



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥΠΟΛΗ, 73 100 ΧΑΝΙΑ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ «ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΖΕΣΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΧΡΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΩΝ ΧΑΝΙΩΝ: ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ»



ΜΕΛΙΣΣΑΡΗΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΠΑΠΑΕΥΘΥΜΙΟΥ ΣΠΥΡΟΣ
ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**

ΧΑΝΙΑ 2013

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία αποτελεί μέρος μιας ενιαίας διπλωματικής εργασίας δύο ατόμων που έχει ως στόχο τη συγκριτική μελέτη θερμικών ηλιακών συστημάτων για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης στην περιοχή των Χανίων, σε σχέση με τη συνολική περιβαλλοντική-οικονομική-ενεργειακή τους απόδοση.

Η εκπόνηση της οικονομικής-ενεργειακής ανάλυσης των συστημάτων μέσω των προγραμμάτων RETSCREEN και f-chart πραγματοποιήθηκε από τον Βασίλειο Μελισσάρη ενώ η υλοποίηση της μελέτης ανάλυσης κύκλου ζωής των συστημάτων με τη βοήθεια του λογισμικού SimaPro από την Χρυσήδα Καραμπάτσου.

Ευχαριστίες

Στο σημείο αυτό, θα ήθελα να ευχαριστήσω τη συμφοιτήτρια και φίλη μου Χρυσήδα Καραμπάτσου για τη συμβολή της στη διεκπεραίωση της παρούσας διπλωματικής και για την άψογη συνεργασία που είχαμε κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της. Χωρίς την παρότρυνση της και το ενδιαφέρον της για τον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, πιθανότατα δε θα είχα ασχοληθεί με ένα γνωστικό αντικείμενο, το οποίο στην πορεία ανακάλυψα ότι με ενδιαφέρει ιδιαίτερω. Επίσης, οφείλω ευχαριστίες στο επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής εργασίας μου, Επίκουρο Καθηγητή κ. Σπυρίδωνα Παπαευθυμίου για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε στην ανάθεση του συγκεκριμένου θέματος καθώς και για την αμέριστη συμπαράσταση και βοήθεια που μου παρείχε σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τους συμφοιτητές και φίλους μου Τσαγκάρη Αντώνιο, Παππά Παναγιώτη, Μπελαδάκη Γεώργιο, Κασίκη Νικόλαο, Στραγαλινό Θεοδόσιο και Γερογιάννη Κυριάκο για τη βοήθεια τους κατά τη διάρκεια της προσπάθειας μου.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στην οικογένεια μου που με βοήθησε και ήταν δίπλα μου σε κάθε στάδιο της πορείας μου ως εδώ και μου επιτρέπει να διαμορφώνω το μέλλον μου κατά βούληση.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία στοχεύει στη συγκριτική μελέτη θερμικών ηλιακών συστημάτων για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης στην περιοχή των Χανίων.

Αρχικά περιγράφονται γενικά τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα (συστήματα επίπεδων ηλιακών συλλεκτών και συλλεκτών κενού) για θέρμανση νερού σε οικιακές χρήσεις στην περιοχή των Χανίων. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα ενεργειακής και οικονομικής ανάλυσης των συστημάτων (f-chart και RETSCREEN αντίστοιχα). Τέλος προτείνεται το σύστημα το οποίο είναι βέλτιστο σε σχέση με τη συνολική ενεργειακή-οικονομική του απόδοση.

ABSTRACT

This diploma thesis aims to the comparative study of thermal solar systems for domestic hot water heating in Chania.

At the beginning, there is a general description of active solar systems (flat plate collectors systems and evacuated tube collectors systems) for water heating in domestic uses in Chania. Thereafter, are presented the results of energy and economic analysis of systems (f-chart and RETSCREEN respectively). Finally, is proposed the system that is optimum as far as the total energy-economic performance, is concerned.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο	7
1.1 ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	8
1.2 ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	8
1.3 ΕΝΕΡΓΗΤΙΚΗ ΗΛΙΑΚΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	10
1.4 ΗΛΙΑΚΟΣ ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΑΣ	10
1.5 ΕΙΔΗ ΗΛΙΑΚΩΝ ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΩΝ	11
1.6 ΜΕΡΗ ΗΛΙΑΚΟΥ ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΑ	12
1.7 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΗΛΙΑΚΟΥ ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΑ	13
1.8 ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ (BOILER).....	14
1.9 ΗΛΙΑΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ.....	14
1.10 ΕΙΔΗ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ	15
1.11 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ	21
1.12 ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΗΛΙΑΚΟΥ ΣΥΛΛΕΚΤΗ	21
1.13 ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΤΟΥ ΣΥΛΛΕΚΤΗ.....	23
1.14 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΗΛΙΑΚΟΥ ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΑ-ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο	27
ΕΥΡΕΣΗ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ	28
2.1 RETSCREEN - ΔΙΕΘΝΕΣ ΗΛΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΎΔΑΤΟΣ	29
2.2 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ	31
2.3 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	32
2.3.1 ΑΠΟΚΛΙΣΗ	32
2.3.2 ΓΩΝΙΑ ΗΛΙΑΚΗΣ ΩΡΑΣ ΚΑΙ ΓΩΝΙΑ ΩΡΑΣ ΗΛΙΟΒΑΣΙΛΕΜΑΤΟΣ	32
2.3.3 ΕΞΩΓΗΙΝΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΚΑΙ ΔΕΙΚΤΗΣ ΚΑΘΑΡΟΤΗΤΑΣ	32
2.3.4 ΚΛΙΣΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ.....	33
2.3.5 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ	33
2.3.6 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΤΟΥ ΚΡΥΟΥ ΝΕΡΟΥ.....	34
2.3.7 ΚΑΤ' ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΦΟΡΤΙΩΝ	35
2.4 Η ΜΕΘΟΔΟΣ F-CHART.....	36
2.4.1 ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	36
2.4.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ F-CHART	39
2.4.3 Η F-CHART ΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΥΓΡΟΥ	40
2.4.4 ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ ΜΑΚΡΟΠΡΟΘΕΣΜΗ ΑΠΟΔΟΣΗ	42
2.4.5 Η F-CHART ΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΕΡΑ	44
2.4.6 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΓΙΑ ΖΕΣΤΟ ΝΕΡΟ ΧΡΗΣΗΣ.....	47
2.4.7 ΣΥΝΟΠΤΙΚΑ	47
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο	49
3.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ RETSCREEN	50
3.1.1 ΥΑΛΟΚΑΛΥΠΤΟΣ ΕΠΙΠΕΔΟΣ ΗΛΙΑΚΟΣ ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ.....	50
3.1.2 ΗΛΙΑΚΟΣ ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ ΚΕΝΟΥ	67
3.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	84

3.2.1 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΔΥΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	84
3.2.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΠΟΥ ΣΥΜΒΑΛΛΟΥΝ ΣΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ...	86
3.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ RETSCREEN	86
3.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ F-CHART	88
3.4.1 ΥΑΛΟΚΑΛΥΠΤΟΣ ΕΠΙΠΕΔΟΣ ΗΛΙΑΚΟΣ ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ.....	89
3.4.2 ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ ΚΕΝΟΥ	93
3.5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	97
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο	99
4.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	100
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	102

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

Στο πρώτο κεφάλαιο προσδιορίζεται η έννοια της ηλιακής ενέργειας και των ηλιακών συστημάτων με έμφαση στα ενεργητικά με χαρακτηριστικό παράδειγμα τους ηλιακούς θερμοσίφωνες. Περιγράφονται αναλυτικά τα είδη των ηλιακών θερμοσιφώνων, τα τμήματα από τα οποία οι ίδιοι απαρτίζονται καθώς επίσης και η αρχή λειτουργίας τους. Τέλος πραγματοποιείται και μια σύντομη αναφορά στο ενεργειακό ισοζύγιο, τη θερμική απόδοση και τις απώλειες των συλλεκτών, το βασικότερο ίσως τμήμα ενός ενεργητικού ηλιακού συστήματος θέρμανσης.

1.1 ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

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

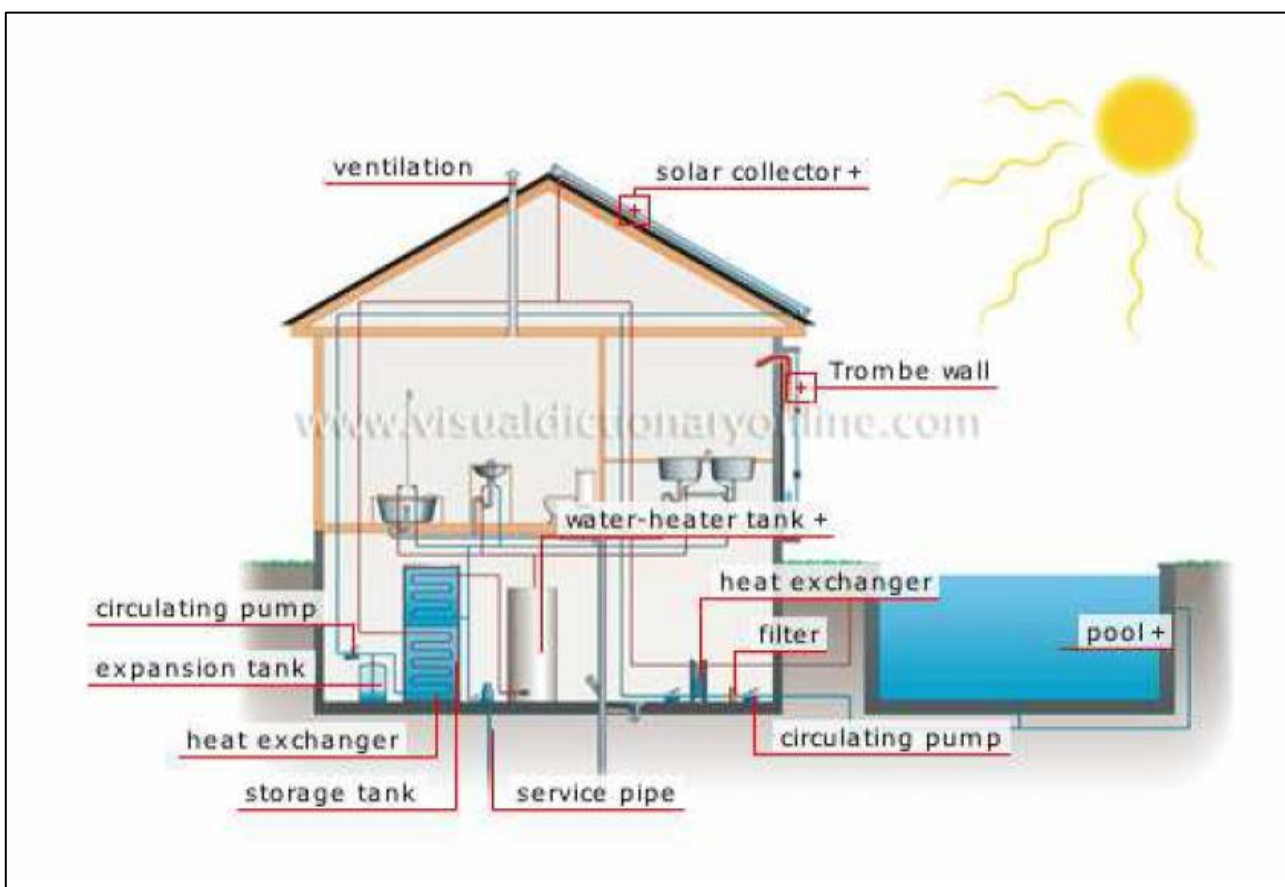
Η ηλιακή ενέργεια είναι ανεξάντλητη πηγή δεδομένου ότι ο ήλιος θα παρέχει ενέργεια επί πέντε δισεκατομμύρια έτη και η ίδια υπερβαίνει κατά 2.500 φορές την ποσότητα που καταναλώνουμε ετησίως. Το γεγονός αυτό είναι αρκετά σημαντικό αν λάβουμε υπόψη μας ότι τα ενεργειακά αποθέματα της γης εξαντλούνται.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

Η Ελλάδα, χώρα με μεγάλη ηλιοφάνεια, προσφέρεται για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας. Η μέση ημερήσια ενέργεια που δίνεται από τον ήλιο στην Ελλάδα υπολογίζεται ότι είναι 4,6 kWh/m². [22]

1.2 ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

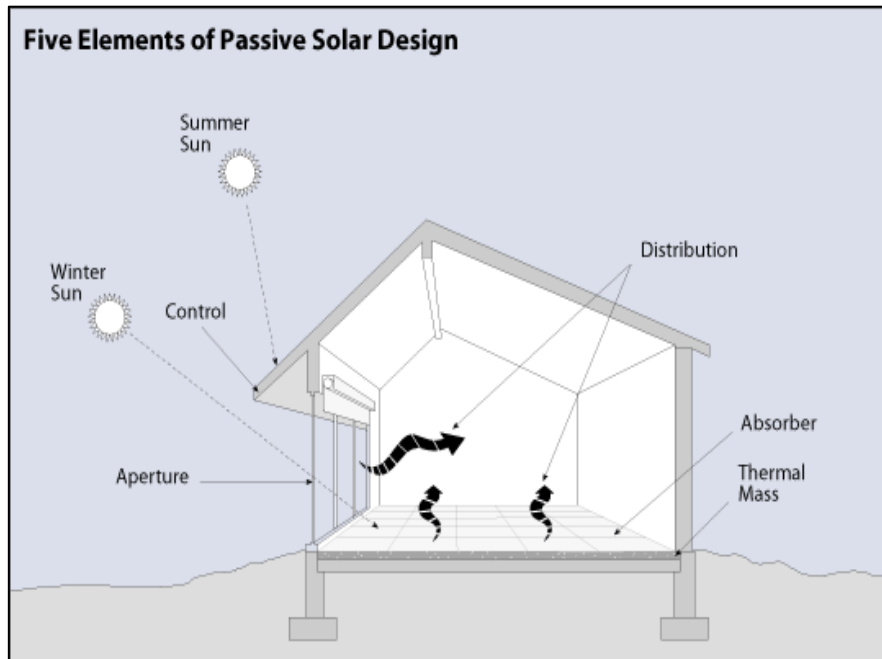
Σήμερα αξιοποιούμε με πολλούς τρόπους την ευεργετική δράση της ηλιακής ακτινοβολίας:

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



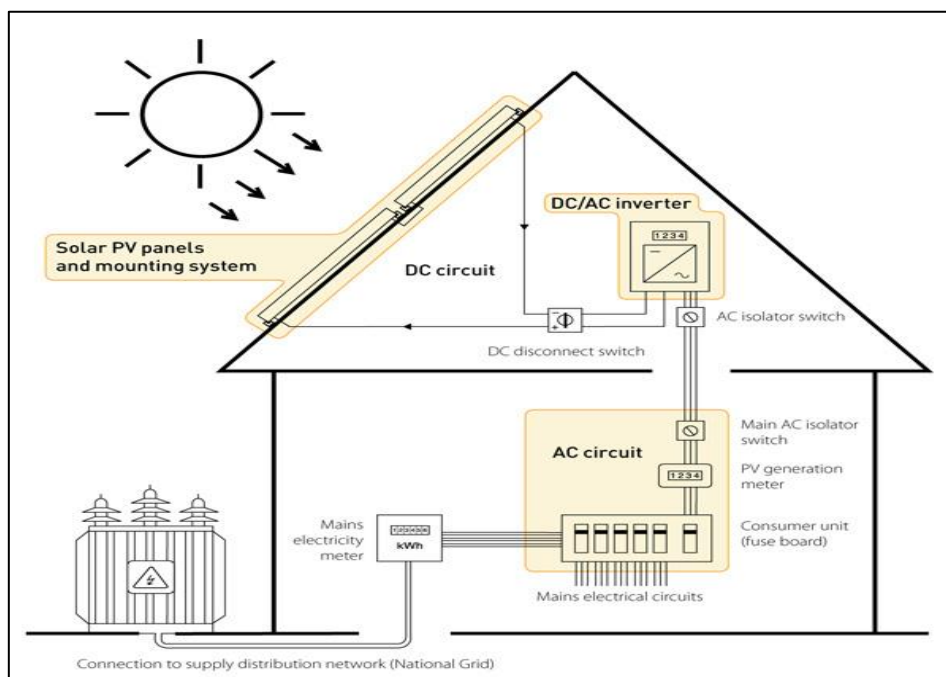
Εικόνα 1.1: Παράδειγμα εφαρμογής ενεργητικού ηλιακού συστήματος σε μια κατοικία

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



Εικόνα:1.2: Παράδειγμα εφαρμογής παθητικού ηλιακού συστήματος σε ένα σπίτι

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



Εικόνα 1.3: Παράδειγμα εφαρμογής φωτοβολταϊκού συστήματος σε μια κατοικία

1.3 ΕΝΕΡΓΗΤΙΚΗ ΗΛΙΑΚΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ

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

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

Τα ενεργητικά συστήματα ηλιακής θέρμανσης μπορούν να χωριστούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες : τα συστήματα αέρα και τα συστήματα υγρού. Οι διαφορές στα συστήματα θέρμανσης βρίσκονται στον τρόπο με τον οποίο η ηλιακή ενέργεια συσσωρεύεται στον ηλιακό συλλέκτη. Ειδικότερα, στα συστήματα υγρού, ως ρευστό μεταφοράς της ενέργειας που συλλέγεται στον ηλιακό συλλέκτη χρησιμοποιείται κάποιο υγρό ενώ τα συστήματα αέρα απορροφούν την ενέργεια μέσω του αέρα.

Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν:

- ❖ για θέρμανση νερού οικιακής χρήσης
- ❖ για τη θέρμανση ή την ψύξη χώρων
- ❖ για θέρμανση πισινών
- ❖ για διάφορες βιομηχανικές διεργασίες και αγροτικές εφαρμογές (αφαλάτωση, ξήρανση προϊόντων, διαδικασίες απόσταξης)

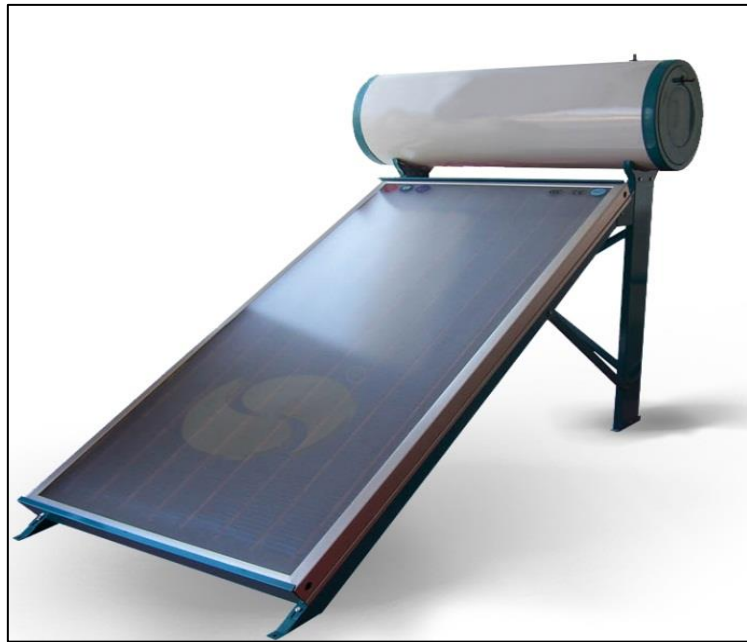
Η επιφάνεια ηλιακών συστημάτων που βρίσκονται σε λειτουργία στην Ελλάδα, είναι περίπου 3.587.200 m² (στοιχεία 2007). Ήδη περισσότερες ελληνικές οικογένειες καλύπτουν περίπου 80% των ετήσιων αναγκών τους σε ζεστό νερό χρήσης με ηλιακό θερμοσίφωνα και περίπου 60% των ετήσιων αναγκών θέρμανσης του σπιτιού τους.

Η απόδοση των ηλιακών συλλεκτών και η ποιότητά τους γενικά έχει βελτιωθεί σε σημαντικό βαθμό τα τελευταία χρόνια με αποτέλεσμα η χώρα μας να κατέχει αυτή τη στιγμή την τρίτη θέση μετά την Αυστρία στην ευρωπαϊκή αγορά ως προς την εγκατεστημένη επιφάνεια ηλιακών συλλεκτών και να αποτελεί τον μεγαλύτερο εξαγωγέα σε όλη την Ευρώπη και μάλιστα σε χώρες με ιδιαίτερη βιομηχανική παράδοση όπως η Γερμανία. [3],[6]

1.4 ΗΛΙΑΚΟΣ ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΑΣ

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

Ο ηλιακός θερμοσίφωνας είναι η πιο απλή και γνωστή ηλιακή συσκευή. Κατά τη λειτουργία του γίνεται εκμετάλλευση δύο φυσικών φαινομένων, **η αρχή του θερμοσίφωνου και το φαινόμενο του θερμοκηπίου**. Με την αρχή του θερμοσίφωνου επιτυγχάνεται η κυκλοφορία του νερού με φυσικό τρόπο χωρίς μηχανικά μέρη (αντλίες κλπ.) ενώ με την εκμετάλλευση του φαινομένου του θερμοκηπίου που αναπτύσσεται στους συλλέκτες πραγματοποιείται η θέρμανση του νερού.



Εικόνα 1.4: Τυπικός ηλιακός θερμοσίφωνας

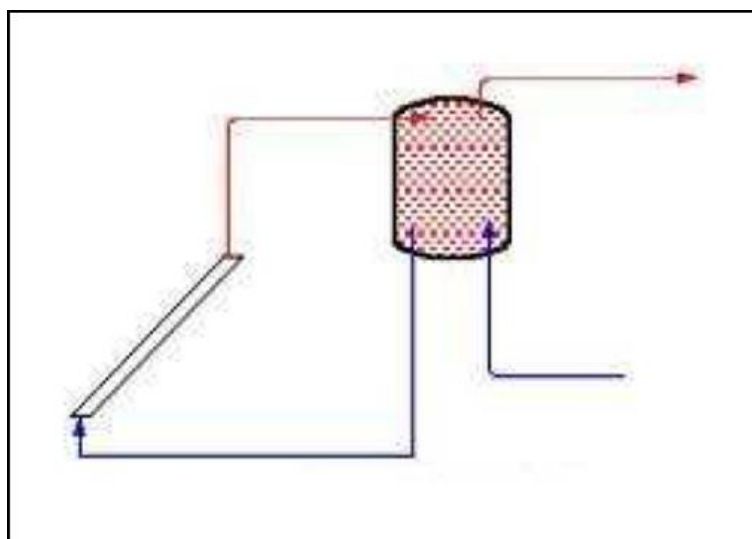
1.5 ΕΙΔΗ ΗΛΙΑΚΩΝ ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΩΝ

Ανάλογα με την ύπαρξη ή όχι αντλίας στο σύστημα οι ηλιακοί θερμοσίφωνες χωρίζονται σε:

- ❖ Φυσικής κυκλοφορίας (παθητικό σύστημα): Δε χρησιμοποιούνται αντλίες για την αποθήκευση νερού.
- ❖ Εξαναγκασμένης κυκλοφορίας(ενεργό σύστημα) : Χρησιμοποιούν αντλίες για την κίνηση του θερμού ρευστού από τον συλλέκτη προς τη δεξαμενή αποθήκευσης.

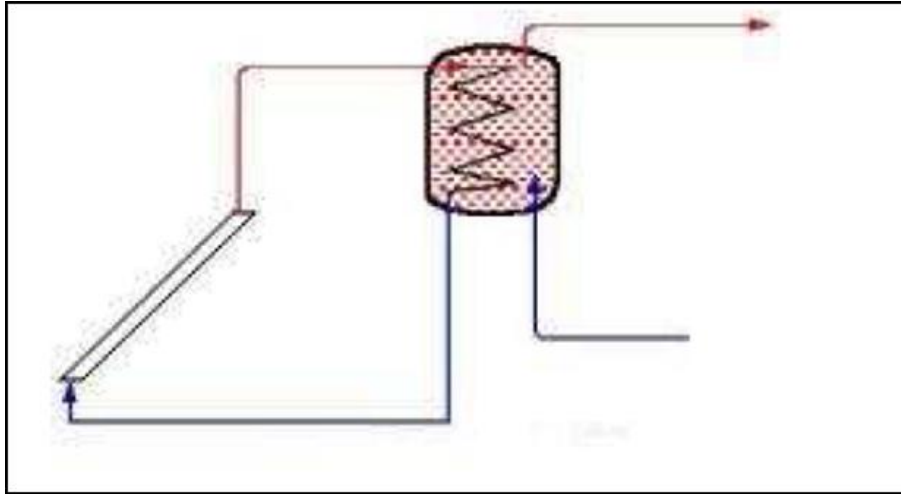
Ανάλογα με το κύκλωμα κυκλοφορίας του θερμαινόμενου μέσου διακρίνουμε δύο είδη ηλιακών θερμοσιφώνων :

- ❖ Ανοικτού βρόγχου: απευθείας θέρμανση του νερού χρήσης(το θερμαινόμενο μέσο είναι το ίδιο το νερό που θα χρησιμοποιήσουμε)



Εικόνα 1.5: Σύστημα ανοικτού βρόγχου

- ❖ Κλειστού βρόγχου: 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.



Εικόνα 1.6: Σύστημα κλειστού βρόγχου

Οι ηλιακοί θερμοσίφωνες ανοιχτού κυκλώματος είναι απλούστεροι και φθηνότεροι, έχουν όμως προβλήματα σε χαμηλές θερμοκρασίες (παγετούς) γιατί δε 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 την προστασία της συσκευής.

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

- ❖ Διπλής ενέργειας: Ο θερμοσίφωνας λειτουργεί εκμεταλλευόμενος είτε την ηλιακή ενέργεια είτε το ηλεκτρικό ρεύμα(πχ. κατά τη διάρκεια συννεφιάς οπότε η ηλιακή ενέργεια δεν είναι αρκετή για να ζεστάνει το νερό). Για τον σκοπό αυτό, υπάρχει ηλεκτρική αντίσταση τοποθετημένη εντός του τμήματος αποθήκευσης.
- ❖ Τριπλής ενέργειας: Λειτουργεί όπως ο ηλιακός θερμοσίφωνας διπλής ενέργειας αλλά έχει επιπλέον μια είσοδο για να εκμεταλλευτεί ως θερμαντικό μέσο το ζεστό νερό του καλοριφέρ που παράγεται από το λέβητα κεντρικής θέρμανσης.

Προϋπόθεση για την εγκατάσταση ηλιακού θερμοσίφωνα τριπλής ενέργειας είναι να υπάρχει κατάλληλη υποδομή στο οίκημα υπό τη μορφή ξεχωριστών σωληνώσεων (ανά διαμέρισμα αν πρόκειται για πολυκατοικία) που συνδέουν το λεβητοστάσιο με το χώρο εγκατάστασης του θερμοσίφωνα (ταράτσα ή σκεπή).[4],[5],[6]

1.6 ΜΕΡΗ ΗΛΙΑΚΟΥ ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΑ

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

- ❖ το τμήμα συλλογής (οι ηλιακοί συλλέκτες ,η επιφάνεια απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας)
- ❖ το τμήμα αποθήκευσης (η δεξαμενή αποθήκευσης νερού)

Τα δύο αυτά μέρη είναι συναρμολογημένα μαζί και συνδέονται με σωληνώσεις, αλλά σε μεγαλύτερα συστήματα μπορεί να είναι και χωριστά και να χρησιμοποιούνται αντλίες για την κυκλοφορία του θερμαινόμενου μέσου, ειδικά όταν το τμήμα αποθήκευσης δε βρίσκεται στον ίδιο χώρο με το τμήμα συλλογής.

Το τμήμα αποθήκευσης διαθέτει και ηλεκτρική αντίσταση με θερμοστάτη για να μπορεί να παράγει ζεστό νερό και σε άσχημες καιρικές συνθήκες.

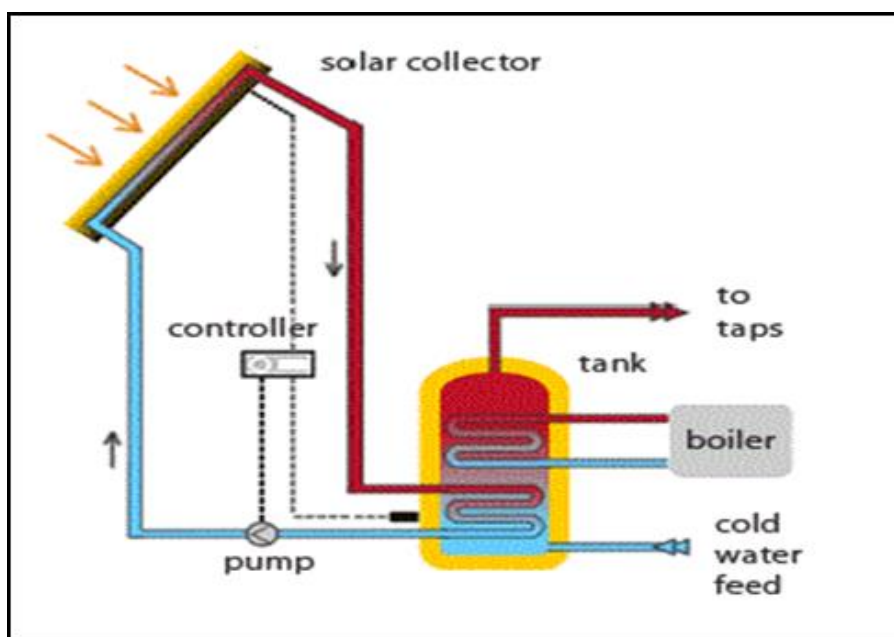
Οι ακριβότεροι ηλιακοί θερμοσίφωνες διαθέτουν και κάποια λίγα εξαρτήματα ελέγχου όπως βαλβίδα υπερπίεσης ή αυτόματα εξαεριστικά.

1.7 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΗΛΙΑΚΟΥ ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΑ

Ο ηλιακός θερμοσίφωνας κατά τη λειτουργία του εκμεταλλεύεται το φυσικό φαινόμενο ροής των ρευστών λόγω διαφοράς θερμοκρασίας (διαφοράς πυκνότητας) γνωστό και σαν αρχή του θερμοσίφωνου.

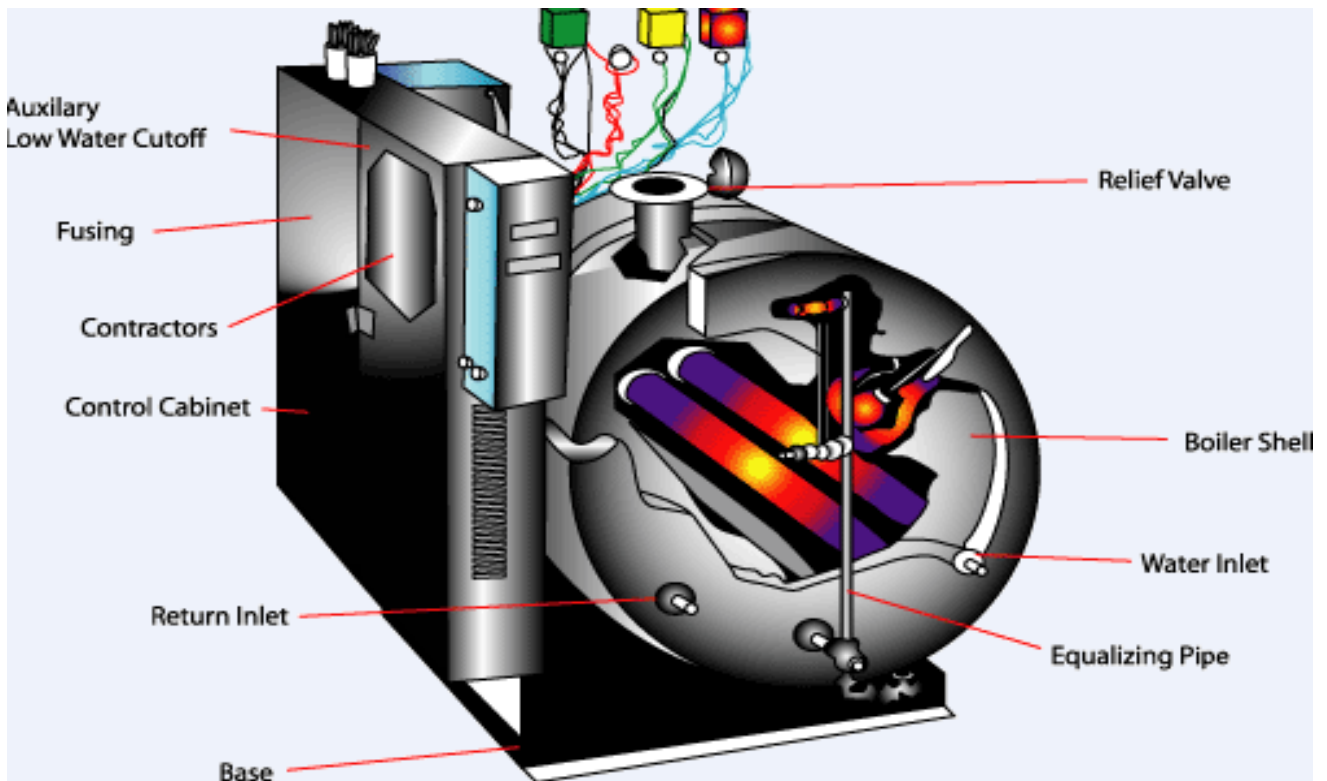
Έτσι επιτυγχάνεται με φυσικό τρόπο χωρίς κυκλοφορητή (αντλία) συνεχής ροή του θερμαινόμενου μέσου από το θερμότερο σημείο (συλλέκτης) προς το ψυχρότερο (δεξαμενή νερού), μέχρι έως ότου τα δύο σημεία να αποκτήσουν παρόμοιες θερμοκρασίες .Για να είναι αυτό δυνατό πρέπει το ψυχρότερο σημείο να βρίσκεται ψηλότερα από το θερμότερο σημείο και για το λόγο αυτό σε όλους τους ηλιακούς θερμοσίφωνες η δεξαμενή αποθήκευσης είναι πάντα ψηλότερα από τους ηλιακούς συλλέκτες.

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



Εικόνα 1.7: Αρχή λειτουργίας ηλιακού θερμοσίφωνα

1.8 ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ (Boiler)



Εικόνα 1.8: Σύστημα δεξαμενής αποθήκευσης (boiler)

Η δεξαμενή αποθήκευσης του νερού χρήσης έχει χωρητικότητα που κυμαίνεται από 100 έως 200 λίτρα για συνήθεις οικιακές εφαρμογές. Η χωρητικότητά της είναι συνάρτηση της συλλεκτικής επιφάνειας που διαθέτει.

Είναι συνήθως χαλύβδινη, με εσωτερική επίστρωση για προστασία από τη διάβρωση. Η επίστρωση αυτή είναι συνήθως από ειδικά πλαστικά ή εποξειδικά χρώματα ή εμαγιέ (υαλόκραμα). Εναλλακτικά και για ακριβότερα συστήματα η δεξαμενή αποθήκευσης μπορεί να είναι χάλκινη ή ανοξείδωτη. Εξωτερικά έχει πολύ καλή μόνωση συνήθως από πολυουρεθάνη ή υαλοβάμβακα.

Τις περισσότερες φορές, στη δεξαμενή αποθήκευσης υπάρχει ενσωματωμένη κάποια ηλεκτρική αντίσταση. Στα συστήματα κλειστού βρόγχου έχει επιπλέον ενσωματωμένο εναλλάκτη ή αλλιώς σερπαντίνα για την κυκλοφορία του θερμαινόμενου μέσου ή σε πιο ακριβά συστήματα είναι διπλών τοιχωμάτων (ανάμεσα στα δύο τοιχώματα κυκλοφορεί το θερμαινόμενο μέσο).[2],[3]

1.9 ΗΛΙΑΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ

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

Η επιφάνεια αυτή αποτελείται από τέσσερα βασικά μέρη:

1. Την πλάκα συλλογής της ακτινοβολίας
2. Τους σωλήνες ροής του νερού
3. Την κάλυψη (κρύσταλλο) της πλάκας απορρόφησης (1 ή 2)

4. Το θερμικά μονωμένο πλαίσιο πάνω στο οποίο στερεώνονται τα υπόλοιπα εξαρτήματα

Λειτουργία ηλιακών συλλεκτών

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

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

Οι κρίσιμοι παράγοντες για την καλή απόδοση του συστήματος είναι:

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

1.10 ΕΙΔΗ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ

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

A) Μη συγκεντρωτικοί (Χαμηλές-Μέσες θερμοκρασίες) :

- i. Ηλιακοί συλλέκτες χωρίς κάλυμμα
- ii. Επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες
- iii. Συλλέκτες κενού

B) Συγκεντρωτικοί (Υψηλές θερμοκρασίες):

- i. Ηλιακοί πύργοι
- ii. Ηλιακοί δίσκοι
- iii. Συλλέκτες Φρενέλ
- iv. Παραβολικά κοίλα

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα επικεντρωθούμε στην πρώτη κατηγορία συλλεκτών που είναι οι μη συγκεντρωτικοί των οποίων και η χρήση είναι πιο ευρέως διαδεδομένη.

❖ Ηλιακοί συλλέκτες χωρίς κάλυμμα



Εικόνα 1.9 : Ηλιακοί συλλέκτες χωρίς κάλυμμα για τη θέρμανση πισινών

Ιδιότητες:

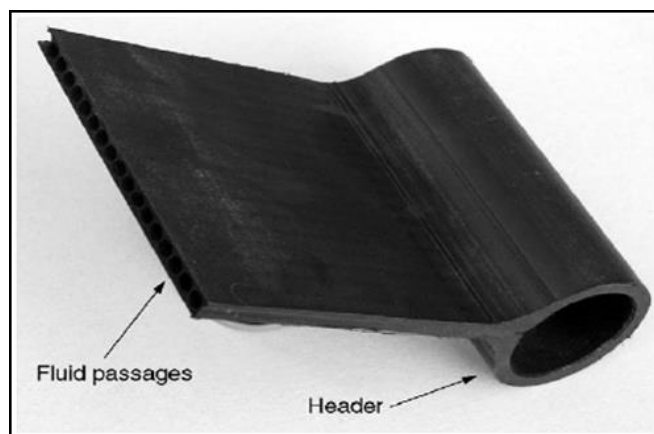
- Εφαρμογές μόνο σε κολυμβητικές δεξαμενές ,όπου η επιθυμητή θερμοκρασία είναι σχετικά χαμηλή(°C)
- Χαμηλό κόστος (70-100 € /m²), χρόνος αποπληρωμής 1-5 έτη
- Απαιτούμενη επιφάνεια m² συλλεκτών= 0.8 m² πισίνας (Ελλάδα)

Πλεονεκτήματα:

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

Λειτουργία :

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



Εικόνα 1.10: Τομή ηλιακού συλλέκτη χωρίς κάλυμμα και μόνωση

❖ **Συλλέκτες κενού**



Εικόνα 1.11: Συλλέκτες κενού

Ιδιότητες :

- Υψηλό κόστος
- Κύλινδροι από γυαλί με εσωτερικό απορροφητή, εκκενωμένοι (10^5 bar)
- Απώλειες θερμότητας μόνο λόγω ακτινοβολίας και όχι συναγωγής
- Υψηλή θερμοκρασία λειτουργίας
- Ιδανικοί για ψυχρά κλίματα

Εφαρμογές:

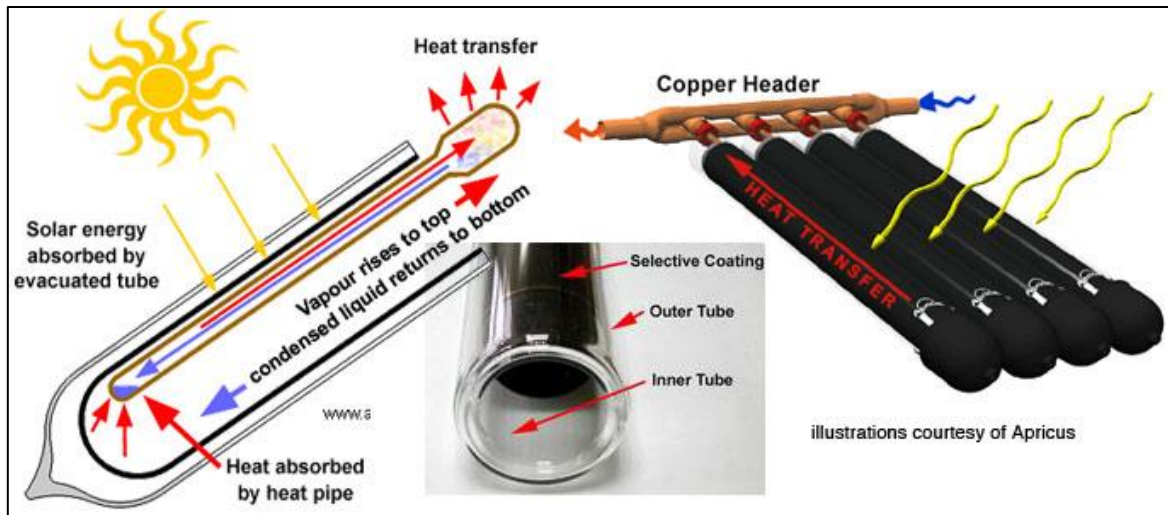
- Δε συνιστώνται σε κατοικίες, αφού το καλοκαίρι η θερμοκρασία στο εσωτερικό τους ξεπερνάει τους 300°C .
- Κυρίως χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπου απαιτούνται θερμοκρασίες νερού μεγαλύτερες των 80°C (ηλιακός κλιματισμός, βιομηχανία).

Είδη συλλεκτών κενού:

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

Λειτουργία:

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



Εικόνα 1.12: Αρχή λειτουργίας συλλεκτών κενού

❖ **Επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες**

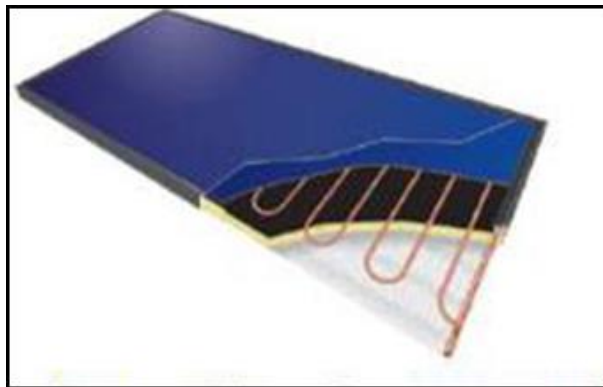


Εικόνα 1.13: Επίπεδος ηλιακός συλλέκτης σε οροφή κατοικίας

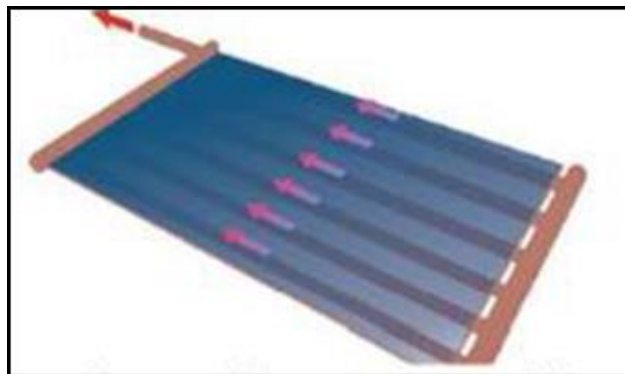
Ιδιότητες:

- Μεσαίου κόστους
- Υψηλή θερμοκρασία λειτουργίας (150- 200°C)
- Βαρύτερος (23-32kg/m²) και πιο εύθραυστος

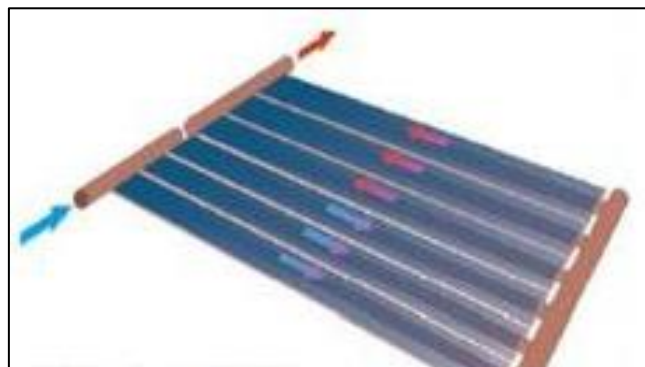
- Κάλυμμα από γυαλί ή πλαστικό, πάχους 3-4 mm με συντελεστή διαπερατότητας 91 %
- Απορροφητική επιφάνεια: διατίθεται σε διάφορους τύπους: μαύρη μπογιά, ημιεπιλεκτική επιφάνεια και επιλεκτική επιφάνεια
- Επιλεκτική επιφάνεια: διακρίνεται από μεγάλη απορροφητικότητα (90-95%) και ελάχιστη ανάκλαση (5-15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



Εικόνα 1.14: Απορροφητής με σωλήνες τύπου σερπαντίνας (κάλυψη ολόκληρης της επιφάνειας)



Εικόνα 1.15: Απορροφητής με ευθύγραμμους σωλήνες (κάλυψη ολόκληρης της επιφάνειας)



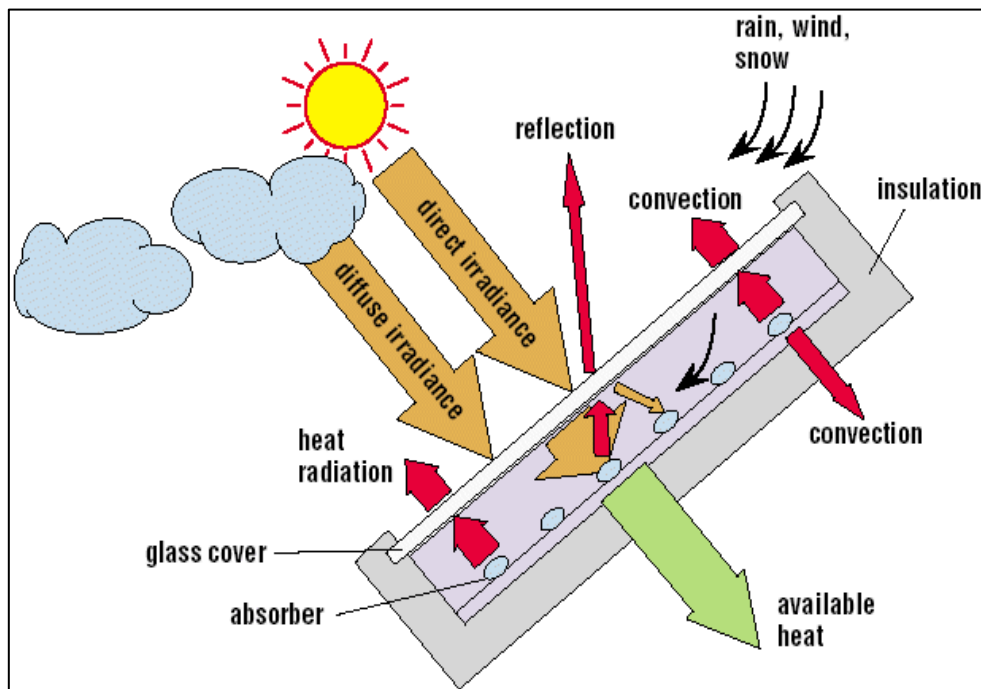
Εικόνα 1.16: Απορροφητής με ευθύγραμμους σωλήνες (2 ροές)

Εφαρμογές:

- Για ζεστό νερό χρήσης
- Για θέρμανση χώρου
- Για ηλιακό κλιματισμό (επιλεκτική επιφάνεια)



Εικόνα 1.17: Τμήματα ενός επίπεδου ηλιακού συλλέκτη



Εικόνα 1.18: Μετάδοση θερμότητας σε έναν επίπεδο ηλιακό συλλέκτη

1.11 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ

Για λόγους απλοποίησης θα θεωρήσουμε ότι έχουμε έναν επίπεδο ηλιακό συλλέκτη.

Σε μόνιμη κατάσταση λειτουργίας η ωφέλιμη ενέργεια Q_u που λαμβάνεται από τον συλλέκτη επιφάνειας A_c είναι η διαφορά μεταξύ της ηλιακής ενέργειας που αυτός απορροφά Q_i και των θερμικών και οπτικών απωλειών Q_o .

Επομένως το ενεργειακό κέρδος που αποδίδεται από τον εκάστοτε συλλέκτη προκύπτει από την παρακάτω σχέση :

$$Q_u = Q_i - Q_o \quad (i)$$

Λαμβάνοντας υπόψη μας όμως ότι:

$$Q_i = I_T(\tau\alpha)_n \quad (ii)$$

όπου I_T η ένταση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας (W/m^2) και $(\tau\alpha)_n$ το γινόμενο του συντελεστή διαπερατότητας του διάφανου καλύμματος του συλλέκτη α , με τον συντελεστή απορρόφησης της μαύρης απορροφητικής επιφάνειας τ , μεγέθη άμεσα εξαρτώμενα από τα υλικά κατασκευής του συλλέκτη και τη γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας και

$$Q_o = U_L A_c (T_{pm} - T_a) \quad (iii)$$

όπου U_L είναι ο ολικός συντελεστής απωλειών προς το περιβάλλον του συλλέκτη, T_{pm} η μέση θερμοκρασία του απορροφητή και T_a η θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

Η σχέση (i) θα τροποποιηθεί ως εξής:

$$Q_u = A_c [(I_T(\tau\alpha)_n - U_L (T_{pm} - T_a))] \quad (iv)$$

Η μέση θερμοκρασία του απορροφητή T_{pm} δεν είναι εύχρηστη. Για τον λόγο αυτό εισάγεται ένα νέο μέγεθος, τον συντελεστή απομάκρυνσης θερμότητας από τον συλλέκτη F_R , ο οποίος είναι ανηγμένο μέγεθος στη θερμοκρασία εισόδου του ρευστού στον απορροφητή του συλλέκτη, T_i :

$$F_R = [mc_p(T_o - T_i)] / (A_c [Q_i - U_L(T_i - T_a)]) \quad (v)$$

Ακόμα ισχύει ότι :

$$Q_u = mc_p(T_o - T_i) \quad (vi)$$

Το μέγιστο δυνατό θερμικό κέρδος σε έναν συλλέκτη επιτυγχάνεται όταν όλος ο συλλέκτης βρίσκεται στη θερμοκρασία εισόδου του ρευστού σε αυτόν. Τότε το πραγματικό θερμικό κέρδος λαμβάνοντας υπόψη τη σχέση (v) και (vi) θα είναι:

$$Q_u = F_R A_c [I_T(\tau\alpha)_n - U_L(T_i - T_a)] \quad (vii)$$

1.12 Θερμική απόδοση ηλιακού συλλέκτη

Ο βαθμός απόδοσης του συλλέκτη n_c ορίζεται ως ο λόγος της ωφέλιμης ενέργειας για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (της τάξης των λεπτών) προς την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για το ίδιο χρονικό διάστημα:

$$n_c = \frac{\int_1^2 Q_u dt}{A_c \int_1^2 I_T dt}$$

Ο υπολογισμός της απόδοσης μπορεί να γίνει είτε με βάση την ολική επιφάνεια του συλλέκτη A_c , είτε με το εμβαδό του ορατού παράθυρου του συλλέκτη που είναι ίσο με το εμβαδό του

απορροφητή A_p . Λαμβάνοντας υπόψη την παραπάνω σχέση προκύπτει ο στιγμιαίος βαθμός απόδοσης ο οποίος είναι ίσος με:

$$n_{instantaneous} = (Q_u)/(A_c I_T)$$

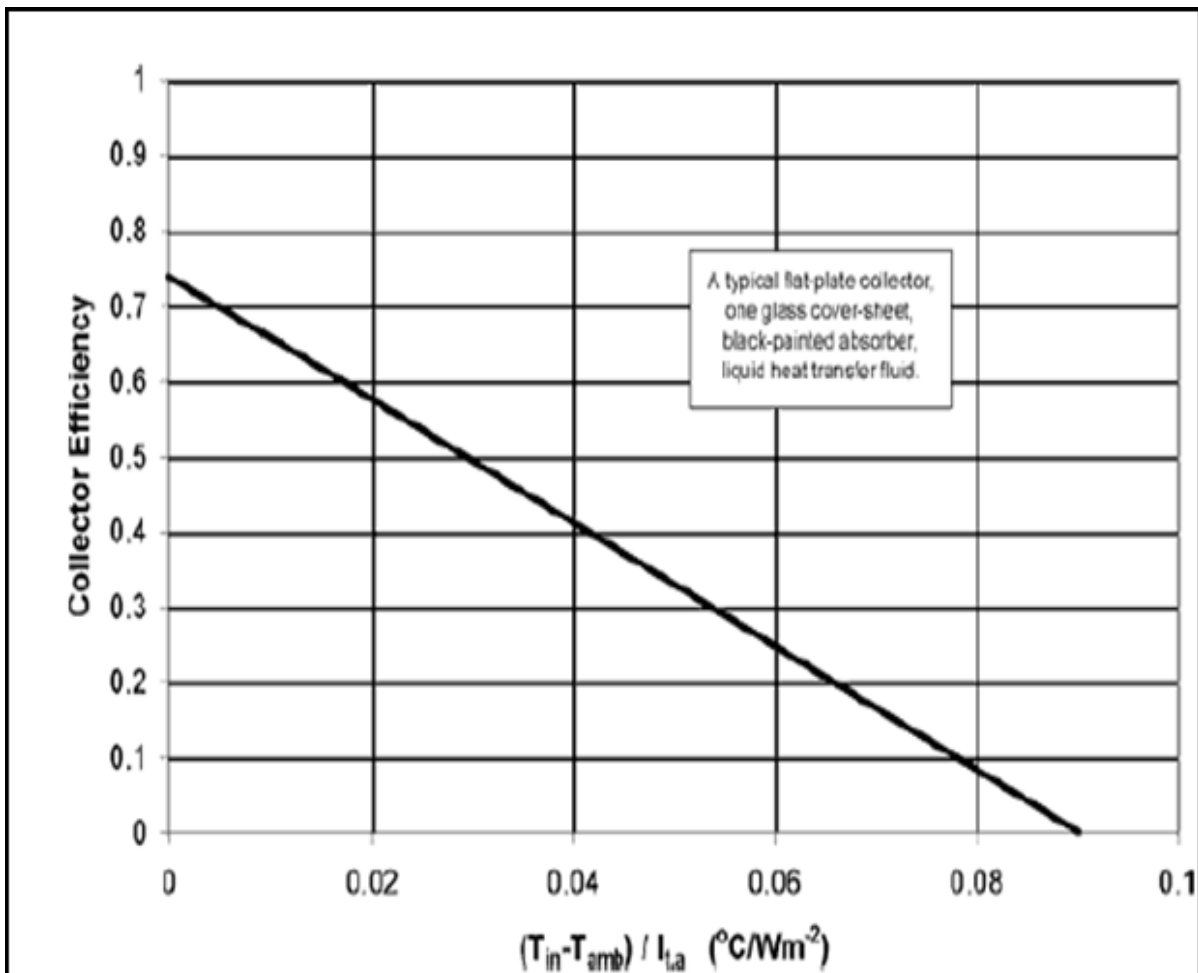
ή

$$n_{instantaneous} = F_R(\tau, \alpha)n - F_R U_L((T_i - T_a))/I_T$$

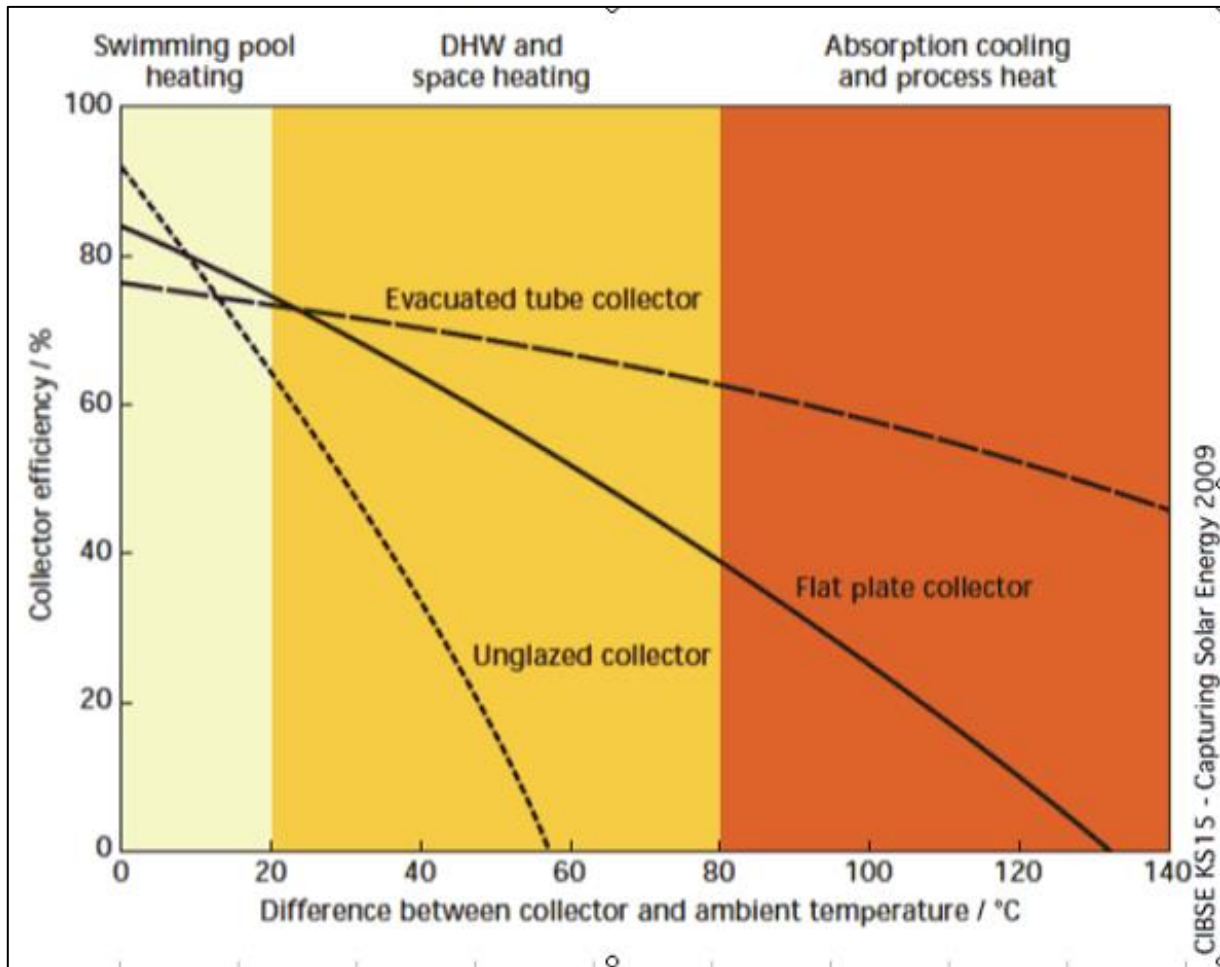
Στην παραπάνω εξίσωση οι παράμετροι $F_R(\tau, \alpha)n$ και $F_R U_L$ περιγράφουν τη λειτουργία του συλλέκτη. Η πρώτη περιγράφει τον τρόπο με τον οποίο η ενέργεια απορροφάται από τον συλλέκτη, ενώ η δεύτερη τον τρόπο με τον οποίο η ενέργεια χάνεται από τον συλλέκτη.

Αν ο συντελεστής U_L υποτεθεί ότι παραμένει σταθερός η γραφική παράσταση της απόδοσης του συλλέκτη ως συνάρτηση του $\frac{(T_i - T_a)}{I_T}$ είναι γραμμική με κλίση $F_R U_L$. Η ευθεία τέμνει τον άξονα y στο σημείο $F_R(\tau, \alpha)n$.

Σύμφωνα με το ISO 9806-1 ο στιγμιαίος βαθμός απόδοσης του συλλέκτη μπορεί να υπολογισθεί όχι μόνο με τη χρήση της θερμοκρασίας εισόδου του ρευστού στον απορροφητή, T_i αλλά και με βάση τη μέση θερμοκρασία του απορροφητή T_{pm} , οπότε και η αρχική σχέση του στιγμιαίου βαθμού απόδοσης τροποποιείται αναλόγως.



Εικόνα 1.19: Απόδοση ενός τυπικού επίπεδου ηλιακού συλλέκτη (θερμοκρασία περιβάλλοντος 25°C)



Εικόνα 1.20: Βαθμός απόδοσης και περιοχές εφαρμογής ηλιακών συλλεκτών

1.13 ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΤΟΥ ΣΥΛΛΕΚΤΗ

Στους ηλιακούς συλλέκτες η ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται από τον απορροφητή και κατανέμεται σε ωφέλιμη ενέργεια και θερμικές απώλειες .

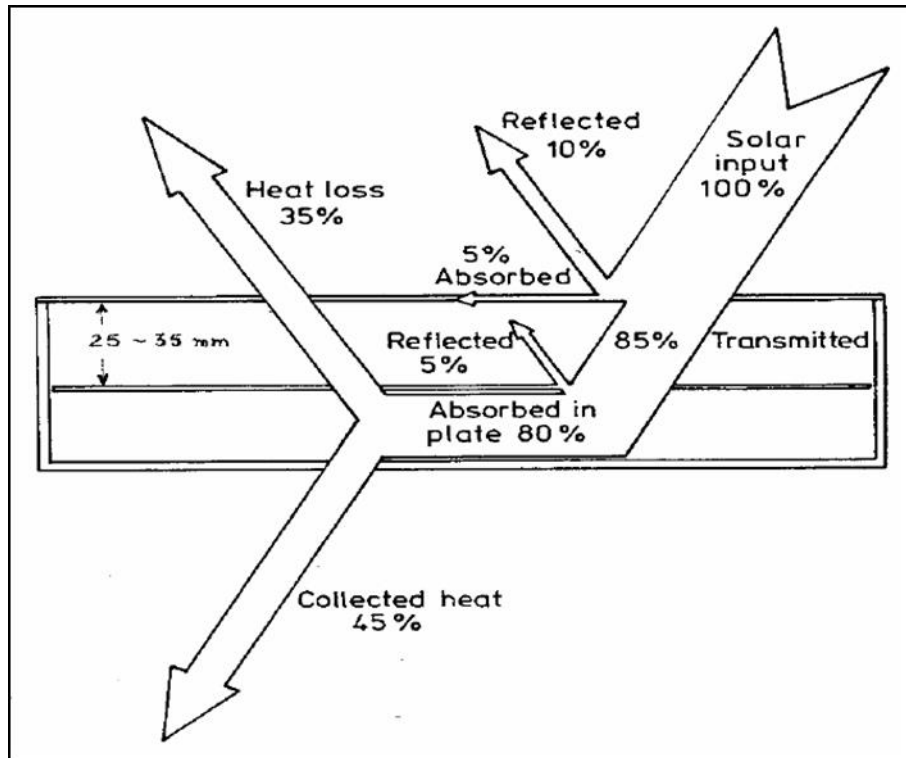
Οι θερμικές απώλειες ενός ηλιακού συλλέκτη αποτελούνται από το άθροισμα των επιμέρους απωλειών του πάνω μέρους μέσω του διάφανου καλύμματος και των απωλειών από τα πλαϊνά και πίσω διαμέσου της μόνωσης. Θεωρώντας ότι όλες οι απώλειες βασίζονται σε μια κοινή θερμοκρασία του απορροφητή T_{pm} οι ολικές απώλειες του συλλέκτη είναι:

$$Q_{απωλειών} = U_L A_c (T_{pm} - T_a)$$

όπου U_L ο συντελεστής ολικών απωλειών του συλλέκτη. Φυσικά ισχύει ότι:

$$Q_{απωλειών} = Q_t + Q_e + Q_b$$

Οι δείκτες t , e και b αντιστοιχούν στη συμμετοχή του πάνω, του πλαϊνού και πίσω μέρους αντίστοιχα.



Εικόνα 1.21: Απώλειες θερμότητας σε ηλιακό συλλέκτη

❖ **Απώλειες πάνω μέρους μέσω του διάφανου καλύμματος**

Για τον προσδιορισμό των θερμικών απωλειών μέσω του διαφανούς καλύμματος όλοι οι μηχανισμοί μετάδοσης της θερμότητας μεταξύ του απορροφητή, του διάφανου καλύμματος και της ατμόσφαιρας πρέπει να ληφθούν υπόψη.

Το μοντέλο υπολογισμού του συλλέκτη θεωρεί την ύπαρξη δύο καλυμμάτων τα οποία έχουν τη δυνατότητα να είναι κατασκευασμένα από διαφορετικά υλικά. Για την περίπτωση χρήσης πολυμερικών καλυμμάτων, εξαιτίας της μερικής διαπερατότητάς τους στο μακρινό υπέρυθρο φάσμα, η εναλλαγή της άμεσης ακτινοβολίας μεταξύ απορροφητή και ατμόσφαιρας λαμβάνεται υπόψη. Κάτι τέτοιο δε συμβαίνει για γυάλινα καλύμματα τα οποία είναι αδιαφανή στη μακρινή υπέρυθρη ακτινοβολία. Για τον προσδιορισμό χρησιμοποιείται η μέθοδος της καθαρής ακτινοβολίας (net radiation):

Αρχικά, η εξερχόμενη ροή ακτινοβολίας από τα καλύμματα συνδέεται με την εισερχόμενη ροή με τις παρακάτω σχέσεις:

$$q_{1o} = \tau_{c1} q_{2i} + \rho_{c1} q_{1i} + \epsilon_{c1} \sigma T_{c1}^4 \quad (1)$$

$$q_{2o} = \tau_{c1} q_{1i} + \rho_{c1} q_{2i} + \epsilon_{c1} \sigma T_{c1}^4 \quad (2)$$

$$q_{3o} = \tau_{c2} q_{4i} + \rho_{c2} q_{3i} + \epsilon_{c2} \sigma T_{c2}^4 \quad (3)$$

$$q_{4o} = \tau_{c2} q_{3i} + \rho_{c2} q_{4i} + \epsilon_{c2} \sigma T_{c2}^4 \quad (4)$$

όπου οι δείκτες c_1 και c_2 αντιστοιχούν στο πρώτο και δεύτερο κάλυμμα αντίστοιχα ενώ τα τ , ρ , ϵ και σ είναι κατά σειρά η διαπερατότητα, ανακλαστικότητα, εκπομπή των καλυμμάτων και του απορροφητή και η σταθερά Stefan Boltzmann.

Στη συνέχεια, οι εισερχόμενες ροές συνδέονται με τις εξερχόμενες με τις σχέσεις:

$$q_{1i} = \rho_p q_{1o} + \varepsilon_p \sigma T_{pm}^4 \quad (5)$$

$$q_{2i} = q_{3o} \quad (6)$$

$$q_{3i} = q_{2o} \quad (7)$$

$$q_{4i} = \sigma * T_s^4 \quad (8)$$

όπου ο δείκτης p αναφέρεται στον απορροφητή και ο δείκτης s αναφέρεται στον ουράνιο θόλο.

Τέλος εφαρμόζοντας το ισοζύγιο ενέργειας μεταξύ των δύο καλυμμάτων προκύπτει:

$$q_{1i} - q_{1o} + h_{c,p_{c1}}(T_{pm} - T_{c1}) = q_{2o} - q_{2i} + h_{c,c1c2}(T_{c1} - T_{c2}) \quad (9)$$

$$q_{3i} - q_{3o} + h_{c,c1c2}(T_{c1} - T_{c2}) = q_{4o} - q_{4i} + h_w(T_{c2} - T_a) \quad (10)$$

όπου $h_{c,p_{c1}}$ και $h_{c,c1c2}$ είναι οι συντελεστές μετάδοσης θερμότητας μέσω συναγωγής μεταξύ του απορροφητή και του καλύμματος και μεταξύ των καλυμμάτων αντίστοιχα και h_w συντελεστές μετάδοσης θερμότητας λόγω ανέμου.

Εκμεταλλευόμενοι τις εξισώσεις (10) και (5) προκύπτουν όλες οι άγνωστες ροές ακτινοβολίας και οι θερμοκρασίες των καλυμμάτων T_{c1} και T_{c2} για δεδομένη θερμοκρασία του απορροφητή T_p και του ουράνιου θόλου T_s

Επομένως, οι απώλειες διαμέσου του καλύμματος προς την ατμόσφαιρα προκύπτουν από τη σχέση:

$$Q_t = A_p [q_{c11i} - q_{c11o} + h_{c,p_{c1}}(T_{pm} - T_{c1})]$$

όπου A_p το εμβαδόν του ορατού παραθύρου του συλλέκτη, το οποίο θεωρείται ίσο με το εμβαδό του απορροφητή.

❖ Απώλειες πίσω μέρους και πλαϊνών τοιχωμάτων

Οι απώλειες στο πίσω μέρος του συλλέκτη είναι αποτέλεσμα της αγωγής μέσω της πίσω μόνωσης και της συναγωγής και της ακτινοβολίας θερμότητας από το πίσω μέρος του συλλέκτη προς το περιβάλλον. Καθώς η ακτινοβολία και η αντίσταση συναγωγής είναι κατά τάξεις μικρότερες της αγωγής, θεωρείται ότι όλη η θερμική αντίσταση του πίσω μέρους ελέγχονται από την αγωγιμότητα της μόνωσης. Επομένως, οι απώλειες του πίσω μέρους δίνονται από τη σχέση:

$$Q_b = k_b / L_b A_c (T_{pm} - T_a)$$

όπου k_b και L_b είναι η θερμική αγωγιμότητα και το πάχος της μόνωσης αντίστοιχα.

Θεωρώντας μονοδιάστατη θερμική ροή περιμετρικά του συλλέκτη απώλειες από τα πλαϊνά τοιχώματα υπολογίζονται από τη σχέση:

$$Q_e = k_e / L_e A_e (T_{pm} - T_a)$$

όπου k_e και L_e είναι η θερμική αγωγιμότητα και το πάχος της μόνωσης των τοιχωμάτων, αντίστοιχα και A_e η επιφάνεια των πλαϊνών τοιχωμάτων του συλλέκτη. Θεωρούμε, δηλαδή και σε αυτήν την περίπτωση ότι η αντίσταση συναγωγής είναι συγκριτικά με την αντίσταση αγωγής αμελητέα όπως επίσης και η ακτινοβολία. [2],[3],[8]

1.14 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΗΛΙΑΚΟΥ ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΑ-ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ

Ο καλύτερος προσανατολισμός για την τοποθέτηση των ηλιακών θερμοσίφωνων (πιο συγκεκριμένα των ηλιακών συλλεκτών) είναι ο νότιος για να εκμεταλλεύεται ο θερμοσίφωνας όσο περισσότερες ώρες ηλιοφάνεια γίνεται. Απόκλιση 15 μοίρες από το νότο δεν έχει μεγάλη επίπτωση

στην απόδοσή του. Σε μεγαλύτερη απόκλιση παρατηρείται μείωση της απόδοσης. Ακόμα η κλίση του ηλιακού συλλέκτη πρέπει να είναι 20-50 μοίρες. Μεγαλύτερη ή μικρότερη κλίση μειώνει την απόδοση.

Οι προβλεπόμενες συνδέσεις για τη λειτουργία του ηλιακού θερμοσίφωνα είναι δύο υδραυλικές (είσοδος κρύου νερού, έξοδος ζεστού νερού χρήσης) και μια ηλεκτρική (ηλεκτρική αντίσταση). Στην είσοδο του κρύου νερού πρέπει να τοποθετηθεί βάννα για να είναι δυνατή η απομόνωσή του από το δίκτυο σε περίπτωση συντήρησης ή επισκευής. Κρίνεται ως αναγκαίο στις υδραυλικές σωληνώσεις να τοποθετηθεί βαλβίδα ασφαλείας έναντι υπερπίεσης και αυτόματο εξαεριστικό, αν δεν υπάρχουν ήδη ενσωματωμένα από τον κατασκευαστή. Συνιστάται ακόμα στην σωλήνωση εξόδου του ζεστού νερού χρήσης η τοποθέτηση εξωτερικού μονωτικού περιβλήματος καλής ποιότητας.

Χρειάζεται στοιχειώδης συντήρηση, κυρίως καθαρισμός των πλακών επιφανειακά, αντικατάσταση της αντιδιαβρωτικής προστασίας όποτε αυτό απαιτείται σύμφωνα με τον κατασκευαστή και συμπλήρωση με αντιψυκτικό υγρό τον χειμώνα(μόνο στα συστήματα κλειστού βρόγχου). Επιπρόσθετα, σε περιπτώσεις ισχυρού ψύχους(χιόνι, παγετός) συνιστάται η κάλυψη των κρυστάλλων με πανί ή χαρτόνι για να αποφευχθεί η καταστροφή τους (θραύση). Στο σημείο αυτό ,επισημαίνεται ότι η κάλυψη των κρυστάλλων δεν προσφέρει καμία προστασία σε κυκλώματα ανοιχτού βρόγχου. Το μόνο αποτελεσματικό μέτρο στην προκειμένη περίπτωση είναι το πλήρες άδειασμα του θερμοσίφωνα από το νερό μέχρι να αυξηθεί η θερμοκρασία του περιβάλλοντος πάνω από το 0. [4],[6]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται αναλυτικά τα δύο λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν για την οικονομική και ενεργειακή ανάλυση κύκλου ζωής που πραγματοποιήθηκε σε ηλιακά συστήματα για ζεστό νερό χρήσης στην περιοχή των Χανίων. Σε πρώτο στάδιο περιγράφεται το λογισμικό RETSCREEN (οικονομική και ενεργειακή ανάλυση) και σε δεύτερο στάδιο η μεθοδολογία f-chart (ενεργειακή ανάλυση).

ΕΥΡΕΣΗ ΚΑΤΑΛΗΛΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ

Για την πραγματοποίηση της ανάλυσης κύκλου ζωής σε οικονομικό και ενεργειακό επίπεδο κρίθηκε αναγκαία η χρήση λογισμικού που να παρέχει τη δυνατότητα ανάλυσης κύκλου ζωής για ηλιακά συστήματα στα τρία επίπεδα που προαναφέρθηκαν.

Κατά την πορεία εύρεσης του κατάλληλου λογισμικού τέθηκαν υπό εξέταση λογισμικά που περιέχει ο κατάλογος από την αρμόδια Ευρωπαϊκή Επιτροπή και τον Διεθνή Οργανισμό Ενέργεια και διαθέτει όλα τα εργαλεία που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση κύκλου ζωής. Ο κατάλογος παρουσιάζεται παρακάτω:

AirConLCA	LTE OGIP; Version 5.0;	TESPI
	Build-Number 2092;	
	2005/12/12	
AIST-LCA Ver.4	Modular MSWI Model	The Boustead Model
1.0	5.0.12	
BEES 3.0d	Prototype Demolition	trainEE
	Waste Decision Tool 1	
DPL 1.0	REGIS 2.3	Umberto 5.5
e!Sankey 1.0	Sabento 1.1	USES-LCA
Eco-Bat 2.1	SALCA-animal 1.0	Verdee
Eco-Quantum	SALCA-biodiversity	WAMPS, betaversion
	061	
ECODESIGN X-Pro v1.0	SALCA-biodiversity 1.0	WISARD 4.0
ecoinvent waste	SALCA-crop 061	WRATE
disposal inventory tools v1.0		
EcoScan 3.1	SALCA-crop 2.02	RETScreen
EIME V2.4	SALCA-erosion 061	FAIR 2.0
EIME V3.0	SALCA-erosion 2.0	GEMIS
Environmental Impact	SALCA-farm 1.31	NREL's
Estimator V3.0.2		
EPD Tools Suit 2007	SALCA-farm 2.1	KCL-ECO
eVerdEE v.1.0	SALCA-heavy metals	WRI Project Protocol
	061	
eVerdEE v.2.0	SALCA-heavy metals	REFUGE 2
	1.0	
GaBi 4.2	SALCA-nitrate 061	GaBi
GaBi DfX	SALCA-nitrate 4.0	BIOMITRE
GaBi lite	SALCA-soil quality 061	SimaPro
GEMIS version 4.4	SALCA-soil quality 1.1	Umberto
Green-E, version 1.0	SankeyEditor 3.0	Boustead Model 5.0
JEMAI-LCA Pro ver.2	SimaPro 7	TEAMTM
KCL-ECO 4.0	STAN 1.1.3 - Software	Ecoinvent
	for Substance Flow Analysis	
LCA - Evaluator 2.0	TEAM™ 4.5	GAVE CO2 Tool
LEGEF 1.2	TEAM™ Web Simulator	

Εικόνα: Λίστα λογισμικών Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (European Commission)

Έπειτα από έρευνα σχετικά με τη διαθεσιμότητα και την αξιοπιστία των παραπάνω εργαλείων ανάλυσης κύκλου ζωής επιλέχθηκαν τα ακόλουθα εργαλεία:

- RETScreen: Οικονομική, ενεργειακή και περιβαλλοντική ανάλυση
- F-Chart: Ενεργειακή ανάλυση

2.1 RETSCREEN - ΔΙΕΘΝΕΣ ΗΛΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΎΔΑΤΟΣ



Στην παρούσα εργασία θα χρησιμοποιηθεί το πρόγραμμα RETScreen. Το διεθνές ηλιακό μοντέλο προγράμματος θέρμανσης ύδατος RETScreen μπορεί να χρησιμοποιηθεί παγκοσμίως για να αξιολογήσει εύκολα την παραγωγή ενέργειας, τις δαπάνες του κύκλου ζωής του προϊόντος και τη μείωση εκπομπών αερίου που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου για τρεις βασικές εφαρμογές (Manual RETScreen):

- ❖ οικιακό ηλιακό θερμοσίφωνα,
- ❖ παραγωγή θερμότητας για βιομηχανικές διαδικασίες και
- ❖ πισίνες (εσωτερικές και υπαίθριες)
- ❖ κυμαινόμενου μεγέθους από μικρά οικιακά συστήματα μέχρι εμπορικά, θεσμικά και βιομηχανικά συστήματα μεγάλης κλίμακας.

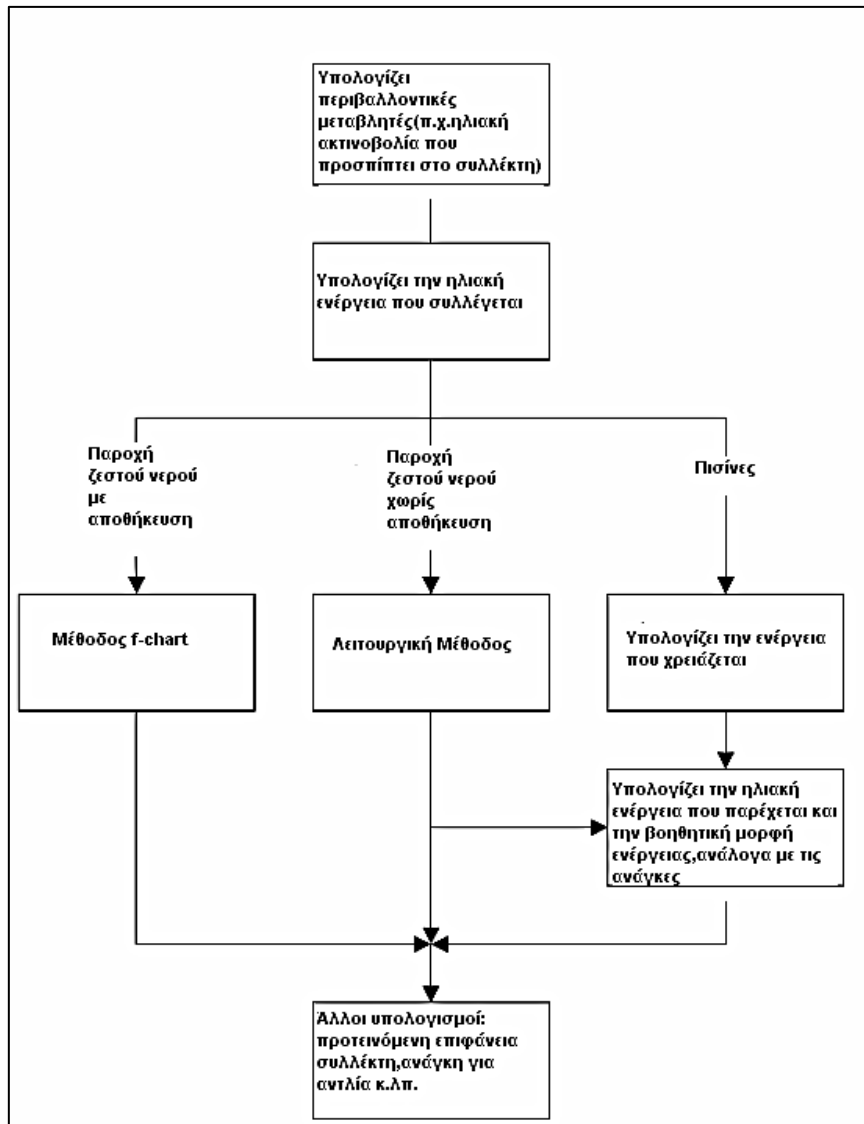
Έξι φύλλα εργασίας (ενεργειακό μοντέλο, πηγές ηλιακής ενέργειας και υπολογισμός φορτίων θέρμανσης (SR & HLC), ανάλυση δαπανών, ανάλυση μείωσης εκπομπής αερίων που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου (ανάλυση GHG), περιληπτική οικονομική ανάλυση, ανάλυση ευαισθησίας και ανάλυση επικινδυνότητας) παρέχονται στο πρόγραμμα θέρμανσης ύδατος μέσω ηλιακής ενέργειας. Το φύλλο εργασίας SR&HLC χρησιμοποιείται για να υπολογίσει το μηνιαίο ενεργειακό φορτίο που απαιτείται για την θέρμανση του νερού στην επιθυμητή θερμοκρασία. Αυτό το φύλλο εργασίας υπολογίζει επίσης την ετήσια ηλιακή ακτινοβολία ανάλογα με την κλίση του συλλέκτη για οποιοδήποτε προσανατολισμό του, χρησιμοποιώντας τις μηνιαίες τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε μια οριζόντια επιφάνεια. Η ετήσια απόδοση ενός ηλιακού συστήματος θέρμανσης ύδατος με μια δεξαμενή αποθήκευσης εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του συστήματος, την διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία, την θερμοκρασία του αέρα και από τα χαρακτηριστικά του θερμικού φορτίου. Το ηλιακό πρότυπο προγράμματος θέρμανσης ύδατος RETScreen είναι σχεδιασμένο για να βοηθήσει το χρήστη να καθορίσει τις ανάγκες σε ζεστό νερό, ενσωματώνοντας στο φύλλο εργασίας SR&LHC, έναν υπολογισμό των φορτίων θέρμανσης του νερού. Για να βοηθήσουν το χρήστη να χαρακτηρίσει ένα ηλιακό σύστημα θέρμανσης ύδατος πριν αξιολογηθεί η απόδοσή του σε δαπάνες και ενέργεια, προτείνονται μερικές τιμές για τη διαστασιολόγηση του συστήματος (π.χ. αριθμός συλλεκτών). Οι προτεινόμενες ή κατ' εκτίμηση τιμές (που δεν είναι απαραίτητα οι βέλτιστες) είναι

υπολογισμένες με βάση τις παραμέτρους εισαγωγής και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πρώτο βήμα στην ανάλυση.

Το φύλλο εργασίας με τίτλο *Ενεργειακό Μοντέλο* και το φύλλο εργασίας με τίτλο *SR&LHC*, συμπληρώνονται πρώτα. Το φύλλο εργασίας με τίτλο *Ανάλυσης Δαπανών* πρέπει να συμπληρωθεί στη συνέχεια και ακολουθεί το φύλλο εργασίας με τίτλο *Περιληπτική Οικονομική Ανάλυση*. Τα φύλλα εργασίας *Ανάλυση GHG* και *Ανάλυση Ευαισθησίας* αποτελούν μια προαιρετική ανάλυση. Το φύλλο εργασίας *Ανάλυση GHG* παρέχεται για να βοηθήσει στην εκτίμηση, από το χρήστη, της δυνατότητας μείωσης των εκπομπών αερίων που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου (*GHG*). Το φύλλο εργασίας *Ανάλυση Ευαισθησίας* παρέχεται για να βοηθήσει τον χρήστη να εκτιμήσει την ευαισθησία των σημαντικών οικονομικών δεικτών σε σχέση με τις βασικές τεχνικές και τις οικονομικές παραμέτρους. Γενικά, ο χρήστης εργάζεται από επάνω προς τα κάτω για κάθε ένα από τα φύλλα εργασίας. Αυτή η διαδικασία μπορεί να επαναληφθεί αρκετές φορές, προκειμένου να βελτιστοποιηθεί το σύστημα ηλιακής θέρμανσης ύδατος από την σκοπιά ενεργειακής χρήσης και δαπανών. Αυτό το τμήμα περιγράφει τους διάφορους αλγορίθμους που χρησιμοποιούνται για να υπολογίσουν, από μήνα σε μήνα, την εξοικονόμηση ενέργειας των ηλιακών συστημάτων θέρμανσης ύδατος μέσω του προγράμματος RETScreen. Η συμπεριφορά των θερμικών συστημάτων είναι αρκετά σύνθετη και αλλάζει από την μια στιγμή στην άλλη, ανάλογα με τη διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία, άλλες μετεωρολογικές μεταβλητές όπως η περιβαλλοντική θερμοκρασία, η ταχύτητα του αέρα και η σχετική υγρασία του και το φορτίο. Το RETScreen δεν κάνει μια λεπτομερή προσομοίωση της συμπεριφοράς του συστήματος. Αντί αυτού, χρησιμοποιεί τα απλουστευμένα πρότυπα, που επιτρέπουν τον υπολογισμό της εξοικονομούμενης μέσης ενέργειας σε μηνιαία βάση. Υπάρχουν τα εξής μοντέλα, τα οποία καλύπτουν τις βασικές εφαρμογές που εξετάζονται από το RETScreen (Manual RETScreen):

- ❖ *Παροχή ζεστού νερού με αποθήκευση*, που υπολογίζεται με τη μέθοδο f-chart
- ❖ *Παροχή ζεστού νερού χωρίς αποθήκευση*, που υπολογίζεται με τη μέθοδο της λειτουργικότητας και
- ❖ *Οι πισίνες*, για τις οποίες υπολογίζουν τα διάφορα μεγέθη με μια ειδική μέθοδο. Υπάρχουν δύο παραλλαγές του τελευταίου προγράμματος, για τις εσωτερικές και τις υπαίθριες πισίνες.

Όλα τα μοντέλα έχουν κάποιες κοινές μεθόδους, παραδείγματος χάριν για να υπολογίσουν τη θερμοκρασία του κρύου νερού, τη θερμοκρασία του αέρα, ή την ακτινοβολία που προσπίπτει στον ηλιακό συλλέκτη. Ένα άλλο κοινό χαρακτηριστικό γνώρισμα όλων των μοντέλων είναι ότι πρέπει να υπολογίσουν την απόδοση του ηλιακού συλλέκτη. Λόγω των απλοποιήσεων που εισάγονται στα μοντέλα, το ηλιακό μοντέλο προγράμματος θέρμανσης ύδατος RETScreen έχει μερικούς περιορισμούς. Κατ' αρχάς, το μοντέλο παραγωγής ζεστού νερού υποθέτει ότι το καθημερινό ογκομετρικό φορτίο είναι σταθερό κατά τη διάρκεια της κάθε εποχής. Δεύτερον, εκτός από τις εφαρμογές σε πισίνες, το μοντέλο περιορίζεται στην προθέρμανση του ύδατος. Δεν εξετάζει τα αυτόνομα συστήματα που παρέχουν 100% του φορτίου. Εντούτοις, για την πλειοψηφία των εφαρμογών, αυτοί οι περιορισμοί δεν επηρεάζουν σημαντικά τα αποτελέσματα.



Εικόνα 2.1: Διάγραμμα ροής μοντέλου παραγωγής ζεστού νερού με ηλιακή ενέργεια (Manual RETScreen)

2.2 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ

Διάφορες περιβαλλοντικές μεταβλητές πρέπει να υπολογιστούν από τα καιρικά στοιχεία που παρέχονται είτε από το χρήστη, είτε από τη βάση δεδομένων του προγράμματος. Οι τιμές που υπολογίζονται είναι οι εξής (Manual RETScreen):

- ❖ Μέση μηνιαία καθημερινή ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνεια του ηλιακού συλλέκτη, η οποία χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της απόδοσης του ηλιακού συλλέκτη και της ηλιακή ενέργεια που συλλέγεται
- ❖ Θερμοκρασία του αέρα, που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της ενέργεια από τους ηλιακούς συλλέκτες χωρίς αποθήκευση και τις απώλειες σε ακτινοβολία, όσον αφορά τις πισίνες
- ❖ Η θερμοκρασία του κρύου νερού, που χρησιμοποιείται για να καθορίσει το θερμαντικό φορτίο που πρέπει να καταναλώσει το σύστημα και τέλος το
- ❖ Φορτίο (εκτός από τις πισίνες)

2.3 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Από την στιγμή που το μοντέλο ηλιακής θέρμανσης ύδατος εξετάζει την ηλιακή ενέργεια, πρέπει πρώτα να οριστούν μερικές βασικές έννοιες της εφαρμοσμένης μηχανικής ηλιακής ενέργειας. Αυτή η παράγραφος σκοπεύει στην αναφορά και τον υπολογισμό μερικών μεταβλητών που θα χρησιμοποιηθούν στο μοντέλο μας (Manual RETScreen).

2.3.1 ΑΠΟΚΛΙΣΗ

Η απόκλιση είναι η γωνιακή θέση του ήλιου το ηλιακό μεσημέρι, όσον αφορά το επίπεδο του ισημερινού. Η τιμή της σε μοίρες δίνεται από την εξίσωση του Cooper :

$$\delta = 23.45 \sin \left(2\pi \frac{284 + n}{365} \right) \quad (1)$$

όπου n είναι η ημέρα του έτους, (δηλ. $n=1$ για την 1 Ιανουαρίου, $n=32$ για την 1 Φεβρουαρίου , κ.λπ.). Η απόκλιση ποικίλλει μεταξύ -23.45 στις 21 Δεκεμβρίου και $+ 23,45$ στις 21 Ιουνίου (Manual RETScreen).

2.3.2 ΓΩΝΙΑ ΗΛΙΑΚΗΣ ΩΡΑΣ ΚΑΙ ΓΩΝΙΑ ΩΡΑΣ ΗΛΙΟΒΑΣΙΛΕΜΑΤΟΣ

Η γωνία ηλιακής ώρας είναι η γωνιακή μετατόπιση του ηλίου, ανατολικά ή δυτικά του τοπικού μεσημβρινού. Το πρωί έχουμε αρνητική γωνία, ενώ το απόγευμα θετική. Η γωνία ηλιακής ώρας είναι ίση με το μηδέν το ηλιακό μεσημέρι και ποικίλλει κατά 15° ανά ώρα από το ηλιακό μεσημέρι. Παραδείγματος χάριν, στις 7 πμ. (ηλιακός χρόνος 1) η γωνία ηλιακής ώρας είναι ίση με -75° (7 πμ. είναι 5 ώρες από το μεσημέρι, δηλαδή πέντε φορές επί 15 μας κάνει 75 , με αρνητικό πρόσημο επειδή είναι πρωί). Η γωνία ώρας ηλιοβασιλέματος ω_s είναι η γωνία ηλιακής ώρας που αντιστοιχεί στο χρόνο όταν δύει ο ήλιος. Δίνεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$\cos \omega_s = - \tan \psi \tan \delta \quad (2)$$

όπου δ είναι η απόκλιση, υπολογισμένη μέσω της εξίσωσης (1) και ψ είναι το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής, που διευκρινίζεται από το χρήστη (Manual RETScreen).

2.3.3 ΕΞΩΓΗΙΝΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΚΑΙ ΔΕΙΚΤΗΣ ΚΑΘΑΡΟΤΗΤΑΣ

Η ηλιακή ακτινοβολία έξω από τη γήινη ατμόσφαιρα καλείται εξωγήινη ακτινοβολία. Η καθημερινή εξωγήινη ακτινοβολία που προσπίπτει σε μια οριζόντια επιφάνεια, H_0 , μπορεί να υπολογιστεί για την n ημέρα του έτους από την ακόλουθη εξίσωση:

$$H_0 = \frac{86400 G_{sc}}{\pi} \left(1 + 0.33 \cos \left(2\pi \frac{n}{365} \right) \right) (\cos \psi \cos \delta \sin \omega_s + \omega_s \sin \psi \sin \delta) \quad (3)$$

όπου G_{sc} είναι η ηλιακή σταθερά ίση με 1.367 W/m^2 και όλες οι άλλες μεταβλητές έχουν την ίδια έννοια με πριν.

Η ηλιακή ακτινοβολία, πριν φθάσει στην επιφάνεια της γης, μειώνεται από την ατμόσφαιρα και τα σύννεφα. Η αναλογία της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της γης προς την εξωγήινη ακτινοβολία καλείται δείκτη καθαρότητας. Κατά συνέπεια, ο μέσος μηνιαίος δείκτης καθαρότητας, K_T , ορίζεται ως:

$$\overline{K_T} = \frac{\overline{H}}{H_0} \quad (4)$$

Όπου H είναι η μέση μηνιαία καθημερινή ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε μια οριζόντια επιφάνεια και H_0 είναι η μέση μηνιαία εξωγήινη καθημερινή ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε

μια οριζόντια επιφάνεια. Οι τιμές του K_T εξαρτώνται από την τοποθεσία και το χρόνο του έτους και κυμαίνονται συνήθως μεταξύ 0,3 (για τις τοποθεσίες με πολύ συννεφιά) και 0,8 (για τις πολύ ηλιόλουστες τοποθεσίες) (Manual RETScreen).

2.3.4 ΚΛΙΣΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνεια του ηλιακού συλλέκτη απαιτείται για τον υπολογισμό της απόδοσης του συλλέκτη και το πραγματικό ποσό της ηλιακής ενέργειας που συλλέγεται. Το μοντέλο του προγράμματος RETScreen για τα ηλιακά θερμικά συστήματα χρησιμοποιεί τους ιστροπικούς αλγόριθμους των Liu και Jordan, για τον υπολογισμό της μέσης μηνιαίας ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια του συλλέκτη, H_T :

$$\overline{H_T} = \overline{H_b R_b} + \overline{H_d} \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + \overline{H_{\rho_g}} \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (5)$$

Ο πρώτος όρος στη δεξιά πλευρά αυτής της εξίσωσης αντιπροσωπεύει την ηλιακή ακτινοβολία που προέρχεται άμεσα από τον ήλιο. Είναι το προϊόν της μέσης μηνιαίας ακτινοβολίας επί έναν καθαρά γεωμετρικό παράγοντα, R_b , ο οποίος εξαρτάται μόνο από τον προσανατολισμό του συλλέκτη, το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής και το χρόνο του έτους 2.

Ο δεύτερος όρος αντιπροσωπεύει τη συμβολή της μέσης μηνιαίας διάχυτης ακτινοβολίας, H_d , η οποία εξαρτάται από την κλίση του συλλέκτη, β . Ο τελευταίος όρος

αντιπροσωπεύει την αντανάκλαση της ακτινοβολίας στο έδαφος μπροστά από το συλλέκτη και εξαρτάται από την κλίση του συλλέκτη και από στην επίγεια ανακλαστικότητα, ρ_g . Η τελευταία υποθέτουμε ότι είναι ίση με 0,2 όταν είναι η μηνιαία μέση θερμοκρασία ξεπερνά τους 00C και 0,7 όταν η μέση μηνιαία θερμοκρασία δεν είναι κάτω των -50C και κυμαίνεται γραμμικά με τη θερμοκρασία μεταξύ αυτών των δύο ορίων.

Η μέση μηνιαία καθημερινή διάχυτη ακτινοβολία υπολογίζεται από τη σφαιρική ακτινοβολία μέσω του ακόλουθου τύπου (Manual RETScreen): για τιμές της γωνίας ώρας ηλιοβασιλέματος ως λιγότερο από 81,40 :

$$\frac{\overline{H_d}}{\overline{H}} = 1.391 - 3.560\overline{K_T} + 4.189\overline{K_T^2} - 2.137\overline{K_T^3} \quad (6)$$

για τις τιμές της γωνίας ώρας ηλιοβασιλέματος ως μεγαλύτερης από 81,40 :

$$\frac{\overline{H_d}}{\overline{H}} = 1.311 - 3.022\overline{K_T} + 3.427\overline{K_T^2} - 1.821\overline{K_T^3} \quad (7)$$

Η μέση μηνιαία καθημερινή ακτινοβολία υπολογίζεται απλά από τη σχέση:

$$\overline{H_b} = \overline{H} - \overline{H_d} \quad (8)$$

2.3.5 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Η ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος είναι η ακτινοβολία που προέρχεται από τον ουρανό με μήκη κύματος μεγαλύτερα από 3μm. Όπως θα δούμε παρακάτω, αυτό απαιτείται για να ποσοτικοποιήσουμε τις ανταλλαγές ακτινοβολίας μεταξύ ενός ηλιακού συλλέκτη και του ουρανού. Μια μεταβλητή σχετική με την ακτινοβολία του ουρανού είναι η *θερμοκρασία του περιβάλλοντος*, T_{sky} , η οποία είναι η θερμοκρασία ενός ιδανικού μαύρου σώματος που εκπέμπει το ίδιο ποσό ακτινοβολίας. Η τιμή του σε 0C υπολογίζεται από την ακτινοβολία του ουρανού L_{sky} μέσω της σχέσης (Manual RETScreen):

$$L_{sky} = \sigma(T_{sky} + 273.2)^4 \quad (9)$$

όπου σ είναι σταθερά των Stefan-Boltzmann και είναι ίση με $5.669 \cdot 10^{-8}$ (W/m²)/K⁴. Η ακτινοβολία του ουρανού ποικίλλει ανάλογα με την παρουσία ή την απουσία σύννεφων – όπως βιώνεται σε καθημερινή βάση, οι νύχτες με ξαστεριά τείνουν να είναι πιο κρύες, ενώ οι συννεφιασμένες νύχτες είναι συνήθως θερμότερες. Η ανεμπόδιστη ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος του ουρανού (δηλαδή όταν υπάρχει ξαστεριά) υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τη σχέση του Swinbank:

$$L_{clear} = 5.31 \times 10^{-13} (T_a + 273.2)^6 \quad (10)$$

όπου T_a είναι η περιβαλλοντική θερμοκρασία που εκφράζεται σε 0C. Για τους νεφελώδεις ουραμούς, το μοντέλο υποθέτει ότι τα σύννεφα είναι σε μια θερμοκρασία ($T_c - 5$) και εκπέμπουν ακτινοβολία μεγάλων μηκών κύματος με μια εκπομπή 0,96, δηλαδή η ακτινοβολία του συννεφιασμένου ουρανού υπολογίζεται από τη σχέση:

$$L_{cloudy} = 0.96\sigma(T_c + 273,2 - 5)^4 \quad (11)$$

Η πραγματική ακτινοβολία του ουρανού κυμαίνεται κάπου μεταξύ των ξάστερων και των νεφελωδών τιμών. Εάν c είναι το μέρος του ουρανού που καλύπτεται από τα σύννεφα, η ακτινοβολία του ουρανού μπορεί να προσεγγιστεί από τη σχέση:

$$L_{sky} = (1 - c)L_{clear} + cL_{cloudy} \quad (12)$$

Για να λάβει παράμετρος c μια τιμή κατά προσέγγιση κατά τη διάρκεια του μήνα, το μοντέλο καθιερώνει μια αντιστοιχία μεταξύ του ποσού των σύννεφων και του μέρους της μέσης μηνιαίας διάχυτης καθημερινής ακτινοβολίας. Ένας ξάστερος ουρανός θα οδηγήσει σε ένα κλάσμα διάχυσης $K_d = H_d / H$ περίπου ίσο με 0.165. Ένας συννεφιασμένος ουρανός θα οδηγήσει σε ένα κλάσμα διάχυσης ίσο με 1. Ως εκ τούτου:

$$c = \frac{(K_d - 0.165)}{0.835} \quad (13)$$

το K_d υπολογίζεται από το μέσο μηνιαίο δείκτη καθαρότητας χρησιμοποιώντας τη συσχέτιση των Collares- Pereira και Rabl, που αναφέρεται στην "μέση ημέρα" του μήνα (δηλαδή υποθέτοντας ότι ο καθημερινός δείκτης καθαρότητας είναι ίσος με τη μέση μηνιαία αξία του):

$$K_d = \begin{cases} 0.99 & , for K_r \leq 0.17 \\ 1.188 - 2.272K_r + 9.473K_r^2 - 21.865K_r^3 + 14.648K_r^4 & , for 0.17 \leq K_r \leq 0.75 \\ -0.54K_r + 0.632 & , for 0.75 \leq K_r \leq 0.80 \\ 0.2 & , for K_r \geq 0.80 \end{cases} \quad (14)$$

2.3.6 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΤΟΥ ΚΡΥΟΥ ΝΕΡΟΥ

Η θερμοκρασία του κρύου νερού που παρέχεται από το δημόσιο σύστημα ύδρευσης χρησιμοποιείται για να υπολογίσει την ενέργεια που απαιτείται για να θερμάνει το νερό μέχρι την επιθυμητή θερμοκρασία. Υπάρχουν δύο τρόποι υπολογισμού της θερμοκρασίας του κρύου νερού. Με τον πρώτο τρόπο, η θερμοκρασία του κρύου νερού υπολογίζεται αυτόματα από τις τιμές περιβαλλοντικής θερμοκρασίας που εισάγονται από το χρήστη (ή αντιγράφονται από τη βάση δεδομένων του RETScreen). Με το δεύτερο τρόπο, η θερμοκρασία του κρύου νερού υπολογίζεται από τις ελάχιστες και μέγιστες τιμές που διευκρινίζονται από το χρήστη (Manual RETScreen).

Αυτόματος υπολογισμός

Η διάχυση της θερμότητας στο έδαφος υπακούει στην εξίσωση της θερμότητας:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \quad (15)$$

όπου T είναι η εδαφολογική θερμοκρασία, t είναι ο χρόνος, α είναι η θερμική διαχυτότητα του εδάφους (σε m^2/sec) and z είναι η κάθετη απόσταση. Για ένα ημι-απεριόριστο έδαφος με μια περιοδική διακύμανση στην επιφάνεια, ισχύει:

$$T(0, t) = T_0 e^{i\omega t} \quad (16)$$

όπου T_0 είναι το εύρος της διακύμανσης της θερμοκρασίας στην επιφάνεια και ω είναι η συχνότητα για το μήνα i . Η λύση στην εξίσωση (16), που δίνει τη θερμοκρασία $T(z, t)$ σε ένα βάθος z και σε κάποιο χρόνο t , δίνεται από τη σχέση:

$$T(z, t) = T_0 e^{-(1+i)z/\sigma} e^{i\omega t} \quad (17)$$

όπου σ είναι μια χωρική κλίμακα που καθορίζεται από τη σχέση:

$$\sigma = \sqrt{\frac{2\alpha}{\omega}} \quad (18)$$

Με άλλα λόγια, μια εποχιακή (ετήσια) διακύμανση του εύρους ΔT στην επιφάνεια θα γίνει αισθητή σε ένα βάθος z με ένα εύρος $\Delta T(z) = \Delta T e^{-z/\sigma}$ και με μια καθυστέρηση $\Delta t = z/\sigma\omega$.

Το ηλιακό μοντέλο προγράμματος θέρμανσης ύδατος RETScreen υποθέτει ότι η θερμοκρασία κρύου νερού είναι ίση με την θερμοκρασία του εδάφους σε ένα κατάλληλο βάθος. Το μοντέλο λαμβάνει ως $\alpha=0.52 \cdot 10^{-6} m^2/sec$ (με αντιστοιχία σε ένα ξηρό βαρύ χώμα ή ένα υγρό ελαφρύ χώμα) και $z=2m$, το υποτιθέμενο βάθος στο οποίο βρίσκονται οι σωλήνες του δικτύου ύδρευσης. Αυτό οδηγεί σε (Manual RETScreen):

$$\sigma = 2,28 m \quad (19)$$

$$\Delta T(z) = \Delta T(0) \times 0.42 \quad (20)$$

$$\Delta t = 51 \text{ days} \sim 2 \text{ months} \quad (21)$$

Υπολογισμός με το χέρι

Ένα ημιτονοειδές σχεδιάγραμμα παράγεται από τις ελάχιστες και μέγιστες θερμοκρασίες που διευκρινίζονται από το χρήστη, υποθέτοντας ότι το ελάχιστο επιτυγχάνεται το Φεβρουάριο και το μέγιστο τον Αύγουστο, όσον αφορά το βόρειο ημισφαίριο (η κατάσταση αντιστρέφεται για το νότιο ημισφαίριο). Ως εκ τούτου, η μέση θερμοκρασία του εδάφους (ή του κρύου νερού) T_s εκφράζεται σαν συνάρτηση της ελάχιστης θερμοκρασίας T_{min} , της μέγιστης θερμοκρασίας T_{max} και του αριθμού n του μήνα, όπως φαίνεται παρακάτω:

$$T_s = \frac{T_{min} + T_{max}}{2} - \frac{T_{max} - T_{min}}{2} h \cos\left(2\pi \frac{n-2}{12}\right) \quad (22)$$

όπου h είναι ίσο με 1 για το βόρειο ημισφαίριο και -1 για το νότιο ημισφαίριο (Manual RETScreen).

2.3.7 ΚΑΤ' ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΦΟΡΤΙΩΝ

Ο υπολογισμός των φορτίων είναι απαραίτητος για τα μοντέλα παραγωγής ζεστού νερού (με ή χωρίς αποθήκευση). Παρέχονται εκτιμήσεις για τη χρήση του ζεστού νερού, που προέρχονται από τους πίνακες που δημοσιεύονται στο εγχειρίδιο εφαρμογών ASHRAE. Καμία εκτίμηση για τη χρήση ζεστού νερού δεν γίνεται για τις βιομηχανικές ή άλλες εφαρμογές υδατοκαλλιέργειας. Το πραγματικό φορτίο υπολογίζεται ως η ενέργεια που απαιτείται για να θερμάνει το νερό σε συγκεκριμένη θερμοκρασία. Εάν V_l είναι το απαραίτητο ποσό ύδατος και T_h είναι η απαιτούμενη θερμοκρασία ζεστού νερού (και οι δύο διευκρινίζονται από το χρήστη), τότε η ενέργεια που απαιτείται Q_{load} εκφράζεται ως:

$$Q_{load} = C_p \rho V_l (T_h - T_c) \quad (23)$$

όπου C_p είναι η ικανότητα θέρμανσης του ύδατος ($4.200 \text{ (J/kg)/ }^\circ\text{C}$), ρ η πυκνότητά του (1kg/L) και T_c είναι η θερμοκρασία του κρύου νερού. Το φορτίο Q_{load} διανέμεται ανάλογα από τον αριθμό ημερών της εβδομάδας που χρησιμοποιείται το σύστημα (Manual RETScreen). [19]

2.4 Η ΜΕΘΟΔΟΣ F-CHART

Η μέθοδος f-chart είναι η αυθεντική ανάλυση ηλιακού συστήματος και πρόγραμμα σχεδιασμού που γράφτηκε από τους S.A Klein και W.A Beckman, τους δημιουργούς.

Η μέθοδος f-chart παρέχει ένα μέσο εύκολου προσδιορισμού της θερμικής απόδοσης των ενεργητικών ηλιακών συστημάτων (χρησιμοποιώντας είτε υγρό είτε αέρα ως ρευστό μεταφοράς) και των ηλιακών συστημάτων ζεστού νερού.

Πρόκειται ουσιαστικά για μια συσχέτιση των αποτελεσμάτων εκατοντάδων προσομοιώσεων ηλιακών συστημάτων θέρμανσης. Οι συνθήκες των συσχετίσεων που προκύπτουν δίνουν το f , το κλάσμα δηλαδή του μηνιαίου θερμικού φορτίου (για τη θέρμανση χώρων και ζεστό νερό χρήσης), που παρέχεται από την ηλιακή ενέργεια ως συνάρτηση δύο αδιάστατων μεταβλητών που αφορούν τα χαρακτηριστικά του συλλέκτη, τα φορτία θέρμανσης και τις τοπικές καιρικές συνθήκες.

Η f-chart χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της μακροπρόθεσμης κατά μέσο όρο απόδοσης των τριών τυποποιημένων συστημάτων διαμορφώσεων που ακολουθούν:

- ❖ Συστήματα υγρού για τη θέρμανση χώρων και ζεστού νερού χρήσης
- ❖ Συστήματα αέρα για τη θέρμανση χώρων
- ❖ Συστήματα μόνο για τη θέρμανση ζεστού νερού χρήσης

Έχει αναπτυχθεί για την αξιολόγηση της απόδοσης ηλιακών συλλεκτών όπως είναι οι επίπεδοι, οι συλλέκτες κενού, οι παραβολικοί συγκεντρωτικοί κ.ο.ε

2.4.1 ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

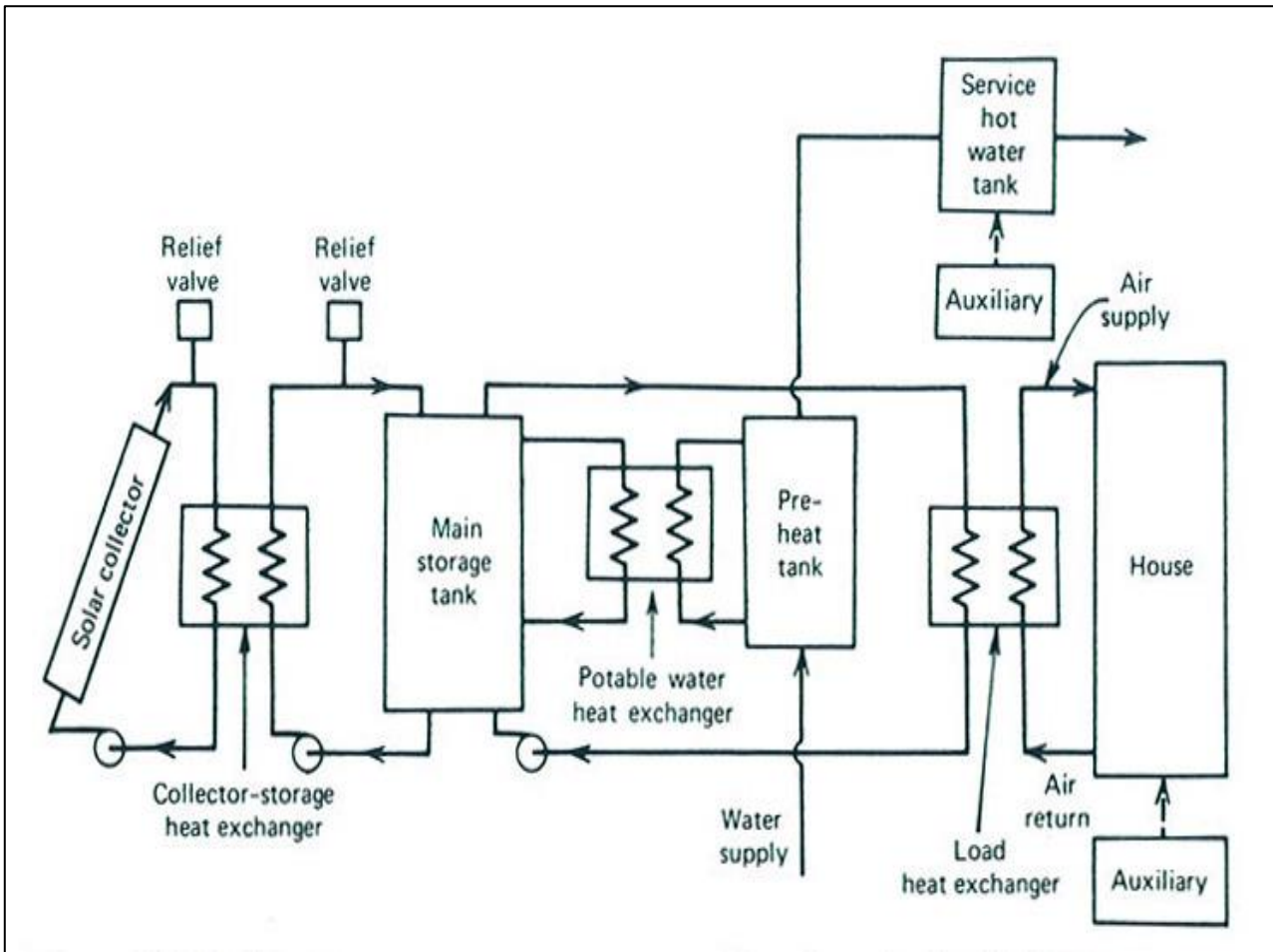
Ένα σχηματικό διάγραμμα του πρότυπου συστήματος διαμόρφωσης που χρησιμοποιεί υγρό για τη μεταφορά θερμότητας και μέσα αποθήκευσης παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.3. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιεί συνήθως ένα αντιψυκτικό διάλυμα στο βρόγχο του συλλέκτη και νερό σαν μέσο αποθήκευσης. Οι συλλέκτες μπορούν να αποστραγγίζονται όταν η ενέργεια δε συλλέγεται, περίπτωση στην οποία το νερό χρησιμοποιείται απευθείας στους συλλέκτες και ένας εναλλάκτης θερμότητας δεν απαιτείται.

Ένας εναλλάκτης θερμικού φορτίου νερού-αέρα χρησιμοποιείται για τη μεταφορά θερμότητας από μία δεξαμενή αποθήκευσης σε ένα οικιακό υποσύστημα για ζεστό νερό χρήσης. Ένα βοηθητικό σύστημα θέρμανσης προβλέπεται για την παροχή ενέργειας όσον αφορά το φορτίο που σχετίζεται με τη θέρμανση χώρου, όταν αυτό δε μπορεί να καλυφθεί για τη δεξαμενή. Τα εύρη για τις βασικές μεταβλητές σχεδιασμού που χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη των συσχετισμών δίνονται στον Πίνακα 1- Εικόνα 2.2 .

Table 1
Ranges of design parameters used in the f-chart for liquid systems [8]

0.6	$\leq (\tau\alpha)_x$	≤ 0.9
5	$\leq F'_{RA}$	$\leq 120 \text{ m}^2$
2.1	$\leq U_L$	$\leq 8.3 \text{ W/m}^2\text{°C}$
30	$\leq \beta$	$\leq 80 \text{ deg}$
83	$\leq (UA)_h$	$\leq 667 \text{ W/°C}$

Εικόνα 2.2: Πίνακας τιμών εύρους για τις βασικές μεταβλητές σχεδιασμού

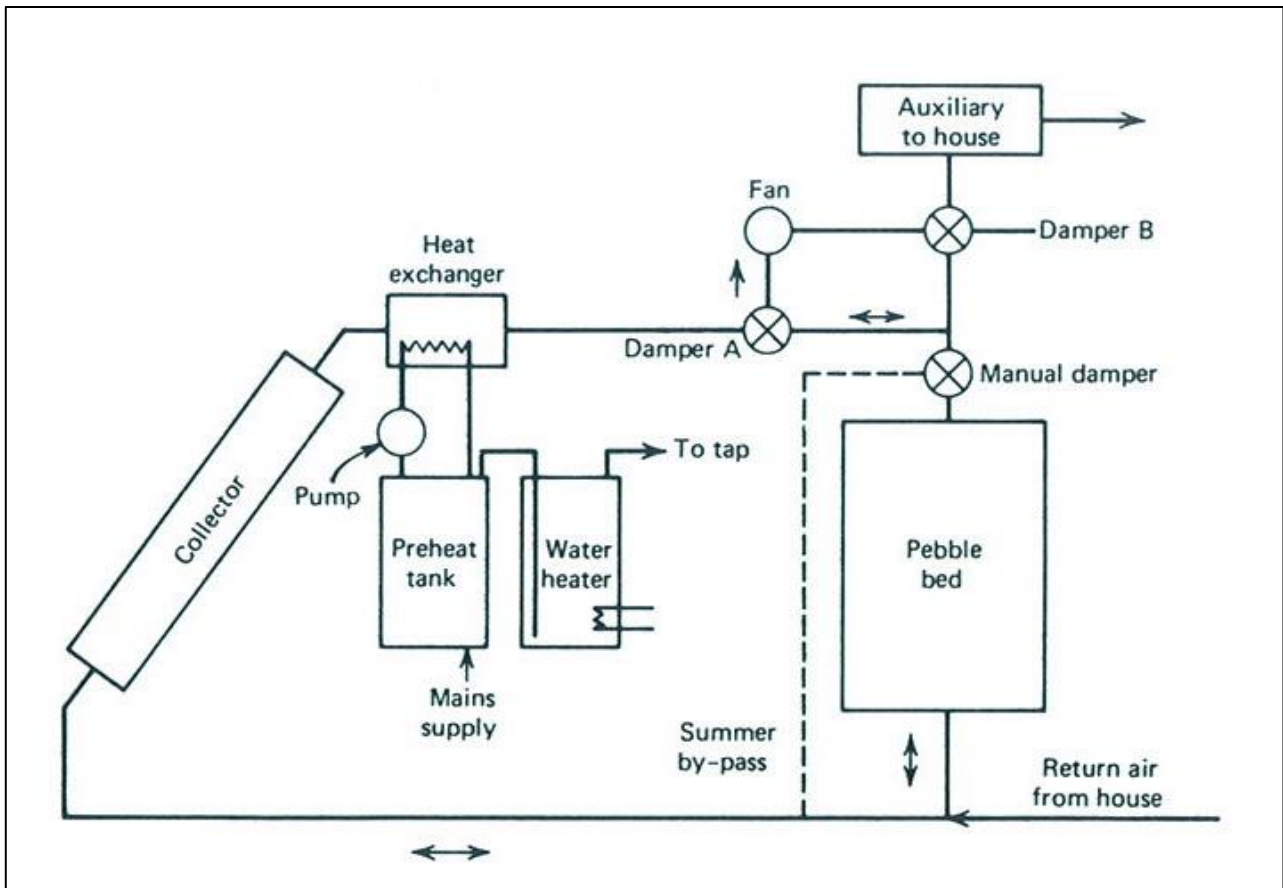


Εικόνα 2.3: Σχηματική αναπαράσταση της τυπικής διαμόρφωσης συστήματος που χρησιμοποιεί υγρό ως μέσο μεταφοράς θερμότητας και μέσα αποθήκευσης

Η τυπική διαμόρφωση ενός ηλιακού θερμικού συστήματος με τη χρήση αέρα με μονάδα αποθήκευσης ένα κρεβάτι βότσαλο (pebble bed) φαίνεται στην Εικόνα 2.4. Άλλες ισοδύναμες ρυθμίσεις των ανεμιστήρων και των αποσβεστήρων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να παρέχουν τις ίδιες καταστάσεις λειτουργίας. Ενέργεια που απαιτείται για ζεστό νερό οικιακής χρήσης (DHW)

παρέχεται από έναν εναλλάκτη θερμότητας αέρα-νερού σε αγωγό θερμού αέρα που εξέρχεται από τον συλλέκτη.

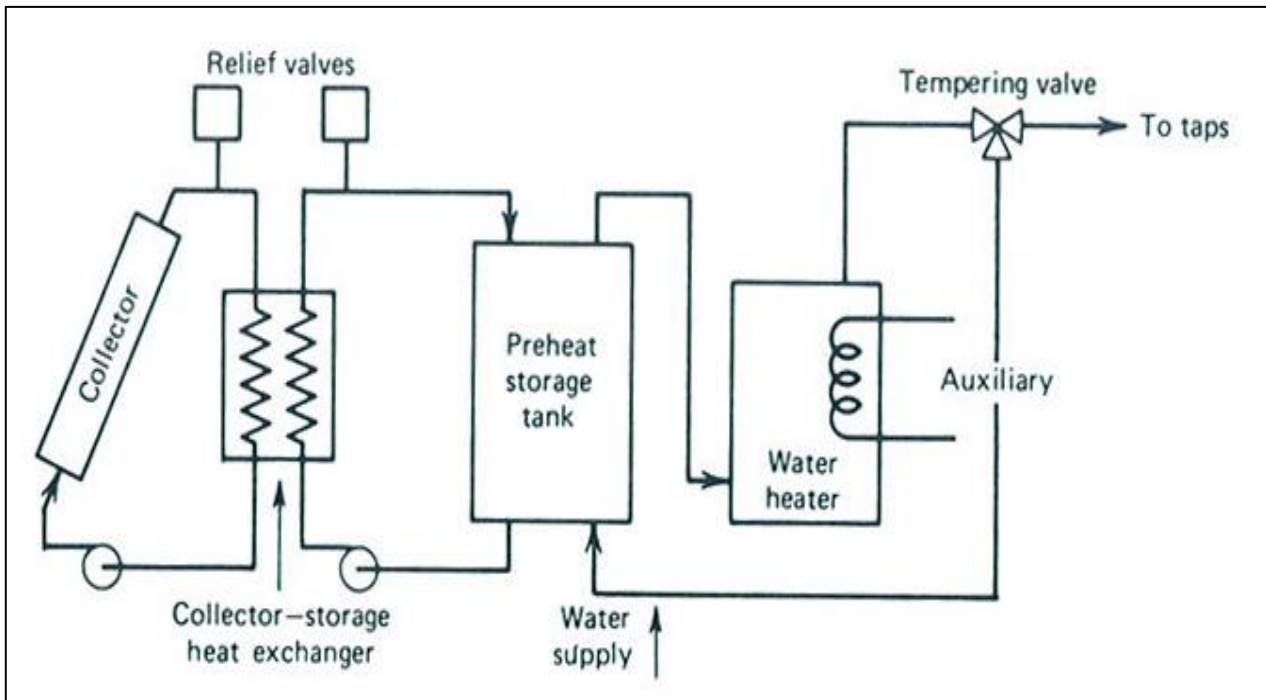
Κατά την καλοκαιρινή λειτουργία το καλύτερο είναι να μην γίνεται αποθήκευση ηλιακής ενέργειας στο κρεβάτι βότσαλο (pebble bed) και μια χειροκίνητη αποθήκευση bypass συνήθως παρέχεται σε αυτό το σύστημα για να είναι δυνατή η θέρμανση νερού και το καλοκαίρι. Τα εύρη των παραμέτρων σχεδιασμού που χρησιμοποιούνται στην ανάπτυξη των συσχετισμών για το συγκεκριμένο σύστημα παρουσιάζονται επίσης στον Πίνακα 1-Εικόνα22.2 .



Εικόνα 2.4: Η τυπική διαμόρφωση συστήματος αέρα

Η τυπική διαμόρφωση ηλιακού συστήματος θέρμανσης για ζεστό νερό οικιακής χρήσης φαίνεται στην Εικόνα 2.5. Ο συλλέκτης μπορεί να ζεσταίνει είτε αέρα ,είτε υγρό. Η ηλιακή ενέργεια μεταφέρεται μέσω ενός εναλλάκτη θερμότητας σε μια δεξαμενή προθέρμανσης ζεστού νερού οικιακής χρήσης, η οποία παρέχει ηλιακά θερμαινόμενο νερό σε ένα συμβατικό θερμοσίφωνα ή σε έναν σε σειρά χαμηλής χωρητικότητας θερμαντήρα με ασφάλεια (zip) όπου το νερό θερμαίνεται περαιτέρω μέχρι την επιθυμητή θερμοκρασία αν είναι απαραίτητο.

Μια βαλβίδα θερμικής κατεργασίας μπορεί να παρέχεται για να διατηρήσει το νερό της βρύσης κάτω από μια μέγιστη θερμοκρασία. Αυτές οι αλλαγές στη διαμόρφωση του συστήματος δεν έχουν σημαντικές επιδράσεις στην απόδοση του συστήματος.



Εικόνα 2.5: Η τυπική διαμόρφωση συστήματος για θέρμανση νερού μόνο. Ο συλλέκτης μπορεί να θερμαίνεται αέρα ή νερό.

2.4.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ F-CHART

Η μέθοδος f-chart, όπως έχει ήδη θεωρηθεί είναι η συσχέτιση των αποτελεσμάτων πολλών εκατοντάδων θερμικών προσομοιώσεων ηλιακών συστημάτων θέρμανσης. Οι προσομοιώσεις που προκύπτουν δίνουν το f , δηλαδή το μηνιαίο κλάσμα του θερμικού φορτίου (για τη θέρμανση χώρου και ζεστό νερό χρήσης) που παρέχεται από την ηλιακή ενέργεια ως συνάρτηση των δύο αδιάστατων παραμέτρων, X, Y .

Όπου X είναι η αναλογία των απωλειών του συλλέκτη σε φορτία θέρμανσης και Y είναι η αναλογία της ακτινοβολίας που απορροφάται σε θερμικά φορτία. Τα X, Y δίνονται στις εξισώσεις (1) και (2):

$$X = \frac{\text{(αναφορά απώλειας ενέργειας συλλέκτη κατά τη διάρκεια ενός μήνα)}}{\text{(συνολικό φορτίο θέρμανσης κατά τη διάρκεια ενός μήνα)}} \quad (1)$$

$$Y = \frac{\text{(συνολική ενέργεια που απορροφά ο συλλέκτης σε ένα μήνα)}}{\text{(συνολικό φορτίο θέρμανσης κατά τη διάρκεια ενός μήνα)}} \quad (2)$$

Οι εξισώσεις για τα X, Y μπορούν να γραφτούν ως εξής:

$$X = A_c * F'R * U_L * (T_{ref} - \bar{T}_a) * \Delta t / L \quad (3)$$

$$Y = A_c * F'R * (\bar{\tau}\alpha) * \bar{H}_t * N / L \quad (4)$$

Όπου:

A_c = επιφάνεια του ηλιακού συλλέκτη (m^2)

$F'R$ = συντελεστής απόδοσης του εναλλάκτη θερμότητας του συλλέκτη (%)

U_L = συντελεστής ολικών απωλειών του συλλέκτη ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

Δt = ο συνολικός αριθμός των δευτερολέπτων ή των ωρών το μήνα

\bar{T}_a = μέση μηνιαία θερμοκρασία περιβάλλοντος ($^{\circ}\text{C}$)

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

L = μηνιαίο συνολικό φορτίο για θέρμανση χώρου και ζεστό νερό χρήσης (GJ)

\bar{H}_t = μέση μηνιαία, καθημερινή ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνεια του συλλέκτη ανά μονάδα επιφάνειας (J/m^2)

N = ο αριθμός των ημερών σε ένα μήνα

$(\tau\alpha)$ = μέση μηνιαία διαπερατότητα, απορροφητικότητα προϊόντος (%)

Οι εξισώσεις (3) και (4) τροποποιούνται και ως εξής:

$$X = F_R * U_L * F'_R/F_R * (T_{\text{ref}} - \bar{T}_a) * \Delta t * A_c/L \quad (5)$$

$$Y = F_R * (\tau\alpha)_n * F'_R/F_R * (\tau\alpha)/(\tau\alpha)_n * \bar{H}_t N * A_c/L \quad (6)$$

Όπου :

F_R = ο συντελεστής απομάκρυνσης θερμότητας από τον συλλέκτη (%)

$(\tau\alpha)_n$ = διαπερατότητα-απορροφητικότητα, το γινόμενο για την ακτινοβολία σε κάθετη πρόσπτωση

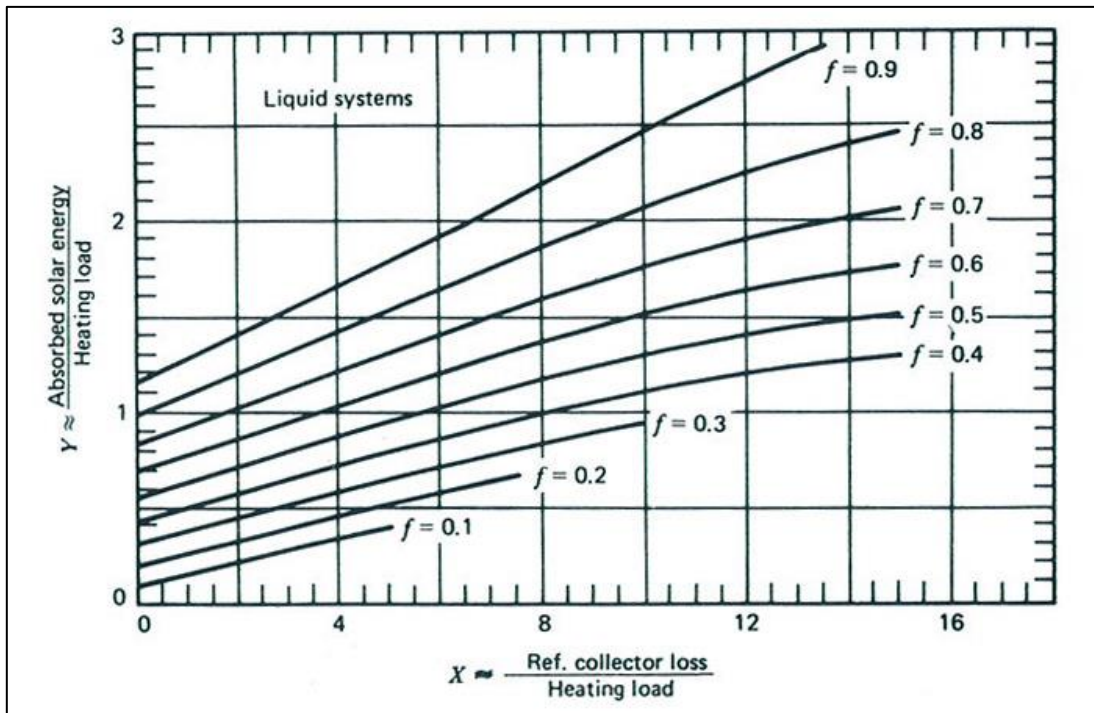
Όπως θα παρουσιαστεί σε επόμενα τμήματα οι μεταβλητές X και Y , χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό του f_i , του μηνιαίου κλάσματος του φορτίου που προέρχεται από την ηλιακή ενέργεια. Η συνεισφορά της ενέργειας για το μήνα είναι στην πραγματικότητα το γινόμενο του f_i με το μηνιαίο συνολικό φορτίο για θέρμανση χώρου και ζεστό νερό χρήσης, L_i .

Το ετήσιο κλάσμα του θερμικού φορτίου που παρέχεται από την ηλιακή ενέργεια F είναι το άθροισμα των μηνιαίων συνεισφορών ηλιακής ενέργειας διαιρούμενο με το ετήσιο φορτίο :

$$F = \frac{\sum f_i L_i}{\sum L_i}$$

2.4.3 Η F-CHART ΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΥΓΡΟΥ

Για συστήματα της διαμόρφωσης που φαίνεται στην Εικόνα 2.4, το κλάσμα f , του συνολικού μηνιαίου θερμικού φορτίου που παρέχεται από τον ηλιακό χώρο και το σύστημα θέρμανσης νερού δίνεται ως συνάρτηση του X και του Y στην Εικόνα 2.6.

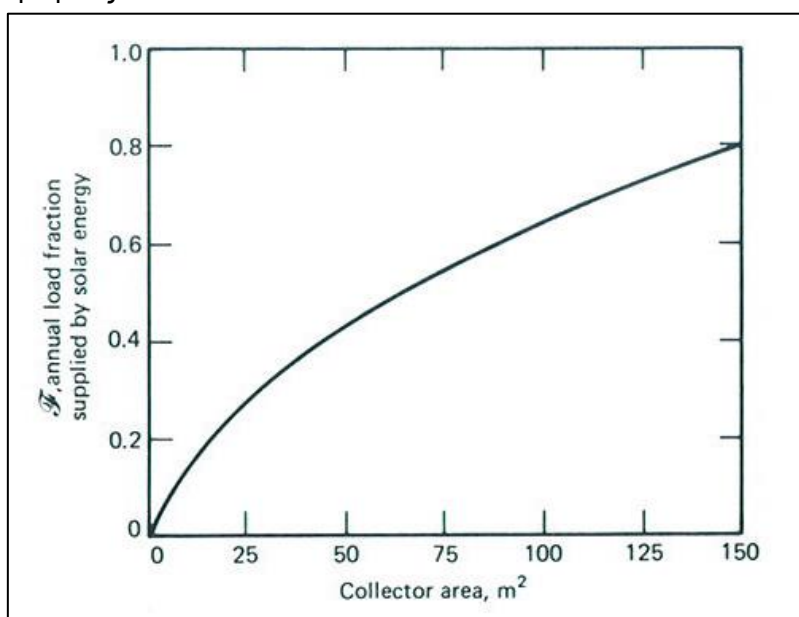


Εικόνα 2.6: Η f-chart για συστήματα που χρησιμοποιούν υγρό ως μέσο μεταφοράς θερμότητας και μέσα αποθήκευσης.

Η σχέση των X, Y και f στην εξίσωση είναι :

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

Για τον προσδιορισμό της βέλτιστης οικονομικής επιφάνειας συλλεκτών, το ετήσιο ποσοστό φορτίου που αντιστοιχεί σε διαφορετικές περιοχές συλλεκτών πρέπει να καθοριστεί. Το ετήσιο κλάσμα φορτίου στη συνέχεια παρίσταται γραφικώς ως συνάρτηση της επιφάνειας του συλλέκτη όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.7. Οι πληροφορίες σε αυτό το σχήμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για οικονομικούς υπολογισμούς.



Εικόνα 2.7: Το ετήσιο κλάσμα φορτίου έναντι της επιφάνειας του συλλέκτη

Για τα συστήματα υγρού, οι υπολογισμοί της f-chart μπορούν να τροποποιηθούν για την εκτίμηση μεταβολών όσον αφορά τη μακροπρόθεσμη απόδοση εξαιτίας αλλαγών τόσο στη χωρητικότητα της δεξαμενής αποθήκευσης όσο και στα χαρακτηριστικά του φορτίου του εναλλάκτη θερμότητας. Αυτό πραγματοποιείται τροποποιώντας τις τιμές των X και Y όπως περιγράφεται παρακάτω.

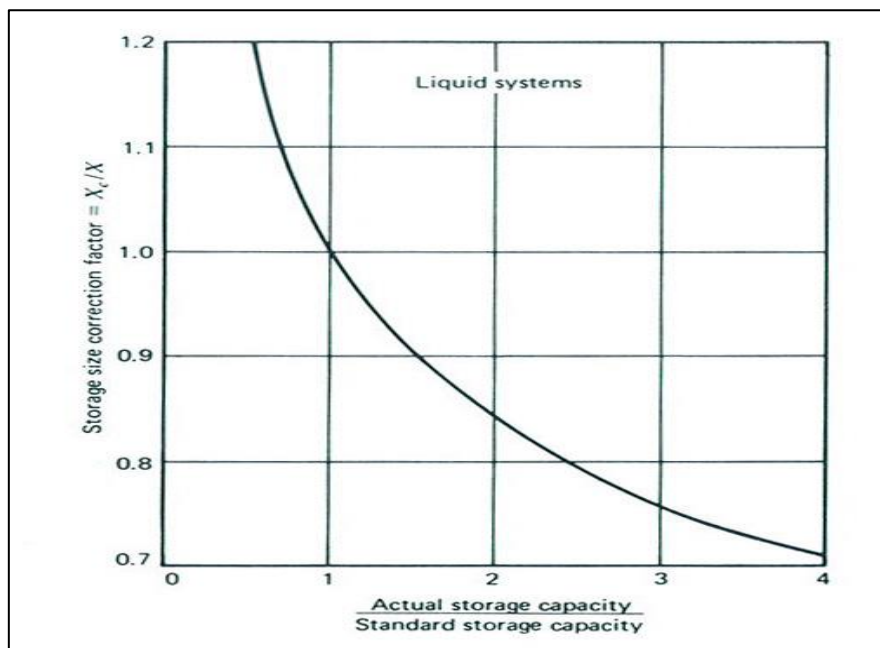
2.4.4 ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ ΜΑΚΡΟΠΡΟΘΕΣΜΗ ΑΠΟΔΟΣΗ

Χωρητικότητα αποθήκευσης

Η f-chart έχει δημιουργηθεί για μια χωρητικότητα αποθήκευσης των 75 λίτρων αποθηκευμένου νερού ανά τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας συλλεκτών. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της ετήσιας απόδοσης συστημάτων με άλλο δυναμικό αποθήκευσης της κλίμακας από 37.5 έως 300 λίτρα ανά τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας συλλεκτών, με τον πολλαπλασιασμό της αδιάστατης παραμέτρου X με ένα συντελεστή διόρθωσης του μεγέθους αποθήκευσης $\frac{X_c}{X}$:

$$X_c/X = \left(\frac{(\text{πραγματική χωρητικότητα αποθήκευσης})}{(\text{βασική χωρητικότητα αποθήκευσης})} \right)^{(-0.25)}$$

Για $0.5 \leq (\text{πραγματική χωρητικότητα αποθήκευσης}/\text{βασική χωρητικότητα αποθήκευσης}) \leq 4.0$. Όπου το πρότυπο χωρητικότητα αποθήκευσης είναι 75 λίτρα νερού ανά τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας συλλέκτη.



Εικόνα 2.8: Συντελεστής διόρθωσης μεγέθους αποθήκευσης για συστήματα υγρού. Το πρότυπο μέγεθος αποθήκευσης είναι τα 75 λίτρα ανά τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας συλλεκτών.

Μέγεθος φορτίου εναλλάκτη θερμότητας

Το μέγεθος του φορτίου του εναλλάκτη θερμότητας επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την απόδοση του συστήματος θέρμανσης. Καθώς ο εναλλάκτης θερμότητας χρησιμοποιείται για τη θέρμανση της

ατμόσφαιρας του κτιρίου, η θερμοκρασία της δεξαμενής αποθήκευσης πρέπει να αυξηθεί για να παρέχει την ίδια ποσότητα θερμότητας, με αποτέλεσμα υψηλότερες θερμοκρασίες συλλέκτη και μειωμένη παραγωγή συλλέκτη.

Το μέγεθος του φορτίου του εναλλάκτη θερμότητας μετράται με την αδιάστατη παράμετρο:

$$Z = (e L * C_{min}) / (U * A)h$$

Όπου:

e L= αποτελεσματικότητα εναλλάκτη θερμικού φορτίου νερού-αέρα

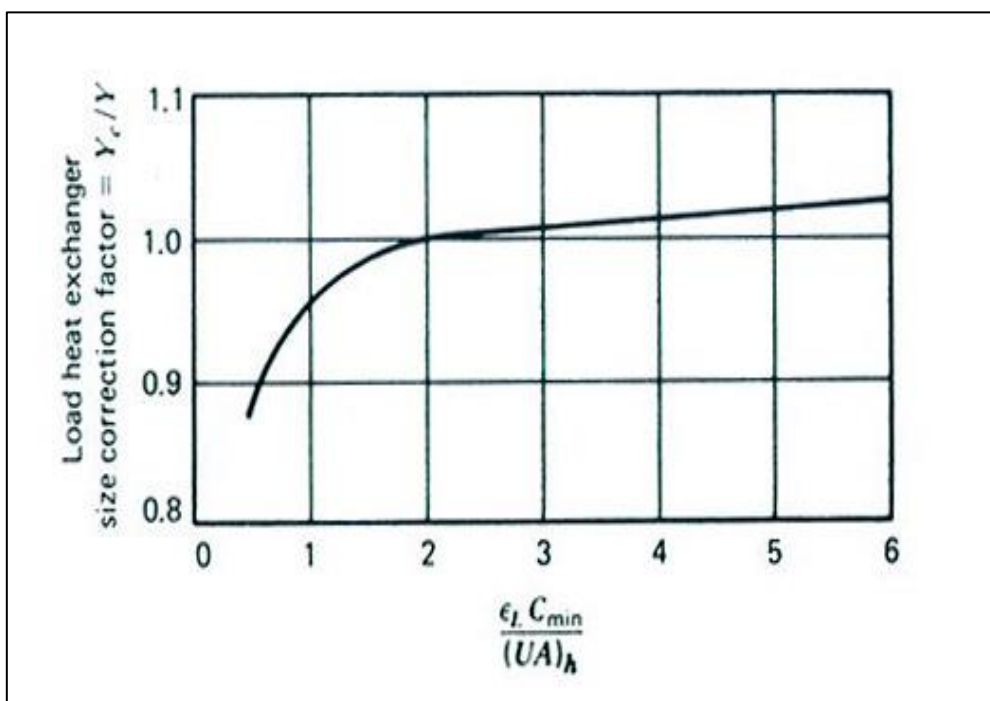
C min = ελάχιστο ποσοστό χωρητικότητας ρευστού (προϊόν του ρυθμού παροχής της μάζας του ρευστού και της ειδικής θερμοχωρητικότητας) στον εναλλάκτη θερμότητας και είναι συνήθως εκείνη του αέρα.

(U*A) h = γινόμενο του συντελεστή ολικών απωλειών του συλλέκτη επί την έκταση της επιφάνειας αποθήκευσης

Όσον αφορά θερμικές θεωρήσεις, η βέλτιστη τιμή του Z προσεγγίζει το άπειρο. Ωστόσο, η απόδοση του συστήματος εξαρτάται ασυμπτωτικά από την τιμή αυτής της παραμέτρου και για Z>10 , η απόδοση θα είναι ουσιαστικά ίδια με εκείνη για την απείρως μεγάλη τιμή. Η μείωση στην απόδοση λόγω της ύπαρξης κάτω του κανονικού μεγέθους φορτίου εναλλάκτη θερμότητας θα είναι σημαντική για τιμές του Z μικρότερες περίπου από 1. Πρακτικά οι τιμές του Z κυμαίνονται μεταξύ του 1 και του 3 όταν το κόστος του εναλλάκτη θερμότητας λαμβάνεται υπόψη.

Η f-chart για συστήματα υγρού σχεδιάστηκε για Z =2 .Η απόδοση των συστημάτων που έχουν άλλες τιμές του Z μπορεί να εκτιμηθεί από την f-chart τροποποιώντας το Y με ένα συντελεστή διόρθωσης του φορτίου του εναλλάκτη θερμότητας , Yc /Y:

$$Y_c/Y = 0.39 + 0.65 \left[e^{\frac{-0.139*(U*A)h}{eL*C_{min}}} \right] \text{ for } 0.5 \leq Z \leq 50$$



Εικόνα 2.9: Συντελεστής διόρθωσης του μεγέθους του φορτίου εναλλάκτη θερμότητας

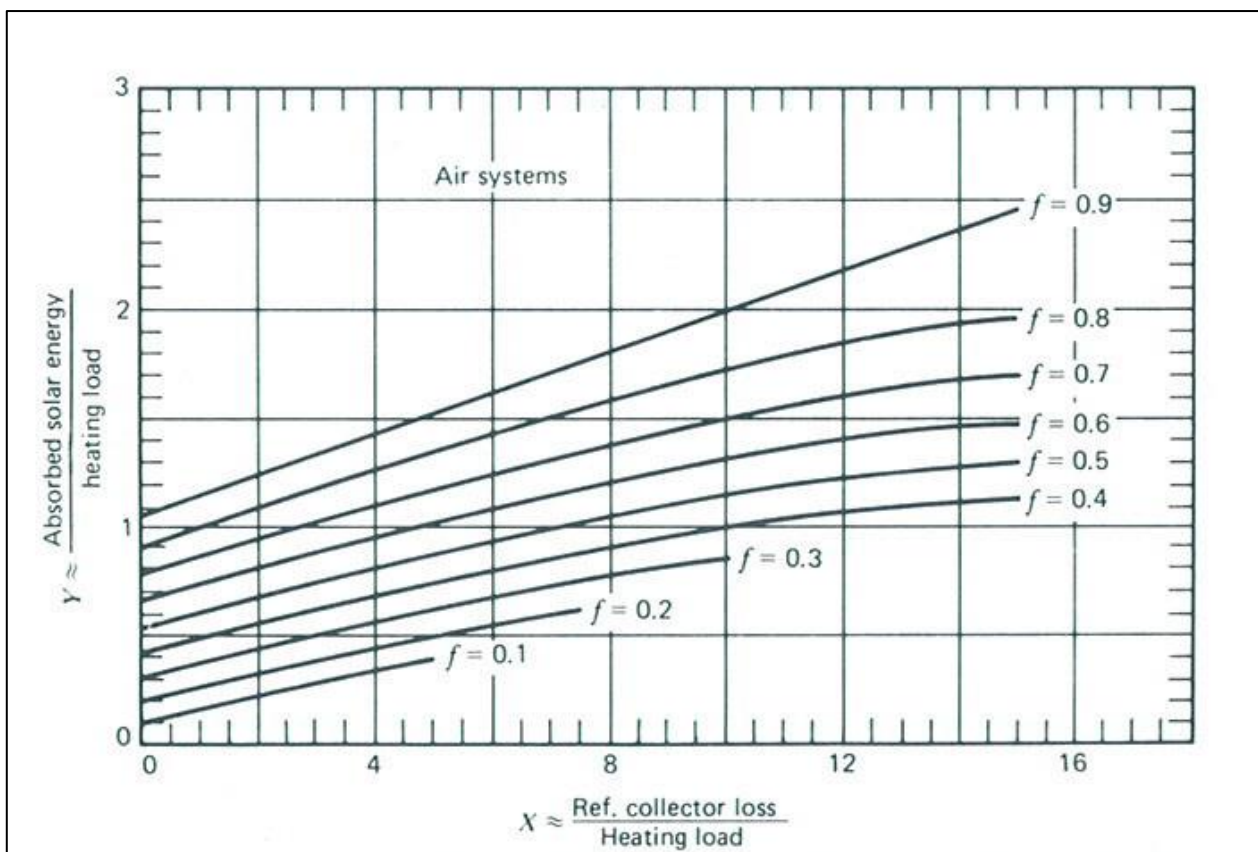
Σε περίπτωση που τόσο το μέγεθος αποθήκευσης όσο και το μέγεθος του φορτίου του εναλλάκτη θερμότητας διαφέρουν από τα πρότυπα που χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη της f-chart, οι συντελεστές διόρθωσης θα πρέπει να εφαρμοστούν και οι δύο προκειμένου να βρεθούν οι κατάλληλες τιμές των Y_c και X_c , για τον προσδιορισμό της f .

2.4.5 Η F-CHART ΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΕΡΑ

Το μηνιαίο κλάσμα του συνολικού φορτίου θέρμανσης που παρέχεται από ένα ηλιακό σύστημα θέρμανσης αέρα όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.4, έχει συσχετιστεί με τις ίδιες αδιάστατες παραμέτρους X και Y , όπως έχουν οριστεί στις εξισώσεις (5) και (6). Η αντιστοιχία δίνεται στην Εικόνα 2.10.

Η σχέση των X , Y και f σε μορφή εξίσωσης δίνεται ως εξής:

$$f = 1.040Y - 0.065X - 0.159Y^2 + 0.00187X^2 - 0.0095Y^3$$



Εικόνα 2.10: Η f-chart για συστήματα αέρα

Τα συστήματα αέρα απαιτούν δύο συντελεστές διόρθωσης, τον ένα όσον αφορά τις επιπτώσεις του μεγέθους αποθήκευσης και τον άλλο σχετικά με το ποσοστό ροής του αέρα που επηρεάζει τη διαστρωμάτωση στο κρεβάτι με τα βότσαλα (pebble bed). Οι συντελεστές διόρθωσης για τη χωρητικότητα της αποθήκευσης και το ρυθμό ροής του αέρα περιγράφονται παρακάτω. Στα συστήματα αέρα δεν υπάρχει φορτίο εναλλάκτη θερμότητας.

Εκτιμήσεις σχεδιασμού για μακροπρόθεσμη απόδοση

❖ Ρυθμός ροής αέρα

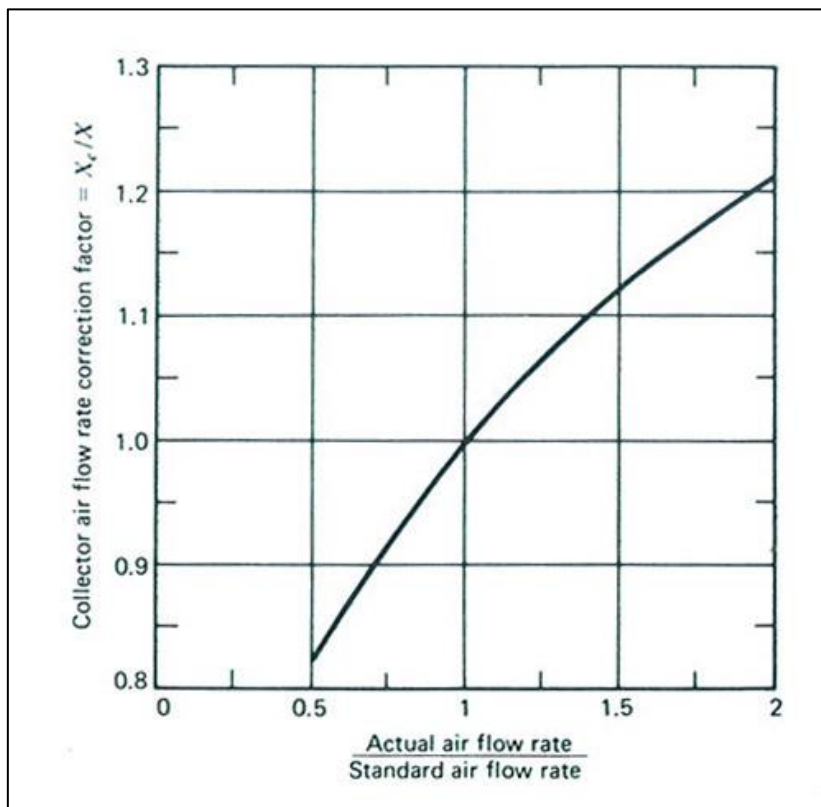
Μια αύξηση στο ρυθμό ροής αέρα τείνει να βελτιώσει την απόδοση του συστήματος αυξάνοντας το συντελεστή απομάκρυνσης θερμότητας FR και τείνει να μειώσει την απόδοση με μείωση της θερμικής διαστρωμάτωσης στο κρεβάτι με τα βότσαλα (pebble bed).

Η f-chart για συστήματα αέρα βασίζεται σε έναν πρότυπο ρυθμό ροής αέρα συλλέκτη, της τάξεως των 10 λίτρων ανά δευτερόλεπτο του αέρα ανά τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας του συλλέκτη. Η απόδοση των συστημάτων που έχουν άλλους ρυθμούς ροής αέρα συλλέκτη μπορεί να εκτιμηθεί χρησιμοποιώντας αρχικά τις κατάλληλες τιμές των FR και Y και στη συνέχεια τροποποιώντας την τιμή του X με ένα συντελεστή διόρθωσης του ρυθμού της ροής του αέρα του συλλέκτη $\frac{X_c}{X}$, λαμβάνοντας υπόψη το βαθμό διαστρωμάτωσης του κρεβατιού με τα βότσαλα (pebble bed).

Όπου :

$$\frac{X_c}{X} = \left(\frac{\text{πραγματικός ρυθμός ροής αέρα}}{\text{πρότυπος ρυθμός ροής αέρα}} \right)^{0,28}$$

Για $0.5 \leq (\text{πραγματικός ρυθμός ροής αέρα} / \text{πρότυπος ρυθμός ροής αέρα}) \leq 2.0$



2.11: Συντελεστής διόρθωσης για το ρυθμό ροής αέρα λαμβάνοντας υπόψη τη διαστρωμάτωση στο κρεβάτι με τα βότσαλα (pebble bed)

❖ Χωρητικότητα αποθήκευσης του κρεβατιού βότσαλο (pebble bed)

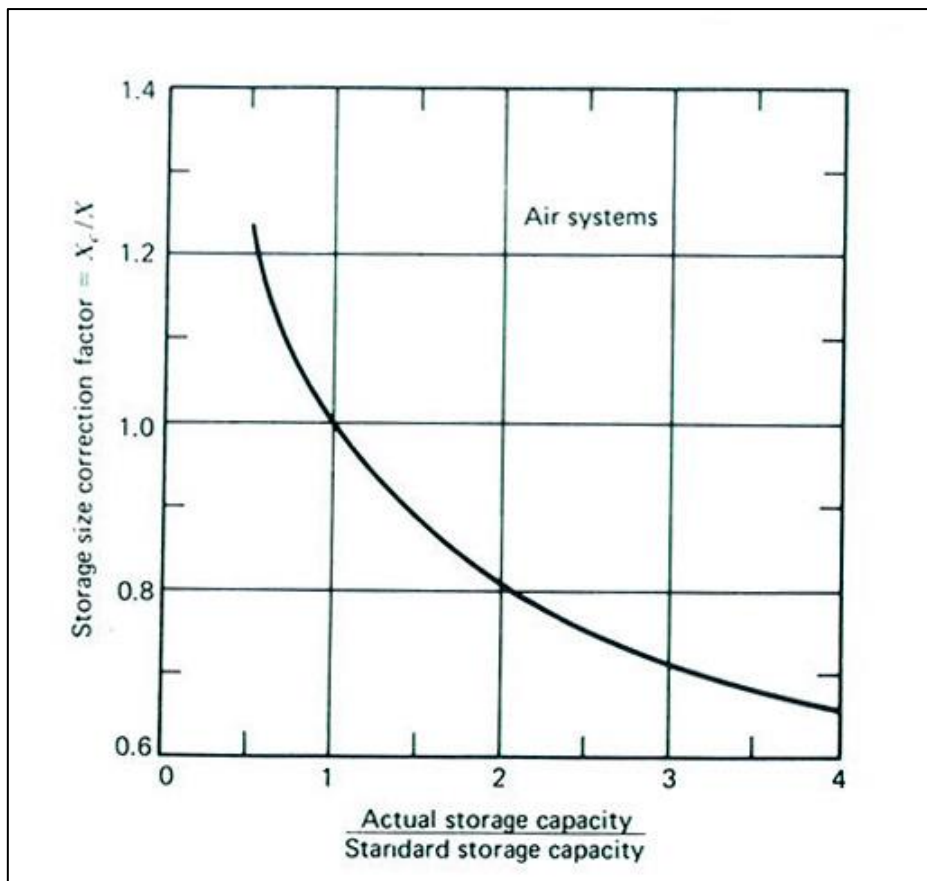
Η αποδοτικότητα των συστημάτων αέρα είναι λιγότερο ευαίσθητη στην χωρητικότητα αποθήκευσης σε σχέση με ένα σύστημα υγρού. Τα συστήματα αέρα μπορούν να λειτουργήσουν σε κατάσταση φορτίου συλλέκτη, στην οποία η μονάδα αποθήκευσης παρακάμπτεται. Επίσης τα

κρεβάτια βότσαλο (rebble beds) είναι εξαιρετικά στρωματοποιημένα και η επιπλέον χωρητικότητα προστίθεται αποτελεσματικά στο ψυχρό άκρο του κρεβατιού, το οποίο σπάνια θερμαίνεται και ψύχεται στον ίδιο βαθμό όπως το θερμό άκρο.

Η f-chart για τα συστήματα αέρα εφαρμόζεται για μια πρότυπη χωρητικότητα αποθήκευσης της τάξεως των 0.25 m^3 βοτσάλων ανά τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας συλλέκτη που αντιστοιχεί σε 350 kJ/m^3 για τυπικά κλάσματα και ιδιότητες πετρωμάτων. Η απόδοση του συστήματος με διαφορετική χωρητικότητα αποθήκευσης μπορεί να προσδιοριστεί τροποποιώντας το X με ένα συντελεστή διόρθωσης του μεγέθους αποθήκευσης $\frac{X_C}{X}$:

$$\frac{X_C}{X} = \left(\frac{\text{πραγματική χωρητικότητα αποθήκευσης}}{\text{πρότυπη χωρητικότητα αποθήκευσης}} \right)^{-0.30}$$

- Για $0.5 \leq (\text{πραγματική χωρητικότητα αποθήκευσης} / \text{πρότυπη χωρητικότητα αποθήκευσης}) \leq 4.0$



Εικόνα 2.12: Συντελεστής διόρθωσης του μεγέθους αποθήκευσης για συστήματα αέρα. Η πρότυπη χωρητικότητα αποθήκευσης είναι $0.25 \text{ m}^2/\text{m}^2$

Σε περίπτωση που τόσο ο ρυθμός ροής αέρα όσο και το μέγεθος αποθήκευσης διαφέρουν από τα πρότυπα που χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη της f-chart, θα πρέπει να γίνουν δύο διορθώσεις στην αδιάστατη παράμετρο X (εκτός από τυχόν διορθώσεις λόγω μεταβολών του συντελεστή απομάκρυνσης θερμότητας F_R) και η τελική τιμή του X θα είναι το γινόμενο της μη διορθωμένης τιμής και των δύο συντελεστών διόρθωσης.

2.4.6 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΓΙΑ ΖΕΣΤΟ ΝΕΡΟ ΧΡΗΣΗΣ

Η f-chart για συστήματα υγρού (Εικόνα 2.6) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της απόδοσης ηλιακών συστημάτων θέρμανσης της διαμόρφωσης που παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.5, ορίζοντας έναν πρόσθετο συντελεστή διόρθωσης για το X.

Η θερμοκρασία παροχής νερού του δικτύου T_m , όπως και η απαιτούμενη θερμοκρασία ζεστού νερού T_w , επηρεάζουν εξίσου την απόδοση των ηλιακών συστημάτων θέρμανσης νερού. Τόσο η T_w όσο και η T_m επηρεάζουν το κατά μέσο όρο λειτουργικό σύστημα επιπέδου θερμοκρασίας και κατά συνέπεια τις απώλειες του συλλέκτη. Η αδιάστατη μεταβλητή X η οποία σχετίζεται με τις απώλειες του συλλέκτη μπορεί να διορθωθεί έτσι ώστε να συμπεριλαμβάνει αυτές τις επιδράσεις.

Αν οι μηνιαίες τιμές του X πολλαπλασιαστούν με ένα συντελεστή διόρθωσης για τη θέρμανση νερού χρήσης:

$$\frac{X_c}{X} = \frac{11.6 + 1.18T_w + 3.86T_m - 2.32\bar{T}_a}{(100 - \bar{T}_a)}$$

Η f-chart για συστήματα υγρού για τη θέρμανση χώρων και ζεστού νερού χρήσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση μηνιαίων τιμών του f, για συστήματα θέρμανσης νερού χρήσης με την προϋπόθεση ότι η χωρητικότητα της αποθήκευσης θα είναι της τάξεως των 75 λίτρων ανά τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας του συλλέκτη.

Ο συντελεστής διόρθωσης για τη θέρμανση νερού χρήσης βασίζεται στην υπόθεση μιας καλά μονωμένης ηλιακής δεξαμενής προθέρμανσης και οι απώλειες από μια βοηθητική δεξαμενή δεν περιλαμβάνονται στις συσχετίσεις της f-chart. Για συστήματα παροχής ζεστού νερού μόνο, τα φορτία στο σύστημα θα πρέπει να περιλαμβάνουν επίσης και τις απώλειες από τη βοηθητική δεξαμενή.

Οι απώλειες στη δεξαμενή μπορούν να εκτιμηθούν από τη μόνωση και την περιοχή της δεξαμενής αλλά αυτό συχνά οδηγεί σε υποεκτίμηση των απωλειών δεδομένου ότι απώλειες μέσω των συνδέσεων, των τοποθετημένων υποστηριγμάτων και ούτω καθεξής, κρίνονται ως εξίσου σημαντικές. Συνιστάται ότι οι υπολογισμοί των απωλειών της δεξαμενής να βασίζονται στην υπόθεση ότι ολόκληρη η δεξαμενή είναι στην καθορισμένη θερμοκρασία νερού.

Η χρήση της βαλβίδας θερμικής κατεργασίας στη γραμμή παροχής προκειμένου να αναμειχθεί το κρύο νερό της παροχής με το ηλιακά θερμαινόμενο νερό πάνω από τη καθορισμένη θερμοκρασία του νερού έχει μικρή επίδραση στη συνολική έξοδο-παραγωγή του ηλιακού συστήματος.

2.4.7 ΣΥΝΟΠΤΙΚΑ

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

Θα πρέπει να εκτιμηθεί ότι υπάρχουν αβεβαιότητες στις εκτιμήσεις που προέρχονται από τη διαδικασία f-chart. Οι μεγάλες αβεβαιότητες προκύπτουν από διάφορες πηγές. Πρώτον, τα μετεωρολογικά δεδομένα μπορεί να είναι λανθασμένα με ποσοστό σφάλματος της τάξεως του 5 έως 10%, ιδιαίτερα όταν τα οριζόντια δεδομένα μετατρέπονται σε ακτινοβολία στο επίπεδο του συλλέκτη. Δεύτερον, στους υπολογισμούς χρησιμοποιούνται οι μέσες τιμές των δεδομένων και κάθε

συγκεκριμένο έτος μπορεί να διαφέρει σημαντικά από το μέσο όρο. Τρίτον, είναι εξαιρετικά δύσκολο να προβλεφτεί τι φορτία θέρμανσης απαιτούνται δεδομένου ότι εξαρτώνται από τις συνήθειες του εκάστοτε ενοίκου. Τέταρτον, τα συστήματα πρέπει να είναι σωστά σχεδιασμένα και κατασκευασμένα με ελάχιστες απώλειες θερμότητας, διαρροές και άλλα μηχανικά και θερμικά προβλήματα. Τέλος (και ίσως λιγότερο σημαντικό), υπάρχουν ορισμένες διαφορές μεταξύ της συσχέτισης της f-chart και μεμονωμένων σημείων δεδομένων.

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

Οι υπολογισμοί της μεθόδου f-chart μπορούν εύκολα να γίνουν και με το χέρι, αλλά μπορεί να είναι κουραστικοί. Η μέθοδος έχει προγραμματιστεί σε συνδυασμό με την οικονομική ανάλυση του κύκλου ζωής. [1],[2],[11],[14],[21]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

Στο τρίτο κεφάλαιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, πραγματοποιείται συγκριτική ανάλυση κύκλου ζωής σε οικονομικό, περιβαλλοντικό και ενεργειακό επίπεδο μεταξύ δύο δεδομένων ηλιακών συστημάτων για την παροχή ζεστού νερού χρήσης στην περιοχή των Χανίων: το πρώτο με υαλοκάλυπτο επίπεδο συλλέκτη και το δεύτερο με συλλέκτη κενού. Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή του κατάλληλου λογισμικού: RETSCREEN (οικονομική, περιβαλλοντική και ενεργειακή σύγκριση), f-chart (ενεργειακή σύγκριση) και διεξάγονται συμπεράσματα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τους υπολογισμούς των δύο λογισμικών, η χρήση συστήματος επίπεδου ηλιακού συλλέκτη κρίνεται ως η καλύτερη εναλλακτική για την περιοχή των Χανίων.

3.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ RETScreen



3.1.1 ΥΑΛΟΚΑΛΥΠΤΟΣ ΕΠΙΠΕΔΟΣ ΗΛΙΑΚΟΣ ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ

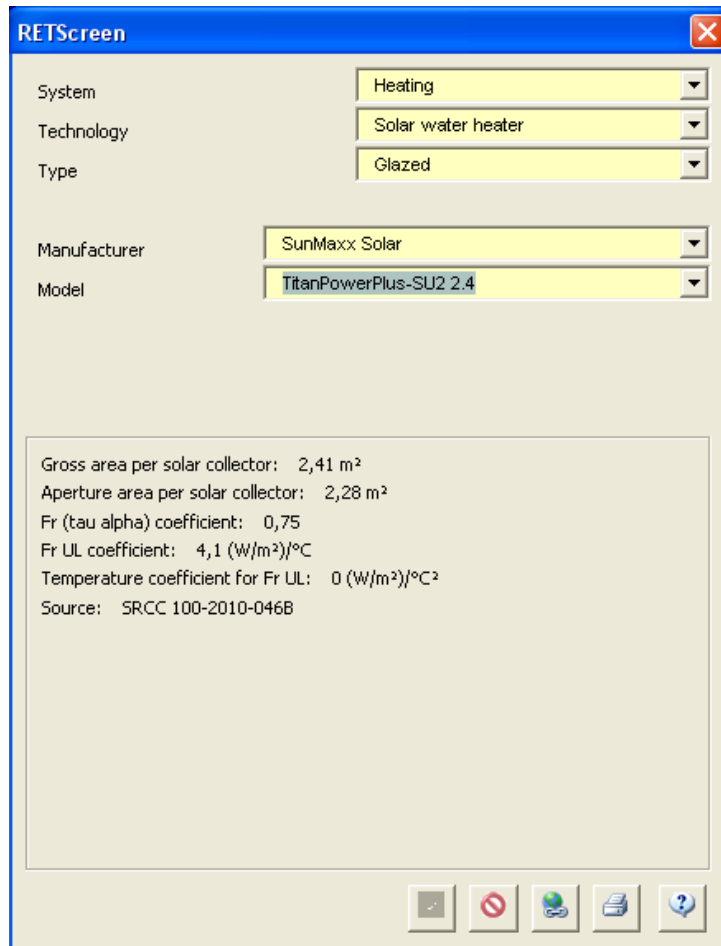
Το προϊόν που μελετάται είναι ένας τυπικός ηλιακός θερμοσίφωνας. Παράγεται στις Η.Π.Α.. Το σύστημα που μελετάται δέχεται ως σενάριο χρήσης την τοποθέτηση του στην περιοχή της Κρήτης και συγκεκριμένα στο νομό Χανίων, με σκοπό την κάλυψη των αναγκών σε ζεστό νερό χρήσης μιας τετραμελούς οικογένειας. Επειδή με τη χρήση του ηλιακού θερμοσίφωνα καλύπτεται μόνο ένα μέρος των αναγκών ενός σπιτιού σε ζεστό νερό είναι απαραίτητη μια εφεδρική πηγή ενέργειας. Στην προκειμένη περίπτωση επιλέχθηκε η ηλεκτρική ενέργεια.

Σήμερα ο ηλεκτρικός θερμοσίφωνας αποτελεί το κυρίαρχο σύστημα θέρμανσης ύδατος στην Ελλάδα. Στόχος της ανάλυσης μέσω του λογισμικού RETScreen είναι η ενεργειακή, περιβαλλοντική και οικονομική απόδοση ενός οικιακού ηλιακού θερμοσίφωνα κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής του, από την εγκατάσταση του μέχρι το πέρας της λειτουργίας του στο τέλος του κύκλου ζωής του. Κατόπιν γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων με τα αντίστοιχα της αποκλειστικής χρήσης ενός συμβατικού ηλεκτρικού θερμοσίφωνα.



Εικόνα 3.1: Σύστημα τεσσάρων ηλιακών συλλεκτών τύπου TitanPowerPlus-SU2

Για την ανάλυση και επεξεργασία του σεναρίου χρήσης αντλήθηκαν πληροφορίες από τη βάση δεδομένων που διαθέτει το λογισμικό για διάφορα μοντέλα ηλιακών συλλεκτών (Product Database) και επιλέχθηκε ο ηλιακός συλλέκτης που φαίνεται στο παρακάτω φύλλο εργασίας του λογισμικού (Εικόνα 3.2) . Πρόκειται για επίπεδο ηλιακό συλλέκτη, υαλοκάλυπτο με σωληνώσεις χαλκού.



Εικόνα 3.2: Product Database (επίπεδος ηλιακός συλλέκτης)

Η συγκεκριμένη βάση δεδομένων παρέχει στο χρήστη τα εξής δεδομένα:

- ❖ Μικτή επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη – Gross area per solar collector
 - Αποτελείται από την ολική έκταση που κατέχει το ηλιακό πάνελ με την περιοχή που καλύπτεται από το εξωτερικό πλαίσιο αλουμινίου.
- ❖ Καθαρή επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη
 - Υπολογίζεται από την αφαίρεση της επιφάνειας που καλύπτεται από το πλαίσιο στήριξης από τη μικτή επιφάνεια του συλλέκτη
- ❖ Fr (tau alpha) coefficient
 - Συντελεστής απομάκρυνσης θερμότητας από τον συλλέκτη πολλαπλασιασμένος με το γινόμενο του συντελεστή διαπερατότητας του

διάφανου καλύμματος a επί τον συντελεστή απορρόφησης της απορροφητικής επιφάνειας t

❖ Fr UL coefficient

- Συντελεστής απομάκρυνσης θερμότητας από τον συλλέκτη πολλαπλασιασμένος με τον ολικό συντελεστή απωλειών του συλλέκτη προς το περιβάλλον

❖ Temperature coefficient for Fr UL

Παρακάτω παρουσιάζονται τα στοιχεία του μοντέλου που αναλύθηκε όπως δίνονται από την εταιρεία κατασκευής του για μοντέλο μικρότερης επιφάνειας.




SunMaxx Solar™
Hot Water Solutions

PRODUCT DATA SHEET
TitanPowerPlus SU-2 Flat Plate Collector


Technical Specifications

Dimensions (in)	79.4 x 38.78 x 3.03 (201.6 x 98.5 x 7.7 cm)
Gross Collector Area (ft ²)	21.42 (1.99 m ²)
Net Aperture Area (ft ²)	20.17 (1.874 m ²)
Ratio Net/Gross Area	0.94
Dry Weight (lbs.)	74.96 (34 kg)
Fluid Capacity (gal.)	0.26 (1 L)
Minimum Flow Rate (gpm)	0.13 (30 L/hr)
Nominal Flow Rate (gpm)	0.44 (100 L/hr)
Maximum Flow Rate (gpm)	0.79 (180 L/hr)
Recommended Flow Rate (gpm)	0.176 - 0.617 (40 - 140 L/hr)
Max Number of Collectors in Series	10
Tilt Angle (deg)	35 - 90
Maximum Operating Pressure (psi)	87 (6 bars)
Recommended Operating Pressure (psi)	36.3 - 43.5 (2.5 - 3 bars)
Stagnation Temperature	383 °F (195 °C)



Materials

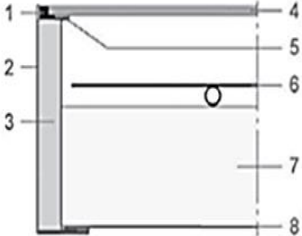
Stainless Steel, grade AISI 304, 0.7 mm gauge
3.2 mm toughened glass



Mounting Options

construction for sloping roof
integration into sloping roof
on flat roof with stand
facade

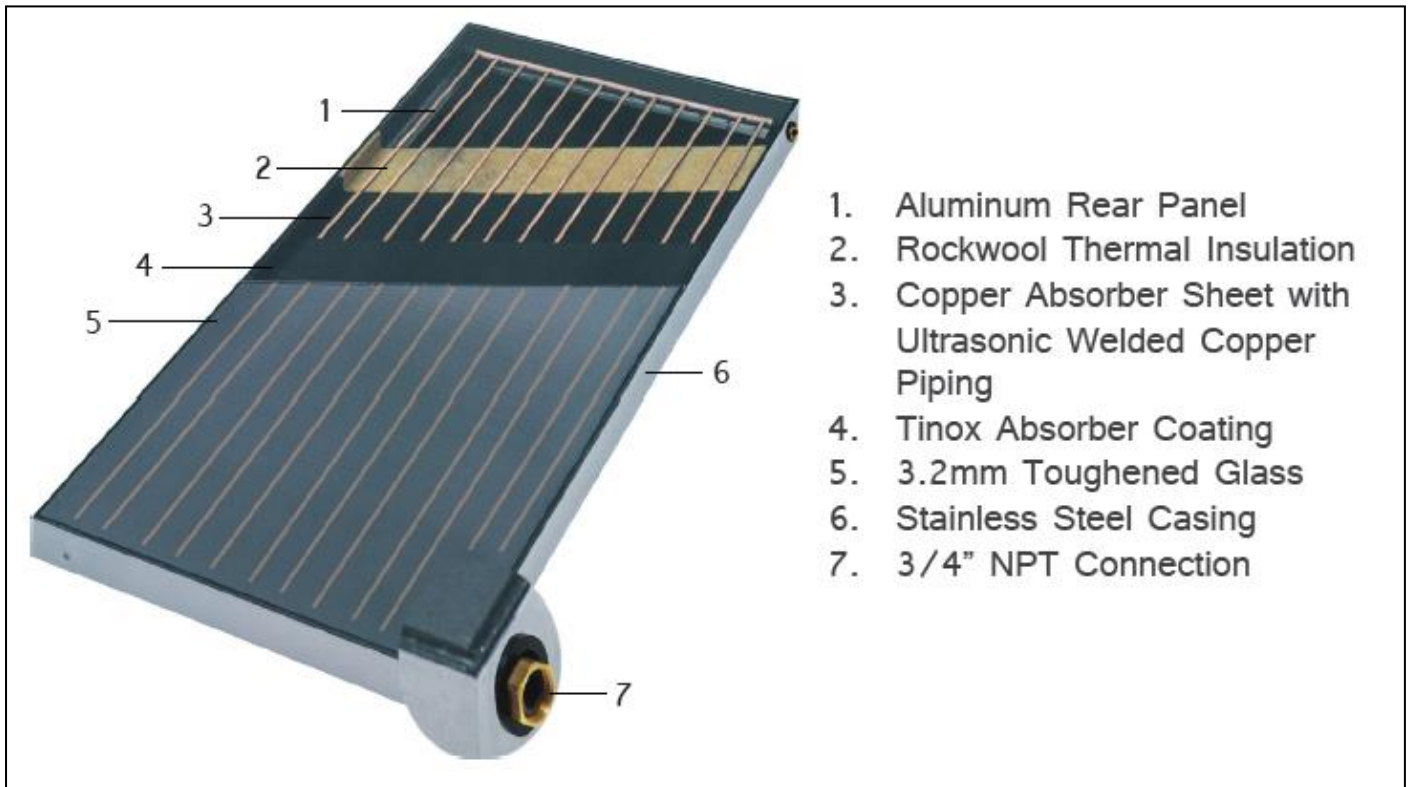
- ①— Sealing
- ②— Casing
- ③— Lateral thermal insulation
- ④— Glazing
- ⑤— Double-sided adhesive tape
- ⑥— Absorber material (copper)
- ⑦— Thermal insulation
- ⑧— Rear panel



Εικόνα 3.3: Στοιχεία επίπεδου ηλιακού συλλέκτη

52

Δομή και χαρακτηριστικά ηλιακού συλλέκτη



TITAN POWER PLUS SPECIFICATIONS	SU24
Dimensions (in)	96.18 x 38.78 x 3.03
Gross Collector Area (ft ²)	25.94
Net Aperture Area (ft ²)	24.43
Ratio Net/Gross Area	.94
Dry Weight (lbs.)	90.39
Fluid Capacity (gal.)	.29
Recommended Flow Rate Per Collector (gpm)	.176-.617
Max # of Collectors in Series	10
Recommended Tilt Angle (deg)	35-90
Recommended Operating Pressure (psi)	36.3 - 43.5

Εικόνα 3.4: Χαρακτηριστικά επίπεδου ηλιακού συλλέκτη

Εκκίνηση

Στο πρώτο φύλλο εργασίας, όπως παρουσιάζεται παρακάτω, συμπληρώνονται τα γενικά στοιχεία του έργου.

Project information		See project database
Project name	LCA T.U.C.	
Project location	T.U.C Chania Crete	
Prepared for	T.U.C	
Prepared by		
Project type	Heating	
Technology	Solar water heater	
Analysis type	Method 2	
Heating value reference	Lower heating value (LHV)	
Show settings	<input checked="" type="checkbox"/>	
Language - Langue	English - Anglais	
User manual	English - Anglais	
Currency	Euro	
Units	Metric units	
Site reference conditions		Select climate data location
Climate data location	Souda Bay Crete	
Show data	<input checked="" type="checkbox"/>	

Εικόνα 3.5: Φύλλο Εκκίνησης (επίπεδος ηλιακός συλλέκτης)

Συγκεκριμένα αναγράφονται:

- ❖ Το όνομα του έργου
- ❖ Ο τύπος του έργου – Επιλογή – Παραγωγή θερμότητας
- ❖ Τεχνολογία – Ηλιακός θερμαντής νερού
- ❖ Γλώσσα επιλογής – Αγγλικά
- ❖ Νόμισμα – Ευρώ
- ❖ Μονάδες – Μετρικό σύστημα
- ❖ Θέση κλιματολογικών δεδομένων– Σούδα Χανιά (Souda Bay Crete)

Κλιματολογικά δεδομένα

Τα μετεωρολογικά δεδομένα αντλήθηκαν από τη βιβλιοθήκη που διαθέτει το πρόγραμμα RETScreen και παρέχεται από τη NASA. Οι τιμές αφορούν την περιοχή της Σούδας και συγκεκριμένα την ακτή Σούδας όπου υπάρχει η δυνατότητα καταγραφής κλιματολογικών στοιχείων μέσω εγκατεστημένου μετεωρολογικού ραντάρ. Μέσω της συγκεκριμένης βιβλιοθήκης το λογισμικό αξιοποιεί στους υπολογισμούς δεδομένα όπως η θερμοκρασία του αέρα στη συγκεκριμένη περιοχή, η σχετική

υγρασία, η ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία (οριζόντια), η ατμοσφαιρική πίεση, η ταχύτητα του ανέμου και η θερμοκρασία εδάφους. Επιπλέον, εμπεριέχονται τιμές των δεικτών HDD (Heating Degree Days) και CDD (Cooling Degree Days), οι οποίες αφορούν τις ενεργειακές απαιτήσεις ενός κτιρίου για θέρμανση και ψύξη αντίστοιχα. Όλες οι προαναφερθείσες τιμές ανάγονται σε διαστήματα ενός μηνός. Παρακάτω παρατίθεται ο σχετικός πίνακας όπως παρουσιάζεται από το λογισμικό:

Climate data								
	Unit	location	Project location					
Latitude	'N	35,5	35,5					
Longitude	'E	24,2	24,2					
Elevation	m	146	146					
Heating design temperature	°C	5,8						
Cooling design temperature	°C	33,1						
Earth temperature amplitude	°C	9,3						

Month	Air temperature	Relative humidity	Daily solar radiation - horizontal	Atmospheric pressure	Wind speed	Earth temperature	Heating degree-days	Cooling degree-days
	°C	%	kWh/m ² /d	kPa	m/s	°C	°C-d	°C-d
January	11,0	77,3%	2,31	101,2	3,2	15,1	217	31
February	10,8	76,4%	3,20	101,1	3,3	14,9	202	22
March	12,6	74,4%	4,57	101,0	3,6	15,9	167	81
April	15,7	70,5%	6,30	100,8	3,7	17,9	69	171
May	20,1	64,4%	7,45	100,8	3,3	21,2	0	313
June	24,6	57,2%	8,45	100,7	3,2	24,7	0	438
July	26,6	57,9%	8,41	100,5	2,9	26,8	0	515
August	26,1	59,8%	7,58	100,5	3,0	27,3	0	499
September	23,3	65,9%	6,14	100,8	2,9	25,8	0	399
October	19,9	71,8%	4,28	101,1	2,8	22,8	0	307
November	15,6	75,8%	2,65	101,1	2,8	19,3	72	168
December	12,1	78,7%	2,05	101,2	3,2	16,4	183	65
Annual	18,2	69,1%	5,29	100,9	3,2	20,7	910	3.009
Measured at	m				10,0	0,0		

Εικόνα 3.6: Φύλλο κλιματολογικών δεδομένων (επίπεδος ηλιακός συλλέκτης)

Ενεργειακό Μοντέλο

Στο δεύτερο φύλλο εργασίας, Energy Model, προσδιορίζονται ορισμένα χαρακτηριστικά του συστήματος. Στη συγκεκριμένη περίπτωση επιλέχθηκε η χρήση ζεστού νερού σε οικία με τέσσερις κατοίκους με ποσοστό κατοίκησης 100%. Συμπληρώθηκαν ακόμα τιμές που αφορούν την ημερήσια κατανάλωση ζεστού νερού, τη θερμοκρασία του νερού χρήσης και τη συνεχή λειτουργία του συστήματος όλες τις ημέρες της εβδομάδας. Η κλίση του συλλέκτη επιλέχθηκε στις 28 μοίρες καθότι παρατηρήθηκε στην συγκεκριμένη τιμή η μέγιστη μέση ετήσια ηλιακή ακτινοβολία (MWh/m²) τόσο σε οριζόντιο όσο και σε επικλινές επίπεδο. Τέλος η τιμή του αζιμούθιου για την περιοχή των Χανίων ευρέθηκε στις 35,30 μοίρες, αλλά λόγω του εντοπισμού της περιοχής των Χανίων στο Βόρειο Ημισφαίριο της γης η τιμή του αζιμούθιου οριστικοποιείται στις 0° σύμφωνα με τις οδηγίες που παρέχει το λογισμικό (manual RETScreen-Solar Water Heating, Project Model).

RETScreen Energy Model - Heating project

Heating project

Technology: Solar water heater

Load characteristics

Application: Swimming pool Hot water

Unit	Base case	Proposed case
Load type	House	
Number of units	Occupant 4	
Occupancy rate	% 100%	
Daily hot water use - estimated	L/d 240	
Daily hot water use	L/d 240	240
Temperature	°C 60	60
Operating days per week	d 7	7

Percent of month used

Month	Base case	Proposed case
January	100%	100%
February	100%	100%
March	100%	100%
April	100%	100%
May	100%	100%
June	100%	100%
July	100%	100%
August	100%	100%
September	100%	100%
October	100%	100%
November	100%	100%
December	100%	100%

Supply temperature method: Formula

Water temperature - minimum: °C 15,6

Water temperature - maximum: °C 21,2

Unit	Base case	Proposed case	Energy saved	Incremental initial costs
Heating	MWh 4,3	4,3	0%	

Resource assessment

Solar tracking mode: Fixed

Slope: ° 28,0

Azimuth: ° 0,0

Εικόνα 3.7: Φύλλο Ενεργειακού Μοντέλου (επίπεδος ηλιακός συλλέκτης)

Show data

Month	Daily solar radiation - horizontal kWh/m ² /d	Daily solar radiation - tilted kWh/m ² /d
January	2,31	3,05
February	3,20	3,89
March	4,57	5,11
April	6,30	6,47
May	7,45	7,16
June	8,45	7,84
July	8,41	7,92
August	7,58	7,65
September	6,14	6,76
October	4,28	5,24
November	2,65	3,46
December	2,05	2,77
Annual	5,29	5,62

Annual solar radiation - horizontal	MWh/m ²	1,93
Annual solar radiation - tilted	MWh/m ²	2,05

Εικόνα 3.8: Ανάλυση ηλιακής ακτινοβολίας (επίπεδος ηλιακός συλλέκτης)

Στον επόμενο πίνακα του παρόντος φύλλου εργασίας ζητούνται τα χαρακτηριστικά του συστήματος. Αρχικά γίνεται μια εκτενής περιγραφή του ηλιακού συλλέκτη που χρησιμοποιείται προσδιορίζοντας τα εξής χαρακτηριστικά του:

- ❖ Τύπος
- ❖ Κατασκευαστής
- ❖ Μοντέλο
- ❖ Συνολική επιφάνεια ανά ηλιακό συλλέκτη
- ❖ Επιφάνεια ανοίγματος ανά ηλιακό συλλέκτη
- ❖ Συντελεστής Fr (τ α)
- ❖ Συντελεστής Fr UL
- ❖ Συντελεστής θερμοκρασίας για Fr UL
- ❖ Αριθμός συλλεκτών
- ❖ Επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη
- ❖ Ισχύς
- ❖ Λοιπές απώλειες

Έπειτα ζητούνται τα στοιχεία του υπόλοιπου συστήματος όπως της δεξαμενής αποθήκευσης, της αντλίας εφόσον τοποθετηθεί και του εναλλάκτη θερμότητας. Αναλυτικά συμπληρώνονται τα ακόλουθα στοιχεία:

Αποθήκευση, Χωρητικότητα αποθήκευσης / επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη, Χωρητικότητα αποθήκευσης, Εναλλάκτης θερμότητας, Απόδοση εναλλάκτη θερμότητας, Λοιπές απώλειες, Ισχύς αντλίας / επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη, Τιμή Ηλεκτρισμού. Τέλος προσδιορίζονται ο τύπος Καυσίμου, Εποχιακή απόδοση, Κατανάλωση καυσίμου – ετήσια, Τιμή Καυσίμου και το Κόστος καυσίμου.

Οι τιμές των παραπάνω χαρακτηριστικών φαίνονται στον πίνακα, εικόνα 3.9 που ακολουθεί:

Στο τελευταίο κομμάτι του ενεργειακού μοντέλου γίνεται ανάλυση του συστήματος θέρμανσης που ορίσθηκε ως προς τα εξής χαρακτηριστικά:

- ❖ Τύπος Καυσίμου
- ❖ Εποχιακή απόδοση
- ❖ Κατανάλωση καυσίμου - ετήσια
- ❖ Τιμή Καυσίμου

Solar water heater		Glazed	
Type		SunMaxx Solar	
Manufacturer		TitanPowerPlus-SU2 2.4	
Model			
Gross area per solar collector	m ²	2,41	
Aperture area per solar collector	m ²	2,28	
Fr (tau alpha) coefficient		0,75	
Fr UL coefficient	(W/m ²)/°C	4,10	
Temperature coefficient for Fr UL	(W/m ²)/°C ²	0,000	
Number of collectors		1	1
Solar collector area	m ²	2,41	
Capacity	kW	1,60	
Miscellaneous losses	%	3,0%	
Balance of system & miscellaneous			
Storage		Yes	
Storage capacity / solar collector area	L/m ²	70	
Storage capacity	L	160,0	
Heat exchanger	yes/no	Yes	
Heat exchanger efficiency	%	80,0%	
Miscellaneous losses	%	6,0%	
Pump power / solar collector area	W/m ²	0,00	
Electricity rate	€/kWh	0,079	
Summary			
Electricity - pump	MWh	0,0	
Heating delivered	MWh	2,2	
Solar fraction	%	50%	

Εικόνα 3.9: Χαρακτηριστικά συστήματος (επίπεδος ηλιακός συλλέκτης)

Heating system		Base case	Proposed case	
<input type="checkbox"/> Project verification		Electricity	Electricity	
Fuel type		80%	80%	
Seasonal efficiency				
Fuel consumption - annual	MWh	5,3	2,6	MWh
Fuel rate	€/kWh	0,079	0,079	€/kWh
Fuel cost	€	419	207	

Εικόνα 3.10: Ανάλυση του συστήματος θέρμανσης (επίπεδος ηλιακός συλλέκτης)

Ανάλυση Κόστους

Στο τρίτο φύλλο εργασίας αναφέρονται τα οικονομικά στοιχεία που αφορούν την αγορά και τη συντήρηση του συστήματος. Η κοστολόγηση του συστήματος που εξετάζεται στο τρέχων κομμάτι της εργασίας έγινε σύμφωνα με τα παρεχόμενα έντυπα της εταιρείας κατασκευής και διάθεσης του. Συνολικά το κόστος ανέρχεται στα 970 € συμπεριλαμβάνοντας στην παραπάνω τιμή το συλλέκτη, τη δεξαμενή, τη βάση στήριξης και τα μεταφορικά. Ορίσθηκε η τιμή των 46 ευρώ, δηλαδή το 5% του αθροίσματος της τιμής του συστήματος και των μεταφορικών για κάλυψη απρόβλεπτων εξόδων. Όσον αφορά τη συντήρηση του συστήματος υπολογίστηκε το ποσό των 15€ για επιδιόρθωση διαρροών ή

αλλοίωσης των σωληνώσεων σύνδεσης. Τέλος ως περιοδικά κόστη συνυπολογίστηκαν η αλλαγή βαλβίδων και εξαρτημάτων σύνδεσης ανά δέκα χρόνια.

Balance of system & miscellaneous		Solar water heater			
Specific project costs					
Solar collector material	m ²	2	€ 120	€	289
Collector support structure	m ²	3	€ 20	€	52
Pipe	m	19	€ 6	€	114
Storage tank	L	160	€ 2	€	320
Heat exchanger	kW	2		€	-
Circulating pump	W	0		€	-
Plumbing	project	1	€ 30	€	30
Installation	project	1	€ 94	€	94
Building & yard construction	m ²			€	-
Spare parts	%			€	-
Transportation	project	1	€ 25	€	25
Training & commissioning	p-d			€	-
User-defined	cost			€	-
Contingencies	%	5,0%		€	924
Interest during construction				€	970
Subtotal:				€	970
Total initial costs				€	970
					100,0%

Annual costs (credits)	Unit	Quantity	Unit cost	Amount
O&M				
Land lease & resource rental	project		€	-
Property taxes	project		€	-
Insurance premium	project		€	-
Parts & labour	project	1	€ 15	€ 15
GHG monitoring & verification	project		€	-
Community benefits	project		€	-
General & administrative	%		€ 15	€ -
User-defined	cost			€ -
Contingencies	%	5,0%	€ 15	€ 1
Subtotal:				€ 16
Fuel cost - proposed case				
Electricity	MWh	3	€ 78,500	€ 207
Subtotal:				€ 207
Annual savings				
Fuel cost - base case				
Electricity	MWh	5	€ 78,500	€ 419
Subtotal:				€ 419
Periodic costs (credits)				
User-defined	cost		€	-
Valves and Fittings	cost	10	€ 40	€ 40
End of project life	cost		€	-

Εικόνα 3.11: Φύλλο Ανάλυσης Κόστους (επίπεδος ηλιακός συλλέκτης)

Ανάλυση Εκπομπών

Στο τέταρτο φύλλο εργασίας το πρόγραμμα μετατρέπει όλες τις εκπομπές αερίων σε τη CO₂ για την βασική και εφεδρική μορφή ενέργειας. Το λογισμικό διαθέτει το μίγμα καυσίμων που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο Ελληνικό Ενεργειακό Σύστημα και πράττει τους υπολογισμούς αυτόματα. Έπειτα υπολογίζει τον βασικό παράγοντα εκπομπής αερίων που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και που οφείλεται στην ηλιακή και την ηλεκτρική ενέργεια. Τέλος το πρόγραμμα υπολογίζει τη μείωση των εκπομπών αερίων που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου σε ετήσιο επίπεδο.

RETScreen Emission Reduction Analysis - Heating project						
<input checked="" type="checkbox"/> Emission Analysis						
<input type="radio"/> Method 1 <input type="radio"/> Method 2 <input type="radio"/> Method 3						
Base case electricity system (Baseline)						
Country - region	Fuel type	GHG emission factor (excl. T&D) tCO ₂ /MWh	T&D losses %	GHG emission factor tCO ₂ /MWh		
Greece	All types	0,664		0,664		
<input type="checkbox"/> Baseline changes during project life						
Base case system GHG summary (Baseline)						
Fuel type	Fuel mix %	Fuel consumption MWh	GHG emission factor tCO ₂ /MWh	GHG emission tCO ₂		
Electricity	100,0%	5	0,664	3,5		
Total	100,0%	5	0,664	3,5		
Proposed case system GHG summary (Heating project)						
Fuel type	Fuel mix %	Fuel consumption MWh	GHG emission factor tCO ₂ /MWh	GHG emission tCO ₂		
Solar	44,9%	2	0,000	0,0		
Electricity	55,1%	3	0,664	1,8		
Total	100,0%	5	0,366	1,8		
GHG emission reduction summary						
Heating project	Base case GHG emission tCO ₂	Proposed case GHG emission tCO ₂	Gross annual GHG emission reduction tCO ₂	GHG credits transaction fee %	Net annual GHG emission reduction tCO ₂	
	3,5	1,8	1,8		1,8	
Net annual GHG emission reduction	1,8	tCO ₂	is equivalent to	0,3	Cars & light trucks not used	

Εικόνα 3.12: Φύλλο Ανάλυσης Εκπομπών (επίπεδος ηλιακός συλλέκτης)

Οικονομική Ανάλυση

Στον πρώτο πίνακα του πέμπτου φύλλου εργασίας συμπληρώνονται οι οικονομικοί παράμετροι του έργου. Η διάρκεια ζωής του έργου ανάγεται σε 30 έτη από την αρχή της λειτουργίας του και κατά αυτή την περίοδο συντρέχουν τα παρακάτω οικονομικά μεγέθη :

- ❖ Κυλιόμενος φόρος κόστους καυσίμου
- ❖ Τιμή πληθωρισμού
- ❖ Επιτόκιο αναγωγής

Αναλυτικότερα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Financial parameters			
General			
Fuel cost escalation rate	%		3,0%
Inflation rate	%		3,0%
Discount rate	%		10,0%
Project life	yr		30
Finance			
Incentives and grants	€		
Debt ratio	%		
Income tax analysis <input checked="" type="checkbox"/>			
Effective income tax rate	%		
Loss carryforward?			No
Depreciation method			Declining balance
Half-year rule - year 1	yes/no		Yes
Depreciation tax basis	%		
Depreciation rate	%		
Tax holiday available?	yes/no		No

Εικόνα 3.13: Φύλλο Οικονομικής Ανάλυσης I (επίπεδος ηλιακός συλλέκτης)

Στο δεύτερο πίνακα παρουσιάζεται η σύνοψη του κόστους του έργου καθώς και των αποταμιεύσεων-εσόδων. Τα συνολικά αρχικά κόστη ανέρχονται στα 970€.

Project costs and savings/income summary			
Initial costs			
Heating system	0,0%	€	0
Balance of system & misc.	100,0%	€	970
Total initial costs	100,0%	€	970
Annual costs and debt payments			
O&M		€	16
Fuel cost - proposed case		€	207
Total annual costs		€	223
Periodic costs (credits)			
Valves and Fittings - 10 yrs		€	40
Annual savings and income			
Fuel cost - base case		€	419
Total annual savings and income		€	419

Εικόνα 3.14: Φύλλο Οικονομικής Ανάλυσης II (επίπεδος ηλιακός συλλέκτης)

Ετήσια χρηματοροή

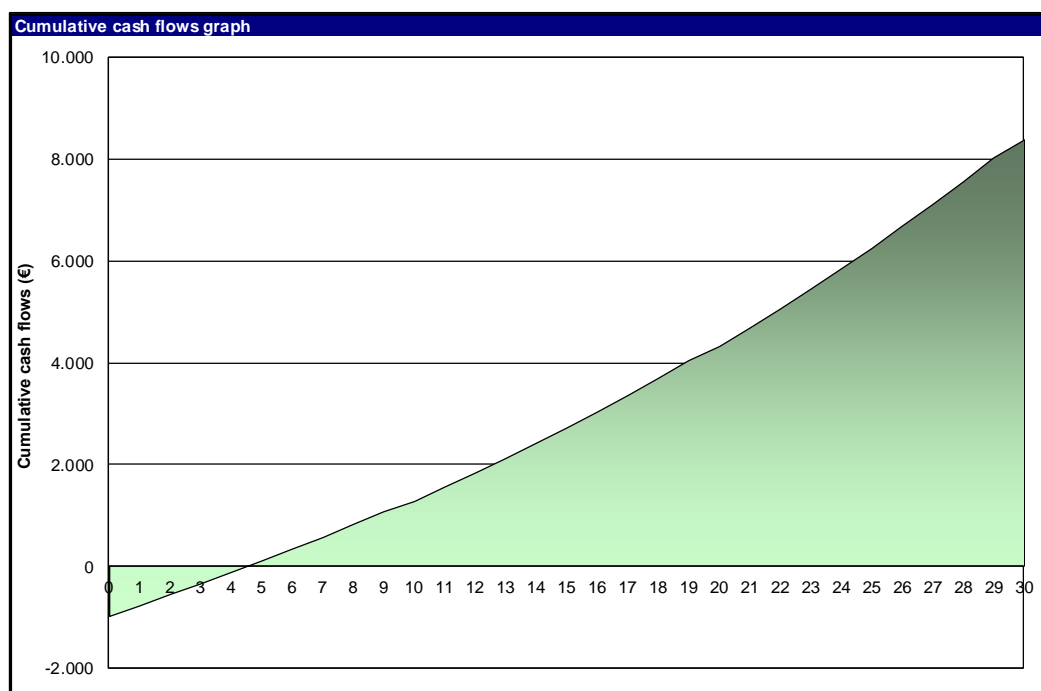
Στον παρακάτω πίνακα διαφαίνεται αναλυτικά η ετήσια χρηματοροή που επιτυγχάνεται με την λειτουργία του συστήματος στα 30 έτη του προσδοκώμενου κύκλου ζωής του συγκρινόμενη με τη βασική περίπτωση εγκατάστασης ενός συμβατικού ηλεκτρικού θερμοσιφωνικού συστήματος. Στην πρώτη στήλη του πίνακα αναγράφεται το εκάστοτε εξεταζόμενο έτος, στη δεύτερη και στην τρίτη η προ-φόρων και μετά φόρων χρηματοροή αντίστοιχα και τέλος στην τέταρτη στήλη υπολογίζεται η αθροιστική ετήσια χρηματοροή. Παρατηρείται θετική τιμή της αθροιστικής χρηματοροής μεταξύ του τέταρτου και του πέμπτου έτους λειτουργίας όπου το σύστημα επιτυγχάνει απόσβεση. Αναλυτικότερα το παραπάνω συμπέρασμα αποτυπώνεται στο διάγραμμα που ακολουθεί τον παρακάτω πίνακα.

Yearly cash flows				
Year	Pre-tax	After-tax		Cumulative
#	€	€	€	€
0	-970	-970	-970	-970
1	202	202	202	-769
2	208	208	208	-561
3	214	214	214	-347
4	220	220	220	-127
5	227	227	227	100
6	234	234	234	333
7	241	241	241	574
8	248	248	248	822
9	255	255	255	1.077
10	209	209	209	1.287
11	271	271	271	1.558
12	279	279	279	1.837
13	287	287	287	2.124
14	296	296	296	2.420
15	305	305	305	2.725
16	314	314	314	3.039
17	323	323	323	3.363
18	333	333	333	3.696
19	343	343	343	4.039
20	281	281	281	4.320
21	364	364	364	4.684
22	375	375	375	5.059
23	386	386	386	5.445
24	398	398	398	5.843
25	410	410	410	6.253
26	422	422	422	6.675
27	435	435	435	7.110
28	448	448	448	7.558
29	461	461	461	8.019
30	378	378	378	8.397

Εικόνα 3.15: Φύλλο Οικονομικής Ανάλυσης III – Ετήσια Χρηματοροή (επίπεδος ηλιακός συλλέκτης)

Διάγραμμα αθροιστικών χρηματοροών

Το σύστημα πετυχαίνει θετική χρηματοροή στα 4,6 έτη όπως φαίνεται στο διάγραμμα που ακολουθεί, δηλαδή σε 4 έτη και 7 μήνες.



Εικόνα 3.16: Φύλλο Οικονομικής Ανάλυσης IV – Διάγραμμα αθροιστικών χρηματοροών (επίπεδος ηλιακός συλλέκτης)

Οικονομική βιωσιμότητα

Στον παρακάτω πίνακα το λογισμικό υπολογίζει μεγέθη που σχετίζονται με την οικονομική βιωσιμότητα του έργου. Διακρίνονται σημαντικά οικονομικά στοιχεία όπως η καθαρά παρούσα αξία του, οι ετήσιες αποταμιεύσεις κατά τον κύκλο ζωής του καθώς και η Αναλογία Οφέλους-Κόστους.

Financial viability		
Pre-tax IRR - equity	%	23,5%
Pre-tax IRR - assets	%	23,5%
After-tax IRR - equity	%	23,5%
After-tax IRR - assets	%	23,5%
Simple payback	yr	5,0
Equity payback	yr	4,6
Net Present Value (NPV)	€	1.472
Annual life cycle savings	€/yr	156
Benefit-Cost (B-C) ratio		2,52
GHG reduction cost	€/tCO ₂	(87)

Εικόνα 3.17: Φύλλο Οικονομικής Ανάλυσης V – Οικονομική βιωσιμότητα (επίπεδος ηλιακός συλλέκτης)

Απλή αποπληρωμή	έτος	5,0
Αποπληρωμή Μετοχών	έτος	4,6
Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ)	€	1472
Ετήσιες αποταμιεύσεις κύκλου ζωής	€/έτος	156
Αναλογία Οφέλους-Κόστους (Ο-Κ)		2,52

Εικόνα 3.18: Πίνακας στοιχείων Οικονομικής βιωσιμότητας (επίπεδος ηλιακός συλλέκτης)

Ετήσια έσοδα

Annual income		
Electricity export income		
GHG reduction income <input type="checkbox"/>		
Net GHG reduction	tCO2/yr	2
Net GHG reduction - 30 yrs	tCO2	54
Customer premium income (rebate) <input type="checkbox"/>		
Other income (cost) <input type="checkbox"/>		
Clean Energy (CE) production income <input type="checkbox"/>		

Εικόνα 3.19: Φύλλο Οικονομικής Ανάλυσης VI – Ετήσια Έσοδα (επίπεδος ηλιακός συλλέκτης)
Ανάλυση Ευαισθησίας - Ανάλυση Ρίσκου

Στον πρώτο πίνακα (Sensitivity Analysis) το πρόγραμμα εκτελεί ανάλυση ευαισθησίας για την παρεχόμενη ηλιακή ενέργεια, το αρχικό και το ετήσιο κόστος του ηλιακού συστήματος.

Στον δεύτερο πίνακα (Risk Analysis) εισάγουμε στο πρόγραμμα τα ποσοστά διακύμανσης του κόστους για την ηλεκτρική ενέργεια, την παρεχόμενη ηλιακή ενέργεια, το αρχικό και το ετήσιο κόστος και εκτελεί την ανάλυση επικινδυνότητας, εμφανίζοντας τα αποτελέσματα υπό μορφή γραφικής παράστασης. Στη συνέχεια, εισάγοντας σαν ποσοστό επικινδυνότητας 10% (δηλαδή 90% επίπεδο εμπιστοσύνης), το πρόγραμμα παρουσιάζει πάλι υπό μορφή γραφικής παράστασης την κατανομή των δεικτών ROI-IRR.

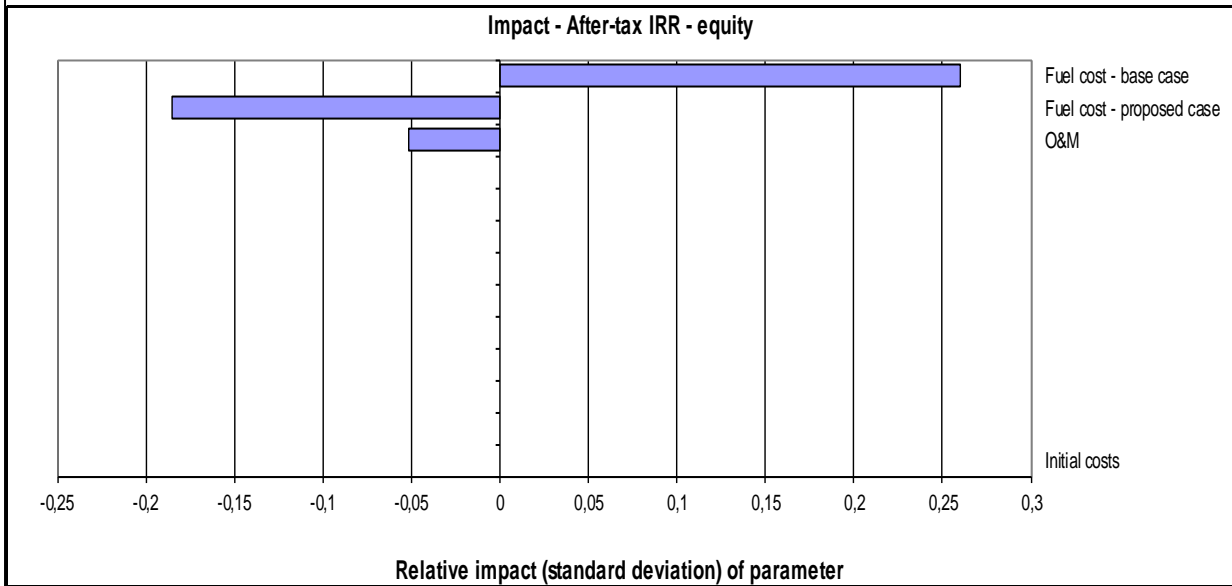
RETScreen Sensitivity and Risk Analysis - Heating project							
Sensitivity analysis							
Perform analysis on	After-tax IRR - equity						
Sensitivity range	20%						
Threshold	15	%					
			Initial costs			€	
Fuel cost - base case			776	873	970	1.067	1.164
€			-20%	-10%	0%	10%	20%
335	-20%		17,3%	15,5%	14,1%	12,9%	11,9%
377	-10%		23,1%	20,8%	18,9%	17,4%	16,0%
419	0%		28,8%	25,9%	23,5%	21,6%	20,0%
461	10%		34,4%	30,9%	28,0%	25,7%	23,8%
503	20%		40,0%	35,8%	32,5%	29,8%	27,6%
			Initial costs			€	
Fuel cost - proposed case			776	873	970	1.067	1.164
€			-20%	-10%	0%	10%	20%
166	-20%		34,3%	30,8%	28,0%	25,7%	23,8%
187	-10%		31,6%	28,3%	25,8%	23,6%	21,9%
207	0%		28,8%	25,9%	23,5%	21,6%	20,0%
228	10%		26,0%	23,4%	21,3%	19,5%	18,0%
249	20%		23,2%	20,8%	19,0%	17,4%	16,1%
			Initial costs			€	
Debt interest rate			776	873	970	1.067	1.164
%			-20%	-10%	0%	10%	20%
0,00%	-20%		28,8%	25,9%	23,5%	21,6%	20,0%
0,00%	-10%		28,8%	25,9%	23,5%	21,6%	20,0%
0,00%	0%		28,8%	25,9%	23,5%	21,6%	20,0%
0,00%	10%		28,8%	25,9%	23,5%	21,6%	20,0%
0,00%	20%		28,8%	25,9%	23,5%	21,6%	20,0%

Εικόνα 3.20: Φύλλο Ανάλυσης Ευαισθησίας (επίπεδος ηλιακός συλλέκτης)

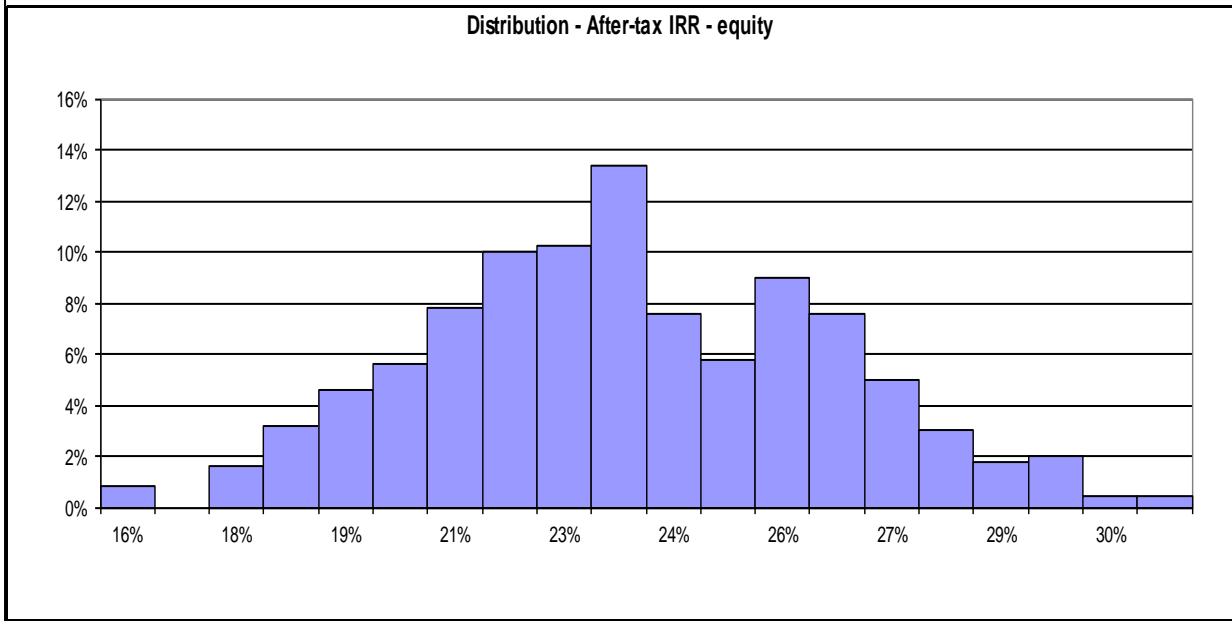
Risk analysis

Perform analysis on **After-tax IRR - equity**

Parameter	Unit	Value	Range (+/-)	Minimum	Maximum
Initial costs	€	970	15%	825	1.116
O&M	€	16	15%	13	18
Fuel cost - proposed case	€	207	20%	166	249
Fuel cost - base case	€	419	15%	356	482
Debt term	yr	0		0	0



Median	%	23,3%
Level of risk	%	10,0%
Minimum within level of confidence	%	18,9%
Maximum within level of confidence	%	28,3%



Εικόνα 3.21: Φύλλο Ανάλυση Ρίσκου (επίπεδος ηλιακός συλλέκτης)

3.1.2 ΗΛΙΑΚΟΣ ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ ΚΕΝΟΥ

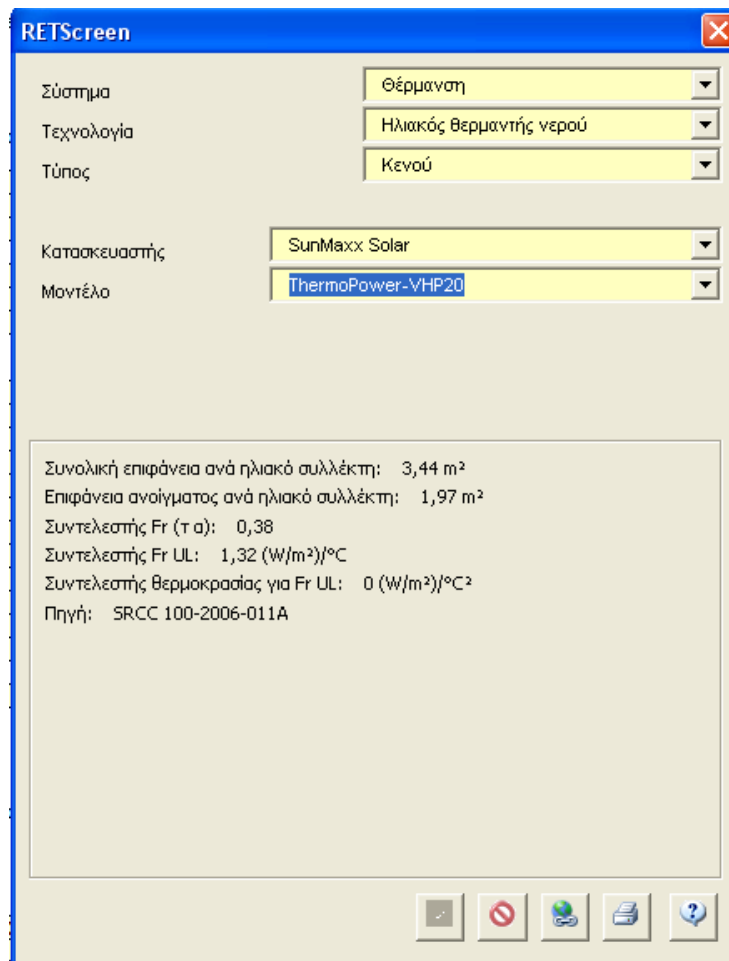


Το δεύτερο προϊόν που εξετάστηκε μέσω του λογισμικού RETScreen είναι ένας ηλιακός συλλέκτης κενού. Παράγεται στις Η.Π.Α. από την ίδια εταιρεία που κατασκευάζει τον υαλοκάλυπτο ηλιακό συλλέκτη που αναλύθηκε με το λογισμικό RETScreen στο προηγούμενο κομμάτι της εργασίας. Στόχος της ανάλυσης είναι η ενεργειακή και οικονομική απόδοση του οικιακού ηλιακού θερμοσίφωνα, με χρήση του συγκεκριμένου ηλιακού συλλέκτη κενού, κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής του, από την εγκατάσταση του μέχρι το πέρας της λειτουργίας του στο τέλος του κύκλου ζωής του.

Τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του συλλέκτη αντλήθηκαν από τη βάση δεδομένων του λογισμικού καθώς και από πηγές που διατίθενται από την εταιρεία κατασκευής του. Στο παρακάτω φύλλο εργασίας φαίνονται τα χαρακτηριστικά που παρέχονται από τη βάση δεδομένων του λογισμικού:



Εικόνα 3.22: Ηλιακός συλλέκτης κενού ThermoPower-VHP20




Εικόνα 3.23: Product Database (ηλιακός συλλέκτης κενού)

Η συγκεκριμένη βάση δεδομένων παρέχει στο χρήστη τα εξής δεδομένα:

- ❖ Μικτή επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη – Gross area per solar collector
 - Αποτελείται από την ολική έκταση που κατέχει το ηλιακό πάνελ με την περιοχή που καλύπτεται από το εξωτερικό πλαίσιο αλουμινίου.
- ❖ Καθαρή επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη
 - Υπολογίζεται από την αφαίρεση της επιφάνειας που καλύπτεται από το πλαίσιο στηριξης από την μικτή επιφάνεια του συλλέκτη
- ❖ Fr (tau alpha) coefficient
 - Συντελεστής απομάκρυνσης θερμότητας από τον συλλέκτη πολλαπλασιασμένος με το γινόμενο του συντελεστή διαπερατότητας του διάφανου καλύμματος α επί τον συντελεστή απορρόφησης της απορροφητικής επιφάνειας t
- ❖ Fr UL coefficient
 - Συντελεστής απομάκρυνσης θερμότητας από τον συλλέκτη πολλαπλασιασμένος με τον ολικό συντελεστή απωλειών του συλλέκτη προς το περιβάλλον
- ❖ Temperature coefficient for Fr UL

Παρακάτω παρουσιάζονται τα στοιχεία του μοντέλου που αναλύθηκε όπως δίνονται από την εταιρεία κατασκευής του. Το υπό εξέταση μοντέλο είναι το : ThermoPower-VHP20. Πρόκειται για ηλιακό συλλέκτη κενού είκοσι σωληνώσεων.




PRODUCT DATA SHEET

ThermoPower VHP Vacuum Tube Collector

Technical Specifications

Tube Length	70 in (1778 mm)
Inner Tube Diameter	2.1 in (53.34 mm)
Tube Thickness	0.1 in (2.54 mm)
Tube Material	Borosilicate Glass
Tube Coating	Al - N/Al
Thermal Expansion	3.3×10^{-6}
Absorption Efficiency	> 92%
Emittance	< 8%
Vacuum	$P < 5 \times 10^{-3}$ Pa
Heat Loss	< 0.7 W/m ² C
Maximum Strength	1.0 MPa
Stagnation Temperature	> 392.5 °F
Nominal Flow Rate	0.028 gpm/tube
Recommended Flow Rate Range	.0205-.0614 gpm/tube
Fittings	1" NPT
Functional Collector Angle Range	15°-75°



1. Manifold
2. Double Wall Vacuum Tube
3. 1" Male NPT Brass Connection
4. Temperature Sensor Well
5. Free Standing Extruded Aluminum Adjustable Frame (included)

Product	VHP-10	VHP-20	VHP-25	VHP-30
Dimensions (inches)	37.5 x 79	70.2 x 79	86.2 x 79	102.9 x 79
Weight (lbs)	88	170	212	252
Net Aperture Area (ft ²)	10.01	20.03	25.03	30.04
Fluid Capacity (gal)	0.18	0.40	0.50	0.61
Nominal Flow Rate (gpm)	0.28	0.56	0.70	0.84
Storage Tank Size	30 - 40	50 - 60	60 - 70	70+
SRCC Clear C Rating (KBTU per panel per day)	14	28	35	42
Max # of Tubes in Series	150			
Tilt Angle (degrees)	15 - 75			
Nominal Flow Rate	0.28	0.56	0.70	0.84
Operating Pressure (psi)	20 - 70 Recommended - 150 max.			
Condensing Bulb Diameter	24 mm			

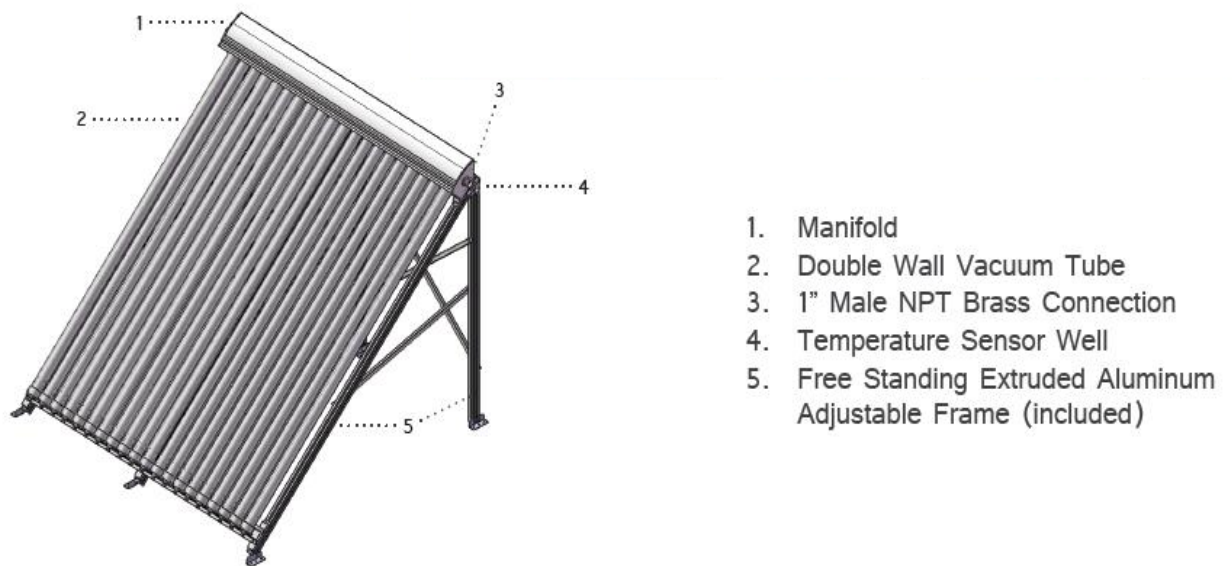
3-Year Standard Warranty
 10-Year Warranty when installed by certified installer
 SRCC OG-100 Certified
 Solar Keymark Certified

SunMaxx Solar, Inc.
 56 Broome Corp. Pkwy
 Conklin, NY 13748
 1.877.786.6299
 1.800.786.0329 fax
 www.sunmaxxsolar.com

© 2010 SunMaxx Solar, Inc. Specifications subject to change without notice.

Εικόνα 3.24: Στοιχεία ηλιακού συλλέκτη κενού

Δομή και χαρακτηριστικά ηλιακού συλλέκτη



1. Manifold
2. Double Wall Vacuum Tube
3. 1" Male NPT Brass Connection
4. Temperature Sensor Well
5. Free Standing Extruded Aluminum Adjustable Frame (included)

SPECIFICATIONS	ThermoPower-VHP10	ThermoPower-VHP20	ThermoPower-VHP30	ThermoPower-VHP30V1
Dimensions (in)	37.5 x 79.0	70.2 x 79.0	102.9 x 79.0	102.9 x 79.0
Net Aperture Area (ft ²)	10.01	20.03	30.04	34.72
Dry Weight (lbs.)	88	170	252	252
Fluid Capacity (gal)	0.18	0.40	.61	0.6
Recommended Flow Rate Per Collector (gpm)	0.28	0.56	0.84	0.84
SRCC Clear C Rating (KBTU per panel per day)	14	28	42	42
Recommended Max # of Tubes in Series	120			
Tilt Angle (deg)	15-75			
Stagnation Temperature (deg F)	428			
Operating Pressure (psi)	20-70 (Recommended) 150 (Maximum)			

Εικόνα 3.25: Χαρακτηριστικά ηλιακού συλλέκτη κενού

Εκκίνηση

Στο πρώτο φύλλο εργασίας, όπως παρουσιάζεται παρακάτω, συμπληρώνονται τα γενικά στοιχεία του έργου. Αναγράφονται:

- ❖ Το όνομα του έργου
- ❖ Ο τύπος του έργου – Επιλογή – Παραγωγή θερμότητας
- ❖ Τεχνολογία – Ηλιακός θερμαντής νερού

- ❖ Γλώσσα επιλογής – Αγγλικά
- ❖ Νόμισμα – Ευρώ
- ❖ Μονάδες – Μετρικό σύστημα
- ❖ Θέση κλιματολογικών δεδομένων– Σούδα Χανιά (Souda Bay Crete)

Project information		See project database
Project name	LCA T.U.C.	
Project location	T.U.C Chania Crete	
Prepared for	T.U.C	
Prepared by		
Project type	Heating	
Technology	Solar water heater	
Analysis type	Method 2	
Heating value reference	Lower heating value (LHV)	
Show settings	<input checked="" type="checkbox"/>	
Language - Langue	English - Anglais	
User manual	English - Anglais	
Currency	Euro	
Units	Metric units	
Site reference conditions		Select climate data location
Climate data location	Souda Bay Crete	
Show data	<input checked="" type="checkbox"/>	

Εικόνα 3.26: Φύλλο Εκκίνησης (ηλιακός συλλέκτης κενού)

Κλιματολογικά δεδομένα

Τα μετεωρολογικά δεδομένα αντλήθηκαν από τη βιβλιοθήκη που διαθέτει το πρόγραμμα RETScreen και παρέχεται από τη NASA. Οι τιμές αφορούν την περιοχή της Σούδας και συγκεκριμένα την ακτή Σούδας όπου υπάρχει η δυνατότητα καταγραφής κλιματολογικών στοιχείων μέσω εγκατεστημένου μετεωρολογικού σταθμού. Μέσω της συγκεκριμένης βιβλιοθήκης το λογισμικό αξιοποιεί στους υπολογισμούς δεδομένα όπως η θερμοκρασία του αέρα στη συγκεκριμένη περιοχή, η σχετική υγρασία, η ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία (οριζόντια), η ατμοσφαιρική πίεση, η ταχύτητα του ανέμου και η θερμοκρασία εδάφους. Επιπλέον, εμπεριέχονται τιμές των δεικτών HDD (Heating Degree

Days) και CDD (Cooling Degree Days), οι οποίες αφορούν τις ενεργειακές απαιτήσεις ενός κτιρίου για θέρμανση και ψύξη αντίστοιχα. Όλες οι προαναφερθείσες τιμές ανάγονται σε διαστήματα ενός μηνός. Παρακάτω παρατίθεται ο σχετικός πίνακας όπως παρουσιάζεται από το λογισμικό στο πρώτο φύλλο εργασίας που εμφανίζεται.

	Unit	Climate data	Project
		location	location
Latitude	°N	35,5	35,5
Longitude	°E	24,2	24,2
Elevation	m	146	146
Heating design temperature	°C	5,8	
Cooling design temperature	°C	33,1	
Earth temperature amplitude	°C	9,3	

Month	Air temperature	Relative humidity	Daily solar radiation - horizontal	Atmospheric pressure	Wind speed	Earth temperature	Heating degree-days	Cooling degree-days
	°C	%	kWh/m ² /d	kPa	m/s	°C	°C-d	°C-d
January	11,0	77,3%	2,31	101,2	3,2	15,1	217	31
February	10,8	76,4%	3,20	101,1	3,3	14,9	202	22
March	12,6	74,4%	4,57	101,0	3,6	15,9	167	81
April	15,7	70,5%	6,30	100,8	3,7	17,9	69	171
May	20,1	64,4%	7,45	100,8	3,3	21,2	0	313
June	24,6	57,2%	8,45	100,7	3,2	24,7	0	438
July	26,6	57,9%	8,41	100,5	2,9	26,8	0	515
August	26,1	59,8%	7,58	100,5	3,0	27,3	0	499
September	23,3	65,9%	6,14	100,8	2,9	25,8	0	399
October	19,9	71,8%	4,28	101,1	2,8	22,8	0	307
November	15,6	75,8%	2,65	101,1	2,8	19,3	72	168
December	12,1	78,7%	2,05	101,2	3,2	16,4	183	65
Annual	18,2	69,1%	5,29	100,9	3,2	20,7	910	3.009
Measured at	m				10,0	0,0		

Type equation here.

Εικόνα 3.27: Φύλλο κλιματολογικών δεδομένων (ηλιακός συλλέκτης κενού)

Ενεργειακό Μοντέλο

Στο δεύτερο φύλλο εργασίας, Energy Model, προσδιορίζονται ορισμένα χαρακτηριστικά του συστήματος. Στη συγκεκριμένη περίπτωση επιλέχθηκε η χρήση ζεστού νερού σε οικία με τέσσερις κατοίκους με ποσοστό κατοίκησης 100%. Συμπληρώθηκαν ακόμα τιμές που αφορούν την ημερήσια κατανάλωση ζεστού νερού, τη θερμοκρασία του νερού χρήσης και τη συνεχή λειτουργία του συστήματος όλες τις ημέρες της εβδομάδας. Η κλίση του συλλέκτη επιλέχθηκε στις 28 μοίρες καθότι παρατηρήθηκε στην συγκεκριμένη τιμή η μέγιστη μέση ετήσια ηλιακή ακτινοβολία (MWh/m²) τόσο σε οριζόντιο όσο και σε επικλινές επίπεδο. Τέλος η τιμή του αζιμούθιου για την περιοχή των Χανίων ευρέθηκε στις 35,30 μοίρες αλλά λόγω του εντοπισμού της περιοχής των Χανίων στο Βόρειο

Ημισφαίριο της γης η τιμή του αζιμούθιου οριστικοποιείται στις 0° σύμφωνα με τις οδηγίες που παρέχει το λογισμικό (manual RETScreen-Solar Water Heating, Project Model).

Heating project		Solar water heater	
Technology	Solar water heater		
Load characteristics	<input type="checkbox"/> Swimming pool <input type="checkbox"/> Hot water		
Application			
	Unit	Base case	Proposed case
Load type		House	
Number of units	Occupant	4	
Occupancy rate	%	100%	
Daily hot water use - estimated	L/d	240	
Daily hot water use	L/d	240	240
Temperature	°C	60	60
Operating days per week	d	7	7
<input checked="" type="checkbox"/> Percent of month used	Month		
	January	100%	100%
	February	100%	100%
	March	100%	100%
	April	100%	100%
	May	100%	100%
	June	100%	100%
	July	100%	100%
	August	100%	100%
	September	100%	100%
	October	100%	100%
	November	100%	100%
	December	100%	100%
Supply temperature method	Formula		
Water temperature - minimum	°C	15,6	
Water temperature - maximum	°C	21,2	
	Unit	Base case	Proposed case
Heating	MWh	4,3	4,3
			Energy saved
			0%
			Incremental initial costs
Resource assessment			
Solar tracking mode		Fixed	
Slope	°	28,0	
Azimuth	°	0,0	

Εικόνα 3.28: Φύλλο Ενεργειακού Μοντέλου (ηλιακός συλλέκτης κενού)

Show data	Month	Daily solar radiation - horizontal kWh/m ² /d	Daily solar radiation - tilted kWh/m ² /d
	January	2,31	3,05
	February	3,20	3,89
	March	4,57	5,11
	April	6,30	6,47
	May	7,45	7,16
	June	8,45	7,84
	July	8,41	7,92
	August	7,58	7,65
	September	6,14	6,76
	October	4,28	5,24
	November	2,65	3,46
	December	2,05	2,77
	Annual	5,29	5,62
Annual solar radiation - horizontal	MWh/m ²	1,93	
Annual solar radiation - tilted	MWh/m ²	2,05	

Εικόνα 3.29: Ανάλυση ηλιακής ακτινοβολίας (ηλιακός συλλέκτης κενού)

Στον επόμενο πίνακα του παρόντος φύλλου ζητούνται τα χαρακτηριστικά του συστήματος. Αρχικά γίνεται μια εκτενής περιγραφή του ηλιακού συλλέκτη που χρησιμοποιείται προσδιορίζοντας τα εξής χαρακτηριστικά του:

- ❖ Τύπος
- ❖ Κατασκευαστής
- ❖ Μοντέλο
- ❖ Συνολική επιφάνεια ανά ηλιακό συλλέκτη
- ❖ Επιφάνεια ανοίγματος ανά ηλιακό συλλέκτη
- ❖ Συντελεστής F_r ($\tau \alpha$)
- ❖ Συντελεστής F_r UL
- ❖ Συντελεστής θερμοκρασίας για F_r UL
- ❖ Αριθμός συλλεκτών
- ❖ Επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη
- ❖ Ισχύς
- ❖ Λοιπές απώλειες

Έπειτα ζητούνται τα στοιχεία του υπόλοιπου συστήματος όπως της δεξαμενής αποθήκευσης, της αντλίας εφόσον τοποθετηθεί και του εναλλάκτη θερμότητας. Αναλυτικά συμπληρώνονται τα ακόλουθα στοιχεία:

Αποθήκευση, Χωρητικότητα αποθήκευσης / επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη, Χωρητικότητα αποθήκευσης, Εναλλάκτης θερμότητας, Απόδοση εναλλάκτη θερμότητας, Λοιπές απώλειες, Ισχύς αντλίας / επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη, Τιμή Ηλεκτρισμού. Τέλος προσδιορίζονται ο τύπος Καυσίμου, Εποχιακή απόδοση, Κατανάλωση καυσίμου – ετήσια, Τιμή Καυσίμου και το Κόστος καυσίμου.

Οι τιμές των παραπάνω χαρακτηριστικών φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Solar water heater		
Type	Evacuated	
Manufacturer	SunMaxx Solar	
Model	ThermoPower-VHP20	
Gross area per solar collector	m ²	3.44
Aperture area per solar collector	m ²	1.97
F_r ($\tau \alpha$) coefficient		0.38
F_r UL coefficient	(W/m ²)/°C	1.32
Temperature coefficient for F_r UL	(W/m ²)/°C ²	0.000
Number of collectors		1
Solar collector area	m ²	3.44
Capacity	kW	1.38
Miscellaneous losses	%	3.0%
Balance of system & miscellaneous		
Storage		Yes
Storage capacity / solar collector area	L/m ²	81
Storage capacity	L	160.0
Heat exchanger	yes/no	Yes
Heat exchanger efficiency	%	80.0%
Miscellaneous losses	%	6.0%
Pump power / solar collector area	W/m ²	0.00
Electricity rate	€/kWh	0.079
Summary		
Electricity - pump	MWh	0.0
Heating delivered	MWh	1.9
Solar fraction	%	44%

Εικόνα 3.30: Χαρακτηριστικά συστήματος (ηλιακός συλλέκτης κενού)

Στο τελευταίο κομμάτι του ενεργειακού μοντέλου γίνεται ανάλυση του συστήματος θέρμανσης που ορίστηκε ως προς τα εξής χαρακτηριστικά:

- ❖ Τύπος Καυσίμου
- ❖ Εποχιακή απόδοση
- ❖ Κατανάλωση καυσίμου - ετήσια
- ❖ Τιμή Καυσίμου

Heating system		Base case	Proposed case
Project verification			
Fuel type		Electricity	Electricity
Seasonal efficiency		80%	80%
Fuel consumption - annual	MWh	5,3	3,0
Fuel rate	€/kWh	0,079	0,079
Fuel cost	€	419	236

Εικόνα 3.31: Ανάλυση του συστήματος θέρμανσης (ηλιακός συλλέκτης κενού)

Ανάλυση κόστους

Στο τρίτο φύλλο εργασίας αναφέρονται τα οικονομικά στοιχεία που αφορούν την αγορά και τη συντήρηση του συστήματος. Η κοστολόγηση του συστήματος που εξετάζεται στο τρέχων κομμάτι της εργασίας έγινε σύμφωνα με τα παρεχόμενα έντυπα της εταιρείας κατασκευής και διάθεσης του.

Balance of system & miscellaneous				
Specific project costs	Solar water heater			
Solar collector material	m ²	2	€ 217	€ 522
Collector support structure	m ²	3	€ 40	€ 104
Pipe	m	19	€ 6	€ 114
Storage tank	L	160	€ 2	€ 320
Heat exchanger	kW	2		€ -
Circulating pump	W	0		€ -
Plumbing	project	1	€ 30	€ 30
Installation	project	1	€ 94	€ 94
Building & yard construction	m ²			€ -
Spare parts	%			€ -
Transportation	project	1	€ 25	€ 25
Training & commissioning	p-d			€ -
User-defined	cost			€ -
Contingencies	%	5,0%	€ 1.209	€ 60
Interest during construction			€ 1.269	€ -
Subtotal:		Enter number of months	€ 1.269	100,0%
Total initial costs			€ 1.269	100,0%

Εικόνα 3.32: Φύλλο Ανάλυσης Κόστους (ηλιακός συλλέκτης κενού)

Ανάλυση Εκπομπών

Στο τέταρτο φύλλο εργασίας το πρόγραμμα μετατρέπει όλες τις εκπομπές αερίων σε τη CO₂ για την βασική και εφεδρική μορφή ενέργειας. Το λογισμικό διαθέτει το μίγμα καυσίμων που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο Ελληνικό Ενεργειακό Σύστημα και πράττει τους υπολογισμούς αυτόματα. Έπειτα υπολογίζει τον βασικό παράγοντα εκπομπής αερίων που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και που οφείλεται στην ηλιακή και την ηλεκτρική ενέργεια. Τέλος το πρόγραμμα υπολογίζει τη μείωση των εκπομπών αερίων που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου σε ετήσιο επίπεδο.

RETScreen Emission Reduction Analysis - Heating project					
<input checked="" type="checkbox"/> Emission Analysis					
<input type="radio"/> Method 1 <input type="radio"/> Method 2 <input type="radio"/> Method 3					
Base case electricity system (Baseline)					
		GHG emission factor (excl. T&D)	T&D losses	GHG emission factor	
Country - region	Fuel type	tCO ₂ /MWh	%	tCO ₂ /MWh	
Greece	All types	0,664		0,664	
<input type="checkbox"/> Baseline changes during project life					
Base case system GHG summary (Baseline)					
		Fuel consumption	GHG emission factor	GHG emission	
Fuel type	Fuel mix %	MWh	tCO ₂ /MWh	tCO ₂	
Electricity	100,0%	5	0,664	3,5	
Total	100,0%	5	0,664	3,5	
Proposed case system GHG summary (Heating project)					
		Fuel consumption	GHG emission factor	GHG emission	
Fuel type	Fuel mix %	MWh	tCO ₂ /MWh	tCO ₂	
Solar	38,3%	2	0,000	0,0	
Electricity	61,7%	3	0,664	2,0	
Total	100,0%	5	0,410	2,0	
GHG emission reduction summary					
	Base case GHG emission tCO ₂	Proposed case GHG emission tCO ₂	Gross annual GHG emission reduction tCO ₂	GHG credits transaction fee %	Net annual GHG emission reduction tCO ₂
Heating project	3,5	2,0	1,5		1,5
Net annual GHG emission reduction	1,5	tCO ₂	is equivalent to	0,3	Cars & light trucks not used

Εικόνα 3.33: Φύλλο Ανάλυσης Εκπομπών (ηλιακός συλλέκτης κενού)

Οικονομική ανάλυση

Στον πρώτο πίνακα του πέμπτου φύλλου εργασίας συμπληρώνονται οι οικονομικοί παράμετροι του έργου. Η διάρκεια ζωής του έργου ανάγεται σε 30 έτη από την αρχή της λειτουργίας του και κατά αυτή την περίοδο συντρέχουν τα παρακάτω οικονομικά μεγέθη:

- Κυλιόμενος φόρος κόστους καυσίμου
- Τιμή πληθωρισμού
- Επιτόκιο αναγωγής

Αναλυτικότερα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Financial parameters		
General		
Fuel cost escalation rate	%	3,0%
Inflation rate	%	3,0%
Discount rate	%	10,0%
Project life	yr	30
Finance		
Incentives and grants	€	
Debt ratio	%	
Income tax analysis <input checked="" type="checkbox"/>		
Effective income tax rate	%	
Loss carryforward?		No
Depreciation method		Declining balance
Half-year rule - year 1	yes/no	Yes
Depreciation tax basis	%	
Depreciation rate	%	
Tax holiday available?	yes/no	No

Εικόνα 3.34: Φύλλο Οικονομικής Ανάλυσης I (ηλιακός συλλέκτης κενού)

Στο δεύτερο πίνακα παρουσιάζεται η σύνοψη του κόστους του έργου καθώς και των αποταμιεύσεων-εσόδων. Τα συνολικά αρχικά κόστη ανέρχονται στα 1.269€.

Project costs and savings/income summary			
Initial costs			
Heating system	0,0%	€	0
Balance of system & misc.	100,0%	€	1.269
Total initial costs	100,0%	€	1.269
Annual costs and debt payments			
O&M		€	16
Fuel cost - proposed case		€	236
Total annual costs		€	252
Periodic costs (credits)			
User-defined - 15 yrs		€	65
Valves and Fittings - 10 yrs		€	40
Annual savings and income			
Fuel cost - base case		€	419
Total annual savings and income		€	419

Εικόνα 3.35: Φύλλο Οικονομικής Ανάλυσης II (ηλιακός συλλέκτης κενού)

Ετήσια χρηματοροή

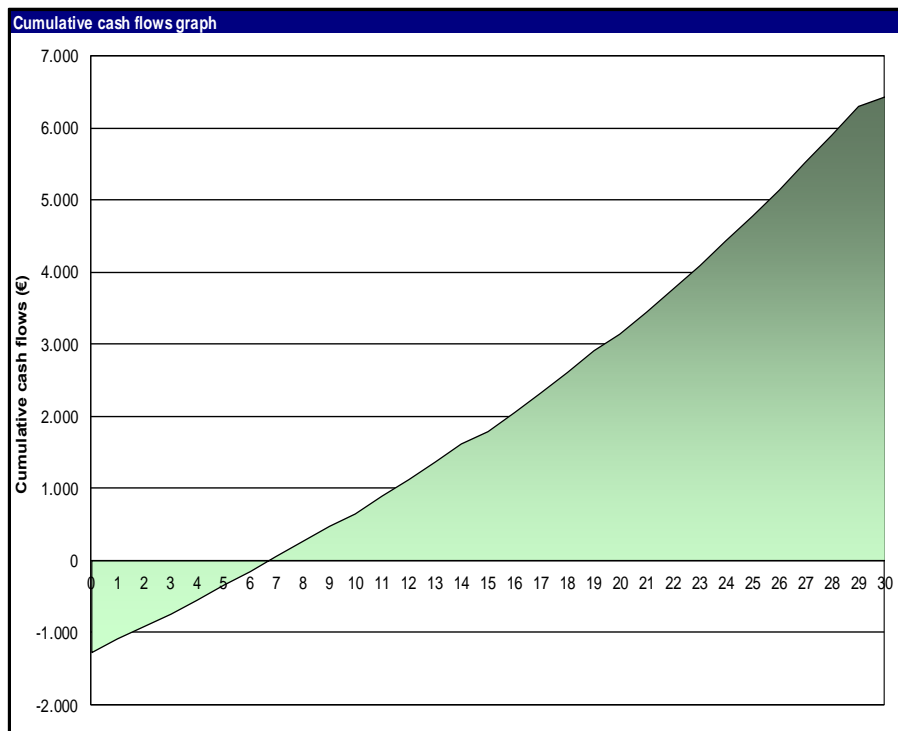
Στον παρακάτω πίνακα διαφαίνεται αναλυτικά η ετήσια χρηματοροή που επιτυγχάνεται με την λειτουργία του συστήματος στα 30 έτη του προσδοκώμενου κύκλου ζωής του συγκρινόμενη με τη βασική περίπτωση εγκατάστασης ενός συμβατικού ηλεκτρικού θερμοσιφωνικού συστήματος. Στην πρώτη στήλη του πίνακα αναγράφεται το εκάστοτε εξεταζόμενο έτος, στη δεύτερη και στην τρίτη η προ-φόρων και μετά φόρων χρηματοροή αντίστοιχα και τέλος στην τέταρτη στήλη υπολογίζεται η αθροιστική ετήσια χρηματοροή. Παρατηρείται θετική τιμή της αθροιστικής χρηματοροής μεταξύ του έκτου και του έβδομου έτους λειτουργίας όπου το σύστημα επιτυγχάνει απόσβεση. Αναλυτικότερα το παραπάνω συμπέρασμα αποτυπώνεται στο διάγραμμα που ακολουθεί τον παρακάτω πίνακα.

Yearly cash flows				
Year	Pre-tax	After-tax	Cumulative	
#	€	€	€	
0	-1.269	-1.269	-1.269	
1	172	172	-1.097	
2	177	177	-920	
3	183	183	-737	
4	188	188	-549	
5	194	194	-355	
6	200	200	-155	
7	206	206	50	
8	212	212	262	
9	218	218	480	
10	171	171	651	
11	231	231	883	
12	238	238	1.121	
13	246	246	1.366	
14	253	253	1.619	
15	159	159	1.779	
16	268	268	2.047	
17	276	276	2.323	
18	285	285	2.608	
19	293	293	2.901	
20	230	230	3.131	
21	311	311	3.442	
22	320	320	3.762	
23	330	330	4.092	
24	340	340	4.432	
25	350	350	4.782	
26	361	361	5.143	
27	371	371	5.514	
28	383	383	5.897	
29	394	394	6.291	
30	151	151	6.442	

Εικόνα 3.36: Φύλλο Οικονομικής Ανάλυσης III - Ετήσια χρηματοροή (ηλιακός συλλέκτης κενού)

Διάγραμμα αθροιστικών χρηματοροών

Το σύστημα πετυχαίνει θετική χρηματοροή στα 6,8 έτη όπως φαίνεται στο διάγραμμα που ακολουθεί, δηλαδή σε 6 έτη και 9 μήνες.



Εικόνα 3.37: Φύλλο Οικονομικής Ανάλυσης IV - Διάγραμμα αθροιστικών χρηματοροών (ηλιακός συλλέκτης κενού)

Ετήσια έσοδα

Annual income		
Electricity export income		
GHG reduction income <input checked="" type="checkbox"/>		
Net GHG reduction	tCO2/yr	2
Net GHG reduction - 30 yrs	tCO2	46
GHG reduction credit rate	€/tCO2	
Customer premium income (rebate) <input checked="" type="checkbox"/>		
Heating premium (rebate)	%	
Other income (cost) <input checked="" type="checkbox"/>		
Energy	MWh	
Rate	€/MWh	
Other income (cost)	€	0
Duration	yr	
Escalation rate	%	
Clean Energy (CE) production income <input checked="" type="checkbox"/>		
CE production	MWh	5
CE production credit rate	€/kWh	
CE production income	€	
CE production credit duration	yr	
CE production credit escalation rate	%	
Energy delivered (MWh)		
Fuel type		
Electricity	3	Yes
Solar	2	Yes

Εικόνα 3.38: Φύλλο Οικονομικής Ανάλυσης V - Ετήσια έσοδα (ηλιακός συλλέκτης κενού)

Οικονομική βιωσιμότητα

Στον παρακάτω πίνακα το λογισμικό υπολογίζει μεγέθη που σχετίζονται με την οικονομική βιωσιμότητα του έργου. Διακρίνονται σημαντικά οικονομικά στοιχεία όπως η καθαρά παρούσα αξία του, οι ετήσιες αποταμιεύσεις κατά τον κύκλο ζωής του καθώς και την Αναλογία Οφέλους-Κόστους.

Financial viability		
Pre-tax IRR - equity	%	15,9%
Pre-tax IRR - assets	%	15,9%
After-tax IRR - equity	%	15,9%
After-tax IRR - assets	%	15,9%
Simple payback	yr	7,6
Equity payback	yr	6,8
Net Present Value (NPV)	€	778
Annual life cycle savings	€/yr	83
Benefit-Cost (B-C) ratio		1,61
GHG reduction cost	€/tCO2	(53)

Εικόνα 3.39: Φύλλο Οικονομικής Ανάλυσης VI - Οικονομική βιωσιμότητα (ηλιακός συλλέκτης κενού)

Απλή αποπληρωμή	έτος	7,6
Αποπληρωμή Μετοχών	έτος	6,8
Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ)	€	778
Ετήσιες αποταμιεύσεις κύκλου ζωής	€/ετος	83
Αναλογία Οφέλους-Κόστους (Ο-Κ)		1,61

Εικόνα 3.40: Πίνακας στοιχείων Οικονομικής βιωσιμότητας (ηλιακός συλλέκτης κενού)

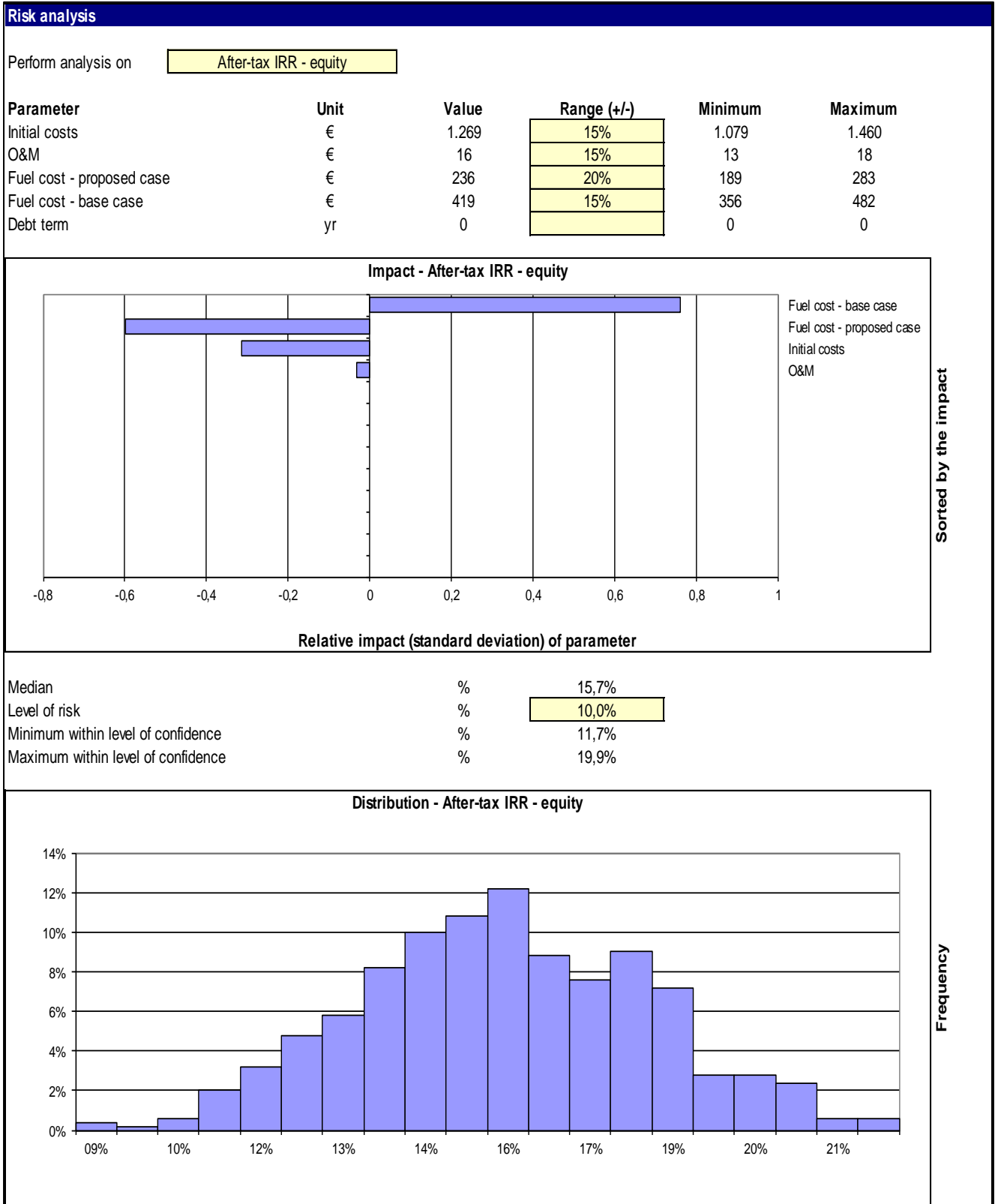
Ανάλυση ευαισθησίας- Ανάλυση ρίσκου

Στον πρώτο πίνακα (Sensitivity Analysis) το πρόγραμμα εκτελεί ανάλυση ευαισθησίας για την παρεχόμενη ηλιακή ενέργεια, το αρχικό και το ετήσιο κόστος του ηλιακού συστήματος.

Στον δεύτερο πίνακα (*Risk Analysis*) εισάγουμε στο πρόγραμμα τα ποσοστά διακύμανσης του κόστους για την ηλεκτρική ενέργεια, την παρεχόμενη ηλιακή ενέργεια, το αρχικό και το ετήσιο κόστος και εκτελεί την ανάλυση επικινδυνότητας, εμφανίζοντας τα αποτελέσματα υπό μορφή γραφικής παράστασης. Στη συνέχεια, εισάγοντας σαν ποσοστό επικινδυνότητας 10% (δηλαδή 90% επίπεδο εμπιστοσύνης), το πρόγραμμα παρουσιάζει πάλι υπό μορφή γραφικής παράστασης την κατανομή των δεικτών ROI-IRR.

RETScreen Sensitivity and Risk Analysis - Heating project						
Sensitivity analysis						
Perform analysis on	After-tax IRR - equity					
Sensitivity range	20%					
Threshold	15	%				
		Fuel cost - base case				€
O&M		335	377	419	461	503
€		-20%	-10%	0%	10%	20%
13	-20%	7,9%	12,3%	16,1%	19,8%	23,3%
14	-10%	7,7%	12,1%	16,0%	19,7%	23,2%
16	0%	7,5%	12,0%	15,9%	19,5%	23,1%
17	10%	7,3%	11,8%	15,7%	19,4%	22,9%
19	20%	7,2%	11,7%	15,6%	19,2%	22,8%
		Fuel cost - base case				€
Initial costs		335	377	419	461	503
€		-20%	-10%	0%	10%	20%
1.016	-20%	9,7%	14,8%	19,4%	23,9%	28,2%
1.143	-10%	8,5%	13,3%	17,5%	21,5%	25,4%
1.269	0%	7,5%	12,0%	15,9%	19,5%	23,1%
1.396	10%	6,7%	10,9%	14,5%	17,9%	21,2%
1.523	20%	6,0%	10,0%	13,4%	16,5%	19,6%
		Fuel cost - base case				€
Debt interest rate		335	377	419	461	503
%		-20%	-10%	0%	10%	20%
0,00%	-20%	7,5%	12,0%	15,9%	19,5%	23,1%
0,00%	-10%	7,5%	12,0%	15,9%	19,5%	23,1%
0,00%	0%	7,5%	12,0%	15,9%	19,5%	23,1%
0,00%	10%	7,5%	12,0%	15,9%	19,5%	23,1%
0,00%	20%	7,5%	12,0%	15,9%	19,5%	23,1%

Εικόνα 3.41: Φύλλο Ανάλυσης Ευαισθησίας (ηλιακός συλλέκτης κενού)



Εικόνα 3.42: Φύλλο Ανάλυσης Ρίσκου (ηλιακός συλλέκτης κενού)

3.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

3.2.1 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΔΥΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Κατά την εφαρμογή του RETScreen πραγματοποιήθηκε οικονομική ανάλυση του κύκλου ζωής των δυο συστημάτων, έτσι ώστε να υπολογιστούν το ολικό κόστος τους καθώς και το πλεόνασμα εσόδων τους. Στο οικονομικό σενάριο που εφαρμόστηκε για τα δυο συστήματα, τα αρχικά κόστη που προέκυψαν ορίσθηκε ότι εξοφλήθηκαν εξ αρχής. Η περίοδος της οικονομικής ανάλυσης είναι 30 έτη όπως και η διάρκεια ζωής του συστήματος.

Ένας σημαντικός παράγοντας που εξετάζεται μέσω της οικονομικής ανάλυσης είναι ο απαιτούμενος χρόνος λειτουργίας προκειμένου το σύστημα να πραγματοποιήσει απόσβεση. Όπως υπολογίστηκε ο χρόνος αποπληρωμής κυμαίνεται ανάλογα με το είδος του προς εξέταση συλλέκτη. Στην περίπτωση χρήσης του απλού υαλοκάλυπτου συλλέκτη παρατηρείται απόσβεση του συστήματος στα 5 έτη ενώ σε αυτήν του συλλέκτη κενού στα 7,6 έτη. Η συγκεκριμένη διακύμανση οφείλεται κατά ένα κύριο λόγο στο αυξημένο κόστος αγοράς του συλλέκτη κενού.

Άλλο ένα οικονομικό στοιχείο που τίθεται υπό εξέταση είναι η επίτευξη θετικής ταμειακής ροής. Το συγκεκριμένο στοιχείο αφορά το χρονικό διάστημα που απαιτείται ώστε ο ιδιοκτήτης-επενδυτής του εγκατεστημένου ηλιακού συστήματος να αποζημιωθεί για την αρχική επένδυση αγοράς του. Παρατηρείται και σε αυτή την περίπτωση ταχύτερη αποζημίωση στην εγκατάσταση απλού υαλοκάλυπτου ηλιακού συλλέκτη. Οι υπολογισμοί αναφέρουν αποζημίωση στα 4,6 έτη, όσον αφορά το σενάριο εφαρμογής υαλοκάλυπτου ηλιακού συλλέκτη, ενώ στο σενάριο εφαρμογής συλλέκτη κενού η αποζημίωση εντοπίζεται στα 6,8 έτη.

Ο λόγος οφέλους-κόστους τίθεται υπό εξέταση από το λογισμικό ως ένας δείκτης αξιολόγησης του ηλιακού συστήματος. Τιμή του δείκτη μεγαλύτερη της μονάδας υποδηλώνει προσοδοφόρα επένδυση. Διακρίνεται από τα τελικά αποτελέσματα ότι και οι δύο περιπτώσεις αποτελούν προσοδοφόρες επενδύσεις. Η άμεση σύγκριση του δείκτη αναλογίας οφέλους μεταξύ των δυο συστημάτων, οριστικοποιεί την υπεροχή του πρώτου σεναρίου (απλός υαλοκάλυπτος συλλέκτης) έναντι του δεύτερου (συλλέκτης κενού) με τιμές 2,52 και 1,61 αντίστοιχα.

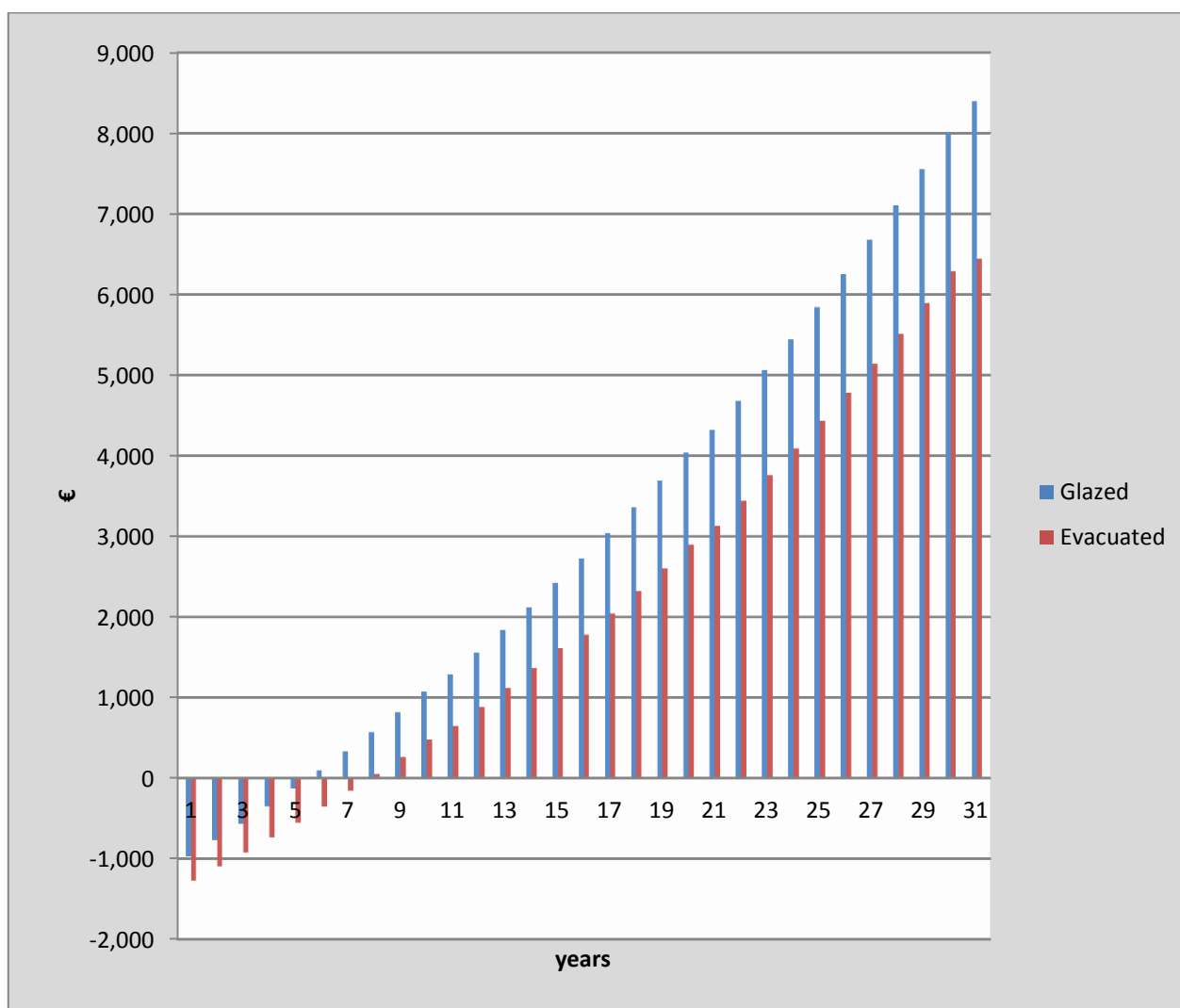
Όσον αφορά το ετήσιο πλεόνασμα εσόδων, παρατηρείται ότι είναι μεγαλύτερο για το σενάριο που χρησιμοποιεί απλό υαλοκάλυπτο ηλιακό συλλέκτη. Τέλος η καθαρή παρούσα αξία είναι καλύτερη στην περίπτωση του απλού συλλέκτη .[7],[11],[16],[17]

Όλα τα παραπάνω αποτελέσματα φαίνονται αναλυτικά στον πίνακα που ακολουθεί:

Είδος συλλέκτη	Μετά φόρων IRR-ROI (%)	Χρόνος αποπληρωμής (yr)	Επίτευξη θετικής ταμειακής ροής (yr)	Καθαρή παρούσα αξία (€)	Ετήσιο πλεόνασμα εσόδων (€)	Αναλογία Οφέλους-Κόστους
Απλός	23,5	5	4,6	1.472	156	2,52
Κενού	15,9	7,6	6,8	778	83	1,61

Εικόνα 3.43: Συγκριτικός πίνακας των οικονομικών αποδόσεων των δυο συστημάτων

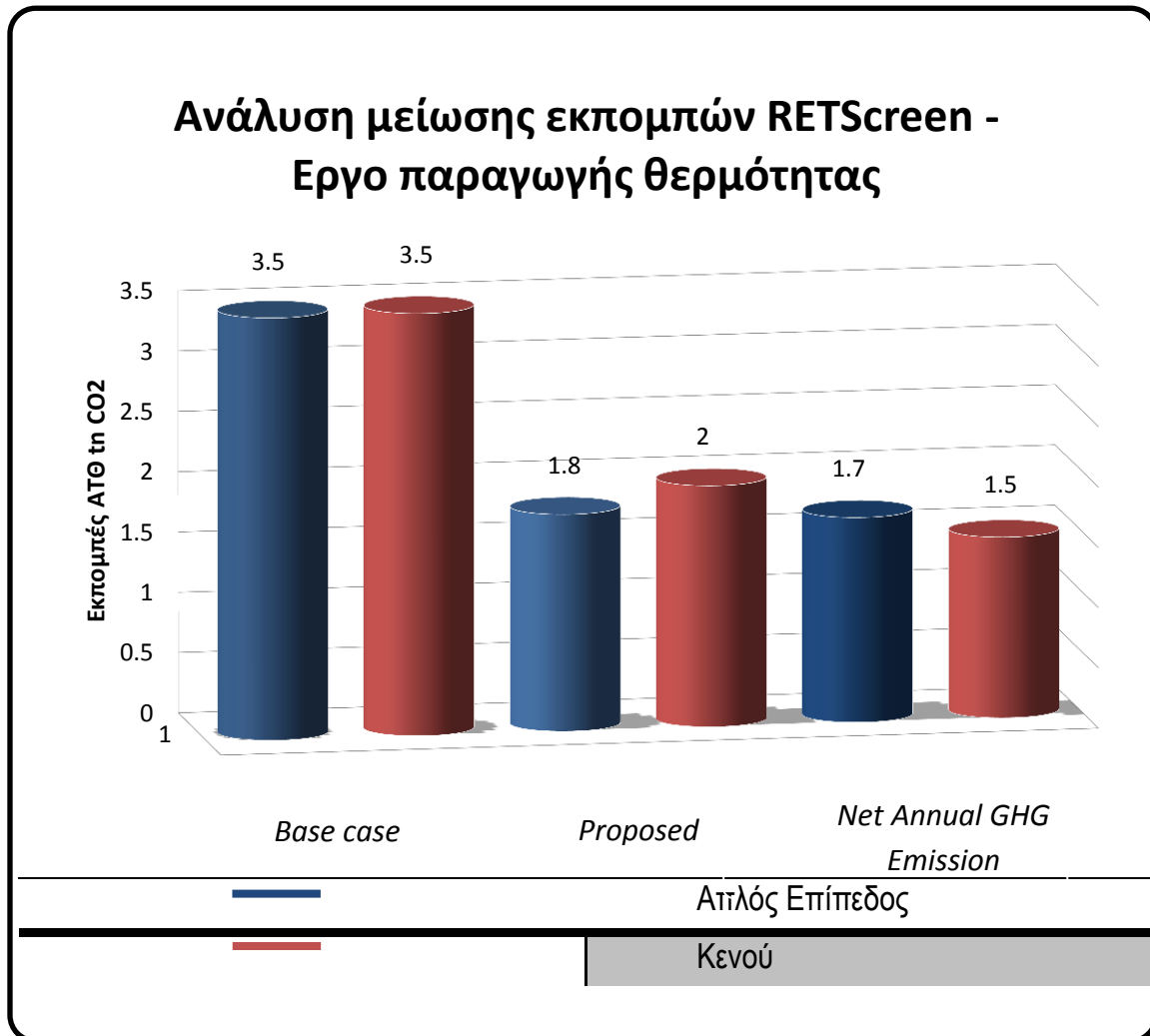
Οριακή σύγκριση γραφημάτων αθροιστικών χρηματοροών



Εικόνα 3.44: Οριακή σύγκριση γραφημάτων αθροιστικών χρηματοροών

3.2.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΠΟΥ ΣΥΜΒΑΛΛΟΥΝ ΣΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζεται αναλυτικά ο ετήσιος περιβαλλοντικός αντίκτυπος του κάθε συστήματος όσον αφορά τις εκπομπές που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου:

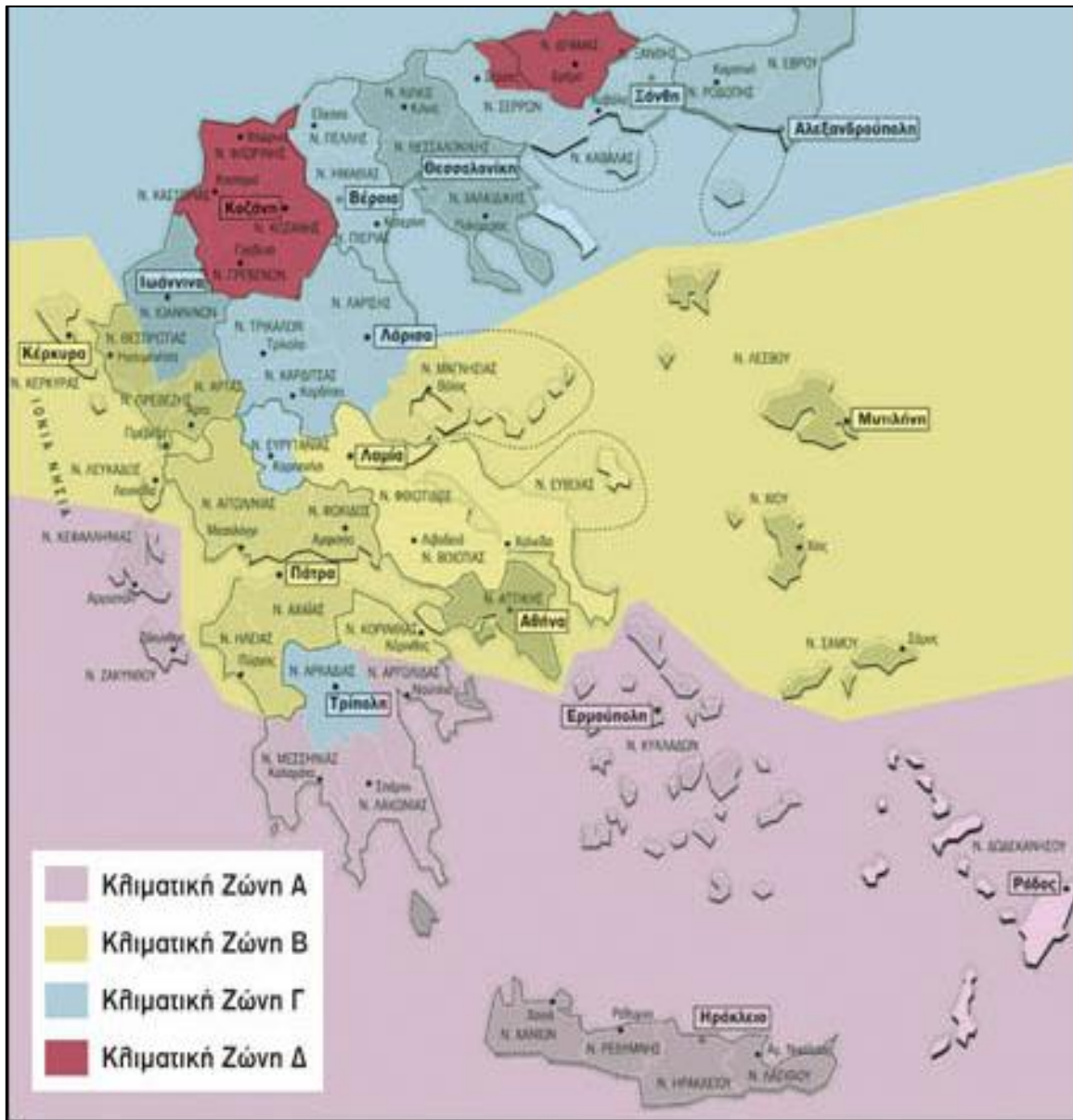


Εικόνα 3.45: Συγκριτικό διάγραμμα Ανάλυσης μείωσης εκπομπών

Συμπερασματικά κρίνεται καλύτερη η επιλογή της χρήσης απλού επίπεδου ηλιακού συλλέκτη, καθώς στην προκείμενη περίπτωση παρατηρείται μεγαλύτερη μείωση εκπομπών που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου σε σχέση με ένα συλλέκτη κενού κατά τη λειτουργία τους.[13]

3.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ RETSCREEN

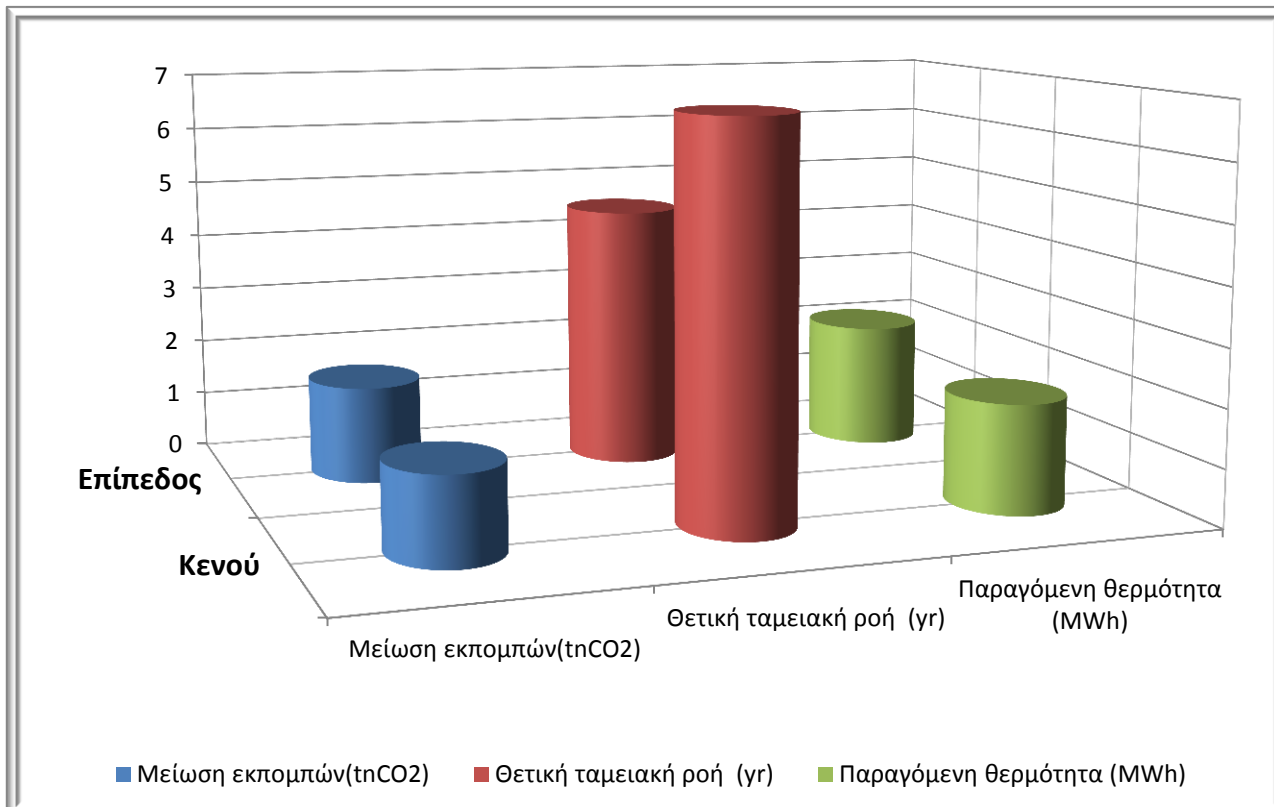
Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τους υπολογισμούς του λογισμικού, η χρήση συστήματος επίπεδου ηλιακού συλλέκτη κρίνεται ως η καλύτερη εναλλακτική για την περιοχή των Χανίων. Στο συγκεκριμένο πόρισμα καταλυτικό ρόλο έπαιξε η κλιματική ζώνη που ανήκει ο νομός Χανίων.



Εικόνα 3.46: Απεικόνιση κλιματικών ζωνών ελληνικής επικράτειας

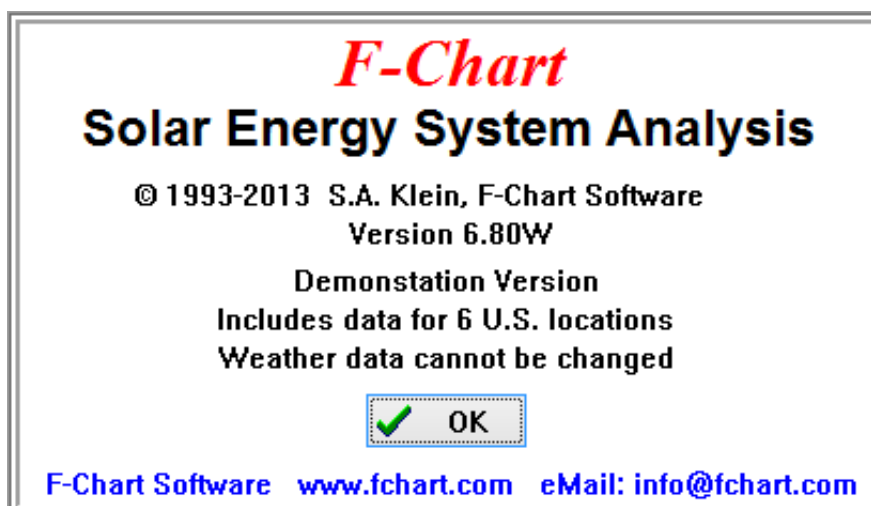
Ο ηλιακός συλλέκτης κενού παρότι πιο αποδοτικός από τον επίπεδο, αδυνατεί να ανταποκριθεί σε ιδιαίτερα θερμά κλίματα, λόγω της πολύ μεγάλης θερμοκρασίας που προκύπτει στο νερό. Παρατηρούνται θερμοκρασίες έως 130 °C που έχουν ως αποτέλεσμα την ατμοποίηση του προς χρήση ζεστού νερού. Το παραπάνω φαινόμενο οδηγεί σε μη ομαλή λειτουργία του συστήματος. Συνεπώς ο ηλιακός συλλέκτης κενού κρίνεται ως μια αποδοτική επιλογή σε περιοχές που ανήκουν σε ψυχρότερες κλιματικές ζώνες.

Ανακεφαλαιωτικά, παρουσιάζονται παρακάτω με τη μορφή συγκριτικού διαγράμματος τα κυριότερα αποτελέσματα της ενεργειακής, οικονομικής και περιβαλλοντικής ανάλυσης, που καθιστούν το σύστημα του επίπεδου συλλέκτη καταλληλότερο από αυτό του κενού για εγκατάσταση στην περιοχή των Χανίων.



Εικόνα 3.47: Διάγραμμα Περιβαλλοντικής, Οικονομικής και Ενεργειακής σύγκρισης μεταξύ των δύο συστημάτων

3.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ F-CHART



Στόχος της μεθοδολογίας f-chart στην παρούσα διπλωματική είναι ο προσδιορισμός της θερμικής-ενεργειακής απόδοσης ενός ηλιακού συστήματος για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης μιας τετραμελούς οικογένειας στην περιοχή των Χανίων.

Μέσω λογισμικού προγράμματος (DEMO), εφαρμογή μεθόδων που αναπτύχθηκαν στο Πανεπιστήμιο του Wisconsin εκτιμάται η μακροπρόθεσμη κατά μέσο όρο απόδοση δύο συστημάτων συλλεκτών :αρχικά υαλοκάλυπτου επιπέδου και στη συνέχεια κενού ,με χαρακτηριστικά παρεμφερή με εκείνα που παρουσιάστηκαν εκτενώς προηγουμένως στο λογισμικό RETSCREEN.

Δεδομένου ότι στο πρόγραμμα περιλαμβάνονται στοιχεία καιρού για εκατοντάδες τοποθεσίες της Βόρειας Αμερικής , οι 16 κλιματικές ζώνες της Καλιφόρνια και ότι ο χρήστης δεν έχει τη δυνατότητα προσθήκης νέων κλιματολογικών χαρακτηριστικών ,το πρόγραμμα εκτελείται λαμβάνοντας υπόψη τα μετεωρολογικά δεδομένα της νοτιοδυτικής Καλιφόρνια που προσεγγίζουν σε μεγάλο βαθμό τα αντίστοιχα των Χανίων. :

Change or View Weather Data

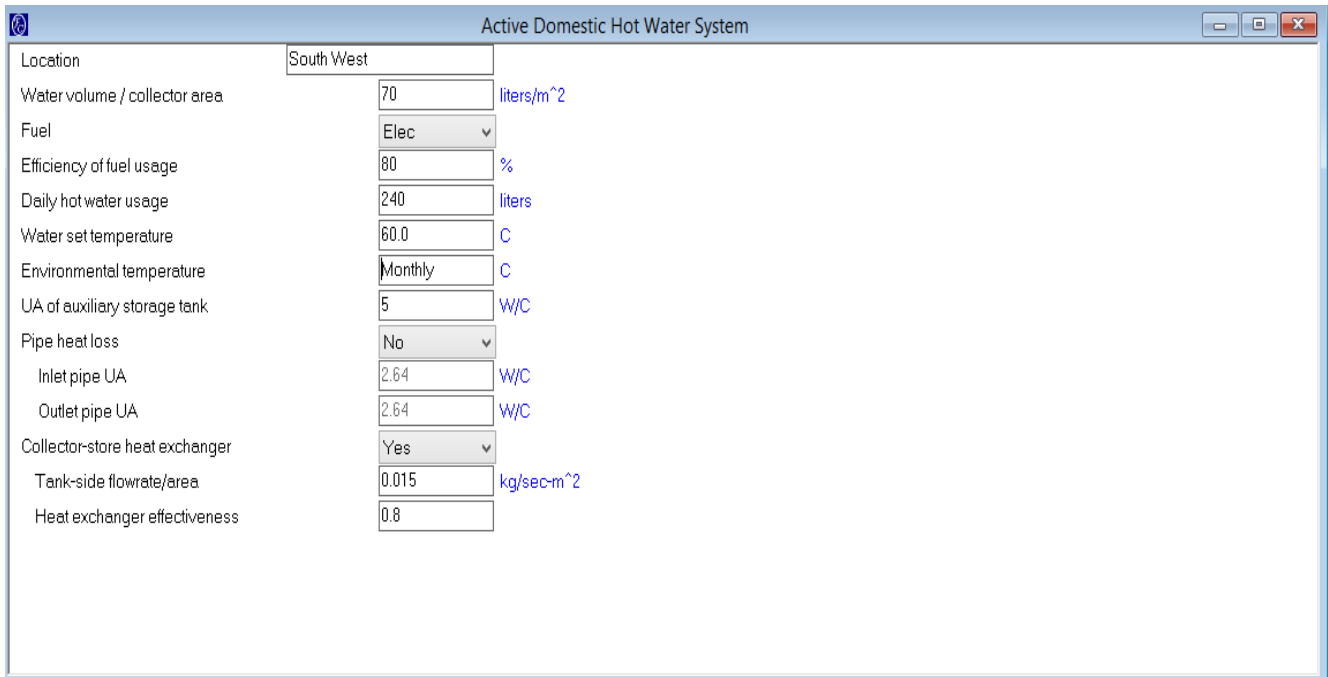
City: Latitude: ° Deg-day base: °C

	Solar Rad. [kJ/m ²]	Temp. [°C]	Humidity [kg/kg]	Mains [°C]	Reflect.	°C-days
Jan	11602	10.7	0.0043	20.7	0.20	240
Feb	15602	12.8	0.0043	20.8	0.20	162
Mar	20602	15.4	0.0046	20.9	0.20	112
Apr	26739	19.8	0.0040	21.2	0.20	29
May	30398	24.6	0.0043	21.4	0.20	3
Jun	31114	29.2	0.0060	21.6	0.20	0
Jul	28239	32.9	0.0104	21.8	0.20	0
Aug	26034	31.7	0.0128	21.7	0.20	0
Sep	22886	28.8	0.0094	21.6	0.20	0
Oct	17909	22.3	0.0065	21.3	0.20	10
Nov	13068	15.4	0.0049	20.9	0.20	108
Dec	10580	11.4	0.0041	20.7	0.20	221

Εικόνα 3.48: Κλιματολογικά δεδομένα νοτιοδυτικής Καλιφόρνια

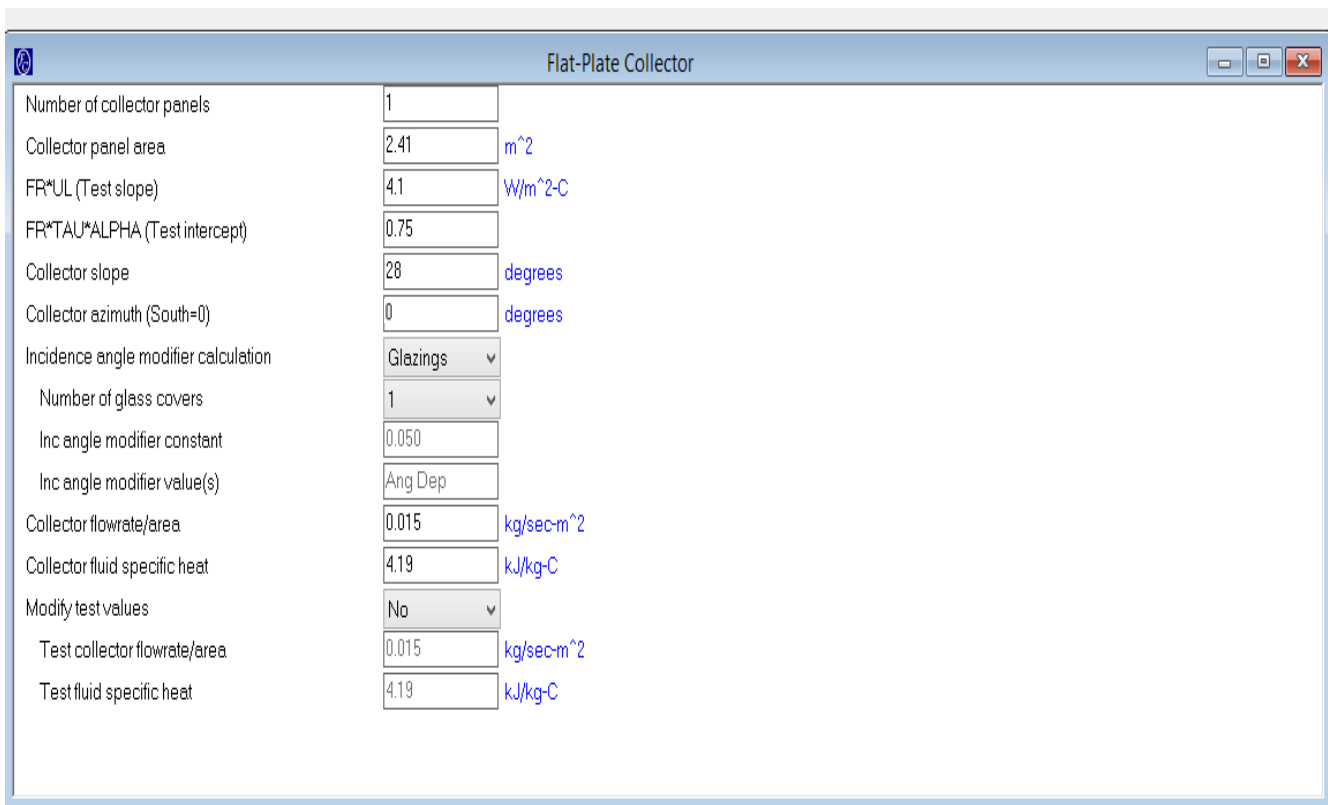
3.4.1 ΥΑΛΟΚΑΛΥΠΤΟΣ ΕΠΙΠΕΔΟΣ ΗΛΙΑΚΟΣ ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ

Το σύστημα περιγράφεται χρησιμοποιώντας δύο σύνολα παραμέτρων: του συλλέκτη και του συστήματος. Και τα δύο σύνολα εμφανίζονται κατά την έναρξη του προγράμματος.



Parameter	Value	Unit
Location	South West	
Water volume / collector area	70	liters/m ²
Fuel	Elec	
Efficiency of fuel usage	80	%
Daily hot water usage	240	liters
Water set temperature	60.0	C
Environmental temperature	Monthly	C
UA of auxiliary storage tank	5	W/C
Pipe heat loss	No	
Inlet pipe UA	2.64	W/C
Outlet pipe UA	2.64	W/C
Collector-store heat exchanger	Yes	
Tank-side flowrate/area	0.015	kg/sec-m ²
Heat exchanger effectiveness	0.8	

Εικόνα 3.49: Χαρακτηριστικά ηλιακού συστήματος με υαλοκάλυπτο επίπεδο συλλέκτη για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης στην περιοχή των Χανίων



Parameter	Value	Unit
Number of collector panels	1	
Collector panel area	2.41	m ²
FR*UL (Test slope)	4.1	W/m ² -C
FR*TAU*ALPHA (Test intercept)	0.75	
Collector slope	28	degrees
Collector azimuth (South=0)	0	degrees
Incidence angle modifier calculation	Glazings	
Number of glass covers	1	
Inc angle modifier constant	0.050	
Inc angle modifier value(s)	Ang Dep	
Collector flowrate/area	0.015	kg/sec-m ²
Collector fluid specific heat	4.19	kJ/kg-C
Modify test values	No	
Test collector flowrate/area	0.015	kg/sec-m ²
Test fluid specific heat	4.19	kJ/kg-C

Εικόνα 3.50: Χαρακτηριστικά υαλοκάλυπτου επίπεδου ηλιακού συλλέκτη

Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί ότι δε δόθηκε καμία επεξήγηση των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν στους δύο παραπάνω πίνακες, για το λόγο ότι έχουν αναλυθεί στο έπακρο σε προηγούμενα κεφάλαια.

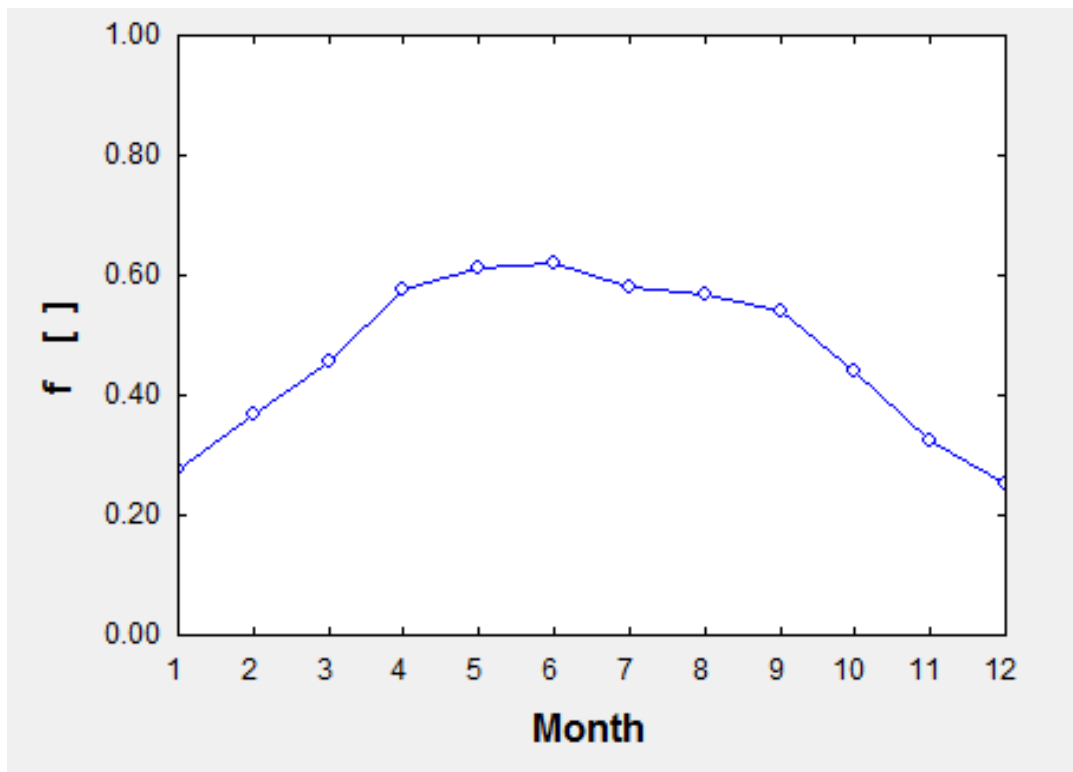
Στη συνέχεια με την εκτέλεση του προγράμματος προκύπτουν οι εκτιμήσεις των φορτίων και η θερμική απόδοση σε μηνιαία βάση:

Thermal Output				
	Solar	Dhw	Aux	f
	[GJ]	[GJ]	[GJ]	[]
Jan	1.157	1.821	1.320	0.275
Feb	1.293	1.641	1.040	0.366
Mar	1.727	1.812	0.987	0.455
Apr	2.017	1.674	0.709	0.577
May	2.207	1.723	0.665	0.614
Jun	2.124	1.661	0.634	0.619
Jul	2.020	1.711	0.717	0.581
Aug	1.964	1.713	0.740	0.568
Sep	1.809	1.661	0.762	0.541
Oct	1.613	1.802	1.007	0.441
Nov	1.244	1.754	1.183	0.325
Dec	1.079	1.819	1.363	0.251
Year	20.255	20.792	11.128	0.465

Εικόνα 3.51 :Φορτία και μηνιαία θερμική απόδοση

Όπου :

- ❖ Solar: η μηνιαία συνολική προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια του συλλέκτη (GJ) ή αλλιώς απορροφούμενη ακτινοβολία
- ❖ Dhw: το μηνιαίο συνολικό φορτίο για ζεστό νερό χρήσης ή διαφορετικά Li (GJ)
- ❖ Aux: η μηνιαία συνολική βοηθητική ενέργεια που απαιτείται για τη θέρμανση χώρου και νερού χρήσης (GJ)
- ❖ f: το μηνιαίο κλάσμα του θερμικού φορτίου (για τη θέρμανση χώρων και ζεστό νερό χρήσης)που παρέχεται από την ηλιακή ενέργεια. Το υπόλοιπο κλάσμα καλύπτεται από μια βοηθητική πηγή.



Εικόνα 3.52: Το μηνιαίο κλάσμα θερμικού φορτίου για σύστημα επίπεδου ηλιακού συλλέκτη.

Σε περίπτωση που κρίνεται ως αναγκαίος ο προσδιορισμός της θερμικής απόδοσης του συστήματος σε ετήσια βάση χρησιμοποιείται ο μαθηματικός τύπος που ακολουθεί (βασικές εξισώσεις f-chart):

$$F = \frac{\sum f_i L_i}{\sum L_i}$$

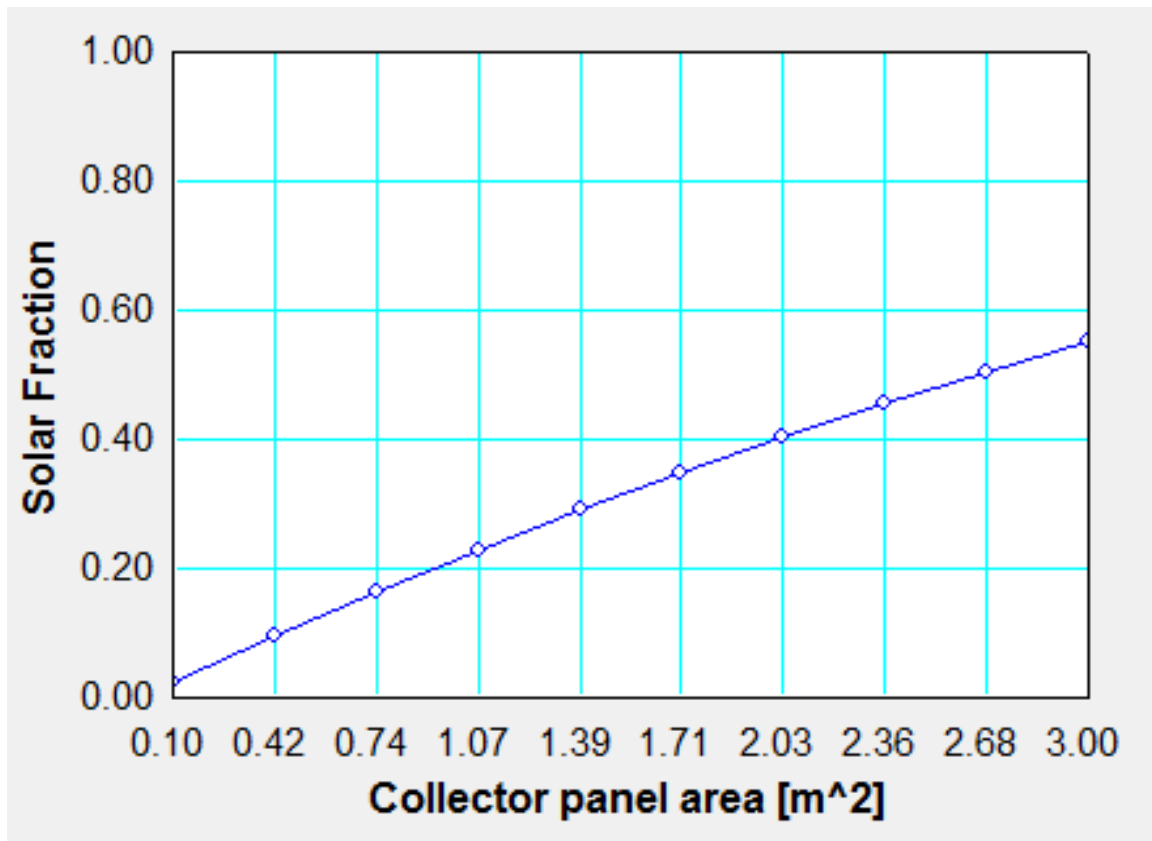
months	f _i	L _i (GJ)	f _i L _i
January	0.275	1.821	0.50
February	0.366	1.641	0.60
March	0.455	1.812	0.82
April	0.577	1.674	0.97
May	0.614	1.723	1.05
June	0.619	1.661	1.03
July	0.581	1.711	0.99
August	0.568	1.713	0.97
September	0.541	1.661	0.89
October	0.441	1.802	0.79
November	0.325	1.754	0.57
December	0.251	1.819	0.46
Total	-	20.792	9.64

Εικόνα 3.53: Υπολογισμός της μηνιαίας συνεισφοράς της ηλιακής ενέργειας με τη χρήση της μεθόδου f-chart

Επομένως, το ετήσιο κλάσμα του θερμικού φορτίου που παρέχεται από την ηλιακή ενέργεια ,ως άθροισμα των μηνιαίων συνεισφορών ηλιακής ενέργειας διαιρούμενο με το ετήσιο φορτίο θα είναι ίσο με :

$$F = 9.64/20.792 = 0,46$$

δηλαδή το 46% του ετήσιου θερμικού φορτίου για την κάλυψη των αναγκών σε ζεστό νερό χρήσης μιας τετραμελούς οικογένειας στην περιοχή των Χανίων ,προέρχεται από την ηλιακή ενέργεια (για σύστημα υαλοκάλυπτου επίπεδου ηλιακού συλλέκτη).



Εικόνα 3.54: Το ετήσιο κλάσμα του φορτίου ως συνάρτηση της επιφάνειας του συλλέκτη

Οι πληροφορίες στο προηγούμενο σχήμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και οικονομικούς υπολογισμούς. Ειδικότερα, μέσω του καθορισμού του ετήσιου ποσοστού φορτίου που αντιστοιχεί σε διαφορετικές περιοχές συλλεκτών προσδιορίζεται η βέλτιστη οικονομική επιφάνεια συλλεκτών.

3.4.2 ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ ΚΕΝΟΥ

Το σύστημα όπως και στην προηγούμενη περίπτωση: υαλοκάλυπτου επίπεδου ηλιακού συλλέκτη για ζεστό νερό χρήσης στην περιοχή των Χανίων, περιγράφεται χρησιμοποιώντας δύο σύνολα παραμέτρων: του συλλέκτη και του συστήματος. Και τα δύο σύνολα εμφανίζονται κατά την έναρξη του προγράμματος.

Parameter	Value	Unit
Location	South West	
Water volume / collector area	81	liters/m ²
Fuel	Elec	
Efficiency of fuel usage	80	%
Daily hot water usage	240	liters
Water set temperature	60.0	C
Environmental temperature	Monthly	C
UA of auxiliary storage tank	4.01	W/C
Pipe heat loss	No	
Inlet pipe UA	2.64	W/C
Outlet pipe UA	2.64	W/C
Collector-store heat exchanger	Yes	
Tank-side flowrate/area	0.015	kg/sec-m ²
Heat exchanger effectiveness	0.80	

Εικόνα 3.55: Χαρακτηριστικά ηλιακού συστήματος με συλλέκτη κενού για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης στην περιοχή των Χανίων

Parameter	Value	Unit
Number of collector panels	1	
Collector panel area	3.44	m ²
FR*UL (Test slope)	1.32	W/m ² -C
FR*TAU*ALPHA (Test intercept)	0.38	
Collector slope	28	degrees
Collector azimuth (South=0)	0	degrees
Receiver orientation	NS	
Incidence angle modifier (Perpendicular)	Ang Dep	
Incidence angle modifier (Parallel)	Ang Dep	
Collector flowrate/area	0.015	kg/sec-m ²
Collector fluid specific heat	4.19	kJ/kg-C
Modify test values	No	
Test collector flowrate/area	0.015	kg/sec-m ²
Test fluid specific heat	4.19	kJ/kg-C

Εικόνα 3.56: Χαρακτηριστικά συλλέκτη κενού

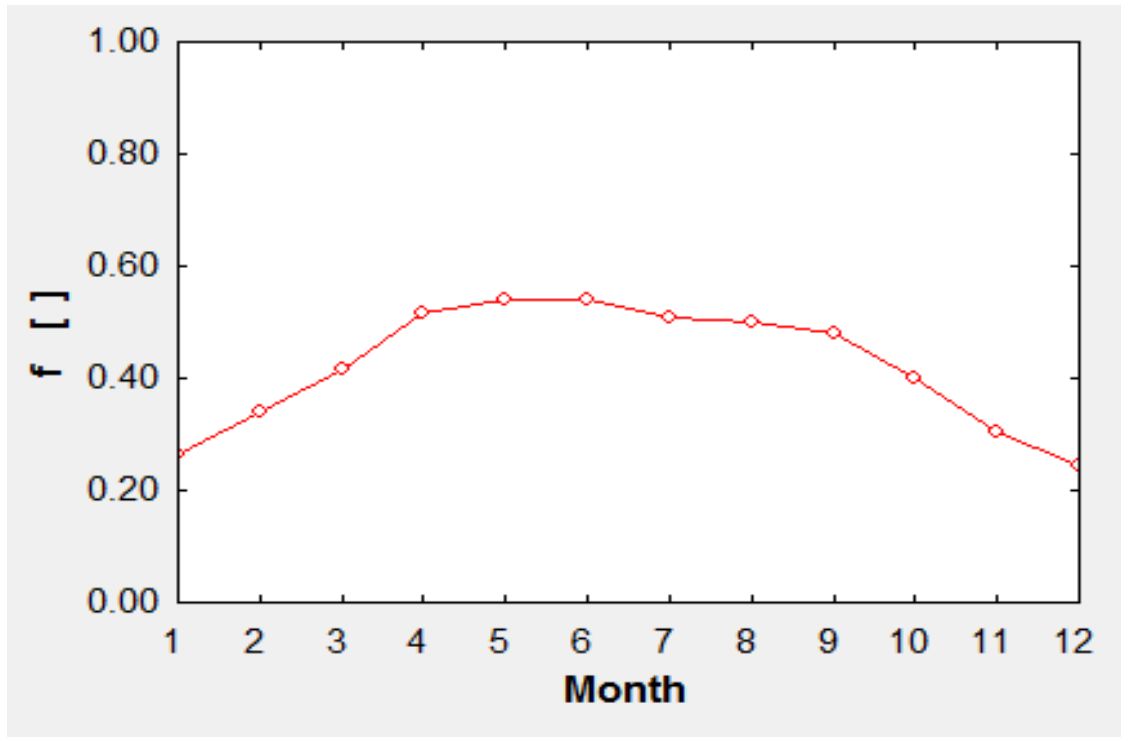
Στην πορεία με την εκτέλεση του προγράμματος προκύπτουν οι εκτιμήσεις των φορτίων και η θερμική απόδοση σε μηνιαία βάση :

Thermal Output				
	Solar	Dhw	Aux	f
	[GJ]	[GJ]	[GJ]	[]
Jan	1.652	1.703	1.250	0.266
Feb	1.845	1.535	1.011	0.341
Mar	2.466	1.694	0.990	0.415
Apr	2.879	1.575	0.764	0.515
May	3.150	1.620	0.744	0.541
Jun	3.032	1.561	0.718	0.540
Jul	2.884	1.608	0.793	0.507
Aug	2.803	1.610	0.806	0.499
Sep	2.582	1.561	0.813	0.479
Oct	2.302	1.684	1.011	0.399
Nov	1.776	1.640	1.139	0.305
Dec	1.540	1.701	1.284	0.245
Year	28.912	19.492	11.323	0.419

Εικόνα 3.57: Φορτία και μηνιαία θερμική απόδοση

Όπου:

- ❖ Solar: η μηνιαία συνολική προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια του συλλέκτη (GJ) ή αλλιώς απορροφούμενη ακτινοβολία
- ❖ Dhw: το μηνιαίο συνολικό φορτίο για ζεστό νερό χρήσης ή διαφορετικά Li (GJ)
- ❖ Aux: η μηνιαία συνολική βοηθητική ενέργεια που απαιτείται για τη θέρμανση χώρου και νερού χρήσης (GJ)
- ❖ f : το μηνιαίο κλάσμα του θερμικού φορτίου (για τη θέρμανση χώρων και ζεστό νερό χρήσης) που παρέχεται από την ηλιακή ενέργεια. Το υπόλοιπο κλάσμα καλύπτεται από μια βοηθητική πηγή.



Εικόνα 3.58: Το μηνιαίο κλάσμα θερμικού φορτίου για σύστημα ηλιακού συλλέκτη κενού

Σε περίπτωση που θεωρηθεί επιθυμητός ο υπολογισμός της θερμικής απόδοσης του συστήματος σε ετήσια βάση χρησιμοποιείται ο μαθηματικός τύπος που ακολουθεί (βασικές εξισώσεις f-chart):

$$F = \frac{\sum f_i L_i}{\sum L_i}$$

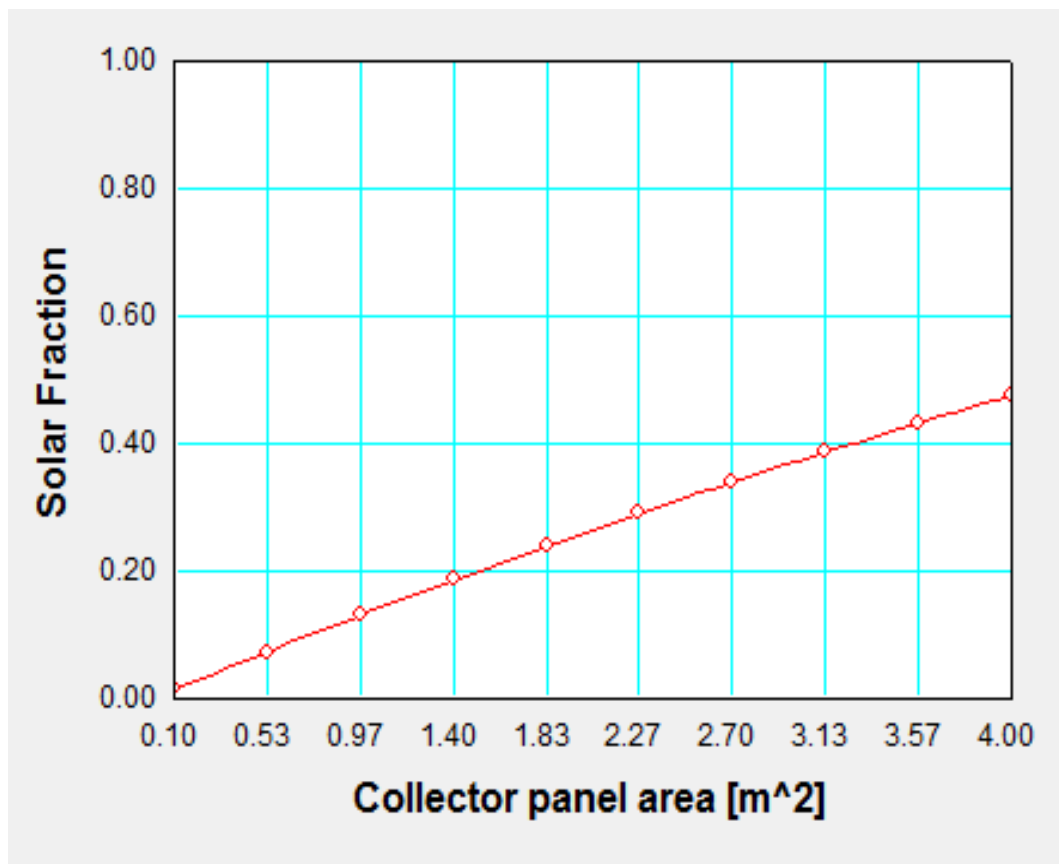
Months	f _i	L _i (GJ)	f _i L _i
January	0.266	1.703	0.45
February	0.341	1.535	0.52
March	0.415	1.694	0.70
April	0.515	1.575	0.81
May	0.541	1.620	0.87
June	0.540	1.561	0.84
July	0.507	1.608	0.82
August	0.499	1.610	0.80
September	0.479	1.561	0.75
October	0.399	1.684	0.67
November	0.305	1.640	0.50
December	0.245	1.701	0.42
Total	-	19.492	8.15

Εικόνα 3.59: Υπολογισμός της μηνιαίας συνεισφοράς της ηλιακής ενέργειας με τη χρήση της μεθόδου f-chart

Συνεπώς, το ετήσιο κλάσμα του θερμικού φορτίου που παρέχεται από την ηλιακή ενέργεια ,ως άθροισμα των μηνιαίων συνεισφορών ηλιακής ενέργειας διαιρούμενο με το ετήσιο φορτίο θα είναι ίσο με :

$$F = \frac{8.15}{19.492} = 0,42$$

δηλαδή το 42% του ετήσιου θερμικού φορτίου για την κάλυψη των αναγκών σε ζεστό νερό χρήσης μιας τετραμελούς οικογένειας στην περιοχή των Χανίων ,προέρχεται από την ηλιακή ενέργεια (για σύστημα συλλέκτη κενού).



Εικόνα 3.60: Το ετήσιο κλάσμα του φορτίου ως συνάρτηση της επιφάνειας του συλλέκτη

3.5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ενεργειακή σύγκριση των δύο συστημάτων

Κατά την εφαρμογή της f-chart με την υποστήριξη του λογισμικού προγράμματος του Πανεπιστημίου του Wisconsin πραγματοποιήθηκε ενεργειακή ανάλυση των δύο συστημάτων ,έτσι ώστε να υπολογιστεί η θερμική απόδοση του καθενός σε μηνιαία και ετήσια βάση.

Στην περίπτωση χρήσης του απλού υαλοκάλυπτου συλλέκτη παρατηρείται θερμική ετήσια απόδοση της τάξεως του 46% ,ενώ όσον αφορά τον συλλέκτη κενού η θερμική απόδοση σε ετήσια κλίμακα αγγίζει το ποσοστό της τάξεως του 42%. Η μικρή αυτή διαφοροποίηση οφείλεται στο

γεγονός ότι ο συλλέκτης κενού παρότι πιο αποδοτικός (92% η απόδοσή του) από τον επίπεδο (81% η απόδοσή του) είναι ιδανικός για ψυχρά κλίματα καθώς η θερμοκρασία λειτουργίας του είναι αρκετά υψηλή. Ειδικότερα, το καλοκαίρι η θερμοκρασία στο εσωτερικό του μπορεί να ξεπεράσει τους 300⁰ C , με άμεσο επακόλουθο τη βέβαιη ατμοποίηση του μέσου μεταφοράς της θερμότητας (συνήθως νερού) προς τη χρήση ζεστού νερού.

Συνεπώς, λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τους υπολογισμούς του λογισμικού της f-chart, η χρήση συστήματος υαλοκάλυπτου επίπεδου ηλιακού συλλέκτη θεωρείται ως η καλύτερη εναλλακτική για την περιοχή των Χανίων, τοποθεσία με αρκετά υψηλές θερμοκρασίες και ηλιοφάνεια (κλιματική ζώνη Α).

Οι αρκετά μικρές αποκλίσεις που προέκυψαν με την f-chart που υπολογίστηκε μέσω του λογισμικού RETSCREEN :50% ετήσια θερμική απόδοση για το σύστημα του επίπεδου συλλέκτη και 44% ετήσια θερμική απόδοση για το σύστημα του συλλέκτη κενού οφείλονται τόσο σε τυχόν στρογγυλοποιήσεις όσο και στο γεγονός ότι στην παρούσα μελέτη έγινε χρήση παραπλήσιων μετεωρολογικών δεδομένων (κλιματολογικά στοιχεία νοτιοδυτικής Καλιφόρνια) με την περιοχή των Χανίων λόγω αδυναμίας του χρήστη να προσθέσει στο λογισμικό (DEMO) νέα στοιχεία καιρού εκτός από τα ήδη αποθηκευμένα . [11],[12],[14],[21]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

Στο τέταρτο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας γίνεται συζήτηση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και πορισμάτων που προέκυψαν στα προηγούμενα κεφάλαια.

4.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

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

Τα τελευταία δυο χρόνια έχει γίνει μέρος της δημοσίας συζήτησης για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας της χώρας μας μέσω του σχεδίου Ήλιος. Μάλιστα το συγκεκριμένο σχέδιο έχει ενταθεί και στο μνημόνιο με την τρόικα καθώς οι μελλοντικές του ροές δεσμεύονται μέσω αυτού για την αποπληρωμή του χρέους. Στην ουσία το σχέδιο Ήλιος είναι ένας μεγαλόπνοος σχεδιασμός για την εκμετάλλευση του ηλιακού δυναμικού της χώρας μας. Στόχος του είναι η παράγωγή και εξαγωγή έως και 10GW ηλεκτρικής ισχύος από ηλιακή ενεργεία σε άλλα κράτη μελή της ΕΕ. Μπορεί λοιπόν αυτός ο σχεδιασμός να καταστεί ένα εφελτήριο για αειφόρο ανάπτυξη στην Ελλάδα. Χάρη σε αυτό θα μπορέσει να εκμεταλλευτεί με παραγωγικό της τρόπο το ηλιακό της δυναμικό αλλά να δοθεί και ώθηση και σε άλλους τομείς των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Η γεωγραφική θέση της Ελλάδας (γεωγραφικό πλάτος 33°) εξασφαλίζει μια εκτεταμένη περίοδο ηλιοφάνειας, προσφέροντας τη δυνατότητα μιας ουσιαστικής αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας. Στο μεγαλύτερο τμήμα της χώρας η ηλιοφάνεια διαρκεί περισσότερο από 2007 ώρες ηλιοφάνεια τον χρόνο. Στην Δυτική Μακεδονία και την Ήπειρο εμφανίζει τις μικρότερες τιμές της κυμαινόμενη από 2200 έως 2300 ώρες, ενώ στη Ρόδο και τη νότια Κρήτη ξεπερνά τις 3100 ώρες ετησίως. Ο συνδυασμός του γεωγραφικού πλάτους της Ελλάδας και της υψηλής ηλιοφάνειά της έχει ως αποτέλεσμα να προσπίπτουν ημερησίως κατά μέσο όρο 4,6 kWh ηλιακής ενέργειας ανά τετραγωνικό μέτρο οριζόντιας επιφάνειας. Αυτό συντελεί στο να είναι δυνατή σε ολόκληρή της την επικράτεια η οικονομικά επωφελής εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας σε ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών. Οι κύριοι τρόποι εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας στον ελλαδικό χώρο είναι οι ηλιακοί συλλέκτες για ζεστό νερό χρήσης (ηλιακοί θερμοσίφωνες), η χρήση ηλιακών συλλεκτών για μετατροπή ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική, καθώς και η χρήση ηλιακών παθητικών συστημάτων.

Όσον αφορά τους ηλιακούς συλλέκτες για θέρμανση νερού η Ελλάδα κατέχει το 50% τέτοιων συστημάτων σε όλη την Ευρωπαϊκή Ένωση και γίνεται εξοικονόμηση 1300GW ανά έτος. Το γεγονός αυτό έχει ως άμεσο αποτέλεσμα τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) κατά 1.600.000 το χρόνο ,αέριο που συμβάλλει σημαντικά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου (υπακοή στο Πρωτόκολλο του Κιότο). Παρ όλα αυτά η χρήση τους παραμένει ελάχιστη σε σχέση με αυτή που θα έπρεπε να είναι δηλαδή κάτω από 20% των νοικοκυριών στην Ελλάδα έχουν ηλιακούς θερμοσίφωνες.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση ενός συστήματος με επίπεδο ηλιακό συλλέκτη στην περιοχή των Χανίων είναι ιδιαίτερα σημαντικά και στα τρία επίπεδα ανάλυσης που τέθηκαν υπό εξέταση. Όσον αφορά το ενεργειακό επίπεδο, η εγκατάσταση ενός συστήματος επίπεδου ηλιακού συλλέκτη σε οικία τεσσάρων κατοίκων, εξοικονομεί 2,2MWh σε ετήσια βάση. Λαμβάνοντας ως μονάδα αναφοράς ένα ζεστό ντους 50 λίτρων στους 40°C (κατανάλωση 1,3KWh), η ενεργειακή συνεισφορά που προαναφέρθηκε μεταφράζεται σε 1692 δωρεάν (ενεργειακά- οικονομικά) ντους ανά

έτος. Στο οικονομικό επίπεδο τα αποτελέσματα είναι ακόμα πιο ενθαρρυντικά. Σύμφωνα με την τρέχουσα τιμολογιακή πολιτική της ΔΕΗ (2013) το μέσο πραγματικό κόστος κατανάλωσης μιας κιλοβατώρας ανέρχεται στα 0,18€. Πράττοντας τους κατάλληλους υπολογισμούς προκύπτει ότι το σύστημα δύναται να εξοικονομεί 390€/έτος σε μια οικογένεια τεσσάρων ατόμων. Τέλος, εξετάσθηκε το περιβαλλοντικό αποτύπωμα του συστήματος. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, το σύστημα συμβάλλει στη μείωση 1.800 κιλών διοξειδίου του άνθρακα σε ετήσια βάση σε σχέση με την αποκλειστική χρήση ηλεκτρικής ενέργειας

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

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Solar Engineering of thermal processes- second edition
John A. Duffie, William A. Beckman
2. Principles of Solar Engineering
D. Yogi Goswami, Frank Kreith, Jan F. Kreider
3. Ηλιακή Ενέργεια –Συνιστώσες της ηλιακής θερμικής διαδικασίας
Ανδρέας Ε. Μοσχάτος (Δρ.Μηχανολόγος-Ηλεκτρολόγος)
4. Συλλέκτες ηλιακής ενέργειας – Θεωρία και κατασκευή συστημάτων θέρμανσης νερού (Τρίτη έκδοση)
Φρ.Κωτσιανάς – Δ.Χούντρας
5. Solar Thermal Energy Systems- Analysis and Design
Howell Bannerot Vliet
6. Designing and Building a Solar House
Donald Watson
7. Solar Power Systems (The ece energy systems) –economic commission for Europe
8. Thermal Power Engineering
R.L.Agarwal
9. Solar Energy Conversion
A.F.Janzen, R.K.Swartman
10. Solar Energy in developing countries-An overview and buyers guide for solar scientists and engineers
A.Eggers-Lura
11. Thermal performance, economic and environmental life cycle analysis of thermosiphon solar water heaters
Soteris Kalogirou
12. F-Chart Method for Designing Solar Thermal Water Heating Systems
I.F.Okafor and G.Akubue
13. Energy and carbon impact analysis of a solar thermal collector system
G.F. Menzies
14. Life cycle assessment of a solar thermal collector :sensitivity analysis, energy and environmental balances
Fulvio Ardente, Giorgio Beccali, Maurizio Cellura
15. Life Cycle Assessment and Energy Systems
EVERT NIEUWLAAR (Copernicus Institute, Utrecht University, The Netherlands)
16. Comparing domestic water heating systems
Chantelle M.Leidi, W.David Lubitz
17. Life cycle environmental impact of a thermosyphonic domestic solar water system in comparison with electrical and gas water heating
G.Tsilingiridis, G.Martinopoulos, N.Kyriakis

18. Life cycle assessment of a solar thermal collector
Fulvio Ardente, Giorgio Beccali, Maurizio Cellura, Valerio Lo Brano
19. Retscreen software manual tutorial
20. SimaPro 7 manual tutorial
21. F-chart user's manual
22. Διαχείριση του περιβάλλοντος
Καρβούνης Σωτήρης Κ., Γεωργακέλλος Δημήτριος Α.

