



Διπλωματική Εργασία με θέμα:

Αξιολόγηση και Βαθμονόμηση μετρητικής διάταξης ηλιακού συστήματος COMBI PLUS υψηλής απόδοσης με χρήση γεωθερμίας.

Evaluation and calibration of the measurements system of a high efficiency COMBI PLUS solar system with geothermal assistance.

Φοιτητής: Δρακόπουλος Σπυρίδων

Τομέας Θερμότητας

Επιβλέπων: κ. Αντωνόπουλος Κίμων

Καθηγητής

Αθήνα 2012

Ευχαριστίες

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν στην εκπόνηση της πτυχιακής μου εργασίας αλλά και σε όλη την 5ετή μου διαδρομή στην σχολή των Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Πιο συγκεκριμένα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υπεύθυνο καθηγητή της πτυχιακής μου εργασίας κ. Κίμων Αντωνόπουλο, χωρίς την εμπιστοσύνη του οποίου δεν θα είχα την δυνατότητα να ασχοληθώ με αυτό το έργο και να αποκτήσω πρακτικές εμπειρίες απο τον χώρο.

Παράλληλα, ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να απευθύνω στον υποψήφιο διδάκτωρα Παναγιώτη Τσεκούρα, ο οποίος αφιέρωσε πολύτιμο χρόνο για να μου μάθει, να με καθοδηγήσει και να με συμβουλέψει καθ'όλη τη διάρκεια του εξαμήνου, ώστε να συγγραφεί αυτή η καινοτομική εργασία.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου, την αδερφή μου και φίλους μου για την συμπαράσταση όλα αυτά τα χρόνια.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη	4
1. Περιγραφή της εγκατάστασης	5
1.1. Ηλιακοί Συλλέκτες	9
1.2. Δωμάτιο Ελέγχου	14
1.3. Δεξαμενή.....	22
1.4. Κεντρικό Κτήριο	23
2. Εισαγωγή στις μετρήσεις και την αβεβαιότητα.....	26
2.1. Τι είναι η μέτρηση;.....	26
2.2. Τι δεν είναι η μέτρηση;.....	27
3. Αβεβαιότητα μέτρησης	28
3.1. Τι είναι η αβεβαιότητα της μέτρησης.....	28
3.2. Έκφραση της αβεβαιότητας των μετρήσεων	29
3.3. Σφάλματα και Αβεβαιότητα.....	29
3.4. Γιατί είναι η αβεβαιότητα της μέτρησης σημαντική;.....	30
3.5. Συστηματικά και τυχαία σφάλματα.....	30
3.6. Από που προέρχονται τα σφάλματα και οι αβεβαιότητες;	31
3.7. Σημαντικά ψηφία.....	32
3.8. Σημαντικά ψηφία και αριθμητικές πράξεις.....	34
4. Βασικά στατιστικά στοιχεία	34
4.1. Σύνολο Μετρήσεων	34
4.2. Βασικοί Στατιστικοί Υπολογισμοί	35
4.3. Υπολογίζοντας τον μέσο όρο των μετρούμενων τιμών.....	35
4.4. Τυπική Απόκλιση	36
4.5. Κατανομές.....	36
4.6. Διάδοση των σφαλμάτων.....	37
Μέρος Β.....	39
5. Αξιολόγηση Υπάρχοντος Μετρητικού Συστήματος.....	39
5.1. Δεδομένα Κατασκευαστή	39
5.2. Εργαλεία Αξιολόγησης.....	40
5.3. Επεξεργασία και Αποτελέσματα	42
6. Βαθμονόμηση των Οργάνων	49
6.1. Προεργασία Βαθμονόμησης	49
6.2. Διαδικασία Βαθμονόμησης in line	51
6.3. Κατανομές Μετρούμενων Τιμών	59
6.4. Διαδικασία Βαθμονόμησης Α/Ψ Μετατροπέα.....	62
7. Αξιολόγηση βαθμονομημένου συστήματος.....	66
7.1. Θερμορροές και οι Νέες Αβεβαιότητες.....	66
7.2. Νέες Εκτιμώμενες Κατανομές	68
Συμπεράσματα.....	71
Βιβλιογραφία.....	72
Παράρτημα.....	74

Περίληψη

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία παρουσιάζεται η αξιολόγηση του μετρητικού συστήματος της εγκατάστασης HIGH COMBI, μέσα από την οποία εκφράζεται η ανάγκη βαθμονόμησης του.

Το σύστημα αυτό είναι υπεύθυνο για την θέρμανση και την ψύξη ενός κτήριου του ΚΑΠΕ ενώ χαρακτηρίζεται από υψηλό ποσοστό ηλιακής κάλυψης άνω του 85%.

Μέσω αυτής της έρευνας, στοχεύουμε στη βελτίωση της συνολικής απόδοσης του συστήματος.

Η εργασία χωρίζεται σε δύο μέρη:

- Το πρώτο μέρος (Α') περιλαμβάνει την περιγραφή όλης της εγκατάστασης με ιδιαίτερη προσοχή στο μετρητικό σύστημα, καθώς επίσης και το θεωρητικό υπόβαθρο που απαιτείται για την διαδικασία που ακολουθείται στο δεύτερο μέρος.
- Το δεύτερο μέρος (Β') περιλαμβάνει την αξιολόγηση του συστήματος με τους όρους που έχουν εισαχθεί στο πρώτο μέρος, και τελικά τη βαθμονόμηση του μετρητικού συστήματος. Η τελευταία αποτελείται τόσο από την περιγραφή της διαδικασίας, όσο και από την ανάλυση των δεδομένων.

Μέρος Α

1. Περιγραφή της εγκατάστασης

Το σύστημα προβλέπεται να καλύψει το μεγαλύτερο μέρος των ενεργειακών αναγκών ενός κτηρίου γραφείων για θέρμανση και ψύξη μέσω της εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας.

Κατά την ηλιακή θέρμανση, η υπεδαφική αποθήκη θερμότητας μεταφέρει στο εσωτερικό του κτηρίου την ενέργεια που έχει αποθηκεύσει το καλοκαίρι. Αποδεσμεύεται έτσι η διαθεσιμότητα ηλιακής ακτινοβολίας από την κάλυψη των φορτίων θέρμανσης. Η υποβοήθηση της θέρμανσης επιτυγχάνεται μέσω μίας καινοτόμου αντλίας θερμότητας. Η αντλία έχει τη δυνατότητα να τροφοδοτείται με ενέργεια από την υπεδαφική αποθήκη θερμότητας, όταν αυτό κρίνεται απαραίτητο.

Στην Ελλάδα, σύμφωνα με τα στοιχεία από το Εθνικό Πληροφοριακό Σύστημα για την Ενέργεια (ΕΠΣΕ) του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, η τελική κατανάλωση ενέργειας στα κτήρια το 2007 ήταν περίπου 86,795 GWh, δηλαδή το 34% της συνολικής καταναλισκόμενης ενέργειας και το 66.6% της παραγομένης ηλεκτρικής ενέργειας. Τα κτήρια επομένως συμμετέχουν στις εκπομπές CO₂, καταλαμβάνοντας το 43% των συνολικών εκπομπών της χώρας. Επιπλέον, την περίοδο 1985-2005, ο μέσος ετήσιος ρυθμός αύξησης της κατανάλωσης ενέργειας για τα κτήρια ήταν 4.5%, τη στιγμή που ο αντίστοιχος για το σύνολο των καταναλωτών ήταν 3%. Υπό αυτούς τους ρυθμούς αύξησης, ο στόχος που έθεσε η Ελλάδα κατά το πρωτόκολλο του Κιότο απομακρύνεται, όπως επίσης οι ευρωπαϊκές και εθνικές προσπάθειες περιορισμού της κατανάλωσης ενέργειας και απεξάρτησης από την εισαγωγή ορυκτών καυσίμων μένουν στη θεωρία. Για το λόγο αυτόν, η επιβολή των μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας και η διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στον κτηριακό τομέα, κρίνεται επιτακτική. [9]

Το γεγονός ότι τα μέγιστα ψυκτικά φορτία το καλοκαίρι συμπίπτουν με την υψηλή διαθεσιμότητα ηλιακής ενέργειας προσφέρει μια πολύ καλή ευκαιρία για τη χρήση των ηλιακών θερμικών συστημάτων, σε συνδυασμό με θερμικούς ψύκτες.

Οι βασικές αρχές της ηλιακής ψύξης κατοχυρώθηκαν με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας στην Γαλλία από τον Ferdinand Carré (1859) και η πρώτη μηχανή διατέθηκε στο εμπόριο από τον Edmond Carré το 1886. Ωστόσο, τα εμπορικά διαθέσιμα συστήματα ηλιακού

κλιματισμού είναι σχετικά πρόσφατα. Μια τυπική εγκατάσταση ηλιακού κλιματισμού συνήθως αποτελείται από: (α) ηλιακούς συλλέκτες, που παρέχουν την απαιτούμενη θερμότητα για την λειτουργία του ψύκτη, (β) μια δεξαμενή αποθήκευσης ζεστού νερού, (γ) την μονάδα ψύξης, (δ) το σύστημα κλιματισμού και (ε) το εφεδρικό σύστημα θέρμανσης – ψύξης (ενσωματώνεται στην εγκατάσταση είτε σαν εφεδρική θέρμανση, είτε σαν εφεδρικός ψύκτης ή και τα δύο).

Η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας σε εφαρμογές κλιματισμού έχει προχωρήσει αρκετά τα τελευταία χρόνια, λόγω της προόδου στο σχεδιασμό των επιμέρους συστημάτων και των βελτιωμένων αποδόσεων, ενώ παράλληλα έχει αποκτηθεί σημαντική εμπειρία από τις διάφορες εφαρμογές.

Περαιτέρω ερευνητικές δραστηριότητες και εφαρμογές επίδειξης είναι όμως απαραίτητες, αφενός για να επιλυθούν ορισμένα τεχνικά προβλήματα και αφετέρου για να προωθηθούν στην αγορά και να μειωθεί το κόστος των εγκαταστάσεων ηλιακού κλιματισμού. Στα πλαίσια αυτών των προσπαθειών, βρίσκεται σε εξέλιξη ένα ευρωπαϊκό ερευνητικό και επιδεικτικό πρόγραμμα, το High-Combi. Σκοπός του είναι η ανάπτυξη συστημάτων υψηλών αποδόσεων για τη συνδυασμένη εκμετάλλευση βελτιστοποιημένων τεχνολογιών, ηλιακής θέρμανσης, ψύξης και αποθήκευσης. Κατά τη φάση της έρευνας, εξετάζονται διαφορετικές διατάξεις και βελτιστοποιήσεις με τη βοήθεια προσομοιώσεων. Συνολικά προβλέπεται να κατασκευαστούν 5 πιλοτικές εγκαταστάσεις με διαφορετικούς συνδυασμούς τεχνολογιών, επιμέρους συστημάτων και αυτοματισμών ελέγχου, σε Αυστρία, Ισπανία, Ιταλία και Ελλάδα. Όλες οι πιλοτικές εγκαταστάσεις επιτυγχάνουν σχετικά υψηλό ποσοστό εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας και οικονομική απόδοση.

Το σύστημα προβλέπεται να καλύψει το μεγαλύτερο μέρος των ενεργειακών αναγκών ενός κτηρίου γραφείων για θέρμανση και ψύξη μέσω της εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας. Το έργο βρίσκεται σε εξέλιξη και η εγκατάσταση που γίνεται στα γραφεία του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΑΠΕ) στο Πικέρμι

Το σύστημα αποτελείται από τους θερμικούς ηλιακούς συλλέκτες, την υπεδαφική αποθήκη θερμότητας ΥΑΘ, τον θερμικό ψύκτη απορρόφησης, τις μονάδες απόρριψης θερμότητας (πύργος ψύξης και γεωθερμικούς εναλλάκτες θερμότητας ΓΕΘ) και την αντλία θερμότητας ΑΘ που χρησιμοποιείται ως βοηθητική πηγή ενέργειας.

Η ΥΑΘ αποθηκεύει την πλεονάζουσα θερμότητα από τους ηλιακούς συλλέκτες κατά τις περιόδους υψηλής ηλιακής ακτινοβολίας και χαμηλών ενεργειακών απαιτήσεων, ώστε αυτή να αξιοποιείται όταν χρειάζεται. Μεγάλα ποσά ενέργειας αποθηκεύονται έτσι κατά το φθινόπωρο και την άνοιξη και χρησιμοποιούνται κατά την επόμενη ενεργοβόρο περίοδο, δηλαδή το χειμώνα και το καλοκαίρι. Η ενεργειακή συμπεριφορά της ΥΑΘ βελτιώνεται από την ενσωμάτωση της ΑΘ σε περίοδο θέρμανσης και των ΓΕΘ σε περίοδο ψύξης.

Το πλεονέκτημα της συγκεκριμένης ΑΘ στη θέρμανση είναι ότι λειτουργεί με υψηλότερη θερμοκρασία προσαγωγής, συγκριτικά με τις συμβατικές αντλίες θερμότητας.

Οι ΓΕΘ είναι θερμικά συζευγμένοι με την ΥΑΘ και έχουν διττό ρόλο. Αφενός εξυπηρετούν μέρος της απορριπτόμενης θερμότητας από τον ψύκτη και αφετέρου μειώνουν τις θερμικές απώλειες της ΥΑΘ αυξάνοντας την θερμοκρασία του περιβάλλοντος εδάφους. Έτσι, ο πύργος ψύξης καλείται να απορρίψει λιγότερη θερμότητα και επομένως, μειώνεται η παρασιτική κατανάλωση της αντλίας (της ροής από τον ψύκτη προς τον πύργο ψύξης), του ανεμιστήρα καθώς και η κατανάλωση νερού στον πύργο ψύξης, αφού ο συγκεκριμένος πύργος ψύξης λειτουργεί με εξατμιστική ψύξη.

Σχετικά με την ιεράρχηση των λειτουργιών καθόλη την διάρκεια του έτους, προτεραιότητα δίνεται στο ηλιακό πεδίο, αφού η λειτουργία του συνεπάγεται χαμηλή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.

Κατα την διάρκεια του χειμώνα, το ηλιακό σύστημα σχεδιάστηκε ώστε να παρέχει θέρμανση στο κτήριο στους 45 °C. Στην βασική λειτουργία, η απαιτούμενη θέρμανση επιτυγχάνεται από το ηλιακό πεδίο ή/και την ΥΑΘ. Η βοηθητική πηγή ενέργειας (ΑΘ), συνδεδεμένη σε σειρά, αντλεί θερμότητα (εξατμιστής) μόνο από την ΥΑΘ και αυξάνει έτσι την θερμοκρασία (συμπυκνωτής) προσαγωγής στο επιθυμητό επίπεδο.

Ενώ το καλοκαίρι, το ηλιακό σύστημα σχεδιάστηκε ώστε να παρέχει ψύξη στο κτήριο στους 7 °C. Στην βασική λειτουργία, η απαιτούμενη ψύξη επιτυγχάνεται από τον ψύκτη απορρόφησης. Η βοηθητική πηγή ενέργειας (ΑΘ), συνδεδεμένη σε σειρά, ψύχει το ρευστό προσαγωγής στην επιθυμητή θερμοκρασία, εάν χρειαστεί.

Απαραίτητη προϋπόθεση για την συνέχιση του ψυκτικού κύκλου απορρόφησης είναι η απόρριψη του συνόλου της θερμότητας που παράγεται από το κτήριο και αυτής που

τροφοδοτεί τον ψύκτη. Μέρος αυτής της ενέργειας απορρίπτεται στο έδαφος μέσω των ΓΕΘ, ενώ η υπόλοιπη απορρίπτεται στην ατμόσφαιρα μέσω του πύργου ψύξης. Όμως και για τη συνέχιση της λειτουργίας της ΑΘ απαιτείται απόρριψη ενέργειας και συγκεκριμένα, της ενέργειας που εξάγεται από το κτήριο και της ηλεκτρικής που καταναλώνεται από τον συμπιεστή.

Παράλληλα την άνοιξη και το φθινόπωρο, Κατά την διάρκεια των λιγότερο ενεργοβόρων περιόδων, η περίσσεια ηλιακής ακτινοβολίας συνήθως μένει ανεκμετάλλευτη. Όμως στην συγκεκριμένη εγκατάσταση, η ενέργεια αυτή αποθηκεύεται στην ΥΑΘ θερμαίνοντας το νερό μέχρι τους 95 °C και μάλιστα, με ιδιαίτερα γρήγορους ρυθμούς.

Το κτήριο όπου γίνεται η εγκατάσταση κατασκευάστηκε το 2000 και χρησίμευε ως εργαστήρια του ΚΑΠΕ, μέχρι την ανακαίνιση του 2008, οπότε και ανακαινίστηκε σε γραφεία. Είναι ανεξάρτητο διώροφο και είναι εξοπλισμένο με μονάδες στοιχείου ανεμιστήρα (fan coils) ως τερματικές μονάδες απόδοσης θέρμανσης και ψύξης.

Με συνολικό κλιματιζόμενο χώρο 426.6 m² και όγκο 1296.4 m³, αντιστοιχεί σε τυπικό μέγεθος κτηρίου γραφείων ή τυπικής κατοικίας 3 - 4 οικογενειών. Συνεπώς, το κτήριο θεωρείται αντιπροσωπευτικό του Ελληνικού κτηριακού αποθέματος και έχει τη δυνατότητα υψηλής επαναληψιμότητας.

Χρησιμοποιείται από 37 εργαζόμενους με ωράριο λειτουργίας από 08:00 έως 18:00, πέντε ημέρες την εβδομάδα. Οι επιθυμητές εσωτερικές συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας είναι 25 °C και 50% για το καλοκαίρι και 20 °C και 35% για τον χειμώνα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων που έγιναν με το λογισμικό TRNSYS, οι ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις ανά κλιματιζόμενη επιφάνεια για θέρμανση χώρου ανέρχονται σε 10.3 kWh/m² (9.6 kWh/m² αισθητό και 0.7 kWh/m² λανθάνον). Αντίστοιχα για ψύξη ανέρχονται σε 38 kWh/m² (34.3 kWh/m² αισθητό και 3.5 kWh/m² λανθάνον). Τα φορτία αιχμής είναι 31.7 kW για θέρμανση και 33.2 kW για ψύξη. Λόγω της χρήσης του κτηρίου δεν υπάρχουν θερμικές ανάγκες για ζεστό νερό χρήσης.[9]

Ωστόσο, κατά την φάση των προσομοιώσεων του κτηρίου εξετάστηκε και το χειρότερο ενεργειακό σενάριο, με μηδαμινά εσωτερικά φορτία τον χειμώνα και μέγιστα το καλοκαίρι. Σε αυτή την περίπτωση οι ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις ανέρχονται σε 28.9 kWh/m² για θέρμανση (17.8 kWh/m² αισθητό και 11.3 kWh/m²

λανθάνον) και για ψύξη 45.5 kWh/m^2 για θέρμανση (42 kWh/m^2 αισθητό και 3.5 kWh/m^2 λανθάνον).

1.1. Ηλιακοί Συλλέκτες

Το ηλιακό πεδίο αποτελείται από 56 επίπεδους συλλέκτες (151.2 m^2) με επιλεκτική επιφάνεια, εκ των οποίων οι 35 ($94,5 \text{ m}^2$) πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για το High Combi. (εικ. 1.1.1)

Η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών συλλέκτες είναι τουλάχιστον 2 m, το οποίο είναι σύμφωνο με τον κανόνα που ορίζει ότι πρέπει να υπάρχει απόσταση τουλάχιστον ίση με δύο φορές το οριζόντιο μήκος που πιάνει ο κάθε συλλέκτης.

Αυτό είναι σημαντικό ώστε οι συλλέκτες να μην σκιάζουν τους διπλανούς.

(εικ. 1.1.1)



Εικόνα 1.1.1. Ηλιακοί Συλλέκτες και οι μεταξύ τους αποστάσεις.

Ουσιαστικά πρόκειται για ένα ενεργητικό ηλιακό σύστημα που ζεσταίνει νερό χρησιμοποιώντας την ηλιακή ακτινοβολία.

Η υψηλή αποδοτικότητα των συλλεκτών στηρίζεται σε μεγάλο βαθμό στο φαινόμενο του θερμοκηπίου που αναπτύσσεται στο χώρο ανάμεσα στην πλάκα απορρόφησης και τη γυάλινη επικάλυψη. Καταρχήν η ηλιακή ακτινοβολία πέφτει στην απορροφητική πλάκα, ανεβάζοντας της θερμοκρασία της.

Η πλάκα με τη σειρά της εκπέμπει μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία (θερμική ακτινοβολία) για την οποία το τζάμι που καλύπτει την πλάκα είναι σχεδόν αδιαφανές χάρη στην εσωτερική του διαμόρφωση. Έτσι η μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία παγιδεύεται ανάμεσα στην πλάκα και το τζάμι, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η απόδοση όσον αφορά τη θέρμανση του νερού .

Το νερό κυκλοφορεί σε σωλήνες που είναι σ' επαφή με την πλάκα και άρα θερμαίνεται.

Οι κρίσιμοι παράγοντες για την καλή απόδοση του συστήματος είναι η μεγάλη απορροφητικότητα της πλάκας στην ηλιακή ακτινοβολία, ο μικρός συντελεστής εκπομπής της πλάκας στη μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία και η μεγάλη αδιαφάνεια του κρυστάλλου για τη δεύτερη. Τα υλικά που προσφέρουν την καλύτερη σχέση απόδοσης-τιμής είναι γυαλί και επιφάνεια από αλουμίνιο ή χαλκό, χρωματισμένη μαύρη.

Ο ηλιακός θερμοσίφοντας κατά την λειτουργία του εκμεταλλεύεται το φυσικό φαινόμενο της ροής των ρευστών λόγω διαφοράς θερμοκρασίας (διαφοράς πυκνότητας), γνωστό και σαν αρχή του θερμοσιφώνου. Έτσι πετυχαίνεται με φυσικό τρόπο χωρίς κυκλοφορητή (αντλία) συνεχής ροή του θερμαινόμενου μέσου, από το θερμότερο σημείο (ηλιακοί συλλέκτες) προς το ψυχρότερο (δεξαμενή νερού), μέχρις ότου τα δύο σημεία να αποκτήσουν παρόμοιες θερμοκρασίες.

- ✓ Στην προκειμένη περίπτωση όμως, η ροή στους συλλέκτες γίνεται αποκλειστικά με χρήση κυκλοφορητή αφού η δεξαμενή αποθήκευσης του ζεστού νερού βρίσκεται πιο χαμηλά από τους συλλέκτες. (κεφ. 1.3)

Η συνολική απόδοση του ηλιακού θερμοσίφωνα εξαρτάται κι απ' τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, τη νεφοκάλυψη και την αποτελεσματικότητα της θερμικής μόνωσης του συστήματος, η οποία στο μεγαλύτερο μέρος επιτυγχάνεται με υαλοβάμβακα.

Ο καλύτερος προσανατολισμός για την τοποθέτηση των ηλιακών θερμοσιφώνων (ακριβέστερα των ηλιακών συλλεκτών) είναι ο νότιος, για να εκμεταλλεύεται ο θερμοσίφοντας όσο περισσότερες ώρες ηλιοφάνειας γίνεται. Απόκλιση μέχρι 15 μοίρες από τον νότο δεν έχει μεγάλη επίπτωση στην απόδοσή του.

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

Οι προβλεπόμενες συνδέσεις για την λειτουργία του είναι δύο υδραυλικές (είσοδος κρύου νερού, έξοδος ζεστού νερού χρήσης) και μία ηλεκτρική (ηλεκτρική αντίσταση). Στην είσοδο του κρύου νερού πρέπει να τοποθετηθεί βάνο για να είναι δυνατή η απομόνωσή του από το δίκτυο σε περίπτωση συντήρησης ή επισκευής.

Όπως προβλέπεται στις υδραυλικές σωληνώσεις, έχει τοποθετηθεί βαλβίδα ασφαλείας έναντι υπερπίεσης και αυτόματο εξαεριστικό, καθώς επίσης στην σωλήνωση εξόδου του ζεστού νερού χρήσης έχει τοποθετηθεί εξωτερικό μονωτικό περίβλημα καλής ποιότητας για αποφυγή απωλειών.

Χρειάζεται στοιχειώδης συντήρηση, κυρίως καθαρισμός των πλακών επιφανειακά, αντικατάσταση της αντιδιαβρωτικής προστασίας όποτε αυτό απαιτείται σύμφωνα με τον κατασκευαστή και συμπλήρωση με αντιψυκτικό υγρό τον χειμώνα (μόνο στους ηλιακούς θερμοσίφωνες κλειστού κυκλώματος).

- ✓ Η συγκεκριμένη εγκατάσταση στην παρούσα φάση δεν χρησιμοποιεί αντιψυκτικό, αφού το ίδιο μέσο είναι αυτό που χρησιμοποιείται τελικά στο κτήριο για θέρμανση/ψύξη.

Για να ενσωματωθεί αντιψυκτικό υγρό αυτό που χρειάζεται είναι ένας εναλλάκτης θερμότητας, ο οποίος θα μεταφέρει θερμότητα από το ζεστό μίγμα νερού+αντιψυκτικού στο τελικό μέσο θέρμανσης/ψύξης (νερό).

Ακόμα σε περιπτώσεις ισχυρού ψύχους (χιόνι, παγετός κλπ) συνιστάται η κάλυψη των κρυστάλλων με πανί ή χαρτόνι για να αποφευχθεί η καταστροφή τους (θραύση).

Ενώ για την προστασία από ανέμους έχει ήδη εγκατασταθεί ανεμοθώρακας.

Η πορεία που ακολουθεί το μέσο (νερό) στους συλλέκτες είναι η εξής:

Μέσω του κυκλοφορητή P1 αντλείται νερό εάν και μόνο η θερμοκρασία στους συλλέκτες είναι μεγαλύτερη από αυτή του νερού.

Έπειτα μέσω ενός κεντρικού αγωγού το σχετικά κρύο νερό διακλαδίζεται σε κάθε μία από τις 8 σειρές των συλλεκτών. (εικ. 1.1.2)

Στο τέλος κάθε σειράς, το σχετικά ζεστό νερό προστίθεται σε έναν νέο αγωγό, ο οποίος αφού συλλέξει νερό από όλες τις σειρές, μεταφέρεται στην δεξαμενή σημαντικά πιο θερμό. (εικ. 1.1.2)

- ✓ Πιο συγκεκριμένα, με υπολογισμούς που έχουν γίνει, κατά τη διάρκεια μιας καλοκαιρινής μέρας, αναμένεται αύξηση της θερμοκρασίας της δεξαμενής κατά 3-4 βαθμούς Κελσίου.



Εικόνα 1.1.2 Αγωγοί Κρύου-Ζεστού Νερού απο/προς την Δεξαμενή.

Όσο αναφορά το μετρητικό σύστημα στο ηλιακό πεδίο, βρίσκονται 3 όργανα μέτρησης της θερμοκρασίας.

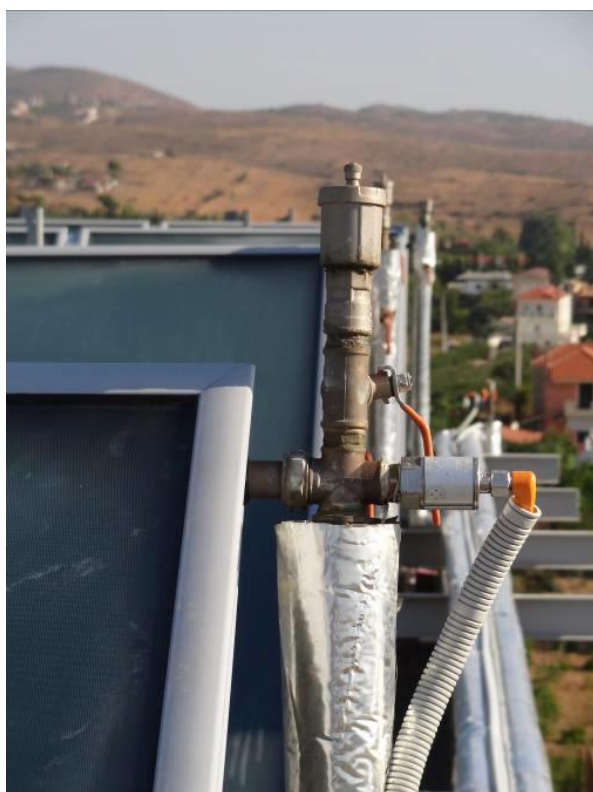
- Το **T1** το οποίο καταγράφει την θερμοκρασία του σχετικά κρύου νερού πριν εισαχθεί στους ηλιακούς συλλέκτες.
- Το **T2a** το οποίο καταγράφει την θερμοκρασία του σχετικά ζεστού νερού στην έξοδο της 5^{ης} σειράς. (εικ. 1.1.10)
- Το **T2b** το οποίο καταγράφει την θερμοκρασία του σχετικά ζεστού νερού στον τελικό αγωγό πριν το νερό μεταφερθεί στην δεξαμενή.

Παράλληλα υπάρχει ένα θερμόμετρο για την θερμοκρασία του περιβάλλοντος T_{amb} το οποίο περιβάλλεται από προστατευτικό κλωβό ώστε να μην επηρεάζεται η μέτρηση από ξένους παράγοντες όπως η ηλιακή ακτινοβολία ή ο άνεμος. (εικ. 1.1.3)

Τέλος μαζί με τον αισθητήρα T_{amb} , είναι τοποθετημένο και ένα πυρανόμετρο για την μέτρηση της ακτινοβολίας που προσπίπτει στους συλλέκτες. (εικ. 1.1.3)



Εικόνα 1.1.3 Αισθητήρας Μέτρησης Ατμοσφαιρικού Αέρα με κλωβό, Πυρανόμετρο



Εικόνα 1.1.4 Αισθητήριο T2a

1.2. Δωμάτιο Ελέγχου



Εικόνα 1.2.1 ISOBOX – Πόργος Ψύξης

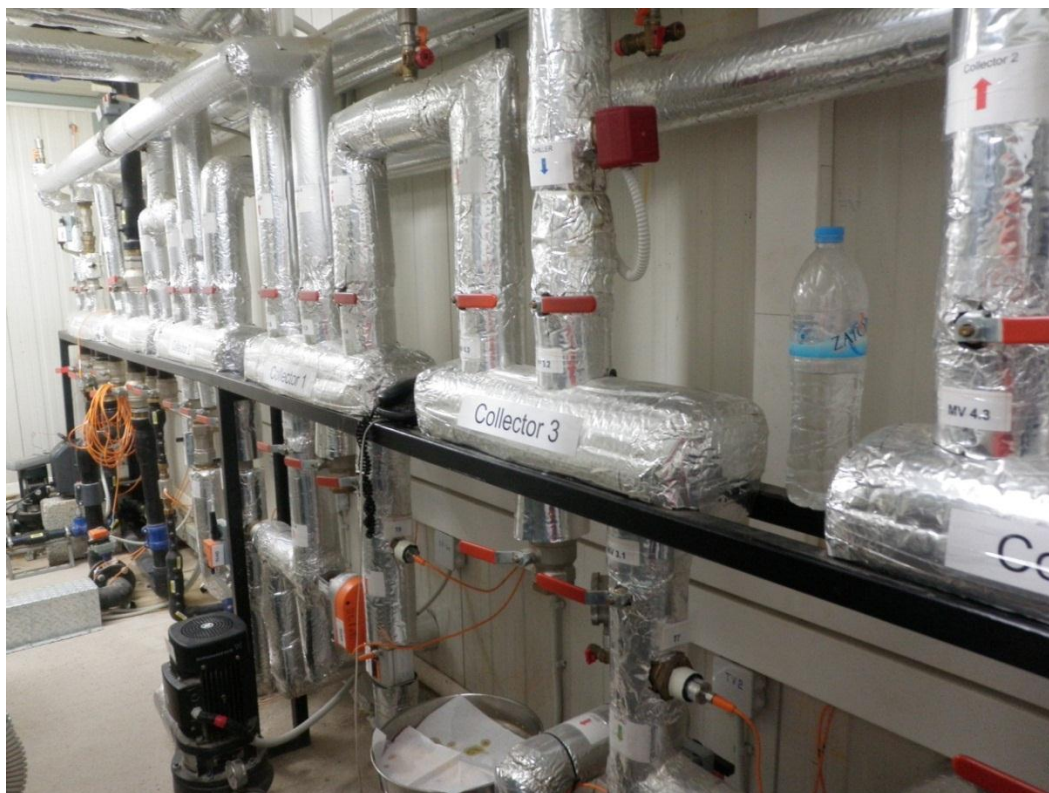
Περιλαμβάνοντας το μεγαλύτερο μέρος της εγκατάστασης και άρα και του μετρητικού συστήματος, το Δωμάτιο Ελέγχου ή ISOBOX είναι ίσως το πιο σημαντικό κομμάτι της εγκατάστασης.

- Αρχικά, το δωμάτιο ελέγχου είναι υπεύθυνο για τον χειρισμό και την ρύθμιση της εγκατάστασης, για την καταγραφή δεδομένων (εικ. 1.2.2), καθώς επίσης περιλαμβάνει τον κεντρικό πίνακα ελέγχου για την τροφοδοσία της εγκατάστασης. (εικ. 1.2.3, 1.2.4)



Εικόνα 1.2.2 Κεντρικός Πίνακας , Υπολογιστής Εγκατάστασης

- Παράλληλα όλοι οι αγωγοί νερού συγκεντρώνονται στο ISOBOX και με τους κατάλληλα τοποθετημένους Συλλέκτες (Collectors) (εικ. 1.2.3) διακλαδίζονται για να καταλήξουν στο εκάστοτε σημείο της εγκατάστασης.



Εικόνα 1.2.3 Αγωγοί και Συλλέκτες Αγωγών

- Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, το μεγαλύτερο μέρος του μετρητικού συστήματος βρίσκεται στο δωμάτιο ελέγχου.

Αυτο περιλαμβάνει Θερμόμετρα, Ροόμετρα και μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας:



Εικόνα 1.2.4 Αισθητήριο Θερμοκρασίας T18, Ροόμετρο F1, Μετρητές Ηλεκτρικής Ενέργειας

Πέρα απο το μετρητικό σύστημα όμως, στο δωμάτιο ελέγχου συμπεριλαμβάνονται 3 πολύ σημαντικά στοιχεία της εγκατάστασης.

- **Αντλία Θερμότητας** (εικ.1.2.5)

Οι αντλίες θερμότητας είναι μηχανήματα τα οποία «αντλούν» θερμότητα (με τη μορφή ψύξης ή θέρμανσης) από μια δεξαμενή θερμότητας (αέρας περιβάλλοντος, δεξαμενή νερού, υπόγεια νερά, λίμνη κλπ) προς ένα χώρο, μέσω ενός κύκλου εξάτμισης και συμπύκνωσης ενός εργαζόμενου μέσου, με την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.

Ο βαθμός απόδοσης μιας αντλίας θερμότητας (Coefficient of Performance) δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$\text{COP} = \text{αποδιδόμενη θερμότητα ή ψύξη} / \text{καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια}$$



Εικόνα 1.2.5 Αντλία Θερμότητας στο ISOBOX

Οι αερόψυκτες αντλίες θερμότητας, οι οποίες «αντλούν» θερμότητα από τον αέρα του περιβάλλοντος, έχουν συντελεστή απόδοσης που κυμαίνεται από 2 έως 4. Οι υδρόψυκτες αντλίες θερμότητας («αντλούν» θερμότητα από κάποια πηγή νερού) έχουν συντελεστή απόδοσης που κυμαίνεται μεταξύ 3 και 5.

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της μετατροπής του διδύμου λέβητα-ψύκτη σε αντλία θερμότητας είναι:

- δεν ρυπαίνει την τοπική ατμόσφαιρα με καυσαέρια
- εξοικονομεί χώρο (λεβητοστασίου και δεξαμενής καυσίμου)
- χρησιμοποιεί ηλεκτρικό ρεύμα, το οποίο στην Ελλάδα παράγεται σε μεγαλύτερο ποσοστό από εγχώρια καύσιμα (λιγνίτη και υδροηλεκτρικά), ενώ το πετρέλαιο εισάγεται
- με την ίδια εγκατάσταση μπορεί να επιτευχθεί ψύξη το καλοκαίρι

Τα σημαντικότερα μειονεκτήματα της μετατροπής του διδύμου λέβητα-ψύκτη σε αντλία θερμότητας είναι:

- υψηλό κόστος εγκατάστασης
- υψηλότερη στάθμη θορύβου στο εσωτερικό του θερμαινόμενου χώρου

Η εγκατάσταση αντλίας θερμότητας είναι οικονομική όταν υπάρχουν:

- ευνοϊκά τιμολόγια ρεύματος
- υψηλό κόστος καυσίμου για λέβητες-καυστήρες
- υψηλός ετήσιος αριθμός ωρών λειτουργίας και
- ανάγκη θέρμανσης το χειμώνα και ψύξης το καλοκαίρι

▪ **Ψύκτης** (εικ. 1.2.6)

Με τους ψύκτες απορρόφησης – προσρόφησης πραγματοποιείται μετατροπή της θερμότητας σε ψύξη. Οι τεχνολογίες της ψύξης απορρόφησης/προσρόφησης βρίσκουν επιτυχή εφαρμογή στις περιπτώσεις όπου υπάρχει διαθέσιμη θερμότητα και δεν υπάρχουν ανάγκες για θερμότητα αλλά υπάρχουν ανάγκες για ψύξη. Τέτοια παραδείγματα είναι τα συστήματα συμπαραγωγής, στα οποία η συμπαραγόμενη θερμότητα κατά τη διάρκεια του χειμώνα χρησιμοποιείται για τη θέρμανση χώρων, ενώ το καλοκαίρι διοχετεύεται σε ψύκτες απορρόφησης/προσρόφησης, οι οποίοι παράγουν ψύξη για τον κλιματισμό των χώρων (η συγκεκριμένη εγκατάσταση).

Σε γενικές γραμμές, ο κύκλος απορρόφησης-προσρόφησης αποτελείται από τέσσερα βασικά στάδια:

1. Το ψυκτικό μέσο που χρησιμοποιείται είναι το νερό. Με τον ψεκάσμο του νερού σε ένα δοχείο, στο οποίο υπάρχουν συνθήκες κενού και την εξάτμισή του, προκαλείται πτώση της θερμοκρασίας.
2. Οι υδρατμοί που παράγονται απορροφούνται-προσροφούνται από ένα διαλυτικό μέσο απορρόφησης-προσρόφησης. Το απορροφητικό μέσο που χρησιμοποιείται στην εγκατάσταση είναι το Βρωμιούχο Λίθιο (LiBr), ενώ το διάλυμα αμμωνίας χρησιμοποιείται για να επιτευχθούν χαμηλότερες θερμοκρασίες.
3. Το κορεσμένο διάλυμα αναγεννάται από μια πηγή θερμότητας και ελευθερώνονται οι υδρατμοί.
4. Οι υδρατμοί συμπυκνώνονται από ένα κατάλληλο ρευστό ψύξης (νερό θερμοκρασίας μικρότερης από 35 °C). Ο βαθμός απόδοσης ενός ψύκτη απορρόφησης/προσρόφησης (Coefficient of Performance) δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$\text{COP} = \text{αποδιδόμενη ψύξη} / \text{καταναλισκόμενη θερμική ενέργεια}$$

Ο βαθμός απόδοσης ενός ψύκτη είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας θερμού νερού που προσάγεται για την αναγέννηση του διαλύματος. Για τους ψύκτες απορρόφησης οι τιμές κυμαίνονται από 0,5 (για θερμό νερό 70 °C) έως και 1,1 (για ατμό). Για τους ψύκτες προσρόφησης οι τιμές κυμαίνονται από 0,7 (για θερμό νερό 70 °C) έως 0,9 (για ατμό).

Υπάρχει και η δυνατότητα άμεσης παραγωγής ψύξης από συμβατικό καύσιμο (π.χ. φυσικό αέριο) σε ψύκτες απορρόφησης άμεσης καύσης. Η διαφορά με τους προαναφερόμενους ψύκτες είναι ότι η αναγέννηση του διαλύματος (στάδιο 3) επιτυγχάνεται με τη θερμότητα καύσης φυσικού αερίου και όχι από θερμό νερό ή ατμό.



Εικόνα 1.2.6 Ψύκτης Εγκατάστασης

- **Πύργος Ψύξης (εικ.1.2.7)**

- Η αρχή λειτουργίας του πύργου ψύξης έχει ως εξής: (εικ. 1.2.8)

Το καταιονιζόμενο νερό στον πύργο ψύξης έχει αυξημένη θερμοκρασία. Καθώς έρχεται σε επαφή με τον ψυχρό αέρα ανεβάζει την θερμοκρασία του αέρα, κυρίως με αγωγή. (εικ. 1.2.7)

Όταν όμως η θερμοκρασία του αέρα αυξάνεται, μειώνεται η σχετική υγρασία του. Έτσι, ανεξάρτητα από τον βαθμό κορεσμού που είχε αρχικά, γίνεται ακόρεστος.

Έτσι εξατμίζει νερό προσπαθώντας να φέρει σε ισορροπία τις θερμοκρασίες υγρού και ξηρού θερμομέτρου.

Καθώς το νερό εξατμίζεται, απορροφά την λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης από το υπόλοιπο νερό και μειώνει την θερμοκρασία του. (εικ. 1.2.7)

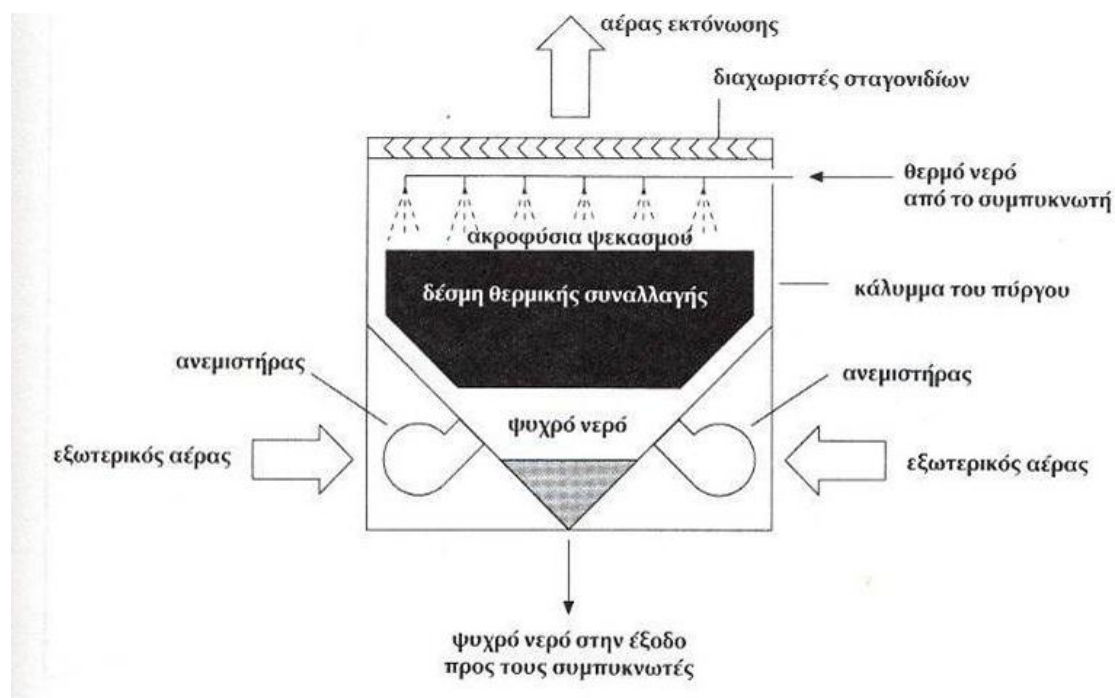
Με αυτόν τον τρόπο απομακρύνεται το 65 - 70 % της αποβαλλόμενης θερμότητας, ενώ το υπόλοιπο αποβάλλεται με αγωγή, επαφή και ακτινοβολία.

Επειδή ο αέρας που βγαίνει είναι περίπου κορεσμένος και σε θερμοκρασία μεγαλύτερη από την θερμοκρασία περιβάλλοντος, την στιγμή που εξέρχεται από τον πύργο ψύξης ψύχεται και αποβάλλει μέρος από την θερμοκρασία που έχει απορροφήσει. Έτσι εμφανίζεται ένα σύννεφο υδρατμών πάνω από τους πύργους ψύξης όταν δουλεύουν καλά.

Εφόσον υπάρχει εξάτμιση νερού, θα υπάρχει και απώλεια νερού, η οποία συμπληρώνεται από το δίκτυο.



Εικόνα 1.2.7 Πύργος Ψύξης



Σχεδιάγραμμα λειτουργίας ενός πύργου ψύξης του νερού με εμφύσηση αέρα από φυγοκεντρικούς ανεμιστήρες.

Εικόνα 1.2.8 Αρχή Λειτουργίας Πύργου Ψύξης

1.3. Δεξαμενή

Η δεξαμενή (Underground Thermal Energy Storage-UTES) όγκου 58 m^3 τοποθετήθηκε όσο πιο κοντά στους ηλιακούς συλλέκτες ήταν δυνατό.

Φέρει διαστάσεις 4.6 μέτρα ύψος και 4 μέτρα διάμετρο, ενώ είναι μονωμένο απο κάθε πλευρά κυρίως με υαλοβάμβακα για την ελαχιστοποίηση θερμικών απωλειών.

Στόχος της είναι η σύντηξη του ζεστού νερού στην υψηλότερη δυνατή θερμοκρασία έως ότου αυτό κληθεί να χρησιμοποιηθεί είτε για ψύξη είτε για θέρμανση.

Κατά την περίοδο της θέρμανσης, δηλαδή τον χειμώνα, το έργο της δεξαμενής δυσκολεύει, αφού η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ δεξαμενής και ατμοσφαιρικού αέρα αμβλύνεται άρα είναι λογικό να αυξάνονται οι απώλειες.

Παράλληλα όπως είναι λογικό η ηλιοφάνεια μειώνεται σημαντικά τους χειμερινούς μήνες με αποτέλεσμα, οι ηλιακοί συλλέκτες να μην τροφοδοτούν με ζεστό νερο την δεξαμενή για πολλές μέρες.

Για την καταγραφή των θερμικών απωλειών καθώς και για την παρακολούθηση της δεξαμενής σε επίπεδο μετρήσεων έχουν τοποθετηθεί 4 θερμομέτρα τύπου TS2251 (εικ. 1.3.1) καθώς και κεντρικός πίνακας (εικ. 1.3.1).



Εικόνα 1.3.1 TS2251 , Πίνακας Δεξαμενής

1.4. Κεντρικό Κτήριο

Ο σκοπός της εγκατάστασης είναι τελικά η θέρμανση και η ψύξη του Κεντρικού Κτηρίου.

Για να αξιοποιηθεί η θερμική ενέργεια του νερού, θα πρέπει να υπάρχει και ένα σύστημα διανομής του στο κτήριο ώστε να επέλθει θέρμανση/ψύξη.

Στην προκειμένη το ήδη υπάρχον σύστημα με fan coils αναλαμβάνει αυτή τη δουλειά (εικ. 1.4.1)

Οι τερματικές συσκευές (Fan-coils) περιλαμβάνουν θερμαντικό /ψυκτικό στοιχείο και ανεμιστήρα για την εξαναγκασμένη κυκλοφορία του αέρα.



Εικόνα 1.4.1 Προυπάρχουσες Τερματικές Συσκευές Fan Coils

Η μόνη μετατροπή που χρειάστηκε στο ήδη υπάρχον σύστημα είναι να προστεθούν οι νέες σωληνώσεις οι οποίες τροφοδοτούν τα Fan-Coils με το νερό της νέας εγκατάστασης.

Φυσικά αυτό δεν εμποδίζει την λειτουργία του υπάρχοντος συστήματος, το οποίο βοηθάει σε περιόδους συντήρησης της εγκατάστασης.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι υπάρχουν και 3 αισθητήρια όργανα μέτρησης θερμοκρασίας, απο πλευράς μετρητικού συστήματος.

Για τα τελευταία και για την τροφοδοσία της εγκατάστασης υπεύθυνος είναι ο πίνακας του κεντρικού κτηρίου. (εικ. 1.4.2)

Στην επόμενη εικόνα απεικονίζονται οι σωληνώσεις που μεταφέρουν το νερό από την δεξαμενή προς το κτήριο αλλά και αντίστροφα (εικ. 1.4.2) καθώς και η ανάγκη για καλή τους μόνωση παρατηρώντας την ενδιάμεση απόσταση των 200 μέτρων .



Εικόνα 1.4.2 Πίνακας Κεντρικού Κτηρίου , Σωληνώσεις από/προς το Κτήριο

Όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως, προκειμένου η εγκατάσταση να μπορεί να μετρηθεί ως προς κάποια χαρακτηριστικά και να αξιολογηθεί, τα όργανα είναι το πρώτο βασικό κομμάτι. Εξίσου σημαντικό είναι και το SCADA (supervisory control and data acquisition) το οποίο είναι το υπολογιστικό κομμάτι του μετρητικού συστήματος της εγκατάστασης, ενώ παράλληλα είναι υπεύθυνο για την καταγραφή των δεδομένων.

Συνολικά, τέσσερις πίνακες έχουν εγκατασταθεί για να εξυπηρετήσει το σύστημα.

Ο πίνακας αυτοματισμού περιλαμβάνει τα PLC, τον σταθεροποιητή παροχής ρεύματος 24Volt, τις ψηφιακές κάρτες εισόδου/εξόδου, τις αναλογικές κάρτες εισόδου/εξόδου και τα ρελέ χαμηλής ισχύος.



Εικόνα 1.4.3 Πίνακας Αυτοματισμού

2. Εισαγωγή στις μετρήσεις και την αβεβαιότητα

Κάθε μέτρηση έχει κάποια αβεβαιότητα. Το αποτέλεσμα της μέτρησης είναι αποδεκτό μόνο αν συνοδεύεται από την αντίστοιχη αβεβαιότητα.

Η αβεβαιότητα μέτρησης μπορεί να προέλθει από το όργανο μέτρησης, από το μετρούμενο μέγεθος, από το περιβάλλον, από τον από τον χειριστή, και από άλλες πηγές.

Τέτοιες αβεβαιότητες μπορούν να υπολογιστούν χρησιμοποιώντας στατιστική ανάλυση μιας σειράς μετρήσεων, καθώς και από άλλα είδη πληροφοριών από τη διαδικασία μέτρησης. Υπάρχουν κανόνες που έχουν θεσπισθεί για τον υπολογισμό της συνολικής εκτίμησης της αβεβαιότητας από αυτά τα μεμονωμένα κομμάτια πληροφοριών. Βασική απαίτηση είναι η σωστή εφαρμογή αυτών, ενώ προτιμάται εμπειρία μετρήσεων και προσεκτική καταγραφή τους.

Το αντικείμενο της αβεβαιότητας είναι ένα θέμα ευρέως παρεξηγημένο, από τα χαμηλά κλιμάκια ενός εργοστασίου μέχρι τους υψηλότερους ακαδημαϊκούς κύκλους. Είναι ένας πολύπλοκος τομέας ο οποίος εξακολουθεί να εξελίσσεται. Έτσι, υπάρχει μεγάλη ανάγκη για διασαφήνιση του ορου Αβεβαιότητα.

2.1. Τι είναι η μέτρηση;

Μια μέτρηση μας λέει για μια ιδιότητα ενός αντικειμένου. Μπορεί να μας πει πόσο βαρύ είναι ένα αντικείμενο, ή πόσο ζεστό, ή πόσο μακρύ είναι. Μια μέτρηση δίνει αριθμό σε αυτήν την ιδιότητα.

Οι μετρήσεις γίνονται πάντα χρησιμοποιώντας ένα όργανο κάποιου είδους. Χάρακες, χρονόμετρα,

ζυγαριές και θερμόμετρα είναι όλα όργανα μέτρησης.

Το αποτέλεσμα της μέτρησης είναι κανονικά σε δύο μέρη: μια τιμή και μια μονάδα μέτρησης

π.χ. «Πόσο μακρύ είναι αυτός ο στύλος; → 2 μέτρα. »

2.2. Τι δεν είναι η μέτρηση;

Υπάρχουν κάποιες διαδικασίες που μπορεί να γίνονται αντιληπτές ως μετρήσεις, αλλά δεν είναι. Για παράδειγμα, η σύγκριση δύο κομματιών σπάγκου για να αποδειχτεί ποιο είναι πιο μακρύ, δεν είναι πραγματικά μια μέτρηση. Τις περισσότερες φορές ούτε μια δοκιμή δεν είναι μια μέτρηση αφού οι δοκιμές συνήθως οδηγούν σε ένα ‘ναι’ ή ‘όχι’. Ωστόσο, οι μετρήσεις μπορεί να είναι μέρος της διαδικασίας που οδηγεί σε αποτέλεσμα της δοκιμής.

3. Αβεβαιότητα μέτρησης

3.1. Τι είναι η αβεβαιότητα της μέτρησης

Η αβεβαιότητα της μέτρησης μας λέει κάτι για ποιότητά της. Αβεβαιότητα της μέτρησης είναι η αμφιβολία που υπάρχει για το αποτέλεσμα της κάθε μέτρησης. Ακόμα και για το πιο αξιόπιστο όργανο υπάρχει πάντα ένα περιθώριο αμφιβολίας. Στην καθημερινή ομιλία, αυτό θα μπορούσε να εκφραστεί με το εξής παράδειγμα: ένας στύλος είναι πάνω-κάτω δύο μέτρα μήκος.

Αβεβαιότητα Τύπου Β

Η εκτίμηση βασίζεται στις διαθέσιμες πληροφορίες και την εμπειρία, χρησιμοποιώντας συνήθως:

τα χαρακτηριστικά του κατασκευαστή (κλάση οργάνου για ηλεκτρομηχανικό όργανο, παράμετροι που χαρακτηρίζουν την ορθότητα (accuracy) ενός ψηφιακού οργάνου, ανοχές παθητικών στοιχείων)

Δεδομένα από πιστοποιητικά βαθμονόμησης

αβεβαιότητες από εγχειρίδια

Αβεβαιότητα Τύπου Α

Ίδιος τρόπος με τον υπολογισμό τυχαίων σφαλμάτων στην κλασική θεωρία Σφαλμάτων.

Βασίζεται στην στατιστική ανάλυση n ανεξάρτητων επαναλαμβανόμενων μετρήσεων ($n > 1$).

Ο υπολογισμός της τιμής x της μετρούμενης ποσότητας X είναι η μέση τιμή του δείγματος.

Η αβεβαιότητας της x υπολογίζεται όπως η πειραματική τυπική απόκλιση της μέσης τιμής:

$$u_A(x) = \sigma(x) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - x)^2} \quad (\text{Σχέση 3.1.1})$$

Όπου

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (\text{Σχέση 3.1.2})$$

και n ο αριθμός των επαναλαμβανόμενων μετρήσεων.

3.2. Έκφραση της αβεβαιότητας των μετρήσεων

Δεδομένου ότι υπάρχει πάντα ένα περιθώριο αμφιβολίας σχετικά με οποιαδήποτε μέτρηση, πρέπει να αναρωτηθούμε «Πόσο μεγάλο είναι αυτό το περιθώριο;» και «Πόσο κακή είναι η αμφιβολία;» Έτσι, δύο αριθμοί πραγματικά χρειάζονται, προκειμένου να προσδιοριστεί ποσοτικά η αβεβαιότητα. Ένα είναι το πλάτος ή διάστημα του περιθωρίου. Το άλλο είναι ένα επίπεδο εμπιστοσύνης, και δηλώνει πόσο σίγουροι είμαστε ότι η «πραγματική τιμή» είναι όντως εντός του διαστήματος.

Για παράδειγμα:

Μπορούμε να πούμε ότι το μήκος μιας συγκεκριμένης δοκού είναι 20 εκατοστά συν ή πλην 1 εκατοστό, σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95 τοις εκατό.

Το αποτέλεσμα αυτό θα μπορούσε να γραφτεί:

20 εκατοστά \pm 1 cm, σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

Η δήλωση λέει ότι είμαστε το 95 τοις εκατό βέβαιοι ότι η δοκός είναι μεταξύ 19 και 21 εκατοστών.

3.3. Σφάλματα και Αβεβαιότητα

Είναι σημαντικό να μην συγχέουμε τις έννοιες «σφάλμα» και «αβεβαιότητα».

- Σφάλμα είναι η διαφορά ανάμεσα στη μετρούμενη τιμή και την «πραγματική τιμή» του πράγματος που μετριέται.

- Η αβεβαιότητα είναι μια ποσοτικοποίηση της αμφιβολίας σχετικά με το αποτέλεσμα της μέτρησης.

Όποτε είναι δυνατόν γίνονται προσπάθειες διόρθωσης τυχόν γνωστών σφαλμάτων, με τρόπους όπως ορθολογική βαθμονόμηση των οργάνων μέτρησης.

Αλλά κάθε σφάλμα του οποίου δεν γνωρίζουμε τον λόγο ύπαρξης, αποτελεί πηγή αβεβαιότητας.

3.4. Γιατί είναι η αβεβαιότητα της μέτρησης σημαντική;

Η αβεβαιότητα μιας μέτρησης μπορεί να χρειάζεται απλά για επιβεβαίωση μιας καλής μέτρησης. Ωστόσο, υπάρχουν άλλοι πιο ειδικοί λόγοι σχετικά με την αβεβαιότητα της μέτρησης:

- βαθμονόμηση - όπου η αβεβαιότητα της μέτρησης πρέπει να αναφέρεται στο πιστοποιητικό
- δοκιμή - όπου η αβεβαιότητα της μέτρησης είναι απαραίτητη για να καθοριστεί με σιγουριά το 'ναι' ή το 'οχι'.
- ανοχή - όπου θα πρέπει να είναι γνωστή η αβεβαιότητα προτού αποφασιστεί αν η ανοχή αυτή πληρεί τις προδιαγραφές.

3.5. Συστηματικά και τυχαία σφάλματα

Το αποτέλεσμα της μέτρησης ενός φυσικού μεγέθους είναι κατά κανόνα

ακαθόριστο σε μικρό ή μεγάλο βαθμό, δηλαδή αν επαναλάβουμε τη μέτρηση

δε θα πάρουμε ακριβώς το ίδιο αποτέλεσμα.

Ακόμα και αν επαναλάβουμε ένα πείραμα διατηρώντας τις ίδιες ακριβώς συνθήκες, κάποιος παράγοντας που δεν ελέγχουμε μπορεί να επηρεάζει λίγο ή πολύ το αποτέλεσμα της μέτρησης.

Θα θέλαμε λοιπόν να εκτιμήσουμε τις πειραματικές αυτές αποκλίσεις στη

μέτρηση και το πρώτο βήμα είναι να εντοπίσουμε τους διαφορετικούς τύπους

σφάλματος μέτρησης.

Οι δύο τύποι σφαλμάτων μέτρησης είναι τα **συστηματικά σφάλματα**

(systematic errors) και τα **τυχαία σφάλματα** (random errors) που προσδίδουν και αντίστοιχα χαρακτηριστικά στις μετρήσεις.

- **Τα συστηματικά σφάλματα** επαναλαμβάνονται και υπάρχει κάποιο αίτιο που τα δημιουργεί. Πολλές φορές είναι δύσκολο να εντοπισθούν αλλά μπορούν να εξουδετερωθούν με κατάλληλη *δαθμονόμηση* (calibration), συγκρίνοντας με κάποιον τρόπο μετρήσεις και πραγματικές τιμές. Τα συστηματικά σφάλματα ορίζουν την **ακρίβεια (ορθότητα)** (accuracy) της μέτρησης, δηλαδή κατά πόσο οι μετρήσεις είναι κοντά στις πραγματικές τιμές ή υπάρχουν συστηματικές αποκλίσεις. Με αναφορά στην εκτίμηση παραμέτρων τα συστηματικά σφάλματα συνδέονται με τη μεροληψία (bias), όπου η εκτίμηση του μεγέθους (ή παραμέτρου) δεν είναι ίδια με την πραγματική τιμή του μεγέθους.
- **Τα τυχαία σφάλματα** δεν επαναλαμβάνονται με το πείραμα αλλά αντιπροσωπεύουν την τυχαιότητα που χαρακτηρίζει το μέγεθος που μετράμε. Για αυτό και αυτού του τύπου τα σφάλματα δε μπορούν να απαλειφθούν. Τα τυχαία σφάλματα ορίζουν την **ακρίβεια επανάληψης** (precision) της μέτρησης, δηλαδή το μέγεθος της μεταβολής των τιμών μέτρησης σε κάθε επανάληψη της μέτρησης (για τις ίδιες συνθήκες).

3.6. Από που προέρχονται τα σφάλματα και οι αβεβαιότητες;

Πολλά πράγματα μπορούν να υπονομεύσουν μια μέτρηση. Οι ατέλειες της μέτρησης μπορεί να είναι ορατές ή μη. Επειδή οι πραγματικές μετρήσεις δεν γίνονται ποτέ υπό ιδανικές συνθήκες, τα λάθη και οι αβεβαιότητες μπορούν να προέλθουν από:

- **Το όργανο μέτρησης** – τα όργανα μπορούν να πάσχουν από σφάλματα, μεταβολές που οφείλονται στη ηλικία τους, φθορά, κακή αναγνωσιμότητα, ο θόρυβος (για ηλεκτρικά όργανα) και πολλά άλλα προβλήματα.
 - **Το στοιχείο το οποίο μετράται** - το οποίο μπορεί να μην είναι σταθερο. (π.χ. μέτρηση πάγου σε ένα ζεστό δωμάτιο)
 - **Η διαδικασία μέτρησης** - η μέτρηση μπορεί να είναι το ίδιο δύσκολο να γίνει. Για παράδειγμα, η μέτρηση βάρους μικρών ζώων παρουσιάζει ιδιαίτερες δυσκολίες στο να συνεργαστούν.
 - **«Εισαγόμενες» αβεβαιότητες** - η βαθμονόμηση ενός οργάνου έχει μια αβεβαιότητα η οποία στη συνέχεια θα ενσωματωθεί στην αβεβαιότητα των μετρήσεων που γίνονται.
 - **Ικανότητα χειριστή** - κάποιες μετρήσεις εξαρτώνται από την ικανότητα και την κρίση του χειριστή. Ένα άτομο μπορεί να είναι καλύτερο από ένα άλλο στην δημιουργία μιας μέτρησης, ή στο διάβασμα της μετρούμενης τιμής με γυμνό μάτι. Επίσης, η χρήση ενός μέσου, όπως ένα χρονόμετρο εξαρτάται από τον χρόνο αντίδρασης του χειριστή.
 - **Δειγματοληπτικά ζητήματα** - οι μετρήσεις που γίνονται πρέπει να είναι αντιπροσωπευτικές της διαδικασίας που προσπαθούν να αξιολογήσουν. Αν θέλουμε να μάθουμε την θερμοκρασία στο πάγκο εργασίας, δεν θα κάνουμε την μέτρηση με ένα θερμόμετρο που τοποθετείται κοντά στην έξοδο του κλιματιστικού.
 - **Το περιβάλλον** - θερμοκρασία, ατμοσφαιρική πίεση, υγρασία και πολλές άλλες συνθήκες μπορούν να επηρεάσουν το όργανο μέτρησης ή το αντικείμενο που μετράται.
- Όταν το σφάλμα είναι γνωστό (π.χ. από ένα πιστοποιητικό βαθμονόμησης) η διόρθωση μπορεί να εφαρμοστεί στο αποτέλεσμα της μέτρησης. Σε γενικές γραμμές, οι αβεβαιότητες από κάθε μία από αυτές τις πηγές, και από άλλες πηγές, θα είναι αυτές που θα συμβάλλουν στην συνολική αβεβαιότητα της μέτρησης.

3.7. Σημαντικά ψηφία

Για την καταγραφή των πειραματικών δεδομένων και των υπολογιστικών

αποτελεσμάτων θα πρέπει να χρησιμοποιείται ο σωστός αριθμός των σημαντικών ψηφίων. Σημαντικά ψηφία ενός μετρούμενου ή υπολογιζόμενου μεγέθους είναι το πλήθος των ψηφίων της τα οποία είναι επαναλήψιμα κατά τη μετρητική διαδικασία. Συνήθως είναι τα ψηφία που γνωρίζουμε με ακρίβεια εκτός από τα μηδενικά που δείχνουν το δεκαδικό σημείο. Συνήθως το πλήθος των σημαντικών ψηφίων ενός μετρούμενου μεγέθους ταυτίζεται με την ακρίβεια των οργάνων μέτρησης. Έτσι σε ένα χάρακα με χαραγές κάθε 1 cm και με μικρότερες υποδιαίρεσεις κάθε 0.1 cm η εκτίμησή μας (κατά 0.01 cm) αντιπροσωπεύει και το τελευταίο σημαντικό ψηφίο της μέτρησης.

Θα μπορούσαμε να πούμε ότι το πλήθος των σημαντικών ψηφίων ενός αριθμού μας δίνει ένα μέτρο της ακρίβειας ενός πειραματικού αποτελέσματος.

Για την ορθή αναφορά των σημαντικών ψηφίων υπάρχουν οι εξής κανόνες:

- Ως πρώτο σημαντικό ψηφίο μετράμε το αριστερότερο μη μηδενικό.
- **Εάν υπάρχει υποδιαστολή** ως τελευταίο σημαντικό είναι αυτό που βρίσκεται δεξιότερα (ακόμα κι αν είναι μηδενικό) δηλαδή σημαντικά είναι όλα τα ψηφία **από το πρώτο μη μηδενικό και μετά** π.χ 0.000034 (2), 2.00 (3) 0.050 (2).
- **Εάν δεν υπάρχει υποδιαστολή** ως τελευταίο σημαντικό είναι το δεξιότερο μη μηδενικό δηλαδή σημαντικά είναι όλα τα ψηφία **απο το πρώτο αριστερά μέχρι το τελευταίο μη μηδενικό** 1 892 (4), 4023 (4), 400 (1), 15000 (2).

Όπως φαίνεται στο παράδειγμα στους ακέραιους αριθμούς τα μηδενικά μπορεί να είναι ή να μην είναι σημαντικά γι αυτό πρέπει να διευκρινίζονται π.χ 4.00 (3 σημαντικά ψηφία) 15000 (2 σημαντικά ψηφία) γράφοντας τον αριθμό σε εκθετική μορφή οπότε τότε όλα τα ψηφία που εμφανίζονται πριν από την δύναμη του 10 θεωρούνται σημαντικά δηλαδή 4×10^2 (1 σημαντικό ψηφίο) ή 1.00×10^6 ο αριθμός έχει μετρηθεί με ακρίβεια, που αντιστοιχεί σε (3 σημαντικά ψηφία) δηλαδή ο αριθμός έχει μετρηθεί με ακρίβεια, που αντιστοιχεί σε 3 σημαντικά ψηφία).

3.8. Σημαντικά ψηφία και αριθμητικές πράξεις

Το αποτέλεσμα που προκύπτει από την εκτέλεση των μαθηματικών πράξεων καθορίζεται

από τον όρο που έχει τη μικρότερη ακρίβεια.

- Μετά την **πρόσθεση ή αφαίρεση** το πλήθος των **δεκαδικών** ψηφίων του αποτελέσματος καθορίζεται από τον αριθμό που έχει τον μικρότερο αριθμό δεκαδικών ψηφίων π.χ $89.332+1.1=90.432 \sim 90.4$

Το 90.4 καθορίζεται από το γεγονός ότι το μικρότερο αριθμό δεκαδικών ψηφίων από τους δύο όρους έχει το 1.1.

- Μετά τον **πολλαπλασιασμό ή τη διαίρεση** το πλήθος των **σημαντικών** ψηφίων του αποτελέσματος καθορίζεται από τον αριθμό με τον μικρότερο αριθμό σημαντικών ψηφίων. π.χ.

$(2.80) \times (4.5039) = 12.61092 \sim 12.6$. Το 12.6 (3 σημαντικά) καθορίζεται από το γεγονός ότι τον μικρότερο αριθμό σημαντικών ψηφίων από τους δύο όρους έχει το 2.80 (3 σημαντικά)

4. Βασικά στατιστικά στοιχεία

4.1. Σύνολο Μετρήσεων

Στην προσπάθεια κατανόησης ενός φαινομένου, είναι λογικό να γίνονται περισσότερες από μία μέτρησις ώστε τα αποτελέσματα να είναι πιο αντικειμενικά και να ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα.

Σε αυτό το σημείο ακούγονται πολλές απόψεις για το πόσες μετρήσεις πρέπει να λαμβάνονται.

Σίγουρα, όσο το δυνατόν περισσότερες μετρήσεις, τόσο μεγαλύτερη σιγουριά για την ρεαλιστικότητα των αποτελεσμάτων. Δεν είναι όμως πάντα δυνατόν να γίνονται πάρα πολλές μετρήσεις (π.χ. 500) για πρακτικούς κυρίως λόγους.

Έτσι προκύπτει ότι η απάντηση είναι ανάλογη του προβλήματος.

Παρόλ' αυτά, ένας λογικός αριθμός μετρήσεων, θα ήταν το 3.

Πιο αναλυτικά, κάνοντας μία μόνο μέτρηση σημαίνει ότι ένα λάθος αποτέλεσμα θα μπορούσε να πάει εντελώς απαρατήρητο. Αν γίνουν δύο μετρήσεις και δεν συμφωνούν μεταξύ τους, τότε υπάρχει κίνδυνος του να μην εμφανές ποια από τις δύο είναι η λανθασμένη. Αλλά αν κάνω τρεις μετρήσεις, και δύο συμφωνούν μεταξύ τους, ενώ η τρίτη είναι πολύ διαφορετική, τότε θα μπορούσε να θεωρηθεί ως ύποπτη η τρίτη.

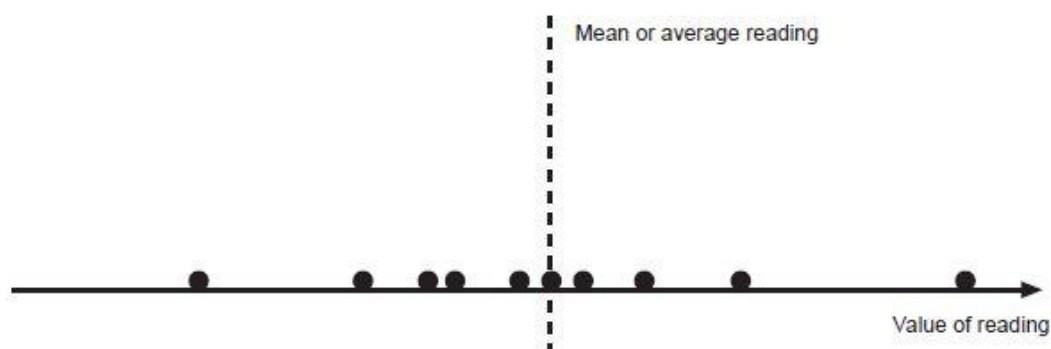
4.2. Βασικοί Στατιστικοί Υπολογισμοί

Μπορείτε να αυξήσετε την ποσότητα των πληροφοριών που παίρνουμε από τις μετρήσεις μας με τη λήψη μια σειράς μετρήσεων και την εκτέλεση ορισμένων βασικών στατιστικών υπολογισμών. Οι δύο πιο σημαντικοί είναι να βρεθεί ο αριθμητικός μέσος ή μέση τιμή και η τυπική απόκλιση για ένα σύνολο αριθμών.

4.3. Υπολογίζοντας τον μέσο όρο των μετρούμενων τιμών

Αν υπάρχουν αποκλίσεις στα διάφορα αποτελέσματα των μετρήσεων, είναι σωστό να παρθούν πολλές τιμές και να υπολογιστεί ο μέσος όρος, ο οποίος μας δίνει μια εκτίμηση της αληθινής τιμής. Ένας μέσος όρος συνήθως εμφανίζεται με ένα σύμβολο με μια μπάρα πάνω από αυτό. Το σχήμα 4.3.1 δείχνει ένα παράδειγμα ενός συνόλου τιμών και τη μέση τιμή τους. Παράδειγμα 1 δείχνει πώς να υπολογίσει ένα αριθμητικός μέσος όρος.

Σχήμα 4.3.1 Εύρεση μέσης τιμής ενός συνόλου τιμών



4.4. Τυπική Απόκλιση

Όταν επανειλημμένες μετρήσεις δίνουν διαφορετικά αποτελέσματα, θέλουμε να γνωρίζουμε πόσο αραιές είναι οι τιμές μεταξύ τους, πράγμα το οποίο δεν μπορεί να μας υποδείξει η μέση τιμή.

Η κατανομή τους, μας λέει κάτι για την αβεβαιότητα της μέτρησης. Με τη γνώση λοιπόν αυτή, μπορούμε να αρχίσουμε να κρίνουμε την ποιότητα της μέτρησης αλλά και το σύνολο των μετρήσεων. Μερικές φορές αρκεί να γνωρίζουμε το εύρος μεταξύ των υψηλότερων και χαμηλότερων τιμών. Αλλά για ένα μικρό σύνολο τιμών, αυτό δεν μπορεί να μας δώσει χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με την εξάπλωση τους .

Η σχέση υπολογισμού της τυπικής απόκλισης για μια σειρά από n μετρήσεις μπορεί να εκφραστεί μαθηματικά ως εξής:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}} \quad (\text{Σχέση 4.4.1})$$

,όπου x_i η τιμή που πήραμε από την i μέτρηση, και \bar{x} η μέση τιμή όλων.

4.5. Κατανομές

Η διασπορά μιας ομάδας μετρήσεων μπορούν να ποικίλουν, και αυτές ονομάζονται **Κατανομές Πιθανοτήτων**.

3 βασικές κατανομές είναι:

- **Ομοιόμορφη Κατανομή** (Uniform Distribution)

Η ομοιόμορφη κατανομή χρησιμοποιείται όταν η εν λόγω μεταβλητή λαμβάνει τιμές σε ένα συγκεκριμένο διάστημα $[A,B]$.

- **Κανονική Κατανομή** (Normal Distribution)

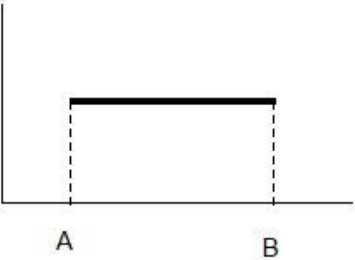
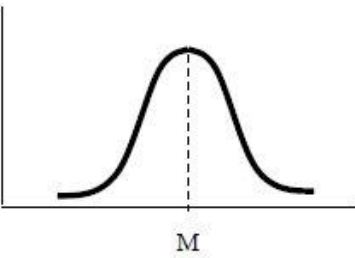
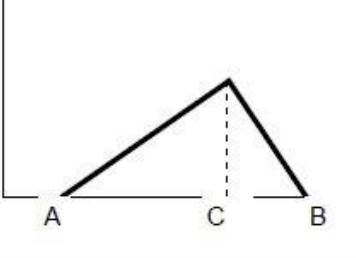
Η κανονική κατανομή χρησιμοποιείται για κάποια μεταβλητή όταν θεωρείται ότι οι τιμές της κυμαίνονται συμμετρικά γύρω από μια μέση τιμή.

• Τριγωνική Κατανομή (Triangular Distribution)

Η τριγωνική κατανομή μπορεί να χρησιμοποιηθεί όταν πρόκειται για μια απλή κατανομή με μη συμμετρικά χαρακτηριστικά.

Το σχήμα και οι παράμετροι κάθε μιας από τις παραπάνω κατανομές φαίνονται ακολούθως:

Σχήμα 4.5.1 Οι βασικές κατανομές και οι ερμηνείες τους.

Όνομα	Μορφή	Παράμετροι
Ομοιόμορφη κατανομή (Uniform distribution)		A: ελάχιστη τιμή B: μέγιστη τιμή
Κανονική κατανομή (Normal distribution)		M: Μέση τιμή σ: τυπική απόκλιση
Τριγωνική κατανομή (Triangular distribution)		A: ελάχιστη τιμή C: πιο πιθανή τιμή B: μέγιστη τιμή

4.6. Διάδοση των σφαλμάτων

Εάν ένα μέγεθος z εξαρτάται από (μία ή) δύο μετρούμενες ποσότητες (x και y) ή και περισσότερες οι οποίες έχουν μέσες τιμές x , y και ανεξάρτητα σφάλματα ($\delta x, \delta y$

αντίστοιχα) τότε υπολογίζουμε το σφάλμα του με τον κανόνα διάδοσης των σφαλμάτων

$$\delta \bar{z} = \sqrt{\left(\frac{\partial u}{\partial x} \delta \bar{x}\right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial y} \delta \bar{y}\right)^2} \quad (\text{Σχέση 4.6.1})$$

Όπου $\frac{\partial}{\partial x}$ η μερική παράγωγος ως προς x. Αναλυτικότερα οι κανόνες υπολογισμού των σφαλμάτων περιλαμβάνονται στον παρακάτω πίνακα για μία σειρά απλών μαθηματικών σχέσεων.

Προσθεση / Αφαιρέση

$$\text{Combined_Uncertainty } y = \sqrt{a^2 + b^2 + c^2 + \dots \text{etc.}} \quad (\text{Σχέση 4.6.2})$$

Πολ/μος / Διαιρέση

$$\frac{u(A)}{A} = \sqrt{\left(\frac{u(L)}{L}\right)^2 + \left(\frac{u(W)}{W}\right)^2} \quad (\text{Σχέση 4.6.3})$$

Μέρος Β

5. . Αξιολόγηση Υπάρχοντος Μετρητικού Συστήματος

5.1. Δεδομένα Κατασκευαστή

Πριν γίνει οποιαδήποτε διόρθωση σε κάποιο σύστημα, απαραίτητη προϋπόθεση είναι η αξιολόγηση του υπάρχοντος ώστε να κριθεί εάν αυτή η διόρθωση είναι αναγκαία.

Στην συγκεκριμένη εγκατάσταση θα αξιολογηθεί το μετρητικό σύστημα ως προς τα σφάλματα και τις αβεβαιότητες, τόσο σε επίπεδο θερμοκρασιών, όσο και θερμοροών που περιμένουμε μεγαλύτερες αποκλίσεις.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται σε αυτή τη φάση είναι απο τον κατασκευαστή των οργάνων προσαρμοσμένα στις ανάγκες της εγκατάστασης, χρησιμοποιώντας εκτιμώμενες τιμές για κάθε ένα από αυτά.

- ✓ Όσον αφορά το αισθητήριο όργανο **TA3131** ο κατασκευαστής δίνει ως ακρίβεια του οργάνου $\pm 0,4$ για κάθε μέτρηση, και $\pm 0.1\%$ της μέτρησης για κάθε 10 βαθμούς Κελσίου. Παράλληλα για τον μετατροπέα Αναλογικού/Ψηφιακού σήματος, το σφάλμα δίνεται ως $\pm 0.2\%$ του συνολικού εύρους.
- ✓ Για το **TS2251** το αντίστοιχο σφάλμα αισθητηρίου είναι $\pm (0,3 + 0,005 * |Μέτρηση|)$, ενώ για τον μετατροπέα δίνεται $\pm 0.25\%$ του συνολικού εύρους.
- ✓ Σχετικά με το **πυρανόμετρο**, η ακρίβεια του χαρακτηρίζεται από:
 - Μια απόκλιση 0.06% της μέτρησης / (TempCelsius-25)
 - 0.3% της μετρησης/ year
- ✓ Για τα **ροόμετρα** συναντάμε τις εξής περιπτώσεις:

Ροόμετρα	Θέση	Σφάλμα Αισθητήρα	Σφ. Κάρτας Α/Ψ
F1	Solar field flow rate	$\pm(3\% \text{Flow} +0.2\% \text{Range})$	$\pm 0.4\%$ of F.S.
F2	UTES discharge flow rate	$\pm(3\% \text{Flow} +0.2\% \text{Range})$	$\pm 0.4\%$ of F.S.
F3	Heat pump load flow rate	$\pm(2\% \text{Flow} +0.5\% \text{Range})$	$\pm 0.4\%$ of F.S.
F4	Heat pump source flow rate	$\pm(2\% \text{Flow} +0.5\% \text{Range})$	$\pm 0.4\%$ of F.S.
F5	Flow rate of chiller condenser	$\pm 3\% \text{Flow} $	$\pm 0\%$

F7	Building 3 flowrate	$\pm(2\% \text{Flow} +0.5\% \text{Range})$	$\pm 0.2\%$ of F.S.
----	---------------------	---	---------------------

- ✓ Τέλος, οι μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας, παρουσιάζουν σφάλμα οργάνου $\pm 1\%$ της συνολικής μέτρησης και μηδενικό σφάλμα μετατροπέα λόγω φύσης του οργάνου.

Έχοντας αντιληφθεί την θέση του κάθε θερμομέτρου στην εγκατάσταση, χρησιμοποιήθηκαν αντιπροσωπευτικές τιμές, με βάση τις οποίες υπολογίστηκαν οι αβεβαιότητες.

5.2. Εργαλεία Αξιολόγησης

Αφού υπολογίστηκαν τα σφάλματα με την παραπάνω διαδικασία, για τον υπολογισμό των αβεβαιοτήτων ισχύει η σχέση:

- ✓ Αβεβαιότητα= Ακρίβεια οργάνου/ k

,όπου k ο συντελεστής κάλυψης.

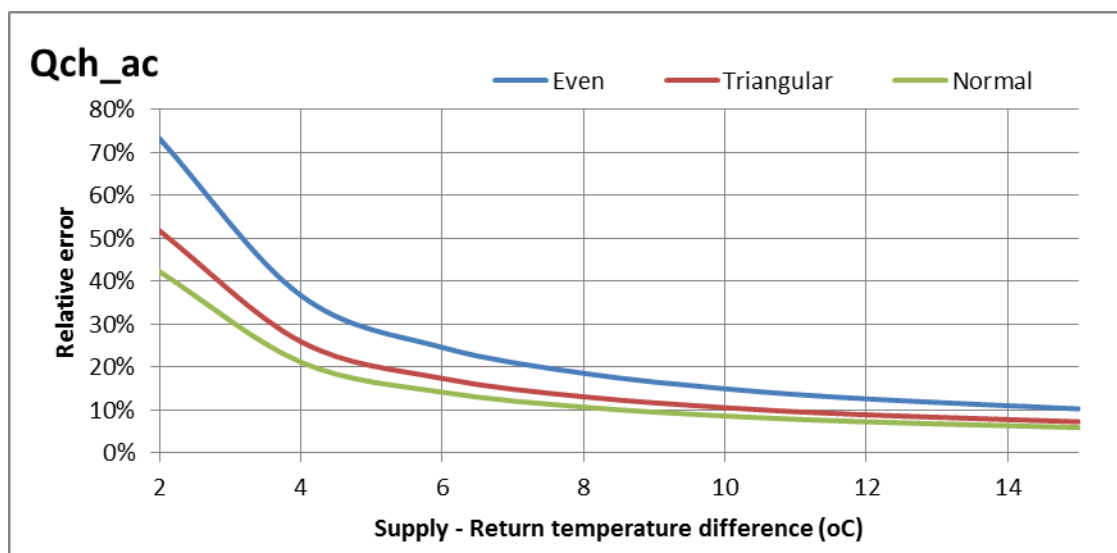
Δεδομένου ότι η μέτρηση του κάθε αισθητηρίου κυμαίνεται εντός των ορίων ακρίβειας του κατασκευαστή, γίνεται κάποια υπόθεση για την κατανομή που ακολουθούν τα αισθητήρια του.

Λογικά, η γραμμή παραγωγής παράγει με κανονική κατανομή, η οποία παρουσιάζει τις μικρότερες σχετικές αποκλίσεις.

Όμως, δεδομένου ότι δεν γνωρίζουμε για την γραμμή παραγωγής του, τότε θα έπρεπε να λάβουμε υπόψη τη χειρότερη περίπτωση της ομοιόμορφης κατανομής.

$$(k = \sqrt{3} = 1,732)$$

Αντιπροσωπευτικά για μία θερμοροή υπολογίστηκαν οι αντίστοιχες διαφορές στις διάφορες κατανομές (Εικόνα 5.2.1)



Εικόνα 5.2.1 Θερμικές Απολαβές Συλλέκτη συναρτήσει διαφοράς θερμοκρασίας

Αξίζει να παρατηρηθεί πως σε κάθε περίπτωση, συναντάμε σημαντική αβεβαιότητα σε μικρά ΔT κάτω των 4 °C.

Η ίδια διαδικασία γίνεται τόσο για το αισθητήριο όσο και για τον μετατροπέα σήματος Αναλογικού/Ψηφιακού.

Σε επίπεδο συνδυασμένης ακρίβειας θα ορίσουμε την αντίστροφη διαδικασία μόνο που αυτή τη φορά για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% , απο τον Πίνακα 5.2.2 προκύπτει $k=1,96$.

Πίνακας 5.2.2 Τιμές Συντελεστή Κάλυψης συναρτήσει του επιπέδου εμπιστοσύνης για κανονική κατανομή

Επίπεδο Εμπιστοσύνης (%)	Συντελεστής Κάλυψης (k)
68.27	1.000
90.00	1.645
95.00	1.960
95.45	2.000
99.00	2.576
99.73	3.000

Τέλος, για να εκτιμήσουμε καλύτερα τις αβεβαιότητες, ο όρος του σχετικού σφάλματος υψιέρχεται στην παρούσα αξιολόγηση.

Ορίζεται ως:

$$\varepsilon = \frac{\text{Συνδυασμένη Ακρίβεια}}{\text{Ενδεικτική Τιμή}} \%$$

5.3. Επεξεργασία και Αποτελέσματα

Στη συνέχεια περνάμε σε επίπεδο θερμοροών Q .

Φαίνεται η γενική σχέση που χρησιμοποιείται για κάθε Q :

$$Q = F \cdot C_p \cdot (T_2 - T_1)$$

Ετσι, δημιουργήθηκαν στήλες που έχουν αντίστοιχα: (πιν. 5.3.1)

- Τιμές για παροχή
- Αβεβαιότητα παροχής
- Θερμοκρασία T_1 (το αντίστοιχο κάθε φορά)
- Αβεβαιότητα του T_1
- Θερμοκρασία T_2 (το αντίστοιχο κάθε φορά)
- Αβεβαιότητα του T_2
- Διαφορά των θερμοκρασιών
- Αβεβαιότητα της διαφοράς των θερμοκρασιών
- Γινόμενο Q
- Αβεβαιότητα του Q

Πίνακας 5.3.1 Υπολογισμός Θερμορροών και Αβεβαιοτήτων τους

Θερμορροές	F	ΔF	T1	ΔT1	T2	ΔT2	T2-T1	ΔΔT	Q (kW)	ΔQ(kW)
Q_{coll}	6,00	0,06	60	0,35	70	0,34	10	0,49	69,77	3,5254
Q_{sol}	6,00	0,06	60	0,26	75	0,23	15	0,35	69,77	2,5026
Q_{UTES_HEAT}	4	0,19	40	0,35	45	0,35	5	0,49	23,26	2,5416
Q_{UTES_COOL}	8	0,19	70	0,35	75	0,35	5	0,49	46,51	4,7057
$Q_{HP_HS_HEAT}$	3,75	0,08	25	0,33	30	0,33	5	0,46	21,80	2,0760
Q_{HP_HEAT}	3,75	0,07	40	0,33	45	0,33	5	0,46	21,80	2,0708
$Q_{HP_HS_COOL}$	3,75	0,08	27	0,33	32	0,33	5	0,46	21,80	2,0760
Q_{HP_COOL}	3,75	0,07	7	0,33	12	0,33	5	0,46	21,80	2,0708
Q_{HC_HEAT}	3,75	0,11	40	0,33	45	0,33	5	0,46	21,80	2,1270
Q_{HS_COOL}	3,75	0,11	7	0,33	12	0,33	5	0,46	21,80	2,1270
Q_{AUX_HEAT}	3,75	0,11	40	0,33	45	0,33	5	0,46	21,80	2,1270
Q_{AUX_COOL}	3,75	0,11	7	0,33	12	0,33	5	0,46	21,80	2,1270
Q_{HEAT}	3,75	0,11	40	0,33	45	0,33	5	0,46	21,80	2,1270
Q_{COOL}	3,75	0,11	7	0,33	12	0,33	5	0,46	21,80	2,1270
Q_{CH_EV}	3,75	0,11	7	0,32	12	0,32	5	0,45	21,80	2,0782
Q_{CH_CON}	22	0,40	26,9	0,33	30,2	0,33	3,3	0,46	84,42	11,9897
Q_{CT}	19	0,09	27	0,33	32	0,33	5	0,46	110,46	10,5318
Q_{GHX}	3	0,00	27,9	0,33	32	0,33	4,1	0,46	14,30	1,6418
Q_{CH_GEN}					75				116,28	5,3298
Q_{irr}									21,00	0,1712

Όπου η θερμορροή της ακτινοβολίας Q_{irr} υπολογίστηκε από διαφορετικό τύπο:

$$Q_{irr} = A_c I_{rr}, \quad \text{με } A_c = 94,5.$$

Για τους βαθμούς απόδοσης, απομονώθηκε ο αριθμητής και ο παρανομαστής όπως φαίνεται στον πίνακα 5.3.2.

Πίνακας 5.3.2 Αξιολόγηση Βαθμών Απόδοσης με δεδομένο μετρητικό σύστημα

Θέση	Βαθμοί Απόδοσης	Q_{arith}	δQ_{arith} h	Q_{para} n	δQ_{para} r	COP ή / η	δCOP / δη
Ηλιακών	η_{coll}	69,766	3,5253	21	0,171	3,32222	0,170045
	η_{sol}	69,766	2,5025	21	0,171	3,32222	0,122209
	η_{UTES}	69,766	5,3481	69,766	2,502	1	0,084635
Αντλίας Θερμότητας	COP_{HP_HEAT}	21,802	2,0708	43,604	2,932	0,5	0,058188
	COP_{HP_COOL}	21,802	2,0708	43,604	2,932	0,5	0,058188
Ψύκτη	COP_{CH_TH}	21,802	2,0782	116,27	5,329	0,1875	0,019831
	COP_{CH_EL}	21,802	2,0782	2,3	0,021	9,47916	0,907816

Θέρμανσης	Q_{HEAT}	114,82	3,3288			114,824	3,328839
	SF_{HEAT}	93,022	3,5668	21,802	2,126	4,26666	0,447246
	COP_{EL_HEAT}	21,802	2,1269	74,505	3,121	0,29262	0,031069
Ψύξης	Q_{COOL}	65,406	2,6392			65,4062	2,639292
	SF_{COOL}	21,802	2,0782	21,802	2,126	1	0,136396
	COP_{EL_COOL}	21,802	2,1269	289,38	16,27	0,07533	0,008483
Συνολικοί	COP_{EL}	43,604 17	4,2539 72	289,38 68	16,27 18	0,15067	0,016966
	SF	12107, 046	513,46			12107,2 046	513,4622 223

Πιο συγκεκριμένα, υπολογίστηκαν οι τιμές για τον κάθε αριθμητή καθώς και η αβεβαιότητα του.

Η αντίστοιχη διαδικασία έγινε και με τους παρανομαστές.

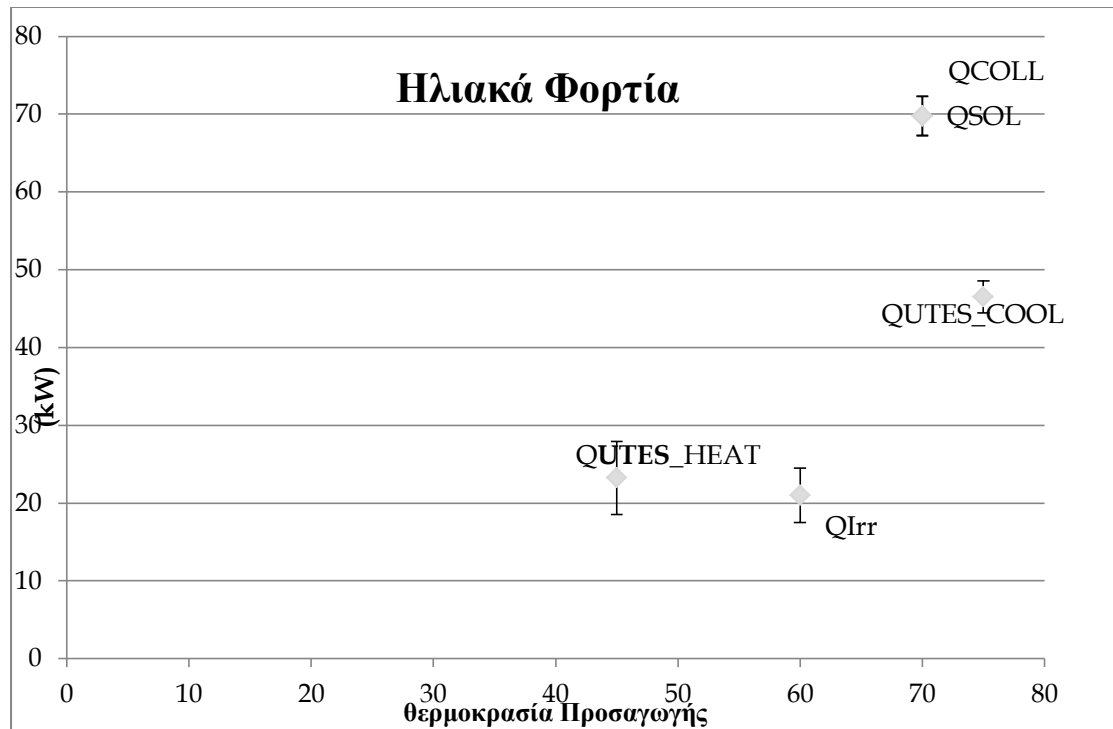
Τέλος, στις δύο τελευταίες στήλες προκύπτουν οι εκάστοτε βαθμοί απόδοσης (αριθμητής/παρανομαστής), ενώ με τη σχέση (4.6.3) υπολογίζονται και οι αντίστοιχες αβεβαιότητες.

Με σκοπό την οπτικοποίηση της ανάγκης βαθμονόμησης των οργάνων, σχεδιάστηκαν διαγράμματα της ισχύος με τις αβεβαιότητές τους και τις θερμοκρασίες των αντίστοιχων ρευμάτων.

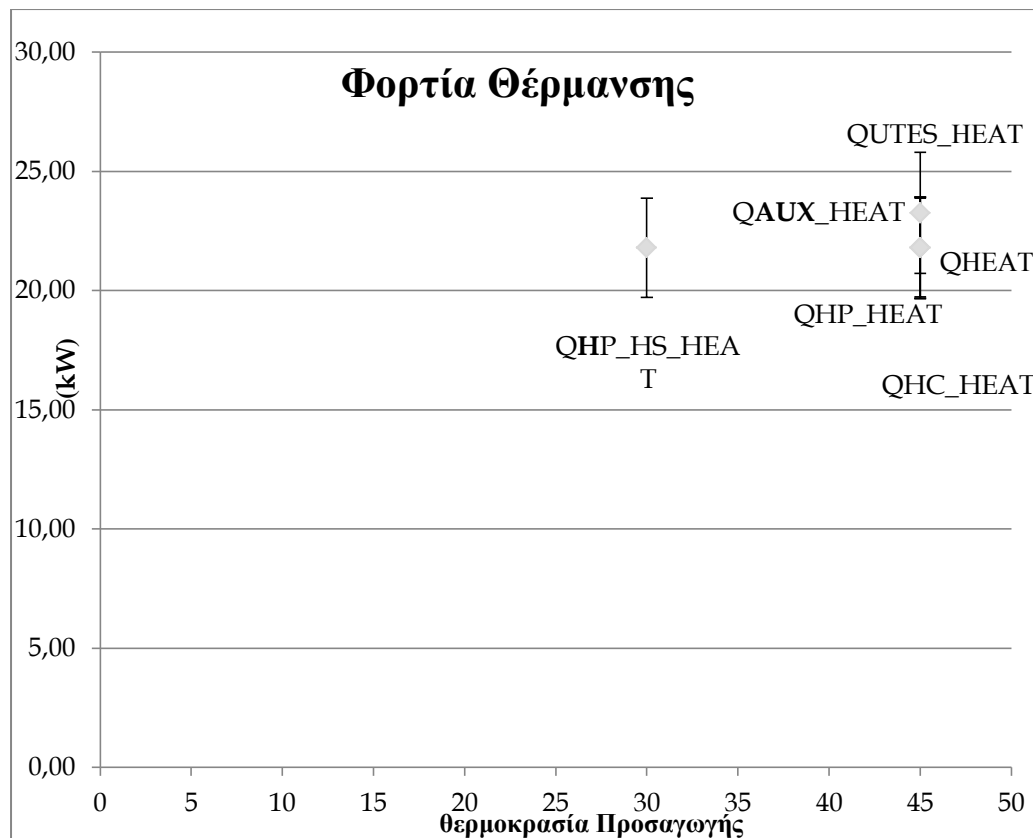
Οι αβεβαιότητες προέρχονται από τον πίνακα 5.3.1 με τις θερμικές ισχύς, καθώς και οι θερμοκρασίες των ρευμάτων. (T_2)

Για να διαφοροποιηθούν οι διάφορες θερμορροές, χωρίζονται σε 3 κατηγορίες:

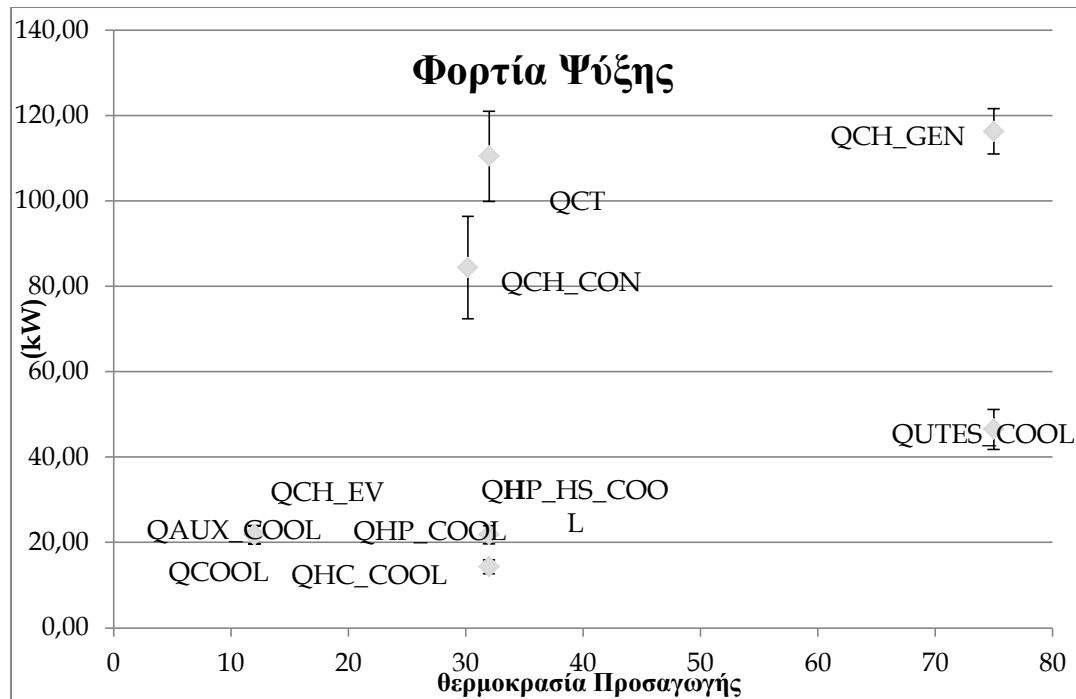
- Ηλιακά Φορτία (Εικόνα 5.3.3)
- Φορτία Θέρμανσης (Εικόνα 5.3.4)
- Φορτία Ψύξης (Εικόνα 5.3.5)



Εικόνα 5.3.3 Ηλιακά Φορτία και οι Αβεβαιότητες



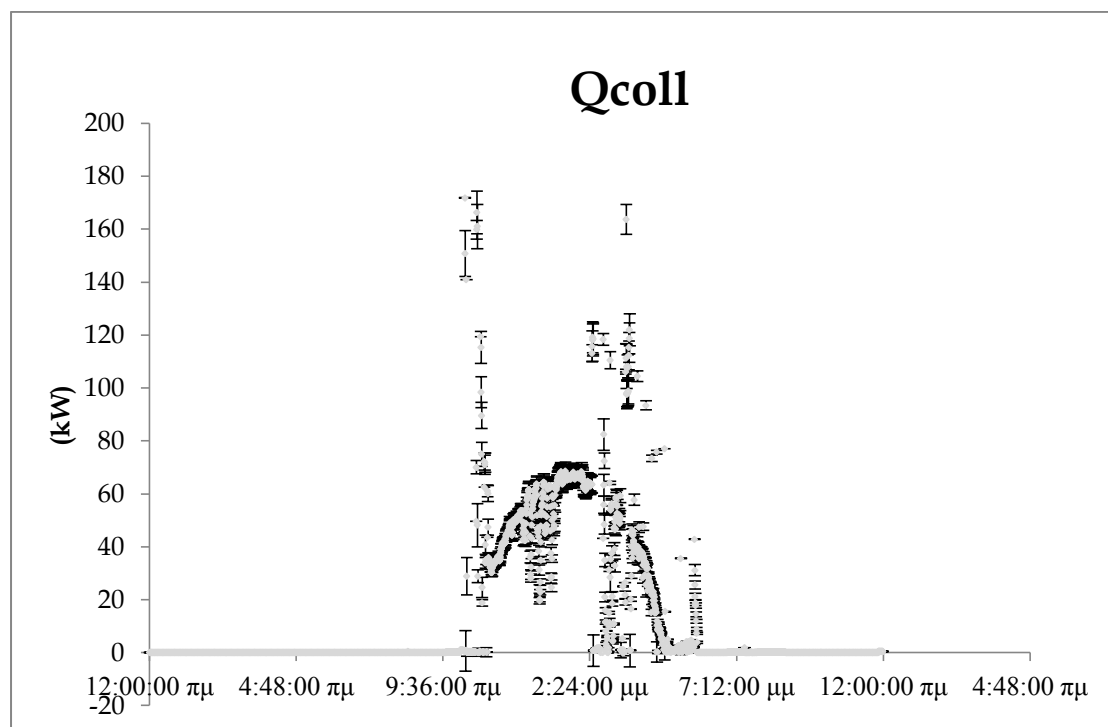
Εικόνα 5.3.4 Φορτία Θέρμανσης και οι Αβεβαιότητες



Εικόνα 5.3.5 Φορτία Ψύξης και οι Αβεβαιότητες

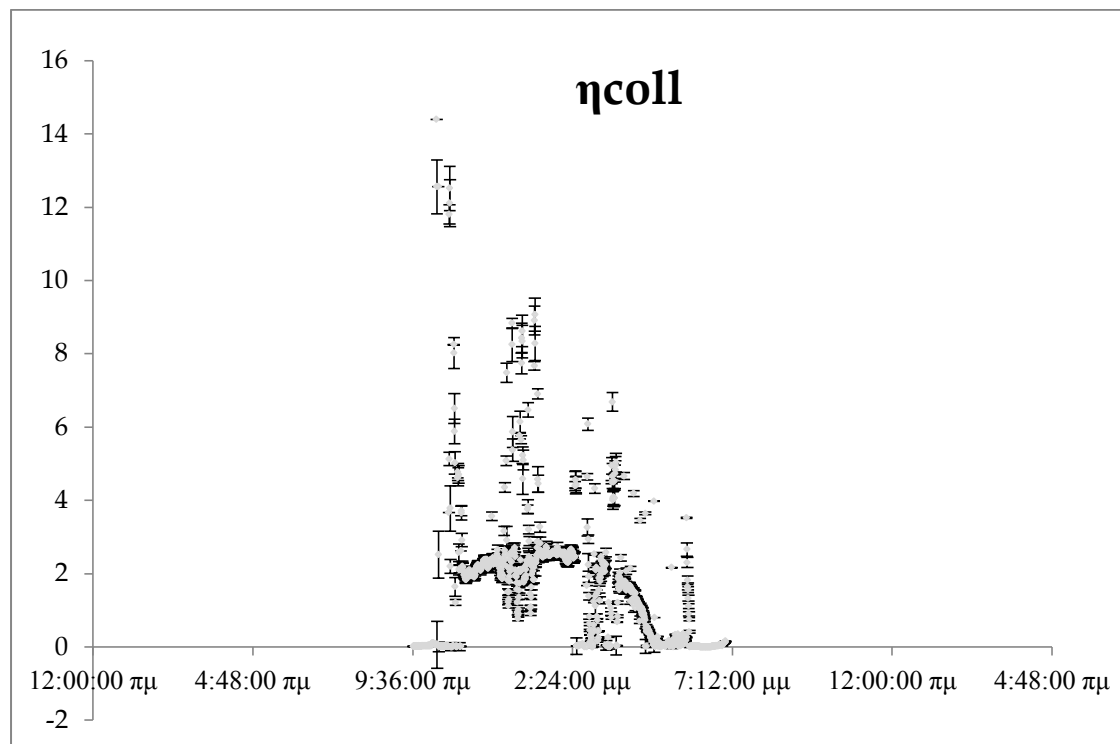
Το επόμενο διάγραμμα απεικονίζει τις θερμικές απολαβές του συλλέκτη σε μια πραγματική μέρα λειτουργίας, σύμφωνα με τα όργανα μέτρησης της εγκατάστασης πριν την βαθμονόμηση. (Εικόνα 5.3.6)

Περιλαμβάνει τις μετρούμενες τιμές και τις αβεβαιότητες τους για κάθε χρονικά μετρούμενη στιγμή (οριζόντιος άξονας)



Εικόνα 5.3.6 Θερμικές Απολαβές Συλλέκτη συναρτήσει ώρας

Παράλληλα για τις θερμικές απολαβές του συλλέκτη παρουσιάζεται και ο αντίστοιχος βαθμός απόδοσης (με τις αβεβαιότητες). (εικ. 5.3.7)

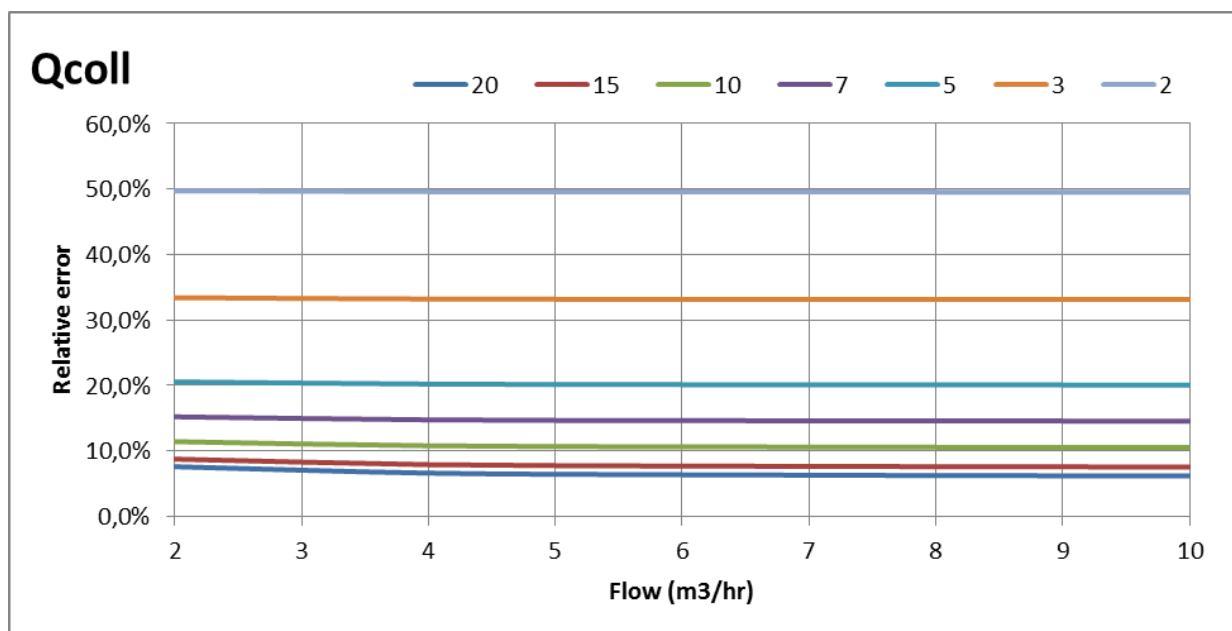


Εικόνα 5.3.7 Βαθμός Απόδοσης Ηλιακού Συλλέκτη συναρτήσει ώρας

Στα παραπάνω διαγράμματα φαίνεται η ανάγκη για βαθμονόμηση των οργάνων, όσον αφορά όχι τόσο την άμεση καταμέτρηση ενδείξεων θερμοκρασίας και παροχών, αλλά τον υπολογισμό ισχύος και βαθμών αποδόσεως, που όπως φαίνεται υπεισέρχονται μεγάλης αβεβαιότητας.

Ένα πολύ σημαντικό εργαλείο αξιολόγησης είναι το σχετικό σφάλμα, το οποίο όπως είναι λογικό μεγαλώνει σημαντικά καθώς οι μετρούμενες τιμές της θερμοκρασίας μειώνονται.

Για να απεικονιστεί γραφικά, χρησιμοποιήθηκε για καλύτερη σύγκριση αποτελεσμάτων η θερμοροή των θερμικών απολαβών συλλέκτη.



Εικόνα 5.3.6 Σχετικό Σφάλμα στις διάφορες τιμές του Q_{coll} .

Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα, οι σχετικά πιο μικρές τιμές διαφοράς θερμοκρασιών των 7, 5, 3, 2, παρουσιάζουν σαφέστατα μεγαλύτερο σχετικό σφάλμα. Ενώ μάλιστα για την ακραία, αλλά ρεαλιστική, τιμή των $\Delta T = 2$ °C, παρατηρούμε σχετικό σφάλμα $\varepsilon = 50\%$!

6. Βαθμονόμηση των Οργάνων

Σε αυτό το κεφάλαιο, παρουσιάζονται εκτενώς οι δύο τρόποι βαθμονόμησης που εφαρμόστηκαν στο μετρητικό σύστημα της εγκατάστασης.

Ο συνδυασμός και μόνο των δύο μεθόδων επέτρεψε στο να εμφανιστούν τα επιθυμητά αποτελέσματα και στην μείωση της αβεβαιότητας του συστήματος.

Αρχικά το πρώτο μέρος αφορά την in line βαθμονόμηση. Πιο συγκεκριμένα, οι μετρήσεις που θα γίνονται θα περιλαμβάνουν :

- Το αισθητήριο που είναι υπεύθυνο για την μετατροπή της θερμοκρασίας σε αναλογικό σήμα,
- Την κάρτα που μεταφέρει και μετατρέπει το σήμα απο αναλογικό σε ψηφιακό, και
- Τον υπολογιστή, μέσω του οποίου παρατηρούνται οι μετρήσεις

Όπως παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο 5, οι αβεβαιότητες είναι πολύ μεγάλες και μπορούν να διαστρεβλώσουν κατά πολύ τις τελικές μετρήσεις.

Σε αυτό το σημείο είναι απαραίτητη η ανάγκη απομόνωσης των επιμέρους συσκευών που αναφέρθηκαν παραπάνω ώστε να έχουμε καλύτερη εικόνα του εξοπλισμού.

Μάλιστα στο δεύτερο μέρος αυτού του κεφαλαίου, θα γίνει βαθμονόμηση των καρτών του δικτύου με ένα πρότυπο όργανο μέτρησης.

Παράλληλα, γνωρίζουμε οτι ο υπολογιστής ο οποίος εμφανίζει και επεξεργάζεται τις μετρήσεις φέρει εως και καθόλου ευθύνη για την αβεβαιότητα της μέτρησης.

Έτσι καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως η ακόλουθη διαδικασία είναι ένας επιτυχημένος τρόπος βαθμονόμησης του μετρητικού συστήματος στο σύνολο.

6.1. Προεργασία Βαθμονόμησης

Έχοντας κάνει αξιολόγηση του μετρητικού συστήματος, διακρίνεται η ανάγκη για βαθμονόμηση των οργάνων μέτρησης θερμοκρασιών.

Πιο συγκεκριμένα τα όργανα που θα βαθμονομηθούν είναι 28:

T1, T2a, T2b, ..., T24, T25a, T25b, T26 ,

και αφορούν την μέτρηση των θερμοκρασιών ολόκληρης της εγκατάστασης.

Επόμενο βήμα θα ήταν φυσικά ο τρόπος βαθμονόμησης.

Στην προκειμένη παρατηρήθηκε ότι τα 28 όργανα ήταν μόνο 2 ειδών.

Πρόκειται για 23 όργανα τύπου TA3131 (εικ. 6.1.1) και 5 τύπου TS2251 (εικ. 6.1.2).



Εικόνα 6.1.1 Αισθητήριο Τύπου TA3131



Εικόνα 6.1.2 Αισθητήριο Τύπου TS2251

Με αφορμή αυτό το γεγονός, αποφασίστηκε να γίνει βαθμονόμηση εσωτερικά μεταξύ των θερμομέτρων.

Όταν ένα εργοστάσιο παράγει π.χ. 100 TA3131, τα αποτελέσματα που θα δίνουν αυτά σε μετρήσεις, θα ακολουθούν μια κατανομή, καθώς όπως είναι φυσικό δεν γίνεται να έχουν ακριβώς το ίδιο αξιόπιστα αποτελέσματα.

Εάν μπορούσαμε λοιπόν να πάρουμε τις ίδιες μετρήσεις με πολλά ίδια θερμομέτρα, υπολογίζοντας τον μέσο όρο, θα παίρναμε μια τιμή όσο πιο κοντά γίνεται στην πραγματική τιμή, με βάση την οποία θα μπορούσαμε να βαθμονομήσουμε τελικά τα όργανα.

6.2. Διαδικασία Βαθμονόμησης in line

Οι θερμοκρασίες που μετρήθηκαν τα θερμομέτρα ήταν:

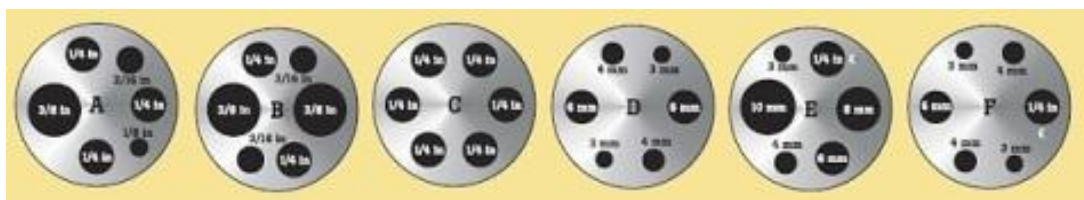
10, 30, 45, 70, 90 για τα TA3131 , και

20, 40, 60, 70, 90 για τα TS2251 .

Για να δημιουργήσουμε αυτές τις θερμοκρασίες, χρησιμοποιήθηκε το **Fluke 9142 Field Metrology Well**. (εικ. 6.2.1)



Εικόνα 6.2.1 Fluke 9142



Εικόνα 6.2.2 Κυλινδρικές Κεφαλές Εισαγωγής του Fluke 9142

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν η εξής:

Αρχικά το Fluke 9142 ρυθμιζόταν στην πρώτη θερμοκρασία, ενώ παράλληλα μέσω του υπάρχοντος συστήματος παρακολούθησης της εγκατάστασης για το εισαγόμενο θερμόμετρο, γινόταν καταγραφή των θερμοκρασιών ΑΦΟΥ είχε πρώτα ισορροπησει.

Αυτή η διαδικασία εκτιμήθηκε περίπου 15-20 λεπτά.

Είναι πολύ σημαντικό εδώ να παρατηρηθεί πως με αυτή τη μέθοδο θα συνυπολογιστεί και άρα βαθμονομηθεί ο μετατροπέας Analog/Digital, η αντίστοιχη κάρτα του συστήματος καθώς και οι ενδιάμεσες καλωδιώσεις, πράγμα χρήσιμο για την καλή λειτουργία της εγκατάστασης.



Εικόνα 6.2.3 Το Fluke 9142 σε λειτουργία κατά τη διαδικασία της βαθμονόμησης

Στην εικόνα 6.2.3 απεικονίζεται το Fluke 9142 με το TA3131 θέσεως T18, κοντά στην θερμοκρασία των 45 βαθμών Κελσίου.

Ενδεικτικά παρουσιάζω σε αυτό το σημείο τις διάφορες τιμές (10 μετρήσεις σε κάθε θερμοκρασία) που μετρήθηκαν για το T18 στις επιλεγμένες θερμοκρασίες, με τον μέσο όρο καθώς και τις τυπικές αποκλίσεις τους. (πιν. 6.2.1)

Πίνακας 6.2.1 Καταγεγραμμένες Μετρήσεις του αισθητηρίου T18

Temp18	10	30	45	70	90
1	11,70	29,65	43,20	66,25	84,75
2	11,75	29,65	43,25	66,15	84,80
3	11,70	29,60	43,25	66,30	84,70
4	11,64	29,55	43,20	66,25	84,70
5	11,64	29,65	43,30	66,20	84,80
6	11,75	29,65	43,25	66,25	84,70
7	11,70	29,55	43,25	66,20	84,75
8	11,70	29,65	43,25	66,25	84,80
9	11,64	29,60	43,30	66,15	84,75
10	11,64	29,65	43,30	66,25	84,75
Μέσος Όρος	11,69	29,62	43,26	66,23	84,75
Τυπ. Απόκλ.	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04

Όπως είναι φυσικό το ίδιο ακολουθήθηκε για τις υπόλοιπες θερμοκρασίες, και έτσι έγινε η καταγραφή των μετρήσεων για το κάθε όργανο μέτρησης.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι τελικές μετρήσεις, όπου ουσιαστικά περιλαμβάνονται ο μέσος όρος κάθε αισθητηρίου για κάθε θερμοκρασία.

(πιν. 6.2.2)

Πίνακας 6.2.2 Εκτιμώμενες Πραγματικές Τιμές

Position	NAME	10	30	45	70	90
Solar Field	T1	12,07	30,32	44,12	66,82	84,69
	T2a	11,93	29,68	43,36	66,45	84,93
	T2b	12,09	30,38	44,11	66,83	84,84
Control Room	T3	11,47	29,50	43,19	66,25	84,86

	T4	11,24	29,15	42,89	65,66	84,46
	T5	11,93	30,34	44,24	67,16	85,17
	T6	11,26	29,45	43,35	66,40	84,43
	T7	11,52	29,93	43,85	67,14	85,90
	T8	12,03	30,34	44,24	67,14	85,08
	T9	11,69	29,69	43,50	66,57	85,20
	T10	12,00	30,19	43,95	66,68	84,85
	T11	11,47	29,58	43,27	66,41	85,04
	T12	12,14	30,45	44,19	66,65	85,02
	T13	11,41	29,87	43,68	66,75	84,90
	T14	11,66	29,70	43,55	66,76	85,69
	T15	11,47	29,58	43,27	66,41	85,04
	T16	11,78	29,87	43,67	66,79	85,39
	T17	11,37	29,27	42,98	66,09	84,69
	T18	11,69	29,62	43,26	66,23	84,75
	T19	11,72	30,19	43,99	67,02	85,15
Building 3	T25a	12,15	30,02	43,74	66,87	85,40
	T25b	11,80	29,98	44,29	66,85	85,35
	T26	11,24	29,16	43,09	66,47	85,19
Average	Tall	11,70	29,83	43,64	66,62	85,04

Στα παραπάνω υπολογίζεται και η εκτίμηση της πραγματικής τιμής, και ορίζεται ως ο μέσος όρος όλων των θερμομέτρων σε κάθε θερμοκρασία.

Έχοντας σχηματίσει πλέον τις εκτιμήσεις για τις πραγματικές τιμές, με μια αφαίρεση {πραγματική τιμή-μετρούμενη τιμή} μπορούμε να υπολογίσουμε τις αποκλίσεις του κάθε οργάνου. (πιν. 6.2.3)

Πίνακας 6.2.3 Αποκλίσεις των οργάνων από Πραγματικές Τιμές

Position	NAME	10	30	45	70	90
Solar Field	T1	-0,37	-0,48	-0,48	-0,20	0,35
	T2a	-0,23	0,16	0,29	0,17	0,11
	T2b	-0,39	-0,54	-0,46	-0,20	0,20
Control Room	T3	0,23	0,34	0,46	0,37	0,19
	T4	0,46	0,68	0,76	0,97	0,58
	T5	-0,23	-0,51	-0,59	-0,53	-0,13
	T6	0,44	0,38	0,29	0,23	0,62
	T7	0,18	-0,09	-0,21	-0,52	-0,86
	T8	-0,33	-0,50	-0,60	-0,52	-0,04
	T9	0,01	0,15	0,14	0,05	-0,16
	T10	-0,30	-0,35	-0,30	-0,06	0,19
	T11	0,23	0,26	0,37	0,22	0,01
	T12	-0,44	-0,62	-0,55	-0,02	0,02
	T13	0,29	-0,04	-0,03	-0,12	0,14
	T14	0,04	0,14	0,09	-0,13	-0,64
	T15	0,23	0,26	0,37	0,22	0,01
	T16	-0,08	-0,03	-0,02	-0,16	-0,34
	T17	0,33	0,57	0,66	0,53	0,36
T18	0,01	0,21	0,39	0,40	0,29	
T19	-0,02	-0,35	-0,34	-0,40	-0,10	
Building 3	T25a	-0,45	-0,18	-0,09	-0,25	-0,36
	T25b	-0,10	-0,15	-0,65	-0,22	-0,31
	T26	0,46	0,68	0,55	0,15	-0,14

Ενώ για τα όργανα μέτρησης θερμοκρασίας TS2251 επειδή τα θερμόμετρα ήταν μόλις 5, πραγματική τιμή θεωρήθηκε η τιμή που έδειχνε κάθε φορά το Fluke 9142.

(πιν. 6.2.4, 6.2.5)

Πίνακας 6.2.4 Μετρούμενες Τιμές Αισθητηρίων Δεξαμενής

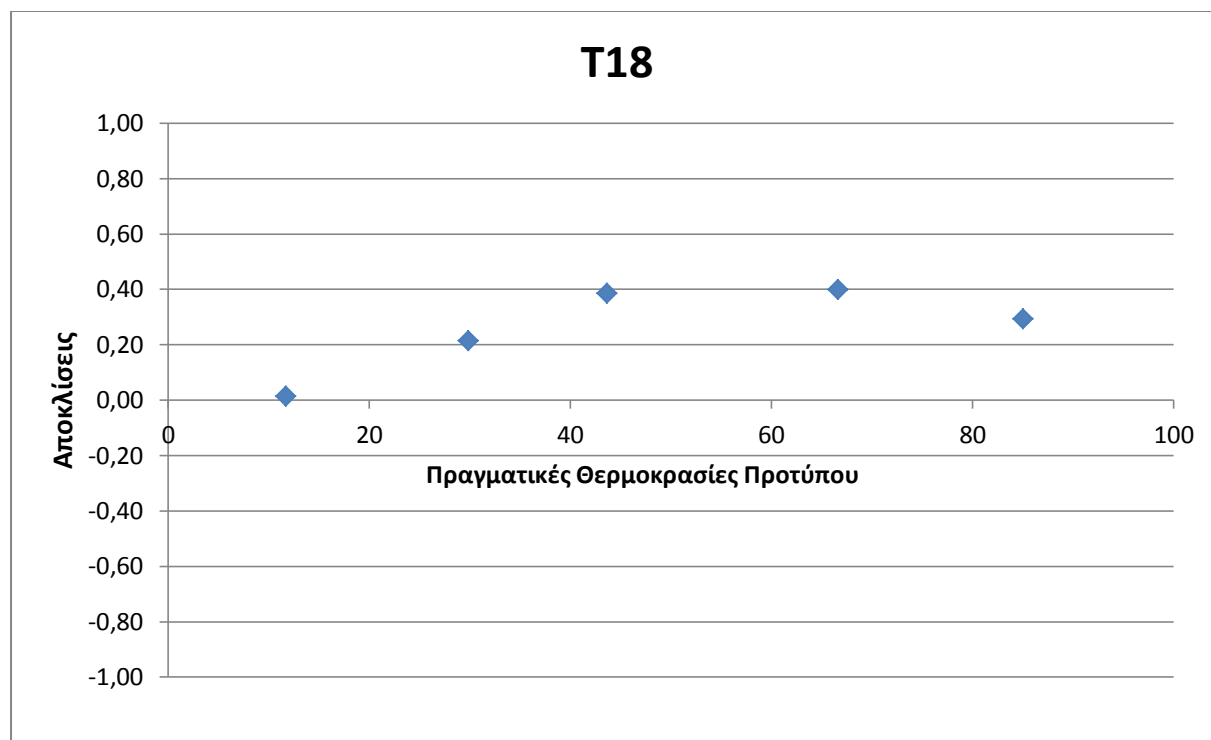
Position	Well	20	40	60	70	90
Tank	T20	21,66	41,79	61,78	71,88	91,97
	T21	22,10	41,90	61,48	71,62	91,52
	T22	21,74	41,59	61,48	71,46	91,30
	T23	22,13	42,22	61,96	71,88	91,83
	T24	22,13	42,22	61,96	71,88	91,83

Πίνακας 6.2.5 Αποκλίσεις Αισθητηρίων Δεξαμενής από Πραγματική Τιμή

Position	Well	20	40	60	70	90
Tank	T20	-1,66	-1,79	-1,78	-1,88	-1,97
	T21	-2,10	-1,90	-1,48	-1,62	-1,52
	T22	-1,74	-1,59	-1,48	-1,46	-1,30
	T23	-2,13	-2,22	-1,96	-1,88	-1,83
	T24	-2,13	-2,22	-1,96	-1,88	-1,83

Για να οπτικοποιήσουμε τις αποκλίσεις στα όργανα, δημιουργήθηκαν τα παρακάτω διαγράμματα για κάθε ένα από τα θερμόμετρα. Στον οριζόντιο άξονα παρουσιάζονται οι θερμοκρασίες του Well, Fluke 9142, ενώ στον κάθετο άξονα οι αποκλίσεις του αντίστοιχου θερμομέτρου.

Ενδεικτικά για το θερμόμετρο T18:



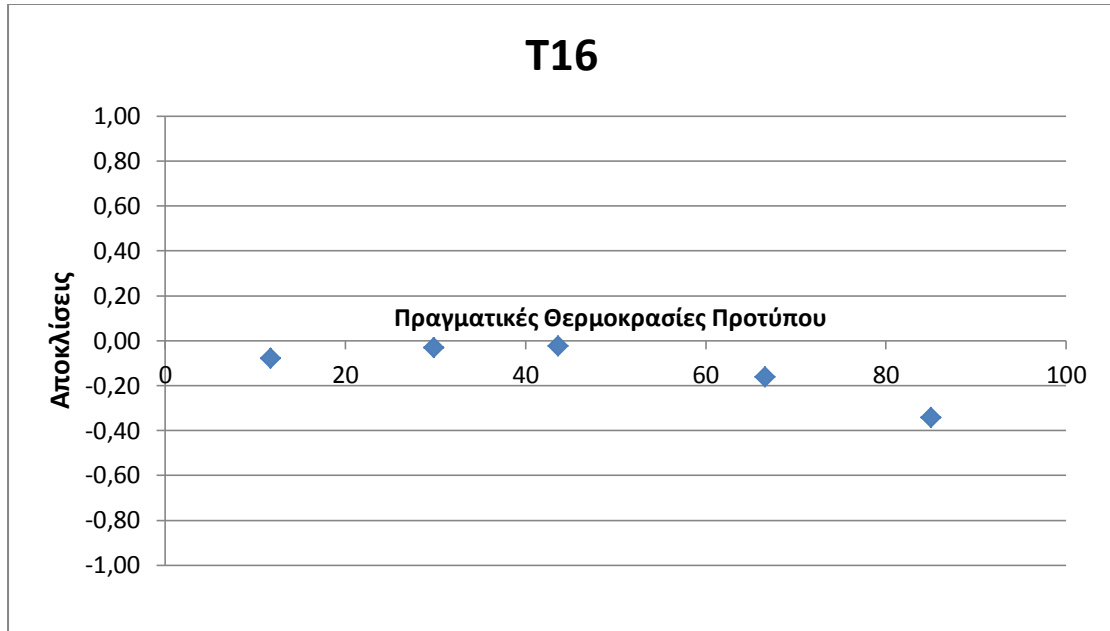
Εικόνα 6.2.4 Γραφική Απεικόνιση Αποκλίσεων Αισθητηρίου T18

Παρατηρείται σημαντική απόκλιση στο εύρος τιμών 40-80, το οποίο όμως είναι αποδεκτό από τον κατασκευαστή, πράγμα το οποίο επιβεβαιώνει την σωστή διαδικασία της βαθμονόμησης.

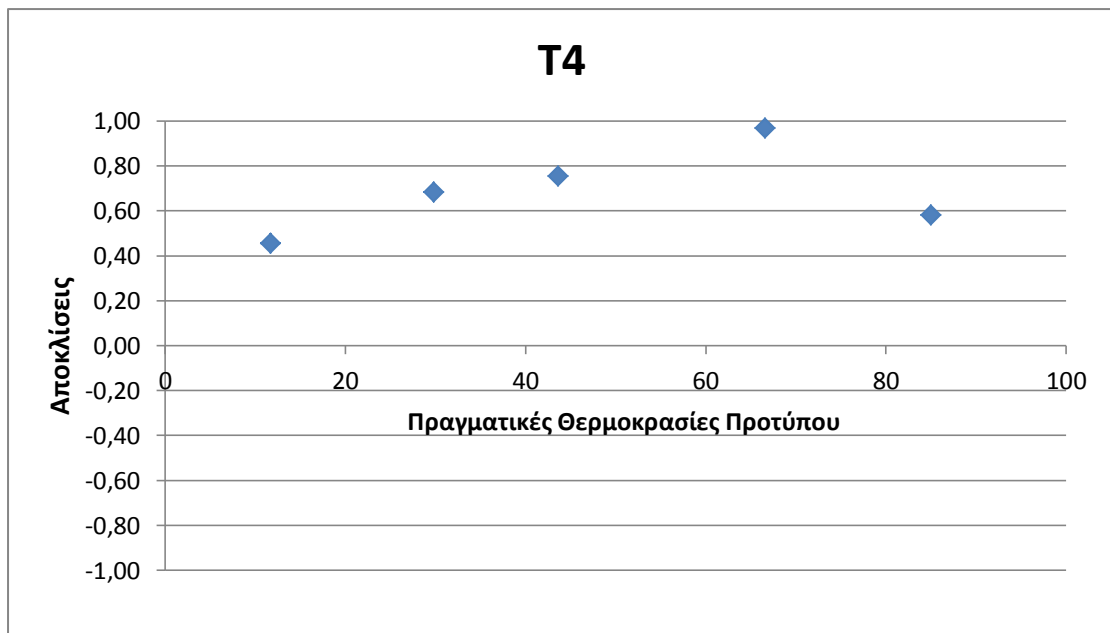
Σε αυτό το σημείο υπενθυμίζω πως το σφάλμα που δίνει ο κατασκευαστής μόνο για το αισθητήριο και τον μετατροπέα είναι 0,4 .

Όπως είπαμε όμως αυτή η διαδικασία περιλαμβάνει τα σφάλματα και του υπόλοιπου συστήματος, γεγονός το οποίο δικαιολογεί ακόμα και σφάλμα 1 μονάδας.

Παρουσιάζονται επίσης και δυο ακόμα διαγράμματα αντιπροσωπευτικά για μικρές (εικ. 6.2.5) και μεγάλες (εικ. 6.2.6) αποκλίσεις αντίστοιχα. Μάλιστα το T4 εμφάνισε τις μεγαλύτερες απο.κλίσεις



Εικόνα 6.2.5 Γραφική Απεικόνιση Αποκλίσεων Αισθητηρίου T16

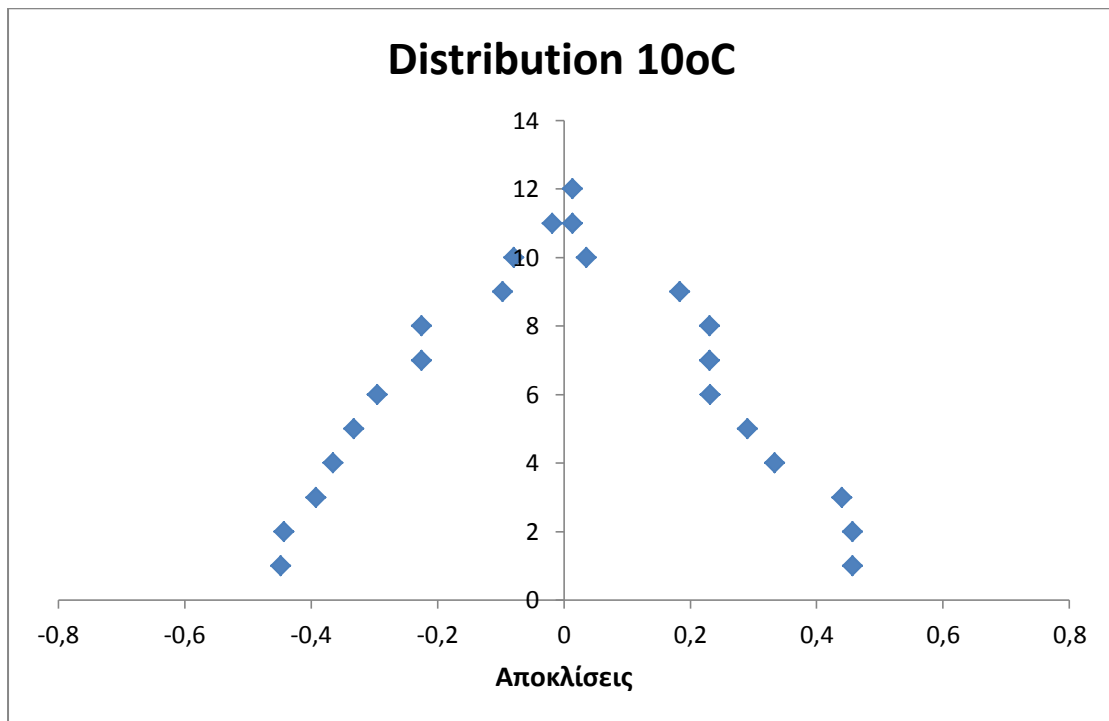


Εικόνα 6.2.6 Γραφική Απεικόνιση Αποκλίσεων Αισθητηρίου T4

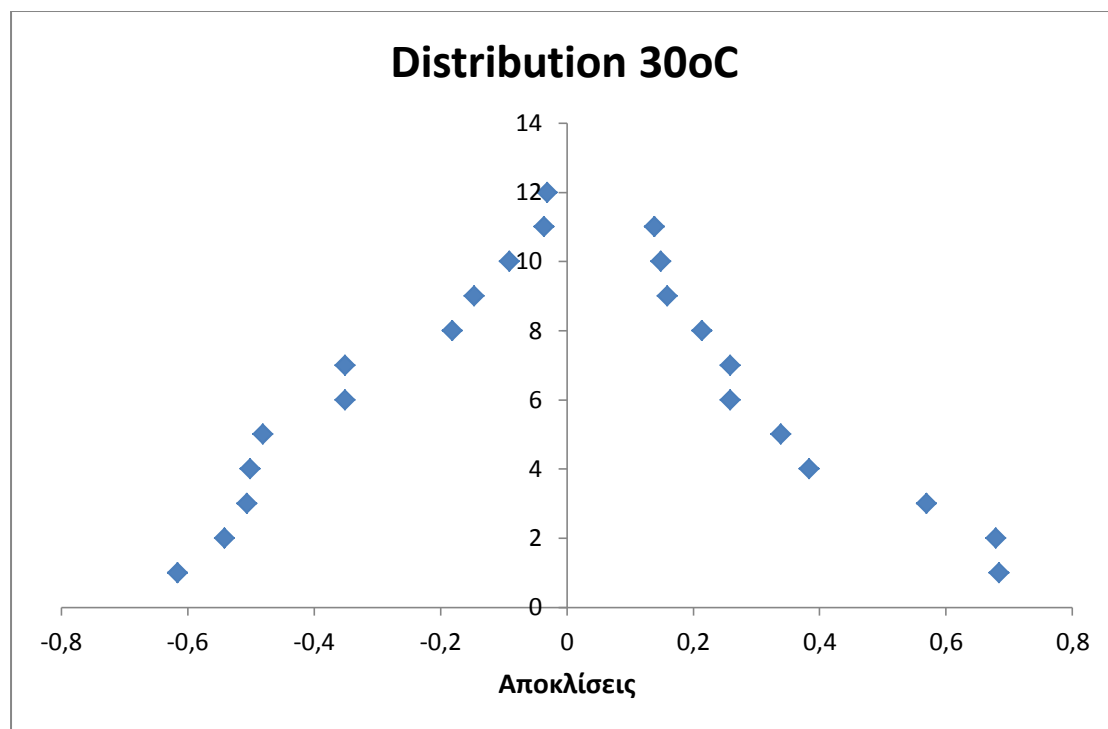
6.3. Κατανομές Μετρούμενων Τιμών

Στο θέμα της παραγωγής των οργάνων, θίξαμε προηγουμένως την συμβολή της κατανομής που παρουσιάζουν οι μετρούμενες τιμές στην βαθμονόμηση.

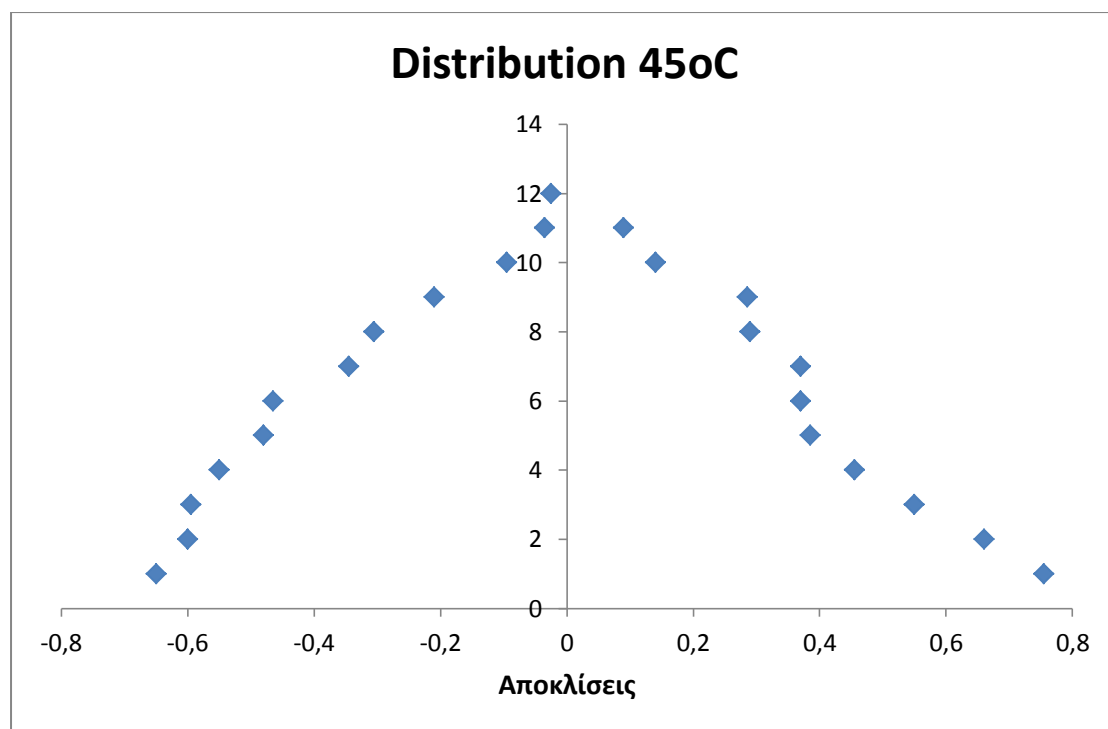
Στα επόμενα διαγράμματα παρουσιάζονται οι κατανομές που παρουσιάζουν οι μετρούμενες τιμές, μέσα από το δείγμα των 25 θερμομέτρων τύπου TA3131, για κάθε μία από τις θερμοκρασίες.



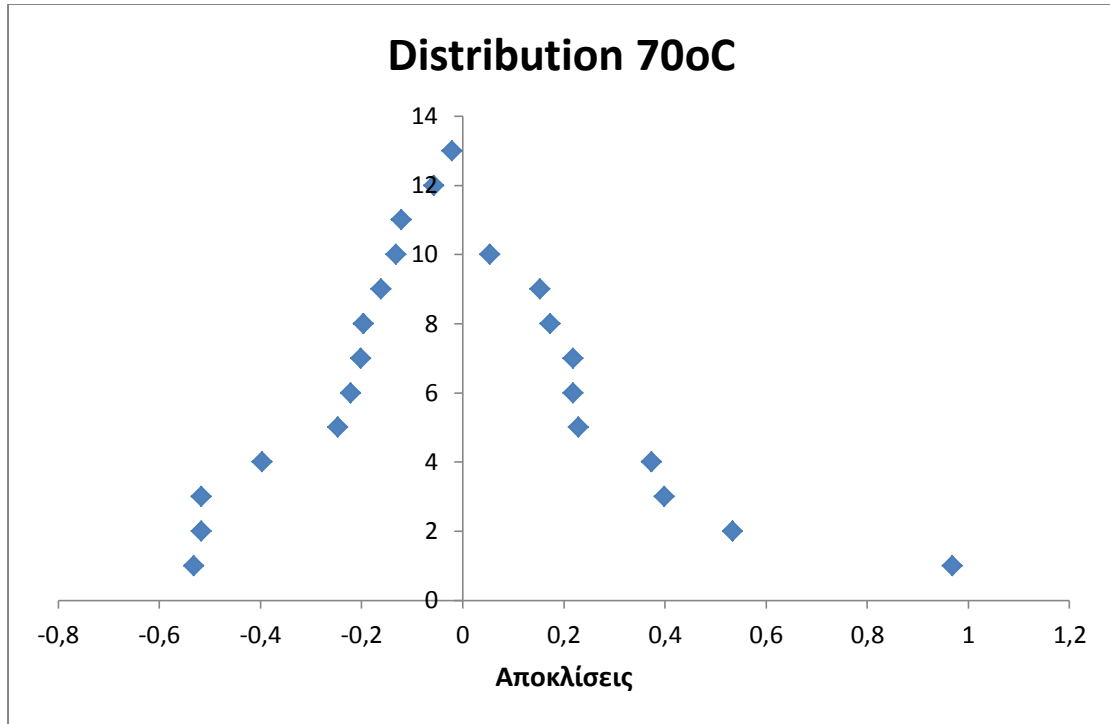
Εικόνα 6.3.1 Γραφική Απεικόνιση Κατανομής Τιμών στους 10 βαθμούς



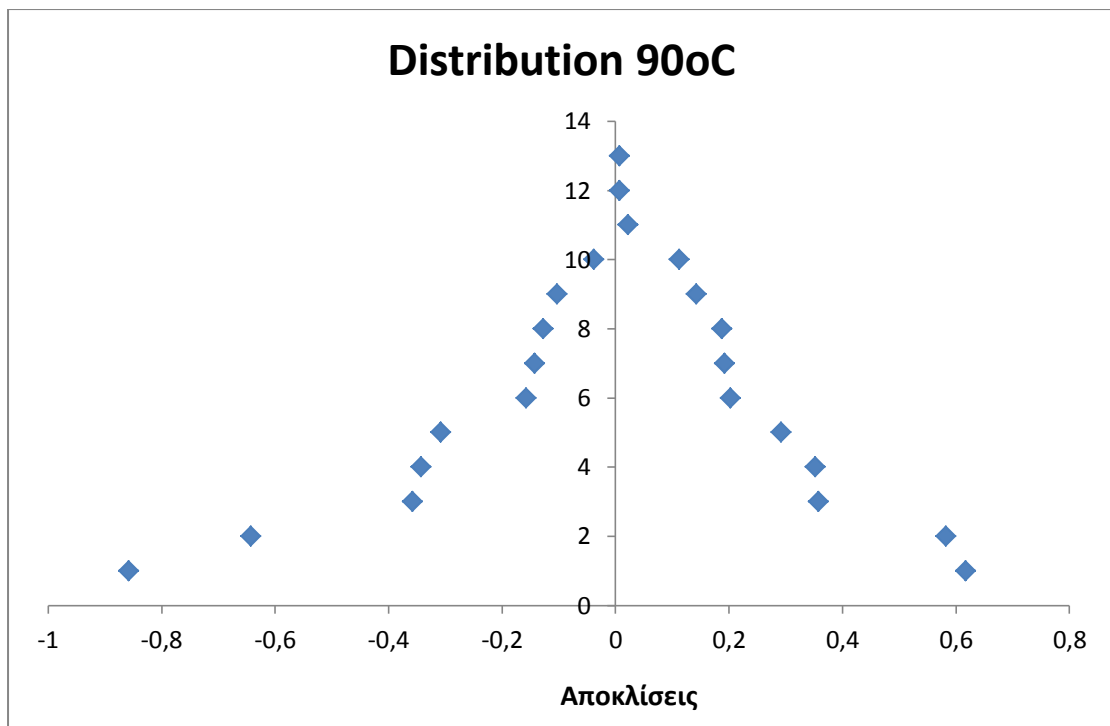
Εικόνα 6.3.2 Γραφική Απεικόνιση Κατανομής Τιμών στους 30 βαθμούς



Εικόνα 6.3.3 Γραφική Απεικόνιση Κατανομής Τιμών στους 45 βαθμούς



Εικόνα 6.3.4 Γραφική Απεικόνιση Κατανομής Τιμών στους 70 βαθμούς



Εικόνα 6.3.5 Γραφική Απεικόνιση Κατανομής Τιμών στους 90 βαθμούς

6.4. Διαδικασία Βαθμονόμησης Α/Ψ Μετατροπέα

Η παρακάτω διαδικασία έγινε με αφορμή τις μεγάλες αβεβαιότητες που παρατηρήθηκαν κατά τη διαδικασία της αξιολόγησης.

Η διαδικασία καλύπτει όλα τα αισθητήρια που καλύφθηκαν σε προηγούμενη ενότητα (6.2), με την διαφορά ότι τώρα θέτουμε την προσοχή μας σε ένα μέρος του μετρητικού συστήματος, αυτό των καρτών.

Ως πρότυπο όργανο μέτρησης χρησιμοποιήθηκε το *Beamex MIC10* που απεικονίζεται παρακάτω. (εικ 6.4.1)



Εικόνα 6.4.1 *Beamex MIC10*

Πιο συγκεκριμένα, δοκιμάστηκαν οι θερμοκρασίες 0-100 °C ανά 10 °C, δηλαδή το πρότυπο έστειλε κάθε φορά ένα σήμα και έπειτα γινόταν έλεγχος να δούμε εάν αυτό που προκύπτει ως τελική μέτρηση, είναι η αντίστοιχη θερμοκρασία.

Η τιμή ρεύματος που αντιστοιχεί στη θερμοκρασία 0°C είναι τα 8 mA ενώ για την θερμοκρασία των 100 °C έχουμε 16mA.

Χωρίζοντάς το σε 10 ίσα κομμάτια, προκύπτει βήμα 0,8mA.

Κάθε φορά λοιπόν που το πρότυπο στένει ένα σήμα με αβεβαιότητα κατασκευαστή ± 0.003 mA, γίνεται έλεγχος στον υπολογιστή της εγκατάστασης για την ένδειξη της θερμοκρασίας.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειώσουμε ότι ο υπολογιστής δεν συνοδεύεται από κάποια αβεβαιότητα, αφού απλά διαβάζει το ψηφιακό σήμα το οποίο μεταφέρει και εμφανίζει στην οθόνη.

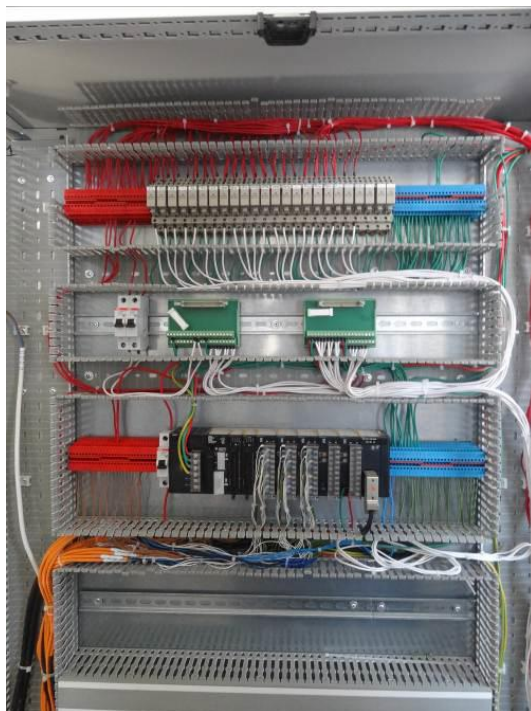
Τα αποτελέσματα που προέκυψαν ήταν πολύ ενθαρυντικά. Ενδεικτικά οι αποκλίσεις που εμφανίστηκαν ήταν της τάξεως του 0,1 με ιδιαίτερη σταθερότητα.

Σε ελάχιστες περιπτώσεις οι αποκλίσεις έφτασαν οριακά την τιμή των 0,25.

Αυτό που αξίζει παρατηρηθεί είναι πως σε σχέση με την προηγούμενη βαθμονόμηση, αυτή έχει πολλά προτερήματα. Πολύ σημαντικό γεγονός είναι ότι η τιμή που πέραμε στον υπολογιστή παραγόταν άμεσα στο έναυσμα του αντίστοιχου ρεύματος.

Δεν χρειάζοταν χρόνος σταθεροποίησης όπως είχαμε στην βαθμονόμηση in line, ενώ σίγουρα δεν επηρεάζεται από ξένους παράγοντες.

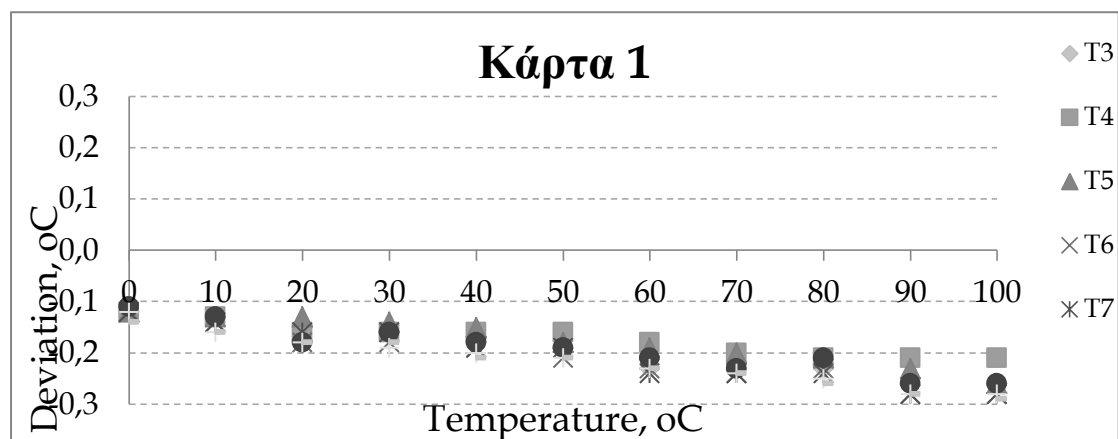
Όλα αυτά συμβάλλουν σε αξιόπιστα αποτελέσματα, στα οποία θα στηριχτεί η νέα αξιολόγηση στο επόμενο κεφάλαιο.



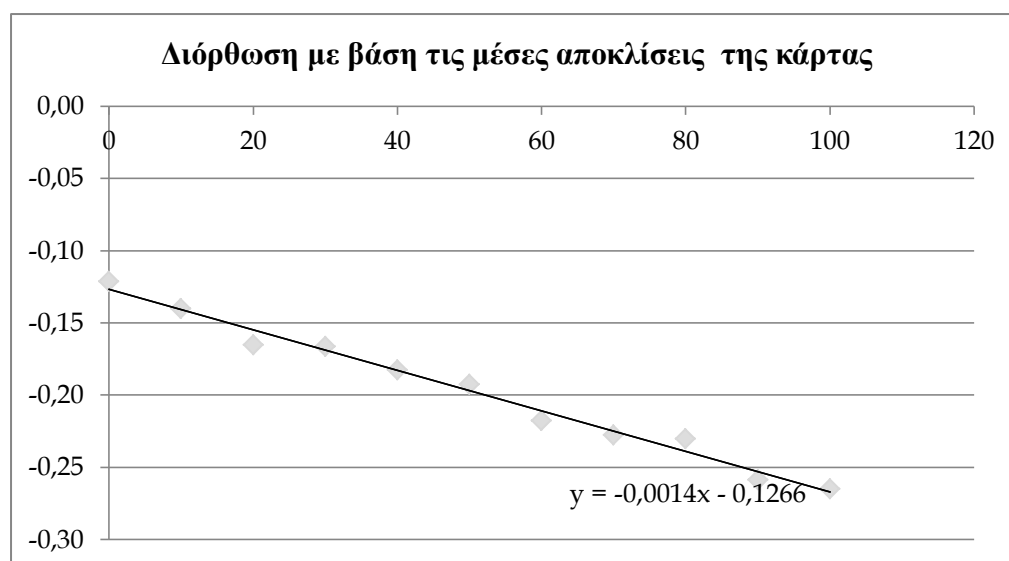
Εικόνα 6.4.2 Πίνακας αυτοματισμού με τις κάρτες προς βαθμονόμηση

Παρακάτω παρουσιάζονται δύο διαγράμματα για την αντιπροσωπευτική Κάρτα 1 στο δωμάτιο ελέγχου.

Το πρώτο οπτικοποιεί τις αποκλίσεις των αντίστοιχων θερμομέτρων σε κάθε μία από τις μετρούμενες τιμές, ενώ το δεύτερο πρόκειται για την αντίστοιχη διόρθωση με βάση την οποία βαθμονομείται η συγκεκριμένη κάρτα.



Εικόνα 6.4.3 Αποκλίσεις της κάρτας 1 σε κάθε θερμοκρασία



Εικόνα 6.4.4 Διόρθωση με βάση τις μέσες αποκλίσεις της κάρτας

Αυτό που σίγουρα αξίζει να αναφερθεί είναι η σταθερότητα που παρουσιάζουν τα αποτελέσματα, δείγμα θετικό τόσο για την σωστή λειτουργία των οργάνων, όσο για την διαδικασία της βαθμονόμησης.

Έχοντας περιγράψει την διαδικασία, ακολουθεί μία σύντομη περιγραφή του πρότυπου οργάνου μέτρησης Beamex MIC10.

Το Beamex MIC10 είναι ένας ιδιαίτερα ακριβές βαθμονομητής ο οποίος αποτελείται από δύο μέρη, το ένα της παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος και το άλλο της μέτρησης του. Τα δύο αυτά τμήματα λειτουργούν ταυτόχρονα, έτσι ώστε με αμεσότητα να

μπορούν να βαθμονομούν το εκάστοτε όργανο. Για την παραγωγή του ηλεκτρικού ρεύματος υπάρχει επιλογή ανάμεσα σε αυτόματη ή χειροκίνητη λειτουργία.

Παράλληλα το ανθεκτικό περίβλημα από αλουμίνιο σε συνδυασμό με την επαναφορτιζόμενη μπαταρία, καθιστούν εφικτή μια περίπτωση λειτουργίας του οργάνου υπο αντίξοες συνθήκες.

Ενδεικτικά παρουσιάζονται κάποια από τα κύρια χαρακτηριστικά και για τα δύο τμήματα λειτουργίας του.

Μετρητική Λειτουργία

Μονάδες Μέτρ.	Εύρος	Ανάλυση	Αβεβαιότητα
mA	-2...22	0,001	$\pm(0.003\text{mA} + 0.015\% \text{RDG})$
V	-1...12	0,001	$\pm(0.002 \text{ V} + 0.015\% \text{RDG})$
V	12-50	0,001	$\pm(0.005 \text{ V} + 0.015\% \text{RDG})$

Παραγωγική Λειτουργία

Μονάδες Μέτρ.	Εύρος	Ανάλυση	Αβεβαιότητα
mA	0-22	0,001	$\pm(0.002 \text{ mA} + 0.015\% \text{RDG})$
V	-1...12	0,001	$\pm(0.0015 \text{ V} + 0.015\% \text{RDG})$

7. Αξιολόγηση βαθμονομημένου συστήματος

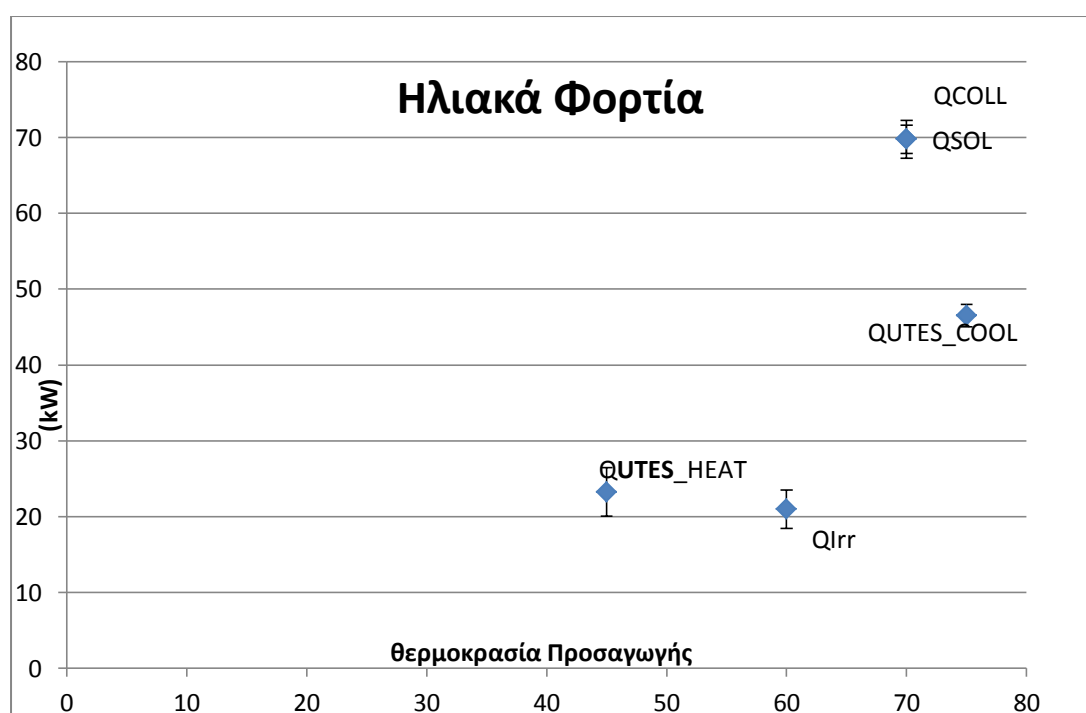
Έχοντας παρουσιάσει ήδη τον εξοπλισμό, σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει αναφορά σε μία νέα αξιολόγηση, όμοια με του κεφαλαίου 5, ώστε να μπορεί να γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων και τελικά να αποδειχθεί αναγκαία η έννοια της βαθμονόμησης.

Πιο συγκεκριμένα, θα παρουσιαστούν συνοπτικά οι θερμοροές και οι αντίστοιχες αβεβαιότητες τους (συγκριτικά διαγράμματα στο κεφάλαιο 5.3) και οι νέες κατανομές που δημιουργούνται σε επίπεδο αξιολόγησης (συγκριτικά διαγράμματα στο κεφάλαιο 5.2).

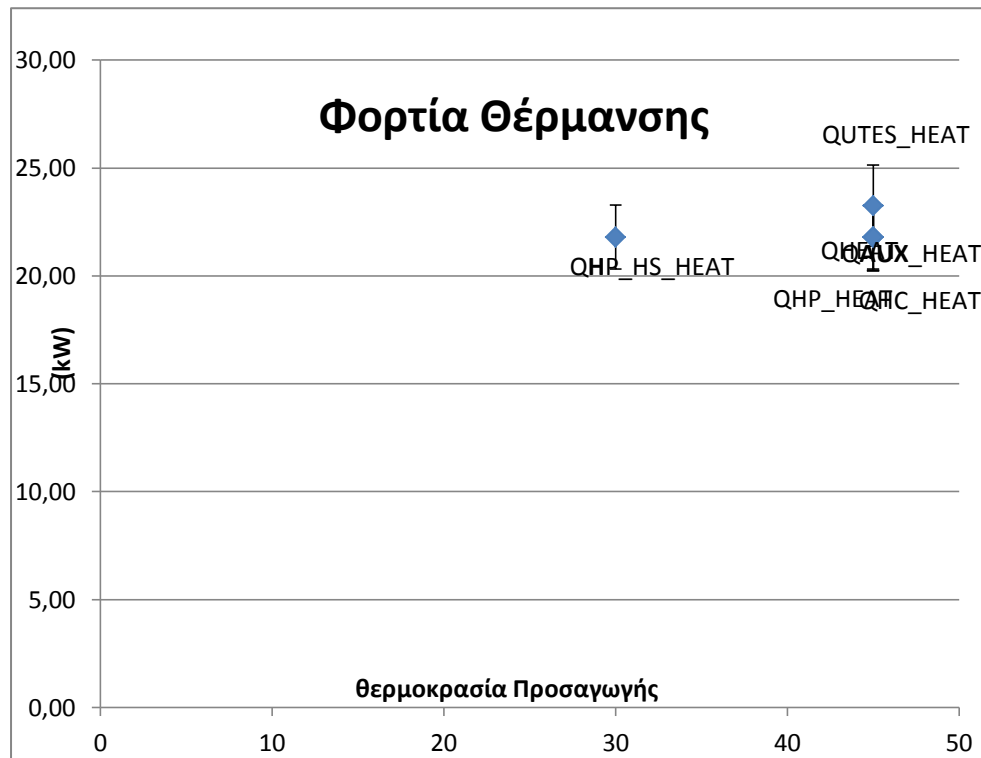
7.1. Θερμοροές και οι Νέες Αβεβαιότητες

Έχοντας πλέον καλύτερη εικόνα του μετρητικού συστήματος, έχουμε καταλήξει σε σχεδόν μηδενική αβεβαιότητα απο πλευράς κάρτας αναλογικού-ψηφιακού σήματος, ενώ το αισθητήριο παρουσιάζει αβεβαιότητα παρόμοια με αυτή που δίνει ο κατασκευαστής.

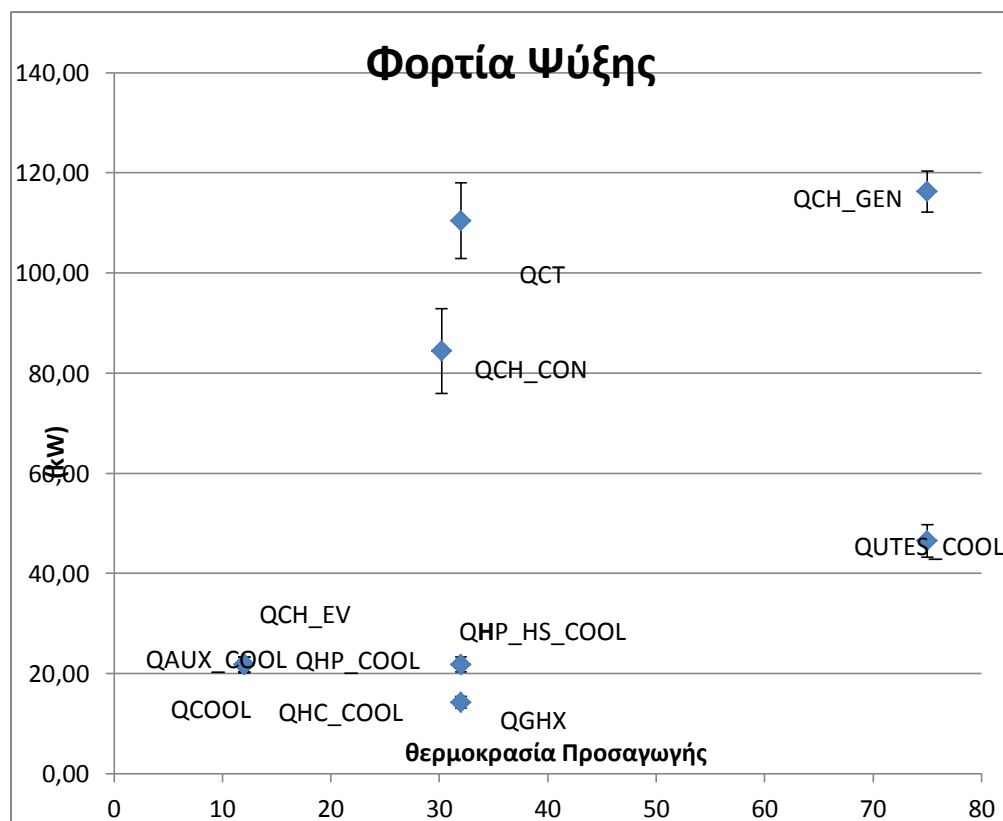
Έχοντας αυτά υπ'οψην, καταλήγουμε σε νέες αβεβαιότητες σε επίπεδο θερμοκρασιών. Όπως εξηγήσαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο, η διαφορά θερμοκρασίας παίζει τον σπουδαιότερο ρόλο στην αβεβαιότητα σε επίπεδο θερμοροής.



Εικόνα 7.1.1 Νέες αβεβαιότητες για τα ηλιακά φορτία



Εικόνα 7.1.1 Νέες αβεβαιότητες για τα φορτία θέρμανσης



Εικόνα 7.1.1 Νέες αβεβαιότητες για τα φορτία ψύξης

Σε άμεση σύγκριση με τις αρχικές τιμές (εικόνες 5.3.3, 5.3.4, 5.3.5) παρατηρούμε μείωση αβεβαιότητας 35%-40%, το οποίο είναι πολύ επιθυμητό αποτέλεσμα, έχοντας κατα νού ότι σχεδόν όλες οι θερμορροές περιλαμβάνουν διαφορά θερμοκρασίας (ΔT) πολυ χαμηλό, της τάξεως 2-5°C. Σε αυτό το σημείο υπενθυμίζω πως όταν πρόκειται για μικρά ΔT , οι αβεβαιότητες παρουσιάζουν τις μέγιστες τιμές τους.

7.2. Νέες Εκτιμώμενες Κατανομές

Καθ' όλη την συγγραφή αυτής της πτυχιακής εργασίας, δόθηκε έμφαση στις κατανομές.

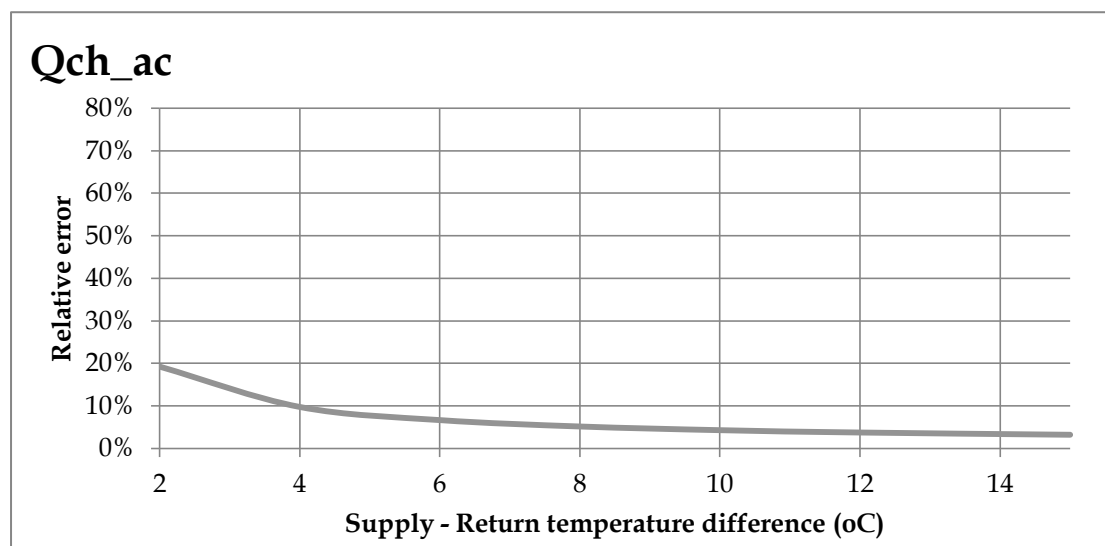
Αρχικά αναφέρθηκε η σπουδαιότητα και η διαφορετικότητά τους στο κεφάλαιο 4.5, όπου και έγινε μια σύντομη περιγραφή των 3 κατανομών που εμφανίζονται πιο συχνά.

Έπειτα, στο κεφάλαιο 5.2, ήταν αναγκαίο για την ολοκλήρωση της αξιολόγησης να ορισθεί μία κατανομή που να περιγράφει την ικανότητα των οργάνων να καταγράφουν πιστά τις πραγματικές τιμές. Έτσι, καταλήξαμε στη θεώρηση ότι βρισκόμαστε στην χειρότερη δυνατή κατάσταση ώστε τα αποτελέσματα που θα προέκυπταν να είναι υποτιμημένα και ασφαλή και όχι υπερτιμημένα. Αυτή η περίπτωση είναι η ομοιόμορφη κατανομή, κατά την οποία ένα όργανο που διακρίνεται από ένα σφάλμα a , στην προσπάθειά του να μετρήσει μια πραγματική τιμή x , έχει ίσες πιθανότητες να μετρήσει μια τιμή στο εύρος $[x-a, x+a]$.

Στο τέλος όμως της βαθμονόμησης και του κεφαλαίου 6 εμφανίζονται νέα δεδομένα.

Πιο συγκεκριμένα, στο υποκεφάλαιο 6.3, και αφού έχει γίνει η βαθμονόμηση, παρουσιάζονται οι μετρήσεις που έγιναν σε κάθε θερμοκρασία με γνώμονα τις αποκλίσεις. Παρατηρώντας τες, είναι εμφανές πως τελικά τα όργανα στην γραμμή παραγωγής ακολούθησαν κανονική κατανομή, την καλύτερη απο τις 3 προαναφερθέντες κατανομές.

Πλέον στο τελευταίο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας παρουσιάζονται οι 3 ίδιου τύπου κατανομές, με τα νέα δεδομένα μέσω της βαθμονόμησης.



Εικόνα 7.2.1 Η θερμότητα που απορρίπτεται από τον ψύκτη μετά την βαθμονόμηση συναρτήσει ΔT και σχετικού σφάλματος

Αυτή τη φορά, με βάση το παραπάνω σκεπτικό η κατανομή που επιλέγουμε για τα όργανα μας είναι η κανονική κατανομή (πράσινη καμπύλη), οποία η παρουσιάζει μέγιστο σχετικό σφάλμα 19% ενώ η ίδια κατανομή πριν την βαθμονόμηση παρουσίαζε αντίστοιχο 42% στο αντίστοιχο μέγεθος. Πρόκειται δηλαδή για μείωση του σχετικού σφάλματος κατά 23%.

Ακόμα πιο εντυπωσιακά είναι τα αποτελέσματα που προκύπτουν σε σύγκριση με την αρχική υπόθεση που έγινε, αυτή της ομοιόμορφης κατανομής κατά την οποία εμφανίζεται μέγιστο σχετικό σφάλμα 73%, άρα στην προκειμένη πρόκειται για μείωση της τάξεως του 54% !

7.3. Δοκιμή κλειστού κυκλώματος

Πέρα από το υπολογιστικό μέρος της αξιολόγησης, το μετρητικό σύστημα δοκιμάστηκε σε πραγματικό χρόνο απομονώνοντας κομμάτια του κυκλώματος έως ότου επέλθει ισορροπία.

Πιο συγκεκριμένα, το συνολικό υδραυλικό σύστημα της εγκατάστασης χωρίστηκε σε υποκυκλώματα, διατηρώντας εσωτερικά την ροή του νερού έτσι ώστε να επικρατήσει σταθερή θερμοκρασία. Σε αυτό το σημείο γινόντουσαν μετρήσεις από τα θερμόμετρα

που βρίσκονταν στο εκάστοτε υποκύκλωμα, συμπεριλαμβάνοντας και τις διορθώσεις που προέκυψαν από την βαθμονόμηση.

Τα αποτελέσματα ήταν αισιόδοξα. Οι μεταξύ τους μετρήσεις ήταν ιδιαίτερα σταθερές και με απόκλιση της τάξεως των δύο δεκάτων.

Αυτό επιβεβαιώνει την διαδικασία της βαθμονόμησης αλλά και της αξιολόγησης.

Συμπεράσματα

Μέσα από αυτή την πτυχιακή εργασία επιβεβαιώνεται η αναγκαιότητα για ένα σωστά βαθμονομημένο μετρητικό σύστημα.

Πιο συγκεκριμένα,

- ✓ Είδαμε πως μία αρχική αβεβαιότητα στο όργανο μέτρησης της θερμοκρασίας, καταλήγει σε μεγάλο βαθμού αβεβαιότητα σε επίπεδο θερμορροής.
- ✓ Είδαμε επίσης πως η αβεβαιότητα των ροομέτρων υπεισέρχονται σε πολύ μικρό βαθμό στην τελική αβεβαιότητα θερμορροών σε αντίθεση με της θερμοκρασίας.
- ✓ Παρατηρήθηκε πως τα όργανα που παράγει ο κατασκευαστής όντως ακολουθούν μια κατανομή η οποία επηρεάζει τα τελικά αποτελέσματα. Αυτή η παρατήρηση οφείλεται στη διαθεσιμότητα 28 οργάνων μέτρησης θερμοκρασίας.
- ✓ Έπειτα απο την βαθμονόμηση, η νέα αξιολόγηση δίνει 54% μείωση του σχετικού σφάλματος σε μία αντιπροσωπευτική θερμορροή.

Βιβλιογραφία

- [1] **Attivissimo, F., Cataldo, A., Fabbiano, L., Giaquinto, N., 2011.** Systematic errors and measurement uncertainty: An experimental approach. *Measurement* 44, 1781–1789.
- [2] **Chen, H.-C., Wu, P.-C., Huang, J.-Y., Chen, L.-A., 2010.** Uncertainty analysis for measurement of measurand. *Measurement* 43, 1250–1254.
- [3] **Rozet, E., Marini, R.D., Ziemons, E., Hubert, P., Dewé, W., Rudaz, S., Boulanger, B., 2011.** Total error and uncertainty: Friends or foes? *TrAC Trends in Analytical Chemistry* 30, 797–806.
- [4] **ISO/IEC GUIDE 98-3:2008 .** Uncertainty of measurement Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)
- [5] **Γκούμας Στράτος, 2011.** Στατιστικές Κατανομές και Πιθανότητες. Θεωρία και παραδείγματα.
- [6] **Henning, H.-M. 2007.** *Solar-Assisted Air-Conditioning in Buildings: A Handbook for Planners* (2nd έκδ.). Springer Vienna Architecture.
- [7] **Stephanie Bell, 2001.** A Beginner's Guide to Uncertainty of Measurement; Issue 2
- [8] **Tsoutsos, T., Anagnostou, J., Pritchard, C., Karagiorgas, M., & Agoris, D. (2003).** Solar cooling technologies in Greece. An economic viability analysis. *Applied Thermal Engineering*
- [9] **Π. Τσεκούρας, Ρ. Χριστοδουλάκη, Χ. Χατζηλάου, Κ. Καρύτσας, Α. Αηδόνης, Δ. Χασάπης (2010)** Καινοτόμο σύστημα υψηλής ηλιακής κάλυψης για θέρμανση και ψύξη στην Αθήνα.
- [10] **High-Combi Framework Program 7 project (2007 - 2011)**
<http://www.highcombi.eu>
- [11] **Balaras C.A., Grossman G., Henning H.M., Ferreira C.A.I., Podesser E., Wang L., Wiemken E., (2007).** *Solar Air Conditioning in Europe – An Overview. Renewable & Sustainable Energy Reviews, Vol. 11, No 2, p. 299-314.*
- [12] **F.A. Peuser, K.-H. Remmers, M. Schnauss (2002)** Solar Thermal Systems. Successful Planning and Construction
- [13] **A. Saltelli, K. Chan, E.M. Scott (2000)** Sensitivity Analysis, (first ed.) John Wiley & Sons, England (2000)
- [14] **F. Domínguez-Muñoz, J.M. Cejudo-López, A. Carrillo Andrés (2010)** Uncertainty in peak cooling load calculations *Energy and Buildings*, pp. 1010–1018

- [15] **I.A. Macdonald, P.A. Strachan (2001)** Practical application of uncertainty analysis
Energy and Buildings, 33 (2001), pp. 219–227
- [16] **Colle, S., de Abreu, S. L., & R  ther, R. (2001)** Uncertainty in economical analysis
of solar water heating and photovoltaic systems. *Solar Energy*, 70(2), 131–142.
doi:10.1016/S0038-092X(00)00134-1
- [17] **Domínguez-Muñoz, F., Cejudo-López, J. M., Carrillo-Andr  s, A., & Ruivo, C. R. (2012)** Design of solar thermal systems under uncertainty. *Energy and Buildings*,
47(0), 474–484.
- [18] **S. Colle, S.L. Abreu, R. R  ther (1999)** Uncertainty in economical analysis of solar
water heating and photovoltaic systems
- [19] **J.E. Hay, D.C. McKay (1985)** Estimating solar irradiance on tilted surfaces: a view
and assessment of methodologies Int. J. Solar Energy, 3 (1985), p. 203
- [20] **Sabatelli, V., Marano, D., Braccio, G., & Sharma, V. K. (2002)** Efficiency test of
solar collectors: uncertainty in the estimation of regression parameters and sensitivity
analysis. *Energy Conversion and Management*, 43(17), 2287–2295.
- [21] **Gmelin, E., & Sarge, S. (2000)** Temperature, heat and heat flow rate calibration of
differential scanning calorimeters. *Thermochimica Acta*, 347(1–2), 9–13.
- [22] **Tacq, J. (2010)** The Normal Distribution and its Applications. *International
Encyclopedia of Education (Third Edition)* (σσ 467–473). Oxford: Elsevier
- [23] **Centre for Renewable Energy Sources and Saving (CRESES) (2007)** High Solar
Fraction Heating and Cooling Systems with combination of innovative components
and methods. www.highcombi.eu D12, D14

Παράρτημα Θερμορροές

Θέση	Θερμορροές	Μονάδες Μετ.	Περιγραφή
SOLAR & UTES	Q_{IRR}	kWh	Συνολική Ηλιακή Ακτινοβολία
	Q_{COLL}	kWh	Ηλιακές Απολαβές μετρούμενες στο ηλιακό πεδίο
	Q_{SOL}	kWh	Ηλιακές Απολαβές μετρούμενες στο δωμάτιο ελέγχου
	Q_{SOL_YIELD}	kWh/m ²	Ηλιακές Απολαβές μετρούμενες στο δωμάτιο ελέγχου ανά επιφάνεια συλλέκτη
	Q_{SOL_HEAT}	kWh	Ηλιακές Απολαβές που παρέχονται για θέρμανση
	Q_{SOL_COOL}	kWh	Ηλιακές Απολαβές που παρέχονται για ψύξη
	Q_{SOL_UTES}	kWh	Ηλιακές Απολαβές που παρέχονται στην δεξαμενή
	Q_{UTES_HEAT}	kWh	Θερμότητα που παρέχεται απο την δεξαμενή για θέρμανση
	Q_{UTES_COOL}	kWh	Θερμότητα που παρέχεται απο την δεξαμενή για θέρμανση
SOLAR HEAT PUMP	$Q_{HP_HS_HEAT}$	kWh	Θερμότητα που αφαιρείται από την αντλία θερμότητας για θέρμανση
	Q_{HP_HEAT}	kWh	Θερμότητα που παρέχεται από την αντλία θερμότητας για θέρμανση
	$Q_{HP_HS_COOL}$	kWh	Θερμότητα που απορρίπτεται από την αντλία θερμότητας για ψύξη
	Q_{HP_COOL}	kWh	Θερμότητα που αφαιρείται από την αντλία θερμότητας για ψύξη
	Q_{HP_COMPR}	kWh	Θερμότητα που μεταφέρεται
BUILDING & AUXILIARY	Q_{HC_HEAT}	kWh	Θερμική ενέργεια της εγκατάστασης High Combi μετρούμενο στο κτήριο
	Q_{HC_COOL}	kWh	Ψυκτική ενέργεια της εγκατάστασης High Combi μετρούμενο στο κτήριο
	Q_{AUX_HEAT}	kWh	Θερμική ενέργεια από την βοηθητική αντλία θερμότητος του κτηρίου

	Q_{AUX_COOL}	kWh	Ψυκτική ενέργεια από την βοηθητική αντλία θερμότητας του κτηρίου
	Q_{HEAT}	kWh	Απαιτήσεις κτηρίου για θέρμανση
	Q_{COOL}	kWh	Απαιτήσεις κτηρίου για ψύξη
CHILLER & HEAT REJECTION	Q_{CH_GEN}	kWh	Θερμότητα που παραλαμβάνεται στον ψύκτη (γεννήτρια)
	Q_{CH_EV}	kWh	Θερμότητα που αφαιρείται από τον ψύκτη (εξατμιστή)
	Q_{CH_AC}	kWh	Θερμότητα που απορρίπτεται από τον ψύκτη (απορροφητής & συμπυκνωτής)
	Q_{CT}	kWh	Θερμότητα που απορρίπτεται από τον πύργο ψύξης στον αέρα
	Q_{GHX}	kWh	Θερμότητα που διαχέεται στο έδαφος γύρω από την δεξαμενή
ELECTRICITY CONSUMPTIONS	$E_{CHILLER}$	kWh	Ηλεκτρική κατανάλωση ψύκτη
	E_{HP}	kWh	Ηλεκτρική κατανάλωση αντλίας θερμότητας
	E_{CT}	kWh	Ηλεκτρική κατανάλωση πύργου ψύξης
	E_{PUMP_i}	kWh	Ηλεκτρική κατανάλωση αντλίας i
	$E_{EL_OVERALL}$	kWh	Συνολική ηλεκτρική κατανάλωση από αντλίες, ανεμιστήρα, ψύκτη και αντλιών θερμότητας
	E_{EL_TOT}	kWh	Συνολική ηλεκτρική κατανάλωση από αντλίες, ανεμιστήρα, ψύκτη και αντλιών θερμότητας χωρίς την αντλία διανομής ζεστού/κρύου νερού στο κτήριο (P3)
THERMAL LOSSES	Q_{PIPE_SOL}	kWh	Θερμικές απώλειες σωληνώσεων από το πεδίο στο δωμάτιο ελέγχου
	Q_{UTES_LOSS}	kWh	Θερμικές Απώλειες Δεξαμενής
	Q_{PIPE_HEAT}	kWh	Θερμικές απώλειες σωληνώσεων από το δωμάτιο ελέγχου στο κτήριο (Χειμώνα)
	Q_{PIPE_COOL}	kWh	Θερμικές απώλειες σωληνώσεων από το δωμάτιο ελέγχου στο κτήριο (Καλοκαίρι)

Δείκτες Απόδοσης

1ST MONITORING LEVEL		
$COP_{EL_OVERALL}$	-	Ολικός ηλεκτρικός COP για θέρμανση/ψύξη
COP_{EL_TOT}	-	Ολικός ηλεκτρικός COP για θέρμανση/ψύξη
$COP_{EL_TOT_HEAT}$	-	Ολικός ηλεκτρικός COP για θέρμανση
$COP_{EL_TOT_COOL}$	-	Ολικός ηλεκτρικός COP για ψύξη
2nd MONITORING LEVEL		
η_{COLL}	%	Βαθμός απόδοσης ηλιακών συλλεκτών μετρούμενος στο ηλιακό πεδίο
η_{SOL}	%	Βαθμός απόδοσης ηλιακών συλλεκτών μετρούμενος στο δωμάτιο ελέγχου
η_{UTES}	%	Βαθμός απόδοσης δεξαμενής (εισερχόμενη/εξερχόμενη ενέργεια)
η_{SYS}	%	Βαθμός Απόδοσης συστήματος υπολογισμένο για ζεστό νερό
SF	%	Ηλιακό κλάσμα για θέρμανση/ψύξη
SF_{HEAT}	%	Ηλιακό κλάσμα για θέρμανση
SF_{COOL}	%	Ηλιακό κλάσμα για ψύξη
3rd MONITORING LEVEL		
COP_{CH_TH}	-	Θερμικός COP ψύκτη
COP_{CH_EL}	-	Ηλεκτρικός COP ψύκτη
$COP_{CH_EL_COLD}$	-	Ηλεκτρικός COP ψύκτη περιλαμβάνοντας τον ψύκτη απορρόφησης, τον πύργο ψύξης και τα την κυκλοφορία κρύου νερού
$COP_{CH_EL_COLD_SOL}$	-	Ηλεκτρικός COP ψύκτη περιλαμβάνοντας τον ψύκτη απορρόφησης, τον πύργο ψύξης και τα την κυκλοφορία ζεστού και κρύου νερού
SPF_{HP}	-	Εποχιακός βαθμός απόδοσης της αντλίας θερμότητας νερού
EER_{HP}	-	Λόγος επάρκειας ενέργειας της αντλίας θερμότητας νερού of the water to water heat pump (includes compressor and internal pumps)

Μετρητικός Εξοπλισμός

IRRADIATION SENSOR	
I1	Προσπίπτουσα ακτινοβολία
TEMPERATURE SENSORS	
T0	Θερμοκρασία περιβάλλοντος
T1	Θερμοκρασία ηλιακού πεδίου
T2a	Θερμοκρασία νερού στην έξοδο της 4 ^{ης} σειράς του ηλιακού πεδίου
T2b	Θερμοκρασία νερού στην έξοδο του ηλιακού πεδίου
T3	Θερμοκρασία νερού από το ηλιακό πεδίο στο δωμάτιο ελέγχου
T4	Θερμοκρασία νερού από το δωμάτιο ελέγχου στο ηλιακό πεδίο
T5	Θερμοκρασία νερού από την δεξαμενή στο δωμάτιο ελέγχου
T6	Θερμοκρασία νερού από το δωμάτιο ελέγχου στην δεξαμενή
T7	Θερμοκρασία νερού πριν την TV2
T8	Θερμοκρασία νερού μετά την TV2
T9	Θερμοκρασία νερού-φορτίου στο δωμάτιο ελέγχου
T10	Θερμοκρασία νερού από την αντλία θερμότητας (φορτίο)
T11	Θερμοκρασία νερού από την αντλία θερμότητας (πηγή θερμότητας)
T12	Θερμοκρασία νερού στην αντλία θερμότητας (πηγή θερμότητας)
T13	Θερμοκρασία νερού από ψύκτη (συμπυκνωτής)
T14	Θερμοκρασία νερού προς τον ψύκτη (συμπυκνωτής)
T15	Θερμοκρασία νερού προς τον πύργο ψύξης
T16	Θερμοκρασία νερού από τον πύργο ψύξης
T17	Θερμοκρασία νερού προς εναλλάκτες θερμότητας
T18	Θερμοκρασία νερού προς εναλλάκτες θερμότητας
T19	Θερμοκρασία νερού προς την αντλία θερμότητας (μετά την TV1)
T20	Θερμοκρασία νερού στη δεξαμενή σε ύψος 4m
T21	Θερμοκρασία νερού στη δεξαμενή σε ύψος 3.1m
T22	Θερμοκρασία νερού στη δεξαμενή σε ύψος 2.1m

T23	Θερμοκρασία νερού στη δεξαμενή σε ύψος 1.1m
T24	Θερμοκρασία νερού στη δεξαμενή σε ύψος 0.1m
T25	Θερμοκρασία νερού προς το κτήριο 3
T26	Θερμοκρασία νερού από το κτήριο 3
FLOWMETERS	
F1	Παροχή νερού στο ηλιακό πεδίο
F2	Παροχή νερού εκπλήρωσης της δεξαμενής
F3	Παροχή νερού φόρτωσης
F4	Παροχή νερού τροφοδοσίας αντλίας θερμότητας
F5	Παροχή νερού συμπυκνωτή ψύκτη
F7	Παροχή νερού στο κτήριο 3
ELECTRICITY METERS	
E _{P1}	Κατανάλωση ενέργειας από την αντλία 1
E _{P2}	Κατανάλωση ενέργειας από την αντλία 2
E _{P3}	Κατανάλωση ενέργειας από την αντλία 3
E _{P5}	Κατανάλωση ενέργειας από την αντλία 5
E _{P6}	Κατανάλωση ενέργειας από την αντλία 6
E _{CT}	Κατανάλωση ενέργειας από τον πύργο ψύξης
ECHILLER	Κατανάλωση ενέργειας από τον ψύκτη
E _{HP}	Κατανάλωση ενέργειας από την αντλία θερμότητας
MANOMETER	
M1	Πίεση εξερχόμενου ρεύματος εκπλήρωσης της δεξαμενής