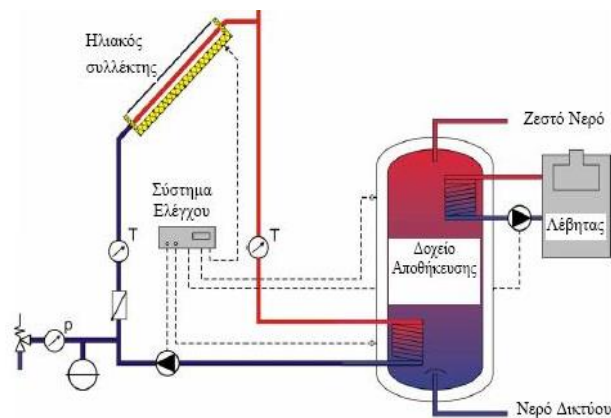




ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΤΟΜΕΑ ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΗΛΙΑΚΟΥ ΘΕΡΜΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΖΕΣΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΧΡΗΣΗΣ



Σπουδαστές: Στάικος Αθανάσιος

Τζελέπης Στέφανος

Επιβλέπων Καθηγητής: Κοσμάς Α. Καββαδίας

Αθήνα 2016

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΗΛΙΑΚΟΥ ΘΕΡΜΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΖΕΣΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΧΡΗΣΗΣ

Οι ΑΠΕ είναι ένας τομέας που απασχολούσε ανέκαθεν όλες τις χώρες του σύγχρονου κόσμου, τόσο λόγω της φιλικότητας τους ως προς το περιβάλλον όσο και της εξοικονόμησης ενέργειας που υπάρχει στη φύση τους. Ειδικότερα την τελευταία εικοσαετία, οι ΑΠΕ γνωρίσανε ραγδαίες τεχνολογικές εξελίξεις, βρέθηκαν στο επίκεντρο της αγοράς και η ζήτηση τους αυξήθηκε αισθητά ως συνέπεια της αξιοπιστίας τους και της σίγουρης απόσβεσής τους.

Στη συγκεκριμένη εργασία γίνεται αναφορά στους ηλιακούς θερμοσίφωνες, στον τρόπο λειτουργίας τους και στην σχετική αγορά. Ως προς αυτό τον σκοπό, μελετάμε ένα τέτοιο οικιακό σύστημα που βρίσκεται υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας και στόχος μας είναι η εύρεση του ετήσιου και μηνιαίου ηλιακού κλάσματος τόσο με εμπειρικές όσο και με αναλυτικές μεθόδους λαμβάνοντας υπόψιν όλες τις παραμέτρους. Το βαθμό κάλυψης που αναφέραμε, μας δείχνει το ποσοστό της απαιτούμενης ενέργειας που θα έχουμε καλύψει εξ' ολοκλήρου από τον ήλιο και για τον υπολογισμό του - μέσω του προγράμματος Matlab - δημιουργήσαμε έναν κώδικα και συγκρίναμε τα αποτελέσματα των μεθόδων.

ABSTRACT

NUMERICAL SIMULATION OF THE FUNCTION OF A SOLAR THERMAL SYSTEM

RES has always been a sector that concerned all countries around the world both because of their friendliness to the environment as well as of the energy saving that exists in their very nature. Especially the last two decades RES have experienced rapid technological developments, have been at the center of the market and their demand has been increased significantly due to their reliability and definite depreciation.

In this paper, is made reference to solar heaters, to their way of functioning and to the relevant market. For this purpose, we study a system like that which operates under normal conditions and our aim is to find the annual and monthly solar fraction with both empirical and analytical methods taking into consideration all parameters. The solar fraction shows the percentage of energy that is covered totally by solar energy and in order to calculate it we have created a code using Matlab program. In the end, we created a code and we compared the results of the methods.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη.....σελ. 2

Abstract.....σελ. 3

Κεφάλαιο 1: Ηλιακοί συλλέκτες και ο τρόπος λειτουργία τους

1.1 Σύντομη ιστορική αναδρομή.....σελ. 5

1.2 Αρχή και τρόπος λειτουργίας του συστήματος.....σελ. 8

1.3 Κατηγοριοποιήσεις ηλιακών συλλεκτών.....σελ. 11

Κεφάλαιο 2: Αγορά των ηλιακών συλλεκτών

2.1 Αναφορά στην παγκόσμια και Ευρωπαϊκή αγορά.....σελ. 15

2.2 Αναφορά στην Ελληνική αγορά.....σελ. 18

Κεφάλαιο 3: Μεθοδολογία και προσομοίωση του συστήματος

3.1 Περιγραφή της διαδικασίας.....σελ. 23

3.2 Ανάλυση και επεξήγηση των εξισώσεων προσομοίωσης του συλλέκτη.....σελ. 25

3.3 Επίλυση της υπολογιστικής μεθόδου με το πρόγραμμα matlab.....σελ. 35

3.3.1 Παρουσίαση του λογικού διαγράμματος.....σελ. 42

3.4 Επίλυση του προβλήματος με την μέθοδο καμπυλών f.....σελ. 43

Κεφάλαιο 4: Παρουσίαση και σύγκριση των αποτελεσμάτων

4.1 Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της υπολογιστικής μεθόδου.....σελ. 48

4.1.2 Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της μεθόδου καμπυλών f.....σελ. 56

4.2 Σύγκριση των αποτελεσμάτων των δυο μεθόδων.....σελ. 58

Κεφάλαιο 1

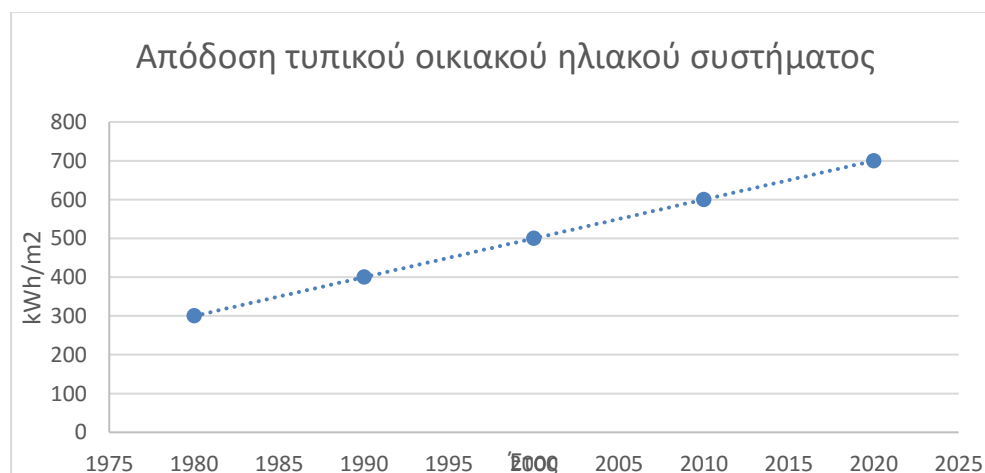
1.1 Σύντομη ιστορική αναδρομή

Στην Ελλάδα οι εφαρμογές των ηλιακών συλλεκτών είναι αρκετά διαδεδομένες και κυρίως για χρήσεις στον οικιακό τομέα (παραγωγή ζεστού νερού). Η άνθιση των εφαρμογών των ηλιακών συλλεκτών τοποθετείται χρονικά στη δεκαετία του 1980-1990, όπου ένας συνδυασμός οικονομικών κινήτρων και υψηλού κόστους του πετρελαίου έδωσε σημαντική ώθηση στην εγχώρια κατασκευαστική βιομηχανία. Εκτιμάται ότι περίπου το 20% των ελληνικών κατοικιών διαθέτουν σύστημα ηλιακού συλλέκτη για παραγωγή ζεστού νερού, ενώ στη χώρα μας βρίσκονται εγκατεστημένα περίπου 3.000.000 m² ηλιακών συλλεκτών.

Ο ηλιακός θερμοσίφωνας άρχισε να χρησιμοποιείται μετά την πετρελαϊκή κρίση της δεκαετίας του '70 και ιδιαίτερα τη δεκαετία του '80 χρησιμοποιήθηκε ευρύτατα στις χώρες με ηλιοφάνεια. Στην Κύπρο, ένας ηλιακός θερμοσίφωνας αναλογεί για κάθε πέντε κατοίκους ενώ στο Ισραήλ η χρήση τους είναι υποχρεωτική στις καινούργιες οικοδομές. Σε πολλές άλλες χώρες η χρήση τους επιδοτείται.

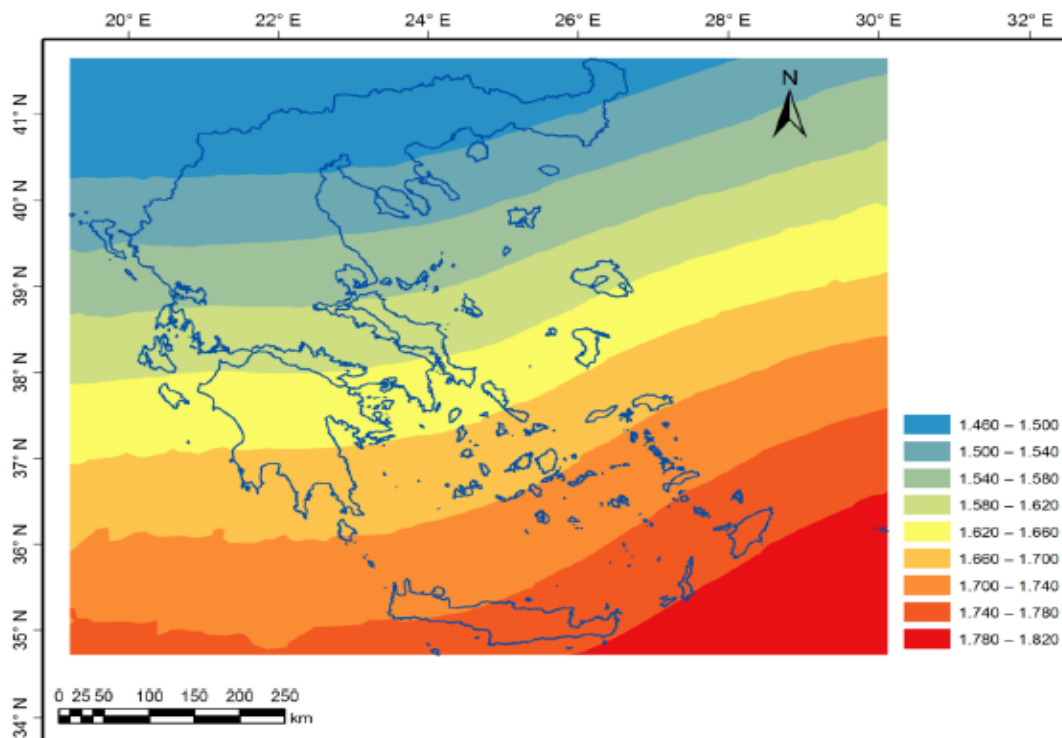
Στην Ελλάδα η διάδοση των ηλιακών συσκευών είναι πολύ εντυπωσιακή: το πρώτο μοντέλο λανσαρίστηκε το 1974, το 1980 υπήρχαν εγκατεστημένα περίπου 150.000 τ.μ. συλλεκτών και το 2004 περίπου 3.000.000 τ.μ. συλλεκτών. Μέρος της επιτυχίας αυτής των ηλιακών θερμοσιφώνων στην Ελλάδα οφείλεται στα φορολογικά 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 μια από τις κύριες κατασκευάστριες χώρες ηλιακών θερμοσιφώνων.

Σχήμα 1.1.1 Απόδοση συστήματος. ((“ESTIF - European Solar Thermal Industry Federation,” n.d.))



Η υπερβολική χρήση ορυκτών καυσίμων έχει αυξήσει τη συγκέντρωση του CO₂ σε παγκόσμιο επίπεδο, πράγμα το οποίο έχει οδηγήσει όλο και πιο συχνά στην αντιμετώπιση ακραίων καιρικών συνθηκών. Είναι γενική πεποίθηση ότι η υποβάθμιση του περιβάλλοντος δεν έχει να κάνει απαραίτητα με την οικονομική ανάπτυξη. Μια από τις πιο αξιόπιστες λύσεις σε αυτό το πρόβλημα θα μπορούσε να είναι η συστηματική εκμετάλλευση των διαθέσιμων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας συμπεριλαμβανομένης της ηλιακής ενέργειας. Είναι ευρέως αποδεκτό ότι η Ελλάδα κατέχει μια ενδεχομένως άριστη ηλιακή ενέργεια σύμφωνα με τους υπάρχοντες χάρτες ηλιακής ενέργειας όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 1.1.2. Πιο συγκεκριμένα η Ελλάδα βρίσκεται σε μια μείζονα γεωγραφική θέση (ΝΑ της Μεσογείου) με άφθονες και αξιόπιστες ποσότητες ηλιακής ενέργειας ακόμα και κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Αυτός είναι και ο λόγος της εντυπωσιακής αύξησης των πωλήσεων των ηλιακών συλλεκτών την δεκαετία 1980-1990. Από την άλλη μεριά δεν μπορούμε να αγνοήσουμε την σημαντική εξάρτηση της Ελλάδας από τα εισαγόμενα καύσιμα (π.χ. πετρελαίου και φυσικό αέριο). Πιο συγκεκριμένα, σχεδόν το 70% της εγχώριας ενεργειακής κατανάλωσης καλύπτεται από την εισαγωγή ορυκτών καυσίμων κατά τα 20 τελευταία χρόνια, γεγονός που μας οδηγεί σε σημαντική απώλεια νομίσματος και εμπορική ανισορροπία.

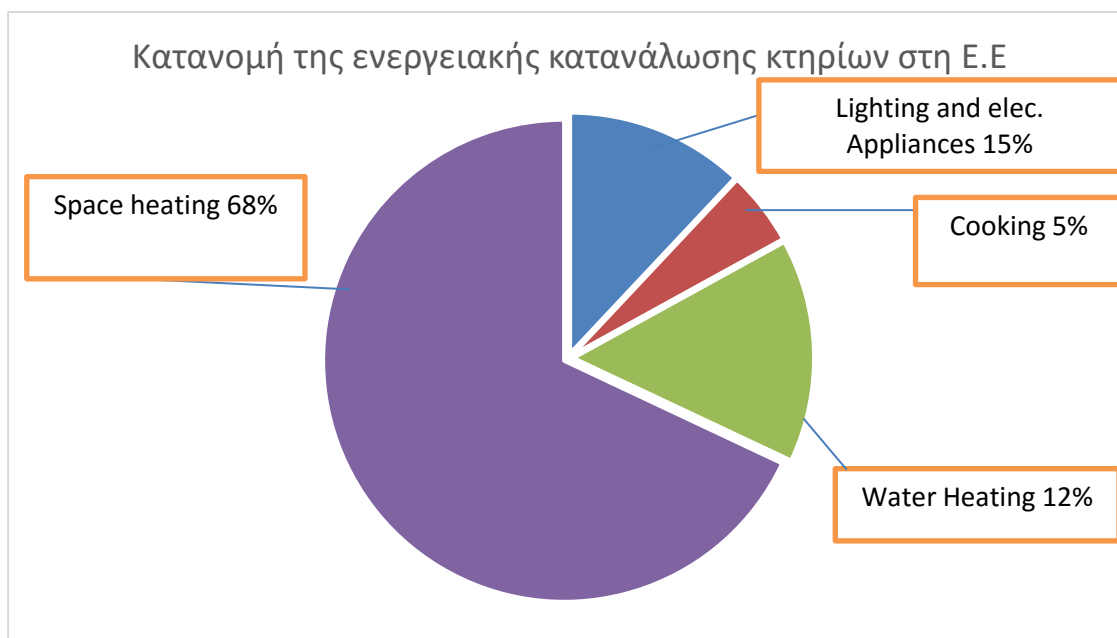
Σχήμα 1.1.2 Ηλιακές δυναμικές ζώνες της Ελλάδας. (Πηγή: (“Kavadias Zafirakis Paliatsos.pdf,” n.d.))



Σύμφωνα με τα επίσημα δεδομένα, για τις περισσότερες χώρες ο κτηριακός τομέας αντιπροσωπεύει το 40% της συνολικής ενέργειας που καταναλώνεται. Σε

ευρωπαϊκό επίπεδο η θέρμανση χώρων είναι επικρατέστερη με χρησιμότητα 68% με την θέρμανση του νερού να έρχεται δεύτερη με ποσοστό 12%.

Σχήμα 1.1.3 Κατανομή της ενεργειακής κατανάλωσης κτηρίων στην Ε.Ε.
(Πηγή: Odyssee- Mure project,2012)



Το μεγαλύτερο μέρος της παροχής θερμότητας σήμερα προέρχεται από τα ορυκτά καύσιμα υποδεικνύοντας ότι θα μπορούσε να υπάρξει μια σημαντική προοπτική αντικατάστασης από τις τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για θέρμανση. Για την ακρίβεια σύμφωνα με μια ανάλυση της παγκόσμιας αγοράς ηλιακών συστημάτων εκτιμάται ότι η μέγιστη χωρητικότητα των ηλιακών θερμικών συλλεκτών που ήταν σε λειτουργία παγκοσμίως μέχρι σήμερα έχει φτάσει τα 385.000.000 m² συλλεκτικής επιφάνειας. Αυτή η χωρητικότητα μας δίνει ετήσια θερμική παραγωγή της τάξεως των 230 TWh το οποίο ισοδυναμεί με εξοικονόμηση ενέργειας που ισούται με 25.000.000 τόνους πετρελαίου και 80.000.000 τόνους CO₂.

Ειδικότερα στην Ελλάδα, μετά την αύξηση των τιμών στα καύσιμα είναι της κλίμακας, τα ηλιακά θερμικά συστήματα έγιναν μια πιο ελκυστική λύση για την παραγωγή ζεστού νερού σε κατοικίες αφού μας παρέχουν απόσβεση σε περίοδο 5 ετών σύμφωνα με την ESTIF. Τα εγχώρια ηλιακά θερμικά συστήματα είναι οικονομικά η πιο ελκυστική λύση σε σχέση με τα ηλεκτρικά καλοριφέρ αλλά η αποδοτικότητα τους είναι, μεταξύ άλλων, πολύ πιο επιρρεπής σε σχέση με το μέγεθος του συστήματος. Η ετήσια παραγωγή ενέργειας αυτών των συστημάτων κυμαίνεται μεταξύ 350-800 KWh/m², παρ' όλα αυτά αυτή η τιμή εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την εκάστοτε κατανάλωση ζεστού νερού.

1.2 Αρχή και τρόπος λειτουργίας του συστήματος

Τα ηλιακά συστήματα θέρμανσης νερού συγκεντρώνουν την ηλιακή ακτινοβολία και την μετατρέπουν σε θερμότητα ή οποία στη συνέχεια διαχέεται με τη μορφή θερμού αέρα ή νερού εκεί όπου πρόκειται να χρησιμοποιηθεί ή να αποθηκευτεί για μελλοντική χρήση.

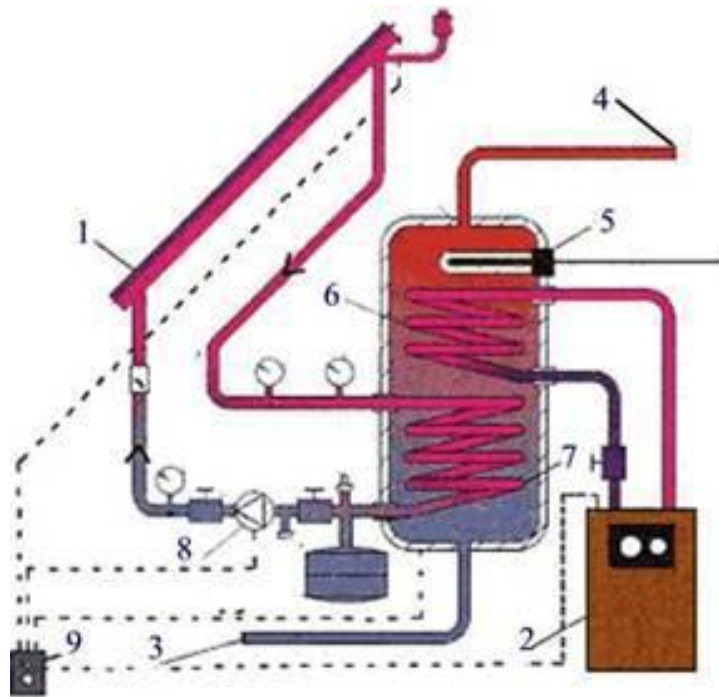
Οι ηλιακοί θερμοσίφωνες ανεξάρτητα από το είδος τους αποτελούνται από δύο κύρια μέρη, τον συλλέκτη(απορροφητική πλάκα) και το θερμοδοχείο (boiler). Τα μέρη αυτά συνήθως είναι συναρμολογημένα μαζί και συνδέονται με σωληνώσεις. Σε μεγαλύτερα συστήματα μπορεί να είναι και χωριστά και να χρησιμοποιούνται αντλίες για την κυκλοφορία του θερμαινόμενου μέσου, ειδικά αν το τμήμα αποθήκευσης βρίσκεται σε διαφορετικό χώρο από το τμήμα συλλογής. Το τμήμα αποθήκευσης διαθέτει και ηλεκτρική αντίσταση με θερμοστάτη για να μπορεί να παράγεται ζεστό νερό και σε άσχημες καιρικές συνθήκες. Η χωρητικότητα της δεξαμενής αποθήκευσης του νερού κυμαίνεται σε ένα εύρος 100-200 λίτρων (οικιακής χρήσης) και είναι ανάλογη της συλλεκτικής επιφάνειας που διαθέτει. Η επιφάνεια συλλογής της ηλιακής ακτινοβολίας αποτελείται από 4 μέρη, την πλάκα συλλογής της ακτινοβολίας, τους σωλήνες ροής του νερού, την κάλυψη της πλάκας απορρόφησης και το θερμικά μονωμένο πλαίσιο πάνω στο οποίο στερεώνονται τα υπόλοιπα εξαρτήματα.

Οι ηλιακοί συλλέκτες είναι συστήματα παραγωγής θερμότητας τα οποία αξιοποιούν τη διαθέσιμη άμεση και διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία. Η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Βάσει αυτού ένα σημαντικό ποσό θερμότητας εγκλωβίζεται κάτω από τη διαφανή επιφάνεια του καλύμματος, το υλικό του οποίου έχει μεγάλη διαπερατότητα στην ορατή ακτινοβολία ενώ μικρή διαπερατότητα στη θερμική ακτινοβολία. Στα συγκεκριμένα ηλιακά συστήματα χρησιμοποιείται σαν θερμικό μέσο το νερό(π.χ. οικιακοί ηλιακοί θερμοσίφωνες), ενώ σε μερικές περιπτώσεις ειδικών απαιτήσεων χρησιμοποιείται ο αέρας ή κάποιο κατάλληλο ψυκτικό μέσο (φρέον) όπως για παράδειγμα στους συλλέκτες κενού. Ανάλογα με την τεχνολογία σχεδιασμού-κατασκευής του ηλιακού συλλέκτη διαφοροποιείται και η θερμική απόδοση του, που είναι αλληλένδετη με τη θερμοκρασία του διαθέσιμου προς κατανάλωση ρευστού.

Οι ηλιακοί συλλέκτες με τους οποίους θα ασχοληθούμε κατά κύριο λόγο είναι οι επίπεδοι, οι οποίοι είναι οι πιο συνηθισμένοι στην αγορά και χρησιμοποιούνται για θέρμανση νερού χρήσης στον οικιακό αλλά και στο βιομηχανικό τομέα. Οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες έχουν την δυνατότητα παραγωγής ζεστού νερού θερμοκρασίας από 40-150 βαθμούς κελσίου, ανάλογα με τον συγκεκριμένο τύπο του συλλέκτη(π.χ. επίπεδος με μονό τζάμι, επίπεδος με διπλό τζάμι, επίπεδος χωρίς τζάμι ή συλλέκτης κενού). Επίσης υπάρχουν και οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες οι οποίοι έχουν την δυνατότητα επίτευξης θερμοκρασίας εξόδου του εργαζόμενου μέσου πάνω από 150 βαθμούς κελσίου.

Ένα βασικό οικιακό σύστημα ηλιακού θερμοσίφωνα απαρτίζεται από τα παρακάτω μέρη :

Σχήμα 1.2.1. Οικιακό κύκλωμα ηλιακού. (Πηγή: Wang,2015, p.70)



- 1.Συλλέκτης
- 2.Λέβητας
- 3.Προσαγωγή νερού ύδρευσης
- 4.Έξοδος θερμού νερού χρήσεως
- 5.Ηλεκτρική αντίσταση
- 6.Σερπαντίνα θερμού νερού λέβητα
- 7.Σερπαντίνα θερμού νερού συλλέκτη
- 8.Κυκλοφορητής
- 9.Ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου

Ένα οικιακό δίκτυο ηλιακού θερμοσίφωνα αποτελείται από τον ηλιακό συλλέκτη/ες, τη δεξαμενή/ες αποθήκευσης ζεστού νερού, μια αντλία, τις σωληνώσεις, τη μόνωση, τις βαλβίδες και τις συνδέσεις. Επιπλέον στα ψυχρά κλίματα απαιτείται ένας εναλλάκτης θερμότητας και μια δεξαμενή προέκτασης. Επίσης σε περίπτωση που δεν υπάρχει εναλλασσόμενο ρεύμα από μια συνεχή παροχή από το τοπικό δίκτυο, απαιτείται μια συσκευή παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος.

Ένας ηλιακός συλλέκτης αποτελείται από ένα διαφανές κάλυμμα, μια επιφάνεια απορρόφησης και ένα σύστημα μεταφοράς της θερμότητας, που περιλαμβάνει σωλήνες ζεστού νερού ή ζεστού αέρα.

Αρχικά συλλέγεται η ηλιακή ενέργεια μέσα στον συλλέκτη και μετατρέπεται σε θερμότητα. Αν και ένα μικρό μέρος της ακτινοβολίας που προσπίπτει πάνω στο διαφανές κάλυμμα αντανακλάται, το μεγαλύτερο μέρος της διαπερνά το κάλυμμα, απορροφάται από την πλάκα απορρόφησης και θερμαίνει το νερό που περιέχει. Μόλις το νερό αρχίσει να γίνεται θερμότερο από το περίβλημα, η πλάκα απορρόφησης θα αρχίσει να χάνει θερμότητα και να τη μεταδίδει στο περίβλημά της, Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο τοποθετείται μόνωση κάτω από την πλάκα.

Στη συνέχεια και αφού το νερό έχει ζεσταθεί μεταφέρεται μέσω αγωγών από τον συλλέκτη στη δεξαμενή αποθήκευσης ή στο σημείο χρήσης. Το νερό μπορεί να μετακινηθεί με δύο τρόπους: α) με την κυκλοφορία λόγω βαρύτητας (θερμοσιφωνισμός), ή με την εξαναγκασμένη κυκλοφορία. Όσο για το σύστημα διανομής, μπορεί να είναι άμεσο(όπου το νερό της βρύσης κυκλοφορεί μέσα από το συλλέκτη) ή έμμεσο(όπου χρησιμοποιείται ένα ξεχωριστό υδραυλικό σύστημα για τη μετάδοση θερμότητας από τους ηλιακούς συλλέκτες στη δεξαμενή αποθήκευσης).

Τέλος η αποθήκευση θερμότητας είναι ένα βασικό χαρακτηριστικό των ηλιακών συστημάτων θέρμανσης νερού. Χωρίς αυτή, το ζεστό νερό θα ήταν διαθέσιμο μόνο όταν έχει ήλιο. Μια δεξαμενή αποθήκευσης επιτρέπει στο ηλιακό σύστημα να λειτουργεί μόνο όποτε υπάρχει ενέργεια και να παρέχει την ενέργεια αυτή όταν χρειάζεται. Το μέγεθος του χώρου αποθήκευσης μπορεί να είναι είτε όσο χρειάζεται για να διατηρεί τη θερμότητα για 24 ώρες , ώστε το νερό που θερμάνθηκε το πρωί να χρησιμοποιείται το απόγευμα, είτε, σε εξαιρετικές περιπτώσεις ως χώρος αποθήκευσης για τις ενδιάμεσες εποχές. Τα περισσότερα οικιακά συστήματα χρησιμοποιούν την ημερήσια αποθήκευση. Ο χώρος αποθήκευσης ζεστού νερού μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε ως απλός παροχέας ζεστού νερού είτε για να προθερμαίνει το νερό σε ένα υπάρχον οικιακό σύστημα θέρμανσης νερού.

Αν επιλεγεί άμεσο σύστημα, παράλληλα με τον χώρο αποθήκευσης θα χρειαστεί και ένας εναλλάκτης θερμότητας. Ο εναλλάκτης διαχωρίζει το υγρό που ρέει μέσα στους συλλέκτες από εκείνο που ρέει στη βρύση του σπιτιού.

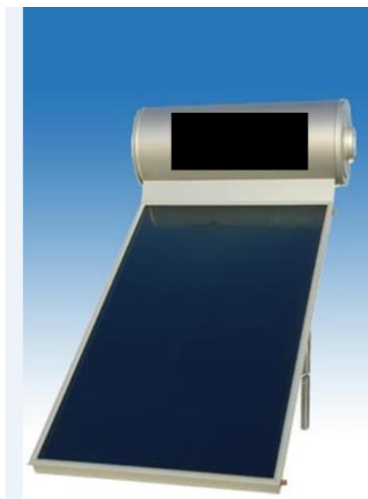
1.3 Κατηγοριοποιήσεις ηλιακών συλλεκτών

Όπως αναφέρθηκε, υπάρχουν διάφορα είδη συλλεκτών ανάλογα με την χρήση τους και την απόδοσή τους. Οι συλλέκτες κενού, οι συλλέκτες χωρίς κάλυμμα και οι επίπεδοι συλλέκτες είναι οι περισσότερο διαδεδομένοι στην αγορά. Οι ηλιακοί συλλέκτες κενού αποτελούνται από σωλήνες διπλής υάλωσης μεταξύ των οποίων υπάρχει κενό αέρος. Το γυαλί που χρησιμοποιείται είναι ιδιαίτερης σκληρότητας, με μεγάλες αντοχές και είναι επικολλημένο με ειδικό υλικό το οποίο προκαλεί την μέγιστη απορρόφηση των ηλιακών ακτινών και ελάχιστες απώλειες επανεκπομπών. Ενδιάμεσα των δύο γυάλινων επιφανειών υπάρχει θερμοαπορροφητικό υλικό που με πολύ αποτελεσματικό τρόπο μετατρέπει την ηλιακή ενέργεια σε θερμότητα. Οι συλλέκτες αυτού του τύπου αποδίδουν καλύτερα στις βιομηχανικές κατασκευές καθώς μπορούν να χρησιμοποιηθούν για θέρμανση νερού αλλά και θέρμανση χώρου. Οι συλλέκτες χωρίς κάλυμμα έχουν το πλεονέκτημα του ότι δεν απαιτείτε επιπρόσθετος εξοπλισμός (π.χ. μονάδα αποθήκευσης, εναλλάκτες θερμότητας) που επιβαρύνει τον προϋπολογισμό. Οι συλλέκτες αυτοί χρησιμοποιούνται μόνο σε πισίνες όπου η επιθυμητή θερμοκρασία είναι σχετικά χαμηλή. Τέλος οι επίπεδοι συλλέκτες (με μονό ή διπλό τζάμι) είναι αυτοί που κατά κύριο λόγο βρίσκουν εφαρμογή σε οικιακά συστήματα για θέρμανση ζεστού νερού χρήσης και για θέρμανση χώρου.

Σχ. 1.3.1. Συλλέκτης κενού



Σχ. 1.3.2. Συλλέκτης χωρίς κάλυμμα



Σχ. 1.3.3. Επίπεδος συλλέκτης



Ο ηλιακός θερμοσίφωνας είναι ένα ενεργητικό ηλιοθερμικό σύστημα παραγωγής ζεστού νερού χρήσης χρησιμοποιώντας την ηλιακή ενέργεια. Χρησιμοποιείται ευρύτατα στις χώρες που έχουν μεγάλη ηλιοφάνεια, όπως για παράδειγμα στις χώρες της Μεσογείου και στην Κύπρο. Ο ηλιακός θερμοσίφωνας είναι η απλούστερη και η γνωστότερη ηλιακή συσκευή. Κατά την λειτουργία του γίνεται εκμετάλλευση δυο φυσικών φαινομένων. Με την αρχή του θερμοσίφωνου 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.

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

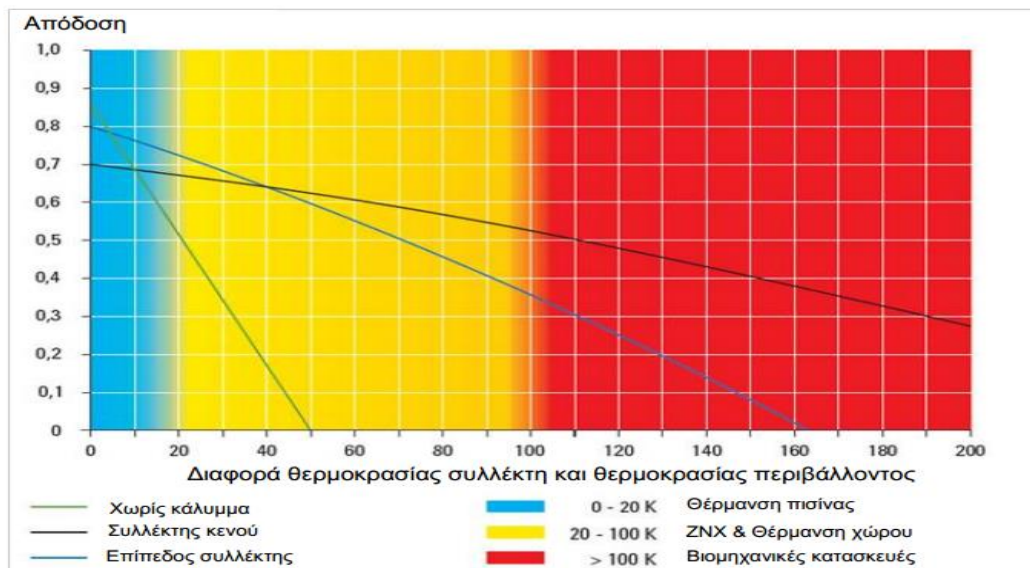
- Ανοικτού κυκλώματος: απευθείας θέρμανση του νερού χρήσης (το θερμαινόμενο μέσο είναι το ίδιο το νερό που θα χρησιμοποιήσουμε).
- Κλειστού κυκλώματος: έμμεση θέρμανση του νερού χρήσης (το θερμαινόμενο μέσο κυκλοφορεί σε ιδιαίτερο κύκλωμα το οποίο θερμαίνει το νερό που θα χρησιμοποιήσουμε χωρίς να γίνεται 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 μόνο 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 θερμοσίφοντας 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 θερμοσίφοντας 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).

Σχήμα 1.3.4. Σύγκριση απόδοσης συλλεκτών. (Πηγή: “ESTIF - European Solar Thermal Industry Federation)



Πίνακας 1.3.1. Σύγκριση συλλεκτών. (Πηγή: “ESTIF - European Solar Thermal Industry Federation)

Τεχνολογία συλλέκτη	Κόστος	Απόδοση (kWh/m ² ετος)	Τυπική χρήση
Χωρίς κάλυμμα	Χαμηλό	300	Θέρμανση πισίνας
Επίπεδος συλλέκτης (μαύρο χρώμα)	Μεσαίο	650	Θέρμανση πισίνας, ζεστό νερό χρήσης (ZNX)
Επίπεδος συλλέκτης(επιλεκτικός απορροφητής)	Μεσαίο	700	ZNX, θέρμανση χώρου, ηλιακός κλιματισμός
Σωλήνες κενού	Υψηλό	850	Θέρμανση χώρου, Ηλιακός κλιματισμός

Όπως βλέπουμε απο τα δεδομένα του πίνακα 1.3.1 και του σχήματος 1.3.4 οι τεχνολογίες συλλεκτών που χρησιμοποιούνται για οικιακή χρήση και περισσότερο για θέρμανση ζεστού νερού είναι οι επίπεδοι συλλέκτες (μαύρο χρώμα ή επιλεκτικοί) καθώς έχουν καλύτερο ισοζύγιο απόδοσης και κόστους.

Κεφάλαιο 2

2.1 Αναφορά στην παγκόσμια και Ευρωπαϊκή αγορά

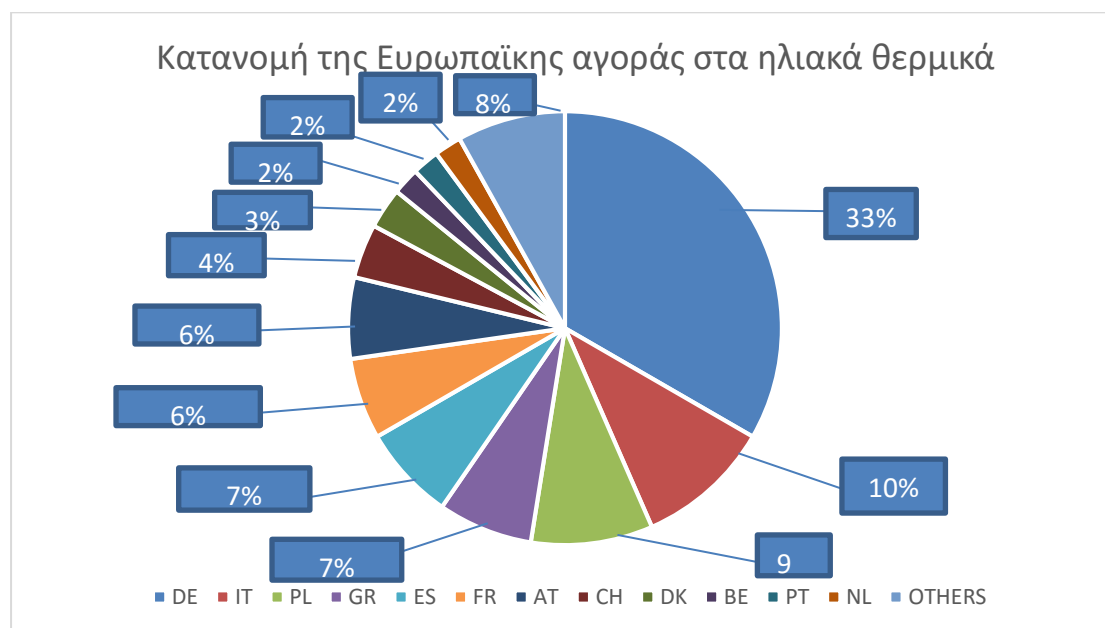
Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μία δυναμική ανάπτυξη της Ευρωπαϊκής αγοράς. Οι εφαρμογές ηλιακών θερμικών συστημάτων για θέρμανση και ψύξη κερδίζουν αναγνώριση σε όλο και περισσότερες χώρες. Ενώ το μεγαλύτερο μέρος της αγοράς το αποτελούν τα σπίτια για μια ή δύο οικογένειες, η ζήτηση από κατασκευαστικές εταιρίες, διαχειριστές κτιρίων και χρήστες εμπορικών κτιρίων αυξάνεται σημαντικά.

Τρεις παράγοντες είναι κυρίως υπεύθυνοι για την ισχυρή ανάπτυξη της χρήσης ηλιακών:

- Οι παράγοντες που αποφασίζουν, συνειδητοποιούν ότι το αέριο, το πετρέλαιο και η ηλεκτρική ενέργεια δεν αποτελούν μακροχρόνια λύση. Το κόστος τους αυξάνεται συνεχώς, ακόμη και στη σήμερα κατάσταση λόγω της παγκόσμιας οικονομικής κρίσης, η παραγωγή πετρελαίου έχει φτάσει σε υψηλό σημείο και πρόκειται να μειωθεί. Επίσης η τροφοδοσία με αέριο στην Ευρώπη εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από ένα μόνο προμηθευτή.
- Οι Κτιριακοί Κανονισμοί όλο και περισσότερο απαιτούν τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και τα ηλιακά θερμικά συστήματα προσφέρουν μια πολύ συμφέρουσα οικονομική λύση. Αυτό που άρχισε στη Βαρκελώνη το 1999, γίνεται συνήθης πρακτική σε όλο και περισσότερες χώρες, περιοχές και κοινότητες σε όλη την Ευρώπη. Η Γερμανία είναι το πιο πρόσφατο παράδειγμα χώρας που απαιτεί θερμότητα από ΑΠΕ στα νέα κτίρια.
- Η τεχνολογία των ηλιακών θερμικών εφαρμογών είναι ευρέως διαδεδομένη και υποστηρίζεται από ένα ευρύ φάσμα επιχειρήσεων όπως από μικρές επιχειρήσεις έως μεγάλες εταιρίες που κατασκευάζουν εξοπλισμό θέρμανσης, και προσφέρει λύσεις σε πολλές διαφορετικές περιπτώσεις.

Η παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς των ηλιακών συλλεκτών ήταν περίπου 172,4GWth (2009) Η συνολική εγκατεστημένη επιφάνεια συλλεκτών για θέρμανση νερού στην ΕΕ υπολογίζεται ότι είναι $43 \cdot 10^6 \text{m}^2$ (με δυναμικό που φτάνει τα $1,4 \cdot 10^9 \text{m}^2$) η οποία ισοδυναμεί με 30,2GWth. Στη Γερμανία είναι εγκατεστημένο το μεγαλύτερο ποσοστό των συλλεκτών (33%) της ευρωπαϊκής αγοράς, ενώ η Πολωνία, η Γαλλία, η Ελλάδα, η Ιταλία και η Ισπανία μαζί διαθέτουν το 39%. Η Κύπρος, όπου πάνω από το 90% των κατοικιών είναι εξοπλισμένα με ηλιακούς συλλέκτες, έχει τον υψηλότερο δείκτη στην Ευρώπη με 554,0kWth/1000 κατοίκους και ακολουθεί η Αυστρία με 314,5kWth/1000 κατοίκους και η Ελλάδα με 265,8kWth/1000 κατοίκους.

Σχήμα 2.1.1 Μερίδιο αγοράς της Ε.Ε(Εγκατεστημένης ισχύος). (Πηγή: “ESTIF - European Solar Thermal Industry Federation,” n.d.)



Κατά καιρούς ανά τον κόσμο, οι κυβερνήσεις η ακόμη και οι ίδιοι οι κατασκευαστές ηλιακών θερμοσιφώνων προσπαθούν με διάφορους τρόπους να κάνουν πιο ελκυστική την αγορά γύρω από αυτούς. Όπως για παράδειγμα η κυβέρνηση της Ολλανδίας συνειδητοποίησε ότι βοηθώντας έναν παραγωγικό τομέα όπως των Α.Π.Ε την κατάλληλη στιγμή μπορεί να προκύψουν σημαντικά οφέλη για το δημόσιο συμφέρον. Έτσι σε μια σύμπραξη ιδιωτικού -δημόσιου τομέα, στην Ολλανδία, το κόστος των ηλιακών συστημάτων θέρμανσης μειώθηκε αισθητά.

Η Κύπρος έχει ένα μικρό και απομονωμένο σύστημα ενεργειακής διαχείρισης και είναι σχεδόν πλήρως εξαρτώμενη στις εισαγωγές καυσίμων για να καλύψει τις ενεργειακές της απαιτήσεις. Το μόνο ενεργειακό πλούτο που διαθέτει το νησί είναι η ηλιακή ενέργεια. Στην πραγματικότητα, η αφθονία της ηλιακής ακτινοβολίας μαζί με την πολύ καλή τεχνολογική βάση του νησιού δημιούργησαν ευνοϊκές συνθήκες για την βιομηχανική εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας.

Οι κλιματικές συνθήκες της Κύπρου είναι πολύ καλές και ως επί το πλείστον επικρατεί ηλιόλουστος καιρός. Η μέση ημερήσια τιμή της ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο είναι 5.4 kWh/m² (2.3 kWh/m² τους χειμερινούς μήνες και 7.2 kWh/m² τους καλοκαιρινούς). Στατιστικές μελέτες έχουν δείξει ότι όλα τα μέρη της Κύπρου απολαμβάνουν ένα πολύ ηλιόλουστο κλίμα. Η ολική ετήσια τιμή της ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο είναι 1727 kWh/m². Από αυτή την τιμή 69.4% είναι άμεση ακτινοβολία (1199 kWh/m²) και το υπόλοιπο 30.6% είναι διάχυτη (528 kWh/m²).

Οι πρώτοι συλλέκτες εισήχθησαν από το Ισραήλ το 1956. Η κατασκευή ηλιακών συστημάτων θέρμανσης νερού στην Κύπρο άρχισε την δεκαετία του 60, λίγο μετά την

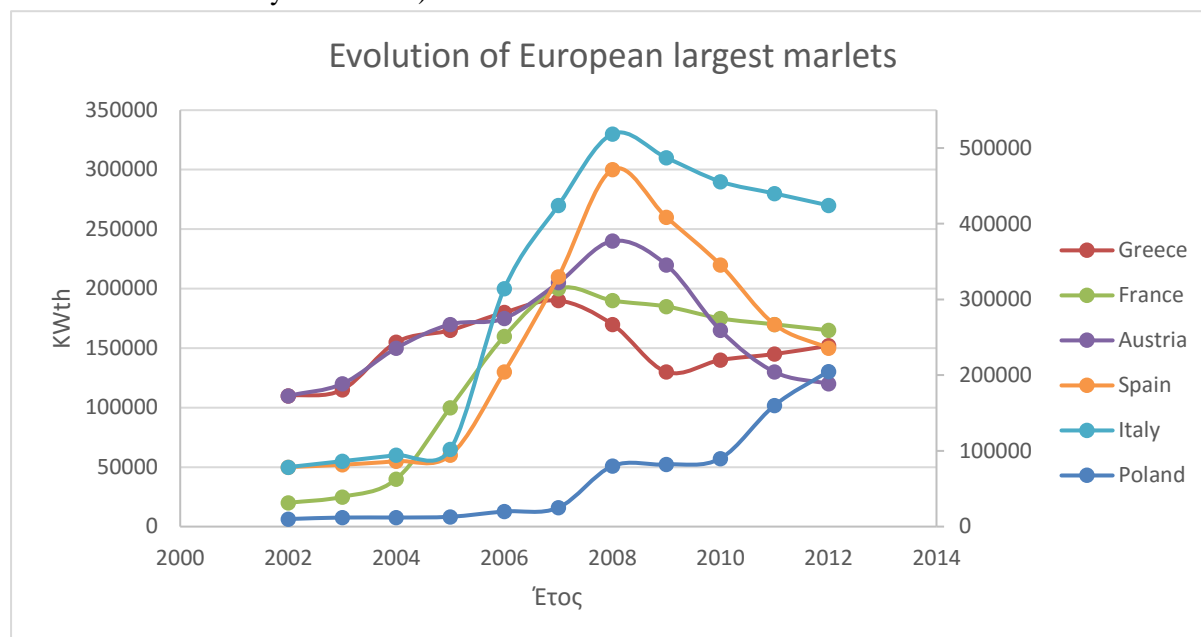
ανεξαρτησία, αρχικά εισάγοντας τις πλάκες απορρόφησης και άλλα εξαρτήματα από το Ισραήλ. Η πρόοδος κατά τα πρώτα χρόνια ήταν αργή και αυτό οφειλόταν στην λανθασμένη σχεδίαση (διαρροές, χαμηλή απόδοση κτλ.) και το αρκετά ψηλό αρχικό κόστος. Σύντομα αυτά τα προβλήματα λύθηκαν και με την μαζικοποίηση της κατασκευής το κόστος μειώθηκε ή έμεινε σταθερό. Σαν συνέπεια των πιο πάνω, πολλές μονάδες εγκαταστάθηκαν. Η βιομηχανία των ηλιακών θερμοσιφώνων αναπτύχθηκε πολύ σύντομα και σήμερα η ετήσια παραγωγή ανέρχεται στα 30,000 m² συλλεκτών.

Σε σύγκριση με άλλες Μεσογειακές χώρες και τη Ευρωπαϊκή Ένωση, η Κύπρος βρίσκεται σε πρωτοποριακή θέση όσον αφορά την χρήση ηλιακής ενέργειας. Υπολογίζεται ότι το συνολικό εμβαδό ηλιακών συλλεκτών που είναι σε λειτουργία είναι 560,000m². Αυτό αντιστοιχεί σε περίπου 0.86 m² ανά κάτοικο σε σύγκριση με 0.56 και 0.3 για το Ισραήλ και την Ελλάδα αντίστοιχα.

Στις ανεπτυγμένες, χώρες ο οικιακός τομέας είναι υπεύθυνος για περίπου 30% των εκπομπών CO₂ το οποίο εκπέμπεται ως υποπροϊόν της παραγωγής ρεύματος και της καύσης ορυκτών καυσίμων. Από αυτό το 30% ,το 25% προέρχεται από τη διαδικασία θέρμανσης του νερού για οικιακή χρήση. Επομένως τα οικιακά συστήματα θέρμανσης νερού ευθύνονται για περίπου 6-8% των συνολικών εκπομπών CO₂ στις ανεπτυγμένες χώρες. Αν κάθε σπίτι διέθετε ένα ηλιακό σύστημα θέρμανσης νερού, θα ήταν ικανό να παράγει πάνω από τη μισή ετήσια ποσότητα ζεστού νερού χρησιμοποιώντας δωρεάν καθαρή ηλιακή ενέργεια, θα εξοικονομούσαμε περίπου 3% όλων των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου της χώρας, υιοθετώντας απλά μια υποχρεωτική πολιτική ηλιακής θέρμανσης νερού. Στο Ισραήλ όλα τα καινούργια σπίτια πρέπει να έχουν ηλιακά συστήματα θέρμανσης νερού. Φυσικά, σε μια ζεστή, τροπική χώρα, όπου τα ηλιακά συστήματα θέρμανσης νερού μπορούν να παράγουν έως και 100% των ετήσιων απαιτήσεων ζεστού νερού, τα ηλιακά συστήματα θέρμανσης νερού μπορούν να εξοικονομήσουν 6% των εκπομπών αερίου του θερμοκηπίου.

Όλα τα οικολογικά σπίτια θα πρέπει να χρησιμοποιούν ηλιακά συστήματα θέρμανσης νερού. Είναι μια αξιόπιστη, δοκιμασμένη και ελεγμένη τεχνολογία που χρησιμοποιεί δωρεάν, καθαρή ενέργεια από τον ήλιο.

Σχήμα 2.1.2. **Η εξέλιξη των μεγαλύτερων Ευρωπαϊκών χωρών.** (ESTIF - European Solar Thermal Industry Federation)



Η ομάδα των χωρών μεταξύ 140 και 350 MWth (200000 και 500000m²) της ετήσιας πρόσφατης εγκατεστημένης ισχύος έχουν ακολουθήσει την ίδια πορεία ως το 2011. Η Πολωνία συνέχισε την εντυπωσιακή ανάπτυξη , η Ελλάδα παρουσιάζει μια ελαστική ανάπτυξη και Η Γαλλία παραμένει στάσιμη. Οι άλλες αγορές σε αυτήν την ομάδα Ιταλία, η Ισπανία και η Αυστρία έχουν βιώσει σημαντικές μειώσεις.

2.2 Αναφορά στην Ελληνική αγορά

Η επιφάνεια των εγκατεστημένων συλλεκτών στη χώρα μας ανέρχεται περίπου σε 3.000.000m². Η τιμή αυτή αποτελεί ποσοστό 50% περίπου, της επιφάνειας συλλεκτών εγκατεστημένων σε ολόκληρη την Ευρώπη. Επίσης, οι ελληνικές βιομηχανίες βρίσκονται στην πρώτη θέση στην Ευρώπη όσον αφορά στην παραγωγή ηλιακών θερμοσιφώνων τόσο από πλευράς ποσότητας όσο και ποιότητας.

Στην ελληνική αγορά προσφέρεται μια μεγάλη ποικιλία ηλιακών θερμοσιφώνων με χωρητικότητες δεξαμενής από 120 έως και 300 λίτρα, με το μοντέλο των 150-160 λίτρων με επιλεκτικό συλλέκτη 2-2,5 m² να έχει την μεγαλύτερη ζήτηση. Η τοποθέτηση ενός ηλιακού θερμοσίφωνα μπορεί να περικόψει το λογαριασμό του ηλεκτρικού μέχρι και 40%. Ένας ηλιακός θερμοσίφοντας κοστίζει λιγότερο από 1.000 ευρώ και στη διάρκεια ζωής του το ηλιακό αυτό σύστημα θα έχει εξοικονομήσει περίπου 2.000 ευρώ από λογαριασμούς ρεύματος, ενώ συγχρόνως θα έχει αποφευχθεί η έκλυση 28 τόνων διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Υπολογίζεται ότι κάθε χρόνο, ένας μέσος ηλιακός θερμοσίφοντας μειώνει το λογαριασμό του ηλεκτρικού κατά 100 ευρώ περίπου, ενώ συγχρόνως αποσοβείται η έκλυση 1,4 τόνων διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονιστεί ότι μέχρι το 2006 σύμφωνα με το νόμο 2364/95 οριζόταν ότι, το 75% της δαπάνης αγοράς ενός ηλιακού θερμοσίφωνα εκπίπτει από το φορολογητέο εισόδημα.

Οι ηλιακοί θερμοσίφωνες μπορούν να καλύψουν τις καθημερινές ανάγκες ενός νοικοκυριού σε ζεστό νερό, εφόσον υπάρχει έστω και μικρή ηλιοφάνεια (2-3ώρες είναι αρκετές). Για τις ημέρες με άσχημες καιρικές συνθήκες έχουν πρόσθετο σύστημα λειτουργίας με βοηθητική πηγή ενέργειας και ο ηλιακός θερμοσίφοντας λειτουργεί σαν ηλεκτρικός. Μπορεί το κόστος αγοράς και εγκατάστασης να είναι αυξημένο, όμως αντισταθμίζεται από την ανέξοδη λειτουργία του.

Στις σύγχρονες κατοικίες η παροχή ζεστού νερού πολλές φορές εξασφαλίζεται με το συνδυασμό ηλιακού θερμοσίφωνα και κεντρικής θέρμανσης πετρελαίου (καλοριφέρ) με αποτέλεσμα να υπάρχει εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας.

Το μόνο οικονομικό κίνητρο που ίσχυε για τους ηλιακούς θερμοσίφωνες σε κατοικίες ήταν οι μειώσεις του φορολογητέου εισοδήματος. Συγκεκριμένα, η δαπάνη για την αγορά και εγκατάσταση ηλιακού θερμοσίφωνα εκπίπτει κατά το 75% του συνόλου της από το φορολογητέο εισόδημα. Αυτό μεταφράζεται σε μία μέση έκπτωση της τάξης του 18,5%, η οποία σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να φτάσει έως και 30%, επί του συνολικού κόστους του συστήματος. Δυστυχώς όμως σύμφωνα με την επίσημη έκθεση του Υπουργείου Οικονομικών για την αναμόρφωση του φορολογικού συστήματος (Μάρτιος 2002), προτείνεται η κατάργηση αυτής της φοροαπαλλαγής η οποία και πραγματοποιήθηκε το 2006. Η κατάργηση αυτού του κινήτρου έχει δυσμενείς επιπτώσεις στη διείσδυση των ηλιακών θερμοσιφώνων στον οικιακό τομέα. Αντίστοιχη εμπειρία υπήρξε στη δεκαετία του 80 όταν και πάλι καταργήθηκε για ένα διάστημα το καθεστώς φόρο ελαφρύνσεων για τα ηλιακά συστήματα.

Σήμερα ένα από τα ελάχιστα «εργαλεία» πολιτικής για τη διοχέτευση σταγόνων ρευστότητας στην αγορά, είναι τα προγράμματα επιδότησης μέσω του ΕΣΠΑ για την αναβάθμιση των κατοικιών, όπως π.χ. το Εξοικονομώ κατ' οίκων. Το εν λόγω πρόγραμμα του ΕΣΠΑ ανάλογα με το εισόδημα επιδοτεί έως και το 70% των παρεμβάσεων που απαιτούνται, προκειμένου να μετατραπεί ένα σπίτι σε παθητικό(κουφώματα, ηλιακά κλπ.), ενώ το υπόλοιπο καλύπτεται μέσω χαμηλότοκου δανεισμού. Ο δικαιούχος του προγράμματος δεν παίρνει στα χέρια του χρήματα, η καταβολή των οποίων γίνεται μέσω τραπεζής απευθείας στους τεχνικούς και τις εταιρείες που αναλαμβάνουν την υλοποίηση του έργου, με την κατάθεση των αναγκαίων παραστατικών.

Με πρωτοβουλία της ESTIF ολοκληρώθηκε μια μελέτη για τη μακροχρόνια δυνητική αγορά ηλιακής ενέργειας. Η εργασία βασίστηκε στη λεπτομερή μελέτη πέντε αντιπροσωπευτικών Ευρωπαϊκών αγορών και την εφαρμογή των ευρημάτων και στις υπόλοιπες. Αξιολογήθηκαν τόσο οι τεχνολογικές όσο και οι οικονομικές δυνατότητες των διάφορων εφαρμογών.

Για να καθορισθεί το ποσοστό συμμετοχής των ηλιακών θερμικών στη ζήτηση για θερμότητα στις επιλεγμένες χώρες αναφοράς, χρησιμοποιήθηκε ένα μοντέλο για τη μελλοντική ζήτηση ενέργειας, παίρνοντας υπόψη και τα μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας. Βάσει αυτού του μοντέλου υπολογίστηκαν οι ανάγκες για θερμότητα και

ψύξη για τα έτη 2020, 2030 και 2050. Το μοντέλο περιλαμβάνει τρία σενάρια και είναι επικεντρωμένο στους ακόλουθους τομείς:

- Θέρμανση χώρου κατοικιών
- Ζεστό νερό οικιακού τομέα
- Θέρμανση χώρου σε επαγγελματικά κτίρια
- Θερμότητα χαμηλών θερμοκρασιών για βιομηχανική χρήση (<250°C)
- Κλιματισμός και ψύξη στον οικιακό τομέα και στο τομέα των υπηρεσιών

Τα τρία σενάρια ήταν Συνέχιση της παρούσας κατάστασης(BAU), - Ανάπτυξη Αγοράς και Δυναμικής προώθησης (AMD) που περιλαμβάνει μηχανισμούς οικονομικής και πολιτικής υποστήριξης όπως επιδοτήσεις και υποχρεώσεις εφαρμογής και βελτιωμένες δράσεις ανάπτυξης- Σενάριο πλήρους αξιοποίησης Πολιτικής και Έρευνας και Ανάπτυξης(RDP), που περιλαμβάνει σημαντικές οικονομικές και πολιτικές στήριξης τόσο της αγοράς όσο και της έρευνας και ανάπτυξης.

Η συμμετοχή των Ηλιακών θερμικών στο στόχο του 20%, υποθέτοντας μείωση 9% της συνολικής καταναλισκόμενης ενέργειας λόγω εφαρμογής μέτρων εξοικονόμησης έως το 2020 σε σχέση με το 2006, θα ήταν 6,3% με βάση το RDP σενάριο και 2.4% με βάση το λιγότερο αισιόδοξο σενάριο AMD.

Σε σχέση με το συνολικό στόχο του 11,5% αύξηση από όλες τις ΑΠΕ (8,5% το μερίδιο των ΑΠΕ το τέλος του 2005) η συνεισφορά των ηλιακών θερμικών θα ήταν 12% με βάση το RDP σενάριο, 4.5% με βάση το AMD και μόλις 2.9% με βάση το BAU σενάριο.

Αν επιτευχθεί ο στόχος του δυναμικού σεναρίου RDP προβλέπεται μέση ετήσια αύξηση της Ευρωπαϊκής αγοράς κατά 26% όταν για το AMD προβλέπεται 15% και για το BAU 7% αύξηση έως το 2020. Αυτό σημαίνει ότι το πεδίο των εγκατεστημένων ηλιακών συλλεκτών θα είναι μεταξύ των 97 εκατομμυρίων (BAU) ως 388 εκατομμυρίων τετραγωνικών μέτρων (RDP). Η αντίστοιχη ισχύς είναι από 67.9 GWth έως 271.6 GWth

Κάποιες βασικές παράμετροι που παίζουν ρόλο στις οικονομικές διαφορές των ηλιακών θερμοσιφώνων είναι οι εξής:

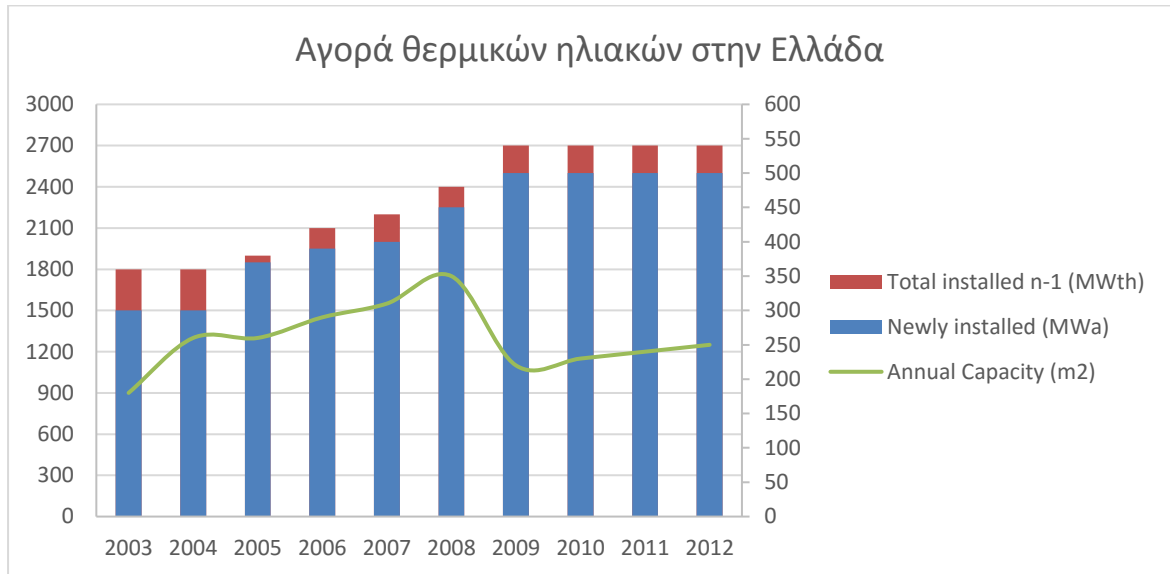
- Λίτρα δοχείου
- Τετραγωνικά συλλέκτη
- Τεχνολογία συλλέκτη
- Διπλής η Τριπλής ενεργείας
- Αντοχή στο χρόνο

Πολλοί θερμοσίφωνες μπορεί να έχουν τα ίδια m² επιφάνειας συλλέκτη και lt δεξαμενής αλλά να έχουν μεγάλη διαφορά στην τελική τιμή. Αυτό οφείλεται στα χαρακτηριστικά της όλης εγκατάστασης τα οποία δίνονται παρακάτω:

- **Τεχνολογία απορροφητή**, συμβάλλει στην απόδοση του ηλιακού και στην εξοικονόμηση ενέργειας.
- **Ποιότητα τζαμιού**, παίζει ρόλο στην απόδοση και ασφάλεια της κατασκευής
- **Πλαίσιο συλλέκτη**
- **Ποιότητα δεξαμενής**, όσο καλύτερη η ποιότητα τόσο λιγότερες απώλειες θα υπάρχουν την νύχτα
- **Αντισκωριακή προστασία**, είναι σημαντικός παράγοντας καθώς συμβάλλει στην μακροζωία του συστήματος αλλά και στην υγιεινή του νερού χρήσης
- **Εναλλάκτες**, βοηθάει στην μεταφορά θερμότητας από εναλλάκτη στη δεξαμενή
- **Σετ σύνδεσης**
- **Συμπεριλαμβανόμενα αξεσουάρ**, για σωστή και ασφαλή χρήση του θερμοσίφωνα

Η ελληνική αγορά ηλιακών θερμικών συστημάτων συνέχισε να αυξάνεται το 2012. Μετά από μια μείωση το 2009 , η αγορά έχει αυξηθεί σταθερά , παρά τις δύσκολες οικονομικές συνθήκες της χώρας. Η νέα εγκατεστημένη ισχύς αυξήθηκε κατά 5,7 % και ανήλθαν σε 170,1 MW(243.000 τ.μ.) . Η αγορά που αφορά τον οικιακό τομέα έχει μειωθεί σημαντικά ως εκ τούτου, η αύξηση οφείλεται κυρίως στην αντικατάσταση των ηλεκτρικών και τα συστήματα θέρμανσης πετρελαίου, το κόστος της ενέργειας έχει οδηγήσει τους καταναλωτές σε πιο οικονομικές λύσεις (και την παροχή σταθερών ενεργειακών δαπανών) στην ηλιακή θερμική λύση . Σε όρους συνολικής εγκατεστημένης ισχύος , η Ελλάδα αριθμεί σήμερα 2,9 GWth(4,1 εκατ. τ.μ.) , που αντιπροσωπεύει μια αύξηση του 1 % . Η Ελλάδα έχει τη δεύτερη μεγαλύτερη συνολική εγκατεστημένη ισχύ ,μετά την Γερμανία(μέχρι το 2012) και είναι σχεδόν ίση με την Αυστρία . Στην πραγματικότητα , η Ελλάδα βρίσκεται σε μια μοναδική κατάσταση από την άποψη αυτή . Στις αρχές της δεκαετίας του 1990 , η ετήσια εγκατεστημένη ισχύς ήταν ήδη παρόμοια με τα σημερινά επίπεδα. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η μέση διάρκεια ζωής ενός συστήματος θεωρείται να είναι 20 έτη ,αυτό σημαίνει ότι στην ελληνική αγορά η συνολική εγκατεστημένη ικανότητα έχει σταθεροποιηθεί τα τελευταία χρόνια. Αυτή είναι μια κατάσταση που υπάρχει σήμερα ιδίως στην Ελλάδα, αλλά η οποία θα αρχίσει να ισχύει σε άλλες χώρες στο μέλλον . Ως εκ τούτου, θα πρέπει να κατανοηθεί καλύτερα και ο ρυθμός αντικατάστασης των παλαιών συστημάτων που μελετήθηκαν σε βάθος.

Σχήμα 2.2.1. Η αγορά ηλιακών-θερμικών συστημάτων στην Ελλάδα συνολικής και πρόσφατης εγκατεστημένης ισχύος. (ΕΒΗΕ- Ένωση Βιομηχανιών Ηλιακής Ενέργειας)



Κεφάλαιο 3

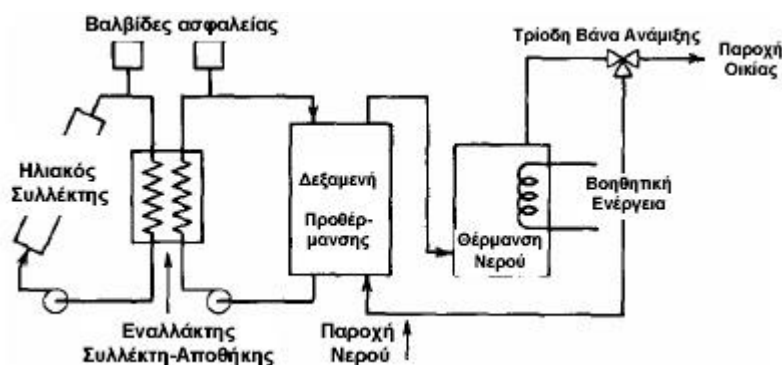
3.1 Περιγραφή της διαδικασίας

Σε κάθε οικιακό σύστημα θέρμανσης νερού υπάρχει ένα ποσοστό κάλυψης της απαιτούμενης ενέργειας το οποίο προκύπτει από την ένταση της ηλιοφάνειας την εκάστοτε περίοδο. Όσο πιο έντονη είναι η ηλιακή ενέργεια τόσο μεγαλύτερο είναι και το ποσοστό του ηλιακού κλάσματος. Όπως είναι αναμενόμενο τους καλοκαιρινούς μήνες το ποσοστό αυτό τείνει να φτάσει τις μέγιστες δυνατές τιμές του που μπορούν να φτάσουν μέχρι και το 100%. Ουσιαστικά το βαθμό κάλυψης μας δείχνει το ποσοστό της ενέργεια που θα καλύπτεται καθαρά από τον ήλιο, χωρίς την χρήση κάποιας εξωτερικής πηγής ενέργειας (π.χ ηλεκτρική αντίσταση).

Για το υπολογισμό του ηλιακού κλάσματος f έχουν αναπτυχθεί διάφορα μοντέλα. Ένα από αυτά είναι η μέθοδος καμπυλών f η οποία θεωρείται μια ημιεμπειρική μέθοδος. Η μέθοδος των καμπυλών f (f -chart) αναπτύχθηκε από τον Klein (1976-1977) στο εργαστήριο ηλιακής ενέργειας του πανεπιστημίου Wisconsin του Madison. Με την μέθοδο αυτή μπορούν να υπολογισθούν τα μηνιαία και τα ετήσια ποσοστά ηλιακής κάλυψης.

Οι καμπύλες f έχουν υπολογιστεί για τρεις βασικές διατάξεις: συστήματα για θέρμανση χώρων και νερού χρήσης και συστήματα αποκλειστικά προορισμένα για θέρμανση νερού χρήσης. Στην δικιά μας περίπτωση θα ασχοληθούμε με συμβατικό ενεργητικό ηλιακό σύστημα με υγρό εργαζόμενο μέσο προορισμένο αποκλειστικά για θέρμανση νερού χρήσης.

Σχήμα 3.1.1: Συμβατικό ενεργητικό ηλιακό σύστημα με υγρό εργαζόμενο μέσο για θέρμανση νερού χρήσης. (alkotech.blogspot.gr)



Για τις διατάξεις αυτές, οι καμπύλες f έχουν προκύψει από προσομοιώσεις σε εύρος λειτουργίας των παραμέτρων όπως φαίνονται παρακάτω.

$0.6 < (\tau\alpha)_n < 0.9$	
$5 < F'_{r.A_c} < 120$	(m^2)
$2.1 < U_L < 8.3$	(W/m^2k)
$30 < \beta < 90$	($^\circ$)
$37.5 < M < 300$	(lt/m^2)
$83 < (Km_A) < 667$	(W/K)

Πρόκειται για μια μέθοδο εύχρηστη, ευρέως διαδεδομένη που χρησιμοποιείται διεθνώς ως αναφορά για συγκρίσεις εγκαταστάσεων. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών έχουν ικανοποιητικό βαθμό ακριβείας, όταν βέβαια οι υπολογισμοί πραγματοποιούνται εντός των επιτρεπόμενων ορίων.

Κύρια μεταβλητή στους υπολογισμούς είναι η επιφάνεια των ηλιακών συλλεκτών, ενώ δευτερεύουσες μεταβλητές είναι:

- Ο τύπος του συλλέκτη
- Η χωρητικότητα της δεξαμενής
- Οι παροχές στο πρωτεύον και δευτερεύον κύκλωμα του εναλλάκτη
- Τα χαρακτηριστικά των εναλλακτών θερμότητας.

Παραδοχές της f-chart:

- Η δεξαμενή αποθήκευσης της θερμότητας βρίσκεται εντός του κτιρίου και οι απώλειές της αποτελούν τμήμα του προς κάλυψη θερμικού φορτίου.
- Η βοηθητική πηγή ενέργειας για τη θέρμανση χώρων και για το ζεστό νερό προβλέπεται να παρέχει ενέργεια στο σύστημα όταν εξαντληθεί η ενέργεια της δεξαμενής αποθήκευσης ή όταν το θερμικό φορτίο της εγκατάστασης γίνει μεγαλύτερο από αυτό που δίνει το ηλιακό σύστημα.
- Το νερό στους συλλέκτες κυκλοφορεί μόνο όταν υπάρχει κέρδος ηλιακής ενέργειας (ο κυκλοφορητής του συλλέκτη συνδέεται με διαφορικό θερμοστάτη).

Επίσης για τον υπολογισμό του ηλιακού κλάσματος χρησιμοποιήσαμε μια πιο αναλυτική μέθοδο η οποία στηρίζεται στις θερμοδυναμικές εξισώσεις και τα φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα καθώς λάβαμε υπόψιν και τις απώλειες που υπάρχουν. Χρησιμοποιώντας αυτήν την μέθοδο λάβαμε δεδομένα μετρήσεων κάθε μια ώρα για την διάρκεια ενός έτους. Στο τέλος υπολογίσαμε το βαθμό κάλυψης f με την χρήση του προγράμματος matlab και σκοπός μας είναι να συγκρίνουμε τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις δύο αυτές μεθόδους.

3.2 Ανάλυση και επεξήγηση των εξισώσεων προσομοίωσης του συλλέκτη

1. Ενεργειακό ισοζύγιο του ηλιακού συλλέκτη

Η ηλιακή ενέργεια που κερδίζει ο συλλέκτης, Q_{sun} υπολογίζεται:

$$Q_{\text{sun}} = I_T \times A_c \text{ [W]} \quad (1.1)$$

Όπου

I_T : Η ηλιακή ακτινοβολία πάνω στην συλλεκτική $[\text{W}/\text{m}^2]$

A_c : Η συλλεκτική επιφάνεια $[\text{m}^2]$

Ένα κομμάτι της ηλιακής ενέργειας που φτάνει στην επιφάνεια ανακλάται και το υπόλοιπο μεταφέρεται στο περιβάλλον ως θερμικές απώλειες.

Η ηλιακή ακτινοβολία που μετατρέπεται σε θερμότητα πάνω στο συλλέκτη παραδίδεται στο εργαζόμενο μέσο (δηλαδή το νερό) ως χρήσιμη ενέργεια.

Ωστόσο η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της απορροφούμενης επιφάνειας και του περιβάλλοντος μας δίνουν τις θερμικές απώλειες Q_{th} από την αγωγιμότητα, την διάδοση θερμότητας και την ακτινοβολία.

Οι θερμικές απώλειες του συλλέκτη περιγράφονται από την παρακάτω σχέση:

$$Q_{\text{th}} = U_L \times A_c \times (T_{\text{pm}} - T_a) \text{ [W]} \quad (1.2)$$

Όπου

U_L : Ολικός συντελεστής θερμικών απωλειών $[\text{W}/\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}]$

T_{PM} : Η θερμοκρασία της απορροφούμενης επιφάνειας $[^\circ\text{C}]$

T_a : Η θερμοκρασία περιβάλλοντος $[^\circ\text{C}]$

Για την πλήρη επίλυση της σχέσης 1.2 πρέπει να υπολογίσουμε τον συνολικό συντελεστή θερμικών απωλειών U_L δηλαδή:

$$U_L = U_t + U_b + U_e \text{ [W}/\text{m}^2\text{C]} \quad (1.3)$$

Όπου:

U_t : Ο συντελεστής θερμικών απωλειών της πάνω πλευράς του συλλέκτη

U_b : Ο συντελεστής θερμικών απωλειών της κάτω πλευράς του συλλέκτη

U_e : Ο συντελεστής θερμικών απωλειών περιμετρικά του συλλέκτη

Παρακάτω δίνονται οι μαθηματικοί υπολογισμοί αυτών των μεγεθών:

$$\bullet U_t = \frac{1}{\frac{C}{T_{pm}} \left[\frac{T_{pm} - T_a}{N + f} \right]^e + \frac{1}{h_w}} + \frac{\sigma \times (T_{pm}^2 + T_a^2) \times (T_{pm} + T_a)}{\frac{1}{\varepsilon_p + 0.00591 \times N \times h_w} + \frac{2 \times N + f - 1 + 0.133 \times \varepsilon_p}{\varepsilon_g} - N} \text{ [W/m}^2\text{ }^0\text{C]} \quad (1.4)$$

Για την επίλυση της 1.4 χρειαζόμαστε

- ✓ $f = (1 + 0,089 \times h_w - 0.1166 \times h_w \times \varepsilon_p) \times (1 + 0.07866 \times N)$
- ✓ $C = 520 \times (1 - 0.000051 \times \beta^2)$
- ✓ $e = 0.43 \times (1 - \frac{100}{T_{pm}})$
- ✓ $\beta = 45^0$ (Γωνία κλίσης του συλλέκτη)
- ✓ $\varepsilon_g = 0.88$ (Η ενέργεια που ακτινοβολείται από το κάλυμμα του συλλέκτη)
- ✓ $\varepsilon_p = 0.10$ (Η ενέργεια που ακτινοβολείται από την απορροφητική επιφάνεια)
- ✓ T_a είναι η θερμοκρασία περιβάλλοντος
- ✓ T_{pm} είναι η θερμοκρασία της συλλεκτικής επιφάνειας
- ✓ h_w συντελεστής θερμότητας απο τον άνεμο ($h_w = 2.8 + 3 \times V_w$ [W/m²C]
 V_w =ταχύτητα μεταφοράς του ανέμου)

Η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της επιφάνειας του συλλέκτη και του υγρού στην είσοδο του συλλέκτη είναι συνήθως στους $\Delta T = 10^0\text{C}$. Η μέση θερμοκρασία της πλάκας T_{pm} λόγω αντίστασης της μεταφοράς θερμότητας απο την απορροφητική επιφάνεια στο ρευστό υπολογίζεται απο την σχέση:

$$T_{pm} = T_{fi}^{t-1} + \frac{Q_u/A_c}{F_R \times U_L} \times (1 - F_R) \text{ [}^0\text{C]} \quad (1.5)$$

Οι απώλειες θερμότητας από το κάτω μέρος του συλλέκτη εμφανίζονται απο τη μόνωση και έπειτα από τον συνδυασμό συναγωγής και ακτινοβολίας οι οποίες απώλειες μεταφέρονται μέσω του αέρα στο περιβάλλον. Επειδή η θερμοκρασία και ο αέρας στην κάτω πλευρά του πλαισίου είναι χαμηλές, οι απώλειες ακτινοβολίας και συναγωγής είναι πολύ πιο χαμηλές σε σύγκριση με τις απώλειες λόγω ροής θερμότητας από την μόνωση.

$$\bullet U_b = \frac{k}{L} \text{ [W/m}^2\text{C]} \quad (1.6)$$

Όπου

k : Αγωγιμότητα της μόνωσης ($k=0,033$ [W/m⁰C])

L : Πάχος της μόνωσης [m]

- $U_e = \frac{k \times A_e}{A_c} [\text{W/m}^2\text{C}] \quad (1.7)$

Όπου

A_e : Η επιφάνεια της περιμέτρου του συλλέκτη [m^2]

Για την επίλυση της 1.7 χρειαζόμαστε

- ✓ $A_e = L_c \times P_c [\text{m}^2]$ (L_c = συνολικό πάχος του συλλέκτη , P_c = Η περίμετρος του συλλέκτη)

- ✓ $P_c = 2 \times w_c + 2 \times l_c$

Όπου:

- $l_c = 2 \times w_c$

- $w_c = \sqrt{\frac{A_c}{2}}$

Η θερμική ενέργεια που παγιδεύεται μέσα στην απορροφητική επιφάνεια είναι λιγότερη από την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει. Αυτές οι απώλειες ονομάζονται οπτικές Q_{opt} και υπολογίζονται:

$$Q_{opt} = (1 - \tau \times \alpha) A_c \times I_T [\text{W}] \quad (1.8)$$

Πρέπει να ληφθεί υπόψιν ότι ένα κομμάτι της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας ανακλάται. Άρα η ηλιακή ακτινοβολία που απορροφάτε ανά μονάδα επιφάνειας του συλλέκτη S ισούται με τη διαφορά μεταξύ της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας που είναι διαθέσιμη στον συλλέκτη Q_{sun} και τις οπτικές απώλειες.

$$S = A_c * (\tau \times \alpha)_n * I_T * K_{\tau\alpha} [\text{W}] \quad (1.9)$$

- ✓ $(\tau \times \alpha)_n$: Είναι η διαπερατότητα-απορροφητικότητα του ηλιακού συλλέκτη όταν η ηλιακή εμφάνιση είναι κάθετη
- ✓

Η αναλογία της πραγματικής ωφέλιμης ενέργειας προς την μέγιστη μεταφορά θερμότητας παράγοντας F_R και υπολογίζεται:

$$F_R = \frac{\dot{m} \times C_{pw} \times 1000}{(UL \times A_c)} \times \frac{1 - \exp(-Ac \times UL \times F)}{\dot{m} \times C_{pw} \times 1000}$$

- ✓ \dot{m} : Παροχή μάζας του υγρού (Kg/sec).
- ✓ F : Βαθμός απόδοσης της συλλεκτικής επιφάνειας.
- ✓ C_{pw} : Ειδική Θερμοχωρητικότητα του νερού (Kj/Kg $^{\circ}\text{C}$).

Η εξίσωση απόδοσης για τον επίπεδο συλλέκτη προϋποθέτει την κατεύθυνση της ηλιακής ακτινοβολίας πάνω στην συλλεκτική επιφάνεια πράγμα το οποίο δεν συμβαίνει ποτέ. Η γωνία πρόσπτωσης της ακτινοβολίας θα δημιουργεί κατοπτρική ανάκλαση στο γυάλινο κάλυμμα του συλλέκτη μειώνοντας έτσι την τυχαία γωνία πρόσπτωσης ($\tau\alpha$). Έτσι πρέπει να συμπεριλάβουμε τον μετατροπέα της γωνίας πρόσπτωσης:

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

Ως εκ τούτου η εξίσωση παίρνει την παρακάτω μορφή γνωστή ως Hottel - Whillier - Bliss από την οποία υπολογίζουμε το πραγματικό ωφέλιμο φορτίο :

$$\dot{Q}_u = A_c \times F_R [(\tau \times \alpha)_n \times K_{\tau\alpha} \times I_T - U_L \times (T_{s0}^{t-1} - T_a^t)] + [W] \quad (1.10)$$

Η θερμοκρασία του υγρού στην έξοδο του συλλέκτη T_{f0} μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην παρακάτω εξίσωση η οποία εκφράζει τον ρυθμό μεταφοράς της θερμότητας ενός ρευστού, που ρέει με ροή μάζας m , για διαφορά θερμοκρασίας ($\Delta T = T_{f0} - T_{fi}$). Έτσι το ποσοστό κέρδους \dot{Q}_u μπορεί να υπολογιστεί εάν εκθέσουμε τον συλλέκτη σε ηλιακή ακτινοβολία και μετρήσουμε την θερμοκρασία του ρευστού στην είσοδο και την έξοδο και λάβουμε υπόψη τον ρυθμό ροής του ρευστού τότε έχουμε.

$$\dot{Q}_u = \dot{m}_f \times C_p \times (T_{fo} - T_{fi}) \quad (1.11)$$

Εάν η ανάλυση που θα κάνουμε είναι σε ωριαία βάση, το ποσοστό του χρήσιμου κέρδους \dot{Q}_u από την μέση ωριαία ηλιακή ακτινοβολία, I_T μπορούμε να το εκφράσουμε σε όρους της μέγιστης θερμοκρασίας του ρευστού στην είσοδο και την έξοδο.

Η θερμοκρασία του νερού T_{f0}^t στο τέλος της t^{th} ώρας υπολογίζεται:

$$T_{f0}^t = T_{fi}^{t-1} + \frac{Q_u^t}{\dot{m}_f \times C_p} [^{\circ}\text{C}] \quad (1.12)$$

Το πραγματικό κέρδος θερμότητας που προσπίπτει στον συλλέκτη κατά τη διάρκεια της ώρας t^{th} αυξάνει τη θερμοκρασία του νερού στην είσοδο από $T_{fi}^{(t-1)}$ μέχρι το τέλος της προηγούμενης ώρας ($t-1$).

Η θερμοκρασία του νερού στην είσοδο του συλλέκτη T_{fi} , εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του πλήρους συστήματος ηλιακής θέρμανσης και ζήτησης ζεστού νερού. Στην περίπτωση αυτή ο συλλέκτης είναι ενσωματωμένος με μια δεξαμενή αποθήκευσης η οποία αποθηκεύει το νερό της εξόδου. Ως εκ τούτου η θερμοκρασία του νερού στην είσοδο του συλλέκτη είναι θεωρητικά ίση με την έξοδο του νερού από την δεξαμενή αποθήκευσης βάση της προηγούμενης προσομοίωσης την ώρα ($t-1$).

Άρα για τον υπολογισμό του ενεργειακού ισοζυγίου του συλλέκτη υπολογίζοντας τα παραπάνω προκύπτει:

$$Q_{sun} = \dot{Q}_u + \dot{Q}_{th} + \dot{Q}_{opt} \text{ [W]} \quad (1.13)$$

2. Ενεργειακό ισοζύγιο για την δεξαμενή αποθήκευσης

Η θερμική χωρητικότητα μιας πλήρως μικτής μη στρωματοποιημένης δεξαμενής αποθήκευσης με ομοιόμορφη θερμοκρασία λειτουργίας σε μια πεπερασμένη διαφορά θερμοκρασίας ΔT_s δίνεται από την εξίσωση.

$$Q_s = (M \times C_{pw})_s \times \Delta T_s \quad (2.1)$$

Όπου

M: Η μάζα του νερού στη δεξαμενή ($M_s = \rho_w \times V_s$) [Kg]

C_{pw} : Συντελεστής θερμοχωρητικότητας του ρευστου [Kj/Kg⁰C]

Εφαρμόζοντας το ενεργειακό ισοζύγιο της δεξαμενής αποθήκευσης προκύπτει:

$$\dot{Q}_s = (\rho_w \times \dot{V}_s \times C_{pw})_s \frac{dT_s}{dt} = \dot{Q}_u - \dot{Q}_{out} \text{ [W]} \quad (2.2)$$

Όπου:

\dot{Q}_u : Είναι το ποσοστό της ηλιακής ενέργειας που κερδίζει ο συλλέκτης και δίδεται στην δεξαμενή αποθήκευσης.

\dot{Q}_{out} : Είναι ο ρυθμός απωλειών ενέργειας στην δεξαμενή οποίος υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση.

V_s : Χωρητικότητα της δεξαμενής [lt].

ρ_w : Πυκνότητα του νερού.

$$\dot{Q}_{out} = \dot{Q}_{s,load} + \dot{Q}_{tl} \text{ [W]} \quad (2.3)$$

- ✓ $\dot{Q}_{s,load}$: Είναι το ποσοστό της ηλιακής ενέργειας που πηγαινει στην δεξαμενή αποθήκευσης για την κατανάλωση του ζεστού νερού.
- ✓ \dot{Q}_{tl} : Ο ρυθμός των θερμικών απωλειών απο την δεξαμενή στο περιβάλλον.

Το ογκομετρικό προφίλ κατανάλωσης θα πρέπει να είναι γνωστό για την περίοδο προσομοίωσης του έτους με βήμα ανά ώρα, λαμβάνοντας υπόψιν την θερμοκρασία του

νερού αναπλήρωση από το δίκτυο $\overline{T_{mains}}$ και την θερμοκρασία του νερού από την διανομή της δεξαμενής T_s προκύπτει ότι:

$$Q_{s.load}^t = (V_d^t \times \rho_w) \times C_{pw} \times (T_s^{t-1} - \overline{T_{mains}}^t) \text{ [kJ]} \quad (2.4)$$

Οι απώλειες από την δεξαμενή αποθήκευσης προς το περιβάλλον δίνονται από την παρακάτω εξίσωση.

$$\dot{Q}_{tl} = (U \times A)_T \times (T_s - \overline{T}_a) \text{ [W]} \quad (2.5)$$

Όπου:

- ✓ U_T : Ο συντελεστής θερμότητας της μονωμένης δεξαμενής

$$U_T = \frac{K_t}{L_{t.ins}} \quad (K_t = 0,03 \text{ W/m}^2\text{C και } L_{t.ins} = 0,07 \text{ m}) \quad (2.6)$$

K_t : Θερμική αγωγιμότητα.

$L_{t.ins}$: Πάχος μόνωσης.

Οι τιμές K_t και $L_{t.ins}$ έχουν προκύψει με την προϋπόθεση ότι η μόνωση έχει γίνει με μόνωση πολυουρεθάνη.

- ✓ A_T : Επιφάνεια κυλινδρικής δεξαμενής

$$A_T = \left(2 \times \pi \times \frac{(D_T + 2 \times L_{t.ins})^2}{4} \right) + (\pi \times (D_T + 2 \times L_{t.ins}) \times H_T) \quad (2.7)$$

D_T : Εσωτερική διάμετρος της κυλινδρικής δεξαμενής [m].

Η ωριαία απώλεια ενέργειας από το νερό που αποθηκεύεται, στο περιβάλλον στο τέλος της ώρας t δίνεται από την εξίσωση:

$$Q_{tl}^t = (U \times A)_T \times 3.6 \times (T_s^t - \overline{T}_a^t) \text{ [kJ]} \quad (2.8)$$

Άρα για τον υπολογισμό του ενεργειακού ισοζυγίου της δεξαμενής με βάση τα παραπάνω προκύπτει:

$$\dot{Q}_{out} = Q_{s.load} + \dot{Q}_{tl} \text{ [W]} \quad (2.9)$$

3. Υπολογισμός τελικής θερμοκρασίας της δεξαμενής, T_s

Εάν η αρχική έκφραση του ενεργειακού ισοζυγίου της δεξαμενής αποθήκευσης εκφράζεται από την εξίσωση 2.2, η θερμοκρασία του νερού στην δεξαμενή στο τέλος της περιόδου T_s^+ υπολογίζεται θεωρώντας ότι οι θερμοκρασίες δεν αλλάζουν κατά την διάρκεια αυτής της περιόδου. Εάν το ενεργειακό ισοζύγιο της εξίσωσης 2.3 εφαρμοστεί για ένα μικρό χρονικό διάστημα π.χ. για μια ώρα τότε η θερμοκρασία του νερού στην δεξαμενή T_s^+ υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$(M \times C_{pw})_s \frac{T_s^+ - T_s}{\Delta t} = Q_u - Q_{s.load} - Q_{tl} \quad (3.1)$$

Εάν θεωρήσουμε ότι η ωριαία επίδοση της δεξαμενής αποθήκευσης ολοκληρωθεί στον ηλιακό συλλέκτη ως ένα πλήρες σύστημα ηλιακής θέρμανσης νερού και θερμοκρασία του νερού στην δεξαμενή στο τέλος μια τυχαία ώρας t^{th} , τότε το T_s^t δίνεται απο την αναδιάταξη της εξίσωσης 3.1

$$T_s^t = T_s^{t-1} + \frac{1}{(M \times C_{pw})_s} \times [Q_u^t - Q_{s.load} - Q_{tl}] [^{\circ}C] \quad (3.2)$$

Όπου

$T_s^{(t-1)}$: Είναι η θερμοκρασία του νερού στη δεξαμενή στο τέλος της προηγούμενης ώρας (t-1).

Οι ωριαίες θερμοκρασίες του νερού στην δεξαμενή αποθήκευσης ποικίλουν και αναλύονται παρακάτω:

Μετά το γέμισμα του ζεστού νερού προς κατανάλωση στη δεξαμενή αποθήκευσης, ένα ίσος όγκος νερού V_d από το δίκτυο αναπλήρωσης με θερμοκρασία T_{mains} αναμειγνύεται με την υπάρχουσα ποσότητα ζεστού νερού.

Μετά από ένα χρονικό διάστημα t κατά το οποίο υπάρχει κατανάλωση ζεστού νερού σε θερμοκρασία T_s^{t-1} και έχει γίνει η αντίστοιχη αναπλήρωση της δεξαμενής με νερό απο το δίκτυο θερμοκρασίας T_{mains} , η θερμοκρασία που προκύπτει στο νερό της δεξαμενής $T_{s^{(s.load)}}^t$ είναι:

$$T_{s^{(s.load)}}^t = \bar{T}_{mains} \times \left(\frac{V_d}{V_s}\right) + T_s^{t-1} \times \left(\frac{V_s - V_d}{V_s}\right) [^{\circ}C] \quad (3.3)$$

Η ωριαία θερμοκρασία του νερού T_{mains} έχει ληφθεί απο την μέση μηνιαία θερμοκρασία του νερού απο το δίκτυο \bar{T}_{mains} , σύμφωνα με την κλιματική ζώνη που ανήκει η περιοχή.

Υπάρχουν θερμικές απώλειες από την μόνωση των τοιχωμάτων της δεξαμενής, λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ του νερού της δεξαμενής και της θερμοκρασίας περιβάλλοντος. Οι μέγιστες θερμικές απώλειες υπάρχουν όταν το νερό πετυχαίνει την μέγιστη ωριαία θερμοκρασία, εφόσον το ποσοστό κέρδους της θερμότητας είναι μέγιστο, δηλαδή όταν έχουμε ηλιακή ακτινοβολία και δεν υπάρχει ζήτηση για την έξοδο του φορτίου. Αν και η θερμοκρασία της δεξαμενής και οι θερμικές απώλειες μας ποικίλουν κατά την διάρκεια ενός χρονικού διαστήματος, το μέγιστο δυνατό ποσοστό θερμικού περιεχομένου και θερμικής απώλειας από την δεξαμενή αποθήκευσης μπορεί να εκτιμηθεί στο τέλος της κάθε ώρας, μετά την πραγματική ωριαία αύξηση της θερμότητας που έχει επιτύχει.

Η θερμοκρασία του νερού στην δεξαμενή αποθήκευσης, $T_{s(therm)}^t$ μετά την πρόσληψη της θερμικής ενέργειας στην είσοδο Q_u (αγνοώντας τις απώλειες των σωληνών) υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$T_{s(therm)}^t = T_{s(s.load)}^t + \frac{Q_u^t}{M_s \times C_p} [^{\circ}\text{C}] \quad (3.4)$$

Για την αναλυτική και μακροπρόθεσμη εκτίμηση των επιδόσεων ενός συστήματος θέρμανσης ζεστού νερού πρέπει να εκτιμηθεί η ετήσια κατανάλωση. Προκειμένου να καθοριστεί το ετήσιο προφίλ φορτίου απαιτείται η ημερήσια εκτίμηση της κατανάλωσης του ζεστού νερού.

Αν V άτομο είναι η ημερήσια κατανάλωση ζεστού νερού ανά άτομο σε μία κατοικία, και N άτομα είναι ο αριθμός των ατόμων που εξυπηρετούνται από το σύστημα διανομής ζεστού νερού, η ημερήσια ζήτηση νερού σε μια κατοικία (V_d) είναι:

$$V_d = N_{persons} \times V_{person} \quad [\text{lt/day}] \quad (3.5)$$

Παρά το γεγονός ότι, η καθημερινή κατανάλωση ζεστού νερού V_d διαφέρει σημαντικά σε σχέση με την εποχή, τις προσωπικές συνήθειες, τις τοπικές καιρικές συνθήκες και κοινωνικοοικονομικές συνθήκες, μπορεί να εκτιμηθεί για την εξέταση ζεστού νερού χρήσης για διάφορες εργασίες στην εν λόγω περιοχή. Ο ελληνικός κανονισμός για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων (KENAK, 2010) προτείνει την ημερήσια κατανάλωση ανά κάτοικο σε μια κατοικία για $V_{\text{άτομο}} = 50 \text{ lt} / \text{ημέρα}$. Ως εκ τούτου, για μια οικογένεια τεσσάρων ατόμων και για κανονικές καθημερινές εργασίες, η εξίσωση 3.5 δίνει την τυπική οικιακή ογκομετρική κατανάλωση ζεστού νερού ως:

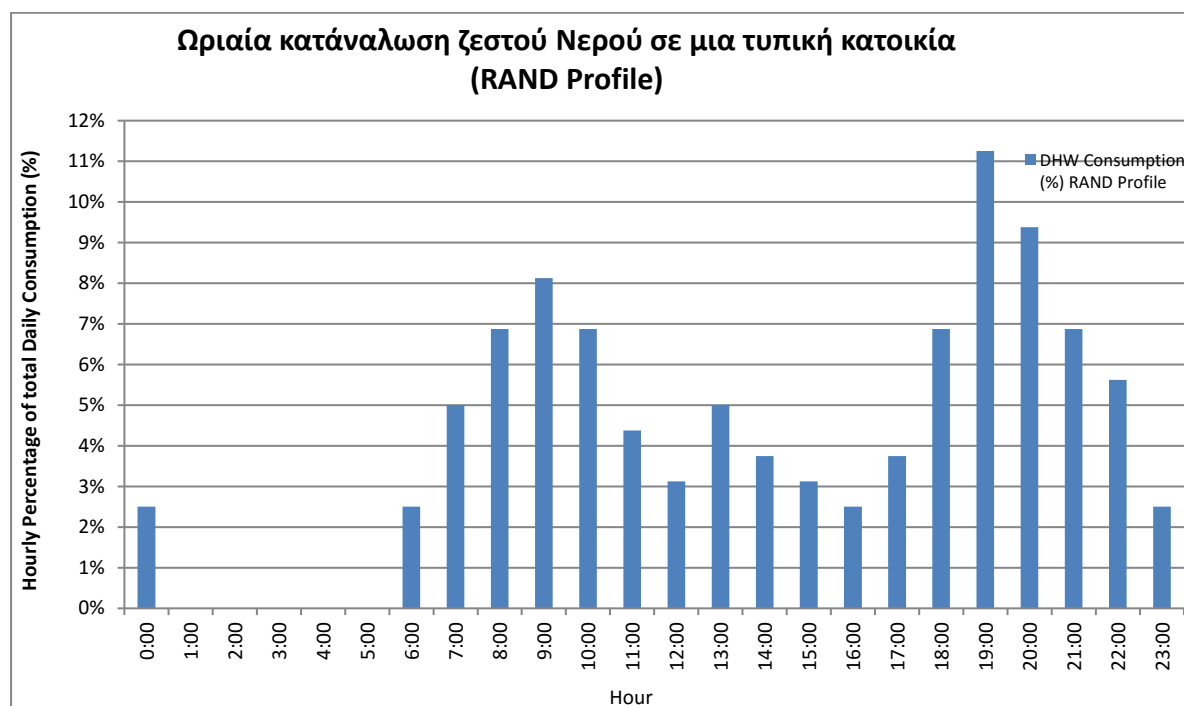
$$V_d = 4 \times 50 \rightarrow V_d = \mathbf{200 \text{ lt/day}}$$

Αν και υπάρχουν καθημερινές και εποχιακές διακυμάνσεις της ετήσιας κατανάλωσης ζεστού νερού, είναι πρακτικό να χρησιμοποιήσετε ένα επαναλαμβανόμενο καθημερινό προφίλ φορτίου. Στην πραγματικότητα, αυτό δεν είναι απόλυτα σωστό, ιδίως κατά τη θερινή περίοδο, όπου το καταναλωτικό πρότυπο μπορεί να είναι κάπως υψηλότερο ιδιαίτερα στις θερμότερες περιοχές. Ωστόσο, όπως υποστηρίζεται από τους Salcines και Estebanez (2009) η υπόθεση αυτή είναι δικαιολογημένη, διότι η απαιτούμενη θερμοκρασία για ζεστό νερό δεν είναι τόσο υψηλή όσο κατά τη χειμερινή περίοδο. Κατά συνέπεια, η συνολική απαίτηση θερμικής ενέργειας είναι αρκετά σταθερή κατά τη διάρκεια του έτους.

Μόλις έχει καθοριστεί ο ημερήσιος όγκος κατανάλωσης ζεστού νερού για μία τυπική κατοικία, θα πρέπει να διαιρεθεί σε μεταβλητά φορτία για κάθε ώρα σε μια κανονική ημέρα, ανάλογα με το προφίλ του RAND που χρησιμοποιείται από τον Mutch, 1974, στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος για την αξιολόγηση των μέτρων για την εξοικονόμηση ενέργειας (διάγραμμα 1). Αυτό το καθημερινό προφίλ το οποίο

χρησιμοποιείται εκτενώς σε ωριαίες προσομοιώσεις, θα επαναλαμβάνεται καθ' όλη τη χρονιά.

Διάγραμμα1: Τυπική κατανάλωση ζεστού νερού ανά άτομο στην Ελλάδα βασισμένη προφίλ RAND. (Πηγή: Mutch,1974)



4. Βαθμός του βοηθητικού φορτίου, Q_{aux}

Ένας βοηθητικός ηλεκτρικός θερμοσίφοντας τοποθετείται σε σειρά με το φορτίο της γραμμής παροχής της δεξαμενής αποθήκευσης έτσι ώστε να καλύπτει το κάποιο τυχόν έλλειμμα της ηλιακής θερμικής ενέργειας, ώστε η συνολική ζήτηση του φορτίου να είναι αυτή που πρέπει να πληρείται.

Το σύστημα ελέγχεται έτσι ώστε αν η θερμοκρασία του νερού από την έξοδο της δεξαμενής (T_s) είναι μικρότερη από $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, θα θερμάνει το νερό από τη δεξαμενή αποθήκευσης στην απαιτούμενη θερμοκρασία των $60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Εάν η T_s είναι ίση ή μεγαλύτερη από $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, το φορτίο που θα καλύπτει την ζήτηση του ζεστού νερού θα πρέπει να είναι αποκλειστικά και μόνο από τη δεξαμενή αποθήκευσης θερμότητας ($Q_{s.load}$).

Αν η θερμοκρασία της δεξαμενής, T_{set} είναι μικρότερη από τη θερμοκρασία ζήτησης ζεστού νερού (T_{est}), τότε η βοηθητική ενέργεια (Q_{aux}) παρέχεται από τον ηλεκτρικό θερμαντήρα στην έξοδο της δεξαμενής νερού, προκειμένου να καλύψει το έλλειμμα θερμικής ενέργειας μεταξύ δεξαμενής αποθήκευσης ($Q_{s.load}$) και την συνολική ζήτηση φορτίου (Q_{load}).

Ως εκ τούτου το ωριαίο φορτίο από την βοηθητική πηγή Q_{aux} και το ωριαίο ηλιακό θερμικό φορτίο που έρχονται από τη δεξαμενή υπολογίζονται από τις ακόλουθες εξισώσεις σύμφωνα με τα δύο σενάρια που περιγράφονται παρακάτω:

α) Αν $T_s < T_{set}$ τότε

$$Q_{aux}^t = V_d^t \times \rho_w \times C_{pw} \times (T_{set} - T_s^t) \text{ [kJ]} \quad (4.1), \text{ και}$$

$$Q_{sol\ load}^t = V_d^t \times \rho_w \times C_{pw} \times (T_s^t - T_{mains}) \text{ [kJ]} \quad (4.2)$$

β) If $T_s \geq T_{set}$ τότε

$$Q_{aux}^t = 0 \text{ [kJ]}, \text{ και}$$

$$Q_{sol\ load}^t = V_d^t \times \rho_w \times C_{pw} \times (T_s^t - T_{mains}) \text{ [kJ]}$$

Η πιο σημαντική ποσότητα σε ένα σύστημα θερμικής ανάλυσης που οδηγεί σε μακροπρόθεσμη απόδοση του συστήματος το οποίο στη συνέχεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε οικονομική ανάλυση, είναι ο βαθμός κάλυψης (f). Ο βαθμός f ορίζεται ως ο λόγος της ωφέλιμης ηλιακής ενέργειας που παρέχεται στο σύστημα προς την ενέργεια που απαιτείται για τη θέρμανση του νερού, εάν δεν υπάρχει ηλιακή ενέργεια. Εκφράζει τη συμβολή της ηλιακής ενέργειας ($Q_{s.load}$) προς το συνολικό θερμικό φορτίο (Q_{load}) όσον αφορά την κλασματική μείωση στην ποσότητα της ενέργειας που πρέπει να αγοραστεί. Το κλάσμα f μπορεί να υπολογιστεί από την ακόλουθη σχέση:

$$f = \frac{Q_{sload}}{Q_{sload} + Q_{aux}} \quad (4.3)$$

3.3 Επίλυση της υπολογιστικής μεθόδου με το πρόγραμμα matlab

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλύσουμε τον τρόπο με τον οποίο λειτουργεί το πρόγραμμα και τα μέρη στα οποία είναι χωρισμένο. Θα αναφέρουμε όλες τις μεταβλητές σταθερές και μη, για τον υπολογισμό του ετήσιου βαθμού κάλυψης. Η σειρά που εμφανίζονται τα αριθμητικά δεδομένα ακολουθεί την σειρά με την οποία έχει γραφτεί ο κώδικας. Επίσης θα παρουσιάζονται σταδιακά, αυτούσια κομμάτια του κώδικα μέσα από το πρόγραμμα.

Παρακάτω δίνονται οι σταθερές τιμές του συστήματος μας.

➤ **Εισαγωγή για τη συλλεκτική επιφάνεια:**

- F' : Συντελεστής απόδοσης της πλάκας.
- α : Η απορροφητικότητα του συλλέκτη.
- τ : Διαπερατότητα του συλλέκτη.
- U_L : Ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$).
- β : Γωνία κλίσης.
- ϵ : Συντελεστής αντανάκλασης.
- σ : Σταθερά Stefan Boltzman ($Wm^{-2}K^{-4}$).
- N : Αριθμός τζαμιών του συλλέκτη.
- ϵ_g : Ενέργεια που ακτινοβολείται από το γυαλί του συλλέκτη.
- ϵ_p : Ενέργεια που ακτινοβολείται από την απρροφητική πλάκα.
- $L_{c.ins}$: Πάχος μόνωσης στην άκρη/κάτω μέρος του συλλέκτη (m).
- K_c : Συντελεστής μόνωσης θερμικής αγωγιμότητας ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$).
- $L_{c.ins}$: Πάχος μόνωσης του συλλέκτη (m).
- L_c : Πάχος του συλλέκτη (m).

➤ **Ζήτηση φορτίου για ζεστό νερό γρήσης:**

- Ημερήσια ζήτηση ZNX ανά κάτοικο (lt/day).
- Αριθμός ατόμων της κατοικίας.

➤ **Μεταβλητές συστήματος ZNX:**

- A_c : Επιφάνεια του συλλέκτη (m^2).
- Χωρητικότητα δεξαμενής (ανά τετραγωνικό συλλέκτη) (lt/ m^2).

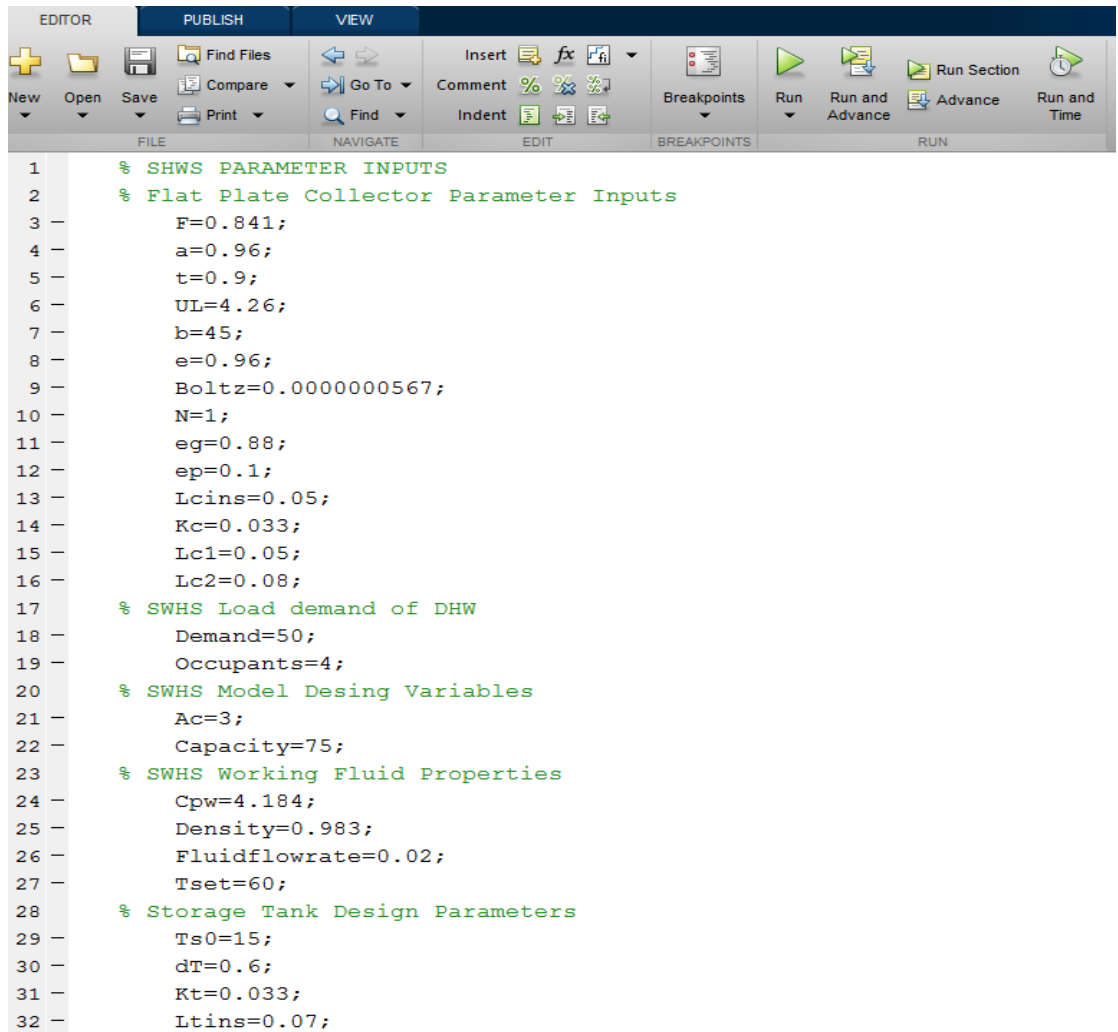
➤ **Ιδιότητες του εργαζόμενου μέσου:**

- C_p : Θερμοχωρητικότητα του νερού ($KJ/Kg \text{ } ^\circ C$).
- ρ_w : Πυκνότητα νερού (Kg/lt).
- Παροχή του ρευστού (ανά τετραγωνικό συλλεκτικής επιφάνειας) ($Kg/s \text{ } m^2$).
- T_{set} : Θερμοκρασία ζήτησης νερού ($^\circ C$).

➤ **Σταθερές της δεξαμενής αποθήκευσης:**

- T_{s0} : Αρχική θερμοκρασία της δεξαμενής ($^\circ C$).
- d_T : Εσωτερική διάμετρος της δεξαμενής αποθήκευσης (m).
- K_t : Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας της δεξαμενής ($W/m \text{ } ^\circ C$).
- $L_{t.ins}$: Πάχος της μόνωσης (m).

Σχήμα 3.3.1:



```
1      % SHWS PARAMETER INPUTS
2      % Flat Plate Collector Parameter Inputs
3      F=0.841;
4      a=0.96;
5      t=0.9;
6      UI=4.26;
7      b=45;
8      e=0.96;
9      Boltz=0.0000000567;
10     N=1;
11     eg=0.88;
12     ep=0.1;
13     Lcins=0.05;
14     Kc=0.033;
15     Lc1=0.05;
16     Lc2=0.08;
17     % SWHS Load demand of DHW
18     Demand=50;
19     Occupants=4;
20     % SWHS Model Desing Variables
21     Ac=3;
22     Capacity=75;
23     % SWHS Working Fluid Properties
24     Cpw=4.184;
25     Density=0.983;
26     Fluidflowrate=0.02;
27     Tset=60;
28     % Storage Tank Design Parameters
29     Ts0=15;
30     dT=0.6;
31     Kt=0.033;
32     Itins=0.07;
```

Αφού εισαχθούν στο πρόγραμμα μας όλες οι σταθερές τιμές που αναφέραμε, αυτό ξεκινάει και υπολογίζει τις παρακάτω παραμέτρους.

➤ **Ζήτηση φορτίου ZNX:**

- Προκύπτει η ημερήσια ζήτηση ζεστού νερού χρήσης (lt/day).

➤ **Μεταβλητές συστήματος ZNX:**

- V_s : Είναι ο όγκος της δεξαμενή αποθήκευσης (lt).

➤ **Ιδιότητες του εργαζόμενου μέσου:**

- Παροχή μάζας του ρευστού στον συλλέκτη (Kg/s).

➤ **Υπολογισμοί για τη συλλεκτική επιφάνεια:**

- $(\tau_a)_n$: Ο συντελεστής αναφέρεται στο κάθετο επίπεδο των ακτινών του ηλίου.
- C: Συντελεστής C
- U_b : Συντελεστής απωλειών από το κάτω μέρος ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$).
- C_w : Πλάτος του συλλέκτη (m).

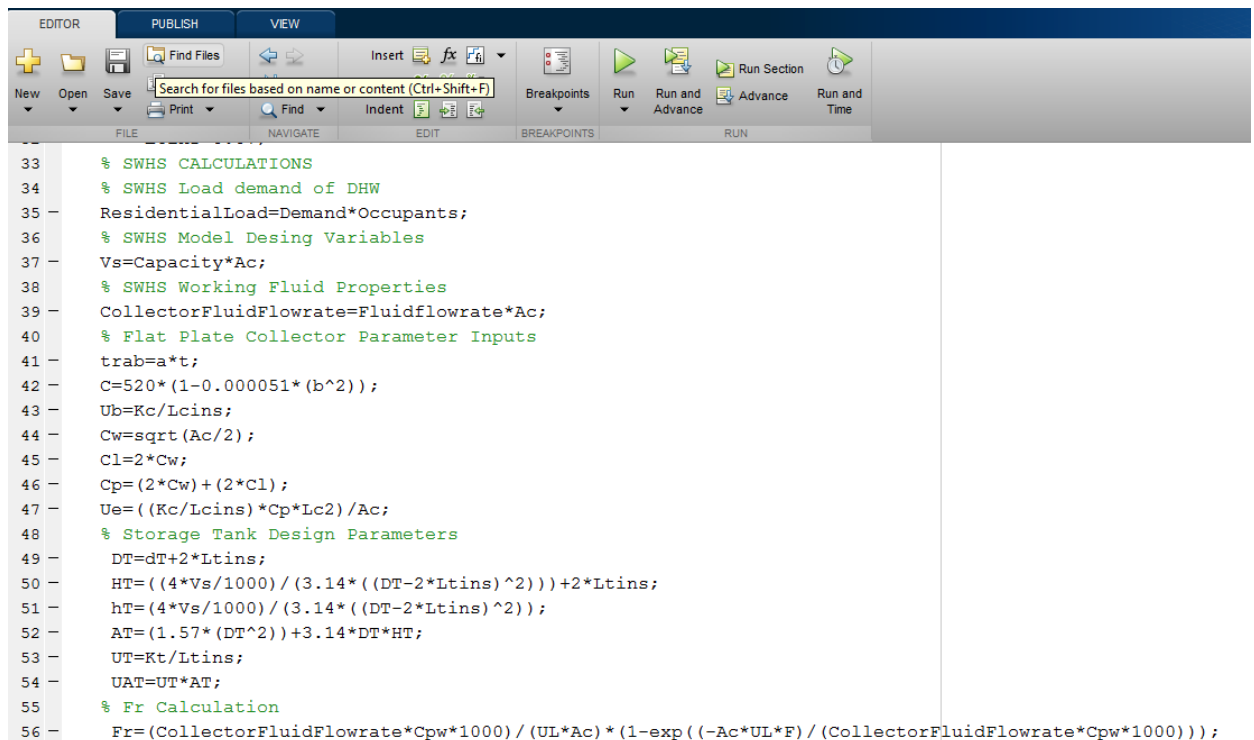
- C_l : Μήκος του συλλέκτη (m).
- C_p : Περίμετρος του συλλέκτη (m).
- U_e : Συντελεστής απωλειών από τα πλάγια μεριά του συλλέκτη ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$).

➤ **Παράμετροι της δεξαμενής αποθήκευσης:**

- D_T : Εξωτερική διάμετρος. (m).
- H_T : Εξωτερικός ύψος (m).
- h_T : Εσωτερικό ύψος (m).
- A_T : Εμβαδόν της δεξαμενής (m^2).
- U_T : Συντελεστής μεταφοράς θερμότητας ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$).
- $(UA)_T$: Είναι το γινόμενο του συντελεστή μεταφοράς θερμότητας με το εμβαδό του συλλέκτη ($W/^\circ C$).

➤ **Υπολογισμός του συντελεστή απαγωγής θερμότητας F_r .**

Σχήμα 3.3.2:



```

33 % SWHS CALCULATIONS
34 % SWHS Load demand of DHW
35 ResidentialLoad=Demand*Occupants;
36 % SWHS Model Desing Variables
37 Vs=Capacity*Ac;
38 % SWHS Working Fluid Properties
39 CollectorFluidFlowrate=Fluidflowrate*Ac;
40 % Flat Plate Collector Parameter Inputs
41 trab=a*t;
42 C=520*(1-0.000051*(b^2));
43 Ub=Kc/Lcins;
44 Cw=sqrt(Ac/2);
45 Cl=2*Cw;
46 Cp=(2*Cw)+(2*Cl);
47 Ue=((Kc/Lcins)*Cp*Lc2)/Ac;
48 % Storage Tank Design Parameters
49 DT=dT+2*Ltins;
50 HT=((4*Vs/1000)/(3.14*((DT-2*Ltins)^2)))+2*Ltins;
51 hT=(4*Vs/1000)/(3.14*((DT-2*Ltins)^2));
52 AT=(1.57*(DT^2))+3.14*DT*HT;
53 UT=Rt/Ltins;
54 UAT=UT*AT;
55 % Fr Calculation
56 Fr=(CollectorFluidFlowrate*Cpw*1000)/(UL*Ac)*(1-exp((-Ac*UL*F)/(CollectorFluidFlowrate*Cpw*1000)));

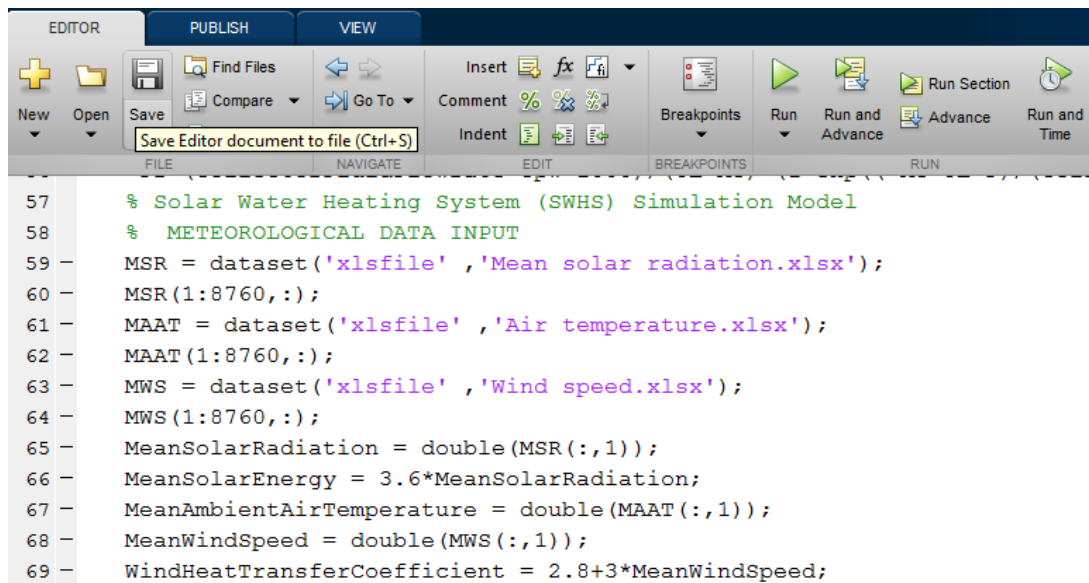
```

Σε αυτό το σημείο ο κώδικας ξεκινάει να πραγματοποιεί την προσομοίωση του συστήματος. Αρχικά εισάγουμε τα μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής που μελετάμε με την εντολή "dataset" και στη συνέχεια κάνουμε "double" τους πίνακες έτσι ώστε να μπορούμε να κάνουμε πράξεις μεταξύ τους. Για τον ίδιο λόγο χρησιμοποιούμε τις ίδιες εντολές και σε άλλα σημεία του κώδικα.

➤ **Μετεωρολογικά δεδομένα:**

- Mean solar radiation: Είναι η μέση ηλιακή ακτινοβολία ανά μονάδα επιφάνειας (W/m^2).
- Mean solar energy: Είναι η μέση ηλιακή ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας (KJ/m^2).
- Mean ambient air temperature: Η μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος ($^{\circ}C$).
- Mean wind speed: Η μέση ταχύτητα του αέρα (m/sec).
- Wind heat transfer coefficient: Συντελεστής λόγο συναγωγής ($W/m^2 \text{ } ^{\circ}C$).

Σχήμα 3.3.3:



```
57 % Solar Water Heating System (SWHS) Simulation Model
58 % METEOROLOGICAL DATA INPUT
59 - MSR = dataset('xlsfile', 'Mean solar radiation.xlsx');
60 - MSR(1:8760, :);
61 - MAAT = dataset('xlsfile', 'Air temperature.xlsx');
62 - MAAT(1:8760, :);
63 - MWS = dataset('xlsfile', 'Wind speed.xlsx');
64 - MWS(1:8760, :);
65 - MeanSolarRadiation = double(MSR(:,1));
66 - MeanSolarEnergy = 3.6*MeanSolarRadiation;
67 - MeanAmbientAirTemperature = double(MAAT(:,1));
68 - MeanWindSpeed = double(MWS(:,1));
69 - WindHeatTransferCoefficient = 2.8+3*MeanWindSpeed;
```

➤ **Ενέργεια στην έξοδο του συλλέκτη/ ενέργεια στην είσοδο της δεξαμενής αποθήκευσης:**

- $K_{\tau\alpha}$: Μετατροπές γωνίας πρόσπτωσης.

➤ **Ενέργεια στην έξοδο της δεξαμενής:**

- T_{mains} : Η μέση μηνιαία θερμοκρασία νερού από το δίκτυο παροχής ($^{\circ}C$).
- Rand profile: Προφίλ ωριαίας κατανάλωσης.

Κάποιες μεταβλητές του κώδικα μας δεν είναι σταθερές και αλλάζουν σε ωριαία βάση, οπότε για αυτό σε αρκετές μεταβλητές χρησιμοποιούμε την εντολή "for" έτσι ώστε να καλύψουμε και τις 8760 ώρες του έτους.

- V_d : Κατανάλωση ζεστού νερού χρήσης (lt).

➤ **Ενέργεια στην έξοδο του συλλέκτη/ ενέργεια στην είσοδο της δεξαμενής αποθήκευσης:**

- Q_u : Πραγματική ωφέλιμη ενέργεια (KJ).

Στον υπολογισμό της πραγματικής ωφέλιμης ενέργειας πρέπει να λάβουμε υπόψιν, τις ώρες μέσα τις οποίες δεν υπάρχει ηλιακή ενέργεια. Αυτό το εξασφαλίζουμε με την εντολή "if" πράγμα το οποίο σημαίνει ότι τις βραδινές ώρες το $Q_u=0$ KJ .

➤ **Θερμοκρασία της δεξαμενής αποθήκευσης:**

- $T_{s,load}$: Θερμοκρασία του νερού στη δεξαμενή αποθήκευσης μετά την κατανάλωση ($^{\circ}C$).
- $T_{s,therm}$: Θερμοκρασία του νερού στην δεξαμενή αποθήκευσης μετά την πρόσληψη της ενέργειας από τον συλλέκτη ($^{\circ}C$).

➤ **Ενέργεια στην έξοδο της δεξαμενής:**

- Q_u : Απώλειες της δεξαμενής (KJ).

➤ **Θερμοκρασία της δεξαμενής αποθήκευσης:**

- T_{fi} : Θερμοκρασία του νερού στη δεξαμενή αποθήκευσης μετά τις απώλειες ($^{\circ}C$).

➤ **Ενέργεια στην έξοδο του συλλέκτη/ ενέργεια στην είσοδο της δεξαμενής αποθήκευσης:**

- n : Στιγμαία απόδοση του συλλέκτη.

➤ **Ηλιακή ενέργεια στον συλλέκτη:**

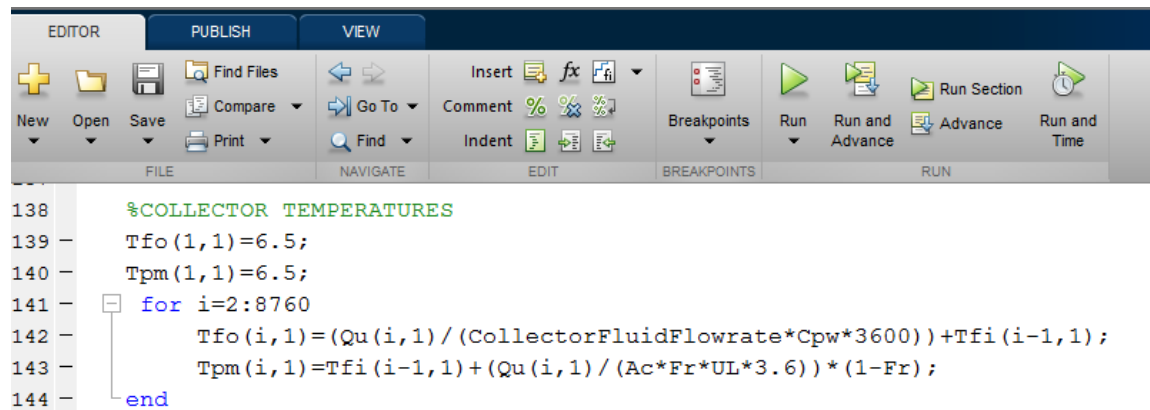
- Q_{sun} : Ηλιακή ενέργεια που είναι διαθέσιμη στο συλλέκτη (KJ).
- S : Απορροφούμενη ηλιακή ενέργεια (KJ).

Σχήμα 3.3.4:

```
EDITOR PUBLISH VIEW
97 % TANK TEMPERATURE-COLLECTOR ENERGY OUTPUT/STORAGE TANK INPUT
98 Tsload(1,1)=6.5;
99 Tstherm(1,1)=Tsload(1,1)+(Qu(1,1)/(Vs*Cpw));
100 % TANK ENERGY OUTPUT
101 Qtl(1,1)= UAT*3.6*(Tstherm(1,1)-MeanAmbientAirTemperature(1,1));
102 % TANK TEMPERATURE
103 Tfi(1,1)=Tstherm(1,1)-(Qtl(1,1)/(Vs*Cpw));
104 for i=2:8760
105     Tsload(i,1)=(MainsWaterMonthlyMeanTemperature(i,1)*(Vd(i,1)/Vs))+Tfi(i-1,1)*(Vs-Vd(i,1))/Vs);
106     YP1(i,1)= trab*MeanSolarEnergy(i,1);
107     YP2(i,1)= YP1(i,1).*IAM(i,1);
108     YP3(i,1)= Tfi(i-1,1)-MeanAmbientAirTemperature(i,1);
109     YP4(i,1)= UL*3.6*YP3(i,1);
110     AP(i,1)= Fr*YP2(i,1)-YP4(i,1);
111     if AP(i,1)<0
112         Qu(i,1)=0;
113     else
114         OR(i,1)= MeanSolarEnergy(i,1).*IAM(i,1);
115         OR2(i,1)= UL*3.6*(Tfi(i-1,1)-MeanAmbientAirTemperature(i,1));
116         Qu(i,1)=Ac*Fr*(trab*OR(i,1)-OR2(i,1));
117     end
118     Tstherm(i,1)=Tsload(i,1)+(Qu(i,1)/(Vs*Cpw));
119     % TANK ENERGY OUTPUT
120     Qtl(i,1)= UAT*3.6*(Tstherm(i,1)-MeanAmbientAirTemperature(i,1));
121     % TANK TEMPERATURE
122     Tfi(i,1)= Tstherm(i,1)-(Qtl(i,1)/(Vs*Cpw));
123 end
124 % COLLECTOR ENERGY OUTPUT/STORAGE TANK INPUT
125 for i=1:8760
126     if MeanSolarEnergy(i,1)<=0
127         n(i,1)=0;
128     else
129         n(i,1)=Qu(i,1)/(Ac*MeanSolarEnergy(i,1));
130     end
131 end
132 % SOLAR ENERGY ON COLLECTOR
133 for i=1:8760
134     Qsun(i,1)=MeanSolarEnergy(i,1)*Ac;
135     S(i,1)=Ac*trab*IAM(i,1).*MeanSolarEnergy(i,1);
136 end
```

- **Θερμοκρασίες στην επιφάνεια του συλλέκτη:**
- T_{f0} : Θερμοκρασία στη έξοδο του συλλέκτη ($^{\circ}\text{C}$).
- T_{pm} : Μέση θερμοκρασία στην συλλεκτική επιφάνεια ($^{\circ}\text{C}$).

Σχήμα 3.3.5:



```

138  %COLLECTOR TEMPERATURES
139  Tfo(1,1)=6.5;
140  Tpm(1,1)=6.5;
141  for i=2:8760
142      Tfo(i,1)=(Qu(i,1)/(CollectorFluidFlowrate*Cpw*3600))+Tfi(i-1,1);
143      Tpm(i,1)=Tfi(i-1,1)+(Qu(i,1)/(Ac*Fr*UL*3.6))*(1-Fr);
144  end
  
```

- **Απώλειες του συλλέκτη:**
- U_t : Συντελεστής απωλειών από την πάνω μεριά του συλλέκτη ($\text{W}/\text{m}^2\ ^{\circ}\text{C}$).
 Στον υπολογισμό του U_t χρησιμοποιούμε την εντολή "if" για να εξασφαλίσουμε ότι η μέση θερμοκρασία στη συλλεκτική επιφάνεια να μην είναι μικρότερη από την θερμοκρασία περιβάλλοντος αλλιώς $U_t=0\ \text{W}/\text{m}^2\ ^{\circ}\text{C}$.
 Εφόσον ισχύει αυτή η συνθήκη υπολογίζουμε και τις μεταβλητές f και e που χρησιμεύουν στον υπολογισμό του U_t .
- U_L : Συνολικός ισοδύναμος συντελεστής θερμικών απωλειών του συλλέκτη ($\text{W}/\text{m}^2\ ^{\circ}\text{C}$).
 Η εντολή "if" χρησιμοποιείται και στον υπολογισμό του Q_{th} το οποίο μηδενίζεται εάν η συνολική απορροφούμενη ενέργεια είναι μικρότερη από τις απώλειες της συλλεκτικής επιφάνειας.
- Q_{th} : Θερμικές απώλειες στη συλλεκτική επιφάνεια (KJ).
- Q_{opt} : Οπτικές απώλειες του συλλέκτη (Λόγω αντανάκλασης του τζαμιού του συλλέκτη) (KJ).

Σχήμα 3.3.6:

```

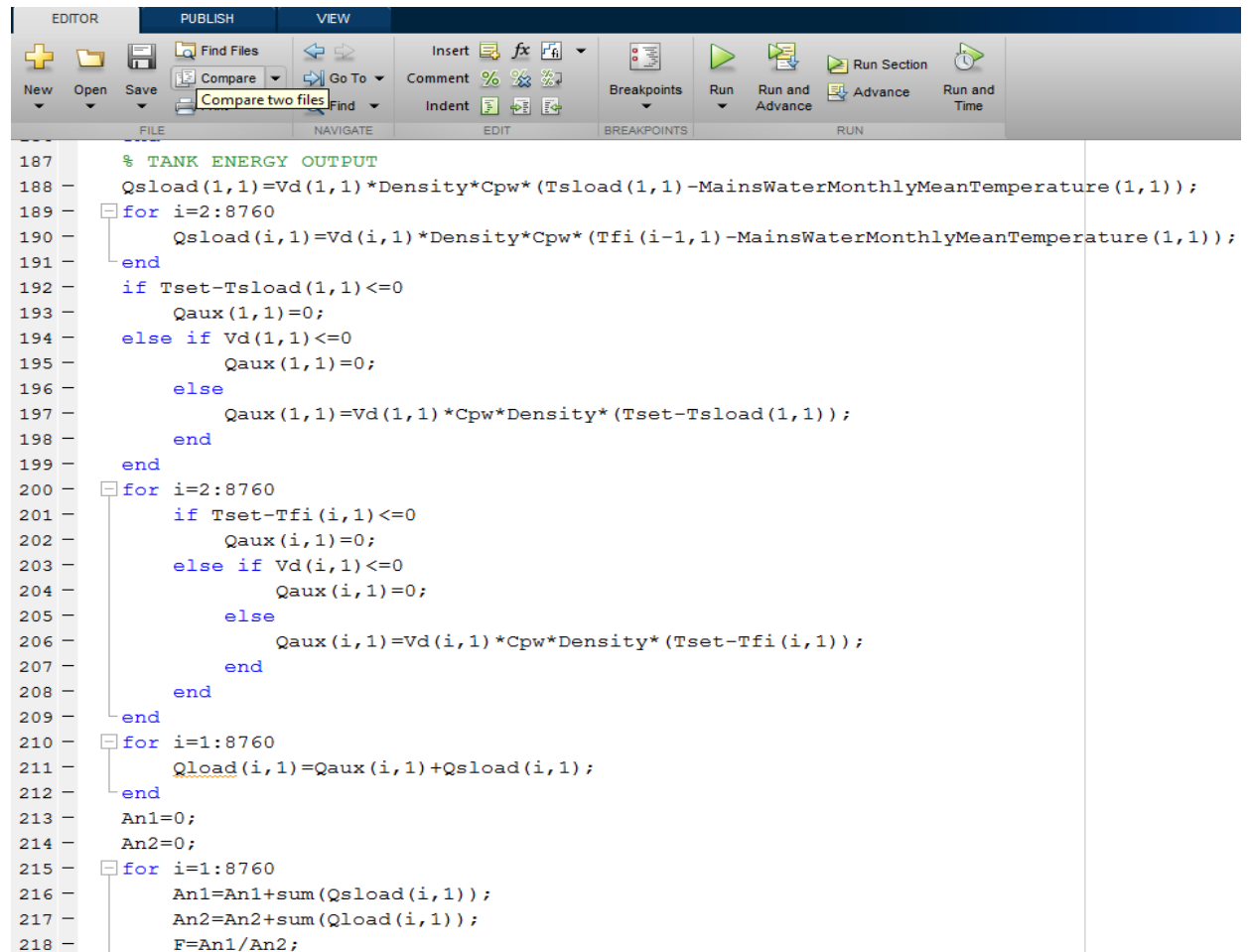
EDITOR PUBLISH VIEW
145 % COLLECTOR ENERGY LOSSES
146 for i =1:8760
147     f(i,1)=(1+0.089*WindHeatTransferCoefficient(i,1)-0.1166*WindHeatTransferCoefficient(i,1)*ep)*(1+0.07866*N);
148     e(i,1)=0.43*(1-(100/Tpm(i,1)));
149     if (Tpm(i,1)-MeanAmbientAirTemperature(i,1))<0
150         Ut(i,1)=0;
151     else
152         OP(i,1)=MeanAmbientAirTemperature(i,1)+273;
153         OP0(i,1)=Tpm(i,1)+273;
154         OP1(i,1)=C/OP0(i,1);
155         OP2(i,1)=Tpm(i,1)-MeanAmbientAirTemperature(i,1);
156         OP3(i,1)=N+f(i,1);
157         OP4(i,1)=OP2(i,1)./OP3(i,1);
158         OP5(i,1)=(OP4(i,1)).^e(i,1);
159         OP6(i,1)=OP1(i,1)*OP5(i,1);
160         OP7(i,1)=N/OP6(i,1);
161         OP8(i,1)=OP7(i,1)+(1/WindHeatTransferCoefficient(i,1));
162         OP9(i,1)=1/OP8(i,1);
163         OP10(i,1)=OP0(i,1)^2;
164         OP11(i,1)=OP(i,1)^2;
165         OP12(i,1)=OP10(i,1)+OP11(i,1);
166         OP13(i,1)=OP0(i,1)+OP(i,1);
167         OP14(i,1)=Boltz*3.6*OP12(i,1).*OP13(i,1);
168         OP15(i,1)= ep+0.00591*N*WindHeatTransferCoefficient(i,1);
169         OP16(i,1)=1/OP15(i,1);
170         OP17(i,1)=2*N+f(i,1)-1+0.133*ep;
171         OP18(i,1)=OP17(i,1)/eg;
172         OP19(i,1)=OP16(i,1)+OP18(i,1)-N;
173         OP20(i,1)=OP14(i,1)/OP19(i,1);
174         Ut(i,1)=OP9(i,1)+OP20(i,1);
175     end
176     UL(i,1)=Ut(i,1)+Ub+Ue;
177     if (S(i,1)-UL*Ac*(Tpm(i,1)-MeanAmbientAirTemperature(i,1)))<0
178         Qth(i,1)=0;
179     else if (Tpm(i,1)-MeanAmbientAirTemperature(i,1))<0
180         Qth(i,1)=0;
181     else
182         Qth(i,1)=Ac*UL*3.6*(Tpm(i,1)-MeanAmbientAirTemperature(i,1));
183     end
184     end
185     Qopt(i,1)=(1-trab)*Ac*MeanSolarEnergy(i,1);
186 end

```

➤ **Ενέργεια στην έξοδο της δεξαμενής:**

- $Q_{s,load}$: Ηλιακό φορτίο για την ζήτηση ζεστού νερού (KJ).
- Q_{aux} : Βοηθητικό φορτίο θέρμανσης του νερού (KJ).

Σχήμα 3.3.7:

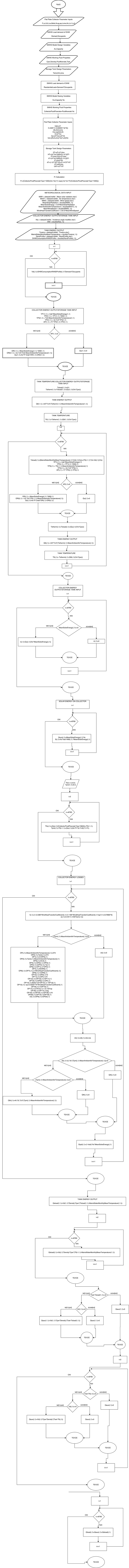


```
187 % TANK ENERGY OUTPUT
188 Qsload(1,1)=Vd(1,1)*Density*Cpw*(Tsload(1,1)-MainsWaterMonthlyMeanTemperature(1,1));
189 for i=2:8760
190     Qsload(i,1)=Vd(i,1)*Density*Cpw*(Tfi(i-1,1)-MainsWaterMonthlyMeanTemperature(1,1));
191 end
192 if Tset-Tsload(1,1)<=0
193     Qaux(1,1)=0;
194 else if Vd(1,1)<=0
195     Qaux(1,1)=0;
196     else
197         Qaux(1,1)=Vd(1,1)*Cpw*Density*(Tset-Tsload(1,1));
198     end
199 end
200 for i=2:8760
201     if Tset-Tfi(i,1)<=0
202         Qaux(i,1)=0;
203     else if Vd(i,1)<=0
204         Qaux(i,1)=0;
205     else
206         Qaux(i,1)=Vd(i,1)*Cpw*Density*(Tset-Tfi(i,1));
207     end
208 end
209 end
210 for i=1:8760
211     Qload(i,1)=Qaux(i,1)+Qsload(i,1);
212 end
213 An1=0;
214 An2=0;
215 for i=1:8760
216     An1=An1+sum(Qsload(i,1));
217     An2=An2+sum(Qload(i,1));
218 F=An1/An2;
```

Στον υπολογισμό του βοηθητικού φορτίου θέρμανσης νερού χρησιμοποιούμε την εντολή "if" αρχικά για να ελέγξουμε αν η θερμοκρασία που θέλουμε να φτάσει το νερό (T_{set}) είναι μικρότερη από την θερμοκρασία νερού στη δεξαμενή αποθήκευσης μετά την κατανάλωση ($T_{s,load}$) και σε δεύτερη φάση να ελέγξουμε αν υπάρχει κατανάλωση (V_d) την συγκεκριμένη ώρα. Εφόσον ισχύει μία από τις δύο συνθήκες ή και οι δύο ταυτόχρονα, η τιμή του βοηθητικού φορτίου (Q_{aux}) είναι μηδέν.

Τέλος ο κώδικας μας, υπολογίζει το ετήσιο βαθμό κάλυψης F , προκύπτοντας το ποσοστό κάλυψης της ηλιακής ενέργειας από το σύστημα μας. Σε αυτό το σημείο χωρίζουμε τις ώρες του έτους στους μήνες που αντιστοιχούν, αθροίζοντας τις τιμές του ηλιακού φορτίου και διαιρώντας με το άθροισμα των τιμών της ζήτησης του φορτίου προκύπτει το μηνιαίο ποσοστό κάλυψης.

3.3.1 Παρουσίαση του λογικού διαγράμματος



3.4 Επίλυση του προβλήματος με τη μέθοδο καμπυλών f στο πρόγραμμα matlab

Κατά τη μέθοδο των καμπυλών f το ποσοστό f του μηνιαίου θερμικού φορτίου που καλύπτεται από την ηλιακή ενέργεια (ή απλά η κάλυψη) εκφράζεται εμπειρικά με τη βοήθεια δυο αδιάστατων συντελεστών X και Y .

$$X = FR_{UL} \times (F'_R/F_R) \times (T_{ref} - T_a) \times \Delta t \times (AC/L) \times K_2 \times K_3$$

$$Y = FR(\tau_a)_n \times (F'_R/F_R) \times (\tau_a) / (\tau_a)_n \times H_T \times N \times (AC/L) \times K_4$$

όπου:

- AC : η επιφάνεια των ηλιακών συλλεκτών (m^2)
- F'_R/F_R : ο διορθωτικός συντελεστής συλλέκτη εναλλάκτη.
- FR_{UL} , $FR_{\tau_a(n)}$: χαρακτηριστικά μεγέθη του συλλέκτη, που προκύπτουν από την καμπύλη απόδοσης του.
- T_{ref} : θερμοκρασία αναφοράς που ορίζεται ίση με 100 βαθμούς $^{\circ}C$
- T_a : η μέση μηνιαία θερμοκρασία ημέρας
- Δt : η χρονική περίοδος κάθε μήνα (s)
- L : το μέσο μηνιαίο φορτίο (J)
- H_T : η μέση μηνιαία ακτινοβολία που προσπίπτει στο επίπεδο του συλλέκτη ($J/m^2 \cdot mo$)
- $(\tau_a)/(\tau_a)_n$: διορθωτικός συντελεστής
- K_2 : συντελεστής χωρητικότητας δεξαμενής
- K_3 : συντελεστής ζεστού νερού
- K_4 : συντελεστής εναλλάκτη θερμότητας φορτίου

Οι αδιάστατοι συντελεστές X και Y έχουν την εξής φυσική έννοια. Το Y αντιστοιχεί με το πηλίκο της ολικής ενέργειας που απορροφάται από την επιφάνεια των συλλεκτών προς το ολικό θερμικό φορτίο του μήνα. Το X αντιστοιχεί με το πηλίκο των απωλειών του συλλέκτη προς το ολικό θερμικό φορτίο του μήνα.

Για τον προσδιορισμό της κάλυψης f , δηλαδή του ποσοστού του θερμικού φορτίου που καλύπτεται από την ηλιακή ενέργεια, πρέπει πρώτα να προσδιορισθούν οι συντελεστές X και Y . Η τιμή του f προκύπτει από την εξίσωση:

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

για $0 < Y < 3$ και $0 < X < 18$

Το f βρίσκεται χωριστά για κάθε μήνα του χρόνου. Η μέση μηνιαία ωφέλιμη ενέργεια είναι γινόμενο του f επί το μέσο μηνιαίο θερμικό φορτίο L , για κάθε μήνα. Η μέση ετήσια κάλυψη είναι το άθροισμα των $f \times L$ διαιρεμένο με το μέσο ετήσιο φορτίο.

Συντελεστές διόρθωσης:

- **Συντελεστής χωρητικότητας δεξαμενής**

Αποδεικνύεται ότι αύξηση του όγκου της δεξαμενής πάνω από 50 λίτρα νερού ανά τετραγωνικό μέτρο συλλεκτικής επιφάνειας βελτιώνει ελαφρά την ετήσια απόδοση του συστήματος. Αν ληφθεί υπόψη και το κόστος της δεξαμενής αποδεικνύεται ότι η βέλτιστη χωρητικότητα βρίσκεται μεταξύ 50 και 100 λίτρων νερού ανά τετραγωνικό μέτρο συλλεκτικής επιφάνειας. Οι καμπύλες f έχουν αναπτυχθεί για χωρητικότητα δεξαμενής 75 l/m^2 , μπορούν όμως να χρησιμοποιηθούν και για τον υπολογισμό συστημάτων με άλλη χωρητικότητα δεξαμενής με τη βοήθεια του συντελεστή K_2 , που δίνεται από την εξίσωση:

$$K_2 = \left(\frac{75}{M}\right)^{0,25}$$

όπου M είναι η χωρητικότητα της αποθήκης σε λίτρα ανά τετραγωνικό μέτρο συλλεκτών. Για $M = 75$ είναι φανερό ότι $K_2 = 1$.

- **Συντελεστής ζεστού νερού.**

Η μέθοδος των καμπυλών f έχει αναπτυχθεί για ηλιακά συστήματα που καλύπτουν ανάγκες θέρμανσης και ζεστού νερού, με την προϋπόθεση όμως ότι το φορτίο για τη θέρμανση νερού είναι μικρό ποσοστό του φορτίου για θέρμανση χώρου. Στην περίπτωση αυτή είναι $K_3 = 1$. Όταν το θερμικό φορτίο οφείλεται κυρίως ή αποκλειστικά στη θέρμανση νερού, τότε υπολογίζεται ο συντελεστής K_3 , που εξαρτάται από τη μέση μηνιαία θερμοκρασία του κρύου νερού T_m , και την επιθυμητή θερμοκρασία του ζεστού νερού T_w . Ο συντελεστής ζεστού νερού K_3 υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$K_3 = (11,6 + 1,18T_w + 3,86T_m - 2,32 T_a)/(100 - T_a)$$

Η μέθοδος των καμπυλών f , για τον υπολογισμό εγκαταστάσεων ζεστού νερού ισχύει υπό ορισμένες προϋποθέσεις: Πρώτα απ' όλα η κατανομή κατανάλωσης κατά τη διάρκεια του 24ώρου παρουσιάζει αιχμές στις 9πμ και στις 8μμ. Η κατανομή αυτή κατανάλωσης είναι η μέση για κατοικίες. Η κατανομή του θερμικού φορτίου στη διάρκεια της μέρας δεν έχει σοβαρή επίδραση στην απόδοση του ηλιακού συστήματος, όταν η δεξαμενή αποθήκευσης είναι γύρω στα 75 l/m^2 ή μεγαλύτερη. Άλλη προϋπόθεση για την εφαρμογή της μεθόδου είναι ότι θεωρείται χαμένη η ηλιακή ενέργεια, που χρησιμοποιείται για να θερμανθεί το νερό της δεξαμενής πάνω από τη θερμοκρασία T_w . Στην πραγματικότητα βέβαια κάτι τέτοιο δεν είναι απόλυτα σωστό, διότι μία ποσότητα ζεστού νερού θερμοκρασίας υψηλότερης από την T_w , αναμειγνύομενη με κρύο νερό δίνει μεγαλύτερη ποσότητα νερού θερμοκρασίας T_w . Παρά τους περιορισμούς αυτούς όμως η μέθοδος των καμπυλών f παραμένει πολύ

χρήσιμη για τον υπολογισμό της απόδοσης συστημάτων των συνδεσμολογιών που είδαμε πιο πάνω.

- **Συντελεστής εναλλάκτη φορτίου**

Το μέγεθος του εναλλάκτη φορτίου επηρεάζει σημαντικά την απόδοση του ηλιακού συστήματος. Όταν μειώνεται το μέγεθος του εναλλάκτη η θερμοκρασία της δεξαμενής πρέπει να αυξηθεί για να μπορεί να παρέχει το ίδιο ποσό ενέργειας. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα υψηλότερη θερμοκρασία εισόδου στους συλλέκτες πράγμα που μειώνει την απόδοσή τους. Ένα μέτρο του μεγέθους του εναλλάκτη που απαιτείται για ένα συγκεκριμένο κτίριο δίνεται από τον αδιάστατο παράγοντα $\epsilon_L C_{min}/(UA)^b$. Όπου ϵ_L είναι ο συντελεστής εκμετάλλευσης του εναλλάκτη του φορτίου. C_{min} είναι η ελάχιστη θερμοχωρητική παροχή στον εναλλάκτη, που συμπίπτει συνήθως με αυτή του αέρα. Το $(UA)^b$ είναι το γινόμενο του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας επί την εξωτερική επιφάνεια του κτιρίου. Η βέλτιστη τιμή του συντελεστή $\epsilon_L C_{min}/(UA)^b$ από θερμικής σκοπιάς είναι απεριόριστα μεγάλη. Αν λάβουμε όμως υπόψη το κόστος του εναλλάκτη, οι πιο οικονομικές τιμές του συντελεστή πρακτικά κυμαίνονται μεταξύ 1 και 3. Η μέθοδος f έχει αναπτυχθεί για $\epsilon_L C_{min}/(UA)^b = 2$. Για άλλες τιμές του συντελεστή η απόδοση του συστήματος υπολογίζεται με τη βοήθεια του παράγοντα K4 (για θέρμανση νερού ο συντελεστής K4 παίρνει τιμή 1).

$$K4 = 0,39 + 0,65 \exp(-0,139/(\epsilon_L C_{min}/(UA)^b))$$

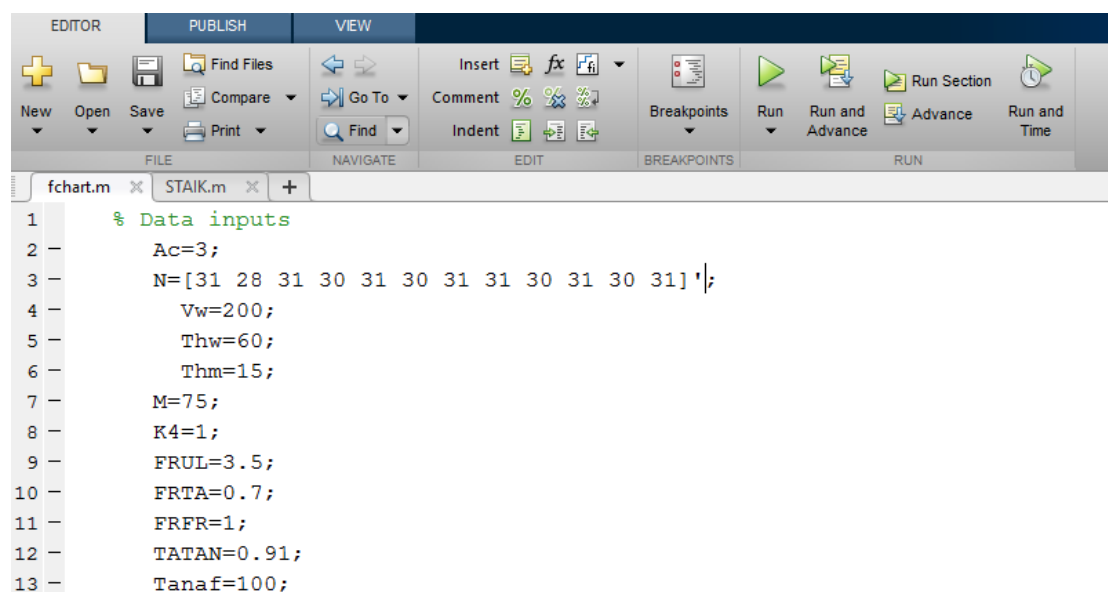
Ο βαθμός εκμετάλλευσης ενός εναλλάκτη είναι το πηλίκο της ισχύος που μεταφέρει, προς τη μέγιστη ισχύ που θα μπορούσε να μεταφέρει. Η μέγιστη αυτή ισχύς ισούται με το γινόμενο της μικρότερης από τις θερμοχωρητικές παροχές των δύο ρευμάτων με την διαφορά των θερμοκρασιών εισόδου των δύο ρευμάτων, δηλαδή ίση με $C_{min} \times (T_h - T_c)$.

Σε αυτό το σημείο θα αναλύσουμε τον κώδικα για τον υπολογισμό του ηλιακού κλάσματος με την μέθοδο καμπυλών f.

➤ **Εισαγωγή σταθερών τιμών στο σύστημα μας:**

- A_c : Εμβαδόν συλλεκτικής επιφάνειας (m).
- N: Ημέρες του κάθε μήνα.
- V_w : Μέση ημερήσια κατανάλωση (lt/day).
- T_{hw} : Θερμοκρασία εξόδου νερού ($^{\circ}C$).
- T_{hm} : Θερμοκρασία εισόδου νερού ($^{\circ}C$).
- M: Ανοιγμένος όγκος δεξαμενής ανά τετραγωνικό μέτρο (lt/m²).
- K4: Διορθωτικός συντελεστής για τον εναλλάκτη θερμότητας.
- F_{RUL} : Σύνολο θερμικών απωλειών του συλλέκτη ($W/m^2 \text{ } ^{\circ}C$).
- $F_R(\tau_a)_n$: Εκμετάλλευση της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας από τον συλλέκτη.
- F'_R/F_R : Διορθωτικός συντελεστής συλλέκτη-εναλλάκτη.
- $(\tau_a)/(\tau_a)_n$: Διορθωτικός συντελεστής γωνίας πρόσπτωσης.
- $T_{αναφ}$: Θερμοκρασία αναφοράς ($^{\circ}C$)

Σχήμα 3.4.1:

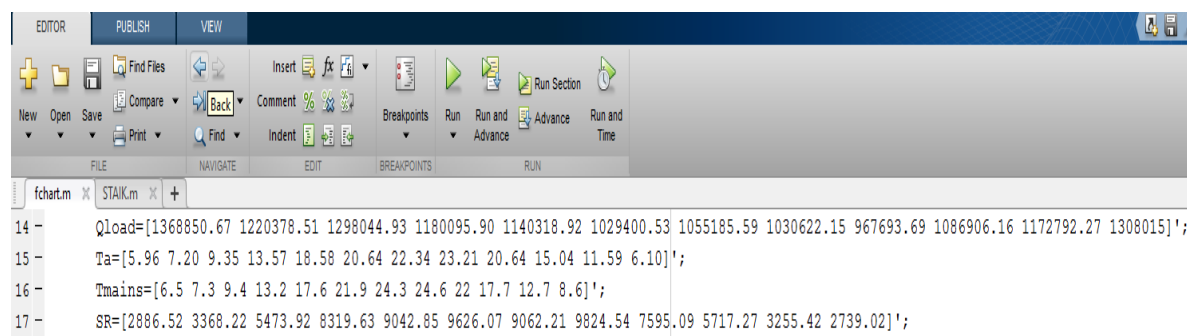


```
1 % Data inputs
2 Ac=3;
3 N=[31 28 31 30 31 30 31 31 30 31 30 31]';
4 Vw=200;
5 Thw=60;
6 Thm=15;
7 M=75;
8 K4=1;
9 FRUL=3.5;
10 FRTA=0.7;
11 FRFR=1;
12 TATAN=0.91;
13 TanaF=100;
```

Οι υπόλοιπες σταθερές εισάγονται με την μορφή πίνακα:

- Q_{load} : Φορτίο ζήτησης (KJ).
- SR: Μέση μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία ανά τετραγωνικό συλλεκτικής επιφάνειας (W/m^2).
- T_a : Μέση μηνιαία θερμοκρασία περιβάλλοντος ($^{\circ}C$).
- T_{mains} : Μέση μηνιαία θερμοκρασία νερού από το δίκτυο ($^{\circ}C$).

Σχήμα 3.4.2:



```
14 Qload=[1368850.67 1220378.51 1298044.93 1180095.90 1140318.92 1029400.53 1055185.59 1030622.15 967693.69 1086906.16 1172792.27 1308015]';
15 Ta=[5.96 7.20 9.35 13.57 18.58 20.64 22.34 23.21 20.64 15.04 11.59 6.10]';
16 Tmains=[6.5 7.3 9.4 13.2 17.6 21.9 24.3 24.6 22 17.7 12.7 8.6]';
17 SR=[2886.52 3368.22 5473.92 8319.63 9042.85 9626.07 9062.21 9824.54 7595.09 5717.27 3255.42 2739.02]';
```

➤ **Υπολογισμών μεταβλητών τιμών του συστήματος:**

- D_t : Χρονική περίοδος του μήνα (sec).
- K_2 : Διορθωτικός συντελεστής χωρητικότητας της δεξαμενής.
- K_3 : Διορθωτικός συντελεστής ζεστού νερού.
- X : Είναι το πηλίκο του ποσού των ενεργειακών απωλειών προς το συνολικό φορτίο.

- σ : Μέση μηνιαία ακτινοβολία που προσπίπτει στο συλλέκτη (J/m^2 day).
- Y : Είναι η ενέργεια που μπορεί καλύψει ο ηλιακός συλλέκτης προς το συνολικό θερμικό φορτίο του μήνα.
- f : Το πηλίκο της ενέργειας που καλύπτεται από τον ήλιο.
- $Q_{\text{ωφέλιμο}}$: Μέσο μηνιαίο ωφέλιμο φορτίο (KJ).
- F : Μέσος ετήσιος συντελεστής κάλυψης της εγκατάστασης.

Σχήμα 3.4.3:

```

18 % Data Calculations
19 for i=1:12
20     Dt(i,1)=24*3600*N(i,1);
21 end
22 K2=(75/M)^0.25;
23 for i=1:12
24     K3(i,1)=(11.6+(1.18*Thw)+(3.86*Tmains(i,1)-(2.32*Ta(i,1)))/(100-Ta(i,1)));
25 end
26 for i=1:12
27     OP1=FRUL*FRFR*(Tanaf-Ta(i,1));
28     OP2=Dt(i,1);
29     OP3=Ac/(Qload(i,1)*1000);
30     X(i,1)=OP1*OP2*OP3*K2*K3(i,1);
31 end
32 for i=1:12
33     Ht(i,1)=SR(i,1)*10^(-3)*3600;
34 end
35 for i=1:12
36     YP1=FRTA*FRFR*TATAN*Ht(i,1);
37     Y(i,1)=(YP1*N(i,1)*Ac)/Qload(i,1);
38 end
39 for i=1:12
40     EP1=Y(i,1)^2;
41     EP2=X(i,1)^2;
42     EP3=Y(i,1)^3;
43     f(i,1)=(1.029*Y(i,1)-(0.065*X(i,1))-(0.245*EP1)+(0.0018*EP2)+(0.0215*EP3));
44 end
45 for i=1:12
46     Qof(i,1)=Qload(i,1)*f(i,1);
47 end
48 Qsum=0;
49 Qlsum=0;
50 for i=1:12
51     Qsum=Qsum+Qof(i,1);
52     Qlsum=Qlsum+Qload(i,1);
53 end
54 F=Qsum/Qlsum;

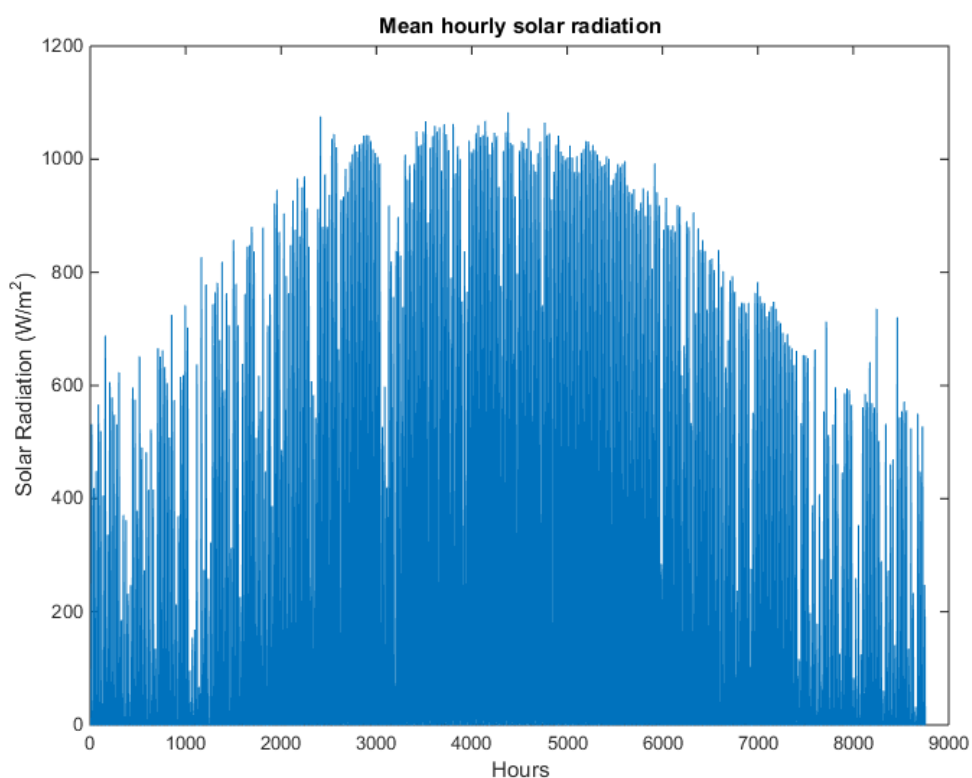
```

Κεφάλαιο 4:

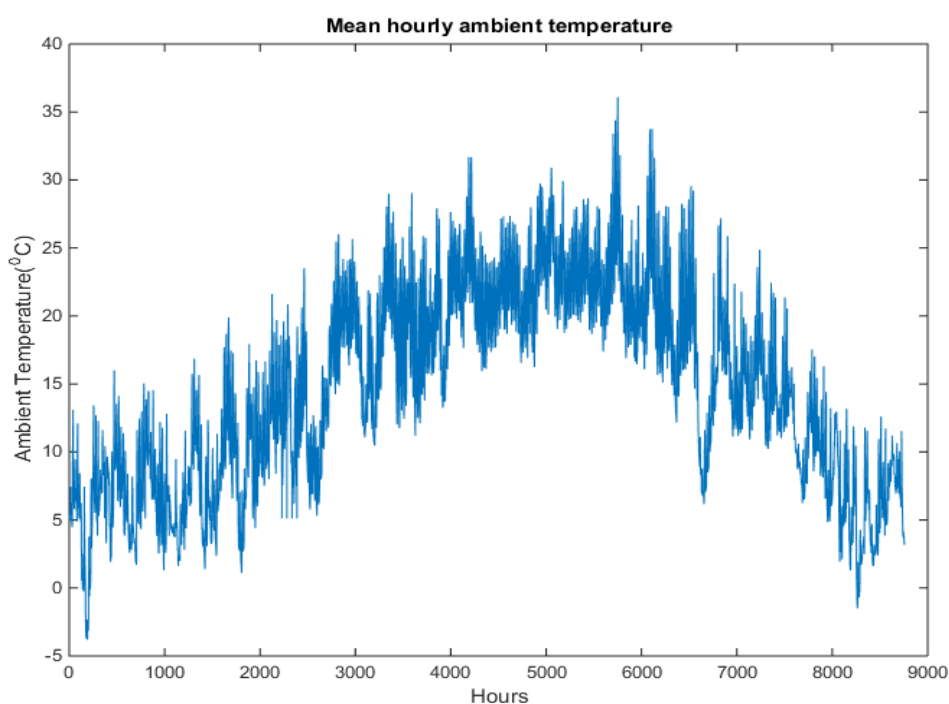
4.1 Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της υπολογιστικής μεθόδου

Αρχικά για το σύστημα που μελετήσαμε όπως αναφέραμε πήραμε μετρήσεις σε ωριαία βάση για ένα έτος. Τα μετεωρολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής όπου με βάση αυτά προέκυψαν τα τελικά μεγέθη, καταγράφηκαν και τα αντίστοιχα διαγράμματα παρουσιάζονται παρακάτω.

Διάγραμμα 4.1.1: Ετήσια ηλιακή ακτινοβολία



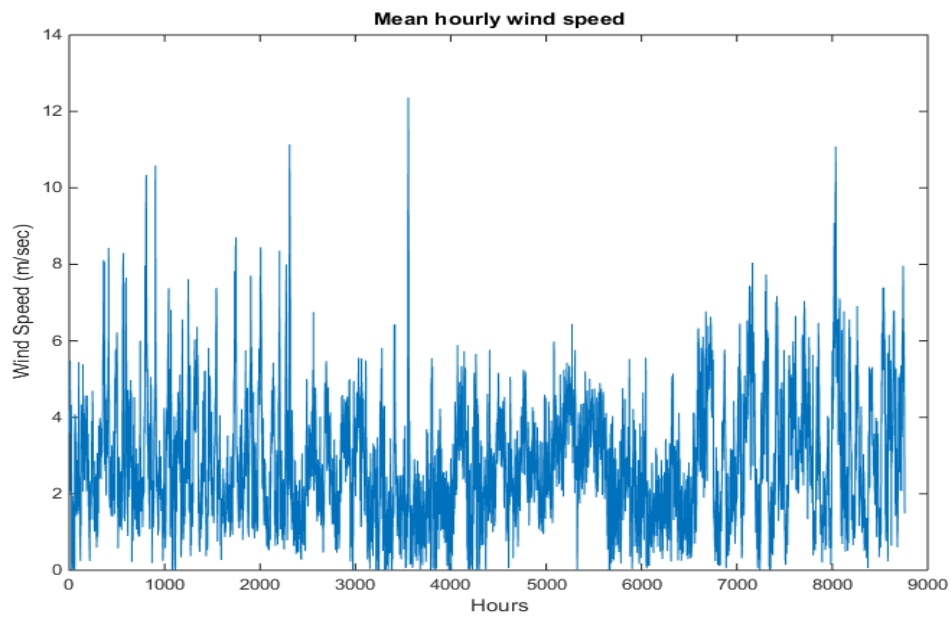
Διάγραμμα 4.1.2: Ετήσια θερμοκρασία περιβάλλοντος



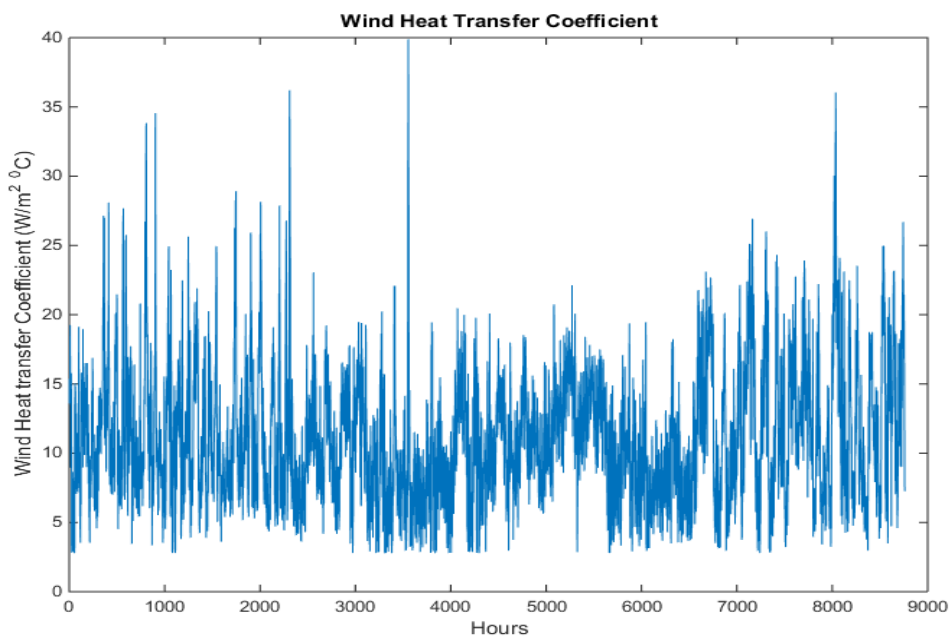
Όπως είναι λογικό βλέπουμε από τα παραπάνω διαγράμματα την συσχέτιση των δύο αυτών μεγεθών. Αναλυτικότερα, παρατηρούμε τους μήνες Ιανουάριο-Μάρτιο (0-2160 ώρες) ότι έχουμε χαμηλή ηλιακή ακτινοβολία (έως 850 W/m^2) που αυτό συνδέεται με την χαμηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος από ($0-19^\circ\text{C}$) και αντίστοιχα η ίδια αναλογία τιμών εμφανίζεται και τους μήνες Οκτώβρη-Δεκέμβριο (6800-8760). Επίσης τους καλοκαιρινούς μήνες παρατηρούμε τις αυξημένες τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας και όπως αναμενόμενο τις αυξημένες θερμοκρασίες.

Άλλος ένας σημαντικός παράγοντας είναι ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας λόγω συναγωγής ο οποίος έχει προκύψει από τις μετρήσεις της ταχύτητας του ανέμου στην συγκεκριμένη περιοχή. Όπως φαίνεται από τα παρακάτω διαγράμματα τόσο η ταχύτητα του ανέμου όσο και ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας κυμαίνονται στις ίδιες τιμές τους χειμερινούς μήνες ενώ τους καλοκαιρινούς μήνες είναι χαμηλότερες.

Διάγραμμα 4.1.3: Ετήσια ταχύτητα ανέμου



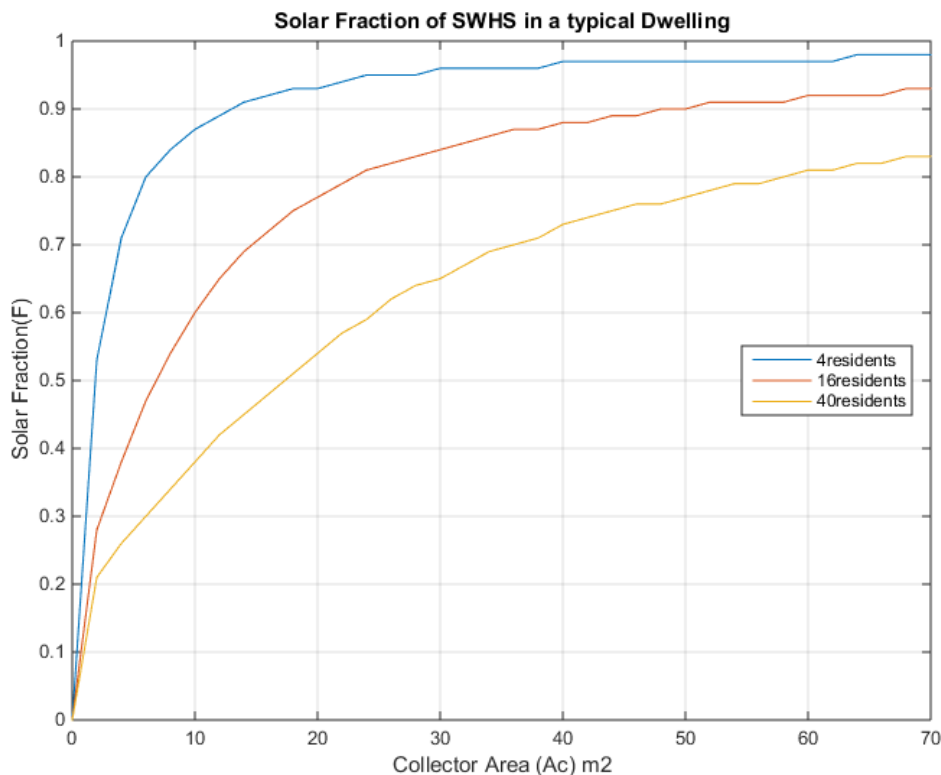
Διάγραμμα 4.1.4: Ετήσιος συντελεστής μεταφοράς θερμότητας



Λαμβάνοντας υπόψιν τα παραπάνω μετεωρολογικά μεγέθη και χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις που έχουμε αναφέρει στο προηγούμενο κεφάλαιο υπολογίσαμε το απαιτούμενο ηλιακό φορτίο σε Q_{load} και το βοηθητικό φορτίο Q_{aux} όταν εκείνο χρειαζόταν. Τελικά καταλήξαμε στο βαθμό κάλυψης F το οποίο μεταβάλλεται με τα άτομα που εξυπηρετεί το σύστημα καθώς και τα λίτρα που χρειάζονται ημερησίως,

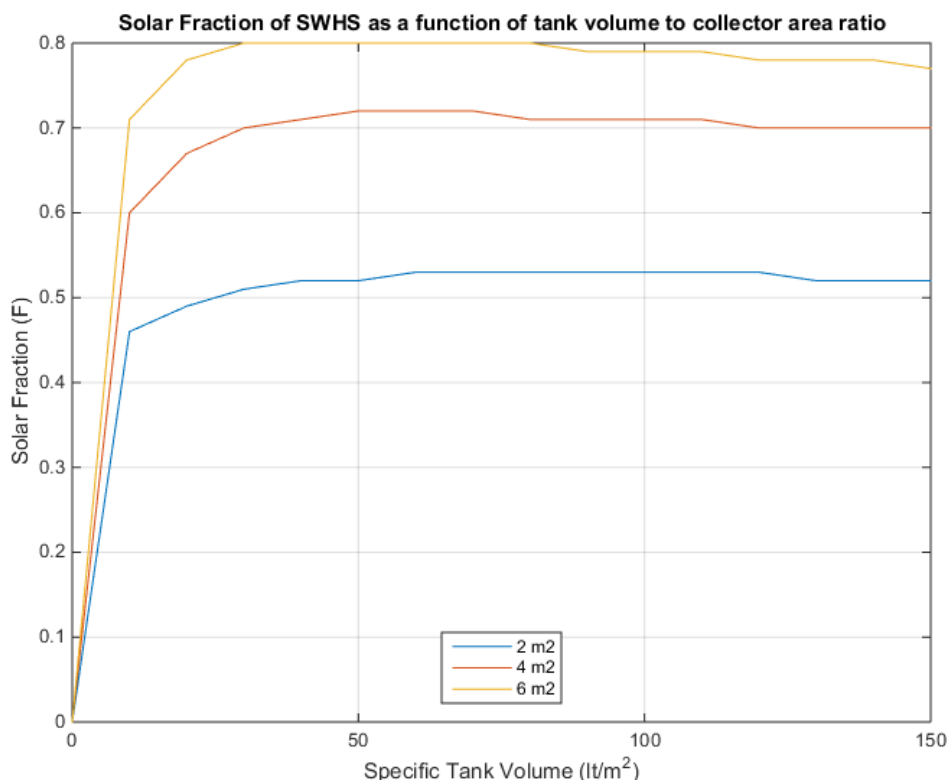
όπως και κάποια χαρακτηριστικά, δηλαδή τα τετραγωνικά μέτρα της συλλεκτικής επιφάνειας, τον όγκο της δεξαμενής.

Διάγραμμα 4.1.5: **Βαθμός κάλυψης-Επιφάνεια συλλέκτη**



Στο παραπάνω σχήμα βλέπουμε την μεταβολή του ηλιακού κλάσματος σε συνάρτηση των τετραγωνικών μέτρων του συλλέκτη για διαφορετικό αριθμό κατοίκων. Αρχικά παρατηρούμε πως όσο αυξάνονται οι κάτοικοι τους οποίους εξυπηρετεί το σύστημα το βαθμό κάλυψης τείνει να μειώνεται. Επίσης φαίνεται ότι όσο αυξάνονται τα τετραγωνικά της συλλεκτικής επιφάνειας αυξάνεται και ο βαθμός κάλυψης. Αυτό που είναι σημαντικό είναι ότι καθώς αυξάνεται το βαθμό κάλυψης βλέπουμε ότι από ένα συγκεκριμένο εύρος τετραγωνικών και μετά, η τιμή του F τείνει να σταθεροποιηθεί όπως φαίνεται στο παράδειγμα των τεσσάρων κατοίκων. Καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι δεν είναι αποτελεσματικό να αυξήσουμε τα τετραγωνικά του συλλέκτη από ένα σημείο και έπειτα έτσι ώστε να έχουμε το βέλτιστο αποτέλεσμα.

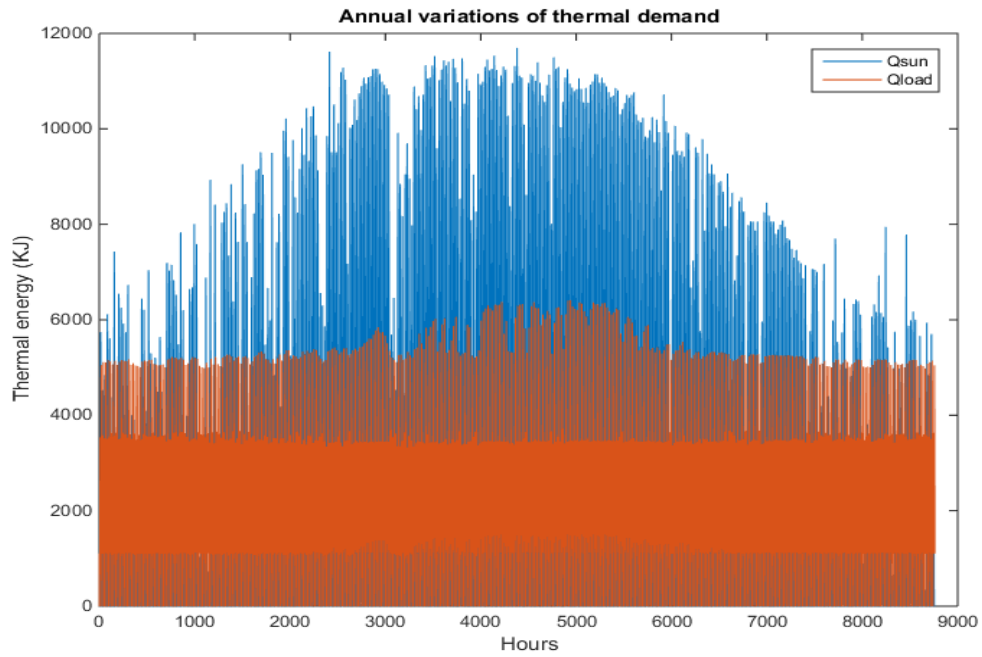
Διάγραμμα 4.1.6: Βαθμό κάλυψης-Χωρητικότητα δεξαμενής ανά λίτρο



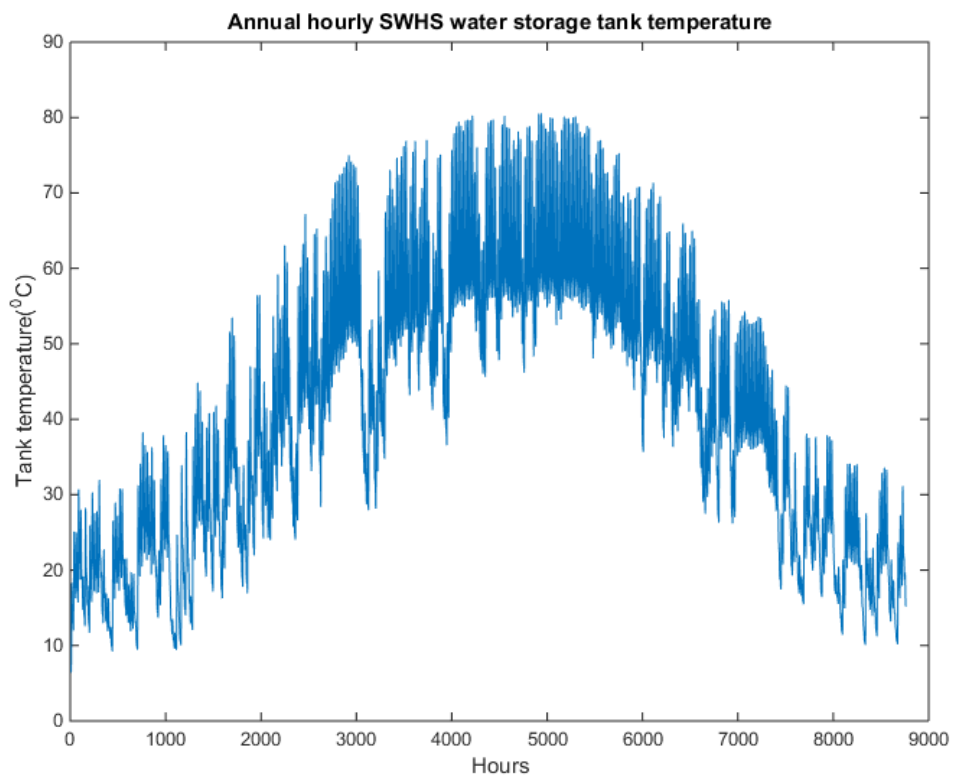
Αυτό το διάγραμμα μας δείχνει την μεταβολή του ηλιακού κλάσματος σε συνάρτηση του όγκου της δεξαμενής που αναλογεί σε ένα τετραγωνικό συλλεκτικής επιφάνειας διατηρώντας σταθερά τα τετραγωνικά του συλλέκτη. Αρχικά από τα αποτελέσματα των μετρήσεων, παρατηρούμε ότι καθώς αυξάνεται ο όγκος της δεξαμενής αυξάνεται αναλογικά και η τιμή του ηλιακού κλάσματος μέχρι ενός συγκεκριμένου σημείου. Αναλυτικότερα στα 2 m² ο μέγιστος όγκος ανά τετραγωνικό έτσι ώστε να έχουμε μέγιστο F είναι στα 50 lt/m², ενώ αντίστοιχα για τα 4 m² και 6 m² η μέγιστη τιμή εμφανίζεται στα 10 lt/m². Από αυτά τα σημεία και μετά η τιμή του ηλιακού κλάσματος μειώνεται.

Έτσι λοιπόν, τα τετραγωνικά του συλλέκτη και ο όγκος δεξαμενής θα πρέπει να τηρούν τέτοια αναλογία έτσι ώστε να επιτυγχάνουμε το μέγιστο βαθμό κάλυψης και το σύστημα μας να παρουσιάζει θετικό ισοζύγιο.

Διάγραμμα 4.1.7: Ετήσιο θερμικό φορτίο



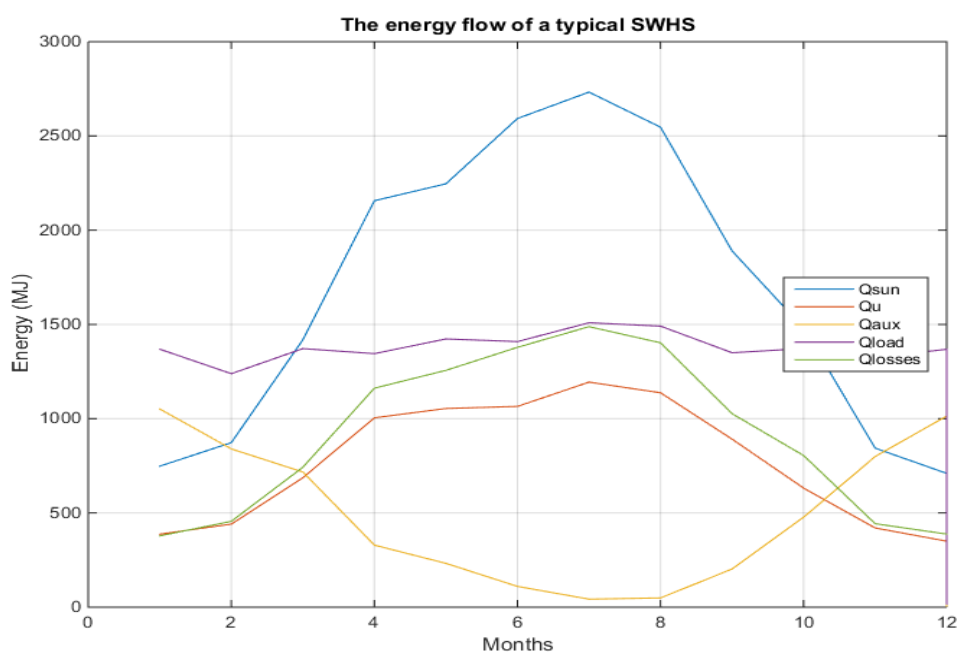
Διάγραμμα 4.1.8: Ετήσια θερμοκρασία νερού αποθήκευσης



Στα σχήματα 4.1.7 και 4.1.8 βλέπουμε την κατανομή των θερμικών φορτίων (την ηλιακή ενέργεια που είναι διαθέσιμη στον συλλέκτη (Q_{sun}) και την ζήτηση της ηλιακής ενέργειας που χρειαζόμαστε για την επίτευξη της επιθυμητής θερμοκρασίας (Q_{load}) και την κατανομή της θερμοκρασίας του νερού αποθήκευσης σε διάστημα ενός έτους. Παρατηρούμε ότι τόσο τα θερμικά φορτία όσο και η θερμοκρασία του νερού αποθήκευσης εμφανίζουν τις μέγιστες δυνατές τιμές τους καλοκαιρινούς μήνες. Επίσης βλέπουμε ότι η ενέργεια που είναι διαθέσιμη στο συλλέκτη είναι πολύ περισσότερη από την ενέργεια που απαιτεί το σύστημα μας για να λειτουργήσει.

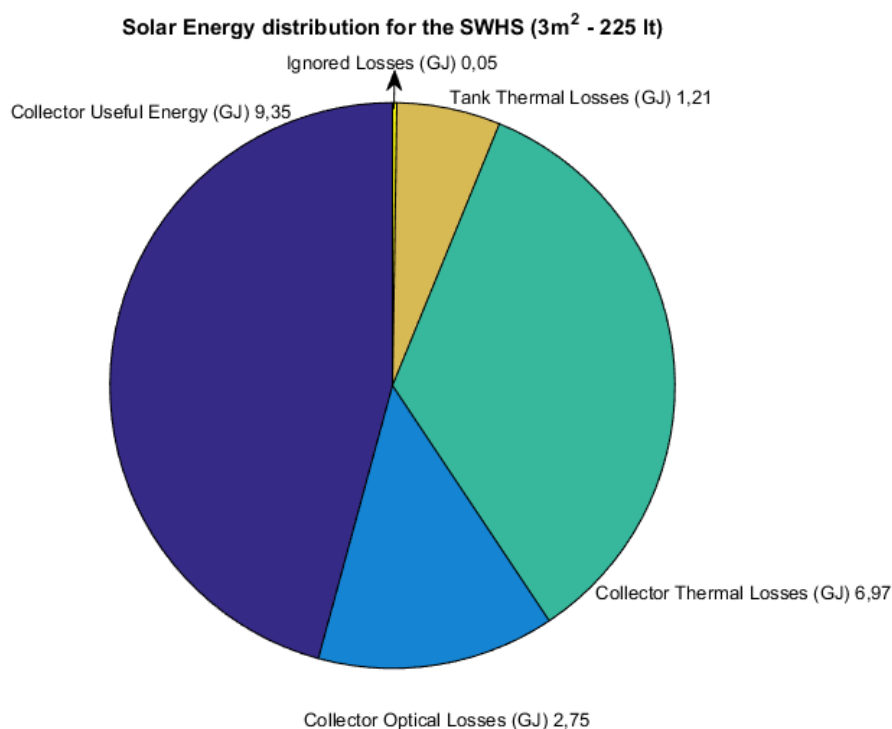
Σε ένα σύστημα συλλέκτη-θερμοδοχείου, δεν εκμεταλλεύεται όλη η ηλιακή ενέργεια που αποθηκεύεται στο σύστημα καθώς, υπάρχουν απώλειες σε αυτό. Στο παρακάτω σχήμαν βλέπουμε την ροή ενέργειας ενός τυπικού συστήματος σε συνδυασμό με τις ολικές απώλειες που υπάρχουν. Οι απώλειες αυτές οφείλονται στις θερμικές απώλειες του συλλέκτη (Q_{th}), στις οπτικές απώλειες (Q_{opt}) και στις απώλειες της δεξαμενής (Q_{tl}). Οι παράγοντες που διαμορφώνουν το ποσοστό των απωλειών είναι τα τετραγωνικά του συλλέκτη, η θερμοκρασία του περιβάλλοντος, η μέση θερμοκρασία επιφάνειας του συλλέκτη, η ηλιακή ενέργεια, η θερμοκρασία του φορτίου της δεξαμενής όπως και άλλες μεταβλητές που έχουν να κάνουν με τα χαρακτηριστικά του συστήματος και της περιοχής που μελετάμε. Επίσης λαμβάνουμε υπόψιν τις απώλειες στο πάνω και στο κάτω μέρος της συλλεκτικής επιφάνειας καθώς και περιμετρικά από αυτήν. Τέλος οι απώλειες αυτές μας δίνουν τον συνολικό συντελεστή μεταφοράς θερμότητας (U_L).

Διάγραμμα 4.1.9: Ροή ενέργειας ενός τυπικού συστήματος ζεστού νερού χρήσης



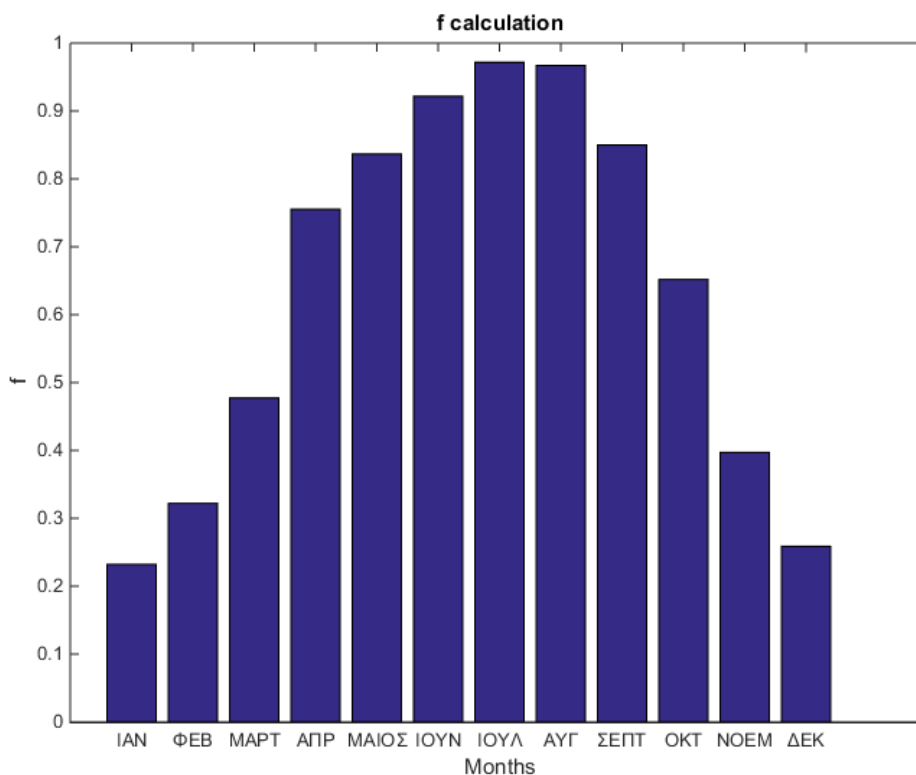
Το παραπάνω διάγραμμα μελετήθηκε για ένα σύστημα συλλέκτη 3m^2 με χωρητικότητα δεξαμενής 225lt και για τέσσερεις κατοίκους. Παρατηρούμε ότι το σύστημα μας παράγει μεγαλύτερα ποσά ενέργειας τους καλοκαιρινούς μήνες έναντι των χειμερινών σημειώνοντας ότι τα ποσοστά της βοηθητικής πηγής ενέργειας (Q_{aux}) είναι πολύ χαμηλά το καλοκαίρι διότι το μεγαλύτερο ποσοστό που χρειαζόμαστε καλύπτεται από την ηλιακή ενέργεια.

Σχήμα 4.1.10: Κατανομή ενέργειας-απωλειών



Κατά την διάρκεια ενός έτους καταφέρνουμε και αξιοποιούμε ένα μεγάλο ποσοστό της ηλιακής ενέργειας ($9,35\text{ GJ}$) το οποίο όπως φαίνεται στην παραπάνω κατανομή φτάνει σχεδόν στο 46%.

Σχήμα 4.1.11: Ετήσιο βαθμό κάλυψης (3m²-225lt)



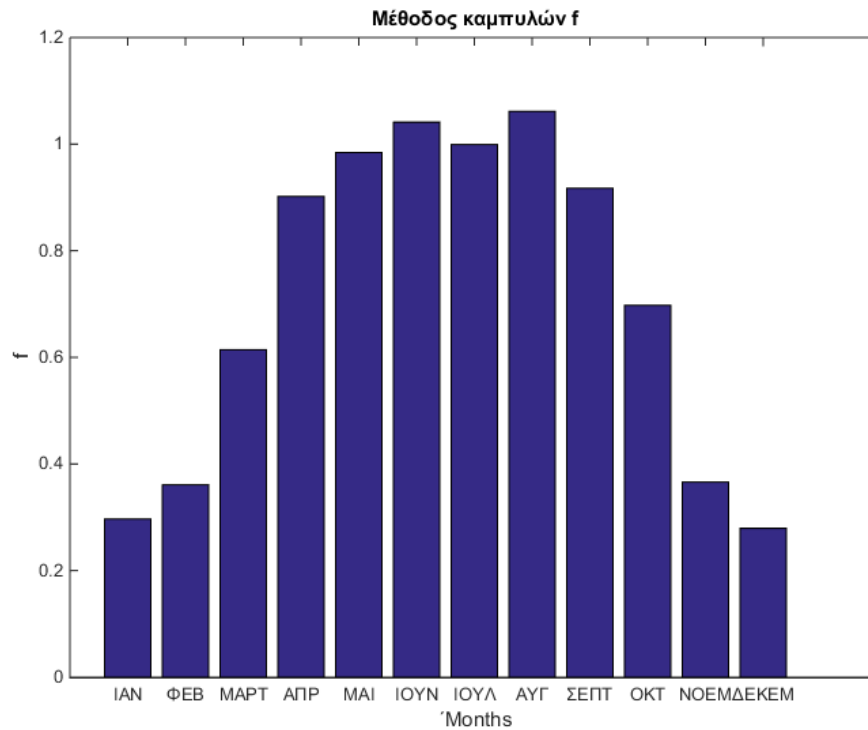
Στο σχήμα 4.1.11 βλέπουμε την κατανομή του ηλιακού κλάσματος όπως έχει προκύψει για σύστημα που εξυπηρετεί 4 κατοίκους. Παρατηρούμε ότι το σύστημα μας παρουσιάζει μεγαλύτερη ενεργειακή κάλυψη τους καλοκαιρινούς μήνες, ενώ τους χειμερινούς μήνες που τα ποσοστά ηλιοφάνειας είναι χαμηλότερα θα χρειαζόμαστε μεγαλύτερα ποσοστά ενέργειας από τη βοηθητική πηγή (Q_{aux}).

4.1.2 Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της μεθόδου καμπυλών f

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο η μέθοδος καμπυλών f είναι μια ημιεμπειρική μέθοδος το οποίο σημαίνει ότι θα έχει κάποιες αποκλίσεις από τα πραγματικά δεδομένα. Τα χαρακτηριστικά του συστήματος που μελετήσαμε είναι τα ίδια με αυτά της υπολογιστικής μεθόδου: επιφάνεια συλλέκτη 3m², όγκος ημερήσια ζήτησης 200 lt/day, θερμοκρασία εξόδου νερού 60⁰C, θερμοκρασία εισόδου νερού 15⁰C. Επίσης λαμβάνουμε υπόψιν τα μετεωρολογικά δεδομένα της εκάστοτε περιοχής δηλαδή την θερμοκρασία του αέρα και την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας σε W/m². Στην συνέχεια προσδιορίζουμε τα χαρακτηριστικά μεγέθη του συλλέκτη που διαθέτει το σύστημα τα οποία είναι, το σύνολο των θερμικών απωλειών του συλλέκτη ($FR \cdot UL$), η εκμετάλλευση της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας από τον συλλέκτη ($FR \cdot (\tau \cdot \alpha)_n$) και το διορθωτικό συντελεστή συλλέκτη-εναλλάκτη $F'R/FR$. Τέλος το μηνιαίο φορτίο για θέρμανση χώρου (L_p) είναι μηδενικό επειδή το σύστημα μας είναι διπλής ενέργειας

δηλαδή το απαιτούμενο φορτίο χρησιμοποιείται μόνο για τη παροχή ζεστού νερού (Q_{load}).

Σχήμα 4.1.2.1: Μέθοδος καμπυλών f

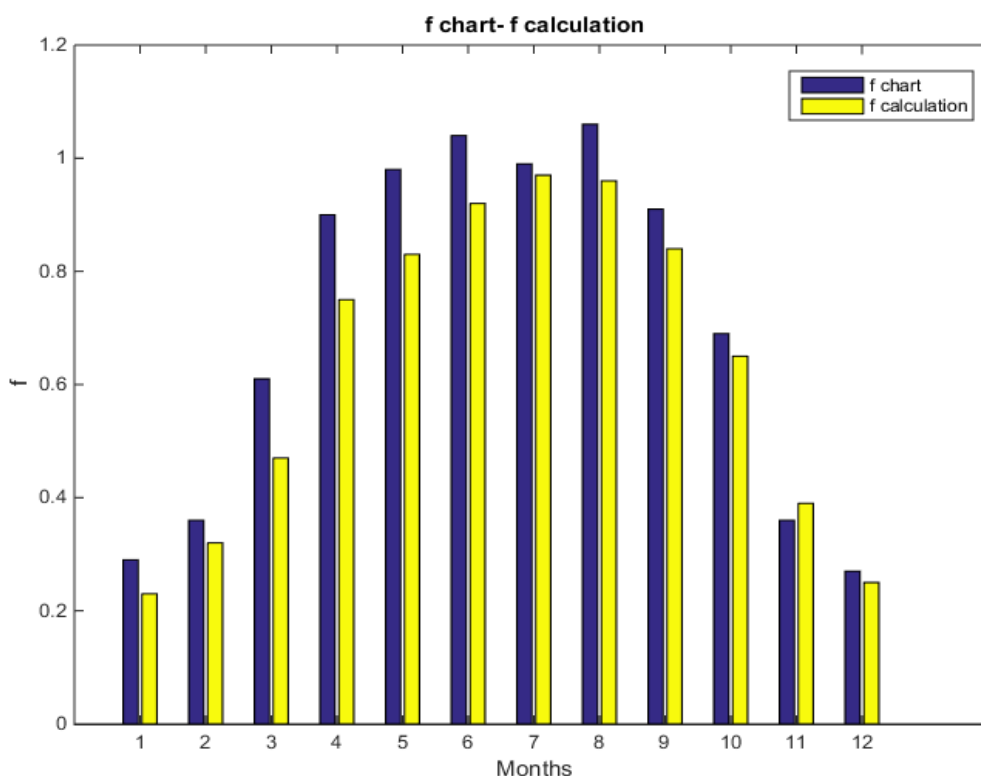


Στο σχήμα 4.1.2.1 παρατηρούμε σταδιακή αυξομείωση του ποσοστού κάλυψης της ενέργειας για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης, όπου κατά τους καλοκαιρινούς μήνες βλέπουμε ότι το ποσοστό αυτό σχεδόν μας καλύπτει τις ανάγκες σε ζεστό νερό αγγίζοντας το 100%. Τους χειμερινούς μήνες αντίθετα, το ποσοστό κάλυψης φτάνει κοντά στο 40%.

4.2 Σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων

Όπως αναφέραμε οι δυο αυτοί μέθοδοι υπολογίζουν το μηνιαίο και ετήσιο ποσοστό κάλυψης της ενέργειας σε ένα ηλιακό-οικιακό σύστημα προσεγγίζοντας το πρόβλημα με διαφορετικές μεθόδους. Ο υπολογισμός του f με την υπολογιστική μέθοδο μας δίνει πιο ακριβή αποτελέσματα καθώς αποτελεί έναν πιο αναλυτικό τρόπο λαμβάνοντας και υπολογίζοντας την κάθε παράμετρο ξεχωριστά. Τα αποτελέσματα που μας δίνει η μέθοδος καμπυλών f παρουσιάζουν κάποιες μικρές αποκλίσεις σε σχέση με την αναλυτική μέθοδο και αυτό συμβαίνει επειδή η διαδικασία υπολογισμού των διαφόρων παραμέτρων δεν πραγματοποιείται με αναλυτικό τρόπο, διότι τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα που θέλουμε να βγάλουμε χρησιμοποιώντας αυτή την μέθοδο, θέλουμε να είναι γρήγορα και μέσα στα λογικά πλαίσια για το εκάστοτε σύστημα που μελετάμε και την εφαρμόζουμε.

Σχήμα 4.2.1: Μέθοδος καμπυλών f σε σύγκριση με την υπολογιστική μέθοδο



Όπως βλέπουμε και στο σχήμα 4.2.1 υπάρχουν κάποιες αποκλίσεις μεταξύ των δύο αυτών μεθόδων. Η μέθοδος καμπυλών f κατά την διάρκεια όλο του έτους παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές, με το ετήσιο βαθμό κάλυψης F να είναι 68%, ενώ η υπολογιστική μέθοδος μας δίνει ετήσιο βαθμό κάλυψης F 64%. Επίσης η ύπαρξη αυτής της απόκλισης του 4%, οφείλεται κυρίως στους καλοκαιρινούς μήνες όπου η απόκλιση των f είναι εντονότερη όπως φαίνεται και στο σχήμα. Λόγω των αποκλίσεων και του ότι η μέθοδος καμπυλών τείνει να παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές, σε κάποιους καλοκαιρινούς μήνες το ποσοστό f είναι οριακά πάνω από 100%. Η διαφορά της f -

chart με την αναλυτική οφείλεται στο ότι στην f-chart δεν υπολογίζεται η κατανάλωση σε συνάρτηση με την παραγωγή π.χ δεν υπολογίζει την στιγμή που υπάρχει ζεστό νερό ενώ δεν υπάρχει κατανάλωση.

Βιβλιογραφία:

- “Η μέθοδος των καμπύλων F ~ Alkotech.” Accessed February 25, 2016.
<http://alkotech.blogspot.gr/2011/03/f.html>.
- “Απόσπασμα_Simulation and Sizing of a Typical SWHS_051015(1).docx,” n.d.
- Kulkarni, Govind N., Shireesh B. Kedare, and Santanu Bandyopadhyay. “Determination of Design Space and Optimization of Solar Water Heating Systems.” *Solar Energy* 81, no. 8 (August 2007): 958–68. doi:10.1016/j.solener.2006.12.003.
- “ΕΒΗΕ | Ένωση Βιομηχανιών Ηλιακής Ενέργειας.” Accessed May 20, 2016.
<http://www.ebhe.gr/>.
- “ESTIF - European Solar Thermal Industry Federation.” Accessed May 20, 2016.
<http://www.estif.org/>.
- Kaldellis, J.K., K.A. Kavadias, and G. Spyropoulos. “Investigating the Real Situation of Greek Solar Water Heating Market.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 9, no. 5 (October 2005): 499–520. doi:10.1016/j.rser.2004.04.006.
- “Kavadias Zafirakis Paliatsos.pdf,” n.d.
- Wang, Zhangyuan, Wansheng Yang, Feng Qiu, Xiangmei Zhang, and Xudong Zhao. “Solar Water Heating: From Theory, Application, Marketing and Research.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 41 (January 2015): 68–84. doi:10.1016/j.rser.2014.08.026.
- “Synthesis-Energy-Efficiency-Trends-Policies.pdf,” n.d.