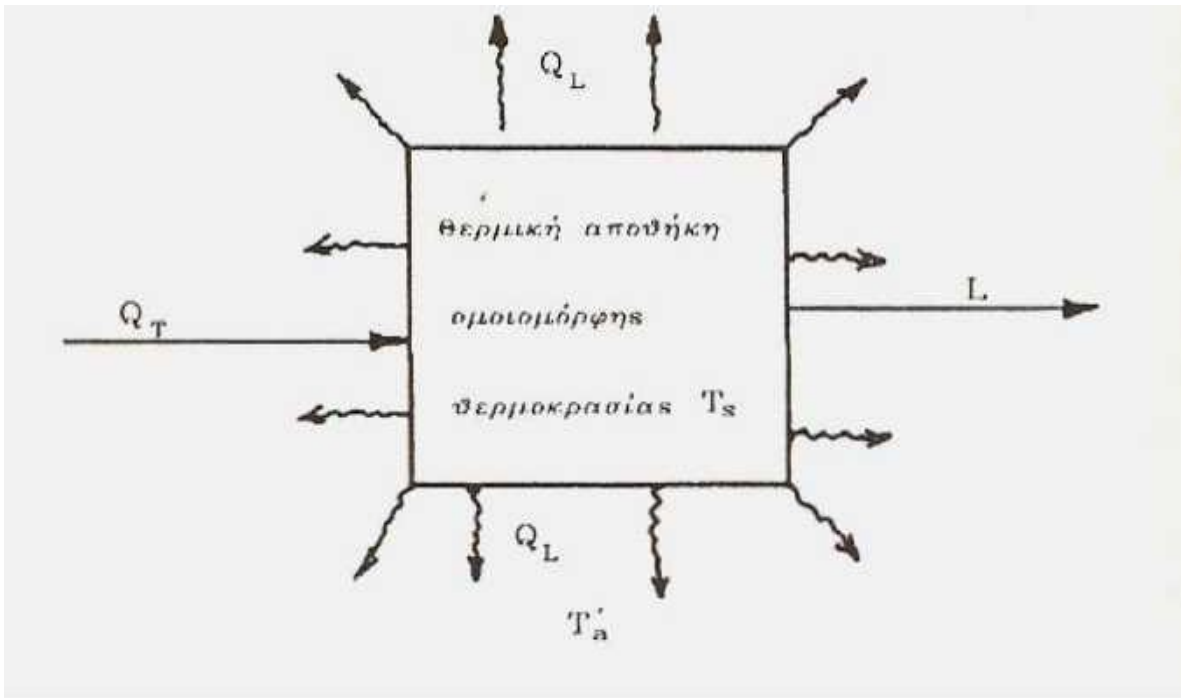
Το νερό, έχοντας σε μέγιστο βαθμό τις παραπάνω ιδιότητες αλλά και για άλλους λειτουργικούς λόγους, φαίνεται να αποτελεί ένα ιδανικό μέσο αποθήκευσης, ειδικά σε χαμηλές θερμοκρασίες, στα περισσότερα θερμικά συστήματα.

Η δεξαμενή αποθήκευσης είναι τις περισσότερες φορές ένα κυλινδρικό χαλύβδινο δοχείο, μονωμένο εξωτερικά για τη μείωση των θερμικών απωλειών. Υπάρχει ο τύπος για ορθή και ο τύπος για οριζόντια τοποθέτηση. Οι υδάτινες αυτές θερμικές αποθήκες διακρίνονται σε εκείνες με ομοιόμορφη θερμοκρασία και σε εκείνες που είναι θερμικά διαστρωματωμένες.

3.2.1. Υδάτινες αποθήκες ομοιόμορφης θερμοκρασίας

Αποθήκη ομοιόμορφης θερμοκρασίας ονομάζεται η υδάτινη αποθήκη στην οποία η θερμοκρασία σε οποιοδήποτε σημείο της είναι η ίδια. Κάτι τέτοιο γίνεται πρακτικά δυνατό με χρήση υγρού ως αποθηκευτικό μέσο.

Όταν σε μία υδάτινη αποθήκη ομοιόμορφης θερμοκρασίας προσδίδεται ενέργεια, η θερμοκρασία της ανεβαίνει σχετικά αργά αλλά πρακτικά ομοιόμορφα για όλο το υγρό μέσο.



Έστω ότι σε χρόνο dt η θερμοκρασία της αποθήκης μεταβάλλεται κατά dT_s . Το ενεργειακό ισοζύγιο της αποθήκης θα είναι:

$$(m_s \cdot c_{ps})dT_s = (Q_u - L - Q_l)dt \quad (3.2)$$

Όπου:

m_s η μάζα του αποθηκευτικού μέσου

c_{ps} η ειδική θερμοχωρητικότητα του μέσου

$Q_u dt$ η συνολική ενέργεια που προσδίδεται στην αποθήκη σε χρόνο dt

$L dt$ το χρήσιμο θερμικό φορτίο στο χρόνο dt

$Q_l dt$ οι θερμικές απώλειες της αποθήκης στον ίδιο χρόνο.

Οι στιγμιαίες θερμικές απώλειες είναι:

$$Q_L = (UA)_s \cdot (T_s - T_a) \quad (3.3)$$

Και για χρόνο t δίνονται από :

$$Q_{Lt} = (UA)_s \cdot (\bar{T}_s - \bar{T}_a')t \quad (3.4)$$

Όπου:

Q_{Lt} οι συνολικές απώλειες σε χρόνο t

UA το γινόμενο της επιφάνειας της αποθήκης, A , επί το

συντελεστή θερμικών απωλειών, U

\bar{T}_a' η μέση θερμοκρασία του αέρα, γύρω από την δεξαμενή,
σε χρόνο t

\bar{T}_s η μέση θερμοκρασία της αποθήκης στον ίδιο χρόνο.

Εάν θεωρήσουμε ότι σε ένα μικρό χρονικό διάστημα t η τελική θερμοκρασία της αποθήκης γίνεται T_s^+ , τότε η σχέση γίνεται :

$$m_s \cdot C_{ps} \cdot \frac{T_s^+ - T_s}{t} = Q_u - L - Q_L \quad (3.5)$$

και αντικαθιστώντας στη σχέση (3.5) τις σχέσεις (3.1) και (3.3) έχουμε :

$$m_s \cdot C_{ps} \cdot \frac{T_s^+ - T_s}{t} = A_C \cdot F_R \cdot [G_T \cdot (\tau\alpha) - U_L \cdot (T_{f,i} - T_\alpha)] - L - (UA)_s \cdot (T_s - T_a')$$

(3.6)

Τέλος, αναδιατάσσοντας τους όρους στην παραπάνω σχέση, παίρνουμε :

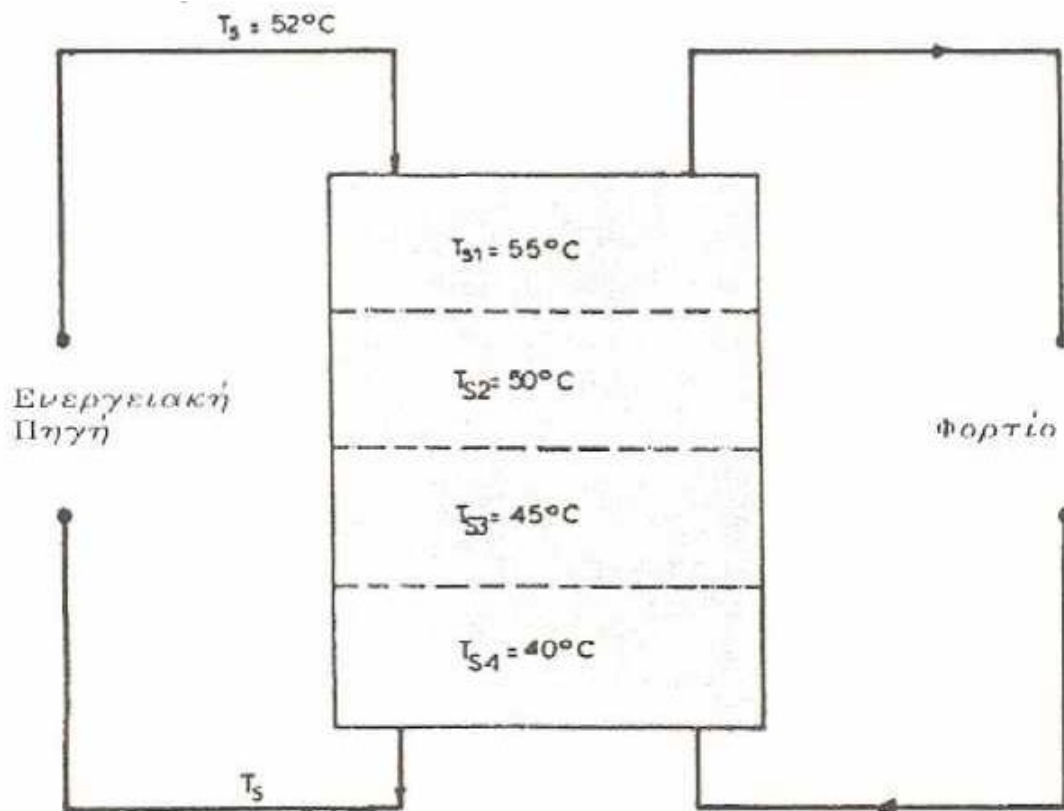
$$T_s^+ = T_s + \frac{t}{m_s \cdot C_{ps}} \{A_C \cdot F_R \cdot [G_T \cdot (\tau\alpha) - U_L \cdot (T_{f,i} - T_\alpha)] - L - (UA)_s \cdot (T_s - T_a')\}$$

που μας δίνει την τελική θερμοκρασία της δεξαμενής.

3.2.2. Θερμικά διαστρωματωμένη υδάτινη αποθήκη

Θερμικά διαστρωματωμένη υδάτινη αποθήκη καλείται η θερμική αποθήκη, στην οποία το θερμό νερό εισόδου στη δεξαμενή δεν αναμιγνύεται με το κρύο νερό εξόδου από αυτήν.

Αυτό πρακτικά επιτυγχάνεται όταν η εισαγωγή του θερμού νερού γίνεται από το πάνω μέρος της αποθήκης και η εξαγωγή προς την πηγή θέρμανσης από το κάτω. Ωστόσο, η ταχύτητα του νερού πρέπει να είναι αρκετά μικρή, έτσι ώστε το θερμό νερό εισαγωγής στην αποθήκη να μην αναμιγνύεται με το κρύο νερό που εξέρχεται για την πηγή θέρμανσης (συλλέκτης). Αυτό συμβαίνει βέβαια γιατί το θερμό νερό, έχοντας μικρότερο ειδικό βάρος από το κρύο, παραμένει στην κορυφή της δεξαμενής, ενώ το κρύο στον πυθμένα της.



Για να παραμείνει μία αποθήκη θερμικά διαστρωματωμένη, θα πρέπει το θερμό νερό που εισάγεται σε αυτήν να κατεβαίνει κάθε φορά στο στρώμα νερού που έχει την ίδια με αυτό θερμοκρασία.

Η αποθήκη, σύμφωνα με τα παραπάνω, αποτελείται από N (συνήθως τρία) τμήματα - κόμβους, με διαφορετικές θερμοκρασίες και το αντίστοιχο μαθηματικό μοντέλο αποτελείται από N διαφορικές εξισώσεις.

Πέραν από την υδάτινη, θερμική αποθήκη που είδαμε παραπάνω, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν και άλλοι τρόποι αποθήκευσης της ενέργειας στα θερμικά ηλιακά συστήματα.

Ένα πολύ σπουδαίο είδος θερμικής αποθήκης αποτελούν οι θερμικές κλίνες στερεών. Μία θερμική κλίνη στερεών αποτελείται από ένα σώμα θερμοαπορροφητικών στερεών, δια μέσου των οποίων ένα αέριο, συνήθως αέρας, διέρχεται όταν μεταφέρεται θερμότητα από το αέριο στα στερεά ή αντίστροφα. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί μία ποικιλία στερεών όπως λίθοι, χαλίκι, τούβλα, κεραμικά, στερεά από τσιμέντο κ.α. Ωστόσο, οι θερμικές αυτές αποθήκες παρουσιάζουν διάφορα προβλήματα, ενώ ο όγκος μιας τέτοιας αποθήκης είναι περίπου τριπλάσιος σε σχέση με τον όγκο μιας ισοδύναμης θερμικά υδάτινης αποθήκης.

Τέλος, άλλα είδη θερμικής αποθήκης που χρησιμοποιούνται κυρίως για μακροταμίευση ή διεποχική αποθήκευση σε μεγάλα θερμικά ηλιακά συστήματα, είναι οι ηλιακές λίμνες, η θερμική αποθήκη εδάφους, η χημική ενεργειακή αποθήκη και η θερμική αποθήκη αλλαγής φάσης (λανθάνουσα θερμότητα).

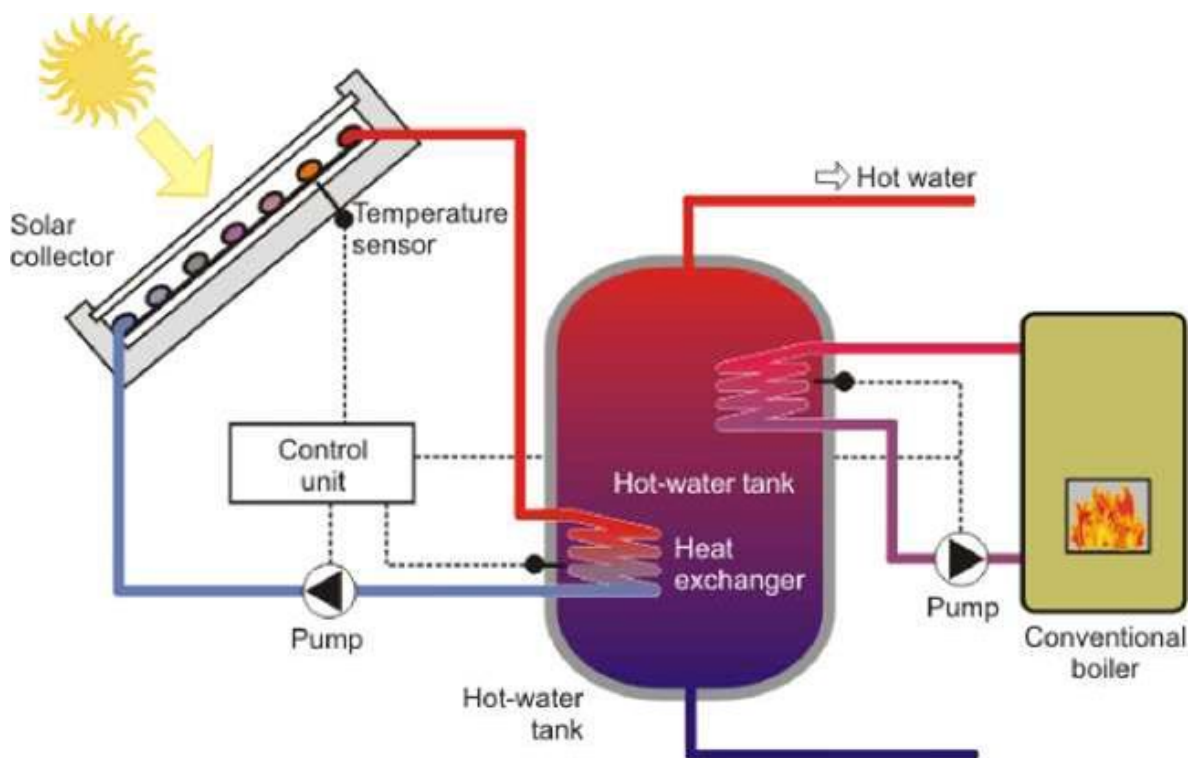
3.3 Εναλλάκτες θερμότητας

Οι θερμικοί εναλλάκτες θερμότητας (heat exchangers) είναι συσκευές που γενικά μεταφέρουν τη θερμότητα από ένα μέσο σε ένα άλλο.

Στις ηλιακές εφαρμογές, μεταξύ ηλιακών συλλεκτών και θερμικής αποθήκης μεσολαβεί αρκετά συχνά εναλλάκτης. Η προσθήκη αυτή ικανοποιεί την αναγκαιότητα να απομονωθεί το ηλιακό κύκλωμα και να συμπληρωθεί με αντιψυκτικά διαλύματα, ώστε να προστατευθούν οι συλλέκτες νερού από τις χαμηλές θερμοκρασίες. Τέλος, θερμικός εναλλάκτης μπορεί να υπάρχει μεταξύ της αποθήκης και των καταναλώσεων.

Σε κάθε εναλλάκτη κυκλοφορούν συνήθως δύο ρευστά, όπου το ένα προσδίδει και το άλλο προσλαμβάνει ενέργεια.

Ο λόγος της ενέργειας που προσδίδεται στον εναλλάκτη από ένα ρευστό προς την ενέργεια που προσλαμβάνει από τον εναλλάκτη το άλλο, ονομάζεται συντελεστής αποτελεσματικότητας, ϵ , του θερμικού εναλλάκτη και έχει τιμή 0,95 περίπου για έναν καλό εναλλάκτη.



Αποδεικνύεται ότι ο συνδυασμός συλλέκτη και εναλλάκτη θερμότητας λειτουργεί ακριβώς όπως μόνος του ο συλλέκτης, με μειωμένη όμως την τιμή του F_r . Έτσι, εισάγεται ο συντελεστής F_r' , ο οποίος αποτελεί ένα μέτρο του

τιμήματος που «πληρώνουμε» στη συμπεριφορά του συλλέκτη, αφού ο εναλλάκτης θερμότητας τον αναγκάζει να λειτουργήσει σε υψηλότερες θερμοκρασίες.

3.4. Βοηθητική ενέργεια

Η βοηθητική ενέργεια έχει ως σκοπό τη θέρμανση του ρευστού που βρίσκεται στη μονάδα αποθήκευσης, όταν δεν υπάρχει ή δεν επαρκεί η ηλιακή ενέργεια.

Οι εποχιακές μεταβολές της ηλιακής ακτινοβολίας καθώς και οι μεταβολές της κατά τη διάρκεια της ημέρας (π.χ. νυχτερινές ώρες, παρατεταμένη συννεφιά) καθιστούν απαραίτητη την προσθήκη μιας βοηθητικής ενέργειας στην ηλιακή εγκατάσταση, με σκοπό την αύξηση της αξιοπιστίας του συστήματος.



Η φύση των φορτίων που πρέπει να καλυφθούν, ο τόπος της εγκατάστασης, το αρχικό κόστος και οι δαπάνες λειτουργίας καθορίζουν το είδος της βοηθητικής ενέργειας που θα χρησιμοποιηθεί κάθε φορά. Στη χώρα μας χρησιμοποιούνται

κυρίως η ηλεκτρική ενέργεια (βοηθητική ηλεκτρική αντίσταση) και τα πετρελαιοειδή καύσιμα.

3.5 Συστήματα ελέγχου

Μία ηλιακή εγκατάσταση συνοδεύεται συνήθως από ένα πίνακα αυτοματισμών και κάποιους αισθητήρες, κυρίως θερμοκρασίας.

Οι αισθητήρες λαμβάνουν ορισμένες τιμές, τις μεταβιβάζουν στον κεντρικό έλεγχο και ο τελευταίος δίδει κατάλληλες εντολές σε ηλεκτροκίνητους διακόπτες, βαλβίδες, κυκλοφορητές, ανεμιστήρες κ.τ.λ., με στόχο την αποτελεσματική λειτουργία του συστήματος και την προφύλαξή του από κινδύνους.

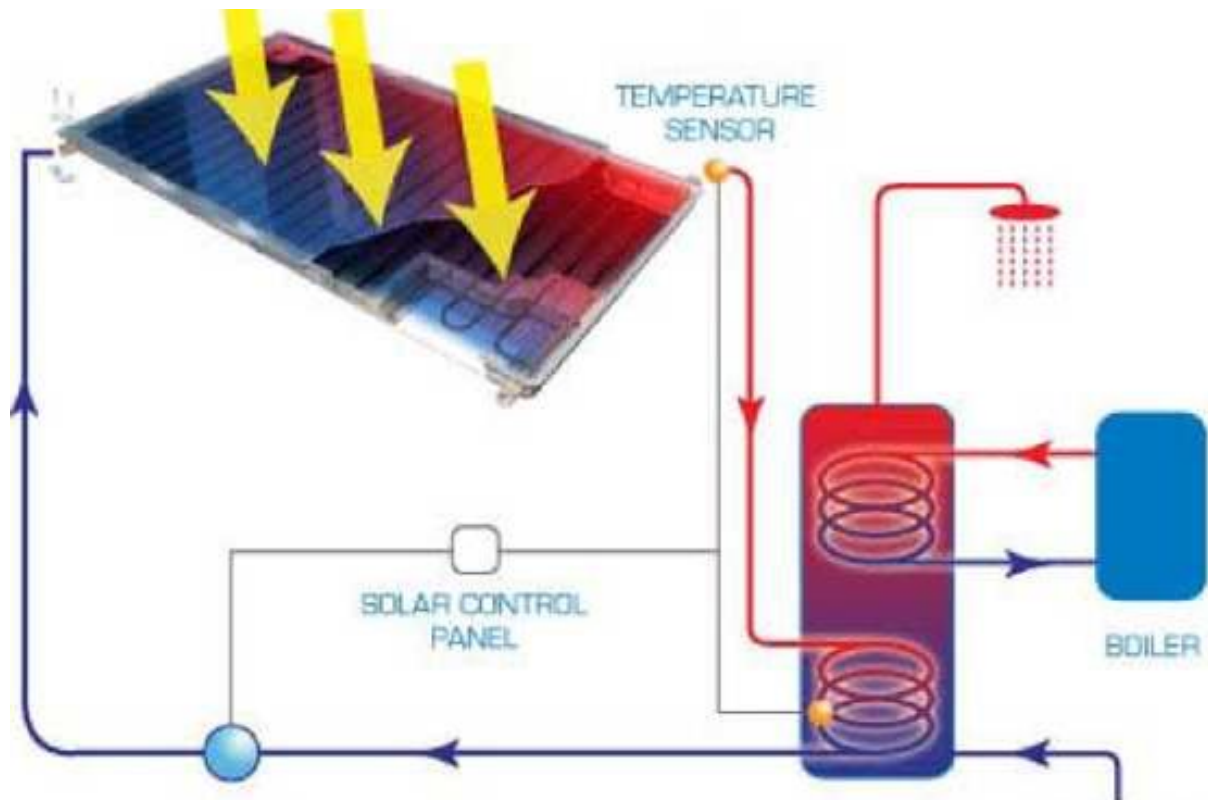
Στις περισσότερες θερμικές ηλιακές εφαρμογές συναντώνται δύο τύποι συστημάτων ελέγχου:

α) Με κριτήριο την ύπαρξη ή όχι διαθέσιμης ωφέλιμης ενέργειας από τους συλλέκτες, το σύστημα ελέγχου ανοίγει ή κλείνει αντίστοιχα τους κυκλοφορητές του ρευστού.

β) Με στόχο τη διατήρηση μιας προκαθορισμένης θερμοκρασίας στην έξοδο του συλλέκτη, το σύστημα ελέγχου ρυθμίζει κατάλληλα την ταχύτητα του κυκλοφορητή.

Η πιο συνηθισμένη διάταξη για το σκοπό αυτό αποτελείται από έναν αισθητήρα θερμοκρασίας στον πυθμένα της δεξαμενής αποθήκευσης και έναν δεύτερο αισθητήρα θερμοκρασίας στην έξοδο του συλλέκτη, οι οποίοι μετρούν

τις θερμοκρασίες T_{fi} και T_{fo} αντίστοιχα .



3.6 Σωληνώσεις

Οι σωληνώσεις που υπάρχουν σε κάθε θερμικό ηλιακό σύστημα συνεπάγονται επιπρόσθετες απώλειες. Οι απώλειες αυτές λαμβάνουν σημαντικές τιμές και θα πρέπει να συνυπολογίζονται κατά το σχεδιασμό της εγκατάστασης. Αποδεικνύεται ότι ο συνδυασμός συλλέκτη - σωληνώσεων είναι ισοδύναμος θερμικά με το συλλέκτη μόνο, με διαφορετικές όμως τιμές των ποσοτήτων U_L και $(\tau\alpha)$.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ f.

4.1 Εισαγωγή

Η συστηματική μελέτη της απόδοσης και συμπεριφοράς ενός συστήματος βασίζεται στην εξομοίωσή του με τη βοήθεια σύγχρονων υπολογιστικών συστημάτων, όπου κάθε τμήμα της εγκατάστασης παρίσταται από ένα μαθηματικό μοντέλο.

Όσον αφορά στα συστήματα ηλιακών συλλεκτών που μελετώνται στην παρούσα εργασία, μία αναλυτική μέθοδος εξομοίωσής τους παρουσιάσθηκε παραπάνω μέσω της οποίας προσδιορίζεται η θερμοκρασία του νερού στη δεξαμενή αποθήκευσης.

Η μέθοδος αυτή συνοψίζεται στη σχέση:

$$T_s^+ = T_s + \frac{t}{m_s \cdot C_{ps}} \{A_C \cdot F_R \cdot [G_T \cdot (\tau\alpha) - U_L \cdot (T_{f,i} - T_\alpha)] - L - (UA)_s \cdot (T_s - T_a')\}$$

και για ώρα - προς - ώρα εξομοίωση γίνεται:

$$T_s^+ = T_s + \frac{t}{m_s \cdot C_{ps}} \{A_C \cdot F_R \cdot [I_T \cdot (\tau\alpha) - 3600 \cdot U_L \cdot (T_{f,i} - T_\alpha)] - L_h - 3600 \cdot (UA)_s \cdot (T_s - T_a')\}$$

Από την παραπάνω σχέση γίνεται αντιληπτό ότι υπολογίζεται η θερμοκρασία του νερού στη δεξαμενή αποθήκευσης για κάθε ώρα μιας ημέρας, ενώ απαιτούνται ωριαίες τιμές της ακτινοβολίας (συνήθως δεν είναι διαθέσιμες), ωριαία δεδομένα του συστήματος, του φορτίου κ.τ.λ..

Μία τέτοια όμως αντιμετώπιση κρίνεται συνήθως απαραίτητη για μεγάλα, καινούρια και μοναδικά στο είδος τους συστήματα. Για τα τυποποιημένα θερμικά συστήματα που έχουν καθιερωθεί στην αγορά, έχουν αναπτυχθεί προσεγγιστικές μέθοδοι υπολογισμού, αρκετά γρήγορες και απλές στη χρήση, με τις οποίες αποφεύγεται η χρήση υπολογιστή.

Η πλέον διαδεδομένη απλή μέθοδος προσομοίωσης θερμικών ηλιακών συστημάτων είναι η μέθοδος των καμπυλών-f (ή f-chart) και εφαρμόζεται κατά κύριο λόγο σε συστήματα θέρμανσης χώρων ή/και παραγωγής θερμού νερού με επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες.

Η μέθοδος των καμπυλών-f αναπτύχθηκε αρχικά ως τμήμα της διατριβής του Dr. Sanford Klein : “A Design Procedure for Solar Heating Systems” (1976) και έχει προκύψει από το συσχέτισμό της θερμικής απόδοσης πολλών εκατοντάδων λεπτομερών εξομοιώσεων συστημάτων ηλιακής θέρμανσης χρησιμοποιώντας το T.R.N.S.Y.S. (ολοκληρωμένο και επεκτάσιμο περιβάλλον για δυναμική προσομοίωση θερμικών ηλιακών συστημάτων).

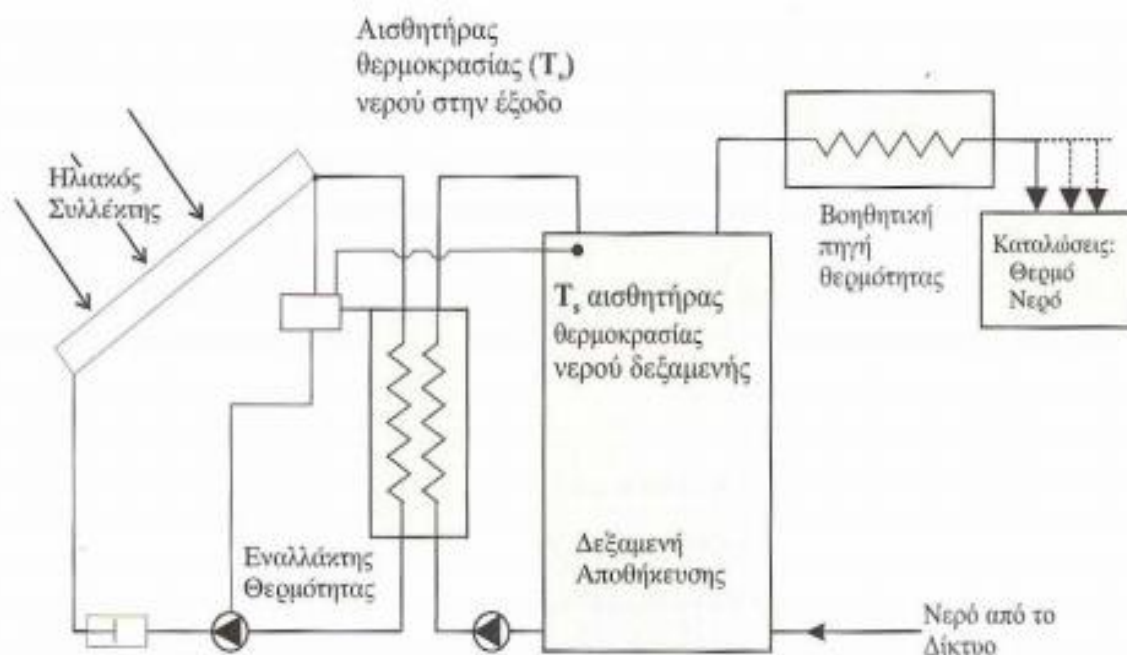
Άλλες προσεγγιστικές μέθοδοι υπολογισμού που επεκτείνονται και σε άλλα πεδία εφαρμογής των θερμικών ηλιακών συστημάτων, όπως η μέθοδος των καμπυλών- Φ (Φ -chart) και των καμπυλών Φ -f (Φ ,f-chart), δεν αποτελούν αντικείμενο της παρούσης εργασίας και δε θα μελετηθούν.

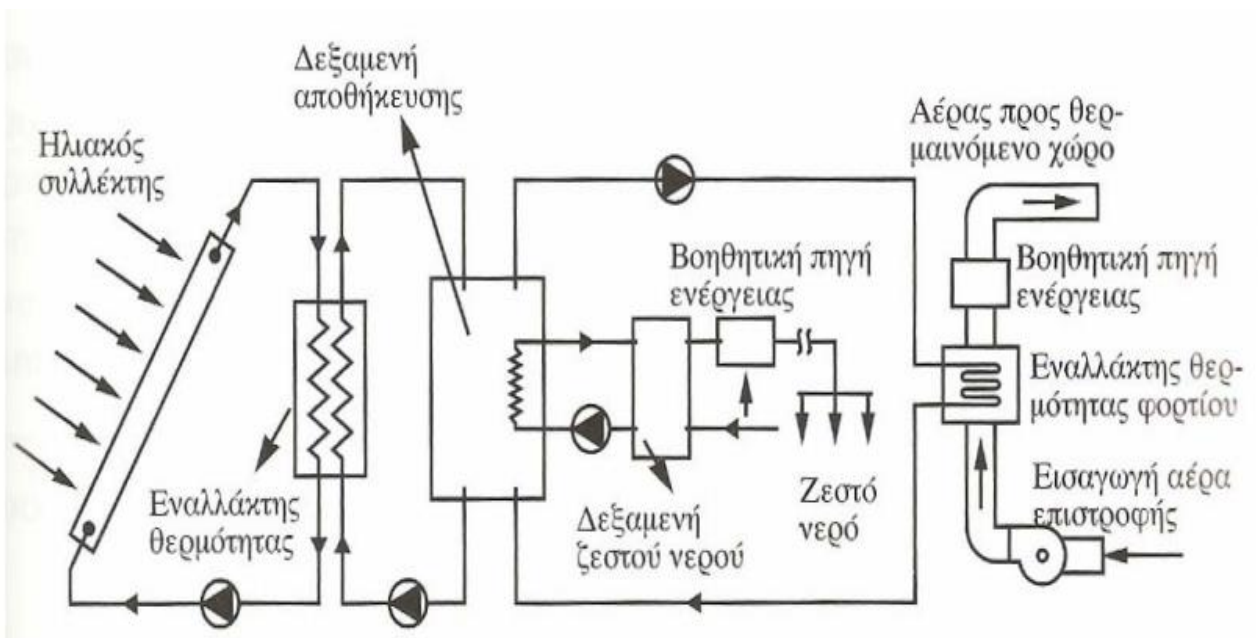
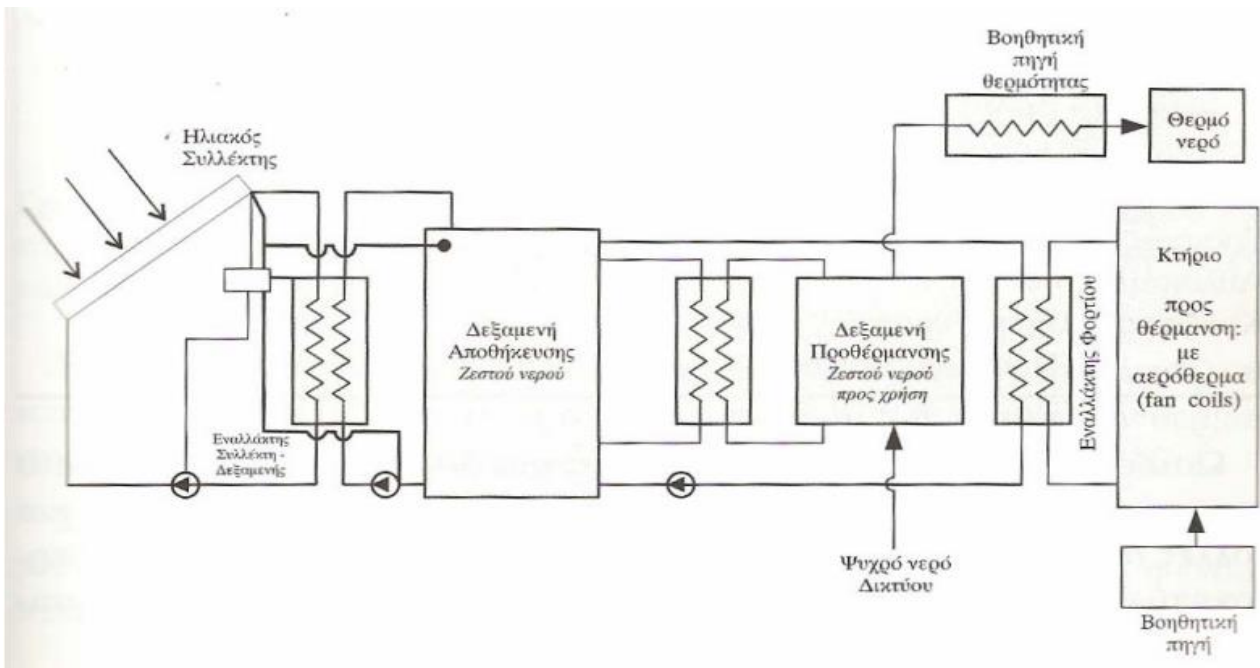
4.2 Ανάλυση της μεθόδου f-chart

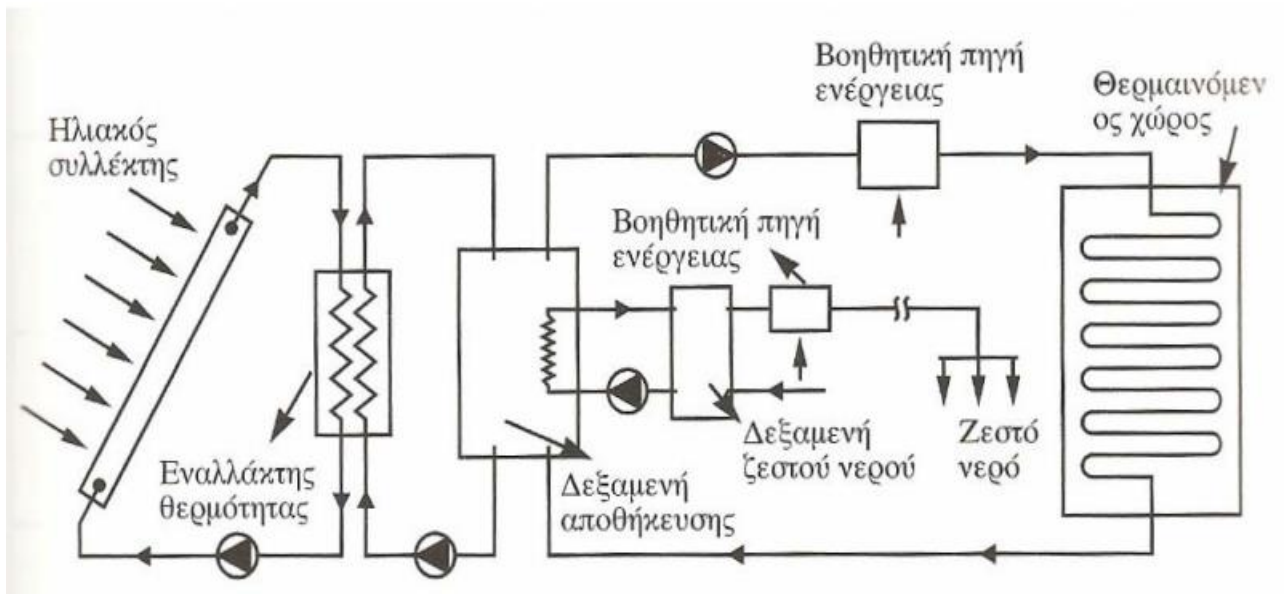
4.2.1 Βασικές εξισώσεις

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

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

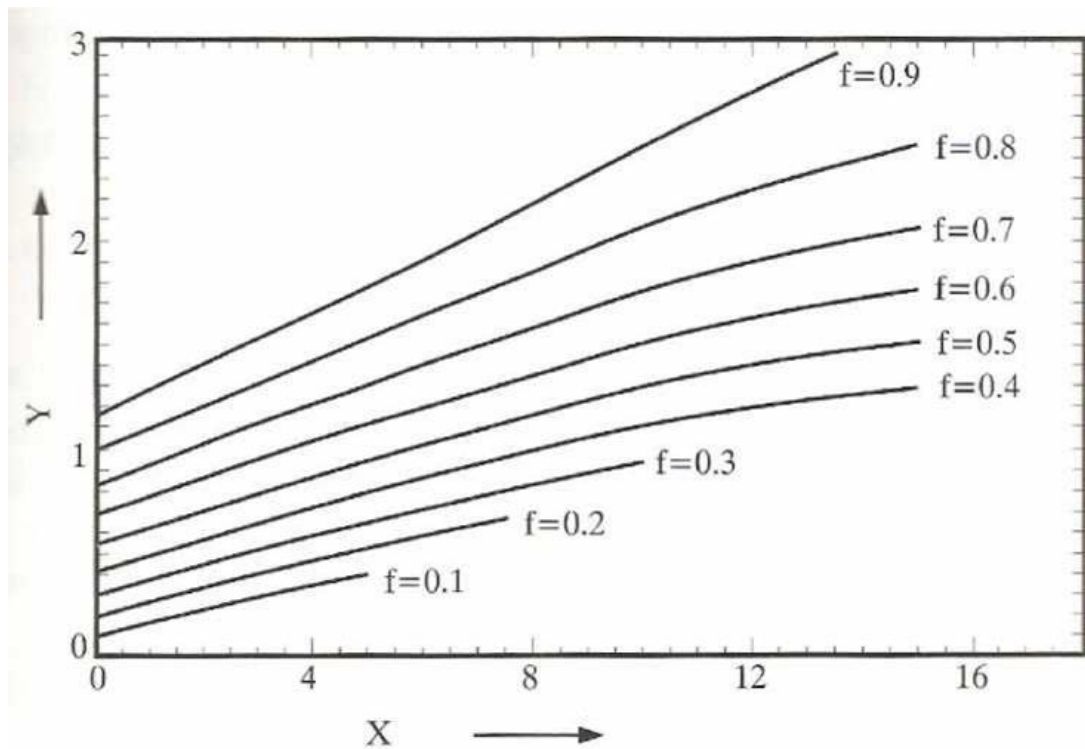






Το μηνιαίο ποσοστό κάλυψης του φορτίου, f , προκύπτει ως συνάρτηση δύο αδιάστατων παραμέτρων X και Y . Η φυσική υπόσταση των παραμέτρων αυτών σχετίζεται για την μεν πρώτη (X) με το πηλίκο των θερμικών απωλειών του συλλέκτη προς το θερμικό φορτίο του μήνα και για τη δεύτερη (Y) με το πηλίκο της ενέργειας που απορροφάται από το συλλέκτη προς το θερμικό φορτίο του μήνα.

Ένα τυπικό διάγραμμα καμπυλών- f δίδεται στο παρακάτω σχήμα:



Η μέθοδος των καμπυλών f είναι μία συσχέτιση με την οποία γίνεται εκτίμηση της μηνιαίας απόδοσης των ενεργητικών συστημάτων θέρμανσης χώρων και νερού χρήσης, στα οποία το κατώτατο θερμοκρασιακό επίπεδο παράδοσης της ενέργειας είναι 20°C . Η συσχέτιση ισχύει για τις τυπικές διατάξεις και συνδέει το κλάσμα του μηνιαίου θερμικού φορτίου που καλύπτεται από την ηλιακή ενέργεια f , με τις παρακάτω αδιάστατες μεταβλητές X και Y :

$$X = F_R U_L \frac{F'_R}{F_R} (T_{ref} - \bar{T}_a) \Delta T \frac{A_c}{L}$$

$$Y = F_R (\tau\alpha)_n \frac{F'_R}{F_R} \frac{(\bar{\tau}\alpha)}{(\tau\alpha)_n} \bar{H}_T N \frac{A_c}{L}$$

Όπου :

$F_R U_L, F_R(\tau\alpha)_n$ Χαρακτηριστικά μεγέθη του συλλέκτη

A_c Επιφάνεια επίπεδων ηλιακών συλλεκτών (m^2)

$\frac{F'_R}{F_R}$ Λόγος του παράγοντα θερμικής απολαβής του συστήματος συλλέκτη-εναλλάκτη προς τον αντίστοιχο παράγοντα του συλλέκτη

T_{ref} Θερμοκρασία αναφοράς ($100^\circ C$)

T_a Μηνιαίως μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος κατά τη διάρκεια της ημέρας ($^\circ C$)

Δ_T Διάρκεια μήνα σε s

\bar{H}_T Μηνιαίως μέση ακτινοβολία ημέρας που προσπίπτει στο επίπεδο του συλλέκτη, ανά μονάδα επιφάνειας ($J/m^2 \text{ day}$)

N Πλήθος ημερών του μήνα

$\frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n}$ Λόγος του μηνιαίου μέσου γινομένου διαπερατότητας-απορροφητικότητας προς το αντίστοιχο γινόμενο καθέτου πρόσπτωσης.

L Μηνιαίο ολικό φορτίο(J)

Η φυσική υπόσταση των παραμέτρων αυτών σχετίζεται για την μεν πρώτη (X) με το πηλίκο των θερμικών απωλειών του συλλέκτη προς το θερμικό φορτίο του μήνα και για τη δεύτερη (Y) με το πηλίκο της ενέργειας που απορροφάται από το συλλέκτη προς το θερμικό φορτίο του μήνα.

Το f για συστήματα υγρού ορίζεται :

$$f = 1.029Y - 0.065X - 0.24Y^2 + 0.0018X^2 + 0.0215Y^3$$

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

$$F = \frac{\sum_{i=0}^{i=12} f_i \cdot L_i}{\sum_{i=0}^{i=12} L_i}$$

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

4.2.2 Διορθωτικοί συντελεστές

Διορθωτικός συντελεστής χωρητικότητας δεξαμενής, K_2

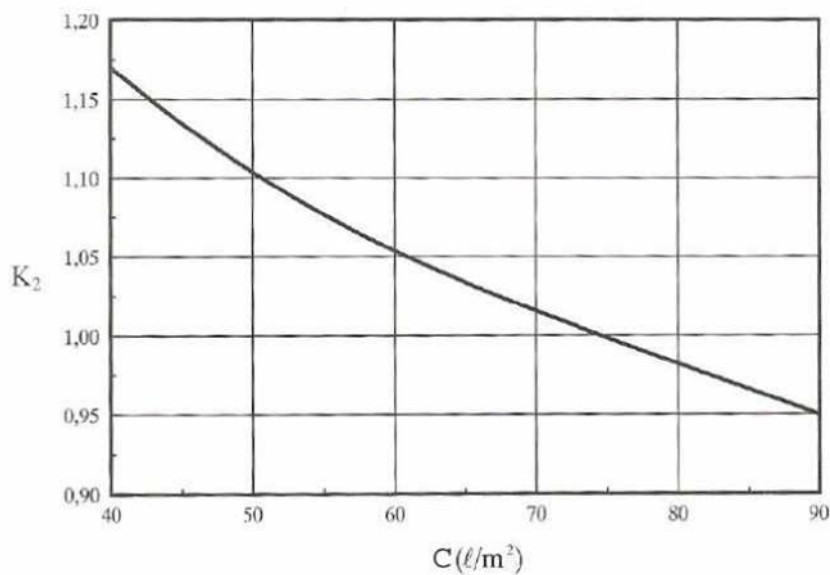
Η θεωρία των καμπυλών- f (συνεπώς και το αντίστοιχο διάγραμμα και η εξίσωση για f έχει προσδιορισθεί για χωρητικότητα της δεξαμενής αποθήκευσης θερμού νερού ίσης με 75lt ανά m^2 επιφανείας συλλεκτών. Για χωρητικότητες διαφορετικές από την ανωτέρω, απαιτείται ο υπολογισμός του συντελεστή K_2 , ο οποίος δίδεται από την ακόλουθη σχέση:

$$K_2 = \left(\frac{C}{75}\right)^{\frac{1}{4}}$$

Όπου C η χωρητικότητα της δεξαμενής σε λίτρα ανά m² επιφάνειας συλλεκτών.

Έτσι, όταν η χωρητικότητα της δεξαμενής ισούται με $75 \frac{l}{m^2}$, ο συντελεστής K_2 ισούται με τη μονάδα, ενώ στην περίπτωση που το C είναι μικρότερο ή μεγαλύτερο αυτής της τιμής, θα πρέπει να υπολογίζεται ο συντελεστής K_2 και να πολλαπλασιάζεται με την αδιάστατη παράμετρο X. Η νέα αυτή τιμή της παραμέτρου X θα χρησιμοποιηθεί στη σχέση του f ώστε να λάβουμε το ποσοστό κάλυψης.

Η μεταβολή του K_2 συναρτήσει της χωρητικότητας της δεξαμενής αποθήκευσης, C, φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί:



Από το παραπάνω σχήμα είναι εμφανές ότι για μικρή χωρητικότητα δεξαμενής ανά m^2 συλλεκτικής επιφάνειας, έχουμε μεγαλύτερο ποσοστό θερμικών απωλειών από το σύστημα στο περιβάλλον σε σχέση με το φορτίο, L .

Η συμπεριφορά αυτή του συντελεστή K_2 αιτιολογείται από το γεγονός πως με μικρότερη δεξαμενή θερμού νερού για σταθερή τιμή A_c , επιτυγχάνεται υψηλότερη θερμοκρασία στην αποθήκη θερμού νερού όπως και στη θερμοκρασία ρευστού που κυκλοφορεί στο συλλέκτη.

Διορθωτικός συντελεστής παραγωγής θερμού νερού, K_3

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

$$K_3 = \frac{11.6 + 1.18 \cdot T_w + 3.86 \cdot T_m - 2.32 \cdot \bar{T}_a}{100 - \bar{T}_a}$$

όπου:

T_w = επιθυμητή θερμοκρασία ζεστού νερού, στην παρούσα διπλωματική $45^\circ C$

T_m = θερμοκρασία νερού τροφοδοσίας (δικτύου της πόλης).

\bar{T}_a = μέση μηνιαία θερμοκρασία περιβάλλοντος.

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

Στη συνέχεια, πολλαπλασιάζεται με την αδιάστατη παράμετρο χ , όπου η νέα αυτή τιμή της χρησιμοποιείται ώστε να ληφθεί η νέα τιμή του f .

Διορθωτικός συντελεστής μεγέθους εναλλάκτη φορτίου, K_4

Στην περίπτωση της θέρμανσης χώρων από ηλιακούς συλλέκτες, όταν το μέγεθος του εναλλάκτη φορτίου μειώνεται (βλ. Σχ.5.1ό), η θερμοκρασία της δεξαμενής πρέπει να αυξηθεί ακόμα περισσότερο ώστε να αποδώσει στο φορτίο το ίδιο ποσό ενέργειας, να καλύψει δηλαδή τις ανάγκες κατά το ίδιο ποσοστό.

Ορίζουμε την παράμετρο:

$$\lambda = \frac{\varepsilon \cdot C_{min}}{(UA)_b}$$

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

ε συντελεστής εκμετάλλευσης του εναλλάκτη.

C_{min} ελάχιστη θερμοχωρητική παροχή στον εναλλάκτη.

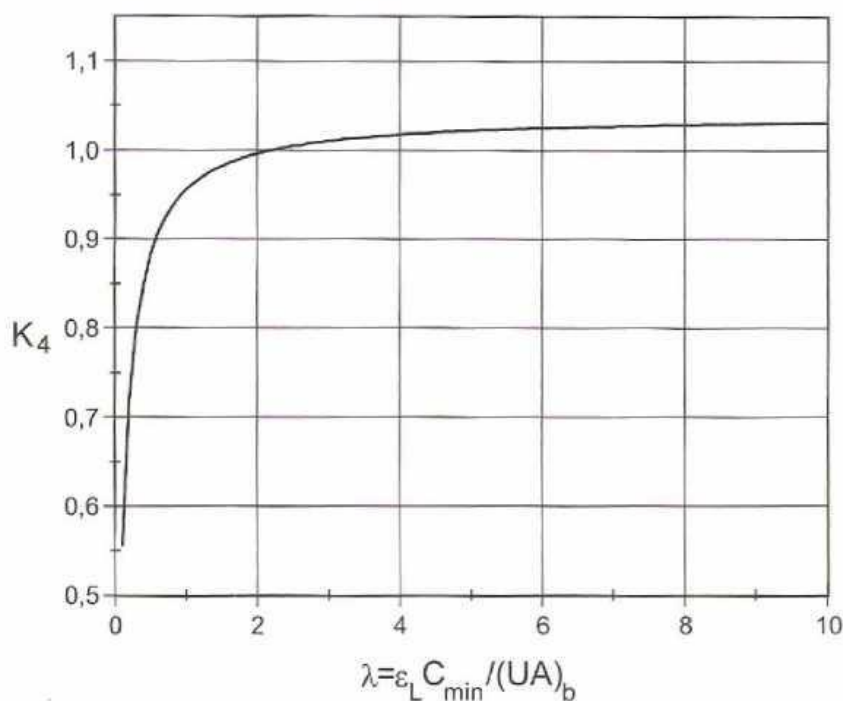
$(UA)_b$ μέσος συντελεστής θερμικών απωλειών επί την εξωτερική επιφάνεια του .

Η μέθοδος των καμπυλών-f έχει αναπτυχθεί για $\lambda = 2$, ενώ για διαφορετικές τιμές του λ πρέπει να εισαχθεί ο διορθωτικός συντελεστής K_4 , ο οποίος δίδεται από:

$$K_4 = 0.39 + 0.65 \cdot e^{\frac{0.139}{\lambda}}$$

Ο συντελεστής αυτός πολλαπλασιάζεται με την αδιάστατη παράμετρο Y , όπου η νέα αυτή τιμή της χρησιμοποιείται ώστε να ληφθεί το ποσοστό κάλυψης, f .

Η μεταβολή του συντελεστή K_4 συναρτήσει του παράγοντα λ φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί:



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

4.2.3. Υπολογισμός θερμικού φορτίου, L .

Φορτίο παραγωγής θερμού νερού.

Το θερμικό φορτίο για ζεστό νερό χρήσης υπολογίζεται από:

$$L = M \cdot C_p \cdot (T_w - T_m) \text{ [Joules]}$$

Όπου:

T_w επιθυμητή θερμοκρασία ζεστού νερού (περίπου 45°C).

T_m θερμοκρασία νερού τροφοδοσίας (δικτύου της πόλης).

C_p ειδική θερμότητα του νερού 4187 (Joule/(K · °C) και γενικότερα του ρευστού που κυκλοφορεί στο σύστημα.

$M = N \cdot V_m \cdot \rho$ απαιτήσεις σε ζεστό νερό το μήνα.

N αριθμός ημερών του εκάστοτε μήνα.

ρ ειδικό βάρος (πυκνότητα) του νερού

V_m μέση ημερήσια κατανάλωση ζεστού νερού (lt) θερμοκρασίας T_w .

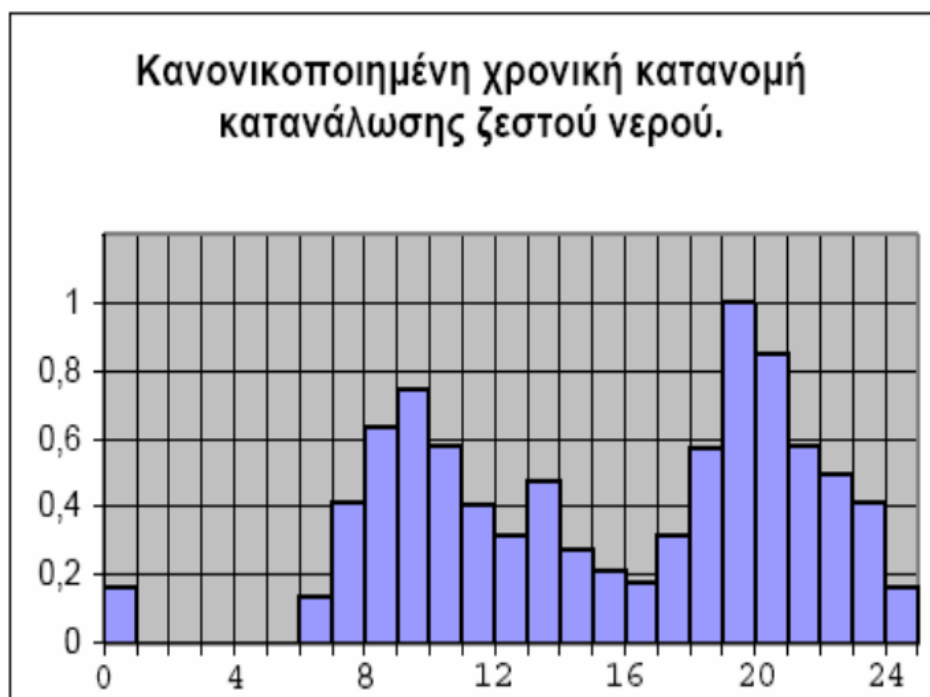
Ωστόσο, η μέση ημερήσια κατανάλωση ζεστού νερού εξαρτάται από το είδος του κτιρίου, τον αριθμό των ατόμων και τον τρόπο ζωής αυτών. Τυπικές τιμές παρουσιάζονται στο κάτωθι σχήμα:

Είδος κτιρίου	Μέση ημερήσια κατανάλωση ζεστού νερού ανά άτομο (lt)
Οικοτροφεία	50
Σχολεία	5
Κατοικίες:	
Μέση στάθμη	50
Υψηλή στάθμη	100
Νοσοκομεία	60
Ξενοδοχεία:	
Κατηγορία: LUX	100
A' και B'	80
Γ'	60
Γραφεία	6
Αθλητικά κέντρα	40
Κουζίνες	
Πλήρες γεύμα	9
Πρόχαρο γεύμα	2,5

Η θερμοκρασία του ψυχρού νερού, T_m , στο δίκτυο διανομής της περιοχής της Αθήνας, είναι:

Θερμοκρασία	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ
νερού δικτύου	10,4	10,1	11,7	14,8	18,9	23,1	25,6	25,8	23,5	19,7	15,5	12,2
°C												

Επιπρόσθετα, μία τυπική ημερήσια ανά ώρα κατανομή της κατανάλωσης ζεστού νερού προτείνεται από τον Wutch και παρουσιάζεται στην κανονικοποιημένη καμπύλη που ακολουθεί:



Από την παραπάνω καμπύλη διακρίνουμε πως η χρήση του ζεστού νερού εντείνεται τις πρωινές ώρες (8 - 11 π. μ.) καθώς και τις πρώτες βραδινές ώρες (7 - 9 μ.μ.), όπου οι ανάγκες για πλύσιμο, παρασκευή φαγητού και λουτρό είναι αυξημένες.

Τέλος, από την καμπύλη του σχήματος μπορούμε να υπολογίσουμε το ωριαίο θερμικό φορτίο, $L_{h,i}$, ως ποσοστό του ολικού ημερήσιου φορτίου, L :

Ωρα	Ωριαίο θερμικό φορτίο, Lh,	Ωρα	Ωριαίο θερμικό φορτίο, Lh,
	ως ποσοστό του ολικού, ημερήσιου θερμικού φορτίου, L.		ως ποσοστό του ολικού, ημερήσιου φορτίου, L.
0÷1	2,20%	12÷13	3,80%
1÷2	0%	13÷14	5,50%
2÷3	0%	14÷15	3,30%
3÷4	0%	15÷16	2,70%
4÷5	0%	16÷17	2,20%
5÷6	0%	17÷18	3,80%
6÷7	1,60%	18÷19	6,60%
7÷8	4,40%	19÷20	10,80%
8÷9	7,10%	20÷21	9,30%
9÷10	8,70%	21÷22	7,10%
10÷11	6,60%	22÷23	5,50%
11÷12	4,40%	23÷24	4,40%

Φορτίο θέρμανσης χώρων.

Στην περίπτωση συνεχούς θέρμανσης χώρου, το απαιτούμενο μηνιαίο θερμικό φορτίο L ισούται με:

$$L = 24 \left[\frac{h}{day} \right] \cdot (UA)_b \left[\frac{W}{^{\circ}C} \right] \cdot D [^{\circ}C \cdot day] \cdot 3600 \left[\frac{sec}{h} \right] \quad [Joules]$$

Όπου:

$(UA)_b$ ο μέσος συντελεστής θερμικών απωλειών του κτιρίου επί την ολική επιφάνεια του κτιρίου.

D ο αριθμός των βαθμοημερών ανά μήνα.

Αναλυτικότερα, το $(UA)_b$ υπολογίζεται από τη σχέση:

$$(UA)_b = (UA)_w + (UA)_g + (UA)_{fl} + (UA)_c$$

Όπου:

$(UA)_w$ το ανωτέρω γινόμενο που αντιστοιχεί στους τοίχους,

$(UA)_g$ το αντίστοιχο στα ανοίγματα,

$(UA)_{fl}$ στο δάπεδο και

$(UA)_c$ στην οροφή.

Τυπικές τιμές για τους συντελεστές θερμικών απωλειών είναι:

$$(UA)_w, (UA)_{fl}, (UA)_c \approx 1 \left[\frac{W}{^\circ C \cdot m^2} \right] \text{ και } (UA)_g \leq 3 \left[\frac{W}{^\circ C \cdot m^2} \right]$$

Βαθμοημέρες $D [^\circ C \cdot day]$ ονομάζεται η ποσότητα που εκφράζει το άθροισμα των θερμοκρασιακών διαφορών μιας θερμοκρασίας - αναφοράς (π.χ. $18^\circ C$ ή $20^\circ C$) από τις μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες περιβάλλοντος συγκεκριμένου αριθμού ημερών (π.χ. μιας εξ' αυτών $14^\circ C$).

Αν δηλαδή ο υπολογισμός αυτός πραγματοποιηθεί για χρονική περίοδο ενός μήνα, τότε προκύπτουν οι βαθμοημέρες σε $[^\circ C \cdot day]$ του εν λόγω μήνα.

Προφανώς, δε νοείται θέρμανση για αρνητικές θερμοκρασιακές διαφορές. Για το λόγο αυτό κατά την άθροιση λαμβάνονται υπ' όψιν μόνον οι θετικές τιμές τους.

Στο κάτωθι σχήμα βλέπουμε τη μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος, T_a , ανά μήνα, για την περιοχή της Αθήνας με βάση ΤΟΤΕΕ-20701-3:

Πίνακας 3.1. Μέση μηνιαία θερμοκρασία 24ώρου [$^{\circ}\text{C}$]

Περιοχή/μήνας	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
Αθήνα (Φιλαδέλφεια)	<u>8,7</u>	<u>9,3</u>	<u>11,2</u>	<u>15,4</u>	<u>20,7</u>	<u>25,7</u>	<u>28,1</u>	<u>27,5</u>	<u>23,4</u>	<u>18,2</u>	<u>13,8</u>	<u>10,3</u>

Με βάση τους 18°C (θερμοκρασιακή αναφορά), οι βαθμοημέρες για την περιοχή της Αθήνας είναι ανά μήνα

Πίνακας 3.7. Βαθμοημέρες θέρμανσης DD με θερμοκρασία αναφοράς 18°C

Περιοχή/μήνας	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
Αθήνα (Φιλαδέλφεια)	<u>288</u>	<u>244</u>	<u>211</u>	<u>78</u>	-	-	-	-	-	-	<u>126</u>	<u>239</u>

και με χρήση της παραπάνω σχέσης βρίσκουμε το θερμικό φορτίο ανά μήνα για την περιοχή της Αθήνας, για την περίπτωση θέρμανσης ενός κτιρίου στους 18°C .

Στην παρούσα μελέτη θα ασχοληθούμε μόνο με το νερό χρήσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΗΛΙΑΚΗΣ

ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΚΑΙ

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

5.1 Υπολογισμός Ολικής ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου

Αρχικά τονίζεται ότι η μελέτη για τους μήνες Νοέμβριο έως Μάρτιο, αναφέρεται στην 21^η ημέρα κάθε μήνα, εφόσον ερευνητικά δεδομένα αποδεικνύουν τις συνθήκες της ημέρας αντιπροσωπευτικές για ολόκληρο το μήνα.

Οι απαραίτητοι, για τη μελέτη, υπολογισμοί ξεκινούν με εύρεση της ολικής ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου, την οποία απορροφά ο ηλιακός συλλέκτης της εγκατάστασης. Παρακάτω παρατίθενται οι απαραίτητοι ορισμοί και η αλληλουχία των υπολογισμών για το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Το **γεωγραφικό πλάτος ϕ (latitude lat)** είναι ένα από τα δύο μεγέθη των γεωγραφικών συντεταγμένων με τα οποία προσδιορίζεται η θέση στην επιφάνεια της γης. Συγκεκριμένα, προσδιορίζει την γωνιακή απόσταση διαφόρων τόπων από τον Ισημερινό, του οποίου το γεωγραφικό πλάτος είναι μηδέν. Αποδίδεται σε μοίρες πρώτα και δεύτερα της μοίρας ή ως δεκαδικός αριθμός παραπάνω, ενώ αποτελεί πάντα διψήφιο αριθμό από 00°-90° Β (Βόρειο-North N) ή 00°-90° Ν (Νότιο-South S). Για την περιοχή της Αθήνας, στην οποία

βρίσκει εφαρμογή η εγκατάσταση της παρούσας μελέτης, το γεωγραφικό πλάτος έχει τιμή $\phi=37,97^\circ \text{ B}$.

Κλίση επιπέδου β είναι η γωνία που σχηματίζει μία επίπεδη επιφάνεια με το οριζόντιο επίπεδο, με τιμές $0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$. Για το οριζόντιο επίπεδο ορίζεται $\beta=0^\circ$, για το κατακόρυφο $\beta=90^\circ$, ενώ για $\beta > 90^\circ$ το επίπεδο βλέπει προς τα κάτω.

Για τον επίπεδο ηλιακό συλλέκτη της εγκατάσταση επιλέγεται η βέλτιστη κλίση για τη χειμερινή περίοδο, η οποία πρόκειται για το γεωγραφικό πλάτος τη περιοχής προσαυξημένο κατά 15° , δηλαδή $\beta=37,97^\circ+15^\circ$, **$\beta=52,97^\circ$** .

Αζιμούθιο επιφάνειας γ είναι η γωνία που σχηματίζεται από την προβολή της καθέτου στην επιφάνεια πάνω από το οριζόντιο επίπεδο και την νότια κατεύθυνση, με τιμές $-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$. Ορίζονται $\gamma=0^\circ$ στο Νότο, $\gamma=90^\circ$ στη Δύση, $\gamma=180^\circ$ στο Βορρά και $\gamma=-90^\circ$ στην Ανατολή.

Άρα για το νότιο προσανατολισμό του ηλιακού συλλέκτη της εγκατάστασης θα είναι **$\gamma=0^\circ$** .

Ωριαία γωνία ω είναι η γωνιακή μετατόπιση του ήλιου ανατολικά ή δυτικά του τοπικού μεσημβρινού λόγω της περιστροφής της γης περί τον άξονά της με ρυθμό $15^\circ/\text{h} = 0.25^\circ/\text{min}$. Λαμβάνεται $\omega < 0$ για π.μ. και $\omega > 0$ για μ.μ. :

$$\omega = 0,25^\circ * (\text{λεπτά από ηλιακό μεσημέρι } 12:00) [^\circ]$$

Ηλιακή απόκλιση δ είναι η γωνιακή θέση του ήλιου κατά το ηλιακό μεσημέρι ως προς το επίπεδο του ισημερινού. Ισχύει $-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ$, με θετικές τιμές προς το βορρά και υπολογίζεται από τη σχέση :

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

Με n=1 έως 365 , ο αύξων αριθμός της ημέρας του χρόνου. Για τη συγκεκριμένη μελέτη απαιτούνται οι τιμές του n για την 21^η ημέρα του μήνα και δίνονται στον παρακάτω πίνακα, παράλληλα με τις αντίστοιχες τιμές της ηλιακής απόκλισης που υπολογίστηκαν :

Μήνας	n (21 ^η ς ημέρας)	δ [rad]
Νοέμβριος	325	-0,35677
Δεκέμβριος	355	-0,40928
Ιανουάριος	21	-0,35147
Φεβρουάριος	52	-0,19594
Μάρτιος	80	-0,00705

Ο λόγος R_b της άμεσου στιγμιαίας ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου G_{bT} προς την άμεσο στιγμιαία οριζοντίου επιπέδου G_b , για κεκλιμένες επιφάνειες που βρίσκονται στο βόρειο ημισφαίριο και είναι στραμμένες προς το νότο ($\gamma=0^\circ$), υπολογίζεται από τη σχέση :

$$R_b = \frac{\sin \delta * \sin(\varphi - \beta) + \cos \delta * \cos(\varphi - \beta) * \cos \omega}{\sin \delta * \sin \varphi + \cos \delta * \cos \varphi * \cos \omega}$$

Άμεσος ακτινοβολία είναι το μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στη γη κατευθείαν από τον ήλιο χωρίς να μεσολαβήσει διασκορπισμός μέσα στην

ατμόσφαιρα. Η στιγμιαία τιμή της άμεσου ακτινοβολίας που δέχεται το οριζόντιο επίπεδο συμβολίζεται με G_b [KW/m^2], ενώ αντίστοιχα για κεκλιμένο επίπεδο με G_{bT} [KW/m^2]. Η άμεσος στιγμιαία ακτινοβολία υπολογίζεται από τη σχέση :

$$G_b = M_t + A_t * \sin\left(\frac{360}{365} * n - P_t\right) [KW/m^2]$$

Διάχυτος ακτινοβολία είναι το μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στη γη ύστερα από διασκορπισμό και αλλαγή κατεύθυνσης κατά την διαδρομή μέσα στην ατμόσφαιρα. Η στιγμιαία τιμή της εμμέσου ακτινοβολίας που δέχεται το οριζόντιο επίπεδο συμβολίζεται με G_d [KW/m^2], ενώ αντίστοιχα για κεκλιμένο επίπεδο με G_{dT} [KW/m^2]. Η διάχυτος στιγμιαία ακτινοβολία υπολογίζεται από τη σχέση :

$$G_d = m_t + a_t * \sin\left(\frac{360}{365} * n - p_t\right) [KW/m^2]$$

Ολική ακτινοβολία είναι το άθροισμα της άμεσου και της διάχυτου ηλιακής ακτινοβολίας, συμπεριλαμβανομένης και της ανακλώμενης ακτινοβολίας από παρακείμενες επιφάνειες. Η στιγμιαία τιμή της ολικής ακτινοβολίας που δέχεται το οριζόντιο επίπεδο συμβολίζεται με G [KW/m^2], ενώ αντίστοιχα για κεκλιμένο επίπεδο G_T [KW/m^2]. Η ολική στιγμιαία ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου υπολογίζεται από τη σχέση :

$$G_T = G_b * R_b + G_d * \left(\frac{1+\cos\beta}{2}\right) + (G_b + G_d) * \rho * \left(\frac{1-\cos\beta}{2}\right) [KW/m^2] \quad (6)$$

Όπου ρ η ανακλαστικότητα του εδάφους με τιμές 0,2 για συνηθισμένο έδαφος και μέγιστη τιμή 0,7 για χιονισμένο έδαφος. Στη συγκεκριμένη περίπτωση επιλέγεται $\rho=0,2$.

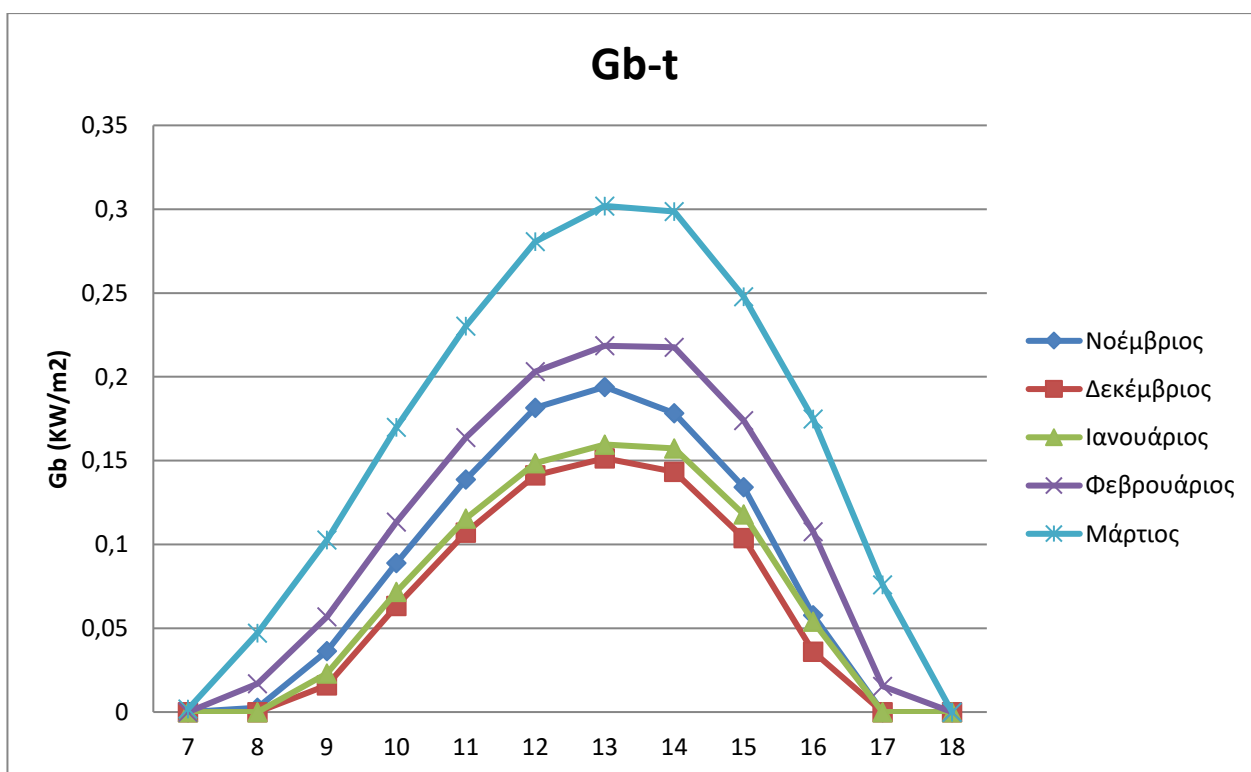
Για τις σχέσεις ο δείκτης t αντιστοιχεί στην ώρα κατά τη διάρκεια το 24ώρου με $t=7 \div 18$ ώρες. Η σταθερά D παίρνει τιμές από $1 \div 365$ ανάλογα με την ημέρα του έτους που μελετάμε ενώ οι υπόλοιπες σταθερές των παραπάνω σχέσεων λαμβάνονται από τον ακόλουθο πίνακα για τις αντίστοιχες ώρες μελέτης:

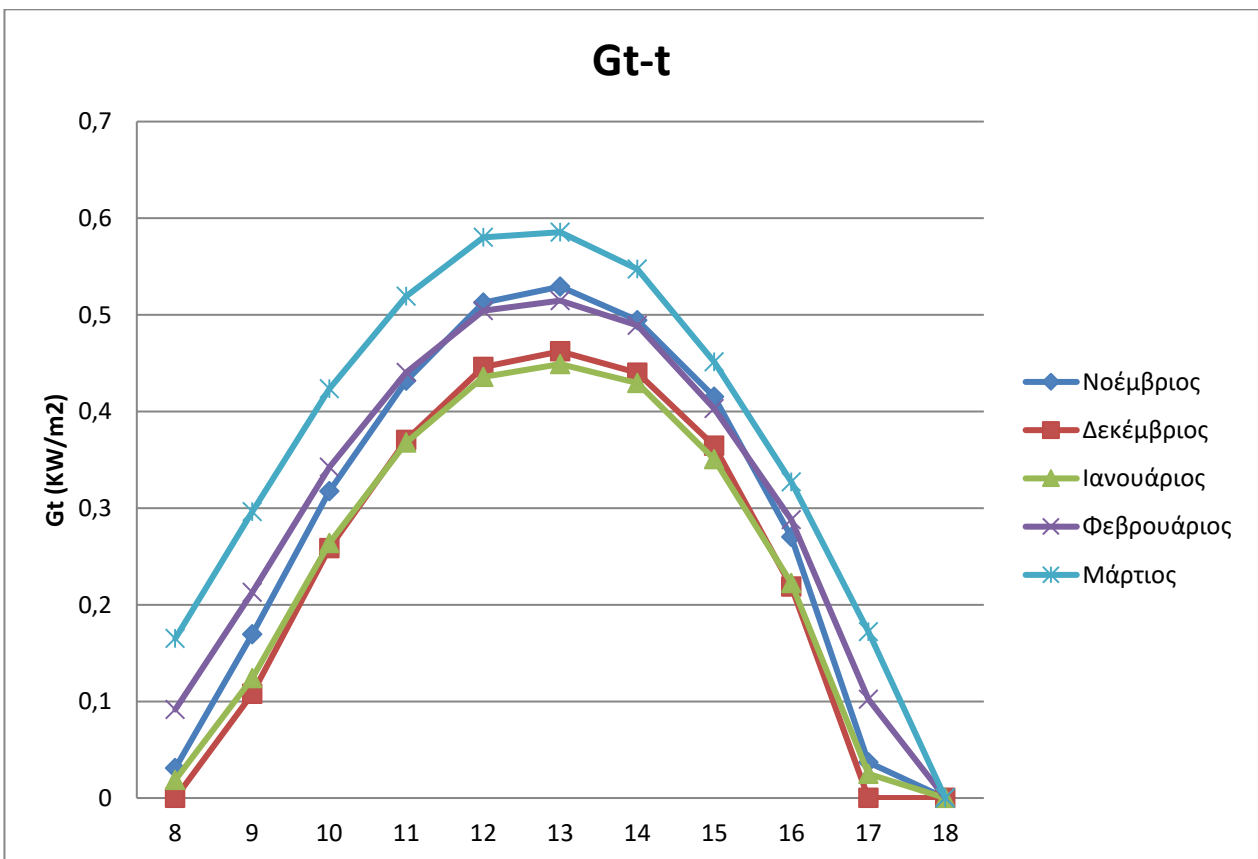
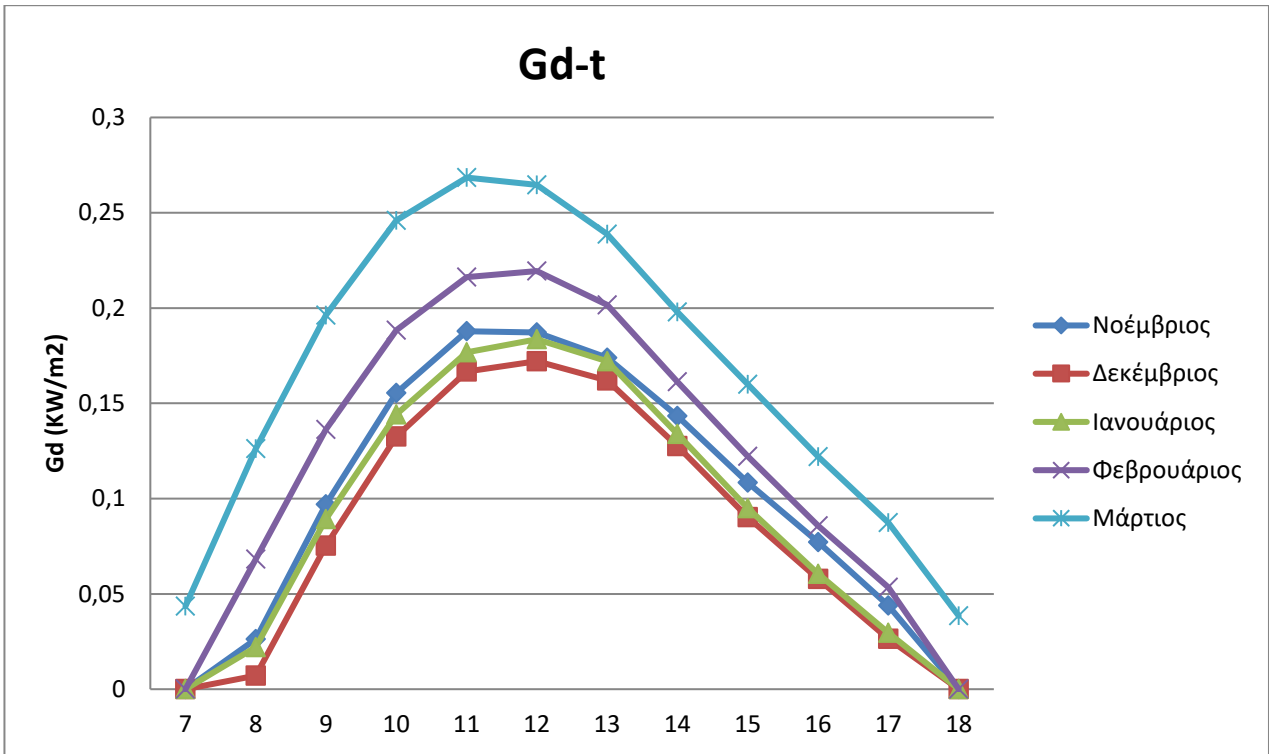
Ώρα ημέρας	M_t [KW/m ²]	A_t [KW/m ²]	P_t [rad]	m_t [KW/m ²]	a_t [KW/m ²]	p_t [rad]
7	0.007	0.046	1.504125	0.048	0.111	1.417731
8	0.057	0.068	1.523847	0.134	0.127	1.439024
9	0.119	0.104	1.534843	0.208	0.133	1.465029
10	0.191	0.129	1.5413	0.261	0.129	1.494002
11	0.258	0.153	1.559452	0.283	0.117	1.501856
12	0.319	-0.181	-1.55125	0.271	0.095	1.443562
13	0.342	-0.194	-1.55648	0.243	0.081	1.430297
14	0.325	0.183	1.522102	0.21	0.083	1.522451
15	0.269	0.166	1.504823	0.176	0.087	1.562593
16	0.183	0.147	1.432915	0.141	-0.085	-1.53921
17	0.078	0.131	1.393645	0.104	-0.079	-1.55282
18	-0.025	0.114	1.350187	0.051	0.091	1.514771

Χρησιμοποιώντας τις παραπάνω εξισώσεις υπολογίστηκαν η άμεση, διάχυτη και ολική ηλιακή ακτινοβολία σε συνάρτηση με την ώρα για την 21^η ημέρα των μηνών Νοεμβρίου, Δεκεμβρίου, Ιανουαρίου, Φεβρουαρίου και Μαρτίου. Παρακάτω παρατίθενται τα αντίστοιχα διαγράμματα για όλους τους μήνες που αναφέρθηκαν. Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφέρουμε ότι για τους μήνες

αυτούς ο υπολογισμός της προσπίπτουσας ακτινοβολίας έγινε για τις ώρες 7:00 έως 18:00 καθώς τις υπόλοιπες ώρες της ημέρας δεν υπάρχει ηλιοφάνεια. Ακόμη, να σημειώσουμε πως σε ορισμένες περιπτώσεις προέκυπταν αρνητικές τιμές για τα μεγέθη G_b ή/ και G_d και επειδή κάτι τέτοιο δεν έχει φυσική σημασία οι τιμές αυτές μηδενίζονταν.

5.2 Διαγράμματα G_b -t, G_d -t, G_t -t





5.3 Υπολογισμός Θερμοκρασίας Περιβάλλοντος

Για τον υπολογισμό της ωφέλιμης ισχύος του ηλιακού συλλέκτη ανά ώρα είναι απαραίτητες οι αντίστοιχες τιμές της θερμοκρασίας του εξωτερικού περιβάλλοντος την 21^η ημέρα κάθε εξεταζόμενου μήνα. Μία προσεγγιστική σχέση υπολογισμού της θερμοκρασίας περιβάλλοντος της περιοχής της Αθήνας, προέκυψε με στατική επεξεργασία μετρήσεων της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας, στον Τομέα Θερμότητας Ε.Μ.Π και δίνεται παρακάτω:

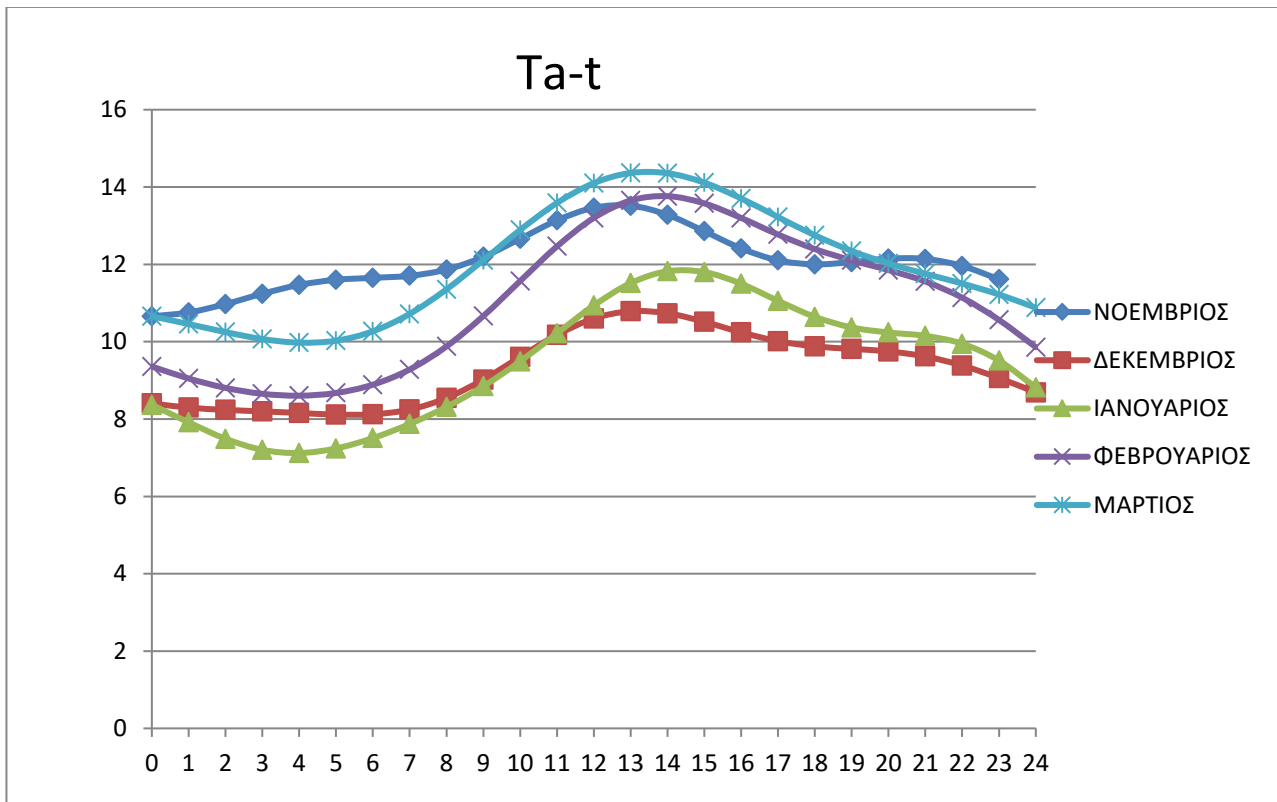
$$T_a(H) = M + \sum_{i=1}^3 C_i \cos \left[i \frac{360}{24} (H - 0,5) \right] + \sum_{i=1}^3 S_i \sin \left[i \frac{360}{24} (H - 0,5) \right]$$

Ο δείκτης H αντιστοιχεί στην ώρα κατά τη διάρκεια του 24ώρου, ενώ στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι τιμές των συντελεστών M, C_i, S_i για κάθε μήνα:

21 ^η ημέρα	M	C ₁	C ₂	C ₃	S ₁	S ₂	S ₃
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	11,968	-1,3	0,616	-0,252	-0,317	0,629	-0,049
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	9,264	-1,11	0,521	-0,152	-0,881	0,333	0,008
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	9,384	-1,673	0,711	0,0085	-1,723	0,524	-0,241
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	10,984	-2,15	0,785	-0,107	-1,75	0,578	-0,0724
ΜΑΡΤΙΟΣ	11,955	-1,898	0,651	-0,0097	-1,084	0,256	-0,0093

Υπολογίζοντας τα μεγέθη της εξίσωσης με χρήση του Excel, για κάθε ώρα του 24ώρου την 21^η ημέρα κάθε μήνα, προκύπτει το παρακάτω διάγραμμα της T_α συναρτήσεως του χρόνου.

5.4 Διάγραμμα Ta-t



5.5. Υπολογισμός μέσης ημερήσιας Ολικής Ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου H_T

Η μέση ημερήσια ολική ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου H_T για κάθε ημέρα $D = 1 \div 365$, του τυπικού έτους προσεγγίζεται από τη σχέση

$$H_T = c_0 + c_1 * \cos\left(\frac{360}{365} * D\right) + c_2 * \cos\left(2 * \frac{360}{365} * D\right) + c_3 * \sin\left(\frac{360}{365} * D\right) + c_4 * \sin\left(2 * \frac{360}{365} * D\right)$$

Όπου οι συντελεστές c_0, c_1, c_2, c_3, c_4 δίδονται σε πίνακα ανάλογα με το αζιμούθιο του κεκλιμένου επιπέδου και κλίσεις ως προς το οριζόντιο επίπεδο.

Για $\gamma=0^\circ$ και $\beta=52,97^\circ$ με γραμμική παρεμβολή έχω από τον πίνακα

:

c_0	c_1	c_2	c_3	c_4
4,958	-1,495	-0,382	-0,079	0,181

Χρησιμοποιήσαμε πρόγραμμα excel για όλες τις ημέρες του έτους υπολογίσαμε τη μηνιαίως μέση ημερήσια ολική ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου για κάθε μήνα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΜΕΛΕΤΗ ΘΕΡΜΙΚΟΥ ΗΛΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

6.1 Γενικά

Η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει στον ηλιακό συλλέκτη, όπου μετατρέπεται σε θερμότητα και απορροφάται. Η θερμότητα αυτή μεταφέρεται μέσω ενός ρευστού σε μία δεξαμενή αποθήκευσης και χρησιμοποιείται, όταν ζητηθεί, για την κάλυψη κάποιου θερμικού φορτίου.

Σκοπός των προηγούμενων κεφαλαίων ήταν η συστηματική μελέτη της όλης αυτής διαδικασίας και των επιμέρους συνιστωσών του συστήματος. Με βάση λοιπόν τη θεωρία και τις σχέσεις που έχουν έως εδώ μελετηθεί, στο κεφάλαιο αυτό πραγματοποιείται μία διερεύνηση της συμπεριφοράς και απόδοσης ενός δεδομένου θερμικού ηλιακού συστήματος στην περιοχή της Αθήνας.

Για το σκοπό αυτό, αναπτύχθηκε ένα πρόγραμμα υπολογιστή σε γλώσσα προγραμματισμού C, ο πηγαίος κώδικας του οποίου παρατίθεται στην τελευταία παράγραφο του κεφαλαίου.

Το πρόγραμμα αυτό παρέχει τη δυνατότητα υπολογισμού της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε μία επιφάνεια στην περιοχή της Αθήνας, καθώς επίσης υπολογίζει, μέσω δύο μεθόδων (αναλυτική και f-chart), τα μηνιαία και ετήσια ποσοστά κάλυψης του φορτίου ενός θερμικού ηλιακού συστήματος που προκύπτουν από παραμετρικές αναλύσεις. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων αυτών εμφανίζονται στη συνέχεια σε σχετικά γραφήματα και συγκρίνονται παρέχοντας διάφορα χρήσιμα συμπεράσματα

σχετικά με την ακρίβεια της προσεγγιστικής μεθόδου f-chart ως προς την αναλυτική μέθοδο.

Τέλος, επιπρόσθετοι οικονομικοί υπολογισμοί μπορούν να μας οδηγήσουν στην επιλογή της βέλτιστης επιφάνειας των συλλεκτών, την παραμετροποίηση ολόκληρου του συστήματος (π.χ. κλίση του συλλεκτών, όγκος δεξαμενής αποθήκευσης), καθώς επίσης να παρέχουν και άλλα στοιχεία όπως κόστος εγκατάστασης, ετήσια κέρδη, χρόνος απόσβεσης κ.α.

6.2 Παραμετρική ανάλυση θερμικού ηλιακού συστήματος.

6.2.1. Μέθοδοι Υπολογισμού Κάλυψης Φορτίου.

Για τον προσδιορισμό της κάλυψης του φορτίου θα χρησιμοποιήσουμε, όπως έχουμε ήδη αναφέρει, δύο διαφορετικές μεθόδους υπολογισμού.

Η **πρώτη μέθοδος** είναι η γνωστή από το προηγούμενα κεφάλαια προσεγγιστική μέθοδος των καμπυλών-f (f-chart). Η μέθοδος αυτή συνοψίζεται στον υπολογισμό των δύο αδιάστατων παραμέτρων, X και Y και τον προσδιορισμό της κάλυψης του φορτίου από το σχήμα ή τη σχέση για το f από τις παραμέτρους X,Y.

Σημείωση: Λαμβάνονται φυσικά υπ' όψιν οι διορθωτικοί συντελεστές, .

Η **δεύτερη μέθοδος** (αναλυτική μέθοδος) πραγματοποιεί μία ώρα-προς-ώρα εξομοίωση του θερμικού ηλιακού συστήματος και βασίζεται στη σχέση, η οποία γίνεται:

$$T_s^+ = T_s + \frac{t}{m_s \cdot C_{ps}} \{A_C \cdot F_R \cdot [I_T \cdot (\tau\alpha) - 3600 \cdot U_L \cdot (T_{f,i} - T_\alpha)] - L_h - 3600 \cdot (UA)_s \cdot (T_s - T_a')\}$$

οπου:

L_h : το θερμικό φορτίο που καλύπτει το ηλιακό σύστημα κατά τη διάρκεια της ώρας αυτής,

$t = 1[\text{hour}]$.

Μέσω της μεθόδου, λοιπόν, αυτής θα μελετήσουμε τη συμπεριφορά ενός Θ.Η.Σ. στην Αθήνα για κάθε ώρα της 21^{ης} ημέρας κάθε χειμερινού μήνα ενός έτους.

Σημείωση: Η έκφραση «ποσοστό κάλυψης» αναφέρεται σε απόλυτες τιμές, π.χ. $f = 0,458$. Το αντίστοιχο ποσοστό επί % λαμβάνεται αν απλά πολλαπλασιάσουμε με το 100, δηλαδή $f = 45,8\%$.

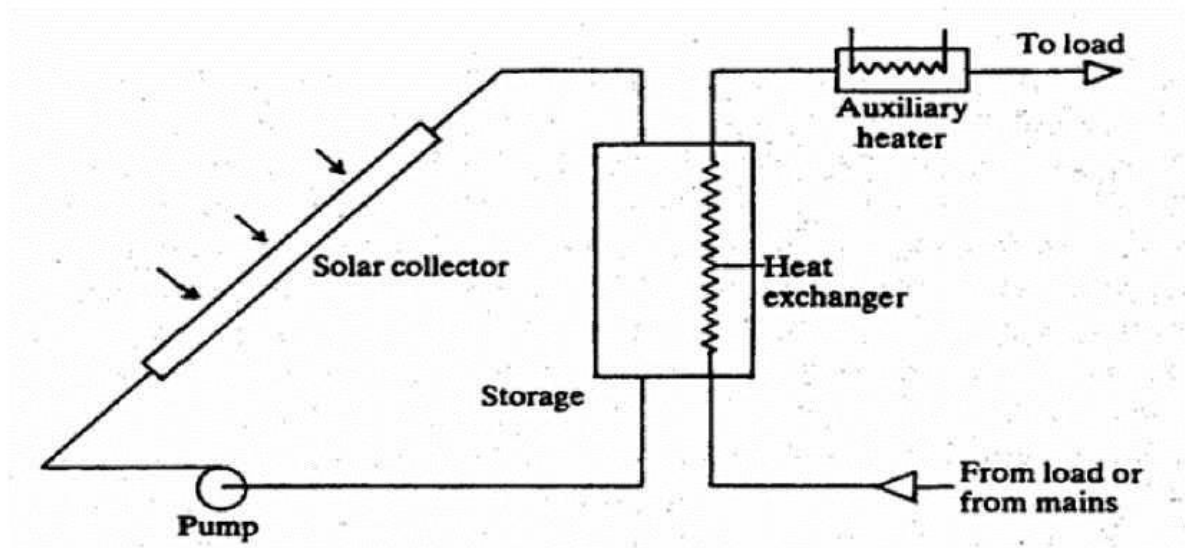
6.2.2 Παραμετρική ανάλυση θερμικού ηλιακού συστήματος

Θερμικό ηλιακό σύστημα

Το σύστημα που θα μελετήσουμε είναι ένα σύστημα επίπεδων ηλιακών συλλεκτών σε Ξενοδοχειακή μονάδα στην Αθήνα, για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης 80 ατόμων ημερησίως.

(Το ξενοδοχείο είναι Α' Κατηγορίας, δυναμικότητας 100 κλινών με μέση πληρότητα 80%)

Μία απλοποιημένη σχηματική παράσταση του συστήματος αυτού φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί:



Από το παραπάνω σχήμα παρατηρούμε ότι το σύστημα αποτελείται από ηλιακούς συλλέκτες, εναλλάκτη θερμότητας, δεξαμενή αποθήκευσης και βοηθητική πηγή ενέργειας σε σειρά.

Για τους επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες, λαμβάνεται:

$$F_R \cdot (\tau\alpha)_n = 0,7 \quad \text{και} \quad F_R \cdot U_L = 4 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$$

Για τον εναλλάκτη θερμότητας λαμβάνεται ο συντελεστής:

$$\frac{F_R'}{F_R} = 0.93$$

ενώ για τη δεξαμενή αποθήκευσης κυβικής γεωμετρίας:

$$U_s = 0.5 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \right]$$

Τέλος, να σημειώσουμε πως:

$$T_{fi} = T_s \quad \text{και} \quad \overline{T_{\alpha'}} = \overline{T_{\alpha}}$$

Έτσι, η σχέση της θερμοκρασίας γίνεται τελικά :

$$T_s^+ = T_s + \frac{t}{m_s \cdot C_{ps}} \{A_C \cdot F_R \cdot [I_T \cdot (\tau\alpha) - 3600 \cdot U_L \cdot (T_s - \overline{T_{\alpha}})] - L_h - 3600 \cdot (UA)_s \cdot (T_s - \overline{T_{\alpha}})\}$$

Όσον αφορά στο θερμικό φορτίο, λαμβάνουμε:

$$V_m = 80 \left[\frac{\text{lt}}{\text{άτομο}} \right] \cdot 80 \left[\frac{\text{άτομα}}{\text{ημέρα}} \right]$$

$$V_m = 6400 \left[\frac{\text{lt}}{\text{ημέρα}} \right]$$

Θερμοκρασίας $T_w = 45^\circ\text{C}$ και με τη βοήθεια του πίνακα για τα ποσοστά ωριαίας κατανάλωσης υπολογίζεται το θερμικό φορτίο που πρέπει να ικανοποιηθεί $\left[\frac{\text{lt}}{\text{ώρα}} \right]$.

Όταν η θερμοκρασία της δεξαμενής είναι μεγαλύτερη από την επιθυμητή θερμοκρασία νερού χρήσης, όλο το απαιτούμενο νερό λαμβάνεται από τη

δεξαμενή, στην οποία συμπληρώνεται νερό δικτύου ίσης ποσότητας με αυτό που χρησιμοποιήσαμε.

Όταν η θερμοκρασία δεξαμενής είναι μικρότερη από την επιθυμητή θερμοκρασία νερού χρήσης, όλη η ποσότητα που πήραμε θερμαίνεται για να φτάσει την επιθυμητή και φυσικά συμπληρώνεται στη δεξαμενή νερό δικτύου ίσης ποσότητας.

Η κάλυψη του κάθε μήνα προκύπτει από το πηλίκο του συνολικού ωφέλιμου φορτίου κάθε μήνα προς τη συνολική απαιτούμενη ενέργεια κάθε μήνα.

Τις ώρες που δεν υπάρχει ηλιοφάνεια η ωφέλιμη ισχύς του συλλέκτη είναι ίση με το μηδέν.

6.3. Ανάλυση με παράμετρο την επιφάνεια του ηλιακού συλλέκτη

Τα αποτελέσματα που ακολουθούν έχουν ληφθεί για:

Κλίση συλλεκτών $\beta = 52.97^\circ$

Χωρητικότητα Δεξαμενής Αποθήκευσης $C = 75 \left[\frac{lt}{m^2 \text{ συλλέκτη}} \right]$

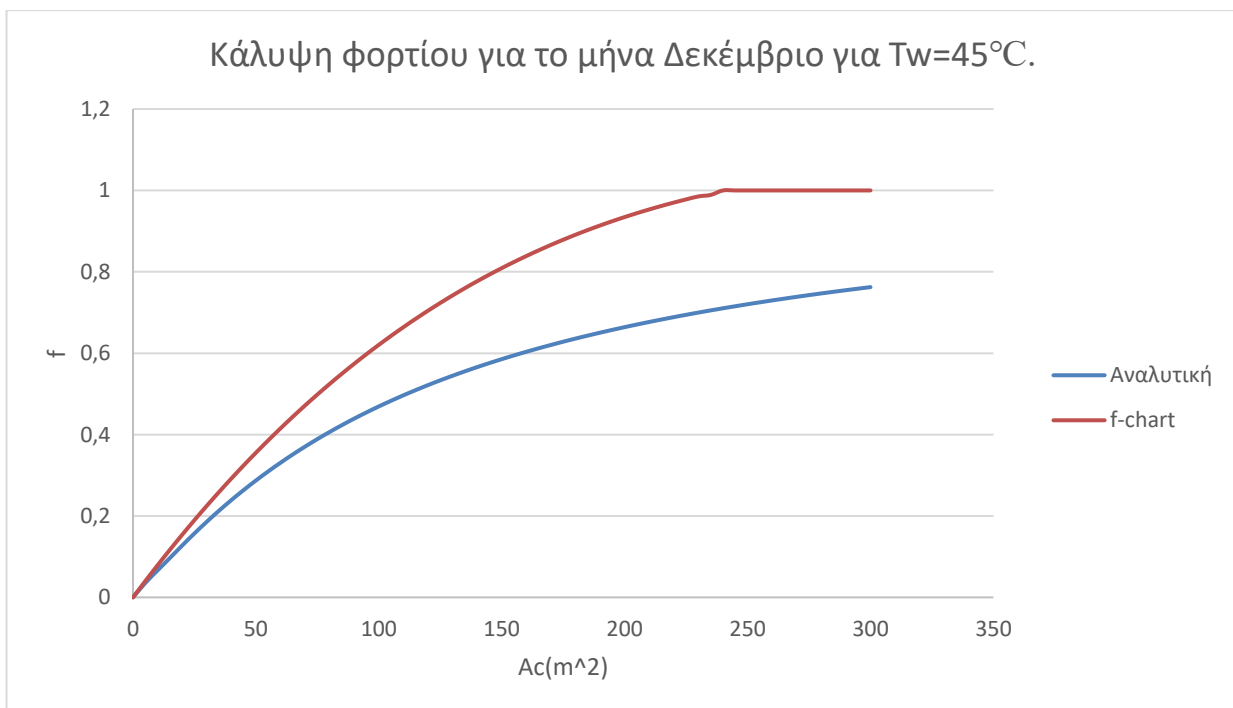
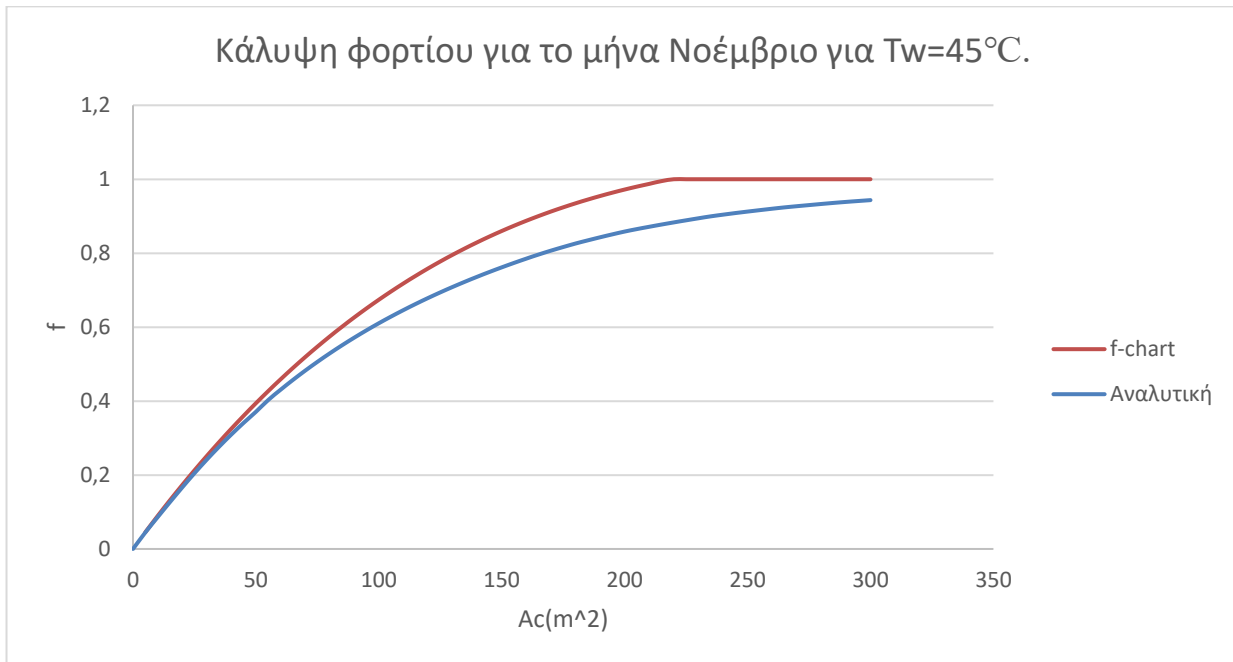
A) Μέθοδος f-chart

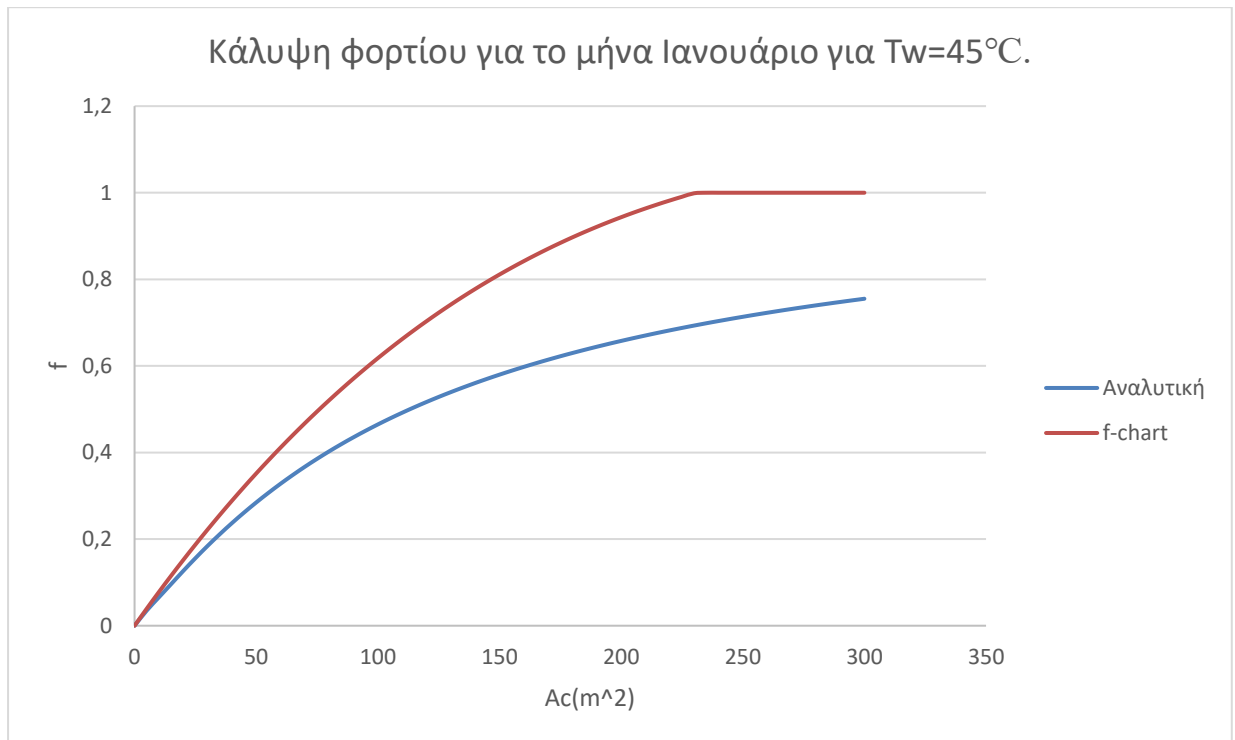
	Ac (m2)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
	Vs (lt)	0	375	750	1125	1500	1875	2250	2625	3000	3375	3750
f	Νοέμβριος	0	0,05	0,09	0,13	0,17	0,21	0,25	0,29	0,33	0,36	0,39
	Δεκέμβριος	0	0,04	0,08	0,12	0,15	0,19	0,22	0,26	0,29	0,32	0,36
	Ιανουάριος	0	0,04	0,08	0,12	0,15	0,19	0,22	0,26	0,29	0,32	0,35
	Φεβρουάριος	0	0,04	0,08	0,11	0,15	0,18	0,22	0,25	0,28	0,31	0,35
	Μάρτιος	0	0,04	0,08	0,12	0,16	0,19	0,23	0,26	0,30	0,33	0,36
	Ac (m2)		55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
	Vs (lt)		4125	4500	4875	5250	5625	6000	6375	6750	7125	7500
f	Νοέμβριος		0,43	0,46	0,49	0,52	0,55	0,57	0,60	0,63	0,65	0,67
	Δεκέμβριος		0,39	0,42	0,44	0,47	0,50	0,52	0,55	0,57	0,60	0,62
	Ιανουάριος		0,38	0,41	0,44	0,47	0,49	0,52	0,55	0,57	0,59	0,62
	Φεβρουάριος		0,38	0,40	0,43	0,46	0,49	0,51	0,54	0,56	0,59	0,61
	Μάρτιος		0,39	0,42	0,45	0,48	0,51	0,53	0,56	0,58	0,61	0,63
	Ac (m2)		105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
	Vs (lt)		7875	8250	8625	9000	9375	9750	10125	10500	10875	11250
f	Νοέμβριος		0,70	0,72	0,74	0,76	0,78	0,80	0,81	0,83	0,85	0,86
	Δεκέμβριος		0,64	0,66	0,68	0,70	0,72	0,74	0,76	0,78	0,79	0,81
	Ιανουάριος		0,64	0,66	0,68	0,70	0,72	0,74	0,76	0,78	0,79	0,81
	Φεβρουάριος		0,63	0,65	0,68	0,70	0,72	0,73	0,75	0,77	0,79	0,80
	Μάρτιος		0,65	0,67	0,70	0,72	0,74	0,75	0,77	0,79	0,81	0,82
	Ac (m2)		155	160	165	170	175	180	185	190	195	200
	Vs (lt)		11625	12000	12375	12750	13125	13500	13875	14250	14625	15000
f	Νοέμβριος		0,87	0,89	0,90	0,91	0,92	0,93	0,95	0,95	0,96	0,97
	Δεκέμβριος		0,82	0,84	0,85	0,87	0,88	0,89	0,90	0,91	0,92	0,93
	Ιανουάριος		0,83	0,84	0,86	0,87	0,88	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94
	Φεβρουάριος		0,82	0,84	0,85	0,87	0,88	0,89	0,91	0,92	0,93	0,94
	Μάρτιος		0,84	0,86	0,87	0,88	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,96
	Ac (m2)		205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	Vs (lt)		15375	15750	16125	16500	16875	17250	17625	18000	18375	18750
f	Νοέμβριος		0,98	0,99	1,00	1	1	1	1	1	1	1
	Δεκέμβριος		0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99	1	1	1
	Ιανουάριος		0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	0,999	1	1	1	1
	Φεβρουάριος		0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	0,999	1	1	1	1
	Μάρτιος		0,97	0,98	0,98	0,99	1	1	1	1	1	1
	Ac (m2)		255	260	265	270	275	280	285	290	295	300
	Vs (lt)		19125	19500	19875	20250	20625	21000	21375	21750	22125	22500
f	Νοέμβριος		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Δεκέμβριος		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Ιανουάριος		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Φεβρουάριος		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Μάρτιος		1	1	1	100	1	1	1	1	1	1

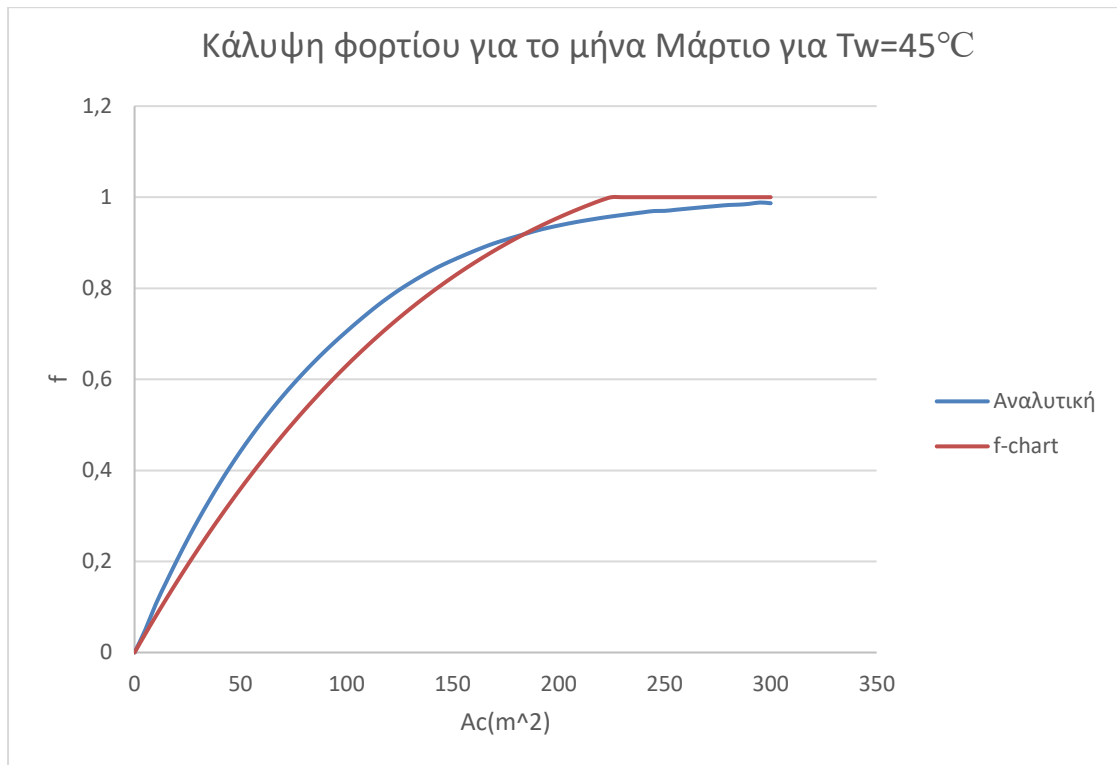
Β) Αναλυτική μέθοδος –ανά ώρα υπολογισμός

	Ac (m2)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
	Vs (lt)	0	375	750	1125	1500	1875	2250	2625	3000	3375	3750
f	Νοέμβριος	0	0,04	0,09	0,13	0,17	0,20	0,24	0,28	0,31	0,34	0,37
	Δεκέμβριος	0	0,04	0,07	0,10	0,13	0,16	0,19	0,21	0,24	0,26	0,29
	Ιανουάριος	0	0,03	0,07	0,10	0,13	0,16	0,18	0,21	0,24	0,26	0,28
	Φεβρουάριος	0	0,04	0,08	0,12	0,16	0,19	0,23	0,26	0,30	0,33	0,36
	Μάρτιος	0	0,05	0,11	0,16	0,20	0,25	0,29	0,33	0,37	0,41	0,44
	Ac (m2)		55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
	Vs (lt)		4125	4500	4875	5250	5625	6000	6375	6750	7125	7500
f	Νοέμβριος		0,40	0,43	0,46	0,48	0,51	0,53	0,55	0,57	0,59	0,61
	Δεκέμβριος		0,31	0,33	0,35	0,37	0,39	0,41	0,42	0,44	0,45	0,47
	Ιανουάριος		0,31	0,33	0,35	0,37	0,39	0,40	0,42	0,44	0,45	0,46
	Φεβρουάριος		0,38	0,41	0,43	0,46	0,48	0,50	0,52	0,54	0,56	0,58
	Μάρτιος		0,48	0,51	0,54	0,56	0,59	0,62	0,64	0,66	0,68	0,71
	Ac (m2)		105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
	Vs (lt)		7875	8250	8625	9000	9375	9750	10125	1050	10875	11250
f	Νοέμβριος		0,63	0,65	0,66	0,68	0,69	0,71	0,72	0,74	0,75	0,76
	Δεκέμβριος		0,48	0,50	0,51	0,52	0,53	0,54	0,56	0,57	0,58	0,59
	Ιανουάριος		0,48	0,49	0,50	0,52	0,53	0,54	0,55	0,56	0,57	0,58
	Φεβρουάριος		0,60	0,61	0,63	0,64	0,66	0,67	0,69	0,70	0,71	0,72
	Μάρτιος		0,73	0,74	0,76	0,78	0,80	0,81	0,83	0,84	0,85	0,86
	Ac (m2)		155	160	165	170	175	180	185	190	195	200
	Vs (lt)		11625	12000	12375	12750	13125	13500	13875	14250	14625	15000
f	Νοέμβριος		0,77	0,79	0,80	0,81	0,82	0,83	0,83	0,84	0,85	0,86
	Δεκέμβριος		0,59	0,60	0,61	0,62	0,63	0,64	0,64	0,65	0,66	0,66
	Ιανουάριος		0,59	0,60	0,61	0,61	0,62	0,63	0,64	0,64	0,65	0,66
	Φεβρουάριος		0,73	0,75	0,76	0,77	0,78	0,79	0,79	0,80	0,81	0,82
	Μάρτιος		0,87	0,88	0,89	0,90	0,91	0,91	0,92	0,93	0,93	0,94
	Ac (m2)		205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	Vs (lt)		15375	15750	16125	16500	16875	17250	17625	18000	18375	18750
f	Νοέμβριος		0,87	0,87	0,88	0,88	0,89	0,89	0,90	0,90	0,91	0,91
	Δεκέμβριος		0,67	0,68	0,68	0,69	0,69	0,70	0,71	0,71	0,72	0,72
	Ιανουάριος		0,66	0,67	0,68	0,68	0,69	0,69	0,70	0,70	0,71	0,71
	Φεβρουάριος		0,83	0,84	0,84	0,85	0,86	0,86	0,87	0,87	0,88	0,88
	Μάρτιος		0,94	0,95	0,95	0,95	0,96	0,96	0,96	0,97	0,97	0,97
	Ac (m2)		255	260	265	270	275	280	285	290	295	300
	Vs (lt)		19125	19500	19875	20250	20625	21000	21375	21750	22125	22500
f	Νοέμβριος		0,92	0,92	0,92	0,93	0,93	0,93	0,94	0,94	0,94	0,94
	Δεκέμβριος		0,73	0,73	0,73	0,74	0,74	0,75	0,75	0,75	0,76	0,76
	Ιανουάριος		0,72	0,72	0,73	0,73	0,74	0,74	0,74	0,75	0,75	0,76
	Φεβρουάριος		0,89	0,89	0,90	0,90	0,90	0,91	0,91	0,92	0,92	0,92
	Μάρτιος		0,97	0,97	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99

Ακολουθεί η παρουσίαση των αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων σε κοινά γραφήματα:







Σχόλια-Παρατηρήσεις

Μία πρώτη παρατήρηση που θα μπορούσαμε να κάνουμε είναι πως τόσο η αναλυτική μέθοδος όσο και η μέθοδος f-chart δίδουν υψηλότερα ποσοστά κάλυψης του φορτίου κατά τους μήνες Νοέμβριο και Μάρτιο από αυτά των υπολοίπων. Αυτό άλλωστε αναμενόταν καθώς τότε η ηλιακή ακτινοβολία λαμβάνει μεγαλύτερες τιμές και άρα η ωφέλιμη θερμική ενέργεια που αποδίδεται από το σύστημα μεγαλώνει.

Μάλιστα, για μεγάλες τιμές της συλλεκτικής επιφάνειας οι δύο αυτές μέθοδοι δίδουν ποσοστό κάλυψης ίσο με τη μονάδα ($f = 1$ ή $f = 100\%$), πράγμα που σημαίνει ότι όλο το θερμικό φορτίο του μήνα καλύπτεται από το ηλιακό σύστημα.

Εν συνεχεία, παρατηρούμε ότι κατά τους χειμερινούς μήνες η προσεγγιστική μέθοδος f-chart δίδει ποσοστά κάλυψης του φορτίου παραπλήσια με αυτά της αναλυτικής μεθόδου για μικρές τιμές της συλλεκτικής επιφάνειας (50 - 60 [m²]), ενώ αύξηση της επιφάνειας των συλλεκτών φαίνεται να αυξάνει την απόκλιση των καλύψεων μεταξύ των δύο μεθόδων.

6.4. Αρχική Θερμοκρασία Δεξαμενής Αποθήκευσης

Ως γνωστόν, στην ώρα-προς-ώρα εξομοίωση του θερμικού ηλιακού συστήματος μελετούμε τη συμπεριφορά-απόδοση του συστήματος για κάθε ώρα της μέσης ημέρας του εκάστοτε μήνα ενός έτους.

Συγκεκριμένα, εκκινώντας από μία αρχική θερμοκρασία της δεξαμενής αποθήκευσης, T_s , υπολογίζουμε τη θερμοκρασία της δεξαμενής την επόμενη ώρα, T_{s+} , η οποία θα αποτελέσει την αρχική θερμοκρασία, T_s , της δεξαμενής στην επόμενη εφαρμογή της σχέσης. Γεννάται λοιπόν το ερώτημα ποια θα είναι η αρχική θερμοκρασία της δεξαμενής αποθήκευσης, T_s , κατά την έναρξη της εξομοίωσης του συστήματος για τη μέση ημέρα του μήνα, ελλείψει προηγούμενων τιμών θερμοκρασίας της δεξαμενής.

Στις αναλύσεις που προηγήθηκαν, αυτό το «πρόβλημα» αντιμετωπίστηκε με χρήση βρόχου για την εκάστοτε μέση ημέρα του μήνα:

Στην πρώτη σάρωση του βρόχου ως αρχική θερμοκρασία της δεξαμενής την πρώτη ώρα εξομοίωσης (00:00-01:00 π.μ.) λαμβάνεται η μέση-μηνιαία θερμοκρασία του νερού του δικτύου της Αθήνας. Κατά τη δεύτερη σάρωση του βρόχου ως αρχική θερμοκρασία λαμβάνεται η τελική θερμοκρασία της δεξαμενής (23:00-24:00 μ.μ.), που προέκυψε κατά την πρώτη σάρωση του

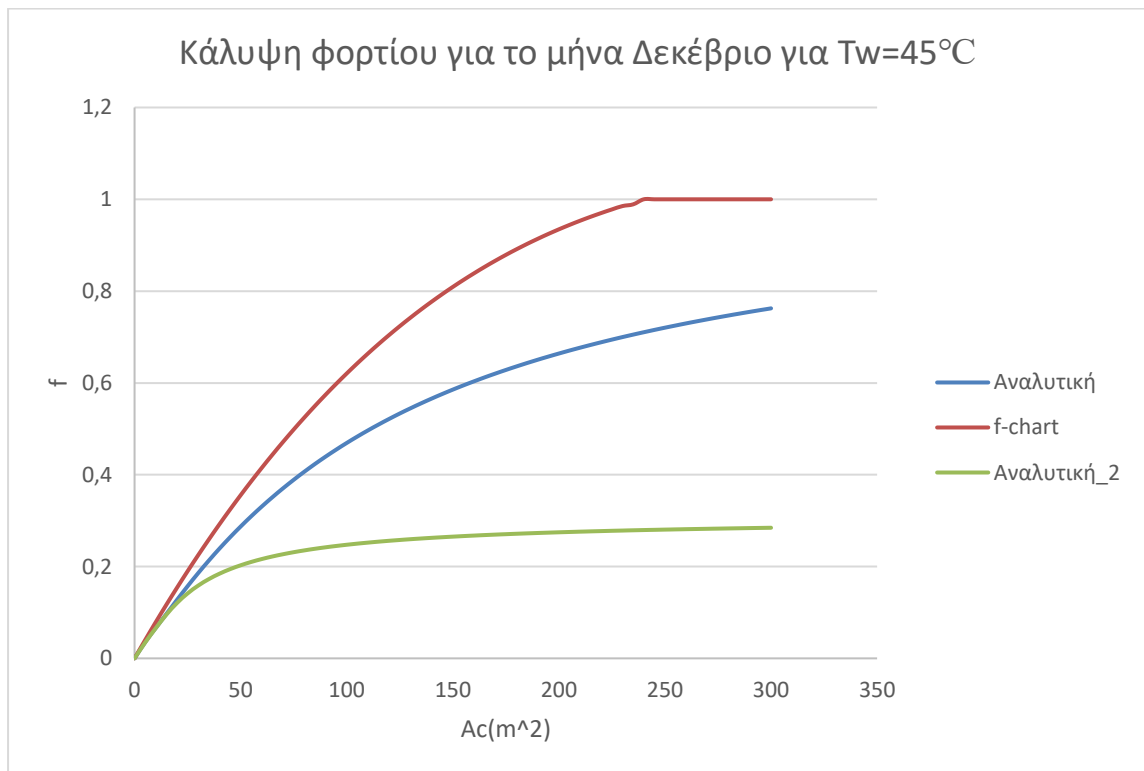
βρόχου. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται, ενώ απαιτούνται λίγες μόνο επαναλήψεις (3-4 στον αριθμό) ώστε η μέθοδος αυτή να συγκλίνει.

Με την προσθήκη του βρόχου, λοιπόν, προσδίδεται μία συνέχεια στη λειτουργία του συστήματος, αφού λαμβάνεται υπ' όψιν η επιρροή της προηγούμενης, απ' τη μέση ημέρα του μήνα, ημέρας.

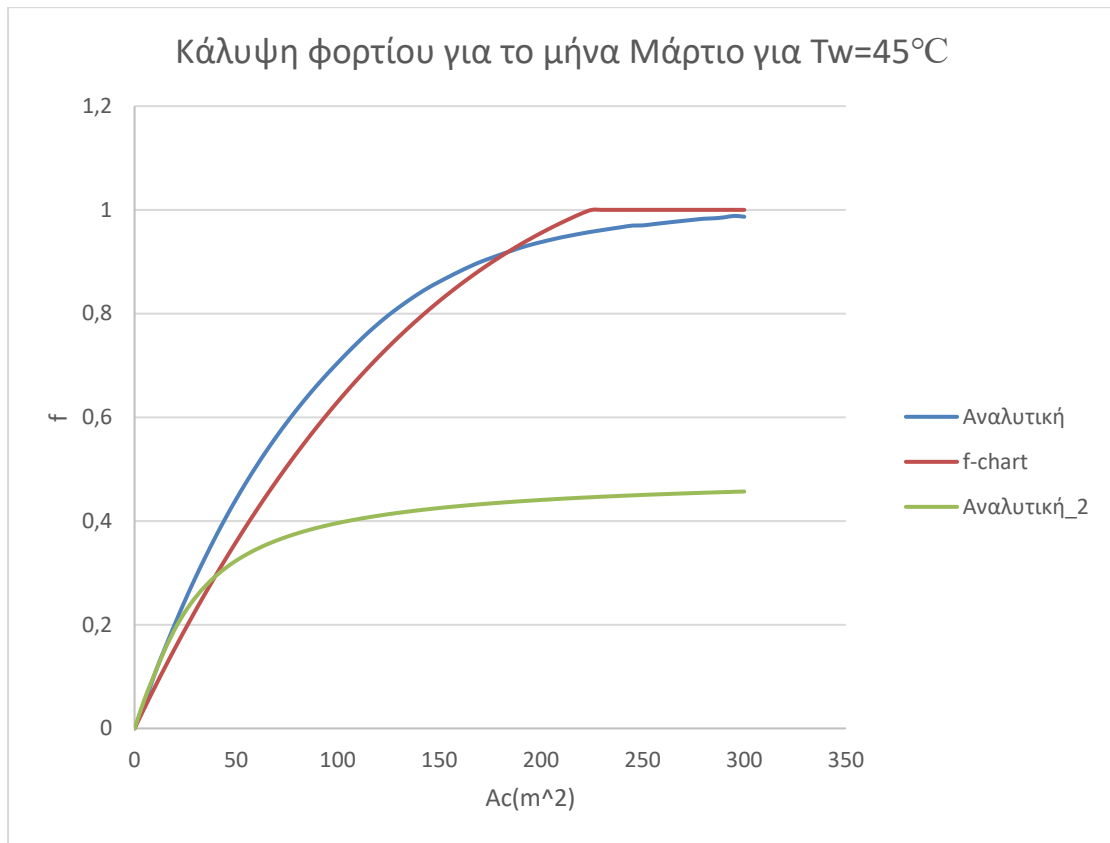
Θεωρούμε χρήσιμο στο σημείο αυτό, να επαναλάβουμε τις ανωτέρω αναλύσεις για μία πιο απλοποιημένη εφαρμογή της αναλυτικής μεθόδου, κατά την οποία ως αρχική θερμοκρασία της δεξαμενής αποθήκευσης κατά την έναρξη της εξομοίωσης του συστήματος λαμβάνεται η μέση-μηνιαία θερμοκρασία του νερού του δικτύου της πόλης της Αθήνας (δηλαδή χωρίς βρόχο). Τα αποτελέσματα της παραπάνω απλοποιημένης αναλυτικής μεθόδου (θα καλείται αναλυτική_2) παρουσιάζονται στους ακόλουθους πίνακες και εμφανίζονται σε κοινά γραφήματα με τις δύο προηγούμενες μεθόδους προς διευκόλυνση σύγκρισης και εξαγωγής συμπερασμάτων.

Αναλυτική μέθοδος για θερμοκρασία νερού εισόδου ίση με θερμοκρασία νερού δικτύου ανά μήνα.

	Ac (m2)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
	Vs (lt)	0	375	750	1125	1500	1875	2250	2625	3000	3375	3750
f	Νοέμβριος	0	0,05	0,09	0,13	0,16	0,19	0,21	0,23	0,24	0,26	0,27
	Δεκέμβριος	0	0,03	0,07	0,10	0,12	0,14	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20
	Ιανουάριος	0	0,03	0,07	0,09	0,12	0,14	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20
	Φεβρουάριος	0	0,05	0,09	0,12	0,15	0,18	0,20	0,22	0,24	0,25	0,26
	Μάρτιος	0	0,06	0,11	0,15	0,19	0,23	0,25	0,28	0,29	0,31	0,32
	Ac (m2)		55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
	Vs (lt)		4125	4500	4875	5250	5625	6000	6375	6750	7125	7500
f	Νοέμβριος		0,28	0,28	0,29	0,30	0,30	0,31	0,31	0,32	0,32	0,33
	Δεκέμβριος		0,21	0,22	0,22	0,23	0,23	0,24	0,24	0,24	0,24	0,25
	Ιανουάριος		0,21	0,21	0,22	0,22	0,23	0,23	0,24	0,24	0,24	0,25
	Φεβρουάριος		0,27	0,28	0,28	0,29	0,30	0,30	0,31	0,31	0,31	0,32
	Μάρτιος		0,34	0,35	0,35	0,36	0,37	0,38	0,38	0,39	0,39	0,40
	Ac (m2)		105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
	Vs (lt)		7875	8250	8625	9000	9375	9750	10125	10500	10875	11250
f	Νοέμβριος		0,33	0,33	0,33	0,34	0,34	0,34	0,34	0,35	0,35	0,35
	Δεκέμβριος		0,25	0,25	0,25	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,27
	Ιανουάριος		0,25	0,25	0,25	0,25	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26
	Φεβρουάριος		0,32	0,32	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,34	0,34	0,34
	Μάρτιος		0,40	0,40	0,41	0,41	0,41	0,42	0,42	0,42	0,42	0,43
	Ac (m2)		155	160	165	170	175	180	185	190	195	200
	Vs (lt)		11625	12000	12375	12750	13125	13500	13875	14250	14625	15000
f	Νοέμβριος		0,35	0,35	0,35	0,35	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36
	Δεκέμβριος		0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
	Ιανουάριος		0,26	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
	Φεβρουάριος		0,34	0,34	0,34	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
	Μάρτιος		0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44
	Ac (m2)		205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	Vs (lt)		15375	15750	16125	16500	16875	17250	17625	18000	18375	18750
f	Νοέμβριος		0,36	0,36	0,36	0,36	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37
	Δεκέμβριος		0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
	Ιανουάριος		0,27	0,27	0,27	0,27	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
	Φεβρουάριος		0,35	0,35	0,35	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36
	Μάρτιος		0,44	0,44	0,44	0,44	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
	Ac (m2)		255	260	265	270	275	280	285	290	295	300
	Vs (lt)		19125	19500	19875	20250	20625	21000	21375	21750	22125	22500
f	Νοέμβριος		0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37
	Δεκέμβριος		0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
	Ιανουάριος		0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
	Φεβρουάριος		0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,37
	Μάρτιος		0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,46	0,46	0,46	0,46







6.5. Ανάλυση με παράμετρο τη χωρητικότητα ανά τετραγωνικό επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη και κατ' επέκταση τον όγκο της δεξαμενής αποθήκευση.

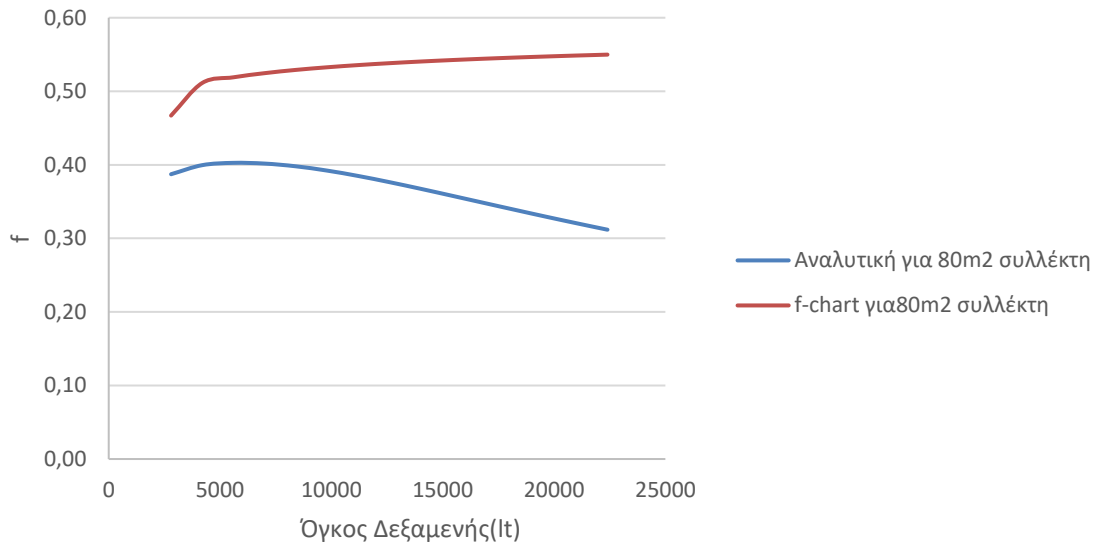
Τα παρακάτω αποτελέσματα είναι για κλίση συλλέκτη $\beta=52,97^\circ$ όπως και παραπάνω, για επιθυμητή θερμοκρασία νερού $T_w = 45^\circ\text{C}$ και για επιφάνεια συλλέκτη $A_c = 80\text{m}^2$, $A_c = 160\text{m}^2$.

Οι υπολογισμοί έγιναν για το μήνα Ιανουάριο ενδεικτικά λόγω χαμηλής ηλιοφάνειας.

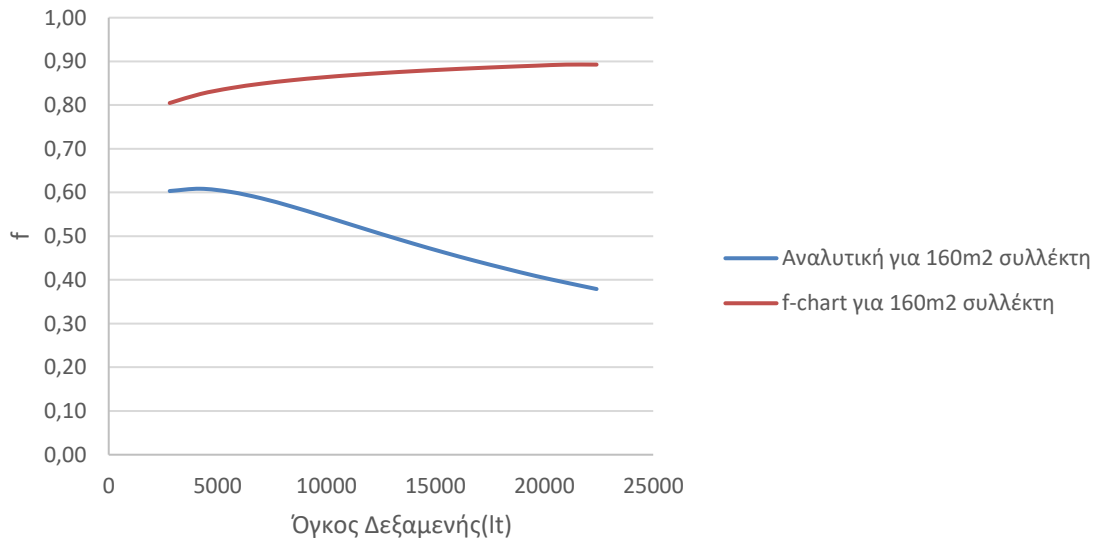
Vs (lt)	2800	4200	5600	7000	8400	9800	11200	12600
C (lt/m ² συλλ)	35	52,5	70	87,5	105	122,5	140	157,5
f-chart για Ac=80m ²	0,47	0,51	0,52	0,52	0,53	0,53	0,54	0,54
f-chart για Ac=160m ²	0,80	0,83	0,84	0,85	0,86	0,86	0,87	0,87
Αναλυτική για Ac=80m ²	0,39	0,40	0,40	0,40	0,40	0,39	0,38	0,38
Αναλυτική για Ac=160m ²	0,60	0,61	0,60	0,59	0,57	0,55	0,53	0,50
Αναλυτική για Ac=300m ²	0,76	0,79	0,76	0,73	0,69	0,66	0,62	0,59

Vs (lt)	14000	15400	16800	18200	19600	21000	22400
C (lt/m ² συλλ)	175	192,5	210	227,5	245	262,5	280
f-chart για Ac=80m ²	0,54	0,54	0,54	0,55	0,55	0,55	0,55
f-chart για Ac=160m ²	0,88	0,88	0,88	0,89	0,89	0,89	0,89
Αναλυτική για Ac=80m ²	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33	0,32	0,31
Αναλυτική για Ac=160m ²	0,48	0,46	0,44	0,43	0,41	0,39	0,38
Αναλυτική για Ac=300m ²	0,55	0,53	0,50	0,48	0,46	0,44	0,42

Κάλυψη φορτίου για το μήνα Ιανουάριο για $A_c=80m^2$ συλλέκτη.



Κάλυψη φορτίου για το μήνα Ιανουάριο για $A_c=160m^2$ συλλέκτη.



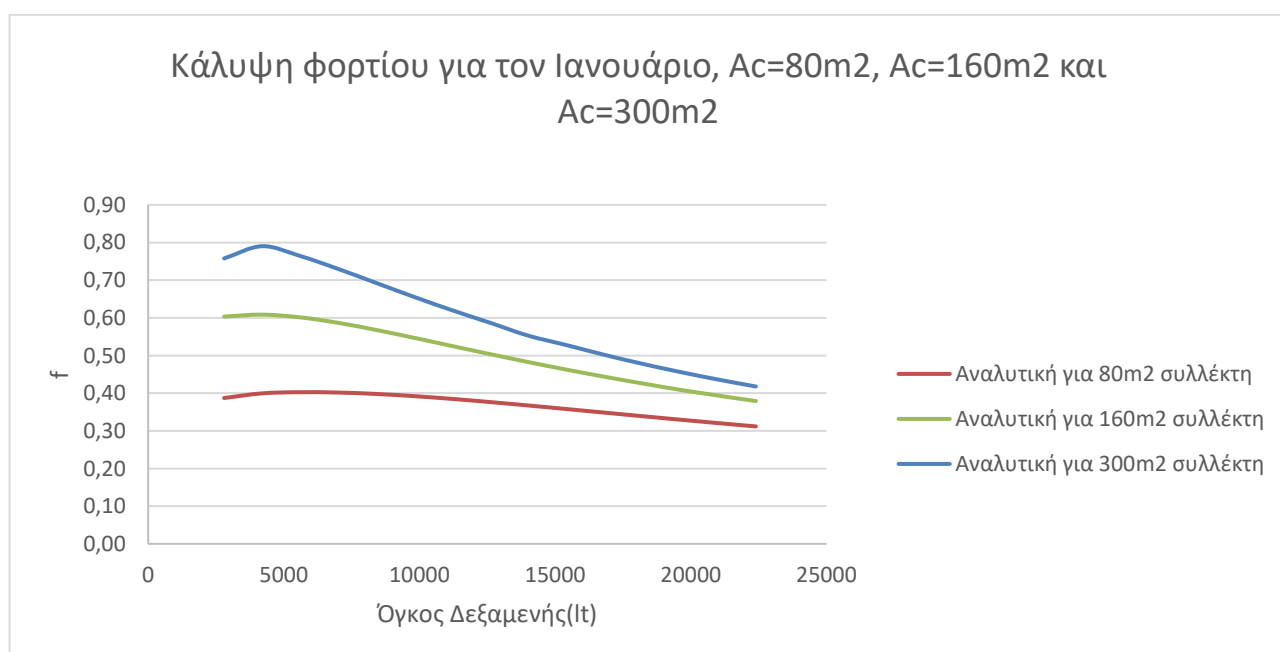
Σχόλια-Παρατηρήσεις

Για το μήνα Ιανουάριο η μέθοδος των καμπυλών f δίνει μικρή αύξηση της κάλυψης με την αύξηση της δεξαμενής σε αντίθεση με τον αναλυτικό υπολογισμό όπου βλέπουμε πως όσο αυξάνεται ο όγκος της δεξαμενής η κάλυψη μικραίνει.

Καλή τιμή τον όγκο δεξαμενής θα μπορούσαμε να πούμε ότι είναι 4200-8400lt για συλλεκτική επιφάνεια $A_c = 80m^2$ και 2800-5600lt για συλλεκτική επιφάνεια $A_c = 160m^2$.

Οι υπολογισμοί στη μέθοδο f-chart έγιναν με τη χρήση του διορθωτικού συντελεστή για τον όγκο της δεξαμενής $K_2 = \left(\frac{C}{75}\right)^{-\frac{1}{4}}$ στην παράμετρο X .

Παρακάτω παρουσιάζονται σε κοινό διάγραμμα η καμπύλες κάλυψης φορτίου το μήνα Ιανουάριο για συλλεκτικές επιφάνειες $A_c = 80m^2$, $A_c = 160m^2$, $A_c = 300m^2$ και κλίση συλλέκτη $\beta=52,97^\circ$.



6.6. Ανάλυση με παράμετρο την επιθυμητή θερμοκρασία νερού T_w και την συλλεκτική επιφάνεια.

Τα αποτελέσματα θα ληφθούν για κλίση συλλέκτη $\beta = 52,97^\circ$.

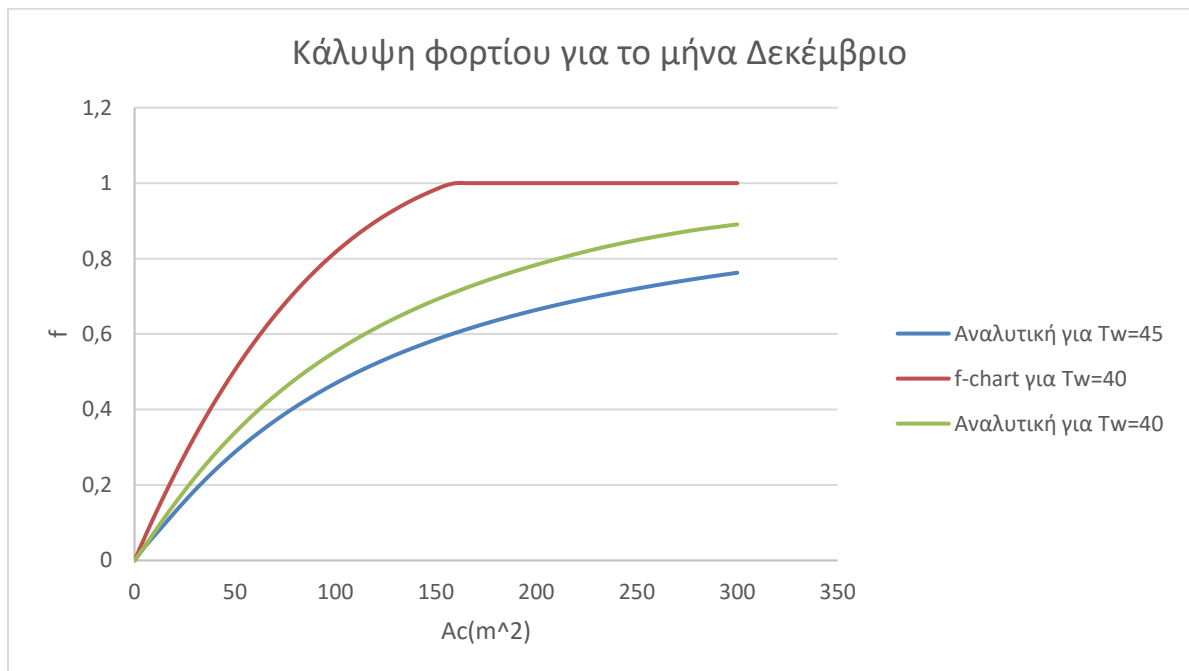
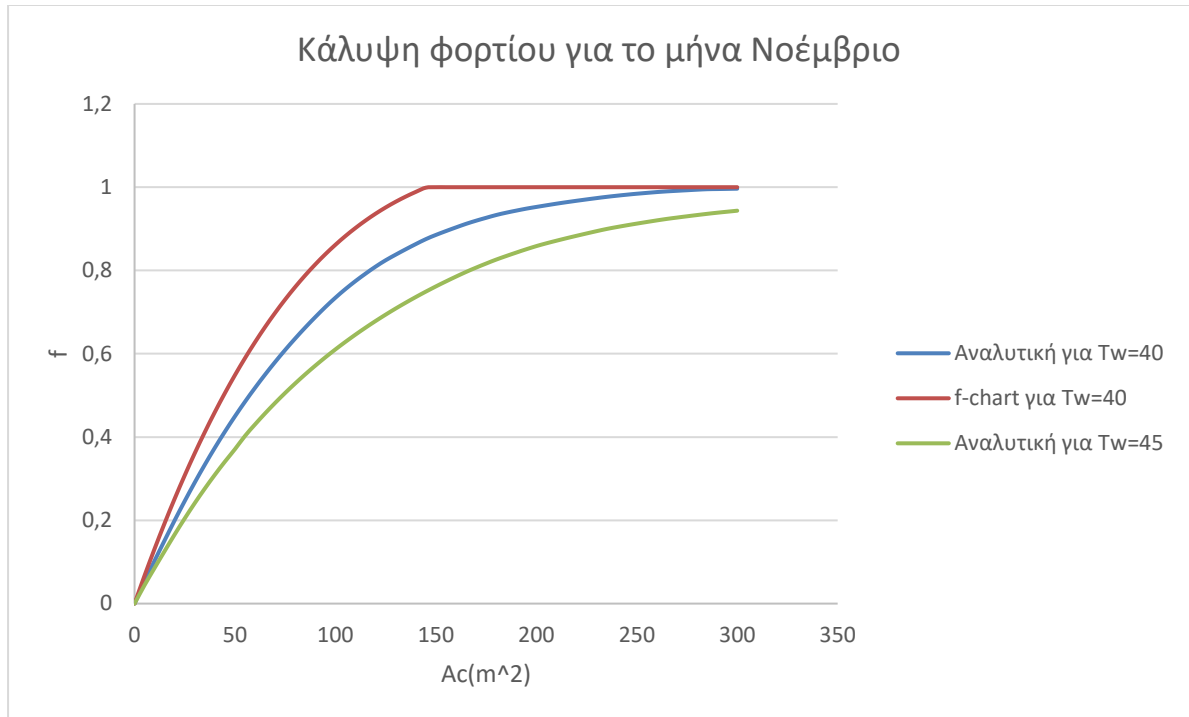
Οι υπολογισμοί έχουν γίνει για όλους τους μήνες, τις συλλεκτικές επιφάνειες και τους όγκους δεξαμενής που μελετάμε για $C = 75lt/m^2$.

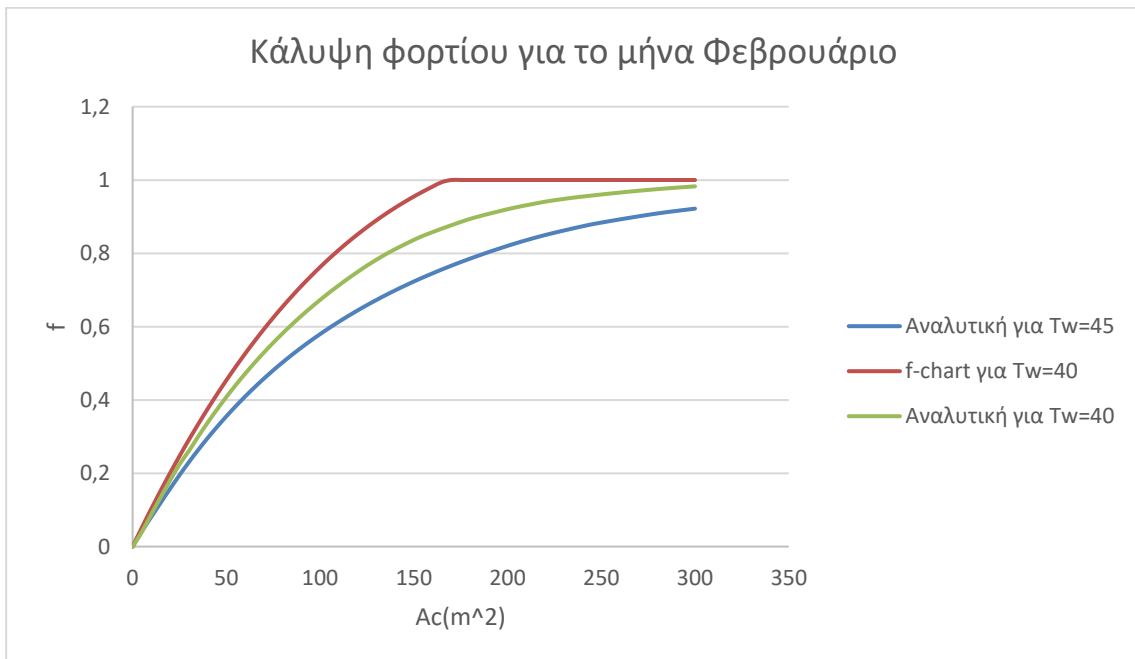
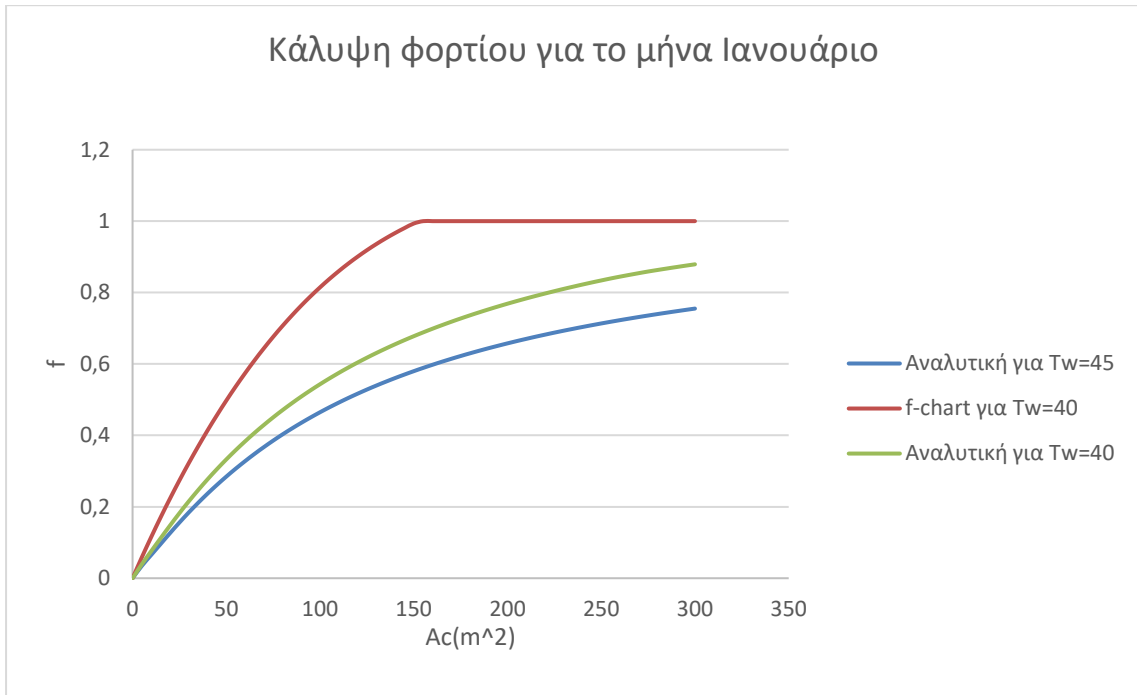
A) Μέθοδος f-chart

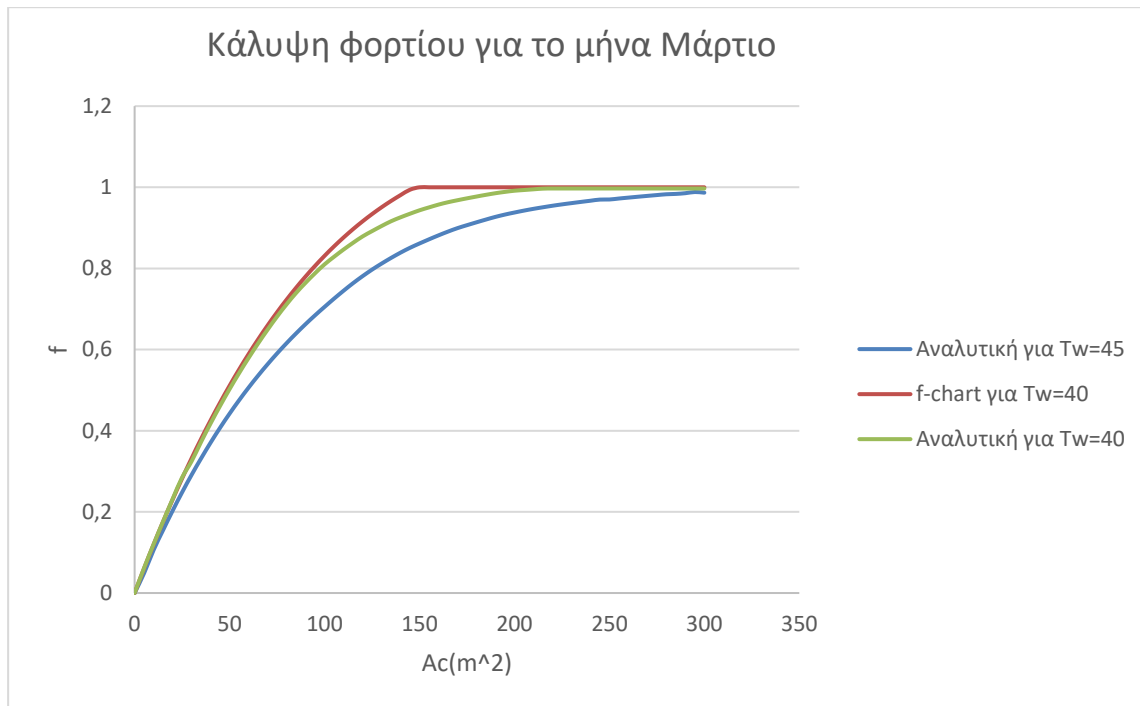
	Ac (m2)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
	Vs (lt)	0	375	750	1125	1500	1875	2250	2625	3000	3375	3750
f	Νοέμβριος	0	0,067	0,132	0,194	0,252	0,308	0,362	0,412	0,46	0,506	0,549
	Δεκέμβριος	0	0,061	0,119	0,175	0,228	0,28	0,329	0,376	0,421	0,464	0,505
	Ιανουάριος	0	0,059	0,116	0,171	0,223	0,274	0,323	0,369	0,414	0,457	0,497
	Φεβρουάριος	0	0,053	0,104	0,153	0,201	0,247	0,291	0,334	0,376	0,415	0,454
	Μάρτιος	0	0,061	0,12	0,176	0,23	0,282	0,332	0,38	0,426	0,469	0,511
	Ac (m2)		55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
	Vs (lt)		4125	4500	4875	5250	5625	6000	6375	6750	7125	7500
f	Νοέμβριος		0,59	0,628	0,664	0,699	0,731	0,761	0,789	0,815	0,839	0,862
	Δεκέμβριος		0,544	0,581	0,617	0,65	0,682	0,712	0,741	0,768	0,793	0,817
	Ιανουάριος		0,537	0,574	0,61	0,644	0,676	0,707	0,736	0,764	0,79	0,815
	Φεβρουάριος		0,491	0,526	0,56	0,593	0,624	0,654	0,683	0,711	0,737	0,762
	Μάρτιος		0,551	0,589	0,625	0,659	0,692	0,723	0,752	0,78	0,806	0,831
	Ac (m2)		105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
	Vs (lt)		7875	8250	8625	9000	9375	9750	10125	10500	10875	11250
f	Νοέμβριος		0,883	0,902	0,92	0,936	0,951	0,965	0,977	0,989	0,999	1
	Δεκέμβριος		0,839	0,86	0,88	0,898	0,915	0,931	0,946	0,959	0,972	0,984
	Ιανουάριος		0,838	0,86	0,881	0,9	0,919	0,936	0,952	0,967	0,98	0,993
	Φεβρουάριος		0,786	0,809	0,831	0,852	0,871	0,89	0,908	0,924	0,94	0,955
	Μάρτιος		0,854	0,876	0,897	0,916	0,934	0,951	0,966	0,981	0,994	1
	Ac (m2)		155	160	165	170	175	180	185	190	195	200
	Vs (lt)		11625	12000	12375	12750	13125	13500	13875	14250	14625	15000
f	Νοέμβριος		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Δεκέμβριος		0,994	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Ιανουάριος		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Φεβρουάριος		0,969	0,982	0,994	1	1	1	1	1	1	1
	Μάρτιος		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Ac (m2)		205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	Vs (lt)		15375	15750	16125	16500	16875	17250	17625	18000	18375	18750
f	Νοέμβριος		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Δεκέμβριος		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Ιανουάριος		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Φεβρουάριος		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Μάρτιος		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Ac (m2)		255	260	265	270	275	280	285	290	295	300
	Vs (lt)		19125	19500	19875	20250	20625	21000	21375	21750	22125	22500
f	Νοέμβριος		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Δεκέμβριος		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Ιανουάριος		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Φεβρουάριος		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Μάρτιος		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Β) Αναλυτική μέθοδος - ανά ώρα υπολογισμός

	Ac (m2)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
	Vs (lt)	0	375	750	1125	1500	1875	2250	2625	3000	3375	3750
f	Νοέμβριος	0	0,053	0,103	0,152	0,2	0,247	0,291	0,334	0,374	0,413	0,45
	Δεκέμβριος	0	0,037	0,076	0,114	0,15	0,186	0,219	0,251	0,282	0,311	0,339
	Ιανουάριος	0	0,04	0,076	0,112	0,148	0,182	0,215	0,247	0,277	0,305	0,333
	Φεβρουάριος	0	0,041	0,089	0,135	0,18	0,224	0,261	0,3	0,338	0,374	0,408
	Μάρτιος	0	0,062	0,12	0,176	0,232	0,285	0,325	0,372	0,418	0,461	0,503
	Ac (m2)		55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
	Vs (lt)		4125	4500	4875	5250	5625	6000	6375	6750	7125	7500
f	Νοέμβριος		0,485	0,518	0,55	0,58	0,609	0,637	0,663	0,688	0,712	0,735
	Δεκέμβριος		0,365	0,39	0,414	0,437	0,459	0,48	0,499	0,518	0,536	0,554
	Ιανουάριος		0,359	0,383	0,407	0,429	0,45	0,471	0,49	0,509	0,526	0,543
	Φεβρουάριος		0,441	0,472	0,501	0,529	0,556	0,582	0,606	0,629	0,652	0,673
	Μάρτιος		0,542	0,579	0,615	0,649	0,681	0,711	0,739	0,765	0,788	0,81
	Ac (m2)		105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
	Vs (lt)		7875	8250	8625	9000	9375	9750	10125	1050	10875	11250
f	Νοέμβριος		0,755	0,775	0,793	0,809	0,825	0,838	0,851	0,863	0,875	0,885
	Δεκέμβριος		0,57	0,586	0,601	0,615	0,629	0,643	0,655	0,668	0,679	0,691
	Ιανουάριος		0,559	0,575	0,59	0,604	0,618	0,631	0,643	0,655	0,667	0,678
	Φεβρουάριος		0,693	0,713	0,731	0,749	0,766	0,782	0,797	0,811	0,824	0,837
	Μάρτιος		0,829	0,847	0,863	0,879	0,892	0,904	0,916	0,926	0,935	0,943
	Ac (m2)		155	160	165	170	175	180	185	190	195	200
	Vs (lt)		11625	12000	12375	12750	13125	13500	13875	14250	14625	15000
f	Νοέμβριος		0,895	0,903	0,912	0,92	0,926	0,933	0,939	0,944	0,948	0,953
	Δεκέμβριος		0,702	0,712	0,722	0,732	0,741	0,75	0,759	0,767	0,776	0,784
	Ιανουάριος		0,688	0,699	0,709	0,718	0,727	0,736	0,745	0,753	0,761	0,769
	Φεβρουάριος		0,848	0,858	0,867	0,877	0,885	0,894	0,901	0,908	0,914	0,92
	Μάρτιος		0,95	0,957	0,963	0,968	0,973	0,977	0,981	0,985	0,989	0,991
	Ac (m2)		205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
	Vs (lt)		15375	15750	16125	16500	16875	17250	17625	18000	18375	18750
f	Νοέμβριος		0,957	0,96	0,964	0,967	0,971	0,974	0,977	0,979	0,982	0,984
	Δεκέμβριος		0,791	0,799	0,806	0,813	0,819	0,826	0,832	0,838	0,843	0,849
	Ιανουάριος		0,776	0,784	0,791	0,797	0,804	0,81	0,816	0,822	0,828	0,834
	Φεβρουάριος		0,926	0,931	0,936	0,941	0,945	0,948	0,952	0,955	0,958	0,96
	Μάρτιος		0,993	0,995	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997
	Ac (m2)		255	260	265	270	275	280	285	290	295	300
	Vs (lt)		19125	19500	19875	20250	20625	21000	21375	21750	22125	22500
f	Νοέμβριος		0,986	0,988	0,99	0,991	0,993	0,994	0,995	0,996	0,996	0,996
	Δεκέμβριος		0,854	0,859	0,863	0,868	0,872	0,877	0,88	0,884	0,887	0,891
	Ιανουάριος		0,839	0,845	0,85	0,854	0,859	0,863	0,867	0,871	0,875	0,879
	Φεβρουάριος		0,963	0,966	0,968	0,971	0,973	0,975	0,977	0,979	0,981	0,983
	Μάρτιος		0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997







Στα παραπάνω διαγράμματα έχουμε παρουσιάσει και τις καμπύλες για τον αναλυτικό υπολογισμό με επιθυμητή θερμοκρασία νερού 45°C για να είναι πιο εμφανής η διαφορά. Δεν παρουσιάστηκε η καμπύλη για f-chart γιατί με χαμηλότερη επιθυμητή θερμοκρασία η κάλυψη φτάνει στο 100% σε λίγα τετραγωνικά συλλεκτικής επιφάνειας.

Γενικά σε χαμηλότερες επιθυμητές θερμοκρασίες νερού η κάλυψη είναι μεγαλύτερη.

Συμπεράσματα

Οι δύο μέθοδοι που μελετήσαμε έχουν αρκετά μεγάλη απόκλιση για τους μήνες με μικρή ηλιοφάνεια και όταν οι επιθυμητή θερμοκρασία νερού είναι μεγαλύτερη από 40 βαθμούς. Αντίθετα όταν η ηλιοφάνεια είναι μεγαλύτερη οι δύο μέθοδοι πλησιάζουν αρκετά η μία την άλλη σε αποτέλεσμα.

Όταν αυξήσαμε τη χωρητικότητα της δεξαμενής ανά τετραγωνικό συλλεκτικής επιφάνειας τον Ιανουάριο, είδαμε πως δεν είναι πάντα ωφέλιμο να έχουμε ένα C αρκετά μεγάλο καθώς η κάλυψη αρχίζει και μικραίνει από ένα σημείο και μετά.

Αναλυτικότερα τα συμπεράσματα έχουν παρουσιαστεί ανά ενότητα.

Βιβλιογραφία

- Κ. Α. Αντωνόπουλος, Θερμικά - Ηλιακά Συστήματα – μέρος πρώτο, Αθήνα 2008.
- Κ. Α. Αντωνόπουλος, Θερμικά - Κλιματισμός – μέρος πρώτο, Αθήνα 2008.
- <http://www.cres.gr/kape/index.htm>
- http://portal.tee.gr/portal/page/portal/SCIENTIFIC_WORK/GR_ENERGEIAS/kenak
- Σχετικά άρθρα και ιστότοποι στο διαδίκτυο.