



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΘΕΜΑ

**ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΥ ΗΛΙΑΚΟΥ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΩΝ**

**INSTALLATION AND STUDY OF A LABORATORY SOLAR SYSTEM
FOR DOMESTIC HOT WATER**

ΤΖΑΜΑΛΗΣ Δ. ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΑΝΤΩΝΟΠΟΥΛΟΣ Α. ΚΙΜΩΝ

ΑΘΗΝΑ ΙΟΥΛΙΟΣ 2012

**ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΥ ΗΛΙΑΚΟΥ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΩΝ**

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	6
1. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	7
1.1 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΖΕΣΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΧΡΗΣΗΣ ΜΕ ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ	7
1.2 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΖΕΣΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΧΡΗΣΗΣ ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΞΑΝΑΓΚΑΣΜΕΝΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ. 8	
1.3 ΕΙΔΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ.....	9
1.3.1 ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ ΧΩΡΙΣ ΚΑΛΛΥΜΑ.....	9
1.3.2 ΕΠΙΠΕΔΟΙ ΗΛΙΑΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ.....	10
1.3.3 ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ ΚΕΝΟΥ.....	12
1.4 ΔΟΧΕΙΟ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ (ΜΠΟΙΛΕΡ).....	14
1.5 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΚΕΡΔΟΣ ΚΑΙ ΑΠΟΔΟΣΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΣΥΛΛΕΚΤΗ ΚΑΙ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ 15	
2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ.....	19
2.1 ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ ΜΟΝΑΔΑΣ	19
2.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ	20
3. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑΣ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΓΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ	35
3.1 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΣΤΟ ΣΗΜΕΙΟ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ.	35
3.2 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΟΥ Η/Υ ΓΙΑ ΤΗΝ ΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΜΟΝΑΔΑ.	36
3.3 ΣΥΝΔΕΣΗ ΤΟΥ CONTROLLER ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΜΕ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΡΕΥΜΑΤΟΣ.	37
3.4 ΣΥΝΔΕΣΗ ΜΟΝΑΔΑΣ ΜΕ ΤΟΝ Η/Υ ΚΑΙ ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ.	39
3.5 ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΘΕΡΜΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ.....	40
3.6 ΣΥΝΔΕΣΗ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΥΔΡΟΔΟΤΗΣΗΣ ΚΑΙ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ.....	54
3.7 ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΥ ΡΟΟΜΕΤΡΟΥ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ.....	58
4. ΜΕΛΕΤΗ – ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΛΑΜΠΤΗΡΩΝ.....	59
5. ΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ.....	72
5.1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.....	72
5.1.1 ΕΚΚΙΝΗΣΗ-ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	72
5.1.2 ΕΝΕΡΓΕΙΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ	73
5.1.3 ΑΠΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗ – ΑΣΦΑΛΙΣΗ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ	74
5.2 ΠΡΟΤΥΠΟ ΠΕΙΡΑΜΑ 1	74
5.2.1 ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗ ΕΠΕΝΕΡΓΗΤΩΝ.....	74
5.2.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ ΠΕΙΡΑΜΑ 1.....	76
5.2.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ, ΠΡΟΤΥΠΟ ΠΕΙΡΑΜΑ 1	79

5.2.3.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕΣΩΝ ΒΑΘΜΩΝ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ	79
5.2.3.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ $F_R(\tau\alpha)_n, F_R U_L$ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ 1	84
5.3 ΠΡΟΤΥΠΟ ΠΕΙΡΑΜΑ 2	87
5.3.1 ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗ ΕΠΕΝΕΡΓΗΤΩΝ.....	87
5.3.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ ΠΕΙΡΑΜΑ 2.....	88
5.3.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ, ΠΡΟΤΥΠΟ ΠΕΙΡΑΜΑ 2.....	91
5.3.3.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕΣΩΝ ΒΑΘΜΩΝ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ	91
5.3.3.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ $F_R(\tau\alpha)_n, F_R U_L$ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ 2	95
5.3.3.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΤΑΘΕΡΑΣ ΧΡΟΝΟΥ (ΠΕΙΡΑΜΑ 2)	98
5.3.3.4 ΕΥΡΕΣΗ ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΤΙΚΗΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗΣ ΤΟΥ ΣΥΛΛΕΚΤΗ	100
5.4 ΠΡΟΤΥΠΟ ΠΕΙΡΑΜΑ 3	102
5.4.1 ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗ ΕΠΕΝΕΡΓΗΤΩΝ.....	102
5.4.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ ΠΕΙΡΑΜΑ 3.....	103
5.4.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ, ΠΡΟΤΥΠΟ ΠΕΙΡΑΜΑ 3.....	110
5.4.3.1 ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΑΘΜΟΥ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΜΕ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟ ΤΗΝ ΡΟΗ ΤΟΥ ΥΓΡΟΥ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΣΥΝΑΛΛΑΓΗΣ	111
6. ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΥΣΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΥΤΩΝ.....	117
6.1 ΧΡΗΣΗ ΑΝΤΨΥΚΤΙΚΟΥ ΥΓΡΟΥ ΣΤΟ ΠΡΩΤΕΥΟΝ ΚΥΚΛΩΜΑ.....	117
7. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ	120
7.1 ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	120
7.2 ΕΚΠΟΝΗΣΗ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ ΣΤΟ ΣΠΙΤΙ	121
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ ΣΤΟ ΜΑΘΗΜΑ ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ - ΘΕΩΡΙΑ.....	122
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ ΣΤΟ ΜΑΘΗΜΑ ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ - ΕΡΩΤΗΜΑΤΑ	126
7.3 ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ.....	128
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ – ΑΙΤΗΜΑ ΠΡΟΣ ΠΡΟΜΗΘΕΥΤΗ	130
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ – ΑΠΑΝΤΗΣΗ ΠΡΟΜΗΘΕΥΤΗ	131
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	132

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία είχε ως σκοπό την εγκατάσταση και λειτουργία εργαστηριακού ηλιακού συστήματος θερμικών καταναλώσεων καθώς και την μελέτη και διενέργεια πειραματικών μετρήσεων επί του δεδομένου συστήματος. Μετά το πέρας των μετρήσεων τα πειραματικά δεδομένα επεξεργάζονται και από αυτήν την επεξεργασία προκύπτουν ποιοτικά και ποσοτικά συμπεράσματα για την λειτουργία του συστήματος.

Το πρώτο μέρος της εγκατάστασης και λειτουργίας περιελάμβανε διαδικασίες όπως η σύνδεση της μονάδας σε ηλεκτρονικό υπολογιστή για τον έλεγχό της, η σύνδεση στο ηλεκτρικό δίκτυο και στο δίκτυο υδροδότησης καθώς και διαδικασίες βαθμονόμησης των αισθητήρων της μονάδας και επίλυσης προβλημάτων τεχνικής φύσης.

Το δεύτερο στάδιο της διενέργειας μετρήσεων και επεξεργασίας αυτών περιελάμβανε διαδικασίες χειρισμού της εργαστηριακής μονάδας και εποπτείας της λειτουργίας της, διαχείρισης των πειραματικών αποτελεσμάτων και εκπόνησης ενεργειακών και θερμοδυναμικών υπολογισμών σύμφωνα με τα αποτελέσματα. Οι τελευταίοι υπολογισμοί είχαν σαν σκοπό την ανάλυση της ενεργειακής συμπεριφοράς της μονάδας, τον υπολογισμό του βαθμού απόδοσης της μονάδας, των συντελεστών $F_R(\tau\alpha)_n$ και F_{RU_L} του συλλέκτη, τον υπολογισμό της σταθεράς χρόνου καθώς και άλλων σταθερών λειτουργίας της μονάδας.

Με αφορμή την παρούσα διπλωματική εργασία και την λειτουργία του εργαστηρίου δίνεται η δυνατότητα στην σχολή της δημιουργίας μιας εργαστηριακής άσκησης για παρακολούθηση και εκπόνηση από τους φοιτητές του μαθήματος Ηλιακή Ενέργεια. Για τον σκοπό αυτό παρουσιάζεται στην εργασία πρόταση εργαστηριακής άσκησης.

1. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

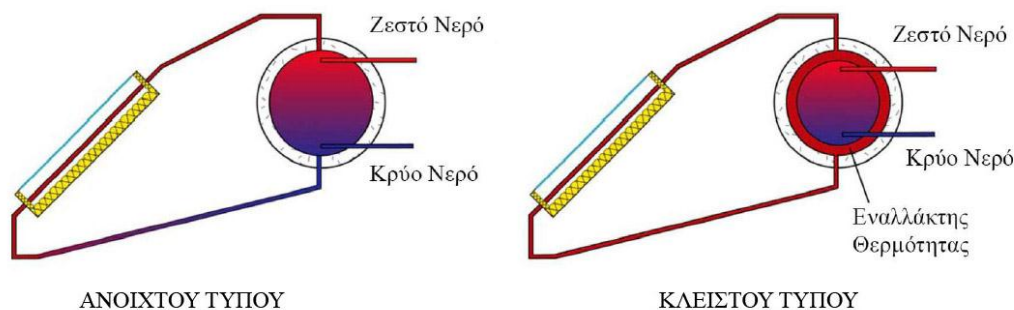
Η άμεση εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας για την κάλυψη αναγκών στον χώρο των κατοικιών, της οικοδομής καθώς και της βιομηχανίας συντελείται με τις εξής κατηγορίες συστημάτων:

- Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα τα οποία συλλέγουν, αποθηκεύουν και μεταφέρουν προς χρήση την ηλιακή θερμότητα αποτελούμενα από στοιχεία αυτόνομα και ανεξάρτητα της οικοδομικής κατασκευής.
- Τα παθητικά ηλιακά συστήματα τα οποία χρησιμοποιούν για την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας δομικά στοιχεία και μέρη της οικοδομής όπως τα παράθυρα το πάτωμα και την οροφή.
- Τέλος με τα υβριδικά συστήματα που αποτελούν συνδυασμό των δύο παραπάνω κατηγοριών.

Στην περιοχή μελέτης της εργασίας μας αντιστοιχούν τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα. Τα πλέον διαδεδομένα τέτοια συστήματα είναι οι ηλιακοί συλλέκτες για παραγωγή θερμού νερού χρήσης και τα φωτοβολταϊκά πλαίσια για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μικρής ισχύος. Επίσης, στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται οι ηλιακοί συλλέκτες κενού, ο συνδυασμός τους με ψύκτες προσρόφησης για κάλυψη ψυκτικών αναγκών και τα ηλιακά υψηλής ενθαλπίας για άμεση παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση ατμοστροβίλων στον χώρο της βιομηχανίας.

1.1 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΖΕΣΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΧΡΗΣΗΣ ΜΕ ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ [6]

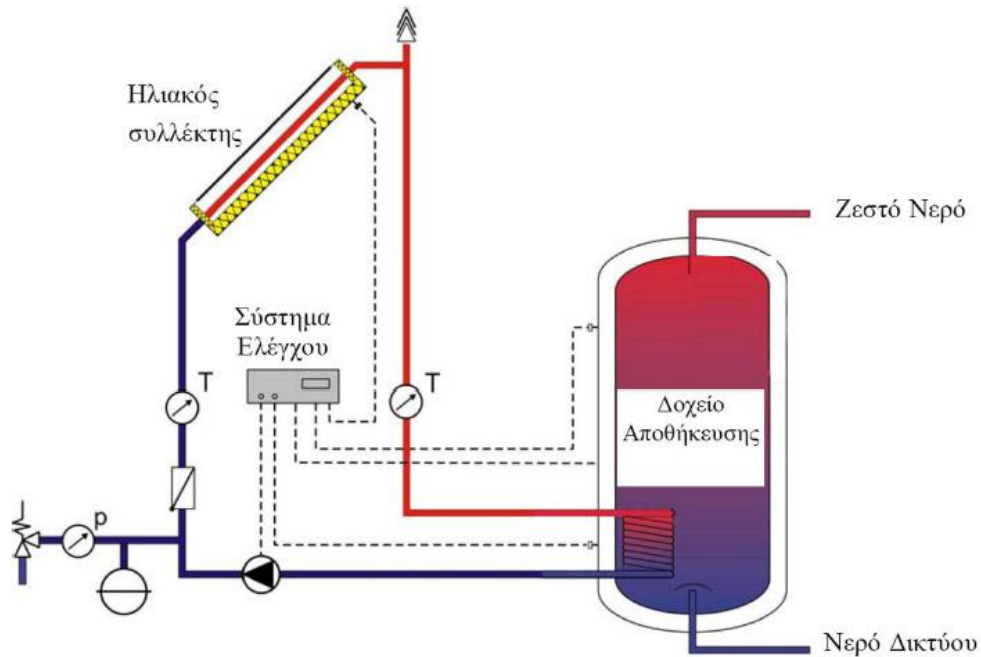
Τα θερμοσιφωνικά συστήματα στηρίζονται στην φυσική κυκλοφορία του νερού στους συλλέκτες και την δεξαμενή αποθήκευσης. Η φυσική αυτή ροή η οποία επιτυγχάνεται μέσω της ανωστικής ροής που δημιουργεί η θερμοκρασιακή διαφορά του ρευστού επιβάλλει την τοποθέτηση του μπόιλερ σε υψηλότερο ύψος από τον συλλέκτη ώστε η αποθήκευση του ζεστού νερού να γίνεται εφικτή. Το νερό που εισέρχεται στον συλλέκτη απομαστεύεται από το χαμηλότερο μέρος του μπόιλερ και εισέρχεται στο υψομετρικά κατώτερο σημείο του συλλέκτη. Εκεί το μέσο δεχόμενο την θερμική ισχύ της ακτινοβολίας αυξάνει θερμοκρασία και ακολουθεί ανωστική ροή δια μέσω των σωληνώσεων του συλλέκτη όπου και τελικά καταλήγει στο ανώτερο σημείο του συλλέκτη και δια μέσω σωληνώσεων στο ανώτερο σημείο του μπόιλερ. Το νερό χρήσης απομαστεύεται στην κορυφή του μπόιλερ λίγο χαμηλότερα από το σημείο εισόδου του νερού από τον συλλέκτη. Επίσης η είσοδος του ψυχρού νερού από το δίκτυο γίνεται κοντά στην βάση του μπόιλερ λίγο υψηλότερα από το σημείο τροφοδοσίας του συλλέκτη. Τα θερμοσιφωνικά συστήματα διακρίνονται σε ανοιχτού και κλειστού βρόχου (ή τύπου). Τα συστήματα ανοιχτού βρόχου χρησιμοποιούν την διαδικασία της ανάμειξης για την μεταφορά θερμότητας ενώ στον κλειστού βρόχου η θερμότητα μεταδίδεται με συναγωγή σε αντίστοιχο εναλλάκτη. Πιο συγκεκριμένα στον κλειστού βρόχου το υγρό θερμικής συναλλαγής που διατρέχει τον συλλέκτη περνάει από μανδύα που βρίσκεται περιμετρικά του μπόιλερ του νερού χρήσης.



Εικόνα 1.1.1 Θερμοσιφωνική διάταξη ανοιχτού και κλειστού τύπου

1.2 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΖΕΣΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΧΡΗΣΗΣ ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΞΑΝΑΓΚΑΣΜΕΝΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ [4] [6]

Τα συστήματα αυτά αποτελούνται από τον συλλέκτη και το μπόιλερ όπως και στην προηγούμενη κατηγορία μόνο που τώρα η ροή στον συλλέκτη γίνεται μέσω της χρήσης κυκλοφορητή. Ο κυκλοφορητής αυτός μειώνει τον χρόνο παραμονής ενός στοιχείου ρευστού στην διαδρομή των σωληνώσεων του συλλέκτη μιας και αυξάνει την παροχή σε σχέση με την αντίστοιχη φυσικής κυκλοφορία. Το ρευστό θερμαίνεται λιγότερο για ίδια ακτινοβολία η θερμοκρασιακή του διαφορά σε σχέση με το περιβάλλον είναι μικρότερη και συνεπώς οι απώλειες μειώνονται. Τα συστήματα αυτά αυξανόμενης της παροχής του κυκλοφορητή αυξάνουν και απόδοση. Για τον έλεγχο της παροχής του κυκλοφορητή χρησιμοποιείται αντίστοιχο σύστημα ελέγχου. Η θερμότητα μεταφέρεται σε αντίστοιχο μανδύα περιμετρικά του μπόιλερ όπου και τελικά το νερό χρήσης θερμαίνεται. Τα συστήματα αυτά προσφέρουν αυξημένη απόδοση στην εγκατάσταση και η απαιτούμενη ισχύς τροφοδοσίας του κυκλοφορητή κρίνεται αμελητέα σε σχέση με το θερμικό κέρδος. Επίσης στην περίπτωση αυτή η τοποθέτηση του μπόιλερ μπορεί να γίνει σε οποιοδήποτε σημείο ανεξάρτητα της θέσης του συλλέκτη. Όπως και σε εγκαταστάσεις κλειστού κύκλου αλλά φυσικής ροής και εδώ ως εργαζόμενο μέσο χρησιμοποιείται μαλακό νερό με προσμίξεις αντιψυκτικού και αντιδιαβρωτικού υγρού. Το αντιψυκτικό υγρό είναι συνήθως η προπυλενογλυκόλη ($C_3H_8O_2$) υγρό το οποίο είναι μη τοξικό. Αυτού του τύπου οι εγκαταστάσεις προσφέρουν αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις προηγούμενες. Έχουμε αντιψυκτική προστασία των απορροφητήρων και δεν τίθεται ζήτημα ψύξης αυτών κατά τον παγετό, επίσης έχουν αντιδιαβρωτική προστασία.



Εικόνα 1.2.1 Διάταξη εξαναγκασμένης κυκλοφορίας υγρού θερμικής συναλλαγής

1.3 ΕΙΔΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ [5] [6]

1.3.1 ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ ΧΩΡΙΣ ΚΑΛΥΜΜΑ

- Λειτουργία

Χρησιμοποιούνται κυρίως για την θέρμανση του νερού εγκαταστάσεων πισίνας. Το νερό κυκλοφορεί μέσα στον ηλιακό συλλέκτη, θερμαίνεται από τον ήλιο και διοχετεύεται απευθείας στην πισίνα. Ενδείκνυται η χρήση πλαστικού καλύμματος για μείωση απωλειών θερμότητας.

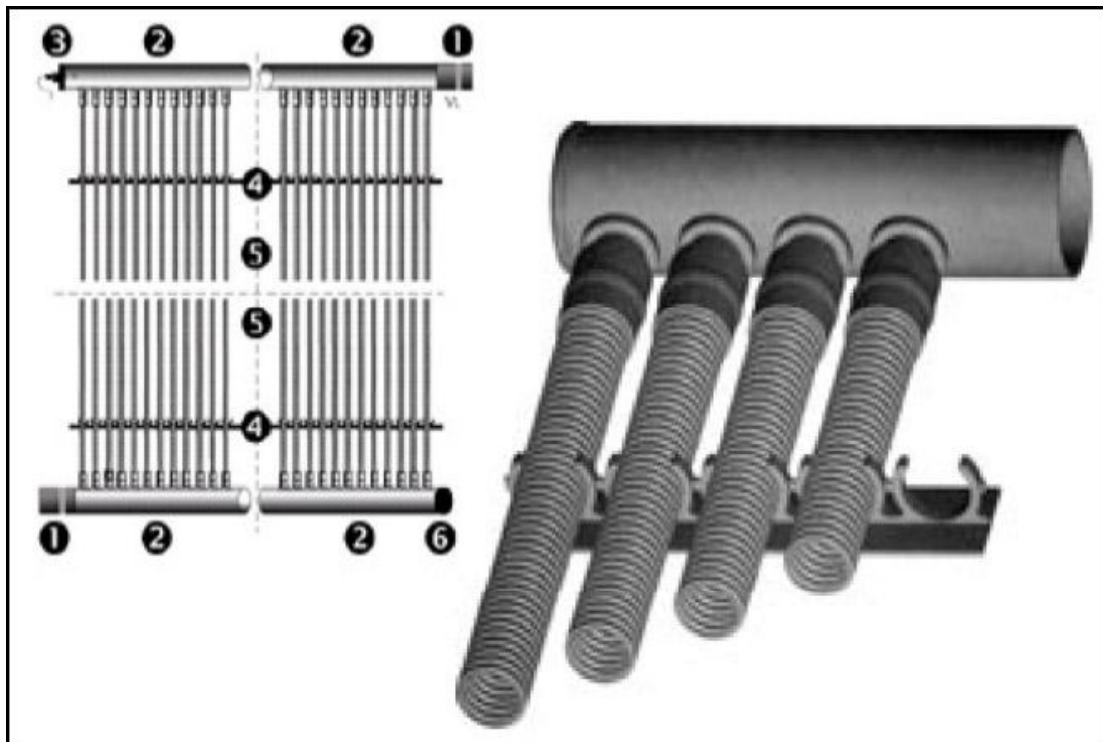
- Πλεονεκτήματα

Δεν απαιτείται επιπρόσθετος εξοπλισμός (π.χ. εναλλάκτες) που επιβαρύνει τον προϋπολογισμό. Στα ψυχρά κλίματα παρέχεται νερό σε ιδανική θερμοκρασία για κολύμβηση το καλοκαίρι. Στα θερμά κλίματα η κολυμβητική περίοδος επεκτείνεται από τον Απρίλιο μέχρι τον Οκτώβριο.

- Ιδιότητες

Η δεδομένη εγκατάσταση έχει χαμηλό κόστος και ο χρόνος απόσβεσής της κυμαίνεται από 1 έως 5 έτη. Εφαρμογές μόνο σε κολυμβητικές δεξαμενές, όπου η επιθυμητή θερμοκρασία είναι σχετικά χαμηλή (25°C). Ως απαιτούμενη επιφάνεια συλλεκτών για την ευρύτερη περιοχή της Ελλάδας ορίζεται το 80% της επιφάνειας της πισίνας.

Ακολουθεί η ανάλυση των στοιχείων του δεδομένου τύπου συλλέκτη.



1. ΧΙΤΩΝΙΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΥ ΣΩΛΗΝΑ
2. ΣΩΛΗΝΑΣ ΔΙΑΝΟΜΗΣ
3. ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ
4. ΑΠΟΣΤΑΤΗΣ
5. ΣΠΕΙΡΩΔΗΣ ΣΩΛΗΝΑΣ
6. ΠΩΜΑ

Εικόνα 1.3.1.1 Απεικόνιση και επεξήγηση των στοιχείων ενός συλλέκτη χωρίς κάλυμμα

1.3.2 ΕΠΙΠΕΔΟΙ ΗΛΙΑΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ [6] [7]

- Ιδιότητες

Παρουσιάζουν μεσαίο κόστος εγκατάστασης και υψηλή θερμοκρασία λειτουργίας της τάξης των 50 έως και 200°C. Το βάρος μιας εγκατάστασης επίπεδου συλλέκτη κυμαίνεται στα 20-35 kg/m². Αποτελούνται από εύθραυστο κάλυμμα από γυαλί ή πλαστικό, πάχους 3-5 mm με συντελεστή διαπερατότητας της τάξης του 90%. Η απορροφητική επιφάνεια τους μπορεί να είναι

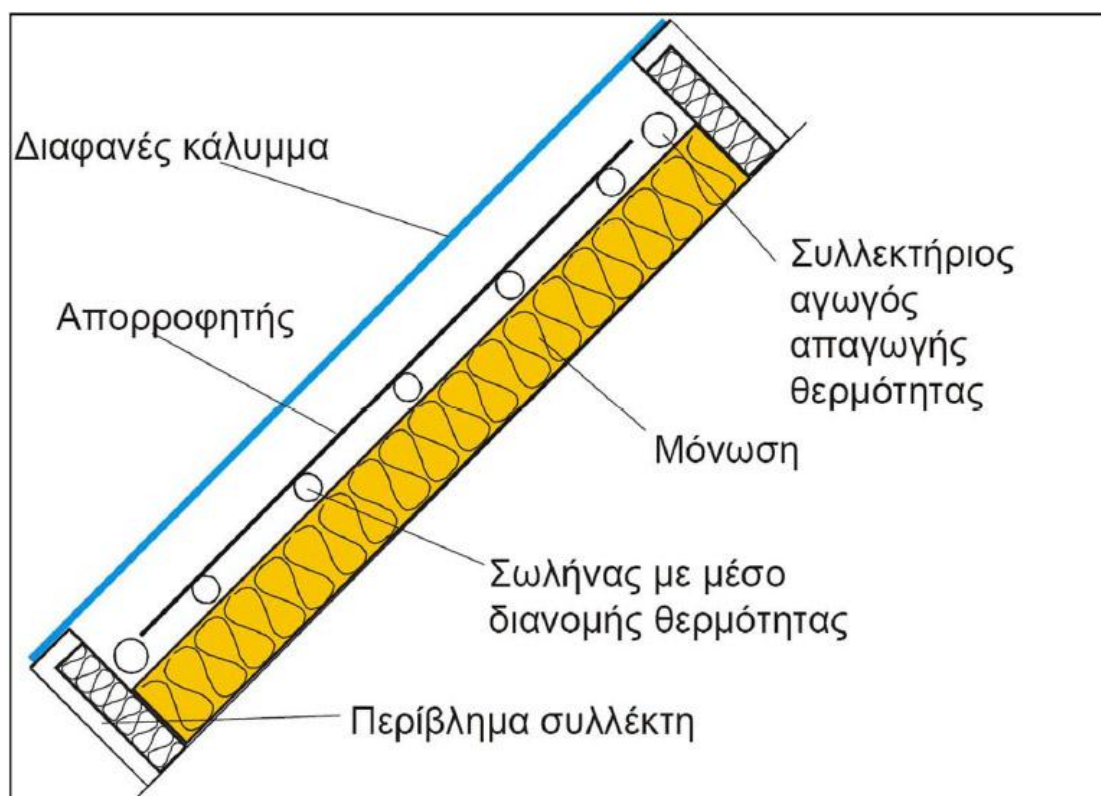
- 1) μαύρη μπογιά,
- 2) ημι-επιλεκτική επιφάνεια ή
- 3) επιλεκτική επιφάνεια

Οι επίπεδοι συλλέκτες με επιλεκτική επιφάνεια παρουσιάζουν μεγάλη απορροφητικότητα (90-95%) και ελάχιστη ανάκλαση (5-15%) στα μικρά μήκη κύματος της ηλιακής ακτινοβολίας. Ο συντελεστής απώλειας θερμότητας $U < 3.5 \text{ W/m}^2\text{K}$.

- Εφαρμογές

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

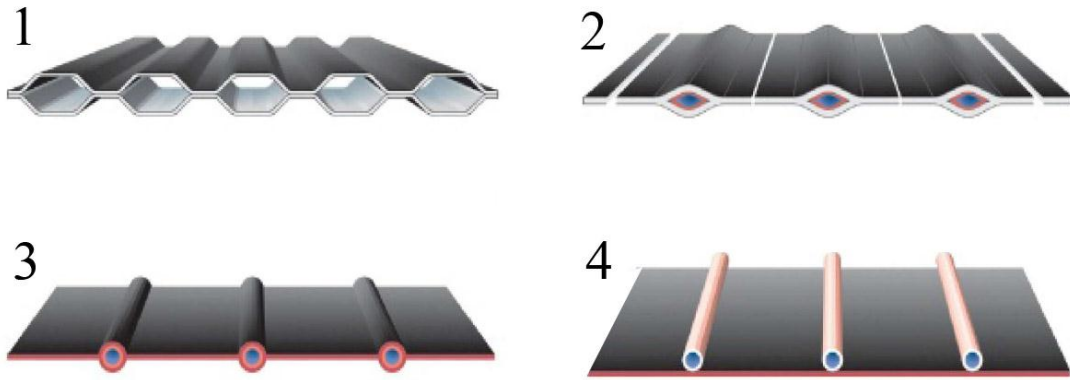
Τα μέρη ενός επίπεδου συλλέκτη παρουσιάζονται στο ακόλουθο σχήμα:



Εικόνα 1.3.2.1 Παρουσίαση και επεξήγηση στοιχείων επίπεδου συλλέκτη

Οι επίπεδοι συλλέκτες διακρίνονται ως προς το είδος του απορροφητήρα σε συλλέκτες με:

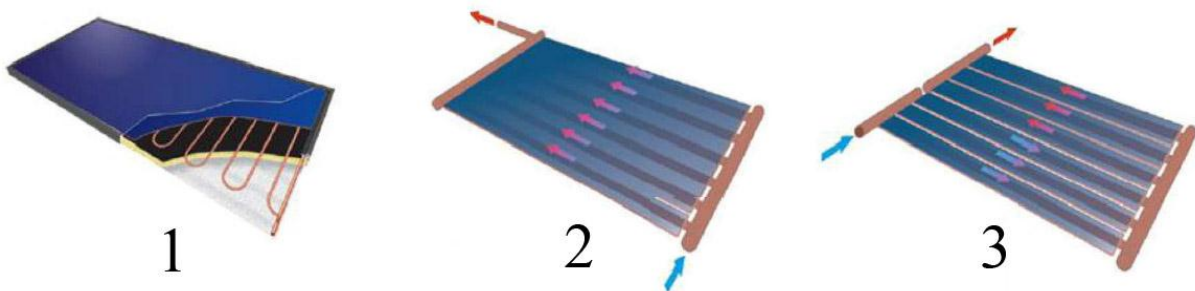
1. Απορροφητική στρώση αλουμινίου
2. Απορροφητής αλουμινίου με πρεσαριστούς χάλκινους σωλήνες
3. Σύστημα πρεσαριστών σωληνώσεων μεταξύ δύο φύλων
4. Σύστημα συγκολλημένων σωληνώσεων σε μεταλλικό φύλλο



Εικόνα 1.3.2.2 Διάκριση επίπεδων συλλεκτών βάση του απορροφητήρα

Επίσης διάκριση των επίπεδων συλλεκτών μπορεί να γίνει και με βάση την διάταξη των σωληνώσεων εντός της περιοχής του απορροφητήρα. Έτσι έχουμε τους συλλέκτες με

1. Σωλήνες τύπου σερμπαντίνας
2. Ευθύγραμμους σωλήνες μίας ροής και
3. Ευθύγραμμους σωλήνες διπλής ροής



Εικόνα 1.3.2.3 Διάκριση επίπεδων συλλεκτών βάση της διάταξης των σωληνών

Τέλος διάκριση των επίπεδων συλλεκτών μπορεί να γίνει και ως προς τον αριθμό των καλυμμάτων μιας και υπάρχουν συλλέκτες μονού καλύμματος, δύο καλυμμάτων και τριών καλυμμάτων.

1.3.3 ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ ΚΕΝΟΥ [6]

- Ιδιότητες

Η δεδομένη εφαρμογή παρουσιάζει υψηλό κόστος. Δομικά οι δεδομένοι συλλέκτες αποτελούνται από κυλίνδρους από γυαλί με εσωτερικό απορροφητή. Οι κύλινδροι είναι εκκενωμένοι σε πίεση 10^{-5} bar. Απώλειες θερμότητας παρουσιάζονται μόνο λόγω ακτινοβολίας και όχι συναγωγής. Η θερμοκρασία λειτουργίας τους είναι υψηλή και η χρήση τους κρίνεται ιδανική για ψυχρά κλίματα.

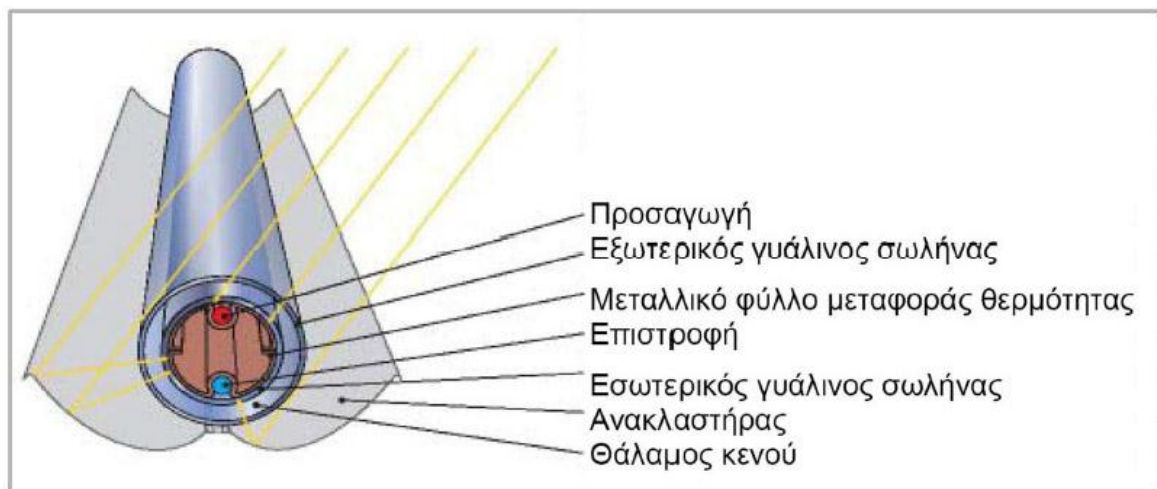
- Εφαρμογές

Δεν συνιστώνται σε κατοικίες και η χρήση τους είναι κυρίως βιομηχανική , αφού το καλοκαίρι η θερμοκρασία λειτουργίας τους ξεπερνάει τους 300 ° C .

- Είδη συλλεκτών κενού

1. Άμεσης ροής, στην εφαρμογή αυτή χρησιμοποιείται ένας εσωτερικός σωλήνας τύπου U
2. Παραβολικός συγκεντρωτικός, χρησιμοποιείται ένας διπλός σωλήνας (σωλήνας με απορροφητική επιφάνεια και εσωτερικά ένας σωλήνας U) και 2 εξωτερικές ανακλαστικές επιφάνειες
3. Σωλήνας θερμότητας, η λειτουργία του βασίζεται σε επίπεδη απορροφητική λωρίδα μέσα σε σωλήνα κενού, ο οποίος συνδέεται με σωλήνα θερμότητας που περιέχει διάλυμα σε κενό. Το διάλυμα εξατμίζεται ($T_{εξ}=25^{\circ}\text{C}$) και η θερμότητά του μεταφέρεται μέσω εναλλάκτη στο μέσο.
4. Ξηρής σύνδεσης, στην περίπτωση αυτή ο εναλλάκτης συνδέεται με τον συλλέκτη και
5. Υγρής σύνδεσης, στον οποίο ο εναλλάκτης βρίσκεται μέσα στο μέσο μεταφοράς θερμότητας.

Παρουσιάζονται τα μέρη ενός τυπικού συλλέκτη κενού:



Εικόνα 1.3.3.1 Στοιχεία συλλέκτη κενού

1.4 ΔΟΧΕΙΟ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ (ΜΠΟΪΛΕΡ) [6]

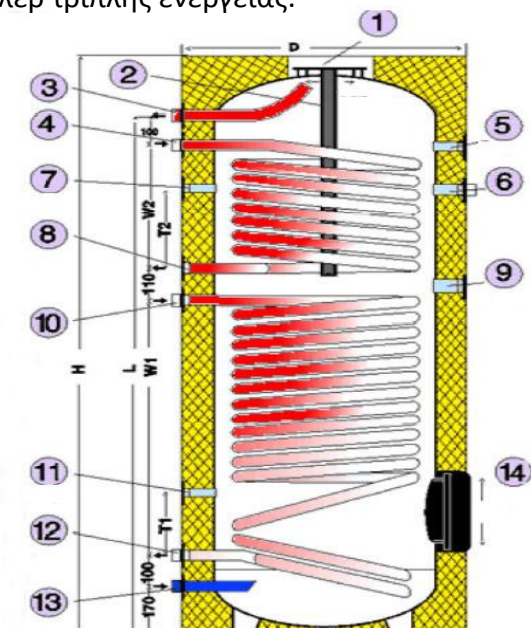
Επίσης σημαντικό στοιχείο κάθε εγκατάστασης θερμοσίφωνα είναι το δοχείο αποθήκευσης ή μπόϊλερ. Το μπόϊλερ είναι ο χώρος αποθήκευσης του νερού χρήσης και χαρακτηριστικό μέγεθος για την επιλογή και τον χαρακτηρισμό του είναι η ονομαστική χωρητικότητά του σε λίτρα. Η επιλογή του όγκου αποθήκευσης γίνεται με βάση τις ανάγκες θερμικής κατανάλωσης και εξαρτάται από την εκάστοτε περίπτωση εφαρμογής. Για το παράδειγμα μιας οικίας με τέσσερα μέλη θερμικό δοχείο ωφέλιμου όγκου 150 l θεωρείται επαρκές. Το θερμοδοχείο αποθήκευσης μπορεί να είναι:

- Μονής ενέργειας, στην περίπτωση αυτή η μόνη πηγή θερμικής ισχύος είναι η ηλιακή ακτινοβολία.
- Διπλής ενέργειας, όπου εκτός της ηλιακής ακτινοβολίας το νερό χρήσης που βρίσκεται στο μπόϊλερ μπορεί να θερμανθεί και με χρήση ηλεκτρικής ενέργειας μέσω εμβαπτισμένης αντίστασης εντός του μπόϊλερ. Έτσι σε συνθήκες έλλειψης ακτινοβολίας έχουμε την δυνατότητα θέρμανσης με ηλεκτρισμό.
- Και τριπλής ενέργειας, όπου το νερό χρήσης μέσω κατάλληλου εναλλάκτη μπορεί εκτός των δύο προηγούμενων πηγών θερμότητας να θερμανθεί από το ήδη υπάρχον σύστημα θέρμανσης, συνήθως τον εγκατεστημένο λέβητα.

Βασικά χαρακτηριστικά που πρέπει να πληρεί ένα αποθηκευτικό δοχείο είναι η τοποθέτηση εξωτερικής μόνωσης, η τοποθέτηση μιας ανόδου μαγνησίου για προστασία από ηλεκτρόλυση, η ύπαρξη πλευρικής φλάντζας για καθαρισμό και συντήρηση και ο έλεγχος του κατασκευαστή για αντοχή του δοχείου σε πίεση τουλάχιστον 10 bar. Η κατασκευή του δοχείου μπορεί να είναι είτε από χαλκό είτε από ατσάλι και να έχει επισμαλτωθεί για αποθήκευση νερού χρήσης.

Παρουσιάζεται σχηματικά ένα σύνηθες μπόϊλερ τριπλής ενέργειας.

1. ΦΛΑΝΤΖΑ
2. ΑΝΟΔΙΟ ΜΑΓΝΗΣΙΟΥ
3. ΕΞΟΔΟΣ ΖΕΣΤΟΥ ΝΕΡΟΥ
4. ΕΙΣΟΔΟΣ ΝΕΡΟΥ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ
5. ΥΠΟΔΟΧΗ ΘΕΡΜΟΣΤΑΤΗ
6. ΣΥΝΔΕΣΗ ΑΝΑΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ
7. ΘΕΣΗ ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΟΥ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ
8. ΕΞΟΔΟΣ ΝΕΡΟΥ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ
9. ΥΠΟΔΟΧΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ
10. ΕΙΣΟΔΟΣ ΝΕΡΟΥ ΗΛΙΑΚΩΝ
11. ΘΕΣΗ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ
12. ΕΞΟΔΟΣ ΝΕΡΟΥ ΗΛΙΑΚΩΝ
13. ΕΙΣΟΔΟΣ ΚΡΥΟΥ ΝΕΡΟΥ
14. ΠΛΕΥΡΙΚΗ ΦΛΑΝΤΖΑ



Εικόνα 1.4.1 Μπόϊλερ τριπλής ενέργειας και επεξήγηση στοιχείων του

1.5 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΚΕΡΔΟΣ ΚΑΙ ΑΠΟΔΟΣΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΣΥΛΛΕΚΤΗ ΚΑΙ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ [1] [2] [4]

Ωφέλιμη ισχύς συλλέκτη:

$$Q_u [w] = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (1.5.1)$$

- \dot{m} [kg/sec] : Ροή του υγρού θερμικής συναλλαγής στη διατομή εισόδου – εξόδου του συλλέκτη
- C_p [KJ/Kg°C] : Θερμική χωρητικότητα του υγρού θερμικής συναλλαγής
- ΔT [°C] : $T_{fo} - T_{fi}$, θερμοκρασιακή ανύψωση του ρευστού στον συλλέκτη

Για την ανοιγμένη ισχύ του συλλέκτη έχουμε αντίστοιχα:

$$q_u [w/m^2] = \frac{Q_u}{A_c} = \frac{\dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T}{A_c} \quad (1.5.2)$$

- A_c [m²] : Συλλεκτική επιφάνεια του συλλέκτη

Ωφέλιμη ισχύς προσδιδόμενη στο νερό χρήσης του μπόιλερ:

$$Q_b [w] = m_b \cdot C_p \cdot \frac{\theta T}{\theta t} \quad (1.5.3)$$

- m_b [kg] : Μάζα νερού στο μπόιλερ
- C_p [KJ/Kg°C] : Θερμοχωρητικότητα νερού
- $\frac{\theta T}{\theta t}$ [°C/sec] : Ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας της μέσης θερμοκρασίας του αποθηκευμένου νερού στο μπόιλερ

Για την ανοιγμένη προσδιδόμενη ισχύ στο νερό χρήσης ισχύει αντίστοιχα:

$$q_b [w/m^2] = \frac{m_b \cdot C_p \cdot \theta T}{A_c \cdot \theta t} \quad (1.5.4)$$

- A_c [m²] : Συλλεκτική επιφάνεια του συλλέκτη

Στην γενική περίπτωση που έχουμε και κατανάλωση νερού χρήσης ο ενεργειακός ισολογισμός στο δοχείο αποθήκευσης δίνει:

$$Q_b [w] = m_b \cdot C_p \cdot \frac{\theta T}{\theta t} - \dot{m}_{κατ} \cdot C_p \cdot (T_{v,κατ} - T_a) + \dot{m}_{δικ} \cdot C_p \cdot (T_{v,δικ} - T_a) \quad (1.5.5)$$

- $\dot{m}_{\text{κατ}}$ [kg/sec] : Παροχή μάζας νερού κατανάλωσης
- $T_{\text{v,κατ}}$ [°C] : Θερμοκρασία νερού κατανάλωσης
- $\dot{m}_{\text{δικ}}$ [kg/sec] : Παροχή μάζας νερού δικτύου
- $T_{\text{v,δικ}}$ [°C] : Θερμοκρασία νερού δικτύου

Όμως $\dot{m}_{\text{κατ}} = \dot{m}_{\text{δικ}}$

$$\rightarrow Q_b [\text{w}] = m_b \cdot C_p \cdot \frac{\theta T}{\theta t} + \dot{m}_{\text{δικ}} \cdot C_p \cdot (T_{\text{v,δικ}} - T_{\text{v,κατ}}) \quad (1.5.6)$$

Επίσης αν γνωρίζουμε τον ρυθμό μεταβολής της θερμοκρασίας του νερού που καταναλώνεται και την μάζα του νερού κατανάλωσης έχουμε:

$$Q_b [\text{w}] = m_b \cdot C_p \cdot \frac{\theta T}{\theta t} + \dot{m}_{\text{κατ}} \cdot C_p \cdot \frac{\theta T_{\text{v,κατ}}}{\theta t} + \dot{m}_{\text{δικ}} \cdot C_p \cdot (T_{\text{v,δικ}} - T_a) \quad (1.5.7)$$

και αν πρακτικά ισχύει $T_{\text{v,δικ}}$ κοντά στην T_a έχουμε

$$Q_b [\text{w}] = m_b \cdot C_p \cdot \frac{\theta T}{\theta t} + m_{\text{κατ}} \cdot C_p \cdot \frac{\theta T_{\text{v,κατ}}}{\theta t} \quad (1.5.8)$$

Επίσης αν από τα πειραματικά δεδομένα πάρουμε $\frac{\theta T}{\theta t} = \frac{\theta T_{\text{v,κατ}}}{\theta t}$ τελικά έχουμε:

$$Q_b [\text{w}] = (m_b + m_{\text{κατ}}) \cdot C_p \cdot \frac{\theta T}{\theta t} \quad (1.5.9)$$

Σχέση αρκετά βολική αν γνωρίζουμε την μάζα του νερού κατανάλωσης, μιας και στις περισσότερες περιπτώσεις κατανάλωσης νερού χρήσης αυτό που γνωρίζουμε είναι μια μέση κατανάλωση σε μάζα νερού.

Στιγμιαίος βαθμός απόδοσης συλλέκτη:

$$\eta_i = \frac{q_u}{G_t} \quad (1.5.10)$$

- G_t [w/m^2] : Ολική προσπίπτουσα ακτινοβολία στον συλλέκτη

Για δεδομένο συντελεστή απωλειών του συλλέκτη ο βαθμός απόδοσης γράφεται επίσης:

$$\eta_i = (\tau\alpha)_n - U_L \frac{(T_m - T_a)}{G_t} \quad (1.5.11)$$

- $(\tau\alpha)_n$: συντελεστής απορρόφησης και αντανάκλασης του καλύμματος
- $U_L [W/^\circ C m^2]$: συντελεστής θερμικών απωλειών
- T_m : μέση θερμοκρασία του υγρού εντός του συλλέκτη

Ωστόσο ο υπολογισμός της T_m δεν είναι δυνατός σε πειραματικές συνθήκες και μπορεί να υπολογιστεί μόνο θεωρητικά (πρακτικά είναι λίγο μεγαλύτερος του όρου $(T_{fi} + T_{fo})/2$). Για την παρουσίαση του στιγμιαίου βαθμού απόδοσης συναρτήσει μιας θερμοκρασίας γνωστής από τα πειραματικά δεδομένα συγκεκριμένα της T_{fi} εισάγουμε τον όρο F_R και τελικά έχουμε:

$$\eta_i = F_R(\tau\alpha)_n - F_R U_L \frac{(T_i - T_a)}{Gt} \quad (1.5.12)$$

Τα μεγέθη $F_R(\tau\alpha)_n$, $F_R U_L$ είναι χαρακτηριστικά για κάθε συλλέκτη και ο κατασκευαστής τους πρέπει να αναφέρεται σε κατάλληλους οργανισμούς για τον προσδιορισμό τους. Η δοκιμή και η πειραματική εξέταση ενός συλλέκτη σε πειραματική διάταξη έχει ως βασικό σκοπό τον προσδιορισμό αυτών των μεγεθών. Στην Ελλάδα πιστοποιημένος υπεύθυνος οργανισμός για την εργασία αυτή είναι αυτή την στιγμή ο Δημόκριτος.

Στιγμιαίος βαθμός απόδοσης μπόιλερ:

$$\eta_b = q_b / q_u \quad (1.5.13)$$

Στιγμιαίος βαθμός απόδοσης εγκατάστασης:

$$\eta_t = \eta_b \cdot \eta_i \quad (1.5.14)$$

Για τους αντίστοιχους μέσους βαθμούς απόδοσης χρησιμοποιούμε τις μέσες τιμές των συνιστωσών υπολογισμού τους.

Σταθερά χρόνου συλλέκτη

Η σταθερά χρόνου ορίζεται και ως ο χρόνος που απαιτείται ώστε η θερμοκρασιακή διαφορά εξόδου - εισόδου μετά από την διακοπή της ισχύος ακτινοβολίας να φτάσει το $(1/e$ ή $0,368)$ της θερμοκρασιακής διαφοράς κατά την στιγμή διακοπής της ακτινοβολίας, είναι κι αυτό χαρακτηριστικό μέγεθος ενός συλλέκτη.

$$\frac{T_{o,t} - T_i}{T_{o,init} - T_i} = \frac{1}{e} = 0,368 \quad (1.5.15)$$

$T_{o,t}$ [$^{\circ}\text{C}$] : Η θερμοκρασία εξόδου από τον συλλέκτη την στιγμή κατά την οποία καταγράφουμε την σταθερά χρόνου t

$T_{o,init}$ [$^{\circ}\text{C}$] : Η αντίστοιχη αρχική θερμοκρασία εξόδου διακοπής της ακτινοβολίας

Συντελεστής απορρόφησης και αντανάκλασης του καλύμματος

$$(\tau\alpha)_n = S / G_T \quad (1.5.16)$$

- G_T [w/m^2] : Ολική προσπίπτουσα ακτινοβολία στον συλλέκτη
- S [w/m^2] : Ακτινοβολία που φτάνει στον απορροφητήρα

Θερμικές απώλειες

$$q_L [\text{W}/\text{m}^2] = S - q_u \quad (1.5.17)$$

- S [w/m^2] : Ακτινοβολία που φτάνει στον απορροφητήρα
- q_u [w/m^2] : ωφέλιμη ισχύς συλλέκτη

Συντελεστής θερμικών απωλειών

$$U_L [\text{w}/^{\circ}\text{C m}^2] = q_L / (T_p - T_a) \quad (1.5.18)$$

- T_p [$^{\circ}\text{C}$] : Θερμοκρασία απορροφητήρα
- T_a [$^{\circ}\text{C}$] : Θερμοκρασία περιβάλλοντος

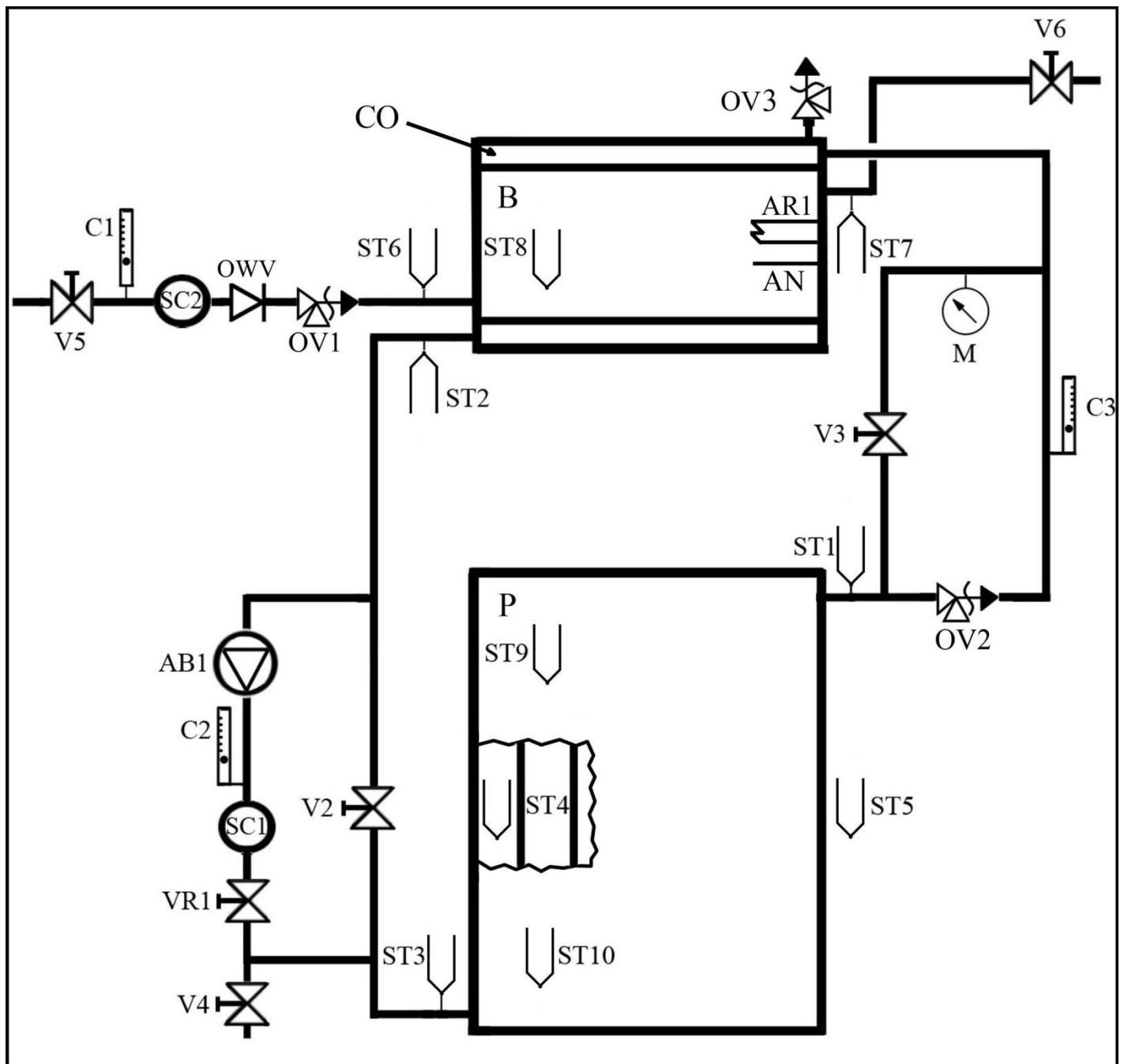
Συντελεστής θερμικής απολαβής του συλλέκτη:

$$f_r = q_u / (S - U_L(T_{fi} - T_a)) \quad (1.5.19)$$

- T_{fi} [$^{\circ}\text{C}$] : Θερμοκρασία εισόδου στον συλλέκτη

2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

2.1 ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ ΜΟΝΑΔΑΣ



CO: Μανδύας

P: Συλλέκτης

B: Μπόιλερ

V: Βάνα

ST: Θερμοστοιχείο

C: Αναλογικό ροόμετρο

SC: Ηλεκτρονικό ροόμετρο

AB: Κυκλοφορητής

VR: Βάνα περιστροφική

M: Μανόμετρο

OVV: Βαλβίδα αντεπιστροφής

OV: Βαλβίδα υπερπίεσης

AN: Ανόδιο

AR1: Αντίσταση

Εικόνα 2.1.1 Σκαρίφημα εγκατάστασης και ονομασία των στοιχείων της

Ακολουθεί η ανάλυση των επί μέρους στοιχείων της μονάδας, του τρόπου λειτουργίας τους και της σκοπιμότητας τοποθέτησης τους στο εκάστοτε σημείο.

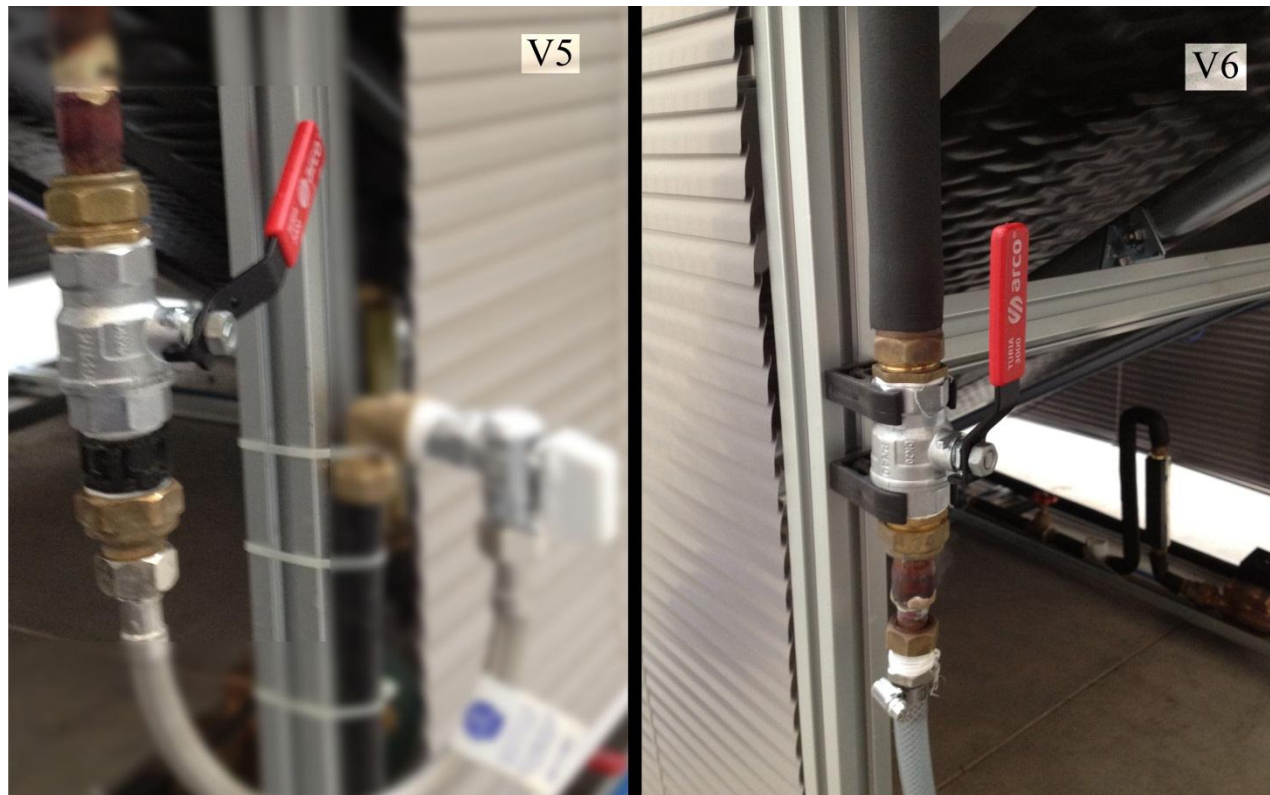
2.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ [3]

V5 – ΒΑΝΑ 5.

Είναι η βάνα ελέγχου της τροφοδοσίας εισόδου του νερού δικτύου και συνορεύει με τον σωλήνα παροχής νερού από το δίκτυο. Με την βάνα αυτή ελέγχουμε την ποσότητα νερού εισόδου ελέγχοντας ταυτόχρονα την παροχή εισόδου από το παροχόμετρο C1. Η παροχή νερού που εισέρχεται από αυτή την βάνα είναι η παροχή που αποθηκεύεται και τελικά θερμαίνεται στο μπόιλερ, η τροφοδοσία αυτή συμπληρώνει το νερό χρήσης το οποίο καταναλώνεται από την έξοδο της μονάδας.

V6 – ΒΑΝΑ 6

Είναι η βάνα ελέγχου της τροφοδοσίας εξόδου του νερού χρήσης προς την κατανάλωση. Η συγκεκριμένη βάνα χρησιμοποιείται για την εποπτεία της παροχής νερού χρήσης σε συνεργασία με την βάνα V5. Κατά την διαδικασία των πειραμάτων μας ελέγχουμε την παροχή χρησιμοποιώντας την V5 διότι συνορεύει με το ροόμετρο από το οποίο γίνεται ο έλεγχος της επιθυμητής ροής. Καθ όλη την διαδικασία κατανάλωσης αφήνουμε την βάνα V6 ανοιχτή και την κλείνουμε κατά την λήξη αυτής. Ακολουθεί η εικόνα των δεδομένων στοιχείων επί της εγκατάστασης.



Εικόνα 2.2.1 Στοιχεία V5 – V6

C1 – ΑΝΑΛΟΓΙΚΟ ΡΟΟΜΕΤΡΟ 1

Με την χρήση του αναλογικού ροόμετρου αυτού μπορεί να γίνει η εποπτεία της παροχής χρήσης κατά την διαδικασία κατανάλωσης της μονάδας. Το συγκεκριμένο ροόμετρο είναι συνδεδεμένο σε σειρά με το στοιχείο SC2 με το οποίο επίσης μπορεί να γίνεται η εποπτεία της παροχής κατανάλωσης. Το C1 είναι και το πρότυπο ροόμετρο με το οποίο σε περίπτωση εποπτείας μέσω του Η/Υ θα γινόταν η βαθμονόμηση του στοιχείου SC2. Το αναλογικό ροόμετρο C1 είναι τύπου πλωτήρα και εκμεταλλεύεται την ισορροπία βάρους – υδροδυναμικής αντίστασης του πλωτήρα για την ένδειξη των αποτελεσμάτων. Είναι βαθμονομημένο στους 20 ° C η ένδειξη διαβάζεται εφαπτομενικά στο άνω μέρος του πλωτήρα και έχει εύρος ενδείξεων 0-10 l/min. Η ακρίβειά του είναι της τάξης των 0,25 l/min. Ακολουθεί η εικόνα του δεδομένου στοιχείου επί της εγκατάστασης.



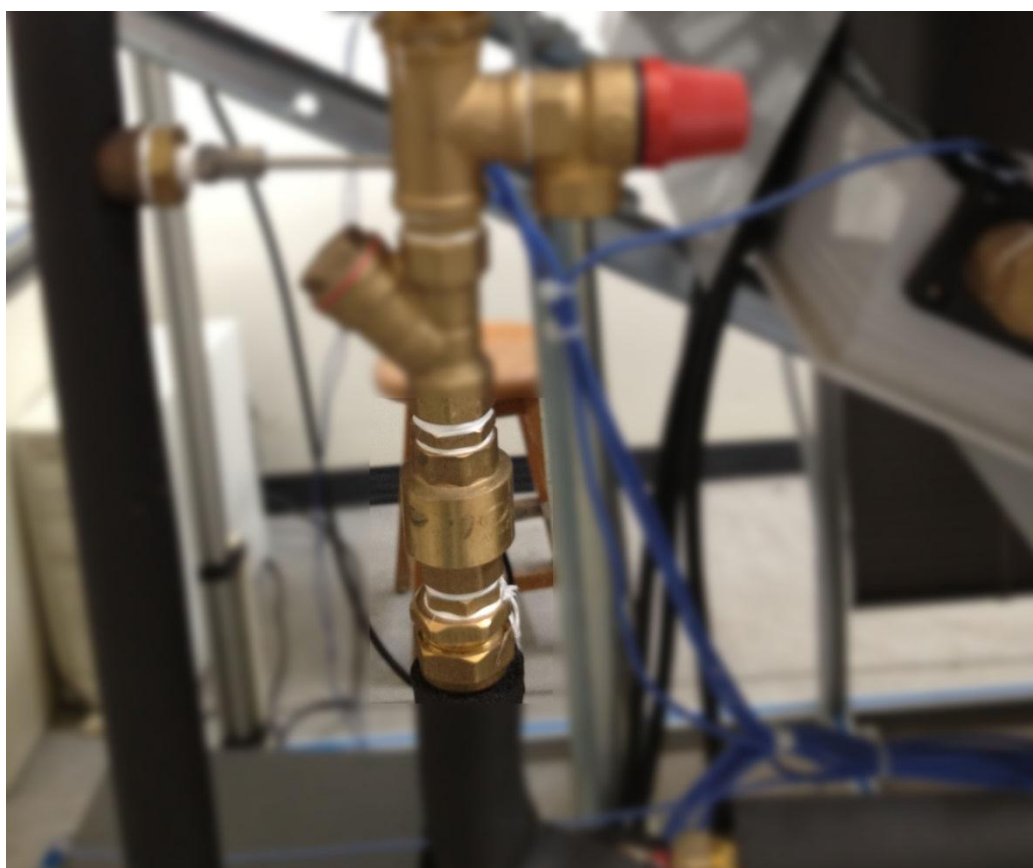
Εικόνα 2.2.2 Στοιχείο C1

SC2 – ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΡΟΟΜΕΤΡΟ 2

Το συγκεκριμένο ροόμετρο βρίσκεται συνδεδεμένο σε σειρά με το στοιχείο C1 και αποσκοπεί στην καταγραφή της παροχής στα δεδομένα του προγράμματος SCADA. Ωστόσο το δεδομένο στοιχείο ήταν ελαττωματικό μιας και παρουσίασε έντονες διαρροές από ρωγμή σε σημείο πριν το σπείρωμά του. Το δεδομένο στοιχείο απομακρύνθηκε από την μονάδα με αποτέλεσμα η εποπτεία να γίνεται μόνον από το αναλογικό ροόμετρο C1. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του είναι ίδια με το SC1 και γι αυτό παρουσιάζονται στην συνέχεια.

OWV – ΒΑΛΒΙΔΑ ΑΝΤΕΠΙΣΤΡΟΦΗΣ (ONE WAY VALVE)

Η δεδομένη βαλβίδα αποτρέπει την ροή από το Boiler προς το δίκτυο. Αυτό θα μπορούσε να συμβεί σε περίπτωση πτώσης πίεσης του νερού δικτύου η σε περίπτωση διακοπής της υδροδότησης από την ΕΥΔΑΠ. Ακολουθεί η εικόνα του δεδομένου στοιχείου επί της εγκατάστασης.



Εικόνα 2.2.3 Στοιχείο OWV

OV1 – ΒΑΛΒΙΔΑ ΥΠΕΡΠΙΕΣΗΣ 1 (OVERPRESSURE VALVE)

Η ονομαστική πίεση του δικτύου τροφοδοσίας κυμαίνεται σύμφωνα με την ΕΥΔΑΠ από τα 3 μέχρι τα 6 bar.

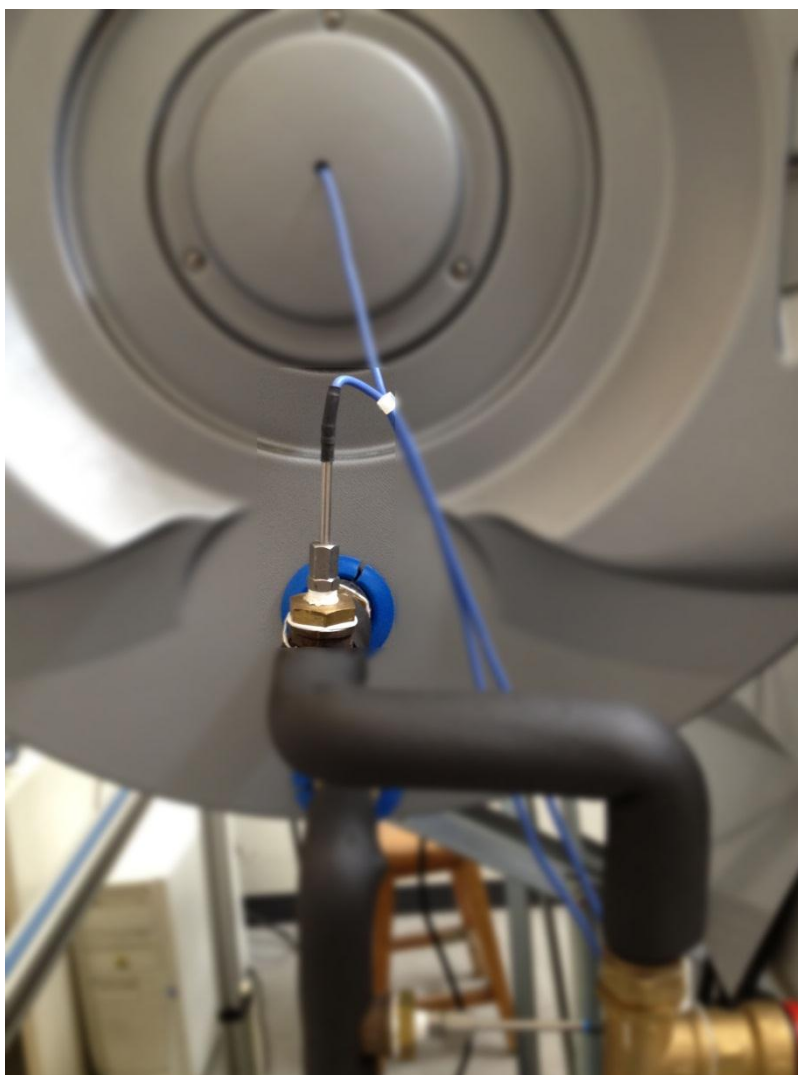
Υπάρχουν ωστόσο περιπτώσεις όπου η πίεση αυτή μπορεί να ξεπεραστεί με αποτέλεσμα οι συνθήκες πίεσης στην εγκατάσταση να είναι καταστροφικές. Τα περισσότερα στοιχεία στο δίκτυο εισόδου έχουν όριο λειτουργίας τα 10 bar και για αυτό η δεδομένη βαλβίδα εκτονώνει νερό από το στόμιό της στα 10 bar. Στο στόμιο της βαλβίδας αυτής σε εγκαταστάσεις θερμοσιφώνων τοποθετείται αντίστοιχο δοχείο διαστολής. Η συγκεκριμένη βαλβίδα είναι μηχανική και εκμεταλλεύεται την ισορροπία πίεσης του νερού με την πίεση στο διάφραγμα της από αντίστοιχο ελατήριο. Εκτόνωση νερού μπορεί να γίνει και με την περιστροφή της βαλβίδας δια χειρός και συγκεκριμένα σε διαδικασίες κένωσης της εγκατάστασης χρησιμοποιήθηκε η δεδομένη βαλβίδα. Για παράδειγμα από την δεδομένη βαλβίδα έγινε η ογκομετρική μέτρηση του νερού χρήσης και συνεπώς του όγκου του μπόιλερ. Κένωση του μπόιλερ δεν μπορεί να γίνει με φυσικό τρόπο από άλλη βαλβίδα μιας και η δεδομένη συνδέεται με την κατώτατη υψομετρικά επιφάνεια του μπόιλερ. Ακολουθεί η εικόνα του δεδομένου στοιχείου επί της εγκατάστασης.



Εικόνα 2.2.4 Στοιχείο OV1

ST6 – ΘΕΡΜΟΣΤΟΙΧΕΙΟ 6

Είναι θερμοστοιχείο τύπου J όπως και τα υπόλοιπα 9 θερμοστοιχεία που είναι εγκατεστημένα στην μονάδα. Το εύρος μέτρησης των θερμοστοιχείων είναι -40 μέχρι 750 °C. Τα θερμοστοιχεία αποτελούνται από αγωγούς διαφορετικού υλικού που στο μέτωπο μέτρησης συνδέονται. Κατά την θέρμανσης του σημείου σύνδεσης στο μέτωπο του θερμοστοιχείου εμφανίζεται διαφορά θερμοκρασίας στα άκρα του στοιχείου. Εκμεταλλευόμενοι αυτό το φαινόμενο και μέσω της βαθμονόμησης αντιστοιχίζουμε τις τάσεις που λαμβάνουμε σε θερμοκρασιακά μεγέθη σύμφωνα με την διαδικασία βαθμονόμησης των θερμοστοιχείων που παρουσιάζεται παρακάτω στην εργασία. Η τάση των θερμοστοιχείων οδηγείται στις εισόδους του PLC controller ενισχύεται γίνεται ψηφιακό σήμα και παρουσιάζεται μέσω του προγράμματος SCADA στον Η/Υ. Το συγκεκριμένο θερμοστοιχείο μετράει την θερμοκρασία του νερού εισόδου στο Μπόιλερ είναι η απόλυτη θερμοκρασία από την οποία κάθε αύξηση θεωρείται θέρμανση. Η θερμοκρασία 6 είναι και πρέπει να είναι η χαμηλότερη θερμοκρασία στο δευτερεύον κύκλωμα. Ακολουθεί η εικόνα του δεδομένου στοιχείου επί της εγκατάστασης.



Εικόνα 2.2.5 Στοιχείο ST6

ST8 – ΘΕΡΜΟΣΤΟΙΧΕΙΟ 8

Το θερμοστοιχείο αυτό χρησιμοποιείται για την μέτρηση της μέσης θερμοκρασίας του μπόιλερ. Η θερμοκρασία θεωρείται ότι μεταβάλλεται αύξουσα γραμμικά καθ ύψος του μπόιλερ και συνεπώς η θέση για την μέτρηση της μέσης θερμοκρασίας είναι στο ένα άκρο της μονάδας στο μέσο του ύψους του μπόιλερ. Αυτή η θερμοκρασία είναι και αυτή που χρησιμοποιούμε για την εποπτεία της θέρμανσης του νερού χρήσης. Ακολουθεί η εικόνα της θέσης του στοιχείου επί της εγκατάστασης.



Εικόνα 2.2.6 Στοιχείο ST8

B – ΜΠΟΙΛΕΡ

Το μπόιλερ είναι ο ογκομετρικός χώρος αποθήκευσης του νερού χρήσης της μονάδας με ονομαστικό όγκο στην περίπτωση μας 150 L . Σε μέτρηση που έγινε χρησιμοποιώντας το νερό αποθήκευσης του μπόιλερ ο όγκος υπολογίστηκε σε 145 L. Κατά την μέτρηση αυτή έγινε κένωση του μπόιλερ σε κατάλληλο δοχείο γνωστού όγκου. Από τον αριθμό των πληρώσεων του δοχείου έγινε υπολογισμός του ωφέλιμου χώρου αποθήκευσης. Το μπόιλερ είναι επίσης ο χώρος όπου συντελείται η θερμική συναλλαγή μεταξύ του υγρού του πρωτεύοντος κυκλώματος που διατρέχει τον μανδύα και του νερού χρήσης. Σε εγκαταστάσεις φυσικής ροής το μπόιλερ πρέπει να τοποθετείται αναγκαστικά ψηλότερα από τον συλλέκτη ενώ σε εγκαταστάσεις εξαναγκασμένης ροής η τοποθέτηση του μπόιλερ γίνεται ελεύθερα σε οποιοδήποτε σχετικό ύψος. Ύστερα από αφαίρεση της φλάντζας του μπόιλερ έγινε εποπτεία του χώρου αποθήκευσης του νερού χρήσης. Επίσης παρουσιάζεται η διαδικασία μέτρησης του όγκου του μπόιλερ.

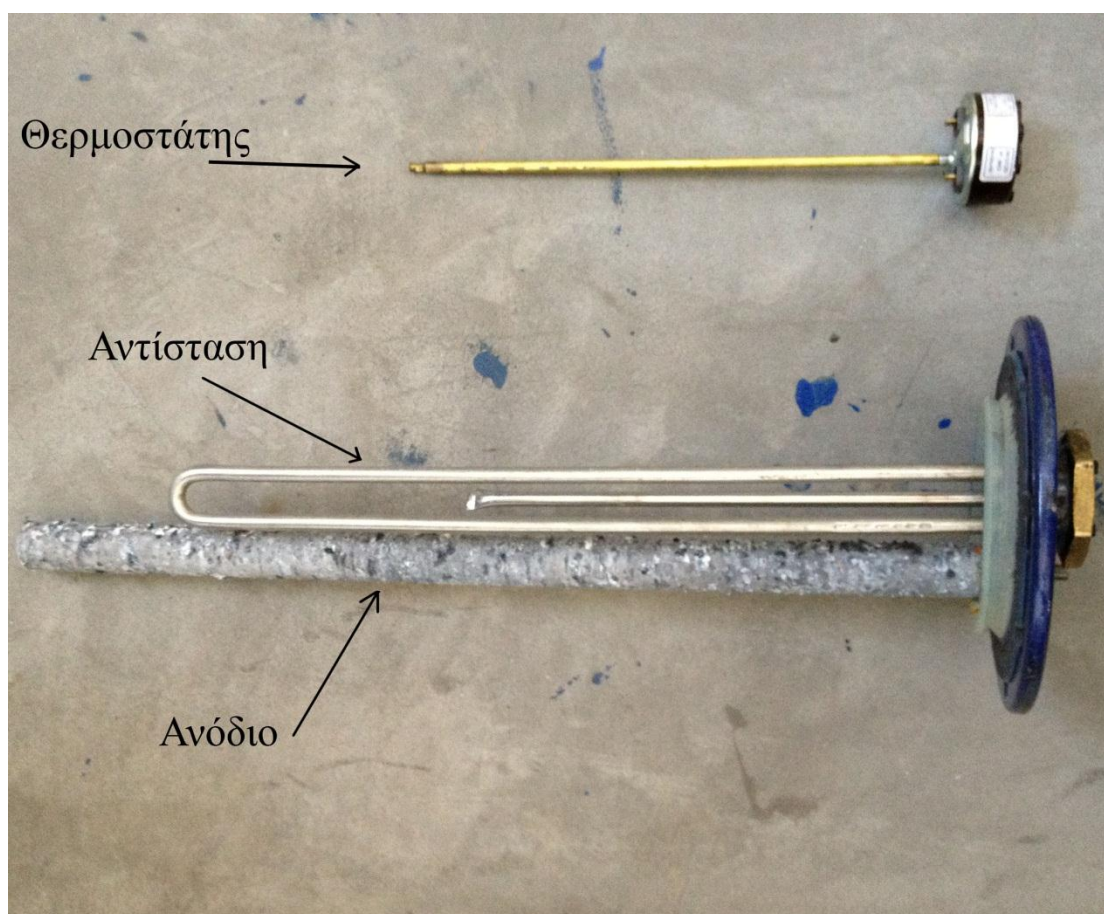


Εικόνα 2.2.7 Στοιχείο Β

AR1 – ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ
AN – ΑΝΟΔΙΟ

Τα στοιχεία αυτά παρουσιάζονται μαζί γιατί συνορεύουν και βρίσκονται και τα δύο συνδεδεμένα στην φλάντζα του μπόιλερ και εκτεθειμένα στο αποθηκευόμενο νερό χρήσης. Η αντίσταση AR1 έχει ονομαστική ισχύ 3000 W και γενικά σε εγκαταστάσεις θερμοσίφωνα χρησιμοποιείται για την θέρμανση του νερού χρήσης σε συνθήκες έλλειψης ακτινοβολίας (συννεφιά ή βράδυ) ή έλλειψης αποθηκευμένου ζεστού νερού χρήσης για μια δεδομένη στιγμή λόγω εκτεταμένης κατανάλωσης. Οι θερμοσίφωνες οι οποίοι διαθέτουν και αντίσταση στον χώρο του μπόιλερ ονομάζονται και συστήματα διπλής ενέργειας και συνεπώς τέτοιο είναι και το σύστημα της εγκατάστασής μας. Κάθε αντίσταση σε εγκατάσταση θέρμανσης νερού συνοδεύεται από θερμοστάτη ο οποίος στην δική μας περίπτωση έχει ρυθμιστεί στους 80 °C.

Το ανόδιο είναι ένα στοιχείο που χρησιμοποιείται για την συγκράτηση των αλάτων του νερού χρήσης διασφαλίζοντας την ποιότητα του νερού εξόδου από τον θερμοσίφωνα και παράλληλα προστατεύοντας τις σωληνώσεις της μονάδας και της οικοδομής από κατακαθίσεις αλάτων. Το ανόδιο είναι μία μεταλλική ράβδος από μαγνήσιο συνήθως έχει 2 εκατοστά διάμετρο και 30 εκατοστά μήκος.



Εικόνα 2.2.8 Στοιχεία AR1 – AN και θερμοστάτης

ST7 – ΘΕΡΜΟΣΤΟΙΧΕΙΟ 7

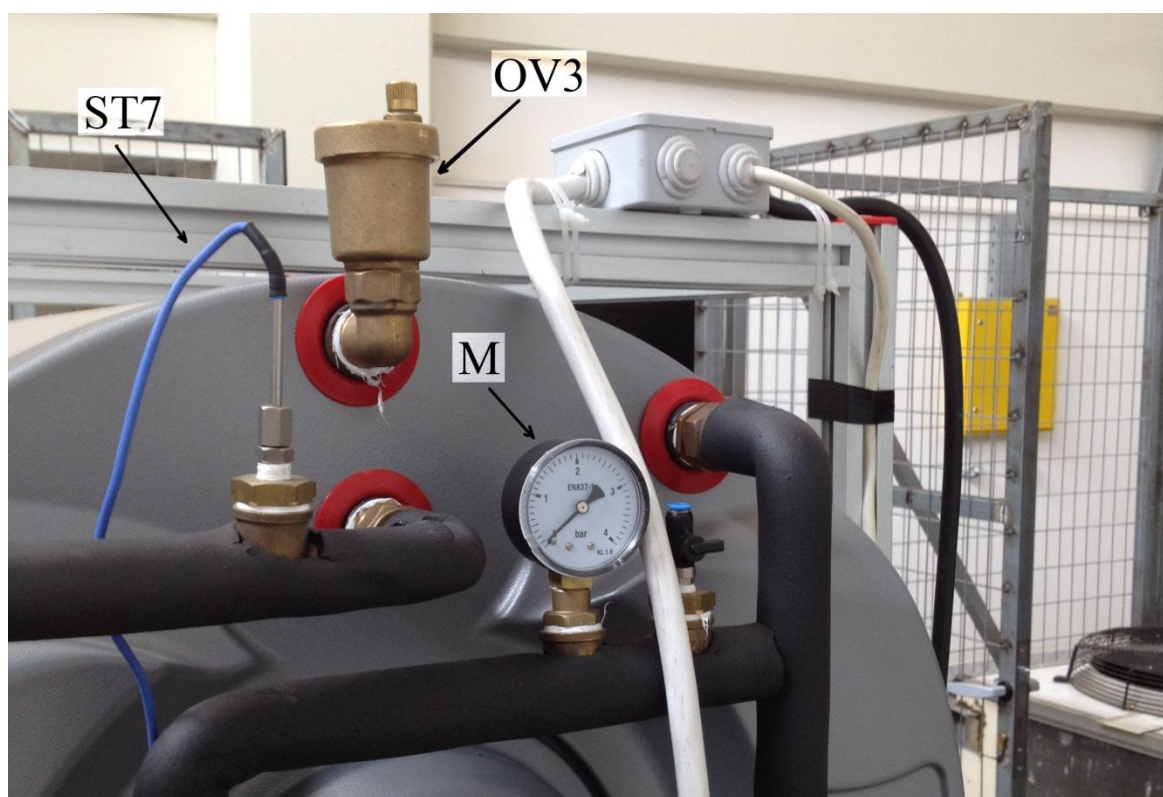
Το θερμοστοιχείο αυτό βρίσκεται στην σωλήνωση της εξόδου του νερού χρήσης που βρίσκεται στο υψηλότερο σημείο του μπόιλερ. Λόγω της ανωστικής ροής μέσα στο μπόιλερ στο σημείο αυτό βρίσκεται το νερό με την υψηλότερη θερμοκρασία το οποίο είναι και καταλληλότερο για κατανάλωση. Στο σημείο εκείνο λοιπόν μετράμε την θερμοκρασία του νερού που την δεδομένη στιγμή καταναλώνεται.

OV3 – ΒΑΛΒΙΔΑ ΥΠΕΡΠΙΕΣΗΣ 3 (OVERPRESSURE VALVE)

Η βαλβίδα αυτή είναι τοποθετημένη στο ανώτερο σημείο του πρωτεύοντος κυκλώματος και είναι υπεύθυνη για την εκτόνωση του υγρού θερμικής συναλλαγής σε περίπτωση υπερθέρμανσης αυτού και συνεπώς αύξησης της πίεσης του. Η βαλβίδα αυτή εκτονώνει στα 10 bar και εκτονώνει συνήθως ατμό.

M – ΜΑΝΟΜΕΤΡΟ

Το στοιχείο αυτό χρησιμοποιείται για την μέτρηση της μανομετρικής πίεσης του υγρού θερμικής συναλλαγής κατά την διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας. Μπορούμε να μελετήσουμε την αύξηση της πίεσης στο υγρό για δεδομένη αύξηση της θερμοκρασίας του εργαζόμενου μέσου. Το συγκεκριμένο μανόμετρο έχει εύρος μέτρησης από 0 μέχρι 4 bar με ακρίβεια 0,1 bar.



Εικόνα 2.2.9 Στοιχεία ST7 – OV3 - M

V3 – Βάνα 3

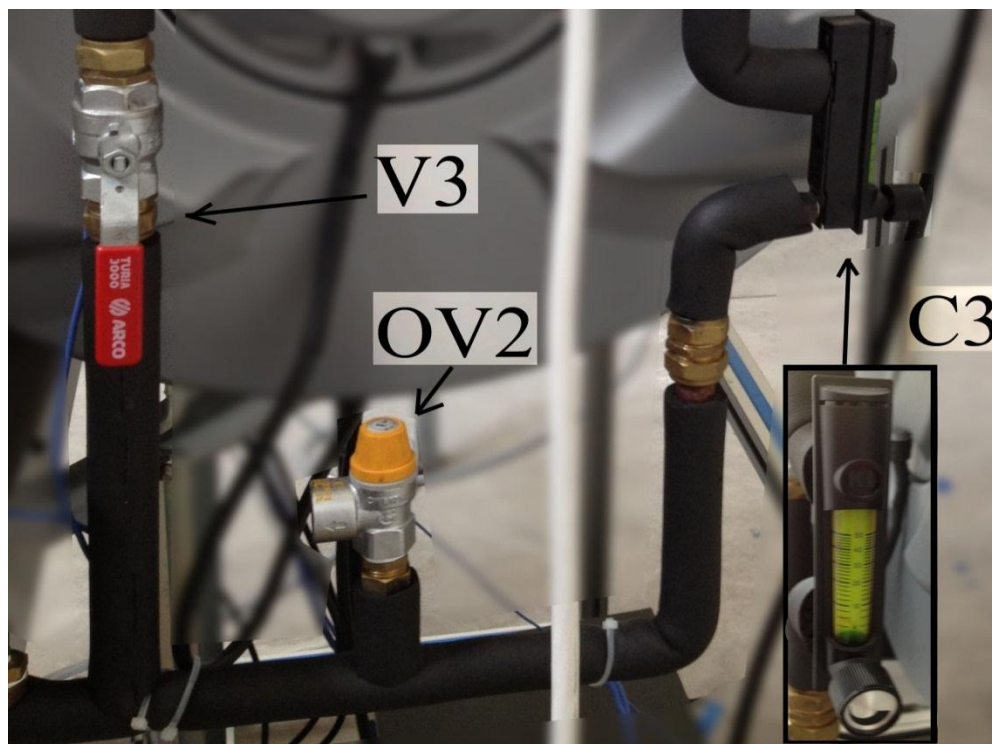
Η χρήση της συγκεκριμένης βάνας είναι απαραίτητη για την αλλαγή λειτουργίας από συνθήκες εξαναγκασμένης ροής σε συνθήκες φυσικής ροής και αντίστροφα. Η βάνα είναι ανοιχτή για χρήση του κυκλοφορητή όπου επιτυγχάνεται μεγάλη παροχή, ενώ κλειστή στέλνει όλη την ποσότητα του ψυκτικού υγρού στον κλάδο με το παροχόμετρο χαμηλής ροής C3.

OV2 – ΒΑΛΒΙΔΑ ΥΠΕΡΠΙΕΣΗΣ 2 (OVERPRESSURE VALVE)

Η βαλβίδα αυτή προορίζεται για την προστασία των απορροφητήρων του συλλέκτη και γενικά του πρωτεύοντος κυκλώματος από πιθανή υπερβολική αύξηση της πίεσης λόγω υπερθέρμανσης του υγρού θερμικής συναλλαγής. Η συγκεκριμένη βαλβίδα είναι μηχανική και εκμεταλλεύεται την ισορροπία πίεσης του υγρού με την πίεση στο διάφραγμα της από αντίστοιχο ελατήριο. Εκτόνωση του υγρού μπορεί να γίνει και με την περιστροφή της βαλβίδας δια χειρός. Η βαλβίδα αυτή εκτονώνει το υγρό του πρωτεύοντος κυκλώματος στα 3 bar. Σε περίπτωση αστοχίας λειτουργίας του δεδομένου στοιχείου το μπόιλερ προστατεύεται και από την βαλβίδα OV3 όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως.

C3 – ΑΝΑΛΟΓΙΚΟ ΠΑΡΟΧΟΜΕΤΡΟ 3

Το συγκεκριμένο παροχόμετρο και εφόσον η V3 είναι κλειστή χρησιμοποιείται για την μέτρηση της μικρής παροχής της λειτουργίας της μονάδας σε φυσική ροή. Είναι τύπου πλωτήρα και για την επίτευξη της μέτρησης την φυσικής ροής η ροή του υγρού μέσα από αυτό επιταχύνεται μέσω συστολής. Έχει εύρος μέτρησης 4-60cc/min. Ωστόσο ύστερα από προσπάθεια λειτουργίας το δεδομένο στοιχείο κρίθηκε ελαττωματικό. Παρουσιάζονται τα τρία προηγούμενα στοιχεία επί της μονάδας.



Εικόνα 2.2.10 Στοιχεία V3 – OV2 – C3

ST1 – ΘΕΡΜΟΣΤΟΙΧΕΙΟ 1

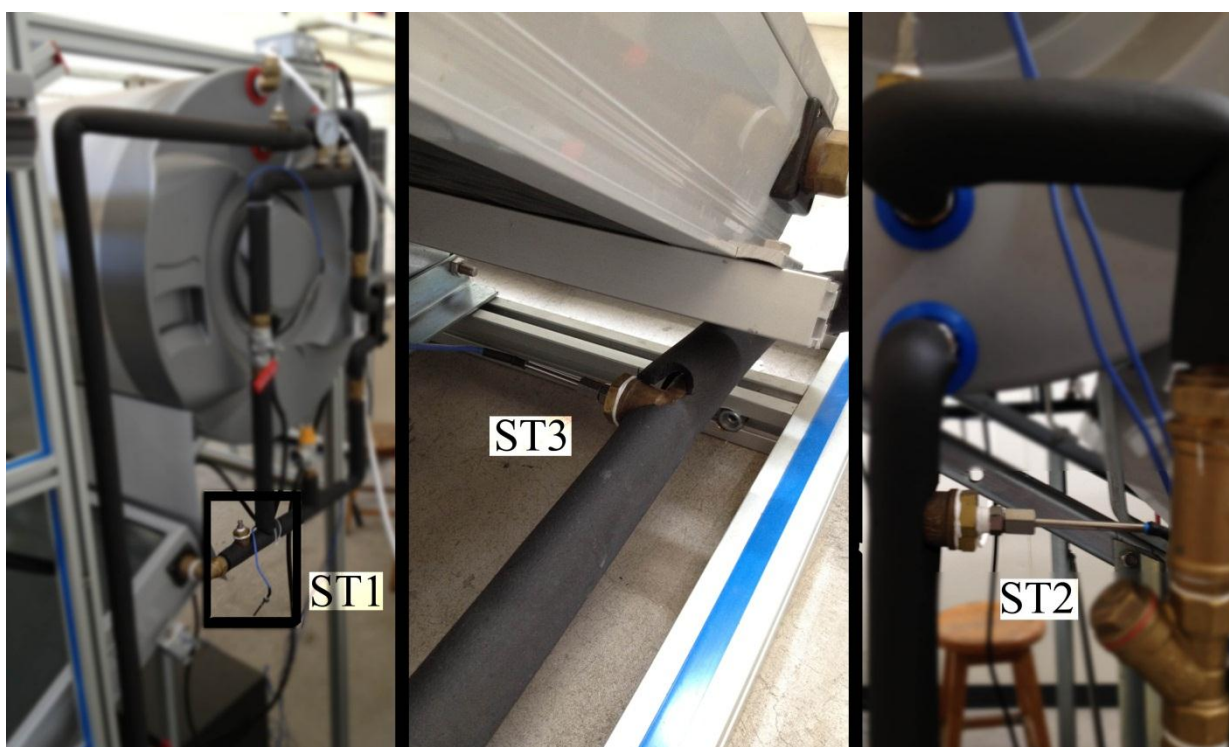
Το δεδομένο θερμοστοιχείο με τα αντίστοιχα τεχνικά χαρακτηριστικά που αναφέραμε προηγουμένως χρησιμοποιείται για την μέτρηση της θερμοκρασίας εξόδου από τον συλλέκτη. Έτσι η θερμοκρασία που διαβάζουμε από το ST1 είναι η T_{fo} και από αυτή παίρνουμε πληροφορίες για την θέρμανση του υγρού θερμικής συναλλαγής από τον συλλέκτη και την μετέπειτα θέρμανση του νερού χρήσης.

ST3 – ΘΕΡΜΟΣΤΟΙΧΕΙΟ 3

Από αυτόν τον αισθητήρα μετράμε την θερμοκρασία εισόδου στον συλλέκτη ή την T_{fi} . Η δεδομένη θερμοκρασία σε σύγκριση με την θερμοκρασία 1 θα μας βοηθήσουν αν εκπονήσουμε αρκετά θερμοδυναμικά αποτελέσματα και να αξιολογήσουμε την μονάδα από πλευράς απόδοσης. Θα λέγαμε πως οι δύο προηγούμενες θερμοκρασίες είναι ύψιστης σημασίας για την μελέτη μας.

ST2 – ΘΕΡΜΟΣΤΟΙΧΕΙΟ 2

Το συγκεκριμένο στοιχείο μετρά την θερμοκρασία εξόδου από τον μανδύα του ψυχρού υγρού. Λόγω του ότι δεν παρεμβάλλεται κάποιο στοιχείο θερμικής συναλλαγής μεταξύ αυτού και του ST3 οι δύο θερμοκρασίες θεωρούνται πρακτικά ίσες. Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα άνω στοιχεία.



Εικόνα 2.2.11 Στοιχεία ST1 – ST3 – ST2

ST4 – ΘΕΡΜΟΣΤΟΙΧΕΙΟ 4

Το συγκεκριμένο θερμοστοιχείο χρησιμοποιείται για την καταγραφή της θερμοκρασίας στην περιοχή των απορροφητήρων. Βρίσκεται τοποθετημένο εντός του καλύμματος του συλλέκτη και το μέτωπο του είναι εκτεθειμένο κοντά σε απορροφητήρα. Ωστόσο κατά την πειραματική διαδικασία οι τιμές του δεδομένου στοιχείου κρίνονται χαμηλές μιας και παρουσιάζεται θερμοκρασία καλύμματος μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του απορροφητήρα κάτι θεωρητικά και πρακτικά άτοπο. Η ερμηνεία αυτού του προβλήματος ύστερα από σχετική εξέταση της εγκατάστασης είναι πως τελικά το συγκεκριμένο θερμοστοιχείο αδυνατεί να έρθει σε επαφή στο μέτωπό του με απορροφητήρα και πως πρακτικά μετράει την θερμοκρασία του αέρα που είναι εγκλωβισμένος εντός του καλύμματος.

ST5 – ΘΕΡΜΟΣΤΟΙΧΕΙΟ 5

Βρίσκεται εκτεθειμένο στον αέρα του περιβάλλοντος του καλύμματος και καταγράφει την T_a . Η χρήση του είναι σημαντική μιας και λόγω των λαμπτήρων πρέπει να καταγράφεται η αυξανόμενη θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

ST10 – ΘΕΡΜΟΣΤΟΙΧΕΙΟ 10

Το συγκεκριμένο στοιχείο είναι υπεύθυνο για την καταγραφή της θερμοκρασίας του καλύμματος του απορροφητήρα και βρίσκεται στην επιφάνεια του καλύμματος στερεωμένο κατάλληλα ώστε το μέτωπό του να έρχεται σε επαφή με το κάλυμμα.

AB1 – ΚΥΚΛΟΦΟΡΗΤΗΣ

Είναι το εξάρτημα που είναι υπεύθυνο για την δημιουργία της εξαναγκασμένης ροής. Πρόκειται για αντλία με πτερωτή και εύρος λειτουργίας από 0 έως 2 l/min. Η μανομετρική ανύψωση πίεσης στο μέτωπό της είναι 0,6 bar. Η ενεργοποίησή της γίνεται για την λειτουργία της μονάδας σε εξαναγκασμένη ροή και ενεργοποιείται μέσω του προγράμματος SCADA.

C2 – ΑΝΑΛΟΓΙΚΟ ΠΑΡΟΧΟΜΕΤΡΟ 2

Το συγκεκριμένο όργανο χρησιμοποιήθηκε για την βαθμονόμηση του στοιχείου SC1 όπως αναφέρεται και παρακάτω στην εργασία. Από το συγκεκριμένο μετρητικό γίνεται και ο έλεγχος για την επίτευξη της επιθυμητής ροής στο πρωτεύον κύκλωμα. Έχει εύρος μέτρησης 0 – 2 l/min και είναι τύπου πλωτήρα.

SC1 – ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΠΑΡΟΧΟΜΕΤΡΟ 1

Το δεδομένο στοιχείο (RS no 257 – 149) είναι υπεύθυνο για την καταγραφή των δεδομένων ροής του υγρού θερμικής συναλλαγής. Η καταγραφή της ροής για κάθε δεδομένη στιγμή στο πρωτεύον κύκλωμα είναι μεγάλης σημασίας μιας και είναι απαραίτητη η αντιστοίχιση της με τα σωστά δεδομένα θερμοκρασιακής διαφοράς την κάθε στιγμή για την εκπόνηση των θερμοδυναμικών υπολογισμών. Για το

δεδομένο στοιχείο καθώς και για το αντίστοιχο SC2 έχουμε τα εξής τεχνικά χαρακτηριστικά λειτουργίας. Τάση παροχής 4,5 έως 16 V DC ελάχιστη δυνατή μέτρηση παροχής 0,25 L/min και μέγιστη 6,5 L/min. Μέγιστη πίεση λειτουργίας 20 bar. Υλικό Acetal Copolymer και θερμοκρασιακό εύρος ασφαλούς λειτουργίας -40°C έως +70°C.

VR1 – ΠΕΡΙΣΤΡΕΦΟΜΕΝΗ ΒΑΝΑ

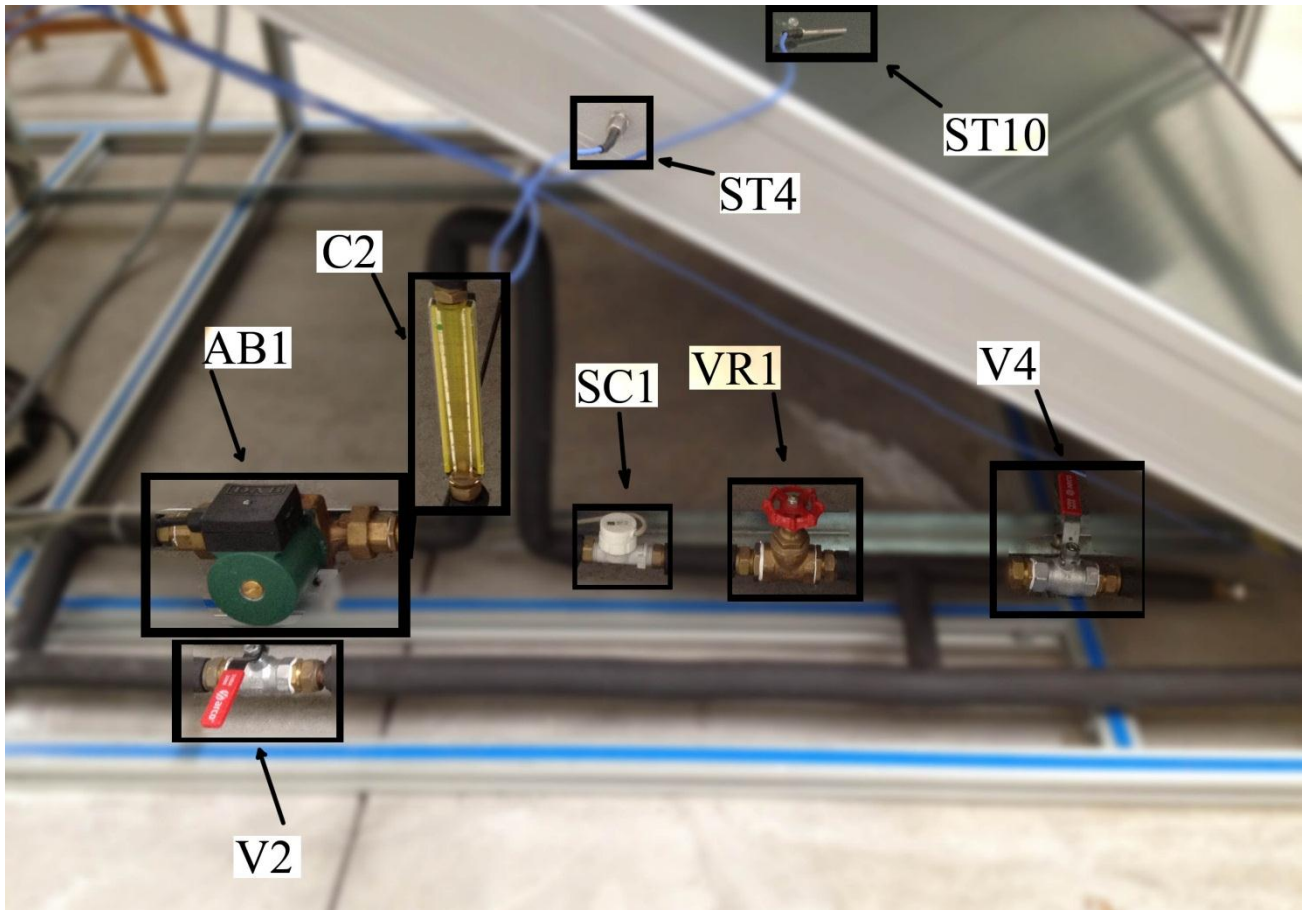
Η συγκεκριμένη βάνα είναι ακριβείας με μικρό βήμα αλλαγής της παροχής ώστε με τον κυκλοφορητή σε λειτουργία και περιστροφή αυτής να επιτυγχάνεται η επιθυμητή ροή. Η ροή όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως ελέγχεται από το αντίστοιχο αναλογικό ροόμετρο πλωτήρα.

V4 – ΒΑΝΑ 4

Η συγκεκριμένη βάνα βρίσκεται στο υψομετρικά χαμηλότερο σημείο του πρωτεύοντος κυκλώματος και είναι σε σειρά συνδεδεμένη σε σημείο εξόδου παροχής. Χρησιμοποιείται για την κένωση του υγρού θερμικής συναλλαγής και κατά την λειτουργία της εγκατάστασης πρέπει να είναι κλειστή.

V2 – ΒΑΝΑ 2

Η βάνα αυτή χρησιμοποιείται για την παράκαμψη των στοιχείων εξαναγκασμένης ροής. Είναι ανοιχτή για λειτουργία σε φυσική ροή (με ταυτόχρονο κλείσιμο της VR1) και κλειστή σε λειτουργία της μονάδας σε εξαναγκασμένη ροή. Παρουσιάζονται τα προηγούμενα στοιχεία.



Εικόνα 2.2.12 Στοιχεία ST10 – ST4 – AB1 – C2 – SC1 – VR1 – V4 – V2

CO – ΜΑΝΔΥΑΣ

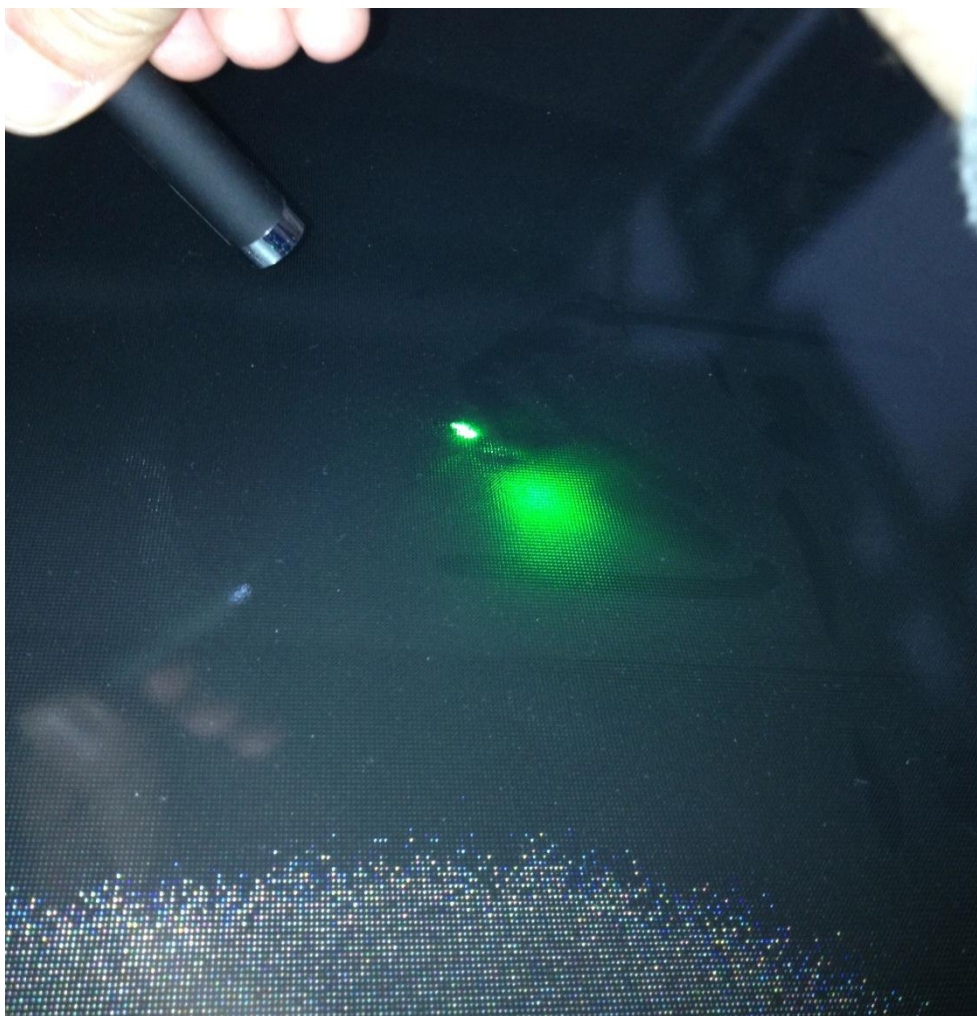
Ο μανδύας είναι η συνιστώσα του εναλλάκτη για την θέρμανση του νερού χρήσης από την οποία διέρχεται το υγρό θερμικής συναλλαγής. Το υγρό αυτό θερμαίνει τα τοιχώματα του μπόιλερ τα οποία με την σειρά τους θερμαίνουν το νερό χρήσης. Το μπόιλερ καθώς και το κέλυφος του μανδύα είναι περιμετρικά και πλευρικά μονωμένα με υαλοβάμβακα πάχους της τάξης των 5 cm.

P – ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ

Ο προμηθευτής παρουσιάζει ελάχιστα δεδομένα για τον συλλέκτη της εγκατάστασης. Η μόνη πληροφορία που δίνει είναι πως πρόκειται για συλλέκτη με σωλήνες χαλκού και δεν αναφέρεται στον αριθμό των καλυμμάτων και των σωληνώσεων. Μετά από εξέταση της μονάδας καταλήξαμε στο ότι πρόκειται για συλλέκτη μονού καλύμματος, ο αριθμός των χαλκοσωλήνων από παρατήρηση υπολογίστηκε στους 10. Οι διαστάσεις του συλλέκτη είναι 1m × 2m. Στάλθηκε αίτημα στον προμηθευτή για αποστολή περισσότερων τεχνικών πληροφοριών. Το αίτημα και η απάντηση παρουσιάζεται σε παράρτημα στην εργασία. Στην απάντηση έγιναν επιπλέον γνωστά τα εξής στοιχεία:

- Διαστάσεις συλλέκτη (mm) : 1905 X 1218 X 107
- Συνολική επιφάνεια : 2,13 m²
- Επιφάνεια παραθύρου : 2,15 m²
- Επιφάνεια απορροφητή : 2,32 m²
- Αριθμός σωλήνων απορροφητή : 10
- Υλικό σωλήνων απορροφητή : Χαλκός
- Διάμετρος σωλήνων απορροφητή : 12 mm

Παρατήρηση του συλλέκτη για εύρεση του αριθμού καλυμμάτων έγινε με χρήση laser όπως στην εικόνα.



Εικόνα 2.2.13 Διαδικασία εξακρίβωσης αριθμού καλυμμάτων συλλέκτη

3. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑΣ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΓΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ [3]

3.1 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΣΤΟ ΣΗΜΕΙΟ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ.

Το πρώτο στάδιο της εγκατάστασης της μονάδας ήταν η τοποθέτησή της στο μόνιμο σημείο στο οποίο θα στεγάζεται και θα γίνονται οι εργαστηριακές ασκήσεις. Ο χώρος που επιλέχτηκε μετρήθηκε για να εξασφαλιστεί το ότι καθ' όλη την διάρκεια της μεταφοράς η εγκατάσταση δεν θα εμποδιστεί από τυχόν αντικείμενα. Η μετακίνηση της μονάδας από τον χώρο αποθήκευσης στον τελικό χώρο έγινε με την χρήση περονοφόρου. Έγιναν οι απαραίτητες ρυθμίσεις στον χώρο, όπως η αφαίρεση της πόρτας εισόδου στον χώρο εγκατάστασης για την είσοδο της μονάδας. Στην μεταφορά συμμετείχαν αρκετά άτομα για την εποπτεία της σωστής μετακίνησης. Ωστόσο παρόλη την προσοχή κατά την μεταφορά, ανακαλύφθηκε κατά την εκπόνηση της εργασίας ολίσθηση του συλλέκτη στο κάτω μέρος του από τον σκελετό συγκράτησης της μονάδας. Για την ακρίβεια ο συλλέκτης ήταν στερεωμένος απ την μια πλευρά μόνο. Με την χρήση πλαστικού σφυριού (ματσόλα) ευθυγραμμίστηκε η αλουμινένια βάση του συλλέκτη και τελικά η στήριξη του συλλέκτη έγινε συμμετρική. Η σωστή τοποθέτηση στο σημείο εκπόνησης καθώς και η ορθή επιλογή του σημείου αυτού ήταν μεγάλης σημασίας αφού ο κατασκευαστής προτείνει να αποφεύγονται οι άσκοπες μετακινήσεις της μονάδας και απαγορεύει την μετακίνηση αυτής όταν έχει γίνει πλήρωση της μονάδας με νερό. Άλλωστε η απαγόρευση αυτή είναι πολύ λογική μιας και το επιπλέον φορτίο βάρους το οποίο καταπονεί την βάση στήριξης είναι 150 kg για το νερό χρήσης και άλλα 10kg για το υγρό θερμικής συναλλαγής. Συνολικά λοιπόν η βάση στήριξης καταπονείται από 160kg επιπλέον. Ο κορμός του σκελετού στήριξης αποτελείται μεν από ατσάλι ωστόσο σε αρκετά σημεία δευτερευούσης στήριξης το δικτύωμα είναι από αλουμίνιο. Έτσι σε μια πιθανή μετακίνηση της μονάδας και έχοντας υπ όψιν ότι στα επιπλέον 160kg θα προστίθεντο και τα δυναμικά φορτία της μετακίνησης καταλαβαίνουμε πως ο κίνδυνος αστοχίας της βάσης είναι μεγάλος και πως η μεταφορά θα ήταν αρκετά επικίνδυνη. Επίσης η ανομοιομορφία του φορτίου του βάρους στην εγκατάσταση είναι ένας ακόμη παράγοντας που αποθαρρύνει την μετακίνηση της μονάδας όσο εκείνη είναι πλήρης φορτίου. Έτσι εξετάζοντας όλα τα προηγούμενα η πρόταση που έγινε για τοποθέτηση ράουλων μετακίνησης στην βάση της μονάδας απορρίφθηκε μιας και η θέση της μονάδας κρίθηκε πως πρέπει να είναι αυστηρά σταθερή στο δάπεδο εγκατάστασης.



Εικόνα 3.1.1 Η μονάδα τοποθετημένη στο σημείο μόνιμης εγκατάστασής της

3.2 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΟΥ Η/Υ ΓΙΑ ΤΗΝ ΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΜΟΝΑΔΑ.

Ο χειρισμός, η εποπτεία, η ενεργοποίηση των επενεργητών, η παρακολούθηση των αισθητήρων και η βαθμονόμηση αυτών δεν μπορούν να γίνουν αυτόνομα από την μονάδα αλλά με την χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή. Οι προϋποθέσεις για την σύνδεση της μονάδας και της μεταφοράς δεδομένων είναι η εγκατάσταση στον εν λόγω Η/Υ της κάρτας PCI η οποία συνοδεύει την μονάδα και η εγκατάσταση στον Η/Υ του κατάλληλου λογισμικού υποστήριξης και χρήσης της μονάδας. Αρχικά τοποθετήθηκε η κάρτα πρωτόκολλου PCI στην αντίστοιχη θύρα της μητρικής κάρτας και στην συνέχεια εγκαταστάθηκε ο αντίστοιχος οδηγός (driver) της PCI κάρτας. Αφού η εγκατάσταση της κάρτας έγινε επιτυχής εγκαταστάθηκε το πρόγραμμα απεικόνισης και ελέγχου (SCADA) για τον έλεγχο της μονάδας. Στο σημείο εκείνο είχαμε έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή έτοιμο να συνδεθεί με τον controller της μονάδας και να ξεκινήσουμε τους πρώτους ελέγχους για την σωστή λειτουργία της εγκατάστασης, του PCI, και των υπολοίπων στοιχείων της μονάδας. Ωστόσο η αβεβαιότητα για την σωστή λειτουργία όλων των στοιχείων ακόμη και της κάρτας PCI υπήρχε ακόμη μιας και έλεγχο μέσω του λογισμικού χωρίς σήματα εισόδου δεν δύναται να κάνουμε. Είναι δόκιμο στο σημείο αυτό να αναφέρουμε πως το πρόγραμμα γραφικού περιβάλλοντος SCADA όταν δεν δέχεται δεδομένα εισόδου παρουσιάζει όλες τις τιμές εισόδου των αισθητήρων του μηδενικές. Βρισκόμενοι λοιπόν σε αυτό το σημείο και θέλοντας να προχωρήσουμε στον έλεγχο λειτουργίας

η επόμενη μας ενέργεια είναι η σύνδεση του controller της μονάδας με το τοπικό δίκτυο ρεύματος.

3.3 ΣΥΝΔΕΣΗ ΤΟΥ CONTROLLER ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΜΕ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΡΕΥΜΑΤΟΣ.

Οι λαμπτήρες εξομοίωσης της ηλιακής ακτινοβολίας, ο κυκλοφορητής του κλειστού κυκλώματος, η αντίσταση του Boiler καθώς και οι αισθητήρες (θερμοστοιχεία και ηλεκτρονικά ρόμετρα) απαιτούν ηλεκτρικό ρεύμα για την λειτουργία τους. Η μονάδα λοιπόν απαιτείται να συνδεθεί με το τοπικό δίκτυο ηλεκτροδότησης. Οι απαιτήσεις σε ηλεκτρική ισχύ είναι 7800 Watt για την χρήση και της αντίστασης και των λαμπτήρων. Ωστόσο το πρόγραμμα απαγορεύει την ταυτόχρονη χρήση της αντίστασης και των λαμπτήρων έτσι καταλήγουμε σε μέγιστη απαίτηση ηλεκτρικού ρεύματος εκείνη των λαμπτήρων ($16 \cdot 300 \text{ Watt}$) 4,8 KW. Αν λάβουμε υπ όψιν και την λειτουργία των περιφερικών για την χρήση του controller και την λειτουργία των αισθητήρων οι απαιτήσεις μας πλησιάζουν τα 5 KW και η τιμή αυτή ανεβαίνει με ένα πολλαπλασιαστική πιθανής επιπλέον χρήσης της μονάδας. Γίνεται λοιπόν σαφές πως λόγω των μεγάλων απαιτήσεων σε ισχύ η μεταφορά του ρεύματος στην μονάδα και η διαχείριση αυτής πρέπει να γίνεται με τριφασικό ρεύμα. Έτσι η προσδοκία μας ο κατασκευαστής να έχει τριφασική υποδοχή στην τροφοδοσία του controller επαληθεύθηκε από τον έλεγχο του αγωγού τροφοδοσίας της μονάδας. Ο αγωγός αποτελείται από 5 πολύκλωνους αγωγούς, τις 3 φάσεις τον ουδέτερο και την γείωση. Ο κατασκευαστής δηλώνει με κατάλληλη ταινία την χρήση του κάθε αγωγού όπως φαίνεται και στο σχήμα.



Εικόνα 3.3.1 Η τροφοδοσία ρεύματος της μονάδας

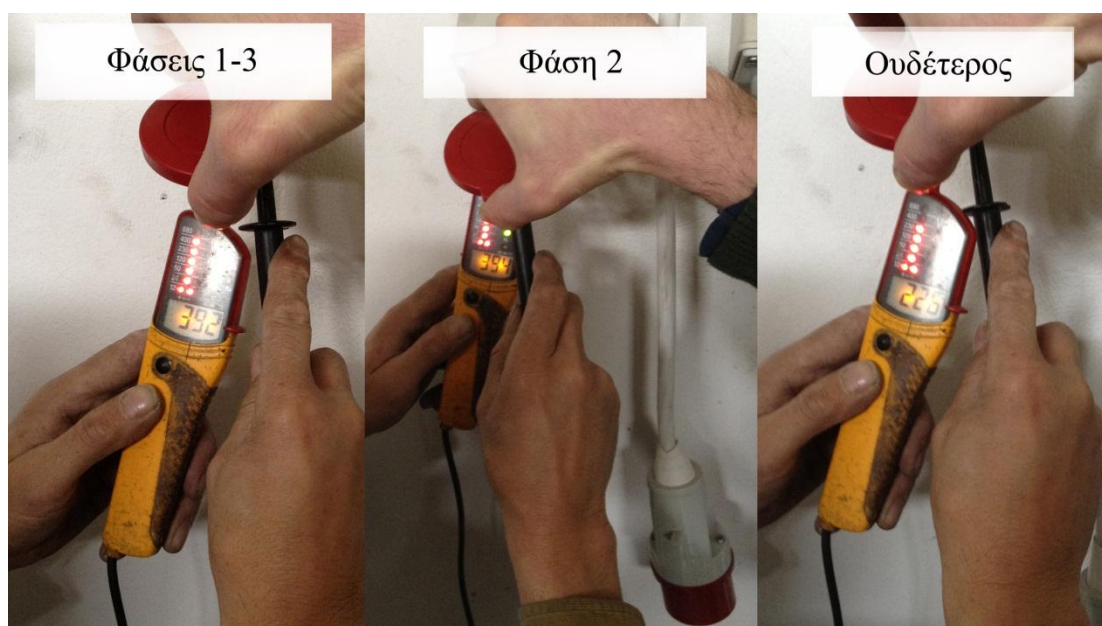
Αφού καταλήξαμε για την φύση του ρεύματος τροφοδοσίας της μονάδος το επόμενο βήμα είναι η μελέτη της σύνδεσης. Αρχικά εξετάστηκε ο χώρος για την

εύρεση έτοιμης υποδοχής πρίζας 3Φ παροχής ρεύματος. Ωστόσο μετά την εξέταση του χώρου έγινε σαφές πως ελεύθερη υποδοχή κοντά στην μονάδα δεν υπήρχε. Κάποιες ήδη υπάρχουσες παροχές ήταν είτε χρησιμοποιούμενες είτε απαγορευτικά μακριά από την μονάδα. Ήταν επιτακτική σε εκείνο το σημείο η δημιουργία νέας υποδοχής. Επιλέχτηκε πίνακας που απέχει από την μονάδα 20 m σε ευθεία και κλήθηκε τεχνικός για την εγκατάσταση της νέας υποδοχής. Η σύνδεση των κλώνων του αγωγού εισόδου της μονάδας με την πρίζα σύνδεσης έγινε με την χρήση 3Φ πολύκλωνου αγωγού (1,5*5) μήκους 30 m των οποίων και προμηθευθήκαμε. Τα επιπλέον 10 m υπολογίστηκαν με βάση της στροφές που έπρεπε να κάνει ο αγωγός ώστε να φτάσει από την παροχή στην κατανάλωση. Συνδέθηκε το ένα άκρο με το καλώδιο εισόδου της μονάδας με την χρήση αδιάβροχου κουτιού.

Για λόγους ασφαλείας το κουτί συνδέθηκε επί της μονάδας στο ψηλότερο σημείο αυτής για να ελαχιστοποιηθεί ο κίνδυνος διαρροής νερού στους αγωγούς. Το άλλο άκρο του αγωγού συνδέθηκε με την πρίζα που κατέληξε στην παροχή. Για λόγους εργονομίας και ασφάλειας ο 3Φ αγωγός τοποθετήθηκε σε ήδη υπάρχον κανάλι για ηλεκτρικούς αγωγούς το οποίο βρισκόταν στον χώρο του εργαστηρίου και ξεκινούσε κοντά στην μονάδα (απόσταση 2m) καταλήγοντας στον πίνακα της παροχής μας. Ο κατασκευαστής σημειώνει πως είναι απαραίτητος ο έλεγχος του ρεύματος τροφοδοσίας με την χρήση πολυμέτρου για να εξακριβωθεί η πραγματική τιμή της τάσης του ρεύματος παροχής. Έτσι προτού η μονάδα συνδεθεί στο ρεύμα έγινε η απαιτούμενη μέτρηση. Τα αποτελέσματα της μέτρησης ήταν:

Φάση 1 : 392 V
Φάση 2 : 394 V
Φάση 3 : 392 V
Ουδέτερος : 226 V

Ως φαίνονται και στην εικόνα.



Εικόνα 3.3.2 Μετρήσεις της τάσης τροφοδοσίας

Οι απαιτήσεις του κατασκευαστή (380V) πληρούνται μιας και η απόκλιση είναι της τάξης του 3% η οποία θεωρείται μη επιβλαβής για την λειτουργία της εγκατάστασης. Επίσης η ένδειξη στο πολύμετρο σε όλες τις μετρήσεις ήταν σταθερή στο χρόνο κάτι που σημαίνει πως το ρεύμα δεν έχει θόρυβο από τυχόν παρεμβολές. Οι μετρήσεις μας έδειξαν πως το ρεύμα είναι αξιόπιστο για χρήση στην μονάδα και επομένως ακολούθησε η σύνδεση της μονάδας στην παροχή. Ενεργοποιήθηκε για πρώτη φορά ο controller τοποθετώντας αρχικά την πρίζα της παροχής στο δίκτυο και στην συνέχεια σηκώνοντας τις ασφάλειες της μονάδας και πατώντας τον διακόπτη ενεργοποίησης. Ο λαμπτήρας λειτουργίας άναψε και συνεπώς η ηλεκτροδότηση της μονάδας κρίθηκε επιτυχής. Ρεύμα ωστόσο χρειάζεται και ο Η/Υ, έτσι χρησιμοποιήθηκε 1Φ καλώδιο για την τροφοδοσία του το οποίο συνδέθηκε σε μια από τις 3 φάσεις από τις ήδη υπάρχουσες συνδέσεις στο κουτί τροφοδοσίας που είχαμε εγκαταστήσει προηγουμένως.

3.4 ΣΥΝΔΕΣΗ ΜΟΝΑΔΑΣ ΜΕ ΤΟΝ Η/Υ ΚΑΙ ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ.

Αφού έχουμε ρεύμα για την λειτουργία τόσο της μονάδας όσο και του Η/Υ δεν μένει παρά να συνεχίσουμε με την σύνδεση και την δοκιμαστική λειτουργία. Το σημείο αυτό είναι αρκετά κρίσιμο αφού η μονάδα έχει μείνει αρκετό διάστημα στην αποθήκευση και εκτός λειτουργίας και η λειτουργία της δεν έχει εξετασθεί ξανά. Σε αυτό το σημείο η γνώση της σωστής λειτουργίας ή όχι της μονάδας θα κρίνει και τα επόμενα βήματα καθώς και τον χρόνο περάτωσης του project. Η Διαδικασία της πρώτης λειτουργίας ξεκίνησε με την σύνδεση του controller με την κάρτα PCI του ηλεκτρονικού υπολογιστή μέσω καλωδίου PCI που συνοδεύει την μονάδα. Στην συνέχεια ακολούθησε η ενεργοποίηση τη μονάδας. Η παρακάτω ακολουθία ενεργειών είναι και εκείνη που θα χρησιμοποιείται και για κάθε ενεργοποίηση της μονάδας από εδώ και στο εξής:

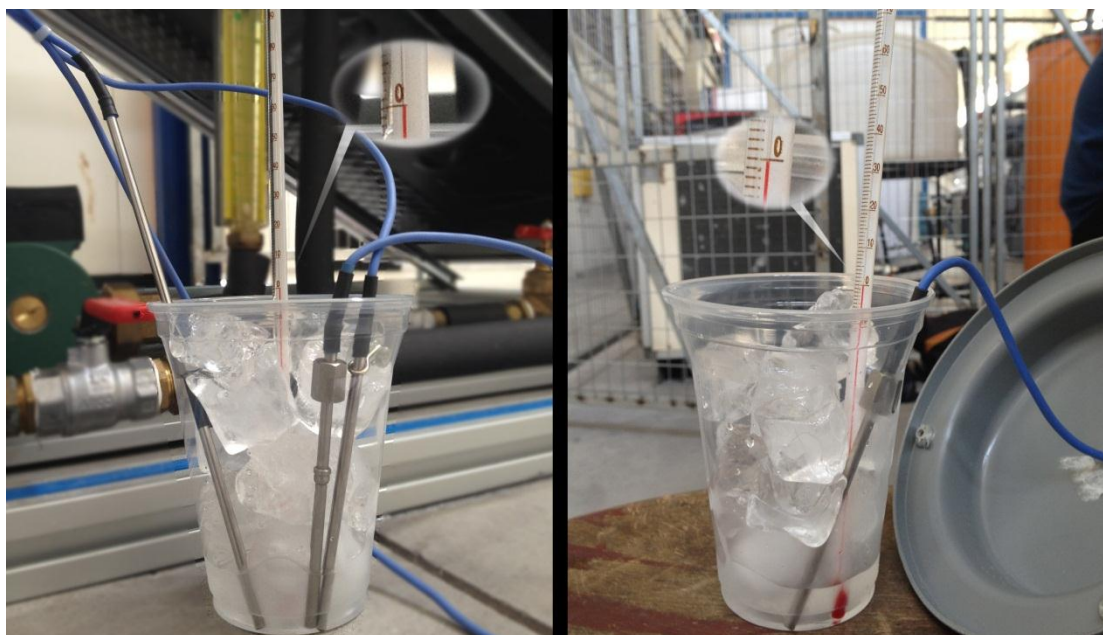
- 1. Σύνδεση της πρίζας τροφοδοσίας στην 3Φ υποδοχή του πίνακα.**
- 2. Σηκώνουμε τις ασφάλειες του controller**
- 3. Ενεργοποίηση του controller με τον διακόπτη ενεργοποίησης (ON/OFF)**
- 4. Ενεργοποίηση Η/Υ.**
- 5. Εκκίνηση του προγράμματος SCADA για τον έλεγχο της μονάδας.**

Μετά τα ακόλουθα βήματα είχαμε την πρώτη επιτυχή λειτουργία, οι αισθητήρες είχαν ενδείξεις, βέβαια όχι λογικές μιας και δεν είχε γίνει ακόμα βαθμονόμηση, και οι επενεργητές (λαμπτήρες, κυκλοφορητής, αντίσταση) είχαν ομαλή λειτουργία.

Να σημειωθεί πως τονίστηκαν οι προηγούμενες ενέργειες για την σειρά με την οποία πρέπει να γίνονται και πως στην πορεία της εργασίας θα προστεθούν και επιπλέον ενέργειες που πρέπει να κάνει ο διαχειριστής της μονάδας ωστόσο η σειρά τους θα παραμείνει αυστηρά ως έχει. Αφού η μονάδα λειτουργεί ομαλά οι ενδείξεις των αισθητήρων και ο έλεγχος των επενεργητών δεν παρουσιάζουν κάποιο πρόβλημα συνεχίζουμε με την βαθμονόμηση των αισθητήρων της μονάδας.

3.5 ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΘΕΡΜΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ.

Η μονάδα είναι εξοπλισμένη με 10 αισθητήρες μέτρησης θερμοκρασίας τύπου θερμοστοιχείων και με 2 ηλεκτρονικά ροόμετρα. Όλοι οι προηγούμενοι αισθητήρες ανάλογα με την διέγερση που δέχονται παράγουν και μια τάση στα άκρα τους. Για την ορθή διεξαγωγή των πειραματικών ασκήσεων πρέπει η τάση αυτή που διαβάζει ο υπολογιστής να αντιστοιχίζεται σε μια τιμή για το ερέθισμα όσο το δυνατόν πιο κοντά στην πραγματική. Για τη παρακάτω ανάλυση κάθε πραγματική τιμή διέγερσης θα έχει τον δείκτη r από το $real$, και η ενδεικνύμενη τον δείκτη i από το $indicated$. Έτσι για ένα ερέθισμα T_r ο αισθητήρας παράγει στα άκρα του μια τάση v η οποία μέσω του controller ενισχύεται σε μια τάση V την οποία διαβάζει ο υπολογιστής και σε αυτήν την τάση αντιστοιχίζει την T_i την οποία και παρουσιάζει. Σκοπός της βαθμονόμησης είναι η διαφορά $T_i - T_r$ να τείνει στο μηδέν για το εύρος των ερεθισμάτων T που μας ενδιαφέρουν. Τα 10 θερμοστοιχεία της μονάδας είναι τοποθετημένα με κοχλίσουνδέσης στεγάνωσης μορφής κατά μήκος και του κλειστού κυκλώματος και του κυκλώματος νερού χρήσης για την εποπτεία των θερμοκρασιών. Έτσι όπως γίνεται κατανοητό για την βαθμονόμηση των θερμοστοιχείων προϋπόθεση είναι να λυθούν οι κοχλίες και να ελευθερωθούν τα μέτωπα των θερμοστοιχείων. Πράγμα και το οποίο έγινε. Επειδή τα περισσότερα θερμοστοιχεία καταλήγουν μέσα στις σωληνώσεις της μονάδας για άμεση επαφή με το ρευστό η διαδικασία αυτή έπρεπε να γίνει προτού πληρωθεί η μονάδα με νερό. Για την βαθμονόμηση των θερμοστοιχείων χρησιμοποιήθηκαν, η θερμοκρασία πάγου ($0^\circ C$), η θερμοκρασία περιβάλλοντος την δεδομένη στιγμή της βαθμονόμησης ($18,4^\circ C$) και η θερμοκρασία βρασμού του νερού ($100^\circ C$). Για τις θερμοκρασίες πάγου και βρασμού χρησιμοποιήθηκε αποσταγμένο νερό. Για την θερμοκρασία πάγου μεταφέρθηκε με θερμός πάγος αποσταγμένου νερού στον χώρο της εγκατάστασης και τοποθετήθηκε σε πλαστικό ποτήρι. Μέσα στο ποτήρι με τον πάγο βυθίστηκαν τα θερμοστοιχεία προς βαθμονόμηση. Όταν μετά από αντίστοιχο χρόνο παρουσιάστηκε διφασικό μείγμα πάγου-νερού μέσα στο ποτήρι αρχίσαμε τις μετρήσεις. Για τον έλεγχο της θερμοκρασίας στο διφασικό μείγμα χρησιμοποιήθηκαν δύο πρότυπα θερμόμετρα, ένα υγρού διαστολής και ένα ηλεκτρονικό. Διαπιστώσαμε με τον έλεγχο από τα πρότυπα θερμόμετρα πως όντως η θερμοκρασία είναι η επιθυμητή και αρχίσαμε τις μετρήσεις. Η μέτρηση έγινε και για τα 10 θερμοστοιχεία όπως στην εικόνα.



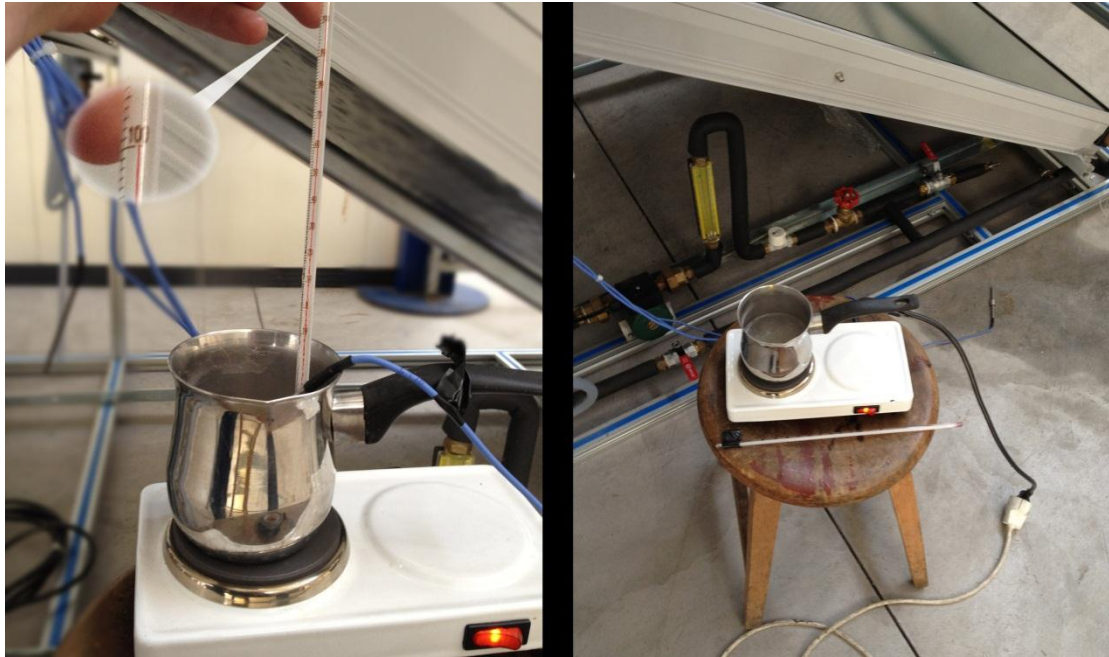
Εικόνα 3.5.1 Διαδικασία βαθμονόμησης στη θερμοκρασία πάγου

Για κάθε θερμοστοιχείο γνωρίζοντας πως η θερμοκρασία στο μέτωπό του είναι 0°C διαβάζαμε μια τάση από το πρόγραμμα SCADA στην οθόνη του ηλεκτρονικού υπολογιστή. Σημειώνουμε λοιπόν δίπλα από το όνομα του κάθε θερμοστοιχείου την τάση που διαβάζουμε για το συγκεκριμένο ερέθισμα και έχουμε τον ακόλουθο πίνακα μετρήσεων.

Πίνακας 3.5.1 Τάση εξόδου των θερμοστοιχείων για θερμοκρασία 0°C .

Θερμ/χείο	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
Τάση (V)	0,022	0,0128	0,018	0,023	0,037	0,029	0,022	0,017	-	0,0188

Για την θερμοκρασία βρασμού εργαζόμαστε όπως και προηγουμένως μόνο που τώρα οι μετρήσεις γίνονται σε αποσταγμένο νερό που βράζει. Χρησιμοποιούμε για τις μετρήσεις αυτές ηλεκτρικό μάτι το οποίο και συνδέουμε σε πηγή ρεύματος κοντά στην μονάδα. Τα γειτονικά θερμοστοιχεία βυθίζονται κατά ομάδες σε βραστήρα ο οποίος βρίσκεται πάνω στο μάτι και τα υπόλοιπα θερμοστοιχεία τα οποία δεν γειτονεύουν με άλλα βυθίζονται μόνα τους. Ενεργοποιούμε το μάτι και περιμένουμε να συμβεί βρασμός. Κατά την διάρκεια της θέρμανσης του νερού διακρίνουμε από κάποια στιγμή και μετά φυσαλίδες ωστόσο δεν έχουμε φτάσει ακόμα στην κατάσταση κορεσμού. Αυτό συμβαίνει την στιγμή που η δημιουργία φυσαλίδων ατμού γίνεται με τον πιο βίαιο ρυθμό και όταν τα πρότυπα θερμόμετρα σταθεροποιούνται στους 100°C . Εκείνη η στιγμή είναι κατάλληλη για να θεωρήσουμε το θερμοκρασιακό ερέθισμα δόκιμο για τις απαιτήσεις μας και τότε ξεκινάμε τις μετρήσεις. Η διάταξη βρασμού και ελέγχου της θερμοκρασίας διαμορφώθηκε όπως στην εικόνα.



Εικόνα 3.5.2 Διαδικασία βαθμονόμησης στη θερμοκρασία βρασμού

Ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία όπως και προηγουμένως για την οποία σημειώσαμε δίπλα στο όνομα κάθε θερμοστοιχείου την τάση που διαβάσαμε στο πρόγραμμα SCADA από την οθόνη του ηλεκτρονικού υπολογιστή, η διαδικασία αυτή επαναλήφθηκε και για τα 10 θερμοστοιχεία. Οι μετρήσεις που πήραμε για τους 100° C παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 3.5.2 Τάση εξόδου των θερμοστοιχείων για θερμοκρασία 100° C.

Θερμ/είο	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
Τάση (V)	1,072	1,03	1,065	1,08	1,07	1,063	1,072	1,034	-	1,08

Ο κατασκευαστής σημειώνει πως η συμπεριφορά των θερμοστοιχείων θεωρείται γραμμική και επομένως συμπεραίνουμε πως δύο ζεύγη τιμών επαρκούν για την βαθμονόμηση των στοιχείων. Σε αυτό το σημείο έχουμε δύο ζεύγη θερμοκρασίας-τάσης για κάθε θερμοστοιχείο, δεδομένα αρκετά για την βαθμονόμηση των θερμοστοιχείων μας. Ωστόσο έχοντας όσο το δυνατόν περισσότερα ζεύγη και με την προϋπόθεση γραμμικής συμπεριφοράς των αισθητήρων μπορούμε να καταλήξουμε σε μια ευθεία συμπεριφοράς (T-V) πολύ πιο χαρακτηριστική για το εύρος της λειτουργίας μας και όπου η διαφορά που προηγουμένως ορίσαμε $T_i - T_r$ θα είναι ακόμα μικρότερη συνολικά για το εύρος τιμών που μας ενδιαφέρει. Έτσι προκύπτει η ανάγκη για την μέτρηση ενός ακόμα ζεύγους τιμών για κάθε θερμοστοιχείο. Ένα σενάριο θα ήταν να χρησιμοποιήσουμε τον βραστήρα για διάφορες θερμοκρασίες (μικρότερες του βρασμού) όσο τον θερμαίνουμε και έτσι να έχουμε αρκετά ζεύγη. Ωστόσο κάθε μετρητικό όργανο έχει έναν χρόνο απόκρισης, έστω ΔX του θερμοστοιχείου. Επίσης κατά την θέρμανση του νερού το νερό αυξάνει θερμοκρασία με έναν ρυθμό $\Delta T / \Delta t$. Έτσι μια στιγμή t όπου θα γίνεται η μέτρηση εμείς θα διαβάζουμε από τον υπολογιστή μια τάση V για τον χρόνο $t - \Delta X$ ενώ από το πρότυπο θερμόμετρο που και αυτό έχει μια απόκριση (ΔY) μια ένδειξη για χρόνο $t - \Delta Y$. Τελικά θα έχουμε αντιστοιχήσει μια τιμή ερεθίσματος με μια τιμή

τάσης που δεν αναφέρονται στην ίδια χρονική στιγμή και εφόσον το ερέθισμα μας είναι δυναμικό (μεταβάλλεται με τον χρόνο) οι τιμές αυτές θα διαφέρουν. Θερμοκρασία για την οποία θα αναφέρεται το θερμοστοιχείο: $T_0 + (\Delta T / \Delta t) * (t - \Delta X) \neq$ θερμοκρασίας που αναφέρεται το πρότυπο θερμόμετρο $T_0 + (\Delta T / \Delta t) * (t - \Delta Y)$. Επομένως η βαθμονόμηση με τον τρόπο αυτό θα είναι λανθασμένη και η μεθοδολογία των πολλαπλών μετρήσεων κατά την διάρκεια της θέρμανσης του νερού απορρίπτεται. Οι θερμοκρασίες βρασμού και πάγου που χρησιμοποιήσαμε είναι σταθερές με τον χρόνο και επομένως δεν έχουμε αυτό το πρόβλημα. Έτσι επιλέγουμε μια ακόμη θερμοκρασία η οποία παραμένει αμετάβλητη με τον χρόνο και αυτή είναι η θερμοκρασία περιβάλλοντος του εργαστηρίου κατά την διάρκεια της βαθμονόμησης.

Για τον χρόνο της δεδομένης βαθμονόμησης η θερμοκρασία του περιβάλλοντος χώρου της εγκατάστασης είναι πρακτικά σταθερή και επομένως δεν αντιμετωπίζουμε το προηγούμενο πρόβλημα. Πράγμα το οποίο ελέγχουμε και με το ψηφιακό πρότυπο θερμόμετρο. Κατά την διαδικασία αυτή όλα τα θερμοστοιχεία έχουν λυθεί απ τις κοχλιοσυνδέσεις της εγκατάστασης και βρίσκονται εκτεθειμένα στον αέρα του χώρου. Έλεγχος γίνεται επίσης δίπλα σε κάθε θερμοστοιχείο για την εξακρίβωση της τοπικής θερμοκρασίας του αέρα και διαπιστώνουμε για όλους τους αισθητήρες την ίδια τοπική θερμοκρασία αέρα. Διαβάζουμε από το πρόγραμμα SCADA στην οθόνη τις τιμές της τάσης για την θερμοκρασία των 18,4° C.

Έτσι έχουμε τον ακόλουθο πίνακα μετρήσεων.

Πίνακας 3.5.3 Τάση εξόδου των θερμοστοιχείων για θερμοκρασία 18,4° C.

Θερ/χείο	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
Τάση (V)	0,22	0,2	0,2	0,217	0,216	0,213	0,22	0,198	-	0,21

Έχοντας πλέον 3 ζεύγη τιμών για κάθε θερμοστοιχείο μπορούμε να προχωρήσουμε στην εύρεση της χαρακτηριστικής V-T από την οποία θα γίνεται η αντιστοίχιση τάσης – θερμοκρασιακής ένδειξης. Για την εύρεση της χαρακτηριστικής ευθείας μέσω των 3 σημείων θα χρησιμοποιήσουμε την μέθοδο των ελάχιστων τετραγώνων. Παρατηρούμε ότι και στις τρεις θερμοκρασίες βαθμονόμησης για τον αισθητήρα υπ αριθμόν 9 δεν σημειώνεται τάση. Αυτό συμβαίνει διότι παρατηρήθηκε αδυναμία μέτρησης από τον συγκεκριμένο αισθητήρα. Σε έλεγχο που έγινε για την εύρεση της αιτίας του προβλήματος συνδέθηκε άλλος αισθητήρας στην θέση εισόδου υπ αριθμόν 9 του controller και έγινε δοκιμή για μέτρηση η οποία εκ νέου ήταν προβληματική. Το συμπέρασμα ήταν πως η αδυναμία μέτρησης δεν οφείλεται στο θερμοστοιχείο 9 αλλά σε ηλεκτρονική αστοχία της εισόδου 9 του Controller. Στο χρονικό σημείο εύρεσης του προβλήματος έπρεπε να γίνει αξιολόγηση του προβλήματος και της επιρροής του στην ομαλή διεξαγωγή των εργαστηριακών μετρήσεων. Η είσοδος αναλογικών δεδομένων υπ αριθμόν 9 επηρεάζει την λειτουργία του θερμοστοιχείου T9 το οποίο χρησιμοποιείται για την μέτρηση της τοπικής θερμοκρασίας του καλύμματος του συλλέκτη. Ωστόσο το ίδιο καθήκον αναλαμβάνει και ο αισθητήρας υπ αριθμόν 10 ο οποίος μετράει θερμοκρασία καλύμματος σε διαφορετικό σημείο. Χρησιμοποιώντας λοιπόν την είσοδο δεδομένων 10 του controller και το θερμοστοιχείο νούμερο 10 μετρήσαμε την θερμοκρασία στην περιοχή που βρίσκεται ο T9 και στην περιοχή που βρίσκεται κανονικά ο T10 κατά την διάρκεια ενός δοκιμαστικού πειράματος για αυτόν τον

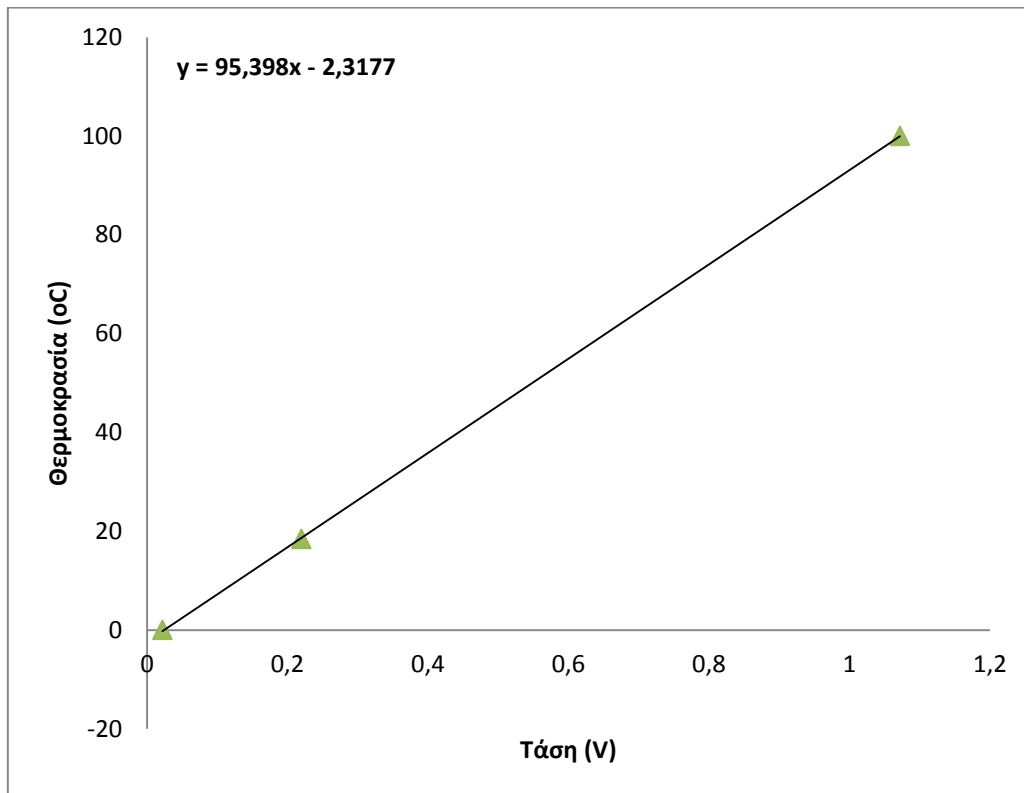
σκοπό. Τα αποτελέσματα δεν διέφεραν καθόλου και επομένως η μέση τιμή από τις δύο μετρήσεις θα ήταν η ίδια η μέτρηση του αισθητήρα T10. Συμπέρασμα είναι πως η αδυναμία λειτουργίας του αισθητήρα 9 δεν επηρεάζει καθόλου την πορεία του πειράματος και συνεπώς συνεχίζουμε από εδώ και στο εξής χωρίς να αναφερόμαστε καθόλου στον αισθητήρα T9.

Σε αυτό το σημείο θα χρησιμοποιήσουμε τα δεδομένα τα οποία συλλέξαμε για την δημιουργία των χαρακτηριστικών κάθε θερμοστοιχείου απ όπου θα προκύψουν και οι συντελεστές της ευθείας τους οποίους και θα δώσουμε στο πρόγραμμα SCADA και μέσω των οποίων θα υπολογίζει τις τιμές της θερμοκρασίας. Το πρόγραμμα SCADA περιλαμβάνει κώδικα για την δημιουργία των χαρακτηριστικών με την μέθοδο των ελάχιστων τετραγώνων. Στην συνέχεια αφού δοθούν τα ζεύγη το πρόγραμμα παρουσιάζει 3 τιμές, τον συντελεστή α της ευθείας (slope), την σταθερά β (intercept) και τον παράγον απόκλισης r . Ο παράγον απόκλισης αποτελεί μέτρο της ταύτισης των σημείων μας με την παραγόμενη ευθεία. Για $r=1$ τα σημεία μας ταυτίζονται με την ευθεία και θέλουμε να βρίσκεται όσο το δυνατόν πιο κοντά στην τιμή 1. Εμείς πέραν της χρήσης του κώδικα επαληθεύουμε και παρουσιάζουμε τις χαρακτηριστικές σε αρχείο EXCEL, όλες οι τιμές ταυτίζονται και με τους δύο τρόπους.

Ακολουθούν τα δεδομένα και οι χαρακτηριστικές της βαθμονόμησης για κάθε θερμοστοιχείο:

Πίνακας 3.5.4 Θερμοκρασία - Τάση εξόδου του θερμοστοιχείου T1

Θερμοκρασία (ο C)	0	18,4	100
T1 Τάση (V)	0,022	0,22	1,072



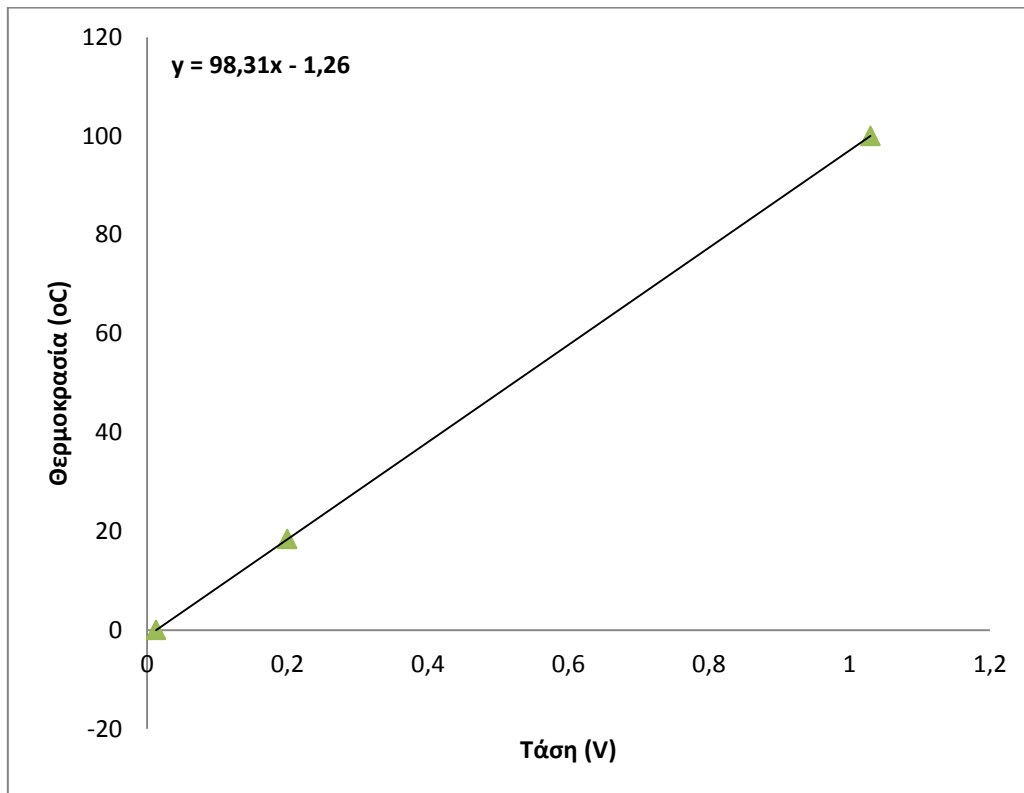
Διάγραμμα 3.5.1 Χαρακτηριστική του θερμοστοιχείου T1

Πίνακας 3.5.5 Συντελεστές α,β και r του θερμοστοιχείου T1

α	95,3982
β	-2,31774
r	0,99989

Πίνακας 3.5.6 Θερμοκρασία - Τάση εξόδου του θερμοστοιχείου T2

Θερμοκρασία (ο C)	0	18,4	100
T2 Τάση (V)	0,0128	0,2	1,03



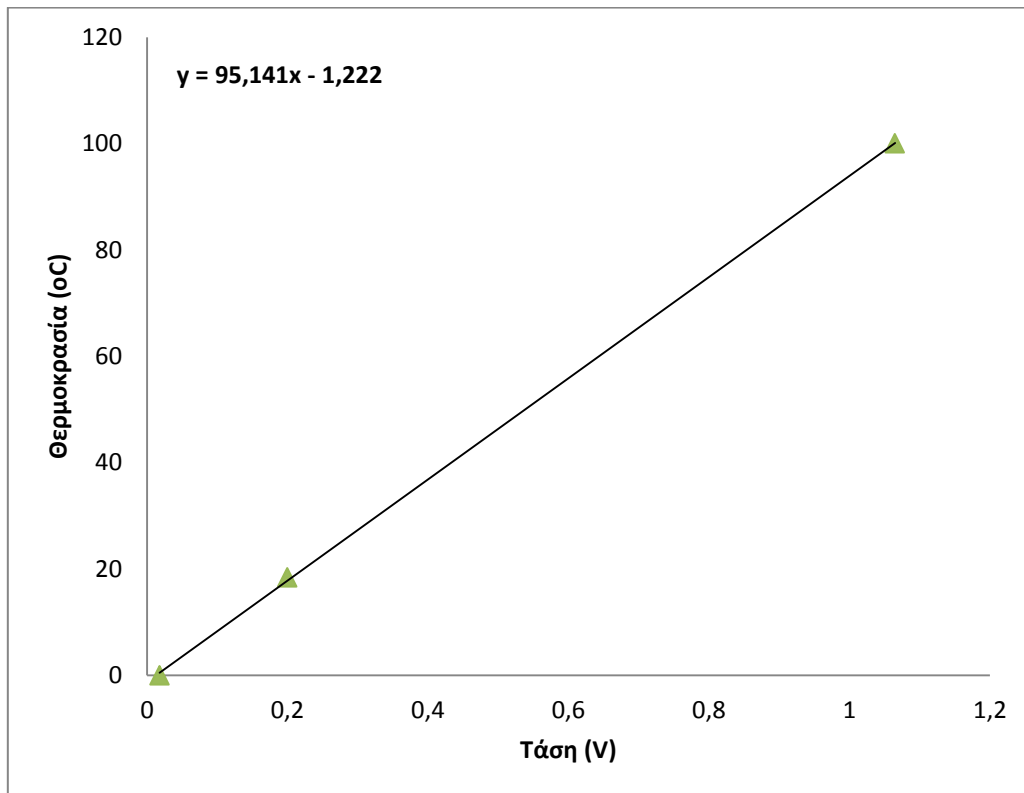
Διάγραμμα 3.5.2 Χαρακτηριστική του θερμοστοιχείου T2

Πίνακας 3.5.7 Συντελεστές α,β και r του θερμοστοιχείου T2

α	98,3103
β	-1,26003
r	1

Πίνακας 3.5.8 Θερμοκρασία - Τάση εξόδου του θερμοστοιχείου T3

Θερμοκρασία (ο C)		0	18,4	100
T3	Τάση (V)	0,018	0,2	1,065



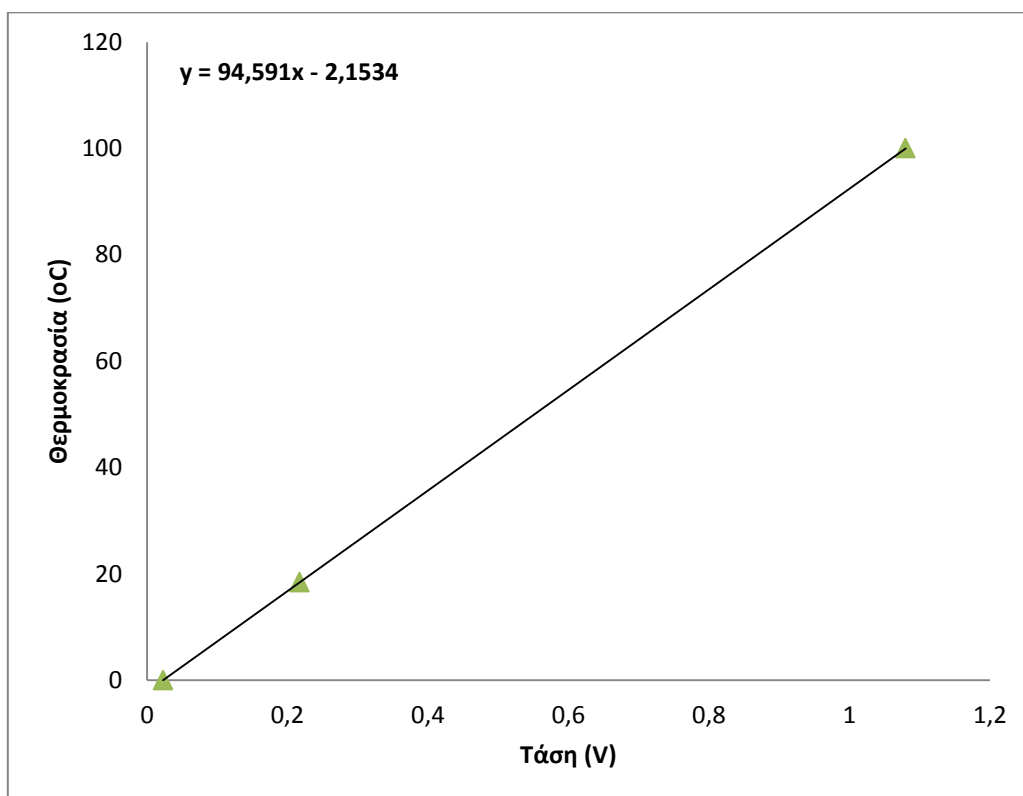
Διάγραμμα 3.5.3 Χαρακτηριστική του θερμοστοιχείου T3

Πίνακας 3.5.9 Συντελεστές α , β και r του θερμοστοιχείου T3

α	95,141
β	-1,22198
r	0,999947

Πίνακας 3.5.10 Θερμοκρασία - Τάση εξόδου του θερμοστοιχείου T4

Θερμοκρασία (ο C)	0	18,4	100
T4 Τάση (V)	0,023	0,217	1,08



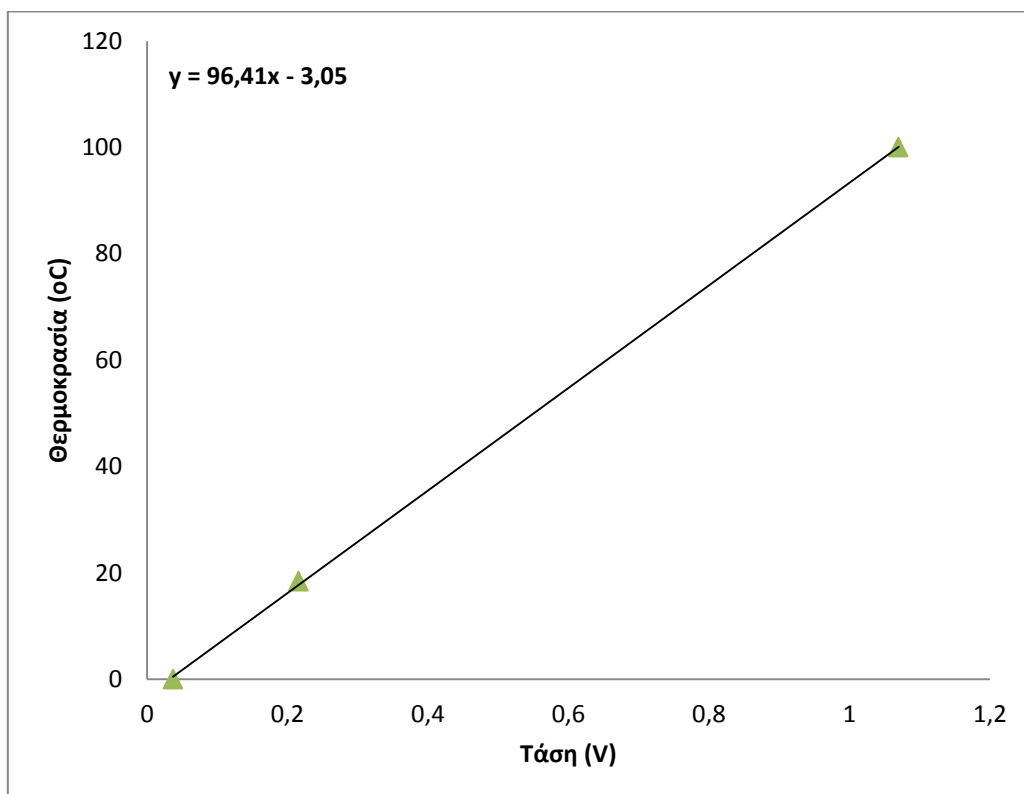
Διάγραμμα 3.5.4 Χαρακτηριστική του θερμοστοιχείου T4

Πίνακας 3.5.11 Συντελεστές α , β και r του θερμοστοιχείου T4

α	94,5911
β	-2,15343
r	1

Πίνακας 3.5.12 Θερμοκρασία - Τάση εξόδου του θερμοστοιχείου T5

θερμοκρασία (ο C)	0	18,4	100
T5 Τάση (V)	0,037	0,216	1,07



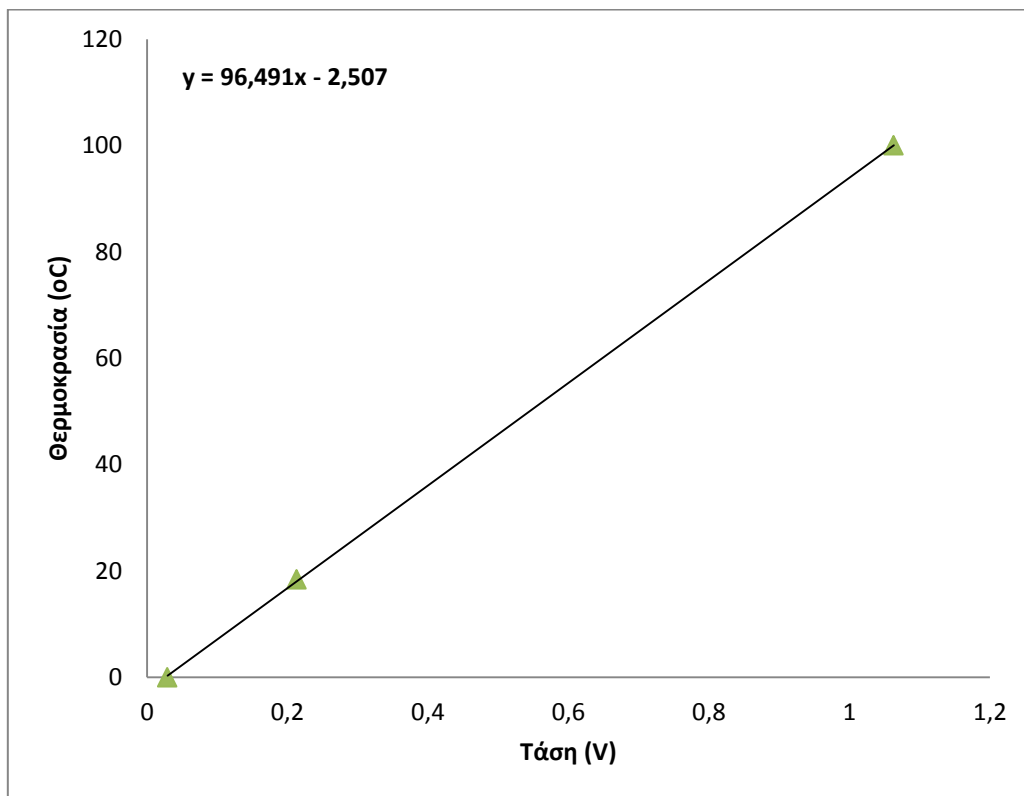
Διάγραμμα 3.5.5 Χαρακτηριστική του θερμοστοιχείου T5

Πίνακας 3.5.13 Συντελεστές α , β και r του θερμοστοιχείου T5

α	96,4097
β	-3,05003
r	0,999941

Πίνακας 3.5.14 Θερμοκρασία - Τάση εξόδου του θερμοστοιχείου T6

Θερμοκρασία (ο C)	0	18,4	100
T6 Τάση (V)	0,029	0,213	1,063



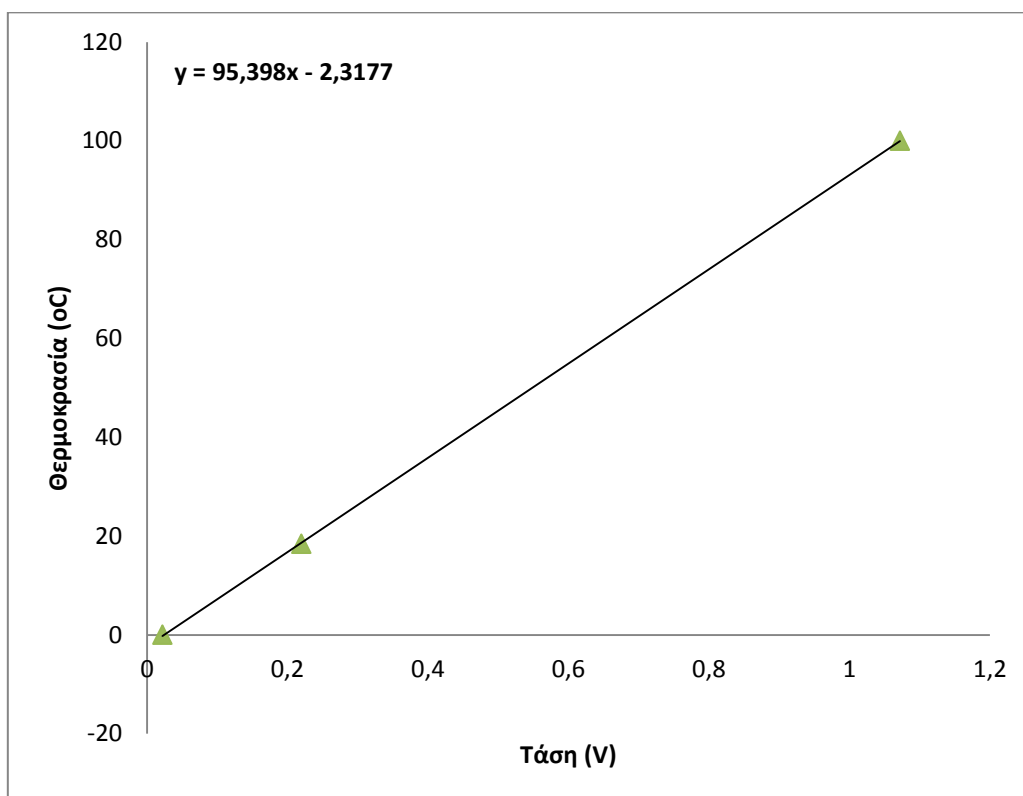
Διάγραμμα 3.5.6 Χαρακτηριστική του θερμοστοιχείου T6

Πίνακας 3.5.15 Συντελεστές α , β και r του θερμοστοιχείου T6

α	96,4911
β	-2,50695
r	0,999981

Πίνακας 3.5.16 Θερμοκρασία - Τάση εξόδου του θερμοστοιχείου T7

Θερμοκρασία (ο C)	0	18,4	100
T7 Τάση (V)	0,022	0,22	1,072



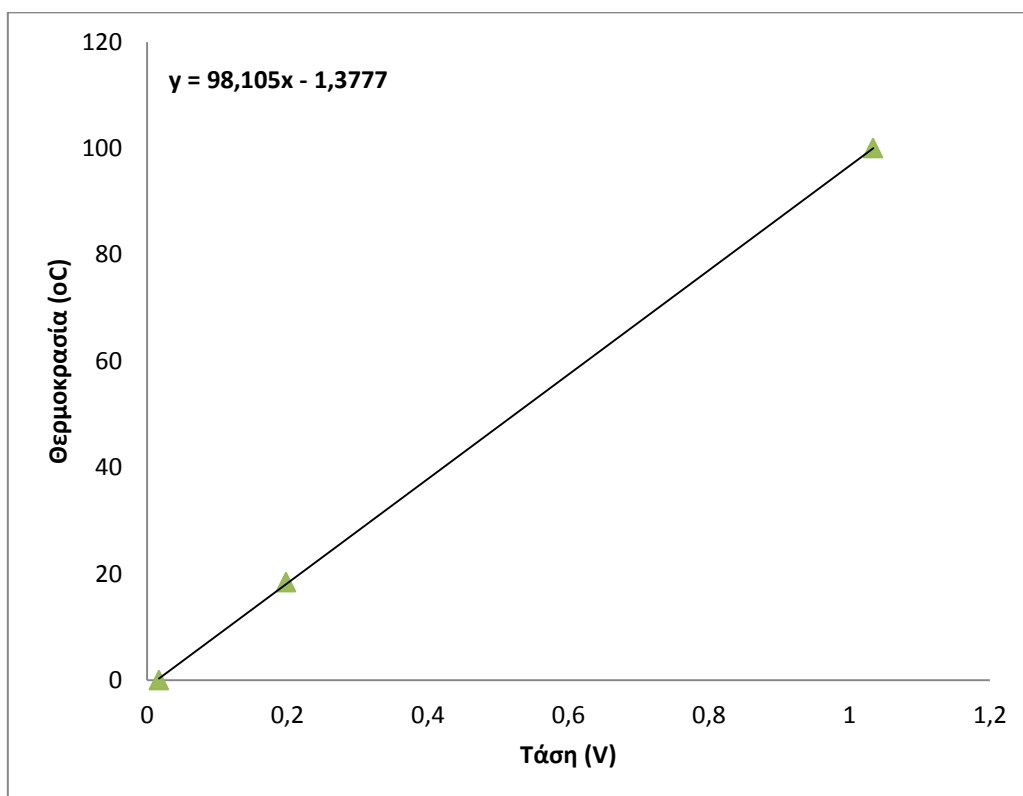
Διάγραμμα 3.5.7 Χαρακτηριστική του θερμοστοιχείου T7

Πίνακας 3.5.17 Συντελεστές α , β και r του θερμοστοιχείου T7

α	95,3982
β	-2,31774
r	0,999989

Πίνακας 3.5.18 Θερμοκρασία - Τάση εξόδου του θερμοστοιχείου T8

Θερμοκρασία (ο C)	0	18,4	100
T8 Τάση (V)	0,017	0,198	1,034



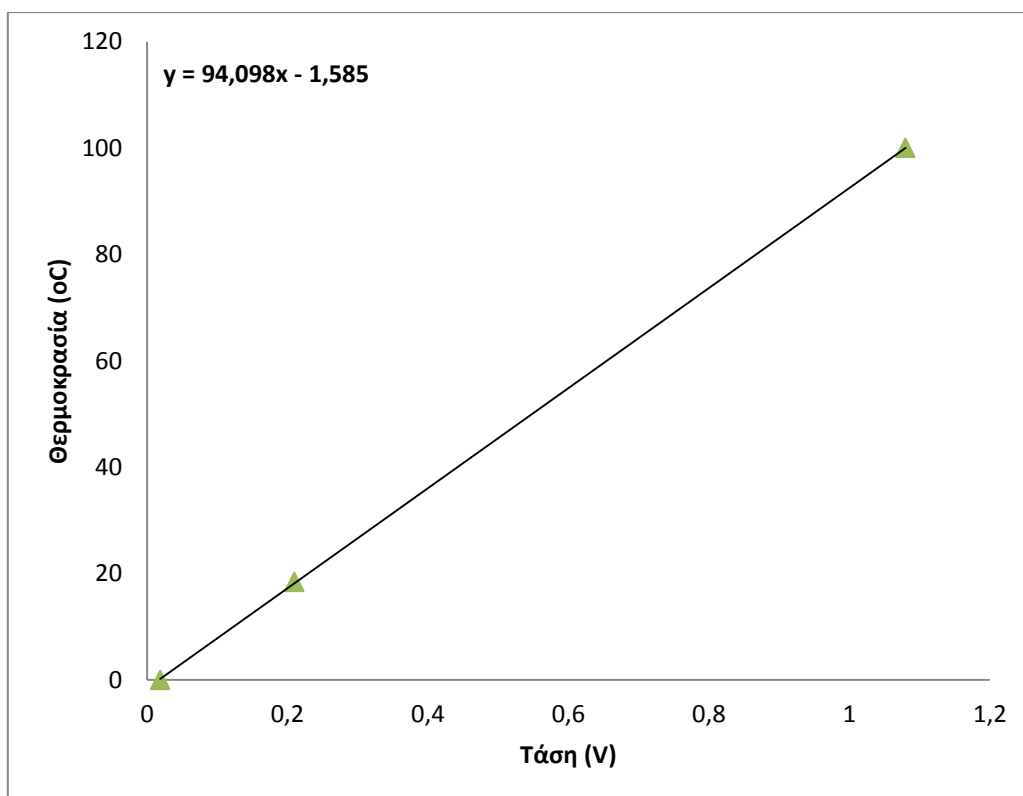
Διάγραμμα 3.5.8 Χαρακτηριστική του θερμοστοιχείου T8

Πίνακας 3.5.19 Συντελεστές α , β και r του θερμοστοιχείου T8

α	98,1049
β	-1,37768
r	0,999981

Πίνακας 3.5.20 Θερμοκρασία - Τάση εξόδου του θερμοστοιχείου T10

Θερμοκρασία (ο C)		0	18,4	100
T10	Τάση (V)	0,0188	0,21	1,08

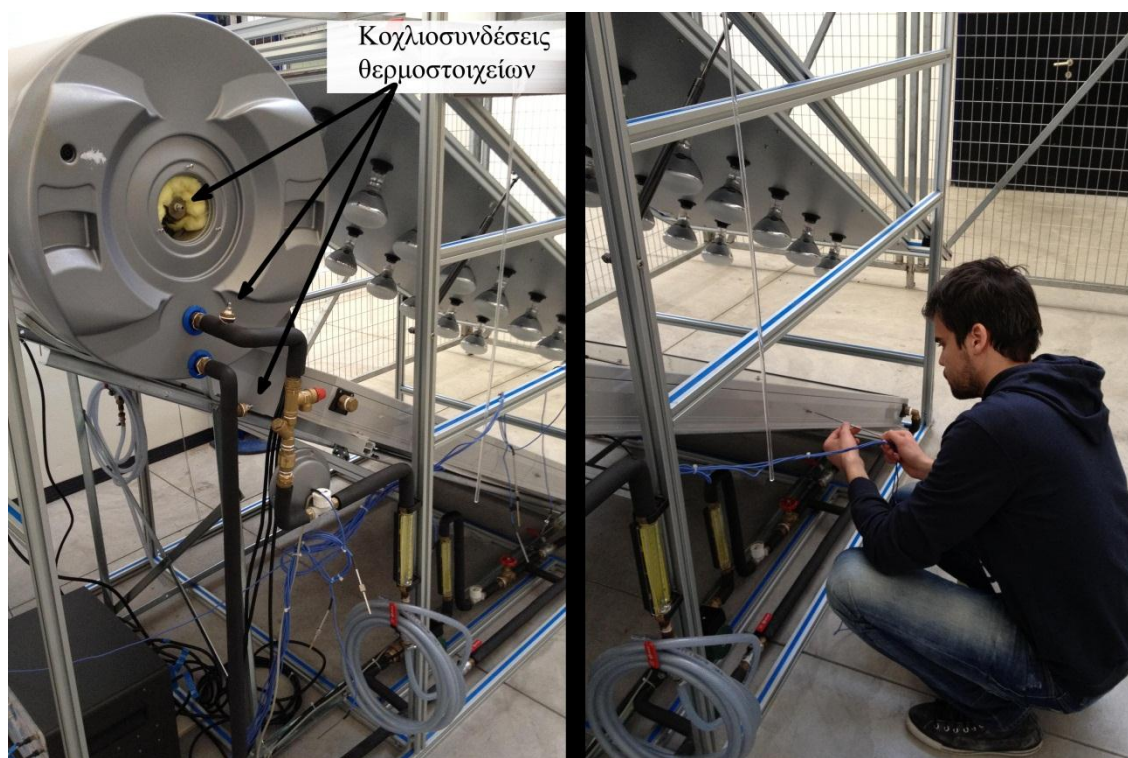


Διάγραμμα 3.5.9 Χαρακτηριστική του θερμοστοιχείου T10

Πίνακας 3.5.21 Συντελεστές α,β και r του θερμοστοιχείου T10

α	94,0976
β	-1,58499
r	0,0999992

Έχοντας ολοκληρώσει την βαθμονόμηση των αισθητήρων μπορούμε να τοποθετήσουμε ξανά τα θερμοστοιχεία κατά μήκος της μονάδας στις αντίστοιχες θέσεις και να ασφαλίσουμε τις κοχλιοσυνδέσεις μορφής που τα συγκρατούν. Στο σημείο αυτό και αφού έχουν ασφαλιστεί όλα τα θερμοστοιχεία η μονάδα θεωρείται στεγανή και συνεπώς μπορούν να ξεκινήσουν οι διαδικασίες για την σύνδεση της με το δίκτυο υδροδότησης και την τελική πλήρωσή της με νερό και υγρό θερμικής συναλλαγής. Για την σύσφιξη των κοχλιοσυνδέσεων μορφής χρησιμοποιήθηκε κλειδί M10 και M11 ανάλογα το θερμοστοιχείο.



Εικόνα 3.5.3 Τοποθέτηση των θερμοστοιχείων μετά τις μετρήσεις βαθμονόμησης

3.6 ΣΥΝΔΕΣΗ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΥΔΡΟΔΟΤΗΣΗΣ ΚΑΙ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ.

Για την λειτουργία της πειραματικής εγκατάστασης αλλά και κάθε διάταξης θερμοσίφωνα είναι αναγκαία η σύνδεσή της με το δίκτυο υδροδότησης. Αυτό το στάδιο είναι μεγάλης σημασίας για την πειραματική μας εγκατάσταση αφού είναι ο προθάλαμος για την εκκίνηση της μονάδας και την διενέργεια των πρώτων μετρήσεων αλλά επίσης είναι σημαντικό για την εξακρίβωση της ορθής λειτουργίας και της στεγανότητας της μονάδας μας κάτι το οποίο μέχρι τώρα δεν έχει εξακριβωθεί. Το στάδιο αυτό περιελάμβανε την μελέτη του χώρου του εργαστηρίου για την εύρεση μιας πρακτικής και τεχνο-οικονομικά ορθής επιλογής σημείου παροχής. Εξετάστηκαν αρκετά σενάρια και καταλήξαμε σε δύο λύσεις. Η πρώτη λύση για την άμεση ενεργοποίηση της μονάδας ήταν η σύνδεση σε ελεύθερη παροχή συνορεύουσα με τον πίνακα ηλεκτροδότησης. Από εκεί με κηπευτικό μαύρο

σωλήνα διαστάσεων (1/2 ίντσα) και μήκους 25m συνδέουμε την βάνα παροχής με την είσοδο νερού χρήσης της μονάδας. Αυτή η λύση δεν είναι μόνιμη μιας και ο κηπευτικός σωλήνας σύνδεσης περνάει από το δάπεδο του εργαστηρίου μειώνοντας την εργονομία του χώρου. Για την μόνιμη σύνδεση της μονάδας με το δίκτυο υδροδότησης εντοπίστηκε βάνα σε υπόγειο χώρο που ανήκει στο εργαστήριο ηλιακής ενέργειας και βρίσκεται ακριβώς κάτω από την μονάδα. Για την σύνδεση θα χρειαστεί να γίνει οπή μικρής διαμέτρου στο δάπεδο από σκυρόδεμα του εργαστηρίου για να περάσει ο σωλήνας υδροδότησης και να συνδέσει την παροχή μας με την κατανάλωση. Το σενάριο αυτό εμπεριέχει την διάνοιξη της οπής στο σκυρόδεμα κάτι που δεν είναι πάντα δόκιμο ωστόσο λόγω της μικρής διαμέτρου της οπής δεν είναι απαγορευτικό. Το τελευταίο αυτό σενάριο είναι η τελική πρόταση για την μελλοντική μόνιμη σύνδεση της εγκατάστασης στο δίκτυο. Ωστόσο εμείς εφαρμόσαμε το πρώτο σενάριο και η λειτουργία μας και τα πειράματά μας έγιναν με αυτή την παροχή. Βεβαίως η μονάδα πέραν της εισόδου παροχής διαθέτει και παροχή εξόδου – χρήσης του ζεστού νερού. Στην πράξη σε μια μονάδα θερμοσίφωνα η παροχή αυτή θα τροφοδοτήσει τις διάφορες καταναλώσεις όπως το νερό χρήσης ή τα σώματα θέρμανσης ωστόσο στην δικιά μας πειραματική διάταξη αρκεί η μέτρηση της θερμοκρασίας του νερού χρήσης και στην συνέχεια η παροχή αυτή θα οδηγείται στην αποχέτευση. Λόγω του ότι το νερό χρήσης εξέρχεται με ατμοσφαιρική πίεση χρησιμοποιήθηκε η πιο απλή λύση για την οδήγηση του νερού χρήσης στην αποχέτευση δηλαδή αυτή του ελαστικού σωλήνα “λάστιχο”. Κάτι το οποίο δεν έγινε στην περίπτωση του νερού εισόδου αφού ο σωλήνας παροχής εισόδου θα δέχεται τα φορτία της πίεσης του δικτύου (2-4 bar) και γι αυτό επιλέχτηκε κηπευτικός πλαστικός σωλήνας. Αφού ολοκληρώθηκε η σύνδεση στην παροχή και στην αποχέτευση η μονάδα ήταν έτοιμη για την πλήρωσή της με το νερό χρήσης. Η διαδικασία της πλήρωσης ωστόσο διακόπηκε από διαρροή νερού στη περιοχή εισόδου στο σημείο του ηλεκτρικού ροόμετρου SC2. Μετά από εξέταση του σημείου διαρροής έγινε αντιληπτό πως υπεύθυνο ήταν το ηλεκτρικό ροόμετρο και συγκεκριμένα διέφυγε μεγάλη ποσότητα νερού από το εμπρός σπείρωμα του μετρητικού. Ύστερα από τον εντοπισμό αυτού του προβλήματος στεγανότητας της μονάδας ξεκίνησαν οι προσπάθειες αντιμετώπισής του. Έχοντας στον νου πως το πρόβλημα οφείλεται στην σύνδεση του πρώτου σπειρώματος οι προσπάθειες συγκεντρώθηκαν σε εκείνο το σημείο. Αφαιρέθηκε ο χάλκινος σωλήνας και αντικαταστάθηκε από το εμπρός μέρος του κομμάτι του που έφερε τον δακτύλιο μορφής για την στεγάνωση της σύνδεσης. Ο παλιός σωλήνας κόπηκε με χρήση σιδεροπρίονου και συνδέθηκε με τον νέο με χρήση θερμικής σύνδεσης. Το νέο στέλεχος της μονάδας επανασυνδέθηκε σε αυτή ωστόσο το πρόβλημα της διαρροής δεν αντιμετωπίστηκε επαρκώς μιας και είχαμε ακόμη διαρροή με μικρότερο βέβαια ρυθμό. Το πλαστικό μετρητικό SC2 αφαιρέθηκε από την μονάδα και εξετάστηκε χωριστά. Από τον έλεγχο αυτό διαπιστώθηκε γήρανση του υλικού σε αρκετά σημεία και πιο συγκεκριμένα ρωγμή στην περιοχή κοντά στο σπείρωμα. Το μετρητικό κρίθηκε ακατάλληλο για χρήση και απομακρύνθηκε από την μονάδα. Στην μονάδα παρακάμφθηκε το συγκεκριμένο στοιχείο και τα δύο σπειρώματα (θηλυκά) που υπήρχαν για την σύνδεσή του συνδέθηκαν μεταξύ τους με μικρή ατσάλινη διαστολή αντιστοιχών σπειρωμάτων. Στο σημείο αυτό αντιμετωπίσαμε ένα πρόβλημα για το οποίο δώσαμε μεν μια λύση ωστόσο έπρεπε να εξακριβώσουμε την επιρροή αυτού του προβλήματος στην πορεία της εργασίας μας. Το ηλεκτρονικό

ροόμετρο SC2 βρίσκεται στην είσοδο του ψυχρού νερού και είναι συνδεδεμένο σε σειρά με αντίστοιχο ροόμετρο πλωτήρα. Επομένως η παροχή μας μετρείται σε πρώτη φάση από το ροόμετρο πλωτήρα. Το πλεονέκτημα που θα μας έδινε το ηλεκτρονικό ροόμετρο είναι η ταυτόχρονη καταχώρηση των τιμών παροχής στο αρχείο .dat που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα SCADA. Για να αποτελεί αυτό πλεονέκτημα ωστόσο θα πρέπει η παροχή μας να μεταβάλλεται με το χρόνο πράγμα το οποίο σύμφωνα με τα προγραμματισμένα πειράματα δεν θα γίνεται όπως φαίνεται και παρακάτω στην εργασία. Η μόνη στιγμή που θα έχουμε παροχή στο δίκτυο χρήσης του θερμοσίφωνα θα είναι στο τέλος της εργαστηριακής άσκησης και η παροχή θα είναι σταθερή στο χρόνο. Καταλήγουμε πως η χρήση του ηλεκτρικού ροόμετρου στην συγκεκριμένη θέση θα ήταν έτσι κι αλλιώς πλεονάζουσα και πως η επιρροή της στην συνέχιση των πειραματικών μας μετρήσεων είναι ελάχιστη έως μηδενική. Έτσι το πρόβλημα αστοχίας του ηλεκτρονικού ροόμετρου υποβαθμίζεται και συνεχίζουν οι εργασίες για την πλήρωση της μονάδας. Σε αυτό το σημείο και αφού έχουμε εξασφαλίσει μερικός την στεγανότητα του κυκλώματος νερού χρήσης ξεκινάμε εκ νέου τις διαδικασίες πλήρωσης. Αξίζει να σημειωθεί πως λέμε μερικός διότι είναι πιθανόν να εξακολουθούν να υπάρχουν σημεία διαρροής και πως ο τελικός έλεγχος για την πλήρη στεγανότητα της μονάδας θα γίνει όταν αυτή φορτιστεί από την πίεση του δικτύου δηλαδή στην κατάσταση ολοκλήρωσης της πλήρωσης και αναμονής για χρήση. Συνεχίζουμε με την διαδικασία πλήρωσης. Λόγω της αβεβαιότητας μας για την στεγανότητα όπως προείπαμε δεν συνδέουμε την μονάδα με την ηλεκτροδότηση. Επομένως η πρίζα δεν συνδέεται καθ' όλη την διαδικασία. Διατηρούμε την βάννα παροχής του δικτύου από την οποία παίρνει νερό ο μαύρος σωλήνας κλειστή. Ανοίγουμε την βάννα εισόδου νερού της μονάδας καθώς και την βάννα εξόδου του νερού χρήσης της μονάδας. Ελέγχουμε πως το λάστιχο εξόδου καταλήγει στην αποχέτευση. Ανοίγουμε την βάννα του δικτύου και ξεκινάει η διαδικασία. Κατά την διαδικασία πλήρωσης του boiler μετράμε από το ροόμετρο 10 l/min πράγμα που σημαίνει πως εισέρχονται στην μονάδα 10 λίτρα νερό το λεπτό και αντίστοιχα απομακρύνεται από την παροχή εξόδου αντίστοιχη παροχή αέρα. Η πλήρωση είναι σύντομη διαδικασία και τα 150 λίτρα του Boiler χρειάστηκαν 15 λεπτά για να γεμίσουν. Καταλαβαίνουμε πως το Boiler γέμισε όταν αρχίσει το λάστιχο εξόδου να βγάζει νερό. Ωστόσο την στιγμή εκείνη δεν έχει ελευθερωθεί πλήρως η μονάδα από τον αέρα διακρίνουμε φυσαλίδες και ασυνέχεια στην έξοδο του νερού και για τον λόγο αυτό επιμένουμε μέχρι το φαινόμενο να σταματήσει και να αποκατασταθεί η συνέχεια της ροής στην έξοδο. Στο σημείο αυτό το boiler της μονάδας θεωρείται πλήρες νερού και έτοιμο για χρήση. Κλείνουμε στο σημείο αυτό την βάννα εξόδου νερού χρήσης της μονάδας και στο σημείο αυτό αν και εφόσον δεν υπάρχει αέρας στο κύκλωμα το παροχόμετρο πλωτήρα θα πρέπει να μηδενίζει, πράγμα το οποίο και συμβαίνει. Διατηρούμε την βάννα εισόδου νερού της μονάδας και την βάννα παροχής του δικτύου ανοιχτές. Στο σημείο αυτό στο boiler και στις σωληνώσεις εισόδου και εξόδου επικρατεί η υδροστατική πίεση του δικτύου (2-4 bar) και επομένως η μονάδα μπορεί να εξεταστεί στους κλάδους αυτούς ως προς την στεγανότητα. Μετά από διερεύνηση κατά μήκος των κλάδων και των διαφόρων συνδέσεων καθώς και έλεγχο στις φλάντζες του boiler δεν εντοπίστηκαν σημάδια διαρροής και η πλήρωση του δικτύου χρήσης θεωρήθηκε επιτυχής. Ο έλεγχος της φλάντζας ήταν μεγάλης σημασίας καθώς έστω και μικρή διαρροή θα οδηγούσε σε

εμποτισμό του θερμομονωτικού υαλοβάμβακα κάτι που θα είχε σαν αποτέλεσμα την αστοχία της θερμικής μόνωσης στην περιοχή εκείνη. Σε μια μεγαλύτερη διαρροή στην συγκεκριμένη περιοχή θα εμφανιζόταν ο σοβαρότερος κίνδυνος βραχυκύκλωσης της παροχής ρεύματος της αντίστασης του boiler ως φαίνεται και στην εικόνα.



Εικόνα 3.6.1 Απομάκρυνση του υαλοβάμβακα μόνωσης και έλεγχος του boiler για διαρροές

Αφού ολοκληρώθηκε η πλήρωση του δικτύου νερού χρήσης συνεχίζουμε με την πλήρωση του κλειστού κυκλώματος της μονάδας. Για το δίκτυο αυτό προτείνεται από τον κατασκευαστή η πλήρωσή του με αντιψυκτικό υγρό ώστε να ελαχιστοποιηθεί η πιθανότητα δημιουργίας πάγου στο κύκλωμα του συλλέκτη. Η λογική αυτής της συμβουλής προέρχεται από την πρακτική εφαρμογή μιας και στην πράξη οι θερμοσίφωνες κλειστού τύπου χρησιμοποιούν για μέσο θερμικής συναλλαγής αντιψυκτικό υγρό αφού είναι εκτεθειμένοι στις συνθήκες περιβάλλοντος και πολλές φορές στο ψύχος. Ωστόσο πιθανότητα έκθεσης στο ψύχος της δικιάς μας εγκατάστασης δεν υπάρχει μιας και θα στεγάζεται μόνιμα σε εσωτερικό χώρο. Καταλήγουμε λοιπόν στο συμπέρασμα πως η χρήση αντιψυκτικού δεν είναι επιτακτική και πως η χρήση του αν γίνει θα έχει περισσότερο χαρακτήρα μελέτης της συμπεριφοράς του ψυκτικού και σύγκριση αυτού με την συμπεριφορά του νερού. Έχοντας αυτό λοιπόν στο νου αποφασίστηκε πως σε πρώτη φάση το κλειστό κύκλωμα θα γεμίσει με αντιψυκτικό (μείγμα αντιψυκτικού – νερού). Η διαδικασία για την πλήρωση του πρωτεύοντος κυκλώματος όπως περιγράφεται στο manual από τον κατασκευαστή δεν μπορεί να ακολουθηθεί μιας και η περιγραφή της μονάδας δεν ανταποκρίνεται με την αντίστοιχη που έχουμε προμηθευτεί. Ο κατασκευαστής περιγράφει πως ο μανδύας του πρωτεύοντος κυκλώματος έχει δύο οπές εκ των οποίων η μια χρησιμοποιείται για την πλήρωση του μανδύα και η άλλη για την εκτόνωση του εγκλωβισμένου αέρα σε αυτόν. Η περιγραφή αυτή ωστόσο

δεν ανταποκρίνεται με την υπάρχουσα δομή της μονάδος μας μιας και μόνον μία οπή υπάρχει και πιθανολογούμε πως ο κατασκευαστής στο σημείο αυτό αναφέρεται άστοχα σε άλλη μονάδα. Έτσι η διαδικασία που ακολουθήθηκε διαμορφώθηκε ώστε να ανταποκρίνεται στην υπάρχουσα μονάδα. Αρχικά προμηθευθήκαμε αντιψυκτικό υγρό . Στην συνέχεια λύθηκε η τάπα της οπής του μανδύα ελευθερώνοντας την είσοδο σε αυτόν. Χρησιμοποιήθηκε χωνί μέσα στο οποίο έγινε η έκχυση στην οπή εισόδου του αντιψυκτικού υγρού με μικρή παροχή ώστε από την ίδια οπή να επιτυγχάνεται παράλληλα η έξοδος του αντίστοιχου όγκου αέρα. Αφού αδειάσαμε όλο το δοχείο του αντιψυκτικού χρησιμοποιήσαμε το ίδιο δοχείο για την ολοκλήρωση της πλήρωσης με νερό. Όταν η οπή γέμισε με υγρό θέσαμε σε λειτουργία τον κυκλοφορητή της μονάδας ώστε ο εγκλωβισμένος αέρας να ανέλθει και ανοιγοκλείνοντας αρκετές φορές την βάννα bypass δημιουργήσαμε συνθήκες υπερπίεσης για την βοήθεια της εκκαθάρισης του εγκλωβισμένου αέρα. Τελικά και αφού όλη η ποσότητα του εγκλωβισμένου αέρα αποδεσμεύθηκε συμπληρώσαμε τον αντίστοιχο όγκο νερού μέχρι να υπερχειλίσει ξανά η οπή εισόδου του μανδύα. Στην συνέχεια ασφαλίσαμε υδατοστεγός την τάπα της οπής βιδώνοντας την και χρησιμοποιώντας τεφλόν. Επειδή κατά την διάρκεια του πειράματος η θερμοκρασία του υγρού θερμικής συναλλαγής αυξάνεται σε μεγάλο βαθμό δημιουργείται υπερπίεση στο πρωτεύον κύκλωμα και η οπή εισόδου του υγρού πρέπει να είναι αυστηρά υδατοστεγής. Στην συνέχεια έγινε έλεγχος του πρωτεύοντος κυκλώματος για τυχόν διαρροές. Κατά την διαδικασία αυτή εντοπίστηκε μικρή διαρροή στην κοχλιοσύνδεση συγκεκριμένου θερμοστοιχείου. Το συγκεκριμένο θερμοστοιχείο αφαιρέθηκε τοποθετήθηκε επιπλέον τεφλόν στο σπείρωμα της σύνδεσής του και τελικά επανασυνδέθηκε στην μονάδα όπου κατά την ίδια στιγμή έπαψε η διαρροή. Το υγρό που διέρρευσε κατά την διαδικασία προστέθηκε εκ νέου από την τάπα εισόδου του μανδύα και η μονάδα ασφαλίστηκε. Συνολικά το πρωτεύον κύκλωμα πληρώθηκε με 10 λίτρα υγρού, εκ των οποίων 4 λίτρα αντιψυκτικό υγρό και τα υπόλοιπα νερό. Στο σημείο αυτό η διαδικασία πλήρωσης και του πρωτεύοντος δικτύου ολοκληρώθηκε και επομένως η μονάδα θεωρείται έτοιμη προς χρήση.

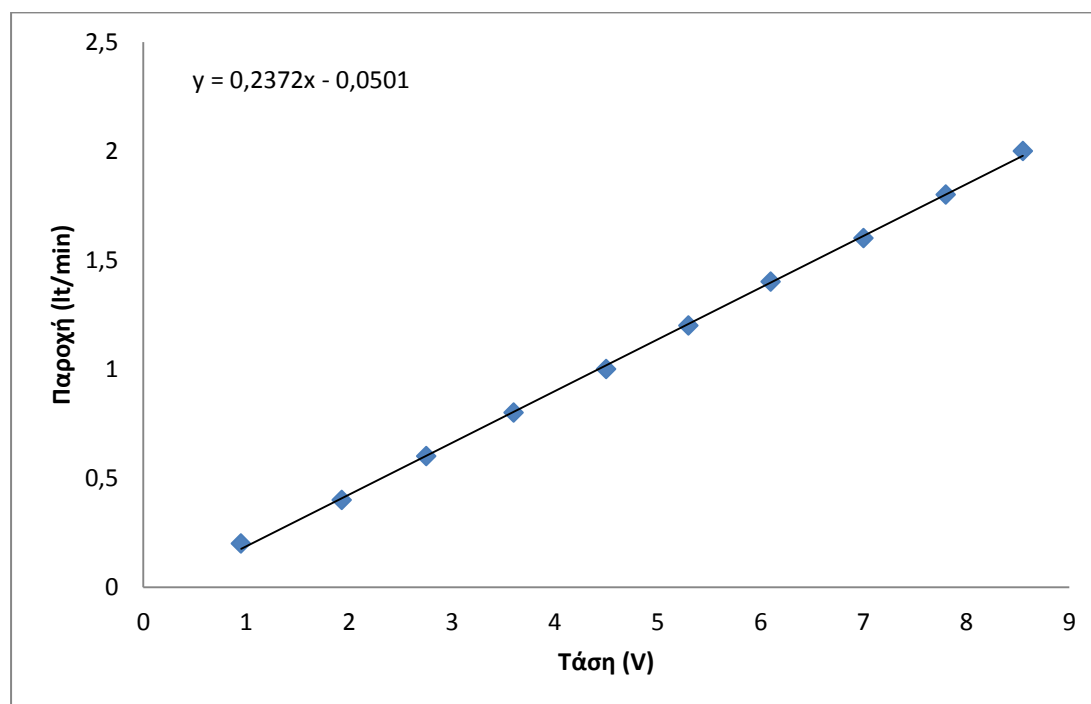
3.7 ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΥ ΡΟΟΜΕΤΡΟΥ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ.

Εκτός των θερμοστοιχείων βαθμονόμηση έγινε και στο ηλεκτρονικό ροόμετρο το οποίο χρησιμοποιείται ανάντι του κυκλοφορητή για τη μέτρηση της ροής του υγρού θερμικής συναλλαγής στο κλειστό κύκλωμα. Φυσικά προϋπόθεση για την βαθμονόμηση του ροόμετρου ήταν η πλήρωση του κλειστού δικτύου στο οποίο βρίσκεται με υγρό. Η διαδικασία βαθμονόμησης του ηλεκτρονικού ροόμετρου έγινε ως εξής. Επειδή μέσω ρυθμιστικής βάννας μπορούμε να έχουμε σταθερή ροή για διαφορετικές παροχές μπορούμε να έχουμε δεδομένα βαθμονόμησης για πολλές τιμές παροχής. Έτσι για την παραγωγή της χαρακτηριστικής του ροόμετρου χρησιμοποιούμε 10 τιμές παροχής από 0,2 έως 2,0 lt/min και για τις τιμές αυτές διαβάσαμε από το πρόγραμμα SCADA τις αντίστοιχες τιμές της τάσης.

Πίνακας 3.7.1 Παροχή – τάση εξόδου του ηλεκτρονικού ροόμετρου SC1

Παροχή (lit/min)	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2
Τάση (V)	0,95	1,93	2,75	3,6	4,5	5,3	6,1	7	7,8	8,55

Χρησιμοποιώντας τώρα την μέθοδο των ελάχιστων τετραγώνων βρίσκουμε την χαρακτηριστική ευθεία του ηλεκτρονικού ροόμετρου όπως παρουσιάζεται παρακάτω.



Διάγραμμα 3.7.1 Χαρακτηριστική ροόμετρου SC1

Από την προηγούμενη ανάλυση τελικά παίρνουμε τον συντελεστή (α) της χαρακτηριστικής ευθείας και την σταθερά της (β).

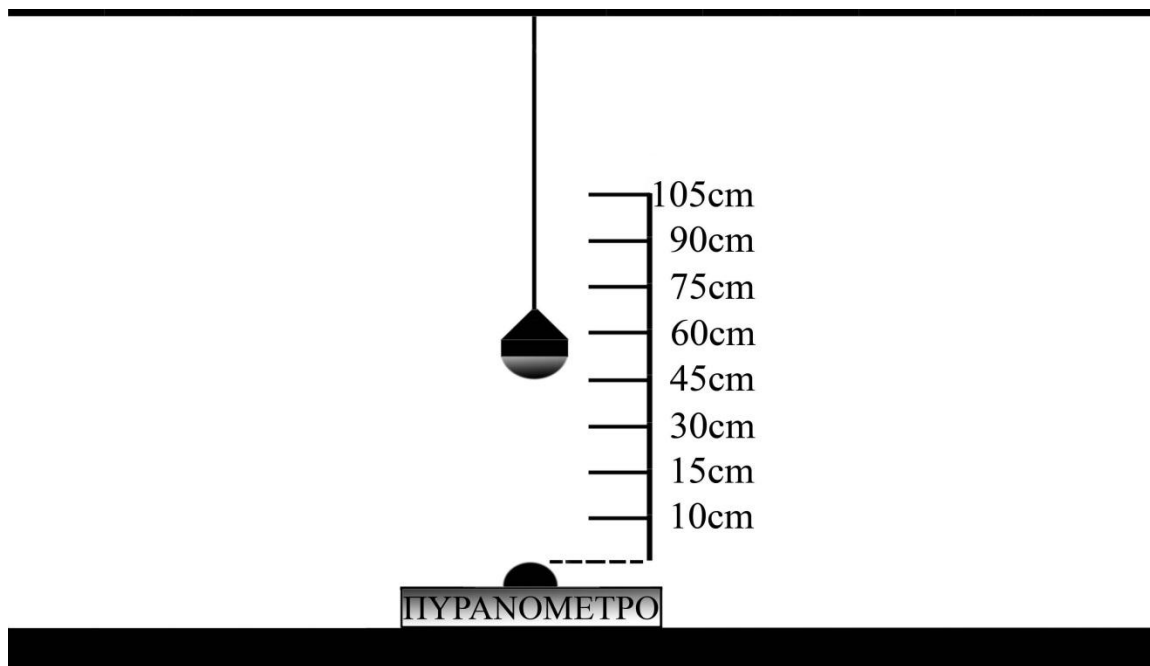
Πίνακας 3.7.2 Σταθερές α, β, r του ηλεκτρονικού ροόμετρου SC1

α	0,237224
β	-0,0500602
r	0,999751

4. ΜΕΛΕΤΗ – ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΛΑΜΠΤΗΡΩΝ.

Η συγκεκριμένη πειραματική διάταξη χρησιμοποιεί για να προσομοιάσει την ηλιακή ακτινοβολία μια συστοιχία από λαμπτήρες. Με τον τρόπο αυτό κατά την διάρκεια ενός πειράματος μπορούμε να έχουμε σταθερή πηγή ακτινοβολίας και ελεγχόμενη ένταση αυτής. Ωστόσο για να συνεχίσουμε με τις πειραματικές μας μετρήσεις και για την αντίστοιχη εκπόνηση υπολογισμών πρέπει να γνωρίζουμε την ακριβή ένταση της ακτινοβολίας που δέχεται ο συλλέκτης της εγκατάστασης. Στο σημείο

αυτό γνωρίζουμε την ονομαστική ισχύ κάθε λαμπτήρα και των αριθμό των λαμπτήρων μας. Η συστοιχία λοιπόν αποτελείται από 16 λαμπτήρες των 300 watt ο καθένας. Η συνολική λοιπόν ηλεκτρική ισχύς που καταναλώνουν και οι 16 λαμπτήρες σε λειτουργία είναι 4800 watt. Ωστόσο ένα μόνο μέρος της μετατρέπεται σε ακτινοβολία και το υπόλοιπο γίνεται θερμότητα που εκλύεται στον χώρο γύρω από τους λαμπτήρες μέσω συναγωγής. Σκοπός μας σε αυτό το σημείο είναι να προσδιορίσουμε την ισχύ που μετατρέπεται σε ακτινοβολία ή καλύτερα την ένταση της ακτινοβολίας που φτάνει στον συλλέκτη μας από τους λαμπτήρες. Για τον σκοπό αυτό θα χρειαστούμε ένα όργανο για την μέτρηση της έντασης της ακτινοβολίας, το πυρανόμετρο το οποίο και προμηθευτήκαμε. Αρχικά η ιδέα ήταν η μέτρηση να γίνει επί του συλλέκτη με ανοιχτές όλες τις λάμπες πράγμα το οποίο αρχικά επιχειρήσαμε. Ωστόσο τα αποτελέσματα που πήραμε στις διάφορες θέσεις επί του συλλέκτη στερούσαν λογικής μιας και ήταν πολύ μικρότερα από τα αναμενόμενα. Ύστερα από σχετική διερεύνηση το αίτιο έγινε αντιληπτό. Το πυρανόμετρο είναι κατασκευασμένο να μετράει ακτινοβολίες για κάποιες συγκεκριμένες γωνίες προσβολής. Το συγκεκριμένο πυρανόμετρο το οποίο και χρησιμοποιούσαμε δεν μπορούσε να μετρήσει τις ακτινοβολίες που προσέπιπταν στον αισθητήρα του με μεγάλη γωνία προσβολής. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα κατά την τοποθέτησή του στον συλλέκτη να μην υπολογίζει στην μέτρηση τις ακτινοβολίες που προέρχονταν από την συμβολή όλων των λαμπτήρων παρά εκείνων μόνο που ευρίσκονταν στο μέτωπό του και το ακτινοβολούσαν σχεδόν κάθετα. Το συγκεκριμένο πρόβλημα έγινε αίτιο για περεταίρω διερεύνηση και τελικά αποφασίστηκε να γίνουν πειράματα χρησιμοποιώντας έναν μόνο λαμπτήρα και στην συνέχεια να γενικεύσουμε τα συμπεράσματά μας και για τους υπόλοιπους. Αφαιρέσαμε στο σημείο αυτό έναν από τους λαμπτήρες της μονάδας και τον συνδέσαμε με ντουί σε ειδικά διαμορφωμένο χώρο για το πείραμα. Το ντουί με την λάμπα συνδέθηκαν σε καλώδιο το οποίο κρεμάστηκε από σημείο στο ταβάνι του χώρου ώστε με το τράβηγμα του καλωδίου να ρυθμίζουμε την καθ ύψος απόσταση του λαμπτήρα από το έδαφος. Απέναντι ακριβώς από τον λαμπτήρα τοποθετήθηκε ο αισθητήρας του πυρανόμετρου και συνδέθηκε με παροχή ρεύματος. Η ένδειξη με τον λαμπτήρα κλειστό ήταν μηδενική μιας και ο χώρος είχε συσκοτιστεί. Με την βοήθεια μέτρου μετρήσαμε την απόσταση μεταξύ αισθητήρα και πυρανόμετρου και κάναμε 8 μετρήσεις για 8 διαφορετικές αποστάσεις από 10 cm μέχρι 105 cm. Η διάταξη είχε την ακόλουθη μορφή.



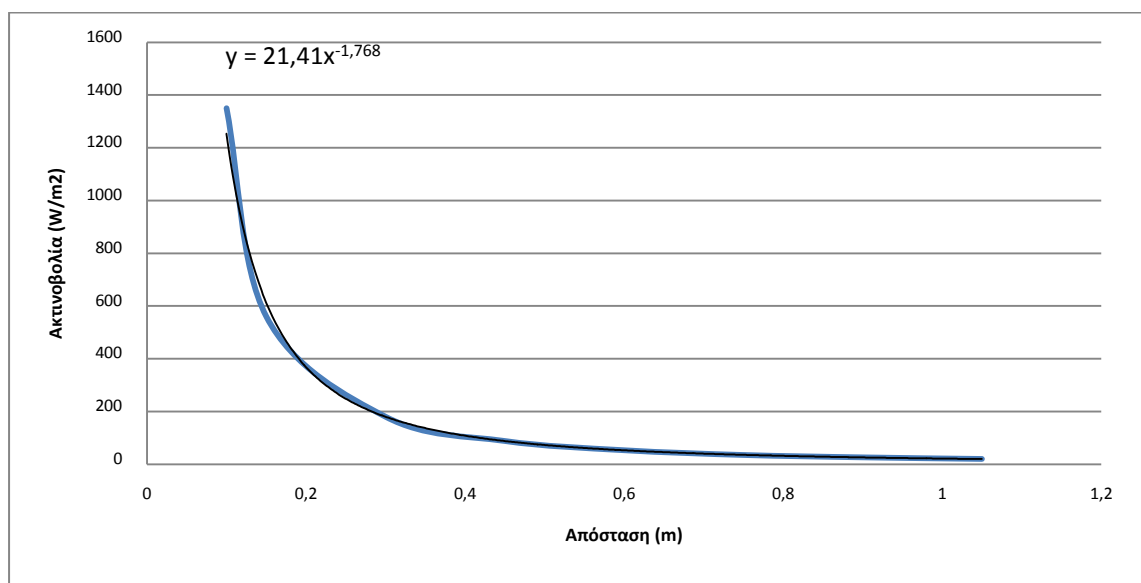
Εικόνα 4.1 Διάταξη υπολογισμού καθέτου ακτινοβολίας λαμπτήρα

Οι μετρήσεις της έντασης της ακτινοβολίας συναρτήσει της απόστασης λαμπτήρα – αισθητήρα παρουσιάζονται εδώ.

Πίνακας 4.1 Ένταση κάθετης ακτινοβολίας συναρτήσει απόστασης από τον λαμπτήρα

Απόσταση (m)	0,1	0,15	0,3	0,45	0,6	0,75	0,9	1,05
Ακτινοβολία (W/m ²)	1350	560	180	88	53	35	26	20

Χρησιμοποιώντας τις πειραματικές μας μετρήσεις και πλοτάροντας την συνάρτηση που προκύπτει μπορούμε να βρούμε την χαρακτηριστική του λαμπτήρα καθ ύψος.



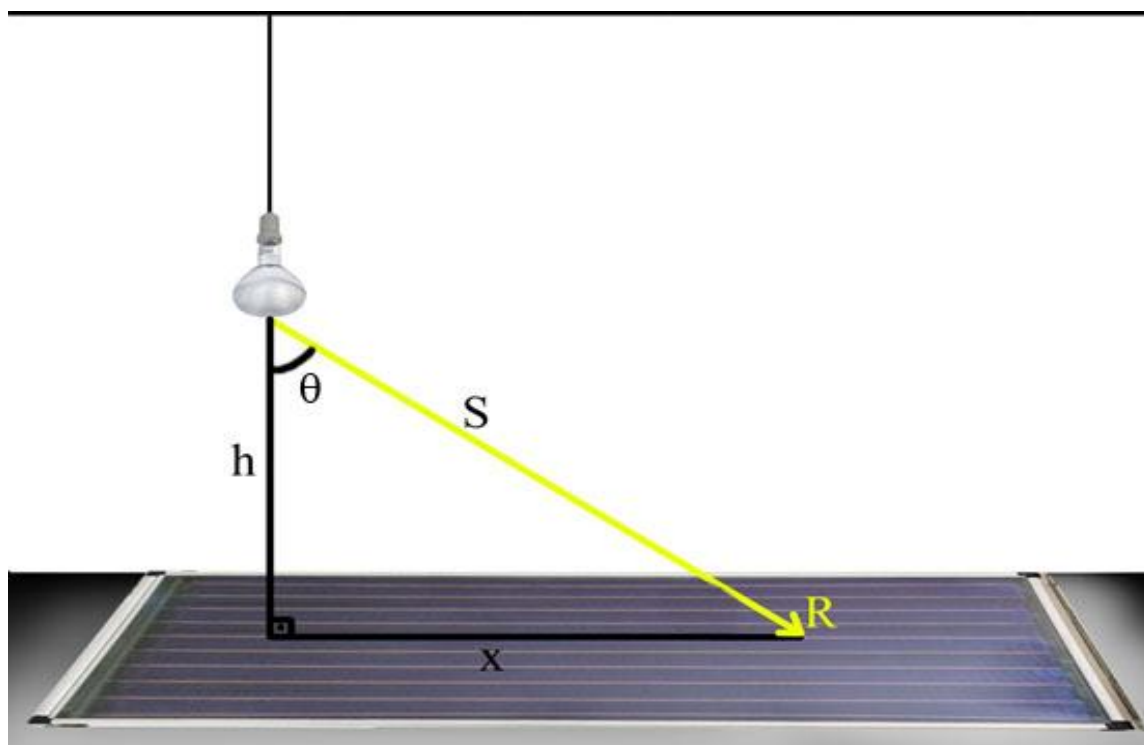
Διάγραμμα 4.1 Χαρακτηριστική του λαμπτήρα καθ ύψος

Καταλήγουμε μέσω της εκθετικής συνάρτησης η οποία και προσεγγίζει καλύτερα την συνάρτηση μας στην σχέση

$$y = 21,41x^{-1,768} \quad (4.1)$$

Σύμφωνα με τον νόμο του αντίστροφου τετραγώνου ένα σώμα ακτινοβολείται με την τετραπλάσια ακτινοβολία εάν η απόστασή του από την πηγή υποδιπλασιαστεί θεωρητικά λοιπόν έπρεπε να καταλήξουμε σε μία σχέση της μορφής $y = \text{constant} \cdot x^2$. Έτσι η εκθετική συνάρτηση στην οποία καταλήξαμε πειραματικά είναι και θεωρητικά ορθή. Σε αυτό το σημείο γνωρίζουμε την κατανομή της ακτινοβολίας συναρτήσει της κάθετης απόστασης από το μέτωπο της λάμπας. Η ανάλυσή μας θα συνεχιστεί ώστε να βρούμε ένα μοντέλο που θα περιγράφει την ακτινοβολία σε όλη την επιφάνεια του συλλέκτη έτσι ώστε στην συνέχεια ολοκληρώνοντας να βρούμε την συνολική ακτινοβολία που εκπέμπει ο λαμπτήρας. Για τον σκοπό αυτό εργαζόμαστε ως εξής. Έστω τυχαίο σημείο επί του συλλέκτη το οποίο απέχει απόσταση x από την προβολή της πηγής στον συλλέκτη. Το σημείο αυτό ακτινοβολείται από ακτινοβολία R . Για την εύρεση της ακτινοβολίας R εργαζόμαστε ως εξής. Αρχικά προσδιορίζουμε την απόσταση S της πηγής και του σημείου που δέχεται την ακτινοβολία. Με την βοήθεια του σχήματος που ακολουθεί και γνωρίζοντας το ύψος του λαμπτήρα (h) από τον συλλέκτη καθώς και την εγκάρσια απόσταση x του σημείου καταλήγουμε στην σχέση:

$$S = \frac{x}{\sin(\text{atan}(\frac{x}{y}))} \quad (4.2)$$



Εικόνα 4.2 Προσπίπτουσα ακτινοβολία R διανύει απόσταση S

Σε αυτό το σημείο και γνωρίζοντας την απόσταση S μπορούμε να προσδιορίσουμε την κάθετη ακτινοβολία στο σημείο με την παραδοχή ότι η ακτινοβολία προσπίπτει από σημειακή πηγή (παραδοχή σταθερής ακτινοβολίας σε ομόκεντρο περίμετρο). Έτσι και σύμφωνα με τις σχέσεις (1), (2) στις οποίες καταλήξαμε προηγουμένως έχουμε

$$R' = 21,41 \cdot \left[\frac{x}{\sin\left(\text{atan}\left(\frac{x}{y}\right)\right)} \right]^{-1,768} \quad (4.3)$$

Ωστόσο η ακτινοβολία προσπίπτει στο σημείο που εξετάζουμε με γωνία θ και επομένως για να βρούμε την ακτινοβολία R που τελικά προσπίπτει στον συλλέκτη πρέπει να πολλαπλασιάσουμε την τελευταία σχέση με $\cos\theta$.

$$\theta = \text{atan}\left(\frac{x}{y}\right) \quad (4.4)$$

και επομένως καταλήγουμε στην σχέση για την ακτινοβολία:

$$R = \cos\left(\text{atan}\left(\frac{x}{y}\right)\right) \cdot 21,41 \cdot \left[\frac{x}{\sin\left(\text{atan}\left(\frac{x}{y}\right)\right)} \right]^{-1,768} \quad (4.5)$$

Έχοντας μοντελοποιήσει την ακτινοβολία αξίζει να σημειώσουμε πως το μοντέλο αυτό ισχύει μόνο για τον χώρο των σημείων εκείνων που βρίσκονται επί του συλλέκτη αφού άλλωστε εκείνη είναι η περιοχή που μας ενδιαφέρει και που επί της οποίας συνέχεια ολοκληρώνοντας θα βρούμε την συνολική προσπίπτουσα ακτινοβολία. Στο σημείο αυτό θα παρουσιάσουμε τις γραφικές παραστάσεις που προκύπτουν για διάφορα ύψη h καθώς και για το ύψος τοποθέτησης των λαμπτήρων στην δικιά μας πειραματική διάταξη (40cm).

Επομένως ο αλγόριθμος για την εύρεση της ακτινοβολίας γνωρίζοντας τα x, y είναι:
 S (απόσταση) $\rightarrow R'$ (κάθετη ακτινοβολία) $\rightarrow R$ (προσπίπτουσα ακτινοβολία).

Σύμφωνα με αυτόν τον αλγόριθμο εργαζόμαστε για την εύρεση της ακτινοβολίας για να καταλήξουμε σε μια σχέση σταθερού ύψους ανεξάρτητης μεταβλητής R και εξαρτημένης x από την οποία συνέχεια ολοκληρώνοντας στον άξονα των x θα μπορούμε να βρούμε την συνολική ακτινοβολία που εκπέμπει ο λαμπτήρας.

Πίνακας 4.2 Απόσταση S σημείου προσβολής - πηγής

x(εγκάρσια)	0,15	0,3	0,45	0,6	0,75	0,9	1,05	1,2	1,35	1,5
γ (ύψος)										
0,05	0,1581	0,3041	0,4528	0,6021	0,7517	0,9014	1,0512	1,2010	1,3509	1,5008
0,1	0,1803	0,3162	0,4610	0,6083	0,7566	0,9055	1,0548	1,2042	1,3537	1,5033
0,15	0,2121	0,3354	0,4743	0,6185	0,7649	0,9124	1,0607	1,2093	1,3583	1,5075
0,2	0,2500	0,3606	0,4924	0,6325	0,7762	0,9220	1,0689	1,2166	1,3647	1,5133
0,25	0,2915	0,3905	0,5148	0,6500	0,7906	0,9341	1,0794	1,2258	1,3730	1,5207
0,3	0,3354	0,4243	0,5408	0,6708	0,8078	0,9487	1,0920	1,2369	1,3829	1,5297
0,35	0,3808	0,4610	0,5701	0,6946	0,8276	0,9657	1,1068	1,2500	1,3946	1,5403
0,4	0,4272	0,5000	0,6021	0,7211	0,8500	0,9849	1,1236	1,2649	1,4080	1,5524
0,45	0,4743	0,5408	0,6364	0,7500	0,8746	1,0062	1,1424	1,2816	1,4230	1,5660
0,5	0,5220	0,5831	0,6727	0,7810	0,9014	1,0296	1,1630	1,3000	1,4396	1,5811
0,55	0,5701	0,6265	0,7106	0,8139	0,9301	1,0548	1,1853	1,3200	1,4577	1,5977
0,6	0,6185	0,6708	0,7500	0,8485	0,9605	1,0817	1,2093	1,3416	1,4773	1,6155
0,65	0,6671	0,7159	0,7906	0,8846	0,9925	1,1102	1,2349	1,3647	1,4983	1,6348
0,7	0,7159	0,7616	0,8322	0,9220	1,0259	1,1402	1,2619	1,3892	1,5207	1,6553
0,75	0,7649	0,8078	0,8746	0,9605	1,0607	1,1715	1,2903	1,4151	1,5443	1,6771
0,8	0,8139	0,8544	0,9179	1,0000	1,0966	1,2042	1,3200	1,4422	1,5692	1,7000
0,85	0,8631	0,9014	0,9618	1,0404	1,1336	1,2379	1,3509	1,4705	1,5953	1,7241
0,9	0,9124	0,9487	1,0062	1,0817	1,1715	1,2728	1,3829	1,5000	1,6225	1,7493
0,95	0,9618	0,9962	1,0512	1,1236	1,2104	1,3086	1,4160	1,5305	1,6508	1,7755
1	1,0112	1,0440	1,0966	1,1662	1,2500	1,3454	1,4500	1,5620	1,6800	1,8028
1,05	1,0607	1,0920	1,1424	1,2093	1,2903	1,3829	1,4849	1,5945	1,7103	1,8310

Τα αποτελέσματα του παραπάνω πίνακα προέκυψαν από την σχέση 4.2 που υπολογίσθηκε κατά την προηγούμενη ανάλυση:

$$S = \frac{x}{\sin(\text{atan}(\frac{x}{y}))} \quad (4.2)$$

Συνεχίζουμε με τον υπολογισμό της κάθετης ακτινοβολίας.

Πίνακας 4.3 Κάθετη ακτινοβολία R' (w/m^2)

χ (εγκάρσια)	0,15	0,3	0,45	0,6	0,75	0,9	1,05	1,2	1,35	1,5
γ (ύψος)										
0,05	558,262	175,609	86,901	52,504	35,465	25,724	19,601	15,487	12,579	10,444
0,10	442,702	163,914	84,184	51,562	35,054	25,516	19,484	15,416	12,534	10,413
0,15	332,030	147,706	80,036	50,069	34,391	25,177	19,293	15,299	12,459	10,363
0,20	248,347	129,984	74,909	48,128	33,507	24,718	19,031	15,139	12,355	10,293
0,25	189,239	112,877	69,258	45,855	32,438	24,153	18,706	14,939	12,225	10,204
0,30	147,706	97,489	63,469	43,369	31,227	23,500	18,324	14,701	12,069	10,098
0,35	118,023	84,184	57,824	40,776	29,913	22,774	17,894	14,430	11,891	9,975
0,40	96,308	72,918	52,504	38,165	28,537	21,994	17,423	14,131	11,692	9,838
0,45	80,036	63,469	47,602	35,605	27,131	21,176	16,921	13,807	11,475	9,687
0,50	67,570	55,563	43,157	33,142	25,724	20,335	16,394	13,464	11,242	9,524
0,55	57,824	48,940	39,166	30,810	24,339	19,484	15,852	13,104	10,996	9,351
0,60	50,069	43,369	35,605	28,624	22,993	18,635	15,299	12,734	10,739	9,169
0,65	43,799	38,659	32,438	26,594	21,698	17,798	14,744	12,355	10,475	8,979
0,70	38,659	34,653	29,627	24,718	20,463	16,978	14,190	11,972	10,204	8,783
0,75	34,391	31,227	27,131	22,993	19,293	16,183	13,642	11,588	9,929	8,583
0,80	30,810	28,277	24,912	21,410	18,190	15,416	13,104	11,206	9,653	8,379
0,85	27,773	25,724	22,938	19,961	17,153	14,680	12,579	10,827	9,375	8,173
0,90	25,177	23,500	21,176	18,635	16,183	13,977	12,069	10,454	9,099	7,966
0,95	22,938	21,553	19,601	17,423	15,276	13,307	11,576	10,088	8,826	7,759
1,00	20,993	19,840	18,190	16,314	14,430	12,672	11,100	9,731	8,556	7,553
1,05	19,293	18,324	16,921	15,299	13,642	12,069	10,642	9,384	8,290	7,348

Συνεχίζουμε με τον υπολογισμό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.

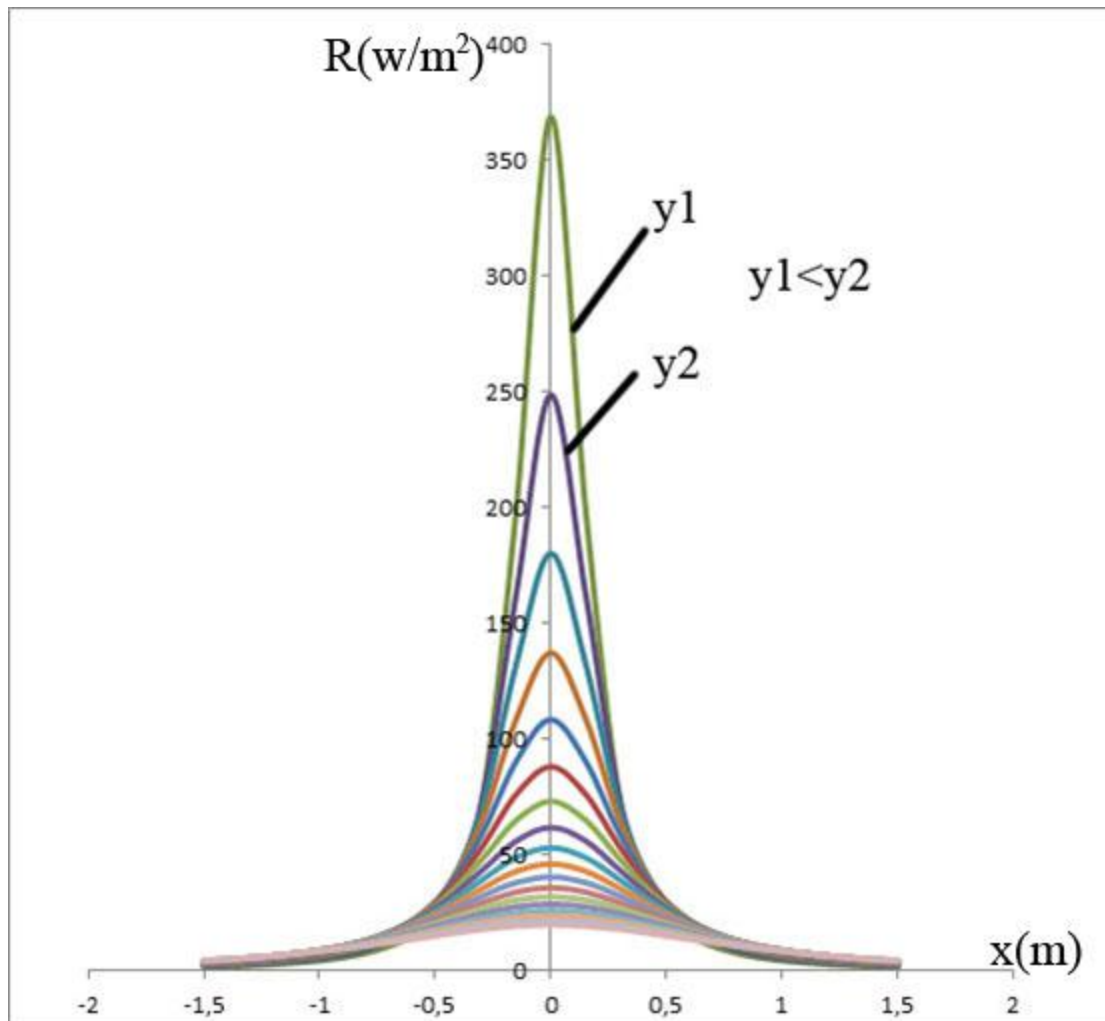
Πίνακας 4.4 Προσπίπτουσα ακτινοβολία R

Χ(εγκάρσια)	0	0,15	0,3	0,45	0,6	0,75	0,9	1,05	1,2	1,35	1,5
γ (ύψος)											
0,05	4274,03	176,54	28,87	9,60	4,36	2,36	1,43	0,93	0,64	0,47	0,35
0,1	1254,92	245,57	51,83	18,26	8,48	4,63	2,82	1,85	1,28	0,93	0,69
0,15	612,76	234,78	66,06	25,31	12,14	6,74	4,14	2,73	1,90	1,38	1,03
0,2	368,46	198,68	72,10	30,42	15,22	8,63	5,36	3,56	2,49	1,81	1,36
0,25	248,35	162,27	72,26	33,63	17,64	10,26	6,46	4,33	3,05	2,23	1,68
0,3	179,91	132,11	68,94	35,21	19,40	11,60	7,43	5,03	3,57	2,62	1,98
0,35	136,99	108,48	63,92	35,50	20,55	12,65	8,25	5,66	4,04	2,98	2,27
0,4	108,19	90,18	58,33	34,88	21,17	13,43	8,93	6,20	4,47	3,32	2,53
0,45	87,85	75,93	52,81	33,66	21,36	13,96	9,47	6,67	4,85	3,63	2,78
0,5	72,92	64,72	47,65	32,08	21,22	14,27	9,88	7,05	5,18	3,90	3,01
0,55	61,61	55,79	42,96	30,31	20,82	14,39	10,16	7,36	5,46	4,15	3,22
0,6	52,83	48,57	38,79	28,48	20,24	14,36	10,34	7,59	5,69	4,36	3,41
0,65	45,85	42,68	35,10	26,67	19,54	14,21	10,42	7,76	5,88	4,54	3,57
0,7	40,22	37,80	31,85	24,92	18,77	13,96	10,42	7,87	6,03	4,70	3,71
0,75	35,60	33,72	28,99	23,26	17,95	13,64	10,36	7,93	6,14	4,82	3,84
0,8	31,77	30,28	26,48	21,71	17,13	13,27	10,24	7,94	6,22	4,92	3,94
0,85	28,54	27,35	24,26	20,27	16,31	12,86	10,08	7,91	6,26	5,00	4,03
0,9	25,79	24,83	22,29	18,94	15,51	12,43	9,88	7,85	6,27	5,05	4,10
0,95	23,44	22,66	20,55	17,71	14,73	11,99	9,66	7,77	6,26	5,08	4,15
1	21,41	20,76	19,00	16,59	13,99	11,54	9,42	7,66	6,23	5,09	4,19
1,05	19,64	19,10	17,62	15,55	13,28	11,10	9,16	7,53	6,18	5,09	4,21

Τα αποτελέσματα του παραπάνω πίνακα προέκυψαν από την σχέση (4.5) που υπολογίστηκε κατά την προηγούμενη ανάλυση:

$$R = \cos(\operatorname{atan}\left(\frac{x}{y}\right)) \cdot 21,41 \cdot \left[\frac{x}{\sin\left(\operatorname{atan}\left(\frac{x}{y}\right)\right)} \right]^{-1,768} \quad (4.5)$$

Σε αυτό το σημείο λοιπόν γνωρίζουμε την κατανομή της ακτινοβολίας κατά x για διαφορετικά ύψη Y τοποθέτησης των λαμπτήρων από τον συλλέκτη. Έτσι αρχικά μπορούμε να παρουσιάσουμε εποπτικά τις συναρτήσεις που προκύπτουν για διάφορα ύψη σε μια γραφική παράσταση ως ακολούθως.



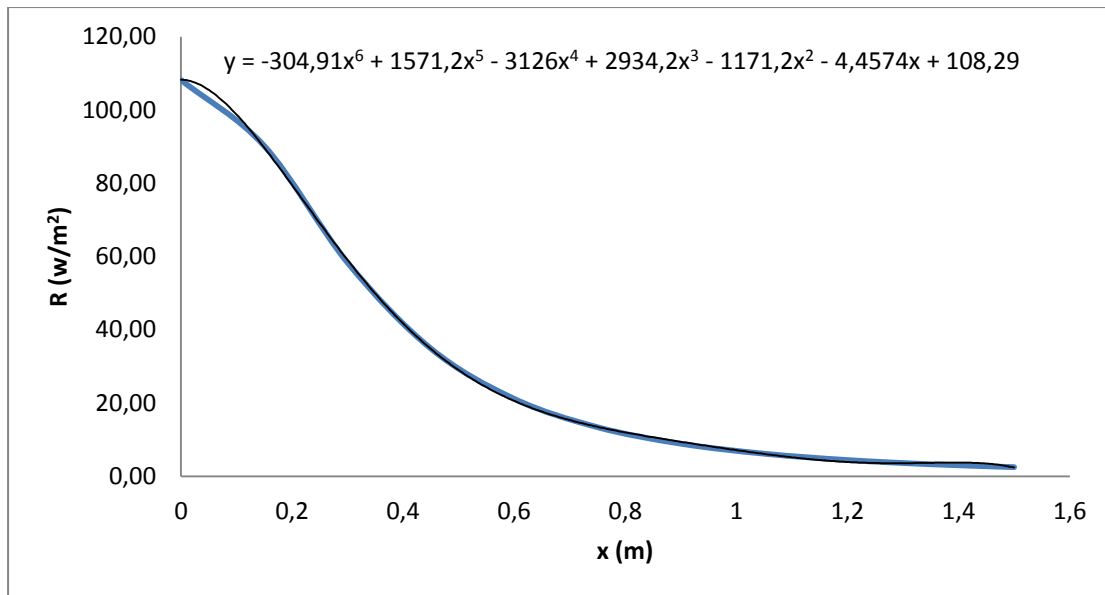
Διάγραμμα 4.2 Ακτινοβολία συναρτήσει του x με παράμετρο το ύψος

Όπως γίνεται αντιληπτό από το διάγραμμα αυξανόμενης της απόστασης y παίρνουμε γραμμή πιο κοντά στον άξονα των x συνεπώς συνολικά λαμβάνουμε και μικρότερη ακτινοβολία. Στο παραπάνω διάγραμμα δεν συμπεριλάβαμε τα πλοταρίσματα για τα 3 μικρότερα ύψη διότι η κλίμακα του διαγράμματος δεν επέτρεπε εποπτεία των υπολοίπων. Στην συνέχεια πλοτάρουμε μόνον την συνάρτηση που μας ενδιαφέρει αυτή δηλαδή που αντιστοιχίζεται στο ύψος $y = h = 40 \text{ cm}$.

Από τον πίνακα που παρουσιάσαμε παραπάνω για $Y = 0,4\text{m}$ παίρνουμε τα εξής δεδομένα:

Πίνακας 4.5 Ακτινοβολία συναρτήσει του x για ύψος $Y = 0,4 \text{ m}$

$X(\text{m})$	0	0,15	0,3	0,45	0,6	0,75	0,9	1,05	1,2	1,35	1,5
$R (\text{w/m}^2)$	108,19	90,18	58,33	34,88	21,17	13,43	8,93	6,20	4,47	3,32	2,53



Διάγραμμα 4.3 Ακτινοβολία συναρτήσει του x για ύψος Y = 0,4 m

Χρησιμοποιώντας προσέγγιση πολυωνύμου καταλήγουμε στην συνάρτηση

$$R = -304,91x^6 + 1571,2x^5 - 3126x^4 + 2934,2x^3 - 1171,2x^2 - 4,4574x + 108,29 \quad (4.6)$$

Το βήμα αυτό έγινε ώστε να καταλήξουμε σε μια συνάρτηση ολοκληρώσιμη ώστε να μπορέσουμε να υπολογίσουμε το σύνολο της ακτινοβολίας που εκπέμπεται από κάθε λαμπτήρα στην επιφάνεια του συλλέκτη. Η ακτινοβολία που παίρνουμε για ακτίνα μεγαλύτερη από 1,5 m από τον λαμπτήρα είναι μικρής τάξης μεγέθους δεν επηρεάζει τους υπολογισμούς μας και συνεπώς θεωρείται 0.

Βρίσκοντας λοιπόν την ακτινοβολία που προσπίπτει στον δίσκο ακτίνας 1,5 m επάνω στον συλλέκτη κατά το μέτωπο του λαμπτήρα βρίσκουμε και την συνολική ακτινοβολία του λαμπτήρα. Έτσι λοιπόν υπολογίζουμε το ολοκλήρωμα:

$$\int_0^{1,5} R(x) \cdot 2\pi \cdot dx = 2\pi \cdot \int_0^{1,5} R(x) dx \quad (4.7)$$

Υπολογίζοντας το ορισμένο ολοκλήρωμα παίρνουμε

$$2\pi \int_0^{1,5} (-304.91 x^7 + 1571.2 x^6 - 3126 x^5 + 2934.2 x^4 - 1171.2 x^3 - 4.4574 x^2 + 108.29 x) dx = 14.559 \cdot 2\pi$$

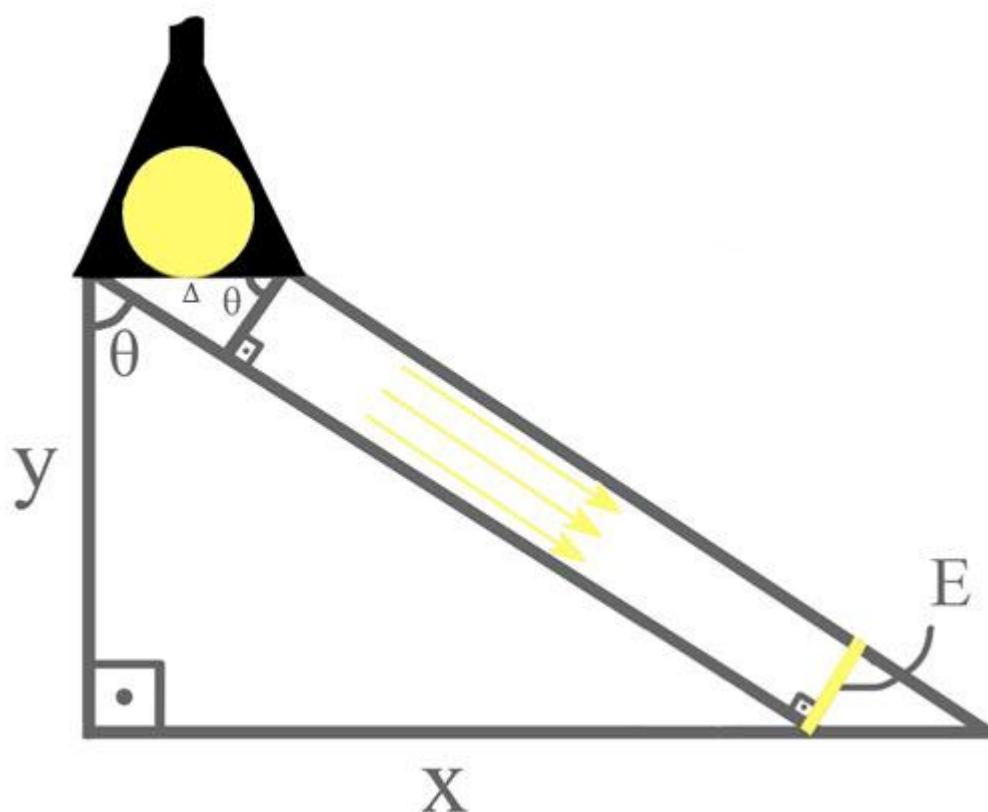
Και τελικά η ακτινοβολία κάθε λαμπτήρα είναι R= 91,4 watt. Η συνολική λοιπόν ακτινοβολία και για τους 16 λαμπτήρες είναι $16 \times 91,4 = 1463$ watt

$$R_{\text{tot}} = 1463 \text{ watt}$$

Μέχρι στιγμής έχουμε υπολογίσει την συνολική προσπίπτουσα ακτινοβολία των λαμπτήρων με την προϋπόθεση ότι οι λαμπτήρες ακτινοβολούν ως σημειακές πηγές και συνεπώς δεν έχουμε λάβει υπ όψιν την γεωμετρία των λαμπτήρων. Μια σημειακή πηγή έχει την ιδιότητα να ακτινοβολεί με την ίδια ένταση στην περίμετρο ομόκεντρων κύκλων με κέντρο την σημειακή πηγή. Αυτό ωστόσο δεν είναι

ρεαλιστικό σαν σενάριο μοντελοποίησης για την περίπτωση μας μιας και οι πραγματικές πηγές ακτινοβολούν κυρίως στο μέτωπο αυτών. Όπως γίνεται κατανοητό η νέα ακτινοβολία που θα προκύψει από την μοντελοποίηση που θα συμπεριλαμβάνει και τον παράγοντα γεωμετρίας θα είναι μικρότερη της ισχύος που βρήκαμε προηγουμένως. Βέβαια η διατομή εξόδου της ακτινοβολίας των λαμπτήρων έχει καμπύλη μορφή ώστε η προσπίπτουσα ακτινοβολία να έχει υψηλή ένταση ακόμη και σε μεγάλες γωνίες προσβολής. Θα ακολουθήσει ανάλυση για την στάθμιση της ακτινοβολίας με την επιπλέον παράμετρο της φυσικής γεωμετρίας της πηγής.

Για τον προηγούμενο σκοπό θα εξετάσουμε την περίπτωση επίπεδης επιφάνειας ακτινοβολίας από την οποία και οδηγούνται οι γραμμές ακτινοβολίας.



Εικόνα 4.3 Επιφάνεια μετώπου του λαμπτήρα που “βλέπει” το σημείο προσβολής

Το σημείο που εξετάζουμε εγκάρσιας απόστασης x από την προβολή της πηγής βλέπει τις γραμμές ακτινοβολίας που περνούν από την επιφάνεια E . Έστω Δ η επιφάνεια του μετώπου του λαμπτήρα και χάριν αδιαστατοποίησης θεωρούμε ότι ισούται με 1. Τότε από τη γεωμετρία του ανωτέρω σχήματος έχουμε:

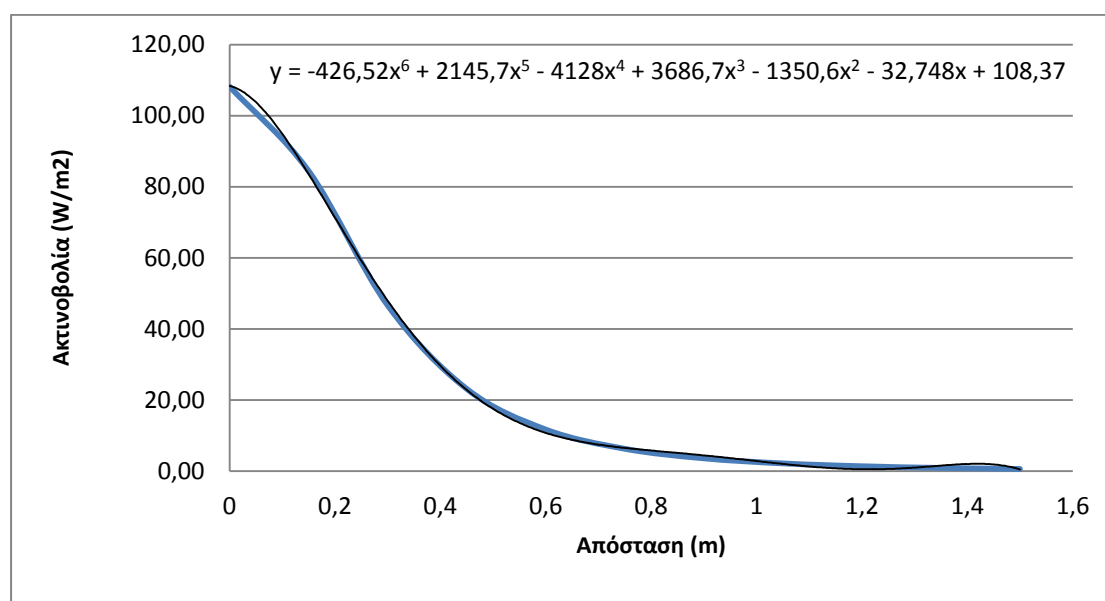
$$\theta = \text{atan}\left(\frac{x}{y}\right), \quad E = \Delta \cdot \cos\theta \rightarrow E = \cos\left(\text{atan}\left(\frac{x}{y}\right)\right) \quad (4.8)$$

Πολλαπλασιάζοντας τώρα τις ακτινοβολίες που βρήκαμε προηγουμένως για σημειακή πηγή με την ανοιγμένη επιφάνεια E και παίρνουμε:

Διάγραμμα 4.6 Προσπίπτουσα ακτινοβολία R μετά την διόρθωση επιφάνειας

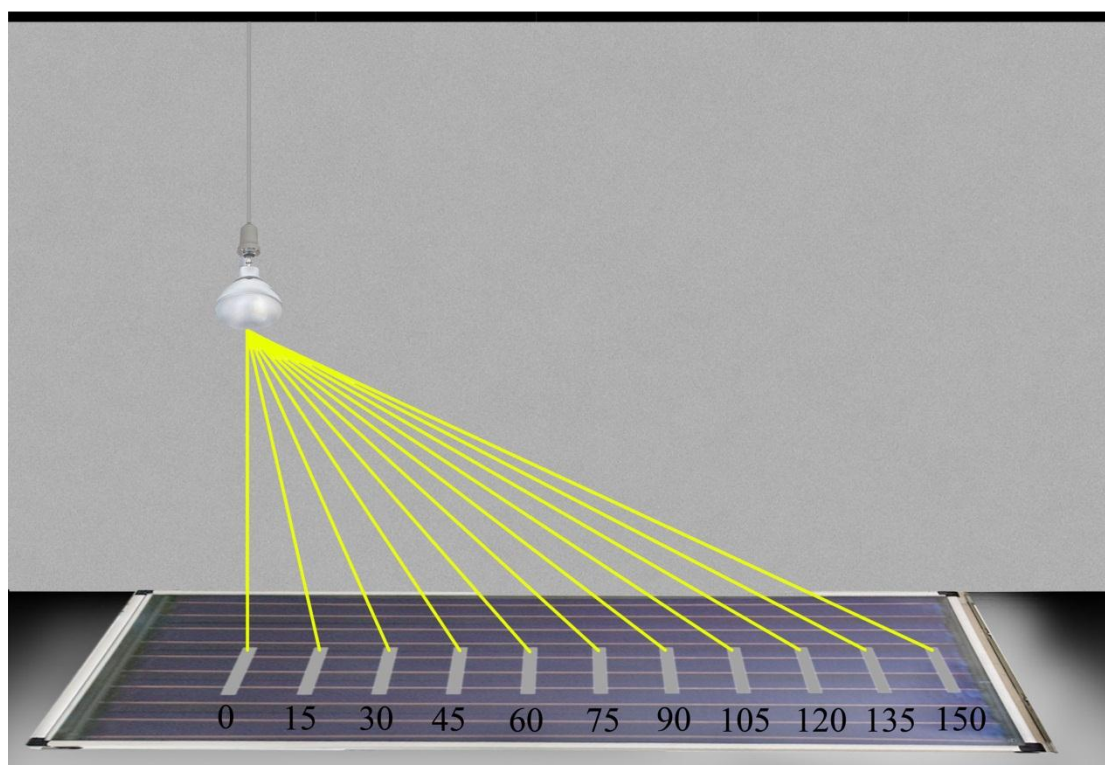
Χ(εγκάρσια)	0	0,15	0,3	0,45	0,6	0,75	0,9	1,05	1,2	1,35	1,5
γ (ύψος)											
0,05	4274,031	55,826	4,746	1,060	0,362	0,157	0,079	0,044	0,027	0,017	0,012
0,1	1254,922	136,216	16,391	3,962	1,394	0,612	0,311	0,175	0,106	0,068	0,046
0,15	612,756	166,015	29,541	8,004	2,945	1,323	0,680	0,386	0,235	0,152	0,103
0,2	368,464	158,942	39,995	12,356	4,813	2,225	1,163	0,666	0,409	0,265	0,180
0,25	248,347	139,146	46,261	16,334	6,783	3,244	1,730	1,004	0,621	0,405	0,276
0,3	179,915	118,165	48,745	19,529	8,674	4,307	2,350	1,383	0,865	0,568	0,388
0,35	136,995	99,709	48,530	21,795	10,352	5,349	2,992	1,789	1,131	0,749	0,515
0,4	108,187	84,434	46,668	23,174	11,743	6,320	3,628	2,208	1,413	0,944	0,653
0,45	87,849	72,033	43,940	23,801	12,818	7,182	4,235	2,626	1,702	1,147	0,800
0,5	72,918	61,991	40,855	23,844	13,583	7,915	4,796	3,030	1,992	1,356	0,952
0,55	61,611	53,821	37,718	23,461	14,068	8,511	5,298	3,413	2,275	1,565	1,108
0,6	52,826	47,124	34,695	22,787	14,312	8,973	5,734	3,766	2,547	1,771	1,265
0,65	45,855	41,585	31,870	21,928	14,359	9,307	6,101	4,085	2,803	1,971	1,419
0,7	40,224	36,961	29,276	20,963	14,249	9,527	6,399	4,366	3,040	2,162	1,571
0,75	35,605	33,069	26,920	19,949	14,020	9,646	6,632	4,609	3,255	2,342	1,717
0,8	31,765	29,763	24,791	18,924	13,702	9,681	6,804	4,813	3,448	2,509	1,856
0,85	28,537	26,935	22,874	17,916	13,323	9,645	6,921	4,980	3,617	2,662	1,987
0,9	25,794	24,496	21,150	16,941	12,901	9,551	6,988	5,112	3,763	2,800	2,109
0,95	23,442	22,380	19,599	16,009	12,455	9,411	7,013	5,211	3,887	2,923	2,221
1	21,410	20,531	18,201	15,126	11,996	9,235	7,001	5,279	3,988	3,031	2,324
1,05	19,641	18,907	16,941	14,295	11,533	9,033	6,958	5,321	4,069	3,125	2,417

Για την απόσταση των 0,4 m που μας ενδιαφέρει παίρνουμε:



Διάγραμμα 4.4 Διορθωμένη ακτινοβολία R – x για ύψος 0,4 m

Χρησιμοποιώντας τους κόμβους ελέγχου στον άξονα x όπως στο σχήμα:



Εικόνα 4.4 Κόμβοι ελέγχου

Σύμφωνα με τα προηγούμενα και υπολογίζοντας με το ολοκλήρωμα

$$2\pi \cdot \int_0^{1,5} R(x)dx \text{ παίρνουμε } R_{\text{geom}} = 940 \text{ W/m}^2 .$$

Με την ανάλυσή μας μέχρι στιγμής έχουμε καταλήξει σε δύο ακτινοβολίες μια για σημειακή πηγή και μια για πηγή με επίπεδη επιφάνεια. Αυτές οι ακτινοβολίες αποτελούν και το άνω και κάτω όριο αντίστοιχα για την πραγματική προσπίπτουσα ακτινοβολία G_t την οποία και δέχεται ο επίπεδος συλλέκτης της εγκατάστασής μας.

$$R_{\text{tot}} = 1463 < G_t < R_{\text{geom}} = 940$$

Εξετάζοντας την γεωμετρία του λαμπτήρα καταλήγουμε - παρατηρούμε πως η καμπυλότητα της επιφάνειας εξόδου της ακτινοβολίας είναι σφαιρική επιφάνεια της οποίας το $\frac{1}{4}$ της επιφάνειας οδηγεί τις γραμμές ακτινοβολίας. Συνεπώς για την τελική προσπίπτουσα ακτινοβολία σταθμίζουμε τα αποτελέσματά μας ως εξής:

$$G_t = (R_{\text{tot}} - R_{\text{geom}}) \cdot \frac{1}{4} + R_{\text{geom}} \rightarrow G_t = R_{\text{tot}} \cdot \frac{1}{4} + R_{\text{geom}} \cdot \frac{3}{4}$$

$$\rightarrow G_t = 1070 \text{ watt/m}^2 .$$

Αυτή είναι και η προσπίπτουσα ακτινοβολία που θα χρησιμοποιήσουμε για την εκπόνηση των ενεργειακών και λοιπών υπολογισμών μας στην περαιτέρω ανάλυση της λειτουργίας της εργαστηριακής μας μονάδας. Η παραπάνω ανάλυση οδήγησε σε ένα αριθμητικό αποτέλεσμα για το οποίο έχουμε μικρή αβεβαιότητα μιας και ο

τρόπος υπολογισμού από τον οποίο προέκυψε έγινε σύμφωνα με θεμελιώδεις αρχές και στοιχειώδης πειραματικές μετρήσεις.

5. ΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ

Έχοντας υπολογίσει και την προσπίπτουσα ακτινοβολία είμαστε πλέον σε θέση να καταγράψουμε πειραματικά αποτελέσματα και να τα επεξεργαστούμε. Η διαδικασία εκκίνησης και λειτουργίας ως ακολουθήθηκε καθώς και ως πρέπει να ακολουθείται στο μέλλον για εκπόνηση πειραμάτων περιγράφεται σε αυτό το σημείο. Για καλύτερη εποπτεία παρουσιάζεται η διαδικασία εκκίνησης και καταγραφής δεδομένων σε βήματα.

5.1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ [3]

5.1.1 ΕΚΚΙΝΗΣΗ-ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

1. Άνοιγμα βάνας νερού δικτύου από το σημείο αρχής της παροχής.
2. Έλεγχος βάνας εξόδου νερού χρήσης, κλειστή.
3. Άνοιγμα βάνας εισόδου νερού δικτύου.
4. Έλεγχος για πιθανές διαρροές , καμία διαρροή.
5. Τοποθέτηση πρίζας στον πίνακα ρεύματος στην τριφασική πηγή (κόκκινο χρώμα).
6. Άρση ασφάλειας του controller.
7. Ενεργοποίηση του controller (διακόπτης ON/OFF στο ON).
8. Έλεγχος λαμπτήρα λειτουργίας controller , κόκκινο χρώμα.
9. Ενεργοποίηση ηλεκτρονικού υπολογιστή.
10. Εκκίνηση προγράμματος SCADA.
11. Δημιουργία αρχείου αποθήκευσης και εκκίνηση της διαδικασίας όπως περιγράφεται στο manual
12. Δημιουργία των κατάλληλων συνθηκών μέτρησης, ρύθμιση επενεργητών (άνοιγμα λαμπτήρων και κυκλοφορητή).
13. Ρύθμιση ροής κλειστού κυκλώματος και έλεγχος της επιθυμητής τιμής από το πρόγραμμα SCADA.
14. Άνοιγμα βάνας εξόδου νερού χρήσης , μικρή ποσότητα (περίπου 1 lt/20min) και αποταμίευση της παροχής αυτής στην βαθμονομημένη δεξαμενή αποταμίευσης.

Σε αυτό το σημείο έχουμε ορίσει τις συνθήκες του πειράματος, έχει τεθεί σε λειτουργία η μονάδα και οι μετρήσεις αποθηκεύονται σε αρχείο που έχουμε επιλέξει (τύπου .dat). Στο σημείο αυτό ο ρόλος του διαχειριστή της πειραματικής εγκατάστασης είναι εποπτικός , αυτό συμβαίνει είτε μέχρι την λήξη του πειράματος είτε μέχρι την χρονική στιγμή αλλαγής κάποιον παραμέτρων του πειράματος σύμφωνα με την βούληση του διαχειριστή της μονάδας. Συγκεκριμένα κατά την διενέργεια των πειραμάτων η πειραματική διαδικασία χωρίστηκε σε δύο μέρη. Στο πρώτο μέρος έχουμε την διαδικασία απορρόφησης της ακτινοβολίας και θέρμανσης

του νερού χρήσης καθώς επίσης και μια μικρή παροχή χρήσης (1lt/20min). Η παροχή αυτή αποτελεί αναπόσπαστη ανάγκη για την ορθή παρατήρηση της θερμοκρασίας στις θέσεις εισόδου στο boiler καθώς και στην θέση εξόδου από αυτό. Σε αντίθετη περίπτωση μη ύπαρξη αυτής της παροχής θα οδηγούσε σε δημιουργία στάσιμου νερού στα προαναφερθέντα σημεία με αποτέλεσμα οι θερμοκρασίες που θα μας έδειχναν τα θερμοστοιχεία να μην ανταποκρίνονται στις αντίστοιχες τοπικές θερμοκρασίες. Το προηγούμενο έγινε αντιληπτό ύστερα από πείραμα με μηδενική παροχή χρήσης. Στο δεύτερο μέρος λαμβάνει χώρα η διαδικασία χρήσης όπου οι επενεργητές (λαμπτήρες και κυκλοφορητής) τίθενται εκτός λειτουργίας και γίνεται χρήση του νερού αποθήκευσης με μεγάλη παροχή (10 lt/min) το οποίο νερό και οδηγείται στην αποχέτευση. Αναλυτικότερα οι διαδικασίες κατά την διενέργεια του πειράματος είναι:

5.1.2 ΕΝΕΡΓΕΙΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ

1. Έλεγχος και εποπτεία κατά την αναμονή περάτωσης του πρώτου μέρους απορρόφησης της ακτινοβολίας και θέρμανσης του νερού χρήσης, η διάρκεια αυτού του μέρους κυμαίνεται από 3 μέχρι 4 ώρες.
2. Την χρονική στιγμή λήξης του πρώτου μέρους κλείνουμε όλους τους επενεργητές μετακινούμε το λάστιχο χρήσης από τον αποταμιευτήρα χρήσης στην αποχέτευση και γυρίζοντας την βάνα εξόδου χρήσης, επιτυγχάνουμε την επιθυμητή παροχή (10 lt/min). Η διάρκεια αυτού του μέρους κυμαίνεται από 15 μέχρι 45 λεπτά. Δεδομένου ότι η χωρητικότητα του Boiler είναι 150 lit ο ελάχιστος χρόνος που απαιτείται για την εκκαθάρισή του από όλη την ποσότητα του ζεστού νερού είναι τα 15 λεπτά.
3. Γίνεται καταγραφή της ποσότητας του νερού χρήσης που αποταμιεύτηκε στην αντίστοιχη δεξαμενή με την μικρή παροχή κατά την διάρκεια του πρώτου μέρους.
4. Διακόπτουμε την καταγραφή των δεδομένων και την λήψη στοιχείων από τους αισθητήρες μέσω του προγράμματος SCADA.

Έχοντας ολοκληρώσει με επιτυχία την πειραματική μας διαδικασία και έχοντας αποθηκεύσει τα πειραματικά δεδομένα που προέκυψαν στο αντίστοιχο αρχείο δεν μας μένει παρά να θέσουμε την μονάδα εκτός λειτουργίας και να την ασφαλίσουμε μέχρι την επόμενη μας εργασία. Ακολουθούν οι διαδικασίες απενεργοποίησης και ασφάλισης της μονάδας.

5.1.3 ΑΠΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗ – ΑΣΦΑΛΙΣΗ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ

1. Κλείνουμε όλες τις βάνες του δευτερεύοντος κυκλώματος (νερού χρήσης) με την ακόλουθη σειρά V6 – V5.
2. Κλείνουμε την βάνα παροχής νερού από την πηγή της (βάνα δικτύου στο δάπεδο).
3. Κλείνουμε το πρόγραμμα SCADA.
4. Απενεργοποιούμε τον Η/Υ.
5. Κλείνουμε τον διακόπτη λειτουργίας του controller (θέση OFF).
6. Ρίχνουμε την ασφάλεια του controller.
7. Βγάζουμε την πρίζα από την παροχή τριφασικού ρεύματος.
8. Ελέγχουμε τον χώρο για τυχόν διαρροές και πριν αποχωρίσουμε απομακρύνουμε το λάστιχο από τον διάδρομο για αποφυγή πιθανών ατυχημάτων.

Έχοντας παρουσιάσει τα βήματα που ακολουθήθηκαν και που πρέπει να ακολουθούνται κατά την διενέργεια εργαστηριακών ασκήσεων συνεχίζουμε με την παράθεση των πειραμάτων που διεξήχθησαν. Σε αυτό το μέρος γίνεται παρουσίαση των παραμέτρων – συνθηκών, της επιλογής των επενεργητών που ήταν ενεργοποιημένοι καθώς και των αποτελεσμάτων δηλαδή των καταγεγραμμένων τιμών των αισθητήρων στα πειράματά μας. Στη συνέχεια χρησιμοποιούμε αυτά τα πειραματικά δεδομένα για περεταίρω ανάλυση και επεξεργασία με σκοπό την μελέτη της θερμικής συμπεριφοράς της δεδομένης εργαστηριακής μονάδας καθώς και την προσέγγιση της λειτουργίας κάθε μονάδας θερμοσίφωνα. Έγιναν συνολικά 15 πειράματα συνολικής διάρκειας 60 ωρών. Θα ακολουθήσει ανάλυση όλων των συμπερασμάτων από το σύνολο των πειραμάτων. Από τα πειράματα αυτά θα παρουσιασθούν και θα αναλυθούν τα 3 πρότυπα πειράματα τα οποία και θα αποτελούν μέρος της εργαστηριακής άσκησης που θα προταθεί για εκπόνηση.

5.2 ΠΡΟΤΥΠΟ ΠΕΙΡΑΜΑ 1

5.2.1 ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗ ΕΠΕΝΕΡΓΗΤΩΝ

Στο πείραμα αυτό γίνεται χρήση των μισών λαμπτήρων (8 λαμπτήρες) και συνεπώς η μονάδα εξετάζεται για την μισή της υπάρχουσας ισχύος ακτινοβολίας.

Ο ρυθμός καταγραφής δεδομένων ρυθμίζεται στο ένα δείγμα για κάθε 150 sec.

Στο πρώτο μέρος, στο μέρος θέρμανσης ρυθμίζεται η παροχή του υγρού θερμικής συναλλαγής μέσω της ενεργοποίησης του κυκλοφορητή και την ρύθμιση της αντίστοιχης βάνας σε 1 litre/min.

Επίσης για τους λόγους που περιγράφηκαν προηγουμένως κατά το πρώτο μέρος παρέχουμε μικρή παροχή χρήσης εξόδου της τάξης του 1 litre/20min, η παροχή αυτή επιτυγχάνεται εμπειρικά και αποταμιεύεται σε δεξαμενή ελέγχου.

Το πρώτο μέρος της θέρμανσης έχει διάρκεια 14400 sec, όπου και κατά την στιγμή αυτή ξεκινάει το δεύτερο μέρος.

Στην λήξη του πρώτου μέρους τελικά μετράμε για την μικρή παροχή συνολική ποσότητα νερού για τα 14400 sec ίσο με 10 litre.

Στο δεύτερο μέρος, το μέρος χρήσης όλοι οι επενεργητές, κυκλοφορητής και λαμπτήρες τίθενται εκτός λειτουργίας.

Ρυθμίζουμε την βάνα εξόδου χρήσης ώστε να παρέχουμε ροή 10 litre/min.

Το πείραμα σταματάει σε συνολικό χρόνο 16500 sec και συνεπώς το μέρος χρήσης διαρκεί 2100 sec.

Συγκεντρωτικά έχουμε:

- Χρήση των μισών λαμπτήρων (8 λαμπτήρες)
- Ένα δείγμα για κάθε 150 sec
- Παροχή του υγρού θερμικής συναλλαγής 1 litre/min
- Πρώτο μέρος, παροχή χρήσης εξόδου της τάξης του 1 litre/20min
- Το πρώτο μέρος της θέρμανσης έχει διάρκεια 14400 sec
- Για την μικρή παροχή συνολική ποσότητα νερού για τα 14400 sec ίση με 10 litre.
- Μέρος χρήσης όλοι οι επενεργητές, κυκλοφορητής και λαμπτήρες τίθενται εκτός λειτουργίας
- Βάνα εξόδου ροή 10 litre/min
- Το μέρος χρήσης διαρκεί 2100 sec.

Ακολουθούν το σύνολο των δεδομένων που καταγράφηκαν από τα 9 θερμοστοιχεία και το ηλεκτρικό ροόμετρο της εγκατάστασης για τον χρόνο του πειράματος.

5.2.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ ΠΕΙΡΑΜΑ 1

Πίνακας 5.2.2.1 Αποτελέσματα πρότυπου πειράματος 1

Time(s)	ST-1	ST-2	ST-3	ST-4	ST-5	ST-6	ST-7	ST-8	ST-10	SC-1
0	23,0055	22,7405	22,2311	22,5430	22,6157	22,1874	22,7287	22,0734	22,2513	0,0000
150	25,8755	22,6572	22,6514	25,4792	22,4527	22,0948	22,5748	22,1619	26,4498	1,0248
300	26,9531	22,8337	23,0054	26,9428	23,0406	21,7555	22,7025	22,3219	28,5365	1,0250
450	27,7147	23,1645	23,3684	27,9151	23,1537	21,7281	23,0541	22,4824	30,5432	1,0232
600	28,3478	23,7017	23,8852	28,7589	23,2655	21,8675	23,5422	22,6658	32,3221	1,0280
750	28,8719	24,1744	24,3446	29,5094	22,9548	22,0500	23,9736	22,8409	33,9552	1,0214
900	29,6811	24,5182	24,7648	30,2999	23,3949	22,2091	24,3728	23,0065	35,2237	1,0307
1050	30,2219	24,8206	25,0571	30,9510	23,6026	22,4247	24,6606	23,1853	36,3496	1,0238
1200	30,6717	25,1008	25,3209	31,4872	23,7279	22,5710	25,1762	23,3532	37,1415	1,0269
1350	31,0072	25,3430	25,5624	31,9388	23,7149	22,7200	25,5961	23,4882	37,7747	1,0219
1500	31,3154	25,5513	25,7978	32,3200	23,9409	22,8334	25,9558	23,6159	38,4997	1,0234
1650	31,5920	25,7683	26,0025	32,6616	24,0620	22,9704	26,3793	23,7612	38,9754	1,0245
1800	31,8406	25,9762	26,1917	32,9746	24,0514	23,0848	26,7616	23,9036	39,2400	1,0287
1950	32,0732	26,1629	26,3751	33,2551	24,2706	23,2173	27,1486	24,0591	39,4937	1,0250
2100	32,2461	26,3227	26,5389	33,4855	24,4352	23,3162	27,4937	24,2092	39,7842	1,0234
2250	32,4444	26,4698	26,6853	33,6903	24,4469	23,4053	27,8164	24,3361	39,9447	1,0298
2400	32,6020	26,6122	26,8226	33,8597	24,5443	23,4621	28,1033	24,4474	40,0647	1,0256
2550	32,7480	26,7461	26,9712	34,0562	24,5673	23,5379	28,3898	24,5733	40,3181	1,0207
2700	32,9640	26,8805	27,0976	34,2685	24,7651	23,6032	28,6476	24,7099	40,4737	1,0252
2850	33,0983	27,0028	27,2134	34,4418	24,8150	23,6797	28,9007	24,8403	40,7528	1,0225
3000	33,2133	27,1175	27,3318	34,5619	24,9072	23,7426	29,1399	24,9807	40,7679	1,0209
3150	33,2844	27,2155	27,4426	34,6601	24,9781	23,7792	29,3553	25,0855	40,8755	1,0250
3300	33,3830	27,3091	27,5309	34,7476	24,7611	23,8236	29,5260	25,1898	40,7910	1,0251
3450	33,4865	27,4246	27,6295	34,8469	24,8692	23,8662	29,7106	25,3014	40,9602	1,0254
3600	33,6205	27,5478	27,7500	34,9681	24,9948	23,9178	29,9083	25,4036	41,1216	1,0167
3750	33,7083	27,6362	27,8453	35,0754	25,0983	23,9246	30,0909	25,5075	41,3215	1,0208
3900	33,7825	27,7255	27,9211	35,1574	25,1027	23,9523	30,2268	25,6064	41,6233	1,0297
4050	33,8730	27,8227	28,0170	35,2431	25,0533	23,9999	30,3757	25,7121	41,4377	1,0268
4200	33,9794	27,9292	28,1295	35,3255	25,1627	24,0370	30,5395	25,8231	41,4466	1,0177
4350	34,0660	28,0156	28,2219	35,4024	25,0835	24,0831	30,6860	25,9369	41,5168	1,0246
4500	34,1472	28,1010	28,3206	35,4798	25,0475	24,1005	30,8146	26,0313	41,5585	1,0225
4650	34,2267	28,2114	28,4201	35,5610	25,2200	24,1440	30,9625	26,1450	41,3451	1,0224
4800	34,3068	28,3155	28,5045	35,6416	25,1368	24,1544	31,0839	26,2644	41,6025	1,0212
4950	34,3703	28,3933	28,5678	35,7127	25,1662	24,1831	31,1879	26,3559	41,5989	1,0265
5100	34,4719	28,4810	28,6614	35,7836	25,0999	24,1944	31,2989	26,4644	41,6055	1,0186
5250	34,5728	28,5818	28,7636	35,8599	25,1293	24,2395	31,4176	26,5815	41,5984	1,0199
5400	34,6687	28,6839	28,8656	35,9381	25,4069	24,2643	31,5525	26,6988	41,7043	1,0194
5550	34,7355	28,7673	28,9500	35,9920	25,2077	24,2816	31,6546	26,7940	41,7047	1,0237
5700	34,8035	28,8708	29,0339	36,0564	25,3266	24,2951	31,7660	26,9166	41,7472	1,0254
5850	34,8761	28,9530	29,1225	36,1165	25,4523	24,3039	31,8762	27,0052	41,8909	1,0212
6000	34,9006	29,0056	29,1890	36,1556	25,3928	24,2864	31,9687	27,0982	41,9932	1,0220
6150	34,9827	29,1037	29,2902	36,2218	25,4083	24,3092	32,0774	27,2104	41,8375	1,0230

6300	35,0684	29,1849	29,3806	36,2759	25,4121	24,3233	32,1374	27,2866	41,8456	1,0180
Time(s)	ST-1	ST-2	ST-3	ST-4	ST-5	ST-6	ST-7	ST-8	ST-10	SC-1
6450	35,1423	29,2811	29,4522	36,3552	25,5624	24,3362	32,2449	27,3944	41,8676	1,0205
6600	35,2213	29,3693	29,5338	36,4097	25,5700	24,3258	32,3241	27,5042	41,9929	1,0207
6750	35,2748	29,4391	29,6037	36,4555	25,3700	24,3301	32,3867	27,5815	41,8987	1,0209
6900	35,3530	29,5017	29,6767	36,5064	25,4144	24,3104	32,4576	27,6622	41,9320	1,0251
7050	35,4279	29,5982	29,7624	36,5739	25,3636	24,3325	32,5354	27,7564	41,9211	1,0245
7200	35,5054	29,6955	29,8382	36,6480	25,3565	24,3241	32,6272	27,8614	41,8536	1,0210
7350	35,5748	29,7919	29,9326	36,7236	25,5712	24,3588	32,7341	27,9794	41,9740	1,0155
7500	35,6450	29,8466	30,0163	36,7773	25,4290	24,3568	32,8024	28,0642	41,9270	1,0197
7650	35,7326	29,9444	30,0813	36,8330	25,4788	24,3485	32,8581	28,1559	41,9222	1,0165
7800	35,8200	30,0307	30,1663	36,8944	25,4317	24,3622	32,9428	28,2543	42,1375	1,0155
7950	35,8880	30,1194	30,2565	36,9655	25,4289	24,3805	33,0038	28,3405	42,0200	1,0147
8100	35,9603	30,2101	30,3496	37,0316	25,5183	24,3964	33,1114	28,4428	41,8591	1,0199
8250	36,0033	30,2866	30,4350	37,0824	25,4639	24,4013	33,1857	28,5435	42,1006	1,0167
8400	36,1120	30,3909	30,5261	37,1629	25,4998	24,6171	33,2836	28,6665	42,1884	1,0222
8550	36,1781	30,4845	30,6089	37,2370	25,7174	24,4688	33,3861	28,7793	42,2939	1,0220
8700	36,2699	30,5869	30,6978	37,2870	25,7726	24,4922	33,4871	28,8944	42,2710	1,0259
8850	36,3029	30,6504	30,7571	37,3184	25,6309	24,8125	33,5367	28,9543	42,0932	1,0221
9000	36,3782	30,7319	30,8327	37,3790	25,6719	24,8299	33,5989	29,0394	42,2325	1,0172
9150	36,4393	30,8039	30,9170	37,4345	25,6136	24,5472	33,6685	29,1364	41,9334	1,0199
9300	36,5022	30,9010	30,9877	37,4987	25,6859	24,5138	33,7555	29,2353	42,1568	1,0130
9450	36,5655	30,9766	31,0626	37,5547	25,6067	24,5335	33,8338	29,3243	42,1989	1,0149
9600	36,6383	31,0528	31,1497	37,6084	25,7319	24,5142	33,9010	29,4146	42,1336	1,0174
9750	36,6802	31,1068	31,2051	37,6566	25,6351	24,5250	33,9602	29,4899	42,1897	1,0213
9900	36,7719	31,2047	31,3096	37,7112	25,7463	24,5107	34,0352	29,5874	42,3962	1,0220
10050	36,8021	31,2554	31,3513	37,7435	25,5805	24,5025	34,0795	29,6541	42,2667	1,0220
10200	36,8607	31,3319	31,4127	37,8110	25,6431	24,5678	34,1345	29,7482	42,2294	1,0136
10350	36,9804	31,4448	31,5139	37,8950	25,6159	24,5581	34,2120	29,8588	42,4459	1,0176
10500	37,0581	31,5261	31,6008	37,9649	25,5772	24,5260	34,2897	29,9577	42,5340	1,0159
10650	37,1141	31,5786	31,6599	37,9986	25,7102	24,5639	34,3646	30,0380	42,5616	1,0148
10800	37,1667	31,6649	31,7405	38,0676	25,7603	24,5864	34,4532	30,1441	42,5910	1,0114
10950	37,2400	31,7553	31,8095	38,1290	25,7707	24,5769	34,5312	30,2387	42,5256	1,0123
11100	37,2914	31,8093	31,8834	38,1789	25,6273	24,5312	34,5814	30,3126	42,4627	1,0152
11250	37,3800	31,9021	31,9486	38,2594	25,5892	24,5563	34,6230	30,4047	42,4126	1,0160
11400	37,4622	31,9965	32,0431	38,3169	25,6369	24,5391	34,7059	30,4918	42,4367	1,0208
11550	37,5486	32,0891	32,1348	38,3846	25,6385	24,5821	34,7890	30,5929	42,4656	1,0136
11700	37,6104	32,1548	32,2108	38,4527	25,7201	24,6332	34,8417	30,6691	42,4210	1,0169
11850	37,6837	32,2580	32,2900	38,5207	25,7954	25,0181	34,9279	30,7736	42,5660	1,0181
12000	37,7838	32,3432	32,3658	38,5935	25,8125	24,7852	35,0081	30,8693	42,7296	1,0149
12150	37,8451	32,4175	32,4390	38,6596	25,7897	24,6433	35,0614	30,9502	42,7251	1,0155
12300	37,9278	32,5017	32,5375	38,7350	25,8242	24,7690	35,1381	31,0543	42,8047	1,0119
12450	38,0003	32,6005	32,6162	38,7876	25,7515	24,6104	35,2306	31,1472	42,5419	1,0198
12600	38,0586	32,6717	32,6748	38,8592	25,7792	24,6613	35,2921	31,2361	42,7975	1,0147
12750	38,1105	32,7195	32,7535	38,9038	25,7740	24,5875	35,3514	31,2963	42,8096	1,0197
12900	38,1678	32,7841	32,8020	38,9504	25,7417	24,7178	35,4214	31,3834	42,9699	1,0203
13050	38,2201	32,8856	32,8776	39,0096	25,6168	24,8208	35,4663	31,4694	42,8862	1,0159

Time(s)	ST-1	ST-2	ST-3	ST-4	ST-5	ST-6	ST-7	ST-8	ST-10	SC-1
13200	38,2987	32,9654	32,9473	39,0587	25,7021	24,6354	35,5360	31,5466	42,8756	1,0199
13350	38,3755	33,0427	33,0287	39,1173	25,6678	24,8467	35,5950	31,6405	42,8603	1,0193
13500	38,4413	33,1335	33,1140	39,1908	25,8022	25,7149	35,6881	31,7463	42,8027	1,0181
13650	38,5220	33,2156	33,2074	39,2670	25,7516	24,7856	35,7817	31,8350	42,8778	1,0141
13800	38,5957	33,3002	33,2778	39,3295	25,7671	24,7407	35,8404	31,9112	42,9081	1,0169
13950	38,6737	33,3804	33,3474	39,4039	25,8356	24,9329	35,9224	32,0046	42,9501	1,0169
14100	38,7571	33,4675	33,4421	39,4731	25,9279	25,1940	35,9927	32,0946	42,9716	1,0163
14250	38,8381	33,5478	33,5206	39,5354	25,8919	25,0597	36,0596	32,1674	43,0957	1,0227
14400	38,8915	33,5989	33,5750	39,5957	25,8374	25,4019	36,1230	32,2507	42,9538	1,0139
14550	38,4243	33,3509	33,3775	38,3143	25,7873	23,8467	36,1004	32,1849	40,6085	0,0000
14700	38,2128	33,0383	33,0493	37,8567	25,8010	23,3824	34,6159	29,3012	38,7553	0,0000
14850	38,0424	32,6381	32,5541	37,7387	25,6320	22,8638	33,1777	27,3256	37,0402	0,0000
15000	38,0823	31,9540	32,0393	37,5368	25,6683	22,7251	32,1437	26,1104	35,8501	0,0000
15150	38,0909	31,0622	31,5998	37,1872	25,5512	22,6506	29,9443	25,0773	34,8148	0,0000
15300	38,1408	30,2138	31,2428	36,7260	25,4972	22,6291	26,9550	23,9827	33,9578	0,0000
15450	38,0480	29,4128	30,9271	36,1980	25,5178	22,5756	25,1726	23,8407	33,1876	0,0000
15600	37,9672	28,6325	30,6412	35,6188	25,4758	22,5145	24,3909	23,6078	32,5217	0,0000
15750	37,7515	27,8653	30,3911	35,0162	25,3997	22,4649	24,0705	23,3784	31,6477	0,0000
15900	37,5291	27,1777	30,1873	34,4169	25,1239	22,4503	23,8913	23,2263	31,1094	0,0000
16050	37,2876	26,5439	30,0783	33,8379	25,3265	22,3592	23,5113	23,1551	30,6561	0,0000
16200	36,8567	25,9717	29,9253	33,2361	25,1447	22,2850	23,2966	22,9644	30,1963	0,0000
16350	36,5179	25,5130	29,7798	32,6762	25,1404	22,2569	23,1829	22,8247	29,8561	0,0000
16500	36,0565	25,1091	29,6023	32,1417	25,0963	22,1672	22,9348	22,7087	29,5056	0,0000

5.2.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ, ΠΡΟΤΥΠΟ ΠΕΙΡΑΜΑ 1

5.2.3.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕΣΩΝ ΒΑΘΜΩΝ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ

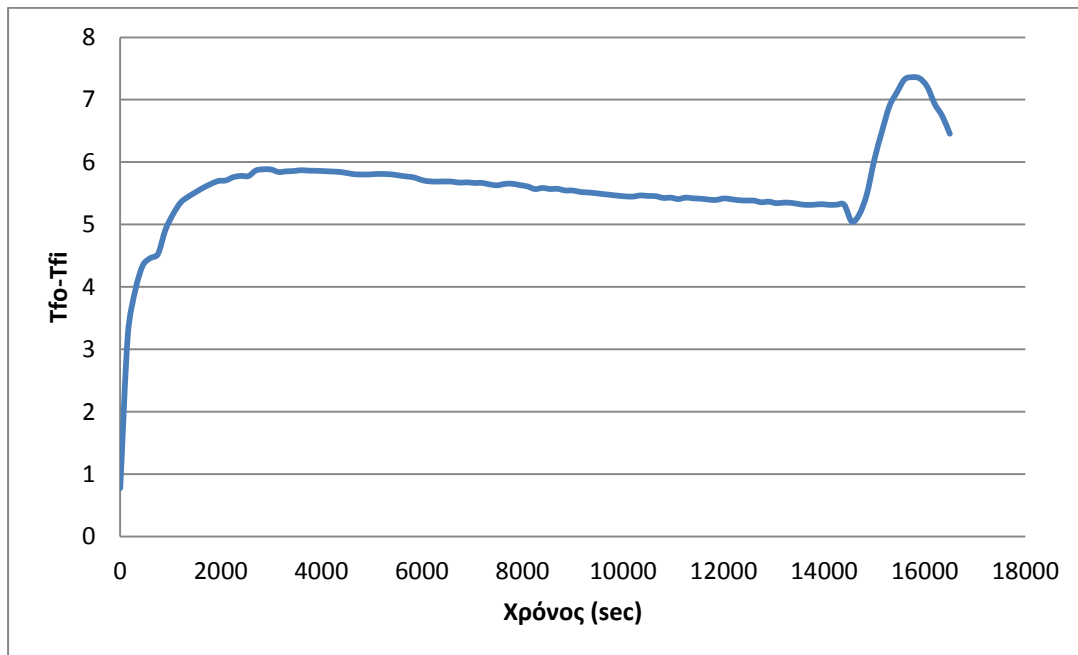
Πίνακας 5.2.3.1.1 Θερμοκρασιακή διαφορά ΔΤ – χρόνος

Time(s)	tfo-tfi(°C)	Time(s)	tfo-tfi(°C)	Time(s)	tfo-tfi(°C)	Time(s)	tfo-tfi(°C)
0	0,774425	4350	5,844061	8700	5,572082	13050	5,342533
150	3,22407	4500	5,82658	8850	5,545788	13200	5,35136
300	3,947754	4650	5,806633	9000	5,545517	13350	5,346775
450	4,346309	4800	5,802369	9150	5,522285	13500	5,327294
600	4,462576	4950	5,802413	9300	5,514545	13650	5,314571
750	4,527266	5100	5,810452	9450	5,502807	13800	5,31792
900	4,916286	5250	5,809248	9600	5,488668	13950	5,326309
1050	5,16473	5400	5,803059	9750	5,475075	14100	5,314976
1200	5,350819	5550	5,785475	9900	5,462346	14250	5,317455
1350	5,444811	5700	5,769563	10050	5,450872	14400	5,316548
1500	5,517578	5850	5,753649	10200	5,447972	14550	5,046878
1650	5,589538	6000	5,711621	10350	5,466492	14700	5,163475
1800	5,64888	6150	5,692413	10500	5,457275	14850	5,488312
1950	5,698051	6300	5,687851	10650	5,454226	15000	6,042999
2100	5,707209	6450	5,690139	10800	5,426246	15150	6,491072
2250	5,759061	6600	5,687486	10950	5,430479	15300	6,897986
2400	5,779424	6750	5,671026	11100	5,407931	15450	7,120906
2550	5,776743	6900	5,676373	11250	5,431423	15600	7,325975
2700	5,86647	7050	5,665493	11400	5,419079	15750	7,360403
2850	5,884941	7200	5,667152	11550	5,413723	15900	7,341745
3000	5,88147	7350	5,642217	11700	5,399552	16050	7,209316
3150	5,841762	7500	5,628719	11850	5,393692	16200	6,931348
3300	5,852051	7650	5,651273	12000	5,417992	16350	6,738081
3450	5,857021	7800	5,653658	12150	5,406078	16500	6,454231
3600	5,870439	7950	5,631472	12300	5,390354		
3750	5,862986	8100	5,610733	12450	5,384098		
3900	5,861372	8250	5,568232	12600	5,383763		
4050	5,856009	8400	5,585844	12750	5,35696		
4200	5,849888	8550	5,569236	12900	5,365788		

Θα εξετάσουμε τον συλλέκτη στο σημείο γραμμικής λειτουργίας του και επομένως για να βρούμε την μέση τιμή της ΔΤ θα χρησιμοποιήσουμε τις τιμές από χρόνο 2100 μέχρι 14400 sec.

Έτσι από τον άνω πίνακα προκύπτει μέση $\Delta T_m = (T_{fo} - T_{fi})_m = 5,59 \text{ }^\circ\text{C}$.

Ακολουθεί το διάγραμμα ΔΤ-t.



Διάγραμμα 5.2.3.1.1 Θερμοκρασιακή διαφορά συλλέκτη ΔT - χρόνος

Στο διάγραμμα διακρίνουμε 3 περιοχές. Η πρώτη περιοχή από χρόνο 0 μέχρι 3000 sec είναι η περιοχή δυναμικής κατάστασης του συλλέκτη όπου η θερμοκρασιακή διαφορά αυξάνεται μέχρι να φτάσει το σημείο ισορροπίας. Η δεύτερη περιοχή από 3000 sec μέχρι 15000 sec είναι η κατάσταση απορρόφησης η οποία χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερη ισορροπία, η τιμή ΔT έχει ισορροπήσει κοντά στους 5,5 βαθμούς. Η πτωτική τάση με μικρό ρυθμό υποδηλώνει την αύξηση των απωλειών με την αύξηση της θερμοκρασίας του εργαζόμενου μέσου πράγμα απολύτως λογικό. Μάλιστα η συνεχόμενη αύξηση της θερμοκρασίας με το πέρασμα του χρόνου θα οδηγούσε σε μία κατάσταση απόλυτης ισορροπίας όπου οι απώλειες U_L θα ήταν ίσες με την προσπίπτουσα ακτινοβολία G_t και συνεπώς δεν θα είχαμε θερμικό κέρδος $q_u = 0$. Έτσι θα είχαμε επίσης $\Delta T = 0$ συνεπώς η γραμμική αυτή τάση μείωσης της ΔT για μεγάλο χρόνο καταλήγει σε τμήση του οριζοντίου άξονα. Στην τρίτη περιοχή από 15000 μέχρι 16500 sec αρχικά αυξάνεται η θερμοκρασιακή διαφορά λόγω της διακοπής του κυκλοφορητή. Ο απορροφητήρας είναι ακόμα ζεστός και μέσω της φυσικής ανωστικής ροής (αφού σε αυτό το σημείο ο κυκλοφορητής είναι κλειστός) το θερμό υγρό ανέρχεται και το ψυχρό συγκεντρώνεται στην βάση. Αυτό υπακούει στον γενικό κανόνα του ότι όσο μικρότερη είναι η παροχή του υγρού τόσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά θερμοκρασίας εξόδου – εισόδου του συλλέκτη ώστε η ισχύς να παραμένει σταθερή. Στην συνέχεια και ενώ ο απορροφητήρας αρχίζει να ψύχεται η ΔT αρχίζει να μειώνεται μέχρι να φτάσει στο μηδέν μετά από κατάλληλο χρονικό διάστημα.

Έγινε υπολογισμός της μέσης παροχής όγκου για το διάστημα 2100 μέχρι 14400 sec ίσος με $\dot{V} = 1,0197$ litre/min. Έτσι για την παροχή μάζας έχουμε

$$\dot{m} = \frac{\dot{V}}{60} \cdot \rho \rightarrow \dot{m} = \frac{1,0197}{60} \cdot 1 \rightarrow \dot{m} = 0,017 \frac{kg}{s}$$

Υπολογίζουμε σε αυτό το σημείο την ωφέλιμη ισχύ q_u που προσφέρει ο συλλέκτης στο εργαζόμενο μέσο. Ισχύει $Ac = 2 \text{ m}^2$.

$$q_u = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T / Ac \quad (5.2.3.1.1)$$

$$\rightarrow q_u = 0,017 \cdot 4190 \cdot 5,592 / 2$$

$$\rightarrow q_u = 199,16 \text{ [watt / m}^2\text{]}.$$

Γνωρίζουμε πως οι σε λειτουργία είναι οι 8 λαμπτήρες δηλαδή οι μισοί λαμπτήρες της εγκατάστασης επομένως η προσπίπτουσα ακτινοβολία για το πείραμα αυτό είναι $G_t = (1070/2) / Ac \rightarrow G_t = 267,5 \text{ [watt / m}^2\text{]}.$

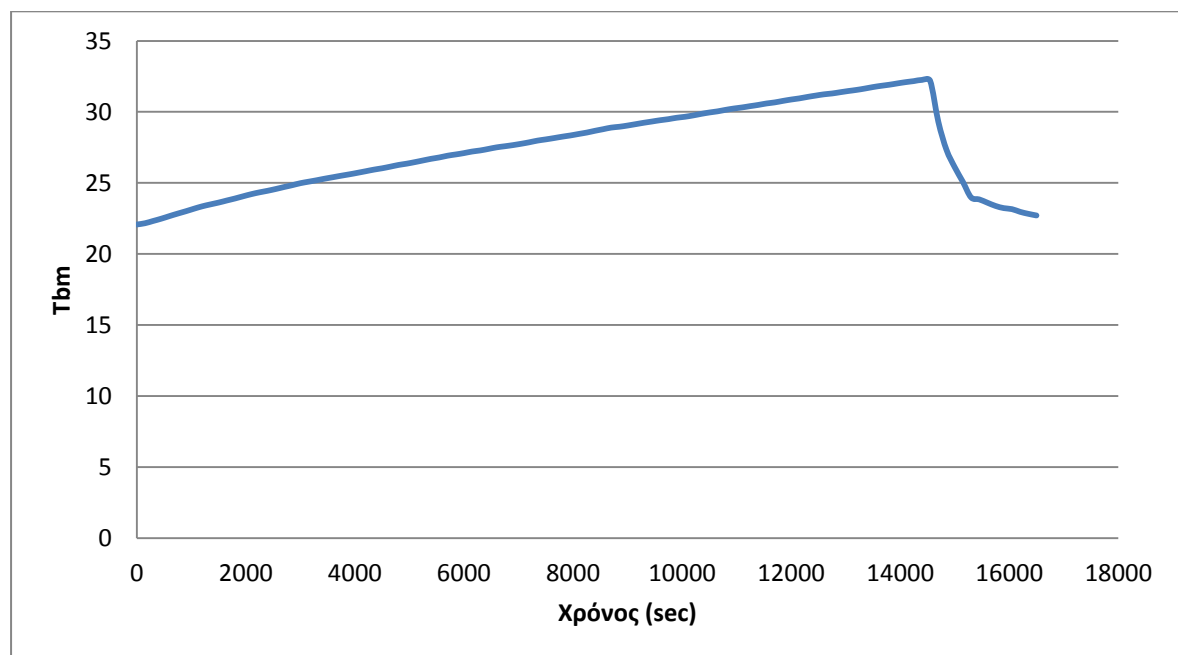
Σε αυτό το σημείο μπορούμε να υπολογίσουμε τον μέσο βαθμό απόδοσης του συλλέκτη

$$\eta_i = \frac{q_u}{G_t} \quad (5.2.3.1.2)$$

$$= 199,16 / 267,5$$

$$\rightarrow \eta_i = 0,7445 \text{ ή } 74,45 \text{ \%}.$$

Θα συνεχίσουμε με την παρουσίαση του διαγράμματος της μέσης θερμοκρασίας του boiler συναρτήσει του χρόνου.



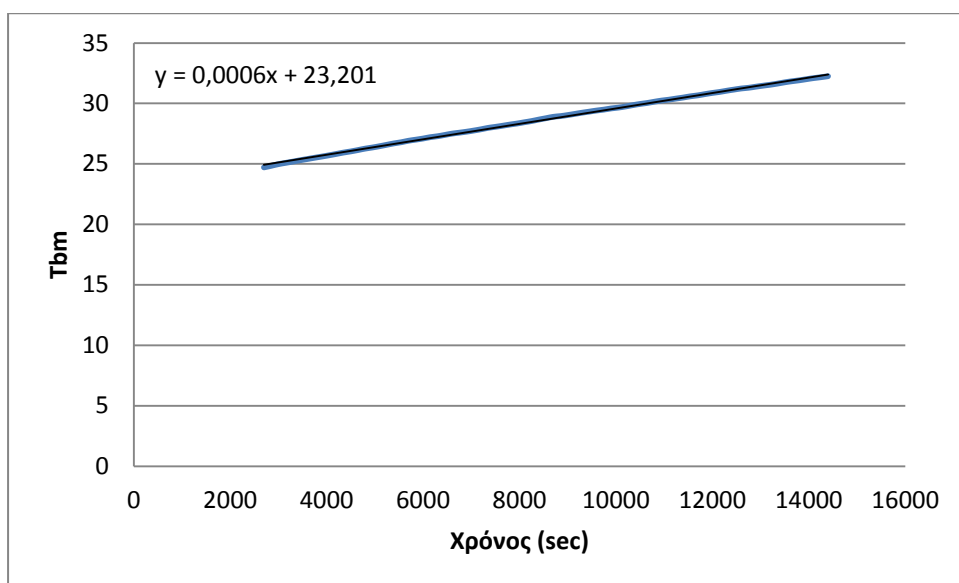
Διάγραμμα 5.2.3.1.2 Μέση θερμοκρασία boiler – χρόνος

Από το διάγραμμα εύκολα διακρίνουμε δύο περιοχές, την περιοχή θέρμανσης από 2000 μέχρι 14400 sec όπου η θερμοκρασία αυξάνεται σχεδόν γραμμικά βέβαια για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα θα φαινόταν εύκολα ότι στρέφει τα κοίλα άνω. Αυτό συμβαίνει λόγω αύξησης των άδειων απωλειών του boiler με την αύξηση της θερμοκρασίας. Στην δεύτερη περιοχή από 14400 sec μέχρι τέλος έχουμε το τμήμα χρήσης όπου η συνάρτηση είναι φθίνουσα , στρέφει τα κοίλα κάτω και τείνει να φτάσει την θερμοκρασία εισόδου του νερού δικτύου.

Λόγω της γραμμικότητας στο τμήμα χρήσης γνωρίζουμε ότι ο μέσος ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας ισούται με τον στιγμιαίο. Για τον μέσο ρυθμό αύξησης της θερμοκρασίας στον χρόνο 2000 μέχρι 14400 όπου έχουμε γραμμικότητα παίρνουμε

$$\rightarrow \frac{\theta T}{\theta t} = \frac{\Delta T}{\Delta t} = 6 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C /sec}$$

Όπως προκύπτει και από την μέθοδο των ελάχιστων τετραγώνων,

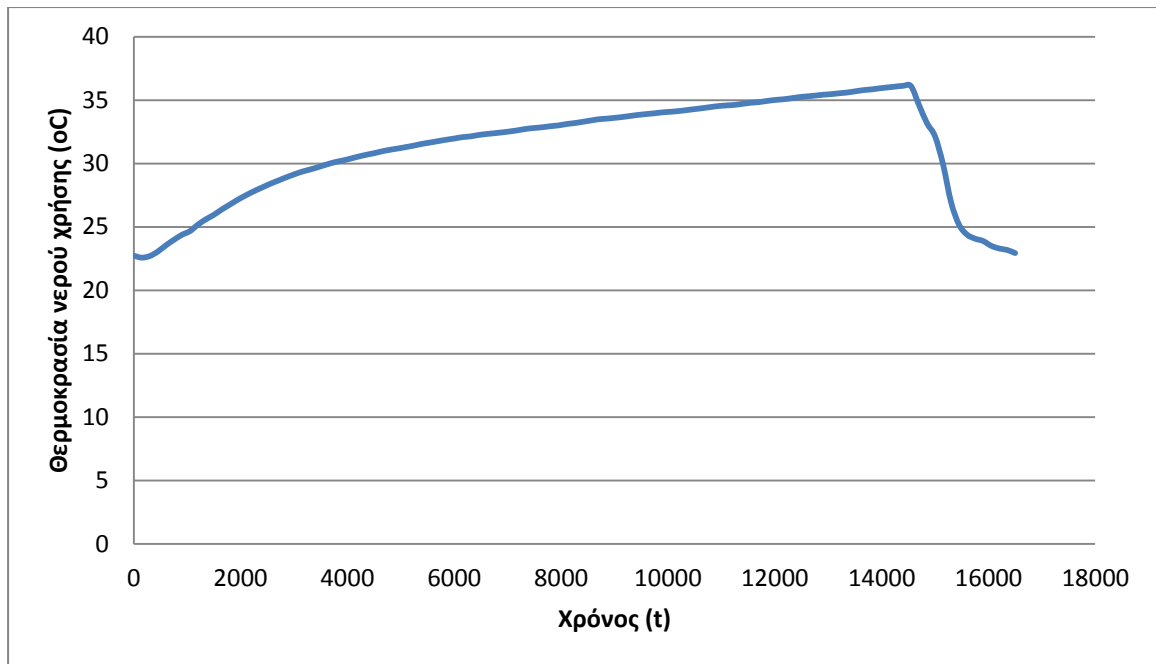


Διάγραμμα 5.2.3.1.3 Μέση θερμοκρασία boiler – χρόνος, στην γραμμική περιοχή

Επίσης γνωρίζουμε την μάζα αποθήκευσης του boiler και την κατανάλωση.

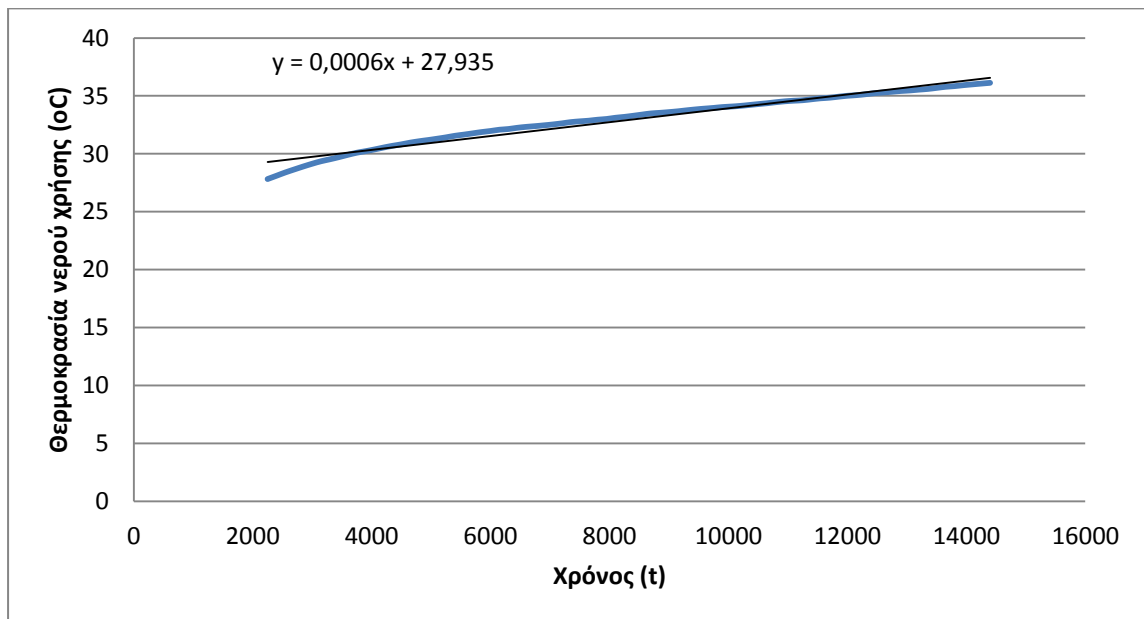
$$m_b = 145 \text{ kg} , m_u = 10 \text{ kg}$$

Για το νερό κατανάλωσης έχουμε



Διάγραμμα 5.2.3.1.4 Θερμοκρασία νερού χρήσης – χρόνος

Απ όπου για τον χρόνο όπου υπάρχει γραμμικότητα παίρνουμε



Διάγραμμα 5.2.3.1.5 Θερμοκρασία νερού χρήσης – χρόνος, γραμμική περιοχή

Και με γραμμική προσέγγιση παίρνουμε τον ίδιο ρυθμό αύξησης της θερμοκρασίας με πριν. Πράγμα λογικό αφού το νερό που παίρνουμε στην έξοδο προέρχεται από το boiler. Η μορφή της καμπύλης στην αρχή της δεν είναι γραμμική μιας και το άνω μέρος του boiler έρχεται σε άμεση επαφή με το υγρό θερμικής συναλλαγής το οποίο για τον χρόνο εκείνο έχει ρυθμό αύξησης της θερμοκρασίας του μη γραμμικό. Στο σημείο αυτό θα υπολογίσουμε την ισχύ απορρόφησης του συνόλου του νερού χρήσης.

$$Q_{uev} = (m_b + m_u) \cdot c_p \cdot \frac{\Delta T}{\Delta t} \quad (5.2.3.1.3)$$

$$= 155 \cdot 4190 \cdot 6 \cdot 10^{-4} \rightarrow Q_{uev} = 389,67 \text{ watt}$$

Μέσος βαθμός απόδοσης του εναλλάκτη:

$$\eta_b = \frac{Q_{uev}}{q_u \cdot \Delta c} \quad (5.2.3.1.4)$$

$$= \frac{389,67}{398,32}$$

$$\rightarrow \eta_b = 0,978$$

Συνολικός μέσος βαθμός απόδοσης της εγκατάστασης:

$$\eta_t = \eta_i \cdot \eta_b \quad (5.2.3.1.5)$$

$$\rightarrow \eta_t = 0,7445 \cdot 0,978$$

$$\rightarrow \eta_t = 0,728$$

5.2.3.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ $F_R(\tau\alpha)_n$, $F_R U_L$ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ 1 [1]

Η μέθοδος που ακολουθείται για την αξιολόγηση της ενεργειακής απόδοσης είναι αυτή της ASHRAE. Εάν τα U_L , F_R και $(\tau\alpha)_n$ ήταν σταθερές τότε η γραφική παράσταση του στιγμιαίου βαθμού απόδοσης η_i συναρτηθεί του παράγοντα $(T_i - T_a)/G_T$ θα ήταν ευθεία γραμμή με κλίση $-F_R U_L$ και σταθερά $F_R(\tau\alpha)_n$.

Το συμπέρασμα αυτό προκύπτει εύκολα αν εξετάσουμε την ακόλουθη εξίσωση από την οποία προκύπτει ο στιγμιαίος βαθμός απόδοσης του συλλέκτη:

$$\eta_i = F_R(\tau\alpha)_n - F_R U_L \frac{(T_i - T_a)}{G_T} \quad (5.2.3.2.1)$$

Στην πραγματικότητα το U_L εξαρτάται από την θερμοκρασία του εργαζόμενου μέσου και την ένταση του ανέμου με μειούμενη εξάρτηση όσο ο αριθμός των καλυμμάτων αυξάνεται. Επίσης ο παράγον F_R εξαρτάται από την θερμοκρασία λειτουργίας σε μικρότερο ωστόσο βαθμό. Αυτό προκαλεί μια διασπορά στα αποτελέσματα των μετρήσεών μας η οποία είναι κάθε φορά αναμενόμενη. Παρά τις προαναφερθείσες δυσκολίες ο χαρακτηρισμός της λειτουργίας και της απόδοσης των συλλεκτών γίνεται σύμφωνα με τους δύο προηγούμενους παράγοντες $-F_R U_L$ και $F_R(\tau\alpha)_n$.

Ακολουθεί η εύρεση της χαρακτηριστικής λειτουργίας του συλλέκτη με τις υπάρχουσες συνθήκες λειτουργίας του δεδομένου πειράματος. Η ανάλυση θα γίνει

για χρόνο από 4050 μέχρι 14100 sec στην οποία και η λειτουργία του συλλέκτη θεωρείται γραμμική. Για τον στιγμιαίο βαθμό απόδοσης έχουμε

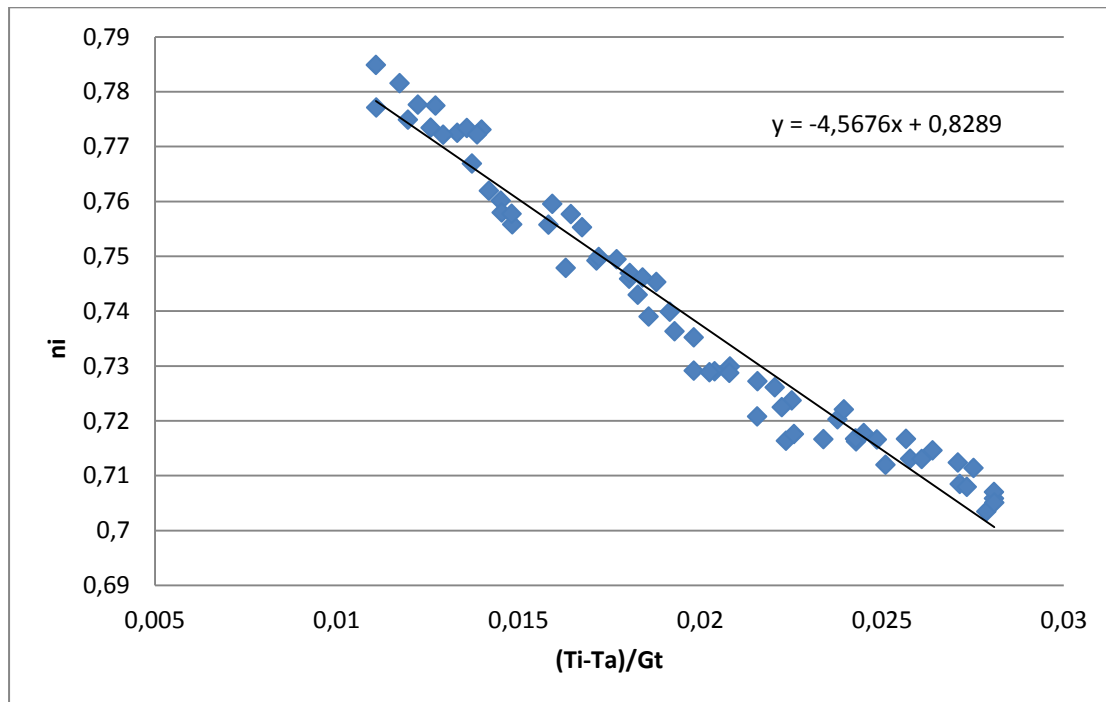
$$\eta_i = \frac{m_i \cdot C_p \cdot \Delta T_i}{A_c \cdot G_t} \quad (5.2.3.2.2)$$

Έτσι από τα πειραματικά μας δεδομένα παίρνουμε τα ακόλουθα δεδομένα για την χάραξη της χαρακτηριστικής του συλλέκτη.

Πίνακας 5.2.3.2.1 Στιγμιαίος βαθμός απόδοσης συναρτήσει της $\frac{(T_i - T_a)}{G_t}$

ti	ni	(ti-ta)/gt	ti	ni	(ti-ta)/gt
4050	0,78488	0,011079	9150	0,735187	0,019826
4200	0,777106	0,011091	9300	0,729143	0,01982
4350	0,781568	0,011732	9450	0,729001	0,020396
4500	0,777629	0,012236	9600	0,728875	0,020253
4650	0,774908	0,011963	9750	0,729913	0,020823
4800	0,773453	0,012589	9900	0,728719	0,020797
4950	0,777449	0,012716	10050	0,727184	0,021573
5100	0,772524	0,013314	10200	0,720806	0,021569
5250	0,773381	0,013586	10350	0,726097	0,022049
5400	0,772152	0,01293	10500	0,723694	0,022518
5550	0,773099	0,01399	10650	0,72247	0,022242
5700	0,772191	0,013859	10800	0,716343	0,022356
5850	0,766919	0,01372	10950	0,717589	0,022575
6000	0,761956	0,014191	11100	0,71665	0,023388
6150	0,760117	0,014512	11250	0,72029	0,023773
6300	0,755826	0,014835	11400	0,722083	0,023948
6450	0,757946	0,014541	11550	0,716269	0,024285
6600	0,757733	0,014818	11700	0,716694	0,024265
6750	0,755744	0,015827	11850	0,71676	0,024279
6900	0,759515	0,015934	12000	0,717753	0,024498
7050	0,757657	0,016444	12150	0,716575	0,024857
7200	0,755266	0,016754	12300	0,711986	0,025097
7350	0,747881	0,016304	12450	0,716729	0,025662
7500	0,749184	0,017149	12600	0,713082	0,025778
7650	0,749832	0,017206	12750	0,713029	0,026092
7800	0,749432	0,0177	12900	0,714628	0,026393
7950	0,745915	0,018047	13050	0,708464	0,027143
8100	0,746917	0,018061	13200	0,712387	0,027085
8250	0,738977	0,018584	13350	0,711392	0,027517
8400	0,745305	0,01879	13500	0,707937	0,027334
8550	0,742939	0,018286	13650	0,703482	0,027872
8700	0,746145	0,018412	13800	0,705849	0,028078
8850	0,739868	0,019164	13950	0,707014	0,028082
9000	0,736301	0,019292	14100	0,705087	0,02809

Και τελικά παίρνουμε την χαρακτηριστική του συλλέκτη για το συγκεκριμένο πείραμα Π1.



Διάγραμμα 5.2.3.2.1 Χαρακτηριστική συλλέκτη για το πρότυπο πείραμα 1

Από την συγκεκριμένη διασπορά τιμών και με την μέθοδο των ελάχιστων τετραγώνων παίρνουμε

$$\eta_i = 0,8289 - 4,5676 \frac{(T_i - T_a)}{Gt}$$

Και ως προκύπτει έχουμε

$$F_R(\tau\alpha)_n = 0,83$$

$$F_R U_L = 4,57 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}.$$

Προχωρούμε στην ανάλυση του σεναρίου λειτουργίας της εγκατάστασης με ενεργοποίηση όλων των λαμπτήρων συνεπώς με την μέγιστη ακτινοβολία.

5.3 ΠΡΟΤΥΠΟ ΠΕΙΡΑΜΑ 2

5.3.1 ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗ ΕΠΕΝΕΡΓΗΤΩΝ

Στο πείραμα αυτό γίνεται χρήση όλων των λαμπτήρων (16 λαμπτήρες) και συνεπώς η μονάδα εξετάζεται για το σύνολο της υπάρχουσας ισχύος ακτινοβολίας.

Ο ρυθμός καταγραφής δεδομένων ρυθμίζεται στο ένα δείγμα για κάθε 150 sec.

Στο πρώτο μέρος, στο μέρος θέρμανσης ρυθμίζεται η παροχή του υγρού θερμικής συναλλαγής μέσω της ενεργοποίησης του κυκλοφορητή και την ρύθμιση της αντίστοιχης βάνας σε 1 litre/min.

Επίσης για τους λόγους που περιγράφηκαν προηγουμένως κατά το πρώτο μέρος παρέχουμε μικρή παροχή χρήσης εξόδου της τάξης του 1 litre/20min, η παροχή αυτή επιτυγχάνεται εμπειρικά και αποταμιεύεται σε δεξαμενή ελέγχου.

Το πρώτο μέρος της θέρμανσης έχει διάρκεια 15000 sec, όπου και κατά την στιγμή αυτή ξεκινάει το δεύτερο μέρος.

Στην λήξη του πρώτου μέρους τελικά μετράμε για την μικρή παροχή συνολική ποσότητα νερού για τα 15000 sec ίσο με 10 litre.

Στο δεύτερο μέρος, το μέρος χρήσης όλοι οι επενεργητές, κυκλοφορητής και λαμπτήρες τίθενται εκτός λειτουργίας.

Ρυθμίζουμε την βάνα εξόδου χρήσης ώστε να παρέχουμε ροή 10 litre/min.

Το πείραμα σταματάει σε συνολικό χρόνο 16500 sec και συνεπώς το μέρος χρήσης διαρκεί 1500 sec.

Συγκεντρωτικά έχουμε:

- Χρήση όλων των λαμπτήρων (16 λαμπτήρες)
- Ένα δείγμα για κάθε 150 sec
- Παροχή του υγρού θερμικής συναλλαγής 1 litre/min
- Πρώτο μέρος, παροχή χρήσης εξόδου της τάξης του 1 litre/20min
- Το πρώτο μέρος της θέρμανσης έχει διάρκεια 15000 sec
- Για την μικρή παροχή συνολική ποσότητα νερού για τα 15000 sec ίση με 10 litre.
- Μέρος χρήσης όλοι οι επενεργητές, κυκλοφορητής και λαμπτήρες τίθενται εκτός λειτουργίας
- Βάνα εξόδου ροή 10 litre/min
- Το μέρος χρήσης διαρκεί 1500 sec.

Ακολουθούν το σύνολο των δεδομένων που καταγράφηκαν από τα 9 θερμοστοιχεία και το ηλεκτρικό ροόμετρο της εγκατάστασης για τον χρόνο του πειράματος.

5.3.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ ΠΕΙΡΑΜΑ 2.

Πίνακας 5.3.2.1 Αποτελέσματα πρότυπου πειράματος 2

Time(s)	ST-1	ST-2	ST-3	ST-4	ST-5	ST-6	ST-7	ST-8	ST-10	SC-1
0	23,1778	22,7409	22,4745	22,6997	22,9186	21,3175	21,9660	21,5006	22,9110	0,0000
150	23,6770	21,9473	22,5733	24,3064	22,6558	21,3449	21,8943	21,4739	26,8656	1,0525
300	29,8695	21,8874	22,1838	29,5305	23,0164	21,4989	21,9070	21,5533	31,9496	1,0554
450	30,6091	22,1592	22,4333	31,4923	22,8884	21,6491	21,9748	21,6202	35,6333	1,0543
600	31,6117	22,8846	22,9586	33,0203	23,0580	21,8368	22,6137	21,7642	38,2266	1,0592
750	32,7183	23,7378	23,7843	34,3337	23,2329	22,0231	23,5470	21,9379	41,1707	1,0569
900	33,9025	24,3123	24,4511	35,6679	23,4589	22,2279	24,4207	22,1190	43,2904	1,0561
1050	34,9815	24,7555	24,8803	36,8597	23,6666	22,4525	25,3366	22,3753	44,2254	1,0588
1200	35,7133	25,1351	25,2550	37,8106	23,8763	22,6273	26,1929	22,5918	45,1441	1,0630
1350	36,3083	25,4850	25,5871	38,5595	23,9858	22,8058	27,0365	22,8262	45,8067	1,0518
1500	36,8301	25,8384	25,9290	39,2137	24,1661	22,9855	27,8409	23,0613	46,6162	1,0547
1650	37,2587	26,1097	26,2055	39,7789	24,2401	23,1295	28,5984	23,2796	46,6915	1,0521
1800	37,5782	26,3637	26,4439	40,2589	24,1086	23,2996	29,2167	23,4955	47,6032	1,0530
1950	37,9392	26,6523	26,7287	40,6833	24,5983	23,4585	29,9099	23,7515	47,9297	1,0536
2100	38,2460	26,9087	26,9903	41,0608	24,7572	23,6214	30,5602	23,9918	48,5804	1,0591
2250	38,4910	27,1664	27,2274	41,3715	24,8901	23,7423	31,1806	24,2469	48,4804	1,0455
2400	38,7259	27,3637	27,4418	41,6138	25,0222	23,8570	31,7202	24,4728	48,1420	1,0477
2550	38,9628	27,5943	27,6588	41,8619	25,1814	23,9712	32,2188	24,6954	48,5208	1,0557
2700	39,1725	27,8004	27,8595	42,0978	25,2475	24,0702	32,6853	24,9313	48,5509	1,0480
2850	39,3474	28,0030	28,0458	42,3013	25,3187	24,1457	33,1122	25,1541	48,6149	1,0568
3000	39,5449	28,1907	28,2447	42,5022	25,4346	24,2286	33,5005	25,3476	48,8878	1,0514
3150	39,7323	28,3799	28,4227	42,6790	25,3019	24,3177	33,8441	25,5551	48,9075	1,0559
3300	39,8650	28,5382	28,5871	42,8166	25,4770	24,3312	34,1668	25,7284	49,6524	1,0509
3450	40,0104	28,7167	28,7501	42,9751	25,6020	24,4227	34,5072	25,9430	49,6355	1,0557
3600	40,1358	28,8967	28,9047	43,1047	25,6037	24,4592	34,8062	26,1497	49,3847	1,0510
3750	40,3233	29,0651	29,0863	43,2470	25,6883	24,5164	35,0856	26,3444	49,3626	1,0518
3900	40,4574	29,2415	29,2511	43,3567	25,7521	24,5764	35,3505	26,5563	49,3141	1,0520
4050	40,6034	29,4333	29,3982	43,4985	25,7284	24,6146	35,5952	26,7457	49,0641	1,0507
4200	40,7231	29,5723	29,5591	43,6045	25,6606	24,6286	35,8393	26,9420	49,3581	1,0489
4350	40,8741	29,7282	29,7063	43,7279	25,6862	24,6459	36,0688	27,1309	49,9294	1,0479
4500	41,0063	29,8876	29,8605	43,8530	25,7680	24,6972	36,2700	27,3281	49,5752	1,0542
4650	41,1137	30,0500	30,0206	43,9618	25,7812	24,7054	36,4995	27,5246	49,5825	1,0505
4800	41,2521	30,2278	30,1750	44,0785	26,0003	24,7504	36,6901	27,7261	49,6644	1,0521
4950	41,3804	30,3943	30,3253	44,1858	25,6281	24,7938	36,8919	27,9113	49,2537	1,0545
5100	41,4994	30,5536	30,4802	44,2789	25,6402	24,8259	37,0682	28,1012	49,3954	1,0548
5250	41,6486	30,7240	30,6574	44,3851	25,9454	24,8499	37,2922	28,3105	49,4625	1,0509
5400	41,7696	30,8828	30,7933	44,4871	25,9609	24,8410	37,4812	28,4920	49,6942	1,0484
5550	41,9096	31,0279	30,9367	44,6026	25,8639	24,8535	37,6193	28,6740	49,5623	1,0463
5700	42,0223	31,1715	31,0808	44,7058	25,9269	24,8570	37,7833	28,8545	49,7906	1,0493
5850	42,1569	31,3314	31,2264	44,8686	25,9687	24,8935	37,9396	29,0436	49,2347	1,0518
6000	42,3097	31,4817	31,3732	44,9966	25,9585	24,8884	38,0831	29,2347	49,7263	1,0556
6150	42,4196	31,6384	31,5094	45,0871	25,8685	24,9231	38,2447	29,4189	49,6692	1,0505

6300	42,5335	31,7803	31,6576	45,1766	25,8120	24,9310	38,4101	29,6064	49,8279	1,0398
6450	42,7031	31,9204	31,8002	45,3025	25,9275	24,9207	38,5818	29,7870	49,6137	1,0483
6600	42,8360	32,1029	31,9572	45,4229	25,8812	24,9642	38,7367	29,9757	49,8940	1,0479
6750	42,9961	32,2800	32,1391	45,5493	25,8719	25,0026	38,9008	30,1697	50,4291	1,0468
6900	43,1435	32,4529	32,2934	45,7031	25,8986	25,0229	39,0984	30,3936	49,7924	1,0472
7050	43,3024	32,6377	32,4655	45,8182	25,9342	25,1211	39,2515	30,5896	49,8485	1,0514
7200	43,4179	32,7972	32,6283	45,9215	25,8888	25,4551	39,4056	30,7852	49,7111	1,0441
7350	43,4887	32,9248	32,7585	46,0042	25,7434	25,1070	39,5281	30,9677	50,6877	1,0497
7500	43,6478	33,0765	32,9006	46,1243	26,0390	25,1280	39,6905	31,1334	50,8041	1,0432
7650	43,7808	33,2665	33,0555	46,2395	26,1906	25,1075	39,8565	31,3260	50,9331	1,0427
7800	43,9037	33,3920	33,2070	46,3410	26,1265	25,1456	40,0066	31,5205	50,1356	1,0395
7950	44,0195	33,5435	33,3527	46,4322	26,1472	25,1301	40,1510	31,6849	50,2282	1,0438
8100	44,1052	33,7259	33,4933	46,5332	26,0493	25,1511	40,2772	31,8853	49,9688	1,0468
8250	44,2496	33,8992	33,6464	46,6506	26,0180	25,1577	40,3874	32,0614	49,8801	1,0454
8400	44,3642	34,0576	33,7999	46,7504	26,0667	25,1644	40,5451	32,2478	49,9456	1,0445
8550	44,5034	34,2167	33,9364	46,8443	26,0552	25,2599	40,6835	32,4345	50,1338	1,0557
8700	44,6382	34,3629	34,1138	46,9550	26,0457	25,2808	40,8251	32,6196	49,8406	1,0477
8850	44,7757	34,5143	34,2658	47,0605	26,0706	25,1814	40,9881	32,8018	50,0446	1,0505
9000	44,8869	34,6788	34,4180	47,1524	26,1017	25,4934	41,1255	32,9966	50,3594	1,0487
9150	45,0358	34,8208	34,5511	47,3024	26,1671	25,8934	41,2298	33,1658	50,1866	1,0517
9300	45,3364	34,9696	34,6953	47,5376	26,1262	25,2909	41,3649	33,3376	50,4381	1,0504
9450	45,5223	35,1349	34,8602	47,7221	26,1020	25,2988	41,5066	33,5281	50,5563	1,0407
9600	45,6404	35,2731	35,0146	47,8666	26,2073	25,5175	41,6715	33,7129	50,5167	1,0423
9750	45,7812	35,4271	35,1436	47,9680	26,1689	25,3260	41,7871	33,8613	50,4008	1,0481
9900	45,9270	35,6232	35,3031	48,1124	26,2048	25,2745	41,9085	34,0581	50,3650	1,0419
10050	46,0515	35,7783	35,4677	48,2125	26,1579	25,2854	42,0630	34,2379	50,4532	1,0439
10200	46,2019	35,9448	35,6280	48,3495	26,2476	25,3994	42,2280	34,4143	50,9103	1,0472
10350	46,3527	36,1301	35,7887	48,4899	26,3064	25,6101	42,4009	34,6035	50,6304	1,0447
10500	46,5078	36,2846	35,9397	48,6243	26,2670	25,3753	42,5274	34,7863	50,9071	1,0460
10650	46,6841	36,4302	36,1026	48,7760	26,2512	25,5045	42,7002	34,9677	51,1565	1,0396
10800	46,8201	36,5733	36,2405	48,8936	26,2881	25,3908	42,8338	35,1294	50,8613	1,0431
10950	46,9432	36,7402	36,4021	49,0045	26,2264	27,1774	42,9586	35,3069	50,7953	1,0418
11100	47,0547	36,8844	36,5404	49,1171	26,2813	26,0414	43,1008	35,4908	50,7894	1,0477
11250	47,2198	37,0563	36,6999	49,2614	26,3833	25,5760	43,2590	35,6747	51,2203	1,0482
11400	47,3932	37,2163	36,8519	49,4011	26,3174	26,6713	43,3848	35,8540	51,2915	1,0478
11550	47,5142	37,4168	37,0092	49,5359	26,2951	25,6547	43,5372	36,0366	51,1333	1,0474
11700	47,6582	37,5312	37,1525	49,6477	26,3234	25,9534	43,6944	36,1957	51,0023	1,0430
11850	47,8068	37,7212	37,2907	49,7697	26,3345	25,9032	43,8260	36,3673	51,1558	1,0441
12000	47,9549	37,8836	37,4474	49,9008	26,3150	26,5303	43,9584	36,5444	50,9901	1,0408
12150	48,1324	38,0133	37,6199	50,0583	26,3051	25,5389	44,1367	36,7388	51,0798	1,0486
12300	48,2512	38,1917	37,7626	50,1767	26,4025	26,7925	44,2881	36,9032	51,3244	1,0439
12450	48,3952	38,3589	37,9199	50,3224	26,3931	25,6779	44,3872	37,0837	51,6193	1,0402
12600	48,5491	38,5203	38,0771	50,4636	26,3861	27,1153	44,5515	37,2486	51,6127	1,0448
12750	48,7149	38,6794	38,2369	50,6067	26,4061	27,4494	44,6750	37,4278	51,8231	1,0363
12900	48,8437	38,8583	38,3831	50,7414	26,4483	25,7585	44,8316	37,5971	51,6536	1,0370
13050	48,9885	39,0145	38,5207	50,8601	26,3917	26,2723	44,9482	37,7682	51,5220	1,0459

13200	49,1214	39,1773	38,7002	50,9837	26,4383	26,2430	45,1283	37,9540	51,7220	1,0432
13350	49,2924	39,3277	38,8489	51,1269	26,5291	27,2441	45,2975	38,1321	51,8029	1,0356
13500	49,4139	39,4704	39,0006	51,2520	26,4795	26,3660	45,4330	38,2888	51,7493	1,0387
13650	49,5446	39,6193	39,1305	51,3627	26,3840	26,3424	45,5492	38,4604	52,0804	1,0425
13800	49,6789	39,7922	39,2684	51,4685	26,4878	25,8856	45,6954	38,6318	51,7686	1,0344
13950	49,8468	39,9698	39,4378	51,6206	26,5837	26,0864	45,8280	38,8143	51,8604	1,0401
14100	50,0095	40,1037	39,5908	51,7359	26,5952	26,4408	45,9773	38,9769	52,0105	1,0431
14250	50,1204	40,2486	39,7357	51,8432	26,4963	26,3847	46,0968	39,1325	52,1949	1,0471
14400	50,2752	40,4275	39,8976	51,9850	26,5873	26,5249	46,2319	39,3101	52,1080	1,0473
14550	50,4232	40,5729	40,0553	52,1286	26,6208	26,5770	46,3895	39,4976	52,2190	1,0433
14700	50,5686	40,7442	40,2169	52,2579	26,6459	27,2156	46,4993	39,6484	51,9996	1,0481
14850	50,7167	40,8998	40,3754	52,3868	26,7182	26,4296	46,6617	39,8159	52,4239	1,0437
15000	50,8753	41,0082	40,4911	52,5285	26,6091	25,6101	47,2743	39,9754	53,5499	1,0489
15150	49,9464	38,4159	39,5177	50,9747	26,6884	24,1682	45,3387	39,1623	49,9155	1,0452
15300	43,8584	35,7831	36,6219	45,8385	26,7064	23,8658	42,9953	35,4833	45,9057	1,0451
15450	40,2551	34,0244	34,8059	42,2034	26,6604	23,6911	40,9987	28,5977	42,8337	1,0460
15600	37,6692	32,2406	33,1828	39,4552	26,5589	23,5659	39,6615	27,3112	39,9713	1,0494
15750	35,6404	30,7640	31,6715	37,2360	26,4588	23,4623	36,8324	26,5506	37,7133	1,0478
15900	33,7241	29,4991	30,3667	35,2855	26,0840	23,3123	30,8631	25,8927	36,0225	1,0513
16050	32,1207	28,4842	29,2954	33,6453	26,1807	23,1798	27,6788	25,3111	34,4658	1,0545
16200	30,8554	27,5913	28,3781	32,2315	25,9539	23,0665	26,0957	24,3232	32,9267	1,0530
16350	29,7664	26,9371	27,6499	31,0036	25,9449	22,9169	25,1960	24,1206	31,8494	1,0458
16500	28,8284	26,3613	27,0299	29,9736	25,5291	22,8155	24,8048	23,8600	30,9153	1,0590

5.3.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ, ΠΡΟΤΥΠΟ ΠΕΙΡΑΜΑ 2.

5.3.3.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕΣΩΝ ΒΑΘΜΩΝ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ

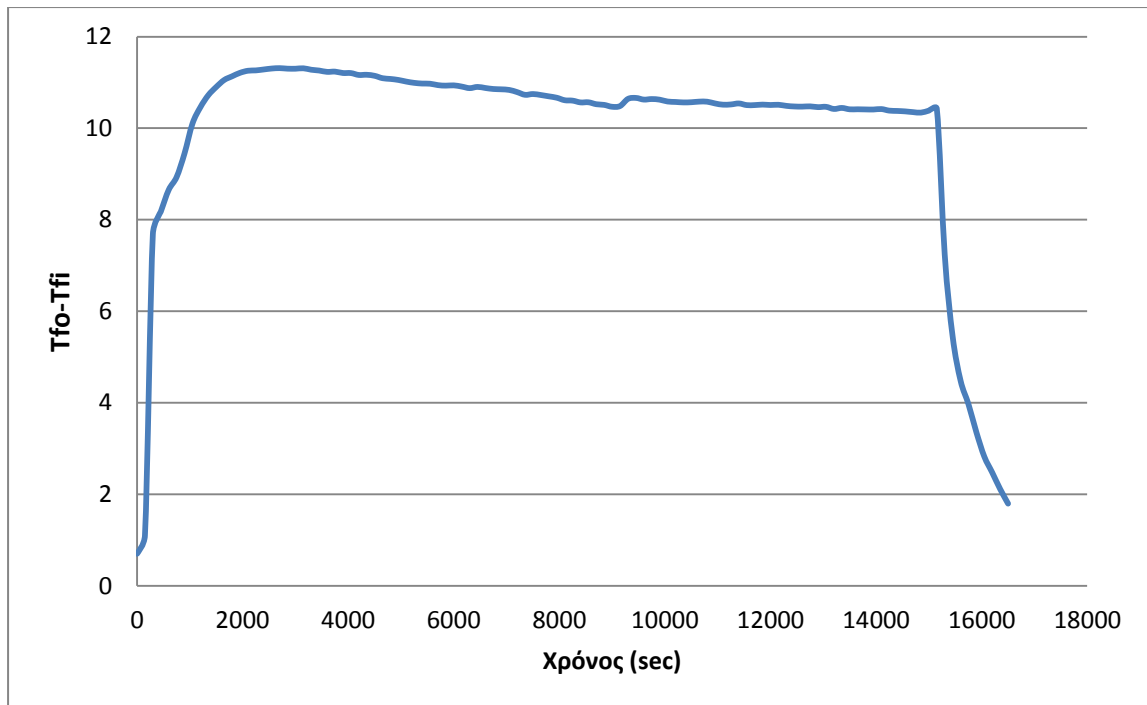
Πίνακας 5.3.3.1.1 Θερμοκρασιακή διαφορά ΔΤ – χρόνος

Time(s)	To - Ti	Time(s)	To - Ti	Time(s)	To - Ti	Time(s)	To - Ti
0	0,703325	4350	11,16782	8700	10,52439	13050	10,46777
150	1,10373	4500	11,14578	8850	10,50995	13200	10,42121
300	7,685751	4650	11,09316	9000	10,46891	13350	10,4435
450	8,175892	4800	11,07713	9150	10,48472	13500	10,4133
600	8,653151	4950	11,05504	9300	10,64116	13650	10,4141
750	8,934006	5100	11,01918	9450	10,66211	13800	10,41048
900	9,451395	5250	10,99118	9600	10,62582	13950	10,40899
1050	10,10116	5400	10,9763	9750	10,63759	14100	10,41868
1200	10,45825	5550	10,97288	9900	10,62388	14250	10,38476
1350	10,72119	5700	10,9415	10050	10,58384	14400	10,37764
1500	10,9011	5850	10,93047	10200	10,57388	14550	10,36796
1650	11,05311	6000	10,93645	10350	10,56402	14700	10,35172
1800	11,13426	6150	10,91028	10500	10,5681	14850	10,34135
1950	11,21055	6300	10,87598	10650	10,58149	15000	10,38425
2100	11,25572	6450	10,9029	10800	10,57954	15150	10,42869
2250	11,26359	6600	10,8788	10950	10,54112	15300	7,236591
2400	11,2841	6750	10,85696	11100	10,51431	15450	5,449165
2550	11,30401	6900	10,85014	11250	10,51991	15600	4,486451
2700	11,31303	7050	10,83688	11400	10,54134	15750	3,968985
2850	11,3016	7200	10,78951	11550	10,50496	15900	3,357376
3000	11,30026	7350	10,73027	11700	10,50571	16050	2,825304
3150	11,30959	7500	10,74717	11850	10,51602	16200	2,477305
3300	11,27785	7650	10,7253	12000	10,50747	16350	2,116453
3450	11,2603	7800	10,69676	12150	10,51251	16500	1,798521
3600	11,23117	7950	10,66671	12300	10,48864		
3750	11,23699	8100	10,61194	12450	10,47527		
3900	11,2063	8250	10,60322	12600	10,47202		
4050	11,20523	8400	10,56433	12750	10,47805		
4200	11,16406	8550	10,56695	12900	10,46062		

Θα εξετάσουμε τον συλλέκτη στο σημείο γραμμικής λειτουργίας του και επομένως για να βρούμε την μέση τιμή της ΔΤ θα χρησιμοποιήσουμε τις τιμές από χρόνο 2100 μέχρι 15000 sec.

$$\Delta T_m = (T_{fo} - T_{fi})_m = 10,78^\circ\text{C}$$

Ακολουθεί το διάγραμμα ΔΤ-t.



Διάγραμμα 5.3.3.1.1 Θερμοκρασιακή διαφορά συλλέκτη ΔΤ - χρόνος

Έγινε υπολογισμός της μέσης παροχής όγκου για το διάστημα 2100 μέχρι 14400 sec ίσος με $\dot{V} = 1,047$ litre/min. Έτσι για την παροχή μάζας έχουμε

$$\dot{m} = \frac{\dot{V}}{60} \cdot \rho \rightarrow \dot{m} = \frac{1,047}{60} \cdot 1 \rightarrow \dot{m} = 0,0175 \frac{kg}{s}$$

Υπολογίζουμε σε αυτό το σημείο την ωφέλιμη ισχύ q_u που προσφέρει ο συλλέκτης στο εργαζόμενο μέσο. Ισχύει $A_c = 2 \text{ m}^2$.

$$q_u = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T / A_c \quad (5.3.3.1.1)$$

$$\rightarrow q_u = 0,0175 \cdot 4190 \cdot 10,78 / 2$$

$$\rightarrow q_u = 395,22 \text{ [watt / m}^2\text{]}.$$

Γνωρίζουμε πως σε λειτουργία είναι οι 16 λαμπτήρες δηλαδή όλοι οι λαμπτήρες της εγκατάστασης επομένως η προσπίπτουσα ακτινοβολία για το πείραμα αυτό είναι $G_t = 1070 / A_c = 1070 / 2 \rightarrow G_t = 535 \text{ [watt / m}^2\text{]}.$

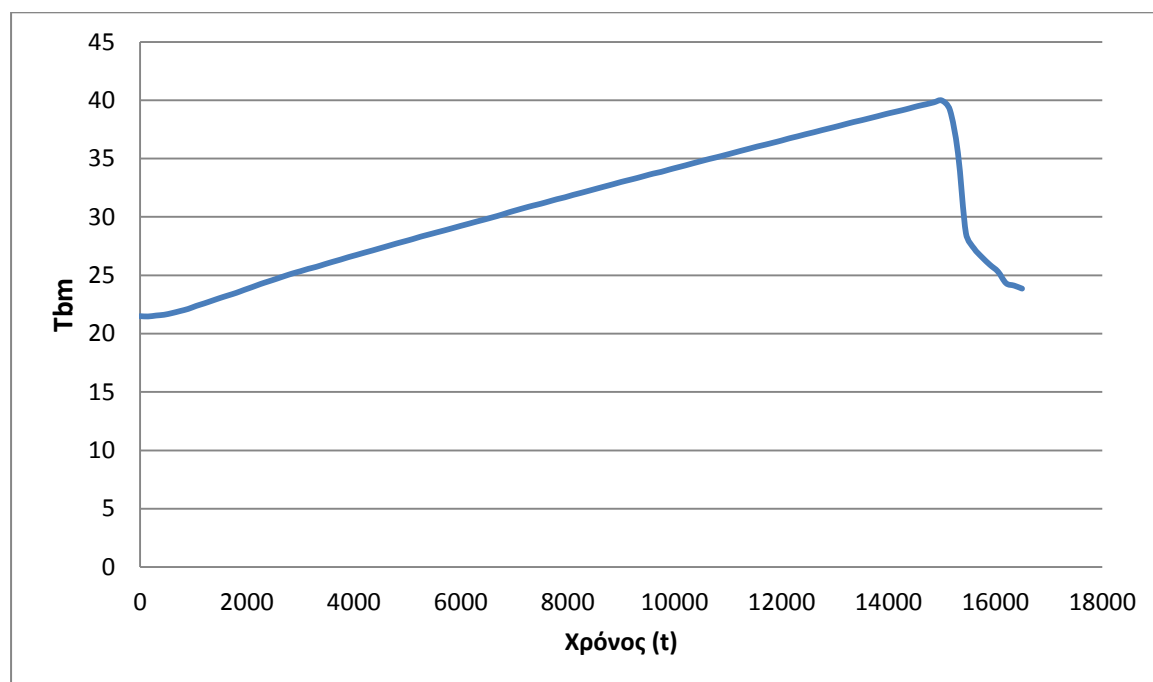
Σε αυτό το σημείο μπορούμε να υπολογίσουμε τον βαθμό απόδοσης του συλλέκτη

$$n_i = \frac{q_u}{G_t} \quad (5.3.3.1.1)$$

$$= 395,22 / 535$$

$$\rightarrow n_i = 0,7387 \text{ ή } 73,87 \text{ \%}.$$

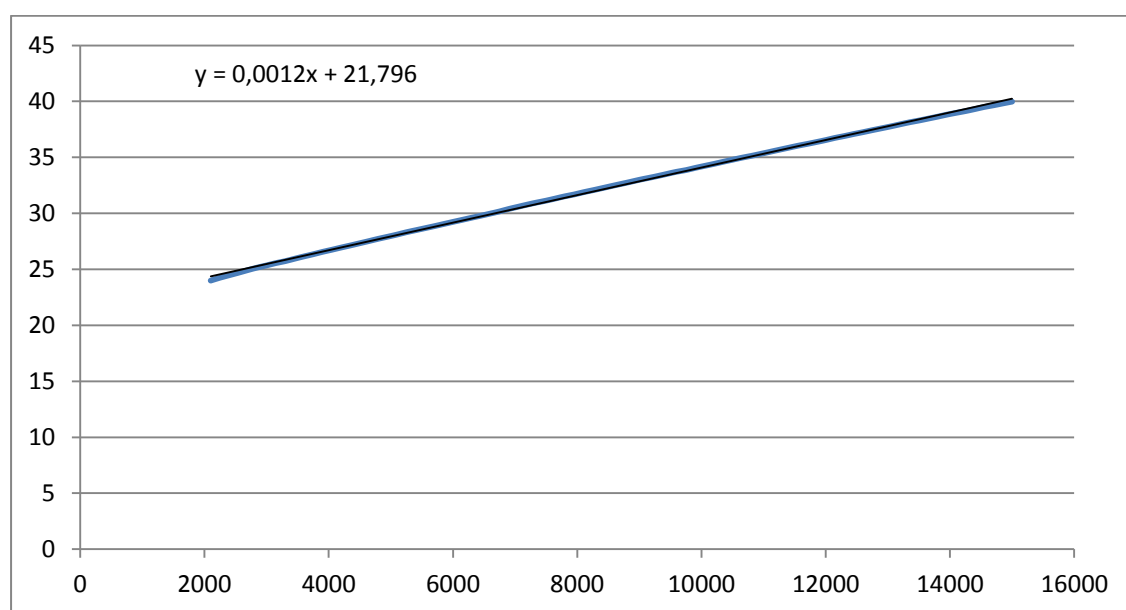
Θα συνεχίσουμε με την παρουσίαση του διαγράμματος της μέσης θερμοκρασίας του boiler συναρτήσει του χρόνου.



Διάγραμμα 5.3.3.1.2 Μέση θερμοκρασία boiler – χρόνος

Λόγω της γραμμικότητας στο τμήμα χρήσης γνωρίζουμε ότι ο μέσος ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας ισούται με τον στιγμιαίο. Για τον μέσο ρυθμό αύξησης της θερμοκρασίας στον χρόνο 2100 μέχρι 14400 όπου έχουμε γραμμικότητα παίρνουμε

$$\rightarrow \frac{\theta T}{\theta t} = \frac{\Delta T}{\Delta t} = 12 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C} / \text{sec}$$

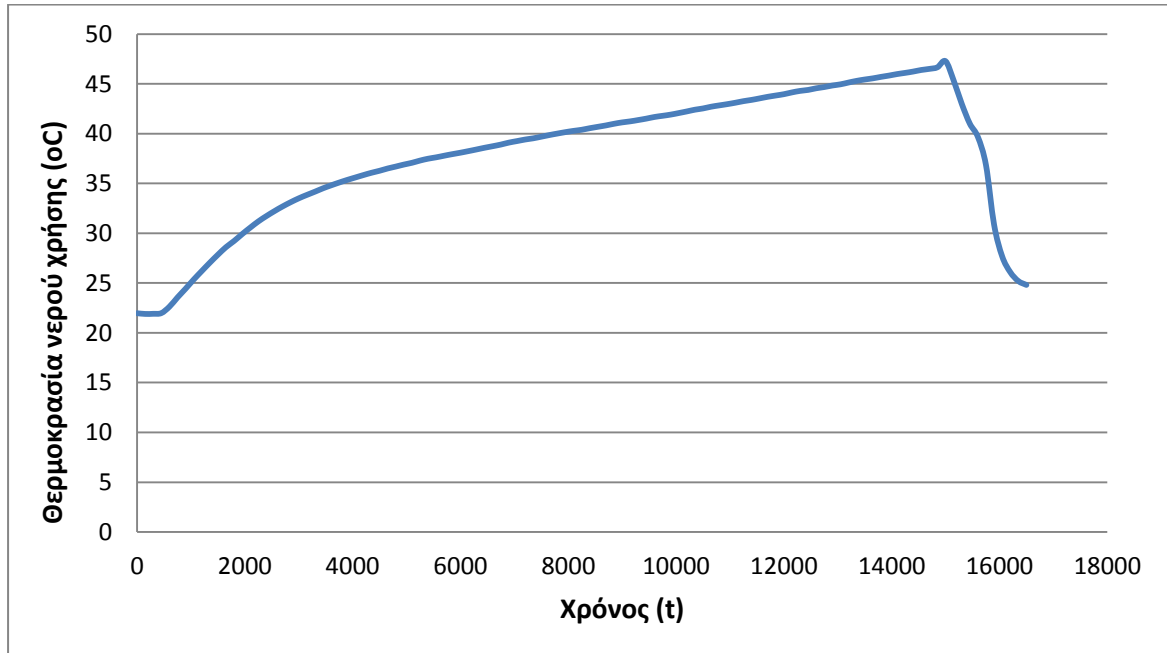


Διάγραμμα 5.3.3.1.3 Μέση θερμοκρασία boiler – χρόνος, γραμμική περιοχή

Επίσης γνωρίζουμε την μάζα αποθήκευσης του boiler και την κατανάλωση.

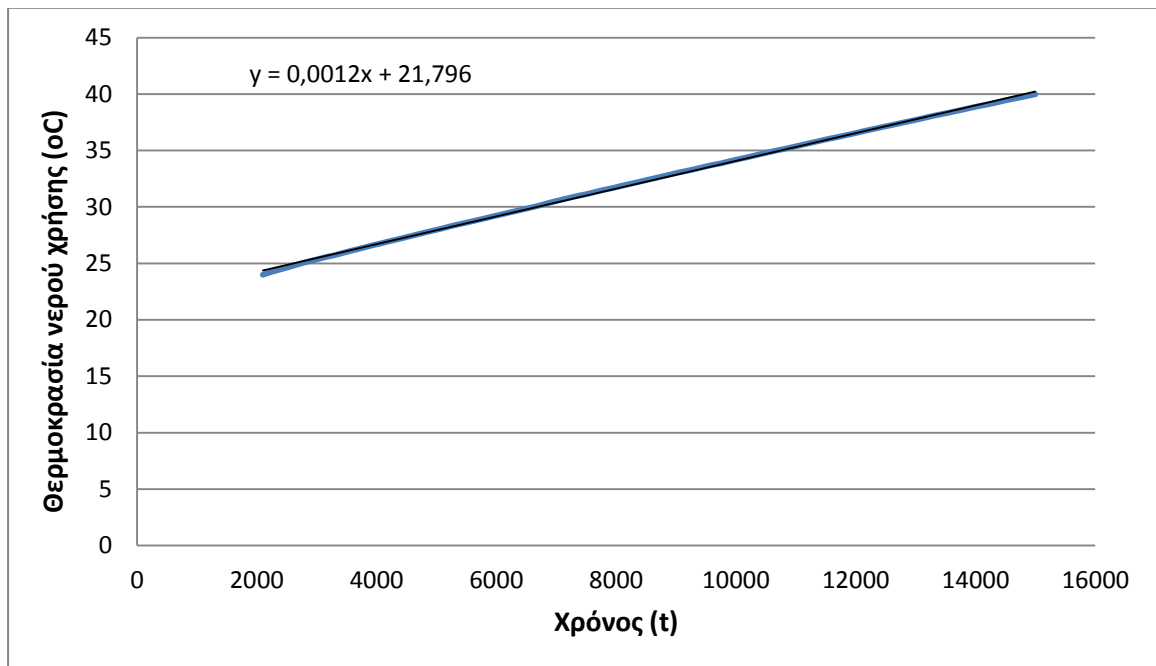
$$m_b = 145 \text{ kg}, m_u = 10 \text{ kg}$$

Για το νερό κατανάλωσης έχουμε



Διάγραμμα 5.3.3.1.4 Θερμοκρασία νερού χρήσης – χρόνος

Απ όπου για τον χρόνο όπου υπάρχει γραμμικότητα παίρνουμε



Διάγραμμα 5.3.3.1.5 Θερμοκρασία νερού χρήσης – χρόνος, γραμμική περιοχή

Και με γραμμική προσέγγιση παίρνουμε τον ίδιο ρυθμό αύξησης της θερμοκρασίας με αυτή της μέσης θερμοκρασίας του Boiler.

Στο σημείο αυτό θα υπολογίσουμε την ισχύ απορρόφησης του συνόλου του νερού χρήσης.

$$Q_{uEV} = (m_b + m_u) \cdot C_p \cdot \frac{\Delta T}{\Delta t} \quad (5.3.3.1.2)$$

$$= 155 \cdot 4190 \cdot 11,9 \cdot 10^{-4} \rightarrow Q_{uEV} = 772,85 \text{ watt}$$

Βαθμός απόδοσης εναλλάκτη:

$$\eta_b = \frac{Q_{uEV}}{Ac \cdot q_u} \quad (5.3.3.1.3)$$

$$= \frac{772,85}{790,44}$$

$$\rightarrow \eta_b = 0,977$$

Συνολικός βαθμός απόδοσης της εγκατάστασης:

$$\eta_t = \eta_i \cdot \eta_b \quad (5.3.3.1.4)$$

$$\rightarrow \eta_t = 0,7387 \cdot 0,977$$

$$\rightarrow \eta_t = 0,722$$

5.3.3.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ $F_R(\tau\alpha)_n$, $F_R U_L$ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ 2 [1]

Η μέθοδος που ακολουθείται για την αξιολόγηση της ενεργειακής απόδοσης είναι αυτή της ASHRAE. Εάν τα U_L , F_R και $(\tau\alpha)_n$ ήταν σταθερές τότε η γραφική παράσταση του στιγμιαίου βαθμού απόδοσης η_i συναρτηθεί του παράγοντα $(T_i - T_a)/G_T$ θα ήταν ευθεία γραμμή με κλίση $-F_R U_L$ και σταθερά $F_R(\tau\alpha)_n$.

Το συμπέρασμα αυτό προκύπτει εύκολα αν εξετάσουμε την ακόλουθη εξίσωση από την οποία προκύπτει ο στιγμιαίος βαθμός απόδοσης του συλλέκτη:

$$\eta_i = F_R(\tau\alpha)_n - F_R U_L \frac{(T_i - T_a)}{G_T} \quad (5.3.3.2)$$

Στην πραγματικότητα το U_L εξαρτάται από την θερμοκρασία του εργαζόμενου μέσου και την ένταση του ανέμου με μειούμενη εξάρτηση όσο ο αριθμός των καλυμμάτων αυξάνεται. Επίσης ο παράγον F_R εξαρτάται από την θερμοκρασία λειτουργίας σε

μικρότερο ωστόσο βαθμό. Αυτό προκαλεί μια διασπορά στα αποτελέσματα των μετρήσεών μας η οποία είναι κάθε φορά αναμενόμενη. Παρά τις προαναφερθείσες δυσκολίες ο χαρακτηρισμός της λειτουργίας και της απόδοσης των συλλεκτών γίνεται σύμφωνα με τους δύο προηγούμενους παράγοντες $-F_R U_L$ και $F_R(\tau_a)_n$.

Ακολουθεί η εύρεση της χαρακτηριστικής λειτουργίας του συλλέκτη με τις υπάρχουσες συνθήκες λειτουργίας του δεδομένου πειράματος. Η ανάλυση θα γίνει για χρόνο από 4050 μέχρι 9000 sec στην οποία και η λειτουργία του συλλέκτη θεωρείται γραμμική. Για τον στιγμιαίο βαθμό απόδοσης έχουμε

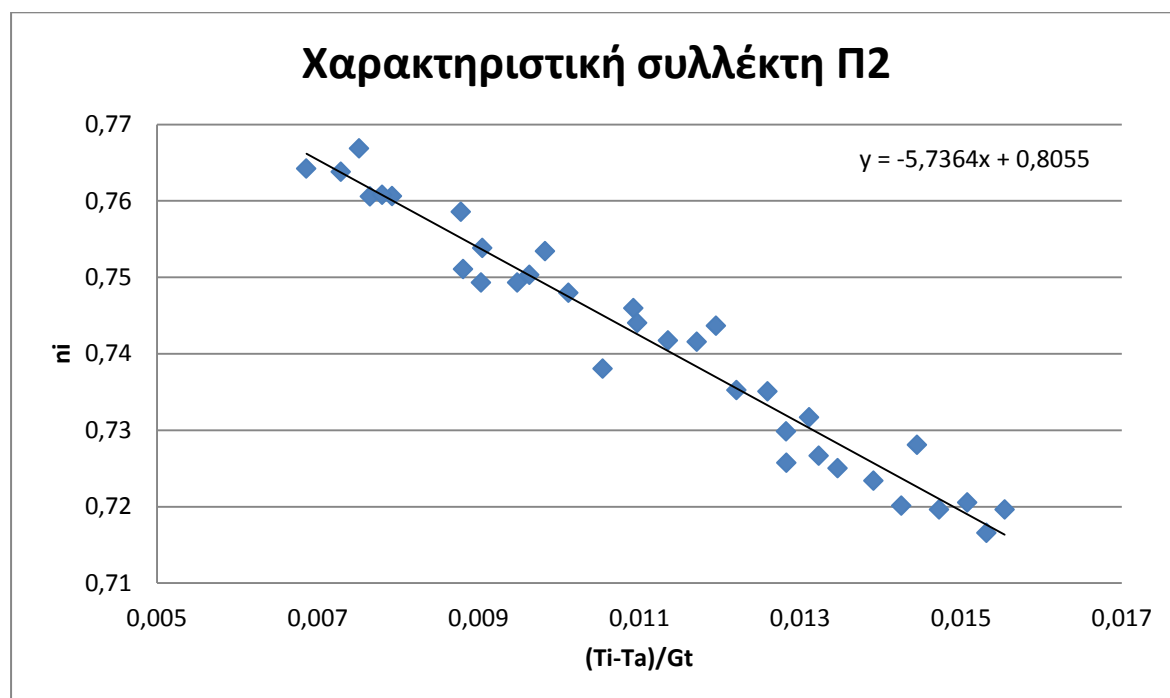
$$\eta_i = \frac{\dot{m}_i \cdot C_p \cdot \Delta T_i}{A_c \cdot G_t} \quad (5.3.3.2.1)$$

Έτσι από τα πειραματικά μας δεδομένα παίρνουμε τα ακόλουθα δεδομένα για την χάραξη της χαρακτηριστικής του συλλέκτη.

Πίνακας 5.3.3.2.1 Στιγμιαίος βαθμός απόδοσης συναρτήσει της $\frac{(T_i - T_a)}{G_t}$

ti	ni	ti-ta/gt	ti	ni	ti-ta/gt
4050	0,764236	0,006859	6600	0,74172	0,011357
4200	0,763813	0,007287	6750	0,741557	0,011715
4350	0,766874	0,007514	6900	0,743651	0,011953
4500	0,760587	0,00765	7050	0,735239	0,012208
4650	0,760641	0,007924	7200	0,735089	0,012597
4800	0,760806	0,007803	7350	0,731695	0,013112
4950	0,758573	0,00878	7500	0,72986	0,012825
5100	0,753851	0,009047	7650	0,725719	0,012832
5250	0,751056	0,008807	7800	0,726658	0,013235
5400	0,749324	0,009032	7950	0,725018	0,013468
5550	0,7493	0,009482	8100	0,723411	0,013914
5700	0,750326	0,009634	8250	0,720143	0,014259
5850	0,75342	0,009827	8400	0,728087	0,014455
6000	0,747995	0,010121	8550	0,719633	0,014731
6150	0,73804	0,010544	8700	0,720547	0,015081
6300	0,74597	0,010926	8850	0,716557	0,015318
6450	0,744035	0,010977	9000	0,719634	0,015544

Και τελικά παίρνουμε την χαρακτηριστική του συλλέκτη για το συγκεκριμένο πείραμα Π2.



Διάγραμμα 5.3.3.2.1 Χαρακτηριστική συλλέκτη για το πρότυπο πείραμα 1

Από την συγκεκριμένη διασπορά τιμών και με την μέθοδο των ελάχιστων τετραγώνων παίρνουμε

$$n_i = 0,8055 - 5,7364 \frac{(T_i - T_a)}{Gt} \quad (5.3.3.2.2)$$

Και ως προκύπτει έχουμε

$$F_R(\tau\alpha)_n = 0,81$$

$$F_R U_L = 5,74 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}.$$

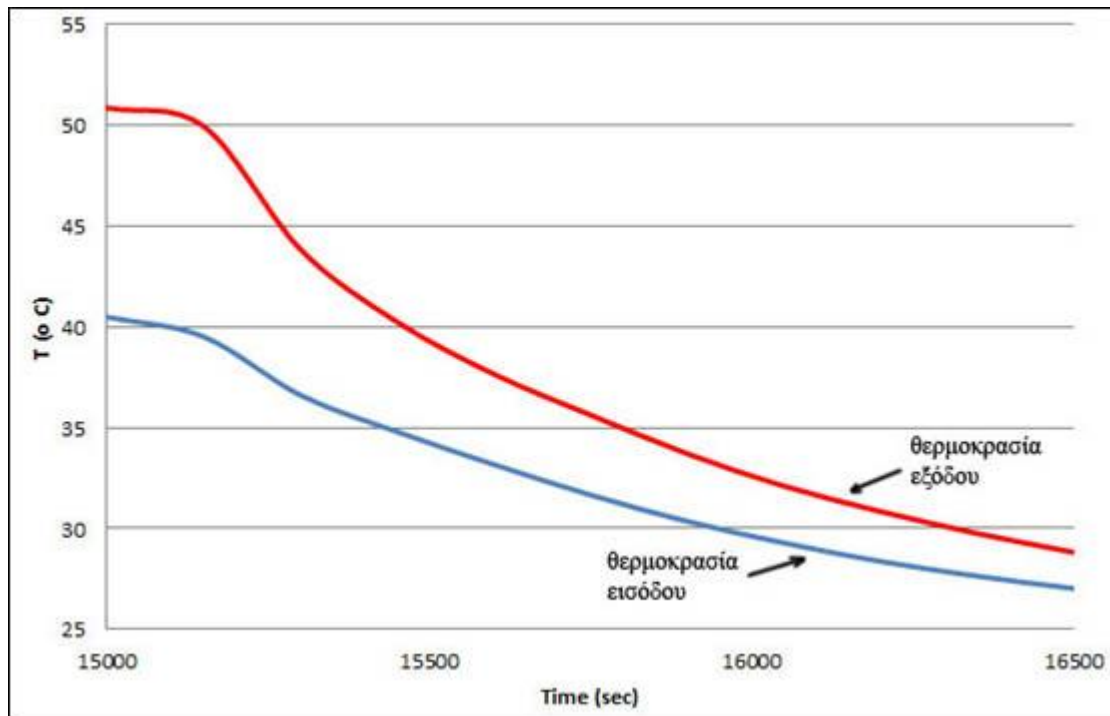
5.3.3.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΤΑΘΕΡΑΣ ΧΡΟΝΟΥ (ΠΕΙΡΑΜΑ 2) [1] [8]

Σημαντικό επίσης κριτήριο για την αξιολόγηση της λειτουργίας ενός συλλέκτη είναι η αξιολόγηση της θερμικής χωρητικότητας του συλλέκτη, της δυνατότητας δηλαδή των απορροφητήρων του συλλέκτη να αποθηκεύουν ενέργεια και να την διοχετεύουν στο εργαζόμενο μέσο σε κατάσταση απουσίας ακτινοβολίας. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιούμε την σταθερά χρόνου η οποία θα λέγαμε πως είναι ένα μέγεθος προσδιορισμού του μέτρου της θερμικής αδράνειας των απορροφητήρων. Η σταθερά χρόνου ορίζεται και ως ο χρόνος που απαιτείται ώστε η θερμοκρασιακή διαφορά εξόδου - εισόδου μετά από την διακοπή της ισχύος ακτινοβολίας να φτάσει το $(1/e$ ή $0,368)$ της θερμοκρασιακής διαφοράς κατά την στιγμή διακοπής της ακτινοβολίας.

$$\frac{T_{o,t} - T_i}{T_{o,init} - T_i} = \frac{1}{e} = 0,368 \quad (5.3.3.3.1)$$

Όπου $T_{o,t}$ η θερμοκρασία εξόδου από τον συλλέκτη την στιγμή κατά την οποία καταγράφουμε την σταθερά χρόνου t .

Για την διενέργεια της συγκεκριμένης μέτρησης εργαστήκαμε ως εξής. Την χρονική στιγμή 15000 sec διακόψαμε την ισχύ ακτινοβολίας προς τον συλλέκτη διατηρώντας ταυτόχρονα την ίδια ροή στον κυκλοφορητή. Επίσης κατά την δεδομένη στιγμή ξεκίνησε και το μέρος χρήσης. Το μέρος χρήσης δεν εμποδίζει την εξέταση της σταθεράς χρόνου μιας και εμείς εξετάζουμε την θερμοκρασιακή διαφορά εξόδου – εισόδου και η πιθανή πτώση της T_{fi} λόγω χρήσης δεν επηρεάζει το πείραμα μιας και εμείς δεν εξετάζουμε την απόλυτη θερμοκρασία. Ακολουθώντας λοιπόν την διαδικασία σύμφωνα με το πρότυπο της ASHRAE εκτελούμε μετρήσεις για χρόνο 15000 μέχρι 16500 sec και παίρνουμε το ακόλουθο διάγραμμα:

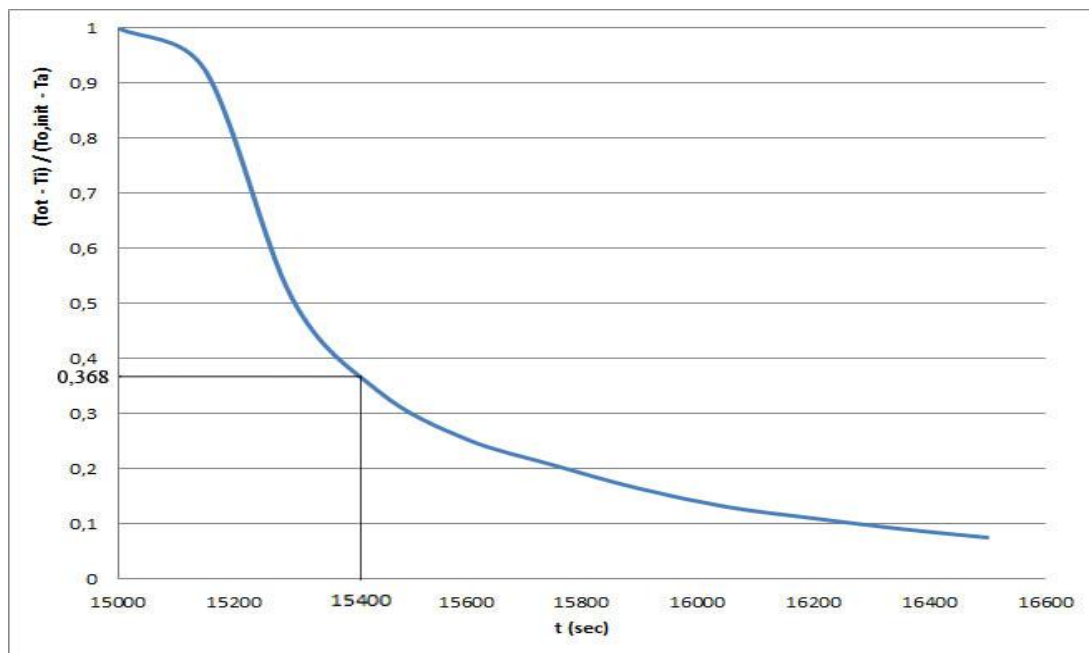


Διάγραμμα 5.3.3.3.1 Θερμοκρασία εισόδου και εξόδου από τον συλλέκτη στον χρόνο

Συνεχίζουμε πλοτάροντας την έκφραση $\frac{T_{o,t} - T_i}{T_{o,init} - T_i}$ συναρτήσει του χρόνου t .

Πίνακας 5.3.3.3.2 Η έκφραση $\frac{T_{o,t} - T_i}{T_{o,init} - T_i}$ συναρτήσει του χρόνου t

t (sec)	15000	15150	15300	15450	15600	15750	15900	16050	16200	16350	16500
$(T_{o,t} - T_i) / (T_{o,init} - T_a)$	1	0,9243	0,5104	0,3407	0,2547	0,2075	0,1643	0,1314	0,1105	0,0914	0,0757

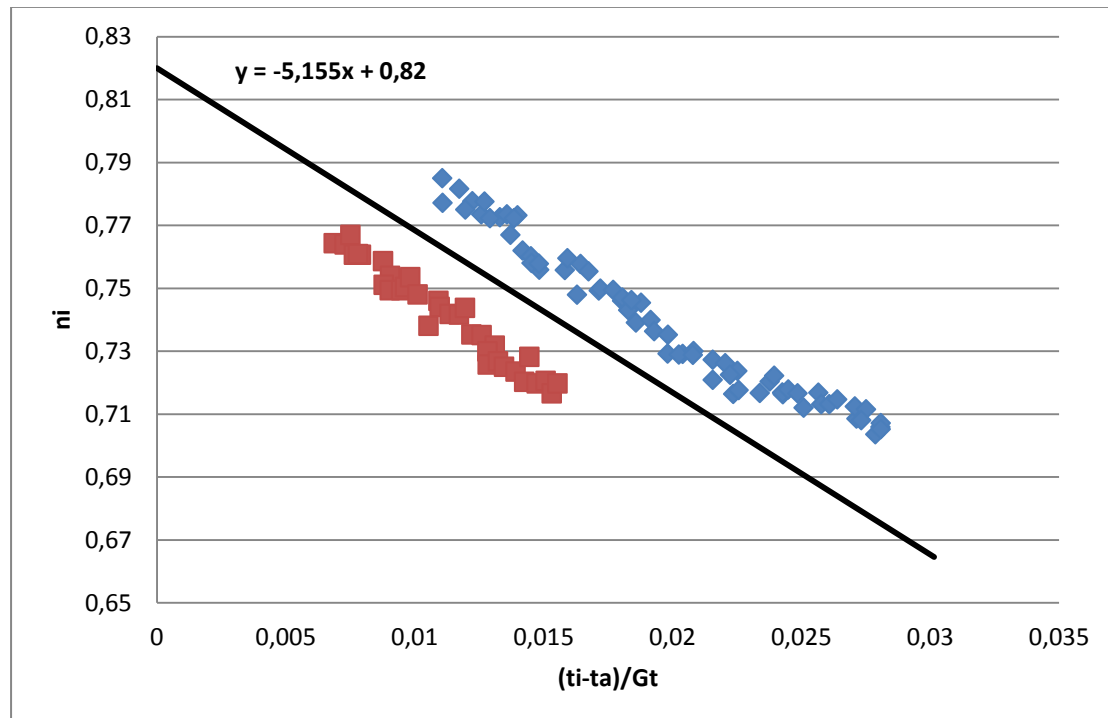


Διάγραμμα 5.3.3.3.2 Έκφραση $\frac{T_{o,t} - T_i}{T_{o,init} - T_i}$ συναρτήσει του χρόνου t

Και τελικά παίρνουμε σταθερά χρόνου $t = (15420 - 1500)/60 = 7 \text{ min}$

5.3.3.4 ΕΥΡΕΣΗ ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΤΙΚΗΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗΣ ΤΟΥ ΣΥΛΛΕΚΤΗ

Για σκοπούς παρουσίασης αξιολόγησης και σύγκρισης της απόδοσης συλλεκτών χρησιμοποιούμε όπως ειπώθηκε και προηγουμένως την χαρακτηριστική n_i , $(T_i - T_a)/Gt$. Ωστόσο σύμφωνα με την τυποποίηση της ASHRAE 93-2003 η παρουσίαση των πειραματικών δεδομένων στο διάγραμμα n_i , $(T_i - T_a)/Gt$ παρουσιάζεται εκτός της διακύμανσης του παράγοντα $(T_i - T_a)$ να εμπεριέχει και διακύμανση στην ακτινοβολία που δέχεται ο συλλέκτης. Εμείς παρουσιάσαμε τα δεδομένα στα δύο προηγούμενα πειράματα για σταθερή ακτινοβολία κάθε φορά για την εποπτεία των $F_R(\tau\alpha)_n$, $F_R U_L$ υπό την σταθερή ακτινοβολία της κάθε περίπτωσης. Σε αυτό το σημείο και για την εκπόνηση του υπολογισμού των παραγόντων $F_R(\tau\alpha)_n$, $F_R U_L$ για όλο το εύρος έντασης της δυνατής ακτινοβολίας και σύμφωνα με το προαναφερθέν πρότυπο θα χρησιμοποιήσουμε τόσο τα δεδομένα από το πρότυπο πείραμα 1 με χρήση της μισής ακτινοβολίας όσο και τα δεδομένα από το πρότυπο πείραμα 2 με χρήση ολόκληρης της υπάρχουσας ακτινοβολίας. Η διασπορά με το μπλε χρώμα αντιστοιχεί στα $1070/2 \text{ W/m}^2$ ενώ αυτή με το κόκκινο αντιστοιχεί στα $1700/4 \text{ W/m}^2$. Η μείωση του βαθμού απόδοσης στην περίπτωση της 2^{ης} περίπτωσης οφείλεται στην μη ομοιομορφία της προσπίπτουσας ακτινοβολίας και στην δημιουργία ψυχρών περιοχών επί του συλλέκτη.



Διάγραμμα 5.3.3.3 Αντιπροσωπευτική χαρακτηριστική συλλέκτη για το εύρος των μετρήσεων

$$n_i = F_R(\tau\alpha)_n - F_R U_L \frac{(T_i - T_a)}{Gt} \quad (5.3.3.3.1)$$

$$\rightarrow \eta_i = 0,82 - 5,155 \frac{(T_i - T_a)}{Gt}$$

Και ως προκύπτει έχουμε

$$F_R(\tau_a)_n = 0,82$$

$$F_R U_L = 5,16 \text{ W/m}^2\text{°C.}$$

5.4 ΠΡΟΤΥΠΟ ΠΕΙΡΑΜΑ 3

5.4.1 ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗ ΕΠΕΝΕΡΓΗΤΩΝ

Στο πείραμα αυτό γίνεται χρήση όλων των λαμπτήρων (16 λαμπτήρες) και συνεπώς η μονάδα εξετάζεται για το σύνολο της υπάρχουσας ισχύος ακτινοβολίας.

Ο ρυθμός καταγραφής δεδομένων ρυθμίζεται αρχικά στο ένα δείγμα για κάθε 150 sec, ωστόσο στην πορεία του πειράματος γίνεται αύξηση του sample rate στο ένα δείγμα κάθε 30 sec για καλύτερη εποπτεία.

Σκοπός του πειράματος είναι στο πρώτο μέρος η παραμετρική μελέτη της επίδρασης της παροχής του ρευστού θερμικής συναλλαγής στην απόδοση του συλλέκτη.

- Στο μέρος αυτό και με σταθερή ακτινοβολία κάνουμε βηματική αλλαγή της παροχής του υγρού θερμικής συναλλαγής και παρατηρούμε την μεταβολή στον όρο ΔT του συλλέκτη. Η εναλλαγή της παροχής χωρίζεται σε δύο φάσεις στη πρώτη με μικρό και στη δεύτερη με μεγάλο ρυθμό αλλαγής της παροχής.
- Στο δεύτερο μέρος μελετάται η θερμική χωρητικότητα του συλλέκτη χωρίς παροχή χρήσης για την διακρίβωση της σταθεράς χρόνου, στην αρχή αυτού του μέρους διακόπτουμε την ακτινοβολία.

Κατανάλωση δεν γίνεται στο πείραμα αυτό και συνεπώς η ροή χρήσης είναι 0.

Το πείραμα διαρκεί 15500 sec. Την χρονική στιγμή 11550 ξεκινάει το δεύτερο μέρος και συνεπώς οι λαμπτήρες εκείνη την στιγμή απενεργοποιούνται.

Συγκεντρωτικά έχουμε:

- Χρήση όλων των λαμπτήρων (16 λαμπτήρες)
- Ένα δείγμα για κάθε 150 sec - ένα δείγμα για κάθε 30 sec
- Κατανάλωση: 0
- Παροχή του υγρού θερμικής συναλλαγής βηματικά εναλλασσόμενη

- Μέρος παραμετρικής μελέτης (0-11550 sec)
- Μέρος υπολογισμού σταθεράς χρόνου (11550- 15500 sec)

Ακολουθούν το σύνολο των δεδομένων που καταγράφηκαν από τα 9 θερμοστοιχεία και το ηλεκτρικό ροόμετρο της εγκατάστασης για τον χρόνο του πειράματος.

5.4.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ ΠΕΙΡΑΜΑ 3

Πίνακας 5.4.2.1 Αποτελέσματα για το πρότυπο πείραμα 3

Time(s)	ST-1	ST-2	ST-3	ST-4	ST-5	ST-6	ST-7	ST-8	ST-10	SC-1
0	21,378	21,378	20,884	21,078	21,245	21,662	22,086	23,150	20,821	0,000
150	25,834	23,398	23,187	26,611	21,118	21,738	22,129	23,205	28,401	2,010
300	27,920	24,137	23,888	29,747	21,374	21,926	22,319	23,403	32,481	2,018
450	29,217	25,400	25,126	31,891	21,606	22,158	22,586	23,664	35,468	2,024
600	30,662	26,339	26,095	33,751	21,900	22,403	22,854	23,933	39,636	2,025
750	31,794	27,101	26,849	35,335	22,165	22,662	23,155	24,191	42,692	2,009
900	32,717	27,774	27,506	36,681	22,364	22,897	23,550	24,471	44,797	2,026
1050	33,437	28,368	28,067	37,796	22,655	23,107	24,015	24,750	46,668	2,035
1200	34,092	28,859	28,576	38,730	22,865	23,326	24,553	25,020	48,276	2,032
1350	34,648	29,297	29,005	39,531	23,056	23,518	25,114	25,298	49,065	2,028
1500	35,118	29,676	29,393	40,201	23,285	23,695	25,679	25,576	50,382	2,046
1650	35,523	30,011	29,732	40,783	23,444	23,864	26,216	25,820	50,934	2,036
1800	35,876	30,335	30,039	41,279	23,599	24,033	26,762	26,066	51,214	2,029
1950	36,194	30,625	30,342	41,696	23,709	24,175	27,262	26,304	52,077	2,023
2100	36,530	30,861	30,583	42,077	23,914	24,321	27,746	26,558	52,317	2,018
2250	36,764	31,106	30,828	42,402	23,986	24,461	28,188	26,784	52,517	2,014
2400	36,996	31,332	31,059	42,676	24,070	24,585	28,615	27,008	53,212	2,025
2550	37,269	31,593	31,303	42,959	24,224	24,726	29,026	27,254	53,010	2,018
2700	37,500	31,848	31,542	43,221	24,228	24,861	29,416	27,486	53,738	2,008
2850	37,703	32,060	31,767	43,445	24,346	24,991	29,792	27,714	54,040	2,021
3000	37,878	32,289	31,966	43,662	24,355	25,128	30,143	27,941	53,616	2,019
3150	38,082	32,497	32,178	43,850	24,476	25,256	30,484	28,155	53,793	2,019
3300	38,282	32,682	32,376	44,045	24,524	25,374	30,798	28,387	54,247	2,015
3450	38,472	32,878	32,569	44,235	24,596	25,507	31,067	28,569	54,122	2,016
3600	38,627	33,067	32,755	44,401	24,678	25,637	31,352	28,801	53,994	2,012
3750	38,793	33,257	32,922	44,551	24,685	25,749	31,563	28,994	54,329	2,028
3900	39,795	33,070	32,978	44,657	24,707	25,853	31,823	29,195	52,816	1,638
4050	40,040	32,920	32,702	44,731	24,722	25,974	32,105	29,374	50,220	1,646
4200	39,930	33,155	32,869	44,640	24,836	26,107	32,323	29,575	49,978	1,640
4350	40,101	33,364	33,073	44,638	24,857	26,228	32,559	29,768	49,859	1,643
4500	40,252	33,530	33,229	44,710	24,914	26,360	32,831	29,976	50,383	1,638
4650	40,698	33,602	33,435	44,820	25,030	26,500	33,124	30,195	49,608	1,232
4800	42,331	33,206	33,150	45,237	24,863	26,615	33,334	30,380	50,471	1,259
4950	42,229	33,192	33,013	45,344	25,054	26,738	33,589	30,536	50,989	1,251
5100	42,148	33,396	33,132	45,369	24,954	26,863	33,832	30,710	50,575	1,252
5250	42,230	33,567	33,332	45,400	24,851	26,975	34,068	30,871	48,942	1,258
5400	42,403	33,745	33,478	45,481	25,117	27,095	34,350	31,058	51,080	1,252
5550	42,543	33,898	33,617	45,610	25,136	27,198	34,605	31,215	51,730	1,257
5700	42,666	34,028	33,759	45,717	25,056	27,286	34,820	31,401	50,229	1,256
5850	42,780	34,196	33,886	45,824	24,835	27,390	35,002	31,548	49,930	1,261
6000	43,423	34,207	34,043	45,952	24,937	27,490	35,218	31,706	50,541	1,096
6150	44,207	34,127	33,951	46,257	25,207	27,622	35,474	31,906	50,400	1,095

6300	44,210	34,209	33,972	46,392	25,210	27,754	35,736	32,092	51,163	1,087
6450	44,2349	34,3641	34,1004	46,4547	25,1989	27,8685	35,9847	32,2620	51,1359	1,0880
6600	44,3203	34,5530	34,2711	46,5521	25,2092	27,9854	36,2404	32,4505	51,8299	1,0803
6750	44,4990	34,6869	34,4492	46,6643	25,2877	28,1013	36,4858	32,6169	50,9252	0,9210
6900	46,3136	34,4511	34,5087	47,0803	25,3194	28,2119	36,6811	32,7882	50,4504	0,8566
7050	47,0204	34,3188	34,3050	47,4375	25,3319	28,3155	36,8742	32,9164	50,8069	0,8493
7200	47,0193	34,3095	34,2439	47,5265	25,3543	28,4156	37,1239	33,0615	50,2264	0,8528
7350	46,9730	34,4170	34,2954	47,5459	25,3913	28,5068	37,3794	33,2091	50,8714	0,8485
7500	47,0102	34,5407	34,4113	47,5868	25,3357	28,6065	37,6719	33,3614	49,9566	0,8529
7650	47,0727	34,6876	34,5354	47,6389	25,2651	28,7042	37,9681	33,5146	50,4620	0,8543
7800	48,9059	34,4258	34,7537	48,2144	25,0780	28,7795	38,2337	33,6569	50,8571	0,4328
7950	53,4320	34,0030	34,8032	49,9020	25,2673	28,8949	38,4801	33,7826	50,0998	0,4355
8100	55,6451	33,7801	34,4986	50,7403	25,2632	28,9880	38,7225	33,8864	49,9321	0,4251
8250	56,4278	33,6641	34,3048	51,0806	25,2111	29,0755	38,9696	33,9747	50,0215	0,4322
8400	56,7020	33,6411	34,2217	51,2253	25,3634	29,1650	39,3961	34,0795	50,3477	0,4305
8550	56,7670	33,6407	34,1904	51,2817	25,3877	29,2338	39,8998	34,1699	50,2983	0,4220
8700	56,8119	33,6848	34,1838	51,3193	25,3444	29,2995	40,5277	34,2751	50,7724	0,4281
8850	56,8146	33,7230	34,1975	51,3750	25,2875	29,3647	41,1794	34,3778	51,9813	0,4282
9000	55,3556	34,0064	34,2103	51,4023	25,3101	29,4400	41,9103	34,5011	51,4011	2,0218
9060	43,9738	35,6130	34,3546	50,3482	25,0537	29,4554	42,1205	34,5672	50,8958	2,0363
9090	41,7169	37,0407	35,1664	49,6543	25,0534	29,4330	42,1095	34,5886	50,5913	2,0323
9120	40,8446	38,0821	36,4582	49,0398	25,0458	29,4390	42,2008	34,6345	50,5269	1,9277
9150	40,9866	38,2470	37,5304	48,6129	25,2589	29,4550	42,3383	34,6905	50,6948	1,8602
9180	41,6233	38,3745	37,7619	48,3896	25,2785	29,4719	42,4568	34,7329	51,1745	1,8425
9210	42,5239	38,4671	37,8576	48,3394	25,3481	29,4790	42,5416	34,7873	51,5342	1,8500
9240	43,2639	38,5690	37,9352	48,3586	25,3143	29,4891	42,6054	34,8113	51,3860	1,8537
9270	43,6971	38,6276	38,0402	48,4129	25,2664	29,5030	42,6374	34,8182	50,7715	1,6919
9300	44,0884	38,5718	38,1172	48,4784	25,3277	29,5171	42,6677	34,8425	50,5980	1,6361
9330	44,3905	38,4486	38,1201	48,5589	25,3629	29,5415	42,7109	34,8873	50,8160	1,6817
9360	44,5798	38,3390	38,0297	48,6257	25,4108	29,5553	42,7280	34,9152	51,2534	1,6837
9390	44,6901	38,2636	37,9076	48,6849	25,4168	29,5722	42,7457	34,9719	51,5515	1,6777
9420	44,7850	38,2315	37,8139	48,7337	25,4333	29,5987	42,7509	35,0280	51,7819	1,4714
9450	45,0354	38,1439	37,8045	48,7784	25,4875	29,6192	42,7355	35,0598	51,9868	1,4777
9480	45,2373	38,0928	37,7563	48,8176	25,4498	29,6457	42,7277	35,1071	52,0728	1,4752
9510	45,3171	38,0694	37,6869	48,8498	25,4284	29,6778	42,7893	35,1381	51,5397	1,4781
9540	45,3476	38,0773	37,6670	48,8683	25,3501	29,6978	42,7275	35,1839	51,3629	1,3697
9570	45,4623	38,0470	37,6409	48,8759	25,3953	29,7268	42,7825	35,2250	51,5746	1,2792
9600	45,6870	37,9751	37,6567	48,8942	25,3982	29,7531	42,7596	35,2753	51,5218	1,2808
9630	45,9257	37,9248	37,6299	48,9338	25,4230	29,7816	42,7473	35,3115	51,6039	1,2811
9660	46,0655	37,8858	37,5882	48,9745	25,3943	29,8083	42,7109	35,3397	51,4287	1,2864
9690	46,1421	37,8698	37,5512	49,0174	25,3123	29,8361	42,6181	35,3878	51,3730	1,0827
9720	46,3151	37,8146	37,5251	49,0484	25,3791	29,8638	42,5895	35,4493	51,0017	1,1225
9750	46,6273	37,7440	37,5205	49,0848	25,4632	29,9045	42,6195	35,4897	51,1271	1,1204
9780	46,9075	37,6928	37,4864	49,1418	25,5233	29,9362	42,6070	35,5390	51,8419	1,1142

9810	47,0990	37,6347	37,4310	49,1959	25,5248	29,9665	42,6024	35,5682	51,6478	1,1147
9840	47,1866	37,5954	37,3938	49,2434	25,4680	29,9860	42,5180	35,6088	51,7238	1,1160
9870	47,2085	37,5761	37,3475	49,2743	25,3297	30,0172	42,4733	35,6413	51,8738	0,9363
9900	47,4114	37,5277	37,3073	49,3082	25,3210	30,0668	42,5393	35,6867	52,1184	0,9049
9930	47,7546	37,4438	37,3337	49,3694	25,3051	30,0948	42,4976	35,7236	52,3304	0,8995
9960	48,1538	37,3697	37,3246	49,4566	25,3247	30,1229	42,4794	35,7611	52,6725	0,8962
9990	48,5321	37,2983	37,2644	49,5456	25,3291	30,1590	42,4671	35,7993	52,7633	0,8995
10020	48,7985	37,2456	37,2184	49,6347	25,3856	30,1782	42,3917	35,8458	52,6927	0,7308
10050	49,0527	37,1828	37,1570	49,7203	25,4350	30,2103	42,3748	35,8736	52,5727	0,6955
10080	49,4524	37,0780	37,1415	49,8280	25,4945	30,2435	42,3858	35,9192	52,7467	0,6795
10110	49,9359	36,9840	37,1285	49,9546	25,5586	30,2836	42,4697	35,9706	53,0895	0,6827
10140	50,4524	36,9022	37,0905	50,0975	25,5614	30,3089	42,4549	35,9937	52,5907	0,6794
10170	50,9248	36,8158	37,0487	50,2357	25,5235	30,3219	42,3374	36,0149	52,1941	0,4528
10200	51,3638	36,7134	36,9557	50,3477	25,5257	30,3640	42,3916	36,0576	51,7065	0,4641
10230	51,8958	36,5827	36,9121	50,5055	25,4194	30,3928	42,3756	36,0868	51,4090	0,4687
10260	52,5304	36,4719	36,9267	50,7224	25,3230	30,4157	42,3597	36,1060	51,6811	0,4637
10290	53,1832	36,3726	36,9319	50,9656	25,2892	30,4439	42,3485	36,1229	51,9133	0,4661
10320	53,8403	36,2897	36,9124	51,2205	25,3129	30,4690	42,3525	36,1573	52,0278	0,4640
10350	54,3457	36,1978	36,8869	51,4726	25,3200	30,4855	42,2729	36,1641	51,9844	0,0000
10380	54,7718	36,1146	36,7740	51,7528	25,3702	30,5153	42,2788	36,1963	52,2998	0,2421
10410	55,3924	35,9944	36,6562	52,0916	25,3875	30,5541	42,3560	36,2373	52,6488	0,2349
10440	56,2420	35,8754	36,6432	52,4811	25,2241	30,5775	42,3921	36,2585	52,3260	0,2883
10470	57,2230	35,7796	36,7391	52,9372	25,1905	30,6019	42,4143	36,2831	51,9844	0,2874
10500	58,1139	35,7098	36,8280	53,3694	25,2765	30,6161	42,3836	36,2960	51,8918	0,2864
10530	58,9563	35,6449	36,8715	53,8162	25,2707	30,6316	42,3070	36,2977	51,9858	0,7303
10560	60,2052	35,7193	36,8090	54,1242	25,3108	30,6619	42,4124	36,3282	52,1381	1,0941
10590	58,9599	35,9302	36,1367	53,9866	25,2032	30,6772	42,4218	36,3451	52,0026	1,0909
10620	55,5187	36,1287	35,8430	53,4399	25,2197	30,6996	42,3884	36,3586	51,9279	1,0504
10650	51,9314	36,3055	35,8109	52,7462	25,3592	30,7092	42,4092	36,3868	52,0961	1,0627
10680	49,7025	36,4909	35,9213	52,0808	25,2993	30,7201	42,4427	36,4135	51,4627	1,0604
10710	48,5003	36,7130	36,0654	51,4805	25,3209	30,7319	42,4891	36,4411	51,0579	1,0610
10740	47,6899	36,9731	36,2424	50,9780	25,3093	30,7440	42,5434	36,4801	50,7417	1,0652
10770	47,1553	37,2625	36,4418	50,5537	25,3506	30,7635	42,6203	36,5209	50,5792	1,0673
10800	46,8738	37,5892	36,6723	50,2274	25,3077	30,7849	42,7190	36,5770	50,3025	1,0625
10830	46,7467	37,9059	36,9323	49,9680	25,2251	30,8100	42,7987	36,6160	50,1060	1,0668
10860	46,7171	38,1797	37,2163	49,7893	25,2673	30,8344	42,8819	36,6626	50,4281	1,0693
10890	46,7681	38,3734	37,4926	49,6512	25,3398	30,8583	42,9539	36,7020	50,8121	1,0614
10920	46,8529	38,5078	37,7433	49,5630	25,3770	30,8773	43,0129	36,7588	50,3820	1,0596
10950	46,9737	38,5683	37,9280	49,5104	25,4306	30,8979	43,0634	36,7948	50,1666	1,0608
10980	47,1352	38,5959	38,0633	49,4976	25,4335	30,9209	43,1108	36,8378	50,1726	1,0657
11010	47,3093	38,6100	38,1492	49,5177	25,4927	30,9459	43,1620	36,8735	50,0216	1,0588
11040	47,4783	38,6057	38,1765	49,5508	25,5301	30,9763	43,1983	36,9259	50,5325	1,0622
11070	47,6632	38,5952	38,1954	49,5927	25,5791	30,9985	43,2399	36,9563	50,5170	1,0579

11100	47,8301	38,5921	38,2025	49,6382	25,6195	31,0210	43,2701	36,9932	50,3781	1,0509
11130	47,9546	38,6012	38,1995	49,6793	25,6470	31,0460	43,2829	37,0459	50,7130	1,0646
11160	48,0382	38,5995	38,2048	49,7207	25,6423	31,0691	43,2973	37,0818	50,9582	1,0603
11190	48,0956	38,6177	38,2033	49,7458	25,6142	31,0941	43,3021	37,1195	50,7757	1,0633
11220	48,1257	38,6317	38,2216	49,7626	25,5743	31,1196	43,3036	37,1499	50,4710	1,0692
11250	48,1484	38,6531	38,2361	49,7778	25,5540	31,1445	43,3100	37,1927	50,4250	1,0569
11280	48,1580	38,6804	38,2442	49,7868	25,5638	31,1668	43,3071	37,2295	50,2600	1,0665
11310	48,1679	38,7060	38,2665	49,7916	25,5533	31,1838	43,3053	37,2588	50,2026	1,0647
11340	48,1762	38,7364	38,2993	49,7974	25,5372	31,2166	43,3085	37,3060	50,0912	1,0603
11370	48,1820	38,7690	38,3270	49,7994	25,5453	31,2397	43,3089	37,3450	49,8668	1,0667
11400	48,1908	38,8124	38,3509	49,8073	25,5082	31,2639	43,3064	37,3746	49,8013	1,0601
11430	48,2091	38,8441	38,3847	49,8158	25,4588	31,2980	43,3072	37,4222	49,7573	1,0664
11460	48,2271	38,8789	38,4124	49,8264	25,4054	31,3347	43,2995	37,4670	49,9430	1,0663
11490	48,2525	38,9178	38,4508	49,8367	25,3370	31,3677	43,2889	37,5088	50,1027	1,0638
11520	48,2647	38,9452	38,4819	49,8514	25,3952	31,3986	43,2746	37,5404	49,9036	1,0656
11550	48,2848	38,9834	38,5085	49,8622	25,4625	31,4318	43,2844	37,5855	49,9138	1,0593
11580	48,3142	39,0168	38,5499	49,8777	25,4696	31,4597	43,2835	37,6312	50,0809	1,0705
11610	48,3437	39,0527	38,5847	49,8906	25,5207	31,4927	43,2881	37,6607	50,1140	1,0606
11640	48,3631	39,1247	38,6287	49,8559	25,4873	31,5577	43,3735	37,7511	49,8164	1,0650
11670	47,9952	39,1502	38,6702	49,1303	25,4392	31,5697	43,2882	37,7652	48,3046	1,0650
11700	46,8943	39,2007	38,7074	48,0465	25,4007	31,6031	43,2848	37,8036	47,2421	1,0626
11730	45,4593	39,2371	38,7366	46,9655	25,4577	31,6289	43,2686	37,8385	46,4218	1,0639
11760	44,1286	39,2796	38,7736	45,9867	25,4716	31,6458	43,2576	37,8635	45,4060	1,0608
11790	43,1309	39,3616	38,8182	45,1337	25,5031	31,6633	43,2474	37,8920	44,2995	1,0641
11820	42,4727	39,4783	38,8651	44,4134	25,5179	31,6845	43,2212	37,9014	43,5836	1,0661
11850	42,0383	39,6254	38,9433	43,7904	25,5257	31,6955	43,2035	37,9274	43,1831	1,0672
11880	41,7381	39,7251	39,0627	43,2650	25,5229	31,7106	43,1769	37,9294	43,0373	1,0595
11910	41,5002	39,7076	39,1961	42,8056	25,4871	31,7203	43,1501	37,9401	42,4177	1,0614
11940	41,3043	39,6339	39,2891	42,4146	25,4746	31,7353	43,1138	37,9505	42,0751	1,0626
11970	41,1459	39,5211	39,2966	42,0628	25,4077	31,7426	43,0677	37,9383	41,8296	1,0663
12000	41,0132	39,4013	39,2522	41,7638	25,4238	31,7489	43,0254	37,9324	41,5862	1,0667
12030	40,9071	39,2913	39,1759	41,4956	25,4528	31,7596	42,9903	37,9213	41,1968	1,0641
12060	40,8237	39,2088	39,1025	41,2576	25,4518	31,7699	42,9377	37,9121	40,5829	1,0636
12090	40,7226	39,1454	39,0166	41,0278	25,4107	31,7741	42,8858	37,9065	40,0734	1,0708
12120	40,6124	39,1042	38,9533	40,8047	25,3957	31,7789	42,8390	37,8874	39,3940	1,0777
12150	40,4775	39,0547	38,9118	40,5805	25,3688	31,7814	42,7882	37,8843	38,7204	1,0675
12180	40,3255	38,9966	38,8703	40,3589	25,3692	31,7788	42,7473	37,8688	38,5377	1,0678
12210	40,1559	38,9266	38,8224	40,1497	25,2933	31,7873	42,6862	37,8629	38,3644	1,0726
12240	39,9946	38,8746	38,7774	39,9587	25,1630	31,7998	42,6015	37,8541	38,1805	1,0633
12270	39,8323	38,8157	38,7241	39,7736	25,0993	31,8119	42,5347	37,8463	37,6875	1,0647
12300	39,6861	38,7576	38,6555	39,5849	24,9991	31,8175	42,4687	37,8383	37,1481	1,0687
12330	39,5459	38,6932	38,5962	39,3958	24,9346	31,8107	42,4159	37,8148	36,6114	1,0715
12360	39,4082	38,6267	38,5412	39,2219	24,8735	31,8069	42,3565	37,7982	36,0681	1,0664

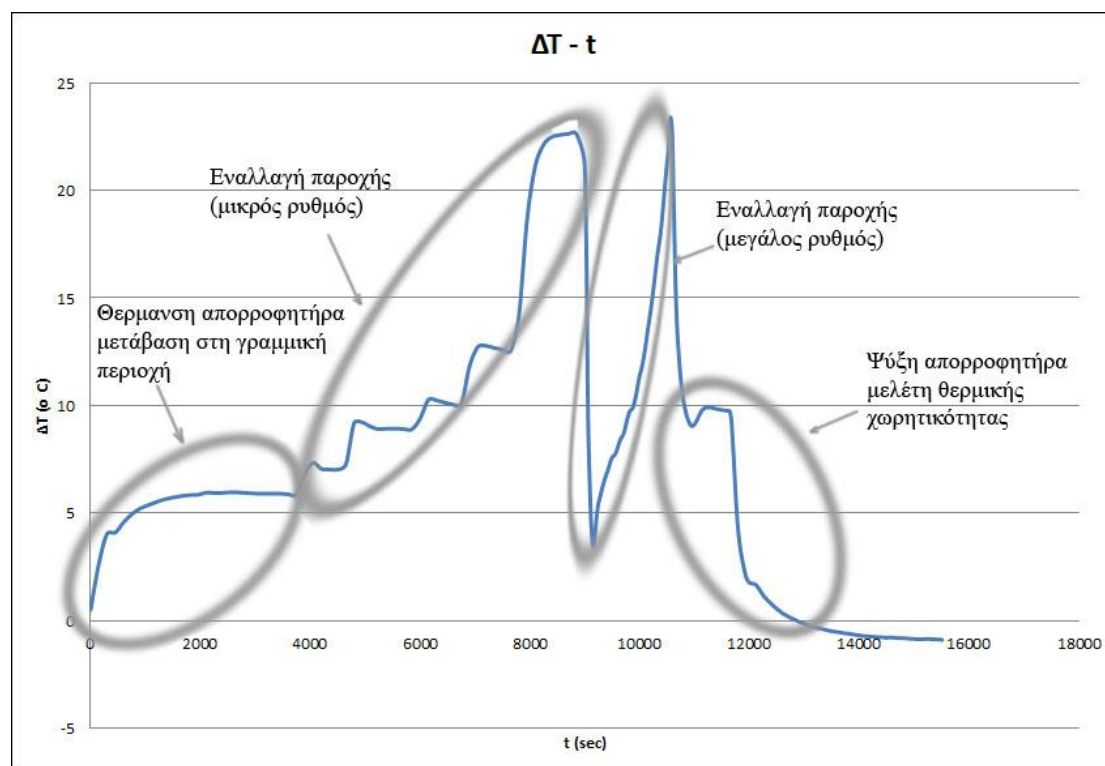
12390	39,2833	38,5621	38,4811	39,0548	24,9099	31,8086	42,2977	37,7822	35,6220	1,0735
12420	39,1563	38,5098	38,4352	38,8874	24,9391	31,8113	42,2335	37,7673	35,3170	1,0696
12450	39,0359	38,4417	38,3765	38,7189	25,0239	31,8107	42,1830	37,7442	34,8496	1,0629
12480	38,9086	38,3813	38,3210	38,5529	25,0172	31,8040	42,1274	37,7169	34,5140	1,0673
12510	38,7891	38,3253	38,2625	38,3950	25,0135	31,7988	42,0768	37,7046	34,2906	1,0659
12540	38,6709	38,2695	38,2067	38,2447	24,9643	31,7996	42,0198	37,6958	34,1780	1,0701
12570	38,5583	38,2134	38,1528	38,0997	24,9204	31,7951	41,9672	37,6819	33,9155	1,0686
12600	38,4469	38,1547	38,1044	37,9590	24,8666	31,7897	41,9005	37,6648	33,6960	1,0687
12630	38,3459	38,1070	38,0423	37,8217	24,8162	31,7889	41,8539	37,6514	33,4884	1,0722
12660	38,2449	38,0496	37,9884	37,6854	24,8299	31,7879	41,7967	37,6322	33,2178	1,0710
12690	38,1446	37,9994	37,9277	37,5524	24,7642	31,7850	41,7357	37,6166	32,9167	1,0691
12720	38,0483	37,9500	37,8797	37,4258	24,7322	31,7823	41,6815	37,6043	32,6755	1,0666
12750	37,9637	37,8894	37,8257	37,3024	24,7003	31,7793	41,6210	37,5898	32,4935	1,0619
12780	37,8683	37,8463	37,7719	37,1880	24,7063	31,7748	41,5719	37,5764	32,3555	1,0675
12810	37,7785	37,8005	37,7158	37,0727	24,6794	31,7699	41,5235	37,5604	32,1826	1,0692
12840	37,6965	37,7590	37,6730	36,9607	24,6576	31,7652	41,4708	37,5390	32,0109	1,0679
12870	37,6144	37,7141	37,6276	36,8524	24,6000	31,7599	41,4160	37,5290	31,8435	1,0705
12900	37,5312	37,6673	37,5780	36,7443	24,5637	31,7573	41,3595	37,5169	31,7065	1,0698
12930	37,4555	37,6287	37,5364	36,6399	24,5477	31,7494	41,3098	37,5053	31,4899	1,0660
12960	37,3829	37,5844	37,4899	36,5447	24,5014	31,7439	41,2562	37,4848	31,3514	1,0570
12990	37,3150	37,5385	37,4483	36,4524	24,5100	31,7402	41,2080	37,4746	31,2216	1,0589
13020	37,2446	37,5013	37,4144	36,3629	24,5149	31,7358	41,1579	37,4649	31,0675	1,0621
13050	37,1742	37,4631	37,3685	36,2721	24,5238	31,7360	41,1161	37,4529	30,9117	1,0588
13080	37,1094	37,4287	37,3284	36,1880	24,4512	31,7296	41,0675	37,4427	30,7370	1,0605
13110	37,0458	37,3977	37,2891	36,0994	24,3652	31,7315	41,0094	37,4362	30,6343	1,0616
13140	36,9854	37,3700	37,2522	36,0203	24,3123	31,7265	40,9574	37,4203	30,5383	1,0688
13170	36,9210	37,3313	37,2191	35,9327	24,3269	31,7216	40,9101	37,4044	30,4222	1,0605
13200	36,8540	37,2905	37,1736	35,8494	24,3493	31,7159	40,8608	37,3917	30,3533	1,0623
13230	36,7947	37,2482	37,1331	35,7681	24,3151	31,7089	40,8162	37,3756	30,2791	1,0661
13260	36,7405	37,2102	37,0994	35,6883	24,2921	31,7039	40,7638	37,3573	30,1633	1,0584
13290	36,6900	37,1708	37,0561	35,6129	24,2703	31,6940	40,7106	37,3438	30,0898	1,0614
13320	36,6358	37,1340	37,0268	35,5389	24,3171	31,6904	40,6702	37,3326	29,9497	1,0658
13350	36,6060	37,1087	37,0072	35,5661	24,5784	31,6908	40,6815	37,3394	29,8202	1,0600
13380	36,5598	37,0771	36,9786	35,5033	24,5627	31,6821	40,6343	37,3218	29,7017	1,0635
13410	36,5064	37,0361	36,9470	35,4325	24,5785	31,6721	40,5959	37,3105	29,6094	1,0598
13440	36,4561	37,0002	36,9150	35,3680	24,5657	31,6666	40,5560	37,2993	29,5865	1,0584
13470	36,4022	36,9714	36,8760	35,3090	24,5499	31,6581	40,5113	37,2842	29,5085	1,0628
13500	36,3564	36,9390	36,8417	35,2433	24,5835	31,6536	40,4783	37,2694	29,4042	1,0687
13530	36,3182	36,9126	36,8169	35,1831	24,5519	31,6487	40,4454	37,2660	29,3944	1,0619
13560	36,2727	36,8845	36,7878	35,1240	24,5122	31,6424	40,4003	37,2539	29,3060	1,0640
13590	36,2317	36,8518	36,7569	35,0648	24,4762	31,6393	40,3578	37,2478	29,2687	1,0617
13620	36,2006	36,8239	36,7343	35,0141	24,4754	31,6345	40,3237	37,2342	29,2129	1,0627
13650	36,1539	36,7956	36,7007	34,9542	24,4137	31,6281	40,2803	37,2211	29,1417	1,0678

13680	36,1146	36,7729	36,6768	34,9026	24,3526	31,6221	40,2355	37,2145	29,0274	1,0687
13710	36,0743	36,7558	36,6483	34,8515	24,3866	31,6202	40,1992	37,2068	28,9603	1,0709
13740	36,0403	36,7322	36,6272	34,8054	24,4126	31,6102	40,1498	37,1996	28,9224	1,0733
13770	36,0082	36,7037	36,6027	34,7637	24,3717	31,6088	40,1146	37,1930	28,9085	1,0734
13800	35,9858	36,6812	36,5858	34,7221	24,3651	31,6086	40,0903	37,1844	28,8602	1,0737
13830	35,9545	36,6557	36,5674	34,6769	24,3778	31,5988	40,0600	37,1747	28,8012	1,0742
13860	35,9042	36,6257	36,5401	34,6190	24,2765	31,5895	40,0076	37,1596	28,7623	1,0722
13890	35,8684	36,5954	36,5084	34,5658	24,2866	31,5754	39,9605	37,1423	28,7548	1,0641
13920	35,8312	36,5716	36,4855	34,5223	24,3411	31,5690	39,9220	37,1351	28,7905	1,0671
13950	35,8004	36,5498	36,4630	34,4829	24,3389	31,5631	39,8800	37,1232	28,7398	1,0705
13980	35,7584	36,5312	36,4412	34,4388	24,2789	31,5536	39,8486	37,1131	28,7036	1,0763
14010	35,7312	36,5158	36,4161	34,3943	24,1978	31,5436	39,7996	37,1032	28,6859	1,0738
14040	35,6986	36,4942	36,3964	34,3599	24,1820	31,5391	39,7576	37,0978	28,5491	1,0691
14070	35,6696	36,4742	36,3791	34,3173	24,1379	31,5365	39,7205	37,0845	28,4796	1,0709
14100	35,6369	36,4467	36,3633	34,2900	24,1220	31,5314	39,6807	37,0731	28,4296	1,0695
14130	35,6143	36,4240	36,3427	34,2609	24,1532	31,5228	39,6574	37,0702	28,3819	1,0719
14160	35,5904	36,4064	36,3162	34,2257	24,1846	31,5212	39,6242	37,0650	28,3556	1,0725
14190	35,5660	36,3851	36,3023	34,1940	24,1992	31,5194	39,5979	37,0542	28,2711	1,0694
14220	35,5449	36,3704	36,2867	34,1643	24,2355	31,5115	39,5602	37,0452	28,2579	1,0685
14250	35,5217	36,3513	36,2694	34,1250	24,1810	31,5067	39,5183	37,0388	28,1593	1,0707
14280	35,4999	36,3359	36,2574	34,0977	24,2057	31,5012	39,4849	37,0298	28,0841	1,0744
14310	35,4733	36,3051	36,2367	34,0662	24,1626	31,4919	39,4473	37,0202	28,0371	1,0751
14340	35,4530	36,2865	36,2198	34,0310	24,1458	31,4862	39,4075	37,0117	28,0224	1,0720
14370	35,4284	36,2782	36,1962	34,0043	24,1449	31,4840	39,3782	37,0074	28,0198	1,0732
14400	35,4110	36,2629	36,1801	33,9709	24,1290	31,4775	39,3391	36,9967	27,9968	1,0719
14430	35,3860	36,2430	36,1647	33,9461	24,1017	31,4742	39,3021	36,9902	27,9204	1,0684
14460	35,3670	36,2302	36,1435	33,8525	23,8692	31,4896	39,3414	36,9998	27,9248	1,0744
14490	35,3259	36,2086	36,1323	33,8252	23,8791	31,4922	39,3040	36,9937	28,0587	1,0730
14520	35,3290	36,1969	36,1066	33,8805	24,0502	31,4661	39,1850	36,9729	28,1541	1,0655
14550	35,3094	36,1823	36,0896	33,8630	23,9833	31,4593	39,1715	36,9737	28,0422	1,0713
14580	35,2948	36,1694	36,0734	33,8433	23,9933	31,4584	39,1482	36,9698	28,0440	1,0721
14610	35,2707	36,1504	36,0617	33,8093	23,9778	31,4550	39,1060	36,9614	28,0355	1,0713
14640	35,2518	36,1437	36,0467	33,7915	23,9649	31,4570	39,0797	36,9590	27,9517	1,0696
14670	35,2256	36,1292	36,0273	33,7627	23,8839	31,4465	39,0336	36,9462	27,8599	1,0755
14700	35,2047	36,1143	36,0131	33,7351	23,8743	31,4471	39,0121	36,9404	27,8419	1,0719
14730	35,1919	36,0888	36,0042	33,7121	23,8773	31,4429	38,9786	36,9328	27,7566	1,0754
14760	35,1701	36,0746	35,9934	33,6838	23,8927	31,4410	38,9441	36,9288	27,7043	1,0741
14790	35,1545	36,0681	35,9751	33,6657	23,8841	31,4388	38,9099	36,9241	27,7183	1,0718
14820	35,1393	36,0490	35,9610	33,6472	23,8751	31,4351	38,8789	36,9220	27,6823	1,0707
14850	35,1222	36,0395	35,9429	33,6299	23,8767	31,4330	38,8410	36,9096	27,6908	1,0677
14880	35,1109	36,0333	35,9382	33,6149	23,8951	31,4311	38,8147	36,9042	27,6874	1,0712
14910	35,0946	36,0274	35,9300	33,5829	23,8471	31,4282	38,7881	36,8999	27,6583	1,0678
14940	35,0738	36,0105	35,9219	33,5658	23,8092	31,4233	38,7637	36,8984	27,6323	1,0692

14970	35,0626	36,0001	35,9115	33,5538	23,8241	31,4215	38,7335	36,8929	27,5982	1,0691
15000	35,0507	35,9965	35,9023	33,5448	23,8295	31,4288	38,7108	36,8987	27,6120	1,0688
15030	35,0324	35,9780	35,8889	33,5194	23,7944	31,4219	38,6690	36,8820	27,5962	1,0683
15060	35,0295	35,9703	35,8849	33,5143	23,8339	31,4212	38,6460	36,8820	27,5708	1,0767
15090	35,0134	35,9604	35,8706	33,4889	23,8421	31,4138	38,6166	36,8739	27,5182	1,0682
15120	34,9969	35,9429	35,8604	33,4692	23,7636	31,4086	38,5790	36,8656	27,4856	1,0690
15150	34,9896	35,9275	35,8555	33,4527	23,7509	31,4047	38,5565	36,8614	27,4666	1,0745
15180	34,9812	35,9103	35,8391	33,4372	23,7315	31,4066	38,5283	36,8539	27,5047	1,0774
15210	34,9670	35,9055	35,8204	33,4225	23,7137	31,4042	38,5008	36,8475	27,5115	1,0683
15240	34,9574	35,9056	35,8098	33,4129	23,6750	31,4067	38,4766	36,8466	27,4894	1,0683
15270	34,9487	35,8982	35,8005	33,3913	23,6739	31,3999	38,4459	36,8447	27,4685	1,0692
15300	34,9379	35,8877	35,7963	33,3767	23,7290	31,3979	38,4171	36,8385	27,4512	1,0705
15330	34,9244	35,8681	35,7878	33,3641	23,7490	31,3912	38,3871	36,8328	27,4627	1,0641
15360	34,9110	35,8640	35,7769	33,3480	23,7418	31,3878	38,3627	36,8274	27,4222	1,0727
15390	34,8914	35,8609	35,7605	33,3290	23,7345	31,3882	38,3442	36,8252	27,4155	1,0712
15420	34,8847	35,8571	35,7577	33,3220	23,7331	31,3829	38,3126	36,8198	27,3861	1,0651
15450	34,8725	35,8473	35,7521	33,3088	23,7140	31,3811	38,2756	36,8170	27,3728	1,0693
15480	34,8667	35,8337	35,7523	33,2990	23,6750	31,3810	38,2515	36,8144	27,3675	1,0729
15510	34,8513	35,8282	35,7416	33,2869	23,6423	31,3823	38,2216	36,8079	27,3272	1,0705

5.4.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ, ΠΡΟΤΥΠΟ ΠΕΙΡΑΜΑ 3

Παρουσιάζεται το διάγραμμα $\Delta T - t$ για το σύνολο του πειράματος με τις αντίστοιχες διεργασίες του πειράματος.



Εικόνα 5.4.3.1 Απεικόνιση των διάφορων περιοχών στο διάγραμμα $\Delta T - t$

- Στην πρώτη περιοχή επιτυγχάνεται θέρμανση του απορροφητήρα από την θερμοκρασία περιβάλλοντος στην θερμοκρασία λειτουργίας ταυτόχρονα η διαφορά θερμοκρασίας εξόδου - εισόδου αυξάνεται όσο ο απορροφητήρας τείνει να φτάσει την θερμοκρασία λειτουργίας του για την δεδομένη παροχή. Αφού σταθεροποιηθεί η θερμοκρασία του απορροφητήρα η ΔT παίρνει την τιμή λειτουργίας της και αρχίζει να μειώνεται όσο αυξάνεται η θερμοκρασία του εργαζόμενου μέσου λόγω της αύξησης των άδηλων απωλειών.
- Έχοντας γραμμικά φθίνουσα τιμή ΔT ξεκινάμε τις μετρήσεις αλλάζοντας την παροχή ανά χρονικά διαστήματα 10-15 λεπτών. Από την μέγιστη παροχή βηματικά οδηγούμαστε στην ελάχιστη όπου και παρατηρούμε την μέγιστη θερμοκρασιακή διαφορά εξόδου – εισόδου. Φυσικά όσο μικρότερο είναι το χρονικό διάστημα της εναλλαγής της ροής για την μελέτη μας τόσο λιγότερο θα επηρεάζονται οι μετρήσεις μας από την αύξηση των άδηλων απωλειών, μιας και όσο περνάει ο χρόνος το εργαζόμενο μέσο αυξάνει θερμοκρασία.
- Για τον σκοπό αυτό προχωρούμε στις μετρήσεις της τρίτης περιοχής όπου και διατηρούμε την ίδια παροχή για διάστημα 2 λεπτών. Ωστόσο κατά την μελέτη των αποτελεσμάτων και αφού έχει ολοκληρωθεί το πείραμα

βλέπουμε πως η ΔT δεν προλαβαίνει στο χρονικό διάστημα των δύο λεπτών να σταθεροποιηθεί σε κάποια διακριτή τιμή για κάθε αντίστοιχη ροή και συνεπώς μελέτη του βαθμού απόδοσης από τα δεδομένα της περιοχής τρία δεν μπορεί να προκύψει.

- Στο τέταρτο μέρος και τελευταίο του πειράματος έχοντας απενεργοποιήσει τους λαμπτήρες μελετάμε την ψύξη του απορροφητήρα και την θέρμανση του εργαζόμενου μέσου από την αποθηκευμένη θερμότητα στους απορροφητήρες (χάλκινους σωλήνες) της εγκατάστασης. Για όσο περισσότερο χρονικό διάστημα το νερό θερμαίνεται στην έξοδο τόσο περισσότερο θερμική ενέργεια είχε αποθηκευθεί κατά την έκθεση στην ακτινοβολία στους απορροφητήρες. Η περιοχή στο διάγραμμα όπου η ΔT γίνεται αρνητική δηλώνει την στιγμή κατά την οποία η θερμότητα που παίρνει το εργαζόμενο μέσο από τους απορροφητήρες είναι μικρότερη από την θερμότητα που προσφέρει στην περιοχή του μανδύα το ζεστό νερό χρήσης στο εργαζόμενο μέσο. Μιας και στο συγκεκριμένο πείραμα δεν εκτελέσαμε χρήση το αποθηκευμένο νερό διατήρησε υψηλή θερμοκρασία και απόδωσε στο σημείο που αναφέραμε θερμότητα στο εργαζόμενο μέσο, να σημειωθεί πως αυτό είναι μη επιθυμητό διότι με τον τρόπο αυτό το νερό χρήσης ουσιαστικά χάνει θερμότητα. Ωστόσο πρακτικά και σε συνθήκες έλλειψης ακτινοβολίας και χρήσης του ζεστού νερού μπορεί πρακτικά να συμβεί.

5.4.3.1 ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΑΘΜΟΥ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΜΕ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟ ΤΗΝ ΡΟΗ ΤΟΥ ΥΓΡΟΥ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΣΥΝΑΛΛΑΓΗΣ

Για την παραμετρική μελέτη της εγκατάστασης ως προς την μεταβολή του βαθμού απόδοσης συναρτήσει της ροής του εργαζόμενου μέσου χρησιμοποιήθηκαν τα πειραματικά δεδομένα από την περιοχή δύο του προηγούμενου διαγράμματος. Για κάθε τιμή της παραμέτρου που εξετάζουμε υπολογίζουμε τον μέσο όρο της παροχής του ψυκτικού υγρού που έχουμε καταγράψει και υπολογίζουμε την μέση τιμή του παράγοντα ΔT .



Διάγραμμα 5.4.3.1.1 $\Delta T - t$ με αλλαγή της παραμέτρου ροή ρευστού θερμικής συναλλαγής

Έτσι καταλήγουμε στα παρακάτω πειραματικά δεδομένα:

Πίνακας 5.4.3.1.1 Μέση ΔT για μέση παροχή ρευστού

T (sec)	ΔT ($^{\circ}\text{C}$)	\dot{V} (l/min)
3300	5,9	2
4200	7,1	1,64
5400	8,9	1,25
6300	10,2	1,09
7200	12,7	0,85
8400	22,5	0,43

$$q_u = \frac{\dot{V}}{60} \cdot C_p \cdot \Delta T / A_c \quad (5.4.3.1.1)$$

$$n_i = \frac{q_u}{Gt} \quad (5.4.3.1.2)$$

Πίνακας 5.4.3.1.2 Ωφέλιμη ισχύς και βαθμός απόδοσης συναρτήσει της ροής του ρευστού

\dot{V} (l/min)	q_u	n_i
2	412	0,770
1,64	406,6	0,760
1,25	388,5	0,726
1,09	388,2	0,725
0,85	377	0,705
0,43	337,8	0,631

Η παραμετρική ανάλυση έχει σκοπό την αποτύπωση της εξάρτησης και της συσχέτισης των δυο εξεταζόμενων μεγεθών. Αυτό έχει ως προϋπόθεση την εναλλαγή της τιμής μόνο της παραμέτρου που εξετάζεται και την διατήρηση όλων των άλλων παραμέτρων σταθερών. Ωστόσο στα πλαίσια ενός πειράματος αυτό δεν γίνεται εύκολα εφικτό, η πειραματική εγκατάσταση δεν μπορεί να μονωθεί πλήρως από τις μεταβολές των συνθηκών του περιβάλλοντος και τα πειραματικά δεδομένα δεν μπορούν να καταγραφούν ταυτόχρονα μιας και η επενέργεια επί της πειραματικής εγκατάστασης για την μεταβολή της εξεταζόμενης παραμέτρου απαιτεί χρόνο. Στην δική μας περίπτωση η ελάχιστη χρονική διαφορά μεταξύ δυο μετρήσεων είναι ο χρόνος σταθεροποίησης της ΔT σε μια διακριτή τιμή. Αυτός ο χρόνος όπως φαίνεται και από τα πειραματικά μας δεδομένα είναι της τάξης των 1000 sec. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η πρώτη με την τελευταία μέτρηση να έχουν χρονική διαφορά 5000 sec. Στον χρόνο αυτό και λόγω της ισχύος ακτινοβολίας στην οποία είναι εκτεθειμένη η εγκατάσταση η μέση θερμοκρασία και η θερμοκρασία εισόδου στον συλλέκτη αυξάνονται. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση των άδηλων απωλειών και συνεπώς την μείωση του βαθμού απόδοσης του συλλέκτη για τις ίδιες συνθήκες λειτουργίας. Η επιρροή της αύξησης των άδηλων απωλειών στον βαθμό απόδοσης πρέπει να εξετασθεί και τα αποτελέσματα να αναχθούν στις ίδιες συνθήκες λειτουργίας. Στο τέλος αυτής της διαδικασίας οι μεταβολές στον βαθμό απόδοσης του συλλέκτη θα είναι ενδεικτικές της επιρροής του εξεταζόμενου μεγέθους σε αυτόν και η παρουσίαση της εξάρτησης των δύο μεγεθών δόκιμη.

Από τον πίνακα των πειραματικών αποτελεσμάτων βλέπουμε πως η θερμοκρασία εισόδου στον συλλέκτη την στιγμή αρχής του πειράματος είναι 32,4 °C ενώ η αντίστοιχη θερμοκρασία για τον χρόνο της τελευταίας μέτρησης είναι 34,2 °C. Το εργαζόμενο μέσο έχει αύξηση στην είσοδο του συλλέκτη 1,8 °C θερμοκρασιακή διαφορά μικρή που ωστόσο πρέπει να εξετασθεί κατά πόσο επηρεάζει τα πειραματικά μας δεδομένα. Άλλωστε πρέπει να καλυφθεί η γενικότητα της πειραματικής διαδικασίας μιας και υπό άλλες συνθήκες η διαφορά αυτή μπορεί να ήταν μεγαλύτερης τάξης μεγέθους. Ακολουθώντας την ίδια μεθοδολογία με αυτή που θα ακολουθηθεί τα πειραματικά μας δεδομένα θα είχαν μονοσήμαντη εξάρτηση από την παράμετρο εξάρτησης.

Υπολογίζουμε τον παράγοντα $\frac{(T_i - T_a)}{Gt}$ για την κάθε χρονική στιγμή μέτρησης και έχουμε:

Πίνακας 5.4.3.1.3 Παράγον $\frac{(T_i - T_a)}{Gt}$ για τους αντίστοιχους χρόνους που εμφανίζεται

t (sec)	(ti-ta)/Gt (°C·m/W)
3300	0,014676
4200	0,015015
5400	0,015627
6300	0,016378
7200	0,016616
8400	0,016998

Στο σημείο αυτό και χρησιμοποιώντας την εξάρτηση του βαθμού απόδοσης από την $\frac{(T_i - T_a)}{Gt}$ η οποία και αποτυπώνεται στην ανάλυση του πειράματος 2 θα υπολογίσουμε την ποσοστιαία μείωση του βαθμού απόδοσης υπό σταθερή παροχή λόγω της αύξησης του παράγοντα $\frac{(T_i - T_a)}{Gt}$.

Πίνακας 5.4.3.1.4 Ποσοστιαία μείωση βαθμού απόδοσης λόγω αύξησης άδειλων απωλειών

$\frac{(t_i - t_a)}{Gt}$	$\frac{n - n'}{n}$
0,014676	0
0,015015	0,002698
0,015627	0,004881
0,016378	0,006017
0,016616	0,001919
0,016998	0,003082

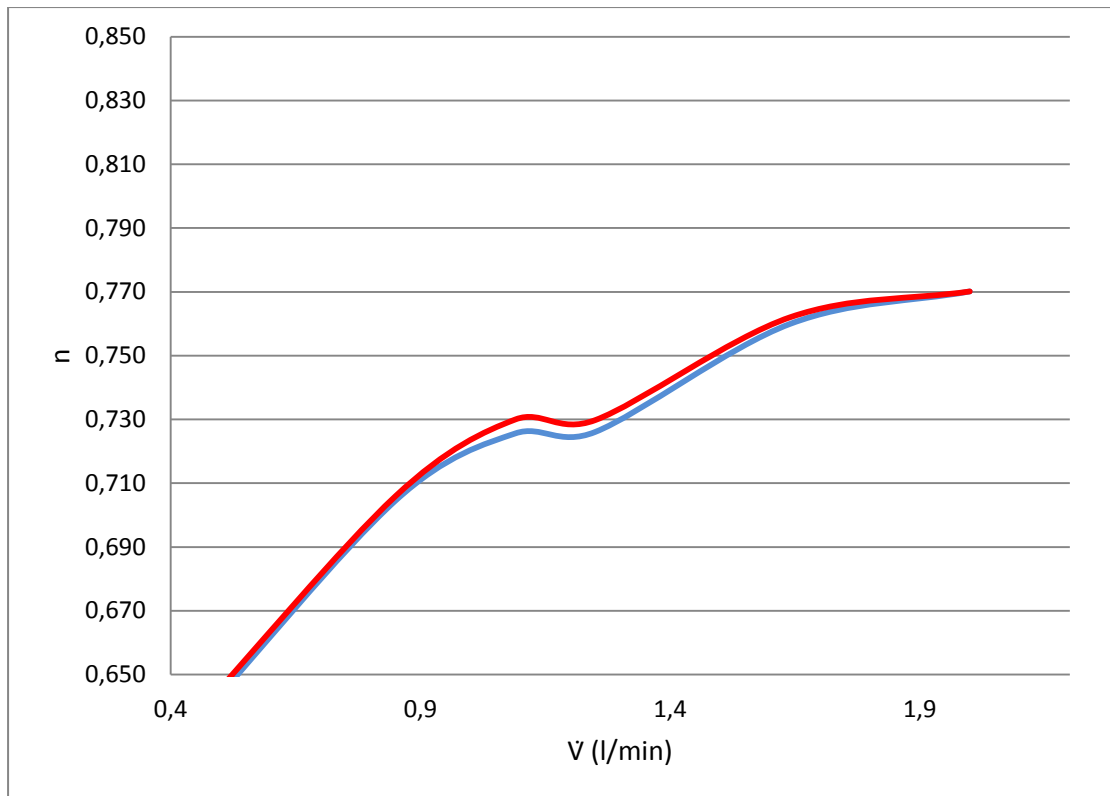
Και τελικά χρησιμοποιώντας τα παραπάνω δεδομένα ανάγουμε τους βαθμούς απόδοσης κάθε μέτρησης στον χρόνο της πρώτης μέτρησης.

$$\eta_{par,i} = \frac{n-n'}{n} \cdot \eta_{i-1} + \eta_i \quad (5.4.3.1)$$

Πίνακας 5.4.3.1.5 Εξάρτηση βαθμού απόδοσης - ροής

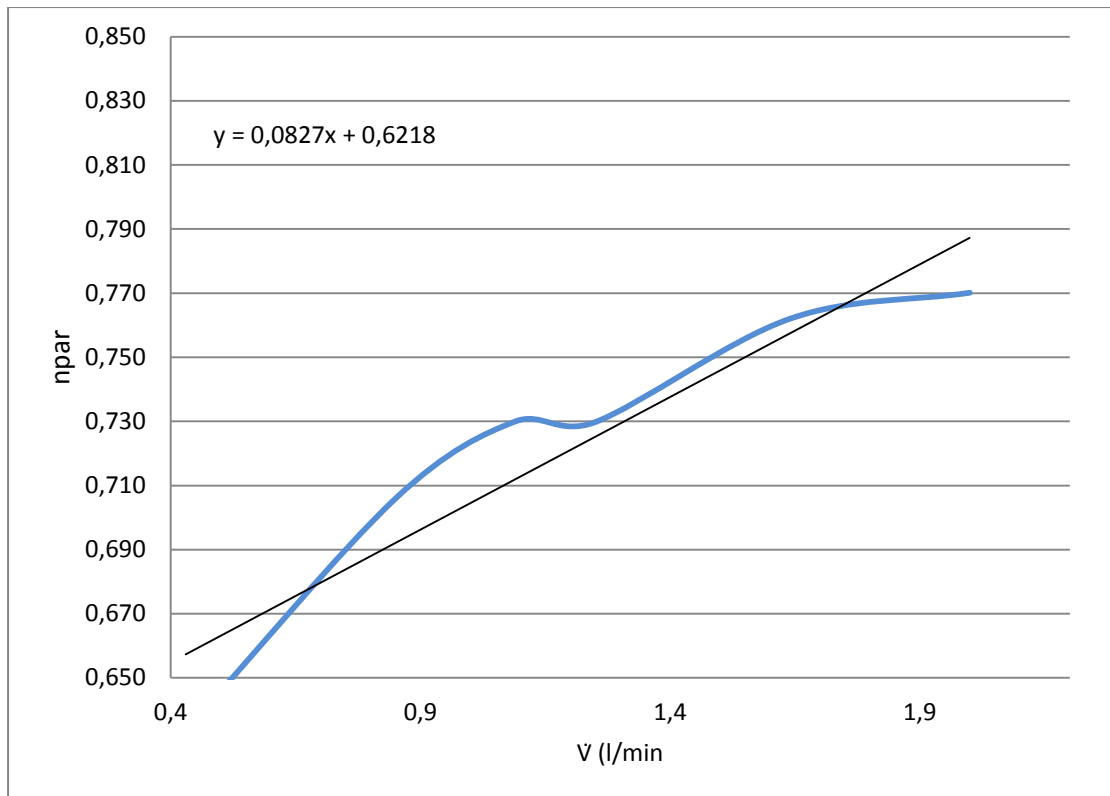
\dot{V} (l/min)	$\eta_{par,i}$
2	0,770
1,64	0,762
1,25	0,7298
1,09	0,73
0,85	0,7059
0,43	0,6336

Στο ακόλουθο διάγραμμα παρουσιάζονται ο η_i με κόκκινο χρώμα και ο απαλλαγμένος από την επιρροή των επιπλέον άδηλων απωλειών για την παραμετροποίηση $\eta_{par,i}$ με μπλε χρώμα.



Διάγραμμα 5.4.3.1.2 Σύγκριση $\eta_{par,l}$ με μπλε χρώμα, η_i με κόκκινο χρώμα

Συμπεραίνουμε πως για το δεδομένο πείραμα η αύξηση της U_L είχε πολύ μικρή επιρροή στα πειραματικά μας δεδομένα. Ακολουθεί η συνάρτηση παραμετροποίησης της η_i για διαφορετικές τιμές ροής.



Διάγραμμα 5.4.3.1.3 Βαθμός απόδοσης συναρτήσει ροής

Με την μέθοδο των ελάχιστων τετραγώνων τελικά βρίσκουμε:

$$\eta_{\text{par},i} = 0,0827 \cdot \dot{V} + 0,6218 \quad (5.4.3.1.3)$$

6. ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΥΣΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΥΤΩΝ

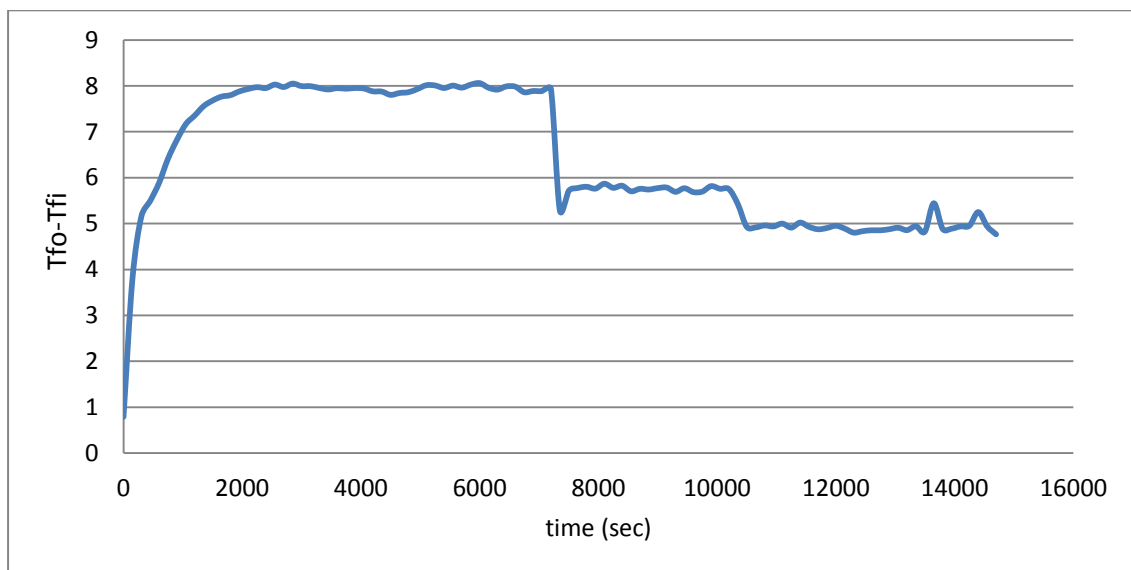
Κατά το αρχικό στάδιο λειτουργίας της μονάδας στις πρώτες και δοκιμαστικές μετρήσεις βγήκαν κάποια αρχικά συμπεράσματα αρκετά ουσιώδη για την πρόοδο της διαδικασίας διενέργειας πειραμάτων καθώς και για την τυποποίηση αυτής. Οι μετρήσεις αυτές δεν είναι πρότυπες μιας και είχαν χαρακτήρα ελέγχου και εξοικείωσης και επομένως δεν θα αποτελέσουν κομμάτι της εργαστηριακής άσκησης που θα ακολουθήσει και θα μας απασχολήσει ένα μόνο μικρό κομμάτι ποιοτικού χαρακτήρα από τις μετρήσεις μας. Για σκοπό εποπτείας επί των μετρήσεων εκ των οποίων βγάλαμε τα ακόλουθα ποιοτικά συμπεράσματα ο αναγνώστης μπορεί να ανατρέξει στο παράρτημα της εργασίας.

6.1 ΧΡΗΣΗ ΑΝΤΙΨΥΚΤΙΚΟΥ ΥΓΡΟΥ ΣΤΟ ΠΡΩΤΕΥΟΝ ΚΥΚΛΩΜΑ

Οι συνθήκες που επικρατούν στον χώρο τοποθέτησης της εγκατάστασης είναι ελεγχόμενος μιας και η εν λόγω μονάδα βρίσκεται εγκατεστημένη σε εσωτερικό θερμαινόμενο χώρο. Η πιθανότητα επομένως παγετού που θα προκαλούσε στερεοποίηση του υγρού του πρωτεύοντος κυκλώματος ήταν εξαρχής αμελητέα. Υπήρχε ωστόσο ενδιαφέρον από πλευράς παρατήρησης και εξακρίβωσης των διαφορών που θα προκαλούσε στην λειτουργία της μονάδας η χρήση αντιψυκτικού υγρού σε σχέση με την αντίστοιχη χρήση νερού. Έτσι στο αρχικό στάδιο λειτουργίας της η μονάδα πληρώθηκε με αντιψυκτικό υγρό (μίγμα με νερό).

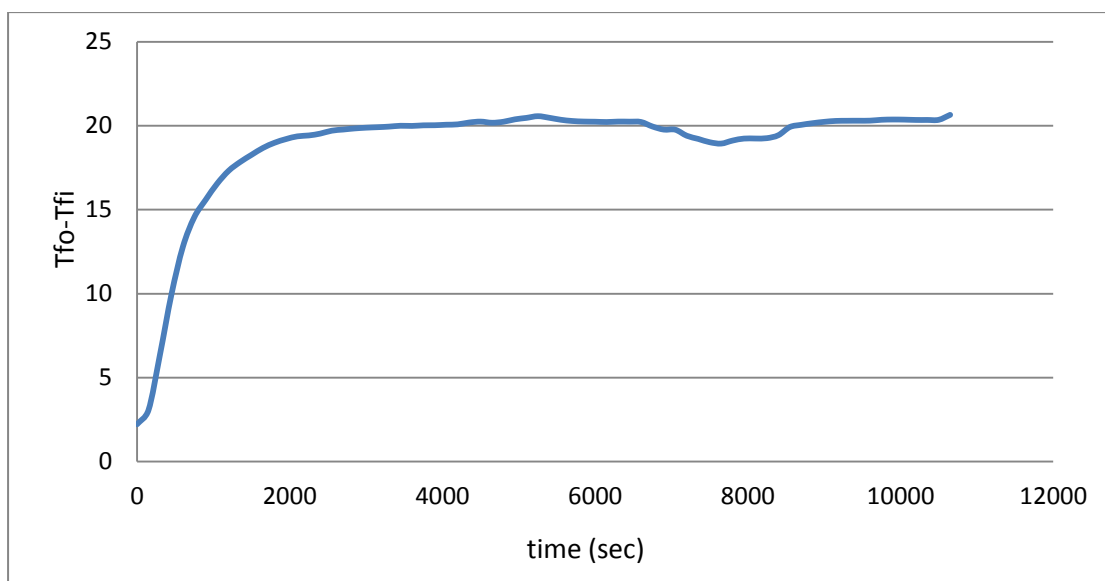
Ακολουθούν τα διαγράμματα θερμοκρασιακής διαφοράς ΔT του συλλέκτη στον χρόνο για τα αντίστοιχα πειράματα:

Πείραμα Δ1 με ψυκτικό υγρό μεταβαλλόμενης της ροής του υγρού θερμικής συναλλαγής (1,4 l/min 1,9 l/min 2,2 l/min αντίστοιχα) και μέγιστη ακτινοβολία :



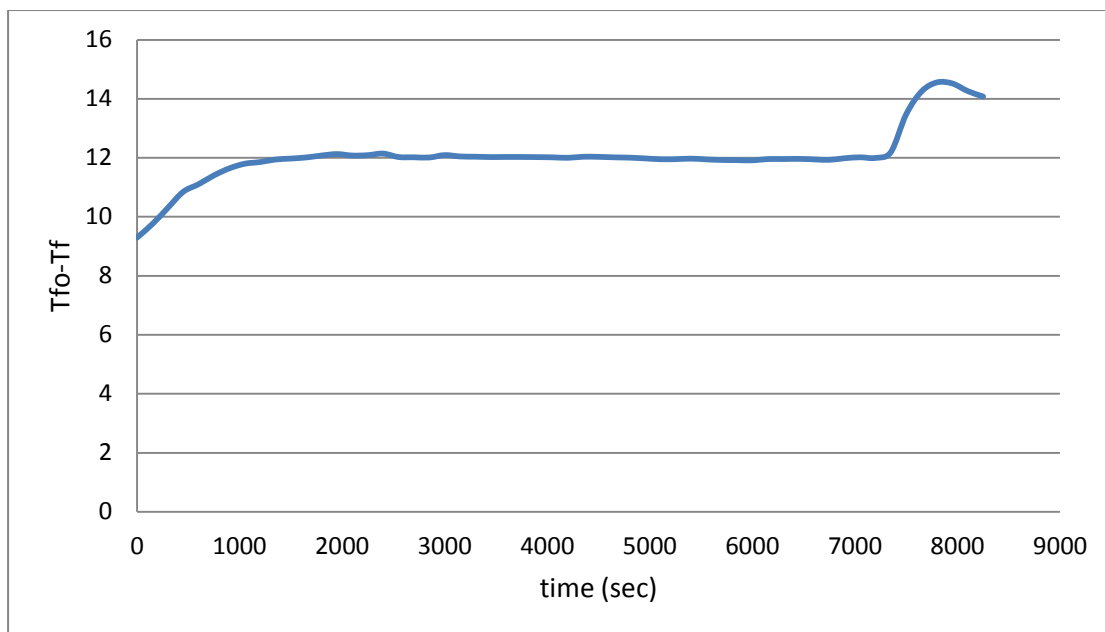
Διάγραμμα 6.1.1 Θερμοκρασιακή διαφορά συλλέκτη ΔT – χρόνος, πείραμα Δ1

Πείραμα Δ2 με σταθερή παροχή (0,5 l/min) στο πρωτεύον κύκλωμα για όλο το χρονικό διάστημα του πειράματος και μέγιστη ακτινοβολία:



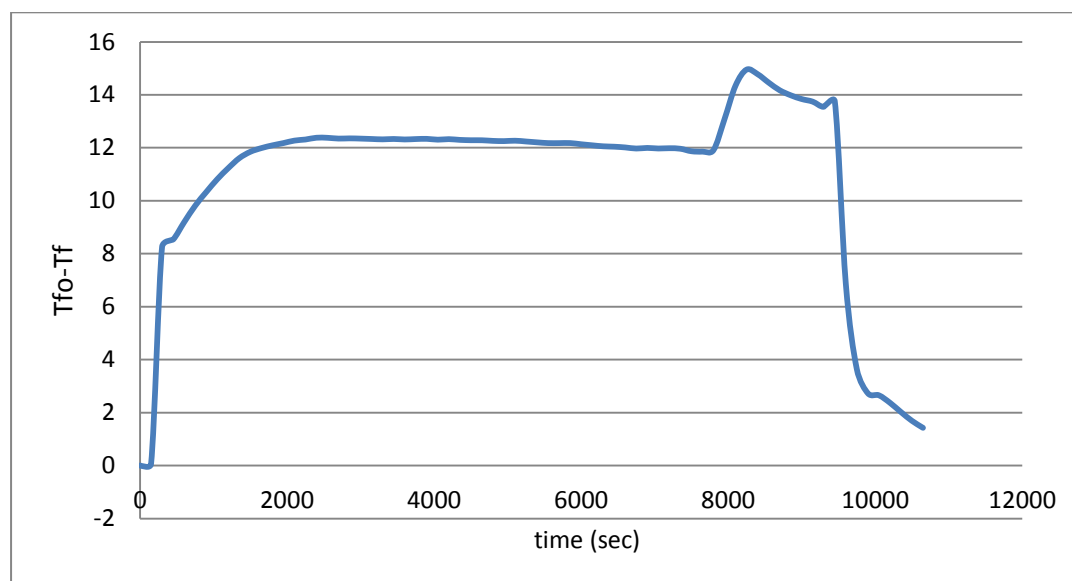
Διάγραμμα 6.1.2 Θερμοκρασιακή διαφορά συλλέκτη ΔΤ – χρόνος, πείραμα Δ2

Πείραμα Δ3 με σταθερή παροχή (1 l/min) στο πρωτεύον κύκλωμα για όλο το χρονικό διάστημα του πειράματος και μέγιστη ακτινοβολία:



Διάγραμμα 6.1.3 Θερμοκρασιακή διαφορά συλλέκτη ΔΤ – χρόνος, πείραμα Δ3

Πείραμα Δ4 με σταθερή παροχή (1 l/min) στο πρωτεύον κύκλωμα για όλο το χρονικό διάστημα του πειράματος και μέγιστη ακτινοβολία:



Διάγραμμα 6.1.4 Θερμοκρασιακή διαφορά συλλέκτη ΔΤ – χρόνος, πείραμα Δ4

Συγκεντρωτικά για τα προηγούμενα 4 πειράματα παίρνουμε τα ακόλουθα δεδομένα:

Πίνακας 6.1.1 Συγκεντρωτικά στοιχεία δευτερευουσών πειραμάτων

Πείραμα	Ακτινοβολία (w/m ²)	Παροχή όγκου (l/min)	Παροχή μάζας (kg/sec)	Tfo-Tf
Δ1 (a)	535	1,41	0,0235	7,9421
Δ1 (b)	535	1,93	0,0322	5,7631
Δ1 (c)	535	2,21	0,0368	4,9326
Δ2	535	0,48	0,0080	19,9813
Δ3	535	0,93	0,0155	12,0054
Δ4	535	0,98	0,0164	12,1914

Παρατηρώντας τα προηγούμενα πειραματικά αποτελέσματα και σε σύγκριση πάντα με τα αντίστοιχα των πρότυπων πειραμάτων καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως με την χρήση αντιψυκτικού υγρού καταφέρνουμε σταθεροποίηση - ταλάντωση της θερμοκρασιακής διαφοράς ΔΤ γύρω από μια διακριτή τιμή αυξανόμενου του χρόνου t και της μέσης θερμοκρασίας T_m του υγρού θερμικής συναλλαγής. Αντίθετα αυτό που συμβαίνει στην αντίστοιχη χρήση νερού είναι η γραμμική μείωση της ΔΤ αυξανόμενης της T_m και του χρόνου. Η ερμηνεία αυτού του φαινομένου εστιάζεται στην φύση των δύο υγρών και συγκεκριμένα στην θερμοχωρητικότητά και την πυκνότητά τους. Το μεν νερό παρουσιάζει σταθερή θερμοχωρητικότητα για μεγάλα εύρη θερμοκρασίας και συγκεκριμένα για τις μικρές δικές μας διακυμάνσεις είναι δόκιμο να θεωρείται σταθερό και ανεξάρτητο της θερμοκρασίας. Αντίθετα η θερμοχωρητικότητα και λιγότερο η πυκνότητα του ψυκτικού υγρού μεταβάλλονται με τη θερμοκρασία. Έτσι λοιπόν η μείωση της απορροφούμενης ενέργειας από το εργαζόμενο μέσο με την αύξηση των άδειων απωλειών στην περίπτωση του νερού οδηγεί σε ανάλογη μείωση της διαφοράς ΔΤ

ενώ στην περίπτωση του ψυκτικού λόγω της μεταβλητής θερμοχωρητικότητας και πυκνότητας η προηγούμενη αναλογία δεν ισχύει.

Για το νερό:

$$q_u = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T \rightarrow$$

$$q_u = \text{const} \cdot \Delta T \quad (6.1.1)$$

Για το αντιψυκτικό:

$$q_u = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T \rightarrow$$

$$q_u = f(T_m) \cdot \Delta T \quad (6.1.2)$$

Ανάλογα με την χημική σύσταση την αναλογία του αντιψυκτικού και την θερμοκρασία του υπάρχουν διαγράμματα και πίνακες για τον υπολογισμό του c_p και της πυκνότητάς του ωστόσο η αδυναμία του ακριβή προσδιορισμού της T_m όσο και η αβεβαιότητα της αντιστοίχισης των προηγούμενων διαγραμμάτων προς την συγκεκριμένη χημική ουσία οδηγούν σε αδυναμία υπολογισμού με ακρίβεια των μεγεθών του βαθμού απόδοσης και των λοιπών ενεργειακών δεδομένων που απαιτεί η ανάλυση και η ερευνητική δοκιμή ενός συλλέκτη. Έτσι κρίνεται σκόπιμο στην διενέργεια εργαστηριακών μετρήσεων και στην περαιτέρω ανάλυσή τους να γίνεται χρήση νερού ως υγρού θερμικής συναλλαγής που τόσο ο ειδικός όγκος του όσο και η θερμοχωρητικότητά του είναι γνωστά και σταθερά στα θερμοκρασιακά εύρη που μας ενδιαφέρουν.

7. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ

Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας θα γίνει παρουσίαση μιας προτεινόμενης εργαστηριακής άσκησης την οποία θα καλούνται να εκπονήσουν οι φοιτητές του μαθήματος Ηλιακή Ενέργεια. Η εργαστηριακή αυτή άσκηση θα αποτελείται από δύο μέρη

- το μέρος της παρακολούθησης της εργαστηριακής άσκησης όπου θα γίνεται στον χώρο της μονάδας του προσομοιωτή του εργαστηρίου και
- το μέρος της ανάλυσης των πειραματικών μετρήσεων και αποτελεσμάτων που θα γίνεται από τον κάθε φοιτητή.

7.1 ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η παρακολούθηση του εργαστηρίου θα γίνεται σε ομάδες των 7 – 10 ατόμων ανάλογα με τον αριθμό των εγγεγραμμένων στο συγκεκριμένο μάθημα. Στο πρώτο

στάδιο οι φοιτητές καλούνται να βαθμονομήσουν τον αισθητήρα ST-4 της εγκατάστασης σύμφωνα με την μεθοδολογία που περιγράφεται στην παράγραφο 3.5. Μετά το πέρας της βαθμονόμησης οι φοιτητές θα σημειώσουν τα ζεύγη τάσης – θερμοκρασίας όπως παρουσιάζονται στον πίνακα 3.5.4.

Στο επόμενο στάδιο και αφού γίνει μια σύντομη περιγραφή της εγκατάστασης (σκοπός και λειτουργία) η εγκατάσταση ενεργοποιείται σύμφωνα με την παράγραφο 5.1.1, η ενεργοποίηση και η εκκίνηση της διαδικασίας λήψης μετρήσεων γίνεται από τους φοιτητές και σύμφωνα με τις οδηγίες και την εποπτεία του υπεύθυνου του εργαστηρίου. Στην συνέχεια και ενώ η μονάδα βρίσκεται σε λειτουργία οι φοιτητές θα ενημερώνονται προφορικά από τον υπεύθυνο του εργαστηρίου για την λειτουργία της διάταξης, τα μέρη από τα οποία αποτελείται η μονάδα και την σκοπιμότητα της συνδεσμολογίας τους. Η παρουσίαση αυτή θα γίνεται σύμφωνα με την παράγραφο 2 της διπλωματικής εργασίας. Στο στάδιο αυτό οι φοιτητές καλούνται να κρατήσουν σημειώσεις για τα στοιχεία που αποτελούν την μονάδα και την συνδεσμολογία της. Η παρουσίαση της μονάδας θα διαρκεί 20 με 30 λεπτά ώστε και στο πέρας αυτής να υπάρχουν διακριτές τιμές παρατήρησης στο πρόγραμμα SCADA για τους διάφορους αισθητήρες. Στο τρίτο στάδιο και αφού έχει ολοκληρωθεί η παρουσίαση της εγκατάστασης οι φοιτητές θα καλούνται στην οθόνη του προγράμματος SCADA. Εκεί και αφού παρατηρήσουν τις τιμές των στιγμιαίων θερμοκρασιών καλούνται να απαντήσουν σε μια σειρά από ερωτήματα σχετικά με την λογική των μεγεθών που βλέπουν και την ποιοτική ορθότητα αυτών. Για παράδειγμα ο φοιτητής πρέπει να αναγνωρίζει πως

- η θερμοκρασία εισόδου στον απορροφητήρα πρέπει να είναι μικρότερη από την αντίστοιχη θερμοκρασία εξόδου
- η θερμοκρασία του θερμοστοιχείου που βρίσκεται στην μέση του boiler πρέπει να βρίσκεται ανάμεσα στις θερμοκρασίες δικτύου και χρήσης
- η θερμοκρασία εξόδου του νερού χρήσης είναι μικρότερη από την θερμοκρασία εξόδου του υγρού θερμικής συναλλαγής
- η θερμοκρασία του απορροφητήρα είναι μεγαλύτερη από αυτή του καλύμματος
- θερμοστοιχεία μεταξύ των οποίων δεν παρεμβάλλεται στοιχείο θερμικής συναλλαγής έχουν αντίστοιχες θερμοκρασίες (ST2 – ST3)

Επίσης με βάση τα δεδομένα στοιχεία εκείνης της στιγμής οι φοιτητές μπορούν να απαντήσουν για την αποδιδόμενη ισχύ και τον στιγμιαίο βαθμό απόδοσης της εγκατάστασης. Στο σημείο αυτό το μέρος της παρακολούθησης έχει ολοκληρωθεί και οι φοιτητές έχουν καταγράψει τις τιμές των ζευγών της βαθμονόμησης και τις πληροφορίες σχετικά με τα μέρη και την συνδεσμολογία της μονάδας. Στους φοιτητές θα δίνονται επί πλέον τα δεδομένα των πρότυπων πειραμάτων 2 και 3 όπως παρουσιάζονται στους πίνακες 5.2.2 και 5.4.2 αντίστοιχα.

7.2 ΕΚΠΟΝΗΣΗ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ

Ακολουθεί η προτεινόμενη εργαστηριακή άσκηση:

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ ΣΤΟ ΜΑΘΗΜΑ ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ - ΘΕΩΡΙΑ

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΚΕΡΔΟΣ ΚΑΙ ΑΠΟΔΟΣΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΣΥΛΛΕΚΤΗ ΚΑΙ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Ωφέλιμη ισχύς συλλέκτη:

$$Q_u [w] = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (1)$$

- \dot{m} [kg/sec] : Ροή του υγρού θερμικής συναλλαγής στη διατομή εισόδου – εξόδου του συλλέκτη
- C_p [KJ/Kg°C] : Θερμική χωρητικότητα του υγρού θερμικής συναλλαγής
- ΔT [°C] : $T_{fo} - T_{fi}$, θερμοκρασιακή ανύψωση του ρευστού στον συλλέκτη

Για την ανοιγμένη ισχύ του συλλέκτη έχουμε αντίστοιχα:

$$q_u [w/m^2] = \frac{Q_u}{A_c} = \frac{\dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T}{A_c} \quad (2)$$

- A_c [m²] : Συλλεκτική επιφάνεια του συλλέκτη

Ωφέλιμη ισχύς προσδιδόμενη στο νερό χρήσης του μπόιλερ:

$$Q_b [w] = m_b \cdot C_p \cdot \frac{\theta T}{\theta t} \quad (3)$$

- m_b [kg] : Μάζα νερού στο μπόιλερ
- C_p [KJ/Kg°C] : Θερμοχωρητικότητα νερού
- $\frac{\theta T}{\theta t}$ [°C/sec] : Ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας της μέσης θερμοκρασίας του αποθηκευμένου νερού στο μπόιλερ

Για την ανοιγμένη προσδιδόμενη ισχύ στο νερό χρήσης ισχύει αντίστοιχα:

$$q_b [w/m^2] = \frac{m_b \cdot C_p \cdot \theta T}{A_c \cdot \theta t} \quad (4)$$

- A_c [m²] : Συλλεκτική επιφάνεια του συλλέκτη

Στην γενική περίπτωση που έχουμε και κατανάλωση νερού χρήσης ο ενεργειακός ισολογισμός στο δοχείο αποθήκευσης δίνει:

$$Q_b [w] = m_b \cdot C_p \cdot \frac{\theta T}{\theta t} - \dot{m}_{κατ} \cdot C_p \cdot (T_{v,κατ} - T_a) + \dot{m}_{δικ} \cdot C_p \cdot (T_{v,δικ} - T_a) \quad (5)$$

- $\dot{m}_{\text{κατ}}$ [kg/sec] : Παροχή μάζας νερού κατανάλωσης
- $T_{\text{v,κατ}}$ [°C] : Θερμοκρασία νερού κατανάλωσης
- $\dot{m}_{\text{δικ}}$ [kg/sec] : Παροχή μάζας νερού δικτύου
- $T_{\text{v,δικ}}$ [°C] : Θερμοκρασία νερού δικτύου

Όμως $\dot{m}_{\text{κατ}} = \dot{m}_{\text{δικ}}$

$$\rightarrow Q_b \text{ [w]} = m_b \cdot C_p \cdot \frac{\theta T}{\theta t} + \dot{m}_{\text{δικ}} \cdot C_p \cdot (T_{\text{v,δικ}} - T_{\text{v,κατ}}) \quad (6)$$

Επίσης αν γνωρίζουμε τον ρυθμό μεταβολής της θερμοκρασίας του νερού που καταναλώνεται και την μάζα του νερού κατανάλωσης έχουμε:

$$Q_b \text{ [w]} = m_b \cdot C_p \cdot \frac{\theta T}{\theta t} + \dot{m}_{\text{κατ}} \cdot C_p \cdot \frac{\theta T_{\text{v,κατ}}}{\theta t} + \dot{m}_{\text{δικ}} \cdot C_p \cdot (T_{\text{v,δικ}} - T_a) \quad (7)$$

και αν πρακτικά ισχύει $T_{\text{v,δικ}}$ κοντά στην T_a έχουμε

$$Q_b \text{ [w]} = m_b \cdot C_p \cdot \frac{\theta T}{\theta t} + m_{\text{κατ}} \cdot C_p \cdot \frac{\theta T_{\text{v,κατ}}}{\theta t} \quad (8)$$

Επίσης αν από τα πειραματικά δεδομένα πάρουμε $\frac{\theta T}{\theta t} = \frac{\theta T_{\text{v,κατ}}}{\theta t}$ τελικά έχουμε:

$$Q_b \text{ [w]} = (m_b + m_{\text{κατ}}) \cdot C_p \cdot \frac{\theta T}{\theta t} \quad (9)$$

Σχέση αρκετά βολική αν γνωρίζουμε την μάζα του νερού κατανάλωσης, μιας και στις περισσότερες περιπτώσεις κατανάλωσης νερού χρήσης αυτό που γνωρίζουμε είναι μια μέση κατανάλωση σε μάζα νερού.

Στιγμιαίος βαθμός απόδοσης συλλέκτη:

$$\eta_i = \frac{q_u}{G_t} \quad (10)$$

- G_t [w/m²] : Ολική προσπίπτουσα ακτινοβολία στον συλλέκτη

Για δεδομένο συντελεστή απωλειών του συλλέκτη ο βαθμός απόδοσης γράφεται επίσης:

$$n_i = (\tau\alpha)_n - U_L \frac{(T_m - T_a)}{Gt} \quad (11)$$

- $(\tau\alpha)_n$: συντελεστής απορρόφησης και αντανάκλασης του καλύμματος
- U_L [$\text{W}/^\circ\text{C m}^2$] : συντελεστής θερμικών απωλειών
- T_m : μέση θερμοκρασία του υγρού εντός του συλλέκτη

Ωστόσο ο υπολογισμός της T_m δεν είναι δυνατός σε πειραματικές συνθήκες και μπορεί να υπολογιστεί μόνο θεωρητικά (πρακτικά είναι λίγο μεγαλύτερος του όρου $(T_{fi} + T_{fo})/2$). Για την παρουσίαση του στιγμιαίου βαθμού απόδοσης συναρτήσει μιας θερμοκρασίας γνωστής από τα πειραματικά δεδομένα συγκεκριμένα της T_{fi} εισάγουμε τον όρο F_R και τελικά έχουμε:

$$n_i = F_R(\tau\alpha)_n - F_R U_L \frac{(T_i - T_a)}{Gt} \quad (12)$$

Τα μεγέθη $F_R(\tau\alpha)_n$, $F_R U_L$ είναι χαρακτηριστικά για κάθε συλλέκτη και ο κατασκευαστής τους πρέπει να αναφέρεται σε κατάλληλους οργανισμούς για τον προσδιορισμό τους. Η δοκιμή και η πειραματική εξέταση ενός συλλέκτη σε πειραματική διάταξη έχει ως βασικό σκοπό τον προσδιορισμό αυτών των μεγεθών. Στην Ελλάδα πιστοποιημένος υπεύθυνος οργανισμός για την εργασία αυτή είναι αυτή την στιγμή ο Δημόκριτος.

Στιγμιαίος βαθμός απόδοσης μπόιλερ:

$$n_b = q_b / q_u \quad (13)$$

Στιγμιαίος βαθμός απόδοσης εγκατάστασης:

$$n_t = n_b \cdot n_i \quad (14)$$

Για τους αντίστοιχους μέσους βαθμούς απόδοσης χρησιμοποιούμε τις μέσες τιμές των συνιστωσών υπολογισμού τους.

Σταθερά χρόνου συλλέκτη

Η σταθερά χρόνου ορίζεται και ως ο χρόνος που απαιτείται ώστε η θερμοκρασιακή διαφορά εξόδου - εισόδου μετά από την διακοπή της ισχύος ακτινοβολίας να φτάσει το $(1/e$ ή $0,368)$ της θερμοκρασιακής διαφοράς κατά την στιγμή διακοπής της ακτινοβολίας, είναι κι αυτό χαρακτηριστικό μέγεθος ενός συλλέκτη.

$$\frac{T_{o,t} - T_i}{T_{o,init} - T_i} = \frac{1}{e} = 0,368 \quad (15)$$

$T_{o,t}$ [°C] : Η θερμοκρασία εξόδου από τον συλλέκτη την στιγμή κατά την οποία καταγράφουμε την σταθερά χρόνου t

$T_{o,init}$ [°C] : Η αντίστοιχη αρχική θερμοκρασία εξόδου διακοπής της ακτινοβολίας

Συντελεστής απορρόφησης και αντανάκλασης του καλύμματος

$$(\tau\alpha)_n = S / G_T \quad (16)$$

- G_T [w/m²] : Ολική προσπίπτουσα ακτινοβολία στον συλλέκτη
- S [w/m²] : Ακτινοβολία που φτάνει στον απορροφητήρα

Θερμικές απώλειες

$$q_L [W/m^2] = S - q_u \quad (17)$$

- S [w/m²] : Ακτινοβολία που φτάνει στον απορροφητήρα
- q_u [w/m²] : ωφέλιμη ισχύς συλλέκτη

Συντελεστής θερμικών απωλειών

$$U_L [w/^\circ C m^2] = q_L / (T_p - T_a) \quad (18)$$

- T_p [°C] : Θερμοκρασία απορροφητήρα
- T_a [°C] : Θερμοκρασία περιβάλλοντος

Συντελεστής θερμικής απολαβής του συλλέκτη:

$$f_r = q_u / (S - U_L(T_{fi} - T_a)) \quad (19)$$

- T_{fi} [°C] : Θερμοκρασία εισόδου στον συλλέκτη

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ ΣΤΟ ΜΑΘΗΜΑ ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ - ΕΡΩΤΗΜΑΤΑ

1) Να γίνει το σκαρίφημα της εγκατάστασης μαζί με το αντίστοιχο υπόμνημα ονομασίας των στοιχείων της μονάδας. Το σκαρίφημα να γίνει σε πρόοψη με την εμπρός επιφάνεια του συλλέκτη να συμπίπτει με το επίπεδο του χαρτιού.

2) Περιγράψτε αναλυτικά τα στοιχεία της εγκατάστασης που σχεδιάσατε παρουσιάζοντας τα τεχνικά χαρακτηριστικά που γνωρίζεται και την σκοπιμότητα του κάθε στοιχείου στην λειτουργία της εγκατάστασης.

3) α) Σύμφωνα με τα δεδομένα βαθμονόμησης που συγκεντρώσατε υπολογίστε τους συντελεστές α , β , γ της χαρακτηριστικής του αισθητήρα και στην συνέχεια χαράξτε την χαρακτηριστική.

β) Γιατί οι θερμοκρασίες πάγου και βρασμού είναι εκείνες που χρησιμοποιούνται κυρίως για την βαθμονόμηση στοιχείων; Σε τι επιπλέον βοηθάει η χρήση της τρίτης θερμοκρασίας και γιατί επιλέχτηκε η συγκεκριμένη;

γ) Σε μετρήσεις με το δεδομένο στοιχείο και μετά την βαθμονόμηση παίρνετε τις εξής τιμές τάσης:

Τάση (V)	0,08	0,1	0,45	0,5	0,7
----------	------	-----	------	-----	-----

Υπολογίστε τις αντίστοιχες θερμοκρασίες στις οποίες αναφέρονται τα δεδομένα.

4) Είστε μηχανικός σε βιομηχανία που έχει προμηθευτεί συλλέκτη και boiler για παραγωγή ζεστού νερού. Σας ανατίθεται να κάνετε έναν πρωταρχικό προσδιορισμό του βαθμού απόδοσης της εγκατάστασης. Για τον σκοπό αυτό υπολογίστε τον μέσο βαθμό απόδοσης του συλλέκτη και τον μέσο βαθμό απόδοσης της εγκατάστασης χρησιμοποιώντας τα δεδομένα του πίνακα του πρότυπου πειράματος 2 στην περιοχή γραμμικής λειτουργιάς του συλλέκτη.

5) Είστε μηχανικός που εργάζεται στον ΔΗΜΟΚΡΙΤΟ ο οποίος είναι ο μοναδικός υπεύθυνος οργανισμός στην Ελλάδα για την ενεργειακή πιστοποίηση ηλιακών συλλεκτών. Έχετε παραλάβει συλλέκτη από εταιρία και καλείστε να προσδιορίσετε την ενεργειακή του συμπεριφορά ύστερα από την εκτέλεση αντίστοιχων μετρήσεων. Τα δεδομένα που παίρνεται από τις μετρήσεις είναι τα δεδομένα του πρότυπου πειράματος 2. Χρησιμοποιώντας την τυποποίηση της ASHRAE 93-2003 θα δώσετε ως απάντηση στην εταιρία τους συντελεστές $F_R(\tau\alpha)_n$ και $F_R U_L$ τους οποίους προηγουμένως θα έχετε υπολογίσει.

6) Η εταιρία που προηγουμένως είχε αναφερθεί σε σας για την πιστοποίηση του ηλιακού συλλέκτη που κατασκευάζει ύστερα από την απάντησή σας ζητάει συμπληρωματικά τον υπολογισμό της σταθεράς χρόνου του συλλέκτη. Υπολογίστε την σταθερά χρόνου και περιγράψτε στην έκθεσή σας τι εκφράζει το μέγεθος αυτό.

7) Χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις του πρότυπου πειράματος 3 εντοπίστε τις 4 διακριτές περιοχές και περιγράψτε τις διεργασίες που συντελούνται στις αντίστοιχες περιοχές.

8) Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα της περιοχής 2 που βρήκατε στο προηγούμενο ερώτημα καλείστε να κάνετε παραμετρική ανάλυση του βαθμού απόδοσης με παράμετρο την ροή του υγρού θερμικής συναλλαγής. Παρουσιάστε την τελική παραμετρική σχέση στην οποία καταλήξατε.

Η σχέση στην οποία καταλήξατε είναι απαλλαγμένη από άλλες παραμέτρους;

9) Σε μονάδα συλλέκτη που έχετε προμηθευτεί ο κατασκευαστής δεν σας παρέχει πληροφορίες για τον συντελεστή $(\tau\alpha)_n$ τον οποίο εσείς ωστόσο θέλετε να γνωρίζεται. Επίσης η θερμοκρασία στην οποία θα δουλέψετε τον συλλέκτη διαφέρει πολύ από εκείνη της δοκιμής. Από τους συντελεστές που υπολογίσαμε στο ερώτημα 5 ο $F_R U_L$ περιέχει τον παράγοντα U_L ο οποίος εξαρτάται άμεσα από την θερμοκρασία του εργαζόμενου μέσου και γι αυτό δεν θα λάβουμε υπ όψιν τον παράγοντα $F_R U_L$. Λαμβάνοντας υπ όψιν μόνον τον παράγοντα $F_R(\tau\alpha)_n$ και τους παράγοντες q_i , G_t από το ερώτημα 5 κάνετε μια μέτρηση μια δεδομένη χρονική στιγμή και βρίσκεται τα ακόλουθα δεδομένα:

T_a ($^{\circ}\text{C}$)	22
T_{fi} ($^{\circ}\text{C}$)	35
T_p ($^{\circ}\text{C}$)	50

Υπολογίστε τον συντελεστή ανάκλασης – απορρόφησης $(\tau\alpha)_n$

7.3 ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ

1) Το σκαρίφημα της μονάδας μαζί με το αντίστοιχο υπόμνημα παρουσιάζονται στην παράγραφο 2.1 της διπλωματικής εργασίας.

2) Η ανάλυση των στοιχείων της μονάδας γίνεται στην παράγραφο 2.2 της διπλωματικής εργασίας.

3) α) Με την μέθοδο ελάχιστων τετραγώνων υπολογίζουμε τους συντελεστές και καταλήγουμε στον πίνακα 3.5.11 της εργασίας. Η χαρακτηριστική παρουσιάζεται στο διάγραμμα 3.5.4 της εργασίας.

β) Η απάντηση βρίσκεται στην παράγραφο 3.5 της διπλωματικής εργασίας

γ) Από την μέθοδο ελάχιστων τετραγώνων έχουμε καταλήξει στην εξίσωση:

$$T=94,591 \cdot V - 21,534$$

Απ όπου και παίρνουμε τις ακόλουθες θερμοκρασίες:

Τάση (V)	0,08	0,1	0,45	0,5	0,7
T (°C)	5,41	7,31	40,41	45,14	64,06

4) Η απάντηση βρίσκεται στην παράγραφο 5.3.3.1 της διπλωματικής εργασίας

5) Η απάντηση βρίσκεται στην παράγραφο 5.3.3.2 της διπλωματικής εργασίας

6) Η απάντηση βρίσκεται στην παράγραφο 5.3.3.3 της διπλωματικής εργασίας

7) Η απάντηση βρίσκεται στην παράγραφο 5.4.3 της διπλωματικής εργασίας

8) Η απάντηση βρίσκεται στην παράγραφο 5.4.3.1 της διπλωματικής εργασίας

9) Για την επίλυση αυτού του ερωτήματος εργαζόμαστε ως εξής
Ισχύει:

$$(\tau\alpha)_n = S / G_T \quad (7.3.1)$$

$$q_L = S - q_u \quad (7.3.2)$$

$$U_L = q_L / (T_p - T_a) \quad (7.3.3)$$

$$f_r = q_u / (S - U_L(T_{fi} - T_a)) \quad (7.3.4)$$

$$F_R(\tau\alpha)_n = 0,81 \quad (7.3.5)$$

Πίνακας 7.3.4

Γνωστοί	Άγνωστοι
G_T	S
q_u	q_L
T_p	U_L
T_a	f_r
T_{fi}	$(\tau\alpha)_n$

Έχουμε ένα σύστημα πέντε εξισώσεων με πέντε αγνώστους το οποίο λύνεται είτε με χρήση αντίστοιχου κώδικα είτε με επαναλήψεις στο EXCEL. Τελικά βρίσκουμε:
 $(\tau\alpha)_n = 0,95$

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ – ΑΙΤΗΜΑ ΠΡΟΣ ΠΡΟΜΗΘΕΥΤΗ

To Edibon.

**NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF
ATHENS**
MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
THERMAL ENGINEERING SECTION

PROFESSOR Dr. K. A. ANTONOPOULOS
Dipl. Mech.-El. Eng. NTUA, MSc, DIC, PhD (Imp. Coll., Lon.)
HEATING, AIR CONDITIONING
SOLAR ENERGY
COMPUTATIONAL HEAT TRANSFER

HEROON POLYTEHNIU 9
157 73 ZOGRAFOU, ATHENS, GREECE

Dear Sir/ Madam,

We are writing this letter in order to inform you for some difficulties that we met while operating the EESTC (Computer Controlled Thermal Solar Energy Unit) that we received from your company Edibon.

The first one deals with the documentation of the unit. The manual doesn't contain any basic information about the structure of the collector except from the inner pipe material (copper pipes). In our research process it is very important to know more specific information of the collector (number of covers, number and diameter of copper pipes, top - back - edge insulation and if available the characteristic curves of the collector).

The second issue deals with the condition of the experimental unit. After the unit activation there were identified the following:

- The flowmeter (SC2) attached to the second circulation, which is used to measure the flow from the water supply, presented leaks owing to cracks of the flowmeter. In order to continue our research process this part has been removed.
- One analog input of the PLC unit (or the controller of the unit) is not operating. The SCADA software presents 0 volts in any temperature range and doesn't respond in any environmental - temperature changes of this particular sensor. After a crosscheck by changing the thermocouple position to other inputs we realized that the failure had to do with the PLC input (PLC input ST9).
- The analog flowmeter that is used to measure the low flow of the physical circulation is faulty. In addition there are no indications while trying to measure and no flow can be achieved while closing the bypass valve. This malfunction forced us to operate the unit only in conditions of forced circulation.

To sum up, we would like to receive any technical information for the collector and to inform us for the solutions to the technical issues identified while operating the unit.

Best regards,
Eleftherios D. Tzamalis
NTUA
Thermal Engineering Section.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ – ΑΠΑΝΤΗΣΗ ΠΡΟΜΗΘΕΥΤΗ

See bellow collector specifications of EESTC unit:

- DIMENSIONS OF COLLECTOR (mm): 1905 X 1218 X 107
- REFERENCE SURFACES

- ABSORBER AREA (m²): 2,13
- OPENING AREA (m²): 2,15
- TOTAL AREA (m²): 2,32

- GENERAL SPECIFICATIONS:

- TYPE OF COLLECTOR: flat
- BUILDING: COOPER PIPES, 10 VERTICAL TUBES of 12 mm. 2 COLLECTORS (Diameter: 22mm)

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Solar engineering of thermal processes, third edition, John A. Duffie & William A. Beckman

[2] Σημειώσεις Ηλιακής Ενέργειας, Αντωνόπουλος Α. Κίμων

[3] Edibon , EESTC Unit Manual

[4] Principles of Solar Engineering, Second Edition, D. Yogi Goswami

[5] Solar Energy: Renewable Energy and the Environment, Robert Foster

[6] Σημειώσεις Ηλιακής Ενέργειας, Κατσαπρακάκης Α. Δημήτρης

[7] Solar Energy: Principles of Thermal Collection and Storage, S. P. Sukhatme, , J. K. Nayak

[8] Solar Energy Engineering: Processes and Systems, Soteris A. Kalogirou