Οικονομοτεχνική μελέτη ηλιακών εγκαταστάσεων (φωτοβολταϊκών συστημάτων και ηλιακών θερμικών συλλεκτών) με επίκεντρο την Κρήτη

ΚΑΛΟΓΗΡΟΥ ΔΗΜΗΤΡΑ

Επιβλέπων καθηγητής
Παπαευθυμίου Σπυρίδων

Χανιά, Ιούλιος 2021

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία γίνεται οικονομοτεχνική μελέτη ηλιακών εγκαταστάσεων στις περιοχές της Κοζάνης, της Αθήνας και των Χανίων Κρήτης.

Στόχος είναι ο υπολογισμός της ετήσιας παραγόμενης θερμικής ενέργειας, των αερίων εκπομπών που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου καθώς και της οικονομικής δαπάνης αγοράς και εγκατάστασης ηλιακών συστημάτων θέρμανσης νερού για κάθε υπό μελέτη γεωγραφική περιοχή. Για το σκοπό αυτό, θα γίνουν προσομοιώσεις ηλιακών θερμικών συστημάτων με τη βοήθεια του λογισμικού προγράμματος RETScreen για τις περιοχές αυτές. Για την ολοκλήρωση της μελέτης και την εξαγωγή συμπερασμάτων, θα χρησιμοποιηθούν πραγματικά τεχνοοικονομικά δεδομένα συγκεκριμένων τύπων ηλιακών θερμικών συστημάτων που κυκλοφορούν στην ελληνική αγορά.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα από καρδιάς να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Σπύρο Παπαευθυμίου και τον υποψήφιο διδάκτορα κ. Νεκτάριο Αρναουτάκη για την εξαιρετική συνεργασία, τους οικείους μου για την αμέριστη στήριξη καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου κι όλους όσους συνέβαλαν με οποιονδήποτε τρόπο στην εκπόνηση, συγγραφή και παρουσίαση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Περιεχόμενα

Περίληψη 2
Ευχαριστίες 3
Περιεχόμενα 4
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή στα ηλιακά συστήματα θέρμανσης νερού 6
1.1 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας 6
1.1.1 Γενικά 6
1.1.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα 7
1.2 Ηλιακοί συλλέκτες θέρμανσης νερού 8
1.3 Προηγούμενες εργασίες και αντικείμενο της παρούσας μελέτης 12
1.4 Δομή της εργασίας 13
Κεφάλαιο 2: Ηλιακοί συλλέκτες (solar collectors) θέρμανσης νερού 15
2.1 Επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες 15
2.1.1 Γενική περιγραφή 15
2.1.2 Βασικά μέρη ηλιακού θερμικού συστήματος με επίπεδο συλλέκτη 17
2.2 Συμβατικοί ηλιακοί συλλέκτες με σωλήνες κενού 20
2.2.1 Γενική περιγραφή 20
2.2.2 Κατασκευή και λειτουργία 22
2.2.3 Πλεονεκτήματα ηλιακού συλλέκτη με σωλήνες κενού 22
2.3 Ηλιακά θερμικά συστήματα με σύνθετους παραβολικούς συλλέκτες (με ανακλαστήρες Compound Parabolic Concentrating: CPC) 23
Κεφάλαιο 3: Ενεργειακή και οικονομική ανάλυση ηλιακών συστημάτων θέρμανσης νερού 29
3.1 Ηλιακή και οικονομική ανάλυση ηλιακού συστήματος με επίπεδο συλλέκτη καθώς και συστήματος με συλλέκτη σωλήνων κενού 29
3.1.1 Επιλογή λογισμικού προγράμματος για την επεξεργασία του προβλήματος 29
3.1.2 Ενεργειακή ανάλυση επίπεδου συλλέκτη 30
3.1.3 Ενεργειακή ανάλυση συλλέκτη με σωλήνες κενού 32
3.2 Οικονομικοί παράμετροι 33

Κεφάλαιο 4: Επεξεργασία προβλήματος – Οικονομοτεχνική μελέτη ηλιακών θερμικών εγκαταστάσεων με επίκεντρο τη Κρήτη, την Αθήνα και τη Κοζάνη 36

4.1 Οικονομοτεχνική μελέτη ηλιακών θερμικών συστημάτων με επίπεδο συλλέκτη 36

4.2 Οικονομοτεχνική μελέτη ηλιακών θερμικών συστημάτων με συλλέκτη σωλήνων κενού 48

4.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων.....51

Συμπεράσματα.....55

Βιβλιογραφία 57

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή στα ηλιακά συστήματα θέρμανσης νερού

1.1 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

1.1.1 Γενικά

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

Το ενδιαφέρον αυτό ενισχύεται από το γεγονός ότι σε πολλές περιπτώσεις η τεχνολογία των *Α.Π.Ε.* όχι μόνο είναι οικονομικά εφικτή αλλά και αρκετά αποδοτική. Από την άλλη πλευρά, το κύριο μειονέκτημά τους είναι η ανικανότητά τους να εκμεταλλευτούν το μεγαλύτερο μέρος της διαθέσιμης ενέργειας, φαινόμενο που ισορροπείται από το γεγονός ότι οι *Α.Π.Ε.* είναι ανεξάντλητες [1].

Ο ήλιος είναι η πηγή ενέργειας που εδώ και χιλιάδες έτη δίνει ζωή στον πλανήτη μας και σε αυτούς που εκείνος φιλοξενεί. Αγκαλιάζει ζεστά την ύπαρξή μας και μας προσφέρει αφιλοκερδώς την ενέργειά του - που έως τώρα - δεν έχουμε εκτιμήσει ανάλογα.

Ικανός να καλύψει τις ενεργειακές μας ανάγκες 15.000 φορές, μας προσφέρει το χέρι ώστε ο ανθρώπινος πολιτισμός να ανεξαρτητοποιηθεί από τις συμβατικές μορφές ενέργειας, οι οποίες έως τώρα αποτέλεσαν τη βάση για όλα τα επιτεύγματά μας.

Μέσα στα πλαίσια των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σαφώς και βρίσκεται και η ηλιακή ενέργεια. Μετατρέποντας την σε ζεστό νερό χρήσης, σε συνδυασμό με ολοκληρωμένες εφαρμογές (σύνδεση με θέρμανση, πλυντήριο πιάτων, ρούχων κ.τ.λ.) μπορεί να καλύψει τις ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις μίας οικογένειας για ζεστό νερό σε ποσοστό που μπορεί εύκολα να υπερβεί το 70%.

- Η ηλιακή ενέργεια δε μολύνει.
- Η ηλιακή ενέργεια προσφέρει καλύτερη ποιότητα ζωής.
- Η ηλιακή ενέργεια είναι δωρεάν.

Πιο συγκεκριμένα, η Ελλάδα ανήκει στα κράτη της Ευρώπης με τα περισσότερα πλεονεκτήματα, καθώς κατέχει μία από τις υψηλότερες θέσεις μέσης ηλιοφάνειας σε πανευρωπαϊκό επίπεδο, αλλά και το υψηλότερο επίπεδο εφαρμογής σε σχέση με ολόκληρη την Ευρώπη [2].

1.1.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

Πλεονεκτήματα:

- Είναι πολύ φιλικές προς το περιβάλλον, έχοντας ουσιαστικά μηδενικά κατάλοιπα και απόβλητα.
- Δεν πρόκειται να εξαντληθούν ποτέ, σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα.
- Μπορούν να βοηθήσουν την ενεργειακή αυτάρκεια μικρών και αναπτυσσόμενων χωρών, καθώς και να αποτελέσουν την εναλλακτική πρόταση σε σχέση με την οικονομία του πετρελαίου.
- Είναι ευέλικτες εφαρμογές που μπορούν να παράγουν ενέργεια ανάλογη με τις ανάγκες του επί τόπου πληθυσμού, καταργώντας την ανάγκη για τεράστιες μονάδες παραγωγής ενέργειας (καταρχήν για την ύπαιθρο) αλλά και για μεταφορά της ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις.
- Ο εξοπλισμός είναι απλός στην κατασκευή και τη συντήρηση και έχει πολύ μεγάλο χρόνο ζωής.
- Επιδοτούνται από τις περισσότερες κυβερνήσεις.

Μειονεκτήματα [3]:

- Έχουν αρκετά μικρό συντελεστή απόδοσης, της τάξης του 30% ή και χαμηλότερο. Συνεπώς απαιτείται αρκετά μεγάλο αρχικό κόστος εφαρμογής σε μεγάλη επιφάνεια της γης. Γι' αυτό το λόγο μέχρι τώρα χρησιμοποιούνται σαν συμπληρωματικές πηγές ενέργειας.
- Για τον παραπάνω λόγο προς το παρόν δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη των αναγκών μεγάλων αστικών κέντρων.
- Η παροχή και απόδοση της αιολικής, υδροηλεκτρικής και ηλιακής ενέργειας εξαρτάται από την εποχή του έτους αλλά και από το γεωγραφικό πλάτος και το κλίμα της περιοχής στην οποία εγκαθίστανται.
- Για τις αιολικές μηχανές υπάρχει η άποψη ότι δεν είναι κομψές από αισθητική άποψη κι ότι προκαλούν θόρυβο και θανάτους πουλιών. Με την εξέλιξη όμως της τεχνολογίας τους και την προσεκτικότερη επιλογή χώρων εγκατάστασης (π.χ. σε πλατφόρμες στην ανοιχτή θάλασσα) αυτά τα προβλήματα έχουν σχεδόν λυθεί.
- Για τα υδροηλεκτρικά έργα λέγεται ότι προκαλούν έκλυση μεθανίου από την αποσύνθεση των φυτών που βρίσκονται κάτω απ' το νερό κι έτσι συντελούν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

1.2 Ηλιακοί συλλέκτες θέρμανσης νερού

Το ηλιακό σύστημα θέρμανσης νερού είναι ένα ενεργητικό σύστημα που ζεσταίνει νερό χρησιμοποιώντας την ηλιακή ακτινοβολία. Χρησιμοποιείται ευρύτατα στις χώρες που έχουν μεγάλη ηλιοφάνεια, όπως για παράδειγμα στις χώρες της Μεσογείου και στην Ελλάδα [4]. Στις χώρες αυτές η συστηματική χρήση του ξεκίνησε μετά την πετρελαϊκή κρίση της δεκαετίας του '70 και ιδιαίτερα τη δεκαετία του '80. Στην Κύπρο αναλογεί ένα ηλιακό θερμικό σύστημα για κάθε πέντε κατοίκους, ενώ στο Ισραήλ η χρήση τους είναι υποχρεωτική στις καινούργιες οικοδομές [5]. Σε πολλές άλλες χώρες της Μεσογείου η χρήση του επιδοτείται από την πολιτεία.

Στην Ελλάδα η διάδοση των ηλιακών συσκευών είναι πολύ εντυπωσιακή: το πρώτο μοντέλο εμφανίστηκε το 1974, το 1980 υπήρχαν εγκατεστημένα περίπου εκατό πενήντα χιλιάδες τετραγωνικά μέτρα συλλεκτών και το 2004 περίπου τρία εκατομμύρια τετραγωνικά μέτρα συλλεκτών. Μέρος της επιτυχίας των συστημάτων αυτών στην Ελλάδα οφείλεται στα φορολογικά κίνητρα που είχε θεσπίσει το Ελληνικό κράτος. Σήμερα τέτοια συστήματα χρησιμοποιούνται από περισσότερους από ένα εκατομμύριο καταναλωτές. Μέχρι και τα τελευταία χρόνια, η Ελλάδα ήταν απ' τις κύριες κατασκευάστριες χώρες ηλιακών θερμικών συστημάτων [6].

Το κυριότερο μέρος ενός ηλιακού θερμικού συστήματος είναι οι ηλιακοί συλλέκτες που είναι η επιφάνεια συλλογής της ηλιακής ακτινοβολίας. Οι ηλιακοί συλλέκτες διακρίνονται σε τρία είδη:

- Επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες
- Συμβατικούς συλλέκτες με σωλήνες κενού
- Συγκεντρωτικούς ηλιακούς συλλέκτες

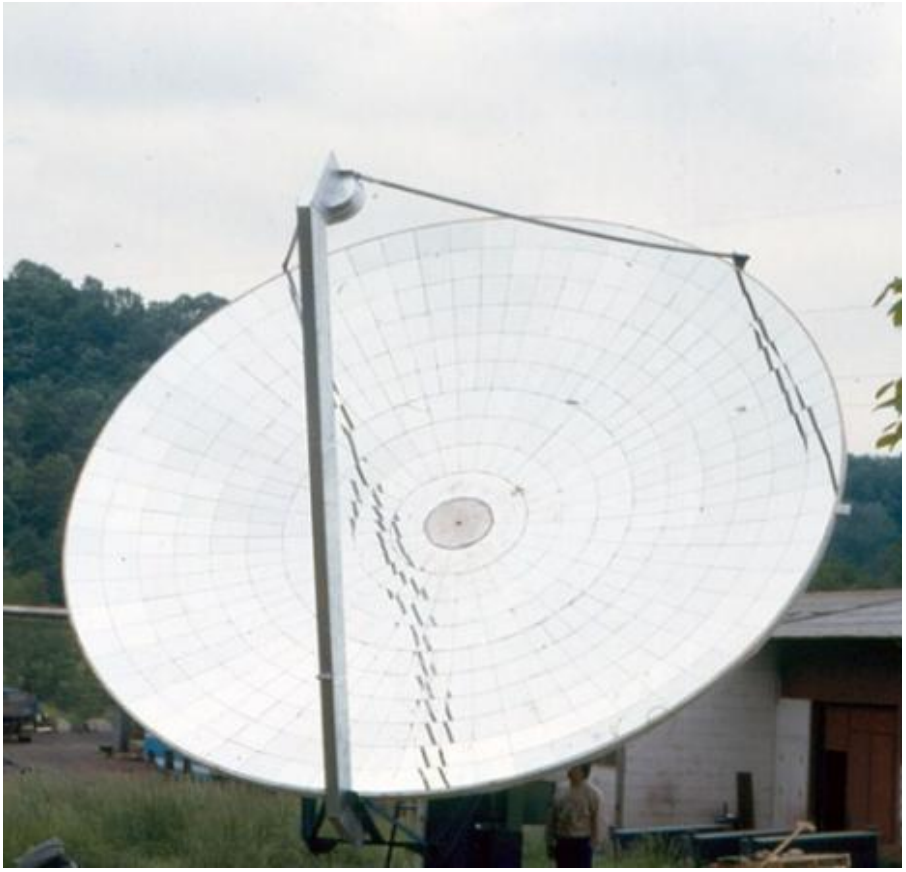
Στους επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες η επιφάνεια απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας είναι επίπεδη [7]. Είναι η συνηθέστερη μορφή ηλιακού θερμικού συστήματος και αυτή που συναντάμε περισσότερο στην Ελλάδα. Η μορφή ενός ηλιακού θερμικού συστήματος με επίπεδο συλλέκτη φαίνεται στην εικόνα 1.1.

Εικόνα 1.1: Ποσοστό συνεισφοράς του κλάδου μεταφορών στο φαινόμενο του Θερμοκηπίου [8]

Στους συμβατικούς συλλέκτες με σωλήνες κενού η επιφάνεια απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας αποτελείται από γυάλινους σωλήνες κενού [7]. Συστήματα τέτοιου τύπου δεν είναι πολύ διαδεδομένα στην Ελλάδα. Στη Κίνα τα ηλιακά θερμικά συστήματα με συμβατικούς συλλέκτες σωλήνων κενού, λόγω της εξαιρετικής θερμικής συμπεριφοράς τους, του χαμηλού κόστους και της εύκολης μεταφοράς και εγκατάστασης τους, χρησιμοποιούνται σε μεγαλύτερο βαθμό σε σχέση με την Ευρώπη [7]. Το 2007 το 95% των ηλιακών θερμικών συστημάτων στην Κίνα ήταν με σωλήνες κενού και μόνο το 5% ήταν με συμβατικούς επίπεδους συλλέκτες. Αντίθετα στις Ευρωπαϊκές χώρες το 86% των ηλιακών θερμικών συστημάτων ήταν με συμβατικούς επίπεδους συλλέκτες και μόνο το 9% ήταν με σωλήνες κενού [7]. Η μορφή ενός ηλιακού θερμικού συστήματος με συμβατικούς συλλέκτες σωλήνων κενού φαίνεται στην εικόνα 1.2.

Εικόνα 1.2: Ηλιακό θερμικό με συμβατικό συλλέκτη σωλήνων κενού [9]

Οι συγκεντρωτικοί ηλιακοί συλλέκτες [10] είτε είναι της μορφής παραβολικού δίσκου (parabolic dish) και επικεντρώνουν τις ακτίνες τους στον άξονα του δίσκου (Εικόνα 1.3) από όπου περνά το θερμόρευστο (το υγρό δηλαδή που χρησιμοποιείται ως θερμαινόμενο μέσο), είτε έχουν σχήμα παραβολικής «λεκάνης» (parabolic trough), όπου οι ακτίνες επικεντρώνονται σε σωλήνα παράλληλο με το μήκος της ο οποίος φέρει το θερμορευστό (Εικόνα 1.4). Οι συγκεκριμένες διατάξεις δεν χρησιμοποιούνται για θέρμανση νερού χρήσης κατοικιών αλλά για παραγωγή ατμού για βιομηχανικές εφαρμογές ή για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή ακόμα και για επίτευξη χαμηλών θερμοκρασιών [10], [11].



Εικόνα 1.3: Συγκεντρωτικός συλλέκτης παραβολικού δίσκου (parabolic dish) [12]

Εικόνα 1.4: Συγκεντρωτικοί συλλέκτες παραβολικής «λεκάνης» (parabolic trough) [13]

1.3 Προηγούμενες εργασίες και αντικείμενο της παρούσας μελέτης

Υπάρχουν αρκετές προηγούμενες εργασίες πάνω στην οικονομοτεχνική μελέτη ηλιακών συστημάτων θέρμανσης νερού. Σημαντικό ενδιαφέρον στις μελέτες αυτές παρουσιάζει η ενεργειακή ανάλυση κατά το στάδιο χρήσης τους επειδή παρέχει στον μελετητή σημαντικά στοιχεία στο κατά πόσο τα ηλιακά θερμικά συστήματα μπορούν να αντικαταστήσουν επάξια τα συμβατικά συστήματα στην παραγωγή και την διαχείριση της ενέργειας χρήσης.

Αρχικά οι *Artende et al.* στην εργασία τους *Life cycle assessment of a solar thermal collector: sensitivity analysis, energy and environmental balances* [14] ασχολήθηκαν με την ενεργειακή ανάλυση και τις περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις ενός συστήματος με επίπεδο συλλέκτη σε κατοικία στην Ιταλία. Μια άλλη μελέτη, την παραγόμενης θερμικής ενέργειας σε ηλιακά θερμικά συστήματα στην Μελβούρνη της Αυστραλίας, έγινε από τον *Crawford, R. H.* στην εργασία του *Net energy analysis of solar and conventional domestic hot water systems in Melbourne, Australia (2004)* [15].

Επίσης, μια άλλη εργασία για την παραγόμενη ενέργεια και το οικονομικό κόστος ενός ηλιακού θερμικού συστήματος εγκατεστημένου σε μια μονοκατοικία, έχει γίνει από τους *Leckner M* και *Zmeureanu R* στην ερευνητική διατριβή *Life cycle cost and energy analysis of a net zero energy house with solar comb system (2011)* [16].

Ομοίως, μια αντίστοιχη μελέτη την παραγόμενης θερμικής ενέργειας σε ηλιακά θερμικά συστήματα, έγινε από τους *Hernandez P* και *Kenny P* στην εργασία τους *Net energy analysis of domestic solar water heating installations in operation (2012)* [17]. Την Τεχνοοικονομική ανάλυση ενός συστήματος θέρμανσης νερού με παραβολικό συλλέκτη το οποίο είναι εγκατεστημένο στην Ιορδανία, μελέτησε ο *Kaplan, M.M.* στην εργασία του *Techno-economic analysis of the Jordanian solar water heating system (2004)* [18].

Επιπλέον, μία ερευνητική εργασία των περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων και του κόστους σε ολόκληρο το κύκλο ζωής των επίπεδων ηλιακών συλλεκτών στις ΗΠΑ, έγινε από τους *Yin Hang, Ming Qu και Fu Zhao* στη μελέτη *Economic and environmental life cycle analysis of solar hot water systems in the United States (2011)* [19]. Μία άλλη εργασία, για την ενέργεια που παράγεται και το κόστος που προκύπτει από την κατασκευή και χρήση ενός ηλιακού συστήματος θέρμανσης το οποίο χρησιμοποιεί αέρα και νερό ως μέσο μεταφοράς της θερμότητας που παράγεται, έγινε από τους *Vivek Raman και G.N. Tiwari* στη διατριβή *Life cycle cost analysis of HPVT air collector under different Indian climatic conditions (2007)* [20].

Επίσης, μία περιβαλλοντική και οικονομική μελέτη πάνω σε δύο ηλιακά συστήματα θέρμανσης του νερού (ένα σύστημα με επίπεδο συλλέκτη και ένα σύστημα με συμβατικό συλλέκτη με σωλήνες κενού) έγινε από τους *Hoffmannn R. Et all* στην εργασία τους *Economic-Environmental comparison between flat plate and evacuated tube solar collectors (2014)* [21]. Τέλος, μια ακόμη οικονομική μελέτη πάνω σε ηλιακά συστήματα θέρμανσης με επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες, έγινε από τους *Sergio Colle, Samuel L. De Abreu και Ricardo Ruther* στην εργασία τους *Uncertainty in economical analysis of solar water heating and photovoltaic systems (2000)* [22]

Οι περισσότερες από τις προηγούμενες μελέτες (περιβαλλοντικές, ενεργειακές και οικονομικές) έχουν γίνει πάνω σε ηλιακά συστήματα θέρμανσης νερού κατοικιών που βρίσκονται σε χώρες του εξωτερικού.

Στην παρούσα εργασία θα γίνει οικονομοτεχνική μελέτη ηλιακών θερμικών συστημάτων που βρίσκονται εγκαταστημένα στον Ελλαδικό χώρο και ειδικότερα στις πόλεις της Αθήνας, της Κοζάνης και των Χανίων. Πρώτος στόχος είναι ο υπολογισμός της ενέργειας στο στάδιο χρήσης των συγκεκριμένων ηλιακών εγκαταστάσεων. Στη συνέχεια θα γίνει ο υπολογισμός του οικονομικού οφέλους από τη χρήση τους καθώς και του χρόνου απόσβεσης του αρχικού κεφαλαίου της επένδυσης. Σκοπός της όλης μελέτης είναι να φανεί η χρησιμότητα και τα ενεργειακά, οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη από την εγκατάσταση τέτοιων συστημάτων καθώς και το πόσο επηρεάζει η επιλογή της γεωγραφικής θέσης στην μεγιστοποίηση της απόδοσης του συστήματος.

1.4 Δομή της εργασίας

Στο κεφάλαιο 1 παρουσιάζεται μια εισαγωγή στους ηλιακούς συλλέκτες θέρμανσης νερού και γίνεται αναφορά στα βασικότερα είδη τους με μια σύντομη περιγραφή για καθένα από αυτά. Στην συνέχεια γίνεται μια σύντομη αναφορά στις πιο σημαντικές εργασίες που έχουν γίνει πάνω την οικονομοτεχνική μελέτη ηλιακών συλλεκτών αυτού του τύπου. Ορίζεται το πρόβλημα της συγκεκριμένης διατριβής και αναφέρεται το αντικείμενο και οι διαφορές σε σχέση με τις προηγούμενες οικονομοτεχνικές μελέτες πάνω στα ηλιακά θερμικά συστήματα.

Στο κεφάλαιο 2 περιγράφονται τα ηλιακά θερμικά συστήματα και τα είδη των συλλεκτών που χρησιμοποιούνται σε αυτά. Αναφέρονται τα βασικά μέρη του ηλιακού θερμικού συστήματος με επίπεδο συλλέκτη (συλλέκτης, δεξαμενή, βάση στήριξης) και η αρχή λειτουργίας του. Αμέσως μετά αναλύονται τα ηλιακά θερμικά συστήματα με συλλέκτες σωλήνων κενού. Στο τέλος του κεφαλαίου περιγράφονται τα ηλιακά θερμικά συστήματα με συλλέκτες σωλήνων κενού και παραβολικούς ανακλαστήρες (Compound Parabolic Concentrating: CPC).

Στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται το βασικό λογισμικό πακέτο (RETScreen Expert) που θα χρησιμοποιηθεί για την ενεργειακή και οικονομική ανάλυση των ηλιακών θερμικών συστημάτων που θα μελετηθούν στην παρούσα διατριβή. Περιγράφεται η μέθοδος που χρησιμοποιείται στους επίπεδους συλλέκτες καθώς και στους συλλέκτες με σωλήνες κενού. Τέλος περιγράφονται οι οικονομικοί παράμετροι που χρησιμοποιούνται για την οικονομική ανάλυση των συστημάτων αυτών.

Στο κεφάλαιο 4 γίνεται η οικονομοτεχνική μελέτη για τα συστήματα θέρμανσης νερού εξετάζοντας συστήματα που κατασκευάζονται και κυκλοφορούν στην Ελληνική αγορά τριών συγκεκριμένων εταιρειών. Επιπλέον εξετάζονται τρεις διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές της Ελλάδας: τα Χανιά, η Αθήνα και η Κοζάνη. Αρχικά γίνεται η οικονομοτεχνική μελέτη για τα ηλιακά θερμικά συστήματα με επίπεδους συλλέκτες και στην συνέχεια γίνεται η αντίστοιχη μελέτη για συστήματα με συλλέκτες σωλήνων κενού και παραβολικό ανακλαστήρα CPC. Σε όλα τα συστήματα εξετάζεται η ετήσια ενεργειακή απόδοση, οι ετήσιες εκπομπές CO_2 στο περιβάλλον καθώς και η αρχική δαπάνη για την αγορά τους. Στη συνέχεια εξετάζεται το οικονομικό όφελος από τη χρήση τους καθώς και ο χρόνος απόσβεσης της αρχικής επένδυσης. Τέλος, γίνεται σύγκριση μεταξύ των ηλιακών αυτών συστημάτων και για τις τρεις γεωγραφικές περιοχές της Ελλάδας για να βρεθεί η καλύτερη επιλογή με την καλύτερη δυνατή απόδοση και το μικρότερο δυνατόν κόστος αγοράς και εγκατάστασης.

Τέλος, στο κεφάλαιο 5 διατυπώνονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την μελέτη αυτή καθώς και προτάσεις για σχεδιαστικές και κατασκευαστικές λύσεις βελτίωσης της ενεργειακής και οικονομικής απόδοσης των ηλιακών θερμικών συστημάτων που μελετήθηκαν στη παρούσα διατριβή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

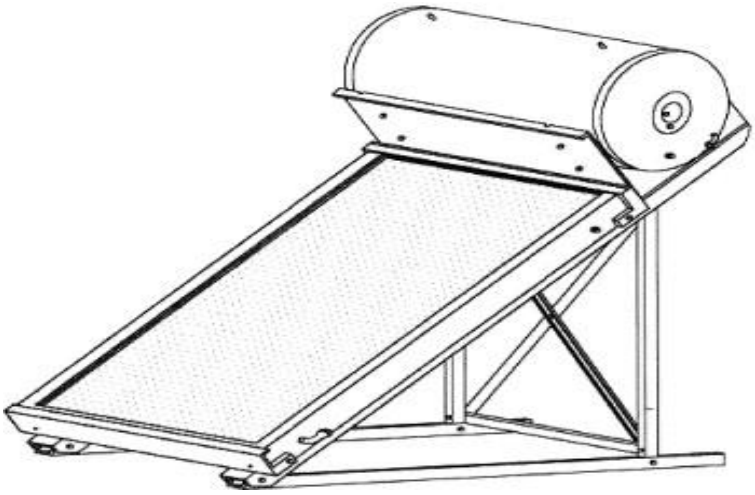
Κεφάλαιο 2: Ηλιακοί συλλέκτες (solar collectors) θέρμανσης νερού

2.1 Επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες

2.1.1 Γενική περιγραφή

Το ηλιακό θερμικό σύστημα με επίπεδο συλλέκτη είναι το πιο διαδεδομένο ηλιακό σύστημα θέρμανσης νερού κατοικιών. Το κύριο χαρακτηριστικό του είναι ο συλλέκτης απορρόφησης της ακτινοβολίας του ηλίου που έχει σχήμα ορθογωνίου παραλληλεπιπέδου. Κατά τη χρήση του χρησιμοποιεί την αρχή του θερμοσίφωνου έτσι ώστε να επιτυγχάνει κυκλοφορία του θερμορευστού (του υγρού δηλαδή που χρησιμοποιείται ως θερμαινόμενο μέσο το οποίο θερμαίνει το νερό χρήσης χωρίς να γίνεται ανάμιξη τους – ρέει από το συλλέκτη στη δεξαμενή νερού και αντίστροφα σε χωριστό κύκλωμα από το νερό χρήσης) με φυσικό τρόπο χωρίς τη χρήση αντλιών καθώς και το φαινόμενο του θερμοκηπίου για τη θέρμανση του θερμορευστού που περιέχεται σε σωλήνες στον επίπεδο συλλέκτη.

Ένα τυπικό ηλιακό θερμικό σύστημα με επίπεδο συλλέκτη παρουσιάζεται στην εικόνα 2.1:

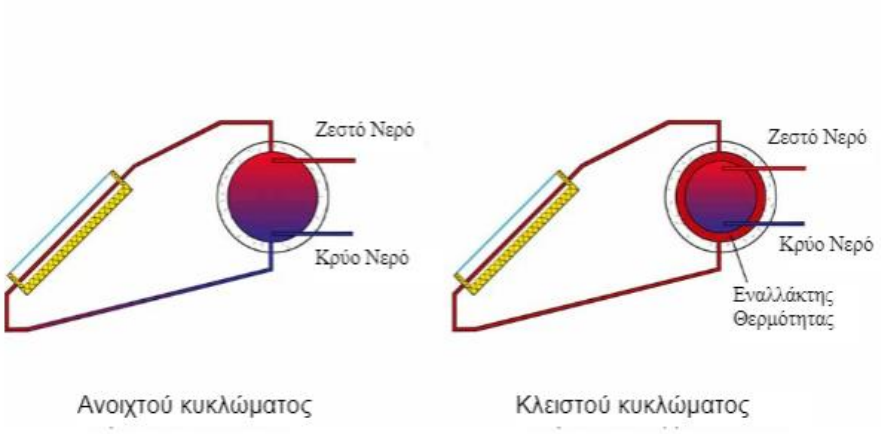


Εικόνα 2.1: Ηλιακό θερμικό σύστημα με επίπεδο συλλέκτη [23]

Ανάλογα με την κυκλοφορία του θερμορευστού μέσα στο συλλέκτη και τη δεξαμενή νερού χρήσης υπάρχουν δύο κατηγορίες συστημάτων τέτοιου τύπου (Εικόνα 2.2) [24]:

- Ανοικτού κυκλώματος: στη περίπτωση αυτή το νερό της δεξαμενής θερμαίνεται κατευθείαν χωρίς να παρεμβάλλεται θερμορευστό ή το ίδιο το θερμορευστό (το οποίο θερμαίνεται στο συλλέκτη) είναι το νερό χρήσης.

- Κλειστού κυκλώματος: στη περίπτωση αυτή πρώτα γίνεται η θέρμανση του θερμορευστού από την ηλιακή ακτινοβολία στο συλλέκτη στη συνέχεια με τη βοήθεια σωλήνων μεταφέρεται το συγκεκριμένο υγρό στη δεξαμενή (σε χωριστό διάκενο) όπου εκεί λειτουργεί ως εναλλάκτης θερμότητας και θερμαίνει με έμμεσο τρόπο το νερό χρήσης (που βρίσκεται σε διαφορετικό κύλινδρο από το θερμορευστό) το οποίο στη συνέχεια με σωλήνες μεταφέρεται στην οικία για χρήση.



Εικόνα 2.2: Ηλιακά θερμικά συστήματα ανοιχτού και κλειστού κυκλώματος [24]

Επειδή τα συστήματα ανοιχτού κυκλώματος είναι απλούστερα στην κατασκευή είναι συνήθως οικονομικότερα σε σχέση με τα συστήματα κλειστού κυκλώματος αλλά επειδή το θερμορευστό είναι το ίδιο το νερό χρήσης δεν μπορεί σε αυτό να προστεθεί αντιψυκτικό υγρό (όπως γίνεται στα συστήματα κλειστού κυκλώματος) συνεπώς μπορεί να παγώσει τις νύχτες ανάλογα με το πόσο χαμηλή είναι η θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος και φυσικά κατά τις χειμερινές περιόδους.

Μία άλλη κατηγοριοποίηση των ηλιακών θερμικών συστημάτων είναι ανάλογα με το πόσες ενεργειακές πηγές μπορούν να εκμεταλλευτούν:

- Διπλής ενέργειας: Χρησιμοποιούν και την ηλιακή ενέργεια αλλά και το ηλεκτρικό ρεύμα. Η χρήση του ηλεκτρικού ρεύματος γίνεται σε περιπτώσεις με χαμηλή ηλιοφάνεια ή κατά τις χειμερινές περιόδους. Γι’ αυτό υπάρχει ηλεκτρική αντίσταση τοποθετημένη εντός του τμήματος αποθήκευσης του νερού χρήσης.

- Τριπλής ενέργειας: Χρησιμοποιούν την ηλιακή ενέργεια και το ηλεκτρικό ρεύμα (όπως τα συστήματα τριπλής ενεργείας) αλλά ταυτόχρονα εκμεταλλεύονται το ζεστό νερό του λέβητα κεντρικής θέρμανσης του καλοριφέρ. Γι' αυτό πρέπει να υπάρχει κατάλληλη υποδομή στο κτίριο, να υπάρχουν δηλαδή ξεχωριστές σωλήνες που να συνδέουν το λεβητοστάσιο με το ηλιακό θερμικό σύστημα.

Τα ηλιακά θερμικά συστήματα με επίπεδο συλλέκτη αποτελούνται από τρία βασικά μέρη [1]:

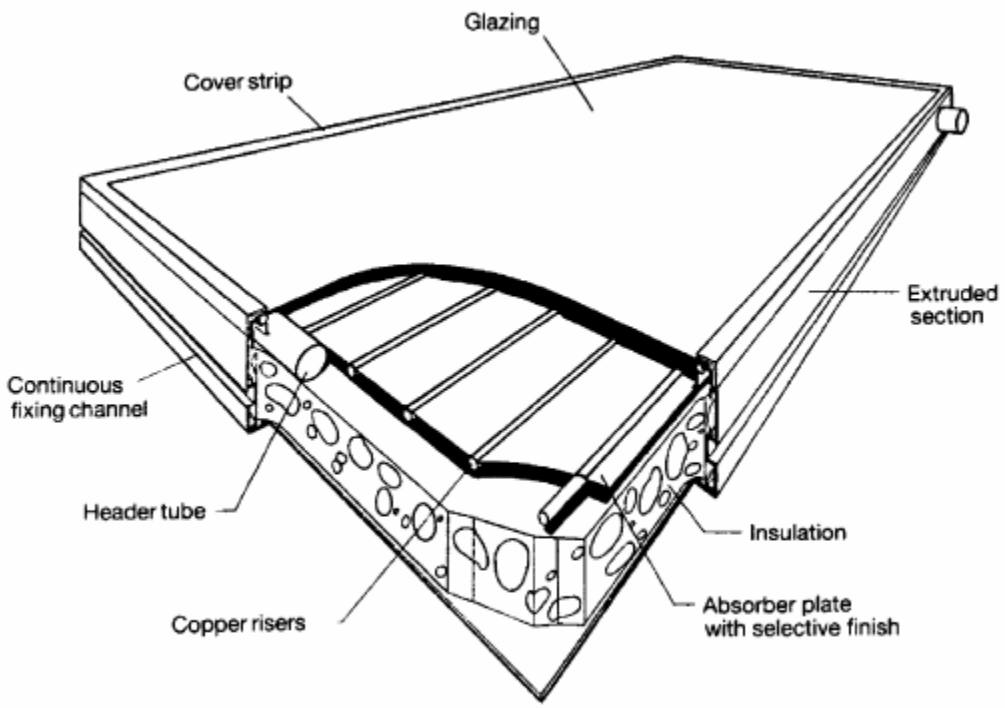
- Το *συλλέκτη* (επιφάνεια απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας).
- Τη *δεξαμενή νερού χρήσης*.
- Το *σύστημα στήριξης*.

Τα δύο πρώτα μέρη συνδέονται συνήθως μέσω πλαστικών σωληνώσεων για τη κυκλοφορία του θερμορευστού από το συλλέκτη στη δεξαμενή και αντίστροφα. Σε μεγάλου μεγέθους συστήματα μπορεί να είναι χωριστά, δηλαδή να υπάρχει μία σειρά συλλεκτών οι οποίοι να συνδέονται με μία δεξαμενή μεγάλης χωρητικότητας (π.χ. σε μεγάλα οικιακά συγκροτήματα όπως πολυκατοικίες κ.λπ.). Ο συλλέκτης διαθέτει σωλήνες από χαλκό για τη θέρμανση του θερμορευστού μέσα σε αυτούς [25]. Η χρήση του χαλκού γίνεται λόγω της υψηλής του θερμικής αγωγιμότητας και της αντοχής του στη διάβρωση. Ο χαλκός στους σωλήνες του συλλέκτη συνδυάζεται με το αλουμίνιο ή με χαλκό πάλι που χρησιμοποιείται σαν υλικό για τη πλάκα απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας. Η δεξαμενή νερού κατασκευάζεται από χάλυβα διαθέτει μόνωση πολυουρεθάνης η οποία τοποθετείται έξω από το κύλινδρο της δεξαμενής (μέσα από το εξωτερικό κάλυμμα της δεξαμενής) και ηλεκτρική αντίσταση για τη θέρμανση του νερού ακόμα και σε χαμηλή ηλιοφάνεια επιπλέον διαθέτει και άνοδο από Μαγνήσιο που εμποδίζει την οξείδωση. Το σύστημα στήριξης χρησιμοποιείται για τη στήριξη του συλλέκτη και της δεξαμενής του νερού σε στέγες ή ταράτσες κατοικιών δίνοντας μία κλίση στο ηλιακό θερμικό σύστημα για βέλτιστη εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας.

2.1.2 Βασικά μέρη ηλιακού θερμικού συστήματος με επίπεδο συλλέκτη

Όπως ειπώθηκε νωρίτερα, το κυριότερο μέρος του ηλιακού θερμικού συστήματος είναι ο συλλέκτης ο οποίος είναι η επιφάνεια συλλογής της ηλιακής ακτινοβολίας [1].

Ένας τυπικός επίπεδος ηλιακός συλλέκτης (Flat Plate Collector: FPC) φαίνεται στην εικόνα 2.3:



Εικόνα 2.3: Σχηματική άποψη επίπεδου ηλιακού συλλέκτη (FPC) [26]

Αρχικά η ηλιακή ακτινοβολία περνά μέσα από το διαφανές γυάλινο κάλυμμα (Glazing) και προσπίπτει πάνω στη πλάκα απορρόφησης η οποία είναι βαμμένη με μαύρο χρώμα ή με επιλεκτικό υλικό (χρώμα που εμπεριέχει τιτάνιο και απορροφά μεγαλύτερο ποσοστό ηλιακής ακτινοβολίας – συνήθως έχει μια γαλαζωπή απόχρωση).

Στη συνέχεια, ένα μεγάλο μέρος αυτής της ακτινοβολίας απορροφάται από την πλάκα και θερμαίνει το θερμορευστό που βρίσκεται μέσα στους σωλήνες, το οποίο έπειτα μέσω πλαστικών σωλήνων οδηγείται στη δεξαμενή του νερού. Οι σωλήνες που ρέει το θερμορευστό είναι συγκολλημένοι πάνω στη πλάκα απορρόφησης ή μπορεί να αποτελούν ένα ενιαίο κομμάτι με αυτήν. Η πλάκα απορρόφησης κατασκευάζεται συνήθως από Χαλκό ή Αλουμίνιο ενώ οι σωλήνες που φέρουν το θερμορευστό κατασκευάζονται σχεδόν αποκλειστικά από Χαλκό [1]. Όπως είπαμε στην προηγούμενη ενότητα ο Χαλκός χρησιμοποιείται στις σωληνώσεις με το θερμορευστό λόγω υψηλής θερμικής αγωγιμότητας και αντίστασης του στη διάβρωση. Το θερμορευστό είναι συνήθως μίγμα νερού (50-80%) και Προπυλενογλυκόλης (Propylene Glycol) (20-25%) για να μη ψύχεται κατά τις νύχτες ή την χειμερινή περίοδο [27]. Η πλάκα απορρόφησης είναι τοποθετημένη μέσα σε πλαίσιο που κατασκευάζεται από κράματα Χάλυβα. Επιπλέον υπάρχει ένα πλαίσιο από Αλουμίνιο με υψηλό συντελεστή ανάκλασης το για τη προστασία της πλάκας απορρόφησης [27].

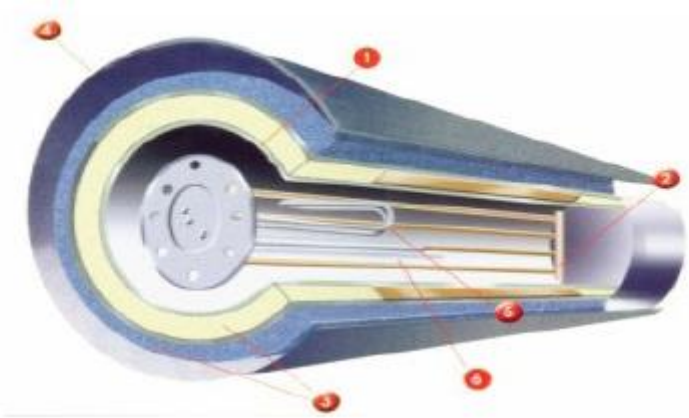
Το διαφανές γυάλινο κάλυμμα χρησιμοποιείται για το περιορισμό των θερμικών απωλειών του συλλέκτη. Μειώνει τις απώλειες ακτινοβολίας γιατί είναι μεν

διάφανο για την χαμηλού μήκους κύματος ηλιακή ακτινοβολία αλλά είναι επίσης και σχεδόν αδιαφανές για τη μεγάλου μήκους κύματος θερμική ακτινοβολία (υπέρυθρη ακτινοβολία, IR) η οποία εκπέμπεται από την πλάκα απορρόφησης. Συνήθως είναι υψηλής διαφάνειας και έχει χαμηλό ποσοστό οξειδίων του σιδήρου [27].

Ο συλλέκτης είναι συνήθως σταθερά στερεωμένος σε συγκεκριμένο προσανατολισμό και δεν διαθέτει σύστημα παρακολούθησης του ήλιου. Εγκαθίσταται έτσι ώστε να είναι προσανατολισμένος προς τον ισημερινό με κλίση που αριθμητικά πρέπει να είναι ίση με το γεωγραφικό πλάτος (latitude) της περιοχής που θα τοποθετηθεί με απόκλιση της γωνίας κλίσης κατά 10 – 15 ° περίπου [28].

Η δεξαμενή αποθήκευσης νερού χρήσης (εικόνα 2.4) έχει χωρητικότητα που κυμαίνεται από 100 έως 200 λίτρα για συνήθεις οικιακές εφαρμογές [25]. Η χωρητικότητά της είναι συνάρτηση της συλλεκτικής επιφάνειας που διαθέτει το ηλιακό θερμικό σύστημα (συνήθως υπάρχει η αναλογία (0.5 m^2 συλλέκτη / 50 lt ζεστού νερού χρήσης στη δεξαμενή). Αποτελείται συνήθως από Χάλυβα, με εσωτερική επίστρωση από γυαλί (εμαγιέ) ή ειδικά πλαστικά χρώματα για προστασία από διάβρωση. Επίσης, για ακριβότερα συνήθως συστήματα, η δεξαμενή αποθήκευσης μπορεί να είναι χάλκινη ή ανοξείδωτη. Εξωτερικά διαθέτει πολύ καλή μόνωση συνήθως από πολυουρεθάνη ή υαλοβάμβακα. Τέλος πάνω από τη μόνωση τοποθετείται το εξωτερικό κάλυμμα της δεξαμενής που αποτελείται και αυτό από Χάλυβα.

Στο εσωτερικό της η δεξαμενή διαθέτει ηλεκτρική αντίσταση και μια άνοδο από Μαγνήσιο. Επιπλέον διαθέτει διπλά τοιχώματα από Χάλυβα στο διάκενο των οποίων κυκλοφορεί το θερμορευστό που ρέει από τους σωλήνες της πλάκας απορρόφησης.



Εικόνα 2.4: Δεξαμενή νερού ηλιακού θερμικού συστήματος [26]

2.2 Συμβατικοί ηλιακοί συλλέκτες με σωλήνες κενού

2.2.1 Γενική περιγραφή

Ο Ηλιακός Συλλέκτης με Συμβατικούς Σωλήνες Κενού (Εικόνα 2.5) διαφέρει από έναν επίπεδο ηλιακό συλλέκτη λόγω των σωλήνων κενού αέρος που διαθέτει. Ο σωλήνας κενού κατασκευάζεται από ειδικό γυαλί και περικλείει τον Χάλκινο σωλήνα συλλογής της ηλιακής ενέργειας.

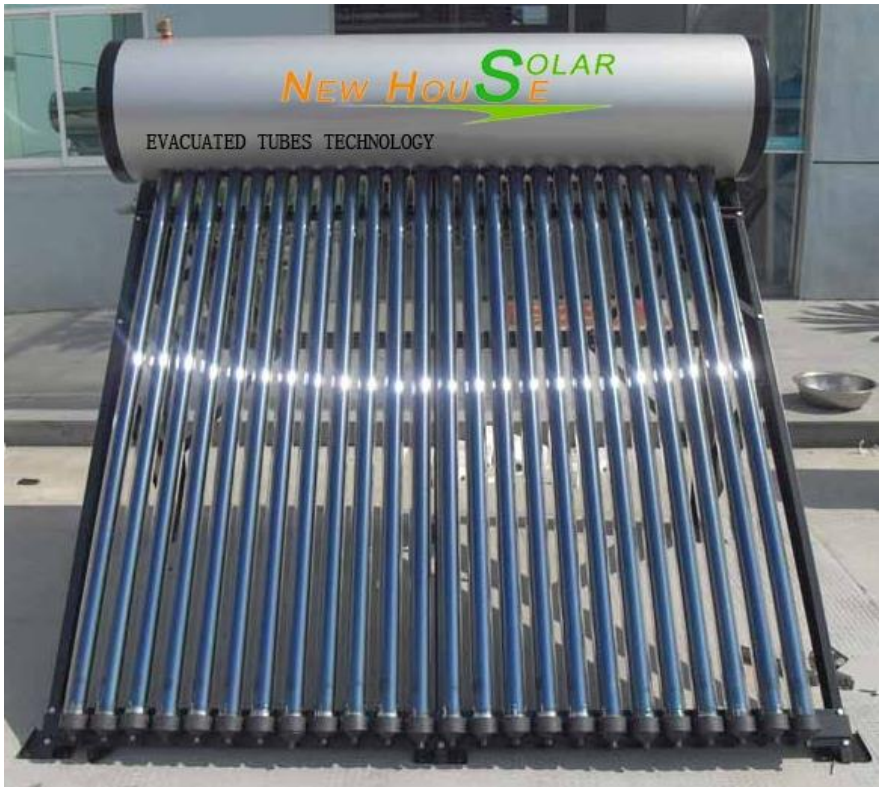
Το κενό αέρος παρέχει την καλύτερη δυνατή μόνωση - όπως στα θερμός – με αποτέλεσμα να μειώνονται στο ελάχιστο οι απώλειες της αποθηκευμένης ενέργειας.

Έτσι αυξάνεται η αποδοτικότητα του ηλιακού συλλέκτη με σωλήνες κενού κατά 35 % και η λειτουργία του δεν περιορίζεται μόνο στις ηλιόλουστες μέρες [29].

Εικόνα 2.5: Ηλιακός Συλλέκτης με συμβατικούς σωλήνες κενού [9]

Το υλικό των σωλήνων κενού είναι βοριοπυριτικό γυαλί (Borosilicate glass). Το συγκεκριμένο υλικό είναι ένα είδος γυαλιού που αποτελείται από Πυρίτιο (Silicon) και τριοξείδιο του Βορίου (Boron trioxide). Έχει πολύ μικρό συντελεστή θερμικής διαστολής με αποτέλεσμα να έχει πολύ μεγάλη αντοχή στις θερμικές αναταράξεις, περισσότερο από οποιοδήποτε άλλο είδος γυαλιού [30]. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να διατηρεί τη θερμοκρασία του έχοντας ελάχιστες θερμικές απώλειες. Το ηλιακό θερμικό σύστημα με συμβατικούς σωλήνες κενού φέρει την δεξαμενή του νερού πάνω στον συλλέκτη (όπως και τα ηλιακά θερμικά συστήματα με επίπεδο συλλέκτη). Η δεξαμενή του νερού είναι ίδια με τα ηλιακά θερμικά συστήματα με επίπεδο συλλέκτη, διαθέτει ηλεκτρική αντίσταση για να λειτουργεί το σύστημα με το ηλεκτρικό ρεύμα όταν δεν υπάρχει ηλιοφάνεια και μια άνοδο από Μαγνήσιο που εμποδίζει την οξείδωση της. Οι σωλήνες κενού συνδέονται απευθείας με την

δεξαμενή του νερού οπότε δεν υπάρχουν επιπλέον σωλήνες για την μεταφορά του θερμορευστού από τους σωλήνες στην δεξαμενή (Εικόνα 2.6):

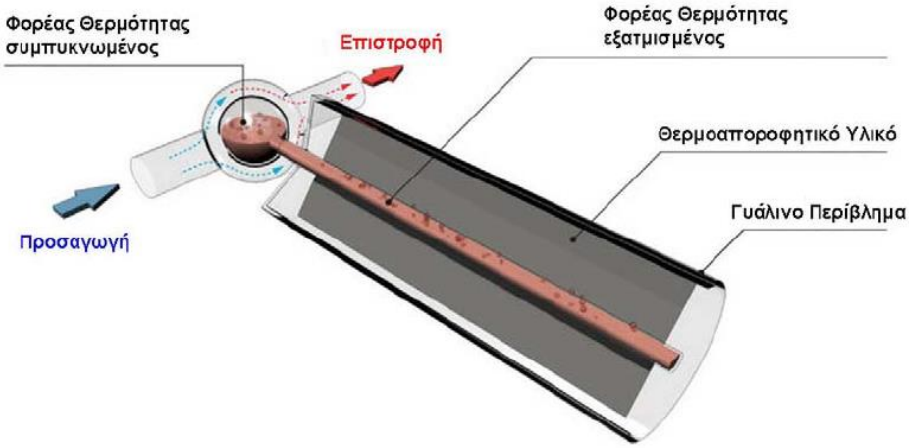


Εικόνα 2.6: Ηλιακό θερμικό σύστημα με συμβατικό Συλλέκτη σωλήνων κενού [9]

Υπάρχει μόνο πλαστική σωλήνα για την μεταφορά του νερού από την δεξαμενή στην κατοικία. Τα συστήματα με συμβατικούς συλλέκτες σωλήνων κενού έχουν καλύτερη θερμική απόδοση γιατί έχουν λιγότερες απώλειες παραγόμενης θερμότητας και καλύτερη τιμή σε σχέση με τα συστήματα με επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες [31]. Αυτό οφείλεται στην απλότητα κατασκευής τους καθώς και στην ευκολότερη εγκατάσταση τους σε σχέση με τα συστήματα με επίπεδο συλλέκτη. Η εγκατάσταση τους είναι ευκολότερη γιατί οι σωλήνες κενού μεταφέρονται χωριστά οπότε δεν χρειάζονται γερανοί για την μεταφορά τους στις ταράτσες ή στις στέγες των κατοικιών. Επίσης η συντήρηση τους είναι πολύ εύκολη γιατί γίνεται απλή αντικατάσταση του σωλήνα κενού που έχει υποστεί βλάβη ή ζημιά. Γι' όλους αυτούς τους λόγους η τιμή τους είναι μικρότερη από τα άλλα θερμικά ηλιακά συστήματα. Λόγω της πολύ καλής απόδοσης τους χρησιμοποιούνται σε πολλές χώρες, ιδιαίτερα στις περιοχές με χαμηλή ηλιοφάνεια [32]. Παρόλη την πολύ καλή απόδοση τους τα συστήματα με συμβατικούς συλλέκτες σωλήνων κενού είναι ιδανικά περισσότερο για ψυχρά κλίματα και όχι για πολύ ζεστές περιοχές επειδή η θερμοκρασία λειτουργίας τους είναι αρκετά υψηλή. Ειδικότερα, το καλοκαίρι η θερμοκρασία στο εσωτερικό τους μπορεί να ξεπεράσει τους 300 ^{o}C , με άμεσο επακόλουθο τη βέβαιη ατμοποίηση του μέσου μεταφοράς της θερμότητας (δηλαδή του νερού της δεξαμενής) [33].

2.2.2 Κατασκευή και λειτουργία

Όπως ειπώθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, το εξωτερικό περίβλημα κάθε γυάλινου σωλήνα είναι φτιαγμένο από βοριοπυριτικό γυαλί (Borosilicate glass) το οποίο είναι μεγάλης σκληρότητας και αντοχής (αντέχει στην κρούση από χαλάζι διαμέτρου 25mm που κινείται με ταχύτητα 100 km/h), ενώ ο εσωτερικός σωλήνας είναι βαμμένος με ιδιαίτερα θερμοαπορροφητικό υλικό AL-N/AL, χαμηλής αντανάκλασης (Εικόνα 2.7), με αποτέλεσμα να μετατρέπει πάνω από το 92% της ηλιακής ενέργειας σε θερμική και να αποδίδει ακόμα και τις μέρες με συννεφιά [29].



Εικόνα 2.7: Τομή σωλήνα κενού του συλλέκτη [9]

Τη θερμότητα που συλλέγει τη μεταφέρει με την βοήθεια φύλλων αλουμινίου σε ένα χάλκινο αυλό (heat pipe), που περιέχει ένα ανόργανο μη τοξικό πτητικό ρευστό (εξατμίζεται στους 25°C). Το ρευστό αυτό λόγω της θερμότητας που συλλέγει ο σωλήνας κενού μετατρέπεται σε υπέρθερμο ατμό, ανεβαίνει στην πάνω πλευρά του αυλού που είναι τοποθετημένος μέσα στον εναλλάκτη θερμότητας και ζεσταίνει το νερό χρήσης. Το ρευστό μεταφέροντας την θερμότητα στο νερό συμπυκνώνεται και κατεβαίνει στην κάτω πλευρά του αυλού όπου επαναλαμβάνεται η διαδικασία [29].

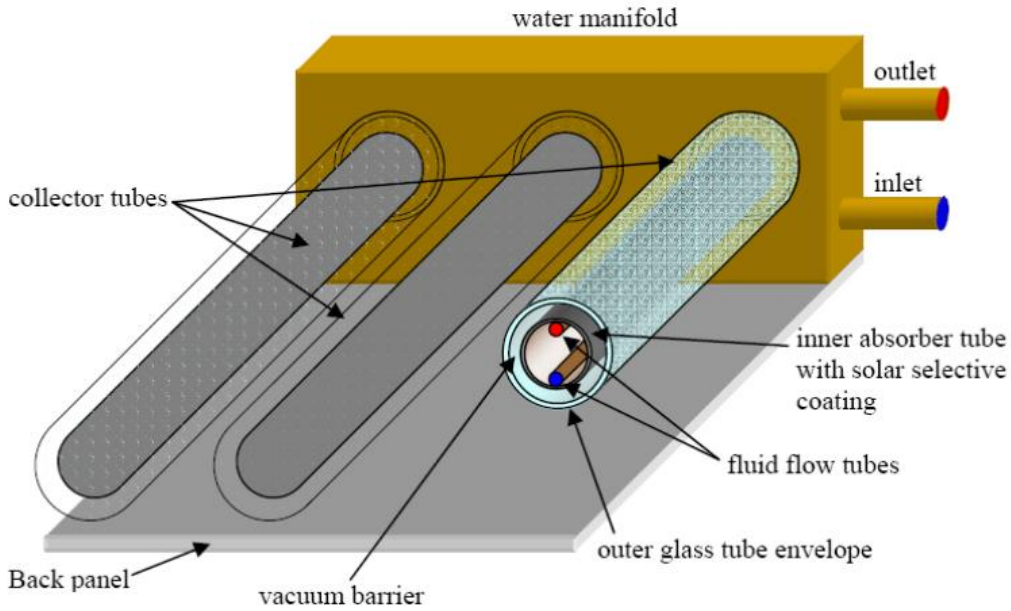
2.2.3 Πλεονεκτήματα ηλιακού συλλέκτη με σωλήνες κενού

Συνοψίζοντας τα κυριότερα πλεονεκτήματα των ηλιακών συλλεκτών με σωλήνες κενού είναι [34]:

- Διεθνείς μετρήσεις ενεργειακής απόδοσης του συλλέκτη δείχνουν ότι αποδίδει περίπου 35 % περισσότερη ενέργεια από τους επιπέδους συμβατικούς συλλέκτες.
- Ο κάθε σωλήνας του ηλιακού συλλέκτη κενού είναι ένα κλειστό κύκλωμα ανεξάρτητο από το νερό χρήσης, άρα εάν σπάσει κάποια σωλήνα δεν έχουμε διαρροή νερού, αλλά συνεχίζει να ζεσταίνει το νερό κανονικά.
- Οι σωλήνες κενού είναι κυλινδρικοί με αποτέλεσμα οι ακτίνες του ηλίου να πέφτουν κάθετα καθ' όλη την διάρκεια της ημέρας και όχι μόνο το μεσημέρι όπως συμβαίνει στους επίπεδους συμβατικούς συλλέκτες.
- Το βοριοπυριτικό γυαλί έχει μεγάλη σκληρότητα και αντοχή (αντέχει στην κρούση από χαλάζι διαμέτρου 25mm που κινείται με ταχύτητα 100 km/h).
- Λόγω του ότι δεν έχουμε κυκλοφορία νερού στον συλλέκτη, δεν έχουμε φράξιμο του συστήματος, δεν κινδυνεύει να σπάσει από παγετό τις κρύες νύχτες, δεν παγώνει το νερό χρήσης τη νύχτα λόγω της αντίστροφης λειτουργίας που συμβαίνει στους συμβατικούς συλλέκτες.
- Η κλίση των σωλήνων κενού μπορεί να είναι από 20 έως 80 μοίρες, λύνοντας έτσι το προβλήματα αισθητικής ή δυσκολίας τοποθέτησης όπως συμβαίνει με τους συμβατικούς συλλέκτες.
- Λόγω του κλειστού κυκλώματος και της μικρής ποσότητας νερού που περνάει μέσα από τον εναλλάκτη μειώνουμε την ισχύ των κυκλοφορητών με αποτέλεσμα να έχουμε χαμηλότερο λειτουργικό κόστος.
- Εύκολη εγκατάσταση και συντήρηση αφού οι σωλήνες κενού μεταφέρονται χωριστά και εγκαθίστανται. Και επιπλέον είναι πολύ εύκολη η αντικατάσταση του σωλήνα που έχει πάθει ζημιά.

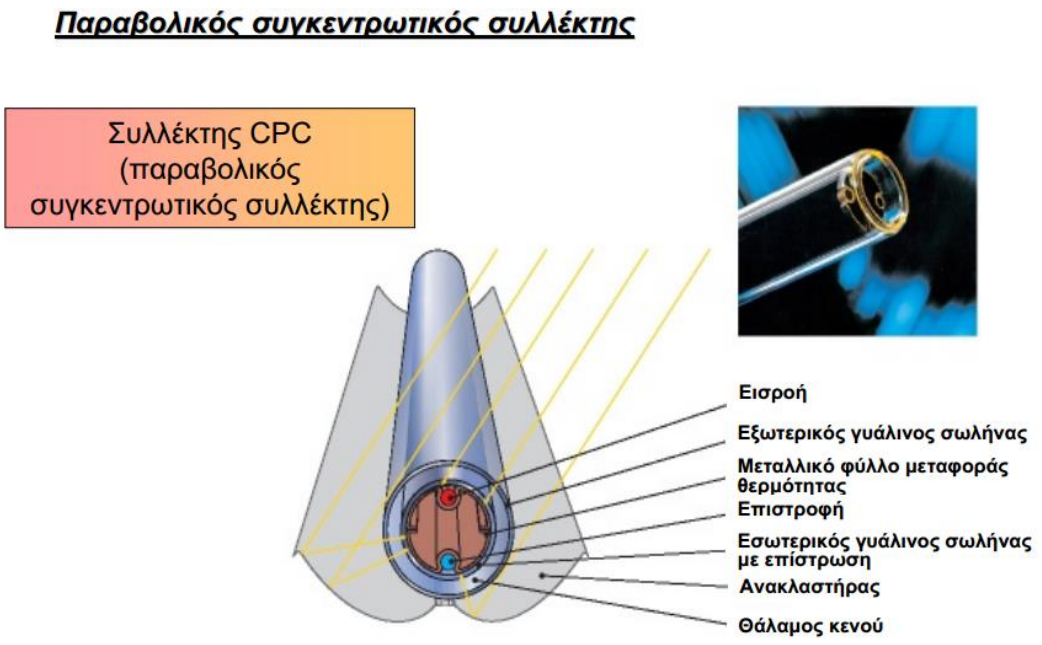
2.3 Ηλιακά θερμικά συστήματα με σύνθετους παραβολικούς συλλέκτες (με ανακλαστήρες Compound Parabolic Concentrating: CPC)

Οι συλλέκτες αυτοί μοιάζουν με τους συμβατικούς ηλιακούς συλλέκτες με σωλήνες κενού που περιεγράφηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο (κεφάλαιο 2.2). Οι σύνθετοι παραβολικοί συλλέκτες οφείλουν την ονομασία τους στους παραβολικούς ανακλαστήρες Αλουμινίου (Compound Parabolic Concentrating: CPC) που διαθέτουν στον συλλέκτη μαζί με τους σωλήνες κενού [10]. Μέσα στους σωλήνες κενού υπάρχουν οι σωλήνες απορροφητή, οι οποίοι περικλείουν καθένας από δύο σωλήνες οι οποίοι φέρουν το θερμορευστό (Εικόνα 2.8). Ο παραβολικός ανακλαστήρας (CPC) βρίσκεται εξωτερικά κάθε σωλήνα κενού και χρησιμοποιείται για να συγκεντρώνει τις ηλιακές ακτίνες (στο σωλήνα κενού) όπως γίνεται και στον συνήθη συγκεντρωτικό συλλέκτη αυξάνοντας με αυτό τον τρόπο την συνολική απόδοση του συστήματος [35].



Εικόνα 2.8: Τομή σωλήνων απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας σε έναν σύνθετο παραβολικό συλλέκτη (με ανακλαστήρες CPC) [36]

Οι συλλέκτες αυτοί βρίσκουν εφαρμογή κυρίως στην θέρμανση του νερού κατοικιών [37]. Στην πιο συνήθη μορφή οι ανακλαστήρες CPC αποτελούνται από δύο ημιπαραβολικά κάτοπτρα, στην ένωση των οποίων τοποθετείται ο απορροφητής (κυλινδρικός ή επίπεδος). Κάθε απορροφητής φέρει δύο Χάλκινους σωλήνες οι οποίοι περιέχουν το θερμικό υγρό του συλλέκτη. Εξωτερικά ο απορροφητής περιβάλλεται από τον γυάλινο σωλήνα κενού, ώστε να προστατεύονται οι ανακλαστικές επιφάνειες από την σκόνη και έτσι να μη μειώνεται η οπτική τους απόδοση (Εικόνα 2.9) καθώς επίσης να μην υπάρχουν απώλειες της θερμικής ενέργειας που παράγεται.



Εικόνα 2.9: Τομή ενός σύνθετου παραβολικού συλλέκτη (με ανακλαστήρα CPC) με κυλινδρικό απορροφητή [36]

Τα κυριότερα υλικά που συνθέτουν τους σύνθετους παραβολικούς συλλέκτες είναι:

- Το ειδικό βοριοπυριτικό γυαλί (Borosilicate glass) που χρησιμοποιείται στην κατασκευή των γυάλινων σωλήνων κενού του συλλέκτη και το οποίο περιεγράφηκε στο κεφάλαιο 2.2.
- Το Αλουμίνιο το οποίο χρησιμοποιείται στην κατασκευή των παραβολικών ανακλαστήρων (CPC), του εξωτερικού πλαισίου του συνολικού συλλέκτη και του εσωτερικού κυλίνδρου (απορροφητή) μέσα σε κάθε σωλήνα κενού.

Η αρχή λειτουργίας του σύνθετου παραβολικού συλλέκτη είναι η εξής: Η ηλιακή ακτινοβολία πέφτει πάνω στον παραβολικό ανακλαστήρα (CPC) ο οποίος την συγκεντρώνει και αυξάνει την θερμοκρασία του απορροφητή μέσα στον γυάλινο σωλήνα. Η θέρμανση του απορροφητή προκαλεί θέρμανση των Χάλκινων σωλήνων με το θερμικό υγρό. Οι γυάλινοι σωλήνες είναι συνδεδεμένοι με την δεξαμενή του νερού οπότε θερμαίνουν το νερό μέσα σε αυτήν.

Τα πλεονεκτήματα από τη χρήση των σύνθετων παραβολικών συλλεκτών είναι [38]:

- Μεγάλη απόδοση του συλλέκτη λόγω των παραβολικών ανακλαστήρων (CPC).

- Μεταξύ του γυαλιού και των σωλήνων απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας δημιουργείται κενό αέρος έτσι ώστε ο συλλέκτης να μην έχει θερμικές απώλειες.
- Η μέγιστη μεταβολή θερμοκρασίας που μπορούν να προκαλέσουν είναι γύρω στους 250 ^{o}C πάνω από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος.
- Το βοριοπυριτικό γυαλί έχει μεγάλη σκληρότητα και αντοχή.

Βασικό μειονέκτημα τους είναι η πολυπλοκότητα στην κατασκευή τους λόγω των παραβολικών ανακλαστήρων (CPC) και του σωλήνα κενού που είναι πιο σύνθετος σε σχέση με τους συμβατικούς ηλιακούς συλλέκτες σωλήνων κενού, με άμεση συνέπεια την πολύ υψηλή τιμή τους [38].

Ο παραβολικός ανακλαστήρας μαζί με τους σωλήνες κενού ομαδοποιείται σε συστοιχία πολλών ανακλαστήρων και σωλήνων κενού μαζί. Οι σωλήνες κενού προσαρμόζονται σε ένα κύλινδρο ο οποίος χρησιμεύει ως βάση των σωλήνων, σύμφωνα με την Εικόνα 2.10 και τοποθετούνται πάνω στον συλλέκτη.

Εικόνα 2.10: Συστοιχία συλλεκτών CPC [36]

Όπως και στα ηλιακά θερμικά συστήματα με συμβατικό συλλέκτη σωλήνων κενού, η δεξαμενή του νερού είναι ίδια με τα συστήματα με επίπεδο συλλέκτη. Διαθέτει ηλεκτρική αντίσταση για να λειτουργεί το σύστημα με το ηλεκτρικό ρεύμα όταν δεν υπάρχει ηλιοφάνεια και μια άνοδο από Μαγνήσιο που εμποδίζει την οξείδωση της δεξαμενής. Επίσης διαθέτουν και σύστημα στήριξης για την τοποθέτηση των συστημάτων σε στέγες ή ταράτσες κτιρίων. Η σύνδεση των σωλήνων κενού με την δεξαμενή του νερού (και η μεταφορά του θερμικού υγρού από τους γυάλινους σωλήνες στην δεξαμενή) γίνεται με σύνδεση του κυλίνδρου στήριξης των σωλήνων κενού με την δεξαμενή, μέσω πλαστικών σωλήνων με μόνωση υαλοβάμβακα ή άλλου μονωτικού υλικού. Στη συνέχεια η σύνδεση της δεξαμενής με

το δίκτυο κυκλοφορίας νερού της κατοικίας γίνεται με χρήση πάλι πλαστικών μονωμένων σωλήνων (Εικόνα 2.11).

Εικόνα 2.11: Ηλιακά θερμικά συστήματα, με συλλέκτη σωλήνων κενού και CPC παραβολικό ανακλαστήρα, τοποθετημένα σε ταράτσα κτιρίου [39]

Η δεξαμενή του νερού και το σύστημα στήριξης κατασκευάζονται από κράματα Χάλυβα όπως και στα συστήματα με επίπεδο συλλέκτη. Η απόδοση των συστημάτων αυτών είναι 40% μεγαλύτερη σε σχέση με τα αντίστοιχα θερμικά ηλιακά συστήματα με επίπεδο συλλέκτη. Σε αυτό συμβάλλει καταρχάς ο παραβολικός ανακλαστήρας (CPC) γιατί συγκεντρώνει μεγαλύτερη ποσότητα θερμικής ακτινοβολίας στον συλλέκτη και επιπλέον το ότι η δεξαμενή του νερού μονώνεται με πολυουρεθάνη σε όλη την εξωτερική επιφάνεια της (όπως και στα συστήματα με επίπεδο συλλέκτη). Επιπλέον οι σωλήνες κενού λόγω του ειδικού βοριοπυριτικού γυαλιού δεν έχουν θερμικές απώλειες. Γι’ αυτούς τους λόγους τα θερμικά αυτά συστήματα συνίστανται για περιοχές με χαμηλή ηλιοφάνεια, ιδιαίτερα το χειμώνα. Όπως δηλαδή συμβαίνει και στα συστήματα με συμβατικό συλλέκτη σωλήνων κενού, τα συστήματα που αναλύονται στο παρόν κεφάλαιο έχουν καλύτερη απόδοση σε ψυχρότερες περιοχές και όχι σε περιοχές με μεγάλη ηλιοφάνεια (λόγω ατμοποίησης του νερού στην δεξαμενή από τις πολύ υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στον συλλέκτη σωλήνων κενού).

Η εγκατάσταση του συστήματος με συλλέκτη σωλήνων κενού και σύνθετους παραβολικούς ανακλαστήρες (CPC) απαιτεί την εγκατάσταση πρώτα του συλλέκτη με

τους σωλήνες κενού και τους παραβολικούς ανακλαστήρες μαζί με το σύστημα στήριξης και στη συνέχεια την τοποθέτηση της δεξαμενής νερού στο πάνω μέρος του συλλέκτη. Είναι δηλαδή λίγο περισσότερο σύνθετη σε σχέση με τα συστήματα με συμβατικό συλλέκτη σωλήνων κενού που περιεγράφηκαν στο κεφάλαιο 2.2 γιατί απαιτεί τη μεταφορά όλου του συλλέκτη και όχι κάθε σωλήνα κενού χωριστά (και επιπλέον απαιτεί τη σύνδεση του συλλέκτη με τη δεξαμενή νερού μέσω πλαστικών σωλήνων) στον εκάστοτε χώρο εγκατάστασης του ηλιακού θερμικού συστήματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Κεφάλαιο 3: Ενεργειακή και οικονομική ανάλυση ηλιακών συστημάτων θέρμανσης νερού

3.1 Ηλιακή και οικονομική ανάλυση ηλιακού συστήματος με επίπεδο συλλέκτη καθώς και συστήματος με συλλέκτη σωλήνων κενού

3.1.1 Επιλογή λογισμικού προγράμματος για την επεξεργασία του προβλήματος

Στην παρούσα εργασία για την Ενεργειακή και Οικονομική Ανάλυση των θερμικών συστημάτων με *επίπεδο συλλέκτη* και με *συλλέκτη σωλήνων κενού* που θα μελετηθούν, θα χρησιμοποιηθεί το πρόγραμμα RETScreen Expert [40].

Το «πρόγραμμα καθαρών πηγών ενέργειας» RETScreen είναι ένα λογισμικό πακέτο που απευθύνεται σε επαγγελματίες (ερευνητές και μηχανικούς) και φοιτητές με σκοπό τη τεχνοοικονομική ανάλυση ενεργειακών συστημάτων.

Το πρόγραμμα RETScreen χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της ετήσιας παραγωγή ενέργειας ενός συστήματος, επιπλέον για τις δαπάνες καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του καθώς και με τον υπολογισμό των αέριων εκπομπών που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Για τη περίπτωση του υπολογισμού όλων των παραπάνω στη παραγωγή και χρήση ζεστού νερού το RETScreen Expert εξετάζει τρεις βασικές εφαρμογές [40]:

- ηλιακό σύστημα θέρμανσης νερού κατοικίας,
- ηλιακό σύστημα παραγωγής ζεστού νερού για βιομηχανικές εφαρμογές και
- θέρμανση νερού πισίνας (εσωτερική ή υπαίθρια)

Για κάθε μία από τις παραπάνω εφαρμογές τα αποτελέσματα αναλύονται σε πέντε φύλλα εργασίας (υπολογισμός παραγόμενης ενέργειας, ανάλυση συνολικού κόστους συστήματος, ανάλυση μείωσης αερίων εκπομπών που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, οικονομική ανάλυση, ανάλυση ευαισθησίας και ανάλυση επικινδυνότητας). Στο πρώτο φύλλο εργασίας δίνεται η περιοχή τοποθέτησης του υπό μελέτη συστήματος δηλαδή δίνονται τα μετεωρολογικά

δεδομένα της περιοχής εγκατάστασης, στο δεύτερο φύλλο εργασίας δίνονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος, η επιθυμητή θερμοκρασία του παραγόμενου ζεστού νερού, οι διαστάσεις του συστήματος και το αρχικό κόστος της επένδυσης, στο τρίτο φύλλο αναλύονται όλα τα άμεσα (τιμή συστήματος) αλλά και έμμεσα κόστη (κόστος μεταφοράς – εγκατάστασης – συντήρησης), στο τέταρτο φύλλο αναλύονται οι αέριες εκπομπές που προκαλούνται από τη βοηθητική πηγή ενέργειας (χρήση πετρελαίου, ηλεκτρισμού, φυσικού αερίου κ.λπ.) και στο πέμπτο φύλλο παρουσιάζονται όλα τα οικονομικά οφέλη από τη χρήση του υπό μελέτη συστήματος και το κατά πόσο συμφέρει η συγκεκριμένη επένδυση τον εκάστοτε επενδυτή.

Ο χρήστης εργάζεται από επάνω προς τα κάτω για κάθε ένα από τα φύλλα εργασίας και η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να βελτιστοποιηθεί από πλευράς ενεργειακής απόδοσης και οικονομικού οφέλους το υπό μελέτη σύστημα.

Συνήθως η συμπεριφορά τέτοιου τύπου συστημάτων είναι αρκετά πιο σύνθετη και αλλάζει κάθε στιγμή, ανάλογα με τη διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία, τη θερμοκρασία περιβάλλοντος, τη ταχύτητα του αέρα και τη σχετική υγρασία του αλλά και με τις ανάγκες / κατοικία ή περιοχή. Πάντως το συγκεκριμένο λογισμικό πακέτο δε κάνει λεπτομερή προσομοίωση της συμπεριφοράς κάθε υπό μελέτη συστήματος. Αντιθέτως χρησιμοποιεί απλουστευμένα πρότυπα, που επιτρέπουν τον υπολογισμό της παραγόμενης ενέργειας σε μηνιαία βάση.

Επιπλέον σε κάθε υπό εξέταση σύστημα το πρόγραμμα αναλύει τρεις περιπτώσεις [40]:

- Παραγωγή ζεστού νερού με αποθήκευση.
- Παραγωγή ζεστού νερού χωρίς αποθήκευση.
- Παραγωγή ζεστού νερού για πισίνα.

3.1.2 Ενεργειακή ανάλυση επίπεδου συλλέκτη

Το ωφέλιμο ποσό θερμότητας που αποδίδεται στο συλλέκτη, δηλαδή εκείνο που προσλαμβάνει το εργαζόμενο μέσο αυξάνοντας την θερμοκρασία δίνεται από την εξίσωση [41]:

$Q_u = m \cdot C_{pf} \cdot (T_o - T_i)$ (4.1)

όπου C_{pf} είναι η ικανότητα θέρμανσης του ύδατος (4.200 (J/kg)/ ^{0}C), m η πυκνότητά του (1kg/L), T_o είναι η απαιτούμενη θερμοκρασία ζεστού νερού , T_i είναι η Θερμοκρασία του κρύου νερού.

Ο βαθμός απόδοσης του επίπεδου συλλέκτη είναι:

$n = \frac{Q_u}{I_T \cdot A}$ (4.2)

όπου I_T είναι το μηνιαίο συνολικό φορτίο θέρμανσης και A είναι η επιφάνεια του συλλέκτη.

Ο βαθμός απόδοσης μπορεί να συνδεθεί με τις βασικές μεταβλητές λειτουργίας του συλλέκτη όπως η θερμοκρασία εισόδου του ρευστού ή εξόδου και την θερμοκρασία του περιβάλλοντος αέρα, με την σχέση των *Hottel – Whillier* [42]:

$n = F_R(\tau\alpha)_n - F_R U_L \cdot \frac{(T_i - T_a)}{I_T}$ (4.3)

όπου F_R είναι ο τροποποιημένος παράγοντας μεταφοράς θερμότητας του συλλέκτη, $(\tau\alpha)_n$ είναι η μέση μηνιαία μεταβίβαση - απορρόφηση του συλλέκτη, U_L είναι ο συντελεστής γενικών απωλειών του συλλέκτη, T_i είναι μια εμπειρική θερμοκρασία αναφοράς ίση με 1000 ^{o}C, T_a είναι η μέση μηνιαία περιβαλλοντική θερμοκρασία, n είναι ο αριθμός ημερών του κάθε μήνα.

Ωστόσο, λόγω της εξάρτησης της U_L από την θερμοκρασία επιλέγεται γραμμική εξάρτηση της U_L με την διαφορά θερμοκρασίας $T_i - T_a$ για μεγαλύτερη ακρίβεια, οπότε προκύπτει η σχέση:

$n = F_R(\tau\alpha)_n - F_R U_L \cdot \frac{(T_i - T_a)}{I_T} - F_R U_{L/T} \cdot \frac{(T_i - T_a)^2}{I_T}$ (4.4)

Η οποία γράφεται και: $n = a_0 - a_1 \cdot \frac{(\Delta T)}{I_T} - \alpha_2 \cdot \frac{(\Delta T)^2}{I_T}$ (4.5)

όπου $F_R(\tau\alpha)_n = a_0$, $F_R U_L = a_1$, $T_i - T_a = \Delta T$, $F_R U_{L/T} = \alpha_2$ και $U_{L/T}$ είναι ο συντελεστής θερμοκρασίας που αντιστοιχεί στον συντελεστή γενικών απωλειών του συλλέκτη.

Το κύριο χαρακτηριστικό της εξίσωσης αυτής είναι ότι ο βαθμός απόδοσης εξαρτάται από τρεις παραμέτρους (a_0, a_1 , α_2).

Τέλος, τονίζεται πως η άνω σχέσεις αφορούν κάθετα προσπίπτουσα στον συλλέκτη ακτινοβολία. Όταν ωστόσο η ακτινοβολία προσπίπτει υπό γωνία θ, το γινόμενο διαπερατότητας – απορροφητικότητας μεταβάλλεται σε ($\tau\alpha$). Ο διορθωτικός παράγοντας του ($\tau\alpha$) [43] δίνεται από την σχέση:

$$\frac{(\tau\alpha)_b}{(\tau\alpha)_n} = 1 - b_0 \cdot \left(\frac{1}{cos\theta} - 1\right) - b_1 \cdot \left(\frac{1}{cos\theta} - 1\right)^2 \quad (4.6)$$

3.1.3 Ενεργειακή ανάλυση συλλέκτη με σωλήνες κενού

Το ωφέλιμο ποσό θερμότητας που αποδίδεται στο συλλέκτη σωλήνων κενού, δίνεται από την εξίσωση [44]:

$$Q_u = m \cdot C_p \cdot (T_{out} - T_i) \quad (4.7)$$

όπου C_p είναι η ικανότητα θέρμανσης του ύδατος, m η πυκνότητά του, T_o είναι η απαιτούμενη θερμοκρασία ζεστού νερού , T_i είναι η Θερμοκρασία του κρύου νερού.

Ο βαθμός απόδοσης του συλλέκτη με σωλήνες κενού είναι [44]:

$$n = \frac{Q_u}{G \cdot A} \quad (4.8)$$

όπου *G* είναι η προσπίπτουσα ακτινοβολία (*W/m*^{2}) και A είναι η επιφάνεια του συλλέκτη.

Με όμοιο τρόπο, όπως και στον επίπεδο συλλέκτη η σχέση 4.8 γίνεται:

$$n = a_1 - a_2 \cdot \frac{T_i - T_\alpha}{I} \quad (4.9)$$

όπου $F_R(\tau\alpha)_n = a_1$, $F_R U_L = a_2$, F_R είναι ο τροποποιημένος παράγοντας μεταφοράς θερμότητας του συλλέκτη, $\tau\alpha$ είναι η μέση μηνιαία μεταβίβαση- απορρόφηση του συλλέκτη, U_L είναι ο συντελεστής γενικών απωλειών του συλλέκτη, T_i είναι μια εμπειρική θερμοκρασία αναφοράς ίση με 1000C, T_a είναι η μέση μηνιαία περιβαλλοντική θερμοκρασία, n είναι ο αριθμός ημερών του κάθε μήνα και *I* είναι το μηνιαίο συνολικό φορτίο θέρμανσης.

Το κύριο χαρακτηριστικό της εξίσωσης αυτής είναι ότι ο βαθμός απόδοσης εξαρτάται από τις παραμέτρους (a_1 , α_2).

3.2 Οικονομικές παράμετροι

Η οικονομική σκοπιμότητα των επενδύσεων σε ενεργειακά συστήματα εξετάζεται με σύγκριση των βαθμών μακροπρόθεσμης οικονομικής απόδοσης των διαφόρων εναλλακτικών λύσεων (επενδύσεων) για την παραγωγή ηλεκτρικών και θερμικών φορτίων για ίδια κατανάλωση και για εμπορική διάθεση. Οι επενδύσεις σε ενεργειακά συστήματα είναι επομένως οικονομικά σκόπιμες, εάν η μείωση των λειτουργικών δαπανών για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών μπορεί να αποσβέσει το αρχικό κεφάλαιο σε εύλογο χρονικό διάστημα ή αν τα έσοδα από τη διάθεση της παραγόμενης ενέργειας οδηγούν σε κέρδη ικανά να ικανοποιήσουν τους επιχειρηματικούς στόχους του επενδυτή [45].

Σύμφωνα με αυτά που αναφέρθηκαν το πρόγραμμα RETScreen Expert υπολογίζει τα παρακάτω οικονομολογικά στοιχεία:

- Εσωτερικό συντελεστή απόδοσης *(IRR)*, μετά φόρου, μετοχών (%) . Αυτός αντιπροσωπεύει το πραγματικό επιτόκιο που αποδίδεται από τις μετοχές κατά τη διάρκεια του έργου, μετά το φόρο εισοδήματος. Υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τις μετά φόρου ετήσιες ταμειακές ροές και τη διάρκεια ζωής του έργου [46].

- Εσωτερικό συντελεστή απόδοσης *(IRR)*, μετά φόρου, περιουσιακά στοιχεία (%) . Αυτός αντιπροσωπεύει το πραγματικό επιτόκιο που αποδίδεται από τα περιουσιακά στοιχεία κατά τη διάρκεια του έργου, μετά το φόρο εισοδήματος. Υπολογίζεται και αυτός, χρησιμοποιώντας τις μετά φόρου ετήσιες ταμειακές ροές και τη διάρκεια ζωής του έργου [46].

- Χρόνος αποπληρωμής (σε έτη). Αυτός αντιπροσωπεύει τη διάρκεια του χρόνου που χρειάζεται ένα έργο να ανακτήσει το αρχικό του κόστος, έξω από το εισόδημα ή το κέρδος που παράγεται. Ο χρόνος αποπληρωμής δεν μελετάει τη χρονική χρηματική αξία ούτε τον πληθωρισμό από τα κόστη [46].

- Επίτευξη θετικής ταμειακής ροής. Οι αθροιστικές ταμειακές ροές του έργου αντιπροσωπεύουν τις καθαρές προ φόρων ροές αθροισμένες για το χρόνο 0 του έργου. Οι καθαρές προ φόρων ροές είναι οι ετήσιες καθαρές ταμειακές ροές του έργου πριν το φόρο εισοδήματος. Αντιπροσωπεύουν το κατά προσέγγιση ταμειακό άθροισμα το οποίο θα πληρωθεί ή θα εκταμιευτεί κάθε χρόνο καθ’ όλη τη διάρκεια του έργου [46].

- Καθαρή παρούσα αξία *(NPV)*. Είναι η αξία όλων των μελλοντικών ταμειακών ροών στην οποία έχει γίνει έκπτωση, με επιτόκιο προεξόφλησης σε σημερινή τιμή συναλλάγματος. Η *NPV* σχετίζεται με τον εσωτερικό συντελεστή απόδοσης *(IRR)*. Η *NPV* υπολογίζεται από τη διακλάδωση του τέλους του χρόνου 0 με την αρχή του χρόνου 1. Με χρήση της μεθόδου της *NPV*, συγκρίνεται η παρούσα αξία όλων των ταμειακών ροών, με την παρούσα αξία όλων των ταμειακών εκροών που συνδέονται με την επένδυση που μελετάται. Η διαφορά μεταξύ της παρούσας αξίας αυτών των ταμειακών ροών ονομάζεται *NPV* και καθορίζει αν μια επένδυση είναι οικονομικά αποδεκτή ή όχι. Οι θετικές τιμές της *NPV* είναι ένας δείκτης μιας οικονομικά αποδεκτής επένδυσης. Μέσα στο πρόγραμμα η *NPV* υπολογίζεται από την ακόλουθη εξίσωση [47]: $NPV = \sum_n NPV(n)$ (4.10).

  Είναι δηλαδή το άθροισμα των επιμέρους *NPV* για κάθε έτος της επένδυσης και *n* είναι η διάρκεια ζωής του έργου (σε έτη). Σύμφωνα με την προηγούμενη εξίσωση η *NPV(n)* θα είναι [46] , [47]: $NPV(n) = \frac{CSHFL(n)}{(1+i)^n}$ (4.11) και $CSHFL(n) = INC(n) - EXP(n)$ (4.12)

  Όπου $CSHFL(n)$ είναι η ταμειακή ροή για το έτος *n* (Ευρώ), $INC(n)$ είναι τα συνολικά έσοδα ανά έτος (Ευρώ), $EXP(n)$ είναι τα συνολικά έξοδα ανά έτος (Ευρώ), i είναι το ετήσιο πραγματικό επιτόκιο της επένδυσης (%) και *n* είναι η διάρκεια ζωής του έργου (σε έτη).

- Τελική ή μελλοντική αξία *(TV)*. *TV* είναι η αξία που θα έχει σε *n* έτη ένα χρηματικό ποσό *K* που επενδύεται σήμερα με ετήσιο επιτόκιο ανατοκισμού *r*. Υπολογίζεται από τις ακόλουθες εξισώσεις [48]:

Ετήσιος ανατοκισμός : $TV = K \cdot (1 + r)^n$ (4.13)

Όπου $(1 + r)^n$ είναι ο συντελεστής ανατοκισμού για ένα έτος.

Ανατοκισμός συχνότερος από τον ετήσιο: $TV = K \cdot \left(1 + \frac{r}{m}\right)^{n \cdot m}$ (4.14)

όπου *m* είναι οι περίοδοι ανά έτος.

- Συνολικές ετήσιες αποταμιεύσεις και εισόδημα. Αυτές αντιπροσωπεύουν τις ονομαστικές ετήσιες αποταμιεύσεις οι οποίες έχουν την ίδια διάρκεια ζωής και καθαρή παρούσα αξία *(NPV)* με το έργο που μελετάται. Υπολογίζονται χρησιμοποιώντας την *NPV*, το επιτόκιο προεξόφλησης και τη διάρκεια ζωής του έργου [46].
- Αναλογία Οφέλους – Κόστους *(O–K)*. Είναι η αναλογία των καθαρών οφειλών ως προς τα κόστη του έργου. Οι καθαρές οφειλές αντιπροσωπεύουν την

παρούσα αξία του ετήσιου εισοδήματος και των ετήσιων αποταμιεύσεων και το κόστος καθορίζεται ως καθαρή αξία του έργου [46].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Κεφάλαιο 4: Επεξεργασία προβλήματος – Οικονομοτεχνική μελέτη ηλιακών θερμικών εγκαταστάσεων με επίκεντρο τη Κρήτη, την Αθήνα και τη Κοζάνη

4.1 Οικονομοτεχνική μελέτη ηλιακών θερμικών συστημάτων με επίπεδο συλλέκτη

Στο πρώτο στάδιο θα γίνει η οικονομοτεχνική μελέτη των ηλιακών θερμικών συστημάτων με επίπεδο συλλέκτη. Για το σκοπό αυτό θα εξεταστούν διάφορα συστήματα, συγκεκριμένα των εταιρειών Olympic Sun [49] και MALTEZOS ABEE [50] (εικόνα 4.1 και 4.2 αντίστοιχα), με πραγματικά στοιχεία που προήλθαν από τις εταιρείες αυτές. Και για τις δύο εταιρείες θα γίνει μελέτη για ηλιακό θερμικό σύστημα εγκαταστημένο σε κατοικία 4 ατόμων αρχικά για την πόλη των Χανίων. Στη συνέχεια θα επαναληφθεί η ίδια διαδικασία για τις πόλεις της Αθήνας και της Κοζάνης. Τα δεδομένα εισόδου των συστημάτων αυτών στο πρόγραμμα RETScreen Expert παρουσιάζονται στο πίνακα 4.1. Οι πληροφορίες αυτές προήλθαν, όπως αναφέρθηκε πριν, από τις εταιρείες Olympic Sun και Maltezos καθώς και από τη βάση δεδομένων του RETScreen Expert [51], [40]:

Εικόνα 4.1: Ηλιακό θερμικό σύστημα με επίπεδο συλλέκτη της εταιρείας Olympic Sum [49]

Εικόνα 4.2: Ηλιακό θερμικό σύστημα με επίπεδο συλλέκτη της εταιρείας MALTEZOS ABEE [50]

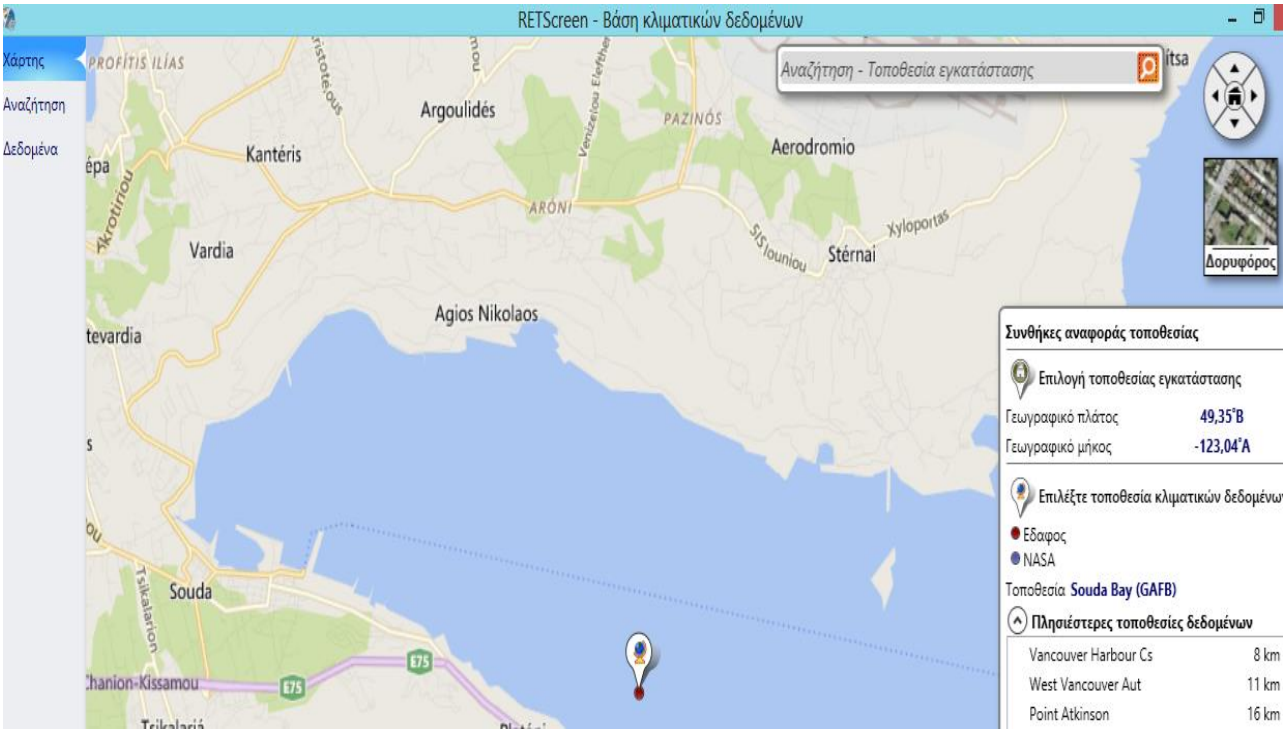
Μοντέλο ηλιακού θερμικού συστήματος	Olympic Sun	Maltezos
Διαστάσεις Επιφάνειας Συλλέκτη (m^2)	4	4,4
Κλίση Συλλέκτη (°)	45	
Συντελεστής, $\boldsymbol{F_R \cdot (\tau\alpha)}$ ($\boldsymbol{Τροποποιημένος\ παράγοντας\ μεταφοράς\ θερμότητας\ συλλέκτη\ \cdot\ μέση\ μηνιαία\ μεταβίβαση - απορρόφηση\ συλλέκτη}$)	0.75	
Συντελεστής, $\boldsymbol{F_R \cdot U_L}$ ($\boldsymbol{Τροποποιημένος\ παράγοντας\ μεταφοράς\ θερμότητας\ συλλέκτη\ \cdot\ συντελεστή\ γενικών\ απωλειών\ συλλέκτη}$) (W/$m^2$) / °C	4.14	
Συντελεστής θερμοκρασίας $\boldsymbol{U_{L/T}}$ για $\boldsymbol{F_R \cdot U_L}$ (W/m^2) / °C^2	0.018	
Χωρητικότητα Δεξαμενής Νερού (Λίτρα)	200	
Αριθμός ατόμων στην κατοικία	4	
Επιθυμητή θερμοκρασία ζεστού νερού (°C)	60	
Κόστος Ηλιακού Θερμοσίφωνα (€) - Χανιά	554	950
Κόστος Ηλιακού Θερμοσίφωνα (€) - Αθήνα	-	710
Κόστος Ηλιακού Θερμοσίφωνα (€) - Κοζάνη	-	940
Κόστος Μεταφοράς – Εγκατάστασης (€) - Χανιά	50	50
Κόστος Μεταφοράς – Εγκατάστασης (€) - Αθήνα	150	50
Κόστος Μεταφοράς – Εγκατάστασης (€) - Κοζάνη	250	50
Χρόνος Λειτουργικής Ζωής Ηλιακού Θερμοσίφωνα (Έτη)	10	
Τιμή Ηλεκτρισμού (€ / KWh)	0.11	

Πίνακας 4.1: Δεδομένα εισόδου στο RETScreen για τα συστήματα με επίπεδο συλλέκτη

Κάνοντας την οικονομοτεχνική μελέτη αρχικά για το μοντέλο της εταιρείας Olympic Sun (για τη πόλη των Χανίων) θα είναι:

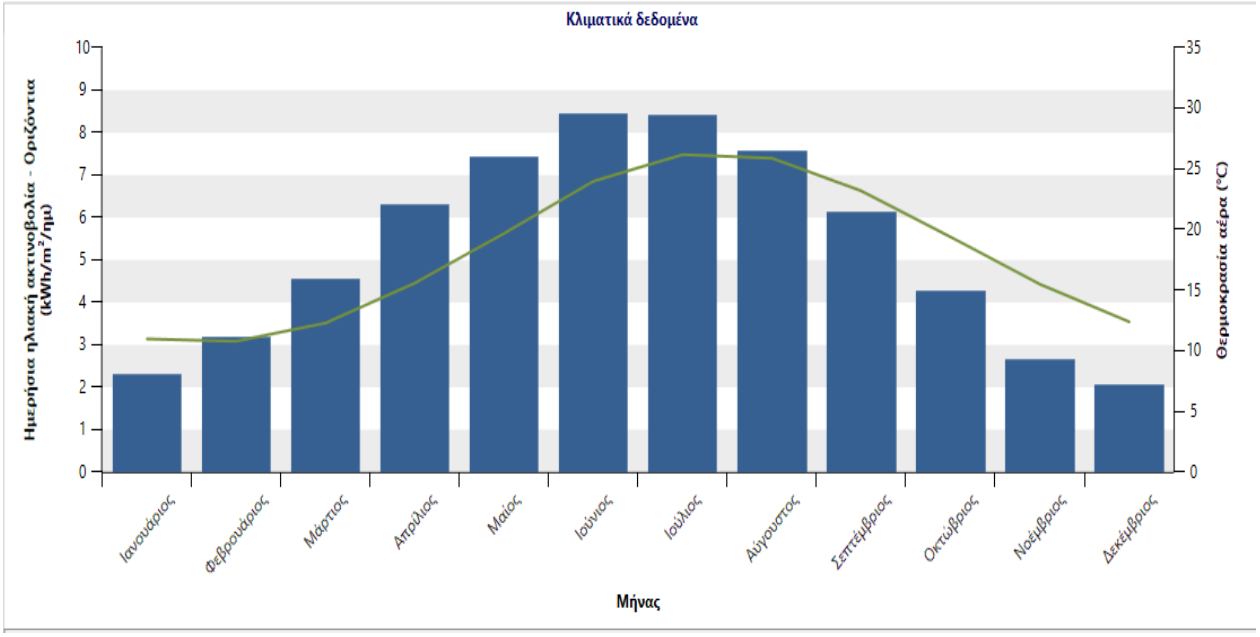
Στο *1ο Φύλλο εργασίας (Τοποθεσία)* εισάγονται τα μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής εγκατάστασης του ηλιακού θερμικού συστήματος, (Εικόνα 4.3).

Εισάγεται ο πλησιέστερος σταθμός παρατήρησης των μετεωρολογικών φαινομένων (θέση μετεωρολογικών δεδομένων είναι ο κόλπος της Σούδας στα Χανιά) και σε πίνακα παρουσιάζονται: το γεωγραφικό μήκος και πλάτος της περιοχής του κόλπου της Σούδας, το υψόμετρο της περιοχής, τη θερμοκρασία θέρμανσης βάσει σχεδιασμού, τη θερμοκρασία ψύξης βάσει σχεδιασμού και το πλάτος του εδάφους. Ακριβώς κάτω από τα εισαγόμενα δεδομένα, το πρόγραμμα έχει υπολογίσει τις μέσες ετήσιες τιμές των μετεωρολογικών παραμέτρων που προαναφέρθηκαν (Εικόνα 4.3).



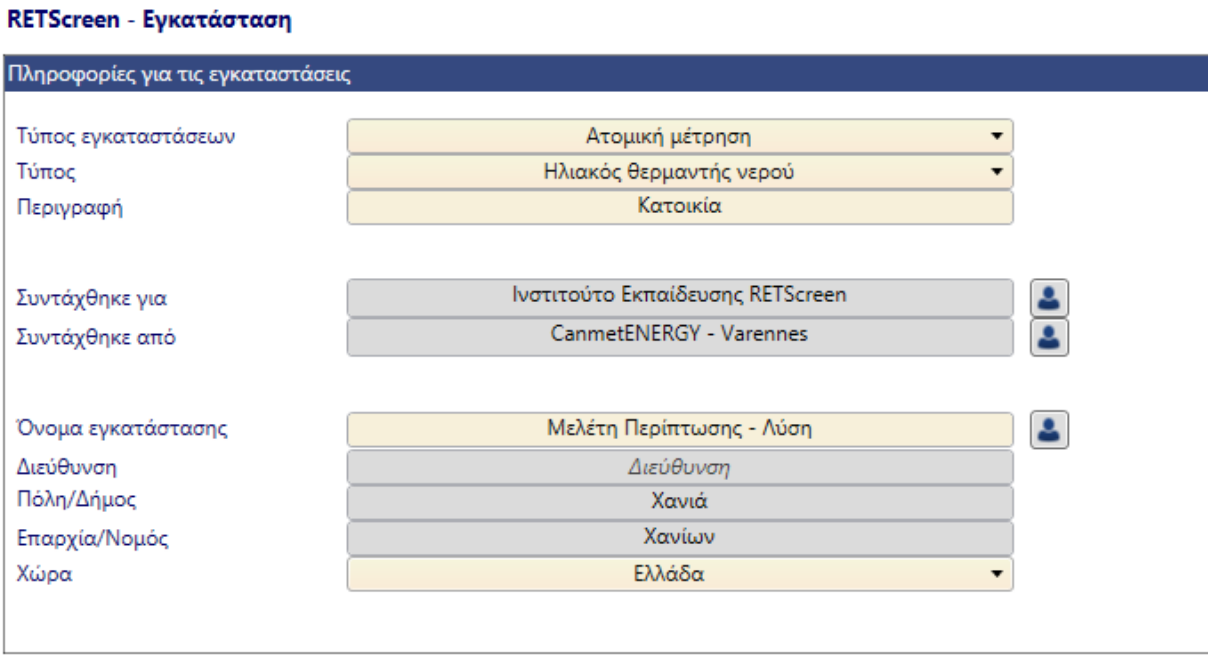
	Μονάδα	Θέση κλιματολογικών δεδομένων	Τοποθεσία εγκατάστασης	Πηγή
Γεωγραφικό πλάτος		35,5	49,3	
Γεωγραφικό μήκος		24,1	-123,0	
Κλιματική ζώνη		3A - Θερμό - Υγρό		Εδαφος+NASA
Υψόμετρο	m	151	219	Εδαφος – Χάρτης
Θερμοκρασία θέρμανσης βάσει σχεδιασμού	°C	5,8		Εδαφος
Θερμοκρασία ψύξης βάσει σχεδιασμού	°C	32,9		Εδαφος
Πλάτος (διακύμανση) θερμοκρασίας εδάφους	°C	9,3		NASA

Μήνας	Θερμοκρασία αέρα	Σχετική υγρασία	Κατακρήμνιση	Ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία - Οριζόντια	Ατμοσφαιρική πίεση	Ταχύτητα ανέμου	Θερμοκρασία εδάφους	Βαθμό-ημέρες θέρμανσης 18 °C	Βαθμο-ημέρες ψύξης 10 °C
	°C	%	mm	kWh/m²/ημ	kPa	m/Δευτερόλεπτ	°C	°C-ημ	°C-ημ
Ιανουάριος	11,0	74,3%	78,15	2,31	101,2	3,7	15,1	217	31
Φεβρουάριος	10,8	72,6%	62,94	3,20	101,1	4,1	14,9	202	22
Μάρτιος	12,3	71,0%	55,84	4,57	101,0	4,0	15,9	177	71
Απρίλιος	15,6	66,0%	29,35	6,30	100,8	3,8	17,9	72	168
Μαίος	19,7	60,8%	19,84	7,45	100,8	3,5	21,2	0	301
Ιούνιος	24,0	53,8%	7,48	8,45	100,7	3,6	24,7	0	420
Ιούλιος	26,2	54,4%	2,64	8,41	100,5	3,4	26,8	0	502
Αύγουστος	25,9	58,3%	2,15	7,58	100,5	3,3	27,3	0	493
Σεπτέμβριος	23,2	63,9%	18,01	6,14	100,8	3,1	25,8	0	396



Εικόνα 4.3: 1ο Φύλλο εργασίας (Τοποθεσία) του RETScreen Expert

Στο *2ο Φύλλο εργασίας (Εγκατάσταση)* εισάγονται το όνομα του έργου και η τοποθεσία του (Εικόνα 4.4):



Εικόνα 4.4: Τοποθεσία εγκατάστασης ηλιακού θερμικού συστήματος

Στο *3ο Φύλλο εργασίας (Ενέργεια)* εισάγονται τα ενεργειακά χαρακτηριστικά του ηλιακού θερμικού συστήματος που μελετάται.

Στην επιλογή «Ηλιακός θερμαντής νερού - Κατοικία» (Εικόνα 4.5) παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά του συστήματος (εφεδρική πηγή ενέργειας και βαθμός απόδοσής της, τύπος και επιφάνεια του συλλέκτη, αριθμός συλλεκτών, χωρητικότητα του δοχείου αποθήκευσης, απόδοση του ηλιακού συστήματος, διάμετρος σωληνώσεων, ποσοστό απωλειών λόγω επικάθισης σκόνης ή χιονιού στην επιφάνεια του συλλέκτη καθώς και ποσοστό απωλειών λόγω των σωληνώσεων ή του δοχείου αποθήκευσης) και επιπλέον η ετήσια εξοικονόμηση ζεστού νερού από τη χρήση του συστήματος.

Ηλιακός θερμαντής νερού

Περιγραφή	Ηλιακός θερμαντής νερού - Κατοικία
Σημείωση	

Ηλιακός θερμαντής νερού

Χαρακτηριστικά φορτίου

Ζεστό νερό		Ζεστό νερό
Θερμοκρασία	°C	60
Θέρμανση	MWh	4.3

Αξιολόγηση πηγών

Λειτουργία παρακολούθησης του ήλιου		Σταθεροποιημένα
Κλίση	°	45
Αζιμούθιο	°	0

Δείξε δεδομένα

Ηλιακός θερμαντής νερού

Τύπος		Υαλοκάλυπτος
Κατασκευαστής		Olympic Sun
Μοντέλο		
Συνολική επιφάνεια ανά ηλιακό συλλέκτη	m^2	2
Επιφάνεια ανοίγματος ανά ηλιακό συλλέκτη	m^2	2
Συντελεστής Fr (τ α)		0.75
Συντελεστής Fr UL	$(W/m^2)/°C$	4.14
Συντελεστής θερμοκρασίας για Fr UL	$(W/m^2)/°C^2$	0.018
Αριθμός συλλεκτών - προτεινόμενος		2
Αριθμός συλλεκτών		2
Επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη	m^2	4
Ισχύς	kW	2.8
Λοιπές απώλειες	%	1%

Ισοζύγιο συστήματος & διάφορα

Αποθήκευση	ναί/όχι	Ναι
Χωρητικότητα αποθήκευσης / επιφάνεια ηλιακ	L/m^2	50
Χωρητικότητα αποθήκευσης	L	200
Εναλλάκτης θερμότητας	ναί/όχι	Ναι
Απόδοση εναλλάκτη θερμότητας	%	85%
Λοιπές απώλειες	%	5%
Ισχύς αντλίας / επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη	W/m^2	8
Τιμή Ηλεκτρισμού	€/kWh	0.11
Αρχικά κόστη	€	554
Κόστη Λειτουργίας & Συντήρησης (εξοικονόμηο	€	

Περίληψη

Ηλεκτρική ζήτηση - αντλία	kWh	53.4
Εξοικονομούμενη ενέργεια	MWh	3.5
Ηλιακός λόγος	%	81.8%

Εικόνα 4.5: Ενεργειακά χαρακτηριστικά ηλιακού θερμικού συστήματος που μελετάται

Ακολουθούν ο αριθμός των ατόμων στην κατοικία, η ημερήσια κατανάλωση, η επιθυμητή θερμοκρασία του παραγόμενου ζεστού νερού και η μέγιστη ετήσια παραγόμενη θερμική ενέργεια του συστήματος (Εικόνα 4.6).

		Βασική περίπτωση	Προτεινόμενη περίπτωση	Εξοικονομούμενη ενέργεια
☑ **Τύπος φορτίου - αριθμομηχανή**		Κατοικία		
Αριθμός μονάδων	Κάτοικος	4		
Ποσοστό κατοίκησης	%	100%		
Ημερήσια κατανάλωση ζεστού νερού - εκτίμηση	L/ημ	240		
Χρήση ζεστού νερού	L/ημ	240	240	
Θερμοκρασία	°C	60	60	
Μέθοδος θερμοκρασίας παροχής		Τύπος		
Θερμοκρασία νερού - ελάχιστη	°C	15,5		
Θερμοκρασία νερού - μέγιστη	°C	20,9		
Ώρες λειτουργίας	ώρες/ημ	24	24	
Απόδοση ανάκτησης θερμότητας	%			
☐ **Ποσοστό χρήσης μήνα**				
Αύξηση αρχικού κόστους	€			
Αύξηση αρχικού κόστους - αλλο	€			
Αύξηση αρχικού κόστους - Σύνολο	€		0	
Οικονομία Λ & Σ	€			
Σύστημα θέρμανσης		Σύστημα θέρμανσης	Σύστημα θέρμανσης	
Θέρμανση	MWh	4,3	4,3	0
				0%

Εικόνα 4.6: Αριθμός των ατόμων στην κατοικία, ημερήσια κατανάλωση, επιθυμητή θερμοκρασία παραγόμενου ζεστού νερού και μέγιστη ετήσια παραγόμενη θερμική ενέργεια του συστήματος

Στο *4ο Φύλλο εργασίας (Ανάλυση Κόστους)* εισάγονται όλα τα κόστη της εγκατάστασης (Εικόνα 4.7).

Στον πρώτο πίνακα αυτού του φύλλου *(Αρχικό κόστος (πιστώσεις))* εισάγονται οι τιμές προς τις οποίες πωλούνται τα μέρη του ηλιακού συστήματος (ηλιακός συλλέκτης, δοχείο αποθήκευσης, σωληνώσεις), καθώς και το κόστος της μεταφοράς και εγκατάστασης του συστήματος. Με βάση αυτά τα δεδομένα το πρόγραμμα υπολογίζει το συνολικό κόστος του ηλιακού συστήματος.

Στον δεύτερο πίνακα *(Ετήσια κόστη (πιστώσεις))* εισάγεται το ετήσιο κόστος συντήρησης του ηλιακού συστήματος το οποίο είναι μηδέν γιατί δεν γίνεται συντήρηση τέτοιων συστημάτων που είναι εγκατεστημένα σε κατοικίες στην Ελλάδα.

RETScreen - Ανάλυση Κόστους — **Συνδρομητής: Πρόγραμμα προβολής**

Αρχικό κόστος (πιστώσεις)	Μονάδα	Ποσότητα	Μονάδα κόστους		Ποσό
Αύξηση αρχικού κόστους				€	554
Δείξε δεδομένα					
Οριζόμενο από τον χρήστη	κόστος	1	€ 50	€	50
Συνολικά αρχικά κόστη				**€**	**604**

Ετήσια κόστη (πιστώσεις)	Μονάδα	Ποσότητα	Μονάδα κόστους		Ποσό
Κόστη Λειτουργίας & Συντήρησης (εξοικονόμηση)	έργο			€	0
Δείξε δεδομένα					
Κόστος καυσίμου - προτεινόμενη περίπτωση				€	39.21
Οριζόμενο από τον χρήστη	κόστος			€	-
Συνολικά ετήσια κόστη				**€**	**39.21**

Ετήσια εξοικονόμηση	Μονάδα	Ποσότητα	Μονάδα κόστους		Ποσό
Κόστος καυσίμου - βασική περίπτωση				€	184
Οριζόμενο από τον χρήστη	κόστος			€	-
Συνολική ετήσια εξοικονόμηση				**€**	**184**

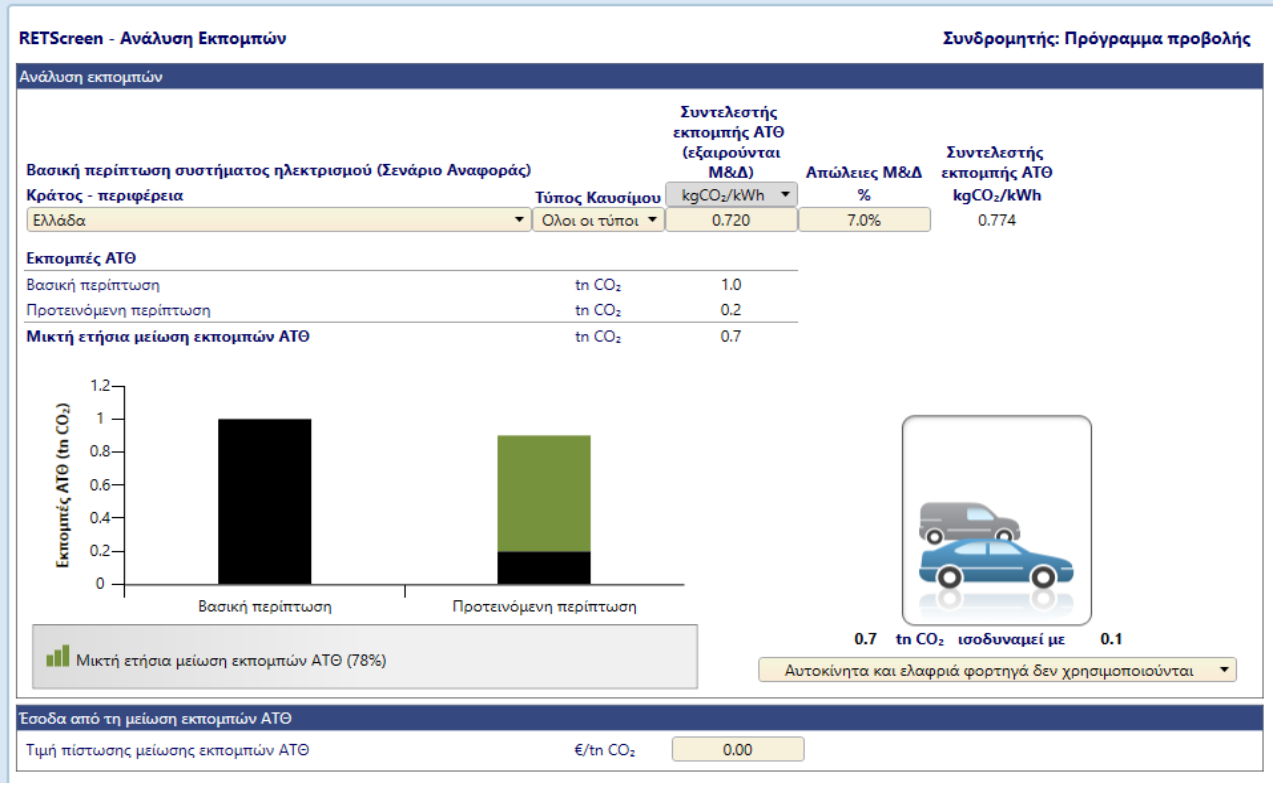
Εικόνα 4.7: 4ο Φύλλο εργασίας (Ανάλυση Κόστους) του RETScreen Expert

Στο *5ο Φύλλο εργασίας (Ανάλυση Εκπομπών)* εισάγονται δεδομένα όσον αφορά την εφεδρική πηγή ενέργειας (ηλεκτρική). Σε αυτό το φύλλο γίνεται ανάλυση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου από τη χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας σε tn CO_2 (Εικόνα 4.8).

Στην πρώτη σειρά *(Βασική περίπτωση συστήματος ηλεκτρισμού)* εισάγεται το μίγμα καυσίμων που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο Ελληνικό Ενεργειακό Σύστημα.

Στη δεύτερη σειρά *(Εκπομπές ΑΤΘ)* το πρόγραμμα υπολογίζει τον βασικό παράγοντα εκπομπής αερίων που συμβάλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, αλλά αυτή τη φορά για την ηλιακή ενέργεια.

Στην τρίτη σειρά *(Μικτή ετήσια μείωση εκπομπών ΑΤΘ)* το πρόγραμμα υπολογίζει την μείωση των εκπομπών αερίων που συμβάλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου σε ετήσιο επίπεδο.



Εικόνα 4.8: 5ο Φύλλο εργασίας (Ανάλυση Εκπομπών) του RETScreen Expert

Στο *6ο Φύλλο εργασίας (Οικονομική Ανάλυση)* εισάγονται τα οικονομολογικά στοιχεία που καθορίζονται από το κράτος (Εικόνα 4.9).

Στον πρώτο πίνακα *(Οικονομικοί Παράμετροι)* εισάγονται ο κυλιόμενος φόρος κόστους καυσίμου, η τιμή πληθωρισμού, το επιτόκιο αναγωγής και η διάρκεια ζωής του έργου.

Στον δεύτερο πίνακα *(Ετήσια έσοδα)* εισάγονται τα έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας: τα έσοδα από τη μείωση εκπομπών ΑΤΘ, τα έσοδα από άλλα εισοδήματα και τα έσοδα παραγωγής καθαρής ενέργειας (ΚΕ).

Στον τρίτο πίνακα *(Κόστος/Αποθηκεύσεις/έσοδο)* εμφανίζεται το κόστος του ηλιακού συστήματος, το περιοδικό και ετήσιο κόστος συντήρησής του και το ετήσιο πλεόνασμα εσόδων.

Στον τέταρτο πίνακα *(Οικονομική Βιωσιμότητα)* το πρόγραμμα εμφανίζει τα αποτελέσματα αυτών των δεδομένων (δείκτες IRR και μετοχών – περιουσιακών στοιχείων προ και μετά φόρων, το χρόνο αποπληρωμής του συστήματος, το χρονικό διάστημα που χρειάζεται μέχρι να επιτευχθεί θετική ταμειακή ροή, τη καθαρή παρούσα αξία του συστήματος, το ετήσιο πλεόνασμα εσόδων και το δείκτη που αντιπροσωπεύει το λόγο οφέλους- κόστους. Στην προκειμένη περίπτωση έχουν εισαχθεί τα κόστη για τα επιμέρους τμήματα του ηλιακού συστήματος μετά φόρου, γι' αυτό και παρατηρούνται κοινές τιμές για τους δείκτες IRR και μετοχών – περιουσιακών στοιχείων προ και μετά φόρων.

Στον πέμπτο πίνακα *(Ετήσια χρηματοροή)* παρουσιάζονται ανά χρόνο οι αθροιστικές ταμειακές ροές του ηλιακού θερμικού συστήματος μέχρι το πέρας της ζωής του. Με βάση αυτά τα αποτελέσματα προκύπτει το γράφημα που ακολουθεί στο κάτω μέρος της εικόνας *(Ετήσια χρηματοροή)*.

RETScreen - Οικονομική Ανάλυση — **Συνδρομητής: Πρόγραμμα προβολής**

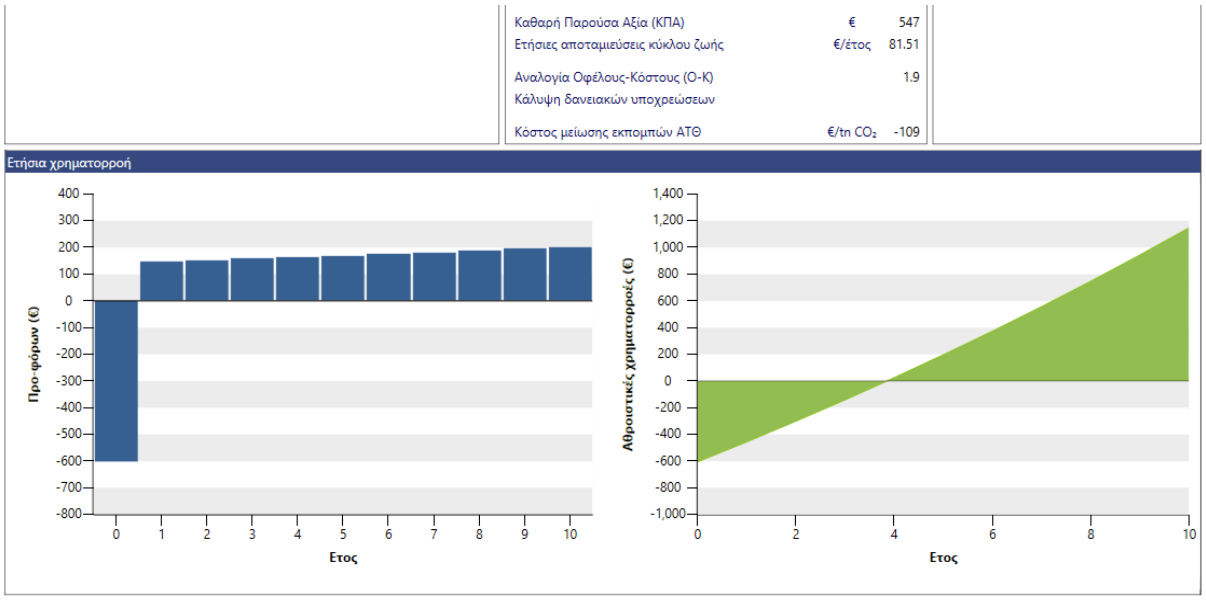
Οικονομικοί Παράμετροι		
Γενικά		
Κυλιόμενος φόρος κόστους καυσίμου	%	3.5%
Τιμή πληθωρισμού	%	2.2%
Επιτόκιο αναγωγής	%	8%
Ποσοστό επανεπένδυσης	%	9%
Διάρκεια ζωής έργου	έτος	10
Χρηματοδότηση		
Κίνητρα και επιχορηγήσεις	€	
Τοκοχρεολύσιο	%	
Ανάλυση φόρου εισοδήματος		☐

Κόστος | Αποθηκεύσεις | Έσοδο			
Αρχικά κόστη			
Αύξηση αρχικού κόστους	91.7%	€	554
Οριζόμενο από τον χρήστη	8.3%	€	50
Συνολικά αρχικά κόστη	**100%**	**€**	**604**
Ετήσια χρηματορροή - Ετος 1			
Ετήσια κόστη και πληρωμές χρέους			
Κόστη Λειτουργίας & Συντήρησης (εξοικονόμηση)		€	0
Κόστος καυσίμου - προτεινόμενη περίπτωση		€	39
Πληρωμές χρέους		€	0
Συνολικά ετήσια κόστη		**€**	**39**
Ετήσιες αποταμιεύσεις και έσοδα			
Κόστος καυσίμου - βασική περίπτωση		€	184
Έσοδα από τη μείωση εκπομπών ΑΤΘ		€	0
Λοιπά έσοδα (έξοδα)		€	0
Συνολικές ετήσιες αποταμιεύσεις και έσοδα		**€**	**184**
Καθαρή ετήσια ταμειακή ροή - Ετος 1		**€**	**144**

Ετήσια χρηματορροή		
Ετος	**Προ-φόρων**	**Αθροιστικά**
#	**€**	**€**
0	-604	-604
1	149	-455
2	155	-300
3	160	-140
4	166	25.82
5	171	197
6	177	375
7	184	558
8	190	749
9	197	945
10	204	1,149

Ετήσια έσοδα		
Έσοδα από τη μείωση εκπομπών ΑΤΘ		
Μικτή μείωση ΑΤΘ	tn CO_2/έτος	1
Μικτή μείωση ΑΤΘ - 10 έτη	tn CO_2	7
Έσοδα από τη μείωση εκπομπών ΑΤΘ	€	0
Λοιπά έσοδα (έξοδα)		☐

Οικονομική Βιωσιμότητα		
(IRR) προ φόρου - μετοχές	%	24.3%
MIRR προ φόρου - μετοχές	%	15.7%
(IRR) προ φόρου - περιουσιακά στοιχεία	%	24.3%
MIRR προ φόρου - περιουσιακά στοιχεία	%	15.7%
Απλή αποπληρωμή	έτος	4.2
Αποπληρωμή Μετοχών	έτος	3.8



Εικόνα 4.9: 5ο Φύλλο εργασίας (Οικονομική Ανάλυση) του RETScreen Expert

Στην συνέχεια θα γίνουν ακριβώς τα ίδια βήματα για Αθήνα και Κοζάνη αντίστοιχα. Τα τελικά αποτελέσματα συγκεντρώνονται σε 2 πίνακες (για τις 3 διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές της Ελλάδας και για τα 2 ηλιακά θερμικά συστήματα με επίπεδο συλλέκτη: δηλαδή για το σύστημα της εταιρείας Olympic Sun και το σύστημα της εταιρείας MALTEZOS ABEE).

Έτσι, προκύπτει αρχικά ο πίνακας 4.2 που περιέχει *την ενέργεια χρήσης όλων των θερμικών συστημάτων με επίπεδο συλλέκτη που μελετήθηκαν* καθώς και το *βασικό παράγοντα εκπομπής αερίων* που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και για τις τρεις περιοχές της Ελλάδος.

Πίνακας 4.2: Ενέργεια χρήσης όλων των θερμικών συστημάτων με επίπεδο συλλέκτη που μελετήθηκαν καθώς και βασικός παράγοντας εκπομπής αερίων που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου για 3 γεωγραφικές ζώνες της Ελλάδος

Ενέργεια -Εκπομπές	Τύπος Συστήματος	Ετήσια παροχή ανανεώσιμης ενέργειας (MWh)	Βασικός παράγοντας εκπομπής (tn CO2)	Προτεινόμενος παράγοντας εκπομπής (tn CO2)	Ετήσια μείωση εκπομπών που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου (tn CO2)
Χανιά	Olympic Sun	3.5	1.0	0.22	0.78
	Maltezos	3.7	1.0	0.19	0.81
Αθήνα	Olympic Sun	3.0	1.0	0.36	0.64
	Maltezos	3.1	1.0	0.32	0.68
Κοζάνη	Olympic Sun	2.9	1.1	0.55	0.55
	Maltezos	3.1	1.1	0.51	0.59

Από τον πίνακα αυτόν παρατηρείται ότι η θερμική ενέργεια που παράγεται από το σύστημα της εταιρείας Olympic Sun είναι μικρότερη σε σχέση με την αντίστοιχη θερμική ενέργεια που παράγεται από το σύστημα της εταιρείας Maltezos. Αντίστοιχα η *Ετήσια μείωση εκπομπών που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου (tn CO2)* του ίδιου συστήματος είναι μικρότερη σε σχέση με το δεύτερο σύστημα. Μεγαλύτερη παραγωγή θερμικής ενέργειας καθώς και ετήσια μείωση αερίων εκπομπών παρατηρείται στη πόλη των Χανίων και αυτό είναι λογικό λόγω της μεγαλύτερης ηλιοφάνειας της περιοχής της Κρήτης ενώ η μικρότερη παραγωγή θερμικής ενέργειας και ετήσια μείωση αερίων εκπομπών παρατηρείται στη περιοχή της Κοζάνης λόγω φυσικά της μικρότερης ηλιοφάνειας που υπάρχει στη συγκεκριμένη περιοχή.

Έπειτα για την οικονομική ανάλυση των συστημάτων αυτών δημιουργείται ο πίνακας 4.3 που περιέχει τους *οικονομικούς συντελεστές όλων των θερμικών συστημάτων* με επίπεδο συλλέκτη που μελετήθηκαν και για τις τρεις περιοχές της Ελλάδος. Ο πίνακας αυτός περιέχει το *ολικό κόστος* των συστημάτων αυτών και το *πλεόνασμα εσόδων* τους.

Πίνακας 4.3: Οικονομικοί συντελεστές όλων των θερμικών συστημάτων με επίπεδο συλλέκτη που μελετήθηκαν για τρεις γεωγραφικές ζώνες της Ελλάδος

Οικονομική Ανάλυση	Τύπος Συστήματος	Μετά-φόρου-μετοχές, περιουσιακά στοιχεία (%)	Απλή αποπληρωμή (Έτη)	Αποπληρωμή Μετοχών (Έτη)	Καθαρή Παρούσα Αξία (Ευρώ)	Ετήσιες αποταμιεύσεις κύκλου ζωής (Ευρώ/έτος)	Αναλογία Οφέλους-Κόστους (Ο-Κ)
Χανιά	Olympic Sun	15.7	4.2	3.8	547	81.51	1.9
	Maltezos	10.5	6.6	5.9	204	30.38	1.2
Αθήνα	Olympic Sun	12	5.8	5.2	263	39.19	1.4
	Maltezos	11.7	5.9	5.3	261	38.89	1.3
Κοζάνη	Olympic Sun	10.3	6.7	6.0	146	21.71	1.2
	Maltezos	8.7	7.9	6.8	21.29	3.17	1.0

Στον πίνακα αυτόν, γίνεται σύγκριση των *οικονομολογικών στοιχείων (ολικό κόστος θερμικών συστημάτων και πλεόνασμα εσόδων τους)* όλων των ηλιακών θερμικών συστημάτων με επίπεδο συλλέκτη που μελετήθηκαν. Από τον πίνακα 4.3 προκύπτει ότι το σύστημα με την μεγαλύτερη *Καθαρή Παρούσα αξία* είναι το θερμικό σύστημα της εταιρείας Olympic Sun το οποίο είναι τοποθετημένο σε οικία 4 ατόμων στη πόλη των Χανίων. Το σύστημα με τη μικρότερη *Καθαρή Παρούσα αξία* είναι το σύστημα της εταιρείας Maltezos το οποίο είναι τοποθετημένο σε οικία 4 ατόμων στη πόλη της Κοζάνης.

Επίσης παρατηρείται ότι ο *χρόνος απόσβεσης (Απλή αποπληρωμή)* είναι μικρότερος για το πρώτο σύστημα και πολύ μεγαλύτερος για το δεύτερο σύστημα. Επιπρόσθετα *το χρονικό διάστημα που απαιτείται έτσι ώστε ο ιδιοκτήτης του ηλιακού συστήματος να αποζημιωθεί για την αρχική επένδυση αγοράς του (Αποπληρωμή Μετοχών* είναι μικρότερος για το πρώτο σύστημα και μεγαλύτερος για το τελευταίο. Αυτό οφείλεται στο ότι το δεύτερο σύστημα κοστίζει περισσότερο σε σχέση με το πρώτο και επιπλέον έχει μικρότερη απόδοση λειτουργίας στη περιοχή της Κοζάνης λόγω της μικρότερης ηλιοφάνειας της περιοχής.

Ομοίως, οι *Ετήσιες αποταμιεύσεις κύκλου ζωής* είναι μεγαλύτερες για το πρώτο σύστημα και μικρότερες για το τελευταίο. Τέλος η *Αναλογία Οφέλους-Κόστους* αποτελεί ένα ακόμα δείκτη αξιολόγησης των ηλιακών θερμικών συστημάτων που μελετώνται. Αν ο δείκτης αυτός είναι μεγαλύτερος της μονάδας, όπως συμβαίνει στα θερμικά συστήματα της παρούσας μελέτης, τότε η επένδυση είναι προσοδοφόρα. Παρατηρείται ότι η μεγαλύτερη τιμή του δείκτη αυτού παρουσιάζεται για το θερμικό σύστημα της εταιρείας Olympic Sun που είναι εγκατεστημένο στα Χανιά και η μικρότερη για το σύστημα της εταιρείας Maltezos το οποίο είναι τοποθετημένο σε οικία 4 ατόμων στη πόλη της Κοζάνης. Για τη δεύτερη περίπτωση η τιμή του δείκτη *Αναλογία Οφέλους-Κόστους* είναι οριακά στη μονάδα γεγονός που σημαίνει ότι η επένδυση αγοράς του δεύτερου συστήματος για τη πόλη της Κοζάνης δεν είναι προσοδοφόρα. Αυτό οφείλεται στο ότι το πρώτο σύστημα έχει μικρότερη τιμή σε σχέση με το δεύτερο και επιπλέον είναι τοποθετημένο σε γεωγραφική περιοχή με μεγαλύτερη ηλιοφάνεια.

Γενικά, όπως προκύπτει και από τους δύο πίνακες (4.2 και 4.3) τα ηλιακά θερμικά συστήματα με επίπεδο συλλέκτη έχουν καλύτερη απόδοση στη πόλη των Χανίων σε σχέση με τη Κοζάνη.

4.2 Οικονομοτεχνική μελέτη ηλιακών θερμικών συστημάτων με συλλέκτη σωλήνων κενού

Για την οικονομοτεχνική μελέτη των ηλιακών θερμικών συστημάτων με συλλέκτη σωλήνων κενού θα εξεταστεί το σύστημα της εταιρείας CALPAK [39] 200/16VTS (εικόνα 4.10) με στοιχεία που προέκυψαν από τη βάση δεδομένων του RETScreen Expert [40] καθώς και από την ίδια την εταιρεία [39], μελετώντας πάλι την περίπτωση εγκατάστασης σε κατοικία 4 ατόμων στις πόλεις των Χανίων, Αθήνας και Κοζάνης αντίστοιχα.

Εικόνα 4.10: Ηλιακό θερμικό σύστημα με συλλέκτη σωλήνων κενού και συμμετρικούς παραβολικούς ανακλαστήρες CPC (200/16VTS) της εταιρείας CALPAK [39]

Τα δεδομένα εισόδου του συγκεκριμένου συστήματος στο πρόγραμμα RETScreen Expert παρουσιάζονται στο πίνακα 4.4:

Πίνακας 4.4: Δεδομένα εισόδου στο RETScreen για το σύστημα με συλλέκτη σωλήνων κενού

Διαστάσεις Επιφάνειας Συλλέκτη (m^2)	2,83
Κλίση Συλλέκτη (°)	45
Συντελεστής, $\boldsymbol{F_R \cdot (\tau\alpha)}$ ($\boldsymbol{Τροποποιημένος\ παράγοντας\ μεταφοράς\ θερμότητας\ συλλέκτη \cdot μέση\ μηνιαία\ μεταβίβαση - απορρόφηση\ συλλέκτη}$)	0.54
Συντελεστής, $\boldsymbol{F_R \cdot U_L}$ ($\boldsymbol{Τροποποιημένος\ παράγοντας\ μεταφοράς\ θερμότητας\ συλλέκτη \cdot συντελεστή\ γενικών\ απωλειών\ συλλέκτη}$) (W/$m^2$) / °C	1.73
Χωρητικότητα Δεξαμενής Νερού (Λίτρα)	200
Αριθμός ατόμων στην κατοικία	4
Επιθυμητή θερμοκρασία ζεστού νερού (°C)	60
Κόστος Ηλιακού Θερμοσίφωνα (€) - Αθήνα	1398

Κόστος Μεταφοράς – Εγκατάστασης (€) - Χανιά	150
Κόστος Μεταφοράς – Εγκατάστασης (€) - Αθήνα	50
Κόστος Μεταφοράς – Εγκατάστασης (€) - Κοζάνη	100
Χρόνος Λειτουργικής Ζωής Ηλιακού Θερμοσίφωνα (Έτη)	15
Τιμή Ηλεκτρισμού (€ / KWh)	0.11

Η διαδικασία που έγινε στο κεφάλαιο 4.1 θα επαναληφθεί για το ηλιακό θερμικό σύστημα με συλλέκτη σωλήνων κενού (και για τις τρεις πόλεις της Ελλάδος) στο πρόγραμμα RETScreen Expert. Έτσι προκύπτει αρχικά ο πίνακας 4.5 που περιέχει *την ενέργεια χρήσης του συστήματος που μελετήθηκε* καθώς και το *βασικό παράγοντα εκπομπής αερίων* που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Πίνακας 4.5: Ενέργεια χρήσης του θερμικού συστήματος με συλλέκτη σωλήνων κενού που μελετήθηκε καθώς και βασικός παράγοντας εκπομπής αερίων που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου για τρεις γεωγραφικές ζώνες της Ελλάδος

Ενέργεια -Εκπομπές	Τύπος Συστήματος	Ετήσια παροχή ανανεώσιμης ενέργειας (MWh)	Βασικός παράγοντας εκπομπής (tn CO2)	Προτεινόμενος παράγοντας εκπομπής (tn CO2)	Ετήσια μείωση εκπομπών που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου (tn CO2)
Χανιά	200/16VTS	4.1	1.0	0.12	0.88
Αθήνα	200/16VTS	3.7	1.0	0.22	0.78
Κοζάνη	200/16VTS	3.6	1.1	0.44	0.66

Από τον πίνακα αυτό παρατηρείται και γι' αυτό το σύστημα, ότι η *Ετήσια παροχή ανανεώσιμης ενέργειας (MWh)* είναι μεγαλύτερη για τη περιοχή των Χανίων καθώς επίσης και η *Ετήσια μείωση εκπομπών που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου (tn CO2)* ενώ τα μεγέθη αυτά είναι μικρότερα για τη περιοχή της Κοζάνης λόγω της μικρότερης ηλιοφάνειας που έχει σε σχέση με τα Χανιά.

Έπειτα για την οικονομική ανάλυση του συγκεκριμένου συστήματος δημιουργείται ο πίνακας 4.6 που περιέχει τους *οικονομικούς συντελεστές του* για τις τρεις γεωγραφικές περιοχές της Ελλάδος (Χανιά, Αθήνα και Κοζάνη). Ο πίνακας αυτός περιέχει το *ολικό κόστος* του συστήματος αυτού και το *πλεόνασμα εσόδων* του.

Πίνακας 4.6: Οικονομικοί συντελεστές του συστήματος με συλλέκτη σωλήνων κενού για τρεις γεωγραφικές ζώνες της Ελλάδος

Οικονομική Ανάλυση	Τύπος Συστήματος	Μετά-φόρου-μετοχές, περιουσιακά στοιχεία (%)	Απλή αποπληρωμή (Έτη)	Αποπληρωμή Μετοχών (Έτη)	Καθαρή Παρούσα Αξία (Ευρώ)	Ετήσιες αποταμιεύσεις κύκλου ζωής (Ευρώ/έτος)	Αναλογία Οφέλους-Κόστους (Ο-Κ)
Χανιά	200/16VTS	9.6	9.4	8.0	240	28.06	1.2
Αθήνα	200/16VTS	9.2	9.8	8.4	148	17.27	1.1
Κοζάνη	200/16VTS	8.8	10.4	8.8	62.33	7.28	1.0

Στον πίνακα αυτόν, γίνεται σύγκριση των *οικονομολογικών στοιχείων (ολικό κόστος θερμικού συστήματος και πλεόνασμα εσόδων του)* του συγκεκριμένου συστήματος που μελετήθηκε. Από τον πίνακα 4.6 προκύπτει ότι μεγαλύτερη *Καθαρή Παρούσα αξία* έχει το θερμικό σύστημα 200/16VTS το οποίο είναι τοποθετημένο σε οικία 4 ατόμων στη πόλη των Χανίων. Το σύστημα με την μικρότερη *Καθαρή Παρούσα αξία* είναι το σύστημα που είναι τοποθετημένο σε οικία 4 ατόμων στη πόλη της Κοζάνης. Επίσης παρατηρείται ότι ο *χρόνος απόσβεσης (Απλή αποπληρωμή)* είναι μικρότερος για το πρώτο σύστημα και πολύ μεγαλύτερος για το δεύτερο. Επιπρόσθετα *το χρονικό διάστημα που απαιτείται έτσι ώστε ο ιδιοκτήτης του ηλιακού θερμικού συστήματος να αποζημιωθεί για την αρχική επένδυση αγοράς του (Αποπληρωμή Μετοχών* είναι μικρότερος για την περιοχή των Χανίων και μεγαλύτερος για τη περιοχή της Κοζάνης. Αυτό οφείλεται στο ότι το σύστημα που έχει τοποθετηθεί στα Χανιά έχει μεγαλύτερη απόδοση λειτουργίας σε σχέση με το δεύτερο.

Ομοίως οι *Ετήσιες αποταμιεύσεις κύκλου ζωής* είναι μεγαλύτερες για το πρώτο σύστημα και μικρότερες για το δεύτερο. Τέλος η *Αναλογία Οφέλους-Κόστους* αποτελεί έναν ακόμα δείκτη αξιολόγησης του ηλιακού θερμικού συστήματος που μελετάται. Αν ο δείκτης αυτός είναι μεγαλύτερος της μονάδας τότε η επένδυση είναι προσοδοφόρα. Παρατηρείται ότι η μεγαλύτερη τιμή του δείκτη αυτού παρουσιάζεται για το θερμικό σύστημα 200/16VTS που βρίσκεται στα Χανιά και η μικρότερη για το σύστημα το οποίο είναι τοποθετημένο στη πόλη της Κοζάνης η οποία έχει τη μικρότερη ηλιοφάνεια Μάλιστα για το δεύτερο σύστημα η τιμή του δείκτη αυτού είναι οριακά στη μονάδα το οποίο σημαίνει ότι η αγορά και εγκατάσταση του συγκεκριμένου συστήματος στη πόλη της Κοζάνης δεν είναι προσοδοφόρα.

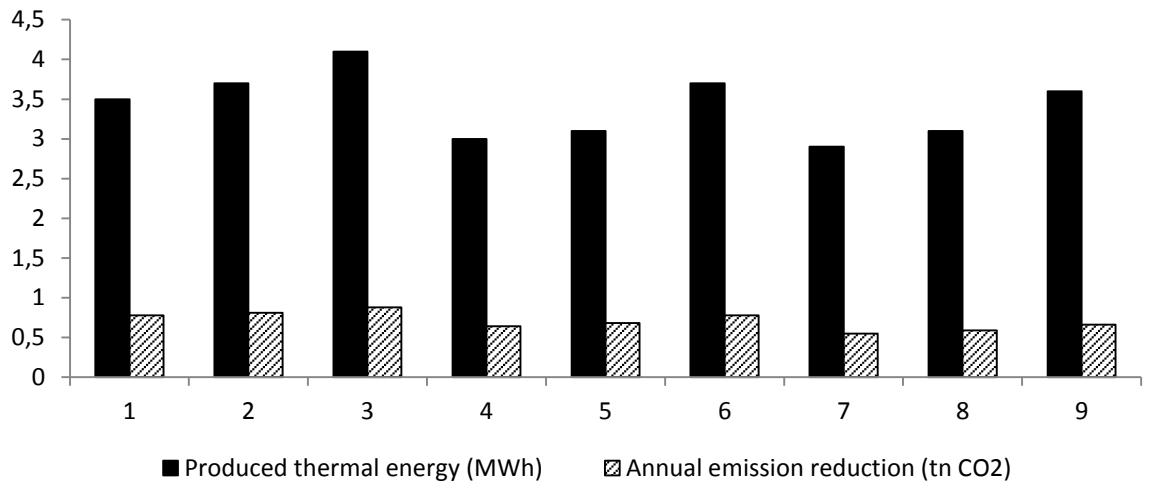
Γενικά, τα θερμικά συστήματα με συλλέκτη σωλήνων κενού εμφανίζουν μικρότερους δείκτες στα οικονομολογικά χαρακτηριστικά τους επειδή έχουν πολύ υψηλή τιμή αγοράς παρόλο που έχουν καλύτερη θερμική απόδοση σε σχέση με τα συνήθη θερμικά συστήματα με επίπεδο συλλέκτη. Επιπλέον, πρέπει να σημειωθεί ότι (αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 2.3), στις περιοχές με μεγάλη ηλιοφάνεια (όπως η περιοχή της Κρήτης) τα συστήματα με επίπεδο συλλέκτη αποδεικνύονται καλύτερα από τα συστήματα με σωλήνες κενού. Και αυτό, όπως ειπώθηκε (κεφάλαιο 2.3), οφείλεται στο ότι 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 δηλαδή πολύ υψηλές θερμοκρασίες (έως 130 ^{o}C) στην δεξαμενή του νερού 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 έχει καλύτερη απόδοση σε περιοχές που ανήκουν σε ψυχρότερες κλιματικές ζώνες.

4.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων

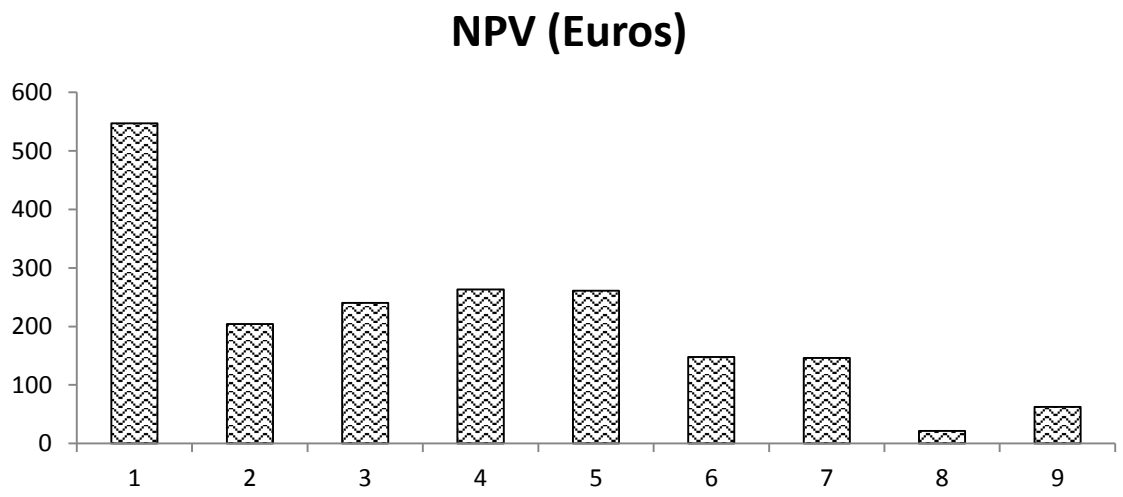
Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα των κεφαλαίων 4.1 και 4.2 προκύπτουν τα συγκριτικά διαγράμματα 4.1, 4.2 4.3 και 4.4 αντίστοιχα για τα συστήματα με επίπεδο συλλέκτη και με συλλέκτη σωλήνων κενού και για τις τρεις πόλεις της Ελλάδος. Για να γίνει ευκολότερη η κατασκευή των διαγραμμάτων σε κάθε σύστημα θα δοθεί μια αριθμητική ονομασία σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 4.7: Αριθμητική ονομασία όλων των ηλιακών θερμικών συστημάτων που μελετήθηκαν για τρεις γεωγραφικές ζώνες της Ελλάδος

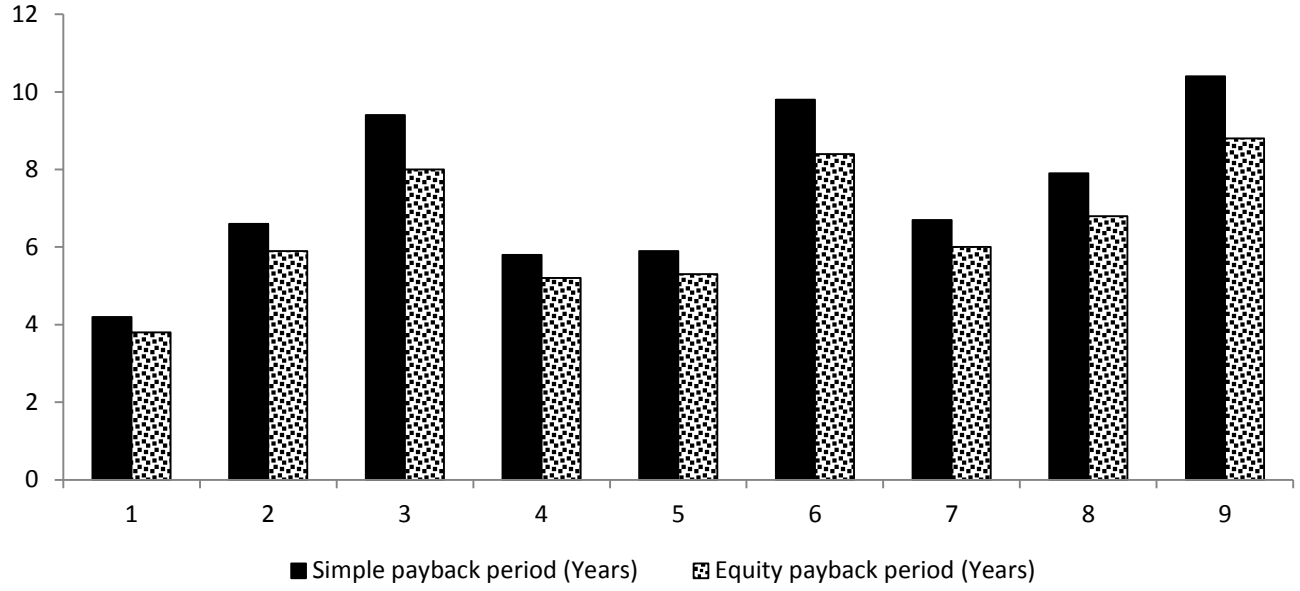
	Τύπος Συστήματος	Αριθμητική ονομασία
Χανιά	Olympic Sun	1
	Maltezos	2
	200/16VTS	3
Αθήνα	Olympic Sun	4
	Maltezos	5
	200/16VTS	6
Κοζάνη	Olympic Sun	7
	Maltezos	8
	200/16VTS	9



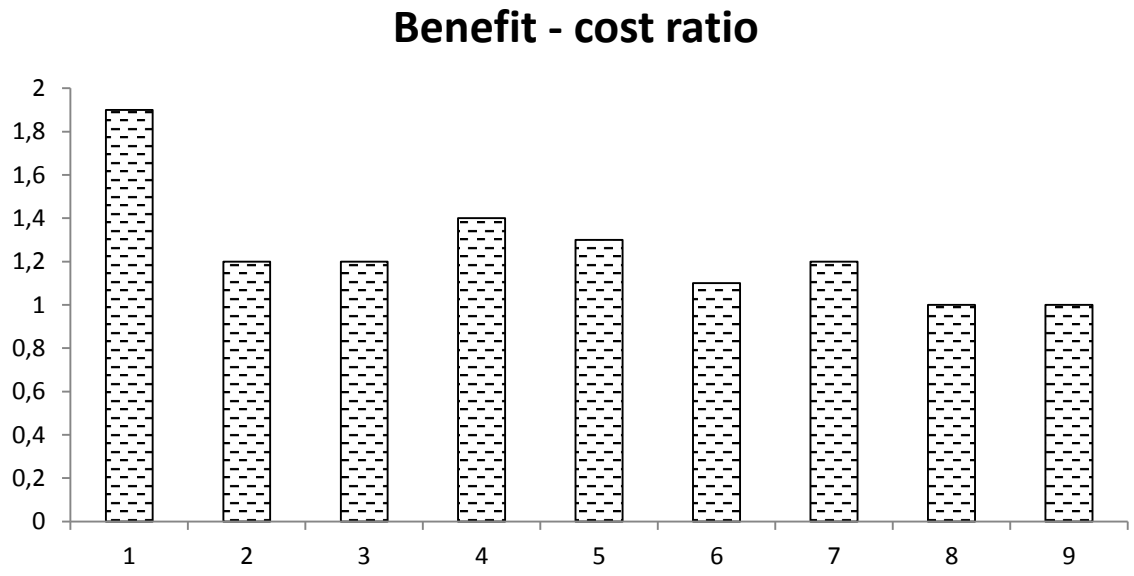
Διάγραμμα 4.1: Σύγκριση παραγόμενης θερμικής ενέργειας και ετήσιας μείωσης αερίων εκπομπών όλων των ηλιακών θερμικών συστημάτων που μελετήθηκαν



Διάγραμμα 4.2: Σύγκριση καθαρής παρούσας αξίας όλων των ηλιακών θερμικών συστημάτων που μελετήθηκαν



Διάγραμμα 4.3: Σύγκριση χρόνου απλής αποπληρωμής και αποπληρωμής μετοχών όλων των ηλιακών θερμικών συστημάτων που μελετήθηκαν



Διάγραμμα 4.4: Σύγκριση αναλογίας οφέλους - κόστους όλων των ηλιακών θερμικών συστημάτων που μελετήθηκαν

Από το διάγραμμα 4.1 προκύπτει ότι το θερμικό σύστημα με τη μεγαλύτερη παραγωγή ενέργειας και τη μεγαλύτερη ετήσια μείωση αερίων εκπομπών είναι το 200/16VTS που είναι εγκαταστημένο σε οικία των Χανίων. Αμέσως μετά ακολουθούν τα

συστήματα της εταιρείας Maltezos καθώς και της εταιρείας Calpak (200/16VTS) που είναι εγκαταστημένα σε Αθήνα και Χανιά αντίστοιχα. Το σύστημα με τη μικρότερη παραγωγή θερμικής ενέργειας και τη μικρότερη μείωση αερίων εκπομπών είναι το σύστημα της εταιρείας Olympic Sun που είναι εγκαταστημένο στη Κοζάνη.

Σύμφωνα με το διάγραμμα 4.2, το σύστημα με τη μεγαλύτερη καθαρή παρούσα αξία είναι το σύστημα της εταιρείας Olympic Sun που είναι εγκαταστημένο σε οικία των Χανίων με αμέσως καλύτερο το σύστημα της ίδιας εταιρείας που είναι εγκαταστημένο στην Αθήνα. Το πρώτο υπερέχει έναντι του δεύτερου σε καθαρή παρούσα αξία λόγω των μικρότερων μεταφορικών εξόδων που έχει. Το σύστημα με την μικρότερη καθαρή παρούσα αξία είναι το σύστημα της εταιρείας Maltezos που είναι εγκαταστημένο στην Κοζάνη.

Όμοια, από το διάγραμμα 4.3 προκύπτει ότι γρηγορότερα αποσβένει τα χρήματα αγοράς του το σύστημα της εταιρείας Olympic Sun που βρίσκεται στα Χανιά σε αντίθεση με το 200/14VTS που βρίσκεται στην Κοζάνη και που χρειάζεται σχεδόν 10 χρόνια για να βγάλει τα χρήματα αγοράς του δηλαδή σχεδόν, το μεγαλύτερο μέρος, της διάρκειας επιχειρησιακής λειτουργίας του (15 έτη σύμφωνα με το πίνακα 4.4).

Τέλος, από το διάγραμμα 4.4 διαπιστώνεται ότι το σύστημα με την μεγαλύτερη αναλογία οφέλους – κόστους είναι πάλι το σύστημα της εταιρείας Olympic Sun που βρίσκεται στα Χανιά ενώ τα συστήματα με τη μικρότερη συγκεκριμένη αναλογία είναι τα συστήματα της εταιρείας Maltezos και Calpak (200/14VTS) αντίστοιχα που βρίσκονται στην Αθήνα και Κοζάνη.

Συμπεράσματα

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα από το κεφάλαιο 4 προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα όσον αφορά στα ηλιακά συστήματα θέρμανσης νερού χρήσης για κατοικίες.

Η τιμή αγοράς για τα ηλιακά θερμικά συστήματα με συλλέκτες σωλήνων κενού και με συγκεντρωτικό παραβολικό ανακλαστήρα (CPC) είναι μεγαλύτερη σε σχέση με τα άλλα ηλιακά θερμικά συστήματα λόγω πολυπλοκότητας στην κατασκευή τους και λόγω του κόστους των υλικών τους.

Η ενεργειακή απόδοση των ηλιακών θερμικών συστημάτων με συλλέκτες σωλήνων κενού και με συγκεντρωτικό παραβολικό ανακλαστήρα (CPC) είναι μεγαλύτερη σε σχέση με τα ηλιακά θερμικά συστήματα με επίπεδο συλλέκτη.

Τα ηλιακά θερμικά συστήματα με συλλέκτες σωλήνων κενού έχουν λιγότερες θερμικές απώλειες σε σχέση με τα συστήματα με επίπεδο συλλέκτη.

Επιπλέον, τα ηλιακά θερμικά συστήματα με συλλέκτες σωλήνων κενού έχουν υψηλότερη περιβαλλοντική απόδοση (εκπομπές αερίων που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου) σε σχέση πάλι με τα συμβατικά συστήματα της αγοράς.

Η καλύτερη ενεργειακή και περιβαλλοντική απόδοση των συστημάτων με συλλέκτες σωλήνων κενού σε σχέση με όλα τα άλλα ηλιακά θερμικά συστήματα οφείλεται κυρίως στις μικρότερες θερμικές απώλειες του συλλέκτη σωλήνων κενού και επιπλέον στο ότι λόγω των συμμετρικών παραβολικών ανακλαστήρων CPC συγκεντρώνουν την ηλιακή ακτινοβολία πάνω στους σωλήνες αυτούς με άμεσο αποτέλεσμα την αύξηση της απόδοσης τους.

Τα ηλιακά θερμικά συστήματα με επίπεδο συλλέκτη παρουσιάζουν καλύτερα οικονομολογικά χαρακτηριστικά σε σχέση με τα συστήματα με συλλέκτες σωλήνων κενού και με συγκεντρωτικό παραβολικό ανακλαστήρα (CPC). Αυτό φαίνεται από την *Απλή αποπληρωμή* και την *Αποπληρωμή Μετοχών* που είναι μικρότερες για τα συστήματα με επίπεδο συλλέκτη σε σχέση με όλα τα άλλα συστήματα.

Το κέρδος από τη χρήση θερμικών συστημάτων με επίπεδο συλλέκτη είναι μεγαλύτερο σε σχέση με τα υπόλοιπα ηλιακά θερμικά συστήματα. Αυτό φαίνεται από την *Καθαρή Παρούσα αξία* και τις *Ετήσιες αποταμιεύσεις του κύκλου ζωής* που είναι μεγαλύτερες για τα θερμικά συστήματα με επίπεδους συλλέκτες σε σχέση με όλα τα άλλα θερμικά συστήματα.

Η απόδοση όλων των ηλιακών θερμικών συστημάτων είναι συνάρτηση του κλίματος της περιοχής στην οποία γίνεται η εγκατάσταση τους. Συνεπώς σε περιοχές με μεγαλύτερη ηλιοφάνεια έχουν καλύτερη απόδοση σε σχέση με τα ψυχρότερα κλίματα.

Η καλύτερη οικονομική απόδοση των ηλιακών θερμικών συστημάτων με επίπεδο συλλέκτη σε σχέση με τα συστήματα με συλλέκτη σωλήνων κενού οφείλεται κατά βάση στη

μικρότερη τιμή αγοράς τους καθώς και στη μεγαλύτερη ηλιοφάνεια των περιοχών της κεντρικής και νότιας Ελλάδας.

Γενικά πάντως σε όλες σχεδόν τις περιοχές της Ελλάδας η ενεργειακή και οικονομική απόδοση των ηλιακών θερμικών συστημάτων με επίπεδο συλλέκτη είναι αρκετά καλή.

Το μόνο πράγμα που πρέπει να επισημανθεί είναι ότι, στις νοτιότερες περιοχές της Ελλάδας με τη μεγαλύτερη ηλιοφάνεια, καθίσταται προτιμότερη η τοποθέτηση ηλιακών θερμικών συστημάτων με επίπεδο συλλέκτη και όχι συστημάτων με συλλέκτη σωλήνων κενού παρόλη την πολύ καλή απόδοση που έχουν τα τελευταία λόγω της ατμοποίησης του νερού στην δεξαμενή του νερού χρήσης.

Οι προτάσεις για περαιτέρω μελέτη είναι αντίστοιχα:

Η χρήση άλλων υλικών για τη κατασκευή του συλλέκτη (στα συστήματα με επίπεδο συλλέκτη) τα οποία να είναι οικονομικότερα και να βελτιώνουν την απόδοση του (λόγω καλύτερης θερμικής αγωγιμότητας).

Η κατασκευή παραβολικών κατόπτρων CPC (στα συστήματα με συλλέκτες σωλήνων κενού) με διαφορετική γεωμετρία έτσι ώστε να μειωθεί το κόστος κατασκευής των συστημάτων αυτών.

Βιβλιογραφία

[1] S. Kalogirou, «Solar thermal collectors and applications,» *Progress in Energy and Combustion Science,* τόμ. 30, pp. 231-295, 2004.

[2] Monegon, «History of solar energy development, Cost-effective solar energy systems for commersial and residential applications,» Monegon, 1981.

[3] C. Lins, E. Musolino, K. Petrichenko, W. Rickerson, J. L. Sawin, K. Seyboth, J. Skeen, B. Sovacool, F. Sverrisson και L. E. Williamson, «Renewables 2015: Global Status Report,» Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, Paris, 2015.

[4] H.-M. Henning, Solar-Assisted Air-Conditioning in Buildings. A Handbook for Planners, New York: Springer Wien, 2007.

[5] J. Mariyappan, Solar Thermal Thematic Review, Washington: Springer Wien, 2001.

[6] Γ. Χ. Μπάκος, Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Ξάνθη: Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, 2004.

[7] B. G. A. R. Teske S., Solar Thermal Power, Greenpeace, 2010.

[8] Βικιπαίδεια, «Ηλιακός θερμοσίφωνας,» 2020. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://el.wikipedia.org/wiki/Ηλιακός_θερμοσίφωνας. [Πρόσβαση 2020].

[9] Pelleton, «Pelleton,» 2020. [Ηλεκτρονικό]. Available: http://www.pelleton.gr/?section=2065&language=el_GR. [Πρόσβαση 2020].

[10] R. d. V. R. Menna Pietro, Concentrating Solar Power – From research to implementation, Belgium: Publications Office of the European Communities, 2007.

[11] S.-S. S. MANUFACTURER, «SOLE-SOLAR SYSTEMS MANUFACTURER,» 2020. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.eurostar-solar.com/%CE%B7%CE%BB%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CE%BF%CE%B9-%CF%83%CF%85%CE%BB%CE%BB%CE%B5%CE%BA%CF%84%CE%B5%CF%82-%CE%B3%CF%81%CE%B1%CE%BC%CE%BC%CE%B9%CE%BA%CE%B7%CF%82-%CE%B5%CF%83%CF%84%CE%B9%CE%B1%CF%83%CE%B7%CF%82.html.

[12] G. R. Energy, «Green Rhino Energy,» 2020. [Ηλεκτρονικό]. Available: http://www.greenrhinoenergy.com/solar/technologies/cst_technologies.php. [Πρόσβαση 2020].

[13] Iklimnet, «Solar Concentrating Collectors,» 2020. [Ηλεκτρονικό]. Available: http://www.iklimnet.com/save/solarconcentratingcollectors%20.html. [Πρόσβαση 2020].

[14] F. Ardente, G. Beccali και M. Cellura, «Life cycle assessment of a solar thermal collector:

sensitivity analysis, energy and environmental balances,» *Renewable Energy,* τόμ. 30, pp. 109-130, 2005.

[15] R. Crawford και Treloar, «Net energy analysis of solar and conventional domestic hot water systems in Melbourne, Australia,» *Solar Energy,* τόμ. 76, pp. 159-163, 2004.

[16] M. Leckner και R. Zmeureanu, «Life cycle cost and energy analysis of a Net Zero Energy House with solar combisystem,» *Applied Energy,* τόμ. 88, pp. 232-241, 2011.

[17] P. Hernandez και P. Kenny, «Net energy analysis of domestic solar water heating installations in operation,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* τόμ. 16, pp. 170-177, 2012.

[18] M. Kablan, «Techno-economic analysis of the Jordanian solar water heating system,» τόμ. 29, pp. 1069-1079, 2004.

[19] H. Yin, Q. Ming και Z. Fu, «Economic and environmental life cycle analysis of solar hot water systems in the United States,» *Energy and Buildings,* τόμ. 45, pp. 181-188, 2012.

[20] V. Ramak και G. Tiwari, «Life cycle cost analysis of HPVT air collector under different Indian climatic conditions,» *Energy Policy,* τόμ. 36, pp. 603-611, 2008.

[21] R. Hoffman, M. Brondani, F. Parris, A. Friderichs, S. Serafini και E. Foletto, «ECONOMIC-ENVIRONMENTAL COMPARISON BETWEEN FLAT PLATE AND EVACUATED TUBE SOLAR COLLECTORS,» *Global NEST,* τόμ. 16, pp. 1100-1110, 2014.

[22] S. Colle, S. De- Abreu και R. Ruther, «Uncertainty in economical analysis of solar water heating and photovoltaic systems,» *Solar Energy,* τόμ. 70, pp. 131-142, 2001.

[23] F. Ardente, G. Beccali, M. Cellura και V. Lo Brano, «Life cycle assessment of a solar thermal collector,» *Renewable Energy,* τόμ. 30, pp. 1031-1054, 2005.

[24] Δ. Χασάπης, «Εφαρμογή Θερμικών Ηλιακών Συστημάτων Στον Οικιακό Τομέα,» 2020. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://docplayer.gr/4440711-Iliaka-thermika-systimata-se-yfistamenes-katoikies-dimitrios-hasapis-mihanikos-tehnologias-a-p-e-kape-tomeas-thermikon-iliakon-systimaton.html.

[25] REN21, «2015 global status report by Renewable Energy Policy Network for the 21st Century,» Renewable energy policy network for the 21st century, Paris, 2015.

[26] Κοχυλάκης, «Μελέτη, εγκατάσταση και αξιολόγηση ηλιακών συλλεκτών θέρμανσης νερού,» 2009. [Ηλεκτρονικό]. Available: http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/sefe/sdfp/2009/KogchylakisIoannis/attached-document/2009kogxylakis.pdf. [Πρόσβαση 2020].

[27] Homepower, «Solar Water Heating Basics,» 2015. [Ηλεκτρονικό]. Available: www.homepower.com. [Πρόσβαση 2015].

[28] H. J. P. C. Y. I. Rohsenow W. M., Handbook of heat transfer 3rd Ed, Chicago: Mc Graw-Hill, 1998.

[29] J. N. Stucki M., «Primärenergiefaktoren von Sonnenkollektoren,» ESU-servicesLtd, Uster, CH, 2010.

[30] X. Z. Z. J. Yin Z, «The evacuated absorber tube industry in China. In: Proceedings of international solar energy society solar world congress Korea Institute of Energy Research,» 1997.

[31] C. C. L. H. Z. Y. X. Y. Li ZY, «All-glass vacuum tube collector heat transfer model used in forced-circulation solar water heating system,» *Solar Energy ,* τόμ. 84, pp. 1413-1421, 2010.

[32] L. M. M. Beurskens, Solar thermal barometer, Netherlands: Energy Research Centre of the Netherlands, ECN, 2008.

[33] P. S. Z. W. Runquing Hu, «An overview of the development of solar water heater industry in China,» *Energy Policy ,* τόμ. 51, pp. 46-51, 2012.

[34] ESTIF, «ESTIF,» 2015. [Ηλεκτρονικό]. Available: http://www.estif.org/. [Πρόσβαση 2015].

[35] A. Rabl, «Optical and thermal properties of compound parabolic concentrators,» *Solar Energy,* τόμ. 18, pp. 497-511, 1976.

[36] L. R. INTERNATIONAL, «LINUO RITTER INTERNATIONAL,» 2020. [Ηλεκτρονικό]. Available: http://www.linuo-ritter-international.com/faq/evacuated-tube-collectors/. [Πρόσβαση 2020].

[37] K. C. Hsieh, «Thermal analysis of CPC collectors,» *Solar Energy,* τόμ. 27, pp. 19-29, 1981.

[38] S. Kalogirou, «Use of parabolic trough solar energy collectors for sea-water desalination,» *Applied Energy,* τόμ. 60, pp. 65-88, 1998.

[39] CALPAK, «Βιομηχανία Ηλιακών Συστημάτων,» 2020. [Ηλεκτρονικό]. Available: http://www.calpak.gr/el/. [Πρόσβαση 2020].

[40] C. Natural Resources, «RetScreen Expert,» 2020. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.nrcan.gc.ca/maps-tools-publications/tools/data-analysis-software-modelling/retscreen/7465. [Πρόσβαση 2020].

[41] .. B. W. A. D. J. A. Klein S. A, «A design procedure for solar heating systems,» *Solar Energy,* τόμ. 18, pp. 113-124, 1976.

[42] M. T. D. Chandrashekar, «Comparison of WATSUN 13.1 Simulations with Solar Domestic Hot Water System Test Data from ORTECH/NSTF – Revised Report,» University of Waterloo, Waterloo, Canada, 1995.

[43] H. J. B. T. Khedari J., «Experimental study of a roof solar collector towards the natural ventilation of new houses,» *Energy and Buildings,* τόμ. 26, pp. 159-164, 1997.

[44] F. S. Shah LJ, «Theoretical flow investigations of an all glass evacuated tubular collector,» *Solar Energy ,* τόμ. 81, pp. 822-828, 2007.

[45] Α. Παπαδόπουλος, Οικονομική Ανάλυση Ενεργειακών Συστημάτων, Θεσσαλονίκη: Σημειώσεις Μαθήματος, Πολυτεχνική Σχολή Α.Π.Θ., Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, 2002.

[46] N. S. V. Lin Grier C. I., CIM justification and optimisation, London: Taylor & Francis, 2000.

[47] M. Khan, Theory & Problems in Financial Management, Boston: Mc Graw Hill Higher Education, 1993.

[48] D. B. Ward W.A., The Economics of Project Analysis: A Practitioner's Guide, Washington: World Bank, EDI Technical materials, 1991.

[49] O. Sun, «Βιομηχανία Ηλιακών Συστημάτων,» 2020. [Ηλεκτρονικό]. Available: http://olympicsun.gr/. [Πρόσβαση 2020].

[50] M. SA, «Βιομηχανία Ηλιακών Συστημάτων,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.maltezos.gr/index.php/el/.

[51] DEMOKRITOS, «Summary of EN 12975 Test Results, annex to Solar KEYMARK Certificate.,» NCSR, Solar & other Energy Systems Laboratory, Athens, 2008.