

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ
ΣΕ ΑΙΘΟΥΣΑ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ

ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΥ ΜΑΡΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ Δ. ΜΠΟΥΡΗΣ

ΚΟΖΑΝΗ
ΙΟΥΛΙΟΣ 2008

6023

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ
ΣΕ ΑΙΘΟΥΣΑ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ

ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΥ ΜΑΡΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ Δ. ΜΠΟΥΡΗΣ

ΚΟΖΑΝΗ
ΙΟΥΛΙΟΣ 2008

Περίληψη

Η μόλυνση του ατμοσφαιρικού αέρα είναι ένα γνωστό θέμα που απασχολεί την παγκόσμια κοινότητα, ενώ η μόλυνση του αέρα σε εσωτερικούς χώρους είναι ένα παλιό πρόβλημα που έχει τραβήξει έντονο επιστημονικό ενδιαφέρον τις τελευταίες δεκαετίες. Υπάρχει μεν εξάρτηση ανάμεσα στα δύο προβλήματα, αλλά είναι πολύ πιθανό η ποιότητα του εσωτερικού αέρα να είναι χειρότερη από αυτήν του εξωτερικού. Οι περισσότεροι εσωτερικοί ρύποι δεν προέρχονται από το εξωτερικό περιβάλλον, αλλά παράγονται μέσα στο ίδιο το κτίριο. Ακόμη όμως και όταν ο εσωτερικός αέρας δεν είναι ιδιαίτερα επιβαρυνμένος με ρύπους, το γεγονός ότι η παραμονή των ατόμων μέσα στους χώρους αυτούς είναι συνήθως για μεγάλα χρονικά διαστήματα (60-90% του χρόνου τους), αυξάνει την διάρκεια έκθεσης και την πιθανότητα να προκληθούν σοβαρά προβλήματα υγείας. Μια τέτοια περίπτωση αποτελούν και τα εκπαιδευτικά ιδρύματα, όπου η κακή ποιότητα του εσωτερικού αέρα στα κτίρια, καθώς και η κακή ρύθμιση του εσωτερικού θερμικού περιβάλλοντος, μπορεί να μειώσει την αποδοτικότητα, τόσο των καθηγητών όσο και των μαθητών και να επιφέρει προβλήματα υγείας. Επιπρόσθετα, αυτές οι επιπτώσεις έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση του οικονομικού κόστους, λόγω της πιθανώς υψηλότερης κατανάλωσης ενέργειας, καθώς και της ανάγκης για ιατρική περίθαλψη, αναρρωτικές άδειες, αλλά και αποζημιώσεις.

Για την επίτευξη, λοιπόν, της καλής ποιότητας του εσωτερικού αέρα και της θερμικής άνεσης στα κτίρια, πέρα από τον σωστό σχεδιασμό του κτιρίου και την κατάλληλη επιλογή των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν στην κατασκευή του, είναι σημαντική η εγκατάσταση ενός εξοπλισμού ρύθμισης του εσωτερικού θερμικού περιβάλλοντος και της ποιότητας αέρα.

Η παρούσα διπλωματική εργασία είναι μία προσπάθεια διαστασιολόγησης ενός συστήματος κλιματισμού μιας αίθουσας διδασκαλίας, που ανήκει στο κτίριο του Π.Δ.Μ., τόσο για τη θερινή όσο και για τη χειμερινή περίοδο λειτουργίας του ιδρύματος. Έγινε στα πλαίσια των Προπτυχιακών Σπουδών του τμήματος Μηχανικών Διαχείρισης Ενεργειακών Πόρων του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας (Π.Δ.Μ.) και είχε στόχο τη ρύθμιση του εσωτερικού θερμικού περιβάλλοντος και της ποιότητας αέρα της συγκεκριμένης αίθουσας καθώς και την μελέτη κατανομής των θερμικών παραμέτρων που επιλέχθηκαν.

Σε πρώτο στάδιο (Κεφ. 1-1 έως 1-4) γίνεται αναφορά στους παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν την ποιότητα αέρα και την θερμική άνεση: οι κατηγορίες των ρυπαντών που απαντώνται στους εσωτερικούς χώρους, οι μηχανισμοί διασποράς των ρευμάτων αέρα, τα πρότυπα ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος και θερμικής άνεσης, καθώς και τα διάφορα συστήματα κλιματισμού για την επίτευξη των επιδιωκόμενων εσωτερικών συνθηκών. Στη συνέχεια γίνεται αναφορά (Κεφ. 1-5) στην μεθοδολογία υπολογιστικής ρευστομηχανικής και τον τρόπο που αυτή χρησιμοποιήθηκε ως εργαλείο σχεδιασμού.

Στο δεύτερο στάδιο (Κεφ. 2 και 3) παρουσιάζεται ο υπολογισμός των ψυκτικών φορτίων του χώρου, για την χειμερινή και θερινή περίοδο λειτουργίας του Π.Δ.Μ., έχοντας προηγουμένως προσδιορίσει τις συνθήκες εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος και τις απαιτήσεις αερισμού. Με χρήση αυτών των αποτελεσμάτων σχεδιάστηκαν οι ψυχομετρικές διεργασίες που ικανοποιούν τα φορτία αυτά και παρουσιάζουν το χαμηλότερο ενεργειακό κόστος. Ταυτόχρονα υπολογίστηκε η αναγκαία ισχύς των

κλιματιστικών συστημάτων, η καταναλισκόμενη ενέργεια και η αναγκαία παροχή υγρασίας, όπου αυτή ήταν απαραίτητη.

Τέλος, (Κεφ. 4) παρουσιάζεται μια παραμετρική μελέτη διαφόρων διατάξεων κλιματισμού της αίθουσας και της επίδρασής τους στην κατανομή των παραμέτρων θερμικής άνεσης και ποιότητας αέρα. Η μελέτη έγινε με τη βοήθεια ενός εμπορικού λογισμικού υπολογιστικής ρευστομηχανικής (ANSYS-CFX) και οδήγησε σε συγκεκριμένα συμπεράσματα (Κεφ. 5) σχετικά με την σημασία της τοποθέτησης των διαχυτήρων, των στοιχείων ελέγχου, αλλά και του τύπου του κλιματιστικού συστήματος για την ποιότητα του αέρα και του θερμικού περιβάλλοντος της αίθουσας.

Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη	i
Πίνακας Περιεχομένων	iii
Πίνακας Πινάκων	vi
Πίνακας Σχημάτων	vii
Λίστα Συμβόλων	xi
Κεφάλαιο 1	1
Εισαγωγή	1
1.1 Ρυπαντές Εσωτερικών Χώρων	1
1.1.1 Κατηγορίες Ρυπαντών	1
1.1.2 Κατηγορίες Ρυπαντών Εσωτερικών, Μη Βιομηχανικών Χώρων	2
1.2 Μηχανισμοί Διασποράς	6
1.2.1 Κατηγορίες Ρευμάτων Αέρα	6
1.2.2 Βασικά Διαγράμματα Ρευμάτων Αέρα	10
1.2.3 Θόρυβος	12
1.3 Πρότυπα Ποιότητας Αέρα	14
1.3.1 Ποιότητα Εσωτερικού Αέρα	14
1.3.1.1 Πηγή Εξάλειψης ή Τροποποίηση	14
1.3.1.2 Χρήση Εξωτερικού Αέρα	15
1.3.1.3 Χώρος Διανομής Αέρα	19
1.3.1.4 Καθαρισμός Αέρα	19
1.3.2 Θερμική Άνεση	20
1.4 Συστήματα Κλιματισμού Και Αερισμού	21
1.4.1 Συστήματα Που Λειτουργούν Μόνο Με Αέρα	21
1.4.1.1 Σύστημα Απλής Ζώνης	21
1.4.1.2 Συστήματα Αναθέρμανσης	22
1.4.1.3 Σύστημα Μεταβλητού Όγκου (V.A.V.)	22
1.4.1.4 Σύστημα Διπλού Αγωγού	23
1.4.1.5 Πολυζωνικό Σύστημα	24
1.4.2 Συστήματα Νερού Και Αέρα	25
1.4.3 Συστήματα Μόνο Με Νερό	26

1.4.4 Συστήματα Αντλίας Θερμότητας	27
1.4.5 Συστήματα Ανάκτησης Θερμότητας	28
1.4.6 Ενιαίες Μονάδες Κλιματισμού αέρα	30
1.5 Η Υπολογιστική Ρευστομηχανική Ως Εργαλείο Σχεδιασμού	30
1.5.1 Μεθοδολογία	31
1.5.1.1 Οι εξισώσεις Navier-Stokes Και Η Υπόθεση Boussinesq.....	31
1.5.1.2 Reynolds-averaged Navier-Stokes (RANS) Και Μοντέλο k-ε.....	32

Κεφάλαιο 2 **35**

Ρύθμιση Εσωτερικού Θερμικού Περιβάλλοντος **35**

2.1 Προϋποθέσεις Ποιότητας Αέρα Σε Εσωτερικούς Χώρους	35
2.1.1 Αποδεκτά Όρια Ανανέωσης Αέρα	35
2.1.2 Μεθοδολογία Υπολογισμού Απαιτήσεων Αερισμού	36
2.2 Ρύθμιση Θερμικών Παραμέτρων	38
2.2.1 Ρύθμιση Θερμικής Άνεσης.....	38
2.2.2 Μεθοδολογία Υπολογισμού Θερμικών Φορτίων.....	40
2.2.2.1 Αισθητά Φορτία.....	40
2.2.2.2 Λανθάνοντα Φορτία	44

Κεφάλαιο 3 **47**

Διαστασιολόγηση Συστήματος Κλιματισμού Αίθουσας Διδασκαλίας **47**

3.1 Περιγραφή Του Υπό Μελέτη Χώρου.....	47
3.1.1 Βασικά Στοιχεία Και Διάταξη Χώρου.....	48
3.2 Απαιτήσεις Αερισμού.....	50
3.2.1 Κλιματολογικές Συνθήκες Και Συνθήκες Σχεδιασμού.....	51
3.2.1.1 Κλιματολογικές Συνθήκες.....	51
3.2.1.2 Συνθήκες Σχεδιασμού Της Αίθουσας.....	56
3.2.2 Υπολογισμός Απαιτούμενης Παροχής Αέρα Για Επαρκή Ποιότητα Αέρα.....	57
3.3 Διαστασιολόγηση Συστήματος κλιματισμού	58
3.3.1 Μετατροπή Τοπικής Ωρας Σε Ηλιακή.....	58
3.3.2 Υπολογισμός Ψυκτικών Φορτίων.....	60
3.3.2.1 Θερινή Περίοδος	62
3.3.2.2 Χειμερινή Περίοδος.....	65
3.3.3 Ψυχομετρικές διεργασίες.....	68
3.3.3.1 Θερινή Περίοδος	68
3.3.3.2 Χειμερινή Περίοδος.....	74

Κεφάλαιο 4.....	77
Μελέτη Κατανομής Παραμέτρων Θερμικού Περιβάλλοντος Και Ποιότητας Αέρα.....	77
4.1. Μεθοδολογία Υπολογιστικής Ρευστομηχανικής - ANSYS CFX	77
4.1.1 ANSYS Mesh	77
4.1.2 ANSYS CFX-Pre	78
4.1.3 ANSYS CFX-Solver	78
4.1.4 ANSYS CFX-Post	79
4.2 Αριθμητική Παραμετρική Μελέτη.....	79
4.2.1 Δημιουργία Πλέγματος Υπολογιστικού Χώρου.....	80
4.2.1.1 Διαστασιολόγηση Διαχυτήρων	80
4.2.1.2 Τοποθέτηση Διαχυτήρων	82
4.2.2 Επιλογή Υπολογιστικών Μοντέλων	85
4.2.2.1 Εξισώσεις	85
4.2.2.2 Τύπος Προσομοίωσης	86
4.2.2.3 Υπολογιστικός Χώρος.....	86
4.2.2.4 Οριακές Συνθήκες	88
4.2.2.5 Αρχικές Συνθήκες.....	91
4.2.2.6 Έλεγχος Επίλυσης	91
4.2.2.7 Έλεγχος Αποτελεσμάτων	91
4.2.3 Αποτελέσματα Κατανομής Θερμικών Παραμέτρων	92
4.2.3.1 Κατά πλάτος διαμπερής αερισμός, με ανανέωση.....	92
4.2.3.2 Κατά μήκος διαμπερής αερισμός, με ανανέωση	99
4.2.3.3 Κατά μήκος μονομερής αερισμός (άνω είσοδος-κάτω έξοδος), χωρίς ανανέωση	103
4.2.3.4 Κατά μήκος μονομερής αερισμός (άνω είσοδος-κάτω έξοδος), χωρίς ανανέωση, με προσαρμοσμένες τιμές παραγωγής CO ₂	108
4.2.3.5 Κατά μήκος μονομερής αερισμός (άνω είσοδος-έξοδος), χωρίς ανανέωση, με προσαρμοσμένες τιμές παραγωγής CO ₂	112
Κεφάλαιο 5.....	117
Συμπεράσματα.....	117
5.1 Διαστασιολόγηση Συστήματος Κλιματισμού:	117
5.2 Κατανομή Παραμέτρων Θερμικού Περιβάλλοντος και Ποιότητας Αέρα	118
Βιβλιογραφία	119

Πίνακας Πινάκων

Πίνακας 1-1 Πηγές, πιθανές συγκεντρώσεις και λόγοι συγκέντρωσης εσωτερικού-εξωτερικού περιβάλλοντος διαφόρων ρυπαντών εσωτερικών χώρων.....	3
Πίνακας 1-2 Αποδεκτά όρια θορύβου κλιματιστικών συστημάτων σε ακατοίκητους χώρους.....	13
Πίνακας 1-3 Ανάγκες εξωτερικού αέρα για αερισμό.....	16
Πίνακας 1-4 Στοιχεία ρουχισμού και λειτουργικές θερμοκρασίες.....	20
Πίνακας 2-1 Αποδεκτά όρια θορύβου κλιματιστικών συστημάτων σε ακατοίκητους χώρους.....	35
Πίνακας 3-1 Δομικά στοιχεία χώρου.....	50
Πίνακας 3-2 Εσωτερικά στοιχεία χώρου.....	50
Πίνακας 3-3 Κλιματολογικά δεδομένα Κοζάνης.....	51
Πίνακας 3-4 Μέσες ωριαίες θερμοκρασίες αέρα για κάθε μήνα του έτους.....	55
Πίνακας 3-5 Ιδιότητες αέρα για διάφορες θερμοκρασίες.....	55
Πίνακας 3-6 Μετατροπή τοπικής ώρας σε ηλιακή για την μέση ημέρα του Ιανουαρίου.....	59
Πίνακας 3-7 Μετατροπή τοπικής ώρας σε ηλιακή για την μέση ημέρα του Ιουνίου.....	59
Πίνακας 3-8 Αισθητά φορτία αίθουσας για τον μήνα Ιούνιο.....	62
Πίνακας 3-9 Λανθάνοντα φορτία αίθουσας για τον μήνα Ιούνιο.....	63
Πίνακας 3-10 Συνολικά φορτία αίθουσας για τον μήνα Ιούνιο.....	64
Πίνακας 3-11 Αισθητά φορτία αίθουσας για τον μήνα Ιανουάριο.....	65
Πίνακας 3-12 Λανθάνοντα φορτία αίθουσας για τον μήνα Ιανουάριο.....	66
Πίνακας 3-13 Συνολικά φορτία αίθουσας για τον μήνα Ιανουάριο.....	67

Πίνακας Σχημάτων

Σχήμα 1-1 Συμπεριφορά ισοθερμικού ρεύματος αέρα.....	8
Σχήμα 1-2 Σχηματικά διαγράμματα που απεικονίζουν το συμπαρασυρόμενο ρεύμα αέρα, την επίδραση της επιφάνειας και την πτώση.....	9
Σχήμα 1-3 Διαγράμματα διανομής αέρα, για περιμετρικό διαχυτήρα δαπέδου και ρεύμα που απλώνεται. .10	10
Σχήμα 1-4 Διαγράμματα διανομής αέρα, για έξοδο δαπέδου και ρεύμα που δεν απλώνεται.	10
Σχήμα 1-5 Διαγράμματα διανομής αέρα, για πλευρική έξοδο τοίχου.....	11
Σχήμα 1-6 Διαγράμματα διανομής αέρα, για διαχυτήρα οροφής.....	11
Σχήμα 1-7 Καμπύλες κριτηρίων θορύβου (NC).....	13
Σχήμα 1-8 Τυπικό Σύστημα Αερισμού HVAC.	15
Σχήμα 1-9 Διάταξη ελέγχου συστήματος απλής ζώνης και σταθερού όγκου.	22
Σχήμα 1-10 Διάταξη ελέγχου συστήματος μεταβλητού όγκου.	23
Σχήμα 1-11 Διάταξη ελέγχου συστήματος διπλού αγωγού.....	24
Σχήμα 1-12 Διάταξη ελέγχου συστήματος διπλού αγωγού.....	24
Σχήμα 1-13 Μονάδα επαγωγής αέρα-νερού.....	25
Σχήμα 1-14 Τυπικός εξαεριστήρας κλιματιστικής μονάδας με χωριστά στοιχεία.....	26
Σχήμα 1-15 Σχηματική διάταξη κλειστού συστήματος αντλίας θερμότητας.....	28
Σχήμα 1-16 Περιστρεφόμενο σύστημα ανάκτησης θερμότητας.....	28
Σχήμα 1-17 Σύστημα ανάκτησης θερμότητας αέρα-αέρα.....	29
Σχήμα 1-18 Σύστημα ανάκτησης θερμότητας αέρα-νερού.....	29
Σχήμα 2-1 Στοιχεία Μεταβολισμού.	37
Σχήμα 2-2 Ισοζύγιο μάζας χώρου.	37
Σχήμα 2-3 Ανεκτές διακυμάνσεις θερμοκρασίας χώρου και υγρασίας.....	39
Σχήμα 3-1 Κάτοψη ισογείου Π.Δ.Μ.	48
Σχήμα 3-2 Κάτοψη και τομή αίθουσας διδασκαλίας Π.Δ.Μ.	49
Σχήμα 3-3 Διάγραμμα μέσης θερμοκρασίας αέρα κατά την διάρκεια του έτους.....	53
Σχήμα 3-4 Διάγραμμα σχετικής υγρασίας κατά την διάρκεια του έτους.	53
Σχήμα 3-5 Διάγραμμα έντασης ηλιακής ακτινοβολίας κατά την διάρκεια του έτους.....	54

Σχήμα 3-6 Ψυχομετρικό διάγραμμα υπολογισμού λόγου υγρασίας του αέρα προσαγωγής, για την θερινή περίοδο.....	70
Σχήμα 3-7, (α) και (β) Ψυχομετρικά Διαγράμματα μεταβολής λόγου υγρασίας του εσωτερικού αέρα, για την θερινή περίοδο.....	71
Σχήμα 3-8, (α) και (β) Ψυχομετρικά διαγράμματα κλιματιστικών διεργασιών, για την θερινή περίοδο ..	72
Σχήμα 3-9, (α) και (β) Ψυχομετρικά διαγράμματα κλιματιστικών διεργασιών, για την χειμερινή περίοδο.	75
Σχήμα 4-1 Διαδοχή υπολογιστικών υπομονάδων.....	78
Σχήμα 4-2 Θέση διαχυτήρων στον κατά πλάτος διαμερή αερισμό.	83
Σχήμα 4-3 Θέση διαχυτήρων στον κατά μήκος διαμερή αερισμό.....	83
Σχήμα 4-4 Θέση διαχυτρων στον κατά μήκος μονομερή αερισμό (άνω είσοδος-κάτω έξοδος).....	84
Σχήμα 4-5 Θέση διαχυτήρων στον κατά μήκος μονομερή αερισμό (άνω είσοδος-έξοδος).	84
Σχήμα 4-6 Θέση αισθητήρων θερμοκρασίας, διοξειδίου του άνθρακα και λόγου υγρασίας στον χώρο	92
Σχήμα 4-7 Διάγραμμα θερμοκρασίας-χρόνου στον κατά πλάτος διαμερή αερισμό, για τον Ιούνιο.	93
Σχήμα 4-8 Τρισδιάστατη απεικόνιση της κατανομής της θερμοκρασίας στον κατά πλάτος διαμερή αερισμό, για τον Ιούνιο.....	93
Σχήμα 4-9 Διάγραμμα συγκέντρωσης CO ₂ -χρόνου στον κατά πλάτος διαμερή αερισμό, για τον Ιούνιο. 94	94
Σχήμα 4-10 Τρισδιάστατη απεικόνιση της κατανομής της συγκέντρωσης του CO ₂ στον κατά πλάτος διαμερή αερισμό, για τον Ιούνιο.....	94
Σχήμα 4-11 Διάγραμμα λόγου υγρασίας-χρόνου στον κατά πλάτος διαμερή αερισμό, για τον Ιούνιο.	95
Σχήμα 4-12 Διάγραμμα θερμοκρασίας-χρόνου στον κατά πλάτος διαμερή αερισμό με σταθερή τιμή εισόδου, για τον Ιούνιο.	96
Σχήμα 4-13 Διάγραμμα λόγου υγρασίας-χρόνου στον κατά πλάτος διαμερή αερισμό με σταθερή τιμή εισόδου, για τον Ιούνιο.	96
Σχήμα 4-14 Τρισδιάστατη απεικόνιση της κατανομής της συγκέντρωσης του CO ₂ στον κατά πλάτος διαμερή αερισμό, για τον Ιούνιο.....	97
Σχήμα 4-15 Διάγραμμα λόγου υγρασίας-χρόνου στον κατά πλάτος διαμερή αερισμό, για τον Ιανουάριο.	97
Σχήμα 4-16 Διάγραμμα συγκέντρωσης CO ₂ -χρόνου στον κατά πλάτος διαμερή αερισμό, για τον Ιανουάριο.....	98
Σχήμα 4-17 Τρισδιάστατη απεικόνιση της κατανομής της συγκέντρωσης του CO ₂ στον κατά πλάτος διαμερή αερισμό, για τον Ιανουάριο.....	98
Σχήμα 4-18 Διάγραμμα λόγου υγρασίας-χρόνου στον κατά μήκος διαμερή αερισμό, για τον Ιούνιο.....	99
Σχήμα 4-19 Διάγραμμα θερμοκρασίας-χρόνου στον κατά μήκος διαμερή αερισμό, για τον Ιούνιο.	100

Σχήμα 4-20 Τρισδιάστατη απεικόνιση της κατανομής της θερμοκρασίας στον κατά μήκος διαμερή αερισμό, για τον Ιούνιο.	100
Σχήμα 4-21 Διάγραμμα συγκέντρωσης CO ₂ -χρόνου στον κατά μήκος διαμερή αερισμό, για τον Ιούνιο.	101
Σχήμα 4-22 Τρισδιάστατη απεικόνιση της κατανομής της συγκέντρωσης του CO ₂ στον κατά μήκος διαμερή αερισμό, για τον Ιούνιο.	101
Σχήμα 4-23 Διάγραμμα συγκέντρωσης CO ₂ -χρόνου στον κατά μήκος διαμερή αερισμό, για τον Ιανουάριο.....	102
Σχήμα 4-24 Τρισδιάστατη απεικόνιση της κατανομής της συγκέντρωσης του CO ₂ στον κατά μήκος διαμερή αερισμό, για τον Ιανουάριο.	102
Σχήμα 4-25 Διάγραμμα λόγου υγρασίας-χρόνου στον κατά μήκος διαμερή αερισμό, για τον Ιανουάριο.	103
Σχήμα 4-26 Διάγραμμα θερμοκρασίας-χρόνου στον κατά μήκος μονομερή αερισμό (άνω είσοδος-κάτω έξοδος), για τον Ιούνιο.	104
Σχήμα 4-27 Τρισδιάστατη απεικόνιση της κατανομής της θερμοκρασίας στον κατά μήκος μονομερή αερισμό (άνω είσοδος-κάτω έξοδος), για τον Ιούνιο.	104
Σχήμα 4-28 Διάγραμμα συγκέντρωσης CO ₂ -χρόνου στον κατά μήκος μονομερή αερισμό (άνω είσοδος-κάτω έξοδος), για τον Ιούνιο.	105
Σχήμα 4-29 Τρισδιάστατη απεικόνιση της κατανομής της συγκέντρωσης του CO ₂ στον κατά μήκος μονομερή αερισμό (άνω είσοδος-κάτω έξοδος), για τον Ιούνιο.....	105
Σχήμα 4-30 Διάγραμμα λόγου υγρασίας-χρόνου στον κατά μήκος μονομερή αερισμό (άνω είσοδος-κάτω έξοδος), για τον Ιούνιο.	106
Σχήμα 4-31 Διάγραμμα λόγου υγρασίας-χρόνου στον κατά μήκος μονομερή αερισμό(άνω είσοδος-κάτω έξοδος) , για τον Ιανουάριο.	106
Σχήμα 4-32 Διάγραμμα συγκέντρωσης CO ₂ -χρόνου στον κατά μήκος μονομερή αερισμό (άνω είσοδος-κάτω έξοδος), για τον Ιανουάριο.....	107
Σχήμα 4-33 Τρισδιάστατη απεικόνιση της κατανομής της συγκέντρωσης του CO ₂ στον κατά μήκος μονομερή αερισμό (άνω είσοδος-κάτω έξοδος), για τον Ιανουάριο.	107
Σχήμα 4-34 Διάγραμμα συγκέντρωσης CO ₂ -χρόνου στον κατά μήκος μονομερή αερισμό (άνω είσοδος-κάτω έξοδος) με προσαρμοσμένες τιμές παραγωγής CO ₂ , για τον Ιούνιο.....	109
Σχήμα 4-35 Τρισδιάστατη απεικόνιση της κατανομής της συγκέντρωσης του CO ₂ στον κατά μήκος μονομερή αερισμό (άνω είσοδος-κάτω έξοδος) με προσαρμοσμένες τιμές παραγωγής CO ₂ , για τον Ιούνιο.....	109
Σχήμα 4-36 Διάγραμμα συγκέντρωσης CO ₂ -χρόνου από τις πειραματικές μετρήσεις, για τον Ιούνιο [34].	110
Σχήμα 4-37 Συγκριτικό διάγραμμα συγκέντρωσης CO ₂ -χρόνου μεταξύ αριθμητικής μελέτης και πειραματικών μετρήσεων, για τον Ιούνιο.....	110
Σχήμα 4-38 Διάγραμμα συγκέντρωσης CO ₂ -χρόνου στον κατά μήκος μονομερή αερισμό (άνω είσοδος-κάτω έξοδος) με προσαρμοσμένες τιμές παραγωγής CO ₂ , για τον Ιανουάριο.....	111

Σχήμα 4-39 Τρισδιάστατη απεικόνιση της κατανομής της συγκέντρωσης του CO ₂ στον κατά μήκος μονομερή αερισμό (άνω είσοδος-κάτω έξοδος) με προσαρμοσμένες τιμές παραγωγής CO ₂ , για τον Ιανουάριο.....	111
Σχήμα 4-40 Διάγραμμα λόγου υγρασίας-χρόνου στον κατά μήκος μονομερή αερισμό (άνω είσοδος-έξοδος) με προσαρμοσμένες τιμές παραγωγής CO ₂ , για τον Ιούνιο.	112
Σχήμα 4-41 Διάγραμμα θερμοκρασίας-χρόνου στον κατά μήκος μονομερή αερισμό (άνω είσοδος- έξοδος) με προσαρμοσμένες τιμές παραγωγής CO ₂ , για τον Ιούνιο.....	113
Σχήμα 4-42 Τρισδιάστατη απεικόνιση της κατανομής της θερμοκρασίας στον κατά μήκος μονομερή αερισμό (άνω είσοδος- έξοδος) με προσαρμοσμένες τιμές παραγωγής CO ₂ , για τον Ιούνιο.....	113
Σχήμα 4-43 Διάγραμμα συγκέντρωσης CO ₂ -χρόνου στον κατά μήκος μονομερή αερισμό (άνω είσοδος-έξοδος) με προσαρμοσμένες τιμές παραγωγής CO ₂ , για τον Ιούνιο.	114
Σχήμα 4-44 Τρισδιάστατη απεικόνιση της κατανομής της συγκέντρωσης του CO ₂ στον κατά μήκος μονομερή αερισμό (άνω είσοδος- έξοδος) με προσαρμοσμένες τιμές παραγωγής CO ₂ , για τον Ιούνιο.	114
Σχήμα 4-45 Διάγραμμα λόγου υγρασίας-χρόνου στον κατά μήκος μονομερή αερισμό (άνω είσοδος-έξοδος) με προσαρμοσμένες τιμές παραγωγής CO ₂ , για τον Ιανουάριο.	115
Σχήμα 4-46 Διάγραμμα συγκέντρωσης CO ₂ -χρόνου στον κατά μήκος μονομερή αερισμό (άνω είσοδος-έξοδος) με προσαρμοσμένες τιμές παραγωγής CO ₂ , για τον Ιανουάριο.	116
Σχήμα 4-47 Τρισδιάστατη απεικόνιση της κατανομής της συγκέντρωσης του CO ₂ στον κατά μήκος μονομερή αερισμό (άνω είσοδος- έξοδος) με προσαρμοσμένες τιμές παραγωγής CO ₂ , για τον Ιανουάριο.....	116

Λίστα Συμβόλων

Σύμβολα Αγγλικών Γραμμάτων

A	επιφάνεια, ft ² ή m ²
C	συγκέντρωση, kg/m ³ ή ppm
C	σταθερά, αδιάστατη
C _p	ειδική θερμοχωρητικότητα, J/kg·K
CLF	συντελεστής ψυκτικού φορτίου, αδιάστατος
CLTD	διαφορά θερμοκρασίας ψυκτικού φορτίου, °C ή K
D	διάμετρος, m
DB	θερμοκρασία ξηρού βολβού, °C ή °K
DP	θερμοκρασία δρόσου, °C ή °K
DR%	ποσοστό ημερήσιας θερμοκρασιακής διακύμανσης
E	εξίσωση
F	εξωτερική δύναμη, N
g	επιτάχυνση της βαρύτητας, m/sec ²
G	παραγωγή κινητικής ενέργειας λόγω άνωσης, W
h	ενθαλπία, kJ/kg
h _{g,0}	ενθαλπία αναφοράς κορεσμένου υδρατμού στους 0°C, kJ/kg _w
HG	στιγμιαίο θερμικό κέρδος
k	κινητική ενέργεια τύρβης, J
K	συντελεστής διόρθωσης χρώματος, αδιάστατος
K	σταθερά αναλογίας, αδιάστατη
l	μήκος, m ή in
\dot{m}	ρυθμός ροής μάζας ή ρυθμός μετάδοσης μάζας, kg/sec
N	αριθμός ατόμων ή άλλος ακέραιος
\dot{N}	ρυθμός παραγωγής, lt/sec ή cfm
NU	κριτήριο θορύβου, αδιάστατο
p	πίεση μεταβαλλόμενη με τον χρόνο, N/m ² ή Pa ή bar
P	πίεση ανεξάρτητη από τον χρόνο, N/m ² ή Pa ή bar
P	παραγωγή κινητικής ενέργειας λόγω τύρβης, W
\dot{q}	ρυθμός μετάδοσης θερμότητας, W
\dot{Q}	συνολικός ρυθμός μετάδοσης θερμότητας, W
RH	σχετική υγρασία, επί τοις εκατό ή κλασματική
SC	συντελεστής σκίασης, αδιάστατος

SHGF	συντελεστής ηλιακού θερμικού κέρδους, W/m^2
SHR	λόγος αισθητής θερμότητας, αδιάστατος
t	χρόνος, sec
T	θερμοκρασία, °C ή K
u	ταχύτητα στη διεύθυνση x, ft/sec ή m/sec
$u_{i,j,k}$	ταχύτητα μεταβαλλόμενη με τον χρόνο, ft/sec ή m/sec
$U_{i,j,k}$	ταχύτητα ανεξάρτητη από τον χρόνο, ft/sec ή m/sec
U	θερμική διαπερατότητα ενός στοιχείου, W/m^2K
v	ειδικός όγκος, m^3/kg
V	όγκος, m^3
\dot{V}	ογκομετρική παροχή, ft^3/sec ή m^3/sec ή lt/sec
w	πλάτος, m ή in
W	λόγος υγρασίας, kg_w/kg_{da}
WB	θερμοκρασία υγρού βολβού, °C ή °K
\dot{W}	ισχύς, W
x, y, z	μήκος, ft ή m

Σύμβολα Ελληνικών Γραμμάτων

Δ	μεταβολή μιας ποσότητας ή ιδιότητας
ε	ρυθμός απωλειών κινητικής ενέργειας τύρβης, W
η	αριθμός μέσης ημέρας του μήνα στις 365 ημέρες του έτους
λ	γεωγραφικό μήκος σε μοίρες
μ	δυναμικό (απόλυτο) ιξώδες, Pa·sec ή Poise
ν	κινηματικό ιξώδες, m^2/sec ή Stokes
ρ	πυκνότητα, kg/m^3
σ	αριθμός Prandtl, αδιάστατος
φ	γεωγραφικό πλάτος σε μοίρες

Δείκτες

a	αέρας
c	κατανάλωση
d	ξηρό
e	πηγή
g	αναφέρεται στον κορεσμένο ατμό
i	εντός ή εσωτερικό

i,j,k	στιγμαίο (i,j,k=1,2,3)
lat	λανθάνον
max	μέγιστο
min	ελάχιστο
o	έξω ή εξωτερικό
p	άνθρωποι
r	αέρας επιστροφής ή δωματίου
s	αέρας παροχή
sens	αισθητό
t	χρόνος
T	θερμοκρασία, °C ή K
tot	σύνολο
unit	συσκευή ή μονάδα
v	διαχυτήρας
w	νερό σε υγρή μορφή
x	μήκος, σε m ή ft
0	αρχική συνθήκη

Εισαγωγή

1.1 Ρυπαντές Εσωτερικών Χώρων.

Η ατμόσφαιρα της γης αποτελείται κυρίως από μίγμα αερίων. Τα σημαντικότερα αέρια συστατικά για καθαρό και ξηρό αέρα στη στάθμη θάλασσας είναι περίπου 21% οξυγόνο, 78% άζωτο, 1% αργό, και 0,04% διοξείδιο του άνθρακα.

Εκτός όμως των παραπάνω αερίων, ο τυπικός εξωτερικός αέρας περιέχει και διάφορα εξωγενή υλικά (μόνιμες ατμοσφαιρικές ακαθαρσίες) τα οποία είναι είτε φυσικής είτε ανθρώπινης προέλευσης.

Οι ρυπαντές από τις διάφορες φυσικές διεργασίες οφείλονται κυρίως στην εδαφική διάβρωση υπό την επίδραση του αέρα, στην εξάτμιση του νερού από την επιφάνεια των θαλασσών, στην ηφαιστειακή δραστηριότητα, και στον μεταβολισμό και την αποσύνθεση της οργανικής ύλης. Οι συγκεντρώσεις των φυσικών ρύπων του αέρα που αναπνέουμε ποικίλλουν αλλά είναι συνήθως χαμηλότερες από αυτές που προκαλούνται από τις ανθρωπογενής δραστηριότητες. Οι δραστηριότητες αυτές είναι πολυάριθμες με αποτέλεσμα την εκπομπή πολλών και ποικίλων ανθρωπογενών ρύπων. Οι εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, τα διάφορα μέσα μεταφοράς, οι βιομηχανικές διεργασίες, η εξόρυξη και η χύτευση, η οικοδόμηση, και η γεωργική παραγωγή είναι οι κυριότερες πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

1.1.1 Κατηγορίες Ρυπαντών

Οι σημαντικότερες κατηγορίες ρυπαντών είναι υπό την μορφή είτε σωματιδίων είτε αερίων.

Η *σωματιδιακή ύλη* καλύπτει ένα ευρύ φάσμα μεγέθους σωματιδίων, από τη σκόνη, αρκετά μεγάλα σωματίδια ώστε να είναι ορατά με γυμνό μάτι, έως τα υπομικροσκοπικά σωματίδια, τα οποία διαφεύγουν από τα περισσότερα φίλτρα, ενώ μπορεί να είναι σε στερεή ή υγρή φάση. Μία κοινή ταξινόμηση των ρυπαντών οι οποίοι ανήκουν στη κατηγορία αυτή των σωματιδίων, είναι η ακόλουθη:

- **Σκόνη** και **καπνός**, τα όποια είναι κυρίως στερεή σωματιδιακή ύλη, αν και ο καπνός συχνά περιέχει υγρά σωματίδια.
- **Υδρονέφωση**, **ομίχλη**, και **αιθαλομίχλη**, που είναι συνήθως αιωρούμενα υγρά σωματίδια μικρότερου μεγέθους από τα προηγούμενα.

- **Βιολογικά αερολύματα**, συμπεριλαμβανομένων των μικροβίων, των βακτηρίων, των σπορίων μυκήτων, και της γύρης, η επίδραση των οποίων συσχετίζεται με τη βιολογική τους προέλευση.
- Ορισμοί μεγέθους σωματιδίων όπως **χονδρόκοκκα** ή **λεπτόκοκκα**, **ορατά** ή **μη ορατά** με γυμνό μάτι, και **μακροσκοπικά**, **μικροσκοπικά**, ή **υπομικροσκοπικά**.
- Ορισμοί που αφορούν την αλληλεπίδραση των σωματιδίων στο ανθρώπινο αναπνευστικό σύστημα, όπως **εισπνεύσιμα** και **αναπνεύσιμα**.

Η κατηγορία των *αερίων* καλύπτει τους ρυπαντές που υπάρχουν ως ελεύθερα μόρια ή ως άτομα στον αέρα. Τα μόρια και τα άτομα είναι μικρότερου μεγέθους από τα σωματίδια και κατά συνέπεια παρουσιάζουν διαφορετική συμπεριφορά. Αυτή η κατηγορία αποτελείται από τις εξής επιμέρους:

- **Αέρια**, συστατικά τα οποία είναι σε αέρια φάση υπό συνθήκες κανονικής ατμόσφαιρας¹.
- **Ατμοί**, συστατικά σε αέρια φάση, τα οποία είναι συνήθως σε στερεή ή υγρή φάση υπό συνθήκες κανονικής ατμόσφαιρας.

Οι ατμοσφαιρικοί ρυπαντές μπορούν επίσης να ταξινομηθούν σύμφωνα με τις πηγές τους τις ιδιότητές τους ή ακόμη την υγεία, την ασφάλεια, και ζητήματα σχετικά με την επιστήμη της μηχανικής. Οποιοδήποτε από τα παραπάνω μπορεί να αποτελέσει ένα ικανό σύστημα ταξινόμησης επειδή επιτρέπει την ομαδοποίηση εφαρμόσιμων προτύπων, οδηγιών, και στρατηγικών ελέγχου. Οι περισσότερες από τις παρακάτω κατηγορίες περιλαμβάνουν και σωματιδιακούς και αέριους ρύπους:

- Βιομηχανικοί ρυπαντές
- Μη βιομηχανικοί ρυπαντές εσωτερικών χώρων (συμπεριλαμβανομένης της εσωτερικής ποιότητας αέρα)
- Εύφλεκτα αέρια και ατμοί
- Καύσιμες σκόνες
- Ραδιενεργοί ρυπαντές
- Εδαφικά αέρια

1.1.2 Κατηγορίες Ρυπαντών Εσωτερικών, Μη Βιομηχανικών Χώρων

Η ποιότητα αέρα σε εσωτερικούς χώρους, στις κατοικίες, τα γραφεία, και σε άλλα εσωτερικά, μη βιομηχανικά περιβάλλοντα, είναι πλέον ευρέως διαδεδομένο ότι αποτελεί θέμα κρίσιμης σημασίας (Spengler et al. 1982 [9], NRC 1981 [10]). Οι εσωτερικοί ρύποι μπορεί να είναι τόσο σημαντικοί όσο και οι εξωτερικοί, πρώτον επειδή μια μεγάλη μερίδα του πληθυσμού αφιερώνει μέχρι και 90% του χρόνου του εντός των κτιρίων και δεύτερον εξαιτίας των, συχνά, υψηλότερων συγκεντρώσεων των εσωτερικών ρύπων από τα αντίστοιχα εξωτερικά επίπεδα.

¹ Διεθνώς, οι συνθήκες κανονικής ατμόσφαιρας είναι, θερμοκρασία 15 °C, πίεση 101.3 kPa και θερμοβαθμίδα -6.5 °C/km.

Τα συμπτώματα της έκθεσης σε εσωτερικούς ρύπους περιλαμβάνουν βήξιμο, φτέρνισμα, ερεθισμό του δέρματος, των ματιών και του λαιμού, ναυτία, δυσλειτουργία στο αναπνευστικό, υπνηλία, πονοκεφάλους και κατάθλιψη. Το 1988 ο Rask ([11]) πρότεινε ότι εάν το 20% των ατόμων υφίστανται τέτοιες ενοχλήσεις, τότε το κτίσμα πάσχει από το **σύνδρομο του άρρωστου κτιρίου (Sick Building Syndrome - SBS)**. Όμως ο συσχετισμός των αναφερόμενων καταγγελιών με τις συγκεντρώσεις των ρύπων δεν είναι ισχυρός και οι μελέτες τέτοιων περιστατικών έχουν αποτελέσει αμφισβητήσιμες αναλύσεις και αυτό γιατί πολλοί παράγοντες μπορούν να προκαλέσουν παρόμοιες αντιδράσεις με αυτές που μπορεί να προκληθούν από την ρύπανση του χώρου.

Επομένως ο προσδιορισμός της ποιότητας αέρα των εσωτερικών χώρων έχει αποτελέσει το αντικείμενο πολυάριθμων πρόσφατων μελετών. Στα πρακτικά των συνεδριάσεων σχετικών με την ποιότητα αέρα στους εσωτερικούς χώρους (Indoor Air Quality Conference Proceedings) η ASHRAE² αναφέρεται στα διάφορα προβλήματα που παρουσιάζονται αλλά και σε μερικούς πρακτικούς ελέγχους. Το ASHRAE Standard 62 εξετάζει πολλά θέματα που αφορά την ποιότητα του αέρα.

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι πηγές, τα όρια, και οι λόγοι συγκέντρωσης εσωτερικού-εξωτερικού περιβάλλοντος, διαφόρων ρυπαντών εσωτερικών χώρων. Τα ποσοστά αυτά της παραγωγής των εκπεμπόμενων ρύπων είναι αναγκαία για τον σχεδιασμό των διαφόρων συστημάτων ελέγχου.

Ρυπαντής	Πηγές Εσωτερικής Ρύπανσης	Πιθανή Συγκέντρωση σε Εσωτερικούς Χώρους	Εσωτερική/ Εξωτερική Συγκέντρωση	Τοποθεσία
Μονοξειδίο του Άνθρακα	Συστήματα καύσης, κινητήρες, ελαττωματικά συστήματα θέρμανσης	100 mg/kg	>>1	Παγοδρόμια, γραφεία, οικίες, αυτοκίνητα, μαγαζιά
Αναπνεύσιμα Σωματίδια	Σόμπες, τζάκια, τσιγάρα, συμπύκνωση πτητικών ουσιών, σπρέι αεροζόλ, επαναίωρηση, μαγείρεμα	100 έως 500 µg/m ³	>>1	Οικίες, γραφεία, αυτοκίνητα, δημόσια κτίρια, μπαρ, εστιατόρια
Οργανικοί Υδρατμοί	Καύση, διαλυτικές ουσίες, προϊόντα ρητίνης, μικροβιοκτόνα, σπρέι αεροζόλ	NA ^a	>1	Οικίες, εστιατόρια, δημόσια κτίρια, γραφεία, νοσοκομεία
Διοξείδιο του Αζώτου	Καύση, εστίες αερίου, θερμαντήρες νερού, στεγνωτήρες, τσιγάρα, κινητήρες	200 έως 1000 µg/m ³	>>1	Οικίες, παγοδρόμια
Διοξείδιο του Θείου	Συστήματα θέρμανσης	20 µg/m ³	<1	Εσωτερικής απομάκρυνσης
Ολικά Αιωρούμενα Σωματίδια εκτός καπνού	Καύση, επαναίωρηση, συστήματα θέρμανσης	100 µg/m ³	1	Οικίες, γραφεία, μέσα μεταφοράς, εστιατόρια
Θειικό Άλας	Σπίρτα, εστίες αερίου	5 µg/m ³	<1	Εσωτερικής απομάκρυνσης
Φορμαλδεΐδη	Μόνωση, προϊόντα συγκόλλησης, κοντραπλακέ	0.05 έως 1.0 mg/kg	>>1	Οικίες, γραφεία
Ραδόνια	Οικοδομικά υλικά, αποθέματα νερού, έδαφος	0.1 έως 100 nCi/m ³	>>1	Οικίες, κτίρια
Αμίαντος	Πυρασφάλεια	<10 ⁶ fiber/m ³	1	Οικίες, σχολεία, γραφεία
Ανόργανες και Συνθετικές Τνες	Προϊόντα, υφάσματα, χαλιά, επιχρίσματα	NA ^a	---	Οικίες, σχολεία, γραφεία
Διοξείδιο του Άνθρακα	Καύση, άνθρωποι, κατοικίδια	3000 mg/kg	>>1	Οικίες, σχολεία, γραφεία
Ζωντανοί Οργανισμοί	Άνθρωποι, κατοικίδια, τροφικά, έντομα, φυτά, μύκητες, υγραντήρες, κλιματιστικά	NA ^a	>1	Οικίες, νοσοκομεία, σχολεία, γραφεία, δημόσια κτίρια
Όζον	Ηλεκτρικά τόξα	20 mg/kg	<1	Αεροπλάνα
	Πηγές ηπεριόδους φωτός	200 mg/kg	>1	Γραφεία

^a Το NA (Not Appropriate) δηλώνει ότι δεν υπάρχει κατάλληλο όριο συγκέντρωσης για τον συγκεκριμένο ρύπο.

Πίνακας 1-1 Πηγές, πιθανές συγκεντρώσεις και λόγοι συγκέντρωσης εσωτερικού-εξωτερικού περιβάλλοντος διαφόρων ρυπαντών εσωτερικών χώρων[6]

² ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning (<http://www.ashrae.org>).

Η γνώση των πηγών που συναντώνται συχνότερα σε κτίρια διαφορετικού τύπου, είναι πολύ σημαντική στην ανάλυση των αιτιών που επιφέρουν το SBS. Οι πιο κοινές από αυτές παρουσιάζονται με κάποιες λεπτομέρειες παρακάτω.

Οι πηγές από τα **οικοδομικά υλικά** και την **επίπλωση** αποτελούν μέρος των συνολικών πηγών που εκπέμπονται εντός των κτιρίων. Το κοντραπλακέ, το οποίο γίνεται συνήθως από ρινίσματα ξύλου ενωμένα με φαινολική φορμαλδεΐδη (phenol-formaldehyde) ή κάποια άλλη ρητίνη, χρησιμοποιείται ευρέως στην σύγχρονες κατασκευές, ειδικά στα προκατασκευασμένα κτίρια, στα υποστρώματα ταπήτων και στα συναρμολογούμενα έπιπλα. Αυτά τα υλικά, μαζί με τα κεραμίδια, τους τάπητες, τα επιχρίσματα των τοίχων, τις μεσοτοιχίες των γραφείων, τις τελικές συγκολλήσεις και βαφές, εκπέμπουν φορμαλδεΐδη και άλλα VOCs³. Τα χρώματα λατέξ που περιέχουν υδράργυρο έχει αποδειχθεί ότι εκπέμπουν ατμό υδραργύρου. Παρόλο που τα ποσοστά εκπομπής των υλικών αυτών μειώνονται σταθερά με την πάροδο του χρόνου, ο χρόνος ημιζωής των εκπομπών τους είναι σημαντικά μεγάλος. Ο Black και ο Bayer (1986) [12], Nelms et al. (1986) [13], και ο Molhave et al. (1982) [14], αναφέρουν τέτοιες πηγές.

Τα **συστήματα αερισμού** είναι πιθανό να αποτελούν πηγή VOCs (Molhave και Thorsen 1990 [15]). Το εσωτερικό ενός συστήματος HVAC μπορεί να αποτελείται από μεγάλες περιοχές πορώδους υλικού που προσροφούν οσμογόνες ενώσεις. Αυτό το υλικό μπορεί επίσης να συγκρατεί θρεπτικές ουσίες και, με την υγρασία, είναι δυνατό να μετατραπεί σε έναν οργανισμό-ξενιστή για τους μικροοργανισμούς. Οι μικροβιακοί αυτοί ρυπαντές παράγουν χαρακτηριστικά VOCs, τα αποκαλούμενα μικροβιακά VOCs (MVOCs), που συνδέονται με το μεταβολισμό τους. Άλλα εξαρτήματα των HVAC, όπως οι αγωγοί απομάστευσης συμπυκνωμάτων, οι επιστρωμένες σπείρες ψύξης, και μερικά μέσα φίλτραρίσματος, μπορούν να συντηρήσουν μικροβιολογική ζωή. Οι αποσμητικές και στεγανωτικές ουσίες, και τα υλικά περιβλήματος είναι επίσης πηγές VOCs στα συστήματα HVAC.

Ο **εξοπλισμός** των δημόσιων και ιδιωτικών χώρων αποτελεί πηγή ρύπων, με ποσοστά παραγωγής συνήθως σημαντικά χαμηλότερα από αυτά των βιομηχανικών χώρων. Δεδομένου όμως ότι οι πηγές αυτές είναι σπάνια καλυμμένες, οι ρύποι εκπέμπονται απευθείας στον χώρο. Στους δημόσιους χώρους, οι κύριες πηγές αέριων ρυπαντών είναι ο εξοπλισμός των γραφείων, συμπεριλαμβανομένων των αντιγραφικών ξηρήσ-(όζον) και υγρήσ- (VOCs) διαδικασίας, των διαζωνιακών (diazο) εκτυπωτών (αμμωνία και σχετικές ενώσεις), των χαρτιών αντιγραφής (φορμαλδεΐδη), των διορθωτικών, των μελανιών και των κολλών (διάφορα VOCs), των δοχείων ψεκασμού, των καλλυντικών και ούτω καθ' εξής (Miksch et al. 1982 [16]). Οι ιατρικές και οδοντιατρικές δραστηριότητες παράγουν ρύπους λόγω της διαφυγής των αναισθητικών αερίων (νιτρώδες οξείδιο και ισοφλουράνιο) και των αποστειρωτών (οξείδιο του αιθυλενίου). Επίσης πρέπει να δοθεί προσοχή στο γεγονός ότι εφόσον υπάρχουν συμπιεσμένα αέρια υπάρχει πάντα η πιθανότητα για ασφύξια, κάτι που είναι ανησυχητικό, ακόμα κι αν το αέριο αυτό είναι το άζωτο.

³ Τα VOCs (Volatile Organic Compounds) είναι πτητικές οργανικές ενώσεις, δηλαδή είναι οργανικές χημικές ενώσεις που έχουν αρκετά υψηλή τάση ατμών ώστε υπό κανονικές συνθήκες να ατμοποιούνται σημαντικά και να εισχωρούν στην ατμόσφαιρα.

Στις κατοικίες, οι κύριες πηγές ρύπων που προέρχονται από τον εξοπλισμό είναι οι εστίες αερίου, οι ξύλινες σόμπες και οι θερμάστρες κηροζίνης. Ο αερισμός είναι χρήσιμος, όμως παρ' όλα αυτά μερικοί ρύποι διαφεύγουν στον αέρα του χώρου. Εκτός από τον τύπο του ρύπου σημαντικό ρόλο παίζει και ο χρόνος εκπομπής, όπως στην περίπτωση των εστιών αερίου από τις οποίες η προερχόμενη ρύπανση είναι κάπως μετριασμένη σε σχέση με τις θερμάστρες, και αυτό γιατί οι εστίες λειτουργούν για μικρότερες χρονικές περιόδους. Το ίδιο ισχύει και για τα ντους, τα οποία συμβάλουν στις συγκεντρώσεις ραδονίου και αλογονωμένου υδρογονάνθρακα (halocarbon) στο εσωτερικό των χώρων.

Τα **προϊόντα καθαρισμού** όπως και **άλλα καταναλωτικά προϊόντα** μπορούν να ενεργήσουν ως πηγές μόλυνσης. Τα κοινά υγρά απορρυπαντικά, τα κεριά, οι στιλβωτικές ουσίες, τα καθαριστικά λεκέδων και τα καλλυντικά περιέχουν οργανικούς διαλύτες που εξατμίζονται, είτε αργά είτε γρήγορα. Οι ναφθαλίνες και άλλα μέσα ελέγχου παρασίτων εκπέμπουν οργανικούς ατμούς. Οι Knoepfel και Schauenburg (1989) [17], Black και Bayer (1986) [12], και ο Tichenor (1989) [18], αναφέρουν στοιχεία σχετικά με την εκπομπή τέτοιων πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs). Σχετικές μελέτες έχουν δείξει ότι τα προϊόντα αυτά συμβάλλουν σημαντικά στην ρύπανση του εσωτερικού αέρα, εντούτοις, μια μεγάλη ποικιλία των ενώσεων τους είναι σε χρήση, και έτσι λίγες μελέτες έχουν γίνει ώστε να είναι δυνατός ο υπολογισμός των ποσοστών που εκπέμπονται. Τέλος, τα μικροβιοκτόνα για τους τερμίτες, τόσο στους εσωτερικούς όσο και στους εξωτερικούς χώρους μολύνουν και αυτά το εσωτερικό των κτιρίων.

Ο **καπνός από το τσιγάρο** είναι μια επικρατούσα και ισχυρή πηγή εσωτερικών ρύπων. Ο περιβαλλοντικός καπνός από το τσιγάρο (Environmental Tobacco Smoke - ETS), είναι ένας συνδυασμός αραιωμένου καπνού περιφερικής ροής (ο καπνός από το αναμμένο τέλος του τσιγάρου και ο καπνός που δραπετεύει από το φίλτρο) και κεντρικής ροής (ο καπνός που εκπνέει ο καπνιστής). Οι παράγοντες εκπομπής για τα συστατικά του ETS, ο λόγος των συστατικών του προς τις χαρακτηριστικές ενώσεις του, και ο καταμερισμός των συστατικών του στον εσωτερικό αέρα αναφέρονται από τους Heavner et al. (1996) [19], Hodgson et al. (1996) [20], Martin et al. (1996) [21], και Nelson et al. (1994) [22].

Οι **ένοικοι**, οι άνθρωποι και τα ζώα, εκπέμπουν μια ευρεία σειρά ρύπων είτε με την αναπνοή, τον ιδρώτα, ή και τα διάφορα αέρια του στομάχου. Μερικές από αυτές τις εκπομπές είναι προϊόντα από τα στερεά ή τα υγρά εντός του σώματος. Πολλές εκπεμπόμενες πτητικές οργανικές ουσίες είναι, εντούτοις, επανεκπεμπόμενοι ρύποι που εισέπνευσαν νωρίτερα, μέσω του τραχειοβρογχικού συστήματος το οποίο ενήργησε ως φυσικός προσροφητής.

Η **σκόνη από τα πατώματα**, που είναι διαφορετική από τη σκόνη στον αέρα, έχει βρεθεί ότι είναι ένα μέσο προσρόφησης και μία δευτερεύουσα πηγή εκπομπής VOCs. Η σκόνη των πατωμάτων είναι ένα μίγμα οργανικών και ανόργανων σωματιδίων, μία αναλογία τριχών και δερμάτων, και υφαντικών ινών. Το μέρος της σκόνης των πατωμάτων αποτελούμενο από ίνες έχει αποδειχθεί ότι περιέχει 169 mg/kg TVOC, ενώ των σωματιδίων 148 mg/kg (Gyntelberg et al. 1994 [23]). Αυτά τα VOCs συσχετίστηκαν με συμπτώματα

ερεθισμών (επώδυνος λαιμός) και γνώσεων (προβλήματα συγκέντρωσης) μεταξύ των ενοίκων. Εκατόν ογδόντα οκτώ ενώσεις προσδιορίστηκαν από τη θερμική εκρόφηση της σκόνης των γραφείων στους 121°C (Wilkins et al. 1993 [24]). Αξίζει να σημειωθεί ότι η σκόνη στις οικίες βρέθηκε να είναι παρόμοια στη σύνθεση με αυτή των γραφείων (Wolkoff and Wilkins 1994 [25]).

Ρυπαντές από άλλες πηγές περιλαμβάνουν το χλωροφόρμιο από το νερό, το τετραχλωροαιθυλένιο και το 1,1,1-τριχλωροαιθάνιο από τους διαλύτες καθαρισμού, το μεθυνελοχλωρίδιο από τις βαφές αποχρωματισμού, τις αρωματικές, τις καθαριστικές και τις στιλβωτικές ουσίες, το α-πινένιο και λιμονένιο από τα κεριά πατωμάτων και την 1-μεθοξυ-2-προπανόλη από τα σπρέι καθαρισμού ταπήτων. Η φορμαλδεΰδη, ένα από τα σημαντικότερα VOCs, μπορεί να έχει πολλές πηγές, όμως τα πεπεσμένα ξύλινα προϊόντα εμφανίζονται ως τα σημαντικότερα.

1.2 Μηχανισμοί Διασποράς

Κύριος σκοπός ενός κλιματιστικού συστήματος είναι η παροχή άνετων συνθηκών κατάλληλης ποιότητας αέρα εσωτερικών χώρων κτιρίων. Αυτό περιλαμβάνει την μεταφορά ενέργειας στον χώρο, στην περίπτωση της θέρμανσης ή την αφαίρεση από αυτόν στην περίπτωση της ψύξης, καθώς και την απομάκρυνση του ευρισκόμενου αέρα και των ρυπαντών που μπορεί να έχουν παραχθεί στον χώρο.

Ένα βασικό βήμα στη διαδικασία είναι η παροχή αέρα στο δωμάτιο με τέτοιο τρόπο ώστε να αντισταθμίζονται τα όποια φυσικά ρεύματα αέρα, επιτυγχάνοντας καλή ανάμιξη. Επίσης πρέπει να εξασφαλίζεται ότι υπάρχει ομοιόμορφη κατανομή της θερμοκρασίας της υγρασίας και της ταχύτητας των ρευμάτων αέρα, χωρίς απροσδόκητες αλλαγές στις συνθήκες του χώρου. Τέλος εξίσου σημαντικός παράγοντας στην σχεδίαση αποτελεί και η επιλογή του κατάλληλου εξοπλισμού διάχυσης του αέρα, έτσι ώστε να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις θορύβου και πτώσης πίεσης.

1.2.1 Κατηγορίες Ρευμάτων Αέρα

Ο αέρα εισάγεται στους κλιματιζόμενους χώρους από τα στόμια προσαγωγής και ανεξάρτητα από τον τύπο του ανοίγματος, το ρεύμα τείνει να λάβει κυκλικό σχήμα. Η κατανομή του κλιματιζόμενου αέρα εξαρτάται σημαντικά από την ταχύτητά και την θερμοκρασία του. Ο αέρας συνήθως παρέχεται από εξόδους με ταχύτητες πολύ υψηλότερες από αυτές που είναι αποδεκτές για διαβίωση, ενώ η θερμοκρασία του μπορεί να είναι είτε ίση είτε διάφορη της θερμοκρασίας του αέρα του χώρου.

Όταν η ροή του εισερχόμενου αέρα δεν παρεμποδίζεται από γειτονικές επιφάνειες τότε θεωρείται ότι ο αέρας είναι **ελεύθερο ρεύμα**. Όταν όμως το ρεύμα εκτοξεύεται παράλληλα και σε απόσταση μερικών

ιντσών από μία επιφάνεια, τότε η επαγωγή⁴ στο παρασυρόμενο ρεύμα περιορίζεται από την πλευρά του ρεύματος προς την επιφάνεια. Συγκεκριμένα, δημιουργείται μία περιοχή υποπίεσης μεταξύ της επιφάνειας και του ρεύματος με αποτέλεσμα το **ρεύμα να προσκολλάται** στην επιφάνεια αυτή. Με τον τρόπο αυτό το ρεύμα του αέρα μένει προσκολλημένο στον τοίχο μέχρις ότου μειωθεί η ταχύτητα του, με αποτέλεσμα να αυξάνει η απόσταση εκτόξευσης για όλους τους τύπους εξόδων. Επίσης μειώνεται η πτώση ή ανύψωση των οριζόντιων ρευμάτων που εμφανίζονται στα μη-ισοθερμικά ρεύματα αέρα τα οποία και αναφέρονται παρακάτω.

Όταν η θερμοκρασία του ρεύματος αέρα που προσάγεται στον χώρο είναι ίση με την θερμοκρασία του δωματίου τότε το **ρεύμα** αποκαλείται **ισοθερμικό**. Αντίθετα, όταν η αρχική θερμοκρασία του ρεύματος είναι διάφορη από αυτή του κλιματιζόμενου χώρου τότε το **ρεύμα** του αέρα είναι **μη-ισοθερμικό**.

Η εκτόξευση⁵ ενός ισοθερμικού ρεύματος αέρα από ελεύθερα στόμια προσαγωγής (στρόγγυλα ανοίγματα, γρίλλιες, τρυπημένα πάνελ, διαχυτήρες οροφής και άλλοι τύποι εξόδων), σχετίζεται με την μέση ταχύτητα στο επίπεδο του ανοίγματος παροχής αέρα. Ένα *ελεύθερο ισοθερμικό ρεύμα* έχει τέσσερις ζώνες επέκτασης και η κεντρική ταχύτητα σε οποιαδήποτε από τις ζώνες αυτές σχετίζεται με την αρχική ταχύτητα, όπως απεικονίζεται στο σχήμα 1-1.

Στην ζώνη III, η οποία είναι και η περισσότερο σημαντική ζώνη από την άποψη της διανομής του αέρα, η σχέση μεταξύ της κεντρικής ταχύτητας του ρεύματος και της αρχικής ταχύτητας, είναι η ακόλουθη:

$$\frac{\bar{u}_x}{\bar{u}_0} = K \frac{\sqrt{A_0}}{x} \quad (1-2\alpha)$$

ή

$$\bar{u}_x = \frac{K\dot{V}_0}{(\sqrt{A_0}x)} \quad (1-2\beta)$$

όπου:

\bar{u}_x – κεντρική ταχύτητα σε κάθε σημείο x, m/sec ή ft/min

\bar{u}_0 – αρχική ταχύτητα, m/sec ή ft/min

A_0 – εμβαδόν περιοχής που αντιστοιχεί στην αρχική ταχύτητα, m² ή ft²

x – απόσταση

\dot{V}_0 – ογκομετρική παροχή αέρα στην έξοδο, m³/sec ή cfm

K – σταθερά αναλογίας, αδιάστατη

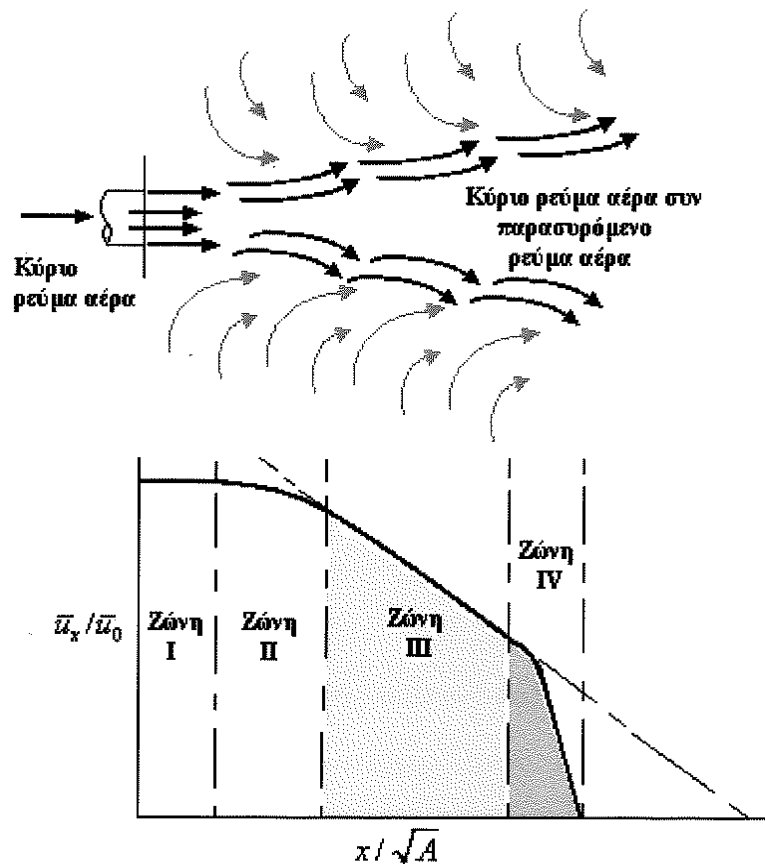
$K \cong 6$, για τα ελεύθερα ρεύματα

$K \cong 1$, για τους διαχυτήρες οροφής (ρεύματα που προσκολλούνται)

⁴ Ο λόγος του συνολικού όγκου του ρεύματος προς τον αρχικό όγκο σε κάποια απόσταση από το κέντρο.

⁵ Η απόσταση από την έξοδο μέχρι το σημείο στο οποίο η μέγιστη ταχύτητα του ρεύματος έχει μειωθεί σε κάποια καθορισμένη τιμή, π.χ. 50, 100 ή 150 ft/min.

Με τις κατάλληλες τιμές A και K οι σχέσεις 1-2α και 1-2β ορίζουν την απόσταση εκτόξευσης για οποιοδήποτε τύπο εξόδου.



Σχήμα 1-1 Συμπεριφορά ισοθερμικού ρεύματος αέρα. [26]

Στο παραπάνω σχήμα 1-1 παρατηρούμε ότι το ρεύμα του αέρα απλώνεται επειδή παρασύρεται ο αέρας του δωματίου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, πέρα από τη ζώνη II, ο αέρας να αποτελεί από μείγμα κύριου και παρασυρόμενου ρεύματος. Ο λόγος επαγωγής εξαρτάται κυρίως από το λόγο της αρχικής προς την τελική ταχύτητα:

$$\frac{\dot{V}_x}{\dot{V}_0} = C \frac{\bar{u}_0}{\bar{u}_x} \quad (1-2\gamma)$$

όπου:

\dot{V}_x – συνολική ογκομετρική παροχή μείγματος αέρα σε απόσταση x από την έξοδο, m^3/sec ή cfm

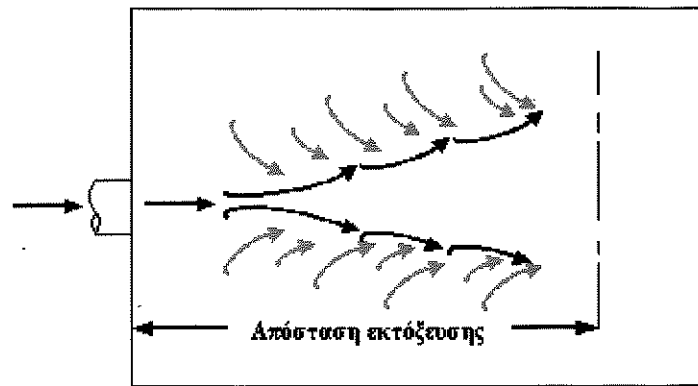
C – συντελεστής παρασυρόμενου αέρα, αδιάστατος

$C = 2$, για στρόγγυλο, ελεύθερο ρεύμα

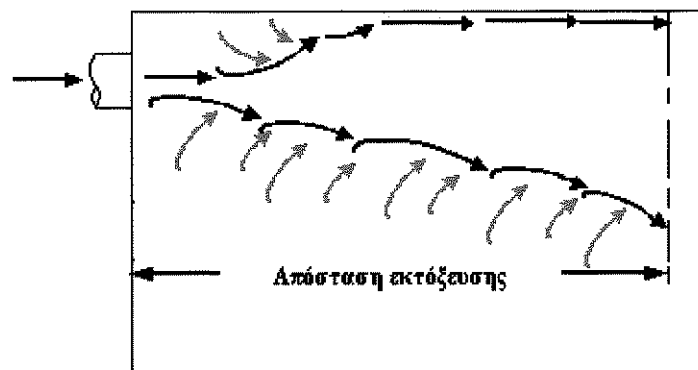
Στη ζώνη IV όπου η τερματική ταχύτητα είναι χαμηλή, η σχέση 1-2γ δίνει τιμές περίπου 20% υψηλότερες.

Οι παραπάνω σχέσεις δεν ισχύουν στα μη-ισοθερμικά ρεύματα, όπου ανοδικές δυνάμεις προκαλούν στο ρεύμα ανύψωση όταν ο αέρας είναι θερμός και πτώση όταν είναι ψυχρός. Το φαινόμενο αυτό είναι και η αιτία της μείωσης της απόστασης εκτόξευσης για ταχύτητες ρεύματος μικρότερες των $0,76m/sec$ ή

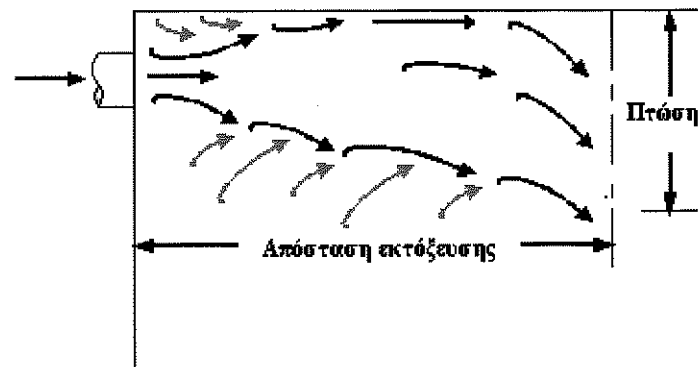
150ft/min. Στο παρακάτω σχήμα 1-2 φαίνονται τα συγκριτικά διαγράμματα για ελεύθερο ισοθερμικό ρεύμα, ισοθερμικό ρεύμα πλησίον οροφής και μη ισοθερμικό (ψυχρό) ρεύμα πλησίον οροφής.



α) Ελεύθερο ισοθερμικό ρεύμα



β) Ισοθερμικό ρεύμα πλησίον οροφής



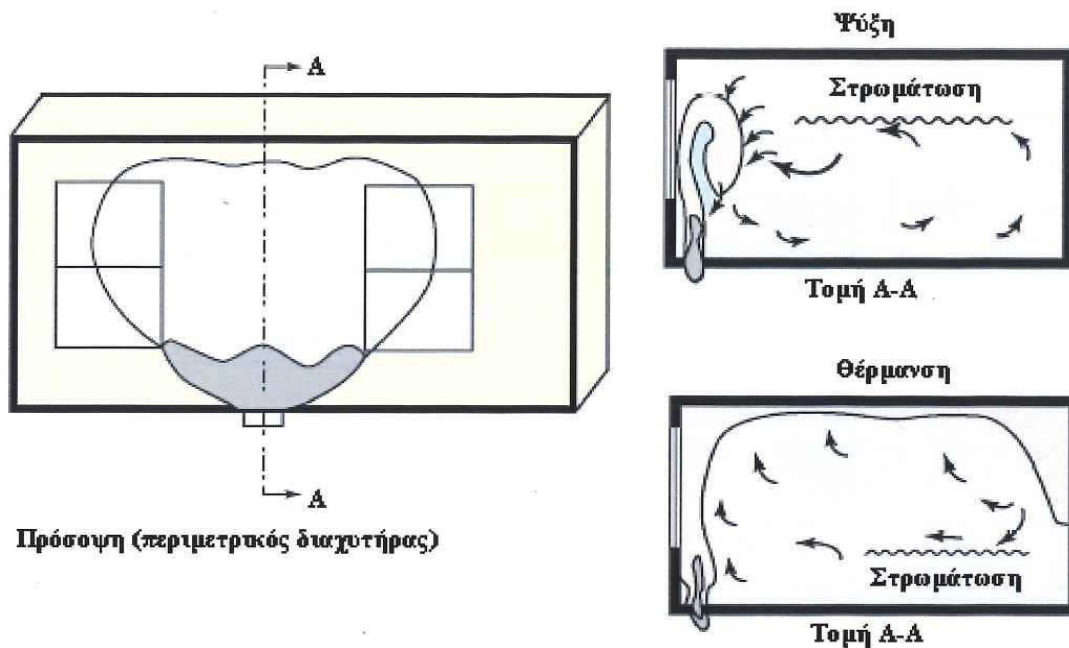
γ) Μη-ισοθερμικό (ψυχρό) ρεύμα πλησίον οροφής

Σχήμα 1-2 Σχηματικά διαγράμματα που απεικονίζουν το συμπαρασυρόμενο ρεύμα αέρα, την επίδραση της επιφάνειας και την πτώση.[26]

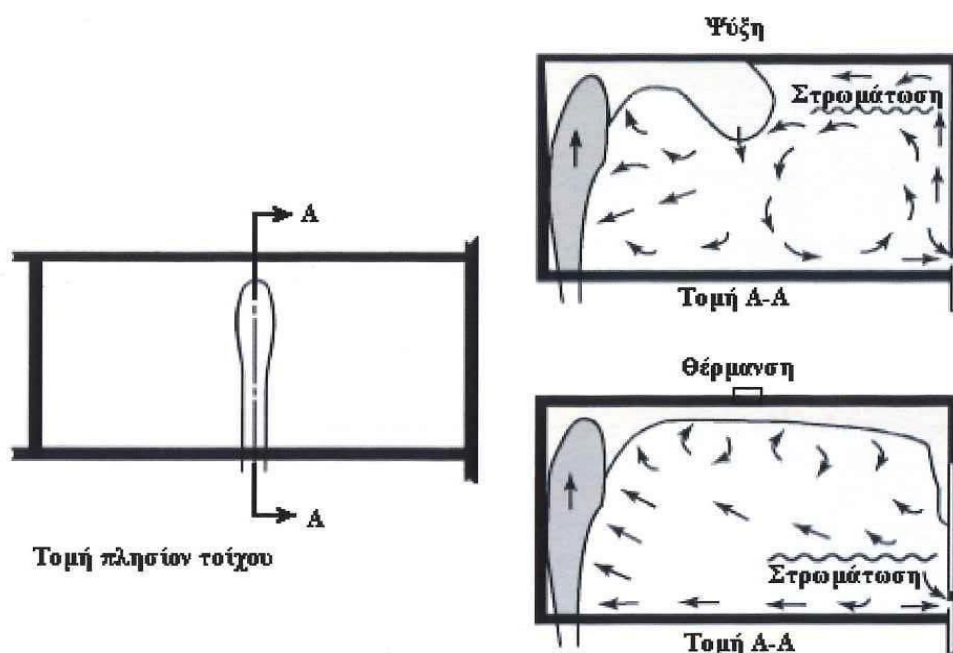
1.2.2 Βασικά Διαγράμματα Ρευμάτων Αέρα

Τα βασικά διαγράμματα ροής για τις πιο συνηθισμένες εξόδους παροχής αέρα απεικονίζονται στα σχήματα 1-3 έως 1-6. Ο υψηλής ταχύτητας αέρας του κυρίου ρεύματος, δηλαδή η περιοχή όπου εμφανίζεται υψηλή ορμή κίνησης του αέρα, απεικονίζεται με τη γκριζα σκιαγράφιση.

Ο περιμετρικός τύπος εξόδων του σχήματος 1-3 (ASHRAE Group C), γενικά θεωρείται ότι υπερτερεί σε εφαρμογές θέρμανσης, ειδικά όταν το δάπεδο βρίσκεται πάνω από κάποιον μη-θερμαινόμενο χώρο, και αυτό επειδή οι ανοδικές δυνάμεις τείνουν να αυξήσουν την απόσταση εκτόξευσης. Για τον ίδιο λόγο το εκτοξευόμενο ρεύμα δεν είναι καλό για ψύξη, αφού η απόσταση αυτή μπορεί να μην αρκεί για την πλήρη ανάμειξη του αέρα του δωματίου.



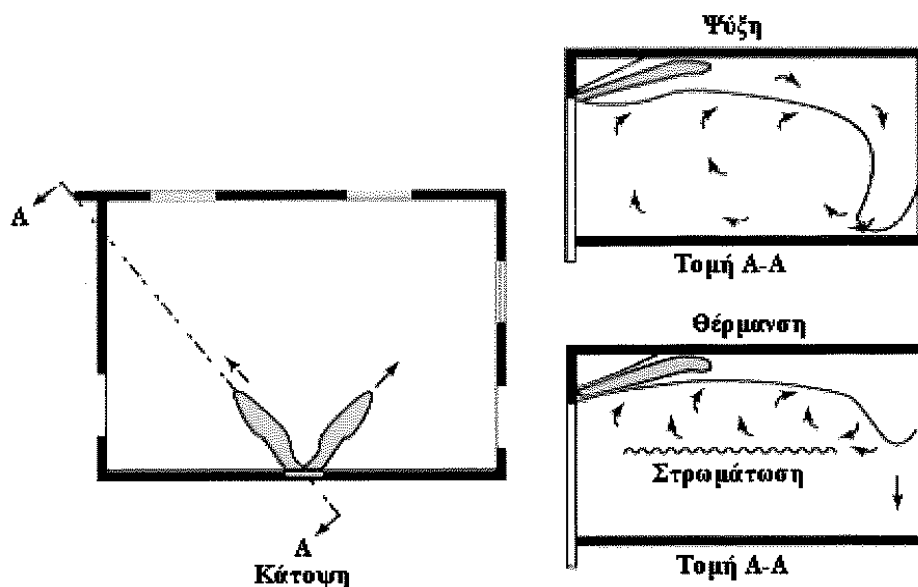
Σχήμα 1-3 Διαγράμματα διανομής αέρα, για περιμετρικό διαχυτήρα δαπέδου και ρεύμα που απλώνεται.[26]



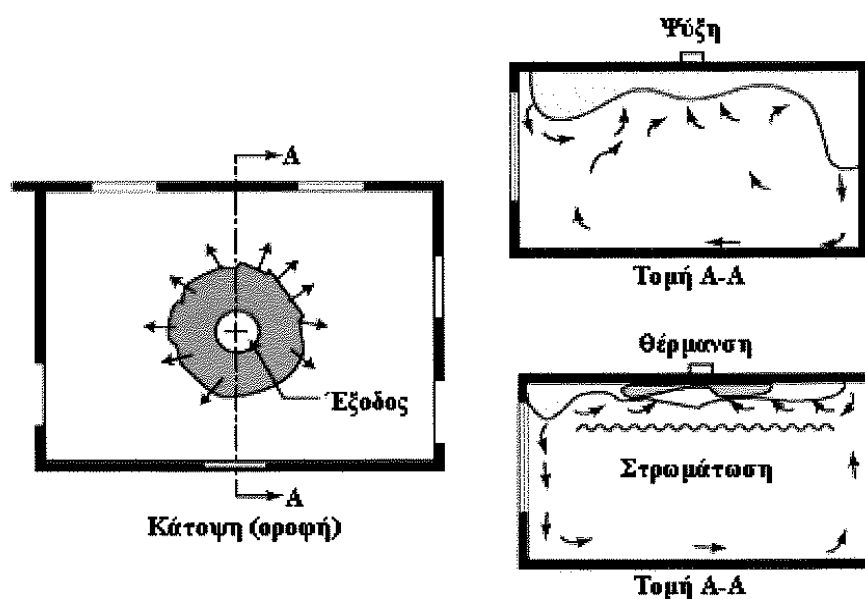
Σχήμα 1-4 Διαγράμματα διανομής αέρα, για έξοδο δαπέδου και ρεύμα που δεν απλώνεται.[26]

Ωστόσο η περιμετρική έξοδος με ρεύμα που δεν απλώνεται, που απεικονίζεται στο σχήμα 1-4 (ASHRAE Group B), είναι αρκετά ικανοποιητική για ψύξη. Ενώ είναι προφανές, ότι το ρεύμα που δεν απλώνεται δεν είναι επιθυμητό για θέρμανση, επειδή συνήθως προκύπτει μεγαλύτερη ζώνη στρωμάτωσης σε σχέση με τον προηγούμενο τύπο

Ο τύπος πλευρικού τοίχου του σχήματος 1-5 (ASHRAE Group A), συνήθως συναντάται σε μέτρια κλίματα, όχι σε ψυχρά ή σε μη-θερμαινόμενα δάπεδα, επειδή μπορεί να υπάρχει μεγάλη θερμοκρασιακή διαβάθμιση μεταξύ δαπέδου και οροφής. Παρ' όλα αυτά, ο τύπος αυτός παρέχει ικανοποιητική κίνηση του αέρα και ομοιόμορφες θερμοκρασίες σε εφαρμογές ψύξης.



Σχήμα 1-5 Διαγράμματα διανομής αέρα, για πλευρική έξοδο τοίχου.[26]



Σχήμα 1-6 Διαγράμματα διανομής αέρα, για διαχυτήρα οροφής.[26]

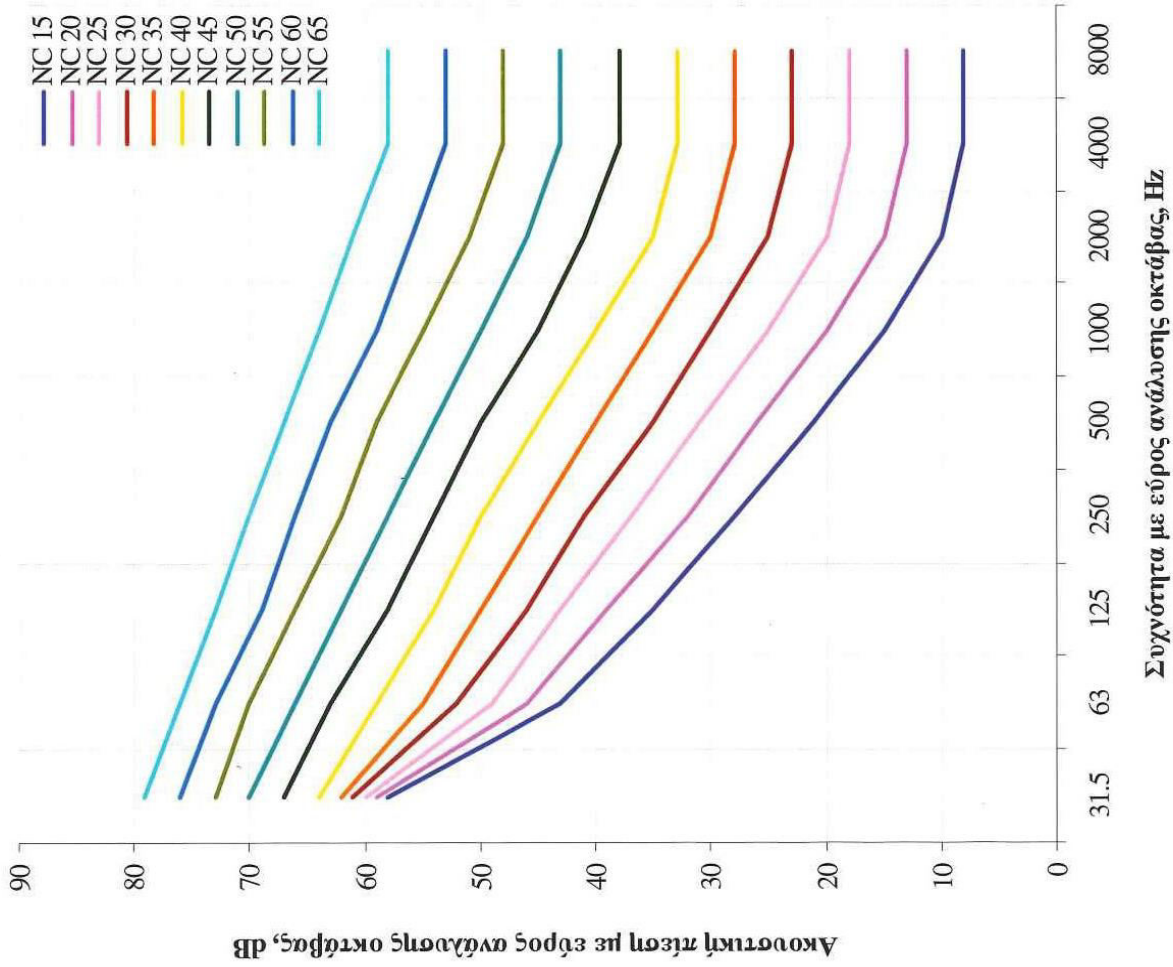
Ο διαχυτήρας οροφής του σχήματος 1-6 (ASHRAE Group A), είναι πολύ δημοφιλής σε εμπορικές εφαρμογές, επειδή μπορεί να χειρίζεται μεγαλύτερες ποσότητες αέρα και με υψηλότερες ταχύτητες από τους περισσότερους τύπους. Αυτό συμβαίνει λόγω της ακτινικής εκτόξευσης του κυρίως ρεύματος αέρα, με αποτέλεσμα ο ρυθμός που συμπαρασύρεται ο αέρας του δωματίου να είναι μεγάλος, προκαλώντας τη γρήγορη διάχυση του υψηλής ορμής ρεύματος. Ο διαχυτήρας οροφής είναι πολύ αποτελεσματικός σε εφαρμογές ψύξης, αλλά λιγότερο αποτελεσματικός σε εφαρμογές θέρμανσης, εκτός εάν το δάπεδο βρίσκεται πάνω από θερμαινόμενο χώρο

1.2.3 Θόρυβος

Για την επιλογή του κατάλληλου τύπου διαχυτήρα αέρα πρέπει να ληφθεί υπόψη και ο θόρυβος που παράγει διότι, μπορεί να είναι ενοχλητικός στους ανθρώπους που βρίσκονται μέσα στον κλιματιζόμενο χώρο. Ο παραγόμενος θόρυβος από την κίνηση του αέρα, συνήθως δεν παρουσιάζει κάποια διακριτά χαρακτηριστικά συχνότητας και το επίπεδο ή η ακουστικότητα αποτελούν βασικό αντιπροσωπευτικό δείγμα των ανθρώπινων αντιδράσεων. Με τον τρόπο αυτό κατασκευάστηκαν οι καμπύλες και οι πίνακες κριτηρίων θορύβου NC (Noise Criteria).

Ο πίνακας 1-1 παρέχει τα συνιστώμενα κριτήρια θορύβου για διάφορες εφαρμογές. Για τον προσδιορισμό της αποδοχής ή όχι για δεδομένο χώρο και χαρακτηριστικά, θα πρέπει να μετρηθεί το επίπεδο ηχητικής πίεσης σε διάφορες μπάντες συχνοτήτων με εύρος ανάλυσης οκτάβας, και στη συνέχεια να συγκριθεί με τις καμπύλες NC του σχήματος 1-7. Για την ικανοποίηση των συγκεκριμένων κριτηρίων NC, η μετρηθείσα τιμή θα πρέπει να βρίσκεται πάνω ή κάτω από την αντίστοιχη καμπύλη NC.

Γενικά, επίπεδα NC κάτω από 30 θεωρούνται ήσυχα, ενώ επίπεδα NC άνω των 50-55 θεωρούνται θορυβώδη. Οι δραστηριότητες μέσα στον εσωτερικό χώρο, αποτελούν καθοριστικό παράγοντα για τα αποδεκτά επίπεδα θορύβου.



Σχήμα 1-7 Κομπύλες κριτηρίων θορύβου (NC).[4]

Χώρος	Κριτήρια θορύβου
Ιδιωτικές κατοικίες	NC 25-30
Διαμερίσματα	NC 30-35
Ξενοδοχεία	
Δωμάτια ή σουίτες	NC 30-35
Δωμάτια συναντήσεων	NC 30-35
Διάδρομοι	NC 35-40
Χώροι εξυπηρέτησης	NC 40-45
Γραφεία	
Εκτελεστικά	NC 25-30
Συνεδριάσεων	NC 25-30
Ιδιώτερα	NC 30-35
Ευρύχωροι χώροι	NC 35-40
Χώροι εξοπλισμού/υπολογιστών	NC 40-45
Δημοσίων σχέσεων	NC 40-45
Νοσοκομεία και κλινικές	
Ιδιώτερα δωμάτια	NC 25-30
Αναμονή	NC 30-35
Χειρουργεία	NC 25-30
Εργαστήρια	NC 35-40
Διάδρομοι	NC 30-35
Δημόσιοι χώροι	NC 35-40
Εκκλησίες	NC 30-35
Σχολεία	
Χώροι διδασκαλίας/διαλέξεων	NC 25-30
Ευρύχωρες τάξεις	NC 35-40
Βιβλιοθήκες	NC 35-40
Δικαστήρια	NC 35-40
Κινηματογράφοι	NC 30-35
Εστιατόρια	NC 40-45
Μέγαρα μουσικής	NC 15-20
Studios ηχογραφήσεων	NC 15-20
Studios τηλεόρασης	NC 20-25

Πίνακας 1-2 Αποδεκτά όρια θορύβου κλιματιστικών συστημάτων σε ακατοίχτους χώρους.[29]

1.3 Πρότυπα Ποιότητας Αέρα.

Το ASHRAE Standard 62 ορίζει το ανεκτό εσωτερικό περιβάλλον αέρα ως τον αέρα στον οποίο δεν υπάρχουν γνωστά μολυσματικά στοιχεία και είναι θερμικά ανεκτό ώστε, όταν εκτεθεί μια ουσιαστική πλειοψηφία ανθρώπων (80% ή περισσότερο), δεν εκφράζει δυσαρέσκεια. Για την επίτευξη λοιπόν, ενός ανεκτού περιβάλλοντος αέρα απαιτείται:

Πρώτον, διατήρηση της **θερμικής άνεσης**, ώστε οι ένοικοι να αισθάνονται άνετα, που έγκειται κυρίως στον έλεγχο της θερμοκρασίας, της υγρασίας, της κίνησης του αέρα και της θερμοκρασίας των περιφερειακών επιφανειών.

Δεύτερον, διατήρηση ενός καθαρού υγιεινού περιβάλλοντος χωρίς οσμές, που αφορά τον έλεγχο των συγκεντρώσεων συγκεκριμένων μολυσματικών στοιχείων ώστε να είναι κάτω από κάποιο ανεκτό επίπεδο στο εσωτερικό περιβάλλον. Ο παράγοντας αυτός συχνά αποδίδεται με τον όρο **ποιότητα εσωτερικού αέρα (Indoor Air Quality - IAQ)**.

1.3.1 Ποιότητα Εσωτερικού Αέρα

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, τα μολυσματικά στοιχεία που μπορεί να εμφανιστούν σε ένα εσωτερικό περιβάλλον είναι ποικίλα και μπορεί να προέρχονται από τον άνθρωπο και τα ζώα, τα έπιπλα και τον εξοπλισμό ή τις διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα εκεί και την εισροή μολυσμένου εξωτερικού αέρα. Υπάρχουν τέσσερις βασικές μέθοδοι διατήρησης καλής ποιότητας εσωτερικού αέρα στα κτίρια:

1. Πηγή εξάλειψης ή τροποποίησης
2. Χρήση εξωτερικού αέρα
3. Χώρος διανομής αέρα
4. Καθαρισμός αέρα

1.3.1.1 Πηγή Εξάλειψης ή Τροποποίησης

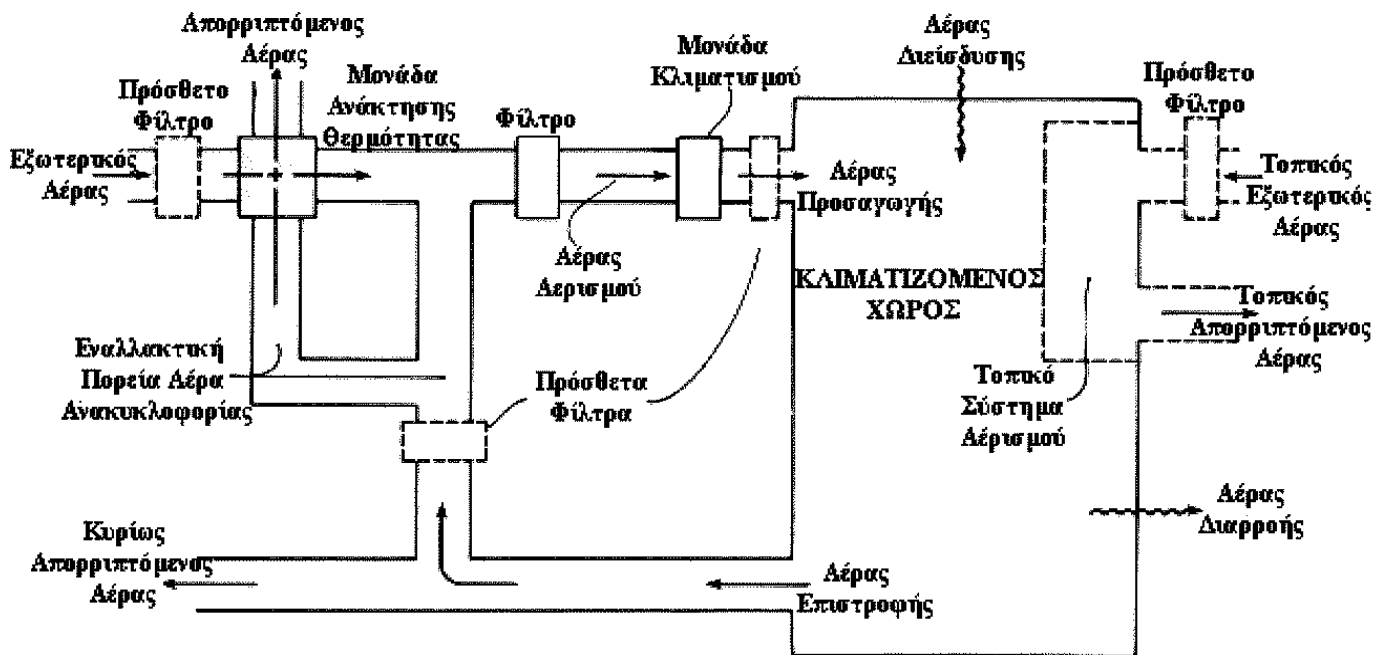
Από τις τέσσερις πηγές που αναφέρθηκαν πιο πάνω, η πηγή εξάλειψης ή τροποποίησης είναι πολύ συχνά η πιο αποτελεσματική μέθοδος μείωσης των μολυσματικών στοιχείων που έχουν δημιουργηθεί στο χώρο. Η μέθοδος περιλαμβάνει:

Στο **σχεδιασμό των κτιρίων ή στην μετασκευή τους** την ακριβή περιγραφή οικοδομικών υλικών και επίπλων που επιτρέπονται μέσα στο κτίριο.

Στα **υπάρχοντα κτίρια** τον εντοπισμό και την απομάκρυνση κάθε μη επιθυμητής εστίας μολυσματικών στοιχείων, που δεν θεωρείται απαραίτητη μέσα στο κτίριο, όπως το κάπνισμα και η αποθήκευση μπογιάς, διαλυτικών, εντομοκτόνων και εύφλεκτων μειγμάτων μέσα στο κτίριο ή κοντά στους εισαγωγείς εξωτερικού αέρα.

1.3.1.2 Χρήση Εξωτερικού Αέρα

Ένα τυπικό σύστημα HVAC δίνεται στο παρακάτω σχήμα, όπου ο εξωτερικός αέρας είναι ο αέρας που εισέρχεται από την εξωτερική ατμόσφαιρα στο σύστημα και κατόπιν κλιματισμού του εισάγεται στον χώρο ως αέρας προσαγωγής· ενώ ο αέρας διείσδυσης εισέρχεται μέσω των ρωγμών και των σχισμών, των οροφών, των δαπέδων και των τοίχων ενός χώρου ή κτιρίου. Αντίθετα ο αέρας που εξέρχεται από τις ρωγμές και τις σχισμές, ονομάζεται αέρας διαρροής και ο αέρας που απορρίπτεται μέσω του κλιματιστικού συστήματος στο περιβάλλον, απορριπτόμενος αέρας. Τέλος ο ανακυκλωμένος αέρας είναι ο αέρας που κυκλοφορεί στο σύστημα και διοχετεύεται ως απόθεμα, ενώ ο επιστρεφόμενος αέρας είναι ο αέρας που απομαστεύεται από τον χώρο.



Σχήμα 1-8 Τυπικό Σύστημα Αερισμού HVAC.[27]

Το ASHRAE Standard 62 περιγράφει δύο μεθόδους σύμφωνα με τις οποίες η ανεκτή ποιότητα εσωτερικού αέρα μπορεί να επιτευχθεί.

Η πρώτη, η Διαδικασία Ρυθμού Εξαερισμού περιγράφει το ρυθμό με τον οποίο ο εξωτερικός αέρας πρέπει να διανέμεται σε ένα χώρο και τα διάφορα μέσα που κλιματίζουν τον αέρα αυτόν, θεωρώντας πάντα ότι ο εξωτερικός αέρας ανταποκρίνεται στις προδιαγραφές υγιεινής και ποιότητας αέρα που ισχύουν για την εκάστοτε χώρα⁶. Στον πίνακα 1-3 φαίνονται τα απαιτούμενα ποσοστά υπαίθριου αέρα για κτίρια εμπορικών υπηρεσιών εξαιρώντας τις βιομηχανικές περιοχές.

⁶ Εάν όχι, ο αέρας θα πρέπει να κατεργαστεί κατάλληλα ώστε να ελεγχθούν τα επικίνδυνα μολυσματικά στοιχεία.

Εφαρμογή	Εκτιμούμενη Μέγιστη Κατάληψη ^b (P/1000 ft ² ή 100 m ²)	Ανάγκες Εξωτερικού Αέρα ^a		Σχόλια	
		cfm/άτομο	L/s/άτομο		cfm/ft ²
Καθαριστήρια, Πλυντήρια					
Επαγγελματικό Πλυντήριο	10	25	13	Τα καθαριστήρια μπορεί να χρειάζονται περισσότερο αέρα	
Επαγγελματικό Καθαριστήριο	30	30	15		
Αποθήκη	30	35	18		
Πλυντήρια που λειτουργούν με κέρμα	20	15	8		
Καθαριστήρια που λειτουργούν με κέρμα	20	15	8		
Φαγητό και Ποτό					
Τραπεζαρίες	70	20	10	Μπορεί να απαιτείται συμπληρωματικός εξοπλισμός απομάκρυνσης καπνού	
Καφετέριες, Ταχυφαγία	100	20	10		
Μπαρ	100	30	15		
Κουζίνες (μαγειρέμα)	20	15	8	Σύνθεση αέρα για κάλυμμα με εξαγωγή καυσαερίων μπορεί να απαιτεί περισσότερο εξαεριζόμενο αέρα. Το ποσό του εξωτερικού αέρα και του μεταφερόμενου αέρα ανεκτής ποιότητας από παρακείμενους χώρους θα είναι επαρκές για να επιτύχει ένα ρυθμό καυσαερίων μικρότερο του 1.5 cfm/ft ² (7.5 l/s/m ²)	
Γκαράζ, Συνεργεία, Σταθμοί Υπηρεσιών					
Κλειστοί Χώροι Στάθμευσης			1.50	7.5	Η διανομή ανάμεσα στα άτομα πρέπει να περιλαμβάνει τη θέση του υπαλλήλου και τη συγκέντρωση των μηχανών. Θέσεις όπου οι μηχανές είναι αναμμένες πρέπει να ενσωματώνονται στα συστήματα για ανάκληση των καυσαερίων. Αισθητήρες μικροβίων πρέπει να χρησιμοποιούνται για να ελέγχουν τον εξαερισμό
Συνεργεία Αυτοκινήτων			1.50	7.5	
Μικρά και Μεγάλα Ξενοδοχεία, Εντευκτήρια, Κοιτώνες					
Υπνοδωμάτια			30	15	Ανεξάρτητο από το μέγεθος του δωματίου
Καθιστικά			30	15	
Μπάνια			35	18	
Προθάλαμοι	30	15	8	Δείτε επίσης τις υπηρεσίες φαγητού και ποτού, εμπορικά, κουρεία και καταστήματα ομορφιάς, γκαράζ	
Αίθουσες Διασκέψεων	50	20	10		
Αίθουσες Συσκέψεων	120	15	8		
Κοιτώνες ύπνου	20	15	8		
Καζίνο	120	30	15	Μπορεί να απαιτείται συμπληρωματικός εξοπλισμός	
Γραφεία					
Χώροι Γραφείων	7	20	10	Κάποιος εξοπλισμός γραφείου μπορεί να απαιτεί τοπικό εξαερισμό καυσαερίων	
Χώροι Υποδοχής	60	15	8		
Τηλεπικοινωνιακά κέντρα και χώροι εισόδου δεδομένων	60	20	10		

Πίνακας 1-3 Ανάγκες εξωτερικού αέρα για αερισμό.[27]

Εφαρμογή	Εκτιμώμενη Μέγιστη Κατάληψη ^b (P/1000 ft ² ή 100 m ²)	Ανάγκες Εξωτερικού Αέρα ^a				Σχόλια	
		cfm/άτομο	L/s/άτομο	cfm/ft ²	L/s m ²		
Γκαράζ, Συνεργεία, Σταθμοί Υπηρεσιών (Συνέχεια)							
Αιθουσες Συσκέψεων		20	10			Μπορεί να απαιτείται συμπληρωματικός εξοπλισμός	
Δημόσιοι Χώροι							
Διάδρομοι και Χώροι Γενικής Χρήσης				0.05	0.25	Συνήθως υποστηρίζονται με μεταφερόμενο αέρα. Συνιστώνται τοπικά μηχανήματα απομάκρυνσης καυσαερίων χωρίς ανακύκλωση	
Δημόσιοι Χώροι ανάπαυσης cfm/wc ή cfm/ουρητήριο		50	25	0.5	2.5		
Δοκιμαστήρια και Αποδυτήρια						Συνήθως υποστηρίζονται με μεταφερόμενο αέρα.	
Αίθουσα Καπνίσματος	70	60	30				
Ανελκυστήρες				1.00	5.0		
Καταστήματα Λιανικής, Ανθοπωλεία και Χώροι Συσκέψεων							
Υπόγειο και Δρόμος	30			0.30	1.50	Συνήθως υποστηρίζονται με μεταφερόμενο αέρα, με τοπικά μηχανήματα απομάκρυνσης καυσαερίων χωρίς ανακύκλωση	
Ανώτεροι Όροφοι	20			0.20	1.00		
Χώροι Αποθήκευσης	15			0.15	0.75		
Δοκιμαστήρια				0.20	1.00		
Εμπορικά Κέντρα και Στοές	20			0.20	1.00		
Διάδρομοι Πλοίου και Υποδοχής	10			0.15	0.75		
Αποθήκες	5			0.05	0.25		
Καπνιστήρια	70	60	30				
Ειδικά Καταστήματα							
Κουρέια	25	15	8				Ο εξαερισμός που πρέπει να ευνοεί το μέγεθος των φυτών μπορεί να υπαγορεύει τις ανάγκες
Καλλωπισμού	25	25	13				
Σαλόνια Αδυνατίσματος	20	15	8				
Ανθοπωλεία	8	15	8				
Καταστήματα Ένδυσης, Επίπλωσης				0.30	1.50		
Καταστήματα Υπολογιστών, Υφασμάτων, Φαρμακεία	8	15	8				
Σούπερ Μάρκετ	8	15	8				
Καταστήματα Μικρών Ζώων				1.00	5.00		
Αθλήματα και Διασκέδαση							
Χώροι Θεαμάτων	150	15	8			Όταν οι μηχανές εσωτερικής καύσης είναι σε λειτουργία για την υποστήριξη των χώρων παιχνιδιού, μπορεί να απαιτείται αύξηση του ρυθμού εξαερισμού	
Χώροι Παιχνιδιού	70	25	13				
Χώροι Πάγου (περιοχές παιχνιδιού)				0.50	2.50		
Πισίνες Κολύμβησης (Πισίνα και Ευρύτερη Περιοχή)	8			0.50	2.50	Μπορεί να απαιτούνται υψηλότερες τιμές για τον έλεγχο της υγρασίας	
Χώροι Παιχνιδιού (Γυμναστήρια)	30	20	10				
Αίθουσες Χωρού και Ντισκοτέκ	100	25	13				
Χώροι Μπόουλινγκ	70	25	13				

Πίνακας 1-3 Ανάγκες εξωτερικού αέρα για αερισμό (Συνέχεια).[27]

Εφαρμογή	Εκτιμώμενη Μέγιστη Κατάληψη ^b (P/1000 ft ² ή 100 m ²)	Ανάγκες Εξωτερικού Αέρα ^a				Σχόλια
		cfm/άτομο	L/s/άτομο	cfm/ft ²	L/s/m ²	
Θέατρα						
Εκδοτήρια Εισητηρίων Αίθουσες Αναμονής Αίθουσες Συναθροίσεων Στούντιο, Σκηνές						Ειδικός εξαερισμός απαιτείται για να εξαλειφθούν ειδικά φαινόμενα επί σκηνής (π.χ. αχνοί ξηρού πάγου, ομίχλη)
Μεταφορά						
Αίθουσες Αναμονής Πλατφόρμες Οχήματα						Ο εξαερισμός μέσα στα οχήματα μπορεί να απαιτεί ειδικές μελέτες
Εργασιακοί Χώροι						
Επεξεργασία Κρεάτων	10	15	8			Οι χώροι όπου διατηρούνται χαμηλές θερμοκρασίες (-10 °F έως +50 °F) ή (από 23 °C έως +10 °C) δεν καλύπτονται από αυτές τις απαιτήσεις εκτός αν η κάλυψη είναι συνεχής. Ο εξαερισμός από γειτονικούς χώρους επιτρέπεται. Όταν η κάλυψη είναι συνεχής, το φίλτράρισμα θα υπερκαλύψει, λογικά, τις απαιτήσεις εξαερισμού
Φωτογραφεία	10	15	8			
Σκοτεινοί Θάλαμοι	10			0.50	2.50	
Φαρμακεία	20	15	8			
Θησαυροφυλάκεια Τραπεζών	5	15	8			
Φωτοτυπεία, Τυπογραφεία				0.50	2.50	Ο τοποθετημένος εξοπλισμός πρέπει να ενσωματώσει τα καυσαέρια και να ελέγξει (όπως απαιτείται), τα μη επιθυμητά μολυσματικά στοιχεία (τοξικά ή άλλα)
ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΙΔΡΥΜΑΤΩΝ						
Εκπαίδευση						
Αίθουσες	50	15	8			
Εργαστήρια	30	20	10			Μπορεί να απαιτούνται ειδικά συστήματα ελέγχου μολυσματικών στοιχείων για τη λειτουργία εργαστηρίων όπου υπάρχουν ζώα
Εκπαιδευτήρια	30	20	10			
Αίθουσες Μουσικής	50	15	8			
Βιβλιοθήκες	20	15	8			
Αποδυτήρια				0.50	2.50	
Διάδρομοι				0.10	0.50	
Αμφιθέατρα	150	15	8			
Χώροι Καπνιστών	70	60	30			Κανονικά απαιτείται μεταφορά αέρα. Συνιστώνται τοπικά μηχανήματα εξαερισμού χωρίς ανακύκλωση
Νοσοκομεία, Αναρρωτήρια και Γηροκομεία						
Δωμάτια Αρρώστων	10	25	13			Ειδικές απαιτήσεις ή κώδικες και σχέσεις πίεσης μπορεί να ορίζουν ελάχιστο ρυθμό εξαερισμού και αποτελεσματικότητας φίλτρου. Οι διαδικασίες παραγωγής μολυσματικών στοιχείων μπορεί να απαιτούν υψηλότερους ρυθμούς
Χώροι Ιατρικών Εξετάσεων	20	15	8			
Χειρουργεία	20	30	15			
Αναρρωτήρια και ICU	20	15	8			

Πίνακας 1-3 Ανάγκες εξωτερικού αέρα για αερισμό (Συνέχεια).[27]

Εφαρμογή	Εκτιμώμενη Μέγιστη Κατάληψη ^b (P/1000 ft ² ή 100 m ²)	Ανάγκες Εξωτερικού Αέρα ^a				Σχόλια
		cfm/άτομο	L/s/άτομο	cfm/ft ²	L/s m ²	
Νοσοκομεία, Αναρρωτήρια και Γηροκομεία (Συνέχεια)						
Χώροι Αυτοψίας				0.50	2.50	Ο αέρας δεν θα ανακυκλώνεται σε άλλους χώρους
Χώροι Φυσιοθεραπείας	20	15	8			
Σωφρονιστικά Ιδρύματα						
Κελιά	20	20	10			
Τραπεζαρίες	100	15	8			
Σταθμοί Φρουρών	40	15	8			

^a Ο πίνακας 1-4 περιγράφει τον ικανοποιητικό ρυθμό εισροής εξωτερικού αέρα που απαιτείται για την ανεκτή ποιότητα εσωτερικού αέρα. Αυτές οι τιμές θα έχουν επιλεγεί για να ελέγξουν τα ανθρώπινα βιοαπόβλητα και άλλα μολυσματικά στοιχεία με ένα επαρκές περιθώριο ασφαλείας και για να υπολογίσουν τις διαφορές μεταξύ ανθρώπων, ποικίλων επιπέδων δραστηριότητας και έναν μέτριο ποσοστό καπνίσματος.

^b Καθαρός χώρος

Πίνακας 1-3 Ανάγκες εξωτερικού αέρα για αερισμό (Συνέχεια).[27]

Η δεύτερη διαδικασία παρέχει λύση για τη διατήρηση της **Εσωτερικής Ποιότητας Αέρα (IAQ)** και από τον περιορισμό της συγκέντρωσης όλων των γνωστών μολυσματικών παραγόντων σε προσδιορισμένα αποδεκτά επίπεδα, και περιγράφεται λεπτομερώς στο πρότυπο 62 της ASHRAE.

1.3.1.3 Χώρος Διανομής Αέρα

Όπου οι πηγές μολυσματικών παραγόντων μπορούν να εντοπιστούν, το επικίνδυνο αέριο μπορεί να αφαιρεθεί από τον κλιματιζόμενο χώρο προτού διαδοθεί, με έλεγχο της τοπικής κίνησης του αέρα. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με δημιουργία διαφορικών πιέσεων, από τους ανεμιστήρες ή από την προσεκτική θέση των στομιών προσαγωγής και επιστροφής αέρα. Πρέπει όμως να ληφθεί υπόψη ότι ο αέρας δεν κατευθύνεται εύκολα από την αναρρόφηση μόνο και επομένως πρέπει να τοποθετηθεί ο ανεμιστήρας στον αγωγό επιστροφής αέρα κοντά στην πηγή μόλυνσης, ώστε να μπορεί να αφαιρέσει τους μολυσματικούς παράγοντες προτού κινηθούν.

1.3.1.4 Καθαρισμός Αέρα

Ο νωπός αέρας είναι απαραίτητος για την ανανέωση του εσωτερικού αέρα στα κτίρια, όμως σε πολλές περιπτώσεις είναι επιθυμητό να καθαριστεί ή να φιλτραριστεί πριν εισέλθει στο χώρο και να επιτευχθεί καλή διανομή. Ο καθαρισμός ή διήθηση του αέρα επανακυκλοφορίας μπορούν συχνά να παρέχουν μια οικονομικά αποδοτική λύση για τον έλεγχο των εσωτερικών μολυσματικών παραγόντων αέρα. Το σχέδιο ενός συστήματος θέρμανσης, αερισμού και κλιματισμού για τον καθαρισμό αέρα είναι συχνά το τελικό βήμα στη βεβαίωση ότι ένα σύστημα HVAC θα παράσχει υγιές και καθαρό περιβάλλον.

1.3.2 Θερμική Άνεση

Εκτός από την ποιότητα του αέρα ένα άτομο επηρεάζεται και από τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Το ανθρώπινο σώμα έχει ένα σύνθετο ρυθμιζόμενο σύστημα αντίδρασης στη διατήρηση της εσωτερικής θερμοκρασίας του στους 98.6 °F (ή 36.9 °C). Επομένως ένα κανονικό, υγιές άτομο αισθάνεται πιο άνετα σε ένα περιβάλλον με το οποίο μπορεί να διατηρήσει εύκολα μια θερμική ισορροπία.

Οι περιβαλλοντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την θερμική ισορροπία του ατόμου και επιπλέον την θερμική άνεση, είναι:

- η θερμοκρασία (ξηρού βολβού) του περιβάλλοντος αέρα
- η υγρασία του περιβάλλοντος αέρα
- η σχετική ταχύτητα του περιβάλλοντος αέρα
- η θερμοκρασία οποιασδήποτε επιφάνειας που μπορεί άμεσα να δει κάποιο μέρος του σώματος και να ανταλλάξει ακτινοβολία

Αθροιστικά οι δύο παράμετροι που επηρεάζουν την άνεση είναι η δραστηριότητα και η ένδυση.

Η θερμική ενέργεια που δημιουργείται από τον μεταβολισμό ενός ατόμου ποικίλλει αισθητά ανάλογα με τη δραστηριότητα του. Μία μονάδα για να εκφραστεί ο ρυθμός μεταβολισμού ανά μονάδα επιφάνειας σώματος είναι το met, που ορίζεται ως ο ρυθμός μεταβολισμού ενός ανθρώπου που κάθετος 1 met=18.4 Btu/(hr-ft²) ή (58.2 W/m²).

Η άλλη μεταβλητή που επηρεάζει την άνεση αφορά την ποσότητα ρουχισμού που φοράει το άτομο, δηλαδή την μόνωσή του. Η μόνωση ρουχισμού περιγράφεται συνήθως ως μία μοναδική ισοθερμική φόρμα και η αξία της εκφράζεται σε clo, 1 clo=0.880 (°F-ft²-hr/Btu) ή (0.155 m²-°C/W)

Στον πίνακα 1-4 δίνονται οι τυπικές τιμές ρουχισμού για άτομα καθιστά ή ελαφρώς δραστηριοποιημένα με 50% σχετική υγρασία περιβάλλοντος, καθώς και οι σχετικές λειτουργικές θερμοκρασίες ανοχής.

Εποχή	Περιγραφή Ρουχισμού	clo	Ευνοϊκότερη Λειτουργική Θερμοκρασία	Λειτουργική Θερμοκρασιακή Διακύμανση για 90% Θερμική Ανεκτικότητα
Χειμώνας	Βαριά παντελόνια, μακρυμάνικα πουκάμισα και πουλόβερ	0.9	22.0°C	20 - 23.5°C
			71.0°F	68 - 75.0°F
Καλοκαίρι	Λεπτά παντελόνια και κοντομάνικα πουκάμισα	0.5	24.5°C	23 - 26°C
			76.0°F	73 - 79.0°F
	Ελάχιστος	0.1	27.0°C 81.0°F	26 - 29.0°C 79 - 84.0°F

Πίνακας 1-4 Στοιχεία ρουχισμού και λειτουργικές θερμοκρασίες.[29]

1.4 Συστήματα Κλιματισμού Και Αερισμού

Τα συστήματα κλιματισμού έχουν κατά κανόνα τα ίδια βασικά στοιχεία. Ωστόσο, είναι δυνατόν να διαφέρουν σημαντικά όσον αφορά στη φυσική τους εμφάνιση και στη διάταξη, και στον τρόπο με τον οποίο τα συστήματα αυτά λειτουργούν και ελέγχονται. Έτσι τα συστήματα κλιματισμού χωρίζονται σε κατηγορίες ανάλογα με τα μέσα ελέγχου της ψύξης και της θέρμανσης, καθώς επίσης και τις διατάξεις του ειδικού εξοπλισμού για την επίτευξη συγκεκριμένων σκοπών.

Σημαντικές αρχικές επιλογές στη σχεδίαση ενός κεντρικού συστήματος HVAC αποτελούν ο καθορισμός των χωριστών ζωνών που θα κλιματιστούν, δηλαδή των κλιματιζόμενων χώρων που ελέγχονται από ένα ξεχωριστό θερμοστάτη⁷, καθώς και ο τύπος και η τοποθέτηση των εξαρτημάτων. Τα εξαρτήματα μπορούν να υποδιαιρεθούν σε πέντε κατηγορίες:

1. Μονάδες επεξεργασίας αέρα
2. Εξοπλισμός θέρμανσης
3. Εξοπλισμός ψύξης
4. Αντλίες και σωληνώσεις
5. Συστήματα ελέγχου και εγκατάσταση

Συνήθως τα εξαρτήματα τοποθετούνται σε ένα υπόγειο έξω από την κλιματιζόμενη περιοχή, στη στέγη, ή σε έναν κατάλληλο χώρο στη βάση ενός εμπορικού κτιρίου.

Στη συνέχεια θα ακολουθήσουν περιγραφές ορισμένων διατάξεων των συστημάτων αυτών σε σύγχρονα συστήματα HVAC.

1.4.1 Συστήματα Που Λειτουργούν Μόνο Με Αέρα

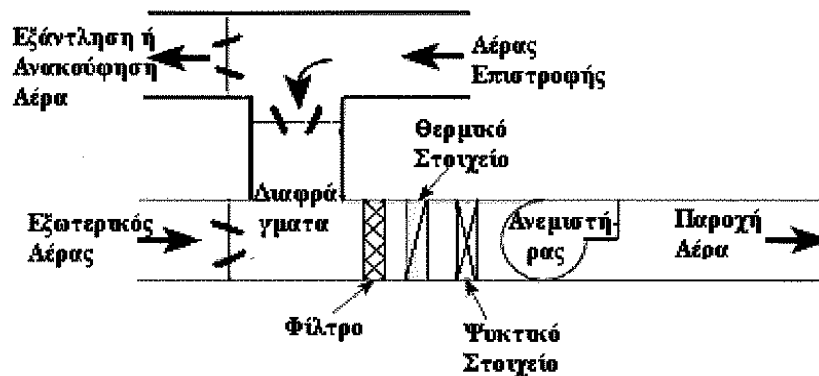
Ένα σύστημα που λειτουργεί μόνο με αέρα παρέχει πλήρη αισθητή θέρμανση και ύγρανση, καθώς και αισθητή και λανθάνουσα ψύξη μέσω παροχής αέρα στον κλιματιζόμενο χώρο. Εφαρμόζεται σε κτίρια που απαιτούν ξεχωριστό έλεγχο συνθηκών, περιλαμβάνοντας πολλαπλές ζώνες (κτίρια γραφείων, σχολεία και πανεπιστήμια, εργαστήρια, νοσοκομεία, καταστήματα, ξενοδοχεία και πλοία), αλλά και ακριβή έλεγχο της θερμοκρασίας και της υγρασίας (καθαροί χώροι υπολογιστών, χειρουργεία νοσοκομείων, εργοστάσια υφασμάτων και καπνού).

1.4.1.1 Σύστημα Απλής Ζώνης

Το απλούστερο σύστημα που λειτουργεί μόνο με αέρα είναι μια μονάδα παροχής (επεξεργαστής αέρα) που εξυπηρετεί μια απλή ζώνη, και μπορεί να τοποθετηθεί είτε μέσα στη ζώνη είτε εκτός του χώρου που

⁷ Ο θερμοστάτης είναι μια διάταξη ελέγχου που μετρά την θερμοκρασία του χώρου και στέλνει ένα διορθωτικό σήμα εάν η θερμοκρασία είναι εκτός μιας συγκεκριμένης επιθυμητής περιοχής. Σε ειδικές περιπτώσεις η υγρασία της ζώνης μπορεί επίσης να ελέγχεται από έναν υγροστάτη.

εξυπηρετεί. Το σύστημα απλής ζώνης αποκρίνεται μόνο σε ένα σύνολο παραμέτρων κλιματισμού και έτσι περιορίζεται σε εφαρμογές όπου σχετικά ομοιόμορφες θερμοκρασίες μπορούν να διατηρηθούν μέσα στη ζώνη. Στο σχήμα 1-9 απεικονίζεται ένα σύστημα ολικού αερισμού απλής ζώνης και σταθερού όγκου.



Σχήμα 1-9 Διάταξη ελέγχου συστήματος απλής ζώνης και σταθερού όγκου.[29]

Στην περίπτωση αυτή, όπου ο ανεμιστήρας αποδίδει σταθερό αέρα, ο ρυθμός εξόδου του αέρα καθορίζεται από τη θέση των ρυθμιστικών διαφραγμάτων (κλειστά ή ανοικτά), ενώ τα διαφράγματα κατά την επανακυκλοφορία του αέρα ρυθμίζονται χειροκίνητα.

1.4.1.2 Συστήματα Αναθέρμανσης

Το σύστημα αναθέρμανσης είναι μια τροποποίηση του συστήματος απλής ζώνης και σταθερού όγκου. Η λέξη αναθέρμανση υποδηλώνει ότι η λειτουργία της θέρμανσης είναι δευτερεύουσα διαδικασία, εφαρμοζόμενη στον προκλιματισμένο αέρα. Ένα απλό σύστημα αναθέρμανσης παράγεται όταν ένα στοιχείο θέρμανσης εισάγεται σε ένα σύστημα αγωγών. Ο σκοπός του είναι να επιτρέπει τον έλεγχο των συνθηκών του χώρου. Το μέσο θέρμανσης μπορεί να είναι ζεστό νερό, ατμός ή ηλεκτρικό ρεύμα.

Για εξοικονόμηση ενέργειας, η αναθέρμανση δεν πρέπει να εφαρμόζεται, εκτός αν είναι τελείως απαραίτητο.

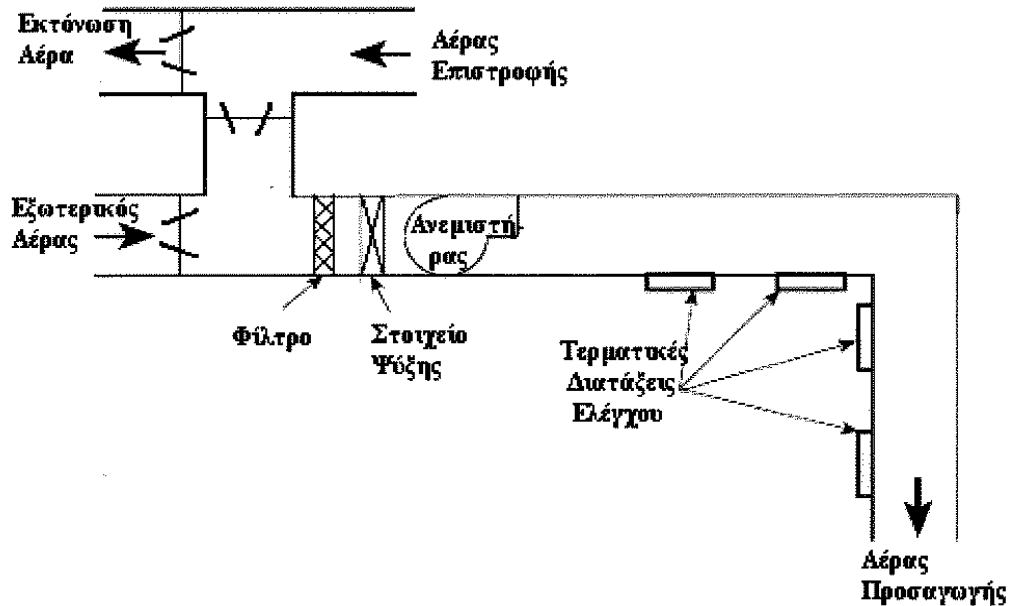
1.4.1.3 Σύστημα Μεταβλητού Όγκου (V.A.V.)

Το σύστημα μεταβλητού όγκου αντισταθμίζει το μεταβαλλόμενο φορτίο ρυθμίζοντας τον όγκο του αέρα που παρέχεται μέσω ενός απλού αγωγού. Δεν απαιτείται δημιουργία ειδικών ζωνών διότι κάθε χώρος, που τροφοδοτείται από ένα ελεγχόμενο αγωγό, αποτελεί ξεχωριστή ζώνη. Το σχήμα 1-10 απεικονίζει ένα σύστημα μεταβλητού όγκου απλού αγωγού.

Σημαντικά πλεονεκτήματα των συστημάτων αγωγού είναι το χαμηλό αρχικό κόστος καθώς και το χαμηλό λειτουργικό κόστος, ειδικά συγκρινόμενο με άλλα συστήματα που παρέχουν ξεχωριστό έλεγχο του χώρου. Ο λόγος είναι ότι απαιτεί απλές μόνο διαδρομές αγωγών καθώς και απλό έλεγχο στην κατάληξη του αέρα (τερματικές διατάξεις ελέγχου).

Παρ' όλο που μπορεί να επιτευχθεί θέρμανση με συστήματα μεταβλητού όγκου, τα τελευταία αποτελούν πρωτίστως συστήματα ψύξης, για χώρους με μεγάλα εσωτερικά φορτία, και θα πρέπει να

χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που απαιτείται ψύξη κατά το μεγαλύτερο διάστημα του έτους. Στις εφαρμογές τους περιλαμβάνονται κτίρια γραφείων, ξενοδοχεία, νοσοκομεία, διαμερίσματα και σχολεία. Ένα δευτερεύον σύστημα θέρμανσης θα μπορούσε να χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια της περιόδου που απαιτείται θέρμανση, όπως η περιμετρική επιδαπέδια θέρμανση, ενώ επίσης το σύστημα VAV μπορεί να συνδυαστεί και με σύστημα αναθέρμανσης.



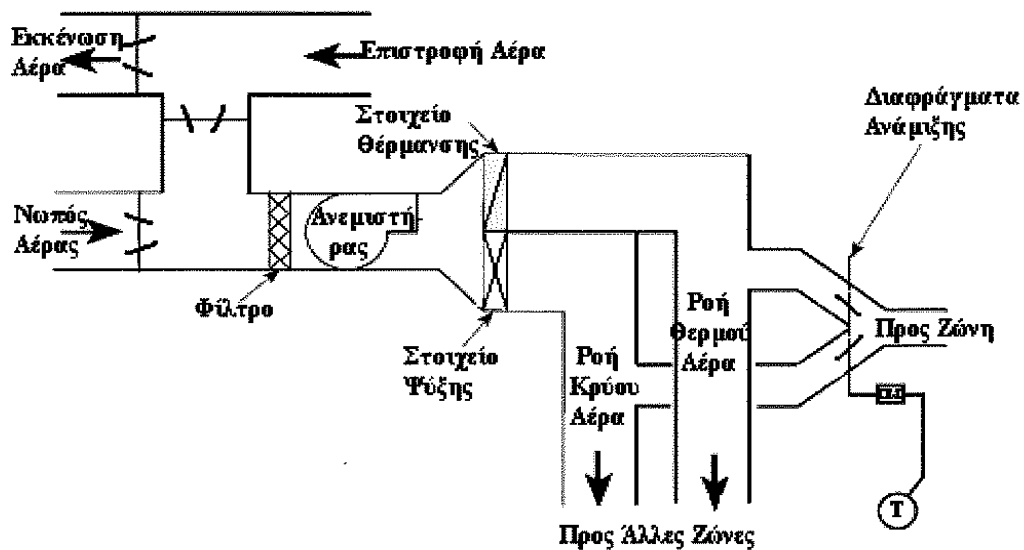
Σχήμα 1-10 Διάταξη ελέγχου συστήματος μεταβλητού όγκου.[29]

1.4.1.4 Σύστημα Διπλού Αγωγού

Στο σύστημα διπλού αγωγού ο κεντρικός σταθμός παρέχει θερμό αέρα μέσω μιας διαδρομής αγωγού και ψυχρού μέσω μιας άλλης. Η θερμοκρασία σε ένα ξεχωριστό χώρο ρυθμίζεται με ανάμιξη θερμού και ψυχρού αέρα σε κατάλληλη αναλογία. Στα συστήματα αυτά μπορεί να υπάρχουν πολλές παραλλαγές, μια εκ των οποίων απεικονίζεται στο σχήμα 1-11.

Το σύστημα αυτό παρέχει μεγάλη ευελιξία στην εξυπηρέτηση πολλαπλών φορτίων, ενώ χρησιμοποιείται σε χώρους που παρουσιάζουν υψηλές διακυμάνσεις στο αισθητό φορτίο, όπως σε κτίρια γραφείων, ξενοδοχεία, νοσοκομεία, σχολεία και μεγάλα εργαστήρια. Μεταβλητός όγκος αέρα μπορεί να συνδυαστεί σε ένα σύστημα διπλού αγωγού, με ποικίλες διατάξεις.

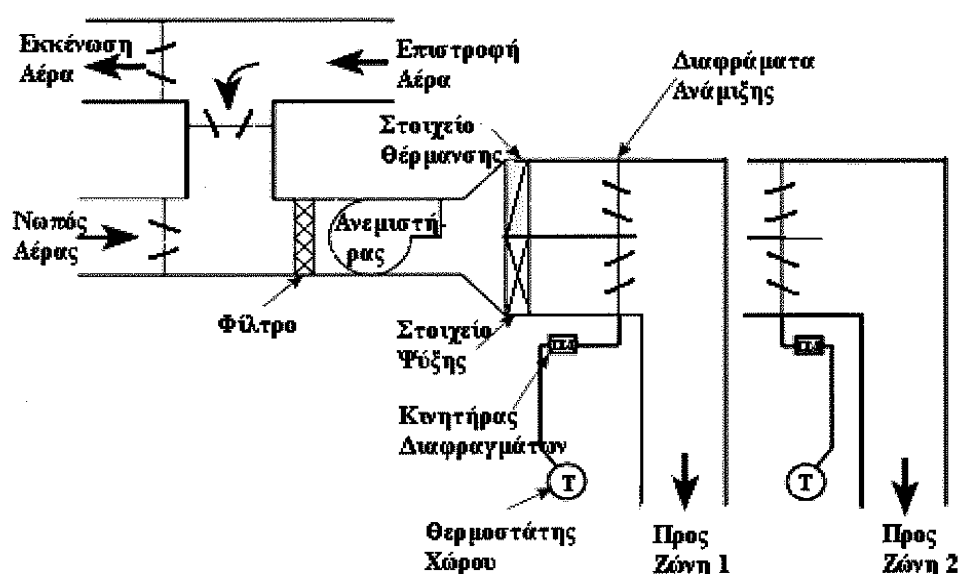
Από την άποψη της εξοικονόμησης ενέργειας, το σύστημα διπλού αγωγού έχει τα ίδια μειονεκτήματα με την αναθέρμανση.



Σχήμα 1-11 Διάταξη ελέγχου συστήματος διπλού αγωγού.[29]

1.4.1.5 Πολυζωνικό Σύστημα

Οι μονάδες του κεντρικού πολυζωνικού σταθμού έχουν έναν απλό αγωγό παροχής για κάθε ζώνη και εξασφαλίζουν έλεγχο της κάθε ζώνης με ανάμιξη ψυχρού και θερμού αέρα στην κεντρική μονάδα αποκρινόμενοι στους θερμοστάτες των ζωνών. Ο τυπικός πολυζωνικός εξοπλισμός είναι παρόμοιος από μια άποψη με αυτό του συστήματος του διπλού αγωγού, αλλά τα δύο ρεύματα αέρα αναμειγνύονται με την κατάλληλη αναλογία μέσα στα μηχανήματα εξοπλισμού, αντί αυτό να γίνεται στον κάθε χώρο που εξυπηρετείται. Στο σχήμα 1-12 δίνεται το σχέδιο ενός πολυζωνικού συστήματος.



Σχήμα 1-12 Διάταξη ελέγχου συστήματος διπλού αγωγού.[29]

Για ένα συγκρίσιμο αριθμό από ζώνες το σύστημα αυτό εξασφαλίζει μεγαλύτερη ευελιξία από τους απλούς αγωγούς και μικρότερο κόστος από τους διπλούς αγωγούς, αλλά περιορίζεται φυσικά από τον αριθμό

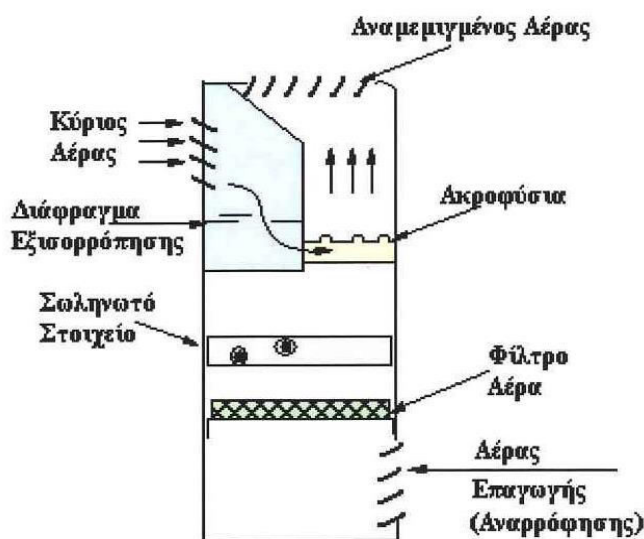
ζωνών. Βέβαια η χρήση πολλών αγωγών και συστημάτων ελέγχου μπορεί να αυξήσει πολύ το αρχικό κόστος του συστήματος αυτού, συγκριτικά με άλλα συστήματα ολικού αερισμού.

Εφαρμόζεται σε περιοχές και τοποθεσίες με υψηλά αισθητά θερμικά φορτία και περιορισμένες απαιτήσεις αερισμού και επομένως ενδέχεται να απαιτεί μεγαλύτερα συστήματα ψύξης και διαχείρισης αέρα, γεγονός που πρέπει να ληφθεί υπόψη στον προσδιορισμό του κόστους εγκατάστασης και λειτουργίας.

1.4.2 Συστήματα Νερού Και Αέρα

Στα συστήματα νερού και αέρα, σε αντίθεση με τα συστήματα αέρα, τόσο το νερό όσο και ο αέρας διανέμονται ξεχωριστά στον κάθε χώρο για την επίτευξη της θέρμανσης ή της ψύξης. Οι θερμοκρασίες του νερού ή του αέρα (ή και οι δύο) μεταβάλλονται ώστε να επιτευχθεί έλεγχος της θερμοκρασίας του χώρου κατά τη διάρκεια του χρόνου.

Η βασική διάταξη του συστήματος αέρα-νερού απεικονίζεται στο σχήμα 1-13. Ο αέρας παρέχεται με σταθερό όγκο, και το υποσύστημά του περιλαμβάνει τον κεντρικό εξοπλισμό, το σύστημα αγωγών διανομής, και ένα τερματικό δωμάτιο. Το υποσύστημα του νερού στη βασική του μορφή αποτελείται από μια αντλία και τις σωληνώσεις για τη μεταφορά του νερού στην επιφάνεια του εναλλάκτη θερμότητας μέσα σε κάθε κλιματιζόμενο χώρο. Ο έλεγχος της θερμοκρασίας του κάθε δωματίου επιτυγχάνεται μεταβάλλοντας τη χωρητικότητα του στοιχείου (ή των στοιχείων) μέσα στο δωμάτιο ρυθμίζοντας, είτε τη ροή του νερού, είτε τη ροή του αέρα πάνω από αυτό. Το στοιχείο μπορεί να μετατρέπεται σε θερμαντικό κατά την διάρκεια του χειμώνα, ή ένα δεύτερο στοιχείο ή θερμαντική διάταξη μέσα στο χώρο μπορεί να αποδίδει θέρμανση, ανάλογα με τον τύπο του συστήματος.



Σχήμα 1-13 Μονάδα επαγωγής αέρα-νερού.[29]

Υπάρχουν διάφοροι βασικοί λόγοι χρήσης τέτοιου συστήματος.

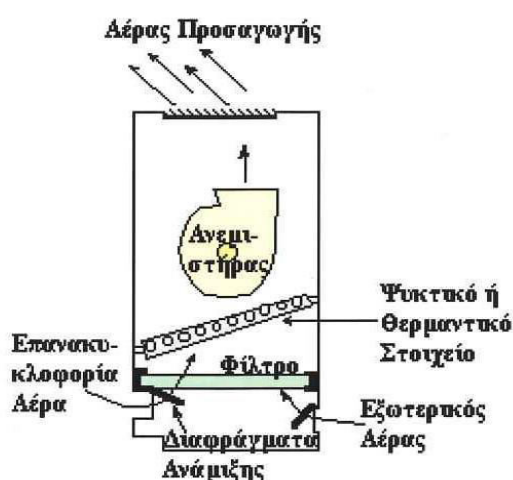
Πρώτον, εξαιτίας της μεγαλύτερης ειδικής θερμοχωρητικότητας και της πολύ μεγαλύτερης πυκνότητας του νερού σε σχέση με τον αέρα, η απαιτούμενη διατομή των σωληνώσεων διανομής είναι σημαντικά μικρότερη από αυτή που απαιτεί το δίκτυο αγωγών για να πετύχει το ίδιο έργο ψύξης. Κατά συνέπεια, η πυκνότητα του αέρα που διανέμεται μπορεί να είναι μικρότερη σε σχέση με αυτή ενός συστήματος ολικού αέρα, με αποτέλεσμα να απαιτείται και μικρότερος χώρος για το σύστημα διανομής.

Δεύτερον, Η ιπποδύναμη των αντλιών που απαιτούνται για την κυκλοφορία του νερού στο κτίριο συνήθως είναι σημαντικά μικρότερη από την ιπποδύναμη του ανεμιστήρα που στέλνει και επιστρέφει αέρα. Έτσι εκτός από εξοικονόμηση χώρου μπορεί να επιτευχθεί και μείωση του λειτουργικού κόστους.

Συστήματα αυτού του τύπου εφαρμόζονται συνήθως σε κτίρια γραφείων, νοσοκομεία, ξενοδοχεία, σχολεία, ερευνητικά εργαστήρια και άλλα κτίρια. Η εξοικονόμηση χώρου καθιστά τα συστήματα αυτά επωφελή και σε κατασκευές με μεγάλο ύψος

1.4.3 Συστήματα Μόνο Με Νερό

Τα συστήματα HVAC με νερό είναι εκείνα με τοπικές μονάδες με ανεμιστήρα στο στοιχείο. Η ψύξη και αφύγρανση παρέχονται με την κυκλοφορία του ψυχρού ύδατος ή άλμης μέσω μιας σερπαντίνας (στοιχείου) στη μονάδα. Η θέρμανση παρέχεται με την παροχή του θερμού νερού μέσω του ίδιου κυκλώματος ή μιας χωριστής σερπαντίνας χρησιμοποιώντας την διανομή ύδατος από το κεντρικό κύκλωμα. Η ύγρανση δεν εφαρμόζεται στο σύστημα της HVAC αποκλειστικά με νερό, εκτός εάν ένας χωριστό υγραντήρας παρέχεται σε κάθε δωμάτιο. Στο σχήμα 1-14 παρουσιάζεται ένας τυπικός εξαεριστήρας, που χρησιμοποιείται σε σύστημα HVAC νερού.



Σχήμα 1-14 Τυπικός εξαεριστήρας κλιματιστικής μονάδας με χωριστά στοιχεία.[29]

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα του συστήματος αυτού είναι η ευελιξία και η προσαρμογή του. Δεν απαιτεί αγωγό αέρα εξαερισμού, είναι συγκριτικά εύκολο να εγκατασταθεί σε υπάρχουσες οικοδομές και όπως με

οποιοδήποτε κεντρικό σύστημα HVAC που χρησιμοποιεί νερό στους σωλήνες αντί των αγωγών αέρα, παρουσιάζει αποτελέσματα χρήσης άκρως ικανοποιητικά.

Εντούτοις αυτό το σύστημα μπορεί να μην δημιουργήσει τις αυστηρές εσωτερικές απαιτήσεις άνεσης και υγιεινής (IAQ) αέρα. Για την ανανέωση του αέρα μέσω των στοιχείων, απαιτούνται ειδικές προφυλάξεις για την αποφυγή παγώματος στο στοιχείο, όπως το κλείσιμο των πεταλούδων εξωτερικού αέρα, που θα οδηγήσει σε μείωση του αέρα εξαερισμού σε αυτό που λαμβάνεται μόνο από διείσδυση. Μία άλλη μέθοδος είναι η τοποθέτηση ηλεκτρικής αντίστασης, κάτι που οδηγεί σε μη οικονομική συμπεριφορά. Για του λόγους αυτούς στις εγκαταστάσεις αυτές εφαρμόζονται άλλα συστήματα ανανέωσης αέρα. Επίσης, οι εργασίες συντήρησης πρέπει να γίνονται στα συστήματα σε όλο το εύρος τους. Οι μονάδες με την πάροδο του χρόνου γίνονται παλαιότερες και έτσι ο θόρυβος των ανεμιστήρων μπορεί να γίνει απαράδεκτος, ενώ τα φίλτρα, που είναι συνήθως μικρά και ανεπαρκή, απαιτούν συχνή αλλαγή για να διατηρήσουν την ένταση ήχου του αέρα.

1.4.4 Συστήματα Αντλίας Θερμότητας

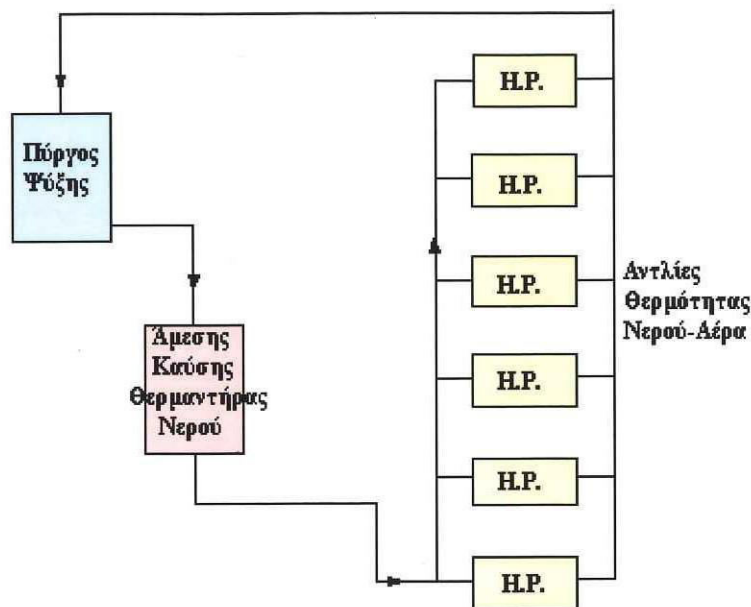
Τα συστήματα αντλίας θερμότητας είναι συστήματα στα οποία ο εξοπλισμός ψύξης χρησιμοποιείται έτσι ώστε η θερμότητα να λαμβάνεται από τον συμπυκνωτή, να παρέχεται στο κλιματιζόμενο χώρο όταν απαιτείται η θέρμανση και να αφαιρείται από τον αέρα μέσω του ατμοποιητή όταν επιδιώκεται η ψύξη και η αφύγρανση. Ο θερμικός κύκλος είναι ίδιος με αυτό της ψύξης.

Υπάρχουν πολλοί τύποι αντλιών θερμότητας. Οι αντλίες θερμότητας αέρα-αέρα είναι ο πιο συνήθης τύπος για κατοικίες και μικρές εμπορικές εφαρμογές. Για τη μεταφορά θερμότητας μεταξύ αέρα και ψυκτικής ουσίας χρησιμοποιούνται συνήθως μεγάλες επιφάνειες και στοιχεία εξαναγκασμένης μεταφοράς θερμότητας. Οι αντλίες θερμότητας αέρα-νερού χρησιμοποιούνται πολλές φορές σε μεγάλα κτίρια όπου ο έλεγχος ζώνης είναι απαραίτητος, και επίσης για την παραγωγή θερμού ή ψυχρού νερού σε βιομηχανικές εφαρμογές καθώς και για θερμική ανακύκλωση. Επίσης είναι εμπορικά διαθέσιμες και σε οικιακά μεγέθη.

Οι χωρητικότητες των αντλιών θερμότητας κυμαίνονται από 2 έως 90 kW για μικρές εμπορικές και βιομηχανικές εγκαταστάσεις, καθώς και σε κατοικίες, ενώ μεγάλες κεντρικές αντλίες θερμότητας, ισχύος 20-750 kW, χρησιμοποιούνται για ολόκληρα κτίρια, σε απλό ή κεντρικό σύστημα. Σε ορισμένες περιπτώσεις η συνολική ισχύς υποδιαιρείται σε ξεχωριστά συστήματα αντλιών για εξυπηρέτηση διαφορετικών ζωνών.

Σε αυτές τις περιπτώσεις, όταν οι ανάγκες του κτιρίου διαφέρουν, ένα σύστημα αντλίας θερμότητας κλειστού κυκλώματος αποτελεί μία καλή επιλογή. Ένα τέτοιο σύστημα απεικονίζεται στο σχήμα 1-15.

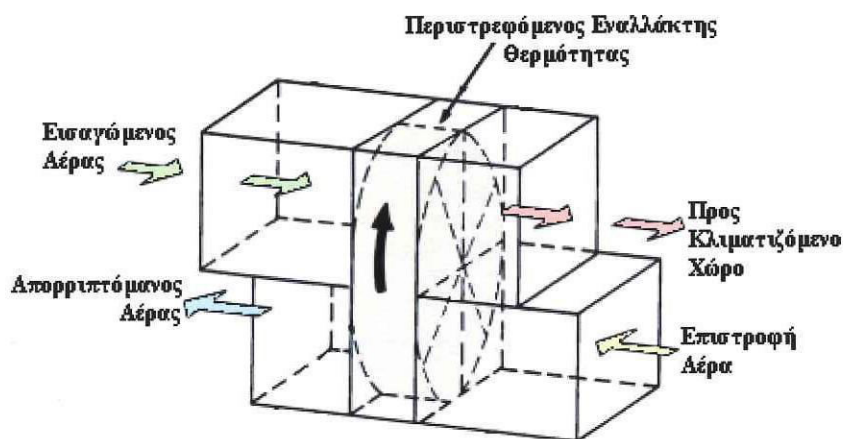
Οι ατομικές αντλίες θερμότητας αέρα-νερού σε κάθε δωμάτιο ή ζώνη, δέχονται ή αποβάλλουν ενέργεια από ή προς ένα κλειστό κύκλωμα νερού, ανάλογα με το αν ο χώρος απαιτεί ψύξη ή θέρμανση. Στην ιδανική περίπτωση τα φορτία αυτά θα εξισωθούν και δε θα υπάρχει πλεόνασμα ή έλλειμμα ενέργειας στο κύκλωμα. Σε αντίθετη περίπτωση το πλεόνασμα αποβάλλεται στην ατμόσφαιρα μέσω ενός ψυκτικού πύργου, ενώ αν υπάρχει έλλειμμα, αναπληρώνεται με έναν βοηθητικό λέβητα.



Σχήμα 1-15 Σχηματική διάταξη κλειστού συστήματος αντλίας θερμότητας.[29]

1.4.5 Συστήματα Ανάκτησης Θερμότητας

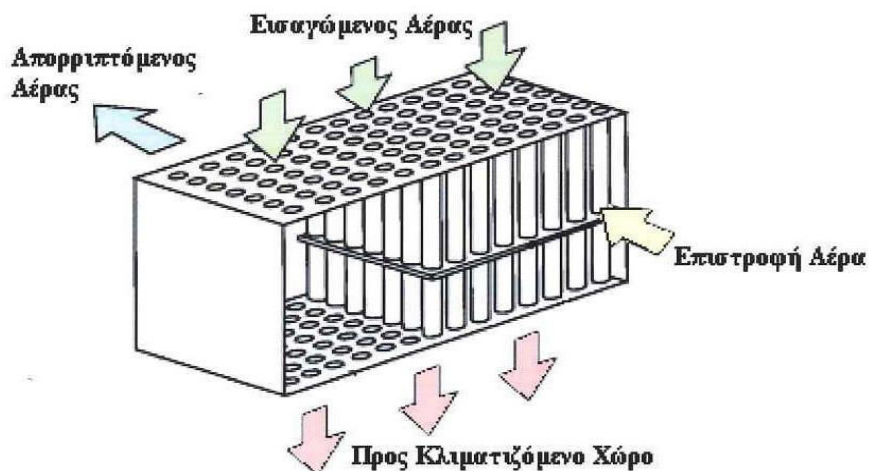
Σε μεγάλες εμπορικές εφαρμογές παράγονται εσωτερικά σημαντικά ποσά θερμότητας των οποίων μπορεί να απαιτηθεί αποβολή ακόμη και όταν ο καιρός είναι ιδιαίτερα ψυχρός. Μπορούν να εξοικονομηθούν μεγάλα ποσά ενέργειας εάν η θερμότητα από τους εσωτερικούς χώρους και τον αποβαλλόμενο αέρα μπορεί να ανακτηθεί μπορεί να ανακτηθεί και να χρησιμοποιηθεί για την θέρμανση των εξωτερικών τμημάτων των εγκαταστάσεων.



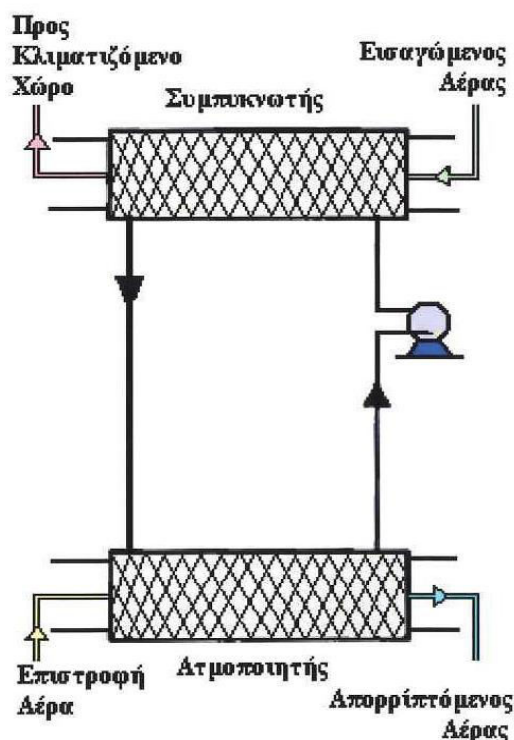
Σχήμα 1-16 Περιστρεφόμενο σύστημα ανάκτησης θερμότητας.[29]

Η ανάκτηση θερμότητας από τον αέρα που απάγεται πραγματοποιείται με χρήση εναλλακτών θερμότητας αέρα-αέρα, περιστρεφόμενους και αέρα-νερού, ενώ συχνά χρησιμοποιούνται συστήματα ψεκάσμου που περιέχουν ξηραντήρες για την επαύξηση της μεταφοράς της λανθάνουσας θερμότητας. Τα σχήματα 1-16

και 1-17 απεικονίζουν το περιστρεφόμενο σύστημα ανάκτησης θερμότητας καθώς και το σύστημα αέρα-αέρα. Τα συστήματα αυτά είναι τα πιο αποδοτικά στην ανάκτηση ενέργειας αλλά απαιτούν τα σημεία εισαγωγής και εξαγωγής του αέρα να βρίσκονται στην ίδια θέση. Αντίθετα στο σύστημα αέρα-νερού, που δίνεται στο σχήμα 1-18, μπορεί να βρίσκονται μακριά. Όμως το σύστημα αυτό δεν είναι τόσο αποδοτικό εξαιτίας της επιπρόσθετης θερμικής αντίστασης του νερού, ενώ απαιτείται και η διοχέτευση άλμης για την αποφυγή παγώματος, πράγμα που μειώνει ακόμη περισσότερο την απόδοση αυτού του συστήματος.



Σχήμα 1-17 Σύστημα ανάκτησης θερμότητας αέρα-αέρα.[29]



Σχήμα 1-18 Σύστημα ανάκτησης θερμότητας αέρα-νερού.[29]

1.4.6 Ενιαίες Μονάδες Κλιματισμού αέρα

Ενιαία κλιματιστικά μηχανήματα κατασκευάζονται από τα εργοστάσια ταιριαγμένα με συστατικά για τον συνυπολογισμό στο σύστημα HVAC αέρα που σχεδιάζεται για καλύψει τις ανάγκες του χρήστη. Παρακάτω δίνεται ένας ενδεικτικός κατάλογος παραμέτρων των μονάδων αυτών:

1. Κατασκευή-Ρύθμιση: συστήματα ενιαία ή διμερή
2. Απόρριψη θερμότητας (Εξωτερική μονάδα): στον αέρα, σε εξατμιστικό συμπυκνωτή ή σε νερό.
3. Εξωτερικό μονάδων: Διακοσμητικό του εσωτερικού χώρου, λειτουργικό για τον εξοπλισμό και τους αγωγούς αέρα, προστατευμένο από τον καιρό.
4. Τοποθέτηση: στο πάτωμα, στον τοίχο, στην οροφή, στη στέγη.
5. Εσωτερικός αέρας: κατακόρυφη ανοδική ροή ή οριζόντια, με ανεμιστήρα ή εξαναγκασμένη ροή.
6. Θέσεις; εσωτερικά (σε ψευδοροφές, σοφίτες, υπόγεια γκαράζ, μηχανοστάσια κλπ) ή τοίχου (επί του τοίχου ή στο έδαφος)
7. Θερμότητα: Φυσικής κυκλοφορίας (ανοδική), οριζόντιας ή αντίθετης εξαναγκασμένης ροής, συνδυασμός με ηλεκτρική αντίσταση ή με σερπαντίνα ύδατος ή ατμού.

Ενιαία κλιματιστικά μηχανήματα σχεδιάζονται επίσης με ανεμιστήρες για σύνδεση με αεραγωγούς.

Οι αντλίες θερμότητας προσφέρονται επίσης σε πολλούς από τους ίδιους τύπους με τα ενιαία κλιματιστικά μηχανήματα.

Οι συσκευασμένοι φυγοκεντρικοί ψύκτες νερού μπορούν να θεωρηθούν ως ενιαία κλιματιστικά μηχανήματα, ιδιαίτερα όταν εγκαθίστανται με τις μονάδες σερπαντίνων – ανεμιστήρων.

1.5 Η Υπολογιστική Ρευστομηχανική Ως Εργαλείο Σχεδιασμού

Όπως αναφέρθηκε στις παραπάνω υποενότητες οι ρυπαντές που συναντώνται σε εσωτερικούς χώρους καθώς και οι πηγές προέλευσής τους ποικίλουν, ενώ οι επιδράσεις τους στον υπάρχοντα πληθυσμό επιφέρουν σημαντικές επιπτώσεις τόσο στην άνεση όσο και στην υγεία. Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου για την διατήρηση της καλής ποιότητας αέρα στο εσωτερικό των κτιρίων βάση των ποσοστών παραγωγής των μολυσματικών στοιχείων και των πηγών παραγωγής τους, μπορεί να οδηγήσει σε μη επαρκή έλεγχο της εσωτερικής ρύπανσης. Και αυτό γιατί δεν θα έχει ληφθεί υπόψη η επίδραση της διάταξης του κτιρίου στα ρεύματα του αερίου, η περίπτωση της μη τέλει μίξης τους, καθώς και ο ενδεχόμενος μεταβαλλόμενος φυσικός αερισμός του χώρου.

Η υπολογιστική ρευστομηχανική (Computational Fluid Dynamics - CFD) αποτελεί εργαλείο για τον προσδιορισμό και την βελτίωση τέτοιων φαινομένων. Είναι μια μέθοδος που πραγματοποιείται με χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή, και προσομοιώνει τη συμπεριφορά συστημάτων που περιλαμβάνουν ροή ρευστών, μετάδοση θερμότητας και άλλες σχετικές φυσικές διεργασίες. Αυτό επιτυγχάνεται επιλύοντας τις κατάλληλες εξισώσεις ρευστομηχανικής για την περιοχή ενδιαφέροντος, με ορισμένες τις οριακές συνθήκες για αυτήν την περιοχή.

1.5.1 Μεθοδολογία

1.5.1.1 Οι εξισώσεις Navier-Stokes Και Η Υπόθεση Boussinesq

Το σύνολο των εξισώσεων που περιγράφουν της διεργασίες της ορμής είναι γνωστές ως εξισώσεις Navier-Stokes και χρησιμοποιούνται στην περίπτωση της ιξώδους ροής. Οι εξισώσεις Navier-Stokes είναι μερικές διαφορικές εξισώσεις και λένε ότι η μεταβολή της ορμής ανά μονάδα όγκου του ρευστού ισούται με το αλγεβρικό άθροισμα των δυνάμεων που ενεργούν σε κάθε στοιχειώδη όγκο. Η γενική εξίσωση της ορμής για ιξώδη ροή είναι:

$$\rho \frac{d\bar{u}}{dt} = -\nabla p + \rho \nabla T + \rho F \quad (1-5a)$$

όπου:

$$\rho \frac{d\bar{u}}{dt} = \rho \frac{\partial u}{\partial t} + \rho \bar{u} \cdot \nabla \bar{u}$$

∇p – δυνάμεις πίεσης

$\rho \nabla T$ – Δυνάμεις ιξώδους (τριβής)

ρF – Δυνάμεις εξωτερικές όπως η βαρύτητα

► Η Υπόθεση Boussinesq:

Η υπόθεση Boussinesq (από τον Joseph Valentin Boussinesq) χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις ροών με άνωση. Σύμφωνα με την υπόθεση αυτή, η μεταβολή της πυκνότητας θεωρείται δυναμικά σημαντική μόνο στον όρο της άνωσης, όταν αυτή πολλαπλασιάζεται με την επιτάχυνση της βαρύτητας, g . Η ουσία αυτής της προσέγγισης είναι ότι στην περίπτωση δύο ροών διαφορετικής πυκνότητας, η επίδραση αυτής της μεταβολής στην αδράνεια είναι αμελητέα, σε αντίθεση με την σημαντική διαφοροποίηση που επιφέρει στα ειδικά βάρη μεταξύ των δύο ροών. Το πλεονέκτημα αυτής της προσέγγισης είναι ότι, για παράδειγμα στην περίπτωση ανάμιξης δύο ροών, ψυχρού και θερμού ρεύματος αέρα, μπορεί να ληφθεί υπόψη μία μόνο πυκνότητα ρ , ενώ η διαφορά $\Delta\rho = \rho_1 - \rho_2$ είναι αμελητέα. Αντίθετα, στις εξισώσεις που περιγράφουν της διεργασίες της ορμής, πρέπει να εισαχθεί η νέα μειωμένη επιτάχυνση της βαρύτητας, g' , όπου:

$$g' = g \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho}$$

Επομένως, η εξισώσεις της ορμής απλοποιούνται, εφόσον ο λόγος ρ_1 / ρ_2 δεν επηρεάζει την ροή. Σύμφωνα με την υπόθεση Boussinesq, ο λόγος αυτός μπορεί να ληφθεί ίσος με την μονάδα.

Για ασυμπιεστο ρευστό, και με το προϋπόθεση ότι το ιξώδες είναι ανεξάρτητο της κλίσης της ταχύτητας, δηλαδή για Νευτώνειο ρευστό ισχύει:

$$\rho \nabla T = \mu \cdot \nabla^2 \bar{u}$$

Οπότε, βάση των παραπάνω, η εξίσωση (1-5a) παίρνει την μορφή:

$$\rho \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \rho \bar{u} \cdot \nabla \bar{u} \right) = -\nabla p + \mu \nabla^2 \bar{u} + \rho F \quad (1-5\beta)$$

Οι εξισώσεις Navier-Stokes στη γενική τους μορφή δεν έχουν αναλυτική λύση, στην πραγματικότητα μόνο κάποιες πολύ εξειδικευμένες περιπτώσεις τους επιδέχονται αναλυτική λύση. Έτσι για την επίλυσή τους έχουν αναπτυχθεί προσεγγιστικές αριθμητικές μέθοδοι που βασίζονται σε αλγόριθμους αριθμητικής ανάλυσης. Για να εξαχθεί μια προσεγγιστική λύση αριθμητικά πρέπει να χρησιμοποιηθεί μια μέθοδος διακριτοποίησης η οποία προσεγγίζει τις διαφορικές εξισώσεις με ένα σύστημα γραμμικών αλγεβρικών εξισώσεων το οποίο μπορεί να επιλυθεί σε υπολογιστή. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι επίλυσης που χρησιμοποιούνται στους κώδικες CFD, όμως η πιο διαδεδομένη είναι η μέθοδος των πεπερασμένων όγκων. Βάση αυτής της μεθόδου η περιοχή ενδιαφέροντος διαιρείται σε μικρότερα τμήματα που ονομάζονται όγκοι ελέγχου. Οι εξισώσεις διακριτοποιούνται και επιλύονται επαναληπτικά για κάθε όγκο ελέγχου.

Οι εξισώσεις Navier-Stokes είναι δυνατό να λυθούν απευθείας τόσο για στρωτές όσο και για τυρβώδεις ροές. Γενικά όμως, στις περιπτώσεις τυρβώδους ροής, απαιτείται η χρήση κάποιου προτύπου τύρβης, όπως οι εξισώσεις Reynolds-averaged Navier-Stokes μαζί με το μοντέλο k-ε ή Large-Eddy Simulation.

Άλλες φυσικές διεργασίες, όπως η μεταφορά μάζας και θερμότητας και οι χημικές αντιδράσεις, μπορούν να επιλυθούν ταυτόχρονα με τις εξισώσεις Navier-Stokes, χρησιμοποιώντας επιπρόσθετα προσεγγιστικά πρότυπα. Τέλος, οι πιο προηγμένοι κώδικες επιτρέπουν την επίλυση πιο σύνθετων περιπτώσεων που περιλαμβάνουν πολυφασικές ροές ή μη-νευτώνεια ρευστά.

1.5.1.2 Reynolds-averaged Navier-Stokes (RANS) Και Μοντέλο k-ε

Οι εξισώσεις **Reynolds-averaged Navier-Stokes** είναι εξισώσεις που περιγράφουν τις διεργασίες της ορμής, για τυρβώδη ροή. Προέρχονται από την εισαγωγή της μέσης ταχύτητας και του μεταβαλλόμενου μεγέθους της, στις εξισώσεις Navier-Stokes, και στη συνέχεια της ολοκλήρωσης των εξισώσεων, σαν συνάρτηση του χρόνου.

Επομένως εισάγοντας τα δύο μεγέθη της ταχύτητας, η εξίσωση (1-5β) γίνεται:

$$\rho \left(\frac{\partial (U_i + u_i)}{\partial t} + \rho (U_j + u_j) \frac{\partial (U_i + u_i)}{\partial x_j} \right) = -\frac{\partial}{\partial x_i} (P + p) + \mu \frac{\partial^2}{\partial x_j^2} (U_i + u_i) + \rho F \quad (1-5\gamma)$$

όπου:

i, j, k – σημαίνει άθροιση για όλες τις στιγμιαίες τιμές των μεταβλητών στις τρεις διευθύνσεις (x,y,z). Τα i,j,k, είναι τρία διαφορετικά σημεία (συσχετίσεις τρίτης τάξεως).

$\mu = \nu \cdot \rho$ – το δυναμικό ιξώδες σε Pa's και ν – το κινηματικό ιξώδες σε m²/sec.

U – μέση τιμή ταχύτητας ανεξάρτητη από τον χρόνο σε m/sec.

u – μεταβαλλόμενη τιμή ταχύτητας συναρτήσει του χρόνου σε m/sec.

Με τη βοήθεια της εξίσωσης της συνέχειας, για ασυμπίεστη ροή:

$\frac{\partial (U_i + u_i)}{\partial x_i} = 0$ που με ολοκλήρωσή της ως προς τον χρόνο προκύπτουν οι παρακάτω σχέσεις:

$\frac{\partial U_i}{\partial x_i} = 0$ & $\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0$ και παίρνοντας την μέση τιμή της εξίσωσης (1-5γ) και ολοκληρώνοντάς την ως προς

τον χρόνο, προκύπτει:

$$\rho \frac{\partial U_i}{\partial t} + \rho \frac{\partial U_i U_j}{\partial x_j} = - \frac{\partial P}{\partial x_i} + \mu \frac{\partial^2 U_i}{\partial x_j^2} - \frac{\partial}{\partial x_j} \rho \overline{(u_i u_j)} + \rho F \quad (1-5\delta)$$

(I) (II)

Οι προτελευταίοι δύο όροι της εξίσωσης 1-5δ, (I και II) είναι οι τάσεις Reynolds. Η διαφορά τους είναι ότι ο όρος (I) είναι ιδιότητα του ρευστού (ιξώδες), ενώ ο όρος (II) είναι ιδιότητα της ροής (τύρβη).

Ο όρος $\overline{\rho u_i u_j}$, αποτελείται από έξι όρους, είναι δηλαδή ένας τένσορας, με μέλη αντίστοιχα:

$$\begin{bmatrix} \overline{u_x^2} & \overline{u_x u_y} & \overline{u_x u_z} \\ \overline{u_y u_x} & \overline{u_y^2} & \overline{u_y u_z} \\ \overline{u_z u_x} & \overline{u_z u_y} & \overline{u_z^2} \end{bmatrix}$$

Οι συσχετίσεις αυτές αναφέρονται σε συνιστώσες της ταχύτητας στο ίδιο σημείο και είναι στη γενική περίπτωση μη μηδενικές.

Οι τάσεις Reynolds μπορούν να συνδυαστούν μαθηματικά στην εξίσωση 1-5δ, σε έναν όρο που μπορεί να γραφτεί σαν:

$$\frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \rho \overline{(u_i u_j)} \right) \quad (1-5\epsilon)$$

Παρατηρούμε ότι η τύρβη με την μορφή των συσχετίσεων, ενεργεί στην μέση ροή με τον ίδιο τρόπο που ενεργεί και το ιξώδες, δηλαδή σαν μηχανισμός απωλειών και αναδιάρθρωσης της ροής.

Τελικά προκύπτει η επιθυμητή εξίσωση Reynolds-averaged Navier-Stokes (1-5στ):

$$\rho \frac{\partial U_i}{\partial t} + \rho \frac{\partial U_i U_j}{\partial x_j} = - \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \rho \overline{(u_i u_j)} \right) + \rho F \quad (1-5\sigma)$$

Μαζί με τις εξισώσεις Reynolds-averaged Navier-Stokes χρησιμοποιείται και το μοντέλο k-ε για την περιγραφή της τύρβης. Αυτό το μοντέλο ισχύει μόνο για πλήρως τυρβώδης ροές, και λαμβάνει υπόψη όλα τα μεγέθη τύρβης (από τις μεγαλύτερες δίνες μέχρι αυτές που ανήκουν στην κλίμακα Kolmogorov). Το μοντέλο k-ε περιλαμβάνει δύο εξισώσεις, την εξίσωση για το k, το οποίο αντιπροσωπεύει την κινητική ενέργεια της τύρβης, και την εξίσωση για το ε, που αντιπροσωπεύει τον ρυθμό καταστροφής της κινητικής ενέργειας της τύρβης. Παρακάτω δίνονται η εξισώσεις για το k (1-5ζ) και το ε (1-5η), συμπεριλαμβάνοντας και την περιορισμένη επιρροή της άνωσης.

$$\frac{\partial k}{\partial t} + U_i \frac{\partial k}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\nu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + P + G - \varepsilon \quad (1-5\zeta)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + U_i \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + \frac{\varepsilon}{k} (C_{1\varepsilon} P + C_{3\varepsilon} G) - C_{2\varepsilon} \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (1-5\eta)$$

όπου $P = -u_j u_k \frac{\partial U_j}{\partial x_k}$ και $G = \frac{g}{\rho} \frac{\nu_t}{\sigma_T} \frac{\partial \rho}{\partial y}$ είναι οι παραγωγές κινητικής ενέργεια λόγω τύρβης και άνωσης, $C_{3\varepsilon}$ είναι ο αριθμός Richardson, ένας εμπειρικός όρος διόρθωσης για ανωστικές ροές, $C_{1\varepsilon} = 1.44$ και $C_{2\varepsilon} = 1.92$ είναι σταθερές, $\nu_t = C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}$ είναι το τυρβώδες κινηματικό ιξώδες με την σταθερά $C_\mu = 0.09$ και $\sigma_k, \sigma_\varepsilon, \sigma_T$ είναι οι αριθμοί Prandtl για το k , το ε και την θερμοκρασία αντίστοιχα.

Ρύθμιση Εσωτερικού Θερμικού Περιβάλλοντος

2.1 Προϋποθέσεις Ποιότητας Αέρα Σε Εσωτερικούς Χώρους

2.1.1 Αποδεκτά Όρια Ανανέωσης Αέρα

Όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή, η χρήση εξωτερικού αέρα στα κτίρια, αποτελεί μία εκ των τεσσάρων βασικών μεθόδων διατήρησης καλής ποιότητας εσωτερικού αέρα, και είναι αυτή που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία.

Το πρώτο σημαντικό βήμα αυτής της μεθόδου είναι να ελέγξουμε ότι ο εξωτερικός αέρας δεν περιέχει μολυσματικά στοιχεία που μπορεί να βλάψουν τον άνθρωπο ή να τον κάνουν να αισθανθεί άβολα. Το πρακτορείο προστασίας περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών (U.S. Environmental Protection Agency - EPA) δημοσίευσε το Εθνικό Πρωτεύον Περιβάλλον - Σταθερές Ποιότητας Αέρα για τον εξωτερικό αέρα που φαίνονται στον πίνακα 2-1.

Μολύνον Υλικό	Μακροχρόνια			Βραχυχρόνια		
	Μέσος Όρος Συγκέντρωσης			Μέσος Όρος Συγκέντρωσης		
	μg/m ³	ppm		μg/m ³	ppm	
Διοξείδιο του Θείου	80	0.03	1 χρόνος	365 ^a	0.14 ^a	24 ώρες
Μόρια (PM 10)	50 ^b	-	1 χρόνος			
Μονοξείδιο του Άνθρακα				150 ^a	-	24 ώρες
Μονοξείδιο του Άνθρακα				40000 ^a	35 ^a	1 ώρα
Οξειδωτικό Μέσο (όζον)				10000 ^a	9 ^a	8 ώρες
Διοξείδιο του Αζώτου	100	0.055	1 χρόνος	235 ^c	0.12 ^c	1 ώρα
Μόλυβδος	1.5	-	3 μήνες ^d			

^a Να μην υπερβαίνει την μία φορά τον χρόνο.

^b Αριθμητικός Μέσος όρος.

^c Η τιμή αυτή χρησιμοποιείται όταν ο αναμενόμενος αριθμός ημερών κατά τον ημερολογιακό χρόνο, με μέγιστο μέσο όρο συγκεντρώσεων πάνω από 0.12 ppm (235 μg/m³) είναι ίσος ή μικρότερος από το 1.

^d Η 3μηνη περίοδος είναι το ημερολογιακό τέταρτο.

Πίνακας 2-1 Αποδεκτά όρια θορύβου κλιματιστικών συστημάτων σε ακατοίκητους χώρους.[27]

Αξίζει να σημειωθεί ότι τα επιτρεπτά όρια συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα στον εξωτερικό αέρα⁸ είναι από 300 έως 500 ppm (0.03-0.5%), όπως αναφέρεται στο ASHRAE Standard 62.

Εάν οι συγκεντρώσεις των μολυσματικών παραγόντων στον υπαίθριο αέρα υπερβαίνουν αυτές που συστήνονται στον πίνακα 2-1, τότε θα πρέπει να υιοσθεί κατάλληλη επεξεργασία σύμφωνα με τους τοπικούς κανονισμούς που απαιτούν και εξειδικευμένα μέτρα ελέγχου.

Όρια άλλων ρυπαντών εσωτερικών χώρων περιλαμβάνονται στο ASHRAE Standard 62.

2.1.2 Μεθοδολογία Υπολογισμού Απαιτήσεων Αερισμού

Αφού ελεγχθεί ο εξωτερικός αέρας, το δεύτερο βήμα της μεθόδου είναι να προσδιορισθούν οι συγκεντρώσεις των ρύπων που προέρχονται από εσωτερικές πηγές. Η βασικότερη πηγή μολυσματικών στοιχείων σε εσωτερικούς μη-βιομηχανικούς χώρους είναι οι άνθρωποι. Οι άνθρωποι παράγουν διοξείδιο του άνθρακα, υδρατμούς, και ρύπους συμπεριλαμβανομένων της σωματιδιακής ύλης, και του πτητικού οργανικού κλάσματος.

Στην περίπτωση αυτή, όπου ο αερισμός πραγματοποιείται μέσω διάλυσης ώστε να ελεγχθεί η ποιότητα του εσωτερικού αέρα, η διαφορά εσωτερικής και εξωτερικής συγκέντρωσης του CO₂, δεν πρέπει να ξεπερνάει τα 700 ppm, όπως ενδείκνυται από τα κριτήρια άνεσης.

$$C_i - C_o = 700 \text{ ppm} \quad (2-1a)$$

όπου:

C_i – μέση συγκέντρωση CO₂ στο χώρο, μg/m³ ή ppm

C_o – συγκέντρωση CO₂ στο εισερχόμενο αέρα, μg/m³ ή ppm

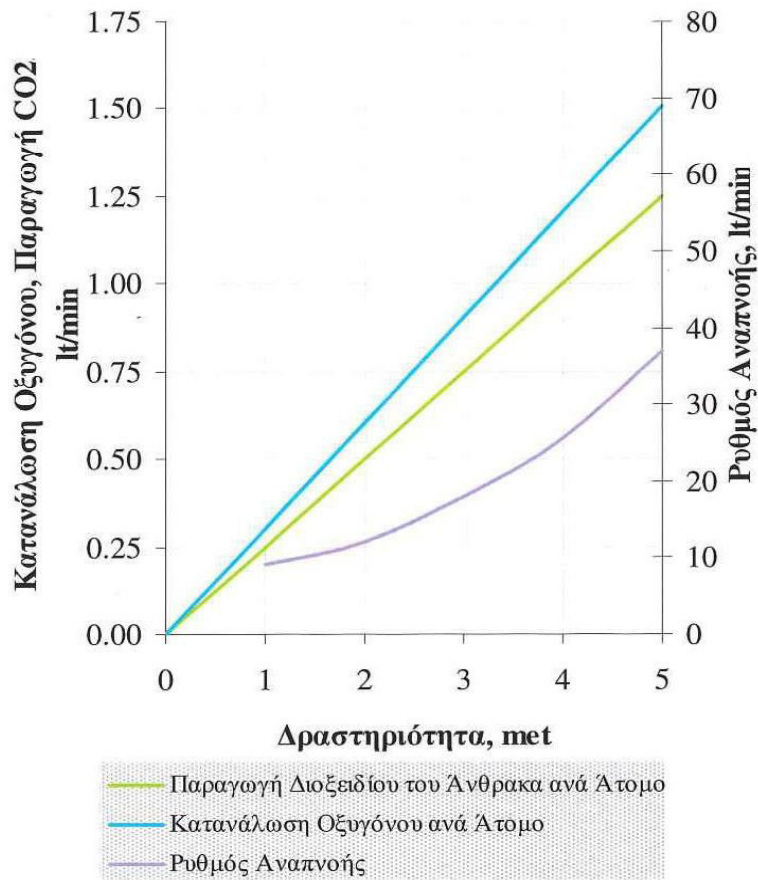
Η επιλογή του CO₂ ως δείκτη έγινε διότι κατόπιν πειραμάτων που έχουν πραγματοποιηθεί, αποδείχθηκε ότι το ποσοστό μείωσης του οξυγόνου μέσα σε ένα δωμάτιο είναι πολύ μικρότερο από το ποσοστό αύξησης του παραγόμενου διοξειδίου του άνθρακα. Συγκεκριμένα παρατηρήθηκε ότι για παροχή αέρα 15 cfm και επίπεδο δραστηριότητας 1.2 met, η διαφορά εσωτερικού και εξωτερικού O₂ είναι 0.5% (από 21% μειώθηκε στο 20.9%), ενώ του CO₂ είναι 230% (από 0.03% αυξήθηκε στο 0.1%). Έτσι η διάλυση του CO₂ είναι ξεκάθαρα πιο σημαντική από την αναπλήρωση του O₂. [27]

Στο σχήμα 2-1 φαίνονται οι τυπικές τιμές μεταβολισμού ανάλογα με την δραστηριότητα, καθώς και η σχετική παραγωγή οξυγόνου και διοξειδίου του άνθρακα.

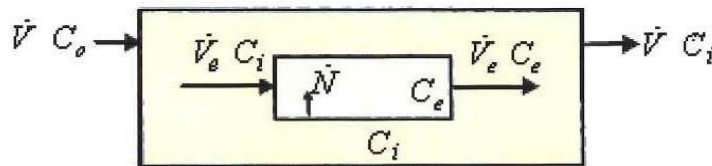
Επομένως, γνωρίζοντας τη συγκέντρωση του CO₂ στον εισερχόμενο αέρα και την συγκέντρωση που πρέπει να υπάρχει στον χώρο (εξίσωση 2-1a), και έχοντας προσδιορίσει τον ρυθμό παραγωγής του ανάλογα με την ανθρώπινη δραστηριότητα (σχήμα 2-1), μπορεί να υπολογισθεί ο ρυθμός παροχής εξερχόμενου και εισερχόμενου αέρα στον χώρο. Αυτό επιτυγχάνεται δημιουργώντας μια ισορροπία ανάμεσα στο μέγεθος

⁸ Σύνθεση ξηρού αέρα στο επίπεδο της θάλασσας: 70.09% N₂, 20.94% O₂, 0.0318% CO₂, 0.93% Ar.

της αέριας μάζας που εισέρχεται και εξέρχεται από τον κλιματιζόμενο χώρο, και θεωρώντας τέλεια ανάμειξη, με ομοιόμορφη κατανομή των μολυσματικών στοιχείων στον χώρο.



Σχήμα 2-1 Στοιχεία Μεταβολισμού.[27]



Σχήμα 2-2 Ισοζύγιο μάζας χώρου.[27]

Με χρήση του σχήματος 2-2, προκύπτει η παρακάτω εξίσωση (2-1β):

$$\dot{V} \cdot C_o + \dot{N} = \dot{V} \cdot C_i \tag{2-1β}$$

όπου:

\dot{V} – ογκομετρική παροχή εισερχόμενου και εξερχόμενου αέρα, lt/sec ή cfm

\dot{V}_e – ογκομετρική παροχή εισερχόμενων και εξερχόμενων μολυσματικών στοιχείων από την πηγή, lt/sec ή cfm

\dot{N} – ρυθμός παραγωγής μολυσματικών στοιχείων στο χώρο, lt/sec ή cfm

C_i – μέση συγκέντρωση μολυσματικών στοιχείων στο χώρο, $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ή ppm

C_o – συγκέντρωση μολυσματικών στοιχείων στο εισερχόμενο αέρα, $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ή ppm

C_e – συγκέντρωση μολυσματικών στοιχείων στην πηγή, $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ή ppm

Προσοχή πρέπει να δοθεί στα εξής:

- ✓ Στην περίπτωση της μεταβλητής παροχής, θα πρέπει να ακολουθηθούν οι κανόνες που περιγράφονται στο ASHRAE Standard 62.
- ✓ Συνήθως η ανάμειξη του εισερχόμενου αέρα με τον εσωτερικό δεν είναι τέλεια και είναι δυνατό κάποιο κλάσμα αέρα να περνάει δίπλα αλλά όχι μέσα από την κατοικημένη ζώνη. Η αποτελεσματικότητα με την οποία ο εξωτερικός αέρας αναμειγνύεται με τον εσωτερικό ονομάζεται *αποτελεσματικότητα αερισμού*, E_v , και είναι ίση με:

$$E_v = \frac{(\dot{V}_o - \dot{V}_{oe})}{\dot{V}_o} \quad (2-1\gamma)$$

όπου:

\dot{V}_o – ογκομετρική παροχή με την οποία ο εξωτερικός αέρας εισέρχεται, lt/sec ή cfm

\dot{V}_{oe} – ογκομετρική παροχή με την οποία ο μη χρησιμοποιούμενος εξωτερικός αέρας απορρίπτεται, lt/sec ή cfm

Όταν $E_v=1.0$ τότε θα υπάρχει απόλυτη μίξη αέρα. Η αποτελεσματικότητα αερισμού μπορεί να αυξηθεί με χρήση αέρα επανακυκλοφορίας, ο οποίος εάν καθαρίζεται θα πρέπει να ακολουθηθεί η παρακάτω διαδικασία.

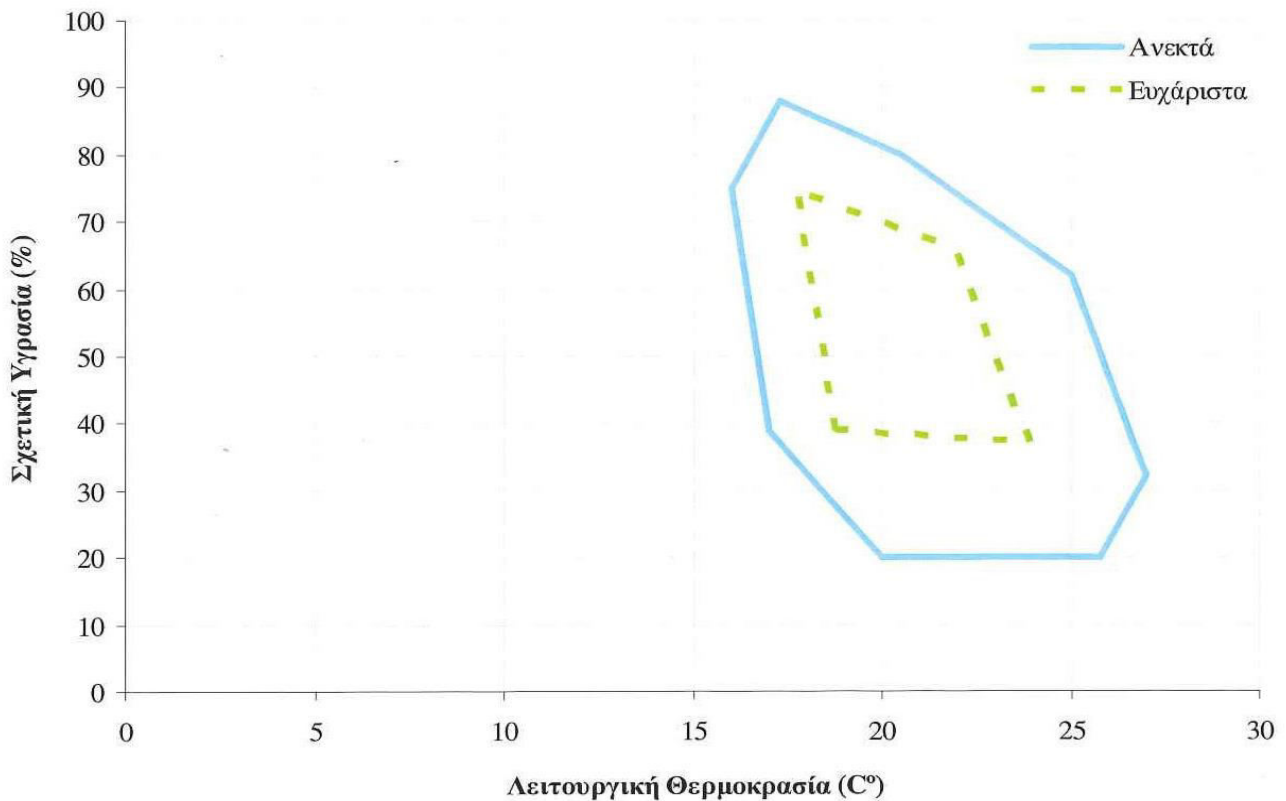
2.2 Ρύθμιση Θερμικών Παραμέτρων

2.2.1 Ρύθμιση Θερμικής Άνεσης

Στην εισαγωγή επισημάνθηκε ότι εκτός από τους ατομικούς παράγοντες ένδυσης και δραστηριότητας που επηρεάζουν την άνεση, υπάρχουν και άλλοι τέσσερις: η θερμοκρασία, η υγρασία, η κίνηση του αέρα και η ακτινοβολία. Έχουν αναπτυχθεί πολλοί δείκτες για να απλουστεύσουν την περιγραφή του θερμικού περιβάλλοντος και να λογαριάσουν τα συνδυαστικά αποτελέσματα δύο ή περισσότερων παραγόντων στον έλεγχο της ανθρώπινης άνεσης. Οι πιο κοινοί αριθμοδείκτες, που χρησιμοποιούνται στο ASHRAE Standard 55 για να ορίσουν τις συνθήκες άνεσης, είναι η *λειτουργική θερμοκρασία* και η *αποδοτική θερμοκρασία*. Η λειτουργική θερμοκρασία είναι ο μέσος όρος ακτινοβολίας και περιβάλλοντος αέρα, που

υπολογίζεται με τους γενικά αποδεκτούς συντελεστές μεταφοράς θερμότητας, ενώ η αποδοτική θερμοκρασία είναι η θερμοκρασία περιβάλλοντος με 50% σχετική υγρασία.

Οι ανεκτές διακυμάνσεις θερμοκρασίας χώρου και υγρασίας για άτομα με τυπικό καλοκαιρινό και χειμερινό ρουχισμό κατά τη διάρκεια της ημέρας και καθιστικών δραστηριοτήτων ($\leq 1,2$ met), παρουσιάζονται στο σχήμα 2-3, όπως ορίζονται σύμφωνα με το νομογράφημα του Fanger.



Σχήμα 2-3 Ανεκτές διακυμάνσεις θερμοκρασίας χώρου και υγρασίας.[8]

Από το παραπάνω σχήμα παρατηρούμε ότι οι συντεταγμένες των ζωνών άνεσης είναι:

- Χειμώνας: Λειτουργική θερμοκρασία 20-23.5°C και σχετική υγρασία 30-60%.
- Καλοκαίρι: Λειτουργική θερμοκρασία 22.5-26°C και σχετική υγρασία 20-60%.

Είναι φανερό πως οι ζώνες άνεσης χειμώνα και καλοκαιριού παρουσιάζουν κοινά στοιχεία. Σε αυτόν τον χώρο οι άνθρωποι με καλοκαιρινό ρουχισμό δείχνουν να επιτυγχάνουν μια σχετικά δροσερή αίσθηση αλλά το χειμώνα με χειμερινό ρουχισμό μπορούν να έχουν μια αίσθηση ζεστασιάς.

Για την επιλογή των ακριβών συνθηκών σχεδιασμού του χώρου ώστε να επικρατεί ανεκτό θερμικό περιβάλλον, είναι σημαντικό να ληφθούν υπόψη και τα εξής:

- ✓ Ο τύπος της αίθουσας και η χωρητικότητά της. Για παράδειγμα σε αίθουσες διδασκαλίας πολλών ατόμων συνιστάται η επιλογή της ελάχιστης δυνατής λειτουργικής θερμοκρασίας, τόσο λόγω του πλήθους των ατόμων όσο και λόγω της ανάγκης να επικρατούν οι κατάλληλες συνθήκες για διδασκαλία.

- ✓ Οι **συνθήκες εξωτερικού περιβάλλοντος**. Λόγο της εισόδου και της εξόδου των ατόμων από τον χώρο, σημαντικές διαφορές μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος μπορεί να επιφέρουν ένα συναίσθημα έλλειψης θερμικής άνεσης με τον χώρο.

2.2.2 Μεθοδολογία Υπολογισμού Θερμικών Φορτίων

Ο υπολογισμός των θερμικών φορτίων στην παρούσα μελέτη πραγματοποιήθηκε με χρήση της μεθόδου της θερμοκρασιακής διαφοράς ψυκτικού φορτίου (CLTD/CLF) η οποία έχει δημοσιευτεί από την ASHRAE. Αν και υπάρχουν πιο πρόσφατες μεθοδολογίες, μεγαλύτερης ακρίβειας, που απαιτούν όμως τον προγραμματισμό και την χρήση υπολογιστή (όπως Heat Balance Method, Radiant Time Series Method), η CLTD/CLF είναι παρέχει ικανοποιητική ακρίβεια, ειδικά για κτίρια που δεν έχουν πολλές ελεγχόμενες ζώνες.

Η γενική διαδικασία υπολογισμού των ψυκτικών αναγκών ενός χώρου, που εφαρμόζεται σε αυτήν τη μέθοδο, είναι αρχικά η επιλογή της χαρακτηριστικής ημέρας της περιόδου κατά την οποία θα λειτουργεί ο κλιματισμός. Κατόπιν υπολογίζονται, για κάθε ώρα της ημέρας, όλα τα ψυκτικά φορτία του χώρου που οφείλονται σε:

1. Εξωτερικές οροφές και τοίχους
2. Παράθυρα
3. Αερισμό
4. Εσωτερικά δομικά στοιχεία
5. Εσωτερικό φωτισμό
6. Ανθρώπους
7. Διάφορες συσκευές και εξοπλισμό
8. Ηλεκτροκινητήρες

Τα ψυκτικά φορτία που αποδίδονται σε ένα χώρο διακρίνονται σε αισθητά και λανθάνοντα. Τα λανθάνοντα θερμικά κέρδη αποδίδονται στο χώρο ως στιγμιαίο ψυκτικό φορτίο, ενώ τα αισθητά, καθώς αποτελούνται κυρίως από ακτινοβολούμενη θερμότητα, απορροφούνται πρώτα από το περίβλημα του χώρου και αποδίδονται με κάποια χρονική καθυστέρηση ως ψυκτικό φορτίο.

2.2.2.1 Αισθητά Φορτία

Τα συνολικά αισθητά φορτία ενός χώρου αποδίδονται από το άθροισμα των ψυκτικών φορτίων λόγω αγωγής, ηλιακής ακτινοβολίας, αερισμού, εσωτερικών δομικών στοιχείων και εσωτερικά (ηλεκτροφωτισμού, ανθρώπων, διαφόρων συσκευών και ηλεκτροκινητήρων).

Φορτία Λόγω Αγωγής:

Η αισθητή θερμότητα που αποδίδεται στον χώρο λόγω αγωγής, τόσο από του εξωτερικούς τοίχους και τις οροφές όσο και από τα παράθυρα, είναι:

$$\dot{q}_{sens} = A \cdot U \cdot (CLTD)_{corr} \quad [W] \quad (2-2\alpha)$$

Όπου για τις εξωτερικές οροφές και τους τοίχους:

$$CLTD_{corr} = (CLTD + LM) \cdot K + (25.5 - T_i) + (T_o - 29.4)$$

Και για παράθυρα:

$$CLTD_{corr} = CLTD + (25.5 - T_i) + (T_o - 29.4)$$

με:

A – η επιφάνεια του κάθε στοιχείου, σε m^2 .

U – η θερμική διαπερατότητα του κάθε στοιχείου, σε W/m^2K . [28]

$CLTD$ – η τιμή της θερμοκρασιακής διαφοράς κάθε ψυκτικού φορτίου [28]

LM – διόρθωση γεωγραφικού πλάτους και μήνα. [28]

K – Συντελεστής χρώματος.

$K = 1$ – αστικό κέντρο (σκουρόχρωμες οροφές).

$K = 0.5$ – αγροτική περιοχή (ανοιχτόχρωμες οροφές).

T_i, T_o – η θερμοκρασία του εσωτερικού και η μέση θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα αντίστοιχα, σε K . [1]

Φορτία Λόγω Ηλιακής Ακτινοβολίας:

Το αισθητό φορτίο που αποδίδεται στο χώρο από τα παράθυρα, λόγω ηλιακής ακτινοβολίας, είναι:

$$\dot{q}_{sens} = A \cdot SC \cdot (SHGF)_{max} \cdot CLF \quad [W] \quad (2-2\beta)$$

όπου:

A – η επιφάνεια του υαλοπίνακα που δέχεται ηλιακή ακτινοβολία, σε m^2 .

SC – συντελεστής σκίασης. Εξαρτάται από τον τύπο του υαλοπίνακα και του σκιάστρου. [28]

$(SHGF)_{max}$ – η μέγιστη τιμή του ηλιακού θερμικού κέρδους για κάθε μήνα, ενός υαλοπίνακα πάχους αναφοράς 3 mm, ως συνάρτηση του γεωγραφικού πλάτους και του προσανατολισμού του παραθύρου. [28]

CLF – παράγοντας ψυκτικού φορτίου, που λαμβάνεται με παράμετρο τον προσανατολισμό του παραθύρου και την ηλιακή ώρα. [28]

Φορτία Λόγω Αερισμού:

Κατά τον κλιματισμό ενός χώρου θα υπάρχει προσαγωγή εξωτερικού αέρα, είτε άμεσα ή λόγω ανανέωσης, είτε λόγω διείσδυσης από χαραμάδες και ανοίγματα. Το αισθητό φορτίο λόγω αερισμού είναι:

$$\dot{q}_{sens} = \dot{m}_{d.a.} \cdot \overline{Cp} \cdot (T_o - T_i) \quad [W] \quad (2-2\gamma)$$

όπου:

$\dot{m}_{d.a.} = \frac{\rho \cdot \dot{V}}{3600}$ – η παροχή ξηρού αέρα σε kg/sec .

\dot{V} – η παροχή ξηρού αέρα σε m^3/hr .

ρ – η πυκνότητα του αέρα σε kg/m^3 . [4]

$$\overline{Cp} = Cp_{,da} + \frac{W_i + W_o}{2} Cp_{,w}$$

$Cp_{,da}, Cp_{,w}$ – οι ειδικές θερμοχωρητικότητες ξηρού αέρα και υδρατμών αντίστοιχα ($Cp_{,da} = 1.005 kJ / kgK$ και $Cp_{,w} = 1.852 kJ / kgK$).

W_i, W_o – οι λόγοι υγρασίας εσωτερικού και εξωτερικού αέρα αντίστοιχα, σε $kg_w/kg_{d.a.}$. [7]

T_i, T_o – η θερμοκρασία του εσωτερικού και η μέση θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα αντίστοιχα, σε K. [1]

Πρέπει να επισημανθεί ότι εάν η ανανέωση του αέρα γίνεται από το σύστημα κλιματισμού τότε το ψυκτικό φορτίο του νεπού αέρα (τόσο το αισθητό όσο και το λανθάνον) θα πρέπει να ενσωματωθεί στον υπολογισμό του ψυκτικού στοιχείου της κεντρικής μονάδας και όχι στα επί μέρους ψυκτικά φορτία των χώρων.

Φορτία Λόγω Εσωτερικών Δομικών Στοιχείων:

Τα αισθητά φορτία λόγω εσωτερικών δομικών στοιχείων οφείλονται στην επαφή τους με γειτονικούς χώρους διαφορετικής θερμοκρασίας, και μπορούν να υπολογιστούν ως εξής:

$$\dot{q}_{sens} = A \cdot U \cdot TD \quad [W] \quad (2-2\delta)$$

όπου:

A – η επιφάνεια του κάθε στοιχείου, σε m^2 .

U – η θερμική διαπερατότητα του κάθε στοιχείου, σε W/m^2K . [28]

TD – η θερμοκρασιακή διαφορά εκατέρωθεν του στοιχείου, σε K.

Εξάιρεση αποτελούν τα δάπεδα που βρίσκονται σε επαφή με το έδαφος ή με μη αεριζόμενο υπόγειο, από τα οποία το ψυκτικό φορτίο θεωρείται αμελητέο. Εάν πάλι δεν υπάρχουν πηγές θερμότητας στον γειτονικό χώρο, μπορεί να ληφθεί η θερμοκρασία του ως η θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα την ώρα υπολογισμού, ελαττωμένη κατά $2.8^\circ C$.

Φορτία Λόγω Ηλεκτροφωτισμού:

Η ακτινοβολούμενη θερμότητα από τα φωτά ενός χώρου, απορροφάται από τα δομικά στοιχεία του και αποδίδεται ως ψυκτικό φορτίο για αρκετό χρόνο, ακόμη και μετά τη διακοπή φωτισμού. Το ψυκτικό φορτίο λόγω ηλεκτροφωτισμού, υπολογίζεται ως εξής:

$$\dot{q}_{sens} = N \cdot (HG) \cdot (CLF) \quad [W] \quad (2-2\delta)$$

όπου:

$HG = P \cdot f_u \cdot f_s$ – το στιγμιαίο αισθητό θερμικό κέρδος, σε W.

P – η εγκατεστημένη ισχύς ηλεκτροφωτισμού, σε W.

f_u – συντελεστής χρήσης, που εκφράζει το ποσοστό εγκατεστημένων φωτιστικών που βρίσκονται σε λειτουργία.

f_s – ειδικός συντελεστής, με:

$f_s = 1$ – για λαμπτήρες πυρακτώσεως.

$f_s = 1.2$ – για δύο λαμπτήρες φθορισμού των 40 W στα 227 V.

$f_s = 2.2$ – για έναν απλό λαμπτήρα φθορισμού των 32 W στα 227 V.

N – ο αριθμός των λαμπτήρων στο χώρο.

CLF – ο παράγοντας ψυκτικού φορτίου, που εκλέγεται ανάλογα με τις ώρες που είναι αναμμένα τα φωτιστικά, την επίπλωση του χώρου και τον ρυθμό παροχής και επιστροφής αέρα.[28]

Ο παράγοντα ψυκτικού φορτίου (CLF) είναι ίσος με την μονάδα όταν τα φωτιστικά παραμένουν αναμμένα για μεγάλο χρονικό διάστημα (άνω των 16 ωρών) ή όταν το σύστημα κλιματισμού λειτουργεί μόνο όταν χρησιμοποιείται ο χώρος (διακοπτόμενο).

Φορτία Λόγω Ανθρώπων:

Η αισθητή θερμότητα που αποδίδεται στο χώρο από τους ανθρώπους υπολογίζεται ως εξής:

$$\dot{q}_{sens} = N \cdot (HG)_{sens} \cdot (CLF) \quad [W] \quad (2-2\epsilon)$$

όπου:

$(HG)_{sens}$ – το στιγμιαίο αισθητό θερμικό κέρδος, σε W, που εξαρτάται από την ανθρώπινη δραστηριότητα και την θερμοκρασία του χώρου.[28]

N – ο αριθμός των ατόμων στο χώρο.

CLF – ο παράγοντας ψυκτικού φορτίου, που εξαρτάται από τον χρόνο παραμονής των ατόμων στο χώρο και από τον χρόνο που έχει μεσολαβήσει μεταξύ της εισόδου τους στο χώρο και τις χρονικής στιγμής για την οποία γίνεται ο υπολογισμός.[28]

Εάν το σύστημα κλιματισμού δεν λειτουργεί συνεχώς (διακοπτόμενο), ή εάν υπάρχει μεγάλη συγκέντρωση ατόμων στο χώρο (π.χ. θέατρο), θα πρέπει ο παράγοντας ψυκτικού κέρδους (CLF) να λαμβάνεται ίσος με την μονάδα.

Φορτία Λόγω Διαφόρων Συσκευών Και Εξοπλισμού:

Ανάλογα με το είδος της κάθε συσκευής είναι δυνατό να συμβάλλει στα αισθητά ή/ και στα λανθάνοντα ψυκτικά φορτία. Τα αισθητά ψυκτικά φορτία από τις διάφορες συσκευές και τον εξοπλισμό υπολογίζονται ως εξής:

$$\dot{q}_{sens} = (HG)_{sens} \cdot (CLF) \quad [W] \quad (2-2\epsilon)$$

όπου:

$(HG)_{sens}$ – η θερμική ισχύς της κάθε συσκευής, σε W.[28]

CLF – ο παράγοντας ψυκτικού φορτίου, που εξαρτάται από την παρουσία ή όχι απορροφητήρα.[28]

Φορτία Λόγω Ηλεκτροκινητήρων:

Τα ψυκτικά φορτία που αποδίδονται στο χώρο από συσκευές που κινούνται με ηλεκτροκινητήρα υπολογίζονται ως εξής:

$$\dot{q}_{sens} = (HG) \cdot (CLF) \quad [W] \quad (2-2\varepsilon)$$

όπου:

(HG) – το συνολικό θερμικό κέρδος του χώρου, σε W, που προκύπτει ανάλογα με το αν ο ηλεκτροκινητήρας και η συσκευή βρίσκονται εντός ή εκτός του κλιματιζόμενου χώρου.

$$(HG) = P \cdot \frac{f}{\eta/1000} \text{ – για ηλεκτροκινητήρα και συσκευή εντός του χώρου.}$$

$$(HG) = P \cdot f \text{ – για ηλεκτροκινητήρα εκτός και κινούμενη συσκευή εντός του χώρου.}$$

$$(HG) = P \cdot \frac{100-\eta}{\eta} \cdot f \text{ – για ηλεκτροκινητήρα εντός και συσκευή εκτός του χώρου.}$$

P – η ονομαστική ισχύς του κινητήρα, σε W.

η – ο βαθμός απόδοσης του κινητήρα, σε %.

f – ο παράγοντας φορτίου που εκφράζει το κλάσμα της ονομαστικής ισχύος που αποδίδεται κάτω από τις συνθήκες υπολογισμού του ψυκτικού φορτίου.

CLF – ο παράγοντας ψυκτικού φορτίου, που εξαρτάται από την παρουσία ή όχι απορροφητήρα.[28]

2.2.2.2 Λανθάνοντα Φορτία

Τα συνολικά λανθάνοντα φορτία ενός χώρου αποδίδονται από το άθροισμα των ψυκτικών φορτίων λόγω αερισμού, ανθρώπων και διαφόρων συσκευών και εξοπλισμού.

Φορτία Λόγω Αερισμού:

Κατά τον κλιματισμό ενός χώρου θα υπάρχει προσαγωγή εξωτερικού αέρα, είτε άμεσα ή λόγω ανανέωσης, είτε λόγω διείσδυσης από χαραμάδες και ανοίγματα. Το λανθάνον φορτίο λόγω αερισμού είναι:

$$\dot{q}_{lat} = \dot{m}_{d.a.} \cdot \bar{h}_g \cdot (W_o - W_i) \quad [W] \quad (2-2\gamma)$$

όπου:

$$\dot{m}_{d.a.} = \frac{\rho \cdot \dot{V}}{3600} \text{ – η παροχή ξηρού αέρα σε kg/sec.}$$

\dot{V} – η παροχή ξηρού αέρα σε m³/hr.

ρ – η πυκνότητα του αέρα σε kg/m³. [4]

$$\bar{h}_g = Cp_{,w} + \frac{T_i + T_o}{2} + h_{g,0}$$

$Cp_{,w}$ – η ειδική θερμοχωρητικότητα των υδρατμών αντίστοιχα ($Cp_{,w} = 1.852 \text{ kJ / kgK}$).

W_i, W_o – οι λόγοι υγρασίας εσωτερικού και εξωτερικού αέρα αντίστοιχα, σε $kg_w/kg_{d.a.}$. [7]

T_i, T_o – η θερμοκρασία του εσωτερικού και η μέση θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα αντίστοιχα, σε Κ. [1]

$h_{g,0}$ – η ενθαλπία αναφοράς κορεσμένου υδρατμού στους 0°C ($h_{g,0} = 2501.6\text{kJ} / \text{kg}_w$).

Όπως επισημάνθηκε παραπάνω, εάν η ανανέωση του αέρα γίνεται από το σύστημα κλιματισμού τότε το ψυκτικό λανθάνον φορτίο του νωπού αέρα (όσο και το αισθητό) θα πρέπει να ενσωματωθεί στον υπολογισμό του ψυκτικού στοιχείου της κεντρικής.

Φορτία Λόγω Ανθρώπων:

Η λανθάνουσα θερμότητα που αποδίδεται στο χώρο από τους ανθρώπους υπολογίζεται ως εξής:

$$\dot{q}_{lat} = N \cdot (HG)_{lat} \quad [\text{W}] \quad (2-2\epsilon)$$

όπου:

$(HG)_{lat}$ – το στιγμιαίο λανθάνον θερμικό κέρδος, σε W, που εξαρτάται από την ανθρώπινη δραστηριότητα και την θερμοκρασία του χώρου. [28]

N – ο αριθμός των ατόμων στο χώρο.

Και στην περίπτωση υπολογισμού των λανθανόντων φορτίων, εάν το σύστημα κλιματισμού δεν λειτουργεί συνεχώς (διακοπτόμενο), ή εάν υπάρχει μεγάλη συγκέντρωση ατόμων στο χώρο (π.χ. θέατρο), θα πρέπει να λαμβάνεται $CLF=1$.

Φορτία Λόγω Διαφόρων Συσκευών Και Εξοπλισμού:

Όπως αναφέρθηκε κάθε συσκευή είναι δυνατό να συμβάλλει στα αισθητά ή/ και στα λανθάνοντα ψυκτικά φορτία. Τα λανθάνοντα ψυκτικά φορτία υπολογίζονται ως εξής:

$$\dot{q}_{lat} = (HG)_{lat} \quad [\text{W}] \quad (2-2\sigma\tau)$$

όπου:

$(HG)_{sens}$ – η θερμική ισχύς της κάθε συσκευής, σε W. [28]

Πρέπει να σημειωθεί ότι στην περίπτωση που υπάρχει απορροφητήρας τα λανθάνοντα θερμικά κέρδη και τα θερμικά κέρδη από συναγωγή αμελούνται εντελώς, και το συνολικό θερμικό κέρδος είναι ίσο με το αισθητό.

Διαστασιολόγηση Συστήματος Κλιματισμού Αίθουσας Διδασκαλίας

3.1 Περιγραφή Του Υπό Μελέτη Χώρου

Στόχος της παρούσας μελέτης είναι η διαστασιολόγηση ενός συστήματος κλιματισμού για συγκεκριμένο χώρο, που θα καλύπτει τα ψυκτικά ή θερμικά φορτία του και θα ελέγχει και διατηρεί καλή ποιότητα στον εσωτερικό αέρα, τόσο για τους χειμερινούς όσο και για τους θερινούς μήνες..

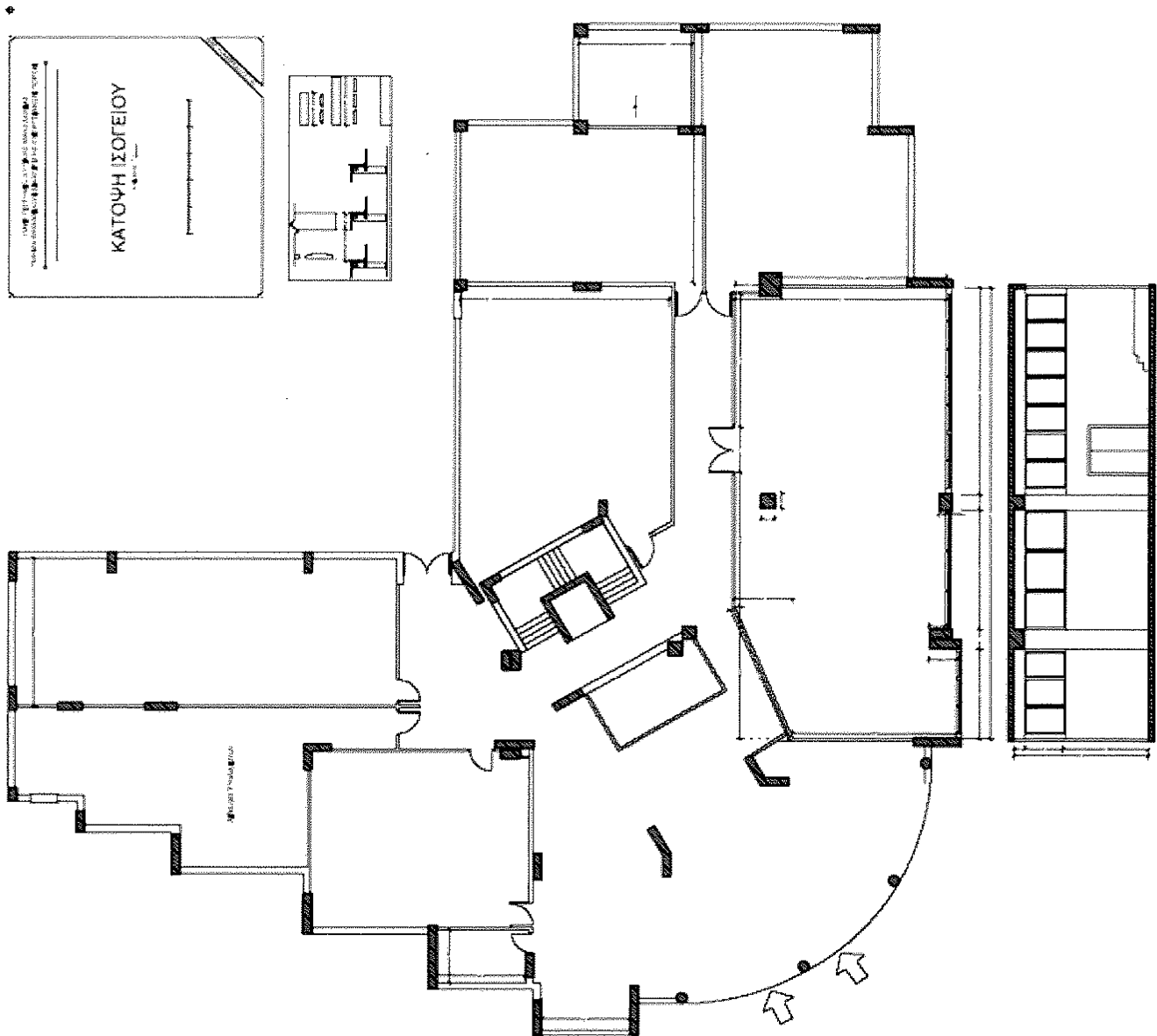
Ο χώρος που μελετήθηκε βρίσκεται στην Κοζάνη, είναι νοτιοανατολικού προσανατολισμού και ανήκει στο ισόγειο του κτιρίου του Πανεπιστήμιου Δυτικής Μακεδονίας (Π.Δ.Μ.). Έχει ορθογώνια διάταξη και αποτελεί αίθουσα διδασκαλίας 125 m². Η μελέτη πραγματοποιήθηκε με χρήση της μεθόδου CLTD/CLF της ASHRAE, υπολογίζοντας τα αισθητά και τα λανθάνοντα φορτία στη διάρκεια μιας ημέρας, τόσο για την θερινή όσο και για την χειμερινή περίοδο. Οι μήνες που επιλέχθηκαν ήταν ο Ιανουάριος για την χειμερινή περίοδο, και ο Ιούνιος για την θερινή. Η επιλογή αυτή έγινε εξαιτίας του γεγονότος ότι αυτοί οι μήνες παρουσιάζουν συχνότερα τις πιο ακραίες κλιματολογικές συνθήκες που σημειώνονται κατά την διάρκεια λειτουργίας του ιδρύματος.

Τα κατασκευαστικά στοιχεία της αίθουσας προσεγγίζονται με τους αντίστοιχους τύπους που δίνονται από την ASHRAE. Ο χώρος αποτελείται από έναν εξωτερικό ανατολικό τοίχο τύπου B κατά ASHRAE (101.6 mm εξωτερική πλίνθος, 50.8 mm μόνωση, 101.6 mm πλίνθος και 0.630 W/m²·°C θερμική διαπερατότητα [28]). Έχει τέσσερα εξωτερικά τοιχεία τύπου A (101.6 mm εξωτερική πλίνθος, κενό αέρα ή μόνωση, 304.8 mm σκυρόδεμα και 0.625 W/m²·°C θερμική διαπερατότητα [28]), και ένα εξωτερικό υποστύλωμα τύπου B (101.6 mm εξωτερική πλίνθος, 50.8 mm μόνωση, 203.2 mm σκυρόδεμα και 0.607 W/m²·°C θερμική διαπερατότητα [28]). Το εσωτερικό υποστύλωμα του χώρου θεωρήθηκε ότι διατηρείται στην ίδια θερμοκρασία με τον εσωτερικό αέρα. Το δάπεδο συγγενεύει με μη-αεριζόμενο υπόγειο ενώ οι υπόλοιποι γειτονικοί χώροι και όροφοι έχουν τις ίδιες συνθήκες σχεδιασμού και επομένως δεν επιδρούν στα ψυκτικά φορτία. Κατά μήκος του ανατολικού τοίχου βρίσκονται δεκατρία παράθυρα, μονωτικά, συνολικής επιφάνειας 22 m², τα οποία είναι εξοπλισμένα με εσωτερικά ρολά σκίασης λευκού χρώματος.

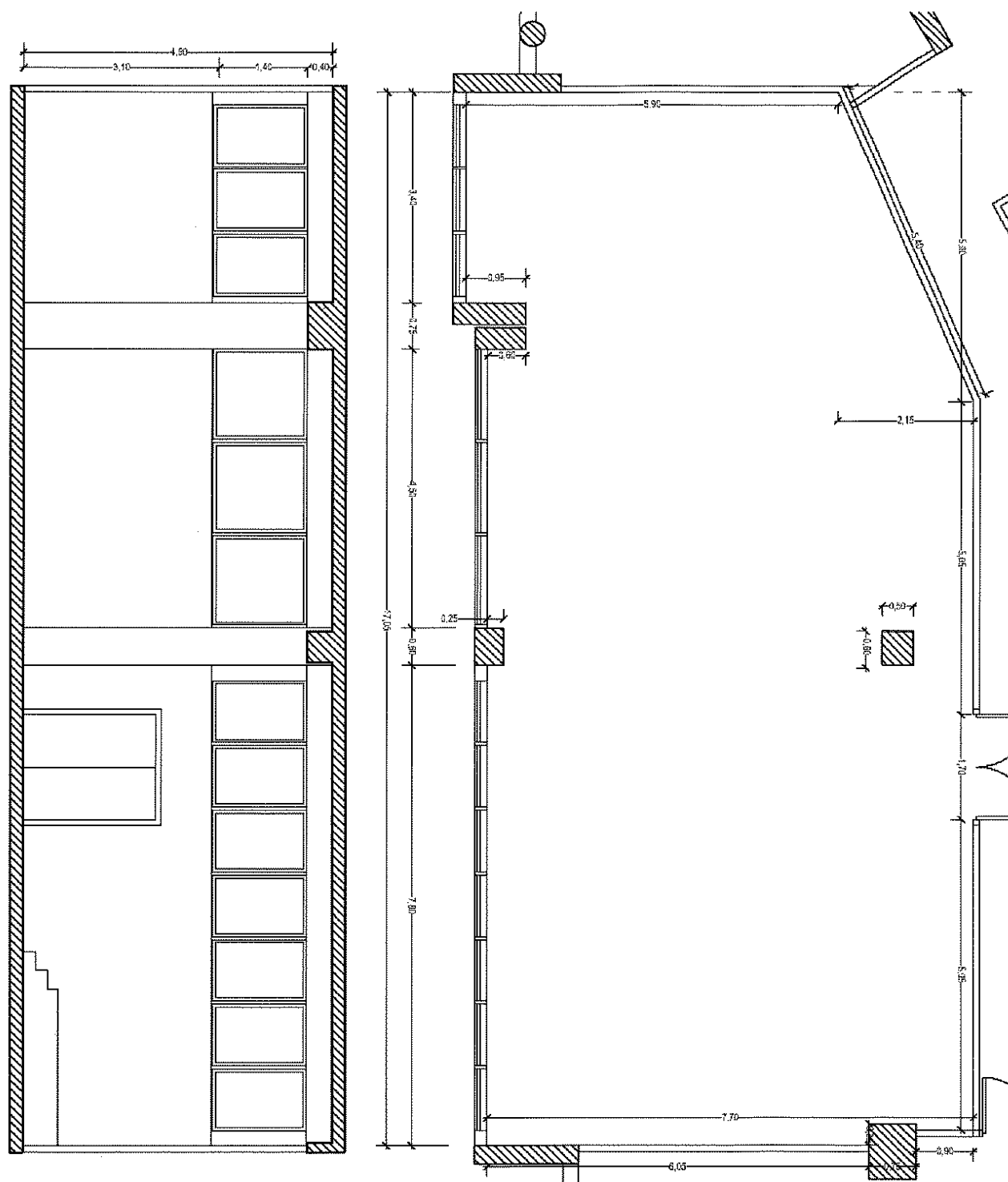
Τόσο η πόρτα όσο και τα παράθυρα θεωρήθηκε ότι παραμένουν κλειστά και με μηδενικές απώλειες αερισμού κατά την διάρκεια της μελέτης, ενώ το φορτίο αερισμού που οφείλεται διείσδυση δεν λήφθηκε υπόψη. Στην αίθουσα υπάρχουν εγκατεστημένοι δεκαοχτώ διπλοί λαμπτήρες φθορισμού, των 18 W/λαμπτήρα, και εξήντα άτομα που πραγματοποιούν ελαφρά καθιστική εργασία. Οι ώρες λειτουργίας της αίθουσας είναι από τις 8 π.μ. έως τις 8 μ.μ.

3.1.1 Βασικά Στοιχεία Και Διάταξη Χώρου

Στα παρακάτω σχήματα 3-1 και 3-2 φαίνεται αντίστοιχα, η κάτοψη του ισογείου του κτιρίου του Π.Δ.Μ. και η κάτοψη και η τομή της αίθουσας διδασκαλίας που μελετήθηκε.



Σχήμα 3-1 Κάτοψη ισογείου Π.Δ.Μ.



Σχήμα 3-2 Κάτοψη και τομή αίθουσας διδασκαλίας Π.Δ.Μ.

Τα βασικά δομικά και εσωτερικά στοιχεία του χώρου παρουσιάζονται στους πίνακες 3-1 και 3-2 αντίστοιχα.

Δομικά Στοιχεία Χώρου									
Είδος Επιφάνειας	Προσανατολισμός	Τύπος Κατασκευής	Συντελεστής Θερμοπερατότητας	Πάχος	Μήκος	Ύψος ή Πλάτος	Επιφάνεια	Αφαιρούμενη Επιφάνεια	Τελική Επιφάνεια
			W/m ² K	m	m	m	m ²	m ²	m ²
Τοίχος	A	Τύπου Β	0.630	0.100	17.05	4.9	83.55	6.62	76.93
Τοιχίο	A	Τύπου Α	0.625	0.375	0.95	4.9	1.84	---	---
Τοιχίο	A	Τύπου Α	0.625	0.375	0.60	4.9	1.84	---	---
Τοιχίο	B	Τύπου Α	0.625	0.375	1.70	4.9	1.84	---	---
Τοιχίο	N	Τύπου Α	0.625	0.375	1.70	4.9	1.84	---	---
Υποστύλωμα	A	Τύπου Β	0.607	0.25	0.60	4.9	1.23	---	---
Υποστύλωμα	B	Τύπου Β	0.607	0.85	0.75	4.9	4.17	---	---
Υποστύλωμα	Δ (Εσωτ.)	Τύπου Β	0.607	0.50	0.60	4.9	2.45	---	---
Πόρτα	Δ	---	---	---	1.70	2.3	3.91	---	---
Παράθυρα	A	---	2.500	---	17.05	1.4	23.87	1.89	21.98
Δάπεδο	---	Τύπου C	2.782	---	17.05	8.1	137.25	11.94	125.31

Πίνακας 3-1 Δομικά στοιχεία χώρου.

Εσωτερικά Στοιχεία Χώρου							
Είδος Στοιχείου	Τύπος	Αριθμός	Ώρες Λειτουργίας ή Παραμονής	Εγκατεστημένη Ισχύς ανά Λαμπτήρα	Συνολικό Θερμικό Κέρδος Ανθρώπων	Παράγοντας Ψυκτικού Φορτίου	
				W	W		
Φωτισμός	Φθορισμού, Διπλοί	18 διπλοί	8:00 πμ έως 8:00 μμ	18	---	1	
Άνθρωποι	---	60	8:00 πμ έως 8:00 μμ	---	150	1	

Πίνακας 3-2 Εσωτερικά στοιχεία χώρου.

3.2 Απαιτήσεις Αερισμού

Για την διαστασιολόγηση του συστήματος κλιματισμού και αερισμού της συγκεκριμένης αίθουσας διδασκαλίας έπρεπε αρχικά να επιτευχθεί η διατήρηση καλής ποιότητας αέρα στο εσωτερικό της. Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τον έλεγχο και την διατήρηση καλής ποιότητας αέρα στον χώρο, ήταν η μέθοδος χρήσης εξωτερικού αέρα. Για το λόγο αυτό

ελέγχθηκαν αρχικά οι κλιματολογικές συνθήκες και κατόπιν προσδιορίστηκαν οι κατάλληλες συνθήκες σχεδιασμού του χώρου για τους μήνες που επιλέχθηκαν.

3.2.1 Κλιματολογικές Συνθήκες Και Συνθήκες Σχεδιασμού

3.2.1.1 Κλιματολογικές Συνθήκες

Τα κλιματολογικά δεδομένα στη διάρκεια ενός έτους για την Κοζάνη λήφθηκαν από το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε) και από την Διεύθυνση Κλιματολογίας της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (Ε.Μ.Υ.), για την περίοδο 1955-1997. Τα δεδομένα αυτά παρουσιάζονται στον πίνακα 3-3 και αποτελούν τις μέσες τιμές κάθε μεταβλητής για την μέση ημέρα του εκάστοτε μήνα.

Πόλη:	Κοζάνη
Γεωγραφικό μήκος/πλάτος:	21°5' / 40°17'
Υψος σταθμού:	625

Μήνας	Ημέρα η	Μέση	Θερμοκρασία	Απόλυτη	Απόλυτη	Βαρομετρική Πίεση	Σχετική υγρασία	Βροχόπτωση
		θερμοκρασία αέρα °C	εδάφους σε βάθος 0.25 μ °C	ελάχιστη θερμοκρασία °C	μέγιστη θερμοκρασία °C			
Ιανουάριος	17	2.3	3.62	-16.8	19.8	1020.4	74.2	36.2
Φεβρουάριος	47	3.7	4.57	-14	22.1	1018.5	70.1	30.2
Μάρτιος	75	6.9	8.04	-11	26	1016.7	67.5	39.2
Απρίλιος	105	11.6	13.58	-5	30.2	1013.3	63	43.3
Μάιος	135	16.8	17.67	0.2	34	1013.9	62	56.7
Ιούνιος	162	21.5	23.05	3.4	39.4	1013.1	54.8	37.1
Ιούλιος	198	24.1	25.81	5	42.2	1012.7	49.8	38.1
Αύγουστος	228	23.6	26.56	7	39	1013.2	50.4	30
Σεπτέμβριος	258	19.3	23.15	1	34.8	1016.5	57	31.7
Οκτώβριος	288	13.5	16.64	-6	32	1019.3	66.7	52.8
Νοέμβριος	318	8	9.25	-8	26	1019.6	74.7	60.3
Δεκέμβριος	344	3.9	4.68	-13	20.8	1019.4	75.7	52
Σύνολο								

Πίνακας 3-3 Κλιματολογικά δεδομένα Κοζάνης.[1],[2]

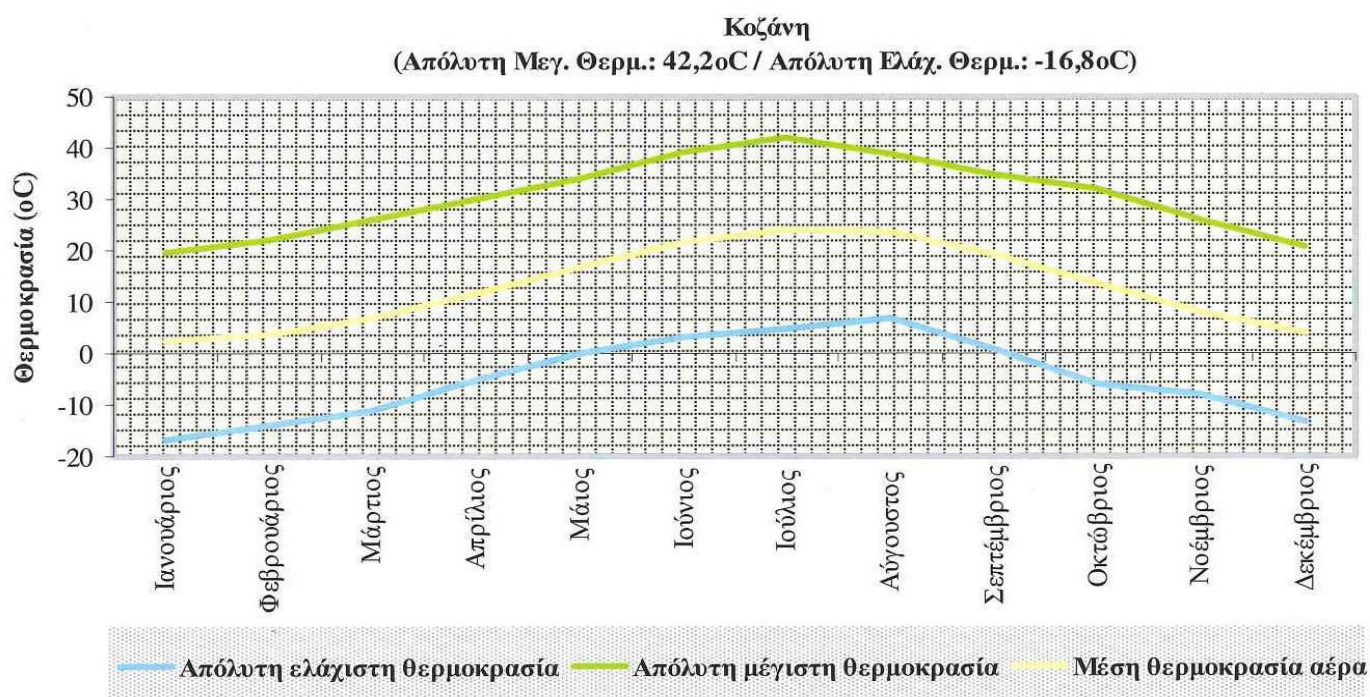
Τα σχήματα 3-3, 3-4 και 3-5 δείχνουν τις μεταβολές της θερμοκρασίας, της σχετικής υγρασίας και της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας για την Κοζάνη, στην διάρκεια ενός έτους. Από τα διαγράμματα αυτά παρατηρούμε ότι η μέση θερμοκρασία αέρα για τον μήνα Ιανουάριο (2.3°C) καθώς και η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας (52.5 W/m²) είναι από τις χαμηλότερες του έτους, ενώ η σχετική υγρασία έχει την μέγιστη τιμή που καταγράφηκε (74.2%). Αντίθετα ο Ιούνιος παρουσιάζει μία από τις υψηλότερες μέσες θερμοκρασίες αέρα (21.5 °C) και εντάσεις ηλιακής ακτινοβολίας (163.3 W/m²), ενώ η σχετική υγρασία έχει μία από τις χαμηλότερες τιμές που σημειώθηκαν (54.8%).

Μήνας	Ημέρα	Ημέρες με βροχή	Ημέρες με ομίχλη	Ημέρες με καταγίδα	Ημέρες με χαλάζι	Ημέρες με χιόνι	Ημέρες με παγετό	Διεύθυνση ανέμου	
	η								
Ιανουάριος	17	6.2	3.8	0.1	0	5.3	2.4		B
Φεβρουάριος	47	6.5	2.4	0.1	0	4.2	1.8		B
Μάρτιος	75	8.5	3	0.4	0	3.3	1		B
Απρίλιος	105	10	1	1.4	0	0.4	1		B
Μάιος	135	10.9	0.7	5.6	0.1	0	0		B
Ιούνιος	162	7.2	0.1	6.2	0.2	0	0		B
Ιούλιος	198	5.3	0	5.4	0	0	0		B
Αύγουστος	228	5	0.2	4.3	0.1	0	0		B
Σεπτέμβριος	258	6.1	0.7	2.5	0	0	0		B
Οκτώβριος	288	7.8	1.5	1.4	0	0.2	0.2		B
Νοέμβριος	318	9.7	4.3	0.9	0	1	1.3		B
Δεκέμβριος	344	8	4.7	0.4	0	4.3	2.1		B
Σύνολο									

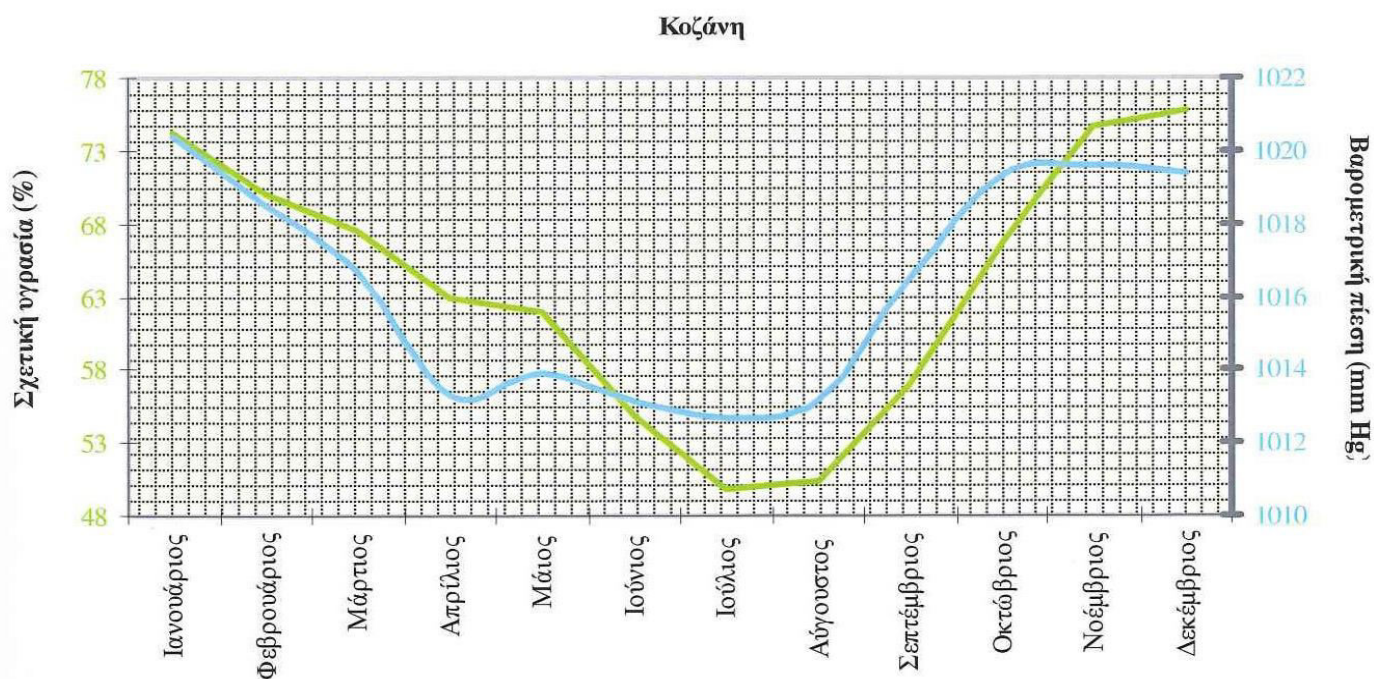
Μήνας	Ημέρα	Ταχύτητα ανέμου m/sec	Μέση νέφωση δ	Ώρες ηλιοφάνειας h	Ολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επιπ. επιπ.	Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επιπ. επιπ.
	η					
Ιανουάριος	17	2.56	4.7	108.9	52.5	27.9
Φεβρουάριος	47	2.18	4.7	93.72	62.8	35.2
Μάρτιος	75	2.18	4.7	126.03	100.2	54.4
Απρίλιος	105	1.82	4.5	139.91	122.3	68.3
Μάιος	135	1.81	4.2	149.5	146.1	83.1
Ιούνιος	162	2.09	3.3	210.56	163.3	80.2
Ιούλιος	198	1.9	2.5	240.27	170.4	80.7
Αύγουστος	228	1.56	2.3	261.4	165.4	64.9
Σεπτέμβριος	258	1.49	2.8	202.73	125.8	51.8
Οκτώβριος	288	4.15	3.8	128.71	82.9	43.6
Νοέμβριος	318	2.22	4.5	99.82	54.4	30.3
Δεκέμβριος	344	3.31	4.7	113.65	47.7	24.2
Σύνολο					1293.8	644.6

Πίνακας 3-3 Κλιματολογικά δεδομένα Κοζάνης (Συνέχεια).[1],[2]

Γνωρίζοντας ότι η περίοδος λειτουργίας του Π.Δ.Μ είναι από τον Σεπτέμβριο μέχρι τον Ιούνιο, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η διαστασιολόγηση κλιματισμού για την χειμερινή και την θερινή περίοδο, θα πρέπει να πραγματοποιηθεί για τους μήνες Ιανουάριο και Ιούνιο αντίστοιχα, ώστε το σύστημα να μπορεί να αντεπεξέλθει στις χειρίστες περιβαλλοντικές συνθήκες. Συγκεκριμένα η μελέτη θα πραγματοποιηθεί για την διάρκεια μιας ημέρας, της μέσης ημέρας του κάθε μήνα.

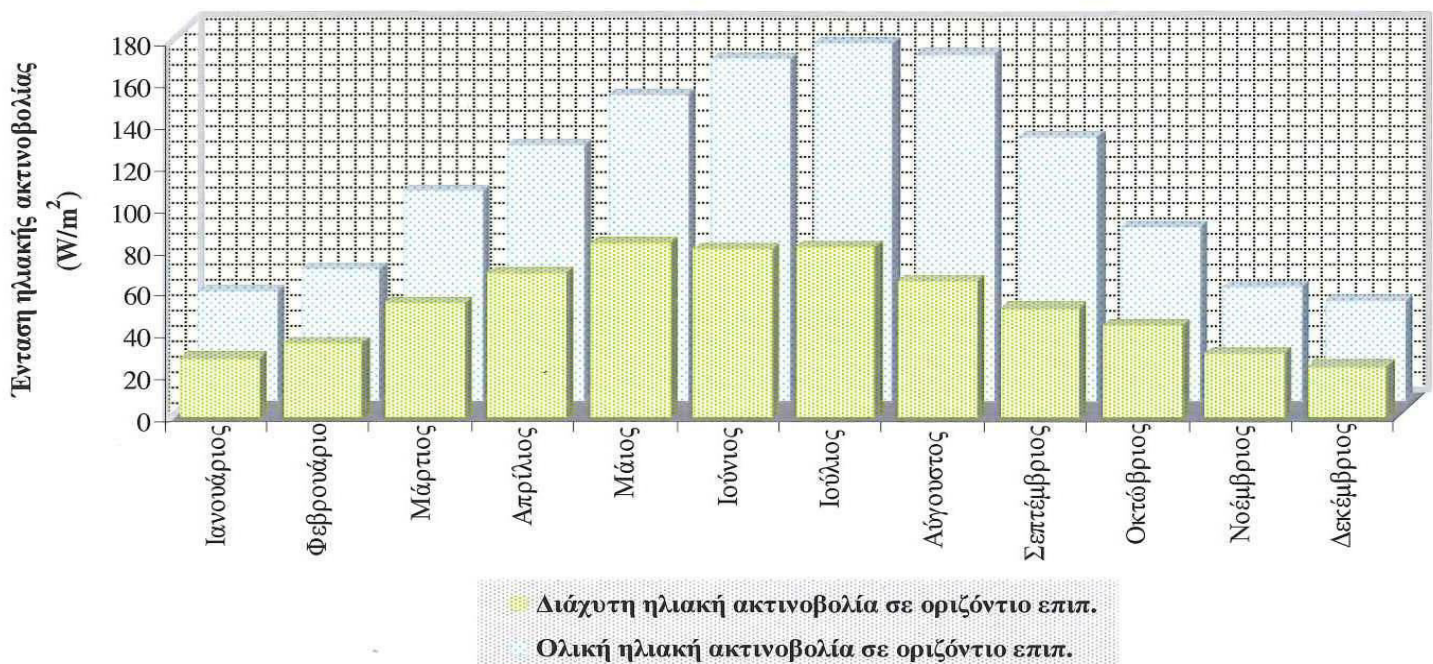


Σχήμα 3-3 Διάγραμμα μέσης θερμοκρασίας αέρα κατά την διάρκεια του έτους.[1],[2]



Σχήμα 3-4 Διάγραμμα σχετικής υγρασίας κατά την διάρκεια του έτους.[1],[2]

Κοζάνη



Σχήμα 3-5 Διάγραμμα έντασης ηλιακής ακτινοβολίας κατά την διάρκεια του έτους.[1],[2]

Επομένως οι χρησιμοποιούμενες περιβαλλοντολογικές συνθήκες για τον **Ιανουάριο** είναι για μέση ελάχιστη θερμοκρασία αέρα -1.2°C και 74.2% σχετική υγρασία, και για τον **Ιούνιο** για μέση θερμοκρασία αέρα 21.5°C και 54.8% σχετική υγρασία, όπως απαιτεί και η μέθοδος CLTD/CLF της ASHRAE. Για τον προσδιορισμό της μέσης ωριαίας θερμοκρασίας του αέρα κατά την διάρκεια της ημέρας χρησιμοποιήθηκαν η μέση ελάχιστη και η μέση μέγιστη θερμοκρασία του αέρα για τους μήνες Ιανουάριο και Ιούνιο ([2]), καθώς και το ποσοστό ημερήσιας θερμοκρασιακής διακύμανσης ([29]). Επομένως βάση της παρακάτω εξίσωσης 3-1, προέκυψαν οι μέσες ωριαίες θερμοκρασίες αέρα για τον κάθε μήνα, οι οποίες δίνονται στον πίνακα 3-4.

$$T_o = T_{o,\max} - \left(\frac{DR\%}{100} \right) \cdot (T_{o,\max} - T_{o,\min}) \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (3-2)$$

όπου:

T_o – η μέση ωριαία θερμοκρασία αέρα, σε $^{\circ}\text{C}$.

$T_{o,\max}$ – η μέση μέγιστη θερμοκρασία αέρα, σε $^{\circ}\text{C}$.

$T_{o,\min}$ – η μέση ελάχιστη θερμοκρασία αέρα, σε $^{\circ}\text{C}$.

$DR\%$ – το ποσοστό ημερήσιας θερμοκρασιακής διακύμανσης.

Τέλος απαραίτητα δεδομένα για την μελέτη του συστήματος κλιματισμού είναι οι ιδιότητες του αέρα, οι οποίες μεταβάλλονται ανάλογα με την θερμοκρασία του. Στον πίνακα 3-5 δίνονται κάποιες συνήθειες ιδιότητες του αέρα.

Ηλιακή Ωρα	Ποσοστό Ημερήσιας Θερμικής Διακύμανσης	Μέση Ελάχιστη Θερμοκρασία Αέρα		Μέση Μέγιστη Θερμοκρασία Αέρα		Μέση Ωριαία Θερμοκρασία Αέρα	
		°C		°C		°C	
		Ιανουάριος	Ιούνιος	Ιανουάριος	Ιούνιος	Ιανουάριος	Ιούνιος
Ωρα 1η	87	-1.2	13.2	6.1	26.5	-0.25	14.929
Ωρα 2η	92	-1.2	13.2	6.1	26.5	-0.62	14.264
Ωρα 3η	96	-1.2	13.2	6.1	26.5	-0.91	13.732
Ωρα 4η	99	-1.2	13.2	6.1	26.5	-1.13	13.333
Ωρα 5η	100	-1.2	13.2	6.1	26.5	-1.20	13.2
Ωρα 6η	98	-1.2	13.2	6.1	26.5	-1.05	13.466
Ωρα 7η	93	-1.2	13.2	6.1	26.5	-0.69	14.131
Ωρα 8η	84	-1.2	13.2	6.1	26.5	-0.03	15.328
Ωρα 9η	71	-1.2	13.2	6.1	26.5	0.92	17.057
Ωρα 10η	56	-1.2	13.2	6.1	26.5	2.01	19.052
Ωρα 11η	39	-1.2	13.2	6.1	26.5	3.25	21.313
Ωρα 12η	23	-1.2	13.2	6.1	26.5	4.42	23.441
Ωρα 13η	11	-1.2	13.2	6.1	26.5	5.30	25.037
Ωρα 14η	3	-1.2	13.2	6.1	26.5	5.88	26.101
Ωρα 15η	0	-1.2	13.2	6.1	26.5	6.10	26.5
Ωρα 16η	3	-1.2	13.2	6.1	26.5	5.88	26.101
Ωρα 17η	10	-1.2	13.2	6.1	26.5	5.37	25.17
Ωρα 18η	21	-1.2	13.2	6.1	26.5	4.57	23.707
Ωρα 19η	34	-1.2	13.2	6.1	26.5	3.62	21.978
Ωρα 20η	47	-1.2	13.2	6.1	26.5	2.67	20.249
Ωρα 21η	58	-1.2	13.2	6.1	26.5	1.87	18.786
Ωρα 22η	68	-1.2	13.2	6.1	26.5	1.14	17.456
Ωρα 23η	76	-1.2	13.2	6.1	26.5	0.55	16.392
Ωρα 24η	82	-1.2	13.2	6.1	26.5	0.11	15.594

Πίνακας 3-4 Μέσες ωριαίες θερμοκρασίες αέρα για κάθε μήνα του έτους.[2],[29]

Θερμοκρασία		Πυκνότητα	Πίεση	Ειδική Θερμοχωρη- τικότητα	Θερμική Αγωγιμότητα	Κινηματικό Ιξώδες	Δυναμικό Ιξώδες	Συντελεστής Διαστολής	Αριθμός Prandtl
T (°C)	T (K)	ρ (kg/m ³)	P (atm)	Cp (kJ/kgK)	l (W/mK)	$\nu \times 10^{-6}$ (m ² /s)	$\mu \times 10^{-6}$ (Pa.s)	$b \times 10^{-3}$ (1/K)	P _r
-150	123	2.793	0.973	1.026	0.0116	3.08	8.602	8.21	0.760
-100	173	1.980	0.970	1.009	0.0160	5.95	11.781	5.82	0.740
-50	223	1.534	0.969	1.005	0.0204	9.55	14.650	4.51	0.725
-1.2	271.8	1.299	0.999	1.005	0.0242	13.21	17.136	3.69	0.715
0	273	1.293	0.999	1.005	0.0243	13.30	17.197	3.67	0.715
20	293	1.205	1.000	1.005	0.0257	15.11	18.208	3.43	0.713
21.5	294.5	1.199	1.000	1.005	0.0258	15.25	18.276	3.41	0.713
30	303	1.166	1.000	1.005	0.0264	16.04	18.666	3.32	0.712
40	313	1.127	0.999	1.005	0.0271	16.97	19.125	3.20	0.711
60	333	1.067	1.006	1.009	0.0285	18.90	20.166	3.00	0.709
80	353	1.000	1.000	1.009	0.0299	20.94	20.940	2.83	0.708
100	373	0.946	0.999	1.009	0.0314	23.06	21.815	2.68	0.703
120	393	0.898	0.999	1.013	0.0328	25.23	22.657	2.55	0.700
140	413	0.854	0.999	1.013	0.0343	27.55	23.528	2.43	0.695
160	433	0.815	0.999	1.017	0.0358	29.85	24.328	2.32	0.690
180	453	0.779	0.999	1.022	0.0372	32.29	25.154	2.21	0.690
200	473	0.746	0.999	1.026	0.0386	34.63	25.834	2.11	0.685
250	523	0.675	1.000	1.034	0.0421	41.17	27.790	1.91	0.680
300	573	0.616	0.999	1.047	0.0454	47.85	29.476	1.75	0.680
350	623	0.566	0.998	1.055	0.0458	55.05	31.158	1.61	0.680
400	673	0.524	0.999	1.068	0.0515	62.53	32.766	1.49	0.680

Πίνακας 3-5 Ιδιότητες αέρα για διάφορες θερμοκρασίες.[4]

3.2.1.2 Συνθήκες Σχεδιασμού Της Αίθουσας

Ο προσδιορισμός των συνθηκών σχεδιασμού του χώρου, δηλαδή της θερμοκρασίας του αέρα και της σχετικής υγρασίας, τόσο για τον Ιανουάριο όσο και για τον Ιούνιο, έγινε βάση τριών προϋποθέσεων.

Πρώτον, οι επιλεγμένες συνθήκες πρέπει να βρίσκονται εντός της περιοχής ανεκτού θερμικού περιβάλλοντος, όπως έχει οριστεί από το ASHRAE Standard 55, και η οποία φαίνεται στο σχήμα 2-3 της εργασίας.

Δεύτερον, πρέπει να ληφθεί υπόψη το είδος του χώρου που μελετάται. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, εφόσον πρόκειται για αίθουσα διδασκαλίας μεγάλης χωρητικότητας (αμφιθέατρο), θα πρέπει να επιλεγεί όσο το δυνατόν χαμηλότερη λειτουργική θερμοκρασία και σχετική υγρασία.

Τρίτον, θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στις υπάρχουσες περιβαλλοντικές συνθήκες. Εάν απαιτείται αφύγρανση του εξωτερικού αέρα πριν την εισαγωγή του στο χώρο, θα πρέπει να ελεγχθεί με χρήση ψυχομετρικού διαγράμματος εάν η διεργασία αυτή είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω και γνωρίζοντας ότι για την περίπτωση της θέρμανσης, η διαφορά μεταξύ θερμοκρασίας δωματίου και παρεχόμενου αέρα πρέπει να είναι μικρότερη από 38°C και ότι μικρά εμπορικά μηχανήματα λειτουργούν με θερμοκρασιακή ανύψωση 16 έως 27°C, προέκυψαν κατόπιν δοκιμών οι εξής συνθήκες σχεδιασμού για την αίθουσα:

➤ Ιανουάριος:

$T_i = 20^\circ C$ – θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα.

$RH_i = 45\%$ – σχετική υγρασία χώρου.

$W_i = 6.55 gr_w / kg_{d.a.}$ – λόγος υγρασίας του εσωτερικού αέρα.[7]

με:

$T_s = 20^\circ C$ – θερμοκρασία του αέρα προσαγωγής στον χώρο.

Αντίστοιχα, για τον Ιούνιο, γνωρίζοντας από σχετικές μελέτες ότι η θερμοκρασία του παρεχόμενου αέρα στο χώρο κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, πρέπει να είναι μεταξύ 10 και 16 °C, προέκυψε με δοκιμές, ότι οι συνθήκες σχεδιασμού για την αίθουσα θα είναι:

➤ Ιούνιος:

$T_i = 23^\circ C$ – θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα.

$RH_i = 49.5\%$ – σχετική υγρασία χώρου.

$W_i = 8.69 gr_w / kg_{d.a.}$ – λόγος υγρασίας του εσωτερικού αέρα.[7]

με:

$T_s = 11.66^\circ C$ – θερμοκρασία του αέρα προσαγωγής στον χώρο.

Περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με τα ψυχομετρικά διαγράμματα και τον τρόπο που πραγματοποιήθηκαν οι δοκιμές, παρουσιάζονται στην υποενότητα που αφορά τις ψυχομετρικές διεργασίες (3.3.3).

3.2.2 Υπολογισμός Απαιτούμενης Παροχής Αέρα Για Επαρκή Ποιότητα Αέρα

Σύμφωνα με την μεθοδολογία υπολογισμού απαιτήσεων αερισμού που αναπτύχθηκε στο δεύτερο κεφάλαιο, για να προσδιοριστεί η απαιτούμενη παροχή νωπού αέρα (\dot{V}) και η επιτρεπόμενη συγκέντρωση CO_2 (C_i) για την αίθουσα που μελετάται, είναι απαραίτητη η γνώση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα στον εξωτερικό αέρα (C_o). Για την Κοζάνη θεωρήθηκε ότι η συγκέντρωση του CO_2 στον εξωτερικό αέρα είναι περίπου 400 ppm, το οποίο είναι αποδεκτό εφόσον βρίσκεται εντός των ορίων που δόθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο. Γνωρίζοντας ότι η διαφορά της συγκέντρωσης εξωτερικού και εσωτερικού CO_2 δεν πρέπει να ξεπερνάει τα 700 ppm, προκύπτει από την εξίσωση (2-1α) η συγκέντρωση σε CO_2 που πρέπει να έχει ο αέρας της αίθουσας.

$$C_i = 700 + 400 \Rightarrow C_i = 1100 \text{ ppm}$$

Από το σχήμα 2-1, για επίπεδο δραστηριότητας 1.2 met (καθιστική δραστηριότητα) αντιστοιχεί περίπου 0.31 l/min παραγωγή CO_2 ανά άτομο. Από την σχέση (2-1β) προκύπτει ότι η αναγκαία ογκομετρική παροχή εξωτερικού αέρα στην αίθουσα ώστε να διαλυθεί το εκπεμπόμενο CO_2 , θα πρέπει να είναι:

$$\dot{V} = \frac{\dot{N}}{C_i - C_o} = \frac{(0.31 \text{ lt} / \text{min}) \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ sec}}}{(1100 - 400) \cdot 10^{-6}} \Rightarrow \dot{V} \cong 7.5 \text{ lt} / \text{sec} / \text{άτομο}$$

Η τιμή αυτή επαληθεύεται και από τον πίνακα 1-3 ([27]) για την εφαρμογή σε αμφιθέατρα, όπου οι ογκομετρικές παροχές έχουν επιλεγεί ώστε να ελεγχθούν τα διάφορα ανθρώπινα βιοαπόβλητα καθώς και άλλα μολυσματικά στοιχεία, με ένα επαρκές περιθώριο ασφαλείας.

Οπότε τελικά η ποσότητα ογκομετρικής παροχής εξωτερικού αέρα που επιλέχθηκε θα είναι:

$$\dot{V} = 8 \text{ lt} / \text{sec} / \text{άτομο} ,$$

ίση με αυτή που δίνεται στον πίνακα 1-3 και λίγο μεγαλύτερη από αυτή που υπολογίστηκε.

Έχοντας θεωρήσει ότι στην αίθουσα υπάρχουν εξήντα άτομα, και γνωρίζοντας από τις κλιματολογικές συνθήκες ότι η μέση θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα, για τον Ιανουάριο και τον Ιούνιο, είναι -1.2 και 21.5 °C, προκύπτει ότι οι συνολικές απαιτήσεις αερισμού της αίθουσας είναι:

➤ Ιανουάριος:

$$\dot{m}_I = \dot{V} \cdot \rho_{-1.2^\circ \text{C}} = \left(\frac{8 \text{ lt}}{\text{sec} \cdot \text{άτομο}} \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{lt}} \right) \cdot (60 \text{ άτομο}) \cdot \left(1.299 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \Rightarrow \dot{m}_I = 0.624 \text{ kg} / \text{sec} = 2244.7 \text{ kg} / \text{hr}$$

► Ιούνιος:

$$\dot{m}_j = \dot{V} \cdot \rho_{21.5^\circ C} = \left(\frac{8 \text{ lt}}{\text{sec} \cdot \text{άτομο}} \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{lt}} \right) \cdot (60 \text{ άτομα}) \cdot \left(1.199 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \Rightarrow \underline{\dot{m}_j = 0.576 \text{ kg / sec} = 2071.87 \text{ kg / hr}}$$

Αυτές είναι οι ελάχιστες απαιτούμενες παροχές νωπού αέρα για να ικανοποιούνται οι προδιαγραφές ποιότητας αέρα, ανεξάρτητα από τα θερμικά ή ψυκτικά φορτία. Αυτά υπολογίζονται στη συνέχεια.

3.3 Διαστασιολόγηση Συστήματος κλιματισμού

Αφού επιλέχθηκαν οι κατάλληλες συνθήκες σχεδιασμού του χώρου και οι απαιτήσεις για εξασφάλιση ποιότητας αέρα, το επόμενο βήμα ήταν ο υπολογισμός των ψυκτικών φορτίων του χώρου κατά την διάρκεια της μέσης ημέρας για κάθε μήνα. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν σύμφωνη με την μέθοδο CLTD/CLF της ASHRAE, η οποία περιγράφηκε στο δεύτερο κεφάλαιο. Απαραίτητη όμως προϋπόθεση είναι η μετατροπή της τοπικής ώρας σε ηλιακή, ώστε να μπορεί να γίνει σωστή χρήση των πινάκων που περιέχουν τις αναγκαίες τιμές για τους υπολογισμούς. Πολλές μεταβλητές αναφέρονται στην ηλιακή ώρα, και για αυτό η χρήση της τοπικής ώρας μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένα αποτελέσματα.

3.3.1 Μετατροπή Τοπικής Ώρας Σε Ηλιακή

Οι Ζώνες Ώρας είναι περιοχές της Γης που έχουν θεσμοθετήσει την ίδια ώρα η οποία αναφέρεται ως τοπική ώρα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να υπάρχει μια μικρή διαφοροποίηση της ώρας από πόλη σε πόλη. Το σημείο αναφοράς των ζωνών ώρας είναι ο Πρώτος Μεσημβρινός (γεωγραφικό μήκος 0°) που περνά από το Βασιλικό Αστεροσκοπείο του Γκρήνουιτς στο Λονδίνο (Ηνωμένο Βασίλειο).

Για αυτό το λόγο, για την διαστασιολόγηση του συστήματος κλιματισμού και αερισμού της αίθουσας διδασκαλίας, έγινε αναγωγή της Τοπικής Ώρας Ρολογιού στην Μέση Ώρα Γκρήνουιτς (Greenwich Mean Time – GMT) ή Ηλιακή Ώρα, ώστε να αναφερθεί μια βασική ώρα, με την οποία όλες οι ώρες είναι σχετικές. Η Ελλάδα ανήκει στην Ζώνη Ώρας της Ανατολικής Ευρώπης και επομένως είναι δύο ζώνες μπροστά του Γκρήνουιτς, δηλαδή περίπου δύο ώρες μπροστά της Μέσης Ώρας Γκρήνουιτς (GMT+2), ενώ βάση θερινής ώρας, τρεις (GMT+3).

Η αναγωγή, τόσο για τον μήνα Ιανουάριο όσο και για τον Ιούνιο, έγινε ως εξής:

$$\text{Ηλιακή Ώρα} = \text{Τοπική Ώρα Ρολογιού} + \frac{\lambda_{\zeta\omega\nu\eta\varsigma} - \lambda}{15} + \frac{E_t}{60} \quad [\text{hr}] \quad (3-3\alpha)$$

όπου:

Τοπική Ώρα Ρολογιού – δόθηκαν οι τιμές από τις 8 π.μ. έως τις 8 μ.μ.

Δεδομένα Εργασίας	Ημερομηνία: Ιανουάριος	Μηχανικός: Μαρία Παπαδοπούλου
Τοποθεσία	Γ.Πλάτος: 40.17°	Γ.Μήκος: 21.5°
Συνθήκες Σχεδιασμού	Εσ. Θερμοκρασία: 20°C	Εσ. Σχ. Υγρασία: 45% Εξ. Θερμοκρασία: -1.2°C Εξ. Σχ. Υγρασία: 74.2%
Χώρος	Κωδικός Αναγνώρισης: Αμφιθέατρο	Διαστάσεις: 17.6 x 8.05 x 4,9 m

Αριθμός	Μέσης	B (°)	E _t (min)
Λόγος (°)			
-30	17	-63.30	-9.97

Τοπική Ώρα Ρολογιού	1η	2η	3η	4η	5η	6η	7η	8η	9η	10η	11η	12η	13η	14η	15η	16η	17η	18η	19η	20η	21η	22η	23η	24η
Ώρα	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	24:00	
Ηλιακή Ώρα	23:27	0:27	1:27	2:27	3:27	4:27	5:27	6:27	7:27	8:27	9:27	10:27	11:27	12:27	13:27	14:27	15:27	16:27	17:27	18:27	19:27	20:27	21:27	22:27
Ηλιακή Ώρα (μορφή ώρας)	23:16	0:16	1:16	2:16	3:16	4:16	5:16	6:16	7:16	8:16	9:16	10:16	11:16	12:16	13:16	14:16	15:16	16:16	17:16	18:16	19:16	20:16	21:16	22:16

Πίνακας 3-6 Μετατροπή τοπικής ώρας σε ηλιακή για την μέση ημέρα του Ιανουαρίου.

Δεδομένα Εργασίας	Ημερομηνία: Ιούνιος	Μηχανικός: Μαρία Παπαδοπούλου
Τοποθεσία	Γ.Πλάτος: 40.17°	Γ.Μήκος: 21.5°
Συνθήκες Σχεδιασμού	Εσ. Θερμοκρασία: 23°C	Εσ. Σχ. Υγρασία: 49.5% Εξ. Θερμοκρασία: 21.5°C Εξ. Σχ. Υγρασία: 54.8%
Χώρος	Κωδικός Αναγνώρισης: Αμφιθέατρο	Διαστάσεις: 17.6 x 8.05 x 4,9 m

Αριθμός	Μέσης	B (°)	E _t (min)
Λόγος (°)			
-30	162	80.11	0.57

Τοπική Ώρα Ρολογιού	1η	2η	3η	4η	5η	6η	7η	8η	9η	10η	11η	12η	13η	14η	15η	16η	17η	18η	19η	20η	21η	22η	23η	24η
Ώρα	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	24:00	
Ηλιακή Ώρα	23:44	0:44	1:44	2:44	3:44	4:44	5:44	6:44	7:44	8:44	9:44	10:44	11:44	12:44	13:44	14:44	15:44	16:44	17:44	18:44	19:44	20:44	21:44	22:44
Ηλιακή Ώρα (μορφή ώρας)	23:26	0:26	1:26	2:26	3:26	4:26	5:26	6:26	7:26	8:26	9:26	10:26	11:26	12:26	13:26	14:26	15:26	16:26	17:26	18:26	19:26	20:26	21:26	22:26

Πίνακας 3-7 Μετατροπή τοπικής ώρας σε ηλιακή για την μέση ημέρα του Ιουνίου.

$\lambda_{ζώνης} = 2 \cdot (-15^\circ)$ – γιατί η Ελλάδα είναι δύο ζώνες ανατολικά του Γκρήνουιτς.

$E_t = 9.87 \sin(2B) - 7.53 \cos B - 1.5 \sin B$ – η εξίσωση του χρόνου, σε min.

$B = (\eta - 81) \frac{360^\circ}{364}$ – η θέση του ήλιου ως προς τον ισημερινό της Γης. Η τιμή «81» είναι η ημέρα εαρινής ισημερίας⁹.

η – ο αριθμός της μέσης ημέρας του μήνα στις 365 ημέρες.

Τελικά, ο υπολογισμός των ψυκτικών φορτίων για κάθε μήνα, έγινε σύμφωνα με τις αντίστοιχες ηλιακές ώρες, για όλες τις ώρες λειτουργίας της αίθουσας. Τα αποτελέσματα των μετατροπών δίνονται στους παραπάνω πίνακες 3-6 και 3-7, για τον Ιανουάριο και τον Ιούνιο αντίστοιχα.

3.3.2 Υπολογισμός Ψυκτικών Φορτίων

Ο υπολογισμός των ψυκτικών φορτίων έγινε βάση των παρακάτω παραδοχών που ισχύουν και για την χειμερινή και για την θερινή περίοδο.

- ✓ Εξωτερικές οροφές και τοίχοι: Όπως προαναφέρθηκε η αίθουσα διδασκαλίας ανήκει στο ισόγειο του κτιρίου, και επομένως δεν υπάρχει εξωτερική οροφή, ενώ οι γειτονικοί χώροι διατηρούν της ίδιες συνθήκες σχεδιασμού με αυτήν. Επομένως η μόνη μετάδοση θερμότητας πραγματοποιείται από και προς το περιβάλλον μέσω ενός ανατολικού τοίχου (που αποτελείται από τρία τμήματα δρομικής οπτοπλινθοδομής¹⁰, δύο τοιχία και ένα υποστύλωμα) και δύο τοιχίων (ενός βόρειου και ενός νότιου).
- ✓ Παράθυρα: Όπως παρουσιάζεται και στο σχέδιο της αίθουσας (σχήμα 3-2) υπάρχουν δεκατρία παράθυρα ύψους 1.4 m. Για λόγους ευκολίας στους υπολογισμούς, ομαδοποιήθηκαν σε τρία τμήματα, μήκους 3.4, 4.5 και 7.8 m το καθένα. Κατόπιν υπολογίσθηκε μία συνολική επιφάνεια θεωρώντας τα ως έναν ενιαίο υαλοπίνακα, μήκους 15.7 m, με ανατολικό προσανατολισμό.
- ✓ Αερισμός: Θεωρήθηκε ότι η αίθουσα είναι κλειστή, αγνοώντας την εισροή του αέρα λόγω ανανέωσης (π.χ. από τα παράθυρα) ή λόγω διείσδυσης από ανοίγματα και χαραμάδες. Η προαγωγή του αέρα γίνεται μόνο μέσω του συστήματος κλιματισμού, οπότε το ψυκτικό φορτίο του αέρα ενσωματώθηκε στον υπολογισμό του ψυκτικού στοιχείου της κεντρικής μονάδας και όχι στα επιμέρους φορτία του χώρου.

⁹ Η 21^η Μαρτίου. Ο ήλιος βρίσκεται ακριβώς πάνω από τον ισημερινό της γης. Συμβαίνει και στις 23 Σεπτεμβρίου.

¹⁰ Οπτοπλινθοδομή: τοίχος με τούβλα (ψημένη πλίνθος=τούβλο). Δρομική: πάχος 10cm. Μπατική: πάχος 25 cm.

- ✓ Εσωτερικά δομικά στοιχεία: Η αίθουσα συγγενεύει με μη αεριζόμενο υπόγειο, με θερμοκρασία επομένως περίπου ίση με του εξωτερικού αέρα (-1.8°C μικρότερη). Εφόσον θεωρήθηκε ότι οι υπόλοιποι γειτονικοί χώροι έχουν τις ίδιες συνθήκες σχεδιασμού με την αίθουσα, είναι το μόνο ψυκτικό φορτίο, λόγω εσωτερικών δομικών στοιχείων, που δέχεται.

- ✓ Εσωτερικά στοιχεία: Υποτέθηκε ότι στην αίθουσα δεν υπάρχει κανένα είδος συσκευής, και ότι τα μοναδικά εσωτερικά φορτία στο χώρο είναι αυτά που αποδίδονται στον ηλεκτροφωτισμό και στους ανθρώπους. Για τα φωτιστικά, θεωρήθηκε ότι είναι συνεχώς αναμμένα όλες τις ώρες λειτουργίας της αίθουσας (από 8:00 π.μ. έως 8 μ.μ.), και για τους ανθρώπους, ότι υπάρχουν εξήντα άτομα στην αίθουσα, που παραμένουν σταθερά σε αυτήν, από τις 8:00 π.μ. έως τις 8 μ.μ.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τους υπολογισμούς παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες, 3-13 έως 3-18, όπου φαίνονται οι επιμέρους υπολογισμοί για κάθε μήνα ξεχωριστά, των αισθητών και των λανθανόντων φορτίων, ενώ δίνεται και ένας συγκεντρωτικός πίνακας για τα συνολικά φορτία του χώρου.

3.3.2.1 Θερμική Περίοδος

Δεδομένα Εργασίας
 Τοποθεσία
 Συνήθεις Σχεδιασμού
 Χώρας

Μηχανικός: Μαρία Παπαδοπούλου
 Γ.Μήκος: 21,5°
 Εξ. Θερμοκρασία: 21,5°C Εξ. Σγ. Υγρασία: 54,8%
 Δυστάσιας: 17,6 x 8,05 x 4,9 m

Μηχανικός: Μαρία Παπαδοπούλου
 Γ.Μήκος: 21,5°
 Εξ. Θερμοκρασία: 21,5°C Εξ. Σγ. Υγρασία: 54,8%
 Δυστάσιας: 17,6 x 8,05 x 4,9 m

ΑΙΣΘΗΤΑ ΦΟΡΤΙΑ

Τοπική Ώρα Ρολογιού	Φορτία Αγωγής										Φορτία Ηλιακής Ακτινοβολίας			Εσοπερική χωρίσματα		Εσοπερική φορτία		ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΑΙΣΘΗΤΟ ΦΟΡΤΙΟ (Watt)					
	Τοίχου		Ταγία		Υποστύλωμα		Παράθυρα		Παράθυρα		Παράθυρα		Δάπεδο		Φοιτητές	Ανθρώποι							
	Προσ/μύς	Τύπος Κατασκευής	A	A	B	N	Προσ/μύς	Τύπος Κατασκευής	Α	Μονοκίττα με εσοπερική, λευκή ρολά σκίασης	Α	Μονοκίττα με εσοπερική, λευκή ρολά σκίασης	Τύπος Κατασκευής	Τύπου C	Αριθμός	Αριθμός							
1:00	14,0	14,0	14,0	10,45	10,45	10,45	12,82	19,24	14,0	8,0	16,24	1,0	-241,78	0,03	112,26	287,93	-2813,60	1,0	777,6	1,0	4500	3086,51	
2:00	13,0	14,0	14,0	10,45	10,45	10,45	12,82	19,24	13,0	8,0	14,46	1,0	-241,78	0,03	112,26	287,26	-3045,42	1,0	777,6	1,0	4500	2804,43	
3:00	1,26	13,0	13,0	8,0	11,0	9,30	9,30	12,82	19,24	13,0	8,0	14,46	0,0	-296,73	0,02	74,84	286,73	-3230,88	1,0	777,6	1,0	4500	2579,26
4:00	2,26	12,0	13,0	8,0	11,0	9,30	9,30	12,82	19,24	12,0	8,0	12,67	-1,0	-351,68	0,02	74,84	286,33	-3369,97	1,0	777,6	1,0	4500	2389,91
5:00	3,26	11,0	13,0	7,0	11,0	9,30	9,30	8,68	19,24	11,0	7,0	10,89	-1,0	-351,68	0,02	74,84	286,20	-3416,33	1,0	777,6	1,0	4500	2289,16
6:00	4,26	10,0	12,0	7,0	10,0	8,15	8,15	8,68	16,09	10,0	7,0	9,10	-1,0	-351,68	0,02	74,84	286,47	-3323,61	1,0	777,6	1,0	4500	2326,19
7:00	5,26	10,0	12,0	7,0	10,0	8,15	8,15	8,68	16,09	10,0	6,0	9,10	-1,0	-351,68	0,47	1758,78	287,13	-3091,78	1,0	777,6	1,0	4500	4241,96
8:00	6,26	9,0	11,0	7,0	9,0	7,01	7,01	8,68	12,93	9,0	6,0	7,32	-1,0	-351,68	0,72	2694,31	288,33	-2674,50	1,0	777,6	1,0	4500	5539,06
9:00	7,26	8,0	10,0	6,0	9,0	7,01	7,01	4,55	12,93	8,0	6,0	5,53	0,0	-296,73	0,80	2993,68	290,06	-2071,76	1,0	777,6	1,0	4500	6386,78
10:00	8,26	8,0	10,0	6,0	9,0	5,86	5,86	4,55	12,93	8,0	5,0	5,53	1,0	-241,78	0,76	2843,99	292,05	-1376,29	1,0	777,6	1,0	4500	6930,27
11:00	9,26	9,0	10,0	6,0	8,0	5,86	5,86	4,55	9,78	9,0	5,0	7,32	2,0	-186,83	0,62	2320,10	294,31	-588,10	1,0	777,6	1,0	4500	7241,67
12:00	10,26	9,0	10,0	6,0	8,0	5,86	5,86	4,55	9,78	9,0	5,0	7,32	4,0	-76,93	0,41	1534,26	296,44	153,74	1,0	777,6	1,0	4500	7197,66
13:00	11,26	10,0	11,0	6,0	8,0	7,01	7,01	4,55	9,78	10,0	5,0	9,10	5,0	-21,98	0,27	1010,37	298,04	710,11	1,0	777,6	1,0	4500	7282,69
14:00	12,26	12,0	11,0	6,0	8,0	7,01	7,01	4,55	9,78	12,0	5,0	12,67	7,0	87,92	0,24	898,10	299,10	1081,03	1,0	777,6	1,0	4500	7641,84
15:00	13,26	13,0	12,0	6,0	8,0	8,15	8,15	4,55	9,78	13,0	5,0	14,46	7,0	87,92	0,22	823,26	299,50	1220,12	1,0	777,6	1,0	4500	7758,64
16:00	14,26	13,0	12,0	6,0	8,0	8,15	8,15	4,55	9,78	13,0	5,0	14,46	8,0	142,87	0,20	748,42	299,10	1081,03	1,0	777,6	1,0	4500	7544,71
17:00	15,26	14,0	13,0	6,0	8,0	9,30	9,30	4,55	9,78	14,0	6,0	16,24	8,0	142,87	0,17	636,16	298,17	756,47	1,0	777,6	1,0	4500	7160,44
18:00	16,26	14,0	13,0	6,0	9,0	9,30	9,30	4,55	12,93	14,0	6,0	16,24	7,0	87,92	0,14	523,89	296,71	246,46	1,0	777,6	1,0	4500	6541,32
19:00	17,26	15,0	13,0	6,0	9,0	9,30	9,30	4,55	12,93	15,0	7,0	18,02	7,0	87,92	0,11	411,63	294,98	-356,27	1,0	777,6	1,0	4500	5876,57
20:00	18,26	15,0	14,0	7,0	10,0	10,45	10,45	8,68	16,09	15,0	7,0	18,02	6,0	32,97	0,06	224,53	293,25	-959,01	1,0	777,6	1,0	4500	5096,31
21:00	19,26	15,0	14,0	7,0	10,0	10,45	10,45	8,68	16,09	15,0	8,0	18,02	4,0	-76,93	0,05	187,10	291,79	-1469,02	1,0	777,6	1,0	4500	4548,88
22:00	20,26	15,0	14,0	7,0	11,0	10,45	10,45	8,68	19,24	15,0	8,0	18,02	3,0	-131,88	0,05	187,10	290,46	-1932,67	1,0	777,6	1,0	4500	4088,39
23:00	21,26	15,0	14,0	7,0	11,0	10,45	10,45	8,68	19,24	15,0	8,0	18,02	2,0	-186,83	0,04	149,68	289,39	-2303,59	1,0	777,6	1,0	4500	3680,05
24:00	22,26	14,0	14,0	8,0	11,0	10,45	10,45	12,82	19,24	14,0	8,0	16,24	2,0	-186,83	0,03	112,26	288,59	-2581,77	1,0	777,6	1,0	4500	3318,33

Πίνακας 3-8 Αισθητά φορτία αΐθουσας για τον μήνα Ιούνιο.

Δεδομένα Εργασίας	Ημερομηνία: Ιούνιος	Μηχανικός: Μαρία Παπαδοπούλου
Τοποθεσία	Γ.Πλάτος: 40.17°	Γ.Μήκος: 21.5°
Συνθήκες Σχεδιασμού	Εσ. Θερμοκρασία: 23°C Εσ. Σχ. Υγρασία: 49.5%	Εξ. Θερμοκρασία: 21.5°C Εξ. Σχ. Υγρασία: 54.8%
Χώρος	Κωδικός Αναγνώρισης: Αμφιθέατρο	Διαστάσεις: 17.6 x 8.05 x 4,9 m

ΛΑΝΘΑΝΟΝΤΑ ΦΟΡΤΙΑ

Τοπική Ωρα Ρολογιού	Ηλιακή Ωρα	Εσωτερικά φορτία			ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΛΑΝΘΑΝΟΝ ΦΟΡΤΙΟ (Watt)
		Άνθρωποι			
		Αριθμός	60		
		$HG_{sens}/$ μονάδα (Watt)	75		
		q (Watt)	4500		
		Συντελεστής Ύπαρξης Ατόμων στον Χώρο, C_{people}	$q_{lat}=q \cdot (C_{people})$ (Watt)		
Ωρα 1η	1:00	23:26	0.0	0	0.00
Ωρα 2η	2:00	0:26	0.0	0	0.00
Ωρα 3η	3:00	1:26	0.0	0	0.00
Ωρα 4η	4:00	2:26	0.0	0	0.00
Ωρα 5η	5:00	3:26	0.0	0	0.00
Ωρα 6η	6:00	4:26	0.0	0	0.00
Ωρα 7η	7:00	5:26	0.0	0	0.00
Ωρα 8η	8:00	6:26	0.0	0	0.00
Ωρα 9η	9:00	7:26	1.0	4500	4500.00
Ωρα 10η	10:00	8:26	1.0	4500	4500.00
Ωρα 11η	11:00	9:26	1.0	4500	4500.00
Ωρα 12η	12:00	10:26	1.0	4500	4500.00
Ωρα 13η	13:00	11:26	1.0	4500	4500.00
Ωρα 14η	14:00	12:26	1.0	4500	4500.00
Ωρα 15η	15:00	13:26	1.0	4500	4500.00
Ωρα 16η	16:00	14:26	1.0	4500	4500.00
Ωρα 17η	17:00	15:26	1.0	4500	4500.00
Ωρα 18η	18:00	16:26	1.0	4500	4500.00
Ωρα 19η	19:00	17:26	1.0	4500	4500.00
Ωρα 20η	20:00	18:26	1.0	4500	4500.00
Ωρα 21η	21:00	19:26	0.0	0	0.00
Ωρα 22η	22:00	20:26	0.0	0	0.00
Ωρα 23η	23:00	21:26	0.0	0	0.00
Ωρα 24η	0:00	22:26	0.0	0	0.00

Πίνακας 3-9 Λανθάνοντα φορτία αίθουσας για τον μήνα Ιούνιο.

Δεδομένα Εργασίας	Ημερομηνία: Ιούνιος	Μηχανικός: Μαρία Παπαδοπούλου
Τοποθεσία	Γ.Πλάτος: 40.17°	Γ.Μήκος: 21.5°
Συνθήκες Σχεδιασμού	Εσ. Θερμοκρασία: 23°C Εσ. Σχ. Υγρασία: 49.5%	Εξ. Θερμοκρασία: 21.5°C Εξ. Σχ. Υγρασία: 54.8%
Χώρος	Κωδικός Αναγνώρισης: Αμφιθέατρο	Διαστάσεις: 17.6 x 8.05 x 4,9 m

ΦΟΡΤΙΑ ΧΩΡΟΥ

Τοπική Ωρα Ρολογιού	Ηλιακή Ωρα	Αισθητό Φορτίο	Λανθάνον Φορτίο	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ (kWatt)	
		Ποσοστό επί του Συνόλου (%)	Ποσοστό επί του Συνόλου (%)	Ποσοστό επί του Συνόλου (%)	
		Μέγιστο Αισθητό Φορτίο για τις ώρες λειτουργίας (kWatt)	Μέγιστο Λανθάνον Φορτίο για τις ώρες λειτουργίας (kWatt)	Μέγιστο Συνολικό Φορτίο για τις ώρες λειτουργίας (kWatt)	
		7.76	4.50	12.26	
		q_{sens} (kWatt)	q_{lat} (kWatt)	q_{tot} (kWatt)	
Ωρα 1η	1:00	23:26	3.09	0.00	3.09
Ωρα 2η	2:00	0:26	2.80	0.00	2.80
Ωρα 3η	3:00	1:26	2.58	0.00	2.58
Ωρα 4η	4:00	2:26	2.39	0.00	2.39
Ωρα 5η	5:00	3:26	2.29	0.00	2.29
Ωρα 6η	6:00	4:26	2.33	0.00	2.33
Ωρα 7η	7:00	5:26	4.24	0.00	4.24
Ωρα 8η	8:00	6:26	5.54	0.00	5.54
Ωρα 9η	9:00	7:26	6.39	4.50	10.89
Ωρα 10η	10:00	8:26	6.93	4.50	11.43
Ωρα 11η	11:00	9:26	7.24	4.50	11.74
Ωρα 12η	12:00	10:26	7.20	4.50	11.70
Ωρα 13η	13:00	11:26	7.28	4.50	11.78
Ωρα 14η	14:00	12:26	7.64	4.50	12.14
Ωρα 15η	15:00	13:26	7.76	4.50	12.26
Ωρα 16η	16:00	14:26	7.54	4.50	12.04
Ωρα 17η	17:00	15:26	7.16	4.50	11.66
Ωρα 18η	18:00	16:26	6.54	4.50	11.04
Ωρα 19η	19:00	17:26	5.88	4.50	10.38
Ωρα 20η	20:00	18:26	5.10	4.50	9.60
Ωρα 21η	21:00	19:26	4.55	0.00	4.55
Ωρα 22η	22:00	20:26	4.09	0.00	4.09
Ωρα 23η	23:00	21:26	3.68	0.00	3.68
Ωρα 24η	0:00	22:26	3.32	0.00	3.32

Πίνακας 3-10 Συνολικά φορτία αίθουσας για τον μήνα Ιούνιο.

Λεδομένα Εργασίας	Ημερομηνία: Ιανουάριος	Μηχανικός: Μαρία Παπαδοπούλου
Τοποθεσία	Γ.Πλάτος: 40.17°	Γ.Μήκος: 21.5°
Συνθήκες Σχεδιασμού	Εσ. Θερμοκρασία: 20°C Εσ. Σχ. Υγρασία: 45%	Εξ. Θερμοκρασία: -1.2°C Εξ. Σχ. Υγρασία: 74.2%
Χώρος	Κωδικός Αναγνώρισης: Αμφιθέατρο	Διαστάσεις: 17.6 x 8.05 x 4,9 m

ΛΑΝΘΑΝΟΝΤΑ ΦΟΡΤΙΑ

Τοπική Ωρα Ρολογιού	Ηλιακή Ωρα	Εσωτερικά φορτία			ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΛΑΝΘΑΝΟΝ ΦΟΡΤΙΟ (Watt)
		Άνθρωποι			
		Αριθμός	60		
		HG _{sens} / μονάδα (Watt)	54		
		q (Watt)	3240		
		Συντελεστής Ύπαρξης Ατόμων στον Χώρο, C _{people}	q _{lat} =q' (C _{people}) (Watt)		
Ωρα 1η	1:00	23:16	0.0	0	0.00
Ωρα 2η	2:00	0:16	0.0	0	0.00
Ωρα 3η	3:00	1:16	0.0	0	0.00
Ωρα 4η	4:00	2:16	0.0	0	0.00
Ωρα 5η	5:00	3:16	0.0	0	0.00
Ωρα 6η	6:00	4:16	0.0	0	0.00
Ωρα 7η	7:00	5:16	0.0	0	0.00
Ωρα 8η	8:00	6:16	0.0	0	0.00
Ωρα 9η	9:00	7:16	1.0	3240	3240.00
Ωρα 10η	10:00	8:16	1.0	3240	3240.00
Ωρα 11η	11:00	9:16	1.0	3240	3240.00
Ωρα 12η	12:00	10:16	1.0	3240	3240.00
Ωρα 13η	13:00	11:16	1.0	3240	3240.00
Ωρα 14η	14:00	12:16	1.0	3240	3240.00
Ωρα 15η	15:00	13:16	1.0	3240	3240.00
Ωρα 16η	16:00	14:16	1.0	3240	3240.00
Ωρα 17η	17:00	15:16	1.0	3240	3240.00
Ωρα 18η	18:00	16:16	1.0	3240	3240.00
Ωρα 19η	19:00	17:16	1.0	3240	3240.00
Ωρα 20η	20:00	18:16	1.0	3240	3240.00
Ωρα 21η	21:00	19:16	0.0	0	0.00
Ωρα 22η	22:00	20:16	0.0	0	0.00
Ωρα 23η	23:00	21:16	0.0	0	0.00
Ωρα 24η	0:00	22:16	0.0	0	0.00

Πίνακας 3-12 Λανθάνοντα φορτία αίθουσας για τον μήνα Ιανουάριο.

Δεδομένα Εργασίας	Ημερομηνία: Ιανουάριος	Μηχανικός: Μαρία Παπαδοπούλου
Τοποθεσία	Γ.Πλάτος: 40.17°	Γ.Μήκος: 21.5°
Συνθήκες Σχεδιασμού	Εσ. Θερμοκρασία: 20°C Εσ. Σχ. Υγρασία: 45%	Εξ. Θερμοκρασία: -1.2°C Εξ. Σχ. Υγρασία: 74.2%
Χώρος	Κωδικός Αναγνώρισης: Αμφιθέατρο	Διαστάσεις: 17.6 x 8.05 x 4,9 m

ΦΟΡΤΙΑ ΧΩΡΟΥ

Τοπική Ωρα Ρολογιού	Ηλιακή Ωρα	Αισθητό Φορτίο	Λανθάνον Φορτίο	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ (kWatt)	
		Ποσοστό επί του Συνόλου (%)	Ποσοστό επί του Συνόλου (%)	Ποσοστό επί του Συνόλου (%)	
		Μέγιστο Αισθητό Φορτίο για τις ώρες λειτουργίας (kWatt)	Μέγιστο Λανθάνον Φορτίο για τις ώρες λειτουργίας (kWatt)	Μέγιστο Συνολικό Φορτίο για τις ώρες λειτουργίας (kWatt)	
		0.94	99.06	100.00	
		0.03	3.24	3.27	
		q_{sens} (kWatt)	q_{lat} (kWatt)	q_{tot} (kWatt)	
Ωρα 1η	1:00	23:16	-7.65	0.00	-7.65
Ωρα 2η	2:00	0:16	-7.83	0.00	-7.83
Ωρα 3η	3:00	1:16	-7.96	0.00	-7.96
Ωρα 4η	4:00	2:16	-8.08	0.00	-8.08
Ωρα 5η	5:00	3:16	-8.16	0.00	-8.16
Ωρα 6η	6:00	4:16	-8.17	0.00	-8.17
Ωρα 7η	7:00	5:16	-6.84	0.00	-6.84
Ωρα 8η	8:00	6:16	-6.00	0.00	-6.00
Ωρα 9η	9:00	7:16	1.03	3.24	4.27
Ωρα 10η	10:00	8:16	1.30	3.24	4.54
Ωρα 11η	11:00	9:16	1.41	3.24	4.65
Ωρα 12η	12:00	10:16	1.25	3.24	4.49
Ωρα 13η	13:00	11:16	1.24	3.24	4.48
Ωρα 14η	14:00	12:16	1.46	3.24	4.70
Ωρα 15η	15:00	13:16	1.54	3.24	4.78
Ωρα 16η	16:00	14:16	1.41	3.24	4.65
Ωρα 17η	17:00	15:16	1.20	3.24	4.44
Ωρα 18η	18:00	16:16	0.85	3.24	4.09
Ωρα 19η	19:00	17:16	0.49	3.24	3.73
Ωρα 20η	20:00	18:16	0.03	3.24	3.27
Ωρα 21η	21:00	19:16	-6.81	0.00	-6.81
Ωρα 22η	22:00	20:16	-7.06	0.00	-7.06
Ωρα 23η	23:00	21:16	-7.30	0.00	-7.30
Ωρα 24η	0:00	22:16	-7.52	0.00	-7.52

Πίνακας 3-13 Συνολικά φορτία αίθουσας για τον μήνα Ιανουάριο.

3.3.3 Ψυχομετρικές διεργασίες

Η σχεδίαση των ψυχομετρικών διεργασιών αποτελεί το τελικό βήμα στην διαστασιολόγηση ενός συστήματος κλιματισμού. Γίνεται με την βοήθεια ψυχομετρικών διαγραμμάτων, και είναι απαραίτητη για την περιγραφή των διεργασιών κλιματισμού του αέρα που μπορεί να πραγματοποιούνται εντός της αίθουσας και του συστήματος HVAC. Η διαδικασία που θα ακολουθηθεί για τον σχεδιασμό των διεργασιών εξαρτάται σημαντικά από τις περιβαλλοντολογικές συνθήκες καθώς και από τις ανάγκες του χώρου (φορτία αερισμού, ψυκτικά, θερμικά). Το αποτέλεσμα είναι η διαδικασία να διαφοροποιείται για την θερινή και την χειμερινή περίοδο, αφού παρουσιάζονται μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος. Στην πραγματικότητα, οι ψυχομετρικές διεργασίες μεταβάλλονται και κατά την διάρκεια της ημέρας με την μεταβολή των εξωτερικών τιμών θερμοκρασίας και υγρασίας. Απλουστευτικά, αλλά και αντιπροσωπευτικά, θεωρήθηκαν εδώ οι μέσες τιμές της ημέρας αντί για τις ακραίες τιμές της κάθε περιόδου αφού απώτερος στόχος είναι να γίνει, στο επόμενο κεφάλαιο, υπολογιστική μελέτη της κατανομής θερμοκρασίας, υγρασίας και CO₂.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία οι κλιματιστικές διεργασίες για την θερινή περίοδο, σχεδιάστηκαν ώστε να καλύπτονται τα συνολικά ψυκτικά φορτία του χώρου (αισθητά και λανθάνοντα), ενώ για τον χειμερινή περίοδο λήφθηκαν υπόψη μόνο τα λανθάνοντα φορτία των ανθρώπων (υδρονικό σύστημα). Ο λόγος ήταν ότι θεωρήθηκε πως κατά την χειμερινή περίοδο, τα φορτία του χώρου που αποδίδονται στις θερμικές απώλειες (θερμοπερατότητας) καθώς και στα εσωτερικά φορτία (ανθρώπων και ηλεκτροφωτισμού), ικανοποιούνται από τα θερμαντικά σώματα του υδρονικού συστήματος που είναι εγκατεστημένα στην αίθουσα.

3.3.3.1 Θερινή Περίοδος

Για τον σχεδιασμό των ψυχομετρικών διεργασιών κατά τη θερινή περίοδο, είναι απαραίτητος ο υπολογισμός τις απαιτούμενης παροχής του αέρα προσαγωγής, ώστε να ικανοποιούνται τα φορτία του χώρου, αισθητά και λανθάνοντα, καθώς και οι συνθήκες σχεδιασμού του, τα οποία και προσδιορίστηκαν στις προηγούμενες υποενότητες. Επίσης θα πρέπει να μελετηθεί η επίδραση της χρήσης αέρα επιστροφής στην συνολική καταναλισκόμενη ενέργεια από την κλιματιστική συσκευή.

➤ Υπολογισμός Απαιτούμενης Παροχής Αέρα:

Από την μελέτη υπολογισμού των ψυκτικών φορτίων του χώρου, προέκυψε ότι το συνολικό ψυκτικό φορτίο για τον Ιούνιο είναι ίσο με, 12.259 kW, 7.759 kW αισθητό και 4.5 kW λανθάνον. Για τον υπολογισμό της συνολικής παροχής αέρα που απαιτείται ώστε να ικανοποιείται το φορτίο αυτό, προσδιορίστηκε τόσο η παροχή αέρα που απαιτείται για το αισθητό φορτίο όσο και για το λανθάνον. Κατόπιν λήφθηκε η ελάχιστη εκ των δύο.

Απαιτούμενη Παροχή Αέρα Για Το Αισθητό Φορτίο:

Ο υπολογισμός έγινε βάση της παρακάτω εξίσωσης (3-3β):

$$\dot{m}_{sens,s} = \frac{\dot{Q}_{sens}}{C_p(T_i - T_s)} \text{ [kg/sec]} \quad (3-3\beta)$$

όπου:

$$\dot{Q}_{sens} = 7759W - \text{συνολικό αισθητό φορτίο.}$$

$$\overline{C_p} = C_{p_{d.a.}} + \frac{W_i + W_s}{2} C_{p_w} = 1021.18J / kgK$$

Όποτε από την εξίσωση 3-3β, προκύπτει:

$$\dot{m}_{sens,s} = \frac{7759}{1021.18(23-13)} \Rightarrow \dot{m}_{sens,s} = 0.76kg / sec \quad \text{ή} \quad \dot{m}_{sens,s} = 3460.467kg / hr .$$

Απαιτούμενη Παροχή Αέρα Για Το Λανθάνον Φορτίο:

Για το λανθάνον φορτίο ισχύει ότι:

$$\dot{m}_{lat,s} = \frac{\dot{Q}_{lat}}{h_g(W_i - W_s)} \text{ [kg/sec]} \quad (3-3\gamma)$$

όπου:

$$\dot{Q}_{lat} = 4.5kW - \text{συνολικό αισθητό φορτίο.}$$

$$\overline{h_g} = C_{p_w} \frac{T_i + T_s}{2} + h_{g,0} = 3048.403kJ / kg_w$$

Για τον υπολογισμό της παροχής αέρα που απαιτείται ώστε να ικανοποιηθεί το λανθάνον φορτίο πρέπει να προσδιορισθεί ο λόγος υγρασίας του αέρα προσαγωγής (W_s). Έχοντας επιλέξει τις συνθήκες σχεδιασμού της αίθουσας (23°C και 49.5% σχετική υγρασία), καθώς και την θερμοκρασία του αέρα προσαγωγής (13°C), και γνωρίζοντας ότι ο λόγος αισθητής θερμότητας, SHR (Sensible Heat Ratio), είναι ίσος με:

$$SHR = \frac{\dot{Q}_{sens}}{\dot{Q}_{tot}} = \frac{7759}{12259} \Rightarrow SHR = 0.633 \quad \text{ή} \quad 63.3\% ,$$

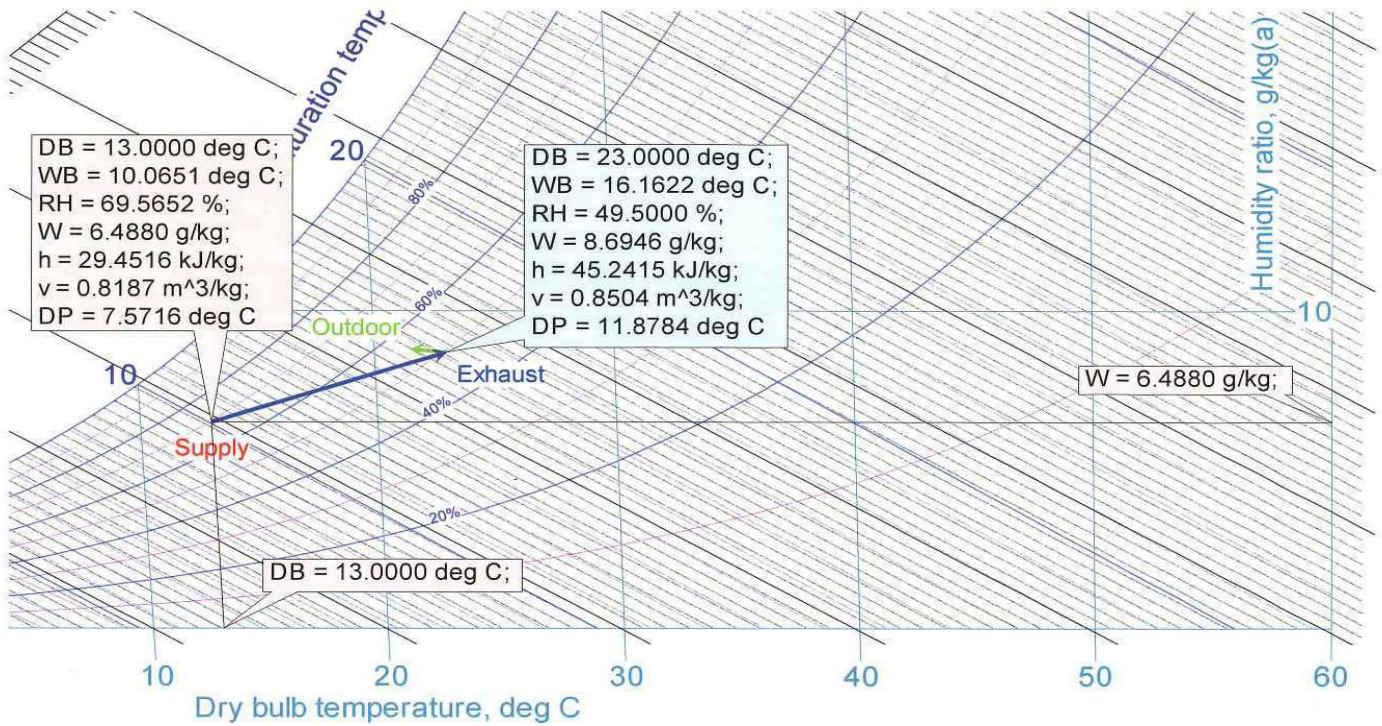
μπορούμε να προσδιορίσουμε, με χρήση ψυχομετρικού διαγράμματος, τον λόγο υγρασίας του αέρα προσαγωγής.

Όπως φαίνεται από το σχήμα 3-6, η κλίση της ευθείας που περιγράφει την διεργασία που πραγματοποιείται εντός της αίθουσας είναι ίση με τον λόγο SHR, και φέρνοντας την κάθετη από το σημείο για $T_s=13^\circ\text{C}$ στον άξονα του λόγου υγρασίας, προκύπτει:

$$W_s = 6.488gr_w / kg_{d.a.} .$$

Οπότε από την εξίσωση 3-3γ, η απαιτούμενη παροχή μάζας για τον λανθάνον φορτίο είναι ίση με:

$$\dot{m}_{lat,s} = \frac{4.5}{3048.403(0.00869 - 0.006488)} \Rightarrow \dot{m}_{lat,s} = 0.669kg / sec \quad \text{ή} \quad \dot{m}_{lat,s} = 2408.35kg / hr .$$



Σχήμα 3-6 Ψυχομετρικό διάγραμμα υπολογισμού λόγου υγρασίας του αέρα προσαγωγής, για την θερινή περίοδο¹¹.

Παρατηρούμε ότι η παροχή που απαιτείται για την ικανοποίηση του αισθητού φορτίου είναι μεγαλύτερη από αυτήν που απαιτείται για το λανθάνον ($\dot{m}_{sens,s} > \dot{m}_{lat,s}$), και επομένως η παροχή αέρα που θα πρέπει να προσαχθεί στο χώρο, \dot{m}_s , είναι ίση με:

$$\dot{m}_s = \dot{m}_{lat,s} = 0.669 \text{ kg / sec} \quad \text{ή} \quad \dot{m}_s = 2408.35 \text{ kg / hr}.$$

Συγκρίνοντας την παραπάνω τιμή με την αναγκαία ποσότητα αέρα που υπολογίστηκε ότι πρέπει να προσάγεται στην αίθουσα για να πραγματοποιείται ανανέωση, \dot{m}_j (3.2.2), συμπεραίνουμε ότι είναι αποδεκτή, εφόσον δεν υπάρχει σημαντική απόκλιση μεταξύ τους.

Η επιλογή χρήσης της μικρότερης παροχής μάζας, δηλαδή αυτής που απαιτείται για την ικανοποίηση των λανθανόντων φορτίων, έγινε διότι, αν εισαχθεί η μεγαλύτερη ποσότητα αέρα ($\dot{m}_{sens,s}$) και λόγω ότι ο παρεχόμενος αέρας είναι ξηρότερος από τον εσωτερικό, ο λόγος υγρασίας του αέρα στην αίθουσα θα μειωνόταν. Συγκεκριμένα θα γινόταν ίσος με:

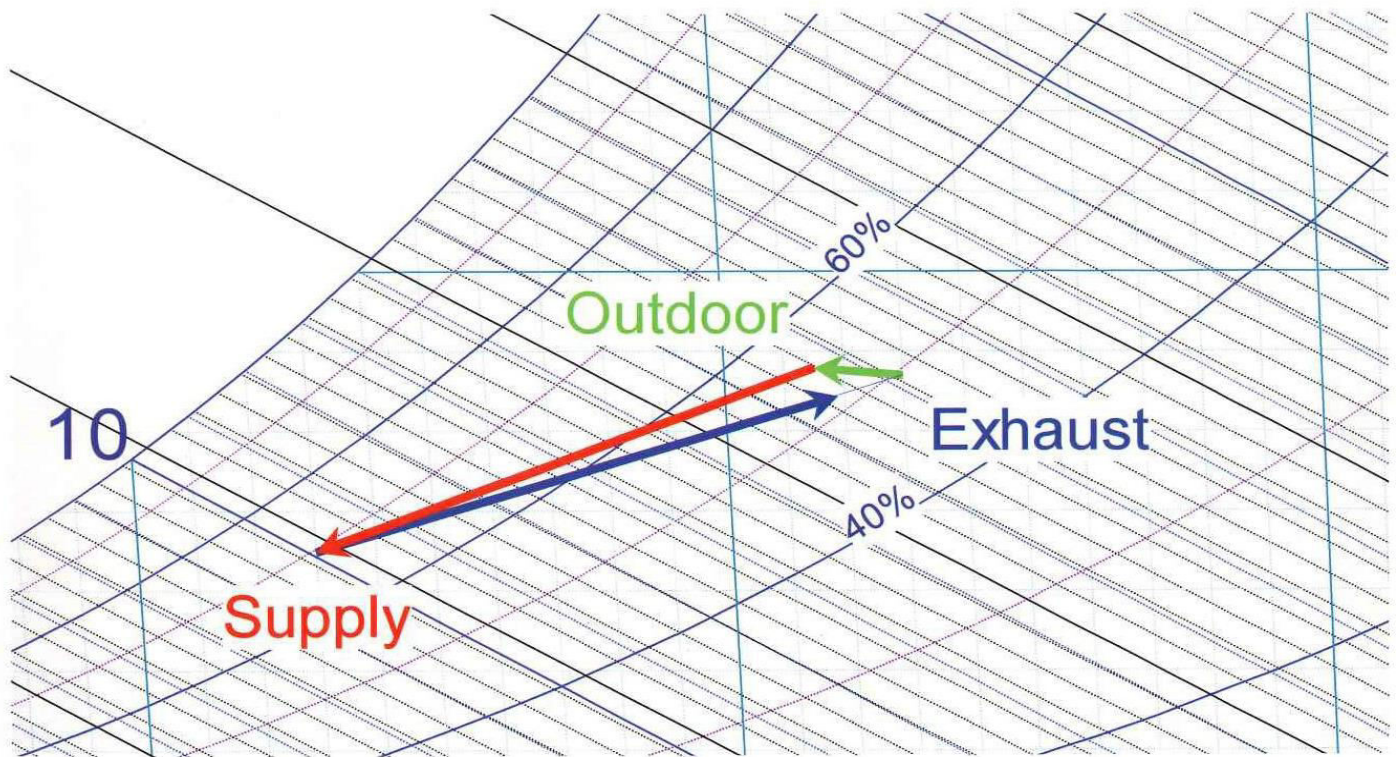
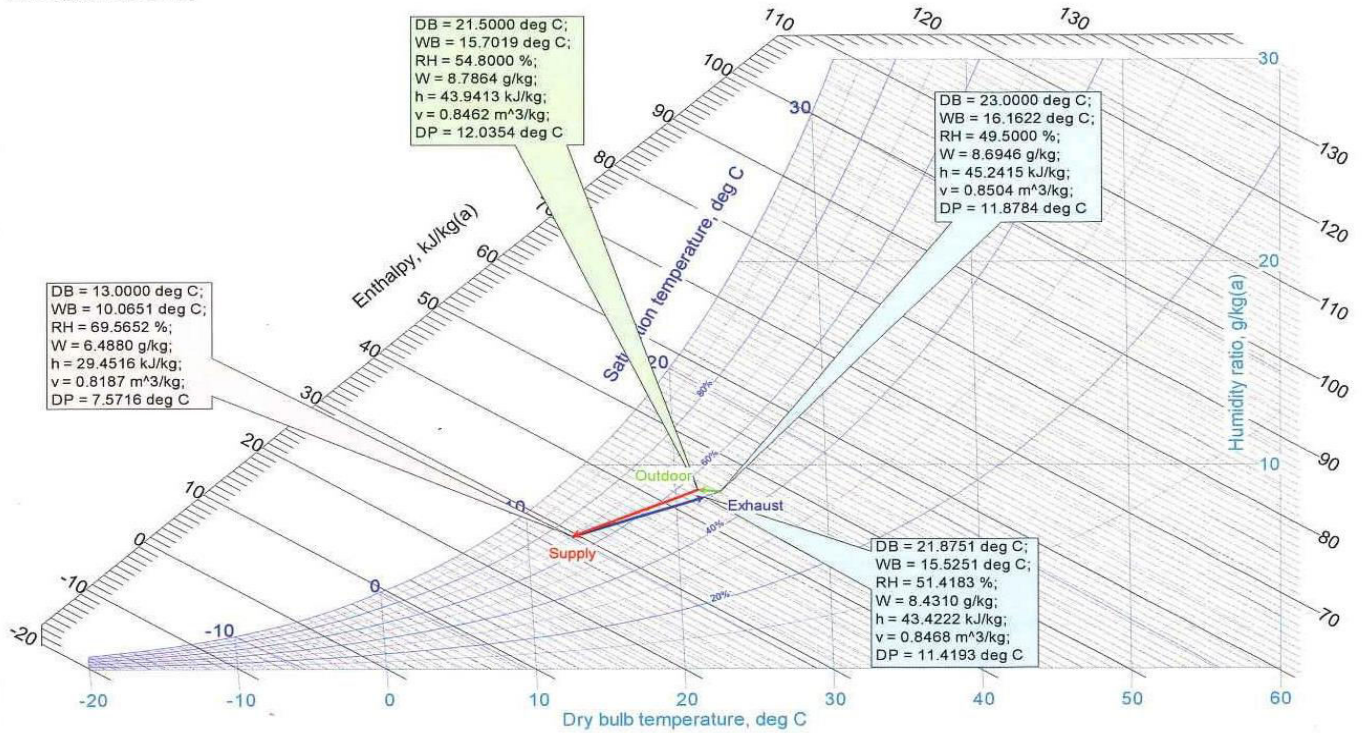
$$W_i' = W_s + \frac{\dot{Q}_{lat}}{h_g \cdot \dot{m}_{sens,s}} = 0.006488 + \frac{4.5}{3048.403 \cdot 0.76} \Rightarrow W_i' = 0.008431 \text{ kg}_w / \text{kg}_{d.a.}$$

Δηλαδή η μεταβολή του λόγου εσωτερικής υγρασίας, η οποία φαίνεται στο σχήμα 3-7, (α) και (β), θα ήταν:

$$\Delta W = W_i - W_i' = 8.695 - 8.431 \Rightarrow \Delta W = 0.264 \text{ gr}_w / \text{kg}_{d.a.} :$$

¹¹ Η πράσινη γραμμή σε όλα τα ψυχομετρικά διαγράμματα, σε αντίθεση με τις υπόλοιπες, δεν αντιπροσωπεύει καμία ψυχομετρική διεργασία, εφόσον εισάγουμε στον χώρο 100% νωπό αέρα. Θα αντιπροσωπεύει μόνο εάν εισάγουμε κάποια συσκευή ανάκτησης θερμότητας..

Pressure: 101325 Pa



Σχήμα 3-7, (α) και (β) Ψυχομετρικά Διαγράμματα μεταβολής λόγου υγρασίας του εσωτερικού αέρα, για την θερινή περίοδο.

Για την αποφυγή αυτής της μεταβολής στις εσωτερικές συνθήκες, ο αέρας θα έπρεπε, μετά την έξοδό του από την κλιματιστική συσκευή και πριν την είσοδό του στη αίθουσα, να υγρανθεί, και μάλιστα κατά $0.264 \text{ gr}_w/\text{kg}_{d.a.}$. Με την αύξηση όμως, του λόγου υγρασίας του αέρα προσαγωγής, θα αυξανόταν και η θερμοκρασία του, με αποτέλεσμα να αλλάξει και πάλι η απαιτούμενη παροχή μάζας που ικανοποιεί το αισθητό φορτίο.

Επομένως για να αποφευχθεί η ύγρανση αυτή, η ποσότητα αέρα που επιλέχθηκε να εισάγεται στον χώρο ισούται με αυτή που απαιτείται για την κάλυψη των λανθανόντων φορτίων. Σε αυτήν την περίπτωση όμως, λόγω της μείωσης της παροχής εξωτερικού αέρα, έπρεπε να μειωθεί και η θερμοκρασία του, ώστε να μην υπάρξει μεταβολή στις συνθήκες σχεδιασμού του χώρου.

Για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας που πρέπει να έχει ο αέρας προσαγωγής, έγινε χρήση του λόγου SHR:

$$SHR = \frac{\dot{Q}_{sens}}{\dot{Q}_{tot}} = \frac{\dot{Q}_{sens}}{\dot{Q}_{sens} + \dot{Q}_{lat}} \Rightarrow \frac{1 - SHR}{SHR} = \frac{\dot{Q}_{lat}}{\dot{Q}_{sens}} \Rightarrow$$

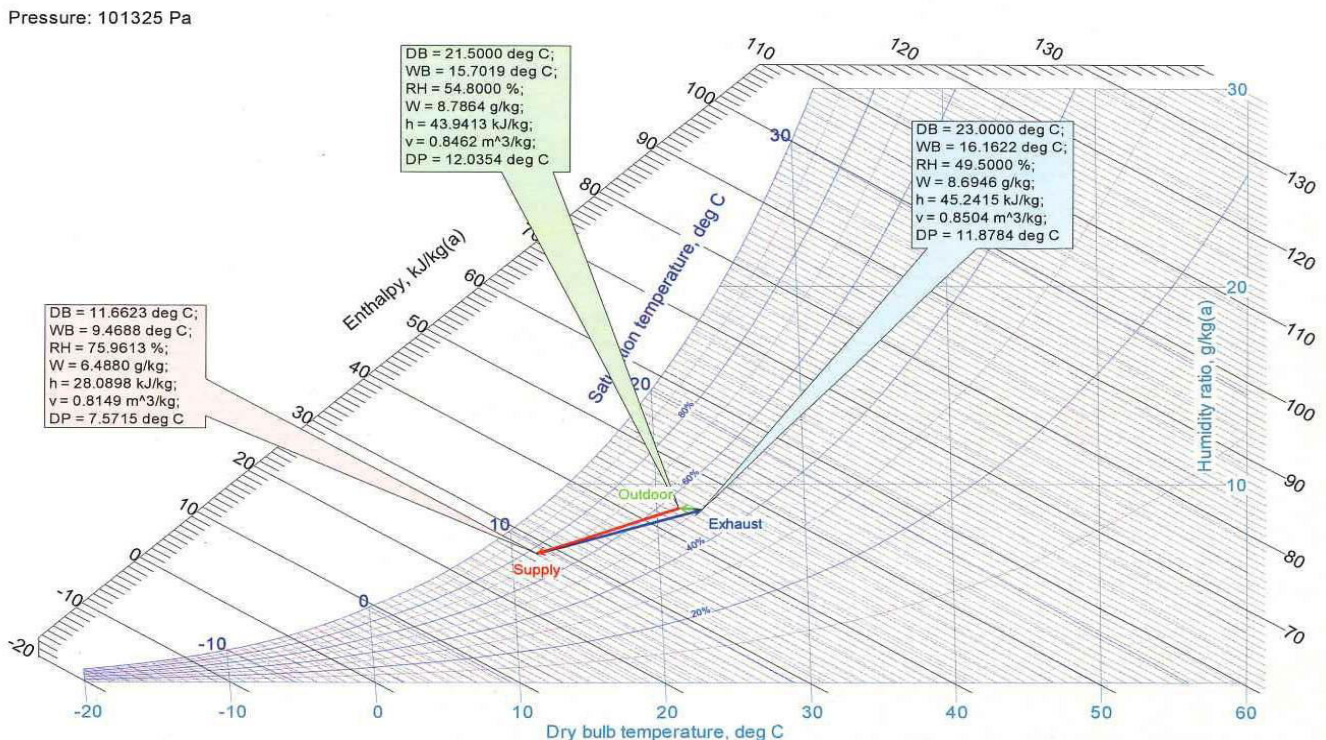
$$\Rightarrow \frac{1 - SHR}{SHR} = \frac{\dot{m}_{lat} \cdot \bar{h}_g \cdot \Delta W}{\dot{m}_{sens} \cdot C_p \cdot \Delta T} \quad (3-3\delta)$$

Και γνωρίζοντας ότι: $\dot{m}_{sens,s} = \dot{m}_{lat,s} = 0.669 \text{ kg / sec}$ και $SHR = 0.633$ ή 63.3% , υπολογίσθηκε από την εξίσωση 3-3δ:

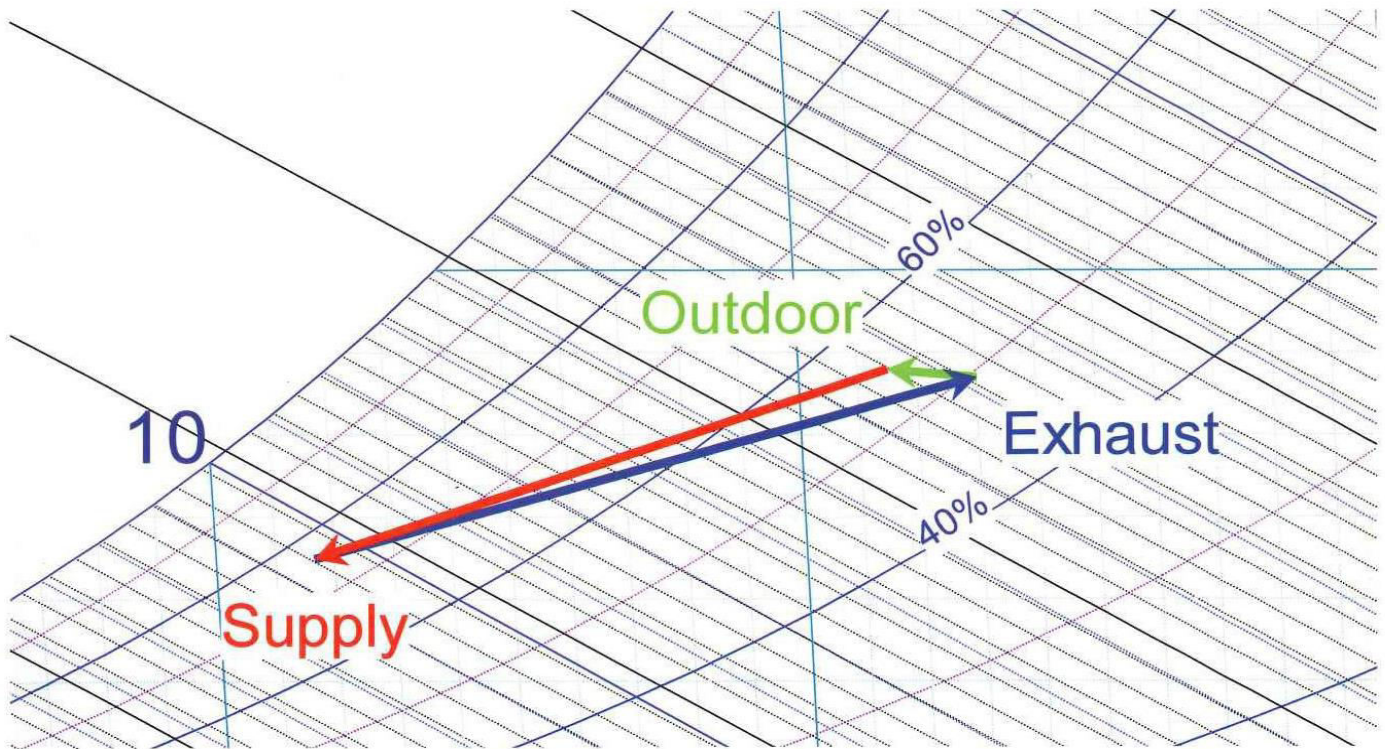
$$\Delta T = \left(\frac{SHR}{1 - SHR} \cdot \frac{\bar{h}_g}{C_p} \right) \Delta W = \left(\frac{0.633}{1 - 0.633} \cdot \frac{3048403}{1021.18} \right) \cdot (0.00869 - 0.006488) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T_s' = 11.66^\circ \text{ C}.$$

Η τελικές διεργασίες που επιλέχθηκαν παρουσιάζονται στο παραπάνω σχήμα 3-8, (α) και (β):



Σχήμα 3-8, (α) και (β) Ψυχομετρικά διαγράμματα κλιματιστικών διεργασιών, για την θερινή περίοδο



Σχήμα 3-8, (α) και (β) Ψυχομετρικά διαγράμματα κλιματιστικών διεργασιών, για την θερινή περίοδο (Συνέχεια).

► **Υπολογισμός Απαιτούμενης Ισχύος Κλιματιστικής Συσκευής:**

Με την χρήση των παραπάνω ψυχομετρικών διαγραμμάτων, προέκυψε τελικά η απαιτούμενη ισχύς της προς εγκατάσταση κλιματιστικής συσκευής. Η διεργασία που πραγματοποιείται εντός της συσκευής δίνεται με κόκκινη γραμμή, οπότε:

$$\dot{W}_{unit} = \dot{m}_s \cdot \Delta h = \dot{m}_s \cdot (h_o - h_s) \quad (3-3\delta)$$

όπου:

$$h_s = 28089.8 J / kg, \text{ από τα διαγράμματα}$$

$$h_o = 43941.3 J / kg, \text{ από τα διαγράμματα}$$

Επομένως από την σχέση 3-3δ, υπολογίσθηκε:

$$\dot{W}_{unit} = 0.669 \cdot (4394.3 - 28089.8) \Rightarrow \dot{W}_{unit} = 10604.42 W \text{ ή } \dot{W}_{unit} \cong 10.6 kW .$$

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η ισχύς που υπολογίσθηκε παραπάνω, δεν παρουσιάζει σημαντική διαφορά με αυτήν που θα χρειαζόταν στην περίπτωση της ύγρανσης του αέρα προσαγωγής. Παρόλο που ο αέρας προσάγεται στην αίθουσα σε χαμηλότερη θερμοκρασία, και επομένως θα αναμενόταν αύξηση της καταναλισκόμενης ενέργειας, η μείωση της ποσότητας του αέρα την αναιρεί.

Τέλος, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι είναι αδύνατη η μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας με τη μέθοδο χρήσης αέρα επιστροφής από τον χώρο. Από τα διαγράμματα παρατηρούμε ότι η θερμοκρασία του αέρα που εξέρχεται από την αίθουσα, είναι υψηλότερη από την θερμοκρασία του αέρα περιβάλλοντος. Έτσι η ανάμιξη των δύο ρευμάτων αέρα, εσωτερικού και εξωτερικού πριν την είσοδό τους στην

κλιματιστική συσκευή, θα προκαλέσει αύξηση της θερμοκρασίας. Το γεγονός αυτό είναι ανεπιθύμητο, εφόσον στη συγκεκριμένη περίπτωση η μελέτη πραγματοποιείται για τον Ιούνιο, και επιδιώκεται ψύξη του χώρου.

3.3.3.2 Χειμερινή Περίοδος

Όπως για την θερινή περίοδο, έτσι και για την χειμερινή, είναι απαραίτητος ο υπολογισμός τις απαιτούμενης παροχής του αέρα προσαγωγής, που ικανοποιεί τα φορτία του χώρου, στον σχεδιασμό των ψυχομετρικών διεργασιών. Στην αρχή αυτής της υποενότητας αναφέρθηκε ότι, η διαφοροποίηση αυτής της περίπτωσης με την πρωτότερη, είναι πως στην συγκεκριμένη δεν λαμβάνονται υπόψη τα αισθητά φορτία της αίθουσας, εφόσον θεωρείται ότι ικανοποιούνται από τα εγκατεστημένα σε αυτή θερμαντικά σώματα. Η μελέτη για τον Ιανουάριο, γίνεται μόνο βάση των λανθανόντων φορτίων που οφείλονται στους ανθρώπους, και γι' αυτό οποιαδήποτε αύξηση στη θερμοκρασία της αίθουσας είναι ανεπιθύμητη.

Επομένως θα γίνει ο σχεδιασμός των κλιματιστικών διεργασιών θα γίνει θεωρώντας ότι ο εξωτερικός αέρας εισάγεται στον χώρο χωρίς καμία αλλαγή στον λόγο υγρασίας του, παρά μόνο στην θερμοκρασία του ($T_s = 20^\circ C$ και $W_o = 2.54 gr_w / kg_{d.a.}$, [7]).

► Υπολογισμός Απαιτούμενης Παροχής Αέρα:

Από την μελέτη υπολογισμού των ψυκτικών φορτίων του χώρου, προέκυψε ότι το συνολικό ψυκτικό φορτίο για τον Ιανουάριο είναι ίσο με, 3.271 kW, 0.031 kW αισθητό και 3.24 kW λανθάνον. Σύμφωνα όμως με τα παραπάνω, ο εξωτερικός αέρας που παρέχεται στο χώρο, παραλαμβάνει μόνο λανθάνον φορτίο, και επομένως ο εσωτερικός αέρας παρουσιάζει μεταβολή στον λόγο υγρασίας του αλλά όχι στην θερμοκρασία του. Οπότε η απαιτούμενη παροχή μάζας που ικανοποιεί το δεδομένο φορτίο, είναι:

$$\dot{m}_{lat,s} = \frac{\dot{Q}_{lat}}{h_g (W_i - W_o)} \text{ [kg/sec]} \quad (3-3\epsilon)$$

όπου:

$$\dot{Q}_{lat} = 3.24 kW - \text{συνολικό αισθητό φορτίο.}$$

$$\bar{h}_g = C p_w \frac{T_i + T_s}{2} + h_{g,0} = 2519.0088 kJ / kg_w$$

Οπότε από την εξίσωση 3-3ε, η απαιτούμενη παροχή μάζας για τον λανθάνον φορτίο είναι ίση με:

$$\dot{m}_{lat,s} = \frac{3.24}{2519.0088(0.00655 - 0.00254)} \Rightarrow \dot{m}_{lat,s} = 0.320 kg / sec \text{ ή } \dot{m}_{lat,s} = 1153.62 kg / hr .$$

Έχοντας όμως προσδιορίσει ότι οι ανάγκες τις αίθουσας σε αερισμό είναι $\dot{m}_i = 2244.7 kg / hr$ (ή 8lt/sec/άτομο με 60 άτομα στην αίθουσα), παρατηρούμε ότι είναι αρκετά μεγαλύτερη από αυτήν υπολογίσθηκε. Επομένως, η απαιτούμενη παροχή αέρα προσαγωγής θα είναι ίση με τις ανάγκες τις αίθουσας για αερισμό, δηλαδή:

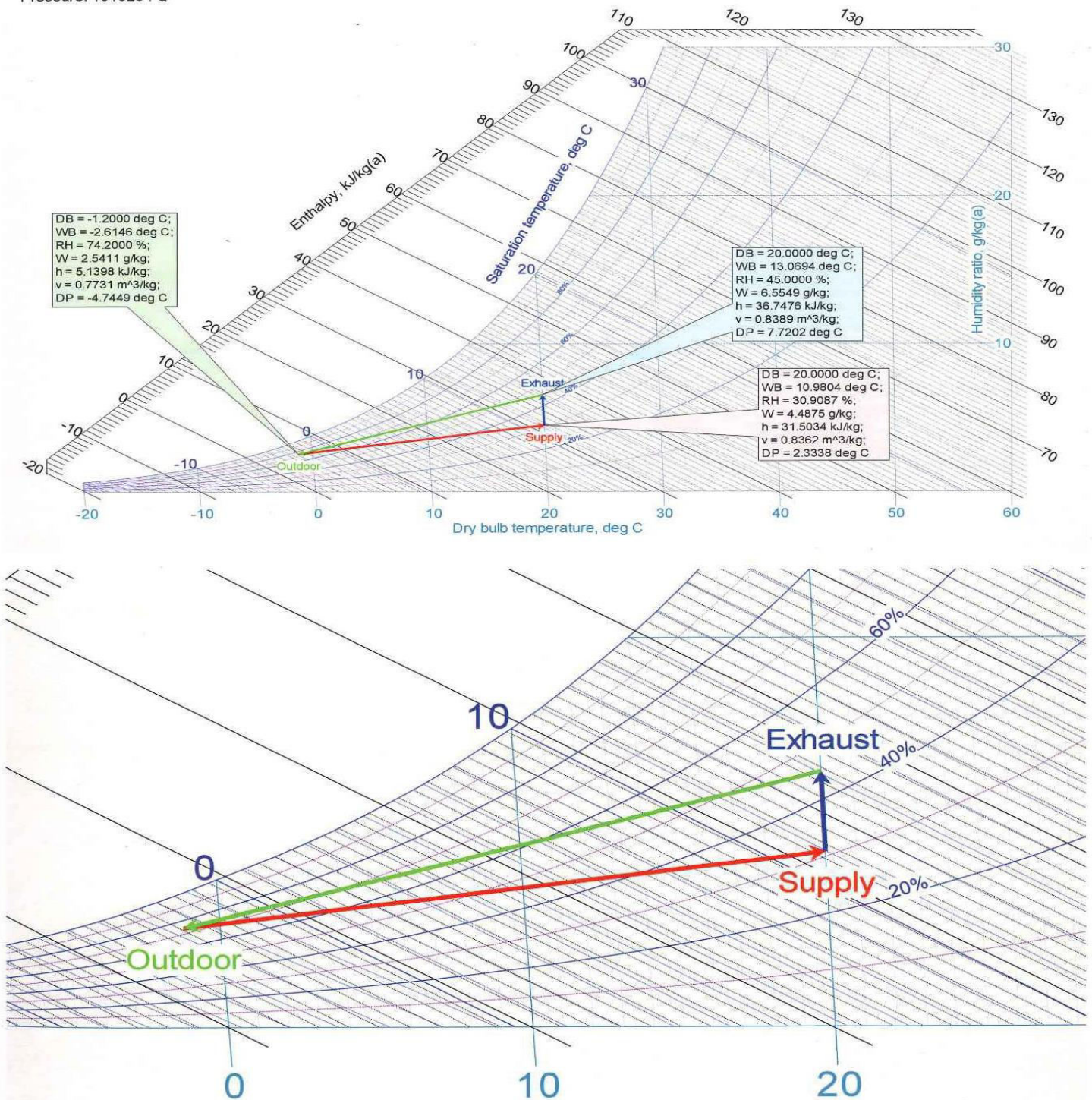
$$\underline{\dot{m}_s = 0.624 kg / sec} \text{ ή } \underline{\dot{m}_s = 2244.7 kg / hr} .$$

Εάν όμως εισαχθεί αυτή η ποσότητα αέρα στο χώρο, η οποία απαιτείται για τον αερισμό του, εξαιτίας του γεγονότος ότι ο εξωτερικός αέρας είναι αρκετά πιο ξηρός από τον εσωτερικό, θα μειωθεί η εσωτερική υγρασία. Οπότε ο αέρας μετά την έξοδό του από την κλιματιστική συσκευή θα πρέπει να υγρανθεί μέχρι να αποκτήσει λόγο υγρασίας:

$$W_s = W_i + \frac{\dot{Q}_{lat}}{h_g \cdot \dot{m}} = 0.00655 + \frac{3.24}{2519.0088 \cdot 0.624} \Rightarrow W_s = 0.004487 \text{ kg}_w / \text{kg}_{d.a.}$$

Η τελικές διεργασίες που επιλέχθηκαν παρουσιάζονται στο σχήμα 3-9, (α) και (β):

Pressure: 101325 Pa



Σχήμα 3-9, (α) και (β) Ψυχομετρικά διαγράμματα κλιματιστικών διεργασιών, για την χειμερινή περίοδο.

➤ **Υπολογισμός Απαιτούμενης Ισχύος Κλιματιστικής Συσκευής:**

Η απαιτούμενη θερμαντική ισχύς¹² της προς εγκατάσταση κλιματιστικής συσκευής υπολογίστηκε με την βοήθεια των ψυχομετρικών διαγραμμάτων που δίνονται στο σχήμα 3-9, (α) και (β). Η διεργασία που πραγματοποιείται εντός της συσκευής δίνεται με κόκκινη γραμμή, οπότε:

$$\dot{W}_{unit} = \dot{m}_s \cdot \overline{Cp} \cdot \Delta T = \dot{m}_s \cdot (T_s - T_o) \quad (3-3στ)$$

όπου:

$$\overline{Cp} = Cp_{d.a.} + \frac{W_i + W_s}{2} Cp_w = 1011.5 J / kgK, \text{ από τα διαγράμματα}$$

Επομένως από την σχέση 3-3στ, υπολογίστηκε:

$$\dot{W}_{unit} = 0.624 \cdot 1011.5 (20 - (-1.2)) \Rightarrow \dot{W}_{unit} = 13370.8W \text{ ή } \dot{W}_{unit} \cong 13.4kW .$$

Ενώ η απαιτούμενη παροχή υγρασίας στον αέρα προσαγωγής, δηλαδή η υγρασία που πρέπει να προστεθεί σε αυτόν πριν την είσοδό του στο χώρο, είναι:

$$\dot{m}_{water} = \dot{m}_s \cdot (W_s - W_o) = 0.624 \cdot (4.487 - 2.54) \Rightarrow \dot{m}_{water} = 1.214 gr_w / sec \text{ ή } \underline{\dot{m}_{water} = 4.37kg_w / hr} .$$

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ότι εφόσον η σχεδίαση των κλιματιστικών διεργασιών έγινε θεωρώντας ότι η συνολική ποσότητα του αέρα που προσάγεται στο χώρο προέρχεται από το περιβάλλον, η ενέργεια της ποσότητας του αέρα που απορρίπτεται σε αυτό παρέμεινε ανεκμετάλλευτη. Το γεγονός αυτό αυξάνει την καταναλισκόμενη ενέργεια. Όμως στην συγκεκριμένη περίπτωση, είναι αδύνατη η αδιαβάτικη ανάμιξη των δύο ρευμάτων αέρα (εσωτερικού και εξωτερικού) ώστε να προκύψουν οι επιθυμητές συνθήκες του αέρα προσαγωγής χωρίς επιπλέον κατανάλωση ενέργειας. Ο λόγος είναι ότι ο εξωτερικός αέρας έχει λόγο υγρασίας σημαντικά μικρότερο από αυτόν του εξωτερικού αέρα, με αποτέλεσμα να χρειάζονται πολύ μεγάλες ποσότητες αέρα επιστροφής (της τάξεως των εκατοντάδων χιλιάδων), ώστε να προκύψει ο επιθυμητός λόγος υγρασίας για τον αέρα προσαγωγής.

Για να επιτευχθεί η αδιαβάτικη ανάμιξη, με εκμετάλλευση όλης της ποσότητας του αέρα που εξάγεται στο περιβάλλον (2244.7 kg/hr), θα πρέπει ο εξωτερικός αέρας να προ-κλιματιστεί. Επομένως ακόμη και αν γίνει χρήση του αέρα επιστροφής, η συνολική καταναλισκόμενη ενέργεια θα παραμείνει η ίδια, παρόλο που θα μειωθεί η ισχύς της προς εγκατάσταση κλιματιστικής συσκευής. Ο μόνος τρόπος ώστε να επιτευχθεί εξοικονόμηση ενέργειας, είναι με χρήση ενός από τα συστήματα ανάκτησης θερμότητας (περιστρεφόμενος εναλλάκτης θερμότητας, εναλλάκτης θερμότητας αέρα-αέρα ή αέρα-νερού), τα οποία αναφέρθηκαν στην εισαγωγή.

¹² Η θερμαντική ισχύς ορίζεται ως η θερμαντική ικανότητα της συσκευής, σε kW, κατά την λειτουργία θέρμανσης υπό πλήρες φορτίο.

Κεφάλαιο 4

Μελέτη Κατανομής Παραμέτρων Θερμικού Περιβάλλοντος Και Ποιότητας Αέρα

4.1. Μεθοδολογία Υπολογιστικής Ρευστομηχανικής - ANSYS CFX

Η ANSYS CFX είναι ένα λογισμικό υπολογιστικής ρευστομηχανικής το οποίο και χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία. Βασίζεται στην μέθοδο επίλυσης πεπερασμένων όγκων και είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί σε περιπτώσεις που αφορούν:

- ✓ Μόνιμες και περιοδικές ροές
- ✓ Στρωτές και τυρβώδης ροές
- ✓ Υποηχητικές, ηχητικές και υπερηχητικές ροές
- ✓ Μετάδοση θερμότητας και θερμική ακτινοβολία
- ✓ Άνωση
- ✓ Μη-νευτώνεια ρευστά
- ✓ Μεταφορά βαθμωτών, μη αντιδρώντων, μεγεθών
- ✓ Πολυφασικές ροές
- ✓ Καύση
- ✓ Ροή σε πολλαπλά πλαίσια αναφοράς
- ✓ Ιχνηλασία σωματιδίων

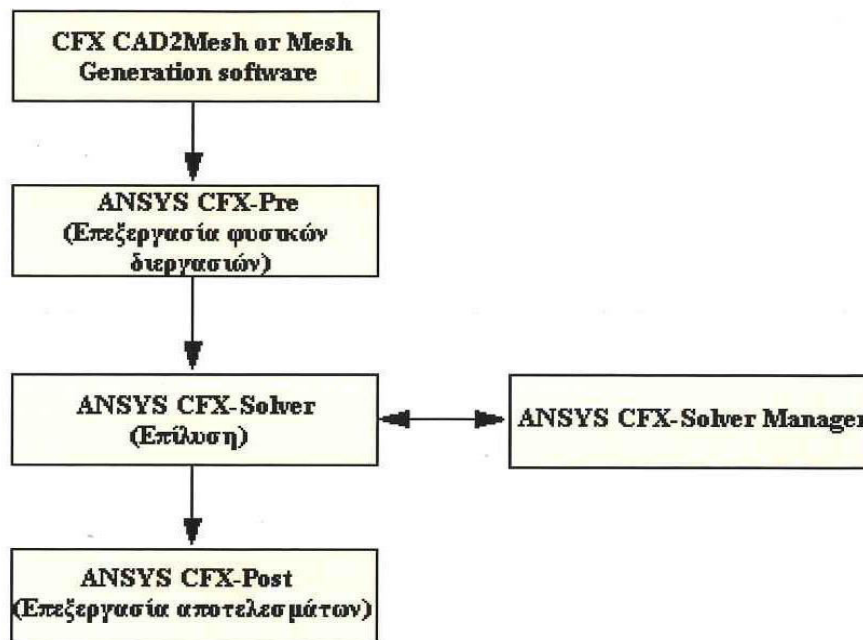
Αποτελείται από πέντε υπολογιστικές υπομονάδες που διαβιβάζουν τις απαιτούμενες πληροφορίες για να πραγματοποιηθεί η ανάλυση CFD. Η σειρά διαδοχής τους φαίνεται στο σχήμα 4-1.

4.1.1 ANSYS Mesh

Σε αυτό το στάδιο σκοπός είναι να παραχθεί ένα πλέγμα το οποίο θα εισαχθεί αργότερα στο στάδιο της επεξεργασίας των φυσικών διεργασιών. Για την παραγωγή του πλέγματος είναι απαραίτητο να δημιουργηθεί πρώτα το γεωμετρικό στερεό που θα περιγράφει την γεωμετρία του προβλήματος. Η γεωμετρία και το πλέγμα μπορούν να κατασκευαστούν με χρήση του CAD2Mesh ή οποιουδήποτε άλλου εργαλείου δημιουργίας γεωμετρίας/ πλέγματος. Τα βασικότερα βήματα είναι τα εξής:

1. Προσδιορισμός της γεωμετρίας της περιοχής ενδιαφέροντος.

2. Δημιουργία των περιοχών ροής, των περιοχών των στερεών και των ορίων των επιφανειών.
3. Ορισμός των ιδιοτήτων του πλέγματος.
4. Αυτόματη παραγωγή του πλέγματος του υπολογιστικού χώρου.



Σχήμα 4-1 Διαδοχή υπολογιστικών υπομονάδων.[32]

4.1.2 ANSYS CFX-Pre

Το δεύτερο βήμα είναι να εισαχθούν τα δεδομένα που απαιτούνται για την επίλυση. Αρχικά εισάγεται το αρχείο του πλέγματος που δημιουργήθηκε στο προηγούμενο στάδιο και κατόπιν επιλέγονται τα υπολογιστικά μοντέλα που περιγράφουν τις φυσικές διεργασίες του προβλήματος. Τέλος ορίζονται οι ιδιότητες των ρευστών και των οριακών συνθηκών ενώ στην περίπτωση των περιοδικών συστημάτων ορίζονται και οι αρχικές συνθήκες.

4.1.3 ANSYS CFX-Solver

Στο στάδιο αυτό, το CFD πρόβλημα επιλύεται από τον Solver και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται με μία μη-αλληλεπιδρούσα/ μαζική επεξεργασία. Ένα πρόβλημα CFD επιλύεται ως εξής:

1. Οι μερικές διαφορικές εξισώσεις ολοκληρώνονται για όλον τον υπολογιστικό χώρο στην περιοχή ενδιαφέροντος.
2. Οι μερικές διαφορικές εξισώσεις μετασχηματίζονται σε ένα σύστημα αλγεβρικών εξισώσεων δημιουργώντας κάποιες στρογγυλοποιήσεις στους όρους των ολοκληρωμένων εξισώσεων.
3. Οι αλγεβρικές εξισώσεις επιλύονται επαναληπτικά.
4. Παραγωγή αρχείο αποτελεσμάτων.

Οι επαναλήψεις απαιτούνται λόγω της μη-γραμμικής φύσης των εξισώσεων, ώστε καθώς η λύση πλησιάζει την πραγματική να υπάρξει σύγκλιση. Στο τέλος κάθε επανάληψης, αναφέρεται ένα σφάλμα που αποτελεί μέτρο της διατήρησης των ιδιοτήτων της ροής.

Η τελική σύγκλιση εξαρτάται από ένα σύνολο παραγόντων, όπως το μέγεθος και το σχήμα των όγκων ελέγχου και το μέγεθος των τελικών υπολοίπων. Για την μοντελοποίηση πολύπλοκων φυσικών διεργασιών, όπως η καύση και η τύρβη, χρησιμοποιούνται εμπειρικές σχέσεις, με αποτέλεσμα να υπάρχει διαφοροποίηση μεταξύ των αποτελεσμάτων με χρήση CFD και της πραγματικής ροής.

4.1.4 ANSYS CFX-Post

Το τελευταίο αυτό στάδιο, είναι το στάδιο της ανάλυσης, απεικόνισης και παρουσίασης των αποτελεσμάτων. Μπορεί να περιλαμβάνει τιμές σημείων μέχρι και πολύπλοκες γραφικές αλληλουχίες.

Παραδείγματα κάποιων βασικών χαρακτηριστικών του CFX-Post είναι:

- Οπτικοποίηση της γεωμετρίας και του υπολογιστικού χώρου.
- Σχέδια διανυσμάτων που δείχνουν την διεύθυνση και την έκταση της ροής.
- Οπτικοποίηση των μεταβολών των βαθμωτών μεγεθών (μεταβλητές που έχουν μόνο μέτρο, όχι διεύθυνση, όπως η θερμοκρασία, η πίεση και η ταχύτητα) στο πεδίο ορισμού.
- Ποσοτικοί αριθμητικοί υπολογισμοί.
- Απεικόνιση σε κινούμενα σχέδια (animation).
- Διαγράμματα που απεικονίζουν τις μεταβλητές.
- Παραγωγή αντιγράφων από εκτυπωτή ηλεκτρονικού υπολογιστή.

4.2 Αριθμητική Παραμετρική Μελέτη

Η μελέτη της κατανομής των παραμέτρων θερμικού περιβάλλοντος για την συγκεκριμένη αίθουσα διδασκαλίας, πραγματοποιήθηκε τόσο για την θερινή όσο και για την χειμερινή περίοδο, για τέσσερις διαφορετικές θέσεις τοποθέτησης των διαχυτήρων του κλιματιστικού συστήματος. Οι παράμετροι που μελετήθηκαν ήταν η θερμοκρασία, η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα και ο λόγος υγρασίας του εσωτερικού αέρα και πως αυτές μεταβάλλονται στις περιπτώσεις προσαγωγής αέρα με ή χωρίς ανανέωση. Η περίπτωση χωρίς ανανέωση επελέγη ώστε να προσομοιάζει την πρόσφατη εγκατάσταση στον χώρο της αίθουσας, συμβατικών κλιματιστικών συσκευών τύπου split, οι οποίες δεν προσάγουν νωπό αέρα στον χώρο αλλά ρυθμίζουν την θερμοκρασία (και σε μικρότερο βαθμό την υγρασία) του υπάρχοντος. Η διαδικασία επαναλήφθηκε και με χρήση προσαρμοσμένων τιμών για τον ρυθμό παραγωγής του διοξειδίου του άνθρακα από τους ανθρώπους, οι οποίες λήφθηκαν από πειραματικές μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στην αίθουσα στις 18 Ιουνίου 2008, μεταξύ 9:00 και 11:00 π.μ (Θεοδοσίου Θ. και Μπούρης Δ., 2008 [34]). Θα πρέπει, στο σημείο αυτό, να τονιστεί ότι δεν γίνεται ακριβής προσομοίωση της εγκατεστημένης συσκευής κλιματισμού αφού χρησιμοποιούνται οι τιμές που προέκυψαν από την

διαστασιολόγηση και όχι αυτές του κατασκευαστή της συσκευής. Τα αποτελέσματα θα πρέπει να θεωρούνται λοιπόν αντιπροσωπευτικά της διάταξης, όχι όμως ακριβής προσομοίωση αυτής.

Τελικά οι παραμετρικές περιπτώσεις που επιλέχθηκαν να μελετηθούν ήταν οι εξής πέντε:

1. Κατά πλάτος διαμπερής αερισμός, με ανανέωση
2. Κατά μήκος διαμπερής αερισμός, με ανανέωση
3. Κατά μήκος μονομερής αερισμός (άνω είσοδος-κάτω έξοδος), χωρίς ανανέωση
4. Κατά μήκος μονομερής αερισμός (άνω είσοδος-κάτω έξοδος), χωρίς ανανέωση, με προσαρμοσμένες τιμές παραγωγής CO₂
5. Κατά μήκος μονομερής αερισμός (άνω είσοδος-έξοδος), χωρίς ανανέωση, με προσαρμοσμένες τιμές παραγωγής CO₂

Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη υποενότητα, τα στάδια που πρέπει να ακολουθηθούν για την πραγματοποίηση αυτής της μελέτης, είναι αρχικά η δημιουργία του πλέγματος του υπολογιστικού χώρου, κατόπιν η εισαγωγή των δεδομένων και η επιλογή των υπολογιστικών μοντέλων που περιγράφουν τις φυσικές διεργασίες του προβλήματος και τέλος η παραγωγή και επεξεργασία των αποτελεσμάτων.

4.2.1 Δημιουργία Πλέγματος Υπολογιστικού Χώρου

Το πλέγμα του υπολογιστικού χώρου δημιουργήθηκε βάση του σχεδίου της αίθουσας που δόθηκε στο σχήμα 3-2. Για όλες τις παραμετρικές περιπτώσεις χρησιμοποιήθηκε χωρικό βήμα διακριτοποίησης, $dx = 0.25$ m, ενώ για τους διαχυτήρες εισόδου και εξόδου χρησιμοποιήθηκε $dx=0.1$ m. Το μέγεθος του πλέγματος ήταν από 353.135 έως 353.538 στοιχεία, ανάλογα με την περίπτωση.

Για την δημιουργία του πλέγματος ήταν η απαραίτητη η επιλογή της θέσης τοποθέτησης των διαχυτήρων, καθώς και η διαστασιολόγησή τους, τόσο για τον Ιούνιο όσο και για τον Ιανουάριο.

4.2.1.1 Διαστασιολόγηση Διαχυτήρων

Ο τύπος διαχυτήρα που επιλέχθηκε ήταν ένας τυπικός γραμμικός διαχυτήρας, με πλάτος 6 in και ογκομετρική παροχή αέρα 177 cfm ανά 12 in μήκος, ενώ έχει κριτήρια θορύβου NC13 για 120 in μήκος ([29]). Για την διαστασιολόγηση θεωρήθηκε ότι θα χρησιμοποιηθούν οι ίδιοι διαχυτήρες για την θερινή και την χειμερινή περίοδο και ότι η ογκομετρική παροχή του αέρα που προσάγεται στο χώρο, \dot{V}_s , είναι ίση με αυτή που εξάγεται, \dot{V}_o , ενώ ο αέρας έχει την ίδια ταχύτητα στην είσοδο, u_s , και στην έξοδο, u_o .

Επομένως γνωρίζοντας ότι:

$$\dot{V} = u \cdot A,$$

και με $\dot{V}_s = \dot{V}_o = \dot{V}$ και $u_s = u_o = u$, προκύπτει: $A_s = A_o = A$.

Δηλαδή η επιφάνεια του διαχυτήρα εισόδου, A_s , θα είναι ίση με την επιφάνεια του διαχυτήρα εξόδου, A_o .

➤ Ιούνιος:

Από τον σχεδιασμό των διεργασιών κλιματισμού, είχε προσδιορισθεί ότι η απαιτούμενη παροχή εξωτερικού αέρα για τον μήνα Ιούνιο, είναι:

$$\dot{m}_s = 0.669 \text{ kg / sec} \quad \text{ή} \quad \dot{m}_s = 2408.35 \text{ kg / hr} .$$

Οπότε τελικά η απαιτούμενη ογκομετρική παροχή αέρα θα είναι:

$$\dot{V}_s = \frac{\dot{m}_s}{\rho_{11.66^\circ \text{C}}} = \frac{0.669}{1.24} \Rightarrow \dot{V}_s = 0.5395 \text{ m}^3 / \text{sec} \quad \text{ή} \quad \underline{\dot{V}_s = 1143.21 \text{ cfm}} .$$

Γνωρίζοντας από τα στοιχεία του διαχυτήρα ότι για 12 in μήκος, η ογκομετρική παροχή αέρα είναι 177 cfm, δηλαδή 6.5 φορές μικρότερη από τις απαιτήσεις της αίθουσας, συμπεραίνουμε ότι χρειάζεται να τοποθετηθούν 7 διαχυτήρες, με συνολικό μήκος:

$$l_v = 7 \cdot (12 \text{ in}) \Rightarrow l_v = 84 \text{ in} \quad \text{ή} \quad \underline{l_v = 2.134 \text{ m}}$$

και πλάτος:

$$w_v = 6 \text{ in} \quad \text{ή} \quad \underline{w_v = 0.153 \text{ m}} .$$

Οπότε η επιφάνεια των διαχυτήρων εισόδου και εξόδου θα είναι:

$$A = l_v \cdot w_v = 2.134 \cdot 0.153 \Rightarrow A \cong 0.3265 \text{ m}^2 ,$$

ενώ η ταχύτητα εισόδου και εξόδου του αέρα από την αίθουσα προκύπτει:

$$u = \frac{\dot{V}}{A} = \frac{0.5395}{0.3265} \Rightarrow \underline{u \cong 1.652 \text{ m / sec}}$$

Σημαντικό είναι να ελεγχθεί ότι οι διαχυτήρες που επιλέχθηκαν δεν ξεπερνούν τα αποδεκτά όρια θορύβου για την συγκεκριμένη αίθουσα. Στην περίπτωση αυτή, της ευρύχωρης αίθουσας διδασκαλίας, τα κριτήρια θορύβου είναι NC35-40 ([29]), και εφόσον ο συγκεκριμένος τύπος διαχυτήρα έχει NC13 για 120 in μήκους, συμπεραίνουμε ότι ικανοποιούνται τα όρια αυτά.

➤ Ιανουάριος:

Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και για τον Ιανουάριο, έχοντας προσδιορίσει από τον σχεδιασμό των ψυχομετρικών διεργασιών ότι:

$$\underline{\dot{m}_s = 0.624 \text{ kg / sec}} \quad \text{ή} \quad \underline{\dot{m}_s = 2244.7 \text{ kg / hr}}$$

και οπότε η απαιτούμενη ογκομετρική παροχή θα είναι:

$$\dot{V}_s = \frac{\dot{m}_s}{\rho_{20^\circ \text{C}}} = \frac{0.624}{1.2} \Rightarrow \dot{V}_s = 0.52 \text{ m}^3 / \text{sec} \quad \text{ή} \quad \underline{\dot{V}_s = 1059.5 \text{ cfm}} ,$$

δηλαδή περίπου 6 φορές μεγαλύτερη από αυτήν που δίνεται στα στοιχεία του διαχυτήρα.

Όμως για την προηγούμενη περίπτωση του Ιουνίου, επιλέχθηκε να τοποθετηθούν 7 διαχυτήρες, δηλαδή ένας παραπάνω, και έχοντας θεωρήσει ότι θα χρησιμοποιηθεί ο ίδιος αριθμός διαχυτήρων και για τις δύο

περιόδους, για να διατηρηθεί η συγκεκριμένη παροχή θα πρέπει να μειωθεί η ταχύτητα εισόδου και εξόδου του αέρα. Οπότε τελικά προκύπτουν για τον Ιανουάριο:

$$l_v = 84in \text{ ή } \underline{l_v = 2.134m}$$

και:

$$w_v = 6in \text{ ή } \underline{w_v = 0.153m},$$

με:

$$A \cong 0.3265m^2$$

$$\text{και ταχύτητα εισόδου και εξόδου του αέρα: } u = \frac{\dot{V}}{A} = \frac{0.52}{0.3265} \Rightarrow \underline{u \cong 1.593m/sec}.$$

4.2.1.2 Τοποθέτηση Διαχυτήρων

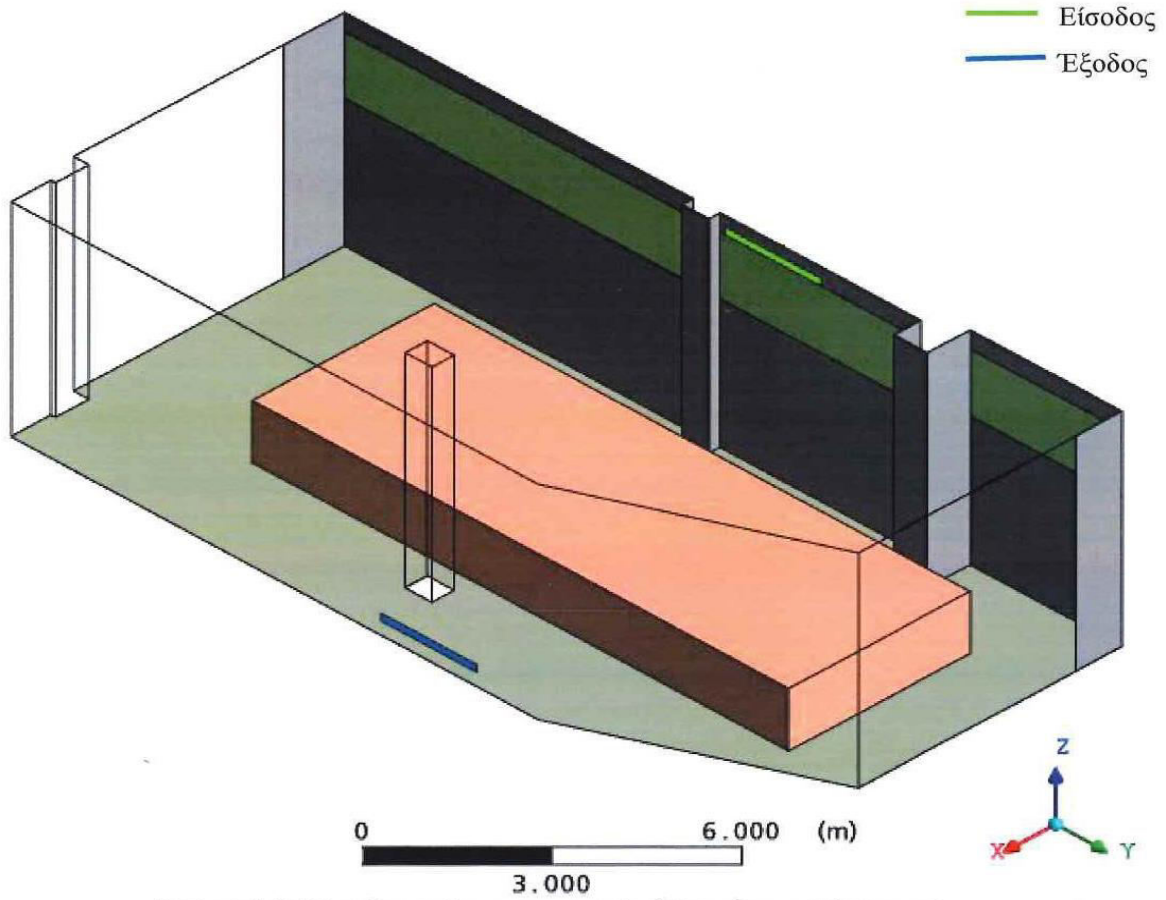
Όπως αναφέρθηκε, μελετήθηκαν τέσσερις διαφορετικές θέσεις τοποθέτησης διαχυτήρων, και για την θερινή και για την χειμερινή περίοδο.

Στη περίπτωση του **κατά πλάτους διαμπερή αερισμού**, οι διαχυτήρες τοποθετήθηκαν σε απόσταση 8.525 m από τον βόρειο τοίχο, με την είσοδο στον ανατολικό τοίχο, σε ύψος 4.5 m και την έξοδο στον δυτικό σε ύψος 0.3 m (σχήμα 4-2).

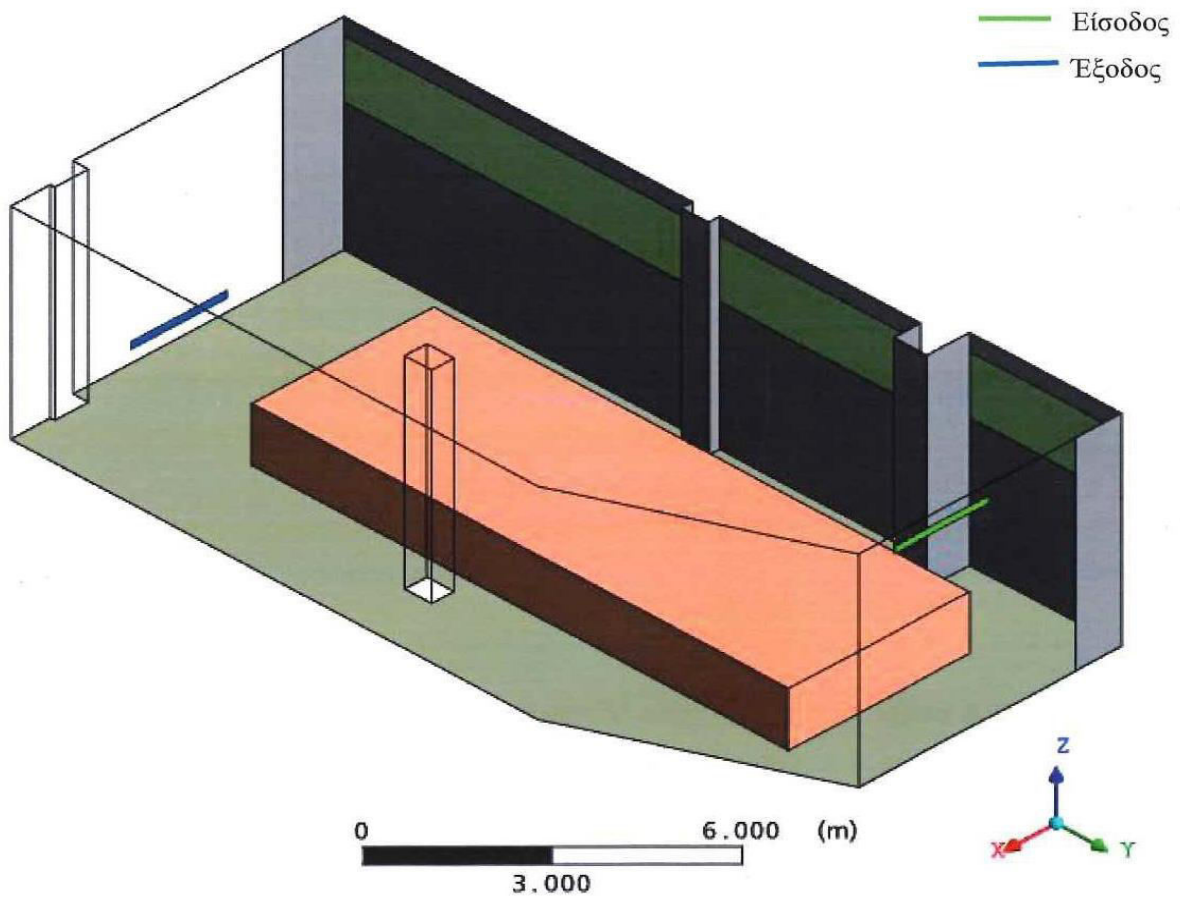
Για τον **κατά μήκος διαμπερή αερισμό**, οι διαχυτήρες τοποθετήθηκαν σε απόσταση 2.958 m από τον ανατολικό τοίχο, με την είσοδο στον νότιο τοίχο σε ύψος 4.5 m και την έξοδο στον δυτικό, σε ύψος 0.3 m (σχήμα 4-3).

Στην περίπτωση του **κατά μήκος μονομερή αερισμού (άνω είσοδος-κάτω έξοδος)**, οι διαχυτήρες τοποθετήθηκαν και πάλι σε απόσταση 2.958 m από τον ανατολικό τοίχο, με την είσοδο στον νότιο τοίχο σε ύψος 4.5 m αλλά με την έξοδο επίσης στον νότιο, σε ύψος 0.3 m (σχήμα 4-4).

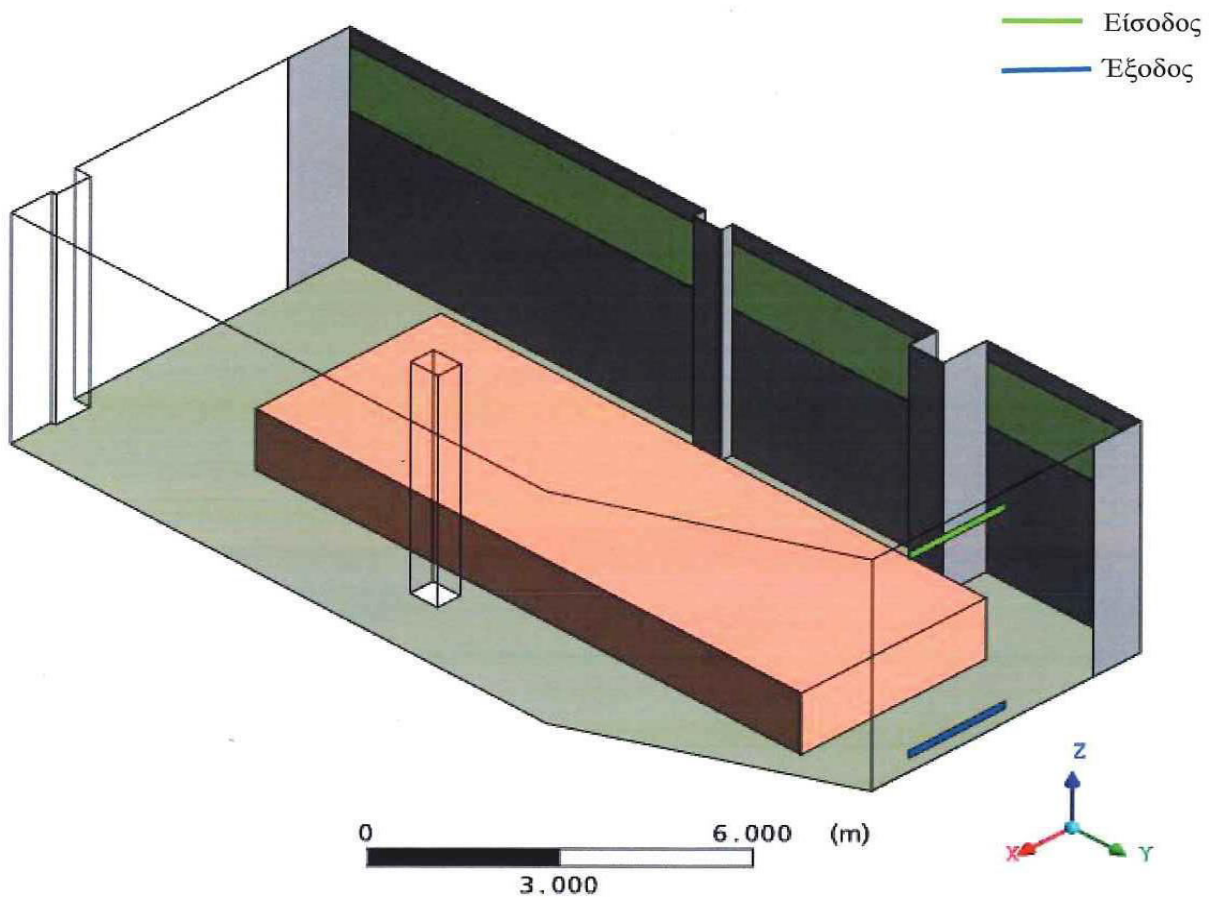
Τέλος, για τον **κατά μήκος μονομερή αερισμό (άνω είσοδος-έξοδος)**, οι διαχυτήρες απείχαν πάλι 2.958 m από τον ανατολικό τοίχο, με την είσοδο στον νότιο τοίχο σε ύψος 4.5 m και την έξοδο στον δυτικό, όμως σε ύψος 4.1 m (σχήμα 4-5).



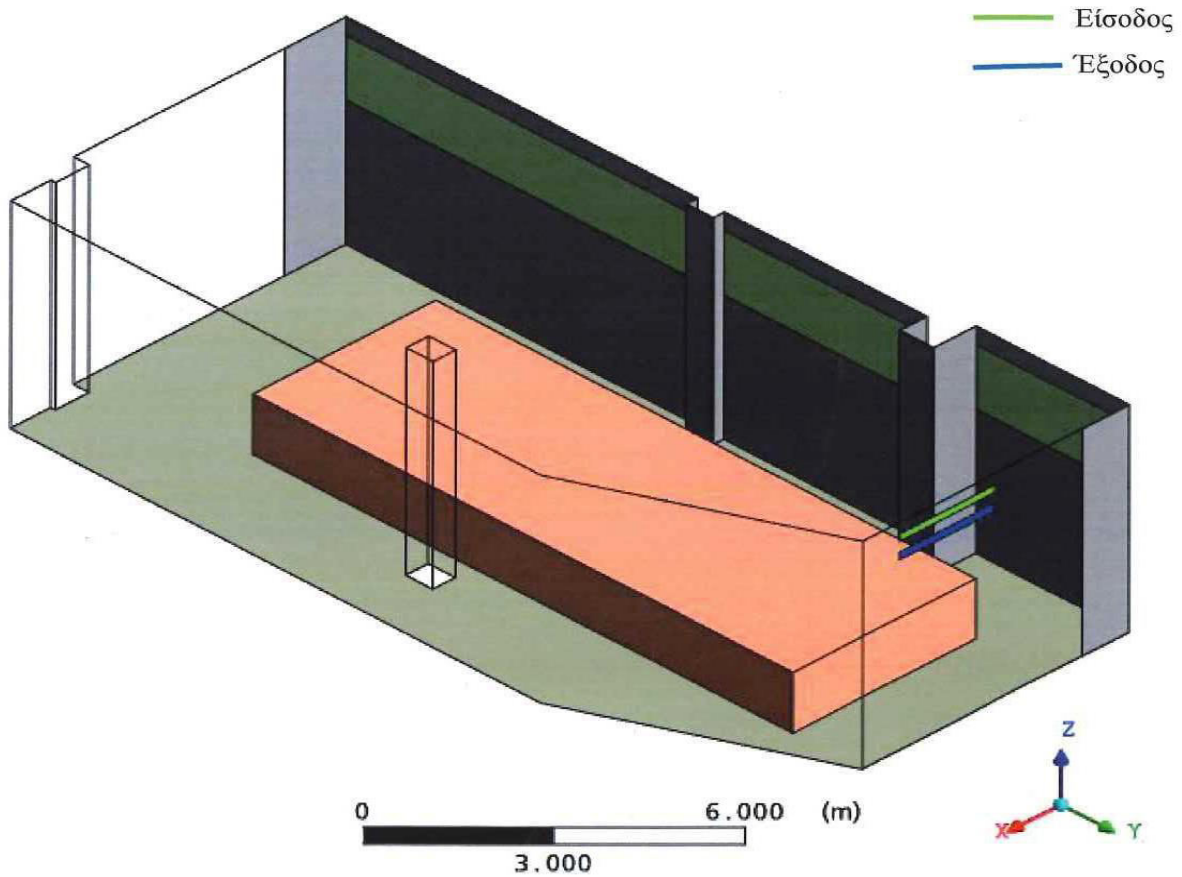
Σχήμα 4-2 Θέση διαχυτήρων στον κατά πλάτος διαμπερή αερισμό.



Σχήμα 4-3 Θέση διαχυτήρων στον κατά μήκος διαμπερή αερισμό.



Σχήμα 4-4 Θέση διαχυτρων στον κατά μήκος μονομερή αερισμό (άνω είσοδος-κάτω έξοδος).



Σχήμα 4-5 Θέση διαχυτήρων στον κατά μήκος μονομερή αερισμό (άνω είσοδος-έξοδος).

4.2.2 Επιλογή Υπολογιστικών Μοντέλων

Τα υπολογιστικά μοντέλα που εισαχθήκανε για την επίλυση του προβλήματος αποτελούνται από έξι κατηγορίες. Αφορούν τις εξισώσεις επίλυσης, τον τύπο προσομοίωσης, τον υπολογιστικό χώρο και τις οριακές του συνθήκες, τις αρχικές συνθήκες που επικρατούν σε αυτόν και τέλος τον έλεγχο επίλυσης.

Επιλέχθηκαν μοντέλα κατά βάση ίδια και για τις δύο περιόδους, για όλες τις παραμετρικές περιπτώσεις. Εξαίρεση αποτέλεσαν τα ψυκτικά φορτία του χώρου, αισθητά και λανθάνοντα, οι συνθήκες σχεδιασμού για την αίθουσα και η θερμοκρασία και ο λόγος υγρασίας εσωτερικού και προσαγόμενου αέρα. Ως συνέπεια της αλλαγής της θερμοκρασίας ήταν και η αλλαγή της κινηματικής διαχυτότητας, D , του διοξειδίου του άνθρακα και της υγρασίας. Επίσης, λόγω των παραπάνω, η παροχή μάζας του αέρα που εισάγεται στον χώρο ήταν διαφορετική για καθέναν από τους δύο μήνες, όπως και η παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα και υγρασίας από τα άτομα της αίθουσας.

4.2.2.1 Εξισώσεις

Χρησιμοποιήθηκαν εξισώσεις για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας και του λόγου υγρασίας του αέρα προσαγωγής ως συνάρτηση των φορτίων του χώρου και των συνθηκών που επικρατούν σε αυτόν. Ως εσωτερική θερμοκρασία και εσωτερικός λόγος υγρασίας θεωρήθηκαν οι μέσες τιμές που υπολογίζονται κατά την διάρκεια επίλυσης για κάθε χρονικό βήμα στον διαχυτήρα εξόδου, ενώ χρησιμοποιήθηκαν τα ψυκτικά φορτία και η παροχή μάζας που υπολογίσθηκαν από την μελέτη του συστήματος κλιματισμού για την αίθουσα, στο προηγούμενο κεφάλαιο.

➤ Ιούνιος:

Η θερμοκρασία του αέρα προσαγωγής υπολογίζεται βάση της παρακάτω εξίσωσης, 4-2α:

$$T_o = T_i - \frac{\dot{Q}_s}{\dot{m}_s \cdot C_p} \quad [\text{K}] \quad (4-2\alpha)$$

όπου:

T_o – η θερμοκρασία του αέρα προσαγωγής, υπολογίζεται από το λογισμικό για κάθε χρονικό βήμα, σε K.

T_i – η μέση τιμή της θερμοκρασίας του εσωτερικού αέρα στον διαχυτήρα εξόδου, υπολογίζεται από το λογισμικό για κάθε χρονικό βήμα, σε K.

$\dot{Q}_s = 7759 \text{ Watt}$ – το συνολικό αισθητό φορτίο για τον Ιούνιο.

$\dot{m}_s = 0.669 \text{ kg / sec}$ – η απαιτούμενη παροχή μάζας αέρα στον χώρο για τον Ιούνιο.

$\overline{C_p} = 1021.18 \text{ J / kgK}$ – η μέση ειδική θερμοχωρητικότητα του αέρα, για τον Ιούνιο.

Αντίστοιχα, ο λόγος υγρασίας του αέρα προσαγωγής υπολογίζεται από την εξίσωση, 4-2β:

$$W_o = W_i - \frac{\dot{Q}_l}{\dot{m}_s \cdot h_g} \quad [\text{kg}_w/\text{kg}_{d.a.}] \quad (4-2\beta)$$

όπου:

W_o – ο λόγος υγρασίας του αέρα προσαγωγής, υπολογίζεται από το λογισμικό για κάθε χρονικό βήμα, σε $kg_w/kg_{d.a.}$.

W_i – ο λόγος υγρασίας του εσωτερικού αέρα στον διαχυτήρα εξόδου, υπολογίζεται από το λογισμικό για κάθε χρονικό βήμα, σε $kg_w/kg_{d.a.}$.

$\dot{Q}_l = 4500Watt$ – το συνολικό λανθάνον φορτίο για τον Ιούνιο.

$\overline{h_g} = 3048.403kJ / kg_w$ – η μέση ενθαλπία αναφοράς κορεσμένου υδρατμού, για τον Ιούνιο.

➤ Ιανουάριος;

Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, για τον Ιανουάριο μελετήθηκε υδρονικό σύστημα και επομένως, χρησιμοποιήθηκε μόνο μία εξίσωση για τον λόγο υγρασίας του εισερχόμενου στον χώρο αέρα. Ομοίως με την περίπτωση του Ιουνίου, αυτός υπολογίστηκε από το λογισμικό, βάση της εξίσωσης 4-2γ, για κάθε χρονικό βήμα.

$$W_o = W_i - \frac{\dot{Q}_l}{\dot{m}_s \cdot h_g} \quad [kg_w/kg_{d.a.}] \quad (4-2\gamma)$$

όπου:

W_o – ο λόγος υγρασίας του αέρα προσαγωγής, υπολογίζεται από το λογισμικό για κάθε χρονικό βήμα, σε $kg_w/kg_{d.a.}$.

W_i – ο λόγος υγρασίας του εσωτερικού αέρα στον διαχυτήρα εξόδου, υπολογίζεται από το λογισμικό για κάθε χρονικό βήμα, σε $kg_w/kg_{d.a.}$.

$\dot{Q}_l = 3240Watt$ – το συνολικό λανθάνον φορτίο για τον Ιανουάριο.

$\dot{m}_s = 0.624kg / sec$ – η απαιτούμενη παροχή μάζας αέρα στον χώρο για τον Ιανουάριο.

$\overline{h_g} = 2519.0088kJ / kg_w$ – η μέση ενθαλπία αναφοράς κορεσμένου υδρατμού, για τον Ιανουάριο.

4.2.2.2 Τύπος Προσομοίωσης

Ο τύπος της προσομοίωσης που επιλέχθηκε για όλες τις παραμετρικές περιπτώσεις ήταν περιοδικός. Η επίλυση πραγματοποιήθηκε για συνολικό χρόνο προσομοίωσης δύο ωρών, με χρονικό βήμα 1 λεπτό, ενώ ο αρχικός χρόνος ορίστηκε για 0 sec.

4.2.2.3 Υπολογιστικός Χώρος

Ως υπολογιστικός χώρος ορίστηκε το εσωτερικό όλης της αίθουσας. Σε αυτόν υπάρχει ένα μίγμα αέρα, μεταβλητής σύστασης, που αποτελείται από αέρα, διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και υγρασία (H_2O), όλα ιδανικά αέρια που βρίσκονται στην βιβλιοθήκη των υλικών της ANSYS. Το μίγμα αυτό έχει πίεση και πυκνότητα αναφοράς 1 atm και $1.2 kg/m^3$ αντίστοιχα ενώ δέχεται μία δύναμη άνωσης μόνο στην κατεύθυνση z, ίση με την επιτάχυνση της βαρύτητας, $-g$ ($-g = 9.81 m/sec^2$).

Σε αυτήν την περίπτωση, όπου χρησιμοποιείται ρευστό μίγμα πολλών συστατικών, επιλέχθηκε να δοθεί η κινηματική διαχυτότητα ως λεπτομέρεια για τα επιμέρους συστατικά. Σύμφωνα με το Νόμο του Blanc, η

κινηματική διαχυτότητα του κάθε συστατικού, εξαρτάται από το ρευστό στο οποίο ρέει, από την θερμοκρασία του ρευστού και από την πίεσή του (εξίσωση 4-2δ).

$$D(p, T) \approx D(p_0, T_0) \cdot \frac{p_0}{p} \cdot \left(\frac{T_0}{T}\right)^a \quad (4-2\delta)$$

Εφόσον η πίεση του μίγματος είναι ίδια και για τους δύο μήνες, η διαχυτότητα του κάθε συστατικού εξαρτάται από την θερμοκρασία του μίγματος (θερμοκρασία σχεδιασμού).

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στο γεγονός ότι ένα συστατικό πρέπει να είναι «περιορισμένο» (constraint), δηλαδή ίσο με το άθροισμα των υπολοίπων συστατικών αφαιρούμενο από την μονάδα. Το συστατικό αυτό επιλέχθηκε να είναι ο ιδανικός αέρας, αποτελούμενος από O_2 και N_2 με πολύ μικρή συμμετοχή των υπολοίπων στοιχείων. Έτσι από την εξίσωση 4-2δ, υπολογίσθηκε η κινηματική διαχυτότητα του CO_2 , και του H_2O για τον Ιούνιο και τον Ιανουάριο, οι οποίες και εισαχθήκαν στις αντίστοιχες παραμετρικές περιπτώσεις που μελετήθηκαν:

➤ Ιούνιος:

$$D(1, 23) \approx D(1, 0) \cdot \frac{p_0}{p} \cdot \left(\frac{T_0}{T}\right)^a \quad [m^2/sec] \quad (4-2\epsilon)$$

όπου:

$$D_{H_2O}(1, 0) = 0.2178 cm^2 / sec \quad ([33])$$

$$D_{CO_2}(1, 0) = 0.1381 cm^2 / sec \quad ([33])$$

$$a = 1.81 \quad ([33])$$

Οπότε από τα παραπάνω προκύπτουν αντίστοιχα για τον Ιούνιο:

$$D_{H_2O}(1, 23) = 0.252 cm^2 / sec \quad \text{ή} \quad \underline{2.52 \cdot 10^{-5} m^2 / sec}$$

και

$$D_{CO_2}(1, 23) = 0.1599 cm^2 / sec \quad \text{ή} \quad \underline{1.599 \cdot 10^{-5} m^2 / sec}$$

➤ Ιανουάριος:

Ομοίως για τον Ιούνιο, όμως για διαφορετική θερμοκρασία:

$$D(1, 20) \approx D(1, 0) \cdot \frac{p_0}{p} \cdot \left(\frac{T_0}{T}\right)^a \quad [m^2/sec] \quad (4-2\sigma)$$

προκύπτουν αντίστοιχα:

$$D_{H_2O}(1, 20) = 0.2475 cm^2 / sec \quad \text{ή} \quad \underline{2.475 \cdot 10^{-5} m^2 / sec}$$

και

$$D_{CO_2}(1, 20) = 0.157 cm^2 / sec \quad \text{ή} \quad \underline{1.57 \cdot 10^{-5} m^2 / sec}$$

Για τον υπολογισμό της μετάδοσης θερμότητας για τον μήνα Ιούνιο, επιλέχθηκε η χρήση της εξίσωσης διατήρησης στατικής ενθαλπίας (thermal energy), που προκύπτει από της εξισώσεις ορμής για τυρβώδη ροή, Reynolds-averaged Navier-Stokes (αναφέρονται στην εισαγωγή). Βάση αυτής της επιλογής προσομοιώνεται η μετάδοση της ενθαλπίας σε όλο τον υπολογιστικό χώρο, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι μεταβολές στην κινητική ενέργεια. Αυτό το μοντέλο ενδείκνυται για ροές χαμηλής ταχύτητας, όπου οι επιδράσεις της κινητικής ενέργειας είναι αμελητέες.

Αντίθετα, εφόσον τον Ιανουάριο μελετήθηκε υδρονικό σύστημα, τα αισθητά φορτία του χώρου θεωρήθηκαν μηδενικά, και έτσι επιλέχθηκε η χρήση του ισόθερμου μοντέλου, δηλαδή της διατήρησης ίδιας θερμοκρασίας στα ρεύματα του αέρα εντός του υπολογιστικού χώρου.

Τέλος για την προσομοίωση της τύρβης χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο k-ε, σχετικά για το οποίο, επίσης, αναφέρονται στην εισαγωγή.

4.2.2.4 Οριακές Συνθήκες

Αναφέρθηκε παραπάνω ότι τα ψυκτικά φορτία του χώρου καθώς και η παροχή μάζας του προσαγόμενου αέρα είναι διαφορετικά για κάθε μήνα, όπως έχουν υπολογιστεί στο σχετικό κεφάλαιο της μελέτης του συστήματος κλιματισμού για την αίθουσα.

Οι οριακές συνθήκες της εισόδου και τις εξόδου για κάθε χρονική περίοδο, και για τις πέντε παραμετρικές περιπτώσεις ορίστηκαν σύμφωνα με τα παρακάτω.

Είσοδος:

Η παροχή μάζας δόθηκε σταθερή και ίση με αυτήν που υπολογίστηκε για τον συγκεκριμένο μήνα, δηλαδή για τον Ιούνιο 0.669 kg/sec και για τον Ιανουάριο 0.624 kg/sec, ενώ η διεύθυνση της ροής ήταν παράλληλο με το επίπεδο xy. Η θερμοκρασία και ο λόγος υγρασίας του αέρα προσαγωγής μεταβάλλονταν χρονικά, και οι τιμές του για κάθε χρονικό βήμα υπολογίζονταν από τις εξισώσεις που δίνονται στην υποενότητα 4.2.2.1.

Τέλος η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα θεωρήθηκε σταθερή και ίση με αυτή του εξωτερικού περιβάλλοντος, 0.0004 kg CO₂/kg air στις περιπτώσεις που μελετήθηκαν με ανανέωση του αέρα προσαγωγής, ενώ σε αυτές που δεν υπήρχε ανανέωση, η συγκέντρωση του CO₂ λήφθηκε ίση με την μέση συγκέντρωση που παρουσιάζοταν στον διαχυτήρα εξόδου για κάθε χρονικό βήμα.

Έξοδος:

Στην έξοδο θεωρήθηκε μέση σχετική πίεση 0 Pa.

Για τις υπόλοιπες οριακές συνθήκες για τον μήνα Ιούνιο, ορίστηκε η μετάδοση θερμότητας ίση με το αισθητό φορτίο κάθε στοιχείου διαιρεμένο με την αντίστοιχη επιφάνεια, ενώ για τους ανθρώπους προστέθηκε και το λανθάνον φορτίο, δηλαδή ο ρυθμός παραγωγής υγρασίας, και το διοξειδίου του άνθρακα.

Για τον μήνα Ιανουάριο, λήφθηκε υπόψη, μόνο το λανθάνον φορτίο των ανθρώπων, καθώς και το παραγόμενο διοξείδιο του άνθρακα.

Έτσι, με την βοήθεια των πινάκων 3-8 έως 3-13, προέκυψαν για κάθε μήνα και για τις πέντε περιπτώσεις που μελετήθηκαν, τα εξής:

Ανατολικός Τοίχος:

➤ Ιούνιος:

Η συνολική επιφάνεια του ανατολικού τοίχου, εκτός των παραθύρων και των δύο τοιχίων και του υποστυλώματος, είναι 76.93 m^2 , ενώ το αντίστοιχο αισθητό φορτίο για την θερινή περίοδο είναι 392.57 W . Τελικά η μετάδοση θερμότητας προκύπτει ίση με 5.103 W/m^2 .

Ανατολικό Τοιχίο:

➤ Ιούνιος:

Ως ανατολικό τοιχίο θεωρήθηκαν τα δύο ανατολικά τοιχία μαζί, εφόσον έχουν τον ίδιο συντελεστή θερμοπερατότητας, έτσι έχοντας υπολογίσει, ότι η συνολική επιφάνεια των δύο τοιχίων είναι 3.68 m^2 , ενώ το αντίστοιχο αισθητό φορτίο 16.3 W , προκύπτει τελικά η μετάδοση θερμότητας 4.43 W/m^2 .

Ανατολικό Υποστύλωμα:

➤ Ιούνιος:

Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και για το ανατολικό υποστύλωμα, γνωρίζοντας ότι η επιφάνειά του είναι 2.94 m^2 και ότι το αισθητό φορτίο που αποδίδεται από αυτό είναι 14.46 W . Έτσι η παραγόμενη θερμότητα είναι 4.9184 W/m^2 .

Βόρειο Τοιχίο:

➤ Ιούνιος:

Ομοίως, η επιφάνεια του βόρειου τοιχίου είναι 6.62 m^2 και το παραγόμενο αισθητό φορτίο 4.55 W . Επομένως η αντίστοιχη μετάδοσης θερμότητας είναι 0.687 W/m^2 .

Νότιο τοιχίο:

➤ Ιούνιος:

Το νότιο τοιχίο έχει επιφάνεια 5.05 m^2 και αποδίδει αισθητό φορτίο 9.78 W . Έτσι η αντίστοιχη παράγει θερμότητα ίση με 1.937 W/m^2 .

Παράθυρα:

➤ Ιούνιος:

Τα παράθυρα αποδίδουν δύο είδη αισθητού φορτίου, το φορτίο λόγω αγωγής που είναι ίσο με 87.92 W και το φορτίο λόγω ηλιακής ακτινοβολίας που είναι 823.26 W . Έχοντας υπολογίσει ότι η συνολική επιφάνεια των παραθύρων είναι 21.98 m^2 , προκύπτει τελικά ότι η μετάδοση θερμότητας λόγω αγωγής και ηλιακής ακτινοβολίας είναι αντίστοιχα, 4 και 37.45 W/m^2 .

Δάπεδο:

➤ Ιούνιος:

Το δάπεδο υπολογίσθηκε ότι έχει συνολική επιφάνεια, χωρίς το εσωτερικό υποστύλωμα, 125.31 m^2 και παραγόμενο αισθητό φορτίο 1220.12 W Έτσι η θερμότητα που αποδίδει στον χώρο είναι 9.7368 W/m^2 .

Οροφή:

➤ Ιούνιος:

Εφόσον θεωρήθηκε ότι η αίθουσα συγγενεύει με όροφο με ίδιες συνθήκες σχεδιασμού με αυτήν, το μόνο φορτίο που αποδίδεται από την οροφή είναι λόγω του ηλεκτροφωτισμού. Έτσι, γνωρίζοντας ότι η συνολική επιφάνεια της οροφής είναι, εκτός του εσωτερικού υποστυλώματος, είναι 125.31 m^2 και παραγόμενο φορτίο από τον φωτισμό 777.6 W , προκύπτει η αντίστοιχη μετάδοση θερμότητας ίση με 6.2054 W/m^2 .

Άνθρωποι:

Ο ρυθμός παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα και υγρασίας από τους ανθρώπους είναι διαφορετικός για κάθε περίοδο, λόγω των διαφορετικών συνθηκών σχεδιασμού της αίθουσας. Η παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα ανά m^2 , \dot{m}_{CO_2} , υπολογίστηκε από την σχέση 4-2ζ, ενώ η παραγόμενη υγρασία ανά m^2 , από την σχέση 4-2η.

$$\dot{m}_{CO_2} = \frac{\rho_{CO_2,T} \cdot \dot{N}_{CO_2}}{A_p} \quad [\text{kg/sec/m}^2] \quad (4-2\zeta)$$

όπου:

$\rho_{CO_2,T}$ – πυκνότητα του CO_2 συναρτήσει της θερμοκρασίας, σε kg/m^3 .

$\dot{N}_{CO_2} = 0.31 \text{ l/min/άτομο}$ ή $\dot{N}_{CO_2} = 3.1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{sec}$ – ο ρυθμός παραγωγής CO_2 στον χώρο.

$A_p = 90.33 \text{ m}^2$ – η συνολική επιφάνεια που καταλαμβάνουν οι άνθρωποι.

και

$$\dot{m}_{H_2O} = \frac{\dot{Q}_l}{\overline{h_{g,T}} \cdot A_p} \quad [\text{kg/sec/m}^2] \quad (4-2\eta)$$

όπου:

\dot{Q}_l – το λανθάνον φορτίο που αποδίδεται στο χώρο από του ανθρώπους για κάθε μήνα σε W .

$\overline{h_{g,T}}$ – η μέση ενθαλπία αναφοράς κορεσμένου υδρατμού για τους ανθρώπους ανάλογα με την θερμοκρασία σχεδιασμού, σε J/kg_w .

➤ Ιούνιος:

Γνωρίζοντας ότι $\rho_{CO_2,23^\circ C} = 1.8 \text{ kg/m}^3$, $\overline{h_{g,23^\circ C}} = 3061830$ και $\dot{Q}_l = 4500 \text{ W}$ προκύπτουν από τις παραπάνω εξισώσεις για την θερινή περίοδο:

$$(4-2\zeta) \Rightarrow \underline{\dot{m}_{CO_2} = 6.177 \cdot 10^{-6} \text{ kg/sec/m}^2}.$$

$$(4-2\eta) \Rightarrow \underline{\dot{m}_{H_2O} = 1.627 \cdot 10^{-5} \text{ kg/sec/m}^2}.$$

➤ Ιανουάριος:

Ομοίως για τον Ιανουάριο, $\rho_{CO_2,20^\circ C} = 1.83 \text{ kg/m}^3$, $\overline{h_{g,20^\circ C}} = 3059052$ και $\dot{Q}_l = 3240 \text{ W}$, οπότε από τις εξισώσεις:

$$(4-2\zeta) \Rightarrow \underline{\dot{m}_{CO_2} = 6.28 \cdot 10^{-6} \text{ kg/sec/m}^2}.$$

$$(4-2\eta) \Rightarrow \dot{m}_{H_2O} = 1.1725 \cdot 10^{-5} \text{ kg / sec / m}^2 .$$

4.2.2.5 Αρχικές Συνθήκες

Οι αρχικές συνθήκες που ορίστηκαν στην αίθουσα ήταν για μηδενική ταχύτητα και σχετική πίεση, με αρχικές συνθήκες της συνθήκες σχεδιασμού που επιλέχθηκαν για κάθε περίοδο στο προηγούμενο κεφάλαιο. Έτσι για τον Ιούνιο και τον Ιανουάριο, η αρχική θερμοκρασία ορίστηκε στους 23 και 20°C αντίστοιχα, ενώ ο αρχικός λόγος υγρασίας του εσωτερικού αέρα 8.6946 και 6.5549 gr_w/kg_{d.a.}. Τέλος, ορίστηκε η αρχική συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα στην αίθουσα, η οποία είχε υπολογισθεί και για τους δύο μήνες ότι πρέπει να είναι 1100 ppm, δηλαδή 0.0011 kg CO₂/kg αέρα, εφόσον θεωρήθηκε ότι ο εξωτερικός αέρας έχει συγκέντρωση 0.0004 kg CO₂/kg αέρα.

Εκτός από τις αρχικές συνθήκες έπρεπε να ορισθούν και οι εξισώσεις που περιγράφουν της διεργασίες της ορμής. Όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή, αυτές οι εξισώσεις είναι γνωστές ως εξισώσεις Navier-Stokes και για την περίπτωση της τυρβώδους ροής του συγκεκριμένου προβλήματός έγινε χρήση του προτύπου τύρβης Reynolds-averaged Navier-Stokes μαζί με το μοντέλο k-ε.

Εφόσον δεν υπήρχαν πληροφορίες σχετικά με τον ρυθμό καταστροφής της κινητικής ενέργειας της τύρβης, ε, χρησιμοποιήθηκε η αρχική υπόθεση που ορίζεται αυτόματα από την ANSYS. Αυτή είναι για τυρβώδης κλίμακα μήκους, $l_e = 0.25m$ ([32]).

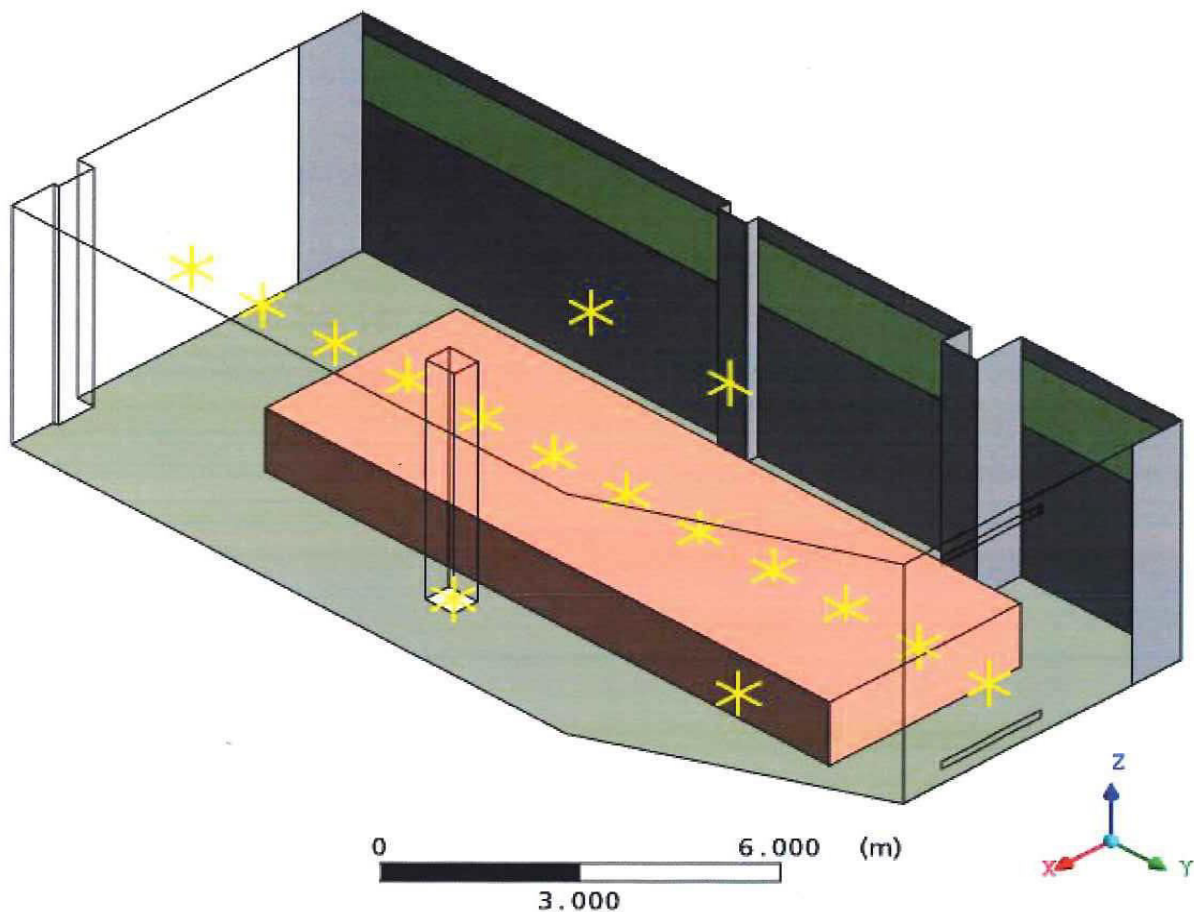
4.2.2.6 Έλεγχος Επίλυσης

Η ANSYS CFX βασίζεται στην μέθοδο επίλυσης πεπερασμένων όγκων ώστε να προσεγγίσει τις διαφορικές εξισώσεις. Εφόσον η περιοχή ενδιαφέροντος έχει διαιρεθεί σε μικρότερα τμήματα (όγκοι ελέγχου), οι εξισώσεις διακριτοποιούνται στον χώρο και προσεγγίζονται με πεπερασμένες διαφορές. Κατόπιν επιλύονται επαναληπτικά για κάθε όγκο ελέγχου. Η μέθοδος προσέγγισης που επιλέχθηκε ήταν η Second Order Backward Euler, μέθοδος που απαιτεί αρκετό χρόνο για επίλυση, αλλά στην οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί σχετικά μεγάλο χρονικό βήμα.

Για τον έλεγχο της σύγκλισης των αποτελεσμάτων δόθηκε ο μέγιστος αριθμός επαναλήψεων για κάθε χρονικό βήμα ίσος με 3.

4.2.2.7 Έλεγχος Αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα των μεταβλητών που επιλέχθηκαν να εξάγονται σε όλες τις παραμετρικές περιπτώσεις, ήταν αυτά της πίεσης, της θερμοκρασίας, της ταχύτητας και των συγκεντρώσεων του CO₂ και της υγρασίας. Για τον έλεγχο και την κατόπιν επεξεργασία, της κατανομής των θερμικών παραμέτρων τοποθετήθηκαν συνολικά δεκαέξι ίσο-κατανεμημένοι αισθητήρες: δέκα κατά μήκος της αίθουσας, πέντε σε κάθε τοίχο και ένας στην οροφή, όπως φαίνεται στο σχήμα 4-6. Οι αισθητήρες μετρούσαν την θερμοκρασία, την συγκέντρωση CO₂ και τον λόγο υγρασίας, για κάθε χρονικό βήμα της επίλυσης.



Σχήμα 4-6 Θέση αισθητήρων θερμοκρασίας, διοξειδίου του άνθρακα και λόγου υγρασίας στον χώρο .

4.2.3 Αποτελέσματα Κατανομής Θερμικών Παραμέτρων

Αφού ορίστηκαν τα δεδομένα για κάθε παραμετρική περίπτωση, επιλύθηκαν από το λογισμικό και στη συνέχεια παρήχθησαν τα αντίστοιχα αποτελέσματα. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την αριθμητική μελέτη των πέντε παραμετρικών περιπτώσεων αφορούν την κατανομή των θερμικών παραμέτρων για τους μήνες Ιούνιο και Ιανουάριο, στα δεκαέξι σημεία που τοποθετήθηκαν οι αισθητήρες. Η ανάλυση και απεικόνιση των μεταβλητών, δηλαδή της θεοκρασίας, του λόγου υγρασίας και του CO_2 για κάθε περίπτωση, πραγματοποιήθηκε με την βοήθεια των αντίστοιχων διαγραμμάτων που δίνονται παρακάτω.

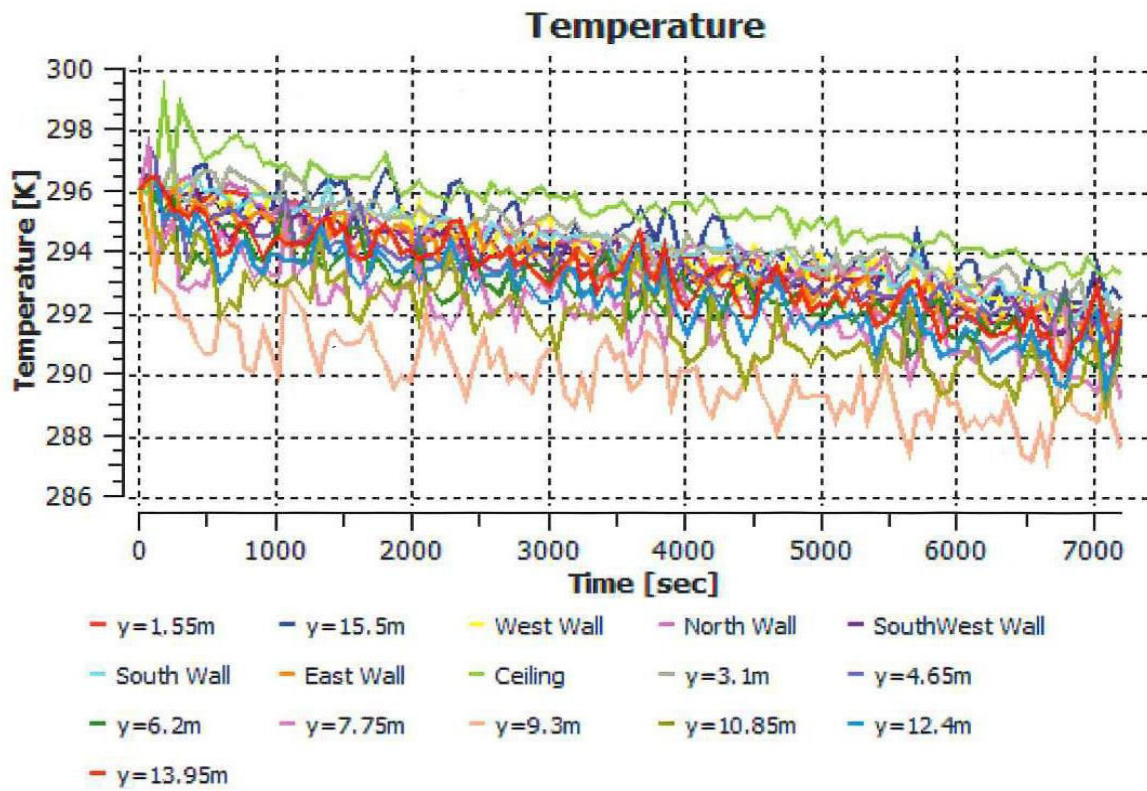
4.2.3.1 Κατά πλάτος διαμπερής αερισμός, με ανανέωση

➤ Ιούνιος:

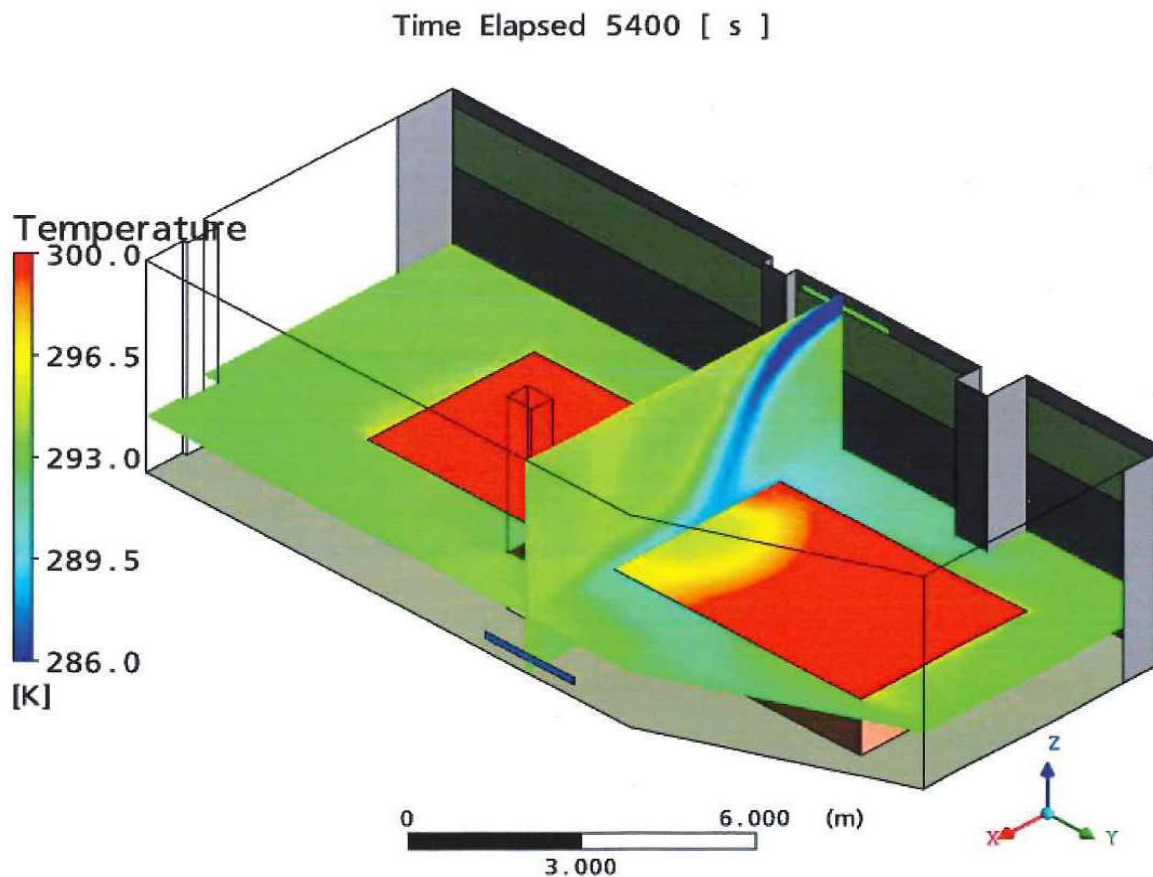
Στις παρακάτω εικόνες 4-7, 4-9 και 4-11 δίνονται, αντίστοιχα, τα διαγράμματα της θερμοκρασίας, του CO_2 και του λόγου υγρασίας του εσωτερικού αέρα, συναρτήσεως του χρόνου, ενώ στις εικόνες 4-8 και 4-10 φαίνονται οι τρισδιάστατες απεικονίσεις της κατανομής της θερμοκρασίας και της συγκέντρωσης του CO_2 στο εσωτερικό της αίθουσας στην διάρκεια μιάμισης ώρας, δηλαδή, για χρόνο υπολογισμού 5400 sec.

Από τα παρακάτω διαγράμματα (σχήματα 4-7 και 4-11) παρατηρούμε ότι τόσο η θερμοκρασία όσο και η υγρασία μεταβάλλονται κατά την διάρκεια του χρόνου. Παρ' όλο που η επιλογή των συνθηκών του αέρα προσαγωγής και του εσωτερικού αέρα της αίθουσας έγινε ώστε να ικανοποιούνται τα συνολικά ψυκτικά

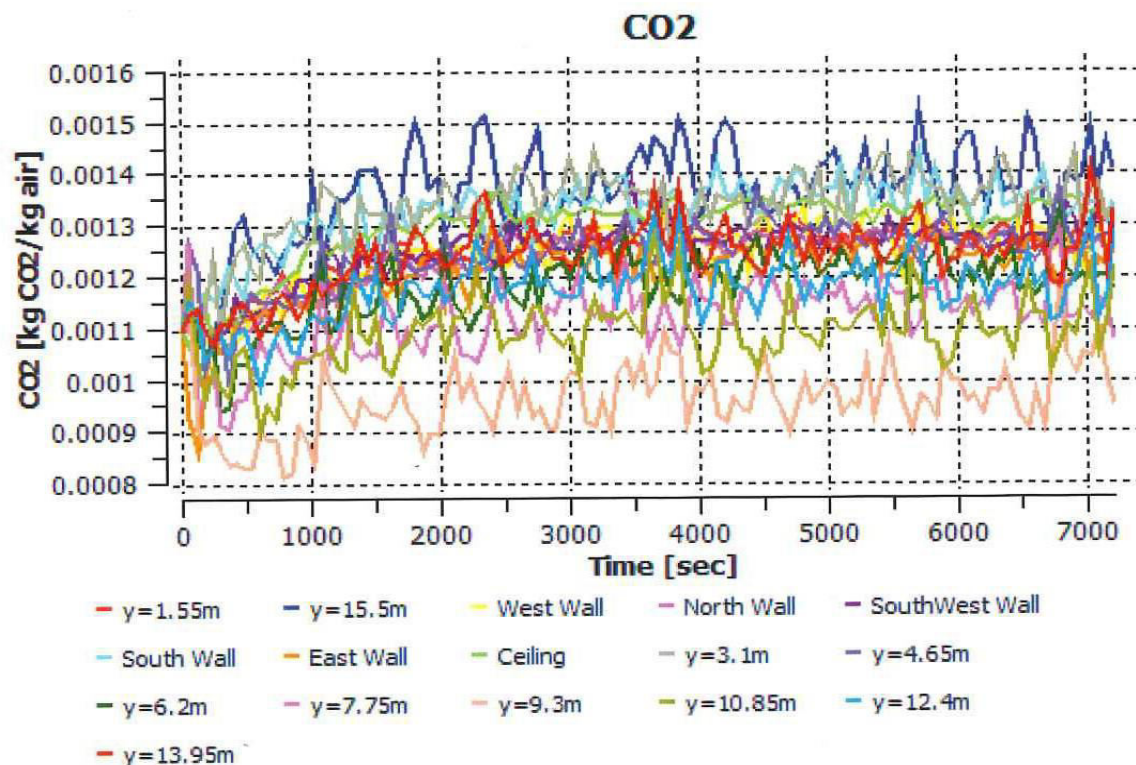
φορτία, η μεταβολή αυτή σημειώθηκε επειδή η τιμές των παραπάνω μεταβλητών υπολογίζονται για κάθε χρονικό βήμα βάση της αντίστοιχης μέσης τιμής που σημειώνεται στον διαχυτήρα εξόδου (4.2.2.1).



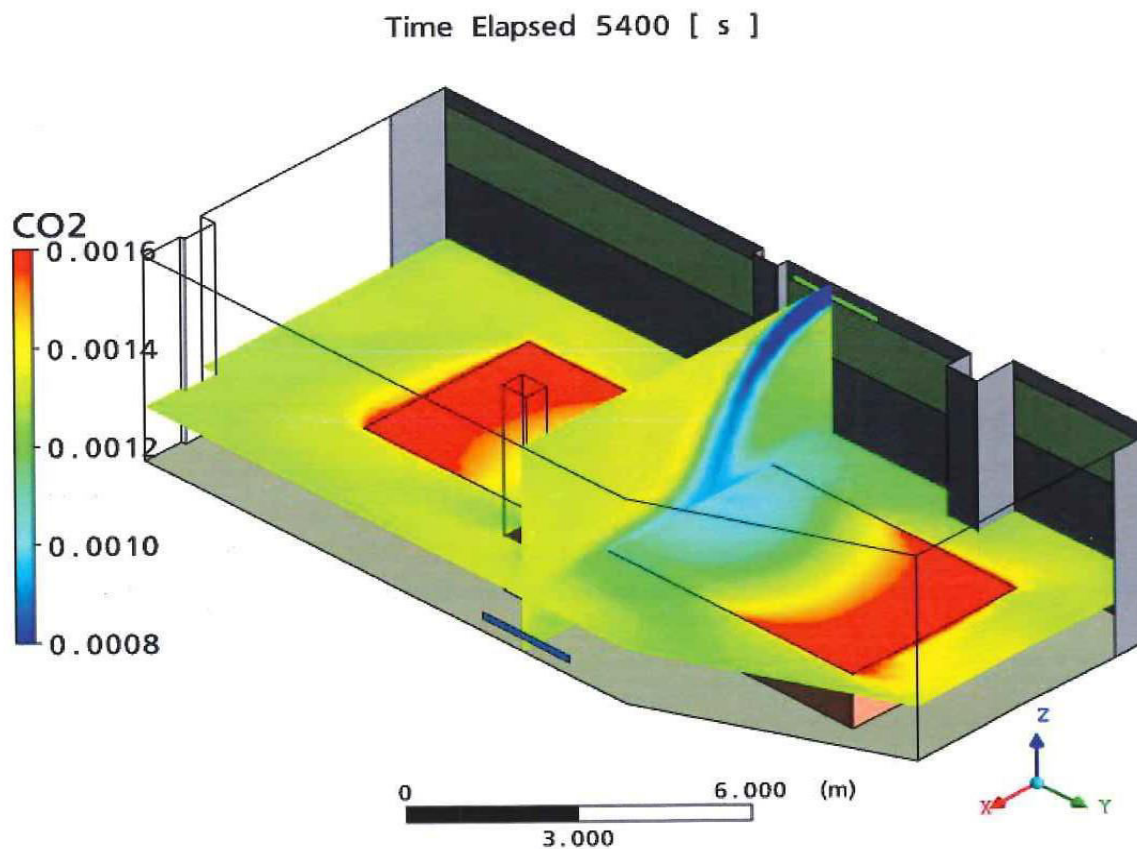
Σχήμα 4-7 Διάγραμμα θερμοκρασίας-χρόνου στον κατά πλάτος διαμερή αερισμό, για τον Ιούνιο.



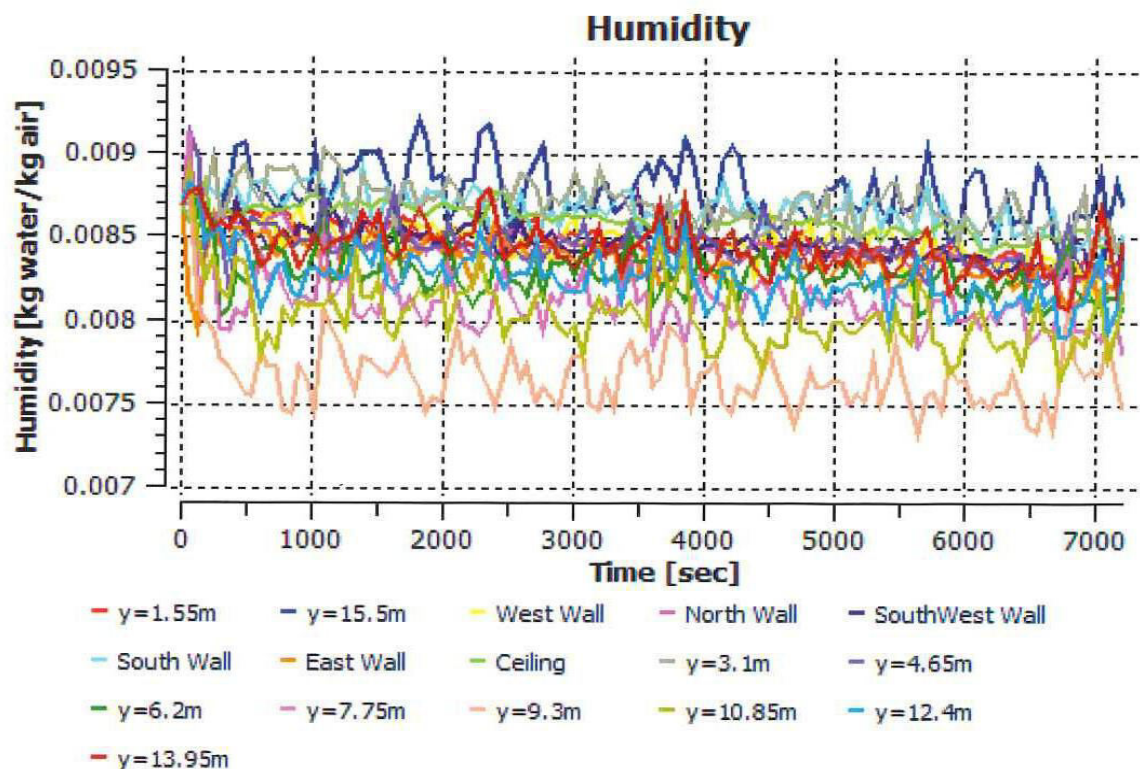
Σχήμα 4-8 Τρισδιάστατη απεικόνιση της κατανομής της θερμοκρασίας στον κατά πλάτος διαμερή αερισμό, για τον Ιούνιο.



Σχήμα 4-9 Διάγραμμα συγκέντρωσης CO₂-χρόνου στον κατά πλάτος διαμερή αερισμό, για τον Ιούνιο.



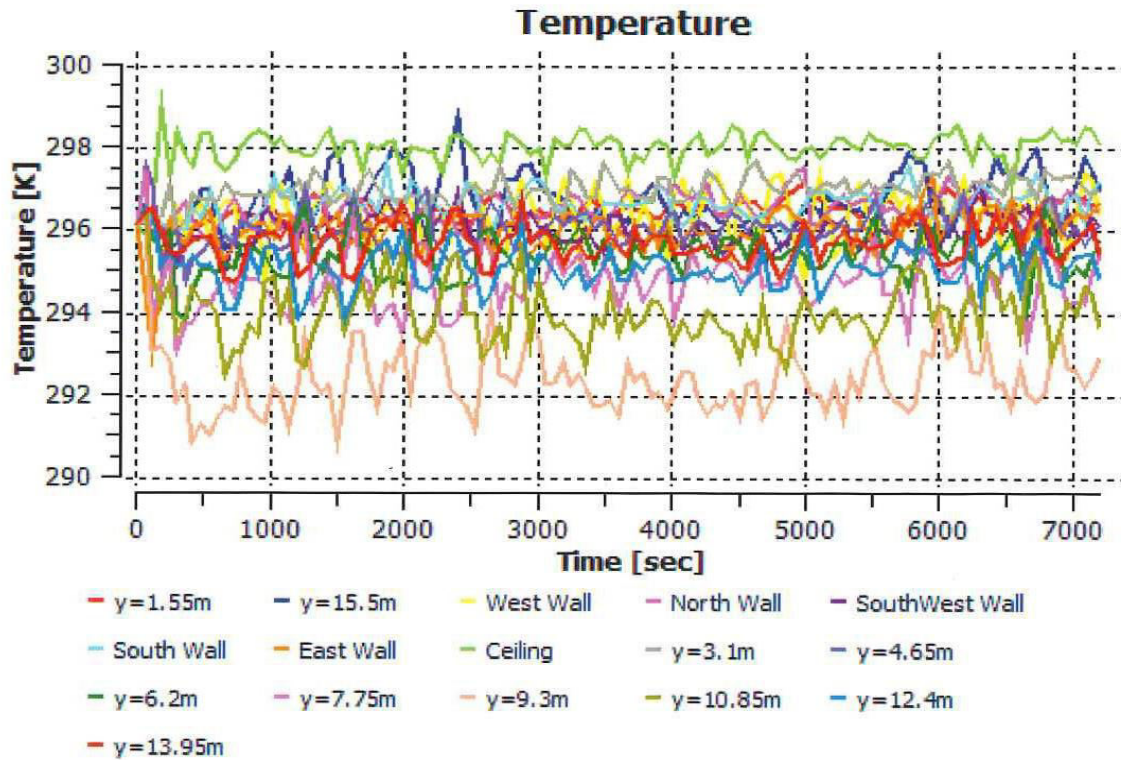
Σχήμα 4-10 Τρισδιάστατη απεικόνιση της κατανομής της συγκέντρωσης του CO₂ στον κατά πλάτος διαμερή αερισμό, για τον Ιούνιο.



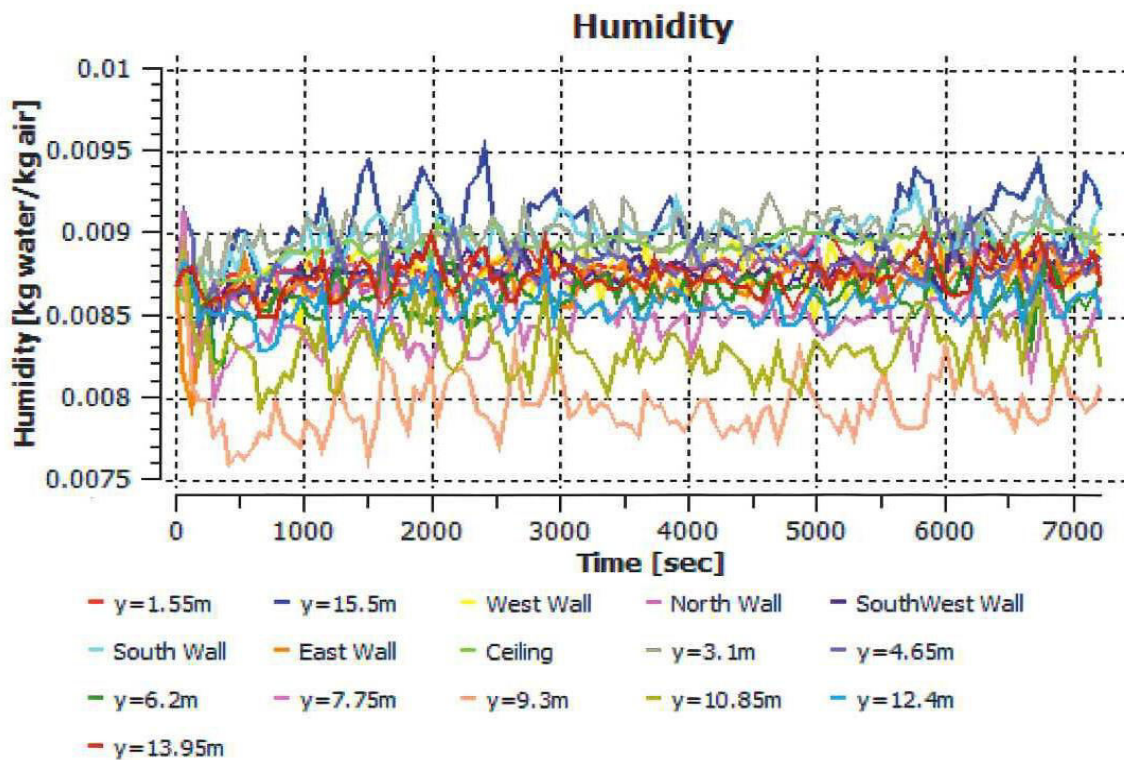
Σχήμα 4-11 Διάγραμμα λόγου υγρασίας-χρόνου στον κατά πλάτος διαμπερή αερισμό, για τον Ιούνιο.

Έτσι επιλύοντας το πρόβλημα για τιμές θερμοκρασίας και λόγου υγρασίας του αέρα προσαγωγής, σταθερές και ίσες με αυτές που υπολογίσθηκαν κατά τον σχεδιασμό των ψυχομετρικών διεργασιών ($T_s = 11.66^\circ C$ και $W_s = 6.488 gr_w / kg_{d.a.}$), παρατηρούμε από τα παρακάτω διαγράμματα (σχήματα 4-10 και 4-11) ότι δεν παρουσιάζεται καμία μεταβολή. Η μέση τιμή των μεταβλητών σε ολόκληρη την αίθουσα παραμένει περίπου ίση με την επιθυμητή.

Συμπεραίνουμε δηλαδή ότι πέρα από την σωστή διαστασιολόγηση του συστήματος κλιματισμού για έναν χώρο, ένας ακόμη σημαντικός παράγοντας που μπορεί να επηρεάσει την κατανομή των παραμέτρων θερμικού περιβάλλοντος στην αίθουσα είναι και η θέση τοποθέτησης των αισθητήρων. Μία λανθασμένη τοποθέτηση των αισθητήρων μπορεί να οδηγήσει στην ανάπτυξη μη επιθυμητών συνθηκών εντός του χώρου, επηρεάζοντας τελικά την θερμική άνεση. Οι αισθητήρες πρέπει να τοποθετούνται σε σημεία που αντικατοπτρίζουν τις μέσες συνθήκες του χώρου, μακριά από διαχυτήρες, παράθυρα, πόρτες και πιθανές περιοχές στις οποίες μπορεί να δημιουργηθεί ανακυκλοφορία στα ρεύματα του αέρα.



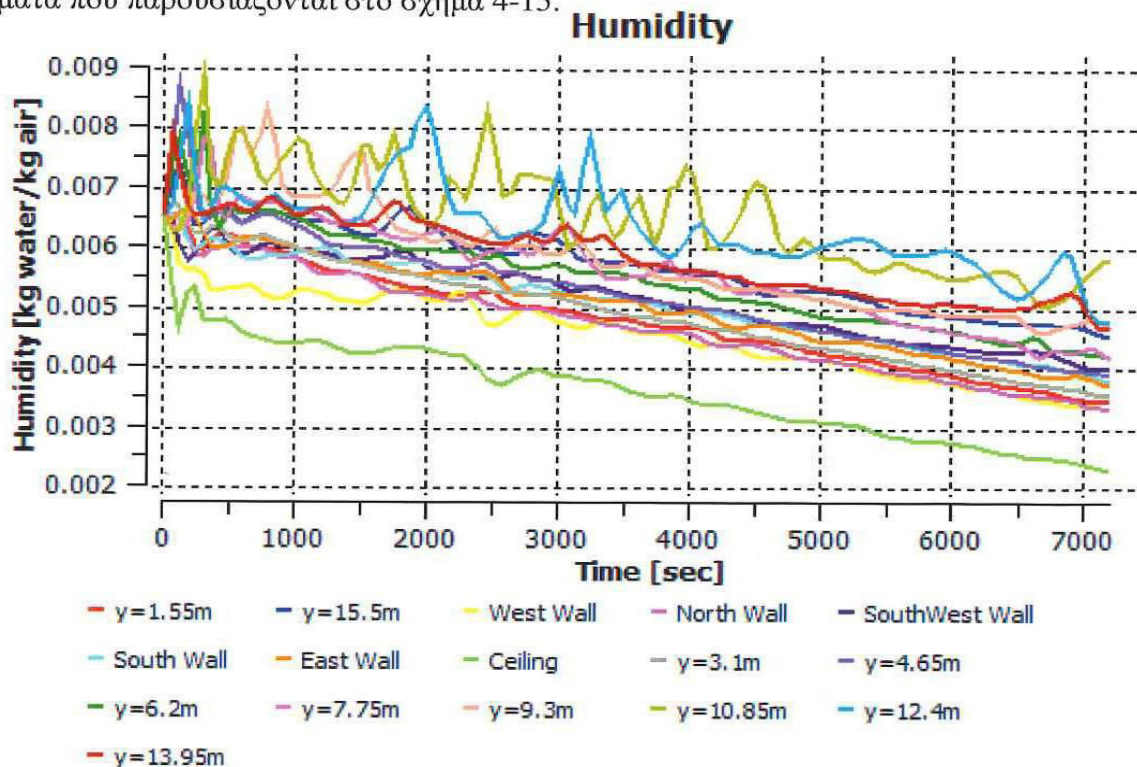
Σχήμα 4-12 Διάγραμμα θερμοκρασίας-χρόνου στον κατά πλάτος διαμερή αερισμό με σταθερή τιμή εισόδου, για τον Ιούνιο.



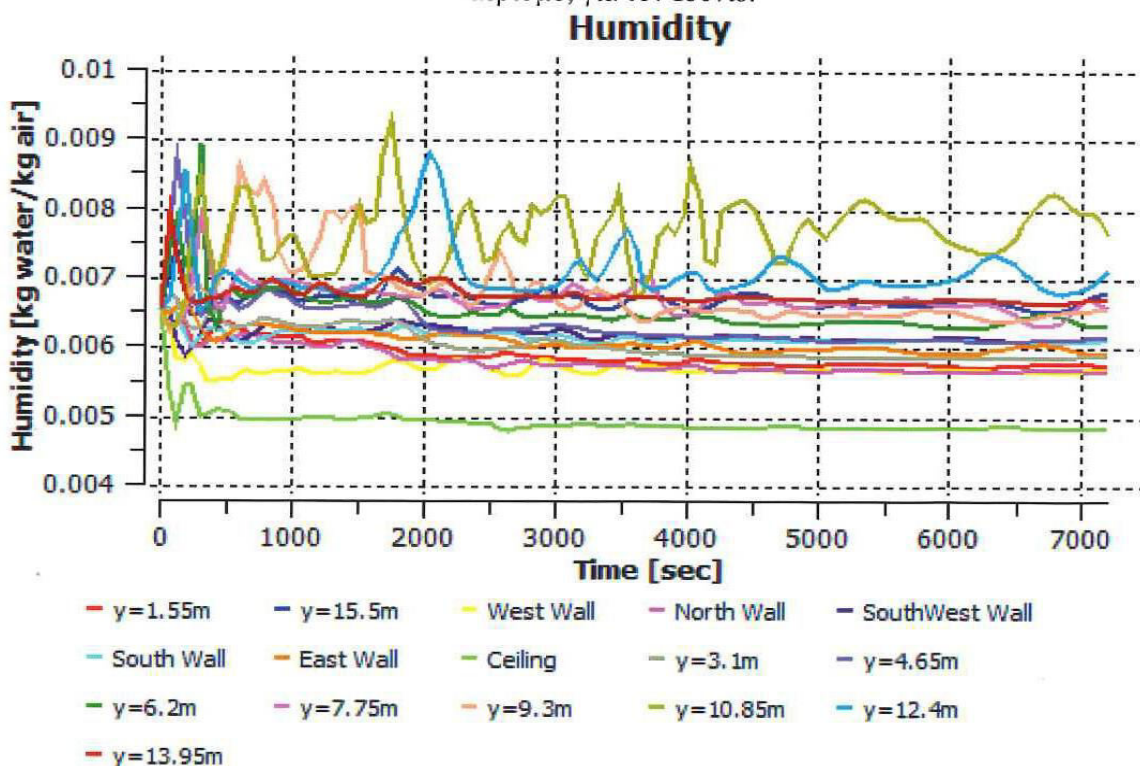
Σχήμα 4-13 Διάγραμμα λόγου υγρασίας-χρόνου στον κατά πλάτος διαμερή αερισμό με σταθερή τιμή εισόδου, για τον Ιούνιο.

➤ Ιανουάριος:

Το ίδιο φαινόμενο με τον μήνα Ιούνιο παρατηρούμε να συμβαίνει και σε αυτή την περίπτωση με τον λόγο υγρασίας (σχήμα 4-14). Ο λόγος είναι ότι και εδώ ο λόγος υγρασίας του αέρα προσαγωγής υπολογίζεται βάσει της αντίστοιχης μέσης τιμής που σημειώνεται στον διαχυτήρα εξόδου. Επιλύοντας και πάλι για σταθερή τιμή στον στην είσοδο, και ίση με $W_s = 4.4875 \text{ gr}_w / \text{kg}_{d.a.}$ προκύπτουν τα επιδιωκόμενα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στο σχήμα 4-15.

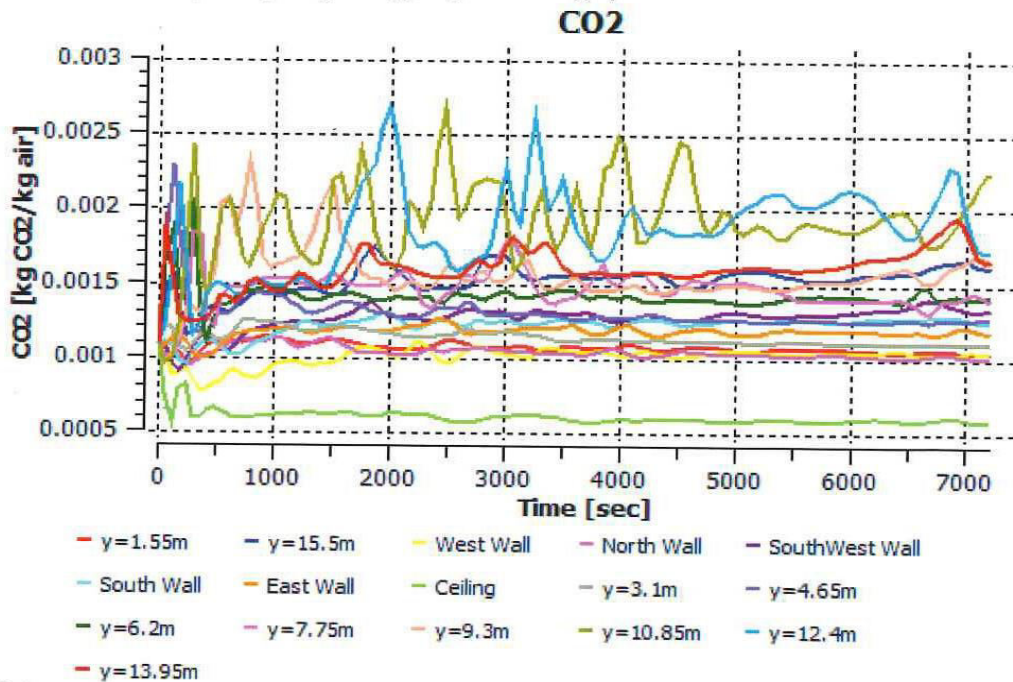


Σχήμα 4-14 Τρισδιάστατη απεικόνιση της κατανομής της συγκέντρωσης του CO₂ στον κατά πλάτος διαμερή αερισμό, για τον Ιούνιο.

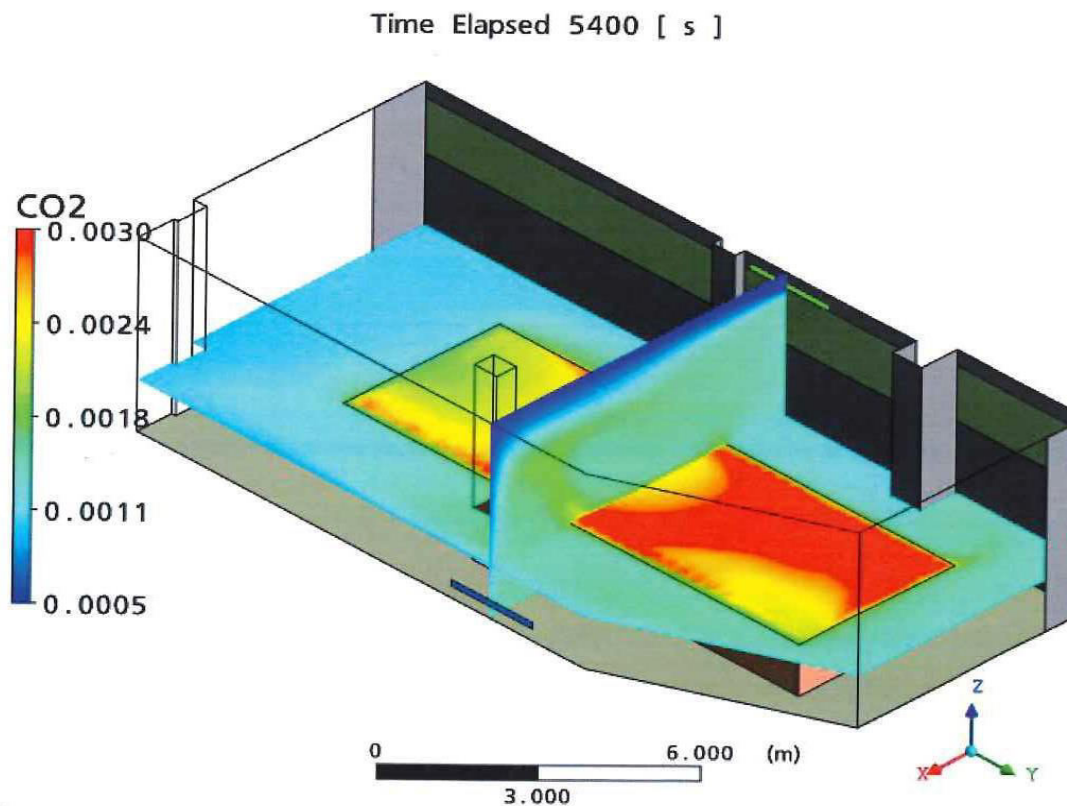


Σχήμα 4-15 Διάγραμμα λόγου υγρασίας-χρόνου στον κατά πλάτος διαμερή αερισμό, για τον Ιανουάριο.

Στην εικόνα 4-16 δίνεται η μεταβολή της συγκέντρωσης του CO₂ συναρτήσει του χρόνου, ενώ η τρισδιάστατη απεικόνιση της κατανομής της συγκέντρωσης, στην μιάμιση ώρα λειτουργίας της αίθουσας, φαίνεται στο σχήμα 4-17. Όπως αναμενόταν, τα χαμηλότερα ποσοστά συγκέντρωσης CO₂ παρουσιάζονται στο ύψος της οροφής, λόγω της υψηλότερης πυκνότητας του (περίπου 1.5 φορές) από τον αέρα, ενώ, παρατηρείται μία σταδιακή αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ από το βόρειο στο νότιο τμήμα της αίθουσας, κάτι που μπορεί να οφείλεται στη θέση του διαχυτήρα εισόδου και στη γεωμετρία της αίθουσας που επιδρά στην ροή και επομένως στην διάχυση του στο χώρο.



Σχήμα 4-16 Διάγραμμα συγκέντρωσης CO₂-χρόνου στον κατά πλάτος διαμερή αερισμό, για τον Ιανουάριο.



Σχήμα 4-17 Τρισδιάστατη απεικόνιση της κατανομής της συγκέντρωσης του CO₂ στον κατά πλάτος διαμερή αερισμό, για τον Ιανουάριο.

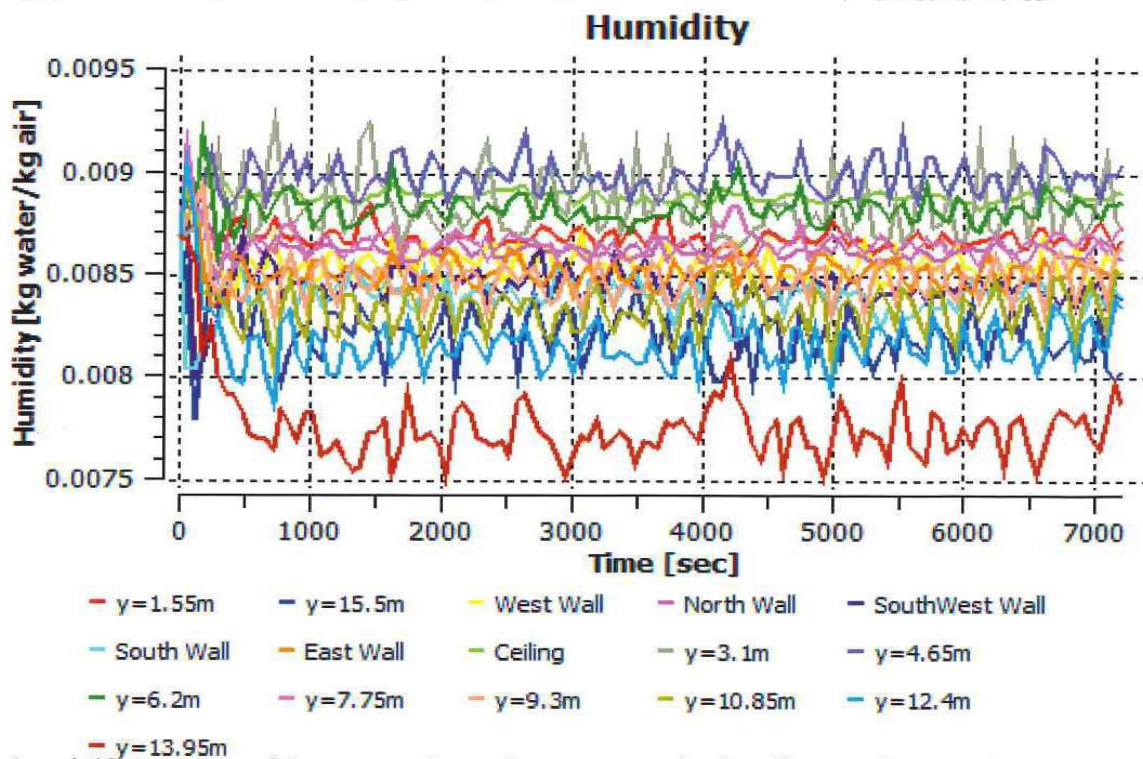
4.2.3.2 Κατά μήκος διαμπερής αερισμός, με ανανέωση

Η διαφορά αυτή της περίπτωσης με την προηγούμενη είναι ότι εδώ ο αέρας ρέει κατά μήκος της αίθουσας με αποτέλεσμα την καλύτερη κατανομή στις τιμές των μεταβλητών, κάτι που φαίνεται στα σχήματα 4-18 έως 4-25. Και εδώ παρατηρούμε το φαινόμενο που περιγράφηκε προηγουμένως, λόγω του οποίου παρουσιάζεται μείωση στην θερμοκρασία του χώρου κατά την θερινή περίοδο και μείωση του λόγου υγρασίας του εσωτερικού αέρα κατά την χειμερινή.

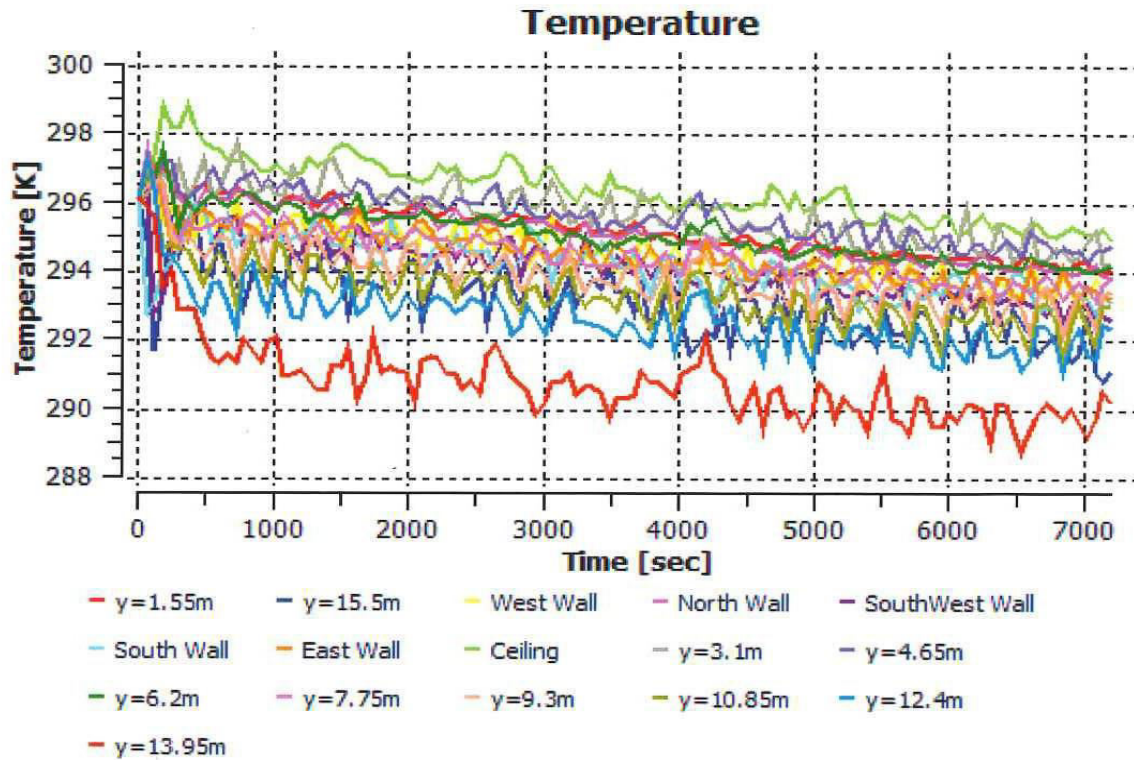
➤ Ιούνιος:

Από τα σχήματα 4-18 έως 4-22, προκύπτει το συμπέρασμα ότι οι τιμές της θερμοκρασίας, του CO₂ και του λόγου υγρασίας είναι γενικά, ίσο-κατανεμημένες στον χώρο, με μόνη εξαίρεση το σημείο $y=13.95$ m, όπου βρίσκεται ο αισθητήρας που έρχεται σε άμεση επαφή με το ρεύμα εισόδου του αέρα. Το φαινόμενο αυτό θα μπορούσε να εξλειφθεί με αύξηση της ταχύτητας εισόδου του αέρα, δηλαδή με μείωση της επιφάνειας των διαχυτήρων εισόδου, ώστε τελικά να αυξηθεί η απόσταση εκτόξευσης, μέχρι τον βόρειο τοίχο της αίθουσας. Ο λόγος είναι ότι, αυξάνοντας την ταχύτητα εισόδου, δημιουργείται μία περιοχή υποπίεσης μεταξύ της οροφής και του ρεύματος αέρα, με αποτέλεσμα το **ρεύμα να προσκολλάται** στην επιφάνεια αυτή και να μένει προσκολλημένο μέχρις ότου μειωθεί η ταχύτητα του. Μία τέτοια αλλαγή όμως, δεν είναι δυνατό να εφαρμοστεί, καθώς η αύξηση της ταχύτητας του αέρα θα επιφέρει και αύξηση στον παραγόμενο, θόρυβο, ο οποίος μπορεί να φθάσει σε επίπεδα μη αποδεκτά για διαβίωση.

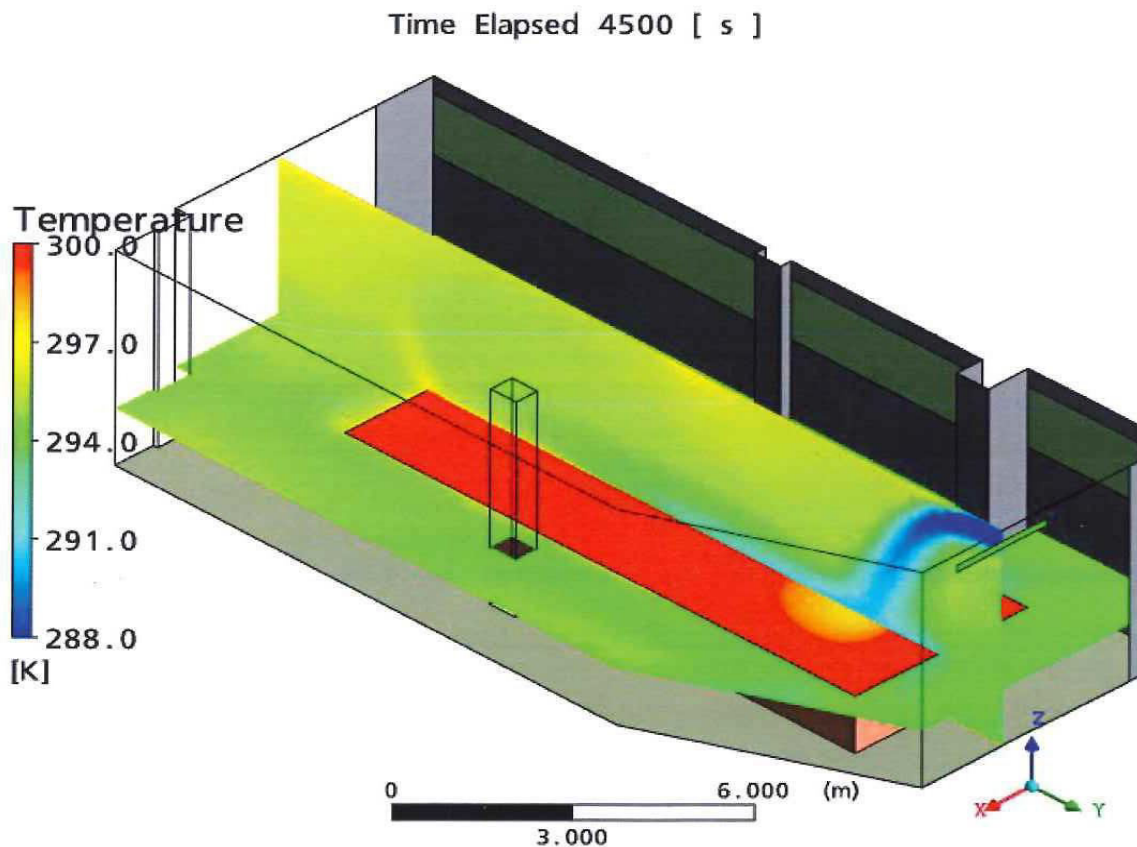
Επίσης; στην τρισδιάστατη απεικόνιση της κατανομής της συγκέντρωσης του CO₂ (σχήμα 4-22) παρατηρείται ότι τα μικρότερα ποσοστά CO₂ συγκεντρώνονται κοντά στο δάπεδο, κάτι που οφείλεται στο γεγονός ότι ο ψυχρός αέρας εισόδου, ο οποίος και έχει χαμηλότερη συγκέντρωση CO₂ από τον αέρα της αίθουσας (~400ppm), είναι βαρύτερος από τον θερμό εσωτερικό αέρα, που έχει υψηλότερα ποσοστά CO₂ (~1100ppm), με αποτέλεσμα ο δεύτερος να συγκεντρώνεται κοντά στο ύψος της οροφής.



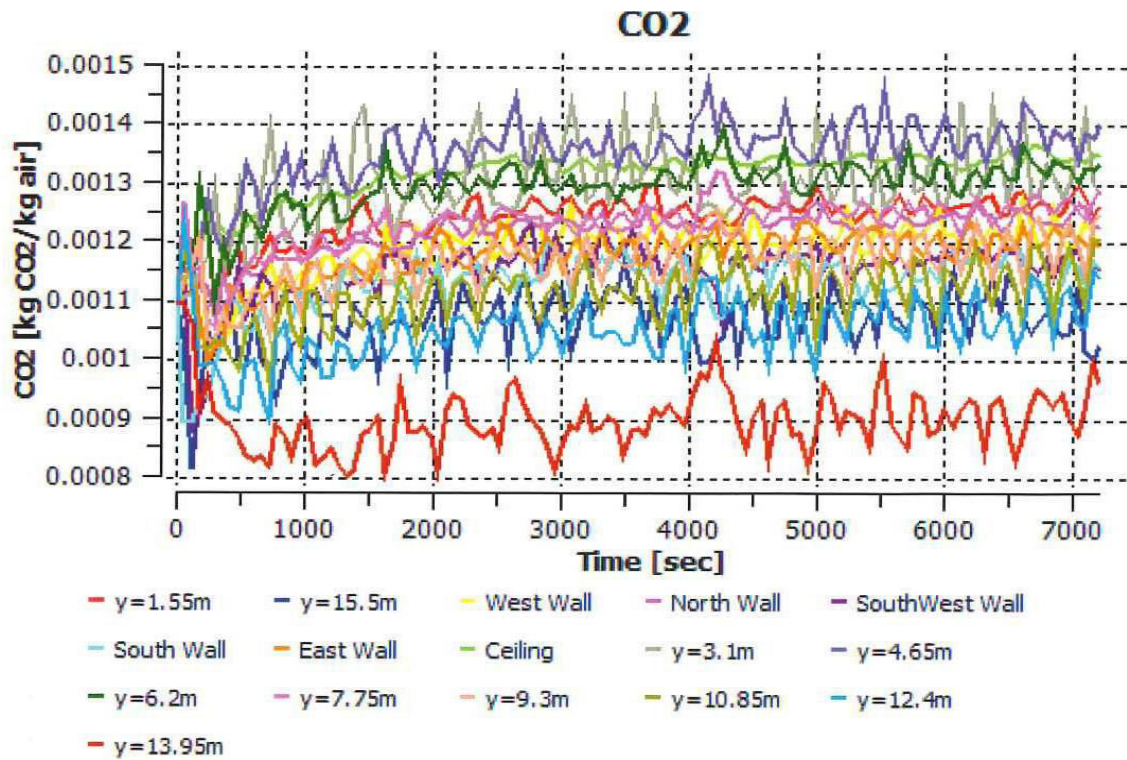
Σχήμα 4-18 Διάγραμμα λόγου υγρασίας-χρόνου στον κατά μήκος διαμπερή αερισμό, για τον Ιούνιο.



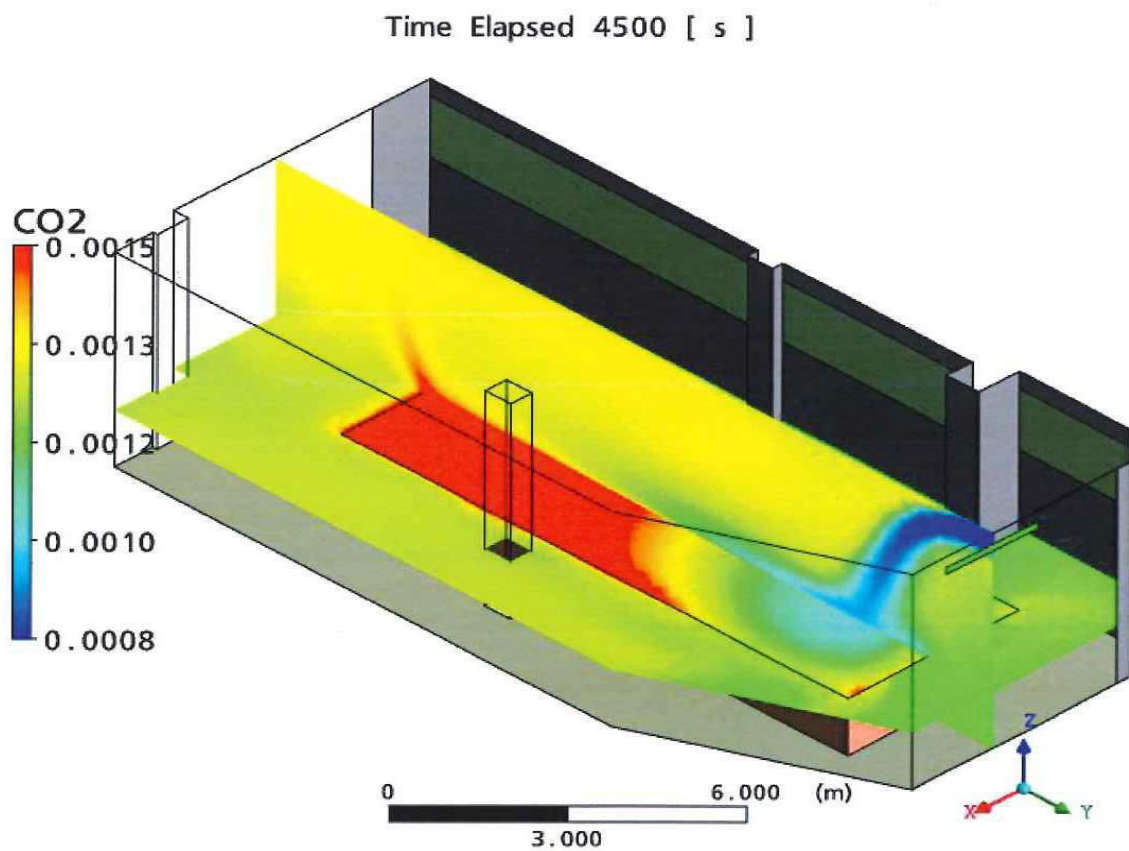
Σχήμα 4-19 Διάγραμμα θερμοκρασίας-χρόνου στον κατά μήκος διαμπερή αερισμό, για τον Ιούνιο.



Σχήμα 4-20 Τρισδιάστατη απεικόνιση της κατανομής της θερμοκρασίας στον κατά μήκος διαμπερή αερισμό, για τον Ιούνιο.



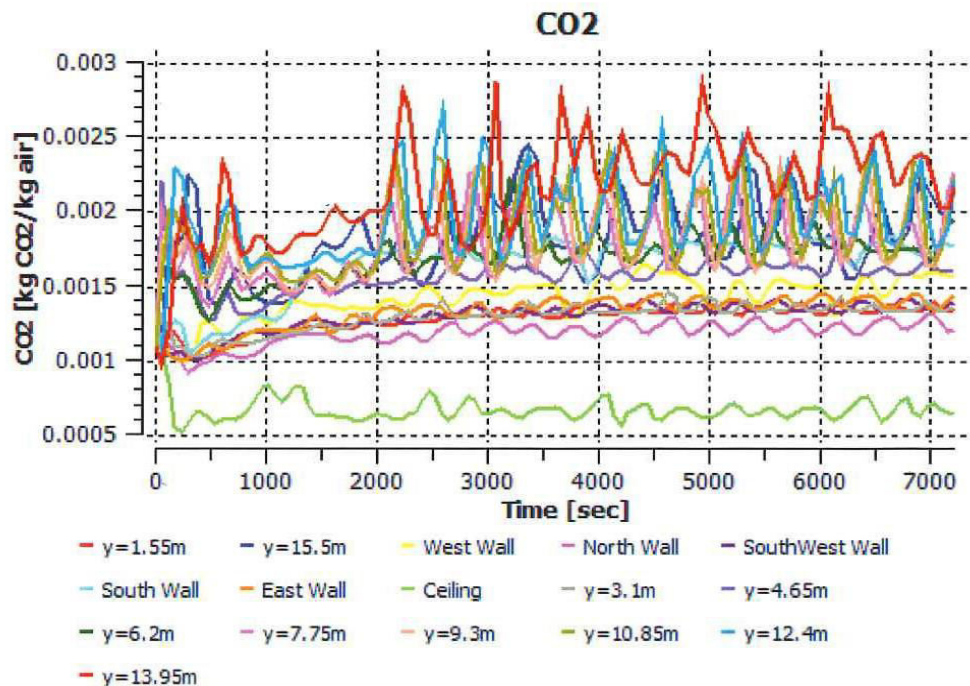
Σχήμα 4-21 Διάγραμμα συγκέντρωσης CO₂-χρόνου στον κατά μήκος διαμπερή αερισμό, για τον Ιούνιο.



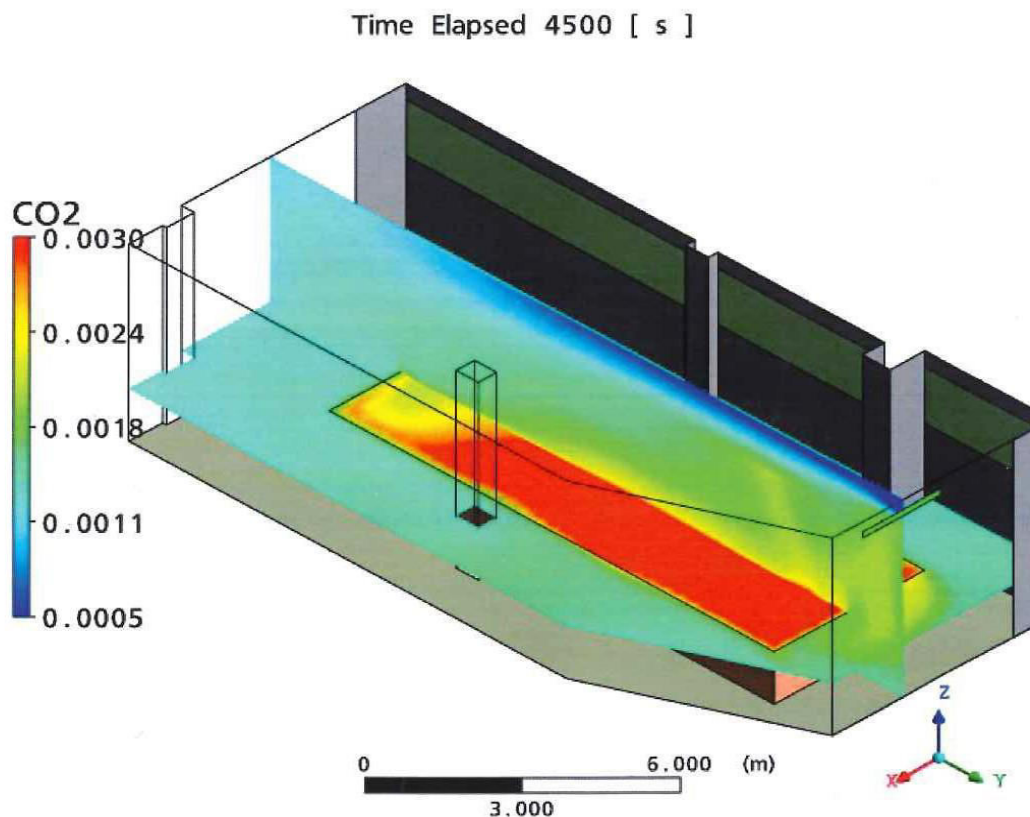
Σχήμα 4-22 Τρισδιάστατη απεικόνιση της κατανομής της συγκέντρωσης του CO₂ στον κατά μήκος διαμπερή αερισμό, για τον Ιούνιο.

➤ Ιανουάριος:

Σε αντίθεση με την περίπτωση του Ιουνίου, εδώ το ρεύμα εισόδου του αέρα είναι ισοθερμικό, με αποτέλεσμα, λόγω της υψηλότερης πυκνότητας του CO₂ (1.83 kg/m³) από αυτήν του αέρα (1.24 kg/m³), να σημειώνονται οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις CO₂ στο ύψος της οροφής και κοντά στο βόρειο τμήμα της αίθουσας (σχήμα 4-24).

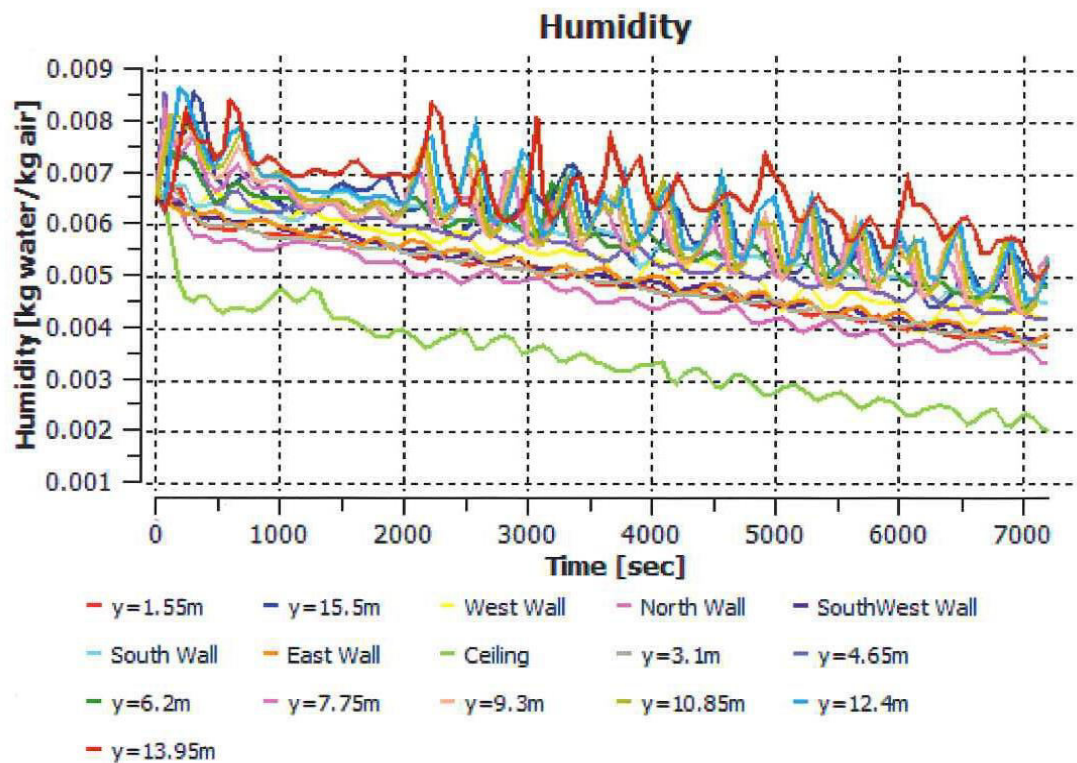


Σχήμα 4-23 Διάγραμμα συγκέντρωσης CO₂-χρόνου στον κατά μήκος διαμηρή αερισμό, για τον Ιανουάριο.



Σχήμα 4-24 Τρισδιάστατη απεικόνιση της κατανομής της συγκέντρωσης του CO₂ στον κατά μήκος διαμηρή αερισμό, για τον Ιανουάριο.

Το ίδιο φαινόμενο που περιγράφηκε για το CO₂ παρατηρούμε να συμβαίνει και στον λόγο υγρασίας της αίθουσας (σχήμα 4-25), με την διαφορά ότι παρουσιάζεται και μια επιπρόσθετη μείωση της τιμής του με την πάροδο του χρόνου, που όπως αναλύθηκε σε παραπάνω παραμετρική μελέτη (4.2.3.1), οφείλεται στην λανθασμένη τοποθέτηση του αισθητήρα που μετράει λόγο υγρασίας εσωτερικού αέρα.



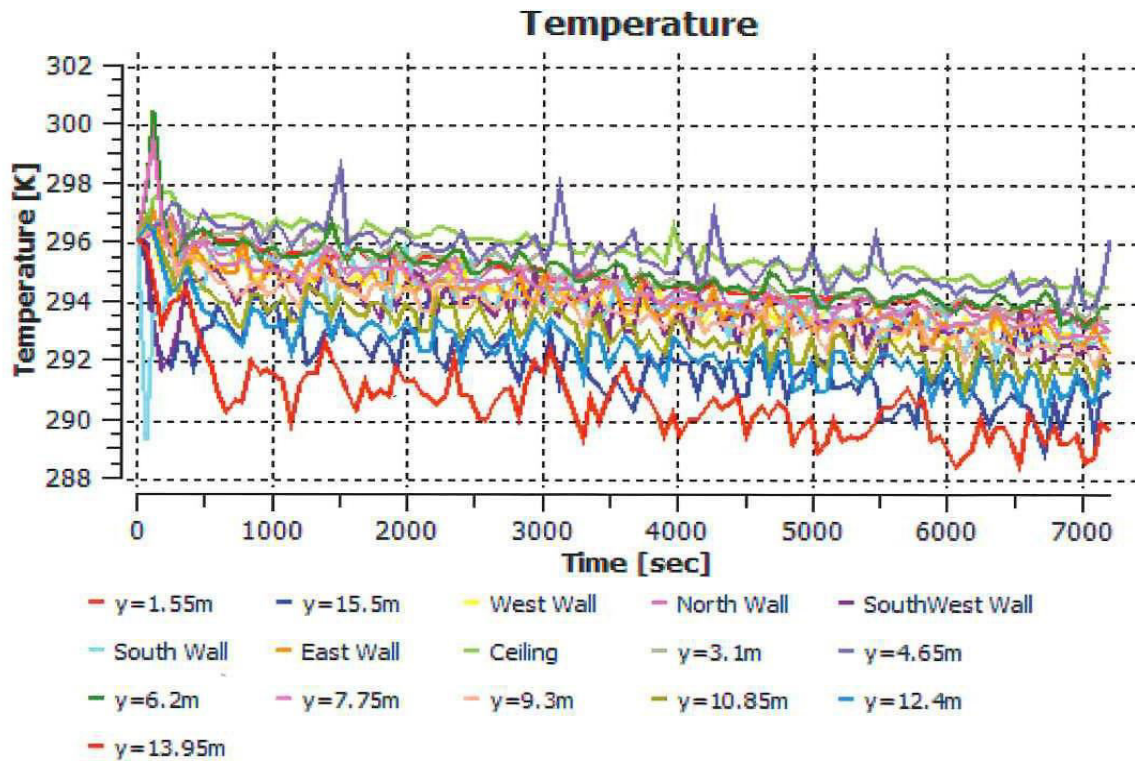
Σχήμα 4-25 Διάγραμμα λόγου υγρασίας-χρόνου στον κατά μήκος διαμπερή αερισμό, για τον Ιανουάριο.

4.2.3.3 Κατά μήκος μονομερής αερισμός (άνω είσοδος-κάτω έξοδος), χωρίς ανανέωση

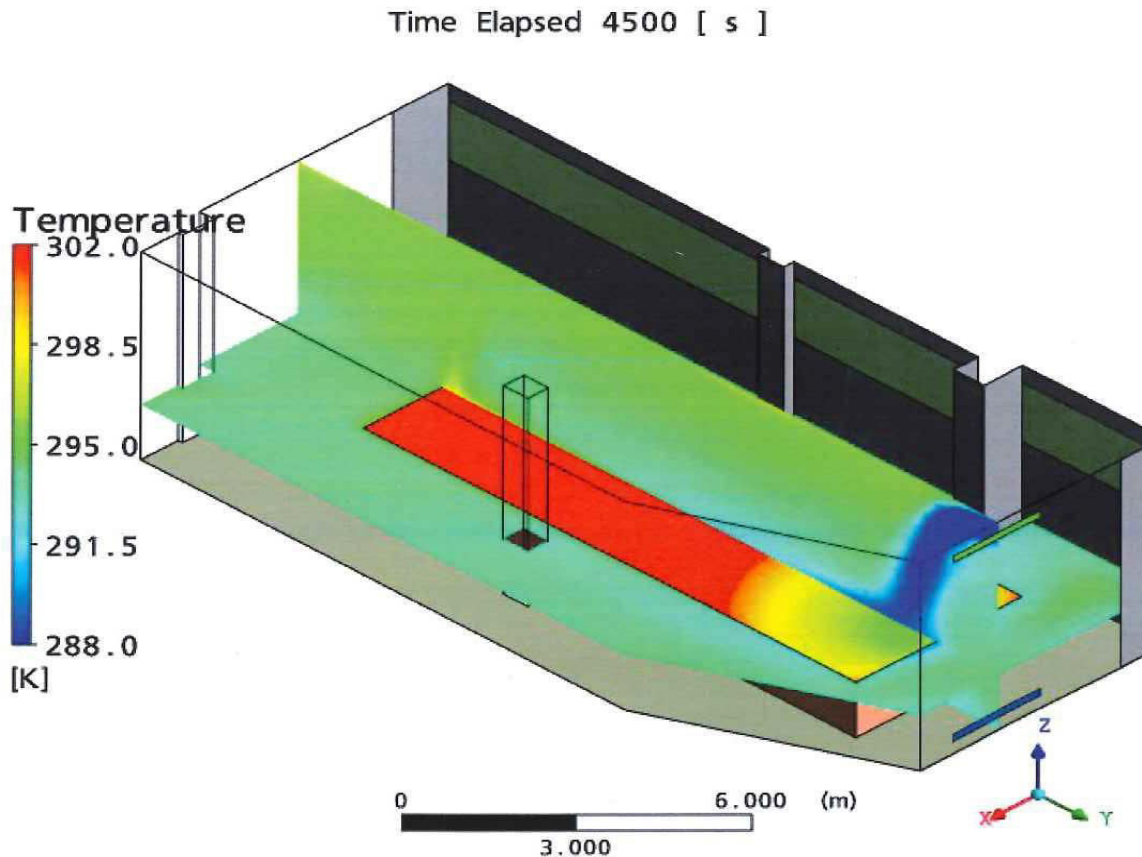
Σε αυτήν την περίπτωση επιδιώχθηκε η προσομοίωση των αποτελεσμάτων στην περίπτωση του μονομερούς αερισμού χωρίς ανανέωση αέρα. Ο λόγος ήταν η σύγκριση των αποτελεσμάτων με μία ενιαία μονάδα κλιματισμού αέρα που έχει ήδη εγκατασταθεί στην αίθουσα, χωρίς να υπάρχει προσαγωγή εξωτερικού αέρα, αλλά χρήση μόνο του αέρα επιστροφής.

Από τα σχήματα 4-26 έως 4-33, παρατηρούμε και για τους δύο μήνες, ότι ενώ ο λόγος υγρασίας και η θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα διατηρούνται σε επιθυμητά επίπεδα (με μία μείωση στη θερμοκρασία λόγω της λανθασμένης επιλογής για την θέση του αισθητήρα), η συγκέντρωση του διοξειδίου αυξάνεται σταθερά. Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο τα επιτρεπτά όρια CO₂ για την συγκεκριμένη αίθουσα είναι 1100 ppm και ο ρυθμός παραγωγής CO₂ από τους ανθρώπους θεωρήθηκε 0.31 l/min/άτομο. Στην περίπτωση που δεν ανανεώνεται ο αέρας που προσάγεται στην αίθουσα, παρατηρούμε τελικά, από τα σχήματα 4-28 και 4-29 για τον Ιούνιο, και 4-32 και 4-33 για τον Ιανουάριο, ότι η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα σε δύο ώρες αγγίζει αντίστοιχα τα 6500 και 7000 ppm.

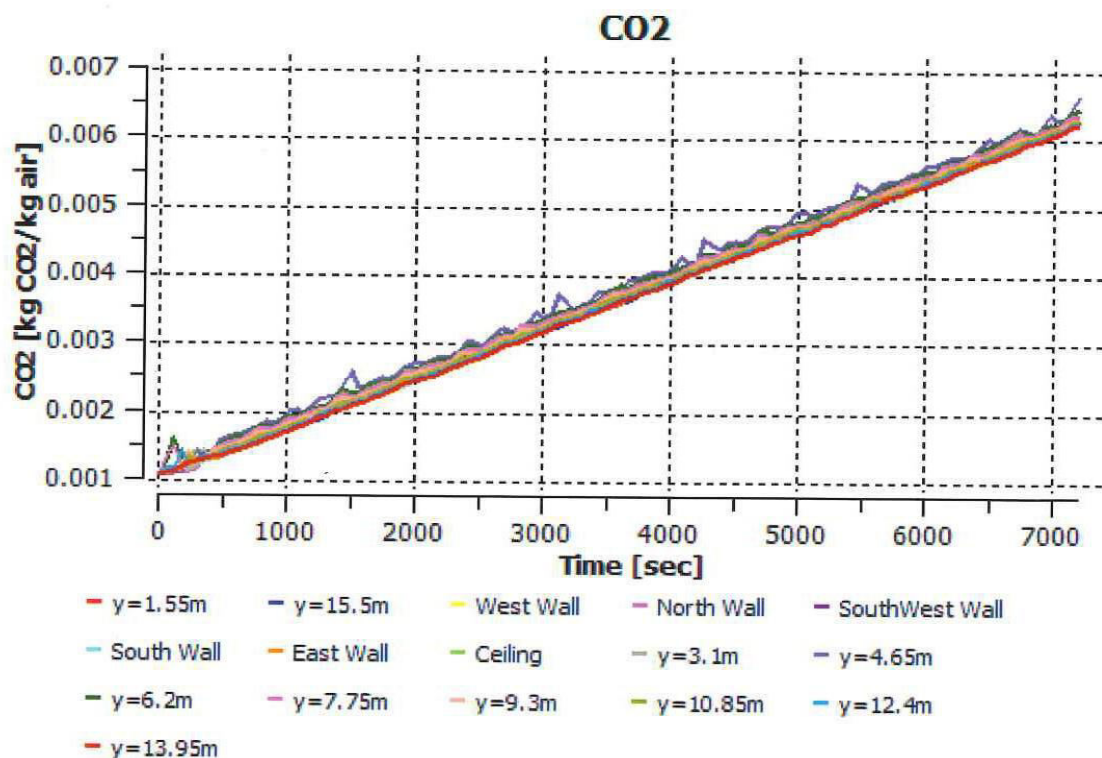
➤ Ιούνιος:



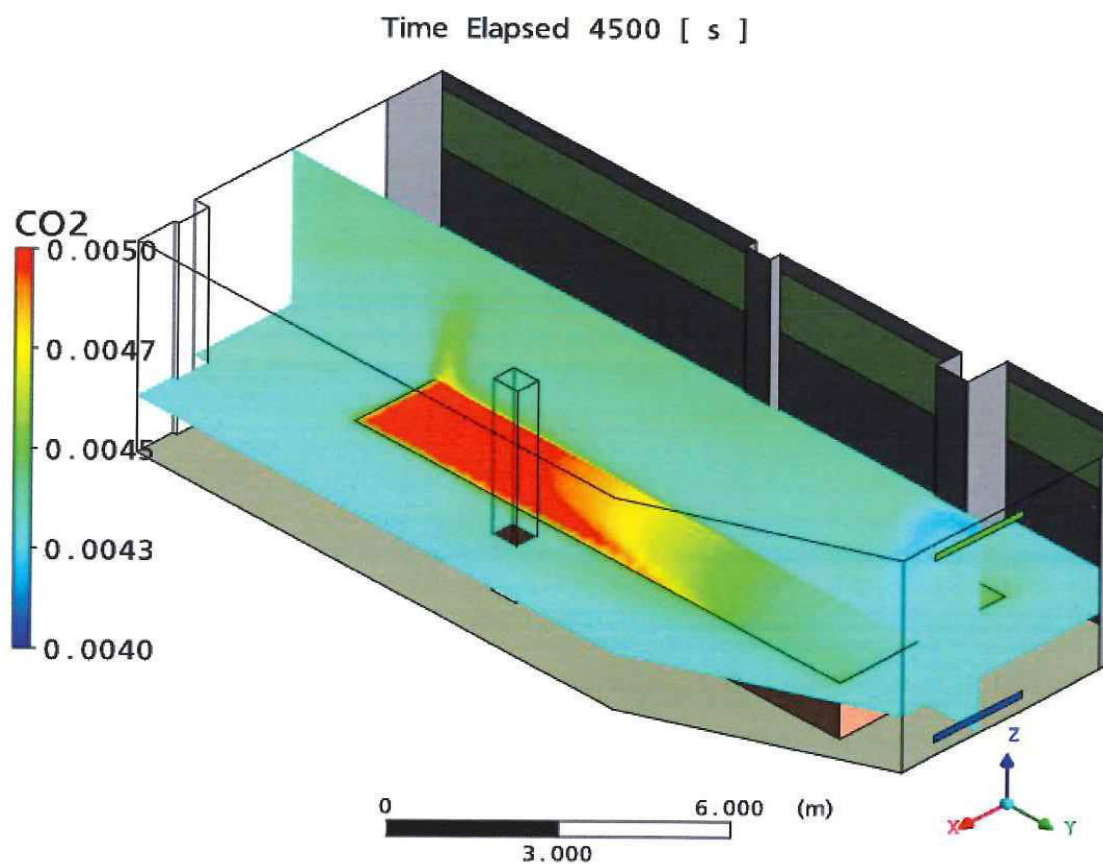
Σχήμα 4-26 Διάγραμμα θερμοκρασίας-χρόνου στον κατά μήκος μονομερή αερισμό (άνω είσοδος-κάτω έξοδος), για τον Ιούνιο.



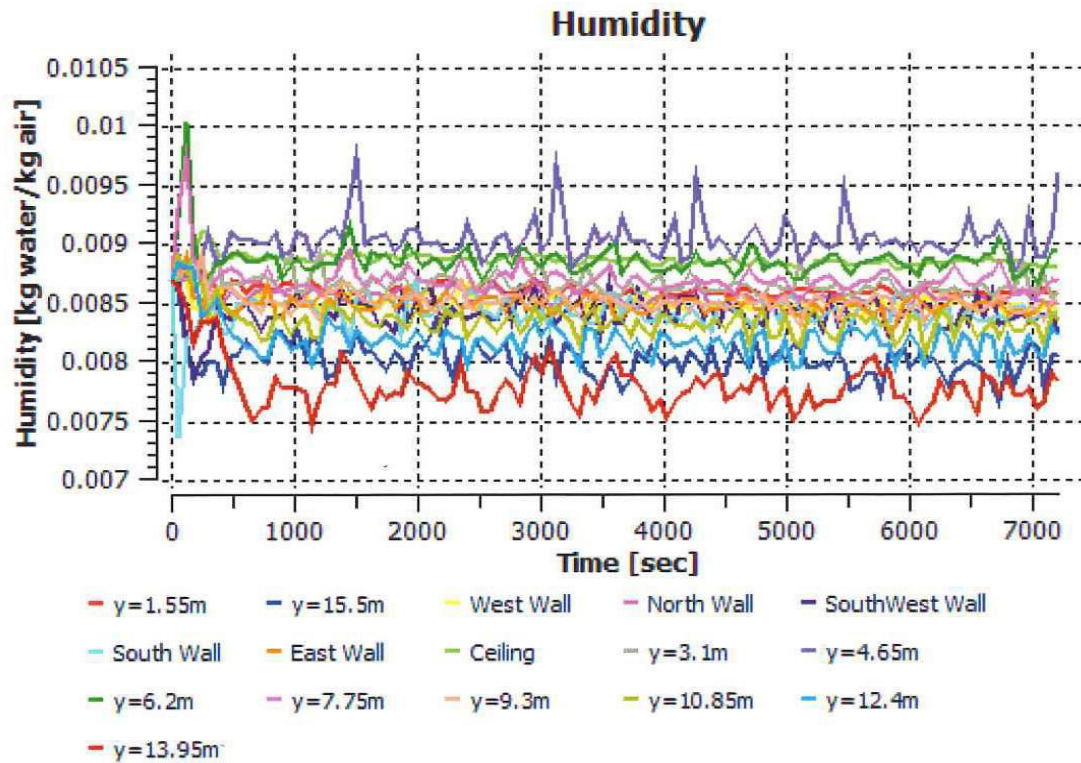
Σχήμα 4-27 Τρισδιάστατη απεικόνιση της κατανομής της θερμοκρασίας στον κατά μήκος μονομερή αερισμό (άνω είσοδος-κάτω έξοδος), για τον Ιούνιο.



Σχήμα 4-28 Διάγραμμα συγκέντρωσης CO₂-χρόνου στον κατά μήκος μονομερή αερισμό (άνω είσοδος-κάτω έξοδος), για τον Ιούνιο.



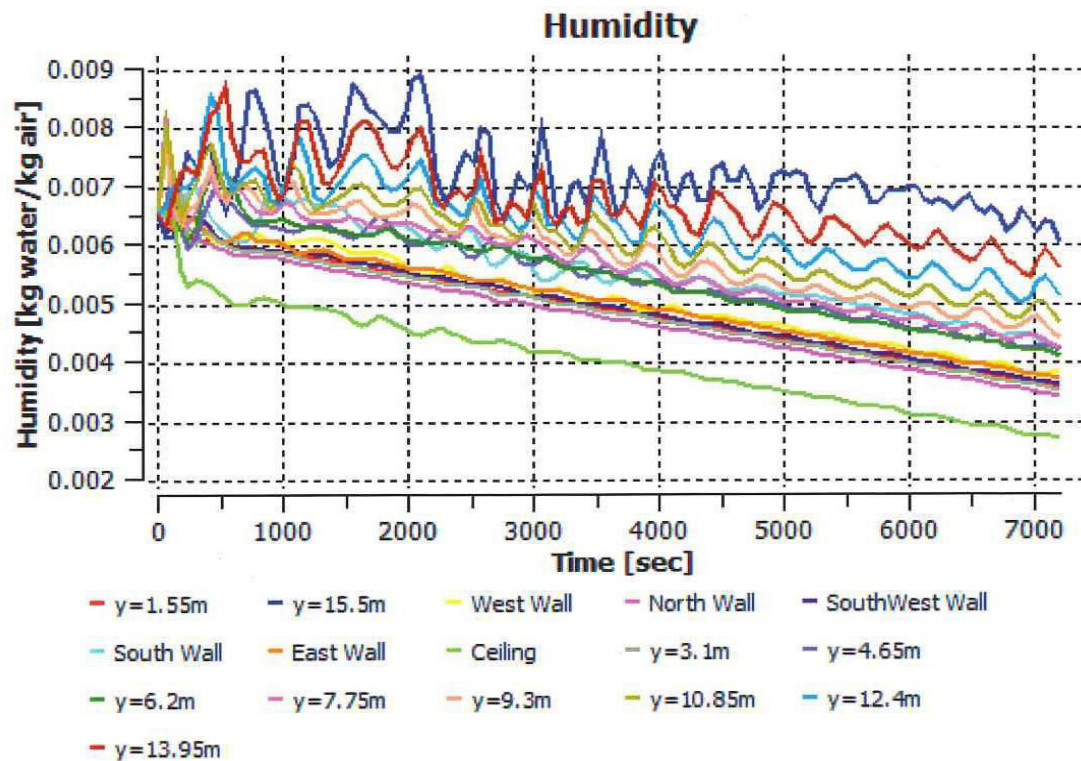
Σχήμα 4-29 Τρισδιάστατη απεικόνιση της κατανομής της συγκέντρωσης του CO₂ στον κατά μήκος μονομερή αερισμό (άνω είσοδος-κάτω έξοδος), για τον Ιούνιο.



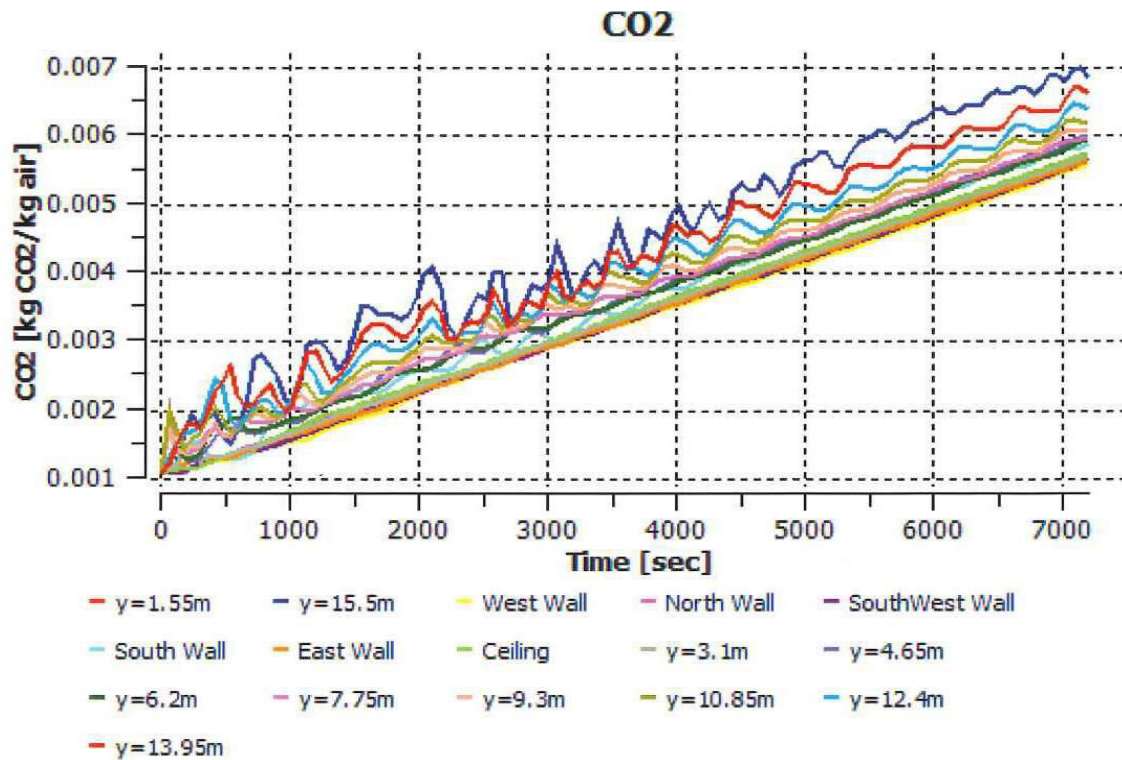
Σχήμα 4-30 Διάγραμμα λόγου υγρασίας-χρόνου στον κατά μήκος μονομερή αερισμό (άνω είσοδος-κάτω έξοδος), για τον Ιούνιο.

➤ Ιανουάριος:

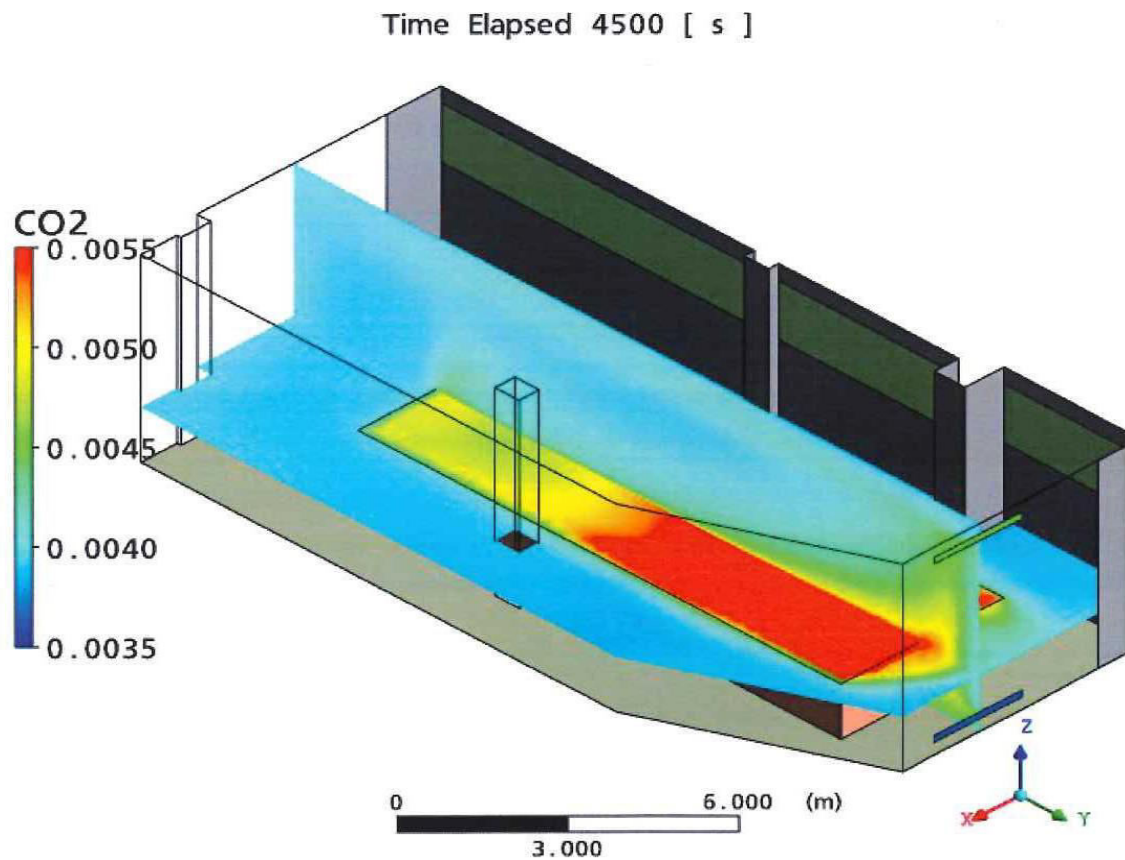
Λόγω της μελέτης υδρονικού συστήματος για την χειμερινή περίοδο, το ρεύμα εισόδου του αέρα είναι ισοθερμικό, με αποτέλεσμα να παρουσιάζεται καλύτερη κατανομή των παραμέτρων του CO₂ και του λόγου υγρασίας (σχήματα 4-31 έως 4-33) σε σύγκριση με την θερινή περίοδο (σχήματα 4-28 έως 4-30).



Σχήμα 4-31 Διάγραμμα λόγου υγρασίας-χρόνου στον κατά μήκος μονομερή αερισμό(άνω είσοδος-κάτω έξοδος) , για τον Ιανουάριο.



Σχήμα 4-32 Διάγραμμα συγκέντρωσης CO₂-χρόνου στον κατά μήκος μονομερή αερισμό (άνω είσοδος-κάτω έξοδος), για τον Ιανουάριο.



Σχήμα 4-33 Τρισδιάστατη απεικόνιση της κατανομής της συγκέντρωσης του CO₂ στον κατά μήκος μονομερή αερισμό (άνω είσοδος-κάτω έξοδος), για τον Ιανουάριο.

4.2.3.4 Κατά μήκος μονομερής αερισμός (άνω είσοδος-κάτω έξοδος), χωρίς ανανέωση, με προσαρμοσμένες τιμές παραγωγής CO₂

Σε αυτήν την περίπτωση επαναλήφθηκε η ίδια διαδικασία με την προηγούμενη με την διαφορά ότι εδώ έγινε χρήση προσαρμοσμένων τιμών για τον ρυθμό παραγωγής του διοξειδίου του άνθρακα από τους ανθρώπους. Οι τιμές αυτές, αναφέρθηκε, ότι λήφθηκαν από πειραματικές μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στην αίθουσα στις 18 Ιουνίου 2008, μεταξύ 9:00 και 11:00 π.μ. με 55 άτομα εντός της αίθουσας (Θεοδοσίου Θ. και Μπούρης Δ., 2008 [34]). Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων προέκυψε ότι σε μία ώρα η συγκέντρωση του CO₂ εντός της αίθουσας αυξήθηκε κατά 1674 ppm, και γνωρίζοντας ότι αυτό οφείλεται μόνο στα άτομα της αίθουσας, και ότι ο ρυθμός αύξησής του είναι σταθερός, ήταν δυνατό να προσδιορισθεί ο *πραγματικός ρυθμός παραγωγής CO₂*, $\dot{m}_{CO_2,real}$. Έτσι από την παρακάτω εξίσωση 4-20:

$$\dot{m}_{CO_2} = \rho_{air,26^\circ C} \cdot V \cdot \frac{\dot{C}_{CO_2}}{3600} \quad [\text{kg/sec}] \quad (4-20)$$

όπου:

$\rho_{air,26^\circ C} \cong 1.18 \text{ kg/m}^3$ – πυκνότητα του CO₂ συναρτήσει της θερμοκρασίας, σε kg/m³.

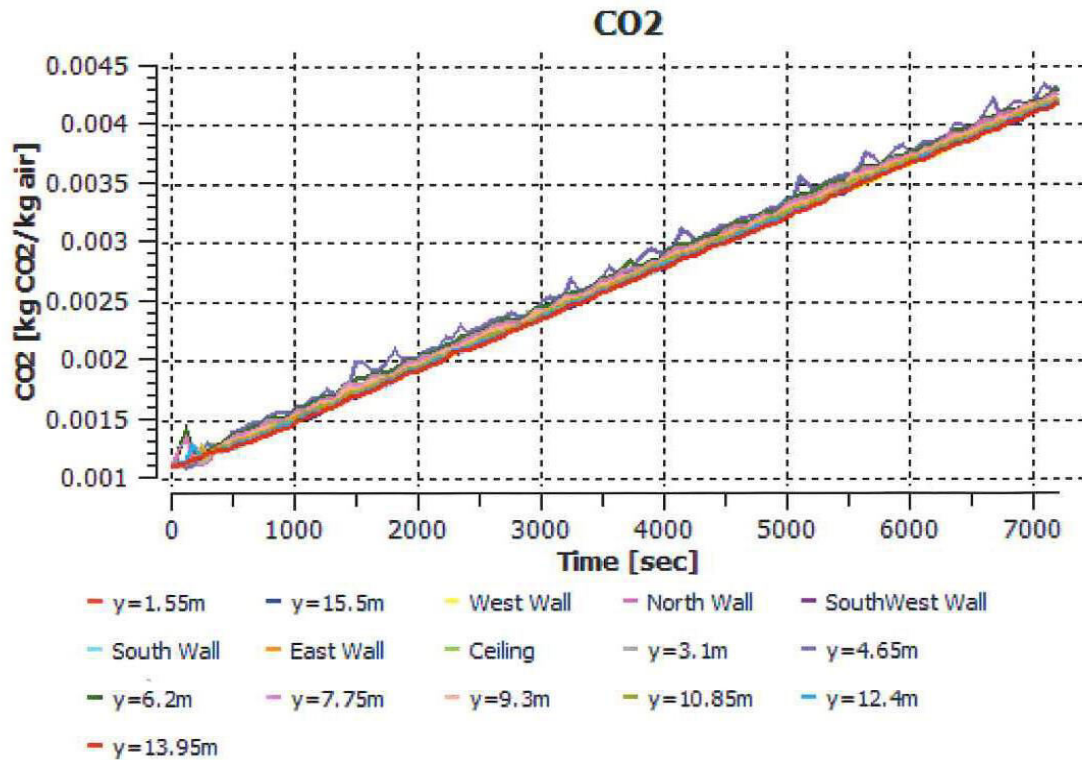
$V = 614 \text{ m}^3$ – όγκος αίθουσας.

$\dot{C}_{CO_2} = 1674 \cdot 10^{-6} \text{ kg/kg}_{air} / \text{hr}$ – ο ρυθμός παραγωγής CO₂ στον χώρο ανά κιλό αέρα.

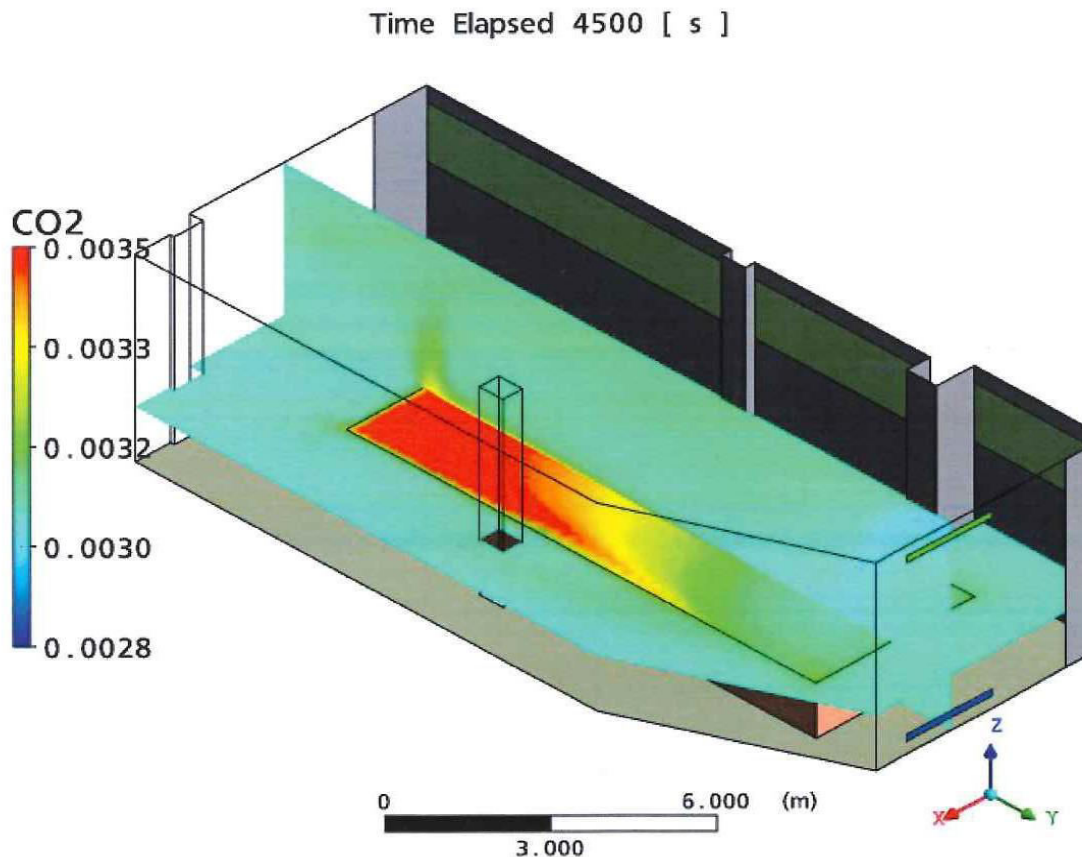
Οπότε τελικά από την σχέση 4-20 προκύπτει ότι ο πραγματικός ρυθμός παραγωγής CO₂ από τους ανθρώπους είναι $\underline{3.369 \cdot 10^{-4} \text{ kg}_{CO_2} / \text{sec}}$, περίπου μιάμιση φορά μικρότερος από αυτόν που θεωρήθηκε στις παραπάνω περιπτώσεις (4.2.3.1 έως 4.2.3.3).

Τελικά τα αποτελέσματα που προέκυψαν από αυτή την μετατροπή για τη θερινή και τη χειμερινή περίοδο, δίνονται αντίστοιχα στα παρακάτω σχήματα 4-34 έως 4-36 και 4-37 έως 4-38. Παρατηρείται ότι η συγκέντρωση του CO₂ στο τέλος των δύο ωρών, φτάνει περίπου τα 4000 ppm για τον Ιούνιο και τα 4500 ppm για τον Ιανουάριο, που είναι περίπου μιάμιση φορά μικρότερες από τις αντίστοιχες της προηγούμενης παραμετρικής μελέτης (σχήματα 4-28 και 4-29 για τον Ιούνιο και 4-32 και 4-33 για τον Ιανουάριο). Αυτό οφείλεται στο ότι ο πραγματικός ρυθμός παραγωγής CO₂ από τους ανθρώπους, που χρησιμοποιήθηκε σε αυτήν την περίπτωση, ήταν περίπου μιάμιση φορά μικρότερος από της προηγούμενης (4.2.3.3).

➤ Ιούνιος:

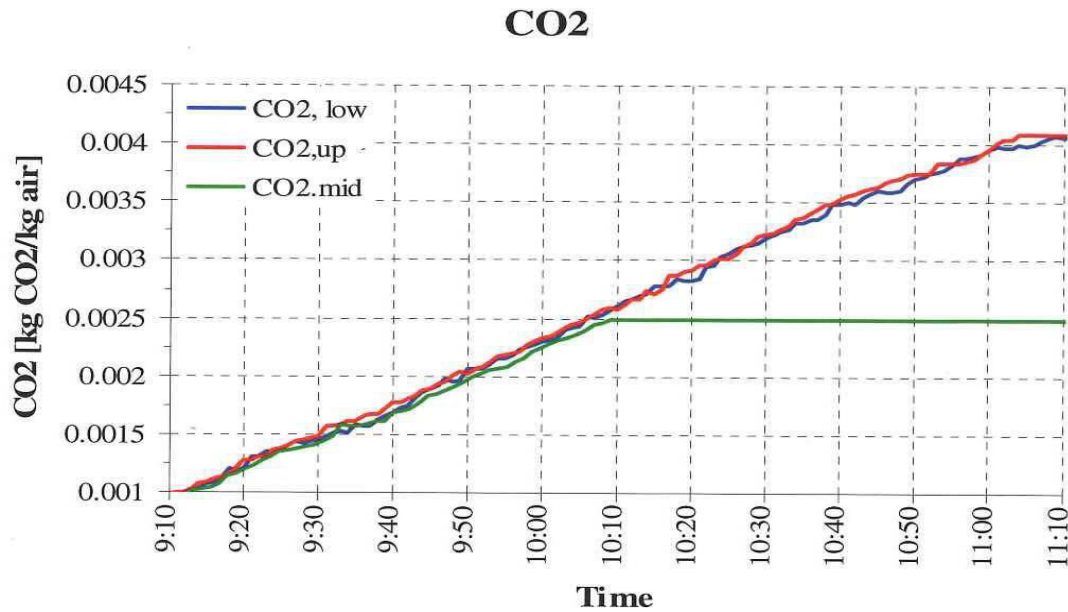


Σχήμα 4-34 Διάγραμμα συγκέντρωσης CO₂-χρόνου στον κατά μήκος μονομερή αερισμό (άνω είσοδος-κάτω έξοδος) με προσαρμοσμένες τιμές παραγωγής CO₂, για τον Ιούνιο.

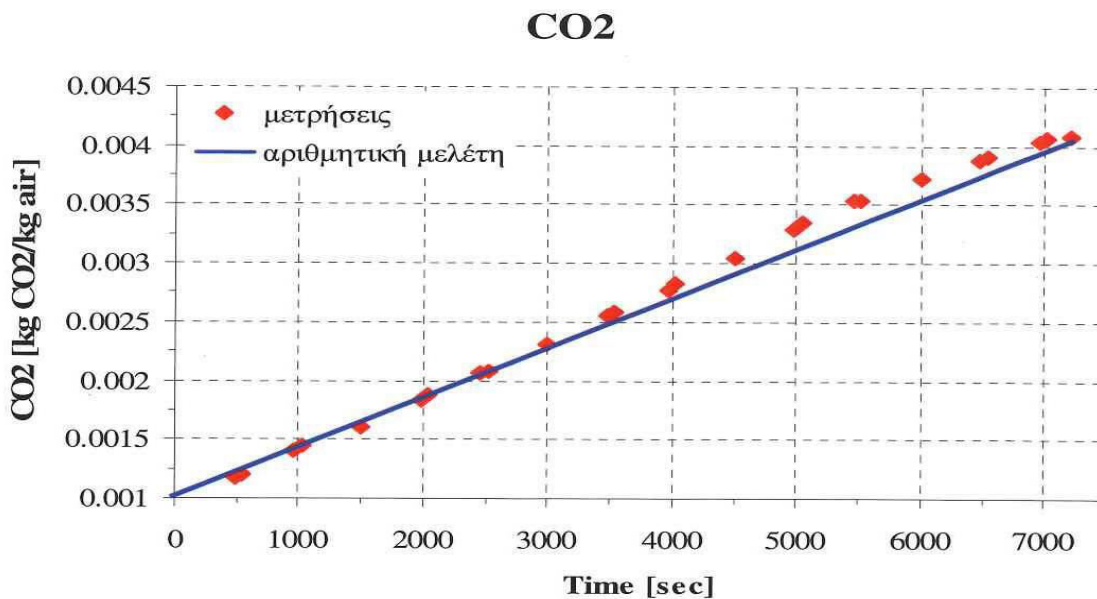


Σχήμα 4-35 Τρισδιάστατη απεικόνιση της κατανομής της συγκέντρωσης του CO₂ στον κατά μήκος μονομερή αερισμό (άνω είσοδος-κάτω έξοδος) με προσαρμοσμένες τιμές παραγωγής CO₂, για τον Ιούνιο

Οι τιμές των συγκεντρώσεων του CO₂ που λήφθηκαν από τις πειραματικές μετρήσεις, παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα 4-36. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των δύο αυτών διαδικασιών, της αριθμητικής μελέτης και των πειραματικών μετρήσεων, για τον Ιούνιο (σχήμα 4-37) παρατηρείται σχεδόν μηδενική απόκλιση μεταξύ τους. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι, η παραπάνω αριθμητική μελέτη ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα και είναι αποδεκτή.

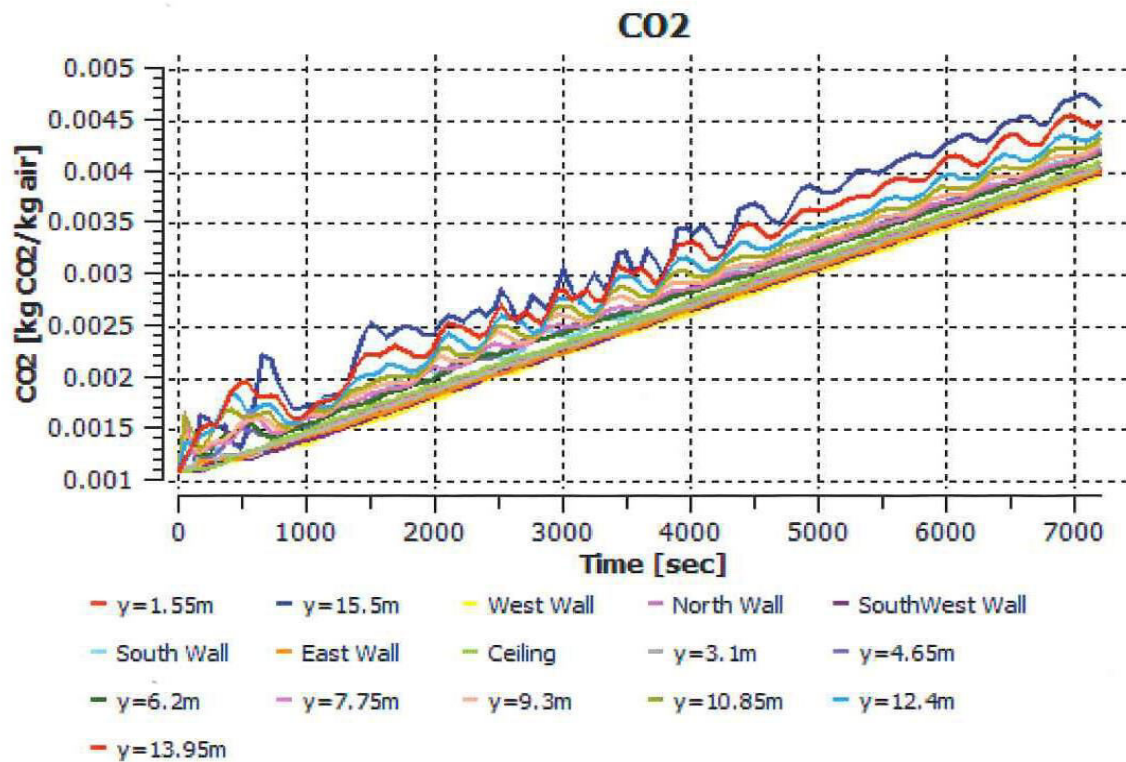


Σχήμα 4-36 Διάγραμμα συγκέντρωσης CO₂-χρόνου από τις πειραματικές μετρήσεις, για τον Ιούνιο [34].

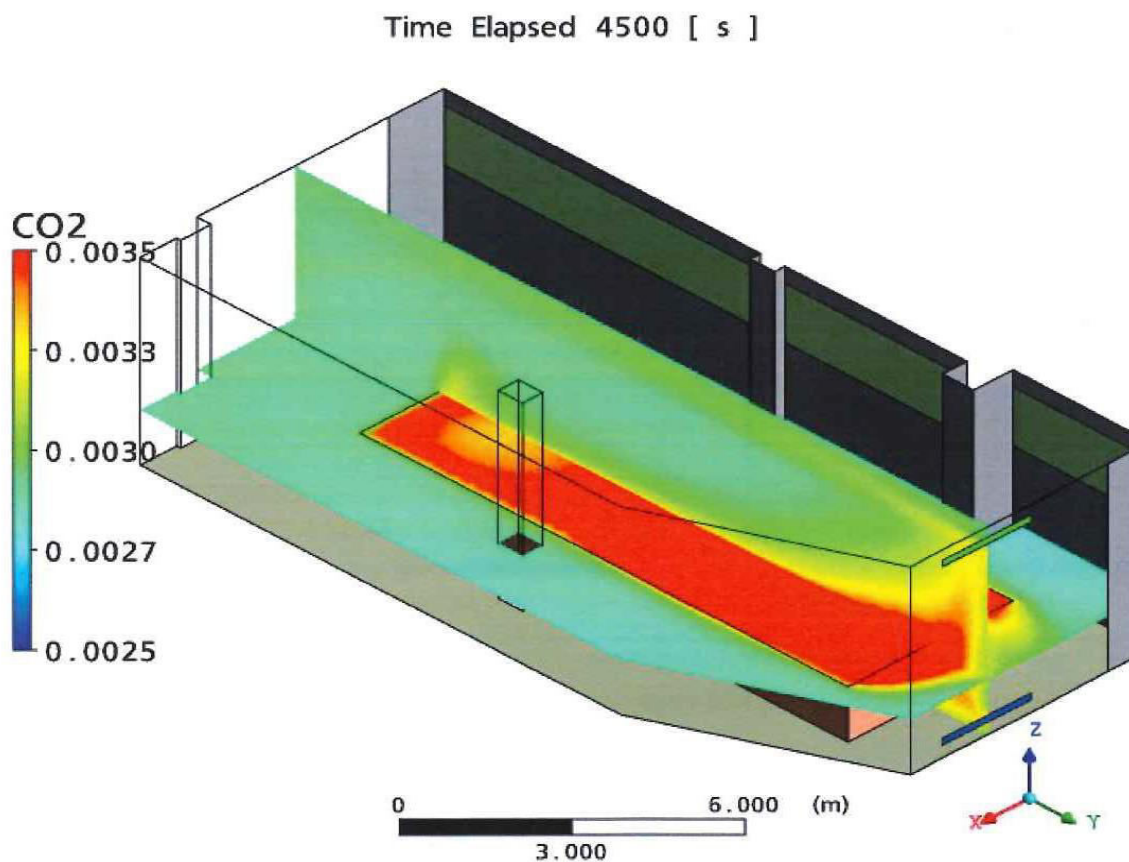


Σχήμα 4-37 Συγκριτικό διάγραμμα συγκέντρωσης CO₂-χρόνου μεταξύ αριθμητικής μελέτης και πειραματικών μετρήσεων, για τον Ιούνιο

➤ Ιανουάριος:



Σχήμα 4-38 Διάγραμμα συγκέντρωσης CO₂-χρόνου στον κατά μήκος μονομερή αερισμό (άνω είσοδος-κάτω έξοδος) με προσαρμοσμένες τιμές παραγωγής CO₂, για τον Ιανουάριο.



Σχήμα 4-39 Τρισδιάστατη απεικόνιση της κατανομής της συγκέντρωσης του CO₂ στον κατά μήκος μονομερή αερισμό (άνω είσοδος-κάτω έξοδος) με προσαρμοσμένες τιμές παραγωγής CO₂, για τον Ιανουάριο.

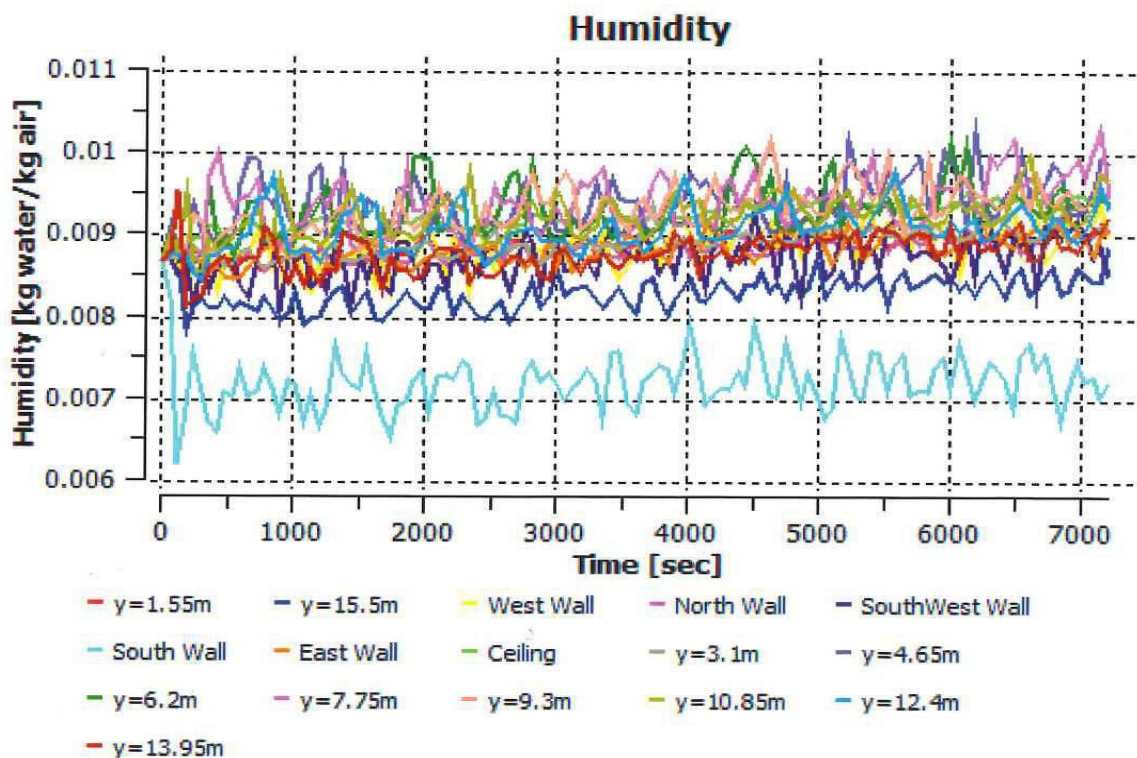
4.2.3.5 Κατά μήκος μονομερής αερισμός (άνω είσοδος-έξοδος), χωρίς ανανέωση, με προσαρμοσμένες τιμές παραγωγής CO₂

Στην τελευταία παραμετρική περίπτωση επαναλήφθηκε η παραπάνω διαδικασία με χρήση της προσαρμοσμένης τιμής για την παραγωγή του CO₂ που υπολογίστηκε από τις μετρήσεις, με την διαφορά ότι εδώ ο διαχυτήρας εξόδου τοποθετήθηκε ακριβώς κάτω από την είσοδο του αέρα. Ο λόγος ήταν η προσπάθεια προσομοίωσης της κατανομής των παραμέτρων θερμοκινητικού περιβάλλοντος στην περίπτωση εγκατάστασης μιας ενιαία μονάδας κλιματισμού αέρα στην αίθουσα.

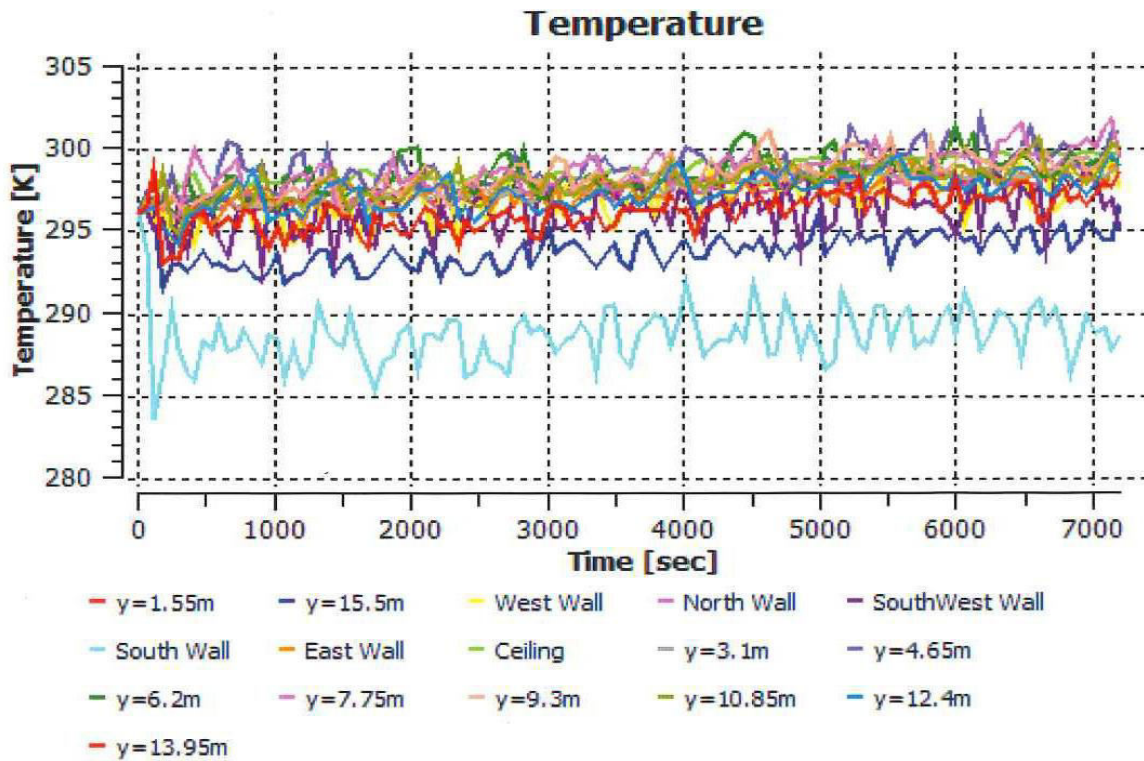
Τα αποτελέσματα αυτής της αριθμητικής ανάλυσης, η οποία πραγματοποιήθηκε και για τον Ιούνιο και για τον Ιανουάριο, δίνονται στα παρακάτω διαγράμματα (σχήματα 4-40 έως 4-47).

➤ Ιούνιος:

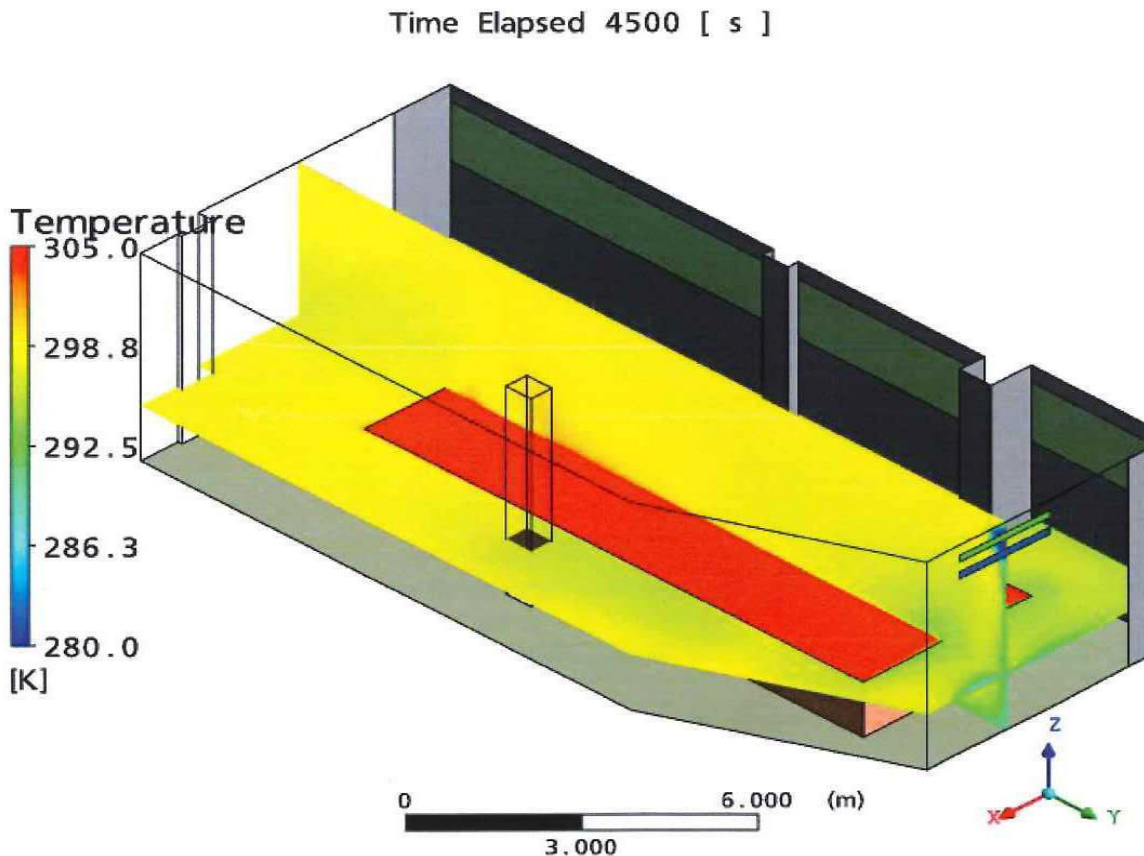
Στην περίπτωση του Ιουνίου παρατηρούμε ότι, ενώ η θερμοκρασία και ο λόγος υγρασίας του εσωτερικού αέρα διατηρούνται στα επιθυμητά επίπεδα, δηλαδή περίπου 23°C και 8.7g_w/kg_{d.a.} αντίστοιχα (σχήματα 4-40 και 4-41 και 4-42), η συγκέντρωση του CO₂ ανέρχεται στα 4500 ppm σε δύο ώρες, όπως και αναμενόταν (σχήματα 4-43 και 4-44). Ο λόγος είναι ότι, ο αέρας που προσάγεται στον χώρο είναι μόνο αέρα επιστροφής και δεν χρησιμοποιείται κανένα ποσοστό νωπού αέρα. Επομένως λόγω της συνεχόμενης εκπομπής CO₂ από τους ανθρώπους, με την πάροδο του χρόνου αυξάνεται γραμμικά η συνολική συγκέντρωση CO₂ στον χώρο.



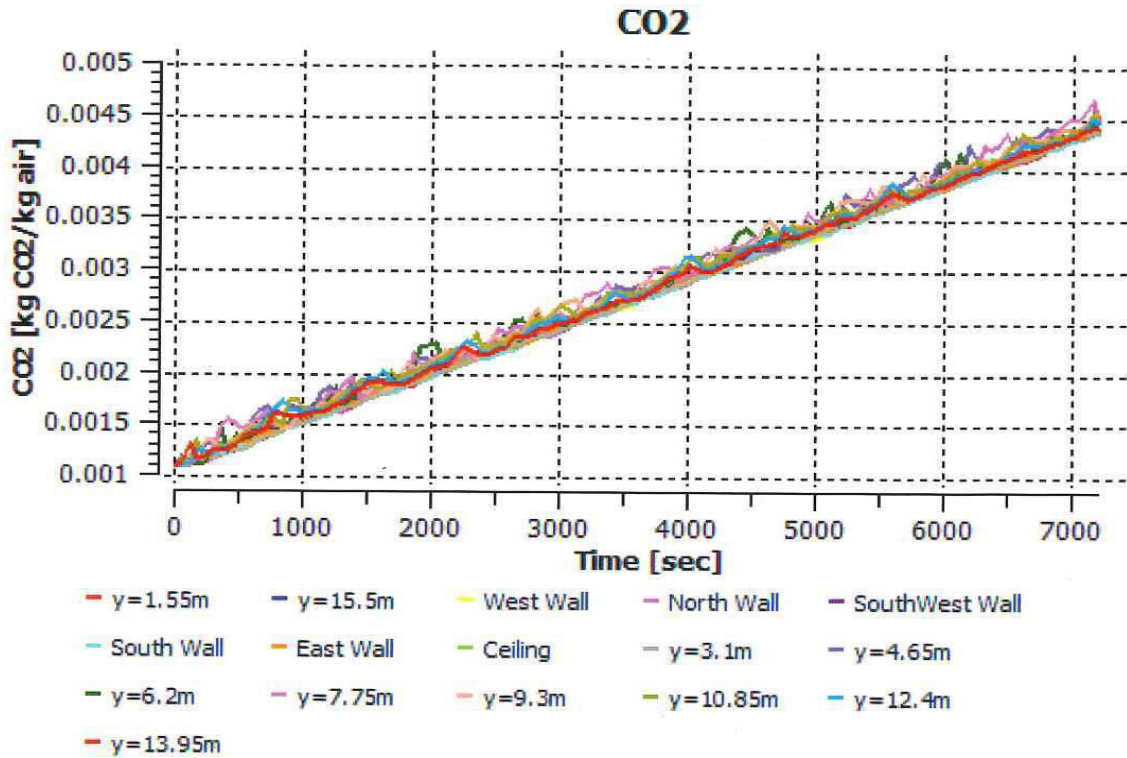
Σχήμα 4-40 Διάγραμμα λόγου υγρασίας-χρόνου στον κατά μήκος μονομερή αερισμό (άνω είσοδος- έξοδος) με προσαρμοσμένες τιμές παραγωγής CO₂, για τον Ιούνιο.



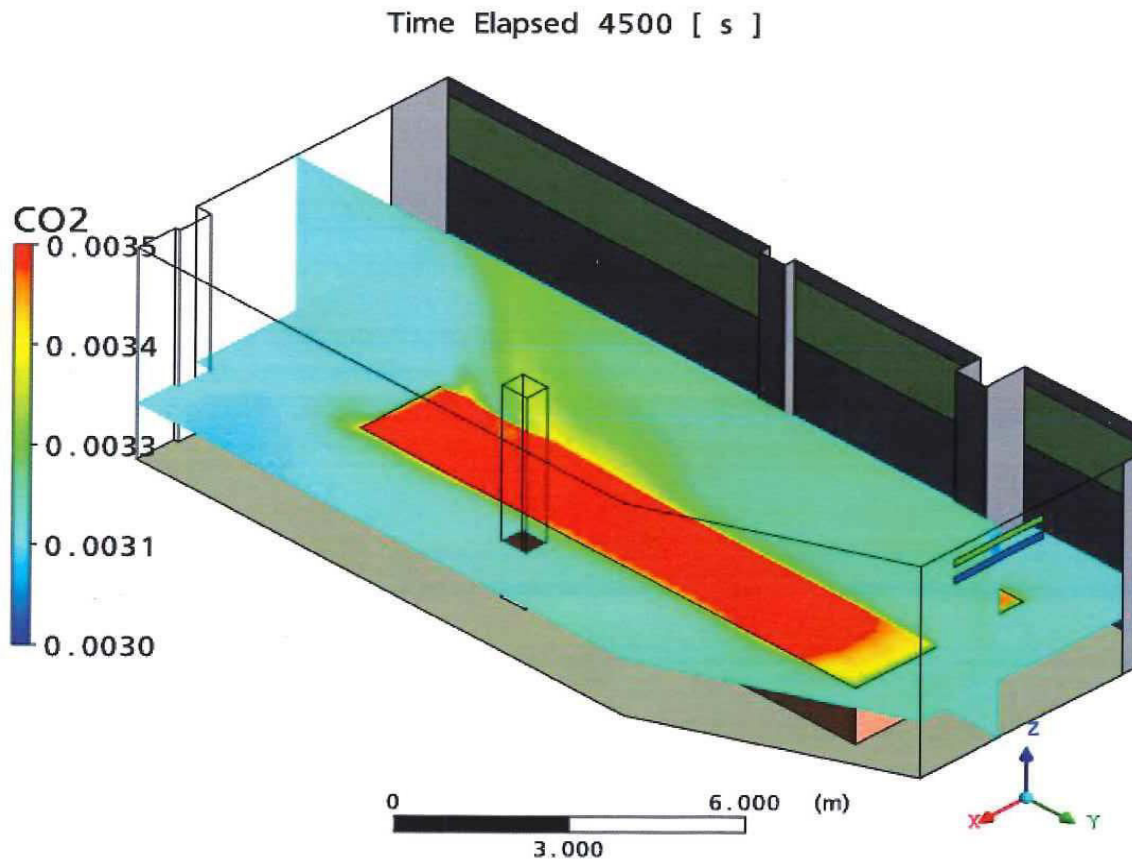
Σχήμα 4-41 Διάγραμμα θερμοκρασίας-χρόνου στον κατά μήκος μονομερή αερισμό (άνω είσοδος- έξοδος) με προσαρμοσμένες τιμές παραγωγής CO₂, για τον Ιούνιο.



Σχήμα 4-42 Τρισδιάστατη απεικόνιση της κατανομής της θερμοκρασίας στον κατά μήκος μονομερή αερισμό (άνω είσοδος- έξοδος) με προσαρμοσμένες τιμές παραγωγής CO₂, για τον Ιούνιο.



Σχήμα 4-43 Διάγραμμα συγκέντρωσης CO₂-χρόνου στον κατά μήκος μονομερή αερισμό (άνω είσοδος- έξοδος) με προσαρμοσμένες τιμές παραγωγής CO₂, για τον Ιούνιο.

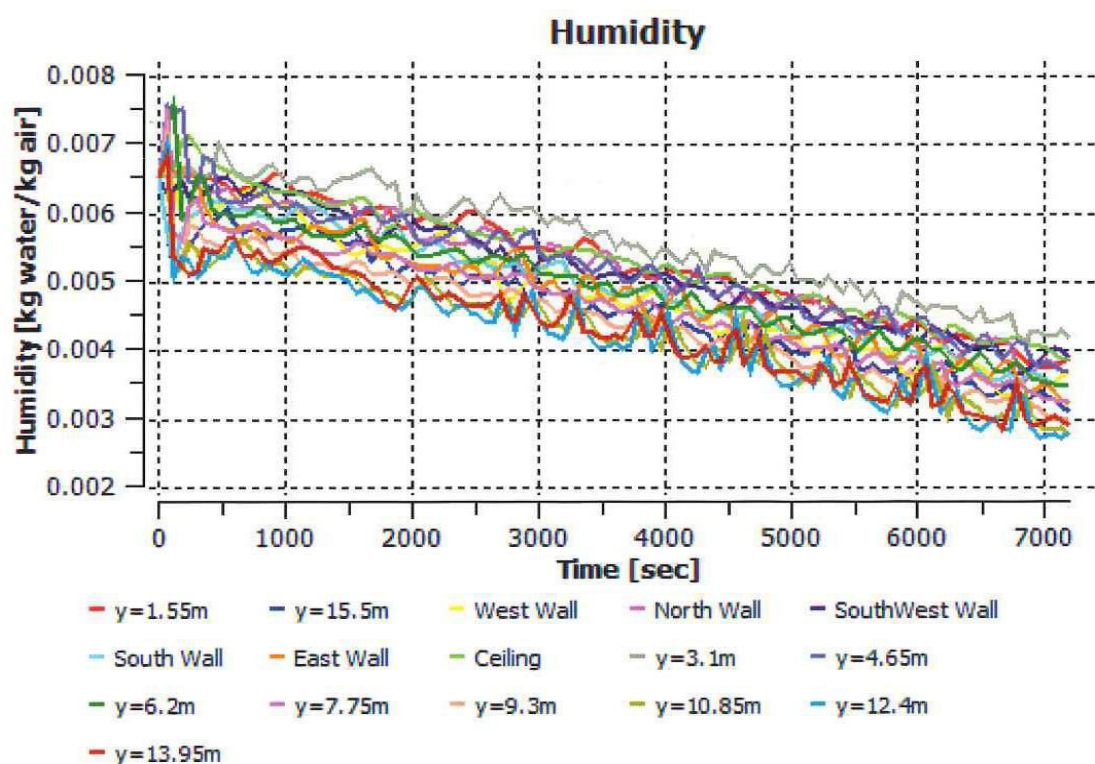


Σχήμα 4-44 Τρισδιάστατη απεικόνιση της κατανομής της συγκέντρωσης του CO₂ στον κατά μήκος μονομερή αερισμό (άνω είσοδος- έξοδος) με προσαρμοσμένες τιμές παραγωγής CO₂, για τον Ιούνιο.

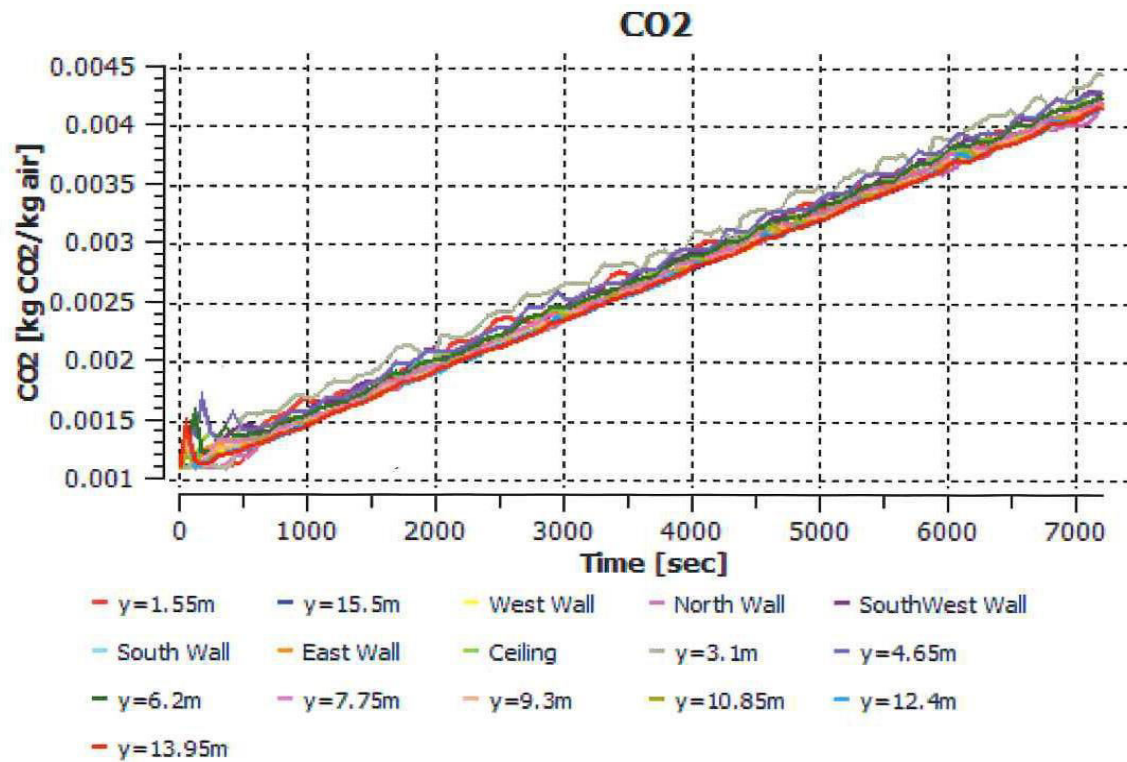
➤ Ιανουάριος:

Αντίστοιχα αύξηση του CO₂ εντός της αίθουσας παρατηρείται και για τον Ιανουάριο (σχήματα 4-46 και 4-47), η οποία οφείλεται στους ίδιους λόγους που επισημάνθηκαν στην περίπτωση του Ιουνίου. Επίσης, και σε αυτή την αριθμητική μελέτη παρουσιάζεται, για την χειμερινή περίοδο, καλύτερη ισοκατανομή στις παραμέτρους που μελετήθηκαν (σχήματα 4-45 έως 4-47) σε σχέση με την θερινή (σχήματα 4-40 και 4-43 και 4-44), που, όπως αναφέρθηκε, οφείλεται στην χρήση υδρονικού συστήματος για τον Ιανουάριο και επομένως ισοθερμικού ρεύματος αέρα εισόδου (4.2.3.3).

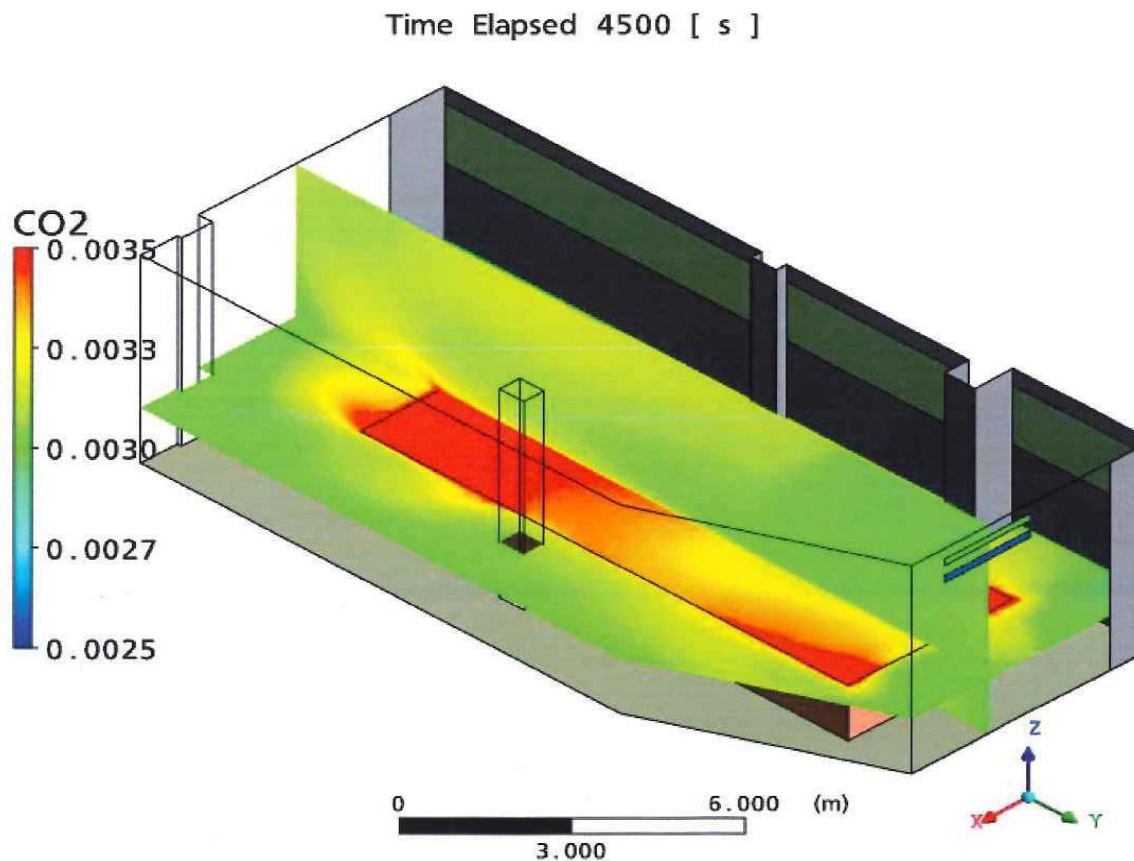
Η υγρασία και σε αυτήν την περίπτωση μειώνεται με την πάροδο του χρόνου (σχήμα 4-45), γεγονός που οφείλεται στην λανθασμένη τοποθέτηση του αισθητήρα που μετράει εσωτερικό λόγο υγρασίας (αναλύθηκε στην παραπάνω παραμετρική περίπτωση 4.2.3.1).



Σχήμα 4-45 Διάγραμμα λόγου υγρασίας-χρόνου στον κατά μήκος μονομερή αερισμό (άνω είσοδος- έξοδος) με προσαρμοσμένες τιμές παραγωγής CO₂, για τον Ιανουάριο.



Σχήμα 4-46 Διάγραμμα συγκέντρωσης CO₂-χρόνου στον κατά μήκος μονομερή αερισμό (άνω είσοδος- έξοδος) με προσαρμοσμένες τιμές παραγωγής CO₂, για τον Ιανουάριο.



Σχήμα 4-47 Τρισδιάστατη απεικόνιση της κατανομής της συγκέντρωσης του CO₂ στον κατά μήκος μονομερή αερισμό (άνω είσοδος- έξοδος) με προσαρμοσμένες τιμές παραγωγής CO₂, για τον Ιανουάριο.

Συμπεράσματα

Όπως έχει αναφερθεί στην εισαγωγή η διατήρηση καλής ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος είναι σημαντική τόσο για την αποδοτικότητα των εργαζομένων στον χώρο όσο και για την υγεία τους. Ο ανεπαρκής αερισμός είναι η βασική αιτία για τα προβλήματα των αρρώστων κτιρίων, τα οποία συνήθως περιλαμβάνουν:

1. ανεπαρκή κυκλοφορία καθαρού εξωτερικού αέρα στο εσωτερικό του κτιρίου,
2. περιορισμένη ανάμιξη αέρα,
3. ακραίες τιμές θερμοκρασίας και υγρασίας ή διακύμανσή τους,
4. προβλήματα φιλτραρίσματος του αέρα, που οφείλονται σε ακατάλληλη ή ανεπαρκή συντήρηση των εγκαταστάσεων.

Κατά την διάρκεια της εργασίας έγινε μία προσπάθεια διαστασιολόγησης και αξιολόγησης ενός συστήματος κλιματισμού για το αμφιθέατρο του Π.Δ.Μ. για την σωστή ρύθμιση του εσωτερικού θερμικού περιβάλλοντος και της ποιότητας αέρα, τόσο κατά την θερινή όσο και κατά την χειμερινή περίοδο λειτουργίας του ιδρύματος. Οι διαπιστώσεις που προέκυψαν από αυτήν την μελέτη, αναφέρονται σταδιακά στη συγκεκριμένη ενότητα ακολουθώντας τη δομή της εργασίας. Αναλυτικότερα ανά κεφάλαιο θα μπορούσαμε να σημειώσουμε:

5.1 Διαστασιολόγηση Συστήματος Κλιματισμού:

Η διαστασιολόγηση του συστήματος πραγματοποιήθηκε θεωρώντας την αίθουσα «σφραγισμένη», δηλαδή με μηδενική διείσδυση εξωτερικού αέρα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τα φορτία του χώρου, και επομένως και η κατανάλωση ενέργειας, που υπολογίσθηκαν να είναι μικρότερα από τα πραγματικά. Αντίθετο αποτέλεσμα επιφέρει στην ποιότητα αέρα της αίθουσας. Ο λόγος είναι ότι η παροχή εξωτερικού αέρα μέσω διείσδυσης, θα μειώσει την συγκέντρωση των εκπεμπόμενων ρύπων από τους ανθρώπους του χώρου, ιδιαίτερα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες (λόγω των ανοιχτών παραθύρων), εφόσον ο εξωτερικός αέρας έχει χαμηλότερο λόγος υγρασίας και συγκέντρωση διοξειδίου από τον εσωτερικό.

Ο σχεδιασμός των ψυχομετρικών διεργασιών έγινε βάση του ελάχιστου απαιτούμενου ποσοστού νοπού, εξωτερικού, αέρα και για τις δύο περιόδους, ώστε να ικανοποιούνται συγχρόνως οι απαιτήσεις ποιότητας αέρα και θερμικής άνεσης. Χωρίς υπέρβαση αυτής της παροχής επιτυγχάνεται ελαχιστοποίηση της καταναλισκόμενης ενέργειας. Ωστόσο, αυτός ο παράγοντας σε συνδυασμό με πιθανή αύξηση των εκπομπών από εσωτερικούς ρύπους (νέα υλικά κατασκευής και έπιπλα γραφείων, μεταβαλλόμενος αριθμός

ατόμων στον χώρο) ή από το ίδιο το σύστημα του κλιματισμού (λόγω κακής συντήρησης ή λειτουργίας) μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των ρύπων και την επιβάρυνση της ποιότητας εσωτερικού αέρα.

5.2 Κατανομή Παραμέτρων Θερμικού Περιβάλλοντος και Ποιότητας Αέρα

Για την εξασφάλιση της ποιότητας του αέρα εσωτερικών χώρων χρησιμοποιήθηκαν συγκεκριμένες προδιαγραφές ρυθμού ανανέωσης του ανάλογα και με τον τύπο της αίθουσας ([27]). Αν και στον αέρα υπάρχουν δυνητικά 3000 χημικές ενώσεις, ο πιο αντιπροσωπευτικός παράγοντας περιγραφής της ποιότητάς του είναι το CO₂. Για την επίτευξη της θερμικής άνεσης, σχεδιάστηκαν οι ψυχομετρικές διεργασίες για τους δύο μήνες που μελετήθηκαν και προέκυψαν οι επιθυμητές τιμές εσωτερικής θερμοκρασίας και υγρασίας.

Για τον έλεγχο του συστήματος που ανατροφοδοτεί το σύστημα κλιματισμού, ο χώρος προσομοιώθηκε και τοποθετήθηκαν ίσο-κατανεμημένα, δεκαέξι αισθητήρες. Από τα αποτελέσματα της αριθμητικής μελέτης προέκυψε ότι μία λανθασμένη τοποθέτηση των αισθητήρων μπορεί να οδηγήσει στην ανάπτυξη μη επιθυμητών συνθηκών εντός του χώρου, επηρεάζοντας τελικά την θερμική άνεση καθώς και την ποιότητα αέρα. Οι αισθητήρες πρέπει να τοποθετούνται για την εξασφάλιση της θερμικής άνεσης και της αποτελεσματικότητας των συστημάτων αερισμού του κτιρίου, μακριά από ανοίγματα και χαραμάδες και από περιοχές που παρουσιάζεται υψηλή ταχύτητα και ανακυκλοφορία αέρα.

Εκτός από την θέση των αισθητήρων, ένας ακόμη σημαντικός παράγοντας που μπορεί να επηρεάσει την κατανομή των παραμέτρων θερμικού περιβάλλοντος στην αίθουσα είναι και η τοποθέτηση των διαχυτήρων εισόδου και εξόδου του αέρα. Το γεγονός αυτό επηρεάζει το αίσθημα θερμικής άνεσης και καλής ποιότητας αέρα από τα άτομα της αίθουσας. Η επιλογή της σωστής θέσης των διαχυτήρων γίνεται βάση της γεωμετρίας της εκάστοτε αίθουσας, και της ύπαρξη εσωτερικών δομικών στοιχείων, και πρέπει να εξασφαλίζεται η, όσο το δυνατόν, μεγαλύτερη απόσταση εκτόξευσης για το ρεύμα αέρα. Επίσης, πέρα από την επιλογή της θέσης, η διάχυση του αέρα στον χώρο επηρεάζεται και από τον τύπο του διαχυτήρα που επιλέχθηκε να εγκατασταθεί, ενώ πρέπει λαμβάνεται υπόψη και ο παραγόμενος θόρυβος, καθώς, μπορεί να είναι ενοχλητικός στους ανθρώπους που βρίσκονται μέσα στον κλιματιζόμενο χώρο.

Τέλος, για την πραγματική περίπτωση μελέτης του χώρου, με χρήση του εγκατεστημένου συστήματος κλιματισμού που λειτουργεί χωρίς ανανέωση του αέρα προσαγωγής, παρατηρούμε ότι η συγκέντρωση του CO₂ υπερβαίνει τα επιτρεπτά όρια ποιότητας αέρα. Συγκεκριμένα, τα όρια αυτά, για διάστημα λειτουργίας της αίθουσας, δύο ώρες, το οποίο αντιστοιχεί με την διάρκεια μιας εξέτασης, ξεπερνιούνται κατά περίπου 5 φορές. Το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι συστήματα τέτοιου τύπου, δύναται να επιφέρουν προβλήματα ποιότητας εσωτερικού αέρα, γεγονός που μπορεί να επηρεάσει την αποδοτικότητα των ατόμων του χώρου αλλά και να επιβαρύνει την υγεία τους.

Κλιματολογικά Δεδομένα:

- [1] Ιστοσελίδα του ΚΑΠΕ (<http://www.cres.gr/kape/datainfo/clima.htm>)
- [2] Ιστοσελίδα της Ε.Μ.Υ. (http://www.hnms.gr/hnms/greek/climatology/climatology_html)
- [3] Ιστοσελίδα της εγκυκλοπαίδειας Wikipedia (<http://el.wikipedia.org/wiki/>)
- [4] Ιστοσελίδα του Engineering ToolBox (<http://www.engineeringtoolbox.com/>)

Ρυπαντές Εσωτερικών Χώρων & Ποιότητα Αέρα:

- [5] ASHRAE Standard 55-92, «*Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*», Inc. Atlanta, GA, 1992.
- [6] ASHRAE Handbooks, «*Air Contaminants*», Inc. Atlanta, GA, 2002.
- [7] Ιστοσελίδα της εταιρείας Vaisala (<http://www.vaisala.com/instruments/>)
- [8] «ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ», Καθ. Μιχάλης Αγ. Παπαδόπουλος, 1998.
- [9] *Environment international*, «*Indoor air pollution*», Spengler, J., C. Hallowell, D. Moschandreas, και O. Fanger. 1982, Pergamon Press, Oxford, England.
- [10] NRC. 1981, «*Indoor pollutants*», National Academy Press, Washington, D.C.
- [11] *Heating, Piping and Air Conditioning* 60(10), «*Indoor air quality and the bottom line*», Rask, D. 1988.
- [12] *In IAQ '86: Managing Indoor Air for Health and Energy Conservation*, «*Formaldehyde and other VOC exposures from consumer products*», Black, M.S. και C.W. Bayer 1986, ASHRAE, Atlanta.
- [13] *In IAQ '86: Managing Indoor Air for Health and Energy Conservation*, 469-85, «*The effects of ventilation rates and product loading on organic emission rates from particleboard*», Nelms, L.H., M.A. Mason, και B.A. Tichenor, 1986, ASHRAE.
- [14] «*Gas emission from building materials*» Molhave, L., L. Anderson, G.R. Lundquist, και O. Nielson. 1982, Report 137, Danish Building Research Institute, Copenhagen.
- [15] *Atmospheric Environment* 25A:241-49, «*A model for investigations of ventilation systems as sources for volatile organic compounds in indoor climate*», Molhave, L. και M. Thorsen, 1990.
- [16] *Atmospheric Environment* 8:129-37, «*Trace organic chemical contaminants in office spaces*», Miksch, R.R., C.D. Hollowell, και H.E. Schmidt. 1982.
- [17] *Environment International* 15:413-18, «*Screening of household products for the emission of volatile organic compounds*», Knoepfel, H. και H. Schauenburg, 1989.
- [18] *Environment International* 15:389-96, «*Measurement of organic compound emissions using small test chambers*», Tichenor, B.A. 1989.

- [19] *Environment International* 22:159-183, «Determination of volatile organic compounds and respirable particulate matter in New Jersey and Pennsylvania homes and workplaces», Heavner, D.L., W.T. Morgan, και M.W. Ogden. 1996.
- [20] *Environment International* 22:295-307, «Use of volatile tracers to determine the contribution of environmental tobacco smoke to concentrations of volatile organic compounds in smoking environments», Hodgson, A.T., J.M. Daisey, K.R.R. Mahanama, J.T. Brinke, και L.E. Alevantis. 1996...
- [21] *Environment International* 22, Martin, P., D.L. Heavner, P.R. Nelson, K.C. Maiolo, C.H. Risner, P.S. Simmons, W.T. Morgan, και M.W. Ogden. 1996.
- [22] «Environmental tobacco smoke characteristics of different commercially available cigarettes», Nelson, P.R., P. Martin, M.W. Ogden, D.L. Heavner, C.H. Risner, K.C. Maiolo, P.S. Simmons, και W.T. Morgan 1994, *Proceedings of the Fourth International Aerosol Conference*, Vol. 1:454-55.
- [23] *Indoor Air* 4:223-38, «Dust and the sick-building syndrome», Gyntelberg, F., P. Suadicami, J.W. Nielsen, P. Skov, O. Valbjorn, T. Nielsen, T.O. Schneider, O. Jorgenson, P. Wolkoff, C. Wilkins, S. Gravesen, και S. Nom, 1994.
- [24] *Indoor Air* 3:283-90, «Characterization of office dust by VOCs and TVOC release—Identification of potential irritant VOCs by partial least squares analysis», Wilkins, C.K., P. Wolkoff, F. Gyntelberg, P. Skov, και O. Valbjørn, 1993.
- [25] *Indoor Air* 4:248-54, «Indoor VOCs from household floor dust: Comparison of headspace with desorbed VOCs; method for VOC release determination», Wolkoff, P. και C.K. Wilkins, 1994.

Αερισμός:

- [26] *ASHRAE Handbooks*, «Space Air Diffusion», Inc. Atlanta, GA, 2002.
- [27] *ASHRAE Standard 62-99*, «Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality», Inc. Atlanta, GA, 1999.

Θέρμανση – Κλιματισμός:

- [28] «Συμπληρωματικές σημειώσεις για το μάθημα του δού εξαμήνου ΘΕΡΜΑΝΣΗ – ΨΥΞΗ - ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ», Επ. Καθηγητής Δ. Μπούρης.
- [29] «ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΑΕΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ Σχεδιασμός και Ανάλυση», Faye C. McQuiston, Jerald D. Parker, επιμέλεια Δρ. Μιχάλης Βραχόπουλος, 1999.

Υπολογιστική Μηχανική & Μηχανική Ρευστών

- [30] «ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΡΕΥΣΤΩΝ», Καθ. Απόστολος Κ. Γούλας, 1986.
- [31] *Proceedings of the USSR Academy of Sciences* 30:299-303, «The local structure of turbulence in incompressible viscous fluid for very large Reynolds numbers», Kolmogorov, Andrey Nikolaevich, 1941.
- [32] «ANSYS CFX Tutorials», Release 11.0, December 2006
- [33] Ιστοσελίδα US Forest Service (<http://www.fs.fed.us/rm/landscapes/Solutions/Mole.shtml>)
- [34] Μετρήσεις Συγκεντρώσεων CO₂ σε αμφιθέατρο του ΤΜ.Δ.Ε.Π., αδημοσίευτα δεδομένα, Θεοδοσίου Θ. και Μπούρης Δ.

