

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

Τίτλος: «Ανάπτυξη Πειραματικής Συσκευής Ηλιακής Ενέργειας
για Θέρμανση Νερού Χρήσης και Χώρου»

Φοιτητές: Γκάτσης Ιωάννης, ΑΕΜ: 1255
Φουστέρης Θεοδόσιος, ΑΕΜ: 1456

Επιβλέπων: Εμμανουήλ Σουλιώτης
Αναπληρωτής Καθηγητής

Ημερομηνία υποβολής: 9 Νοεμβρίου 2016

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ: ΓΚΑΤΣΗ ΙΩΑΝΝΗ - ΑΕΜ:1255

ΦΟΥΣΤΕΡΗ ΘΕΟΔΟΣΙΟΥ- ΑΕΜ:1456

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά θέλουμε να ευχαριστήσουμε εκ βάθους καρδίας, τον επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας μας, Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Σουλιώτη Εμμανουήλ, για την πολύτιμη βοήθεια, τη συνεχή καθοδήγηση, καθώς και για τις γνώσεις που αποκομίσαμε, καθ' όλη την διάρκεια της εργασίας μας. Επίσης, ευχαριστούμε τα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Μαρνέλλο Γεώργιο και τον Λέκτορα κ. Πανάρα Γεώργιο για την προσεκτική ανάγνωση της εργασίας και για τις πολύτιμες υποδείξεις τους. Στον κ. Γεώργιο Πανάρα οφείλουμε ιδιαίτερες ευχαριστίες για τις χρήσιμες συμβουλές και την βοήθεια που μας παρείχε, ο οποίος με την εμπειρία του συνέβαλε σημαντικά στην ανάπτυξη της κατασκευής. Ευχαριστούμε, τους καθηγητές του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας για την εκπαίδευση και τις γνώσεις που μας προσέφεραν κατά την φοίτησή μας στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών. Τέλος, ευχαριστούμε τους συναδέλφους και φίλους μας για το ενδιαφέρον, τη συνεργασία και τη βοήθεια τους, αλλά και για τις αξέχαστες στιγμές που περάσαμε στην πόλη της Κοζάνης. Πάνω απ' όλα, οφείλουμε ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μας Νικόλαο και Όλγα Γκάτση, Σπυρίδωνα και Γεωργία Φουστέρη για την ολόψυχη αγάπη, την ηθική και υλική υποστήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια της πολυετούς φοίτησης μας.

Αφιερώνουμε αυτή την εργασία στις οικογένειες μας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Με την παρούσα διπλωματική εργασία σχεδιάζεται, κατασκευάζεται και αναπτύσσεται μια πρότυπη διάταξη μέσω της οποίας μελετάται πειραματικά ένα ηλιακό θερμικό σύστημα για θέρμανση ζεστού νερού χρήσης και χώρου. Σκοπός της διάταξης είναι η πιστοποίηση ηλιακών θερμικών συστημάτων μέσω συγκεκριμένων προτύπων πιστοποίησης. Ειδικότερά, στην αρχή της εργασίας παρουσιάζονται τα συστήματα εκμετάλλευσης της ηλιακής ακτινοβολίας, με στόχο την μετατροπή της σε θερμότητα. Ακολουθούν τα είδη των ηλιακών συλλεκτών και τα χαρακτηριστικά τους καθώς επίσης, και αυτά των δεξαμενών αποθήκευσης θερμότητας. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα πρότυπα του ΕΛΟΤ, τα οποία βασίζονται στα διεθνή πρότυπα πιστοποίησης συλλεκτών. Αμέσως μετά, γίνεται μια μικρή αναφορά στα ήδη υπάρχοντα εγκατεστημένα συστήματα πιστοποίησης στην Ελλάδα και στον υπόλοιπο ευρωπαϊκό χώρο. Επόμενο βήμα είναι η ακριβής ανάλυση της διαδικασίας, που ακολουθήθηκε για τον σχεδιασμό, την κατασκευή και τη στήριξη της διάταξης στον εργαστηριακό χώρο δοκιμών του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας. Έπειτα, γίνεται μια εκτενής αναφορά στην οργανολογία του θερμικού συστήματος και τέλος καταγράφονται τα πρώτα αποτελέσματα των πειραματικών δοκιμών για τον προσδιορισμό της στιγμιαίας θερμικής απόδοσης του ηλιακού θερμικού συλλέκτη, της μέσης ημερήσιας απόδοσης καθώς και του συντελεστή θερμικών απωλειών του θερμικού συστήματος. Η διπλωματική εργασία καταλήγει στα συμπεράσματα και τις προοπτικές που προκύπτουν από το σύνολο της μελέτης της πειραματικής διάταξης.

SUMMARY

With this bachelor's thesis is designed, produced and developed a model provision through which is studied experimentally a solar thermal system for heating hot water for use and space. Main purpose of this provision is the certification of solar thermal systems through specific models of certification. Specially, at the beginning of the task, are showing the operating systems of solar radiation, aiming the conversion of it to heat. Next are following the kinds of solar panels and the characteristics of them and also the characteristics of the tanks which are using for heat storage. In continue, are presenting the models of ELOT, which are based on the international standards of solar certification. In the following there is a small reference at the already existing installed systems of certification in Greece and the rest European world. Next step is the exact analysis of the process, which followed for the design, production and support of provision, at the laboratory area of testing of the Department of Mechanical Engineering of University of Western Macedonia. Then there is an extend report at the instrumentation of solar system and at last, the first results of the experimental tests for the determination of instant thermal efficiency of solar thermal collector, the average daily yield and also the rate of therming loss, are recording. The bachelor's thesis concludes in the results and the prospective that resulting of the whole study of experimental provision.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	5
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	7
SUMMARY.....	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ – ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	15
1.1. Αξιοποίηση ηλιακής ακτινοβολίας.....	15
1.2. Ηλιακός θερμικός συλλέκτης.....	16
1.2.1. Είδη ηλιακών συλλεκτών.....	17
1.2.1.1 Μη συγκεντρωτικοί συλλέκτες.....	18
1.2.1.2 Συγκεντρωτικοί συλλέκτες.....	25
1.3. Δεξαμενή αποθήκευσης.....	31
1.4. Ηλιακά θερμικά συστήματα.....	32
1.4.1. Ηλιακά συστήματα θερμοσιφωνικού τύπου.....	33
1.4.2. Ηλιακά συστήματα εξαναγκασμένης κυκλοφορίας.....	35
1.5. Σκοπός και ανάλυση διπλωματικής εργασίας.....	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΗΛΙΑΚΩΝ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ – ΠΡΟΤΥΠΑ ΕΛΟΤ.....	39
2.1 Διατάξεις πιστοποίησης ηλιακών θερμικών συστημάτων στην Ελλάδα και στον υπόλοιπο ευρωπαϊκό χώρο.....	39
2.2 Πρότυπα ΕΛΟΤ για την πιστοποίηση ηλιακών θερμικών συστημάτων. ΕΛΟΤ EN 12975.02/2 ^η Έκδοση.....	45
2.2.1 Ταυτοποίηση συλλέκτη.....	45
2.2.2 Δοκιμές.....	45
2.2.3 Αναλυτική αναφορά στις διαδικασίες ελέγχου.....	47
2.2.4 Προδιαγραφές ΕΛΟΤ για συλλέκτες με γυάλινο διαφανές κάλυμμα.....	50
2.2.5 Έλεγχος θερμικής απόδοσης για συλλέκτες νερού.....	53
2.2.6 Καθορισμός της αποτελεσματικής θερμοχωρητικότητας και της σταθεράς χρόνου.....	55
2.2.7 Διαδικασία δοκιμής για μεταβολή της γωνίας του συλλέκτη και ελέγχου απόδοσης.....	55

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ – ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ
ΗΛΙΑΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ.....57**

3.1	Εισαγωγή και σχεδιασμός της ηλιακής διάταξης.....	57
3.2	Ανάλυση – παρουσίαση πειραματικής συσκευής.....	62
3.2.1	Διαδικασία συναρμολόγησης και κατασκευής της πειραματικής διάταξης.....	63
3.3	Στοιχεία και όργανα συνδεδεμένα με την πειραματική συσκευή.....	89
3.3.1	Ηλιακός συλλέκτης PHYSIS solar solutions.....	89
3.3.2	Δεξαμενή αποθήκευσης PHYSIS solar solutions.....	90
3.3.3	Κυκλοφορητής GRUNDOFS.....	90
3.3.4	Ηλεκτρομαγνητικό ροόμετρο ifm SM6000.....	92
3.3.5	Αντλία ανακυκλοφορίας.....	96
3.3.6	Οπτικό ροόμετρο kytola.....	96
3.3.7	Θερμοζεύγη – κυάθια.....	97
3.3.8	Μανόμετρα Bourdon.....	98
3.3.9	Πυρανόμετρο Kipp & Zonen CMP 3.....	100
3.3.10	Ανεμόμετρο Windspeed A100K.....	101
3.3.11	Σύστημα καταγραφής δεδομένων (data logger).....	102
3.3.12	Το λογισμικό πρόγραμμα Loggernet.....	109

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ...111

4.1	Σκοπός Πειραματικής Διάδικασίας.....	111
4.2	Μέθοδοι προσδιορισμού της στιγμιαίας θερμικής απόδοσης του επίπεδου ηλιακού συλλέκτη.....	111
4.3	Μέθοδος Πειραματικής Μελέτης των ηλιακών συσκευών συλλέκτη – αποθήκη θερμότητας.....	114
4.3.1	Πειραματικός προσδιορισμός της ημερήσιας απόδοσης.....	114
4.3.2	Μέθοδος προσδιορισμού του συντελεστή θερμικών απωλειών του συστήματος.....	119
4.3.3	Καμπύλες διακύμανσης των θερμοκρασιών του ρευστού κυκλοφορίας.....	121
4.4	Αποτελέσματα Πειραματικών Δοκιμών του Συστήματος.....	123

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ.....127

5.1	Συμπεράσματα.....	127
5.2	Προοπτικές εξέλιξης.....	127
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....		127

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ – ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

1.1 Αξιοποίηση ηλιακής ακτινοβολίας

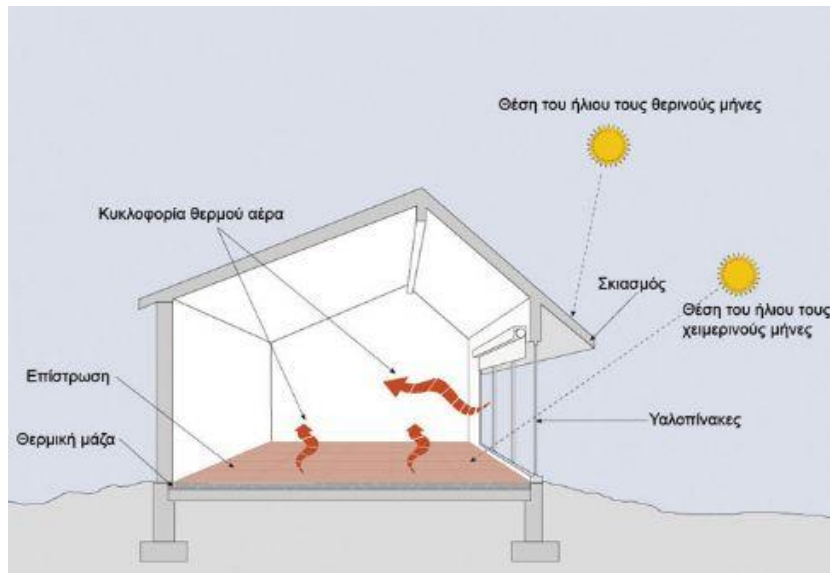
Η ηλιακή ακτινοβολία παράγεται στον πυρήνα του ηλίου καθώς κάθε δευτερόλεπτο, συμβαίνουν $9 \cdot 10^{37}$ θερμοπυρηνικές αντιδράσεις σύντηξης. Η ηλιακή ενέργεια είναι ανεξάντλητη πηγή, δεδομένου ότι ο ήλιος θα παρέχει ενέργεια επί πέντε δισεκατομμύρια έτη και η ίδια υπερβαίνει κατά 2.500 φορές την ποσότητα που καταναλώνουμε ετησίως. Το γεγονός αυτό είναι αρκετά σημαντικό αν λάβουμε υπόψη μας ότι τα ενεργειακά αποθέματα της γης εξαντλούνται. Η μέση ημερήσια ενέργεια που δίνεται από τον ήλιο στην Ελλάδα υπολογίζεται ότι είναι $4,6 \text{ KWh/m}^2$. Όταν ενέργεια με μορφή ακτινοβολίας πέφτει πάνω σε ένα σώμα με μαύρη ματ επιφάνεια, το μεγαλύτερο μέρος της απορροφάται. Η ακτινοβολούμενη ενέργεια όλων των μηκών κύματος υποβαθμίζεται σε θερμότητα, αυξάνοντας τη θερμοκρασία του σώματος. Ένα μέρος από την θερμότητα μεταδίδεται με αγωγή εντός του απορροφητή, ενώ το υπόλοιπο μεταδίδεται πάλι στο περιβάλλον με συναγωγή και ακτινοβολία. Αυτή η μετάδοση θερμότητας εξαρτάται από τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της επιφάνειας του σώματος και του περιβάλλοντος.[1]

Η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε θερμότητα γίνεται με τους παρακάτω τρόπους:

1. Με τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα, τα οποία συλλέγουν την ηλιακή ακτινοβολία και τη μετατρέπουν σε θερμότητα, η οποία αποθηκεύεται εντός μιας θερμικά μονωμένης δεξαμενής (Σχ. 1.1)



Σχήμα 1.1 : Παράδειγμα εφαρμογής ενεργητικού ηλιακού συστήματος σε μια κατοικία.[1]



Σχήμα 1.2 : Παράδειγμα εφαρμογής παθητικού ηλιακού συστήματος σε μία κατοικία.[1]

2. Με τα παθητικά ηλιακά συστήματα, δηλαδή όλα τα κατάλληλα σχεδιασμένα και συνδυασμένα δομικά στοιχεία των οικοδομικών κατασκευών (κτηρίων) που συμβάλλουν στην καλύτερη άμεση ή μέση εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας είτε για τη θέρμανση των κτηρίων το χειμώνα είτε για τον κλιματισμό το καλοκαίρι (Σχ. 1.2).

Η ενεργητική ηλιακή θέρμανση είναι παρόμοια με την παθητική ηλιακή θέρμανση, αλλά είναι μια πολύ πιο περίπλοκη διαδικασία, παράγοντας περισσότερη θερμότητα. Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα χρησιμοποιούν τους συλλέκτες και τη δεξαμενή αποθήκευσης ως χωριστές συνιστώσες και η μεταφορά της ενέργειας γίνεται με τη βοήθεια αντλίας του συστήματος. Τα ενεργητικά συστήματα ηλιακής θέρμανσης μπορούν να χωριστούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες, τα συστήματα αέρα και τα συστήματα υγρού. Οι διαφορές στα συστήματα θέρμανσης βρίσκονται στον τρόπο με τον οποίο η ηλιακή ενέργεια συσσωρεύεται στον ηλιακό συλλέκτη. Ειδικότερα, στα συστήματα υγρού, ως ρευστό μεταφοράς της ενέργειας που συλλέγεται στον ηλιακό συλλέκτη χρησιμοποιείται θερμοανταλλακτικό υγρό διάλυμα με χαμηλό σημείο πήξης ενώ τα συστήματα αέρα απορροφούν την ενέργεια μέσω του αέρα. Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν:

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

1.2 Ηλιακός θερμικός συλλέκτης

Μία οποιαδήποτε επιφάνεια ανεξαρτήτου είδους, χρώματος και κατασκευής μπορεί να θεωρηθεί ως ένας ηλιακός θερμικός συλλέκτης. Κάθε ηλιακός συλλέκτης αποτελεί ένα θερμοδυναμικό σύστημα, στο οποίο ισχύει ο νόμος διατήρησης της ενέργειας. Ανάλογα με τη θερμοκρασία λειτουργίας του συστήματος, οι ηλιακοί συλλέκτες χωρίζονται σε κατηγορίες. Στις χαμηλές και μέσες θερμοκρασίες συνήθως συναντούμε ηλιακούς συλλέκτες επίπεδης

γεωμετρίας ενώ σε μέσες και υψηλές θερμοκρασίες οι ηλιακοί συλλέκτες συνδυάζονται με επίπεδες και καμπύλες κατοπτρικές διατάξεις. Πιο συγκεκριμένα:

Οι μη συγκεντρωτικοί συλλέκτες, συνήθως είναι απλές διατάξεις, οι οποίες επιτυγχάνουν χαμηλές έως μέσες θερμοκρασίες, για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης αλλά και θέρμανσης χώρων. Η λειτουργία τους βασίζεται στην αρχή του θερμοκηπίου. Αποτελούνται κυρίως από, μία σκούρα απορροφητική επιφάνεια, ένα διαφανές κάλυμμα που μειώνει τις απώλειες θερμότητας μέσω συναγωγής, το ρευστό απολαβής για την μεταφορά θερμότητας από τον απορροφητή στο νερό χρήσης και ένα θερμομονωτικό υπόστρωμα. Συνήθως, χρησιμοποιούνται σε κατοικίες, ξενοδοχεία και εμπορικά κτήρια.

Αντίθετα τα συγκεντρωτικά συστήματα αποτελούνται από πιο πολύπλοκες διατάξεις. Στόχος τους είναι η επίτευξη υψηλότερων θερμοκρασιών, είτε για την παραγωγή ζεστού νερού, είτε για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Οι θερμοκρασίες που απαιτούνται για την παραγωγή ηλεκτρισμού είναι της τάξεως άνω των 500 °C. Καθώς θερμαίνεται το ρευστό απολαβής, μετατρέπεται σε ατμό και αυτός με τη σειρά του κινεί μία τουρμπίνα η οποία είναι συνδεδεμένη με μία ηλεκτρική γεννήτρια.[2]

Οι κρίσιμοι παράγοντες για την καλή απόδοση του συστήματος είναι:

- Η μεγάλη απορροφητικότητα της πλάκας στην ηλιακή ακτινοβολία
- Ο μικρός συντελεστής εκπομπής της πλάκας στη μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία (θερμική ακτινοβολία)
- Η μεγάλη διαφάνεια του κρυστάλλου (υψηλή τιμή διαπερατότητας)
- Η χρήση γυαλιού για την κάλυψη της απορροφητικής πλάκας
- Η χρήση αλουμινίου ή χαλκού για την κατασκευή της συνήθως χρωματισμένης μαύρης απορροφητικής επιφάνειας (για την αύξηση του συντελεστή αγωγής της θερμότητας)

Εφαρμογές:

- Για ζεστό νερό χρήσης (μη συγκεντρωτικοί συλλέκτες)
- Για θέρμανση χώρου (μη συγκεντρωτικοί συλλέκτες)
- Για ηλιακό κλιματισμό (επιλεκτικές επιφάνειες)
- Για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (συγκεντρωτικοί συλλέκτες)

1.2.1 Είδη ηλιακών συλλεκτών

Οι ηλιακοί συλλέκτες με βάση τις θερμοκρασίες λειτουργίας τους χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, τους μη συγκεντρωτικούς (οι οποίοι χωρίζονται στην κατηγορία των επίπεδων ηλιακών συλλεκτών και στους συλλέκτες κενού) και τους συγκεντρωτικούς. Παρακάτω παρουσιάζονται επιγραμματικά τα χαρακτηριστικά και η λειτουργία των συλλεκτών ανά υποκατηγορία. [6]

A) Θερμικοί ηλιακοί συλλέκτες για παραγωγή θερμού νερού χρήσης και θέρμανση χώρων:[3]

A1) Επίπεδοι ηλιακοί θερμικοί συλλέκτες

- i. Ηλιακοί συλλέκτες χωρίς κάλυμμα (θέρμανση νερού χαμηλής θερμοκρασίας)
- ii. Επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες με διαφανές κάλυμμα (θέρμανση νερού χρήσης και χώρων)
- iii. Επιλεκτικοί συλλέκτες (υψηλές θερμοκρασίες για την θέρμανση νερού χρήσης και χώρων)

A2) Συλλέκτες κενού

- i. Συλλέκτες κενού απουσία κατοπτρικών διατάξεων
- ii. Συλλέκτες κενού με κατοπτρικές διατάξεις

B) Θερμικοί ηλιακοί συλλέκτες για παραγωγή θερμότητας για βιομηχανική χρήση και παραγωγή ηλεκτρισμού[3]:

B1) Συγκεντρωτικοί (μέσων θερμοκρασιών)

- i. Συλλέκτες με γραμμική εστίαση
- ii. Συλλέκτες με CPC κατοπτρικές διατάξεις (μη ευκρινούς ειδώλου)
- iii. Κάτοπτρα fresnel

B2) Συγκεντρωτικοί (Υψηλών θερμοκρασιών):

- i. Ηλιακοί πύργοι
- ii. Ηλιακοί δίσκοι
- iii. Παραβολικά κοίλα κάτοπτρα

1.2.1.1 Μη Συγκεντρωτικοί Συλλέκτες

A1) Επίπεδοι Ηλιακοί Θερμικοί Συλλέκτες[2]

- **Ηλιακοί συλλέκτες χωρίς διαφανές κάλυμμα**

Είναι απλοί και οικονομικοί. Αποτελούνται από μαύρους πλαστικούς ή μεταλλικούς σωλήνες (χωρίς μόνωση) μέσα στους οποίους κυκλοφορεί υγρό. Η σημαντικότερη διαφορά σε σχέση με τους υπόλοιπους επίπεδους συλλέκτες έγκειται στο γεγονός ότι αποτελούνται μόνο από τον απορροφητή. Αναπτύσσει, συνήθως, θερμοκρασίες 5-15 °C πάνω από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος, ενώ η μέγιστη δυνατή θερμοκρασία που μπορεί να αναπτύξει είναι 20 °C πάνω από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Αρχή Λειτουργίας:

Το νερό της πισίνας κυκλοφορεί μέσα στον ηλιακό συλλέκτη, θερμαίνεται από τον ήλιο και διοχετεύεται απευθείας στην πισίνα. Ενδείκνυται η χρήση πλαστικού καλύμματος για μείωση απωλειών θερμότητας (Εικ. 1.1, 1.2)

Ιδιότητες:

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



Εικόνα 1.1: Ηλιακός συλλέκτης χωρίς διαφανές κάλυμμα.[6]



Εικόνα 1.2: Θέρμανση πισίνας με ηλιακούς συλλέκτες χωρίς διαφανές κάλυμμα.[6]

- **Επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες με διαφανές κάλυμμα[2]**

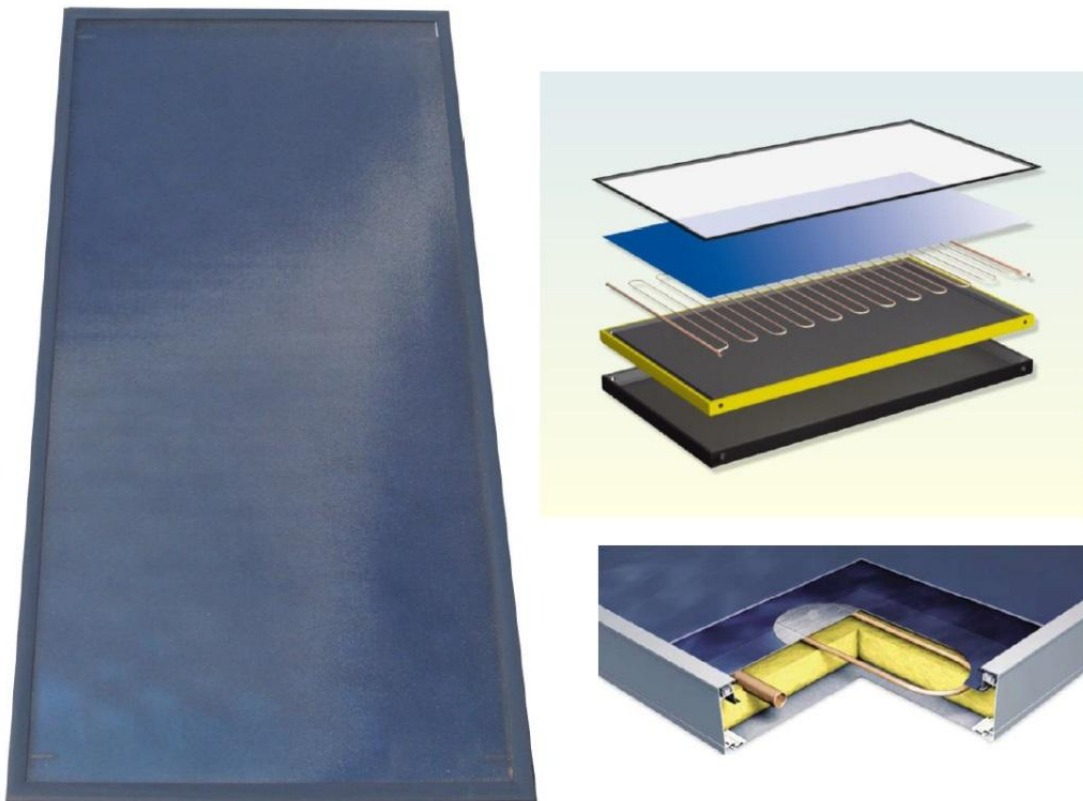
Αποτελείται από ένα πλαίσιο μέσα στο οποίο βρίσκεται η απορροφητική επιφάνεια. Στην πίσω πλευρά του απορροφητή συγκολλούνται σωλήνες χαλκού μέσα από τις οποίες ρέει το ρευστό απολαβής, ενώ στην πίσω πλευρά του πλαισίου υπάρχει μόνωση. Τέλος, το πλαίσιο σφραγίζεται από την πάνω πλευρά με ένα διαφανές κάλυμμα, μειώνοντας τις απώλειες θερμότητας από τον απορροφητή.

Αρχή Λειτουργίας:

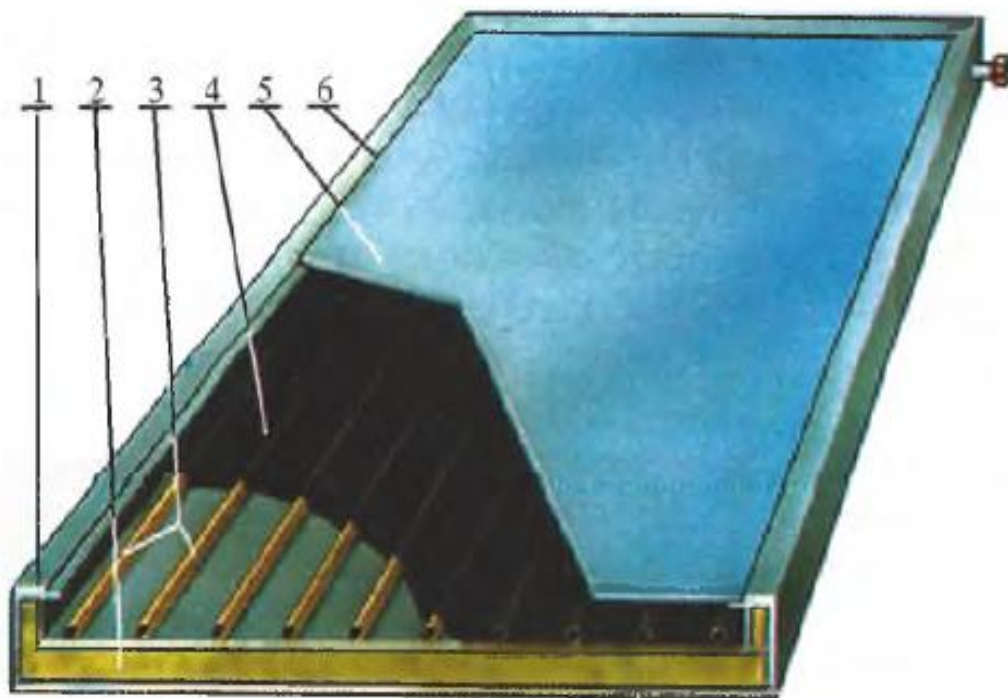
Η λειτουργία του επίπεδου συλλέκτη είναι απλή. Το μεγαλύτερο ποσοστό από την ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει στον συλλέκτη απορροφάται από μία επιφάνεια, που συμπεριφέρεται σαν «μέλαν» σώμα. Ένα μέρος από την ενέργεια που απορροφάται, μεταφέρεται σε κάποιο ρευστό, ενώ το υπόλοιπο χάνεται στο περιβάλλον. Η θερμότητα που απάγεται από το ρευστό, είναι το ωφέλιμο ενεργειακό κέρδος του Συλλέκτη και ή αποθηκεύεται ή τροφοδοτεί απευθείας το φορτίο. Τέλος, μπορεί να αποτελείται από μονό διαφανές κάλυμμα ή για καλύτερη μόνωση από διπλό διαφανές κάλυμμα (Εικ. 1.3).

Τα κύρια μέρη του συλλέκτη είναι:

1. Η απορροφητική πλάκα (ή απορροφητήρας), συνήθως είναι μία μεταλλική επιφάνεια βαμμένη με μαύρο χρώμα.
2. Σωλήνες ή αγωγοί για την κυκλοφορία υγρού ή αέρα σε θερμική επαφή με τον απορροφητήρα.
3. Θερμική μόνωση για την πίσω καθώς και τις παράπλευρες επιφάνειες του συλλέκτη.
4. Πλαίσιο το οποίο εξασφαλίζει την αντοχή του συλλέκτη στα καιρικά φαινόμενα.



Εικόνα 1.3: Συνήθης τύπος Επίπεδου Ηλιακού Συλλέκτη.[6]



Σχήμα 1.3: Στοιχεία πλαισίου Ηλιακού Θερμικού Συλλέκτη.[3]

Στο σχήμα 1.3 παρουσιάζονται τα στοιχεία ενός πλαισίου ηλιακού συλλέκτη όπου διακρίνονται:

1. Πλαίσιο από ανοδευμένο αλουμίνιο
2. Θερμική μόνωση (υαλοβάμβακας ή πολυουρεθάνη)
3. Χάλκινοι σωλήνες
4. Συλλεκτική επιφάνεια
5. Γυάλινο κάλυμμα
6. Στήριξη του καλύμματος

Οι επίπεδοι συλλέκτες απορροφούν και τη διάχυτη ακτινοβολία. Συνήθως τοποθετούνται σταθερά πάνω στο κτήριο και σε θέση (κλίση και προσανατολισμό) που εξαρτάται από τον τόπο και την εποχή του έτους, που λειτουργεί ο συλλέκτης (μπορεί να λειτουργεί όλο το έτος ή μόνο τον χειμώνα ή μόνο το καλοκαίρι, ανάλογα με την χρήση).

Τέλος, τα βασικά χαρακτηριστικά ενός επίπεδου θερμικού συλλέκτη είναι τα ακόλουθα:

1. Είναι η πιο συνήθης μορφή θερμικού ηλιακού συλλέκτη.
2. Η επιλογή του ρευστού απολαβής θερμότητας καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τη θερμοκρασία απολαβής της θερμότητας. Αυτό με τη σειρά του καθορίζει τη δυνατότητα για διαφορετικές χρήσεις.
3. Η ειδική θερμότητα του ρευστού απολαβής σε συνδυασμό με το μηχανισμό μετάδοσης θερμότητας της συναγωγής είναι οι δύο καθοριστικοί παράμετροι για τη θερμοκρασία λειτουργίας.
4. Η θερμική απόδοση του θερμικού συλλέκτη δεν είναι μία μονοσήμαντη παράμετρος, καθώς αυτή υπολογίζεται με βάση το ισοζύγιο θερμικής ενέργειας (απορροφημένη ηλιακή ακτινοβολία – ωφέλιμη θερμική ενέργεια – θερμικές απώλειες).
5. Απαιτείται, συνήθως, αποθήκευση της θερμότητας (Ηλιακά Θερμικά Συστήματα).

- **Επιλεκτικοί συλλέκτες[7]**

Οι αποκαλούμενες “επιλεκτικές επιφάνειες” έχουν υψηλό βαθμό απορρόφησης και σχετικά χαμηλό βαθμό εκπομπής για την ηλιακή ακτινοβολία (200 – 2000 nm), αλλά πολύ χαμηλές τιμές για την μεγαλύτερου μήκους κύματος υπέρυθη (πάνω από 2000 nm) ακτινοβολία, που εκπέμπεται από σώματα θερμοκρασίας κάτω από 100 °C. Το μέτρο για την απόδοση των επιλεκτικών επιφανειών είναι ο λόγος του συντελεστή απορρόφησης για την ηλιακή ακτινοβολία προς τον συντελεστή εκπομπής στη θερμοκρασία λειτουργίας. Ο επιλεκτικός συλλέκτης χρησιμοποιεί απορροφητή επιλεκτικής επιφάνειας αντί της απλής μαύρης (ένας τέτοιος συλλέκτης μπορεί να γίνει αντιληπτός από το βαθύ μπλε χρώμα του απορροφητή του). Δηλαδή, η μαύρη βαφή έχει αντικατασταθεί από υλικό υψηλής απορροφητικότητας της ηλιακής ακτινοβολίας της τάξης του 95% και μικρής εκπομπής, η οποία δεν ξεπερνά το 5%. Η χρήση αυτών των σχετικά ακριβών επιφανειών δικαιολογείται μόνο για την επίτευξη σχετικά υψηλών θερμοκρασιών (πάνω από 60 °C) και μεγαλύτερων βαθμών απόδοσης. Κατά κύριο λόγο, χρησιμοποιούνται για την θέρμανση νερού χρήσης καθώς και για τη θέρμανση και τον κλιματισμό χώρων (Εικ. 1.4).



Εικόνα 1.4: Επίπεδος ηλιακός θερμικός συλλέκτης επιλεκτικής βαφής.[7]

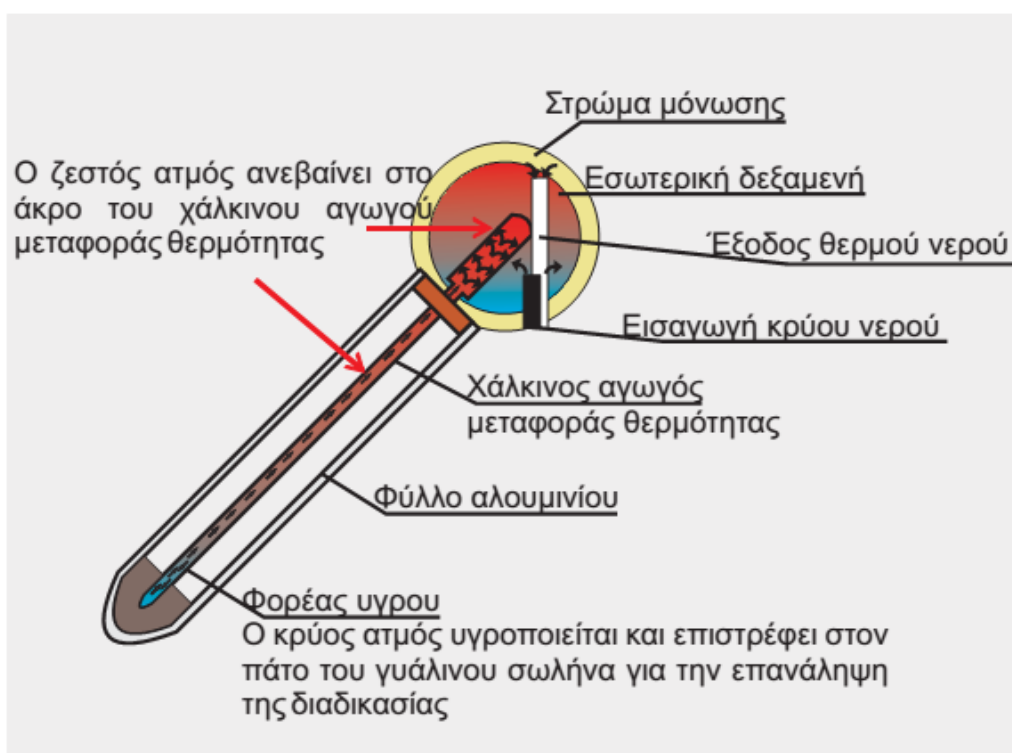
A2) Συλλέκτες κενού

Οι σωλήνες κενού αποτελούνται από παράλληλους γυάλινους σωλήνες, οι οποίοι είναι συγκολλημένοι πάνω σε έναν κεντρικό σωλήνα (ή σε δύο αγωγούς σε ορισμένους τύπους) όπου γίνεται η ανταλλαγή θερμότητας. Κάθε σωλήνας βρίσκεται υπό μερικό κενό, έτσι ώστε να ελαχιστοποιούνται οι θερμικές απώλειες από συναγωγή. Κάθε σωλήνας αποτελείται, συνήθως, από ένα γυάλινο αεροστεγή σωλήνα, που περιέχει ένα χάλκινο θερμαντικό αυλό,

στο εσωτερικό του οποίου βρίσκεται το εργαζόμενο μέσο μεταφοράς θερμότητας. Αυτό το είδος συλλέκτη λειτουργεί σε εύρος θερμοκρασιών 77 – 177 °C και χρησιμοποιείται για θέρμανση – ψύξη βιομηχανικών χώρων ή ακόμα και κατοικιών σε περιοχές που επικρατούν νεφοσκεπείς συνθήκες. Ωστόσο, το κόστος τους ανέρχεται στο διπλάσιο από αυτό των συμβατικών επίπεδων ηλιακών συλλεκτών.

Αρχή λειτουργίας:

Αρχικά η συλλεγόμενη θερμότητα μεταφέρεται με τη βοήθεια φύλλων αλουμινίου (μέσω αγωγής) σε ένα χάλκινο σωλήνα που περιέχει ένα ανόργανο μη τοξικό πτητικό ρευστό (εξατμίζεται στους 25 °C). Το ρευστό μετατρέπεται σε υπέρθερμο ατμό, ανεβαίνει στην πάνω πλευρά του σωλήνα η οποία βρίσκεται ενσωματωμένη εντός της δεξαμενής αποθήκευσης μεταφέροντας την θερμότητα στο νερό χρήσης. Το ρευστό μεταφέροντας τη θερμότητα στο νερό συμπυκνώνεται και κατεβαίνει στην κάτω πλευρά του αυλού όπου επαναλαμβάνεται η διαδικασία (Σχ. 1.4).[3]



Σχήμα 1.4: Αρχή λειτουργίας ηλιακών θερμικών συλλεκτών με σωλήνες κενού.[8]

Με βάση τον τρόπο σύνδεσης των θερμαντικών αυλών με τον κεντρικό αγωγό αλλά και τον τρόπο συναλλαγής θερμότητας μεταξύ αυτών, οι συλλέκτες κενού ταξινομούνται ως εξής:

- Στους συλλέκτες άμεσης ροής και,
- Στους συλλέκτες θερμικών σωλήνων

Ενώ με βάση την ύπαρξη ή τη μη ύπαρξη κατοπτρικών διατάξεων διακρίνονται στους:

- Συλλέκτες κενού απουσία κατοπτρικών διατάξεων
- Συλλέκτες κενού με κατοπτρικές διατάξεις

Η διαφορά μεταξύ αυτών το δύο κατηγοριών είναι πως στην περίπτωση των συλλεκτών κενού με κατοπτρικές διατάξεις πίσω από κάθε γυάλινο σωλήνα υπάρχει ένα κάτοπτρο, το

οποίο είναι κατάλληλα σχεδιασμένο ώστε όταν πέσουν πάνω του οι ηλιακές ακτίνες να ανακλαστούν και να κατευθυνθούν πάνω στον γυάλινο σωλήνα.

Ιδιότητες συλλεκτών κενού:

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

Εφαρμογές:

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

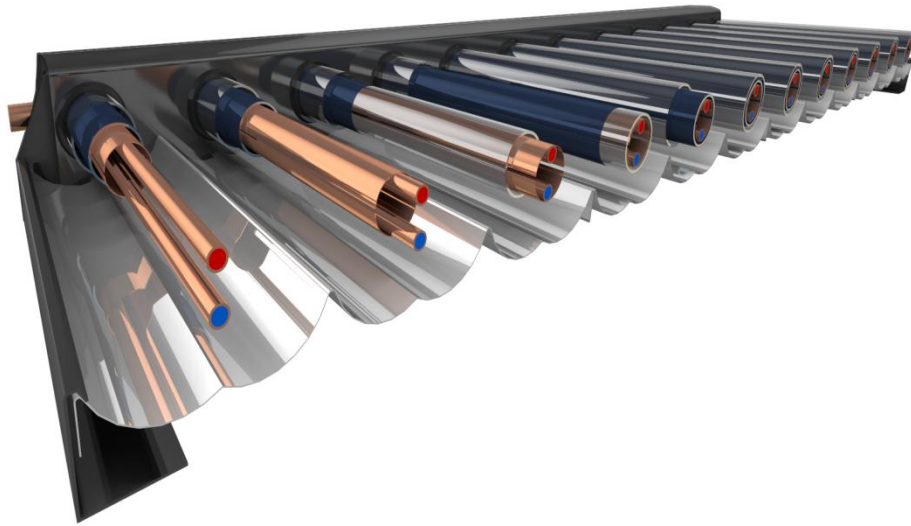
Είδη συλλεκτών κενού:

- Άμεσης ροής: Ένας εσωτερικός σωλήνας τύπου U (Εικ. 1.5)
- Παραβολικός συγκεντρωτικός: Ένας διπλός σωλήνας (σωλήνας με απορροφητική επιφάνεια και εσωτερικά ένας σωλήνας U, δύο εξωτερικές ανακλαστικές επιφάνειες (Εικ. 1.6).
- Σωλήνας θερμότητας: Επίπεδη απορροφητική λωρίδα μέσα σε σωλήνα κενού, ο οποίος συνδέεται με σωλήνα θερμότητας που περιέχει διάλυμα σε κενό. Το διάλυμα εξατμίζεται και η θερμότητά του μεταφέρεται μέσω εναλλάκτη στο μέσο.
- Ξηρής σύνδεσης: Ο εναλλάκτης συνδέεται με τον συλλέκτη
- Υγρής σύνδεσης: Ο εναλλάκτης βρίσκεται μέσα στο ρευστό μεταφοράς θερμότητας.

Ωστόσο, οι συλλέκτες κενού βρίσκουν σημαντική εφαρμογή σε Βόρειες χώρες με μικρή ηλιοφάνεια και χαμηλές θερμοκρασίες καθώς η αποδοτικότητα των επίπεδων συλλεκτών μειώνεται ραγδαία όταν δεν επικρατούν ιδανικές συνθήκες.



Εικόνα 1.5: Συλλέκτης κενού απουσία κατοπτρικών διατάξεων.[8]



Εικόνα 1.6: Συλλέκτης Κενού με κατοπτρική διάταξη.[9]

1.2.1.2 Συγκεντρωτικοί συλλέκτες

Το βασικό χαρακτηριστικό των συγκεντρωτικών συλλεκτών είναι, ότι η ηλιακή ακτινοβολία συλλέγεται από μια μεγαλύτερη επιφάνεια, και μέσα από κατάλληλα οπτικά συστήματα συγκεντρώνεται για να απορροφηθεί από μια μικρότερη επιφάνεια. Δηλαδή, τα μεγέθη του απορροφητή και της διαθέσιμης επιφάνειας πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας δεν είναι ίδια.[3]

Η πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ενέργειας είναι μεγαλύτερη αυτής της προσπίπτουσας με αποτέλεσμα οι θερμικές απώλειες ανά επιφάνεια απορροφητή να είναι μικρότερες. Αποτέλεσμα αυτού είναι η επίτευξη υψηλότερων θερμοκρασιών λειτουργίας και αποτελεί το σημαντικότερο πλεονέκτημα των συγκεντρωτικών συλλεκτών.

Ένα όμως σημαντικό μειονέκτημα είναι ότι μπορεί να αξιοποιηθεί μόνο η άμεση ηλιακή ακτινοβολία, με αποτέλεσμα να χάνεται η ενέργεια που περιέχει η διάχυτη ακτινοβολία. Βέβαια πρέπει να τονιστεί ότι η γεωμετρία των καμπύλων κατοπτρικών διατάξεων επιτρέπει τη συλλογή της διάχυτης ακτινοβολίας υπό προϋποθέσεις.

Βασικά μεγέθη που χαρακτηρίζουν τους συγκεντρωτικούς συλλέκτες είναι ο γεωμετρικός λόγος συγκέντρωσης (CR) και ο λόγος συγκέντρωσης της ηλιακής ακτινοβολίας (CI)

$$CR = \frac{A_a}{A_r}, CI = \frac{I_r}{I_a} \quad (\text{εξ. 1.1 – 1.2})$$

Όπου:

A_a : η επιφάνεια πρόσπτωσης των ηλιακών ακτινών (η κάθετη σε αυτές).

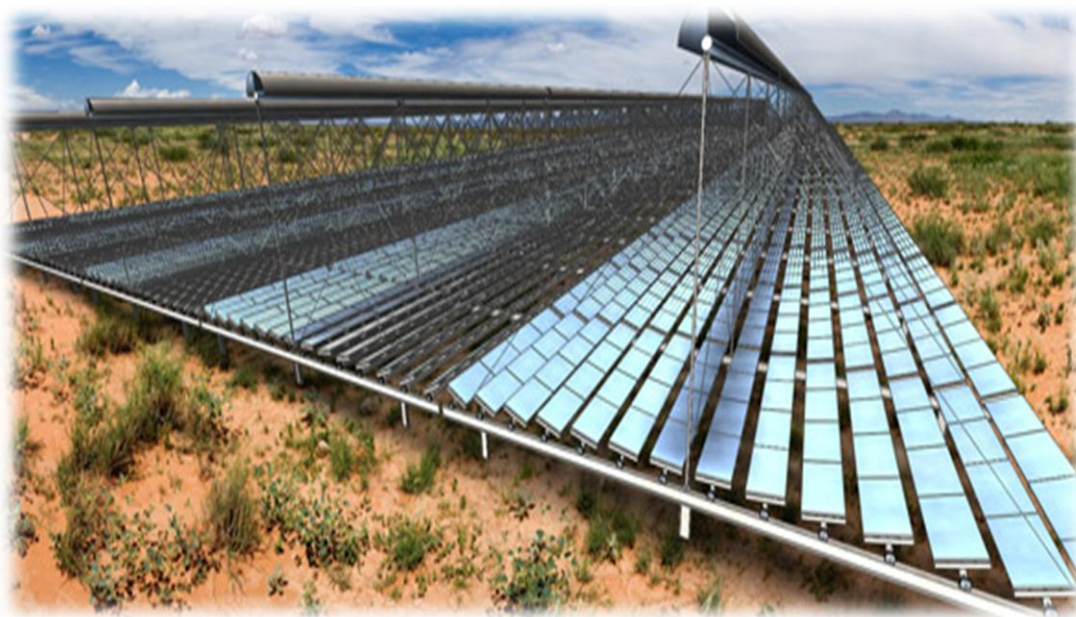
A_r : η επιφάνεια που απορροφά τη συγκεντρωμένη ηλιακή ακτινοβολία

I_r : απορροφούμενη ηλιακή ακτινοβολία

B1) Συγκεντρωτικοί συλλέκτες μέσων θερμοκρασιών

- **Συλλέκτες με γραμμική εστίαση[10]**

Το σύστημα αποτελείται από λωρίδες ανακλαστήρων, οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι με το σύστημα παρακολούθησης ηλίου (PLC solar tracker) και με τη μέθοδο της ανάκλασης συγκεντρώνουν την ηλιακή ακτινοβολία σε έναν δέκτη, ο οποίος βρίσκεται στο επάνω μέρος του συστήματος (Εικ. 1.7). Στο κέντρο του δέκτη βρίσκεται ο απορροφητής, ο οποίος έχει κυλινδρικό σχήμα, με δύο ομόκεντρα κανάλια (ένα εσωτερικό και ένα εξωτερικό). Με τον τρόπο αυτό δημιουργούνται συνθήκες κενού στον εξωτερικό κανάλι, με αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση απωλειών θερμότητας. Μέσα στον εσωτερικό κυλινδρικό σωλήνα, ρέει ειδικό υγρό που μετατρέπει την ηλιακή ακτινοβολία σε θερμότητα.



Εικόνα 1.7: Ηλιακοί συλλέκτες γραμμικής εστίασης.[5]

Η θερμότητα που παράγεται μπορεί να χρησιμοποιηθεί με δύο τρόπους:

1. Απευθείας για παραγωγή θερμοκρασιών 150 – 400 °C, για βιομηχανικές εφαρμογές.
2. Για ηλεκτροπαραγωγή μέσω ατμογεννήτριας, για σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής ή για βιομηχανικές εφαρμογές.

Οι ηλιακοί συλλέκτες γραμμικής εστίασης θεωρούνται ως τον διάδοχο των κοίλων παραβολικών κατόπτρων, με τα εξής βασικά πλεονεκτήματα:

1. Την δυνατότητα απευθείας παραγωγής ατμού
2. Το χαμηλό κόστος επένδυσης συντήρησης και λειτουργικών δαπανών, εξαιτίας της απλότητας και το χαμηλό κόστος κατασκευής
3. Μεγαλύτερη συλλεκτική επιφάνεια ανά τετραγωνικό μέτρο οικοπέδου

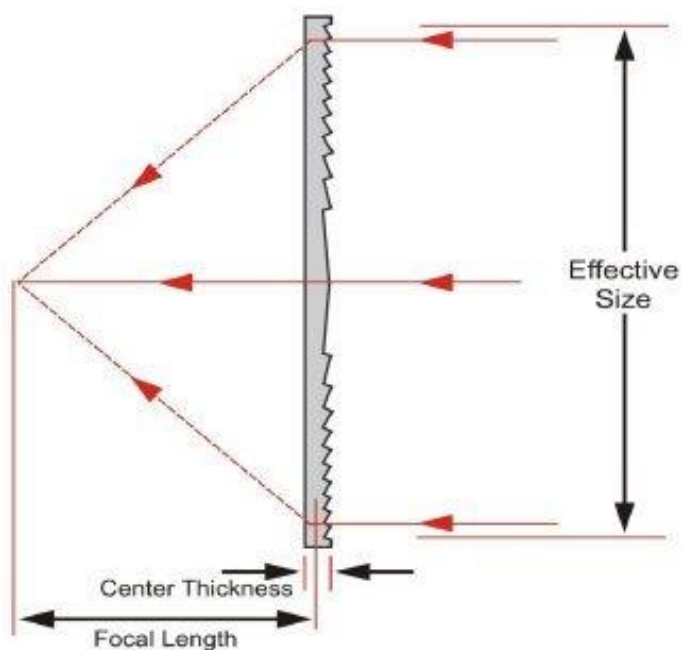
Αρχή λειτουργίας:

Οι ανακλαστήρες, ανάλογα με την κίνηση του ηλίου, περιστρέφονται σε έναν άξονα. Η μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία ανακλάται στην επιφάνεια των ανακλαστήρων και κατευθύνεται

προς τον δέκτη. Η ηλιακή ακτινοβολία μεταφέρεται (είτε απευθείας, είτε με α ανάκλαση), προς συγκέντρωση στο σωλήνα κενού (εξωτερικό κυλινδρικό διαφανές κάλυμμα) που βρίσκεται στο κέντρο του δέκτη (Εικ. 1.8). Η συγκεντρωμένη ακτινοβολία απορροφάται από τον δέκτη και μετατρέπεται σε θερμότητα. Το ρευστό που κυκλοφορεί εσωτερικά του σωλήνα, καθώς θερμαίνεται μπορεί να φτάσει θερμοκρασίες από 150 έως 400 °C.



Εικόνα 1.8: Σταθμός συλλεκτών Fresnel.[5]



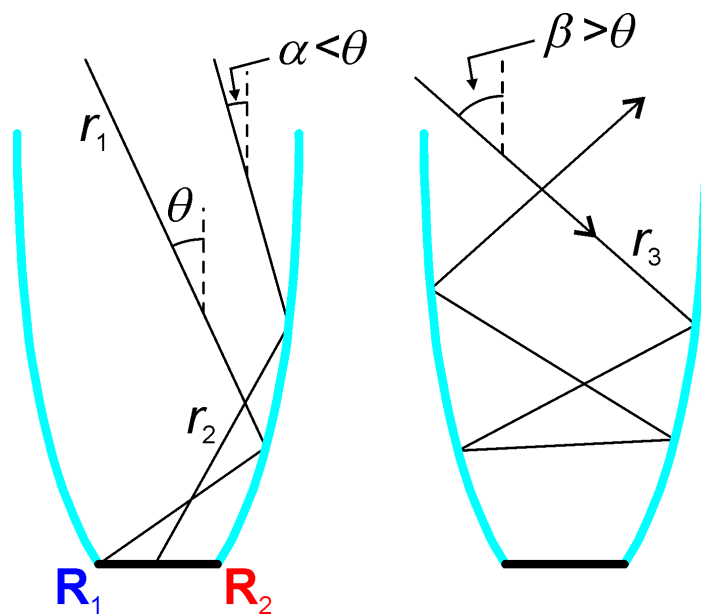
Σχήμα 1.5: Αρχή λειτουργίας ενός φακού Fresnel.[11]

Στην κατηγορία των συλλεκτών γραμμικής εστίασης ανήκουν και τα κάτοπτρα Fresnel, τα οποία είναι μία ακολουθία ανακλαστήρων όπου η μεταξύ τους απόσταση και η κλίση είναι κατάλληλη ώστε να συγκεντρώνεται η ακτινοβολία σε μια γραμμή (Σχ. 1.5). Η ακτινοβολία που ανακλάται από τα πρίσματα κατευθύνεται σε σωλήνες μέσα από τους οποίους ρέει νερό. Το νερό βράζει, παράγεται ατμός υψηλής πίεσης με απώτερο σκοπό την παραγωγή

ηλεκτρικής ενέργειας ή ατμό για βιομηχανικές εφαρμογές. Η λειτουργία των κατόπτρων Fresnel προέρχεται από την αρχή λειτουργίας των φακών Fresnel, σύμφωνα με την οποία κάθε ένα πρίσμα είναι τοποθετημένο με τέτοια γωνία ώστε να διαθλά το φως όπως ένας κανονικός σφαιρικός φακός του ίδιου εστιακού μήκους (Σχ. 1.5).

- **Συλλέκτες με CPC μη ευκρινούς ειδώλου**

Μια σύνθετη κατηγορία ηλιακών συλλεκτών μέσω θερμοκρασιών είναι οι συλλέκτες που συνδυάζουν κατοπτρικές διατάξεις σύνθετης παραβολικής γεωμετρίας, οι λεγόμενες μη ευκρινούς ειδώλου. Αυτές οι κατοπτρικές διατάξεις είναι συνδυασμός δύο ή και περισσότερων παραβολικών κατόπτρων που σχηματίζουν συγκεκριμένες γωνίες μεταξύ τους (Σχ. 1.6). Αποτέλεσμα αυτού είναι η δυνατότητα για μόνιμη (χωρίς κίνηση) εγκατάσταση για επίτευξη μέσω θερμοκρασιών. Η ανακλώμενη ακτινοβολία δεν είναι συγκεκριμένης διεύθυνσης με αποτέλεσμα το είδωλο να μην είναι ευκρινές. Συνήθως υλοποιούνται πολλαπλές ανακλάσεις πολλών τάξεων.[14]



Σχήμα 1.6: Αρχή λειτουργίας ενός συγκεντρωτικού συστήματος μη ευκρινούς ειδώλου (CPC).[15]

B2) Συγκεντρωτικοί (Υψηλές θερμοκρασίες)

- **Ηλιακοί πύργοι**

Το σύστημα αυτό περιλαμβάνει μηχανοκίνητα κάτοπτρα που ακολουθούν τη διεύθυνση του ήλιου και στέλνουν την ακτινοβολία σε μία δεξαμενή με νερό, η οποία βρίσκεται συνήθως σε κάποιο πύργο ύψους 110 - 160 m. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας του νερού μέσα στην δεξαμενή, μετατρέποντας το σε ατμό. Στη συνέχεια, ο ατμός περνάει από στρόβιλο ο οποίος μετατρέπει την θερμότητα του ατμού σε ηλεκτρική ενέργεια (Εικ. 1.9).[12]



Εικόνα 1.9: Ηλιακός πύργος στην Σεβίλλη.[12]

- **Ηλιακοί δίσκοι**

Η τεχνολογία ηλιακών δίσκων είναι η παλαιότερη ηλιακή τεχνολογία. Τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η τεχνολογία αυτή όπως, υψηλή απόδοση παραγωγής, ο συνδυασμός με συμβατικές μονάδες παραγωγής και η δυνατότητα της για μακροχρόνια λειτουργία χωρίς σημαντικό κόστος συντήρησης εξακολουθεί να διατηρεί το ενδιαφέρον επενδυτών και παραγωγών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Τα συστήματα ηλιακών δίσκων μετατρέπουν την θερμική ενέργεια της ηλιακής ακτινοβολίας σε μηχανική και μετά σε ηλεκτρική ενέργεια, με τον ίδιο τρόπο που οι συμβατικές μονάδες παραγωγής μετατρέπουν την θερμική ενέργεια από την καύση καυσίμων σε ηλεκτρισμό. Οι ηλιακοί δίσκοι χρησιμοποιούν μικρά κάτοπτρα τοποθετημένα δίπλα – δίπλα σχηματίζοντας ένα μεγάλο παραβολικό δίσκο, και τα οποία αντανακλούν την ηλιακή ακτινοβολία σε ένα συλλέκτη ο οποίος βρίσκεται τοποθετημένος στο εστιακό σημείο του παραβολικού δίσκου (Εικ. 1.10). Για την επίτευξη όσο το δυνατόν μεγαλύτερης απόδοσης, τα κάτοπτρα είναι τοποθετημένα σε μία δομή που επιτρέπει την κίνηση σε δύο κατευθύνσεις για την πλήρη παρακολούθηση της πορείας του ήλιου στον ορίζοντα.

Ο συλλέκτης απορροφά την θερμότητα που αντανακλάται από τα κάτοπτρα και αποδίδει την θερμότητα στο ένα άκρο μίας μηχανής αναπτύσσοντας τις κατάλληλες θερμοκρασίες, που απαιτούνται για την μετατροπή της θερμικής ενέργειας σε μηχανική. Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση αερίου ή υγρού και ενός εσωτερικού πιστονιού το οποίο κινεί την φτερωτή που βρίσκεται στο εσωτερικό της μηχανής. Τέλος, η φτερωτή είναι συνδεδεμένη σε μία ηλεκτρική γεννήτρια για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Τα συστήματα ηλιακών δίσκων έχουν επιδείξει την υψηλότερη απόδοση όσον αφορά την μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική.[13]



Εικόνα 1.10: Σύστημα Ηλιακού Δίσκου.[13]



Εικόνα 1.11: Παραβολικά Κάτοπτρα γραμμικής εστίασης.[15]

- **Παραβολικά κοίλα κάτοπτρα**

Η ηλιακή ακτινοβολία συγκεντρώνεται μέσω των παραβολικών κατόπτρων, τα οποία την αντανακλούν επάνω σε ένα σωλήνα, στον οποίο ρέει κάποιο ρευστό (Εικ. 1.11). Συνήθως, το ρευστό που χρησιμοποιείται είναι ένα συνθετικό λάδι. Η θερμότητα που συλλέγεται από το ρευστό μεταφέρεται σε νερό μέσω ενός εναλλάκτη θερμότητας για την παραγωγή ατμού. Σε περίπτωση που χρησιμοποιηθεί τηγμένο άλας, μπορούν να επιτευχθούν υψηλότερες θερμοκρασίες καθώς επίσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την αποθήκευση θερμικής ενέργειας, σε σύγκριση με το συνθετικό λάδι.[15]

Στον πίνακα 1 γίνεται σύγκριση των Επίπεδων με των Συγκεντρωτικών Συλλεκτών[3]:

Πίνακας 1

Επίπεδοι Συλλέκτες	Συγκεντρωτικοί Συλλέκτες
1. Επιφάνεια συλλογής των Ηλιακών Ακτινών ίση με την επιφάνεια απορρόφησής των.	1. Επιφάνεια συλλογής των Ακτινών πολύ μεγαλύτερη από την επιφάνεια απορρόφησης.
2. Λειτουργία σε χαμηλές Θερμοκρασίες (< 150 °C)	2. Λειτουργία σε υψηλές Θερμοκρασίες (> 200 °C)
3. Μεγάλο ποσοστό απωλειών	3. Μικρότερες απώλειες, υψηλότερη Θερμική Απόδοση
4. Αξιοποίηση Άμεσης και Διάχυτης Ακτινοβολίας	4. Αξιοποίηση μόνο Άμεσης Ακτινοβολίας
5. Όχι ιδιαίτερες απαιτήσεις για την αντοχή και ποιότητα των υλικών	5. Απαιτούνται υλικά ανθεκτικά σε υψηλές Θερμοκρασίες
6. Απλουστευμένη τεχνολογία και κατασκευή	6. Υψηλή τεχνολογία και πολύπλοκη κατασκευή
7. Όχι κινούμενα μέρη για να παρακολουθούν τον ήλιο	7. Απαιτούνται πολύπλοκοι και ακριβείς μηχανισμοί ώστε να παρακολουθεί το σύστημα την πορεία του ήλιου
8. Χαμηλό κόστος κατασκευής	8. Υψηλό κόστος κατασκευής
9. Μικρό κόστος συντήρησης	9. Μεγάλο κόστος συντήρησης
10. Όχι μεγάλη ευπάθεια σε καιρικές συνθήκες	10. Ευπάθεια των μεγάλων εγκαταστάσεων στους ανέμους, χαλάζι κ.τ.λ.

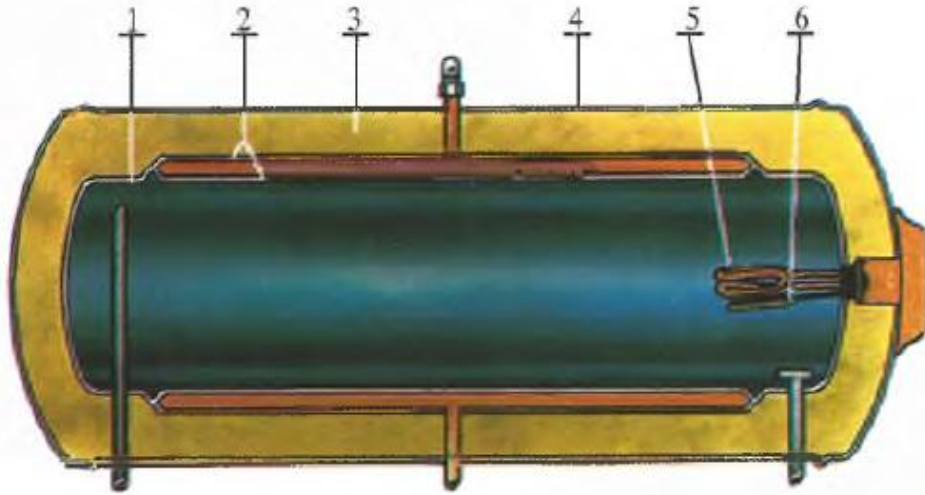
1.3 Δεξαμενή αποθήκευσης

Ο ηλιακός θερμικός συλλέκτης συνδέεται με μία δεξαμενή αποθήκευσης (Σχ. 1.7), στην οποία μεταφέρει την ωφέλιμη θερμότητα που παράγει, μέσω του ρευστού απολαβής που ρέει στις σωληνώσεις του συλλέκτη. Η χωρητικότητά της είναι συνάρτηση της συλλεκτικής επιφάνειας που διατίθεται. Είναι συνήθως χαλύβδινη, με εσωτερική επίστρωση για προστασία από τη διάβρωση. Η επίστρωση αυτή είναι από ειδικά πλαστικά ή εποξειδικά χρώματα ή εμαγιέ (υαλόκραμα). Εναλλακτικά, και για ακριβότερα συστήματα η δεξαμενή αποθήκευσης μπορεί να είναι χάλκινη ή ανοξείδωτη. Εξωτερικά έχει πολύ καλή θερμική μόνωση, συνήθως από πολυουρεθάνη ή υαλοβάμβακα. Τις περισσότερες φορές, στη δεξαμενή αποθήκευσης υπάρχει ενσωματωμένη κάποια ηλεκτρική αντίσταση. Στα συστήματα κλειστού βρόχου έχει επιπλέον ενσωματωμένο εναλλάκτη ή αλλιώς σερπαντίνα για την κυκλοφορία του θερμαινόμενου μέσου. Σε πιο ακριβά συστήματα είναι διπλών τοιχωμάτων (ανάμεσα στα δύο τοιχώματα κυκλοφορεί το θερμαινόμενο μέσο).[1]

Η θέρμανση του νερού στα δοχεία των ηλιακών, μπορεί να γίνει:

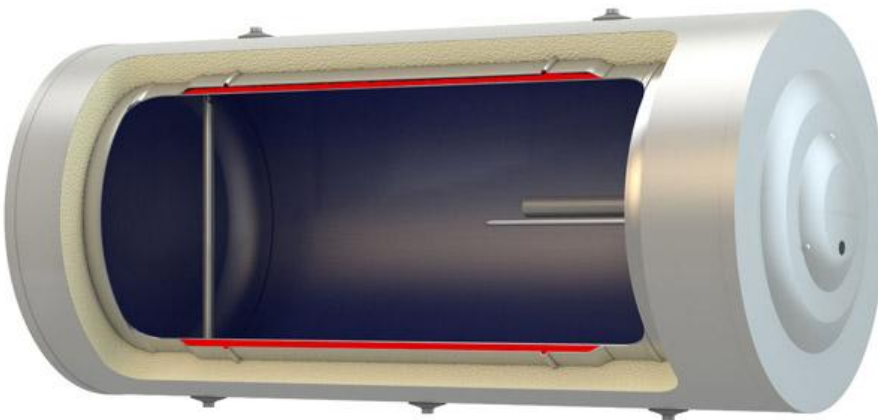
1. Με ηλεκτρική ενέργεια (μέσω ηλεκτρικής αντίστασης),
2. Από τον ήλιο και,
3. Από το σύστημα θέρμανσης του σπιτιού.

Η μεταφορά ενέργειας τόσο από τον ήλιο όσο και από το δίκτυο θέρμανσης, γίνεται με τη βοήθεια εναλλακτών θερμότητας. Ο πιο κατάλληλος τύπος εναλλάκτη για τη θέρμανση ενός τέτοιου δοχείου είναι ο τύπος μανδύα (Εικ. 1.12). Δηλαδή, η ύπαρξη ενός διπλού τοιχώματος από λαμαρίνα εσωτερικά του μπόιλερ, μέσα στο οποίο ρέει το νερό του κλειστού κυκλώματος, μεταφέροντας την θερμική ενέργεια από το συλλέκτη στο νερό χρήσης του μπόιλερ. Ο μανδύας προσφέρει μεγάλη επιφάνεια εναλλαγής και είναι απλός στην κατασκευή.



1. δεξαμενή θέρμανσης νερού
2. εναλλάκτης θερμότητας
3. μόνωση από πολουρεθάνη
4. εξωτερικό περίβλημα δοχείου
5. ηλεκτρική αντίσταση, για πρόσθετη (ηλεκτρική) ενέργεια όταν χρειαστεί, λόγω μειωμένης ακτινοβολίας
6. ανοδική προστασία. Εξουδετερώνει τα ιόντα Cu^{++} κτλ. που μειώνουν το χρόνο ζωής της δεξαμενής

Σχήμα 1.7: Δεξαμενή αποθήκευσης ζεστού νερού από ένα σύστημα ηλιακών συλλεκτών.[1]



Εικόνα 1.12: Εναλλάκτης τύπου μανδύα σε δεξαμενή αποθήκευσης ζεστού νερού.[16]

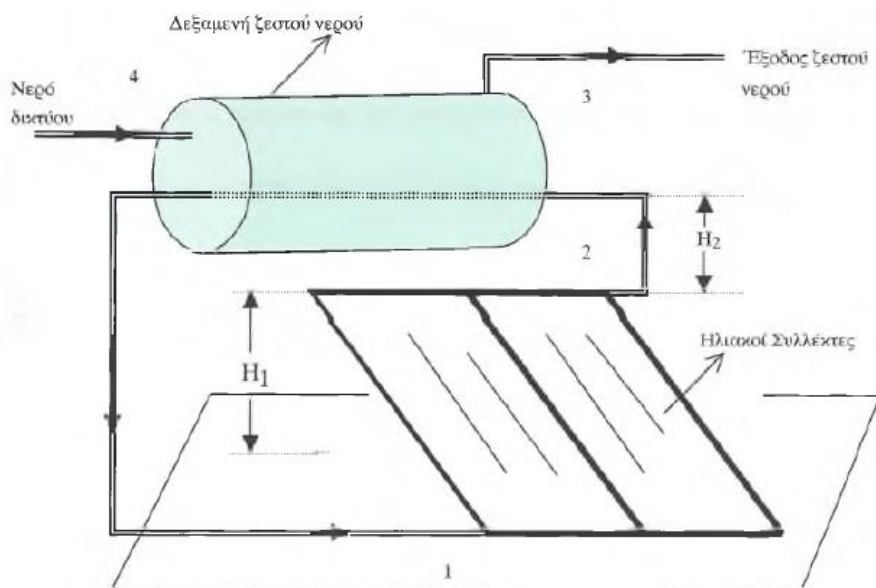
1.4 Ηλιακά θερμικά συστήματα

Ανάλογα με τον τρόπο σύνδεσης του ηλιακού συλλέκτη με την δεξαμενή αποθήκευσης, τα ηλιακά θερμικά συστήματα διακρίνονται ως εξής:

1. Στα ηλιακά συστήματα θερμοσιφωνικού τύπου και,
2. Στα συστήματα βεβιασμένης κυκλοφορίας.

1.4.1 Ηλιακά συστήματα θερμοσιφωνικού τύπου

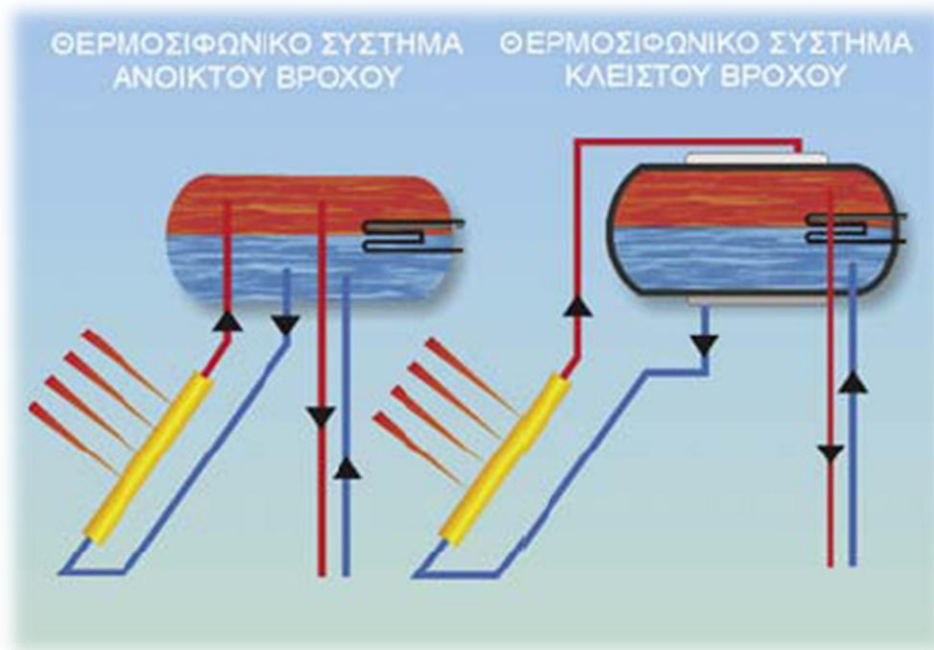
Η δεξαμενή αποθήκευσης του ζεστού νερού, σε ένα θερμοσιφωνικό σύστημα ηλιακών συλλεκτών, δηλαδή ένα σύστημα που δεν χρειάζεται κυκλοφορητή, πρέπει να ευρίσκεται τοποθετημένη σε υψηλότερο σημείο από την συλλεκτική επιφάνεια (Σχ. 1.8). Η κυκλοφορία του ρευστού στο κύκλωμα Συλλέκτης-Δεξαμενή-Συλλέκτης (Σ-Δ-Σ) επιτυγχάνεται λόγω της διαφοράς πίεσης που δημιουργείται στο κλειστό κύκλωμα. Η διαφορά πίεσης, ΔP , οφείλεται στη διαφορά της πυκνότητας του ρευστού (π.χ. νερού) που ευρίσκεται εντός των σωληνώσεων του ηλιακού συλλέκτη, σε σχέση με την πυκνότητα του ρευστού του κυκλώματος στη δεξαμενή. Η διαφορά θερμοκρασίας του νερού απολαβής, μεταξύ του συλλέκτη και της δεξαμενής ικανή να ξεκινήσει θερμοσιφωνική ροή είναι περίπου 8-10 °C. Ωστόσο, αυτή η διαφορά εξαρτάται από την πτώση πίεσης του ρευστού στο κύκλωμα. Δηλαδή, από την διάμετρο και το μήκος των σωληνώσεων, αλλά και από τις γωνίες κυκλοφορίας που σχηματίζουν οι σωλήνες.



Σχήμα 1.8: φυσική κυκλοφορία νερού σε κλειστό κύκλωμα θερμοσιφωνικού ηλιακού συλλέκτη.[1]

Σύμφωνα με το κύκλωμα κυκλοφορίας του θερμαινόμενου μέσου διακρίνονται δύο είδη ηλιακών θερμοσιφωνικών συστημάτων:

- *Ανοικτού βρόχου:* απευθείας θέρμανση του νερού χρήσης (το θερμαινόμενο μέσο είναι το ίδιο με το νερό χρήσης).
- *Κλειστού βρόχου:* έμμεση θέρμανση του νερού χρήσης (το θερμαινόμενο μέσο κυκλοφορεί σε ιδιαίτερο κύκλωμα το οποίο θερμαίνει το νερό χρήσης χωρίς να γίνεται ανάμιξή τους) μέσω εναλλάκτη θερμότητας.



Σχήμα 1.9: Θερμοσιφωνικά συστήματα ανοικτού και κλειστού βρόχου.[17]

Εάν το σύστημα ηλιακών συλλεκτών χρησιμοποιείται σε παγωμένες κλιματολογικές συνθήκες, τότε για να μην παγώνει το ρευστό που διέρχεται από το συλλέκτη πρέπει να περιέχει αντιπηκτικό υγρό π.χ. προπυλενογλυκόλη. Επίσης, για την ικανοποίηση της ανωτέρω προϋπόθεσης είναι δυνατή η σύνδεση εναλλάκτη θερμότητας ανάμεσα στο συλλέκτη και στην δεξαμενή αποθήκευσης. Στην περίπτωση αυτή όμως, ο ηλιακός συλλέκτης δεν είναι θερμοσιφωνικού τύπου αλλά εξαναγκασμένης κυκλοφορίας.

Οι ηλιακοί θερμοσίφωνες ανοικτού κυκλώματος είναι απλούστεροι και φθηνότεροι, εμφανίζουν όμως προβλήματα σε χαμηλές θερμοκρασίες (παγετούς) γιατί δεν είναι δυνατή η προσθήκη αντιψυκτικών μιγμάτων (αφού το θερμαινόμενο μέσο είναι το ίδιο το νερό χρήσης). Στα ηλιακά θερμοσιφωνικά συστήματα κλειστού κυκλώματος μπορεί το θερμαινόμενο μέσο να είναι και άλλο ρευστό (πχ. λάδι). Αν είναι μόνο νερό, για λόγους προστασίας της συσκευής, περιέχει αντιψυκτικά και αντιδιαβρωτικά πρόσθετα.

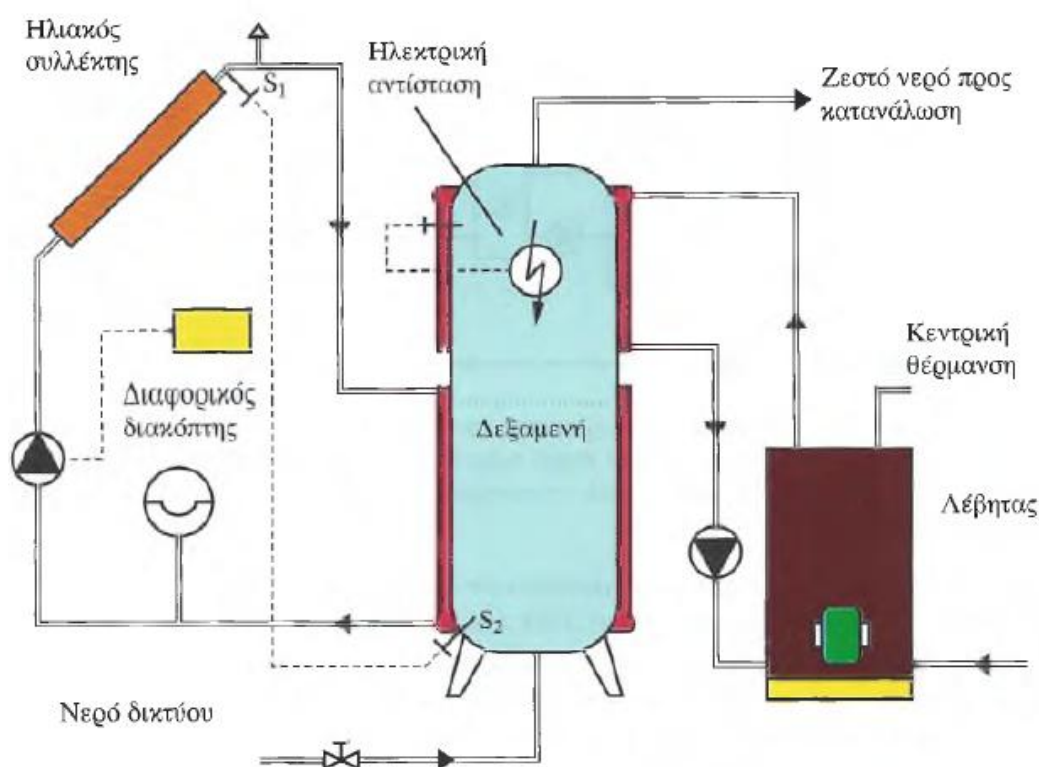
Τα ηλιακά θερμοσιφωνικά συστήματα ανάλογα με τον αριθμό των ενεργειακών πηγών που μπορούν να εκμεταλλευτούν, κατηγοριοποιούνται σε:

1. Διπλής ενέργειας: Το σύστημα λειτουργεί εκμεταλλεζόμενο είτε την ηλιακή είτε την ηλεκτρική ενέργεια (πχ. κατά τη διάρκεια συννεφιάς όπου η ηλιακή ενέργεια δεν είναι αρκετή για να ζεστάνει το νερό). Για τον σκοπό αυτό, υπάρχει ηλεκτρική αντίσταση τοποθετημένη εντός του τμήματος αποθήκευσης.
2. Τριπλής ενέργειας: Το σύστημα λειτουργεί όπως της διπλής ενέργειας, με μόνη διαφορά ότι περιλαμβάνει μία επιπλέον παροχή. Στόχος είναι η εκμετάλλευση του ζεστού νερού από το λέβητα κεντρικής θέρμανσης, ως θερμαντικό μέσο.

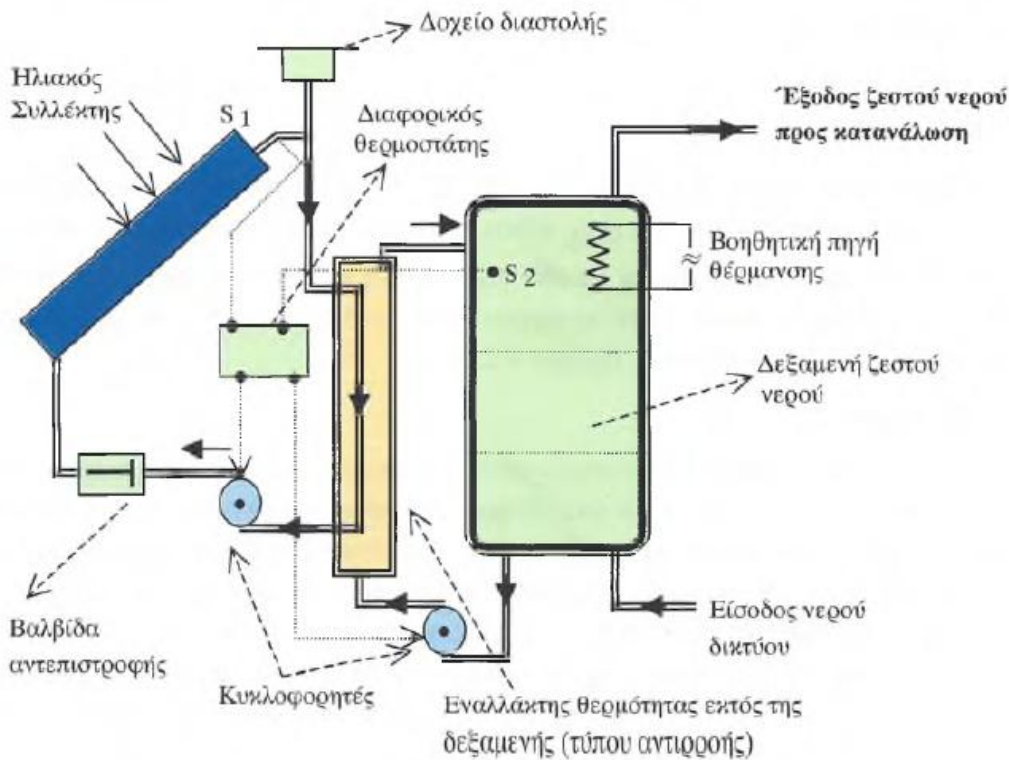
Προϋπόθεση για την εγκατάσταση συστήματος τριπλής ενέργειας είναι η ύπαρξη κατάλληλης υποδομής στο κτήριο ώστε το ηλιακό σύστημα να συνδεθεί με το λεβητοστάσιο.

1.4.2 Ηλιακά συστήματα εξαναγκασμένης κυκλοφορίας

Στα ηλιακά θερμικά συστήματα εξαναγκασμένης κυκλοφορίας, το πεδίο του ηλιακού θερμικού συλλέκτη βρίσκεται σε απόσταση από την δεξαμενή αποθήκευσης (Σχ. 1.10 – 1.11). Επομένως, η αρχή λειτουργίας, των συγκεκριμένων συστημάτων, βασίζεται στην χρήση ηλεκτρικών αντλιών, βαλβίδων και συστημάτων ελέγχου για την κυκλοφορία του ρευστού μεταφοράς θερμότητας. Κάποιες φορές χρησιμοποιείται και ένας διαφορικός θερμοστάτης, ο οποίος δίνει εκκίνηση στον κυκλοφορητή ώστε να αρχίσει η ροή του ρευστού εντός των σωληνώσεων του συλλέκτη. Συνήθως, ο θερμοστάτης δίνει εντολή εκκίνησης όταν η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του νερού στην έξοδο του συλλέκτη και του ζεστού νερού χρήσης εντός της δεξαμενής φθάσει ένα προκαθορισμένο όριο π.χ. 5 – 10 °C. Ανάλογα, πάντα, με τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του συστήματος. Στην περίπτωση, που δεν υπάρχει διαφορικός θερμοστάτης, για την λειτουργία του συστήματος, απαιτείται η συνεχής λειτουργία του κυκλοφορητή.

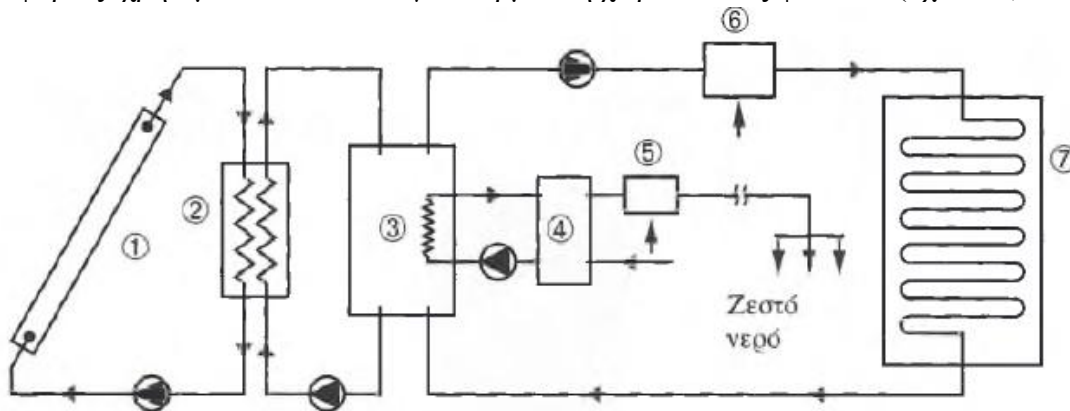


Σχήμα 1.10: Σύστημα ηλιακών συλλεκτών που χρησιμοποιεί δεξαμενή με διπλό εναλλάκτη, για την παραγωγή ζεστού νερού. Ο κάτω μανδύας του εναλλάκτη συνδέεται με τους συλλέκτες και ο άνω μανδύας με το λέβητα της κεντρικής Θέρμανσης που θα προσφέρει ενέργεια μόνον όταν απαιτείται. Ο αισθητήρας S_2 βρίσκεται στο κάτω μέρος της δεξαμενής καθώς το ζεστό νερό από τους ηλιακούς συλλέκτες οδηγείται στον κάτω μανδύα της δεξαμενής.[1]



Σχήμα 1.11: Σύστημα ηλιακού συλλέκτη κλειστού κυκλώματος εξαναγκασμένης κυκλοφορίας με εναλλάκτη έξω από την δεξαμενή. Οι S_1 , S_2 είναι αισθητήρες θερμοκρασίας στην έξοδο του συλλέκτη και στο άνω μέρος της δεξαμενής. Όταν οι θερμοκρασίες που αντιστοιχούν οι αισθητήρες S_1 , S_2 διαφέρουν αρκετά π.χ. η S_1 είναι $5\text{ }^\circ\text{C}$ μεγαλύτερη της S_2 τότε ο διαφορικός θερμοστάτης θέτει σε λειτουργία τους κυκλοφορητές.[1]

Οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες και συγκεκριμένα τα κλειστά κυκλώματα βεβιασμένης κυκλοφορίας, χρησιμοποιούνται και για θέρμανση χώρων, όπως φαίνεται (Σχ. 1.12).



1. ηλιακός συλλέκτης, 2. εναλλάκτης θερμότητας (αντιροής), 3. δεξαμενή αποθήκευσης ζεστού νερού, 4. δεξαμενή αποθήκευσης ζεστού νερού προς κατανάλωση, 5. βοηθητική πηγή ενέργειας ζεστού νερού, 6. βοηθητική ενέργεια από την κεντρική θέρμανση ή από αντλία θερμότητας, 7. θερμαινόμενος χώρος.

Σχήμα 1.12: Σύστημα ηλιακών συλλεκτών που χρησιμοποιείται για θέρμανση χώρων και παραγωγή ζεστού νερού. [1]

Ένα σύστημα θέρμανσης χώρων και παραγωγής ζεστού νερού χρήσης πρέπει να είναι κατάλληλα σχεδιασμένο τέτοιο ώστε η διάταξη της θέρμανσης και η διάταξη της παραγωγής ζεστού νερού να είναι διακριτές.

Συνήθως, το ρευστό, που κυκλοφορεί στους συλλέκτες και διέρχεται από εναλλάκτη τοποθετημένο εκτός της δεξαμενής, έχει σχετικά χαμηλή θερμοκρασία, επιτυγχάνοντας υψηλή απόδοση στη λειτουργία όλης της διάταξης των συλλεκτών.

Τα συστήματα ηλιακών συλλεκτών που χρησιμοποιούν νερό χαμηλής θερμοκρασίας, έχουν ως εναλλάκτη φορτίου, για τη θέρμανση χώρων, είτε έναν εναλλάκτη νερού – αέρα (fan coils) είτε ένα ενδοδαπέδιο σύστημα.

1.5 Σκοπός και ανάλυση διπλωματικής εργασίας

Σκοπός της παρούσης διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη, η σχεδίαση, και η κατασκευή πειραματικής ηλιακής διάταξης, με απώτερο στόχο την πιστοποίηση ηλιακών θερμικών συστημάτων. Η πειραματική συσκευή, εκμεταλλευόμενη την ηλιακή ακτινοβολία, παράγει ζεστό νερό χρήσης, και νερό για την θέρμανση χώρων. Τελικός στόχος της εργασίας είναι η επιμόρφωση των φοιτητών στον τομέα των ηλιακών θερμικών συστημάτων.

Στο 2^ο κεφάλαιο της διπλωματικής εργασίας παρουσιάζονται κάποιες από τις ήδη υπάρχουσες εγκατεστημένες διατάξεις πιστοποίησης ηλιακών θερμικών συστημάτων στην Ελλάδα αλλά και στον υπόλοιπο Ευρωπαϊκό χώρο. Οι διατάξεις αυτές βασίζονται στα διεθνή πρότυπα πιστοποίησης ηλιακών θερμικών συστημάτων. Έπειτα, αφού παρουσιαστούν οι διατάξεις πιστοποίησης, μελετώνται κάποια από τα διεθνή πρότυπα, τα οποία βρίσκουν εφαρμογή στην υπό κατασκευή πειραματική συσκευή. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζονται ποια είναι τα διεθνή πρότυπα πιστοποίησης, το πρότυπο ΕΛΟΤ (Ελληνικός Οργανισμός Ταυτοποίησης) ποιος είναι ο στόχος τους, ποιες είναι οι πλέον διαδεδομένες δοκιμές που εφαρμόζονται σε ένα θερμικό σύστημα, ενώ τέλος παρουσιάζονται οι μαθηματικές εξισώσεις από τις οποίες προκύπτουν: ο στιγμιαίος βαθμός απόδοσης και άλλα σημαντικά μεγέθη που αφορούν την πλήρη ανάλυση ενός ηλιακού θερμικού συστήματος.

Το 3^ο κεφάλαιο, αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα κεφάλαια της διπλωματικής εργασίας. Στο κεφάλαιο αυτό, γίνεται εκτενής παρουσίαση και ανάλυση της πειραματικής ηλιακής συσκευής. Αρχικά, η διάταξη παρουσιάζεται υπό την μορφή μηχανολογικών σχεδίων των δύο και των τριών διαστάσεων, ενώ στη συνέχεια γίνεται αναφορά στην αρχή λειτουργίας του συστήματος. Στη συνέχεια του κεφαλαίου, απεικονίζονται τα στάδια συναρμολόγησης και κατασκευής του συστήματος. Το κεφάλαιο κλείνει με την παρουσίαση των οργάνων μέτρησης που συνδέθηκαν στην πειραματική διάταξη. Αρχικά, αναφέρεται ο λόγος για τον οποίο χρησιμοποιήθηκαν, ακολουθεί η αρχή λειτουργίας και τέλος τα χαρακτηριστικά κάθε ενός οργάνου.

Στόχος του 4^{ου} κεφαλαίου είναι η μελέτη της πειραματικής διάταξης. Η συσκευή εκτίθεται σε πειραματικές δοκιμές με απώτερο σκοπό την έκβαση και τον σχολιασμό των αποτελεσμάτων, που προκύπτουν. Στα αποτελέσματα περιλαμβάνονται οι εξισώσεις προσδιορισμού της στιγμιαίας θερμικής απόδοσης του συλλέκτη και της μέσης θερμικής απόδοσης του θερμικού συστήματος καθώς και ο προσδιορισμός του συντελεστή θερμικών απωλειών του συστήματος συλλέκτη – δεξαμενή αποθήκευσης. Ακολουθούν οι καμπύλες

διακύμανσης των θερμοκρασιών του ρευστού κυκλοφορίας και του νερού αποθήκευσης της δεξαμενής. Εν κατακλείδι παρουσιάζονται οι καμπύλες απόδοσης του συστήματος και γίνεται ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων.

Η πειραματική συσκευή θα παραμείνει στο χώρο του εργαστηρίου ΑΠΕ του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας δίνοντας την δυνατότητα στους φοιτητές του Τμήματος να πραγματοποιούν διάφορα πειράματα αλλά και να αποκτήσουν μία καλή εμπειρία όσον αφορά τα ηλιακά θερμικά συστήματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΗΛΙΑΚΩΝ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ – ΠΡΟΤΥΠΑ ΕΛΟΤ.

2.1 Διατάξεις πιστοποίησης ηλιακών θερμικών συστημάτων στην Ελλάδα και στον υπόλοιπο Ευρωπαϊκό χώρο

Το Εργαστήριο Ηλιακών και άλλων Ενεργειακών Συστημάτων του ΕΚΕΦΕ "Δημόκριτος", υλοποιεί ερευνητικές και αναπτυξιακές δράσεις στον τομέα των τεχνολογιών εκμετάλλευσης της θερμικής ηλιακής ενέργειας και της εξοικονόμησης ενέργειας, παρέχοντας παράλληλα αξιόπιστες επιστημονικές υπηρεσίες στους αντίστοιχους παραγωγικούς κλάδους. Τέλος, αποτελεί το μοναδικό αναγνωρισμένο εργαστήριο χαρακτηρισμού και αξιολόγησης θερμικών ηλιακών συστημάτων στην Ελλάδα.

Στις αρχές της δεκαετίας του 1990, δόθηκε έμφαση στην ανάπτυξη μεθοδολογιών χαρακτηρισμού και αξιολόγησης θερμικών ηλιακών συλλεκτών και οικιακών συστημάτων, μία δραστηριότητα η οποία οδήγησε στη δημιουργία των σχετικών διεθνών προτύπων ISO. Την ίδια περίοδο αναπτύχθηκε και υποδομή αξιολόγησης θερμικών ηλιακών συστημάτων, η οποία επέτρεψε να γίνει αξιολόγηση του συνόλου των ηλιακών συλλεκτών και οικιακών συστημάτων της εθνικής βιομηχανικής παραγωγής, με στόχο το χαρακτηρισμό και την βελτιστοποίηση των προϊόντων (Εικ. 2.1 και 2.2). Τέλος, από τη δεκαετία του 2000 μέχρι σήμερα, έχει δοθεί έμφαση στην αναπτυξιακή έρευνα με κύριους τομείς εστίασης: τους ηλιακούς συλλέκτες και τα συστήματα, την ανάλυση και τον σχεδιασμό διατάξεων αποθήκευσης θερμότητας, την ηλιακή ψύξη, την θερμική απόσταξη – αφαλάτωση, τις διεργασίες και τα συστήματα μηχανικής ξήρανσης, τη μετρολογία ενεργειακών μεγεθών, και άλλα.[18]



Εικόνα 2.1: Εγκαταστάσεις στο εργαστήριο Ηλιακών και άλλων Ενεργειακών Συστημάτων του ΕΚΕΦΕ "Δημόκριτος".[18.



Εικόνα 2.2: Εγκαταστάσεις στο εργαστήριο Ηλιακών και άλλων Ενεργειακών Συστημάτων του ΕΚΕΦΕ "Δημόκριτος".[18]

Η σημερινή υποδομή του εργαστηρίου συνίσταται στα εξής:

- Ωφέλιμοι χώροι: 3000 m²
- Κτήρια ειδικών προδιαγραφών
- Χώροι δοκιμών: 250 m² (εσωτερικοί) και 2000 m² (εξωτερικοί)
- Αυτοματοποιημένα συστήματα θερμοϋδραυλικών χαρακτηριστικών ηλιακών συλλεκτών.
- Αυτοματοποιημένη εγκατάσταση προσδιορισμού ενεργειακών επιδόσεων ηλιακών συστημάτων.
- Εγκαταστάσεις αξιολόγησης αξιοπιστίας ηλιακών συλλεκτών.
- Αδιαβατικοί θάλαμοι ενεργειακού χαρακτηρισμού κλιματιστικών μονάδων, αντλιών θερμότητας, εναλλακτών θερμότητας, fan coils κλπ.
- Ειδικά όργανα μέτρησης υψηλής μετρολογικής ποιότητας (θερμόμετρα SPRT, λουτρά διακρίβωσης, πυρανόμετρα secondary standards, όργανα dew point, ανεμόμετρα, ηλεκτρομαγνητικά ροόμετρα, μετρητές ισχύος κλπ.
- Λογισμικό δυναμικής προσομοίωσης θερμικών ηλιακών συλλεκτών και συστημάτων.

Κάποιες από τις ήδη εγκατεστημένες διατάξεις πιστοποίησης ηλιακών θερμικών συστημάτων στο εργαστήριο, παρουσιάζονται ακολούθως:

- **Εγκατάσταση δοκιμών οικιακών συστημάτων**



Εικόνα 2.3: Εγκατάσταση δοκιμών οικιακών ηλιακών συστημάτων στο εργαστήριο.[18]

- **Ηλιακός συλλέκτης δοκιμών (solar collector testing)**



Εικόνα 2.4: Ηλιακός Συλλέκτης Δοκιμών.[18]

Η συγκεκριμένη διάταξη (Εικ. 2.4) παρέχει τις μεθόδους δοκιμής και τις διαδικασίες υπολογισμού με στόχο τον προσδιορισμό της σταθερής κατάστασης θερμικής απόδοσης των ηλιακών συλλεκτών. Περιέχει μεθόδους για τη διεξαγωγή δοκιμών σε εξωτερικούς χώρους κάτω από φυσικές συνθήκες ηλιακής ακτινοβολίας.

Στην συγκεκριμένη διάταξη εφαρμόζονται:

- Πειραματικές δοκιμές για τον προσδιορισμό της στιγμιαίας απόδοσης υπό κατάσταση θερμικής ισορροπίας (πρώτης και δεύτερης τάξης καμπύλης απόδοσης)
- Προσδιορισμός της καμπύλης πτώσης πίεσης
- Καθορισμός της αποτελεσματικής θερμοχωρητικότητας
- Προσδιορισμός της σταθεράς χρόνου
- Προσδιορισμός γωνίας πρόσπτωσης
- Δοκιμή εσωτερικής πίεσης για μεταλλικές απορροφητές
- Δοκιμή αντοχής σε υψηλή θερμοκρασία
- Δοκιμή έκθεσης
- Εξωτερικές δοκιμές εξωτερικού σοκ
- Εσωτερική δοκιμή θερμικού σοκ
- Δοκιμή διείσδυσης της βροχής
- Μηχανικές δοκιμές φορτίου

Η λίστα δοκιμών, μετρήσεων και υπηρεσιών που προσφέρονται από το εργαστήριο Ε.Κ.Ε.Φ.Ε. "Δημόκριτος" σύμφωνα με το πρότυπο EN 12975 – 2 είναι:

1. Καμπύλη στιγμιαίας απόδοσης
2. Πτώση πίεσης
3. Ενεργός θερμοχωρητικότητα
4. Προσδιορισμός της σταθεράς χρόνου
5. Προσδιορισμός της σταθεράς χρόνου
6. Εσωτερική πίεση σε μεταλλικούς απορροφητές
7. Αντοχή σε υψηλή θερμοκρασία στασιμότητας
8. Έκθεση στον ήλιο
9. Εξωτερικό θερμικό πλήγμα
10. Εσωτερικό θερμικό πλήγμα
11. Διείσδυσης βροχής
12. Μηχανικές δοκιμές
13. Ετήσια απολαβή ηλιακού Συλλέκτη

- **Συγκεντρωτικός ηλιακός συλλέκτης μέσης ισχύος**

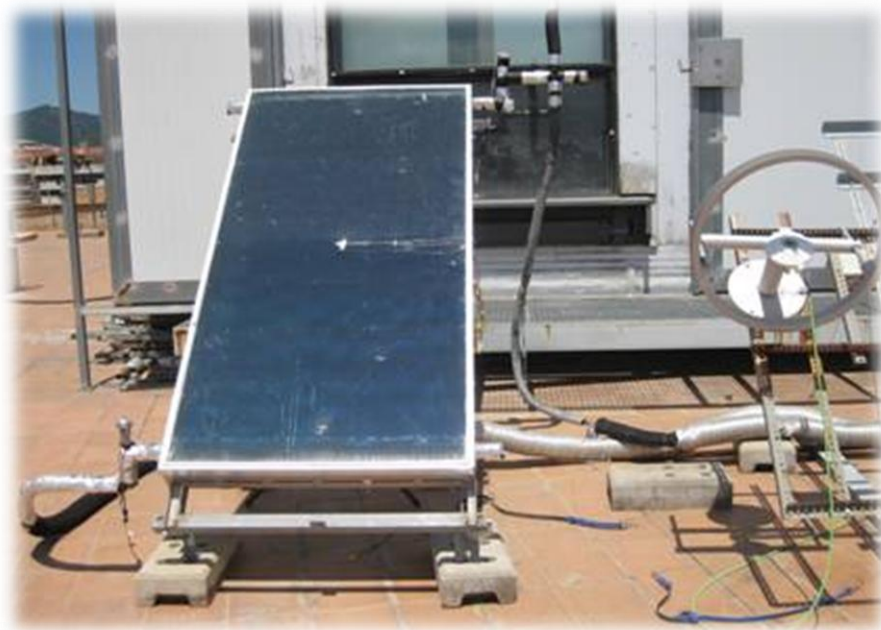
Συγκεντρωτικός ηλιακός συλλέκτης Ισπανικής κατασκευής (*Εικ. 2.5*), ο οποίος μπορεί να συλλέγει μεγάλες ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας με υψηλή απόδοση, εγκαταστάθηκε στο εργαστήριο ΗΜΕ του ΤΕΙ Πάτρας. Οι συγκεντρωτικοί αυτοί ηλιακοί συλλέκτες μπορεί να περιστρέφονται επί δύο αξόνων παρακολουθώντας τον ήλιο, ώστε η ηλιακή ακτινοβολία να προσπίπτει πάντα κάθετα στο επίπεδο τους.



Εικόνα 2.5: Συγκεντρωτικός ηλιακός συλλέκτης μέσης ισχύος.

- **Επίπεδη ηλιακή συλλεκτική επιφάνεια για τις μέσες θερμοκρασίες**

Η συγκεκριμένη διάταξη (Εικ. 2.6) εφαρμόζεται στο πλαίσιο της θερμικής και ρευστοδυναμικής βελτιστοποίησης του θερμικού συστήματος και του εξοπλισμού. Κατασκευάστηκε από το κέντρο τεχνολογίας και μεταφοράς θερμότητας σε Πολυτεχνείο της Καταλονίας. Δηλαδή, συλλέκτες με απορροφητήρα έως 10 m^2 μπορούν να δοκιμαστούν σε σειριακή ή παράλληλη διαμόρφωση. Το σύστημα είναι εξοπλισμένο με ένα μετεωρολογικό σταθμό όπου η θερμοκρασία, η πίεση, η υγρασία, η συνολική και η διάχυτη ακτινοβολία, η ταχύτητα και η κατεύθυνση του ανέμου, καταχωρούνται μέσω αισθητήρων ακριβείας.[19]



Εικόνα 2.6: Επίπεδη πλάκα ηλιακού συλλέκτη κατά τη διάρκεια της δοκιμής κατάστασης στασιμότητας στο CELL CTTC SOLAR.[19]

Η ερευνητική προσέγγιση βασίζεται:

- Στη βελτιστοποίηση και τη διαδικασία σχεδιασμού με τη βοήθεια υψηλού επιπέδου εργαλείων προσομοίωσης και
- στην Κατασκευή και στον αναλυτικό έλεγχο των νέων πρωτοτύπων

- **Κέντρο δοκιμών για ηλιακά εξαρτήματα και συστήματα**

Στο κέντρο δοκιμών για ηλιακά θερμικά συστήματα του Ινστιτούτου ηλιακής ενέργειας ερευνών Χάμελιν (ISFH) της Γερμανίας, το οποίο συνδέεται με το Πανεπιστήμιο του Ανόβερου. Διενεργούνται δοκιμές σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα για ηλιακά θερμικά στοιχεία και συστήματα (Εικ. 2.7). Το κέντρο δοκιμών ISFH είναι διαπιστευμένο από το Deutsche Akkreditierungsstelle σύμφωνα με το πρότυπο EN ISO 17025. Πραγματοποιούνται δοκιμές αξιοπιστίας, όπως θερμικά σοκ, καθώς και δοκιμές στην συμπεριφορά των θερμικών ηλιακών συστημάτων σε υψηλά φορτία θερμοκρασίας και στασιμότητας. Με τρεις στέγες δοκιμής (συνολικού εμβαδού 400 m²) και δύο ηλιακούς ιχνηλάτες (20 m²) μπορούν να πραγματοποιηθούν εκτεταμένες υπαίθριες δοκιμές των συλλεκτών και των ηλιακών θερμικών συστημάτων.[20]

Η πειραματική σειρά όπως πραγματοποιείται είναι:

1. Δοκιμές απόδοσης των συλλεκτών
2. Δοκιμές αξιοπιστίας των συλλεκτών καθώς και δοκιμές μακροπρόθεσμης έκθεσης
3. Προσομοίωση ηλιακού θερμικού συστήματος
4. Μεταβλητό πειραματικό σύστημα για τη λειτουργία των ηλιακών θερμικών συστημάτων
5. Προσδιορισμός της μεταφοράς Θερμότητας σε απορροφητές ροής και αγωγούς Θερμότητας
6. Μεταβλητή εγκατάσταση δοκιμών των κατασκευαστικών στοιχείων και συστημάτων για τα ηλιακά και επίγεια συστήματα αντλιών θερμότητας



Εικόνα 2.7: Εγκαταστάσεις του εξεταστικού κέντρου του ISFH.[20]

2.2 Πρότυπα ΕΛΟΤ για την πιστοποίηση ηλιακών θερμικών συστημάτων. ΕΛΟΤ EN 12975.02/2^η Έκδοση[4]

Τα πρότυπα γενικά λειτουργούν ως το μέσο για την ταυτοποίηση, τον έλεγχο ποιότητας και τη σωστή λειτουργία προϊόντων και υπηρεσιών. Τις τελευταίες δύο δεκαετίες υπάρχει μεγάλη ανάπτυξη των προτύπων με σκοπό τη βελτίωση της ποιότητας και τον περιορισμό του κόστους παραγωγής, διάθεσης και λειτουργίας κυρίως των προϊόντων. Στα ηλιακά θερμικά συστήματα υπάρχουν αντίστοιχα πρότυπα που έχουν αναπτυχθεί και τελικά ενσωματώνονται στο νέο πρότυπο του ΕΛΟΤ (Ελληνικός Οργανισμός Ταυτοποίησης).

Για την πιστοποίηση ενός ηλιακού Θερμικού συστήματος είναι απαραίτητη η εφαρμογή του προτύπου ΕΛΟΤ EN 12975 .02/2^η έκδοση. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι δοκιμές που εφαρμόζονται για την πιστοποίηση ενός θερμικού συστήματος. Η παρακάτω έκθεση αναλύει περιληπτικά τις δοκιμές και τους ελέγχους που γίνονται σε κάθε ηλιακό συλλέκτη πριν διατεθεί προς παραγωγή και διάθεση.

2.2.1 Ταυτοποίηση συλλέκτη

Ο συλλέκτης ο οποίος υπόκειται σε ελέγχους θα πρέπει να συνοδεύεται από πακέτο σχεδίων που να παρουσιάζουν τις διαστάσεις του, εγγράφων που να παρουσιάζουν την λίστα των υλικών που χρησιμοποιούνται και οπτικών στοιχείων του σύμφωνα με D.2 ή E.2 κατά EN 12975-2:2006.

2.2.2 Δοκιμές

Εσωτερική πίεση του απορροφητή

Η πίεση δοκιμής θα πρέπει να είναι σύμφωνη με το 5.2 του EN 12975-2“2006. Σε περίπτωση που οι συλλέκτες είναι φτιαγμένοι από οργανικά υλικά πρέπει να εφαρμόζονται κλιματολογικές συνθήκες αντίστοιχες του ΠΙΝΑΚΑ 2 του EN 12975-2“2006.

Έκθεση

Όταν το σύστημα εκτεθεί σύμφωνα με το 5.4 του EN 12975-2“2006 ο συλλέκτης δεν θα πρέπει να επέλθει σε μεγάλη αποτυχία καθώς επίσης και κανένα από τα στοιχεία του δεν θα πρέπει να υποστεί βλάβες μεγαλύτερες από 2 βαθμούς της κλίμακας που δίνεται στο B.5.5 του EN 12975-2“2006.

Άλλες δοκιμές

- Εξωτερικό θερμικό σοκ
- Εσωτερικό θερμικό σοκ
- Έλεγχος σε βροχή
- Έλεγχος μηχανικής φόρτισης του συλλέκτη
- Αντίσταση στον πάγο
- Θερμική απόδοση

Περιγραφή των υλικών και της κατασκευής του ηλιακού θερμικού συλλέκτη

A.1 Γενικά

Η ικανότητα λειτουργίας και η διάρκεια ζωής ενός ηλιακού συλλέκτη εξαρτάται από τα υλικά που επιλέγονται για την κατασκευή του. Ο έλεγχος των υλικών είναι πολύ σημαντικός για την ανάπτυξη των συλλεκτών του μέλλοντος. Οι ηλιακοί συλλέκτες μπορεί να επηρεάζονται από τη θερμότητα μέσω ακτινοβολίας, για αυτό το λόγο θα πρέπει να προτιμούνται μη εύφλεκτα υλικά. Το κέλυφος του συλλέκτη θα πρέπει να είναι υδατοστεγές ώστε να προστατεύεται από τη βροχή. Στην κατασκευή του συλλέκτη θα πρέπει να αποφεύγεται η συγκέντρωση άχρηστων φορτίων στην επιφάνειά του. Οι σωληνώσεις που οδηγούν από και προς τον συλλέκτη θα πρέπει να είναι φτιαγμένες ώστε να μην δημιουργούνται διαρροές λόγω αυξημένης θερμοκρασίας.

A.2 Απορροφητές

Οι απορροφητές πρέπει να είναι φτιαγμένοι από κατάλληλα υλικά ώστε να συνεργάζονται άριστα με τις μηχανικές, θερμικές και χημικές απαιτήσεις της κατασκευής.

A.3 Διαφανή Καλύμματα

Οι ηλιακοί συλλέκτες γενικά καλύπτονται με γυαλί ή διαφανές πλαστικό κάλυμμα. Πρέπει να είναι κατάλληλη η ποιότητα του πλαστικού ώστε να αντέξει την υπεριώδη ακτινοβολία και να μην υπάρχει μείωση της αντοχής του υλικού στο χρόνο.

A.4 Μονωτικά Υλικά

Τα μονωτικά υλικά πρέπει να αντέχουν στις τοπικές θερμοκρασίες που προκύπτουν από τη στασιμότητα. Σε αυτές τις θερμοκρασίες δεν επιτρέπεται τήξη, συρρίκνωση ή παραγωγή αερίων γιατί θα έχει ως αποτέλεσμα τη συμπίκνωση στο εσωτερικό του καλύμματος του συλλέκτη, τη μείωση της απόδοσης του απορροφητή ή διάβρωση των μεταλλικών επιφανειών, που θα οδηγήσουν τελικά σε μείωση της απόδοσης του συλλέκτη.

A.5 Εμπόδια Διάχυσης

Τα εμπόδια διάχυσης είναι υλικά που χρησιμοποιούνται μεταξύ απορροφητή και μόνωσης για να αποτρέψουν τη διάχυση της ακτινοβολίας κατά την είσοδο ή την έξοδο στα μονωτικά υλικά. Θα πρέπει να είναι ανθεκτικά στις υψηλές θερμοκρασίες του απορροφητή και την αυξημένη υπεριώδη ακτινοβολία.

Περιβαλλοντική Προστασία

B.1 Υγρό Απολαβής

Το υγρό απολαβής θα πρέπει να είναι μη τοξικό, ερεθιστικό για το ανθρώπινο δέρμα ή τα μάτια ή τοξικό για τον υδροφόρο ορίζοντα. Θα πρέπει επίσης να είναι πλήρως βιοδιασπώμενο.

B.2 Μονωτικά Υλικά.

Δεν επιτρέπεται η χρήση υλικών τα οποία περιέχουν CFCs για τη μόνωση του συλλέκτη.

B.3 Ανακύκλωση των υλικών του συλλέκτη

Οι ηλιακοί συλλέκτες δημιουργούνται για εξοικονόμηση ενέργειας και μείωση της μόλυνσης του περιβάλλοντος, γι' αυτό το λόγο ο σχεδιασμός ενός Συλλέκτη πρέπει να ακολουθεί τις προδιαγραφές της ανακύκλωσης. Επομένως απαγορεύεται η χρήση μη ανακυκλώσιμων υλικών.

Σκοπός των European Standards

Αυτές οι Ευρωπαϊκές προδιαγραφές καθορίζουν τους ελέγχους δοκιμών, ώστε να επικυρώσουν τις απαιτήσεις αντοχής, αξιοπιστίας και ασφάλειας για τους ηλιακούς συλλέκτες όπως καθορίστηκαν από το EN-12975-1. Αυτές οι προδιαγραφές περιέχουν επίσης 3 μεθόδους ελέγχου του χαρακτηρισμού της απόδοσης των διατάξεων.

2.2.3 Αναλυτική αναφορά στις διαδικασίες ελέγχου

Δοκιμές εσωτερικής πίεσης απορροφητών

Ανόργανοι απορροφητές

Χρησιμοποιείται μια συσκευή πίεσης (ηλεκτρική ή μηχανική), η οποία συμπιέζει νερό σε θερμοκρασία δωματίου στο εσωτερικό του απορροφητή. Η διαδικασία της συμπίεσης διατηρείται ώσπου να αρχίσει κάποιο είδος ρωγμής ή διαρροής στο σύστημα. Οι συνθήκες ελέγχου είναι:

1. Θερμοκρασία: Η Θερμοκρασία ελέγχου κυμαίνεται σε ένα εύρος μεταξύ 5 – 30 °C.
2. Πίεση: Η πίεση ελέγχου πρέπει να είναι 1,5 φορές μεγαλύτερη από αυτή που προτείνει ο κατασκευαστής. Επίσης, πρέπει να διατηρηθεί για 15 λεπτά.

Οργανικοί απορροφητές

Η συσκευή διαθέτει υδραυλική η πνευματική πηγή πίεσης και δυνατότητα θέρμανσης του απορροφητή στην απαιτούμενη θερμοκρασία ελέγχου. Ένας αισθητήρας θερμοκρασίας βρίσκεται σε επαφή με τον απορροφητή για να λαμβάνει ενδείξεις θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια ελέγχου. Ο αισθητήρας πρέπει να βρίσκεται τοποθετημένος στα 2/3 του ύψους του απορροφητή και στο μισό του πλάτους του καθώς επίσης να καλύπτεται από την ηλιακή ακτινοβολία. Η πίεση του απορροφητή θα πρέπει να αυξάνεται κατά βαθμίδες και κάθε φορά να γίνεται έλεγχος για διαρροές ή ρωγμές. Για λόγους ασφαλείας θα πρέπει το σύστημα να βρίσκεται σε διαφανές κουτί-κάλυμμα ώστε να αποφευχθεί τραυματισμός σε περίπτωση έκρηξης. Παρακάτω αναφέρονται οι μέθοδοι ελέγχου:

1. Οργανικοί απορροφητές για χρήση χωρίς κάλυμμα συλλέκτες και δοκιμή σε θερμοκρασία μικρότερη των 90 °C.
2. Οργανικοί απορροφητές για χρήση υγρών με βάση έλαια και θερμοκρασία ελέγχου μεγαλύτερη από 90 °C.
3. Οργανικοί απορροφητές για έλεγχο σε μεγάλη θερμοκρασία και πνευματική πίεση.

Ενώ οι συνθήκες ελέγχου θερμοκρασίας και πίεσης είναι: Για απορροφητές από οργανικά υλικά πρέπει η μέγιστη θερμοκρασία στην οποία θα φτάσει ο απορροφητής να είναι ίδια με τη μέγιστη υπό σταθερές συνθήκες. Η πίεση δοκιμής πρέπει να είναι 1.5 φορά μεγαλύτερη από την πίεση λειτουργίας του κατασκευαστή. Για απορροφητή από οργανικά υλικά αυξάνεται η πίεση 20 kPa για κάθε 5 λεπτά με μέγιστο χρόνο ελέγχου 1 ώρα.

Δοκιμές αυξημένης θερμοκρασίας

Το αντικείμενο αυτής της δοκιμής είναι ο έλεγχος της αντίστασης του συστήματος σε: πολύ υψηλές Θερμοκρασίες και ηλιακή ακτινοβολία. Ελέγχει τις αστοχίες υλικών, τήξη ή σπάσιμο του γυαλιού ή/και των πλαστικών καθώς και για τυχόν διαρροές. Οι μέθοδοι ελέγχου είναι:

ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΤΙΜΗ
Παγκόσμια Ηλιακή Ακτινοβολία στο πάνελ του συλλέκτη	$>1000 \text{ W/m}^2$
Θερμοκρασία περιβάλλοντος αέρα	$20-40 \text{ }^\circ\text{C}$
Ταχύτητα περιβάλλοντος αέρα	$<1 \text{ m/s}$

Δοκιμή έκθεσης σε ηλιακή ακτινοβολία

Ο συλλέκτης αφήνεται εκτεθειμένος σε αυξημένη ηλιοφάνεια για ώρα. Ο απορροφητής πρέπει να είναι εκτεθειμένος στον ήλιο αλλά όχι γεμάτος με νερό. Όλες οι εισοδοι και οι έξοδοι παροχής νερού θα πρέπει να είναι σφραγισμένες εκτός μίας ώστε να αποτραπεί η ψύξη μέσω φυσικής κυκλοφορίας αέρα. Για όση ώρα παραμένει ο απορροφητής εκτεθειμένος υπό την ηλιακή ακτινοβολία θα ελέγχεται συνεχώς για την ποσότητα της ακτινοβολίας που δέχεται και τη θερμοκρασία του. μέθοδοι ελέγχου:

ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΣΤΑΘΕΡΑ	ΤΙΜΗ
Παγκόσμια ηλιακή ακτινοβολία στο πάνελ	$>850 \text{ W/m}^2$
Παγκόσμια ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία στο πάνελ	$>14 \text{ MJ/m}^2$
Θερμοκρασία περιβάλλοντος αέρα	$10 \text{ }^\circ\text{C}$

Δοκιμή εσωτερικού και εξωτερικού θερμικού σοκ

Οι συλλέκτες είναι πιθανό μέσα στο χρόνο λειτουργίας τους να εκτεθούν σε ακραίες καιρικές συνθήκες, όπως ζέστη ή δυνατές καταιγίδες. Αυτό το τεστ ελέγχει την αντοχή του συλλέκτη σε τέτοιες συνθήκες. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι: Ο συλλέκτης θα πρέπει να εκτεθεί σε ηλιακή ακτινοβολία ή ακτινοβολία προσομοιωτή, αλλά να μην περιέχει υγρό απολαβής της θερμότητας. Όλες οι εισοδοι και οι έξοδοι του συλλέκτη θα πρέπει να είναι σφραγισμένες για να αποφευχθεί η ψύξη μέσω κυκλοφορίας του αέρα. Ένα θερμόμετρο θα πρέπει να μετράει τη θερμοκρασία του απορροφητή κατά τη διάρκεια του τεστ και να είναι προστατευμένο από την ηλιακή ακτινοβολία. Μετά από 1 ώρα έκθεσης του συλλέκτη στον ήλιο, μια σειρά από σπρέι νερού θα ψύξουν τον συλλέκτη για 15 λεπτά και μετά θα ελεγχθεί για πιθανές βλάβες ή αστοχίες. Το σπρέι νερού έχει θερμοκρασία μικρότερη από $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ανά τετραγωνικό μέτρο του συλλέκτη. Οι συνθήκες ελέγχου είναι:

ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΣΤΑΘΕΡΑ	ΤΙΜΗ
Ηλιακή /τεχνητή ακτινοβολία στο πάνελ	$> 850 \text{ W/m}^2$
Θερμοκρασία αέρα	$> 10^\circ\text{C}$

Είναι πιθανό στη διάρκεια ζωής ενός συλλέκτη να λειτουργήσει σε αρκετά ζεστές ημέρες υπό τη χρήση κρύου νερού απολαβής με αποτέλεσμα να δεχτεί ένα ισχυρό εσωτερικό θερμικό σοκ. Έτσι η διαδικασία η οποία ακολουθείται για την δοκιμή εσωτερικού θερμικού

σοκ είναι η ακόλουθη: Ο συλλέκτης δέχεται φυσική ή τεχνητή ακτινοβολία και δεν είναι γεμάτος με υγρό απολαβής. Μία από τις εξόδους συνδέεται απευθείας μέσω αντίστροφης βαλβίδας στην πηγή υγρού μεταφοράς θερμότητας και η άλλη έξοδος παραμένει ανοιχτή για επιτευχθεί εκτόνωση του πιεσμένου αέρα. Ένα θερμομέτρο αγγίζει τον συλλέκτη προστατευμένο από ηλιακή ακτινοβολία για να μετράει τη θερμοκρασία του. Η δοκιμή γίνεται για 1 ώρα. Μετά τη δοκιμή ψύχεται ο συλλέκτης με σταγόνες νερού κάτω από 85 °C για 5 λεπτά ή μέχρι η θερμοκρασία του απορροφητή να φτάσει 50 °C. Οι συνθήκες ελέγχου είναι ακριβώς ίδιες με αυτές του εξωτερικού θερμικού σοκ.

Δοκιμή υπό βροχή – δοκιμή πάγου

Σε αυτό το είδος ελέγχου παρατηρείται εάν υπάρχει περίπτωση να διαπεραστεί το τζάμι του συλλέκτη από φυσική η καθοδηγούμενη βροχή. Ο συλλέκτης τοποθετείται στις 30° από το οριζόντιο επίπεδο με σφραγισμένες τις εισόδους και εξόδους του και εκτίθεται σε φυσική βροχή ή σπρέι νερού. Ο συλλέκτης και ο απορροφητής βρίσκονται σε υψηλή θερμοκρασία πριν τον έλεγχο, ώστε να εξατμιστεί οποιοδήποτε ίχνος υγρασίας υπάρχει. Μετά το πέρας του πειράματος μετριέται είτε το βάρος του συλλέκτη, είτε η υγρασία του, είτε το επίπεδο συμπύκνωσης του και σε σύγκριση με τα αντίστοιχα μεγέθη πριν το πείραμα εξετάζεται εάν εισήχθη η όχι νερό από το κέλυφός του.

Η δοκιμή πάγου γίνεται αποκλειστικά σε συλλέκτες που οι προδιαγραφές τους είναι για χρήση χωρίς αντιπηκτικό και ελέγχονται στη λειτουργία τους σε πάγο και στη δυνατότητα να εργάζονται σε κύκλο τήξης – πήξης. Υπάρχουν δύο είδη ελέγχου:

1. Έλεγχος σε συλλέκτες που αντιστέκονται στην πήξη του ρευστού, όπου εισάγεται σε κρύο θάλαμο και έπειτα γεμίζεται με νερό.
2. Έλεγχος σε συλλέκτες με αποστράγγιση νερού για προστασία από πήξη ο οποίος εξίσου μπαίνει σε κρύο θάλαμο και ελέγχεται.

Οι συνθήκες ελέγχου είναι: Τα στοιχεία του απορροφητή πρέπει να παραμείνουν στους -20 ± 2 °C για τουλάχιστον 30 λεπτά κατά την φάση ψύξης και να εκτεθούν στους +10 °C κατά τη φάση της τήξης πάλι για 30 λεπτά. Ο συλλέκτης πρέπει να ελεγχθεί σε 3 συνεχείς κύκλους πήξης – τήξης.

Δοκιμή σε μηχανικό φορτίο

Σε αυτόν τον έλεγχο ο συλλέκτης ελέγχεται ως προς το φορτίο που είναι ικανό να αντέξει από χιόνι ή αέρα. Ο αέρας προκαλεί θετικές ή αρνητικές πιέσεις και ο συλλέκτης ελέγχεται και για τις δύο αυτές περιπτώσεις. Ο συλλέκτης εδράζεται οριζόντια στο έδαφος σκεπάζεται με κάλυμμα και πάνω στο πλαίσιο του τοποθετείται ένα νέο πλαίσιο. Στη συνέχεια, μέσα στο νέο πλαίσιο και πάνω στο κάλυμμα του συλλέκτη τοποθετείται ζυγισμένο φορτίο από χαλίκια σε μικρότερα μέρη ή κάποιο παρεμφερές υλικό ή ακόμα και νερό. Το βάρος αυξάνεται έως κάποια συγκεκριμένη τιμή και καταγράφονται οι ζημιές που προέκυψαν στο κέλυφος του συλλέκτη ή το πλαίσιο του. Σε περίπτωση που δεν υπάρξει καμία ζημιά τότε καταγράφεται η μέγιστη πίεση φορτίου στην οποία αντέχει το πάνελ. Στην περίπτωση αρνητικού φορτίου ο συλλέκτης υπόκειται σε δυνάμεις ανύψωσης του καλύμματος του.

Τελική επιθεώρηση

Όταν όλοι οι έλεγχοι έχουν τελειώσει, τότε ο συλλέκτης πρέπει να απογυμνωθεί και να ελεγχθεί γενικά και σε όλα τα στοιχεία του. Κάθε βλάβη ή αστοχία πρέπει να καταγραφεί και να φωτογραφηθεί.

2.2.4 Προδιαγραφές ΕΛΟΤ για συλλέκτες με γυάλινο διαφανές κάλυμμα

Έλεγχος ηλιακών συλλεκτών υπό σταθερές συνθήκες και φυσική ηλιακή ακτινοβολία

Ο τρόπος με τον οποίον είναι τοποθετημένος ο συλλέκτης επηρεάζει την απόδοση του. Το πλαίσιο στήριξης συλλέκτη σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να εμποδίζει την επιφάνεια του συλλέκτη και δεν πρέπει να επηρεάζει τη μόνωση πίσω ή στο πλάι. Πρέπει να χρησιμοποιείται μια ανοιχτή δομή στήριξης που επιτρέπει στον αέρα να κυκλοφορεί ελεύθερα γύρω από το εμπρός και πίσω μέρος του συλλέκτη.

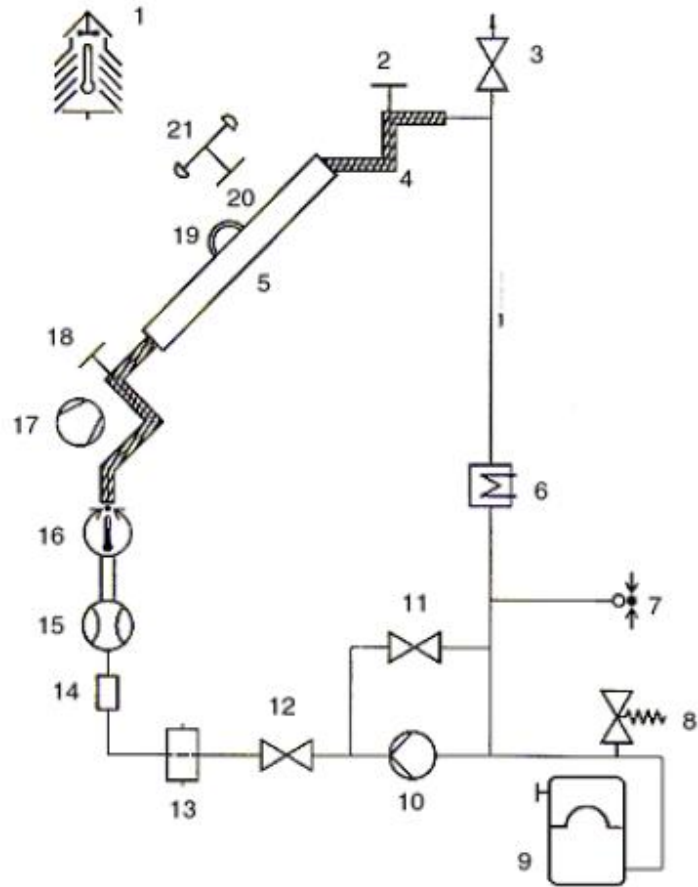
Ο συλλέκτης πρέπει να δοκιμάζεται σε διάφορες γωνίες κλίσης, έτσι ώστε η μεταβολή της γωνίας πρόσπτωσης για τον συλλέκτη να μη διαφέρει περισσότερο από $\pm 2\%$ της τιμής του σε κανονική πρόσπτωση.

Ο συλλέκτης μπορεί να τοποθετηθεί στο ύπαιθρο σε μια σταθερή θέση που αντιμετωπίζει τον ισημερινό. Μια πιο ευέλικτη προσέγγιση είναι να μετακινείται ο συλλέκτης ώστε να ακολουθεί τον ήλιο κατά το αζιμούθιο, χρησιμοποιώντας χειροκίνητο ή αυτόματο εντοπισμό. Η θέση του σημείου δοκιμών πρέπει να είναι τέτοια ώστε καμία σκιά να μην επηρεάζει τον ηλιακό συλλέκτη. Επίσης για τους σκοπούς της ανάλυσης και για να υπάρχει ακρίβεια στις μετρήσεις θα πρέπει ο συλλέκτης να ελεγχθεί σε περιβάλλον το οποίο θα έχει ελάχιστες ανακλάσεις ακτινοβολίας από γύρω κτήρια και εμπόδια.

Η απόδοση κάποιων συλλεκτών είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στα επίπεδα της θερμικής ακτινοβολίας. Η θερμοκρασία των επιφανειών δίπλα στο συλλέκτη πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πλησιέστερη προς εκείνη του αέρα του περιβάλλοντος προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η επίδραση της θερμικής ακτινοβολίας. (προστασία από καμινάδες, κλιματιστικά, καλοριφέρ). Επίσης, η απόδοση πολλών συλλεκτών είναι ευαίσθητη στις ταχύτητες του αέρα. Για να μεγιστοποιηθεί η δυνατότητα αναπαραγωγής των αποτελεσμάτων, ο συλλέκτης πρέπει να τοποθετείται κατά τρόπο, τέτοιο ώστε ο αέρας να μπορεί ελεύθερα να περάσει πάνω από την επιφάνεια, την πλάτη και τις πλευρές του. Η μέση ταχύτητα του αέρα, παράλληλα με την επιφάνεια του συλλέκτη, πρέπει να είναι μεταξύ των ορίων 0 – 3 m/s.

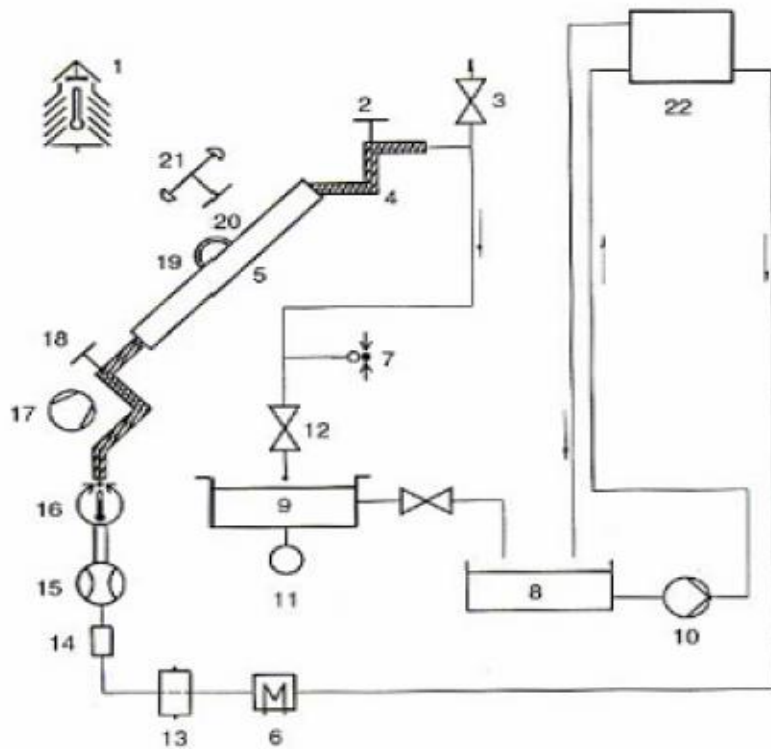
Τρεις μετρήσεις θερμοκρασίας απαιτούνται για τις δοκιμές του συλλέκτη. Αυτές είναι η θερμοκρασία του υγρού στην είσοδο του συλλέκτη, η θερμοκρασία του υγρού στην έξοδο του συλλέκτη και η θερμοκρασία του αέρα του περιβάλλοντος.

Οι εγκαταστάσεις ελέγχου σύμφωνα με τα πρότυπα του ΕΛΟΤ ακολουθούν τις εξής μορφές που φαίνονται στα παρακάτω σχήματα για κυκλώματα κλειστού και ανοιχτού βρόχου.



1. Αισθητήρας θερμοκρασίας αέρα
2. Αισθητήρας θερμοκρασίας (T_e)
3. Εξαεριστικό
4. Μόνωση σωληνώσεων
5. Ηλιακός συλλέκτης
6. Καλοριφέρ / ψύκτης για πρωτογενή έλεγχο της θερμοκρασίας
7. Μετρητής πίεσης
8. Βαλβίδα ασφαλείας
9. Δοχείο διαστολής
10. Αντλία
11. Βαλβίδα παράκαμψης
12. Βαλβίδα ελέγχου ροής
13. Φίλτρο (200 μm)
14. Γυαλί θέασης
15. Ροόμετρο
16. Δευτεροβάθμιος ρυθμιστής θερμοκρασίας
17. Τεχνητή ανεμογεννήτρια
18. Αισθητήρας θερμοκρασίας (κασσίτερος)
19. Πυρόμετρο
20. Πυρανόμετρο
21. Ανεμόμετρο

Σχήμα 2.1: Κύκλωμα κλειστού βρόχου.



1. Αισθητήρας θερμοκρασίας αέρα
2. Αισθητήρας θερμοκρασίας (T_e)
3. Εξαεριστικό
4. Μόνωση σωληνώσεων
5. Ηλιακός συλλέκτης
6. Καλοριφέρ / ψύκτης για πρωτογενή έλεγχο της θερμοκρασίας
7. Μετρητής πίεσης
8. Δοχείο αποθήκευσης
9. Δοχείο ζύγισης
10. Αντλία
11. Ισορροπιστής
12. Βαλβίδα ελέγχου ροής
13. Φίλτρο ($200 \mu m$)
14. Γυαλί θέασης
15. Ροόμετρο
16. Δευτεροβάθμιος ρυθμιστής θερμοκρασίας
17. Τεχνητή ανεμογεννήτρια
18. Αισθητήρας θερμοκρασίας (κασσίτερος)
19. Πυρόμετρο
20. Πυρανόμετρο
21. Ανεμόμετρο
22. Σταθερή δεξαμενή

Σχήμα 2.2: Κύκλωμα ανοιχτού Βρόχου.

Αντλίες και ροόμετρα

Η αντλία υγρού πρέπει να βρίσκεται σε μία τέτοια θέση ώστε η θερμότητα από αυτό να μην επηρεάζει ούτε τον έλεγχο της θερμοκρασίας εισόδου του συλλέκτη ή τις μετρήσεις της θερμοκρασίας του υγρού η οποία αυξάνεται μέσω του συλλέκτη. Σε κάποιους τύπους αντλίας, μια απλή παράκαμψη βρόχου και μια χειροκίνητα ελεγχόμενη βαλβίδα μπορούν να παρέχουν επαρκή έλεγχο της ροής. Εάν είναι αναγκαίο, μια κατάλληλη συσκευή ελέγχου μπορεί να προστεθεί για να σταθεροποιήσει τη μάζα παροχής.

Ρύθμιση της Θερμοκρασίας υγρού απολαβής

Ο βρόχος του δοκιμαστικού Συλλέκτη πρέπει να είναι ικανός να διατηρήσει μια σταθερή Θερμοκρασία εισόδου στο Συλλέκτη σε οποιοδήποτε επίπεδο Θερμοκρασίας επιλεγεί εντός του εύρους λειτουργίας. Δεδομένου ότι ο ρυθμός συλλογής ενέργειας στον Συλλέκτη είναι συνάρτηση στιγμιαίων τιμών της Θερμοκρασίας εισόδου και εξόδου του ρευστού, έπεται ότι οι μικρές διακυμάνσεις της Θερμοκρασίας εισόδου θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε σφάλματα.

2.2.5 Έλεγχος θερμικής απόδοσης για συλλέκτες νερού

Υπολογισμός ισχύος εξόδου από τον συλλέκτη

Η θερμότητα που παραλαμβάνει το υγρό απολαβής από το συλλέκτη εξάγεται από τον τύπο:

$$Q = m \cdot C_f \cdot \Delta T \quad (\text{εξ. 2.1})$$

Η θερμότητα που παραλαμβάνει ο συλλέκτης από την ηλιακή ακτινοβολία εξάγεται από τον τύπο:

$$Q = A \cdot G_n \quad (\text{εξ. 2.2})$$

Όταν χρησιμοποιείται η μέση θερμοκρασία του υγρού απολαβής όπου

$$t_m = t_{in} + \frac{\Delta T}{2} \quad (\text{εξ. 2.3})$$

Η μειωμένη διαφορά θερμοκρασίας είναι:

$$T_m^* = \frac{t_m - t_a}{G} \quad (\text{εξ. 2.4})$$

Μοντελοποίηση της στιγμιαίας απόδοσης

Η στιγμιαία απόδοση υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τη μέθοδο των ελάχιστων τετραγώνων. Έτσι, δημιουργείται μία στιγμιαία καμπύλη απόδοσης με τύπο:

$$n = n_0 - a_1 \cdot T_m^* - a_2 \cdot G \cdot (T_m^*)^2 \quad (\text{εξ. 2.5})$$

Στιγμιαία απόδοση με βάση την επιφάνεια του συλλέκτη

Σύμφωνα με τους τύπους για μειωμένη διαφορά θερμοκρασίας η στιγμιαία απόδοση γίνεται:

$$n = n_0 - a_1 \cdot \frac{t_m - t_a}{G} - a_2 \cdot G \cdot \left(\frac{t_m - t_a}{G}\right)^2 \quad (\text{εξ. 2.6})$$

Μετατροπή των χαρακτηριστικών ελέγχου θερμικής απόδοσης

Για να γίνει μετατροπή των χαρακτηριστικών του ελέγχου της θερμικής απόδοσης του συλλέκτη πρέπει να χρησιμοποιηθούν οι εξής τύποι:

$$n_{0A} = n_0 \cdot \frac{A_a}{A_A} \quad (\text{εξ. 2.7})$$

$$a_{1A} = a_1 \cdot \frac{A_a}{A_A} \quad (\text{εξ. 2.8})$$

$$a_{2A} = a_2 \cdot \frac{A_a}{A_A} \quad (\text{εξ. 2.9})$$

Όπου A_A είναι η περιοχή απορρόφησης του συλλέκτη και A_a είναι η επιφάνεια του συλλέκτη.

Έξοδος συλλέκτη

Ο τύπος για την ενέργεια εξόδου του συλλέκτη ανά μονάδα χρόνου γίνεται:

$$Q = A \cdot G \cdot \left(n_0 - a_1 \cdot \frac{t_m - t_a}{G} - a_2 \cdot \frac{t_m - t_a}{G} \right) \quad (\text{εξ. 2.10})$$

Η ισχύς εξόδου του συλλέκτη πρέπει να παρουσιάζονται γραφικά ως συνάρτηση της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ της μέσης θερμοκρασίας του υγρού απολαβής και της θερμοκρασίας περιβάλλοντος ($t_m - t_a$), χρησιμοποιώντας τιμή ηλιακής ακτινοβολίας $G = 1000 \text{ W / m}^2$. Το γινόμενο $A \cdot G_{n0}$ αναφέρεται ως W_{peak} .

2.2.6 Καθορισμός της αποτελεσματικής θερμοχωρητικότητας και της σταθεράς χρόνου

Η αποτελεσματική θερμοχωρητικότητα και η σταθερά χρόνου ενός συλλέκτη είναι σημαντικές παράμετροι, οι οποίες καθορίζουν την στιγμιαία απόδοσή του. Ένας συλλέκτης μπορεί συνήθως να θεωρηθεί ως ένας συνδυασμός δύο μαζών, η κάθε μία σε διαφορετική θερμοκρασία. Όταν ένας συλλέκτης λειτουργεί, κάθε στοιχείο του συλλέκτη αντιδρά διαφορετικά σε μια αλλαγή των συνθηκών λειτουργίας, έτσι είναι πιο χρήσιμο να εξετάσουμε μια τιμή θερμοχωρητικότητας για το σύνολο της διάταξης του συλλέκτη. Δυστυχώς, η αποτελεσματική θερμική ικανότητα εξαρτάται από τις συνθήκες λειτουργίας και δεν είναι μία συγκεκριμένη παράμετρος με σταθερή τιμή για κάθε συλλέκτη. Ακριβώς όπως δεν υπάρχει μοναδική τιμή στην αποτελεσματική θερμοχωρητικότητα, δεν υπάρχει μοναδική συνολική χρονική σταθερά για ένα συλλέκτη. Για τους περισσότερους συλλέκτες, η κυρίαρχη αιτία στον χρόνο απόκρισης είναι ο χρόνος διέλευσης του υγρού, και επομένως η απόκριση πρώτης τάξης ποικίλλει ανάλογα με την ταχύτητα ροής του ρευστού.

Η αποτελεσματική θερμοχωρητικότητα του συλλέκτη C (εκφράζεται ως joule ανά Kelvin) και υπολογίζεται ως το άθροισμα, για κάθε συστατικό στοιχείο του συλλέκτη (γυαλί, απορροφητήρα, το υγρό που περιέχεται στη μόνωση), με τις αντίστοιχες μάζες τους και θερμικές ικανότητες τους και έναν παράγοντα στάθμισης p_i .

$$C = \sum [p_i \cdot m_i \cdot c_i] \quad (\text{εξ. 2.11})$$

ΣΤΟΙΧΕΙΑ	p_i
Απορροφητήρας	1
Μόνωση	0,5
Υγρό μεταφοράς Θερμότητας	1
Εξωτερικά τζάμια	$0,01 \cdot a_1$
Δεύτερα τζάμια	$0,2 \cdot a_1$
Τρίτα τζάμια	$0,35 \cdot a_1$

2.2.7 Διαδικασία δοκιμής για μεταβολή της γωνίας του συλλέκτη και ελέγχου της απόδοσης

Η δοκιμή του ηλιακού συλλέκτη για να προσδιοριστεί η επίπτωση τροποποίησης της γωνία πρόσπτωσης να γίνει με μία από δύο μεθόδους. Εμείς θα αναφερθούμε στην μέθοδο ελέγχου η οποία γίνεται σε εξωτερικές συνθήκες. Κατά τη διάρκεια κάθε περιόδου δοκιμής, ο προσανατολισμός του συλλέκτη πρέπει να είναι τέτοιος ώστε ο συλλέκτης να διατηρείται εντός $\pm 2,5^\circ$ της γωνίας πρόσπτωσης για την οποία η δοκιμή διεξάγεται. Η ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια του συλλέκτη πρέπει να είναι μεγαλύτερη από $300 \text{ W} / \text{m}^2$.

Μέθοδος σε Εξωτερικές Συνθήκες

Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται για τη δοκιμή σε εξωτερικούς χώρους, χρησιμοποιώντας ένα στατικό γρανάζι δοκιμής κατά την οποία ο προσανατολισμός του συλλέκτη δεν μπορεί να ρυθμιστεί αυθαίρετα σε σχέση με την κατεύθυνση για την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία

(εκτός από τη ρύθμιση στην κλίση). Η μέση θερμοκρασία του ρευστού μεταφοράς θερμότητας πρέπει να ελέγχεται, αν είναι δυνατόν, με ακρίβεια ± 1 K της θερμοκρασίας περιβάλλοντος αέρα. Η τιμή της απόδοσης προσδιορίζεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να λαμβάνεται μία τιμή της αποδοτικότητας πριν το ηλιακό μεσημέρι και μια δεύτερη τιμή μετά από το ηλιακό μεσημέρι. Η μέση γωνία πρόσπτωσης μεταξύ του συλλέκτη και η ηλιακή δέσμη και για τα δύο σημεία δεδομένων είναι η ίδια. Η αποτελεσματικότητα του συλλέκτη για τη συγκεκριμένη γωνία θεωρείται ίση με το μέσο όρο των δύο τιμών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

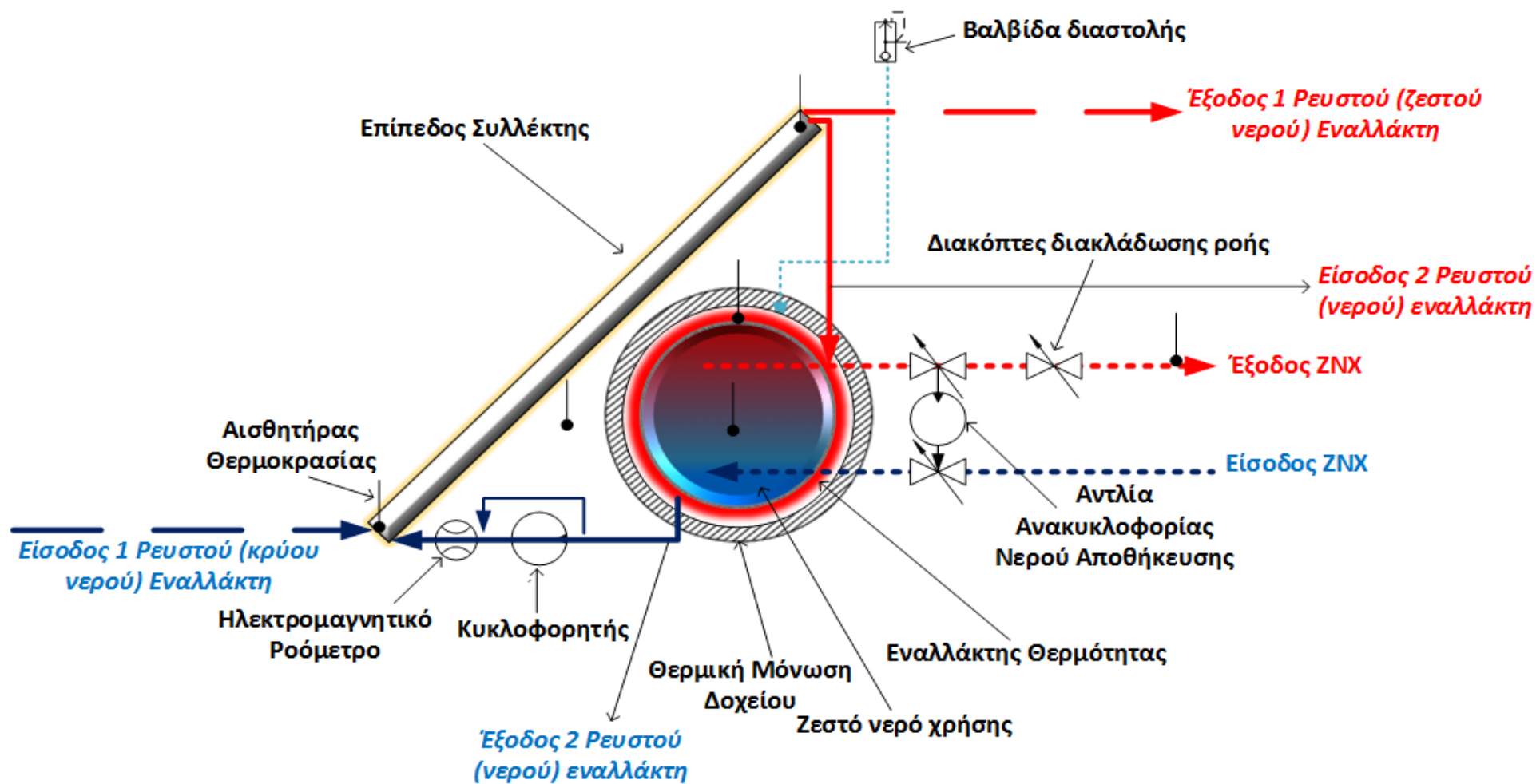
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ – ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΤΟΥ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΔΥΤΙΚΗΣ ΠΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

3.1 Εισαγωγή και σχεδιασμός της ηλιακής διάταξης

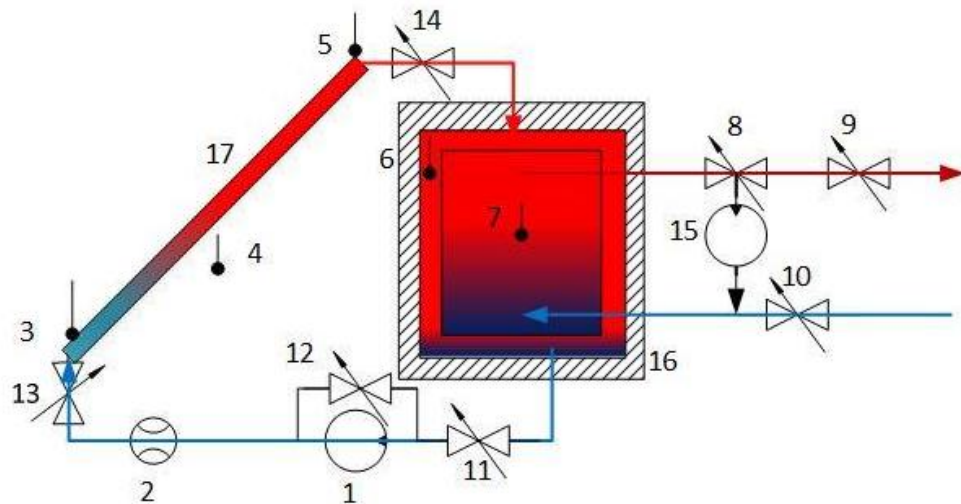
Ο σχεδιασμός, η ανάπτυξη και η κατασκευή μίας πειραματικής ηλιακής διάταξης βασισμένης στις διατάξεις πιστοποίησης, που προαναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, είναι το αντικείμενο μελέτης της Διπλωματικής Εργασίας. Η διάταξη αποτελεί ένα σύστημα εξαναγκασμένης κυκλοφορίας, το οποίο πληροί τις προϋποθέσεις για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης και θέρμανσης χώρων. Κατ' επέκταση, με την βελτιστοποίηση της πειραματικής διάταξης, παρέχεται η δυνατότητα πιστοποίησης ηλιακών θερμικών συστημάτων. Για την επίτευξη του στόχου αυτού, η διάταξη εκτίθεται σε πειραματικές δοκιμές, σύμφωνα με τα πρότυπα ΕΛΟΤ που προαναφέρθηκαν. Τα αποτελέσματα των δοκιμών θα περιλαμβάνουν τις εξισώσεις προσδιορισμού της στιγμιαίας απόδοσης του επίπεδου ηλιακού συλλέκτη, τον προσδιορισμό της μέσης ημερήσιας απόδοσης του συστήματος συλλέκτη – αποθήκη θερμότητας, τον συντελεστή θερμικών απωλειών του συστήματος συλλέκτη – αποθήκη θερμότητας, τις καμπύλες διακύμανσης των θερμοκρασιών του ρευστού κυκλοφορίας και του νερού αποθήκευσης της δεξαμενής και τέλος, τις καμπύλες μεταβολής της απόδοσης συναρτήσει των συνθηκών λειτουργίας. Τέλος, η συσκευή θα παραμείνει στις εγκαταστάσεις του εργαστηρίου ΑΠΕ του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας για περαιτέρω έρευνα και ανάπτυξη από τους φοιτητές.

Το πρώτο βήμα, της Διπλωματικής εργασίας, αποτελεί τον σχεδιασμό ενός δισδιάστατου και ενός τρισδιάστατου σχεδίου της πειραματικής διάταξης. Βάση αυτών των σχεδίων, ακολουθούν οι διεργασίες κατασκευής και συναρμολόγησης του ηλιακού θερμικού συστήματος. Τα δύο σχέδια δημιουργήθηκαν σε ηλεκτρονικό υπολογιστή, υπό την βοήθεια του VISIO 2013 (για το δισδιάστατο) και του SOLIDWORKS (για το τρισδιάστατο).

Παρακάτω παρουσιάζονται τα δύο σχέδια της πειραματικής συσκευής, όπως προκύπτουν από τα προγράμματα σχεδιασμού. Ταυτόχρονα, γίνεται ανάλυση των σχεδίων και παρουσίαση της αρχής λειτουργίας της πειραματικής διάταξης. Σε επόμενη ενότητα, γίνεται αναφορά στην μεθοδολογία και στις εργασίες συναρμολόγησης, που ακολούθησαν, για τον σχεδιασμό και την κατασκευή της ηλιακής θερμικής συσκευής. Παράλληλα, απεικονίζονται τα όργανα μέτρησης για την διεξαγωγή των πειραμάτων και τα στοιχεία που απαρτίζουν το ηλιακό θερμικό σύστημα.



Σχήμα 3.1: Τομή της διάταξης και λεπτομέρειες της σχεδίασης



1. Κυκλοφορητής (αντλία) υγρού απολαβής
2. Ηλεκτρομαγνητικό ροόμετρο
- 3-7. Θερμοζεύγη
- 8-14. Διακόπτες ρύθμισης ροής
15. Κυκλοφορητής (αντλία) ανακυκλοφορίας
16. Δοχείο αποθήκευσης
17. Συλλέκτης

Σχήμα 3.2: Τομή του Ηλιακού Θερμικού Συστήματος στις οποίες απεικονίζονται το κλειστό και το ανοικτό κύκλωμα της Διάταξης, αντίστοιχα.

Το Σύστημα αποτελείται από έναν επίπεδο ηλιακό θερμικό συλλέκτη επιλεκτικής βαφής και μία δεξαμενή αποθήκευσης με εναλλάκτη θερμότητας τύπου μανδύα. Τα δύο στοιχεία συνδέονται μεταξύ τους, τοποθετώντας την δεξαμενή αποθήκευσης κάτω από το υψηλότερο σημείο του ηλιακού συλλέκτη, όπως φαίνεται στο *σχήμα 3.1*. Η διάταξη, με αυτόν τον τρόπο, διαμορφώνεται σε ένα σύστημα εξαναγκασμένης κυκλοφορίας.

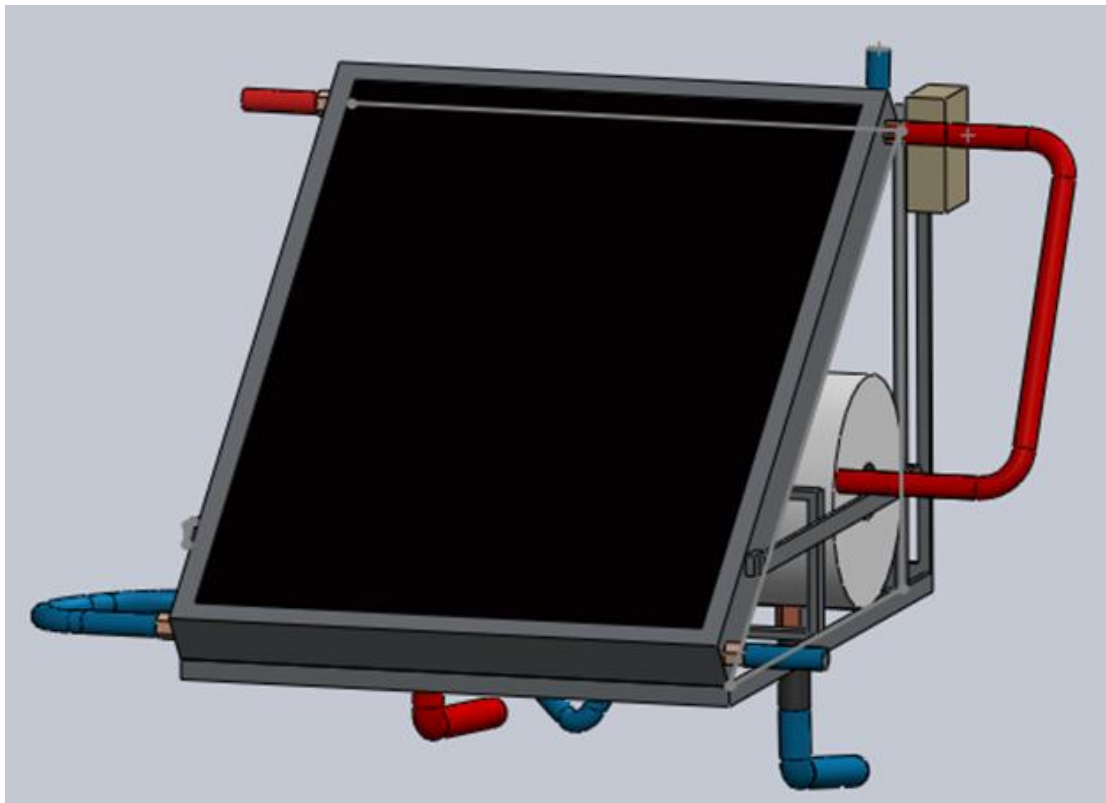
Από το *σχήμα 3.2* παρατηρείται ότι για την σωστή λειτουργία του κλειστού βρόχου του συστήματος, μεταξύ της εξόδου του ρευστού απολαβής από την δεξαμενή (σημείο 11) και της εισόδου του στον ηλιακό συλλέκτη (σημείο 13), συνδέθηκε ένας κυκλοφορητής (σημείο 1), ο οποίος κινεί το ρευστό από τον μανδύα της δεξαμενής στις σωληνώσεις του συλλέκτη. Στη συνέχεια, αμέσως μετά τον κυκλοφορητή, τοποθετήθηκε ένα ηλεκτρομαγνητικό ροόμετρο, για τον έλεγχο και τη μέτρηση της ροής του ρευστού απολαβής (σημείο 2).

Συνοψίζοντας, το κλειστό κύκλωμα δεξαμενή αποθήκευσης – ηλιακός συλλέκτης λειτουργεί ως εξής: Το ρευστό απολαβής, υπό την βοήθεια του κυκλοφορητή, ρέει από το εσωτερικό της δεξαμενής προς το κατώτερο σημείο του ηλιακού συλλέκτη (σημείο 13). Καθώς ρέει εντός των σωληνώσεων (σημείο 17), θερμαίνεται επιτυγχάνοντας μία μέγιστη τιμή της θερμοκρασίας στο ανώτερο σημείο του συλλέκτη (σημείο 5). Κατεβαίνοντας προς την δεξαμενή εισέρχεται ξανά στον μανδύα, και καθώς κινείται προς την έξοδο, μεταφέρει θερμότητα στο νερό χρήσης (σημείο 7). Για λόγους ασφαλείας αλλά και για λόγους ελέγχου της ροής, πάνω από τον κυκλοφορητή έχει δημιουργηθεί μία δίοδος BY PASS (σημείο 12). Τέλος, μέσω του ηλεκτρομαγνητικού ροόμετρου μετράται με ακρίβεια η ροή του ρευστού

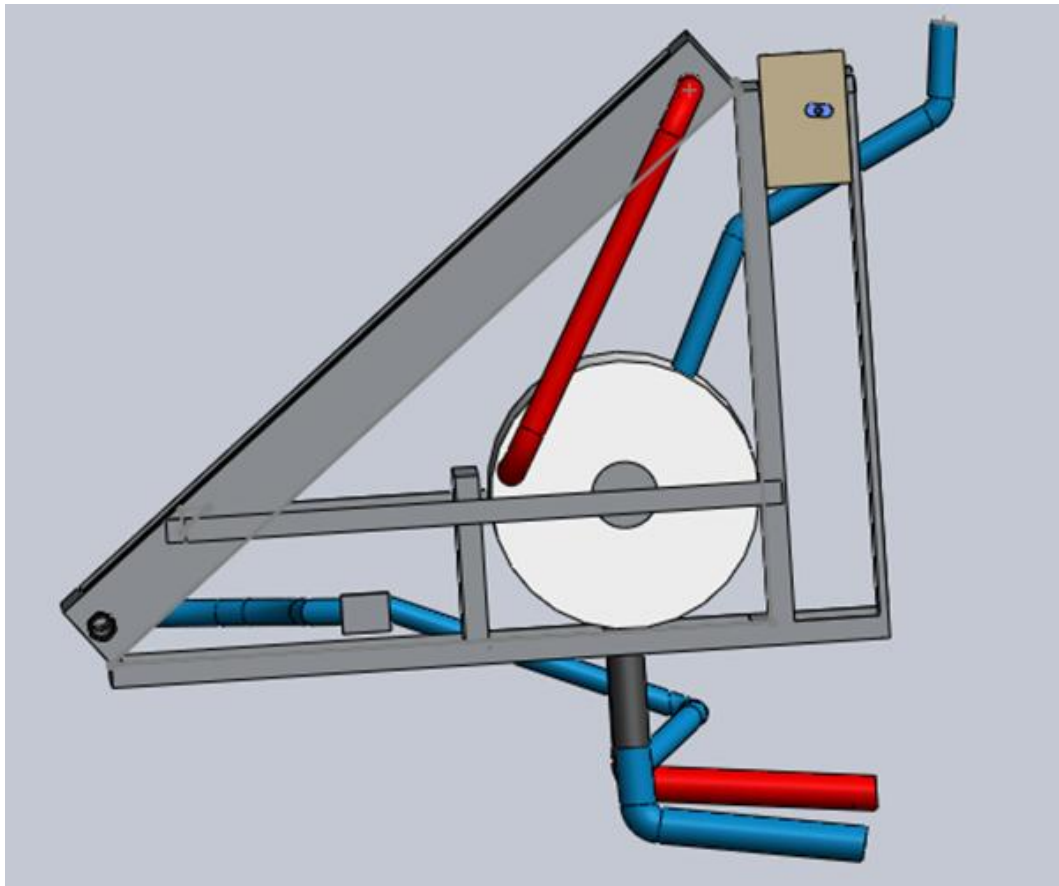
απολαβής, ενώ μεταβάλλοντας την ταχύτητα λειτουργίας του κυκλοφορητή επιτυγχάνονται κατ' επέκταση διαφορετικές μέγιστες θερμοκρασίες του νερού χρήσης.

Όσον αφορά το ανοικτό κύκλωμα της διάταξης, το νερό χρήσης εισέρχεται στην δεξαμενή αποθήκευσης (σημείο 10) θερμαίνεται εναλλάσσοντας θερμότητα με το ρευστό απολαβής και στην συνέχεια, εξέρχεται από την δεξαμενή (σημείο 9). Για την επίτευξη συνθηκών ισορροπίας εντός της δεξαμενής αποθήκευσης, τοποθετήθηκε μία αντλία επανακυκλοφορίας (σημείο 15), η οποία συνδέει την έξοδο του νερού χρήσης με την είσοδο του στην δεξαμενή. Κλείνοντας τους διακόπτες στα σημεία 9 και 10 και ανοίγοντας τον διακόπτη στο σημείο 8, η αντλία μπαίνει σε λειτουργία, επανακυκλοφορεί το νερό χρήσης στην δεξαμενή επιτυγχάνοντας σταθερή θερμοκρασία στο εσωτερικό της.

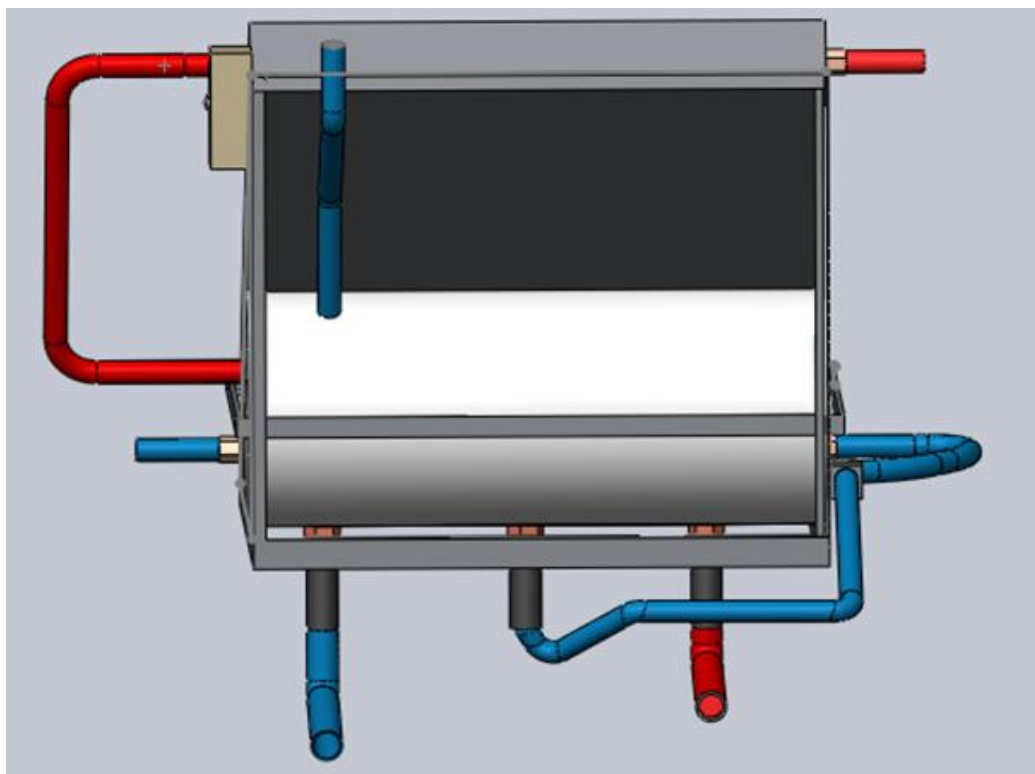
Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα αρχικά σχέδια της πειραματικής διάταξης, πάνω στα οποία βασίστηκαν οι διεργασίες συναρμολόγησης του συστήματος.



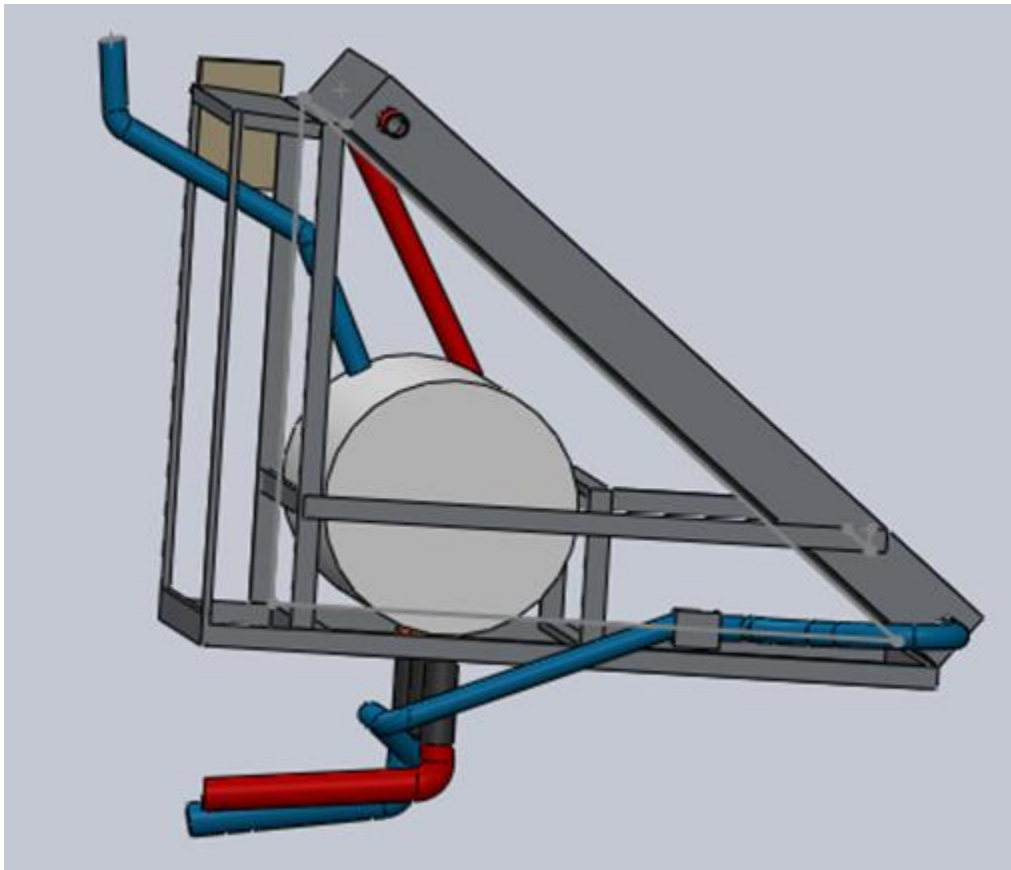
Σχήμα 3.3: Μπροστινή όψη του ηλιακού θερμικού συστήματος.



Σχήμα 3.4: Δεξιά πλάγια όψη του ηλιακού θερμικού συστήματος.



Σχήμα 3.5: Πίσω όψη του ηλιακού θερμικού συστήματος.



Σχήμα 3.6: Αριστερή πλάγια όψη του ηλιακού θερμικού συστήματος.

3.2 Ανάλυση – παρουσίαση πειραματικής συσκευής

Για την υλοποίηση της εγκατάστασης τα βασικά στοιχεία, τα οποία απαρτίζουν την πειραματική διάταξη είναι: Πρώτον, ένας επίπεδος ηλιακός θερμικός συλλέκτης επιλεκτικής βαφής με ένα γυάλινο κάλυμμα, επιφάνειας απορροφητή $2,33 \text{ m}^2$. Δεύτερον, μία δεξαμενή αποθήκευσης ζεστού νερού τύπου μανδύα, χωρητικότητας 220 lt της εταιρίας PHYSIS solar solutions. Το εύρος των θερμοκρασιών που μπορεί να αναπτύξει το σύστημα κυμαίνεται μεταξύ χαμηλών και μέσων τιμών, πράγμα που δικαιολογεί την επιλογή του συγκεκριμένου συλλέκτη.

Το σύστημα σχεδιάστηκε με τέτοιο τρόπο ώστε να αποτελεί ένα σύστημα βεβιασμένης κυκλοφορίας. Ένας κυκλοφορητής της εταιρίας GRUNDFOS, και ένα ηλεκτρομαγνητικό ροόμετρο της εταιρίας ifm χρησιμοποιήθηκαν για τον έλεγχο και τη μέτρηση της κυκλοφορία του ρευστού απολαβής, εντός των σωληνώσεων του συλλέκτη. Προαπαιτούμενο της σωστής λειτουργίας είναι να παρέχεται στο σύστημα η δυνατότητα παρακολούθησης της κίνησης του ηλίου. Για τον λόγο αυτό, έγιναν κάποιες επεμβάσεις στην βάση στήριξης του συστήματος ώστε να είναι εφικτή η τοποθέτηση τροχών. Ο προσανατολισμός της διάταξης στην κίνηση του ηλίου γίνεται χειροκίνητα.

Επίσης, για την εκτίμηση μεγεθών όπως οι θερμοκρασίες και οι πιέσεις στα διάφορα σημεία της διάταξης καθώς και για την παρακολούθηση της λειτουργίας του συστήματος χρησιμοποιήθηκαν διάφορα όργανα (παρουσιάζονται σε επόμενη ενότητα) όπως, πυρανόμετρα, θερμοζεύγη θερμοκρασιών, μανόμετρα, ροόμετρα κ.α. Η επίτευξη συνθήκης

ισορροπίας στο εσωτερικό της δεξαμενής αποθήκευσης και η αποφυγή φαινομένων διαστρωμάτωσης της θερμοκρασίας απαιτούν την ανακυκλοφορία του ζεστού νερού χρήσης εντός του δοχείου. Για την πραγματοποίηση της ανακυκλοφορίας συνδέθηκε στη πειραματική διάταξη μία αντλία.

3.2.1 Διαδικασία συναρμολόγησης και κατασκευής της πειραματικής διάταξης

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται αναλυτικά όλη η διαδικασία σύνδεσης και κατασκευής της πειραματικής διάταξης του ηλιακού θερμικού συστήματος. Απεικονίζονται ειδικότερα η βάση στήριξης, το δοχείο και ο συλλέκτης, το υδραυλικό και ηλεκτρικό κύκλωμα καθώς επίσης, τα επιμέρους στοιχεία και οι διάφορες συσκευές που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο και την σωστή λειτουργία του συστήματος.

1^ο Στάδιο: Σύνδεση βάσης στήριξης

Η διάταξη διαμορφώθηκε κατάλληλα, ώστε να είναι εφικτή η παρακολούθηση της κίνησης του ηλίου. Για τον λόγο αυτό κατασκευάστηκε ένα αμάξωμα από DEXION, στην κάτω πλευρά του οποίου τοποθετήθηκαν έξι (6) ρόδες. Το αμάξωμα αυτό λειτούργησε ως βάση, πάνω στο οποίο συνδέθηκε η βάση στήριξης του ηλιακού συλλέκτη. Στην συνέχεια, η τελική διαμόρφωση της βάσης ήταν τέτοια, ώστε να υπάρχει αρκετός χώρος για την τοποθέτηση της δεξαμενής αποθήκευσης κάτω από τον ηλιακό συλλέκτη.



***Εικόνα 3.1:** Μεταλλικοί ράβδοι που συνθέτουν την βάση στήριξης του ηλιακού θερμικού συστήματος.*

Παρακάτω απεικονίζονται τα στάδια συναρμολόγησης και η τελική μορφή της βάσης στήριξης.



Εικόνες 3.2 – 3.3 – 3.4: Στάδια συναρμολόγησης της βάσης του ηλιακού θερμικού συστήματος.

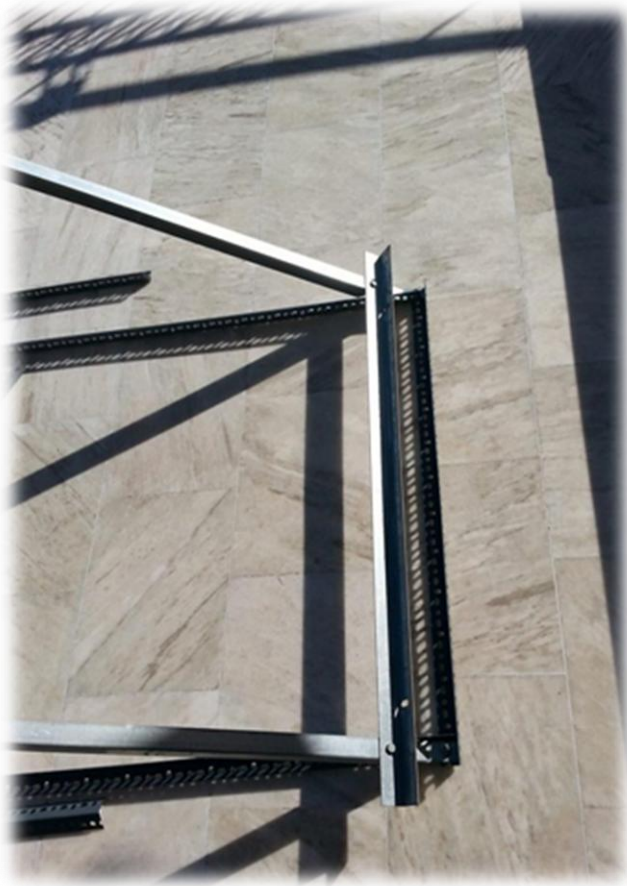


Εικόνα 3.5: Τελική μορφή της βάσης του ηλιακού θερμικού συστήματος.

Ακολούθησε η κατασκευή του αμαξώματος από βέργες DEXION πάνω στο οποίο συνδέθηκε η βάση στήριξης του συστήματος. Στις επόμενες εικόνες απεικονίζονται οι διεργασίες συναρμολόγησης του αμαξώματος με την βάση στήριξης.



Εικόνες 3.6 – 3.7: Στάδια συναρμολόγησης αμαξώματος.



Εικόνες 3.8 3.9: Στάδια συναρμολόγησης αμαξώματος.



Εικόνα 3.10: Τοποθέτηση τροχών στο αμάξωμα.

Μετά την τοποθέτηση των τροχών στο αμάξωμα, η βάση διαμορφώθηκε κατάλληλα, ώστε κάτω από την θέση για τον ηλιακό συλλέκτη να τοποθετηθεί η δεξαμενή αποθήκευσης. Σημαντική παράμετρος στη διαδικασία κατασκευής ήταν να τοποθετηθεί η δεξαμενή με ασφάλεια, εκμηδενίζοντας τις πιθανότητες κινδύνου καταστροφής της διάταξης.



Εικόνα 3.11: Εργασίες διαμόρφωσης της βάσης στήριξης.



Εικόνα 3.12: Πλάγια αριστερή όψη της βάσης στήριξης



Εικόνα 3.13: Πλάγια δεξιά όψη βάσης στήριξης.



Εικόνα 3.14: Μπροστινή όψη της τελικής μορφής της βάσης στήριξης.

2^ο Στάδιο: Τοποθέτηση του ηλιακού θερμικού συστήματος στην βάση στήριξης

Στο δεύτερο στάδιο της κατασκευής συνδέθηκε ο ηλιακός συλλέκτης με την βάση στήριξης. Στην συνέχεια, κάτω από τον συλλέκτη τοποθετήθηκε η δεξαμενή αποθήκευσης.



Εικόνα 3.15: Ο ηλιακός θερμικός συλλέκτης πριν την τοποθέτηση στην βάση στήριξης.



Εικόνα 3.16: Η δεξαμενή αποθήκευσης πριν την τοποθέτηση στην βάση στήριξης.



Εικόνα 3.17: Μπροστινή όψη της πειραματικής διάταξης μετά την τοποθέτηση της δεξαμενής αποθήκευσης και του ηλιακού συλλέκτη.



Εικόνα 3.18: Πλάγια δεξιά όψη της πειραματικής διάταξης μετά την τοποθέτηση της δεξαμενής αποθήκευσης και του ηλιακού συλλέκτη.



Εικόνα 3.19: Πίσω δεξιά όψη της πειραματικής διάταξης μετά την τοποθέτηση της δεξαμενής αποθήκευσης και του ηλιακού συλλέκτη.



Εικόνα 3.20: Πίσω όψη της πειραματικής διάταξης μετά την τοποθέτηση της δεξαμενής αποθήκευσης και του ηλιακού συλλέκτη.

3^ο Στάδιο: Υδραυλική σύνδεση συστήματος, τοποθέτηση οργάνων μέτρησης και κυκλοφορητών

Στο 3^ο στάδιο της συναρμολόγησης, διαμορφώθηκε το κλειστό κύκλωμα του συστήματος, μέσα από το οποίο θα ρέει το ρευστό απολαβής. Η ροή του ρευστού ξεκινάει από το εσωτερικό της δεξαμενής αποθήκευσης, ρέει προς τις σωληνώσεις του συλλέκτη και καταλήγει ξανά εντός της δεξαμενής, υπό την βοήθεια του κυκλοφορητή. Το ανοικτό κύκλωμα του Συλλέκτη συνδέθηκε με το δίκτυο ύδρευσης του Πανεπιστημίου, με στόχο τη δυνατότητα επίτευξης της μέγιστης διαφοράς θερμοκρασίας που αναπτύσσεται μεταξύ της εισόδου και εξόδου του ρευστού απολαβής αλλά και της ταχύτητας ροής του ρευστού απολαβής.

Στη συνέχεια, τοποθετήθηκε η αντλία ανακυκλοφορίας στο ανοικτό κύκλωμα της δεξαμενής αποθήκευσης, η οποία συνδέει την έξοδο του ζεστού νερού χρήσης με την είσοδο του στην δεξαμενή.

Για την συνδεσμολογία των παραπάνω χρησιμοποιήθηκαν σωλήνες διαμέτρου 18 * 2 mm καθώς και ορειγάλκινα υδραυλικά εξαρτήματα, διαστάσεων 1/2 και 3/4 της ίντσας. Ακόμα, στις εισόδους και τις εξόδους του κλειστού αλλά και του ανοικτού κυκλώματος του πλαισίου, συνδέθηκαν μανόμετρα για την μέτρηση της πίεσης του υγρού απολαβής. Επίσης, τοποθετήθηκαν αισθητήρια όργανα θερμοκρασίας μαζί με κυάθια για την μέτρηση της θερμοκρασίας σε κάθε είσοδο – έξοδο του ηλιακού συλλέκτη και της δεξαμενής αποθήκευσης.

Τέλος, χρησιμοποιήθηκαν ένα ηλεκτρομαγνητικό και ένα οπτικό ροόμετρο στο κλειστό και στο ανοικτό κύκλωμα του συλλέκτη, αντίστοιχα, για τον έλεγχο και μέτρηση της ροής του ρευστού απολαβής.

Μετά την ολοκλήρωση της υδραυλικής συνδεσμολογίας του συστήματος τοποθετήθηκε θερμική μόνωση διάστασης 9 * 18 σε όλες τις σωληνώσεις και τις συνδέσεις. Στη συνέχεια, καλύφθηκαν με χαρτοταινία και αλουμινοταινία όλα τα σημεία.

Το τελευταίο μέρος της κατασκευής αφορούσε την ηλεκτρολογική συνδεσμολογία του συστήματος με μία μονάδα δεδομένων (Data Logger), ώστε οι μετρήσεις που λαμβάνονται από τους αισθητήρες μέτρησης να καταγράφονται και να αποθηκεύονται σε αρχείο, με την βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή. Με την καταγραφή των δεδομένων καθίστανται εφικτή η πραγματοποίηση των πειραμάτων για την πιστοποίηση του ηλιακού θερμικού συστήματος. Επίσης, στην μονάδα δεδομένων (Data Logger) συνδέθηκε ένα πυρανόμετρο CMP 3 για την εκτίμηση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας, κατά την διάρκεια εξαγωγής των πειραμάτων.

Παρακάτω, παρουσιάζεται το κλειστό κύκλωμα δεξαμενή αποθήκευσης – ηλιακός συλλέκτης, όπου φαίνονται τα υδραυλικά εξαρτήματα πριν και μετά την σύνδεσή τους με τις σωληνώσεις και τα διάφορα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν. Έπειτα παρουσιάζεται το ανοικτό κύκλωμα του ηλιακού θερμικού συλλέκτη με τα όργανα και τους αισθητήρες που το απαρτίζουν, ενώ ακολουθεί η συνδεσμολογία της αντλίας ανακυκλοφορίας του νερού χρήσης της δεξαμενής. Τέλος, παρουσιάζεται η ηλεκτρολογική συνδεσμολογία του συστήματος και των κυκλοφορητών με το Data Logger.



Εικόνες 3.21 – 3.22: Είσοδος του ρευστού απολαβής στην δεξαμενή (αριστερά) το οποίο οδηγείται στην είσοδο του συλλέκτη (δεξιά).

Στην πρώτη εικόνα παρατηρείται η υδραυλική συνδεσμολογία, ώστε να είναι εφικτή η εισαγωγή του ρευστού απολαβής στη δεξαμενή. Το τμήμα σωλήνα χρησιμοποιήθηκε, ώστε η είσοδος του ρευστού απολαβής να ανέβει ψηλότερα από το υψηλότερο σημείο του συλλέκτη. Αυτή η διαδικασία έγινε ώστε να έχει εφαρμογή το εξαεριστικό, το οποίο τοποθετήθηκε στο υψηλότερο σημείο του συστήματος.

Στην δεύτερη εικόνα παρατηρούνται τα υδραυλικά εξαρτήματα που συνδέουν την είσοδο του συλλέκτη με την έξοδο της δεξαμενής στο κλειστό κύκλωμα (αντίστοιχη συνδεσμολογία, η οποία λειτουργεί με τον ίδιο ακριβώς τρόπο, έχει τοποθετηθεί στην έξοδο του συλλέκτη). Σε περίπτωση λειτουργίας του ανοικτού κυκλώματος του συλλέκτη, οι δύο διακόπτες (στην είσοδο και την έξοδο του κλειστού κυκλώματος) κλείνουν ταυτόχρονα. Όπως είναι φανερό, έχουν τοποθετηθεί μανόμετρα Bourdon για την εκτίμηση της πίεσης του ρευστού κατά την είσοδο – έξοδό του από τον συλλέκτη.



Εικόνες 3.23 – 3.24: Έξοδος ρευστού απολαβής από τον ηλιακό θερμικό συλλέκτη και είσοδος στην δεξαμενή αποθήκευσης.



Εικόνα 3.25: Τοποθέτηση εξαεριστικού στο υψηλότερο σημείο του ηλιακού θερμικού συστήματος.

Στην συνέχεια, συναρμολογήθηκαν τα υδραυλικά εξαρτήματα και τα όργανα που απαρτίζουν το ανοικτό κύκλωμα του συλλέκτη. Στην είσοδο τοποθετήθηκε ένας υδραυλικός διακόπτης, πάνω στον οποίο συνδέεται η παροχή του δικτύου ύδρευσης. Εφόσον έχουν κλείσει οι διακόπτες του κλειστού κυκλώματος, το νερό του δικτύου περνάει μέσα από τον συλλέκτη φτάνει στο υψηλότερο σημείο και καταλήγει στην πάνω αριστερή έξοδο, όπου βρίσκεται τοποθετημένο ένα οπτικό ροόμετρο kytola και ένα θερμόμετρο για την εκτίμηση της ροής και της θερμοκρασίας του νερού, αντίστοιχα. Αντίθετα, στην περίπτωση λειτουργίας του κλειστού κυκλώματος, οι δύο διακόπτες στην είσοδο και στην έξοδο του ανοικτού κυκλώματος του συλλέκτη, παραμένουν κλειστοί.



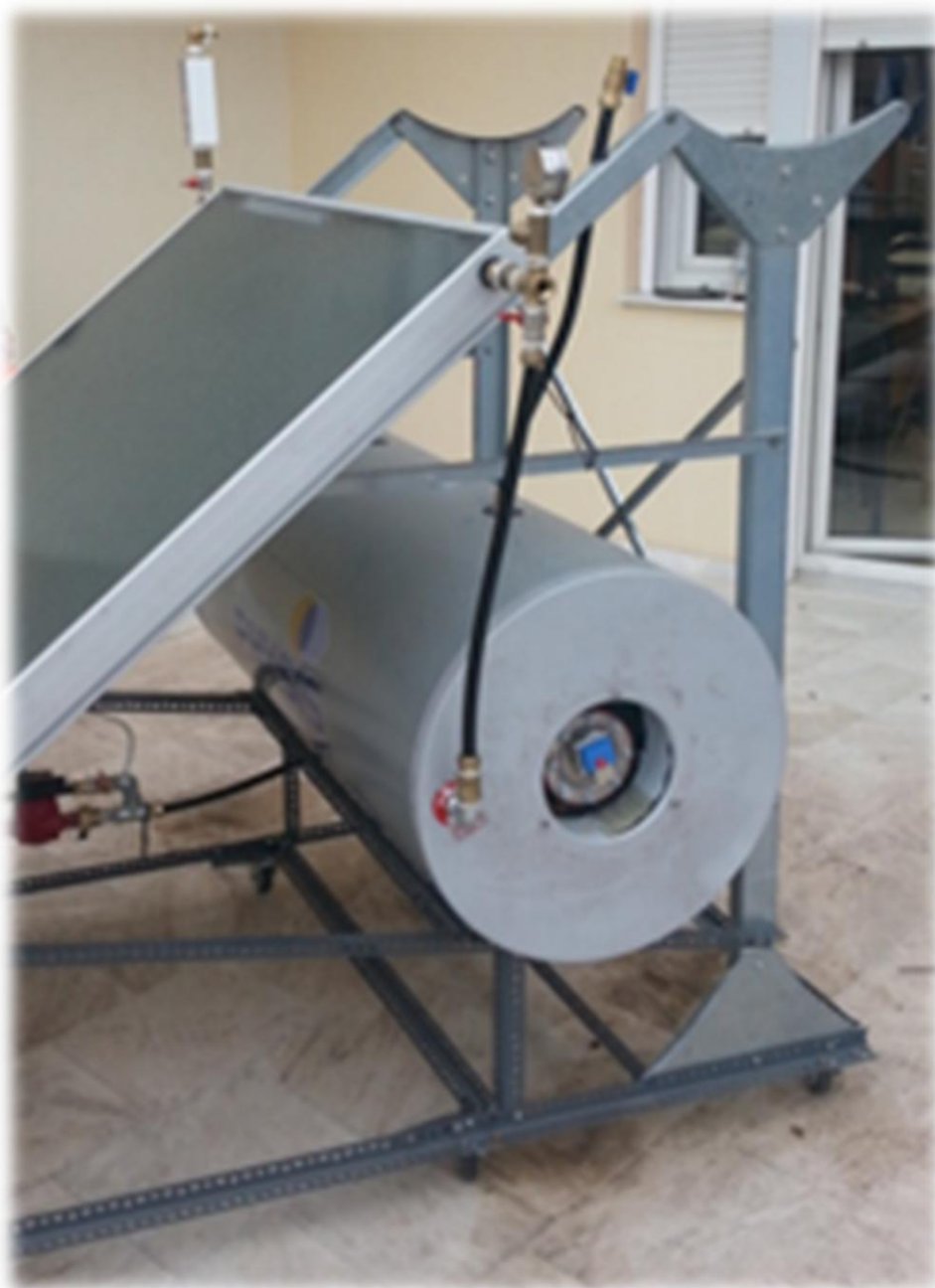
Εικόνες 3.26 – 3.27: Είσοδος της παροχής του δικτύου ύδρευσης στο ανοικτό κύκλωμα του συλλέκτη (αριστερά) και η έξοδος του (δεξιά) όπου παρατηρείται και το οπτικό ροόμετρο Kytola

Τέλος, για την ολοκλήρωση του κλειστού κυκλώματος συνδέθηκε ο κυκλοφορητής μεταξύ της δεξαμενής αποθήκευσης και του συλλέκτη. Για λόγους ασφαλείας, όπως προαναφέρθηκε, δημιουργήθηκε μία δίοδος BY PASS , πάνω από τον κυκλοφορητή, όπου στραγγαλίζεται η ροή αλλά εξαλείφεται επιπλέον και ο κίνδυνος καταστροφής της αντλίας. Πλέον, το μόνο που απομένει είναι η ηλεκτρολογική συνδεσμολογία του συστήματος και η παροχή ηλεκτρικού ρεύματος, ώστε το ηλιακό θερμικό σύστημα βεβιασμένης κυκλοφορίας να τεθεί σε λειτουργία.



Εικόνα 3.28: Τοποθέτηση κυκλοφορητή μεταξύ του συλλέκτη και της δεξαμενής αποθήκευσης.

Στην εικόνα 3.29 φαίνονται σχεδόν όλες οι συνδέσεις και τα όργανα που αναφέρθηκαν παραπάνω.



Εικόνα 3.29: Υδραυλική σύνδεση του συστήματος.

Μετά τον κυκλοφορητή και πριν την είσοδο του συλλέκτη τοποθετήθηκε το ηλεκτρομαγνητικό ροόμετρο, υψηλής ακρίβειας. Ελέγχοντας την ένδειξη του ροόμετρου, και μεταβάλλοντας την ταχύτητα λειτουργίας του κυκλοφορητή, επιτυγχάνονται διαφορετικές τιμές της θερμοκρασίας του ρευστού απολαβής και κατ' επέκταση του ζεστού νερού χρήσης.



Εικόνα 3.30: Τοποθέτηση ηλεκτρομαγνητικού ροόμετρου.

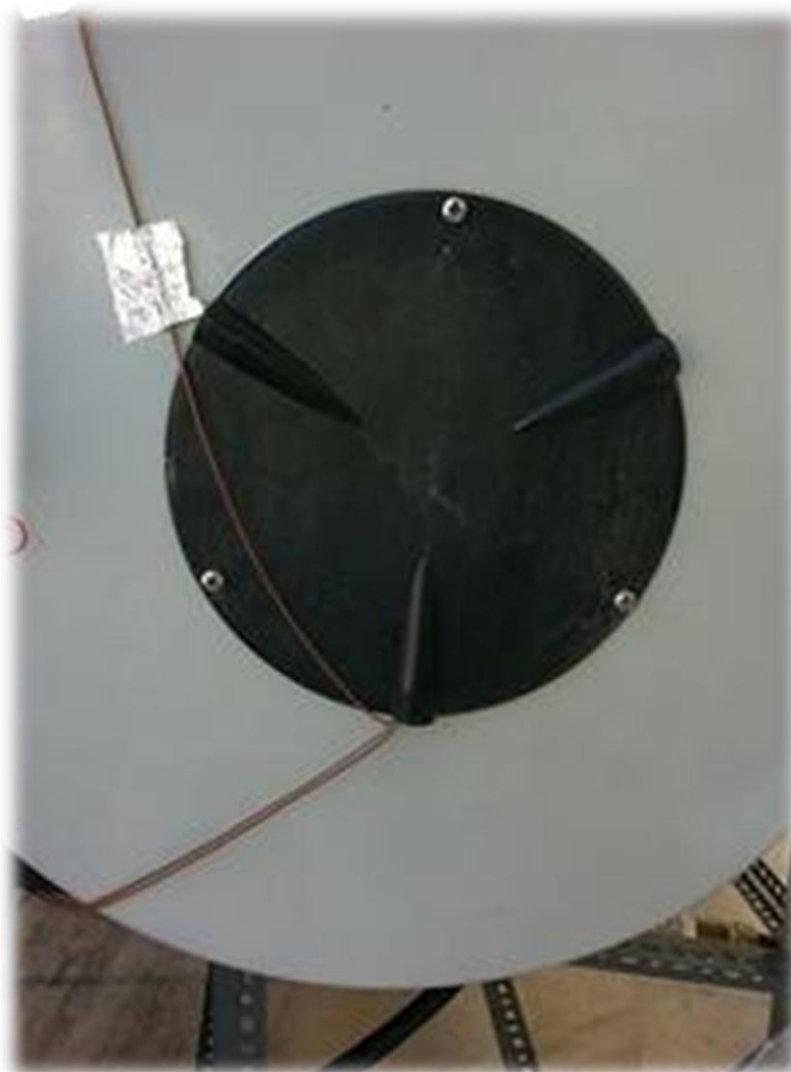
Το τελευταίο μέρος όσον αφορά την υδραυλική συνδεσμολογία της συσκευής αποτελεί η τοποθέτηση της αντλίας ανακυκλοφορίας του ρευστού απολαβής. Ο τρόπος με τον οποίο συνδέθηκε η αντλία παρουσιάζεται παρακάτω.



Εικόνα 3.31: Αντλία ανακυκλοφορίας του νερού χρήσης εντός της δεξαμενής αποθήκευσης.

Επόμενο βήμα ήταν η τοποθέτηση αισθητηρίων (θερμοζεύγων στοιχείων) για τον έλεγχο και τη μέτρηση της θερμοκρασίας σε διάφορα σημεία της εγκατάστασης. Τοποθετήθηκαν στις δύο εισόδους και στις δύο εξόδους του συλλέκτη, στο δοχείο ZNX, στον συλλέκτη αλλά και εκτός της πειραματικής διάταξης, για την εκτίμηση και μέτρηση της

θερμοκρασίας περιβάλλοντος. Σε κάθε σημείο υπάρχουν τρία καλώδια θερμοζεύγους εκ των οποίων το ένα είναι εφεδρικό, το δεύτερο συνδέθηκε στο Data Logger, και το τρίτο σε έναν οπτικό επιλογέα αισθητηρίου θερμοκρασίας. Ο επιλογέας τοποθετήθηκε για τον έλεγχο των θερμοκρασιών στα διάφορα σημεία της διάταξης, κατά την διάρκεια διεξαγωγής των πειραμάτων.



Εικόνα 3.32: Καλώδια θερμοζεύγους για την εκτίμηση της θερμοκρασίας του ρευστού απολαβής στην είσοδο του εναλλάκτη.



Εικόνα 3.33: Οπτικός επιλογέας αισθητηρίου θερμοκρασίας.

4^ο Στάδιο: Ηλεκτρολογική συνδεσμολογία Data Logger, κυκλοφορητών και ηλεκτρομαγνητικού ροόμετρου

Η συσκευή του Data Logger βρίσκεται τοποθετημένη σε μία από τις κατακόρυφες δοκούς της βάσης στήριξης. Συνδέεται με τα θερμοζεύγη καταγράφοντας τις ενδείξεις των θερμοκρασιών στα διάφορα σημεία της διάταξης σε ηλεκτρονική μορφή. Επίσης, στο Data Logger είναι συνδεδεμένο και το πυρανόμετρο, το οποίο τοποθετήθηκε πάνω στην βάση στήριξης με κλήση ίδια με αυτή του συλλέκτη. Στον προστατευτικό χώρο του Data Logger τοποθετήθηκε το τροφοδοτικό του ηλεκτρομαγνητικού ροόμετρου και ένας ροοστάτης (dimmer) για την προστασία αλλά και τον έλεγχο της ροής του ρευστού απολαβής μέσω του κυκλοφορητή.



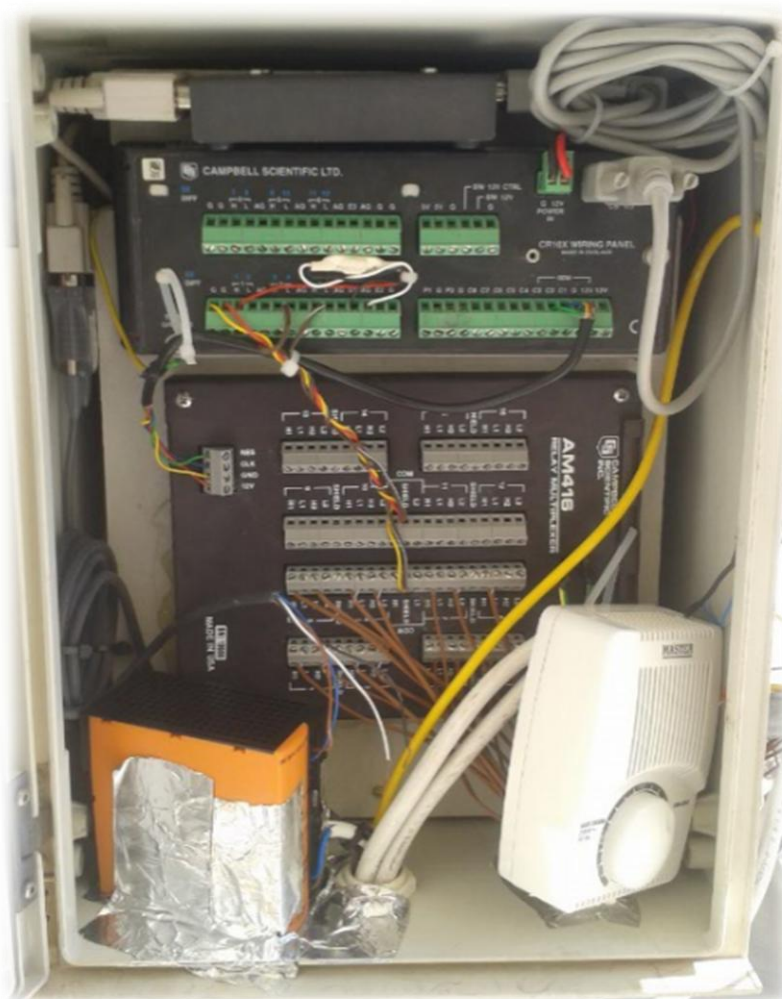
Εικόνα 3.34: Τοποθέτηση Data Logger στην βάση στήριξης του συστήματος.



Εικόνα 3.35: Πυρανόμετρο τοποθετημένο σε ίδια κλήση με αυτή του συλλέκτη.



Εικόνες 3.36 – 3.37: Τροφοδοτικό Η/Μ ροόμετρον (αριστερά) και ο ροοστάτης για τον κυκλοφορητή (δεξιά).



Εικόνα 3.38: Το Data Logger, τα θερμοζεύγη, το τροφοδοτικό του Η/Μ ροόμετρον και ο ροοστάτης.

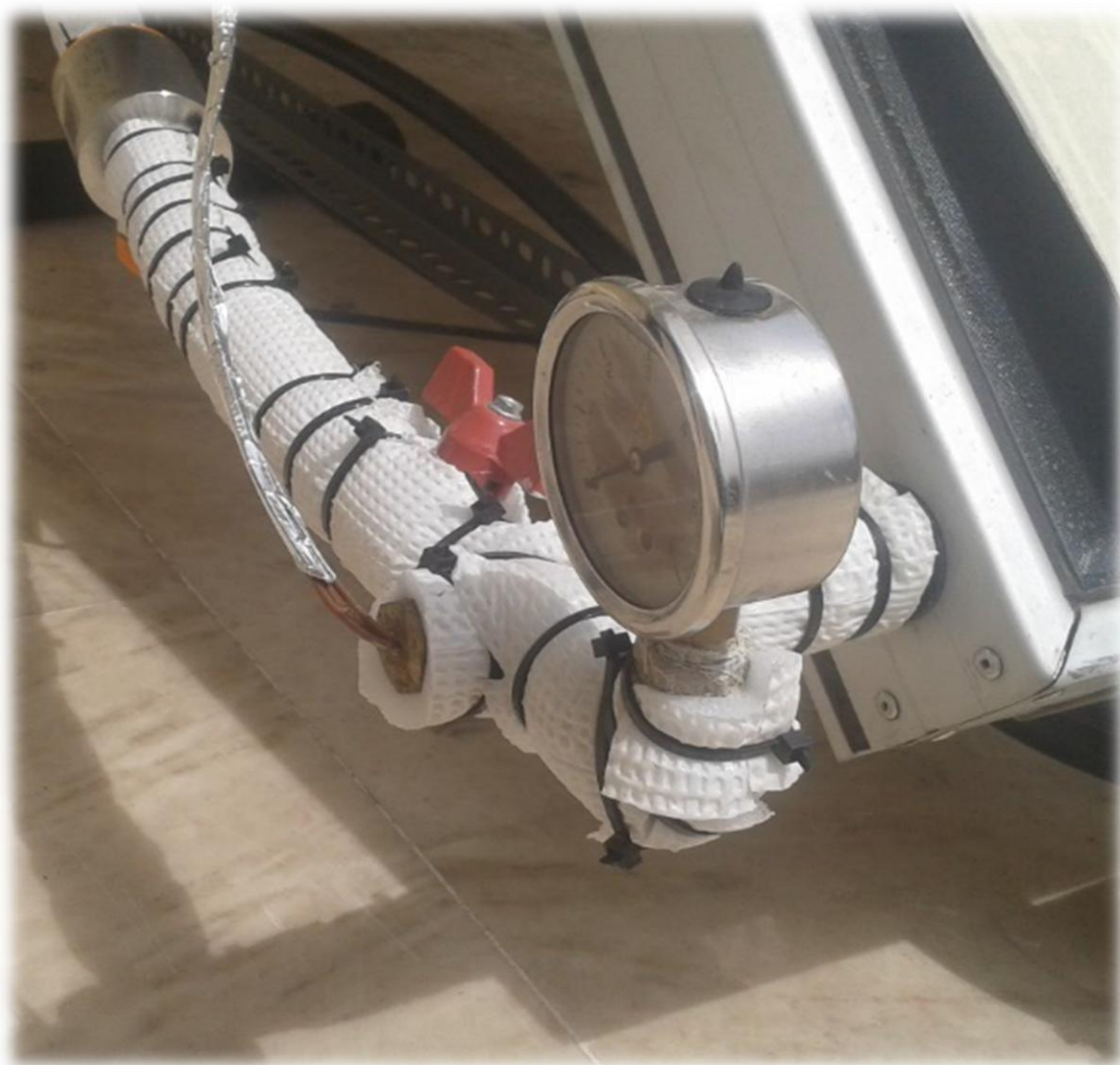
Τέλος, όλα τα ηλεκτρολογικά όργανα και τα στοιχεία συνδέθηκαν με την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος. Η πειραματική διάταξη πλέον μπορεί να μπει σε λειτουργία.



Εικόνα 3.39: Σημείο παροχής ηλεκτρικού ρεύματος για την λειτουργία της πειραματικής διάταξης.

5^ο Στάδιο: Έλεγχος διαρροών, τοποθέτηση θερμικής μόνωσης, χαρτοταινίας και αλουμινοταινίας.

Το χρονικό διάστημα, στο οποίο το σύστημα ήταν σε λειτουργία, ελέγχθηκαν όλες οι υδραυλικές συνδέσεις για τυχόν διαρροές. Επιδιορθώθηκαν τα προβλήματα που εντοπίστηκαν και ακολούθησε το πέμπτο και το τελευταίο στάδιο της κατασκευής. Στο στάδιο αυτό, περιλαμβάνεται η τοποθέτηση θερμικής μόνωσης στις σωληνώσεις και στις υδραυλικές συνδέσεις της διάταξης. Για την ενίσχυση της θερμικής μόνωσης, αλλά και για λόγους προστασίας και αισθητικής, καλύφθηκε με χαρτοταινία και στην συνέχεια με αλουμινοταινία, όλη η θερμική μόνωση του συστήματος.



Εικόνες 3.40 – 3.41: Τοποθέτηση μόνωσης στις σωληνώσεις και τις υδραυλικές συνδέσεις της διάταξης.



Εικόνες 3.42 -3.43 – 3.44: Κάλυψη των μονώσεων του συστήματος με αλουμινοταινία.



Εικόνα 3.45: Τελική μορφή της Πειραματικής Διάταξης.

3.3 Στοιχεία και όργανα συνδεδεμένα με την πειραματική συσκευή

Για τη μέτρηση των απαραίτητων μετεωρολογικών παραμέτρων και την εκτίμηση των καιρικών συνθηκών, της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας, των θερμοκρασιών, των πιέσεων, τον έλεγχο της παροχής του νερού χρήσης (σε διάφορα σημεία της ηλιακής συσκευής), και του ρευστού απολαβής, καθώς επίσης, για την καταγραφή και την αποθήκευση (σε ηλεκτρονική μορφή) των δεδομένων, χρησιμοποιήθηκαν διάφορα όργανα μέτρησης όπως: πυρανόμετρα, κυκλοφορητές, θερμοπομποί, ένα ηλεκτρομαγνητικό ροόμετρο SM6000 ifm, ένα οπτικό ροόμετρο kytola, μανόμετρα bourdon, ένα σύστημα καταγραφής δεδομένων Data Logger κ.τ.λ.

Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιαστούν τα χαρακτηριστικά και η αρχή λειτουργίας των παραπάνω στοιχείων και των οργάνων μέτρησης.

3.3.1 Ηλιακός συλλέκτης PHYSIS solar solutions

Ο ηλιακός συλλέκτης που χρησιμοποιήθηκε στην διάταξη είναι ένας επιλεκτικός ηλιακός θερμικός συλλέκτης της εταιρίας PHYSIS solar solutions (*Εικ.3.46*) τύπου 250es – 15 και σειριακού αριθμού: 002058. Τα χαρακτηριστικά που δίνονται από τον κατασκευαστή είναι:

- Εμβαδόν πλαισίου: 2,52 m²
- Εμβαδόν απορροφητή: 2,33 m²
- Μέγιστη πίεση λειτουργίας: 1 MPa
- Όγκος υγρού απολαβής: 4,05 lt
- Μέγιστη στιγμιαία απόδοση συλλέκτη: 0,794
- Διαστάσεις(μήκος – πλάτος – ύψος): 2008 – 1258 – 87 mm



Εικόνα 3.46: Πλαίσιο του Ηλιακού Συλλέκτη που χρησιμοποιήθηκε.

3.3.2 Δεξαμενή αποθήκευσης PHYSIS solar solutions

Η δεξαμενή αποθήκευσης του ζεστού νερού χρήσης είναι τύπου μανδύα της εταιρείας PHYSIS solar solutions (Εικ. 3.47). Οι παροχές που διαθέτει επιτρέπουν την λειτουργία ενός συστήματος διπλής ενεργείας για την θέρμανση του ζεστού νερού χρήσης. Για λόγους ευκολίας δεν θα τοποθετηθεί κάποια ηλεκτρική αντίσταση. Το σύστημα λειτουργεί εξ' ολοκλήρου μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας. Η χωρητικότητα της δεξαμενής είναι 220 lt.



Εικόνα 3.47: Δεξαμενη αποθήκευσης PHYSIS solar solution.

3.3.3 Κυκλοφορητής GRUNDFOS[24]

Για το κλειστό κύκλωμα εξαναγκασμένης ροής δεξαμενή αποθήκευσης – συλλέκτης επιλέχθηκε ένας κυκλοφορητής UPS της εταιρείας GRUNDFOS solar (Εικ. 3.48), μοντέλο solar 25 – 60 – 180. Οι κυκλοφορητές UPS διατίθενται και στα 50 και στα 60 Hz. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε ανοικτά και σε κλειστά συστήματα. Είναι τύπου προστατευμένου ρότορα, δηλαδή ο κυκλοφορητής και ο κινητήρας σχηματίζουν μία ενιαία μονάδα χωρίς στυπιοθλίπτη άξονα και μόνο με δύο φλάντζες για στεγανοποίηση. Τα έδρανα λιπαίνονται από το αντλούμενο υγρό.

Εφαρμογές

Οι κυκλοφορητές UPS έχουν σχεδιαστεί για κυκλοφορία υγρών σε συστήματα θέρμανσης και κλιματισμού. Αντλίες με κελύφη από ορείχαλκο ή ανοξείδωτο χάλυβα είναι επίσης κατάλληλες για χρήση σε συστήματα ζεστού νερού χρήσης. Παραδείγματα τυπικών εφαρμογών είναι τα εξής:

- Συστήματα θέρμανσης ενός και δύο σωλήνων
- Κύριες αντλίες
- Αντλίες ζώνης
- Αντλίες παράκαμψης λέβητα
- Αντλίες για θέρμανση επιφανειών
- Κεντρικά συστήματα θέρμανσης
- Ενδοδαπέδια συστήματα θέρμανσης
- Ηλιακά συστήματα θέρμανσης
- Συστήματα αντλίας θερμότητας
- Γεωθερμικά συστήματα θέρμανσης
- Συστήματα ανάκτησης θερμότητας
- Συστήματα κλιματισμού δύο σωλήνων
- Αντλίες για μονάδες ψύξης.

Χαρακτηριστικά και πλεονεκτήματα

- Δεν χρειάζεται συντήρηση
- Περιορισμένος θόρυβος
- Χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση
- Πλήρης σειρά
- Διατίθενται με ανθεκτικό στη διάβρωση κέλυφος από ανοξείδωτο χάλυβα ή ορείχαλκο
- Μεγάλη γκάμα παρελκομένων.



Εικόνα 3.48: Κυκλοφορητής GRUNDFOS 2 ταχυτήτων.[24]

Ο κυκλοφορητής που χρησιμοποιήθηκε είναι μονοβάθμιος κυκλοφορητής σειράς UPS με ρακόρ (ενίοτε με φλάντζα), με ασύγχρονο μονοφασικό υδρολίπαντο ηλεκτροκινητήρα, χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης άνω της κλάσης C, χαμηλού επιπέδου θορύβου. Φέρει πτερωτή από συνθετικό υλικό 30 % περιεκτικότητας σε ίνες γυαλιού, για μεγάλη αντοχή σε

υψηλές θερμοκρασίες, άξονα από κεραμικό υλικό για την αποφυγή επικαθίσεων, διαβρώσεων και ηλεκτρόλυσης, καθώς επίσης και μονοκόμματο (μη συγκολλητό – μη πρεσσαριστό) ανοξείδωτο χιτώνιο στάτη.

Εφαρμογή : Κυκλοφορητής για χρήση σε Ηλιακά Συστήματα

Πίεση Λειτουργίας: 10bar

Κλάση προστασίας: IP 42

Τεχνικά Χαρακτηριστικά

ΤΥΠΟΣ UPS SOLAR 25-60 180

ΡΑΚΟΡ: G 1" 1/2

ΜΗΚΟΣ (mm): 130

Θερμοκρασία Υγρού: 110 °C

3.3.4 Ηλεκτρομαγνητικό ροόμετρο ifm SM6000[21]

Μετά τον κυκλοφορητή GRUNDFOS τοποθετήθηκε ένα ηλεκτρομαγνητικό ροόμετρο υψηλής ακρίβειας, της εταιρείας ifm μοντέλο SM6000 (Εικ. 3.49). Με το συγκεκριμένο ροόμετρο δίνεται η δυνατότητα λήψης δύο μετρήσεων. Η πρώτη αναφέρεται στην παροχή του ρευστού που ρέει εντός των σωληνώσεων του Συλλέκτη και η δεύτερη αναφέρεται στην θερμοκρασία του.

Αρχή μέτρησης

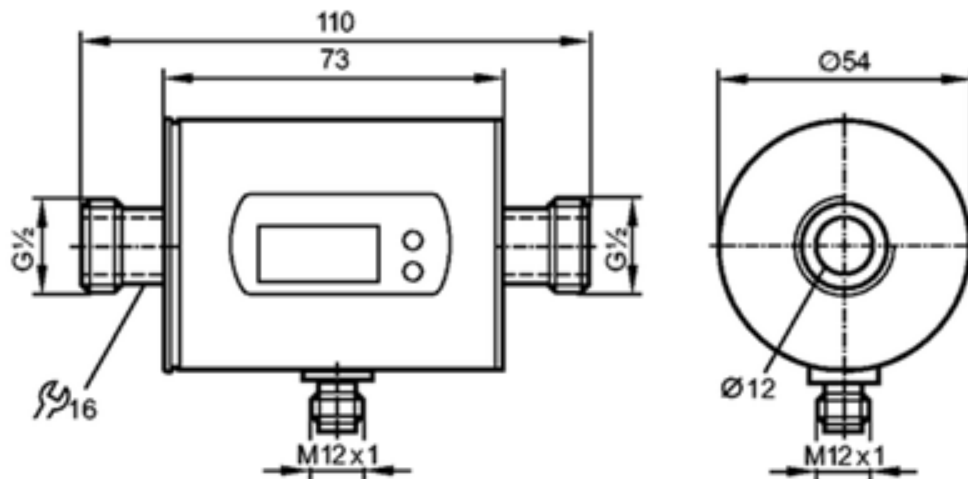
Ο αισθητήρας ροής βασίζεται στην αρχή της επαγωγής του Faraday. Αγώγιμο ρευστό, που ρέει μέσα σε αγωγό με μαγνητικό πεδίο, παράγει τάση, η οποία είναι ανάλογη της ταχύτητας ή του ρυθμού ροής.

Τρόπος λειτουργίας της συσκευής

Η τάση ανιχνεύεται μέσω ηλεκτροδίων και μετατρέπεται στα ηλεκτρονικά αξιολόγησης. Διατίθενται ποικίλες δυνατότητες επεξεργασίας των δεδομένων μέτρησης: αναλογική, δυαδική και παλμική έξοδοι. Εξαιτίας του ευέλικτου προγραμματισμού μέσω μπουτόν, ο αισθητήρας ροής μπορεί να προσαρμοστεί σε διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας. Ο αισθητήρας τοποθετείται μέσω ενός προσαρμογέα. Ο υψηλός βαθμός προστασίας και το στιβαρό μικρό μέγεθος περίβλημα, ξεχωρίζουν τον αισθητήρα στο πεδίο.



Εικόνα 3.49: Ηλεκτρομαγνητικό ροόμετρο SM6000 υψηλής ακρίβειας της εταιρείας ifm.[21]



σχήμα 3.7: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά Ηλεκτρομαγνητικού ροόμετρου ifm SM6000.[21]

Στην συνέχεια ακολουθεί το τεχνικό φυλλάδιο του ηλεκτρομαγνητικού ροόμετρου.

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ	
Μαγνητικός – επαγωγικός αισθητήρας ροής	
Σύνδεση με κονέκτορα	
Σύνδεση διεργασίας: G1/2 επίπεδης σταγάνωσης	
Σύνδεση σε σωλήνα μέσω προσαρμογέα	
Προγραμματιζόμενη λειτουργία	
Αθροιστική λειτουργία	
2 έξοδοι	
OUT1 = επιτήρηση ροή (δυναδικά), μετρητής ποσότητας (παλμών), μετρητής προεπιλογής (δυναδικά)	
OUT2 = επιτήρηση ροής ή θερμοκρασίας (αναλογικά ή δυναδικά)	
Είσοδος για μηδενισμό μετρητή	
Εύρος μετρήσεων	
0,1...25 lt/min	

ΕΦΑΡΜΟΓΗ	
εφαρμογή	(Αγωγιμότητα: $\geq 20 \mu\text{S}/\text{cm}$ /Ιξώδες: $< 70 \text{ mm}^2/\text{s}$ στους $40 \text{ }^\circ\text{C}$)
Αντοχή σε πιέσεις [bar]	16
Θερμοκρασία μέσου [$^\circ\text{C}$]	-10...70

ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	
Ηλεκτρική σχεδίαση	DC PNP/NPN
Τάση λειτουργίας [V]	19...30 DC; Κατά EN 50178, SELV, PELV
Κατανάλωση ρεύματος [mA]	120
Αντικατάστασης μόνωσης [MΩ]	100 (500 Vdc)
Βαθμός προστασίας	III
Προστασία ανάστροφης πολικότητας	Ναι

ΕΞΟΔΟΙ	
Λειτουργία εξόδου	OUT1: Προγρ. ανοικτή / κλειστή επαφή ή παλμοί OUT2: Προγρ. ανοικτή / κλειστή επαφή ή αναλογική (4...20 mA / 0...10 V, διαβαθμιζόμενη)
Ονομαστικό ρεύμα [mA]	2*200
Πτώση τάσης [V]	< 2
Προστασία βραχυκυκλώματος	Με παλμό
Προστασία υπερφόρτωσης	Ναι
Αναλογική έξοδος	4...20 mA; 0...10 V
Μεγ. Φορτίο [Ω]	500 (4...20 mA)
Ελαχ. Φορτίο [Ω]	2000 (0...10V)
Έξοδος παλμών	Μετρητής παροχής

ΕΥΡΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ/ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΠΟΙΗΣΗΣ		
Επιτήρηση ροής		
Εύρος μετρήσεων	0,10...25,00 lt/min	0,005...1,500 m ³ /h
Περιοχή ένδειξης	-30...30 lt/min	-1,8...1,8 m ³ /h
Ανάλυση	0,05 lt/min	0,005 m ³ /h
Σημείο ενεργοποίησης, SP	0,25...25,00 lt/min	0,015...1,500 m ³ /h
Σημείο απενεργοποίησης, rP	0,10...24,90 lt/min	0,005...1,495 m ³ /h
Αναλογικό αρχικό σημείο ASP	0,00...20,00 lt/min	0,000...1,200 m ³ /h
Αναλογικό τελικό σημείο, AEP	5,00...25,00 lt/min	0,300...1,500 m ³ /h
Σε βήμα	0,05 lt/min	0,005 m ³ /h
Επιτήρηση ογκομετρικής ποσότητας ροής		
Συντελεστής παλμών	0,00001...30 000 m ³	
Μήκος παλμού [s]	0,01...2	
Επιτήρηση θερμοκρασίας		
Εύρος μέτρησης [°C]	-20...80	
Ανάλυση [°C]	0,2	
Σημείο ενεργοποίησης, SP [°C]	-19,2...80,0	
Σημείο απενεργοποίησης, rP [°C]	19,6...79,6	
Αναλογικό αρχικό σημείο, ASP [°C]	-20,0...60,0	
Αναλογικό τελικό σημείο, AEP [°C]	0,0...80,0	
Σε βήμα	0,2	

ΑΚΡΙΒΕΙΑ/ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ	
Επιτήρηση ροής	
Ακρίβεια	$\pm (2\% MW + 0,5\% MEW)$
Επαναληψιμότητα	$\pm 0,2\% MEW$
Απώλεια πίεσης (dP) / παροχή (Q)	<p>The graph plots pressure drop (dP) in mbar on the y-axis (0 to 300) against flow rate (Q) in l/min on the x-axis (0 to 30). The curve starts at (0,0) and rises to approximately (30, 280).</p>
Επιτήρηση θερμοκρασίας	
Ακρίβεια [K]	$\pm 2,5 (Q > 1 \text{ lt/min})$

ΧΡΟΝΟΙ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ	
Χρονοκαθυστερήση ενεργοποίησης [s]	5
Επιτήρηση ροής	
Χρονοκαθυστερήση εκκίνησης [s]	0...50
Χρόνος απόκρισης [s]	< 0,150 (dAP = 0)
Απόσβεση, dAP [s]	0,0...5,0
Επιτήρηση θερμοκρασίας	
Χρόνος απόκρισης [s]	T09 = 20 (Q > 1 lt/min)

ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ	
Θερμοκρασία περιβάλλοντος [°C]	-10...60
Θερμοκρασία αποθήκευσης [°C]	-25...80
Βαθμός προστασίας	IP 67

3.3.5 Αντλία ανακυκλοφορίας

Για την ανακυκλοφορία του νερού χρήσης τοποθετήθηκε μία τυπική αντλία πλυντηρίου (Εικ. 3.50) διαστάσεων 3/4 της ίντσας επί 1/2 ίντσα.



Εικόνα 3.50: Αντλία πλυντηρίου.

3.3.6 Οπτικό ροόμετρο Kytola[25]

Τα οπτικά ροόμετρα Kytola προορίζονται για τη μέτρηση και τη παρακολούθηση (του μεσαίου βεληνεκούς) των ροών υγρών και αερίων. Υπάρχουν διάφοροι τύποι ανάλογα την ταχύτητα ροής του ρευστού. Υπάρχουν τα μοντέλα KL, K και KD. Για την Πειραματική Διάταξη το μοντέλο που επιλέχθηκε ήταν το KL.

Αρχή λειτουργίας

Το ροόμετρο συνδέεται κάθετα στην Διάταξη με τη ροή του ρευστού να έχει φορά από κάτω προς τα πάνω. Καθώς ρέει το ρευστό εντός του ροόμετρου σπρώχνει προς τα πάνω μία μπίλια. Η μπίλια αυτή είναι κατάλληλα διαμορφωμένη, ώστε όταν η δύναμη που της ασκείται από το ρευστό είναι ίση με το βάρος της, να ισορροπήσει. Η ένδειξη που λαμβάνουμε στην θέση ισορροπίας της μπίλιας είναι η τιμή της ροής την συγκεκριμένη στιγμή.

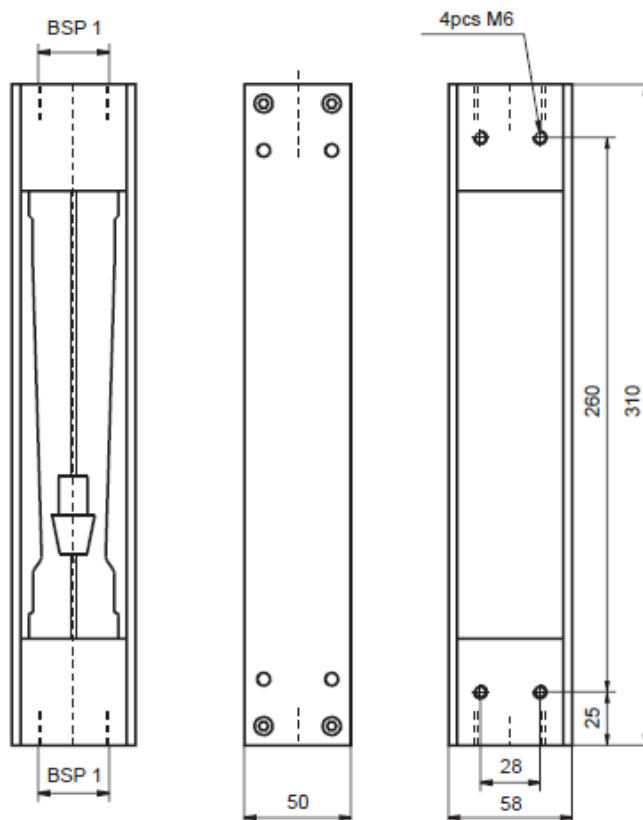
Χαρακτηριστικά

- Στιβαρή κατασκευή με προστατευόμενη σωλήνα ροής
- Στα μοντέλα K, KD υπάρχει ενσωματωμένη βαλβίδα ρύθμισης της ροής
- Μεγάλη επιλογή των υλικών

Τυπικές εφαρμογές

- Μετρήσεις λαδιού λίπανσης
- Μετρήσεις της ροής φυσικού αερίου κ.α.

ΤΕΧΝΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΛ			
Μοντέλο	KLA	KLH	KLK
Βάρος	1,9 Kg	3,1 Kg	1,4 Kg
Μέγιστη πίεση	30 bar	30 bar	20 bar
Μέγιστη θερμοκρασία	80 °C (120 °C)	80 °C (120 °C)	80 °C (120 °C)
Σωλήνας ροής	Grilamid (PA – 12) (PES)		
Ακρίβεια	± 5% F.S. (H ₂ O, +20 °C)		



Σχήμα 3.8: Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά οπτικού ροόμετρου Kytola[25]

3.3.7 Θερμοζεύγη – Κυάθια[25]

Ένα θερμοζεύγος αποτελείται από δύο αγωγούς διαφορετικών μετάλλων ή κραμάτων μετάλλων (Εικ. 3.52). Όταν δυο διαφορετικά μέταλλα έρθουν σε επαφή αναπτύσσεται μεταξύ τους διαφορά δυναμικού E (Seebeck) που εξαρτάται από την θερμοκρασία T και το είδος των μετάλλων. Για μικρές μεταβολές της θερμοκρασίας ΔT ισχύει ο τύπος $E = \alpha * \Delta T$, όπου α ο συντελεστής Seebeck σε $[\mu V/^{\circ}C]$. Στην συγκεκριμενη πειραματική διάταξη χρησιμοποιείται τυποποιημένο θερμοζεύγος τύπου T: Cu(+)/Constantan(-). Τα θερμοζεύγη τοποθετούνται σε κυάθια (Εικ. 3.51), δηλαδή σε θήκες οι οποίες εμβαπτίζονται εντός των σωληνώσεων και έρχονται σε επαφή με το υγρό απολαβής και το νερό χρήσης.

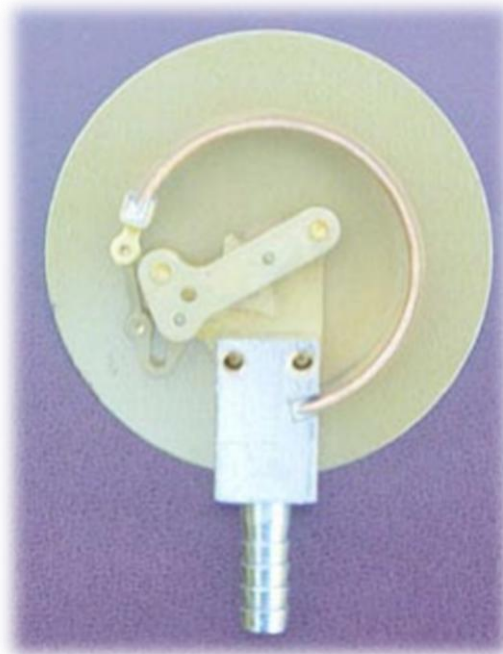


*Εικόνα 3.51: Εμβαπτιζόμενα
Κυάθια[25]*

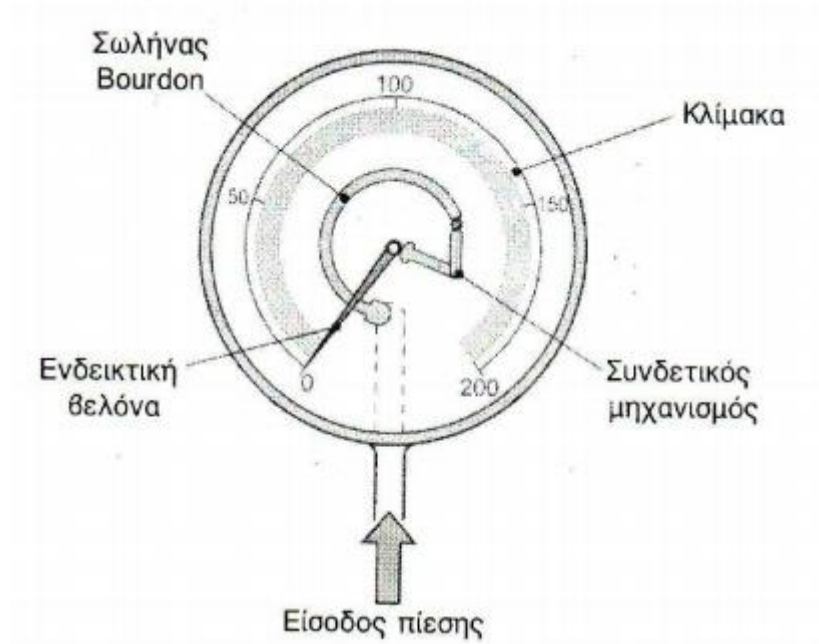
Εικόνα 3.52: Θερμοζεύγος[25]

3.3.8 Μανόμετρα Bourdon[23]

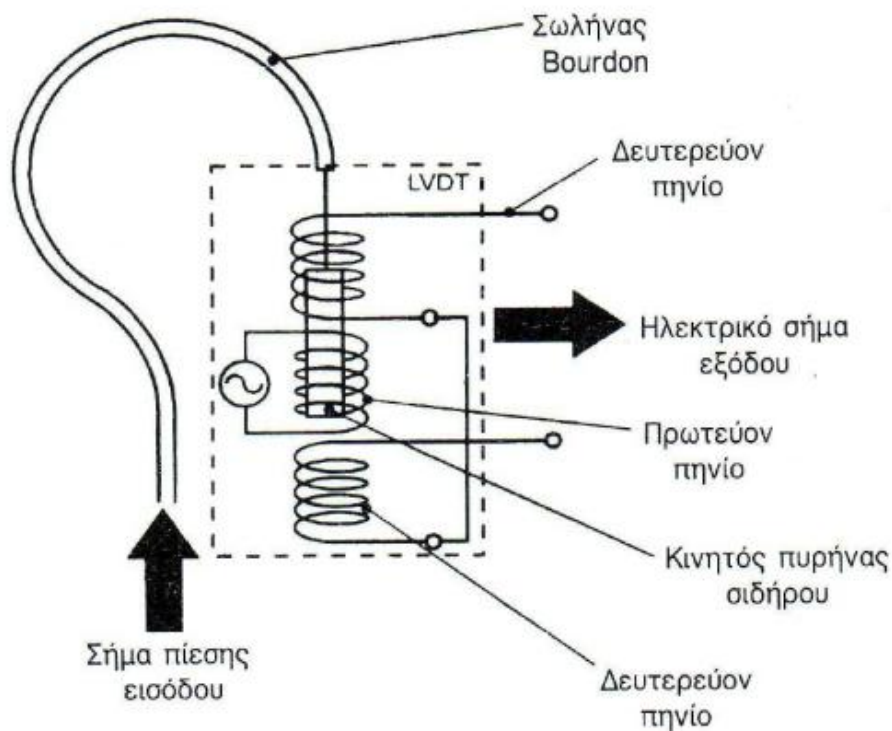
Ο σωλήνας Bourdon είναι από τα πιο δημοφιλή όργανα μέτρησης της πίεσης. Είναι κατασκευασμένος από κράματα όπως ο ορείχαλκος. Αποτελείται από έναν σωλήνα οβάλ ή ελλειπτικής διατομής. Το ένα άκρο του είναι σφραγισμένο ενώ στο άλλο άκρο εισάγεται η άγνωστη πίεση. Υπάρχουν διάφορες μορφές σωλήνα Bourdon όπως είναι ο συνεστραμμένος, ο ελικοειδής ή ο σπειροειδής. Στην *εικόνα 3.51* και στο *σχήμα 3.9*, παρουσιάζεται ένας μηχανισμός μέτρησης πίεσης με σωλήνα Bourdon σχήματος C. Ανάλογα με την πίεση ο σωλήνας Bourdon τείνει να ευθυγραμμιστεί και η κίνηση αυτή μετατρέπεται σε ένδειξη.



Εικόνα 3.53: Μηχανισμός μέτρησης πίεσης με σωλήνα bourdon.[23]



Σχήμα 3.9: Σχεδιαγράμματα μανόμετρου τύπου Bourdon.[23]

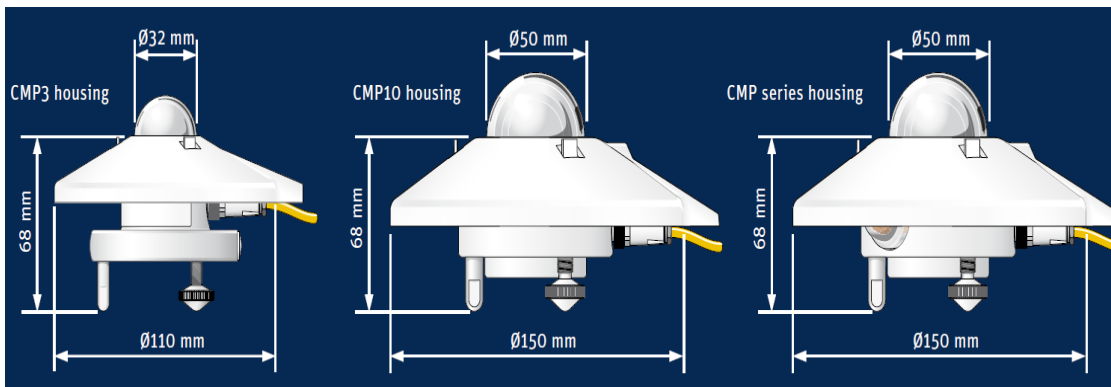


Σχήμα 3.10: Σύνδεση μανόμετρου τύπου Bourdon με ένα διαφορικό αισθητήρα μετατόπισης.[23]

Στο σχήμα 3.10 παρουσιάζεται η σύνδεση ενός σωλήνα Bourdon με ένα διαφορικό αισθητήρα μετατόπισης (LVDT). Ο αισθητήρας αυτός μετατρέπει την μετακίνηση του άκρου του σωλήνα σε ηλεκτρικό σήμα το οποίο μπορεί να οδηγηθεί σε όργανο καταγραφής, ή να μετατραπεί σε ένδειξη ή να οδηγηθεί σε ένα Σύστημα Αυτομάτου Ελέγχου.

3.3.9 Πυρανόμετρο Kipp & Zonen CMP 3[14]

Το πυρανόμετρο είναι ένα όργανο μέτρησης της συνολικής πυκνότητας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε μια οριζόντια επιφάνεια εμβαδού $A = 1 \text{ m}^2$. Η λειτουργία του στηρίζεται στους αισθητήρες θερμοπύλης που λειτουργούν με βάση το θερμοηλεκτρικό φαινόμενο. Ο αισθητήρας θερμοπύλης έχει εξωτερικά την μορφή οριζόντιου κυκλικού δίσκου με κατάλληλη επικάλυψη με μαύρο υλικό ώστε να απορροφά σχεδόν πλήρως την ηλιακή ενέργεια (Σχ. 3.11). Η θερμοπύλη αποτελείται από μια σειρά θερμοηλεκτρικών ζευγών που συνήθως τοποθετούνται το ένα δίπλα στο άλλο καλύπτοντας όλη την περιφέρεια του κυκλικού δίσκου της θερμοπύλης. Τα θερμοηλεκτρικά ζεύγη είναι συνδεδεμένα σε σειρά ώστε να παράγουν την μέγιστη δυνατή διαφορά δυναμικού. Επιπροσθέτως, η θερμοπύλη καλύπτεται από ένα προστατευτικό γυάλινο θόλο. Ο θόλος αυτός, αφενός προστατεύει τον αισθητήρα από τις καιρικές συνθήκες και τη σκόνη, αφετέρου του διασφαλίζει ένα είδος θερμομόνωσης από το περιβάλλον, ώστε τα θερμοηλεκτρικά ζεύγη να μην υπόκειται σε μεγάλη θερμοκρασιακή διακύμανση κατά την διάρκεια της ημέρας, που θα επηρέαζε άμεσα την λειτουργία της θερμοπύλης.



Σχήμα 3.11 : Διαστάσεις πυρανόμετρου CMP 3.[14]

Στην εγκατάσταση μας τοποθετήθηκαν δύο πυρανόμετρα β' τάξεως της εταιρείας Kipp&Zonen CMP 3 Pyranometer, για την μέτρηση της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας (Εικόνα 3.54). Το ένα εξ αυτών τοποθετήθηκε σε οριζόντιο επίπεδο (0°) για τον υπολογισμό της πυκνότητας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο και το δεύτερο τοποθετήθηκε κάθετα στην βάση στήριξης, για τον υπολογισμό της πυκνότητας ισχύος της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στο επίπεδο του ηλιακού συλλέκτη. Το συγκεκριμένο μοντέλο που εγκαταστάθηκε έχει εύρος λειτουργίας ως προς την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία 300 έως 2800 nm, έχει βαθμό απορροφητικότητας 95% και θερμοκρασιακό εύρος λειτουργίας από -40°C έως τους 80°C .



Εικόνα 3.54: Πυρανόμετρο CMP 3.[14]

3.3.10 Ανεμόμετρο Windspeed A100K[25]

Στην εγκατάσταση τοποθετήθηκε το τριαξονικό μοντέλο ανεμόμετρου A100K της εταιρείας Windspeed (Εικ. 3.55). Το συγκεκριμένο ανεμόμετρο μπορεί να μετρήσει ταχύτητες ανέμου μεγαλύτερες και από 75 m/s και έχει θερμοκρασιακό εύρος λειτουργίας από -50 °C έως 70°C. Το σφάλμα μετρήσεών του για χαμηλές ταχύτητες ανέμου είναι 1% ενώ για ταχύτητες μεγαλύτερες από 55 m/s 2%.



Εικόνα 3.55: Ανεμόμετρο A100K.[25]

Η αρχή λειτουργίας του ανεμομέτρου, βασίζεται στην περιστροφική κίνηση των ημισφαιρικών κουπών. Καθώς ο αέρας ρέει προς τις κούπες, αυτές περιστρέφονται συνεχώς έχοντας μια σταθερή κίνηση. Ανάλογα με την ταχύτητα την οποία περιστρέφονται μπορούμε να υπολογίσουμε την ταχύτητα ροής του ανέμου. Με την αύξηση ή τη μείωση της ταχύτητας του ανέμου, οι κούπες αντίστοιχα θα αυξήσουν ή θα μειώσουν την ταχύτητα περιστροφής τους. Μία ακόμη πληροφορία που λαμβάνεται από ένα τέτοιο ανεμόμετρο, είναι μέσω της

παρατήρησης της κίνησης των κουπών για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Με τον υπολογισμό των συνολικών στροφών στο διάστημα αυτό και με αναγωγή στην χρονική μονάδα υπολογίζεται η μέση ταχύτητα του ανέμου.

3.3.11 Σύστημα καταγραφής δεδομένων (Data Logger)[25]

Γενικά για τα συστήματα καταγραφής δεδομένων

Η μέτρηση φυσικών μεγεθών αποτελεί ίσως την πιο σημαντική διαδικασία για την ορθότητα της επιστημονικής σκέψης. Από μόνη της η θεωρία σφαλμάτων ή και αβεβαιότητας των μετρήσεων αποτελεί ξεχωριστός κλάδος της επιστήμης. Από τη στιγμή που η τεχνολογία επιτρέπει την παρατήρηση, με συστηματικό τρόπο, των πειραματικών διαδικασιών γεννήθηκε η ανάγκη για την ορθή καταγραφή των πειραματικών δεδομένων και αποτελεί πλέον μια από τις πιο σημαντικές διαδικασίες στη διεξαγωγή πειραμάτων. Η πολυπλοκότητα όμως των πειραματικών διαδικασιών οδηγεί αυτόματα σε πολυπλοκότητα των μετρήσεων, της καταγραφής αυτών με τελικό αποτέλεσμα να αφιερώνεται μεγάλο μέρος του χρόνου για επεξεργασία από τους ερευνητές, κάθε πειραματικού κλάδου της επιστήμης. Σκοπός είναι η επιβεβαίωση μιας θεωρίας, η διεξαγωγή συμπερασμάτων αυτής αλλά και η πρόβλεψη μιας νέας θεωρίας. Η ενσωμάτωση των υπολογιστών τις τελευταίες τρεις δεκαετίες στη διάρκεια διεξαγωγής πειραμάτων έδωσε νέα ώθηση στη δυνατότητα για μετρήσεις αλλά και στην ακρίβεια αυτών. Οι συσκευές που είναι υπεύθυνες για την καταγραφή αλλά και την αποθήκευση των πειραματικών δεδομένων ονομάζονται συστήματα καταγραφής δεδομένων και στη διεθνή βιβλιογραφία αναφέρονται ως Data Logging Systems ή συντομογραφικά Data Loggers.

Ένα Data Logger (ή σύστημα καταγραφής δεδομένων) είναι μια ηλεκτρονική συσκευή η οποία καταχωρεί δεδομένα συναρτήσει του χρόνου. Τα Data Loggers συνήθως είναι συνδεδεμένα με διάφορους τύπους εξωτερικών οργάνων που φέρουν κατάλληλους αισθητήρες για τη μέτρηση φυσικών μεγεθών. Είναι γενικά μικροί σε μέγεθος, με μπαταρίες, φορητοί, και εξοπλισμένοι με έναν μικροεπεξεργαστή και εσωτερική μνήμη για την αποθήκευση στοιχείων. Πλέον οι Data Loggers συνδέονται με Η/Υ μέσω συγκεκριμένου λογισμικού με σκοπό τόσο την σύνδεση και επικοινωνία, όσο και τη μεταφορά δεδομένων και μετάδοση πληροφορίας. Ένα τυπικό σύστημα ηλεκτρονικής καταγραφής δεδομένων (Data Logger) παρουσιάζεται στην *Εικόνα 3.56*.



Εικόνα 3.56: Τυπικό ηλεκτρονικό σύστημα καταγραφής δεδομένων (Data Logger).[25]

Τα Data Loggers έχουν μια τοπική διάταξη διεπαφών, αριθμητικό πληκτρολόγιο, οθόνη LCD και μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως αυτόνομες συσκευές. Ποικίλλουν ανάλογα με το σκοπό, τον τρόπο εγκατάστασης και την ακρίβεια των μετρήσεων. Τα ηλεκτρονικά συστήματα καταγραφής έχουν αντικαταστήσει τα μηχανικά όργανα καταγραφής διαγραμμάτων σε πολλές εφαρμογές και ένα από τα αρχικά οφέλη τους είναι η δυνατότητα να συλλεχθούν αυτόματα πειραματικά δεδομένα σε 24ωρη βάση. Πρέπει να σημειωθεί ότι ένα σύστημα καταγραφής δεδομένων μπορεί να χαρακτηριστεί και ως σύστημα μετρήσεων, ενώ δεν μπορεί το σύστημα μετρήσεων απαραίτητα να χαρακτηριστεί και ως σύστημα καταγραφής δεδομένων.

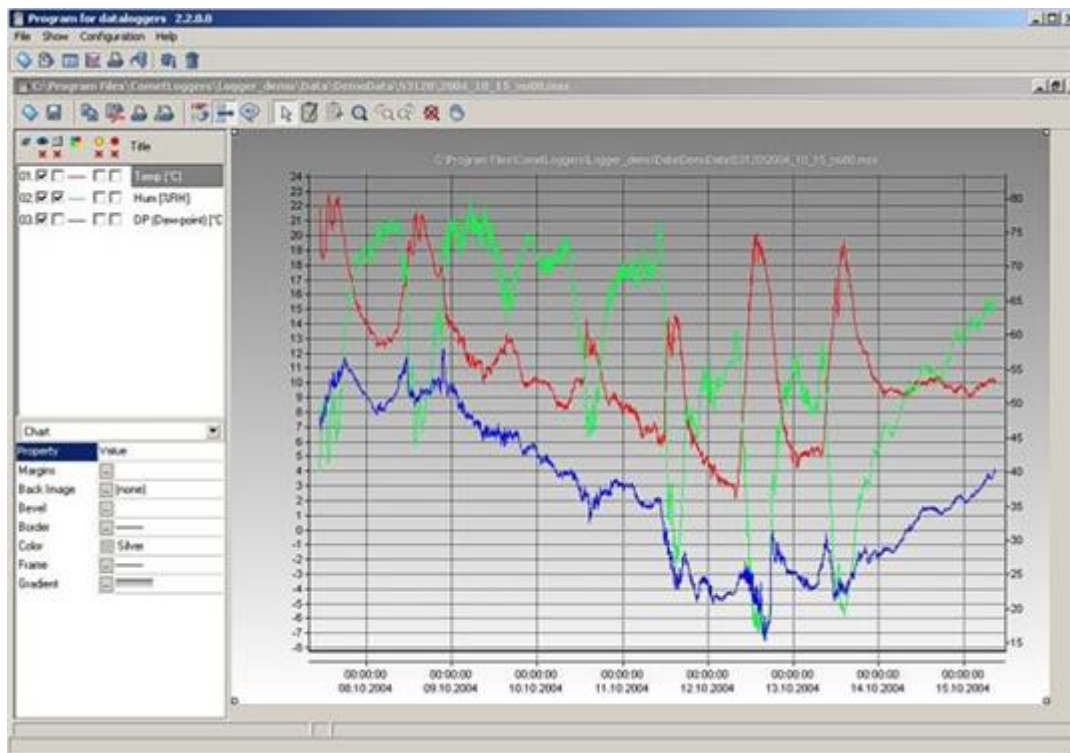
Εφαρμογές των Data Loggers

Τα ηλεκτρονικά συστήματα μέτρησης και καταγραφής δεδομένων έχουν ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών. Ο βασικός διαχωρισμός τους λαμβάνεται με βάση το χώρο δοκιμών, αν πρόκειται δηλαδή να καλύψει ανάγκες για πειράματα εντός εσωτερικού ή εξωτερικού χώρου. Στις περιπτώσεις πειραμάτων εσωτερικού χώρου δοκιμών χρησιμοποιούνται Data Loggers σε μορφή ψηφιακών καρτών PCI που εισάγονται σε κατάλληλους Η/Υ (Εικ. 3.57). Ο εξωτερικός χώρος δοκιμών απαιτεί προστασία από τις καιρικές συνθήκες και ως εκ τούτου είναι αναγκαίος κλωβός προστασίας.



Εικόνα 3.57: Data Logger τύπου κάρτας για εσωτερικό χώρο δοκιμών.[25]

Τα Data Loggers εξωτερικών χώρων μπορούν να συνδεθούν με πληθώρα οργάνων για μέτρηση της έντασης της ολικής πυκνότητας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας, της φασματικής κατανομής αυτής (φασματικά όργανα), της ταχύτητας και διεύθυνσης του πνέοντος ανέμου, της υγρασίας (απόλυτης και σχετικής), της βαρομετρικής πίεσης, της θερμοκρασίας περιβάλλοντος, κ.α. Παράλληλα έχουν τη δυνατότητα να δέχονται εισόδους (σήματα) για μέτρηση παλμών, διαφοράς δυναμικού έντασης ρεύματος, θερμοκρασίας (χώρων, επιφανειών, ρευστών), πίεσης κ.α. Το κοινό χαρακτηριστικό όλων των δυνατών τύπων των Data Loggers είναι ο περιορισμός της τάσης εισόδου σήματος, ο οποίος ποικίλει ανάλογα με την εφαρμογή. Επιπλέον, το σύνολο των ηλεκτρονικών αυτών συστημάτων, έχει τη δυνατότητα υποστήριξης κατάλληλων λογισμικών τόσο για την ανάγνωση των μετρήσεων όσο και της αποθήκευσης και επεξεργασίας αυτών (Εικ. 3.58). Σημαντικό, τέλος, πλεονέκτημα των Data Loggers μπορεί να θεωρηθεί η δυνατότητα προγραμματισμού της λήψης του είδους και της συχνότητας των μετρήσεων σε πραγματικό χρόνο.



Εικόνα 3.58: Λογισμικό ανάγνωσης και καταγραφής δεδομένων.[25]

Περιγραφή του Data Logger και των περιφερειακών

Για την υλοποίηση της εγκατάστασης αναφορικά με τη λήψη και καταγραφή των πειραματικών μετρήσεων επιλέχτηκε ένα ηλεκτρονικό σύστημα καταγραφής δεδομένων της εταιρείας Campbell Scientific. Η επιλογή της συγκεκριμένης εταιρείας έγινε με γνώμονα τρεις βασικές απαιτήσεις της εγκατάστασής μας.

Ως πρώτη απαίτηση τέθηκε ο εξωτερικός χώρος των πειραματικών δοκιμών όπου σύμφωνα με αυτή και δεδομένου των δυσμενών καιρικών συνθηκών του τόπου εγκατάστασης, η χρήση ενός ηλεκτρονικού συστήματος ειδικά σχεδιασμένου για εξωτερική χρήση είναι επιτακτική. Το εν λόγω σύστημα διαθέτει ξεχωριστή μονάδα λήψης και αποθήκευσης δεδομένων χωρίς την απαραίτητη και αδιάλειπτη σύνδεσή του με Η/Υ. Η δεύτερη απαίτηση έγκειται στην ανάγκη για ύπαρξη πλήρους βάσης δεδομένων, μέσω της οποίας επιτρέπεται η σύνδεση με την εν λόγω μονάδα των οργάνων μέτρησης. Αυτά είναι τα πυρανόμετρα CMP 3 της εταιρείας Kipp & Zonen, το ανεμόμετρο A100K της εταιρείας Windspeed (Vector Instruments) κ.α.. Πρέπει να σημειωθεί ότι η ύπαρξη συγκεκριμένης βάσης δεδομένων για το σύνολο των οργάνων που χρησιμοποιήθηκαν σχετίζεται με τη βαθμονόμησή τους αλλά και του ενσωματωμένου κώδικα που τα συνοδεύει. Τέλος, ως τρίτη απαίτηση τέθηκε η ανάγκη για ύπαρξη ενός λογισμικού προγράμματος με κύρια χαρακτηριστικά το παραθυρικό περιβάλλον (ευκολία από μη εξειδικευμένους χρήστες), τη δυνατότητα για προγραμματισμό του Data Logger αναφορικά με την ενσωμάτωση των οργάνων μέτρησης και των ηλεκτρικών σημάτων, το ρυθμό μέτρησης και τη συχνότητα

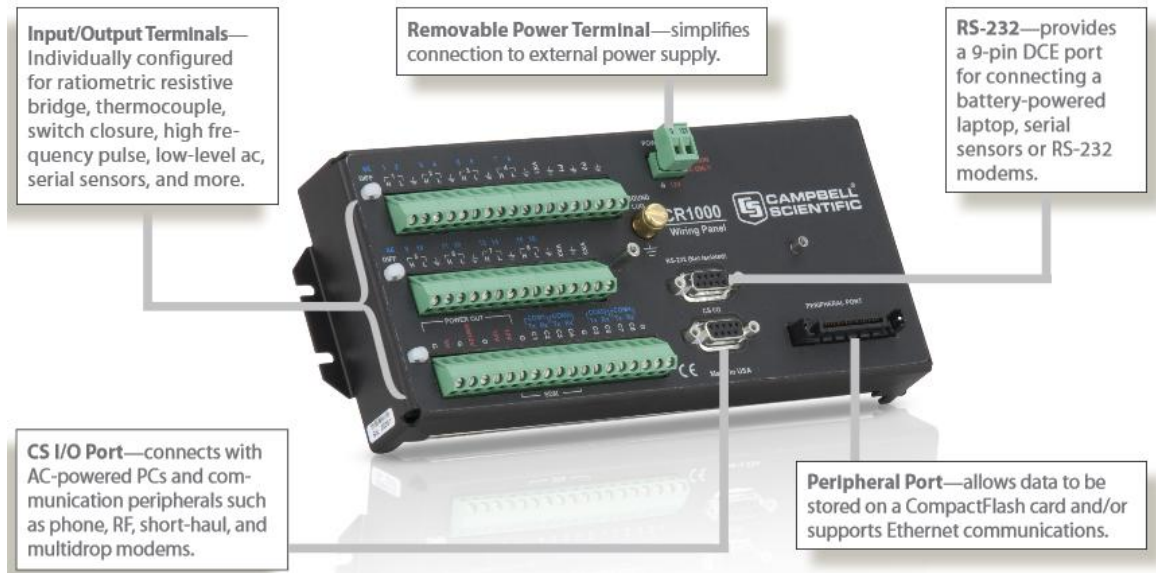
αποθήκευσης δεδομένων στην κεντρική μονάδα μνήμης, την εξ' αποστάσεως σύνδεσης του ηλεκτρονικού συστήματος καταγραφής με Η/Υ και την δυνατότητα για απομακρυσμένη σύνδεση του χρήστη με τον Η/Υ που είναι συνδεδεμένο με το Data Logger. Όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά και απαιτήσεις οδήγησαν στην επιλογή της βασικής μονάδας Data Logger CR1000 της εταιρείας Campbell και των κατάλληλων περιφερειακών ηλεκτρονικών συστημάτων, το οποία παρουσιάζονται σε επόμενες παραγράφους.

Βασική μονάδα Data Logger (CR1000)

Το Data Logger που χρησιμοποιήθηκε στην εγκατάσταση είναι μοντέλο CR1000 της εταιρείας Campbell Scientific. Το CR1000 αποτελείται από την μονάδα μέτρησης και ελέγχου, όπου περιλαμβάνει υποδοχές για τα καλώδια των οργάνων μέτρησης αλλά και για το καλώδιο σύνδεσης με τον υπολογιστή που χρησιμοποιούμε τόσο για τον προγραμματισμό της μονάδας όσο και για την ανάκτηση των δεδομένων. Ο CR1000 τοποθετήθηκε για την προστασία του από τις καιρικές συνθήκες σε ένα μεταλλικό κουτί στον αριστερό στύλο της βάσης στήριξης της πειραματικής συσκευής (Εικ. 3.59).



Εικόνα 3.59: Βασική μονάδα Data Logger (CR1000) τοποθετημένη στην βάση στήριξης της πειραματικής διάταξης.



Σχήμα 3.12: Κεντρική μονάδα Data Logger (Campbell CR1000). [25]

Η μονάδα περιλαμβάνει έναν μικροελεγκτή Renesas H8S με εσωτερική αρχιτεκτονική επεξεργαστή 32-bit, μνήμη μεγέθους 2MB τύπου FLASH για το λειτουργικό σύστημα, καθώς και επιπλέον μνήμη μεγέθους 4MB τύπου SRAM, η οποία χρησιμοποιείται για την αποθήκευση του προγράμματος των μετρήσεων που δημιουργούμε και των δεδομένων που καταγράφονται, όπως επίσης και για συνεργασία με τον επεξεργαστή της μονάδας. Εάν κριθεί αναγκαίο η μνήμη μπορεί να επεκταθεί με τη χρήση κάρτας μνήμης Compact Flash. Η αποθήκευση των δεδομένων που καταγράφονται γίνεται σε μορφή πινάκων. Το CR1000, έχει 16 απλές ή 8 διαφορεικές υποδοχές σήματος και αντίστοιχες υποδοχές γείωσης. Επιπλέον, διαθέτει συνεχείς πηγές διαφοράς δυναμικού 5 Volts και 12 Volts για την τροφοδοσία συγκεκριμένων οργάνων μέτρησης, όταν αυτό απαιτείται, και τέλος, διαθέτει και 2 διαφορεικές υποδοχές σήματος για λήψη μετρήσεων συχνότητας. Λεπτομέρειες της βασικής μονάδας CR1000 παρουσιάζονται στο *σχήμα 3.12*.

Περιφερειακά σύνδεσης και επικοινωνίας με Η/Υ

Για τη σύνδεση της κεντρικής μονάδας του Data Logger (CR1000) απαιτήθηκε η χρήση του μετατροπέα σύνδεσης SC32B της εταιρείας Campbell (Optical Isolated RS-232 Interface) (Σχ. 3.13). Ο CR1000 έχει διαθέσιμες 3 θύρες επικοινωνίας, μέσω των οποίων δύναται η σύνδεσή του τόσο με Η/Υ όσο και με φορητές συσκευές. Για τις ανάγκες της εγκατάστασης η επικοινωνία με το Data Logger πραγματοποιήθηκε μέσω της σειριακής θύρας RS 232 και επομένως η επιλογή της συσκευής που μετατρέπει το πρωτόκολλο κρίθηκε απαραίτητη. Απαραίτητη κρίθηκε και η χρήση κατάλληλου καλωδίου RS 232.

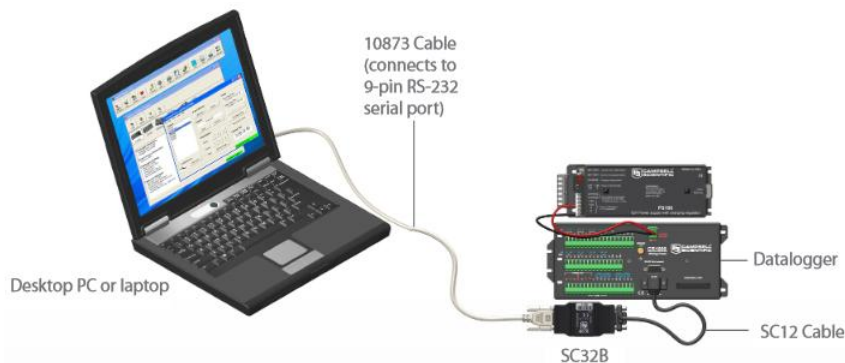


Σχήμα 3.13: Optical Isolated RS-232 Interface (SC32B). [25]

Εξαιτίας της μεγάλης απόστασης μεταξύ του Η/Υ και της βασικής μονάδας Data Logger κρίθηκε αναγκαία η τοποθέτηση κατάλληλου ενσύρματου modem χαμηλής συχνότητας, μέσω του οποίου μετατρέπεται το σήμα επικοινωνίας σε αναλογικό μετά ακριβώς το CR1000 και στη συνέχεια σε ψηφιακό (RS 232) μέχρι την τελική σύνδεση με τον Η/Υ. Για τις ανάγκες αυτής την σύνδεσης χρησιμοποιήθηκε η περιφερειακή συσκευή SRM -5A της εταιρείας Campbell.

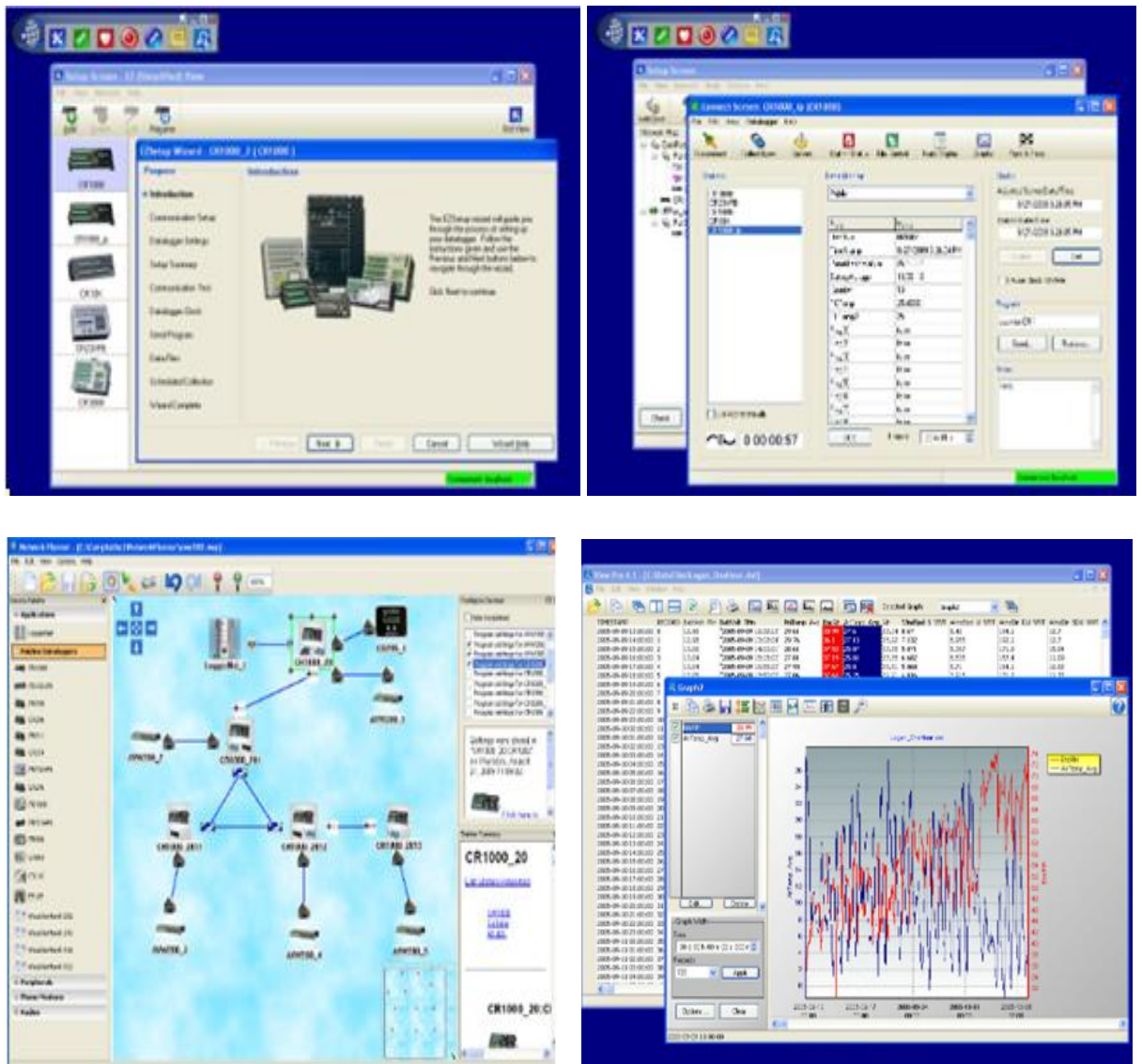


Σχήμα 3.14: Optical Isolated RS-232 Interface (SC32B). [25]



Σχήμα 3.15: Διάγραμμα σύνδεσης και επικοινωνίας με Η/Υ. [25]

Στο σχήμα 3.15 παρουσιάζεται σε μορφή σχεδιαστικού διαγράμματος ο τρόπος επικοινωνίας της βασικής μονάδας Data Logger και του Η/Υ. Παρουσιάζονται λεπτομέρειες της συνδεσμολογίας.



Σχήμα 3.16: Στάδια προγραμματισμού του Data Logger μέσω του Loggernet. [25]

3.3.12 Το Λογισμικό πρόγραμμα Loggernet[25]

Ο προγραμματισμός της λειτουργίας του ηλεκτρονικού συστήματος καταγραφής δεδομένων πραγματοποιήθηκε μέσω κατάλληλου λογισμικού. Σε κλειστό χώρο τοποθετήθηκε ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής στον οποίο εγκαταστάθηκε το πρόγραμμα Loggernet 4.3 της εταιρείας Campbell. Το Loggernet είναι ένα λογισμικό πρόγραμμα που έχει πλήρη συμβατότητα με το CR1000 και με το σύνολο των περιφερειακών που χρησιμοποιήθηκαν. Σκοπός του λογισμικού αυτού είναι αρχικά να η καθοδήγηση βήμα-βήμα στην ηλεκτρονική εγκατάσταση του συστήματος με τελικό στόχο τη λήψη μετρήσεων και την καταγραφή των δεδομένων. Μέσω των βημάτων αυτών καθορίζεται η σειρά με την οποία συνδέονται τα όργανα καθώς και ο τρόπος με τον οποίο πρέπει κάθε ένα από τα όργανα να συνδεθεί στο Data Logger ώστε να αναγνωριστεί από το πρόγραμμα. Έπειτα καθορίζεται η χρονική διάρκεια μεταξύ των διαδοχικών μετρήσεων, οι μονάδες μέτρησης αυτών και στην περίπτωση

των ποτενσιόμετρων και των διαιρετών τάσης το πόσο υποβαθμισμένη θα είναι η τιμή εξόδου από την πραγματική. Στο *σχήμα 3.16* παρουσιάζονται περιληπτικά τα στάδια προγραμματισμού μέσω του λογισμικού.

Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε έχει τη δυνατότητα για εποπτική εικόνα των αποτελεσμάτων σε πραγματικό χρόνο είτε μέσω πινάκων είτε μέσω διαγραμμάτων χρονικής μεταβολής των ληφθέντων μεγεθών από την εγκατάστασή μας. Στο *σχήμα 3.16* παρουσιάζονται σε πραγματικό χρόνο τόσο οι πίνακες με τις μετρήσεις όσο και οι χρονικές μεταβολές αυτών μέσω διαγραμμάτων. Τέλος, τα δεδομένα που λαμβάνει το λογισμικό πρόγραμμα Loggernet από το Data Logger και την κάρτα πολυπλεξίας δύναται να αποθηκευτούν σε αρχείο μορφής .dat ή .csv και στη συνέχεια μέσω του λογισμικού Microsoft Excel να γίνεται περαιτέρω επεξεργασία τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.

4.1 Σκοπός Πειραματικής Διαδικασίας

Στα προηγούμενα κεφάλαια έγινε παρουσίαση των διατάξεων πιστοποίησης, βάσει των οποίων σχεδιάστηκε η πειραματική συσκευή. Ταυτόχρονα, έγινε εκτενής αναφορά στα πρότυπα πιστοποίησης ηλιακών θερμικών συστημάτων, ΕΛΟΤ. Στη συνέχεια, ακολούθησε ο σχεδιασμός, οι διεργασίες κατασκευής και συναρμολόγησης της πειραματικής διάταξης και τέλος παρουσιάστηκαν η αρχή λειτουργίας και τα χαρακτηριστικά των μετρητικών οργάνων και των στοιχείων που συνδέθηκαν στην εγκατάσταση. Στο σημείο αυτό, το σύστημα είναι έτοιμο να τεθεί σε λειτουργία, λαμβάνοντας σημαντικά συμπεράσματα από την πειραματική διαδικασία που θα ακολουθήσει.

Σκοπός της πειραματικής διαδικασίας είναι, κατά κύριο λόγο, ο προσδιορισμός:

- της στιγμιαίας θερμικής απόδοσης του επίπεδου ηλιακού συλλέκτη.
- της μέσης ημερήσιας απόδοσης του συστήματος συλλέκτη – αποθήκη θερμότητας και,
- του συντελεστή θερμικών απωλειών του συστήματος συλλέκτη – αποθήκη θερμότητας.

Τελικός στόχος από την διεξαγωγή των πειραμάτων είναι να προκύψουν:

- οι καμπύλες διακύμανσης των θερμοκρασιών του ρευστού κυκλοφορίας συναρτήσει του χρόνου λειτουργίας
- οι καμπύλες διακύμανσης της θερμοκρασίας του νερού αποθήκευσης της δεξαμενής συναρτήσει του χρόνου λειτουργίας,
- οι καμπύλες μέσης ημερήσιας απόδοσης του συστήματος συλλέκτης – αποθήκη θερμότητας συναρτήσει των συνθηκών λειτουργίας και τέλος,
- οι καμπύλες μεταβολής του συντελεστή θερμικών απωλειών του συστήματος συλλέκτης – αποθήκης θερμότητας συναρτήσει της διαφοράς θερμοκρασιών.

Η διπλωματική εργασία καταλήγει στον σχολιασμό των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από την πειραματική διαδικασία και την παρουσίαση των συμπερασμάτων – προοπτικών βελτίωσης της διάταξης για περαιτέρω έρευνα.

4.2 Μέθοδος προσδιορισμού της στιγμιαίας θερμικής απόδοσης του επίπεδου ηλιακού συλλέκτη

Ακολουθώντας το πρότυπο ΕΛΟΤ για τον προσδιορισμό της στιγμιαίας απόδοσης του ηλιακού συλλέκτη απαιτείται ο προσδιορισμός μιας σειράς παραμέτρων.

Οι βασικές παράμετροι των επίπεδων ηλιακών συλλεκτών είναι:

η οπτική απόδοση, ο συντελεστής θερμικών απωλειών και η ολική απόδοση σε συνάρτηση με τις συνθήκες λειτουργίας. Τα χαρακτηριστικά μεγέθη που απαιτούνται για τον προσδιορισμό της ενεργειακής συμπεριφοράς των επίπεδων συλλεκτών είναι:

A_a (m²): επιφάνεια ανοίγματος συλλέκτη (γυάλινο κάλυμμα)

I (W/m²): ένταση προσπίπτουσας ολικής ηλιακής ακτινοβολίας

Q_s (W): προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια ($Q_s = I \cdot A_a$)

Q_u (W): θερμότητα στο κυκλοφορούν υγρό

Q_o (W): απορροφούμενη ηλιακή ενέργεια για μηδενικές θερμικές απώλειες

Q_L (W): θερμικές απώλειες συλλέκτη

$n = \frac{Q_u}{Q_s}$: απόδοση του συλλέκτη

T_i, T_o (°C ή K): θερμοκρασία εισόδου, εξόδου του υγρού στον συλλέκτη.

T_a (°C ή K): θερμοκρασία περιβάλλοντος.

$\frac{dm}{dt}$ (Kg/s): μάζα κυκλοφορούντος υγρού ανά μονάδα χρόνου (\dot{m}), παροχή

C_p (J/Kg K): ειδική θερμότητα υγρού απολαβής της θερμότητας

T_{abs} (°C ή K): θερμοκρασία απορροφητή.

T_m (°C ή K): μέση θερμοκρασία υγρού του συλλέκτη ($T_m = (T_i + T_o) / 2$)

U_L (W/m² K): συντελεστής θερμικών απωλειών του συλλέκτη

F_R : συντελεστής απόδοσης κατά την εναλλαγή θερμότητας μεταξύ απορροφητή και υγρού (μέγιστη τιμή $F_R = 1$)

($\tau\alpha$): γινόμενο διαπερατότητας απορροφητικότητας συστήματος διαφανές κάλυμμα-απορροφητής (μέγιστη τιμή $\tau\alpha = 1$)

$\Delta T / I$ (°C W⁻¹ m²): παράμετρος που καθορίζεται από τις συνθήκες λειτουργίας του συλλέκτη ($\Delta T = T_i - T_a$)

Με βάση τις παραπάνω παραμέτρους οι βασικές σχέσεις που αφορούν τους επίπεδους συλλέκτες είναι:

- Στιγμιαία απόδοση:

$$n = \frac{Q_u}{Q_s} = \frac{Q_u}{I \cdot A_\alpha} \quad (\text{εξ. 4.1})$$

- Μέση ημερήσια απόδοση του συλλέκτη:

$$n_d = \frac{\int_{t_i}^{t_f} Q_u dt}{A_\alpha \int_{t_i}^{t_f} I dt} \quad (\text{εξ. 4.2})$$

- Ωφέλιμη θερμότητα υγρού:

$$Q_u = \frac{dm}{dt} C_p \cdot (T_o - T_i) \quad (\text{εξ. 4.3})$$

- Μέγιστη ωφέλιμη θερμότητα:

$$Q_o = n_o \cdot Q_s \quad (\text{όταν } Q_L = 0) \quad (\text{εξ. 4.4})$$

- Ενέργεια θερμικών απωλειών:

$$Q_L = Q_s \cdot U_L \cdot \Delta T \quad (\text{εξ. 4.5})$$

- Ωφέλιμη θερμότητα υγρού:

$$Q_u = Q_o - Q_L \quad (\text{εξ. 4.6})$$

- Εξίσωση στιγμιαίας απόδοσης συλλέκτη:

$$n = \frac{F_R(\tau\alpha) - F_R U_L (T_i - T_\alpha)}{I} \quad (\text{εξ. 4.7})$$

όπου :

$$F_R = \frac{\frac{dm}{dt} \cdot C_p \cdot (T_o - T_i)}{A_\alpha [I \cdot (\tau\alpha) - U_L (T_{abs} - T_\alpha)]} \quad (\text{εξ. 4.8})$$

Επίσης η ωφέλιμη θερμότητα στο ρευστό υπολογίζεται από τη σχέση:

$$Q_u = A_\alpha [S - U_L (T_{abs} - T_\alpha)] \quad (\text{εξ. 4.9})$$

όπου S : απορροφούμενη ηλιακή ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας

Οπότε η απόδοση n του επίπεδου ηλιακού συλλέκτη μπορεί να προσεγγιστεί γραμμικά (για σταθερή τιμή U_L) από τη σχέση:

$$n = A - B \left(\frac{T_i - T_\alpha}{I} \right) \quad (\text{εξ. 4.10})$$

όπου $A = F_R(\tau\alpha)$ ή $A = \frac{F_R S}{I}$ και $B = F_R U_L$

- Αν $T_i = T_a$ και $F_{R=1} \Rightarrow n = \frac{S}{I} = n_o$ (οπτική απόδοση)
- Αν $T_i = T_o \Rightarrow n = 0$ (κατάσταση στασιμότητας)

Η οπτική απόδοση των επίπεδων ηλιακών συλλεκτών εξαρτάται από τον αριθμό των διαφανών καλυμμάτων, το πάχος, την ανακλαστικότητα και την απορροφητικότητα των διαφανών καλυμμάτων και την απορροφητικότητα του απορροφητή. Ο συντελεστής θερμικών απωλειών εξαρτάται από: την διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ απορροφητή και περιβάλλοντος, τον συντελεστή εκπομπής του απορροφητή και του διαφανούς καλύμματος, την θερμομόνωση, την θερμοκρασία και την ταχύτητα του πνέοντος ανέμου.

4.3 Μέθοδοι Πειραματικής Μελέτης των ηλιακών συσκευών συλλέκτη – αποθήκης θερμότητας[14]

Η πειραματική μελέτη των συσκευών αποσκοπεί στην αξιολόγηση της λειτουργίας τους και τον καθορισμό της αποδοτικότητάς τους στις ηλιακές εγκαταστάσεις θέρμανσης νερού. Η αποδοτικότητα των ηλιακών συσκευών σχετίζεται με τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά και τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν κάθε εποχή του έτους, καθορίζοντας το θερμοκρασιακό εύρος λειτουργίας τους.

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι μέθοδοι πειραματικής μελέτης του ηλιακού θερμικού συστήματος που περιλαμβάνει τόσο τον επίπεδο συλλέκτη όσο και τη δεξαμενή αποθήκευσης με στόχο τον προσδιορισμό της απόδοσης ημερήσιας λειτουργίας και τον υπολογισμό των ημερήσιων και νυκτερινών θερμικών απωλειών. Επιπλέον εξετάζονται διαγράμματα μεταβολής της θερμοκρασίας του νερού εντός του δοχείου αποθήκευσης για 24ωρη και τετραήμερη λειτουργία χωρίς απομάστευση του νερού, με σκοπό τον καθορισμό της μέγιστης μέσης θερμοκρασίας του νερού και την εκτίμηση της διατήρησης της θερμότητας στη διάρκεια της νύκτας.

4.3.1 Πειραματικός προσδιορισμός της ημερήσιας απόδοσης

Ο πιο συνηθισμένος τρόπος σύγκρισης διαφόρων τύπων ηλιακών συλλεκτών είναι ο προσδιορισμός της απόδοσης ημερήσιας λειτουργίας τους. Με το τρόπο αυτό γίνεται εξακρίβωση της λειτουργίας των συσκευών σε εξωτερικές συνθήκες και εκτιμάται η επιτυχία της σχεδιάσής τους. Στην περίπτωση των ηλιακών συσκευών που λειτουργούν μόνο σαν συλλέκτες, εφαρμόζεται με διάφορες παραλλαγές η μέθοδος του προσδιορισμού της στιγμιαίας απόδοσης. Στην περίπτωση των συσκευών συλλέκτης – αποθήκη θερμότητας, η μέθοδος αυτή δεν μπορεί να εφαρμοστεί εύκολα λόγω της μεγάλης μάζας του περιεχομένου νερού σε σχέση με τη συλλεγόμενη ηλιακή ακτινοβολία, με αποτέλεσμα να απαιτείται αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα προκειμένου να φτάσει σε κατάσταση θερμικής ισορροπίας.

Ο πειραματικός προσδιορισμός της ημερήσιας απόδοσης πραγματοποιείται είτε με τη μέθοδο της μέγιστης ωφέλιμης απόδοσης (Maximum Useful Efficiency, MUE), είτε με τη μέθοδο που προτείνεται από το European Solar Collector and System Testing Group (CSTG)

και τα Πρότυπα ΕΛΟΤ 879 και EUR 11606 EN. Συνηθέστερη των δύο μεθόδων είναι η δεύτερη η οποία εφαρμόζεται από ερευνητικά κέντρα και διεθνή κέντρα πιστοποίησης ηλιακών συλλεκτών.

- **Μέθοδος MUE:**

Κατά την πρώτη μέθοδο, MUE, η ηλιακή συσκευή δοκιμάζεται σε εξωτερικές συνθήκες λειτουργίας με υπολογισμό της μέγιστης ημερήσιας απόδοσης, η , ως εξής:

Σε μια αρχική χρονική στιγμή t_i , μετράται η τοπική μέση αρχική θερμοκρασία του νερού που βρίσκεται στο δοχείο της συσκευής, $T_{i,m}$. Η συσκευή στη συνέχεια αφήνεται να λειτουργήσει χωρίς απομάστευση νερού μέχρι κάποια άλλη χρονική στιγμή, t_f , στην οποία η τοπική μέση τελική θερμοκρασία του νερού $T_{f,m}$ έχει φτάσει στη μέγιστη τιμή της. Κατά τη διάρκεια λειτουργίας της συσκευής, μετράται η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας G που προσπίπτει στην επιφάνεια ανοίγματος της ηλιακής συσκευής καθώς και η θερμοκρασία περιβάλλοντος T_a . Κατά το χρονικό αυτό διάστημα Δt υπολογίζεται η ωφέλιμη ενέργεια που αποθηκεύτηκε στη συσκευή καθώς και η συνολική προσπίπτουσα σε αυτήν ηλιακή ακτινοβολία. Ο λόγος της ωφέλιμης ενέργειας προς τη συνολικά προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια ισούται με τη μέγιστη ημερήσια απόδοση της συσκευής. Αν λάβουμε υπόψη μας και το λόγο της διαφοράς της μέσης θερμοκρασίας του νερού μείον τη μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος ($T_{a,m}$) προς τη μέση ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας $\Delta T_m / G_m$ ($\Delta T_m / G_m = [(T_{i,m} + T_{f,m}) / 2 - T_{a,m}] / G_m$) στο ίδιο χρονικό διάστημα Δt , έχουμε ένα πειραματικό ζεύγος τιμών. Επαναλαμβάνοντας πολλές φορές τη διαδικασία αυτή για διαφορετικές τιμές της μέσης θερμοκρασίας του νερού της συσκευής και της έντασης της ακτινοβολίας, χαράσσεται η καμπύλη της μέγιστης ημερήσιας απόδοσης σε γραμμική προσέγγιση με την παράμετρο $\Delta T_m / G_m$.

- **Μέθοδος CSTG:**

Στη δεύτερη μέθοδο, η οποία συντομογραφικά αναφέρεται και ως μέθοδος CSTG, και πάλι δοκιμάζεται η συσκευή σε εξωτερικές συνθήκες με αρκετές δοκιμές οι οποίες όμως απαιτούν χρονικό διάστημα 12 ωρών (6 ώρες πριν το μεσημέρι και 6 ώρες μετά το μεσημέρι). Συγκεκριμένα λαμβάνεται η τοπική μέση αρχική τιμή της θερμοκρασίας $T_{i,m}$ του νερού της συσκευής και εν συνεχεία η συσκευή αφήνεται να λειτουργήσει για το χρονικό διάστημα των 12 ωρών. Κατά τη διάρκεια του χρονικού αυτού διαστήματος, μετράται η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία G και η θερμοκρασία περιβάλλοντος T_a . Όταν ολοκληρωθεί η ημερήσια λειτουργία της συσκευής, εισάγεται στο δοχείο της συσκευής νερό, θερμοκρασίας ίσης προς τη πρωινή μέση τιμή της θερμοκρασίας του νερού εντός του δοχείου και με παροχή 600 l h^{-1} . Τότε εξέρχεται το θερμό νερό από την έξοδο του δοχείου και μετράται συνεχώς η θερμοκρασία T_{out} και ο όγκος του, μέχρι ο συνολικός όγκος του εξερχόμενου νερού να είναι ίσος προς τρεις φορές τον όγκο του νερού εντός του δοχείου της συσκευής. Από τις μετρούμενες τιμές T_{out} και τις τιμές του όγκου, υπολογίζεται η θερμική ενέργεια Q_{out} του εξερχόμενου νερού συνολικού όγκου $3 V_T$, όπου V_T είναι ο όγκος του νερού που περιέχεται στο δοχείο της συσκευής. Εξάλλου, από τις τιμές της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας που καταγράφεται κατά τη διάρκεια της 12ωρης λειτουργίας της συσκευής, υπολογίζεται η συνολική ενέργεια Q_{input} που προσέπεσε στην συσκευή. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται

και άλλες μέρες με διαφορετικές αρχικές μέσες τιμές $T_{i,m}$ του νερού, αλλά κάθε φορά στο τέλος του 12ωρου πειράματος το εισερχόμενο νερό έχει θερμοκρασία, ίση προς την αρχική μέση θερμοκρασία $T_{i,m}$ του νερού, το πρωί της ημέρας που πραγματοποιείται το πείραμα. Τα πειραματικά ζεύγη τιμών (Q_{input}, Q_{out}) καταχωρούνται σε ομάδες με ίδια διαφορά ΔT_m ($\Delta T_m = T_{\alpha,m} - T_{i,m}$, όπου $T_{\alpha,m}$ η μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος στη διάρκεια του 12ωρου πειράματος) και για κάθε ομάδα προσδιορίζεται η σχέση μεταξύ τους με εξίσωση $1^{ου}$ βαθμού. Η γραφική παράσταση των πειραματικών σημείων και η χάραξη των ευθειών που αντιστοιχούν, δίνει το καλούμενο διάγραμμα input – output της συσκευής. Ο λόγος των ενεργειών Q_{out}/Q_{input} καθορίζει την ημερήσια απόδοση της συσκευής, H .

Τόσο η μέθοδος MUE, όσο και η μέθοδος CSTG παρουσιάζουν μειονεκτήματα στον προσδιορισμό της ημερήσιας απόδοσης των συσκευών. Η μέθοδος MUE παρουσιάζει αποκλίσεις ως προς τον προσδιορισμό της ημερήσιας απόδοσης συγκριτικά με τη μέθοδο CSTG η οποία πλεονεκτεί γιατί οι συσκευές αποκρίνονται και στη διατήρηση της θερμοκρασίας για κάποιο χρονικό διάστημα. Επιπλέον στη μέθοδο MUE δε λαμβάνεται σταθερό χρονικό διάστημα πειραματικής λειτουργίας των συσκευών γιατί η μέγιστη τιμή της μέσης θερμοκρασίας του νερού επιτυγχάνεται σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, εξαρτώμενη από την εποχή του έτους που πραγματοποιείται η πειραματική δοκιμή. Από την άλλη πλευρά η μέθοδος CSTG, που είναι ακριβέστερη, παρουσιάζει κάποια πρακτικά προβλήματα με την απομάστευση των τριών όγκων νερού του δοχείου, σταθερής θερμοκρασίας σε μικρό χρονικό διάστημα, ενώ δίνει πιο ευνοϊκά αποτελέσματα για συσκευές με μεγάλο V_T/A_α . Αυτό συμβαίνει κυρίως λόγω της πιο αποδοτικής λειτουργίας τους εξαιτίας των χαμηλότερων θερμικών απωλειών, προερχόμενες από τη χαμηλότερη θερμοκρασία λειτουργίας λόγω της μεγάλης μάζας νερού.

- **Μέθοδος MDE:**

Για τους λόγους αυτούς εφαρμόζεται μια πειραματική μέθοδος κατά την οποία η ημερήσια απόδοση προσεγγίζεται ικανοποιητικά, υπολογίζοντας τη θερμότητα που προσέλαβε το νερό από τις τιμές της μέσης αρχικής και μέσης τελικής θερμοκρασίας του κατά τη διάρκεια της 12ωρης πειραματικής λειτουργίας της συσκευής. Στην πειραματική αυτή μέθοδο προσδιορίζεται η μέση ημερήσια απόδοση της συσκευής που συντομογραφικά θα αναφέρεται και ως MDE (Mean Daily Efficiency). Το χρονικό διάστημα των 12 ωρών καθορίζεται από τις 6:30 έως και τις 18:30 ηλιακή ώρα, δηλαδή 6 ώρες πριν το μεσημέρι και 6 ώρες μετά το μεσημέρι του τόπου που πραγματοποιείται η πειραματική διαδικασία (για την Κοζάνη το ηλιακό μεσημέρι καθορίζεται περίπου στις 12:30). Η μέθοδος αυτή έχει στοιχεία των προηγούμενων μεθόδων και έχει εφαρμοστεί σε διάφορες πειραματικές διατάξεις της ίδιας κατηγορίας.

Συγκεκριμένα, το πρωί της ημέρας ενός πειράματος, η συσκευή περιέχει νερό με τοπική μέση αρχική θερμοκρασία $T_{i,m}$ και ξεκινά η καταγραφή των μετρήσεων της θερμοκρασίας του νερού T_w εντός του δοχείου, της θερμοκρασίας περιβάλλοντος T_α καθώς και της ηλιακής ακτινοβολίας G που προσπίπτει στην επιφάνεια ανοίγματος της συσκευής. Κατά τη διάρκεια του πειράματος η συσκευή λειτουργεί χωρίς απομάστευση του νερού ή άλλη παρέμβαση και η καταγραφή των τιμών των μεγεθών διαρκεί μέχρι την ολοκλήρωσή του. Η πειραματική αυτή λειτουργία επαναλαμβάνεται πολλές ημέρες και κάθε φορά η θερμοκρασία εκκίνησης είναι διαφορετική ώστε να περιλαμβάνεται ένα όσο το δυνατό μεγάλο

εύρος θερμοκρασιών. Η πειραματική διαδικασία πραγματοποιείται με λειτουργία της συσκευής ICS για τέσσερις συνεχόμενες μέρες χωρίς απομάστευση του νερού αποθήκευσης ώστε η θερμοκρασία εκκίνησης για κάθε ημερήσια λειτουργία να είναι διαφορετική και αυξανόμενη μέχρι την τέταρτη μέρα λειτουργίας όπου πλέον η συσκευή φτάνει σε θερμοκρασιακό κόρο, 2 ώρες περίπου μετά το ηλιακό μεσημέρι και ανάλογα με τη θερμική αδράνειά της. Η πειραματική αυτή διαδικασία συνεχίζεται με σκοπό τη συλλογή αρκετών πειραματικών στοιχείων για τον προσδιορισμό της μέσης ημερήσιας απόδοσης και τη γραφική απεικόνισή της συναρτήσει της ποσότητας $\Delta T_m / G_m$.

Τα μετρούμενα μεγέθη που απαιτούνται για τον υπολογισμό της μέσης ημερήσιας απόδοσης η_d είναι η τοπική μέση θερμοκρασία του νερού $T_{i,m}$ τη χρονική στιγμή της έναρξης του πειράματος t_i (6:30), η τοπική μέση θερμοκρασία του νερού $T_{f,m}$ τη χρονική στιγμή τέλους της ημερήσιας λειτουργίας της συσκευής t_f (18:30), καθώς και η θερμοκρασία περιβάλλοντος T_a και η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας G που προσπίπτει στο άνοιγμα της συσκευής καθ' όλη τη διάρκεια του 12ωρου πειράματος, προκειμένου να υπολογιστούν οι αντίστοιχες χρονικές μέσες τιμές $T_{a,m}$ και G_m . Η συνεχής καταγραφή της θερμοκρασίας του νερού T_w , της θερμοκρασίας περιβάλλοντος T_a και της ηλιακής ακτινοβολίας G κατά τη διάρκεια όλου του πειράματος, μας δίνει τη δυνατότητα να παρακολουθούμε την απόκριση της συσκευής στις μεταβολές των εξωτερικών συνθηκών και την εξαγωγή συμπερασμάτων για τη λειτουργία της. Επίδραση στη διακύμανση των πειραματικών μετρήσεων των συστημάτων ICS, έχει ο πνέων άνεμος καθώς και το ποσοστό νέφωσης. Για μεγάλες τιμές της ταχύτητας του πνέοντος ανέμου ($v_w > 5 \text{ ms}^{-1}$), οι θερμικές απώλειες αυξάνουν, ενώ το υψηλό ποσοστό νέφωσης μειώνει την οπτική απόδοση των συσκευών ICS λόγω αδυναμίας συγκέντρωσης όλης της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας από τις κατοπτρικές διατάξεις των συσκευών ICS. Για τον υπολογισμό της μέσης ημερήσιας απόδοσης η_d στη διάρκεια της 12ωρης ημερήσιας λειτουργίας, λαμβάνονται οι τιμές της αρχικής ($T_{i,m}$) και τελικής ($T_{f,m}$) τοπικής μέσης θερμοκρασίας του νερού και υπολογίζεται η θερμότητα Q_w (J) του νερού μάζας M_w (kg) και ειδικής θερμότητας $C_{p,w}$ ($\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$) στο χρονικό διάστημα $\Delta t = t_f - t_i = 12 \text{ h} = 43200 \text{ s}$ καθώς και η θερμότητα Q_T του άδειου δοχείου αποθήκευσης του νερού με μάζα M_T (kg) και ειδική θερμότητα $C_{p,T}$ ($\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$) για το ίδιο χρονικό διάστημα:

$$Q_w = M_w C_{p,w} (T_{f,m} - T_{i,m}) \quad (\text{εξ. 4.11})$$

$$Q_T = M_T C_{p,T} (T_{f,m} - T_{i,m}) \quad (\text{εξ. 4.12})$$

Για τον υπολογισμό της ποσότητας Q_T θεωρούμε ότι στη διάρκεια όλου του χρονικού διαστήματος των 12 ωρών, η μέση θερμοκρασία του δοχείου αποθήκευσης του νερού ταυτίζεται με τη θερμοκρασία του νερού στο μέσον του δοχείου αποθήκευσης. Η μάζα του δοχείου αποθήκευσης είναι $M_T = 70 \text{ Kg}$. Θεωρώντας $C_{p,T} = 540 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ και $C_{p,w} = 4186 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$, αλλά και τους αντίστοιχους όγκους του νερού ($V_T = 220 \text{ l}$), τελικά προκύπτει $MC = 958720 \text{ JK}^{-1}$.

Η μέση ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας G_m , στο ίδιο χρονικό διάστημα Δt

υπολογίζεται από την ολοκλήρωσή της στο χρονικό διάστημα Δt και διαιρώντας προς αυτό:

$$G_m = \frac{\int_{t_i}^{t_f} [G(t) dt]}{t_f - t_i} \quad (\text{εξ. 4.13})$$

Η συνολική προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια Q_R στην επιφάνεια ανοίγματος της συσκευής, στο ίδιο χρονικό διάστημα Δt , προσδιορίζεται από την ολοκλήρωση της μετρούμενης έντασης $G(t)$:

$$Q_R = A_\alpha \int_{t_i}^{t_f} G(t) dt = A_\alpha G_m \Delta t \quad (\text{εξ. 4.14})$$

Η μέση ημερήσια απόδοση η_d της συσκευής για τη θέρμανση του νερού που περιέχεται στο δοχείο της σύμφωνα με τον ορισμό, υπολογίζεται από την σχέση:

$$\eta_d = \frac{Q_w + Q_T}{Q_R} = \frac{(M_w C_{p,w} + M_T C_{p,T}) \cdot (T_{f,m} - T_{i,m})}{G_m A_\alpha \Delta t} \quad (\text{εξ. 4.15})$$

Κάθε πειραματική τιμή της μέσης ημερησίας απόδοσης η_d της συσκευής καθορίζεται από τις μέσες τιμές της θερμοκρασίας του νερού τις χρονικές στιγμές t_i και t_f αλλά και τη μέση τιμή της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας G_m κατά τη διάρκεια της 12ωρης ημερήσιας λειτουργίας της συσκευής. Ορίζεται έτσι ένα πειραματικό ζεύγος τιμών η_d και $\Delta T_{m,D} / G_m$ όπου το η_d καθορίζεται από την σχέση (3.5) ενώ η παράμετρος $\Delta T_{m,D} / G_m$ ($\text{W}^{-1} \text{m}^2 \text{K}$) από τη σχέση:

$$\Delta T_{m,D} / G_m = [(T_{i,m} + T_{f,m}) / 2 - T_{a,m}] / G_m \quad (\text{εξ. 4.16})$$

Από τα πειραματικά ζεύγη τιμών η_d και $\Delta T_{m,D} / G_m$, η μέση ημερήσια απόδοση η_d μπορεί να ληφθεί σε συνάρτηση του $\Delta T_{m,D} / G_m$ με γραμμική προσέγγιση από τη σχέση:

$$\eta_d = A + B \cdot (\Delta T_{m,D} / G_m) \quad (\text{εξ. 4.17})$$

Ο συντελεστής A εκφράζει τη μέγιστη μέση ημερήσια απόδοση της συσκευής όταν η μέση θερμοκρασία του νερού στο 12ωρο, $T_{w,m}$, είναι ίση προς τη μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος για το ίδιο χρονικό διάστημα. Στην περίπτωση αυτή ισχύει:

$$T_{w,m} = T_{a,m} = (T_{i,m} + T_{f,m}) / 2 \Rightarrow \Delta T_{m,D} / G_m = 0 \text{ W}^{-1} \text{m}^2 \text{K} \quad (\text{εξ. 4.18})$$

Η μέγιστη μέση ημερήσια απόδοση στην περίπτωση αυτή εκφράζεται μέσω του συντελεστή A , και διαιρεμένη με την μέση τιμή μιας παραμέτρου $\bar{K}(\theta)$, όπου $K(\theta) = \cos\theta \cdot (1 + \sin^3\theta)$, εξαρτώμενης της γωνίας πρόσπτωσης στη διάρκεια της 12ωρης ημερήσιας λειτουργίας, αντιστοιχεί στην οπτική απόδοση n_o της συσκευής. Ο συντελεστής

B ($\text{WK}^{-1}\text{m}^{-2}$) εκφράζει τις θερμικές απώλειες της συσκευής ανά επιφάνεια ανοίγματος (A_a) κατά τη διάρκεια της ημερήσιας λειτουργίας της και αντιστοιχεί σε μια κατά προσέγγιση τιμή τους στο θερμοκρασιακό εύρος των δοκιμών.

Μια πιο ακριβής προσέγγιση της μέσης ημερήσιας απόδοσης η_d σε συνάρτηση με την ποσότητα $\Delta T_{m,D} / G_m$, μπορεί να επιτευχθεί με πολυώνυμο δευτέρου βαθμού:

$$\eta_d = A + B \cdot (\Delta T_{m,D} / G_m) + C \cdot (\Delta T_{m,D} / G_m)^2 \quad (\text{εξ. 4.19})$$

Ο συντελεστής A εκφράζει και πάλι τη μέγιστη απόδοση της συσκευής, ο συντελεστής B δίνει μια προσεγγιστική τιμή για το μέσο συντελεστή θερμικών απωλειών ανά επιφάνεια ανοίγματος της συσκευής (A_a) ενώ ο συντελεστής C εκφράζει τη μεταβολή του συντελεστή αυτού. Χαρακτηριστικά, σε υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας της συσκευής η κλίση της καμπύλης μέσης ημερήσιας απόδοσης αυξάνει. Η διαφοροποίηση αυτή οφείλεται στο ότι ο παράγοντας της θερμικής ακτινοβολίας είναι ανάλογος της 4ης δύναμης της μέσης θερμοκρασίας του νερού – δοχείου της συσκευής με αποτέλεσμα να παρατηρείται εντονότερη εξάρτηση των θερμικών απωλειών μέσω του συγκεκριμένου τρόπου μετάδοσης της θερμότητας όταν η απορροφητική επιφάνεια βρίσκεται σε υψηλότερη θερμοκρασία. Με τη χρήση είτε της γραμμικής προσέγγισης είτε της δευτεροβάθμιας προσέγγισης, η καμπύλη που προκύπτει είναι μια καμπύλη χαρακτηριστική για κάθε συσκευή. Τα δύο ακραία σημεία, $\Delta T_{m,D} / G_m = 0 \text{ W}^{-1}\text{m}^2\text{K}$ και $\eta_d = 0$, χαρακτηρίζουν την σχεδίαση της συσκευής (αντιστοιχία με την οπτική απόδοση, n_o και τη μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας της συσκευής) ενώ η κλίση της καμπύλης (συντελεστές B και C) καθορίζουν την κατασκευή της (είδος και πάχος θερμικής μόνωσης, υλικό κατοπτρικής διάταξης, διαφανές κάλυμμα κ.α).

4.3.2 Μέθοδος προσδιορισμού του συντελεστή θερμικών απωλειών του συστήματος[14]

Στις συσκευές αποθήκης θερμού νερού, έχει ιδιαίτερη σημασία η διατήρηση της θερμοκρασίας του νερού τόσο κατά τη διάρκεια της ημερήσιας λειτουργίας τους, όσο και κατά τη διάρκεια της νύκτας. Αυτό εξάλλου είναι ένας βασικός παράγοντας που λαμβάνεται υπόψη κατά τη σχεδίαση και κατασκευή των συσκευών (αρχές σχεδίασης, χρήση κατάλληλων υλικών κατασκευής, κ.α.). Οι θερμικές απώλειες των συσκευών εξαρτώνται από τη χρονική διάρκεια λειτουργίας τους και δεν είναι ίδιες όταν πρόκειται για ημερήσια ή νυκτερινή λειτουργία. Στις δύο αυτές χρονικές περιόδους οι συσκευές είναι εκτεθειμένες σε διαφορετικό περιβάλλον με αποτέλεσμα να παρουσιάζουν διαφορετική θερμική συμπεριφορά. Στην προηγούμενη παράγραφο παρουσιάστηκε ο πειραματικός προσδιορισμός των ημερήσιων θερμικών απωλειών των συσκευών μέσω των συντελεστών B και C των σχέσεων γραμμικής ή πολυωνυμικής προσέγγισης της μέσης ημερήσιας απόδοσης η_d . Μια αντίστοιχη πειραματική μέθοδος προτείνεται μέσω της γραμμικής προσέγγισης της μέγιστης ημερήσιας απόδοσης σε σχέση με την ποσότητα $\Delta T_m = T_{max,w} - T_{a,m}$ ($T_{max,w}$ είναι η μέση μέγιστη θερμοκρασία του νερού και $T_{a,m}$ η μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος).

Κατά τη διάρκεια της νύκτας, λόγω απουσίας ηλιακής ακτινοβολίας η συσκευή είναι εκτεθειμένη άμεσα σε ένα περιβάλλον με χαμηλότερη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι θερμικές απώλειες να είναι υψηλότερες και να διαφοροποιείται η θερμική

συμπεριφορά της συσκευής. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι ανάλογη με αυτή που προτείνεται στη μελέτη CSTG και στα Πρότυπα ΕΛΟΤ 879 και EUR 11606 EN.

Το νερό της συσκευής θερμαίνεται σε θερμοκρασία η οποία κυμαίνεται μεταξύ 40 °C και 90 °C και εν συνεχεία η συσκευή αφήνεται να λειτουργήσει από το απόγευμα (18:30) μέχρι το πρωί (6:30) της επόμενης ημέρας χωρίς απομάστευση του νερού, ανταλλάσσοντας ενέργεια με το περιβάλλον. Οι δύο αυτές χρονικές στιγμές t_i και t_f αντίστοιχα βρίσκονται σε συμφωνία με τις χρονικές στιγμές που λαμβάνονται υπόψη κατά τον υπολογισμό της μέσης ημερήσιας απόδοσης των συσκευών και συγκεκριμένα η χρονική στιγμή t_i αντιστοιχεί με τη χρονική στιγμή τέλους της ημερήσιας λειτουργίας και η χρονική στιγμή t_f με την αρχή της επόμενης ημερήσιας λειτουργίας. Η πειραματική διαδικασία επαναλαμβάνεται πολλές μέρες και κάθε φορά με διαφορετική μέση θερμοκρασία εκκίνησης ($T_{i,m}$) του περιεχομένου νερού του δοχείου της συσκευής. Η πειραματική διαδικασία προσδιορισμού των νυκτερινών θερμικών απωλειών συνδέεται άμεσα με αυτή που παρουσιάστηκε κατά τον υπολογισμό της μέσης ημερήσιας απόδοσης. Συγκεκριμένα, κατά τη διάρκεια του τετραήμερου για τον υπολογισμό της μέσης ημερήσιας απόδοσης της συσκευής, υπολογίζεται και ο μέσος συντελεστής θερμικών απωλειών τη νύκτα για το ίδιο χρονικό διάστημα. Η θερμοκρασία εκκίνησης ($T_{i,m}$) το απόγευμα κάθε μέρας συμπίπτει με τη τελική θερμοκρασία ($T_{f,m}$).

Αν θεωρήσουμε $T_{i,m}$ τη τοπική μέση αρχική θερμοκρασία του νερού την χρονική στιγμή t_i (απόγευμα 18:30), $T_{f,m}$ τη τοπική μέση τελική θερμοκρασία του νερού την χρονική στιγμή t_f (6:30 πρωινή της επόμενης ημέρας) και $T_{a,m}$ τη μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος κατά τη διάρκεια του 12ωρου πειράματος, τότε ο συντελεστής νυκτερινών θερμικών απωλειών U_s (WK^{-1}) προσδιορίζεται με βάση την ακόλουθη σχέση:

$$U_s = \frac{M_w C_{p,w} + M_T C_{p,T}}{\Delta t} \cdot \ln \left[\frac{T_{i,m} - T_{a,m}}{T_{f,m} - T_{a,m}} \right] \quad (\text{εξ. 4.20})$$

όπου M_w είναι η μάζα του περιεχόμενου νερού στο δοχείο, Δt το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί κατά τη διάρκεια του πειράματος ($\Delta t = t_f - t_i = 43.200 \text{ sec}$) και $C_{p,w}$ η ειδική θερμότητα του νερού. Για τον υπολογισμό του μέσου συντελεστή νυκτερινών θερμικών απωλειών της συσκευής λαμβάνεται υπόψη επιπρόσθετα η μάζα M_T του δοχείου αποθήκευσης καθώς και η ειδική θερμότητα $C_{p,T}$. Από τη σχέση προκύπτει ότι η τιμή του συντελεστή των θερμικών απωλειών U_s δεν είναι σταθερή, αλλά αυξάνει λογαριθμικά με το λόγο της διαφοράς της τοπικής μέσης θερμοκρασίας $T_{i,m}$ εκκίνησης του νερού τη χρονική στιγμή t_i (18:30) μείον τη μέση τιμή της θερμοκρασίας περιβάλλοντος $T_{a,m}$ κατά τη διάρκεια του 12ωρου πειράματος προς τη διαφορά της τοπικής μέσης τελικής θερμοκρασίας $T_{f,m}$ του νερού τη χρονική στιγμή t_f (6:30) μείον τη μέση τιμή της θερμοκρασίας περιβάλλοντος $T_{a,m}$ κατά τη διάρκεια του ίδιου χρονικού διαστήματος. Κατά τον υπολογισμό του συντελεστή των νυκτερινών θερμικών απωλειών των συσκευών θεωρείται ότι η μέση θερμοκρασία του δοχείου αποθήκευσης ταυτίζεται με τη θερμοκρασία του νερού στο μέσον του δοχείου, όπως θεωρήθηκε και στην περίπτωση του πειραματικού προσδιορισμού της μέσης ημερήσιας

απόδοσης και των ημερήσιων θερμικών απωλειών.

Τα ζεύγη τιμών (U_s , $T_{i,m} - T_{\alpha,m}$) κατά τη διάρκεια της πολυήμερης πειραματικής διαδικασίας αποτελούν τα πειραματικά δεδομένα υπολογισμού των νυκτερινών θερμικών απωλειών κάθε συσκευής. Στην πράξη, το U_s μεταβάλλεται βραδύτατα συναρτήσει του $T_{i,m} - T_{\alpha,m}$ και συνηθίζεται να προσεγγίζουμε τη μεταβολή αυτή με μια εμπειρική γραμμική σχέση:

$$U_s = A + B \cdot (T_{i,m} - T_{\alpha,m}) \quad (\text{εξ. 4.21})$$

Στη σχέση αυτή ο συντελεστής A εκφράζει τις θερμικές απώλειες της συσκευής όταν η θερμοκρασία του νερού ισούται με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος και ο συντελεστής B εκφράζει το ρυθμό μεταβολής των νυκτερινών θερμικών απωλειών συναρτήσει της διαφοράς $\Delta T_{m,N} = T_{i,m} - T_{\alpha,m}$. Η γραφική παράσταση της μεταβολής του U_s συναρτήσει της διαφοράς θερμοκρασίας $\Delta T_{m,N}$ μας δίνει τη δυνατότητα σύγκρισης διαφόρων συσκευών ICS όσο αναφορά τις νυκτερινές θερμικές τους απώλειες.

Ακριβέστερη σύγκριση διαφόρων τύπων συσκευών, μπορεί να γίνει με την αναγωγή των τιμών U_s και των γραμμικών εξισώσεων που τις εκφράζουν ως προς την απορροφητική επιφάνεια και την επιφάνεια ανοίγματος. Λαμβάνονται οι λόγοι $U_{s,r} = \frac{U_s}{A_r}$ και $U_{s,a} = \frac{U_s}{A_a}$ ως συντελεστές θερμικών απωλειών ανά μονάδα επιφάνειας απορρόφησης και ανά μονάδα επιφάνειας ανοίγματος των συσκευών αντίστοιχα. Με το συντελεστή $U_{s,r}$ εκτιμάται καλύτερα η θερμική συμπεριφορά των δοχείων κατά τη διάρκεια της νύχτας, η οποία εξαρτάται άμεσα από το ποσοστό θερμικής μόνωσης που χρησιμοποιείται. Με το συντελεστή $U_{s,a}$ προσδιορίζονται οι θερμικές απώλειες και η εξάρτηση αυτών από τη γεωμετρία της συσκευής.

4.3.3 Καμπύλες διακύμανσης των θερμοκρασιών του ρευστού κυκλοφορίας

Ο πειραματικός προσδιορισμός της μέσης ημερήσιας απόδοσης και των συντελεστών ημερήσιων και νυκτερινών θερμικών απωλειών αποσκοπεί στην αξιολόγηση της λειτουργίας των συσκευών στα αντίστοιχα χρονικά διαστήματα. Οι τιμές των μεγεθών λαμβάνονται συναρτήσει της παραμέτρου $\Delta T_m / G_m$ όταν πρόκειται για τη μέση ημερήσια απόδοση και το συντελεστή ημερήσιων θερμικών απωλειών, και της παραμέτρου $\Delta T_{m,N}$ όταν πρόκειται για το συντελεστή νυκτερινών θερμικών απωλειών. Οι τιμές των μεγεθών η_d , B , C (Εξ. 4.19) και U_s (Εξ. 4.21) εξαρτώνται από τις τιμές της μέσης αρχικής και τελικής θερμοκρασίας του νερού, τη μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος και της μέσης έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας. Τα αποτελέσματα αυτά είναι αξιοποιήσιμα στην περίπτωση όπου επιχειρείται σύγκριση συσκευών αφού οι καμπύλες που προκύπτουν είναι χαρακτηριστικές για κάθε συσκευή.

Όμως η σύγκριση συσκευών με τη βοήθεια αυτών των μεγεθών δε μας δίνει πληροφορίες σχετικά με τη μέγιστη θερμοκρασία του νερού εντός των δοχείων και τη θερμοκρασιακή διαστρωμάτωσή του κατά την ημερήσια λειτουργία τους. Επιπλέον, η σύγκριση συσκευών ICS που διαθέτουν διαφορετικό όγκο νερού δεν μπορεί να

πραγματοποιηθεί μόνο με τη βοήθεια των μεγεθών η_d , B , C και U_s . Η αδυναμία σύγκρισης μέσω αυτών των μεγεθών οφείλεται περισσότερο στις νυκτερινές θερμικές απώλειες, καθώς για μεγαλύτερο μήκος και διάμετρο κυλινδρικών δοχείων μας δίνει ευνοϊκότερα αποτελέσματα, γιατί η αναλογία όγκου νερού προς την συνολική εξωτερική επιφάνειά τους (V_T / A_S) είναι μεγαλύτερη. Εξάιρεση αποτελεί η μέση ημερήσια απόδοση, η τιμή της οποίας είναι σχεδόν ανεξάρτητη των διαστάσεων του κυλινδρικού δοχείου (κυρίως της διαμέτρου) όταν όμως διατηρείται η αναλογία μήκους κατόπτρου προς επιφάνεια ανοίγματος.

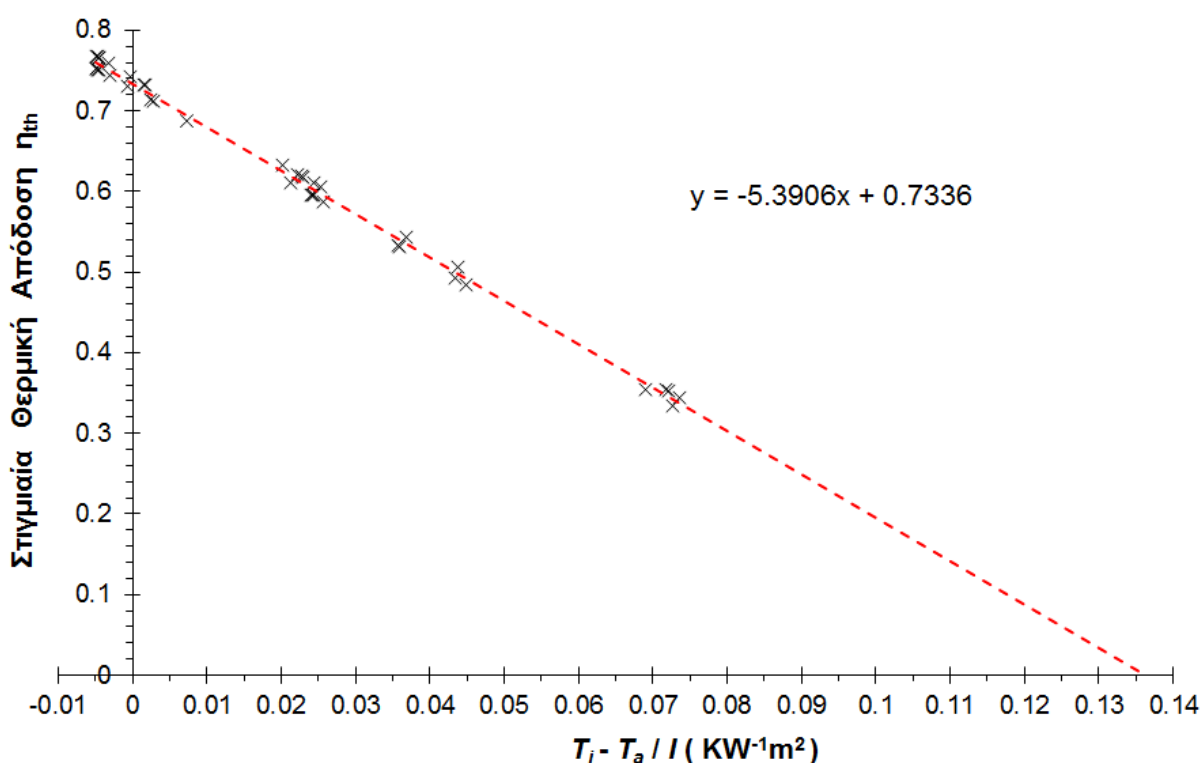
Η πειραματική μελέτη των συσκευών ολοκληρώνεται με την παρουσίαση διαγραμμάτων μεταβολής της μέσης θερμοκρασίας του νερού εντός των δοχείων καθώς και τη μεταβολή της θερμοκρασίας του νερού καθ' ύψος του κυλινδρικού δοχείου αποθήκευσης και αφορούν την 24ωρη και τη τετραήμερη λειτουργία τους χωρίς απομάστευση του νερού. Με το τρόπο αυτό πραγματοποιείται μελέτη ως προς τη θερμοκρασιακή αύξηση του νερού κατά την ημερήσια λειτουργία των συσκευών αλλά και τη διατήρηση της θερμότητας κατά τα χρονικά διαστήματα απουσίας της ηλιακής ακτινοβολίας.

Ένα κριτήριο που χαρακτηρίζει τις ηλιακές συσκευές αξιοποιήσιμες είναι η καθ' ύψος θερμοκρασιακή διαστρωμάτωση του νερού εντός των δοχείων αποθήκευσης, η οποία επιτυγχάνεται κατά τη διάρκεια της ημερήσιας λειτουργίας και ομαλοποιείται στη διάρκεια της νύχτας. Αυτό οφείλεται κυρίως στους μηχανισμούς μετάδοσης της θερμότητας του νερού εντός των δοχείων αποθήκευσης με μεταφορά και αγωγή και ενισχύεται με την ανομοιόμορφη κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας επί της κυλινδρικής απορροφητικής επιφάνειας της συσκευής. Η ανομοιομορφία της απορροφούμενης ηλιακής ακτινοβολίας γίνεται εντονότερη με την προσάρτηση των καμπύλων κατοπτρικών διατάξεων (συμμετρικών ή ασύμμετρων) και διαμορφώνεται ανάλογα με την εποχή του έτους αλλά και της έντασης της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Με την παρουσίαση διαγραμμάτων μεταβολής της θερμοκρασίας του νερού κατά τη διάρκεια τριήμερης ή τετραήμερης πειραματικής λειτουργίας τους, διαπιστώνεται κατά πόσο οι προτεινόμενες συσκευές ικανοποιούν την απαίτηση για να επιτευχθεί και να διατηρηθεί η θερμοκρασία του νερού. Η επιλογή των τριών ή τεσσάρων ημερών έγινε αφού πρώτα εκτιμήθηκε ότι δεν παρουσιάζεται περαιτέρω αύξηση της τοπικής μέσης θερμοκρασίας του νερού εντός των δοχείων πέραν του τριημέρου ή τετραημέρου αντίστοιχα κατά μέσο όρο σε όλες τις συσκευές που μελετήθηκαν. Στις συσκευές ICS της πρώτης κατηγορίας εκτιμήθηκε ότι διαγράμματα τεσσάρων ημερών αποκρίνονται ικανοποιητικά στη μέγιστη αύξηση της τοπικής μέσης θερμοκρασίας του νερού, ενώ στις συμμετρικές συσκευές της δεύτερης κατηγορίας παρουσιάζονται διαγράμματα τριών ημερών, καθώς ο συνολικός όγκος του νερού είναι μικρότερος. Τα αποτελέσματα εξετάζονται συγκριτικά για δεδομένες ημέρες λειτουργίας με σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων.

4.4 Αποτελέσματα των Πειραματικών Δοκιμών του Συστήματος

Χρησιμοποιώντας την πειραματική διαδικασία για τον υπολογισμό της στιγμιαίας απόδοσης του συλλέκτη αλλά και τις εξισώσεις της παραγράφου 4.2 τελικά προκύπτει η γραφική παράσταση που εκφράζει τη μεταβολή της στιγμιαίας απόδοσης του συλλέκτη

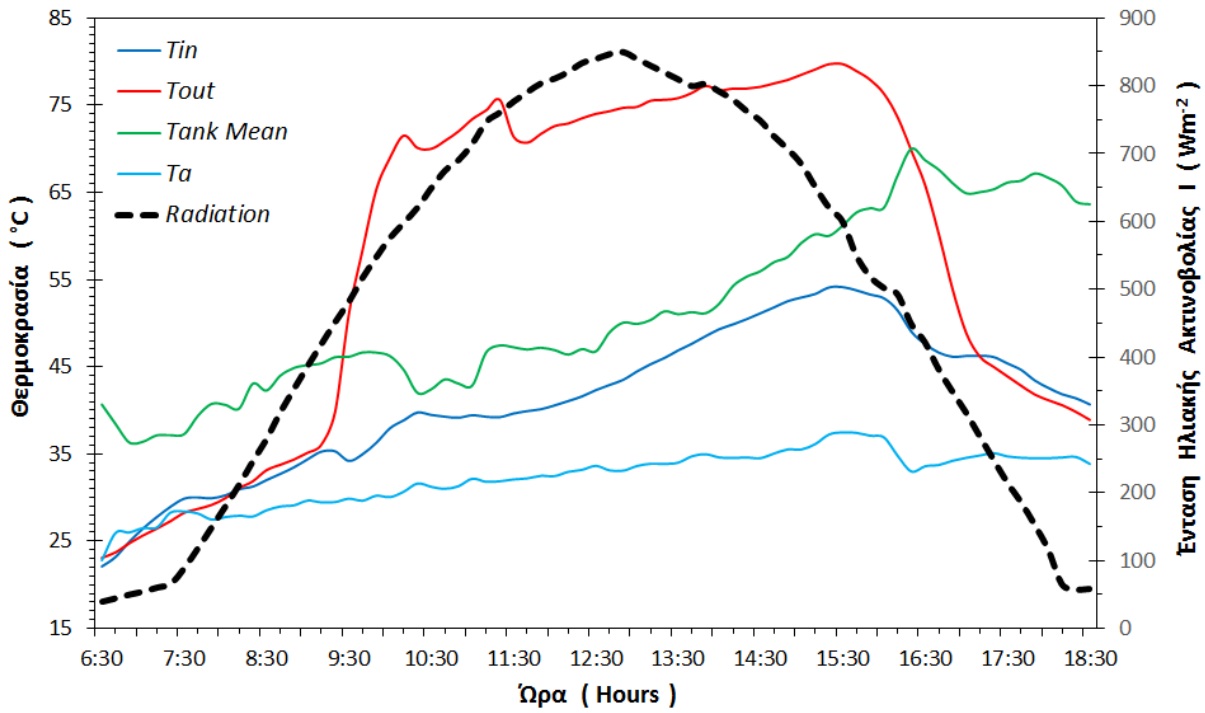
συναρτήσει της παραμέτρου $\left(\frac{T_i - T_a}{I}\right)$. Πρέπει να τονιστεί ότι η γραφική αυτή παράσταση έχει ληφθεί για μια μικρή τιμή της ροής του ρευστού απολαβής (0.025 kg/s) προκειμένου να διαπιστωθεί η δυνατότητα άμεσης αύξησης της θερμοκρασίας του νερού αποθήκευσης στη διάρκεια της ημερήσιας λειτουργίας του συστήματος. Σε μια πλήρη παραμετρική ανάλυση της συσκευής, οι συνθήκες λειτουργίας ποικίλουν και αντίστοιχα τα αποτελέσματα των πειραματικών δοκιμών μεταβάλλονται. Εδώ, για λόγους απλοποίησης της διαδικασίας παρουσιάζουμε τα αποτελέσματα δοκιμαστικών πειραματικών δοκιμών τόσο του συλλέκτη όσο και του συστήματος συλλέκτη – αποθήκης θερμότητας.



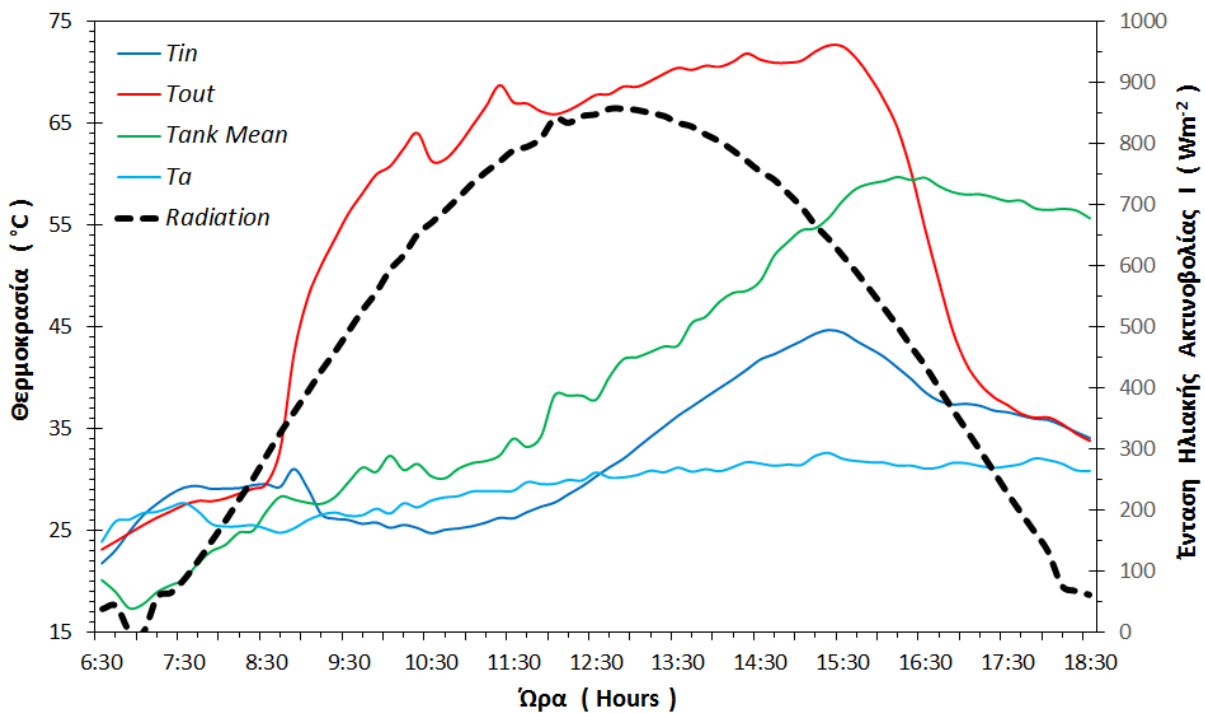
Σχήμα 4.1: Γραφική παράσταση μεταβολής της στιγμιαίας απόδοσης του συλλέκτη.

Σύμφωνα με το σχ. 4.1 διαπιστώνουμε ότι ο επίπεδος συλλέκτης λειτουργεί στα όρια του κατασκευαστή και είναι σύμφωνος με τις προδιαγραφές.

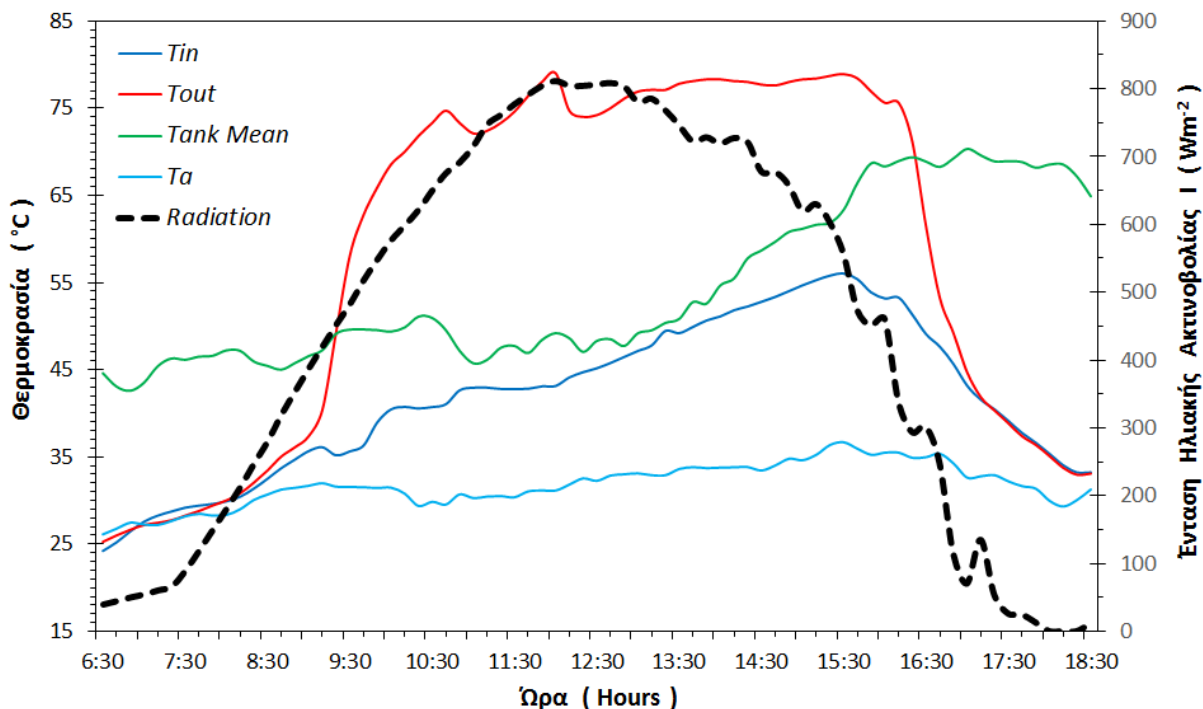
Το σύστημα μελετήθηκε σε μια σειρά ημερών, για την λήψη δεδομένων, όσον αφορά την λειτουργία του. Παρακάτω φαίνονται η λειτουργία του συστήματος, κατά την διάρκεια ημερήσιας λειτουργίας, για τρεις ημέρες όσον αναφορά τις θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου του ρευστού στο συλλέκτη, τη θερμοκρασία του νερού αποθήκευσης αλλά και την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας.



Σχήμα 4.2: Γραφική παράσταση διακύμανσης της θερμοκρασίας του ρευστού απολαβής του συλλέκτη, της θερμοκρασίας του νερού αποθήκευσης αλλά και της πυκνότητας ηλιακής ισχύος συναρτήσει του χρόνου ημερήσιας λειτουργίας.



Σχήμα 4.3: Γραφική παράσταση διακύμανσης της θερμοκρασίας του ρευστού απολαβής του συλλέκτη, της θερμοκρασίας του νερού αποθήκευσης αλλά και της πυκνότητας ηλιακής ισχύος συναρτήσει του χρόνου ημερήσιας λειτουργίας.



Σχήμα 4.4: Γραφική παράσταση διακύμανσης της θερμοκρασίας του ρευστού απολαβής του συλλέκτη, της θερμοκρασίας του νερού αποθήκευσης αλλά και της πυκνότητας ηλιακής ισχύος συναρτήσει του χρόνου ημερήσιας λειτουργίας.

Σύμφωνα με τα διαγράμματα 4.2 έως 4.4 διαπιστώνεται ότι η θερμοκρασία του νερού στο δοχείο αποθήκευσης αυξάνεται σημαντικά, αν αναλογιστούμε τον προσανατολισμό της διάταξης αλλά και τις ιδιαίτερες συνθήκες που επικρατούν στην Κοζάνη. Σημαντικό είναι το γεγονός ότι η θερμοκρασία του νερού εντός του δοχείου κυμαίνεται μεταξύ των τιμών των θερμοκρασιών εισόδου και εξόδου του ρευστού απολαβής. Αξίζει να σημειωθεί η άμεση διακύμανση των θερμοκρασιών του ρευστού απολαβής από τις μεταβολές της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας, πράγμα που σχετίζεται με τη συνολική θερμική αδράνεια του συλλέκτη. Μικρότερες διακυμάνσεις διαπιστώνονται για το νερό στο δοχείο αποθήκευσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

5.1 Συμπεράσματα

Η ανάπτυξη, σχεδίαση κατασκευή και πειραματική μελέτη της ηλιακής διάταξης είναι μία ιδιαίτερα επίπονη και χρονοβόρα διαδικασία. Απαιτεί, πολύωρη μελέτη, πρακτικές γνώσεις για την υλοποίηση της εγκατάστασης, γνώσεις σχεδιαστικών προγραμμάτων, ικανότητες αντίληψης, προσεχτικές κινήσεις και υπομονή.

Σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας εξήχθησαν διάφορα και σημαντικά συμπεράσματα με βασικότερο την απόκτηση εμπειρίας. Η εμπειρία αυτή αφορά στη διεύρυνση του θεωρητικού υπόβαθρου αφενός και αφετέρου στην εξέλιξη των αμιγώς πρακτικών ικανοτήτων του Μηχανολόγου Μηχανικού. Η μελέτη του τρόπου λειτουργίας των ηλιακών συλλεκτών και γενικότερα των ηλιακών θερμικών συστημάτων, η γνωριμία με τα αντίστοιχα πειραματικά συστήματα πιστοποίησης ανά την Ευρώπη, η συναρμολόγηση, η υδραυλική σύνδεση, η ηλεκτρολογική καλωδίωση και η συστηματική παρατήρηση του τρόπου λειτουργίας της πειραματικής διάταξης του Εργαστηρίου ΑΠΕ, δημιούργησε ένα ικανοποιητικό τεχνικό και θεωρητικό υπόβαθρο για την μελλοντική σταδιοδρομία μας.

Ακόμα, πολύ χρήσιμη ήταν η απόκτηση γνώσεων όσον αφορά τη διαδικασία συλλογής των δεδομένων και τη χρήση τους σε πειραματικές διεργασίες, οι οποίες είναι απαραίτητες για τον υπολογισμό των μέσων ημερήσιων και των στιγμιαίων αποδόσεων καθώς επίσης και των τιμών των απωλειών θερμότητας.

Η μελέτη των πειραματικών μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν, η διεξαγωγή αποτελεσμάτων, η παρατήρηση και η ανάλυση των εξαχθέντων διαγραμμάτων μέσης ημερήσιας και στιγμιαίας απόδοσης αποτελούν κύριο προσθετικό παράγοντα στην ανάπτυξη των γνώσεών μας και στην απόκτηση εμπειρίας.

Τέλος, εξαιρετικά χρήσιμη ήταν η μελέτη της λειτουργίας και της χρήσης κάθε οργάνου ή στοιχείου που τοποθετήθηκε στην πειραματική ηλιακή διάταξη (κυκλοφορητές, ροόμετρα, μανόμετρα, κυάθια, θερμοζεύγη, βαλβίδα διαστολής κτλ.)

5.2 Προοπτικές Εξέλιξης

Ένας βασικός παράγοντας της επιστημονικής αξίας μιας πειραματικής διάταξης είναι η δυνατότητα εξέλιξης της. Κατά συνέπεια, η σπουδαιότητα της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, έγκειται στο γεγονός ότι η πειραματική διάταξη μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βάση για περαιτέρω μελέτη και εξέλιξη, δημιουργώντας προοπτικές βελτίωσης είτε μέσω νέων διπλωματικών εργασιών, είτε μέσω διαφόρων εργαστηριακών πειραματικών ασκήσεων από τους φοιτητές του Πανεπιστημίου.

Η ανάπτυξη και η εξέλιξη της πειραματικής διάταξης είναι δυνατό να προκύψουν στο μέλλον από την παραμετροποίηση της πειραματικής διαδικασίας ως προς:

1. Την θερμοκρασία περιβάλλοντος
2. Την ηλιακή ακτινοβολία
3. Την ογκομετρική παροχή λειτουργίας
4. Την γωνία κλίσης του συλλέκτη
5. Το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής εξέλιξης των πειραμάτων
6. Το είδος του συλλέκτη (επιλεκτικός ή όχι, με κάλυμμα ή χωρίς, κτλ.)
7. Το είδος του δοχείου (με μανδύα ή εσωτερικό εναλλάκτη τύπου «σερμπαντίνας»)

Η παραμετροποίηση αυτή γίνεται με σκοπό την μελέτη της απόκρισης του ηλιακού θερμικού συστήματος στις μεταβολές των παραπάνω δεδομένων η οποία σε τελικό στάδιο οδηγεί στη βελτιστοποίηση του.

Εφόσον, στο μέλλον, πραγματοποιηθούν οι απαραίτητες ενέργειες βελτιστοποίησης του συστήματος, τίθεται ζήτημα μελέτης όσον αφορά την αναβάθμιση της πειραματικής διάταξης. Επίσης, είναι πιθανό να υπάρξει δυνατότητα πιστοποίησης μεγαλύτερων συστημάτων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Σ. Ν. ΚΑΠΛΑΝΗΣ ‘‘ΗΠΙΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΙΙ’’, εκδόσεις ΙΩΝ
- [2] ΕΥΘΥΜΙΟΣ Η. ΒΑΖΑΙΟΣ ‘‘ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ’’
- [3] ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΕΣ ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ, ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ ΣΟΥΛΙΩΤΗΣ
- [4] ΕΛΟΤ EN 12975-2-2001 «ΘΕΡΜΙΚΑ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ – ΗΛΙΑΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ – ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΟΚΙΜΩΝ»
- [5] ZERO ENERGY BUILDINGS, <http://www.zeroenergybuildings.org/2012/10/blog-post.html>
- [6] ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ «ΕΙΔΗ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ», ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΑΚΗ ΡΟΖΑ, ΚΑΠΕ – ΤΜΗΜΑ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΗΛΙΑΚΩΝ
- [7] ΕΠΙΛΕΚΤΙΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ, <http://www.mastersol.gr>
- [8] ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ ΚΕΝΟΥ, <http://www.ecosense.gr>
- [9] ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ ΚΕΝΟΥ ΜΕ ΚΑΤΟΠΤΡΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ, <http://www.kakkaros.gr>
- [10] ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΕΣΤΙΑΣΗΣ, <http://www.eurostar-solar.com/hliakoi-syllektes-grammikis-estiasis.html>
- [11] ΦΑΚΟΙ Fresnel, <http://www.seia.org/policy/solar-technology/concentrating-solar-power>
- [12] ΗΛΙΑΚΟΣ ΠΥΡΓΟΣ, http://epirotica.blogspot.gr/2010/05/blog-post_11.html
- [13] ΗΛΙΑΚΟΙ ΔΙΣΚΟΙ, <https://www.eac.com>
- [14] ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΜ. ΣΟΥΛΙΩΤΗ

- [15] ΠΑΡΑΒΟΛΙΚΑ ΚΟΙΛΑ ΚΑΤΟΠΤΡΑ, <http://www.cspworld.org/resources/technology>
- [16] ΕΝΑΛΛΑΚΤΗΣ ΤΥΠΟΥ ΜΑΝΔΥΑ,
<http://www.interen.gr/index.php/proionta/product/3701-boiler-hliakou-kleistou-kyklwmatos>
- [17] ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΚΑΙ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΒΡΟΧΟΥ,
<http://kftexniki.gr/ypiresies/iliaka-systimata/>
- [18] ΕΚΕΦΕ "Δημόκριτος", <http://www.demokritos.gr/>
- [19] CELL CTTC SOLAR, <http://www.cttc.upc.edu/research/node/117>
- [20] ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ISFH,
http://www.isfh.de/institut_solarforschung/pruefzentrum-solarthermie.php
- [21] ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΡΟΟΜΕΤΡΑ,
<http://www.ifmefector.info/products/gr/ds/SM6000.htm>
- [22] <http://solarpro.gr/>
- [23] ΜΑΝΟΜΕΤΡΟ BOURDON, <http://maredu.gunet.gr>
- [24] ΚΥΚΛΟΦΟΡΗΤΗΣ UPS GRUNDFOS <http://gr.grundfos.com/products/find-product/up.html>
- [25] ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΕΣ ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΑΠΕ ,ΕΜ. ΣΟΥΛΙΩΤΗΣ,
Γ. ΠΑΝΑΡΑΣ