



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

*«Πειραματική αξιολόγηση ανοικτού
συστήματος εξατμιστικής ψύξης με
αφυγραντικό τροχό LiCl»*

Του Φοιτητή:

Παπαγεωργίου Γεωργίου

Επιβλέπουσα:

κ. Κορωνάκη Ειρήνη, Λέκτορας

Αθήνα, Οκτώβριος 2009

ΠΡΟΛΟΓΟΣ:

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας στον τομέα Θερμότητας , της σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο DEC του Τεχνολογικού Πάρκου Λαυρίου του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα Λέκτορα κ. Ειρήνη Κορωνάκη για την ανάθεση του θέματος , τις συμβουλές και τις παρατηρήσεις της όπως και τα υπόλοιπα μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής.

Ακόμα ευχαριστίες οφείλω να εκφράσω στον ερευνητή του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, του Εργαστηρίου Θερμικών Ηλιακών Συστημάτων, κ. Δημήτριο Χασάπη για την πολύ καλή συνεργασία και τη βοήθεια που μου προσέφερε.

Τέλος, ευχαριστώ τον κ Δημήτριο Τερτίπη, υποψήφιο διδάκτορα της σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών για τη σημαντική βοήθεια του κατά την διεξαγωγή μετρήσεων στο πλαίσιο της εργασίας καθώς και τον κ. Δημήτριο Φυτά, υπεύθυνο τεχνικής υπηρεσίας και προμηθειών του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, για την απρόσκοπτη συνεργασία.

Πίνακας περιεχομένων:

| | |
|---|------------|
| ΣΥΝΟΨΗ..... | 4 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΕΣ ΛΥΣΕΙΣ | 5 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2:ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΗΛΙΑΚΟΥ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ | 8 |
| 2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ..... | 8 |
| 2.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ..... | 9 |
| 2.2.1 Ηλιακό και Υδραυλικό Κύκλωμα | |
| 2.2.2 Μονάδα "Αφύγρανσης-Εξάτμισης" | |
| § ΠΛΑΙΣΙΟ | 23 |
| § ΦΙΛΤΡΑ | 24 |
| § ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΕΣ..... | 25 |
| § ΑΦΥΓΡΑΝΤΙΚΟΣ ΤΡΟΧΟΣ..... | 27 |
| § ΑΝΑΓΕΝΝΗΤΗΣ..... | 38 |
| § ΕΝΑΛΛΑΚΤΗΣ ΑΙΣΘΗΤΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ | 39 |
| § ΥΓΡΑΝΤΗΡΕΣ..... | 43 |
| 2.2.3 Βοηθητικά συστήματα και συσκευές | |
| 2.3 ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ..... | 49 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΣΥΣΤΗΜΑ ΡΥΘΜΙΣΗΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ | 51 |
| 3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ..... | 51 |
| 3.2 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ..... | 54 |
| 3.3 ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ ΕΛΕΓΧΟΥ | 57 |
| 3.4 ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ | 59 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΨΥΧΡΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ-ΜΕΓΕΘΗ | 62 |
| 4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ | 62 |
| 4.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΨΥΚΤΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ..... | 64 |
| 4.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ COP | 64 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ..... | 66 |
| 5.1 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ | 66 |
| 5.2 ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ | 71 |
| 5.3 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΙΩΝ..... | 150 |
| 5.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΙΩΝ | 152 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6:ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ..... | 213 |

| | |
|---------------------------|------------|
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ..... | 217 |
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1: | 220 |
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2: | 227 |

ΣΥΝΟΨΗ

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία έχει ως στόχο την πειραματική αξιολόγηση ενός συστήματος ανοιχτού κυκλώματος (αέρα- αέρα) που χρησιμοποιεί την τεχνολογία «αφύγρανσης- εξάτμισης» ή συντομότερα DEC¹. Η συσκευή κλιματισμού είναι εγκατεστημένη στο χώρο του τεχνολογικού πάρκου ενεργειακής αγωγής του ΚΑΠΕ, στο Λαύριο Αττικής και αποτελεί έργο στα πλαίσια του προγράμματος «ΠΕΝΑ». Η μελέτη και κατασκευή εκπονήθηκε από εξειδικευμένη γερμανική εταιρία (PSE GmbH) σε συνεργασία με το τμήμα Θερμικών Ηλιακών Συστημάτων του ΚΑΠΕ. Ο έλεγχος της συσκευής DEC γίνεται διαμέσου ενός PLC που διαθέτει λογισμικό και interface για ηλεκτρονικό υπολογιστή. Με το λογισμικό αυτό είναι δυνατή τόσο η παρακολούθηση όσο και η μεταβολή των επιμέρους συνθηκών στα διάφορα στάδια της διαδικασίας. Η μεθοδολογία ελέγχου ακολουθεί τα παρακάτω βήματα:

- § Καθορισμός συνθηκών αναφοράς για τον αέρα περιβάλλοντος
- § Καθορισμός συνθηκών αναφοράς για τον αέρα εσωτερικού χώρου
- § Υπολογισμός θερμικού φορτίου του κτιρίου
- § Υπολογισμός της απαιτούμενης ροής αέρα (αερισμός κτιρίου, κάλυψη θερμικού φορτίου)
- § Υπολογισμός της διαδικασίας κλιματισμού με το σύστημα DEC στις συνθήκες αναφοράς (χρήση λογισμικού προσομοίωσης rst_ver20)

Στην συσκευή έχουν ήδη εγκατασταθεί οι αισθητήρες θερμοκρασίας και υγρασίας που είναι απαραίτητοι για την εκπλήρωση της παραπάνω διαδικασίας ελέγχου, και αφορούν στις συνθήκες περιβάλλοντος, στις συνθήκες του αέρα προσαγωγής καθώς μπαίνει στον κλιματιζόμενο χώρο και στις συνθήκες που επικρατούν μετά τον αναγεννητή στο ρεύμα του απορριπτόμενου αέρα. Κατά την διεξαγωγή της διπλωματικής εργασίας προβλέπεται αρχικά η λήψη μετρήσεων με τα ήδη υπάρχοντα μετρητικά όργανα για την καταγραφή δεδομένων, σε διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας και υπολογισμού διαφόρων μεγεθών για τη «συμπεριφορά» της συσκευής. Στη συνέχεια, προγραμματίζεται η αγορά και η τοποθέτηση περισσότερων μετρητικών συστημάτων ώστε να εκτιμηθούν παράμετροι απόδοσης και συμπεριφοράς των σημαντικότερων επιμέρους συνιστωσών της συσκευής όπως είναι ο αφυγραντικός τροχός. Τέλος, θα γίνει η παρουσίαση των συλλεγμένων πληροφοριών ύστερα από την επεξεργασία τους σε κατάλληλο μαθηματικό λογισμικό με έμφαση στις συσχετίσεις εκείνες που θα θεωρηθούν σημαντικότερες.

¹ Ο όρος DEC αποτελεί συντομογραφία της αγγλικής τεχνικής ορολογίας desiccant evaporative cooling

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΕΣ ΛΥΣΕΙΣ

Η ενεργειακή κατανάλωση στα Ευρωπαϊκά κτίρια αφορά περίπου το 40% της ετήσιας συνολικής ενεργειακής ανάγκης των κρατών μελών της ευρωπαϊκής ένωσης καθώς και το ένα τρίτο των εκπεμπόμενων αερίων που επιβαρύνουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Η ενέργεια καταναλώνεται κατά κύριο λόγο κατά τη διάρκεια χρήσης των κτιρίων για θέρμανση, ψύξη, αερισμό και φωτισμό. Ενώ ένα πολύ μικρότερο ποσοστό, περίπου 10 έως 20% της ενέργειας καταναλώνεται κατά την ανέγερση του κτιρίου.

Γνωρίζοντας την ραγδαία αλλαγή των κλιματικών συνθηκών εξ' αιτίας του φαινομένου του θερμοκηπίου που προκλήθηκε από την αλόγιστη ανθρώπινη δραστηριότητα φαντάζει πρόδηλη η ανάγκη για την έρευνα και αξιοποίηση νέων τεχνολογιών στον κτιριακό «στόλο», που είναι φιλικότερες για το περιβάλλον. Ο κατασκευαστικός τομέας είναι πεδίο εφαρμογών με τεράστια δυναμική για σαφή μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, με ήδη υπάρχουσες εμπορικές εφαρμογές σε παλιά και νέα κτίρια είναι δυνατή η κατά 30 με 50% μείωση των εκπεμπόμενων αερίων χωρίς σημαντική αύξηση του κόστους επένδυσης. [1]

Παράγοντες κλειδιά για τη χρήση της ενέργειας και τη προκύπτουσα εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου στα κτίρια είναι η ανθρώπινη δραστηριότητα όπως η αύξηση του πληθυσμού, το μέγεθος του εργατικού δυναμικού, η αστικοποίηση, η κατά κεφαλήν περιοχή διαβίωσης και ο πληθυσμός ανά κατοικία. Ακόμα οικονομικές παράμετροι, όπως η αλλαγή του ακαθάριστου εγχώριου προϊόντος κάθε χώρας και του προσωπικού εισοδήματος του κάθε χρήστη, έχουν τεράστια σημασία. Αυτοί οι παράγοντες με τη σειρά τους μεταβάλλονται άμεσα σύμφωνα με τις προτιμήσεις του εκάστοτε καταναλωτή, το κόστος της ενέργειας και της τεχνολογίας, το μοτίβο αποικισμού, την εξέλιξη των βέλτιστων διαθέσιμων τεχνολογικών λύσεων καθώς και της γενικής επικρατούσας οικονομικής κατάστασης. Η αστικοποίηση, ιδιαίτερα στις αναπτυσσόμενες χώρες, οδηγεί στην αυξημένη παγκόσμια ενεργειακή ζήτηση. Καθώς ο πληθυσμός γίνεται όλο και πιο αστικοποιημένος και η ενέργεια, όπως ο ηλεκτρισμός, εύκολα προσβάσιμη οι απαιτήσεις για παροχές ψύξης, κλιματισμού και θέρμανσης αυξάνουν. Ο αριθμός των ανθρώπων που κατοικούσαν σε αστικές περιοχές σχεδόν διπλασιάστηκε κατά την περίοδο 1970 έως 1995, μεγαλώνοντας από 1.36 σε 2.57 δισεκατομμύρια. [2]. Έτσι μέτρα που περιλαμβάνουν βιοκλιματική σχεδίαση, βελτιωμένη θερμομόνωση, οικιακές συσκευές χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης και συστήματα θέρμανσης-κλιματισμού υψηλής αποδοτικότητας πρέπει άμεσα να ληφθούν και να γίνουν κοινή πρακτική στην κατασκευή κτιρίων. Βέβαια σε όλα αυτά σημαντικότατο ρόλο παίζει η ενεργειακά φιλική συμπεριφορά του κάθε χρήστη-καταναλωτή για την εξοικονόμηση ενέργειας.

Η σημαντικότερη πηγή εκπομπής επιβλαβών για το περιβάλλον αερίων από ένα κτίριο, κυρίως διοξείδιο του άνθρακα, είναι η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας για τη λειτουργία εξοπλισμού για τον κλιματισμό του διακινούμενου αέρα. Κατά δεύτερο λόγο έρχεται η εκπομπή υδροφθορανθράκων από τις θερμομονώσεις και τις συσκευές κλιματισμού. Βέβαια, η εκπομπή υδροφθορανθράκων έχει περιοριστεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια καθώς τα ψυκτικά μέσα

που τους περιείχαν έχουν αντικατασταθεί με άλλα που έχουν τις ίδιες περίπου θερμοδυναμικές ιδιότητες και είναι φιλικότερα για το περιβάλλον. Όμως, παρόλο της ύπαρξης πολλών εφαρμογών κλιματισμού που είναι φιλικές προς το περιβάλλον μόνο στο 2.75% των κτιρίων χρησιμοποιούνταν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η χρήση συμβατών συσκευών εισάγει πολλά μειονεκτήματα όπως η αύξηση του μέγιστου ηλεκτρικού φορτίου, η αυξημένη κατά μέσο όρο ηλεκτρική κατανάλωση. Υπάρχουν πολλοί λόγοι που ο κατασκευαστικός τομέας παρουσιάζει υστέρηση στην υιοθέτηση των νέων πιο «ενεργειακών» τεχνολογιών. Αρχικά η διαφορετικότητα κάθε κτιρίου δυσκολεύει την προσαρμογή μιας νέας τεχνολογίας. Στη συνέχεια, η πιθανή ύπαρξη διαφορετικής προσέγγισης για τη «φιλοσοφία» ενός κτιρίου, όπως είναι ο αρχιτεκτονική, η μηχανολογική, ο σκοπός χρήσης του η ακόμα και η προσέγγιση του ίδιου του χρήστη, αποτελεί τροχοπέδη για την εξέλιξη τέτοιου είδους εφαρμογών. Η έλλειψη ενημέρωσης των κατασκευαστών και των τελικών χρηστών του κτιρίου για τα μακροπρόθεσμα οφέλη που θα έχουν με τη εγκατάσταση νέων τεχνολογιών που είναι φιλικές προς το περιβάλλον οδηγεί πολλές φορές στην άρνηση της εφαρμογής τους και στην επιλογή των ήδη υπαρχόντων τεχνικών λύσεων με τα αποδεδειγμένα μειονεκτήματά τους. Ακόμα, η μη ύπαρξη ενός οργανωμένου δικτύου υποστήριξης και συντήρησης των νέων τεχνολογιών σε συνδυασμό με το σχετικά αυξημένο κόστος επένδυσης καθιστά επιφυλακτικούς τους κατασκευαστές με αποτέλεσμα την απόρριψη καινοτόμων λύσεων.

Για την αντιμετώπιση των παραπάνω δυσκολιών έχουν προταθεί συγκεκριμένα μέτρα αντιμετώπισης όπως είναι η χρήση ενιαίων μονάδων περιγραφής των μονάδων απόδοσης των νέων τεχνολογιών ώστε να είναι δυνατή η άμεση σύγκριση και επιλογή της καταλληλότερης για την εκάστοτε εφαρμογή. Να γίνονται αξιολογήσεις και στατιστικές μελέτες σε μονάδες επίδειξης ώστε να μειωθούν τα κόστη εγκατάστασης, λειτουργίας και ελέγχου των συσκευών σε πραγματικές εμπορικές εφαρμογές, Δημιουργία πρωτοκόλλων και βάσεων δεδομένων σε εθνικούς οργανισμούς ώστε ο κάθε σχεδιαστής και υποψήφιος χειριστής μιας νέας τεχνολογίας να έχει όλα εκείνα τα απαραίτητα δεδομένα για την εφαρμογή της συγκεκριμένης τεχνολογίας. Με αυτούς τους τρόπους θα είναι δυνατή η ανάπτυξη της υποδομής και της τεχνογνωσίας για την όλο και μεγαλύτερη εφαρμογή καινοτόμων λύσεων τόσο στον κλιματισμό αλλά και στις υπόλοιπες τεχνολογικές εφαρμογές που περιλαμβάνονται σε ένα κτίριο οικιακής και εμπορικής χρήσης.

Τα τελευταία χρόνια έχουν εξελιχθεί και προταθεί πολλές νέες μέθοδοι για τον κλιματισμό κτιρίων. Πολλές από αυτές αφορούν στα ήδη υπάρχοντα συστήματα κλιματισμού όπως είναι οι απλές οικιακές μονάδες κλιματισμού (split units) ή ακόμα και σε εφαρμογές μεγαλύτερης κλίμακας. Με την εξέλιξη των ηλεκτρονικών τόσο ως προς τις δυνατότητες τους και ως προς το κόστος τους, το οποίο είναι πάρα πολύ μικρό, προσφέρεται τεράστια δυνατότητα ελέγχου σε όλες τις μηχανολογικές διατάξεις. Έτσι πλέον είναι δυνατή η ρύθμιση των συμπιεστών σε βέλτιστα σημεία λειτουργίας ανεξάρτητα από τις συνθήκες περιβάλλοντος στις οποίες καλούνται να ανταπεξέλθουν. Ακόμα η ανάπτυξη των υλικών κατασκευής δίνει μεγάλο χρόνο ζωής με σχετικά ανεκτό κόστος συντήρησης του εξοπλισμού. Βέβαια όλες οι παραπάνω διατάξεις προϋποθέτουν την ύπαρξη ηλεκτρικής πηγής ενέργειας. Με δεδομένη την κατάσταση στην οποία βρίσκεται το περιβάλλον που περιγράφηκε παραπάνω οι τεχνολογικές λύσεις

κατευθύνονται στην ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη λειτουργία τους και τον περιορισμό της εξάρτησης τους από την ηλεκτρική ενέργεια και κατά προέκταση από τα ορυκτά καύσιμα. Οι ανανεώσιμες πηγές που κατά κόρον χρησιμοποιούνται είναι ο αέρας, η ηλιακή ενέργεια, γεωθερμία και η βιομάζα. Η ενέργεια που προέρχεται από τις συγκεκριμένες πηγές είτε αξιοποιείται άμεσα για την διαδικασία του κλιματισμού είτε έμμεσα καθώς παράγει «καθαρή» ενέργεια που χρησιμοποιεί η συσκευή που κλιματίζει τον αέρα.

Ειδικότερα για την ηλιακή ενέργεια, είναι διαθέσιμα πάρα πολλά είδη τεχνολογιών με τη χρήση θερμικών ηλιακών συστημάτων στον κλιματισμό κτιρίων. Ηλιακοί συλλέκτες διαφόρων υλικών και ιδιοτήτων κατασκευάζονται παγκοσμίως και μπορούν εύκολα να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή αξιοποιήσιμης θερμότητας. Απορροφητικοί ψύκτες χρησιμοποιούνται ευρέως για την παραγωγή ψυχρού νερού, όμως η πλειονότητα αυτών αφορά μεγάλες ψυκτικές ισχύεις γεγονός που τους καθιστά απαγορευτικούς για τη χρήση τους σε απλές οικιακές εφαρμογές. Μια τεχνολογική λύση η οποία βρίσκεται σε αρχικό στάδιο είναι οι συσκευές αέρα-αέρα με χρήση αφυγρνωτικού υλικού. Η συγκεκριμένη τεχνολογία θεωρείται ως η πλέον κατάλληλη για εφαρμογές με μεγάλες ανάγκες παροχής φρέσκου αέρα κατά τις μεσημβρινές ώρες. Ειδικότερα για περιοχές με κλιματολογικές συνθήκες όπως αυτές που επικρατούν στην κεντρική και νότια Ευρώπη η τεχνολογία του ηλιακού κλιματισμού DEC όπως ονομάζεται αποτελεί μια ρεαλιστική εναλλακτική λύση στα συμβατά συστήματα κλιματισμού.

Η ουσία της συγκεκριμένης τεχνολογίας είναι η δυνατότητα που μας δίνεται να επιτύχουμε κλιματισμό προσφέροντας θερμότητα και μάλιστα θερμότητα θερμοκρασιακού επιπέδου που μπορεί να παραχθεί από κοινούς ηλιακούς συλλέκτες. Με αυτό τον τρόπο η κύρια πηγή θερμότητας για τον κλιματισμό αποτελείται από την ηλιακή ενέργεια ενώ η εξάρτηση από τον ηλεκτρισμό περιορίζεται στο ελάχιστο δυνατό που χρειάζονται τα συμβατικά μέρη για να λειτουργήσουν. Ακόμα οι ψυκτικές ισχύεις που παράγονται καλύπτουν κυρίως οικιακές ή μικρής εμπορικής κλίμακας ανάγκες σε κλιματισμό, όπως είναι τράπεζες αίθουσες συνεδριάσεων ή ακόμα και supermarkets. Εφαρμογές της συγκεκριμένης τεχνολογίας υπάρχουν σε πολύ λίγα κράτη της Ευρώπης όπως τη Γερμανία, την Ισπανία αλλά και την Ελλάδα και συγκεκριμένα στο Τεχνολογικό πάρκο Λαυρίου του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Έκτος από το άμεσο όφελος που θα προκύψει έχουμε και ένα πολύ σημαντικό έμμεσο κέρδος που αφορά στην αξιοποίηση της παραγόμενης από τα ηλιακά συστήματα ενέργειας το καλοκαίρι με συνέπεια να καθίστανται οικονομικότερα τα μεγαλύτερα ηλιακά συστήματα που θα μπορούν να καλύψουν ένα σημαντικό τμήμα των χειμερινών αναγκών θέρμανσης.[3]

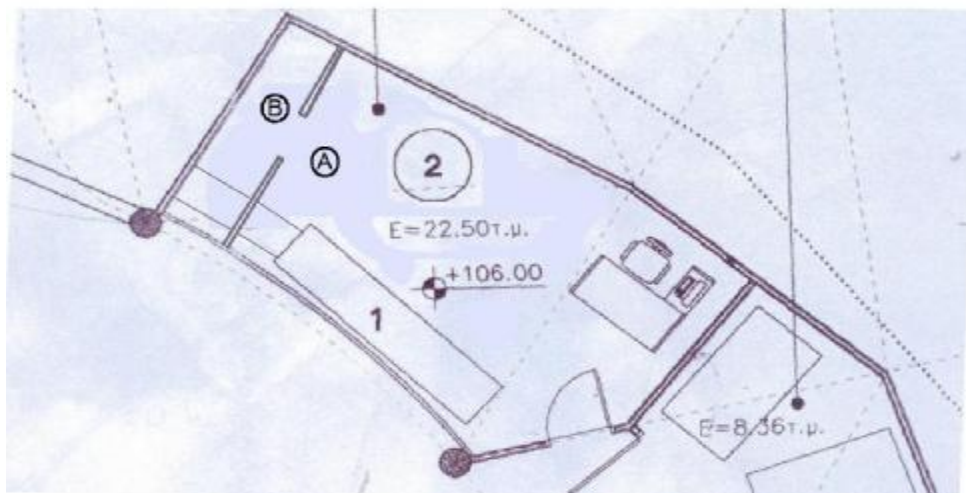
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2:ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΗΛΙΑΚΟΥ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ

2.1 Εισαγωγή

Η εγκατάσταση αφορά σε ένα σύστημα ανοιχτού κυκλώματος (αέρα - αέρα) επιδεικτικού χαρακτήρα που χρησιμοποιεί την τεχνολογία «αφύγρανσης-εξάτμισης». Η συσκευή κλιματισμού είναι εγκατεστημένη σε εσωτερικό χώρο του πάρκου ενεργειακής αγωγής στο Λαύριο Αττικής. Η μελέτη εφαρμογής και η υλοποίηση του έργου εντάσσονται στα πλαίσια του ευρωπαϊκού προγράμματος «ΠΕΝΑ» και πιο συγκεκριμένα στα υποέργα «3» και «5».

Η μελέτη και η κατασκευή του έργου ανατέθηκε στην εξειδικευμένη γερμανική εταιρεία «PSE GmbH» και ολοκληρώθηκε με τη συνεργασία του τμήματος Θερμικών Ηλιακών Συστημάτων του ΚΑΠΕ. Η συγκεκριμένη εταιρεία επιλέχθηκε καθώς είναι η μόνη που έχει σχεδιάσει και κατασκευάσει σύστημα ηλιακού κλιματισμού τεχνολογίας DEC παρομοίων διαστάσεων, το οποίο βρίσκεται στο ερευνητικό κέντρο ηλιακής ενέργειας ISE (Freiburg, Γερμανία βλ. www.ise.fhg.de). Ένας ακόμα λόγος είναι ότι η «PSE GmbH» διαθέτει σημαντική εμπειρία στην ανάπτυξη και έλεγχο τέτοιων συστημάτων μικρών διαστάσεων και με «ανοικτό» λογισμικό σύστημα.[3]

Ο χώρος στον οποίο έχει τοποθετηθεί η κλιματιστική εγκατάσταση αποτελείται από δύο επιμέρους δωμάτια συνολικού εμβαδού 22,5 m². Στο δωμάτιο Α είναι τοποθετημένη η μονάδα DEC, ο υπολογιστής ελέγχου, καταγραφής και διαχείρισης των δεδομένων καθώς και το δοχείο αποθήκευσης που είναι εφοδιασμένο με ηλεκτρική αντίσταση ισχύος 6 kW. Στο δωμάτιο Β υπάρχουν βοηθητικά υλικά για τη συντήρηση της εγκατάστασης όπως εργαλεία και διάφορα αναλώσιμα. Τα δύο παραπάνω δωμάτια διατρέχονται από δύο αεραγωγούς διατομής 300 mm με τη βοήθεια των οποίων θα γίνεται η προσαγωγή του εξωτερικού αέρα προς τον κλιματιζόμενο χώρο αλλά και η απόρριψη του εσωτερικού προς το περιβάλλον.



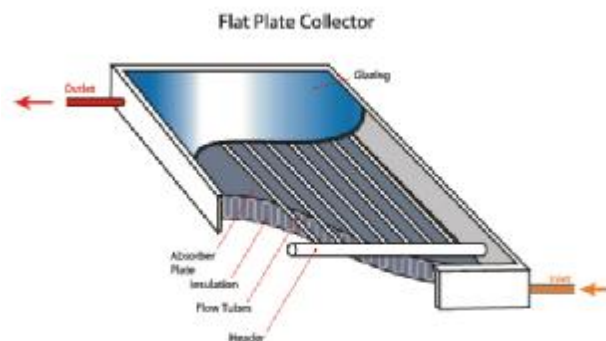
Σχήμα 2.1. Κάτοψη του χώρου. Υπόμνημα: 1.μονάδα DEC,2. δοχείο αποθήκευσης.

Οι επίπεδοι επιλεκτικοί ηλιακοί συλλέκτες βρίσκονται σε απόσταση είκοσι μέτρων από τον παραπάνω χώρο σε κατάλληλα διαμορφωμένο πλάτωμα, έχοντας συνολικό ωφέλιμο εμβαδό 10 m², νότιο προσανατολισμό($\gamma=0^{\circ}$)² και γωνία κλίσης με το οριζόντιο έδαφος, $\beta= 30^{\circ}$. Η υδραυλική τους σύνδεση με τη μονάδα DEC πραγματοποιείται με χαλκοσωλήνες διαμέτρου 22mm οι οποίοι φέρουν περιμετρικά κατάλληλη θερμομόνωση πετροβάμβακα αντοχής σε μέγιστη θερμοκρασία 200^oC.

2.2 Βασικές αρχές λειτουργίας

2.2.1 Ηλιακό και Υδραυλικό Κύκλωμα

Το ηλιακό σύστημα των επίπεδων επιλεκτικών συλλεκτών(με $\gamma=0$ και $\beta=30^{\circ}$) είναι συνδεδεμένο με δεξαμενή αποθήκευσης χωρητικότητας 600 λίτρων. Οι συγκεκριμένοι συλλέκτες είναι οι πλέον συνήθεις και διαδεδομένοι καθώς αποτελούν το 90% της αγοράς όλων των ηλιακών συλλεκτών με εξαίρεση την Κίνα όπου χρησιμοποιούνται κατά κόρων οι συλλέκτες κενού. [4] Ένας επίπεδος ηλιακός συλλέκτης αποτελείται από το πλαίσιό του, το οποίο συνήθως είναι μεταλλικό, την κατάλληλη μόνωση στις παράπλευρες επιφάνειες και κάτω μέρος του πλαισίου ώστε να ελαχιστοποιούνται οι απώλειες θερμότητας προς το περιβάλλον, την μεταλλική επιφάνεια του απορροφητή με ειδικά οπτικά χαρακτηριστικά στην οποία είναι συγκολλημένοι οι σωλήνες που διαρρέονται από το θερμαινόμενο ρευστό και τέλος το διαφανές μονό η διπλό γυάλινο κάλυμμα. Η χαρακτηριστική διάταξη ενός τέτοιου συλλέκτη παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα (2.2).



Σχήμα 2.2 Διάταξη επίπεδου ηλιακού συλλέκτη

Το ενεργειακό ισοζύγιο του συλλέκτη στη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας περιγράφεται από την εξίσωση (2.1):

² αζιμούθιο επιφάνειας (γ): είναι η γωνία που σχηματίζεται από την ευθεία όρασης του ήλιου και την προβολή της καθέτου στην επιφάνεια πάνω στο οριζόντιο επίπεδο και τη νότια κατεύθυνση.

$$A \cdot G_{\perp} = \dot{Q}_{use} + \dot{Q}_{loss,opt} + \dot{Q}_{loss,convective} + \dot{Q}_{loss,conductive} + \dot{Q}_{loss,radiative} \quad (2.1)$$

όπου A είναι το ωφέλιμο εμβαδό του συλλέκτη σε m^2 , G_{\perp} είναι η συνολική προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια του συλλέκτη σε W/m^2 . Ενώ στο δεύτερο μέρος της (2.1) έχουμε την \dot{Q}_{use} που είναι η ωφέλιμη αποδιδόμενη ισχύς του συλλέκτη σε W , η $\dot{Q}_{loss,opt}$ εκφράζει σε W όλες τις απώλειες εξ' αιτίας της ανάκλασης και της απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας στο διάφανο κάλυμμα, δηλαδή το μέρος της ακτινοβολίας που δε φτάνει στον απορροφητή. Επιπλέον έχουμε την $\dot{Q}_{loss,convective}$ που εκφράζει τις απώλειες σε W λόγω συναγωγής καθώς στο διάστημα μεταξύ καλύμματος και απορροφητή δημιουργείται ροή θερμότητας προς το περιβάλλον. Ο όρος $\dot{Q}_{loss,conductive}$ αντιστοιχεί στις θερμικές απώλειες λόγω αγωγής, σε W , προς το περιβάλλον μέσω των καλυμμάτων και της μόνωσης είτε του πυθμένα είτε των πλευρικών επιφανειών και τέλος ο όρος $\dot{Q}_{loss,radiative}$ για τις απώλειες σε W λόγω ακτινοβολίας που οφείλονται κυρίως σε στην υψηλή θερμοκρασία του απορροφητή και εντοπίζονται στην υπέρυθρη περιοχή του φασματοσκοπικού εύρους της ηλιακής ακτινοβολίας.

Σημαντικός παράγοντας για τη συμβολή των επιμέρους όρων των απωλειών στον ηλιακό συλλέκτη είναι η θερμοκρασία λειτουργίας δηλαδή η θερμοκρασία στην οποία βρίσκεται η επιφάνεια του απορροφητή. Η επιφάνεια του απορροφητή, που είναι και το σημαντικότερο μέρος του συλλέκτη, αποτελείται είτε από πολλά επιμέρους κομμάτια είτε από μία ενιαία μεταλλική πλάκα, όπως συμβαίνει και στους ηλιακούς συλλέκτες της εγκατάστασης. Η κατάλληλη επιλογή των χαρακτηριστικών του απορροφητή είναι κρίσιμης σημασίας καθώς είναι η επιφάνεια εκείνη όπου η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία μετατρέπεται σε θερμότητα και μεταφέρεται στο ρευστό ή διαφεύγει προς το περιβάλλον με τις επιμέρους απώλειες όπως περιγράφονται παραπάνω. Έτσι η επιλογή μιας επιλεκτικής επιφάνειας, όπως λέγεται, με υψηλό συντελεστή απορρόφησης, $\alpha_{vis} \geq 0.9$, στο ορατό κομμάτι του φάσματος της ηλιακής ακτινοβολίας και συντελεστή εκπομπής, ϵ_{IR} , μικρότερο ή ίσο του 0.2 οδηγεί στη μείωση των απωλειών λόγω ακτινοβολίας. Για την μείωση και των υπόλοιπων επιμέρους απωλειών μπορεί να εφαρμοστούν τεχνικές που αφορούν τα επιλεγμένα υλικά αλλά και την κατασκευή του συλλέκτη όπως η χρησιμοποίηση συγκεντρωτικών καθρεπτών κ.α. [4]

Ένα ακόμα πολύ σημαντικό και απαραίτητο μέγεθος για τους ηλιακούς συλλέκτες είναι και ο βαθμός απόδοσής τους που ορίζεται ως το πηλίκο της ωφέλιμης ισχύος προς την συνολικά προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια του συλλέκτη, όπως φαίνεται και στην παρακάτω μαθηματική σχέση (2.2):

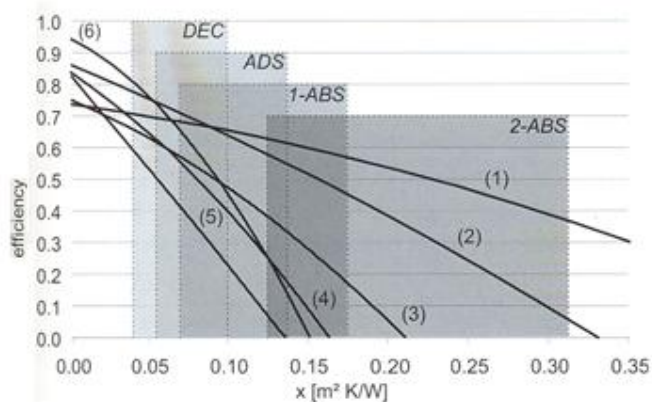
$$n = \frac{\dot{Q}_{use}}{A \cdot G_{\perp}} \quad (2.2)$$

ενώ κάνοντας τις κατάλληλες παραδοχές και μαθηματικές αντικαταστάσεις καταλήγουμε στην πιο εύχρηστη έκφραση για το βαθμό απόδοσης του συλλέκτη που δίνεται από την σχέση (2.3)

$$n = F_R \cdot (\tau\alpha) - F_R \cdot U_L \cdot \frac{T_i - T_a}{G_{\perp}} \quad (2.3)$$

όπου F_R είναι ο παράγων θερμικής απολαβής του εκάστοτε συλλέκτη, $(\tau\alpha)$ το γινόμενο διαπερατότητας επί την απορροφητικότητα του απορροφητήρα, U_L ο συντελεστής θερμικών απωλειών και T_i, T_a είναι οι θερμοκρασίες εισόδου του ρευστού στο συλλέκτη και θερμοκρασία περιβάλλοντος αντίστοιχα. Διάφορες χαρακτηριστικές τιμές για τις παραπάνω παραμέτρους έχουν προταθεί ανάλογα με το είδος του συλλέκτη. Για το γινόμενο $F_R \cdot (\tau\alpha)$, 0.9 για το μονό επίπεδο γυάλινο κάλυμμα ,όπως στην εγκατάσταση ηλιακού κλιματισμού που εξετάζουμε, 0,75 για διπλό επίπεδο γυάλινο κάλυμμα ενώ για το γινόμενο $F_R \cdot U_L$, 10 W/m²/K και 6.5 W/m²/K αντίστοιχα για τα ίδια είδη γυάλινων καλυμμάτων με τα παραπάνω. Έτσι μια τυπική τιμή για τον συντελεστή απόδοσης επίπεδου συλλέκτη, με θερμοκρασιακή διαφορά $T_i - T_a = 25$ K και $G_{\perp} = 700$ W/m², είναι 0.5 ± 0.6 , με φθίνοντα ρυθμό 0.2 ± 0.3 για κάθε 50K θερμοκρασιακής διαφοράς. [5]

Σημαντικό ρόλο για την απόδοση των ηλιακών συλλεκτών διαδραματίζει ο τρόπος τοποθέτησής τους στο χώρο. Οι τιμές των μεγεθών $\gamma = 0^{\circ}$ και $\beta = 30^{\circ}$, της εξεταζόμενης εγκατάστασης, είναι αναμενόμενες καθώς για την μεγιστοποίηση της προσπίπτουσας ενέργειας σε κεκλιμένο επίπεδο σε μηνιαία ,εποχιακή ή ετήσια βάση, πρέπει ο προσανατολισμός του συλλέκτη στο βόρειο ημισφαίριο να είναι νότιος δηλαδή μηδενική γωνία αζιμούθιου. Επιπρόσθετα, η γωνία κλίσης του συλλέκτη, για μέγιστη ετήσια συλλεγόμενη ενέργεια, απαιτείται να είναι ίση με το γεωγραφικό πλάτος , ϕ , της περιοχής τοποθέτησης του, ενώ αποκλίσεις της τάξης των 15° προκαλούν μείωση της ενέργειας αυτής μόνο κατά 5%. [6] Για αυτό το λόγο και η γωνία κλίσης των συλλεκτών λαμβάνεται 30° καθώς από δορυφορικούς χάρτες διαπιστώνεται ότι το γεωγραφικό πλάτος του πάρκου ενεργειακής αγωγής στο Λαύριο Αττικής είναι $36,76^{\circ}$. [7] Τέλος, για το σύστημα DEC που εξετάζουμε οι συνήθεις θερμοκρασίες λειτουργίας είναι 65°C , έτσι χάρις στα παραπάνω χαρακτηριστικά οι επίπεδοι συλλέκτες επιλεκτικής επιφάνειας θεωρούνται από τους πλέον κατάλληλους συλλέκτες για την υλοποίηση τεχνικών ηλιακού κλιματισμού όπως παρουσιάζεται και στο σχήμα (2.3). [4]



Σχήμα 2.3 Σύγκριση διαφόρων τυπικών εφαρμογών για διαφορετικό είδος συλλεκτών³.

Υπόμνημα: (1) συλλέκτης κενού (2) άμεσης επαφής συλλέκτης κενού (3) θερμού σωλήνα συλλέκτης κενού (4) επίπεδος συλλέκτης επιλεκτικής επιφάνειας (5) συλλέκτης αέρα επιλεκτικής επιφάνειας (6) στατικός συγκεντρωτικός συλλέκτης. DEC: τεχνολογία αφύγρανσης-εξάτμισης. ADS: ψύκτης προσρόφησης. 1-ABS: μονής επίδρασης ψύκτης απορρόφησης. 2-ABS: διπλής επίδρασης ψύκτης απορρόφησης. [4]

Ο βρόγχος των ηλιακών συλλεκτών με τη δεξαμενή αποθήκευσής και την κατάλληλη αντλία αποτελεί και το πρωτεύον κύκλωμα της υδραυλικής παροχής της εγκατάστασης ο οποίος πληρώνεται με διάλυμα νερού και προπυλενικής γλυκόλης ενώ διαθέτει και δοχείο διαστολής για να αντιμετωπιστεί το φαινόμενο της στασιμότητας.

Με τον όρο στασιμότητα ορίζουμε την κατάσταση όπου, ενώ η προσπίπτουσα ακτινοβολία είναι αρκετή για να λειτουργήσει το ηλιακό σύστημα, το υγρό δεν κυκλοφορεί στο κύκλωμα των συλλεκτών είτε εξ' αίτιας κάποιας βλάβης είτε λόγω έλλειψης ζήτησης με αποτέλεσμα την υπερβολική αύξηση της θερμοκρασίας του και τελικά την ατμοποίηση του. Η θερμοκρασία του απορροφητή σε επίπεδους επιλεκτικούς συλλέκτες σε συνθήκες ατμοποίησης μπορεί να φτάσει και τους 200⁰C. Το αποτέλεσμα αυτού του φυσικού φαινομένου, αν δεν αντιμετωπιστεί, είναι να γεμίσει με ατμό όλο το πεδίο των σωληνώσεων των συλλεκτών και μπορεί να είναι ιδιαίτερα σημαντικό για το πρωτεύον υδραυλικό κύκλωμα της εγκατάστασης και τους συλλέκτες αφού δύναται να οδηγήσει στην αστοχία των υλικών και καταστροφή των επιμέρους τμημάτων της εγκατάστασης. Για αυτό το λόγο το δοχείο διαστολής διαστασιολογείται με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να απορροφήσει τις θερμικές διαστολές του αντιψυκτικού διαλύματος αλλά και όλο τον όγκο του υγρού που βρίσκεται μέσα στους απορροφητές των συλλεκτών. Έτσι για να προσδιοριστεί ο ζητούμενος όγκος του δοχείου διαστολής πρέπει να γίνουν οι παρακάτω υπολογισμοί. Αρχικά υπολογίζουμε τον όγκο διαστολής του υγρού από τον τύπο (2.4):

$$\Delta V = e \cdot V_{FI} \quad (2.4)$$

όπου e : ο συντελεστής διαστολής (για το διάλυμα νερού-προπυλενικής γλυκόλης $e=0.07$) ενώ V_{FI} είναι ο συνολικός όγκος του ρευστού στο πρωτεύον κύκλωμα. Στη συνέχεια υπολογίζουμε τον ωφέλιμο όγκο από τον τύπο (2.5):

$$V_u = \Delta V + V_c \quad (2.5)$$

όπου V_c ο όγκος του ρευστού που περιέχεται στην περιοχή των απορροφητών των συλλεκτών. Τέλος, υπολογίζουμε τον ζητούμενο ονομαστικό όγκο του δοχείου διαστολής από τον τύπο (2.6):

³ Για κάθε σκιασμένο εύρος εφαρμογής το αριστερό όριο αναφέρεται σε 1000W/m² ηλιακής ακτινοβολίας στο συλλέκτη ενώ το δεξιό όριο σε 400 W/m²

$$V_N = \frac{V_u \cdot (P_F + 1)}{(P_F - P_I)} \quad (2.6)$$

όπου P_I : η αρχική πίεση πλήρωσης του πρωτεύοντος κυκλώματος ενώ P_F : η μέγιστη επιτρεπόμενη πίεση στο πρωτεύον κύκλωμα. Κατά την επιλογή της P_F πρέπει να εξασφαλίζεται η αντοχή των υλικών των σωληνώσεων αλλά και η πίεση ενεργοποίησης των ασφαλιστικών βαλβίδων να είναι ελάχιστα μεγαλύτερη από την P_F .

Ακόμα, η πλήρωση του πρωτεύοντος κυκλώματος με διάλυμα νερού και προπυλενικής γλυκόλης κρίθηκε αναγκαία για την προστασία του από τον παγετό. Για να προσδιοριστεί η συγκέντρωση της γλυκόλης στο διάλυμα θα πρέπει αρχικά να καθοριστεί η ελάχιστη θερμοκρασία προστασίας, που δίνεται από την σχέση (2.7) :

$$T_{\text{προστασίας}} = T_{\text{min}} - \Delta T_{\text{ασφαλείας}} \quad (2.7)$$

όπου T_{min} : είναι η ελάχιστη θερμοκρασία του χειμώνα για την εκάστοτε περιοχή. Συγκεκριμένα για την Αθήνα λαμβάνουμε την τιμή $T_{\text{min}} = -1^{\circ}\text{C}$, που δίνεται σύμφωνα με το ΦΕΚ⁴ 362Δ/79 δηλαδή τον κανονισμό σχεδιασμού θέρμανσης κτιρίων. [3] Ενώ η θερμοκρασιακή διαφορά $\Delta T_{\text{ασφαλείας}}$ αφορά στο όριο ασφαλείας που θέλει να θέσει ο ίδιος ο σχεδιαστής του συστήματος. Στη συγκεκριμένη περίπτωση έχουμε λάβει όριο, $\Delta T_{\text{ασφαλείας}} = 10^{\circ}\text{C}$, άρα καταλήγουμε σε $T_{\text{προστασίας}} = -11^{\circ}\text{C}$. Στη συνέχεια από πίνακα 2.1 για το διάλυμα νερού-προπυλενικής γλυκόλης με γραμμική παρεμβολή λαμβάνουμε συγκέντρωση 25% κατά μάζα.

| Freezing Point | | | | | | | | |
|--|--------------------|----|----|----|-----|-----|-----|-----|
| Propylene Glycol Solution (% by mass) | | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
| Temperature | $^{\circ}\text{F}$ | 32 | 26 | 18 | 7 | -8 | -29 | -55 |
| | $^{\circ}\text{C}$ | 0 | -3 | -8 | -14 | -22 | -34 | -48 |

Πίνακας 2.1. σημείο πήξης διαλύματος νερού και προπυλενικής γλυκόλης.

Το δοχείο αποθήκευσης είναι μια κυλινδρική δεξαμενή που φέρει κατάλληλη μόνωση σε όλη την εξωτερική της επιφάνεια και έχει ωφέλιμο όγκο 600 λίτρων ενώ είναι εφοδιασμένη με θερμοστάτη ρυθμισμένο στους 75°C , με εσωτερικό εναλλάκτη θερμότητας, τύπου σπείρας αλλά και ηλεκτρική αντίσταση όπως φαίνεται στο σχήμα (2.4).

⁴ ΦΕΚ: φύλλο εφημερίδας της κυβερνήσεως

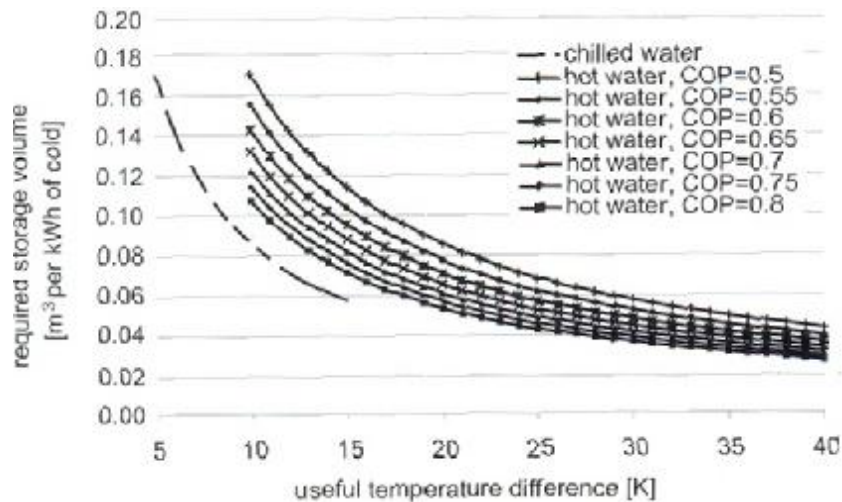


Σχήμα 2.4 δεξαμενή αποθήκευσης με εσωτερικό εναλλάκτη θερμότητας τύπου σπείρας

Η αντίσταση συνδέεται με το ηλεκτρικό δίκτυο και λειτουργεί σα βοηθητική-εξωτερική πηγή ενέργειας, ενώ έχει ισχύ 6 kW. Η συγκεκριμένη ισχύς διοχετεύεται με ξεχωριστή ηλεκτρική ασφάλεια από τον κεντρικό πίνακα της εγκατάστασης για λόγους ασφάλειας και ομαλούς λειτουργίας του υπόλοιπου συστήματος σε περίπτωση βλάβης.

Ο ρόλος της δεξαμενής αποθήκευσης στα συστήματα ηλιακού κλιματισμού είναι πολύ σημαντικός καθώς εκπληρώνει κάποιες πολύ βασικές λειτουργίες. Αρχικά παρέχει την απαιτούμενη παροχή ζεστού νερού στην κατάλληλη θερμοκρασία στην έξοδο του. Εξισορροπεί τις διαφορές ανάμεσα στη ζήτηση για παροχή ζεστού νερού από την εγκατάσταση και προσφορά παροχής ζεστού νερού από τους ηλιακούς συλλέκτες έτσι το υδραυλικό κύκλωμα της εγκατάστασης παραμένει σε ισορροπία. Αποθηκεύει το πλεόνασμα της παραγόμενης από τους ηλιακούς συλλέκτες θερμότητας και το παρέχει σε περιπτώσεις όπου έχουμε είτε ελλειμματική είτε μηδενική παραγωγή θερμότητας. Μειώνει την θερμική ισχύ των απαιτούμενων βοηθητικών πηγών αλλά και αποθηκεύει την θερμότητα σε κατάλληλα θερμοκρασιακά επίπεδα ,κάνοντας θερμοκρασιακή διαστρωμάτωση, αποφεύγοντας τις αναμείξεις και κατά συνέπεια τις θερμικές απώλειες.

Η απαιτούμενη χωρητικότητα της δεξαμενής υπολογίστηκε σύμφωνα με τις απαιτούμενες λειτουργικές παραμέτρους της εγκατάστασης αλλά και διάφορους περιορισμούς για την ασφαλή και ισορροπημένη λειτουργία του υδραυλικού κυκλώματος. Αρχικά όπως φαίνεται στο σχήμα (2.5) ο όγκος της δεξαμενής αποθήκευσης αποτελεί συνάρτηση του συντελεστή συμπεριφοράς της εγκατάστασης (COP) όπως αυτός έχει υπολογιστεί θεωρητικά αλλά και της ζητούμενης θερμοκρασιακής διαφοράς από την είσοδο στην έξοδο της δεξαμενής,



Σχήμα 2.5 απαιτούμενος όγκος της δεξαμενής αποθήκευσης σε συνάρτηση με COP και θερμοκρασιακή διαφορά.[4]

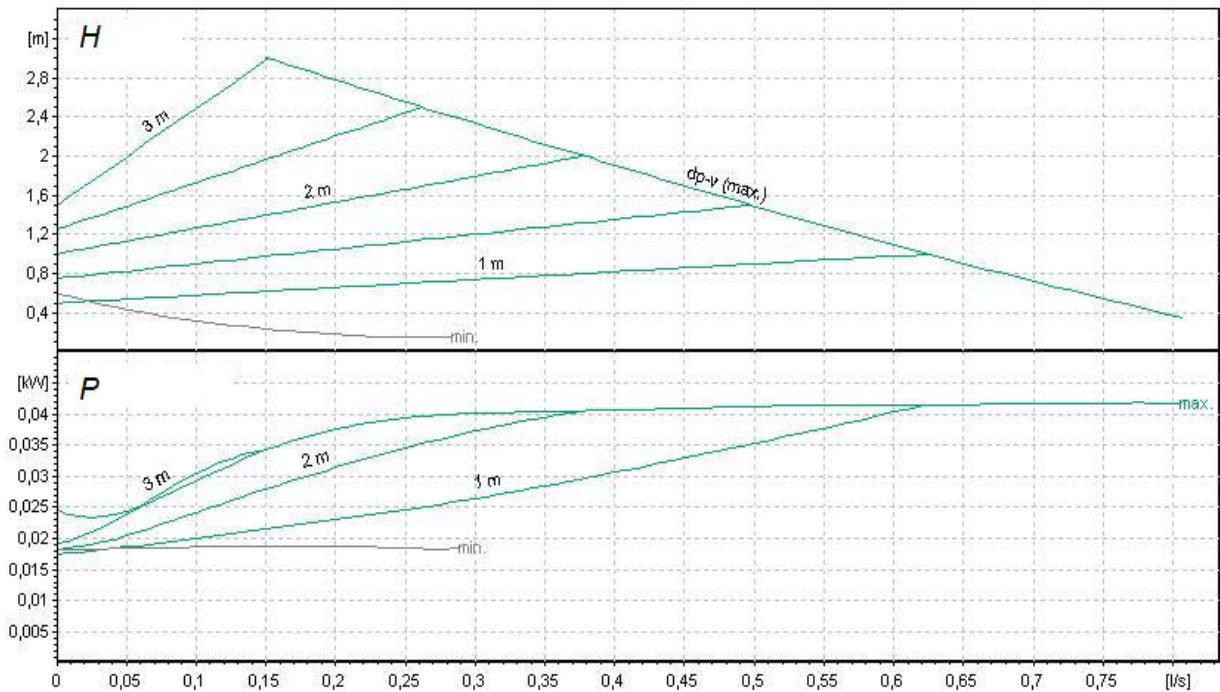
Ακόμα, η δεξαμενή αποθήκευσης πρέπει να περιέχει πάντα την κατάλληλη ποσότητα ζεστού νερού ώστε να μπορεί να καλύψει τις ανάγκες της εγκατάστασης. Ακόμα η θερμοκρασία του υγρού που ρέει από τη δεξαμενή προς τους ηλιακούς συλλέκτες πρέπει να έχει όσο το δυνατό χαμηλότερη θερμοκρασία ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη απόδοση των συλλεκτών.

Τέλος, καθώς η υπάρχουσα επιφάνεια των συλλεκτών είναι 10 m^2 και θεωρείται αρκετά περιορισμένη, είναι μικρότερη της οριακής τιμής των 15 m^2 , [4] ο εσωτερικός εναλλάκτης θερμότητας είναι τοποθετημένος στο πυθμένα της δεξαμενής αποθήκευσης για να έχουμε τη θέρμανση του νερού της δεξαμενής προοδευτικά από κάτω προς τα πάνω και ο σχεδιασμός για το ρυθμό διακίνησης του αντιψυκτικού διαλύματος του πρωτεύοντος κυκλώματος να είναι υψηλός εξασφαλίζοντας έτσι μια θερμοκρασιακή ανύψωση των $5\text{-}10^\circ\text{C}$ και μια παροχή των $30\text{-}70 \text{ l/m}^2$ την ώρα. Ο πρώτος λόγος που αυτή η υψηλή παροχή του μέσου στους συλλέκτες είναι αναγκαία, είναι ότι ο συγκεκριμένος εξοπλισμός λειτουργεί σε σχετικά χαμηλά θερμοκρασιακές διαφορές μεταξύ εισόδου και εξόδου όπως για παράδειγμα οι 10°C , που επιτυγχάνονται με τις συγκεκριμένες υψηλές τιμές των παροχών. Ο δεύτερος λόγος είναι ότι θερμοκρασίες μέχρι 100°C χρησιμοποιούνται σε συστήματα ηλιακού κλιματισμού και έτσι η δεξαμενή αποθήκευσης λειτουργεί σε ατμοσφαιρική πίεση κρατώντας το κόστος του εξοπλισμού σε χαμηλά επίπεδα, καθώς σε αντίθετη περίπτωση αν οι παροχές ήταν μικρότερες θα είχαμε αύξηση και των θερμοκρασιακών διαφορών δηλαδή αύξηση του θερμοκρασιακού επιπέδου του περιεχομένου της δεξαμενής με άμεσο επακόλουθο και την αύξηση της πίεσης λειτουργίας της.

Για την κάλυψη της υψηλής παροχής του αντιψυκτικού μέσου στο πρωτεύον κύκλωμα χρησιμοποιήθηκε αντλία με τα κατάλληλα τεχνικά χαρακτηριστικά. Η συγκεκριμένη αντλία είναι της εταιρίας WILLO και ο κωδικός της είναι Easy-Star E25/1-3. Από τον κατασκευαστή παραθέτουμε παρακάτω τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά, τις χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας καθώς και τα απαραίτητα σκαριφήματα. [8] Το κέλυφος της αντλίας είναι κατασκευασμένο από EN-GJL-200, η πτερωτή με συνθετική ύλη ενισχυμένη με ίνες γυαλιού

ενώ ο άξονας από χρωμιωμένο χάλυβα με έδρανα από άνθρακα και η μεγαλύτερή της διάσταση δε ξεπερνά τα 160mm.

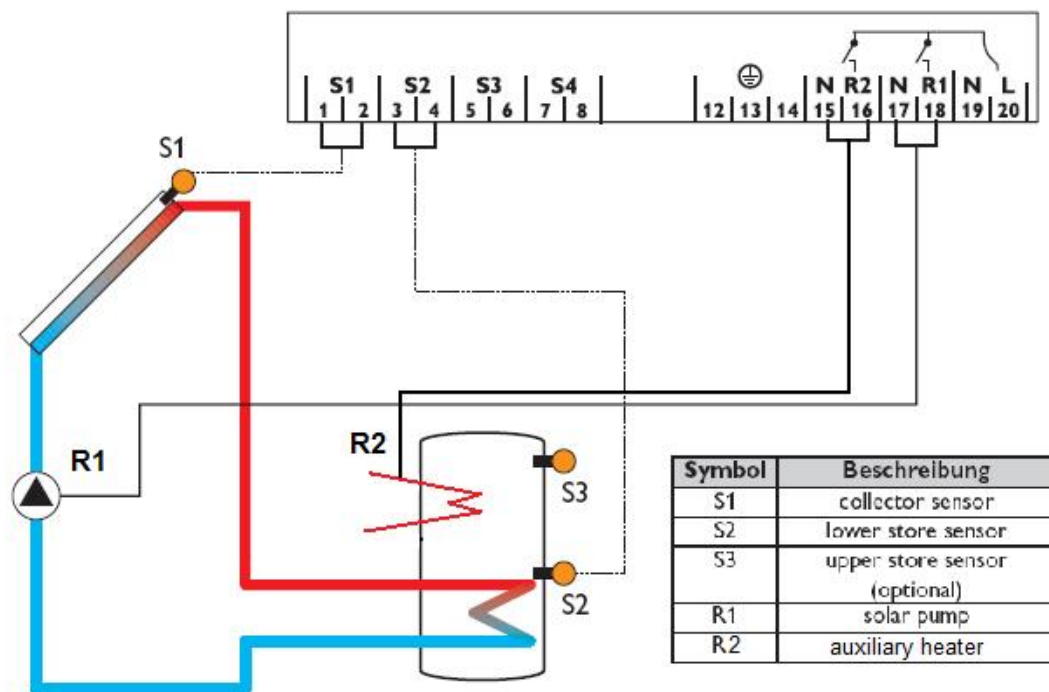
Η μέγιστη πίεση λειτουργίας της αντλίας είναι $P_{max}=10$ bar και το εύρος θερμοκρασιών είναι $20\div 110^{\circ}C$. Η μέγιστη απαιτούμενη ισχύς είναι $N_{max}=0.042kW$. Η λειτουργία της είναι πλήρως αυτοματοποιημένη και ρυθμιζόμενη με ηλεκτρονικό έλεγχο καθώς δέχεται σήμα ελέγχου από $0\div 10V$. Διατίθεται ακόμα, ηλεκτρονική ασφάλεια για την αποφυγή της διακοπής λειτουργίας της σε περίπτωση πτώσης τάσης ή διακοπής της παροχής του ηλεκτρικού ρεύματος. Σε περίπτωση αστοχίας των ηλεκτρονικών συστημάτων έχουμε μετάθεση της λειτουργίας στη μέγιστη χαρακτηριστική καμπύλη. Οι χαρακτηριστικές καμπύλες της αντλίας φαίνονται στο παρακάτω σχήμα (2.6),



Σχήμα 2.6 χαρακτηριστικές καμπύλες για το ύψος της ανύψωσης της αντλίας $H[m]$ και ισχύος $P[kW]$ σε συνάρτηση με τη παροχή $Q[l/s]$, [9].

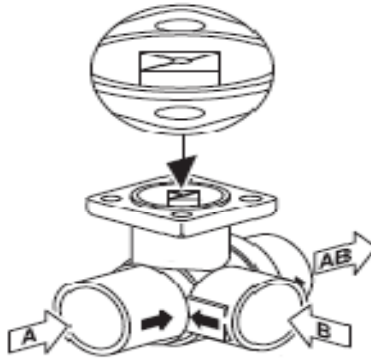
Από τις παραπάνω καμπύλες αξιοσημείωτο στοιχείο είναι η καταναλισκόμενη ισχύς σε κατάσταση αναμονής, που είναι 0,018 kW, η οποία είναι απαραίτητη για την πραγματοποίηση της ρύθμισής τους από το εξωτερικό ηλεκτρικό σήμα. Θεωρώντας ότι η αντλία αυτή βρίσκεται σε κατάσταση αναμονής περίπου 7000 ώρες το χρόνο έχουμε μία συνολικά καταναλισκόμενη ενέργεια, για έναν χρόνο λειτουργίας της εγκατάστασης, της τάξης των 126 kWh. Μία τιμή που είναι ανεκτή αλλά σε κάθε περίπτωση επιδιώκουμε την όσο δυνατή μεγαλύτερη μείωσή της. Δεδομένα έχουν δείξει ότι το 10% της συμβατικής ενέργειας που καταναλώνεται από την εγκατάσταση αφορά στις αντλίες του πρωτεύοντος και δευτερεύοντος υδραυλικού κυκλώματος. Σε περίπτωση μηδενισμού της κατανάλωσης των αντλιών σε κατάσταση αναμονής αυτό το ποσοστό μπορούσε να μειωθεί ακόμα και στο 3%. [9]

Για τη παρακολούθηση των μεγεθών του πρωτεύοντος κυκλώματος έχει τοποθετηθεί μονάδα ελέγχου της εταιρείας Resol, με δυνατότητα παρουσίασης στο χρήστη των απαραίτητων πληροφοριών μέσα από ηλεκτρονική οθόνη. Η μονάδα ελέγχου είναι τοποθετημένη σε εμφανές σημείο ώστε ο χρήστης να έχει εύκολη και ελεύθερη πρόσβαση στις τιμές των παραμέτρων που τον ενδιαφέρουν και συνδέεται σε συμβατική παροχή ρεύματος του ηλεκτρικού δικτύου δηλαδή τάση 220÷230V και συχνότητα 50Hz. Όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα (2.7) το plc Resol Bs plus συνδέεται μέσω κατάλληλου για τη μεταφορά δεδομένων καλωδίου, με αισθητήρα θερμοκρασίας στην περιοχή των συλλεκτών, αισθητήρες θερμοκρασίας στη δεξαμενή αποθήκευσης για τη μέτρηση της μέγιστης, της ελάχιστης και της τρέχουσας θερμοκρασίας του περιεχόμενου σε αυτή ρευστού αλλά και με την αντλία του πρωτεύοντος για τον έλεγχο στροφών της. [10] Ακόμα, παρέχει μετρητές, με την ενεργοποίηση αντίστοιχων ηλεκτρονόμων, για την καταγραφή των ωρών λειτουργίας της αντλίας κυκλώματος αλλά και τις ώρες λειτουργίας της ηλεκτρικής αντίστασης δηλαδή της βοηθητικής πηγής ενέργειας σε περίπτωση ανεπάρκειας της ηλιακής ενέργειας. Τέλος εμφανίζονται στην οθόνη χαρακτηριστικά προειδοποιητικά σύμβολα για τις πιθανές βλάβες που αφορούν στους αισθητήρες, στην ενεργοποίηση των ηλεκτρονόμων, στον χειροκίνητο χειρισμό και μεταβολή των παραμέτρων όπως και στην περίπτωση που η μέγιστη θερμοκρασία αποθήκευσης ξεπεραστεί.



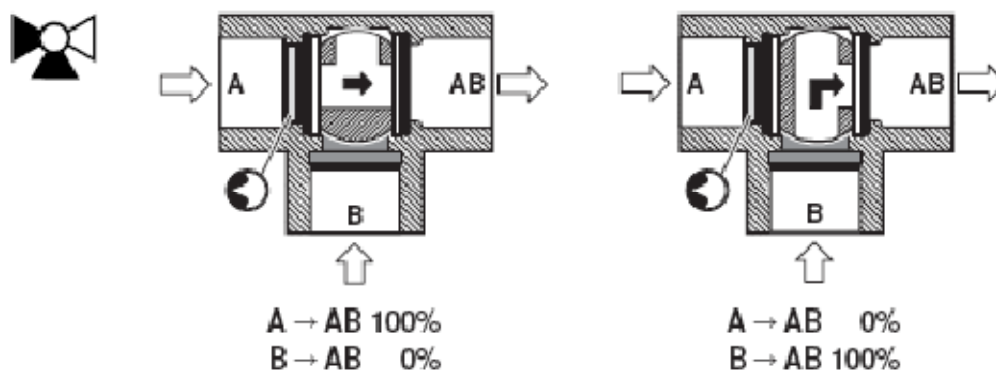
Σχήμα 2.7 απεικόνιση των θέσεων των αισθητήρων του Resol Bs plus στο πρωτεύον υδραυλικό κύκλωμα, [10].

Στον δευτερεύοντα βρόγχο του υδραυλικού κυκλώματος της εγκατάστασης που περιλαμβάνει τις σωληνώσεις από τη δεξαμενή αποθήκευσης μέχρι τον αναγεννητή της εγκατάστασης DEC τοποθετείται μια όμοια αντλία WILO με εκείνη του πρωτεύοντος με τα ίδια τεχνικά χαρακτηριστικά που αναφέρθηκαν παραπάνω και μία τριοδική βαλβίδα ανάμειξης με ενσωματωμένο περιστροφικό επενεργητή ο οποίος ελέγχεται από τον κεντρικό υπολογιστή της εγκατάστασης. Προμηθεύτρια εταιρεία τόσο της βαλβίδας όσο και του επενεργητή είναι η Belimo. Η τριοδική βαλβίδα πρόκειται για μια σφαιρική βαλβίδα τύπου «T» με δύο εισόδους (A,B) ρευστού και μία έξοδο (AB) όπως φαίνεται στο σχήμα (2.8). Στη εξεταζόμενη εγκατάσταση το ρευστό είναι νερό και στις δύο εισόδους της βαλβίδας και σκοπός της είναι η επίτευξη της επιθυμητής από τον χρήστη θερμοκρασίας στην έξοδο της βαλβίδας. Στην κεφαλή της βαλβίδας υπάρχει κατάλληλα διαμορφωμένος πύρος ώστε να είναι δυνατή η συνεργασία της με τον περιστροφικό επενεργητή. Η εσωτερική διάμετρος των οπών των δύο εισόδων είναι $D=15\text{mm}$ ενώ η εσωτερική διάμετρος της εξόδου είναι $R_p=1/2''$.



Σχήμα 2.8 Τριοδική βαλβίδα, [11].

Η συγκεκριμένη βαλβίδα έχει τον κωδικό προϊόντος R-312 και σύμφωνα με τους επίσημους κατασκευαστικούς καταλόγους παρουσιάζει τα παρακάτω τεχνικά χαρακτηριστικά. Η μέγιστη ροή ρευστού από την είσοδο A στην έξοδο είναι $K_{vs}=2.5 \text{ m}^3/\text{h}$, και η μέγιστη δυνατή αναπτυσσόμενη πίεση στο εσωτερικό της είναι $P_s=4110 \text{ kPa}$. Το επιτρεπόμενο θερμοκρασιακό εύρος του κυκλοφορούντος ρευστού είναι $5\div 110^\circ\text{C}$ ενώ η στεγανότητα των επιμέρους διαμερισμάτων της βαλβίδας ορίζεται ως πλήρως αεροστεγής μεταξύ των A και AB ενώ έχουμε απώλειες της τάξης $1\div 2\%$ της K_{vs} μεταξύ των A και B. Μια τομή της βαλβίδας παρουσιάζεται στο σχήμα (2.9) όπου φαίνονται οι δύο ακραίες θέσεις λειτουργίας για την διακοπή της ροής από την είσοδο B και A αντίστοιχα.

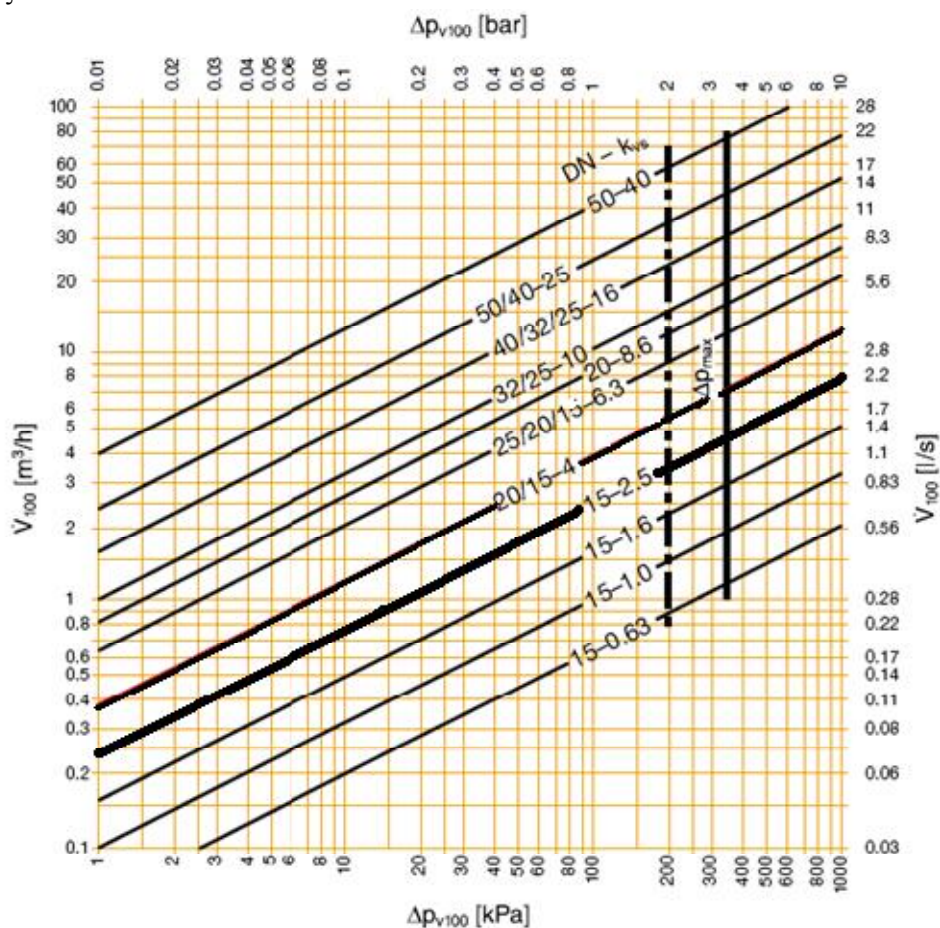


Σχήμα 2.9 ακραίες θέσεις λειτουργίας τριοδικής βαλβίδας [11].

Η μέγιστη πίεση που μπορεί να αναπτυχθεί στα επιμέρους διαμερίσματα της βαλβίδας είναι $\Delta p_{\max}=350$ kPa ενώ για αθόρυβη λειτουργία προβλέπεται $\Delta p=200$ kPa. [11] Τέλος, παρουσιάζεται διάγραμμα, σχήμα (2.10), που συνδέει την αδιάστατη ροή του ρευστού μέσα από την βαλβίδα με την αντίστοιχη παρατηρούμενη πτώση πίεσης και συμβολίζεται με χαρακτηριστική έντονη καμπύλη. Η σχέση που εκφράζει την παραπάνω συσχέτιση είναι η εξής:

$$K_{vS} = \frac{V_{100}}{\sqrt{\frac{\Delta p_{v100}}{100}}} \quad (2.8)$$

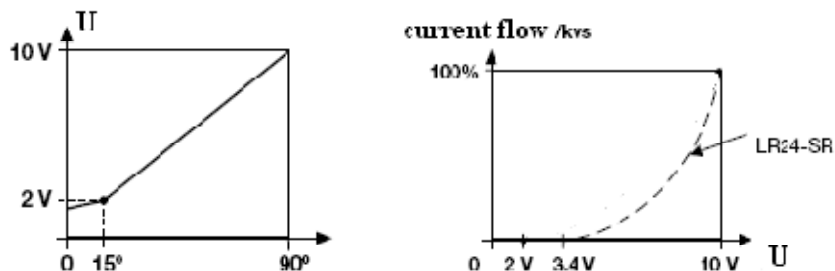
όπου V_{100} είναι η αδιάστατη παροχή του ρευστού σε m^3/h , Δp_{v100} είναι η αντίστοιχη πτώση πίεσης σε kPa.



Σχήμα 2.10 σύνδεση αδιάστατης ροής με πτώση πίεσης του ρευστού, [11].

Ο περιστροφικός επενεργητής που επιλέχθηκε για τον έλεγχο της τριοδικής βαλβίδας είναι ο Belimo LR/24-A που σύμφωνα με τους επιμέρους κατασκευαστικούς καταλόγους έχει τα παρακάτω τεχνικά χαρακτηριστικά. Η ονομαστική τάση για εναλλασσόμενο ρεύμα συχνότητας 50 Hz είναι 24V ενώ η ενεργειακή του κατανάλωση σε κατάσταση αναμονής είναι 0.2 W και σε κατάσταση λειτουργίας, στην ονομαστική ροπή των 5 Nm, είναι 1 W. Ο απαιτούμενος χρόνος για τη γωνιακή μετατόπιση κατά 90° είναι 90 s παράγοντας θόρυβο στάθμης 35 db. Για τον χειροκίνητο χειρισμό της γωνίας περιστροφής υπάρχει κατάλληλος διακόπτης που απεμπλέκει τον οδοντωτό τροχό του ηλεκτροκινητήρα του επενεργητή. Ακόμα ,μηχανικό γωνιόμετρο καθιστά δυνατό τον προσδιορισμό της εκάστοτε θέσης της βαλβίδας ανάμειξης, γεγονός που βοηθά τον χειριστή της εγκατάστασης στον έλεγχο της σωστής λειτουργίας των επιμέρους εξαρτημάτων αλλά και του λογισμικού διαχείρισης της εγκατάστασης. Το θερμοκρασιακό εύρος ασφαλούς λειτουργίας του επενεργητή είναι από 0°C έως 50°C ενώ η σχετική υγρασία του περιβάλλοντος χώρου δε θα πρέπει να ξεπερνά το 95%. Ο επενεργητής ζυγίζει 550 gr ενώ η μεγαλύτερη του διάσταση δε ξεπερνά τα 195mm.

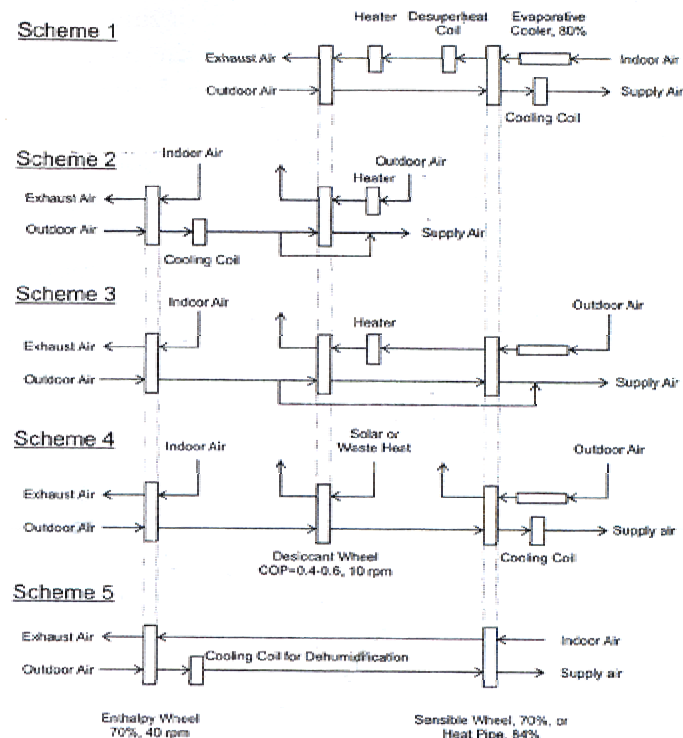
Σημαντικό χαρακτηριστικό του επενεργητή είναι ο τρόπος λειτουργίας και ελέγχου του. Αυτός ο έλεγχος πραγματοποιείται με σταθερό ηλεκτρικό σήμα εύρους $0\div 10\text{V}$. Με αυτό τον τρόπο, ανάλογα με τη μετρούμενη τάση U όπως την ορίζει ο κατασκευαστής, ορίζεται με ηλεκτρικό τρόπο η θέση μιας αντίστασης και λειτουργεί σα σήμα πιλότος για την μετακίνηση του επενεργητή. Από την καμπύλη του κατασκευαστή, σχήμα 2.11, με αρκετά μεγάλη ακρίβεια μπορούμε να θεωρήσουμε ότι η περιστροφική κίνηση του επενεργητή σε συνάρτηση με την μετρούμενη τάση U είναι γραμμική. Ακόμα μας δίνεται το διάγραμμα για τη μεταβολή του πηλίκου, της τρέχουσας παροχής(K_v) προς τη μέγιστη δυνατή (K_{vs}), σε σχέση με τη τάση ελέγχου. Η συγκεκριμένη παραδοχή στη συνέχεια θα γίνεται αρκετά συχνά και θα φανεί πολύ χρήσιμη καθώς ο χρήστης του λογισμικού της εγκατάστασης θα πρέπει να καθορίζει τις περισσότερες μεταβλητές στην κλίμακα ηλεκτρικής τάσης $0\div 10\text{V}$ που αντιστοιχίζεται με το $0\div 100\%$ του εύρους λειτουργίας του εκάστοτε οργάνου.



Σχήμα 2.11 συσχέτιση $U-\phi$ και $(K_v/K_{vs})-U$, [11].

2.2.2 Μονάδα «Αφύγρανσης-Εξάτμισης»

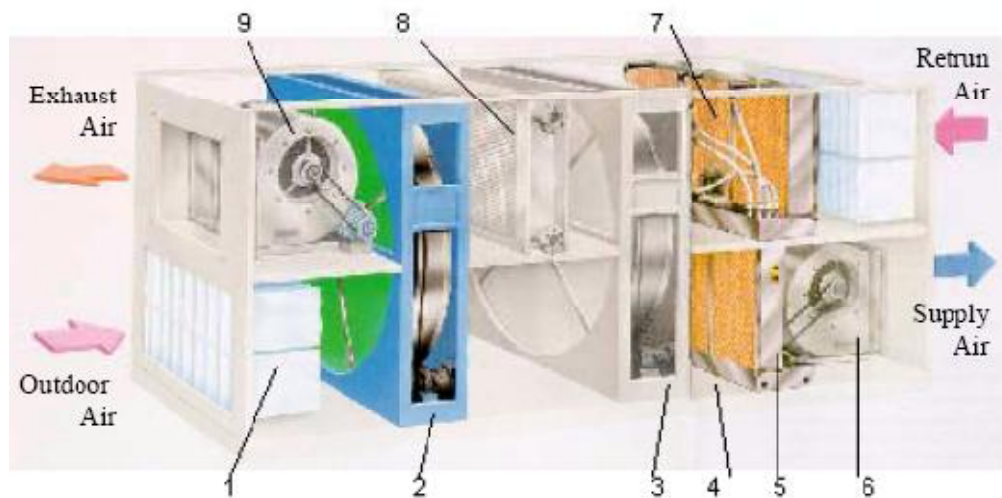
Η εγκατάσταση ανοικτού κύκλου με την τεχνολογία «αφύγρανσης-εξάτμισης» (DEC⁵) χρησιμοποιείται για να παράγει απ' ευθείας κλιματιζόμενο αέρα. Τα βασικά εξαρτήματα που απαρτίζουν μία τέτοιου είδους εγκατάσταση είναι τα ειδικά φίλτρα, οι ηλεκτροκίνητοι ανεμιστήρες, ο τροχός αφύγρανσης, ο τροχός εναλλαγής αισθητής θερμότητας και οι υγραντήρες. Η απαραίτητη αναγέννηση του αφυγραντικού τροχού πραγματοποιείται με ρεύμα αέρα υψηλής θερμοκρασίας και χαμηλής σχετικής υγρασίας, πράγμα που επιτυγχάνεται με εναλλάκτη νερού-αέρα (αναγεννητής) όπου και αξιοποιείται η προσφερόμενη θερμότητα από τους ηλιακούς συλλέκτες. [9] Ο όρος «ανοικτού κύκλου» αφορά στο γεγονός ότι το μέσο που υφίσταται τη μεταβολή, δηλαδή ο αέρας, απορρίπτεται από το σύστημα αφού παραλάβει τα θερμικά φορτία και αντικαθίσταται από καινούργιο. Τα παραπάνω εξαρτήματα που αποτελούν και τις κύριες λειτουργικές συνιστώσες της μονάδας μπορούν να συνδυαστούν με πολλούς τρόπους ώστε να επιτευχθούν οι επιθυμητές συνθήκες του εξαγόμενου αέρα. Οι διατάξεις που τελικά έχουν επικρατήσει είναι πέντε και παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα(2.12). [5]



Σχήμα 2.12 εναλλακτικές διατάξεις για συστήματα αφύγρανσης-εξάτμισης με αφυγραντικό τροχό και εναλλάκτη αισθητής θερμότητας, [5].

⁵ Στη συνέχεια του κειμένου με τη χρήση του όρου DEC θα εννοείται το σύστημα ανοικτού κύκλου «αφύγρανσης-εξάτμισης».

Στην εξεταζόμενη εγκατάσταση έχει επιλεγθεί η διάταξη της πρώτης περίπτωσης που είναι και η πιο απλή. Το εισερχόμενο από τον αγωγό προσαγωγής ρεύμα αέρα διηθείται σε ειδικά φίλτρα και προσπίπτει στον αφυγραντικό τροχό. Στη συνέχεια βρίσκεται ο εναλλάκτης αισθητής θερμότητας και ο υγραντήρας όπου και επιτυγχάνονται οι συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας για τον κλιματιζόμενο χώρο. Στο ρεύμα επιστροφής, που είναι αντίθετης φοράς με το προηγούμενο, ο αέρας παραλαμβάνεται από τον κλιματιζόμενο χώρο φιλτράρεται εκ νέου υγραίνεται, προσπίπτει στο άνω τμήμα του εναλλάκτη αισθητής θερμότητας, θερμαίνεται στον αναγεννητή, προσπίπτει στη συνέχεια στον αφυγραντικό τροχό και απορρίπτεται στο περιβάλλον. Η σχηματική παρουσίαση(2.13) της εγκατάστασης γίνεται παρακάτω αριθμώντας τα επιμέρους συστήματα που αναφέρθηκαν



Σχήμα 2.13 σχηματική παράσταση εγκατάστασης DEC στο χώρο του τεχνολογικού πάρκου ενεργειακής αγωγής του ΚΑΠΕ στο Λαύριο Αττικής [3].

Υπόμνημα: 1. Φίλτρα 2. Αφυγραντικός τροχός στερεού LiCl 3. Εναλλάκτης αισθητής θερμότητας 4. χώρος για πρόσθετο θερμαντικό στοιχείο για χειμερινή λειτουργία 5. υγραντήρας ρεύματος προσαγωγής 6, 9. ηλεκτροκίνητοι ανεμιστήρες 7. υγραντήρας ρεύματος επιστροφής 8. αναγεννητής

Βασικό μέλημα του κατασκευαστή είναι η διατήρηση των διαστάσεων της εγκατάστασης στα μικρότερα δυνατά επίπεδα διατηρώντας όμως τον απαιτούμενο χώρο για την επιθεώρηση και την συντήρηση του εξοπλισμού, παράλληλα με αυτόν τον τρόπο αποφεύγονται αυξήσεις στην ταχύτητα του αέρα που οδηγούν σε πρόσθετες απώλειες πίεσης. [12]

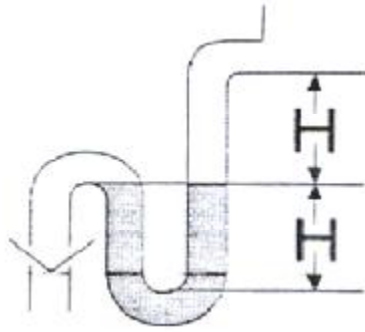
Η εγκατάσταση θα στηριχτεί σε πλαίσιο κατασκευασμένο από προφίλ αλουμινίου μήκους 3287 mm, πλάτους 688 mm και ύψους 890 mm. Για την ενίσχυση της ευστάθειας της βάσης, το πλαίσιο κοχλιώνεται στο δάπεδο του χώρου.

ΠΛΑΙΣΙΟ

Το κέλυφος που περικλείει τις επιμέρους συσκευές της εγκατάστασης είναι κατασκευασμένο από την εξειδικευμένη εταιρεία Weger, και απαρτίζεται από θαλάμους οι οποίοι συνδέονται μεταξύ τους με κατάλληλα ελάσματα αλουμινίου γωνιακής διαμόρφωσης τα οποία συγκρατούνται από τους απαραίτητους κοχλίες αφού πρώτα τοποθετηθεί ανάμεσά τους το κατάλληλο στεγνωτικό υλικό ώστε να μην υπάρχουν διαφυγές αέρα. Ο κάθε θάλαμος αποτελείται από αυτόνομο και συμπαγή σκελετό που φέρει εσωτερική αυλάκωση για την τοποθέτηση του παρεμβύσματος, εξασφαλίζοντας έτσι τη στεγανότητά του. Οι κορυφές του κάθε θαλάμου είναι κατασκευασμένες ομαλά χωρίς έντονες γωνίες για την αποφυγή τραυματισμών του χρήστη της εγκατάστασης. Με το συγκεκριμένο τρόπο κατασκευής η διάταξη των επιμέρους συστημάτων δεν είναι δεσμευτική καθώς μπορεί να γίνουν αλλαγές χωρίς να υπάρξει ριζική αποσυναρμολόγηση της εγκατάστασης ακόμα μπορεί να γίνει μεμονωμένη συντήρηση ή αντικατάσταση κάποιου τμήματος της μονάδας χωρίς να χρειαστεί να μετακινηθούν τα υπόλοιπα κομμάτια της. Τα τοιχώματα του κάθε θαλάμου αποτελούνται από δύο γαλβανισμένα μεταλλικά φύλλα που μεταξύ τους υπάρχει μόνωση από φυσικό, ανόργανο μαλλί πάχους 40 mm. Η μόνωση αυτή παρέχει αντιπυρική προστασία και συμμορφώνεται με τις απαιτήσεις του κανονισμού DIN 4102 και της κλάσης A1. [13] Οι θύρες και τα ανοίγματα πρόσβασης ασφαλίζουν με όμοια μεταλλικά στοιχεία, γεγονός που βοηθάει στην ομοιομορφία και απλότητα της εγκατάστασης καθώς δεν είναι απαραίτητα ειδικά εργαλεία για την απασφάλισή τους. Η μία πλάγια πλευρά όλων των θαλάμων είναι κατασκευασμένη από διάφανο ανθεκτικό υλικό, έτσι ώστε όλα τα εξαρτήματα να είναι ορατά στον παρατηρητή, γεγονός που ενισχύει τον εκπαιδευτικό και επιδεικτικό χαρακτήρα της εγκατάστασης. Στο εσωτερικό του κάθε θαλάμου, όπου είναι απαραίτητο, είναι τοποθετημένες εγκάρσιες ράγες για την κοχλίωση των απαραίτητων συσκευών όπως οι ανεμιστήρες με τους αντίστοιχους ηλεκτροκινητήρες τους.

Κατά τη λειτουργία των μονάδων κλιματισμού παράγονται θόρυβοι ορισμένων συχνοτήτων είτε λόγω συντονισμών της κατασκευής είτε λόγω της κίνησης του αέρα στο εσωτερικό τους. Για τη μείωση αυτών των θορύβων χρησιμοποιούνται διάφορες διατάξεις υποβίβασης όπως είναι πλάκες φελλού τοποθετημένες στο πυθμένα του θαλάμου αλλά και διάφορα μεταλλικά στοιχεία επικαλυμμένα με απορροφητικό υλικό που διαχωρίζονται από το ρεύμα με ειδικό ύφασμα (fiber glass). [4]

Για την απορροή των συμπυκνωμάτων από τους υγραντήρες προβλέπεται δεξαμενή που οδηγεί σε σιφόνι ελεύθερης ροής. Το ενεργό ύψος, H, (σχήμα 2.14) που μπορεί να έχει το σιφόνι είναι η μέγιστη εσωτερική στατική πίεση εκφρασμένη σε mm στήλης ύδατος και 15 mm περιθώριο ασφαλείας.



Σχήμα 2.14 ενεργό ύψος H , για το σιφόνι απορροής [4].

Σε περίπτωση μη λειτουργίας της εγκατάστασης τα πτερύγια που βρίσκονται στις ακραίες θέσεις με τη βοήθεια ενσωματωμένου σερβομηχανισμού κλείνουν ώστε να αποφευχθεί η εισχώρηση σκόνης και σωματιδίων που επικαθονται στα επιμέρους συστήματα προκαλώντας φθορά. Τα πτερύγια είναι κατασκευασμένα από αλουμίνιο και βρίσκονται ενσωματωμένα σε πλαίσιο αλουμινίου πλάτους 30 mm με κατάλληλο μηχανισμό οδοντωτού τροχού ώστε να επιτρέπεται η μεταβολή της γωνίας τους. Ο σερβομηχανισμός είναι της κατασκευάστριας εταιρίας Belimo και έχει τον κωδικό προϊόντος LM 24A-SR, τροφοδοτείται με ρεύμα τάσης 24V και συχνότητας 50 Hz. Η κατανάλωση ισχύος του μηχανισμού σε κατάσταση αναμονής είναι 0.4 W ενώ στην ονομαστική ροπή των 5 Nm είναι 1 W. Το λειτουργικό εύρος του σήματος ελέγχου είναι 2÷10 V. Ο σερβοκινητήρας έχει δυνατότητα περιστροφής και προς τις δύο κατευθύνσεις, με μέγιστο δυνατό τόξο περιστροφής των 95° και ακρίβεια θέσης $\pm 5\%$. Οι ακραίες θέσεις είναι μεταβαλλόμενες με τη βοήθεια μηχανικών μέσων και είναι δυνατή η χειροκίνητη λειτουργία. Ο χρόνος που απαιτείται για τη μέγιστη γωνιακή μετατόπιση είναι 150s, χρόνος που γίνεται ιδιαίτερα αντιληπτός κατά την εκκίνηση της εγκατάστασης. Το επίπεδο παραγόμενου θορύβου κατά τη λειτουργία του μηχανισμού είναι 35 dB ενώ η λειτουργία του παραμένει απροβλημάτιστη για συνθήκες περιβάλλοντος από $-30\div 50^{\circ}\text{C}$ και μέχρι 95% σχετική υγρασία. Ο μηχανισμός ζυγίζει 500g ενώ η μεγαλύτερη διάστασή του δε ξεπερνά τα 157 mm.

ΦΙΛΤΡΑ

Κατά την είσοδο του αέρα από το περιβάλλον στο ρεύμα προσαγωγής αλλά και του αέρα επιστροφής από τον κλιματιζόμενο χώρο υπάρχουν τοποθετημένα φίλτρα όπου γίνεται η συλλογή διαφόρων αιωρούμενων σωματιδίων, όπως η σκόνη, που προκαλούν φθορά στα υπόλοιπα ζωτικής σημασίας συστήματα της εγκατάστασης. Η απόδοσή τους καθορίζεται από παραμέτρους που περιγράφουν τις ελάχιστες διαστάσεις αλλά και τον αριθμό των επιβλαβών σωματιδίων που μπορούν να τα διαπεράσουν. Ακόμα ένα σημαντικό μέγεθος που χαρακτηρίζει τα φίλτρα είναι η πτώση πίεσης που προκαλούν στο διερχόμενο από αυτά ρεύμα αέρα, παράγοντας πολύ σημαντικός καθώς ο υπολογισμός επηρεάζει την επιλογή των ανεμιστήρων και με αυτό τον τρόπο την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από αυτούς. [4] Η προκαλούμενη πτώση πίεσης είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την ταχύτητα του ρεύματος αέρα και τη συσσώρευση σκόνης στην επιφάνειά τους η οποία αυξάνει με το χρόνο χρήσης τους. Όλα τα φίλτρα κατατάσσονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες με κριτήριο το υλικό που είναι

κατασκευασμένα και την αντίστοιχη φυσική μεταβολή που προκαλείται κατά τον διαχωρισμό των σωματιδίων. Οι κατηγορίες είναι οι εξής:

- Φίλτρα για κοινή σκόνη
- Φίλτρα για λεπτόκοκκη σκόνη
- «Απόλυτα» Φίλτρα.

Η τελευταία κατηγορία αποτελείται από δύο επιμέρους, τα φίλτρα υψηλής αποδοτικότητας για το ατμοσφαιρικό αέρα (HEPA⁶) και τα φίλτρα εξαιρετικά χαμηλής διείσδυσης του αέρα (ULPA⁷). (4) Οι πρώτες δύο κατηγορίες είναι εκείνες που χρησιμοποιούνται στον οικιακό κλιματισμό, όπως συμβαίνει και στην εγκατάσταση του Λαυρίου, ενώ αυτά της τρίτης κατηγορίας μόνο σε εξειδικευμένες περιπτώσεις όπως νοσοκομεία ή αποστειρωμένα δωμάτια. Η χωρητικότητα των φίλτρων εξαρτάται από την καθορισμένη ταχύτητα του αέρα που τα διαπερνά. Τα φίλτρα για την κοινή και λεπτόκοκκη σκόνη διατηρούν την αποδοτικότητά τους χωρίς αξιοσημείωτες μεταβολές ακόμα και σε μεγάλες μεταβολές του φορτίου λειτουργίας, για το λόγο είναι και τα πλέον κατάλληλα για συστήματα μεταβλητού διαχειριζόμενου όγκου αέρα.

Τα φίλτρα είναι κατασκευασμένα από την εταιρεία Weger και τοποθετούνται σε ειδικά πλαίσια στήριξης από γαλβανισμένο χάλυβα και αναρτώνται αεροστεγώς στο εσωτερικό του κελύφους της εγκατάστασης πάνω σε ειδικά στηρίγματα σύμφωνα με τους κανονισμούς DIN1946. [13] Ακόμα μπορούν να αντέξουν σε θερμοκρασίες έως και 90⁰C, ιδιότητα που συμβαδίζει με τους κανονισμούς DIN 24185 και EUROVENT. Από την κατασκευάστρια εταιρεία προτείνονται δύο βασικοί τρόποι συντήρησης των συγκεκριμένων φίλτρων μέχρι την αντικατάστασή τους, αρχικά ο καθαρισμός των φίλτρων με πεπιεσμένο αέρα για την απομάκρυνση του μεγαλύτερου μέρους των συλλεγόμενων σωματιδίων αλλά και σε περίπτωση υπολειμμάτων το πλύσιμο τους σε νερό θερμοκρασίας 35⁰C το μέγιστο.

ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΕΣ

Οι ανεμιστήρες του ρεύματος προσαγωγής και επιστροφής του αέρα αποτελούν τις μεγαλύτερες πηγές κατανάλωσης συμβατικής ενέργειας της εγκατάστασης, καθώς είναι εκείνοι που επιτυγχάνουν την διακίνηση της επιθυμητής παροχής αέρα. Ο υπολογισμός της ισχύος των ανεμιστήρων είναι πολύ σημαντικός καθώς καλούνται να υπερνικήσουν όλες τις επιμέρους πτώσεις πιέσεων που προκαλούνται από τα υποσυστήματα της εγκατάστασης. Για τον πλήρη αερισμό του συστήματος η συνολικά ελάχιστη απαιτούμενη ενέργεια δίνεται από τον τύπο (2.9):

$$P_{min} = \sum_i \Delta p_i \cdot \dot{V}_i \quad (2.9)$$

όπου Δp_i οι επιμέρους πτώσεις πιέσεων και \dot{V}_i οι επιμέρους παροχές αέρα.

Οι παροχές αέρα μπορούν να διαφέρουν από σημείο σε σημείο του συστήματος εξ' αιτίας των διαφορετικών υδραυλικών βρόχων που είναι συνδεδεμένοι με βαλβίδες αλλαγής της

⁶ HELPA: high-efficiency particulate Air filters

⁷ ULPA: ultra-low penetration Air filters

κατεύθυνσης του ρευστού ή εξ' αιτίας των θερμοκρασιακών διαφορών που παρατηρούνται και οδηγούν σε μεταβολές της σχετικής πυκνότητας του αέρα. Η ολική απαιτούμενη ηλεκτρική ισχύς των ανεμιστήρων εξαρτάται βέβαια και από τους συντελεστές απόδοσης του ανεμιστήρα και του ηλεκτροκινητήρα που τον κινεί, έτσι έχουμε τον τύπο (2.10):

$$P_{el} = \frac{P_{min}}{n_{vent} \cdot n_{el}} = \frac{P_{min}}{n_{fan}} \quad (2.10)$$

Από εμπειρικά δεδομένα, [4] προκύπτει ότι για τυρβώδεις ροές η πτώση πίεσης κατά μήκος της εγκατάστασης είναι περίπου ίση με το τετράγωνο της παροχής του αέρα (η τιμή της δύναμης που υψώνουμε την παροχή του αέρα μπορεί να ποικίλει από 1.6÷2 καθώς εξαρτάται από την τραχύτητα των αεραγωγών). Έτσι από τον τύπο (2.9) προκύπτει η σημαντική εξάρτηση της ελάχιστης απαιτούμενης ισχύος σε σχέση με την παροχή όγκου του αέρα, όπου έχουμε:

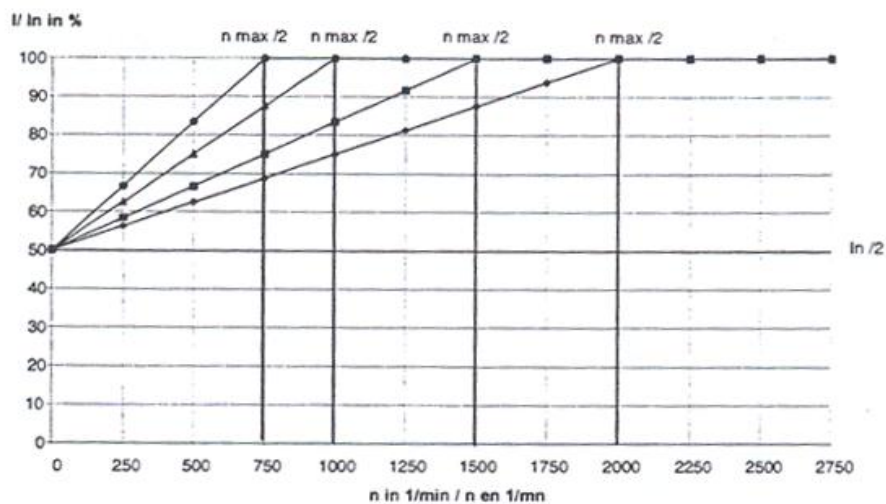
$$P_{min} = \Delta_p \cdot \dot{V} \approx \dot{V}^3 \quad (2.11)$$

Η παραπάνω σχέση καταδεικνύει την αναγκαιότητα του ελέγχου της ροής του αέρα σε συστήματα όπου δεν απαιτείται σταθερή ροή με σκοπό τη μείωση της ηλεκτρικής κατανάλωσης. Ο καταλληλότερος έλεγχος επιτυγχάνεται με την αυξομείωση της ταχύτητας περιστροφής των ανεμιστήρων χρησιμοποιώντας ρυθμιστή συχνότητας. Τόσο αξονικοί όσο και ακτινικοί ανεμιστήρες χρησιμοποιούνται σε εγκαταστάσεις όπου διακινείται αέρας. Οι ακτινικοί είναι κατάλληλοι για χρήση σε ένα μεγάλο εύρος διαφορών ολικής πίεσης με βαθμό απόδοσης μεγαλύτερο από 85% σε αντίθεση με τους αξονικούς που είναι χρησιμοποιούνται σε εύρος χαμηλότερων τιμών με βαθμό απόδοσης που κυμαίνεται από 65÷85%.

Στην εγκατάσταση του Λαυρίου χρησιμοποιήθηκαν ακτινικοί ανεμιστήρες της Gebhardt Ventilatoren ονομαστικής ισχύος 160 W και μέγιστης ροής αέρα 1000 m³/h. Ο ανεμιστήρας είναι εξ' ολοκλήρου κατασκευασμένος από γαλβανισμένο χάλυβα ενώ κινείται από σύγχρονο κινητήρα μόνιμου μαγνήτη που ελέγχεται από εξωτερικό ηλεκτρικό σήμα από 0÷10V. Οι επιτρεπτές θερμοκρασίες του διακινούμενου ρευστού πρέπει να κυμαίνονται από -25⁰C÷40⁰C.

Ουσιαστικά δύο είναι οι βασικές παράμετροι που καθορίζουν τον τρόπο λειτουργίας ενός ανεμιστήρα, η ταχύτητα και η ροπή του ηλεκτροκινητήρα. Μια από τις παραπάνω παραμέτρους μπορεί να καθοριστεί ως προεπιλεγμένη τιμή ενώ η δεύτερη καθορίζεται από τη χαρακτηριστική καμπύλη του ηλεκτροκινητήρα. Στους συγκεκριμένους ανεμιστήρες της εγκατάστασης έχουμε δύο πιθανά σενάρια λειτουργίας. Αρχικά το πρώτο είναι να έχουμε καθορισμένη ταχύτητα περιστροφής και να ποικίλει η αποδιδόμενη ροπή. Στη περίπτωση αυτή η ταχύτητα του ανεμιστήρα καταγράφεται συνεχώς από τους γωνιακούς αισθητήρες του ρότορα του κινητήρα και με τη βοήθεια ολοκληρωμένων ηλεκτρονικών κυκλωμάτων συγκρίνεται με την αρχικά δοσμένη τιμή. Το ανώτερο όριο στο συγκεκριμένο τρόπο λειτουργίας είναι είτε ο μέγιστος αριθμός στροφών είτε η μέγιστη αποδιδόμενη ροπή. Το δεύτερο σενάριο λειτουργίας είναι να έχουμε προκαθορισμένη ροπή και να διαφέρει η ταχύτητα περιστροφής. Το ανώτερο όριο εδώ, είναι ο μέγιστος αριθμός στροφών. Το συγκεκριμένο σενάριο λειτουργίας είναι εκείνο το οποίο χρησιμοποιεί και ο χρήστης όταν επιθυμεί να μεταβάλει τη παροχή του διαχειριζόμενου αέρα

στην εγκατάσταση. Η χαρακτηριστική καμπύλη του χρησιμοποιούμενου κινητήρα φαίνεται στο παρακάτω σχήμα(2.15). [14]



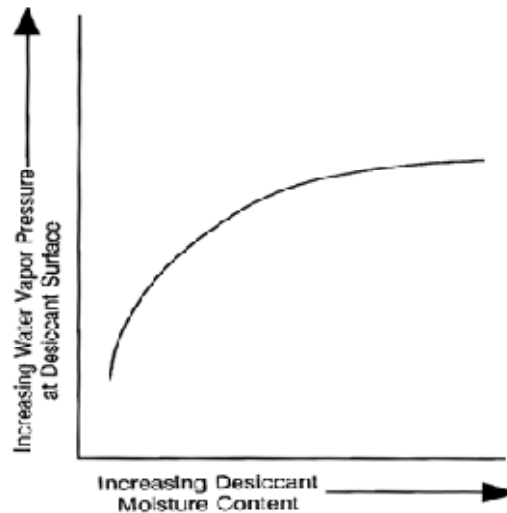
Σχήμα 2.15 χαρακτηριστική καμπύλη ανεμιστήρα DEC

ΑΦΥΓΡΑΝΤΙΚΟΣ ΤΡΟΧΟΣ

Τα απορροφητικά υλικά είναι υλικά που έχουν την δυνατότητα να προσελκύουν και να δεσμεύουν αέρια και ρευστά. Αυτή η ιδιότητα τους, τα κάνει ιδιαίτερα χρήσιμα σε διαδικασίες χημικών διαχωρισμών. Τα αφυγραντικά υλικά είναι μια υποκατηγορία των απορροφητικών έχοντας όμως πολύ καλές ιδιότητες σε ότι αφορά στο νερό. Όλα τα κοινά υλικά, όπως το ξύλο ή το μαλλί, μπορούν να χαρακτηριστούν χονδροειδώς ως αφυγραντικά καθώς έχουν τη δυνατότητα τη δέσμευσης και κατακράτησης υγρασίας. Η σημαντική διαφορά όμως των «κοινών» υλικών από τα αφυγραντικά είναι η χωρητικότητά τους. Για παράδειγμα ένα μάλλινο χαλί μπορεί να δεσμεύσει υγρασία ίση με το 23% της ξηρής του μάζας ενώ το νάιλον μόνο το 6% της ξηρής του μάζας. Σε αντίθεση, τα αφυγραντικά υλικά μπορούν να δεσμεύσουν υγρασία από το 20 έως το 1100% της ξηρής τους μάζας, τιμή που εξαρτάται από το είδος του υλικού αλλά και τη διαθέσιμη υγρασία στο περιβάλλον. Ακόμα πολλά αφυγραντικά υλικά ελκύουν υγρασία ακόμα και αν ο περιβάλλον αέρας είναι αρκετά ξηρός. [15]

Η αφύγρανση μπορεί να επιτευχθεί με τη χρησιμοποίηση είτε στερεών είτε υγρών αφυγραντικών υλικών κατακρατώντας απ' ευθείας την υγρασία μέχρι να επιτευχθεί ισορροπία με το διακινούμενο ρεύμα αέρα, επιτρέποντας όμως την αποδέσμευση των διαδικασιών ψύξης και αφύγρανσης. Ο μηχανισμός στον οποίο βασίζεται η διαδικασία της δέσμευσης της υγρασίας, είναι η διαφορά της πίεσης των υδρατμών στο ρεύμα αέρα και την επιφάνεια του αφυγραντικού υλικού. Όταν η πίεση των υδρατμών στην επιφάνεια του υλικού είναι χαμηλότερη από εκείνη του αέρα κατακρατείται η υγρασία σε αντίθετη περίπτωση αυτή απορρίπτεται. Στο σχήμα (2.16) βλέπουμε τη συσχέτιση της περιεχόμενης υγρασίας στο αφυγραντικό υλικό και της πίεσης των

υδρατμών στην επιφάνειά του. Αρχικά, παρατηρούμε ότι η σχέση τους είναι ανάλογη αφού όσο μεγαλώνει η περιεκτικότητα του αφυγραντικού υλικού σε υγρασία τόσο αυξάνεται και η πίεση των υδρατμών στην επιφάνειά του. Αυτή η συμπεριφορά συνεχίζεται μέχρι ενός σημείου όπου η πίεση των υδρατμών παραμένει σταθερή παρά την αύξηση της περιεκτικότητας του υλικού σε υγρασία. Σε αυτό σημείο βρισκόμαστε σε ισορροπία όπου η υγρασία δε μπορεί να μετακινηθεί ούτε από, ούτε προς το αφυγραντικό υλικό. Έτσι μία εξωγενής αιτία από το συγκεκριμένο σύστημα είναι εκείνη που θα αλλάξει την κατάσταση της ισορροπίας.



Σχήμα 2.16 συσχέτιση της περιεχόμενης υγρασίας στο αφυγραντικό υλικό και της πίεσης των υδρατμών στην επιφάνειά του, [15].

Τα χαρακτηριστικά των αφυγραντικών υλικών είναι πολύ χρήσιμα σε περιπτώσεις όπου οι απαιτήσεις της αφύγρανσης είναι αρκετά μεγάλες δηλαδή το λανθάνον φορτίο είναι συγκριτικά πολύ μεγαλύτερο από το αισθητό, όπως συμβαίνει σε θερμά και υγρά κλίματα. Ακόμα η χρήση αφυγραντικών υλικών συνίσταται σε περιπτώσεις όπου το κόστος της αναγέννησης του υλικού είναι χαμηλότερο σε σχέση με το κόστος της ενέργειας για την αφύγρανση του αέρα ψύχοντας τον κάτω από το σημείο δρόσου του αλλά και σε περιπτώσεις που έλεγχος του θερμοκρασιακού επιπέδου του χώρου απαιτεί συνεχή διανομή αέρα σε υπόψυκτες θερμοκρασίες. Όλα τα συστήματα αφυγραντικών υλικών πραγματοποιούν την αφύγρανση χωρίς να παρατηρείται κορεσμός καθώς χρησιμοποιούν θερμότητα για την αναγέννηση τους, ελαχιστοποιούνται οι πιθανότητες ανάπτυξης μούχλας και άλλων μικροοργανισμών που αποτελούν εστίες μόλυνσεων και προβλημάτων για την υγιεινή της εγκατάστασης. Χαρακτηριστικό που λειτουργεί και ως σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας αφού δε παρεμποδίζεται η ομαλή λειτουργία της εγκατάστασης αλλά ούτε αυξάνονται οι απώλειες πίεσης στα επιμέρους υποσυστήματα με αποτέλεσμα την ανάγκη κατανάλωσης περισσότερης ενέργειας από τους ανεμιστήρες. Ακόμα δεν απαιτείται ο καθαρισμός τους με ειδικά οξέα, μειώνοντας έτσι και το κόστος συντήρησης του αφυγραντικού υλικού, αλλά και η χρήση υπεριώδους ακτινοβολίας που θα κατανάλωνε κάποια ποσά συμβατικής ενέργειας.

Η φιλοσοφία της αφύγρανσης με στερεό αφυγραντικό υλικό είναι η ροή του αέρα μέσα από τον περιστρεφόμενο τροχό που αποτελείται από υλικά, όπως silica gel, ζεολίτες, συνθετικούς ζεολίτες, άνθρακα, LiCl, γυαλί, συνθετικά πολυμερή και άλλα, δημιουργώντας ένα πυκνό πλέγμα που μπορεί εύκολα να παρομοιαστεί με ένα μεγάλο άκαμπτο σφουγγάρι που στην επιφάνεια του παρατηρείται σύμπλεγμα τριχοειδών που πολλοί το παρομοιάζουν με το σύμπλεγμα που παρουσιάζουν οι σκανδιναβικές ακτές fjord.

Τα silica gels είναι άμορφες στερεές δομές που σχηματίζονται από την υγροποίηση ευδιάλυτων σιλικονούχων από διαλύματα νερού και άλλων διαλυτών. Έχουν το πλεονέκτημα του χαμηλού σχετικού κόστους και της σχετικής απλότητας στην διαμόρφωση της κατασκευής. Είναι διαθέσιμα σε διάφορα σχήματα και μεγέθη από μικρές σφαίρες διαμέτρου 5mm έως κόκκους μίας λείας πούδρας. [15]

Οι ζεολίτες είναι αλουμινοσιλικονούχα ορυκτά. Τα συναντάμε ελεύθερα στη φύση και η σύνθεσή τους δεν είναι απαραίτητη. Οι ζεολίτες έχουν πολύ ανοικτή κρυσταλλική δομή που επιτρέπει σε μόρια όπως αυτά των υδρατμών να συγκρατούνται μέσα στον κρύσταλλο σαν σε κελί. Συγκεκριμένα άτομα των αλιμουνισιλικονούχων καθορίζουν το πόσο ανοικτή θα είναι η κρυσταλλική τους δομή γεγονός που καθορίζει και το μέγεθος των μορίων που μπορεί να δεσμεύσει.

Οι συνθετικοί ζεολίτες, που συχνά αποκαλούνται και μοριακά κόσκινα, είναι κρυσταλλικά αλουμινοσιλικονούχα που κατασκευάζονται ύστερα από θερμική κατεργασία. Με τον έλεγχο της θερμοκρασίας της διαδικασίας αλλά και της αναλογίας των συστατικών υλικών είναι δυνατή η πλήρης διαμόρφωση της δομής αλλά και των χαρακτηριστικών της επιφάνειας του προσροφητικού υλικού. Με λίγο ψηλότερο κόστος κατασκευής, οι φυσικοί ζεολίτες προσφέρουν ένα πολύ περισσότερο ομοιογενές υλικό από ότι οι φυσικοί ζεολίτες.

Ο άνθρακας είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί σα προσροφητικό υλικά αερίων κυρίως και όχι για υγρά όπως το νερό καθώς έχει μεγαλύτερη συγγένεια στα τυπικά μη πολικά μόρια των οργανικών διαλυτών. Όπως άλλα προσροφητικά υλικά ο άνθρακας έχει μεγάλη εσωτερική επιφάνεια και ιδιαίτερα μεγάλα τριχοειδή. Αυτή η δομή του δίνει το χαρακτηριστικό της υψηλής προσροφητικότητας υδρατμών σε σχετική υγρασία της τάξης του 45% έως 100%.

Τέλος και τα συνθετικά πολυμερή έχουν την δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν ως αφυγραντικά υλικά. Καθώς διαθέτουν μακριά μόρια, όπως αυτά των νατριούχων αλάτων του πολυστυρενοθειϊκού οξέος (PSSASS), τα οποία είναι συνδεδεμένα όπως η περιστροφική έλικα του ανθρώπινου DNA. Κάθε ένα από τα μακρομόρια του PSSASS έχει τη δυνατότητα να δεσμεύσει αρκετά μόρια νερού, καθώς και μεσοδιαστήματα μεταξύ των μορίων αυτών μπορούν να συμπληρωθούν από συμπυκνωμένο νερό, δίνοντας έτσι στα πολυμερή εξαιρετικά υψηλή χωρητικότητα κατακράτησης σε σχέση με άλλα στερεά αφυγραντικά υλικά.

Για την κατακράτηση για παράδειγμα του νερού-υγρασίας διαστήματα της τάξης των 3 \AA ⁸ μπορούν να χρησιμοποιηθούν καθώς η διάσταση των μορίων του νερού δε ξεπερνάει τα 2.8 \AA . Με αυτόν τον τρόπο μεγαλύτερα μόρια δε μπορούν να εισχωρήσουν στο αφυγραντικό υλικό. Η διεργασία κατά την οποία το νερό υπό τη μορφή της υγρασίας δεσμεύεται από το αφυγραντικό υλικό ονομάζεται προσρόφηση καθώς δε παρατηρείται κάποια χημική αλλαγή στην επιφάνεια ή σύσταση του υλικού. Η αφυγραντική ικανότητα αυτών των υλικών απορρέει από την εξαιρετικά πορώδη φύση τους, για παράδειγμα ένα κυβικό μέτρο silica gel καταλαμβάνει επιφάνεια περίπου $3 \times 10^7 \text{ m}^2$. Αυτή η αναλογία καταδεικνύει και την μεγάλη κλίμακα των διαφορετικών επιφανειών σε ένα προσροφητικό υλικό [5]. Μια μεγάλη ποσότητα του προσροφημένου νερού περιέχεται μέσω της συμπύκνωσης στα τριχοειδή του υλικού και το μεγαλύτερο κομμάτι της επιφάνειάς του, που προσελκύει ανεξάρτητα μόρια νερού, βρίσκεται στην κρυσταλλική δομή του ίδιου του υλικού. Τα στερεά αφυγραντικά υλικά προσελκύουν την υγρασία λόγω του ηλεκτρικού πεδίου που έχουν στην επιφάνειά τους. Αυτό το πεδίο δεν είναι ομοιογενές ούτε ως προς τη δύναμη ούτε ως προς το φορτίο, έτσι προσελκύει μόρια νερού με καθαρό αντίθετο φορτίο από συγκεκριμένες περιοχές της επιφάνειάς του αφυγραντικού υλικού.

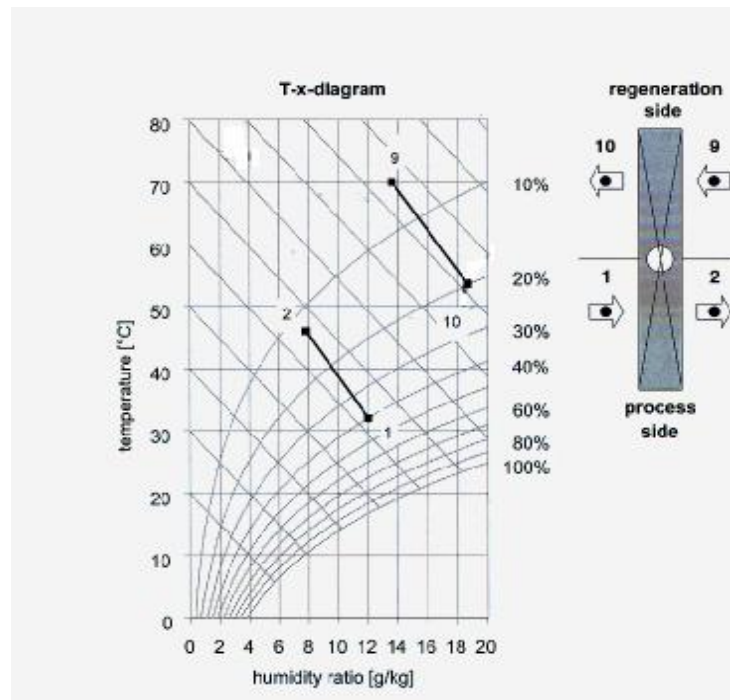
Όταν το στερεό αφυγραντικό υλικό προσροφά υγρασία εκλύεται παράλληλα θερμότητα, ανεβάζοντας έτσι και τη θερμοκρασία του ίδιου του υλικού αλλά και του διερχόμενου ρεύματος αέρα. Η αλλαγή στην κατάσταση του αέρα στο ρεύμα προσαγωγής συνοδεύεται από μια μικρή αύξηση στην ενθαλπία του, σε θεωρητικούς υπολογισμούς αυτή η αύξηση λαμβάνεται τις περισσότερες φορές μηδενική. Η εκλυόμενη θερμότητα κατά την δέσμευση και αποδέσμευση των υδρατμών είναι ίση με τη λανθάνουσα θερμότητα συμπύκνωσης των υδρατμών που δεσμεύτηκαν από το αφυγραντικό υλικό και μια επιπλέον ποσότητα θερμότητας που κυμαίνεται από 5% έως 25% της λανθάνουσας θερμότητας των υδρατμών. [4] [15] Σημαντικό είναι να έχουμε όσο το δυνατόν μικρότερη δυνατή ολική θερμότητα εκλυόμενη κατά την προσρόφηση, ιδιότητα που αποτιμάται από τους ίδιους τους κατασκευαστές.

Το αφυγραντικό υλικό πρέπει να θερμανθεί περισσότερο από ένα δεύτερο ρεύμα αέρα προκειμένου να αναγεννηθεί δηλαδή να αποδεσμεύσει την ήδη προσροφημένη υγρασία. Η απαιτούμενη θερμοκρασία για την αναγέννηση πρέπει να έχει μία ορισμένη τιμή στην οποία η πίεση ατμών του δεσμευμένου νερού να υπερβαίνει την μερική πίεση των υδρατμών στο θερμό ρεύμα αναγέννησης. Έτσι η απαιτούμενη θερμότητα για την αναγέννηση αποτελεί το άθροισμά τριών όρων. Αρχικά, την θερμότητα η οποία θα μας οδηγήσει στο απαιτούμενο θερμοκρασιακό επίπεδο που αναφέραμε προηγουμένως. Κατά δεύτερον, την απαιτούμενη θερμότητα για την ατμοποίηση της φέρουσας από το υλικό υγρασίας, που είναι περίπου 2465 kJ/Kg , τέλος το μικρό ποσό θερμότητας από την αποδέσμευση του νερού από το αφυγραντικό υλικό. Ωστόσο η θερμοκρασία αναγέννησης είναι σημαντικά χαμηλής στάθμης, αφού κυμαίνεται από 50 έως 100°C , (5) γεγονός που μας εξασφαλίζει ότι μπορούν να μας την παρέχουν επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες, όπως συμβαίνει και στην εγκατάσταση DEC του Λαυρίου.

⁸ Το *ångström* αποτελεί μονάδα μέτρησης μήκους που διατυπώθηκε από τον σουηδό φυσικό Anders Jonas Ångström, και η αντιστοίχσή του στο διεθνές σύστημα μονάδων είναι: $1 \text{ \AA} = 1.0 \times 10^{-10} \text{ m}$

Η επιλογή του πλέον κατάλληλου αφυγραντικού υλικού για την κάθε εφαρμογή εξαρτάται από το εύρος των πιέσεων των υδρατμών που εμφανίζονται στο διερχόμενο ρεύμα αέρα, το θερμοκρασιακό επίπεδο της πηγής για την απαιτούμενη αναγέννηση αλλά και τα ίδια χαρακτηριστικά του αφυγραντικού υλικού. Κατά τη σχεδίαση και την κατασκευή των στερεών αφυγραντικών υλικών γίνονται κάποιοι συμβιβασμοί ως προς τα χαρακτηριστικά τους ώστε να πετυχαίνεται ο βέλτιστος συνδυασμός των επιθυμητών ιδιοτήτων για την απαιτούμενη εφαρμογή. Αυτός ο συνδυασμός μπορεί να υλοποιηθεί με τη χρήση περισσότερων από ένα υλικών.

Η διεργασία της αφύγρανσης και της απαιτούμενης αναγέννησης φαίνεται στο παρακάτω σχήμα με σχετική απεικόνιση στον ψυχομετρικό χάρτη.(2.16)



Σχήμα 2.16 σχηματική παράσταση της διεργασίας στον αφυγραντικό τροχό, [4].

Για ένα δεδομένο τροχό στερεού αφυγραντικού υλικού σε καθορισμένες συνθήκες ροής αέρα και ταχύτητα περιστροφής η κατάσταση του αέρα μετά την αφύγρανση εξαρτάται κυρίως από τις συνθήκες περιβάλλοντος και τις συνθήκες αναγέννησης. Δύο είναι οι επικρατέστερες διατάξεις για τον τροχό, στην πρώτη το 75% της μετωπικής επιφάνειας του αφιερώνονται στην διαδικασία της αφύγρανσης και το υπόλοιπο 25% στη διαδικασία της αναγέννησης, ενώ στη δεύτερη οι δύο διαδικασίες καταλαμβάνουν από το 50% της μετωπικής επιφάνειας του τροχού έκαστη. Το αφυγραντικό υλικό μετά την αναγέννηση θα βρίσκεται σε θερμοκρασίες της τάξης των $70\div 90^{\circ}\text{C}$ και θα πρέπει να περιστραφεί μέσα στο ρεύμα του αέρα προσαγωγής κατά $5\div 10\%$ ώστε να μπορεί να προσροφήσει εκ νέου υγρασία. Αντίστροφα, ένα μικρό μέρος $6\div 7\%$ της ροής του ρεύματος προσαγωγής μπορεί να διοχετεύεται στον αφυγραντικό τροχό με το που γυρίζει στο ρεύμα της επιστροφής ώστε να ελαχιστοποιήσουμε την μεταφορά θερμότητας από τον

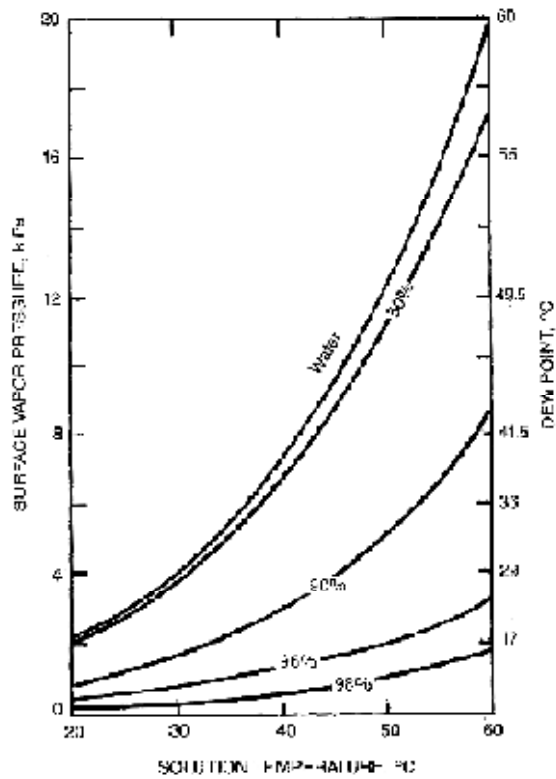
αφυγραντικό τροχό προς το ρεύμα προσαγωγής αλλά και μεγιστοποιήσουμε την ικανότητα αφαίρεσης της υγρασίας από τον εισερχόμενο αέρα του περιβάλλοντος.

Η συμπεριφορά προσρόφησης του υλικού εξαρτάται από τη συνολική τους επιφάνεια, το συνολικό όγκο των τριχοειδών και το εύρος των διαμέτρων τους. Μια αρκετά μεγάλη επιφάνεια δίνει στο υλικό μεγάλη προσροφητική ικανότητα σε σχετικά χαμηλές τιμές της σχετικής υγρασίας του διακινούμενου αέρα. Μεγάλα τριχοειδή παρέχουν υψηλή χωρητικότητα σε συμπυκνωμένο νερό, γεγονός που δίνει στο υλικό μεγαλύτερη χωρητικότητα στις υψηλές τιμές της σχετικής υγρασίας του αέρα. Ακόμα, ένα στενό εύρος διαμέτρων των τριχοειδών κάνει το υλικό πιο επιλεκτικό στο είδος των ατμών που μπορεί να συγκρατεί.

Τέλος, είναι δυνατή μια διάκριση στους αφυγραντικούς τροχούς με στερεό υλικό σε ενεργό και παθητικό. Ο ενεργός τροχός είναι εκείνος που για την αναγέννηση του χρησιμοποιείται εξωτερική πηγή ενέργειας, συνήθως το εξερχόμενο ρεύμα αέρα προς το περιβάλλον. Σε αντίθεση στο παθητικό τροχό, η ξηρότητα του εξερχόμενου ρεύματος είναι η αιτία για την αποβολή της υγρασίας. Ακόμα, θερμότητα μεταφέρεται από το εισερχόμενο στο εξερχόμενο ρεύμα αέρα και γι αυτό το λόγο ο παθητικός αφυγραντικός τροχός ονομάζεται και τροχός ολικής ενέργειας ή ενθαλπικός τροχός. Ένας τέτοιος τροχός χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις ταυτόχρονης ξήρανσης και ψύξης ή θέρμανσης και ύγρανσης του εισερχόμενου ρεύμα αέρα.

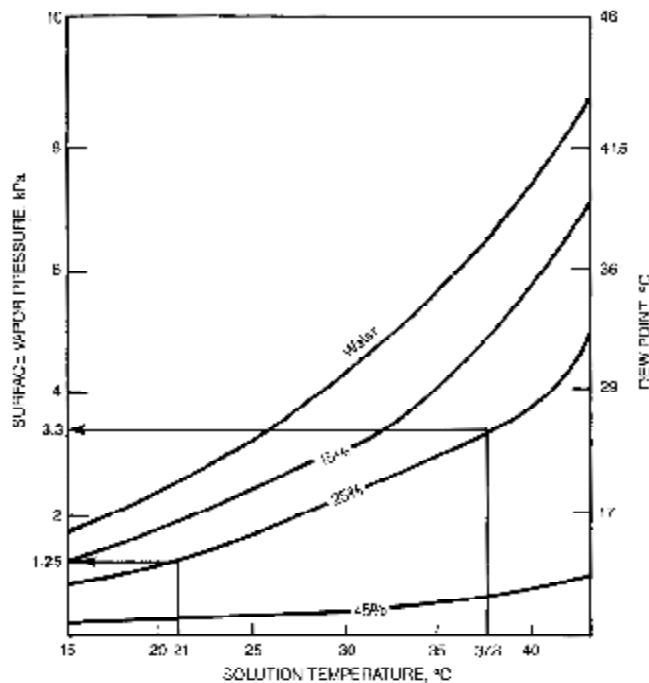
Από την άλλη πλευρά, η αφύγρανση με τη χρήση υγρών αφυγραντικών υλικών έχει ως βασική αρχή λειτουργίας την απορρόφηση της υγρασίας από το διερχόμενο ρεύμα αέρα, η οποία στη συνέχεια συλλέγεται και την μετέπειτα θέρμανση των υλικών ώστε να διαφύγει η υπολειπόμενη παρακρατηθείσα υγρασία. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται κυρίως για την κατασκευή των υγρών αφυγραντικών διατάξεων είναι τριαιθυλενική γλυκόλη ή διάφορα άλατα όπως το χλωριούχο λίθιο, το χλωριούχο ασβέστιο διαλυμένα σε νερό. Το συγκεκριμένο διάλυμα έχει πίεση ατμών μικρότερη από το νερό στην ίδια θερμοκρασία, έτσι ο διερχόμενος από αυτό υγρός αέρας πλησιάζει αυτή τη μειωμένη πίεση ατμών και αφυγρénεται.

Η πίεση των ατμών ενός υγρού διαλύματος απορρόφησης είναι ευθέως ανάλογο με την θερμοκρασία του και αντιστρόφως ανάλογο με την συγκέντρωσή του. Στο σχήμα (2.17) παρουσιάζεται το παραπάνω φαινόμενο κατά το οποίο όσο αυξάνει η συγκέντρωση του αφυγραντικού υλικού στο διάλυμα τόσο μειώνεται η πίεση των υδρατμών στην επιφάνειά του. Τα διάγραμμα αφορά σε ένα από τα πλέον εμπορικά υγρά αφυγραντικά όπως είναι η τριαιθυλενική γλυκόλη, αυτή η διαφορά που παρατηρούμε στις επιμέρους πιέσεις είναι εκείνη που επιτρέπει στο υλικό να απορροφά την υγρασία από τον διακινούμενο αέρα.



Σχήμα 2.17 συσχέτιση συγκέντρωσης της τριαιθυλενικής γλυκόλης στο διάλυμα απορόφησης με τη πίεση των υδρατμών στην επιφάνειά του, [15].

Βέβαια, από μια άλλη οπτική γωνία μπορούμε να θεωρήσουμε ότι η πίεση των ατμών ενός απορροφητικού διαλύματος για μία συγκεκριμένη συγκέντρωση προσεγγίζει τις τιμές της πίεσης των ατμών για μία συγκεκριμένη σχετική υγρασία στον ψυχομετρικό χάρτη. Έτσι υψηλότερες συγκεντρώσεις στο διάλυμα δίνουν χαμηλότερες τιμές ισορροπίας για τη σχετική υγρασία, γεγονός που επιτρέπει στο απορροφητικό υλικό να ξηραίνει τον αέρα σε χαμηλότερα επίπεδα. (15) Χαρακτηριστικό παράδειγμα των παραπάνω παρουσιάζεται στο σχήμα 2.18 όπου παρουσιάζεται την επίδραση της θερμοκρασίας στη πίεση των ατμών στο χλωριούχο λίθιο, υγρό αφυγραντικό που χρησιμοποιείται ευρύτατα. Ένα διάλυμα με 25% περιεκτικότητα σε χλωριούχο λίθιο έχει όπως φαίνεται πίεση ατμών 1.25 kPa σε θερμοκρασία 21⁰C ενώ αν θερμανθεί στους 38⁰C η πίεση των ατμών του διπλασιάζεται και γίνεται 3.34 kPa. Αλλιώς από το ίδιο διάγραμμα προκύπτει ότι το διάλυμα με περιεκτικότητα 25% σε χλωριούχο λίθιο θα βρίσκεται σε ισορροπία με ρεύμα αέρα που έχει σημείο δρόσου τους 26⁰C. Όσο πιο θερμό είναι το αφυγραντικό υλικό τόσο λιγότερη υγρασία μπορεί αν απορροφήσει από το ρεύμα αέρα. [15]



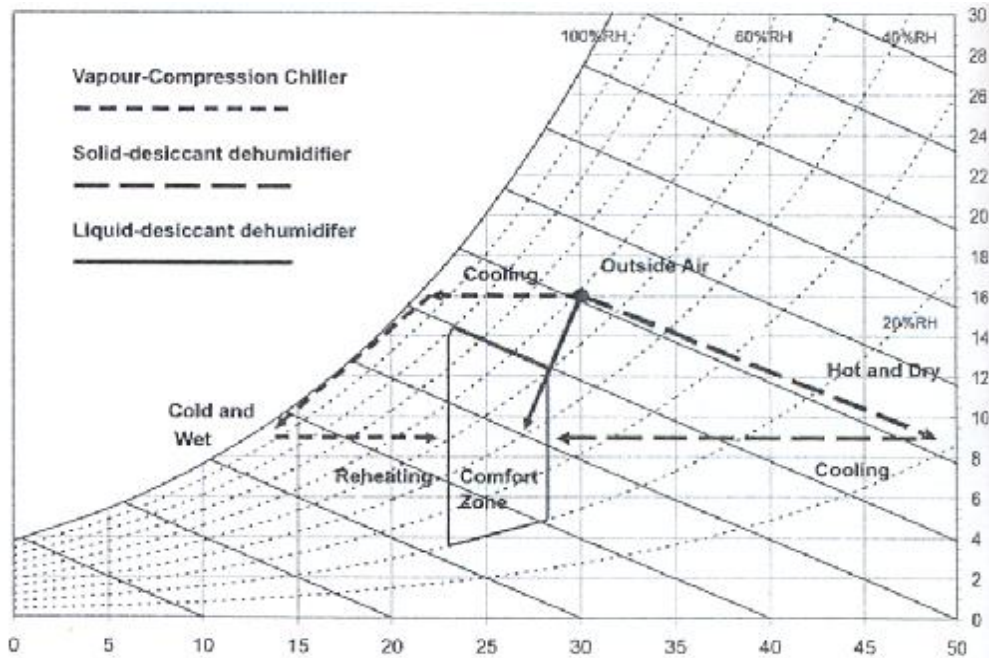
Σχήμα 2.18 συσχέτιση θερμοκρασίας και πίεσης ατμών σε διάλυμα LiCl με συγκεκριμένη συγκέντρωση, [15].

Σε πρακτικές εφαρμογές ο έλεγχος των υγρών αφυγραντικών υλικών πραγματοποιείται μεταβάλλοντας τη θερμοκρασία τους αλλά και τη συγκέντρωσή τους. Βέβαια η διαδικασία της απορρόφησης περιορίζεται από την εκτεθειμένη επιφάνεια του αφυγραντικού υλικού στο ρεύμα αέρα αλλά και τον διατιθέμενο χρόνο για την πραγματοποίηση της αντίδρασης. Όσο μεγαλύτερα είναι αυτά τα δύο μεγέθη τόσο περισσότερο πλησιάζει το αφυγραντικό στη μέγιστη θεωρητικά απορροφητική του χωρητικότητα.

Ο δόκιμος χρόνος ζωής ενός αφυγραντικού υλικού εξαρτάται από το είδος και την ποσότητα των προσμίξεων που φέρει το ρεύμα αέρα που μπορούν να αποξηράνουν. Στις εμπορικές εφαρμογές τα αφυγραντικά υλικά λειτουργούν απροβλημάτιστα από 10000 έως 100000 συνεχείς ώρες ,μπορεί και παραπάνω, πριν χρειαστούν αντικατάσταση. Δύο είναι οι κύριοι παράγοντες που οδηγούν σε απώλεια της αφυγραντικής χωρητικότητας του υλικού. Αρχικά η αλλαγή των χαρακτηριστικών του σε ότι αφορά στην προσροφητική τους ικανότητα μέσα από αντιδράσεις του υλικού με τα διάφορα αιωρούμενα σωματίδια που φέρει μαζί του ο αέρας. Κατά δεύτερον, απώλεια μέρους της ενεργής εξωτερικής επιφάνειας του υλικού από απόφραξη ή υδροθερμικό εκφυλισμό. Τα υγρά αφυγραντικά υλικά είναι περισσότερο ευαίσθητα στις χημικές αντιδράσεις με τα σωματίδια του ρεύματος του αέρα από ότι τα στερεά αφυγραντικά. Για παράδειγμα, ένα μείγμα θείου μπορεί να αντιδράσει με το χλωριούχο λίθιο παράγοντας λίθιο θεικού οξέος που δεν είναι αφυγραντικό υλικό. Αν για παράδειγμα η συγκέντρωση αυτού του μείγματος του θείου στο ρεύμα αέρα δε ξεπερνά τα 10mg/kg και το αφυγραντικό υλικό χρησιμοποιείται σε 24ωρη βάση, η μείωση στη χωρητικότητα του θα είναι περίπου της τάξης του 20% μετά από τριετή

λειτουργία. Αν η συγκέντρωση αυτή έφτανε το 30mg/kg η ίδια μείωση θα προέκυπτε μετά από έναν χρόνο. Τα στερεά αφυγραντικά τείνουν να είναι λιγότερο αντιδραστικά με τα αιωρούμενα σωματίδια αλλά περισσότερο ευπαθή ως προς την απόφραξη, μια ιδιότητα που εξαρτάται από το είδος και την ποσότητα των σωματιδίων που περιέχονται στο διερχόμενο ρεύμα αέρα. Σε μερικές περιπτώσεις κάποια προσροφητικά υλικά δείχνουν ιδιαίτερη ευαισθησία στο υδροθερμικό σοκ εξ' αιτίας της θερμικής συστολής και διαστολής του υλικού αλλά και στη γρήγορη μεταβολή της ποσότητας της παρακρατηθείσας υγρασίας. Για παράδειγμα, το silica gel πρέπει να κινείται ανάμεσα σε ένα ρεύμα αέρα σχετικής υγρασίας 95% ή μεγαλύτερης σε χαμηλές θερμοκρασίες και σε ένα ρεύμα αναγέννησης πολύ υψηλών θερμοκρασιών έξι φορές την ώρα, για 24 συνολικά ώρες ώστε να έχουμε μερική θραύση στη δομή του υλικού που συνεπάγεται 10% μείωση της προσροφητικής χωρητικότητας μετά το πέρασμα ενός χρόνου λειτουργίας. [15]

Τα υγρά από τα στερεά αφυγραντικά υλικά έχουν και άλλες σημαντικές διαφορές μεταξύ τους. Τα στερεά αφυγραντικά έχουν καλύτερο συντελεστή συμπεριφοράς από τα υγρά αφυγραντικά καθώς γίνεται ανακύκλωση της θερμότητας για την αναγέννηση τους. Επιπρόσθετα, τα συστήματα με στερεά αφυγραντικά έχουν πιο αποτελεσματική διαχείριση του νερού καθώς δεν είναι απαραίτητη η παρουσία πύργου ψύξης όπως συμβαίνει για τη ψύξη των υγρών αφυγραντικών. Το σημαντικότερο ίσως πλεονέκτημα των στερεών αφυγραντικών είναι το χαμηλότερο κόστος τους σε σχέση με τα υγρά αφυγραντικά, το οποίο κυμαίνεται στα 360÷750\$/kW παραγόμενης ψύξης. Από την άλλη πλευρά, τα υγρά αφυγραντικά παρουσιάζουν και αυτά με τη σειρά τους κάποια σοβαρά πλεονεκτήματα. Χαμηλότερες πιέσεις ατμών μπορούν να επιτευχθούν για μία συγκεκριμένη θερμοκρασία αναγέννησης καθώς μέρος της θερμότητας που προσλαμβάνει το υλικό αφαιρείται κατά την διαδικασία της απορρόφησης. Ακόμα οι πτώσεις πιέσεων στο διακινούμενο ρεύμα αέρα που παρατηρούνται κατάντι ενός υγρού αφυγραντικού είναι μικρότερες από εκείνες που παρατηρούνται σε ένα στερεό με αποτέλεσμα την μικρότερη απαίτηση σε ενέργεια από τους ανεμιστήρες της εγκατάστασης. Επιπλέον ένα συγκεντρωτικό υγρό αφυγραντικό μπορεί να δημιουργηθεί σε περιπτώσεις όπου υπάρχει πλεόνασμα θερμότητας και να αποθηκευτεί για μετέπειτα χρήση. Η ενεργειακή πυκνότητα αποθήκευσης ενός διαλύματος με 40% συγκέντρωση χλωριούχου λιθίου είναι της τάξης των 800÷1400MJ/m³, εξαρτώμενη βεβαία πάντα και από την περιεκτικότητα του ρεύματος αέρα σε υδρατμούς ενώ η λανθάνουσα θερμότητα στερεοποίησης του πάγου που χρησιμοποιείται σε συστήματα αποθήκευσης θερμότητας είναι μόνο 335MJ/m³. [5]Εν γένει, τα στερεά αφυγραντικά είναι εκείνα που χρησιμοποιούνται συνήθως σε εφαρμογές χάρις στην μεγαλύτερη αφυγραντική τους ικανότητα, βέβαια όλη η έρευνα κατευθύνεται προς την ανάπτυξη των υγρών αφυγραντικών καθώς είναι η μόνη τεχνολογία με την δυνατότητα να φέρει τον αέρα απ' ευθείας στις επιθυμητές συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας χωρίς να χρειαστεί πρώτα θέρμανση ή ψύξη του, όπως συμβαίνει με τα στερεά αφυγραντικά αλλά και άλλες τεχνολογίες (σχήμα 2.19). [5] Σε ότι αφορά στο κόστος των υγρών αφυγραντικών υλικών με την εξέλιξη της τεχνολογίας προβλέπεται να υπάρχει δυνατότητα να γίνουν 50% μικρότερα και 40% πιο οικονομικά από τα αντίστοιχα στερεά.



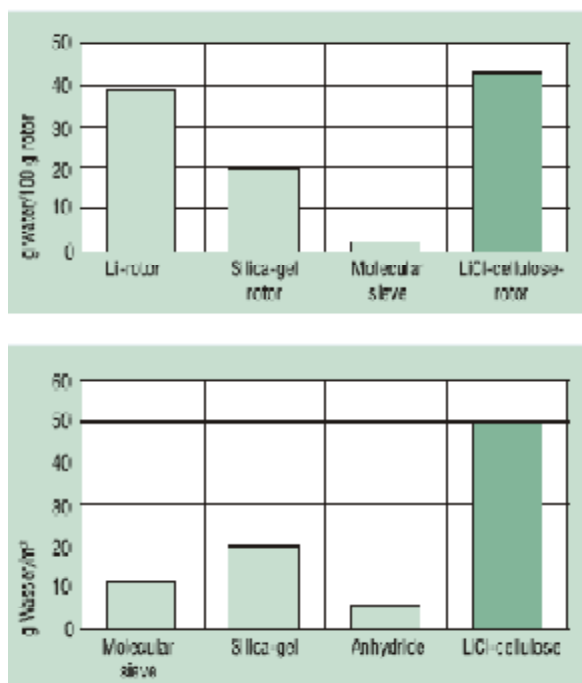
Σχήμα 2.19 Σύγκριση διαδικασίας στο ψυχομετρικό χάρτη ενός ψύκτη με μηχανικό συμπιεστή ενός υγρού και ενός στερεού αφυγραντικού υλικού, [5].

Ο αφυγραντικός τροχός που χρησιμοποιείται στην εγκατάσταση έχει κατασκευαστεί από την γερμανική εταιρεία Klingeburg και έχει τον κωδικό SECO 610. Το αφυγραντικό υλικό που είναι φτιαγμένος είναι το στερεό χλωριούχο λίθιο, αφυγραντικό που χρησιμοποιείται ευρέως σε τέτοιες εφαρμογές. Οι βασικές διαστάσεις του τροχού με το πλαίσιο στήριξης του είναι 450 mm μήκος, 605 mm πλάτος και 680 mm ύψος ενώ ο τροχός έχει διάμετρο 505 mm, πάχος 450 mm και ζυγίζει 30 Kg. Το πλαίσιο του τροχού είναι κατασκευασμένο από ελαφρύ αλουμίνιο κατάλληλα επεξεργασμένο για να προσφέρει στιβαρότητα στην κατασκευή αλλά και προστασία από την διάβρωση. Το πλέγμα του τροχού είναι κατάλληλα ενισχυμένο στην περιφέρεια του από συνθετικά υλικά βασισμένα σε ρητίνες ώστε η λειτουργία του να είναι απρόσκοπτη ακόμα και μετά από πολλές ώρες λειτουργίας. Η επιφάνεια του τροχού είναι επικαλυμμένη από φυσική κυτταρίνη⁹ η οποία προσφέρει φυσική και χωρίς μηχανικά προβλήματα συστολή και διαστολή του τροχού καθώς και προστασία από τον πάγο σε περίπτωση που η θερμοκρασία του διακινούμενου αέρα κυμαίνεται σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. [16]

Η προσροφητική ικανότητα του τροχού ανέρχεται στα 2 κιλά την ώρα, μια τιμή αρκετά ικανοποιητική γεγονός που οφείλεται στο χλωριούχο λίθιο, υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένος ο τροχός, προσφέροντας ταυτόχρονα και προστασία από την ανάπτυξη επιβλαβών μικροοργανισμών καθώς έχει μικροβιοκτόνο δράση, τηρώντας έτσι τους απαιτούμενους κανόνες υγιεινής. Όπως παρουσιάζεται και στο σχήμα (2.20) οι προσροφητικές

⁹ Η κυτταρίνη είναι ένας πολυσακχαρίτης και αποτελείται από περισσότερα 10000 μόρια γλυκόζης, που ενώνονται σχηματίζοντας ευθείες αλυσίδες. Οι μακρές αλυσίδες της κυτταρίνης συνδέονται μεταξύ τους με δεσμούς υδρογόνου σχηματίζοντας δέσμες. Αυτές οι δέσμες διαπλέκονται με τη σειρά τους σχηματίζοντας πολύ ισχυρά πλέγματα.

ικανότητες του χλωριούχου λιθίου και ανά μονάδα επιφανείας αλλά και ανά μονάδα βάρους είναι πολύ υψηλές συγκριτικά με τα υπόλοιπα υλικά που χρησιμοποιούνται σε παρόμοιες εφαρμογές. Για την επίτευξη της επιθυμητής απόδοσης του αφυγραντικού τροχού θα πρέπει να λειτουργεί πάντα ανάμεσα σε δύο αντιρροούντα ρεύματα, αυτό της προσαγωγής και της αναγέννησης με το δεύτερο να έχει χαμηλότερη σχετική υγρασία από το πρώτο. Επιπλέον οι ταχύτητες των ρευμάτων αυτών, με τις οποίες προσπίπτουν στην ανεμπόδιστη μετωπική επιφάνεια του τροχού, δε θα πρέπει να ξεπερνάνε τα 1.5÷2 m/s για βέλτιστη λειτουργία. [17]



Σχήμα 2.20 προσροφητικές ιδιότητες για το νερό βασικών υλικών, [16]

Η θερμοκρασία για την απαιτούμενη αναγέννηση του τροχού δε ξεπερνάει τους 70°C, [16] μια θερμοκρασία η οποία μπορεί να επιτευχθεί με τη διάταξη των ηλιακών συλλεκτών που περιγράφηκε παραπάνω. Σε καμία περίπτωση ο τροχός δε πρέπει να λειτουργεί με αέρα που περιέχει σταγονίδια νερού ή με νερό απ' ευθείας καθώς υπάρχει κίνδυνος αστοχίας του υλικού και δεν εξασφαλίζεται η απόδοση στη διαδικασία της αφύγρανσης.

Η περιστροφή του τροχού γίνεται μέσω ιμάντα με τη βοήθεια ενός τριφασικού ασύγχρονου ηλεκτρικού κινητήρα με ενσωματωμένους ανεμιστήρες ψύξης. Για την επίτευξη της αφύγρανσης η ταχύτητα περιστροφής του τροχού δε θα πρέπει να ξεπερνάει τις 20 στροφές την ώρα. Η τάση του ιμάντα πρέπει να ελέγχεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα και να προσαρμόζεται ανάλογα με τον τρόπο και το φορτίο λειτουργίας του τροχού. Ο κινητήρας είναι σχεδιασμένος για λειτουργία σε τάση 380/200 V και είναι εφοδιασμένος με θερμοδιακόπτες οι οποίοι ενεργοποιούνται στους 140°C. Ο ηλεκτροκινητήρας ελέγχεται από ρυθμιστή στροφών της ίδιας κατασκευαστικής εταιρίας με το τροχό.

Ο ρυθμιστής στροφών με κωδικό όνομα KR4 έχει ισχύ 400W ενώ είναι κατάλληλος για τη «οδήγηση» τροχών διαμέτρου μέχρι 3760 mm. Η ρύθμιση των στροφών του άξονα του τροχού

μπορεί να γίνει ανεμπόδιστα σε όλο το επιτρεπόμενο εύρος μέσω εξωτερικού σήματος ελέγχου τάσης 0÷10 V. Η ταχύτητα περιστροφής του τροχού καταγράφεται από ένα μαγνητικό διακόπτη επαφής ο οποίος είναι τοποθετημένος στη εσωτερική πλευρά του πλαισίου του τροχού. Ο μαγνήτης που είναι τοποθετημένος στον άξονα περιστροφής καταγράφει τις περιστροφές οι οποίες και συγκρίνονται με την επιθυμητή τιμή από το σήμα ελέγχου που θέτει ο χρήστης της εγκατάστασης. Σε περίπτωση τεχνικής βλάβης ο χρόνος αντίδρασης και ακινητοποίησης του τροχού κυμαίνεται από 0.5 έως 3 λεπτά ανάλογα με την προηγούμενη ταχύτητα περιστροφής του. Σύμφωνα με τη βαθμονόμηση του κατασκευαστή η συχνότητα των 80 Hz αντιστοιχεί σε 10 περιστροφές του τροχού το λεπτό. Όλες οι τιμές των ζητούμενων παραμέτρων απεικονίζονται σε ηλεκτρονική οθόνη με την αντίστοιχη δυνατότητα για επί τόπου ρυθμίσεις μέσω διακοπών. Τέλος, υπάρχει δυνατότητα επιλογής διαφόρων σεναρίων λειτουργίας καθορίζοντας την επιθυμητή τιμή σε μια χαρακτηριστική παράμετρο της εγκατάστασης όπως είναι η θερμοκρασία άνεσης του κλιματιζόμενου χώρου, η θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ περιβάλλοντος και κλιματιζόμενου χώρου και άλλα. [18]

ΑΝΑΓΕΝΝΗΤΗΣ

Ο αναγεννητής είναι ένας τυπικός επίπεδος εναλλάκτης θερμότητας αντιρροής νερού-αέρα. Το νερό προέρχεται από το δευτερεύον υδραυλικό κύκλωμα της εγκατάστασης δηλαδή έχει θερμανθεί από τους ηλιακούς συλλέκτες. Ο αναγεννητής αποτελεί καθαρά συμβατικό εξάρτημα για αυτό και για την επιλογή του τονίζονται μόνο κάποια βασικά χαρακτηριστικά του. Αρχικά δε θα πρέπει να υπάρχει μεγάλη πτώση πίεσης στο ρεύμα αέρα της επιστροφής κατάντι του αναγεννητή καθώς έτσι μεγαλώνει η καταναλισκόμενη ενέργεια των ανεμιστήρων. Τα υλικά κατασκευής του θα πρέπει να είναι ανθεκτικά στη διάβρωση και να έχουν κατάλληλα χαρακτηριστικά μεταφοράς μάζας και θερμότητας. Ακόμα, ο αναγεννητής θα πρέπει να τοποθετηθεί σε κατάλληλη απόσταση από τον αφυγραντικό τροχό καθώς μπορεί να υπάρξει πρόβλημα στο αφυγραντικό υλικό του από την υψηλή θερμοκρασία που θα έχει αποκτήσει το αέριο ρεύμα. Το σημαντικότερο χαρακτηριστικό λειτουργίας είναι η επίτευξη της όσο το δυνατόν μικρότερης θερμοκρασιακής διαφοράς μεταξύ νερού και αέρα. Αυτό συμβαίνει γιατί έτσι εξασφαλίζονται χαμηλές θερμοκρασίες λειτουργίας στους ηλιακούς συλλέκτες και έχουν αποδοτικότερη λειτουργία. [3]

Σε περίπτωση τεχνικής βλάβης όπου δε θα είναι δυνατή η παροχή ζεστού νερού από το υδραυλικό κύκλωμα της εγκατάστασης ο αναγεννητής θα πρέπει να αντικατασταθεί από ηλεκτρικό θερμαντήρα αέρα με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- § 12 θερμαντικά στοιχεία
- § Θερμοκρασία λειτουργίας περίπου 300⁰C
- § Παροχή τριφασικού ρεύματος ισχύος 6 kW
- § Έλεγχος της ισχύος με θυρίστορ σε όλο το εύρος των τιμών της.

ΕΝΑΛΛΑΚΤΗΣ ΑΙΣΘΗΤΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Οι εναλλάκτες αισθητής θερμότητας μεταφέρουν από το ρεύμα αέρα προσαγωγής δηλαδή το θερμό ρεύμα στο ρεύμα αέρα επιστροφής, αυξάνοντας τη θερμοκρασία του δευτέρου και μειώνοντας εκείνη του πρώτου. Με αυτό τον τρόπο εξοικονομούμε ενέργεια και μειώνεται η μέγιστη τιμή των απαιτούμενων ψυκτικών φορτίων.

Η ενεργειακή απόδοση του εναλλάκτη χαρακτηρίζεται από το μέγεθος της αποδοτικότητας ε , η οποία ορίζεται από την παρακάτω εξίσωση, (2.12)

$$\varepsilon = \frac{\Delta T_{realised}}{\Delta T_{max}} \quad (2.12)$$

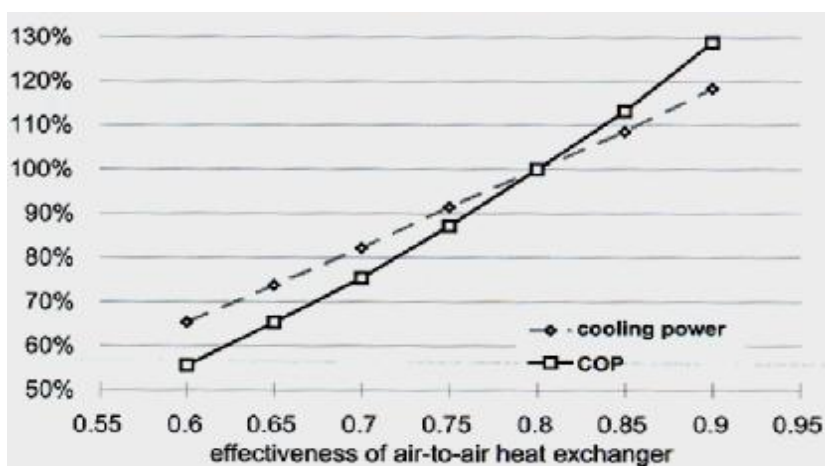
όπου ΔT_{max} είναι η μέγιστη δυνατή θερμοκρασιακή πτώση ανάμεσα στην θερμή είσοδο του ρεύματος προσαγωγής και της ψυχρής εισόδου στο ρεύμα επιστροφής, δηλαδή:

$$\Delta T_{max} = T_{supply,in} - T_{return,in}$$

και είναι η πραγματοποιούμενη θερμοκρασιακή πτώση ανάμεσα στο ρεύμα αέρα προσαγωγής ανάντι και κατάντι του εναλλάκτη αισθητής θερμότητας. Δηλαδή:

$$\Delta T_{realised} = T_{supply,in} - T_{supply,out}$$

Η αποδοτικότητα, ε , εξαρτάται κυρίως από την πτώση πίεσης στο ρεύμα αέρα που παρατηρείται στον εναλλάκτη δηλαδή από τη ταχύτητα της ροής, από τον τρόπο κατασκευής του αλλά και από το λόγο των ογκομετρικών παροχών του ρεύματος προσαγωγής προς εκείνη του ρεύματος επιστροφής. Έχει παρατηρηθεί ότι όταν ο λόγος αυτός κυμαίνεται σε τιμές κοντά στο 0.7 η αποδοτικότητα του εναλλάκτη είναι σε πολύ υψηλά επίπεδα. [9] Με τη χρήση ενός εναλλάκτη αισθητής θερμότητας υψηλής απόδοσης ο σχεδιαστής είναι σε θέση να διαλέξει τα υπόλοιπα υποσυστήματα της εγκατάστασης με τέτοια τεχνικά χαρακτηριστικά ώστε να μειωθούν οι συνολικές απαιτήσεις σε συμβατική ενέργεια και να εξοικονομηθούν χρηματικοί πόροι, αυτό το χρηματικό κέρδος μπορεί να ισοσκελίσει σε ένα μέρος το υψηλό κόστος αγοράς. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτής της ενεργειακής εξοικονόμησης παρουσιάζεται στο σχήμα 2.21. [4] Στο συγκεκριμένο παράδειγμα τέθηκε μια τιμή αναφοράς στην αποδοτικότητα ε ίση με 0.8. Για τη συγκεκριμένη τιμή τόσο ο θερμικός συντελεστής συμπεριφοράς της εγκατάστασης όσο και η ψυκτική της ισχύς τέθηκε ίση με 100%. Μειώνοντας την ε σε 0.6 μειώθηκε κατά 35% περίπου και η ψυκτική ισχύς και ο θερμικός συντελεστής συμπεριφοράς περίπου 45%. Σε αντίθεση όταν η αποδοτικότητα αυξήθηκε 0.9 αυξήθηκε κατά 18% περίπου και η ψυκτική ισχύς και ο θερμικός συντελεστής συμπεριφοράς περίπου 28%. Γεγονός που καταδεικνύει τη σημαντικότητα των ενεργειακών χαρακτηριστικών του εναλλάκτη αισθητής θερμότητας.



Σχήμα 2.21 επίδραση της αποδοτικότητας του εναλλάκτη αισθητής θερμότητας στη ψυκτική ισχύ και θερμικό συντελεστή συμπεριφοράς σε συγκεκριμένη εγκατάσταση DEC,[4].

Βέβαια πολλοί σχεδιαστές αυτών των εφαρμογών δεν υποστηρίζουν ακόμα την τόσο σημαντική επίδραση στην ενεργειακή συμπεριφορά και στο συνολικό κόστος της εγκατάστασης του εναλλάκτη αισθητής θερμότητας. [5]

Υπάρχουν τέσσερα βασικά είδη εναλλακτών αισθητής θερμότητας με ξεχωριστά τεχνικά χαρακτηριστικά το κάθε ένα.

§ Ο εναλλάκτης σε σχήμα τροχού αποτελείται από πλέγμα υλικού μεγάλης θερμικής αποθηκευτικής ικανότητας, συνήθως αλουμίνιο. Περιστρέφεται ανάμεσα σε δύο ρεύματα διαφορετικής θερμοκρασίας, μεταφέροντας θερμότητα από το θερμό προς το ψυχρό. Για την επίτευξη μιας ικανοποιητικής μεταφοράς θερμότητας η ταχύτητα περιστροφής του κυμαίνεται από 8 έως 10 στροφές ανά λεπτό. Πολλές φορές στο υλικό κατασκευής τοποθετείται και αφυγραντικό υλικό ώστε κατά την περιστροφή του να μεταφέρει και υγρασία, σε αυτή την περίπτωση έχουμε τροχό ολικής ενέργειας όπως ονομάζεται. Η αποδοτικότητα ενός τροχού εναλλαγής αισθητής θερμότητας είναι σε υψηλά επίπεδα και βρίσκεται περίπου στο 0.8 ανάλογα με την κατασκευή του και τον τρόπο λειτουργίας του ενώ η πτώση πίεσης που παρατηρείται κατάντι είναι της τάξης των 60÷250 Pa. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του είναι η συμβατότητα που έχει με τους αφυγραντικούς τροχούς καθώς αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι από τις εγκαταστάσεις αφύγρανσης-εξάτμισης όπως ακριβώς είναι η εγκατάσταση που εξετάζουμε.

§ Οι επίπεδοι εναλλάκτες θερμότητας αέρα-αέρα: κατασκευάζονται από πλάκες αλουμινίου ή πλαστικού. Η αποδοτικότητά τους κυμαίνεται από 0.4÷0.6, ενώ μπορεί να αυξηθεί έως και 0.85 όταν τα δύο διακινούμενα ρεύματα αέρα κινούνται με αντίθετη φορά. Μια κατασκευαστική λύση η οποία υιοθετείται τις περισσότερες φορές για αυτό και οι συγκεκριμένοι εναλλάκτες ονομάζονται αντιρροής ενώ η πτώση πίεσης που παρατηρείται είναι από 15 έως 370 Pa. Αυτός ο τύπος εναλλακτών είναι ελαφρύτερος αλλά πιο ογκώδης σε σύγκριση με τον αντίστοιχο εναλλάκτη σχήματος τροχού. Τα κύρια πλεονεκτήματα του είδους αυτού είναι ο διαχωρισμός των αέριων ρευμάτων με φυσικά

σύνορα, ότι συνδυάζεται εύκολα με αποδοτικά συστήματα έμμεσης εξαμιστικής ψύξης, τέλος το κόστος συντήρησης τους είναι πολύ χαμηλό.

§ Εναλλάκτης θερμικού σωλήνα ο συγκεκριμένος εναλλάκτης αποτελείται από έναν κλειστό σωλήνα που περιέχει ψυκτικό μέσο το οποίο είναι και υπεύθυνο για τη μεταφορά θερμότητας. Το ψυκτικό μέσο εξατμίζεται στο κομμάτι του σωλήνα που διαρρέεται από το ζεστό αέριο ρεύμα και ρέει προς το κομμάτι του σωλήνα που διαρρέεται από το κρύο αέριο ρεύμα. Εκεί συμπυκνώνεται, απελευθερώνοντας θερμότητα στο κρύο ρεύμα το οποίο με τη σειρά του θερμαίνεται. Η αποδοτικότητα του συγκεκριμένου εναλλάκτη δε ξεπερνά το 0.75 με αντίστοιχη πτώση πίεσης της τάξης των $100 \div 500 \text{Pa}$.

§ Εναλλάκτης κυκλικού συστήματος ή εναλλάκτης κυκλώματος αέρα-νερού-αέρα: αυτό το κύκλωμα αποτελείται από δύο επιμέρους εναλλάκτες υγρού-αέρα. Αυτό το υγρό διακινείται μέσω μιας αντλίας μεταφέροντας θερμότητα από το αέριο ρεύμα του ενός εναλλάκτη στο αέριο ρεύμα του δεύτερου. Αυτό το υγρό έχει συγκεκριμένες ιδιότητες και εύρος θερμοκρασιών λειτουργίας, με συνηθέστερο τη γλυκόλη. Η αποδοτικότητα αυτού του συστήματος είναι περίπου στο 75% και προκαλεί πτώση πίεσης 100 με 500 Pa. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα που παρουσιάζει ένα τέτοιο κύκλωμα αφορά στην δυνατότητα που προσφέρει τα δύο ρεύματα αέρα να μην είναι στην ίδια εγκατάσταση και να προέρχονται από τελείως διαφορετικές εφαρμογές.

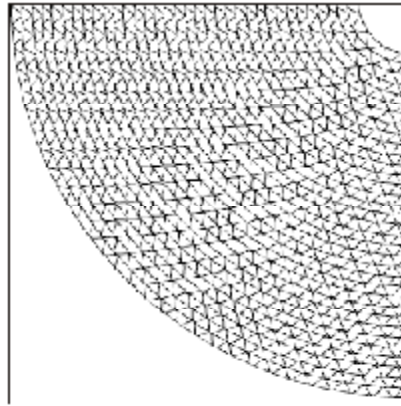
Η παρουσία ενός εναλλάκτη θερμότητας αυξάνει την καταναλισκόμενη από τους ανεμιστήρες ενέργεια για την διακίνηση της απαραίτητης ογκομετρικής παροχής αέρα κατά ένα ποσοστό που είναι ανάλογο της πτώσης πίεσης που παρατηρείται, ενώ η ενέργεια που εξοικονομείται εξαρτάται από την ενέργεια που δεσμεύει ο ίδιος ο εναλλάκτης που με τη σειρά τους είναι ανάλογη της θερμοκρασιακής διαφοράς των δύο αέριων ρευμάτων. Μετρήσεις έχουν δείξει ότι εναλλάκτες με αποδοτικότητα 0.85 θα πρέπει να παρακάμπτονται από το αέριο ρεύμα αν η θερμοκρασιακή διαφορά δε ξεπερνά τους 2-3 K καθώς η καταναλισκόμενη ενέργεια από τις πτώσεις πιέσεων υπερσκελίζει την εξοικονομούμενη από τη λειτουργία του εναλλάκτη ενέργεια. [5] .Από κάποια τιμή της αποδοτικότητας και μετά η αποθηκευόμενη από τον εναλλάκτη ενέργεια δε συνεισφέρει στη μείωση της ολικής κατανάλωσης ενέργειας από την εγκατάσταση όταν η επιπλέον απαιτούμενη ενέργεια από τους ανεμιστήρες λαμβάνεται σοβαρά υπ' όψιν. Ακόμα και σε περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει μείωση στα φορτία ανανεώσεων και ψύξης, η χρήση ενέργειας από ένα εναλλάκτη θερμότητας μπορεί να οδηγήσει σε 40% μείωση της μέγιστης τιμής των ψυκτικών φορτίων με αποτέλεσμα ο σχεδιαστής της εγκατάστασης να έχει τη δυνατότητα να υποδιαστασιολογήσει τα υπόλοιπα εξαρτήματα της εγκατάστασης και να προκύψει έμμεσο ενεργειακό κέρδος.

Στις πρώτες εφαρμογές οι εναλλάκτες αισθητής θερμότητας χρησιμοποιούνταν μόνο σε περιοχές με ακραία κλίματα όπου τα συστήματα κλιματισμού χρησιμοποιούσαν σαν είσοδο αποκλειστικά αέρα περιβάλλοντος, τώρα πλέον η εφαρμογή τους είναι συνηθής παγκοσμίως σε μεγάλα εμπορικά κτίρια. [5] Σε περιοχές με σχετικά ήπιους χειμώνες, οι εναλλάκτες θερμότητας είναι περισσότερο αποδοτικοί κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου και όχι της εαρινής καθώς στη πρώτη η θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ των δύο αέριων ρευμάτων είναι μεγαλύτερη. Η

αποδοτικότητα των εναλλακτών θερμότητας, στο να μειώνουν τη συνολική κατανάλωση ενέργειας κατά την εαρινή περίοδο, ελαττώνεται ακόμα περισσότερο από το γεγονός ότι η απαιτούμενη επιπρόσθετη ενέργεια από τον ανεμιστήρα παρουσιάζεται ως πλεονάζουσα ενέργεια η οποία και πρέπει να απορριφθεί από το σύστημα, σε αντίθεση με την χειμερινή περίοδο που αυτή η ενέργεια είναι χρήσιμη για τα θερμικά κέρδη του κλιματιζόμενου χώρου. Η αποδοτικότητα των εναλλακτών θερμικού σωλήνα κατά την εαρινή περίοδο μπορεί να αυξηθεί με τον ψεκασμό νερού στην θερμή πλευρά του χάρις στο φαινόμενο της εξατμιστικής ψύξης. Με αυτό τον τρόπο ψύχονται οι σωληνώσεις του εναλλάκτη και κατά συνέπεια επιτρέπεται μεγαλύτερη ψύξη στο εισερχόμενο αέριο ρεύμα. Με το συγκεκριμένο φαινόμενο παρατηρείται 20% εξοικονόμηση στην καταναλισκόμενη ενέργεια κατά την εαρινή περίοδο αλλά είναι σημαντική η απρόσκοπτη και συνεχής παροχή νερού.

Το μεγαλύτερο ίσως μειονέκτημα των τροχών εναλλαγής θερμότητας είναι ότι μεταφέρουν αιρούμενα σωματίδια από το ρεύμα επιστροφής στο ρεύμα προσαγωγής, φαινόμενο που δε συμβαίνει στα άλλα είδη των εναλλακτών θερμότητας. Για την ελαχιστοποίηση του συγκεκριμένου προβλήματος το κομμάτι του τροχού που μεταβαίνει από το ένα ρεύμα στο άλλο θα ήταν δυνατό να καθαρίζεται με φρέσκο αέρα. Αυτό το μέτρο αντιμετώπισης έχει σαν αποτέλεσμα το εισερχόμενο ρεύμα αέρα από αυτό το κομμάτι του τροχού να διαχέεται στο ρεύμα επιστροφής άρα την απώλεια της θερμότητας από το ρεύμα επιστροφής. Ακόμα πιο έντονο είναι το συγκεκριμένο φαινόμενο στους τροχούς ολικής ενέργειας, δηλαδή τους τροχούς που μεταφέρουν ταυτόχρονα και υγρασία, αυτό οφείλεται στην υγροσκοπική ουσία που είναι κατασκευασμένοι η οποί προσλαμβάνει ευκολότερα σωματίδια.

Για την εγκατάσταση επιλέχθηκε εναλλάκτης αισθητής θερμότητας με σχήμα τροχού από την γερμανική εταιρεία Klingeburg με κωδικό PT-20-500. Οι διαστάσεις του τροχού μαζί με το πλαίσιο στήριξης του είναι 300 mm μήκος 605 mm πλάτος και 680 mm ύψος. Ενώ η καθαρή διάμετρος του είναι 505 mm και το βάρος του είναι 50 kg. Το πλέγμα του τροχού αποτελείται από λεπτά φύλλα κράματος αλουμινίου σε κυματοειδή μορφή με ύψος 2.00 mm τα οποία ενώνονται ακτινικά με ελάσματα πάχους 0.08 mm. [19] Η διαμόρφωση του πλέγματος φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (2.22):

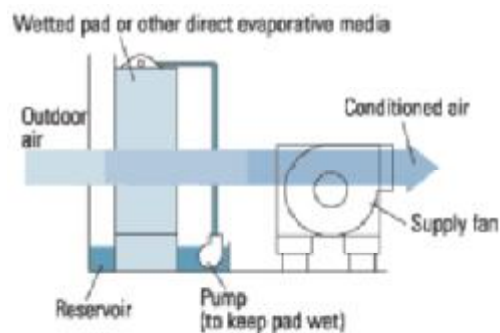


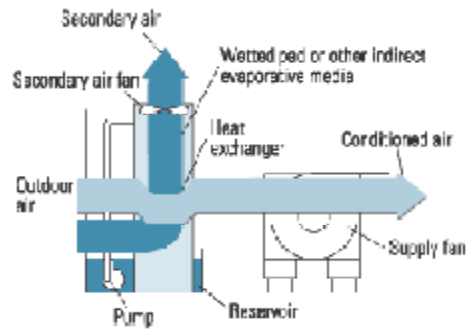
Σχήμα 2.22 πλέγμα τροχού-εναλλάκτη αισθητής θερμότητας, [19]

Αυτός ο τρόπος κατασκευής χρονολογείται από το 1960 και εξασφαλίζει την ομαλότητα της ροής κατάντι του τροχού. Η στιβαρότητα της κατασκευής εξασφαλίζεται από εσωτερικές ράβδους οι οποίες βέβαια δημιουργούν περιοχές που εμποδίζουν τη ροή των αέριων ρευμάτων. Ο άξονας του τροχού είναι κατασκευασμένος από χρωμιωμένο χάλυβα ενώ το πλαίσιο του τροχού είναι ανθεκτικό σε συνθήκες διάβρωσης. Το θερμοκρασιακό εύρος λειτουργίας κυμαίνεται από τους 0°C έως 650°C. Η περιστροφή του τροχού εξασφαλίζεται και εδώ από ασύγχρονο τριφασικό ηλεκτροκινητήρα ο οποίος ελέγχεται από ρυθμιστή στροφών για την επίτευξη όλων των επιτρεπτών ταχυτήτων περιστροφής με μέγιστη επιτρεπτή τις 10 στροφές ανά λεπτό. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του ηλεκτροκινητήρα και του ρυθμιστή στροφών είναι ίδια με εκείνα των αντίστοιχων εξαρτημάτων που αναφέραμε στον αφυγραντικό τροχό. Η συντήρηση του τροχού είναι απαραίτητη ανά τακτά χρονικά διαστήματα για την απομάκρυνση των επικαθήμενων στον τροχό σωματιδίων, μια συντήρηση που μπορεί να γίνει με νερό και ατμό υπό πίεση.

ΥΓΡΑΝΤΗΡΕΣ

Οι υγραντήρες χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, τους άμεσους και τους έμμεσους. Στους άμεσους το αέριο ρεύμα διέρχεται από ένα πορώδες βρεγμένο υλικό. Ενώ, στους έμμεσους εξατμιστικούς ψύκτες είναι απαραίτητη η παρουσία κάποιου μέσου μεταφοράς θερμότητας ανάμεσα στο ρεύμα προσαγωγής και το ψυχρότερο δευτερεύον ρεύμα. Η σχηματική απεικόνιση και των δύο φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (2.23):





Σχήμα 2.23 άμεσος (πάνω) και έμμεσος(κάτω) αφυγραντικός ψύκτης, [5].

Κατά την εξάτμισή του το νερό, όταν αυτό έρθει σε επαφή με αέρα, μπορεί να τον ψύξει μέχρι τη θερμοκρασία του υγρού βολβού του, T_{wb} ¹⁰. Η θερμοκρασία υγρού βολβού εξαρτάται από την απόλυτη υγρασία και την θερμοκρασία ξηρής σφαίρας του αέρα, T_{db} ¹¹. Η θερμοκρασία υγρού βολβού είναι πάντα μικρότερη από την θερμοκρασία ξηρής σφαίρας αλλά η μεταξύ τους διαφορά μεγαλώνει όσο μικρότερη είναι η απόλυτη υγρασία του αέρα. [20] Βέβαια, η θερμοκρασία υγρού βολβού μπορεί να είναι χαμηλότερη σε υγρά εύκρατα κλίματα από ότι σε ξηρά εξ' αιτίας της χαμηλής αρχικής θερμοκρασίας ξηρής σφαίρας που υπάρχει στα πρώτα. Για αυτό το λόγο χαμηλότερες θερμοκρασίες μπορούν επιτευχθούν μέσω της εξατμιστικής ψύξης σε υγρά εύκρατα κλίματα παρόλο που το φαινόμενο έχει μικρότερο θερμοκρασιακό πεδίο εφαρμογής.

Ακόμα, και σε θερμά και ξηρά κλίματα το φαινόμενο της εξατμιστικής ψύξης έχει μεγάλη αποδοτικότητα, όπου όμως οι υδάτινες πηγές είναι πολύ περιορισμένες. Αντιπαραβάλλοντας την κατανάλωση νερού από τις ήδη υπάρχουσες τεχνολογίες ψύξης, όπως πύργους ψύξης, βλέπουμε ότι η ποσότητα αυτή είναι σαφώς συγκρίσιμη. Δεδομένου ότι η λανθάνουσα θερμότητα για την εξάτμιση του νερού είναι 2.5×10^6 J/kg περίπου, η πυκνότητα του νερού είναι 1000 kg/m^3 υπολογίζεται ότι 2.5 GJ ψύξης, προκύπτει από κάθε κυβικό μέτρο νερού που εξατμίζεται. Αυτή η τιμή, E_{ref} , καλείται και αναφορά αποδοτικότητας για τη χρήση του νερού. Η εξατμιστική ψύξη ενός ρεύματος αέρα προκύπτει από την επαφή του με τις σταγόνες νερού, οι οποίες συνήθως διαμορφώνονται σε ένα νεφέλωμα ώστε να υπάρξει όσο το δυνατόν μεγαλύτερη επιφάνεια επαφής μεταξύ των ρευστών. Το υπόλοιπο νερό που δεν εξατμίζεται συλλέγεται σε κατάλληλη διάταξη για την επανακυκλοφορία του στον ψύκτη, έτσι η ψύξη που δε μεταφέρθηκε στο ρεύμα αέρα δε χάνεται αλλά ανακυκλώνεται. Ένας άμεσος εξατμιστικός ψύκτης έχει απόδοση κοντά στην τιμή E_{ref} ενώ ένας έμμεσος έχει απόδοση που επηρεάζεται από την αποδοτικότητα του εναλλάκτη θερμότητας που περιλαμβάνει, η οποία δεν είναι πάντα υψηλή. Σε ένα πύργο ψύξης, το νεφέλωμα του νερού που χρησιμοποιείται μπορεί να είναι θερμότερο από τον αέρα στον οποίον θα εξατμιστεί. Σε αυτήν την περίπτωση, ο στόχος είναι να ψυχθεί και να ξαναχρησιμοποιηθεί το ίδιο το νερό. Αν όμως, το νερό είναι ψυχρότερο του αέρα, καθώς αυτό

¹⁰ T_{wb} : είναι η θερμοκρασία του νερού υπό την οποία εξατμιζόμενο σε υγρό αέρα θερμοκρασίας ξηρής σφαίρας T_{db} και λόγου υγρασίας W , καθιστά, αδιαβατικά και υπό σταθερή πίεση P , τον αέρα κορεσμένο στην ίδια θερμοκρασία T^* .

¹¹ T_{db} : είναι η θερμοκρασία που καταγράφεται με τις συνήθεις θερμομετρικές συσκευές

εξατμίζεται έχουμε τη μεταφορά τόσο αισθητής όσο και λανθάνουσας θερμότητας. Έτσι, η ψύξη που επιτυγχάνουμε ανά κυβικό μέτρο ξεπερνά την τιμή των 2.5 GJ.

Για την συνεχή και σταθερή απόδοση των ψυκτών το εξατμιζόμενο νερό αντικαθίσταται με νέο που αναμιγνύεται με εκείνο που ανακυκλοφορεί ώστε να ξαναρχίσει η διαδικασία. Κατά την εξάτμιση του νερού δημιουργούνται άλατα ή παραμένουν κατάλοιπα, έτσι ύστερα από συγκεκριμένο αριθμό κύκλων της διαδικασίας όταν η συγκέντρωση των συστατικών αυτών ξεπεράσει ένα όριο, το νερό αντικαθίσταται εξ' ολοκλήρου με φρέσκο και εκείνο που απορρίπτεται μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε βοηθητικές ανάγκες της όλης εγκατάστασης, αν βέβαια η συγκεκριμένη λειτουργία υποστηρίζεται από το υδραυλικό της κύκλωμα. Από μετρητικά δεδομένα έχει αποδειχθεί ότι η κατανάλωση νερού σε κυβικά μέτρα ανά μονάδα θερμότητας που πρέπει να αφαιρεθεί από το κτίριο, λαμβάνοντας υπ' όψιν και τη παραγόμενη θερμότητα από τους ανεμιστήρες και τους ψύκτες, είναι χαμηλότερη σε συστήματα DEC καθώς η μόνη επιπλέον θερμότητα που πρέπει να απορριφθεί από το κτίριο εκτός από τα ψυκτικά φορτία είναι εκείνη των ανεμιστήρων. Αυτή η κατανάλωση κυμαίνεται από 0.0015÷0.0020 m³/kWh_c. Σε αντίθεση με την κατανάλωση νερού ενός ψύκτη συμπίεσης ατμών με συντελεστή συμπεριφοράς 4.2 που είναι 50÷60 % μεγαλύτερη ή ενός ψύκτη απορρόφησης που είναι σχεδόν διπλάσια. [5]

Ο όρος αποδοτικότητα η , της εξατμιστικής ψύξης ορίζεται ως ο λόγος της πτώσης της θερμοκρασίας στο αέριο ρεύμα προσαγωγής, προς τη διαφορά της αρχικής του θερμοκρασίας και της θερμοκρασίας του υγρού του βολβού, στην ίδια πίεση.

$$\eta = \frac{T_a - T_f}{T_a - T_{wb}} \quad (2.13)$$

όπου T_a η αρχική θερμοκρασία του αέριου ρεύματος και T_f η θερμοκρασία του αέρα μετά τον εξατμιστικό ψύκτη. Στους άμεσους ψύκτες μπορούμε να επιτύχουμε υψηλή αποδοτικότητα, της τάξης του 0.8÷0.9, με υψηλή σχετική υγρασία στο διακινούμενο ρεύμα αέρα. Σε περίπτωση που αυτή η υψηλή σχετική υγρασία δεν είναι επιθυμητή μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας έμμεσος αφυγραντικός ψύκτης με αποδοτικότητα που κυμαίνεται όμως κοντά στο 0.6. Βέβαια είναι δυνατός και ο συνδυασμός του έμμεσου και του άμεσου με τον πρώτο να ακολουθείται από τον δεύτερο με αυτόν τον τρόπο είναι πιθανό να επιτύχουμε τελική θερμοκρασία μικρότερη από την αρχική θερμοκρασία του υγρού βολβού δηλαδή αποδοτικότητα μεγαλύτερη από 100%. Αυτό συμβαίνει επειδή για συγκεκριμένη ατμοσφαιρική υγρασία, T_{wb} μικρότερη της T_{db} , και ο έμμεσος ψύκτης στο συγκεκριμένο σύστημα μειώνει την T_{db} χωρίς να αλλάζει το περιεχόμενο του αέρα σε υγρασία.

Με τη χρήση άμεσου εξατμιστικού ψύκτη μπορούν να επιτευχθούν θερμοκρασίες για τον κλιματιζόμενο χώρο από 18°C έως 25°C με υψηλές όμως τιμές σχετικής υγρασίας που κυμαίνονται από 65% έως 90%. Η έμμεση εξάτμιση έχει ως αποτέλεσμα υψηλότερες θερμοκρασίες στο ρεύμα αέρα προσαγωγής αλλά πολύ χαμηλότερες τιμές για τη σχετική υγρασία, δηλαδή από 20÷65%, συνδυασμός συνθηκών που είναι εύκολα αποδεκτές από τους χρήστες του χώρου καθώς εξασφαλίζουν την απαραίτητη θερμική άνεση. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι οι μετρήσεις που έγιναν για διάφορες πόλεις του κόσμου, μέσα σε αυτές και η

Αθήνα, όπου καταγράφηκαν οι ακραίες θερμοκρασίες για κάθε μια από αυτές, δηλαδή οι θερμοκρασίες που δεν ξεπερνιούνται για 1% του χρόνου ενός ολόκληρου ημερολογιακού έτους, και το ψυκτικό αποτέλεσμα που έφεραν η άμεση και έμμεση εξατμιστική ψύξη. Έτσι για την Αθήνα με $T_{db}=33^{\circ}\text{C}$, $T_{wb}=20.1^{\circ}\text{C}$ και σχετική υγρασία $RH=29\%$ η άμεση εξατμιστική ψύξη απέδωσε $T_f=22.0^{\circ}\text{C}$, $RH=84\%$ ενώ η έμμεση εξατμιστική ψύξη $T_f=24.6^{\circ}\text{C}$ και $RH=48\%$. [5]

Συγκεκριμένα στα συστήματα DEC ο κύριος στόχος των υγραντήρων, που συνήθως είναι άμεσοι, τουλάχιστον στην θερινή περίοδο, είναι η ψύξη του ρεύματος προσαγωγής και όχι η αύξηση της σχετικής του υγρασίας. Η ύγρανση του αέρα μπορεί να συμβεί με δύο διαφορετικούς θερμοδυναμικούς τρόπους. Αρχικά η έγχυση υδρατμού στο αέριο ρεύμα, σε αυτή την περίπτωση μπορεί να παρατηρηθεί μια μικρή αύξηση της θερμοκρασίας ανάμειξης η οποία εξαρτάται από τη θερμοδυναμική κατάσταση του υδρατμού, αν είναι δηλαδή κορεσμένος ή υπέρθεμος ατμός. Στη δεύτερη περίπτωση όπου γίνεται έγχυση υγρού νερού μικρής ποσότητας, μικρότερης του 0.3 Kg ανά m^3 αέρα, [4] μία σχεδόν αδιαβατική μεταβολή των συνθηκών υγρασίας και θερμοκρασίας λαμβάνει χώρα, η οποία πάντοτε συνοδεύεται από μεικτή ψύξη όπου την κυριότερη συμβολή έχει η εξάτμιση.

Υπάρχουν αρκετά είδη άμεσων υγραντήρων τα οποία αναφέρονται παρακάτω:

- § Υγραντήρες ακροφυσίου
- § Υγραντήρες κράματος
- § Υγραντήρες ακροφυσίου υψηλής πίεσης
- § Υγραντήρες ακροφυσίου μηχανικής «οδήγησης»
- § Υπερηχητικοί υγραντήρες
- § Υβριδικοί υγραντήρες
- § Υγραντήρες εξάτμισης

Τα παραπάνω είδη χαρακτηρίζονται από διαφορετικά τεχνικά χαρακτηριστικά που αφορούν στην εφαρμογή που χρησιμοποιούνται αλλά και στο τρόπο έγχυσης του νερού. Στην εξεταζόμενη εγκατάσταση χρησιμοποιήθηκαν δύο υγραντήρες υπερήχων τύπου ENS 3600. Οι υπερηχητικοί κραδασμοί κάνουν το αέριο ρεύμα να δέχεται ένα άμεσο νεφέλωμα από πολύ μικρές σταγόνες νερού μεγιστοποιώντας την επιφάνεια επαφής ανάμεσα τους, με αποτέλεσμα καλύτερα αποτελέσματα για τη μεταφορά θερμότητας. Η αποδοτικότητα αυτού του είδους των υγραντήρων κυμαίνεται από $75\div 95\%$, η έγχυση του νερού γίνεται με πίεση από 1 έως 10 bar. Η παροχή του νερού γίνεται από το κοινόχρηστο δίκτυο, ενώ η αφαλάτωσή του επιτυγχάνεται με την διαδικασία της όσμωσης που λαμβάνει χώρα στον σωλήνα τροφοδοσίας. Το ποσοστό του συλλεγόμενου νερού που δεν εξατμίζεται κυμαίνεται στο 5% το οποίο και επαναχρησιμοποιείται για τον επόμενο κύκλο λειτουργίας του υγραντήρα.

Κατασκευαστικά ο υγραντήρας πρόκειται για οριζόντιο σωλήνα κατασκευασμένο από θερμοανθεκτικό υλικό με συγκεκριμένες οπές ώστε να εξέρχεται νεφέλωμα του νερού με το οποίο πραγματοποιείται η εξατμιστική ψύξη. Ειδικότερα για την εξεταζόμενη εγκατάσταση ο σωλήνας του υγραντήρα είναι κατασκευασμένος από PVC¹² με μήκος 460 mm και διαθέτει 6

¹² PVC ή υλικό προερχόμενο από θερμική επεξεργασία και είναι βασισμένο στο πετρέλαιο.

σπές. Το επιτρεπόμενο θερμοκρασιακό εύρος του διερχόμενου αέριου ρεύματος κυμαίνεται από 8⁰C έως 40⁰C με μέγιστη σχετική υγρασία 90%. Το νερό τροφοδοσίας του υγραντήρα θα πρέπει να έχει πίεση παροχής από 0.2 έως 6 bar, θερμοκρασία 5÷40⁰C και ηλεκτρική αγωγιμότητα μικρότερη από 20μS/cm, απαιτήσεις που εν γένει καλύπτονται από τη παροχή του δικτύου ύδρευσης. Σε πλήρη λειτουργία ο υγραντήρας έχει μέγιστη ικανότητα παροχής 1.8 λίτρα νερού την ώρα. Ο έλεγχος της ροής του νερού από τους υγραντήρες μπορεί να γίνει με δύο τρόπους. Αρχικά, με τη χρήση εξωτερικού ηλεκτρικού σήματος τάσης 0 έως 10 V σε σωληνοειδή βαλβίδα με κατάλληλο επενεργητή όπου μπορεί να γίνει πλήρης ρύθμιση της ροής από 0 έως 100% της τιμής της, όπως συμβαίνει και στο ρεύμα προσαγωγής της εγκατάστασης. [21] Στη συνέχεια υπάρχει και η δυνατότητα ρύθμισης της ροής με τρόπο δυαδικό δηλαδή on/off, όπου είτε έχουμε μηδενική είτε πλήρη ροή, όπως συμβαίνει και στο ρεύμα επιστροφής της εγκατάστασης. Για την απρόσκοπτη και υψηλή απόδοση του υγραντήρα πρέπει η στάθμη του νερού στη δεξαμενή του να είναι σταθερή, απαίτηση που ικανοποιείται με τη παρουσία μια σωληνοειδούς βαλβίδας η οποία ανοίγει όταν η στάθμη του νερού πέσει κάτω το απαιτούμενο επίπεδο. Ακόμα στη δεξαμενή υπάρχει μηχανικός διακόπτης για την αποφυγή υπερχειλίσσης αλλά και ηλεκτρική σύνδεση με το σύστημα ελέγχου της εγκατάστασης ώστε με τη διακοπή λειτουργίας της υπόλοιπης εγκατάστασης να διακόπτεται και η λειτουργία των υγραντήρων άρα και η ζήτηση νερού. Ο μηχανισμός που δημιουργεί τα κύματα υπερήχων αποτελείται από ολοκληρωμένα κυκλώματα που είναι τοποθετημένα στο πυθμένα της παραπάνω δεξαμενής, τα κυκλώματα αυτά τροφοδοτούνται με εναλλασσόμενη τάση 48V και πάλλονται. Οι παλμοί διαδίδονται σε όλο τον όγκο του νερού μέχρι την επιφάνεια του όπου και νεφελοποιείται.

2.2.3 Βοηθητικά Συστήματα και Συσκευές

Κατά το ψεκάσμο του νερού από τους υγραντήρες στο ρεύμα αέρα είναι δυνατόν να παρασυρθούν ορισμένα σταγονίδια νερού τα οποία δεν εξατμίστηκαν. Γεγονός που μπορεί να αρκετά ζημιογόνο για τη λειτουργία των υπόλοιπων συστημάτων της εγκατάστασης που είναι ευαίσθητα ως προς τη λειτουργία τους στη παρουσία υγρασίας όπως είναι ο τροχός εναλλαγής αισθητής θερμότητας ή τα φίλτρα καθαρισμού. Έτσι κατάντι του υγραντήρα τόσο του ρεύματος προσαγωγής όσο και του ρεύματος επιστροφής, είναι τοποθετημένα μεταλλικά πλαίσια που φέρουν πλαστική κατασκευή σε σχήμα μαιάνδρου. Καθώς ο υγρός αέρας περνάει μέσα από την συγκεκριμένη διάταξη τα μόρια του νερού λόγω της αδράνειας, επειδή έχουν μεγαλύτερο βάρος από εκείνα του αέρα, δε μπορούν να ακολουθήσουν τη μεταβολή της διεύθυνσης της ροής και προσκρούουν στα πλαστικά τοιχώματα. Με αυτό τον τρόπο συλλέγονται και οδηγούνται στα σιφόνια του πλαισίου.

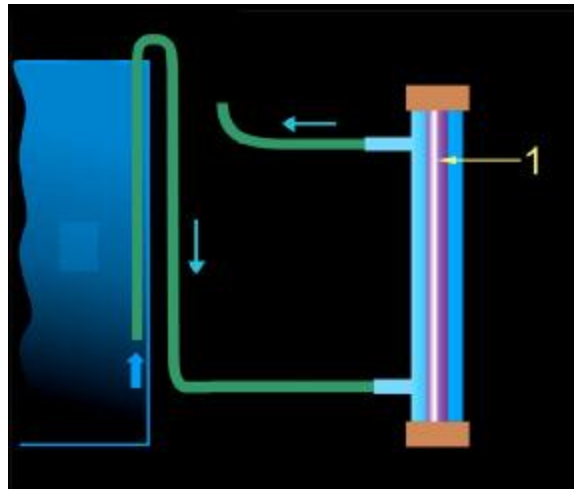
Για την υδραυλική υποστήριξη της παροχής του απαιτούμενου νερού προς τους υγραντήρες είναι κατασκευασμένο ένα βοηθητικό κύκλωμα το οποίο αποτελείται από δύο δεξαμενές αποθήκευσης νερού και μία αντλία. Η πρώτη δεξαμενή βρίσκεται στην οροφή της εγκατάστασης στην οποία και καταλήγει η παροχή του δικτύου ύδρευσης για την τροφοδοσία των υγραντήρων με την ποσότητα νερού που χρειάζεται. Η συγκεκριμένη δεξαμενή καλύπτει τις ανάγκες των υγραντήρων σύμφωνα με τη ρύθμιση της σωληνοειδούς βαλβίδας του ρεύματος προσαγωγής και επιστροφής. Στη συνέχεια, αφού λαμβάνει χώρα η διεργασία της εξατμιστικής ψύξης, το νερό που δεν έχει εξατμιστεί ή έχει παρασυρθεί από το ρεύμα αέρα και παγιδεύεται από τις ειδικές

διατάξεις που περιγράφηκαν παραπάνω συλλέγεται και παροχετεύεται μέσω των σιφονιών του πλαισίου στη δεύτερη δεξαμενή. Η δεξαμενή αυτή, δεξαμενή συλλογής όπως ονομάζεται, βρίσκεται στο επίπεδο της συσκευής κλιματισμού και περιέχει μια συμβατική αντλία, με ολικό ύψος ανύψωσης 10 m, η οποία και διοχετεύει το περιεχόμενο της δεξαμενής αποθήκευσης στην πρώτη δεξαμενή για την επανακυκλοφορία του. Η ενεργοποίηση της αντλίας γίνεται με μηχανικό δείκτη στάθμης (φλοτέρ) που είναι ρυθμισμένος με τέτοιο τρόπο ώστε να μην είναι δυνατή η αναρρόφηση του νερού από τη δεξαμενή προς του υγραντήρες λόγω της υφιστάμενης υποπίεσης στο εσωτερικό της εγκατάστασης. Με την ανακύκλωση της συγκεκριμένης ποσότητας νερού και την επαναχρησιμοποίηση της πραγματοποιείται μια εξοικονόμηση των υδάτινων διαθέσιμων πόρων, χαρακτηριστικό πολύ σημαντικό σε ξηρές περιοχές όπου αυτοί οι πόροι είναι περιορισμένοι, αλλά και βελτιώνεται η ενεργειακή απόδοση της εγκατάστασης καθώς δε διαφεύγει η θερμότητα που θα μπορούσε να απορροφήσει κατά την εξάτμιση της η συγκεκριμένη ποσότητα νερού και χρησιμοποιείται στον επόμενο κύκλο της διεργασίας στην εγκατάσταση. Ακόμα, υπάρχει απ' ευθείας σύνδεση των υγραντήρων με το δίκτυο ύδρευσης σε περίπτωση βλάβης του βοηθητικού υδραυλικού κυκλώματος ώστε να συνεχίσει η απροβλημάτιστη λειτουργία της εγκατάστασης. Με το συγκεκριμένο τρόπο λειτουργίας παρακάμπτεται ο έλεγχος από την κεντρική μονάδα της εγκατάστασης και η παροχή του νερού γίνεται ποσοτικά από χειροκίνητες βάνες για την κάλυψη της απαιτούμενης ψύξης. Έτσι η χρήση της συγκεκριμένης δυνατότητας δε συνίσταται παρά μόνο σε εξαιρετικές περιπτώσεις όπου η λειτουργία της εγκατάστασης είναι επιβεβλημένη καθώς η χρήση του νερού γίνεται αλόγιστη και οι συνθήκες του κλιματιζόμενου χώρου είναι δύσκολο να διατηρηθούν σταθερές και μέσα στο επιτρεπόμενο πλαίσιο της θερμικής άνεσης.

Κατά τη διαδικασία της εξατμιστικής ψύξης, δηλαδή της άμεσης επαφής του νερού με τον κινούμενο αέρα, αλλά και την επανακυκλοφορία ήδη χρησιμοποιημένου νερού εγείρονται θέματα υγιεινής της εγκατάστασης και του διοχετευόμενου από αυτήν, αέρα, προς τον κλιματιζόμενο χώρο. Έχει παρατηρηθεί ότι αναπτύσσονται αποικίες βακτηρίων στο διακινούμενο νερό, με κύριο τη Λεγεωνέλα, οι οποίες πρέπει να καταπολεμηθούν και να σταματήσει η εξάπλωσή τους ώστε η χρήση της εγκατάστασης να είναι ασφαλής. Το βακτήριο της Λεγεωνέλας είναι υπεύθυνο κυρίως για την εμφάνιση πνευμονίας βαριάς μορφής στους ανθρώπους και μεταδίδεται μέσω της αναπνοής. Βέβαια εκτεταμένες μελέτες δεν έχουν καταγράψει κρούσματα ασθενειών που να συνδέονται από την ύπαρξη βακτηρίων και συγκεκριμένα λεγεωνέλας στην κλιματιστική συσκευή. Η διακοπή της ανάπτυξης των επιβλαβών οργανισμών μπορεί να πραγματοποιηθεί με πολλούς τρόπους όπως είναι η χρήση χημικών σκευασμάτων για τον καθαρισμό του νερού, η παρεμβολή βιοχημικών φίλτρων στο υδραυλικό κύκλωμα της εγκατάστασης ή η χρήση υπεριώδους ακτινοβολίας μέσω ακτινοβόλησης της ροής του νερού.

Για την εξασφάλιση όμως της υγείας των χρηστών και την εναρμόνιση με τους κανονισμούς ασφάλειας και υγιεινής κρίθηκε σκόπιμη η τοποθέτηση μιας λάμπας υπεριώδους ακτινοβολίας η οποία θα παρεμβάλλεται σε σειρά μεταξύ της πρώτης δεξαμενής του βοηθητικού υδραυλικού κυκλώματος και των υγραντήρων. Τα κύρια κριτήρια επιλογής της συγκεκριμένης λύσης είναι δύο. Πρώτα, οι διαστάσεις του λαμπτήρα θα πρέπει να είναι τέτοιες ώστε να είναι δυνατή η

συνεχής ακτινοβολία της μέγιστης ποσότητας νερού που κυκλοφορεί εκείνη τη χρονική στιγμή στο υδραυλικό κύκλωμα της εγκατάστασης. Κατά δεύτερον θα πρέπει η ποσότητα της ακτινοβολίας που δέχονται οι μικροοργανισμοί που περιέχονται στο κυκλοφορούμενο νερό να ξεπερνά την θανατηφόρο για αυτούς δόση, αυτό εξαρτάται από την ισχύ του χρησιμοποιούμενου λαμπτήρα. Με αυτόν τον τρόπο, η ποσότητα του νερού που είναι έτοιμη για χρήση από τους υγραντήρες ακτινοβολείται και οι όποιοι οργανισμοί έχουν αναπτυχθεί εξουδετερώνονται. Η συσκευή αποτελείται από δύο ομοαξονικούς κυλίνδρους ίδιου μήκους, ο πρώτος, με τη μικρότερη διάμετρο, είναι ο λαμπτήρας ενώ ο δεύτερος, που περικλείει τον πρώτο, αποτελεί τη σωλήνωση στην οποία κυκλοφορεί και το νερό. Στις ακραίες κυκλικές επιφάνειες των κυλίνδρων υπάρχουν ειδικά πώματα που εξασφαλίζουν στεγανότητα αλλά και τη δυνατότητα ηλεκτρικής τροφοδοσίας και συντήρησης του λαμπτήρα, σχήμα 2.24.



Σχήμα 2.24 σχηματική παράσταση λαμπτήρα υπεριώδους ακτινοβολίας, 1.λαμπτήρας υπεριώδους ακτινοβολίας, [22].

Στην εξεταζόμενη εγκατάσταση χρησιμοποιήθηκε λαμπτήρας με μέγιστη καλυπτόμενη παροχή 2 λίτρα την ώρα, τιμή που υπερβαίνει την μέγιστη τιμή διακινούμενης ποσότητας νερού των υγραντήρων που είναι 1.8 λίτρα την ώρα. Ακόμα η ισχύς του είναι 8W, που ξεπερνά την απαιτούμενη, για τη προσφορά της θανατηφόρου για τη λεγεωνέλα δόση ακτινοβολίας που κυμαίνεται περίπου στα $10 \text{ mW} \cdot \text{sec}/\text{cm}^2$. [22]

2.3 Διατάξεις Ασφαλείας

Η πρώτη διάταξη για την λειτουργική ασφάλεια της εγκατάστασης αφορά στην προστασία της από τον πάγο. Η συσκευή είναι εφοδιασμένη με θερμοστάτη ασφαλείας που είναι τοποθετημένος ακριβώς μετά τον τροχό εναλλαγής αισθητής θερμότητας στο ρεύμα προσαγωγής του αέρα. Αν η θερμοκρασία στον θερμοστάτη πέσει κάτω από 5°C εκπέμπεται ηχητικό προειδοποιητικό σήμα και η συσκευή τίθεται αυτόματα εκτός λειτουργίας.

Η δεύτερη διάταξη αφορά στην προστασία του υλικού του αφυγραντικού τροχού από υπερθέρμανση, καθώς η έκθεση του LiCl σε υψηλές θερμοκρασίες μπορεί να προκαλέσει καταστροφή του. Έτσι σε περίπτωση που οι θερμοκρασίες υπερβούν μια συγκεκριμένη τιμή που καθορίζεται από τον χρήστη, η βαλβίδα ανάμειξης στο υδραυλικό κύκλωμα κλείνει και μόνο κρύο νερό τροφοδοτείται στον αναγεννητή μέχρις ότου η θερμοκρασία πέσει στο επιθυμητό επίπεδο. Στο εξεταζόμενο σύστημα σαν όριο ασφαλείας τέθηκαν οι 65°C, ένα θερμοκρασιακό επίπεδο που είναι αρκετό για την ικανοποιητική αναγέννηση του τροχού.

Τέλος, η τρίτη διάταξη είναι ένα ακόμα μέτρο για τη τήρηση της υγιεινής του νερού που κυκλοφορεί στους υγραντήρες. Γίνεται αυτόματη αντικατάσταση του νερού που βρίσκεται στις δεξαμενές των υγραντήρων με φρέσκο νερό του δικτύου κάθε πρωί από τις 4 μέχρι τις 4:05. Με αυτόν τον τρόπο απομακρύνονται όλοι οι μικροοργανισμοί και τα άλατα που έχουν συγκεντρωθεί.

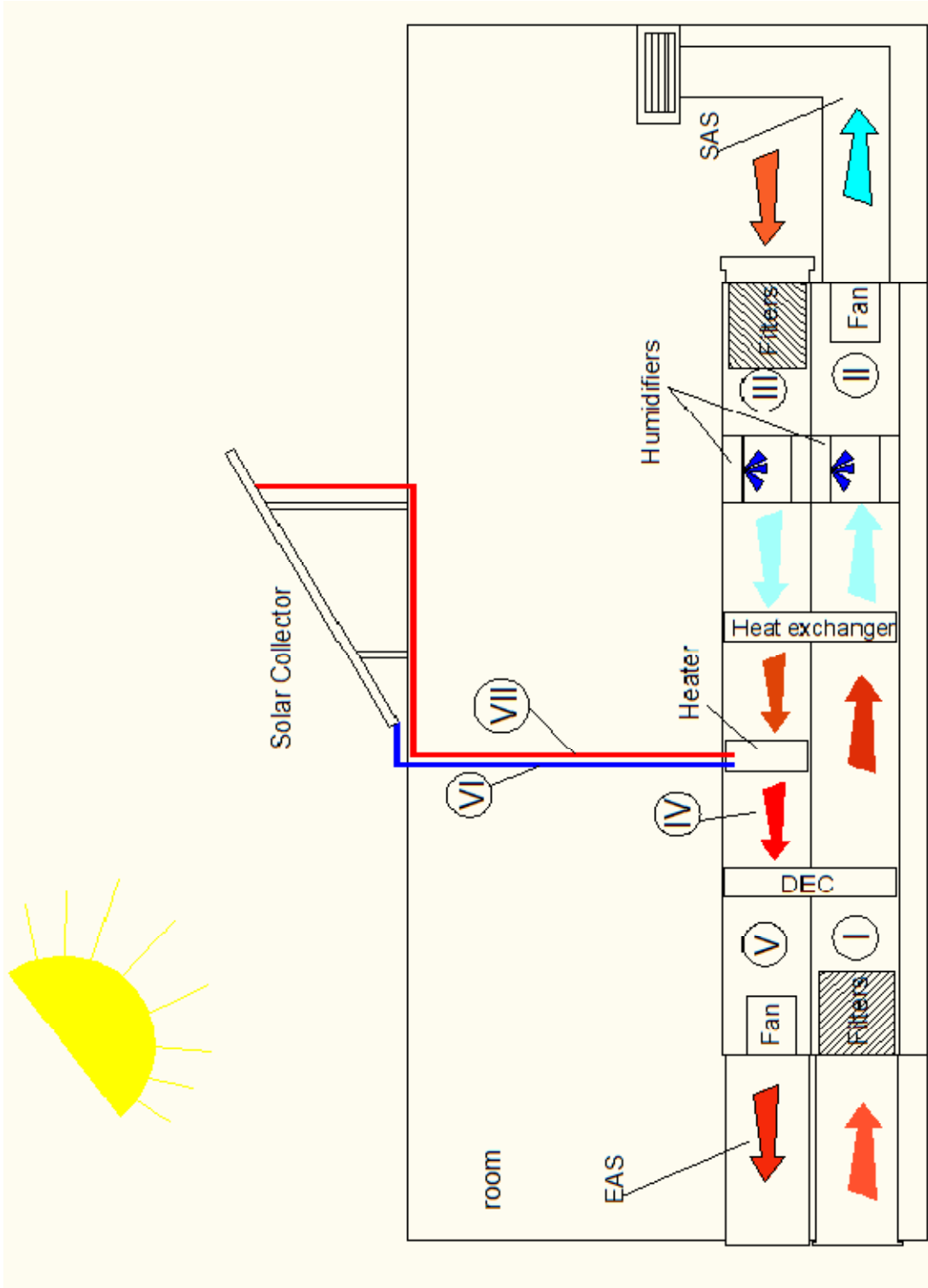
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΣΥΣΤΗΜΑ ΡΥΘΜΙΣΗΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ

3.1 Εισαγωγή

Ο έλεγχος της συσκευής DEC γίνεται διαμέσου ενός PLC που διαθέτει λογισμικό και interface , κατασκευασμένο από την εταιρεία PSE GmbH η οποία είναι υπεύθυνη και για την κατασκευή της υπόλοιπης εγκατάστασης, για ηλεκτρονικό υπολογιστή που αποτελεί και το τερματικό της συσκευής. Με το λογισμικό αυτό είναι δυνατή τόσο η παρακολούθηση όσο και η μεταβολή των επιμέρους συνθηκών στα διάφορα στάδια της διαδικασίας, καθώς είναι τοποθετημένοι οι κατάλληλοι αισθητήρες για τη μέτρηση των απαιτούμενων φυσικών μεγεθών με τους αντίστοιχους αναλογικοψηφιακούς μετατροπείς για την καταγραφή τους. Η μεθοδολογία ελέγχου ακολουθεί τα παρακάτω βήματα:

- § Καθορισμός συνθηκών αναφοράς για τον αέρα περιβάλλοντος
- § Καθορισμός συνθηκών αναφοράς για τον αέρα εσωτερικού χώρου
- § Υπολογισμός θερμικού φορτίου του κτιρίου
- § Υπολογισμός της απαιτούμενης ροής αέρα (αερισμός κτιρίου, κάλυψη θερμικού φορτίου)
- § Υπολογισμός της διαδικασίας κλιματισμού με το σύστημα DEC στις συνθήκες αναφοράς (χρήση λογισμικού προσομοίωσης rst_ver20)

Στην συσκευή έχουν εγκατασταθεί οι αισθητήρες θερμοκρασίας και υγρασίας που είναι απαραίτητοι για την εκπλήρωση της παραπάνω διαδικασίας ελέγχου, και αφορούν στις συνθήκες περιβάλλοντος, στις συνθήκες του αέρα προσαγωγής καθώς μπαίνει στον κλιματιζόμενο χώρο και στις συνθήκες που επικρατούν μετά τον αναγεννητή στο ρεύμα του απορριπτόμενου αέρα. Οι ακριβείς θέσεις και τα μετρούμενα μεγέθη παρουσιάζονται στο παρακάτω πίνακα με το αντίστοιχο σκαρίφημα.



| Σημείο Μέτρησης | Μετρούμενο Μέγεθος | Ονομασία Μεταβλητής |
|------------------------|---------------------------|----------------------------|
| I | T | T_DEC_ambient |
| | RH | RH_DEC_ambient |
| II | T | T_DEC_SUPPLY |
| | RH | RH_DEC_SUPPLY |
| III | T | T_DEC_RETURN |
| | RH | RH_DEC_RETURN |
| IV | T | T_DEC_REGENERATION |
| V | T | T_DEC_EXHAUST |
| | RH | RH_DEC_EXHAUST |
| VI | T | T_HYDRAULIC_SUPPLY |
| VII | T | T_HYDRAULIC_RETURN |

Σχήμα 3.1 σκαρίφημα εγκατάστασης DEC με τις θέσεις των αισθητήρων και ο συγκεντρωτικός πίνακας τα μετρούμενα φυσικά μεγέθη¹³.

Αρχικά, στο ρεύμα εισαγωγής του αέρα (SAS¹⁴) έχουμε το σημείο I, μετά τα φίλτρα καθαρισμού, όπου γίνεται μέτρηση της θερμοκρασίας T και της σχετικής υγρασίας RH. Οι συγκεκριμένες τιμές αντιστοιχούν στις μεταβλητές T_DEC_ambient και RH_DEC_ambient τις οποίες αναγνωρίζει και αποθηκεύει το λογισμικό διαχείρισης και ελέγχου της εγκατάστασης. Πρόδηλο είναι ότι η θερμοκρασία στο σημείο I λαμβάνεται ίση με εκείνη του περιβάλλοντος καθώς η θερμοκρασιακή ανύψωση από τον ανεμιστήρα θεωρείται μηδενική. Το επόμενο σημείο μετρήσεων (II) βρίσκεται έπειτα από τον υγραντήρα όπου καταγράφεται και εδώ η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία. Αυτές οι μετρήσεις αντιστοιχούν με τη σειρά τους στα μεγέθη T_DEC_SUPPLY και RH_DEC_SUPPLY οι οποίες και καταχωρούνται για τη διενέργεια των απαραίτητων υπολογισμών.

Αντίστοιχα, στο ρεύμα εξαγωγής (EAS¹⁵), μετά τα φίλτρα καθαρισμού, στο σημείο III γίνεται μέτρηση και καταγραφή της θερμοκρασίας T και της σχετικής υγρασίας RH, που αντιστοιχούν στις μεταβλητές T_DEC_RETURN και RH_DEC_RETURN. Στη συνέχεια, μετά τον αναγεννητή πραγματοποιείται μέτρηση της θερμοκρασίας (σημείο IV) και καταχωρείται στην μεταβλητή με το όνομα T_DEC_REGENERATION. Ακόμα, αμέσως μετά το τροχό

¹³ Με το γράμμα T συμβολίζεται η θερμοκρασία ξηρού βολβού και RH η σχετική υγρασία.

¹⁴ SAS: supply airstream

¹⁵ EAS: exhaust airstream

προσρόφησης (σημείο V) έχουμε μέτρηση της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας με την αντιστοίχιση τους στις μεταβλητές T_DEC_EXHAUST και RH_DEC_EXHAUST. [17]

Τέλος, καταγράφονται οι θερμοκρασίες σε δύο ακόμα σημεία που αφορούν το δευτερεύον υδραυλικό κύκλωμα της εγκατάστασης και προσφέρουν πληροφορίες για την θερμοκρασιακή πτώση του νερού που προσέρχεται στον αναγεννητή μέσω του κυκλοφορητή από το δοχείο αποθήκευσης. Τα σημεία αυτά, είναι το VI και VII, όπου καταγράφονται οι τιμές T_HYDRAULIC_SUPPLY και T_HYDRAULIC_RETURN αντίστοιχα. Για την εξοικονόμηση χρηματικών πόρων θεωρήθηκε ότι αισθητήρας μέτρησης θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας στον κλιματιζόμενο χώρο δεν είναι απαραίτητος και θα έχουμε μια ακριβή εκτίμηση των συνθηκών που επικρατούν σε αυτόν από το σημείο III που είναι και η αρχή του ρεύματος επιστροφής καθώς και πάλι η οποιαδήποτε θερμοκρασιακή μεταβολή από τα επιμέρους συστήματα που παρεμβάλλονται θεωρείται αμελητέα. Ακόμα, είναι δυνατή η μέτρηση και η καταγραφή της ογκομετρικής παροχής σε m^3/h τόσο του ρεύματος προσαγωγής όσο και του ρεύματος επιστροφής.

Σαν γενικός κανόνας ρύθμισης και ελέγχου αλλά και για τη διατήρηση της ομοιομορφίας και απλότητας της εγκατάστασης σε όλες τις επιμέρους συσκευές επιλέχθηκε σήμα ελέγχου 0 ± 10 V, το οποίο αντιπροσωπεύει το 0 έως 100% του εύρους λειτουργίας τους. Όπως ήδη παρουσιάστηκε αλλά και θα τονισθεί στη συνέχεια η απόκριση των σερβομηχανισμών και των διαφόρων επενεργήτων και κυκλωμάτων σε αυτό το σήμα ελέγχου θεωρείται «απόλυτα» γραμμική, με αυτό τον τρόπο η παραπάνω παραδοχή της αντιστοιχίας σήματος ελέγχου και λειτουργίας των υποσυστημάτων θεωρείται ασφαλής χωρίς ιδιαίτερες αποκλίσεις. Βέβαια, η παραδοχή αυτή δε πραγματοποιήθηκε τελείως αυθαίρετα αλλά σύμφωνα με τα τεχνικά φυλλάδια των κατασκευαστών, έχει άμεση συνάρτηση με την πραγματικότητα με ελάχιστες κα μικρής βαρύτητας εξαιρέσεις.

3.2 Αισθητήρες Μέτρησης

Όπως φαίνεται και παραπάνω στην κυρίως εγκατάσταση τοποθετήθηκαν εννέα αισθητήρες που μετρούν θερμοκρασία και σχετική υγρασία αλλά και δύο ροόμετρα για τον υπολογισμό της ογκομετρικής παροχής των δύο ρευμάτων αέρα.

3.2.1 Αισθητήρες μέτρησης θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας

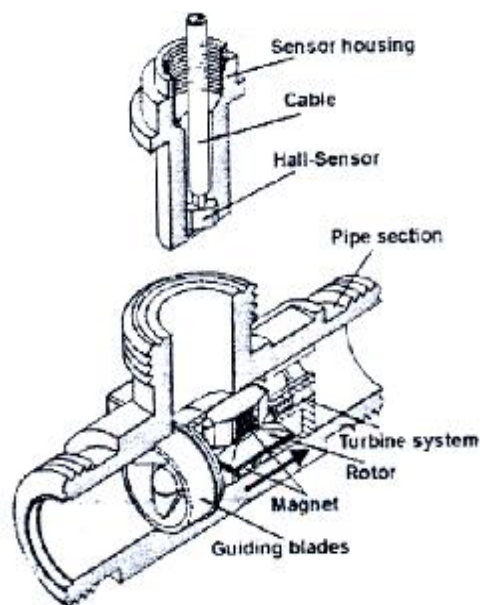
Οι αισθητήρες χωρητικότητας που χρησιμοποιήθηκαν για την μέτρηση των δύο συγκεκριμένων μεγεθών είναι της γερμανικής εταιρείας JUMO και έχουν κωδικό όνομα προϊόντος 907021/30. Η τοποθέτηση τους έγινε στα πλαϊνά τοιχώματα του πλαισίου της εγκατάστασης αλλά η μέτρηση λαμβάνεται από το κέντρο της διατομής του αγωγού, καθώς προσφέρεται μηχανικά πτυσσόμενο σύστημα για τον κατά βούληση καθορισμό του σημείου λήψης της μέτρησης. Ακόμα, το σημείο τοποθέτησης τους κατά μήκος του πλαισίου επιλέχθηκε με τέτοιο τρόπο ώστε η ροή του αέρα να είναι όσο το δυνατόν πιο στρωτή και να αποφεύγονται σφάλματα στη μέτρηση λόγω της τύρβης που δημιουργείται κατάντι των επιμέρους συστημάτων όπως του τροχού εναλλαγής αισθητήρας θερμοκρασίας, των φίλτρων καθαρισμού, των ανεμιστήρων και του αφυγραντικού τροχού.

Το θερμοκρασιακό εύρος ασφαλούς μέτρησης του αισθητήρα είναι από -40°C έως $+60^{\circ}\text{C}$ ενώ σε ειδικές περιπτώσεις η μέτρηση μπορεί να συνεχιστεί μέχρι τους $+80^{\circ}\text{C}$. Το επίπεδο αναφοράς για την ακρίβεια του οργάνου είναι οι $+20^{\circ}\text{C}$ και η καθορισμένη ακρίβειά του σε αυτό είναι $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$. Ακόμα, για τη μέτρηση της σχετικής υγρασίας από 0 έως 100% αναφέρονται δύο κλίμακες εμπιστοσύνης για την ακρίβεια της μέτρησης του οργάνου. Από 0÷90% σχετική υγρασία η ακρίβεια είναι $\pm 2\%$ και από 90÷100% η ακρίβεια της μέτρησης αυξάνεται στο $\pm 3\%$. Η βαθμονόμηση του οργάνου πραγματοποιείται από τον κατασκευαστή και η συσκευή συμμορφώνεται με τα κριτήρια ασφαλείας τάξης B που αφορούν ηλεκτρονικό εξοπλισμό για οικιακή χρήση. Όπως ήδη αναφέρθηκε, το σήμα εξόδου από τους αισθητήρες για την καταγραφή των τιμών είναι 0 έως 10 V το οποίο και παραλαμβάνεται από τη μονάδα προσαρμογής δεδομένων (data logger). Τέλος πρέπει να σημειωθεί η σημασία της παρουσίας της γείωσης στο πλαίσιο της εγκατάστασης καθώς οι αισθητήρες παρουσιάζουν πολύ μεγάλη ευαισθησία στον στατικό ηλεκτρισμό γι αυτό το λόγο πρέπει να αποφεύγεται η απ' ευθείας επαφή από το χρήστη. Η γείωση αυτή πραγματοποιείται με την ηλεκτρική σύνδεση μέσω καλωδίου μεταλλικών πύρων που προεξέχουν του πλαισίου της συσκευής και συνδέονται με τους αεραγωγούς που έρχονται σε επαφή με αντικείμενα όπως οι τοίχοι του κτιρίου που έμμεσα επικοινωνούν με το έδαφος. [23]

Η συντήρηση που πρέπει να υπόκειται ο αισθητήρας υπαγορεύεται από τον κατασκευαστή και ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στο φίλτρο προστασίας του αισθητήρα από ρύπανση καθώς παρατηρείται σοβαρή καθυστέρηση στην απόκριση μέτρησης του οργάνου, γεγονός που μπορεί να προκαλέσει πρόβλημα στην καταγραφή των δεδομένων.

3.2.2 Αισθητήρες μέτρησης ογκομετρικής παροχής

Οι αισθητήρες μέτρησης της ογκομετρικής παροχής κατασκευασμένοι από την γερμανική εταιρία SIKA με κωδικό όνομα Series Turbotron VTP 15. Πρόκειται για αξονικούς αισθητήρες ροής με πτερωτή. Καθώς η συσκευή βρίσκεται μέσα στη ροή του ,προς μέτρηση, ρευστού ένα κομμάτι του αέρα εισέρχεται στο σωλήνα εισαγωγής της, εκεί υπάρχει πτερωτή αποτελούμενη από τέσσερα όμοια πτερύγια που διαιρεί τη ροή αυτή σε ισάριθμες δέσμες. Οι δέσμες με τη σειρά τους προσβάλλουν τον ρότορα από τέσσερις διαφορετικές κατευθύνσεις και τον θέτουν σε κίνηση. Πάνω στο ρότορα είναι προσαρμοσμένος ένας μαγνήτης, έπειτα ένας διακόπτης επαφής καταγράφει την ταχύτητα περιστροφής του μαγνήτη και δημιουργεί ένα τετραγωνικό παλμό ανάλογης συχνότητας προς αυτή. Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγεται η μονομερής φόρτιση του ρουλεμάν του ρότορα καθώς οι δυνάμεις που του ασκούνται είναι συμμετρικές και αλληλοεξουδετερώνονται, εξασφαλίζοντας σε συνδυασμό με τα ανθεκτικά υλικά κατασκευής όπως τα σκληρά μέταλλα αθόρυβη και μακρόχρονη λειτουργία. Σχηματική απεικόνιση του αισθητήρα φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 3.2.



Σχήμα 3.2 αισθητήρας μέτρησης ογκομετρικής παροχής

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στο σωλήνα εισαγωγής και εξαγωγής της ροής από τον αισθητήρα. Από την κατασκευάστρια εταιρία προτείνεται ο σωλήνας εισαγωγής να έχει ελάχιστο μήκος ίσο με την εσωτερική διάμετρο εισόδου πολλαπλασιασμένη δεκαπέντε φορές ενώ ο σωλήνας εξόδου να έχει ελάχιστο μήκος ίσο με πέντε φορές τη διάμετρο εξόδου της συσκευής. Αυτή η διάταξη είναι προαιρετική αλλά τονίζεται ότι αν δε πραγματοποιηθεί μπορεί να υπάρξει μεταβολή στην ακρίβεια των μετρήσεων. Συγκεκριμένα, τα στοιχεία του χρησιμοποιούμενου αισθητήρα είναι κατασκευασμένα από ορείχαλκο και η ακρίβεια του κυμαίνεται στο $\pm 1\%$ επί της μετρούμενης παροχής. Η ελάχιστη μετρούμενη παροχή, που υπερνικά ουσιαστικά τη ροπή αδράνειας του ρότορα είναι 0.3 λίτρα το λεπτό, με μέγιστη επιτρεπόμενη θερμοκρασία του διακινούμενου ρευστού τους 80°C ¹⁶.

Σημαντική είναι η παρουσία φίλτρων καθαρισμού του ρευστού πριν την είσοδο του στο σωλήνα εισαγωγής του αισθητήρα καθώς είναι να δυνατό να προκληθούν φθορές στη πτερωτή ή στο ρότορα από τα διάφορα αιωρούμενα σωματίδια με αποτέλεσμα την ανάγκη για άμεση αλλαγή του αισθητήρα και διακοπή της λειτουργίας της εγκατάστασης. Η μέγιστη αποδεκτή διάμετρος των σωματιδίων που μπορούν να διαπεράσουν τον αισθητήρα χωρίς να δημιουργηθεί πρόβλημα στη λειτουργία του είναι 0.5mm. Ο καθαρισμός του αισθητήρα είναι απαραίτητος για την συνεχή και ορθή λειτουργία του και μπορεί να πραγματοποιηθεί με πεπιεσμένο νερό με την αντίθετη φορά που πραγματοποιείται η μέτρηση. [24]

3.2.3 Αισθητήρες θερμοκρασίας

Για την καταγραφή της θερμοκρασίας στο υδραυλικό κύκλωμα της εγκατάστασης αλλά και στο σημείο IV, μετά τον αναγεννητή χρησιμοποιήθηκαν συμβατικά απλά θερμοστοιχεία κατάλληλα

¹⁶ Οι συγκεκριμένες τιμές δίνονται από τον κατασκευαστή και αναφέρονται στη χρήση νερού 20°C . Σε περίπτωση χρήσης άλλου ρευστού με διαφορετικό ιξώδες οι συγκεκριμένες τιμές μεταβάλλονται ανάλογα.

βαθμονομημένα. Οι συγκεκριμένοι αισθητήρες αποτελούνται από κυκλώματα που με τη μεταβολή της θερμοκρασίας μεταβάλλεται το μήκος τους άρα και η ηλεκτρική τους αντίσταση με αποτέλεσμα να εκπέμπουν το ανάλογο ηλεκτρικό σήμα το οποίο και καταγράφεται από το plc της εγκατάστασης.

3.3 Στρατηγική Ελέγχου

Δύο είναι οι βασικοί πυλώνες στους οποίους στηρίζεται η στρατηγική ελέγχου της εγκατάστασης, ο πρώτος είναι ο έλεγχος της θερμοκρασίας και ο δεύτερος είναι ο έλεγχος της υγρασίας. Σημαντικό ρόλο παίζουν οι τιμές-στόχοι των συνθηκών που θέλει ο χρήστης να επικρατούν στον κλιματιζόμενο χώρο τις οποίες και θέτει ο χρήστης για την περίπτωση της ψύξης. Οι συγκεκριμένες τιμές αντιπαραβάλλονται με τη μέτρηση στο ρεύμα επιστροφής της εγκατάστασης στο σημείο III.

3.3.1 Έλεγχος της θερμοκρασίας

Αν η θερμοκρασία στο ρεύμα επιστροφής είναι μεγαλύτερη από την τιμή-στόχος που έχει τεθεί, πραγματοποιείται η παρακάτω ακολουθία ενεργειών:

§ Τροχός εναλλαγής αισθητής θερμότητας και υγραντήρας ρεύματος επιστροφής

Ο τροχός περιστρέφεται σε όλο το εύρος των στροφών του ανάλογα με το σήμα ελέγχου που παραλαμβάνει ο ρυθμιστής στροφών του. Για να γίνει η αντίδραση της συσκευής πιο γρήγορη, η ταχύτητα περιστροφής του τροχού λαμβάνει το 100% της τιμής της ήδη από το 50 % της τιμής του σήματος. Ενώ ο υγραντήρας ενεργοποιείται σε πλήρη παροχή καθώς δε φέρει σήμα ελέγχου όπως έχει ήδη περιγραφεί.

§ Υγραντήρας ρεύματος προσαγωγής

Όταν ο τροχός περιστρέφεται στο 100% της ταχύτητάς του και η θερμοκρασία που επικρατεί στον κλιματιζόμενο χώρο είναι ακόμα πολύ υψηλή, η δεύτερη διαδικασία ξεκινά. Ο υγραντήρας ενεργοποιείται και ελέγχεται μέσω του εισερχόμενου ηλεκτρικού σήματος από 0 έως 100% της υγραντικής του ικανότητας με γραμμική απόκριση. Όταν το σήμα ελέγχου φτάνει στο 80% της τιμής του η παροχέτευση νερού τερματίζεται και όλο το ρεύμα αέρα διοχετεύεται μέσα από το ήδη υγρό πορώδες υλικό του υγραντήρα προκαλώντας μεγαλύτερους βαθμούς ύγρανσης και χαμηλότερες θερμοκρασίες.

§ Τροχός προσρόφησης, Κυκλοφορητής υδραυλικού κυκλώματος, Βαλβίδα ανάμειξης

Η τρίτη διαδικασία ενεργοποιείται και ο τροχός προσρόφησης τίθεται σε λειτουργία σε μία συγκεκριμένη ταχύτητα περιστροφής η οποία είναι η βέλτιστη για αφύγρανση κάτω από τις τρέχουσες συνθήκες υγρασίας και θερμοκρασίας. Ο κυκλοφορητής του υδραυλικού κυκλώματος διακινεί την επιθυμητή ποσότητα νερού από τη δεξαμενή αποθήκευσης ώστε και με τη σωστή ρύθμιση της βαλβίδας ανάμειξης να διατηρείται η θερμοκρασία στον αναγεννητή στην επιθυμητή τιμή. Αν η θερμοκρασία του αναγεννητή γίνει πολύ υψηλή, η διάταξη ασφάλειας

ενεργοποιείται κλείνοντας τη βαλβίδα ανάμειξης. Η συγκεκριμένη διαδικασία βρίσκεται σε άμεση συνάρτηση με τον έλεγχο της υγρασίας που παρουσιάζεται παρακάτω.

§ Ανεμιστήρες

Στη τέταρτη διαδικασία, οι ταχύτητες περιστροφής του ανεμιστήρα του ρεύματος προσαγωγής αλλά και επιστροφής αυξάνεται γραμμικά και ανάλογα τις περιστάσεις μπορεί να φτάσει και το 100%.

§ Ελεύθερος αερισμός

Σε περίπτωση που η τιμή της θερμοκρασίας στο ρεύμα επιστροφής είναι χαμηλότερη από τη τιμή –στόχο που έχει θέσει ο χρήστης η συσκευή τίθεται σε κατάσταση ελεύθερου αερισμού όπου όλα τα υποσυστήματα βρίσκονται εκτός λειτουργίας και μόνο οι ανεμιστήρες διακινούν αέρα σε συνθήκες περιβάλλοντος μέσα στον κλιματιζόμενο χώρο. Οι ανεμιστήρες περιστρέφονται ώστε να ελαχιστοποιείται η ταχύτητα των δύο ρευμάτων. Όταν η μετρούμενη τιμή της θερμοκρασίας ξεπεράσει και πάλι την τιμή στόχο οι παραπάνω διαδικασίες ενεργοποιούνται και πάλι.

3.3.2 Έλεγχος Υγρασίας

Δύο είναι δυνατοί τρόποι ρύθμισης της υγρασίας, η διαφορά τους έγκειται στην παράλληλη ή μη ρύθμιση της θερμοκρασίας.

Έλεγχος Υγρασίας χωρίς παράλληλη ρύθμιση της θερμοκρασίας

Στη συγκεκριμένη περίπτωση η συσκευή βρίσκεται σε ελεύθερο αερισμό και καμία διαδικασία δεν είναι ενεργή.

§ Αφύγρανση του αέρα προσαγωγής

Ένα ξεχωριστό κύκλωμα ελέγχου χρησιμοποιείται για να κρατείται στην επιθυμητή τιμή η υγρασία του ρεύματος επιστροφής. Σε περίπτωση που αυτό δε συμβαίνει ενεργοποιείται ο τροχός προσρόφησης και ο αναγεννητής.

Έλεγχος Υγρασίας με παράλληλη ρύθμιση θερμοκρασίας

Στη συγκεκριμένη περίπτωση βρίσκεται σε λειτουργία και οι διαδικασίες για τη ρύθμιση της θερμοκρασίας είναι ήδη ενεργές

§ Αφύγρανση του αέρα προσαγωγής

Για τον έλεγχο της θερμοκρασίας ο υγραντήρας του ρεύματος προσαγωγής και ο τροχός προσρόφησης βρίσκεται ήδη σε λειτουργία. Για αυτόν τον λόγο θα πρέπει να γίνει ένας συμβιβασμός ανάμεσα στη ρύθμιση της θερμοκρασίας και της υγρασίας. Το σκεπτικό ελέγχου είναι βασισμένο με τέτοιο τρόπο ώστε το ηλεκτρικό σήμα στον υγραντήρα του ρεύματος αέρα προσαγωγής να μειώνεται αν η σχετική υγρασία σε εκείνο της επιστροφής είναι πολύ υψηλή. Με

αυτό τον τρόπο μπορεί να προκύψουν περιπτώσεις όπου η τιμή-στόχος για την υγρασία μπορεί να επιτυγχάνεται αλλά να μην το ίδιο για εκείνη της θερμοκρασίας. Σε αυτές τις περιπτώσεις ο έλεγχος της υγρασίας έχει προτεραιότητα σύμφωνα με το σχεδιαστή της εγκατάστασης.

3.4 Λογισμικό Λειτουργίας

Για τη πραγματοποίηση της παραπάνω στρατηγικής ελέγχου είναι διαθέσιμο από την κατασκευάστρια εταιρία λογισμικό το οποίο εκτελείται σε πραγματικό χρόνο. Από τους αισθητήρες λαμβάνονται μετρήσεις κάθε δέκα δευτερόλεπτα οι οποίες και καταγράφονται σε επεξεργάσιμο αρχείο κειμένου στην κεντρική μονάδα αποθήκευσης του ηλεκτρονικού υπολογιστή διαχείρισης.

Το λογισμικό διαθέτει γραφικό περιβάλλον εύκολα κατανοητό από τον χρήστη. Προβάλλεται το μονογραμμικό διάγραμμα της εγκατάστασης με τις θέσεις των αισθητήρων και τις τρέχουσες τιμές. Ακόμα, υπολογίζονται παράλληλα και παρουσιάζονται σε ειδικό πίνακα τα χαρακτηριστικότερα μεγέθη της συσκευής όπως είναι ο συντελεστής συμπεριφοράς, το παραγόμενο ψυκτικό φορτίο, η παροχή νερού που διακινεί ο κυκλοφορητής του υδραυλικού κυκλώματος, η θερμική ισχύς που παράγεται στον αναγεννητή, η ογκομετρική παροχή του ρεύματος προσαγωγής και επιστροφής καθώς και χαρακτηριστικές θερμοκρασίες όπως αυτή του περιβάλλοντος και του κλιματιζόμενου χώρου. Επιπλέον, παρέχεται δεύτερη καρτέλα όπου υπάρχει πλήρης λίστα των καταγραμμένων μεγεθών και δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη της απεικόνισης εκείνων με των μεταβλητών που επιθυμεί σε σχέση με το χρόνο. Με αυτό τον τρόπο είναι δυνατή μια γρήγορη και μακροσκοπική αξιολόγηση της λειτουργίας της εγκατάστασης και πραγματοποίηση διαφόρων διορθωτικών κινήσεων. Επιπρόσθετα, παρέχεται και μία τρίτη καρτέλα όπου δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να καθορίσει τις ώρες για τις οποίες η συσκευή παραμένει ανοικτή για όλες τις ημέρες της εβδομάδας, καθώς το ρολόι του λογισμικού συγχρονίζεται με εκείνο του λειτουργικού συστήματος του ηλεκτρονικού υπολογιστή. Ακόμα παρέχεται ειδική θέση για το καθορισμό των τιμών-στόχων της θερμοκρασίας και υγρασίας σύμφωνα με τις οποίες ενεργοποιούνται οι διάφορες διαδικασίες λειτουργίας της εγκατάστασης. Τέλος, υπάρχει επιλογή για την διακοπή της λειτουργίας της εγκατάστασης όποτε ο χρήστης το επιθυμεί.

Το πηγαίο αρχείο ελέγχου, `sgk_remus_greece.cnf` όπως ονομάζεται, βρίσκεται αποθηκευμένο σε συγκεκριμένο οδηγό του ηλεκτρονικού υπολογιστή το οποίο και «φορτώνεται» κάθε φορά που εκκινεί η συσκευή. Στο συγκεκριμένο αρχείο παρουσιάζονται όλες οι βασικές αρχές λειτουργίας της εγκατάστασης και είναι η δυνατή η παραμετροποίηση της. Συγκεκριμένα περιγράφεται η ομαδοποίηση των αισθητήρων και επενεργητών που είναι χρήσιμοι για τη πραγματοποίηση της λειτουργίας της συσκευής. Υπάρχουν επτά κύριοι ελεγκτές (pid controllers¹⁷) οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για βασικές λειτουργίες της συσκευής. Οι ελεγκτές είναι ολοκληρωμένα ηλεκτρονικά κυκλώματα που εξαρτώνται από έξι συντελεστές. Οι πρώτοι τρεις (P,I,D) αφορούν τη συμπεριφορά του κυκλώματος ως προς τον αυτόματο έλεγχο δηλαδή το χρόνο απόκρισης, την παρουσιαζόμενη υπερακόντιση και την ανοχή του επιτρεπόμενου σφάλματος. Στον ορισμό των

¹⁷ PID controller: proportional integral derivative controller

τιμών αυτών θα πρέπει να γίνει συμβιβασμός εις βάρος του χρόνου απόκρισης και υπέρ της ακρίβειας του μεγέθους, γεγονός που καταδεικνύεται και από τη λήψη δεδομένων κάθε δέκα δευτερόλεπτα που είναι αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα. Στη συνέχεια υπάρχει το εύρος του ελεγκτή (range) το οποίο και καθορίζει τη μέγιστη και ελάχιστη τιμή που μπορεί να έχει το μέγεθος εξόδου του ελεγκτή. Στην εξεταζόμενη εγκατάσταση όλοι οι ελεγκτές έχουν εύρος από 0 έως 100 καθώς έτσι εκφράζεται και το 0% και το 100% της τιμής του μεγέθους. Ο πέμπτος βασικός παράγοντας καθορισμού του ελεγκτή είναι το PLimit που ορίζει την θέση αναγραφής του εξερχόμενου μεγέθους στο λογισμικό, μέγεθος το οποίο τις περισσότερες φορές είναι προεπιλεγμένο από τον προγραμματιστή του λογισμικού και για αυτό η αλλαγή της τιμής του δε προτείνεται παρά μόνο από πεπειραμένους χρήστες. Ο έκτος παράγοντας, controllnr, είναι το όνομα του μετρούμενου μεγέθους και του αντίστοιχου αισθητήρα που καλείται ο ελεγκτής να ρυθμίσει. Τέλος, ο έβδομος παράγοντας είναι ο στόχος τον οποίο καλείται να επιτύχει ο ελεγκτής και εξαρτάται από το μετρούμενο μέγεθος. Ο παράγοντας στόχος(target) όπως ονομάζεται μπορεί να είναι συγκεκριμένη τιμή ή να ορίζεται από κάποια μεταβλητή που θα δίνεται από το χρήστη ανάλογα τις συνθήκες και τις απαιτήσεις για ψύξη του κλιματιζόμενου χώρου.

Στο συγκεκριμένο αρχείο είναι δυνατόν να πραγματοποιηθούν και οι αλλαγές που ο χρήστης επιθυμεί με τη διαφοροποίηση των παραμέτρων. Η κύρια φιλοσοφία είναι η μεταβολή του εύρους του σήματος ελέγχου των αντίστοιχων συσκευών. Όπως έχει ήδη υπογραμμιστεί όλα τα απαιτούμενα σήματα στη συσκευή έχουν εύρος 0 έως 10 V έτσι ο χρήστης μεταβάλλει την ελάχιστη και μέγιστη τιμή αυτού του σήματος περιορίζοντας ανάλογα και τη περιοχή λειτουργίας των συσκευών. Για τον καθορισμό του σημείου λειτουργίας της κάθε συσκευής υπολογίζεται ένα μαθηματικό σύστημα με ορίσματα τρεις μεταβλητές. Οι δύο μεταβλητές είναι τα δυο άκρα του επιτρεπόμενου εύρους του σήματος, τα οποία στην αρχική σχεδίαση έχουν τιμή 0 και 10 για την ελάχιστη και μέγιστη αντίστοιχα ή τη τροποποιημένη τιμή ανάλογα με την θέληση του χρήστη. Το τρίτο όρισμα είναι η τιμή του σήματος εξόδου του εκάστοτε ελεγκτή. Έτσι η τιμή αυτή εξετάζεται αν βρίσκεται ανάμεσα στην ελάχιστη και στη μέγιστη τιμή του εύρους, αν αυτό δε συμβαίνει η τιμή εξισώνεται με το αντίστοιχο άκρο του διαστήματος που είναι κατά απόλυτη τιμή πλησιέστερα σε αυτήν. Στη συνέχεια υπολογίζεται από τη παρακάτω σχέση η απόκλιση του σήματος από την προηγούμενη εκτέλεση της λειτουργίας:

$$\text{ανάδραση} = \frac{(x-low)}{(high-low) \cdot 100} \quad (3.1)$$

Με αυτόν τον τρόπο πραγματοποιείται η ανάδραση του συστήματος και προσαρμόζεται εκ νέου το σήμα ελέγχου των επενεργητών ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή λειτουργία. Παρακάτω παρουσιάζεται συνοπτικά το σύστημα υπολογισμού του σήματος.

$$\left(\begin{array}{c} \text{Map_border (x,low,high)} \\ (x < \text{low}) \rightarrow \text{low} \\ (x > \text{high}) \rightarrow \text{high} \\ \text{feedback} = \frac{(x - \text{low})}{(\text{high} - \text{low}) \cdot 100} \end{array} \right)$$

Σχήμα 3.3 Σύστημα υπολογισμού σήματος

Τα ορίσματα του παραπάνω συστήματος διαφέρουν ανάλογα με την ομάδα των συσκευών που βρίσκονται σε λειτουργία για την πραγματοποίηση της στρατηγικής ελέγχου της εγκατάστασης. Για την εκκίνηση της διαδικασίας σε κάθε περίπτωση τίθεται από τον κατασκευαστή μια ελάχιστη τιμή που αποτελεί το σκαλοπάτι για την ενεργοποίηση της αντίστοιχης ομάδας υποσυστημάτων.

Οι βασικές λειτουργίες που μπορούν να τροποποιηθούν είναι οι εξής:

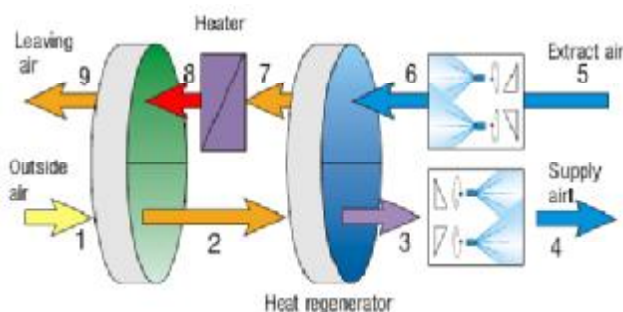
- § Παροχή στον ανεμιστήρα του ρεύματος εισαγωγής
- § Παροχή στον ανεμιστήρα του ρεύματος εξαγωγής
- § Ταχύτητα περιστροφής τροχού εναλλαγής αισθητής θερμότητας
- § Ταχύτητα περιστροφής αφυγραντικού τροχού
- § Διακινούμενη παροχή κυκλοφορητή στο πρωτεύον υδραυλικό κύκλωμα
- § Χρόνος από την ενεργοποίηση μέχρι την έναρξη λειτουργίας της εγκατάστασης
- § Καθορισμός της μέγιστης θερμοκρασίας αναγέννησης του προσροφητικού υλικού

Κατά τη λειτουργία της εγκατάστασης, με δεδομένες τιμές των αισθητήρων υπολογίζονται σε πραγματικό χρόνο κάποια επιπρόσθετα μεγέθη που είναι πολύ σημαντικά για τον χρήστη της συσκευής. Αυτά τα μεγέθη αφορούν την απόλυτη υγρασία για το περιβάλλον και για τον κλιματιζόμενο χώρο στο σημείο προσαγωγής και επιστροφής του αέρα, καθώς και τις αντίστοιχες τιμές της ενθαλπίας του αέρα στα σημεία αυτά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΨΥΧΡΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ-ΜΕΓΕΘΗ

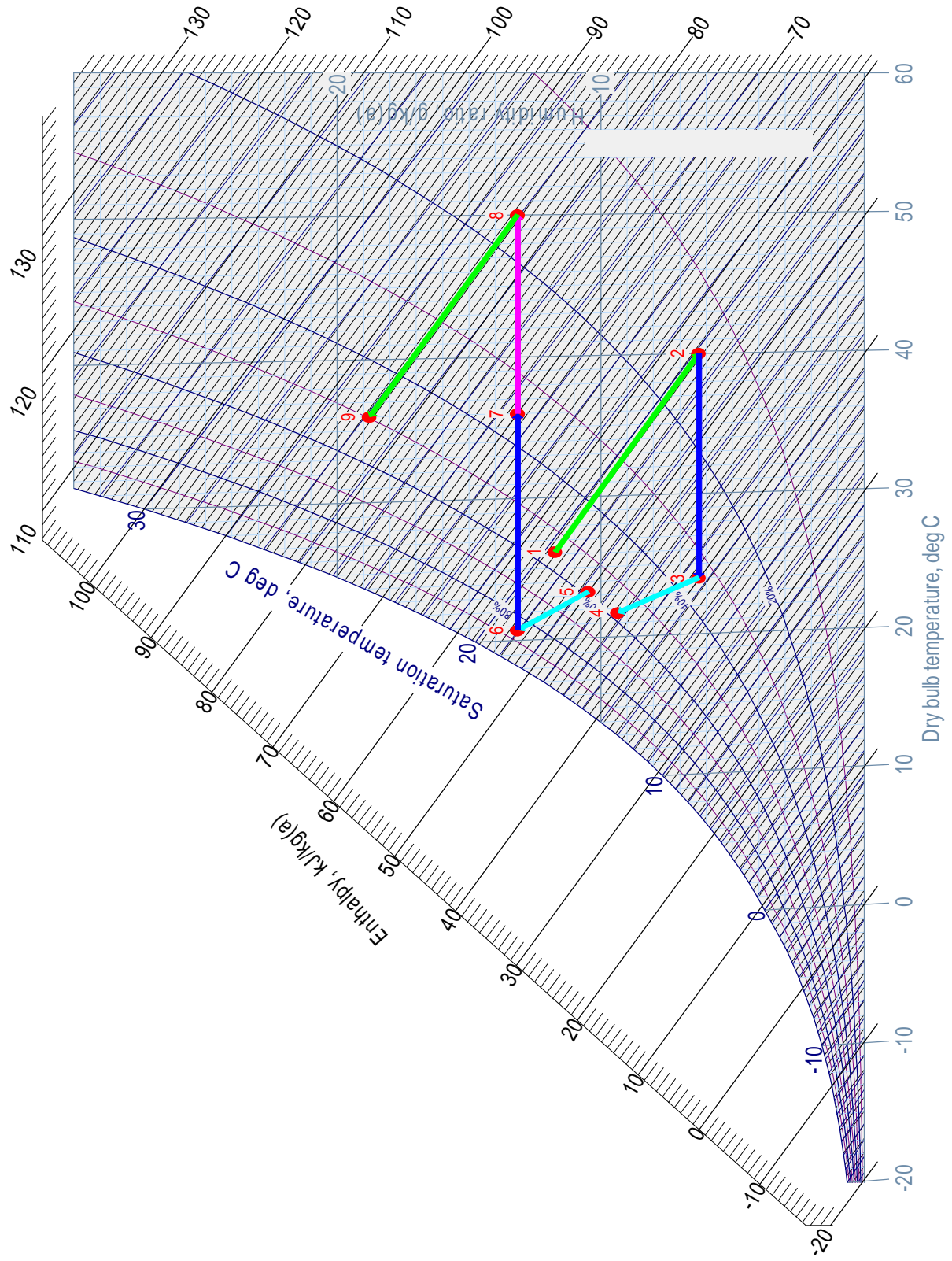
4.1 Εισαγωγή

Ο κύκλος μεταβολών που λαμβάνει χώρα στην εγκατάσταση DEC παρουσιάζεται παρακάτω στο ψυχομετρικό χάρτη, στο επόμενο σχήμα (4.1): [16]



Ο ατμοσφαιρικός αέρας, κατάστασης 1, εισέρχεται και αφυγραίνεται στον προσροφητικό τροχό προκαλώντας αύξηση της θερμοκρασίας του και καταλήγει στην κατάσταση 2. Η συγκεκριμένη διεργασία θεωρείται αδιαβατική. Στη συνέχεια, ο τροχός εναλλαγής αισθητής θερμότητας οδηγεί στην ψύξη του εισερχόμενου αέρα μέχρι την κατάσταση 3, χωρίς να μεταβάλλεται η απόλυτη υγρασία του αέρα προσαγωγής. Το τελευταίο στάδιο διεργασίας στο ρεύμα προσαγωγής είναι η άμεση εξατμιστική ψύξη, ανάλογα με την κατάσταση 3 που είναι η κατάσταση στην οποία εισέρχεται ο αέρας στους υγραντήρες έχουμε τη παραπάνω μείωση της θερμοκρασίας με ταυτόχρονη αύξηση της απόλυτης υγρασίας του αέρα, κατάσταση 4, που είναι και ο αέρας που εισέρχεται στον κλιματιζόμενο χώρο. Ο ανεμιστήρας που οδηγεί τον αέρα στον κλιματιζόμενο χώρο προκαλεί μια αύξηση της θερμοκρασίας, της τάξης του 1°C , η οποία όμως σε πρακτικές εφαρμογές θεωρείται αμελητέα. Στο ρεύμα επιστροφής, ο αέρας εξέρχεται από το χώρο, κατάσταση 6, υγραίνεται όσο το δυνατό πλησιέστερα στον κορεσμό όπου η σχετική υγρασία πλησιάζει το 100%. Η κατάσταση αυτή είναι πολύ σημαντική καθώς εξασφαλίζει την αποδοτική λειτουργία του τροχού εναλλαγής αισθητής θερμότητας στο ρεύμα προσαγωγής του αέρα. Ο τροχός θερμαίνει τον αέρα επιστροφής από την κατάσταση 6 έως την κατάσταση 7, και στην συνέχεια ο αναγεννητής θερμαίνει ακόμα περισσότερο το ρεύμα επιστροφής κατάσταση 8 ώστε να είναι εφικτή η αναγέννηση του προσροφητικού υλικού για την επανάληψη της διαδικασίας. Τέλος, ο αέρας αποβάλλεται στο περιβάλλον μέσω αεραγωγών σε κατάσταση χαμηλότερης θερμοκρασίας από την κατάσταση 9, η οποία όμως δε διαφέρει πολύ καθώς και πάλι η θερμοκρασιακή ανύψωση από τους ανεμιστήρες και τα φίλτρα θεωρείται αμελητέα.

Pressure: 101325 Pa



Σχήμα 4.1 κύκλος μεταβολών στον ψυχομετρικό χάρτη.

Από τη συγκεκριμένη διαδικασία, δύο είναι τα βασικότερα μεγέθη που υπολογίζονται και αποτελούν κριτήρια για την αξιολογία της λειτουργία της εγκατάστασης. Καθώς η φιλοσοφία της λειτουργίας της συσκευής βασίζεται αρχικά στην κάλυψη του θερμικού φορτίου του χώρου και κατά δεύτερον στη μεγιστοποίηση του συντελεστή συμπεριφοράς της συσκευής, γίνεται φανερό ότι ο υπολογισμός της ψυκτικής ισχύος της συσκευής και του COP της είναι εξαιρετικής σημασίας.

4.2 Υπολογισμός ψυκτικής ισχύος της εγκατάστασης

Βασικός σκοπός κάθε συσκευής κλιματισμού είναι η κάλυψη των θερμικών φορτίων του κλιματιζόμενου χώρου και η εξασφάλιση θερμικής άνεσης για τους χρήστες του χώρου αυτού. Έτσι πολύ σημαντικός είναι ο υπολογισμός της ψυκτικής ισχύος της εγκατάστασης που δίνεται από την παρακάτω εξίσωση σε W:

$$Q_{c,plant} = \dot{m}_{SAS}(h_1 - h_4) \quad (4.1)$$

όπου \dot{m}_{SAS} η παροχή μάζας του ρεύματος αέρα προσαγωγής σε [Kg/h] και h_1, h_4 οι ενθαλπίες των καταστάσεων 1 και 4 αντίστοιχα σε [kJ/kg].

4.3 Υπολογισμός COP

Αρχικά, για τη θεώρηση ενός ιδανικού κύκλου για την συσκευή DEC θα πρέπει να τονιστούν τρεις βασικές παραδοχές που γίνονται:

- § Το λανθάνον φορτίο της προσρόφησης, δηλαδή η θερμότητα που απελευθερώνεται όταν οι υδρατμοί προσροφούνται από το αφυγραντικό υλικό, είναι ίσο με το λανθάνον φορτίο της συμπύκνωσης, και όχι με τη θερμότητα συμπύκνωσης συν τη θερμότητα της ύγρανσης.
- § Η θερμοχωρητικότητα του αφυγραντικού υλικού θεωρείται μηδενική
- § Ο τροχός αφύγρανσης, ο τροχός εναλλαγής αισθητής θερμότητας και οι υγραντήρες θεωρείται πως έχουν αποδοτικότητα 100%.

Η απόσταση των σημείων 2-3 και 6-7 λαμβάνεται ίση, αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η θερμότητα της προσρόφησης συν η θερμότητα που έχει αφαιρεθεί από την εξατμιστική ψύξη του ρεύματος επιστροφής, ανακτάται πλήρως από το ρεύμα επιστροφής που χρησιμοποιείται για την αναγέννηση του αφυγραντικού υλικού. Η θερμότητα αναγέννησης που πρέπει να προστεθεί για να έχουμε επιτυχή αναγέννηση του υλικού οδηγεί τον αέρα επιστροφής στην κατάσταση 8 που ιδανικά θα έπρεπε να είναι στην ίδια καμπύλη σταθερής σχετικής υγρασίας με την κατάσταση 2. Στη συνέχεια το ρεύμα της επιστροφής ψύχεται καθώς αφαιρεί υγρασία από το αφυγραντικό υλικό και ιδανικά δέχεται υγρασία μέχρι τον κορεσμό του(κατάσταση 9'). Ο ρυθμός αφαίρεσης της υγρασίας από το αφυγραντικό υλικό μέσω του ρεύματος επιστροφής είναι ίσος με την παροχή μάζας του αέρα στο ρεύμα αυτό επί τη διαφορά των λόγων ανάμειξης ανάμεσα στα σημεία 8 και 9'. Ενώ, ο ρυθμός προσρόφησης από το υλικό είναι ίσος από την παροχή μάζας του αέρα στο ρεύμα προσαγωγής επί τη διαφορά των λόγων ανάμειξης ανάμεσα

στις κατατάσεις 1-2. Για να υπάρχει ισορροπημένος κύκλος ο ρυθμός προσρόφησης του υλικού αλλά και ο ρυθμός αφαίρεσης της υγρασίας από το υλικό πρέπει να είναι ίσοι.

Ο θερμικός συντελεστής απόδοσης της συσκευής δίνεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$n = \frac{\Delta E_{1-4}}{\Delta E_{8-7}} \rightarrow n = \frac{\dot{m}_{SAS}(h_1-h_4)}{\dot{m}_{EAS}(h_8-h_7)} \quad (4.2)$$

όπου ΔE_{1-4} η διαφορά των ενθαλιπών ανά μονάδα παροχής αέρα προσαγωγής της κατάστασης 1 από την 4 και αντίστοιχα ΔE_{8-7} η διαφορά των ενθαλιπών ανά μονάδα παροχής αέρα επιστροφής της κατάστασης 8 από την 7.

Βέβαια όλα τα παραπάνω αναφέρονται σε παραδοχές και διαπιστώσεις που αφορούν έναν ιδανικό κύκλο και δεν ισχύουν τις περισσότερες φορές στη πρακτική εφαρμογή. Η σχέση υπολογισμού του συντελεστή συμπεριφοράς της εγκατάστασης παραμένει ίδια σε κάθε περίπτωση και το εύρος τιμών που έχουν παρατηρηθεί κυμαίνονται από πολύ χαμηλές τιμές σε ακραίες συνθήκες λειτουργίας μέχρι και COP=5. Μια επιθυμητή μέση τιμή κυμαίνεται κοντά στην μονάδα με απόκλιση της τάξης του 0.3. [5]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

5.1 Παρουσίαση Γραφημάτων

Όπως έχει ήδη αναφερθεί τα θερμοδυναμικά μεγέθη που καταγράφονται κατά τη λειτουργία της εγκατάστασης αποθηκεύονται στη κεντρική μονάδα διαχείρισης σε επεξεργάσιμο αρχείο κειμένου, με όνομα `dayname.dat` όπου `daytime` είναι η ημερομηνία κάθε ημέρας μετρήσεων στη μορφή έτος-μήνας- ήμερα (π.χ 20090508). Για την επεξεργασία των συγκεκριμένων μετρήσεων έγινε χρήση ευρέως γνωστών υπολογιστικών εφαρμογών όπως είναι η γλώσσα προγραμματισμού Matlab(έκδοση 7.8.0) και το Microsoft Excel(έκδοση 2007). Στις συγκεκριμένες εφαρμογές αναπτύχθηκαν απλοί αλγόριθμοι με σκοπό τη διαχείριση και ομαδοποίηση των δεδομένων. Τα εξαγόμενα από το λογισμικό της εγκατάστασης αρχεία αποτελούντά από στήλες με επικεφαλίδες τα ονόματα των μεγεθών που καταγράφονται σε αυτές. Ακόμα υπάρχει καταγραφή της ώρας που γίνεται η εκάστοτε μέτρηση, κάθε δέκα δευτερόλεπτα έχουμε καινούργια ομάδα μετρήσεων, αλλά και ένας αύξοντας αριθμός-μετρητής που παρουσιάζει το συνολικό αριθμό των μετρήσεων που έχουν γίνει από το λογισμικό της εγκατάστασης. Με τη συγκεκριμένη συχνότητα έχουμε έξι μετρήσεις για κάθε λεπτό της ώρας.

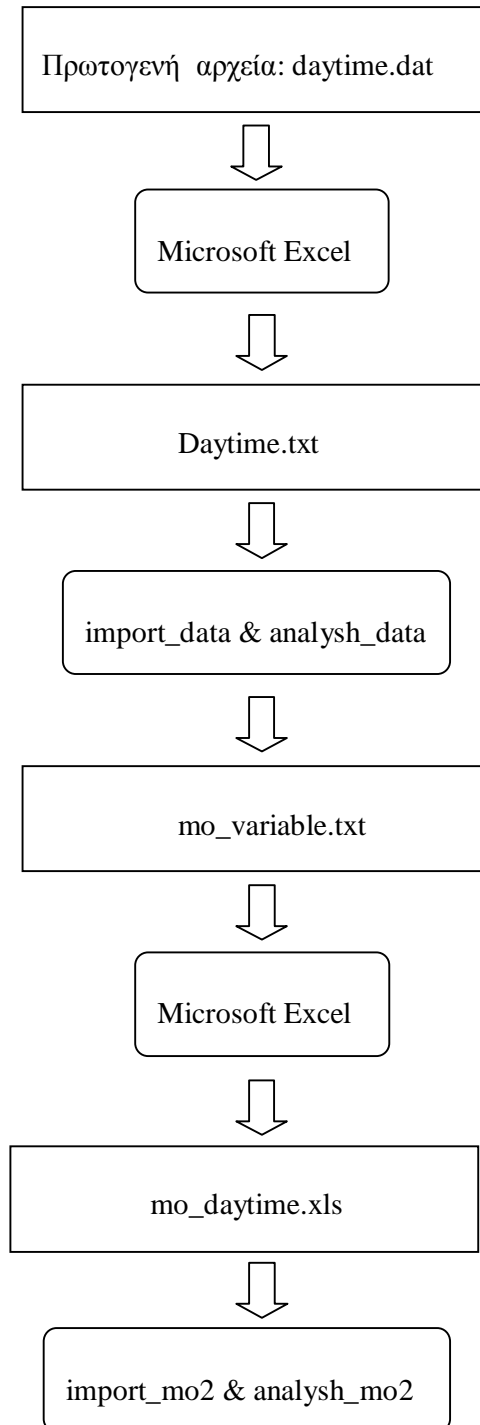
Τα παραπάνω πρωτογενή δεδομένα δεν είναι σε κατάλληλη ακόμα μορφή καθώς περιέχουν ενδιάμεσες σειρές με επικεφαλίδες, οι οποίες εμφανίζονται σε περίπτωση που έγινε κάποια επανεκκίνηση της εγκατάστασης καθώς και άλλα στοιχεία που δεν είναι απαραίτητα για την ανάλυση που σε αυτή την περίπτωση μας ενδιαφέρει. Για αυτό το λόγο εισάγουμε τα δεδομένα στο πρόγραμμα excel και κάνοντας την κατάλληλη διαλογή, δημιουργούμε αρχεία κειμένου με όνομα της μορφής «ημέρα-μήνας-έτος.txt». Έχοντας κάνει τη συγκεκριμένη προεργασία, καλούμε τη συνάρτηση `import_data` στο προγραμματιστικό περιβάλλον της Matlab όπου και δημιουργούνται μεταβλητές διανύσματα με τα αντίστοιχα ονόματα των μεγεθών που περιγράφουν. Κατά τη δεύτερη φάση της συγκεκριμένης αλληλουχίας εντολών καλούμε την συνάρτηση `analysh_data` όπου αρχικά πραγματοποιούνται δύο βασικοί έλεγχοι για την κατάσταση της συσκευής. Αυτοί οι δύο έλεγχοι συνίστανται στην εξακρίβωση της ενεργοποίησης των διατάξεων προστασίας από πάγο και υψηλής θερμοκρασίας του τροχού αφύγρανσης στο ρεύμα επιστροφής της εγκατάστασης. Συγκεκριμένα γίνεται σύγκριση του ψηφιακού εξερχόμενου σήματος του ελεγκτή των δύο αυτών διατάξεων με την τιμή ένα -1-. Αν το συγκεκριμένο σήμα ισούται με ένα η διάταξη ασφαλείας για τον πάγο ή/και για την υψηλή θερμοκρασία είναι ενεργή και η συσκευή DEC βρίσκεται εκτός λειτουργίας οπότε οι συγκεκριμένες μετρήσεις απορρίπτονται ως μη ασφαλείς, ενώ αν ισούται με μηδέν οι συγκεκριμένες μετρήσεις καταγράφονται κανονικά. Έπειτα έχοντας καταγράψει μόνο τις ασφαλείς μετρήσεις υπολογίζουμε για τα μεγέθη που μας ενδιαφέρουν τους μέσους όρους για κάθε λεπτό της ώρας που βρίσκεται η εγκατάσταση σε λειτουργία. Η συγκεκριμένη επιλογή, δηλαδή ο υπολογισμός του μέσου όρου ανά λεπτό, έγινε για δύο λόγους. Αρχικά, ο όγκος των δεδομένων που ήταν δυνατόν να ληφθεί αφορούσε ένα πολύ συγκεκριμένο και αρκετά περιορισμένο χρονικό διάστημα τεσσάρων μηνών, έτσι θεωρήθηκε κατάλληλη αυτή η επιλογή για την αναλυτικότερη παρουσίαση του τρόπου λειτουργίας της συσκευής. Κατά δεύτερον όπως έχει παρατηρηθεί σε όλη τη διεθνή βιβλιογραφία οι μέχρι στιγμής καταγεγραμμένες μετρήσεις

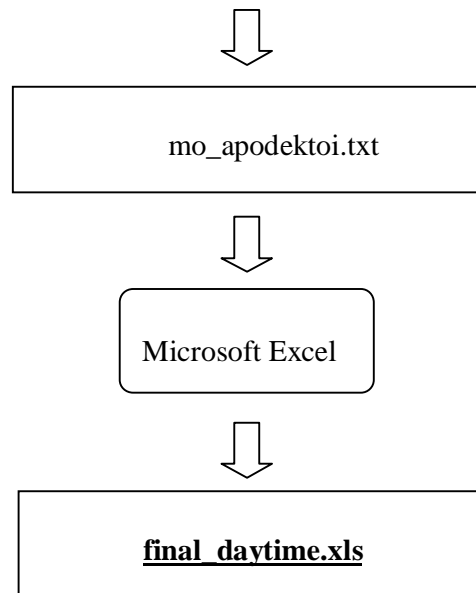
έχουν ως χρονικό βήμα το λεπτό της ώρας καθώς θεωρείται ένα αρκετά ασφαλές διάστημα ώστε να είναι δυνατή η πλήρης καταγραφή των αλλαγών των επιμέρους παραμέτρων που επικρατούν στην εγκατάσταση. Έτσι, από τη συγκεκριμένη ακολουθία εντολών προκύπτουν αρχεία με όνομα mo_daytime.xls που περιέχουν τους μέσους όρους των αντίστοιχων μεγεθών.

Για την εξέλιξη της διαδικασίας καλούμε πάλι από το προγραμματιστικό περιβάλλον της Matlab κατάλληλη συνάρτηση για την εισαγωγή των νέων δεδομένων, η οποία έχει ονομαστεί import_mo2. Με τη συγκεκριμένη συνάρτηση δημιουργούνται εκ νέου μεταβλητές διανύσματα με τα αντίστοιχα ονόματα των μεγεθών που περιγράφουν. Στη συνέχεια καλούμε την τελική συνάρτηση με όνομα analysh_mo2 όπου γίνεται και η τελική καταγραφή των μετρήσεων. Για να είναι μια μέτρηση τελικά αποδεκτή και να χρησιμοποιηθεί για την εξαγωγή των συμπερασμάτων που παρουσιάζονται παρακάτω πρέπει να πληρεί ταυτόχρονα κάποια συγκεκριμένα κριτήρια διαλογής που βασίζονται αρχικά στη φυσική ερμηνεία των μεγεθών που συνήθως καθορίζει το ελάχιστο αποδεκτό όριο, σε τιμές οι οποίες είναι αποδεκτές σύμφωνα με την βιβλιογραφία αλλά και με τις τεχνικές προδιαγραφές των επιμέρους συστημάτων της εγκατάστασης. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το μέγεθος της υδραυλικής παροχής του κυκλοφορητή του υδραυλικού κυκλώματος της εγκατάστασης, αφού αρχικά δεν είναι φυσικά δυνατό να έχουμε αρνητική παροχή, επομένως το ελάχιστο όριο είναι η μηδενική τιμή και επίσης δεν είναι δυνατόν να έχουμε τιμή παροχής μεγαλύτερη από την μέγιστη δυνατή που καθορίζει ο ίδιος ο κατασκευαστής. Χαρακτηριστικά, για τον συντελεστή συμπεριφοράς της εγκατάστασης έγιναν δεκτές οι τιμές από μηδέν έως πέντε, για όλες τις σχετικές υγρασίες ανεξαρτήτως μεγέθους αναφοράς έγιναν δεκτές οι τιμές μεταξύ μηδέν και εκατό. Ακόμα για τη θερμοκρασία περιβάλλοντος κλιματιζόμενου χώρου τέθηκαν τα διευρυμένα όρια από -10 έως 60 °C καθώς δε παρατηρούνται τέτοιες θερμοκρασίες στη περιοχή της Αττικής. Για τη θερμοκρασία αναγέννησης ως κατώτερο όριο τέθηκαν οι 0 °C ενώ ως ανώτερο οι 65 °C που είναι και η θερμοκρασία ενεργοποίησης του συστήματος ασφαλείας της συσκευής για την υπερθέρμανση του αφυγραντικού υλικού.

Η παρουσία των εσφαλμένων τιμών μπορεί να οφείλεται σε μια πλειάδα αιτιών. Καθώς η συσκευή είναι εγκατεστημένη στο πάρκο ενεργειακής αγωγής του ΚΑΠΕ στο Λαύριο Αττικής, όπου εκτελούνται αρκετά ακόμα πειράματα, έτσι παρατηρείται πολύ συχνά το φαινόμενο της βύθισης της τάσης του ηλεκτρικού δικτύου με άμεσο αποτέλεσμα την αλλοίωση της συμπεριφοράς των μετρητικών οργάνων αλλά και πολλές φορές τη διακοπή της λειτουργίας της συσκευής. Για αυτό το λόγο, πολλές είναι οι περιπτώσεις που καταγράφονται μεγέθη με τη χαρακτηριστική τιμή -99,99 γεγονός που δηλώνει ότι υπήρξε κάποιο ηλεκτρικό πρόβλημα κατά τη λήψη της συγκεκριμένης ομάδας μετρήσεων. Ακόμα είναι δυνατό να υπήρξε κάποιο τυχαίο γεγονός που μπορεί να οδήγησε στην εσφαλμένη μέτρηση όπως είναι η απόφραξη κάποιου αισθητήρα από σωματίδια που κατάφεραν να εισέλθουν στην εγκατάσταση παρόλο την παρουσία των φίλτρων καθαρισμού. Τέλος, κάποια μηχανική βλάβη σε κάποιο υποσύστημα της συσκευής να οδήγησε σε προβληματική λειτουργία άρα και σε εσφαλμένες μετρήσεις από τους αισθητήρες ελέγχου μέχρις ότου αυτή γίνει αντιληπτή από τον χειριστή της εγκατάστασης και αποκατασταθεί.

Τα συγκεκριμένα αποτελέσματα που αποτελούν και τα τελικά αποτελέσματα για την κάθε ημέρα μετρήσεων συγκεντρώνονται σε αρχεία με όνομα `final_daytime.xls`. Στη συνέχεια παρουσιάζεται ένα λογικό διάγραμμα ροής για την ακολουθία των παραγόμενων αρχείων με τα δεδομένα αλλά και των αντίστοιχων εντολών που τα παράγουν. Ο συγκεκριμένος τρόπος επεξεργασίας, με τη δημιουργία όλων αυτών των ενδιάμεσων αρχείων, επιλέχθηκε ώστε να είναι δυνατή η εποπτεία των μετρήσεων σε όλα τα στάδια επεξεργασίας τους αλλά και να γίνονται πλήρως κατανοητά τα κριτήρια με τα οποία γίνεται είτε η επιλογή είτε η απόρριψή τους.





Σχήμα 5.1 Λογικό διάγραμμα εντολών για τη δημιουργία αρχείων μετρήσεων.

Ο κώδικας των συναρτήσεων από το προγραμματιστικό περιβάλλον της Matlab καθώς και τα αρχεία `final_daytime.xls` παρουσιάζονται στο πρώτο και δεύτερο παράρτημα αντίστοιχα, στις τελευταίες σελίδες της εργασίας.

Τα αρχεία `final_daytime.xls` αποτελούν και την πηγή των δεδομένων από την οποία δημιουργούνται οι γραφικές παραστάσεις των συσχετίσεων, ανάμεσα στα θερμοδυναμικά μεγέθη και συντελεστές της εγκατάστασης, που θεωρούνται σημαντικότερες. Οι μέρες κατά τις οποίες πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις αφορούσαν κυρίως τη περίοδο από τον Απριλίο του 2009 έως τον Ιούλιο του ίδιου έτους, αλλά υπάρχουν και κάποιες αποσπασματικές μετρήσεις που αφορούν προγενέστερες περιόδους όπου η εγκατάσταση βρισκόταν σε δοκιμαστική λειτουργία. Το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα είναι χαρακτηριστικό για την καλοκαιρινή περίοδο της Ελλάδας όπου παρουσιάζονται κατά κανόνα οι υψηλότερες θερμοκρασίες περιβάλλοντος για ολόκληρο το ημερολογιακό έτος. Με αυτό τον τρόπο είναι δυνατή η καταγραφή, η ανάλυση και η αξιολόγηση της συμπεριφοράς του ανοικτού συστήματος εξατμιστικής ψύξης με αφυγραντικό τροχό LiCl. Οι γραφικές παραστάσεις που δημιουργήθηκαν μέσω του προγραμματιστικού περιβάλλοντος της Matlab και παρουσιάζονται παρακάτω, μπορούν να ενταχθούν σε τρεις βασικές κατηγορίες με κριτήριο το χρονικό ορίζοντα στον οποίο αναφέρονται αλλά και το σκοπό του αναγνώστη για λεπτομερή ή μακροσκοπική παρατήρηση της εγκατάστασης.

Η πρώτη κατηγορία αφορά στα διαγράμματα που συσχετίζουν τα μεγέθη για κάθε μέρα λειτουργίας της συσκευής. Ο λόγος που τα γραφήματα αυτά είναι πολύ χρήσιμα, είναι ότι παρουσιάζουν τη μεταβολή του εκάστοτε μεγέθους με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι δυνατή η κατανόηση του τρόπου λειτουργίας της εγκατάστασης σε συγκεκριμένες συνθήκες και η προσαρμογή των επιμέρους παραμέτρων με σκοπό τη στοχευμένη μεταβολή της λειτουργίας αυτής σε επιμέρους και πιο εξειδικευμένους τομείς. Για παράδειγμα υπάρχουν περιπτώσεις όπου η επιθυμία του χρήστη είναι η μεγιστοποίηση του συντελεστή συμπεριφοράς ή

ελαχιστοποίηση της επικρατούσας θερμοκρασίας στο κλιματιζόμενο χώρο της εγκατάστασης έτσι έχοντας δεδομένα τα γραφήματα αυτά είναι δυνατή η προσαρμογή των παραμέτρων με το σκοπό αυτό.

Η δεύτερη κατηγορία γραφικών παραστάσεων αφορά στα συνολικά δεδομένα για τις παραμέτρους της εγκατάστασης, για κάθε μήνα της εξεταζόμενης χρονικής περιόδου. Με αυτό τον τρόπο είναι δυνατή μια μακροσκοπική αξιολόγηση της συμπεριφοράς της συγκεκριμένης εγκατάστασης για το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Στα δεδομένα αυτά έχει γίνει και γραμμική προσέγγιση με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων ώστε να είναι εύκολα δυνατή στον αναγνώστη μία πρόγνωση των εξαρτημένων μεγεθών σε κάθε γράφημα. Τέλος, η τρίτη κατηγορία αφορά στους συνολικούς μέσους όρους για κάθε μήνα λειτουργίας της εγκατάστασης. Με τα συγκεκριμένα γραφήματα είναι δυνατή η αδρομερής παρουσίαση της συμπεριφοράς της συσκευής με σκοπό την αρχική επαφή του αναγνώστη με τη συγκεκριμένη τεχνολογία.

Πιο συγκεκριμένα για κάθε μέρα μετρήσεων έχουν δημιουργηθεί έξι διαγράμματα που παρουσιάζουν τις παρακάτω συσχετίσεις, με πρώτη την ανεξάρτητη μεταβλητή (άξονας χ) και δεύτερη την εξαρτημένη (άξονας y).

- § Time- Cop
- § Ambient dry bulb Temperature- Cop
- § T regeneration- Cop
- § Ambient dry bulb Temperature –Ambient Relative Humidity
- § Room dry bulb Temperature-Room Relative Humidity
- § Ambient dry bulb Temperature-Room dry bulb Temperature

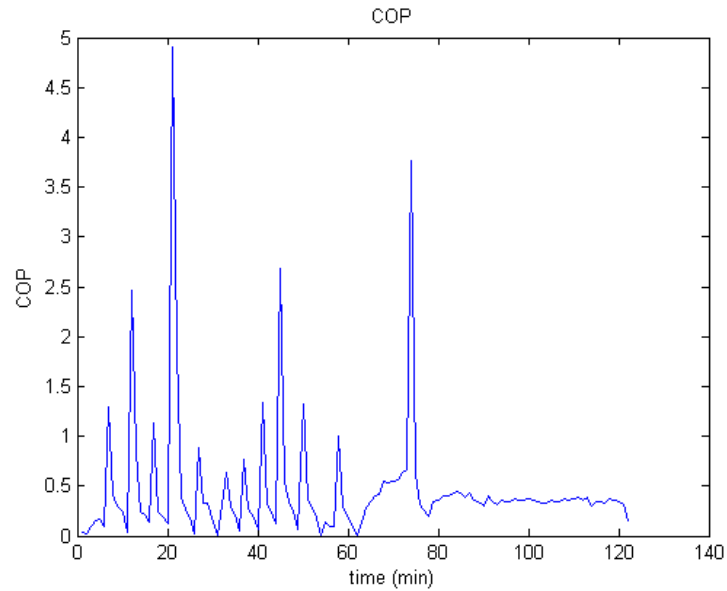
Όπου Cop: ο συντελεστής συμπεριφοράς της εγκατάστασης, Ambient dry bulb Temperature: η θερμοκρασία ξηρής σφαίρας του περιβάλλοντος σε °C, T regeneration: η θερμοκρασία αναγέννησης του αφυγραντικού υλικού °C, Ambient Relative Humidity: η σχετική υγρασία περιβάλλοντος, Room dry bulb Temperature: η θερμοκρασία ξηρής σφαίρας του κλιματιζόμενου χώρου °C, Room Relative Humidity : η σχετική υγρασία του κλιματιζόμενου χώρου και τέλος Time: ο χρόνος λειτουργίας της εγκατάστασης σε λεπτά.

Για τη δεύτερη κατηγορία, με τα συνολικά αποτελέσματα για όλες τις μέρες κάθε μήνα αλλά και για τη τρίτη κατηγορία με τους μέσους όρους για κάθε μήνα, παρουσιάζονται πέντε γραφικές παραστάσεις με τα εξής δεδομένα:

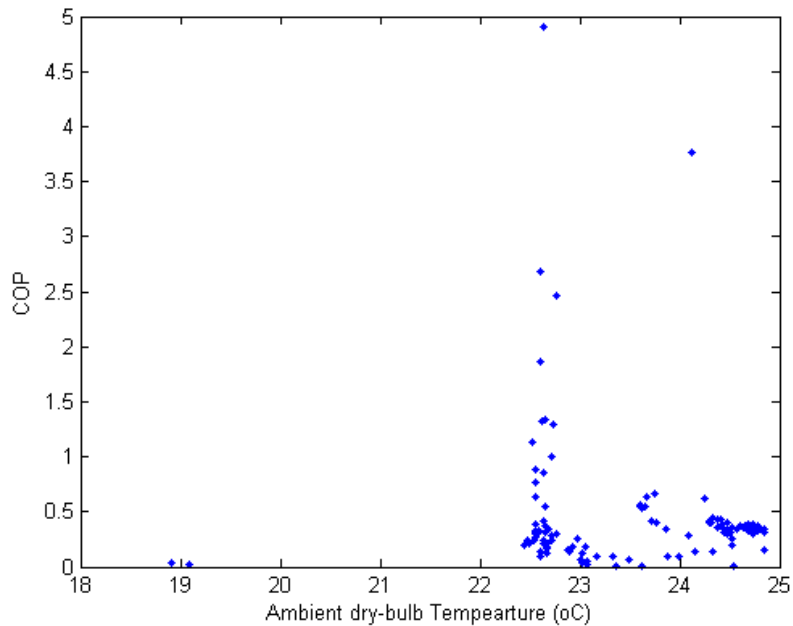
- § Time-Cop
- § Time-Ambient dry bulb Temperature
- § Ambient Temperature- Cop
- § Ambient Temperature- Room Temperature
- § T regeneration-Cop

5.2 ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ

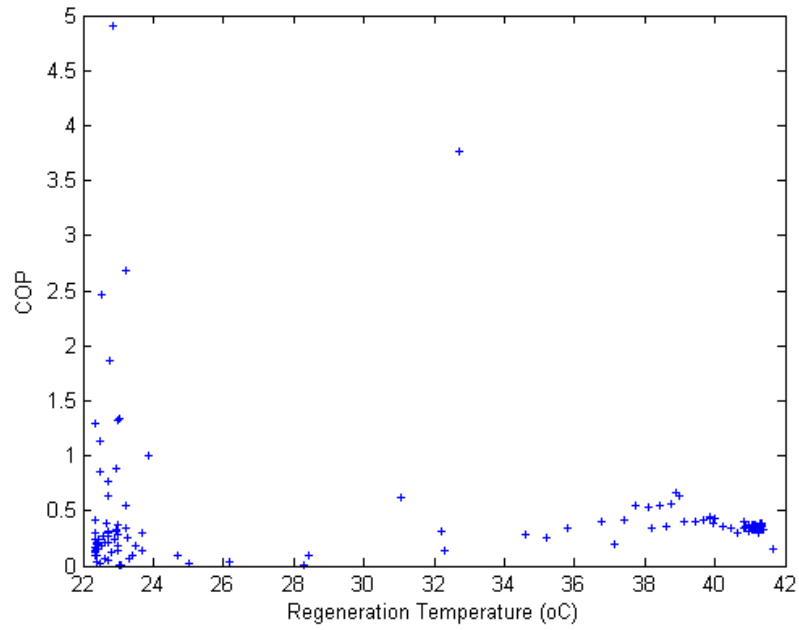
5.2.1 Τα γραφήματα της πρώτης κατηγορίας για την αντίστοιχη ημέρα παρουσιάζονται παρακάτω:



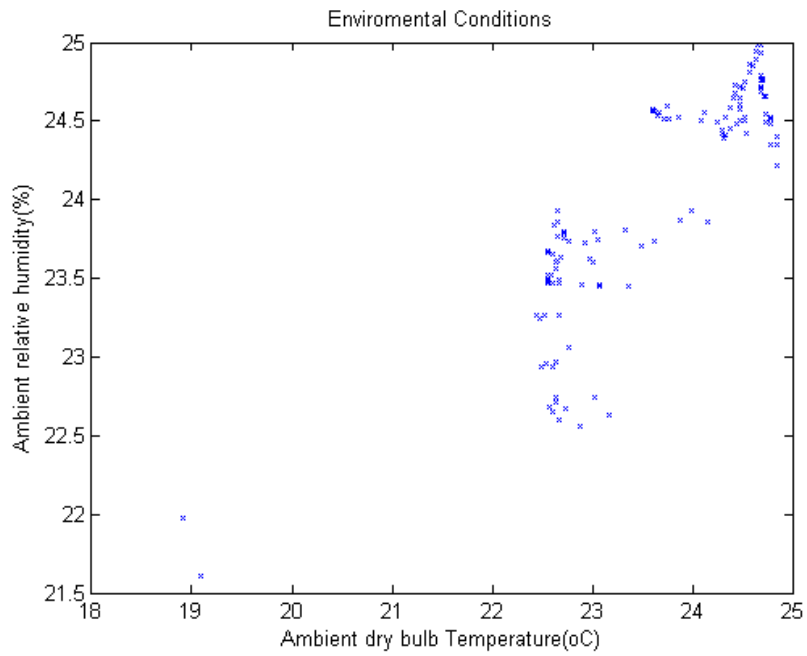
Γράφημα 1: συσχέτιση χρόνου λειτουργίας-COP για τις 05/05/2009



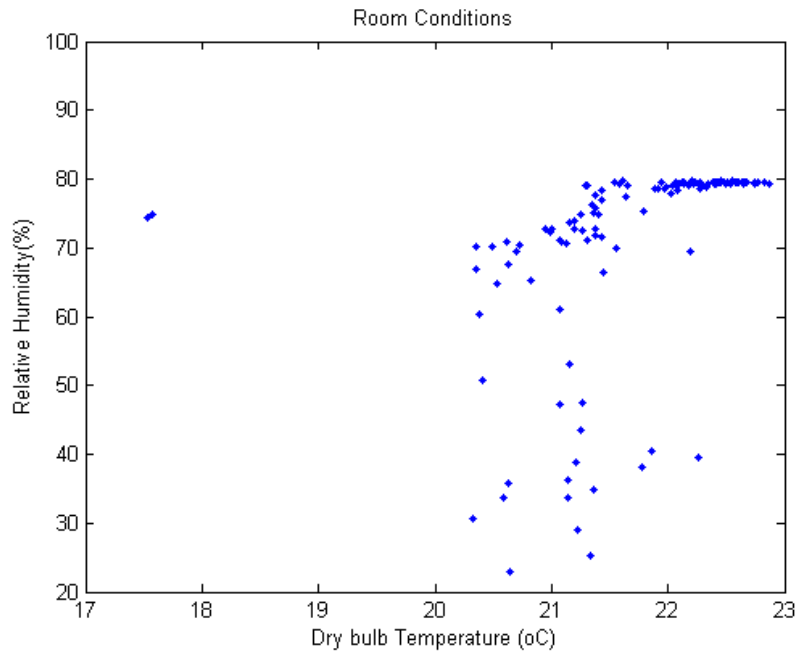
Γράφημα 2: συσχέτιση θερμοκρασίας περιβάλλοντος-COP για τις 05/05/2009



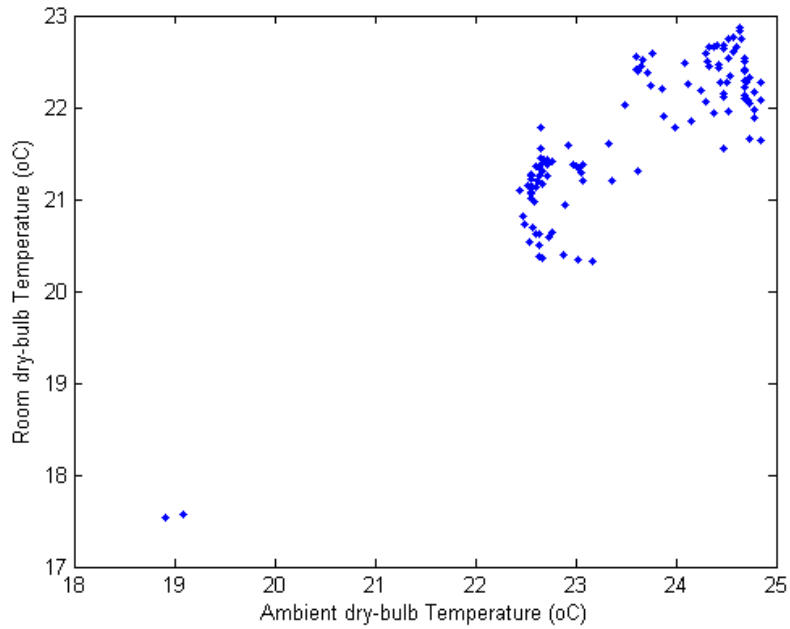
Γράφημα 3:συσχέτιση θερμοκρασίας αναγέννησης αφυγραντικού υλικού- COP για τις 05/05/2009



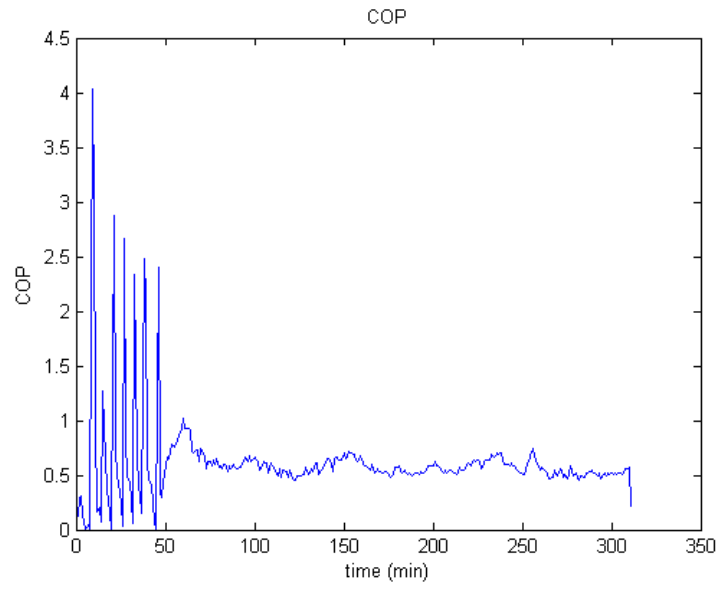
Γράφημα 4:περιβαλλοντικές συνθήκες για τις 05/05/2009



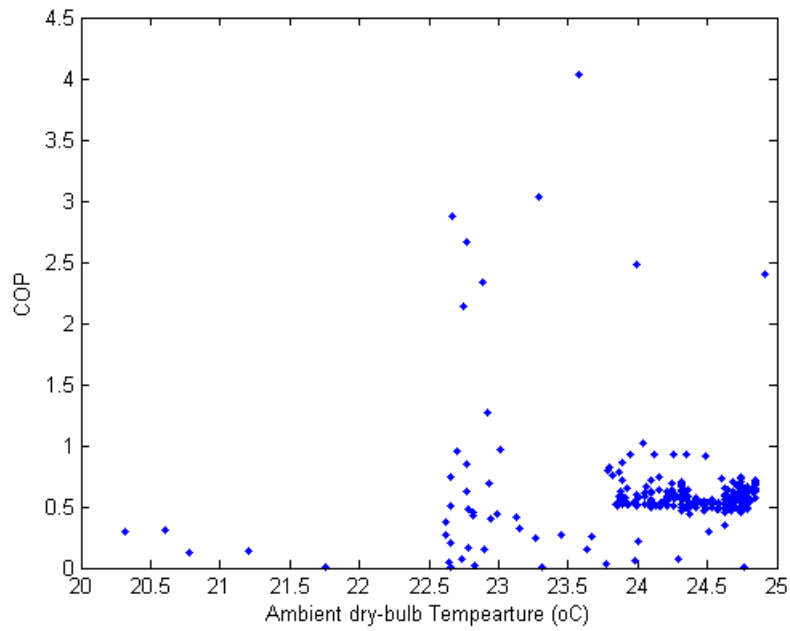
Γράφημα 5: συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας του κλιματιζόμενου χώρου για τις 05/05/2009



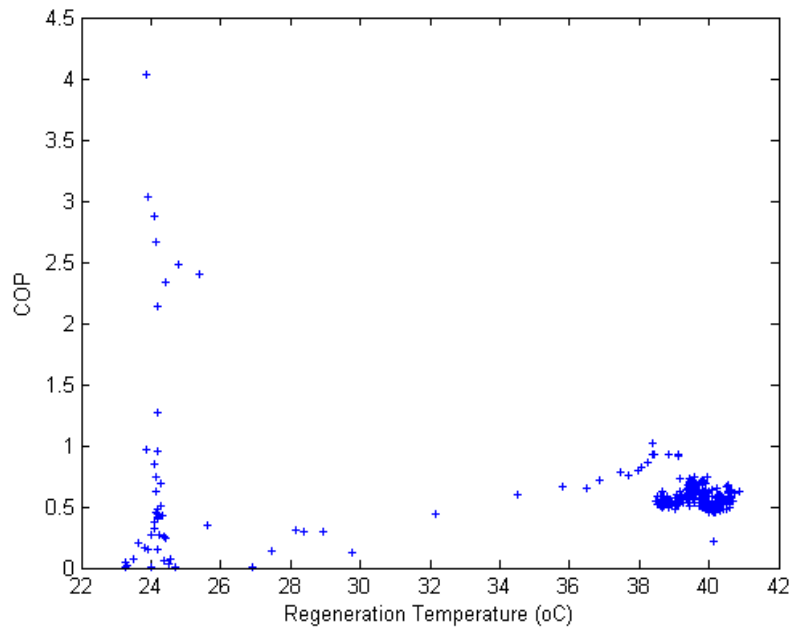
Γράφημα 6: συσχέτιση θερμοκρασίας περιβάλλοντος και θερμοκρασίας κλιματιζόμενου χώρου για τις 05/05/2009



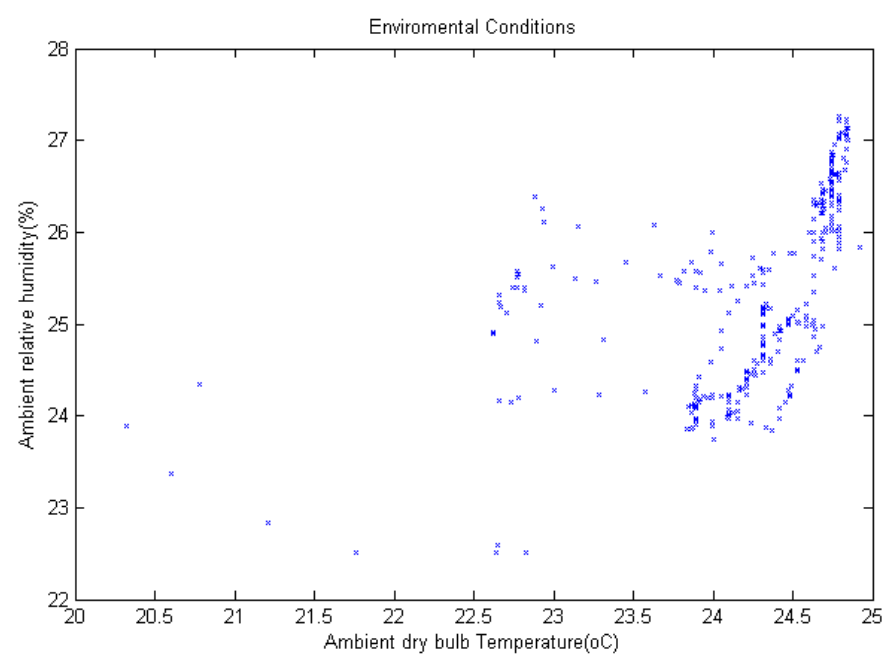
Γράφημα 7:συσχέτιση χρόνου λειτουργίας-COP για τις 06/05/2009



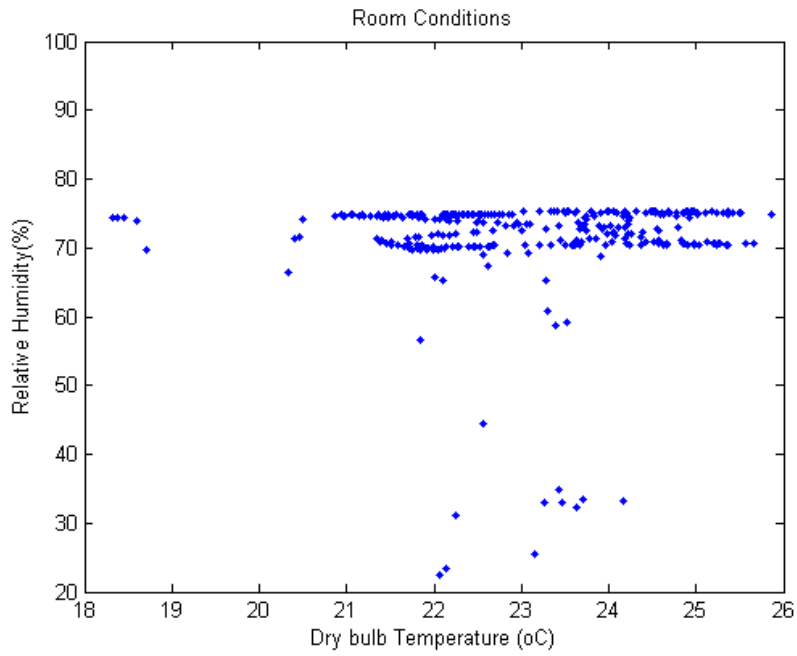
Γράφημα 8:συσχέτιση θερμοκρασίας περιβάλλοντος-COP για τις 06/05/2009



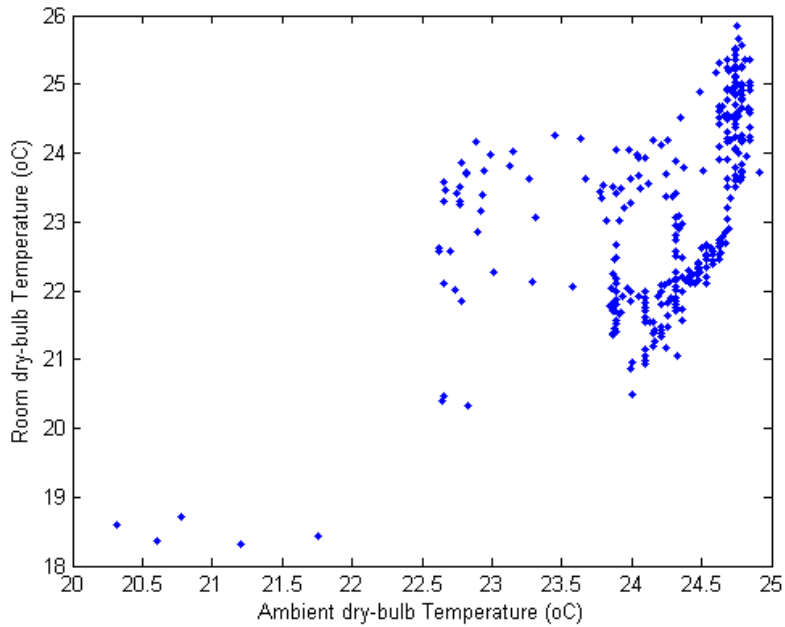
Γράφημα 9: συσχέτιση θερμοκρασίας αναγέννησης αφυγραντικού υλικού- COP για τις 06/05/2009



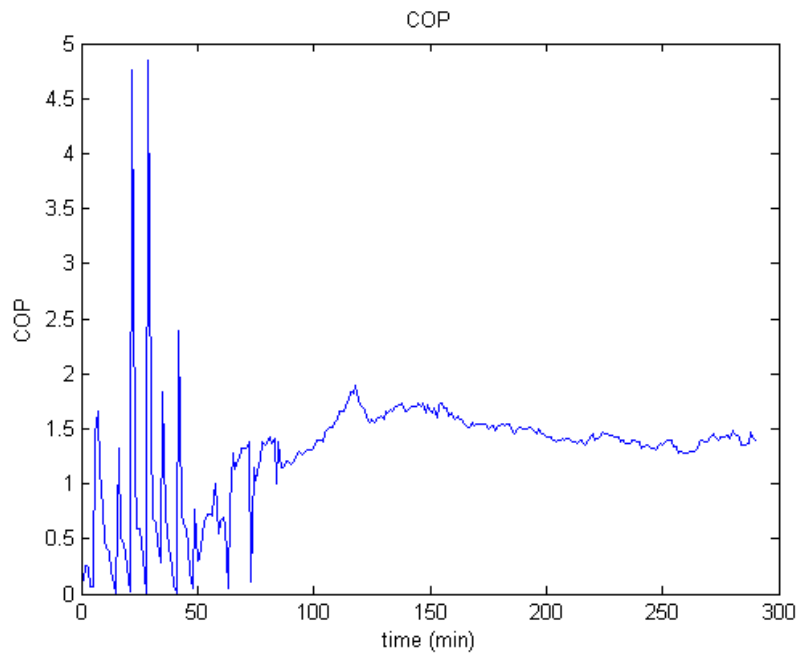
Γράφημα 10: περιβαλλοντικές συνθήκες για τις 06/05/2009



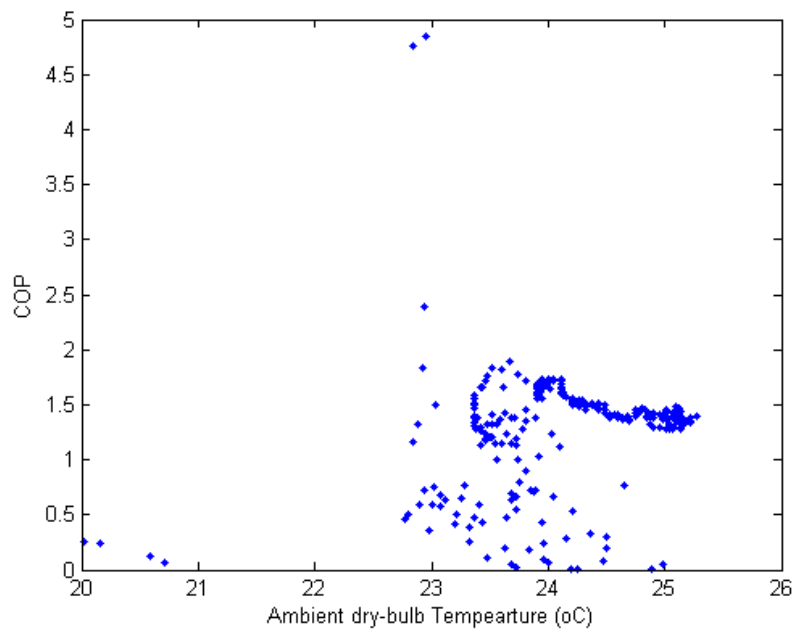
Γράφημα 11: συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας του κλιματιζόμενου χώρου για τις 06/05/2009



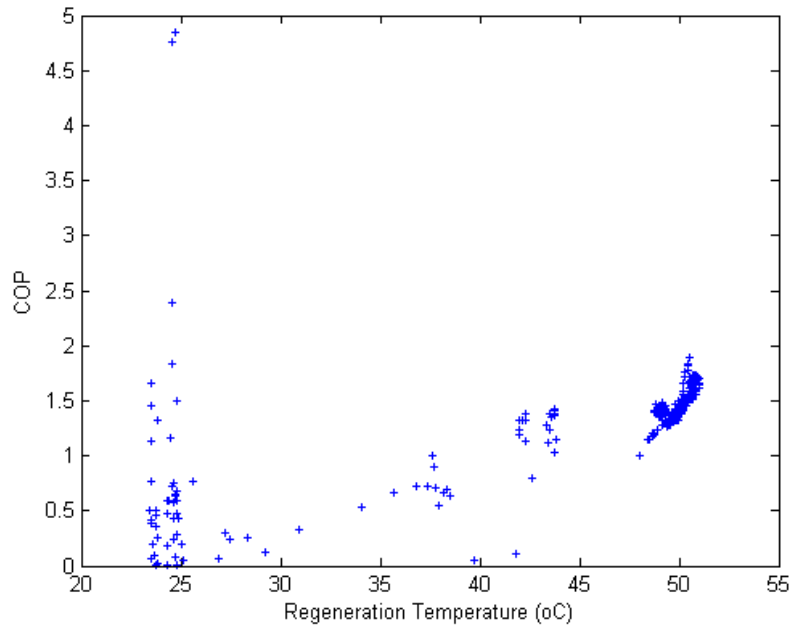
Γράφημα 12: συσχέτιση θερμοκρασίας περιβάλλοντος και θερμοκρασίας κλιματιζόμενου χώρου για τις 06/05/2009



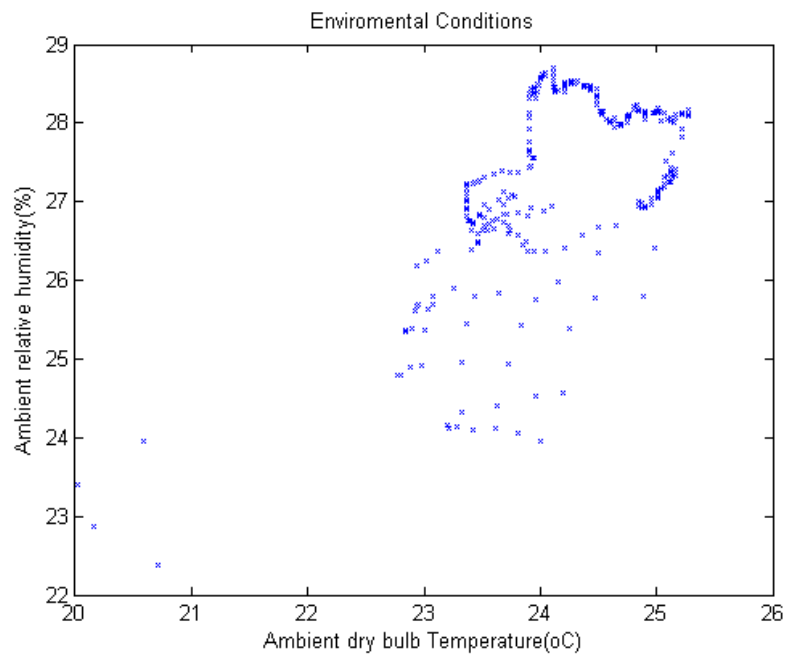
Γράφημα 13:συσχέτιση χρόνου λειτουργίας-COP για τις 07/05/2009



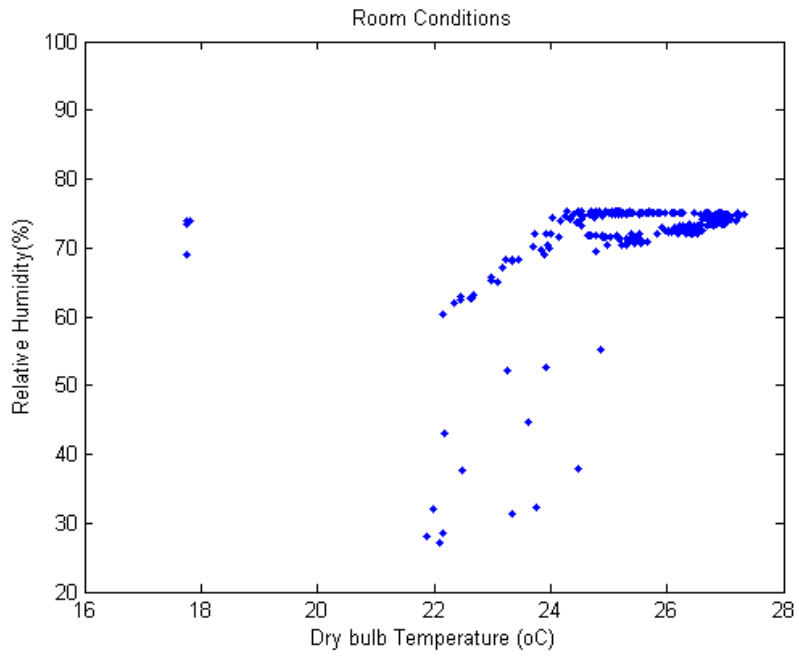
Γράφημα 14:συσχέτιση θερμοκρασίας περιβάλλοντος-COP για τις 07/05/2009



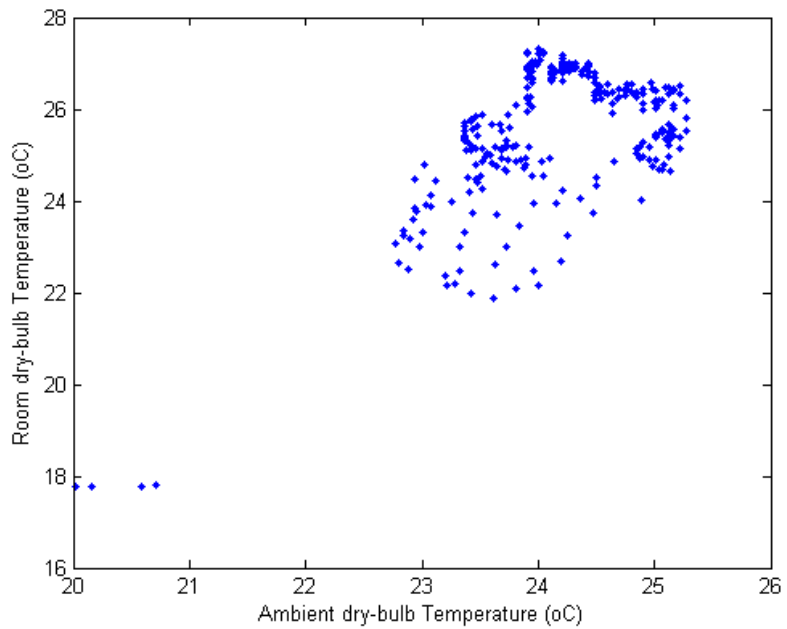
Γράφημα 15:συσχέτιση θερμοκρασίας αναγέννησης αφυγραντικού υλικού- COP για τις 07/05/2009



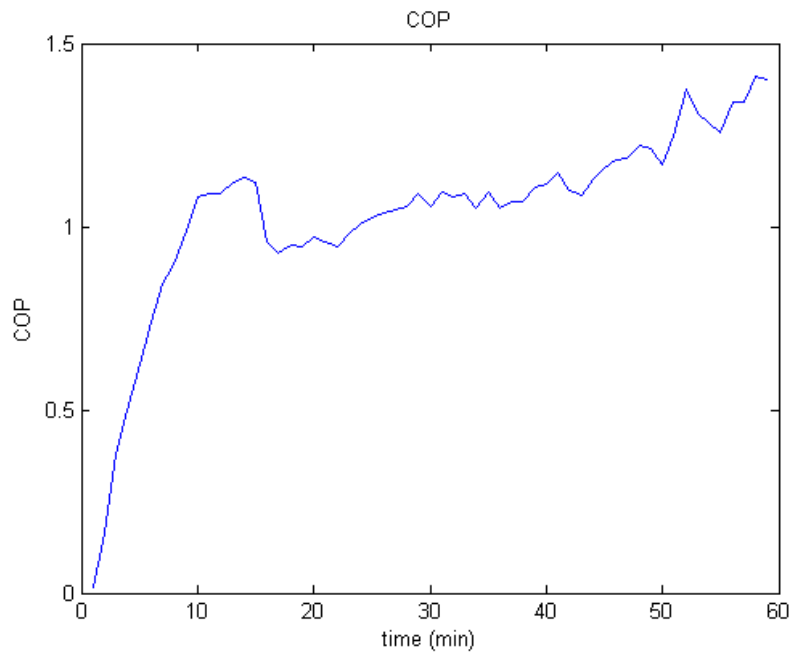
Γράφημα 16:περιβαλλοντικές συνθήκες για τις 07/05/2009



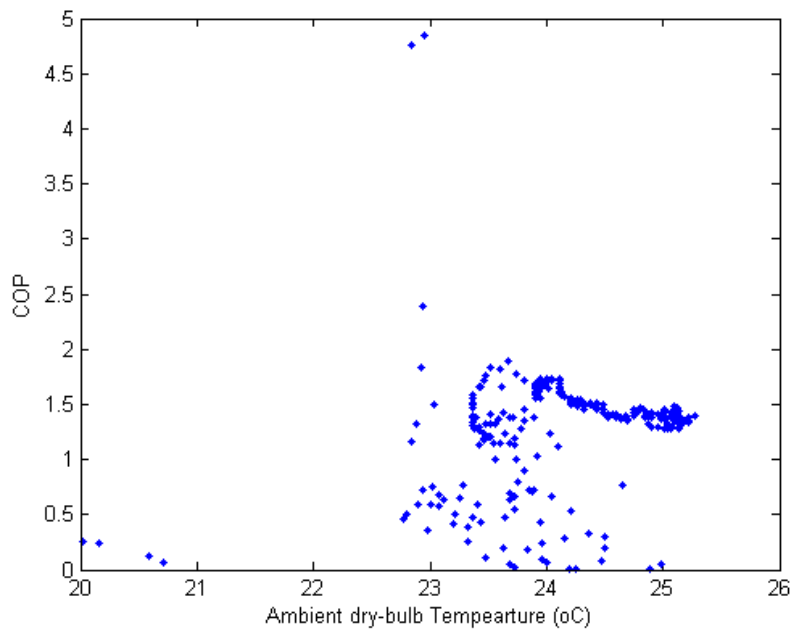
Γράφημα 17: συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας του κλιματιζόμενου χώρου για τις 07/05/2009



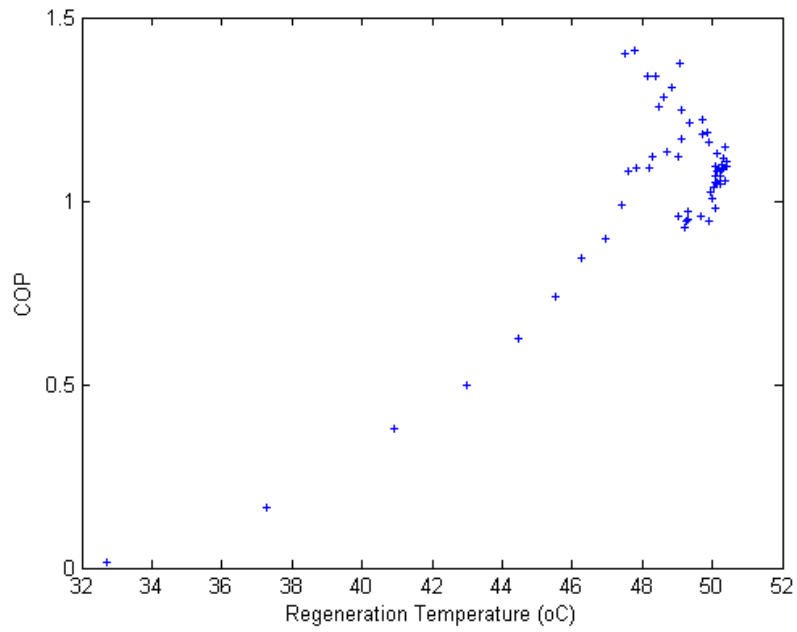
Γράφημα 18: συσχέτιση θερμοκρασίας περιβάλλοντος και θερμοκρασίας κλιματιζόμενου χώρου για τις 07/05/2009



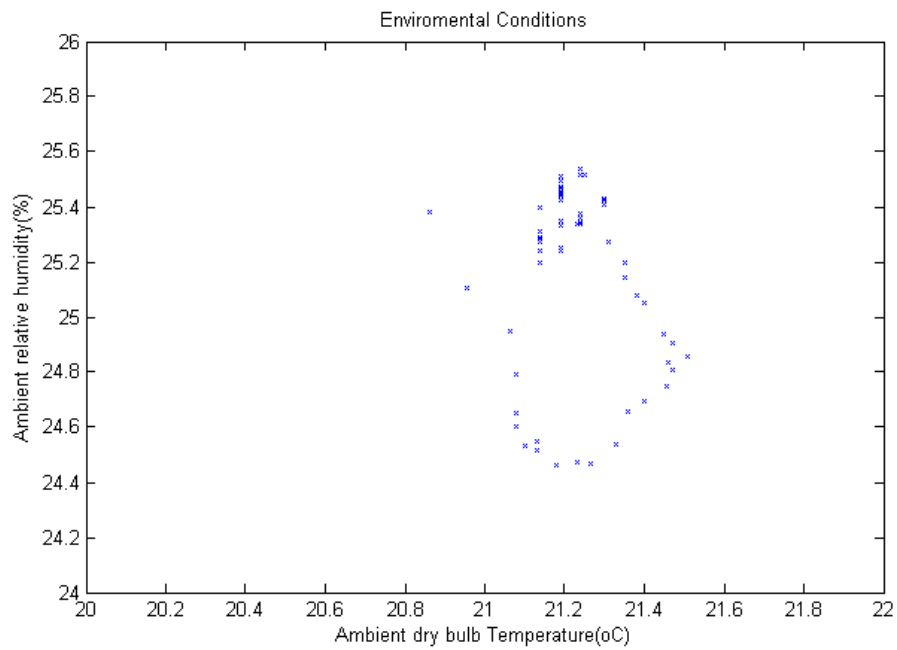
Γράφημα 19:συσχέτιση χρόνου λειτουργίας-COP για τις 08/05/2009



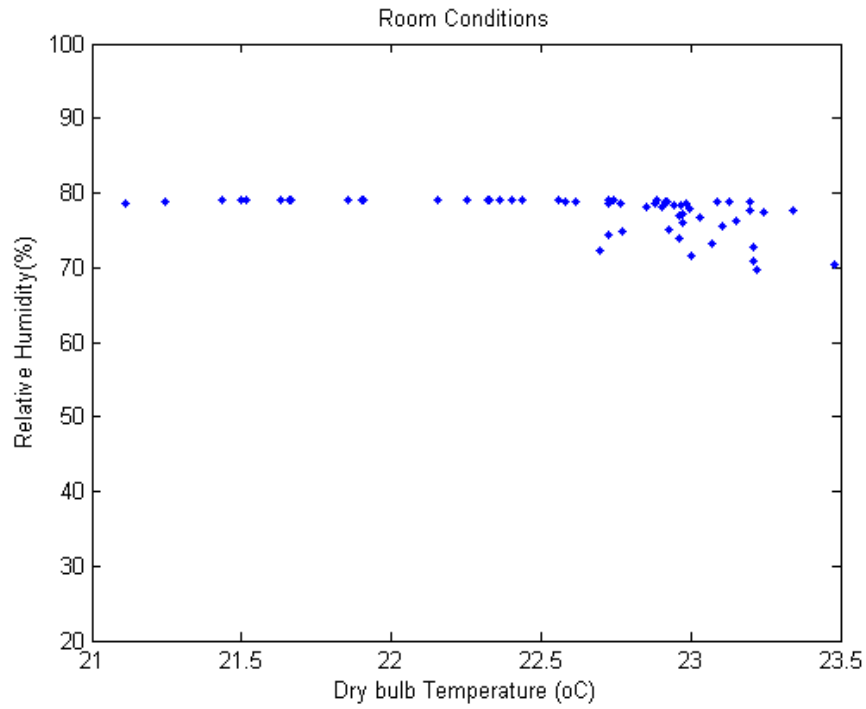
Γράφημα 20:συσχέτιση θερμοκρασίας περιβάλλοντος-COP για τις 08/05/2009



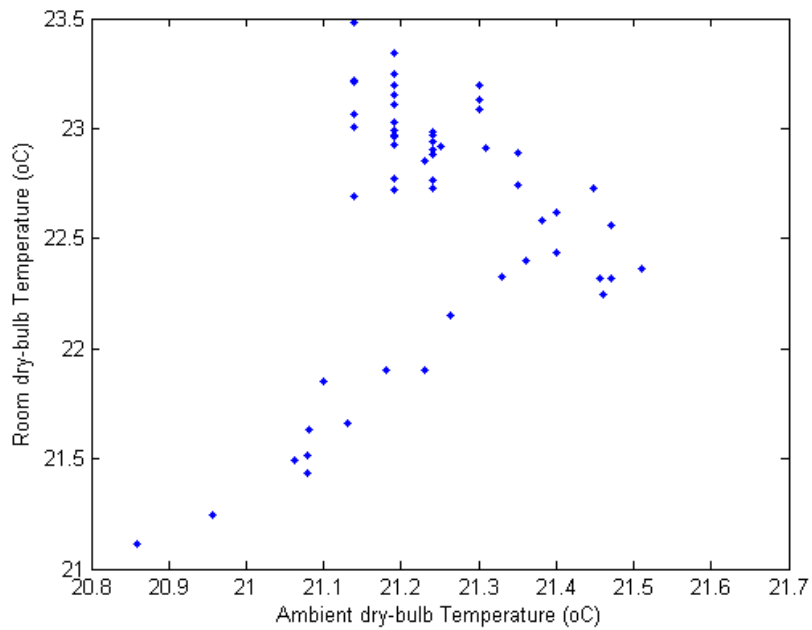
Γράφημα 21:συσχέτιση θερμοκρασίας αναγέννησης αφυγραντικού υλικού- COP για τις 08/05/2009



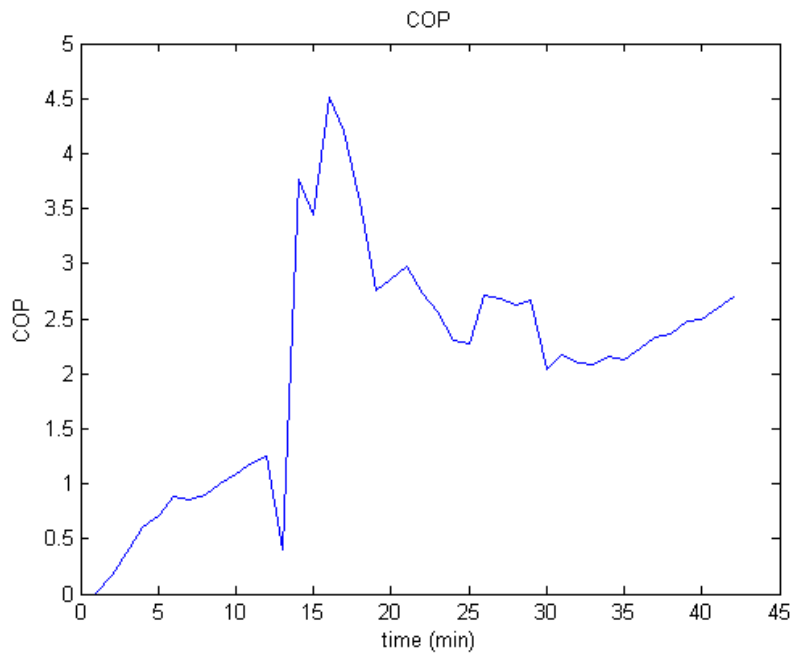
Γράφημα 22:περιβαλλοντικές συνθήκες για τις 08/05/2009



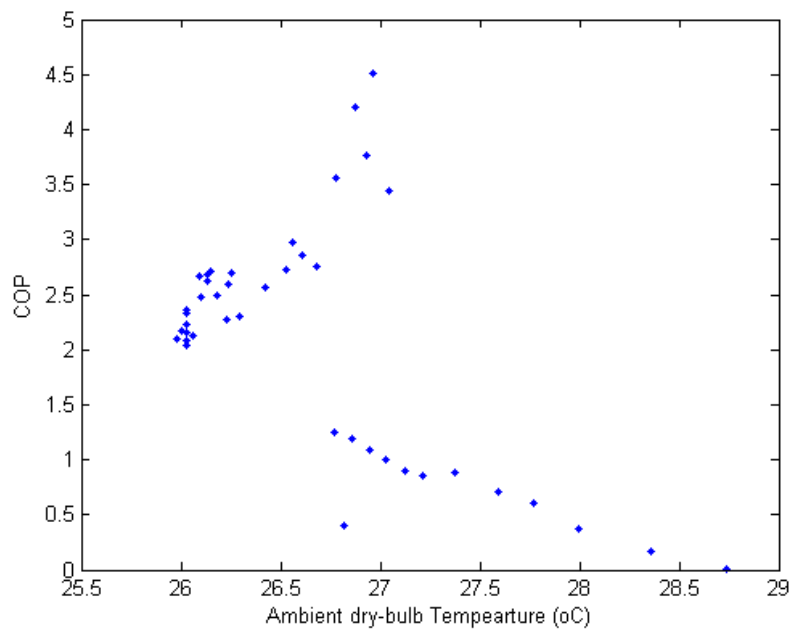
Γράφημα 23: συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας του κλιματιζόμενου χώρου για τις 08/05/2009



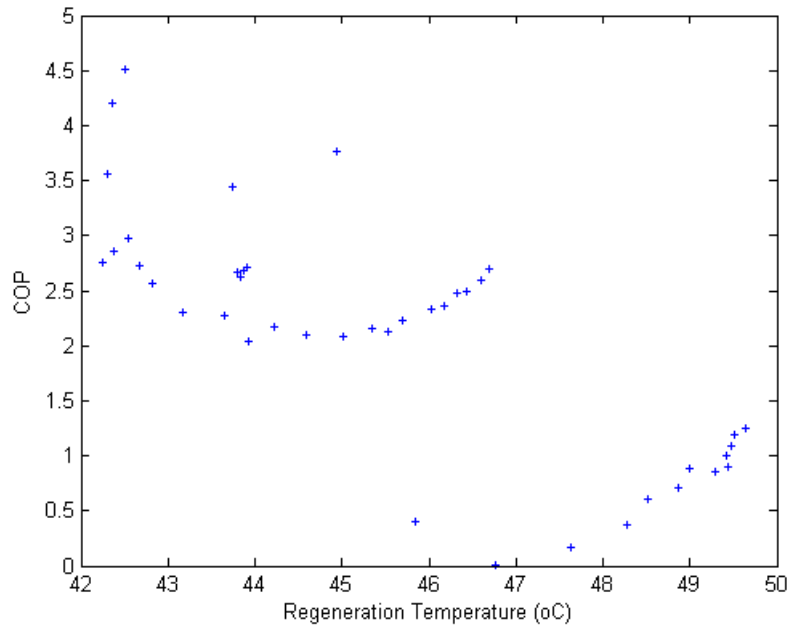
Γράφημα 24: συσχέτιση θερμοκρασίας περιβάλλοντος και θερμοκρασίας κλιματιζόμενου χώρου για τις 08/05/2009



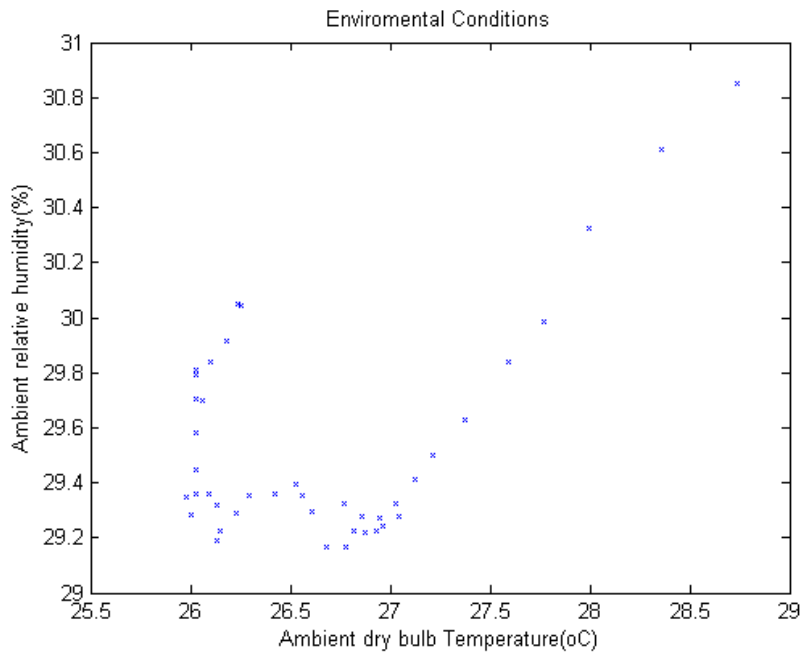
Γράφημα 25:συσχέτιση χρόνου λειτουργίας-COP για τις 13/05/2009



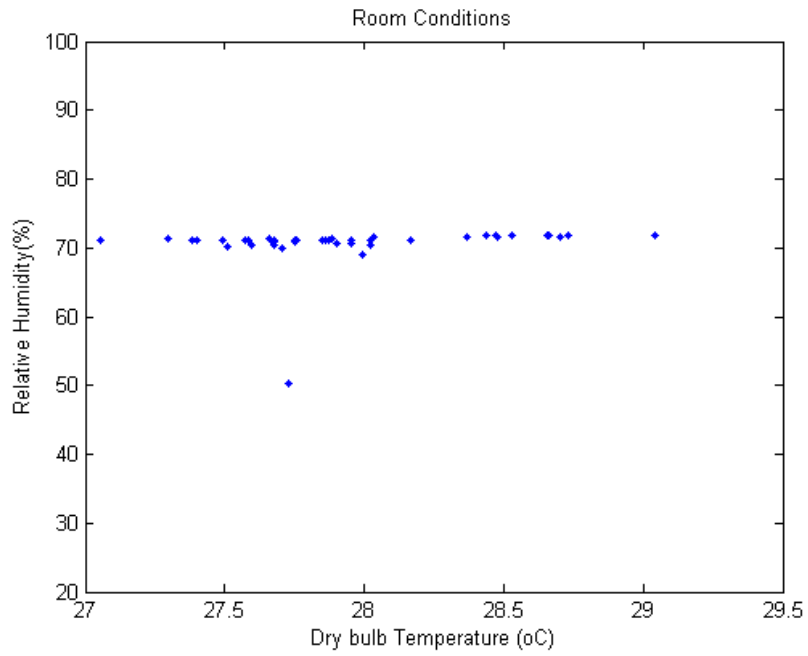
Γράφημα 26:συσχέτιση θερμοκρασίας περιβάλλοντος-COP για τις 13/05/2009



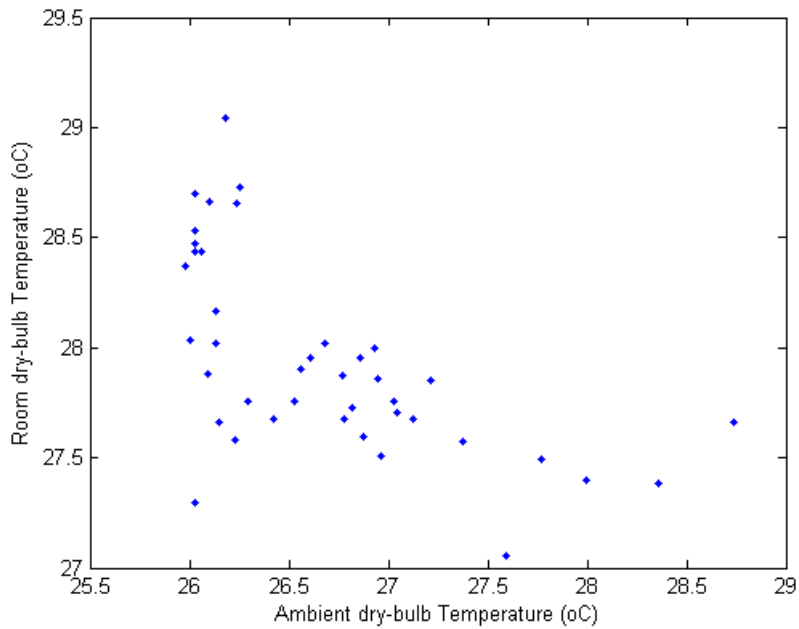
Γράφημα 27:συσχέτιση θερμοκρασίας αναγέννησης αφυγραντικού υλικού- COP για τις 13/05/2009



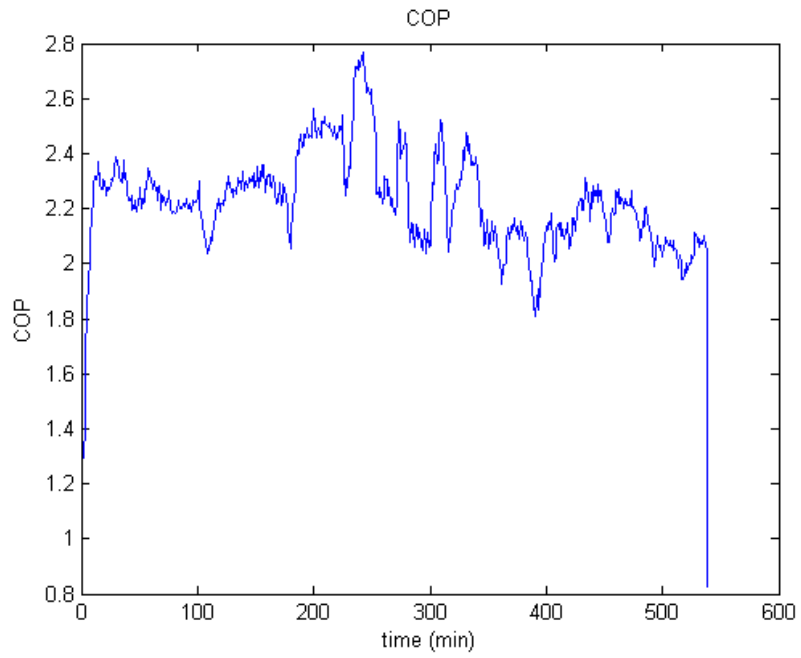
Γράφημα 28:περιβαλλοντικές συνθήκες για τις 13/05/2009



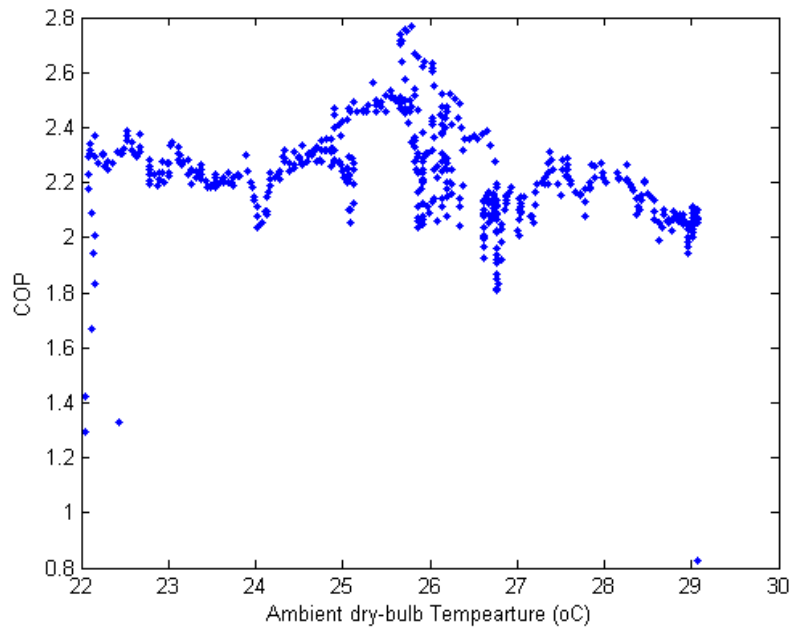
Γράφημα 29: συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας του κλιματιζόμενου χώρου για τις 13/05/2009



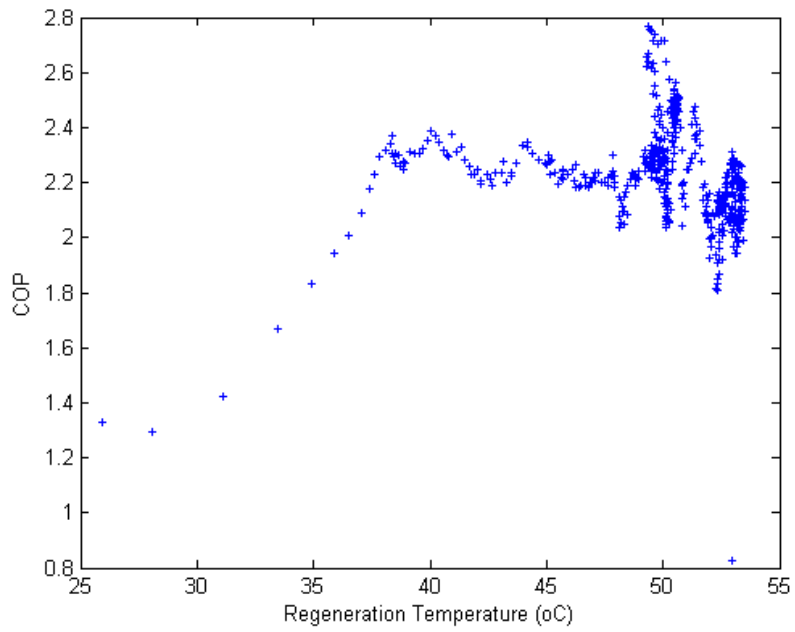
Γράφημα 30: συσχέτιση θερμοκρασίας περιβάλλοντος και θερμοκρασίας κλιματιζόμενου χώρου για τις 13/05/2009



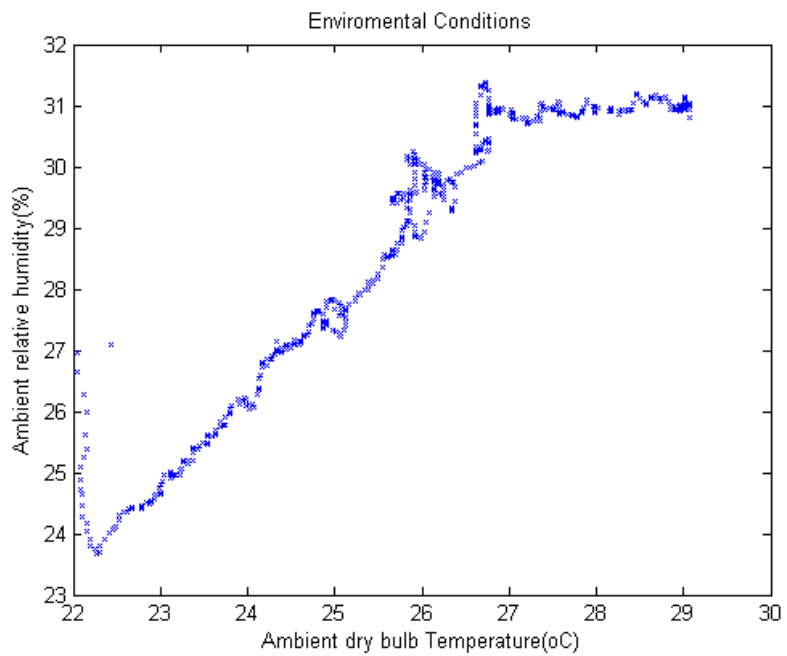
Γράφημα 31:συσχέτιση χρόνου λειτουργίας-COP για τις 14/05/2009



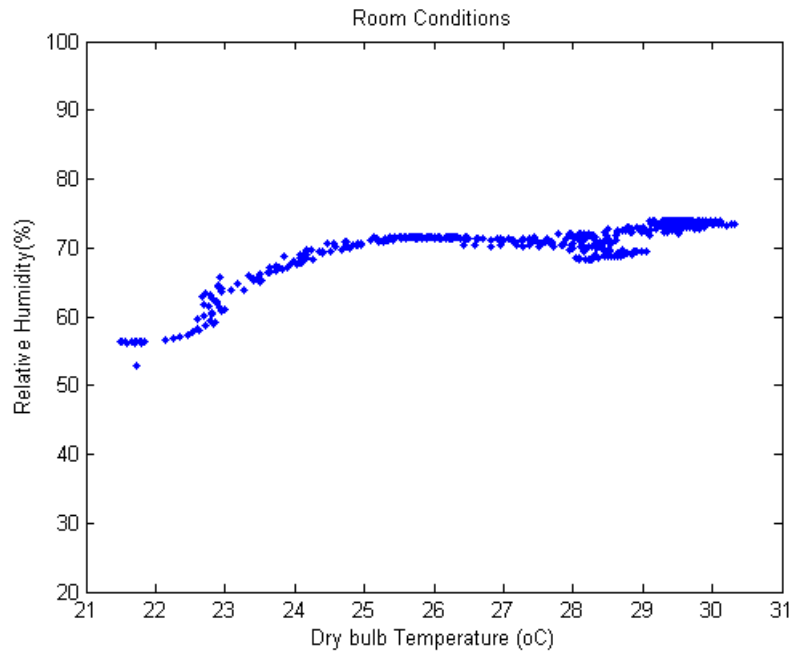
Γράφημα 32:συσχέτιση θερμοκρασίας περιβάλλοντος-COP για τις 14/05/2009



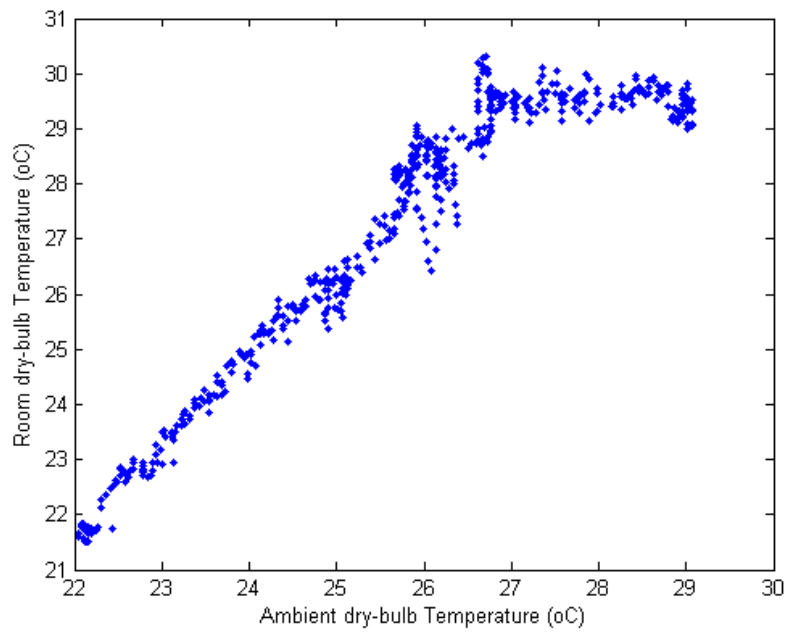
Γράφημα 33:συσχέτιση θερμοκρασίας αναγέννησης αφυγραντικού υλικού- COP για τις 14/05/2009



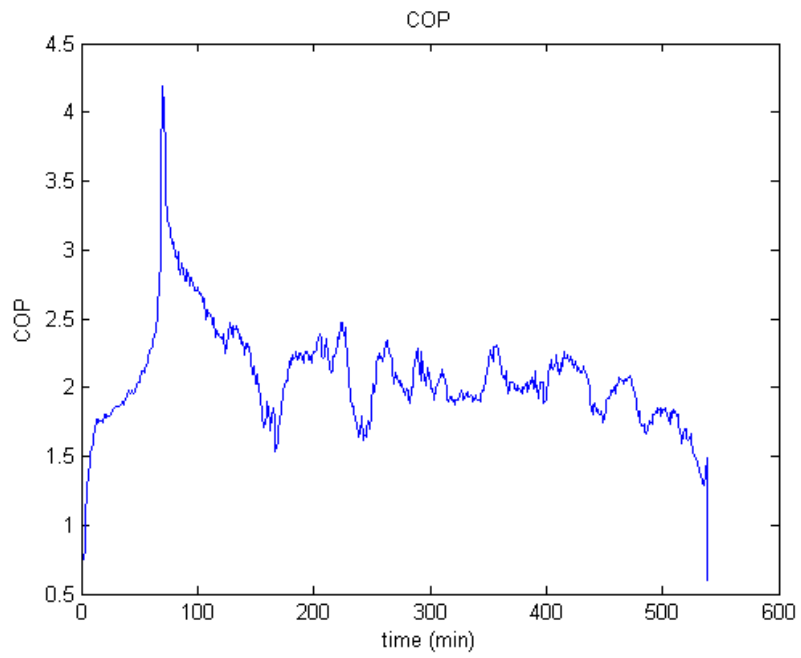
Γράφημα 34:περιβαλλοντικές συνθήκες για τις 14/05/2009



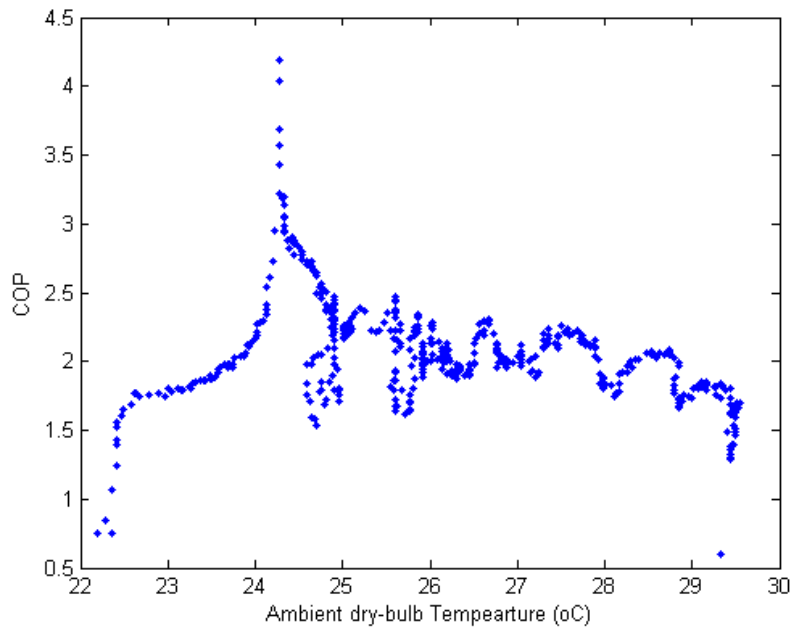
Γράφημα 35: συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας του κλιματιζόμενου χώρου για τις 14/05/2009



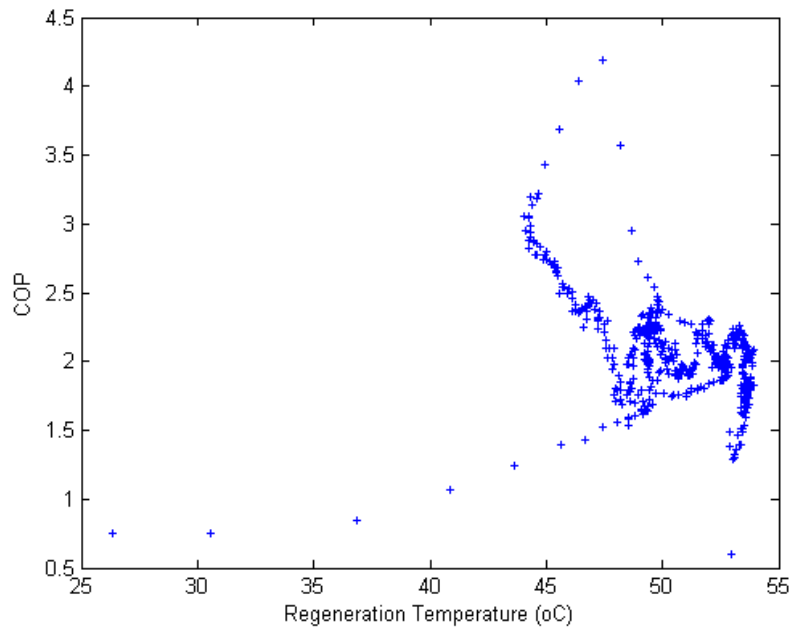
Γράφημα 36: συσχέτιση θερμοκρασίας περιβάλλοντος και θερμοκρασίας κλιματιζόμενου χώρου για τις 14/05/2009



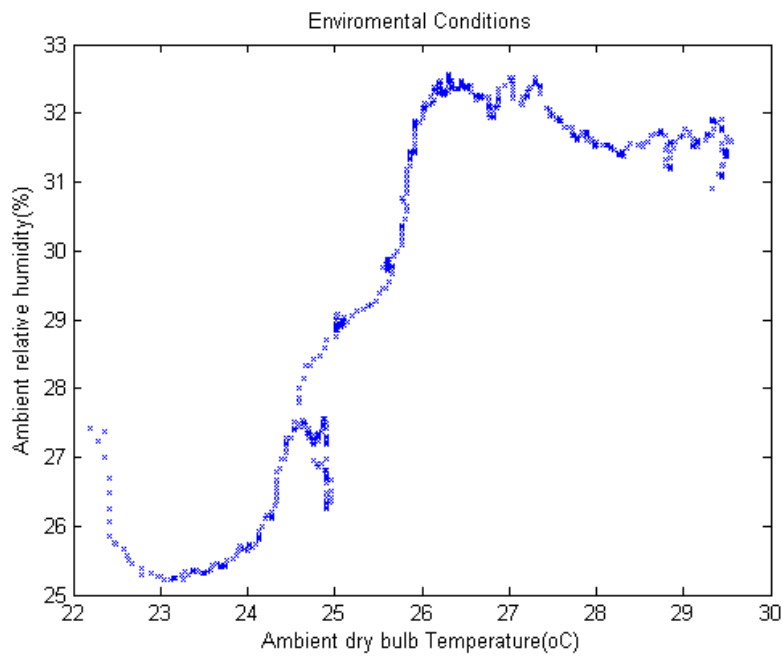
Γράφημα 37:συσχέτιση χρόνου λειτουργίας-COP για τις 15/05/2009



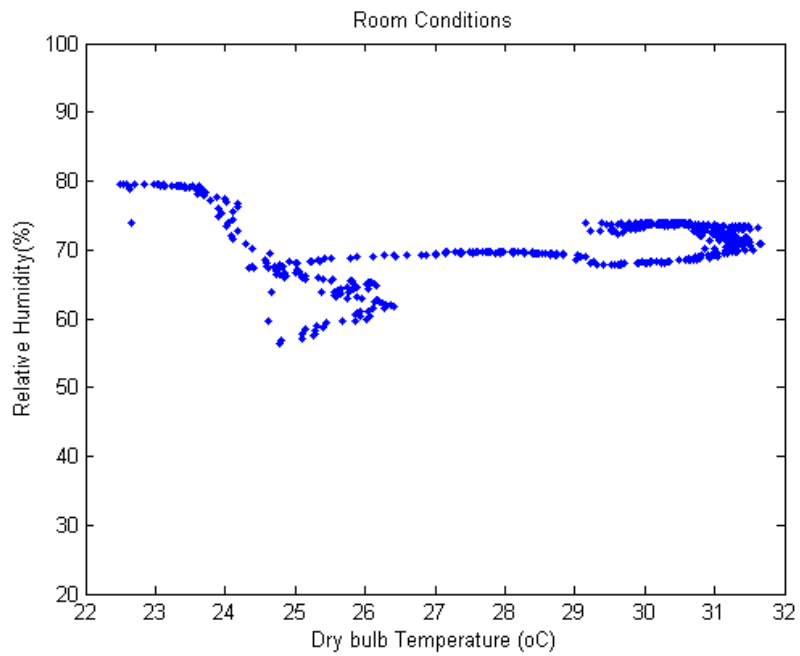
Γράφημα 37:συσχέτιση θερμοκρασίας περιβάλλοντος-COP για τις 15/05/2009



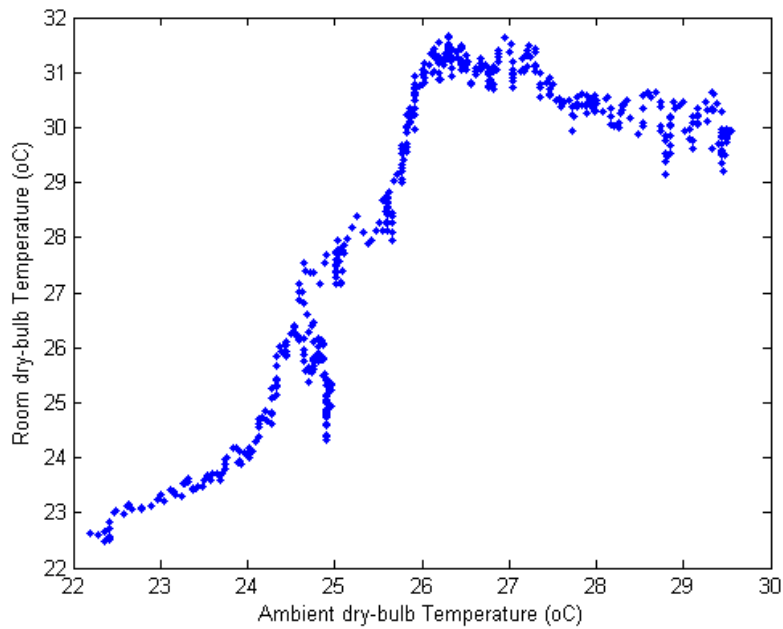
Γράφημα 38:συσχέτιση θερμοκρασίας αναγέννησης αφυγραντικού υλικού- COP για τις 15/05/2009



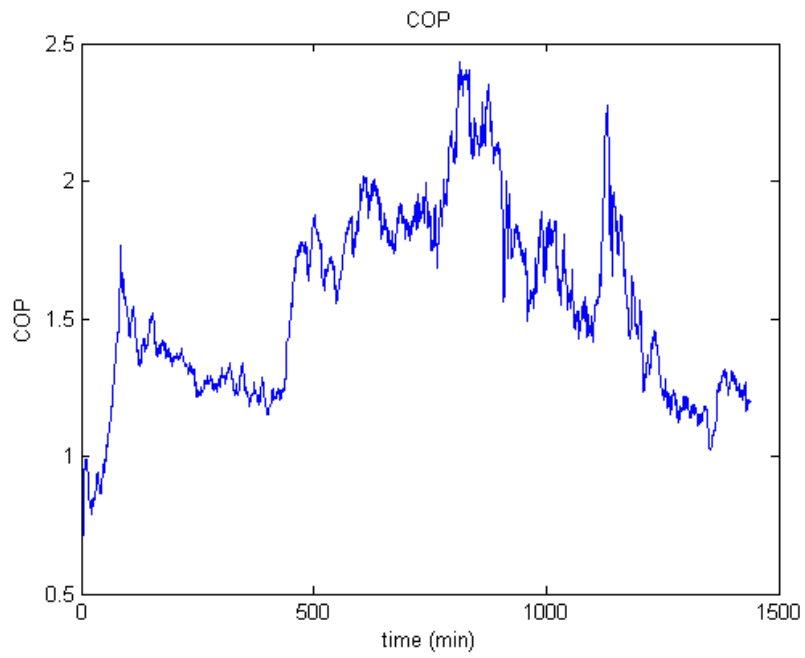
Γράφημα 39:περιβαλλοντικές συνθήκες για τις 15/05/2009



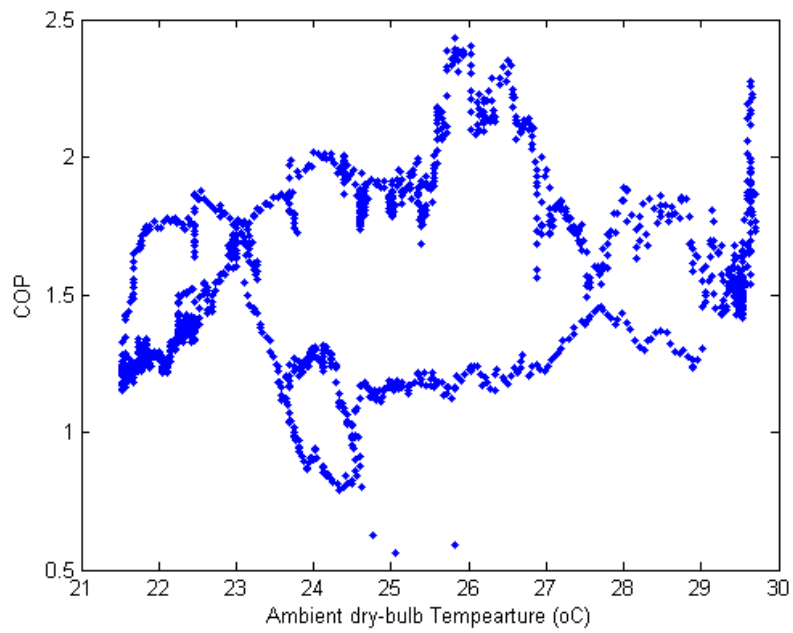
Γράφημα 40: συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας του κλιματιζόμενου χώρου για τις 15/05/2009



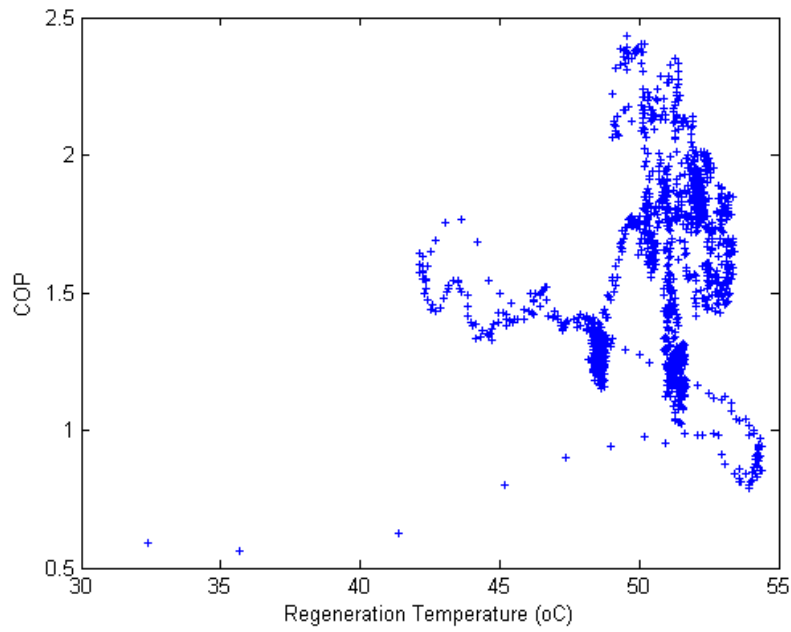
Γράφημα 41: συσχέτιση θερμοκρασίας περιβάλλοντος και θερμοκρασίας κλιματιζόμενου χώρου για τις 15/05/2009



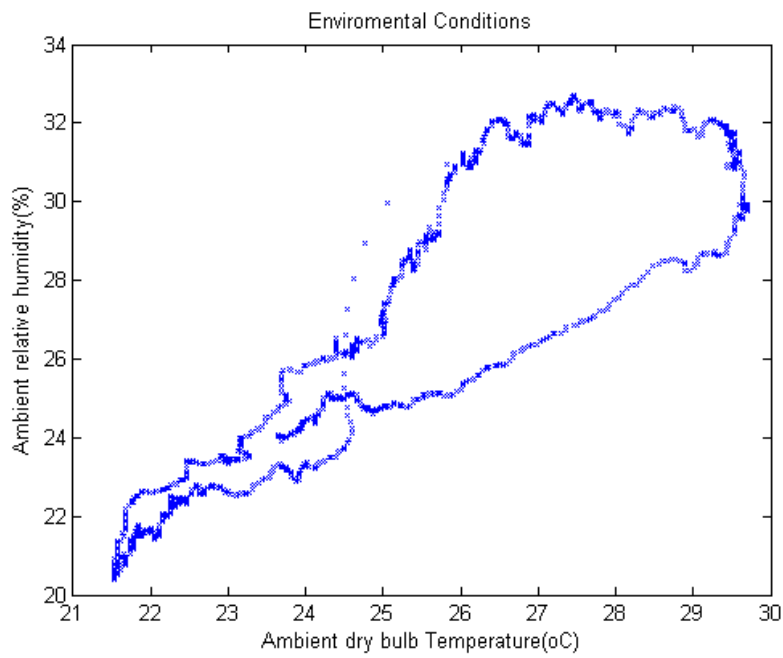
Γράφημα 42:συσχέτιση χρόνου λειτουργίας-COP για τις 16/05/2009



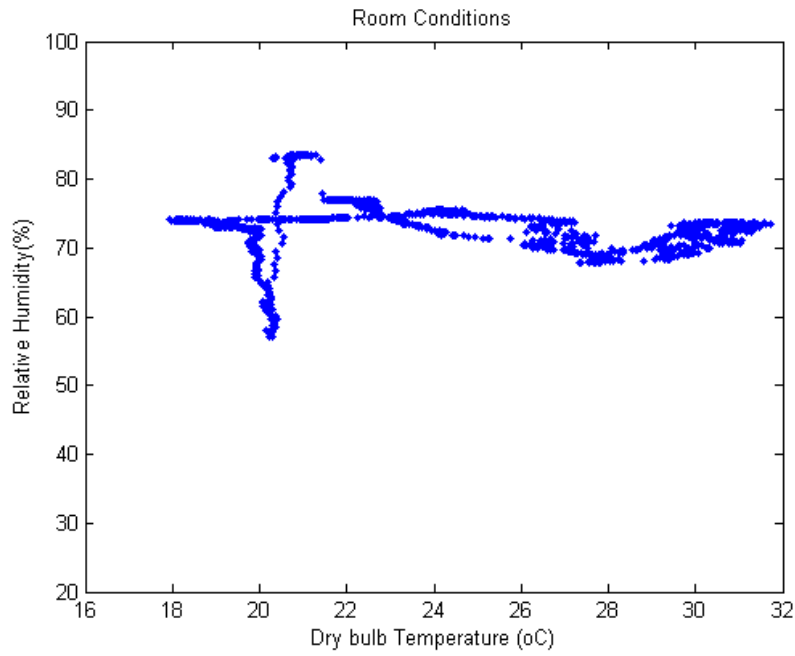
Γράφημα 43:συσχέτιση θερμοκρασίας περιβάλλοντος-COP για τις 16/05/2009



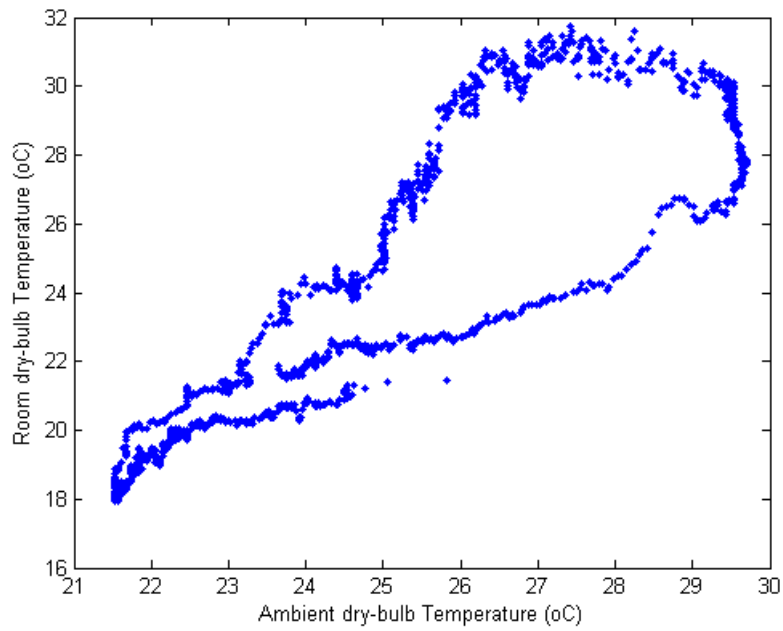
Γράφημα 44:συσχέτιση θερμοκρασίας αναγέννησης αφυγραντικού υλικού- COP για τις 16/05/2009



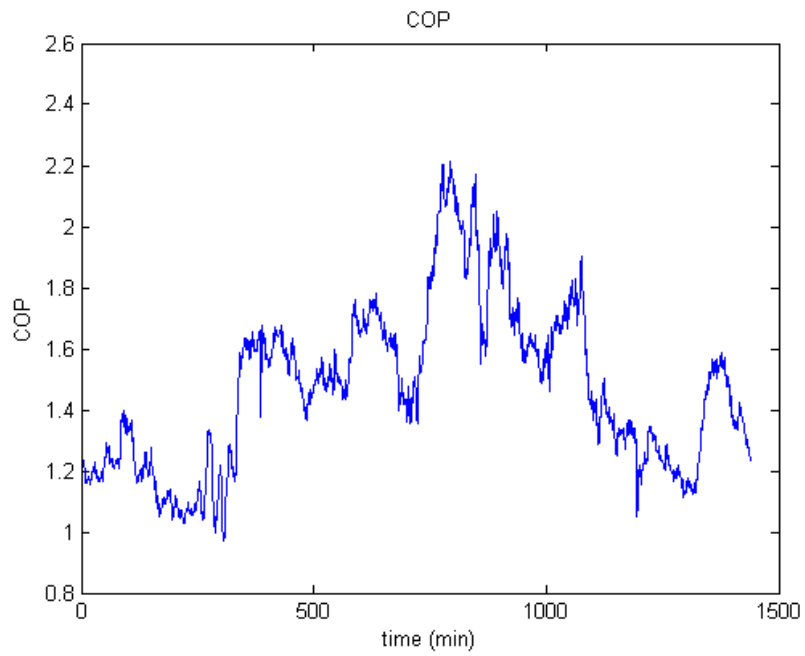
Γράφημα 45:περιβαλλοντικές συνθήκες για τις 16/05/2009



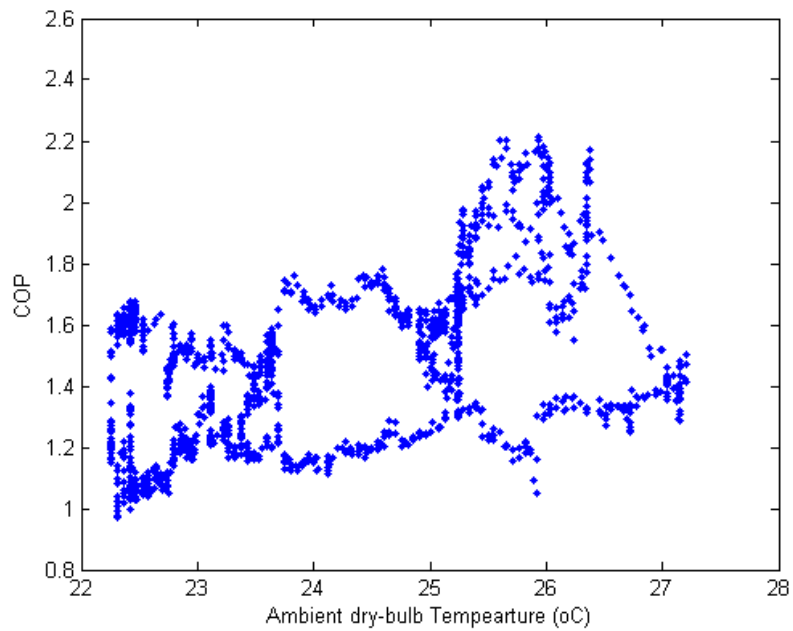
Γράφημα 46: συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας του κλιματιζόμενου χώρου για τις 16/05/2009



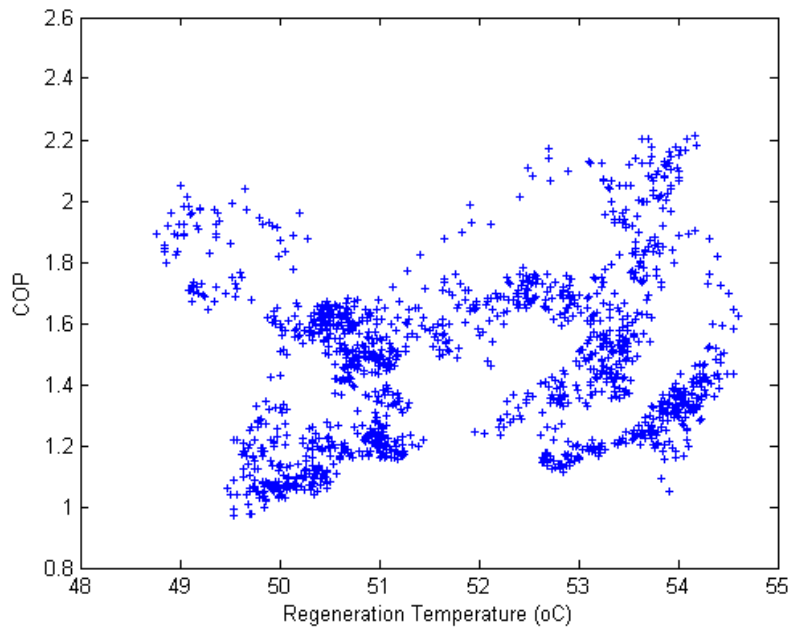
Γράφημα 47: συσχέτιση θερμοκρασίας περιβάλλοντος και θερμοκρασίας κλιματιζόμενου χώρου για τις 16/05/2009



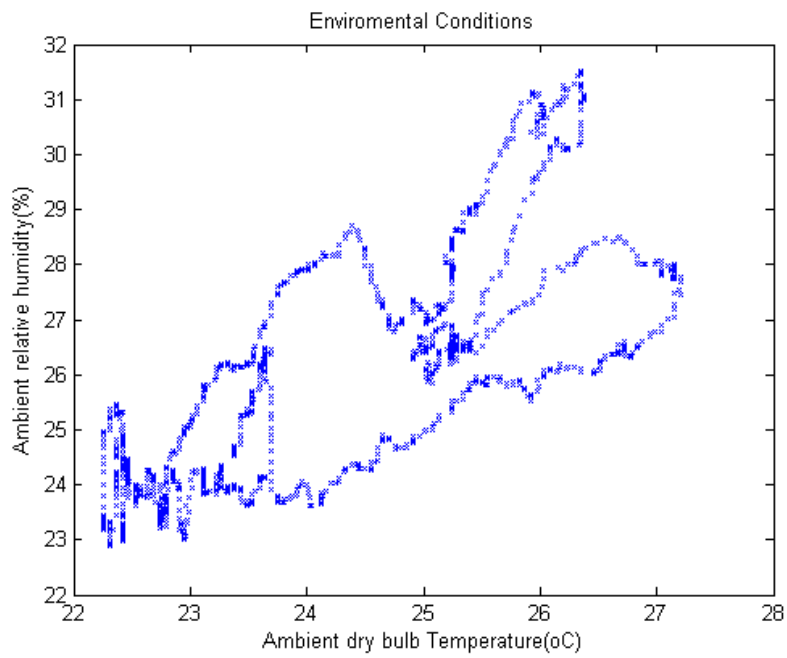
Γράφημα 48:συσχέτιση χρόνου λειτουργίας-COP για τις 17/05/2009



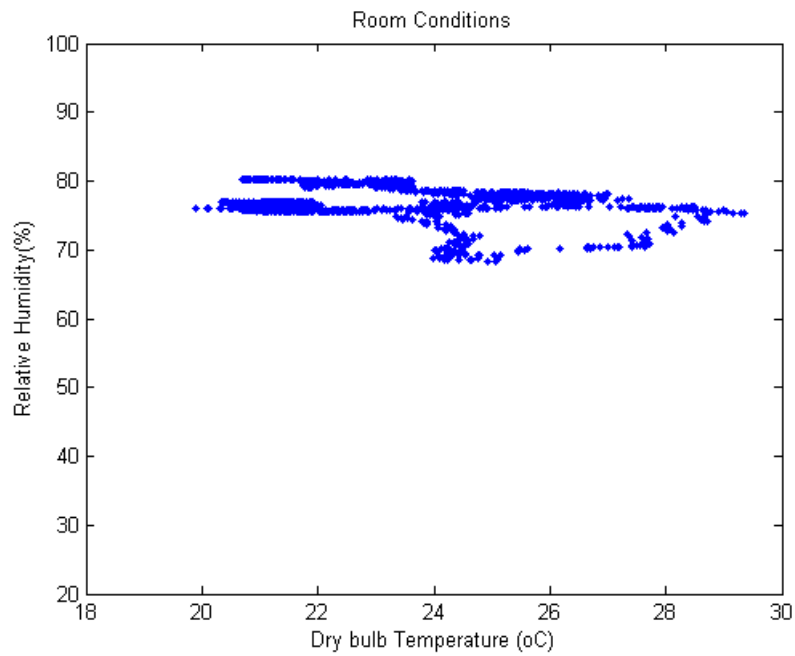
Γράφημα 49:συσχέτιση θερμοκρασίας περιβάλλοντος-COP για τις 17/05/2009



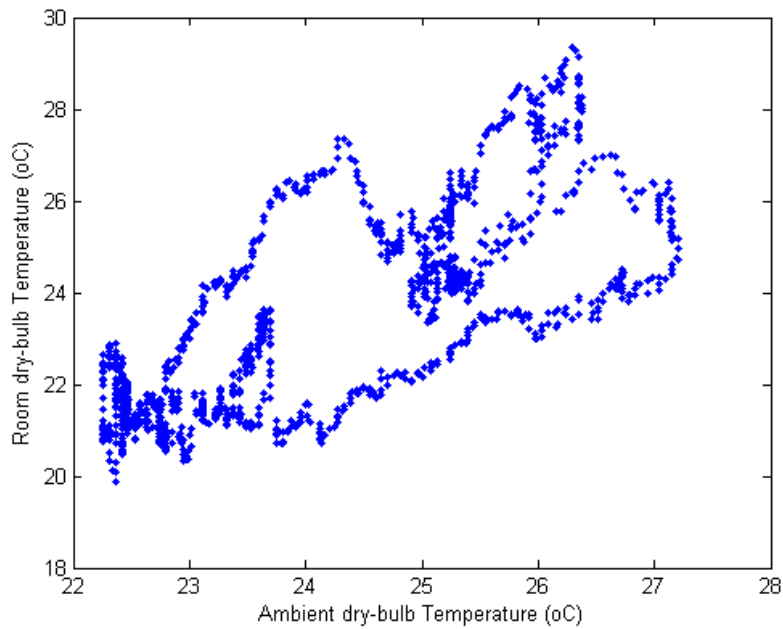
Γράφημα 50:συσχέτιση θερμοκρασίας αναγέννησης αφυγραντικού υλικού- COP για τις 17/05/2009



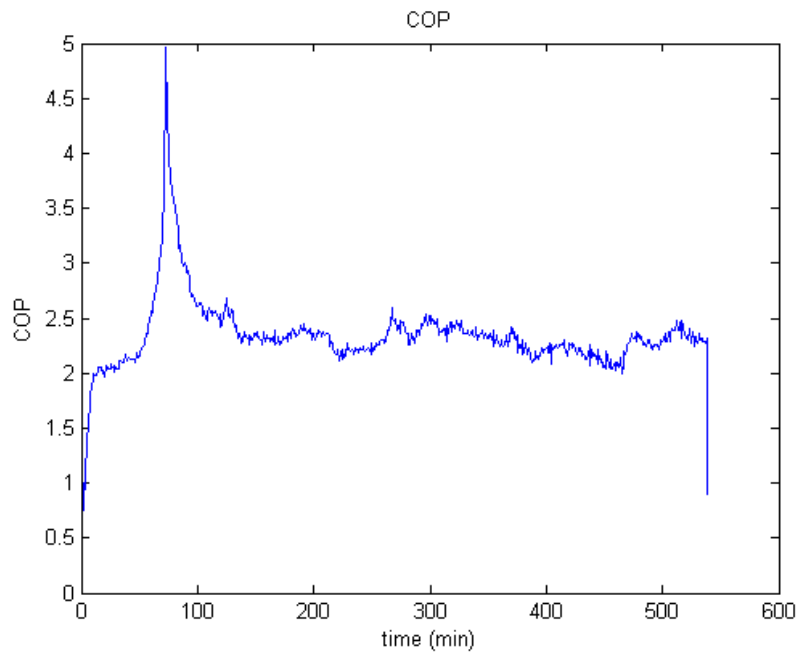
Γράφημα 51:περιβαλλοντικές συνθήκες για τις 17/05/2009



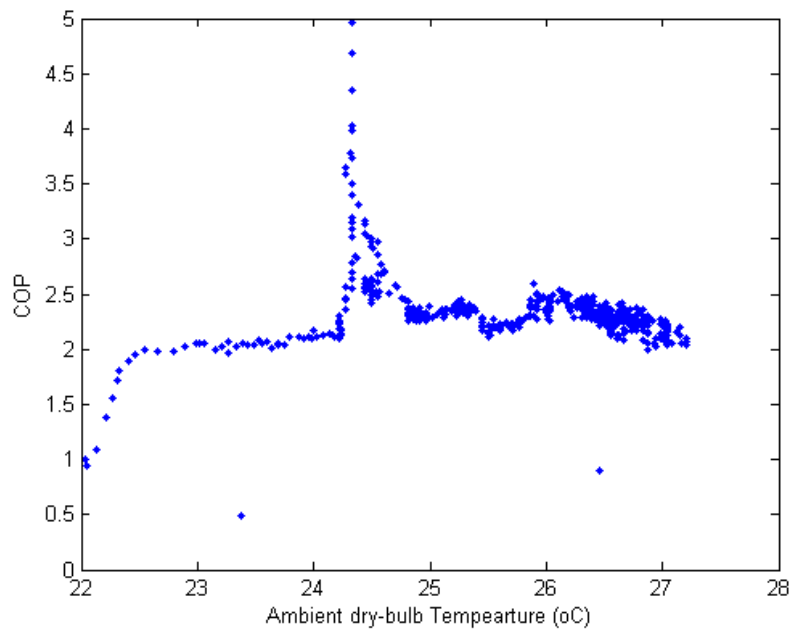
Γράφημα 51: συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας του κλιματιζόμενου χώρου για τις 17/05/2009



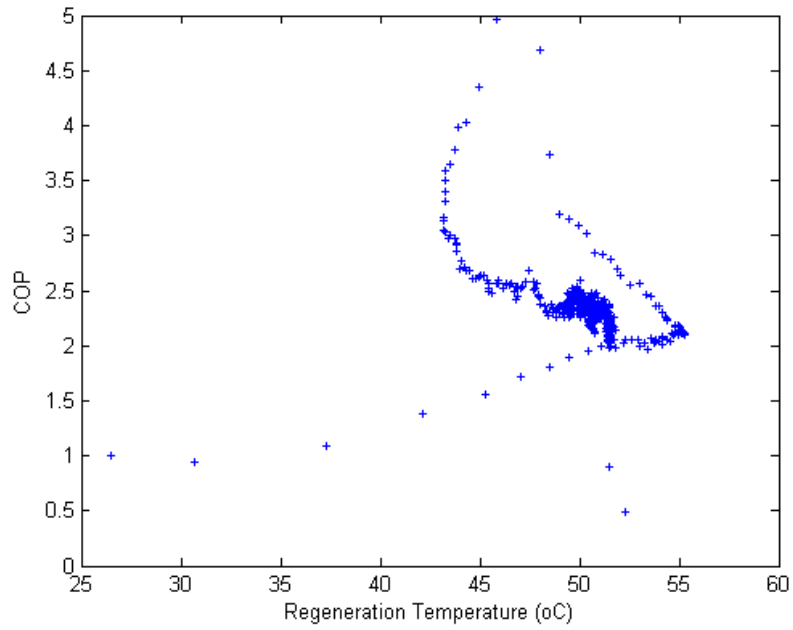
Γράφημα 52: συσχέτιση θερμοκρασίας περιβάλλοντος και θερμοκρασίας κλιματιζόμενου χώρου για τις 17/05/2009



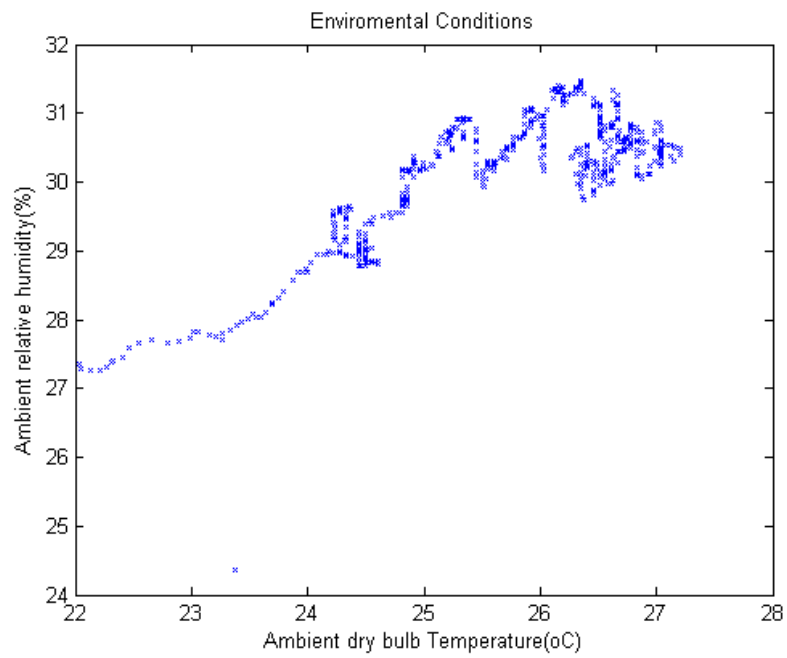
Γράφημα 52:συσχέτιση χρόνου λειτουργίας-COP για τις 18/05/2009



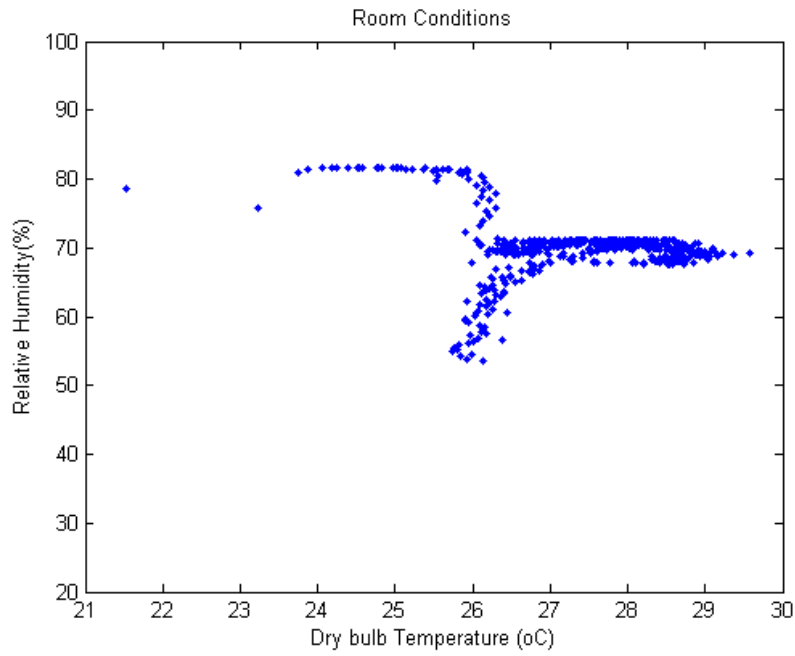
Γράφημα 53:συσχέτιση θερμοκρασίας περιβάλλοντος-COP για τις 18/05/2009



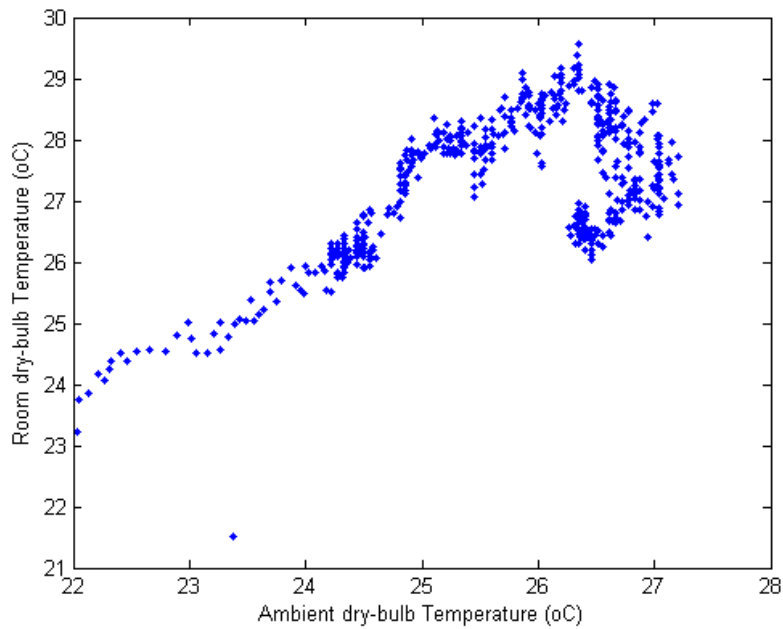
Γράφημα 54:συσχέτιση θερμοκρασίας αναγέννησης αφυγραντικού υλικού- COP για τις 18/05/2009



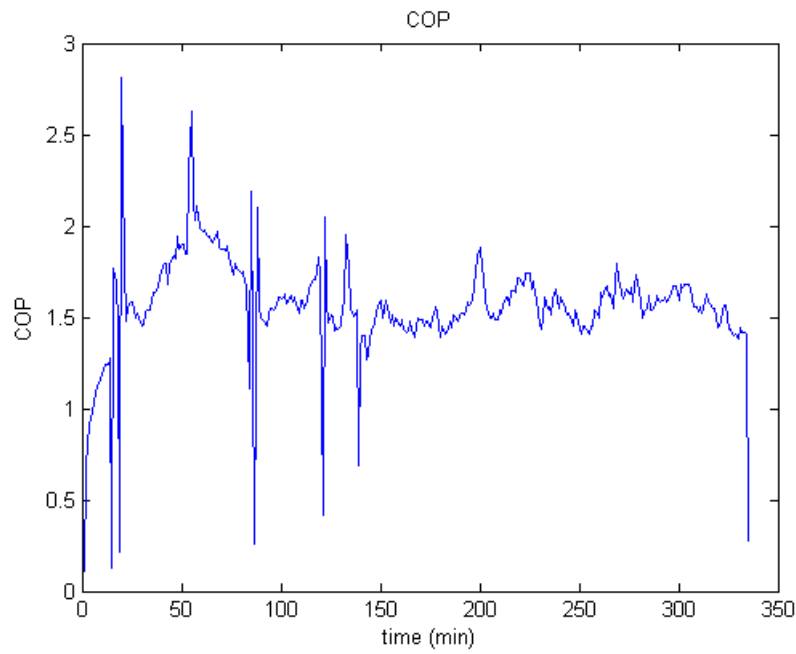
Γράφημα 55:περιβαλλοντικές συνθήκες για τις 18/05/2009



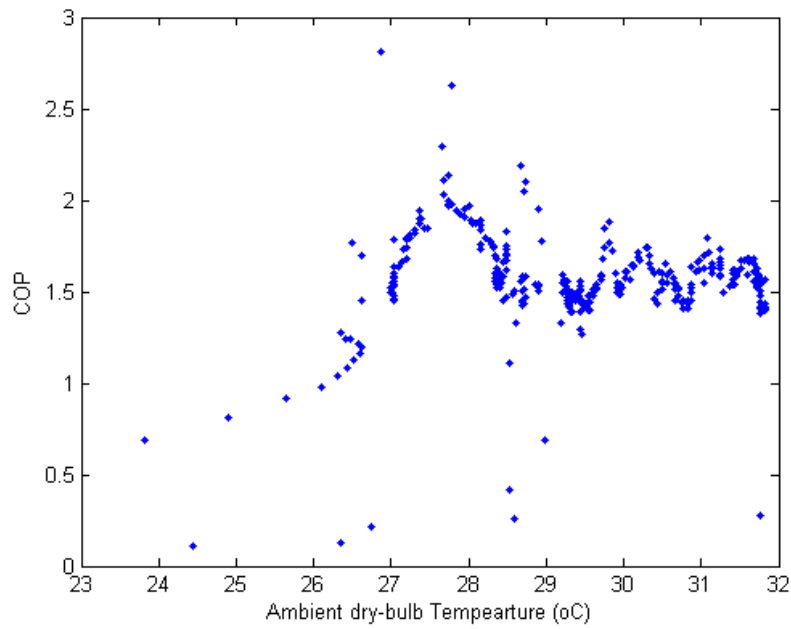
Γράφημα 56: συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας του κλιματιζόμενου χώρου για τις 18/05/2009



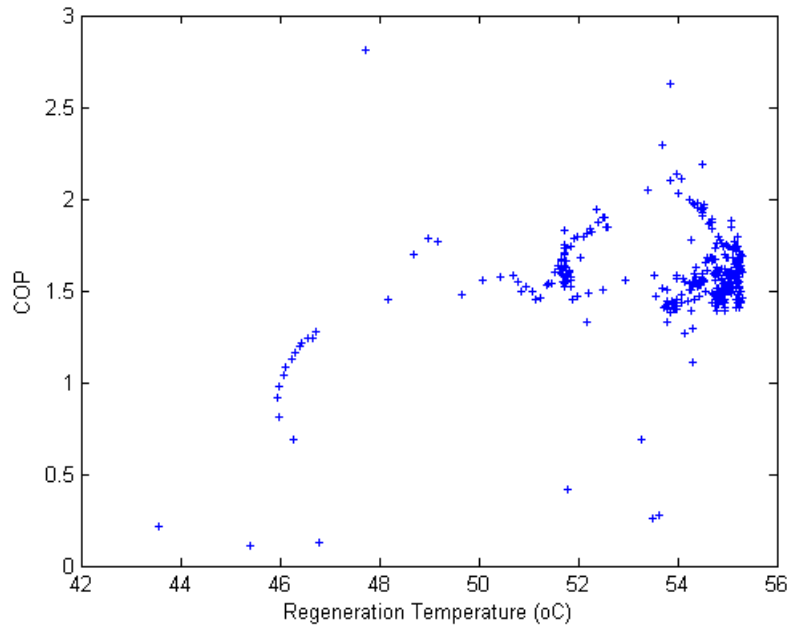
Γράφημα 57: συσχέτιση θερμοκρασίας περιβάλλοντος και θερμοκρασίας κλιματιζόμενου χώρου για τις 18/05/2009



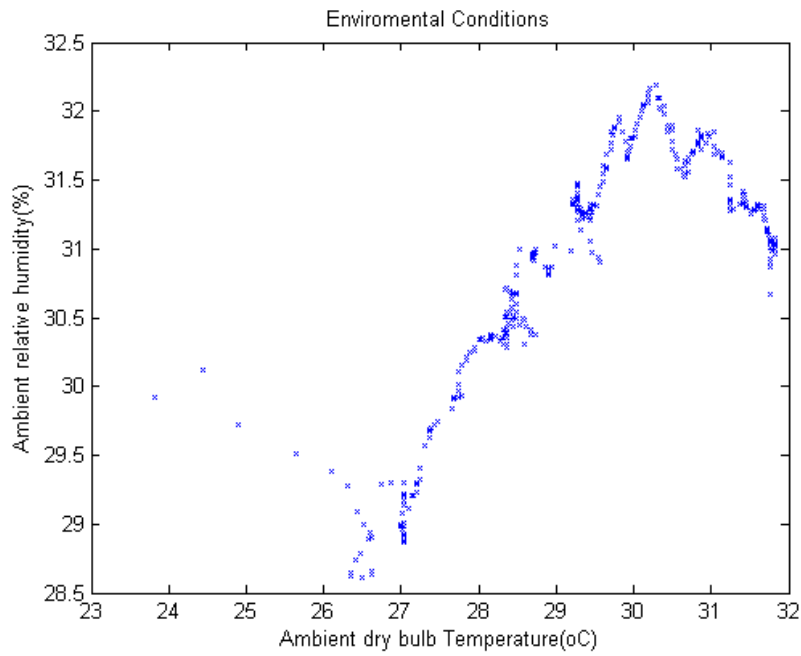
Γράφημα 58:συσχέτιση χρόνου λειτουργίας-COP για τις 03/06/2009



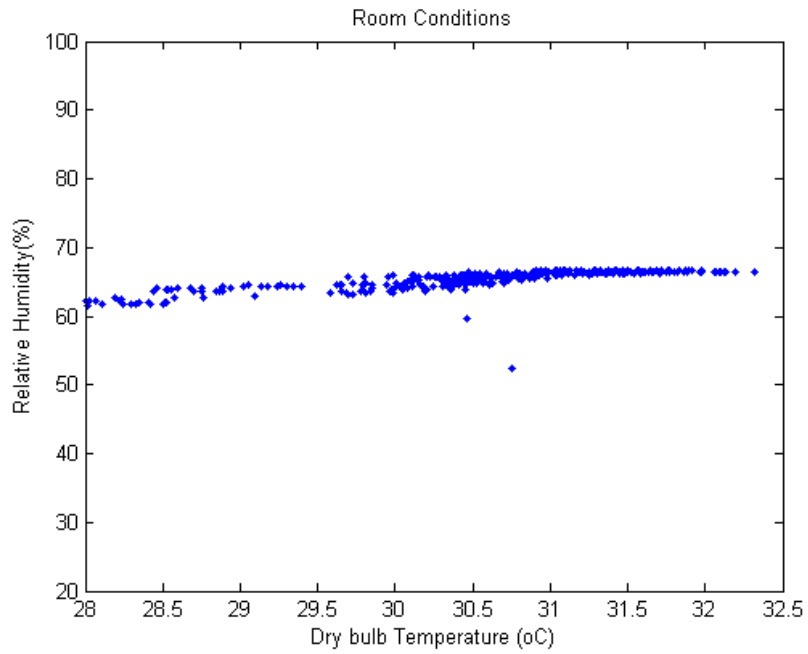
Γράφημα 59:συσχέτιση θερμοκρασίας περιβάλλοντος-COP για τις 03/06/2009



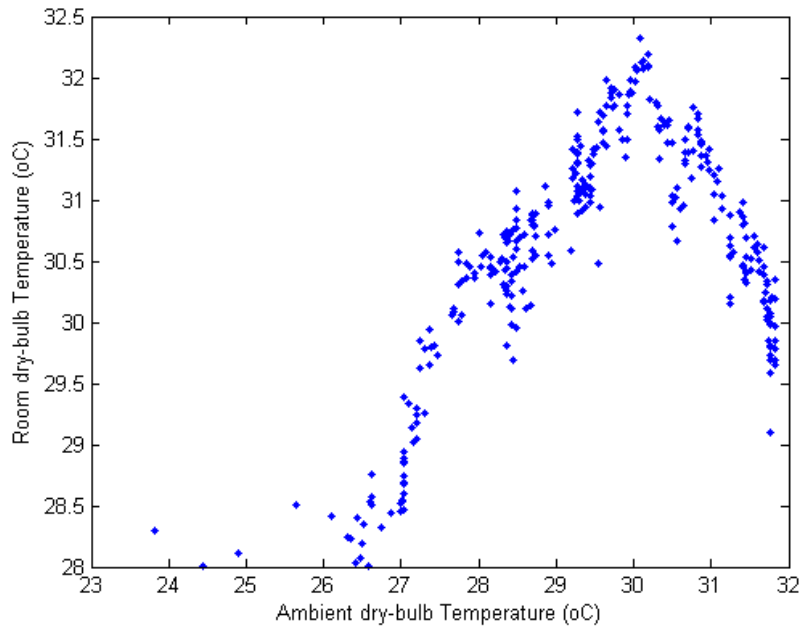
Γράφημα 60: συσχέτιση θερμοκρασίας αναγέννησης αφυγραντικού υλικού- COP για τις 03/06/2009



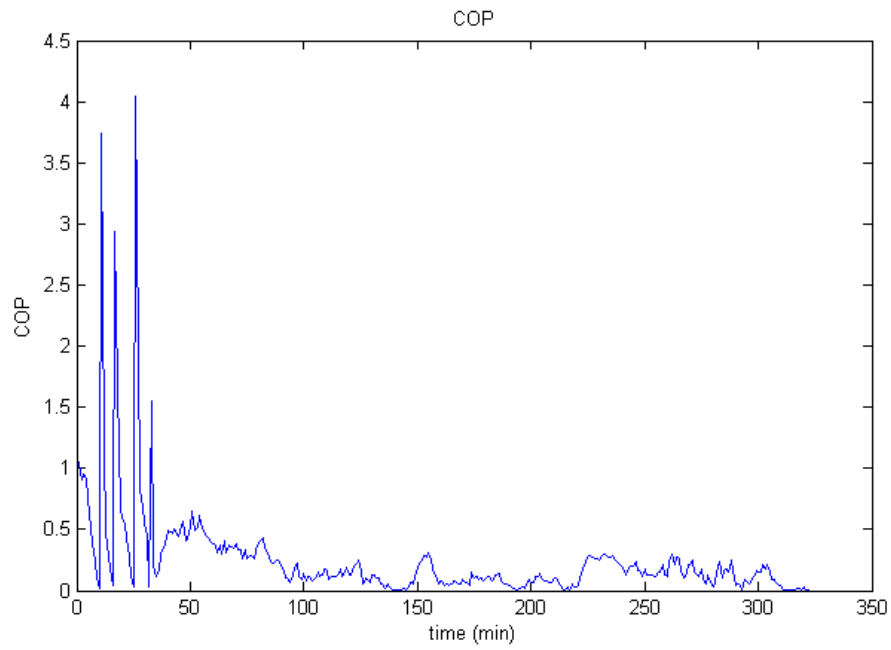
Γράφημα 61: περιβαλλοντικές συνθήκες για τις 03/06/2009



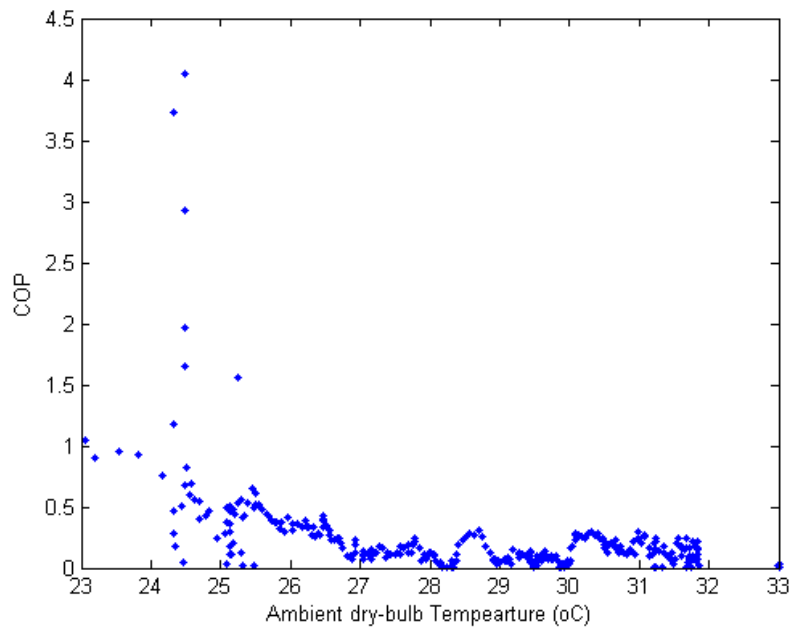
Γράφημα 62: συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας του κλιματιζόμενου χώρου για τις 03/06/2009



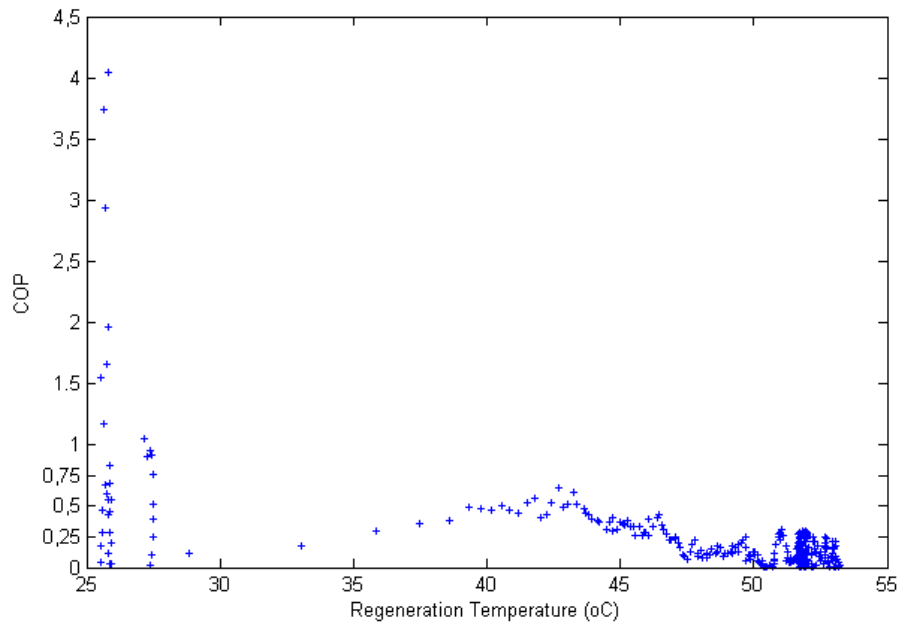
Γράφημα 63: συσχέτιση θερμοκρασίας περιβάλλοντος και θερμοκρασίας κλιματιζόμενου χώρου για τις 03/06/2009



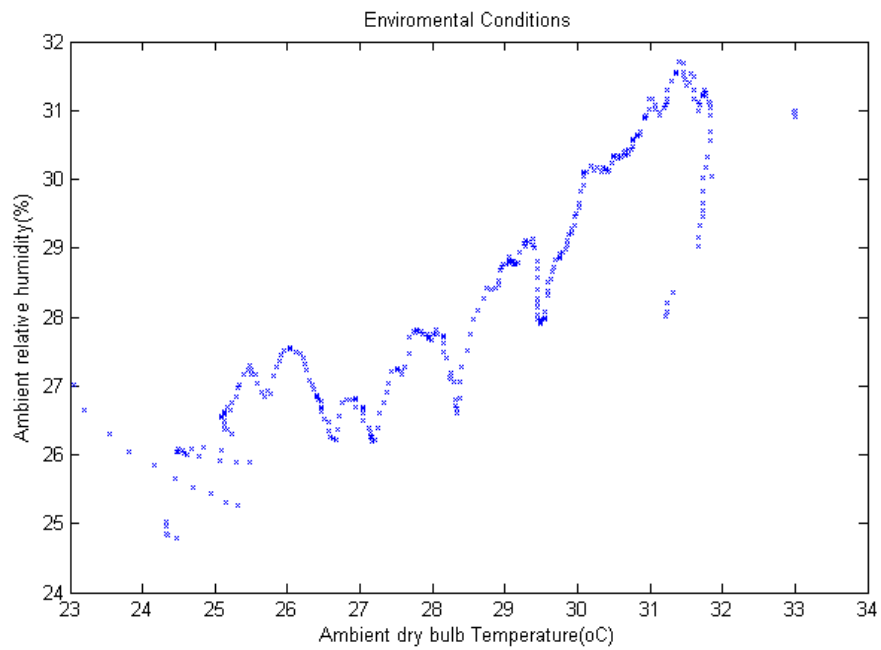
Γράφημα 64:συσχέτιση χρόνου λειτουργίας-COP για τις 04/06/2009



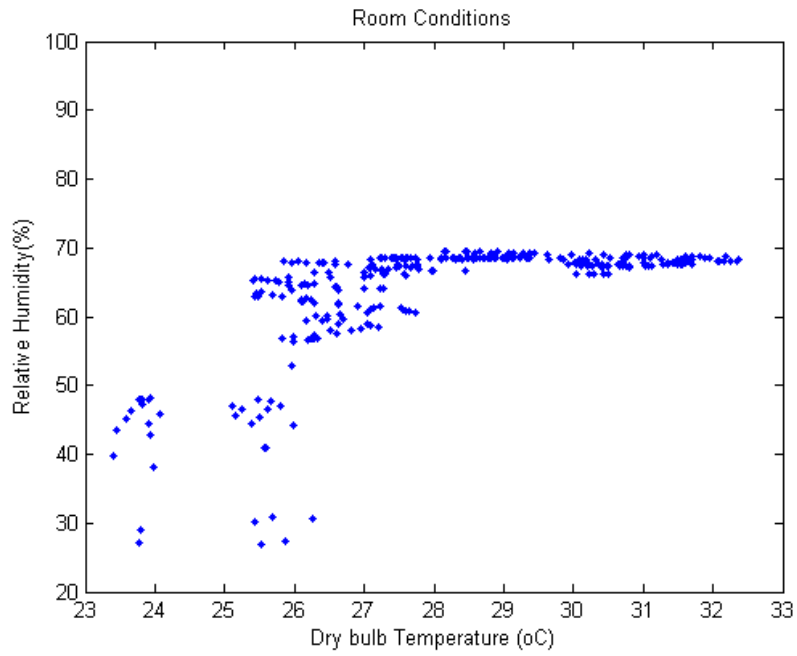
Γράφημα 65:συσχέτιση θερμοκρασίας περιβάλλοντος-COP για τις 04/06/2009



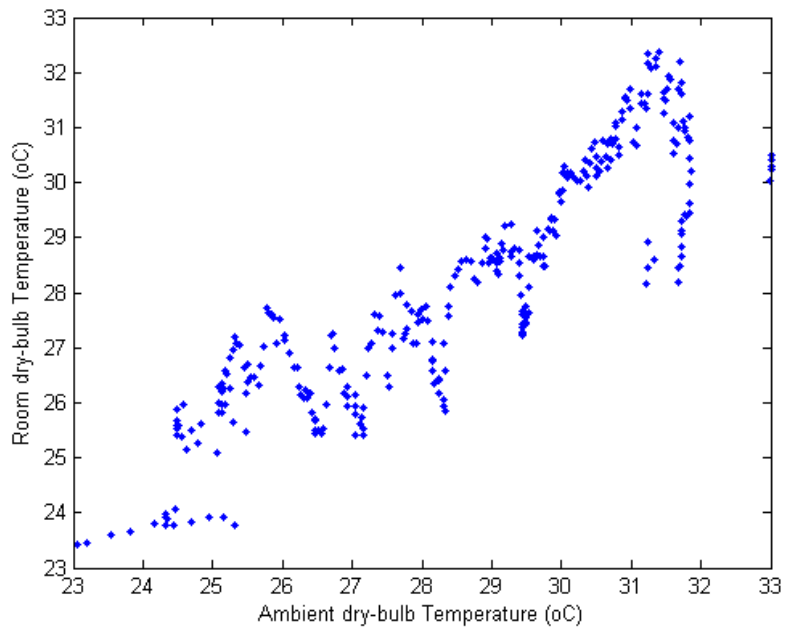
Γράφημα 66: συσχέτιση θερμοκρασίας αναγέννησης αφυγραντικού υλικού- COP για τις 04/06/2009



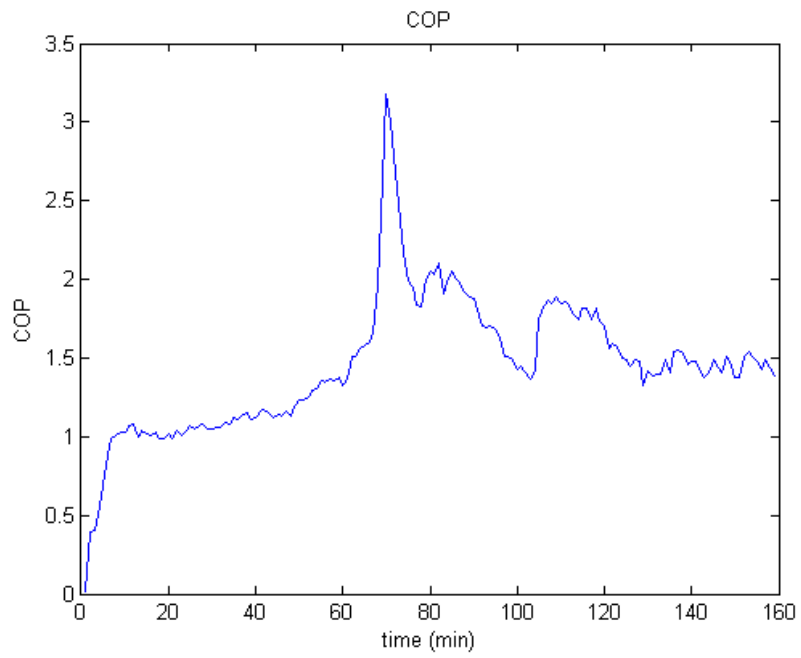
Γράφημα 67: περιβαλλοντικές συνθήκες για τις 04/06/2009



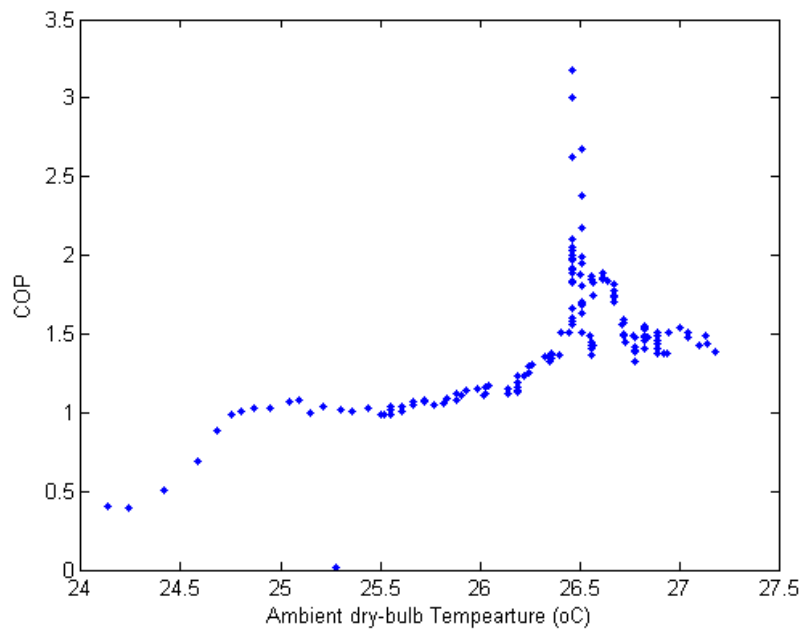
Γράφημα 68: συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας του κλιματιζόμενου χώρου για τις 04/06/2009



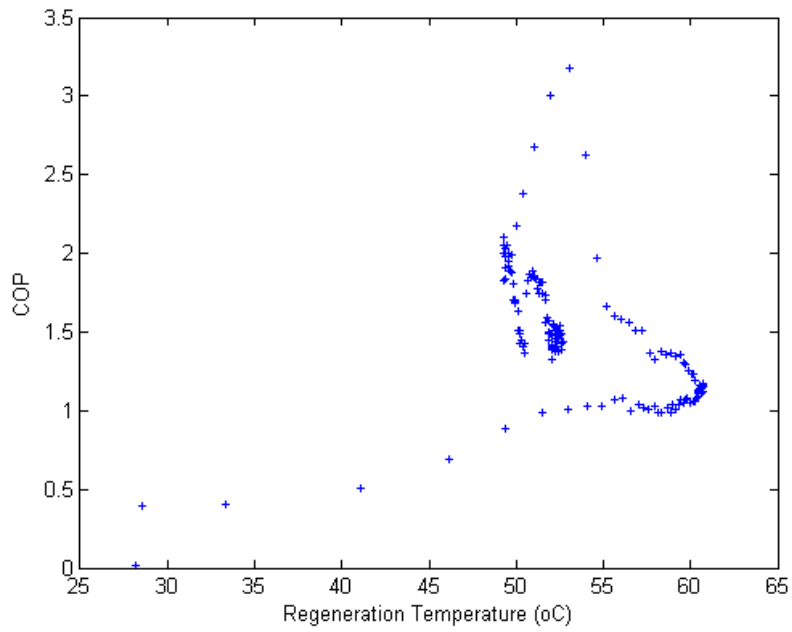
Γράφημα 69: συσχέτιση θερμοκρασίας περιβάλλοντος και θερμοκρασίας κλιματιζόμενου χώρου για τις 04/06/2009



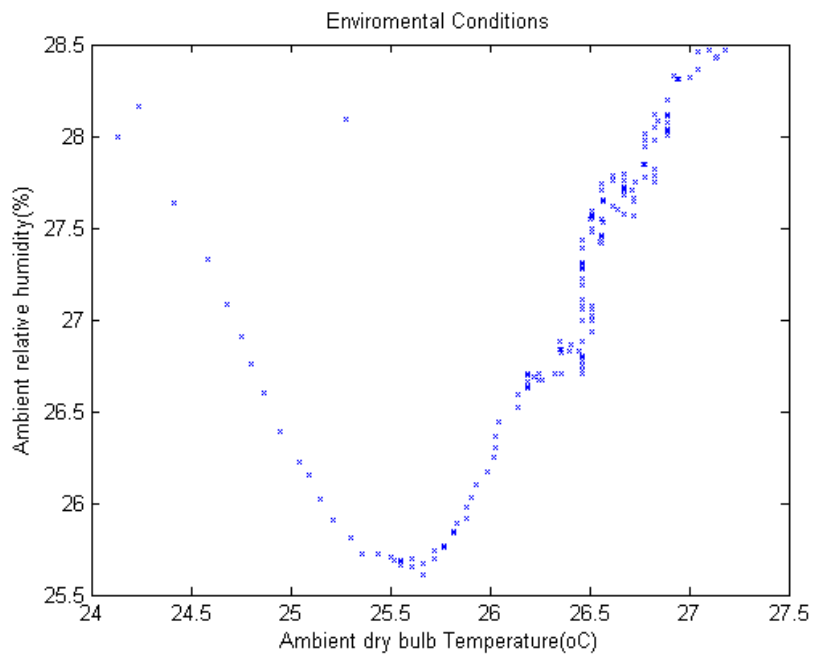
Γράφημα 70:συσχέτιση χρόνου λειτουργίας-COP για τις 05/06/2009



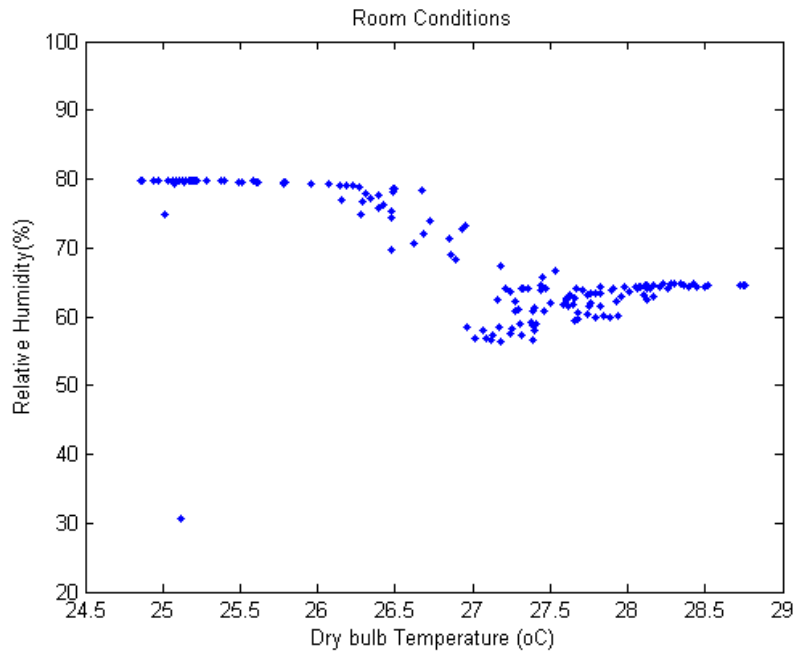
Γράφημα 71:συσχέτιση θερμοκρασίας περιβάλλοντος-COP για τις 05/06/2009



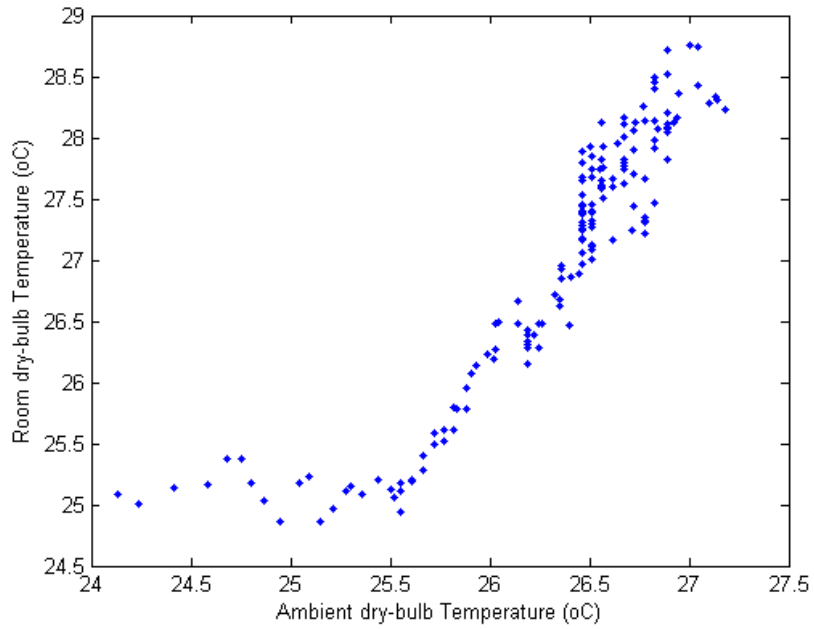
Γράφημα 72: συσχέτιση θερμοκρασίας αναγέννησης αφυγραντικού υλικού- COP για τις 05/06/2009



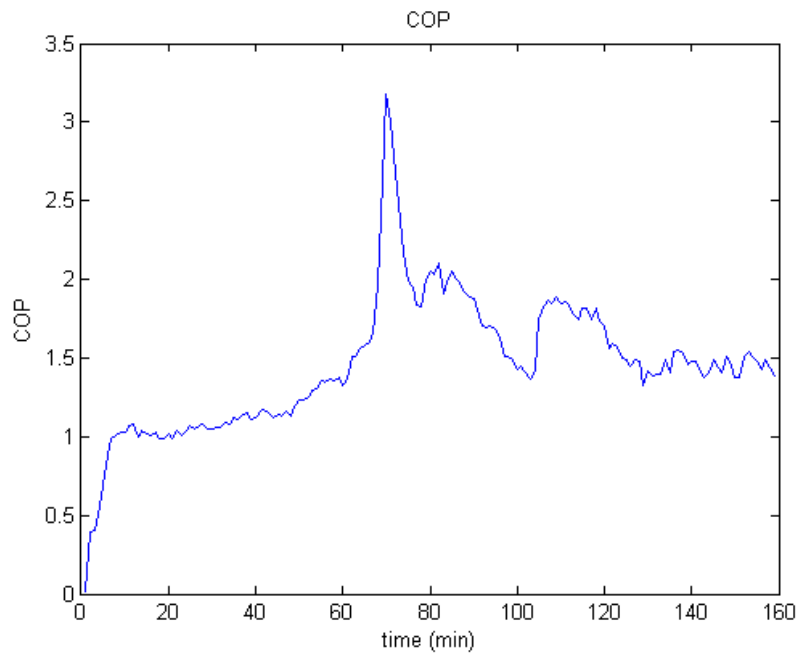
Γράφημα 73: περιβαλλοντικές συνθήκες για τις 05/06/2009



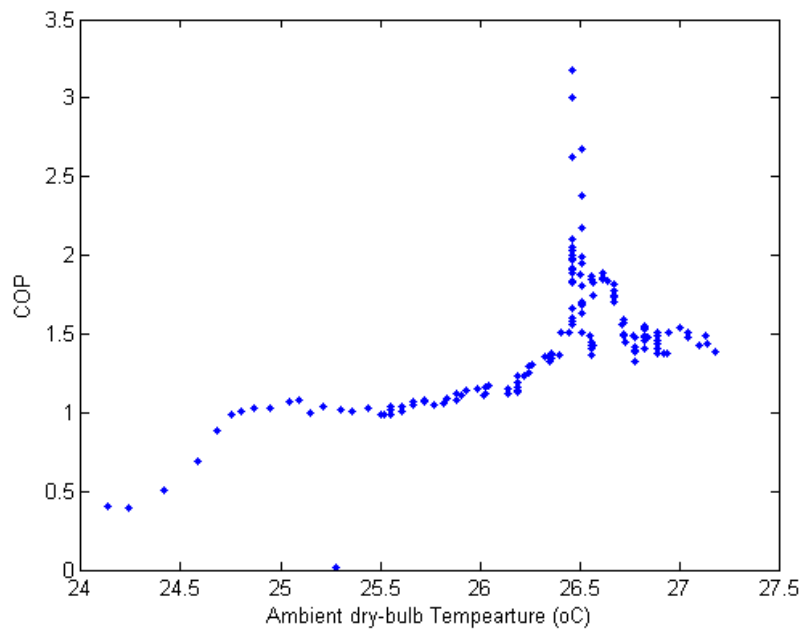
Γράφημα 74: συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας του κλιματιζόμενου χώρου για τις 05/06/2009



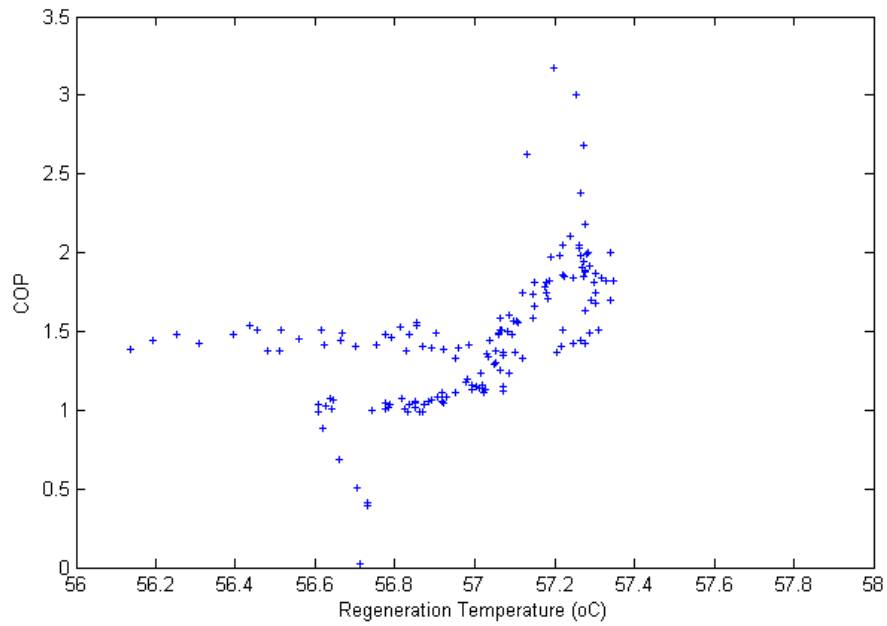
Γράφημα 75: συσχέτιση θερμοκρασίας περιβάλλοντος και θερμοκρασίας κλιματιζόμενου χώρου για τις 05/06/2009



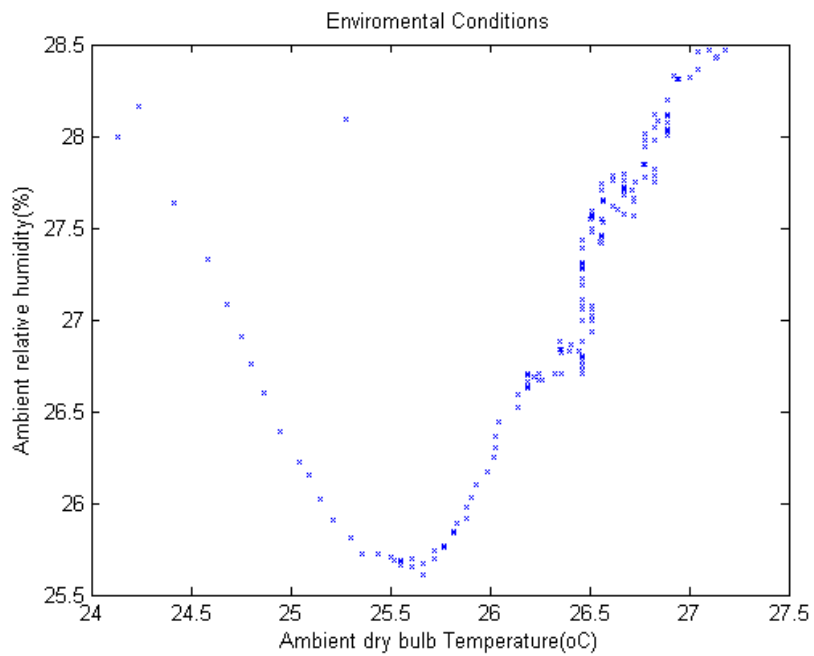
Γράφημα 76: συσχέτιση χρόνου λειτουργίας-COP για τις 06/06/2009



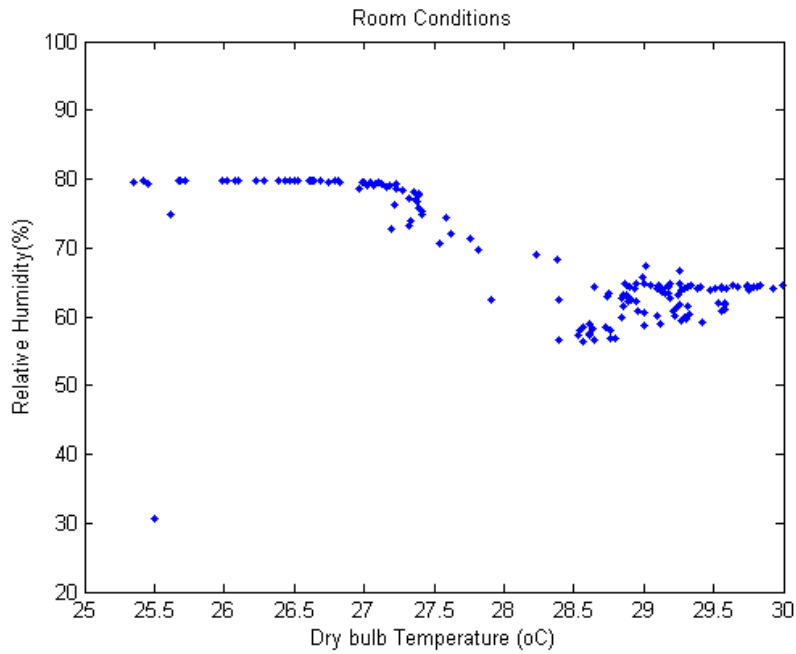
Γράφημα 77: συσχέτιση θερμοκρασίας περιβάλλοντος-COP για τις 06/06/2009



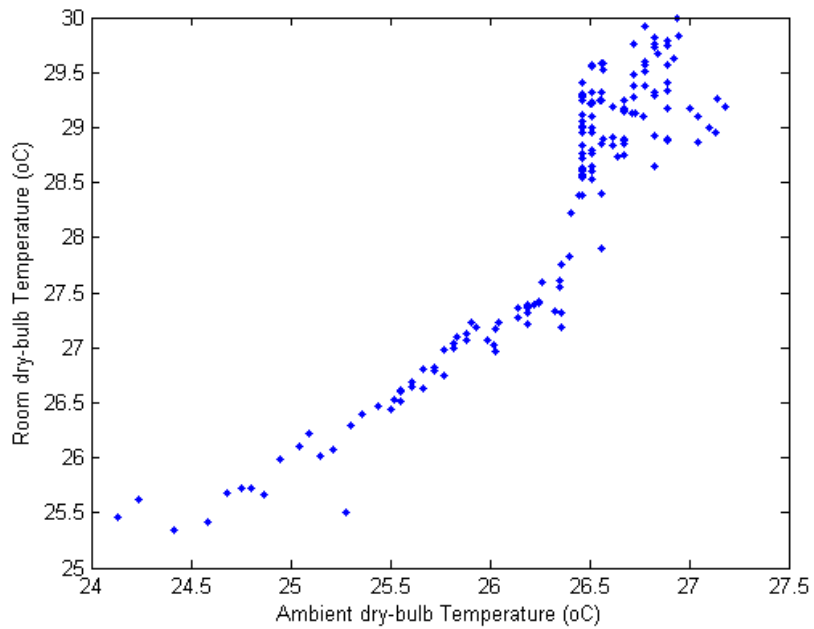
Γράφημα 78: συσχέτιση θερμοκρασίας αναγέννησης αφυγραντικού υλικού- COP για τις 06/06/2009



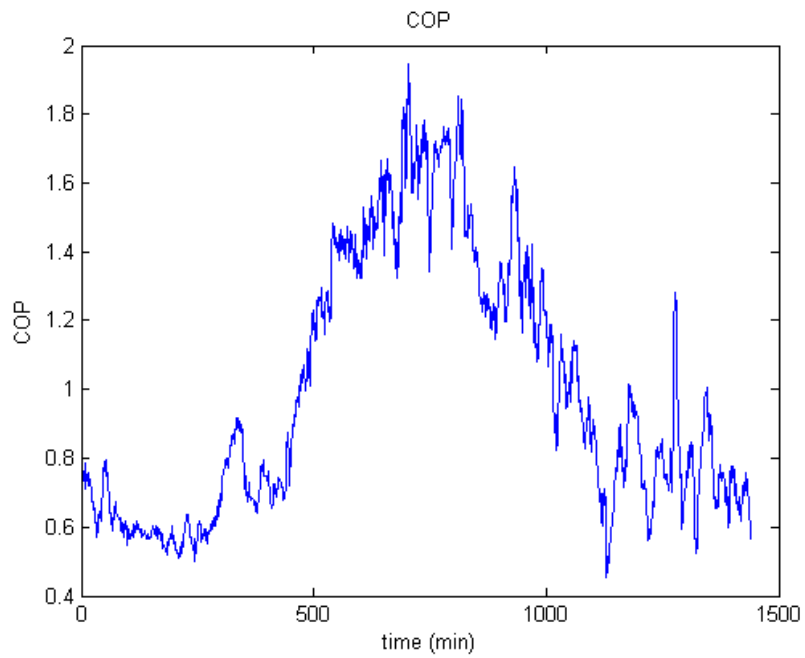
Γράφημα 79: περιβαλλοντικές συνθήκες για τις 06/06/2009



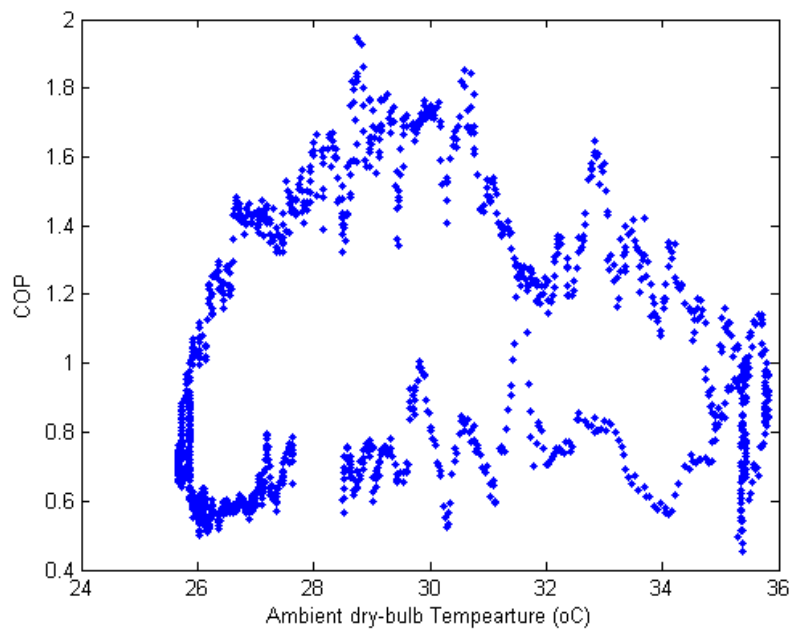
Γράφημα 80: συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας του κλιματιζόμενου χώρου για τις 06/06/2009



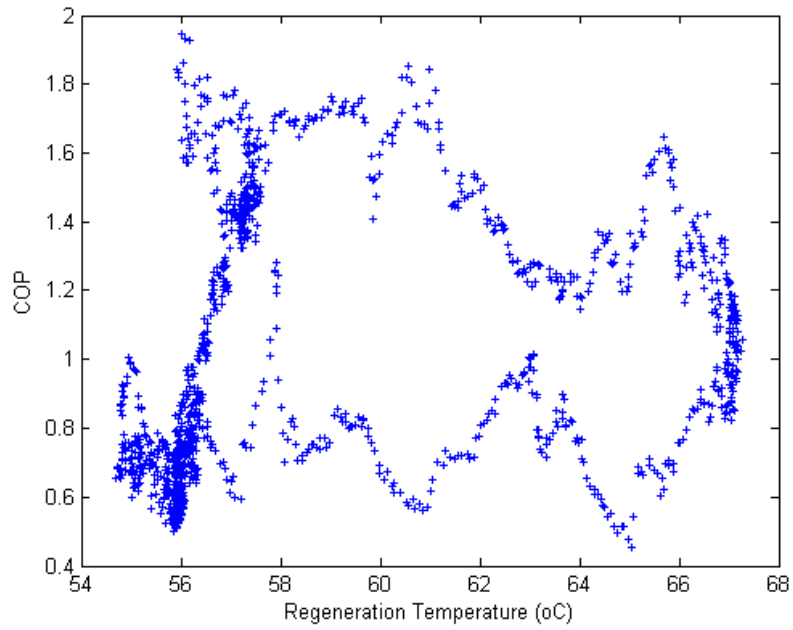
Γράφημα 81: συσχέτιση θερμοκρασίας περιβάλλοντος και θερμοκρασίας κλιματιζόμενου χώρου για τις 06/06/2009



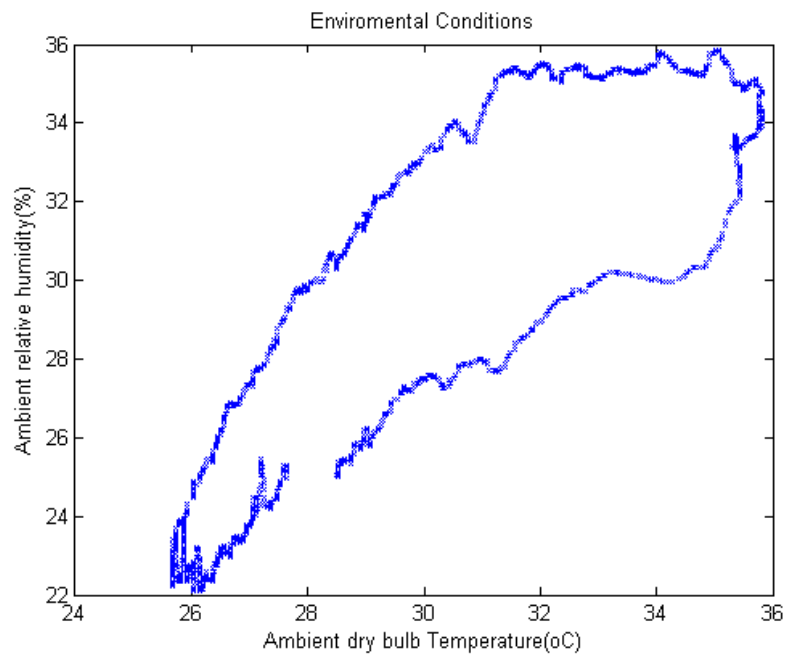
Γράφημα 82:συσχέτιση χρόνου λειτουργίας-COP για τις 07/06/2009



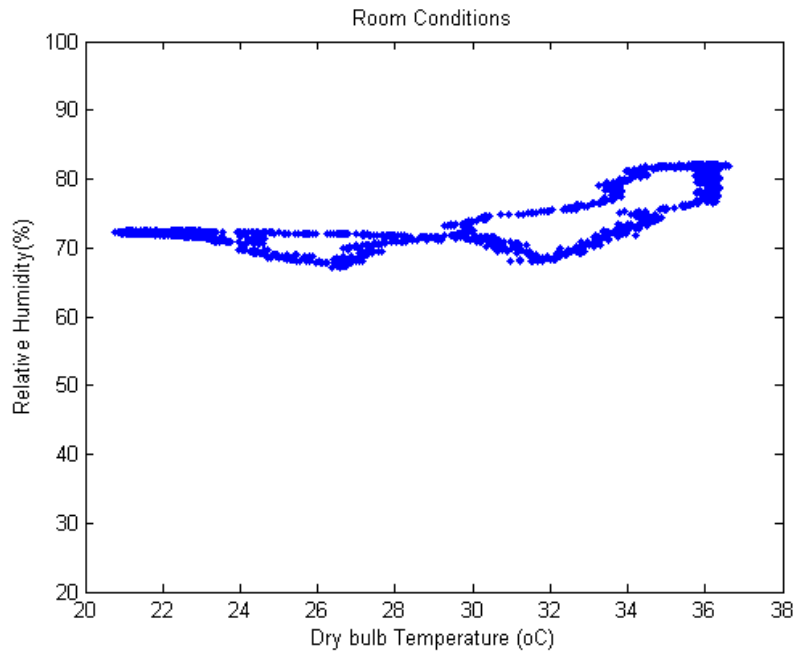
Γράφημα 83:συσχέτιση θερμοκρασίας περιβάλλοντος-COP για τις 07/06/2009



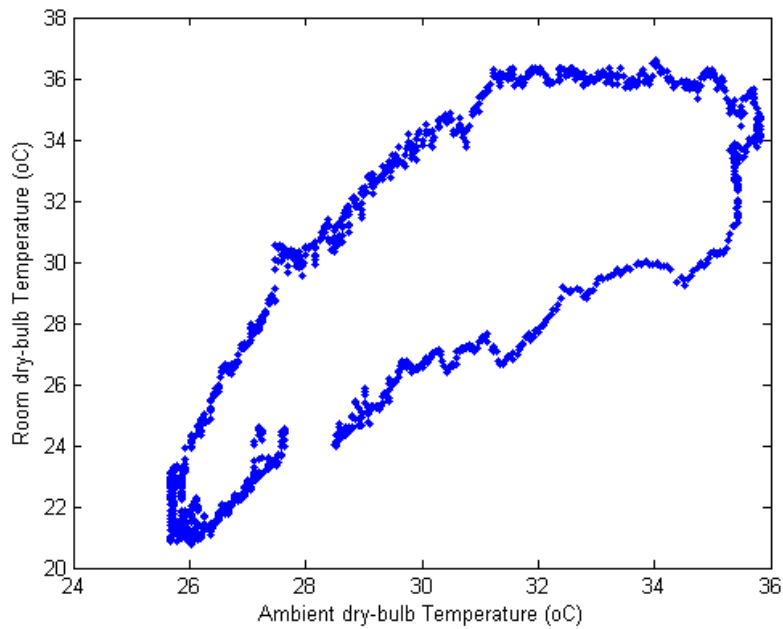
Γράφημα 84:συσχέτιση θερμοκρασίας αναγέννησης αφυγραντικού υλικού- COP για τις 07/06/2009



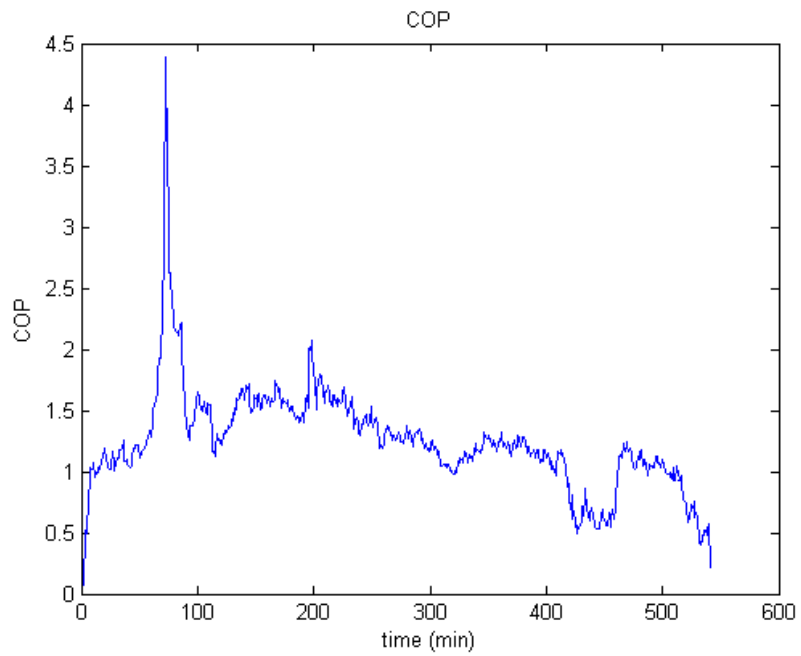
Γράφημα 85:περιβαλλοντικές συνθήκες για τις 07/06/2009



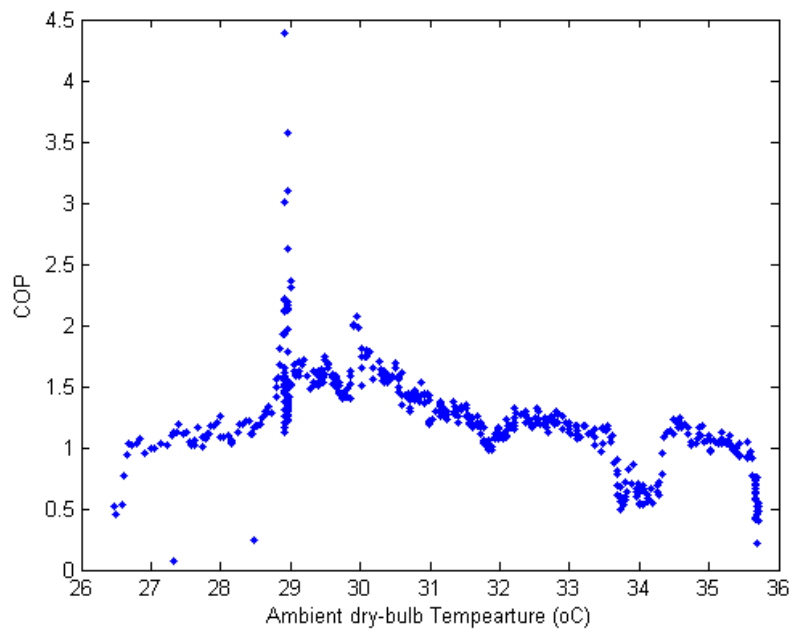
Γράφημα 86: συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας του κλιματιζόμενου χώρου για τις 07/06/2009



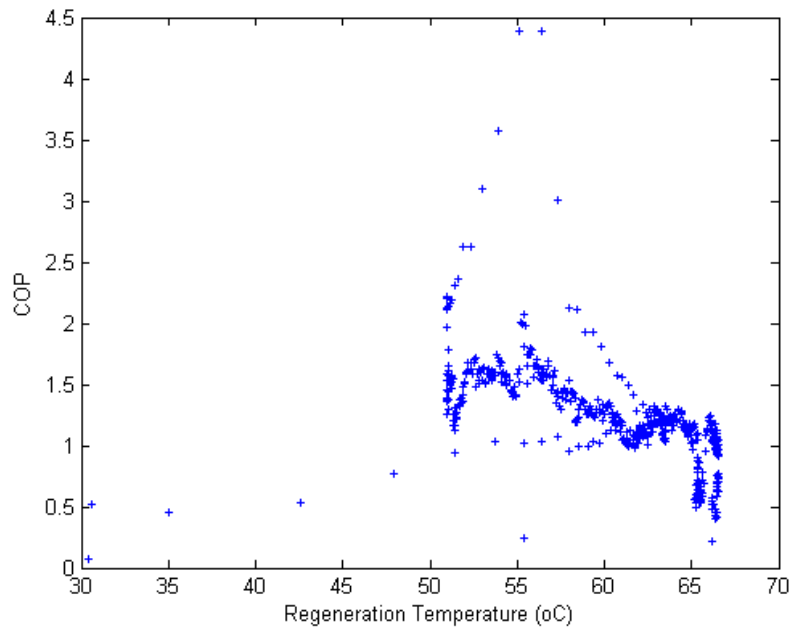
Γράφημα 87: συσχέτιση θερμοκρασίας περιβάλλοντος και θερμοκρασίας κλιματιζόμενου χώρου για τις 07/06/2009



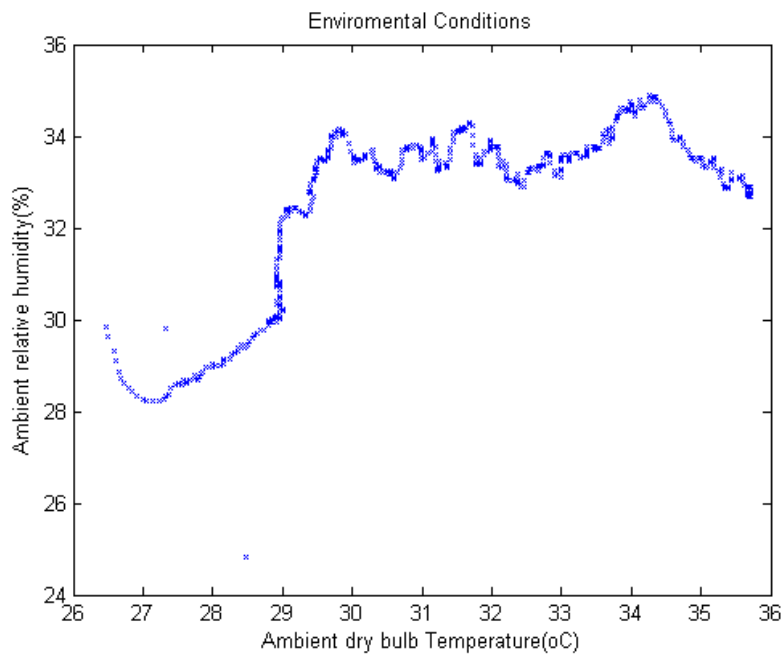
Γράφημα 88:συσχέτιση χρόνου λειτουργίας-COP για τις 08/06/2009



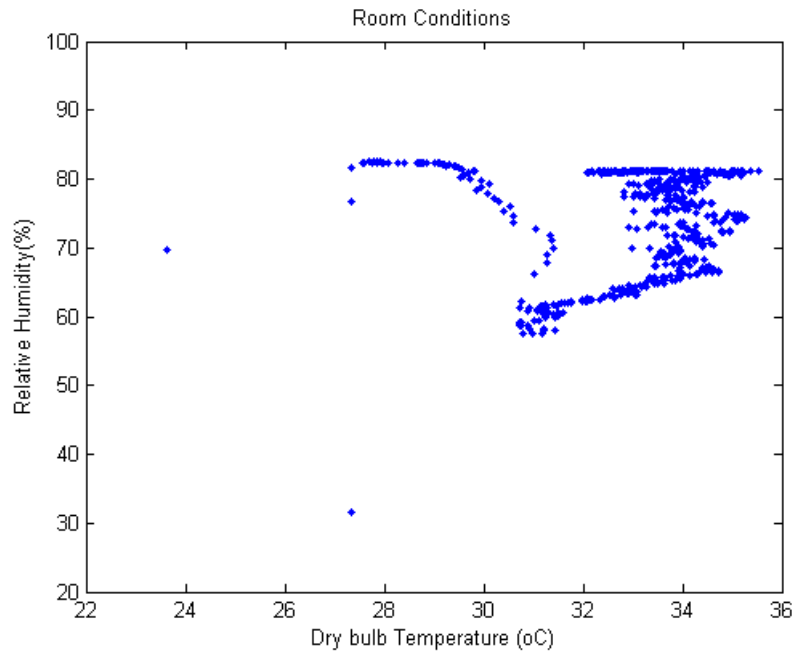
Γράφημα 89:συσχέτιση θερμοκρασίας περιβάλλοντος-COP για τις 08/06/2009



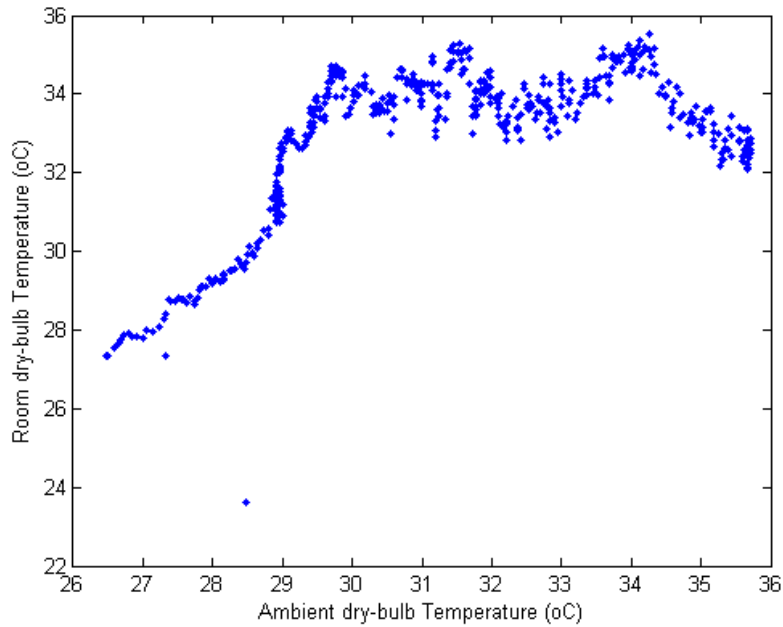
Γράφημα 90:συσχέτιση θερμοκρασίας αναγέννησης αφυγραντικού υλικού- COP για τις 08/06/2009



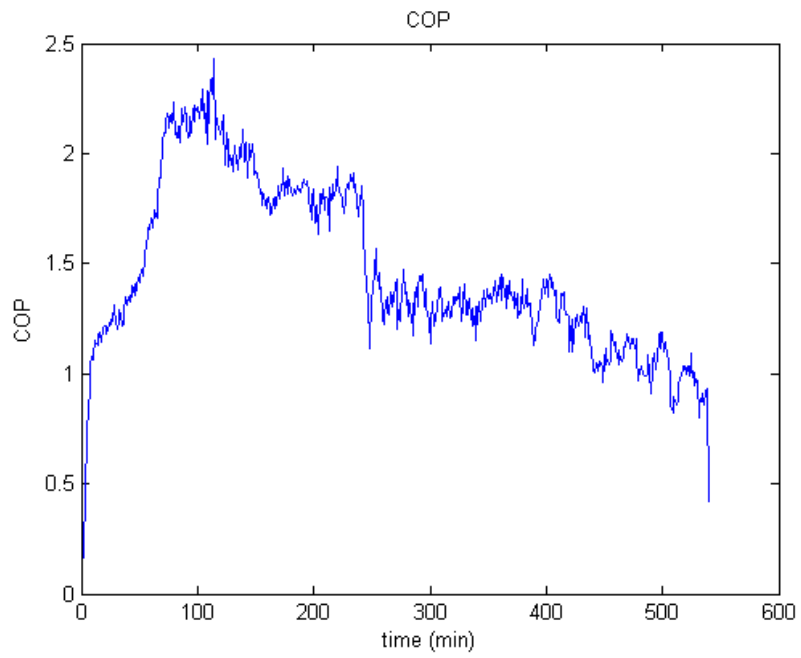
Γράφημα 91:περιβαλλοντικές συνθήκες για τις 08/06/2009



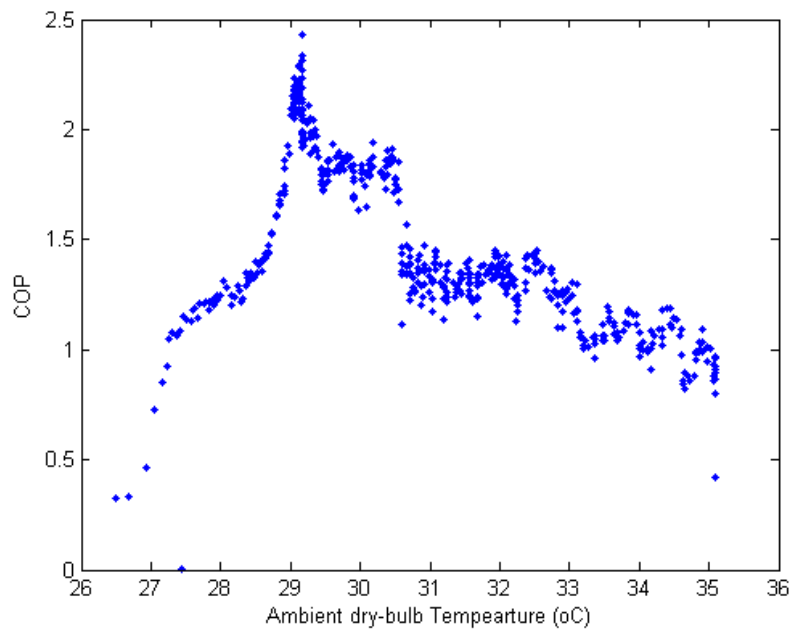
Γράφημα 92: συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας του κλιματιζόμενου χώρου για τις 08/06/2009



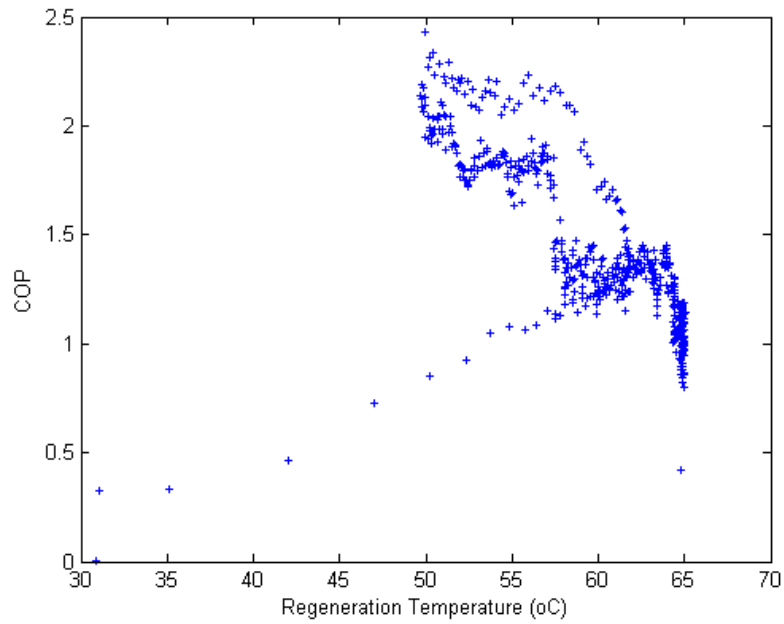
Γράφημα 93: συσχέτιση θερμοκρασίας περιβάλλοντος και θερμοκρασίας κλιματιζόμενου χώρου για τις 08/06/2009



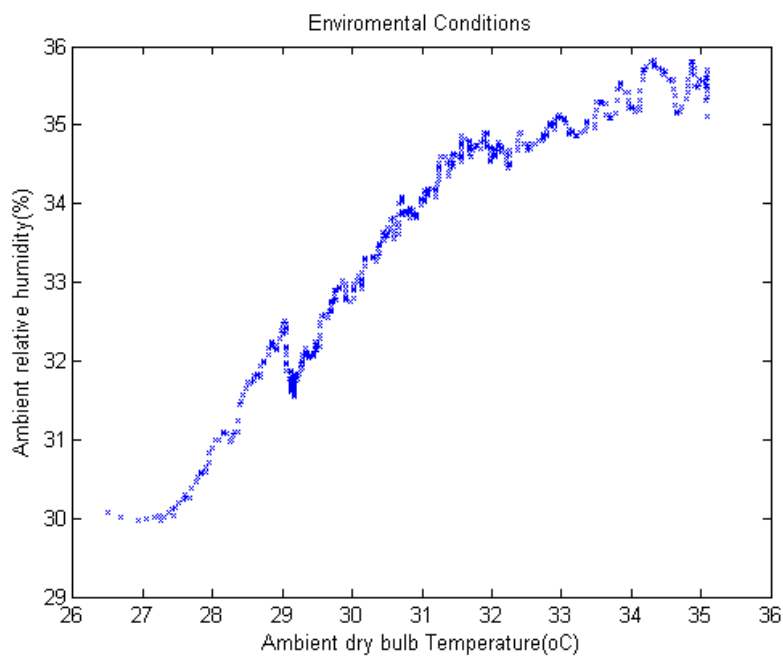
Γράφημα 94:συσχέτιση χρόνου λειτουργίας-COP για τις 09/06/2009



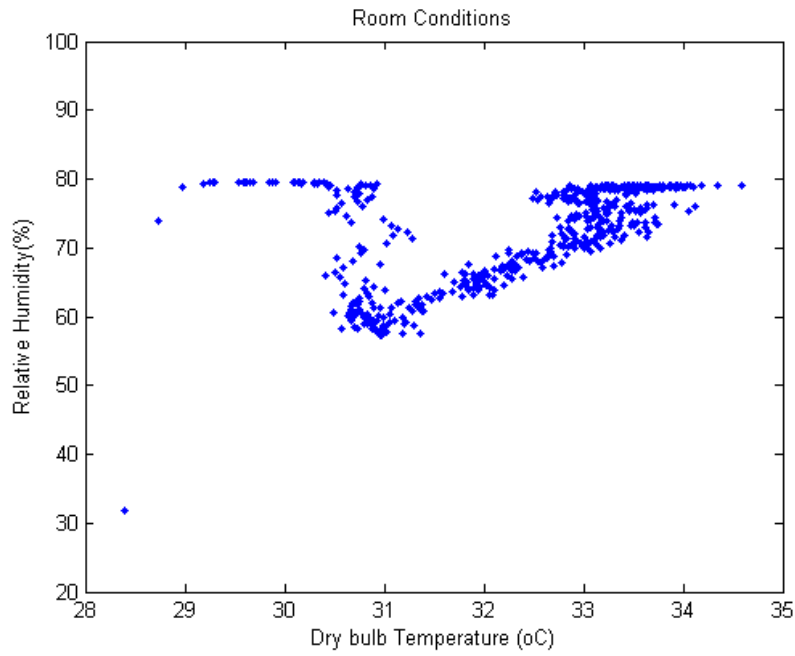
Γράφημα 95:συσχέτιση θερμοκρασίας περιβάλλοντος-COP για τις 09/06/2009



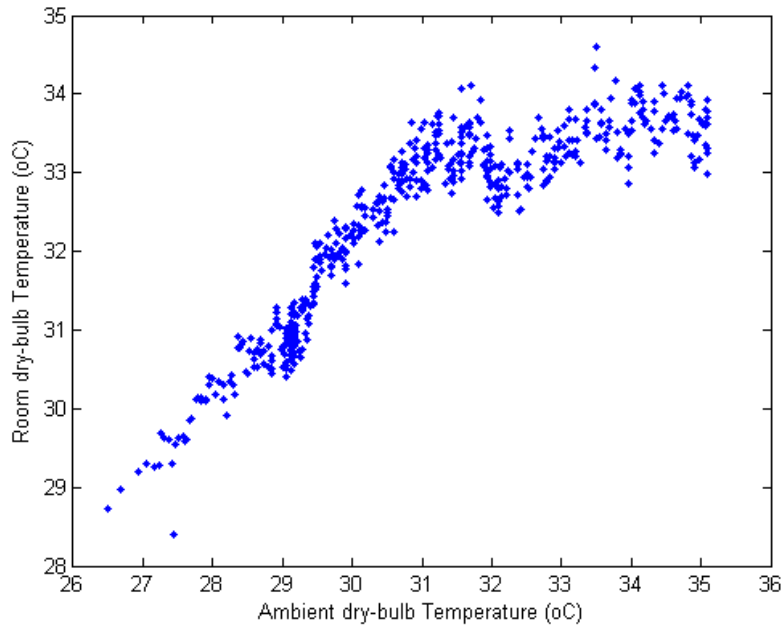
Γράφημα 96: συσχέτιση θερμοκρασίας αναγέννησης αφυγραντικού υλικού- COP για τις 09/06/2009



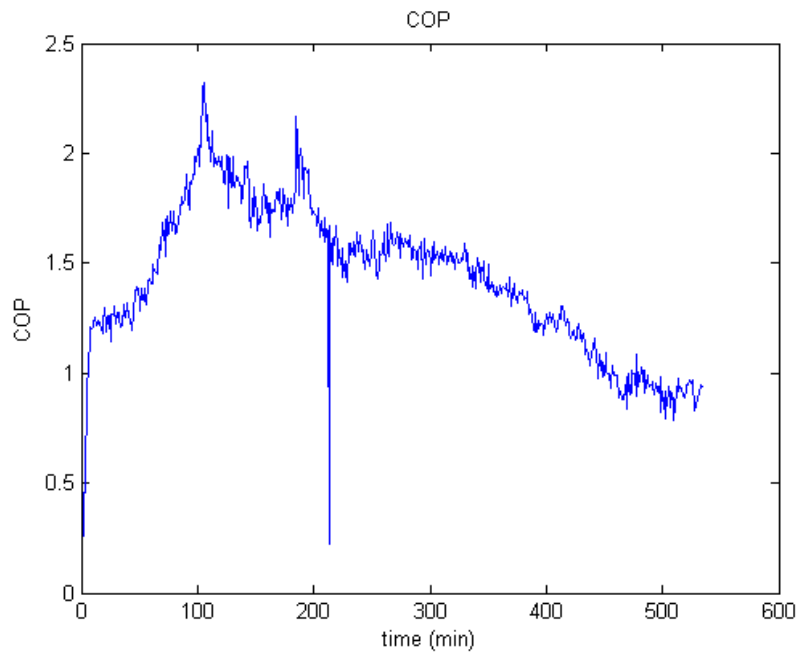
Γράφημα 97: περιβαλλοντικές συνθήκες για τις 09/06/2009



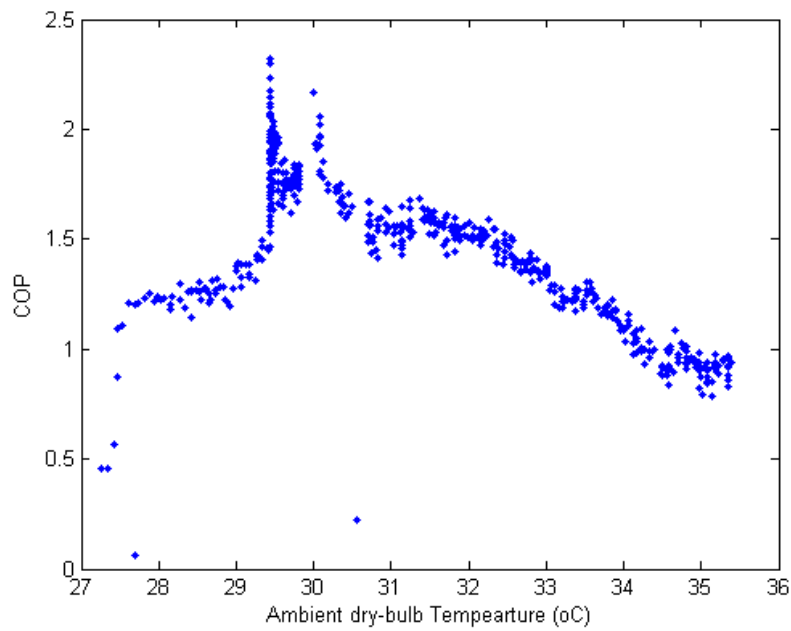
Γράφημα 98: συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας του κλιματιζόμενου χώρου για τις 09/06/2009



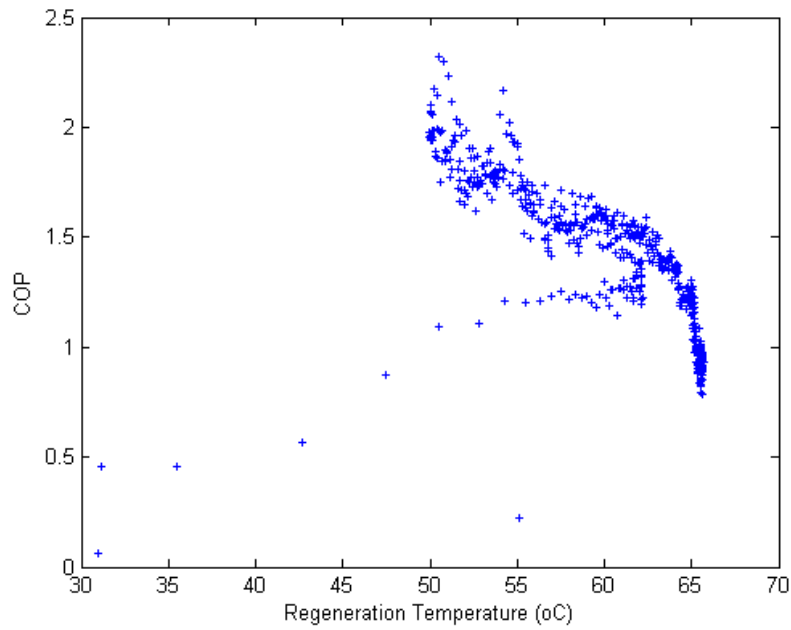
Γράφημα 99: συσχέτιση θερμοκρασίας περιβάλλοντος και θερμοκρασίας κλιματιζόμενου χώρου για τις 09/06/2009



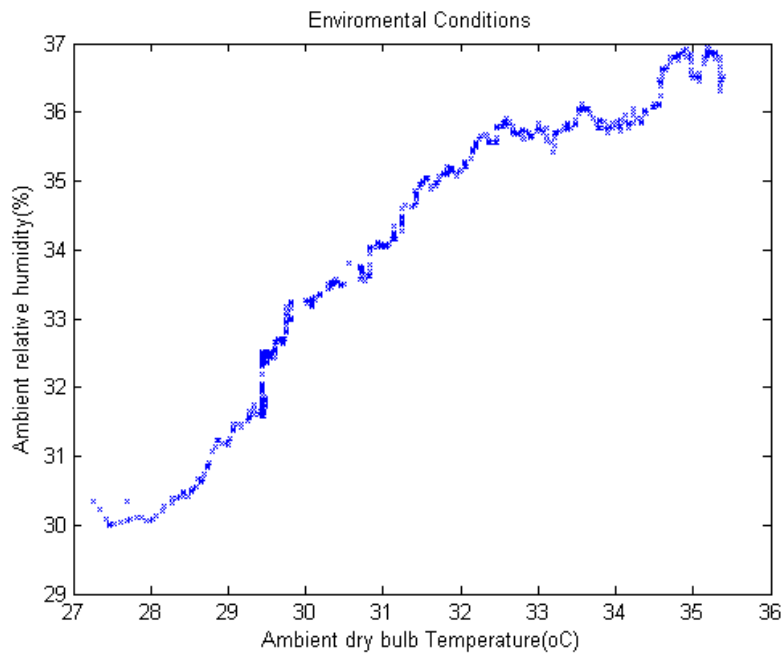
Γράφημα 100:συσχέτιση χρόνου λειτουργίας-COP για τις 10/06/2009



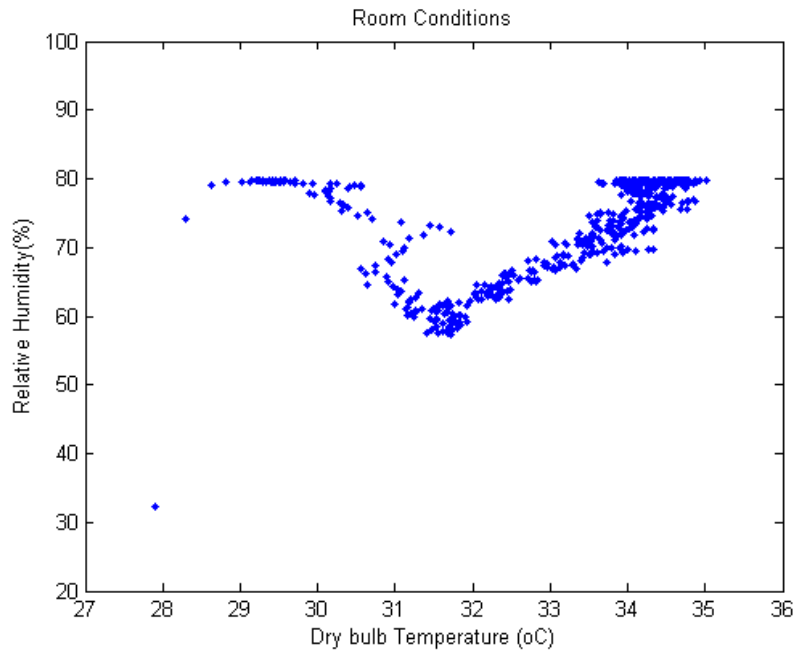
Γράφημα 101:συσχέτιση θερμοκρασίας περιβάλλοντος-COP για τις 10/06/2009



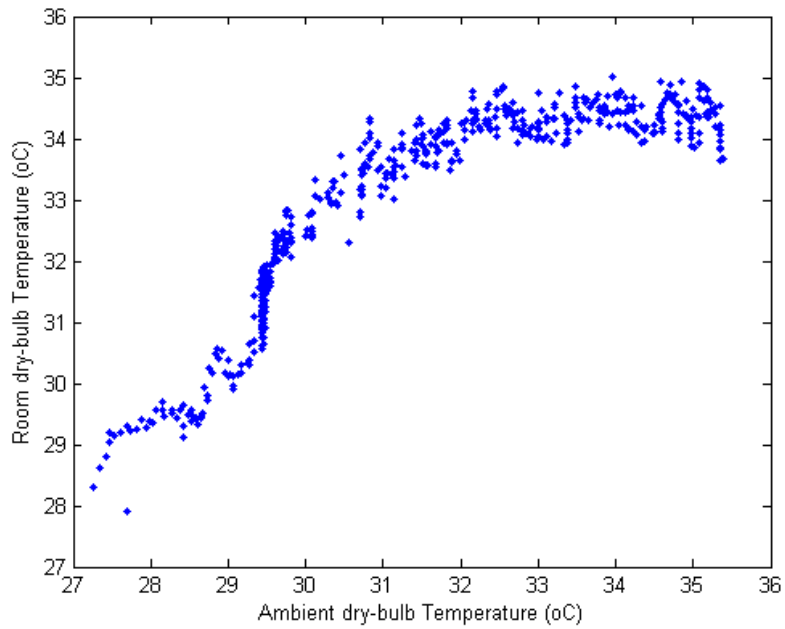
Γράφημα 102:συσχέτιση θερμοκρασίας αναγέννησης αφυγραντικού υλικού- COP για τις 10/06/2009



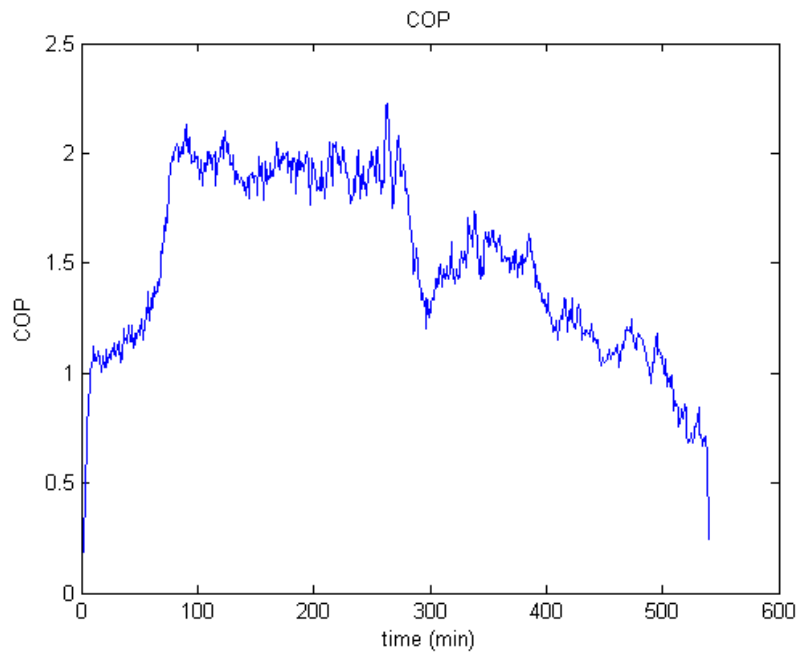
Γράφημα 103:περιβαλλοντικές συνθήκες για τις 10/06/2009



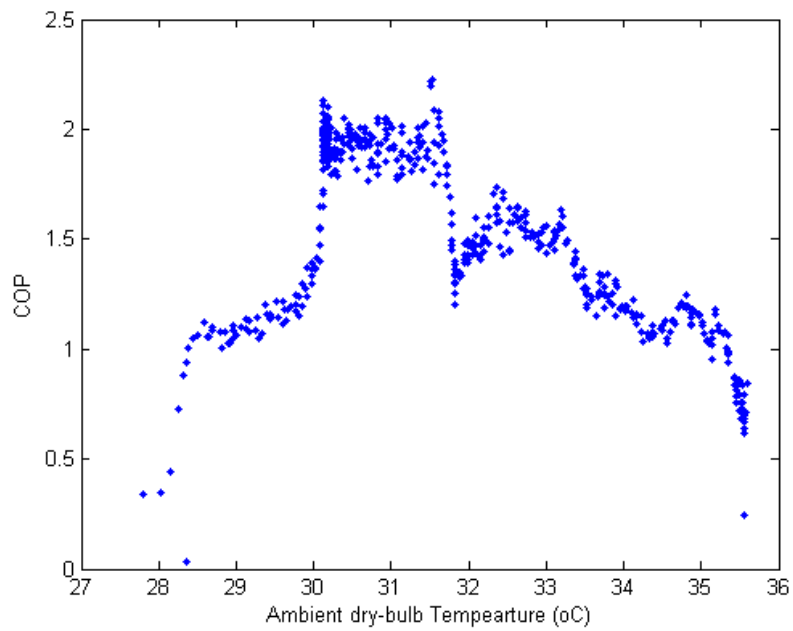
Γράφημα 104: συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας του κλιματιζόμενου χώρου για τις 10/06/2009



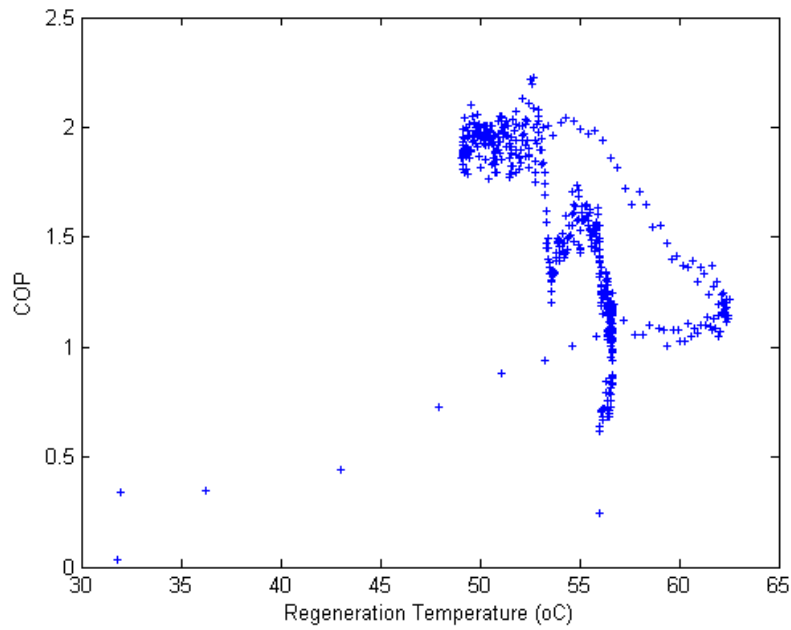
Γράφημα 105: συσχέτιση θερμοκρασίας περιβάλλοντος και θερμοκρασίας κλιματιζόμενου χώρου για τις 10/06/2009



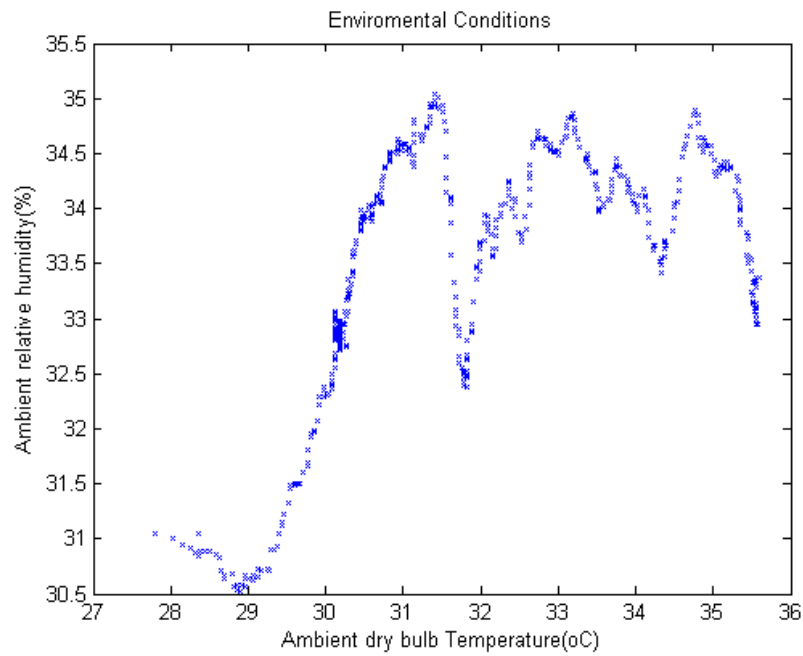
Γράφημα 106:συσχέτιση χρόνου λειτουργίας-COP για τις 11/06/2009



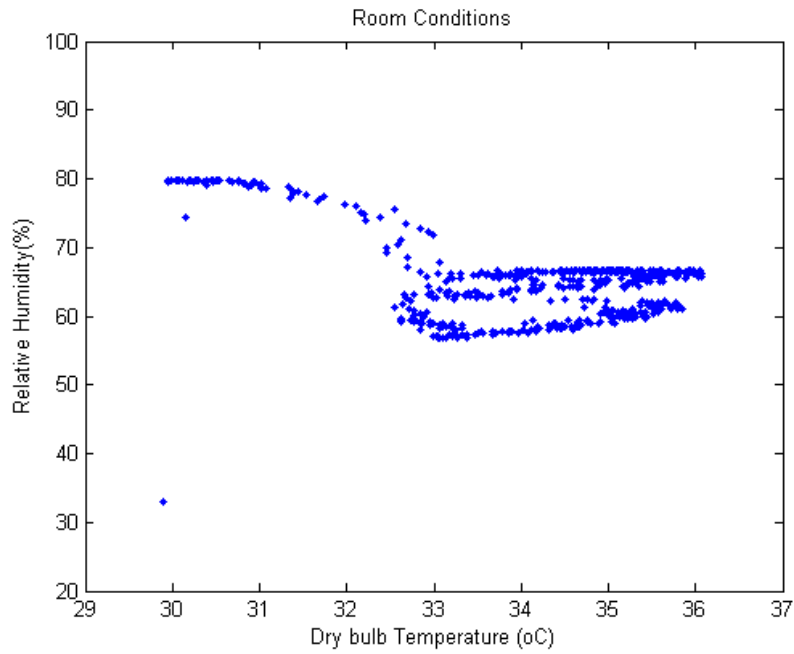
Γράφημα 107:συσχέτιση θερμοκρασίας περιβάλλοντος-COP για τις 11/06/2009



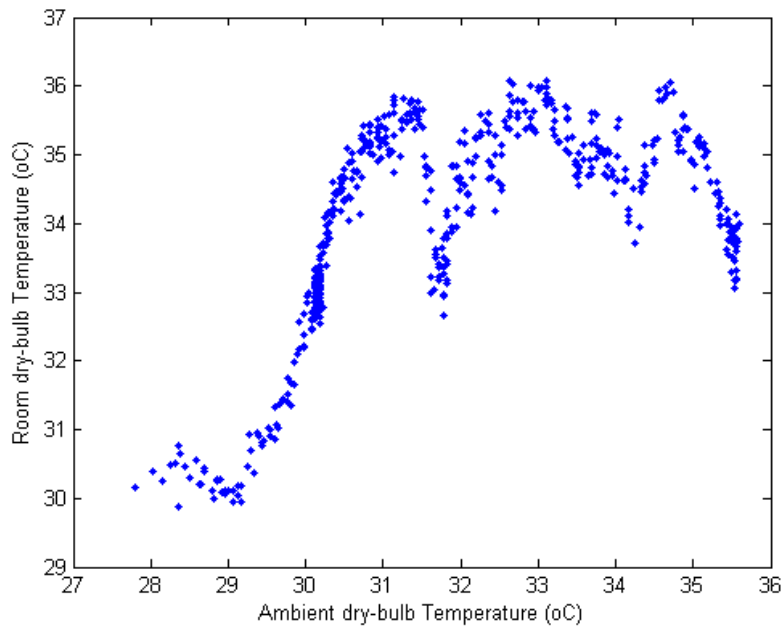
Γράφημα 108:συσχέτιση θερμοκρασίας αναγέννησης αφυγραντικού υλικού- COP για τις 11/06/2009



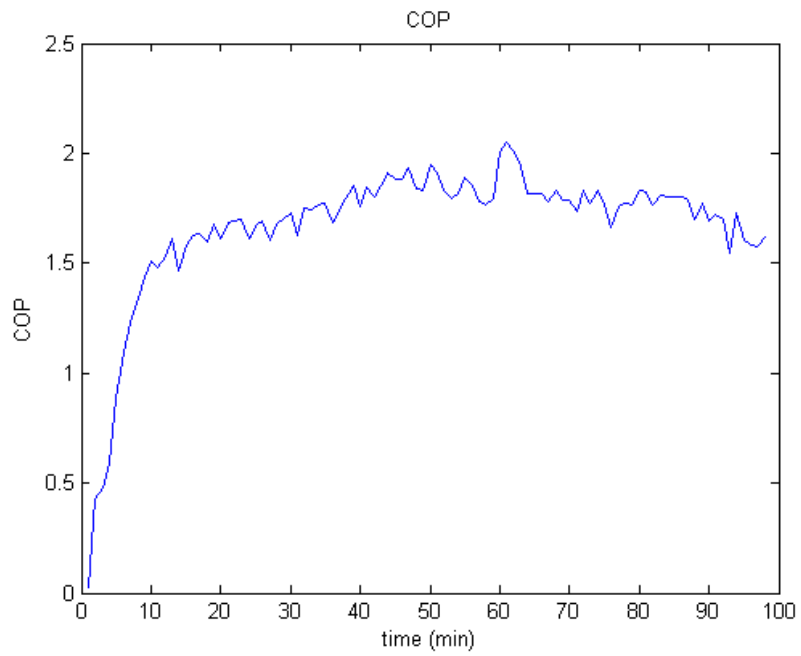
Γράφημα 109:περιβαλλοντικές συνθήκες για τις 11/06/2009



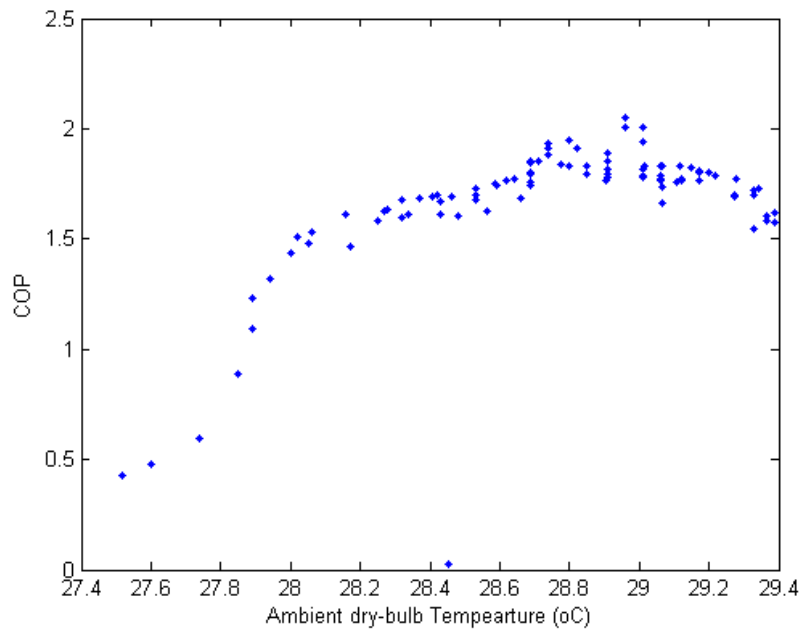
Γράφημα 110: συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας του κλιματιζόμενου χώρου για τις 11/06/2009



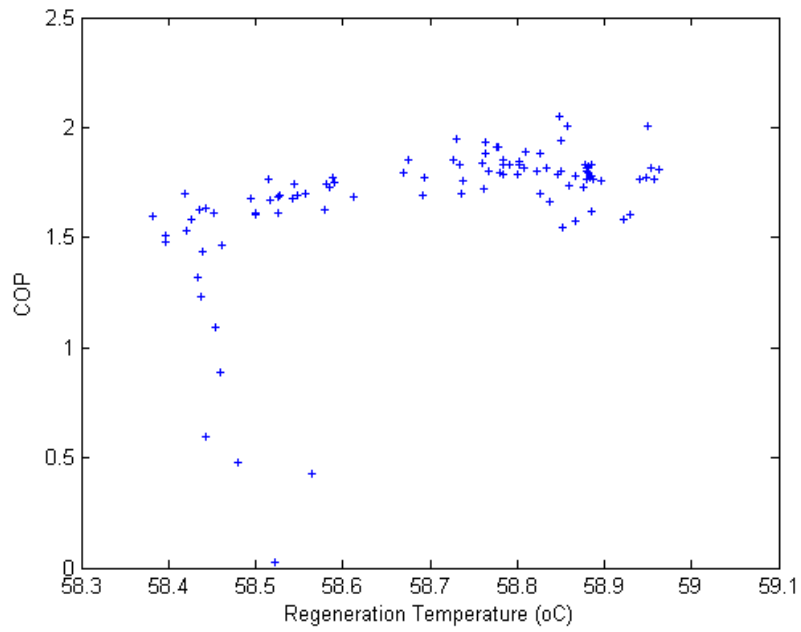
Γράφημα 111: συσχέτιση θερμοκρασίας περιβάλλοντος και θερμοκρασίας κλιματιζόμενου χώρου για τις 11/06/2009



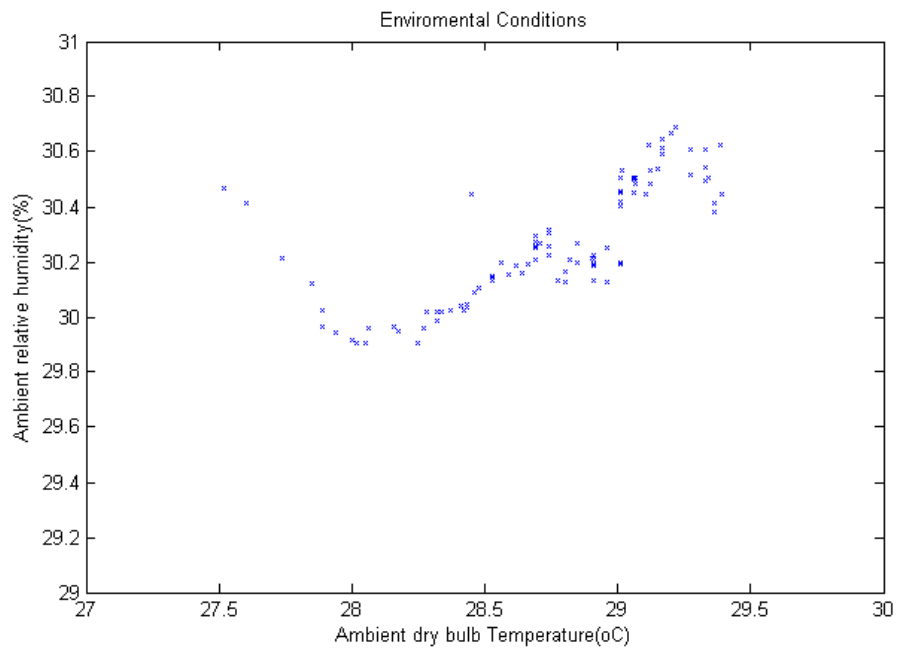
Γράφημα 112:συσχέτιση χρόνου λειτουργίας-COP για τις 12/06/2009



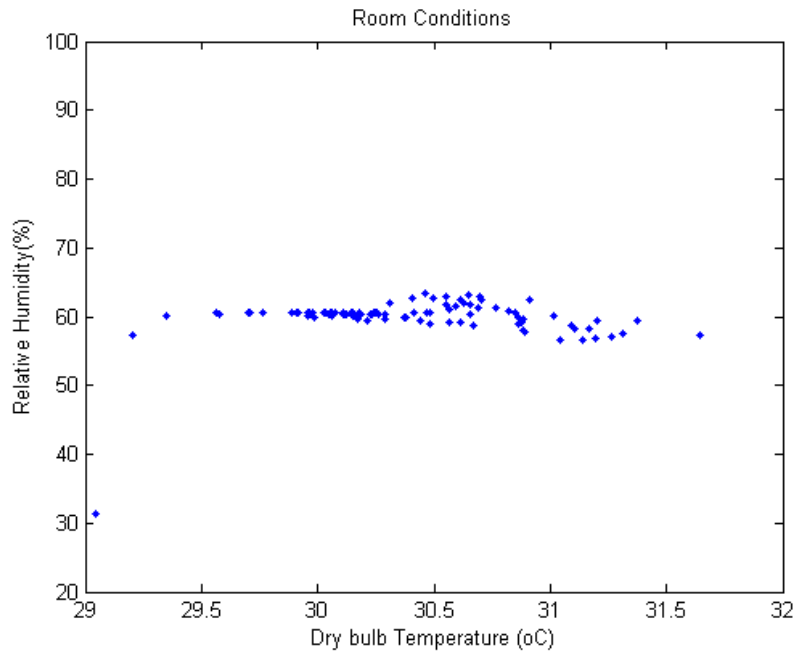
Γράφημα 113:συσχέτιση θερμοκρασίας περιβάλλοντος-COP για τις 12/06/2009



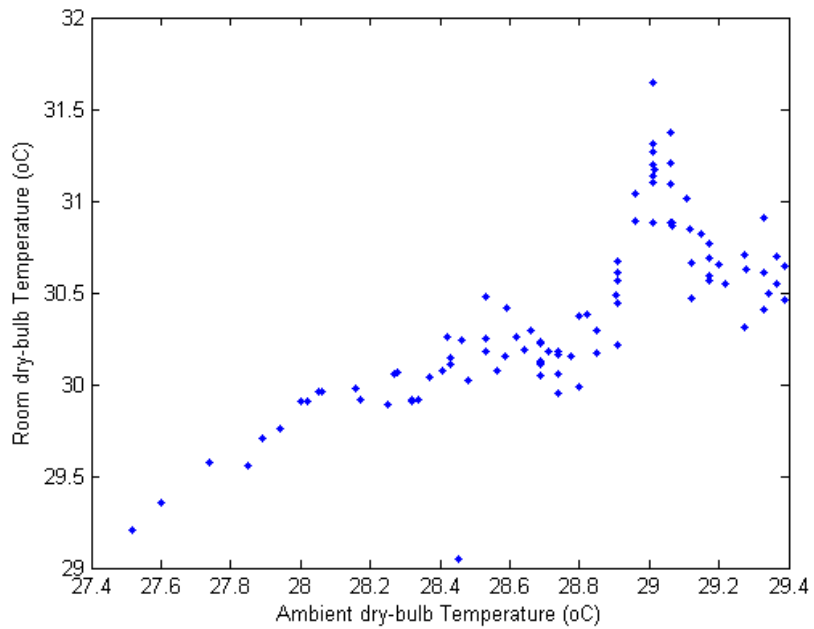
Γράφημα 114:συσχέτιση θερμοκρασίας αναγέννησης αφυγραντικού υλικού- COP για τις 12/06/2009



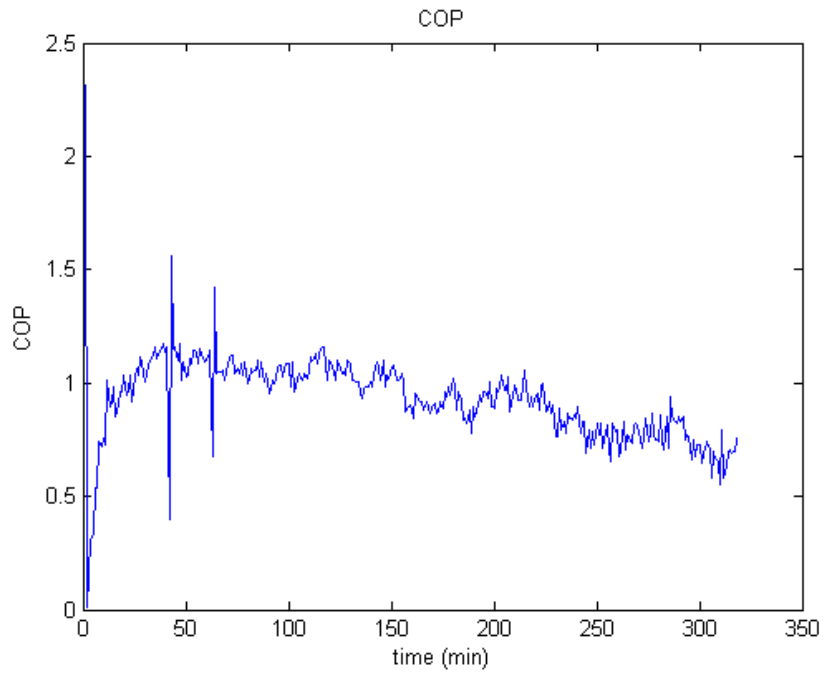
Γράφημα 115:περιβαλλοντικές συνθήκες για τις 12/06/2009



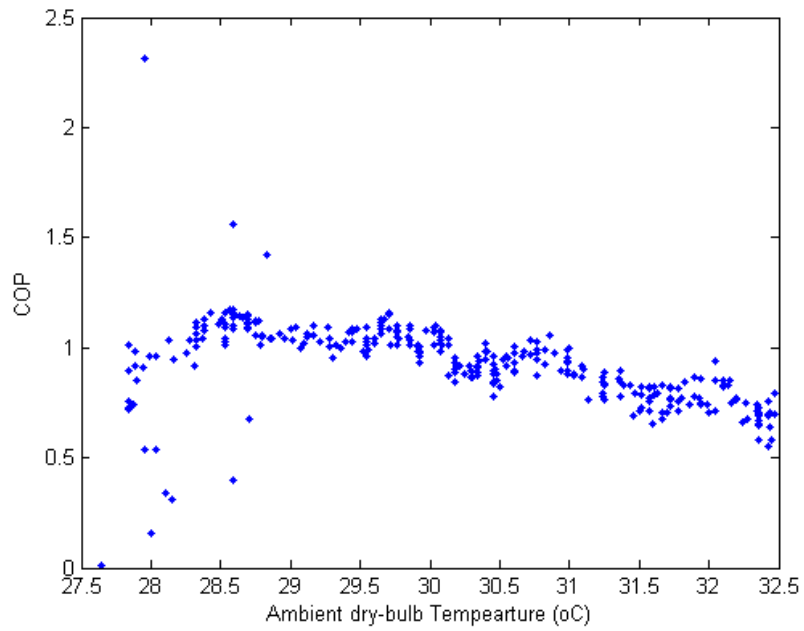
Γράφημα 116: συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας του κλιματιζόμενου χώρου για τις 12/06/2009



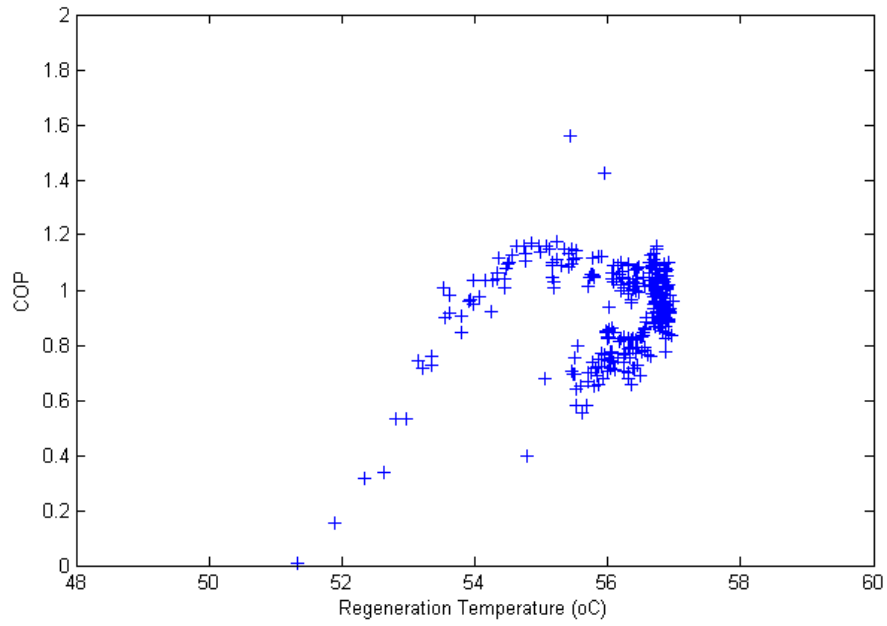
Γράφημα 117: συσχέτιση θερμοκρασίας περιβάλλοντος και θερμοκρασίας κλιματιζόμενου χώρου για τις 12/06/2009



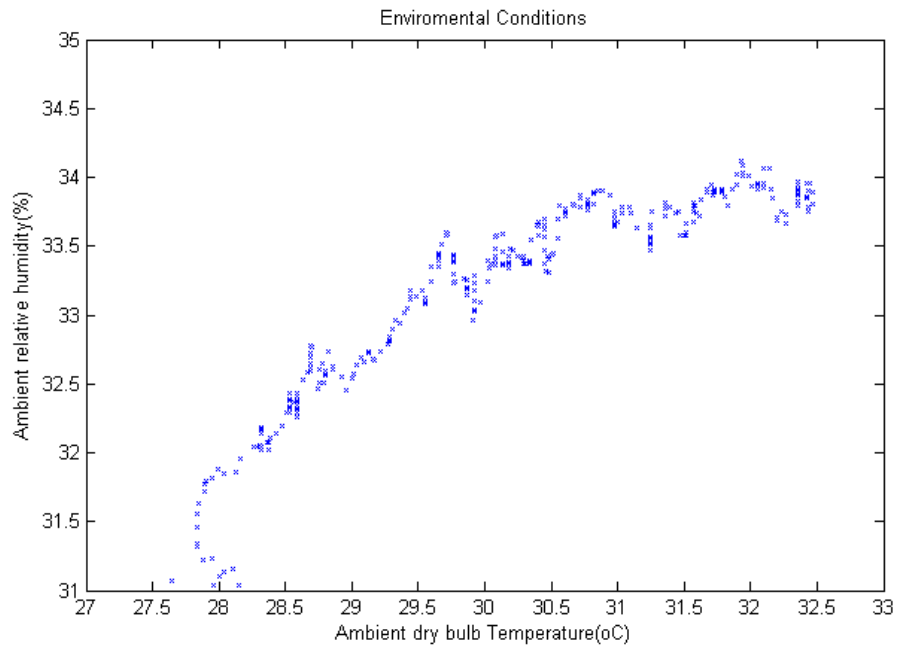
Γράφημα 118: συσχέτιση χρόνου λειτουργίας-COP για τις 16/06/2009



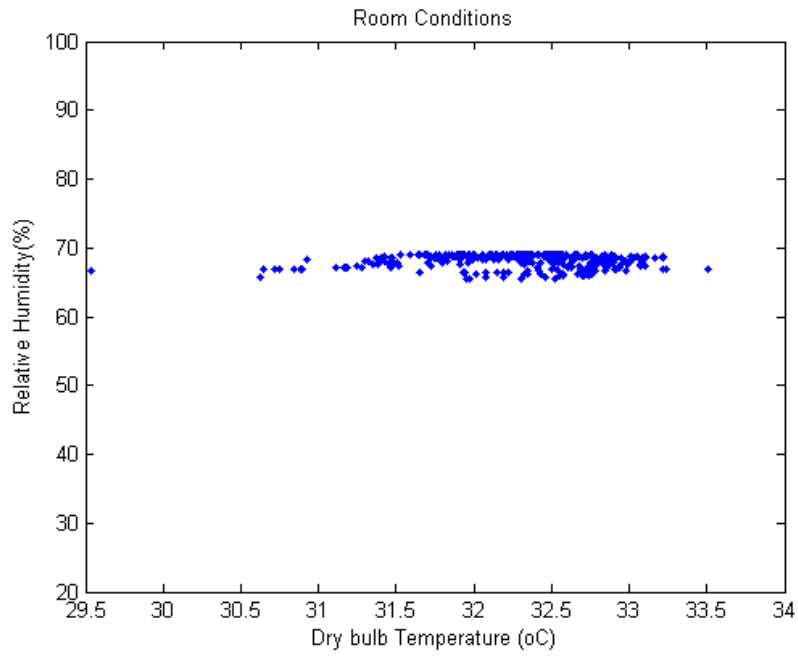
Γράφημα 119: συσχέτιση θερμοκρασίας περιβάλλοντος-COP για τις 16/06/2009



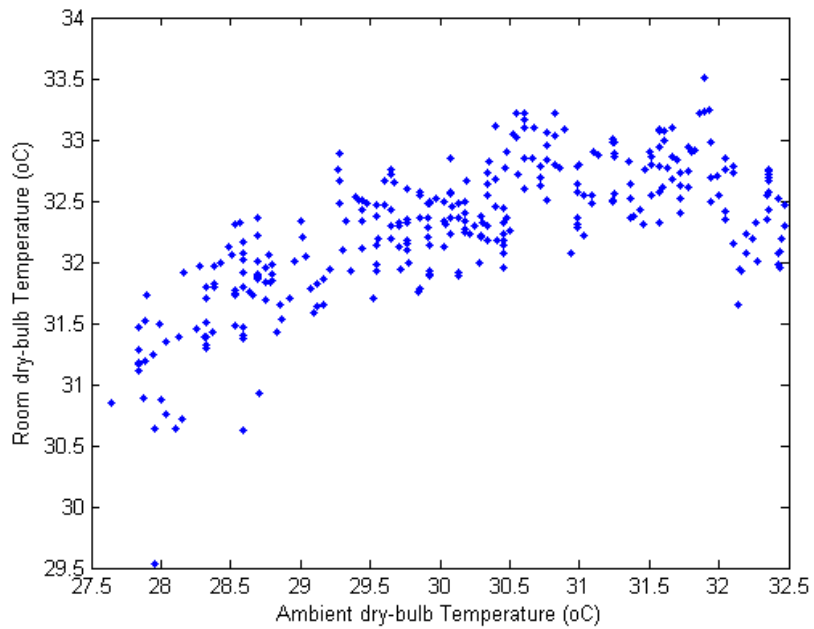
Γράφημα 120:συσχέτιση θερμοκρασίας αναγέννησης αφυγραντικού υλικού- COP για τις 16/06/2009



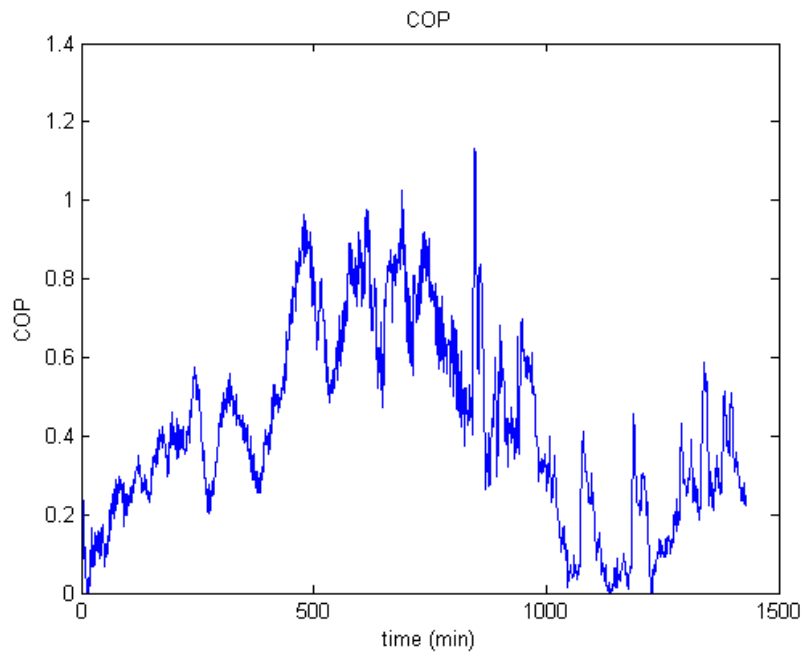
Γράφημα 121:περιβαλλοντικές συνθήκες για τις 16/06/2009



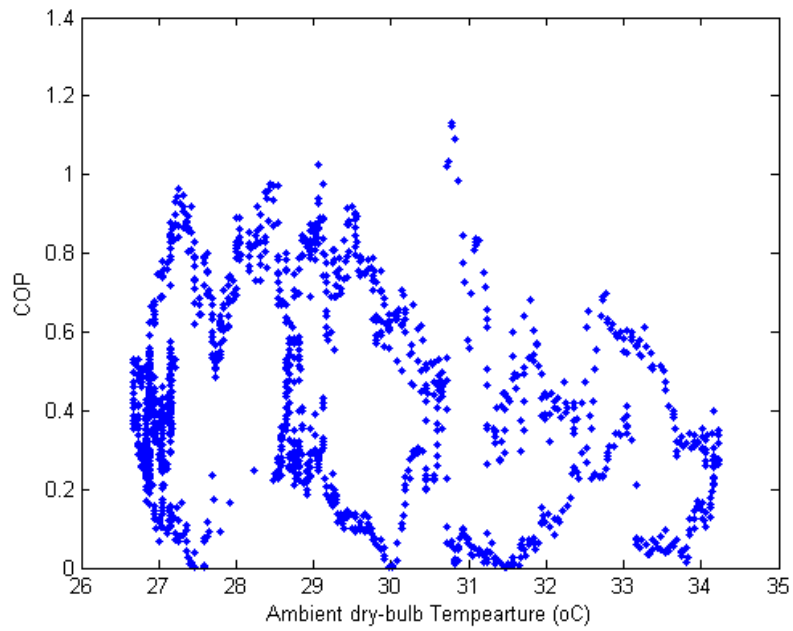
Γράφημα 122: συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας του κλιματιζόμενου χώρου για τις 16/06/2009



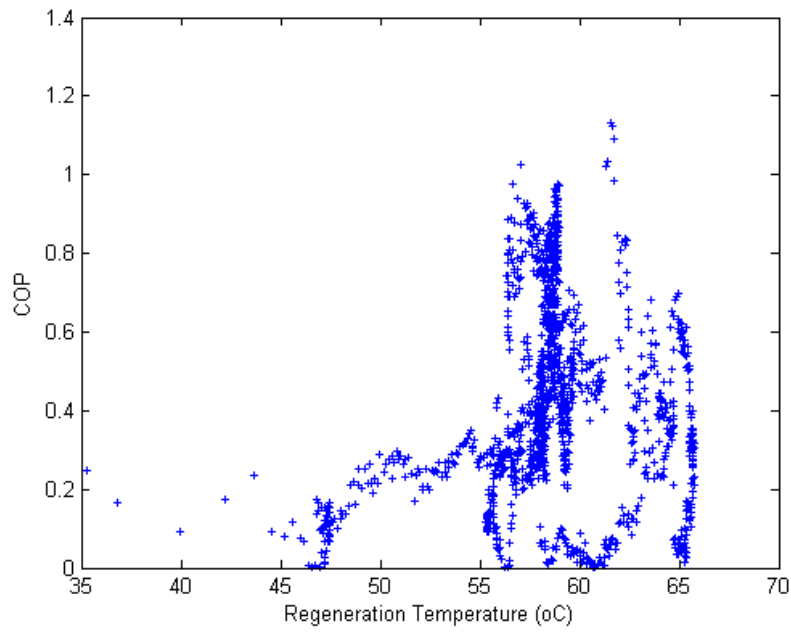
Γράφημα 123: συσχέτιση θερμοκρασίας περιβάλλοντος και θερμοκρασίας κλιματιζόμενου χώρου για τις 16/06/2009



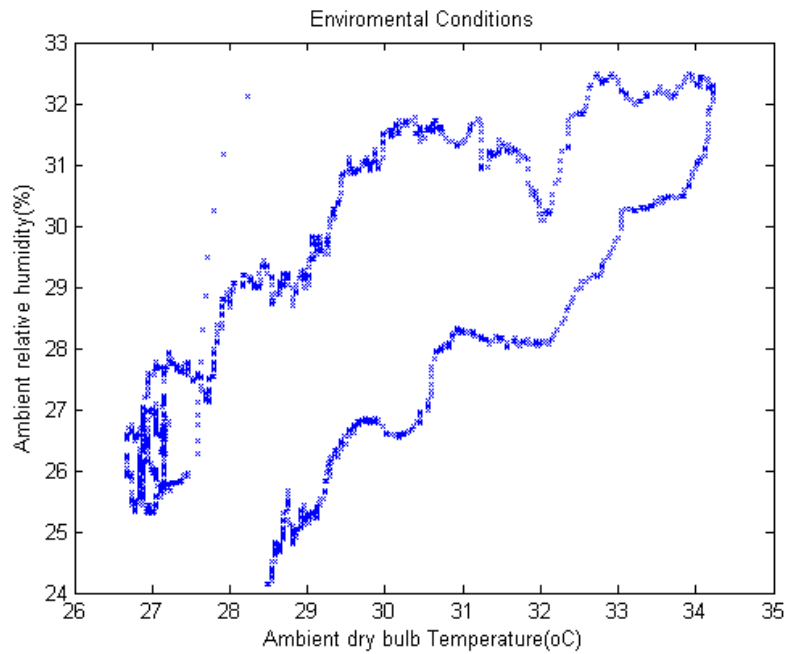
Γράφημα 124:συσχέτιση χρόνου λειτουργίας-COP για τις 20/06/2009



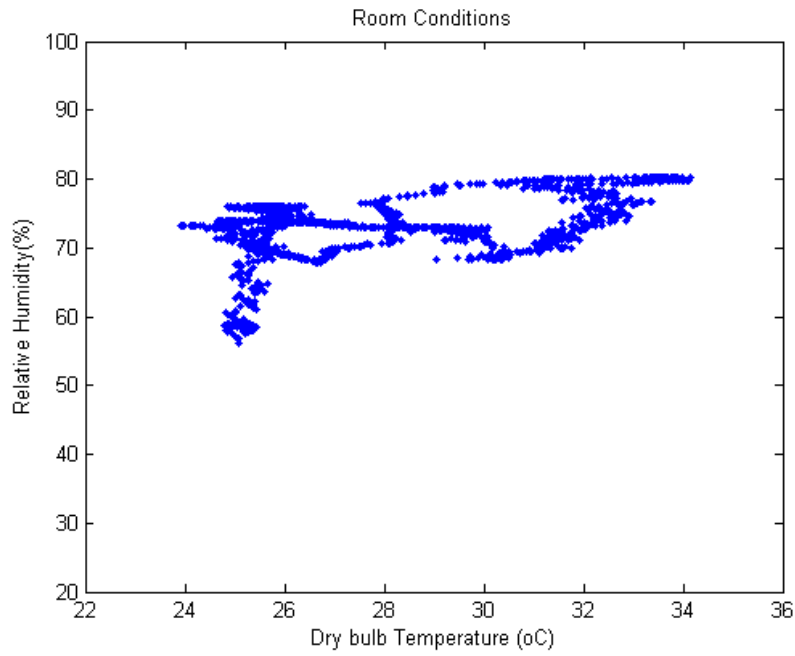
Γράφημα 125:συσχέτιση θερμοκρασίας περιβάλλοντος-COP για τις 20/06/2009



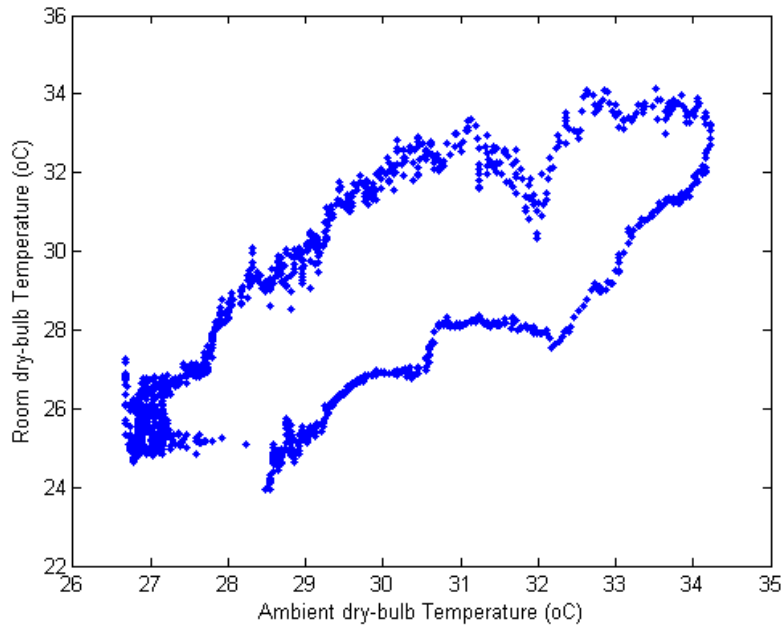
Γράφημα 126: συσχέτιση θερμοκρασίας αναγέννησης αφυγραντικού υλικού- COP για τις 20/06/2009



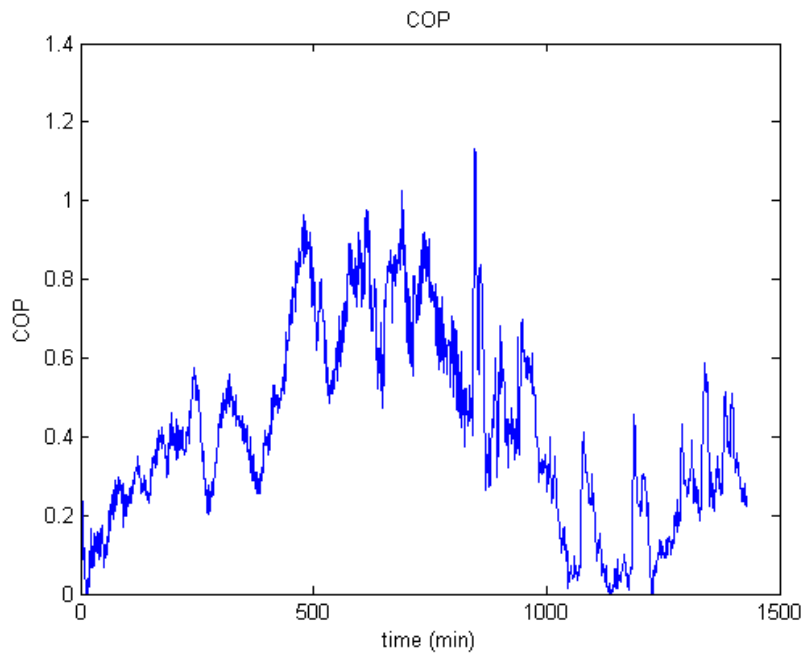
Γράφημα 127: περιβαλλοντικές συνθήκες για τις 20/06/2009



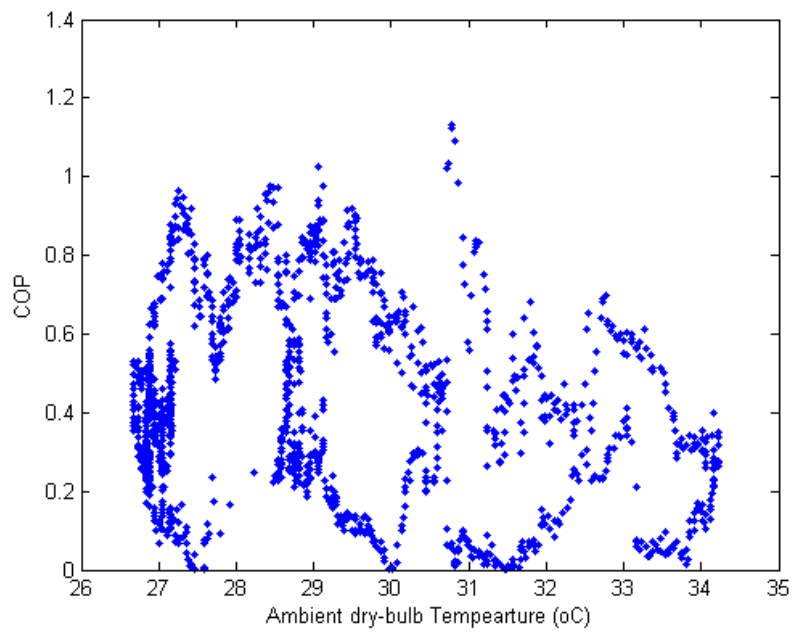
Γράφημα 128: συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας του κλιματιζόμενου χώρου για τις 20/06/2009



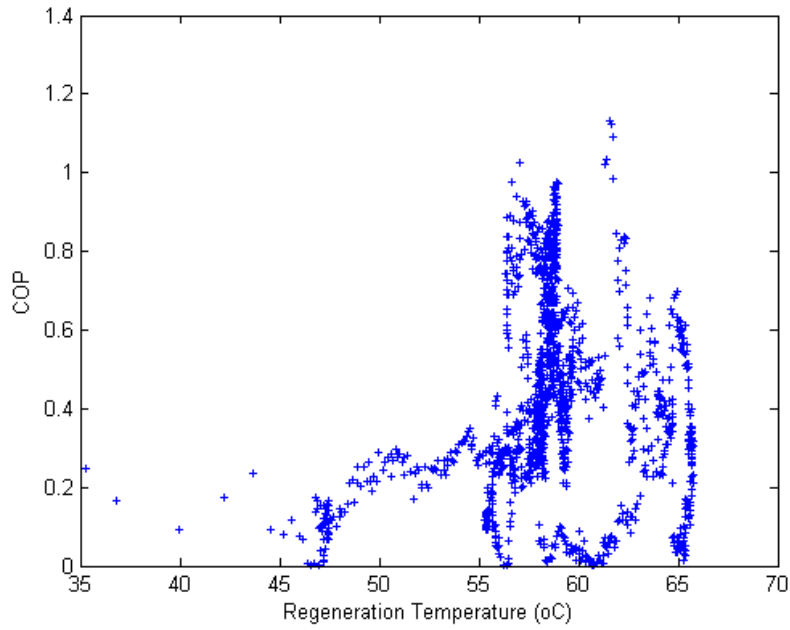
Γράφημα 129: συσχέτιση θερμοκρασίας περιβάλλοντος και θερμοκρασίας κλιματιζόμενου χώρου για τις 20/06/2009



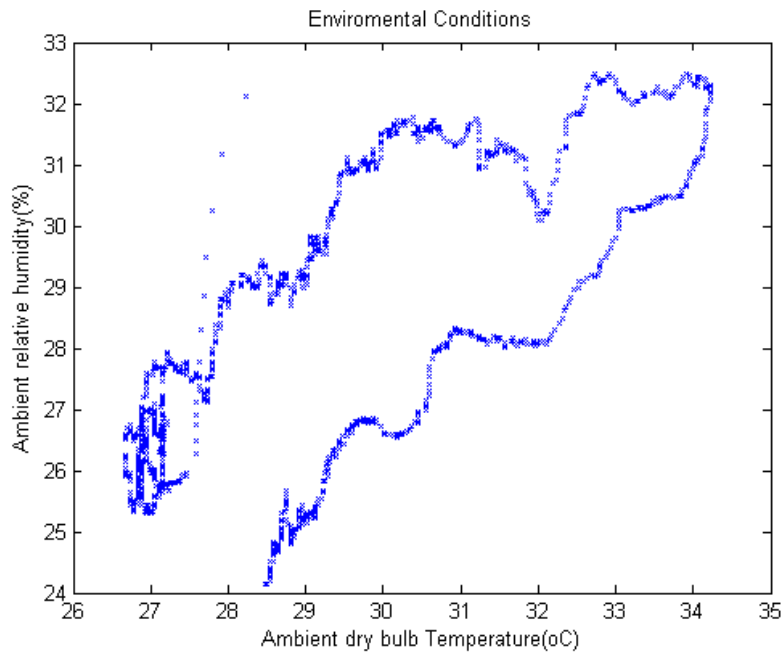
Γράφημα 130:συσχέτιση χρόνου λειτουργίας-COP για τις 21/06/2009



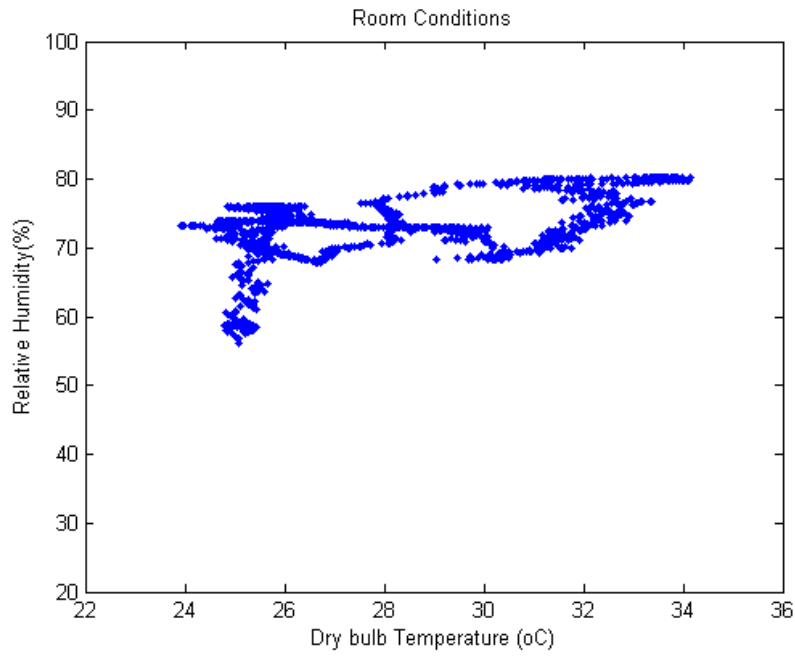
Γράφημα 131:συσχέτιση θερμοκρασίας περιβάλλοντος-COP για τις 21/06/2009



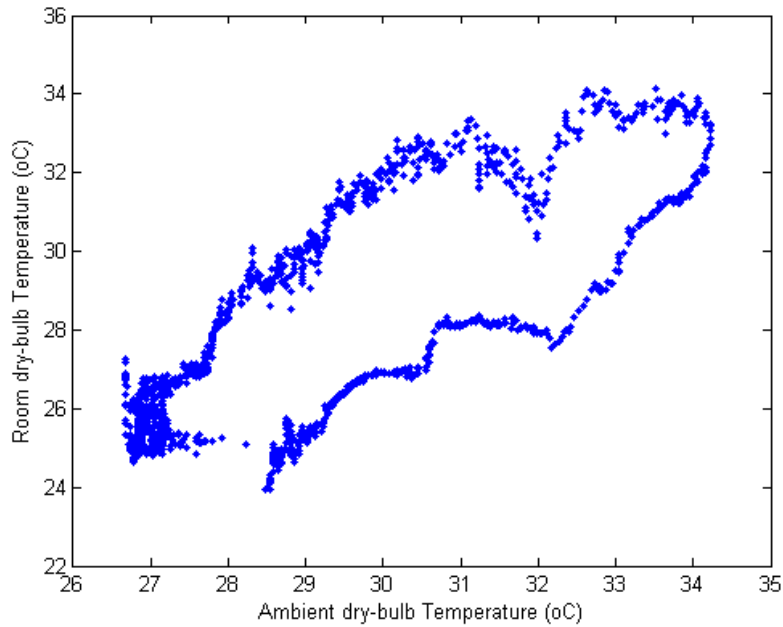
Γράφημα 132: συσχέτιση θερμοκρασίας αναγέννησης αφυγραντικού υλικού- COP για τις 21/06/2009



Γράφημα 133: περιβαλλοντικές συνθήκες για τις 21/06/2009



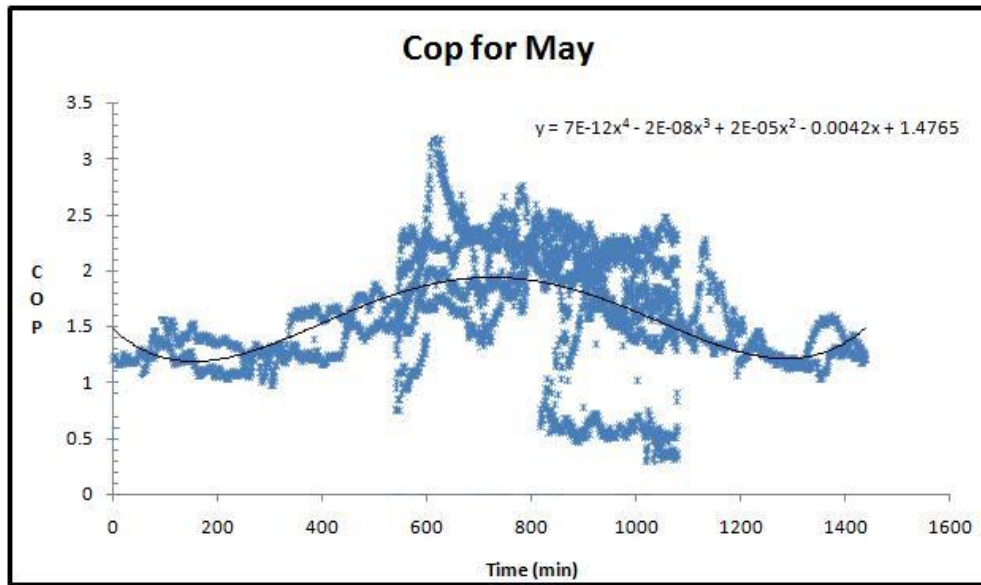
Γράφημα 134: συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας του κλιματιζόμενου χώρου για τις 21/06/2009



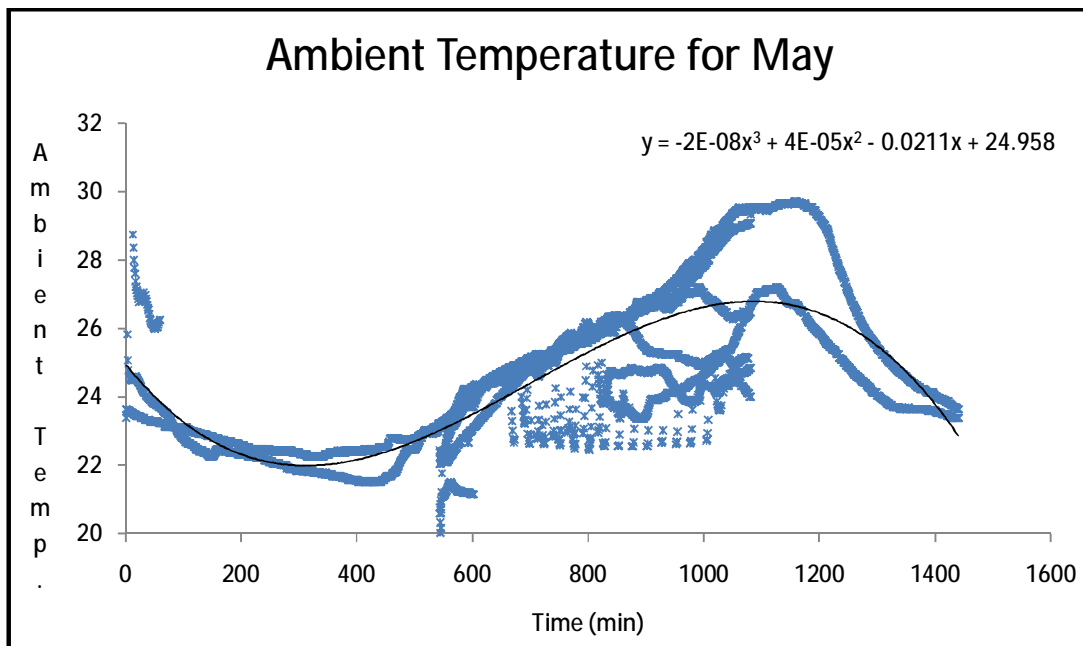
Γράφημα 135: συσχέτιση θερμοκρασίας περιβάλλοντος και θερμοκρασίας κλιματιζόμενου χώρου για τις 21/06/2009

5.2.2 Τα γραφήματα της δεύτερης κατηγορίας, για τον αντίστοιχο μήνα μετρήσεων παρουσιάζονται παρακάτω:

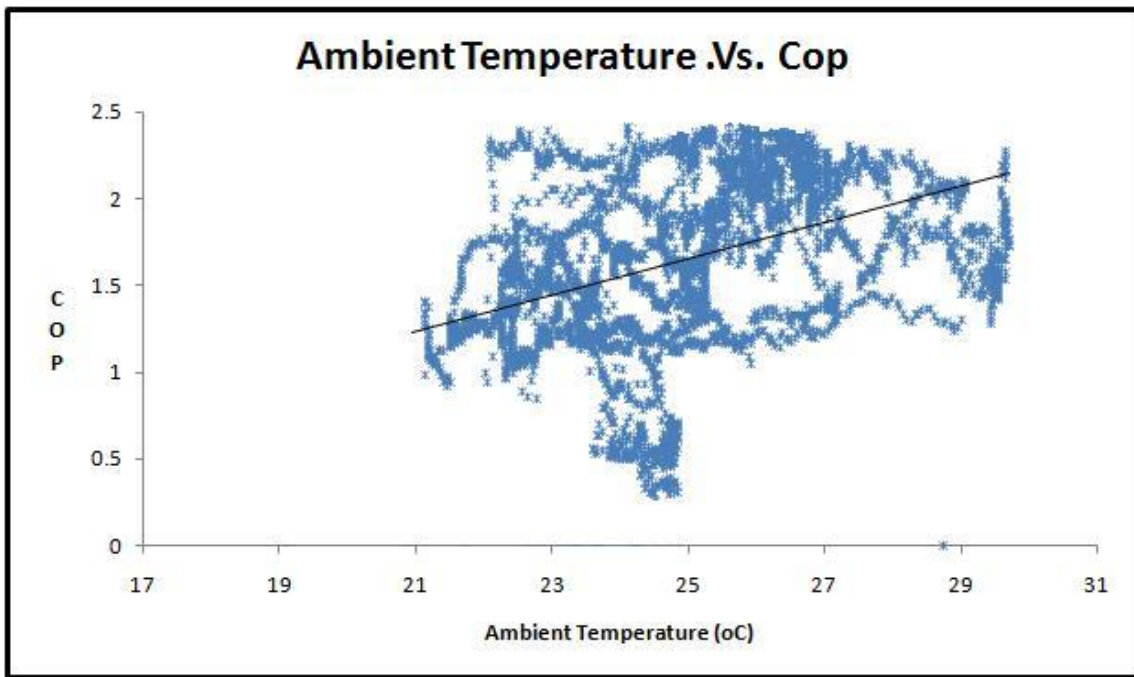
Για τον Μάιο:



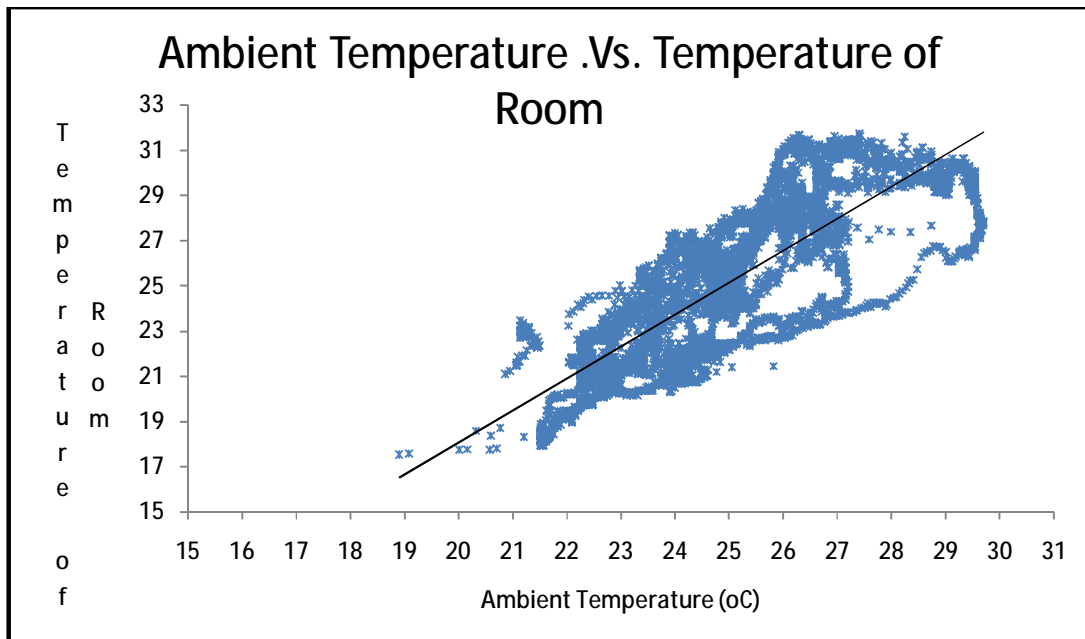
Γράφημα 136: απεικόνιση των τιμών του COP για ολόκληρο το μήνα Μάιο με καμπύλη προσαρμογής



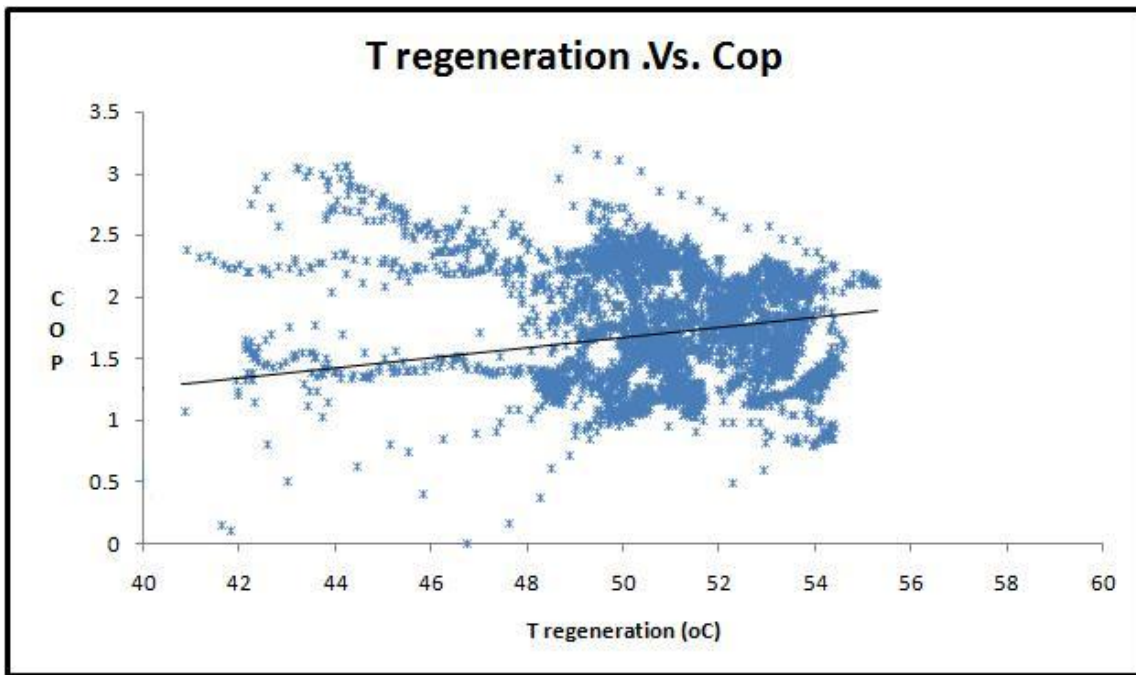
Γράφημα 137: απεικόνιση των τιμών της θερμοκρασίας περιβάλλοντος το μήνα Μάιο με καμπύλη προσαρμογής



Γράφημα 138:συσχέτιση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος και του COP το μήνα Μάιο με γραμμική προσαρμογή

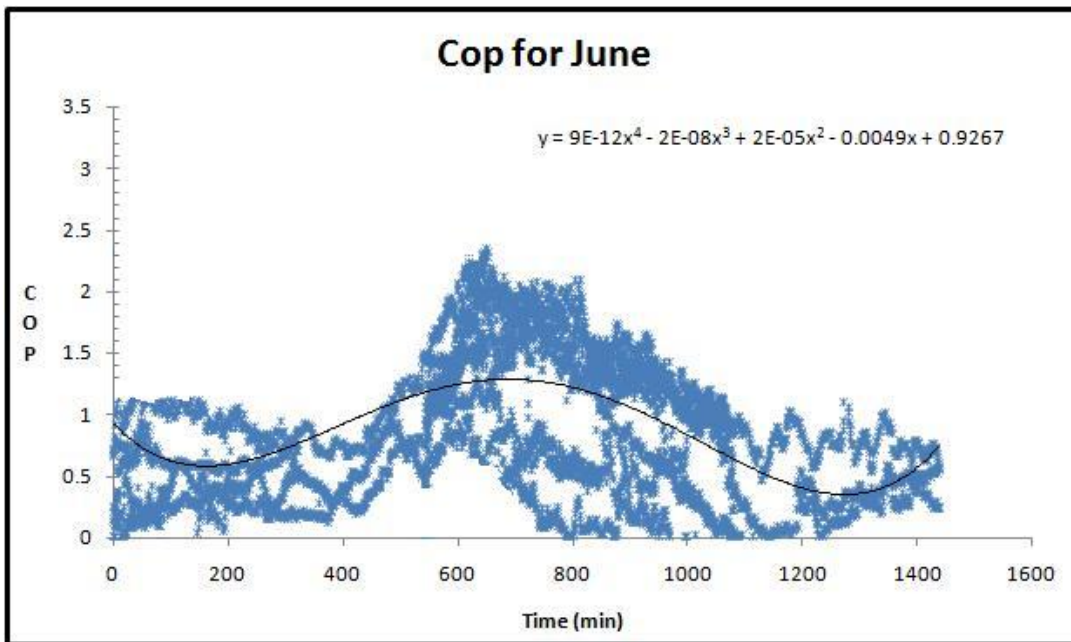


Γράφημα 139:συσχέτιση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος και της θερμοκρασίας του κλιματιζόμενου χώρου το μήνα Μάιο με γραμμική προσαρμογή.

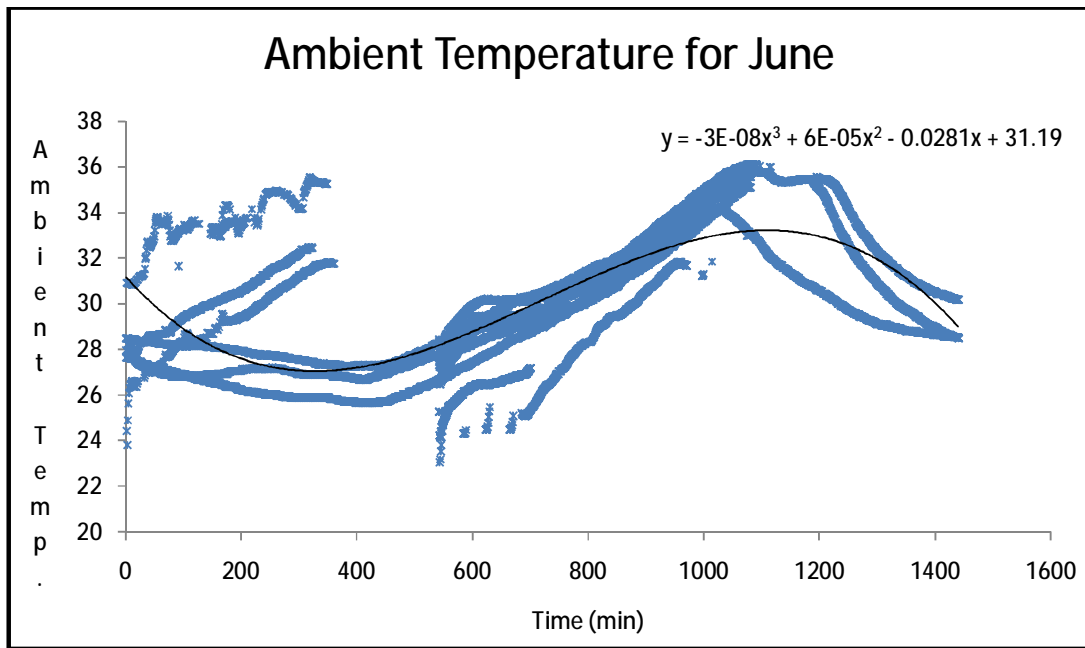


Γράφημα 140: συσχέτιση της θερμοκρασίας αναγέννησης του αφυγραντικού υλικού και του COP το μήνα Μάιο με γραμμική προσέγγιση.

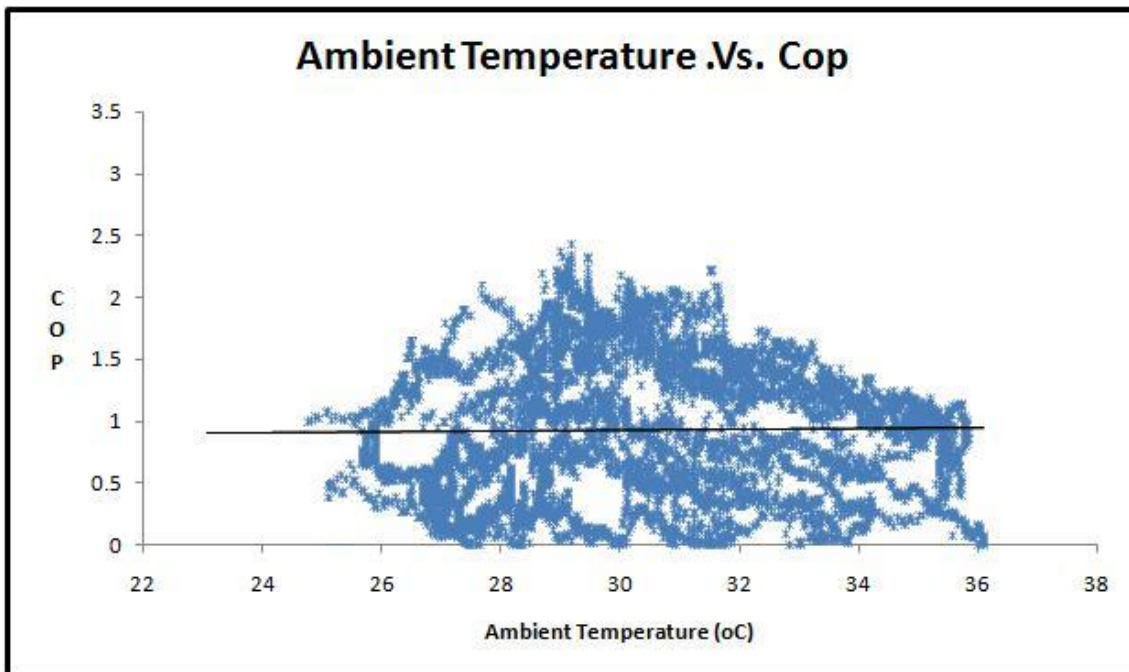
Για τον Ιούνιο:



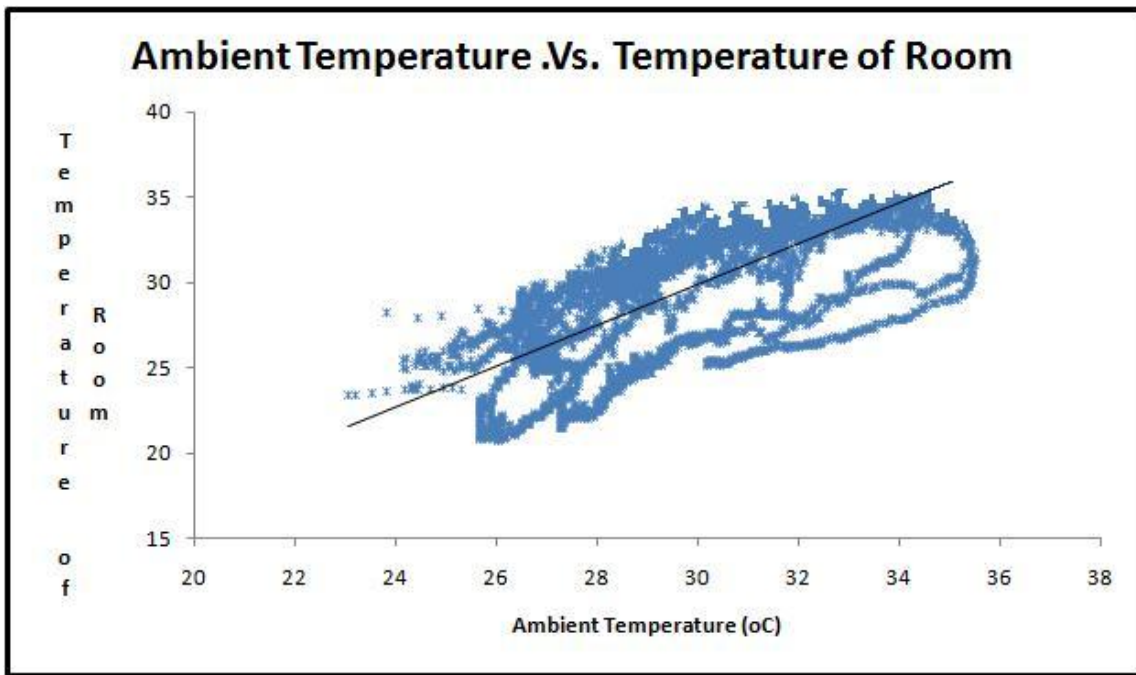
Γράφημα 141: απεικόνιση των τιμών του COP για ολόκληρο το μήνα Ιούνιο με καμπύλη προσαρμογής



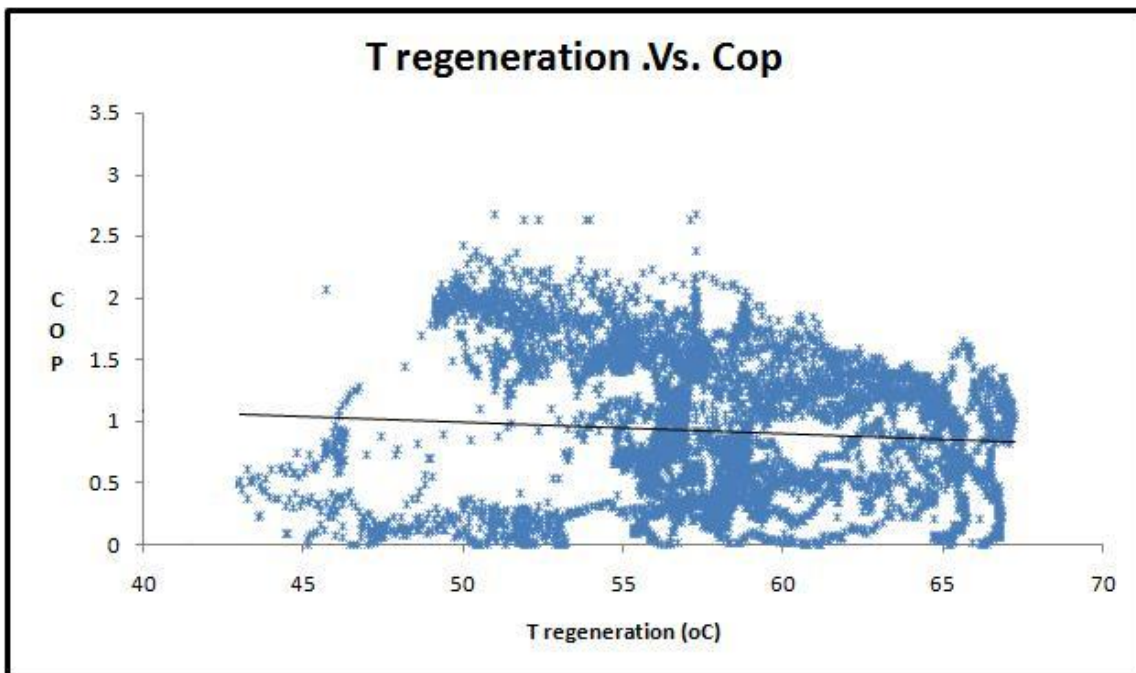
Γράφημα 141: απεικόνιση των τιμών της θερμοκρασίας περιβάλλοντος το μήνα Ιούνιο με καμπύλη προσαρμογής



Γράφημα 142: συσχέτιση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος και του COP το μήνα Ιούνιο με γραμμική προσαρμογή

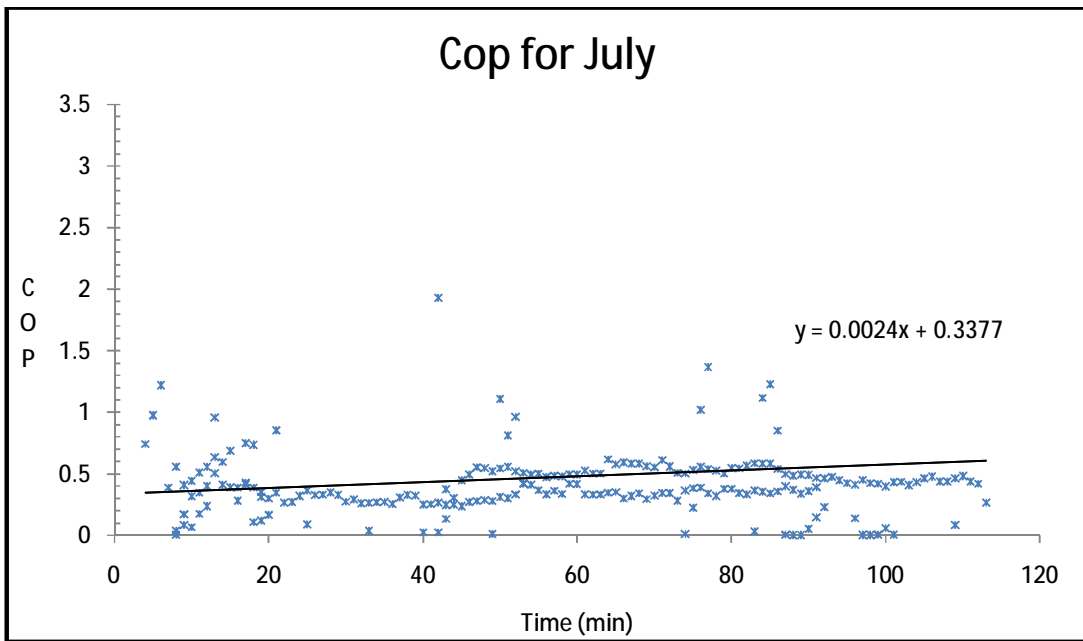


Γράφημα 143:συσχέτιση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος και της θερμοκρασίας του κλιματιζόμενου χώρου το μήνα Ιούνιο με γραμμική προσαρμογή.

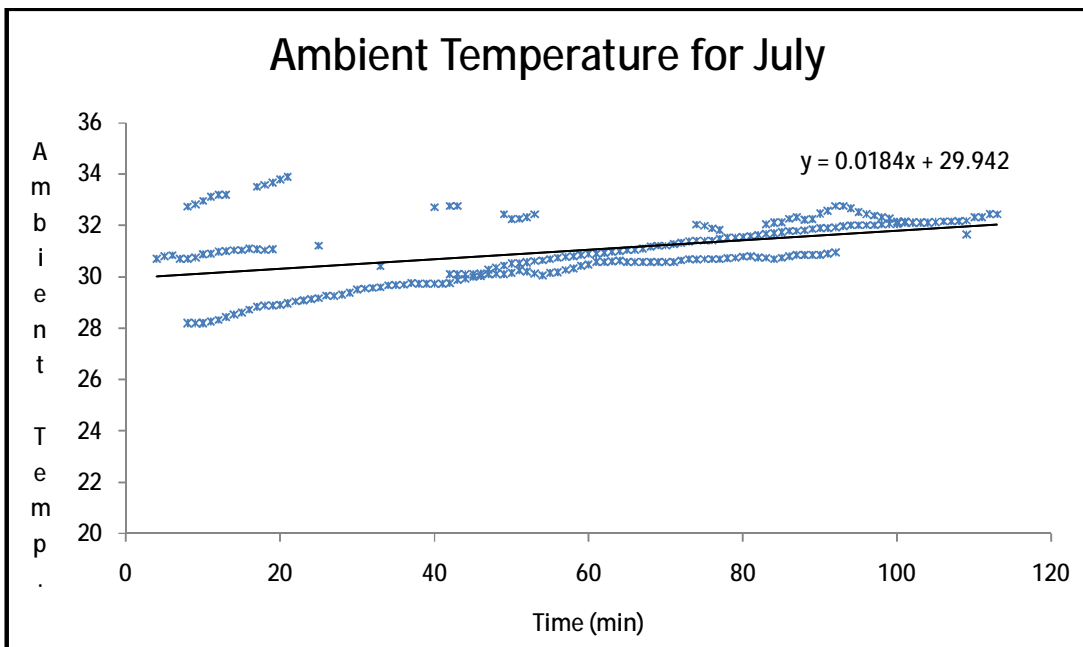


Γράφημα 144:συσχέτιση της θερμοκρασίας αναγέννησης του αφυγραντικού υλικού και του COP το μήνα Ιούνιο με γραμμική προσέγγιση.

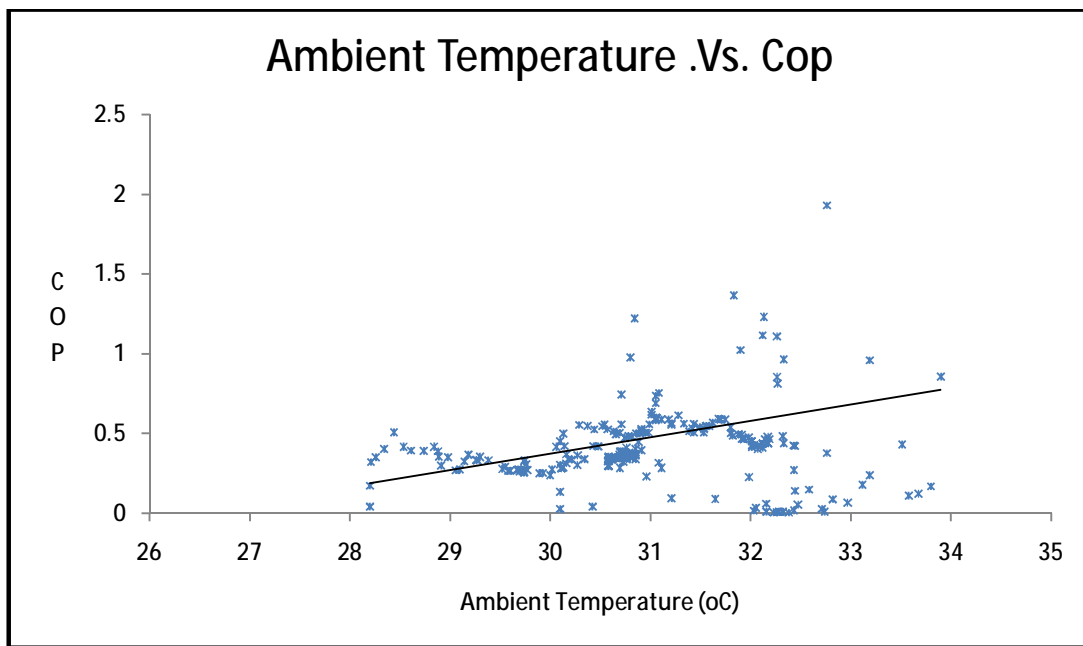
Για τον Ιούλιο:



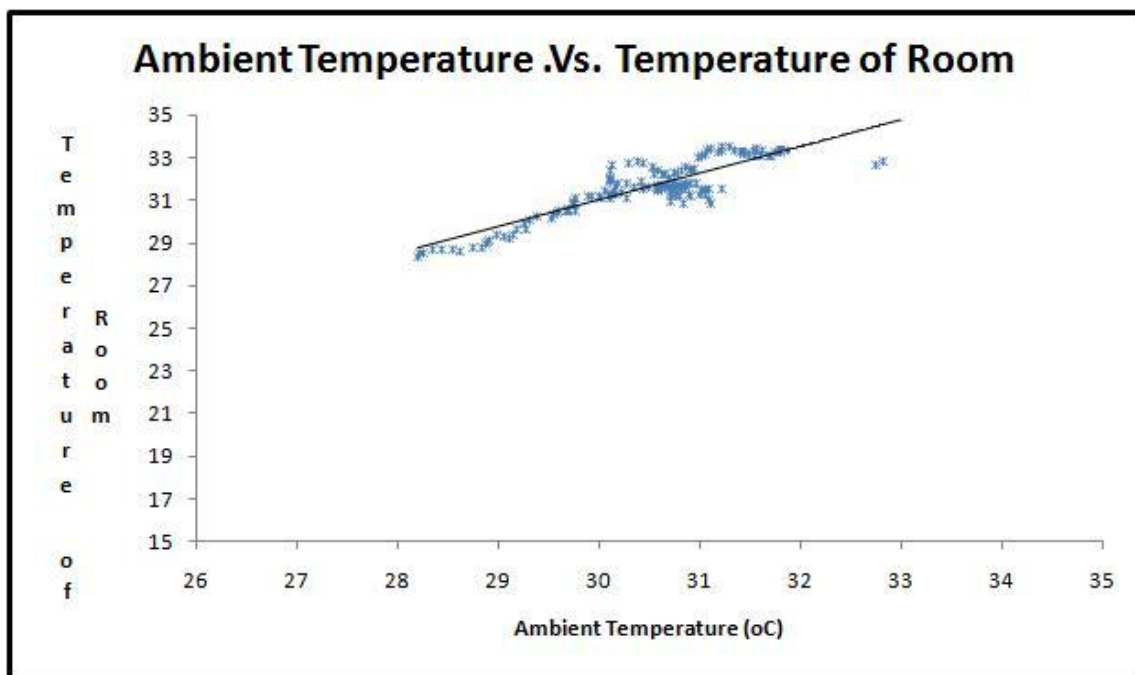
Γράφημα 145: απεικόνιση των τιμών του COP για ολόκληρο το μήνα Ιούλιο με γραμμική προσαρμογή



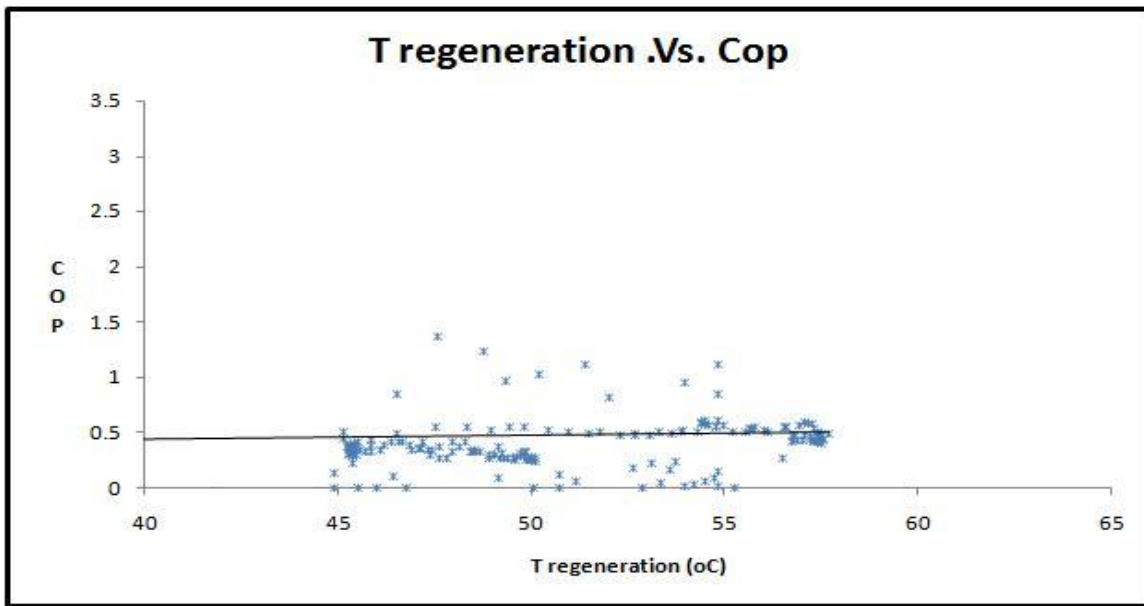
Γράφημα 146: απεικόνιση των τιμών της θερμοκρασίας περιβάλλοντος το μήνα Ιούλιο με γραμμική προσαρμογή



Γράφημα 147:συσχέτιση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος και του COP το μήνα Ιούλιο με γραμμική προσαρμογή

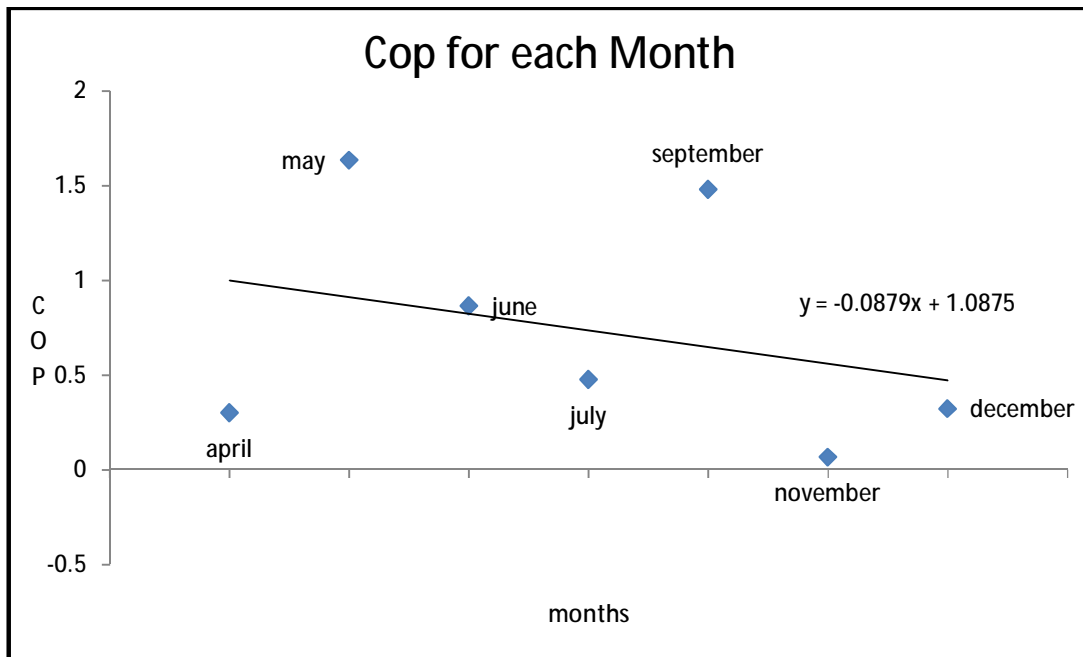


Γράφημα 148:συσχέτιση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος και της θερμοκρασίας του κλιματιζόμενου χώρου το μήνα Ιούλιο με γραμμική προσαρμογή.

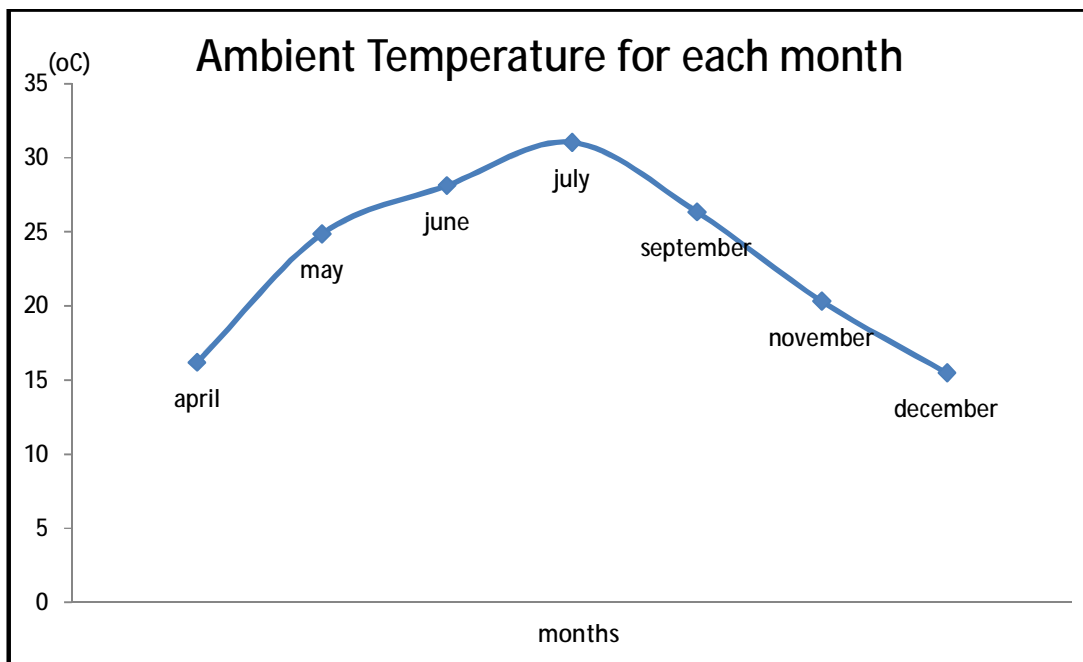


Γράφημα 149:συσχέτιση της θερμοκρασίας αναγέννησης του αφυγραντικού υλικού και του COP το μήνα Ιούλιο με γραμμική προσέγγιση.

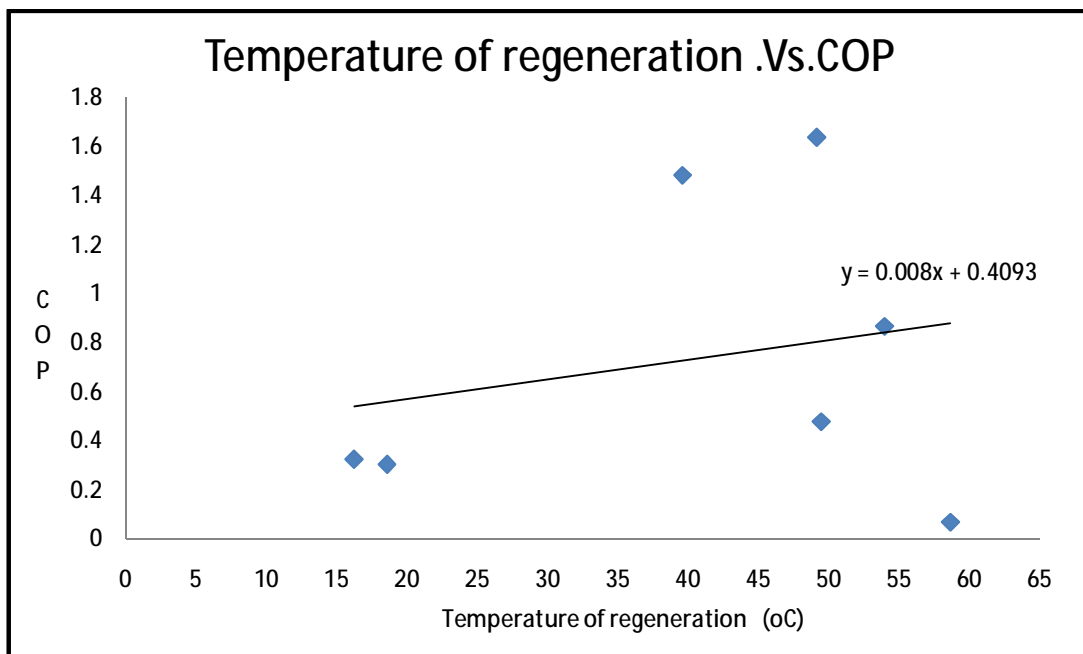
5.2.3 Τα γραφήματα της τρίτης κατηγορίας με τους συνολικούς μέσους όρους παρουσιάζονται παρακάτω:



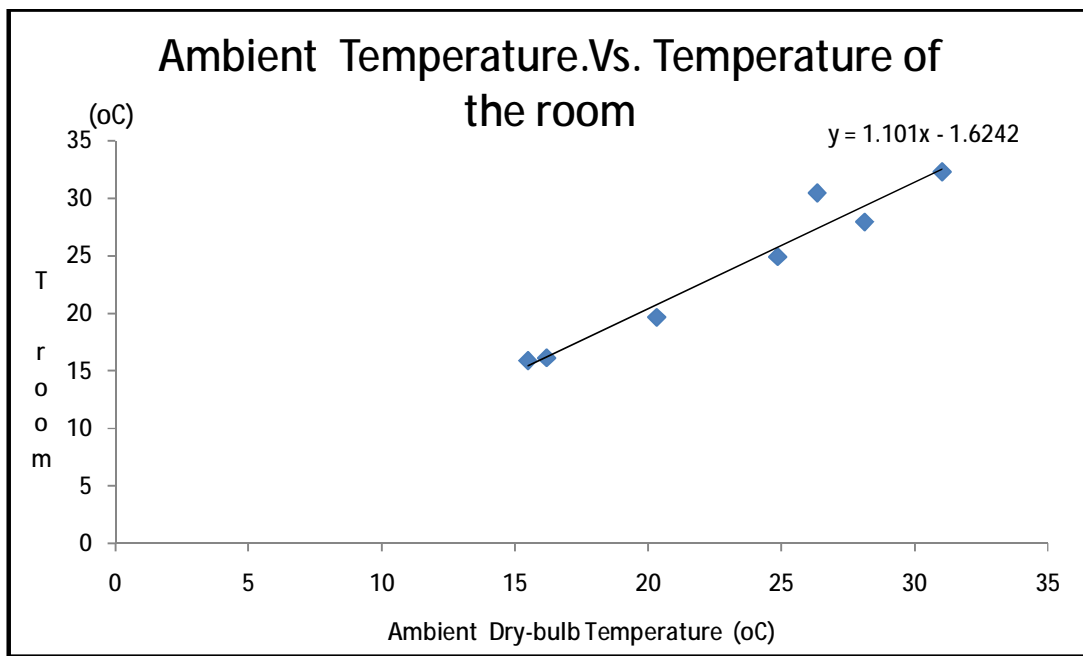
Γράφημα 150:απεικόνιση μέσω των τιμών του COP για όλους τους μήνες μετρήσεων με γραμμική προσέγγιση



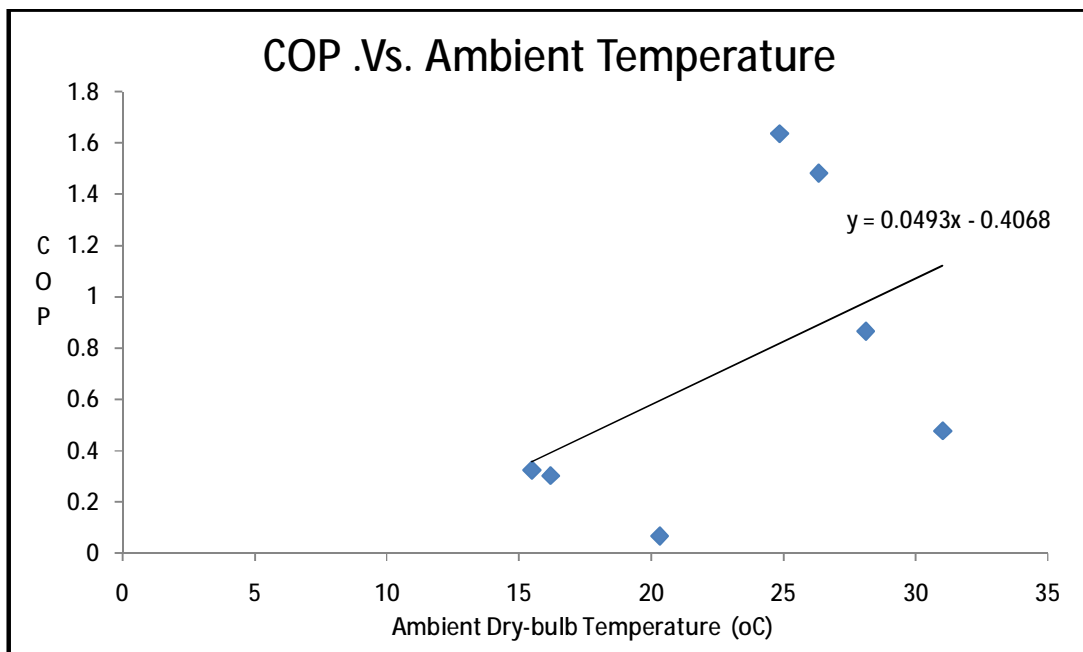
Γράφημα 151: απεικόνιση μέσω των τιμών της θερμοκρασίας περιβάλλοντος για όλους τους μήνες μετρήσεων



Γράφημα 152: συσχέτιση μέσω των τιμών της θερμοκρασίας αναγέννησης του αφυγραντικού υλικού με τις μέσες τιμές του COP για όλους τους μήνες μετρήσεων με γραμμική προσέγγιση



Γράφημα 153:συσχέτιση μέσων τιμών της θερμοκρασίας περιβάλλοντος με τις μέσες τιμές της θερμοκρασίας του κλιματιζόμενου χώρου για όλους τους μήνες μετρήσεων με γραμμική προσέγγιση



Γράφημα 154:συσχέτιση μέσων τιμών της θερμοκρασίας περιβάλλοντος με τις μέσες τιμές του COP για όλους τους μήνες μετρήσεων με γραμμική προσέγγιση

5.3 Παρουσίαση Θερμογραφιών

Όπως έχει ήδη αναφερθεί δεν έχει εγκατασταθεί στη συσκευή αισθητήρας μέτρησης θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας στο σημείο 2, δηλαδή κατάντι του αφυγραντικού τροχού στο ρεύμα προσαγωγής. Η συγκεκριμένη θέση μέτρησης είναι πολύ σημαντική καθώς καθορίζει το θερμοκρασιακό επίπεδο όπου θα γίνει η συναλλαγή θερμότητας με τον εναλλάκτη αισθητής θερμότητας δηλαδή το θερμοκρασιακό εύρος του αέρα προσαγωγής στον κλιματιζόμενο χώρο. Για την πληρότητα των μετρήσεων θεωρήθηκε απαραίτητη η γνώση έστω και την θερμοκρασίας που επικρατεί στο συγκεκριμένο σημείο.

Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε η θερμοκάμερα του εργαστήριου, του τομέα θερμότητας της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών για τη λήψη των απαραίτητων θερμογραφιών. Η θερμογραφία αποτελεί μέτρηση με την οποία επιτυγχάνεται η απεικόνιση της κατανομής της θερμοκρασίας μιας επιφάνειας με τη βοήθεια αισθητήρων υπέρυθρης ακτινοβολίας. Έτσι δημιουργείται μια εικόνα ή ένας θερμικός χάρτης όπως ονομάζεται που αποτυπώνει χρωματικά τις θερμοκρασίες που αναπτύσσονται πάνω στην εξεταζόμενη επιφάνεια, με χρώμα μπλε για τις λιγότερο θερμές επιφάνειες και κόκκινο για τις περισσότερο θερμές, παρουσιάζοντας παράλληλα την αντίστοιχη κλίμακα για την ποσοτικοποίηση των διάφορων αποχρώσεων που καταγράφονται. Έτσι αποτυπώθηκε η κατανομή της θερμοκρασίας του αφυγραντικού τροχού σε δύο σημεία της συσκευής. Αρχικά στο σημείο 2, που αναφέρθηκε παραπάνω αλλά και στο σημείο 9 το οποίο βρίσκεται κατάντι του αφυγραντικού τροχού στο ρεύμα επιστροφής. Οι θερμογραφίες για τα δύο σημεία λαμβάνονταν διαδοχικά, με αμελητέα για την εξέλιξη των θερμοδυναμικών φαινομένων χρονική διαφορά. Έτσι ουσιαστικά, προκύπτουν οι απεικονίσεις των δύο σημείων για τις ίδιες συνθήκες και μπορεί να γίνει άμεση σύγκριση και συσχέτιση.

Η συγκεκριμένη θερμοκάμερα είναι κατασκευασμένη από την εταιρεία Flir με κωδικό προϊόντος E300. Η συγκεκριμένη θερμοκάμερα έχει θερμοκρασιακό πεδίο λήψης από -20°C έως 500°C , με ακρίβεια 2°C ή 2%. Διαθέτει αυτόματη ή χειροκίνητη εστίαση για καλύτερη ευκρίνεια στις λαμβανόμενες θερμογραφίες. Τέλος, το φασματικό εύρος αποτύπωσης κυμαίνεται από 7,5m έως 13 m. Όλες οι θερμογραφίες αποθηκεύονται στην μνήμη της θερμοκάμερας και με κατάλληλη συνδεσμολογία μεταφέρονται σε ηλεκτρονικό υπολογιστή για περαιτέρω επεξεργασία από το ειδικό λογισμικό ThermaCam QuickReport, που παρέχεται από την κατασκευάστρια εταιρεία. [25]

Οι θερμογραφίες για τα σημεία 2 και 9 ελήφθησαν κατά την 20^η και 21^η Ιουλίου του 2009 από τις 11π.μ έως 2 μ.μ ανά δεκαπέντε περίπου λεπτά. Την 21^η Ιουλίου και την 22^η ελήφθησαν συνολικά δέκα ζευγάρια θερμογραφιών. Οι συγκεκριμένες θερμογραφίες υπέστησαν επεξεργασία με το εξειδικευμένο λογισμικό ThermaCam QuickReport 1.1. Το συγκεκριμένο λογισμικό προσφέρει τη δυνατότητα αλλαγής της προσφερόμενης χρωματικής κλίμακας, μεταβάλλοντας τη τιμή για τη μέγιστη και την ελάχιστη θερμοκρασία που απεικονίζεται στη θερμογραφία, ώστε να έχουμε καλύτερη κατανομή των αποχρώσεων στην εικόνα μας αλλά και πιο ομαλή μετάβαση από την μία απόχρωση στην άλλη. Ακόμα δίνεται η δυνατότητα για την εξέταση συγκεκριμένων περιοχών των θερμογραφιών που μπορεί να ενδιαφέρουν ιδιαίτερα το χρήστη προσφέροντας παράλληλα και κάποια πολύ σημαντικά αριθμητικά στοιχεία όπως είναι η

ελάχιστη τιμή , η μέγιστη τιμή και ο μέσος όρος της εμφανιζόμενης θερμοκρασίας στη συγκεκριμένη περιοχή. Τα συγκεκριμένα στοιχεία εξάγονται σε αρχείο του προγράμματος Microsoft Excel όπου η επεξεργασία τους γίνεται πολύ εύκολα και από έναν μη πεπειραμένο χρήστη.

Συγκεκριμένα για κάθε μία θερμογραφία, ανεξάρτητα για το αν αναφέρεται στο σημείο 2 ή 9, ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία επεξεργασίας. Αρχικά διαμορφώνεται η κατάλληλη χρωματική κλίμακα ώστε να έχουμε την καλύτερη δυνατή απεικόνιση των διαφορετικών περιοχών στη θερμογραφία. Στη συνέχεια, χωρίζουμε την επιφάνεια του αφυγρυντικού τροχού σε δύο κυκλικούς τομείς που καθορίζουν τη «θερμή» και «ψυχρή» περιοχή του τροχού με σκοπό να καθορίσουμε την μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία που αναπτύσσεται πάνω στην επιφάνεια του. Προσπαθούμε να προσεγγίσουμε τον κάθε κυκλικό τομέα με επιμέρους ορθογώνιες επιφάνειες, καθώς είναι το μοναδικό σχήμα που παρέχεται από το λογισμικό, με τέτοιο τρόπο ώστε να καλύψουμε όσο το δυνατόν καλύτερα όλη την εξεταζόμενη περιοχή αποφεύγοντας παράλληλα τα στοιχεία όπως το μεταλλικό πλαίσιο του τροχού αλλά και τα μεταλλικά ακτινικά στηρίγματα. Αυτό συμβαίνει καθώς το πλέγμα του αφυγρυντικού υλικού παρουσιάζει τελείως διαφορετικές θερμοχωρητικές ιδιότητες από τα συγκεκριμένα μεταλλικά στοιχεία, έτσι θα ήταν ανακρίβεια να συμπεριληφθούν και αυτά στον υπολογισμό των παρατηρούμενων στη θερμογραφία θερμοκρασιών. Ειδικότερα, στις απεικονίσεις που αφορούν το σημείο 2 της εγκατάστασης παρατηρείται μια περιοχή αδικαιολόγητα θερμή σε σχέση με τις υπόλοιπες γύρω της. Αυτό συμβαίνει καθώς στο σημείο εκείνο βρίσκεται ο ηλεκτροκινητήρας με τη βοήθεια του οποίου ο αφυγρυντικός τροχός περιστρέφεται., έτσι αναπτύσσονται θερμοκρασίες πολύ μεγαλύτερες και ανεξάρτητες από το θερμοκρασιακό εύρος που αφορά στην αφύγρανση του αέρα προσαγωγής της εγκατάστασης. Έπειτα υπολογίζουμε το εμβαδό της κάθε ορθογώνιας περιοχής (E_i ,όπου i ο αύξον αριθμός της κάθε περιοχής) από τα δεδομένα που μας παρέχει το λογισμικό της θερμοκάμερας σε μονάδες μήκους στο τετράγωνο ($[L]^2$), κάνοντας τη παραδοχή ότι τι εμβαδό του κυκλικού τομέα καλύπτεται πλήρως από το άθροισμα των εμβαδών των επιμέρους περιοχών, υπολογίζουμε τη βαρύτητα w_i της κάθε περιοχής από τον τύπο (5.1)

$$w_i = \frac{E_i}{E_{total}} \quad (5.1)$$

Έτσι από τον μαθηματικό τύπο για το σταθμισμένο αριθμητικό μέσο υπολογίζουμε τη μέση θερμοκρασία για τη θερμή και ψυχρή περιοχή του τροχού αντίστοιχα(5.2)

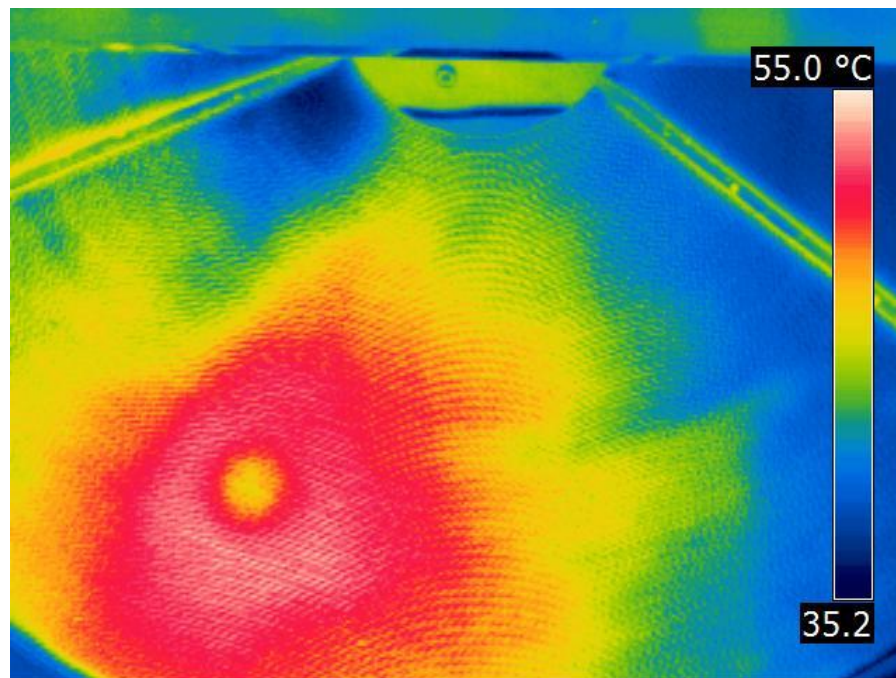
$$T_{aver} = \frac{\sum x_i * \bar{T}_i}{\sum w_i} \quad (5.2)$$

όπου \bar{T}_i η μέση θερμοκρασία κάθε επιμέρους περιοχή.

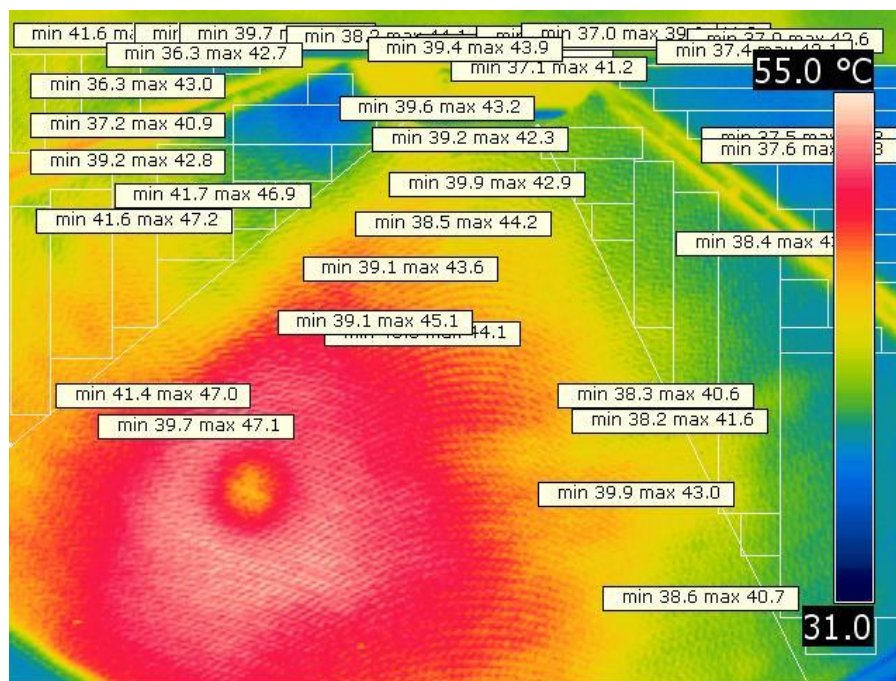
5.4 Ανάλυση Θερμογραφιών

5.4.1 Θερμογραφίες

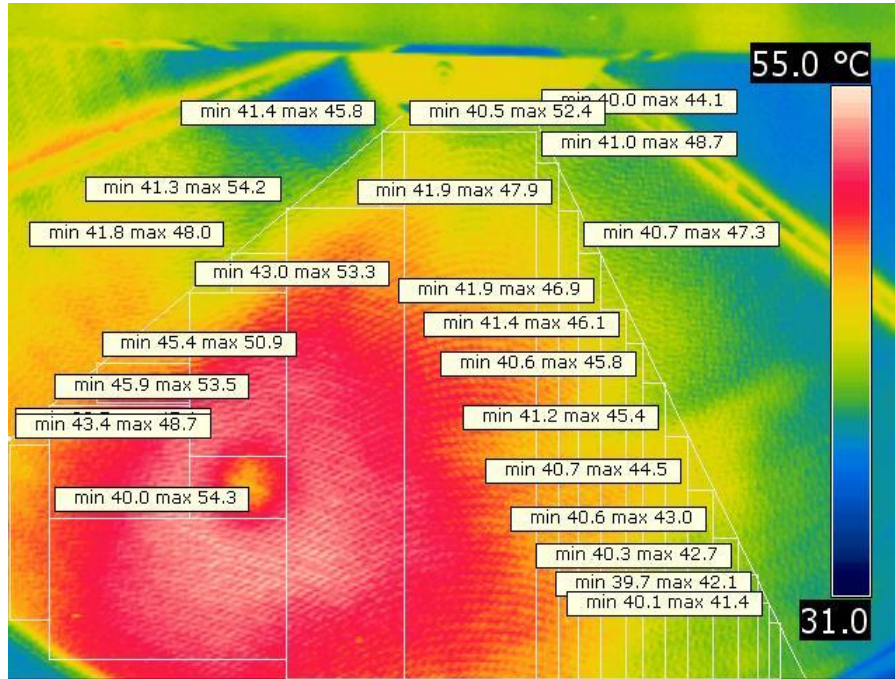
Για την 21^η Ιουλίου έχουμε τις παρακάτω θερμογραφίες:



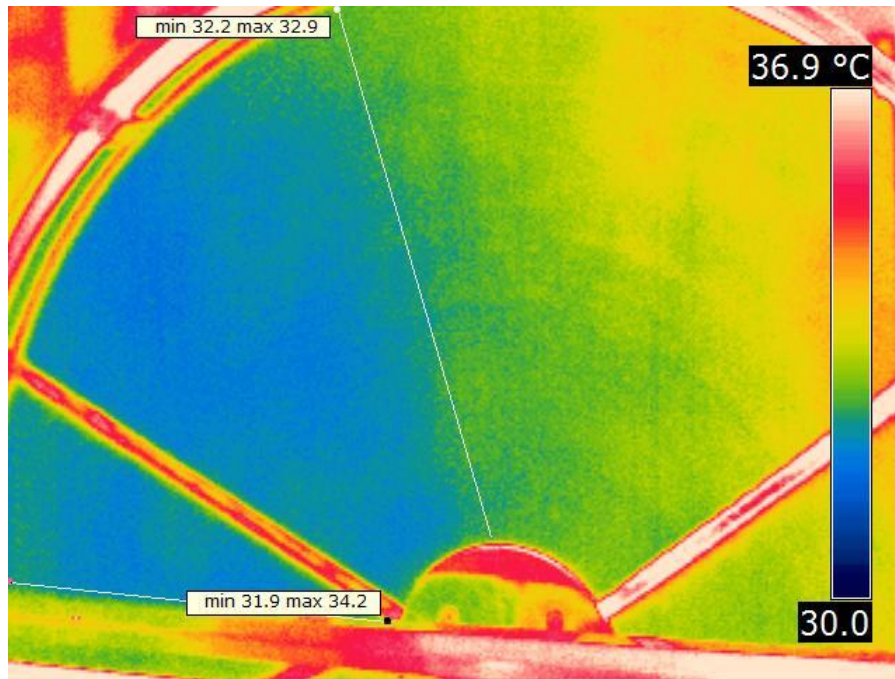
Θερμογραφία 1: σημείο 2, λήψη 1^η



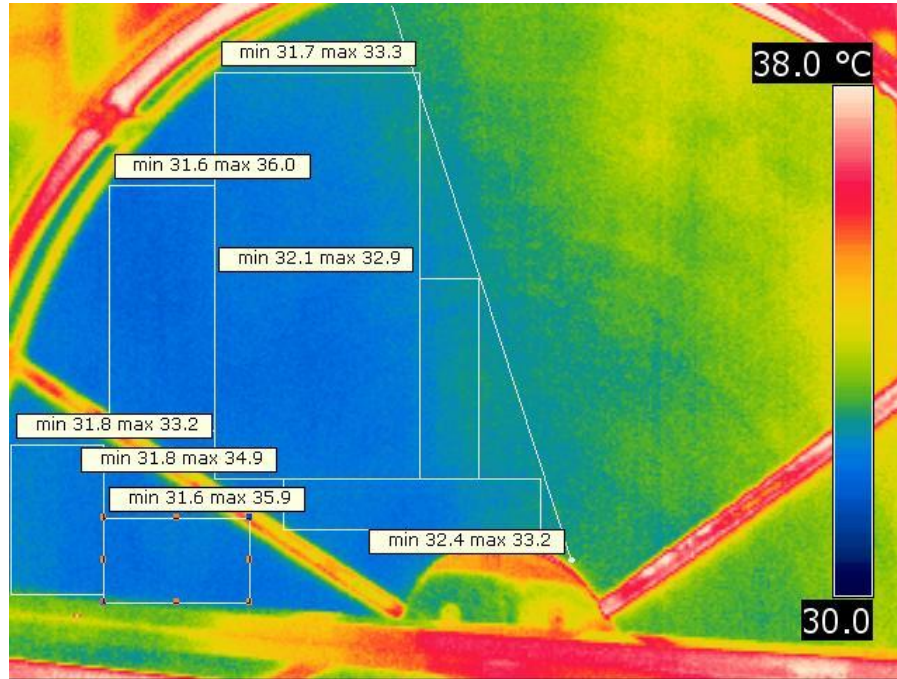
Θερμογραφία 2: σημείο 2, λήψη 1^η, ψυχρός κυκλικός τομέας



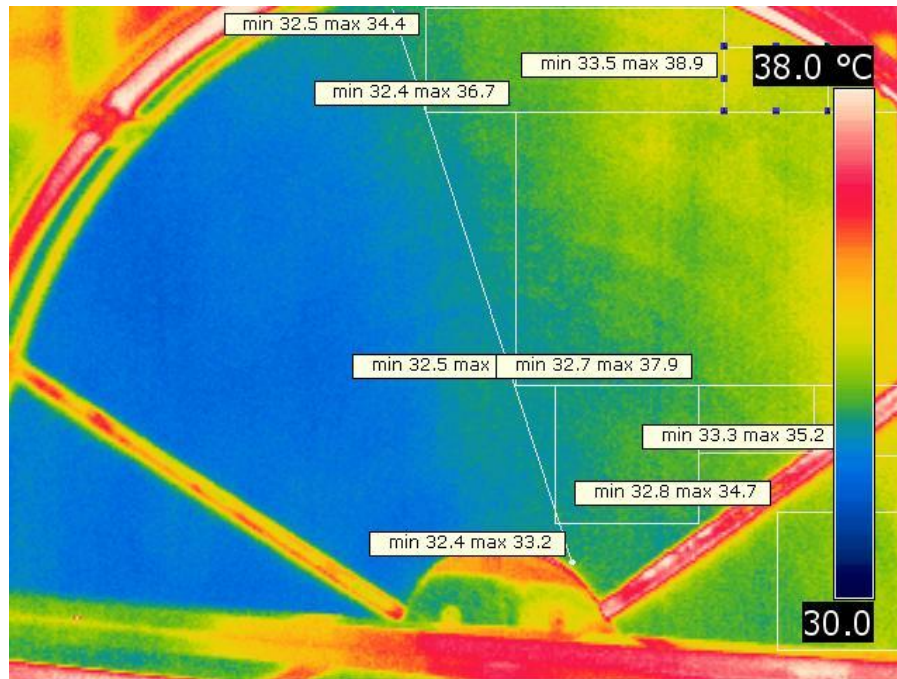
Θερμογραφία 3: σημείο 2, λήψη 1^η, θερμός κυκλικός τομέας



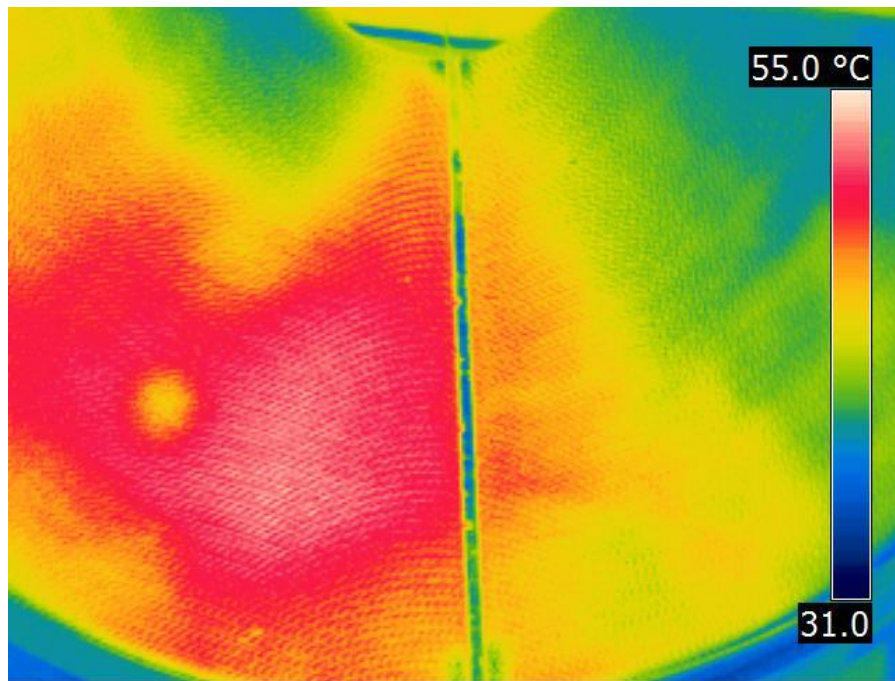
Θερμογραφία 4: σημείο 9, λήψη 1^η



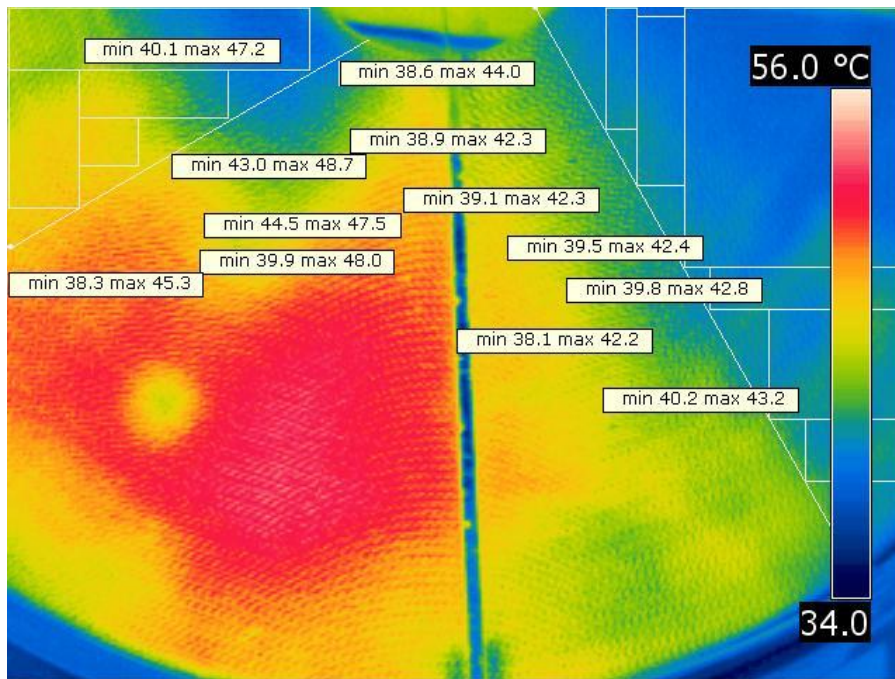
Θερμογραφία 5: σημείο 9, λήψη 1^η, ψυχρός κυκλικός τομέας



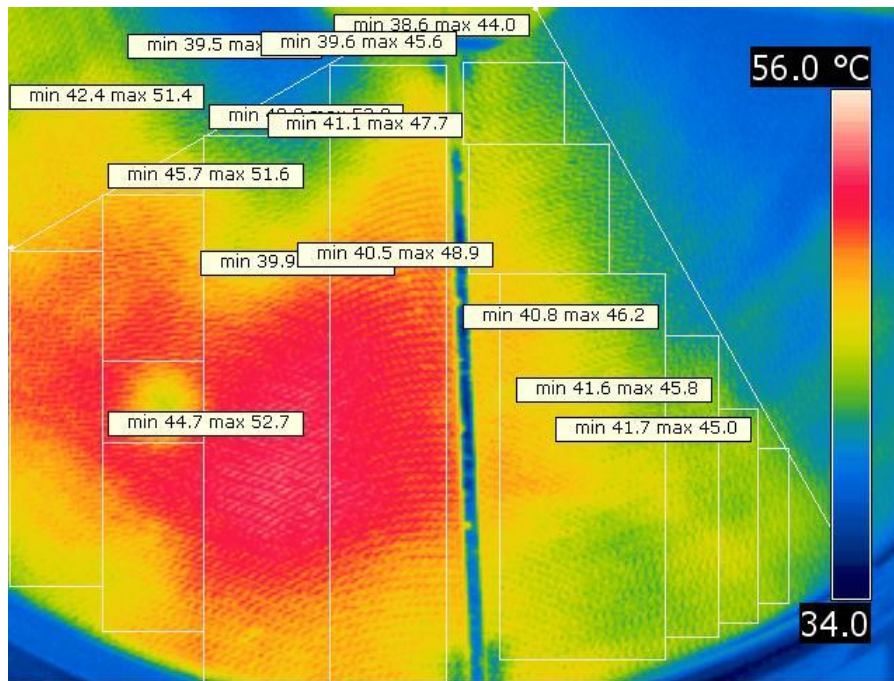
Θερμογραφία 6: σημείο 9, λήψη 1^η, θερμός κυκλικός τομέας



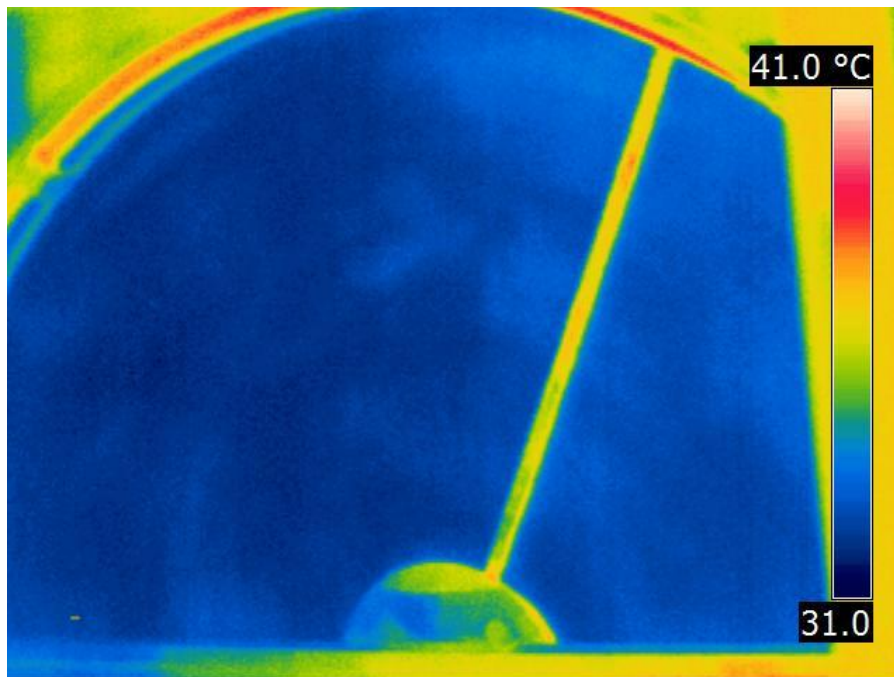
Θερμογραφία 7: σημείο 2, λήψη 2^η



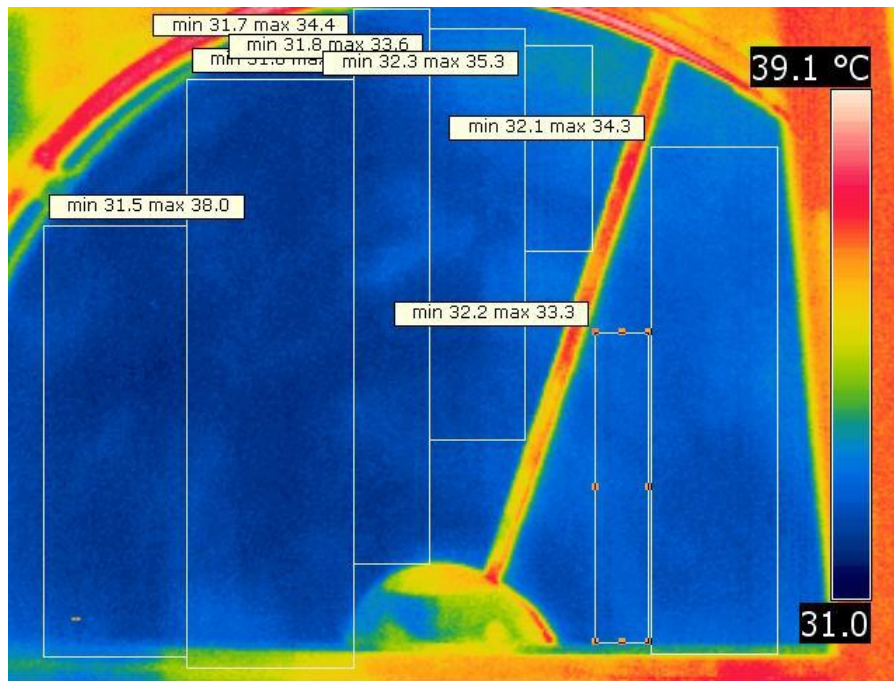
Θερμογραφία 8: σημείο 2, λήψη 2^η, ψυχρός κυκλικός τομέας



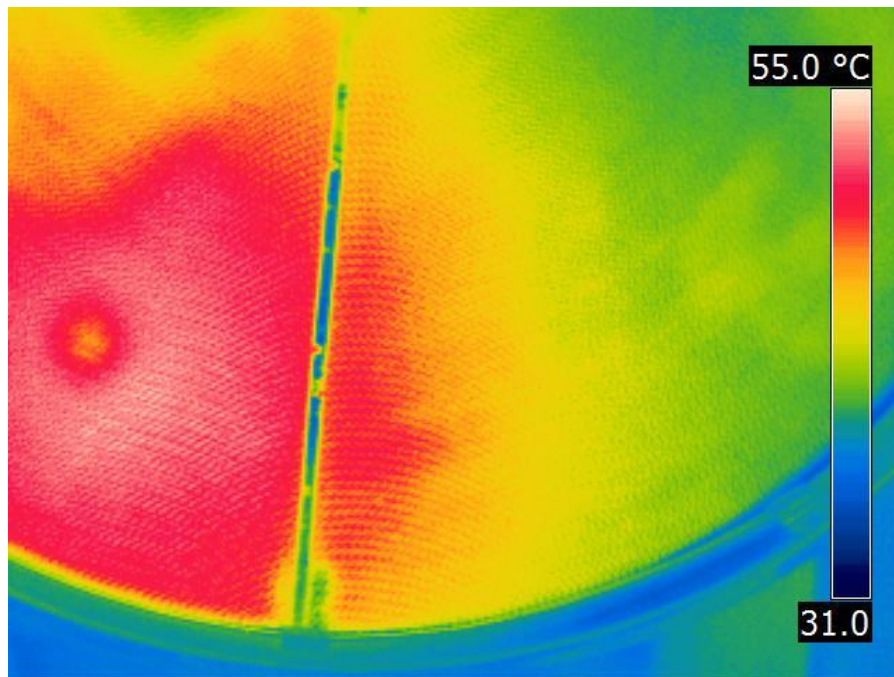
Θερμογραφία 9: σημείο 2, λήψη 2^η, θερμός κυκλικός τομέας



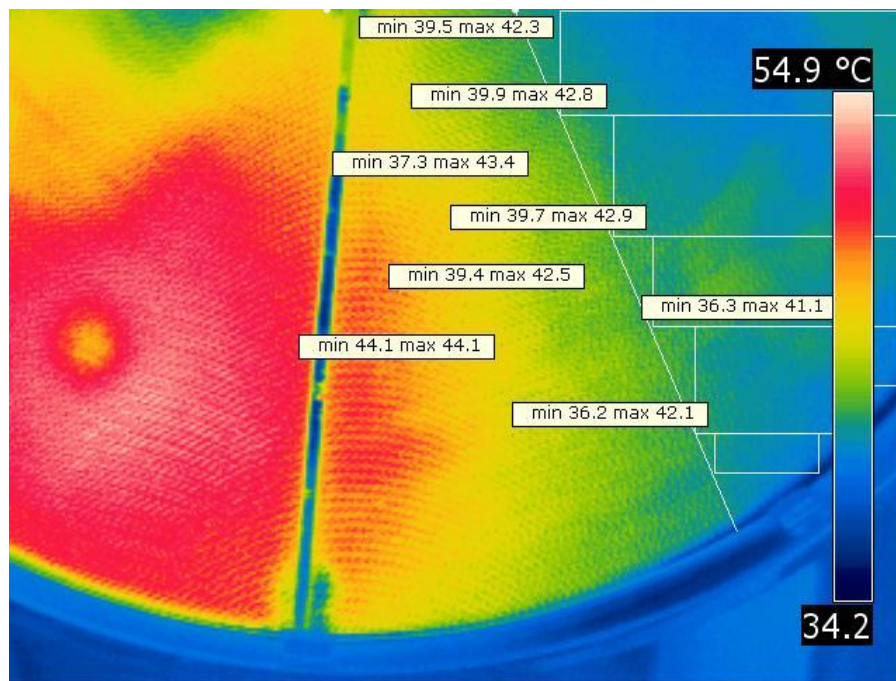
Θερμογραφία 10: σημείο 9, λήψη 2^η



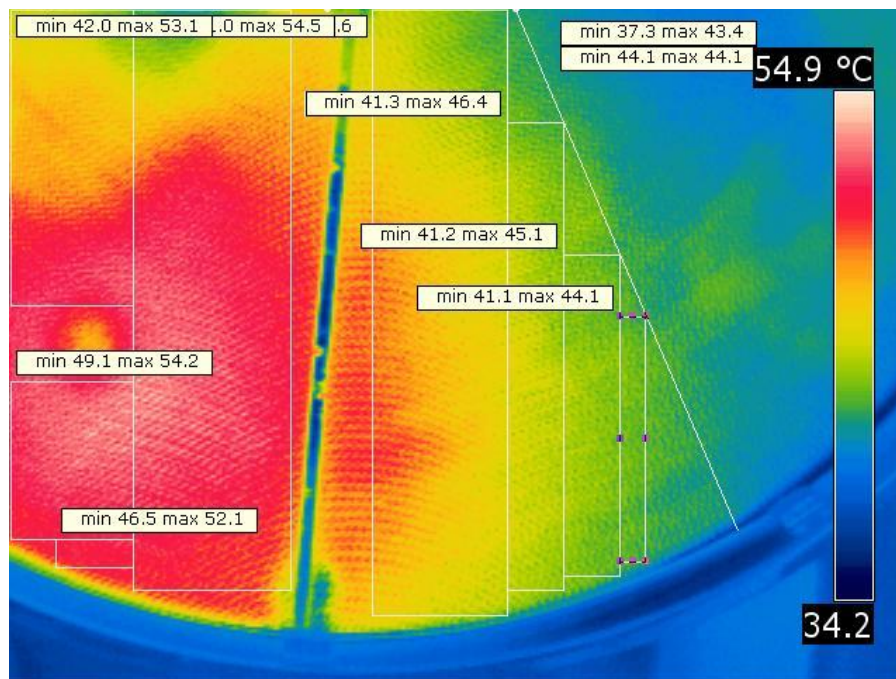
Θερμογραφία 11: σημείο 9, λήψη 2^η, ψυχρός και θερμός κυκλικός τομέας



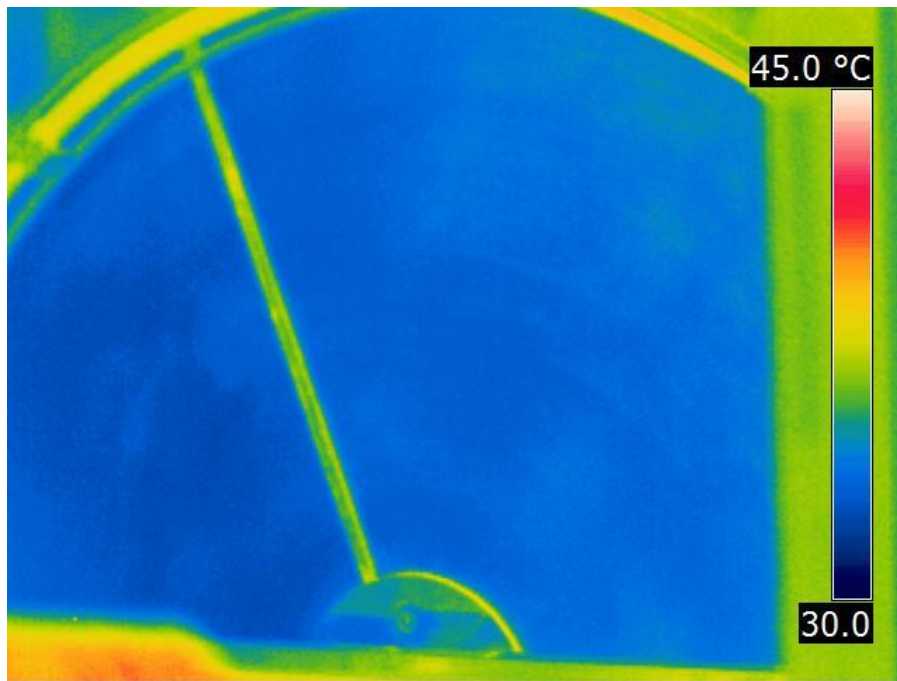
Θερμογραφία 11: σημείο 2, λήψη 3^η



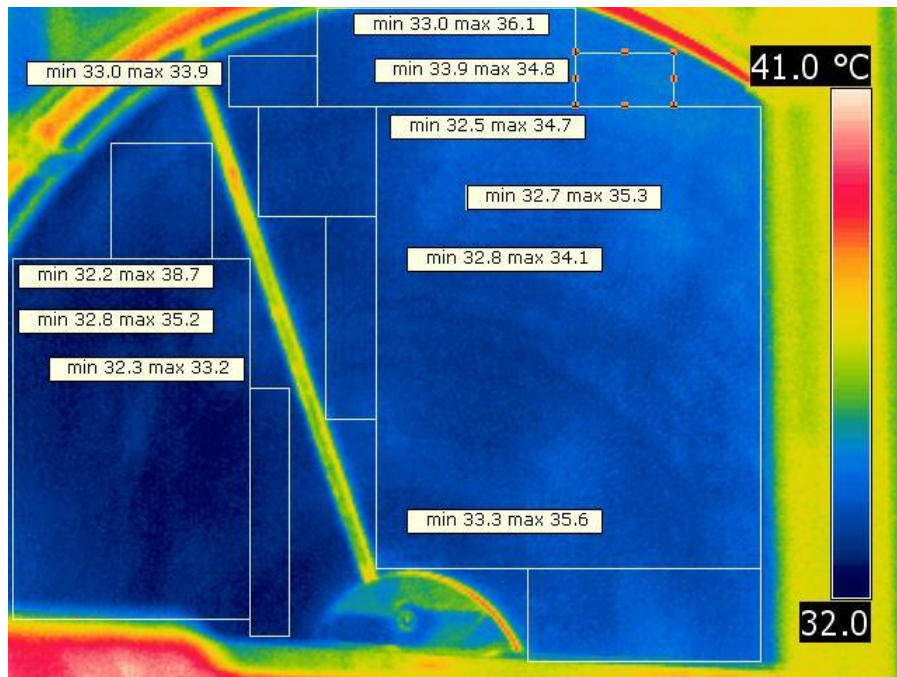
Θερμογραφία 12: σημείο 2, λήψη 3^η, ψυχρός κυκλικός τομέας



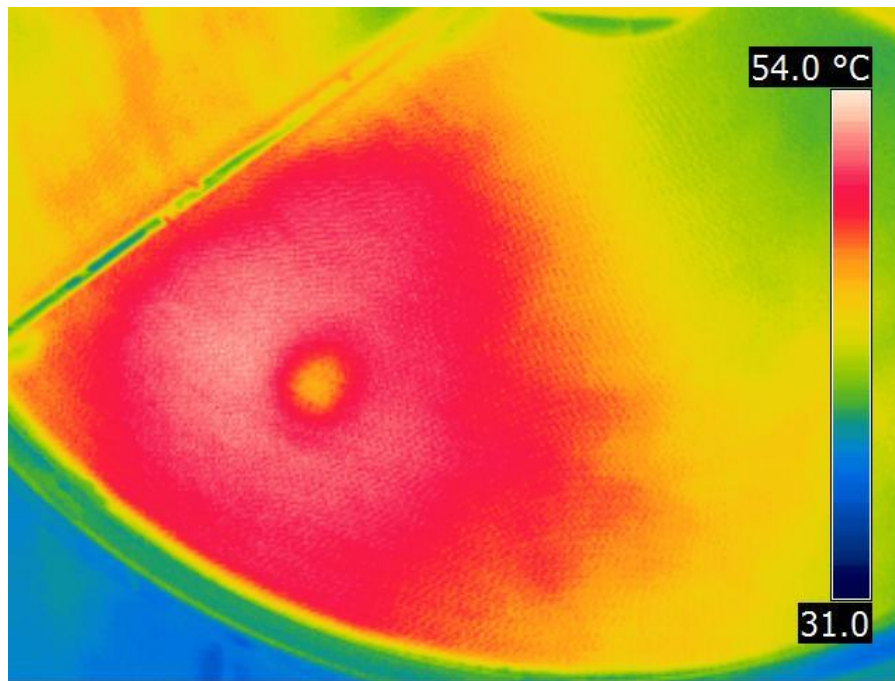
Θερμογραφία 13: σημείο 2, λήψη 3^η, θερμός κυκλικός τομέας



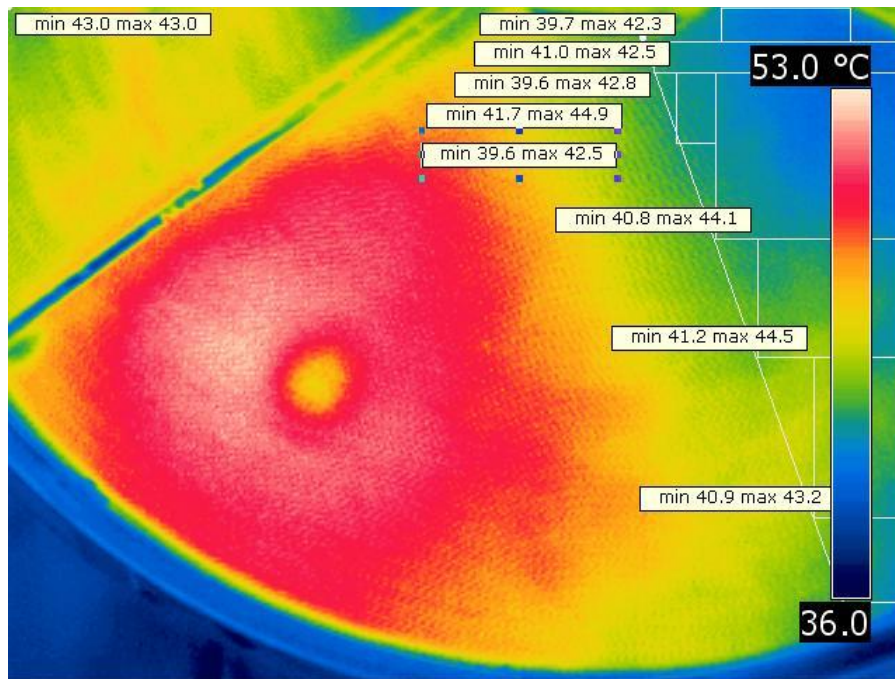
Θερμογραφία 14: σημείο 9, λήψη 3^η



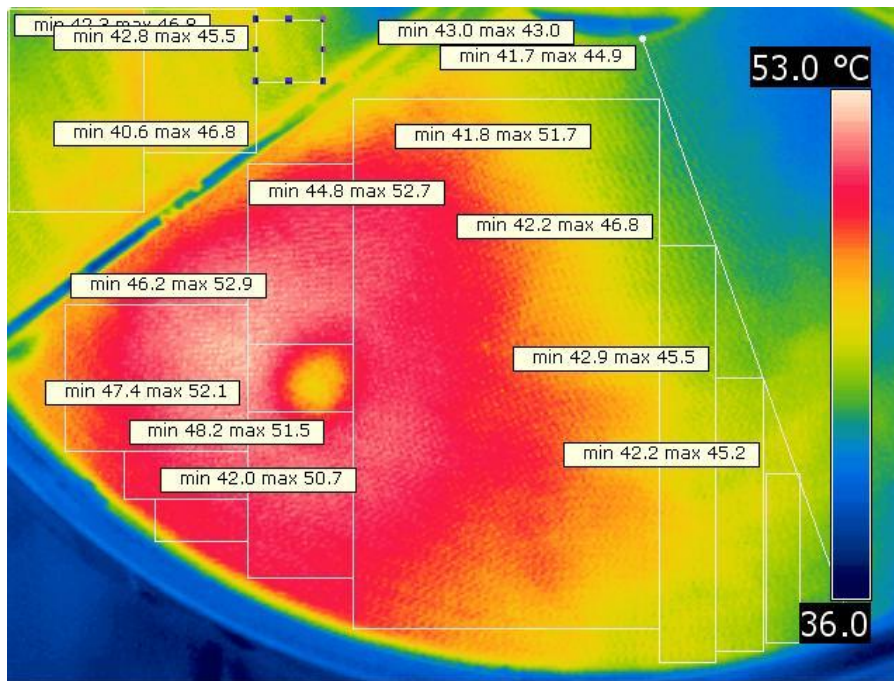
Θερμογραφία 14: σημείο 9, λήψη 3^η, ψυχρός και θερμός κυκλικός τομέας



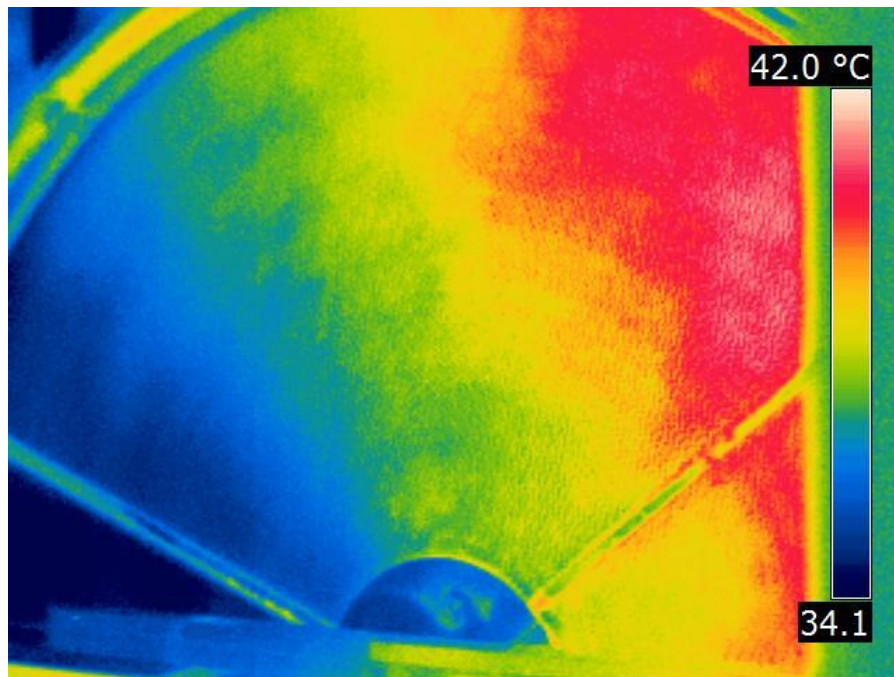
Θερμογραφία 15: σημείο 2, λήψη 4"



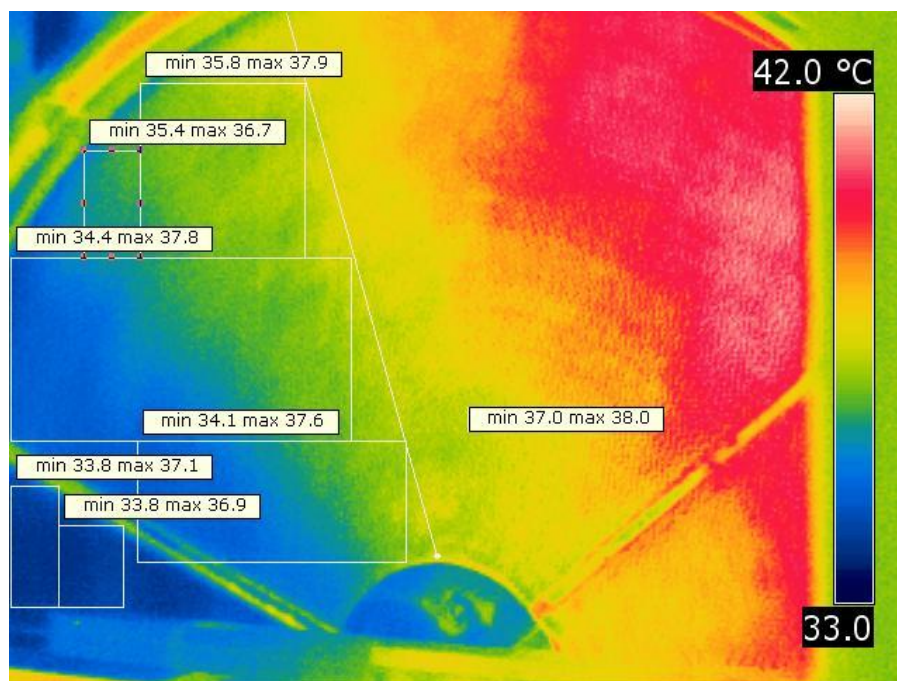
Θερμογραφία 16: σημείο 2, λήψη 4", ψυχρός κυκλικός τομέας



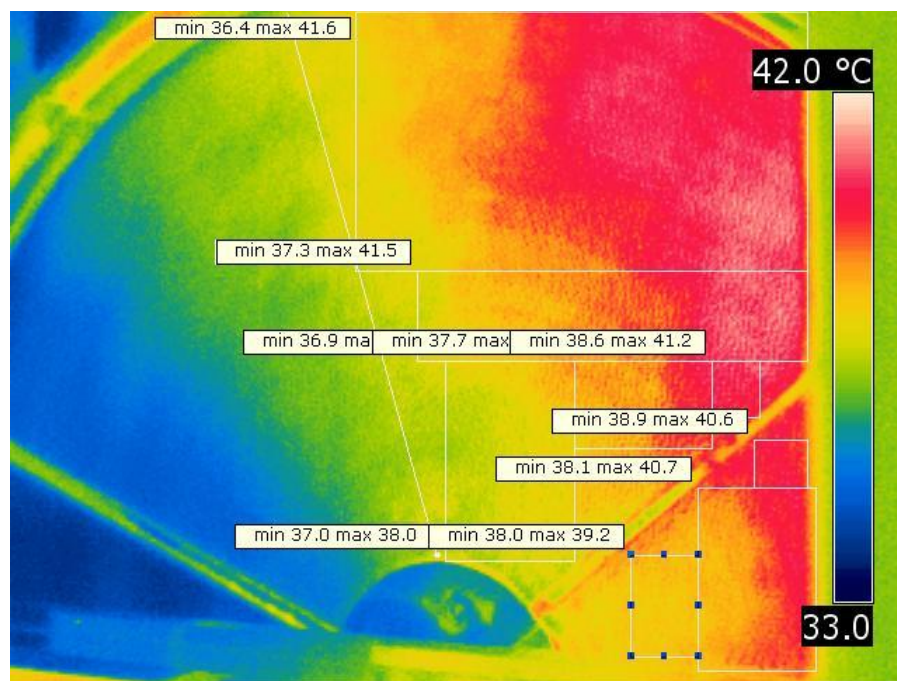
Θερμογραφία 17: σημείο 2, λήψη 4^η, θερμός κυκλικός τομέας



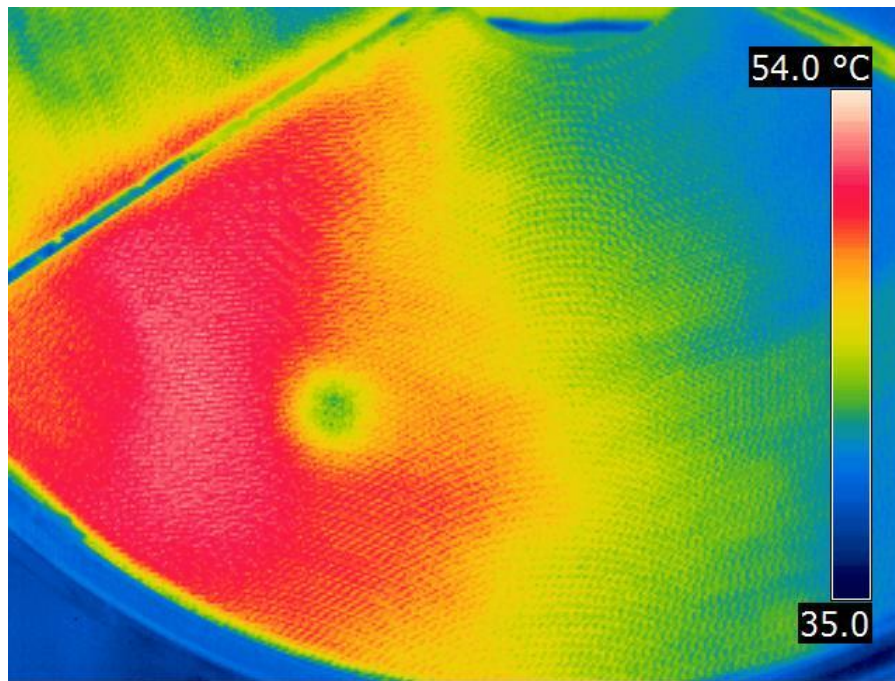
Θερμογραφία 18: σημείο 9, λήψη 4^η



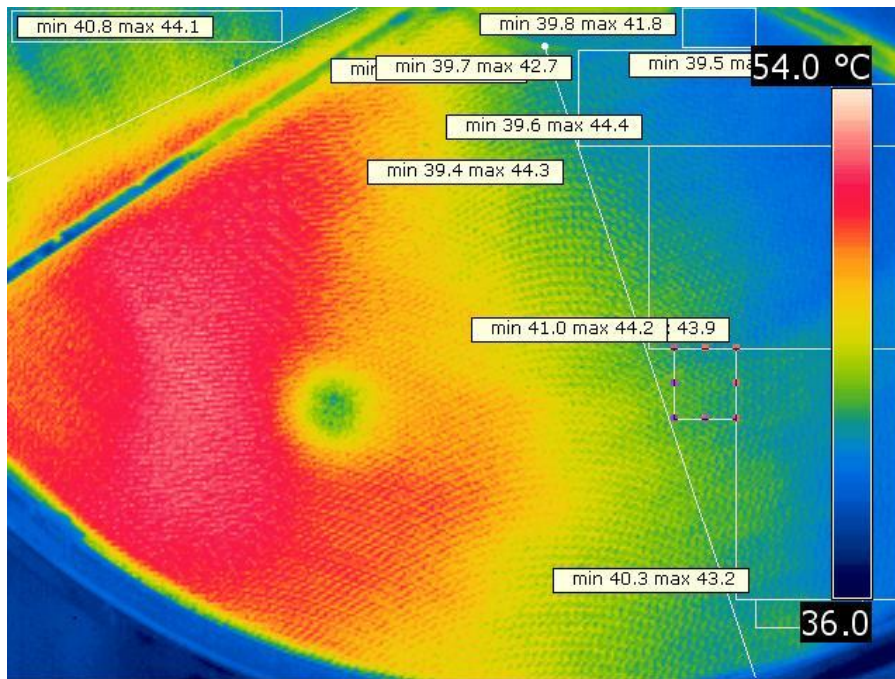
Θερμογραφία 19: σημείο 9, λήψη 4^η, ψυχρός κυκλικός τομέας



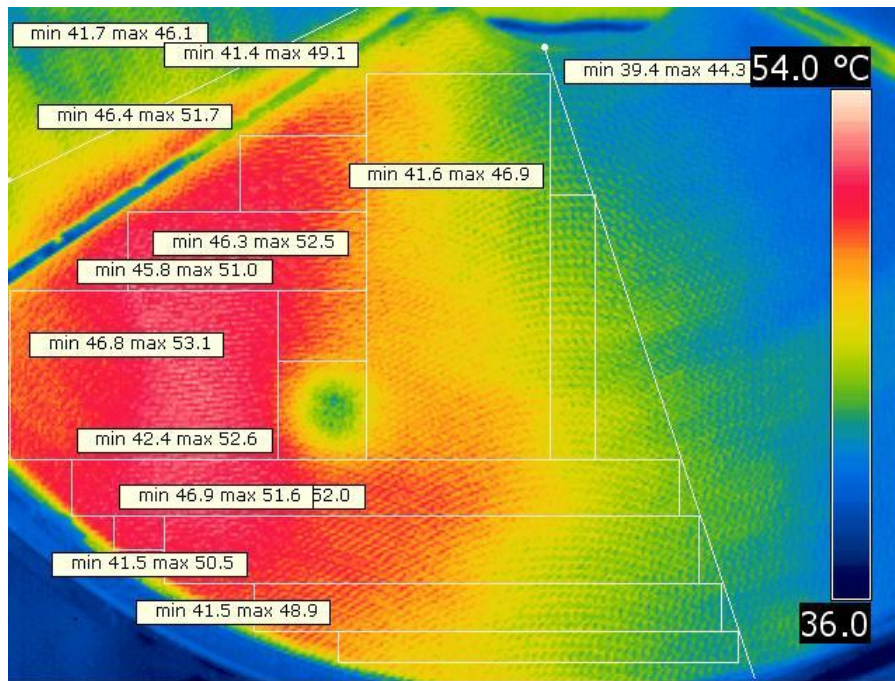
Θερμογραφία 20: σημείο 9, λήψη 4^η, θερμός κυκλικός τομέας



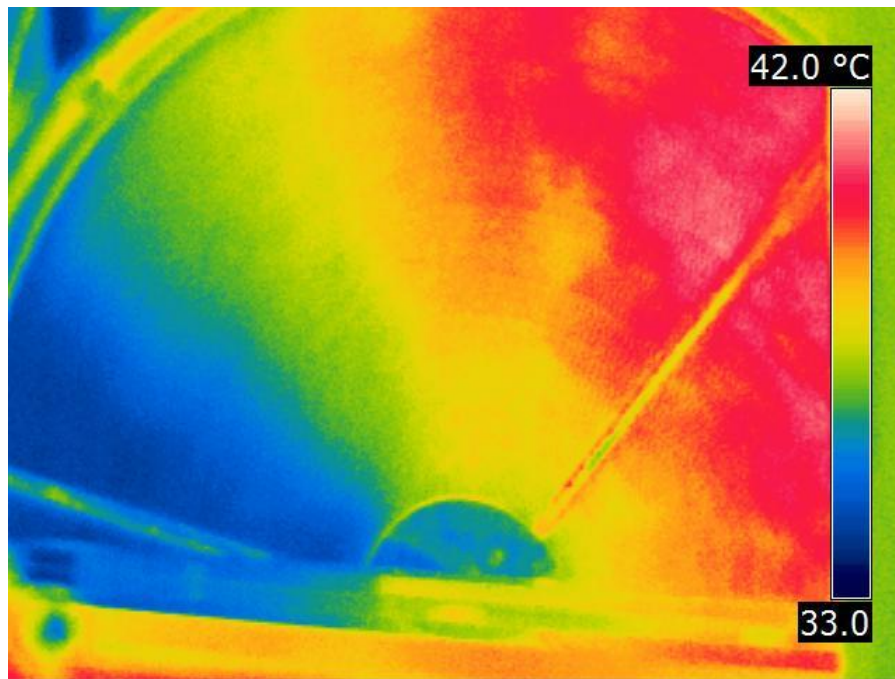
Θερμογραφία 21: σημείο 2, λήψη 5"



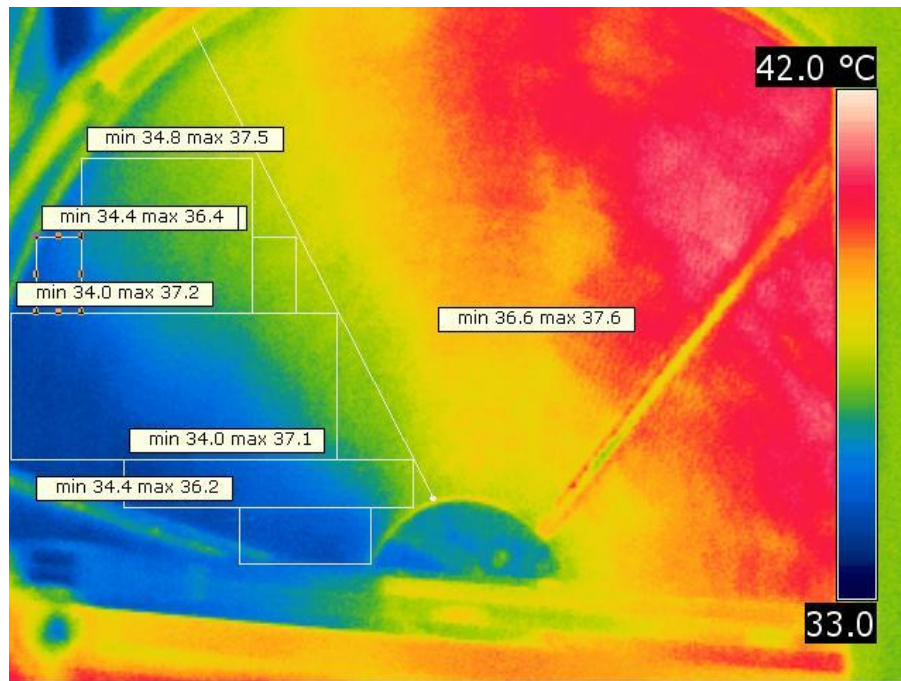
Θερμογραφία 22: σημείο 2, λήψη 5", ψυχρός κυκλικός τομέας



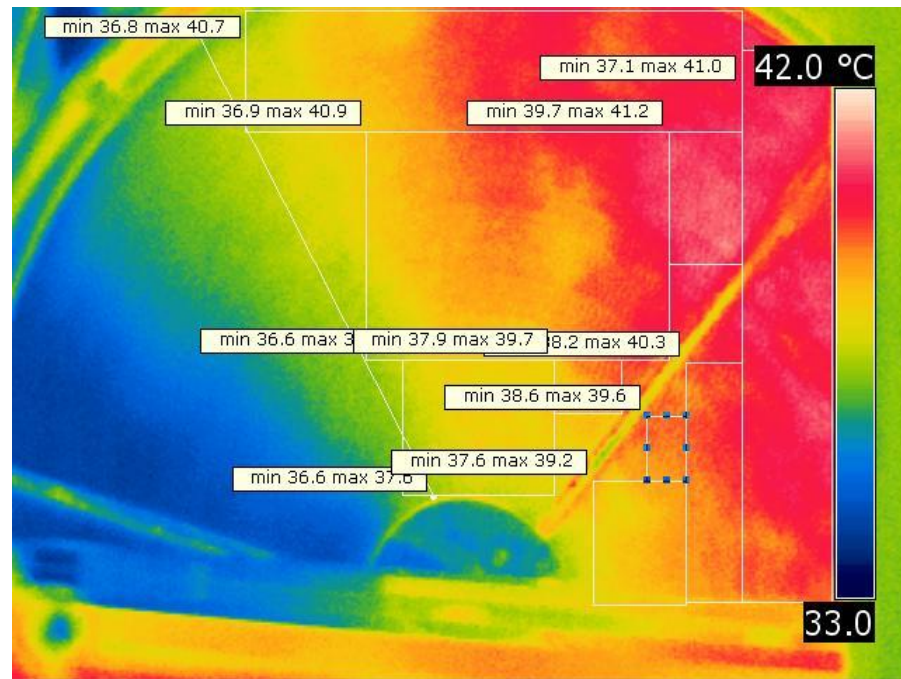
Θερμογραφία 23: σημείο 2, λήψη 5", θερμός κυκλικός τομέας



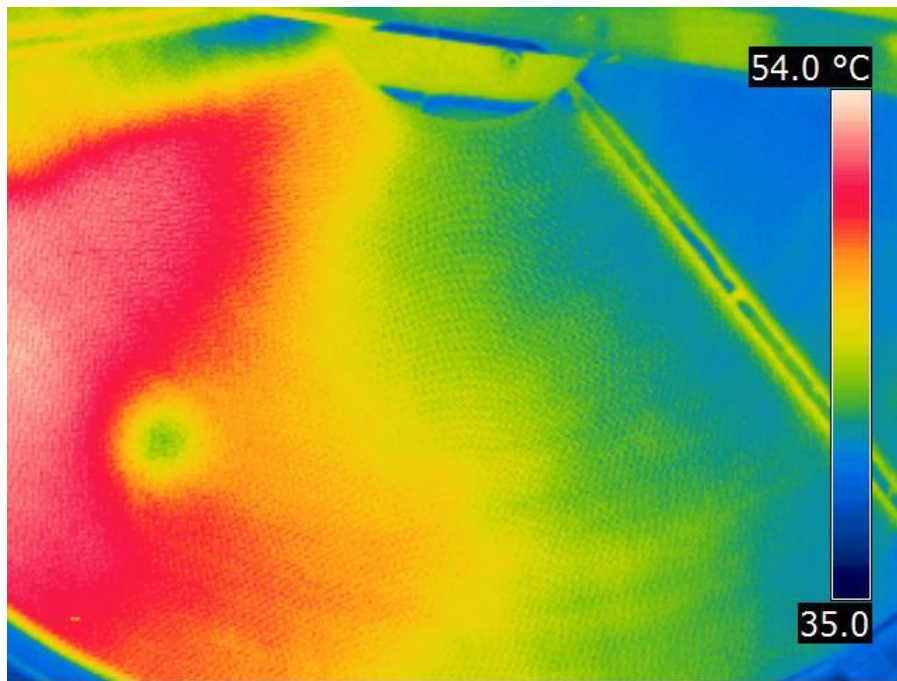
Θερμογραφία 24: σημείο 9, λήψη 5"



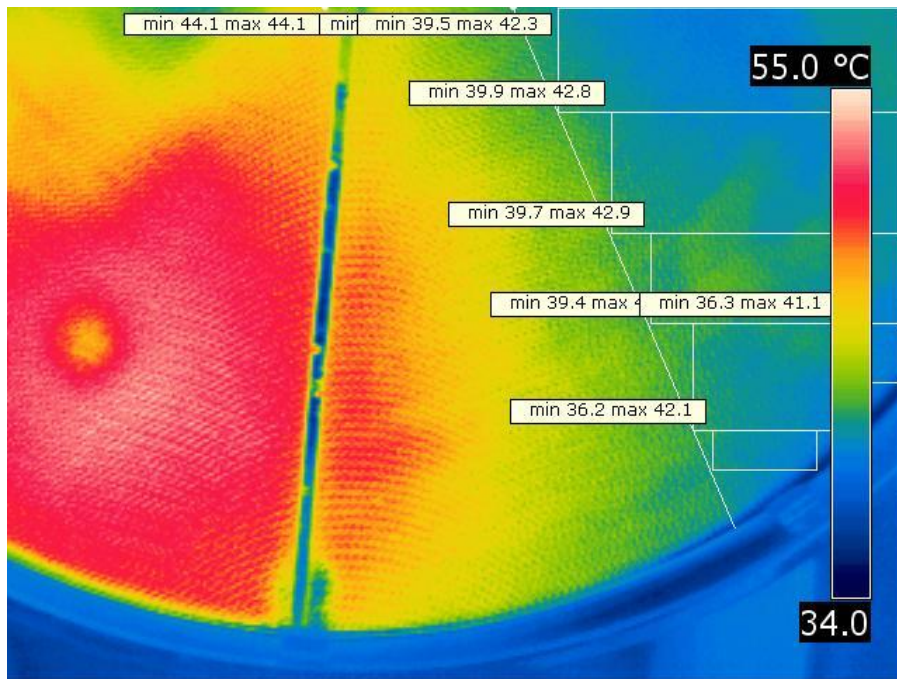
Θερμογραφία 25: σημείο 9, λήψη 5^η, ψυχρός κυκλικός τομέας



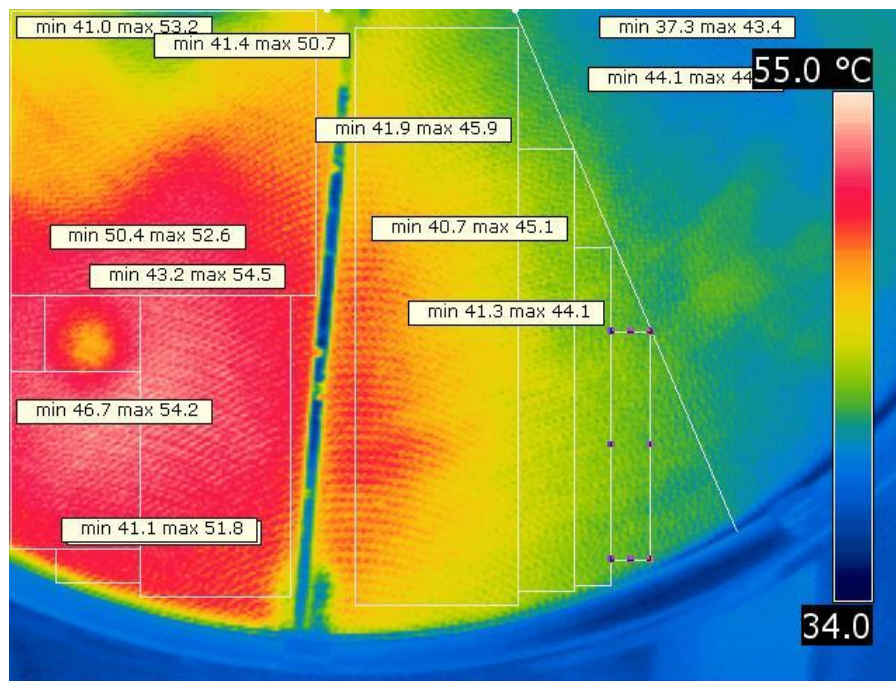
Θερμογραφία 26: σημείο 9, λήψη 5^η, θερμός κυκλικός τομέας



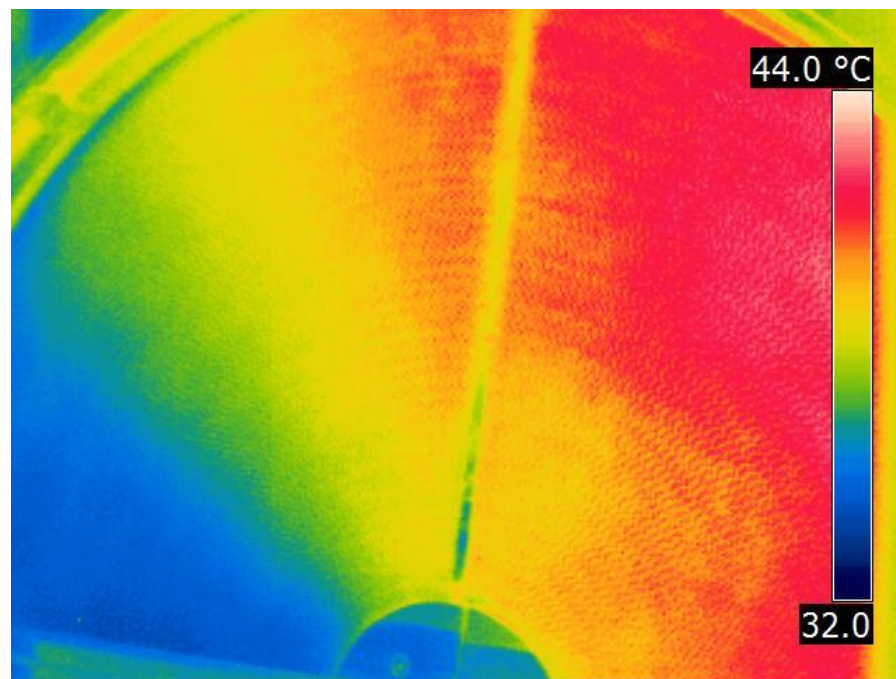
Θερμογραφία 27: σημείο 2, λήψη 6"



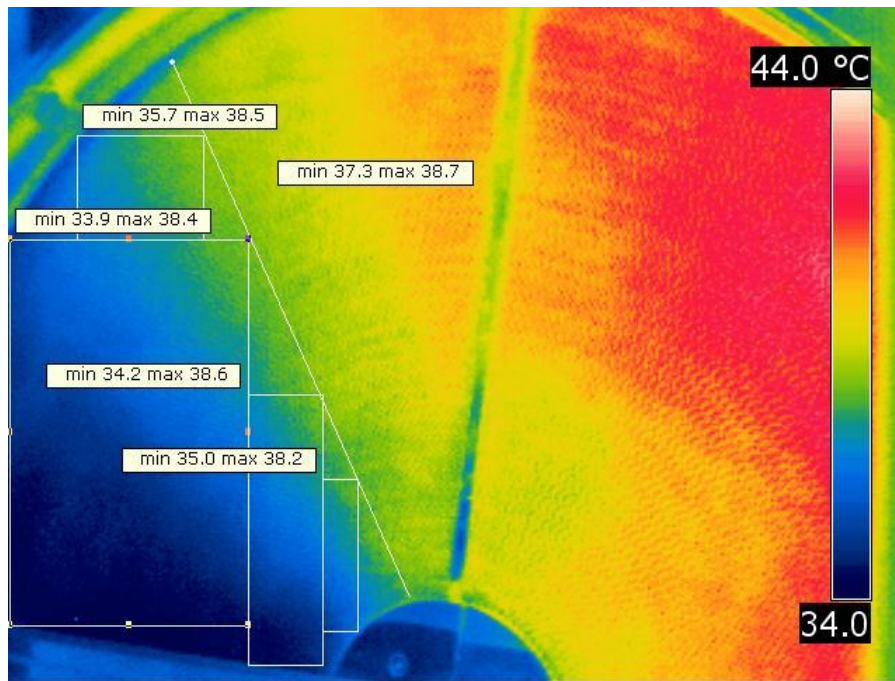
Θερμογραφία 28: σημείο 2, λήψη 6", ψυχρός κυκλικός τομέας



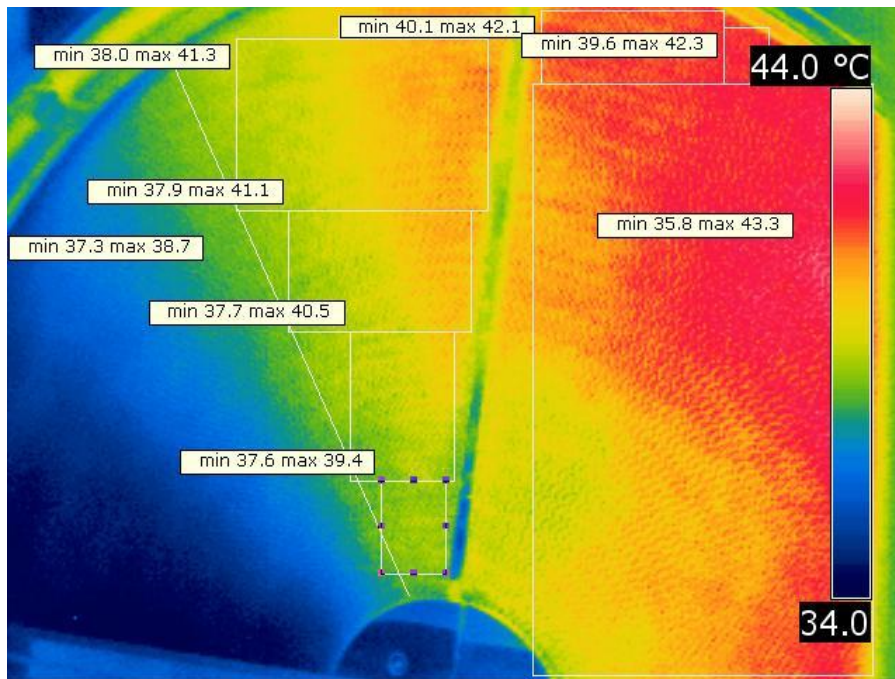
Θερμογραφία 29: σημείο 2, λήψη 6", θερμός κυκλικός τομέας



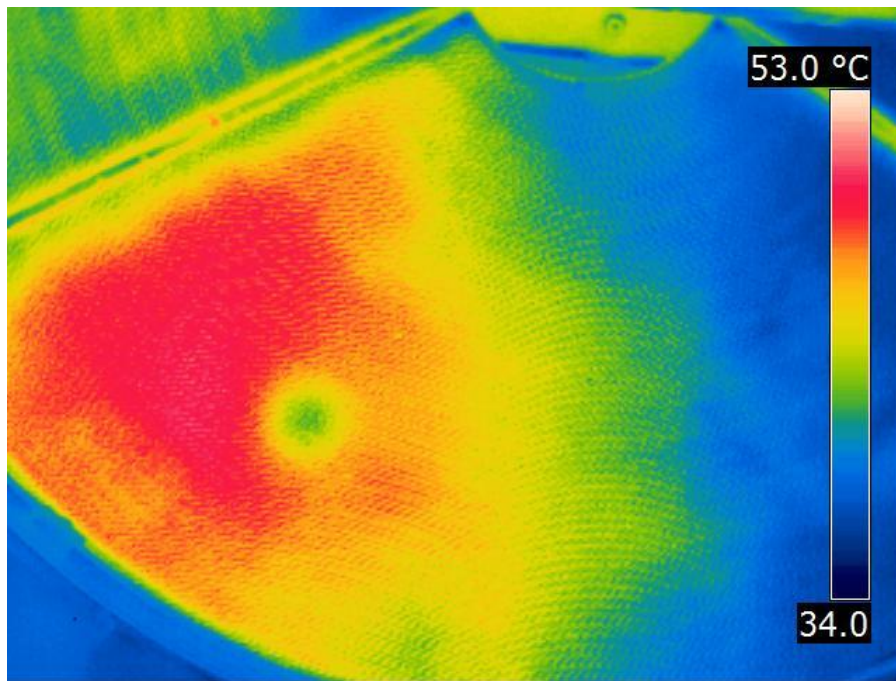
Θερμογραφία 30: σημείο 9, λήψη 6"



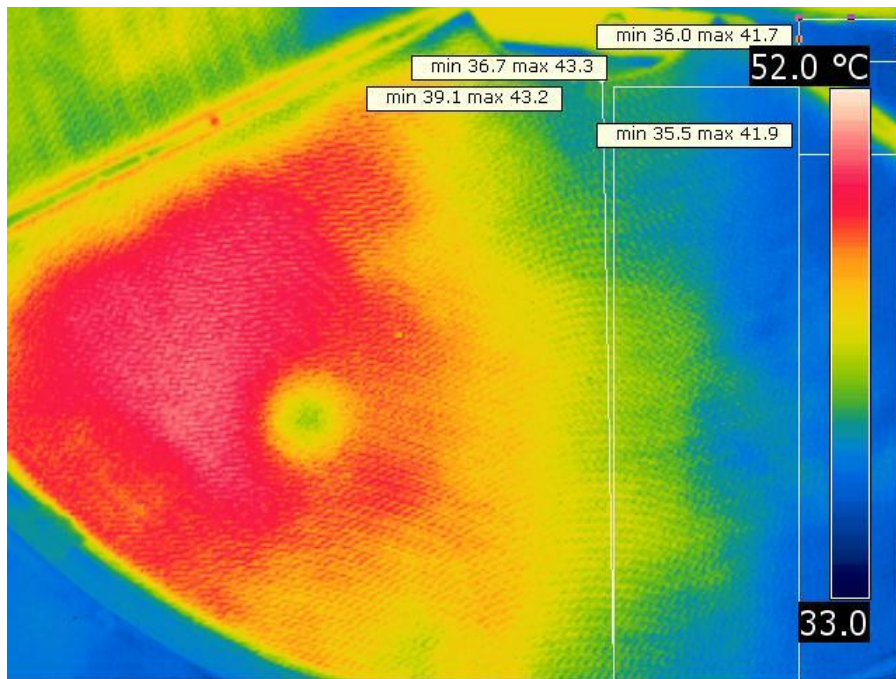
Θερμογραφία 31: σημείο 9, λήψη 9^η, ψυχρός κυκλικός τομέας



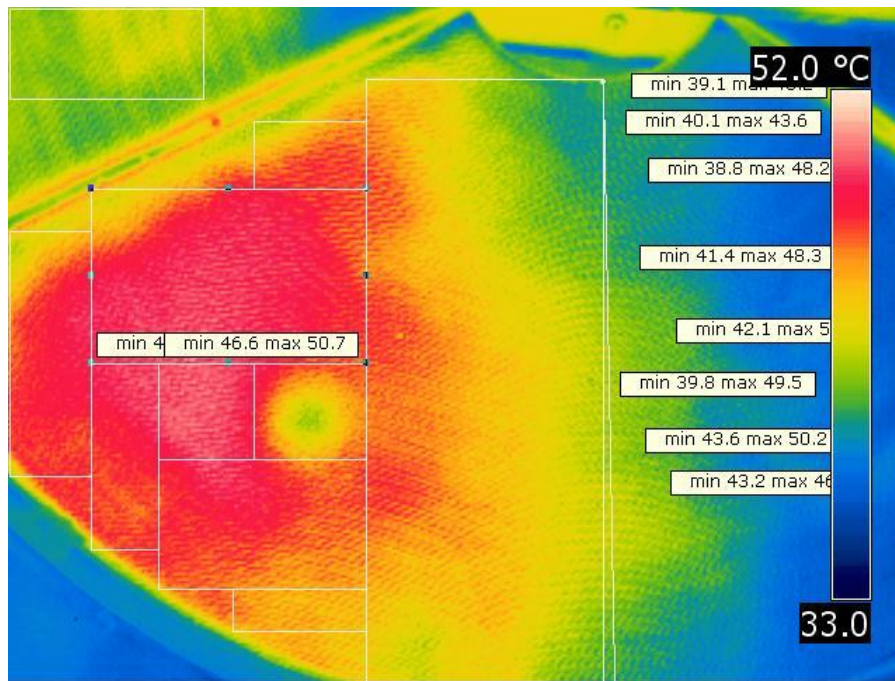
Θερμογραφία 32: σημείο 9, λήψη 9^η, θερμός κυκλικός τομέας



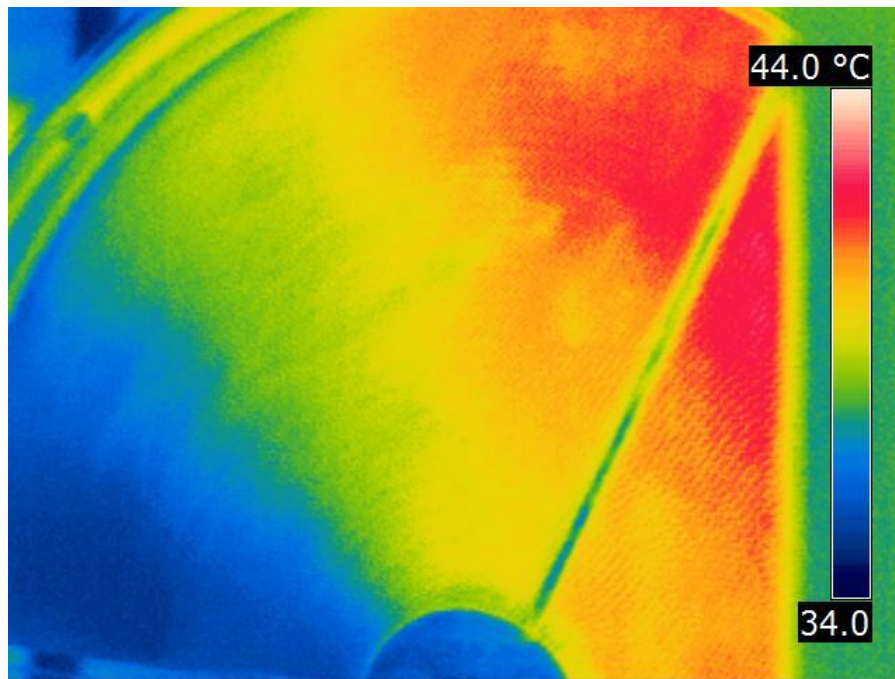
Θερμογραφία 33:σημείο 2,λήψη 7^η



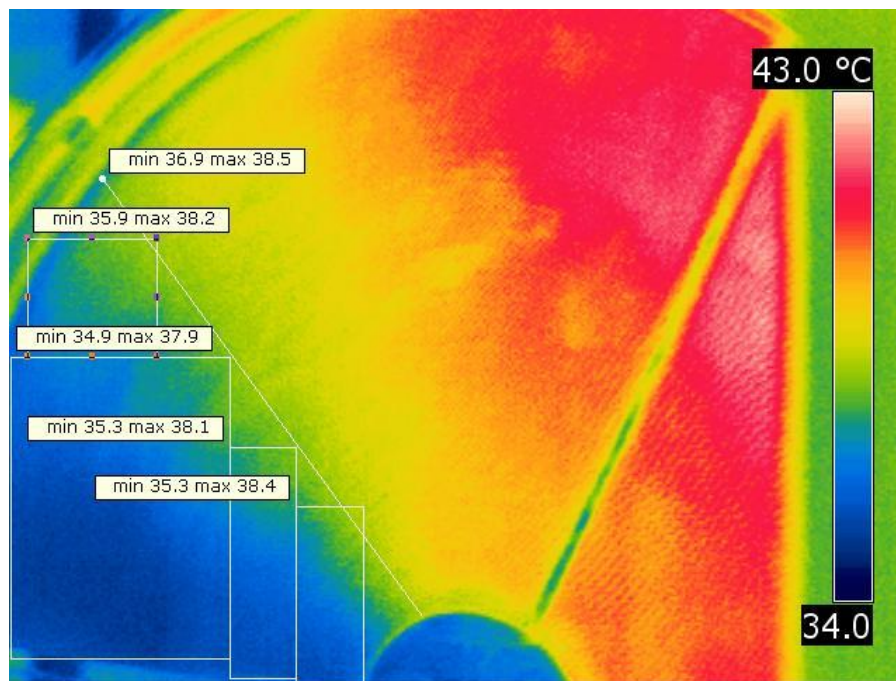
Θερμογραφία 34:σημείο 2,λήψη 7^η, ψυχρός κυκλικός τομέας



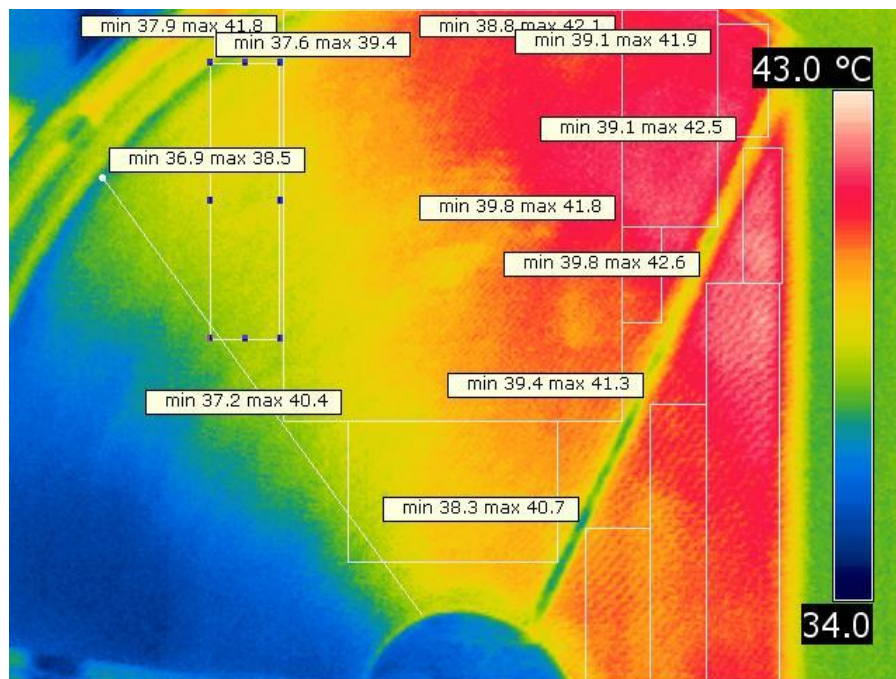
Θερμογραφία 35:σημείο 2,λήψη 7^η, θερμός κυκλικός τομέας



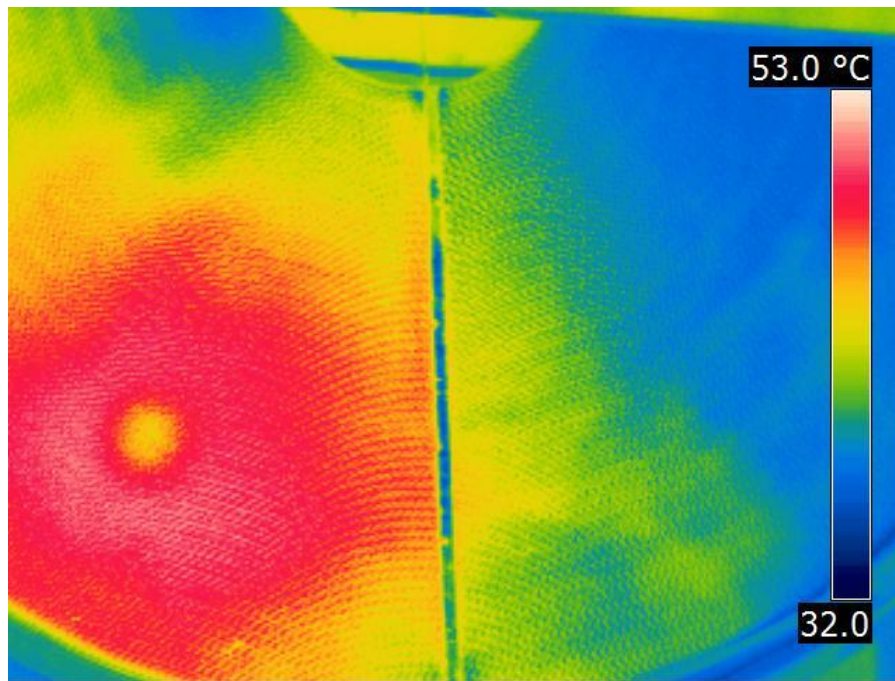
Θερμογραφία 36:σημείο 9,λήψη 7^η



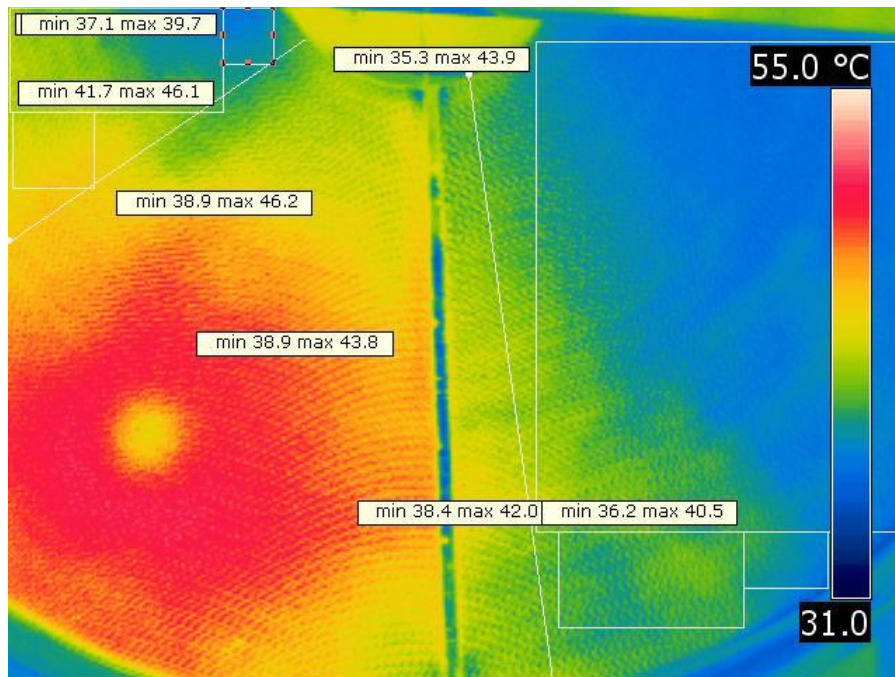
Θερμογραφία 37: σημείο 9, λήψη 7^η, ψυχρός κυκλικός τομέας



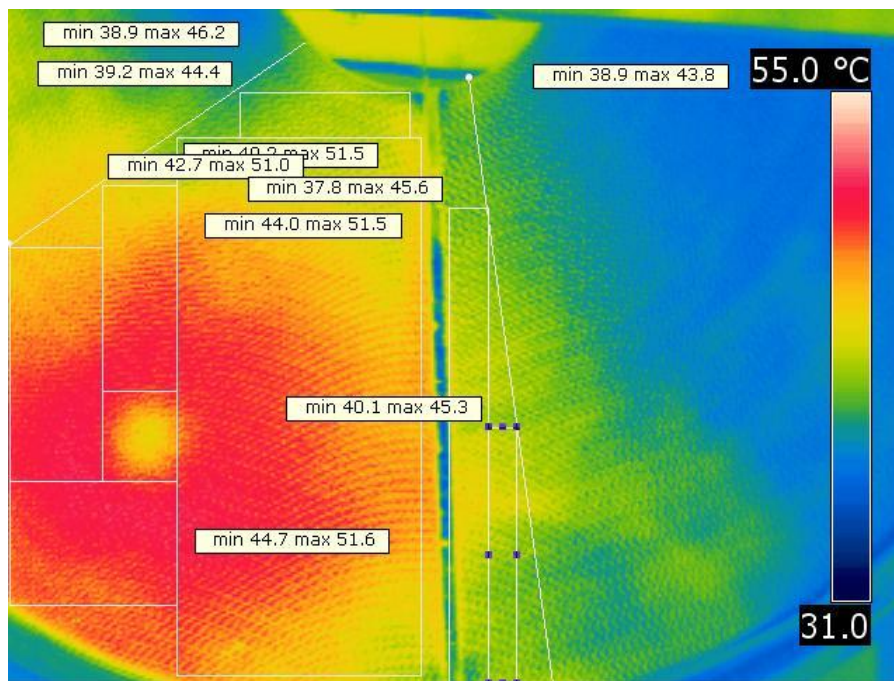
Θερμογραφία 38: σημείο 9, λήψη 7^η, θερμός κυκλικός τομέας



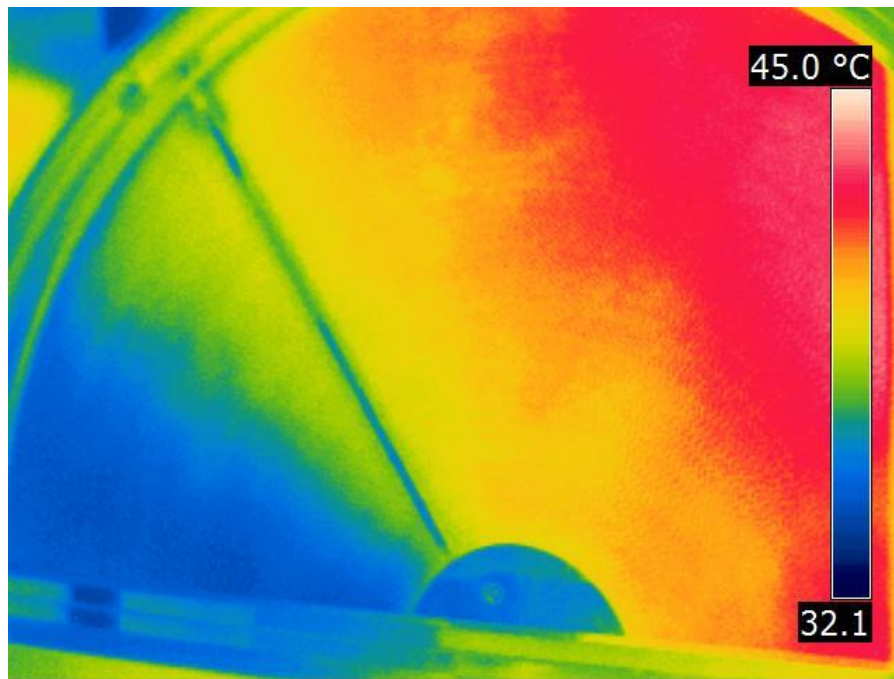
Θερμογραφία 39: σημείο 2, λήψη 8"



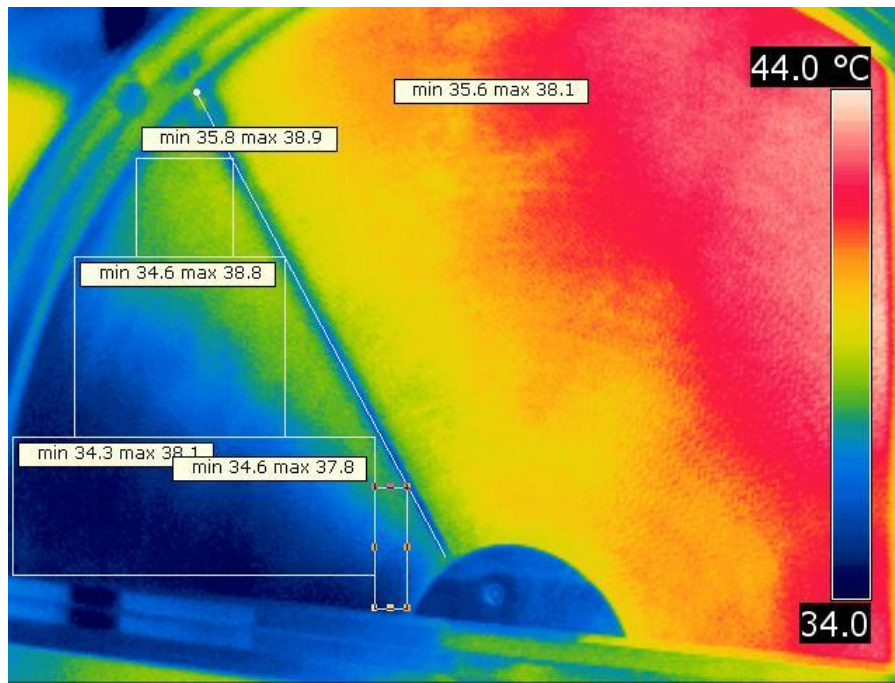
Θερμογραφία 40: σημείο 2, λήψη 8", ψυχρός κυκλικός τομέας



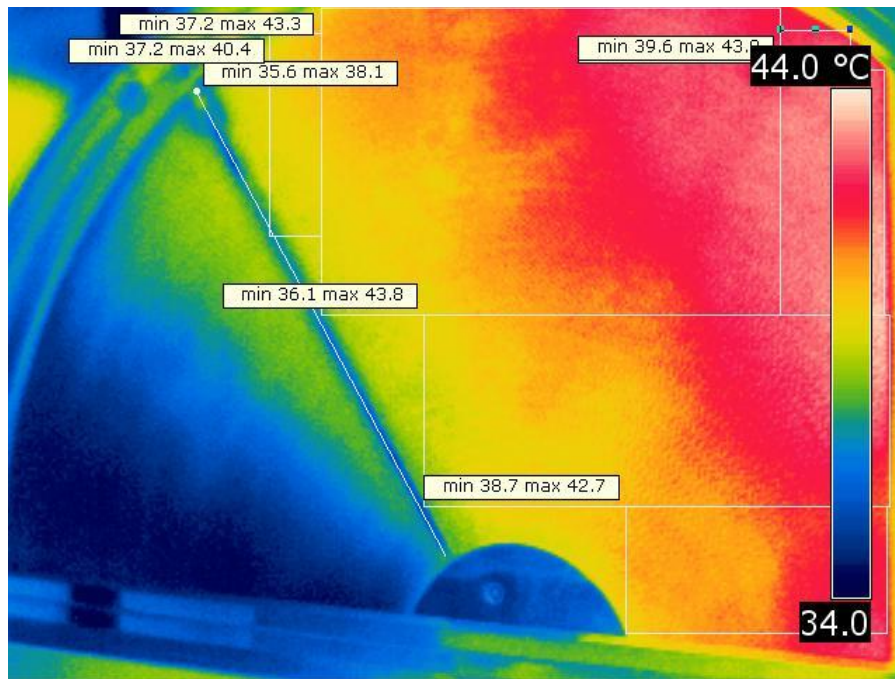
Θερμογραφία 41: σημείο 2, λήψη 8^η, θερμός κυκλικός τομέας



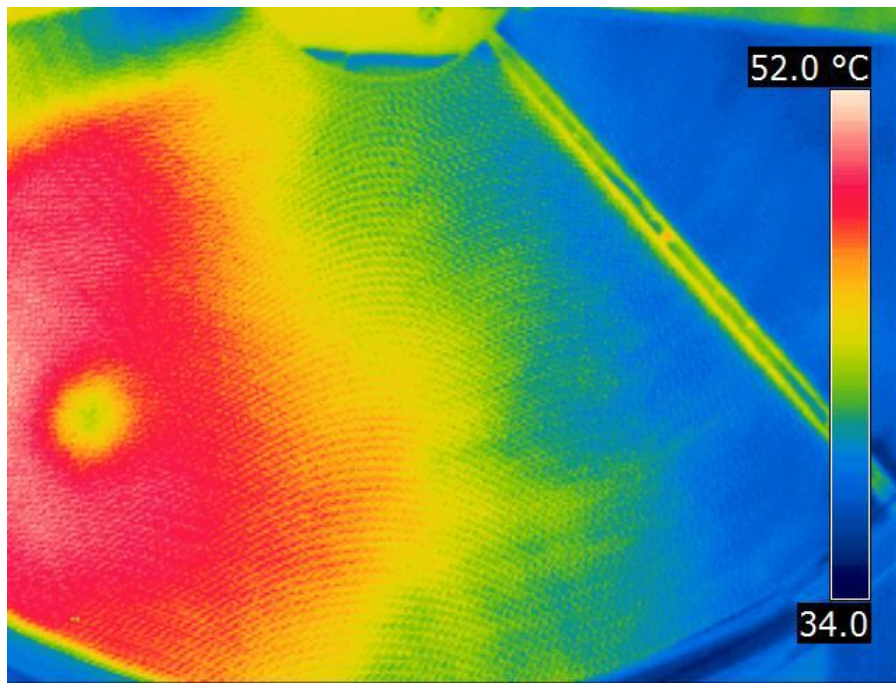
Θερμογραφία 42: σημείο 9, λήψη 8^η



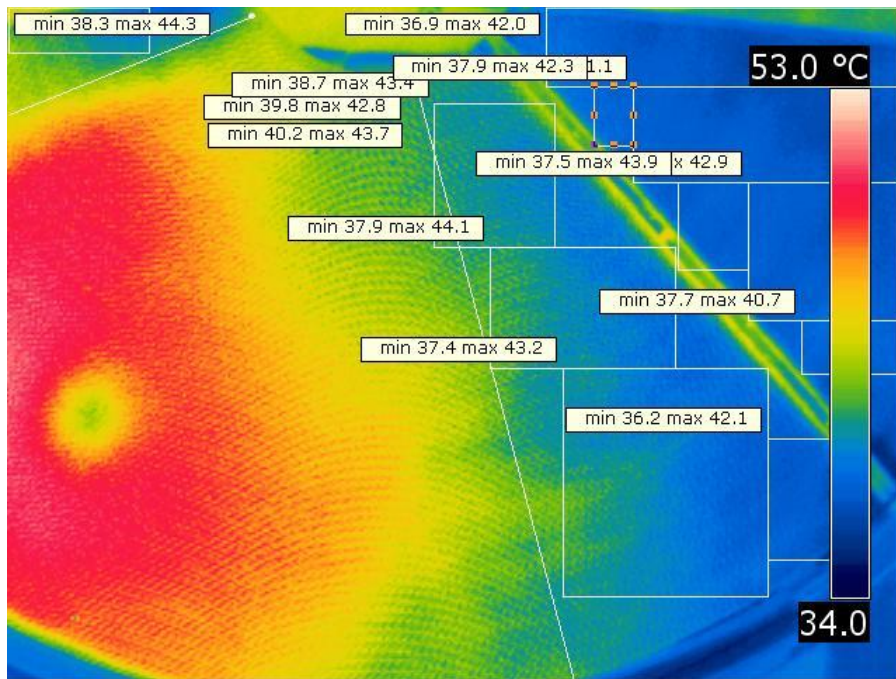
Θερμογραφία 43: σημείο 9, λήψη 8^η, ψυχρός κυκλικός τομέας



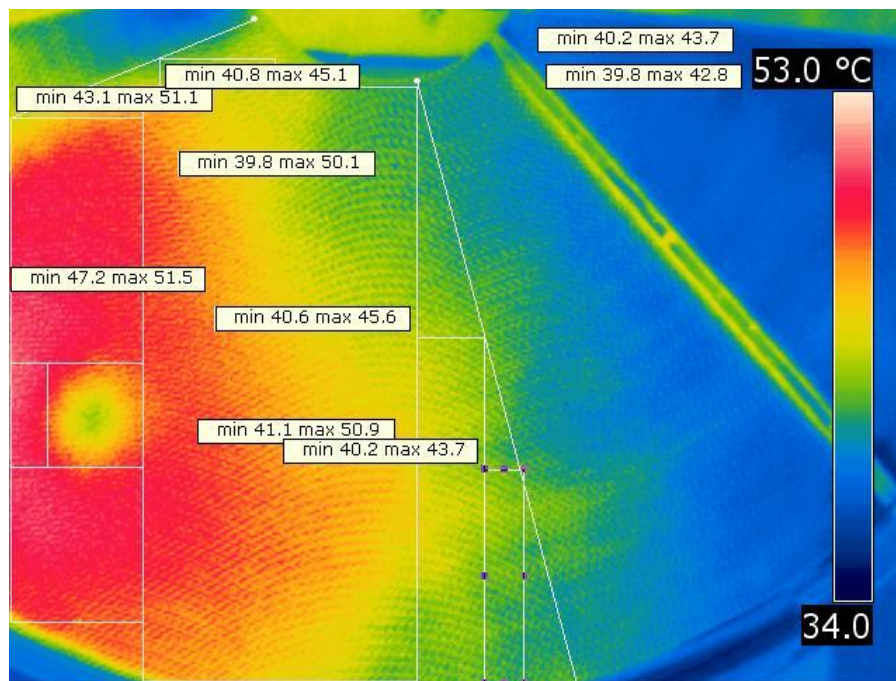
Θερμογραφία 44: σημείο 9, λήψη 8^η, θερμός κυκλικός τομέας



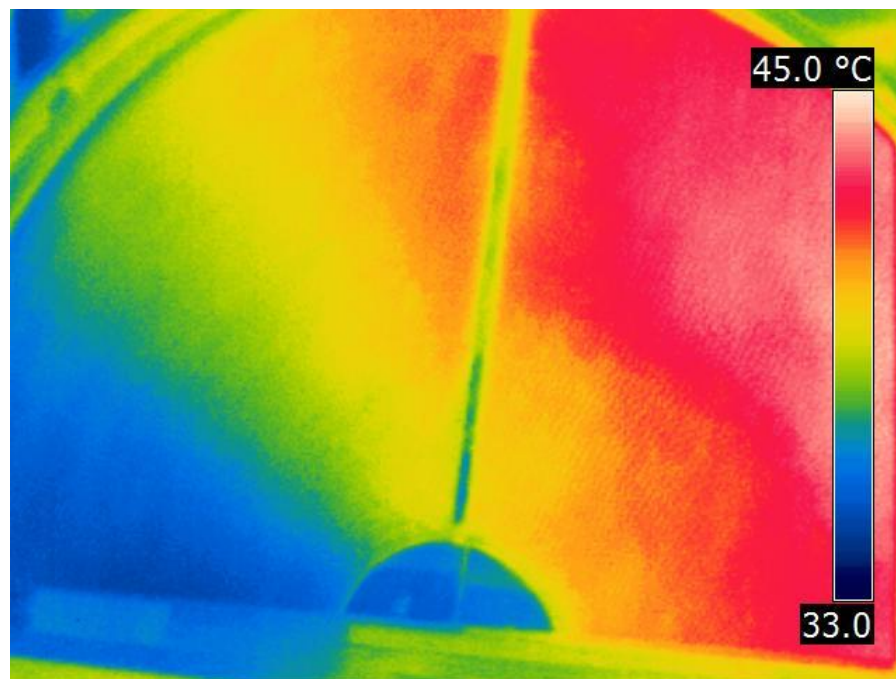
Θερμογραφία 45: σημείο 2, λήψη 9^η



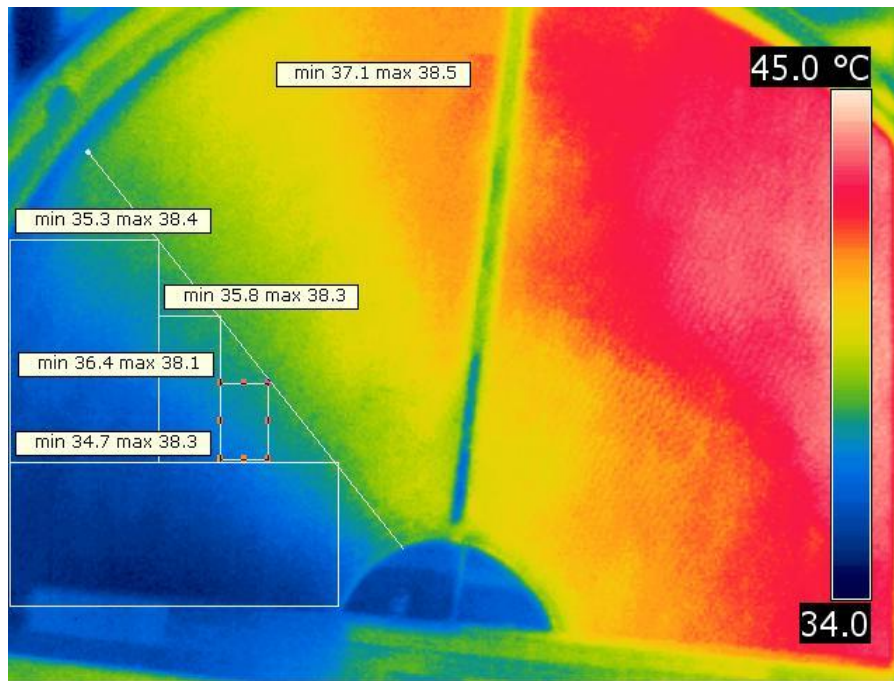
Θερμογραφία 45: σημείο 2, λήψη 9^η, ψυχρός κυκλικός τομέας



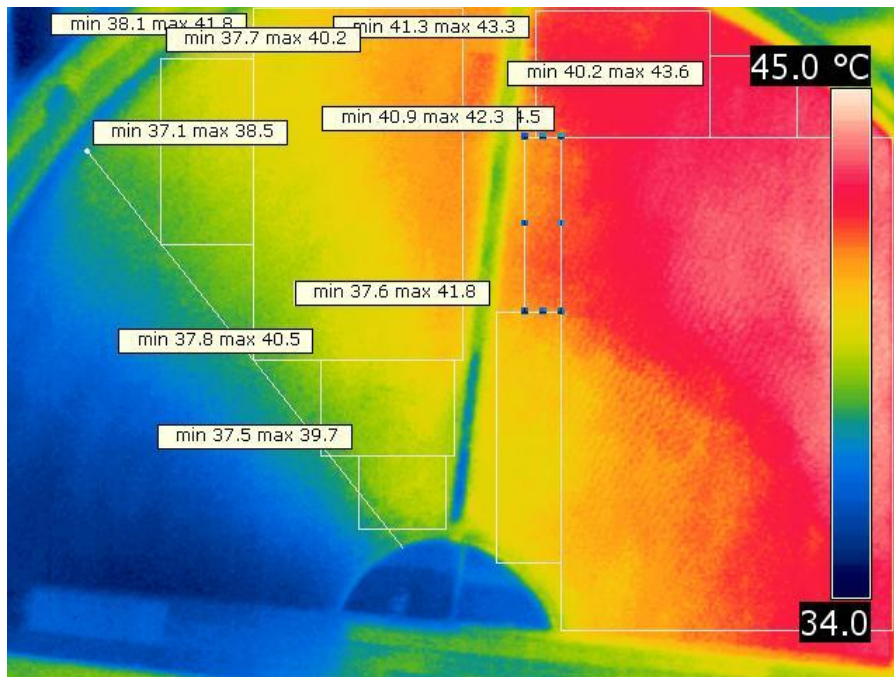
Θερμογραφία 46: σημείο 2, λήψη 9^η, θερμός κυκλικός τομέας



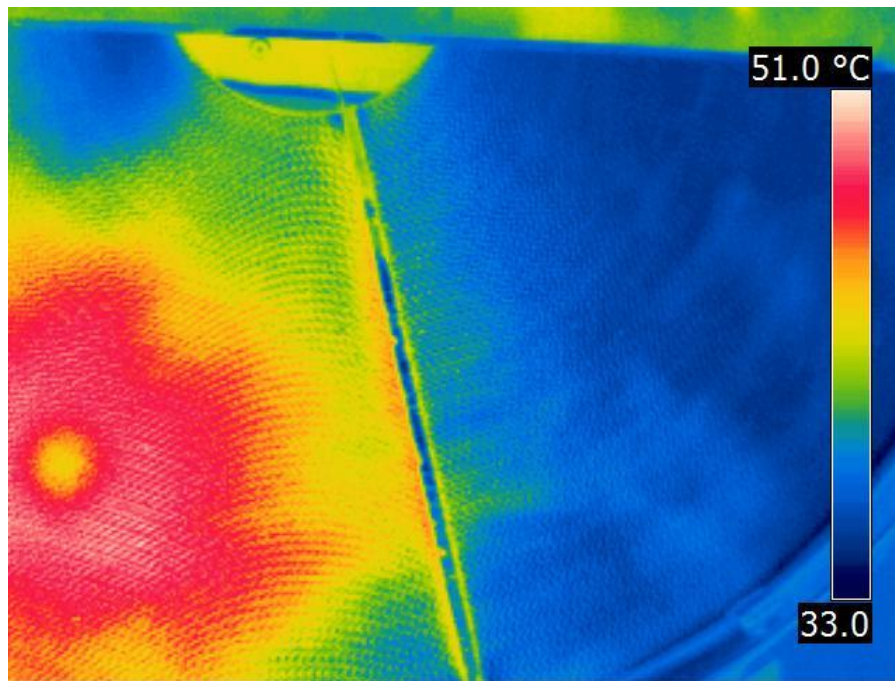
Θερμογραφία 47: σημείο 9, λήψη 9^η



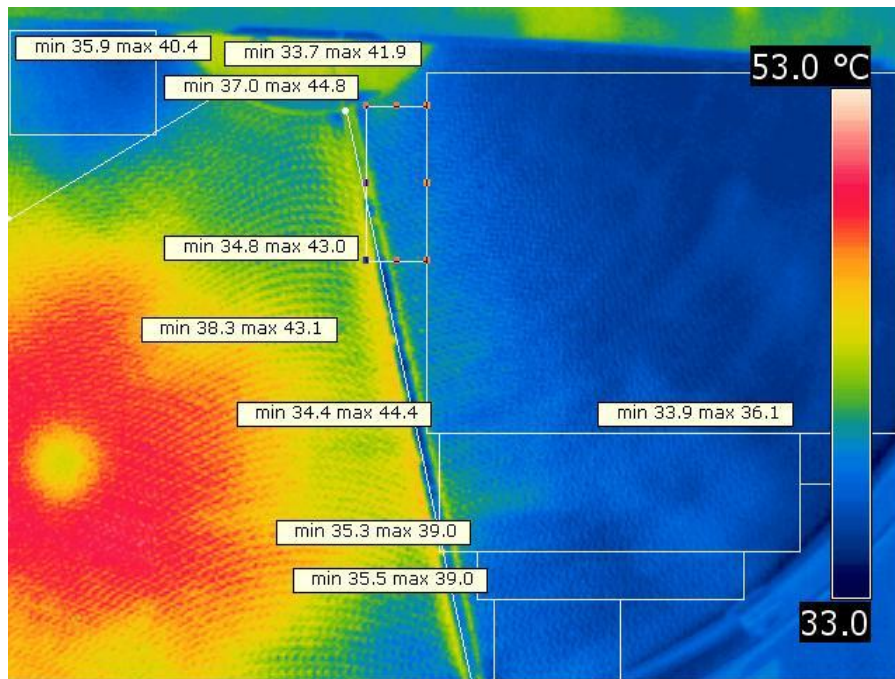
Θερμογραφία 48: σημείο 9, λήψη 9^η, ψυχρός κυκλικός τομέας



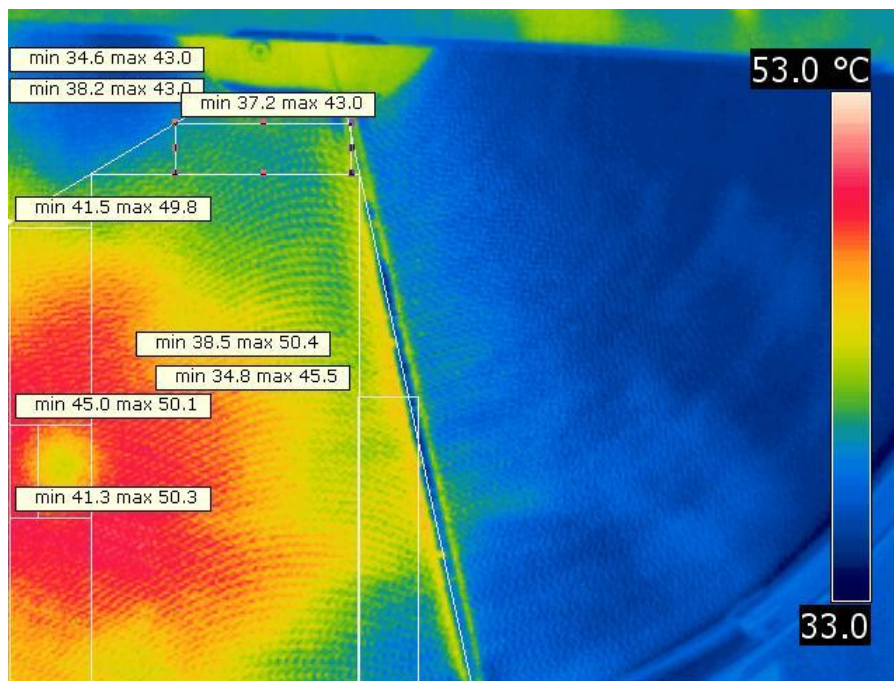
Θερμογραφία 49: σημείο 9, λήψη 9^η, θερμός κυκλικός τομέας



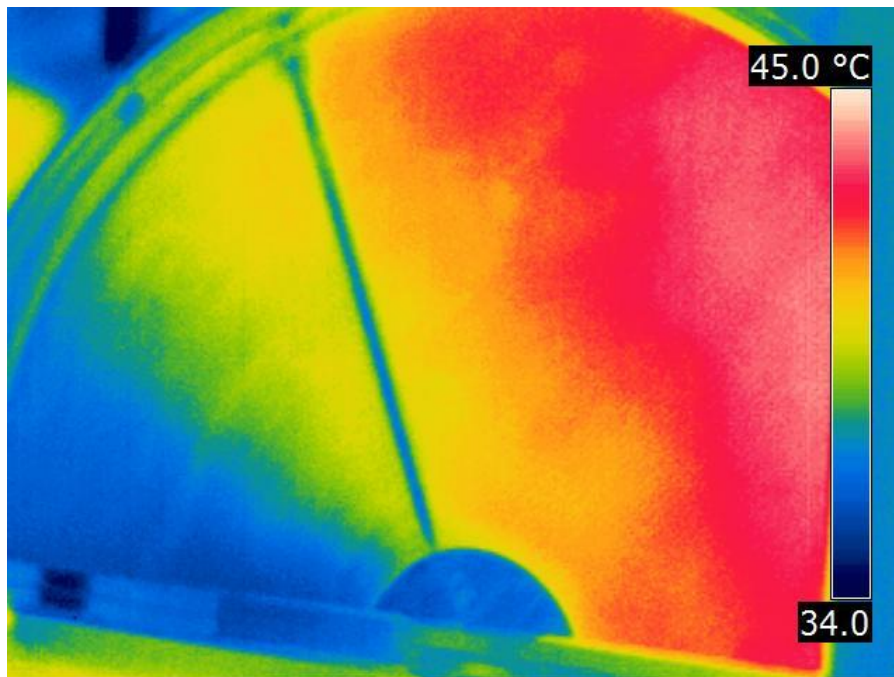
Θερμογραφία 50: σημείο 2, λήψη 10^η



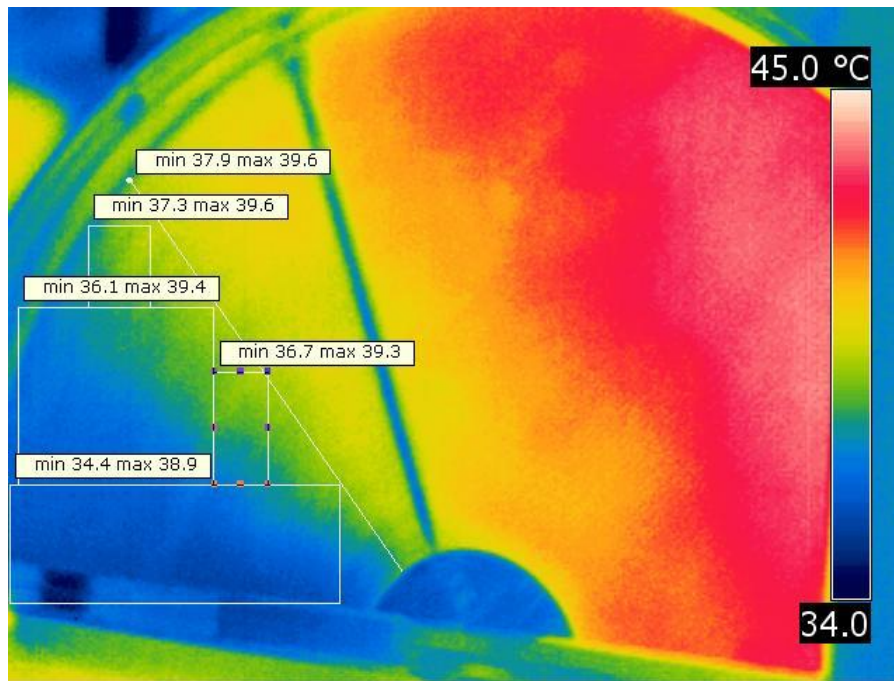
Θερμογραφία 51: σημείο 2, λήψη 10^η, ψυχρός κυκλικός τομέας



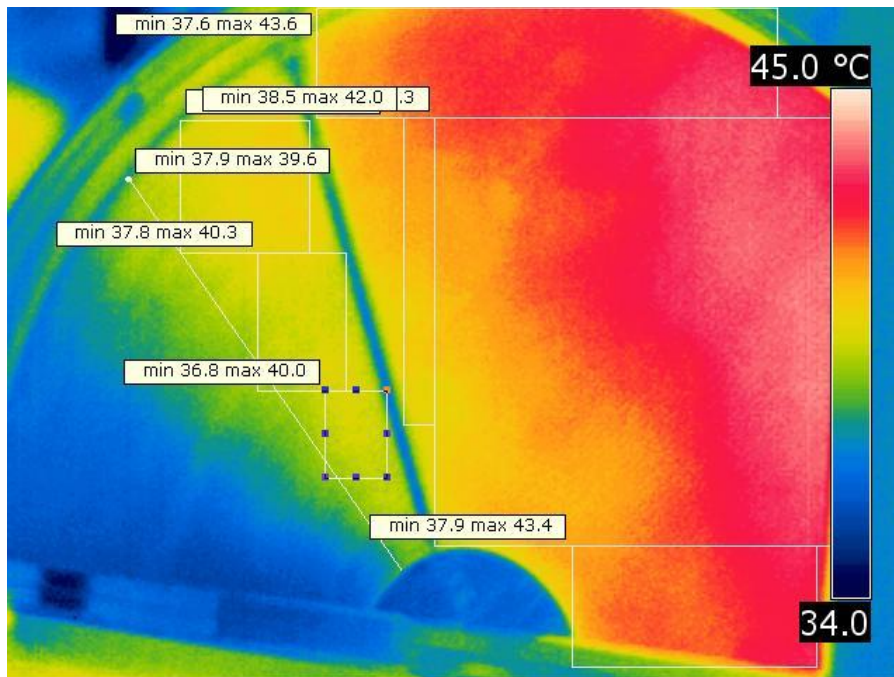
Θερμογραφία 52: σημείο 2, λήψη 10^η, θερμός κυκλικός τομέας



Θερμογραφία 53: σημείο 9, λήψη 10^η

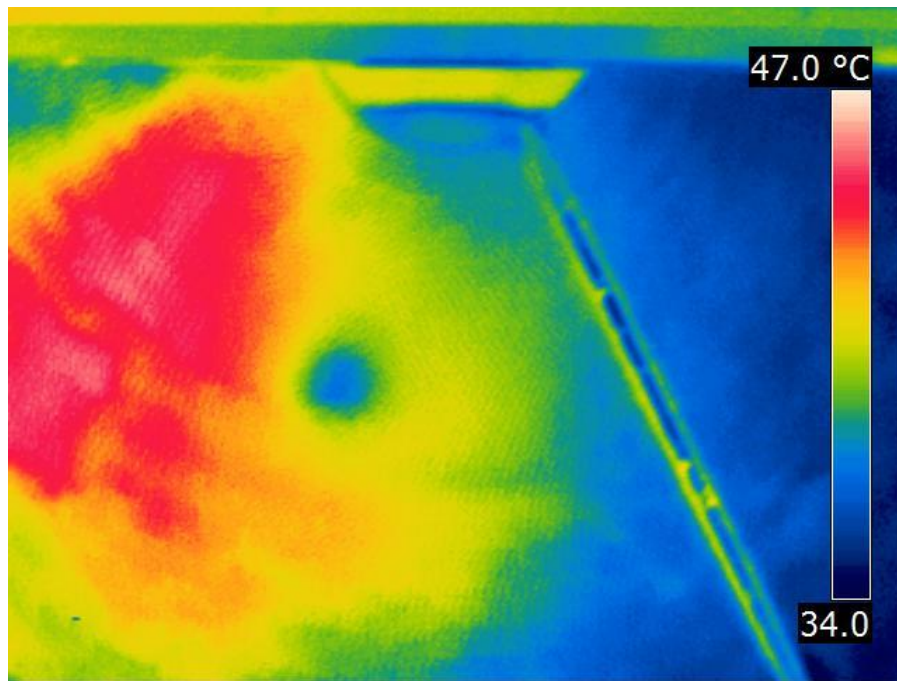


Θερμογραφία 54: σημείο 9, λήψη 10^η, ψυχρός κυκλικός τομέας

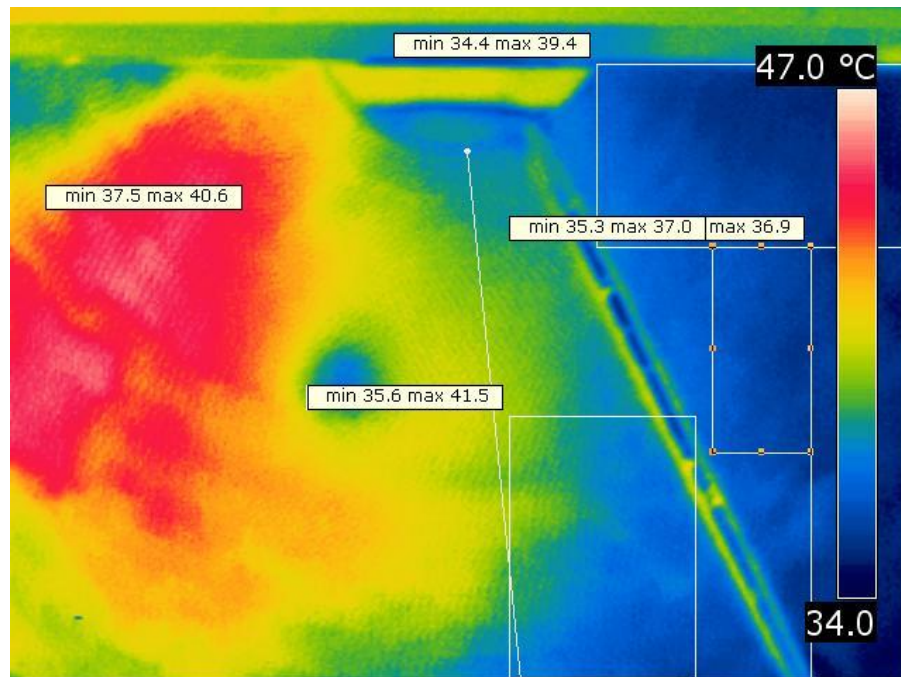


Θερμογραφία 55: σημείο 9, λήψη 10^η, θερμός κυκλικός τομέας

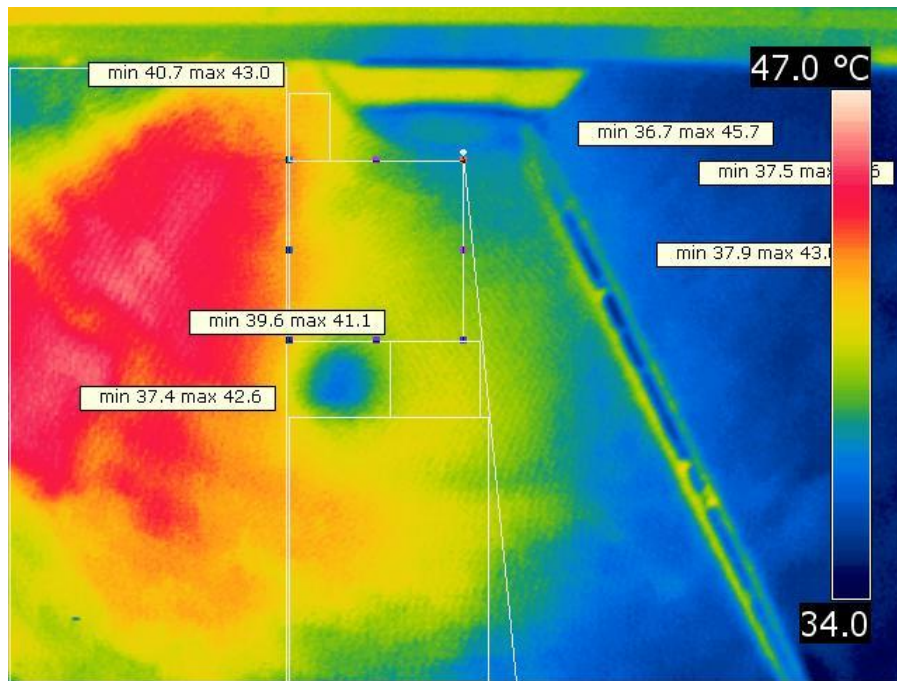
Για την 22^η Ιουλίου έχουμε τις παρακάτω θερμογραφίες:



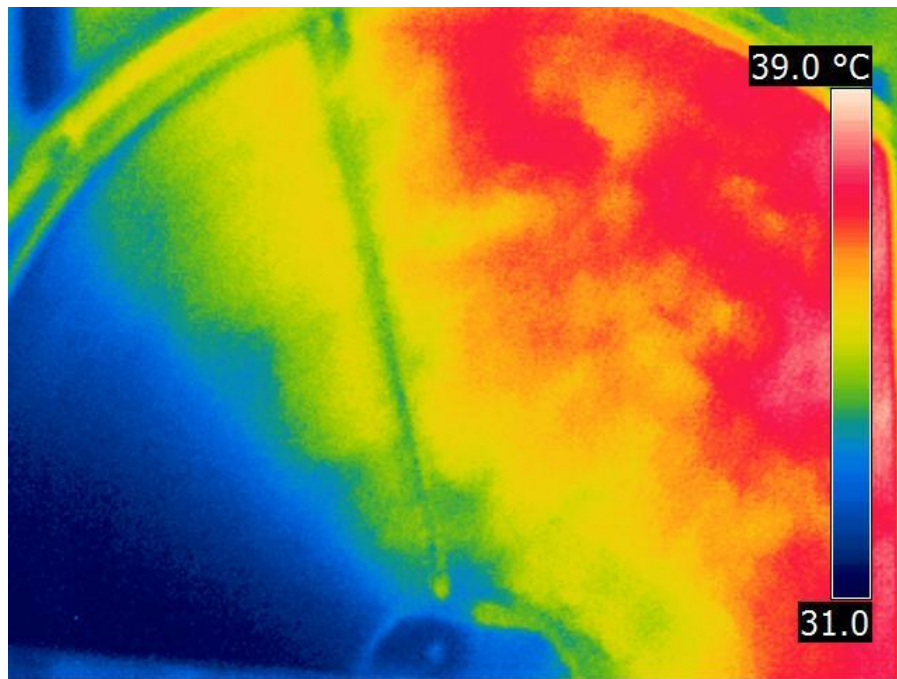
Θερμογραφία 56: σημείο 2, λήψη 1^η



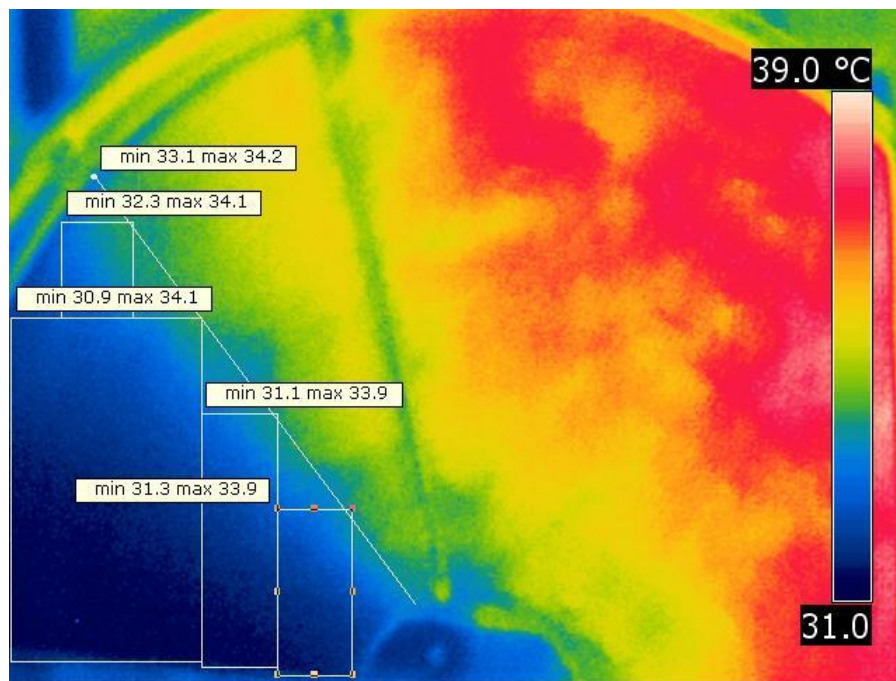
Θερμογραφία 57: σημείο 2, λήψη 1^η, ψυχρός κυκλικός τομέας



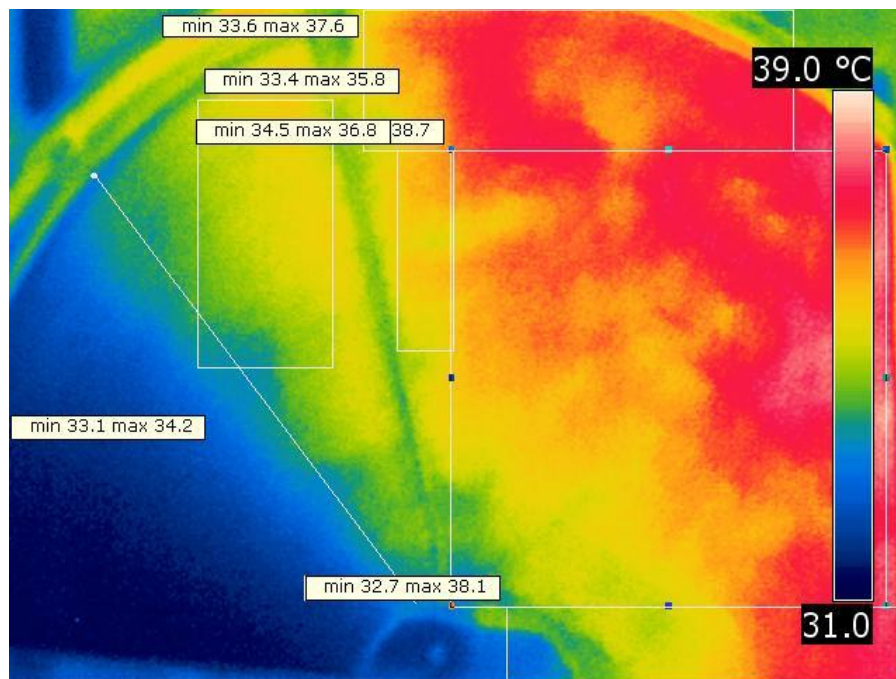
Θερμογραφία 58:σημείο 2,λήψη 1^η, θερμός κυκλικός τομέας



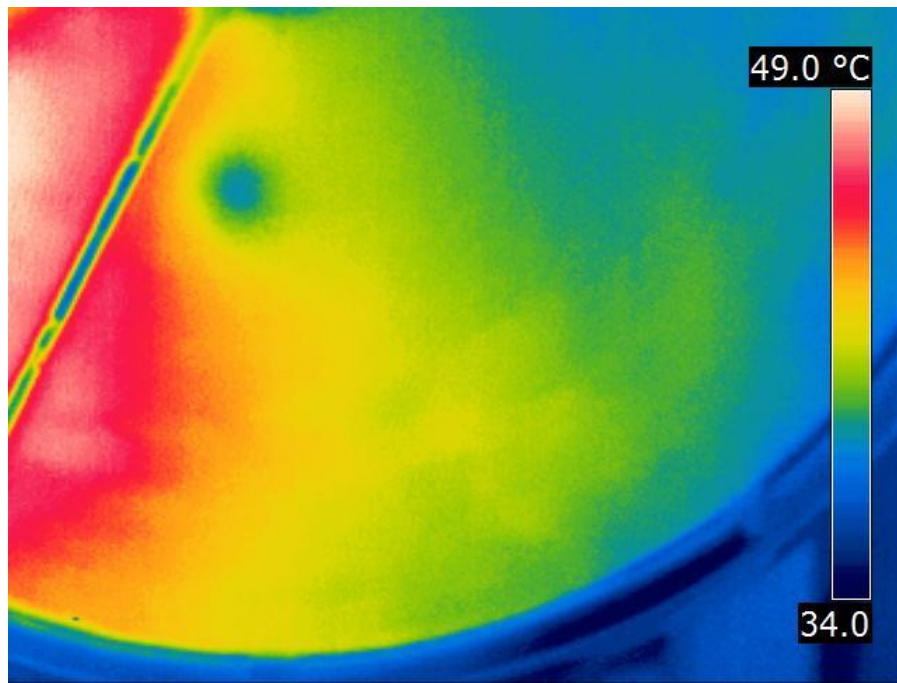
Θερμογραφία 59:σημείο 9,λήψη 1^η



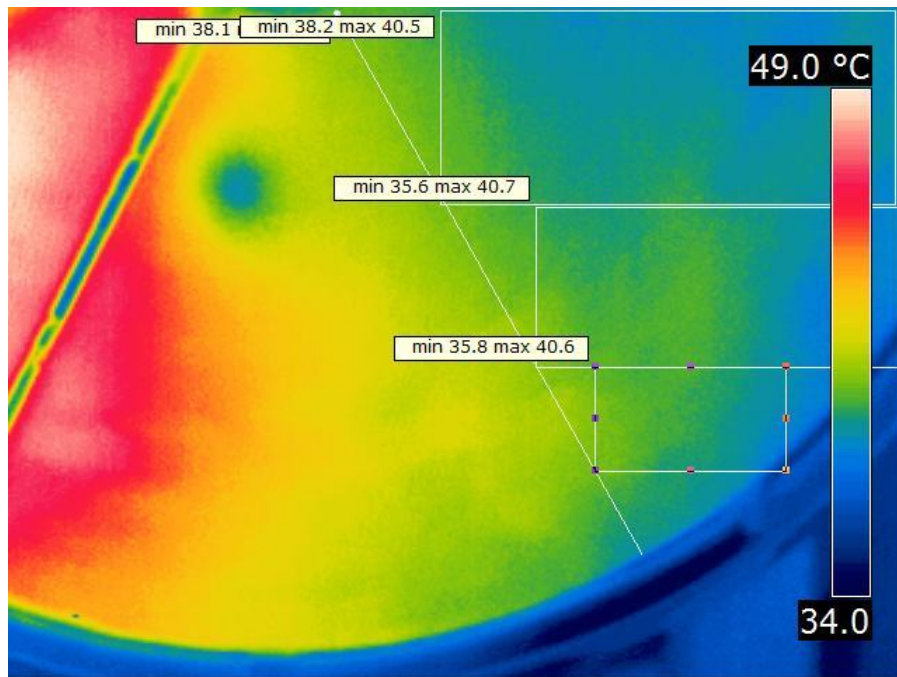
Θερμογραφία 60: σημείο 9, λήψη 1^η, ψυχρός κυκλικός τομέας



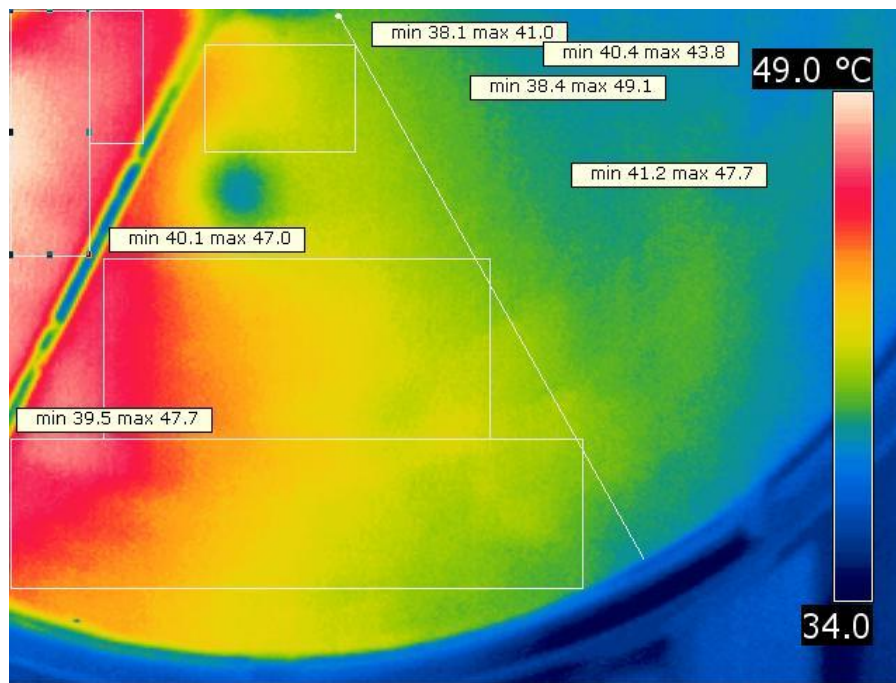
Θερμογραφία 61: σημείο 9, λήψη 1^η, θερμός κυκλικός τομέας



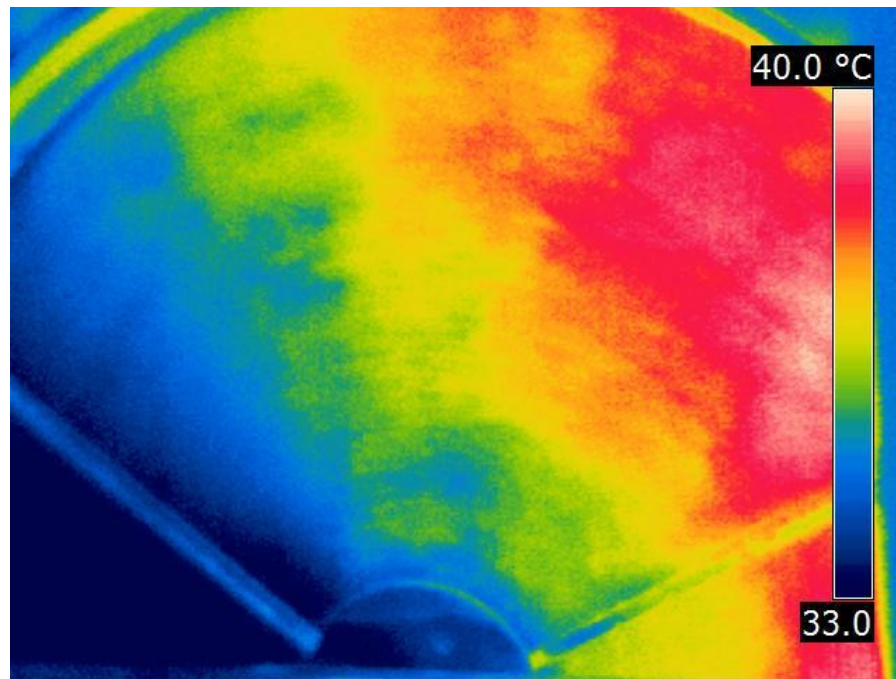
Θερμογραφία 62:σημείο 2,λήψη 2^η



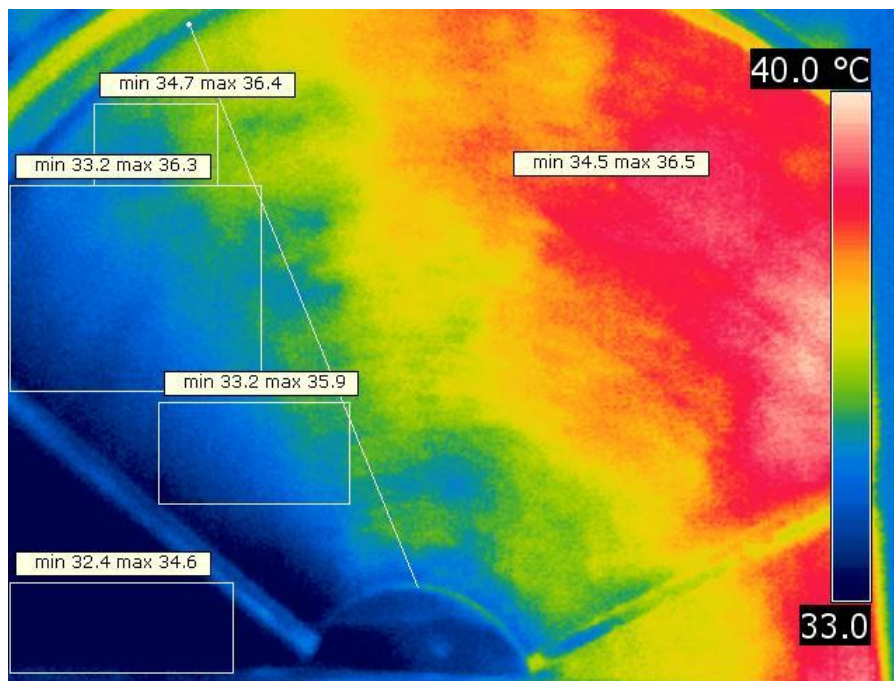
Θερμογραφία 63:σημείο 2,λήψη 2^η, ψυχρός κυκλικός τομέας



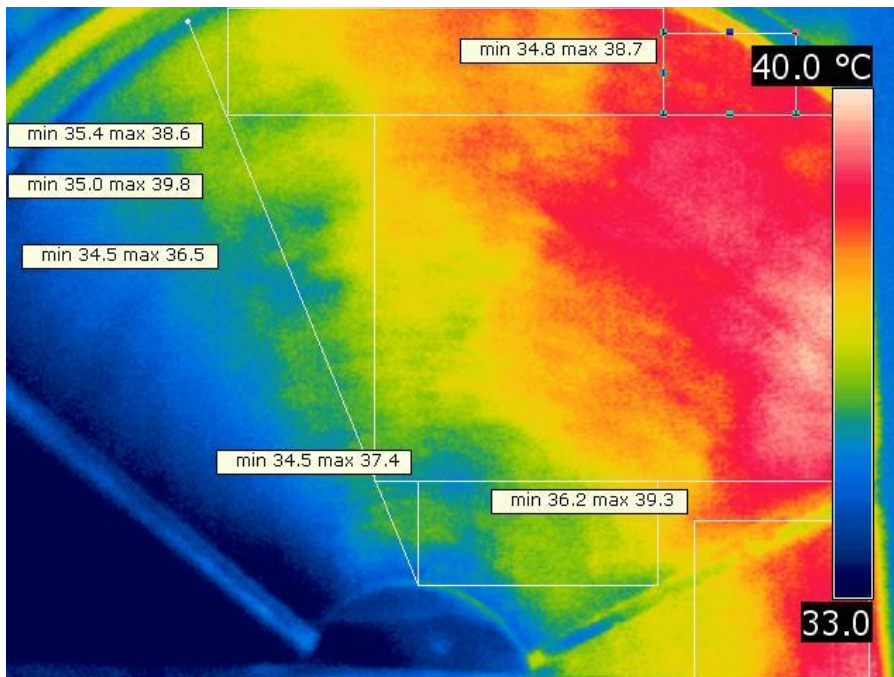
Θερμογραφία 64: σημείο 2, λήψη 2", θερμός κυκλικός τομέας



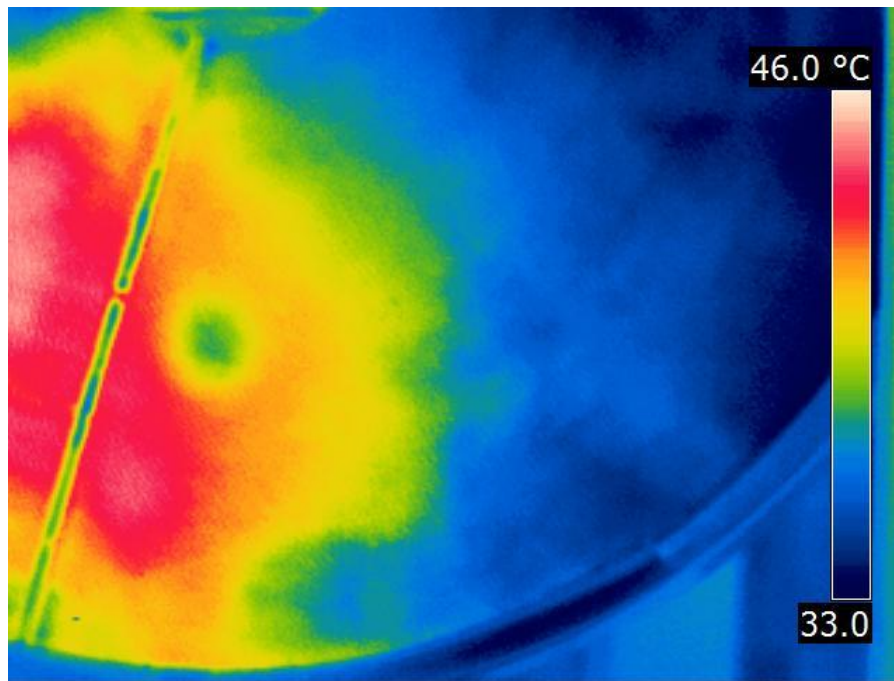
Θερμογραφία 65: σημείο 9, λήψη 2"



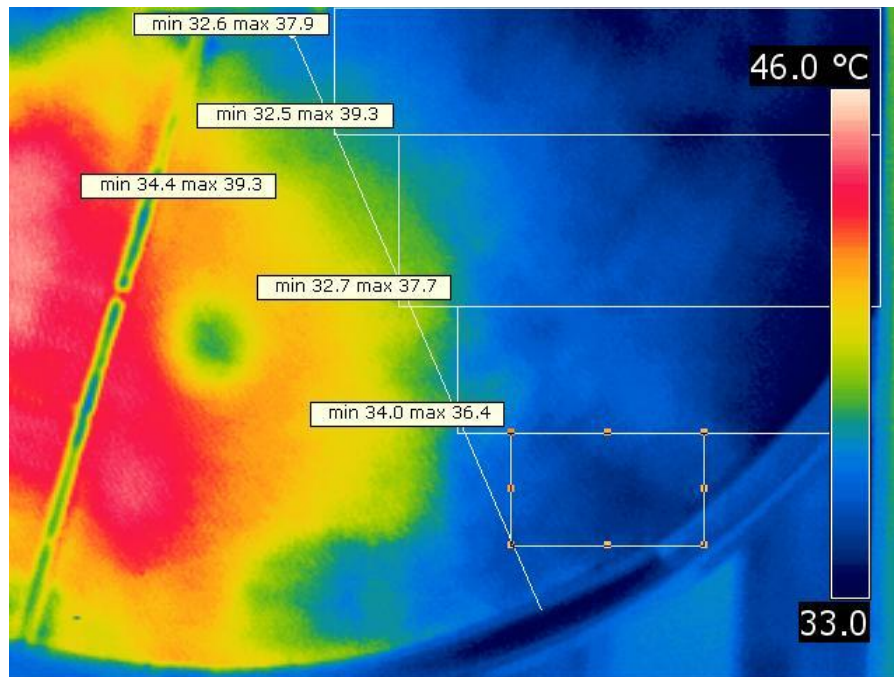
Θερμογραφία 66: σημείο 9, λήψη 2^η, ψυχρός κυκλικός τομέας



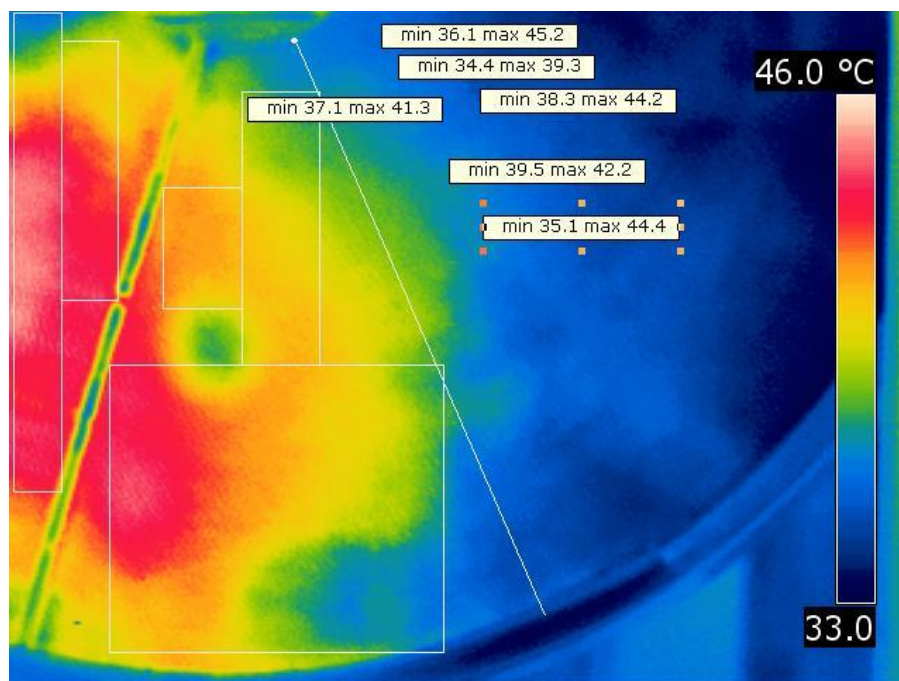
Θερμογραφία 67: σημείο 9, λήψη 2^η, θερμός κυκλικός τομέας



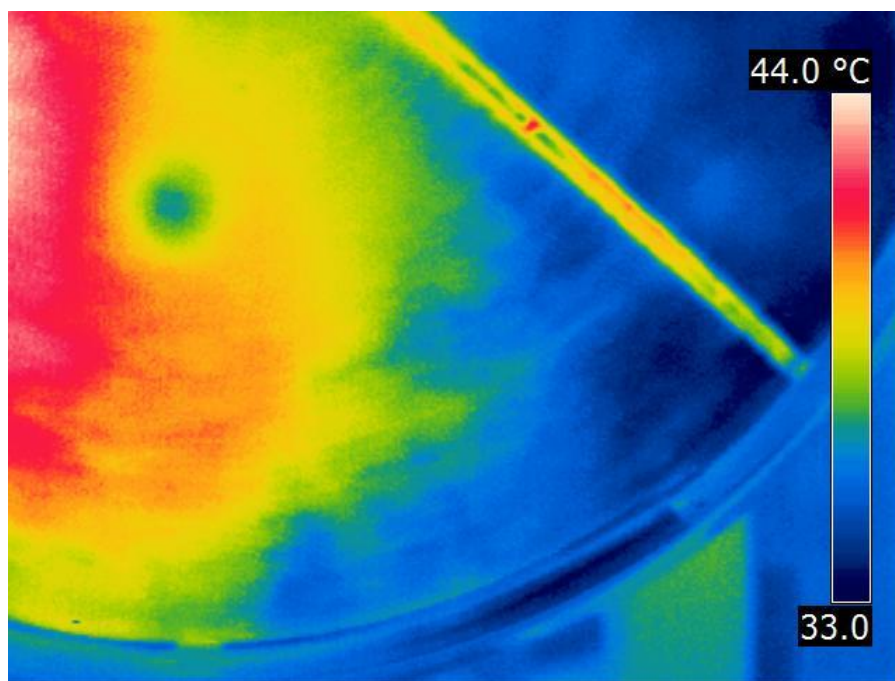
Θερμογραφία 68: σημείο 2, λήψη 3"



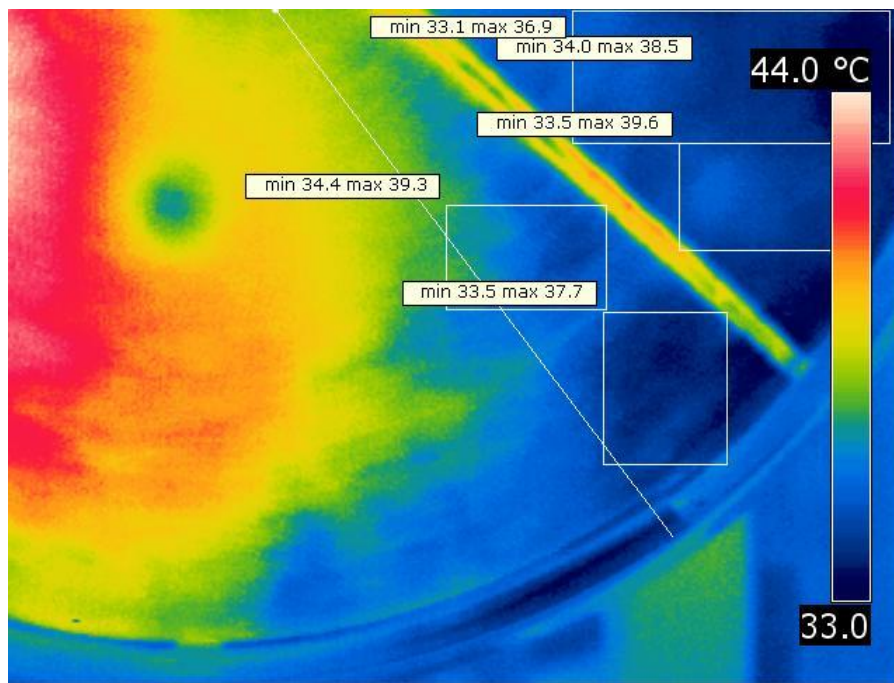
Θερμογραφία 69: σημείο 2, λήψη 3", ψυχρός κυκλικός τομέας



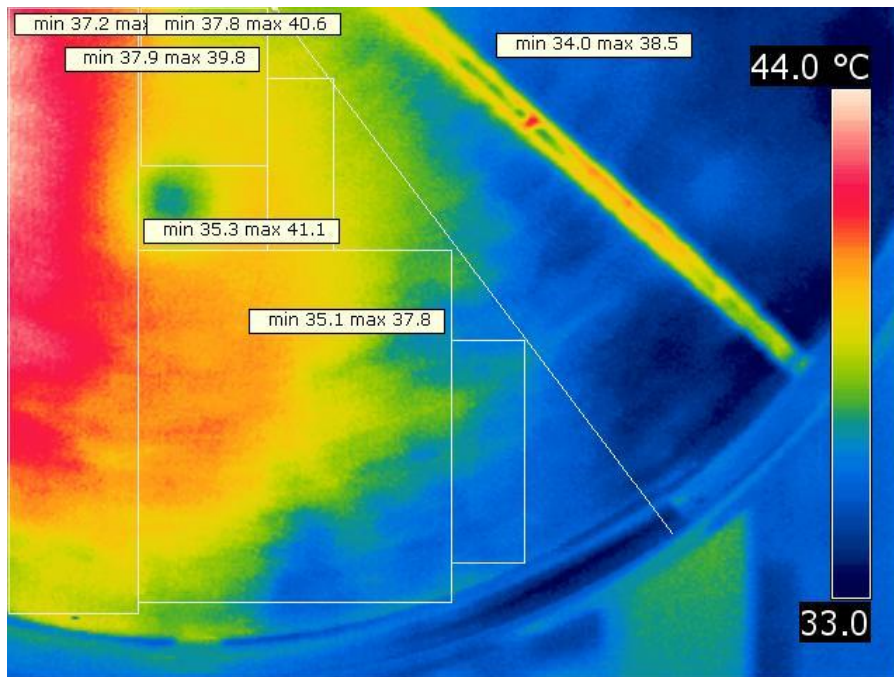
Θερμογραφία 70: σημείο 2, λήψη 3^η, θερμός κυκλικός τομέας



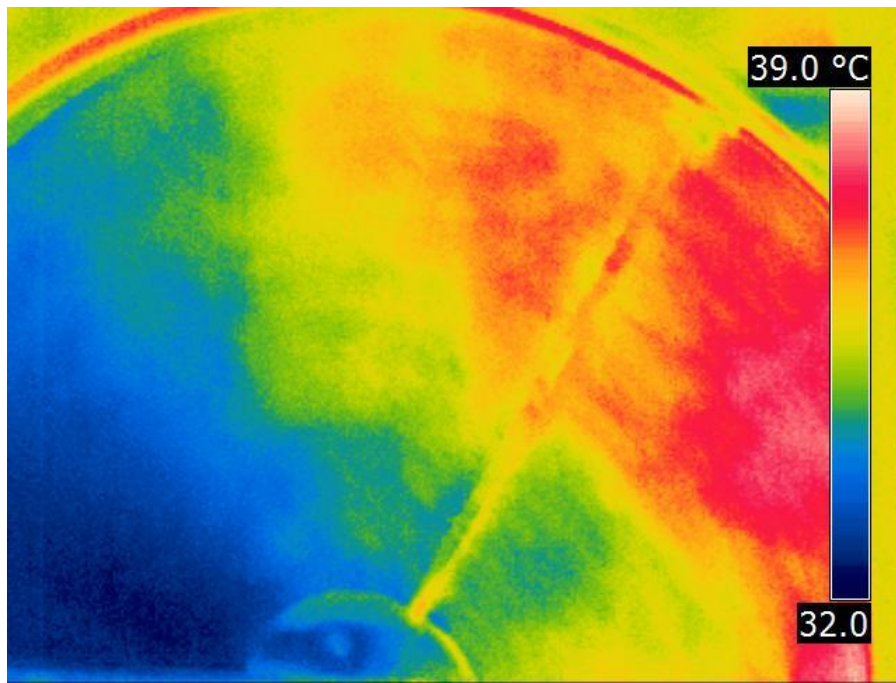
Θερμογραφία 71: σημείο 2, λήψη 4^η



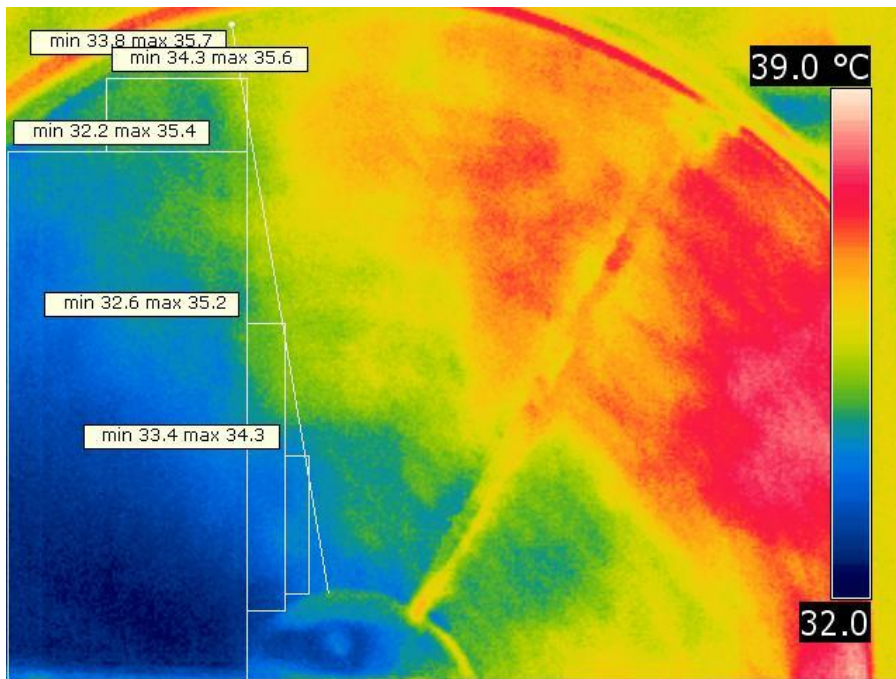
Θερμογραφία 72: σημείο 2, λήψη 4^η, ψυχρός κυκλικός τομέας



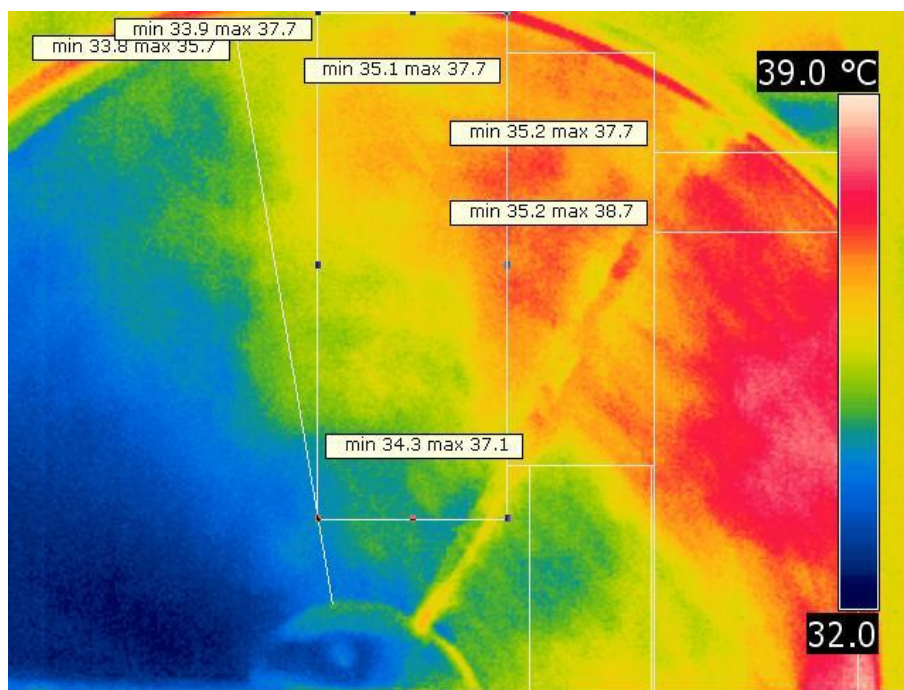
Θερμογραφία 73: σημείο 2, λήψη 4^η, θερμός κυκλικός τομέας



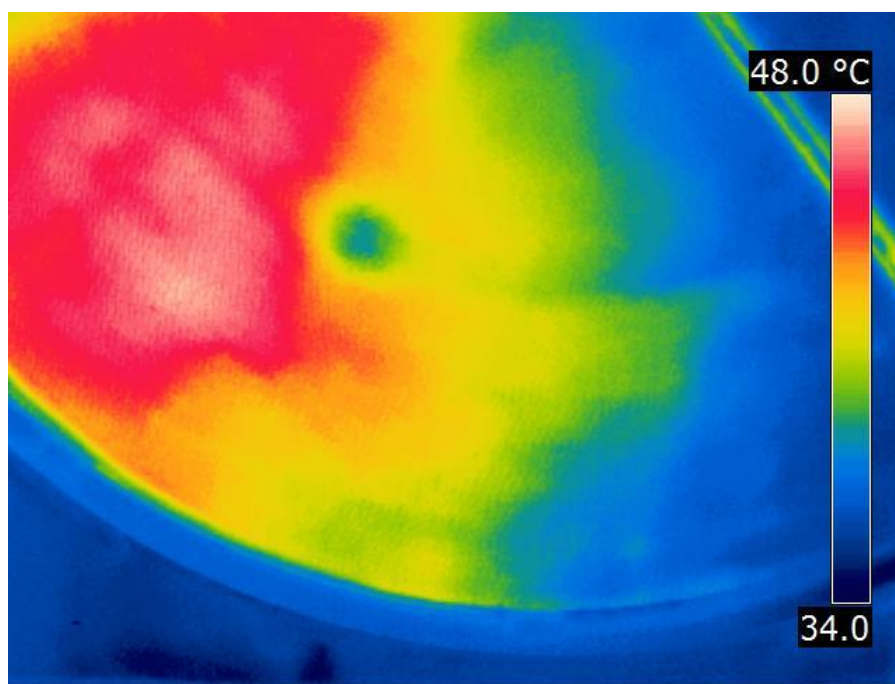
Θερμογραφία 74: σημείο 9, λήψη 4^η



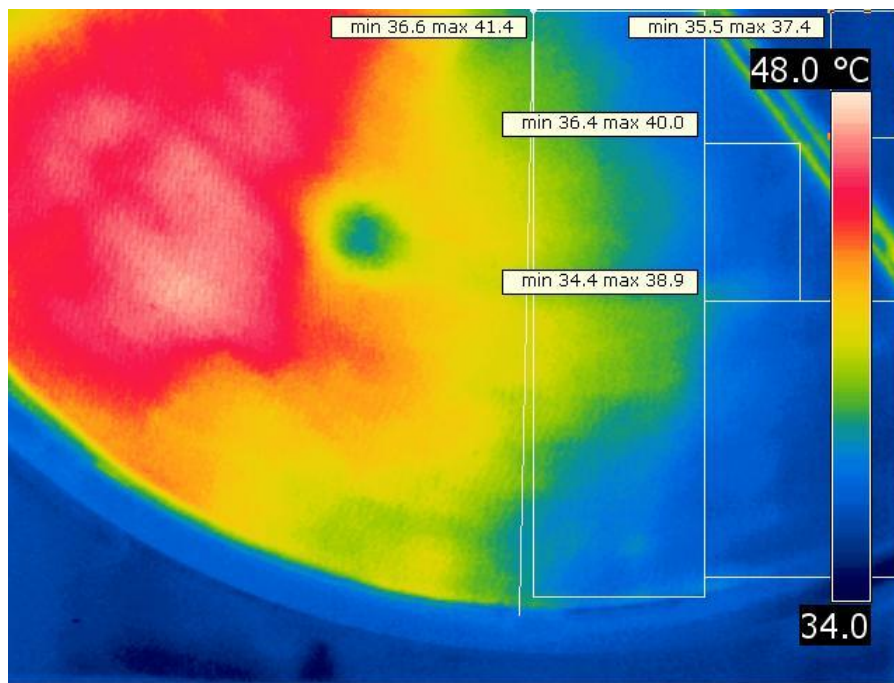
Θερμογραφία 75: σημείο 9, λήψη 4^η, ψυχρός κυκλικός τομέας



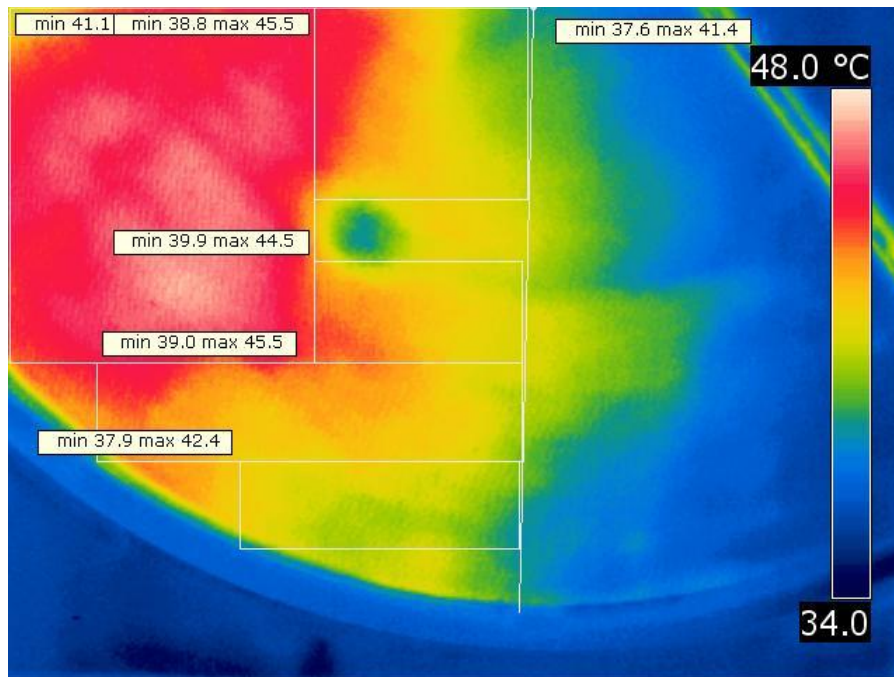
Θερμογραφία 76: σημείο 9, λήψη 4^η, θερμός κυκλικός τομέας



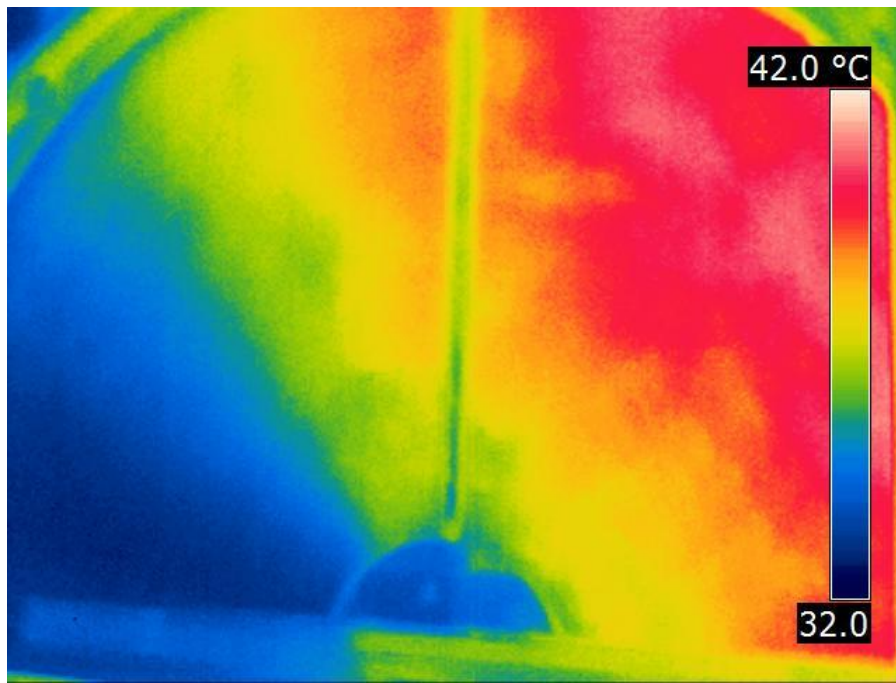
Θερμογραφία 77: σημείο 2, λήψη 5^η



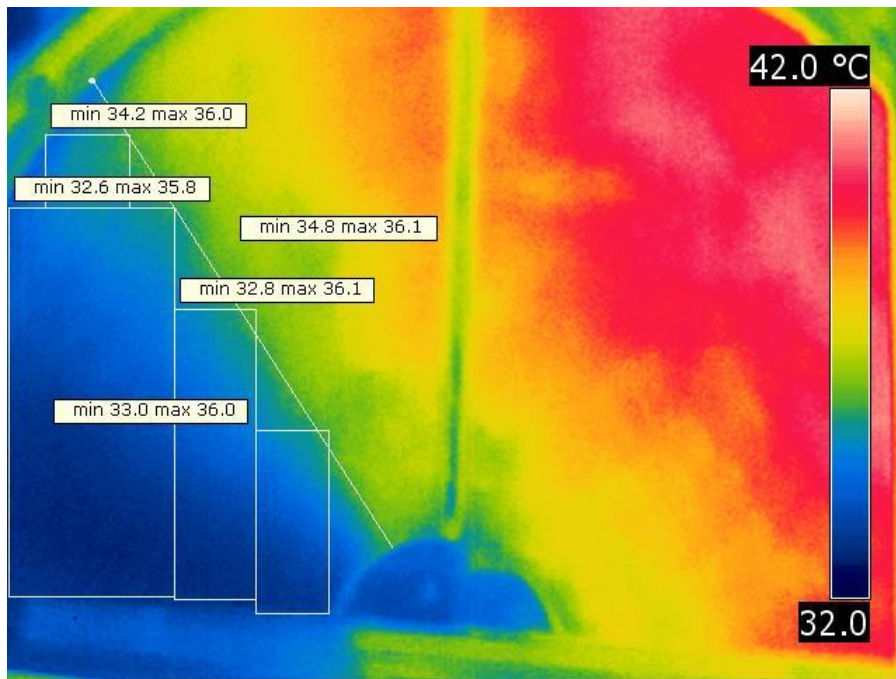
Θερμογραφία 78: σημείο 2, λήψη 5^η, ψυχρός κυκλικός τομέας



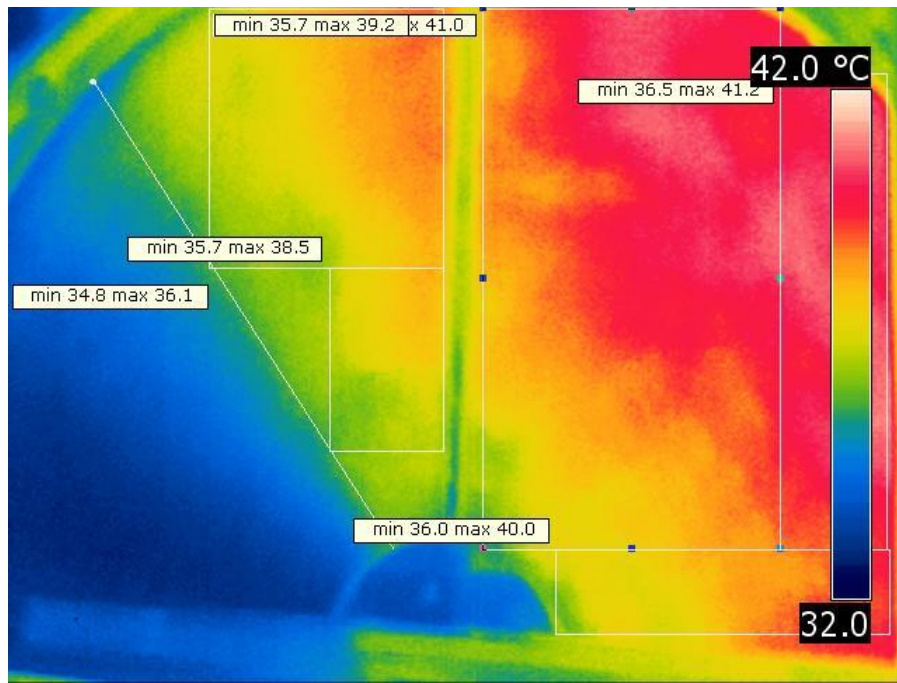
Θερμογραφία 79: σημείο 2, λήψη 5^η, θερμός κυκλικός τομέας



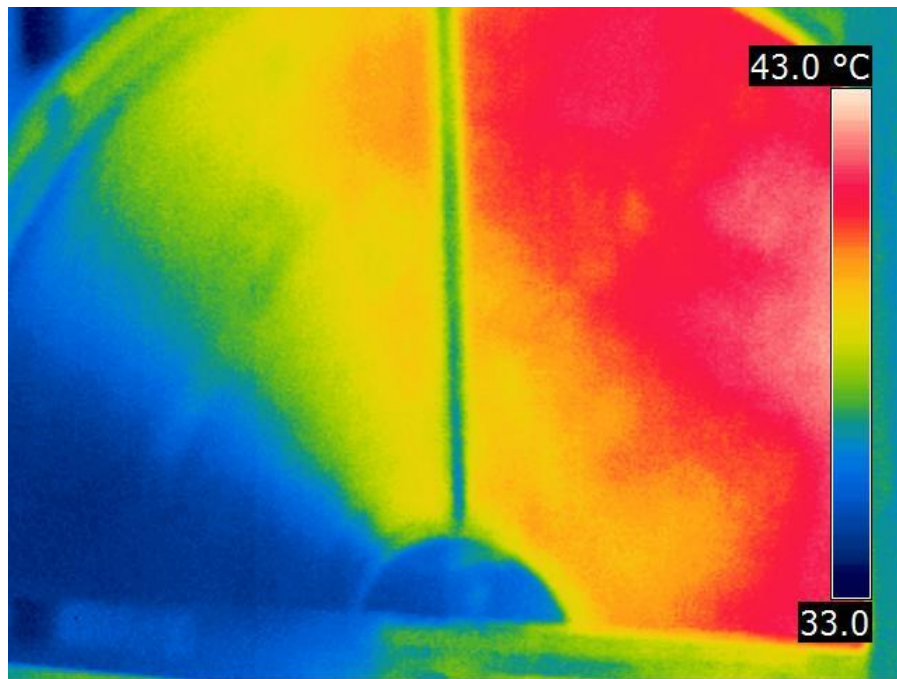
Θερμογραφία 80: σημείο 9, λήψη 5"



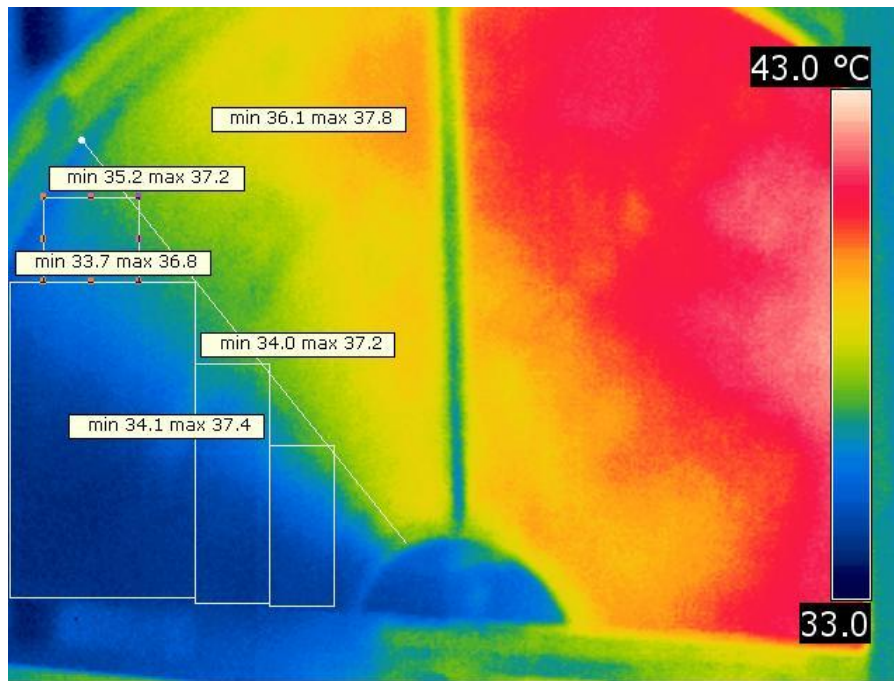
Θερμογραφία 81: σημείο 9, λήψη 5", ψυχρός κυκλικός τομέας



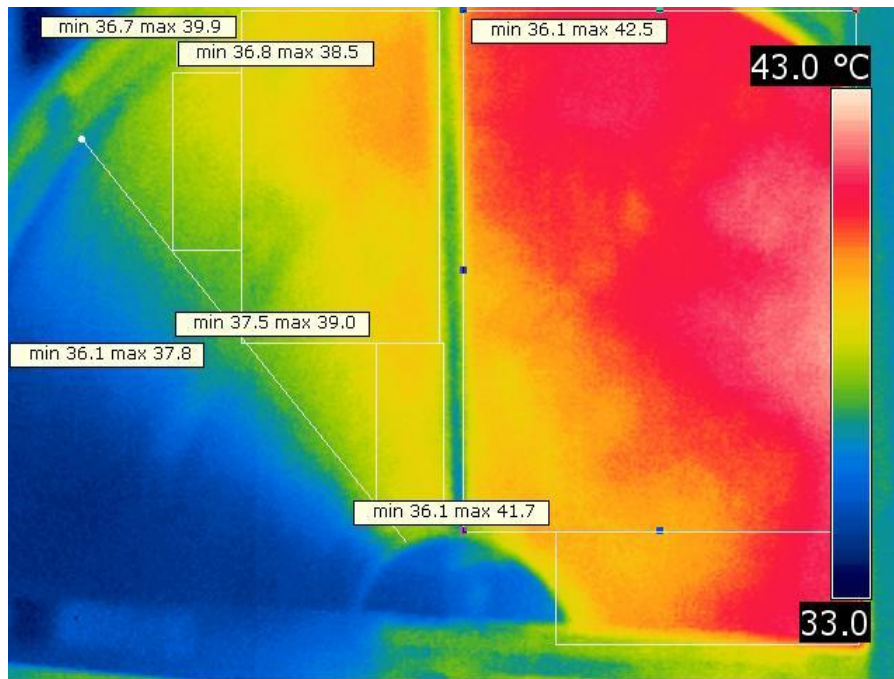
Θερμογραφία 82:σημείο 9,λήψη 5^η, θερμός κυκλικός τομέας



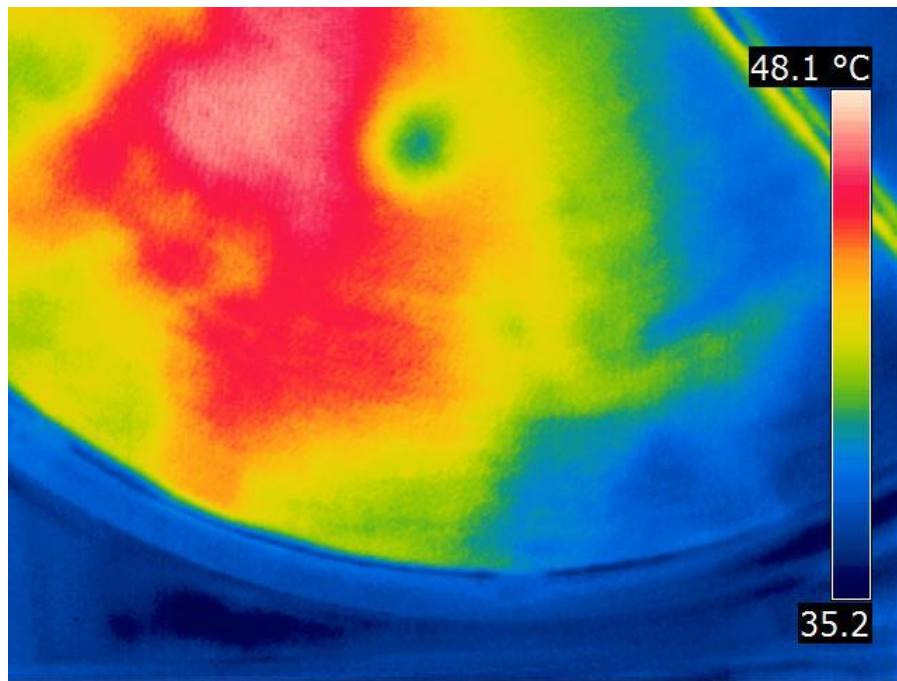
Θερμογραφία 83:σημείο 6,λήψη 6^η



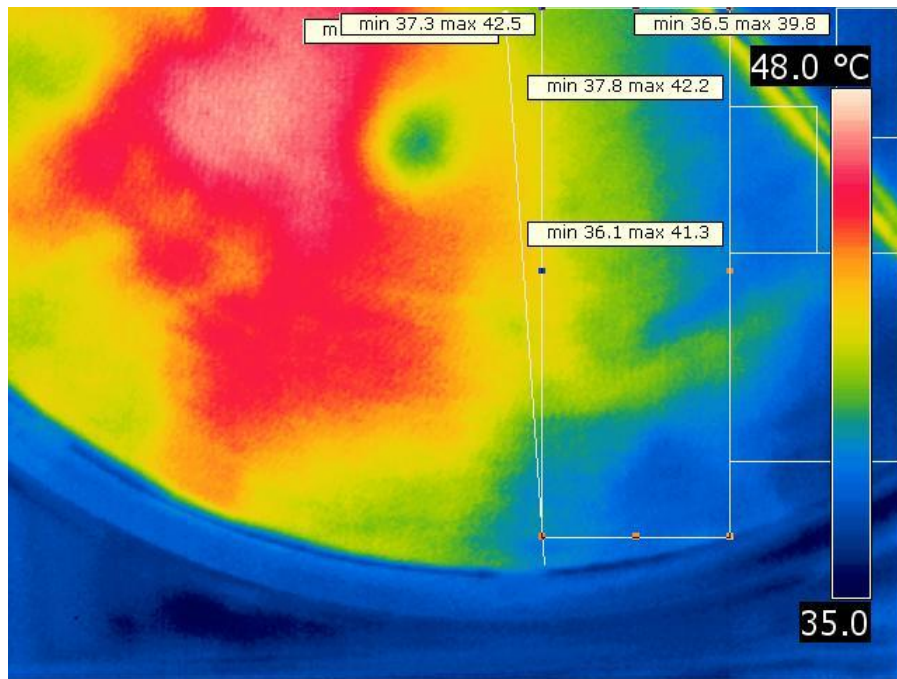
Θερμογραφία 84: σημείο 9, λήψη 6^η, ψυχρός κυκλικός τομέας



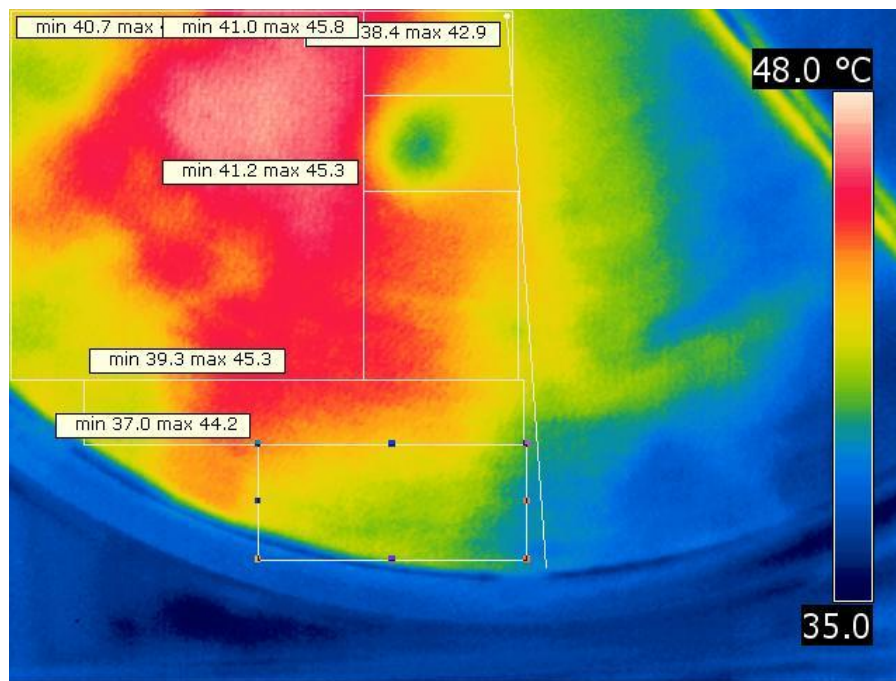
Θερμογραφία 85: σημείο 9, λήψη 6^η, θερμός κυκλικός τομέας



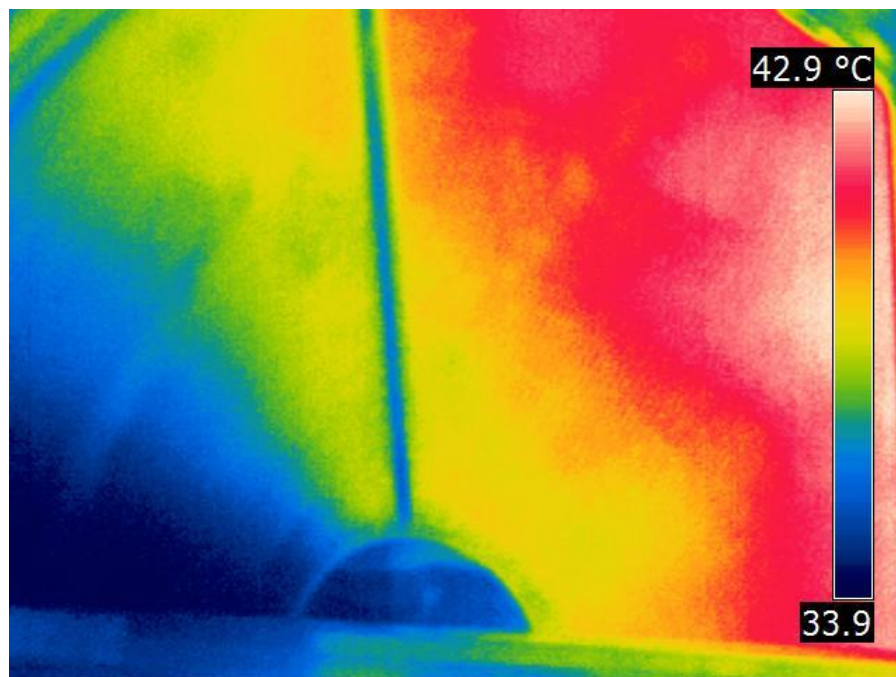
Θερμογραφία 86:σημείο 2,λήψη 7^η



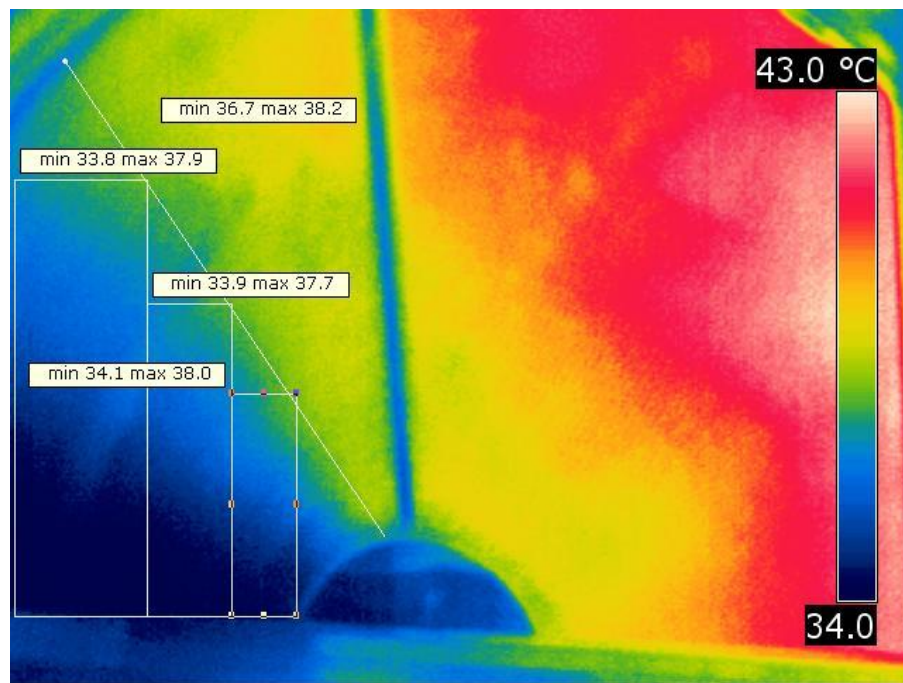
Θερμογραφία 87:σημείο 2,λήψη 7^η, ψυχρός κυκλικός τομέας



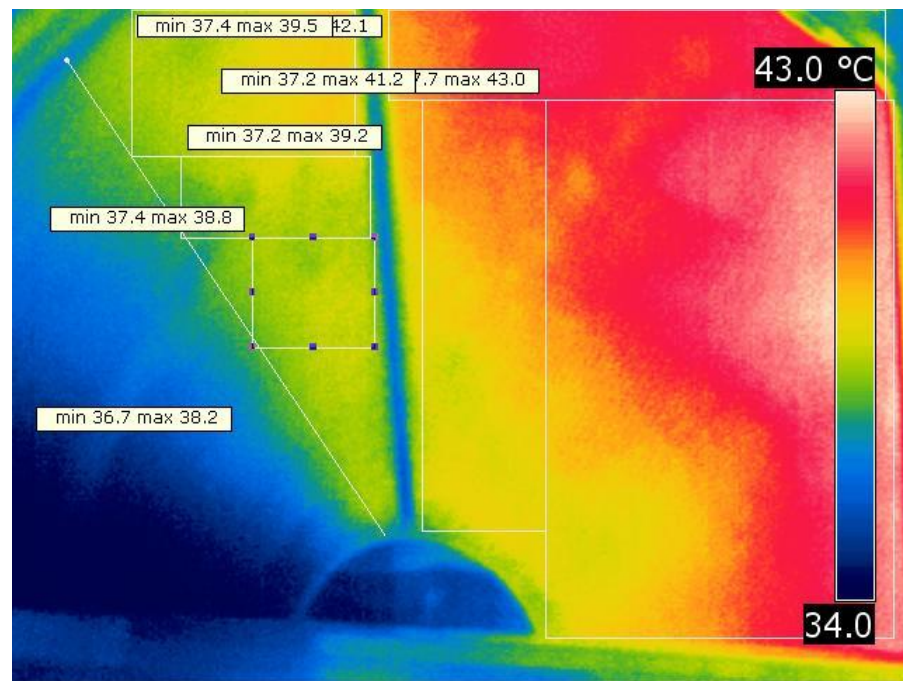
Θερμογραφία 88:σημείο 2,λήψη 7^η, θερμός κυκλικός τομέας



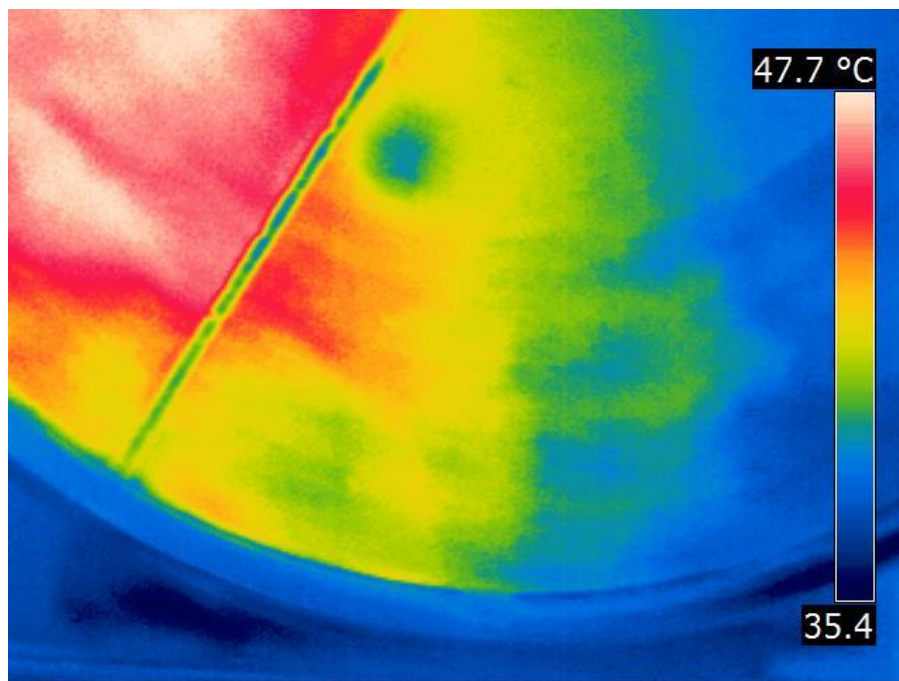
Θερμογραφία 89:σημείο 9,λήψη 7^η



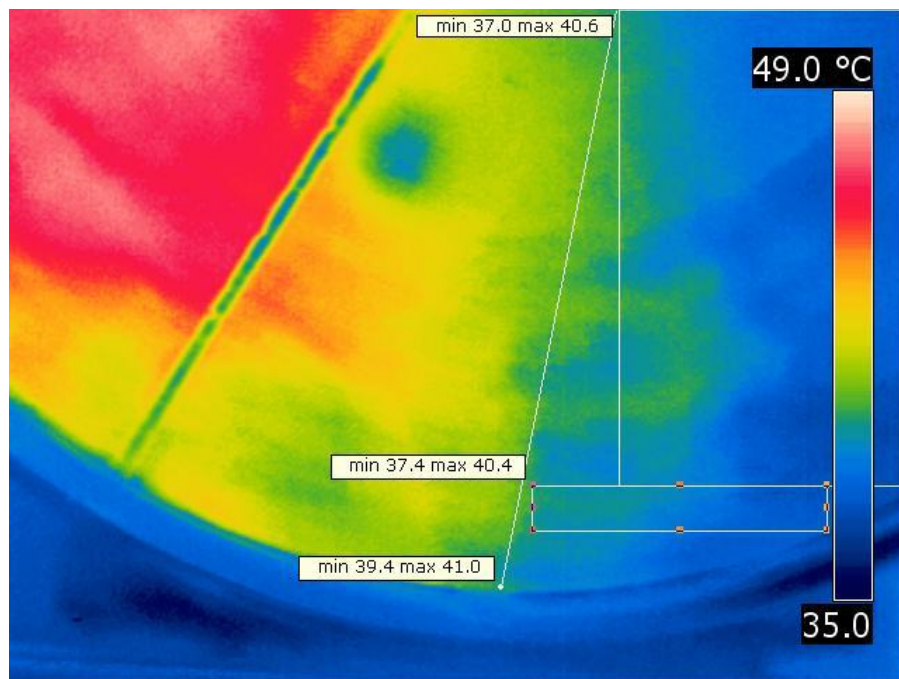
Θερμογραφία 90: σημείο 9, λήψη 7^η, ψυχρός κυκλικός τομέας



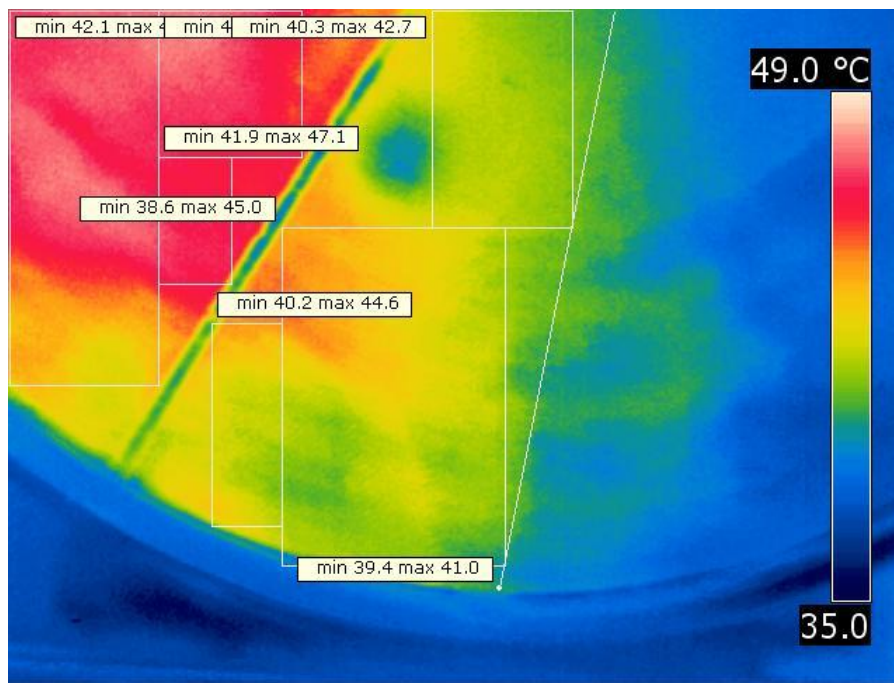
Θερμογραφία 91: σημείο 9, λήψη 7^η, θερμός κυκλικός τομέας



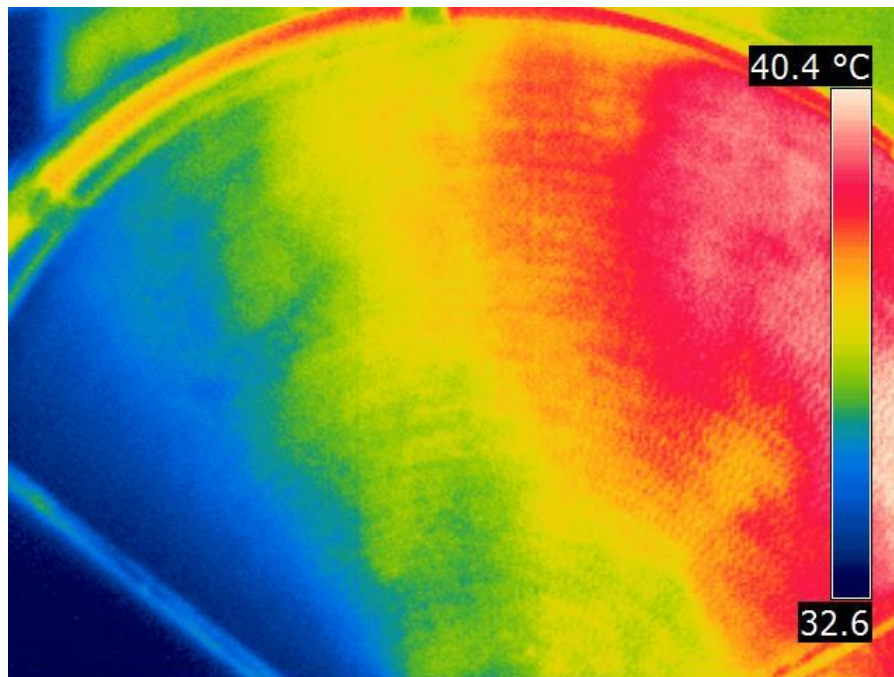
Θερμογραφία 92: σημείο 2, λήψη 8"



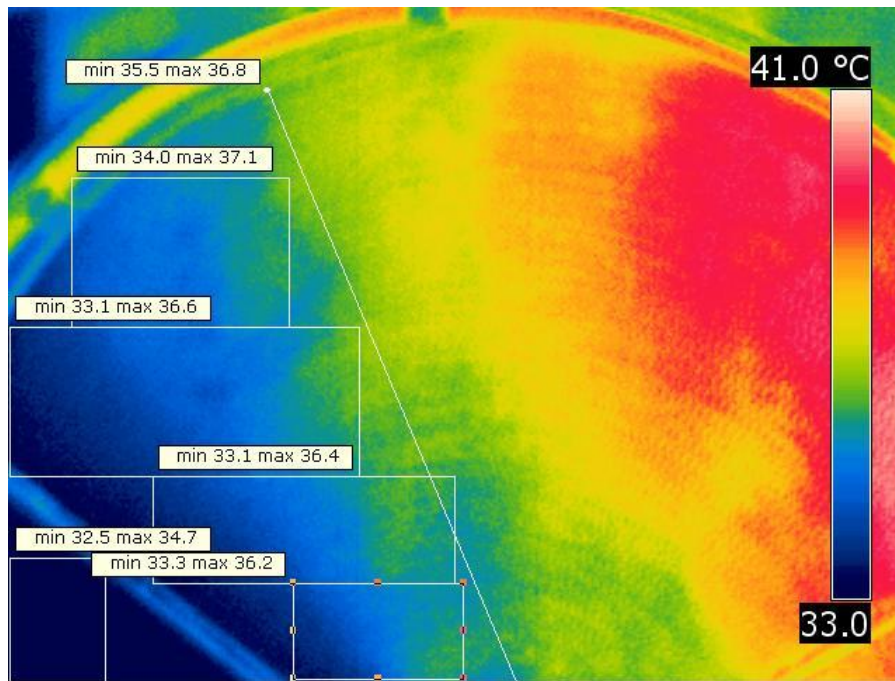
Θερμογραφία 93: σημείο 2, λήψη 8", ψυχρός κυκλικός τομέας



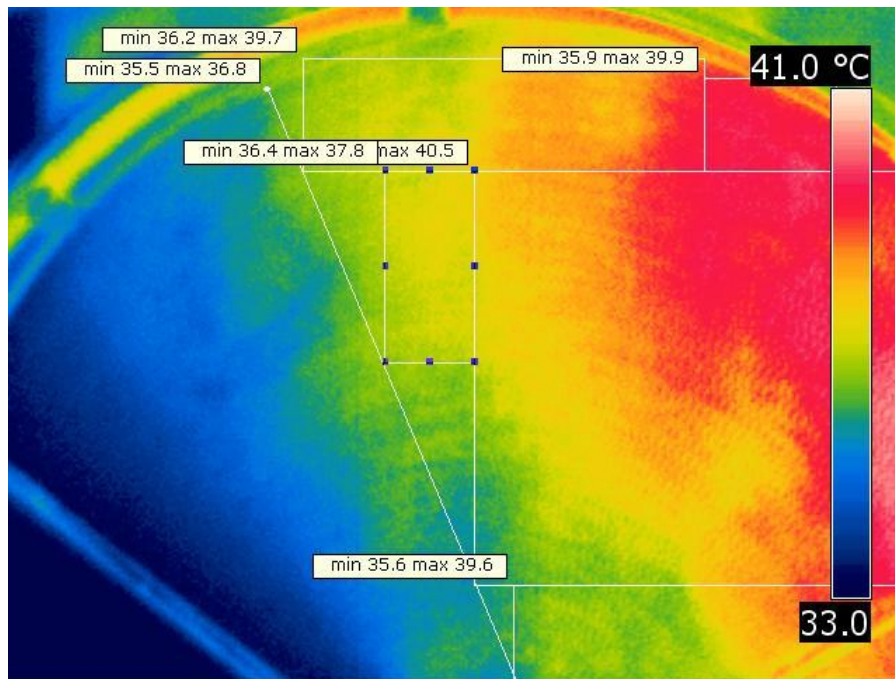
Θερμογραφία 94: σημείο 2, λήψη 8^η, θερμός κυκλικός τομέας



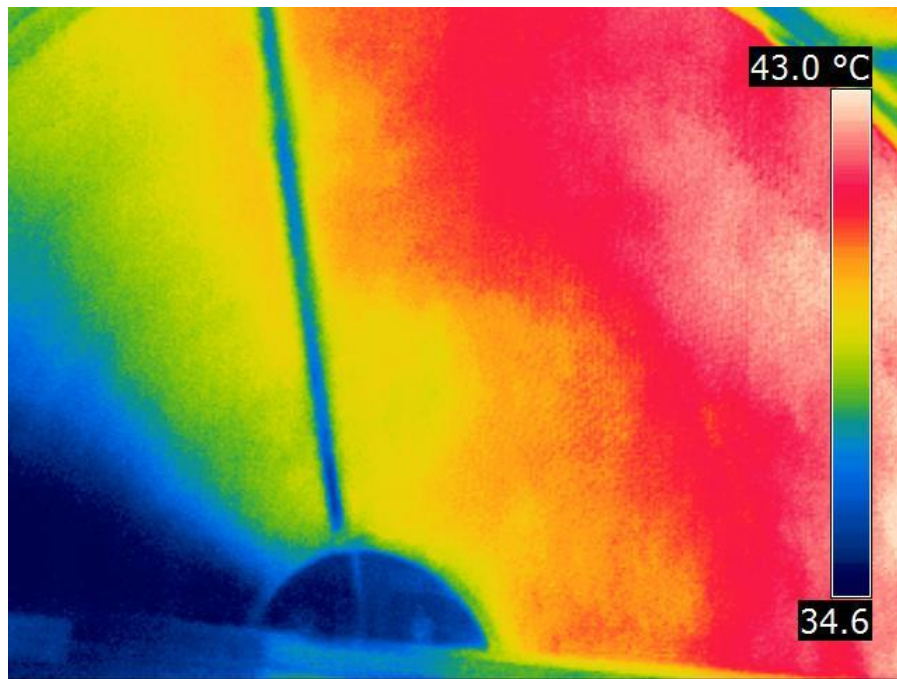
Θερμογραφία 95: σημείο 9, λήψη 8^η



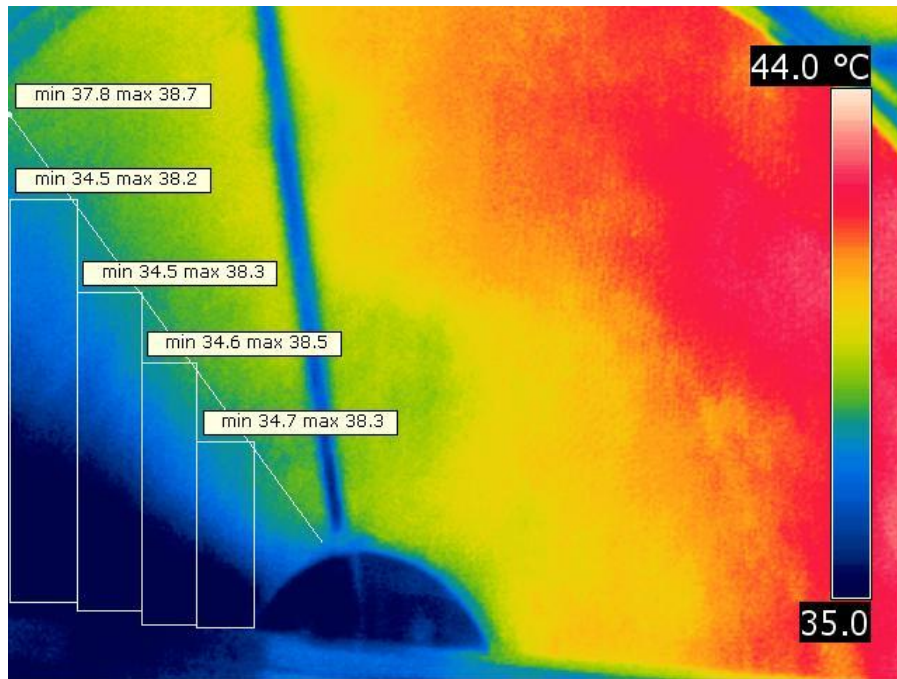
Θερμογραφία 96: σημείο 9, λήψη 8^η, ψυχρός κυκλικός τομέας



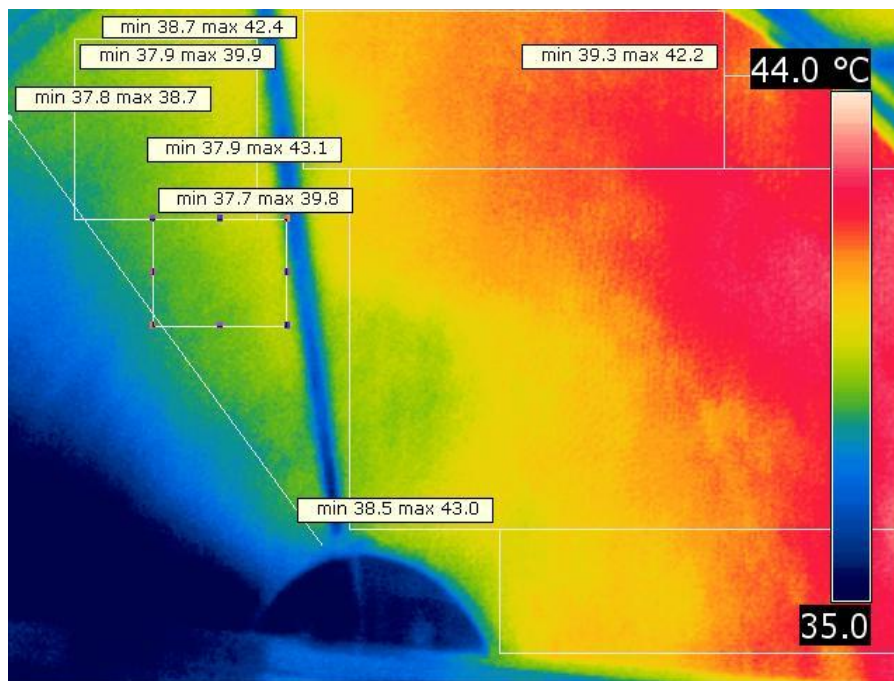
Θερμογραφία 97: σημείο 9, λήψη 8^η, θερμός κυκλικός τομέας



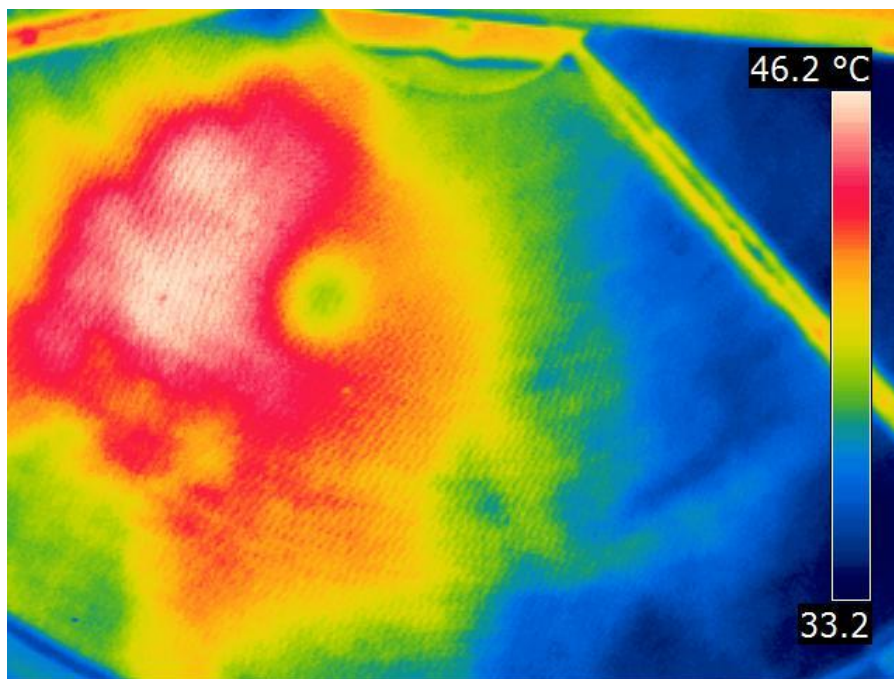
Θερμογραφία 98: σημείο 9, λήψη 9^η



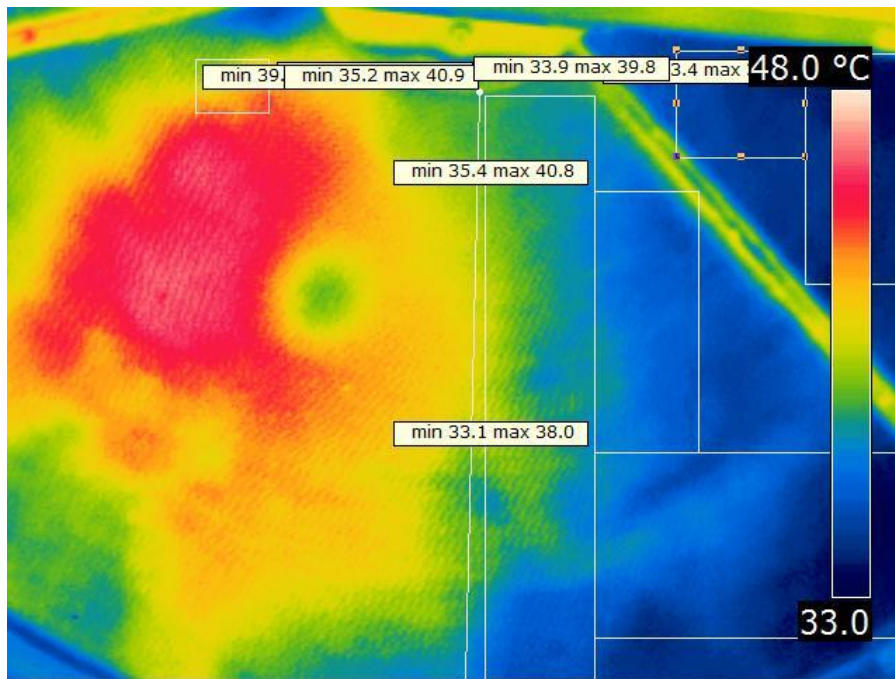
Θερμογραφία 99: σημείο 9, λήψη 9^η, ψυχρός κυκλικός τομέας



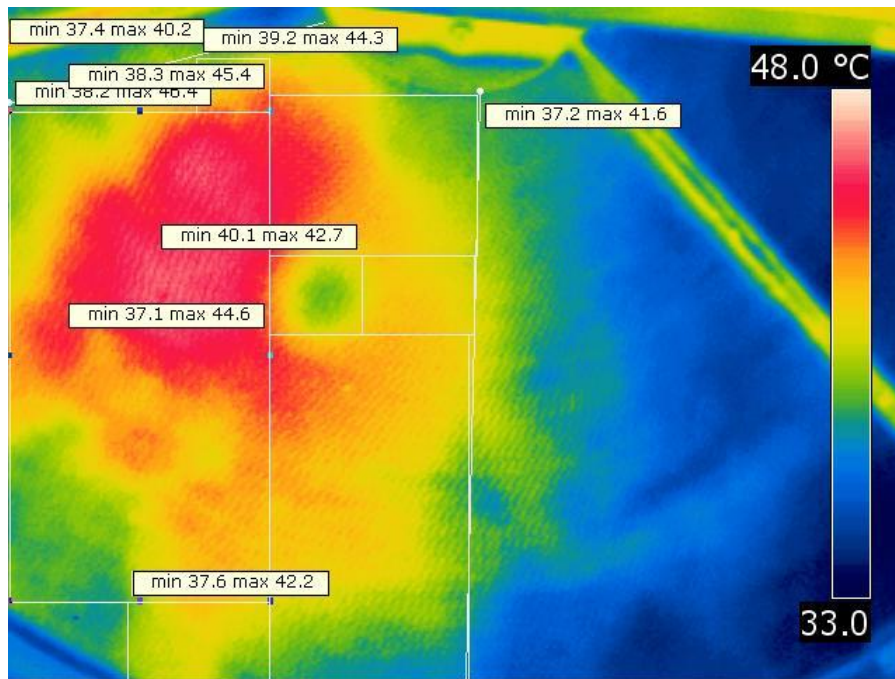
Θερμογραφία 100: σημείο 9, λήψη 9^η, θερμός κυκλικός τομέας



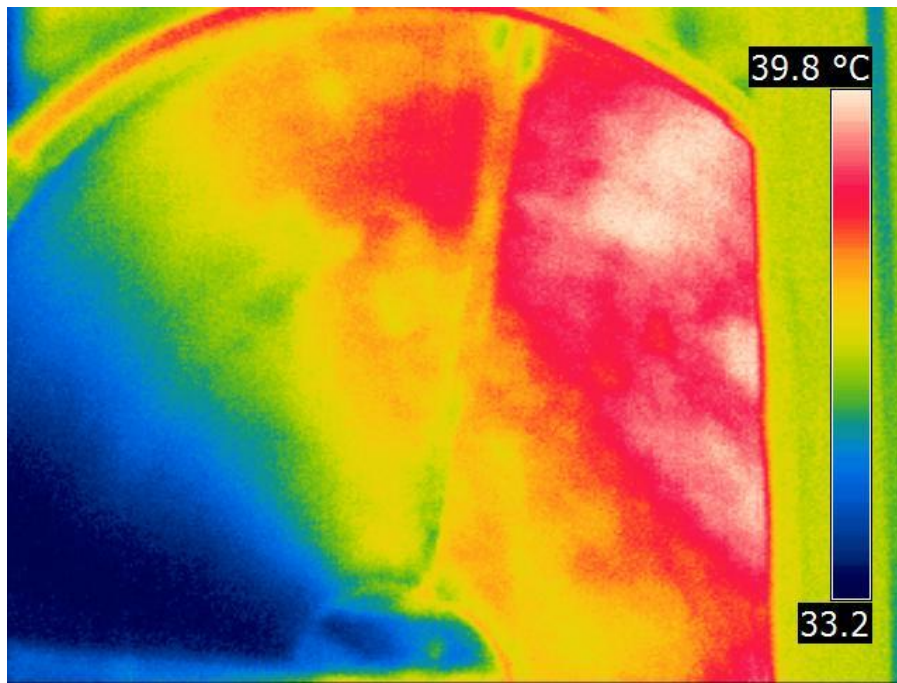
Θερμογραφία 101: σημείο 2, λήψη 10^η



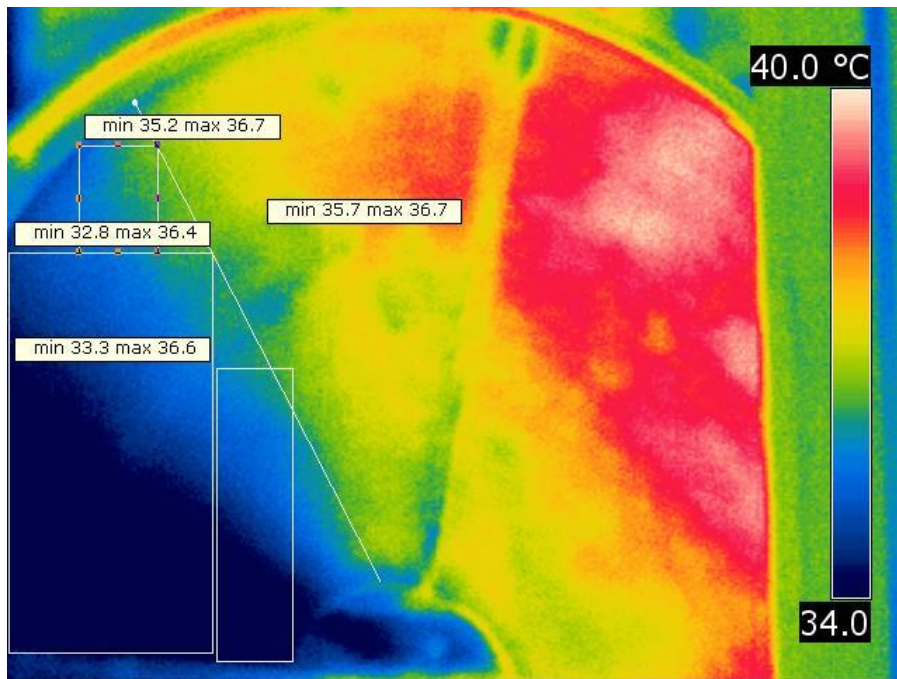
Θερμογραφία 102: σημείο 2, λήψη 10^η, ψυχρός κυκλικός τομέας



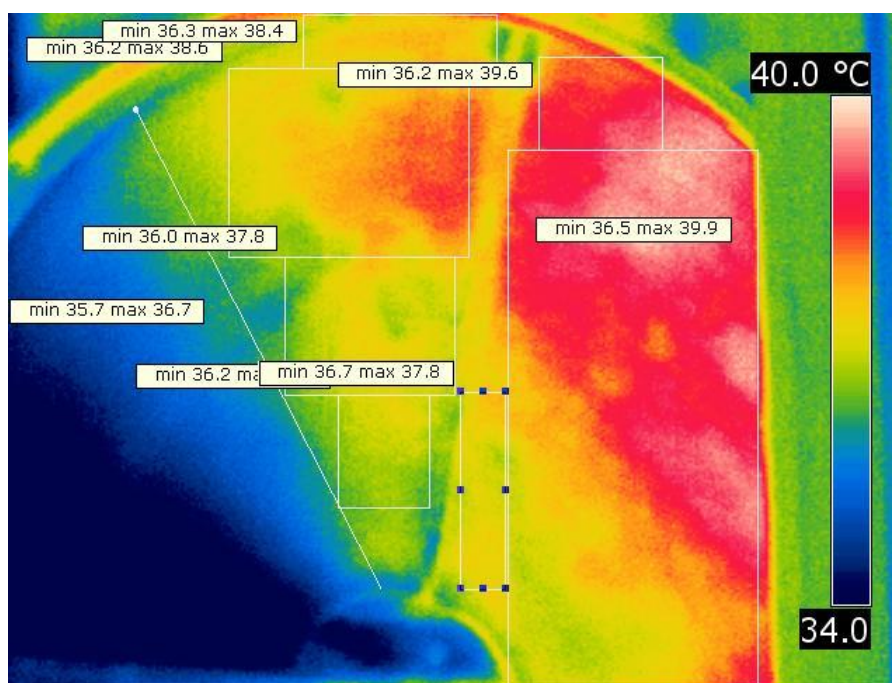
Θερμογραφία 103: σημείο 2, λήψη 10^η, θερμός κυκλικός τομέας



Θερμογραφία 104: σημείο 9, λήψη 10^η



Θερμογραφία 105: σημείο 9, λήψη 10^η, ψυχρός κυκλικός τομέας



Θερμογραφία 106: σημείο 9, λήψη 10^η, θερμός κυκλικός τομέας

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στη παραπάνω ομάδα θερμογραφιών λείπουν οι λήψεις έξι και εννέα του σημείου δύο αλλά και η λήψη τρία του σημείου εννέα καθώς οι θερμογραφίες κρίθηκαν ως μη αξιοποιήσιμες εξ' αιτίας κακής εστίασης και χαμηλής ευκρίνειας.

5.4.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων θερμογραφιών

Από τις παραπάνω θερμογραφίες με τον τρόπο που περιγράφηκε υπολογίζεται η υψηλή και χαμηλή θερμοκρασία που αναπτύσσεται στην επιφάνεια του αφυγραντικού τροχού στα σημεία δύο και εννέα. Τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα για τις δύο ημέρες μετρήσεων:

| 21 Ιουλίου 2009 | | | | | |
|-----------------------|------------------------------|--------|-------|--------|-------|
| Σημείο Λήψης | | 2 | | 9 | |
| Αριθμός και ώρα Λήψης | Προκύπτουσα Θερμοκρασία (°C) | Χαμηλή | Υψηλή | Χαμηλή | Υψηλή |
| 1 (12:21) | | 40.50 | 47.53 | 33.46 | 32.20 |

| | | | | |
|------------|-------|-------|-------|-------|
| 2 (12:35) | 41.05 | 46.35 | 33.00 | 32.70 |
| 3 (12:46) | 40.85 | 47.32 | 33.60 | 32.80 |
| 4 (13:08) | 41.61 | 47.32 | 39.21 | 36.00 |
| 5 (13:18) | 42.72 | 47.52 | 39.21 | 35.56 |
| 6 (13:26) | 40.85 | 47.43 | 40.46 | 36.00 |
| 7 (13:35) | 38.69 | 45.22 | 40.12 | 36.25 |
| 8 (13:47) | 38.89 | 46.30 | 41.19 | 36.13 |
| 9 (13:57) | 38.77 | 45.76 | 40.79 | 36.28 |
| 10 (14:08) | 36.64 | 44.37 | 41.79 | 37.02 |

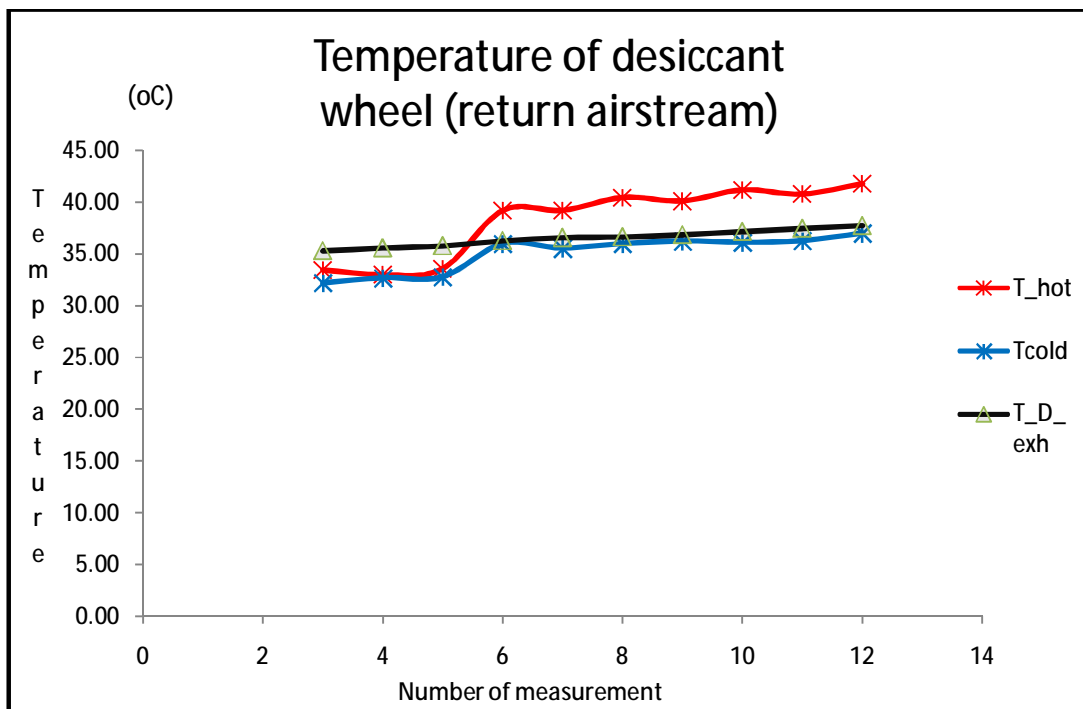
Αντίστοιχα για τις 22 Ιουλίου έχουμε:

| 22 Ιουλίου 2009 | | | | | |
|-----------------------|------------------------------|--------|-------|--------|-------|
| Σημείο Λήψης | | 2 | | 9 | |
| Αριθμός και ώρα Λήψης | Προκύπτουσα Θερμοκρασία (°C) | Χαμηλή | Υψηλή | Χαμηλή | Υψηλή |
| 1 (11:39) | | 36.28 | 41.93 | 32.11 | 36.24 |
| 2 (11:51) | | 39.16 | 43.39 | 34.4 | 37.56 |
| 3 (12:03) | | 35.01 | 40.88 | ---- | ---- |

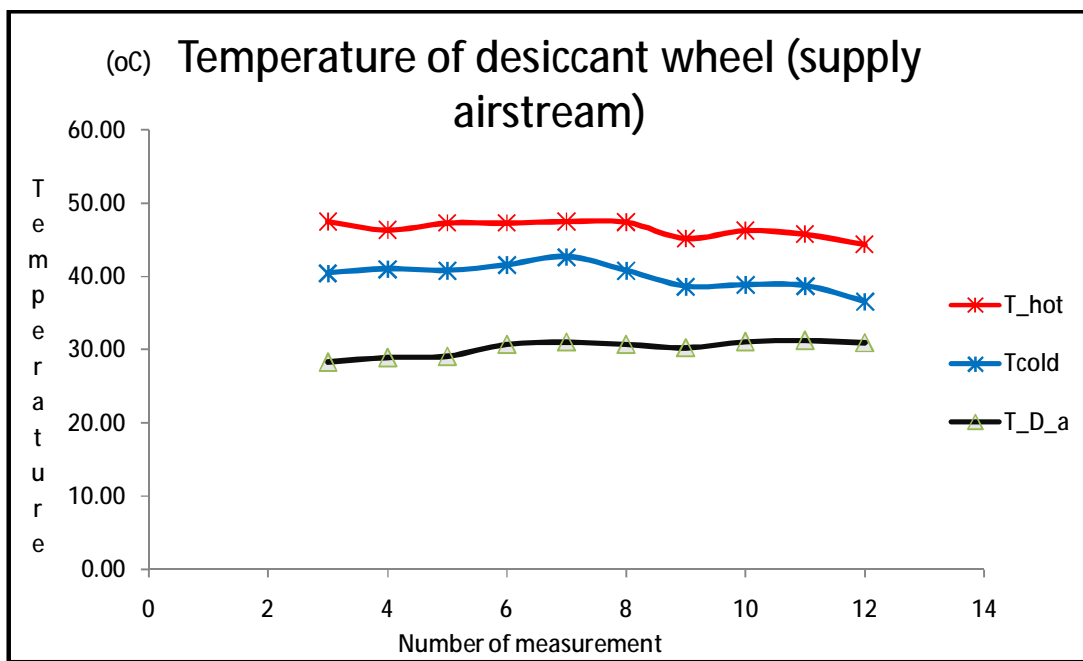
| | | | | |
|------------|-------|-------|-------|-------|
| 4 (12:16) | 34.6 | 39.19 | 33.66 | 36.39 |
| 5 (12:30) | 37.75 | 43.61 | 33.93 | 38.85 |
| 6 (12:57) | ---- | ---- | 34.97 | 39.82 |
| 7 (13:05) | 39.09 | 43.66 | 30.21 | 41.85 |
| 8 (13:17) | 38.62 | 47.06 | 34.54 | 37.98 |
| 9 (13:28) | ---- | ---- | 36.25 | 40.76 |
| 10 (13:39) | 36.37 | 41.98 | 34.52 | 39.46 |

Με τις παραπάνω θερμοκρασίες δεδομένες, αποτυπώνουμε τις συσχετίσεις που θεωρούνται απαραίτητες. Αρχικά, καταγράφουμε την εξέλιξη των θερμοκρασιών που αναπτύσσονται στον αφυγραντικό τροχό κατά τη διεξαγωγή των μετρήσεων, συγκρίνοντάς παράλληλα και τις αντίστοιχες τιμές για τη θερμοκρασία περιβάλλοντος και απόρριψης του αέρα επιστροφής από τη συσκευή για το σημείο δύο και εννέα αντίστοιχα. Ακόμα γίνεται η συσχέτιση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος με την αναπτυσσόμενη στον αφυγραντικό τροχό στο σημείο δύο αλλά και της θερμοκρασίας αναγέννησης με την αναπτυσσόμενη θερμοκρασία στο τροχό στο σημείο εννέα. Τέλος, αποτυπώνεται η καμπύλη πρόγνωσης με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων ώστε ο αναγνώστης να έχει μία γενική εικόνα για την εξέλιξη του φαινομένου. Σύμφωνα με τα παραπάνω παρουσιάζονται τα επόμενα διαγράμματα και για τις δύο μέρες μετρήσεων.

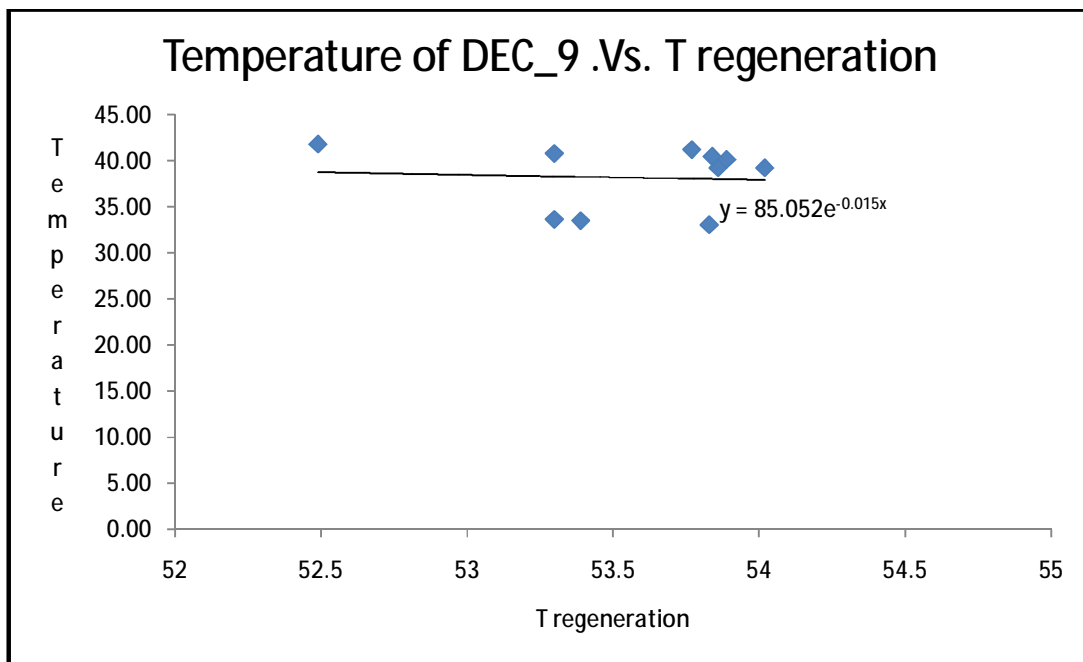
Για την 21^η Ιουλίου έχουμε:



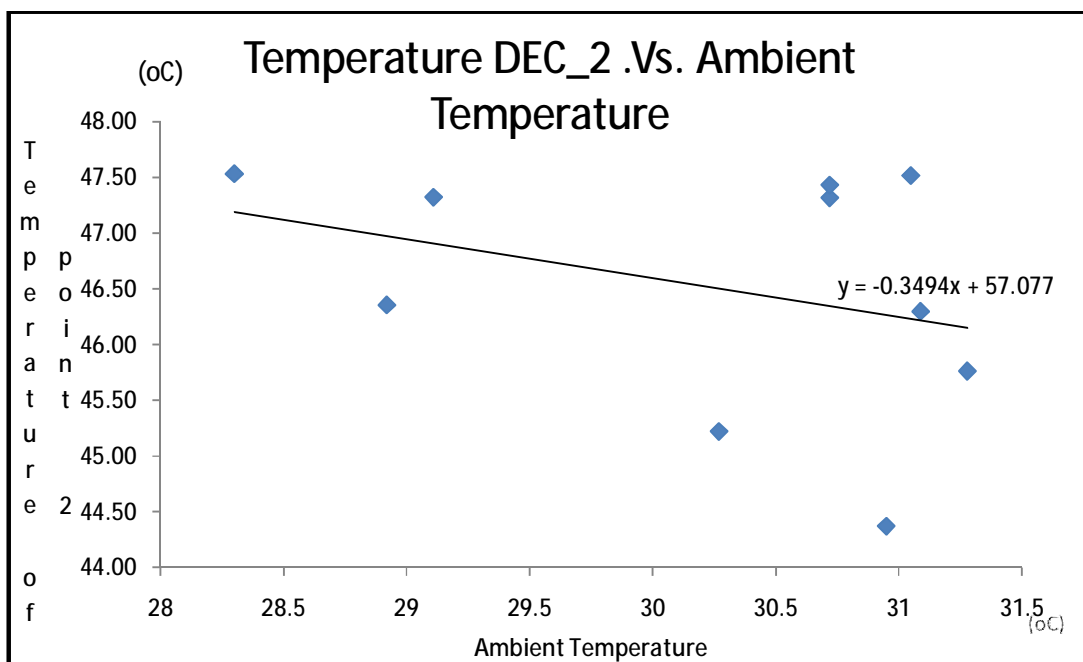
Γράφημα 155: απεικόνιση αναπτυσσόμενων θερμοκρασιών στον αφυγραντικό τροχό στο σημείο 9 σε σύγκριση με τη θερμοκρασία απόρριψης του αέρα επιστροφής στο περιβάλλον κατά την 21^η Ιουλίου.



Γράφημα 156 : απεικόνιση αναπτυσσόμενων θερμοκρασιών στον αφυγραντικό τροχό στο σημείο 2 σε σύγκριση με τη θερμοκρασία του αέρα στο περιβάλλον κατά την 21^η Ιουλίου.

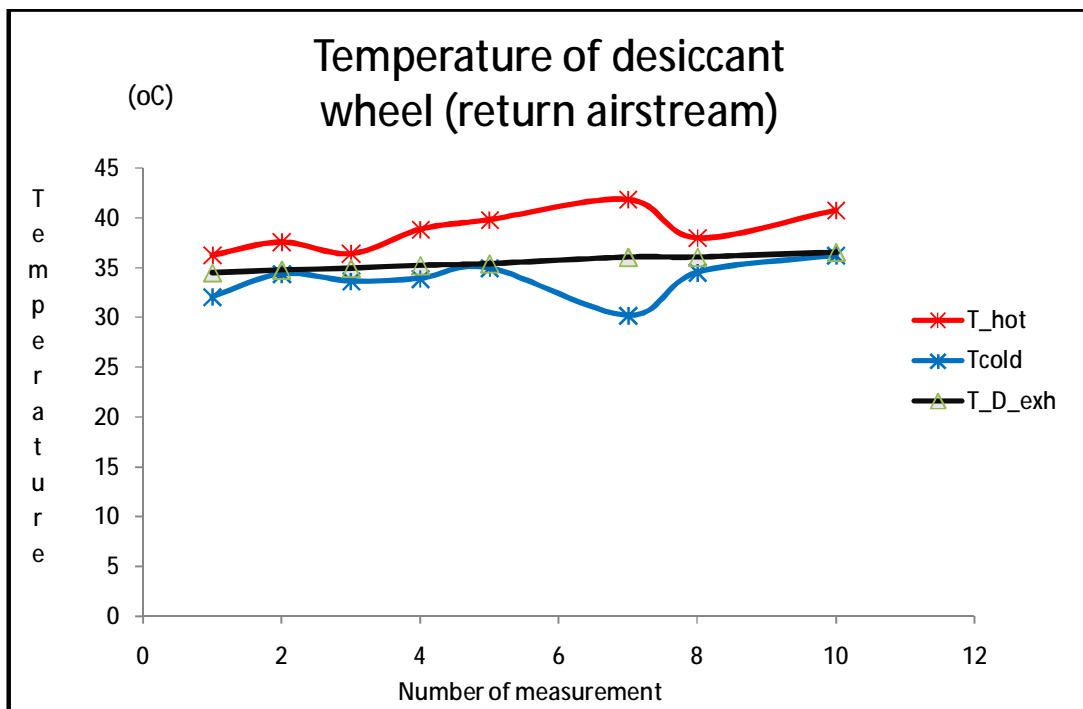


Γράφημα 157 :απεικόνιση της θερμοκρασίας αναγέννησης σε σχέση με την επικρατούσα θερμοκρασία στον αφυγραντικό τροχό στο σημείο 9 κατά την 21^η Ιουλίου με γραμμική προσέγγιση.

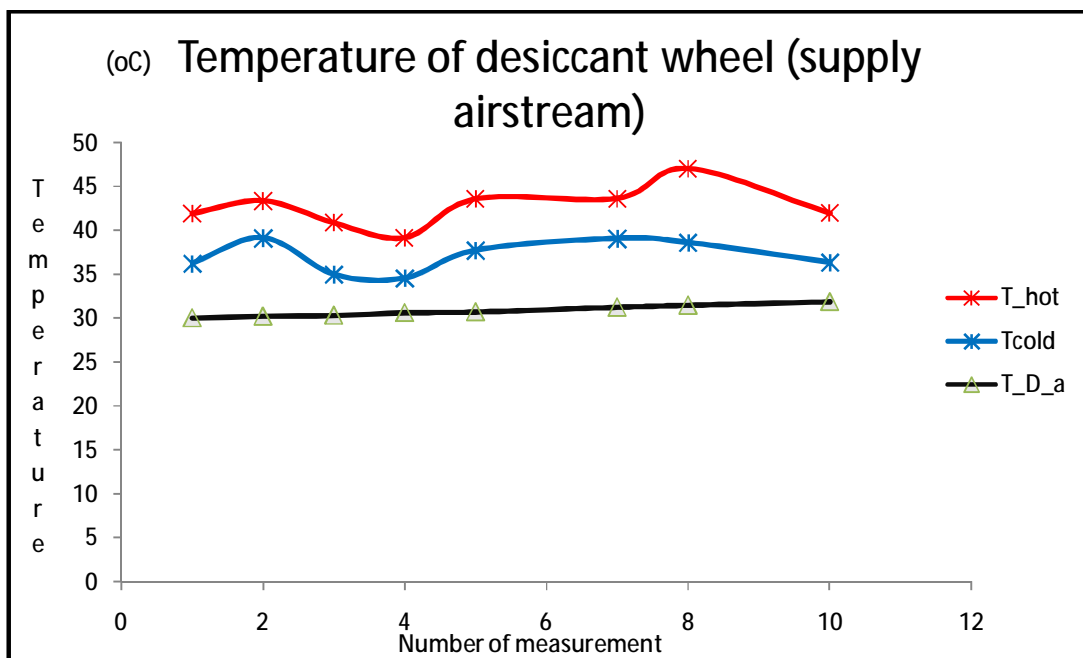


Γράφημα 158 :απεικόνιση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος σε σχέση με την επικρατούσα θερμοκρασία στον αφυγραντικό τροχό στο σημείο 2 κατά την 21^η Ιουλίου με γραμμική προσέγγιση .

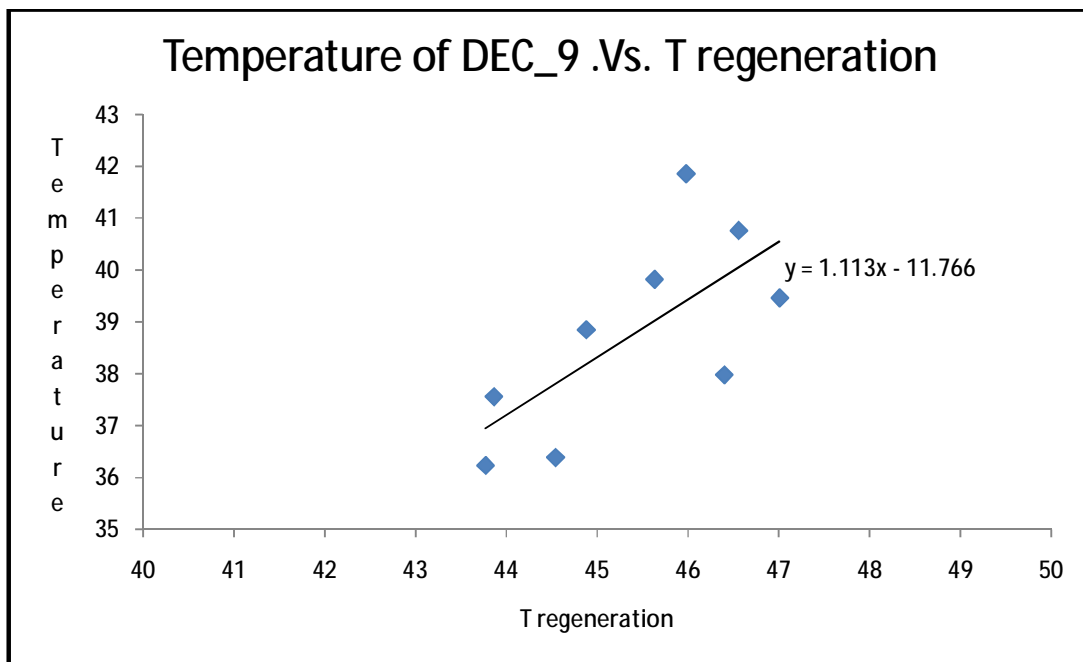
Αντίστοιχα για τη 22^η Ιουλίου έχουμε:



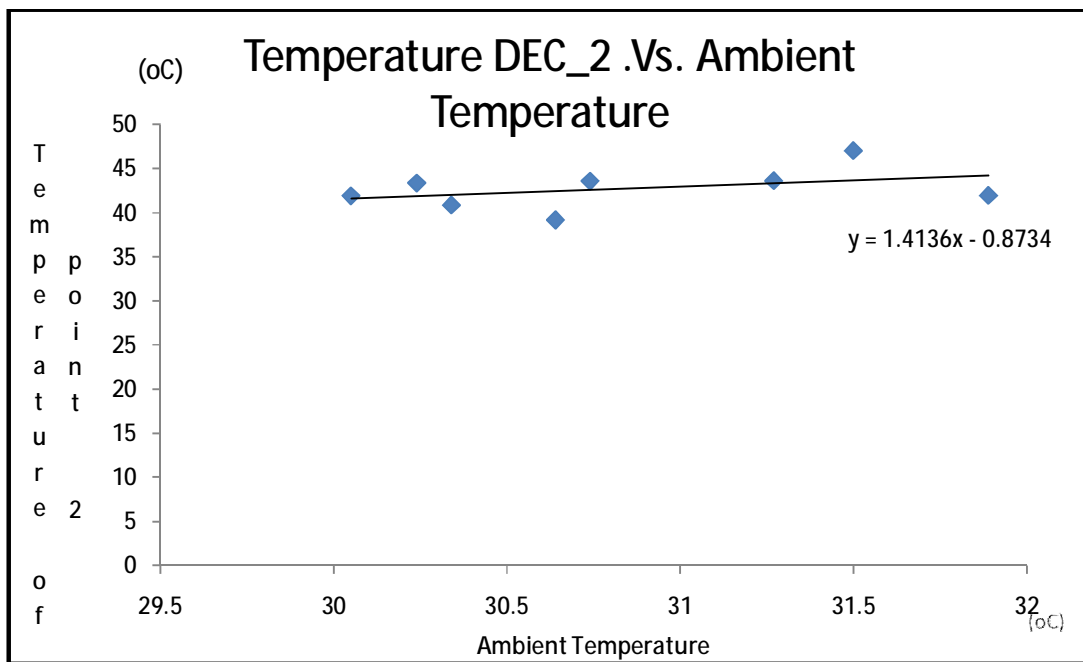
Γράφημα 159 :απεικόνιση αναπτυσσόμενων θερμοκρασιών στον αφυγραντικό τροχό στο σημείο 9 σε σύγκριση με τη θερμοκρασία απόρριψης του αέρα επιστροφής στο περιβάλλον κατά την 22^η Ιουλίου.



Γράφημα 160 :απεικόνιση αναπτυσσόμενων θερμοκρασιών στον αφυγραντικό τροχό στο σημείο 2 σε σύγκριση με τη θερμοκρασία του αέρα στο περιβάλλον κατά την 22^η Ιουλίου.



Γράφημα 169 :απεικόνιση της θερμοκρασίας αναγέννησης σε σχέση με την επικρατούσα θερμοκρασία στον αφυγραντικό τροχό στο σημείο 9 κατά την 22^η Ιουλίου με γραμμική προσέγγιση.



Γράφημα 170 :απεικόνιση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος σε σχέση με την επικρατούσα θερμοκρασία στον αφυγραντικό τροχό στο σημείο 2 κατά την 22^η Ιουλίου με γραμμική προσέγγιση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6:ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Κύριος σκοπός της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας είναι η παρουσίαση και η πειραματική αξιολόγηση του ανοικτού συστήματος εξεταμιακής ψύξης με αφυγραντικό τροχό LiCl που βρίσκεται στο τεχνολογικό πάρκο Λαυρίου του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Για αυτό το λόγο δημιουργήθηκαν και όλα τα παραπάνω διαγράμματα ώστε να είναι δυνατή η οπτική παρατήρηση της εξέλιξης των σημαντικότερων μεταβλητών που χαρακτηρίζουν τον τρόπο λειτουργίας της συσκευής. Ακόμα για την καλύτερη και ασφαλέστερη εξαγωγή συμπερασμάτων, όπως έχει ήδη τονιστεί και προγενέστερα, έχουν χαραχθεί γραφήματα με διαφορετικό χρονικό διάστημα αναφοράς ώστε ο αναγνώστης να επικεντρώνεται όπου επιθυμεί. Επίσης θεωρήθηκε απαραίτητη η επιμέρους παρακολούθηση του αφυγραντικού τροχού LiCl της συσκευής καθώς αποτελεί και το βασικότερο υποσύστημα για την εξέλιξη της διαδικασίας,. Γι' αυτό το λόγο ελήφθησαν θερμογραφίες ώστε να εξετασθεί η κατανομή των θερμοκρασιών στην επιφάνεια του.

Αρχικά, το κύριο μέλημα ενός χρήστη μίας συσκευής κλιματισμού είναι να πληρούνται οι προϋποθέσεις θερμικής άνεσης στον κλιματιζόμενο χώρο ώστε να είναι δυνατή η άνετη διαβίωση των ενοίκων μέσα σε αυτόν. Από τα γραφήματα παρατηρούμε ότι τα επίπεδα της σχετικής υγρασίας μέσα στον χώρο είναι αρκετά υψηλά, καθώς κυμαίνονται σε τιμές κοντά στο 60%. Η συγκεκριμένη τιμή θεωρείται αρκετά υψηλή καθώς προκαλεί αίσθημα δυσφορίας στα άτομα που βρίσκονται μέσα στο δωμάτιο. Οι αιτίες που μπορεί να οφείλεται το συγκεκριμένο φαινόμενο μπορεί να προέρχονται από τον τρόπο λειτουργίας της συσκευής αλλά και από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των επιμέρους συστημάτων της εγκατάστασης. Πιο συγκεκριμένα, έχει παρατηρηθεί πως η χρήση άμεσων υγραντήρων για την πραγματοποίηση της εξεταμιακής ψύξης οδηγεί σε ρεύμα αέρα με μεγάλη σχετική υγρασία. Γεγονός που επιβεβαιώνεται και στην προκειμένη περίπτωση. Επιπρόσθετα, θα πρέπει να επαναξεταστεί ο τρόπος ρύθμισης με τον οποίο εγχύεται το νερό στο ρεύμα προσαγωγής της εγκατάστασης. Γνωρίζουμε ότι στο συγκεκριμένο σημείο είναι δυνατή η ρύθμιση της ροής του νερού με εξωτερικό ηλεκτρικό σήμα, έτσι θα πρέπει να ελεγχθεί κατά πόσο ο επενεργητής είναι σωστά βαθμονομημένος και η βαλβίδα λειτουργεί με τον εκάστοτε επιθυμητό τρόπο. Παράλληλα θα πρέπει να ελέγχεται σε τακτική βάση κατά πόσο είναι ελεύθερα από άλατα και άλλα κατάλοιπα τα στόμια έγχυσης του υγραντήρα ώστε η ποσότητα του νερού να διοχετεύεται ομοιόμορφα σε όλη την ποσότητα του διακινούμενου αέρα και όχι σε κάποιο συγκεκριμένο κομμάτι του προκαλώντας τοπικά αυξημένη σχετική υγρασία. Ακόμα, θα πρέπει να εξεταστούν και άλλες πιθανές τεχνικές λύσεις όπως είναι η χρήση έμμεσων υγραντήρων ή δημιουργία παρακαμπτήριου ρεύματος αέρα από το περιβάλλον ώστε να έχουμε την κατάλληλη ανάμειξη και κατά συνέπεια τα επιθυμητά επίπεδα σχετικής υγρασίας στον κλιματιζόμενο χώρο.

Ο δεύτερος και εξίσου σημαντικός παράγοντας που καθορίζει την θερμική άνεση σε έναν κλιματιζόμενο χώρο είναι η επικρατούσα θερμοκρασία μέσα σε αυτόν. Από τα διαγράμματα, τόσο για κάθε ημέρα μετρήσεων αλλά και τα συγκεντρωτικά για κάθε μήνα μετρήσεων, παρατηρούμε ότι οι θερμοκρασίες πληρούν σε ένα μεγάλο ποσοστό την απαίτηση να βρίσκονται κοντά στους 26⁰C που εν γένει θεωρείται η θερμοκρασία εκείνη για να έχουμε θερμική άνεση

στον χώρο. Βέβαια, υπάρχουν πολλές τιμές της θερμοκρασίας του κλιματιζόμενου χώρου που βρίσκονται σε αρκετά υψηλά επίπεδα που κυμαίνονται κοντά στους 30 °C. Στο συγκεκριμένο σημείο θεωρήθηκε απαραίτητη η συσχέτιση της θερμοκρασίας του κλιματιζόμενου χώρου με την θερμοκρασία περιβάλλοντος ώστε να γίνει πιο κατανοητή η εξέλιξη του φαινομένου. Όπως παρατηρούμε η συσχέτιση της θερμοκρασίας του χώρου και του περιβάλλοντος είναι γραμμική και αύξουσα. Έτσι όσο αυξάνει η μία, αυξάνει και η δεύτερη με τη διαφορά ότι η μεγαλύτερη πυκνότητα τιμών παρατηρείται σε θερμοκρασίες κοντά στους 26 έως 28°C. Μία συμπεριφορά που δεν είναι δυνατόν να αφήνει πλήρως ικανοποιημένο τον εκάστοτε χρήστη της εγκατάστασης. Σύμφωνα με τα παραπάνω, και με δεδομένη την κατασκευή του χώρου που στεγάζεται η συσκευή μπορούμε να υποθέσουμε ότι τα θερμικά κέρδη είναι πολύ υψηλότερα από την ψυκτική ισχύ που παράγει η συσκευή. Καθώς όλη η νοτιοανατολική πλευρά του δωματίου αποτελείται από υαλοπίνακες χωρίς μόνιμα εγκατεστημένη σκίαση, η ηλιακή ακτινοβολία που εισέρχεται στο χώρο είναι ιδιαίτερα υψηλή με αποτέλεσμα την αύξηση των απαιτήσεων για ψυκτική ισχύ από την συσκευή. Ακόμα, αφού ο χώρος βρίσκεται στο τεχνολογικό πάρκο του κέντρου ανανεώσιμων πηγών ενέργειας δεν υπάρχει κάποιο φυσικό ή άλλο εμπόδιο για την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας με αποτέλεσμα το κτίριο που στεγάζεται η εγκατάσταση να ακτινοβολείται απρόσκοπτα συνεχώς. Τέλος, μια ακόμα αιτία μπορεί να αποτελεί και η σχετικά ελλιπής μόνωση του κτιρίου και η γειτνίαση του συγκεκριμένου με διπλανό εργαστήριο χωρίς κάποιο χώρισμα με θερμομονωτικές ικανότητες προσθέτοντας έτσι και άλλα θερμικά κέρδη. Για την αντιμετώπιση του συγκεκριμένου προβλήματος μία πιθανή λύση είναι η χρήση μια διάταξης μόνιμης σκίασης για τους υαλοπίνακες του κτίσματος με σκοπό τον περιορισμό της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας στον κλιματιζόμενο χώρο. Ακόμα η καλύτερη θωράκιση από πλευράς θερμομόνωσης του χώρου θα μπορούσε να αποτελέσει μία λύση για την αποφυγή της συναλλαγής μεγάλων ποσών θερμότητας από και προς το περιβάλλον.

Εκτός από τις συνθήκες που επικρατούν στον κλιματιζόμενο χώρο, υπάρχουν και διάφορα τεχνικά μεγέθη που είναι πολύ σημαντικά και καθορίζουν τον τρόπο λειτουργίας και συμπεριφοράς της εγκατάστασης. Ένα από τους σημαντικότερα μεγέθη είναι ο συντελεστής συμπεριφοράς της συσκευής ή Cop. Ο συγκεκριμένος συντελεστής είναι πολύ σημαντικός καθώς εκφράζει το τι ουσιαστικά προσφέρει σε ψύξη η εγκατάσταση σε σχέση με το τί ενέργεια της προσφέρουμε. Στη συγκεκριμένη περίπτωση η προσφερόμενη ενέργεια είναι πλήρως ανανεώσιμη καθώς πρόκειται για την θερμική ενέργεια που συλλέγεται από τους ηλιακούς συλλέκτες της εγκατάστασης. Για αυτό το λόγο κρίθηκε σκόπιμο να αποτυπωθούν οι συσχετίσεις που περιγράφουν την εξέλιξη του συγκεκριμένου μεγέθους. Από τα διαγράμματα προκύπτει ότι μια μέση τιμή του Cop από τις μετρήσεις που προέκυψαν κυμαίνεται κοντά στη τιμή της μονάδας, αποτέλεσμα που συμφωνεί πλήρως με τα βιβλιογραφικά δεδομένα και ίσως ανταποκρίνεται στις πιο αισιόδοξες προβλέψεις τους. Ακόμα παρατηρείται μια σχετική αύξηση της τιμής του Cop καθώς αυξάνει η τιμή της θερμοκρασίας περιβάλλοντος. Γεγονός αναμενόμενο καθώς αυξάνει ο αριθμητής του λόγου από τον οποίο υπολογίζεται ο Cop ο οποίος είναι το ψυκτικό φορτίο της συσκευής με αποτέλεσμα και την αύξηση του Cop. Βέβαια, παράλληλα μπορεί να ειπωθεί ότι αυξάνεται ταυτόχρονα και η προσδιδόμενη στους ηλιακούς συλλέκτες ηλιακή ακτινοβολία με αποτέλεσμα την πιθανή αύξηση της ενέργειας που δίνουμε

στην συσκευή και έτσι η αύξηση του COP δεν οφείλεται κατά κύριο λόγο στη μεταβολή του ψυκτικού φορτίου. Για την εξακρίβωση της παραπάνω υπόθεσης, αποτυπώθηκε η σχέση του COP με την θερμοκρασία αναγέννησης του αφυγραντικού υλικού. Βλέπουμε ότι παρόλο που η θερμοκρασία αναγέννησης αυξάνει δεν παρατηρείται αντίστοιχη αύξηση του συντελεστή συμπεριφοράς της συσκευής έτσι δεν είναι απαραίτητη η προσφορά περισσότερης ενέργειας στην συσκευή και ο παρανομαστής του λόγου παραμένει σχετικά αμετάβλητος. Υπάρχουν και αρκετές τιμές για το συντελεστή συμπεριφοράς που καταγράφονται και είναι αδικαιολόγητα υψηλές. Αυτό μπορεί να οφείλεται στις συνθήκες που επικρατούσαν τις συγκεκριμένες ημέρες μετρήσεων και το ποσοστό ηλιοφάνειας, καθώς για να προκύψουν τόσο υψηλές τιμές η προσφερόμενη στην συσκευή θερμική ενέργεια είναι πολύ μικρή. Αυτό μπορεί να συμβαίνει καθώς είναι δυνατό να μην υπερκαλύπτει το έλλειμμα της ηλιακής ενέργειας η δεξαμενή αποθήκευσης θερμότητας. Η συγκεκριμένη δυσλειτουργία μπορεί να αντιμετωπιστεί θέτοντας τη θερμοκρασία ενεργοποίησης της βοηθητικής πηγής (στην προκειμένη περίπτωση ηλεκτρική αντίσταση) σε χαμηλότερα επίπεδα ώστε να καλύπτονται άμεσα οι ανάγκες της συσκευής. Επιπρόσθετα παρατηρούνται και τιμές του COP σε πολύ χαμηλές τιμές. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι οι συγκεκριμένες μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν κατά την εκκίνηση της εγκατάστασης όπου το αποδιδόμενο ψυκτικό φορτίο να μην έχει λάβει την τελική του τιμή. Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονισθεί ότι ο χρόνος απόκρισης της συσκευής είναι της τάξης της μίας ώρας καθώς τα φαινόμενα που εξελίσσονται με αρκετά αργό ρυθμό αφού πρόκειται για ένα σύστημα αέρα-αέρα. Το συγκεκριμένο φαινόμενο μπορεί να αντιμετωπιστεί με διαφορετική στρατηγική λειτουργίας κατά την εκκίνηση της συσκευής όπου μπορεί να αυξηθούν οι ογκομετρικές παροχές των ρευμάτων προσαγωγής και επιστροφής ώστε τα φαινόμενα να εκτελούνται με μεγαλύτερη ποσότητα μέσου μεταφοράς, αφού οι επιφάνειες συναλλαγής είναι δεδομένες. Με αυτό τον τρόπο αυξάνονται οι ιδιοκαταναλώσεις των ανεμιστήρων αλλά μπορεί να επιτυγχάνεται το επιθυμητό αποτέλεσμα γρηγορότερα, παράγοντας που είναι αρκετά σημαντικός σε ορισμένες εφαρμογές όπως θέατρα και αίθουσες εστίασης και συνεδριάσεων. Τέλος, η τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς της εγκατάστασης εξαρτάται και από τον λόγο των παροχών μάζας του ρεύματος προσαγωγής προς του ρεύματος επιστροφής. Από παρόμοιες μετρήσεις έχει αποδειχθεί ότι η βέλτιστη τιμή του λόγου των παροχών κυμαίνεται στη τιμή 0.7, γεγονός που επιβεβαιώθηκε και κατά τη διεξαγωγή της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας καθώς σε διαφορές τιμές του συγκεκριμένου μεγέθους δε παρατηρήθηκε αξιοσημείωτη θετική μεταβολή στο COP της συσκευής, παρά μόνο αύξηση στο θόρυβο λειτουργίας της και σαφή αύξηση των ιδιοκαταναλώσεων των ανεμιστήρων καθώς η λειτουργία τους δε βρισκόταν στο ονομαστικό της σημείο.

Το σημαντικότερο κομμάτι της εγκατάστασης είναι ο αφυγραντικός τροχός καθώς είναι εκείνος που καθορίζει τα θερμοκρασιακά επίπεδα που γίνονται οι συναλλαγές θερμότητας. Αρχικά, εξετάστηκε όπως αναφέρθηκε το επιθυμητό θερμοκρασιακό επίπεδο της αναγέννησης σε σχέση με την απόδοση της συσκευής. Από τα γραφήματα παρατηρούμε ότι στις θερμοκρασίες 50 με 55°C έχουμε τους μεγαλύτερους συντελεστές συμπεριφοράς της συσκευής. Γεγονός αναμενόμενο καθώς το LiCl είναι υλικό που παρουσιάζει τις βέλτιστες αφυγραντικές ικανότητές του στο συγκεκριμένο θερμοκρασιακό εύρος που επιτυγχάνεται επαρκέστατα από θερμότητα συλλεγόμενη από ηλιακούς συλλέκτες. Μια ακόμα επιβεβαίωση του συγκεκριμένου

συμπεράσματος είναι και η επιλογή της κατασκευάστριας εταιρείας της εγκατάστασης να θέσει τη θερμοκρασία ενεργοποίησης του συναγερμού για υπερθέρμανση του αφυγραντικού υλικού στους 65⁰C, γεγονός που υποδηλώνει την μη χρησιμότητα υψηλότερων θερμοκρασιών αναγέννησης. Στη συνέχεια, καθώς η συσκευή δε περιλαμβάνει αισθητήρα θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας αμέσως μετά τον αφυγραντικό τροχό στο ρεύμα προσαγωγής θεωρήθηκε απαραίτητο η λήψη θερμογραφιών για την καταγραφή της θερμοκρασιακής κατανομής στην επιφάνεια του. Από τις συγκεκριμένες μετρήσεις προέκυψαν αναμενόμενα αποτελέσματα καθώς στον αφυγραντικό τροχό αναπτύσσονται τέτοιες θερμοκρασίες που υποδηλώνουν ότι πραγματοποιείται κανονικά η διαδικασία της αφύγρανσης. Ακόμα η σχέση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος με εκείνη του αφυγραντικού τροχού στο σημείο 2 της συσκευής είναι αναμενόμενη όπως αντίστοιχα συμβαίνει και με τη θερμοκρασία αναγέννησης και τη θερμοκρασία στο σημείο 9 της εγκατάστασης. Αυτό που θα πρέπει να τονισθεί στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι αν αξιοποιούνται πλήρως οι δυνατότητες του συγκεκριμένου υλικού, δεδομένου ότι η εγκατάσταση υπολειπούνε για μεγάλο χρονικό διάστημα με αποτέλεσμα να μην πραγματοποιούνται οι απαραίτητες διαδικασίες συντήρησης και καθαρισμού. Επιπλέον, ο σημαντικότερος παράγοντας που καθορίζει την απόδοση του αφυγραντικού υλικού είναι ο αριθμός στροφών με τον οποίο περιστρέφεται. Το συγκεκριμένο μέγεθος δεν έχει καθοριστεί και αποτελεί ένα από τα βασικότερα αντικείμενα μελέτης και δοκιμών.

Τέλος, η εγκατάσταση περισσότερων μετρητικών οργάνων και εξειδικευμένου εξοπλισμού θα δώσει μεγαλύτερη δυνατότητα για έλεγχο και παρακολούθηση όλων των επιμέρους παραμέτρων που μπορεί να συμβάλλουν στην βελτίωση της απόδοσης και λειτουργίας της συγκεκριμένης συσκευής.

Συνοψίζοντας, η τεχνολογία του ηλιακού κλιματισμού βρίσκεται στα πρώτα βήματα της εξέλιξης της. Το δυσκολότερο κομμάτι στη δημιουργία ενός πρωτοκόλλου ελέγχου και λειτουργίας είναι η ύπαρξη πολλών παραγόντων που επηρεάζουν την κατάσταση του αέρα που προσέρχεται στον κλιματιζόμενο χώρο. Για το λόγο αυτό, είναι απαραίτητη η ανάγκη για εκπόνηση μελετών έρευνας και εξέλιξης της συγκεκριμένης τεχνολογίας που παρουσιάζει μεγάλη δυναμική και δυνατότητες, ειδικότερα στην Ελλάδα, μια χώρα που πληρεί όλες τις προϋποθέσεις για να αποτελέσει πεδίο ανάπτυξης και εφαρμογής. Έτσι αποκτώντας την απαραίτητη τεχνογνωσία το κόστος της συγκεκριμένης τεχνολογίας θα μειωθεί δραστικά και ένα νέο κομμάτι της αγοράς των τεχνολογιών που αξιοποιούν τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θα αναπτυχθεί με πολλά κοινωνικά και οικονομικά οφέλη.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. *Submission of the United Nations Environment Programme (UNEP) Sustainable Building Initiative (SBCI) to the Ad-Hoc Working Group on Further Commitments for Annex I Countries under the Kyoto Protocol (AWG-KP)*. 2009.
2. **IPCC: working group III**. *Climate Change 2001*. 2001.
3. **ΚΑΠΕ**. *Τεχνική Μελέτη Εφαρμογής- "Επιδεικτική Εγκατάσταση Ηλιακού Κλιματισμού"*. Αθήνα : ΚΑΠΕ, Ιούλιος 2004.
4. **Henning, Hans-Martin**. *Solar-Assisted Air-Conditioning in Buildings A Handbook for planners*. s.l. : Hans-Martin Henning, 2007.
5. **Harvey, L.D. Danny**. *A handbook on Low-Energy Buildings and District-Energy Systems*. London : s.n., 2006.
6. **Αντωνόπουλος, Κίμωνας Α.** *Θερμικά-Ηλιακά Συστήματα* . Αθήνα : ΕΜΠ, 2007.
7. www.googlemaps.com. [Online]
8. **Wilo**. *wilo-select.com*. [Online] Wilo, 2006.
9. **Kloster Banz, Bad Staffelstein**. *Solar Air Conditioning-International Conference*. Germany : Training Seminare Tagungen, 2005.
10. **Resol**. www.resol-gmbh.de. [Online]
11. **Belimo**. www.belimo.eu. www.belimo.eu. [Online] 2009.
12. *Solar air-conditioning in Europe Guidelines*. **SACE**. s.l. : IEA.
13. **Weger**. *Weger user manual*. s.l. : Weger, 2009.
14. **GebhardtVentilatoren**. *GebhardtVentilatoren RZP seriew user manual*. 2001.
15. **ASHRAE**. *Fundamentals*. 1997.
16. **Klingerburg**. *User manual SECO Klingerburg*. Germany : Klingerburg, 2007.
17. **Gmbh, PSE**. *Operating And Service Instructions-DEC demonstration plant CRES Lavrio Greece*. s.l. : PSE Gmbh, 2007.
18. **Klingerburg**. *Rotor controllers type KR4 and KR7*. Germany : s.n., 2007.
19. **Klingebug**. *Regenerative heat recovery with rotary heat exchangers*. Germany : Klingeburg, 2007.

20. **Αντωνόπουλος, Κίμωνας Α.** *Κλιματισμός*. Αθήνα : Ε.Μ.Π, 2007.
21. **STULZ.** *Air conditioning manual-Ultrasonic ENS index*. s.l. : STULZ, 1998.
22. **JOHN C. H. CHANG, SUSAN F. OSSOFF, DAVID C. LOBE, MARK H. DORFMAN, CONSTANCE M. DUMAIS.** UV Inactivation of Pathogenic and Indicator Microorganisms. *APPLIED AND ENVIRONMENTAL MICROBIOLOGY*. American Society for Microbiology, 1985, Vol. 49, 6.
23. **JUMO.** *Hygro-/Hygrothermogeber operating Instructions 907021/20-30*. Germany : JUMO, 2007.
24. **SIKA.** *Operating Manual For axial turbine flow sensor*. Germany : s.n., 2007.
25. **Flir Systems.** www.Flir.com. [Online] 2009.
26. Adnot J.(co-ordinator), "Energy Efficiency of Room Air-Conditioners" (EERAC),study for the EC, Directorate-General for Energy (DGXVII),Final Report, 1999.
27. ΥΠΕΧΩΔΕ "Εθνικό Πρόγραμμα Μείωσης Εκπομπών Αερίων Φαινομένου Θερμοκηπίου(2000-2010)", Τεχνικός Σύμβουλος: Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, Μάρτιος 2002.
28. ASHRAE (2000). Handbook 2000 HVAC systems equipment -SI edition. American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning, Atlanta GA/USA.
29. Santamouris M. and Asimakopoulos D.,-editors (1996). Passive Cooling of Buildings, James&James, London/UK.
30. ASHRAE(2002) Absorption Cooling, Heating and Refrigeration Equipment, in Handbook 2002 Refrigeration, Chapter 41.-SI edition. America Society of Heating, and Air-Conditioning, Atlanta GA/USA.
31. Pesaran, A.A., Penney, T.R and Czanderna, A. W. (1992). Desiccant cooling: State of the art assessment ,NREL, Golden Co/USA.
32. Lee, S. and Sherif, S.A.(2001) "Thermoeconomic analysis of absorption systems for cooling", ASHRAE Transactions, vol 107 (Part 1).
33. Lam, J.C. and Li, D.H.W (1998) 'Daylighting and energy analysis for air-conditioned office buildings", Energy, vol 23.
34. Balaras C.A., Argiriou, A.A., Michel, E.and Henning, H.M (2003) "Recent activities on solar air conditioning", ASHRAE Transactions, vol. 109 part 1.
35. Henning, H.-M.(2004) "A breath of fresh air:use of solar assisted air conditioning in buildings", Renewable Energy World, vol. 7.

36. Herzog, T.(1996) Solar Energy in Architecture and Urban Planning, Prestel, Munich.
37. IEA(International Energy Agency) (1996) Solar Collector System for Heating Ventilation Air, CADDET result 228, OECD, Paris.
38. IEA(International Energy Agency) (2002) Ongoing Research Relevant for Solar Assisted Air Conditioning Systems, International Energy Agency , Solar Heating And Cooling Programme, Task 25, Paris.
39. IEA(International Energy Agency) (2004) "Oil crises and Climate Challenges:30 years of energy use in IEA Countries, International Energy Agency, Paris.
40. Kalogirou S. A. (2004) "Solar thermal collectors and applications", Progress in Energy and Combustion Science, vol 30.
41. Levermore, G.J. (2000) "Building Energy Management Systems: Applications to Low Energy HVAC and natural ventilation Control", E& FN Spon , London.
42. Lottner, V., Schulz, M. E. and Hahne, E. (2000) "Solar-assisted district heating plants: status of the German programme Solarthermie-2000",Solar Energy, vol. 69.
43. Lin, Z. P. and Deng, S.M. (2003) "The outdoor air ventilation rate in high-rise residences employing room air conditioners", Buildings and Environment, vol. 38.
44. Olsen, R.,Hart, R.,Hatten, M., Ohmart, G. and Brown, G.Z. (2004) "Ventilative Cooling: can business live without mechanical cooling? " in Proceedings of the 2004 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, vol. 7, American Council for an Energy Efficient EconomyWashington,DC.
45. Rosenfeld, A.H., (1999) "The art of energy efficiency: protecting the environment with better technology", Annual Review of Energy and the Environment, vol 24.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1:

- Κώδικας matlab import_data:

```
%%ΚΩΔΙΚΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ
function import_data(fileToRead1)
%IMPORTFILE1(FILETOREAD1)
% Imports data from the specified file
% FILETOREAD1: file to read

% Auto-generated by MATLAB on 15-Jun-2009 00:25:59

% Import the file
newData1 = importdata(fileToRead1);

% Break the data up into a new structure with one field per column.
colheaders = genvarname(newData1.colheaders);
for i = 1:length(colheaders)
    dataByColumn1.(colheaders{i}) = newData1.data(:, i);
end

% Create new variables in the base workspace from those fields.
vars = fieldnames(dataByColumn1);
for i = 1:length(vars)
    assignin('base', vars{i}, dataByColumn1.(vars{i}));
end
end
```

- Κώδικας matlab analysh_data:

```
function
analysh_data(difr,cop,Troom,Tdecambient,RHdecambient,Tdecsupply,RHdecsupply,T
decreturn,RHdecreturn,Tdecexhaust,Pdeccool,Pdecreg,Vhydraulic,Thydraulicsuppl
y,Thydraulicreturn,Tdecregeneration)
%%
%Ka8ws exoume 6 metrhseis gia ka8e leptο xwrizoume tis metrhseis se eksades
%kai ypologizoume ton meso oro gia ka8e leptο xrhsimopoiwntas mono tis
%metrhseis ekeines pou einai apodektes kata ton elegxo tou ais8hthra
%pagopoihshs.

%To mhkos twn metablhtvn einai idio gia ka8e mera,idios ari8mos metrhsewn
%gia ka8e metablht.
len=length(difr);
%%
%ypologismos mesou orou cop
sum=0;
v=0;
k=0;

fid=fopen('mo_cop.txt','w');

for i=1:len
    if difr(i)==0;
        display ('mh asfalhs leitoyrgia');display(i);
    else
        if mod(i,6)~=0;
            v=v+1;
            sum=sum+cop(i);
        end
        if mod(i,6)==0;
```

```

        k=k+1;
        aver_cop=[k;sum/v];
        fprintf(fid,'%3.1f % 5.4f\n',aver_cop);
        sum=0;
        v=0;
    end
end
end
%%
%ypologismos mesou orou 8ermokrasias dwmatiou
sum=0;
v=0;
k=0;
fid=fopen('mo_Troom.txt','w');

for i=1:len
    if difr(i)==0;
        display('mh asfalhs leitoyrgia');display(i);
    else
        if mod(i,6)~=0;
            v=v+1;
            sum=sum+Troom(i);
        end
        if mod(i,6)==0;
            k=k+1;
            aver_Troom=[k;sum/v];
            fprintf(fid,'%3.1f % 5.4f\n',aver_Troom);
            sum=0;
            v=0;
        end
    end
end
end
%%
%Mege8h ambient

%ypologismos mesou orou 8ermokrasias
sum=0;
v=0;
k=0;
fid=fopen('mo_Tdecambient.txt','w');

for i=1:len
    if difr(i)==0;
        display('mh asfalhs leitoyrgia');display(i);
    else
        if mod(i,6)~=0;
            v=v+1;
            sum=sum+Tdecambient(i);
        end
        if mod(i,6)==0;
            k=k+1;
            aver_Tdecambient=[k;sum/v];
            fprintf(fid,'%3.1f % 5.4f\n',aver_Tdecambient);
            sum=0;
            v=0;
        end
    end
end
end

%ypologismos mesou sxetikhs ygrasias
sum=0;
v=0;

```

```

k=0;
fid=fopen('mo_RHdecambient.txt','w');

for i=1:len
    if difr(i)==0;
        display ('mh asfalhs leitoyrgia');display(i);
    else
        if mod(i,6)~=0;
            v=v+1;
            sum=sum+RHdecambient(i);
        end
        if mod(i,6)==0;
            k=k+1;
            aver_RHdecambient=[k;sum/v];
            fprintf(fid,'%3.1f % 5.4f\n',aver_RHdecambient);
            sum=0;
            v=0;
        end
    end
end

%%
%Mege8h supply

%ypologismos mesou orou 8ermokrasias
sum=0;
v=0;
k=0;
fid=fopen('mo_Tdecsupply.txt','w');

for i=1:len
    if difr(i)==0;
        display ('mh asfalhs leitoyrgia');display(i);
    else
        if mod(i,6)~=0;
            v=v+1;
            sum=sum+Tdecsupply(i);
        end
        if mod(i,6)==0;
            k=k+1;
            aver_Tdecsupply=[k;sum/v];
            fprintf(fid,'%3.1f % 5.4f\n',aver_Tdecsupply);
            sum=0;
            v=0;
        end
    end
end

%ypologismos mesou sxetikhs ygrasias
sum=0;
v=0;
k=0;
fid=fopen('mo_RHdecsupply.txt','w');

for i=1:len
    if difr(i)==0;
        display ('mh asfalhs leitoyrgia');display(i);
    else
        if mod(i,6)~=0;
            v=v+1;
            sum=sum+RHdecsupply(i);
        end
    end
end

```



```

        if mod(i,6)==0;
            k=k+1;
            aver_RHdecscopy=[k;sum/v];
            fprintf(fid,'%3.1f % 5.4f\n',aver_RHdecscopy);
            sum=0;
            v=0;
        end
    end
end

%%
%mege8h return

%ypologismos mesou orou 8ermokrasias
sum=0;
v=0;
k=0;
fid=fopen('mo_Tdecreturn.txt','w');

for i=1:len
    if difr(i)==0;
        display('mh asfalhs leitoyrgia');display(i);
    else
        if mod(i,6)~=0;
            v=v+1;
            sum=sum+Tdecreturn(i);
        end
        if mod(i,6)==0;
            k=k+1;
            aver_Tdecreturn=[k;sum/v];
            fprintf(fid,'%3.1f % 5.4f\n',aver_Tdecreturn);
            sum=0;
            v=0;
        end
    end
end

%ypologismos mesou sxetikhs ygrasias
sum=0;
v=0;
k=0;
fid=fopen('mo_RHdecreturn.txt','w');

for i=1:len
    if difr(i)==0;
        display('mh asfalhs leitoyrgia');display(i);
    else
        if mod(i,6)~=0;
            v=v+1;
            sum=sum+RHdecreturn(i);
        end
        if mod(i,6)==0;
            k=k+1;
            aver_RHdecreturn=[k;sum/v];
            fprintf(fid,'%3.1f % 5.4f\n',aver_RHdecreturn);
            sum=0;
            v=0;
        end
    end
end

%%

```

```

%mege8h exhaust

%ypologismos mesou orou 8ermokrasias
sum=0;
v=0;
k=0;
fid=fopen('mo_Tdecexhaust.txt','w');

for i=1:len
    if difr(i)==0;
        display('mh asfalhs leitoyrgia');display(i);
    else
        if mod(i,6)~=0;
            v=v+1;
            sum=sum+Tdecexhaust(i);
        end
        if mod(i,6)==0;
            k=k+1;
            aver_Tdecexhaust=[k;sum/v];
            fprintf(fid,'%3.1f % 5.4f\n',aver_Tdecexhaust);
            sum=0;
            v=0;
        end
    end
end

%%
%mege8h isxywn P

%ypologismos mesou orou psyktikhs isxyos
sum=0;
v=0;
k=0;
fid=fopen('mo_Pdeccool.txt','w');

for i=1:len
    if difr(i)==0;
        display('mh asfalhs leitoyrgia');display(i);
    else
        if mod(i,6)~=0;
            v=v+1;
            sum=sum+Pdeccool(i);
        end
        if mod(i,6)==0;
            k=k+1;
            aver_Pdeccool=[k;sum/v];
            fprintf(fid,'%3.1f % 5.4f\n',aver_Pdeccool);
            sum=0;
            v=0;
        end
    end
end

%ypologismos mesou orou isxyos anagennhshs
sum=0;
v=0;
k=0;
fid=fopen('mo_Pdecreg.txt','w');

for i=1:len
    if difr(i)==0;

```

```

        display ('mh asfalhs leitoyrgia');display(i);
    else
        if mod(i,6)~=0;
            v=v+1;
            sum=sum+Pdecreg(i);
        end
        if mod(i,6)==0;
            k=k+1;
            aver_Pdecreg=[k;sum/v];
            fprintf(fid,'%3.1f % 5.4f\n',aver_Pdecreg);
            sum=0;
            v=0;
        end
    end
end

%%
%Mege8h hydraulic

%ypologismos mesou orou paroxhs reustou
sum=0;
v=0;
k=0;
fid=fopen('mo_Vhydraulic.txt','w');

for i=1:len
    if difr(i)==0;
        display ('mh asfalhs leitoyrgia');display(i);
    else
        if mod(i,6)~=0;
            v=v+1;
            sum=sum+Vhydraulic(i);
        end
        if mod(i,6)==0;
            k=k+1;
            aver_Vhydraulic=[k;sum/v];
            fprintf(fid,'%3.1f % 5.4f\n',aver_Vhydraulic);
            sum=0;
            v=0;
        end
    end
end

%ypologismos mesou orou 8ermokrasias reustou prosagwghs
sum=0;
v=0;
k=0;
fid=fopen('mo_Thydraulicsupply.txt','w');

for i=1:len
    if difr(i)==0;
        display ('mh asfalhs leitoyrgia');display(i);
    else
        if mod(i,6)~=0;
            v=v+1;
            sum=sum+Thydraulicsupply(i);
        end
        if mod(i,6)==0;
            k=k+1;
            aver_Thydraulicsupply=[k;sum/v];
            fprintf(fid,'%3.1f % 5.4f\n',aver_Thydraulicsupply);
            sum=0;
        end
    end
end

```

```

        v=0;
    end
end
end

%ypologismos mesou orou 8ermokrasias reustou epistrofhs
sum=0;
v=0;
k=0;
fid=fopen('mo_Thydraulicreturn.txt','w');

for i=1:len
    if difr(i)==0;
        display ('mh asfalhs leitoyrgia');display(i);
    else
        if mod(i,6)~=0;
            v=v+1;
            sum=sum+Thydraulicreturn(i);
        end
        if mod(i,6)==0;
            k=k+1;
            aver_Thydraulicreturn=[k;sum/v];
            fprintf(fid,'%3.1f % 5.4f\n',aver_Thydraulicreturn);
            sum=0;
            v=0;
        end
    end
end

%ypologismos mesou orou 8ermokrasias anagennhshs
sum=0;
v=0;
k=0;
fid=fopen('mo_Tdecregeneration.txt','w');

for i=1:len
    if difr(i)==0;
        display ('mh asfalhs leitoyrgia');display(i);
    else
        if mod(i,6)~=0;
            v=v+1;
            sum=sum+Tdecregeneration(i);
        end
        if mod(i,6)==0;
            k=k+1;
            aver_Tdecregeneration=[k;sum/v];
            fprintf(fid,'%3.1f % 5.4f\n',aver_Tdecregeneration);
            sum=0;
            v=0;
        end
    end
end
end
fclose(fid);
end

```

- Κώδικας matlab *import_mo2*:

```

function import_mo2(fileToRead1)
%IMPORTFILE(FILETOREAD1)
% Imports data from the specified file
% FILETOREAD1: file to read

```

```

% Auto-generated by MATLAB on 17-Jun-2009 09:15:54

% Import the file
newData1 = importdata(fileToRead1);

% For some XLS and other spreadsheet files, returned data are packed
% within an extra layer of structures. Unpack them.
fields = fieldnames(newData1.data);
newData1.data = newData1.data.(fields{1});
fields = fieldnames(newData1.textdata);
newData1.textdata = newData1.textdata.(fields{1});
fields = fieldnames(newData1.colheaders);
newData1.colheaders = newData1.colheaders.(fields{1});

% Break the data up into a new structure with one field per column.
colheaders = genvarname(newData1.colheaders);
for i = 1:length(colheaders)
    dataByColumn1.(colheaders{i}) = newData1.data(:, i);
end

% Create new variables in the base workspace from those fields.
vars = fieldnames(dataByColumn1);
for i = 1:length(vars)
    assignin('base', vars{i}, dataByColumn1.(vars{i}));
end

```

- Κώδικας matlab *analysh_mo2*:

```

function analysh_mo2(co,pdc,pdr,rhda,rhds,rhdr,tda,tds,ths,tro,vh,tdreg)

len=length(co);
fid=fopen('apodektoi_mo.txt','w');

for i=1:len;
%%

if((co(i)>0)&&(co(i)<=3.5)&&(pdc(i)>=0)&&(pdc(i)<=10000)&&(pdr(i)>=0)&&(pdr(i)
)<=10000)&&(rhda(i)>=0)&&(rhda(i)<=100)&&(rhds(i)>=0)&&(rhds(i)<=100)&&(rhdr(
i)>=0)&&(rhdr(i)<=100)&&(tda(i)>=0)&&(tda(i)<=60)&&(tds(i)>=0)&&(tds(i)<=100)
&&(ths(i)>=0)&&(ths(i)<=500)&&(tro(i)>=0)&&(tro(i)<=100)&&(vh(i)>=0)&&(vh(i)<
=5000)&&(tdreg(i)>=0)&&(tdreg(i)<=100))

apo_mo=[i;co(i);pdc(i);pdr(i);rhda(i);rhds(i);rhdr(i);tda(i);tds(i);ths(i);tr
o(i);vh(i);tdreg(i)];
    fprintf(fid,'%5.1f% 5.4f% 5.4f% 5.4f% 5.4f% 5.4f% 5.4f% 5.4f% 5.4f%
5.4f% 5.4f% 5.4f% 5.4f\n',apo_mo);
    end
end
fclose(fid);
end

```

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2:

Καθώς ο όγκος των δεδομένων κρίθηκε πολύ μεγάλος για να παρουσιαστούν σε έντυπη μορφή, διατίθεται ηλεκτρονικό μέσο με τα αντίστοιχα αρχεία Excel.