



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

Διερεύνηση λειτουργίας πειραματικού θαλάμου ρύθμισης συνθηκών  
θερμικής άνεσης και ποιότητας αέρα

Καπενής Δημήτριος

Επιβλέπων Καθηγητής: Γιώργος Πανάρας

Κοζάνη, Ιούλιος 2023

## Περιεχόμενα

Περίληψη.....	5
Abstract .....	6
Ευχαριστίες.....	7
1 Εισαγωγή.....	8
2 Συστήματα θέρμανσης, ψύξης, αερισμού .....	9
2.1 Γενικά.....	9
2.2 Περιγραφή Εξαρτημάτων .....	11
2.2.1 Ανεμιστήρας (Fan).....	11
2.2.2 Damper (Περσίδες).....	12
2.2.3 Αντλία (AC κλιματιστικό).....	13
2.2.4 Υγραντήρας.....	14
2.2.5 Φίλτρο Αέρα .....	15
3 Θερμική Άνεση .....	16
3.1 Εισαγωγή .....	16
3.2 Παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η θερμική άνεση.....	18
3.2.1 Θερμοκρασία αέρα .....	18
3.2.2 Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας .....	19
3.2.3 Ταχύτητα του αέρα .....	19
3.2.4 Σχετική Υγρασία.....	20
3.2.5 Ένδυση.....	21
3.2.6 Είδος δραστηριότητας - Ρυθμός μεταβολισμού .....	21
3.3 Δείκτες και μοντέλα υπολογισμού θερμικής άνεσης .....	22
3.3.1 Μοντέλο Fagner .....	23
3.3.2 Μοντέλο Προσαρμογής – Adaptive .....	26
3.3.3 Θερμοκρασία υγραινόμενης σφαίρας WBGT.....	30
3.3.4 Αισθητή Θερμοκρασία ET ή αποτελεσματική θερμοκρασία Teff.....	30
3.3.5 Τυπική αισθητή θερμοκρασία SET .....	31
3.3.6 Πιθανότητα δυσaráσκειας ASHRAE (ALD).....	31
4 Αερισμός και Ποιότητα Αέρα .....	33
4.1 Αερισμός.....	33
4.1.1. Είδη Αερισμού .....	34
4.1.2 Ανακυκλοφορία αέρα.....	35
4.1.3 Πλήρης ανανέωση του αέρα.....	36
4.2 Ποιότητα αέρα .....	37
4.3 Ανάγκη μέτρησης διοξειδίου του άνθρακα (CO <sub>2</sub> ).....	40

5 Περιγραφή εγκατάστασης θαλάμου και μετρητικού εξοπλισμού .....	41
5.1 Εισαγωγή .....	41
5.1 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά θαλάμου .....	41
5.2 Παρουσίαση όψεων θαλάμου .....	44
5.3 Χαρακτηριστικά του συστήματος κλιματισμού .....	49
5.3.1 Σύστημα HVAC.....	50
5.3.2 Περισίδες – Dampers.....	52
5.3.3 Φίλτρο Αέρα .....	53
5.3.4 Ρότορας ανεμιστήρων (Fans) .....	53
5.3.5 Υγραντήρας.....	54
5.3.6 Εναλλάκτης θερμότητας AC .....	55
5.3.7 Αντλία Θερμότητας (A/Θ).....	55
5.4 Αυτόματος Έλεγχος – Controllers.....	57
5.5 Όργανα Μέτρησης και Εξαρτήματα .....	62
6 Αποτελέσματα μετρήσεων χωρίς τη παρουσία ανθρώπων στον θάλαμο .....	70
6.1 Χαρακτηριστικά πειραμάτων .....	70
6.2 Διαγράμματα χωρίς τη παρουσία κόσμου.....	72
6.3 Μετρήσεις Παροχής Αέρα.....	83
6.4 Μετρήσεις Ταχύτητας Αέρα και Θερμοκάμερας .....	85
6.4.1 Εισαγωγή .....	85
6.4.2 Μέτρηση σε ύψος 1.1 μέτρα.....	85
6.4.3 Μέτρηση σε ύψος 2 μέτρα.....	86
6.4.4 Μετρήσεις θερμοκάμερας .....	88
7 Αποτελέσματα για πειράματα με την παρουσία ανθρώπων στον θάλαμο .....	89
7.1 Εισαγωγή .....	89
7.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων Θερμοκρασίας και Υγρασίας.....	91
7.2.1 Εξίσωση υπολογισμού μεγεθών υγρασίας .....	91
7.2.2 Αποτελέσματα θερμοκρασία - υγρασίας.....	93
7.3 Μετρούμενη συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα.....	104
7.4 Δείκτες PMV-PPD.....	107
7.4.1 Υπολογισμός και διάγραμμα PMV .....	109
7.4.2 Υπολογισμός και διάγραμμα PPD .....	110
7.5 Υπολογισμός Θερμοκρασίας Άνεσης .....	112
7.5.1 Θεωρητικό υπόβαθρο .....	112
7.5.2 Ερωτηματολόγια και συνοπτική παρουσίαση πειραμάτων για κάθε μέρα .....	114
8 Συμπεράσματα και Μελλοντική Ερεύνα.....	118

8.1 Συμπεράσματα .....	118
8.2 Μελλοντική Ερεύνα.....	119
9 Βιβλιογραφία.....	120
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι.....	124
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ.....	125
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ.....	127

## Περίληψη

Στη παρούσα διπλωματική εργασία θα διερευνηθεί η λειτουργία πειραματικού θαλάμου ελεγχόμενων συνθηκών εσωτερικού περιβάλλοντος, που βρίσκεται στους εργαστηριακούς χώρους του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας στα Κοίλα Κοζάνης. Η δημιουργία του θαλάμου αποσκοπεί στην διερεύνηση παραμέτρων που σχετίζονται με την θερμική άνεση και την ποιότητα του εσωτερικού αέρα, για εύρος σχετικών συνθηκών. Ο θάλαμος είναι εξοπλισμένος με συστήματα θέρμανσης, ψύξης και αερισμού (HVAC), ώστε να επιτυγχάνονται οι επιθυμητές συνθήκες εσωτερικά αυτού. Όσον αφορά τις παραμέτρους υπό διερεύνηση, η θερμική άνεση αφορά την αίσθηση ευχαρίστησης ενός ατόμου σε συγκεκριμένες συνθήκες περιβάλλοντος. Η αποτίμηση της θερμικής άνεσης θα πραγματοποιηθεί με την χρήση του ευρέως διαδεδομένου μοντέλου του Fanger, σύμφωνα με την βιβλιογραφία. Όσον αφορά την εκτίμηση της ποιότητας του εσωτερικού αέρα του θαλάμου, υπολογίστηκαν τα επίπεδα του CO<sub>2</sub> σε διαφορετικά σενάρια αερισμού και παρουσίας ατόμων μέσα σε αυτόν. Τα σενάρια που πραγματοποιήθηκαν χωρίστηκαν σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη αφορά την πραγματοποίηση πειραμάτων χωρίς κόσμο εντός του θαλάμου, ώστε να διερευνηθεί η απόδοση του συστήματος HVAC σε διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας, αλλά και την απόκριση των οργάνων μέτρησης που χρησιμοποιήθηκαν. Όσον αφορά τα πειράματα που έλαβαν χώρα με παρουσία πληθυσμού εντός του θαλάμου, πραγματοποιήθηκαν με σκοπό την αξιολόγηση της θερμικής άνεσης, χρησιμοποιώντας τους δείκτες PMV και PPD, καθώς και την εκτίμηση της ποιότητας του εσωτερικού αέρα. Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των δεικτών PMV και PPD είναι σημαντική για τον έλεγχο εάν η θερμική άνεση βρίσκεται εντός των αποδεκτών ορίων. Παράλληλα, με τη συμπλήρωση των ερωτηματολογίων θερμικής άνεσης είναι δυνατή η σύγκριση τους με τα αποτελέσματα των θεωρητικά υπολογιζόμενων δεικτών θερμικής άνεσης, ώστε να αξιολογηθούν τα υφιστάμενα μοντέλα με την πραγματική αίσθηση των χρηστών. Τα αποτελέσματα για την θερμική άνεση έδειξαν σε μεγάλο βαθμό την συμφωνία αυτών, ενώ όσο αφορά την ποιότητα του εσωτερικού αέρα και συγκεκριμένα των επιπέδων του CO<sub>2</sub>, αυτά φάνηκαν να εξαρτώνται από τις διαφορετικές συνθήκες αερισμού, αλλά και τον αριθμό των ατόμων που βρίσκονταν εντός του θαλάμου. Ως μια συνολική αποτίμηση, η διερεύνηση του θαλάμου έδειξε ότι είναι δυνατή η αξιόπιστη προσομοίωση, σε πειραματικό επίπεδο, εύρους συνθηκών που σχετίζονται με τη θερμική άνεση και την ποιότητα αέρα, καθιστώντας τον θάλαμο ένα πολύτιμο εργαλείο ερευνητικής δραστηριότητας στους σχετικούς τομείς.

## **Abstract**

This diploma thesis analyses the operation of an experimental chamber under controlled indoor environment conditions. The chamber is located in the laboratories of the University of Western Macedonia in Koila, Kozani. The construction of the chamber aims to investigate various parameters related to thermal comfort and indoor air quality for a range of relevant conditions. The chamber is equipped with heating, cooling and ventilation (HVAC) systems in order to achieve the desired internal conditions. With regards to the parameters under investigation, thermal comfort takes into consideration all those parameters that result in satisfactory environmental conditions for people living in a built environment. The assessment of thermal comfort has been carried out using the widely used Fanger's model. For the indoor air quality assessment, the CO<sub>2</sub> levels were calculated in different ventilation scenarios with and without the chamber being occupied. The scenarios carried out were divided into two main categories. The first one is about conducting experiments with the chamber being vacant to investigate the performance of the HVAC system under different operating conditions and the response of the measurement instruments used. For the option with the chamber being occupied, the experiments were carried out in order to evaluate the thermal comfort, using the PMV and PPD indices, as well as to assess the indoor air quality. The evaluation of the results of the PMV and PPD indicators is important to determine whether thermal comfort is within acceptable limits. At the same time, thermal comfort questionnaires have been used to compare against the final thermal comfort results obtained from the experimental process. The theoretical and experimental thermal comfort results appear to match in most cases while as far as the indoor air quality and CO<sub>2</sub> levels are concerned, these seemed to depend on the different ventilation conditions and the number of people inside the chamber. As an overall assessment, the research showed that it is possible to reliably simulate, at an experimental level, a range of conditions related to thermal comfort and air quality, making the chamber a valuable tool for research activity in the relevant fields.

## Ευχαριστίες

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Γεώργιο Πανάρα, Επίκουρο Καθηγητή του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας, για την ανάθεση του εν λόγω θέματος, αλλά και για τις συμβουλές και την καθοδήγηση του.

Ακόμη θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Γιάννη Παπαδόπουλο, υποψήφιο διδάκτορα του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας για την συνεργασία μας κατά την περίοδο των μετρήσεων και των συμβουλών στα θέματα εσωτερικής περιβαλλοντικής ποιότητας, καθώς συνέβαλε τα μέγιστα για τη διεκπεραίωση αυτής της διπλωματικής εργασίας.

Τέλος θα ήθελα να δώσω τις ευχαριστίες στον υποψήφιο διδάκτορα του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Λεωνίδα Ζουλούμη που με τις γνώσεις του στο κομμάτι του πίνακα ελέγχου αλλά και του προγραμματισμού, συνέβαλε σημαντικά στην εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας.

## 1 Εισαγωγή

Ο ενεργειακός σχεδιασμός των κτιρίων σχετίζεται άμεσα με την διασφάλιση της θερμικής άνεσης και της ποιότητας του εσωτερικού αέρα. Ειδικότερα, μετά την εμφάνιση της πανδημίας του Covid-19 έχουμε οδηγηθεί στην αναθεώρηση των απαιτήσεων αερισμού των εσωτερικών χώρων, αλλά και της ποιότητας του αέρα γενικότερα. Για αυτό ο σχεδιασμός των εσωτερικών χώρων πρέπει να τηρεί τα σχετικά πρότυπα, και όπως αυτά θα αναλυθούν στη συνέχεια, ώστε να είναι βιώσιμος, άνετος και ασφαλής. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα επειδή το εσωτερικό περιβάλλον μπορεί να επηρεάσει τη σωματική και ψυχολογική ευεξία, την παραγωγικότητα και τη γενική υγεία των χρηστών. Ο σχεδιασμός και η αξιολόγηση της θερμικής άνεσης σε εσωτερικούς χώρους απαιτεί κάθε φορά μια νέα προσέγγιση, προκειμένου να βρεθεί η βέλτιστη απάντηση για τη δεδομένη κατάσταση. Αυτό συνεπάγεται την τήρηση γενικών κατευθυντήριων γραμμών και τη γνώση ότι δίνει τελικά προτεραιότητα στα άτομα και τις ανάγκες τους. Παράλληλα, ζούμε σε μια περίοδο έντονων περιβαλλοντικών προβλημάτων, όπου η μείωση των αρνητικών επιπτώσεων από την αξιοποίηση συμβατικών καυσίμων, αποτελεί βασική προτεραιότητα και εκφράζεται και στην Παγκόσμια, αλλά και Ευρωπαϊκή Πολιτική. Στα πλαίσια αυτά, είναι σημαντική η επίτευξη ικανοποιητικών συνθηκών εσωτερικού περιβάλλοντος με ταυτόχρονη ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης συμβατικής ενέργειας.

Αρχικά, στο Κεφάλαιο 2 θα γίνει παρουσίαση συστημάτων κλιματισμού και αερισμού που αφορούν ένα σύστημα HVAC. Στο Κεφάλαιο 3 γίνεται μια εισαγωγή στην έννοια της θερμικής άνεσης, στους παράγοντες που την επηρεάζουν και στο πώς το ανθρώπινο σώμα και το μυαλό τελικά την αντιλαμβάνονται. Στη συνέχεια, αναφέρονται τα βασικότερα μοντέλα υπολογισμού της θερμικής άνεσης. Στο Κεφάλαιο 4, δίνεται ο ορισμός της ποιότητας αέρα, αναλύονται τα είδη του αερισμού, με εστίαση στο μηχανικό αερισμό με ανακυκλοφορία και πλήρη ανανέωση του αέρα, που λαμβάνουν χώρα και στο θάλαμο, ενώ δίνεται έμφαση κυρίως στο CO<sub>2</sub> που αποτελεί δείκτη εκτίμησης της ποιότητας του εσωτερικού αέρα. Το Κεφάλαιο 5 αναφέρεται αρχικά στις διαστάσεις, τα χαρακτηριστικά και τα συστήματα κλιματισμού από τα οποία αποτελείται ο εργαστηριακός θάλαμος στα Κοίλα ενώ γίνεται η παράθεση 3D σχεδίου για καλύτερη κατανόηση της γεωμετρίας του θαλάμου. Παράλληλα παρουσιάζονται όλα τα όργανα μέτρησης που χρησιμοποιήθηκαν. Στο Κεφάλαιο 6 παρουσιάζονται τα διαγράμματα θερμοκρασίας και υγρασίας για τα διάφορα σενάρια που επιλέχθηκαν, τα οποία διεξήχθησαν πρώτα χωρίς πληθυσμό εντός του θαλάμου. Στο Κεφάλαιο 7, γίνεται αναλυτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων, που συμπεριλαμβάνει τα διαγράμματα θερμοκρασίας, υγρασίας και διοξειδίου του άνθρακα για τα πειράματα που διεξήχθησαν με άτομα εντός του θαλάμου, με σκοπό τον υπολογισμό του συντελεστή θερμικής άνεσης (PMV) και του συντελεστή δυσaréσκειας (PPD), σύμφωνα με το μοντέλο του Fanger. Τέλος, γίνεται περιγραφή του ερωτηματολογίου που μοιράστηκε και ο τρόπος με τον οποίο αυτό δομήθηκε, ενώ γίνεται και σύγκριση των αποτελεσμάτων αυτών με τα υφιστάμενα μοντέλα θερμικής άνεσης.-Στο Κεφάλαιο 8 παρατίθενται τα συμπεράσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας αλλά και οι προτάσεις για μελλοντική έρευνα.



## 2 Συστήματα θέρμανσης, ψύξης, αερισμού

### 2.1 Γενικά

Στην ενότητα αυτή θα πραγματοποιηθεί εστίαση στο σύστημα HVAC. Ένα σύστημα HVAC (Θέρμανση, Αερισμός και Κλιματισμός) είναι ένα καθολικό σύστημα που χρησιμοποιείται για να διαχειρίζεται τη θερμοκρασία, την υγρασία και την ποιότητα του αέρα σε κτιριακές εγκαταστάσεις. Συνήθως διανέμουν τον αέρα σε όλο το κτίριο χρησιμοποιώντας αεραγωγούς. Τα συστήματα HVAC αποτελούνται από πολλά διαφορετικά εξαρτήματα και λειτουργούν με συγκεκριμένο τρόπο για να διατηρήσουν ένα άνετο και υγιεινό περιβάλλον εσωτερικών χώρων. Η αυτόματη ρύθμιση και ο έλεγχος των υποσυστημάτων των εγκαταστάσεων, η διατήρηση προκαθορισμένων παραμέτρων (ή σημείων ρύθμισης) και ο έλεγχος της λειτουργικότητάς τους αποτελούν αρμοδιότητες του συστήματος διαχείρισης κτιρίου (BMS), ενός ολοκληρωμένου συστήματος ελέγχου. Ο κύριος στόχος του BMS είναι να διασφαλίσει την ασφαλή λειτουργία της εγκατάστασης. Επίσης, παρακολουθεί και βελτιώνει τη χρήση και τις επιδόσεις των εποπτευόμενων υποσυστημάτων, ώστε να καταστεί δυνατή η αποτελεσματικότερη λειτουργία τους. Η κεντρική μονάδα του συστήματος HVAC περιλαμβάνει μια μονάδα κλιματισμού, έναν καυστήρα για θέρμανση, τους ανεμιστήρες, τον υγραντήρα, το φίλτρο αέρα τις περσίδες και ένα δίκτυο αγωγών και καναλιών για να διανέμει τον αέρα σε όλους τους χώρους του κτιρίου. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, τα συστήματα HVAC μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες: θέρμανση, ψύξη και εξαερισμός.

**Θέρμανση:** Καυστήρες που χρησιμοποιούν φυσικό αέριο, προπάνιο ή άλλη πηγή καυσίμου για τη θέρμανση των σωλήνων παροχής νερού ή αντλίες θερμότητας για τη μεταφορά θερμότητας από ένα χώρο σε έναν άλλο, οι οποίοι στη συνέχεια διανέμουν ζεστό νερό στα θερμαντικά σώματα σε όλο το σπίτι κ.λπ. Ενεργοποιείται κατά τους κρύους μήνες όταν πρέπει η θερμοκρασία στο εσωτερικό να είναι θερμότερη από την εξωτερική, ο εξοπλισμός θέρμανσης με εξαναγκασμένο αέρα χρησιμοποιεί μεγάλους ανεμιστήρες στο εσωτερικό των τοίχων για να εκτοξεύσει ζεστό αέρα στα δωμάτια.

**Ψύξη:** Αυτή η κατηγορία κάνει χρήση ψυκτικών αερίων όπως το φρέον, τα οποία κυκλοφορούν μέσω εναλλακτών που είναι εγκατεστημένα σε μια εξωτερική μονάδα HVAC. Η ψύξη στα κτίρια αναφέρεται στη διαδικασία της απομάκρυνσης θερμότητας από ένα χώρο με σκοπό να διατηρηθεί η θερμοκρασία σε ένα επιθυμητό επίπεδο για άνετη διαβίωση ή για την κατάλληλη λειτουργία των μηχανημάτων και των εξοπλισμών που υπάρχουν μέσα στο κτήριο

**Εξαερισμός:** Πρόκειται για τη διαδικασία διοχέτευσης φρέσκου αέρα, μέσω του συστήματος HVAC ενός κτιρίου, για την απομάκρυνση της υγρασίας και των ρύπων. Λειτουργεί χρησιμοποιώντας ανεμιστήρες που τοποθετούνται σε αεραγωγούς ή αγωγούς.

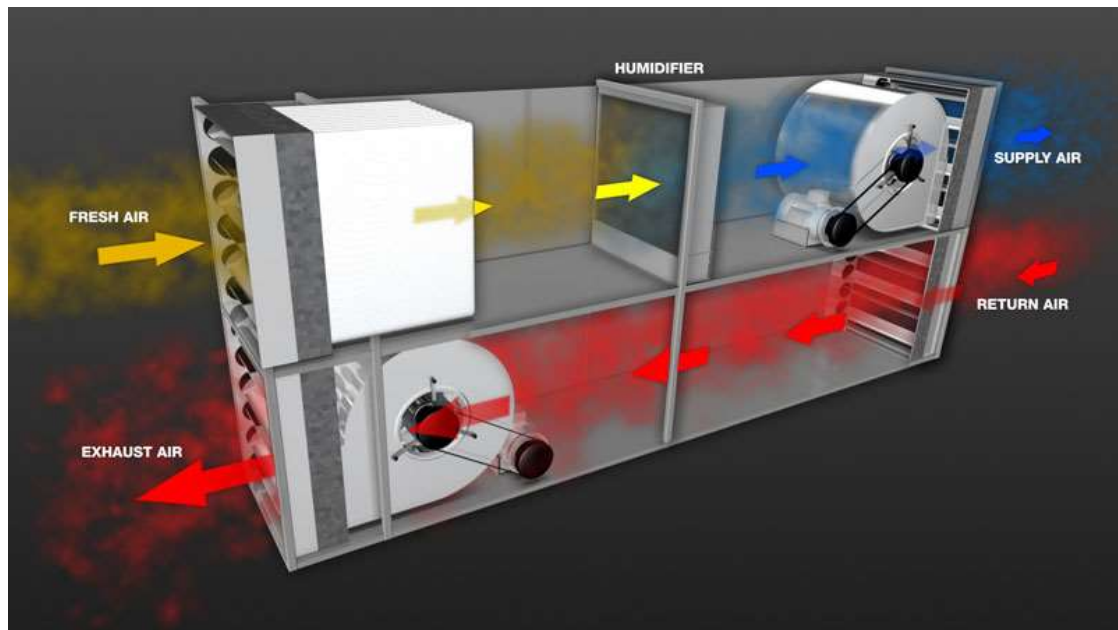
Συνομογραφίες για τους παραπάνω ορούς:

H = Θέρμανση (Αύξηση ή μείωση της θερμοκρασίας του νερού ή του αέρα)

V = Εξαερισμός (Παροχή της κατάλληλης ποσότητας καθαρού και φρέσκου αέρα)

AC = Κλιματισμός

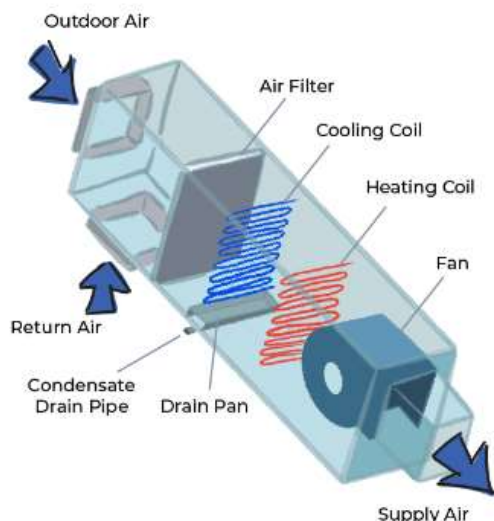
Όπως σημειώθηκε προηγουμένως ο όρος "HVAC" αναφέρεται στην πλήρη ρύθμιση της θερμοκρασίας, της υγρασίας του αέρα (υγρασία), της παροχής φρέσκου εξωτερικού αέρα για εξαερισμό, του φιλτραρίσματος των αερομεταφερόμενων σωματιδίων στον αέρα και της κίνησης του αέρα στον κατοικημένο χώρο. Τα συστήματα HVAC στις περισσότερες των περιπτώσεων λειτουργούν και ελέγχονται με συστήματα διαχείρισης κτιρίων BMS (Building Management Systems) και σε πιο απλές κατασκευές με θερμοστάτη.



Εικόνα 2.1 Κίνηση του αέρα σε σύστημα HVAC (Dave Marshall-George, 2021)

## 2.2 Περιγραφή Εξαρτημάτων

Στο υποκεφάλαιο αυτό θα περιγραφούν τα απαραίτητα εξαρτήματα που μπορούν να βρεθούν σε ένα σύστημα HVAC. Στην Εικόνα 2.2 απεικονίζονται τα βασικότερα μέρη ενός συστήματος κλιματισμού.

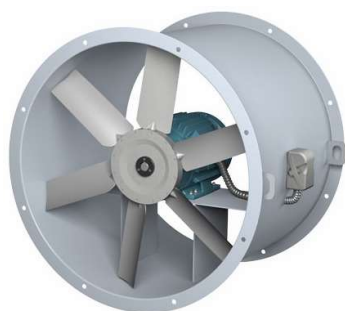


Εικόνα 2.2 Απεικόνιση των βασικότερων εξαρτημάτων ενός συστήματος HVAC (Commercial Service).

### 2.2.1 Ανεμιστήρας (Fan)

Ένας ανεμιστήρας συστήματος HVAC είναι ένας μηχανικός εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για τη διανομή και κυκλοφορία του αέρα στο κτίριο. Ο ανεμιστήρας επιτρέπει την κίνηση του αέρα μέσα από τα κανάλια αεραγωγών και τη διανομή του σε διαφορετικούς χώρους του κτιρίου. Επίσης, ο ανεμιστήρας μπορεί να ρυθμιστεί για να παράγει διαφορετικές ταχύτητες αέρα, ανάλογα με τις απαιτήσεις του κτιρίου και των ανθρώπων που βρίσκονται σε αυτό. Επιπλέον, ο ανεμιστήρας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αντλία του αέρα από μια περιοχή με χαμηλότερη πίεση σε μια περιοχή με υψηλότερη πίεση, βοηθώντας στην αποτελεσματική λειτουργία του συστήματος HVAC. Οι ανεμιστήρες HVAC ποικίλουν σε μέγεθος και ισχύ, ανάλογα με τις απαιτήσεις του συστήματος και του κτιρίου. Οι τρεις τύποι ανεμιστήρων που συναντώνται συχνότερα σε συστήματα HVAC είναι οι εξής (Εικόνες 2.3-2.5):

1) Αξονικός ανεμιστήρας: Ο απλούστερος τύπος ανεμιστήρα είναι ο αξονικός, τα πτερύγια του οποίου είναι συγκεντρωμένα γύρω από έναν περιστρεφόμενο άξονα όπως μια έλικα. Αυτοί οι ανεμιστήρες έχουν αναπτυχθεί για εφαρμογές όπου η στατική πίεση και η ροή αέρα είναι σχετικά μέτριες. Οι αξονικοί ανεμιστήρες είναι συνήθως οι φθηνότεροι. Ωστόσο, δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις όπου υπάρχει μεγάλη αντίσταση στη ροή του αέρα (υψηλή στατική πίεση).



Εικόνα 2.3 Αξονικός ανεμιστήρας (Abbie Stancato, 2021).

2) Φυγοκεντρικός ανεμιστήρας με καμπύλη προς τα εμπρός: Ένας φυγοκεντρικός ανεμιστήρας θα δημιουργήσει υψηλότερη πίεση από έναν αξονικό ανεμιστήρα, με την προϋπόθεση της ίδιας ροής αέρα, καταναλώνοντας περισσότερη ενέργεια κατά τη διαδικασία. Μία από τις κύριες χρήσεις των φυγοκεντρικών ανεμιστήρων στα συστήματα HVAC είναι στις συσκευές χειρισμού αέρα, οι οποίες πρέπει να διοχετεύουν αέρα σε αγωγούς.



Εικόνα 2.4 Φυγοκεντρικός ανεμιστήρας (Abbie Stancato, 2021).

3) Ανεμιστήρας με κλίση προς τα πίσω: Αυτοί οι ανεμιστήρες διακρίνονται από τον ιδιαίτερο σχεδιασμό των περυγίων τους, ο οποίος δίνει την αίσθηση ότι η εγκατάσταση είναι ελαττωματική. Οι τυπικές βιομηχανικές χρήσεις αυτών των ανεμιστήρων περιλαμβάνουν συλλογή σκόνης, συστήματα αποτέφρωσης, ψύξη διεργασιών και σκλήρυνση γυαλιού. Όλες αυτές οι χρήσεις απαιτούν υψηλή ροή αέρα και μεταβλητή αντίσταση. Οι ανεμιστήρες με κλίση προς τα πίσω χρησιμοποιούνται συνήθως στον αερισμό ανάκτησης ενέργειας (ERV) σε εμπορικά συστήματα HVAC (Shubham More, 2018).



Εικόνα 2.5 Ανεμιστήρας με κλίση προς τα πίσω (Shubham More, 2018).

### 2.2.2 Damper (Περσίδες)

Μια περσίδα, ή damper στα αγγλικά (Εικόνα 2.6), είναι ένα μηχανικό εξάρτημα που χρησιμοποιείται σε συστήματα κλιματισμού και ανακυκλοφορίας αέρα για τον έλεγχο της ροής του αέρα. Το damper μπορεί να είναι κατασκευασμένο από μεταλλικά ή υλικά ανθρακονήματος και συνήθως τοποθετείται στα κανάλια αεραγωγών του συστήματος HVAC. Τα damper μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να περιορίσουν τη ροή του αέρα, για να αλλάξουν την κατεύθυνση της ροής, ή για να προσαρμόσουν το επίπεδο της ροής ανάλογα με τις απαιτήσεις του συστήματος. Είναι δυνατό να ελεγχθούν μηχανικά ή ηλεκτρονικά και να ελέγξουν το ρυθμό της ροής του αέρα σε συνδυασμό με άλλα μηχανικά εξαρτήματα του συστήματος HVAC, όπως οι ανεμιστήρες και οι αντλίες.



Εικόνα 2.6 Damper

### 2.2.3 Αντλία (AC κλιματιστικό)

Μια αντλία κλιματιστικού (ή αντλία θερμότητας) όπως φαίνεται στις Εικόνες 2.7 και 2.8 είναι ένα μηχανικό σύστημα που χρησιμοποιείται σε κλιματιστικά συστήματα για τη μεταφορά θερμότητας από ένα χώρο σε έναν άλλο. Συνήθως χρησιμοποιείται σε συστήματα κλιματισμού που λειτουργούν σε λειτουργία ψύξης και θέρμανσης. Η αντλία μπορεί να λειτουργήσει αντιστρεπτικά, δηλαδή να παράγει θερμότητα από τον αέρα του χώρου και να την μεταφέρει σε έναν άλλο χώρο, ή να απορροφήσει θερμότητα από έναν χώρο και να τη μεταφέρει αλλού για να ψύξει τον χώρο. Συνήθως λειτουργεί με τη χρήση ενός κυκλώματος ψυκτικού υγρού, όπου ο ψυκτικός αέρας κυκλοφορεί στο εσωτερικό του συστήματος κλιματισμού. Οι αντλίες κλιματιστικού μπορούν να είναι απλές ή πολύπλοκες και μπορούν να χρησιμοποιούνται σε κατοικίες, κτίρια και βιομηχανικά κτίρια. Η επιλογή της κατάλληλης αντλίας εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως ο όγκος του χώρου που χρειάζεται να θερμανθεί ή να ψυχθεί, η ενεργειακή απόδοση του συστήματος, οι συνθήκες περιβάλλοντος και η διαθεσιμότητα ενέργειας. Μπορούν να χρησιμοποιούνται για να καλύψουν τις ενεργειακές ανάγκες ενός κτιρίου, είτε για θέρμανση είτε για ψύξη, ή και των δύο. Η χρήση της μπορεί να οδηγήσει σε μείωση των ενεργειακών δαπανών σε σχέση με άλλα συστήματα θέρμανσης ή ψύξης, καθώς καταναλώνουν λιγότερη ενέργεια από αυτά τα συστήματα.

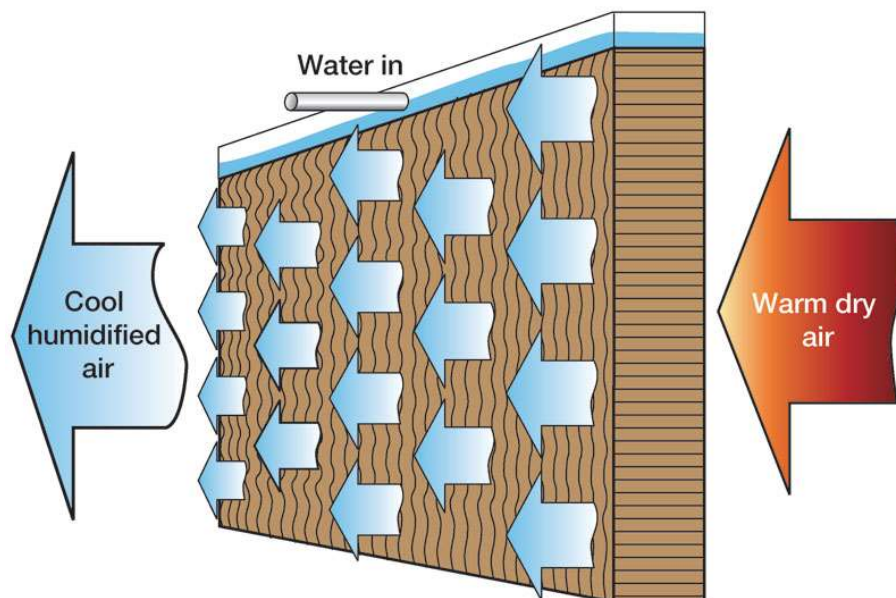


Εικόνα 2.7 και 2.8 Αντλία θερμότητας

## 2.2.4 Υγραντήρας

Ο υγραντήρας είναι ένα εξάρτημα του συστήματος κλιματισμού, το οποίο χρησιμοποιείται για τη διατήρηση της κατάλληλης υγρασίας στον εσωτερικό χώρο. Λειτουργεί παράγοντας ατμό ή απλώς απελευθερώνοντας νερό στον αέρα του χώρου, με σκοπό τη διατήρηση ενός επιθυμητού επιπέδου υγρασίας. Η υγρασία επηρεάζει την άνεση και την υγεία των ανθρώπων στον εσωτερικό χώρο. Η υπερβολική υγρασία μπορεί να δημιουργήσει ανεπιθύμητα συμπτώματα, όπως αίσθημα λιποθυμίας ή επιπλέον ζέστη, ενώ η υποβάθμιση της υγρασίας μπορεί να ξηραίνει τα μάτια και το δέρμα. Συνήθως, είναι εύκολοι στη χρήση και τη συντήρηση, και μπορούν να λειτουργούν με διάφορες μεθόδους, όπως με τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας ή απλά με τη χρήση νερού. Υπάρχουν επίσης διαφορετικοί τύποι υγραντήρων, όπως οι υγραντήρες ατμού, οι υγραντήρες ψεκασμού και οι υγραντήρες εξατμίσεων, ανάλογα με τη μέθοδο παραγωγής υγρασίας που χρησιμοποιούν. Συνολικά, οι υγραντήρες είναι σημαντικά εξαρτήματα του συστήματος κλιματισμού, που βοηθούν στη διατήρηση ενός επιθυμητού επιπέδου υγρασίας στον εσωτερικό χώρο, βελτιώνοντας:

- Οι υγραντήρες ατμού λειτουργούν με το να θερμαίνουν νερό και να δημιουργούν ατμό, ο οποίος αναμειγνύεται με τον αέρα του χώρου. Ο ατμός αυτός παράγεται με τη χρήση ενέργειας και μπορεί να προκαλέσει υγρασία στον αέρα.
- Οι υγραντήρες ψεκασμού λειτουργούν με το να ψεκάζουν νερό στον αέρα του χώρου, είτε απευθείας στον αέρα, είτε σε ένα φίλτρο ή έναν εναλλάκτη θερμότητας, όπου ο αέρας διέρχεται μέσα από το νερό. Το νερό εξατμίζεται στον αέρα και προσθέτει υγρασία.
- Οι υγραντήρες εξατμίσεως είναι παρόμοιοι με τους υγραντήρες ατμού, αλλά αντί για ατμό χρησιμοποιούν την ενσωματωμένη θερμοκρασία του περιβάλλοντος για να εξατμίσουν το νερό στον αέρα. Αυτός ο τύπος υγραντήρων είναι πιο αποτελεσματικός σε χαμηλές θερμοκρασίες και χρησιμοποιείται συχνά σε θερμοκρασίες κάτω από τους 10°C. Ωστόσο, απαιτούν την τοποθέτηση ενός αισθητήρα υγρασίας για την ακριβή ρύθμιση της επίτευξης της επιθυμητής υγρασίας στον χώρο. Στην Εικόνα 2.9 παρουσιάζεται η λειτουργία υγραντήρα.



Εικόνα 2.9 Λειτουργία υγραντήρα

## 2.2.5 Φίλτρο Αέρα

Τα φίλτρα αέρα μπορούν να κατασκευαστούν από διάφορα υλικά, όπως χαρτί, ύφασμα, πολυπροπυλένιο και ηλεκτροστατικά φίλτρα. Η απόδοση του φίλτρου μπορεί να μετρηθεί με βάση την αποτελεσματικότητα του στην αφαίρεση σωματιδίων από τον αέρα. Τα σωματίδια μπορούν να μετρηθούν με μονάδες καταμέτρησης σωματιδίων (particles per million - ppm) ή με μονάδες βαρύτητας (μικρογραμμάρια ανά κυβικό μέτρο -  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Η αποτελεσματικότητα του φίλτρου μετράται στο εύρος των σωματιδίων που μπορεί να φιλτράρει. Ένα καλό φίλτρο αέρα θα μπορούσε να αφαιρέσει μικροσωματίδια μεγέθους μέχρι 0,3 μικρόν, όπως πολλά ιούς και βακτήρια. Η αποτελεσματικότητα του φίλτρου μπορεί να επηρεαστεί από πολλούς παράγοντες, όπως η ταχύτητα αέρα, η θερμοκρασία και η υγρασία του αέρα. Το φίλτρο αέρα χρησιμοποιείται επίσης σε πολλά άλλα συστήματα που απαιτούν καθαρό αέρα, όπως στα συστήματα κλιματισμού αυτοκινήτων, στις αίθουσες καθαρισμού, στις ιατρικές συσκευές και σε πολλές άλλες εφαρμογές. Επιπλέον είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι πρέπει να αντικαθίστανται τακτικά για να διατηρείται η αποτελεσματικότητά τους και να μειώνεται ο κίνδυνος εμφάνισης προβλημάτων στο σύστημα κλιματισμού καθώς τα φίλτρα περιορίζουν τη ροή του αέρα στο σύστημα HVAC, αφού φράζουν με τον καιρό, κάνοντας τον ανεμιστήρα να εργάζεται πιο σκληρά και να σπαταλάει ενέργεια. Ο ανεμιστήρας καταναλώνει λιγότερη ενέργεια για την κυκλοφορία του αέρα σε μια κατασκευή όταν αλλάζονται τα φίλτρα. Τα φίλτρα αέρα βαθμολογούνται με βάση τις βαθμολογίες ελάχιστης απόδοσης (MERV) που κυμαίνονται από 1 (χαμηλότερη απόδοση) έως 16 (υψηλότερη απόδοση), όπως ορίζεται από το πρότυπο ANSI/ASHRAE 52.2-2017 (ASHRAE, 2017). Το σύστημα αξιολόγησης MERV είναι παρόμοιο με ένα μάλλον πρόσφατο παγκόσμιο πρότυπο του Διεθνούς Οργανισμού Τυποποίησης (ISO), το ISO 16980 (ISO, 2016). Η απόδοση των φίλτρων ποικίλλει λόγω των διαφορών στον τρόπο εγκατάστασης των φίλτρων, στο πόσο συχνά αντικαθίστανται τα φίλτρα, στο πόσο μολυσμένος είναι ο αέρας που φιλτράρεται και στο πόσο καλά συντηρούνται τα συστήματα. Ένα φίλτρο σωματιδιακού αέρα υψηλής απόδοσης (HEPA) μπορεί να απομακρύνει το 99,97% - 99,99% των αιωρούμενων σωματιδίων που έχουν μέγεθος ίσο, μικρότερο ή μεγαλύτερο από 0,3 μικρά (EPA). Όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.10 για τις κατηγορίες MERV 17 έως MERV 20 τα φίλτρα θεωρούνται υψηλής απόδοσης HEPA.

MERV Rating	Air filter will trap particles sized .3 to 1.0 microns	Air filter will trap particles sized 1.0 to 3.0 microns	Air filter will trap particles sized 3.0 to 10 microns	Filter Type & Particles Removed
MERV 1	<20%	<20%	<20%	<b>Fiberglass and Aluminum Mesh</b> pollen, dust mites, spray paint, carpet fibers, pet dander
MERV 2	<20%	<20%	<20%	
MERV 3	<20%	<20%	<20%	
MERV 4	<20%	<20%	<20%	
MERV 5	<20%	<20%	20% - 34%	<b>Disposable Filters</b> mold spores, kitchen aerosols, hair spray, furniture polish, household cleaning sprays
MERV 6	<20%	<20%	35% - 49%	
MERV 7	<20%	<20%	50% - 69%	
MERV 8	<20%	<20%	70% - 85%	<b>Home Box Filters</b> lead dust, flour, auto fumes, welding fumes
MERV 9	<20%	>50%	85% or better	
MERV 10	<20%	50% - 64%	85% or better	
MERV 11	<20%	65% - 79%	85% or better	<b>Commercial Filters</b> bacteria, wildfire smoke, respiratory droplets
MERV 12	<20%	80% - 90%	90% or better	
MERV 13	>75%	90% or better	90% or better	
MERV 14	75% - 84%	90% or better	90% or better	
MERV 15	85% - 94%	95% or better	90% or better	
MERV 16	95% or better	95% or better	90% or better	
MERV 17	99.97%	99% or better	99% or better	
MERV 18	99.997%	99% or better	99% or better	<b>HEPA and ULPA</b> viruses, carbon dust
MERV 19	99.9997%	99% or better	99% or better	
MERV 20	99.99997%	99% or better	99% or better	

Εικόνα 2.10 Πίνακας για αξιολόγηση κατά MERV των φίλτρων αέρα (ISO, 2016).

## 3 Θερμική Άνεση

### 3.1 Εισαγωγή

Η ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) ορίζει τη θερμική άνεση ως «την κατάσταση του νου που εκφράζει ικανοποίηση από το θερμικό περιβάλλον και αξιολογείται με υποκειμενική αξιολόγηση» (ANSI/ASHRAE, 2020). Αυτός ο ορισμός καθιστά σαφές ότι η θερμική άνεση είναι μια υποκειμενική απόκριση και όχι μια συγκεκριμένη τιμή (ANSI/ASHRAE,2020).

Η θερμική άνεση αποτελεί κριτήριο του μικροκλίματος ενός εσωτερικού ή εξωτερικού χώρου. Όταν λέμε μικρόκλιμα, εννοούμε την έκφραση της αλληλεπίδρασης φυσικών παραμέτρων, οι οποίες επηρεάζουν τον άνθρωπο διαμέσου των θερμικών απωλειών και της αναπνοής του. Βέβαια, υπάρχουν και άλλοι μη θερμικοί παράγοντες, όπως του αέρα, η περιεκτικότητα σε σωματίδια στον αέρα, σε ουσίες, σε οσμές, σε μικροοργανισμούς κ.α. που επηρεάζουν την υγεία και την αίσθηση των ανθρώπων (Κοτσίρης,2007). Η θερμική άνεση αποτελεί σημαντικό παράγοντα στο σχεδιασμό και τη λειτουργία των κτιρίων. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι ένας συνδυασμός παθητικών και ενεργητικών στρατηγικών θέρμανσης και ψύξης μπορεί να επιτύχει τη βέλτιστη θερμική άνεση. Η ανταλλαγή θερμότητας ανάμεσα στο ανθρώπινο σώμα και το περιβάλλον του γίνεται με πολλούς τρόπους: α) Με μεταφορά ή συναγωγή β) Με ακτινοβολία από το ανθρώπινο σώμα προς τις επιφάνειες που το περιβάλλουν και αντίστροφα γ) Με αγωγή όπου θερμότητα χάνεται από τα ρούχα, όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντα αέρα είναι χαμηλότερη από τη θερμοκρασία του σώματος δ) Με εξάτμιση, η οποία πραγματοποιείται μέσω της αναπνοής ή από την επιδερμίδα και μέσω του ιδρώτα.

Η εξίσωση που εκφράζει το θερμικό ισοζύγιο στον ανθρώπινο οργανισμό είναι η παρακάτω: (ANSI/ASHRAE Handbook Fundamentals, 2021)

$$H_M - W = H_r + H_c + H_e + (H_{lr} + H_{ld}) \quad [3.1]$$

$H_M$  : Ρυθμός παραγωγής θερμότητας από μεταβολισμό.(W)

$W$  : Εξωτερικό μηχανικό, έργο.

$H_r$  : Ανταλλαγή θερμότητας με ακτινοβολία.

$H_c$  : Μεταφορά θερμότητας με συναγωγή.

$H_e$  : Απώλεια θερμότητας εξαιτίας της εξάτμισης του ιδρώτα από την επιφάνεια του δέρματος.

$H_{lr}$  : Απώλειας της θερμότητας, διαμέσου της αναπνοής.

$H_{ld}$  : Απώλεια λανθάνουσας θερμότητας, διαμέσου της αναπνοής.

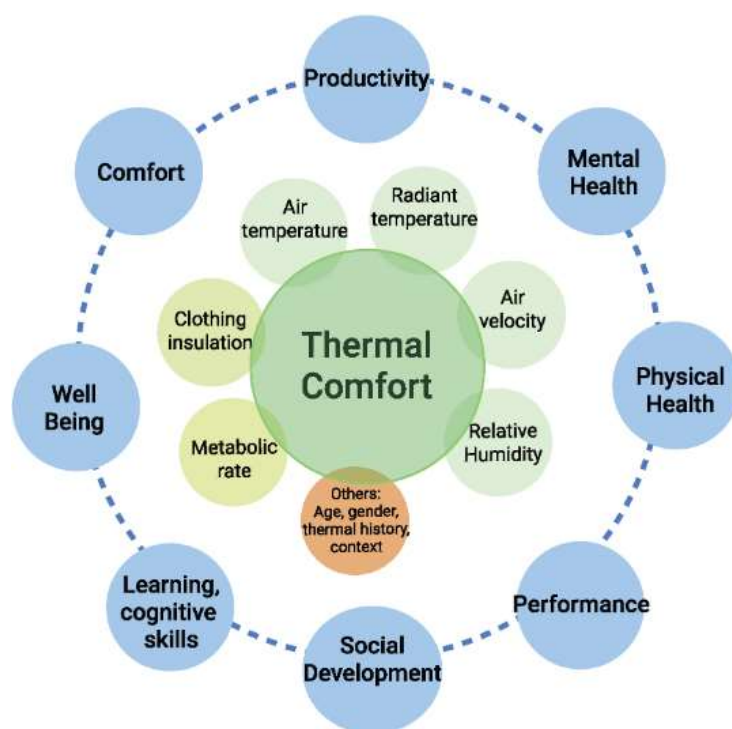
Ο ρυθμός παραγωγής, θερμότητας και απώλειας διαφέρει από άνθρωπο σε άνθρωπο . Για τη καλύτερη διευκόλυνση δημιουργήθηκαν οι παράμετροι της επιφάνειας του σώματος αλλά και ο ρυθμός μεταβολισμού του κάθε ανθρώπου. Ο ρυθμός μεταβολισμού εκφράζεται σε  $W/m^2$  ή σε met ( $1 \text{ met} = 58 \text{ W}/m^2$ ). Το εμβαδόν της επιφάνειας του Σώματος δίνεται από τον τύπο:

$$A_N = 0.202 W_b^{0,425} B_h^{0,725} \quad [3.2]$$

όπου  $W_b$  είναι το βάρος του σώματος και  $B_h$  είναι το ύψος. Ονομάζεται Du Bois area και για τις γυναίκες η επιφάνεια είναι  $1,6m^2$  ενώ για τους άνδρες  $1,8m^2$ .



Η θερμική άνεση επηρεάζεται από εύρος παραγόντων όπως η θερμοκρασία του αέρα, η υγρασία, η ταχύτητα του αέρα και η θερμοκρασία ακτινοβολίας. Για τον προσδιορισμό αυτών των ζωνών χρησιμοποιούνται διάφορες μεταβλητές, όπως η θερμοκρασία του αέρα, η υγρασία, η ταχύτητα του αέρα και η θερμοκρασία ακτινοβολίας. Προκειμένου να διατηρηθούν συνθήκες που ευνοούν την άνεση και την ευημερία των ενοίκων, η έννοια των ζωνών θερμικής άνεσης βοηθά στην καθοδήγηση του σχεδιασμού και της λειτουργίας των κτιρίων και των συστημάτων HVAC. Υπάρχουν διάφορες καθιερωμένες κατευθυντήριες γραμμές και πρότυπα που καθορίζουν τις ζώνες θερμικής άνεσης. Ένα αρκετά χρησιμοποιούμενο πρότυπο είναι το πρότυπο ANSI/ASHRAE(2020) , το οποίο παρέχει εύρος εσωτερικών περιβαλλοντικών συνθηκών που θεωρούνται άνετες για διαφορετικούς τύπους χώρων και δραστηριοτήτων. Το πρότυπο καθορίζει τα αποδεκτά εύρη θερμοκρασίας και τα συνιστώμενα εύρη για τη σχετική υγρασία, την ταχύτητα του αέρα και άλλους παράγοντες. Οι ζώνες θερμικής άνεσης μπορεί να ποικίλλουν ανάλογα με παράγοντες όπως το επίπεδο δραστηριότητας, η μόνωση του ρουχισμού και οι προσωπικές προτιμήσεις των ατόμων. Οι αρχιτέκτονες, οι μηχανικοί και οι διαχειριστές εγκαταστάσεων μπορούν να δημιουργήσουν εσωτερικά περιβάλλοντα που υποστηρίζουν την ευημερία, την παραγωγικότητα και την ευτυχία των ενοίκων, κατανοώντας τις ζώνες θερμικής άνεσης και σχεδιάζοντας για αυτές. Είναι επίσης σημαντικό να ληφθεί υπόψη το ευρύ φάσμα αναγκών και προτιμήσεων των χρηστών του κτιρίου οι ατομικές προτιμήσεις μπορούν να αλλάξουν (ANSI/ASHRAE Standard 55, 2020).



Εικόνα 3.1 Παράγοντες θερμικής άνεσης και οι επιπτώσεις τους (Betty Lala, 2022).

## 3.2 Παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η θερμική άνεση

Η θερμική άνεση καθορίζεται λόγω:

### 1) Φυσικών παραγόντων

- Θερμοκρασία του αέρα ( $^{\circ}\text{C}$ )
- Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας των εσωτερικών επιφανειών ( $^{\circ}\text{C}$ )
- Η υγρασία και η σχετική υγρασία του αέρα (Pa)
- Η ταχύτητα του εσωτερικού αέρα (m/s)
- Χωροταξική κατανομή των παραπάνω μεγεθών
- Συγκέντρωση Διοξειδίου του Άνθρακα  $\text{CO}_2$  (ppm)

### 2) Βιολογικών παραγόντων

- Το φύλλο των χρηστών του χώρου
- Η ηλικία των χρηστών του χώρου
- Οι συνήθειες των χρηστών του χώρου (αθλητής, καπνιστής, κ.α.)

### 3) Εξωτερικών παραγόντων

- Το είδος των δραστηριοτήτων των χρηστών του χώρου (met) ( $1 \text{ met} = 58,15 \text{ W/m}^2$ )
- Ο τύπος του ρουχισμού των χρηστών του χώρου (clo) ( $1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C/W}$ )

Η ζώνη θερμικής άνεσης ορίζεται ως το εύρος θερμοκρασίας και υγρασίας που είναι αποδεκτό τουλάχιστον στο 80% των ανθρώπων.

### 3.2.1 Θερμοκρασία αέρα

Η Θερμοκρασία αέρα είναι «η θερμοκρασία ξηρού βολβού του αέρα που περιβάλλει τους χρήστες ενός χώρου» (ANSI/ASHRAE 55, 2020). Η θερμοκρασία του αέρα μετρείται συνήθως σε μονάδες κλίμακας Κελσίου ( $^{\circ}\text{C}$ ) ή Φαρενάιτ ( $^{\circ}\text{F}$ ) στα κτίρια και τους θαλάμους. Στα κτίρια, η θερμοκρασία του αέρα μπορεί να μετρηθεί σε διάφορα σημεία, όπως στις αίθουσες, στα γραφεία, στα δωμάτια συνεδριάσεων, στις κουζίνες και στις τουαλέτες. Η θερμοκρασία μπορεί να μετρηθεί με θερμόμετρο που είναι εγκατεστημένο στον χώρο ή με ασύρματα θερμόμετρα που μπορούν να τοποθετηθούν σε διάφορα σημεία του χώρου και να μεταδίδουν τα δεδομένα σε έναν κεντρικό υπολογιστή. Η θερμοκρασία σε ένα θάλαμο πειραματικών μετρήσεων για την επίτευξη βέλτιστης θερμικής άνεσης αποτελεί έναν σημαντικό παράγοντα. Η θερμική άνεση ορίζεται ως η κατάσταση κατά την οποία ένα άτομο αισθάνεται άνετα και δεν επηρεάζεται από τη θερμοκρασία και την υγρασία του περιβάλλοντος. Για την επίτευξη βέλτιστης θερμικής άνεσης σε ένα θάλαμο πειραματικών μετρήσεων, η θερμοκρασία πρέπει να ελέγχεται σε κατάλληλα επίπεδα. Συνήθως, η κατάλληλη θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ  $20^{\circ}\text{C}$  και  $25^{\circ}\text{C}$ , αν και αυτό μπορεί να διαφέρει ανάλογα με την εφαρμογή και τις απαιτήσεις του πειράματος. Παράλληλα, η υγρασία του αέρα πρέπει να διατηρείται σε σχετικά υψηλά επίπεδα, καθώς η χαμηλή υγρασία μπορεί να προκαλέσει δυσφορία και ανεπιθύμητες επιπτώσεις στον οργανισμό.

### 3.2.2 Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας

Σύμφωνα με την ANSI/ASHRAE Standard 55 (2020) η μέση ακτινοβολούμενη θερμοκρασία «Ορίζεται ως η ομοιόμορφη επιφανειακή θερμοκρασία ενός φανταστικού μαύρου κελύφους που θα προκαλέσει την ίδια ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ ατόμου και αυτού με αυτήν που λαμβάνει χώρα στις εξεταζόμενες συνθήκες» (ANSI/ASHRAE 55, 2020). Η μέση ακτινοβολούμενη θερμοκρασία σχετίζεται άμεσα με τον άνθρωπο, τη στάση του σώματός του, το συγκεκριμένο τρόπο ένδυσης του αλλά και τον προσανατολισμό του στο χώρο και συμβολίζεται με  $T_{mrt}$ . Για την επίτευξη της καλύτερης θερμικής άνεσης σε ένα χώρο θα πρέπει η διαφορά ανάμεσα στη θερμοκρασία του αέρα και των περιβαλλουσών επιφανειών να μη ξεπερνά τους 3-4°C.

Δίνεται ο τύπος:

$$T_{mrt} = \sqrt[4]{(T_g + 273)^4 + \left(\frac{hg}{hr}\right) \times (T_g - T_{air})} - 273 \quad , \text{ (CEN, 2005) [3.3]}$$

Όπου: ο συντελεστής ροής θερμότητας  $hr = \varepsilon \times \sigma = 0,95 \times 5,67 \times 10^{-8} = 5,38 \times 10^{-8}$  και για τη σφαίρα  $hg = 6.3 \times v^{0,6} / D^{0,4}$

Η σύμφωνα με τον ISO 7730 (CEN,2005):  $T_{mrt} = T_1F_{P-1} + T_2F_{P-2} + \dots + T_nF_{P-n}$  [3.4]

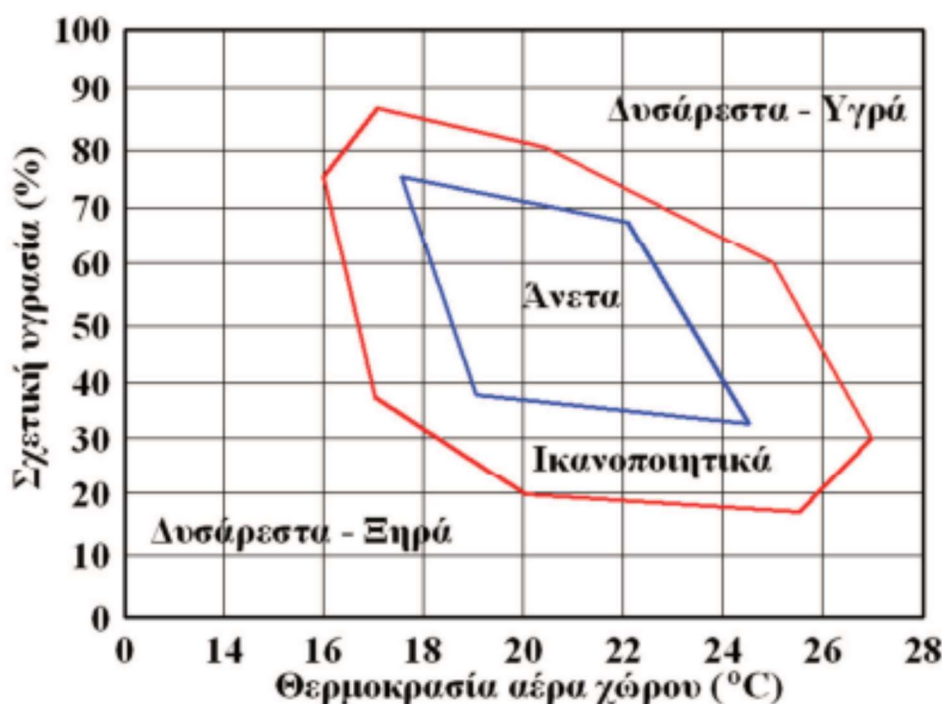
Όπου:  $T_1, T_2, T_n$  είναι οι επιμέρους θερμοκρασίες των επιφανειών που περικλείουν το χώρο και  $F_{P-1}, F_{P-2}, F_{P-n}$  οι συντελεστές οι οποίοι διαφέρουν ανάλογα με τη θέση του ανθρώπου στο χώρο και η γωνία που σχηματίζει με τις επιμέρους επιφάνειες.

### 3.2.3 Ταχύτητα του αέρα

Η κίνηση του αέρα γύρω από το ανθρώπινο σώμα μπορεί να επηρεάσει το αίσθημα της θερμικής άνεσης καθορίζοντας αφενός την ανταλλαγή θερμότητας με μεταφορά ανάμεσα στο ανθρώπινο σώμα και το περιβάλλον και αφετέρου την περιεκτικότητα του αέρα σε υδρατμούς. Η απώλεια θερμότητας με συναγωγή από το ανθρώπινο σώμα εξαρτάται από την ένταση του αέρα και τη θερμοκρασιακή διαφορά ανάμεσα στο δέρμα και το περιβάλλον. επηρεάζοντας τόσο τη μεταφορά θερμότητας μέσω της διέλευσης μεταξύ του ανθρώπινου σώματος και του περιβάλλοντος όσο και την ποσότητα των υδρατμών στον αέρα, η κίνηση του αέρα γύρω από το σώμα μπορεί να έχει αντίκτυπο στο πόσο άνετα αισθάνεται θερμικά. Ο όγκος του αέρα και η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του δέρματος και του περιβάλλοντος επηρεάζουν το πόσο θερμότητα χάνεται με συναγωγή από το ανθρώπινο σώμα. Τα ρεύματα αέρα που δημιουργούνται όταν η θερμοκρασία του αέρα είναι χαμηλότερη από τη θερμοκρασία του σώματος έχουν ως αποτέλεσμα την αίσθηση του ψύχους και τη συνακόλουθη δυσφορία. Από την άλλη πλευρά, οι διαδικασίες του ιδρώτα και της εξάτμισης ξεκινούν όταν η θερμοκρασία των ρευμάτων αέρα είναι υψηλότερη από εκείνη του σώματος, οδηγώντας στην αίσθηση της ψύξης (Κοτσίρης, 2007). Σύμφωνα με την ANSI/ASHRAE Standard 55 (2020) το ανώτατο επιτρεπτό όριο της ταχύτητας του αέρα σε εσωτερικό χώρο ορίζεται στα 0,8 m/sec.

### 3.2.4 Σχετική Υγρασία

Η σχετική υγρασία (RH) είναι ένα μέτρο της ποσότητας υγρασίας ή υδρατμών στον αέρα σε σχέση με τη μέγιστη ποσότητα υγρασίας που μπορεί να συγκρατήσει ο αέρας σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία. Εκφράζεται ως ποσοστό και υπολογίζεται διαιρώντας την πραγματική ποσότητα υγρασίας στον αέρα με τη μέγιστη ποσότητα υγρασίας που θα μπορούσε να συγκρατήσει ο αέρας σε αυτή τη θερμοκρασία και στη συνέχεια πολλαπλασιάζοντας με το 100. Για παράδειγμα, εάν ο αέρας συγκρατεί το ήμισυ της μέγιστης ποσότητας υγρασίας που μπορεί να συγκρατήσει σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία, η σχετική υγρασία θα είναι 50%. Εάν ο αέρας συγκρατεί όλη την υγρασία που μπορεί να συγκρατήσει σε αυτή τη θερμοκρασία, η σχετική υγρασία θα είναι 100%, υποδεικνύοντας ότι ο αέρας είναι πλήρως κορεσμένος. Η υψηλή σχετική υγρασία μπορεί να προκαλέσει δυσφορία στον άνθρωπο κάνοντας τον αέρα να αισθάνεται βαρύς και υγρός αλλά και παρεμποδίζοντας την εξάτμιση του ιδρώτα δηλαδή την αποβολή θερμότητας που είναι και ο μόνος τρόπος διατήρησης του θερμοκινητικού ισοζυγίου, ενώ η χαμηλή σχετική υγρασία μπορεί να προκαλέσει ξηρότητα και ερεθισμό στο δέρμα, τα μάτια και το αναπνευστικό σύστημα αλλά και ενισχύει την αποβολή του ιδρώτα από το ανθρώπινο σώμα. Η σχετική υγρασία είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει την ποσότητα υγρασίας στον αέρα. Η κατάλληλη σχετική υγρασία συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 40% και 60% (JW Lovell-Smith, 2006). Στο Γράφημα 3.1 παρουσιάζει το πόσο άνετα ή δυσάρεστα αισθάνεται ένας άνθρωπος στο χώρο σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία αέρα και τη σχετική υγρασία.



Γράφημα 3.1: Διάγραμμα θερμικής άνεσης θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας (JW Lovell-Smith, 2006).

### 3.2.5 Ένδυση

Ο ρουχισμός λειτουργεί σαν θερμική αντίσταση στην αποβολή θερμότητας από την επιφάνεια του σώματος προς το εξωτερικό περιβάλλον. Γενικά, η μονωτική ικανότητα ενός ρούχου εξαρτάται τόσο από το πάχος όσο και από το υλικό κατασκευής του. Επιπλέον η ροή αέρα και η υγρασία είναι δύο παράμετροι που μπορούν να επηρεάσουν την μονωτική ικανότητα του. Η μονάδα της θερμικής αντίστασης λόγω ρουχισμού ονομάζεται clo και χρησιμοποιείται για να εκφράσει τη θερμική μόνωση που παρέχουν τα ενδύματα, και ισοδυναμεί με 0,155 m<sup>2</sup>K/W. Η θερμική μόνωση λόγω ένδυσης υπολογίζεται σαν το άθροισμα των επιμέρους ρούχων (I<sub>clu</sub>) του συνόλου με I<sub>cl</sub>=ΣI<sub>clu</sub> σε clo. Ακολουθεί πίνακας τιμών για τη θερμική μόνωση:

Πίνακας 3.1: Τιμές τυπικών συνόλων ενδυμασίας (ANSI/ASHRAE 55-2020, ISO7730, ISO9920).

Ντύσιμο	I <sub>cl</sub>	
	m <sup>2</sup> K/W	clo
Shorts	0.015	0.1
Τυπικό τροπικό ντύσιμο	0.45	0.3
Ελαφρύ, καλοκαιρινό ντύσιμο	0.08	0.5
Ελαφριά ενδυμασία εργασίας	0.11	0.7
Χειμερινό ντύσιμο	0.16	1
Βαρύ παραδοσιακό κουστούμι	0.23	1.5

### 3.2.6 Είδος δραστηριότητας - Ρυθμός μεταβολισμού

Ο ανθρώπινος μεταβολισμός είναι η σειρά των χημικών αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα στο σώμα μας προκειμένου να διατηρηθεί η ζωή και να υποστηριχθούν οι λειτουργίες του οργανισμού. Ο μεταβολισμός περιλαμβάνει την απορρόφηση, τη μετατροπή και τη χρήση θρεπτικών ουσιών από το σώμα, καθώς και την αποβολή των αποβλήτων μεταβολισμού. Στόχος του η διατήρηση της εσωτερικής θερμοκρασίας του σώματος στους 36,5°C. Ο μεταβολισμός του κάθε ατόμου εξαρτάται από το φύλο, την ηλικία, την θερμοκρασία του αέρα αλλά επίσης και από το επίπεδο της δραστηριότητας του δηλαδή αν έχει κάνει κάποια αθλητική άσκηση ,έχει σηκώσει κάποιο βάρος για ένα χρονικό διάστημα μιας ώρας από την μέτρηση του ρυθμού μεταβολισμού του ανθρώπου και στον Πίνακα 3.2 παρουσιάζονται κάποιες βασικές δραστηριότητες σύμφωνα με το πρότυπο της ASHRAE. Ο ρυθμός μεταβολισμού μετριέται σε met. Από άνθρωπο σε άνθρωπο διαφέρει ο ρυθμός παραγωγής, θερμότητας και απώλειας. Έτσι εισάγονται οι παράμετροι της επιφάνειας του σώματος αλλά και ο ρυθμός μεταβολισμού του κάθε ανθρώπου.

Ο ρυθμός μεταβολισμού εκφράζεται σε Watt ανά μέτρο τετράγωνο(W/m<sup>2</sup>) ή σε met (1 met =58 W/m<sup>2</sup>). Το εμβαδόν της επιφάνειας του Σώματος από τον τύπο:

$$A_N = 0.202 W_b^{0,425} B_h^{0,725} \quad [3.5]$$

όπου W<sub>b</sub> είναι το βάρος του σώματος και B<sub>h</sub> είναι το ύψος. Ονομάζεται Du Bois area και για τις γυναίκες η επιφάνεια είναι 1,6m<sup>2</sup> ενώ για τους άνδρες 1,8m<sup>2</sup>.

Πίνακας 3.2: Ρυθμοί Μεταβολισμού (ANSI/ASHRAE, 2020)

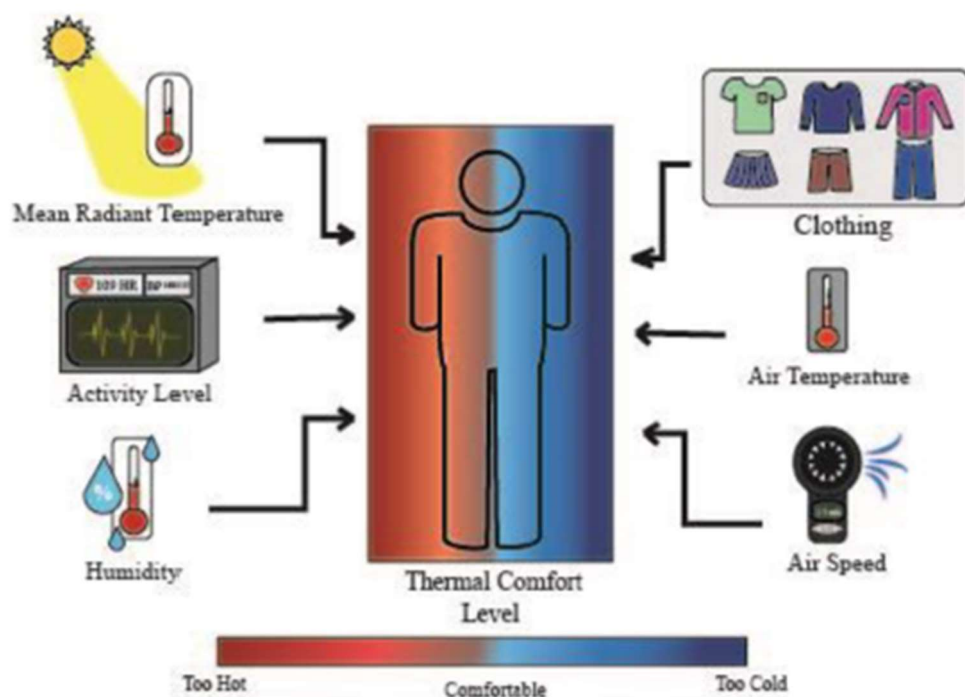
Δραστηριότητα	Ρυθμός Μεταβολισμού	
	W/m <sup>2</sup>	met
Ξαπλωμένος	46	0.8
Καθήμενος	58	1
Όρθιος χαλαρωμένος	70	1.2
Καθιστική δραστηριότητα (γραφείο, σχολείο)	70	1.2
Δραστηριότητα όρθιου(ψώνια, εργαστήριο)	93	1.6
Δραστηριότητα όρθιου(εμποροϋπάλληλος)	116	2
Μεσαία δραστηριότητα (επιμονή μηχανική εργασία)	165	2.8

### 3.3 Δείκτες και μοντέλα υπολογισμού θερμικής άνεσης

Διάφοροι δείκτες θερμικής άνεσης έχουν αναπτυχθεί οι οποίοι διαφέρουν μεταξύ τους ως προς την προσέγγιση του προβλήματος, την περιοχή των συνθηκών εφαρμογής και της προσεγγιστικές εκφράσεις που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της ανταλλαγής θερμότητας. Η προσέγγιση για τη θερμική άνεση έχει απομονώσει τις βασικές περιβαλλοντικές παραμέτρους που συνθέτουν το θερμικό περιβάλλον του εσωτερικού χώρου και όταν αυτοί οι περιβαλλοντικοί και ατομικοί παράγοντες εξετάζονται συλλογικά, μπορούν να δημιουργηθούν θερμικοί περιβαλλοντικοί δείκτες που ποσοτικοποιούν ή προβλέπουν το υποκειμενικό επίπεδο θερμικής δυσφορίας που αισθάνονται οι άνθρωποι (R. de Dear, 2004). Τα τελευταία πενήντα χρόνια έχουν δημιουργηθεί διάφορα μοντέλα ως αποτέλεσμα των αξιολογήσεων της θερμικής άνεσης. Τα μοντέλα θερμικής άνεσης χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη της ανθρώπινης θερμικής αίσθησης και την αξιολόγηση των εσωτερικών θερμικών συνθηκών. Το λεγόμενο μοντέλο ορθολογικής άνεσης που δημιουργήθηκε από τον Fanger και το μοντέλο προσαρμοστικής άνεσης ASHRAE που δημιουργήθηκε από τους Humphreys και Nicol (1998) είναι τα μοντέλα θερμικής άνεσης που χρησιμοποιούνται ευρύτερα. Το μοντέλο PMV/PPD, το οποίο είναι επίσης γνωστό ως μοντέλο θερμικής άνεσης του Fanger, βασίστηκε σε μελέτες στις οποίες άνθρωποι εκτέθηκαν σε συνθήκες σταθερής κατάστασης σε κλιματικούς θαλάμους και αντιμετώπισε τα άτομα ως παθητικούς υποδοχείς που ανιχνεύουν τις περιβαλλοντικές συνθήκες που τα περιβάλλουν. Η θεωρία της προσαρμοστικής άνεσης, από την άλλη πλευρά, δημιουργήθηκε με βάση την έρευνα πεδίου και βλέπει τους κατοίκους των κτιρίων ως ενεργούς παράγοντες που εμπλέκονται με το δομημένο περιβάλλον τους. Το μοντέλο Fanger είναι ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο μοντέλο που προβλέπει τη θερμική άνεση με βάση τέσσερις περιβαλλοντικούς παράγοντες: θερμοκρασία αέρα, μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας, ταχύτητα αέρα και υγρασία. Το μοντέλο υπολογίζει το Predicted Mean Vote (PMV), το οποίο χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη της θερμικής αίσθησης σε μια κλίμακα που κυμαίνεται από -3 έως +3. Το προσαρμοστικό μοντέλο βασίζεται στην ιδέα ότι οι κάτοικοι μπορούν να προσαρμοστούν στο περιβάλλον τους και να προσαρμόσουν τα ρούχα και τα επίπεδα δραστηριότητάς τους για να διατηρήσουν τη θερμική άνεση.

### 3.3.1 Μοντέλο Fanger

Το μοντέλο Fanger είναι ένα μοντέλο που αναπτύχθηκε από τον P.O. Fanger το 1970 και χρησιμοποιείται για να εκτιμήσει τη θερμική άνεση σε κλιματιζόμενους και μη κλιματιζόμενους χώρους, ο οποίος χρησιμοποίησε την κλασική μεθοδολογία ψυχοφυσικής έρευνας για να συσχετίσει ποσοτικά το θερμικό περιβάλλον με το μέγεθος της υποκειμενικής δυσφορίας σε ένα μοντέλο που ονομάζεται PMV-PPD (R. de Dear, 2004). Το μοντέλο Fanger χρησιμοποιείται επίσης για να εκτιμήσει την επίδραση διαφόρων παραμέτρων όπως η θερμοκρασία του αέρα, η ταχύτητα του αέρα, η υγρασία του αέρα, η θερμοκρασία ακτινοβολίας. Βασίζεται στην αρχή ότι η θερμική άνεση εξαρτάται από την ικανότητα του ανθρώπου να απορροφά και να απορρίπτει θερμότητα. Το μοντέλο που ανέπτυξε ο Fanger για την πρόβλεψη της θερμικής άνεσης σε συνθήκες σταθερής κατάστασης βασίζεται σε πειράματα κλιματικού θαλάμου με 1296 άτομα, κυρίως φοιτητές (Salvatore Carlucci, 2021). Το μοντέλο χρησιμοποιεί ένα αναλυτικό θερμικό ισοζύγιο του σώματος και δύο γραμμικές προσεγγίσεις των σχέσεων μεταξύ αντίστοιχα της μέσης τιμής της θερμοκρασίας του δέρματος και των εκκρίσεων ιδρώτα, ως συνάρτηση του επιπέδου δραστηριότητας των ατόμων, για την κατασκευή δύο δεικτών και τους προτείνει για εφαρμογή σε κτίρια με μηχανικό κλιματισμό (Salvatore Carlucci, 2021). Μέσω του μοντέλου Fanger υπολογίζεται η θερμική άνεση αλλά και η δυσaréσκεια, η οποία προκαλείται από τις συνθήκες του θερμικού περιβάλλοντος.



Εικόνα 3.2 Έξι παράγοντες που συμβάλλουν στη θερμική άνεση στο μοντέλο Fanger (Ali Ghahramani, 2020).

Οι υπολογισμοί της θερμικής άνεσης γίνονται με την βοήθεια δύο δεικτών, της μέσης προβλεπόμενης τιμής ψηφοφορίας PMV (Predicted Mean Vote) και του ποσοστού δυσaréσκειας των ανθρώπων PPD (Predicted Percent of Dissatisfied). Ο προβλεπόμενος μέσος όρος ψήφου (PMV) είναι ένας αριθμητικός δείκτης που προβλέπει τη μέση θερμική αίσθηση μιας μεγάλης ομάδας ανθρώπων σε έναν χώρο. Για τον υπολογισμό του χρησιμοποιείται το μοντέλο Fanger, το οποίο ενσωματώνει τις τέσσερις περιβαλλοντικές μεταβλητές της θερμοκρασίας του αέρα, της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας, της ταχύτητας του αέρα και της υγρασίας.

Ο δείκτης PMV κυμαίνεται από -3 (ψυχρό) έως +3 (θερμό) με το 0 να αντιπροσωπεύει τη θερμική ουδετερότητα. Μια θετική τιμή PMV υποδεικνύει ότι οι χρήστες μπορεί να αισθάνονται πολύ ζεστά, ενώ μια αρνητική τιμή PMV υποδεικνύει ότι οι χρήστες μπορεί να αισθάνονται πολύ κρύα. Ο δείκτης PMV βασίζεται στην εξίσωση του θερμικού ισοζυγίου, η οποία υπολογίζει την ισορροπία μεταξύ της θερμότητας που παράγεται από το ανθρώπινο σώμα και της θερμότητας που ανταλλάσσεται με το περιβάλλον. Ο δείκτης PMV χρησιμοποιείται ευρέως στο σχεδιασμό κτιρίων και συστημάτων HVAC για τη βελτιστοποίηση της θερμικής άνεσης και της ενεργειακής απόδοσης. Οι σχεδιαστές κτιρίων και οι μηχανικοί HVAC μπορούν να χρησιμοποιήσουν τον δείκτη PMV για να προσαρμόσουν τις εσωτερικές περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως η θερμοκρασία του αέρα, ώστε να επιτύχουν θερμική ουδετερότητα και να βελτιώσουν την άνεση των ενοίκων. Ο τύπος έκφρασης του δείκτη PMV είναι ο εξής:

$$PMV = (0,303 * e^{-0,036 * M} + 0,028) * \{(M - W) - 3,05 + 10^3 * [5773 - 6,99 * (M - W) - p_a] - 0,42 * [(M = W) - 58,15] - 1,7 * 10^{-5} * M * (5867 - p_a) - 1,4 * 10^{-3} * M * (34 - t_a) - 3,96 * 10^{-8} * f_{cl} * [(t_{cl} + 237)^4 - (t_r + 273)^4 - f_{cl} * h_c * (t_{cl} - t_a)]\} \quad [3.6] \text{ με}$$

$$t_{cl} = 35,7 - 0,028 * (M - W) - I_{cl} \{3,96 * 10^{-8} * f_{cl} * [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] + f_{cl} * h_c * (t_{cl} - t_a)\} \quad [3.7]$$

$$h_c = \begin{cases} 2,38 * (t_{cl} - t_a)^{0,25} & \text{όταν } 2,38 * |t_{cl} - t_a|^{0,25} > 12,1 * \sqrt{v_{ar}} \\ 12,1 * \sqrt{v_{ar}} & \text{όταν } 2,38 * |t_{cl} - t_a|^{0,25} < 12,1 * \sqrt{v_{ar}} \end{cases} \quad [3.8]$$

$$f_{cl} = \begin{cases} 1,00 + 1,290 * I_{cl} & \text{όταν } I_{cl} \leq 0,078 \\ 1,05 + 0,645 * I_{cl} & \text{όταν } I_{cl} > 0,078 \end{cases} \quad [3.9]$$

όπου:

M: Ρυθμός μεταβολισμού (W/m<sup>2</sup>)

W: Το ωφέλιμο έργο (W/m<sup>2</sup>)

I<sub>cl</sub>: Θερμική αντίσταση ρούχων (m<sup>2</sup> \* K / W)

f<sub>cl</sub>: Λόγος επιφάνειας ντυμένου ανθρώπου προς την επιφάνεια όταν είναι γυμνός

t<sub>a</sub>: Θερμοκρασία του αέρα (°C)

t<sub>r</sub>: Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας (°C)

v<sub>ar</sub>: Ταχύτητα του αέρα (m/s)

p<sub>a</sub>: Μερική πίεση υδρατμών στο χώρο (Pa)

h<sub>c</sub>: Συντελεστής μεταφοράς θερμότητας (W / m<sup>2</sup> \* K)

t<sub>cl</sub>: Επιφανειακή θερμοκρασία των ρούχων (°C)

Συνολικά, ο δείκτης PMV είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για την πρόβλεψη της θερμικής αίσθησης μιας μεγάλης ομάδας ανθρώπων σε έναν χώρο και μπορεί να ενημερώσει για αποφάσεις σχετικά με τις εσωτερικές περιβαλλοντικές συνθήκες για τη βελτιστοποίηση της θερμικής άνεσης και της ενεργειακής απόδοσης (ISO 7730:2005).



Ο δείκτης PMV προβλέπει την μέση τιμή της θερμικής άνεσης μιας ομάδας ανθρώπων στο χώρο υπό μελέτη με μια κλίμακα 7 σημείων όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.3.

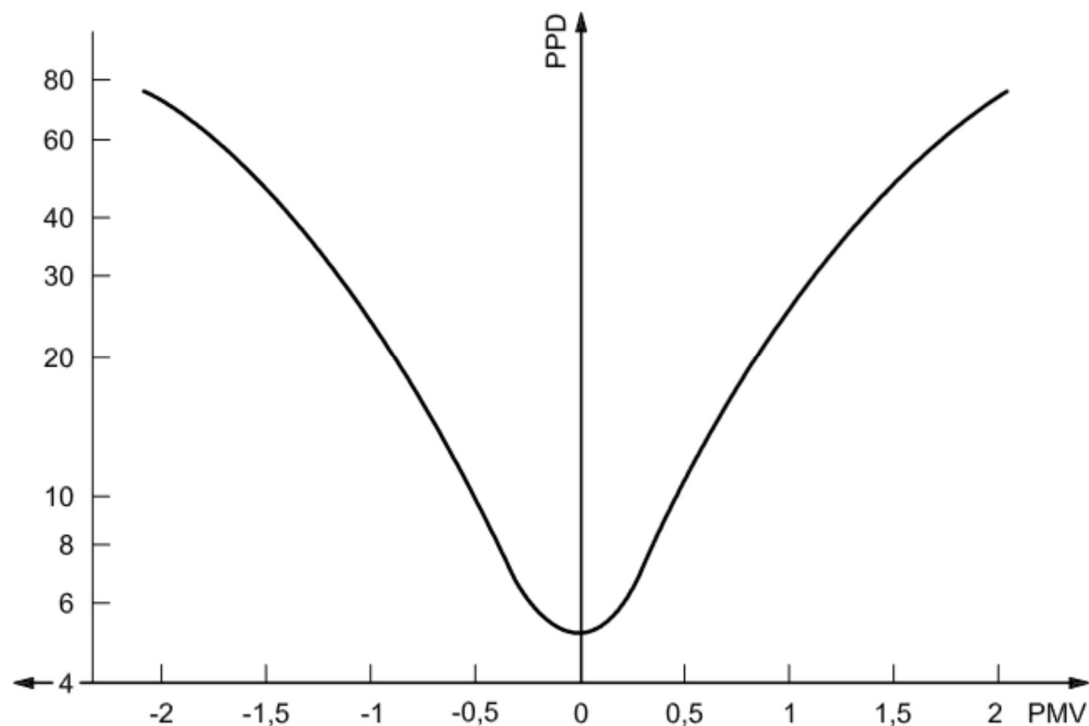
Πίνακας 3.3 Κλίμακα PMV

3+	Καυτό
2+	Ζεστό
1+	Ελαφρώς Ζεστό
0	Ουδέτερο
1-	Ελαφρώς Δροσερό
2-	Δροσερό
3-	Ψυχρό

Το προβλεπόμενο ποσοστό δυσαρεστημένων (PPD), εκφράζει την PPD ως συνάρτηση της PMV μέσω της εξίσωσης της οποίας η κατανομή τους είναι συμμετρική γύρω από την ουδέτερη ψήφο στο  $PMV = 0$  :

$$PPD = 100 - 95 * e^{(-0,03353PMV^4 - 0,2179PMV^2)} \quad [3.10]$$

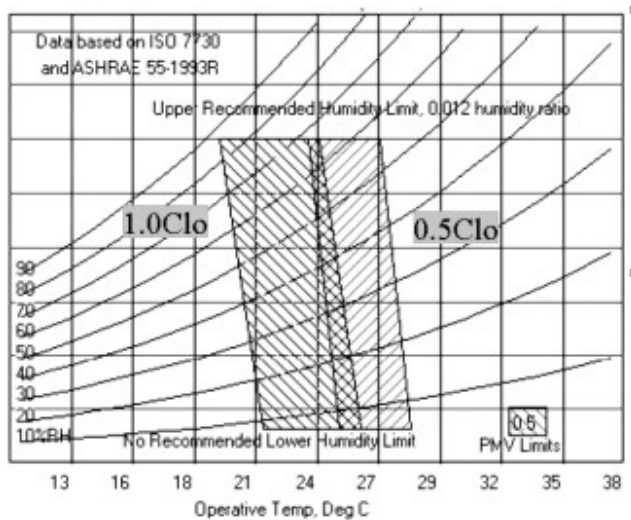
Στο Γράφημα 3.2 παρουσιάζεται η συναρτησιακή σχέση του PMV-PPD. Γενικά, επικρατεί η εκδοχή ότι το PPD πρέπει να είναι μικρότερο του 10% και επομένως ο δείκτης PMV να κυμαίνεται μεταξύ -0,5 και 0,5.



Γράφημα 3.2 Δείκτης PPD σε συνάρτηση του PMV (ISO 7730, 2005).

Επιπλέον, οι έρευνες για την επικύρωση στο πεδίο (de Dear & Brager, 1998) δείχνουν ότι το μοντέλο του Fanger βρίσκει καλύτερη εφαρμογή σε χώρους που έχουμε μηχανικά συστήματα θέρμανσης και ψύξης σε αντίθεση με τα φυσικά κλιματιζόμενα κτίρια όπου το μοντέλο Adaptive έχει καλύτερη εφαρμογή.

Το αποδεκτό εύρος της λειτουργικής θερμοκρασίας δίνεται στο Γράφημα 3.3 για άτομα με τυπική καλοκαιρινή (περίοδος ψύξης) ενδυμασία (~0,5 clo) και τυπική χειμερινή (περίοδος θέρμανσης) ενδυμασία (~1,0 clo). Στο Γράφημα 3.3 παρουσιάζονται οι συνιστώμενες περιοχές στην αναθεώρηση του ANSI/ASHRAE Standard 55 (2020).



Γράφημα 3.3 Το αποδεκτό εύρος της λειτουργικής θερμοκρασίας και υγρασίας (ASHRAE, 2020).

### 3.3.2 Μοντέλο Προσαρμογής – Adaptive

Το προσαρμοστικό μοντέλο βασίζεται στην ιδέα ότι όταν υπάρχει μια μεταβολή, οι άνθρωποι τροποποιούν οι ίδιοι τη θερμική ισορροπία του σώματός τους για να αισθάνονται άνετα και χρησιμοποιεί εξωτερικές και εσωτερικές περιβαλλοντικές μεταβλητές, συμπεριλαμβανομένης της θερμοκρασίας του αέρα, της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας, της ταχύτητας του αέρα, της υγρασίας και της μόνωσης του ρουχισμού, για να υπολογίσει το εύρος της προσαρμοστικής θερμικής άνεσης (ATC). Το εύρος ATC αντιπροσωπεύει το εύρος των εσωτερικών θερμοκρασιών όπου οι περισσότεροι κάτοικοι αισθάνονται άνετα χωρίς την ανάγκη πρόσθετου θερμικού ελέγχου. Ειδικότερα, το προσαρμοστικό μοντέλο ASHRAE βασίζεται στην ανάλυση περίπου 9 000 από τα 21 000 σύνολα ακατέργαστων δεδομένων που συγκεντρώθηκαν από μελέτες πεδίου σε 160 κτίρια που βρίσκονται σε διάφορες κλιματικές ζώνες σε όλο τον κόσμο (Salvatore Carlucci ,2021).

Όταν η θερμοκρασία λειτουργίας του χώρου ο βρίσκεται εντός δύο επιτρεπτών ορίων, λέγεται ότι υπάρχει θερμική άνεση στο χώρο σύμφωνα με αυτό το μοντέλο. Τα όρια αυτά σύμφωνα με τις ευρωπαϊκές οδηγίες είναι:

$$Upper\ limit\ III(^{\circ}C) = 0,33 * \theta_m + 22,8 \quad [3.11]$$

$$Upper\ limit\ II(^{\circ}C) = 0,33 * \theta_m + 21,8 \quad [3.12]$$

$$Upper\ limit\ I(^{\circ}C) = 0,33 * \theta_m + 20,8 \quad [3.13]$$

$$Optimal\ comfort\ temperature\ (^{\circ}C) = 0,33 * \theta_m + 18,8 \quad [3.14]$$

$$Lower\ limit\ I(^{\circ}C) = 0,33 * \theta_m + 16,8 \quad [3.15]$$

$$Lower\ limit\ II(^{\circ}C) = 0,33 * \theta_m + 15,8 \quad [3.16]$$

$$Lower\ limit\ III(^{\circ}C) = 0,33 * \theta_m + 14,8 \quad [3.17]$$

Ενώ τα αντίστοιχα όρια σύμφωνα με την ASHRAE είναι [6]:

$$Upper\ 80\%\ acceptability\ limit\ (^{\circ}C) = 0,31 * \Theta_m + 21,3 \quad [3.18]$$

$$Upper\ 90\%\ acceptability\ limit\ (^{\circ}C) = 0,31 * \Theta_m + 20,3 \quad [3.19]$$

$$Optimal\ comfort\ temperature\ (^{\circ}C) = 0,31 * \Theta_m + 17,8 \quad [3.20]$$

$$Lower\ 90\%\ acceptability\ limit\ (^{\circ}C) = 0,31 * \Theta_m + 15,3 \quad [3.21]$$

$$Lower\ 80\%\ acceptability\ limit\ (^{\circ}C) = 0,31 * \Theta_m + 14,3 \quad [3.22]$$

$$\Theta_m = (1-\alpha)*[\theta_{ed-1} + \alpha*\theta_{ed-2} + \alpha^2*\theta_{ed-3} + \alpha^3*\theta_{ed-4} + \dots] \quad [3.23] \text{ με}$$

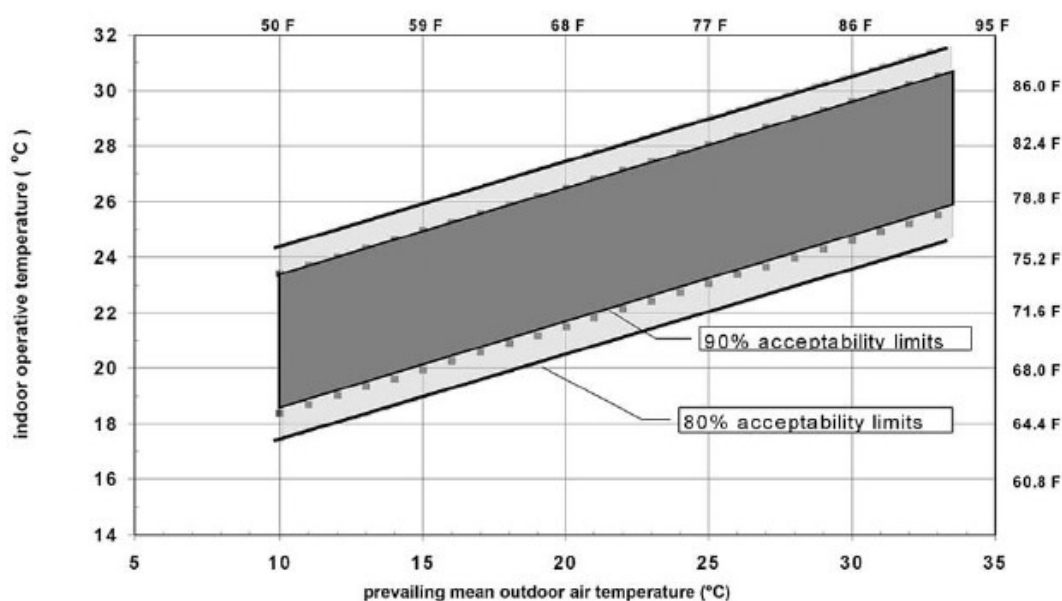
- $\Theta_m$ : Μέση εξωτερική θερμοκρασία αέρα για διάστημα n-ημερών.

- $\theta_{ed-n}$ : Ημερήσια μέση εξωτερική θερμοκρασία αέρα για n-ημέρες πριν την εν λόγω ημέρα μετρήσεων.

- $\alpha$ : Σταθερά μεταξύ 0 και 1. Στις περισσότερες περιπτώσεις παίρνει τιμή 0,8.

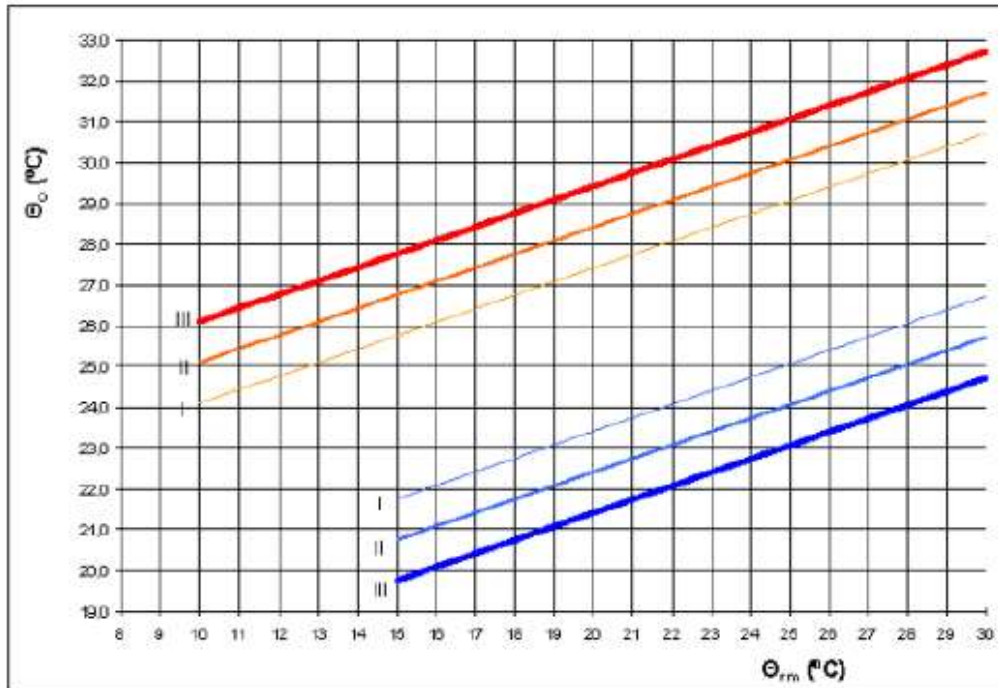
Επιτρεπτά όρια για την χρήση των εξισώσεων αυτών είναι  $\Theta_m$  ανάμεσα στο εύρος 10°C -30°C.

Στο Γράφημα 3.4 φαίνονται αναλυτικά τα όρια της θερμικής άνεσης για το προσαρμοστικό μοντέλο σύμφωνα με την ASHRAE.



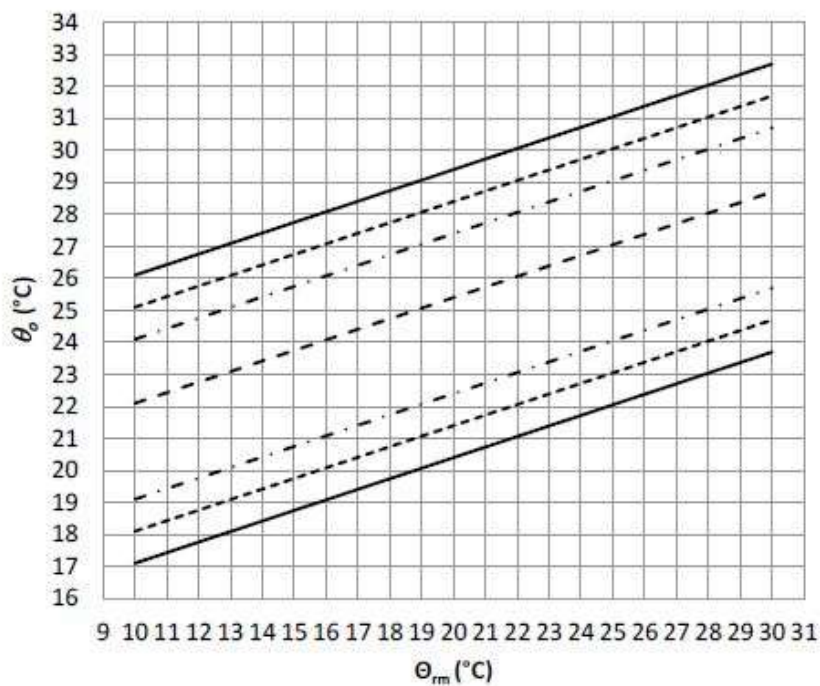
Γράφημα 3.4 Διάγραμμα επιτρεπτών ορίων θερμικής άνεσης του Adaptive model (ASHRAE Standard 55-2020).

Συνήθως επιλέγουμε το διάστημα 80%, αλλά το διάστημα 90% που απεικονίζεται στο διάγραμμα χρησιμοποιείται όταν επιθυμούμε να θέσουμε πιο αυστηρούς περιορισμούς θερμικής άνεσης όπως σε κτίρια υγειονομικής σημασίας. Ενώ στο Γράφημα 3.5 φαίνονται αναλυτικά τα όρια της θερμικής άνεσης για το προσαρμοστικό μοντέλο σύμφωνα με τις ευρωπαϊκές οδηγίες:



Γράφημα 3.5 Διάγραμμα επιτρεπτών ορίων θερμικής άνεσης του Adaptive model σύμφωνα με τις ευρωπαϊκές οδηγίες. (CEN, 2012)

Μετά την αναθεώρηση του μοντέλου EN 15251 τα όρια του προσαρμοστικού μοντέλου τροποποιήθηκαν και παρουσιάζονται παρακάτω στο Γράφημα 3.6. Το νέο αυτό πρότυπο είναι το EN16798-2 (CEN, 2014).



Γράφημα 3.6 Διάγραμμα επιτρεπτών ορίων θερμικής άνεσης του Adaptive model σύμφωνα με το αναθεωρημένο πρότυπο EN16798-2.

Παρακάτω παρουσιάζεται ο Πίνακας 3.4 με τα όρια του μοντέλου Fanger και Adaptive για κάθε διεθνή πρότυπο που απασχολεί τη θερμική άνεση (Paradopoulos et al, 2023).

Πίνακας 3.4: Σύγκριση Ορίων Μοντέλου Fanger και Adaptive

Διεθνή Πρότυπα	Όρια μοντέλου Fanger	Όρια προσαρμοστικού μοντέλου	Οδηγίες Μετρητικής καμπάνιας
ANSI/ASHRAE Standard 55	$-0.5 \leq PMV \leq +0.5$	Upper 80% acceptability Limit= $0.31 \overline{\bar{t}_{pma(out)}} + 21.3$ Lower 80% acceptability Limit= $0.31 \overline{\bar{t}_{pma(out)}} + 14.3$	✓
ISO 7730	<u>Category A:</u> $-0.2 \leq PMV \leq +0.2$ <u>Category B:</u> $-0.5 \leq PMV \leq +0.5$ <u>Category C:</u> $-0.7 \leq PMV \leq +0.7$	-	-
EN 15251	<u>Category I:</u> $-0.2 \leq PMV \leq +0.2$ <u>Category II:</u> $-0.5 \leq PMV \leq +0.5$ <u>Category III:</u> $-0.7 \leq PMV \leq +0.7$ <u>Category IV:</u> PMV < -0.7 or +0.7 < PMV	<u>Category I:</u> Upper limit: $0.33\theta_{rm} + 18.8 + 2$ Lower limit: $0.33\theta_{rm} + 18.8 - 2$ <u>Category II:</u> Upper limit: $0.33\theta_{rm} + 18.8 + 3$ Lower limit: $0.33\theta_{rm} + 18.8 - 3$ <u>Category III:</u> Upper limit: $0.33\theta_{rm} + 18.8 + 4$ Lower limit: $0.33\theta_{rm} + 18.8 - 4$	-
EN 16798-2	<u>Category I:</u> $-0.2 \leq PMV \leq +0.2$ <u>Category II:</u> $-0.5 \leq PMV \leq +0.5$ <u>Category III:</u> $-0.7 \leq PMV \leq +0.7$ <u>Category IV:</u> $-1.0 \leq PMV \leq +1.0$	<u>Category I:</u> Upper limit: $0.33\theta_{rm} + 18.8 + 2$ Lower limit: $0.33\theta_{rm} + 18.8 - 3$ <u>Category II:</u> Upper limit: $0.33\theta_{rm} + 18.8 + 3$ Lower limit: $0.33\theta_{rm} + 18.8 - 4$ <u>Category III:</u> Upper limit: $0.33\theta_{rm} + 18.8 + 4$ Lower limit: $0.33\theta_{rm} + 18.8 - 5$	-
ISO 7726	-	-	✓

### 3.3.3 Θερμοκρασία υγραινόμενης σφαίρας WBGT

Για τον διαχωρισμό των εννοιών η θερμοκρασία Wet Bulb(υγρού βολβού) είναι η θερμοκρασία αδιαβατικού κορεσμού. Η θερμοκρασία υγρού βολβού είναι ένα μέτρο της υγρασίας και αντιπροσωπεύει τη χαμηλότερη θερμοκρασία που μπορεί να επιτευχθεί με την εξάτμιση του νερού από μια υγρή επιφάνεια. Επιπροσθέτως η θερμοκρασία ξηρού βολβού αναφέρεται βασικά στη θερμοκρασία του αέρα του περιβάλλοντος. Ονομάζεται "ξηρός βολβός" επειδή η θερμοκρασία του αέρα υποδεικνύεται από ένα θερμομέτρο που δεν επηρεάζεται από την υγρασία του αέρα. Η WBGT είναι ένα μέτρο της θερμικής καταπόνησης στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία, το οποίο λαμβάνει υπόψη: τη θερμοκρασία, την υγρασία, την ταχύτητα του ανέμου, τη γωνία του ήλιου και τη νεφοκάλυψη (ηλιακή ακτινοβολία). Η θερμοκρασία υγρού βολβού δεν είναι WBGT, αλλά αποτελεί παράγοντα στον υπολογισμό της WBGT (National Weather Service). Ο δείκτης αυτός έχει προταθεί ως κατάλληλος για ανοιχτούς χώρους από τον Watson (1983). Η σχέση από την οποία υπολογίζεται είναι η εξής: (ISO,1982)

$$WBGT = 0,7 * Tf + 0,2 * Tg + 0,1 * Ta \quad [3.24]$$

όπου:

-Ta είναι η θερμοκρασία του αέρα σε C°

-Tf είναι η θερμοκρασία του υγρού θερμομέτρου σε C°

-Tg γυαλί η θερμοκρασία της σφαίρας σε C° (Κοτσίρης, 2007)

Συνολικά, η WBGT είναι ένα πολύτιμο εργαλείο για τη διαχείριση του θερμικού στρες και τη διασφάλιση της ασφάλειας και της ευεξίας των ανθρώπων. Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η WBGT δεν είναι τέλειος προγνωστικός δείκτης της θερμικής καταπόνησης και θα πρέπει να χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με άλλα μέτρα, όπως η προσωπική παρακολούθηση και η εφαρμογή σε ανοιχτούς χώρους κυρίως (National Weather Service)

### 3.3.4 Αισθητή Θερμοκρασία ET ή αποτελεσματική θερμοκρασία Teff

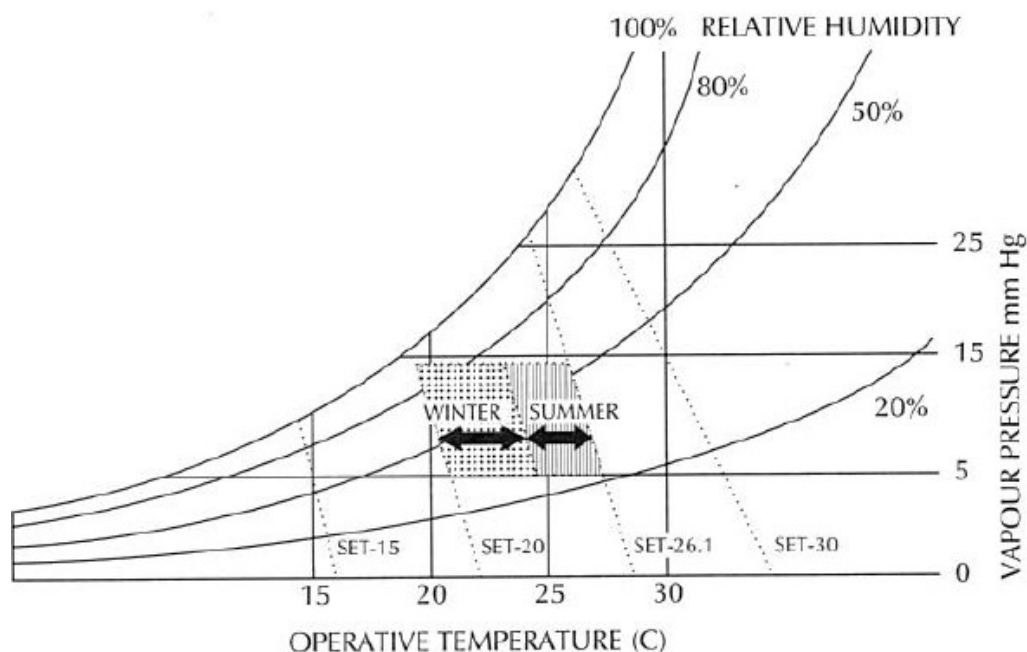
Η αποτελεσματική Θερμοκρασία (Teff) ή Αισθητή Θερμοκρασία (ET) είναι ένας δείκτης θερμοκρασίας που συνδυάζει τη θερμοκρασία και την υγρασία του αέρα για να δώσει μια πιο ακριβή απεικόνιση του πόσο ζεστό ή κρύο αισθάνεται το περιβάλλον για τον άνθρωπο. Λαμβάνει υπόψη την ικανότητα του ανθρώπινου σώματος να ανταλλάσσει θερμότητα με το περιβάλλον μέσω της συναγωγής και της εξάτμισης. Σε αντίθεση με άλλους δείκτες θερμοκρασίας, όπως η θερμοκρασία ξηρού βολβού ή η θερμοκρασία υγρού βολβού, ο Teff λαμβάνει υπόψη τη φυσιολογική απόκριση του ανθρώπινου σώματος στη θερμοκρασία και την υγρασία. Ο δείκτης αυτός συνδυάζει τις επιδράσεις των θερμοκρασιών υγρού και ξηρού βολβού αλλά και της ταχύτητας του αέρα. Και ορίζεται ως 'η θερμοκρασία μιας ακίνητης κορεσμένης υδρατμών ατμόσφαιρας Άλη που σε απουσία ακτινοβολίας θα έδενε την ίδια επίδραση όπως η ατμόσφαιρα που διερευνάται' (Κοτσίρης, 2007). Από τη σχέση Wenzel, K. and Piekarski, K. (1982) μπορεί να γίνει υπολογισμός της αποτελεσματικής θερμοκρασίας:

$$Teff = Ta - 0,4 * (Ta - 10) * (1 - RH/100) \quad [3.25]$$

όπου: Teff: η αποτελεσματική θερμοκρασία σε °C, Ta: η θερμοκρασία του αέρα σε °C και RH: η σχετική υγρασία.

### 3.3.5 Τυπική αισθητή θερμοκρασία SET

Η Τυπική αισθητή θερμοκρασία SET ορίζεται ως η θερμοκρασία ξηρού βολβού σε περιβάλλον με ομοιόμορφες συνθήκες και σχετική υγρασία 50%, όπου ο χρήστης θα είχε το ίδιο επίπεδο ανταλλαγής θερμότητας όπως σε ένα ίδιο περιβάλλον αλλά με μεταβολή υγρασίας (Κοτσίρης, 2007). Η SET είναι ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο μέτρο θερμικής άνεσης στο δομημένο περιβάλλον και χρησιμοποιείται συχνά σε συνδυασμό με το μοντέλο Predicted Mean Vote (PMV). Η SET παρέχει μια πιο ολοκληρωμένη αξιολόγηση της θερμικής άνεσης, καθώς λαμβάνει υπόψη τις επιδράσεις της ακτινοβολίας και της κίνησης του αέρα στο ανθρώπινο σώμα. Οι τιμές της υπολογίζονται μέσω του ψυχομετρικού διαγράμματος στο Γράφημα 3.7.



Γράφημα 3.7 Ψυχομετρικός χάρτης με τη νέα εμπειρική θερμοκρασία και τη ζώνη θερμικής άνεσης (Κοτσίρης, 2007)

Πίνακας 3.5 Τιμές της θερμοκρασίας SET και του θερμικού αισθήματος

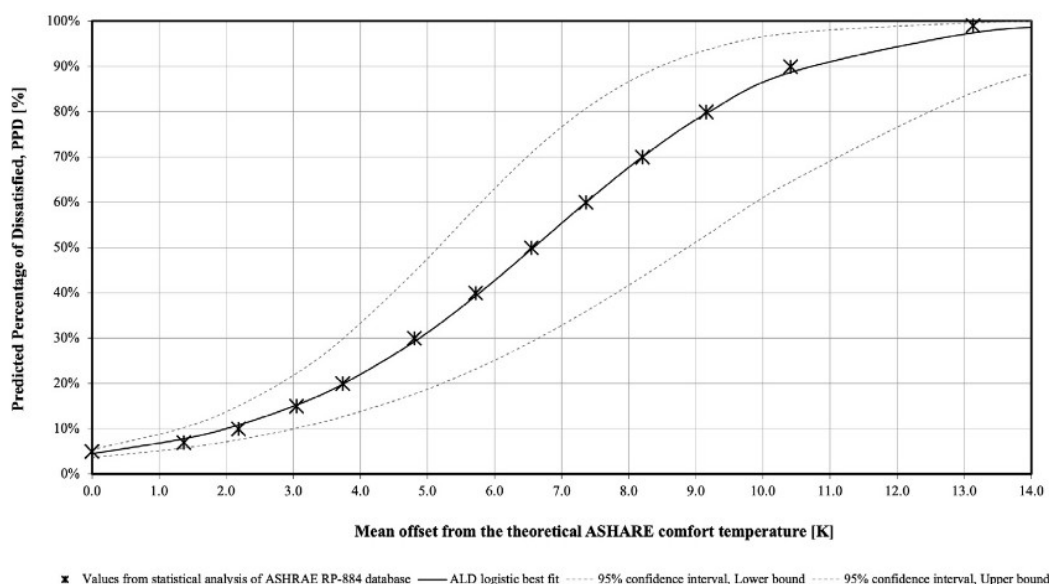
SET	Συναίσθημα
40	Πολύ ζεστά
35	Ζεστά (ελαφρά δυσαρέσκεια)
30	Λίγο ζεστά
25	Ουδέτερα (θερμική άνεση)
20	Ελαφρά δροσερά (ελαφρά δυσαρέσκεια)
15	Κρύο
10	Πολύ κρύο (δυσαρέσκεια)

### 3.3.6 Πιθανότητα δυσαρέσκειας ASHRAE (ALD)

Το προσαρμοστικό μοντέλο όμως αντιμετωπίζει κάποια προβλήματα με τις βάσεις δεδομένων. Για αυτό δημιουργήθηκε ένας νέος δείκτης για χρήση με το προσαρμοστικό μοντέλο θερμικής άνεσης της ASHRAE για να καλύψει ένα κενό στη βιβλιογραφία και το πρότυπο. Ονομάζεται Πιθανότητα δυσαρέσκειας ASHRAE (ALD) και λαμβάνεται από μια λογιστική παλινδρόμηση των δεδομένων πεδίου θερμικής άνεσης που περιέχονται στη βάση δεδομένων ASHRAE RP-884 της δεκαετίας του 1990. Η λογιστική παλινδρόμηση είναι μια τεχνική ανάλυσης δεδομένων που χρησιμοποιεί τα μαθηματικά και στατιστική ώστε να βρει τις σχέσεις μεταξύ δύο

παραγόντων δεδομένων. Στη συνέχεια, χρησιμοποιεί αυτή τη σχέση για να προβλέψει την τιμή ενός από τους παράγοντες αυτούς με βάση τον άλλο. Η πρόβλεψη έχει συνήθως έναν πεπερασμένο αριθμό αποτελεσμάτων, όπως ναι ή όχι. Συνολικά, τα μοντέλα θερμικής άνεσης έχουν σημαντικές επιπτώσεις στο σχεδιασμό κτιρίων, στην ενεργειακή απόδοση και στην υγεία και παραγωγικότητα των ενοίκων. Η κατανόηση των υποκείμενων αρχών αυτών των μοντέλων και των εφαρμογών τους μπορεί να δώσει πληροφορίες για αποφάσεις σχετικά με τις συνθήκες του εσωτερικού περιβάλλοντος, οδηγώντας σε βελτιωμένη άνεση και ευημερία για τους ενοίκους των κτιρίων (Salvatore Carlucci ,2021).

Μέσω της λογιστικής παλινδρόμησης στα ζεύγη δεδομένων που αποτελούνται από τις μέσες αποκλίσεις από τη βέλτιστη θερμοκρασία άνεσης εκφρασμένες σε βαθμούς Κελσίου και τις αντίστοιχες τιμές του Προβλεπόμενου Ποσοστού Δυσανεστημένων (PPD) προκύπτει ότι η λογαριθμική συνάρτηση παρεμβολής PPD (DT) είναι αυτό που ονομάζουμε Πιθανότητα δυσaréσκειας ASHRAE (ALD). Στο Γράφημα 3.8 συγκρίνονται οι μέσες παρατηρήσεις από τη βάση δεδομένων ASHRAE RP884 με την ALD και το διάστημα εμπιστοσύνης 95%.



Γράφημα 3.8 Προβλεπόμενο ποσοστό δυσανεστημένων (PPD) σε σχέση με τη μέση απόκλιση από τη θερμοκρασία άνεσης που προέκυψε από την επεξεργασία δεδομένων από τη βάση δεδομένων ASHRAE RP-884. Η λογαριθμική καμπύλη παρεμβολής είναι η προτεινόμενη πιθανότητα δυσaréσκειας ASHRAE (ALD). (Salvatore Carlucci ,2021)

Οι ψήφοι θερμικής αίσθησης που παράγονται από παρατηρήσεις που έχουν αποκτηθεί στη βάση δεδομένων ASHRAE RP-884 και υπολογίζονται κατά μέσο όρο σε θερμοκρασιακά πεδία και συμβολίζονται με ASH. Πρώτη διαδικασία είναι μια στατιστική ανάλυση της παγκόσμιας βάσης δεδομένων θερμικής άνεσης ASHRAE RP-884 , η οποία περιέχει τις απαντήσεις των ερωτηματολογίων για τη θερμική άνεση αλλά και μια διαδικασία ομαδοποίησης (binning). Ως εκ τούτου, ο κύριος στόχος της νέας μετρικής είναι να εκτιμηθεί η πιθανότητα δυσaréσκειας που αντιλαμβάνεται η πλειοψηφία των χρηστών εντός του χώρου. Η σχέση του Fanger μεταξύ PPD και PMV χρησιμοποιήθηκε για να συσχετίσει το προβλεπόμενο ποσοστό δυσανεστημένων με την ASH. Θεωρείται ότι η ψήφος θερμικής αίσθησης εξαρτάται γραμμικά από τη θερμοκρασία λειτουργίας. Η σχέση μεταξύ της εσωτερικής λειτουργικής θερμοκρασίας και της προσαρμοστικής PPD είναι συμμετρική γύρω από την ιδανική θερμοκρασία άνεσης (ουδετερότητα).



## 4 Αερισμός και Ποιότητα Αέρα

Βασικό στοιχείο για την ομαλή λειτουργία ενός κτιρίου είναι και ο αερισμός του, δηλαδή η συνεχής κυκλοφορία και ανανέωση του αέρα εντός του εσωτερικού χώρου. Ο σωστός σχεδιασμός, η εγκατάσταση και η συντήρηση των συστημάτων εξαερισμού είναι ζωτικής σημασίας για τη διασφάλιση της βέλτιστης ποιότητας του αέρα στους εσωτερικούς χώρους, της άνεσης των ενοίκων και της ενεργειακής απόδοσης. Τέτοια πρότυπα είναι:

- 1) ANSI/ASHRAE Standard 62.1 (ASHRAE, 2022a)
- 2) ANSI/ASHRAE Standard 170 (ASHRAE, 2021)
- 3) EN16798-2 (CEN, 2019)
- 4) ANSI/ASHRAE Standard 62.2–2022 (ASHRAE, 2022b)
- 5) WHO: World Health Organization, 2021.

Η ποιότητα του εσωτερικού αέρα αναφέρεται στην καθαρότητα και την κατάλληλη σύνθεση του αέρα μέσα σε κλειστούς χώρους, όπως σπίτια, γραφεία, καταστήματα και άλλα κτίρια. . Ο εσωτερικός αέρας μπορεί να περιλαμβάνει αέρα με μικροσωματίδια, όπως σκόνη, αλλεργιογόνα και παθογόνα, καθώς επίσης και αέρα με αέρια ρύπανσης. Ο κακός αερισμός μπορεί επίσης να οδηγήσει σε σχηματισμό μούχλας λόγω υγρασίας σε κλειστούς χώρους, καθώς και σε έλλειψη οξυγόνου. Για την αξιολόγηση της ποιότητας του εσωτερικού αέρα χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι μέτρησης, όπως η μέτρηση των επιπέδων διαφόρων ρύπων στον αέρα, η μέτρηση της υγρασίας και του επιπέδου διοξειδίου του άνθρακα, καθώς επίσης και η αξιολόγηση της κυκλοφορίας του αέρα μέσα στον χώρο. Με βάση αυτές τις μετρήσεις, μπορούν να προταθούν διάφορα μέτρα βελτίωσης της ποιότητας του εσωτερικού αέρα.

### 4.1 Αερισμός

Τα συστήματα ελεγχόμενων συνθηκών αερισμού χρησιμοποιούνται για τη διατήρηση σταθερών και ικανοποιητικών συνθηκών στους εσωτερικούς χώρους. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω του ελέγχου της θερμοκρασίας, της υγρασίας, της κυκλοφορίας του αέρα και των επιπέδων διαφόρων ρύπων στον αέρα. Η διατήρηση ελεγχόμενων συνθηκών αερισμού είναι σημαντική για διάφορους λόγους. Καταρχάς, η θερμοκρασία και η υγρασία του αέρα μπορούν να επηρεάσουν την άνεση και την παραγωγικότητα των ανθρώπων στους εσωτερικούς χώρους. Αν η θερμοκρασία είναι πολύ υψηλή ή πολύ χαμηλή, ή αν η υγρασία είναι πολύ υψηλή ή πολύ χαμηλή, αυτό μπορεί να οδηγήσει σε δυσφορία και απώλεια παραγωγικότητας. Επιπλέον μπορούν να βελτιώσουν την ενεργειακή απόδοση και την οικονομία για τη ψύξη και θέρμανση των εσωτερικών χώρων. Επίσης, τα συστήματα αυτά είναι σημαντικά σε χώρους όπου απαιτείται ελεγχόμενος καθαρισμός του αέρα, όπως σε χώρους με ευαίσθητο ιατρικό εξοπλισμό ή σε χώρους επεξεργασίας τροφίμων. Τέλος, τα συστήματα ελεγχόμενων συνθηκών αερισμού είναι σημαντικά για τη διατήρηση της ασφάλειας στους εσωτερικούς χώρους.

#### 4.1.1. Είδη Αερισμού

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι αερισμού που χρησιμοποιούνται ανάλογα Με τη χρήση του κτηρίου. Ορισμένες μέθοδοι αερισμού είναι:

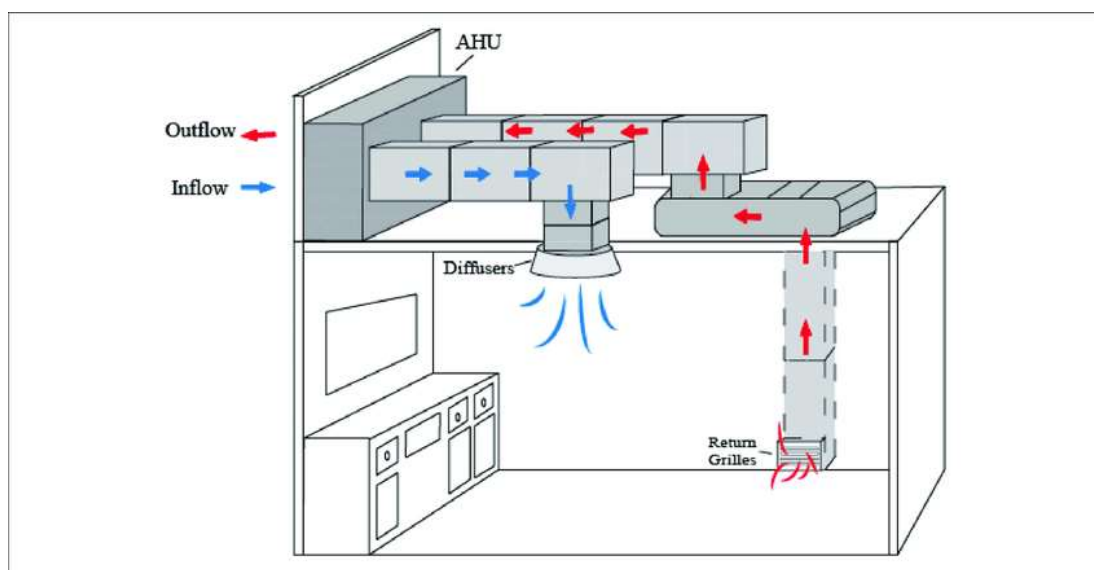
1. Φυσικός αερισμός: Στην περίπτωση αυτήν ο αέρας κυκλοφορεί μέσω των ανοιγμάτων του χώρου, όπως παράθυρα, πόρτες και αεραγωγούς. Αυτή η μέθοδος αερισμού είναι οικονομική. Αυτήν η μέθοδος χρησιμοποιεί τη διαφορά πίεσης ανάμεσα στον εσωτερικό και τον εξωτερικό αέρα για τη ροή αέρα σε εσωτερικούς χώρους.
2. Μηχανικός αερισμός: Ο μηχανικός αερισμός αναπτύχθηκε για να ελέγχει και να βελτιώσει την ποιότητα του αέρα σε έναν χώρο. Χρησιμοποιούνται μηχανικές συσκευές, όπως ανεμιστήρες και συστήματα κλιματισμού, για την κατευθυνόμενη ροή του αέρα σε επιλεγμένους χώρους. Συνήθως χρησιμοποιούνται σε εμπορικά κτίρια, σχολεία, νοσοκομεία και άλλα κτίρια μεγάλου όγκου.
3. Τα μικτά ή υβριδικά συστήματα είναι ο συνδυασμός φυσικού και μηχανικού αερισμού. και εφαρμόζεται ταυτόχρονα ή εναλλάξ, μιας και η φυσική ροή αέρα (φυσικός αερισμός) παρουσιάζει μεγάλη εξάρτηση από τις περιβαλλοντικές συνθήκες, συνεπώς δεν είναι πάντοτε εφικτή. Σε αυτές τις περιπτώσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα μηχανικά συστήματα για την κάλυψη των αναγκών (Minguillón et al., 2020).

Σύγχρονα συστήματα αερισμού: Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι αερισμού που χρησιμοποιούνται ανάλογα με τον τύπο του κτηρίου, τον όγκο του χώρου και τις απαιτήσεις της εφαρμογής. Ορισμένες από τις μεθόδους αερισμού που χρησιμοποιούνται είναι:

- a) Συστήματα με βάση τη θερμοκρασία: Αυτά ελέγχουν τη θερμοκρασία του αέρα σε ένα χώρο και ρυθμίζουν τη ροή του αέρα για να διατηρήσουν τη θερμοκρασία στα επιθυμητά επίπεδα. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κτίρια και οχήματα.
- b) Συστήματα με βάση την υγρασία: Αυτά ελέγχουν την υγρασία του αέρα σε ένα χώρο και ρυθμίζουν τη ροή του αέρα για να διατηρήσουν την υγρασία στα επιθυμητά επίπεδα. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε επαγγελματικούς χώρους, όπως στον χώρο παραγωγής τροφίμων.
- c) Συστήματα με βάση την πίεση: Αυτά τα συστήματα ελέγχουν την πίεση του αέρα σε ένα χώρο και ρυθμίζουν τη ροή του αέρα για να διατηρήσουν την πίεση σταθερή

#### 4.1.2 Ανακυκλοφορία αέρα

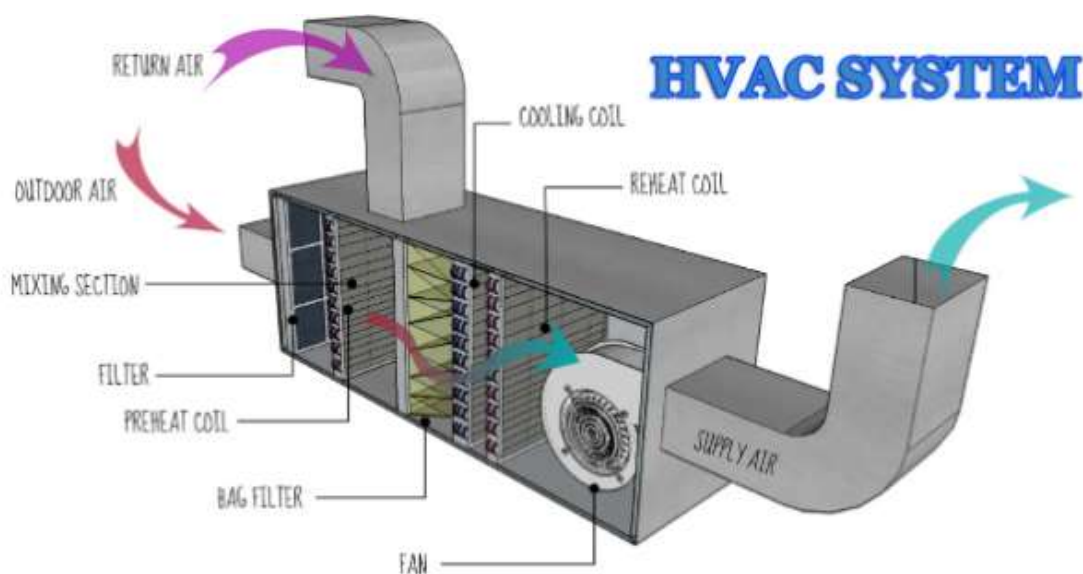
Σε ένα σύστημα HVAC (θέρμανσης, ψύξης, εξαερισμού και κλιματισμού), η διαδικασία επαναχρησιμοποίησης μέρους του κλιματιζόμενου αέρα που έχει ήδη κυκλοφορήσει μέσα σε έναν χώρο αναφέρεται ως ανακύκλωση αέρα. Το σύστημα κυκλοφορεί μέρος του εσωτερικού αέρα αντί να εισάγει φρέσκο αέρα, συνήθως αφού προηγουμένως έχει υποστεί κλιματισμό (ψύξη ή θέρμανση) και φιλτράρισμα. Για να διατηρηθεί η κατάλληλη θερμοκρασία, υγρασία και ποιότητα εσωτερικού αέρα στο χώρο, αυτός ο ανακυκλωμένος αέρας αφού έχει φιλτραριστεί με κατάλληλα φίλτρα συνδυάζεται με φρέσκο εξωτερικό αέρα ο οποίος και αυτός μπορεί να έχει περάσει από κατάλληλα φίλτρα καθαρισμού, η λειτουργία του οποίου φαίνεται στην Εικόνα 4.1. Στα συστήματα HVAC, η ανακυκλοφορία αέρα έχει διάφορες χρήσεις. Με την ελάφρυνση της επιβάρυνσης των συστημάτων ψύξης και θέρμανσης, συμβάλλει σε μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση, επειδή ο προκλιματισμένος αέρας χρησιμοποιεί λιγότερη ενέργεια για να αλλάξει τη θερμοκρασία του από τον πλήρη φρέσκο αέρα. Επίσης να σημειωθεί πως η υπερβολική ανακυκλοφορία αέρα χωρίς επαρκή εισαγωγή φρέσκου εξωτερικού αέρα μπορεί να μειώσει την ποιότητα του εσωτερικού αέρα, καθώς μπορεί να προκαλέσει τη συσσώρευση εσωτερικών ρύπων ή τη μείωση των επιπέδων οξυγόνου. Για να επιτευχθεί τόσο η ενεργειακή απόδοση όσο και η ποιότητα του εσωτερικού αέρα στα συστήματα HVAC, είναι απαραίτητη η σωστή ισορροπία μεταξύ της ανακυκλοφορίας αέρα και της παροχής εξωτερικού αέρα. Για τη διατήρηση μιας υγιούς και άνετης ατμόσφαιρας σε εσωτερικούς χώρους, οι κώδικες και οι κανονισμοί δόμησης συχνά καθορίζουν κανόνες και κριτήρια για την ελάχιστη ποσότητα εισόδου φρέσκου αέρα και τα υψηλότερα επιτρεπόμενα ποσοστά ανακυκλοφορίας αέρα (ANSI/ASHRAE 62.1, 2022a).



Εικόνα 4.1 Κυκλοφορία του αέρα μέσω συστημάτων HVAC ως μέσο για τον κατάλληλο αερισμό του χώρου. (Ali Ghahramani, 2020).

### 4.1.3 Πλήρης ανανέωση του αέρα

Ο όρος "πλήρης ανανέωση του αέρα", που συχνά αναφέρεται ως "σύστημα εξωτερικού αέρα 100%", είναι μια στρατηγική εξαερισμού στην οποία ολόκληρος ο όγκος του εσωτερικού αέρα ενός χώρου αντικαθίσταται πλήρως με καθαρό εξωτερικό αέρα. Ένα σύστημα πλήρους ανανέωσης αέρα εξασφαλίζει συνεχή ανταλλαγή αέρα εισάγοντας αποκλειστικά φρέσκο αέρα από το εξωτερικό και εξάγοντας ισοδύναμο όγκο εσωτερικού αέρα, σε αντίθεση με τα συνήθη συστήματα HVAC που κυκλοφορούν εσωτερικό αέρα. Ο κύριος στόχος της πλήρους ανανέωσης του αέρα είναι να διατηρηθεί η καλή ποιότητα του εσωτερικού αέρα, μειώνοντας την ποσότητα των ρύπων, των οσμών και της υγρασίας. Το σύστημα βοηθά στην αραίωση και την απομάκρυνση των αιωρούμενων σωματιδίων, των πτητικών οργανικών ενώσεων (VOC) και άλλων ρύπων που μπορεί να υπάρχουν σε εσωτερικούς χώρους, διοχετεύοντας συνεχώς φρέσκο εξωτερικό αέρα. Παρόλο που η πλήρης ανανέωση του αέρα μπορεί να εγγυηθεί εξαιρετική ποιότητα εσωτερικού αέρα, είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψη και τα ενεργειακά ζητήματα. Σε σύγκριση με τα συστήματα που κυκλοφορούν μέρος του εσωτερικού αέρα, μπορεί να απαιτείται περισσότερη ενέργεια για τη θέρμανση ή την ψύξη του χώρου, επειδή όλος ο αέρας που παρέχεται σε αυτόν δεν είναι κλιματιζόμενος (ANSI/ASHRAE 62.1, 2022a). Για καλύτερη κατανόηση, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.2 Όταν έχουμε πλήρη ανανέωση με εξωτερικό αέρα κλείνει η Περσίδα που επιστρέφει τον εσωτερικό αέρα και τον διοχετεύει στο περιβάλλον και έτσι έχουμε 100% αέρα από το περιβάλλον.



Εικόνα 4.2 Εικονογραφημένο Σύστημα HVAC (Abha Maurya, 2022).

## 4.2 Ποιότητα αέρα

Δεδομένου ότι το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου μας περνά σε εσωτερικούς χώρους, η ποιότητα του εσωτερικού αέρα δεν είναι μόνο σημαντική για την υγεία και την άνεσή μας, αλλά έχει επίσης μεγάλο αντίκτυπο στον τρόπο με τον οποίο αντιλαμβανόμαστε το εσωτερικό μας περιβάλλον. Η απόδοση του συστήματος εξαερισμού, οι συγκεντρώσεις ρύπων και οι θερμικές παράμετροι είναι μόνο μερικές από τις πτυχές που σχετίζονται στενά με την ποιότητα του αέρα. Καθώς περνάμε περισσότερο από το 90% της καθημερινότητάς μας μέσα σε κτίρια, η ποιότητα του εσωτερικού αέρα (IAQ), επηρεάζει άμεσα την υγεία και την αίσθηση άνεσης των χρηστών. Ο ρυθμός εξαερισμού, τα μοτίβα ροής αέρα και οι πηγές ρύπανσης είναι παράμετροι που σχετίζονται με την ποιότητα του εσωτερικού αέρα. Για την διασφάλιση της ποιότητας του εσωτερικού αέρα έχουν θεσπιστεί όρια τόσο από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας όσο και την ASHRAE για βασικές χημικές ενώσεις που εντοπίζονται εσωτερικά των κτιρίων όπως παρουσιάζονται ενδεικτικά στην Εικόνα 4.3 (Jingjing Pei ,2022).

Table 1. Summary of major pollutant threshold in IAQ guidelines.

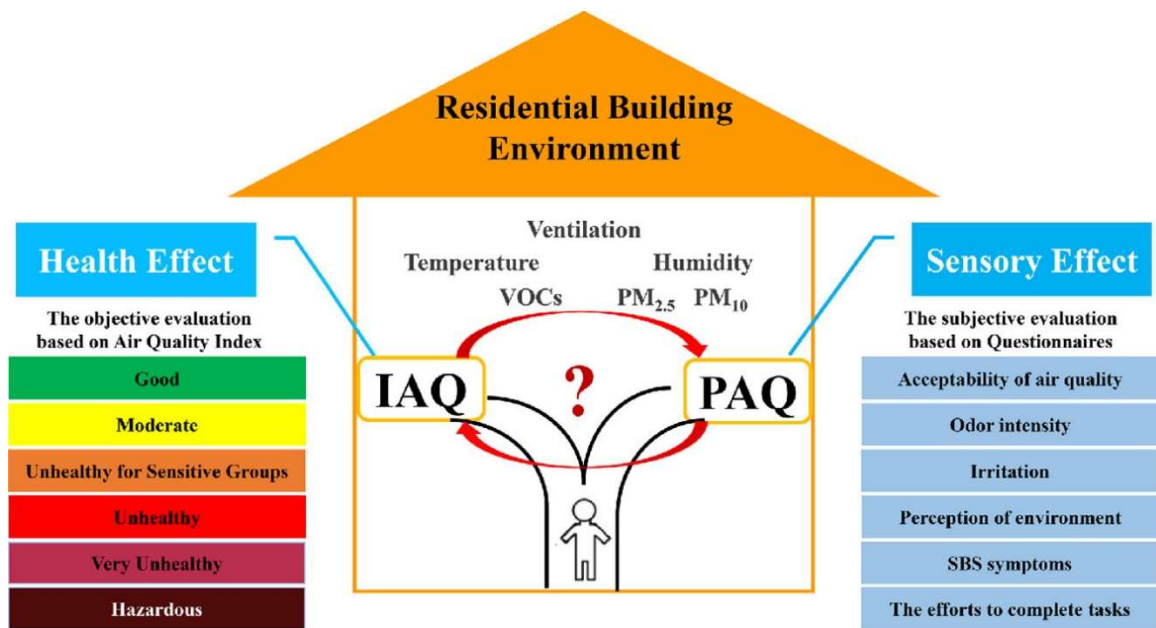
Catalogues	Pollutants	ASHRAE	WHO	
Inorganic compounds	Carbon monoxide (CO)	<sup>a</sup> 35ppm	<sup>b</sup> 10ppm	Notes: <sup>a</sup> Exposure averaging time is 1h. <sup>b</sup> exposure averaging time is 8h. <sup>c</sup> exposure averaging time is 24h.
	Nitrogen dioxide (NO <sub>2</sub> )	<sup>d</sup> 0.05ppm	<sup>a</sup> 0.1ppm	
	Sulfur dioxide (SO <sub>2</sub> )	<sup>c</sup> 0.14ppm	<sup>c</sup> 0.048ppm	
	Ozone (O <sub>3</sub> )	<sup>a</sup> 0.12ppm	<sup>b</sup> 0.12 mg/m <sup>3</sup>	
Organic compounds	Formaldehyde (HCHO)	<sup>e</sup> 2ppm	<sup>f</sup> 0.1 mg/m <sup>3</sup>	<sup>d</sup> exposure averaging time is 1 year. <sup>e</sup> exposure averaging time is 15 min. <sup>f</sup> exposure averaging time is 30 min. <sup>g</sup> exposure averaging time is 1 week.
	Benzene (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )	<sup>h</sup> 1.3 mg/m <sup>3</sup>	–	
	Toluene (C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> )	<sup>h</sup> 37 mg/m <sup>3</sup>	<sup>g</sup> 0.26 mg/m <sup>3</sup>	
	Trichloroethylene (C <sub>2</sub> HCl <sub>3</sub> )	<sup>h</sup> 68 mg/m <sup>3</sup>	4.3×10 <sup>-10</sup> mg/m <sup>3</sup>	
Particulate matters	PM <sub>2.5</sub>	<sup>c</sup> 0.035 mg/m <sup>3</sup>	<sup>c</sup> 0.015 mg/m <sup>3</sup>	<sup>h</sup> acute.
	PM <sub>10</sub>	<sup>c</sup> 0.15 mg/m <sup>3</sup>	<sup>c</sup> 0.045 mg/m <sup>3</sup>	
Other	Odor	<sup>i</sup> 80%	–	<sup>i</sup> acceptability of 80% or more.

Εικόνα 4.3: Κατάλογος ρύπων από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (ΠΟΥ).

Για τη βελτίωση του IAQ, η αξιολόγηση πρέπει να είναι ακριβής και σωστή. Οι κλασικές προσεγγίσεις για την αξιολόγηση της ποιότητας του εσωτερικού αέρα (IAQ) βασίζονται σε ακριβείς μετρήσεις των εσωτερικών παραγόντων. Αυτές οι τεχνικές αποτελούνται από:

1. Την αξιολόγηση της συγκέντρωσης. Η μέτρηση των συγκεντρώσεων ρύπων και η άμεση σύγκρισή τους, με τα επίπεδα που συναντιούνται σε πρότυπα όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, είναι ο πιο άμεσος τρόπος. Οι δύο βασικοί μέθοδοι για την δειγματοληψία του εσωτερικού αέρα και την εκτίμηση αυτού είναι η ενεργητική (active) και η παθητική (passive) δειγματοληψία. Για την επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου, λαμβάνονται υπόψιν παράγοντες όπως ο σκοπός της έρευνας, τα χαρακτηριστικά των προς συλλογή ουσιών, τους διαθέσιμους πόρους και φυσικά τις συνθήκες εφαρμογής. (Νικολέντζος,2022)
2. Αποτελεσματικότητα εξαερισμού. Οι συγκεντρώσεις ατμοσφαιρικών ρύπων εσωτερικού χώρου και ο εξαερισμός συνδέονται στενά. Ο ρυθμός αλλαγής αέρα, η ηλικία του αέρα και η απόδοση απόρριψης ρύπων είναι παραδείγματα δεικτών απόδοσης εξαερισμού που μπορεί να επηρεάσουν έμμεσα τη φρεσκάδα του αέρα. Αυτές οι παράμετροι μπορούν να αποκτηθούν χρησιμοποιώντας προσομοίωση ή πειραματικές τεχνικές (π.χ. υπολογιστική ρευστοδυναμική, CFD).
3. Αξιολόγηση της έκθεσης. Μετρώντας τους κινδύνους καρκινογένεσης (CR), οι οποίοι συνήθως βασίζονται στη δόση έκθεσης και στον καρκινογόνο συντελεστή κλίσης, η μέθοδος αυτή αξιολογεί τις επιπτώσεις της έκθεσης σε εσωτερικούς χώρους στην υγεία. Η ποσότητα έκθεσης (ανάλογα με τη συγκέντρωση ρύπων και τον χρόνο έκθεσης) και η συχνότητα επαφής συνδέονται με αυτήν (π.χ. αναπνευστικός ρυθμός).
4. Σύνθετος δείκτης IAQ (CAQI). Υπάρχουν μερικοί σύνθετοι δείκτες που ποσοτικοποιούν την ποιότητα του αέρα με βάση τις καθημερινές εκθέσεις για την ποιότητα του αέρα και τα συνοδευτικά πρότυπα, όπως ο δείκτης ποιότητας αέρα (AQI) της EPA. Οι πέντε κύριοι ατμοσφαιρικοί ρύποι που αποτελούν το AQI σε πραγματικό χρόνο (O<sub>3</sub>, PM, CO, SO<sub>2</sub> και NO<sub>2</sub>) χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του πόσο καθαρός ή μολυσμένος είναι ο αέρας, καθώς και τυχόν βραχυπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες συνέπειες για την υγεία. Η τιμή AQI κυμαίνεται από 0 έως 500, που αντιστοιχεί στους όρους "Καλό", "Μέτριο", "Ανθυγιεινό για ευαίσθητες ομάδες", "Ανθυγιεινό", "Πολύ ανθυγιεινό" και "Επικίνδυνο" αντίστοιχα. Για παράδειγμα, μια βαθμολογία AQI μεταξύ 0 και 50 υποδηλώνει καλή ποιότητα αέρα, ενώ μια τιμή μεταξύ 101 και 150 υποδηλώνει επιβλαβή ποιότητα αέρα. Ωστόσο, δεν έχει καθιερωθεί ένα ευρέως αναγνωρισμένο εσωτερικό AQI (Jingjing Pei ,2022).

Όλες οι προαναφερθείσες τεχνικές προσπαθούν να μειώσουν τους πραγματικούς ατμοσφαιρικούς ρύπους εσωτερικών χώρων λαμβάνοντας υπόψη τις αρνητικές επιπτώσεις τους στην υγεία. Όμως, μια υγιής ποιότητα εσωτερικού αέρα πρέπει επίσης να κάνει τους ανθρώπους να αισθάνονται άνετα και ευτυχισμένοι. Στην πραγματικότητα, υπάρχουν ήδη ορισμένες σχετικές κατευθυντήριες γραμμές σε σχέση με τον τρόπο με τον οποίο γίνεται αντιληπτή η ποιότητα του αέρα, ιδίως όσον αφορά την οσμή. (Jingjing Pei ,2022)



Εικόνα 4.4 Επίδραση στην υγεία και στις αισθήσεις των IAQ και PAQ στους ανθρώπους (Jingjing Pei, 2022)

Οι αντιλήψεις των ανθρώπων για την ποιότητα του αέρα αξιολογούνται συνήθως χρησιμοποιώντας υποκειμενικές μεθόδους. Το πλεονέκτημα της χρήσης μιας υποκειμενικής μεθόδου έναντι μιας αντικειμενικής είναι ότι οι άνθρωποι συχνά εντοπίζουν χαμηλότερα επίπεδα ρύπανσης. Ενώ τα χαμηλότερα όρια ανίχνευσης της πλειονότητας των συσκευών μέτρησης χημικών ενώσεων κυμαίνονται από  $10^{-9}$  έως  $10^{-6}$  g / m<sup>3</sup>, τα αισθητηριακά όρια των ανθρώπων είναι συνήθως κάτω από 1 ppb. Οι συγκεντρώσεις ρύπων σε μη βιομηχανικά κτίρια μπορεί να είναι ακόμη και κάτω από τα όρια ανίχνευσης, επομένως η υποκειμενική εκτίμηση μπορεί να είναι μια χρήσιμη προσθήκη σε αντικειμενικά μέτρα. Συνοψίζεται ο αντίκτυπος των βασικών παραμέτρων IAQ όπως η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία, ο εξαερισμός και τα VOCs στην αντιληπτή ποιότητα του αέρα των επιβατών. Σύμφωνα με το ISO 16000-44, το "PAQ" σημαίνει αντιληπτή ποιότητα αέρα από τους επιβάτες. Το ποσοστό των ανθρώπων που θεωρούν την ποιότητα του αέρα απαράδεκτη χρησιμεύει ως ποσοτικό μέτρο αυτού (ποσοστό δυσαρέσκειας). Το ποσοστό δυσαρέσκειας που είναι απαραίτητο για την καλή αντιληπτή ποιότητα του αέρα, ωστόσο, δεν έχει ανώτατο όριο. Ο ορισμός του "αποδεκτού IAQ" στο πρότυπο ASHRAE 62-1989R είναι ο αέρας σε έναν κατεχόμενο χώρο προς τον οποίο η σημαντική πλειοψηφία των επιβατών δεν εκφράζει δυσαρέσκεια και ο οποίος δεν είναι πιθανό να περιέχει μολυσματικούς παράγοντες σε συγκεντρώσεις που οδηγούν σε σημαντικό κίνδυνο για την υγεία. Ωστόσο, δεν περιγράφεται καμία ποσοτική απαίτηση. Επιπλέον, η ASHRAE δημιούργησε την ιδέα του "αποδεκτού αντιληπτού IAQ". Ορίζεται ως ο αέρας σε ένα χώρο με πληθυσμό εντός αυτού σε σχέση με το οποίο ένα μεγάλο ποσοστό των ενοίκων δεν εκφράζει καμία δυσαρέσκεια λόγω οσμής και αισθητηριακών ερεθιστικών. Τόσο οι υποκειμενικές (δυσαρέσκεια) όσο και οι αντικειμενικές (συγκέντρωση ρύπων) απαιτήσεις καλύπτονται από το πρώτο (αποδεκτό IAQ). Το τελευταίο (αποδεκτό αντιληπτό IAQ) αφορά περισσότερο την αίσθηση της οσμής των ανθρώπων. Ωστόσο, μπορεί να διαπιστωθεί ότι και οι δύο έννοιες περιγράφονται μόνο ποσοτικά, χωρίς ακριβή ποσοτική απαίτηση. Στην εικόνα 4.4 αναπαρίστανται συγκεντρωτικά οι επιδράσεις της ποιότητας εσωτερικού αέρα (Jingjing Pei, 2022).

### 4.3 Ανάγκη μέτρησης διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>)

Το CO<sub>2</sub> είναι ένα όξινο και άχρωμο αέριο με πυκνότητα 53% μεγαλύτερη από αυτή του ξηρού αέρα. Η τρέχουσα συγκέντρωση στο εξωτερικό περιβάλλον είναι περίπου 400 ppm. Το CO<sub>2</sub> δεν ταξινομείται ως ρύπος σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (ΠΟΥ), αλλά μπορεί να θεωρηθεί ως καλός δείκτης ποιότητας αέρα εσωτερικών χώρων, καθώς σχετίζεται άμεσα και με τον αερισμό (Stabile et al. 2017). Στους εσωτερικούς χώρους σχηματίζεται, κατά κύριο λόγο, εξαιτίας της μεταβολικής δραστηριότητας, ενώ η ποσότητα που παράγεται από τον άνθρωπο υπολογίζεται με βάση τα σωματικά χαρακτηριστικά του, όπως το ύψος και το βάρος, αλλά και από τις δραστηριότητες που εκτελεί (G. Panaras et al., 2018).

Αξιολογώντας τα επίπεδα CO<sub>2</sub> σε ένα κλιματιζόμενο δωμάτιο που ελέγχεται από ένα σύστημα HVAC, μπορεί να εξασφαλιστεί η καλή ποιότητα εσωτερικού αέρα, να βελτιωθεί η υγεία και η άνεση των ενοίκων, να μειωθεί η κατανάλωση ενέργειας, να συμμορφωθεί με τους κανονισμούς και να συμβάλει στην περιβαλλοντική βιωσιμότητα. Πιο συγκεκριμένα:

1) Η παρακολούθηση των επιπέδων CO<sub>2</sub> μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση της γενικής ποιότητας του εσωτερικού αέρα όπως αναφέρθηκε. Οι αυξημένες συγκεντρώσεις CO<sub>2</sub> μπορεί να είναι ένδειξη περιορισμένης παροχής φρέσκου αέρα ή κακού αερισμού, που μπορεί να οδηγήσει σε ένα αποπνικτικό ή δύσσομο περιβάλλον.

2) Υγεία και άνεση των ενοίκων: Τα υψηλά επίπεδα CO<sub>2</sub> μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά την υγεία και την άνεση των ενοίκων. Όταν οι συγκεντρώσεις CO<sub>2</sub> αυξάνονται, μπορεί να προκληθούν συμπτώματα όπως πονοκέφαλοι, κόπωση, ζάλη και κακή συγκέντρωση.

3) Ενεργειακή απόδοση: Η παρακολούθηση των επιπέδων CO<sub>2</sub> μπορεί επίσης να συμβάλει στην ενεργειακή απόδοση. Τα συστήματα HVAC συνήθως ρυθμίζουν την ποσότητα του εισαγόμενου φρέσκου αέρα με βάση τα επίπεδα CO<sub>2</sub>. Αξιολογώντας τα επίπεδα CO<sub>2</sub>, μπορείτε να βελτιστοποιήσετε τα ποσοστά εξαερισμού και να διασφαλίσετε ότι παρέχεται φρέσκος αέρας όταν χρειάζεται, αποφεύγοντας την υπερβολική κατανάλωση ενέργειας από το σύστημα HVAC.

4) Συμμόρφωση κτιρίων: Πολλοί κτιριακοί κώδικες και κανονισμοί απαιτούν περιοδική αξιολόγηση της ποιότητας του εσωτερικού αέρα, συμπεριλαμβανομένων των επιπέδων CO<sub>2</sub>.

5) Περιβαλλοντικές επιπτώσεις: Το CO<sub>2</sub> είναι αέριο του θερμοκηπίου που συμβάλλει στην κλιματική αλλαγή. Η παρακολούθηση και η διαχείριση των επιπέδων CO<sub>2</sub> σε ένα κλιματιζόμενο δωμάτιο μπορεί να συμβάλει στη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα με τη βελτιστοποίηση των συστημάτων εξαερισμού, την ελαχιστοποίηση της σπατάλης ενέργειας και την προώθηση ενεργειακά αποδοτικών πρακτικών.

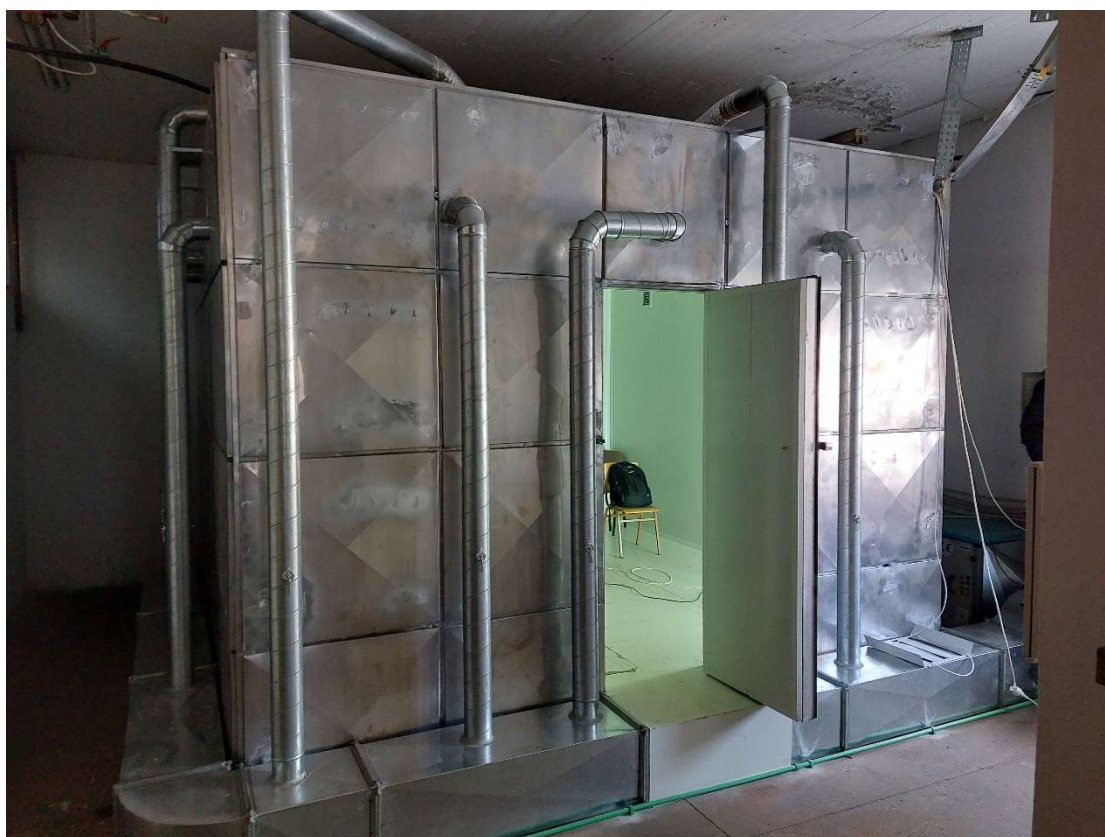
Επιπλέον, έχουν αυξηθεί οι ανησυχίες σχετικά με την ποιότητα του αέρα στο εσωτερικό των κτιρίων, καθώς οι παραδοσιακές στρατηγικές ελέγχου HVAC ενδέχεται να μη συμμορφώνονται με τις νέες απαιτήσεις εξαερισμού του προτύπου ASHRAE (2019). Για παράδειγμα, μια πρόσφατη μελέτη δείχνει ότι πολλά εκπαιδευτικά περιβάλλοντα στις ΗΠΑ μπορεί να μην έχουν επαρκή εξαερισμό για να αντιμετωπίσουν τα επίπεδα CO<sub>2</sub> όταν οι αίθουσες διδασκαλίας είναι γεμάτες μαθητές. Το επίπεδο συγκέντρωσης CO<sub>2</sub> πάνω από 1000 ppm θεωρείται υψηλό και συνδέεται με δυσφορία ή προβλήματα υγείας, όπως ναυτία, ζάλη, πονοκέφαλο και κόπωση (Saman Taheri, 2021). Παρόμοιες μελέτες έχουν γίνει και στον Ελλαδικό χώρο που υποδεικνύουν πως τα επίπεδα του CO<sub>2</sub> είναι πολύ αυξημένα σε χώρους με έντονο συνωστισμό και ανεπαρκή αερισμό όπως είναι αίθουσες διδασκαλίας σχολείων και πανεπιστημίων (Papadopoulos et al 2022; Papadopoulos et al 2020; Kalimeri et al 2019).



## 5 Περιγραφή εγκατάστασης θαλάμου και μετρητικού εξοπλισμού

### 5.1 Εισαγωγή

Ο θάλαμος βρίσκεται στις εγκαταστάσεις του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας στη περιοχή των Κοίλων Κοζάνης, εντός εργαστηριακού χώρου. Ο θάλαμος (Εικόνα 5.1) έχει τη δυνατότητα να ρυθμίζει τις συνθήκες μέσα στον χώρο ελέγχου, αναφερόμενοι στη θερμοκρασία, την υγρασία καθώς και την ταχύτητα του αέρα και το ποσοστό ανανέωσης του αέρα. Στο παρόν κεφάλαιο θα αναφερθούν όλα τα εξαρτήματα του θαλάμου, το τρισδιάστατο σχέδιο που δημιουργήθηκε στο πρόγραμμα Inventor, και όλα όργανα που βοήθησαν στη μέτρηση των απαραίτητων παραμέτρων.



Εικόνα 5.1 Φωτογραφία θαλάμου ελεγχόμενων συνθηκών

### 5.1 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά θαλάμου

Ο θάλαμος (chamber) ρύθμισης συνθηκών θερμικής άνεσης και ποιότητας αέρα αναφέρεται σε έναν χώρο με ελεγχόμενες συνθήκες, στον οποίο γίνεται ο έλεγχος του εσωκλίματος και της ποιότητας του αέρα, προκειμένου να διασφαλιστεί η θερμική άνεση και η ασφάλεια των ανθρώπων που εργάζονται σε αυτόν τον χώρο. Ο θάλαμος μπορεί να είναι μια αυτόνομη μονάδα ή μέρος ενός μεγαλύτερου συστήματος κλιματισμού. Ο σκοπός του θαλάμου είναι να προσομοιώνει συνθήκες σε ένα πιο ελεγχόμενο περιβάλλον, η ερευνά και παρατήρηση αποτελεσμάτων είτε για τη θερμοκρασία και τις υπόλοιπες παραμέτρους είτε για την θερμική άνεση ή δυσφορία του πληθυσμού. Οι συνθήκες ρυθμίζονται από συστήματα αυτομάτου ελέγχου που είναι συνδεδεμένο με την εγκατάσταση επιλέγοντας μέσω εντολών στον υπολογιστή την ταχύτητα των ανεμιστήρων αλλά και το άνοιγμα των περσίδων καθώς και τη θερμοκρασία στην αντλία θερμότητας. Εξωτερικά μπορεί να παρομοιαστεί σαν έναν τέλειο σιδερένιο κύβο με 20 οπές-spots αερισμού στις οποίες εφαρμόζουν εφαιπτομενικά οι αεραγωγοί και οι δέκα σχάρες εισάγουν αέρα στο θάλαμο ενώ οι άλλες δέκα παίρνουν τον υπάρχοντα

αέρα του θαλάμου και τον επιστρέφουν είτε με ανακυκλοφορία πίσω στο σύστημα HVAC είτε τον διοχετεύουν ολόκληρο στο εξωτερικό περιβάλλον (μπορούν να συμβούν και οι δυο περιπτώσεις ταυτόχρονα). Δυο κεντρικοί αεραγωγοί ένας για την εισαγωγή αέρα και ο άλλος στην εξαγωγή ,όπου η αρχή του πρώτου και το τέλος του δεύτερου συνδέονται στον κεντρικό HVAC σύστημα. Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει ανάλυση των διαστάσεων του θαλάμου και των αεραγωγών (Πίνακες 5.1-5.3) καθώς και θα παρουσιαστούν οι τρισδιάστατες όψεις που δημιουργήθηκαν στο πρόγραμμα Inventor καθώς θα γίνει και η παρουσίαση των συστημάτων και των εξαρτημάτων που βρίσκονται μέσα στο σύστημα εξαερισμού καθώς και τη παρουσίαση του πίνακα αυτομάτου ελέγχου και των μετασχηματιστών.



Εικόνα 5.2 και 5.3. Θάλαμος αερισμού

Πίνακας 5.1: Χαρακτηριστικά θαλάμου ελεγχόμενων συνθήκων

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΤΙΣΜΑΤΟΣ		SI
Ύψος	2.85	m
Μήκος	4.02	m
Πλάτος	4.02	m
Εμβαδόν	16.16	m <sup>2</sup>
Όγκος	46.06	m <sup>3</sup>
Πάχος Τοίχου	11	m
Σπάσιμο Τοίχου	2.5	m
Συνολικό Πάχος	13.5	m

Οι αεραγωγοί είναι σωλήνες ή κανάλια που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά αέρα από τη πηγή μέχρι στις σχάρες του θαλάμου και το αντίστροφο, όπως σε κάθε σύστημα κλιματισμού και αερισμού κτιρίων (Εικόνα 5.5). Οι αεραγωγοί συνήθως κατασκευάζονται από μεταλλικά φύλλα και μπορούν να έχουν διαφορετικά σχήματα, όπως ορθογώνιο, στρογγυλό ή ελλειπτικό. Παρακάτω παρουσιάζονται πίνακες με τα χαρακτηριστικά και τις αποστάσεις των Spots που βρίσκονται εντός του θαλάμου μεταξύ τους.



Εικόνα 5.4 και 5.5 Οπές εισόδου/εξόδου αέρα στο νότιο τείχος (Spots) και αεραγωγοί εισόδου δυτικού τείχους

Πίνακας 5.2: Χαρακτηριστικά σχαρών

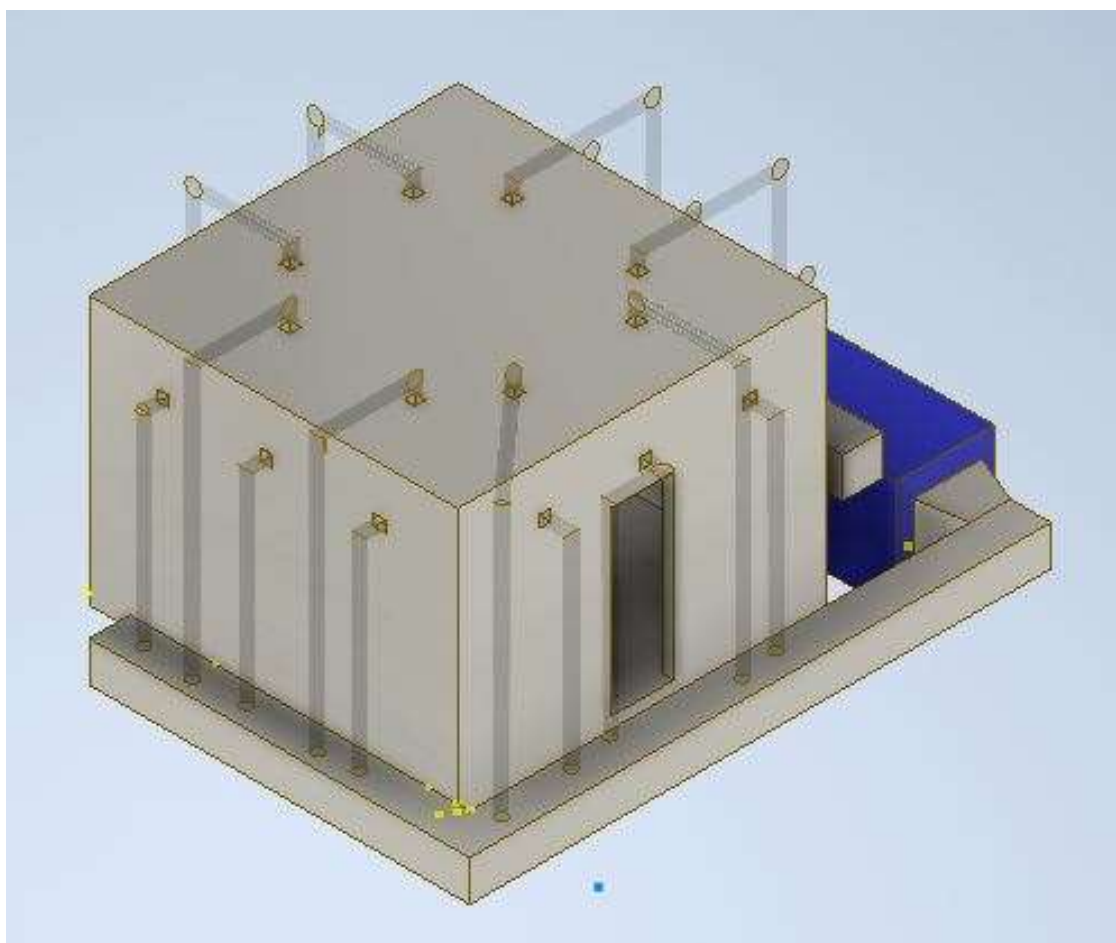
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΧΑΡΩΝ-SPOTS (m)		SI
Μήκος εξ.	0.195	m
Πλάτος εξ.	0.195	m
Εμβαδόν εξ.	0.0380	m <sup>2</sup>
Μήκος εσ.	0.135	m
Πλάτος εσ.	0.135	m
Εμβαδόν εσ.	0.0182	m <sup>2</sup>

Πίνακας 5.3: Αποστάσεις μεταξύ των σχαρών

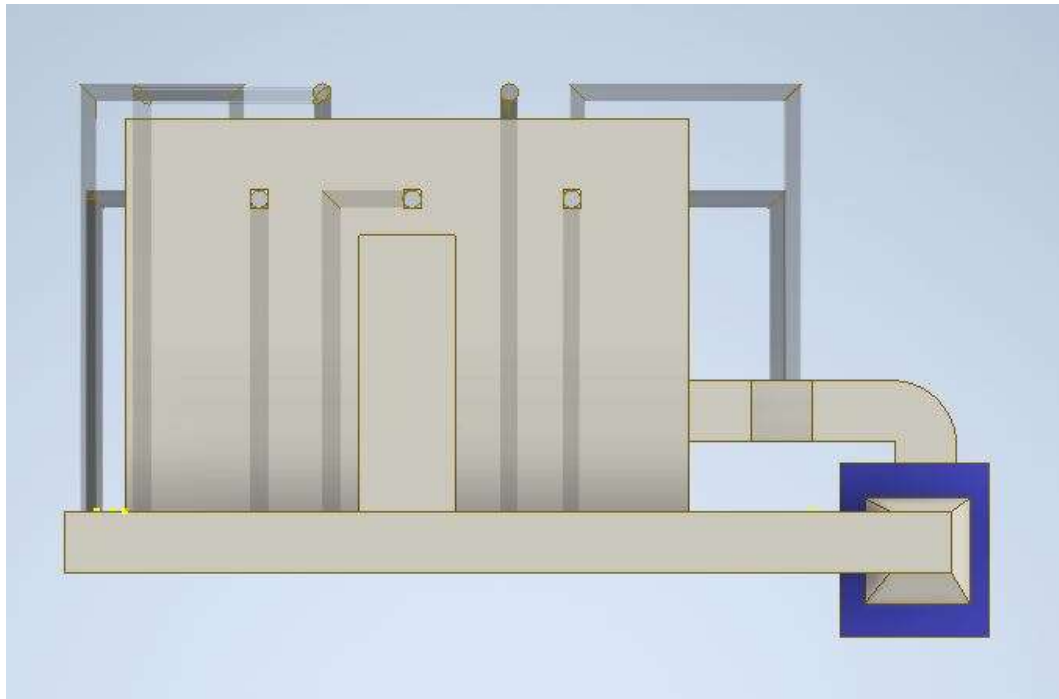
ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ SPOT			SI
ΓΙΑ ΒΟΡΕΙΟ ΤΟΙΧΟ			
Απόσταση τέλος 1ου με αριστερό τείχος	0.95		m
Απόσταση τέλος 2ου με αριστερό τείχος	2.215		m
Απόσταση αρχή 3ου με δεξιό τείχος	0.895		m
Τέλος 2ου αρχή 3ου	0.92		m
ΓΙΑ ΑΝΑΤΟΛΙΚΟ ΤΟΙΧΟ			
Απόσταση μέση 1ου με αριστερό τείχος	0.655		m
Απόσταση αρχή 2ου με αριστερό τείχος	1.8		m
Αρχή 2ου αρχή 3ου	1.24		m
Απόσταση αρχή 3ου με δεξιό τείχος	0.98		m

## 5.2 Παρουσίαση όψεων θαλάμου

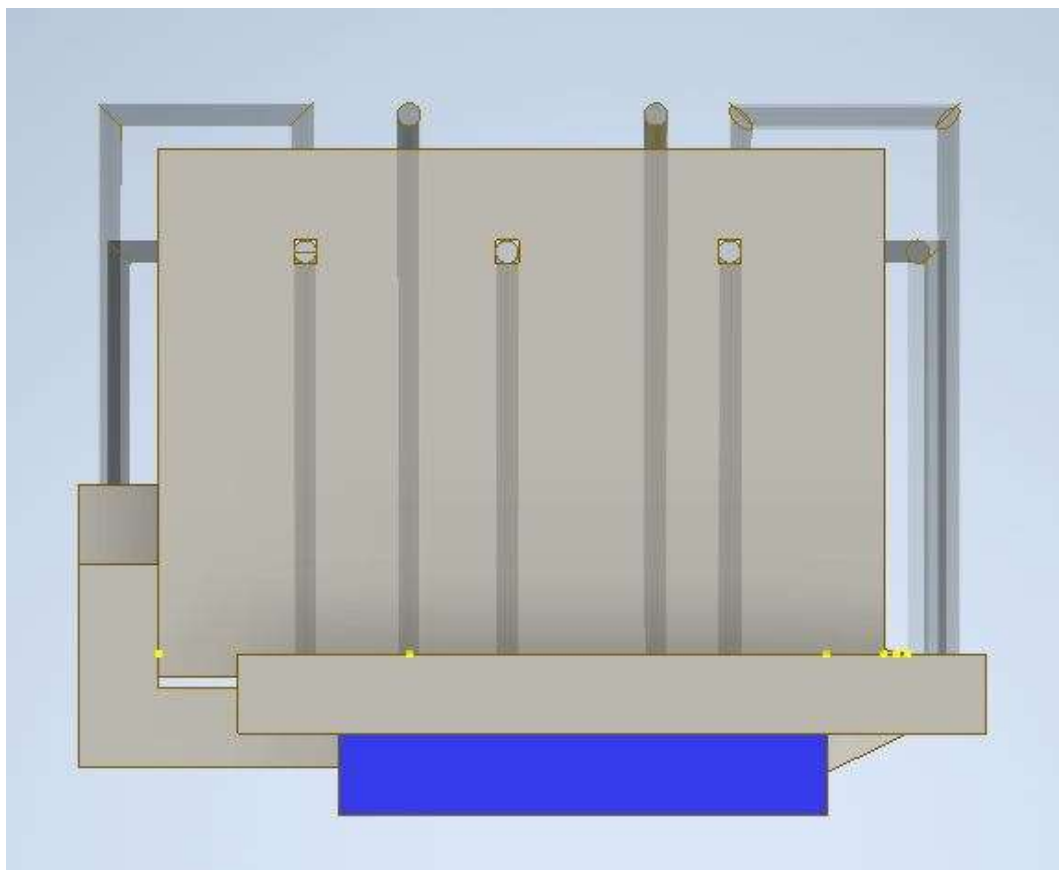
Εξαιτίας του γεγονότος ότι ο θάλαμος βρίσκεται μέσα σε εργαστήριο και περιβάλλεται από τοίχους σε πολύ κοντινή απόσταση με αυτόν, κατέστησε πολύ δύσκολη την δημιουργία αντιπροσωπευτικού φωτογραφικού υλικού για την αποτύπωση των διαστάσεων και των εξαρτημάτων του. Για τη βέλτιστη κατανόηση της γεωμετρίας του θαλάμου αλλά και των τμημάτων από τα οποία αποτελείται σχεδιάστηκε εξ ολοκλήρου από την αρχή ένα 3D μοντέλο στο πρόγραμμα του Inventor της Autodesk. Θα παρουσιαστούν παρακάτω οι εικόνες για κάθε όψη του θαλάμου (πρόσωση, κάτοψη, άνοψη, πίσω όψη, πλαγιά αριστερή και πλαγιά δεξιά, κ.α.). Στις Εικόνες 5.6 – 5.12 παρουσιάζονται μια πλάγια διαγώνια όψη (υπό γωνία 45°), η πρόσωση, αριστερή πλάγια όψη, η πίσω όψη, η δεξιά πλάγια όψη, η κάτοψη, και η άνοψη.



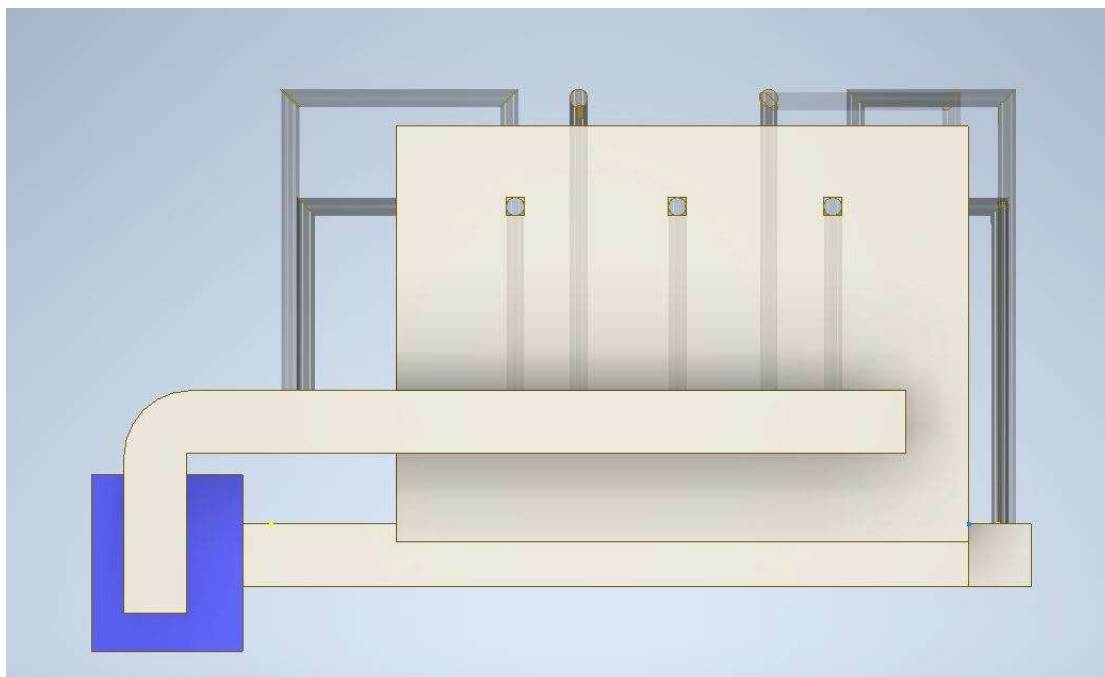
Εικόνα 5.6 Σχέδιο θαλάμου ελεγχόμενων συνθηκών στο πρόγραμμα Inventor



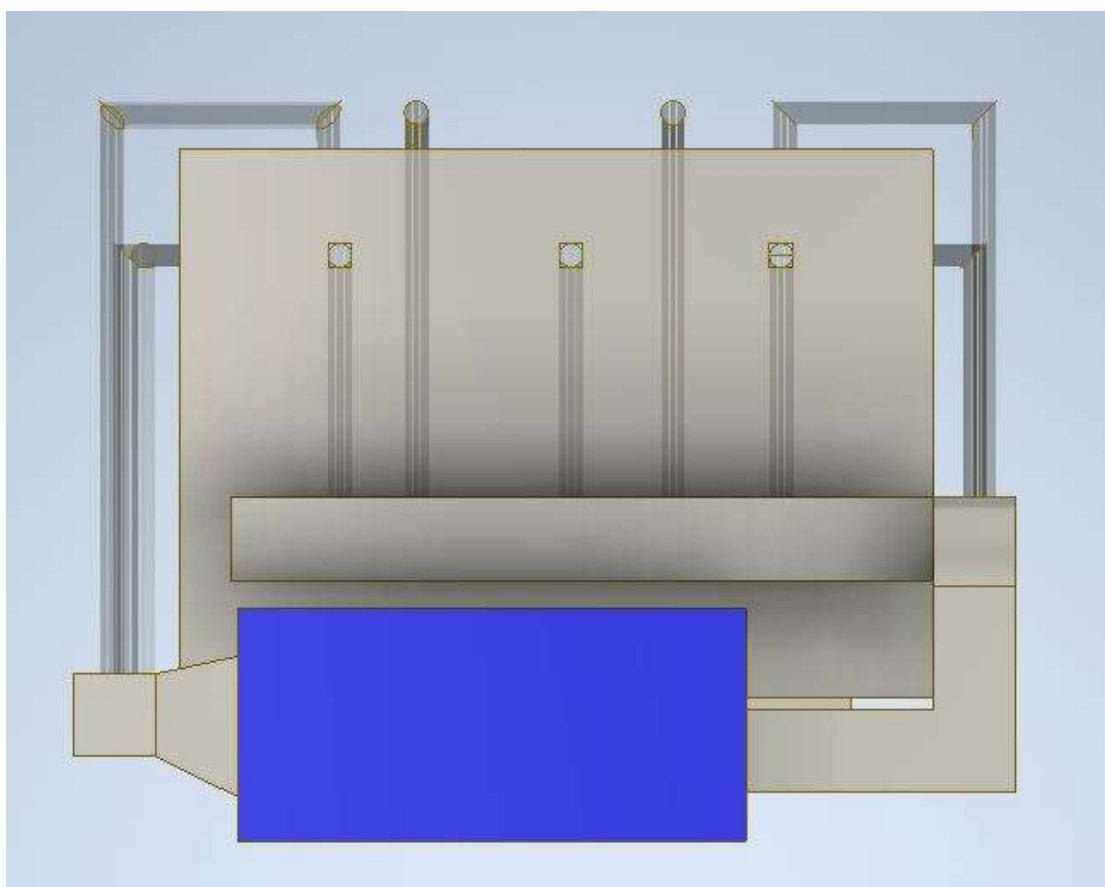
Εικόνα 5.7: Πρόσοψη Θαλάμου



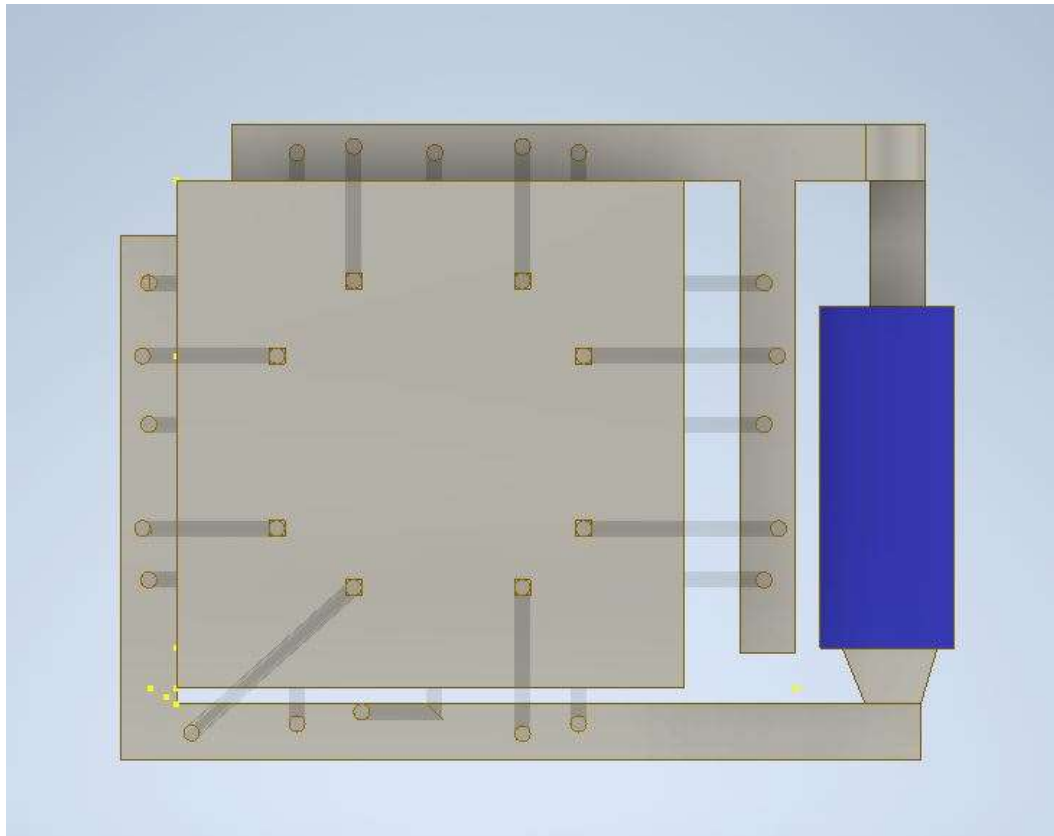
Εικόνα 5.8: Αριστερή Πλάγια όψη Θαλάμου



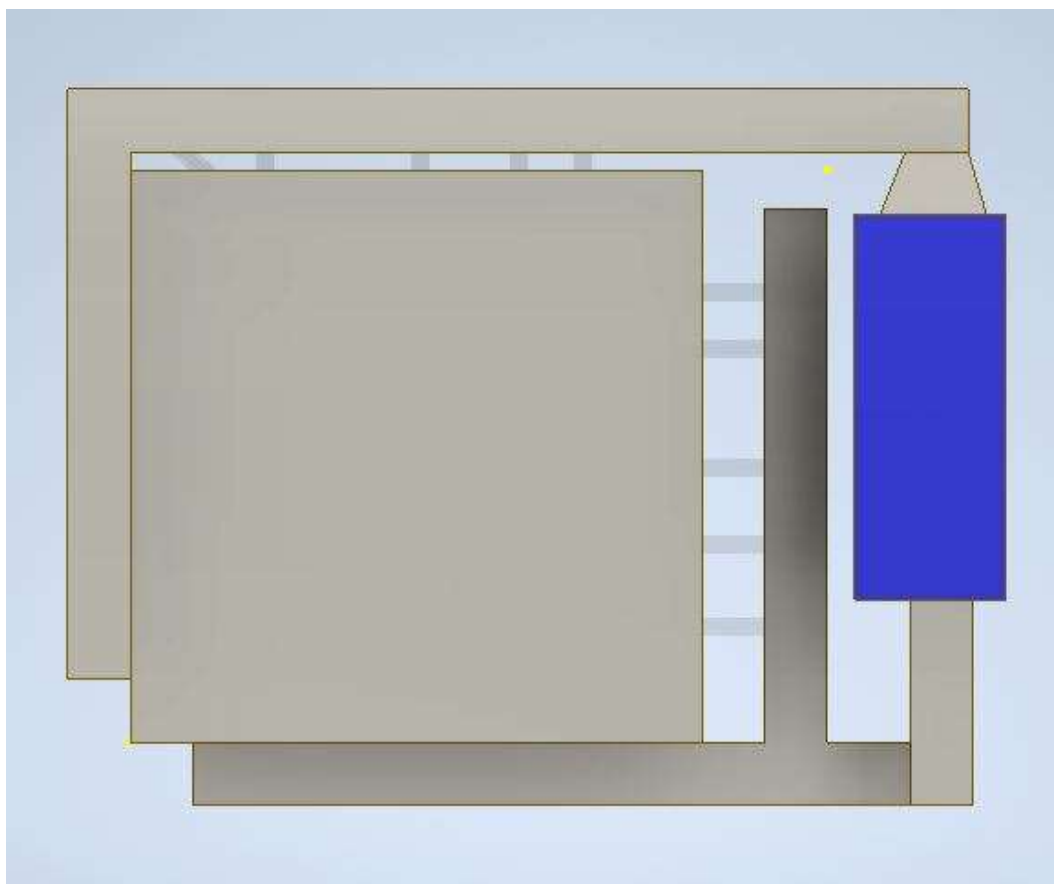
Εικόνα 5.9: Πίσω όψη Θαλάμου



Εικόνα 5.10: Δεξιά Πλάγια όψη Θαλάμου

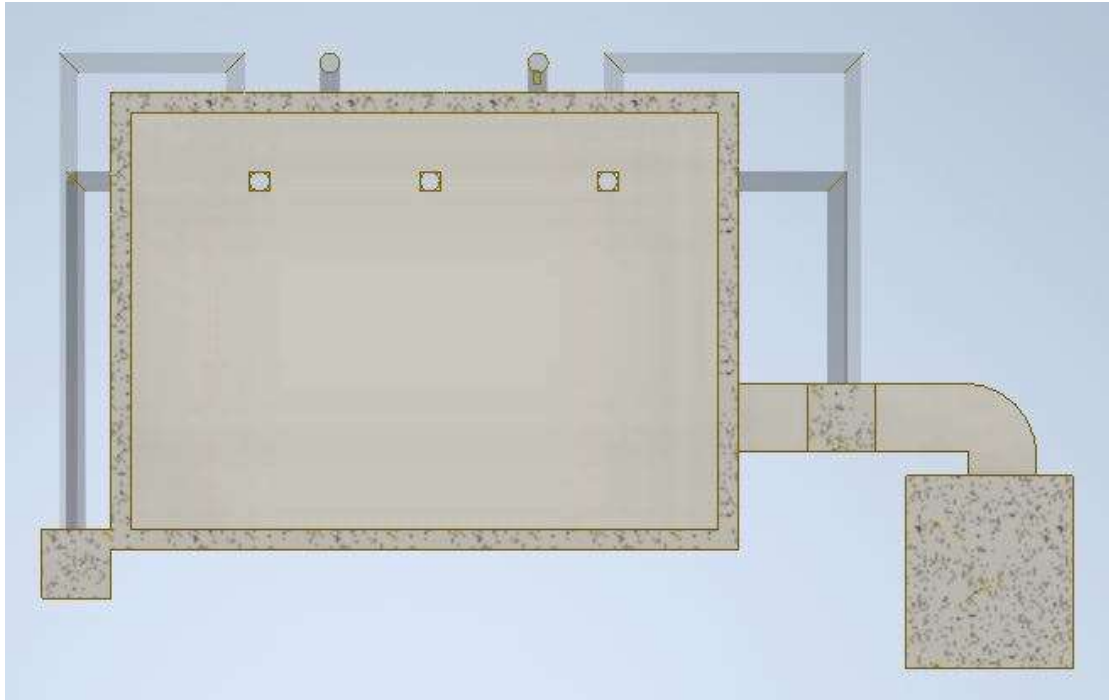


Εικόνα 5.11: Κάτοψη Θαλάμου

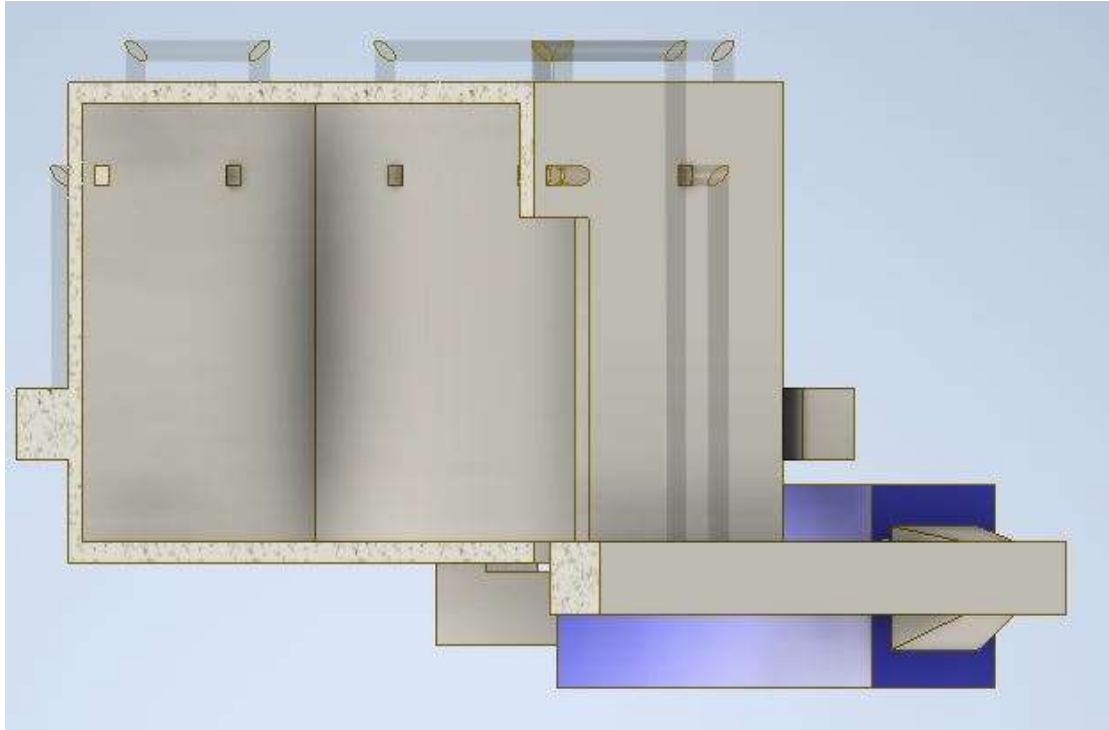


Εικόνα 5.12: Άνοψη θαλάμου

Στις Εικονες 5.8 – 5.10 παρουσιάζονται η πρόσοψη ,η διαγώνια αριστερή όψη και η άνοψη του θαλάμου με τη χρήση της εντολής half section view.

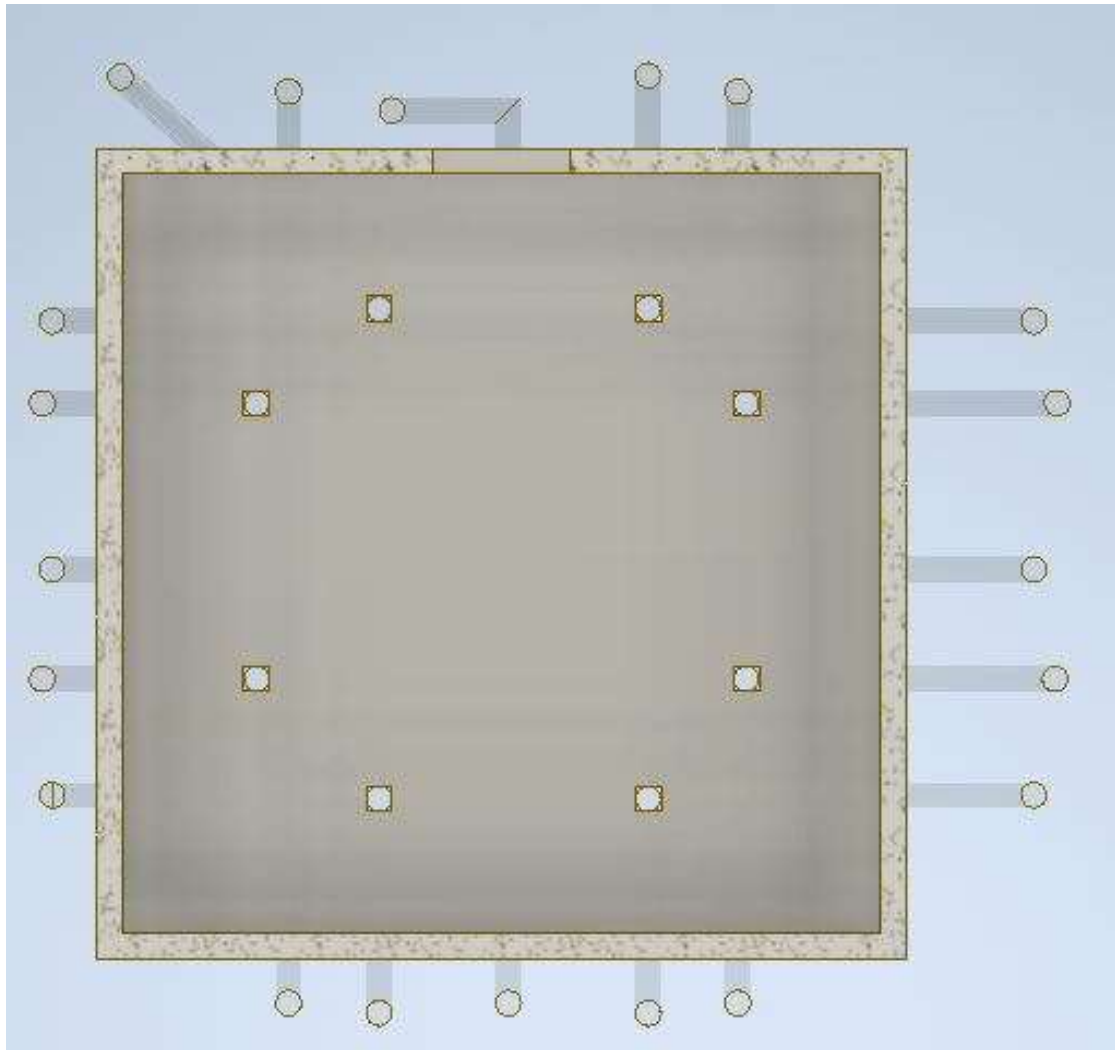


Εικόνα 5.13 – Πρόσοψη με half section view



Εικόνα 5.14 – Διαγώνια αριστερή όψη με half section view

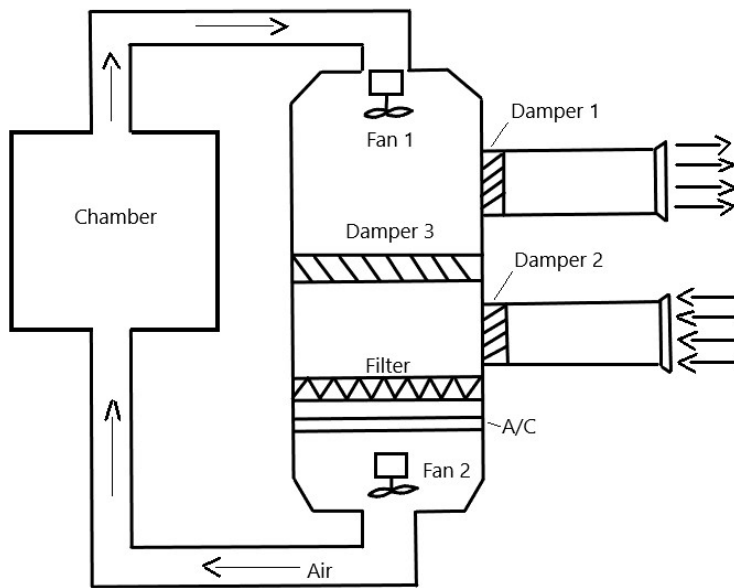




Εικόνα 5.15– Άνοψη half section view

### 5.3 Χαρακτηριστικά του συστήματος κλιματισμού

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλυθούν τα χαρακτηριστικά ,οι διαστάσεις και οι λειτουργίες όλων των μερών από τα όποια αποτελείται το σύστημα κλιματισμού. Συγκεκριμένα θα αναλυθεί το κεντρικό σύστημα στο σύνολο του, τα Dampers ,το Φίλτρο Αέρα, ο Ρότορας των ανεμιστήρων, ο Υγραντήρας και η Αντλία Θερμότητας. Στην Εικόνα 5.16 απεικονίζεται το σχεδιάγραμμα του θαλάμου , των συστημάτων που απαρτίζουν το HVAC και της κατεύθυνσης του αέρα.



Εικόνα 5.16 Σχέδιο βασικών συστημάτων του θαλάμου

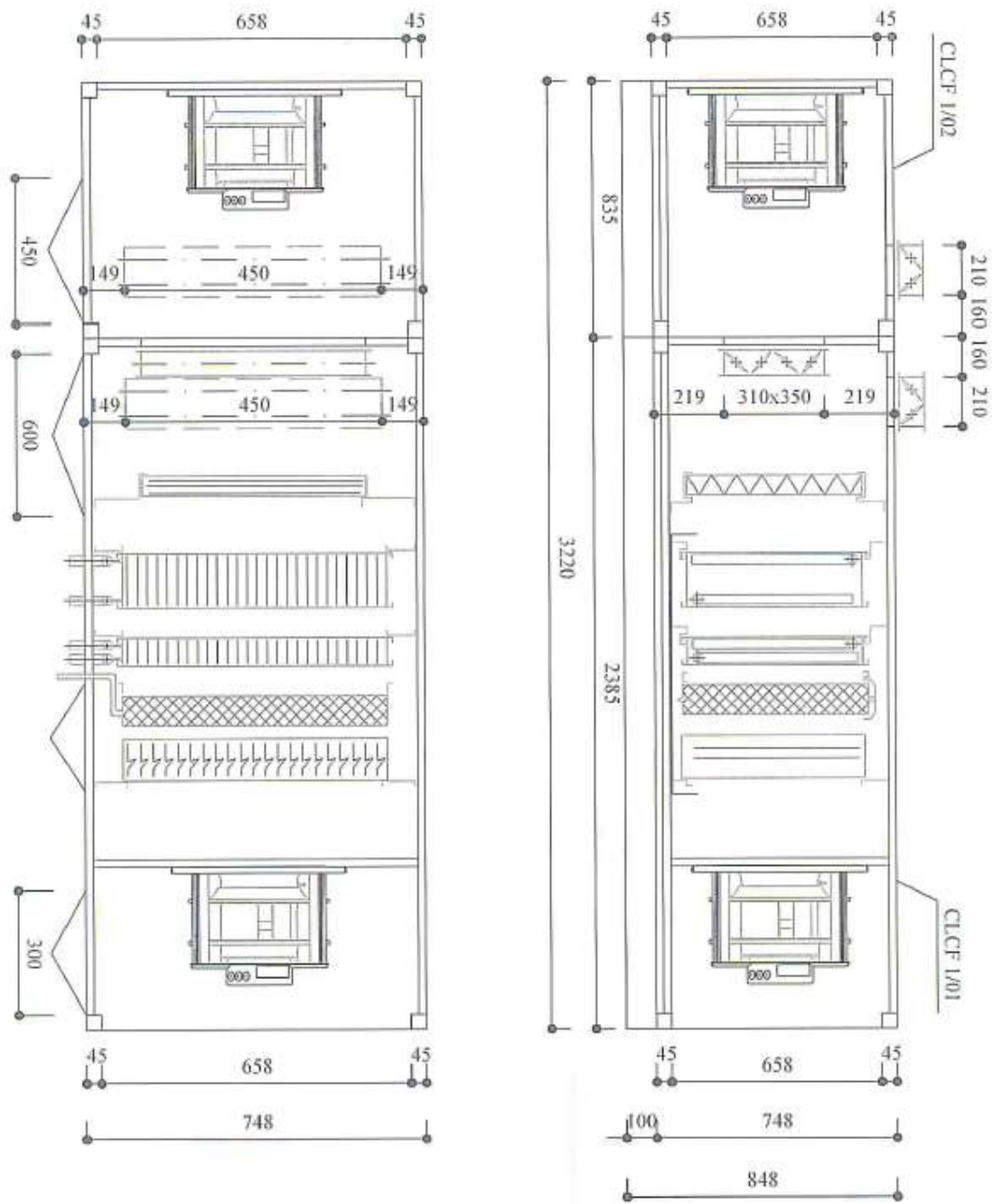
### 5.3.1 Σύστημα HVAC



Το σύστημα που εξυπηρετεί τον θάλαμο είναι το CCTA 1/01–1/02 (Εικόνες 5.17 και 5.18) και αποτελείται από 2 μέρη όπου το πρώτο μέρος αρχίζει από την εισαγωγή του χρησιμοποιημένου αέρα από τον θάλαμο και τελειώνει στο ύψος του Damper 3 με διαστάσεις 748 x 835 x 848mm ενώ το δεύτερο αρχίζει από εκεί που τελειώνει το πρώτο μέχρι την εξαγωγή του αέρα προς τους αεραγωγούς με διαστάσεις 748 x 1550 x 848mm . Η συνολική κατασκευή είναι εξωτερικά κατασκευασμένη από γαλβανισμένο ατσάλι με διαστάσεις (πλάτος, μήκος, ύψος) 748 x 2385 x 848mm και βάρος 383 kg. Ο αέρας εισάγεται από το Damper 2 μέσα στο σύστημα φιλτράρεται, θερμαίνεται ή ψύχεται, αν χρειαστεί υγραίνεται και διοχετεύεται στους αεραγωγούς που θα τον εισάγουν στον θάλαμο. Υστερά ο αέρας που εξαγεται από το θάλαμο επιστρέφει στο κεντρικό σύστημα και είτε αποβάλλεται εξ ολοκλήρου στο εξωτερικού περιβάλλον είτε ανακυκλώνεται και επιστρέφει ξανά στο σύστημα είτε συνδυασμός αυτών των δυο.



Εικόνα 5.17 και 5.18 Σύστημα HVAC

Παρουσιάζεται το μηχανολογικό σχέδιο του συστήματος CCTA 1/01-1/02 της εταιρίας TRANE:



 TRANE Part 3.1.1.20 22-02-2021	JOB: TRANE OFFER REF.: AHU SUPPLY v2 - RETURN v2	
	<h2>CCTA 1/01 - 1/02</h2>	
 DO NOT SCALE	DRAWING N.: 21PR048	SERIAL N.: 21PR048
	DRAWN N.: SEM	DATE: 18-06-2021

Εικόνα 5.19 Μηχανολογικό Σχέδιο του CCTA 1/01 – 1/02

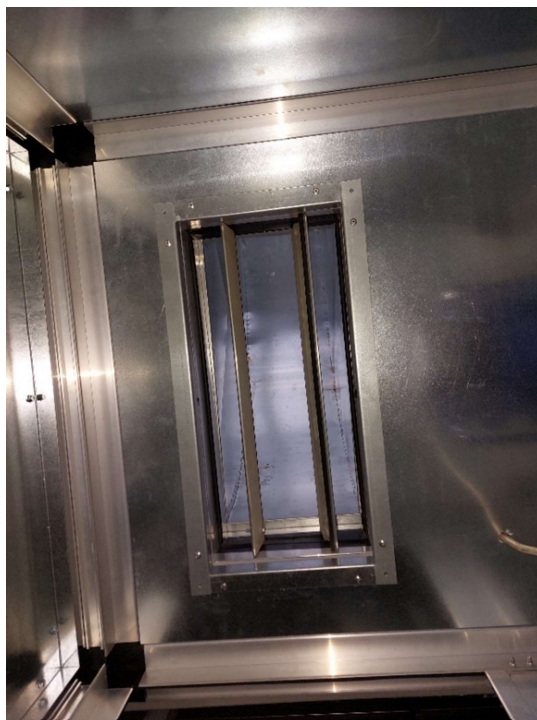
### 5.3.2 Περσίδες – Dampers

Στο θάλαμο μελέτης εντοπίζουμε τρεις περσίδες :

-Damper 1: ή αλλιώς Outlet Air Damper για εξαγωγή αέρα από τον θάλαμο στο περιβάλλον με διαστάσεις 210 x 450mm και με παροχή (airflow) 1500m<sup>3</sup>/h (Εικόνα 5.21)

-Damper 2: ή αλλιώς Fresh Air Damper για εισαγωγή αέρα στο θάλαμο από το περιβάλλον με διαστάσεις 210 x 450mm και με παροχή (airflow) 1500m<sup>3</sup>/h

-Damper 3: Περσίδα ανακυκλοφορίας ή αλλιώς Return Damper με διαστάσεις 310 x 350mm, με παροχή (airflow) 1500m<sup>3</sup>/h και με συντελεστή ανακυκλοφορίας 85% (Εικόνα 5.20)



Εικόνες 5.20 και 5.21 Damper 3 και Damper 1 αντίστοιχα

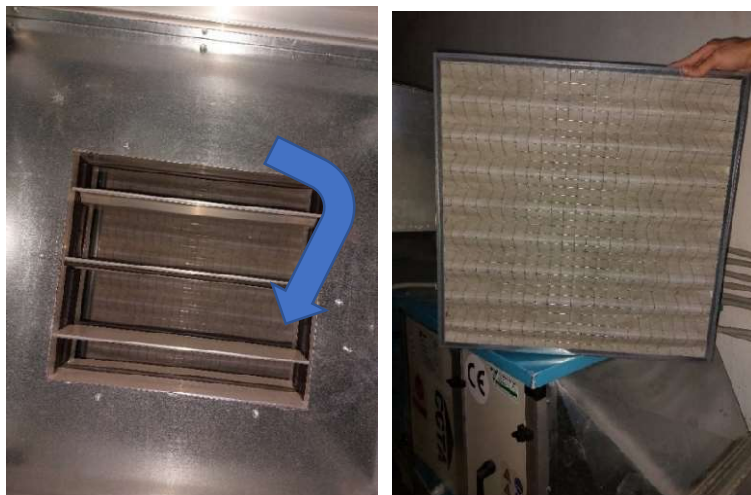
Επίσης οι Περσίδες έχουν την ιδιότητα να κλείνουν και να ανοίγουν σε τέτοια γωνία ώστε να καθοριστεί συγκεκριμένη παροχή αέρα και μέσω του ειδικού Ρυθμιστή (Εικόνα 5.22) να μπορούν να εναλλάσσονται αναμεσα σε διαφορετικά επίπεδα παροχής αέρα.



Εικόνα 5.22 Ρυθμιστής για περσίδες (dampers) αέρα

### 5.3.3 Φίλτρο Αέρα

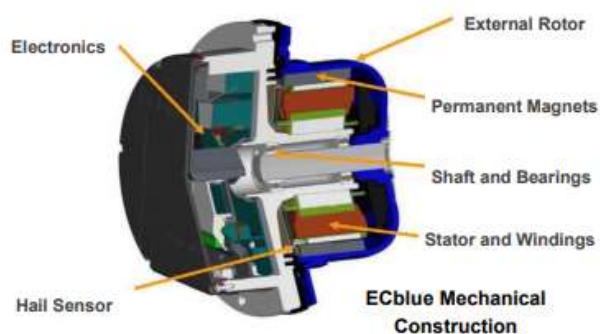
Το φίλτρο αέρα του συστήματος ακολουθεί ακριβώς μετά το damper 3 όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.23 και 5.24 είναι φίλτρο κατηγορίας G4 σύμφωνα με το πρότυπο ISO 16890 (2016) , αποτελείται από συνθετική ίνα (fiber) με διαστάσεις 592x592x48 mm με διακόπτη πίεσης και παρέχει 90% απορροφητική αποδοτικότητα. το φίλτρο έχει σχεδιαστεί για να φιλτράρει την γύρη και τα χοντρά σωματίδια σκόνης. Αιχμαλωτίζει επίσης φύλλα, έντομα, υφάσματα ,άμμο και τρίχες.



Εικόνα 5.23 και 5.24 Φίλτρο αέρα

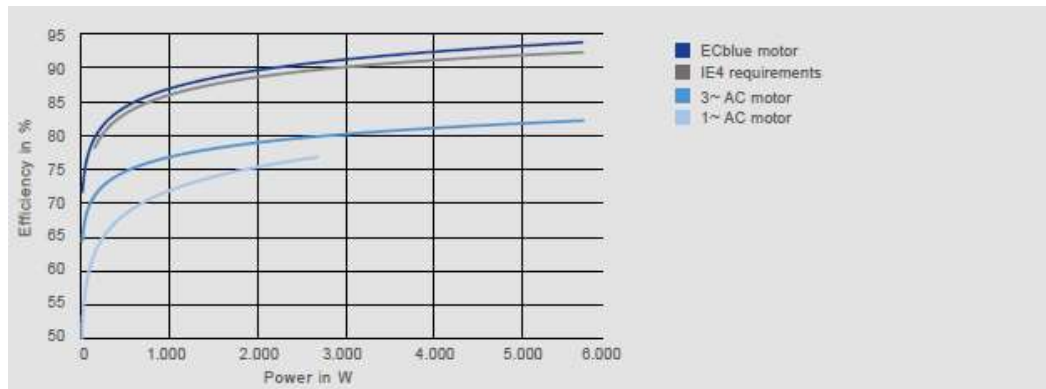
### 5.3.4 Ρότορας ανεμιστήρων (Fans)

Το ECblue είναι η τρίτη γενιά κινητήρων EC της ZIEHL-ABEGG (Εικόνα 5.25). Αυτή η τελευταία τεχνολογία EC θέτει νέα πρότυπα για τον έλεγχο, την αποδοτικότητα και την αξιοπιστία. Αυτοί οι κινητήρες EC είναι κινητήρες συνεχούς ρεύματος εξωτερικού δρομέα που είναι εφοδιασμένοι με μόνιμους μαγνήτες. Οι κινητήρες με ηλεκτρονική μεταγωγή (EC) είναι εξαιρετικά αποδοτικοί, προγραμματιζόμενοι, κινητήρες συνεχούς ρεύματος χωρίς ψήκτρες που χρησιμοποιούν ρότορα μόνιμου μαγνήτη και ενσωματωμένο μετατροπέα. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα είναι ότι είναι εξαιρετικά αποδοτικοί, ιδίως σε μειωμένες ταχύτητες σε σύγκριση με τους παραδοσιακούς κινητήρες. Επίσης, διαθέτουν ενσωματωμένο ρυθμιστή ταχύτητας. Ο συγκεκριμένος ρότορας 0,5 kW φτάνει τα 3170rpm με παροχή ρεύματος 230V. Στην Εικόνα 5.26 παρουσιάζεται η τομή του εσωτερικού μέρους του ρότορα

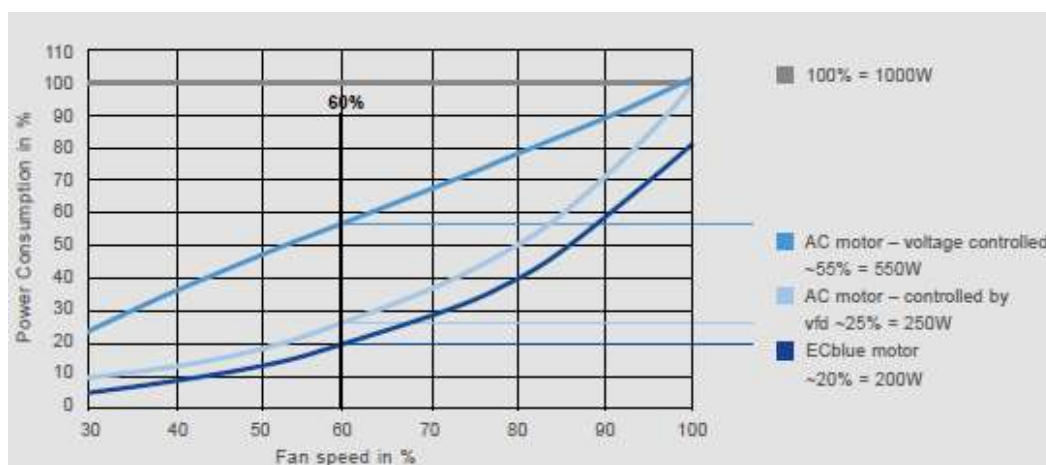


Εικόνα 5.25 και 5.26 Ρότορας των ανεμιστήρων και αναπαράσταση των εσωτερικών εξαρτημάτων

Στα Γραφήματα 5.1 και 5.2 παρουσιάζονται οι καμπύλες λειτουργίας των ανεμιστήρων:



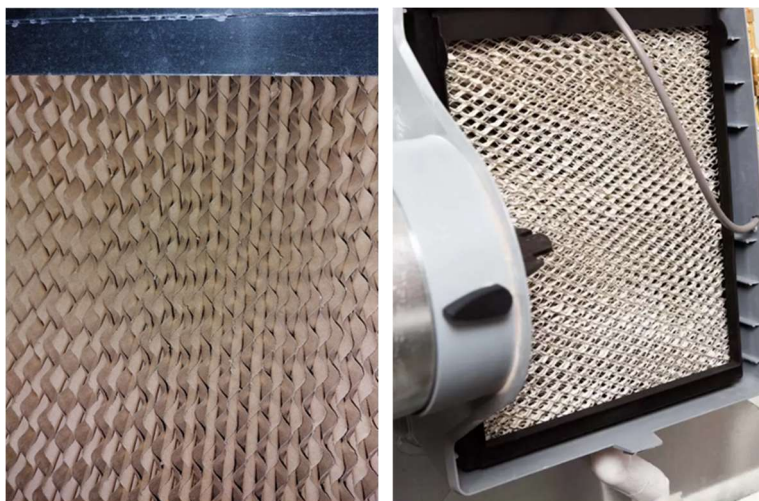
Γράφημα 5.1 Γραφική αναπαράσταση Ισχύος- Αποδοτικότητας



Γράφημα 5.2 Γραφική ποσοστιαία αναπαράσταση Ταχύτητας ανεμιστήρα – Κατανάλωσης ενέργειας

### 5.3.5 Υγραντήρας

Το σύστημα διαθέτει υγραντήρα κηρήθρας-κυτταρίνης (Εικόνα 5.27) με διατομή σχισμών 100mm και 50% διαμπερής (δηλαδή από το 100% της επιφάνειας του υγραντήρα συνολικά το 50% είναι κενό). Όταν είναι επιθυμητό να αυξηθεί η υγρασία στον χώρο ο συγκεκριμένος υγραντήρας δεν χρειάζεται να είναι σε λειτουργία πάνω από ένα λεπτό για να γίνει η αλλαγή αισθητή.



Εικόνα 5.27 και 5.28 Υγραντήρας κηρήθρας-κυτταρίνης

### 5.3.6 Εναλλάκτης θερμότητας AC

Ο εναλλάκτης θερμότητας (Εικόνες 5.29 και 5.30) είναι ένα κρίσιμο εξάρτημα των συστημάτων HVAC που διαδραματίζει ζωτικό ρόλο στη μεταφορά θερμότητας μεταξύ δύο ροών ρευστών και ο συγκεκριμένος εναλλάκτης είναι Νερού - Αέρα. Επιτρέπει την αποτελεσματική θέρμανση ή ψύξη του αέρα, ενώ παράλληλα εγγυάται την ενεργειακή απόδοση και τη διατήρηση των επιπέδων άνεσης στο εσωτερικό μιας εγκατάστασης. Επιτρέπει τη μεταφορά θερμικής ενέργειας από το ρεύμα θερμού ρευστού στο ρεύμα ψυχρού ρευστού ή αντίστροφα, ανάλογα με το αν το σύστημα HVAC χρησιμοποιείται για θέρμανση ή ψύξη. Η χρήση τους εξυπηρετεί στην ενεργειακή απόδοση, στον έλεγχο άνεσης, στην εξοικονόμηση κόστους και στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις.



Εικόνα 5.29 και 5.30 Εναλλάκτης θερμότητας

### 5.3.7 Αντλία Θερμότητας (A/Θ)

Η αντλία θερμότητας είναι ένα ευέλικτο σύστημα θέρμανσης και ψύξης που χρησιμοποιεί τις αρχές της θερμοδυναμικής για να μεταφέρει θερμότητα από μια θέση σε μια άλλη. Μπορεί να απορροφήσει θερμότητα από μια πηγή χαμηλής θερμοκρασίας (όπως ο εξωτερικός αέρας, το έδαφος ή το νερό) και να τη μεταφέρει σε μια τοποθεσία υψηλότερης θερμοκρασίας για σκοπούς θέρμανσης του χώρου. Εναλλακτικά, μπορεί να αντιστρέψει τη διαδικασία για να παρέχει ψύξη. Οι αντλίες θερμότητας που χρησιμοποιούνται σε συστήματα HVAC προσφέρουν υψηλή ενεργειακή απόδοση, καθώς μεταφέρουν θερμότητα αντί να την παράγουν μέσω καύσης. Η αντλία θερμότητας του θαλάμου (Εικόνα 5.31 και 5.32) χρησιμοποιεί αέρα (ASHP), δηλαδή για παράδειγμα απορροφά θερμότητα από τον εξωτερικό αέρα και τη χρησιμοποιούν για θέρμανση κατά τους ψυχρότερους μήνες. Τα συστήματα ASHP μπορούν να λειτουργούν αποτελεσματικά σε ένα ευρύ φάσμα εξωτερικών θερμοκρασιών, καθιστώντας τα κατάλληλα για διάφορες πειραματικές αλλαγές και έρχεται με τα εξής χαρακτηριστικά όπως φαίνεται στον Πίνακα 5.4.

Πίνακας 5.4: Χαρακτηριστικά αντλίας θερμότητας

Χαρακτηριστικά Αντλίας	Τιμές Χαρακτηριστικών
Δυναμικότητα ψύξης (50 Hz)	11,9 kW
Δυναμικότητα ψύξης ( $\approx 30$ Hz)	5,4 kW
Δυναμικότητα ψύξης ( $\approx 58$ Hz)	13,1 kW
Ισχύς εισόδου	2,65 kW
E.E.R	4,49 W/W
SEER	4,73 W/W
Ισχύς θέρμανσης (50 Hz)	12,1 kW
Ισχύς θέρμανσης ( $\approx 30$ Hz)	4,69 kW
Ισχύς θέρμανσης ( $\approx 58$ Hz)	12,7 kW
Ισχύς εισόδου	2,89 kW
C.O.P.	4,19 W/W
SCOP	4,31 W/W
Κατηγορία ενεργειακής απόδοσης	A++ / A+
Τροφοδοσία	230V /50 Hz
Θερμοκρασία αέρα περιβάλλοντος	-20/+46 °C
Ισχύς αντλίας	0,075 kW
Παροχή νερού	2,08 m <sup>3</sup> /h
Πλάτος	1047 mm
Βάθος	465 mm
Ύψος	913 mm

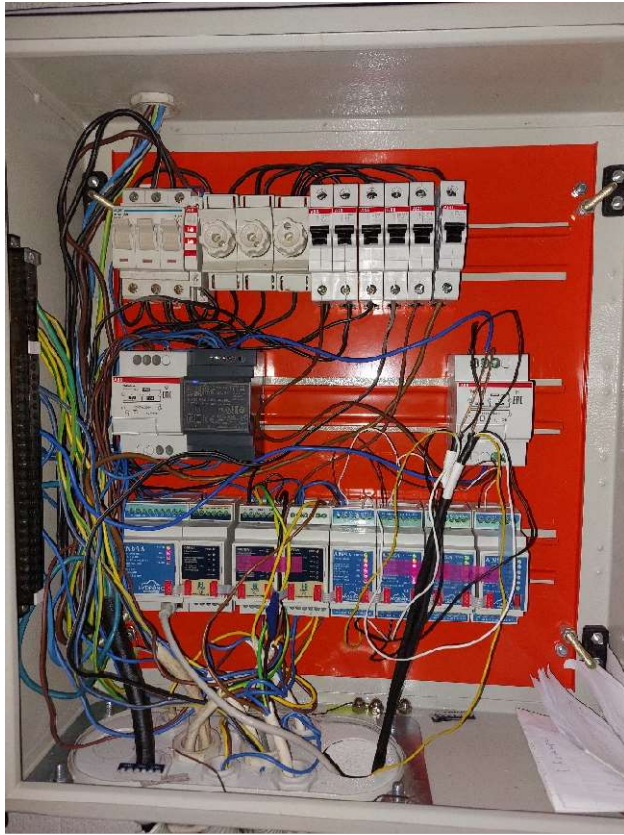


Εικόνα 5.31 και 5.32 Αντλία θερμότητας θαλάμου



#### 5.4 Αυτόματος Έλεγχος – Controllers

Ο αυτόματος έλεγχος του θαλάμου στα Κοίλα Κοζάνης γίνεται μέσω των controllers τα οποία βρίσκονται συνδεδεμένα στον κεντρικό πίνακα ελέγχου όπως φαίνεται στην εικόνα 5.33.



Εικόνα 5.33 Κεντρικός πίνακας ελέγχου

Το controller που θα χρησιμοποιηθεί για το κτίριο, παρέχεται από την εταιρεία HYDRONIC, μία εταιρεία με έδρα της την πόλη της Κοζάνης. Το controller είναι μία συνδεσμολογία εισόδων και εξόδων, τα οποία συνδέονται με την κεντρική προγραμματιστική λογική μονάδα μέσω IO bridge όπως παραθέτονται στις εικόνες 5.34 – 5.38.



Εικόνα 5.34 Ο λογικός προγραμματιζόμενος controller CON64A

Ο λογικός προγραμματιζόμενος controller, έχει διαστάσεις 53 x 90 x 58 mm και είναι κατασκευασμένος από πλαστικό. Έχει θύρα Ethernet για να μπορεί να συνδέεται με έναν υπολογιστή ή tablet και να πραγματοποιήσει αναβαθμίσεις, τόσο στο λογισμικό όσο και στον κώδικα που είναι υπεύθυνος για την ομαλή και βέλτιστη λειτουργία των συσκευών. Ο προγραμματισμός γίνεται σε γλώσσα micro-python και για την λειτουργία του απαιτείται τροφοδοτικό των 12 Volt.

Πίνακας 5.5: Χαρακτηριστικά CON64A

Χαρακτηριστικό	Τιμές Χαρακτηριστικών/Μοντέλο
Τροφοδοσία	12V
Clock	168MHz
CPU	STM32F437 Arm Cortex-M4 core
Ethernet	100 MHz, RMII, ημι-αμφίδρομο
Διασύνδεση	RS485
Μνήμη RAM	256 KB
Εσωτερική/ Εξωτερική Μνήμη	1 MB , 64 MB



Εικόνα 5.35 Η μονάδα ψηφιακής εισαγωγής DIN8A

Η μονάδα ψηφιακής εισαγωγής, έχει διαστάσεις 36 x 90 x 58 mm και είναι κατασκευασμένη από πλαστικό. Η μονάδα φέρει 8 ενσωματωμένες εισόδους και 2 κοινές εξόδους των 12 Volt. Οι εξοδοι χρησιμοποιούνται για την τροφοδοσία σε μία επιθυμητή εξωτερική επαφή και επιστρέφουν με κοινή τάση σε κάθε ψηφιακή είσοδο. Η τυπική χρήση αναφέρεται σε επαφές τύπου relay.

Πίνακας 5.6: Χαρακτηριστικά DIN8A

Χαρακτηριστικό	Τιμές Χαρακτηριστικών/Μοντέλο
Ενσωματωμένες ψηφιακές εισοδοι	8
Κοινές εξοδοι 12V	2
Διασύνδεση	RS485
Τάση τροφοδοσίας	9-14 V DC
Τυρ	20mA , 12V
MAx	30mA , 12V



Εικόνα 5.36 Μονάδα αναλογικής εισαγωγής AIN5A

Το υλικό κατασκευής και οι διαστάσεις της μονάδας αναλογικής εισαγωγής AIN5A είναι ίδια με αυτά του DIN8A. Η AIN5A είναι σχεδιασμένη για να υποστηρίξει πληθώρα αισθητηρίων των οργάνων της αγοράς. Είτε πρόκειται για παθητικούς ή για ενεργητικούς σένσορες, μπορεί να μετρήσει αντίσταση έως και 800 kΩ.

Πίνακας 5.7: Χαρακτηριστικά AIN5A

Χαρακτηριστικό	Τιμές Χαρακτηριστικών/Μοντέλο
Ενσωματωμένες αναλογικές εισοδοί	5
Διασύνδεση	RS485
Τάση τροφοδοσίας	9 – 14 V DC
Τυρ	20mA , 12V
Max	30mA , 12V
Τάση εισόδου	0 – [(V+) + 0.6V]



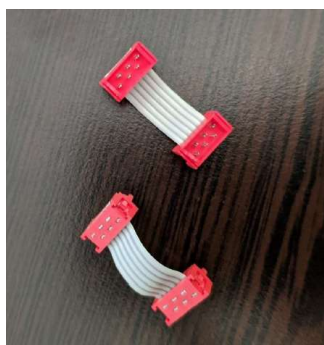
Εικόνα 5.37 Μονάδα ROUT5A

Το υλικό κατασκευής και οι διαστάσεις του ROUT5A είναι ίδια με τα DIN8A και AIN5A. Οι έξοδοι είναι τύπου NO (Normally Open contact), με τους υποστηριζόμενους τύπους επαφών να είναι : AC1 για μη επαγωγικά ή ελαφρώς επαγωγικά φορτία όπως σε θερμαντήρες, DC12 για έλεγχο φορτίων αντίστασης και φορτίων στερεάς κατάστασης με απομόνωση οπτικού ζεύκτη, AC15 για έλεγχο ηλεκτρομαγνητικών φορτίων AC με συντελεστή ισχύος 0.5 W και τέλος DC13 για έλεγχο ηλεκτρομαγνητικών φορτίων DC με συντελεστή ισχύος 0.5 W.

Πίνακας 5.8: Χαρακτηριστικά ROUT5A

Χαρακτηριστικό	Τιμές Χαρακτηριστικών/Μοντέλο
Έξοδοι επαφής - ρελέ	5
Διασύνδεση	RS485
Τάση τροφοδοσίας	9 -14 V DC
Τυρ	20mA @ 12V
Max	70mA @ 12V

Τέλος το IObridge είναι ένας σύνδεσμος που ενώνει τα παραπάνω modules μεταξύ τους, αλλά και με τον controller .



Εικόνα 5.38 Σύνδεσμος IObridge

## 5.5 Όργανα Μέτρησης και Εξαρτήματα

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστούν όλα τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν στις μετρήσεις τόσο για τον προσδιορισμό των παραμέτρων που αφορούν τη θερμική άνεση όσο και των αυτών για την ποιότητα αέρα.

Στις παρακάτω φωτογραφίες φαίνονται αναλυτικά τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν:

- TP3207 – Dry Bulb Temperature Probe for WBGT (Εικόνα 5.39)

Αισθητήρας θερμοκρασίας Pt100. Στέλεχος αισθητήρα  $\varnothing$  14 mm, μήκος 140 mm και εξοπλισμένο με μονάδα SICRAM. Το μήκος καλωδίου είναι 2 μέτρα. Το εύρος μέτρησης από  $-40$  °C μέχρι  $+100$  °C και η αβεβαιότητα στο  $\pm 0,15$  °C στην περιοχή από  $-30$  °C μέχρι  $+100$  °C. Ο χρόνος απόκρισης είναι 10" σε σταθερή θερμοκρασία και η ακρίβεια είναι Class 1/3 DIN.



Εικόνα 5.39 TP3207 – Dry Bulb Temperature Probe

- HP3201 – Natural Ventilation Wet Bulb Probe (Εικόνα 5.40)

Στέλεχος αισθητήρα  $\varnothing$  14 mm, μήκος 110 mm. Μήκος καλωδίου 2 μέτρα. Εξοπλισμένο με μονάδα SICRAM, δύο ανταλλακτικά βαμβακερά φυτίλια και 50 cc αποσταγμένο νερό.

-Εύρος μέτρησης;  $+4$  °C... $+80$  °C.

-Ακρίβεια: Class A



Εικόνα 5.40 HP3201 – Natural Ventilation Wet Bulb Probe

- TP3275 – Globe Temperature Probe (Εικόνα 5.41)

Σφαιρικός αισθητήρας θερμοκρασίας, αισθητήρας Pt100, σφαίρα Ø 150 mm. Στέλεχος Ø 14 mm και μήκος 110 mm. Μήκος καλωδίου 2 μέτρα. Εξοπλισμένο με μονάδα SICRAM. Εύρος μέτρησης από -30 μέχρι +120 °C και ακρίβεια Class 1/3 DIN. Χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας



Εικόνα 5.41: TP3275 – Globe Temperature Probe

- HD32.2A – WBGT Index Measurement (Εικόνα 5.42)

Το HD32.2A είναι ένας καταγραφέας δεδομένων θερμοκικού μικροκλίματος για τη μέτρηση του δείκτη WBGT (Wet Bulb Globe thermometer temperature) σε θερμά περιβάλλοντα σύμφωνα με τα πρότυπα ISO 7726 και ISO 7243. Υπολογίζει τη θερμοκρασία περιβάλλοντος, τη θερμοκρασία υγρού βολβού και τη θερμοκρασία μαύρης σφαίρας Tg που αντιπροσωπεύει τη μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας που βιώνει ένα άτομο ή ένα αντικείμενο στη συγκεκριμένη θέση. Ο καταγραφέας αυτός συνδέεται με τα τρία προηγούμενα όργανα:

- 1) TP3207 – Dry Bulb Temperature Probe for WBGT
- 2) HP3201 – Natural Ventilation Wet Bulb Probe
- 3) TP3275 – Globe Temperature Probe



Εικόνα 5.42: HD32.2A – WBGT Index Measurement

- Carbon Dioxide Transmitter Model G01-CO2-B10C/30C (Εικόνα 5.43)

Το Carbon Dioxide Transmitter μπορεί να ανιχνεύσει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα σε πραγματικό χρόνο, τη θερμοκρασία και την υγρασία με υψηλή ακρίβεια τηρώντας το Πρότυπο ΕΕ και έχοντας την έγκριση CE. Διαθέτει αισθητήρα υπερύθρων NDIR CO<sub>2</sub> με ειδική αυτοβαθμονόμηση η οποία κάνει τη μέτρηση του CO<sub>2</sub> πιο ακριβή και πιο αξιόπιστη. Το εύρος μετρήσεων και η ακρίβεια εμφανίζονται παρακάτω:

Διοξείδιο του άνθρακα:

- Εύρος: 0-2000ppm ή 0-5,000ppm optional
- Ακρίβεια  $\pm 40$  ppm + 3 % of reading or 75 ppm

Θερμοκρασία:

- Εύρος 0°C έως 50 °C
- Ακρίβεια:  $\pm 0.4$ , από 20 °C έως 40 °C

Υγρασία:

- Εύρος 0 έως 100 % RH
- Ακρίβεια:  $\pm 3\%$  RH (20%- 80%)



Εικόνα 8.43: Carbon Dioxide Transmitter Model G01-CO2-B10C/30C



- HOBO U12 Temp/RH/Light/External Data Logger (Εικόνα 5.44)

Ο καταγραφέας δεδομένων HOBO U12 Temp/RH/Light/External Data Logger τεσσάρων καναλιών και ανάλυσης 12 bit.

-Εύρος μέτρησης: Θερμοκρασία:  $-20^{\circ}$  έως  $70^{\circ}\text{C}$  ( $-4^{\circ}$  έως  $158^{\circ}\text{F}$ ) και RH: 5% έως 95%

-Ακρίβεια: Θερμοκρασία:  $\pm 0,35^{\circ}\text{C}$  από  $0^{\circ}$  έως  $50^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 0,63^{\circ}\text{F}$  από  $32^{\circ}$  έως  $122^{\circ}\text{F}$ ) και RH:  $\pm 2,5\%$  από 10% έως 90% RH τυπικά, σε ένα μέγιστο  $\pm 3,5\%$ , συμπεριλαμβανομένης της υστέρησης στους  $25^{\circ}\text{C}$  ( $77^{\circ}\text{F}$ ), κάτω από 10% και πάνω από 90%  $\pm 5\%$  τυπικά.



Εικόνα 5.44: HOBO U12 Temp/RH/Light/External Data Logger

- HOBO UX100-003 USB Temperature and Humidity Data Logger (Εικόνα 5.45)

Ο καταγραφέας δεδομένων HOBO UX100-003 Temp/RH καταγράφει τη θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία (με ακρίβεια 3,5%) σε εσωτερικούς χώρους με τους ενσωματωμένους αισθητήρες του. Ο καταγραφέας δεδομένων είναι ιδανικός για την παρακολούθηση και την καταγραφή της άνεσης των επιβατών σε κτίρια γραφείων ακόμα και την παρακολούθηση των συνθηκών αποθήκευσης τροφίμων σε αποθήκες.

-Ακρίβεια :  $\pm 0.21^{\circ}\text{C}$  (T),  $\pm 3.5\%$  (RH)

-Θερμοκρασιακο Ευρος:  $-20 - 70^{\circ}\text{C}$  (T), 15-95% (RH)



Εικόνα 5.45: HOBO UX100-003 USB Temperature and Humidity Data Logger

- TSI ACCUBALANCE Model 8375 (Εικόνα 5.46 και 5.47)

Η κουκούλα συλλογής TSI ACCUBALANCE Model 8375 (Balometer) είναι ένα ηλεκτρονικό αεροσκόπιο πολλαπλών χρήσεων όργανο εξισορρόπησης για την ανάγνωση της ροής όγκου αέρα σε διαχύτες και γρίλιες. Είναι ιδανικό για διαχειριστές εγκαταστάσεων, ειδικούς σε θέματα υγείας και ασφάλειας, μηχανικούς δοκιμών και επαγγελματίες δοκιμών και ζυγοστάθμισης.

#### Ογκομετρική Παροχή Αέρα

Εύρος: 42 - 4250 m<sup>3</sup>/h κουκούλα συλλογής

Ακρίβεια: ±3% of reading ±7 ft<sup>3</sup>/min (±12 m<sup>3</sup>/h) at flows > 50 ft<sup>3</sup>/min (>85 m<sup>3</sup>/h)

Μονάδες Μέτρησης: ft<sup>3</sup>/min, m<sup>3</sup>/h, m<sup>3</sup>/min, l/s

Ανάλυση: 1 ft<sup>3</sup>/min (1 m<sup>3</sup>/h)

#### Ταχύτητα Αέρα

Εύρος (Pitot Probes): 0.125 - 40 m/s

Εύρος (Airflow Probe): 0.125 - 25 m/s

Πίνακας Ταχύτητας: 0.125 - 12.5 m/s

Ακρίβεια: ±3% of reading ±0.04 m/s at velocities > 0.25 m/s



Εικόνα 5.46 και 5.47. Balometer TSI ACCUBALANCE Model 8375

- Θερμοκάμερα - FLIR E8-XT (Εικόνα 5.48)

Το FLIR E8-XT βοηθά να απεικονιστούν τα θερμά και ψυχρά σημεία. Με αυτόν τον εξοπλισμό μέτρησης και απεικόνισης χωρίς επαφή, οι ανωμαλίες θερμοκρασίας εμφανίζονται στην οθόνη, επιτρέποντας την αποτελεσματικότερη επιθεώρηση και τον ταχύτερο εντοπισμό της πηγής του προβλήματος σε σχέση με ένα θερμόμετρο IR ενός σημείου. Τα βασικά χαρακτηριστικά:

Υπέρυθρη ανάλυση: 80 × 60 pixels

Θερμοκρασιακό εύρος: -20° C έως 550°C

Ακρίβεια: ±2% ή ±2°C



Εικόνα 5.48: FLIR E8-XT

- Ανεμόμετρο – Gill Instruments 3D Anemometer (Εικόνα 5.49 και 5.50)

Για τον υπολογισμό της ταχύτητας του αέρα μέσα στον θάλαμο ελεγχόμενων συνθηκών τοποθετήθηκε στο κέντρο του χώρου το Ανεμόμετρο υπαιρύθρων της Gil Instruments το οποίο αποτελείται από τα εξής χαρακτηριστικά όπως φαίνεται στους παρακατω Πίνακες 5.5 και 5.6.

Πίνακας 5.5:

Ταχύτητα Ανέμου:
-Εύρος μέτρησης 0 ... 50 m/s
-Ανάλυση 0,01 m/s
-Ακρίβεια < 1,5 % RMS στα 12 m/s

Πίνακας 5.6:

Κατεύθυνση ανέμου:
-Εύρος μέτρησης 0 ... 360°
-Ανάλυση 0,1°
-Ακρίβεια 2° σε 12 m/s



Εικόνα 5.49 και 5.50: Gil Instruments 3D Anemometer

Παρουσιάζεται ο συγκεντρωτικός Πίνακας των μετρητικών οργάνων για την ακρίβεια και το εύρος μέτρησης τους:

Πίνακας 5.7: Όργανα μέτρησης και τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους

A/A	Όνομα και τύπος αισθητηρίου	Τεχνικά χαρακτηριστικά
1	TP3207 – Dry Bulb Temperature Probe for WBGT	Accuracy: $\pm$ Class 1/3 DIN C (T) Range: -40 – 100°C (T)
2	T-RH / Hobo ONSET UX100-003	Accuracy: $\pm 0.21^{\circ}\text{C}$ (T) <sup>[2]</sup> , $\pm 3.5\%$ (RH) <sup>[2]</sup> Range: -20 – 70°C (T), 15-95% (RH)
3	HP3201 – Natural Ventilation Wet Bulb Probe	Accuracy: $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ (T) <sup>[2]</sup> , $\pm 5\%$ (RH) <sup>[2]</sup> , $\pm 5\%$ or $\pm 50$ ppm (C <sub>CO2</sub> ) Range: -20 – 70°C (T), 5-95% (RH), 0-10000 ppm (C <sub>CO2</sub> )
4	T-RH / Hobo ONSET U12-012	Accuracy: $\pm$ Class A °C (T) Range: 4 – 80°C (T)
5	TP3275 – Globe Temperature Probe	Accuracy: $\pm$ Class 1/3 DIN °C (T) Range: -30 – 120°C (T)
6	Wind Speed (Gill Instruments 3D anemometer)	Accuracy: $\pm 1.5\%$ RMS Range: 0-50 m/s
7	FLIR E8-XT	Accuracy: $\pm 2\%$ ή $\pm 2^{\circ}\text{C}$ Range: -20 – 500 °C (T)
8	TSI ACCUBALANCE Model 8375 (Balometer)	Volumetric Air Supply: -Range: 42 - 4250 m <sup>3</sup> /h collection hood -Accuracy: $\pm 3\%$ of reading $\pm 7$ ft <sup>3</sup> /min ( $\pm 12$ m <sup>3</sup> /h) at flows > 50 ft <sup>3</sup> /min (>85 m <sup>3</sup> /h). Air speed: -Range (Pitot Probes): 0.125 - 40 m/s -Range (Airflow Probe): 0.125 - 25 m/s -Accuracy: $\pm 3\%$ of reading $\pm 0.04$ m/s at velocities > 0.25 m/s
9	Carbon Dioxide Transmitter Model G01-CO2-B10C/30C	Temperature: -Range 0°C to 50 °C -Accuracy: $\pm 0.4$ , from 20 °C to 40 °C Humidity: -Range 0 to 100 % RH -Accuracy: $\pm 3\%$ RH (20%-80%) CO <sub>2</sub> : -Range: 0-2000ppm or 0-5,000ppm optional -Accuracy $\pm 40$ ppm + 3 % of reading or 75ppm

## 6 Αποτελέσματα μετρήσεων χωρίς τη παρουσία ανθρώπων στον θάλαμο

### 6.1 Χαρακτηριστικά πειραμάτων

Σε έναν θάλαμο η θερμική άνεση μπορεί να επιτευχθεί με προσεκτική διαχείριση των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης. Στόχος της εργασίας ήταν η διερεύνηση της λειτουργικότητας του θαλάμου, σε εύρος τιμών για τις σχετικές παραμέτρους ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος. Η μελέτη διεξήχθη μέσω προσομοιώσεων των συνθηκών του θαλάμου με τη χρήση συστήματος αυτομάτου ελέγχου. Η αντλία θερμότητας μπορεί να δουλεύει σε διαφορετικές θερμοκρασίες και τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν για να δούμε και ποιες είναι οι μέγιστες θερμοκρασίες εντός του θαλάμου που μπορούμε να φτάσουμε με τις διαφορετικές θερμοκρασίες της αντλίας. Όπως είναι λογικό όσο μεγαλύτερες θερμοκρασίες στην αντλία τόσο υψηλές αναμένονται να είναι και οι θερμοκρασίες εσωτερικά του θαλάμου. Στο κεφάλαιο αυτό, θα παρουσιαστούν τα διαγράμματα θερμοκρασίας και υγρασίας, οι μετρήσεις παροχής αέρα και ταχύτητας αέρα μέσα στο θάλαμο χωρίς τη παρουσία κόσμου. Στο θάλαμο πραγματοποιήθηκαν σενάρια χωρίς τη παρουσία ανθρώπων για διαφορές θερμοκρασίες της αντλίας θερμότητας (50°C, 45°C, 40°C, 35°C, 10°C), με τέσσερα διαφορετικά σενάρια σε 19 ξεχωριστές μέρες-πειράματα όπως φαίνονται στον Πίνακα 6.1.

Πίνακας 6.1: Πίνακας σεναρίων

Θερμοκρασία A/C (°C)	Σενάριο I	Σενάριο II	Σενάριο III	Σενάριο IV
10	6/6	4/6	5/6	9/6
35	18/4	30/5	29/5	20/4
40	25/4	26/4	17/5	27/4
45	15/4	16/4	-	14/4
50	30/4	2/6	10/5	11/5

Τα τέσσερα σενάρια που επιλέχθηκαν είναι:

1. Σενάριο I → Όλα τα damper να είναι ανοιχτά.
2. Σενάριο II → Ανακυκλοφορία, με το damper 1 και 2 να είναι κλειστά.
3. Σενάριο III → Πλήρης Ανανέωση, με το damper 3 να είναι κλειστό.
4. Σενάριο IV → Damper 1 και damper 2 να είναι ανοιχτά ενώ το damper 3 μισάνοιχτο (στο 50%).

Στον Πίνακα 6.2 φαίνεται αναλυτικά η ταχύτητα των ανεμιστήρων (5 για μεσαία ισχύ και 0 για κλειστούς ανεμιστήρες), ποιες περσίδες είναι ανοιχτές (0) και ποιες κλειστές (10) , η θερμοκρασία του εναλλάκτη θερμότητας καθώς και οι ώρες που ήταν σε λειτουργία.

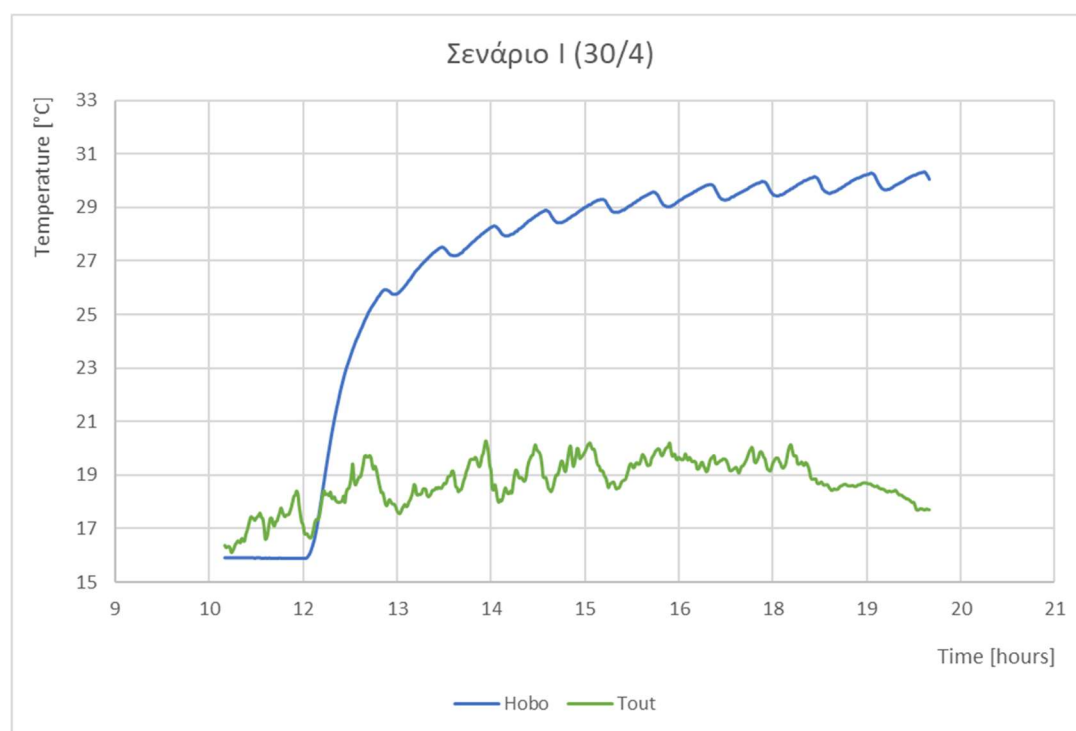
Πίνακας 6.2: Ημερολόγιο μετρήσεων χωρίς κόσμο

Σενάρια	Day	Fan 1	Fan 2	Damper 1	Damper 2	Damper 3	A/C (°C)	Hours
1	14/4/2023	5	5	0	0	5	45	09:35-17:00
2	15/4/2023	5	5	0	0	0	45	09:12-17:20
3	16/4/2023	5	5	10	10	0	45	10:20-18:25
4	18/4/2023	5	5	0	0	0	35	10:25-21:25
5	20/4/2023	5	5	0	0	5	35	13:50-20:50
6	25/4/2023	5	5	0	0	0	40	10:55-00:20
7	26/4/2023	5	5	10	10	0	40	10:05-17:35
8	27/4/2023	5	5	0	0	5	40	8:10-16:30
9	30/4/2023	5	5	0	0	0	50	12:00-21:00
10	10/5/2023	5	5	0	0	10	50	9:25-18:12
11	11/5/2023	5	5	0	0	5	50	10:25-17:15
12	17/5/2023	5	5	0	0	10	40	12:20-22:00
13	29/5/2023	5	5	0	0	10	35	11:15-18:45
14	30/5/2023	5	5	10	10	0	35	11:00-19:50
15	2/6/2023	5	5	10	10	0	50	10:00-18:15
16	4/6/2023	5	5	10	10	0	10	10:45-19:35
17	5/6/2023	5	5	0	0	10	10	10:10-19:10
18	6/6/2023	5	5	0	0	0	10	10:50-19:20
19	9/6/2023	5	5	0	0	5	10	16:35-22:00

Στο πλαίσιο της καλύτερης κατανόησης των διαγραμμάτων της ταχύτητας του αέρα μέσα στο θάλαμο, που θα παρουσιαστεί παρακάτω στο ίδιο κεφάλαιο, αλλά για τα διαγράμματα PMV και PPD του κεφαλαίου 8, θα οριστούν το θηκόγραμμα (box plot). Το διάγραμμα πλαισίου και απολήξεων ή αλλιώς θηκόγραμμα αποτελεί μια μέθοδο γραφικής παρουσίασης των βασικών μέτρων θέσης μέσα στο εύρος τιμών των αιτούμενων παρατηρήσεων

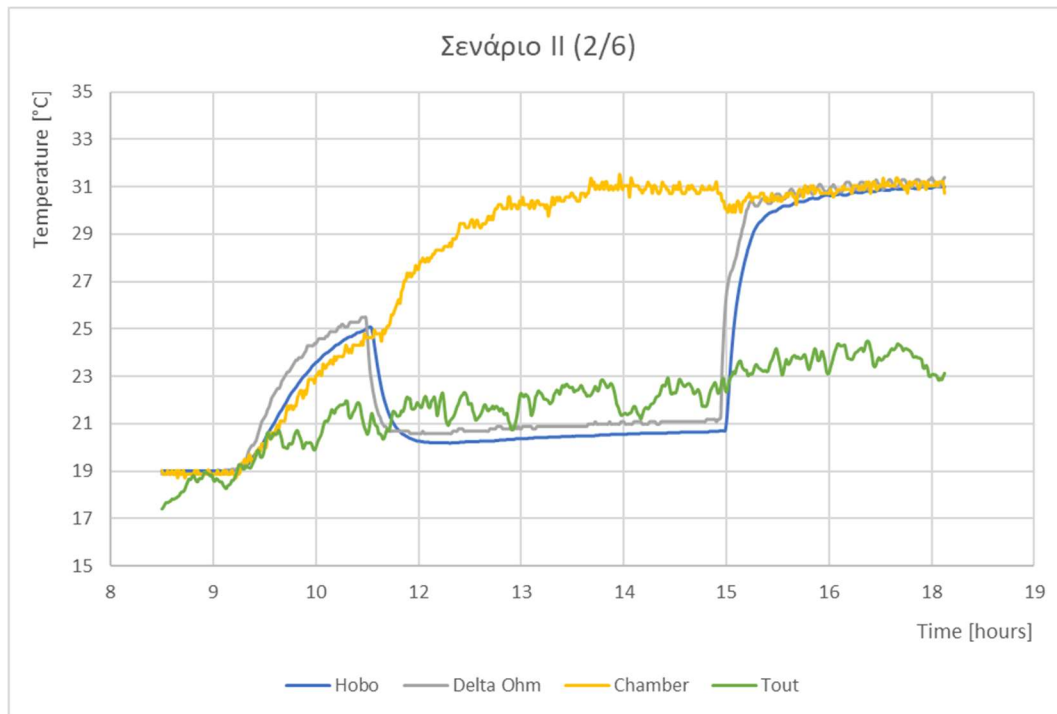
## 6.2 Διαγράμματα χωρίς τη παρουσία κόσμου

Τα αποτελέσματα των μετρούμενων θερμοκρασιών, για την εσωτερική και εξωτερική θερμοκρασία, σε σχέση με τα διάφορα σενάρια, παρουσιάζονται στα Γραφήματα 6.1-6.4. Για το σενάριο I όλα τα damper ανοιχτά, και λόγω σφάλματος οργάνων μόνο το HOBBO UX100-003 μέτρησε για τις 30/4. Στο σενάριο II με ανακυκλοφορία παρατηρούμε μεγάλη διαφορά των οργάνων γιατί ενδιάμεσα το HOBBO και όλος ο εξοπλισμός της μαύρης σφαίρας αφαιρέθηκαν από το θάλαμο στο εξωτερικό περιβάλλον. Στο Σενάριο III και Σενάριο IV παρατηρείται ότι ταυτίζονται τα γραφήματα, με ένα προβάδισμα για το χρόνο απόκρισης του TP3207. Οι μεγάλες θερμοκρασιακές μεταβολές που παρατηρούνται μεταξύ του αισθητηρίου που είναι συνδεδεμένο στο σύστημα αυτομάτου ελέγχου του θαλάμου (chamber) και αυτών του Delta ohm και HOBBO, οφείλονται στο πείραμα που πραγματοποιήθηκε την παρούσα μέρα για τον προσδιορισμό της απόκρισης των οργάνων, και το οποίο θα παρουσιαστεί παρακάτω. Γενικότερα παρατηρήθηκε ότι με κλειστά τα damper 1 και 2 που είναι υπεύθυνα για την εξαγωγή και την εισαγωγή του αέρα, η εσωτερική θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη, ενώ η αύξηση της θερμοκρασίας είναι πιο γρήγορη όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη.

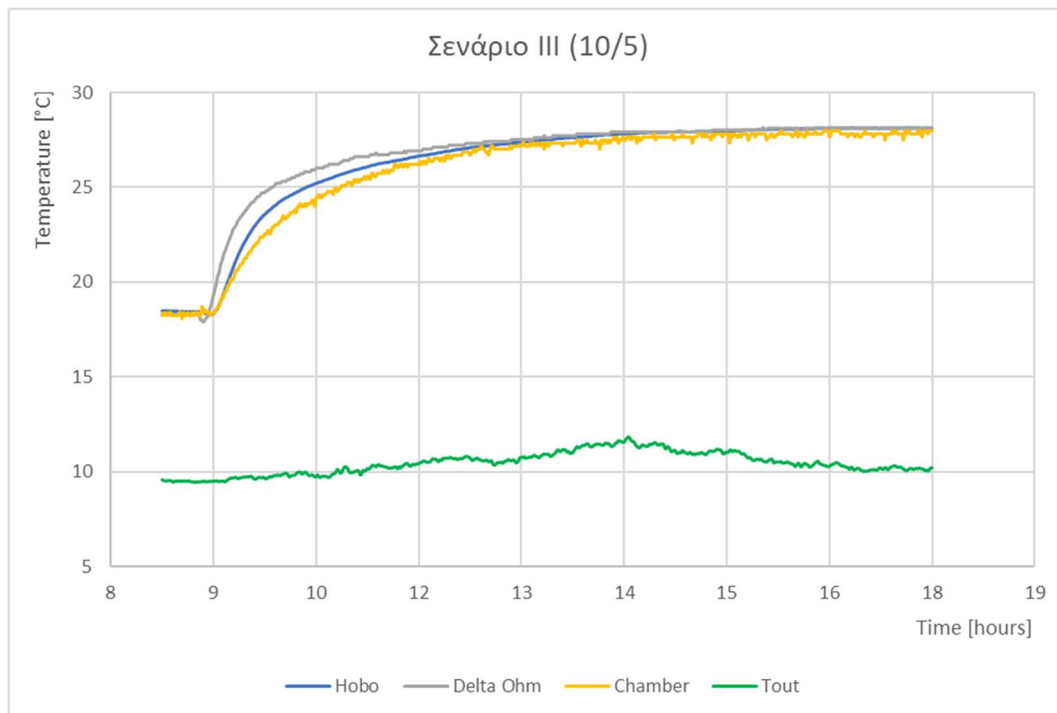


Γράφημα 6.1: Διάγραμμα εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας για αντλία θερμότητας στους 50°C, Σενάριο I

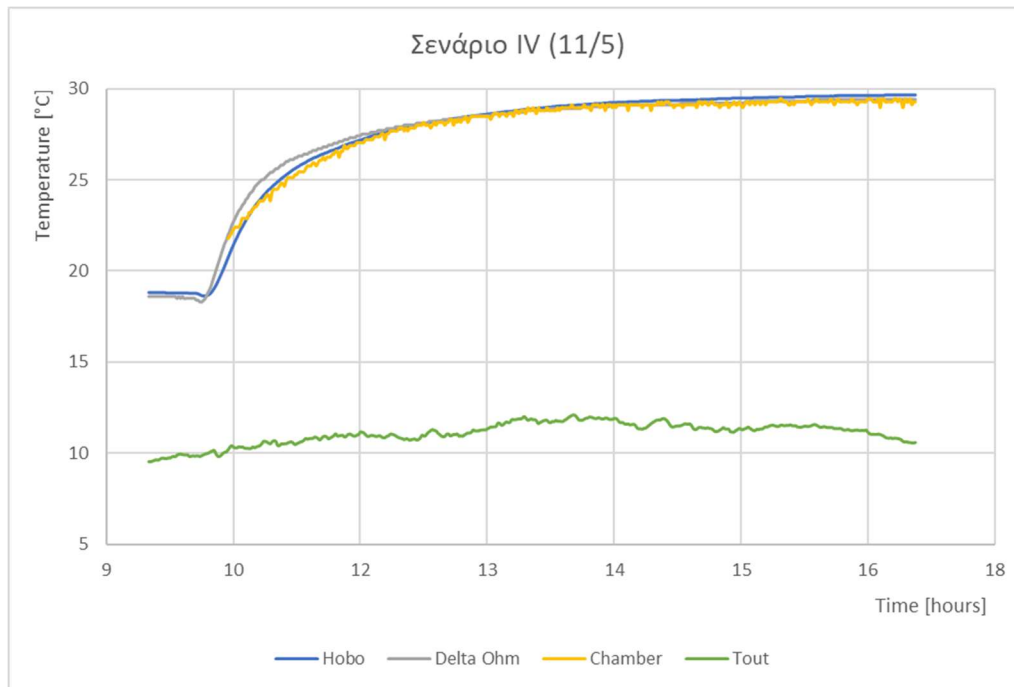




Γράφημα 6.2: Διάγραμμα εσωτερικής (διάφορων οργάνων) και εξωτερικής θερμοκρασίας για αντλία θερμότητας στους 50°C, Σενάριο II

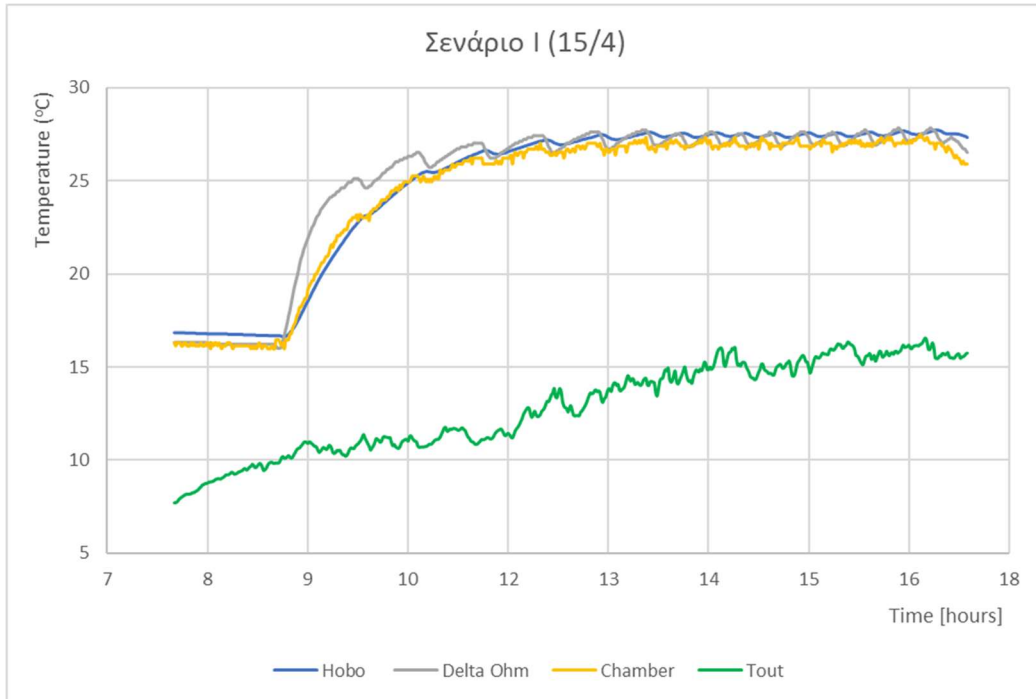


Γράφημα 6.3: Διάγραμμα εσωτερικής (διάφορων οργάνων) και εξωτερικής θερμοκρασίας για αντλία θερμότητας στους 50°C, Σενάριο III

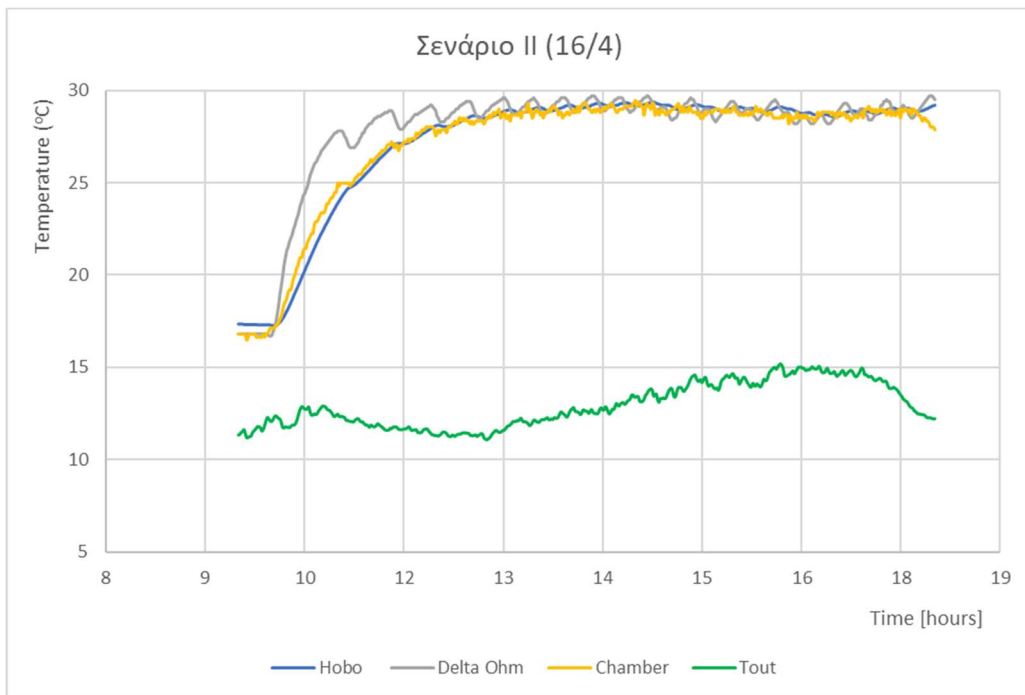


Γράφημα 6.4: Διάγραμμα εσωτερικής (διάφορων οργάνων) και εξωτερικής θερμοκρασίας για αντλία θερμότητας στους 50°C, Σενάριο IV

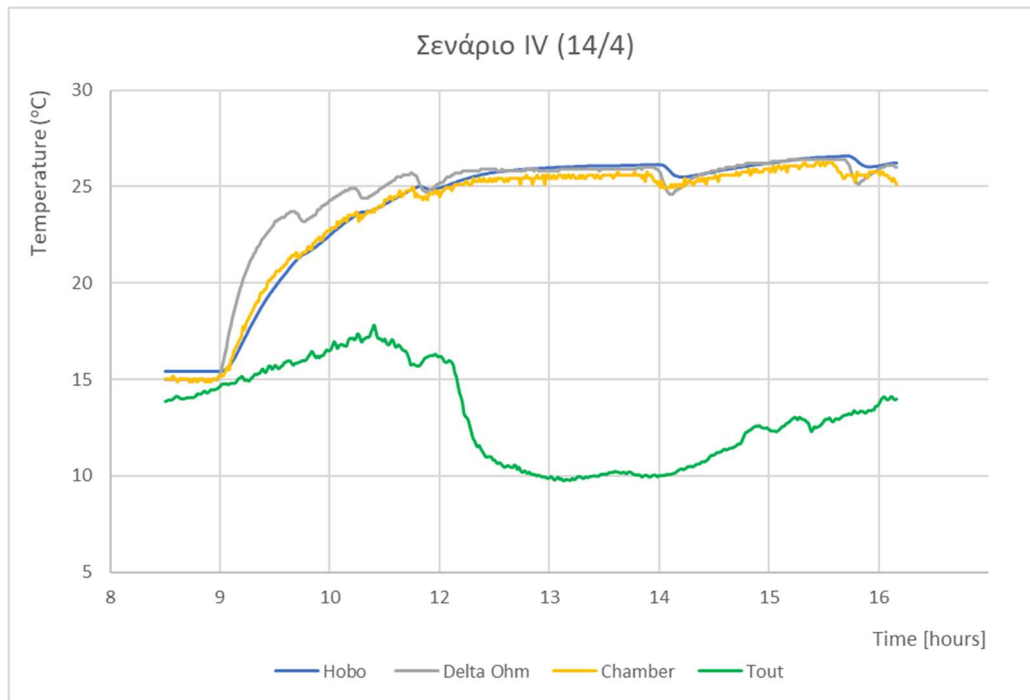
Για θερμοκρασία αντλίας θερμότητας ίση με 45 °C πραγματοποιήθηκαν τρία σενάρια αντί για τέσσερα, καθώς λόγω διακοπής ρεύματος δεν πάρθηκαν μετρήσεις για το 3<sup>ο</sup> σενάριο με πλήρη ανανέωση, τα οποία παρουσιάζονται στα Γραφήματα 6.5-6.7. Σύμφωνα με το Γράφημα 6.5, παρατηρείται γρηγορότερη απόκριση του οργάνου του Delta Ohm. Για τα Σενάρια I και IV παρατηρούμε μικρότερες θερμοκρασίες διότι στις 16/4 όλα τα damper είναι ανοιχτά και στις 14/4 το damper 3 είναι μισάνοιχτο, επιτρέποντας και στις δυο περιπτώσεις την εισαγωγή αέρα από έξω, οπότε οι εξωτερικές συνθήκες επηρεάζουν τη θερμοκρασία του θαλάμου αλλά σε μικρό βαθμό, καθώς σε όλα τα σενάρια η θερμοκρασία ξεπερνά τους 25 °C.



Γράφημα 6.5: Διάγραμμα εσωτερικής (διάφορων οργάνων) και εξωτερικής θερμοκρασίας για αντλία θερμότητας στους 45°C, Σενάριο I

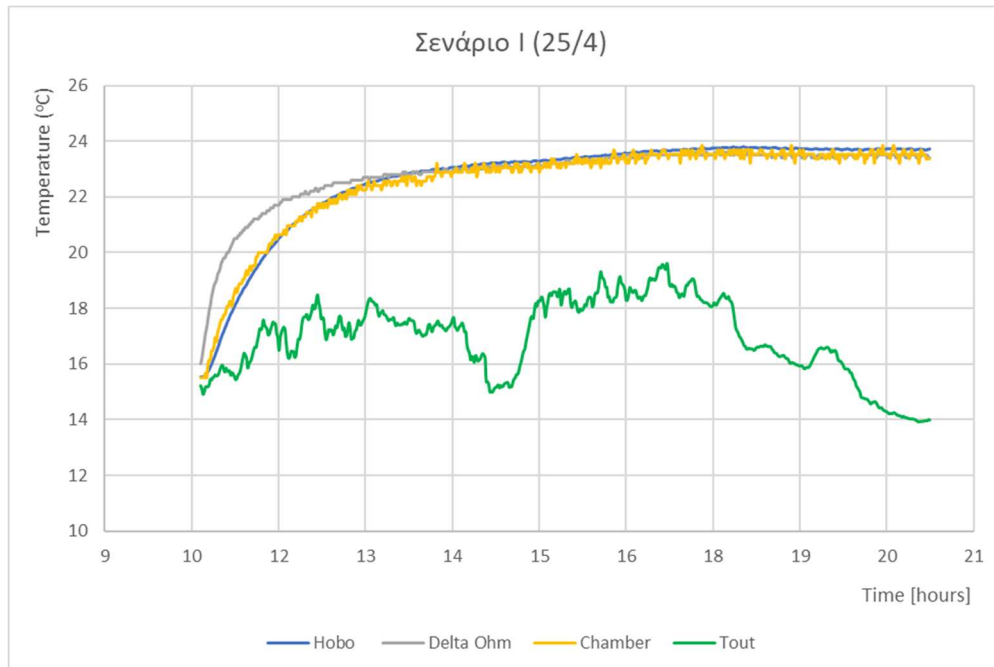


Γράφημα 6.6: Διάγραμμα εσωτερικής (διάφορων οργάνων) και εξωτερικής θερμοκρασίας για αντλία θερμότητας στους 45°C, Σενάριο II

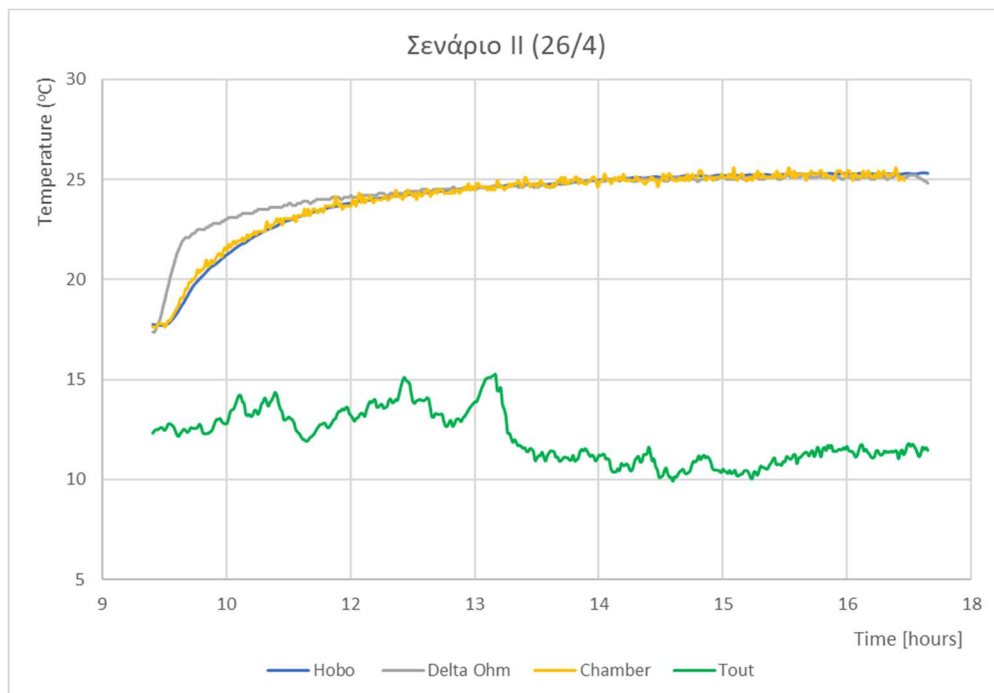


Γράφημα 6.7: Διάγραμμα εσωτερικής (διάφορων οργάνων) και εξωτερικής θερμοκρασίας για αντλία θερμότητας στους 45°C, Σενάριο IV

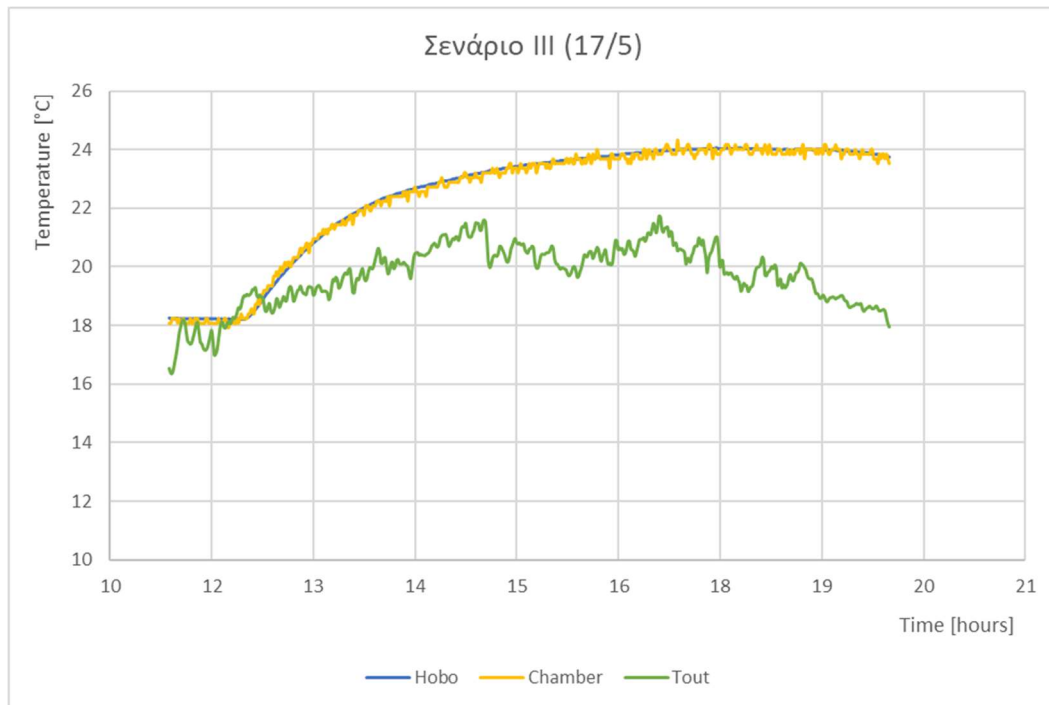
Για θερμοκρασία αντλίας θερμότητας ίση με 40 °C πραγματοποιήθηκαν τέσσερα σενάρια (Γραφήματα 6.8-6.11) στα οποία παρατηρούμε ότι η θερμοκρασία φτάνει τους 24°C με το Σενάριο II με ανακυκλοφορία, όπου το damper 1 και 2 να είναι κλειστά η θερμοκρασία να φτάνει 25 °C και καμπύλη του Delta Ohm να έχει ξανά γρηγορότερη απόκριση. Στο σενάριο III δεν έχουμε την καμπύλη για το Delta ohm λόγω σφάλματος του οργανου με τις θερμοκρασίες να πλησιάζουν τους 24°C όπως και στο Σενάριο IV.



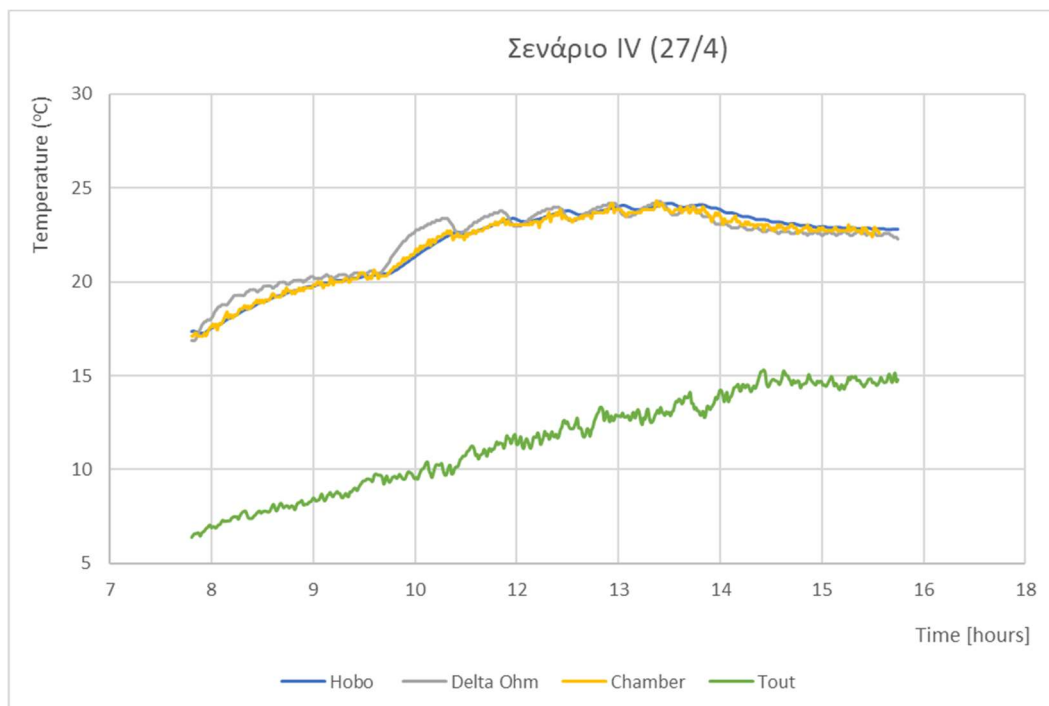
Γράφημα 6.8: Διάγραμμα εσωτερικής (διάφορων οργάνων) και εξωτερικής θερμοκρασίας για αντλία θερμότητας στους 40°C, Σενάριο I



Γράφημα 6.9: Διάγραμμα εσωτερικής (διάφορων οργάνων) και εξωτερικής θερμοκρασίας για αντλία θερμότητας στους 40°C, Σενάριο II

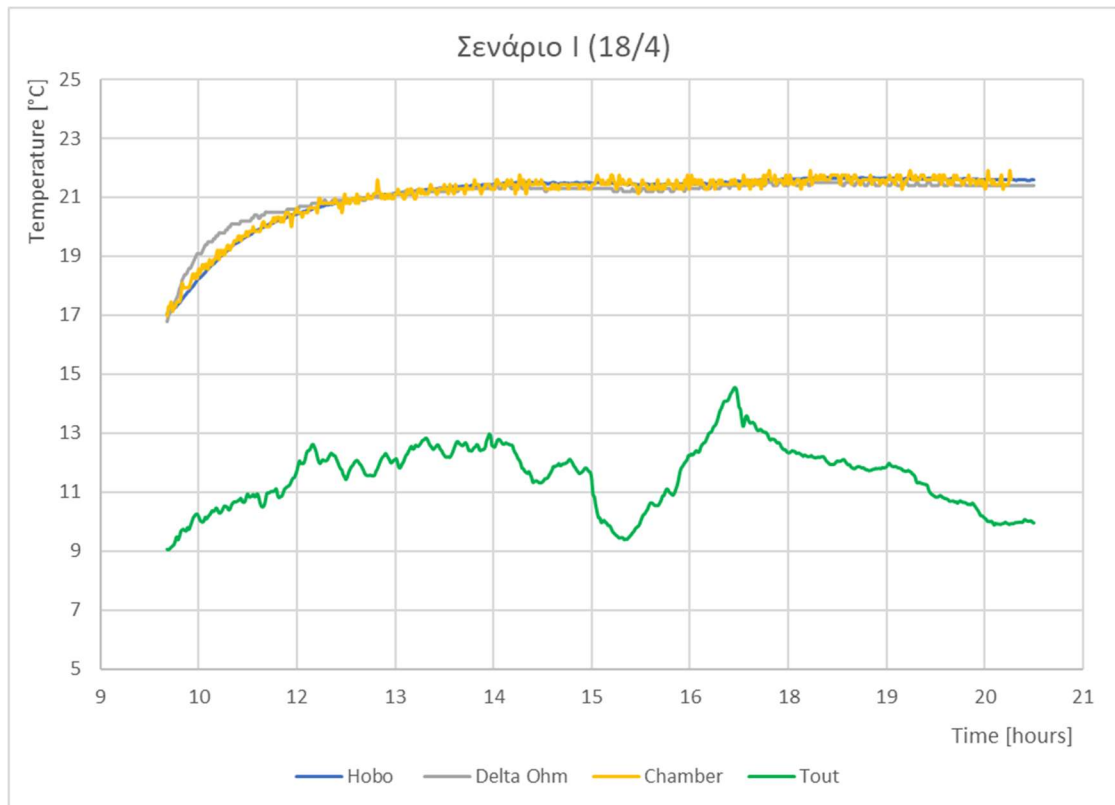


Γράφημα 6.10: Διάγραμμα εσωτερικής (διάφορων οργάνων) και εξωτερικής θερμοκρασίας για αντλία θερμότητας στους 40°C, Σενάριο III

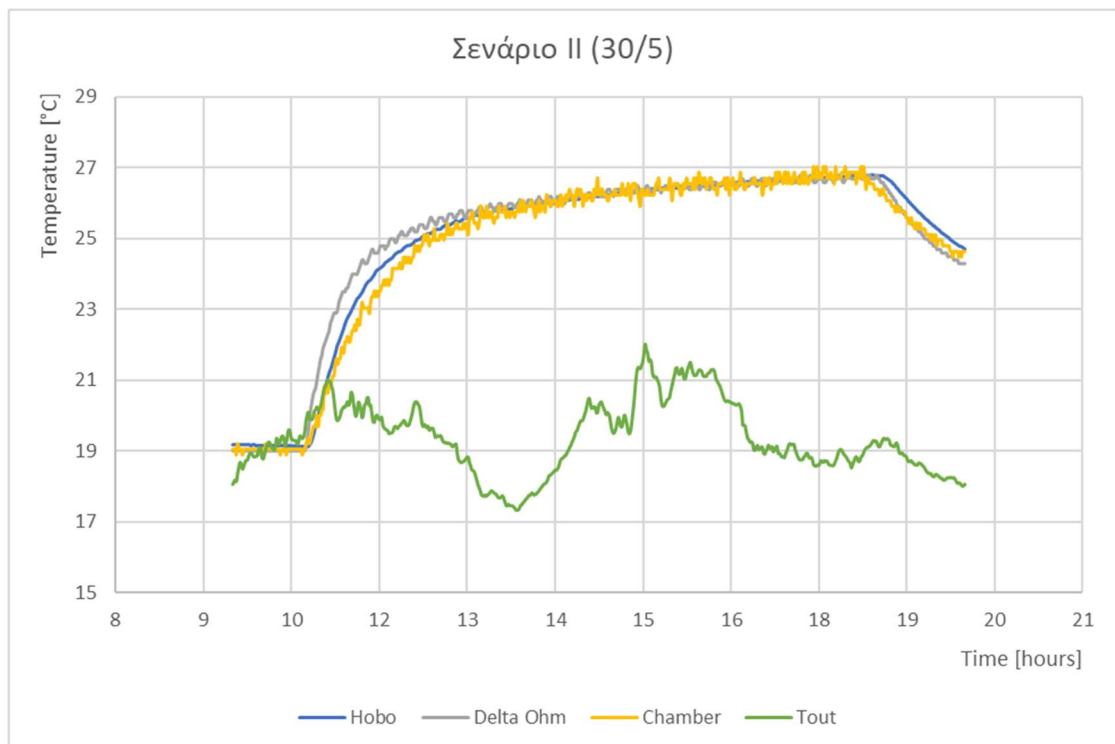


Γράφημα 6.11: Διάγραμμα εσωτερικής (διάφορων οργάνων) και εξωτερικής θερμοκρασίας για αντλία θερμότητας στους 40°C, Σενάριο IV

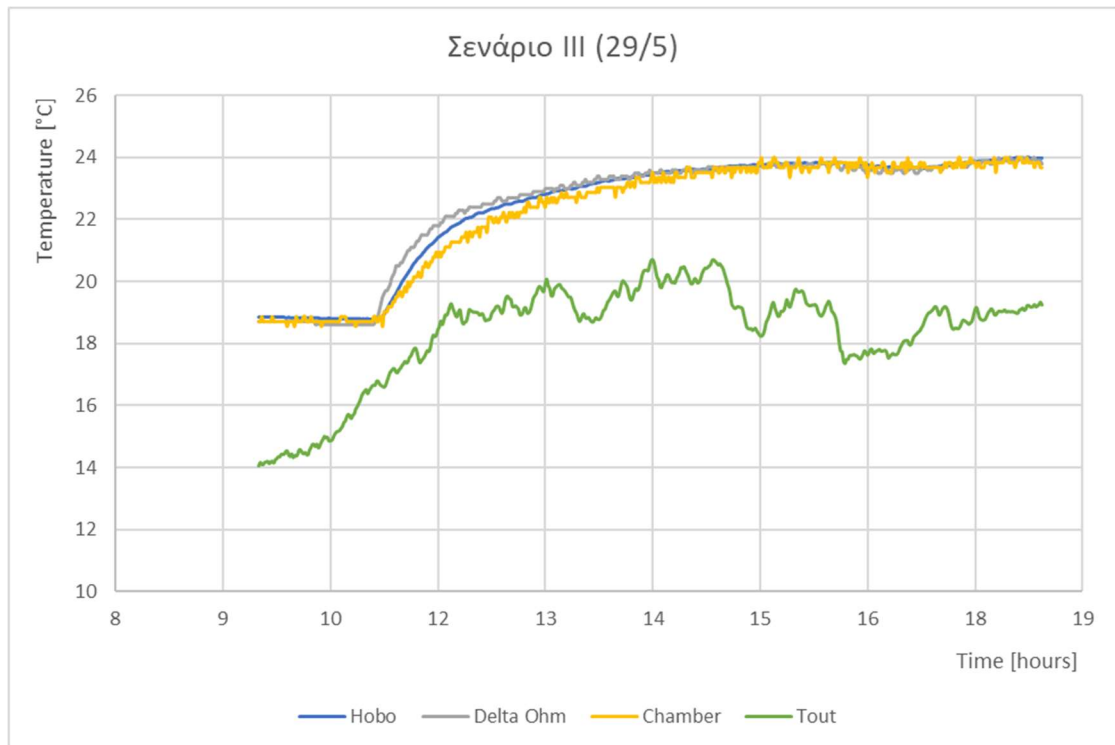
Για θερμοκρασία αντλίας θερμότητας ίση με 35 °C πραγματοποιήθηκαν τέσσερα σενάρια (Γραφήματα 6.8-6.11) όπου και πάλι στο Σενάριο II παρατηρούνται μεγαλύτερες θερμοκρασίες (27°C) λόγω ανακυκλοφορίας του ήδη υπάρχοντα αέρα στο θάλαμο και το Σενάριο I και IV να έχουν χαμηλότερες θερμοκρασίες λόγω εισαγωγής αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον.



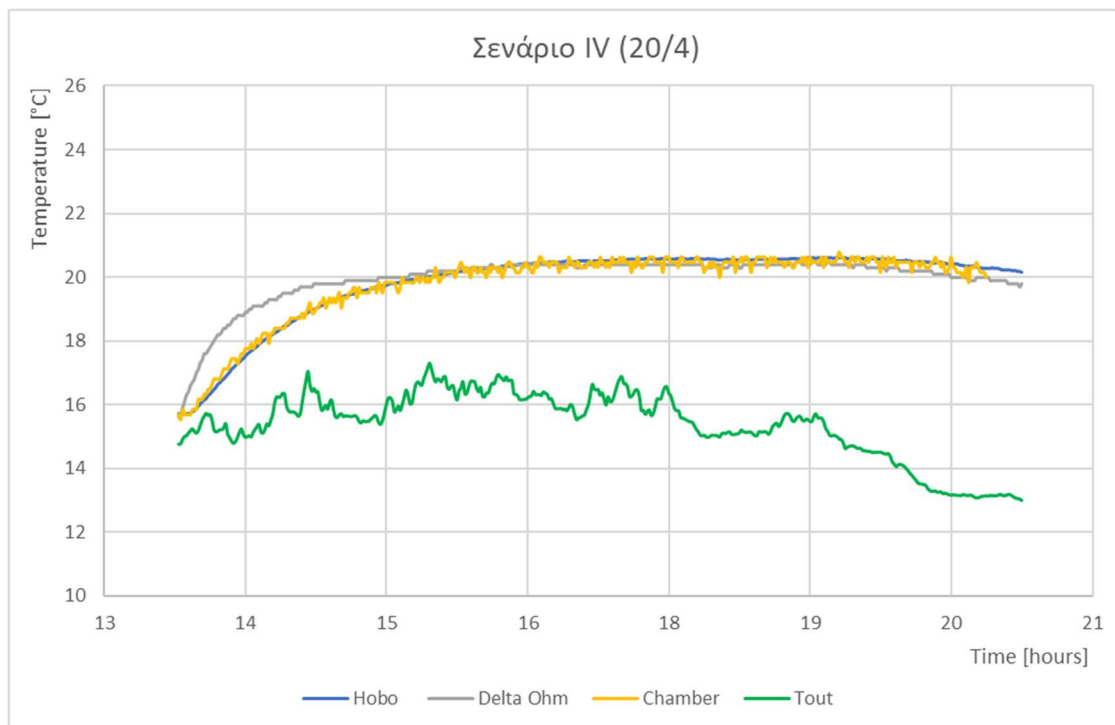
Γράφημα 6.12: Διάγραμμα εσωτερικής (διάφορων οργάνων) και εξωτερικής θερμοκρασίας για αντλία θερμότητας στους 35°C, Σενάριο I



Γράφημα 6.13: Διάγραμμα εσωτερικής (διάφορων οργάνων) και εξωτερικής θερμοκρασίας για αντλία θερμότητας στους 35°C, Σενάριο II



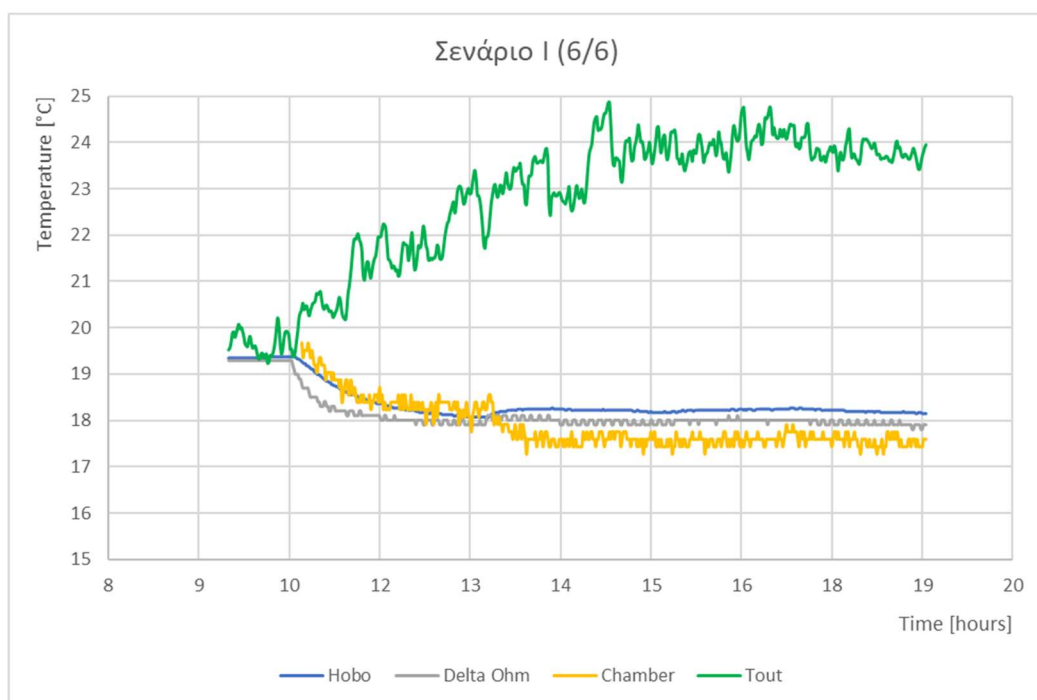
Γράφημα 6.14: Διάγραμμα εσωτερικής (διάφορων οργάνων) και εξωτερικής θερμοκρασίας για αντλία θερμότητας στους 35°C, Σενάριο III



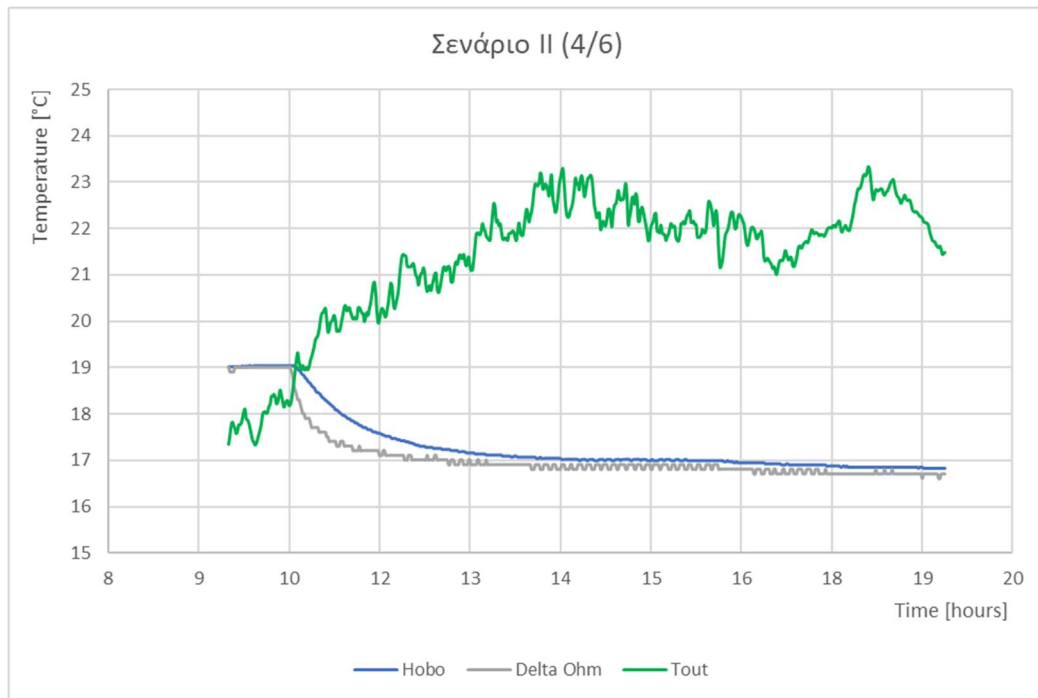
Γράφημα 6.15: Διάγραμμα εσωτερικής (διάφορων οργάνων) και εξωτερικής θερμοκρασίας για αντλία θερμότητας στους 35°C, Σενάριο IV



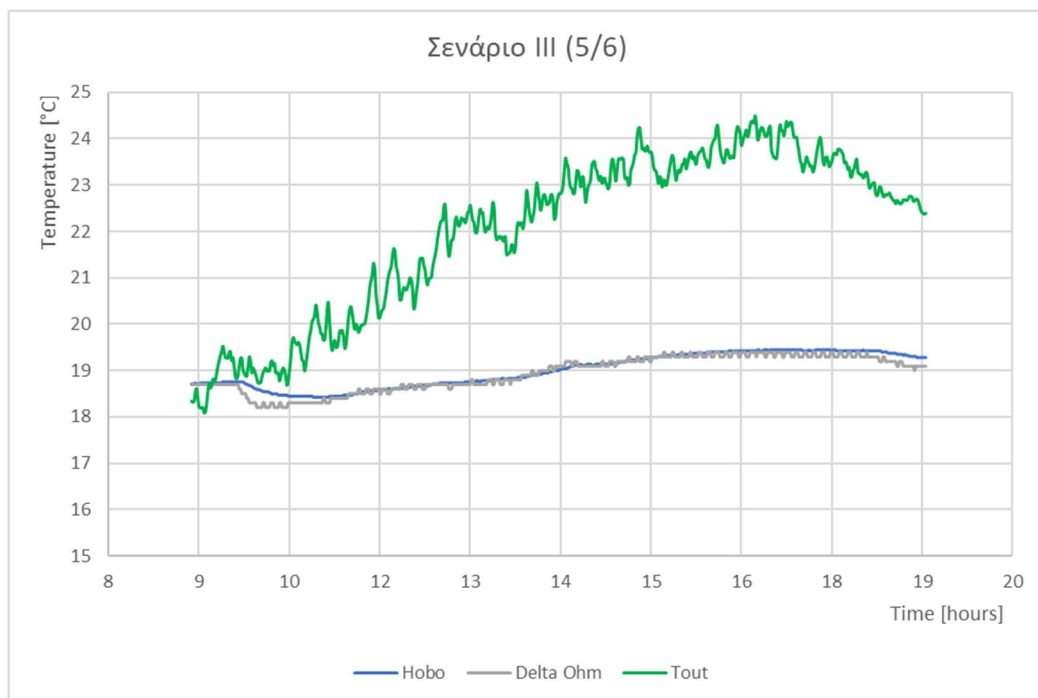
Για θερμοκρασία αντλίας θερμότητας ίσης με 10 °C πραγματοποιήθηκαν τέσσερα σενάρια ψύξης με το Σενάριο II (Γράφημα 6.17) να έχει τη χαμηλότερη θερμοκρασία ακριβώς για τον ίδιο λόγο αντίστοιχα στη θέρμανση. Λόγω των εξωτερικών κλιματολογικών συνθηκών που επικρατούσαν στην περιοχή δεν ήταν δυνατή η εκτέλεση περισσότερων πειραμάτων ψύξης. Αρχικά λόγω ανακυκλοφορίας επιστρέφει στο θάλαμο ήδη κρύος αέρας με χαμηλότερη θερμοκρασία από το εξωτερικό περιβάλλον για εκείνες τις ημέρες (22-27°C) οπότε ο θάλαμος πιάνει πιο ευκολά τη επιθυμητή θερμοκρασία. Για τα Σενάρια I III και IV (Γραφήματα 6.16, 6.18 και 6.19) ο λόγος που δεν έχουν φτάσει τις θερμοκρασίες του δεύτερου σεναρίου είναι ακριβώς ο αντίστροφος ότι δηλαδή ο εξωτερικός αέρας έχει μεγαλύτερη θερμοκρασία από αυτή που θέλουμε να επιτευξουμε με τη ψύξη και έτσι καθυστερεί να χαμηλώσει η θερμοκρασία. Στα σενάριο II (πλήρης ανακυκλοφορίας) παρατηρούνται υψηλότερες αποκλίσεις μεταξύ των οργάνων.



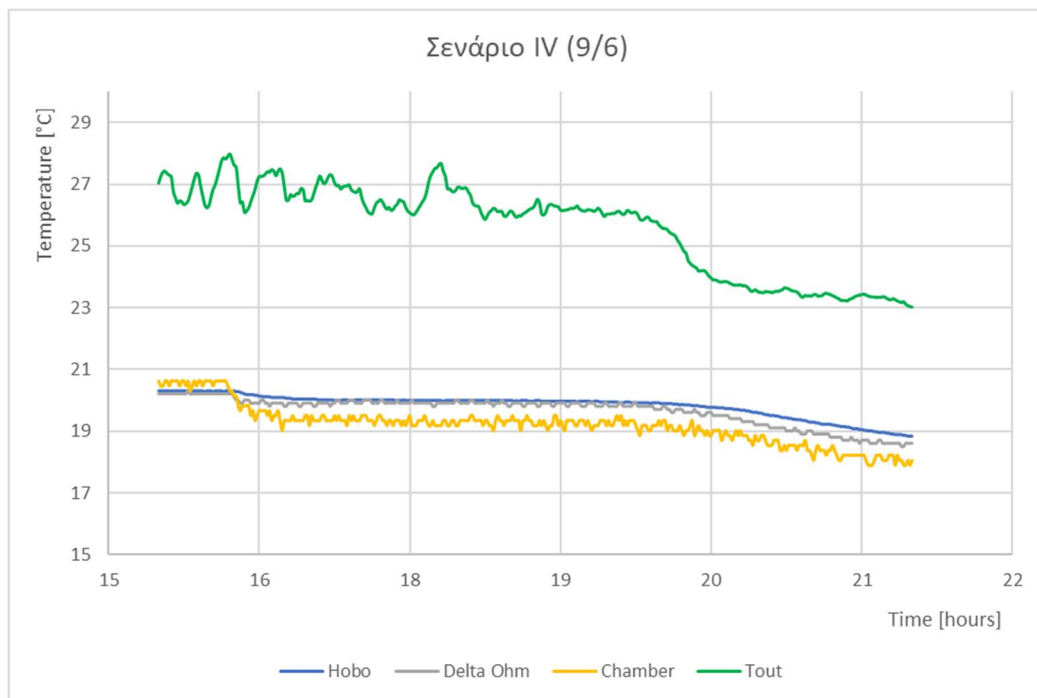
Γράφημα 6.16: Διάγραμμα εσωτερικής (διάφορων οργάνων) και εξωτερικής θερμοκρασίας για αντλία θερμότητας στους 10°C, Σενάριο I



Γράφημα 6.17: Διάγραμμα εσωτερικής (διάφορων οργάνων) και εξωτερικής θερμοκρασίας για αντλία θερμότητας στους 10°C, Σενάριο II



Γράφημα 6.18: Διάγραμμα εσωτερικής (διάφορων οργάνων) και εξωτερικής θερμοκρασίας για αντλία, Σενάριο III



Γράφημα 6.19: Διάγραμμα εσωτερικής (διάφορων οργάνων) και εξωτερικής θερμοκρασίας για αντλία θερμότητας στους 10°C, Σενάριο IV

Γενικό συμπέρασμα για όλα τα διαγράμματα αποτελεί το γεγονός ότι η καμπύλη του Delta Ohm να έχει γρηγορότερη απόκριση. Έτσι για τους υπολογισμούς του 7ου Κεφαλαίου θα αντλήσουμε τις μετρήσεις από το HD32.2A – WBG Index Measurement. Επίσης όταν ο θάλαμος ξεκινάει από χαμηλότερες θερμοκρασίες η διαφορά της απόκρισης μεταξύ των οργάνων είναι μεγαλύτερη. Αυτό ισχύει ακόμη περισσότερο όταν η θερμοκρασία λειτουργίας της αντλίας είναι μεγαλύτερη και στα σενάρια όπου έχουν μερική ή πλήρης ανακυκλοφορία αέρα.

### 6.3 Μετρήσεις Παροχής Αέρα

Με τη βοήθεια του παροχόμετρου αέρα - TSI ACCUBALANCE Model 8375 μετρήθηκε η παροχή για κάθε μια από τις είκοσι σχάρες εισαγωγής (+) και εξαγωγής (-) αέρα για τρεις διαφορετικές ταχύτητες ανεμιστήρων όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.3. Για τις μετρήσεις του 7ου Κεφαλαίου χρησιμοποιήθηκε η μεσαία ισχύς με παροχή εισαγωγής 2010 m<sup>3</sup>/h και παροχή εξαγωγής 1690 m<sup>3</sup>/h. Επιπροσθέτως για τη υψηλή ισχύ αντίστοιχα είναι 2555/-1975 και για τη χαμηλή ισχύ 1725/-1305 και παρατηρείτε ότι όσο μεγαλώνει η ισχύς τόσο μεγαλώνει η διαφορά. Επιπρόσθετα στον Πίνακα 6.4 αναφέρονται οι μέσες τιμές στις τρεις διαφορετικές βαθμίδες ισχύος αυτές, ξεχωριστά για εισαγωγή και εξαγωγή.

Πίνακας 6.3: Μετρημένες παροχές για κάθε σχάρα θαλάμου σε τρεις διαφορετικές βαθμίδες ισχύος.

Σχάρες	Υψηλή Ισχύς	Μεσαία Ισχύς	Χαμηλή Ισχύς
1	125 m <sup>3</sup> /h	110 m <sup>3</sup> /h	85 m <sup>3</sup> /h
2	-130 m <sup>3</sup> /h	-110 m <sup>3</sup> /h	-90 m <sup>3</sup> /h
3	220 m <sup>3</sup> /h	155 m <sup>3</sup> /h	130 m <sup>3</sup> /h
4	-145 m <sup>3</sup> /h	-120 m <sup>3</sup> /h	-95 m <sup>3</sup> /h
5	190 m <sup>3</sup> /h	140 m <sup>3</sup> /h	130 m <sup>3</sup> /h
6	-130 m <sup>3</sup> /h	-115 m <sup>3</sup> /h	-95 m <sup>3</sup> /h
7	255 m <sup>3</sup> /h	145 m <sup>3</sup> /h	125 m <sup>3</sup> /h
8	-195 m <sup>3</sup> /h	-130 m <sup>3</sup> /h	-125 m <sup>3</sup> /h
9	-250 m <sup>3</sup> /h	-235 m <sup>3</sup> /h	-150 m <sup>3</sup> /h
10	-220 m <sup>3</sup> /h	-190 m <sup>3</sup> /h	-140 m <sup>3</sup> /h
11	-230 m <sup>3</sup> /h	-190 m <sup>3</sup> /h	-150 m <sup>3</sup> /h
12	-230 m <sup>3</sup> /h	-200 m <sup>3</sup> /h	-150 m <sup>3</sup> /h
13	-220 m <sup>3</sup> /h	-190 m <sup>3</sup> /h	-150 m <sup>3</sup> /h
14	-225 m <sup>3</sup> /h	-210 m <sup>3</sup> /h	-160 m <sup>3</sup> /h
15	230 m <sup>3</sup> /h	205 m <sup>3</sup> /h	180 m <sup>3</sup> /h
16	275 m <sup>3</sup> /h	190 m <sup>3</sup> /h	185 m <sup>3</sup> /h
17	300 m <sup>3</sup> /h	300 m <sup>3</sup> /h	250 m <sup>3</sup> /h
18	330 m <sup>3</sup> /h	315 m <sup>3</sup> /h	225 m <sup>3</sup> /h
19	330 m <sup>3</sup> /h	200 m <sup>3</sup> /h	195 m <sup>3</sup> /h
20	300 m <sup>3</sup> /h	250 m <sup>3</sup> /h	220 m <sup>3</sup> /h
	2/12/2022 11:25	2/6/2023 19:45	9/12/2022 12:45
Ημερομηνία και Ωρα μέτρησης			

Πίνακας 6.4: Μέση τιμή για τις μετρημένες παροχές σε τρεις διαφορετικές βαθμίδες ισχύος ξεχωριστά για εισαγωγή και εξαγωγή.

Μέση τιμή	Υψηλή Ισχύς	Μεσαία Ισχύς	Χαμηλή Ισχύς
Εισαγωγή	255.5 m <sup>3</sup> /h	201 m <sup>3</sup> /h	172.5 m <sup>3</sup> /h
Εξαγωγή	-197.5 m <sup>3</sup> /h	-169 m <sup>3</sup> /h	-130.5 m <sup>3</sup> /h



Εικόνα 6.1 και 6.2 Μέτρηση παροχής αέρα με το TSI Balometer

## 6.4 Μετρήσεις Ταχύτητας Αέρα και Θερμοκάμερας

### 6.4.1 Εισαγωγή

Με τη βοήθεια του Ανεμόμετρου της εταιρίας Gill Instruments μετρήσαμε τη ταχύτητα του αέρα μέσα στο θάλαμο για όλες τις ταχύτητες του ανεμιστήρα για δυο διαφορετικά ύψη μετρήσεων (1.1m και 2m). Με τη χρήση της Θερμοκάμερας - FLIR E8-XT μετρήθηκαν οι θερμοκρασίες των θερμογεφυρών και των αεραγωγών του θαλάμου.

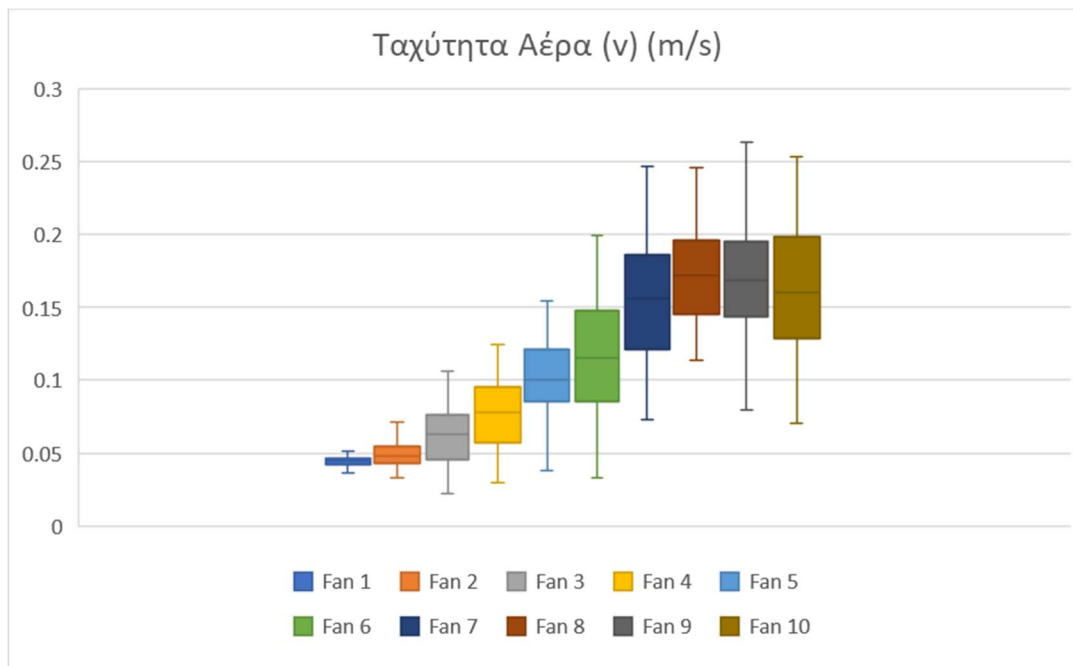
### 6.4.2 Μέτρηση σε ύψος 1.1 μέτρα

Η τοποθέτηση του ανεμομέτρου έγινε σε ύψος 1,1m που αντιστοιχεί σε καθιζόμενο άτομο βάσει του προτύπου ISO-7726 (1998). Όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.5 παρουσιάζεται η μέση, ελάχιστη και μέγιστη τιμή για κάθε περίπτωση της ταχύτητας των ανεμιστήρων:

Πίνακας 6.5: Η μέση, η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή της ταχύτητας του αέρα για κάθε περίπτωση της ταχύτητας των ανεμιστήρων σε ύψος 1.1 μέτρα.

Fan Mode	Average(m/s)	Min(m/s)	Max(m/s)
Fan 1	0.044	0.0361	0.051
Fan 2	0.048	0.024	0.072
Fan 3	0.062	0.021	0.124
Fan 4	0.076	0.029	0.124
Fan 5	0.101	0.030	0.154
Fan 6	0.116	0.032	0.199
Fan 7	0.150	0.073	0.247
Fan 8	0.172	0.072	0.285
Fan 9	0.168	0.065	0.285
Fan 10	0.163	0.070	0.253

Η ελάχιστη - μέγιστη και η μέση τιμή αντλήθηκαν από ένα σύνολο δεδομένων από πειραματική διαδικασία διάρκειας 24 ωρών και επομένως με βάσει αυτή τα δεδομένα δημιουργήθηκε ένα διάγραμμα για ένα εύρος τιμών σε σχέση με τη ταχύτητα του ρότορα του ανεμιστήρα. Επιπρόσθετα οι οριζόντιες γραμμές μέσα στα «κουτιά» αποτελούν την διάμεσο όπως φαίνεται στον Γράφημα 6.20. στον οποίο στα fan 8,9 και 10 ,οι τιμές είναι πολύ κοντά και δεν παρατηρούνται ιδιαίτερες διαφορές. Γενικότερα να σημειωθεί πως ταχύτητες αέρα μεγαλύτερες του 0.1 m/s μπορούν να προκαλέσουν δυσαρέσκεια στους ανθρώπους.



Γράφημα 6.20 Εύρος τιμών ταχύτητας αέρα για ύψος μέτρησης οργάνου 1.1m

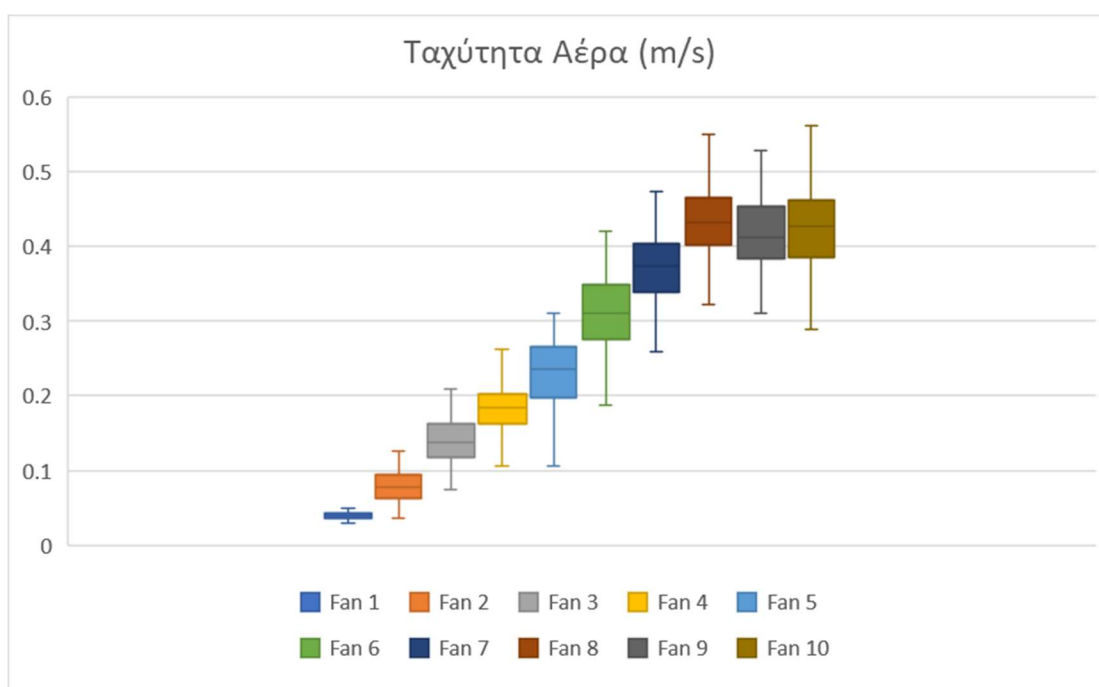
#### 6.4.3 Μέτρηση σε ύψος 2 μέτρα

Η τοποθέτηση του ανεμομέτρου έγινε σε ύψος 2m που αντιστοιχεί στο αντίστοιχο ύψος των γριλιών. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.6 παρουσιάζεται η μέση, ελάχιστη και μέγιστη τιμή της ταχύτητας για κάθε περίπτωση της ταχύτητας των ανεμιστήρων:

Πίνακας 6.6: Η μέση, η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή της ταχύτητας του αέρα για κάθε περίπτωση της ταχύτητας των ανεμιστήρων σε ύψος 2 μέτρα.

Fan Mode	Average (m/s)	Min (m/s)	Max (m/s)
Fan 1	0.039	0.018	0.073
Fan 2	0.079	0.036	0.150
Fan 3	0.113	0.027	0.208
Fan 4	0.182	0.106	0.261
Fan 5	0.232	0.105	0.311
Fan 6	0.308	0.187	0.419
Fan 7	0.371	0.258	0.472
Fan 8	0.432	0.321	0.611
Fan 9	0.421	0.310	0.527
Fan 10	0.424	0.288	0.560

Η ελάχιστη - μέγιστη και η μέση τιμή αντλήθηκαν από ένα σύνολο δεδομένων από πειραματική διαδικασία διάρκειας 24 ωρών και επομένως με βάσει αυτή τα δεδομένα δημιουργήθηκε ένα διάγραμμα για ένα εύρος τιμών σε σχέση με τη ταχύτητα του ρότορα του ανεμιστήρα όπως φαίνεται στο Γράφημα 6.21.

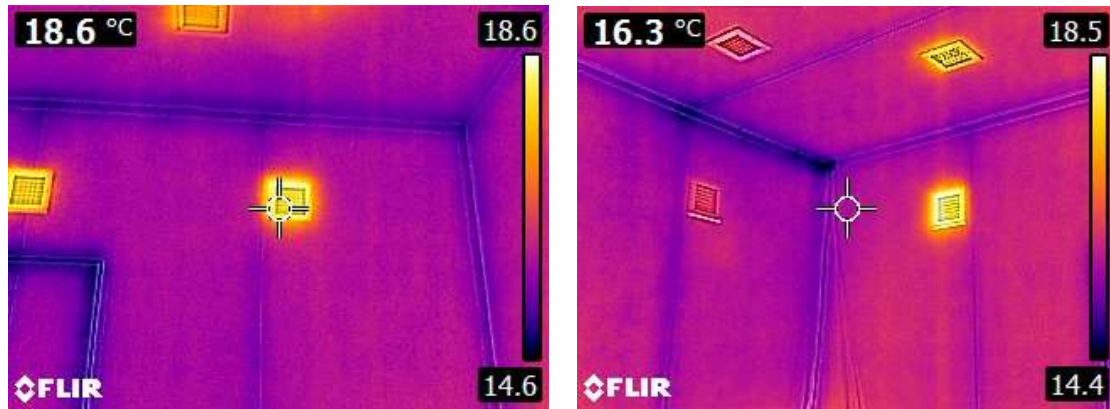


Γράφημα 6.21: Εύρος τιμών ταχύτητας αέρα για ύψος μέτρησης οργάνου 2m

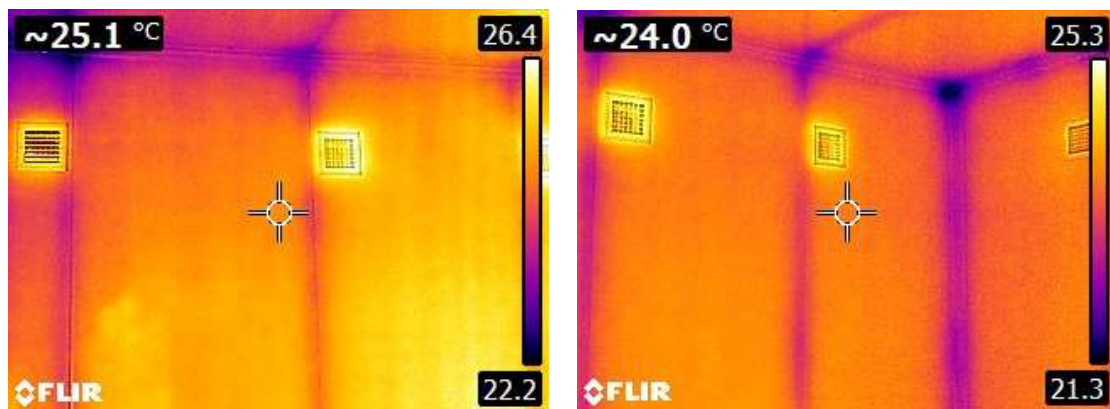
Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων για τις ταχύτητες του αέρα στα δύο διαφορετικά ύψη μέτρησης παρατηρήθηκε πως οι ταχύτητες του αέρα ήταν σαφώς μεγαλύτερες στα 2m, μιας και οι παροχές του αέρα βρίσκονται λίγο πάνω από αυτό το ύψος. Από εκεί και πέρα οι διαφορές σχετίζονται άμεσα και με την ταχύτητα των ανεμιστήρων.

#### 6.4.4 Μετρήσεις θερμοκάμερας

Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις με την χρήση θερμοκάμερας για τον εντοπισμό των θερμογεφυρών του θαλάμου, αλλά και των θερμοκρασιακών διαφορών μεταξύ των αεραγωγών που φέρνουν και απομακρύνουν τον αέρα. Οι μετρήσεις γίνανε με τη βοήθεια της Θερμοκάμερας - FLIR E8-XT. Παρακάτω παραθέτονται ορισμένες λήψεις που τραβήχτηκαν με τη θερμοκάμερα όπως φαίνονται στις Εικόνες 6.3 έως 6.6.



Εικόνα 6.3 και 6.4 Μέτρηση θερμοκρασίας στη σχάρα και στις θερμογέφυρες με το FLIR E8-XT



Εικόνα 6.5 και 6.6 Μέτρηση θερμοκρασίας των τοίχων με το FLIR E8-XT



## 7 Αποτελέσματα για πειράματα με την παρουσία ανθρώπων στον θάλαμο

### 7.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα των πειραμάτων που προέβλεπαν την παρουσία ανθρώπων στο θάλαμο. Ειδικότερα θα παρουσιαστούν όλα τα διαγράμματα της θερμοκρασίας αέρα, της σχετικής υγρασίας, των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) του θαλαμου, θα γίνει η ανάλυση του γραφήματος πλαισίου-απολίξεων των δεικτών PMV και PPD, ο υπολογισμός της Θερμοκρασίας Άνεσης με τη χρήση του μοντέλου του Griffith καθώς και η παρουσίαση των αποτελεσμάτων των ερωτηματολογίων για κάθε ημερομηνία που διεξήχθη η πείραματική διαδικασία. Στον Πίνακα 7.1 παρουσιάζεται το ημερολόγιο των μετρήσεων όπου πραγματοποιήθηκαν στο θάλαμο με την παρουσία ατόμων σε αυτόν. Πιο αναλυτικά παρουσιάζονται αναλυτικά η ταχύτητα των ανεμιστήρων (5 για μεσαία ισχύ και 0 για κλειστούς ανεμιστήρες), ποιες περσίδες είναι ανοιχτές (0) και ποιες κλειστές (10), η θερμοκρασία του εναλλάκτη θερμότητας, καθώς και οι ώρες στις οποίες υπήρχε πληθυσμός μέσα στο θάλαμο κατά τη διάρκεια των πειραμάτων και πόσοι άνθρωποι βρισκόντουσαν σε κάθε περίπτωση. Επιπροσθέτως για τις ημερομηνίες που είναι δίπλες πραγματοποιήθηκαν δυο διαφορετικά πειράματα με τους ίδιους συμμετέχοντες.

Πίνακας 7.1: Ημερολόγιο των μετρήσεων όπου πραγματοποιήθηκαν στο θάλαμο με την παρουσία ατόμων σε αυτόν

Day	Fan 1	Fan 2	Damper 1	Damper 2	Damper 3	A/C (°C)	Hours	Άτομα
10/4/2023 (1)	5	5	10	10	0	45	16:30-17:30	2
10/4/2023 (2)	5	5	0	0	0	off	17:30-18:27	2
11/4/2023	5	5	10	10	0	45	15:00-17:50	5
21/4/2023	5	5	0	0	0	40	15:45-17:35	2
27/4/2023	5	5	10	10	0	40	19:22-20:27	2
9/5/2023 (1)	5	5	0	0	10	50	17:45-18:45	2
9/5/2023 (2)	5	5	0	0	10	off	18:45-19:20	2
15/5/2023	5	5	10	10	0	40	16:00-17:50	3
28/5/2023 (1)	0	0	0	0	10	off	16:45-17:30	2
28/5/2023 (2)	5	5	0	0	10	40	17:30-18:40	2
2/6/2023 (1)	5	5	0	0	10	off	18:45-19:45	2
2/6/2023 (2)	5	5	0	0	10	10	19:45-20:45	2
8/6/2023	0	0	0	0	10	off	16:20-18:00	4
10/6/2023	5	5	0	0	10	off	16:45-18:10	3

Οι παράμετροι που μελετήθηκαν για την θερμική άνεση είναι η θερμοκρασία του αέρα, η μέση ακτινοβολούμενη θερμοκρασία, η ταχύτητα του αέρα, ο ρυθμός μεταβολισμού, η θερμική μόνωση λόγω ενδυμασίας και η σχετική υγρασία, ενώ ενδεικτικά παρουσιάζονται, για την ποιότητα του αέρα, τα επίπεδα συγκέντρωσης του CO<sub>2</sub>. Στόχος η εύρεση των δεικτών PMV και PPD για κάθε άτομο που συμμετείχε κατά τη διάρκεια των πειραμάτων και η σύγκριση με την πραγματική αίσθηση άνεσης των χρηστών για την κάθε ημέρα διεξαγωγής του πειράματος.

Ακολουθεί ο Πίνακας 7.2 της μέσης, ελάχιστης και μέγιστης τιμής της θερμοκρασίας αέρα, της σχετικής υγρασίας και του διοξειδίου του άνθρακα καθώς και τη μέση τιμή των εξωτερικών συνθηκών που μετρήθηκαν κατά τη διάρκεια των πειραμάτων.

Πίνακας 7.2: Η μέση, η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή των παραμέτρων καθώς και η μέση τιμή των εξωτερικών συνθηκών που μετρήθηκαν.

Ημέρα Πειράματος	Παράμετρος	Συνθήκες Θαλάμου			Εξωτερικές Συνθήκες
		Mean	Min	Max	Mean
10/4/2023	T <sub>air</sub>	26.85	23.84	29.44	6.28
	RH	40.38	28.60	63.60	82.44
	CO <sub>2</sub>	630.96	460.00	1480.00	400.00
11/4/2023	T <sub>air</sub>	24.13	15.20	28.16	13.02
	RH	50.91	40.20	70.80	33.94
	CO <sub>2</sub>	962.22	470.00	1410.00	400.00
21/4/2023	T <sub>air</sub>	19.54	15.68	22.40	18.55
	RH	41.26	36.80	46.60	26.93
	CO <sub>2</sub>	536.94	450.00	1500.00	400.00
27/4/2023	T <sub>air</sub>	22.45	19.52	20.64	13.11
	RH	33.23	28.20	34.00	24.67
	CO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.00	400.00
9/5/2023	T <sub>air</sub>	23.15	20.96	27.04	12.43
	RH	0	0	0	100
	CO <sub>2</sub>	477.39	470	610	400.00
15/5/2023	T <sub>air</sub>	23.47	23.04	25.12	18.07
	RH	55.17	47.60	68.20	63.41
	CO <sub>2</sub>	713.31	480.00	1060.00	400.00
28/5/2023	T <sub>air</sub>	21.34	18.56	23.52	19.11
	RH	56.46	49.20	66.00	58.89
	CO <sub>2</sub>	502.32	430.00	970.00	400.00
2/6/2023	T <sub>air</sub>	23.35	20.32	25.76	22.38
	RH	42.43	37.20	52.20	34.54
	CO <sub>2</sub>	477.31	460.00	600.00	400.00
8/6/2023	T <sub>air</sub>	22.44	20.00	25.60	21.42
	RH	58.51	55.60	62.80	47.00
	CO <sub>2</sub>	1311.49	420.00	2510.00	400.00
10/6/2023	T <sub>air</sub>	23.15	20.48	25.60	25.87
	RH	47.84	40.00	59.20	33.02
	CO <sub>2</sub>	466.56	440.00	680.00	400.00

## 7.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων Θερμοκρασίας και Υγρασίας

### 7.2.1 Εξίσωση υπολογισμού μεγεθών υγρασίας

Στην υποενότητα αυτή θα γίνει παράθεση των διαγραμμάτων της θερμοκρασίας ξηρού βολβού ( $T_{air}$ ) και υγρασίας (RH) που μετρήθηκαν ανά λεπτό με τη χρήση του HP3201 – Natural Ventilation Wet Bulb και του HD32.2A – WBGT. Για τον υπολογισμό της σχετικής υγρασίας (RH%) από την θερμοκρασία υγρού βολβού που καταγράφει το αισθητήριο HP3201 έγινε με την εξίσωση που περιγράφεται παρακάτω, ενώ οι υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν στο λογισμικό matlab, όπου ο κώδικας που χρησιμοποιήθηκε ο κώδικας παρουσιάζεται στο Παράρτημα.

$$\ln(p_{ss}) = \sum_{i=-1}^3 g_i T_{air}^i + g_4 \ln T_{air} \quad [7.1]$$

Όπου:

$P_{ss}$ : Η μερική πίεση των υδρατμών σε κεκορεσμένο αέρα ( $P_a$ )

$T_{air}$ : Η θερμοκρασία του αέρα ( $^{\circ}C$ )

$g_i$ : Σταθερές της εξίσωσης που εμφανίζονται παρακάτω:

$$g_{-1} = -0,58002206 \times 10^4 ,$$

$$g_0 = 0,13914993 \times 10^1 ,$$

$$g_1 = -0,48640239 \times 10^{-1} ,$$

$$g_2 = 0,41764768 \times 10^{-4} ,$$

$$g_3 = -0,14452093 \times 10^{-7} ,$$

$$g_4 = 0,65459673 \times 10^1 \text{ και}$$

$$\ln(p_{ss\_wb}) = \sum_{i=-1}^3 g_i T_{wb}^i + g_4 \ln T_{wb} \quad [7.2]$$

Όπου:

$P_{ss\_wb}$ : Η μερική πίεση των υδρατμών της θερμοκρασίας υγρού βολβού ( $P_a$ )

$T_{wb}$ : Η θερμοκρασία υγρού βολβού ( $^{\circ}C$ )

$g_i$ : Σταθερές της εξίσωσης που εμφανίζονται παρακάτω:

$$g_{-1} = -0,58002206 \times 10^4 , g_0 = 0,13914993 \times 10^1 , g_1 = -0,48640239 \times 10^{-1} , g_2 = 0,41764768 \times 10^{-4} , g_3 = -0,14452093 \times 10^{-7} , g_4 = 0,65459673 \times 10^1$$

Κλάσμα υδρατμών προς μάζα του ξηρού αέρα

$$W_{ss} = \frac{0.622p_{ss\_wb}}{p_{atm} - p_{ss\_wb}} \quad [7.3]$$

Όπου:

$P_{ss\_wb}$ : Η μερική πίεση των υδρατμών ( $P_a$ )

$P_{atm}$ : Η ατμοσφαιρική πίεση ( $P_a$ )

Αναλογία υγρασίας υγρού αέρα (μάζα νερού αέρα ανά μονάδα μάζας ξηρού αέρα)

$$W = \frac{(2501 - 2.381t_{wb})w_{ss} - 1.006(t_{air} - t_{wb})}{2501 + .805t_{air} - 4.186t_{wb}} \quad [7.4]$$

Όπου:

$T_{wb}$ : Η θερμοκρασία υγρού βολβού ( $^{\circ}C$ )

$T_{air}$ : Η θερμοκρασία του αέρα ( $^{\circ}C$ )

$w_{ss}$ : Κλάσμα υδρατμών προς μάζα του ξηρού αέρα

Λόγος μερικής πίεσης υδρατμών ( $P_a$ )

$$p_s = \frac{p_{atm}W}{0.622 + W} \quad [7.5]$$

Όπου:

$P_{atm}$ : Η ατμοσφαιρική πίεση ( $P_a$ )

$W$ : Αναλογία υγρασίας υγρού αέρα

Ποσοστό σχετικής υγρασίας (λόγος μερικής πίεσης υδρατμών προ την πίεση κορεσμού)

$$RH = \frac{p_s}{p_{ss}} * 100\% \quad [7.6]$$

Όπου:

$P_s$ : Λόγος μερικής πίεσης υδρατμών ( $P_a$ )

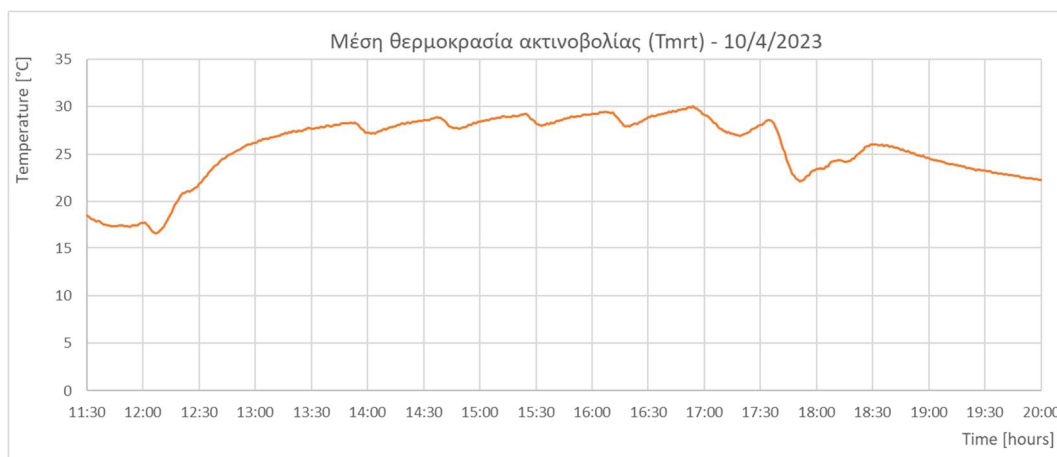
$P_{ss}$ : Η μερική πίεση των υδρατμών σε κεκορεσμένο αέρα ( $P_a$ )

## 7.2.2 Αποτελέσματα θερμοκρασία - υγρασίας

-10/4/2023: Στα διαγράμματα 7.1-7.3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα, και ειδικότερα, η θερμοκρασία του αέρα (Γράφημα. 7.1), η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας (Γράφημα 7.2) και η σχετική υγρασία (Γράφημα 7.3), για τη σχετική ημέρα μετρήσεων. Αρχικά στις 12:00 έτρεξε σενάριο με ανοιχτό το damper 3 (ανακυκλοφορίας), το A/C στους 45°C και damper 1 και 2 κλειστά, επίσης στην αρχή άνοιγμα και υγραντήρα. Στις 16:30 υπήρχαν δυο άτομα στο θαλαμο και το σύστημα άνοιξε όπως φαίνεται στον Πίνακα 7.1 ενώ στις 17:00 άνοιξε ο υγραντήρας. Στις 17:30 ανοίγει το damper 1 και 2 και κλείνει το 3 για να έχω πιο αποδεκτές συνθήκες και κλείνει το A/C ενώ στις 17:40 ανοίγει ξανα ο υγραντηρας. Γενικά στο παρόν πείραμα όπως και στα επόμενα παρατηρήθηκε πως η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας κυμαίνεται στα ίδια επίπεδα με αυτά του αέρα, μιας και δεν έχουμε κάποια πηγή ακτινοβολίας πέρα από τις λάμπες φωτισμού του θαλάμου.



Γράφημα 7.1: Διάγραμμα θερμοκρασίας αέρα Τα για 10/4

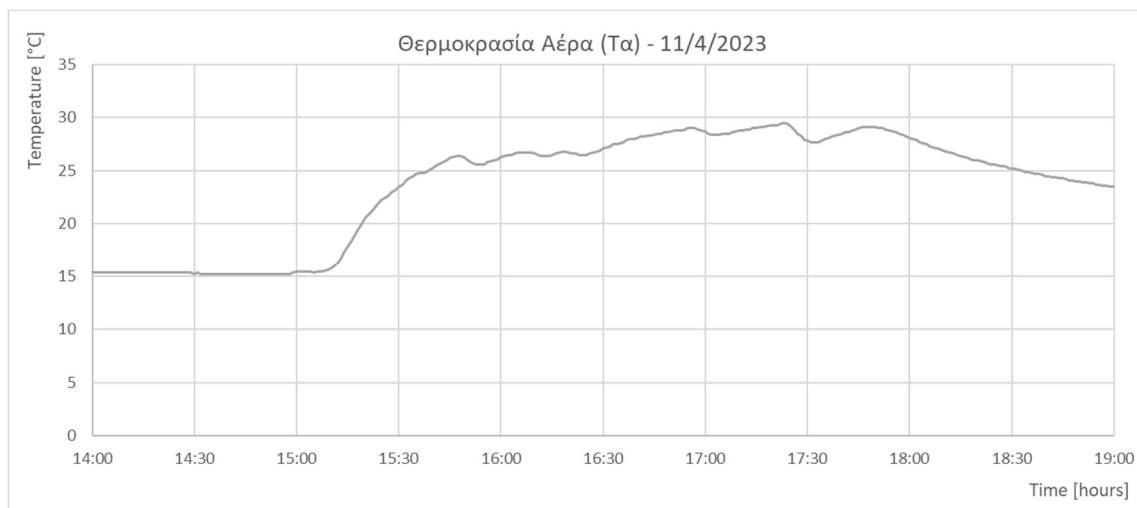


Γράφημα 7.2: Διάγραμμα μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας Tmrt για 10/4

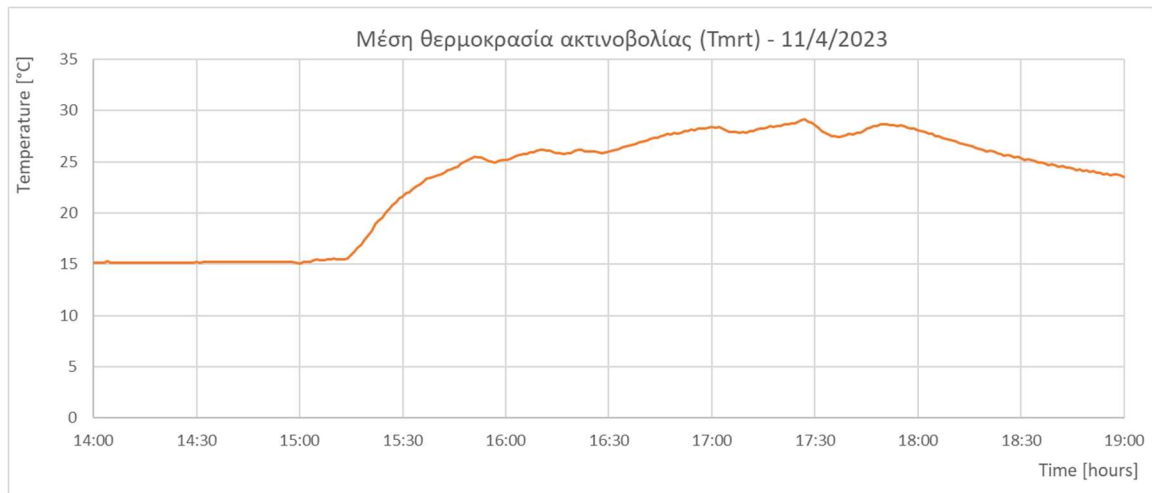


Γράφημα 7.3: Διάγραμμα σχετικής υγρασίας για 10/4

-11/4/2023: Τα Διαγράμματα αποτελεσμάτων, για τα σχετικά μεγέθη, είναι τα 7.4-7.6. Στις 15:00 άνοιγμα του συστήματος με damper 1 και 2 κλειστά και αντλία θερμότητας στους 45°C και του υγραντήρα. Στις 15:48 ξανανοίγει ο υγραντήρας για να αυξηθεί κι άλλο η υγρασία. Στις 15:50 εισήλθαν και άλλα άτομα στο θάλαμο φτάνοντας τους 5 συμμετέχοντες στη πειραματική διαδικασία. Τελος στις 17:24 ανοιγει μια τελευταια φορα ο υγραντηρας. Στο διάγραμμα 7.6 η αύξηση και η μείωση της υγρασίας στις απότομες καμπύλες που σχηματίζονται είναι αρκετά παρόμοιες, δηλαδή ο ρυθμός για να επιστρέψει το σύστημα στα κανονικά επίπεδα υγρασίας είναι αρκετά κοντά σε κάθε περίπτωση. Οι συνθήκες στο θάλαμο δεν ήταν αρκετά αποδεκτές από τον πληθυσμό στο θάλαμο με μέση τιμή θερμοκρασίας αέρα 24.13°C και 50.91% για τη σχετική υγρασία. Επίσης κατά την αύξηση της θερμοκρασίας του θαλάμου παρατηρείται πως το άνοιγμα του υγραντήρα αυξάνει την σχετική υγρασία σε μικρότερο βαθμό όπως είναι φυσιολογικό μιας και έχουμε αύξηση της θερμοκρασίας κορεσμού.



Γράφημα 7.4: Διάγραμμα θερμοκρασίας αέρα Τα για 11/4

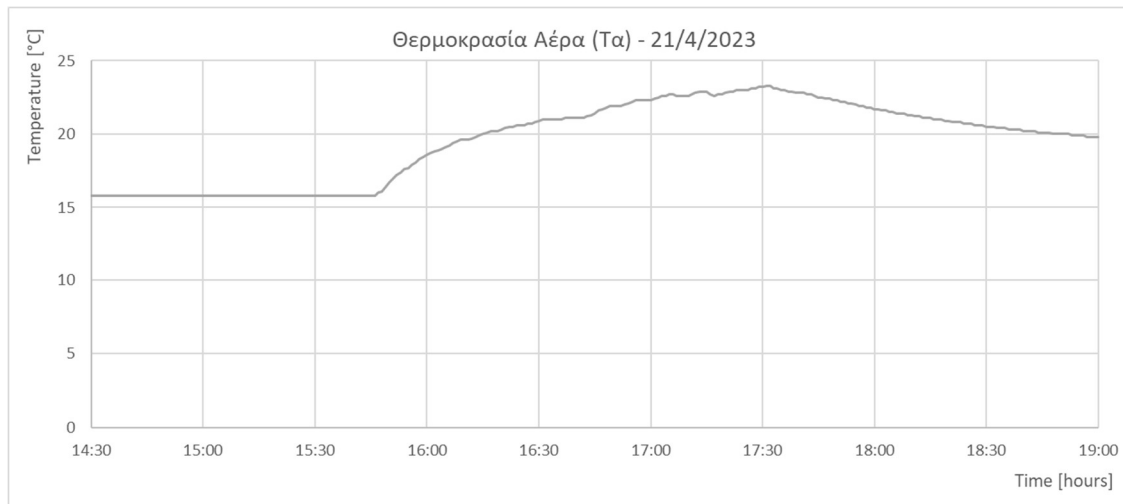


Γράφημα 7.5: Διάγραμμα μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας Tmrt για 11/4

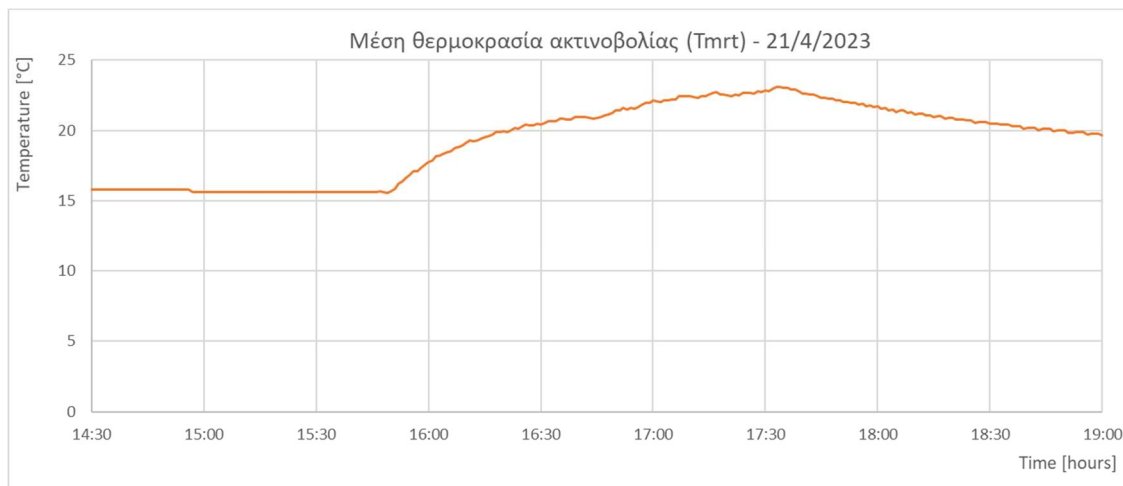


Γράφημα 7.6: Διάγραμμα σχετικής υγρασίας για 11/4

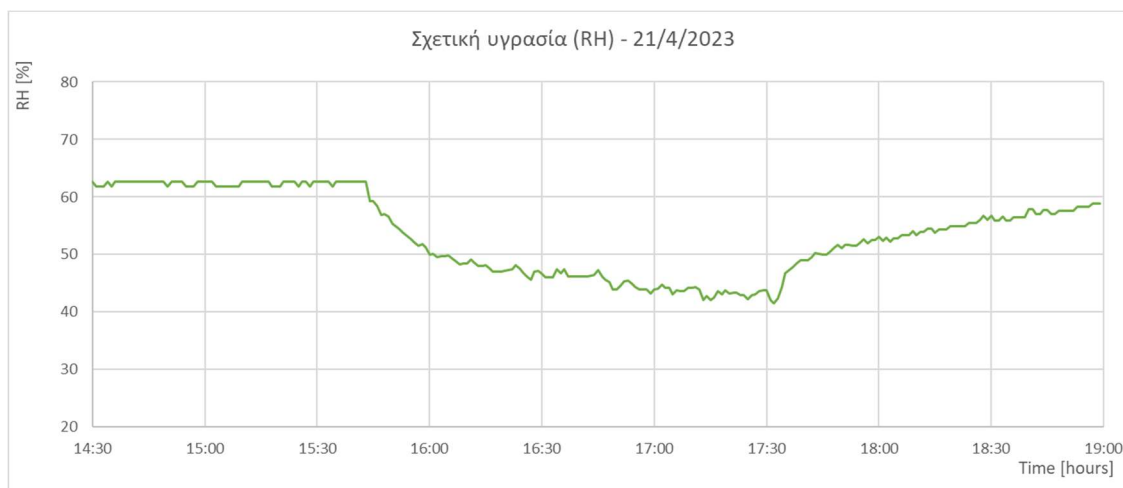
-21/4/2023 : Τα Γραφήματα 7.7-7.9 αφορούν τα σχετικά μεγέθη για τις 21/4. Το σύστημα ανοίγει στις 15:45 με τα dampers όλα ανοιχτά και αντλία στους 40°C μεχρι να κλεισει στις 17:34. Σε αυτή τη περίπτωση είναι πολύ ευκολο να παρατηρηθεί ο ρυθμός πτώσης θερμοκρασίας αφότου κλείσει το συστημα αλλα και ο ρυθμός αύξησης της σχετικής υγρασίας στο θαλαμο σε αναλογία με τη πτώση θερμοκρασίας. Οι συνθήκες στο θάλαμο ήταν αρκετά αποδεκτές με μέση τιμή θερμοκρασίας αέρα 19.54°C και 41.26% για τη σχετική υγρασία.



Γράφημα 7.7: Διάγραμμα θερμοκρασίας αέρα Ta για 21/4



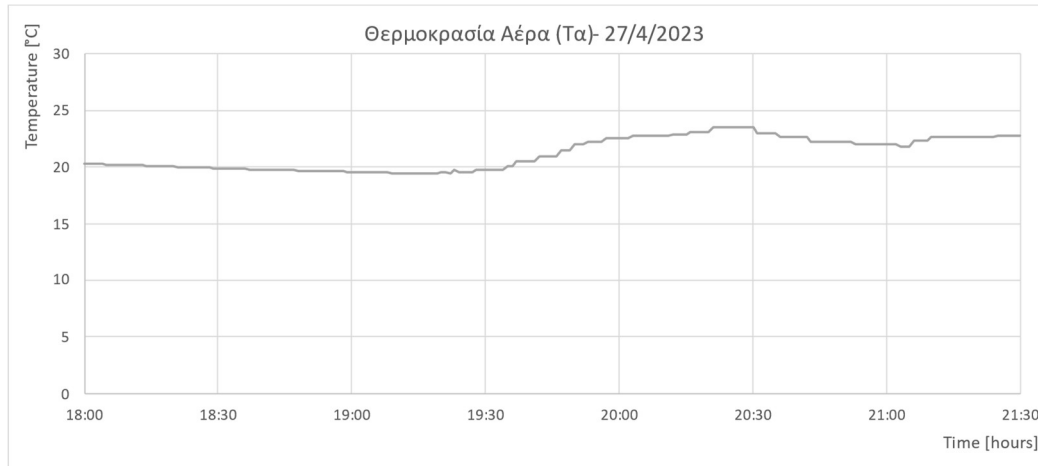
Γράφημα 7.8: Διάγραμμα μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας Tmrt για 21/4



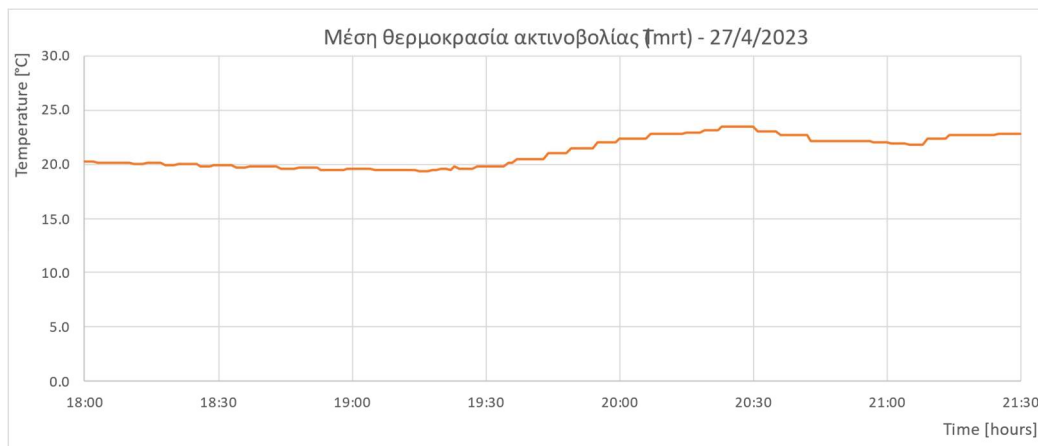
Γράφημα 7.9: Διάγραμμα σχετικής υγρασίας για 21/4



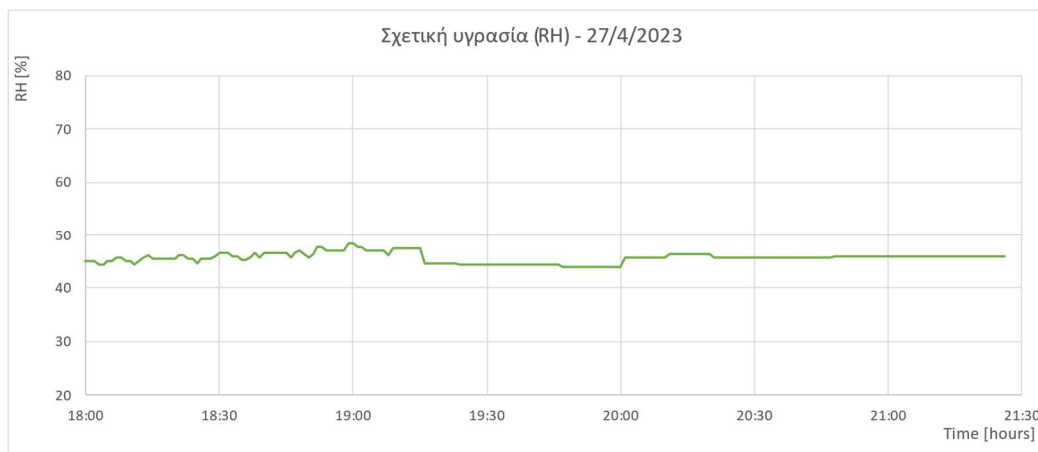
-27/4/2023 : Σενάριο ανακυκλοφορίας με damper 1 και 2 κλειστά και το damper 2 ανοιχτό με A/C στους 40°C στις 19:22. Ένα σενάριο με αρκετά αποδεκτές συνθήκες για τον πληθυσμό και μέσες τιμές θερμοκρασίας και υγρασίας 22.45°C και 40-50% αντιστοίχα. Επιπλέον, η χαμηλότερη θερμοκρασία της αντλίας θερμότητας σε σύγκριση με προηγούμενα πειράματα βοήθησε στο να μην αυξηθεί πολύ η θερμοκρασία αέρα του θαλάμου παρά το γεγονός ότι υπήρχε ανακυκλοφορία αέρα. Ακολουθούν τα διαγράμματα 7.10-7.12 στα οποία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα.



Γράφημα 7.10: Διάγραμμα θερμοκρασίας αέρα Ta για 27/4

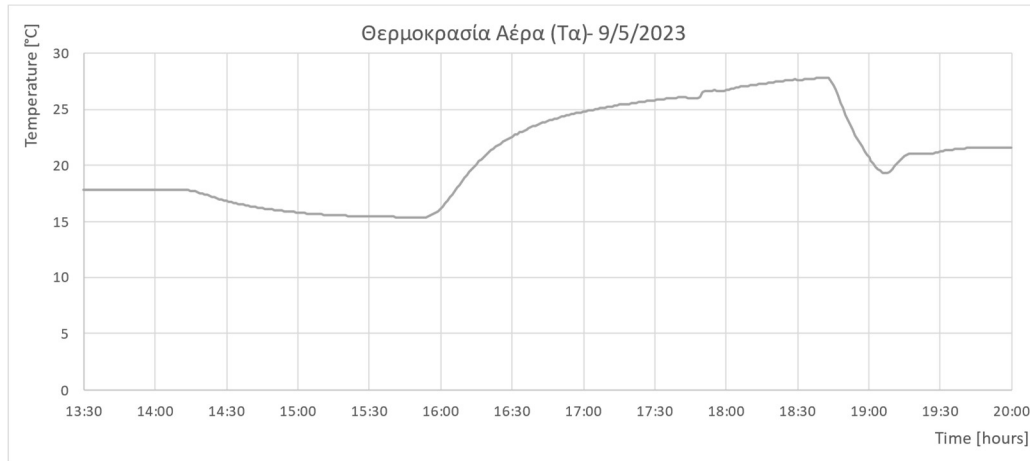


Γράφημα 7.11: Διάγραμμα μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας Tmrt για 27/4

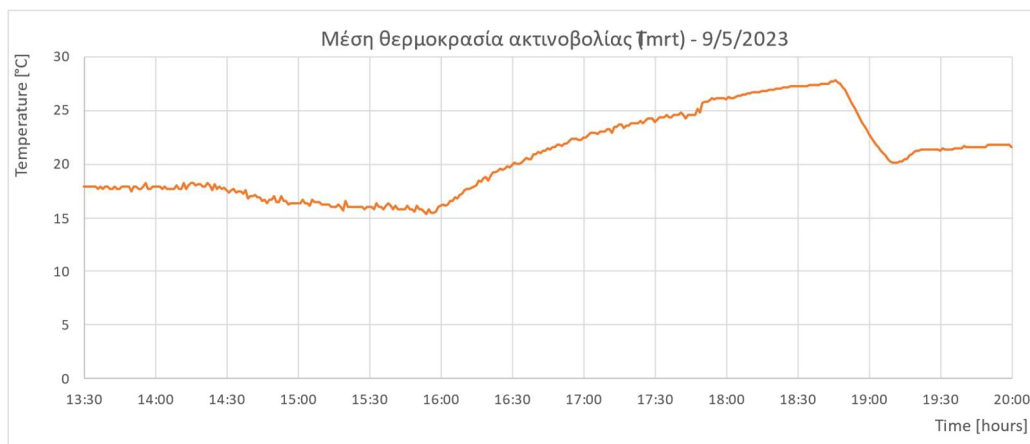


Γράφημα 7.12: Διάγραμμα σχετικής υγρασίας για 27/4

-9/5/2023: Στις 14:10 ανοίξαν μόνο οι ανεμιστήρες στη μεσαία ισχύ και damper 1 και 2 ανοιχτά για να εισάγουμε αέρα μόνο απ' έξω ενώ έχουμε βροχή εξωτερικά του εργαστηρίου και στις 15:50 ανοίξε η αντλία στους 50°C και η υγρασία σταδιακά πέφτει. 17:45 μπήκαν άτομα στο θάλαμο. Στις 18:45 ξεκίνησε το δεύτερο σενάριο έκλεισε η αντλία θερμότητας με τους ανεμιστήρες να φέρνουν αέρα μόνο από έξω και λόγω της εξωτερικής βροχής στο περιβάλλον παρατηρείτε μεγάλη αύξηση της υγρασίας (Γραφημα 7.15), με αποτέλεσμα σημαντική πτώση της θερμοκρασίας μέχρι να τελειώσει το πείραμα στις 19:20.



Γράφημα 7.13: Διάγραμμα θερμοκρασίας αέρα Ta για 9/5

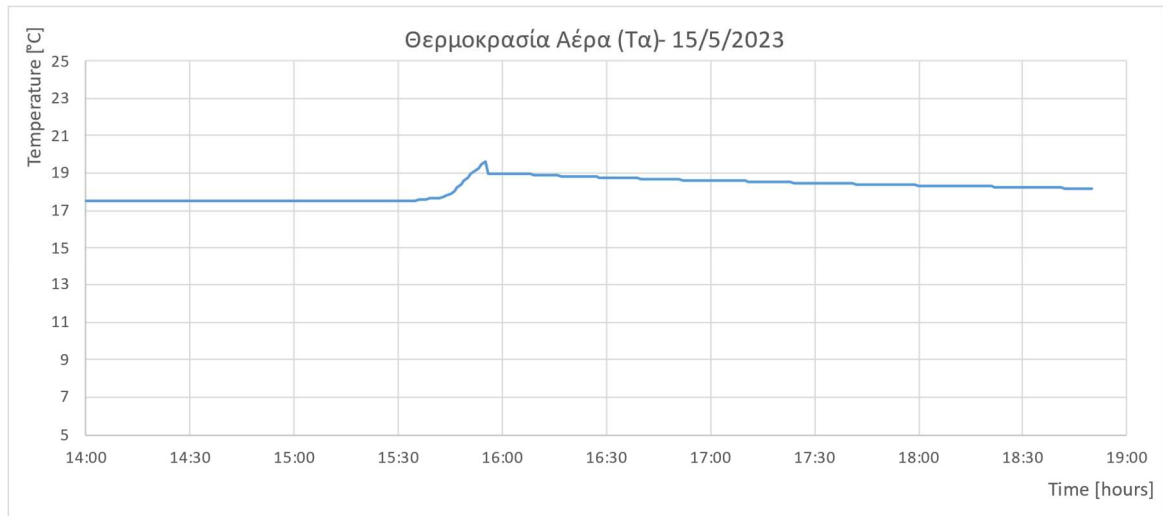


Γράφημα 7.14: Διάγραμμα μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας Tmrt για 9/5

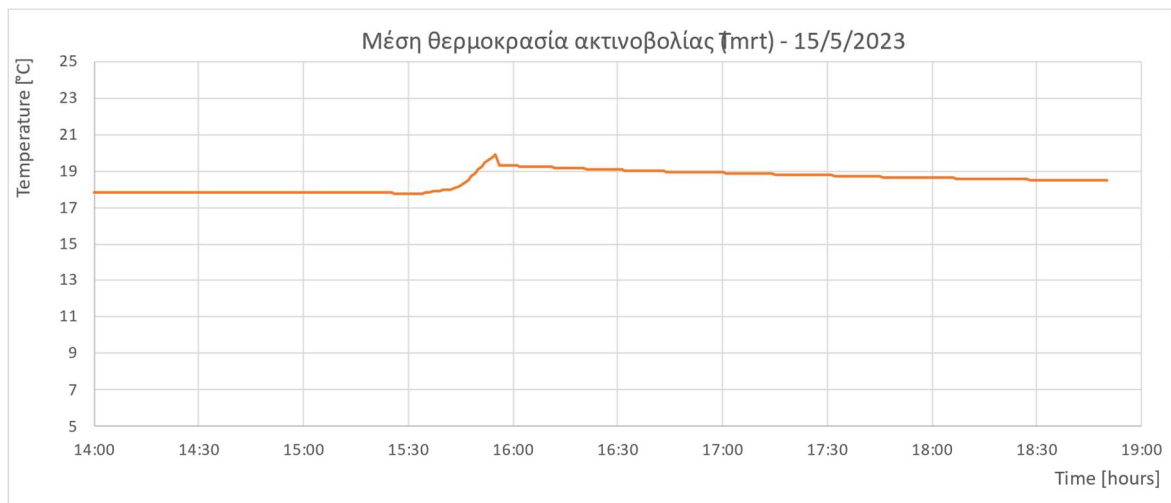


Γράφημα 7.15: Διάγραμμα σχετικής υγρασίας για 9/5

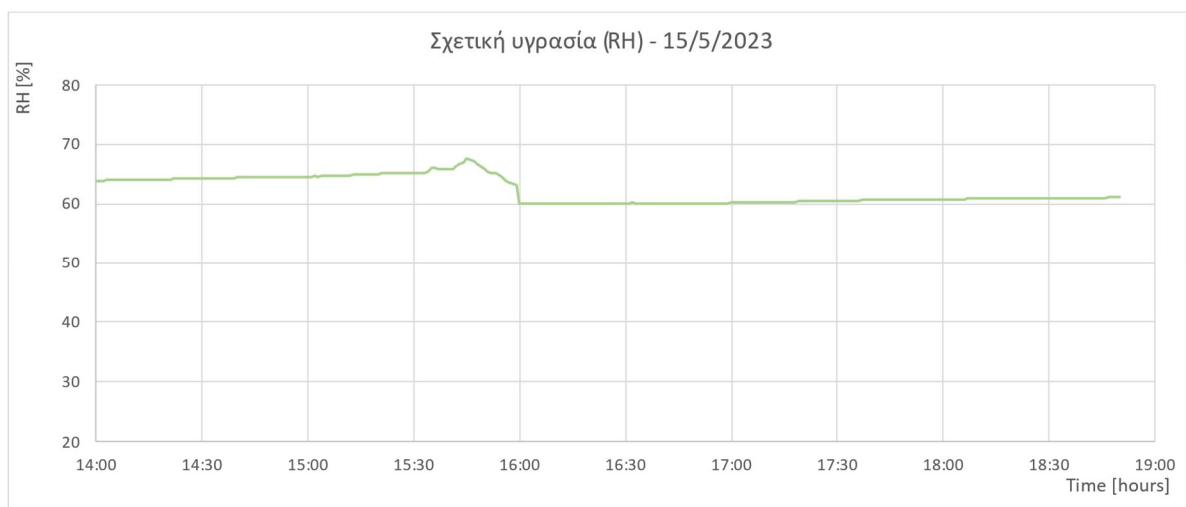
-15/5/2023 : Άνοιγμα συστήματος με ανακυκλοφορία στις 15:38 με αντλία στους 40°C.



Γράφημα 7.16: Διάγραμμα θερμοκρασίας αέρα Τα για 15/5

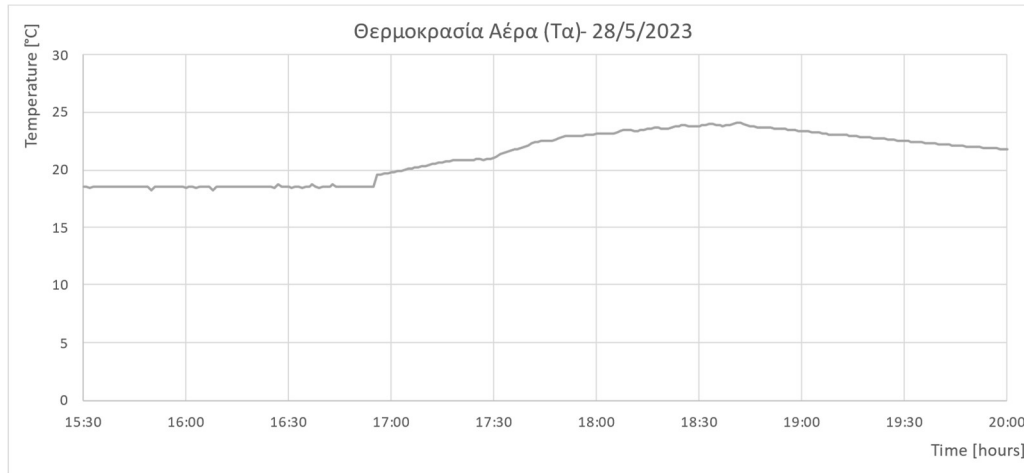


Γράφημα 7.17: Διάγραμμα μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας Tmrt για 15/5

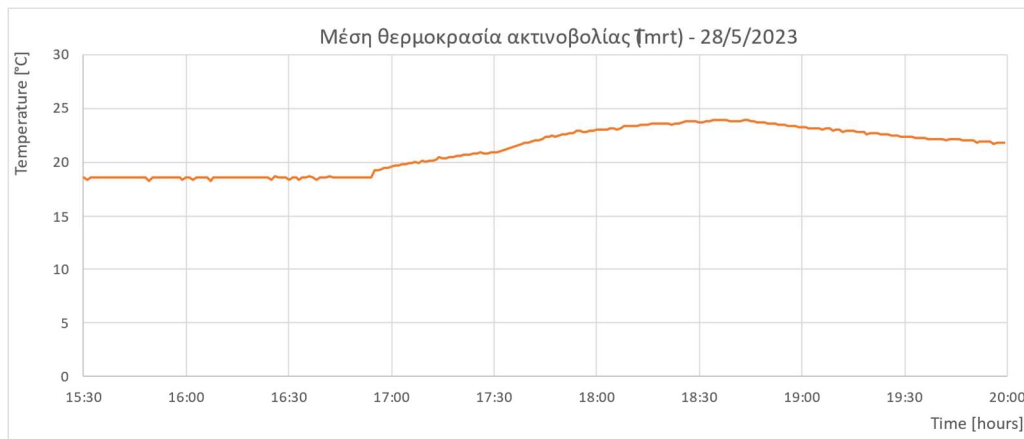


Γράφημα 7.18: Διάγραμμα σχετικής υγρασίας για 15/5

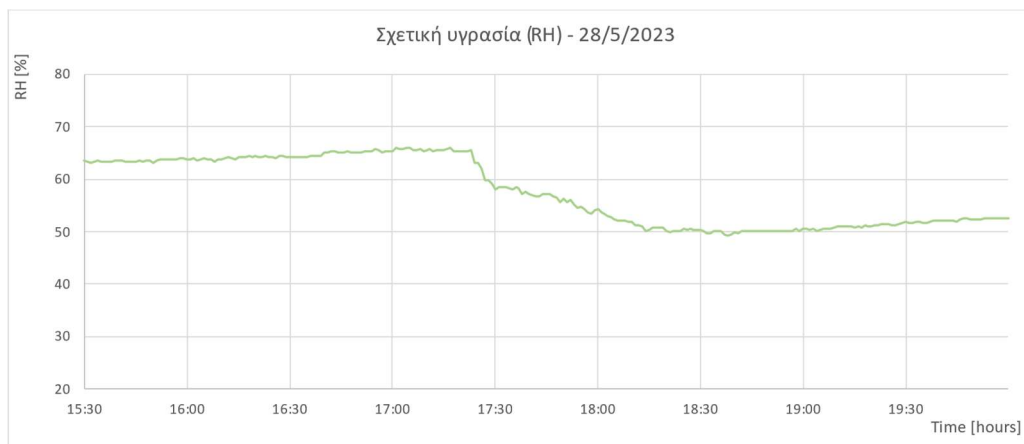
-28/5/2023: Τα Γραφήματα 7.7-7.9 αφορούν τα σχετικά μεγέθη για τις 28/5. Στις 16:45 ο θάλαμος έχει άτομα και μεχρι τις 17:20 το συστημα είναι κλειστο. Μετά από τη συμπλήρωση των ερωτηματολογίων το σύστημα ανοίγει στις 17:27 μεχρι τις 18:40 με damper 3 κλειστό , damper 1 και 2 ανοιχτά και A/C στους 40°C, ώστε να έχουμε πλήρης ανανέωση του αέρα. Ιδανικές συνθήκες και στα δυο σενάρια αλλά στη δεύτερη περίπτωση που το σύστημα ανοίγει, επιτυγχάνονται τιμές θερμοκρασίας κοντά στους 24°C και πτώση υγρασίας στο 50% για ακόμα πιο άνετη αισθηση των ατόμων εντός του θαλάμου.



Γράφημα 7.19: Διάγραμμα θερμοκρασίας αέρα Ta για 28/5



Γράφημα 7.20: Διάγραμμα μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας Tmrt για 28/5

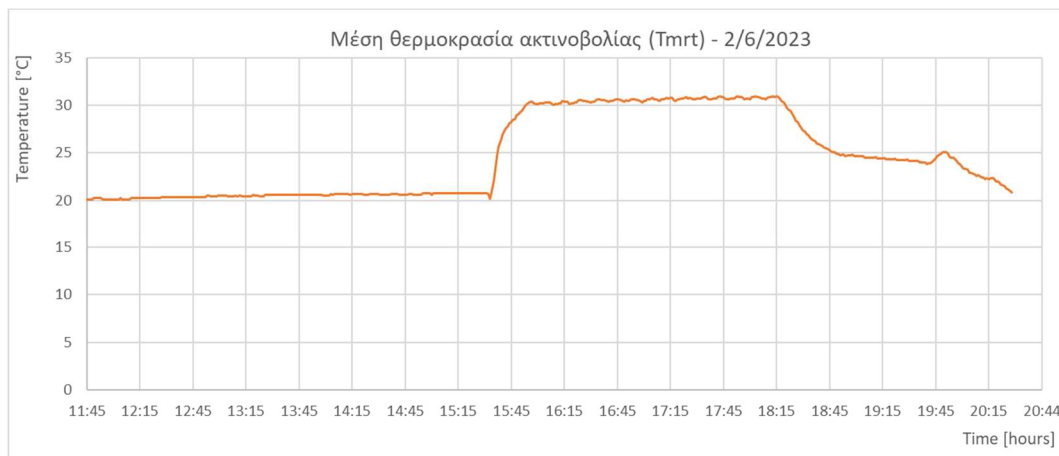


Γράφημα 7.21: Διάγραμμα σχετικής υγρασίας για 28/5

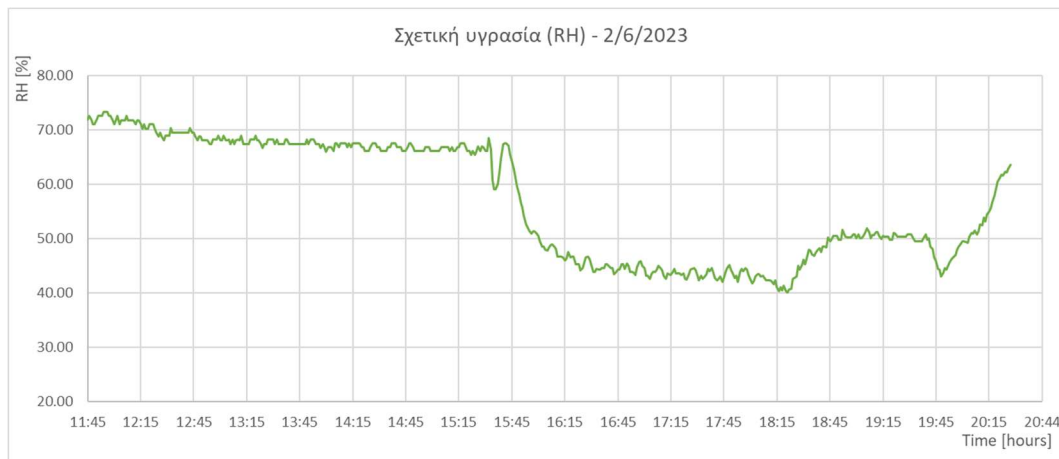
-2/6/2023: Τα Γραφήματα 7.7-7.9 αφορούν τα σχετικά μεγέθη για τις 2/6. Αρχικά στις 10:00 Έναρξη λειτουργίας θαλάμου με damper 1 και 2 κλειστά(ανακυκλοφορία) και η αντλία στους 50°C. Για το 1° σενάριο στις 18:15-20:45 τα damper 1 και 2 ανοιξαν και εκλεισε το damper 3 για πλήρη ανανέωση αέρα και 18:45 εισήλθαν 2 άτομα στο χωρο. Για το 2° σενάριο πραγματοποιείται ψύξη απο τις 19:40 μεχρι τις 20:45 με την αντλία στους 10 °C, ενώ στις 19:55, όπως παρατηρείται, άνοιξε ο υγραντήρας.



Γράφημα 7.22: Διάγραμμα θερμοκρασίας αέρα Ta για 2/6

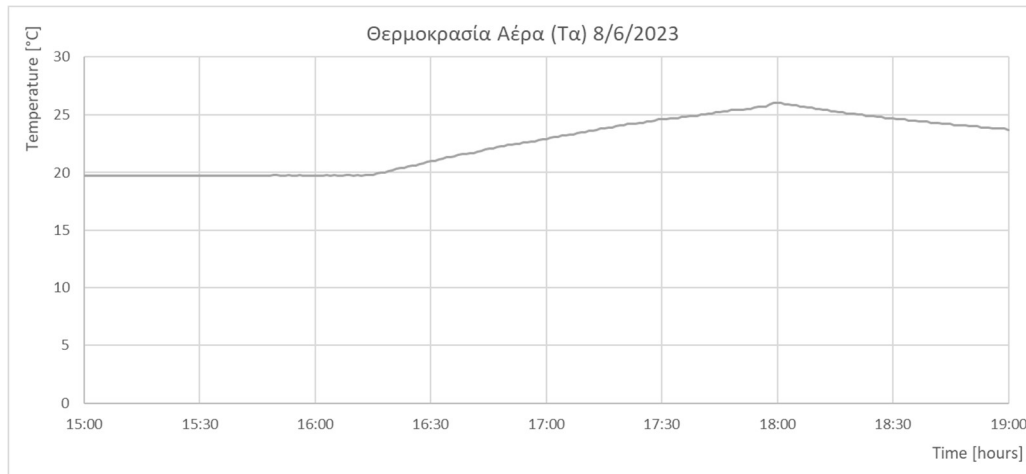


Γράφημα 7.23: Διάγραμμα μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας Tmrt για 2/6

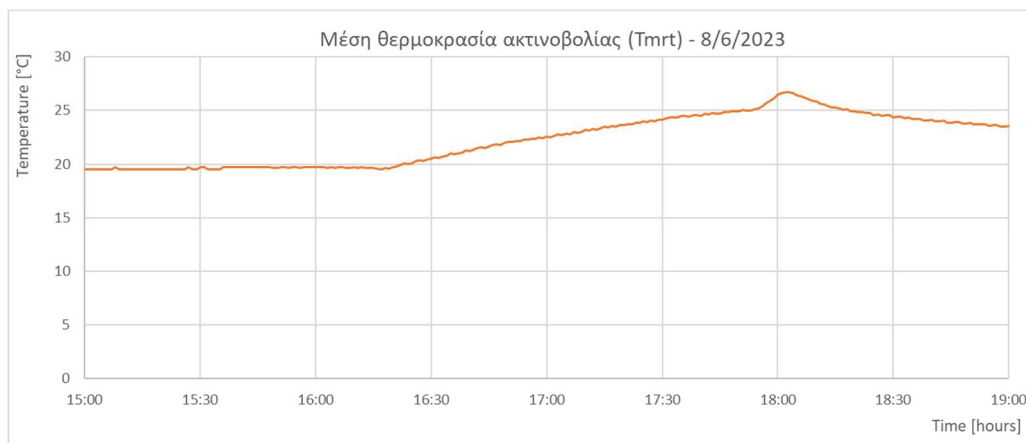


Γράφημα 7.24: Διάγραμμα σχετικής υγρασίας για 2/6

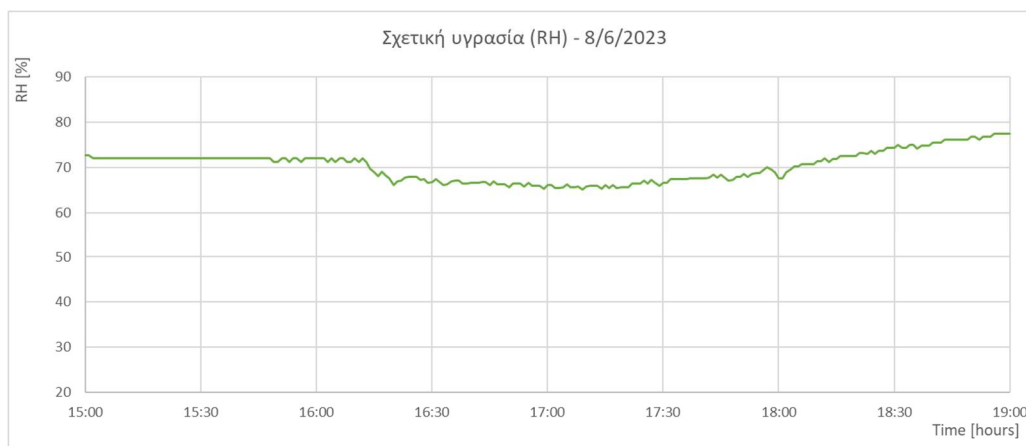
-8/6/2023 : Στις 16:20 εισήλθαν τρία άτομα στο χώρο και ένας ακόμη στις 17:10 και ο θαλάμος αδειασε στις 18:00. Το σύστημα HVAC ήταν πλήρως κλειστό δεν λειτουργούσαν ούτε ανεμιστήρες ούτε η αντλία θερμότητας και υπήρχε πλήρης ανανεωση με damper 1 και 2 ανοιχτά. Η αύξηση της θερμοκρασίας κατά 5°C που παρατηρείται μετά την έλευση των ατόμων οφείλεται στον φωτισμό του θαλάμου, αλλά και στην παρουσία ατόμων στο χώρο. Τα επίπεδα υγρασίας παραμένουν σχετικά σταθερά καθόλη τη διάρκεια του πειράματος. Στα παρακάτω γραφήματα 7.25-7.27 παρουσιάζονται τα σχετικά μεγέθη που σχολιάστηκαν.



Γράφημα 7.25: Διάγραμμα θερμοκρασίας αέρα Ta για 8/6



Γράφημα 7.26: Διάγραμμα μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας Tmrt για 8/6

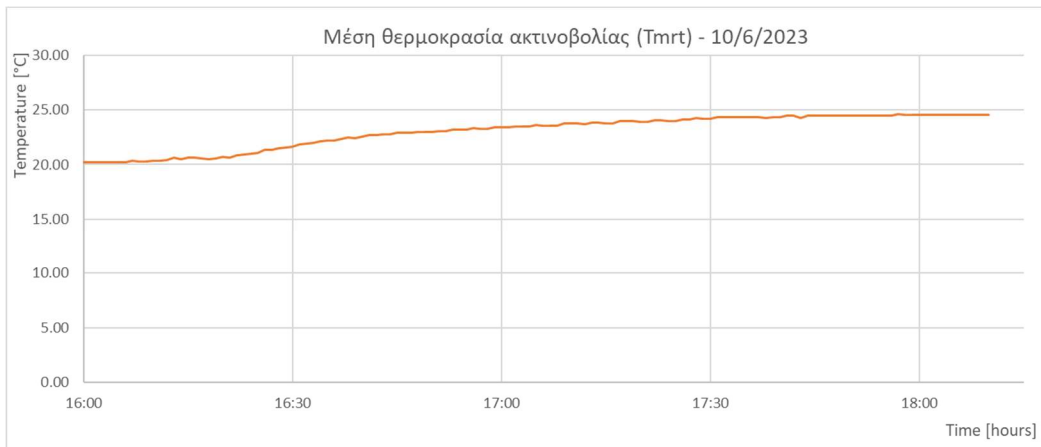


Γράφημα 7.27: Διάγραμμα σχετικής υγρασίας για 8/6

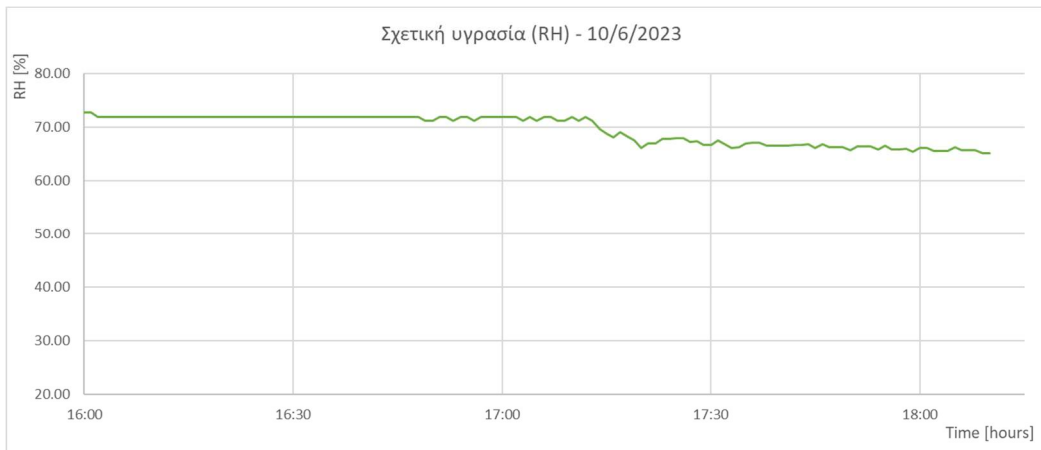
-10/6/2023: Τελος τα Διαγράμματα αποτελεσμάτων στις 10/6, για τα σχετικά μεγέθη βρίσκονται στα Γραφήματα 7.28-7.29. Το σενάριο ξεκίνησε στις 16:15 με 3 άτομα , με τα damper 1 και 2 ανοιχτά και damper 3 κλειστό (πλήρης ανανέωση). Αυτή τη φορά η αντλία ηταν κλειστή όσο οι ανεμιστηρες δούλευαν στη μεσαία ισχύ διατηρώντας τη θερμοκρασία θαλάμου στους 20-25°C. Να σημειωθεί και εδώ ότι η αύξηση της θερμοκρασία οφείλεται στον φωτισμό του θαλάμου, αλλά και τις πιο αυξημένες θερμοκρασίες του εξωτερικού περιβάλλοντος που επηρεάζουν το εσωτερικό, μιας και έχουμε πλήρης ανανέωση του αέρα.



Γράφημα 7.28: Διάγραμμα θερμοκρασίας αέρα Ta για 10/6



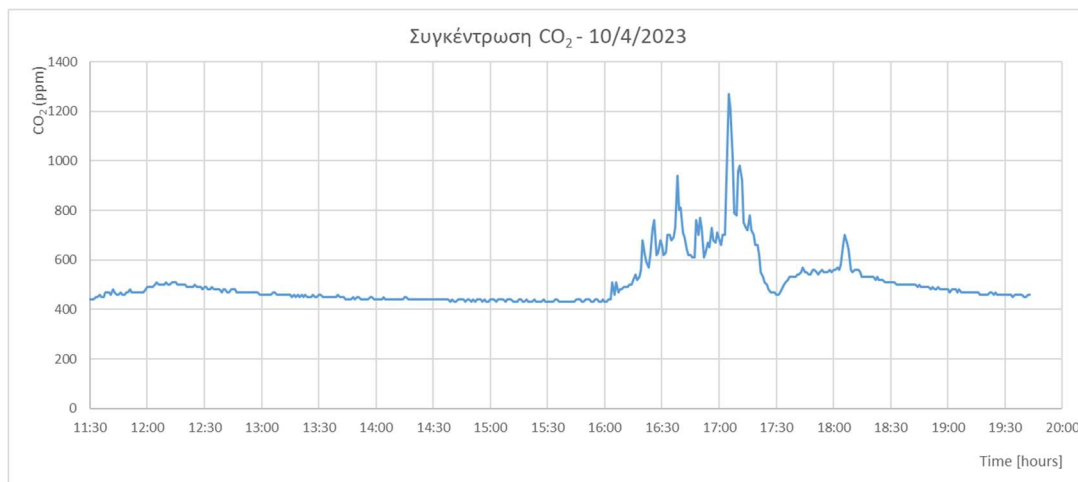
Γράφημα 7.29: Διάγραμμα μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας Tmrt για 10/6



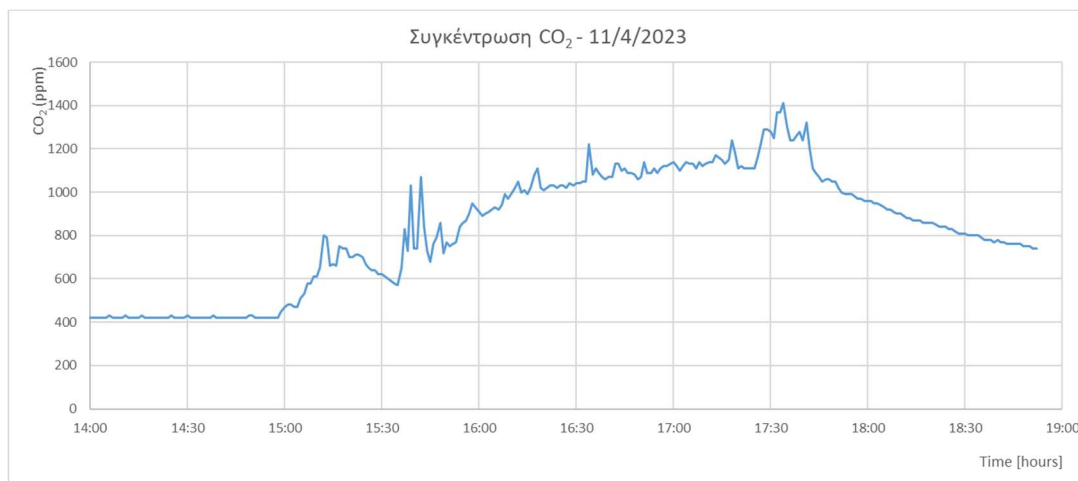
Γράφημα 7.30: Διάγραμμα σχετικής υγρασίας για 10/6

### 7.3 Μετρούμενη συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα

Στην υποενότητα αυτή θα γίνει παράθεση των διαγραμμάτων της συγκέντρωσης του CO<sub>2</sub> που μετρήθηκε στο θάλαμο, με τη χρήση του οργάνου Tongdy G01-CO2-B10C/30C Carbon Dioxide Transmitter. Τα συμπεράσματα που είναι δυνατόν να αντληθούν από τα παρακάτω διαγράμματα 7.31-7.39 είναι η πρόβλεψη για το αν υπήρχε πληθυσμός εντός του θαλάμου, δηλαδή όταν υπάρχει αύξηση των ppm του CO<sub>2</sub> είναι φανερό ότι για εκείνες τις ώρες υπήρχαν άτομα στο θάλαμο. Επίσης υψηλότερες συγκεντρώσεις παρατηρήθηκαν στα σενάρια που είχαμε μερική ή πλήρης ανακυκλοφορία, ενώ στα σενάρια όπου είχαμε πλήρης ανανέωση τα επίπεδα CO<sub>2</sub> παρέμειναν σε πολύ ικανοποιητικές τιμές. Στο σενάριο που πραγματοποιήθηκε στις 8/6, όπου το σύστημα HVAC ήταν απενεργοποιημένο με αποτέλεσμα να μην υπάρχει ανανέωση του αέρα παρατηρούμε συνεχόμενη αύξηση του CO<sub>2</sub> μέχρι το επίπεδο των 2500ppm, όπου στη συνέχεια έγινε η εκκένωση του χώρου.

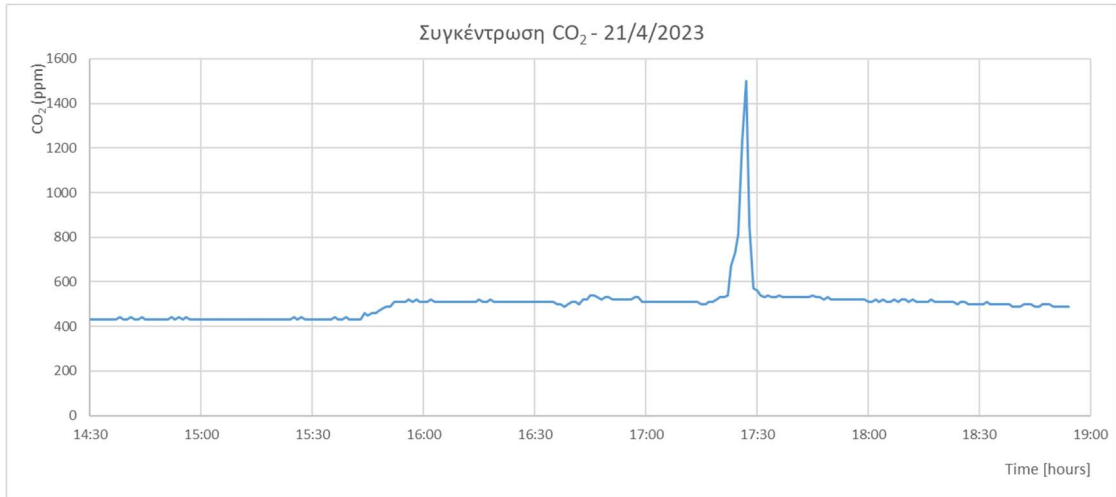


Γράφημα 7.31: Διάγραμμα εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα για 10/4

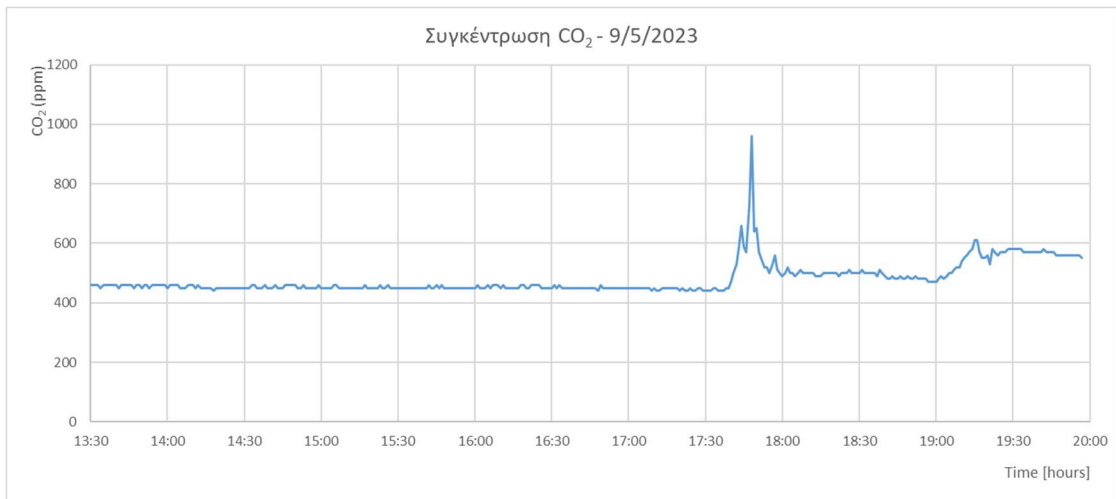


Γράφημα 7.32: Διάγραμμα εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα για 11/4

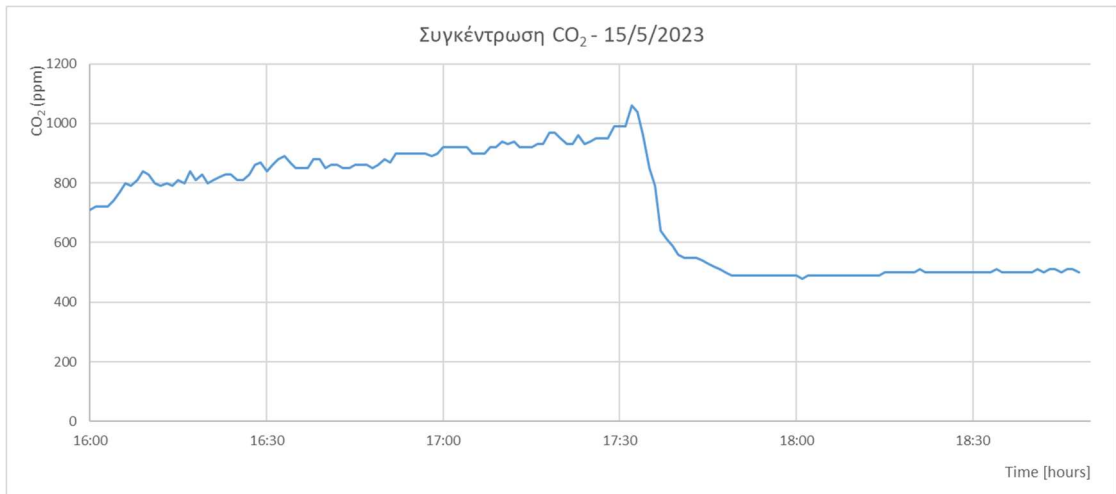




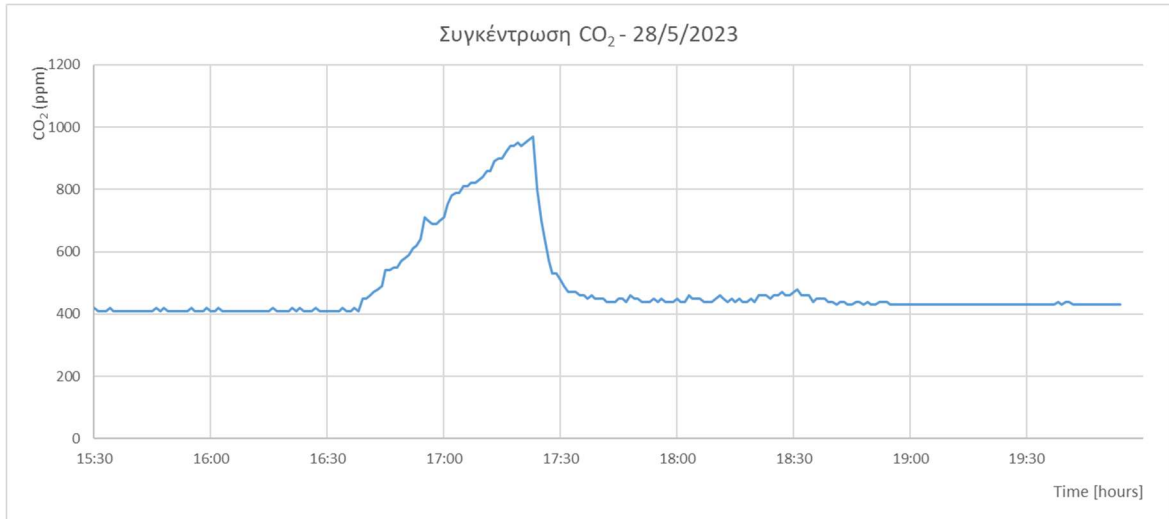
Γράφημα 7.33: Διάγραμμα εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα για 21/4



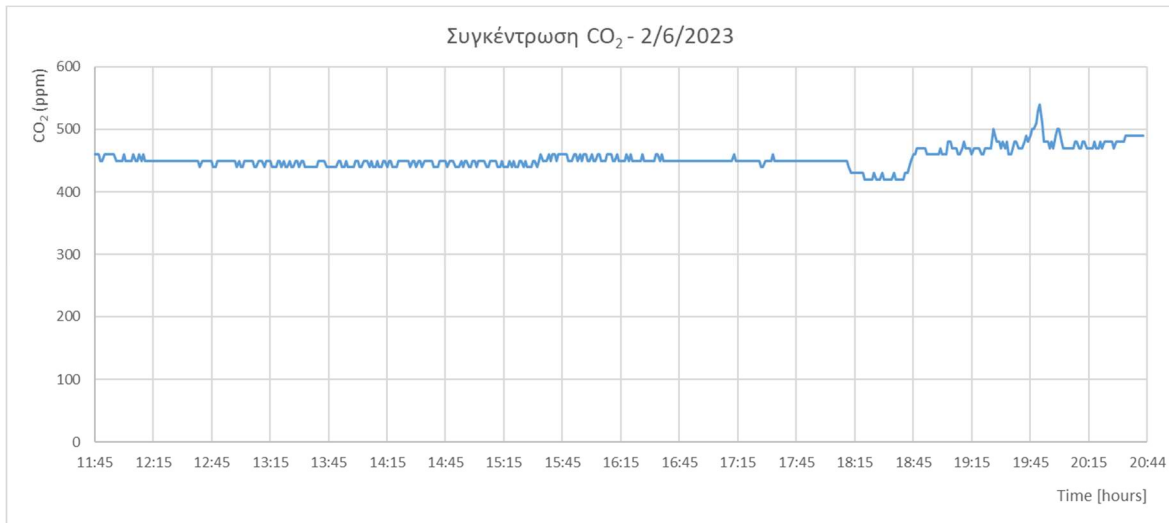
Γράφημα 7.34: Διάγραμμα εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα για 9/5



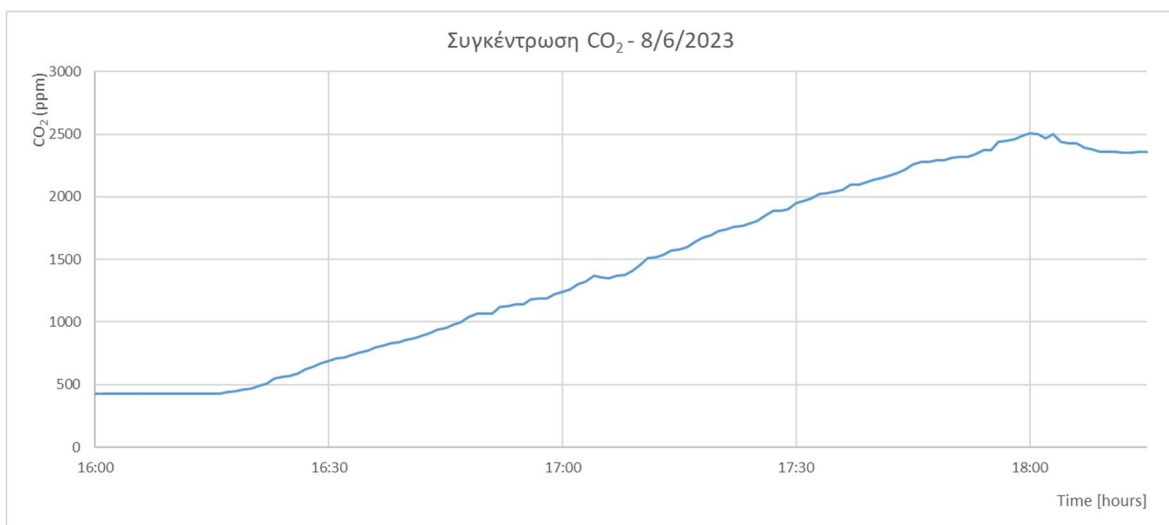
Γράφημα 7.35: Διάγραμμα εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα για 15/5



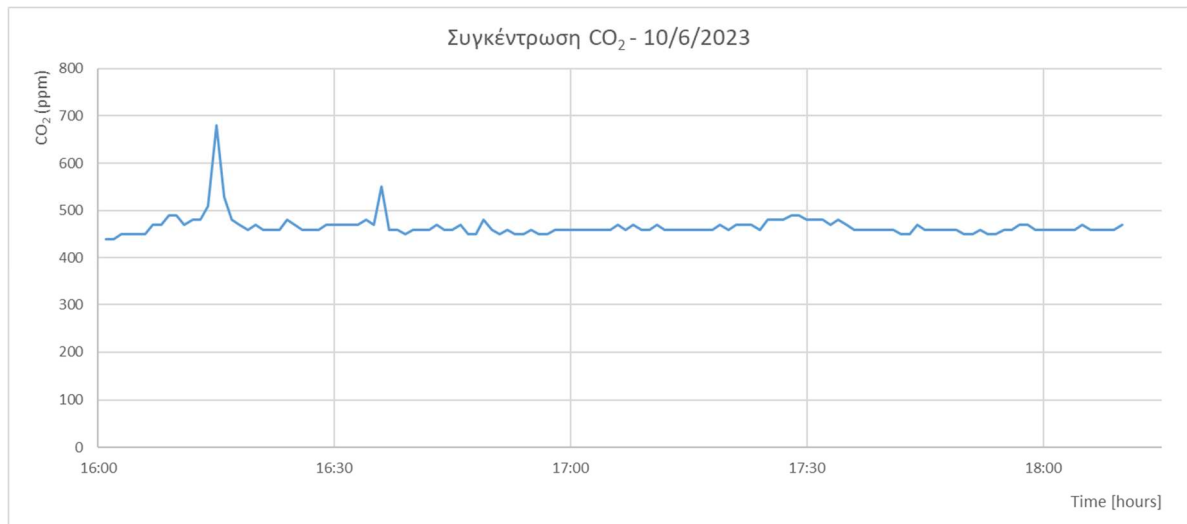
Γράφημα 7.36: Διάγραμμα εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα για 28/5



Γράφημα 7.37: Διάγραμμα εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα για 2/6



Γράφημα 7.38: Διάγραμμα εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα για 8/6



Γράφημα 7.39: Διάγραμμα εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα για 10/6

#### 7.4 Δείκτες PMV-PPD

Ο υπολογισμός του δείκτη θερμικής άνεσης (PMV) και του δείκτη δυσaréσκειας των ανθρώπων (PPD) έγινε με βάση το πρότυπο EN ISO 7730 Annex D (CEN, 2005). Όλα τα δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν στους παρακάτω υπολογισμούς πάρθηκαν κατά τη διάρκεια των πειραμάτων όπου ο θάλαμος είχε παρουσία ατόμων. Οι υπολογισμοί του δείκτη PMV και PPD έγιναν με την χρήση του λογισμικού MATLAB, με την προσθήκη ενός for loop για την επανάληψη των υπολογισμών για κάθε ημερομηνία διεξαγωγής πειράματος και οι μετρήσεις για όλες τις παραμέτρους πραγματοποιήθηκαν ανά λεπτό, με τον κώδικα και τις τιμές των παραμέτρων κάθε επανάληψης να παρατίθενται στο Παράρτημα II. Όπως μετρήθηκε στο κεφάλαιο 6.2.1 κρίθηκε κατάλληλη η ταχύτητα του αέρα στο ύψος 1.1m που αντιστοιχεί σε καθιζόμενο άτομο βάσει του προτύπου ISO-7726 (1998) όπου για τη μέση ισχύ των ανεμιστήρων, κατά την οποία χρησιμοποιήθηκαν οι ανεμιστήρες σε όλα τα πειράματα που έλαβαν χώρα, η τιμή της ταχύτητας είναι σταθερή με τιμή 0.1 m/s. Ο ημερήσιος συντελεστής ρουχισμού του κάθε ατόμου υπολογίστηκε με την βοήθεια των ερωτηματολογίων ενώ ο ρυθμός μεταβολισμού λήφθηκε σταθερός στα 70met για καθιστική εργασία, βάσει του προτύπου ANSI/ASHRAE Standard 55 (2020). Η μερική πίεση υδρατμών του εσωτερικού χώρου υπολογίζεται σύμφωνα με την ASHRAE (1997):

$$\ln(p_w) = \sum_{i=-1}^3 g_i T_a^i + g_4 \ln T_a \quad [7.7]$$

Όπου:

$p_w$ : Η μερική πίεση των υδρατμών σε κεκορεσμένο αέρα θερμοκρασίας  $T_w$  (mm Hg)

$T_a$ : Η θερμοκρασία του αέρα (°C)

$g_i$ : Σταθερές της εξίσωσης που εμφανίζονται παρακάτω:

$$g_{-1} = -0,58002206 \times 10^4, \quad g_0 = 0,13914993 \times 10^1, \quad g_1 = -0,48640239 \times 10^{-1}, \quad g_2 = 0,41764768 \times 10^{-4}, \\ g_3 = -0,14452093 \times 10^{-7}, \quad g_4 = 0,65459673 \times 10^1$$

Η μερική πίεση υδρατμών στο περιβάλλον υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας τη μερική πίεση των υδρατμών σε κεκορεσμένο αέρα ( $p_w$ ) με τη σχετική υγρασία του χώρου.

$$p_a = p_w * RH \quad [7.8]$$

Επίσης το ημίθροισμα τη θερμοκρασίας αέρα και της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας αποτελεί τη θερμοκρασίας λειτουργίας όπως φαίνεται στον παρακάτω τύπο:

$$T_{op} = (T_a + T_{mrt}) / 2 \quad [7.9]$$

Τέλος όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 3.2.1 ο τύπος που εκφράζει τη τιμή του δείκτη θερμικής άνεσης PMV είναι ο [2.5]

Ενώ για τον υπολογισμό του δείκτη δυσaréσκειας αξιοποιήθηκε ο τύπος [2.9]

Οπότε οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του PMV είναι:

- Θερμοκρασία αέρα: Υπολογίστηκε με βάση τις καταγραφές του μετρικού οργάνου Delta ohm HD32.2, ενώ στις περιπτώσεις που δεν ήταν εφικτό με το HOBO U12-012 ή του Tongdy G01-CO2-B10C/30C

- Σχετική υγρασία: Υπολογίστηκε με βάση τις καταγραφές του μετρικού οργάνου Delta ohm HD32.2, ενώ στις περιπτώσεις που δεν ήταν εφικτό με το HOBO U12-012 ή του Tongdy G01-CO2-B10C/30C

- Μέση ταχύτητα αέρα: Υπολογίστηκε με την χρήση του υπέρυθρου ανεμομέτρου Gill Instruments 3D Anemometer

- Μερική πίεση υδρατμών: Υπολογίστηκε με βάση το τύπο [7.7] με βάση την σχετική υγρασία και την θερμοκρασία αέρα

- Ρυθμός μεταβολισμού: Υπολογίστηκε από τον πίνακα του προτύπου (Table A1, Annex A, ISO 7730) επιλέγοντας καθιστή δραστηριότητα.

- Ωφέλιμο έργο: Θεωρείται μηδενικό.

- Αριθμός θερμικής αντίστασης των ρούχων ( $I_{cl}$ ): Υπολογίστηκε από το πίνακα (Table E2, Annex E, ISO 7730). Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως ο υπολογισμός του ρουχισμού έγινε για κάθε άτομο ξεχωριστά, βάση των απαντήσεων που καταχωρήθηκαν σε ειδικά ερωτηματολόγια που διανεμήθηκαν στους συμμετέχοντες φοιτητές και που θα παρουσιαστούν στο επόμενο κεφάλαιο.

- Μέση ακτινοβολούμενη θερμοκρασία: Υπολογίστηκε με βάση το τύπο [2.2] με βάση την θερμοκρασία μαύρης σφαίρας που πάρθηκε από το όργανο Delta ohm HD32.2

#### 7.4.1 Υπολογισμός και διάγραμμα PMV

Τα όρια της θερμικής άνεσης του μοντέλου Fanger για τον δείκτη PMV εκφράζεται σύμφωνα με πρότυπα της ASHRAE και το Ευρωπαϊκού πρότυπου με συγκεκριμένο εύρος:

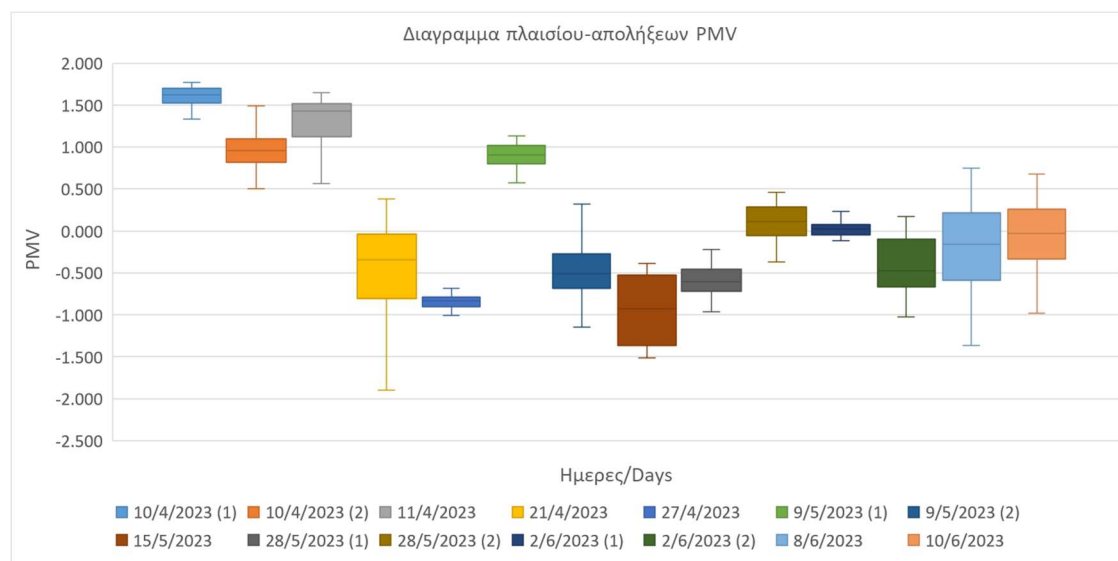
$-0.5 \leq PMV \leq +0.5$  , σύμφωνα με ASHRAE-Standard-55 (2020)

$-0.3 \leq PMV \leq +0.3$  , Κατηγορία I σύμφωνα με EN-16789-2 (2014)

$-0.5 \leq PMV \leq +0.5$  , Κατηγορία II σύμφωνα με EN-16789-2 (2014)

$-0.7 \leq PMV \leq +0.7$  , Κατηγορία III σύμφωνα με EN-16789-2 (2014)

Παρουσιάζεται το διάγραμμα πλαισίου-απολήξεων του δείκτη θερμικής άνεσης PMV:



Γράφημα 7.40: Διάγραμμα πλαισίου-απολήξεων του δείκτη θερμικής άνεσης PMV

Όπως φαίνεται στο Γράφημα 7.40 αναπαρίστανται το εύρος τιμών των παρατηρήσεων του δείκτη PMV για κάθε ημέρα πειράματος. Για την ημερομηνία 10/4 κατά την οποία πραγματοποιήθηκαν δυο διαφορετικά σενάρια αλλά και στις 11/4 παρατηρούμε ότι υπήρξε δυσφορία για τα άτομα που βρισκόντουσαν στο θάλαμο καθώς η θερμοκρασία εντός θαλάμου πλησίασε μέχρι και τους 30 °C όπως φαίνεται στο Γράφημα 7.1 και 7.2 αντίστοιχα, παραβιάζοντας έτσι τα όρια που έχει θέσει η ASHRAE-Standard-55 (2020) αλλά και η EN-16789-2 (2014). Στις 21/4 παρατηρούμε ότι οι τιμές του δείκτη βρίσκονται κάτω από το 0 αλλά και πάνω από -1 , στη συγκεκριμένη περίπτωση πλησιάσαμε κοντά στη θερμική άνεση αλλά σύμφωνα με τα ερωτηματολόγια το κλίμα ήταν ελαφρώς δροσερό, ωστόσο η μέση τιμή βρίσκεται εντός των ορίων. Ομοίως για 27/4 το κλίμα ήταν ελαφρώς δροσερό χωρίς όμως να πλησιάσουμε κοντά στο 0 και έτσι και στις δυο περιπτώσεις είμαστε εκτός ορίων. Για το πρώτο σενάριο στις 9/5 είμαστε ξανά εκτός ορίων που έχουν θεσπιστεί από τα πρότυπα που αναφέρθηκαν καθώς ο θάλαμος είχε υψηλή θερμοκρασία της τάξεως των 25-28°C όπως φαίνεται στο διάγραμμα 7.13 , ενώ στο δεύτερο σενάριο η θερμοκρασία έπεσε σημαντικά αλλά το υψηλό ποσοστό σχετικής υγρασίας (70-80%) αφότου άνοιξε ο υγραντήρας δημιούργησε μια μικρή δυσφορία στο πληθυσμό και έτσι είμαστε εκτός ορίων των προτύπων αλλά αρκετά κοντά στην θερμική άνεση. Στις 15/5 ,η θερμοκρασία αέρα σταθερά 15-20 °C (Γράφημα 7.16) και η υγρασία επίσης σταθερά γύρω από το 60% (Γράφημα 7.17) με αποτέλεσμα η τιμή του PMV να βρίσκεται κάτω από -0.5 και πάνω από το -1.5 και άρα εκτός ορίων. Στις 28/5 υπάρχουν ξανά δυο σενάρια , για το πρώτο πείραμα τα αποτελέσματα δεν διαφέρουν πολύ από τις 15/5 με μονή παρατήρηση ότι το κλίμα ήταν πιο κοντά στο ουδέτερο , για το δεύτερο όμως είναι ευδιάκριτο το γεγονός ότι οι τιμές του δείκτη κυμαίνονται γύρω από το 0 δηλαδή στην επίτευξη

της θερμικής ουδετερότητας με θερμοκρασία αέρα θαλάμου στους 20-25°C και υγρασία στο 70 % (Γράφημα 7.19 και 7.21). Στις 2/6 πραγματοποιήθηκαν δυο πειράματα από μια ώρα το κάθε ένα. Στο πρώτο παρατηρούνται ακόμα πιο καλές τιμές του δείκτη PMV από 28/5 με θερμοκρασίες κοντά στους 25°C και υγρασία στο 50%. Στο δεύτερο σενάριο όμως η θερμοκρασία του θαλάμου έπεσε κατά 2-3°C και υγρασία αυξήθηκε στο 60% με αποτέλεσμα να δροσίσει το κλίμα του θαλάμου και να δημιουργηθεί μια ελαφρά δυσανεξία, με τη μέση τιμή του PMV ωστόσο να είναι κοντά στα όρια της άνεσης (Γράφημα 7.22 και 7.24). Για τις ημερομηνίες 8/6 και 10/6 βλέπουμε πολύ παρόμοια αποτελέσματα με θερμοκρασίες ανάμεσα στους 20-25 °C και η υγρασία στο 70% και για τις δυο περιπτώσεις (Γράφημα 7.25 μέχρι 7.30) με τη μόνη διαφορά να είναι ότι το σενάριο της 10/6 να τηρεί όλα τα όρια των προτύπων ενώ το σενάριο στις 8/6 να τηρεί μόνο τη 3<sup>η</sup> κατηγορία ορίων ( $\pm 0.7$ ) του ευρωπαϊκού προτύπου EN-16789-2 (2014). Αυτό οφείλετε στο γεγονός ότι για ένα μικρό χρονικό διάστημα η θερμοκρασία θαλάμου έφτασε τους 27°C καθώς και ότι υπήρχε ένα άτομο παραπάνω (τέσσερα άτομα) σε σχέση με τις 10/6 που είχε τρεις.

Πίνακας 7.3: Πίνακας μέσων τιμών PMV για τις ώρες που υπήρχε κόσμος μέσα

Date	PMV	PPD
10/04/2023 (1)	1.61	56.95
10/4/2023 (2)	0.98	26.25
11/04/2023	1.22	39.63
21/04/2023	-0.46	11.49
27/04/2023	-0.84	20.05
09/05/2023 (1)	0.89	22.29
09/05/2023 (2)	-0.42	12.44
15/05/2023	-0.94	26.47
28/05/2023 (1)	-0.60	14.35
28/05/2023 (2)	0.11	6.24
02/06/2023 (1)	0.02	5.16
02/06/2023 (2)	-0.42	11.40
08/06/2023	-0.20	11.05
10/06/2023	-0.05	8.17

#### 7.4.2 Υπολογισμός και διάγραμμα PPD

Τα όρια της θερμικής άνεσης του μοντέλου Fagner για τον δείκτη PPD εκφράζεται σύμφωνα με πρότυπα της ASHRAE και του Ευρωπαϊκού πρότυπου με συγκεκριμένο εύρος

PPD  $\leq$  10% , σύμφωνα με ASHRAE Standard 55 (2020)

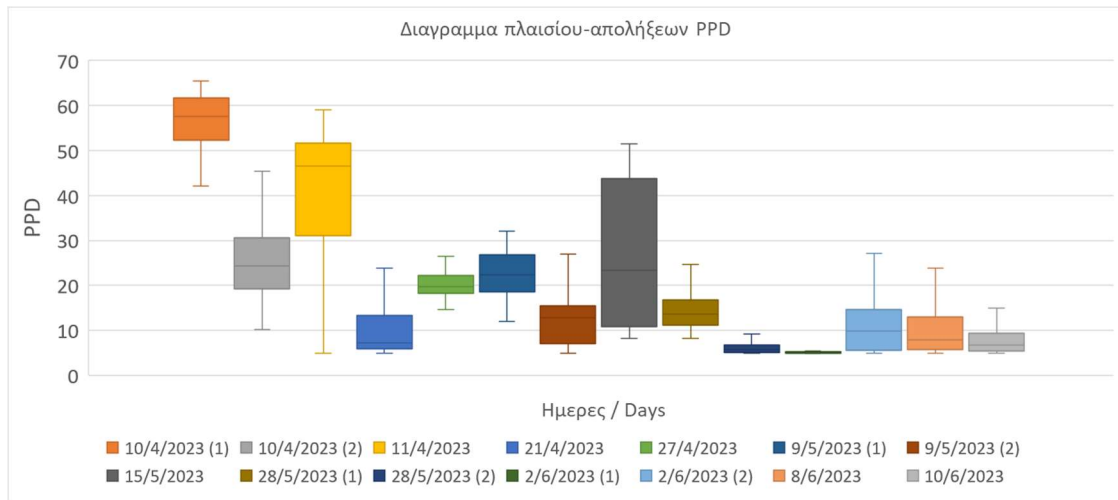
PPD  $\leq$  6% , Κατηγορία I σύμφωνα με EN-16789-2 (2014)

PPD  $\leq$  10% ,Κατηγορία II σύμφωνα με EN-16789-2 (2014)

PPD  $\leq$  15% , Κατηγορία III σύμφωνα με EN-16789-2 (2014)

PPD  $\leq$  25% , Κατηγορία IV σύμφωνα με EN-16789-2 (2014)

Παρουσιάζεται το διάγραμμα 7.41 πλαισίου-απολήξεων του δείκτη δυσανεξίας PPD:



Γράφημα 7.41: Διάγραμμα πλαισίου-απολήξεων του δείκτη δυσανεξίας PPD

Όπως φαίνεται στο Γράφημα 7.41 αναπαρίστανται το εύρος τιμών των παρατηρήσεων του δείκτη PPD για κάθε σενάριο. Στο πρώτο σενάριο στις 10/6 παρατηρείται ότι όλοι οι συμμετέχοντες είχαν υψηλά ποσοστά δυσανεξίας λόγω υψηλών θερμοκρασιών, ενώ στο δεύτερο τα ποσοστά έπεσαν φανερά καθώς μειώθηκε η θερμοκρασία και αυξήθηκε η υγρασία στο θάλαμο αλλά χωρίς να επιτευχθεί θερμική άνεση. Στις 11/4 έχουμε ποσοστά 30% έως 50% και έτσι είμαστε εκτός όλων των ορίων. Για 21/4 τα ποσοστά στην έναρξη του πειράματος ήταν σε επιθυμητά επίπεδα (κάτω από 10%) όμως όσο ανέβαινε η θερμοκρασία μέχρι τις 17:30 μ.μ. που οι θερμοκρασίες ήταν μέγιστες τα ποσοστά ανέβηκαν και πηγαίνοντας το δείκτη λίγο πάνω από τα όρια των προτύπων και σύμφωνα με EN-16789-2 (2014) να βρίσκεται την 3<sup>η</sup> κατηγορία όμως ο μέσος όρος που φαίνεται στο διάγραμμα να είναι λίγο κάτω από το 10% και άρα να είναι 2<sup>ης</sup> κατηγορίας να. Στις 27/4 είναι εμφανές ότι τηρείται μόνο η τέταρτη κατηγορία καθώς οι τιμές βρίσκονται λίγο πάνω και λίγο κάτω από το 20%, καθιστώντας το ένα σενάριο απολύτως οριακά αποδεκτό. Για το πρώτο σενάριο στις 9/5 τα αποτελέσματα ταυτίζονται με τις 27/4 με τη μονή διαφορά ότι για κάποιο μικρό χρονικό διάστημα οι τιμές ξεπέρασαν και το φράγμα του 25%, ενώ για το δεύτερο σενάριο τα αποτελέσματα είναι αρκετά παρόμοια με αυτά της 21/4 με τη διαφορά όμως ότι ο μέσος όρος να βρίσκεται πάνω από το 20%. Στις 15/5 έχουμε ένα μεγάλο φάσμα ποσοσטיαίων τιμών ενώ παράλληλα ο μέσος όρος να βρίσκεται κοντά στο 25% οπότε και σε αυτή τη περίπτωση δεν επιτυγχάνεται η επιθυμητή θερμική άνεση. Επίσης ο δείκτης PPD για το πρώτο σενάριο 28/5 να βρίσκεται κάτω από το 15% στην τρίτη κατηγορία του Ευρωπαϊκού προτύπου και εκτός ορίων της ASHRAE. Για το δεύτερο σενάριο στις 28/5 αλλά και για το πρώτο σενάριο στις 2/6 τα ποσοστά βρίσκονται κάτω από το 6% και άρα τα όρια της ASHRAE και τα όρια της 1<sup>ης</sup> κατηγορίας της EN-16789-2 να πληρούνται έχοντας επιτεύξει θερμική άνεση στο θάλαμο. Τα ποσοστά για το δεύτερο σενάριο της 2/6 να μην ξεπερνάνε το 15% και ο μέσος όρος να βρίσκεται ακριβώς στο 10% τηρώντας οριακά τις συνθήκες της ASHRAE. Εφόσον τα πλαίσια στις 8/6 και 10/6 είναι πιο κάτω από το δεύτερο σενάριο στις 2/6 τότε πληρούν και τα δυο, τα όρια της ASHRAE και μάλιστα στις 10/6 η μέση τιμή να βρίσκεται κοντά στο 6% πλησιάζοντας 1<sup>η</sup> κατηγορία σύμφωνα με τη EN-16789-2.

## 7.5 Υπολογισμός Θερμοκρασίας Άνεσης

### 7.5.1 Θεωρητικό υπόβαθρο

Όταν εξετάζεται η θερμική άνεση, πέρα από τα μοντέλα, είναι υψίστης σημασίας να ληφθεί υπόψη το πώς αισθάνονται πραγματικά οι άνθρωποι στο υπό διερεύνηση περιβάλλον. Χρησιμοποιώντας ένα ερωτηματολόγιο, καταγράφηκε η αίσθηση του χώρου των συμμετεχόντων. Τέσσερις ερωτήσεις συνθέτουν το ερωτηματολόγιο τύπου point-in-time (right-now), το οποίο βασίζεται στο πρότυπο ASHRAE και αξιολογεί τη θερμική άνεση των ανθρώπων τη στιγμή που ολοκληρώνουν το πείραμα, καθώς χρειάζεται τουλάχιστον 30 λεπτά περίπου για καλύτερη προσαρμογή στις εκάστοτε συνθήκες του θαλάμου. Οι ερωτήσεις οι οποίες ζητήθηκαν να απαντηθούν στο κόσμο που συμμετείχε στα πειράματα είναι οι εξής:

1. Πως νιώθετε το θερμικό περιβάλλον του θαλάμου;
2. Θα προτιμούσατε το θερμικό περιβάλλον να ήταν διαφορετικό;
3. Είναι το θερμικό περιβάλλον αποδεκτό;
4. Από ποια ρούχα αποτελείται η ενδυμασία σας αυτή τη στιγμή;

Η θερμοκρασία άνεσης του χώρου μπορεί να προσδιοριστεί μέσω της μεθόδου Griffith. Με την συγκεκριμένη μέθοδο η θερμοκρασία άνεσης του χώρου υπολογίζεται βάσει της ημερήσιας πραγματικής άνεσης (TSV), η οποία αποτελεί την πρώτη ερώτηση των ερωτηματολογίων που δόθηκαν στα άτομα που βρισκόντουσαν μέσα στο θάλαμο, και της μέσης θερμοκρασίας λειτουργίας ( $\Theta_0$ ). Η εξίσωση που εκφράζει τη μέθοδο του Griffith:

$$T_c = \Theta_0 + \frac{(0-TSV)}{\alpha}, \text{ με } \Theta_0 = (T_a + T_{mrt})/2 \text{ για ταχύτητες αέρα μικρότερες των } 0.2 \text{ m/s}$$

(CEN,2005)

Όπου  $\alpha$  είναι συντελεστής παλινδρόμησης και υποδεικνύει τον σταθερό ρυθμό μεταβολής της πραγματικής θερμικής άνεσης σε σχέση με τη θερμοκρασία του δωματίου, για εργασιακούς χώρους χρησιμοποιήθηκε  $\alpha=0,5$ . Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές των μεταβλητών της εξίσωσης Griffith και της θερμοκρασίας άνεσης για κάθε χρήστη του χώρου ξεχωριστά, σε αναλογία με τον διαφορετικό ρουχισμό που είχαν. Στον Πίνακα 7.4 παρουσιάζεται ο υπολογισμός θερμοκρασίας άνεσης με βάση τη μέθοδο του Griffith.



Πίνακας 7.4: Υπολογισμός θερμοκρασίας άνεσης με βάση το μοντέλο του Griffith

Σενάρια	Άτομα	Ημέρα	Θο	TSV	α	Tc
1	ΔΚ	10/4/2023	29.76	2	0.5	<b>25.76</b>
1	ΓΠ	10/4/2023	29.76	2	0.5	<b>25.76</b>
2	ΔΚ	10/4/2023	27.47	2	0.5	<b>23.47</b>
2	ΓΠ	10/4/2023	27.47	2	0.5	<b>23.47</b>
1	ΔΚ	11/4/2023	27.01	2	0.5	<b>23.01</b>
1	ΓΠ	11/4/2023	27.01	2	0.5	<b>23.01</b>
1	ΚΚ	11/4/2023	27.01	2	0.5	<b>23.01</b>
1	ΓΜ	11/4/2023	27.01	2	0.5	<b>23.01</b>
1	ΣΚ	11/4/2023	27.01	1	0.5	<b>25.01</b>
1	ΔΚ	21/4/2023	20.68	0	0.5	<b>20.68</b>
1	ΓΠ	21/4/2023	20.68	0	0.5	<b>20.68</b>
1	ΔΚ	27/4/2023	19.83	0	0.5	<b>19.83</b>
1	ΓΠ	27/4/2023	19.83	0	0.5	<b>19.83</b>
1	ΔΚ	9/5/2023	27.03	1	0.5	<b>25.03</b>
1	ΓΠ	9/5/2023	27.03	2	0.5	<b>23.03</b>
2	ΔΚ	9/5/2023	21.84	-2	0.5	<b>25.84</b>
2	ΓΠ	9/5/2023	21.84	-1	0.5	<b>23.84</b>
1	ΔΚ	15/5/2023	18.51	1	0.5	<b>16.51</b>
1	ΓΠ	15/5/2023	18.51	1	0.5	<b>16.51</b>
1	ΑΠ	15/5/2023	18.51	1	0.5	<b>16.51</b>
1	ΔΚ	28/5/2023	20.28	1	0.5	<b>18.28</b>
1	ΓΠ	28/5/2023	20.28	1	0.5	<b>18.28</b>
2	ΔΚ	28/5/2023	22.86	0	0.5	<b>22.86</b>
2	ΓΠ	28/5/2023	22.86	0	0.5	<b>22.86</b>
1	ΔΚ	2/6/2023	24.31	0	0.5	<b>24.31</b>
1	ΓΠ	2/6/2023	24.31	0	0.5	<b>24.31</b>
2	ΔΚ	2/6/2023	22.62	-2	0.5	<b>26.62</b>
2	ΓΠ	2/6/2023	22.62	-2	0.5	<b>26.62</b>
1	ΓΠ	8/6/2023	23.17	2	0.5	<b>19.17</b>
1	ΛΖ	8/6/2023	23.17	1	0.5	<b>21.17</b>
1	ΚΒ	8/6/2023	23.17	2	0.5	<b>19.17</b>
1	ΘΝ	8/6/2023	23.17	2	0.5	<b>19.17</b>
1	ΔΚ	10/6/2023	24.17	0	0.5	<b>24.17</b>
1	ΓΠ	10/6/2023	24.17	1	0.5	<b>22.17</b>
1	ΠΓ	10/6/2023	24.17	0	0.5	<b>24.17</b>

### 7.5.2 Ερωτηματολόγια και συνοπτική παρουσίαση πειραμάτων για κάθε μέρα

Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των ερωτηματολογίων με τις ημερομηνίες, την ώρα συμπλήρωσης του ερωτηματολογίου που δόθηκαν στο τέλος του κάθε πειράματος, τον ανώνυμο κωδικό δήλωσης καθώς και τις απαντήσεις για τις πρώτες τρεις ερωτήσεις (TSV, TP, Y/N) και τη τιμή του συντελεστή ρουχισμού (Πίνακες 7.5 – 7.14). Για να θεωρείται ένα περιβάλλον θερμικά αποδεκτό βάση ερωτηματολογίων θα πρέπει να ισχύει ότι  $-1.5 \leq TSV \leq 1.5$  με τον δείκτη TSV να αντιστοιχεί με αυτόν του PMV των υπολογιστικών μοντέλων (ASHARE, 2020)

-Στις 10/4/2023 πραγματοποιήθηκαν ερωτηματολόγια από δυο συμμετέχοντες σε δυο διαφορετικές συνθήκες στο θάλαμο. Παρατηρούμε ότι και για τα δυο σενάρια η τιμή του TSV είναι 2 και αρά εκτός ορίων θερμικής άνεσης όπως και ο δείκτης PMV από Γράφημα 7.40 που είναι πάνω από +1.5. Αρά το μοντέλο με το ερωτηματολόγιο συμφωνεί σε αυτή τη περίπτωση.

Πίνακας 7.5: Παρουσίαση απαντήσεων ερωτηματολογίων στις 10/4/2023

Ημερομηνία	Ώρα	Αίθουσα	Κωδικός	TSV	TP	Y/N	clo
10/4/2023	16:45	ΘΑΛΑΜΟΣ	ΔΚ	2	-2	1	0.57
10/4/2023	16:45	ΘΑΛΑΜΟΣ	ΓΠ	2	-2	0	0.77
10/4/2023	17:30	ΘΑΛΑΜΟΣ	ΔΚ	2	-1	0	0.57
10/4/2023	17:30	ΘΑΛΑΜΟΣ	ΓΠ	2	-2	0	0.77

-Στις 11/4/2023 πραγματοποιήθηκαν ερωτηματολόγια από πέντε συμμετέχοντες σε συγκεκριμένες συνθήκες στο θάλαμο. Ομοίως όπως και στις 10/4 είμαστε εκτός ορίων και δεν επιτυγχάνεται θερμική άνεση στο θάλαμο όπως φαίνεται από ερωτηματολόγια και Γράφημα 7.40. Ευθύνη σε αυτό φέρουν οι υψηλές θερμοκρασίες (30°C) αλλά και ότι υπήρχαν 5 άτομα εντός του θαλάμου.

Πίνακας 7.6: Παρουσίαση απαντήσεων ερωτηματολογίων στις 11/4/2023

Ημερομηνία	Ώρα	Αίθουσα	Κωδικός	TSV	TP	Y/N	clo
11/4/2023	17:25	ΘΑΛΑΜΟΣ	ΔΚ	2	-2	0	0.57
11/4/2023	17:25	ΘΑΛΑΜΟΣ	ΓΠ	2	-2	0	0.52
11/4/2023	17:25	ΘΑΛΑΜΟΣ	ΚΚ	2	-2	0	0.57
11/4/2023	17:25	ΘΑΛΑΜΟΣ	ΓΜ	2	-2	0	0.57
11/4/2023	17:25	ΘΑΛΑΜΟΣ	ΣΚ	1	-1	1	0.52

-Στις 21/4/2023 πραγματοποιήθηκαν ερωτηματολόγια από δυο συμμετέχοντες σε συγκεκριμένες συνθήκες στο θάλαμο. Η τιμή του TSV είναι 0 και όπως φαίνεται στο Γράφημα 7.40 είναι αρκετά κοντά με τον δείκτη PMV, με το μοντέλο Fagner να είναι πιο ακριβές καθώς οι τιμές του δείκτη κυμαίνονται περίπου  $-0.8 < PMV < 0$ .

Πίνακας 7.7: Παρουσίαση απαντήσεων ερωτηματολογίων στις 21/4/2023

Ημερομηνία	Ώρα	Αίθουσα	Κωδικός	TSV	TP	Y/N	clo
21/4/2023	17:20	ΘΑΛΑΜΟΣ	ΔΚ	0	0	1	1.07
21/4/2023	17:20	ΘΑΛΑΜΟΣ	ΓΠ	0	0	1	0.66

-Στις 27/4/2023 πραγματοποιήθηκαν ερωτηματολόγια από δυο συμμετέχοντες σε συγκεκριμένες συνθήκες στο θάλαμο. Παρατηρούμε ότι TSV=0 και ο δείκτης PMV να κυμαίνεται κοντά -0.7 αρά και εδώ το ερωτηματολόγιο και το μοντέλο Fagner συμβαδίζουν.

Πίνακας 7.8: Παρουσίαση απαντήσεων ερωτηματολογίων στις 27/4/2023

Ημερομηνία	Ώρα	Αίθουσα	Κωδικός	TSV	TP	Y/N	clo
27/4/2023	20:20	ΘΑΛΑΜΟΣ	ΔΚ	0	1	1	0.77
27/4/2023	20:20	ΘΑΛΑΜΟΣ	ΓΠ	0	0	1	0.72

-Στις 9/5/2023 πραγματοποιήθηκαν ερωτηματολόγια από δυο συμμετέχοντες σε δυο διαφορετικές συνθήκες στο θάλαμο. Στο πρώτο σενάριο ο δείκτης PMV έχει τιμές γύρω από το +1 όπως βλέπουμε και στα ερωτηματολόγια είναι αρκετά κοντά. Το ίδιο ισχύει και για το δεύτερο σενάριο στο οποίο οι τιμές του PMV βρίσκονται γύρω από το -0.5 (Γράφημα 7.40).

Πίνακας 7.9: Παρουσίαση απαντήσεων ερωτηματολογίων στις 9/5/2023

Ημερομηνία	Ώρα	Αίθουσα	Κωδικός	TSV	TP	Y/N	clo
9/5/2023	18:40	ΘΑΛΑΜΟΣ	ΔΚ	1	-1	1	0.57
9/5/2023	18:40	ΘΑΛΑΜΟΣ	ΓΠ	2	-2	1	0.49
9/5/2023	19:10	ΘΑΛΑΜΟΣ	ΔΚ	-1	1	0	0.57
9/5/2023	19:10	ΘΑΛΑΜΟΣ	ΓΠ	-1	1	1	0.74

-Στις 15/5/2023 πραγματοποιήθηκαν ερωτηματολόγια από τρεις συμμετέχοντες σε συγκεκριμένες συνθήκες στο θάλαμο. Επίσης οι τιμές είναι αρκετά κοντά με το δείκτη PMV από Γράφημα 7.40 να δείχνει όμως ότι το κλίμα ήταν ελαφρώς δροσερό.

Πίνακας 7.10: Παρουσίαση απαντήσεων ερωτηματολογίων στις 15/5/2023

Ημερομηνία	Ώρα	Αίθουσα	Κωδικός	TSV	TP	Y/N	clo
15/5/2023	17:30	ΘΑΛΑΜΟΣ	ΔΚ	0	-1	0	1.07
15/5/2023	17:30	ΘΑΛΑΜΟΣ	ΓΠ	0	0	1	0.83
15/5/2023	17:30	ΘΑΛΑΜΟΣ	ΑΠ	0	-2	0	0.63

-Στις 28/5/2023 πραγματοποιήθηκαν ερωτηματολόγια από δυο συμμετέχοντες σε δυο διαφορετικές συνθήκες στο θάλαμο. Στο πρώτο σενάριο το εύρος τιμών του PMV είναι -0,7 έως -0.5 δείχνοντας ότι το κλίμα στο θάλαμο ήταν λίγο πιο δροσερό από το ουδέτερο των ερωτηματολογίων αλλά δεν παύει να είναι εντός ορίων θερμικής άνεσης. Στο δεύτερο σενάριο έχουμε απολυτή ταύτιση ερωτηματολογίων και μοντέλου με τις τιμές του PMV να κυμαίνονται γύρω από το 0 (ουδέτερο).

Πίνακας 7.11: Παρουσίαση απαντήσεων ερωτηματολογίων στις 28/5/2023

Ημερομηνία	Ώρα	Αίθουσα	Κωδικός	TSV	TP	Y/N	clo
28/5/2023	17:20	ΘΑΛΑΜΟΣ	ΔΚ	0	0	1	0.82
28/5/2023	17:20	ΘΑΛΑΜΟΣ	ΓΠ	0	0	1	0.72
28/5/2023	18:40	ΘΑΛΑΜΟΣ	ΔΚ	0	0	1	0.82
28/5/2023	18:40	ΘΑΛΑΜΟΣ	ΓΠ	0	0	1	0.72

-Στις 2/6/2023 πραγματοποιήθηκαν ερωτηματολόγια από δυο συμμετέχοντες σε δυο διαφορετικές συνθήκες στο θάλαμο. Στο πρώτο σενάριο ο δείκτης PMV (Γράφημα 7.40) βρίσκεται γύρω από το 0 όπως ακριβώς φαίνεται και στα ερωτηματολόγια. Στο δεύτερο σενάριο οι τιμές του PMV είναι κάτω από το 0 όμως φτάνουν μέχρι το -0.8 τηρώντας τα όρια σε αντίθεση με τα ερωτηματολόγια που ξεπερνάνε τα όρια.

Πίνακας 7.12: Παρουσίαση απαντήσεων ερωτηματολογίων στις 2/6/2023

Ημερομηνία	Ώρα	Αίθουσα	Κωδικός	TSV	TP	Y/N	clo
2/6/2023	18:45	ΘΑΛΑΜΟΣ	ΔΚ	0	0	1	0.57
2/6/2023	18:45	ΘΑΛΑΜΟΣ	ΓΠ	0	0	1	0.58
2/6/2023	19:45	ΘΑΛΑΜΟΣ	ΔΚ	-2	2	0	0.57
2/6/2023	19:45	ΘΑΛΑΜΟΣ	ΓΠ	-2	1	1	0.58

-Στις 8/6/2023 πραγματοποιήθηκαν ερωτηματολόγια από 4 συμμετέχοντες σε συγκεκριμένες συνθήκες στο θάλαμο. Το μοντέλο του Fanger δείχνει θερμική άνεση, ενώ οι χρήστες δηλώνουν δυσαρέσκεια. Αυτό μπορεί να οφείλεται στην υψηλή συγκέντρωση CO<sub>2</sub> και της έλλειψης κυκλοφορίας αέρα, μιας και το σύστημα HVAC ήταν απενεργοποιημένο. Χρειάζεται όμως περισσότερη διερεύνηση για να αποφανθούμε με σιγουριά τον λόγο που οδήγησε τους χρήστες σε αυτήν την απόφαση.

Πίνακας 7.13: Παρουσίαση απαντήσεων ερωτηματολογίων στις 8/6/2023

Ημερομηνία	Ώρα	Αίθουσα	Κωδικός	TSV	TP	Y/N	clo
8/6/2023	18:00	ΘΑΛΑΜΟΣ	ΓΠ	2	-2	1	0.61
8/6/2023	18:00	ΘΑΛΑΜΟΣ	ΛΖ	1	-1	0	0.54
8/6/2023	18:00	ΘΑΛΑΜΟΣ	ΚΒ	2	-2	0	0.63
8/6/2023	18:00	ΘΑΛΑΜΟΣ	ΘΝ	2	-2	0	0.49

- Στις 10/6/2023 πραγματοποιήθηκαν ερωτηματολόγια από 3 συμμετέχοντες σε συγκεκριμένες συνθήκες στο θάλαμο. Η τιμή του TSV είναι  $0 < TSV < 1$  και όπως φαίνεται στο Γράφημα 7.40 είναι αρκετά κοντά με τον δείκτη PMV, όπου  $-0.3 < PMV < +0.5$ .

Πίνακας 7.14: Παρουσίαση απαντήσεων ερωτηματολογίων στις 10/6/2023

Ημερομηνία	Ώρα	Αίθουσα	Κωδικός	TSV	TP	Y/N	clo
10/6/2023	18:10	ΘΑΛΑΜΟΣ	ΔΚ	0	0	1	0.39
10/6/2023	18:10	ΘΑΛΑΜΟΣ	ΓΠ	1	0	1	0.52
10/6/2023	18:10	ΘΑΛΑΜΟΣ	ΠΓ	0	0	1	0.58

Από την ανάλυση των ερωτηματολογίων και την σύγκριση των αποτελεσμάτων με αυτών του μοντέλου του Fanger επιβεβαιώνεται πως το μοντέλο του Fanger έχει καλύτερη εφαρμογή σε χώρους όπου γίνεται χρήση συστημάτων θέρμανσης, ψύξης και αερισμού (Fang et al. 2018; Zaki et al. 2017) σε αντίθεση με φυσικά αεριζόμενους χώρους όπου εκεί το προσαρμοστικό μοντέλο (Adaptive model) φαίνεται να έχει την καλύτερη εφαρμογή για την εκτίμηση της θερμικής άνεσης (Wang et al. 2021; Jindal 2019; Jindal 2018;) Εξαίρεση αποτελεί όπως αναφέρθηκε το πείραμα στις 8/6 όπου παρά το γεγονός ότι ο δείκτης PMV έδειξε ότι το περιβάλλον είναι θερμικά αποδεκτό οι χρήστες δήλωσαν το αντίθετο. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο υψηλό ποσοστό του CO2 και στις οσμές που υπήρχαν στο χώρο μιας και δεν υπήρχε ανανέωση του αέρα με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί το αίσθημα στους χρήστες ενός μη αποδεκτού περιβάλλοντος, ενώ το δεύτερο είναι ότι η μη λειτουργία του συστήματος HVAC, μπορεί να οδηγήσει σε σφάλμα του δείκτη PMV. Σίγουρα το παραπάνω εύρημα χρίζει περαιτέρω διεύρυνση γιατί να διαπιστωθεί αν και παραπάνω παράγοντας πέραν των εσωκλιματολογικών συνθηκών μπορούν να επηρεάζουν την αίσθηση του χρήστη για την θερμική άνεση (Frontczak and Wargocki 2011).



Εικόνες 7.1 και 7.2: Εικόνες εντός θαλάμου κατά τη διάρκεια των πειραμάτων



Εικόνες 7.3 και 7.4: Εικόνες εντός θαλάμου κατά τη διάρκεια των πειραμάτων

## 8 Συμπεράσματα και Μελλοντική Ερευνα

### 8.1 Συμπεράσματα

Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε πειραματική διερεύνηση, της λειτουργίας θαλάμου ρυθμιζόμενων συνθηκών εσωτερικού περιβάλλοντος. Παράλληλα με τις μετρήσεις, χρησιμοποιήθηκαν και ερωτηματολόγια, τόσο για την διαπίστωση της πραγματικής αίσθησης των χρηστών, όσο και για τον προσδιορισμό των απαραίτητων παραμέτρων για το μοντέλο θερμικής άνεσης με σκοπό τη σύγκριση των ερωτηματολογίων αυτών με τα μοντέλα που μελετήθηκαν.

Γενικό συμπέρασμα για τη λειτουργία του θαλάμου, και ειδικότερα όσον αφορά τη θερμοκρασία, αποτελεί ότι όταν όλα τα damper ήταν ανοιχτά ή όταν υπήρχε πλήρης ανανέωση, με το damper 3 να είναι κλειστό ή όταν τα damper 1 και damper 2 ήταν ανοιχτά ενώ το damper 3 ήτανμισάνοιχτο, η θερμοκρασία ανέβαινε με πιο αργά σε σχέση με τη περίπτωση ανακυκλοφορίας με το damper 1 και 2 να είναι κλειστά. Από τις μετρήσεις των οργάνων παρατηρήθηκε πρώτον ότι η θερμοκρασία αέρα σχεδόν ταυτίζεται με τη θερμοκρασία ακτινοβολίας καθώς δεν υπήρχε είσοδος ακτινοβολίας από το εξωτερικό περιβάλλον αλλά μόνο από τις εσωτερικές λάμπες φωτισμού και δεύτερον ότι υπήρχε μια απόκλιση μεταξύ των οργάνων με το Delta Ohm HD32.2 να έδειξε αποτελέσματα με μεγαλύτερη απόκριση. Ακόμη παρατηρήθηκε ότι η θερμοκρασία αέρα του θαλάμου επηρεαζόταν άμεσα από τις εξωτερικές συνθήκες (εξωτερική θερμοκρασία, βροχή). Όσον αναφορά την ποιότητα του εσωτερικού αέρα η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα στο θάλαμο ήταν αποδεκτή, με εξαίρεση το πείραμα στις 8/6/2023 όπου οι τιμές ανέβηκαν εξαιρετικά υψηλά μέχρι το επίπεδο των 2500ppm καθώς δεν υπήρχε ανανέωση με εισαγωγή φρέσκου αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον. Επίσης υψηλότερες συγκεντρώσεις παρατηρήθηκαν στα σενάρια που είχαμε μερική ή πλήρη ανακυκλοφορία, ενώ στα σενάρια όπου είχαμε πλήρη ανανέωση τα επίπεδα CO<sub>2</sub> παρέμειναν σε πολύ ικανοποιητικές τιμές. Αρά μπορεί να βγει συμπέρασμα ότι τα επίπεδα CO<sub>2</sub> στο θάλαμο εξαρτώνται από τα σενάρια και το πλήθος που παραβρισκόταν εντός αυτού. Εν κατακλείδι, σύμφωνα με την διερεύνηση της θερμικής άνεσης, μέσω των υπολογιστικών μοντέλων και ερωτηματολογίων τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν στις 21/4, 28/5 (2<sup>ο</sup> πείραμα) και 2/6 (1<sup>ο</sup> πείραμα) ήταν αυτά βρέθηκε εντός ορίων ( $-0,5 \leq PMV \leq 0,5$ ). Στις υπόλοιπες ημερομηνίες υπήρχαν οι περιπτώσεις που ο δείκτης ήταν εκτός ορίων άλλα και περιπτώσεις που για κάποια χρονικά διαστήματα ο δείκτης ήταν εντός αλλά στη πλειοψηφία της χρονικής διάρκειας των πειραμάτων ήταν εκτός. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, από τη σύγκριση αυτή προέκυψε ότι το μοντέλο Fagner ήταν αυτό που σύγκλινε πιο πολύ στις απαντήσεις των ερωτηματολογίων, που δοθήκαν από τους ανθρώπους που βρέθηκαν τις μέρες εκείνες στις πειραματικές διαδικασίες. Στα αρνητικά συμπεράσματα, είναι γεγονός ότι ο συγκεκριμένος υγραντήρας είναι ψεκασμού και δεν μπορεί να κάνει ρύθμιση της υγρασίας σε περίπτωση που χρειαζόταν να πέτυχουμε μια συγκεκριμένη σταθερή θερμοκρασία. Όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 6.2 για τις μετρήσεις με το παροχόμετρο, η παροχή αέρα στην εισαγωγή και στην εξαγωγή δεν ήταν περίπου ίσες μεταξύ τους αλλά είχαν μια μικρή διαφορά, η οποία οφείλεται κατά πάσα πιθανότητα στην έλλειψη αεροστεγανότητας σε ένα συγκεκριμένο σημείο στην οροφή του θαλάμου, όπου υπάρχει ένα κενό για το πέρασμα καλωδίων προς το εσωτερικό του θαλάμου και επομένως υπάρχουν απώλειες αέρα. Επίσης δεν υπήρχε η δυνατότητα για ταυτόχρονη θέρμανση και ψύξη.

Σε κάθε περίπτωση, στόχος της εργασίας ήταν η διερεύνηση της λειτουργικότητας του θαλάμου, σε εύρος τιμών για τις σχετικές παραμέτρους ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, ο θάλαμος μπορεί να αποτελέσει ένα αξιόπιστο εργαλείο σχετικών πειραμάτων πραγματικής κλίμακας.

## 8.2 Μελλοντική Έρευνα

Η παρούσα διπλωματική παρουσιάζει αρκετές προοπτικές μελλοντικής έρευνας, τόσο σε πειραματικό όσο και υπολογιστικό επίπεδο. Σε ένα πρώτο στάδιο μπορούν να πραγματοποιηθούν περισσότερα πειράματα σε λειτουργία ψύξης του θαλάμου αλλά και με περισσότερα άτομα μέσα στο θάλαμο με διαφορετικά χαρακτηριστικά όπως την ηλικία, το φύλλο και τον σωματότυπο. Είναι δυνατό επίσης να δημιουργηθεί κώδικας για πιο αυτοματοποιημένη λειτουργία του θαλάμου όσο αφορά παραμέτρους του εσωκλίματος και της ποιότητας του αέρα ο οποίος μπορεί να αναπτύξει εξατομικευμένα μοντέλα θερμικής άνεσης. Εξαιρετικά ενδιαφέρουσα θα ήταν η διερεύνηση περισσότερων παραμέτρων που σχετίζονται με την ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος των κτιρίων και πιο συγκεκριμένα της οπτικής και ακουστικής άνεσης. Όσο αφορά την ακουστική άνεση να πραγματοποιηθούν μετρήσεις για τα επίπεδα θορύβου μέσα στο θάλαμο που προέρχονται κυρίως από την λειτουργία του συστήματος HVAC. Διαφορετικά σενάρια φωτισμού επίσης θα μπορούσαν να διερευνηθούν. Ακόμα είναι εφικτή μια πιο λεπτομερής αποτίμηση της ποιότητας του εσωτερικού αέρα με την καταγραφή περισσότερων χημικών ενώσεων όπως π.χ. πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs) και αιωρούμενων σωματιδίων καθώς και μελέτη παραμέτρων υγείας του χρήστη που επηρεάζονται ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν (δηλαδή πως οι διάφορες συνθήκες μπορούν να επηρεάζουν την υγεία). Μια ιδιαίτερη μελέτη θα μπορούσε να είναι η διεξαγωγή τεστ συγκέντρωσης για να διαπιστωθεί πως διάφοροι παράμετροι που σχετίζονται τόσο με την θερμική άνεση και την ποιότητα του αέρα μπορούν να επηρεάσουν την απόδοση και την αποδοτικότητα των χρηστών στο εσωτερικό κλίμα. Τέτοια πειράματα μπορούν να είναι η διερεύνηση των επιπτώσεων υψηλών συγκεντρώσεων CO<sub>2</sub>, υψηλών θερμοκρασιών και υγρασίας, όσο και παραμέτρων οπτικής και ακουστικής άνεσης. Επιπλέον θα ήταν εφικτή η πραγματοποίηση πειραμάτων θερμικής άνεσης που θα μελετάν την μεταβολή μόνο μίας παραμέτρου διατηρώντας τις υπόλοιπες αμετάβλητες π.χ. διαφορετικός ρουχισμός σε ίδια συνθήκες λειτουργίας του θαλάμου ή διαφορετική μεταβολική δραστηριότητα. Επιπροσθέτως ιδιαίτερο ενδιαφέρον αποτελεί η μελέτη χωρικών φαινομένων (όπως π.χ. η διαστρωμάτωση της θερμοκρασίας) τόσο πειραματικά όσο και με τη χρήση λογισμικών προσομοίωσης. Τέλος μπορεί να γίνει χρήση διαφορετικών τύπων φίλτρων στο HVAC και διερεύνηση της επίδρασης που έχουν στην βελτίωση της ποιότητας του εσωτερικού αέρα.

## 9 Βιβλιογραφία

- ANSI/ASHRAE. 2020. ANSI/ASHRAE Standard 55-2020. Thermal environmental conditions for human occupancy, Atlanta.
- ASHRAE, 2017. ANSI/ASHRAE Standard 52.2–2017: Method of Testing General Ventilation Air-Cleaning Devices for Removal Efficiency by Particle Size. Atlanta.
- ASHRAE, 2021. ANSI/ASHRAE Standard 170: Ventilation of Health Care Facilities. Atlanta.
- ASHRAE, 2022a. ANSI/ASHRAE Standard 62.1: Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality. Atlanta.
- ASHRAE, 2022b. ANSI/ASHRAE Standard 62.2: Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality in Low-Rise Residential Buildings. Atlanta.
- Carlucci, S., Erba, S., Pagliano, L., de Dear, R., 2021. ASHRAE Likelihood of Dissatisfaction: A new right-here and right-now thermal comfort index for assessing the Likelihood of dissatisfaction according to the ASHRAE adaptive comfort model. *Energy and Buildings* 250, 111286. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111286>
- CEN, 2014. EN 16798-2, Energy Performance of Buildings — Part 1: Indoor Environmental Input Parameters for Design and Assessment of Energy Performance of Buildings Addressing Indoor Air Quality, Thermal Environment, Lighting and Acoustics —Module M1-6, European Standard, 2014.
- CEN. 2005. EN ISO 7730. Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Brussels.
- CEN. 2012. EN15251. Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings- addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustic. Brussels.
- de Dear, R., 2004. Thermal comfort in practice. *Indoor Air* 14, 32–39. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2004.00270.x>
- Fang, Z., S. Zhang, Y. Cheng, A. M. L. Fong, M. O. Oladokun, Z. Lin, and H. Wu. 2018. Field study on adaptive thermal comfort in typical air conditioned classrooms. *Building and Environment* 133: 73–82. doi:10.1016/j.buildenv.2018.02.005
- Frontczak, M, and P. Wargocki. 2011. Literature survey on how different factors influence human comfort in indoor environments. *Building and Environment* 46 (4):922–37. doi:10.1016/j.buildenv. 2010.10.021
- Ghahramani, A., Galicia, P., Lehrer, D., Varghese, Z., Wang, Z., Pandit, Y., 2020. Artificial Intelligence for Efficient Thermal Comfort Systems: Requirements, Current Applications and Future Directions. *Front. Built Environ.* 6, 49. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2020.00049>
- Griffiths, I. 1990. Thermal comfort in buildings with passive solar features, field studies, Brussels.
- Humphreys, M. A, and F. J. Nicol. 1998. Understanding the adaptive approach to thermal comfort. *ASHRAE Transactions: Symposia* 1998 SF-98-7-1:991–1004.



- ISO 16980-1, 2016. Air filters for general ventilation — Part 1: Technical specifications, requirements and classification system based upon particulate matter efficiency (ePM). Brussels
- ISO 7726. 2001. Ergonomics of the thermal environment—Instruments for measuring physical quantities, International Standardisation Organisation, Brussels.
- Jindal, A. 2018. Thermal comfort study in naturally ventilated school classrooms in composite climate of India. *Building and Environment* 142:34–46. doi:10.1016/j.buildenv.2018.05.051
- Jindal, A. 2019. Investigation and analysis of thermal comfort in naturally ventilated secondary school classrooms in the composite climate of India. *Architectural Science Review* 62 (6):466–84. doi: 10.1080/00038628.2019.1653818
- Kalimeri, K.K.; Bartzis, J.G.; Sakellaris, I.A.; de Oliveira Fernandes, E. Investigation of the PM2.5, NO2 and O3 I/O Ratios for Office and School Microenvironments. *Environ. Res.* 2019, 179, 108791. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108791>.
- Lovell-Smith, J.W., Pearson, H., 2006. On the concept of relative humidity. *Metrologia* 43, 129–134. <https://doi.org/10.1088/0026-1394/43/1/018>
- Panaras, G., Markogiannaki, M., Tolis, E.I., Sakellaris, Y., Bartzis, J.G., 2018. Experimental and theoretical investigation of air exchange rate of an indoor aquatic center. *Sustainable Cities and Society* 39, 126–134. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.02.012>
- Papadopoulos, G., Tolis, E.I., Panaras, G., 2023. Combined Investigation of Indoor Environmental Conditions and Energy Performance of an Aquatic Center. *Sustainability* 15, 1318. <https://doi.org/10.3390/su15021318>
- Papadopoulos, G.; Panaras, G.; Tolis, E. Thermal Comfort and Indoor Air Quality Assessment in University Classrooms. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2020, 410, 012095. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/410/1/012095>.
- Papadopoulos, G.; Tolis, E.I.; Panaras, G. IEQ Assessment in Free-Running University Classrooms. *Sci. Technol. Built Environ.* 2022, 28, 823–842. <https://doi.org/10.1080/23744731.2022.2052519>.
- Pei, J., Qu, M., Sun, L., Wang, X., Yin, Y., 2022. The relationship between indoor air quality (IAQ) and perceived air quality (PAQ) – a review and case analysis of Chinese residential environment. *Energy and Built Environment* S266612332200071X. <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2022.09.005>
- Sakellaris, I., Papadopoulos, G., Saraga, D., Xenofontos, T., Tolis, E., Panaras, G., Bartzis, J., 2023. Air Quality Versus Perceived Comfort and Health in Office Buildings at Western Macedonia Area, Greece during the Pandemic Period. *Applied Sciences* 13, 1137. <https://doi.org/10.3390/app13021137>
- Stabile, L., Dell’Isola, M., Russi, A., Massimo, A., Buonanno, G., 2017. The effect of natural ventilation strategy on indoor air quality in schools. *Science of The Total Environment* 595, 894–902. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.03.048>
- Taheri, S., Razban, A., 2021. Learning-based CO2 concentration prediction: Application to indoor air quality control using demand-controlled ventilation. *Building and Environment* 205, 108164. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108164>

Wang, C., Li, C., Xie, L., Wang, Xinru, Chang, L., Wang, Xiangming, Li, H.X., Liu, Y., 2023. Thermal environment and thermal comfort in metro systems: A case study in severe cold region of China. Building and Environment 227, 109758.

<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109758>

Wang, X., L. Yang, S. Gao, S. Zhao, and Y. Zhai. 2021. Thermal comfort in naturally ventilated university classrooms: A seasonal field study in Xi'an, China. Energy and Buildings 247:111126. doi:10.1016/j.enbuild.2021.111126

World Health Organization (WHO), 2021. Infection prevention and control during health care when coronavirus disease (COVID-19) is suspected or confirmed. Genova.

Zaki, S. A., S. A. Damiati, H. B. Rijal, A. Hagishima, and A. A. Razak. 2017. Adaptive thermal comfort in university classrooms in Malaysia and Japan. Building and Environment 122:294–306. doi:10.1016/j.buildenv.2017.06.016

Κοτσίρης Γ. (2007). Θερμική άνεση. Ορισμοί, Δείκτες και Μοντέλα Εκτίμησης, Διεθνή Πρότυπα, Μεθοδολογία – Μελέτη περίπτωσης. Εκδόσεις Ίων. Αθήνα.

Νικολέντζος Α. (2022). Πειραματική διερεύνηση συνθηκών αερισμού σε αίθουσες πανεπιστημίου την περίοδο του covid-19 και της επίδρασης τους στη θερμική άνεση και στην ποιότητα αέρα

Παπαδόπουλος Α. (2006). Θερμική άνεση στα κτίρια. Νέα πρότυπα και βελτίωση θερμικής άνεσης στα κτίρια. Ημερίδα: Η οδηγία 2009/91/EC για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων, Ιωάννινα.

Παπαδόπουλος Ι., 2019. Διερεύνηση συνθηκών θερμικής άνεσης και ποιότητας αέρα σε αίθουσες διδασκαλίας πανεπιστημίου.

#### Sites:

TP3207 – Dry Bulb Temperature Probe for WBGT

<https://www.deltaohm.com/product/tp3207-dry-bulb-temperature-probe-for-wbgt/>

HP3201 – Natural Ventilation Wet Bulb Probe <https://www.deltaohm.com/product/hp3201-natural-ventilation-wet-bulb-probe-2/>

HD32.2A – WBGT Index Measurement <https://www.deltaohm.com/product/hd32-2a-wbgt-index-measurement/>

TP3275 – Globe Temperature Probe <https://www.deltaohm.com/product/tp3275-globe-temperature-probe-2/>

G01-CO2-B10C/30C Carbon Dioxide Transmitter

<https://en.tradesparq.com/products/2466385/G01-CO2-B10C-30C-Carbon-Dioxide-Transmitter-with-Temperature-and-RH-Option-manufacturers>

Onset UX100-003 – HOBO Temperature/Relative Humidity

[https://www.scaledinstruments.com/shop/onset/data-logger/onset-ux100-003-hobo-temperature-relative-humidity-3-5-data-logger/?gclid=CjwKCAjw0ZiiBhBKEiwA4PT9zwKyg2Nu-5uNgU-CXfuODGdS9zAT7C3p-c5aH\\_ZWatxdcE1uRI2VMhoCZasQAvD\\_BwE](https://www.scaledinstruments.com/shop/onset/data-logger/onset-ux100-003-hobo-temperature-relative-humidity-3-5-data-logger/?gclid=CjwKCAjw0ZiiBhBKEiwA4PT9zwKyg2Nu-5uNgU-CXfuODGdS9zAT7C3p-c5aH_ZWatxdcE1uRI2VMhoCZasQAvD_BwE)

HOBO U12-012 <https://www.tempcon.co.uk/hobo-u12-012-hobo-u12-temp-rh-light-ext-u12-012>

Wet Bulb Globe Temperature by National Weather Service  
<https://www.weather.gov/car/WBGT>

What is HVAC System? By Ajay Sahu, 2019 <https://www.civilgyan.com/hvac-system-full-form-meaning/>

HVAC Fan Types and Their Applications, Shubham More <https://www.ny-engineers.com/blog/hvac-fan-types-and-their-applications>

What Is a HEPA Filter and How Does a HEPA Filter Work? ISO-Aire™: Air Purification Company <https://www.iso-aire.com/blog/what-is-a-hepa-filter-and-how-does-it-work>

FLIR E8-XT <https://www.flir.com/products/e8-xt/>

Gill Instruments WindMaster <https://www.windguard-shop.com/sensors/ultra-sonic-anemometer/18/gill-instruments-windmaster?c=17&fbclid=IwAR0AU66bjXRvmZhC0y-X2fALcaFMv7smqUOmc63--G6lOMDiDh9ADpab9SU>

Filter class G4 <https://vietnamcleanroom.com/en/post/g4-filter-1132.htm>

HVAC FAN TYPES – IS A FAN JUST A FAN? by Abbie Stancato, 2015  
<https://blog.micrometl.com/hvac-fan-types-is-a-fan-just-a-fan/>

Εικόνες:

Εικόνα 2.1 <https://www.condair.co.uk/knowledge-hub/direct-and-indirect-evaporative-cooling-strategies>

Εικόνα 2.2 <https://www.commercialservice.com/blogs/hvac-terminology-air-handler>

Εικόνες 2.3-2.5 <https://blog.micrometl.com/hvac-fan-types-is-a-fan-just-a-fan/>

Εικόνα 2.6  
<https://www.inoxtherm.gr/%CF%83%CF%84%CE%BF%CE%BC%CE%B9%CE%B1-stomia-%CF%80%CE%B5%CF%81%CF%83%CE%B9%CE%B4%CE%B5%CF%82-persides-exaerismou-klimatismou/diafragmata-aeragogon-dampers-aeragogou/damper-barythtas-aeragogou>

Εικόνα 2.7 και 2.8 <https://www.minisplitwarehouse.com/product/midea-60000-btu-18-seer-ducted-mini-split-heat-pump-ac-dlclrah58aak-dlfldah58xak>

Εικόνα 2.9 <https://opsiktikos.gr/blog/sxetiki-ygrasia-periballon-ergasias/>

Εικόνα 4.2 <https://pharmaguidances.com/hvac/>

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Κώδικας Matlab για τον υπολογισμό της σχετικής υγρασίας

```
function[x,y]=psychro_dim_T_twb_input
T_init_i=table2array(readtable('twb_solving_twb.xlsx', ...
    'Range', 'A2:A186'));
twb_init_i=table2array(readtable('twb_solving_twb.xlsx', ...
    'Range', 'B2:B186'));
for i=1:185
    T_ch_i=T_init_i(i);
    if T_ch_i==0        break
    end
end

iterx=i

%%%%%%%%%%%%T_i=xlsread('twb_solving','A1:A1000');
%%%%%%%%%%%%RH_i=xlsread('twb_solving','B1:A1000');

for ix=1:iterx-1
T=T_init_i(ix);
twb=twb_init_i(ix);

% Constants
patm=1;
c8=-10440.4; c9=-11.2946669; c10=-0.02700133; c11=0.1289706e-4; c12=-
0.2478068e-8; c13=6.5459673;

% Calculate w, m, h
t_F=1.8*T+491.67;
pss=exp((c8/t_F+c9+c10*t_F+c11*t_F^2+c12*t_F^3+c13*log(t_F))/14.696);
wss=0.622*pss/(patm-pss);

t_F_wb=1.8*twb+491.67;

pss_wb=exp((c8/t_F_wb+c9+c10*t_F_wb+c11*t_F_wb^2+c12*t_F_wb^3+c13*log(t_F_wb
))/14.696);
wss_wb=0.622*pss_wb/(patm-pss_wb);
w=((2501-2.381*twb)*wss_wb-1.006*(T-twb))/(2501+1.805*T-4.186*twb);

ps=patm*w/(0.622+w);
RH=ps/pss*100;

m=ps/pss*(patm-pss)/(patm-ps)*100;
h=1.006*T+w*(2501+1.805*T);

w_i(ix)=w;
RH_i(ix)=RH;

end
x=w_i';
y=RH_i';

xlswrite('twb_solving_twb_Results', x, 'C2:C186')
xlswrite('twb_solving_twb_Results', y, 'D2:D186')
%%%%%%%%save ('twb_res','twb_i','-ASCII')
```

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

Κώδικας Matlab για τον υπολογισμό των δεικτών PMV-PPD του μοντέλου του Fanger

```
clc;clear all;

%Met:      μεταβολικός ρυθμός
%W:        μηχανικό έργο
%ra:       σχετική πίεση ατμών
%FCL:      παράγοντας ένδυσης
%TCL:      θερμοκρασία επιφάνειας ρούχων
%Tr:       μέση θερμοκρασία ηλιακής ακτινοβολίας
%v:        ταχύτητα αέρα
%clo:      συντελεστής ένδυσης
%PMV:      δείκτης θερμικής άνεσης
%PPD:      ποσοστό δυσaráσκειας
PIN1 = readtable('press.xlsx');
PIN = readmatrix('press.xlsx');
% ανάγνωση πίνακα excel
Met1 = PIN(2:49,8); Ta1=PIN(2:49,3); Tr1=PIN(2:49,4); v1=PIN(2:49,7);
ra1=PIN(2:49,6); W=0; Clo1=PIN(2:49,9);
% μετρητής επαναλήψεων για κάθε γραμμή του πίνακα
iter = 1;
% έναρξη επαναλήψεων για κάθε γραμμή του πίνακα
while iter < length(PIN)
Met=Met1(iter,8); Ta=Ta1(iter,3); Tr=Tr1(iter,4); v=v1(iter,7);
ra=ra1(iter,6); W=0; Clo=Clo1(iter,9);
% 1Met=58.15W/m2
RMW=Met-W;
Tolerance=0.00015; % ακρίβεια
% Υπολογισμός δείκτη ένδυσης
FCL=1.05+0.1*Clo; % Συντελεστής περιοχής ένδυσης
if(Clo<0.5)
    FCL=1.0+0.2*Clo;
end
% Υπολογισμός θερμοκρασίας στην επιφάνεια των ρούχων
%% εικασία για τη θερμοκρασία της επιφάνειας των ρούχων
TAA=Ta+273;
TRA=Tr+273;
TCLA=TAA+(35.3-Ta)/(3.5*(Clo+0.1));
XN=TCLA/100; % TCLA=Tcl+273
XF=XN;
%% Υπολογισμός της θερμοκρασίας επιφάνειας των ρούχων με διαδοχικές
επαναλήψεις αντικατάστασης
FCIC=Clo*0.155*FCL;
P1=FCIC*TAA;
P2=FCIC*3.96;
P3=FCIC*100;
P4=308.7-0.028*RMW+P2*(TRA/100)^4;

nIterations=0;
XF=XN;

while((nIterations<150))
    XF=(XF+XN)/2;

    %% Υπολογισμός μεταφοράς θερμότητας
```

```

HCF=12.1*(v)^0.5;
HCN=2.38*abs(100*XF-TAA)^0.25;
if(HCF>HCN)
    HC=HCF;      % Συντελεστής Μεταφοράς Θερμότητας Συναγωγής
else
    HC=HCN;
end

XN=(P4+P1*HC-P2*XF^4)/(100+P3*HC);
nIterations=nIterations+1;
if((nIterations>1) & (abs(XN-XF)<Tolerance))
    break;
end
end
if(nIterations<150)
    TCL=100*XN-273;      % Επιφανειακή θερμοκρασία ρούχων
    % Υπολογισμός δείκτη θερμικής άνεσης (PMV)
    PM1=3.96*FCL*(XN^4-(TRA/100)^4);
    PM2=FCL*HC*(TCL-Ta);
    PM3=0.303*exp(-0.036*Met)+0.028;
    PM4=0.0;

    if(RMW>58.15)
        PM4=0.42*(RMW-58.15);
    end

    BMV=RMW-3.05*0.001*(5733-6.99*RMW-pa);
    CMV=-PM4-1.7*0.00001*Met*(5867-pa)-0.0014*Met*(34-Ta)-PM1-PM2;
    PMV1(iter)=PM3*(BMV+CMV);

    % Υπολογισμός δείκτη δυσάρεσκειας
    PPD(iter)=100-95*exp(-0.03353*PMV1(iter)^4-0.2179*PMV1(iter)^2);
else
    % Σε περίπτωση ανεπαρκών στοιχείων στην γραμμή υπολογισμό του excel
    PMV1(iter)=999;
    PPD(iter)=100;
end
iter = iter + 1;
end
% μετατροπή γραμμής σε στήλη
PMV1 = PMV1';
PPD = PPD';
% εκτύπωση αποτελεσμάτων
disp(PMV1);
disp(PPD);

```

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ

Ερωτηματολόγιο μελέτης

## Καθημερινό Ερωτηματολόγιο Θερμικής Άνεσης

Ανώνυμος κωδικός συμμετοχής:..... Ημερομηνία:.....  
Ώρα:.....

1. Πως νιώθετε το θερμικό περιβάλλον του γραφείου

*Check all that apply.*

- Ψυχρό (-3)
- Δροσερό (-2)
- Ελαφρώς Δροσερό (-1)
- Ουδέτερο (0)
- Ελαφρώς Ζεστό (+1)
- Ζεστό (+2)
- Καυτό (+3)

2. Θα προτιμούσατε το θερμικό περιβάλλον να ήταν διαφορετικό

*Check all that apply.*

- Πιο Ψυχρό
- Πιο Δροσερό
- Ελαφρώς πιο Δροσερό
- Καμία Αλλαγή
- Ελαφρώς Θερμότερο
- Θερμότερο
- Ζεστό

3. Είναι το θερμικό περιβάλλον αποδεκτό

*Check all that apply.*

- Αποδεκτό
- Μη αποδεκτό

4. Από ποια ρούχα αποτελείται η ενδυμασία σας αυτή τη στιγμή

*Check all that apply.*

- Μάσκα
- Κοντομάνικη μπλούζα
- Μακρυμάνικη μπλούζα
- Μάλλινη μπλούζα
- Πουκάμισο
- Πουλόβερ
- Ζακέτα
- Σακάκι
- Παντελόني λεπτό
- Παντελόني χοντρό
- Παντελόني τζιν
- Παντελόني φόρμα
- Φόρεμα
- Φούστα
- Παπούτσια (αθλητικά-καθημερινά)
- Μποτάκια-Παπουτσία εργασίας
- Κάλτσες κοντές
- Κάλτσες μακριές
- Καλσόν
- Φανελάκι
- Ισοθερμικό
- Αμάνικο
- Μπουφάν
- Άλλο,.....