

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



Πτυχιακή διατριβή

ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΓΡΑΦΕΙΑΚΩΝ
ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ

Στέφανη Περατικού

Λεμεσός 2012

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Πτυχιακή διατριβή

ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΓΡΑΦΕΙΑΚΩΝ
ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ

Στέφανη Περατικού

Επιβλέπων Καθηγητής
Δρ. Αλέξανδρος Χαραλαμπίδης

Λεμεσός 2012

Πνευματικά δικαιώματα

Copyright ©ΣτέφανηΠερατικού [2012]

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. Allrightsreserved.

Η έγκριση της πτυχιακής διατριβής από το Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Περιβάλλοντος του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ...

Πρώτα απ' όλα, ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα της πτυχιακής μου εργασίας Δρ.Χαραλαμπίδη Αλέξανδρο για τη στήριξη και την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπο μου με την ανάθεση της παρούσας διπλωματικής εργασίας αλλά και για την καθοδήγηση του σε όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Βασιλείου Κύπρο,ηλεκτρολόγο μηχανικό της Cyta,για τις χρήσιμες πληροφορίες που μου έδωσε.

Εν συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους φίλους μου για τη αμέριστη συμπαράσταση και ιδιαίτερα τους Παύλου Παύλο, Κυριάκου Νικολέττα, Ανδρέου Έλενα, Ιωάννου Αργυρώ και Σοφοκλέους Άννα για την στήριξη τους.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στην οικογένεια μου, που μου συμπαραστέκεται ηθικά και διαμορφώνουν ένα άνετο περιβάλλον, μέσα στο οποίο μπορώ να εργαστώ καθ' όλο το χρονικό διάστημα των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η μελέτη των περιβαλλοντικών συνθηκών στο εσωτερικό των κτιρίων είναι ένα θέμα που απασχολεί όλο και περισσότερο τους επιστήμονες, αφού σύμφωνα με έρευνες οι άνθρωποι πλέον ξοδεύουν το 80-90% του χρόνου τους στο εσωτερικό περιβάλλον. Για τον λόγο αυτό η ποιότητα του εσωτερικού αέρα καθώς και η θερμική άνεση παίζουν καθοριστικό ρόλο τόσο στην υγεία του ανθρώπου όσο και στην απόδοση των εργαζομένων. Η επίτευξη της κατάλληλης μίξης του αέρα εισόδου με τον εσωτερικό αέρα των δωματίων, ώστε να δημιουργείται μια ομοιόμορφη κατανομή θερμοκρασίας και σύστασης αέρα στον χώρο είναι απαραίτητη, ώστε οι άνθρωποι οι οποίοι είναι παρόντες στο κτίριο να μην αισθάνονται άβολα. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της υπολογιστικής ρευστοδυναμικής, η οποία βασίζεται στην εφαρμογή αριθμητικών τεχνικών με τη χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών και παρέχει πληροφορίες για τη διανομή της θερμοκρασίας, τη διανομή ταχύτητας του αέρα, τη διανομή πίεσης, την ροή σωματιδίων κ.α.

Στα πλαίσια εκπόνησης της διατριβής αυτής γίνεται ολοκληρωμένη μελέτη της θερμικής άνεσης και της ροής του αέρα σε ένα κτίριο της Cyta στη Λεμεσό, στο οποίο οι εργαζόμενοι του κτιρίου αυτού εκφράζουν παράπονα δυσαρέσκειας σχετικά με το περιβάλλον εργασίας τους. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση ενός αριθμητικού υπολογιστικού μοντέλου, στο οποίο γίνεται η προσομοίωση του κτιρίου και η εισαγωγή των τιμών των μεταβλητών στα όρια του συστήματος. Τα υπό εξέταση μεγέθη ορίζονται η κατανομή της θερμοκρασίας, η κατανομή της ταχύτητας και η ένταση της τύρβης.

Όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα της μελέτης, η θερμοκρασία εντός του κτιρίου επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την εξωτερική θερμοκρασία. Ωστόσο πηγές εκπομπής θερμότητας όπως οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές αυξάνουν τη θερμοκρασία, ενώ σε περίπτωση λειτουργίας συστημάτων κλιματισμού η θερμοκρασία αυξάνεται ή μειώνεται ανάλογα με την προκαθορισμένη τιμή. Σε αντίθετη περίπτωση, δηλαδή απουσίας συστημάτων κλιματισμού, η θερμοκρασία είναι αυξημένη εντός του κτιρίου σε σχέση με το εξωτερικό περιβάλλον. Επίσης, από τα αποτελέσματα παρουσιάζονται μεγάλες τιμές ταχύτητας περιμετρικά της εισόδου και μικρές τιμές τύρβης. Τόσο η ταχύτητα όσο και η τύρβη αυξάνονται στα σημεία τοποθέτησης των συστημάτων κλιματισμού όταν αυτά υπάρχουν, ενώ σε συνθήκες απουσίας συστημάτων

κλιματισμού αυξάνονται στα σημεία τοποθέτησης των ηλεκτρονικών υπολογιστών. Έτσι, η θέση των συστημάτων κλιματισμού θα πρέπει να αλλάξει ή επίσης, μπορεί να γίνει ανακατανομή τους στο χώρο σε περίπτωση ύπαρξης τους. Όμως, σε συνθήκες απουσίας κλιματιστικών θα πρέπει να ληφθούν μέτρα ώστε οι χρήστες του κτιρίου να είναι θερμικά άνετα. Έτσι θα πρέπει να υπάρχει η δυνατότητα κάλυψης των αναγκών σε αερισμό. Επιπλέον, θα πρέπει να προωθηθεί η παροχή φρέσκου αέρα εντός του κτιρίου. Τέλος, έχει αποδειχτεί ότι η μέθοδος της υπολογιστικής ρευστοδυναμικής, που έχει χρησιμοποιηθεί, αποτελεί ένα σημαντικό σχεδιαστικό εργαλείο και μια αξιόπιστη μέθοδο με ακριβή αποτελέσματα.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	iv
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	vi
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	viii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	ix
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	xiv
1. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	
1.1. Το Πρόβλημα της Ποιότητας Αέρα στο Εσωτερικό Περιβάλλον	1
1.2. Θερμική Άνεση και Απόδοση Εργαζομένων	8
1.3. Ο Ρόλος του Αερισμού στους Εσωτερικούς Χώρους	11
2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ	
2.1. Εισαγωγή στα Μοντέλα Σχεδιασμού	17
2.2. Ημι-εμπειρικά Μοντέλα για τη Μελέτη των Χαρακτηριστικών Ροής Αέρα και Θερμικής Άνεσης σε Εσωτερικά Περιβάλλοντα	18
2.3. Υπολογιστική Ρευστοδυναμική	
2.3.1. Εισαγωγή στην Υπολογιστική Ρευστοδυναμική	18
2.3.2. Στάδια Υπολογιστικής Ρευστοδυναμικής	21
2.3.3. Μαθηματική Περιγραφή Διαφορικών Εξισώσεων	23
2.3.4. Πλεονεκτήματα και Περιορισμοί της Υπολογιστικής Ρευστοδυναμικής	26
3. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ	
3.1. Εισαγωγή	28
3.2. Μεθοδολογία Προσομοίωσης Κτιρίου της Cyta με τη Χρήση του Υπολογιστικού Κώδικα FloVent 9.1.	29
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	
4.1. Εισαγωγή	33

4.2. Αποτελέσματα από Κανονικές Συνθήκες [Μελέτη 1-4]	36
4.2.1. Αποτελέσματα Φεβρουαρίου [Μελέτη 1]	36
4.2.2. Αποτελέσματα Μαΐου [Μελέτη 2]	49
4.2.3. Αποτελέσματα Αυγούστου [Μελέτη 3]	50
4.2.4. Αποτελέσματα Νοεμβρίου [Μελέτη 4]	52
4.3. Αποτελέσματα από συνθήκες με 50% υγρασία στο εξωτερικό περιβάλλον [Μελέτη 5-6]	53
4.3.1. Αποτελέσματα Μαΐου [Μελέτη 5]	54
4.3.2. Αποτελέσματα Νοεμβρίου [Μελέτη 6]	55
4.4. Αποτελέσματα από συνθήκες με διακοπή της λειτουργίας των κλιματιστικών παροχής και απορρόφησης αέρα [Μελέτη 7-10]	56
4.4.1. Αποτελέσματα Φεβρουαρίου [Μελέτη 7]	57
4.4.2. Αποτελέσματα Μαΐου [Μελέτη 8]	59
4.4.3. Αποτελέσματα Αυγούστου [Μελέτη 9]	60
4.4.4. Αποτελέσματα Νοεμβρίου [Μελέτη 10]	61
5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	63
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	69
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	72
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....	80

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Συνιστώμενες τιμές για διάφορους χημικούς και φυσικούς παράγοντες σε χώρους γραφείων και κατοικίας	4
Πίνακας 2: Προτεινόμενες τιμές για εσωτερικούς ατμοσφαιρικούς ρύπους (Καναδάς)	5
Πίνακας 3: Ενδεικτικές τιμές συγκέντρωσης χημικών προϊόντων (Γερμανία)	5
Πίνακας 4: Ενδεικτικές τιμές συγκέντρωσης χημικών προϊόντων (Νορβηγία)	6
Πίνακας 5: Ανώτατες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις βλαβερών ουσιών (Πολωνία)	6
Πίνακας 6: Παράμετροι που επηρεάζουν τη θερμική άνεση	8
Πίνακας 7: Αντικείμενα που βρίσκονται στο κτίριο της Cyta στη Λεμεσό.....	30
Πίνακας 8: Μέση ημερήσια θερμοκρασία για κάθε μήνα στη Λεμεσό	31
Πίνακας 9: Συνθήκες των μελετών που έχουν πραγματοποιηθεί.....	32

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Εικόνα 1: Σύστημα απορρόφησης ατμοσφαιρικού αέρα.....	xv
Εικόνα 2: Χρόνος (%) που ξοδεύουν σε εσωτερικούς χώρους οι άνθρωποι	3
Εικόνα 3: Σχηματική απεικόνιση της ροής του αέρα σε διαμπερή ανοίγματα	14
Εικόνα 4: Σχηματική απεικόνιση της κατακόρυφης ροής του αέρα	14
Εικόνα 5: Σχηματική απεικόνιση της ροής του αέρα λόγω διαφορών πίεσης	15
Εικόνα 6: Σχηματική απεικόνιση της ροής του αέρα από τον συνδυασμό των φυσικών στρατηγικών αερισμού στο κτίριο QueensBuildingofDeMontfortUniversityinLeicester, στην Αγγλία	15
Εικόνα 7: Η ροή του αέρα γύρω από ένα αυτοκίνητο με τη μέθοδο CFD.....	20
Εικόνα 8: Η ροή του αέρα σε ένα αεροσκάφος	20
Εικόνα 9: Ροή του αέρα σε ένα σύστημα εισπνοής	21
Εικόνα 10: Διάγραμμα σύγκλισης λύσεων. Στον άξονα x φαίνεται ο αριθμός των επαναλήψεων των υπολογισμών και στον άξονα y ο βαθμός σύγκλισης των λύσεων (residuals)	22
Εικόνα 11: Παράδειγμα χρωματικών απεικονίσεων για κατανομή θερμοκρασίας.....	23
Εικόνα 12: Προσομοίωση γεωμετρίας κτιρίου της Cyta.....	34
Εικόνα 13: Τρισδιάστατη προσομοίωση εσωτερικού κτιρίου της Cyta.....	34
Εικόνα 14: Συντεταγμένες κτιρίου (x,y,z).....	35
Εικόνα 15: Προσομοίωση στον κάθε άξονα (x,y,z)	35
Εικόνα 16: Κατανομή θερμοκρασίας σε ύψος 0,05m	36
Εικόνα 17: Κατανομή θερμοκρασίας σε ύψος 0,9m	37
Εικόνα 18: Κατανομή θερμοκρασίας σε ύψος 1,7m (Άξονας y)	37
Εικόνα 19: Κατανομή θερμοκρασίας σε ύψος 6,37m (Άξονας y)	37

Εικόνα 20: Κατανομή θερμοκρασίας σε απόσταση 1,7m (Άξονας x)	38
Εικόνα 21: Κατανομή θερμοκρασίας σε απόσταση 3,2m (Άξονας x)	39
Εικόνα 22: Κατανομή θερμοκρασίας σε απόσταση 6,2m (Άξονας x)	39
Εικόνα 23: Κατανομή θερμοκρασίας σε απόσταση 1,94m (Άξονας z)	40
Εικόνα 24: Κατανομή θερμοκρασίας σε απόσταση 9,7m (Άξονας z)	40
Εικόνα 25: Κατανομή θερμοκρασίας σε απόσταση 16,5m (Άξονας z)	40
Εικόνα 26: Κατανομή θερμοκρασίας σε απόσταση 18,2m (Άξονας z)	41
Εικόνα 27: Κατανομή ταχύτητας αέρα σε απόσταση 0,05m (Άξονας y).....	41
Εικόνα 28: Κατανομή ταχύτητας αέρα σε απόσταση 0,9m (Άξονας y).....	42
Εικόνα 29: Κατανομή ταχύτητας αέρα σε απόσταση 1,2m (Άξονας y).....	42
Εικόνα 30: Κατανομή ταχύτητας αέρα σε απόσταση 6,3m (Άξονας y).....	42
Εικόνα 31: Κατανομή ταχύτητας αέρα σε απόσταση 1,7m (Άξονας x).....	43
Εικόνα 32: Κατανομή ταχύτητας αέρα σε απόσταση 3,2m (Άξονας x).....	43
Εικόνα 33: Κατανομή ταχύτητας αέρα σε απόσταση 6,2m (Άξονας x).....	44
Εικόνα 34: Κατανομή ταχύτητας αέρα σε απόσταση 9,7m (Άξονας z).....	44
Εικόνα 35: Κατανομή ταχύτητας αέρα σε απόσταση 16,5m και (Άξονας z).....	44
Εικόνα 36: Κατανομή ταχύτητας αέρα σε απόσταση 18,2m (Άξονας z).....	45
Εικόνα 37: Κατανομή τύρβης σε απόσταση 0,05m (Άξονας y).....	45
Εικόνα 38: Κατανομή τύρβης σε απόσταση 0,9m (Άξονας y).....	46
Εικόνα 39: Κατανομή τύρβης σε απόσταση 1,7m (Άξονας y).....	46
Εικόνα 40: Κατανομή τύρβης σε απόσταση 6,2m (Άξονας y).....	46
Εικόνα 41: Κατανομή τύρβης σε απόσταση 1,7m (Άξονας x).....	47
Εικόνα 42: Κατανομή τύρβης σε απόσταση 3,2m (Άξονας x).....	47
Εικόνα 43: Κατανομή τύρβης σε απόσταση 6,2m (Άξονας x).....	48

Εικόνα 44: Κατανομή τύρβης σε απόσταση 9,7m (Άξονας z).....	48
Εικόνα 45: Κατανομή τύρβης σε απόσταση 16,5m και (Άξονας z).....	48
Εικόνα 46: Κατανομή τύρβης σε απόσταση 18,2m (Άξονας z).....	49
Εικόνα 47: Κατανομή θερμοκρασίας σε απόσταση α)0,9m και β)1,7m (Άξονας y)	49
Εικόνα 48: Κατανομή ταχύτητας αέρα σε ύψος α)0,9m και β)1,7m (Άξονας y).....	50
Εικόνα 49: Κατανομή τύρβης σε ύψος α)0,9m και β)1,7m (Άξονας y).....	50
Εικόνα 50: Κατανομή θερμοκρασίας σε ύψος α)0,9m και β)1,7m (Άξονας y)	51
Εικόνα 51: Κατανομή ταχύτητας αέρα σε ύψος α)0,9m και β)1,7m (Άξονας y).....	51
Εικόνα 52: Κατανομή τύρβης σε ύψος α)0,9m και β)1,7m (Άξονας y).....	51
Εικόνα 53: Κατανομή θερμοκρασίας σε ύψος α)0,9m και β)1,7m (Άξονας y)	52
Εικόνα 54: Κατανομή ταχύτητας αέρα σε ύψος α)0,9m και β)1,7m (Άξονας y).....	52
Εικόνα 55: Κατανομή τύρβης σε ύψος α)0,9m και β)1,7m (Άξονας y).....	53
Εικόνα 56: Κατανομή θερμοκρασίας σε ύψος α)0,9m και β)1,7m (Άξονας y)	54
Εικόνα 57: Κατανομή ταχύτητας αέρα σε ύψος α)0,9m και β)1,7m (Άξονας y).....	54
Εικόνα 58: Κατανομή τύρβης σε ύψος α)0,9m και β)1,7m (Άξονας y).....	54
Εικόνα 59: Κατανομή θερμοκρασίας σε ύψος α)0,9m και β)1,7m (Άξονας y)	55
Εικόνα 60: Κατανομή ταχύτητας αέρα σε ύψος α)0,9m και β)1,7m (Άξονας y).....	55
Εικόνα 61: Κατανομή τύρβης σε ύψος α)0,9m και β)1,7m (Άξονας y).....	56
Εικόνα 62: Κατανομή θερμοκρασίας σε ύψος α)0,9m και β)1,7m (Άξονας y)	57
Εικόνα 63: Κατανομή θερμοκρασίας σε απόσταση 9,7m (Άξονας z)	57
Εικόνα 64: Κατανομή ταχύτητας αέρα σε ύψος α)0,9m και β)1,7m (Άξονας y).....	58
Εικόνα 65: Κατανομή ταχύτητας αέρα σε απόσταση 9,7m (Άξονας z).....	58
Εικόνα 66: Κατανομή τύρβης σε ύψος α)0,9m και β)1,7m (Άξονας y).....	58
Εικόνα 67: Κατανομή τύρβης σε απόσταση 9,7m (Άξονας z).....	59

Εικόνα 68: Κατανομή θερμοκρασίας σε ύψος $\alpha)0,9\text{m}$ και $\beta)1,7\text{m}$ (Άξονας y)	59
Εικόνα 69: Κατανομή ταχύτητας αέρα σε ύψος $\alpha)0,9\text{m}$ και $\beta)1,7\text{m}$ (Άξονας y).....	59
Εικόνα 70: Κατανομή τύρβης σε ύψος $\alpha)0,9\text{m}$ και $\beta)1,7\text{m}$ (Άξονας y).....	60
Εικόνα 71: Κατανομή θερμοκρασίας σε ύψος $\alpha)0,9\text{m}$ και $\beta)1,7\text{m}$ (Άξονας y)	60
Εικόνα 72: Κατανομή ταχύτητας αέρα σε ύψος $\alpha)0,9\text{m}$ και $\beta)1,7\text{m}$ (Άξονας y).....	61
Εικόνα 73: Κατανομή τύρβης σε ύψος $\alpha)0,9\text{m}$ και $\beta)1,7\text{m}$ (Άξονας y).....	61
Εικόνα 74: Κατανομή θερμοκρασίας σε ύψος $\alpha)0,9\text{m}$ και $\beta)1,7\text{m}$ (Άξονας y)	62
Εικόνα 75: Κατανομή ταχύτητας αέρα σε ύψος $\alpha)0,9\text{m}$ και $\beta)1,7\text{m}$ (Άξονας y).....	62
Εικόνα 76: Κατανομή τύρβης σε ύψος $\alpha)0,9\text{m}$ και $\beta)1,7\text{m}$ (Άξονας y).....	62
Εικόνα 77: Διεύθυνση ταχύτητας αέρα σε απόσταση $0,5\text{m}$ από την είσοδο για τον μήνα Φεβρουάριο	64
Εικόνα 78: Διεύθυνση ταχύτητας αέρα σε απόσταση $0,5\text{m}$ από την είσοδο για τον μήνα Μάιο	64
Εικόνα 79: Διεύθυνση ταχύτητας αέρα σε απόσταση $0,5\text{m}$ από την είσοδο για τον μήνα Αύγουστο.....	64
Εικόνα 80: Διεύθυνση ταχύτητας αέρα σε απόσταση $0,5\text{m}$ από την είσοδο για τον μήνα Νοέμβριο	65
Εικόνα 81: Γραφεία 8 και 9	65
Εικόνα 82: Διεύθυνση ταχύτητας αέρα σε απόσταση $0,5\text{m}$ από την είσοδο για τον μήνα Φεβρουάριο	66
Εικόνα 83: Διεύθυνση ταχύτητας αέρα σε απόσταση $0,5\text{m}$ από την είσοδο για τον μήνα Μάιο	66
Εικόνα 84: Διεύθυνση ταχύτητας αέρα σε απόσταση $0,5\text{m}$ από την είσοδο για τον μήνα Αύγουστο.....	66
Εικόνα 85: Διεύθυνση ταχύτητας αέρα σε απόσταση $0,5\text{m}$ από την είσοδο για τον μήνα Νοέμβριο	67
Εικόνα 86: Κατεύθυνση σωματιδίων από 15 τυχαία σημεία εντός του χώρου σε κανονικές συνθήκες (άξονας z)	67

Εικόνα 87: Κατεύθυνση σωματιδίων από 15 τυχαία σημεία εντός του χώρου σε κανονικές συνθήκες (άξονας x).....	68
Εικόνα 88: Κατεύθυνση σωματιδίων από 15 τυχαία σημεία εντός του χώρου σε συνθήκες απουσίας συστημάτων παροχής και απορρόφησης αέρα (άξονας x).....	68
Εικόνα 89: Κατεύθυνση σωματιδίων από 15 τυχαία σημεία εντός του χώρου σε συνθήκες απουσίας συστημάτων παροχής και απορρόφησης αέρα (άξονας x).....	68

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

HCyta(CyprusTelecommunicationAuthority-Αρχή Τηλεπικοινωνιών Κύπρου) αποτελεί έναν Ημικρατικό Οργανισμό ο οποίος παρέχει τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες, τόσο στο εσωτερικό όσο και διεθνώς. Στην Κύπρο, θεωρείται ο κορυφαίος παροχέας ολοκληρωμένης υπηρεσίας. Η Cyta έχει σαν όραμα της να προσφέρει στον άνθρωπο σύγχρονες λύσεις ηλεκτρονικής επικοινωνίας που να του δίνουν την ελευθερία να ανακαλύπτει και να επικοινωνεί με τον κόσμο. Έτσι, προσφέρει ολοκληρωμένες και αξιόπιστες λύσεις ηλεκτρονικής επικοινωνίας, ώστε να βελτιωθεί ο τρόπος ζωής και η παραγωγικότητα των πελατών τους. Στην Κύπρο υπάρχουν 181 καταστήματα της Cyta στα οποία εργοδοτούνται 2900 άνθρωποι [1,2].

Ωστόσο αρκετοί από τους χρήστες των κτιρίων της Cyta αναφέρουν ότι το περιβάλλον εργασίας τους δεν είναι άνετο και έτσι εκφράζουν παράπονα δυσaráσκειας. Επίσης, διαμαρτύρονται για αίσθημα δυσφορίας σχετικά με την ποιότητα του αέρα και με το θερμικό περιβάλλον των χώρων του κτιρίου. Αυτό έχει ως απόρροια τη μείωση της αποδοτικότητας τους και την ελαχιστοποιημένη εξυπηρέτηση των πελατών τους.

Σκοπός της συγκεκριμένης διατριβής είναι να μελετηθεί η θερμική άνεση των χρηστών στο κεντρικό κτίριο της Cyta στη Λεμεσό. Στο κτίριο αυτό ο αερισμός επιτυγχάνεται με χρήση σχαρών, οι οποίες διοχετεύουν και απομακρύνουν τον αέρα και βρίσκονται στο δάπεδο και στην οροφή αντίστοιχα. Από τις σχάρες οροφής απομακρύνεται ο αέρας που βρίσκεται εντός του κτιρίου και μέσω σωληνώσεων κατευθύνεται σε ένα σύστημα που βρίσκεται στην ταράτσα του κτιρίου. Το σύστημα αυτό απορροφά και αέρα από την ατμόσφαιρα (Εικόνα 1). Ο αναμειγνυόμενος αέρας προκλιματίζεται, δηλαδή ψύχεται ή θερμαίνεται ανάλογα με την εποχή και ακολούθως στέλνεται στην είσοδο απορρόφησης αέρα των μονάδων κλιματισμού κάθε ορόφου, οι οποίες υπάρχουν στο δάπεδο. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η παροχή φρέσκου αέρα εντός του κτιρίου.



Εικόνα 1: Σ

Για τη μελέτη της θερμικής άνεσης χρησιμοποιείται η μέθοδος της υπολογιστικής ρευστοδυναμικής (Computational Fluid Dynamics - CFD). Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο, γίνεται προσομοίωση του κτιρίου σε ένα τρισδιάστατο περιβάλλον. Γίνεται η χρήση αυτής της μεθόδου, αφού η υπολογιστική ρευστοδυναμική έχει χρησιμοποιηθεί σε αρκετές μελέτες για τον υπολογισμό και τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού και εμφανίζεται να παρέχει μια ανταγωνιστική και ευέλικτη λύση [3]. Επιπλέον, η υπολογιστική ρευστοδυναμική έχει αποδειχθεί μια αξιόπιστη μέθοδος, αφού λύνει επαναληπτικά τις εξισώσεις διατήρησης της μάζας, της ορμής και της ενέργειας σε ένα πεπερασμένο όγκο. Δηλαδή, χρησιμοποιώντας τα ίδια δεδομένα, οι εξισώσεις λύνονται αρκετές φορές ώστε τα αποτελέσματα που θα προκύψουν από τη χρήση της μεθόδου αυτής να είναι πιο ολοκληρωμένα. Επίσης, για κάθε σημείο στον υπό μελέτη χώρο μπορεί να υπολογιστεί η ροή του αέρα, οι αλλαγές στην τιμή της θερμοκρασίας και άλλες ιδιότητες [4]. Οι Hosni *et al.* [5] το 1996 μελέτησε την ταχύτητα του αέρα και την τυρβώδη κινητική ενέργεια σε ένα δωμάτιο σε δύο διαφορετικές θερμικές συνθήκες, ισοθερμικές και ψύξης. Έδειξαν ότι τα πειραματικά αποτελέσματα και τα αποτελέσματα από την υπολογιστική ρευστοδυναμική και για τις δύο συνθήκες συμφωνούσαν. Ο Emmerich το 1997 [6] μελέτησε

εκτεταμένα βιβλιογραφικές ανασκοπήσεις σχετικά με την εφαρμογή της υπολογιστικής ρευστοδυναμικής σε εσωτερικούς χώρους και ανέφερε ότι μεταξύ αυτής και πειραματικών μετρήσεων υπάρχει τόσο ποιοτική όσο και ποσοτική συσχέτιση. Οι Gkaloetal. διαπίστωσαν ότι τα εμπειρικά μοντέλα για τους συντελεστές μεταφοράς θερμότητας δεν ήταν ακριβή για επιφάνειες που πρόσκεινται σε στρωματοποιημένο αέρα. Έτσι, έδειξαν ότι η υπολογιστική ρευστοδυναμική έχει την ικανότητα να παρέχει περισσότερο ακριβείς προβλέψεις για τους συντελεστές μεταφοράς θερμότητας σε σχέση με τα εμπειρικά μοντέλα που χρησιμοποιούσαν [7]. Το 1995 δημοσιεύτηκε μια μελέτη από τους Griffiths&Boysan [6], στην οποία περιγράφεται η απόδοση τριών τύπων δειγμάτων μικρών κυκλώνων. Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της υπολογιστικής ρευστοδυναμικής, πειραματικές μετρήσεις και τρεις εμπειρικές θεωρίες. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η υπολογιστική ρευστοδυναμική είναι μια αξιόπιστη μέθοδος η οποία εξετάζει τις επιπτώσεις από μια σειρά αλλαγών που γίνονται στο σχεδιασμό. Επιπλέον, ανέφεραν ότι η μέθοδος CFD σίγουρα έχει λιγότερο κόστος σε σχέση με τις πειραματικές μετρήσεις και έτσι αποτελεί μια οικονομικά αποδοτική διαδρομή για τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού [8]. Γενικά, γίνεται χρήση της υπολογιστικής ρευστοδυναμικής, αφού πολλές μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί έδειξαν πόσο πολύ συμφωνούν τα αποτελέσματα της αριθμητικής προσομοίωσης με τα πειραματικά αποτελέσματα, όπως για παράδειγμα η μελέτη των Sklavounos&Rigas το 2004 [9,10]. Επίσης, χρησιμοποιείται η μέθοδος της υπολογιστικής ρευστοδυναμικής για τον λόγο ότι η προσομοίωση μπορεί να προβλέψει πολύπλοκα φαινόμενα, τα οποία δεν μπορούν να απομονωθούν και να υπολογιστούν στο εργαστήριο [9].

ΕΛΛΗΝΙΚΗ

ΙΙΙΙΡΑΙΙ ΑΑΣΣΣΣΣΣ

1.1. ΤΠρόβμα τς Πόττας Αρα τΕτερικό Περιβά

Πριν από 3,5 δισεκατομμύρια χρόνια, όπου ξεκινούσε η ανάπτυξη της ζωής στη γη, οι μακρινοί πρόγονοι μας προσπαθούσαν να επιβιώσουν σ' ένα αφιλόξενο και σκληρό περιβάλλον ως κυνηγοί και συλλέκτες. Σιγά σιγά όμως ο άνθρωπος άρχισε να εκμεταλλεύεται την τεχνολογία με σκοπό την επιβίωση του. Η ανακάλυψη του τροχού, του μοχλού, η χρήση της φωτιάς και τόσα άλλα, υπήρξαν ενδείξεις της ευφυΐας του. Έτσι, η ολοένα αυξανόμενη ανάγκη του ανθρώπου για αναβάθμιση του βιοτικού του επιπέδου, έχει συντελέσει σημαντικά, αν όχι ολοκληρωτικά στην ανάπτυξη της τεχνολογίας.

Σήμερα, οι επιπτώσεις που προκαλεί αυτή η ραγδαία εξέλιξη της επιστήμης και της τεχνολογίας είναι εμφανείς και επηρεάζουν το σύνολο των φυσικών, χημικών, βιολογικών και κοινωνικοπολιτικών παραγόντων μέσα στους οποίους ζει και κινείται ο άνθρωπος. Το περιβάλλον μολύνεται, εξοντώνεται και καταστρέφεται με γρήγορους ρυθμούς. Οι κλιματικές

αλλαγές, το «φαινόμενο του θερμοκηπίου», η ρύπανση των υδάτων, η καταστροφή των οικότοπων είναι μερικά από τα προβλήματα που έχουν δημιουργηθεί.

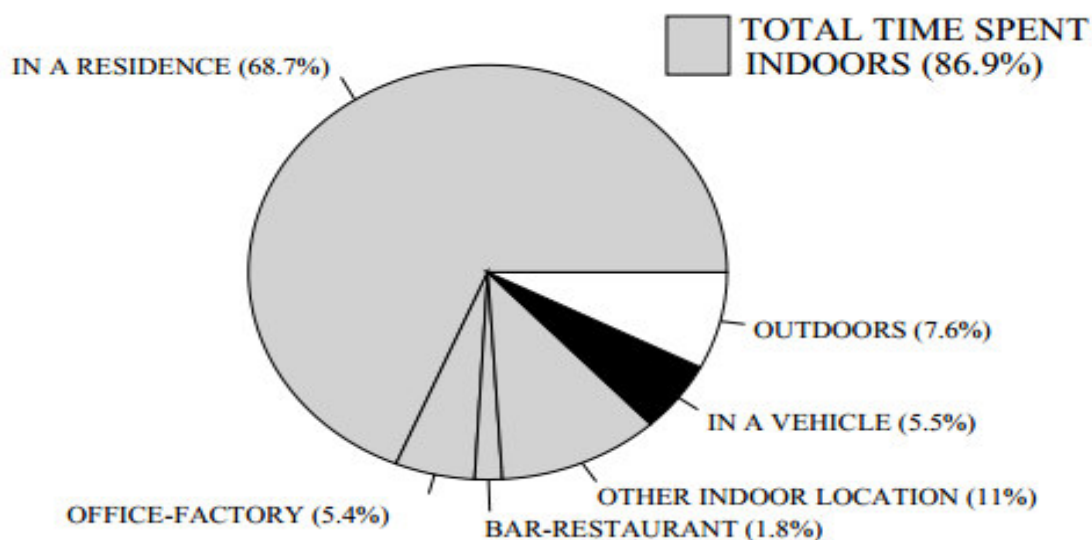
Ένα φαινόμενο το οποίο έχει πάρει άμεσα μέρος εδώ και λίγα χρόνια και μαστίζει την ανθρωπότητα είναι η ατμοσφαιρική ρύπανση. Με τον όρο ατμοσφαιρική ρύπανση εννοούμε την παρουσία ρύπων στην ατμόσφαιρα, δηλαδή κάθε είδους ουσιών, θορύβου, ακτινοβολίας ή άλλων μορφών ενέργειας σε ποσότητα, συγκέντρωση ή διάρκεια που μπορούν να προκαλέσουν αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία, στους ζωντανούς οργανισμούς και στα οικοσυστήματα. Δηλαδή, μπορούν να καταστήσουν το περιβάλλον ακατάλληλο για τις επιθυμητές χρήσεις του [11].

Το ανθρωπογενές περιβάλλον ωστόσο καθορίζεται από την αλληλεπίδραση των εξωτερικών παραγόντων με εσωτερικούς παράγοντες, οι οποίοι καθορίζουν το εξωτερικό και εσωτερικό περιβάλλον αντίστοιχα. Το εσωτερικό περιβάλλον ενός κτιρίου είναι αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης μεταξύ της περιοχής, του κλίματος, του συστήματος του κτιρίου, των τεχνικών οικοδόμησης, των μολυσματικών πηγών (οικοδομικά υλικά και επιλώσεις, υγρασία, διαδικασίες και δραστηριότητες μέσα στο κτίριο, υπαίθριες πηγές), καθώς και των χρηστών του κτιρίου. Άρα, οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν το εσωτερικό περιβάλλον διαχωρίζονται σε εξωγενείς και ενδογενείς [12].

Μέχρι σήμερα ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει δοθεί για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα στο εξωτερικό περιβάλλον. Ωστόσο το πρόβλημα του αερισμού στο εσωτερικό των κτιρίων δε σχετίζεται μόνο με τη σύγχρονη ιστορία αλλά αφορά στον ανθρώπινο πολιτισμό από τη γένεση του. Από τα ελληνιστικά και ρωμαϊκά χρόνια ο αερισμός των κτιρίων θεωρήθηκε ως ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες για την υγεία. Όπως έγραψε ο Βιτρούβιος [13] για τους κατοίκους της Μυτιλήνης: «Όταν ο νότιος άνεμος φυσά πάνω από τη Μυτιλήνη οι κάτοικοι αρρωσταίνουν, όταν φυσά βορειοδυτικός άνεμος έχουν βήχα, όταν φυσά βοριάς γίνονται πάλι υγιείς». Για τον λόγο αυτό, ο αερισμός έχει μελετηθεί με γνώμονα τη διεύθυνση του ανέμου, ώστε να βελτιωθεί ο προσανατολισμός του κτιρίου [13]. Παρόλα αυτά όμως το επιστημονικό ενδιαφέρον και η αναγνώριση της σημασίας της υγιεινής του αέρα στο εσωτερικό των κτιρίων άρχισε να εμφανίζεται στο τέλος της δεκαετίας του '60, οι πρώτες όμως μελέτες εμφανίστηκαν περίπου 10 χρόνια αργότερα [12]. Τα διεθνή συνέδρια καθώς και οι διεθνείς συναντήσεις που διοργανώνονται, όπως για παράδειγμα η συνάντηση «ROOMVENT», που πραγματοποιήθηκε το

2002 στην Κοπεγχάγη [14], αποδεικνύουν το ενδιαφέρον των επιστημόνων για την προώθηση της καλής ποιότητας του εσωτερικού αέρα, για την περιγραφή της θερμικής συμπεριφοράς των κτιρίων και γενικότερα για την ποιότητα διαβίωσης στο εσωτερικό των κτιρίων.

Ο έλεγχος της ποιότητας των εσωτερικών χώρων είναι πλέον απαραίτητος, αφού οι άνθρωποι ξοδεύουν τον περισσότερο χρόνο τους σε εσωτερικούς χώρους [13]. Σύμφωνα με έρευνες στις βιομηχανικά ανεπτυγμένες χώρες, το 80-90% (Εικόνα 2) του χρόνου τους οι άνθρωποι βρίσκονται στο εσωτερικό περιβάλλον. Φυσικά τα ποσοστά διαφοροποιούνται ανάλογα με το είδος της πληθυσμιακής ομάδας. Οι ενήλικες, τα παιδιά προσχολικής ηλικίας, οι νοικοκυρές αλλά και άτομα που εργάζονται σε κλειστούς χώρους, για παράδειγμα, σε γραφεία περνούν αρκετές ώρες στο εσωτερικό περιβάλλον, σε αντίθεση με εργαζόμενους που ξοδεύουν αρκετή ώρα στο εξωτερικό περιβάλλον, όπως για παράδειγμα ένας μηχανικός. Έτσι, η ποιότητα του εσωτερικού αέρα παίζει καθοριστικό ρόλο στην υγεία του ανθρώπου και ο έλεγχος της αποτελεί σημαντική παράμετρο [12].



Εικόνα 2: Χρόνος (%) που ξοδεύουν σε εσωτερικούς χώρους οι άνθρωποι [15]

Παρόλο που η ποιότητα στο εξωτερικό περιβάλλον έχει βελτιωθεί λόγω εφαρμογής αυστηρότερων μέτρων, ωστόσο έχει διαπιστωθεί ότι η ποιότητα του αέρα στο εσωτερικό περιβάλλον έχει υποβαθμιστεί. Σύμφωνα με υπολογισμούς της USEPA (Υπηρεσία Περιβαλλοντικής Προστασίας των Ηνωμένων Πολιτειών) το εσωτερικό περιβάλλον μπορεί να είναι ακόμα και δέκα φορές πιο ρυπασμένο σε σχέση με το εξωτερικό [16]. Το πρόβλημα αυτό

σχετίζεται με τον τρόπο χρήσης και διατήρησης του κτιρίου ο οποίος μπορεί να διαφέρει από τον αρχικό σχεδιασμό του. Επιπρόσθετα, τα προβλήματα μπορεί να είναι απόρροια φτωχού σχεδιασμού ή ανεπαρκούς φυσικού αερισμού. Όσο πιο στεγανά και «θερμικά» κλειστά είναι τα κτίρια, τόσο αυξάνεται και η συγκέντρωση των ρύπων στον εσωτερικό αέρα. Το πρόβλημα αυτό αυξάνεται με την οικοδόμηση των κτιρίων τα οποία σχεδιάζονται με τρόπο, ώστε να είναι πιο αεροστεγή και να ανακυκλώνουν τον αέρα με ένα μικρότερο ποσοστό του νέου από το εξωτερικό περιβάλλον, προκειμένου να είναι ενεργειακά αποδοτικότερα. Φυσικά το πρόβλημα της ποιότητας του εσωτερικού αέρα εξαρτάται και από τον χώρο που εξετάζεται αλλά και τις υπάρχουσες συνθήκες που επικρατούν [12].

Σύμφωνα με μια μελέτη που έχει γίνει στην Αθήνα [17], έχουν οριοθετηθεί οι συγκεντρώσεις κάποιων αερίων σε κλειστούς χώρους γραφείων και κατοικίας. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 1 [17]. Επίσης, η Ομοσπονδιακή-Επαρχιακή Συμβουλευτική Επιτροπή της Περιβαλλοντικής και Εργασιακής Υγείας του Υπουργείου Υγείας και Πρόνοιας στον Καναδά καθόρισε το 1987 ένα εκτεταμένο εθνικό κατάλογο, ο οποίος αναθεωρήθηκε το 1989, στον οποίο αναγράφονται οι προτεινόμενες τιμές για τους εσωτερικούς ατμοσφαιρικούς ρύπους (Πίνακας 2) [18]. Παρόμοιες προτάσεις έγιναν από τη Γερμανία (Πίνακας 3) [18], τη Νορβηγία (Πίνακας 4) [18] αλλά και από τις Σκανδιναβικές Επιτροπές σχετικά με τους Οικοδομικούς Κανονισμούς και το Εσωτερικό Κλίμα, όπου πρότειναν ενδεικτικές τιμές για 20 χημικά προϊόντα όπως το καρβονικό οξύ, φαινόλη, αλκοόλη κλπ. Στην Πολωνία, ο Υπουργός Υγείας και Κοινωνικής Πρόνοιας έχει εκδώσει διάταγμα, ώστε να καθοριστούν οι ανώτατες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις των 35 πιο βλαβερών ουσιών που βρίσκονται στον εσωτερικό αέρα. Αυτές οι ενδεικτικές τιμές βρίσκονται στον Πίνακα 5. Στην Αμερική και στην Αυστραλία δεν έχουν οριοθετηθεί ενδεικτικές τιμές της συγκέντρωσης των εσωτερικών ατμοσφαιρικών ρύπων. Οι χώρες αυτές στοχεύουν σε συγκεκριμένα μέτρα, όπως τη μείωση του καπνίσματος σε εσωτερικούς χώρους [18].

Πίνακας 1: Συγκεντρώσεις αερίων σε κλειστούς χώρους γραφείων και κατοικίας [17]

Παράμετρος	Συνιστώμενη οριακή τιμή	Παράμετρος	Συνιστώμενη οριακή τιμή
CO ₂	< 1.000 ppm	CO ₂	0,08 ppm
CO	9 ppm	Προσπονή προκωαφα	25-100m ³ /h/άτομο
Φωτισμός	>500 lux για εργασία γραφείου και ανάλογα με τη θέση	Ύψος αμιάντων	0,1 ίνες ανά cm ³
Φορμαδεύει	0,1-0,4ppm	VOCs	1-10ppm
Σωματίδια	50 µg/m ³	Ήχος	45dB

Πίνακας 2: Οριακές τιμές για την ποιότητα του αέρα (εσωτερικό) [18]

Ουσία	Ενδεικτική τιμή (µg/m ³)	Μέγιστος χρόνος έκθεσης
Διοξείδιο του οξυγόνου	6,300mg/m ³	
Μονοξείδιο του οξυγόνου	11 ppm (13mg/m ³) 25 ppm (28mg/m ³)	8 ώρες 1 ώρα
Διοξείδιο του αζώτου	100 µg/m ³ 480 µg/m ³	Μακροπρόθεσμα 1 ώρα
CO	240 µg/m ³	1 ώρα
Αιρροσμενα Σωματίδια (PM _{2,5})	40 µg/m ³ 100 µg/m ³	Μακροπρόθεσμα 1 ώρα
Διοξείδιο του χλωρίου	50 µg/m ³ 1000 µg/m ³	Μακροπρόθεσμα 5 λεπτά
Υγρασία	30-80% σχετική υγρασία (καλοκαίρι) 30-55% σχετική υγρασία (χειμώνα)	
Φορμαδεύει	120 µg/m ³	5 λεπτά

Πίνακας 3: Εξωτερικές οριακές τιμές για την ποιότητα του αέρα (εξωτερικό) [18]

Ουσία	Ενδεικτική τιμή υπεκέντρως προκαλεί επιπτώσεις την υγεία	Ενδεικτική τιμή υπεκέντρως δεν προκαλεί επιπτώσεις την υγεία ακόμα και σε ιόβια κέφαλα	Μέγιστος χρόνος έκθεσης
Τριχλωροαιθέρας	3 mg/m ³	0,3mg/m ³	1-2 εβδομάδες
Διχλωρομεθάνιο	2 mg/m ³	0,2 mg/m ³	24 ώρες
Μυξοειδίτις ανθρακας	15 mg/m ³	1,5 mg/m ³	8 ώρες
	60 mg/m ³	6 mg/m ³	30 λεπτά
Διμεθυλοεξάνιο αρωματικό	60 μg/m ³	6 μg/m ³	1 εβδομάδα
	350 μg/m ³	36 μg/m ³	30 λεπτά

Πίνακας 4: Ενδεικτικές τιμές για την υγεία (από [18])

Ουσία	Ενδεικτική τιμή υπεκέντρως	Μέγιστος χρόνος έκθεσης
Φορμαλδεΐδη	100 μg/m ³	30 λεπτά
Αιρρμένα Σωματίδια (PM _{2,5})	20 μg/m ³	24 ώρες
Διμεθυλοεξάνιο ανθρακας	1800 μg/m ³	
Μυξοειδίτις ανθρακας	10 mg/m ³	8 ώρες
	25 mg/m ³	1 ώρα
Διμεθυλοεξάνιο αρωματικό	100 μg/m ³	1 ώρα

Πίνακας 5: Αποδόσεις για την υγεία (από [18])

Ουσία	Ενδεικτική τιμή υγκύτρως	Μέγιστος χρόνος έκθεσης
Αμμωνία	300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	24 ώρες
	300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	8-10 ώρες
Βενζόλη	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	24 ώρες
	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	8-10 ώρες
Φορμαδεδ	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	24 ώρες
	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	8-10 ώρες
υόλη	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	24 ώρες
	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	8-10 ώρες
υ	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	24 ώρες
	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	8-10 ώρες
Πενταχλωροαινόλη	5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	24 ώρες
	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	8-10 ώρες
Μυξείδιο τριάνρακα	3000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	24 ώρες
	6000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	8-10 ώρες
Τριχλόλη	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	24 ώρες
	250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	8-10 ώρες

Τα τελευταία χρόνια σε όλο και περισσότερα κτίρια παρουσιάζεται αύξηση συμπτωμάτων και προβλημάτων υγείας που σχετίζονται με τον χώρο. Το φαινόμενο αυτό ονομάστηκε από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας το 1983 ως «Σύνδρομο Άρρωστου Κτιρίου» το οποίο αναφέρεται σε καταστάσεις, όπου οι κάτοικοι των κτιρίων βιώνουν οξεία προβλήματα υγείας ή και ταλαιπωρία [19]. Τα συμπτώματα που παρουσιάζουν οι χρήστες του άρρωστου κτιρίου δεν είναι άμεσα αναγνωρίσιμα και συνδέονται προφανώς με τον χρόνο που ξοδεύουν σε ένα κτίριο. Τα κυριότερα από αυτά είναι δερματικά συμπτώματα, ξηροφθαλμία ή δακρύρροια, ξηρός βήχας, πονόλαιμος, ζαλάδες, δύσπνοια και ασυνήθιστη κόπωση. Η παρατεταμένη ή μακροχρόνια παραμονή μέσα στο άρρωστο κτίριο μπορεί να προκαλέσει λοιμώξεις όπως ρινίτιδες, ωτίτιδες, δερματίτιδες, ιγμορίτιδες, νεοπλασίες και παθήσεις του πεπτικού, του ήπατος, των νεφρών ή του κεντρικού νευρικού συστήματος. Όταν προσδιοριστούν τα συμπτώματα ασθένειας και αποδοθούν άμεσα στους αερομεταφερόμενους μολυσματικούς παράγοντες του

κτιρίου τότε χρησιμοποιείται ο όρος «Ασθένεια Σχετική με το Κτίριο» (BuildingRelatedIllness - BRI) [12].

1.2. Θερμική άνεση και Αποδοτικότητα Εργασίας

Η θερμική άνεση στα κτίρια είναι μια σημαντική παράμετρος εκτός από την υγεία των ανθρώπων που επηρεάζεται άμεσα από τον αερισμό. Σύμφωνα με την ASHRAE (Αμερικανική Ένωση Μηχανικών Ύψους, Θέρμανσης και Κλιματισμού) η θερμική άνεση συνίσταται στην πνευματική κατάσταση, όπου η έννοια της ικανοποίησης εκφράζεται με το θερμικό περιβάλλον [20].

Ωστόσο, η κατάσταση στην οποία ένα άτομο αισθάνεται θερμικά άνετα έχει υποκειμενικό χαρακτήρα. Για συγκεκριμένες θερμικές συνθήκες ένα άτομο μπορεί να εκφράζει την ικανοποίηση του ενώ κάποιος άλλος τη δυσαρέσκεια του. Η επιστημονική αξιολόγηση της θερμικής άνεσης λαμβάνει υπόψη όχι μόνο την κοινωνική και ψυχολογική κατάσταση του ατόμου, αλλά ορίζει επίσης και τις φυσικές, βιολογικές και εξωτερικές παραμέτρους που την επηρεάζουν (Πίνακας 6) [17].

Πίνακας 6: Παράμετροι που επηρεάζουν την θερμική άνεση [17]

ΦΥΣΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Θερμοκρασία του αέρα (°C) ▪ Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας των εσωτερικών επιφανειών (°C) ▪ Υγρασία και η σχετική υγρασία του αέρα ▪ Ταχύτητα του εσωτερικού αέρα (m/s) ▪ Χωροταξική κατανομή των παραπάνω μεγεθών
ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Το φύλο των χρηστών του χώρου ▪ Ηλικία των χρηστών του χώρου ▪ Συνήθειες των χρηστών του χώρου
ΕΞΩΤΕΡΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Το είδος των δραστηριοτήτων των χρηστών του χώρου [met] (1 met = 58,15 W/m²) ▪ Τύπος του ρουχισμού των χρηστών του χώρου [clo]

$$(I clo = 0,155 m^{2o} C/W)$$

Καθώς το κτίριο αλληλεπιδρά τόσο με εξωτερικά όσο και με εσωτερικά στοιχεία, είναι σαφές ότι η εφαρμογή ενός προτύπου σχετικά με τη θερμική άνεση δεν μπορεί να ανταποκριθεί αξιόπιστα στις πραγματικές συνθήκες ενός δυναμικού εσωτερικού περιβάλλοντος. Ωστόσο, έχουν εφαρμοστεί αρκετά πρότυπα για τη θερμική άνεση όπως:

- ASHRAE 55 [21]
- Διεθνές Πρότυπο ISO7730 [22]

Τα δύο πρότυπα ISO 7730 και ASHRAE 55 βασίζονται στο στατικό μοντέλο θερμικής άνεσης σύμφωνα με το οποίο ο άνθρωπος θεωρείται ως παθητικός αποδέκτης θερμικών ερεθισμάτων και η αλληλεπίδραση του με το θερμικό περιβάλλον διαμορφώνεται αποκλειστικά με τους νόμους της μετάδοσης θερμότητας. Τα πρότυπα αυτά είχαν αναπτυχθεί για κτίρια με κεντρικά συστήματα κλιματισμού, παρόλα αυτά η χρήση τους έχει λάβει γενικό χαρακτήρα και εφαρμόζονται σε όλων των τύπων κτίρια, υπό οποιοδήποτε κλίμα και για οποιοδήποτε πληθυσμό [23].

Όσον αφορά τη θερμική άνεση στο εσωτερικό των κτιρίων έχουν πραγματοποιηθεί διάφορες μελέτες. Το 1970, ο Miura [24] ανέπτυξε μια θεωρία σχετικά με τις ιδανικές συνθήκες άνεσης των εργαζομένων. Οι συνθήκες αυτές εξαρτώνται από τον ρυθμό της δουλειάς, τη φυλή, το φύλο, την ηλικία, την ένδυση, τις κλιματικές συνθήκες και καθορίζονται με βάση την υποκειμενική, την παραγωγική και τη φυσιολογική ιδανική θερμοκρασία.

Το 1982, έχει γίνει μελέτη για το θερμικό περιβάλλον σε κτίρια γραφείων από τους Fishman&Pimbert [25] οι οποίοι απέδειξαν ότι η προτιμώμενη από τους ενοίκους θερμοκρασία χώρου είναι 22°C. Επίσης, σύγκριναν τις αντιδράσεις το καλοκαίρι και το χειμώνα, το πρωί και το απόγευμα, τόσο στο αντρικό όσο και στο γυναικείο φύλο.

Το 2002, δημοσιεύτηκε μια έρευνα από τους deDear&Brager[21] που αφορούσε τη θερμική άνεση σε φυσικώς αεριζόμενα κτίρια. Ταυτόχρονα, επανεξέτασαν το πρότυπο ASHRAE, όπου παρουσίασαν μια αναθεωρημένη έκδοση του προτύπου. Επίσης, πρότειναν τη

χρήση του νέου προσαρμοστικού προτύπου για τη θερμική άνεση στον σχεδιασμό και στη λειτουργία των κτιρίων καθώς και σε ερευνητικές εφαρμογές.

Το 2004, οι Brager, Paliaga&deDear [26] παρουσίασαν μια έρευνα σχετικά με τη θερμική άνεση. Μελέτησαν 160 κτίρια τόσο με φυσικό όσο και με μηχανικό αερισμό, ώστε να αναπτύξουν ένα προσαρμοστικό μοντέλο. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι άνθρωποι στα φυσικώς αεριζόμενα κτίρια μπορούσαν να προσαρμοστούν καλύτερα σε μεγαλύτερο εύρος θερμοκρασιών.

Το 2009, δημοσιεύτηκε μια μελέτη από τονKarjalainen [27] σχετικά με τη θερμική άνεση σε κτίρια και κατοικίες στη Φινλανδία, η οποία έδειξε ότι η θερμική άνεση είναι λιγότερη σε κτίρια γραφείων παρά σε κατοικίες. Επιπλέον, σύμφωνα με τη μελέτη αυτή οι άνθρωποι προσαρμόζονται καλύτερα, όταν βρίσκονται στα σπίτια τους τόσο τον χειμώνα όσο και το καλοκαίρι.

Επιπρόσθετα, έχουν αναπτυχθεί διάφοροι υπολογιστικοί κώδικες όπως οι ESP, DOE, BLAST, SERI-RES και TRNSYS και αξιόλογοι ερευνητές τους χρησιμοποιούν για να μελετήσουν το πρόβλημα της θερμικής άνεσης. Ενδεικτικά αναφέρονται οι Sekhar (1998) [28], Laouadi (1999) [29], Breer (1998) [30] και Dorer (1999) [31].

Η κακή ποιότητα του εσωτερικού αέρα επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό και την απόδοση των εργαζομένων. Από τις συνθήκες που επικρατούν στον χώρο εργασίας εξαρτάται άμεσα η παραγωγικότητα των εργαζομένων, η ποιότητα εργασίας αλλά και το κόστος κάθε εργαζόμενου [12]. Σύμφωνα με μια έκθεση από την Εθνική Ένωση Ηλεκτρολόγων Κατασκευαστών στην Ουάσιγκτον [19] η παραγωγικότητα αυξάνεται, όταν οι άνθρωποι μπορούν να εργαστούν ή να εκτελέσουν εντολές με μεγαλύτερη ακρίβεια και ταχύτητα για μεγάλο χρονικό διάστημα.

ΟιKamonetal. το 1974 [32]έδειξαν σε μια έρευνα τους ότι η θερμότητα μπορεί να προκαλέσει λήθαργο με αποτέλεσμα να επηρεάζεται η παραγωγικότητα. Επίσης, οι Konz&Gurpta το 1969 [33] ερεύνησαν τις επιπτώσεις στην απόδοση των εργαζομένων σε ένα θερμό περιβάλλον με τοπική ψύξη στο κεφάλι και χωρίς αυτές. Οι εργαζόμενοι έπρεπε να επιλέξουν το ένα από τα δύο σετ με οχτώ γράμματα που τους είχε δοθεί, ώστε να δημιουργήσουν λέξεις στο χρονικό διάστημα των δέκα λεπτών. Στις θερμές συνθήκες χωρίς ψύξη η δημιουργία λέξεων ήταν μειωμένη κατά 20% περίπου, ενώ σε συνθήκες με ψύξη η μείωση ήταν περίπου 12%.

Το 1989 η ΕΡΑ (Υπηρεσία Περιβαλλοντικής Προστασίας) [12] παρουσίασε σε έκθεση της προς το Αμερικανικό Κογκρέσο το ετήσιο κόστος για την ιατρική περίθαλψη για τις βασικές ασθένειες που είναι αποτέλεσμα της κακής ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος στα κτίρια και το οποίο ξεπερνάει το 1 δισεκατομμύριο δολάρια. Υπολόγισε ότι, εξαιτίας των ασθενειών που προκαλούνται, η αποδοτικότητα των εργαζομένων μειώνεται με κόστος περίπου 4.7-5.4 δισεκατομμύρια δολάρια. Στις ΗΠΑ το τελικό οικονομικό κόστος συμπεριλαμβάνοντας αποζημιώσεις, αναρρωτικές άδειες, ιατρική περίθαλψη κλπ εκτιμάται γύρω στα 60 δισεκατομμύρια δολάρια τον χρόνο σύμφωνα με την ΕΡΑ [12]. Επίσης, σύμφωνα με τον Serränen το 1999 [34], το κόστος που προκαλείται στη Φινλανδία από την κακή ποιότητα του αέρα σε εσωτερικούς χώρους υπολογίζεται στα 2.7 δισεκατομμύρια ευρώ.

Άρα, τα κόστη που συνδέονται με την εσωτερική ποιότητα του αέρα σε περίπτωση επηρεασμού ενός εργαζομένου από την ποιότητα εσωτερικού αέρα σύμφωνα με την Ομάδα Μελετών Κτιριακού Περιβάλλοντος του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών [12] είναι:

1. Κόστος ελέγχου και επιθεώρησης του κτιρίου για την εξακρίβωση του αιτίου που προκάλεσε την κακή ποιότητα αέρα.
2. Κόστος που προκύπτει από τη διακοπή λειτουργίας της επιχείρησης ή του οργανισμού για προληπτικούς λόγους κατά τη διάρκεια ελέγχου του κτιρίου.
3. Κόστος διορθωτικών παρεμβάσεων και αλλαγών τόσο στη δομή του κτιρίου όσο και στον εξοπλισμό του.
4. Κόστη νοσηλείας για όσους από τους χρήστες του κτιρίου εμφανίσουν συμπτώματα κακής υγείας.
5. Κόστος που συνδέεται με τη χαμηλή απόδοση των εργαζομένων λόγω χαμηλής παραγωγικότητας ή λόγω απουσίας των υπαλλήλων από προβλήματα στην υγεία τους.
6. Κόστος από αποζημιώσεις και δικαστικές διαμάχες.

Από αυτά συμπεραίνεται ότι το κόστος για εγκατάσταση και εφαρμογή μιας τεχνικής για επίλυση του προβλήματος της ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος έχει άμεση απόσβεση λόγω της αύξησης της παραγωγικότητας των εργαζομένων [12].

1.3. Ο Ρόλος του Αερισμού των Εσωτερικών Χώρων

Για τη βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης και για την πρόληψη των επαγγελματικών ασθενειών θα μπορούσε να προωθηθεί η ανανέωση του αέρα, ώστε να μπορούν να διατηρηθούν τα επίπεδα της εσωτερικής ποιότητας αέρα σε ικανοποιητικά επίπεδα. Ο εξαερισμός διαχωρίζεται στο φυσικό και στο μηχανικό εξαερισμό. Ο φυσικός εξαερισμός στηρίζεται είτε στον αέρα που εισάγεται μέσω των αρμών των ανοιγμάτων στον φάκελο οικοδόμησης είτε στον άμεσο και εκτεταμένο εξαερισμό λόγω των ανοικτών παραθύρων και άλλων σχεδιασμένων σημείων εισόδων και εξόδων, ώστε να εισαχθεί φρέσκος αέρας εντός του κτιρίου. Επιτυγχάνεται τόσο κατά τη διάρκεια της ημέρας και λειτουργίας του κτιρίου όσο και τη νύχτα. Ο φυσικός αερισμός είναι κατάλληλος για τα περισσότερα κτίρια σε περιοχές με ήπιο κλίμα και μακριά από τα αστικά κέντρα. Ο μηχανικός εξαερισμός επιτυγχάνεται με ένα μεγάλο εύρος συστημάτων και τεχνικών για την ψύξη ή τον κλιματισμό ή την κυκλοφορία του αέρα στους χώρους του κτιρίου. Η επιλογή των μηχανικών αυτών μέσων εξαρτάται από οικονομικά, ενεργειακά, κλιματικά και κατασκευαστικά κριτήρια.

Για πολλά έτη, ο φυσικός και μηχανικός εξαερισμός αναπτύχθηκαν ξεχωριστά, ωστόσο πρόσφατα οι δύο αυτές μέθοδοι συνδυάζονται μαζί αποτελώντας τα υβριδικά συστήματα εξαερισμού. Η διαφορά τους από τα συμβατικά συστήματα είναι ότι είναι «έξυπνα» συστήματα με διατάξεις ελέγχου, ώστε με αυτοματοποιημένο τρόπο να εναλλάσσουν τη λειτουργία τους μεταξύ του φυσικού και μηχανικού τρόπου με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας και την επίτευξη ικανοποιητικών εσωκλιματικών συνθηκών [12].

Τα φυσικά αεριζόμενα κτίρια παρέχουν καλύτερες συνθήκες ποιότητας εσωτερικού αέρα σε σύγκριση με τα κτίρια με κεντρικό μηχανικό σύστημα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα ίδια τα κεντρικά συστήματα ψύξης, θέρμανσης και αερισμού είναι θορυβώδη, απαιτούν συντήρηση ανά τακτά χρονικά διαστήματα και καταναλώνουν ενέργεια [35]. Επιπλέον, τα κεντρικά μηχανικά συστήματα συνήθως είναι υπεύθυνα για την αύξηση της συγκέντρωσης εσωτερικών ρύπων και συνεπώς για την κακή ποιότητα του αέρα στο εσωτερικό περιβάλλον ενός κτιρίου αλλά και για τα προβλήματα υγείας των χρηστών [12]. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το Imperial Polk County Courthouse in Bartow στη Φλόριντα το 1991, το οποίο εκκενώθηκε εξαιτίας μιας ασθένειας που σχετιζόταν με το κτίριο και εκδηλώθηκε στους εργαζομένους. Ο λόγος ήταν ο εσωτερικός τεχνητός αερισμός (aircondition) του κτιρίου που

προκάλεσε σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία του 80% των 580 υπαλλήλων. Ωστόσο, ο φυσικός αερισμός παρέχει ένα πιο υγιές και άνετο περιβάλλον χωρίς κανένα κόστος [35]. Αυτό αναγνωρίζεται και από τον W.H.Carrier [36], έναν από τους ιδρυτές των συστημάτων κλιματισμού, ο οποίος είχε δηλώσει ότι η φυσική διανομή του αέρα είναι καλύτερη από τη χρήση των συστημάτων.

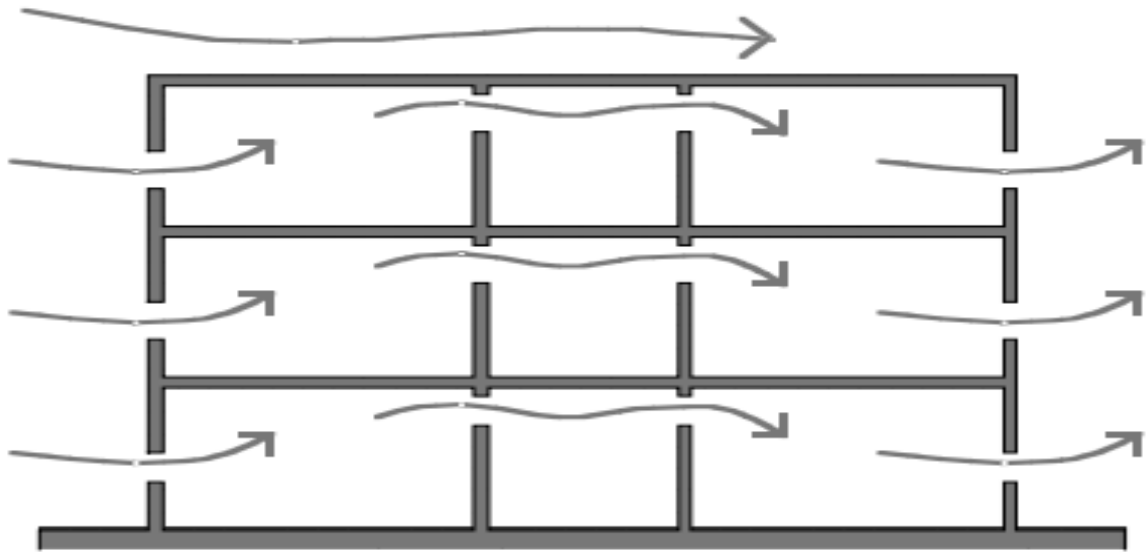
Για τον λόγο αυτό θα πρέπει να προωθηθεί ο φυσικός αερισμός στο εσωτερικό των κτιρίων τόσο για μείωση των αρνητικών επιπτώσεων στην υγεία των χρηστών όσο και για την αύξηση της απόδοσης των εργαζομένων. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την τοποθέτηση παραθύρων και ανοιγμάτων.

Υπάρχουν αρκετά συστήματα για την προσέγγιση του φυσικού αερισμού τα οποία είναι σχεδιασμένα διαφορετικά. Ένα από αυτά αποτελεί οδιαμπερής αερισμός διαμέσου παραθύρων και ανοιγμάτων (Εικόνα 3). Διαμπερής αερισμός μπορεί να επιτευχθεί με κατάλληλο σχεδιασμό των ανοιγμάτων στο κέλυφος και στις εσωτερικές τοιχοποιίες. Οι επικρατούντες άνεμοι σε σχέση με την εξωτερική και εσωτερική διαρρύθμιση επηρεάζουν τον διαμπερή αερισμό.

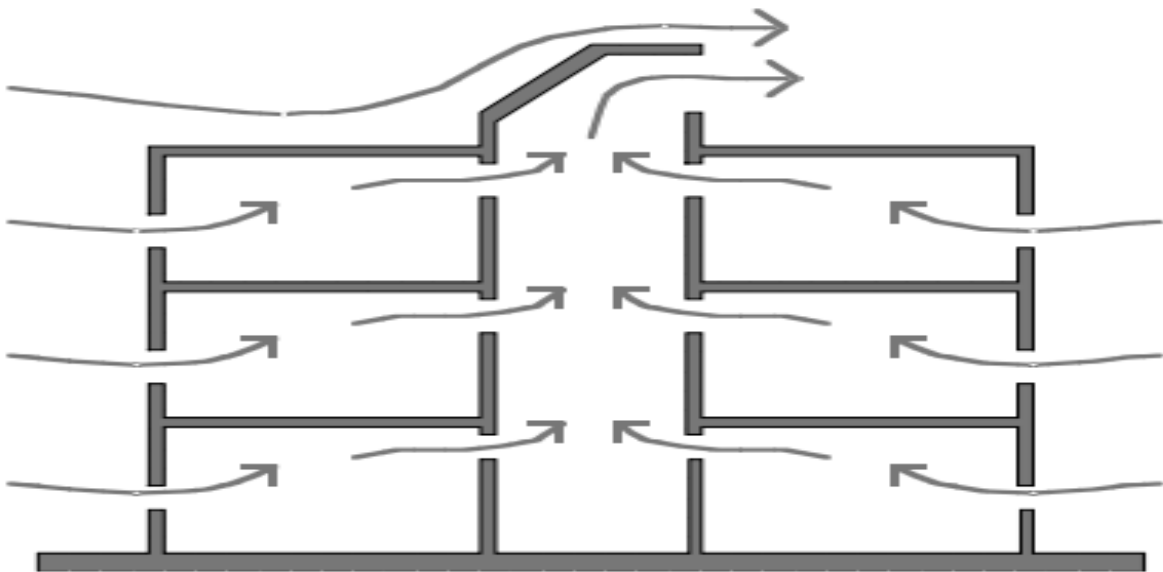
Η χρήση κατακόρυφων ανοιγμάτων όπως για παράδειγμα καμινάδων ή πύργων αερισμού είναι μια άλλη στρατηγική (Εικόνα 4). Σε αυτή την περίπτωση γίνεται συνδυασμός των ανοιγμάτων του κτιρίου με τη χρήση καμινάδας, ώστε να επιτευχθεί η ροή του αέρα. Η τεχνική αυτή βασίζεται στις διαφορετικές τιμές της πυκνότητας εντός ψυχρού εξωτερικού αέρα και του θερμού εσωτερικού αέρα.

Η εξασφάλιση του φυσικού αερισμού μπορεί να επιτευχθεί επίσης, από την εκμετάλλευση της ροής του αέρα λόγω διαφορών πίεσης (Εικόνα 5). Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται κυρίως σε δωμάτια με μια είσοδο και έτσι θεωρείται λιγότερο ελκυστική μέθοδος. Παρόλα αυτά μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ξεχωριστές περιπτώσεις όπως για αερισμό σε γραφεία.

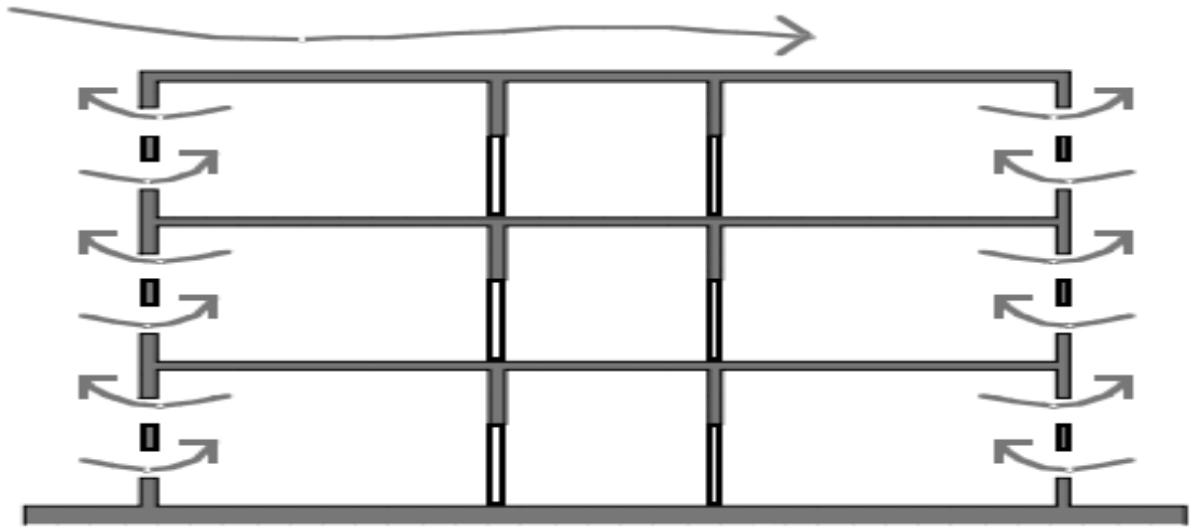
Η προώθηση όσο το δυνατόν μεγαλύτερης ποσότητας αερισμού εντός του κτιρίου μπορεί να επιτευχθεί με τον συνδυασμό των πιο πάνω στρατηγικών. Το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα μιας τέτοιας προσέγγισης είναι το κτίριο του QueensBuildingofDeMontfortUniversityinLeicester, στην Αγγλία (Εικόνα 6) [37].



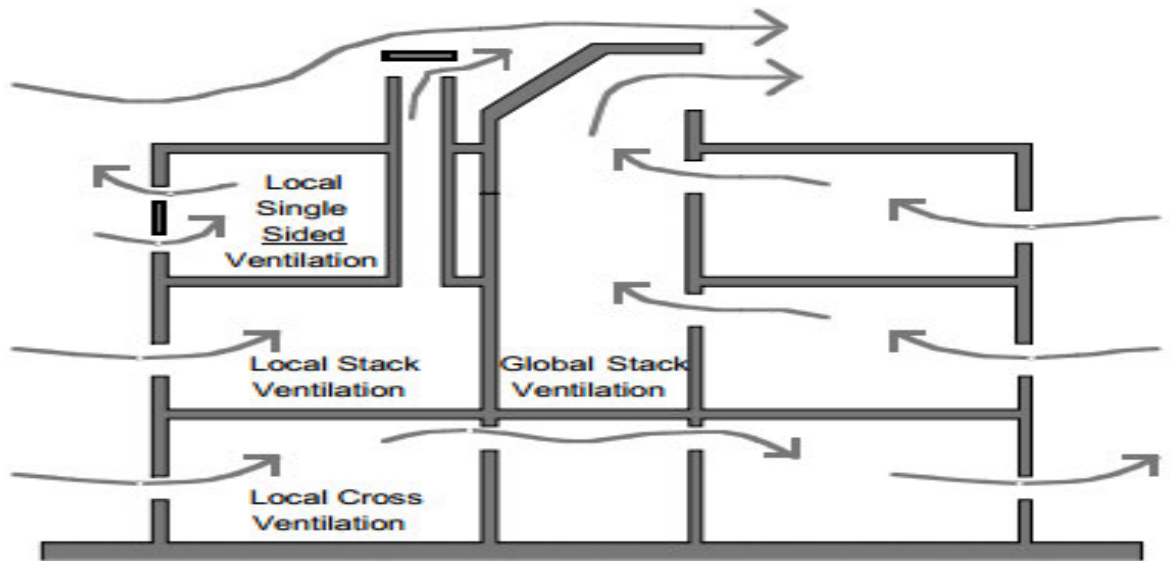
Εικόνα 3: Σχέμα που δείχνει τον τρόπο κίνησης του αέρα σε ένα κτίριο με πολλαπλά ορόφια, όπου ο αέρας εισέρχεται από τα αριστερά και εξέρχεται από τα δεξιά.



Εικόνα 4: Σχέμα που δείχνει τον τρόπο κίνησης του αέρα σε ένα κτίριο με πολλαπλά ορόφια, όπου ο αέρας εισέρχεται από τα αριστερά και εξέρχεται από τα δεξιά.



Εικόνα 5: Σχήματα φυσικού αερισμού σε κτίριο με παράλληλο άνεμο [37]



Εικόνα 6: Σχήματα φυσικού αερισμού σε κτίριο με παράλληλο άνεμο, Queens Building of De Montfort University in Leicestershire, A [37]

Για τον υπολογισμό και σχεδιασμό των ανοιγμάτων για βελτίωση της εισόδου του φυσικού αερισμού υπάρχουν διάφορες μέθοδοι, οι οποίες χωρίζονται σε 3 κατηγορίες:

1. Απλοποιημένη εμπειρική φόρμουλα

2. Προσέγγιση σε ζώνες
3. Υπολογιστική ρευστοδυναμική

Η απλοποιημένη εμπειρική φόρμουλα βασίζεται σε απλές εξισώσεις υπολογισμού του ρυθμού εναλλαγής αέρα, σε σχέση με την επιφάνεια των ανοιγμάτων ενός κτιρίου.

Η προσέγγιση σε ζώνες είναι ένα μαθηματικό μοντέλο που βασίζεται στη διατήρηση της μάζας. Η τεχνική αυτή υπολογίζει το ποσοστό εξαερισμού (φυσικού και μηχανικού), το μέγεθος και την κατεύθυνση της ροής του αέρα, τις ταχύτητες διείσδυσης του αέρα, το σχέδιο της ροής του αέρα μεταξύ ζωνών και τις εσωτερικές πιέσεις των δωματίων.

Η υπολογιστική ρευστοδυναμική είναι μια τεχνική η οποία χρησιμοποιείται σε χώρους, όπου οι συγκεντρώσεις του αέρα δεν είναι ομοιόμορφες και χρειάζονται περαιτέρω πληροφορίες για τη ροή και διανομή του αέρα, ώστε να σχεδιαστούν με ακρίβεια τα ανοίγματα. Η υπολογιστική ρευστοδυναμική παρέχει πληροφορίες όπως τη ροή του αέρα στα δωμάτια, την απόδοση εναλλαγής αέρα, τη διανομή θερμοκρασίας, τη διανομή ταχύτητας αέρα, τη διανομή πίεσης, τη ροή αέρα γύρω από τα κτίρια ακόμα και τη μετακίνηση καπνού σε περιπτώσεις πυρκαγιάς. Η τεχνική της υπολογιστικής ρευστοδυναμικής βασίζεται στην εφαρμογή τεχνικών αριθμητικής επίλυσης με τη βοήθεια υπολογιστών, ώστε να λυθούν οι εξισώσεις της ροής ρευστών.

Οι τρεις αυτές μέθοδοι είναι αποτελεσματικές, ωστόσο η απλοποιημένη εμπειρική φόρμουλα είναι χρήσιμη μόνο για την προσέγγιση αλλαγών αέρα και δομής ανοιγμάτων και έχει περιορισμένες εφαρμογές. Οι άλλες δύο μέθοδοι παρέχουν μεγαλύτερη ακρίβεια. Το μοντέλο ζωνών απαιτεί εκτεταμένη έρευνα, παρόλο που προσφέρει πολύτιμες πληροφορίες για τη ροή και μεταφορά ρευστών μέσα σε ένα κτίριο. Η υπολογιστική ρευστοδυναμική είναι το πιο διαδεδομένο εργαλείο, αφού συνοδεύεται από εύχρηστα προγράμματα με καλό γραφικό περιβάλλον [12].

ΕΛΛΗΝΙΚΗ

ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ

2.1. Εισαγωγή στα Μοντέλα Σχεδιασμού

Οι φιλοσοφίες ή στρατηγικές που δείχνουν ότι ο σχεδιασμός είναι η διαδικασία της διατύπωσης απαιτήσεων βασισμένων στις ανθρώπινες ανάγκες αλλά και ότι ο σχεδιασμός μπορεί να πραγματοποιηθεί με σχεδιαστικές λύσεις χρησιμοποιώντας την ανθρώπινη δημιουργικότητα, επιστημονικές αρχές και τεχνική γνώση αναπαριστώνται σε ένα μοντέλο σχεδιασμού. Η έννοια του μοντέλου χρησιμοποιείται, για να δηλώσει τη χρήση κάποιας θεωρητικής προσέγγισης για τον προσδιορισμό των ζητούμενων παραμέτρων σε αντίθεση με τις πειραματικές μετρήσεις. Όσον αφορά τα μοντέλα σχεδιασμού υπάρχουν 3 κατηγορίες: Συνταγογραφικά, Περιγραφικά και Υπολογιστικά μοντέλα. Τα Συνταγογραφικά Μοντέλα περιγράφουν τα βήματα ή τους κανόνες που πρέπει να ακολουθηθούν, ώστε ο σχεδιασμός να πραγματοποιηθεί με τον καλύτερο τρόπο. Τα Περιγραφικά Μοντέλα περιγράφουν τις ενέργειες των σχεδιαστών κατά τη διάρκεια της σχεδιαστικής διαδικασίας, δηλαδή πως σχεδιάζουν οι σχεδιαστές. Τα Υπολογιστικά Μοντέλα

χρησιμοποιούν ποιοτικές ή και ποσοτικές υπολογιστικές τεχνικές για την παραγωγή πιο αποτελεσματικών εργαλείων σχεδιασμού. Η εξέλιξη της υπολογιστικής δύναμης οδήγησε στην ανάπτυξη των υπολογιστικών μοντέλων [38].

2.2. Ημι-εμπειρικά Μοντέλα για τον Μετρωτό τον Χαρακτηριστικών Ροής Αέρα και Θερμικής άνεσης σε Εσωτερικά Περιβάλλοντα

Για τον χαρακτηρισμό της ροής αέρα και τον καθορισμό των συνθηκών άνεσης σε εσωτερικούς χώρους έχει αναπτυχθεί μια ευρεία ποικιλία αριθμητικών μοντέλων. Η διατήρηση της μάζας, της ορμής και της ενέργειας αποτελούν τη βάση των ημι-εμπειρικών μοντέλων που έχουν αναπτυχθεί. Το 1959 ο Regenscheit [39] και το 1970 ο Grimitlin [40] παρουσίασαν ημι-εμπειρικά μοντέλα τα οποία επιτρέπουν τον υπολογισμό της τύρβης σε ένα δωμάτιο βασισμένοι σε υποθετικές αναταράξεις. Ωστόσο, η εφαρμογή τέτοιων μοντέλων συχνά είναι περιορισμένη. Για πιο αναλυτικές πληροφορίες σχετικά με τη ροή αέρα και τη θερμική άνεση χρησιμοποιείται η υπολογιστική ρευστοδυναμική.

2.3. Υπολογιστική Ρευστοδυναμική

2.3.1. Εισαγωγή στην Υπολογιστική Ρευστοδυναμική

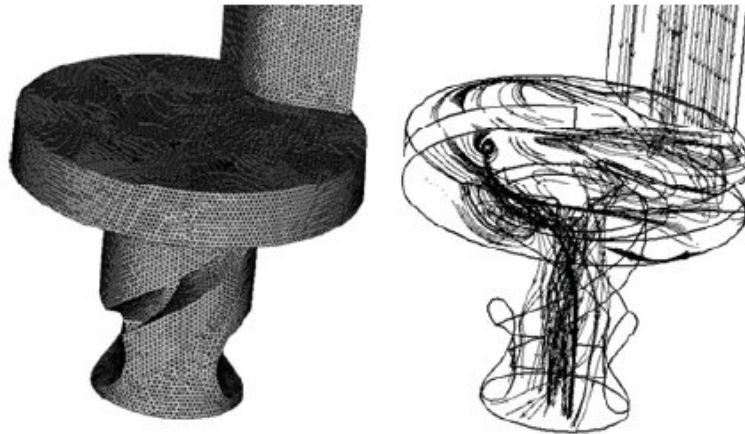
Η υπολογιστική ρευστοδυναμική είναι μια τεχνολογία η οποία μπορεί με ακρίβεια να προσδιορίσει τη διανομή της θερμοκρασίας και να υπολογίσει τον ρυθμό του αερισμού κάτω από πολλούς διαφορετικούς περιορισμούς σε ένα φυσικό σύστημα [3,42,43]. Πιο συγκεκριμένα αποτελεί ένα εργαλείο σχεδιασμού, όπου με τη χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών γίνεται προσομοίωση της ροής ρευστών και της μεταφοράς θερμότητας [43].

Οι Norton&Sun το 2006 [44] σε μια μελέτη τους ανέφεραν ότι η υπολογιστική ρευστοδυναμική ξεκίνησε να αναπτύσσεται από τους πρωτοπόρους Richardson το 1910 και Courant, Friedrichs&Lewy το 1928, οι οποίοι υποκίνησαν την ανάπτυξη ισχυρών αριθμητικών μεθόδων, οι οποίες έχουν αναβαθμίσει την αριθμητική περιγραφή όλων των τύπων ροής

ρευστών, στην προσπάθεια τους να εντυφώσουν στη ροή των ρευστών [7]. Ο Nielsen το 1974 [45] ήταν ένας από τους πρώτους που έχει εφαρμόσει την υπολογιστική ρευστοδυναμική για την προσομοίωση ροής αέρα σε εσωτερικούς χώρους, ενώ ο Svensson το 1986 [46] ήταν ένας από τους πρώτους που ξεκίνησε να χρησιμοποιεί την υπολογιστική ρευστοδυναμική σε προβλήματα ρύπανσης αέρα. Εκτός όμως από το εσωτερικό περιβάλλον, η υπολογιστική ρευστοδυναμική έχει χρησιμοποιηθεί σε έρευνες για τη ροή αέρα στο εξωτερικό περιβάλλον [47]. Οι Delaunay *et al.* το 1996 [48] μελέτησαν με τη μέθοδο του CFD τη διανομή αέρα σε τούνελ δρόμου και σύγκριναν τα αποτελέσματα με πειραματικά δεδομένα. Το 1996 οι Sini *et al.* [49] μελέτησαν τη διανομή των ρύπων σε χαράδρες με τη μέθοδο της υπολογιστικής ρευστοδυναμικής συμπεριλαμβάνοντας θερμικές επιπτώσεις. Το 1997 οι Murena *et al.* [50] μελέτησαν τη διανομή του μονοξειδίου του άνθρακα σε χαράδρες με το CFD. Ο Burman το 1997 [51] μελέτησε τη διασπορά ενός αερίου σε μια σύνθετη τοπογραφία.

Στις αρχές της δεκαετίας του 1970 κυκλοφόρησαν οι πρώτοι εμπορικοί κώδικες. Όμως, η δυνατότητα εύκολης και αναλυτικής απεικόνισης πολύπλοκων γεωμετριών, όπως αυτές που συναντώνται σε πρακτικά προβλήματα έγινε διαθέσιμη στις αρχές του 1980 [9]. Οι πιο συνηθισμένοι εμπορικοί κώδικες που χρησιμοποιούνται είναι οι κωδικοί PHOENICS, CFX, FLUENT, STAR-CD, FLOVENT [52].

Εκτός από τη μελέτη της ροής του αέρα και της μεταφοράς θερμότητας, η υπολογιστική ρευστοδυναμική είναι ένα πρακτικό εργαλείο σχεδιασμού, το οποίο εφαρμόζεται σε διάφορους τομείς. Το CFD έχει ευρεία χρήση στη μελέτη της αεροδυναμικής αεροπλάνων, ελικόπτερων και οχημάτων (Εικόνα 7) [9,53]. Για παράδειγμα με τη μέθοδο του CFD μπορεί να προβλεφθεί η αποδοτικότητα των μηχανών ενός αεροσκάφους κάτω από διάφορες συνθήκες, πράγμα που οδηγεί σε μείωση του χρόνου και του κόστους από τη διαδικασία σχεδιασμού (Εικόνα 8) [53]. Επιπλέον, χάρη στην ικανότητα της υπολογιστικής ρευστοδυναμικής να προβλέπει τη λειτουργία νέων σχεδίων ή διεργασιών πριν αυτά πραγματοποιηθούν στην πράξη, το CFD έχει γίνει πολύ χρήσιμο σε αρκετές βιομηχανικές εφαρμογές, όπως για παράδειγμα στην παρασκευή γυαλιού, στη μεταλλουργία, στην πυρηνική και στην κατασκευή τραίνων. Το CFD επίσης βρίσκει εφαρμογή σε περιβαλλοντικά θέματα, όπως η ατμοσφαιρική ρύπανση, η πυρκαγιά σε κτίρια, ρεύματα ωκεανών και ρύπανση φυσικών υδάτων. Επιπρόσθετα, η υπολογιστική ρευστοδυναμική χρησιμοποιείται σε ιατρικές εφαρμογές για τη μελέτη της ροής στο καρδιακό-αρτηριακό σύστημα, για τη ροή στους πνεύμονες και τις αναπνευστικές οδούς [9]. Με αυτό τον τρόπο δεν



Εικόνα 9: Ρευστοδυναμική ανάλυση πτερυγίου [53]

2.3.2. Στάδια Υπολογιστικής Ρευστοδυναμικής

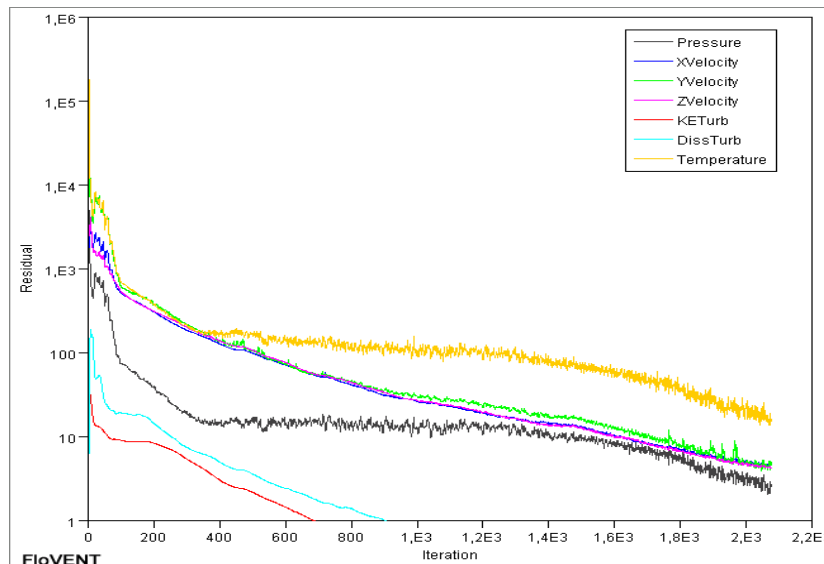
Για την πραγματοποίηση μιας προσομοίωσης η μέθοδος της υπολογιστικής ρευστοδυναμικής ακολουθεί τρία στάδια: προ-επεξεργασία, επίλυση και μετά-επεξεργασία.

Στο στάδιο της προ-επεξεργασίας, ο μελετητής αρχικά θα πρέπει να κατανοήσει το πρόβλημα και ό,τι σχετίζεται με αυτό. Στη συνέχεια, σχεδιάζει τη γεωμετρία του συστήματος και καθορίζει το πλέγμα το οποίο υποδιαιρεί το σύστημα, δηλαδή επιλέγει τον αριθμό των κελιών. Αυτό συμβαίνει γιατί το πλέγμα βοηθά στην επαναληπτική επίλυση των εξισώσεων. Όταν ολοκληρωθεί αυτό, τότε ορίζονται οι τιμές των μεταβλητών στα όρια του συστήματος. Οι τιμές αυτές σε συνδυασμό με κάποιες παραμέτρους του ρευστού και άλλες φυσικές παραμέτρους, καθορίζουν το ακριβές πρόβλημα.

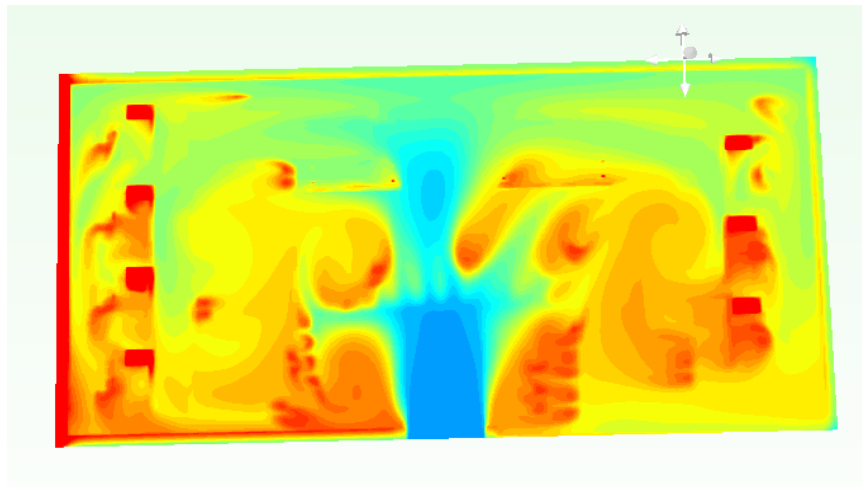
Αφού γίνει η εισαγωγή όλων των πιο πάνω δεδομένων, τότε στο στάδιο της επίλυσης ο υπολογιστής λύνει όλες τις μαθηματικές εξισώσεις της ροής του ρευστού. Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω το σύστημα υποδιαιρείται σε κελιά, έτσι το λογισμικό λύνει τις εξισώσεις διατήρησης για κάθε κελί μέχρι να επιτευχθεί μια επιθυμητή σύγκλιση. Η επιθυμητή σύγκλιση προκύπτει όταν η λύση της πεπερασμένης διαφορικής εξίσωσης προσεγγίζει τη λύση της μερικής διαφορικής εξίσωσης. Σε περίπτωση όπου το πρόβλημα εξαρτάται άμεσα από τις οριακές συνθήκες, τότε η σύγκλιση ελέγχεται χρησιμοποιώντας αριθμητικά πειράματα, δηλαδή επανάληψη των

υπολογισμών σε μια σειρά υπολογιστικών πλεγμάτων (Εικόνα 10). Η διαδικασία αυτή είναι χρονοβόρα και συχνά ο υπολογιστής λύνει πολλές χιλιάδες εξισώσεις.

Αργότερα, όταν λυθεί το μοντέλο τα αποτελέσματα παρουσιάζονται σε γραφήματα 2 ή 3 διαστάσεων, ανάλογα με το τι επιλέγει ο μελετητής, και μπορούν να αναλυθούν είτε αριθμητικά είτε γραφικά. Στα γραφήματα χρησιμοποιούνται διάφοροι χρωματισμοί, ώστε να μπορούν να διακρίνονται οι διαφορετικές τιμές των μεγεθών (Εικόνα 11). Τα αποτελέσματα αναλύονται, ώστε να ελεγχθεί αν είναι ικανοποιητικά και για να προσδιορισθούν τα ακριβή δεδομένα της ροής που απαιτούνται από την προσομοίωση. Μερικά πακέτα λογισμικών επιτρέπουν την εξαγωγή των αποτελεσμάτων σε άλλα προγράμματα προσομοίωσης, προκειμένου να υποστούν περαιτέρω επεξεργασία[9,43,54].



Εικόνα 10: $\sum x$ (residuals)



Εικόνα 11: [Placeholder for image description]

2.3.3. Μαθηματική Περιγραφή Διαφορικών Εξισώσεων και Διακριτά

Για την επίλυση προβλημάτων ρευστοδυναμικής χρησιμοποιούνται αριθμητικές τεχνικές, οι οποίες επιλύουν μερικές διαφορικές εξισώσεις για κάθε κελί εντός του χώρου. Οι εξισώσεις αυτές αφορούν στη Διατήρηση της Μάζας (Εξίσωση Συνέχειας), στη Διατήρηση της Ορμής (Β' Νόμος του Νεύτωνα) και στη Διατήρηση της Ενέργειας (Α' Νόμος της Θερμοδυναμικής) [9].

Η γενικευμένη εξίσωση διατήρησης έχει τη μορφή:

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_j \phi)}{\partial x_j} = \Gamma\phi + S\phi \quad (2.3.3.1.)$$

Όπου:

$x_j(x_1, x_2, x_3)$ συντεταγμένες

$u_j(u_1, u_2, u_3)$ συνιστώσες ταχύτητας στις κατευθύνσεις $x_j(x_1, x_2, x_3)$

ϕ οποιαδήποτε εξαρτημένη μεταβλητή: ταχύτητα, θερμική ενέργεια, τυρβώδης κινητική ενέργεια

ρ πυκνότητα ρευστού

$\Gamma\phi$ συντελεστής διάχυσης

$S\phi$ όρος πηγής ή κατανάλωσης για κάθε εξίσωση των ϕ

t χρόνος [55]

Εξίσωση διατήρησης της μάζας: Εκφράζει το εμπειρικό γεγονός ότι η μάζα δεν μπορεί να εξαφανιστεί από το σύστημα ούτε να δημιουργηθεί σε ένα ρευστό σύστημα. Ο ρυθμός της μεταβολής της μάζας σε ένα σύστημα ισούται με μηδέν ή η μάζα ενός συστήματος παραμένει σταθερή.

$$\frac{DM_{\text{συστ.}}}{Dt} = \sum \dot{m}_{\text{out}} - \sum \dot{m}_{\text{in}} = 0 \quad (2.3.3.2.)$$

Όπου:

\dot{m}_{in} παροχή μάζας εισόδου

\dot{m}_{out} παροχή μάζας εξόδου

Εξίσωση διατήρησης της ορμής: Η συνισταμένη των δυνάμεων που ασκούνται σε ένα σώμα ισούται με τον ρυθμό μεταβολής της ορμής του σώματος.

$$\sum F = \frac{dp}{dt} = \frac{d}{dt} (m * v) \quad (2.3.3.3.)$$

Όπου:

p ορμή

m μάζα σώματος

v ταχύτητα σώματος

t χρόνος

Σε περίπτωση όπου η μάζα είναι σταθερή, τότε η εξίσωση παίρνει την απλοποιημένη μορφή:

$$\sum F = m * a \quad (2.3.3.4.)$$

Όπου:

m μάζα σώματος

a επιτάχυνση

δηλαδή ισούται με το γινόμενο της μάζας του σώματος και την επιτάχυνση που αποκτά.

Εξίσωση διατήρησης της ενέργειας: Η μεταβολή της συνολικής ενέργειας στο σύστημα ισούται με τον τελικό ρυθμό της ενέργειας που προστίθεται στο σύστημα από μεταφορά θερμότητας και τον τελικό ρυθμό της ενέργειας που προστίθεται στο σύστημα από μεταφορά έργου [56].

$$\Delta U = (\dot{Q}_{in} - \sum \dot{Q}_{out}) + (\dot{W}_{in} - \sum \dot{W}_{out}) \text{ συστ. } (2.3.3.5.)$$

Όπου:

\dot{Q}_{in} ρυθμός πρόσδοσης θερμότητας

\dot{Q}_{out} ρυθμός κατανάλωσης θερμότητας

\dot{W}_{in} ρυθμός πρόσδοσης έργου

\dot{W}_{out} ρυθμός κατανάλωσης έργου

Η συνεκτικότητα ενός ρευστού εξαρτάται από το σχετικό μέγεθος του αντίστοιχου όρου προς τη συνολική δύναμη αδράνειας.

$$\frac{\text{Δύναμη αδράνειας}}{\text{Δύναμη συνεκτικότητας } \nu} = \frac{VL}{\nu} = R \propto \text{θμός Reynolds} \quad (2.3.3.6.)$$

Όπου:

V χαρακτηριστική ταχύτητα αναφοράς

L χαρακτηριστικό μήκος (διαφορετικό για κάθε περίπτωση)

ν κινηματικό ιξώδες ρευστού

Όταν η τιμή του αριθμού Reynolds είναι μικρή, τότε αυτό υποδηλώνει ότι οι δυνάμεις συνεκτικότητας είναι σημαντικές. Στην περίπτωση αυτή τα ρευστά σωματίδια κινούνται σε παράλληλες στρώσεις και η ροή δεν παρουσιάζει μακροσκοπική μίξη μεταξύ των στρώσεων. Οι τυχαίες αποκλίσεις της τροχιάς των σωματιδίων αποσβένονται από τις ισχυρές δυνάμεις συνεκτικότητας. Αυτός ο τύπος ροής ονομάζεται στρωτή ροή. Όταν όμως ο αριθμός Reynolds έχει μεγάλη τιμή τότε υποδηλώνει ότι οι δυνάμεις συνεκτικότητας είναι ασήμαντες σε σχέση με τις δυνάμεις αδράνειας. Έτσι, σε αυτή την περίπτωση τα ρευστά σωματίδια ακολουθούν ακανόνιστες τροχιές χωρίς οι δυνάμεις συνέχειας να έχουν το απαιτούμενο μέγεθος, ώστε να επιβάλλουν στρωτή ροή. Ο τύπος αυτός ροής ονομάζεται τυρβώδης ροή. Το κύριο

χαρακτηριστικό της τυρβώδους ροής είναι ότι η πίεση, η ταχύτητα καθώς και κάθε άλλο μέγεθος μεταβάλλονται συνεχώς σε τυχόν σταθερό σημείο του πεδίου με την πάροδο του χρόνου κατά τρόπο ακανόνιστο και φαινομενικά τυχαίο. Παρά τον ακανόνιστο και τυχαίο (χαοτικό) χαρακτήρα της τύρβης, η δημιουργία της στην πραγματικότητα έχει εσωτερική νομοτέλεια εξαρτώμενη από τις οριακές συνθήκες και τα λοιπά χαρακτηριστικά της ροής [57].

Η φυσική της τύρβης περιγράφεται από τις πιο πάνω εξισώσεις, ωστόσο δεν είναι εφικτή η άμεση επίλυση τους λόγω μεγάλων απαιτήσεων υπολογιστικής δύναμης. Έτσι πολλοί ερευνητές ασχολήθηκαν με την ανάπτυξη μοντέλων τύρβης για τον υπολογισμό των τυρβωδών χαρακτηριστικών. Ενδεικτικά αναφέρονται οι Donaldson&Rosenbaum (1969) [58], Daly&Harlow (1970) [59] και Launder, Reece&Rodi (1975) [60].

Το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο μοντέλο αποτελεί το μοντέλο k-ε, το οποίο αναπτύχθηκε από τους Launder&Spalding το 1972 [61] και αποτέλεσε τη βάση για πολλές βελτιώσεις. Το μοντέλο k-ε επιλύει την εξίσωση της τυρβώδους κινητικής ενέργειας και την εξίσωση της διασποράς της κινητικής ενέργειας της τύρβης.

Για την επίλυση των διαφορικών αυτών εξισώσεων εφαρμόζονται αριθμητικές μέθοδοι, οι οποίες έχουν ως στόχο να υπολογίσουν την τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής φ σε ένα πεπερασμένο αριθμό θέσεων (σημεία πλέγματος) του υπολογιστικού πεδίου. Η μέθοδος διακριτοποίησης στοχεύει στη δημιουργία μιας ομάδας αλγεβρικών εξισώσεων, οι οποίες εμπλέκουν τις άγνωστες τιμές της μεταβλητής φ και προκύπτουν από τη γενικευμένη διαφορική εξίσωση της εξαρτημένης μεταβλητής φ και εκφράζουν τις ίδιες φυσικές πληροφορίες με αυτές της διαφορικής εξίσωσης. Σε ένα συγκεκριμένο σημείο του πλέγματος η τιμή της φ επηρεάζει την κατανομή της φ μόνο στα άμεσα γειτονικά της σημεία. Η λύση των διακριτοποιημένων εξισώσεων πλησιάζει τη λύση των αντίστοιχων διαφορικών εξισώσεων, καθώς αυξάνεται ο αριθμός των σημείων του πλέγματος.

Μερικές μέθοδοι διακριτοποίησης είναι: Μέθοδος Πεπερασμένων Διαφορών, Μέθοδος Πεπερασμένων Στοιχείων και Μέθοδος Πεπερασμένων Όγκων. Οι κύριες διαφορές των μεθόδων αυτών σχετίζονται με τον τρόπο προσέγγισης των μεταβλητών ροής και τη διαδικασία διακριτοποίησης. Η πιο χρησιμοποιημένη μέθοδος στην υπολογιστική ρευστοδυναμική είναι η Μέθοδος των Πεπερασμένων Όγκων Ελέγχου, η οποία ανήκει στις ολοκληρωτικές μεθόδους αριθμητικής επίλυσης των μερικών διαφορικών εξισώσεων. Είναι μια γενική μέθοδος που μπορεί

να αντιμετωπίσει με επιτυχία προβλήματα μεταφοράς μάζας, ορμής και θερμότητας. Η διακριτοποιημένη εξίσωση στις ολοκληρωτικές μεθόδους προκύπτει από την ολοκλήρωση της εξίσωσης μεταφοράς σε κάποιο πεπερασμένο όγκο ελέγχου [13].

2.3.4. Πλεονεκτήματα και Περιρριμπί τς Υπολογιστικής Ρευστοδυναμικής

Το 2002 οι Xia&Sun[62] δημοσίευσαν μια μελέτη, στην οποία αναφέρουν ότι η υπολογιστική ρευστοδυναμική εξελίχθηκε από μια μαθηματική «εφεύρεση» σε ένα σημαντικό εργαλείο για σχεδόν όλους τους κλάδους της ρευστοδυναμικής. Τα αποτελέσματα από τηνπροσομοίωση είναι πιο ολοκληρωμένα, αφού το πρόγραμμα αυτό παρέχει μια λεπτομερή κατανομή της ροής, της μεταφοράς θερμότητας και μάζας σε κάθε σημείο του συστήματος [4,9]. Επιπλέον, έχει τη δυνατότητα να μελετά συστήματα, όπου είναι δύσκολο ή ακόμα και αδύνατο να πραγματοποιηθούν πειραματικές μετρήσεις [63]. Ακόμη, η μέθοδος του CFD προσδιορίζει το πρόβλημα πριν τον σχεδιασμό του συστήματος. Επιπρόσθετα, ένα άλλο πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι απαντά πολλά ερωτήματα του τύπου: τι θα συμβεί εάν ...; Δηλαδή ερωτήματα που αν δε γίνουν δε θα ξέρουμε τι θα συμβεί [9].

Ωστόσο, η αποτελεσματικότητα και πρακτικότητα μιας προσομοίωσης CFD στηρίζεται σε διάφορους παράγοντες. Ο καθορισμός της γεωμετρίας και των οριακών συνθηκών είναι δύσκολος και χρονοβόρος. Επίσης, για την ανάλυση των δεδομένων απαιτούνται μεγάλα ποσά μνήμης υπολογιστή, ενώ μερικές φορές τα αποτελέσματα αδυνατούν να συγκλίνουν σε μια λύση.Επιπλέον, ο μεγάλος όγκος των δεδομένων στην έξοδο απαιτούν σημαντική προσπάθεια στη μετά-επεξεργασία, προκειμένου να γίνει η κατανόηση των αποτελεσμάτων [64].

ΕΛΛΗΝΙΚΗ

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΕΚΠΕΡΑ

ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

3.1. Εισαγωγή

Σύμφωνα με τους Purlis&Salvadori το 2009 [65] η προσομοίωση ορίζεται ως η διαδικασία ανάπτυξης ενός μοντέλου πραγματικού συστήματος και εκτέλεσης πειραμάτων μέσω του μοντέλου αυτού, με σκοπό τη μελέτη, ανάλυση, σχεδιασμό ή επανασχεδιασμό, έλεγχο και πρόβλεψη μιας πραγματικής συγκεκριμένης διεργασίας. Η αριθμητική προσομοίωση πραγματοποιείται με την ανάπτυξη ενός μαθηματικού μοντέλου και τη χρήση ενός υπολογιστή για τη λύση.

Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο κάθε άνθρωπος αισθάνεται άνετα κάτω από διαφορετικές τιμές θερμοκρασίας. Έτσι, ο προσδιορισμός των κατάλληλων συνθηκών σε ένα εσωτερικό περιβάλλον, όπου οι πλείστοι χρήστες θα νιώθουν θερμικά άνετα είναι δύσκολο να πραγματοποιηθεί [66]. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι θα πρέπει να ληφθούν υπόψη

όχι μόνο οι εσωτερικές παράμετροι αλλά και εξωτερικές. Για τη μελέτη της θερμικής άνεσης των εργαζόμενων στο κτίριο της Cyta χρησιμοποιείται η μέθοδος της υπολογιστικής ρευστοδυναμικής και συγκεκριμένα ο εμπορικός κώδικας FloVent 9.1 [67]. Ο κώδικας αυτός χρησιμοποιεί τις τεχνικές της υπολογιστικής ρευστοδυναμικής για την πρόβλεψη της ροής του αέρα, της μεταφοράς θερμότητας και τον έλεγχο της ρύπανσης σε εσωτερικά δωμάτια ή κτίρια και έχει χρησιμοποιηθεί και σε άλλες μελέτες [62]. Για παράδειγμα το 1998 ο Riainetal. [54] χρησιμοποίησαν τον κώδικα FloVent, για να μελετήσουν τη συγκέντρωση του μονοξειδίου του άνθρακα σε διάφορα ύψη ενός φαραγγιού στο Κεντρικό Λονδίνο.

3.2. Μεθοδολογία Προσμοίωσης Κτιρίου της Cyta με τη Χρήση του Υπολογιστικού Κώδικα FloVent 9.1.

Για την προσομοίωση του κτιρίου της Cyta πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σχετικά με τη γεωμετρία του κτιρίου, δηλαδή με το μέγεθος του. Το συγκεκριμένο κτίριο έχει μήκος 20m, πλάτος 10m και ύψος 7m. Ωστόσο, για να είναι αντιπροσωπευτική η προσομοίωση με το πραγματικό κτίριο έχει γίνει υπολογισμός της θέσης και του μεγέθους του κάθε αντικείμενου που βρίσκονται εντός του κτιρίου. Επίσης, για το κάθε αντικείμενο έχει καθοριστεί το υλικό κατασκευής του αλλά και το ποσοστό της ενέργειας που πιθανόν να εκπέμπει όπως για παράδειγμα ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής. Τα αντικείμενα που βρίσκονται στο υπό μελέτη κτίριο είναι γραφεία, καρέκλες, ηλεκτρονικοί υπολογιστές, πάγκοι εξυπηρέτησης, κ.α.

Φυσικά δεν μπορεί να μην γίνει και ο καθορισμός των ανοιγμάτων (πόρτες και παράθυρα) στο κτίριο, αφού μέσω αυτών επηρεάζεται το εσωτερικό περιβάλλον από το εξωτερικό. Για τον λόγο αυτό έχει γίνει ο προσδιορισμός του αριθμού και του μεγέθους των ανοιγμάτων. Όσον αφορά το συγκεκριμένο κτίριο, η είσοδος του κτιρίου είναι το μόνο άνοιγμα που υπάρχει.

Τόσο η θερμοκρασία, όσο και η ροή του αέρα επηρεάζονται από τα συστήματα κλιματισμού που είναι εγκατεστημένα. Στο κτίριο αυτό είναι τοποθετημένα 58 συστήματα παροχής αέρα τοποθετημένα στο δάπεδο και 2 συστήματα απορρόφησης αέρα τοποθετημένα στην οροφή του κτιρίου.

Στον πίνακα 7 αναγράφονται όλα τα αντικείμενα τα οποία έχουν προστεθεί στο υπολογιστικό πρόγραμμα, καθώς επίσης και το ποσό ενέργειας που εκπέμπει το κάθε αντικείμενο.

Πίνακας 7: Αριθμός αντικειμένων που εκπέμπουν ενέργεια (W)

Αντικείμενο	Αριθμός αντικειμένων	Εκπεμπόμενη Ενέργεια (W)
Γραφεία	9	N/A
Καρτέρες υποστήριξης	14	N/A
Καρτέρες εξοπλισμού	16	N/A
Ηλεκτρονικοί Υπολογιστές	14	100
Λάμπες Μεγάλης Μεγέθους	93	72
Λάμπες Μεσαίας Μεγέθους	35	50
Λάμπες Μικρής Μεγέθους	38	36
Πάκια ενσωματωμένα εξοπλισμού	3	N/A
Καρτέρες ενσωματωμένα εξοπλισμού	2	N/A
Τερόραμα	1	102

Αφού έχει γίνει ο σχεδιασμός της γεωμετρίας και του εσωτερικού χώρου του κτιρίου, τότε στο στάδιο της προ-επεξεργασίας ακόμα, λαμβάνονται υπόψη και εισάγονται στο υπολογιστικό πρόγραμμα παράμετροι όπως το γεωγραφικό πλάτος, η κλίση του κτιρίου ως προς τον Νότο, η μέση ημερήσια θερμοκρασία και η επιθυμητή ώρα πραγματοποίησης της μελέτης, οι οποίες επηρεάζουν τη ροή του αέρα και τη θερμική άνεση εντός του κτιρίου.

Το γεωγραφικό πλάτος το οποίο αποτελεί ένα από τα δύο μεγέθη των γεωγραφικών συντεταγμένων και προσδιορίζει τη θέση συγκεκριμένης περιοχής στην επιφάνεια της γης αλλά και ο προσανατολισμός της περιοχής αυτής ως προς τον Νότο επηρεάζουν την ηλιακή ακτινοβολία που εκπέμπεται σε κάθε περιοχή. Η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε μια περιοχή επηρεάζει σημαντικά τόσο την ποσότητα θερμότητας όσο και τη ροή του αέρα στο