

Υπολογιστική
εκτίμηση της
συγκέντρωσης ρύπων
σε εσωτερικούς
χώρους

Ιωνά Αθανασία

Περιεχόμενα

Εισαγωγή	6
----------------	---

Κεφάλαιο 1

1. Το πρόβλημα της ποιότητας αέρα στο εσωτερικό των χώρων	
1.1 Περίληψη κεφαλαίου	8
1.2.1 Ο σύγχρονος τρόπος ζωής συνυφασμένος με την ποιότητα αέρα μέσα στο κτίριο.	8
1.2.2 Ποιότητα του εξωτερικού αέρα	10
1.2.3 Η ποιότητα του αέρα σε κλειστούς χώρους	14
1.2.4 Τερπένια – Οι οργανικές πτητικές ενώσεις στις οποίες εστιάζεται η εργασία	22
1.2.5 Αιτίες του συνδρόμου «άρρωστου κτιρίου»	25

Κεφάλαιο 2

1. Ο αερισμός των κτιρίων	
2.1.1 Γενικά	28
2.1.2 Ορισμός και σκοπιμότητα του αερισμού.....	28
2.1.3 Τρόποι με τους οποίους επιτυγχάνεται ο αερισμός	29
2.1.4 Τρόπος καθορισμού του απαραίτητου ρυθμού αερισμού .	33

2.1.5 Όταν ο αερισμός δεν είναι η κατάλληλη πρακτική	36
2.1.6 Τρόποι παροχής καθαρού αέρα.....	37
2.1.7 Πώς οι ανάγκες και οι στρατηγικές αερισμού διαφέρουν ανάλογα με τον τύπο του κτιρίου.	38
2. Φυσικός Αερισμός	
2.2.1 Στρατηγικές στον Φυσικό Αερισμό - Ιστορικό και Εφαρμογές.....	39
2.2.2 Μηχανισμοί φυσικού αερισμού	40
2.2.3. Τεχνικές φυσικού αερισμού.....	44

Κεφάλαιο 3

1. Διαθέσιμες μέθοδοι και τεχνικές υπολογισμού του αερισμού κτιρίων.

3.1.1 Εισαγωγή στην προσομοίωση του αερισμού κτιρίων...48	48
3.1.2 Μοντέλα αερισμού που χρησιμοποιούνται – Πεδία εφαρμογής τους	50
3.1.3 Μιας ζώνης και πολλαπλών ζωνών μοντέλα	57
3.1.4 Μοντέλα αερισμού και εργαλεία θερμικής προσομοίωσης του κτιρίου.	58
3.1.5 Δεδομένα για την προσομοίωση του αερισμού.....	60

2. Πρόγραμμα COMIS

3.2.1 Γενικές μέθοδοι υπολογισμού των ροών αέρα στο κτίριο	70
--	----

3.2.2 Η θεωρία πίσω από το μοντέλο COMIS.....	71
3.2.3 Αερισμός μιας όψης και τυρβώδεις διακυμάνσεις της ροής.....	80

Κεφάλαιο 4

1. Μοντέλο υπολογισμού πεδίου ροής γύρω από το κτίριο - QUIC

4.1 Γενικά για τα μοντέλα προσομοίωσης πεδίων ροής αέρα γύρω από κτίρια.....	81
4.2 Αριθμητικό μοντέλο QUIC (Quick Urban & Industrial Complex Dispersion Modeling System)	82
4.3 QUIC-URB	83
4.4 Η θεωρία πίσω από το αριθμητικό μοντέλο QUIC.....	83
4.5 Η αριθμητική μέθοδος	85
4.6 Καθορισμός του αρχικού πεδίου ταχύτητας	91
4.7 Εφαρμογή των παραμέτρων της ροής γύρω από κτίρια ..	91
4.8 Εκτελώντας το πρόγραμμα	97

Κεφάλαιο 5

1. Αποτελέσματα εκπομπών επιφανειών - Μέθοδος από NORDTEST - Μονάδα ελέγχου εκπομπής (FLEC)

5.1.1 Μέθοδος μέτρησης εκπομπών από το δάπεδο.	100
5.1.2 Υπολογισμοί των παραγόντων εκπομπής (Emission Factors) – Αποτελέσματα FLEC	101
2. Μέθοδος υπολογισμού συγκεντρώσεων στο χώρο – Πρόγραμμα CONC-CPM.....	102

Κεφάλαιο 6

1. Περιγραφή της εφαρμογής.	
6.1.1 Περιγραφή τη τοποθεσίας του κτιρίου.	103
6.1.2 Περιγραφή του κτιρίου.	105
6.1.3 Υφιστάμενες χρήσεις και επεμβάσεις στο κτίριο.	105
6.1.4 Περιγραφή του εσωτερικού χώρου του κτιρίου.	107
2. Μέθοδος επίλυσης του προβλήματος	
6.2.1. Η αλληλουχία των μοντέλων.....	108
6.2.2 Η διαμόρφωση και εκτέλεση του μοντέλου QUIC-URB.	109
6.2.3 Η διαμόρφωση και εκτέλεση του μοντέλου COMIS.	114
3. Η συγκέντρωση των ρύπων μέσα στο χώρο. ..	117

Συμπεράσματα..... 119

Βιβλιογραφία..... 121

Εισαγωγή

Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιείται υπολογιστική μελέτη συγκέντρωσης ρύπων σε εσωτερικούς χώρους κτιρίων με τη χρήση αριθμητικών μοντέλων εκτίμησης των συγκεντρώσεων πτητικών οργανικών ενώσεων (Volatile Compounds, VOCs).

Συγκεκριμένα στόχος της παρούσας έρευνας είναι ο υπολογισμός της συγκέντρωσης τριών ρύπων που σχετίζονται με τον καθαρισμό του δαπέδου, στην αίθουσα 102 του κτιρίου στην οδό Αργυροκάστρου 13, του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας (Κοζάνη). Στο κτίριο αυτό στεγάζονται τα εργαστήρια και τα γραφεία του ιδρύματος.

Επίσης εξετάζεται η συνεργασία των διαγνωστικών μοντέλων QUIC και COMIS που συνιστούν μια επιστημονική πρόταση για τον υπολογισμό και την εκτίμηση των επιπέδων ρύπανσης σε εσωτερικούς χώρους. Με τη χρήση των αριθμητικών μοντέλων QUIC και COMIS επιτυγχάνεται η προσομοίωση της ροής του αέρα εκτός και εντός του κτιρίου.

Σχετικά με την εκτίμηση των συγκεντρώσεων συγκεκριμένων ρύπων χρησιμοποιείται το πρόγραμμα υπολογισμού συγκεντρώσεων CONC-CPM. Η έρευνα ανατρέχει σε προηγούμενες μετρήσεις για τον καθορισμό των δεδομένων εκπομπών από το δάπεδο του εσωτερικού χώρου

Η μελέτη αναπτύσσεται σε έξι κεφάλαια από τα οποία τα δυο πρώτα είναι εισαγωγικά στις έννοιες του αερισμού και της ποιότητας αέρα στους εσωτερικούς χώρους.

Στο τρίτο και τέταρτο κεφάλαιο γίνεται αντίστοιχα η θεωρητική προσέγγιση και οι δυνατότητες των προγραμμάτων QUIC και COMIS, μοντέλων που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του αερισμού στο κτίριο. Γίνεται εκτενής αναφορά στις φυσικές παραδοχές που λαμβάνονται υπόψη για τον προσδιορισμό των δεδομένων του προβλήματος.

Το πέμπτο κεφάλαιο περιλαμβάνει τα αποτελέσματα μετρήσεων των εκπομπών, όπως επίσης και τη μέθοδο με την οποία ελήφθησαν καθώς και την περιγραφή του προγράμματος καθορισμού των συγκεντρώσεων στο χώρο.

Στο έκτο κεφάλαιο περιγράφεται λεπτομερώς η εφαρμογή των παραπάνω αναφερόμενων μοντέλων στο χώρο του επί της οδού Αργυροκάστρου κτιρίου και αναλύονται με τη σειρά τα στάδια διεκπεραίωσης της έρευνας.

Η εργασία ολοκληρώνεται με την εξαγωγή συμπερασμάτων, όπου επισημαίνονται τα πλεονεκτήματα που διαθέτει αυτή η πρόταση και τα οποία τεκμηριώνουν την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων της. Τέλος αναφέρονται τα συμπεράσματα στα οποία κατέληξε η εργασία. Η εργασία περιορίζεται στη συγκέντρωση τριών μόνο ρύπων

που εκπέπονται από το δάπεδο, προκειμένου να συνδεθούν τα αποτελέσματα με τη διαδικασία καθαρισμού του χώρου.

Κεφάλαιο 1

1. Το πρόβλημα της ποιότητας αέρα στο εσωτερικό των κτιρίων

1.1 Περίληψη κεφαλαίου

Η εσωτερική ατμοσφαιρική ποιότητα (Indoor Air Quality-IAQ) αποτελεί σημαντική παράμετρο στα κτίρια, καθώς είναι στενά συνδεδεμένη τόσο με την υγεία όσο και με την άνεση των ανθρώπων που ζουν ή εργάζονται μέσα σε αυτό.

Στο κεφάλαιο αυτό αρχικά παρουσιάζεται το πρόβλημα της ποιότητας του εσωτερικού αέρα, όπως αυτό περιγράφεται από τα παράπονα των χρηστών και από τις σχετικές επιστημονικές μελέτες των τελευταίων ετών. Στη συνέχεια περιγράφονται οι παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα του εσωτερικού αέρα, τόσο οι προερχόμενοι από το εξωτερικό περιβάλλον, όσο και αυτοί που προέρχονται από το εσωτερικό περιβάλλον του κτιρίου, ενώ παράλληλα επισημαίνονται οι σημαντικότεροι εσωτερικοί ρύποι και οι πηγές τους.

Στο τέλος του κεφαλαίου περιγράφεται το «σύνδρομο του άρρωστου κτιρίου», που τα τελευταία χρόνια βιώνουν τα άτομα που περνούν πολλές ώρες μέσα σε στεγανά κτίρια με κακή ποιότητα εσωτερικού αέρα. Παρουσιάζεται η συμπτωματολογία καθώς και οι βασικοί παράγοντες που καθορίζουν την εμφάνιση του συνδρόμου του άρρωστου κτιρίου.

1.2.1 Ο σύγχρονος τρόπος ζωής συνυφασμένος με την ποιότητα αέρα μέσα στο κτίριο.

Η ρύπανση της ατμόσφαιρας των εσωτερικών χώρων αποτελεί σημαντικό πρόβλημα για τις αναπτυσσόμενες και τις βιομηχανικά αναπτυγμένες χώρες, με διαφορετική βέβαια φύση και αιτιολογία σε κάθε περίπτωση. Σύμφωνα με έρευνες, στις βιομηχανικά αναπτυγμένες χώρες οι άνθρωποι ξοδεύουν κατά μέσο όρο το 80 με 90 τοις εκατό του χρόνου τους στο εσωτερικό περιβάλλον (Σχήμα 1). Τα ποσοστά διαφοροποιούνται ελαφρώς ανάλογα με το είδος της πληθυσμιακής ομάδας. Για παράδειγμα οι νοικοκυρές, οι ηλικιωμένοι και τα παιδιά προσχολικής ηλικίας περνούν περισσότερες ώρες στο σπίτι, ενώ οι εργαζόμενοι μοιράζουν το χρόνο που περνούν σε εσωτερικούς χώρους ανάμεσα στο σπίτι, το χώρο εργασίας και τα μέσα μεταφοράς.

Εφόσον οι άνθρωποι στις σύγχρονες κοινωνίες ξοδεύουν το μεγαλύτερο ποσοστό του χρόνου τους σε εσωτερικούς χώρους, είναι πολύ σημαντικό να ελέγχεται η ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος λαμβάνοντας υπόψη παραμέτρους όπως η θερμική και οπτική άνεση, χωρίς να αγνοήσουμε τους παράγοντες που αφορούν την ποιότητα του αέρα. Η χρήση διάφορων τεχνικών και των στρατηγικών εξαερισμού για τους εσωτερικούς χώρους, προκειμένου να αυξηθεί η εσωτερική ατμοσφαιρική ποιότητα με την αντικατάσταση τον εσωτερικού με τον εξωτερικό αέρα, υπάρχει από τότε που οι άνθρωποι εφεύραν τη φωτιά στις σπηλιές τους και συχνά χρησιμοποιούσαν ένα άνοιγμα στην κορυφή των σπηλιών για να μειώσουν τους επιβλαβείς μολυσματικούς παράγοντες.

Ο όρος «εσωτερικός αέρας-indoor air» χρησιμοποιείται συνήθως στο εσωτερικό περιβάλλον μη βιομηχανικών κτιρίων, όπως κτίρια γραφείων, δημόσια κτίρια (σχολεία, νοσοκομεία, θέατρα, εστιατόρια, ...) και ιδιωτικές κατοικίες. Οι συγκεντρώσεις των μολυσματικών παραγόντων στον εσωτερικό αέρα αυτών των κτιρίων είναι συνήθως του ίδιου τύπου με εκείνους που εντοπίζονται στον υπαίθριο αέρα, ενώ είναι πολύ χαμηλότερες από εκείνους που εντοπίζονται στον αέρα στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις.

Πολλοί κάτοικοι ή εργαζόμενοι σε κτίρια εκφράζουν παράπονα για την ποιότητα του αέρα που αναπνέουν, δημιουργώντας την ανάγκη για περαιτέρω διερεύνηση της κατάστασης. Η εσωτερική ατμοσφαιρική ποιότητα άρχισε να αναφέρεται ως πρόβλημα στο τέλος της δεκαετίας του '60, αν και οι πρώτες μελέτες εμφανίστηκαν περίπου δέκα έτη αργότερα. Από το 1984 η Επιτροπή Παγκόσμιας Οργάνωσης Υγείας (World Health Organization-WHO) κατέληξε στο συμπέρασμα ότι μέχρι το 30 τοις εκατό των νέων και αναδιαμορφωμένων κτιρίων παγκοσμίως μπορούν να αποτελέσουν αντικείμενο υπερβολικών καταγγελιών για την εσωτερική ποιότητα του αέρα.

Ως αιτίες επιδείνωση της ποιότητας του εσωτερικού αέρα έχουν ενδελεχώς εξεταστεί η ανθρώπινη δραστηριότητα καθώς και οι εκπομπές των σύγχρονων δομικών και άλλων υλικών, τα οποία πλέον απέχουν πολύ από τα φυσικά υλικά όπως πέτρα, ξύλο, τούβλο ή χάλυβα που χρησιμοποιούνταν παλαιότερα αποκλειστικά.

Το εξωτερικό περιβάλλον στις μεγάλες πόλεις είναι επίσης μολυσμένο, αλλά είναι γεγονός ότι συχνά ο αέρας μέσα στα κτίρια μπορεί να είναι πιο μολυσμένος από τον υπαίθριο αέρα (μερικές φορές ακόμη και στις μεγαλύτερες και πιο βιομηχανοποιημένες πόλεις) και επομένως ο κίνδυνος για την υγεία μπορεί να είναι μεγαλύτερος όταν οι άνθρωποι εκτίθενται στην εσωτερική ατμοσφαιρική ρύπανση απ' ό,τι στην υπαίθρια.

Το πρόβλημα αυξάνεται με την οικοδόμηση των κτιρίων που 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. Η χρήση αυξημένων ποσοστών εξαερισμού βρίσκεται, στις

περισσότερες περιπτώσεις, σε αντίθεση με την ενεργειακή απόδοση καθώς το ενεργειακό φορτίο φρέσκου αέρα μπορεί να αποτελεί σημαντικό μέρος της κατανάλωσης ενέργειας ολόκληρου του κτιρίου. Επομένως είναι σημαντικό να ελέγχονται τα ποσοστά εξαερισμού σε ένα κτίριο επιτυγχάνοντας την ίδια στιγμή τα αποδεκτά επίπεδα της ποιότητας του εσωτερικού αέρα. Συχνά, τα προβλήματα σχετικά με την ποιότητα εσωτερικού αέρα εμφανίζονται όταν ένα κτίριο χρησιμοποιείται ή διατηρείται με έναν τρόπο, ο οποίος δεν είναι σύμφωνος με τον αρχικό σχεδιασμό του ή τις κατάλληλες λειτουργικές διαδικασίες. Φυσικά τα προβλήματα της ποιότητας αέρα μπορούν να είναι επίσης αποτέλεσμα φτωχού σχεδιασμού ή δραστηριοτήτων των κατοίκων.

1.2.2 Ποιότητα του εξωτερικού αέρα

Ένα τμήμα της γήινης ατμόσφαιρας ονομάζεται βιόσφαιρα από το γεγονός ότι μόνο εντός αυτής μπορεί ο άνθρωπος να δραστηριοποιηθεί ακίνδυνα. Το πάχος της βιόσφαιρας εκτείνεται σε μερικές χιλιάδες μέτρα. Το χώρο της βιόσφαιρας καταλαμβάνει μίγμα αερίων που, όταν αναφέρεται σε καθαρό και ξηρό αέρα, δηλαδή με μηδενική υγρασία, περιλαμβάνει οξυγόνο σε ποσοστό 21% κατά όγκο, άζωτο σε ποσοστό 78% κατά όγκο και διάφορα άλλα αέρια, όπως Ar, CO₂, H₂, Ne, Kr, He (Πίνακας 1.1).

ΑΕΡΙΟ	ΤΥΠΟΣ	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ Kg/m ³	ΣΥΝΘΕΣΗ	
			κατά βάρος	κατ' όγκο
Άζωτο	N ₂	1,250	75,51	78,10
Οξυγόνο	O ₂	1,429	23,01	20,93
Αργό	Ar	1,784	1,286	0,9325
Διοξείδιο του άνθρακα	CO ₂	1,977	0,04	0,03
Υδρογόνο	H ₂	0,0899	0,001	0,01
Νέο	Ne	0,900	0,0012	0,0018
Ήλιο	He	0,178	0,00007	0,0005
Κρυπτό	Kr	3,74	0,0003	0,0001
Ξένο	Xe	5,89	0,00004	0,000009
ΑΕΡΑΣ	L	1,293	100,000	100,000

Πίνακας 1.1 - Σύθεση καθαρού και απόλυτα ξηρού αέρα της γήινης ατμόσφαιρας στο επίπεδο της θάλασσας (πίεση 101,326 MPa)

Σε πραγματικές συνθήκες ο αέρας περιλαμβάνει νερό σε μορφή υδρατμών καθώς και άλλες ουσίες (Πίνακας 1.2).

ΑΕΡΙΟ	ΧΗΜΙΚΟ ΣΥΜΒΟΛΟ	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ (kg/m ³)	ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ	
			κατά βάρος(%)	κατ' όγκο(%)
Άζωτο	N ₂	0,972	75,47	78,03
Οξυγόνο	O ₂	1,105	23,19	20,99
Αργό	Ar	1,380		0,933
Διοξείδιο του άνθρακα	CO ₂	1,529	0,04	0,03
Νέο	Ne	0,7		0,0018
Ήλιο	He	1,138	1,30	0,0005
Άλλα αέρια	-	-		0,047
Υδρατμός	H ₂ O	0,01	[1]	0,01

Πίνακας 1.2 - Συνήθης πραγματική σύνθεση καθαρού ατμοσφαιρικού αέρα στο επίπεδο της θάλασσας (πίεση 101,326 MPa)

[1] Η κατά βάρος περιεκτικότητα του ατμοσφαιρικού αέρα σε υδρατμούς εξαρτάται από τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Ενδεικτικά δίνεται η μέση ετήσια τιμή για τις παρακάτω χαρακτηριστικές (ακραίες) περιπτώσεις:

Ισημερινός 2,36% Βόρειος Πόλος 0,22%

Σε κλιματιζόμενους χώρους:

Χειμώνας 0,75% Θέρος 1,10%

Όταν οι προσμίξεις του αέρα υπερβούν κάποιο όριο, τότε αλλοιώνεται η ποιότητα του, δεδομένου ότι μειώνεται η περιεκτικότητά του σε οξυγόνο, αέριο που είναι απαραίτητο για να πραγματοποιηθούν οι καύσεις και να λειτουργήσει σωστά ο ανθρώπινος οργανισμός. Η περίπτωση αυτή αναφέρεται στη ρύπανση του αέρα.

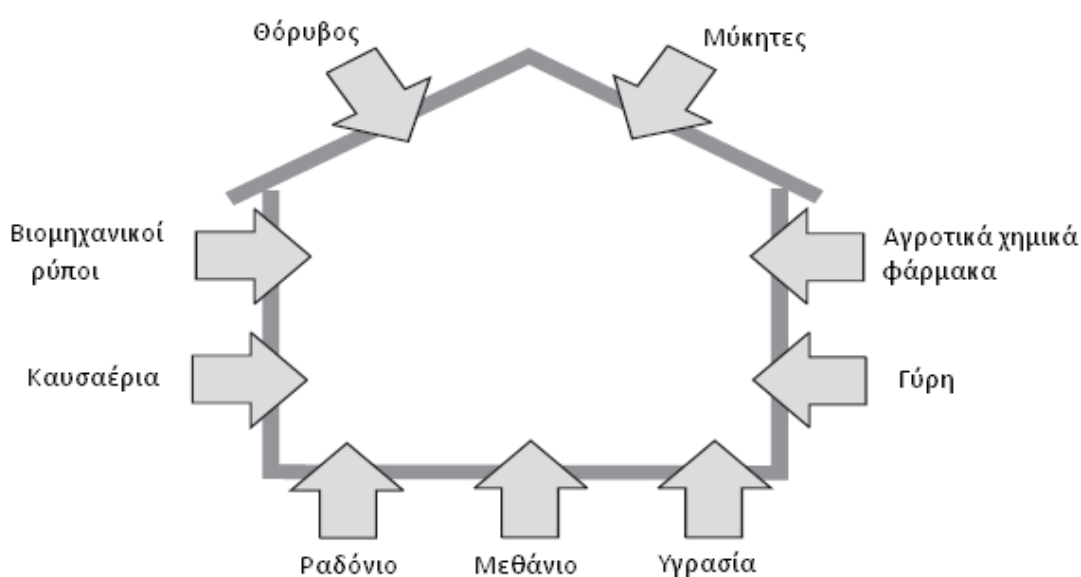
Μερικά προβλήματα στην ποιότητα του αέρα είναι παγκόσμια και ο έλεγχός τους απαιτεί διεθνείς προσπάθειες. Τέτοιο παράδειγμα είναι η έκλυση χημικών που καταστρέφει το όζον (CFC's) στα άνω τμήματα της ατμόσφαιρας, καθώς και οι ολοένα αυξανόμενες συγκεντρώσεις του διοξειδίου του άνθρακα που προέρχονται από την καύση ορυκτών πηγών ενέργειας. Άλλοι ρύποι είναι τοπικοί και μπορούν να συσχετιστούν με την τοπική βιομηχανία και την κυκλοφορία των οχημάτων. Η φύση προκαλεί και αυτή προβλήματα με μεγάλες ποσότητες σκόνης καθώς και αερίων που συνδέονται με ηφαιστειακή δραστηριότητα. Επίσης, το φυσικό στοιχείο ραδόνιο μπορεί να εισχωρήσει σε κτίρια από τα υποκείμενα γεωλογικά στρώματα. Ακόμα και περιοχές στην ύπαιθρο, έχουν προβλήματα από την παρουσία γύρης και σπόρια μυκήτων, που προκαλούν αλλεργικές αντιδράσεις στον άνθρωπο. Τυπικοί ρύποι που συναντώνται στον εξωτερικό αέρα συνοψίζονται στο Σχήμα 1.1.

Αναλυτικά οι ρυπαντές μπορεί να είναι:

Βιομηχανικοί ρύποι : Οι βιομηχανικές εκπομπές τείνουν να δημιουργούν περιφερειακά και τοπικά προβλήματα, παρ' όλο που πολύ μολυσμένος αέρας μπορεί να ταξιδέψει εκατοντάδες χιλιόμετρα. Βιομηχανικοί ρύποι είναι:

- νιτρικά και θειικά οξείδια,
- όζον,
- μόλυβδος,
- πτητικές οργανικές ενώσεις,
- αιθάλη, σωματίδια και ίνες.

Οι συγκεντρώσεις βιομηχανικών ρύπων αυξάνονται όταν επικρατούν ήπιες καιρικές συνθήκες, οπότε υπάρχει και μια στασιμότητα του ρυπογόνου νέφους στην γύρω περιοχή. Μερικά βιομηχανικά σωματίδια θεωρούνται καρκινογόνα ή προκαλούν ερεθισμό των πνευμόνων. Τέτοια σωματίδια είναι ο αμίαντος, οι τεχνητές ίνες, η σκόνη και ο άνθρακας. Η ανησυχία για τις επιπτώσεις των βιομηχανικών ρύπων έφερε ως αποτέλεσμα έλεγχο των εκπομπών και την εισαγωγή κανονισμών για την ποιότητα του αέρα σε πολλές χώρες.



Σχήμα 1. 1- Σύνοψη των τυπικών εξωτερικών ρύπων

Κουσαέρια οχημάτων: Οι ρύποι που οφείλονται στη κίνηση των οχημάτων είναι ένα πρόβλημα των πυκνοκατοικημένων αστικών περιοχών. Οι κυριότεροι ρύποι είναι:

- μονοξείδιο του άνθρακα
- σκόνη άνθρακα
- μόλυβδος
- οξείδια του αζώτου

- χημικά πρόσθετα καυσίμων

Επίσης καυσαέρια από υπόγειους και παρακείμενους χώρους στάθμευσης καθώς και εισόδους σε υπόγειες σήραγγες δημιουργούν προβλήματα (Limb 1994). Τα καυσαέρια οχημάτων που συγκεντρώνονται στο επίπεδο του δρόμου μπορούν να εισέλθουν από ανοιχτά παράθυρα και να μολύνουν τον εσωτερικό αέρα. Επίσης σε ώρες κυκλοφοριακής αιχμής, μεγάλες ποσότητες ρύπων επηρεάζουν τα κτίρια που βρίσκονται κοντά στο δρόμο. Παρόλα τα μέτρα που έχουν ληφθεί για τον περιορισμό της κυκλοφοριακής κίνησης, για τον έλεγχο των εκπομπών άνθρακα, για την εξάλειψη του μολύβδου από τα καύσιμα, παρόλη τη χρήση καταλυτών στις εξατμίσεις των οχημάτων, η αυξανόμενη κίνηση στους δρόμους, δημιουργεί πρόσθετα περιβαλλοντικά προβλήματα.

Τα NOx (οξειδία του αζώτου) παράγονται επίσης από την καύση των υδρογονανθράκων κατά τη λειτουργία των Μ.Ε.Κ. και των Κεντρικών Θερμάνσεων, όπου, επειδή αναπτύσσονται υψηλές θερμοκρασίες, πραγματοποιείται ένωση αζώτου Ν και οξυγόνου Ο.

Οι παραπάνω αναφερόμενοι ρυπαντές υποβαθμίζουν την ποιότητα του αέρα. Όταν πραγματοποιείται μελέτη με στόχο τη βελτίωση των συνθηκών αερισμού σε κλειστούς χώρους, πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη, δεδομένου μάλιστα ότι απαιτείται πάντα αέρας εξωτερικού περιβάλλοντος για την ανανέωση του αέρα εσωτερικών χώρων.

Εκπομπές από καμινάδες και πύργους ψύξης: Γειτονικές καμινάδες τον αέρα με προϊόντα καύσης και πύργοι ψύξεως από κακώς συντηρημένα συστήματα κλιματισμού εξαπλώνουν το βακτήριο της legionella.

Υπαίθρια ρύπανση: Η εντατική γεωργία δύναται να μολύνει τον υπαίθριο αέρα με ρύπους όπως γύρη και οι μύκητες. Κάποιοι εποχιακοί ρύποι μπορούν να προκαλέσουν αλλεργική ρινίτιδα και άλλες αλλεργίες. Επίσης χημικά λιπάσματα και εντομοκτόνα μολύνουν τον περιβάλλοντα αέρα.

Εδαφογενείς ρυπογόνες ουσίες: Ρύποι προερχόμενοι από το έδαφος μπορεί να διεισδύσουν στο κτίριο από τα θεμέλια ή και τα στρώματα του πατώματος. Η συγκέντρωσή τους μπορεί να ενισχύεται από εξαερισμό. Σημαντικοί τέτοιοι ρύποι είναι τα παρακάτω:

- ραδόνιο,
- μεθάνιο,
- υγρασία.

Το ραδόνιο είναι ένα φυσικό ραδιενεργό αέριο που έχει συνδεθεί αυξημένο κίνδυνο για καρκίνο του πνεύμονα. Το ραδόνιο είναι ένα πρόβλημα που σχετίζεται με τα υποκείμενα γεωλογικά στρώματα. Περιορισμός του μπορεί να γίνει με σφραγιστικά υλικά κάτω του πατώματος σε συνδυασμό με έναν τρόπο αερισμού του χώρου κάτω από τα δάπεδα των κτιρίων (Saum et al,1990).

Το μεθάνιο είναι ένα άοσμο εύφλεκτο αέριο που εμφανίζεται ως ένα προϊόν αποσύνθεσης. Σχηματίζεται υπογείως, αλλά είναι πιο πιθανό να παραχθεί από την ύπαρξη μέρους υγειονομικής ταφής των αποβλήτων του νοικοκυριού. Η διαχείριση του μεθανίου χρίζει προσοχής καθώς είναι γνωστό ότι εισάγεται στα κτίρια σε εκρηκτικές συγκεντρώσεις.

Η υγρασία μπορεί να μπει σε ένα κτίριο από το υπέδαφος και να συμβάλει συνολικά στο φορτίο υγρασίας. Αυτό είναι ιδιαίτερα ένα πρόβλημα σε κτίρια στα οποία δεν υπάρχει φράγμα υδρατμών στα θεμέλια.

1.2.3 Η ποιότητα του αέρα σε κλειστούς χώρους

Καλής ποιότητας αέρας θεωρείται αυτός που είναι απαλλαγμένος από ρύπους που προκαλούν ενόχληση, δυσφορία ή προβλήματα υγείας στους ενοίκους. Η θερμοκρασία του αέρα, καθώς και η σχετική υγρασία επηρεάζουν τις συνθήκες άνεσης αλλά και την υγεία των ενοίκων.

Σε ένα χώρο μπορεί να υπάρχει σχεδόν απεριόριστος αριθμός ρύπων. Οι συγκεντρώσεις πολλών είναι τόσο πολύ χαμηλές που δεν μπορούν να μετρηθούν και οι τοξικολογικές επιδράσεις τους είναι σε μεγάλο βαθμό άγνωστες. Το έργο του προσδιορισμού και της αξιολόγησης του κινδύνου μεμονωμένων ρύπων, έχει γίνει μια σημαντική ερευνητική δραστηριότητα.

Ορισμένοι ρύποι μπορεί να είναι ανεκτοί σε χαμηλές συγκεντρώσεις, ενώ ερεθισμοί και οσμές συχνά παρέχουν έγκαιρη προειδοποίηση της επιδείνωσης των συνθηκών. Τα πρότυπα ποιότητας του αέρα, συνήθως βασίζονται στην εκτίμηση του κινδύνου για την υγεία και είτε καθορίζονται σε όρους μέγιστης επιτρεπόμενης συγκέντρωσης ή σε όρους μέγιστης επιτρεπόμενης δόσης. Οι συγκεντρώσεις των ρύπων που επιτρέπονται για βραχυπρόθεσμη έκθεση είναι συνήθως υψηλότερες από αυτές που τι επιτρέπονται για μακροχρόνια έκθεση. Τυπικά παραδείγματα περιλαμβάνουν «Οριακές τιμές» (TLV) (ACGIH 1990) 1-ώρας και 8 ωρών.

Η ανάγκη για ποιοτικό αέρα καθώς και η άνεση που βιώνει κάποιος σε έναν εσωτερικό χώρο με συγκεκριμένη ποιότητα αέρα είναι πολύ υποκειμενική και εξαρτάται από τις περιστάσεις. Στο βιομηχανικό τομέα, για παράδειγμα, τα υψηλότερα επίπεδα των οσμών και η θερμότητα μπορούν να είναι περισσότερο ανεκτά από ότι θα ήταν στο γραφείο ή το σπίτι.

Κατά κανόνα, τα πρότυπα ποιότητας του αέρα που σχετίζονται με την υγεία, θέτουν τις ελάχιστες απαιτήσεις για τη διασφάλιση της υγείας. Αυτές οι συγκεντρώσεις μπορεί να μην προβλέπουν αναγκαστικά την άνεση ή την απόδοση στη δουλειά ή στο σπίτι. Προσωρινή αναθεώρηση του ASHRAE Προτύπου 62 (1989) για τη συνιστώμενη μέγιστη συγκέντρωση για μια ποικιλία κοινών εσωτερικών ρύπων συνοψίζονται στον Πίνακα 1.3.

Contaminant	Typical indoor sources	Level of interest
Carbon Monoxide (CO) (leaky and unvented). Parking garages	Combustion appliances 9 ppm 8-hour TLV	3 ppm above outdoor level
Formaldehyde (HCHO) Insulation, furnishings	Pressed wood, (fibreboard)	120mg/m ³ (0.1 ppm)
Lead (Pb) Fuel additives	Paint dust	1.5mg/m ³
Nitrogen Dioxide (NO ₂)	Combustion appliances	100mg/m ³
Odours more Fungi mould VOC Sources	Occupants of occupants or visitors	Acceptable to 80% or more
Ozone Office machines Ozone generators	Electrostatic appliances	100mg/m ³ (50 ppb)
Particles Smoke Fragments	Dust	50mg/m ³
Radon (Rn)	Soil gas	4 pCi/litre
Sulphur Dioxide (SO ₂)	Unvented space heaters	80mg/m ³
Total Volatile Organic Compounds (TVOC's) Household products	Building materials Furnishings > 3000mg/m ³ (complaints)	<300mg/m ³ (good) 300 - 3000mg/m ³ (OK)

* Information based on proposals for revised ASHRAE Standard 62 (1996/97)

Πίνακας 1.3: Συγκεντρώσεις στόχοι για συγκεκριμένους ρύπους

Το εσωτερικό περιβάλλον σε οποιοδήποτε κτίριο είναι αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης μεταξύ της περιοχής, του κλίματος, του συστήματος κτιρίου (αρχικό σχέδιο και πιο πρόσφατες τροποποιήσεις στη δομή και τα μηχανικά συστήματα), των τεχνικών οικοδόμησης, των μολυσματικών πηγών (οικοδομικά υλικά και επιπλώσεις,

υγρασία, διαδικασίες και δραστηριότητες μέσα στο κτίριο, υπαίθριες πηγές), καθώς και των χρηστών του κτιρίου.

Η ποιότητα του αέρα στους εσωτερικούς χώρους, λοιπόν, καθορίζεται από ένα πλήθος παραμέτρων όπως:

- Ο ρυθμός εκπομπής των ρύπων.
- Οι τιμές της εσωτερικής θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας.
- Ο ρυθμός εναλλαγής του αέρα του εσωτερικού χώρου με το περιβάλλον.
- Ο θόρυβος, οι οσμές ή η ύπαρξη εξαιρετικά χαμηλής συχνότητας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Εσωτερικοί ρύποι προκύπτουν τόσο από εξωτερικές πηγές όσο και από εσωτερικές πηγές. Την ίδια στιγμή, οι εσωτερικοί ρύποι μπορούν να έχουν φυσική προέλευση ή μπορούν να προκύψουν από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Επιπλέον, οι πηγές ατμοσφαιρικού ρύπου μπορούν να διαφέρουν από το ένα κτίριο στο άλλο, ανάλογα με τον σχεδιασμό του κτιρίου και τον προορισμό του. Όταν στον εσωτερικό χώρο των κτιρίων παρατηρούνται υψηλές συγκεντρώσεις ρύπων, πάνω από τα ανεκτά - για την υγεία των ανθρώπων - όρια, τότε παρουσιάζονται και ιδιαίτερα προβλήματα υγείας.

Οι κυριότεροι εσωτερικοί ρύποι, οι οποίοι συνοψίζονται και στο Σχήμα 1.2 είναι οι παρακάτω:



Σχήμα 1. 2 - Σύνοψη των τυπικών εσωτερικών ρύπων

Το διοξείδιο του άνθρακα CO_2 , είναι προϊόν του μεταβολισμού (βλ. πίνακα 2). Επίσης είναι προϊόν καύσης, γι' αυτό και συναντάται σε μεγάλες συγκεντρώσεις σε χώρους μαγειρέματος ή σε χώρους που χρησιμοποιούνται συσκευές θέρμανσης χωρίς εξαερισμό. Η παρουσία του στον αέρα είναι 0,03%, αλλά, δεδομένου ότι το 5% που εκπνέουμε είναι διοξείδιο του άνθρακα, σε κλειστούς χώρους και μάλιστα πολυσύχναστους, όπου εκτελείται έντονη δραστηριότητα χωρίς ικανοποιητική

ανανέωση αέρα, η συγκέντρωση, όπως είναι φυσικό, αυξάνει. Γενικά θεωρείται μη τοξικό αέριο, το οποίο από μόνο του δεν δημιουργεί προβλήματα, ακόμα και σε μεγάλες συγκεντρώσεις. Το επίπεδο του διοξειδίου του άνθρακα χρησιμοποιείται για να αξιολογήσει την αποδοτικότητα του εξαερισμού. Επίπεδα υψηλότερα από 800 ppm (parts per million) δείχνουν ότι το ποσοστό εξαερισμού είναι ανεπαρκές. Εάν μάλιστα η τιμή του ανέλθει στο 5%, προκαλείται έντονη δυσφορία, ενώ, όταν η περιεκτικότητα του οξυγόνου O₂ πέσει στο 12%, παρατηρείται δυσκολία στην αναπνοή.

Οι εξωτερικές πηγές διοξειδίου του άνθρακα περιλαμβάνουν καπνούς εξατμίσεως οχημάτων, κοντινά καπνίζουσες καμινάδες ή άλλες εξατμίσεις.

Τα αποτελέσματα σε έκθεση χώρου με πολύ μεγάλο ποσοστό συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα είναι πονοκέφαλος, εφίδρωση, οπτική εξασθένιση και ρίγη. Τελικά, μεγάλες ποσότητες οδηγούν σε απώλεια συνείδησης.

Δραστηριότητα	Μεταβολικός ρυθμός (Watts)	Ρυθμός παραγωγής CO ₂ (l/s)
Καθιστική εργασία	100	0.004
Ελαφριά εργασία	150-300	0.006-0.012
Μέτρια εργασία	300-500	0.012-0.020
Βαριά εργασία	500-650	0.020-0.026
Πολύ βαριά εργασία	650-800	0.026-0.032

Πίνακας 1.4- Παραγωγή ενέργειας και ρυθμοί εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα για διάφορα επίπεδα μεταβολικής δραστηριότητας (βάσει BS 5925:1990)

Το μονοξείδιο του άνθρακα CO, ως προϊόν ατελών καύσεων, είναι άοσμο αέριο, υψηλής τοξικότητας. Η ύπαρξή του δηλαδή περνάει απαρατήρητη, εάν όμως συσσωρευτεί σε κλειστό χώρο, προκαλεί λιποθυμία και κατόπιν θάνατο. Μπορεί να προέλθει από συσκευές θέρμανσης που χρησιμοποιούν αέριο, λάδι, κάρβουνο ή ξύλο, ιδιαίτερα όταν η παροχή οξυγόνου ή η έξοδος των καυσαερίων περιορίζεται. Επίσης, κάθε ζωντανός οργανισμός εκπνέει μικρή ποσότητα μονοξειδίου του άνθρακα. Στην αγορά κυκλοφορούν οικονομικοί ανιχνευτές υψηλής ευαισθησίας, οι οποίοι προειδοποιούν στην παρουσία μονοξειδίου του άνθρακα.

Το όζον O₃ που είναι προϊόν της καύσης των Μηχανών Εσωτερικής Καύσης, γι' αυτό και η συγκέντρωσή του στον εξωτερικό αέρα κυμαίνεται μεταξύ 20-80% (Weschler et al (1989)). Είναι απαραίτητο στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, διότι λειτουργεί σαν ασπίδα έναντι της υπεριάδους ακτινοβολίας. Μέσα στα όρια όμως της βιόσφαιρας εκδηλώνει την ύπαρξή του ως επικίνδυνος ρυπαντής. Στους εσωτερικούς

χώρους ποσότητες πάνω από το φυσιολογικό προκαλούν αναπνευστικές ενοχλήσεις. Το όζον εκλύεται από φωτοτυπικά μηχανήματα, εκτυπωτές laser και εξοπλισμούς γραφείου. Οι περισσότερες από αυτές τις συσκευές διαθέτουν φίλτρα άνθρακα ώστε να ελαχιστοποιούν τις εκπομπές αυτές, αλλά χωρίς τακτική συντήρηση, οι εκπομπές τους μπορεί να ξεπεράσουν τα επιτρεπτά όρια. Οι [Carlo Ruiz et al \(1992\)](#) παρατήρησαν ότι καθώς το όζον περνά μέσω σχισμών από τα δομικά υλικά του κτιρίου, ιδιαίτερα από το τσιμέντο και τα τούβλα, μετασχηματίζεται σε οξυγόνο, σε ποσοστό όχι αμελητέο. Σημείωσαν επίσης ότι στα συστήματα μηχανικού αερισμού, το υλικό με το οποίο είναι φτιαγμένοι οι αγωγοί διανομής του αέρα επηρεάζει έντονα τον μετασχηματισμό αυτόν.

Φορμαλδεΐδη: Η φορμαλδεΐδη χρησιμοποιείται στην παρασκευή μοριοσανίδας και μονωτικού αφρού. Έλεγχοι για τις εκπομπές από τα εν λόγω προϊόντα έχουν καθιερωθεί σε ορισμένες χώρες. Η φορμαλδεΐδη είναι ερεθιστική και έχει συνδεθεί με αυξημένο κίνδυνο καρκίνου.

Υγρασία: Η υγρασία δημιουργείται κυρίως από τις δραστηριότητες των ενοίκων, όπως το πλύσιμο, το μαγείρεμα, το στέγνωμα των ρούχων. Είναι ένα σημαντικό στοιχείο της καύσης και γι' αυτό μπορεί παρουσιάζεται σε μεγάλες ποσότητες σε περιοχές όπου γίνεται μαγείρεμα με χρήση αερίου ή θέρμανση χωρίς αερισμό. Οι υδρατμοί συμπυκνώνονται σε ψυχρές επιφάνειες και μπορούν να προκαλέσουν σημαντική φθορά από της ανάπτυξης μούχλας.

Πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs): Οι VOC είναι καθορισμένες από την Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας ως οργανικές ενώσεις με σημείο βρασμού στην περιοχή 50 - 260 ° C (WHO 1989). Αυτές οι ενώσεις έχουν μια χαρακτηριστική έντονη οσμή και εκπέμπονται από τα υφάσματα επίπλωσης και τα χημικά προϊόντα οικιακής χρήσης. Ιδιαίτερα μετά την κατασκευή τους, αυτά τα προϊόντα εκπέμπουν σημαντικές ποσότητες πτητικών οργανικών συστατικών. Στον εσωτερικό αέρα παρουσιάζονται διάφορες ποικιλίες VOC. Για μερικές ενώσεις είναι γνωστή η τοξικότητά τους, ενώ για άλλες, οι επιδράσεις τους είναι άγνωστες. Η ανάλυση των οργανικών πτητικών ενώσεων συνήθως περιορίζεται στη μέτρηση της συνολικής περιεκτικότητας σε πτητικές οργανικές ενώσεις (TVOC) στον αέρα.

Το διοξείδιο του θείου SO₂ παράγεται κατά την καύση των χαμηλής ποιότητας υγρών καυσίμων. Στα αστικά κέντρα η συγκέντρωσή του κυμαίνεται μεταξύ 0,1 και 5 mg/m³. Συγκεντρώσεις μεγαλύτερες των 0,5 είναι εξαιρετικά επικίνδυνες για τον άνθρωπο. Για το περιβάλλον των μεγάλων πόλεων, λόγω των τεράστιων ποσοτήτων υδρογονανθράκων που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ενέργειας, συνιστά έναν

επικινδυνότητα παράγοντα, δεδομένου ότι αιωρείται σε πολύ χαμηλό ύψος μέσα στη βιόσφαιρα και , όταν βρέξει, παρασύρεται από τις σταγόνες της βροχής (όξινη βροχή), όπου πλέον δρα διαβρωτικά για τα φυτά, τα δέντρα και για τα μνημεία της περιοχής.

Σκόνες: Πρόκειται για σωματίδια με πολύ μικρά φυσικά μεγέθη (διαστάσεις, βάρος), διασκορπισμένα στην ατμόσφαιρα σε διάφορες συγκεντρώσεις και συνήθως είναι:

- α. Ανόργανα συστατικά (άμμος, αιθάλη, αμίαντος, τσιμέντο, τέφρα κ.λπ.)
- β. Οργανικά συστατικά (τεμάχια φυτών, μικροί σπόροι, γύρη, αλεύρι, τρίχες, χνούδια κ.λπ.)

Οι σκόνες έχουν μέση διάμετρο 0,5 έως 1.000 μm και διαχωρίζονται πρόχειρα σε ψιλές, μέσες και χονδρές. Η ταχύτητα με την οποία κινούνται είναι ανάλογη με το μέγεθος και την πυκνότητά τους. Επειδή ο όγκος τους είναι πολύ μεγάλος σε σχέση με το βάρος τους, μπορούν να αιωρούνται στην ατμόσφαιρα ή ακόμη και να παρασύρονται από ανοδικά ρεύματα σε υψηλότερα στρώματα της ατμόσφαιρας και μετακινούμενα με τη δράση ανέμων να εμφανίζονται σε άλλες περιοχές μακριά από αυτές που δημιουργήθηκαν.

Στις μεγάλες πόλεις ο αριθμός των κόκκων σκόνης κυμαίνεται από 5×10^4 έως 3×10^6 ανά m^3 (Πίν. 1.5). Πρέπει να λαμβάνεται, ως παράγοντας ρύπανσης, σοβαρά υπόψη, δεδομένου ότι οι σκόνες προκαλούν, σε μεγάλες συγκεντρώσεις, αναπνευστικά και αλλεργικά προβλήματα στον άνθρωπο. Επίσης, η ύπαρξή τους προκαλεί φθορές και βλάβες σε ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά μηχανήματα.

ΜΕΓΕΘΟΣ ΚΟΚΚΩΝ μm	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ μm	ΑΝΑΛΟΓΙΑ ΚΑΤΑ ΒΑΡΟΣ = ΑΝΑΛΟΓΙΑ ΚΑΤ' ΟΓΚΟ (%)	ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ σε χιλιάδες ανά m^3 ($\text{A}/\text{m}^3 \cdot 1000$)
10 - 30	20	28	50
5 - 10	7,5	52	1750
3 - 5	4,0	11	2500
1 - 3	2,0	6	10700
0,5 - 1	0,75	2	67000
0 - 0,5	0,25	1	910000

Πίνακας 1.5 - Μέση κατανομή σκόνης σε μια τυπική μεγαλούπολη

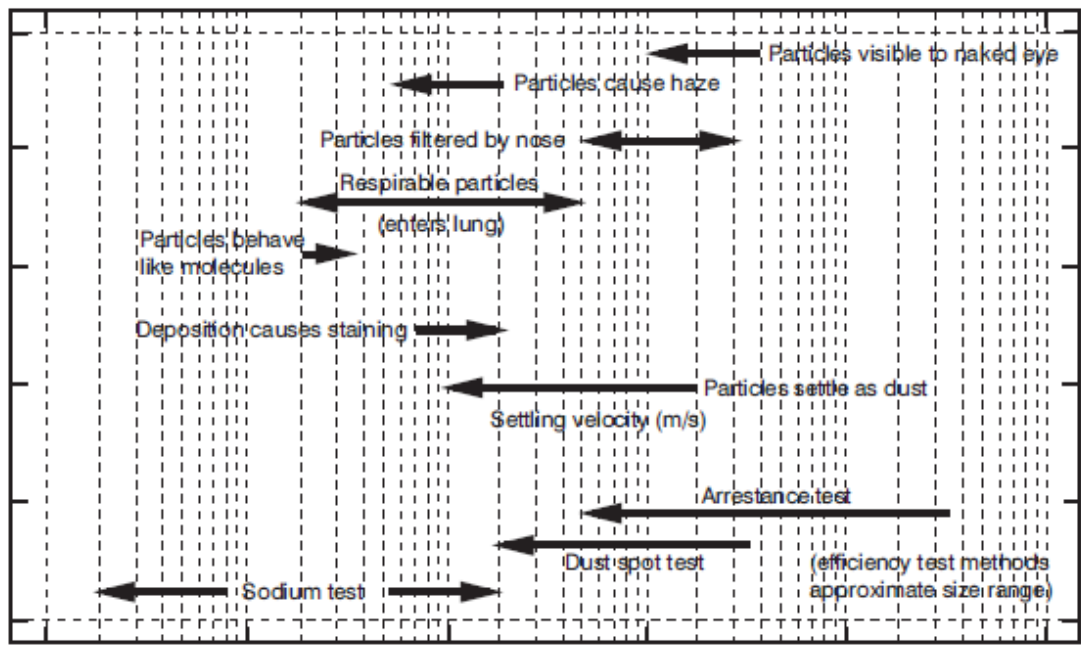
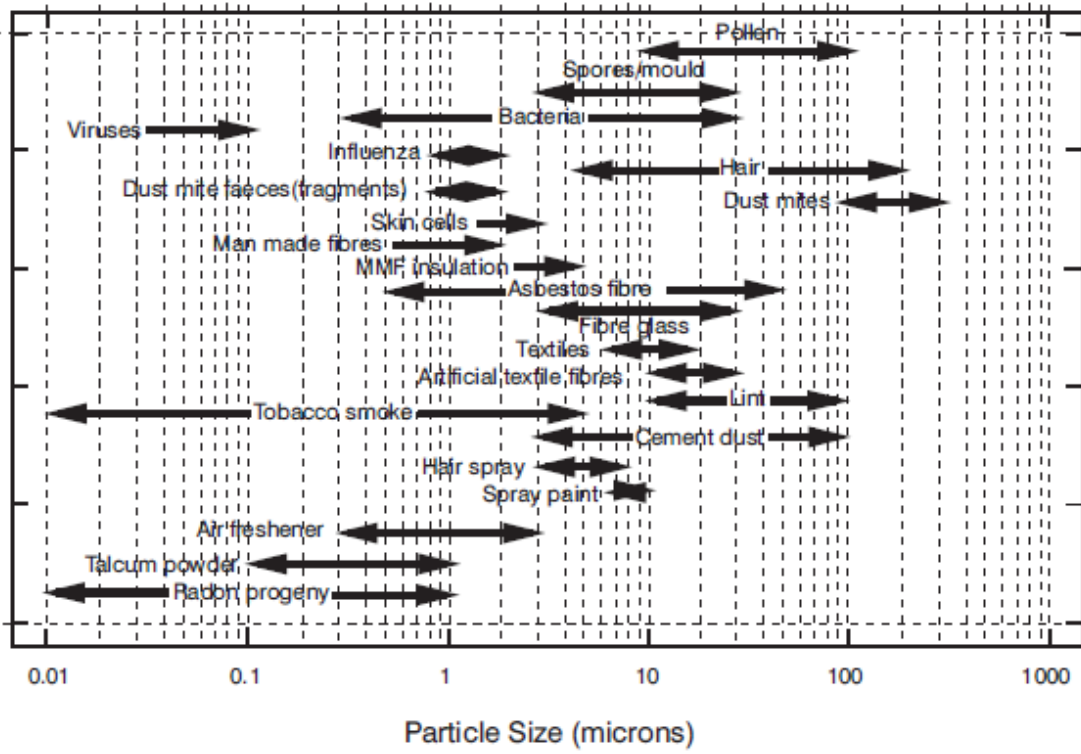
Μικροοργανισμοί και μικρά σωματίδια: Στον αέρα αιωρείται και πλήθος μικροοργανισμών που έχουν ζωική ή φυτική προέλευση (μικρόβια, ιούς, βακτηρίδια, θραύσματα εντόμων, κ.λπ.), καθώς και προϊόντα καπνού, αναθυμιάσεις από εξατμίσεις, ορυκτές ουσίες και ίνες. Ο πολλαπλασιασμός των μικροοργανισμών

γίνεται με μεγάλη ταχύτητα, ιδίως όπου υπάρχει έντονη ανθρώπινη δραστηριότητα (μεγαλουπόλεις), όπου συγκεντρώσεις μικροοργανισμών της τάξης των 1.000-10.000 ανά m^3 είναι ανεκτοί. Τα μικρά σωματίδια τείνουν να παραμένουν στον αέρα και εμφανίζουν ιδιότητες διάχυσης, παρόμοια με τις αέριες ενώσεις. Μικροσκοπικά σωματίδια μπορούν να εγκατασταθούν στους πνεύμονες προκαλώντας προβλήματα που σχετίζονται με την υγεία. Το μέγεθος των σωματιδίων και η συγκέντρωσή τους στην ατμόσφαιρα μπορεί να κυμαίνεται σε μέγεθος από λιγότερο από 0,01 μm έως πάνω από 100 μm . Η συγκέντρωση των σωματιδίων είναι συνήθως εκφρασμένη σε όρους μάζας των σωματιδίων/μονάδα όγκου του αέρα (mg/m^3). Αυτό ορίζεται ως η συνολική συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων. Τιμές συγκεντρώσεων για αγροτικές και ημιαστικές εξωτερικό αέρα είναι από 0,05 έως 0,5 mg/m^3 ενώ για βιομηχανικές περιοχές δύναται να υπάρχουν συγκεντρώσεις άνω των 10 mg/m^3 . Παραδείγματα κοινών σωματιδίων και ιδιότητές τους, με βάση το υλικό που δημοσιεύθηκε από CIBSE (1988), ASHRAE (1989) και την Αμερικανική Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος (Owen et al 1990), συνοψίζονται στο σχήμα 1.3.

Οσμές: Δημιουργούνται από φυσικές ή χημικές δραστηριότητες και έχουν σχέση με βιολογικές και άλλες λειτουργίες του ανθρώπου, καθώς επίσης από αναθυμιάσεις υλικών, καύσεις κ.λπ. Παρότι η ενόχληση που προκαλούν οι οσμές είναι υποκειμενική, πρέπει να σημειωθεί ότι η διαρκής παραμονή σε χώρους με έντονες οσμές πολλές φορές είναι επικίνδυνη για την υγεία (λιποθυμικές τάσεις, αλλεργικές αντιδράσεις κ.α.).

Σχεδόν όλα τα αντικείμενα που χρησιμοποιούνται στην καθημερινή ζωή εκπέμπουν αέρια, κυρίως όταν αυτά είναι καινούργια. Ο ιματισμός, οι επιπλώσεις, οι κουρτίνες, οι τάπητες κ.ά. είναι μερικά από τα καθημερινά αντικείμενα. Οι διαδικασίες καθαρισμού, όπως το σκούπισμα ή το ξεσκόνισμα, μπορεί να μειώνουν το επίπεδο μεγάλων μορίων, ταυτόχρονα όμως αυξάνουν τα επίπεδα μικρότερων, που είναι και πιο αναπνεύσιμα. Οι χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται ως απορρυπαντικά είναι συχνά τοξικές, ενώ οι προμήθειες για τον εξοπλισμό γραφείου μπορεί να είναι επιβλαβείς.

Τα κτίρια είναι σύνθετοι χώροι (περιβάλλοντα) που μπορούν να παγιδέψουν και να συγκεντρώσουν ρύπους, ενώ συχνά τους παράγουν. Οι εξωτερικοί ρύποι βρίσκουν τρόπο διείσδυσης μέσω της ανανέωσης του αέρα αλλά και από έλλειψη φιλτραρίσματος του κλιματιζόμενου αέρα. Εφόσον εξασφαλιστεί η επαρκής και σταθερή παροχή εξωτερικού (νωπού) αέρα, τα εσωτερικά προβλήματα ρύπανσης εξαλείφονται.



Σχήμα 1.3 – Κοινά σωματίδια και ιδιότητές τους

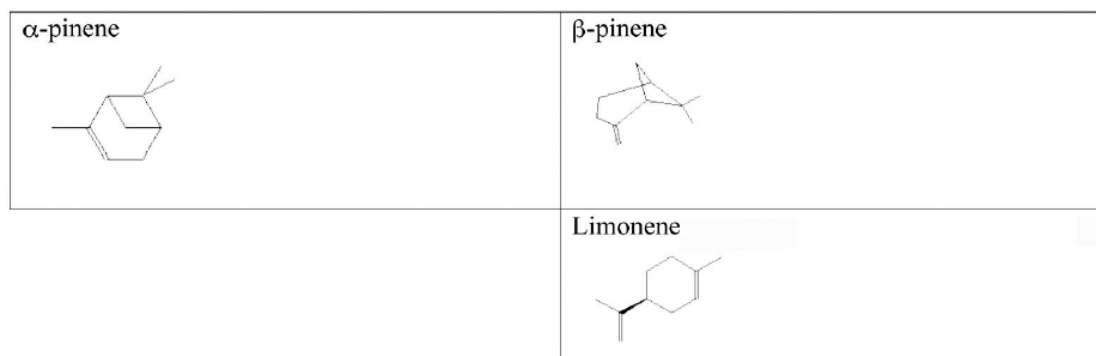
1.2.4 Τερπένια - Οι οργανικές πτητικές ενώσεις στις οποίες εστιάζεται η μελέτη

Τα τερπένια είναι υδρογονάνθρακες βιολογικής προέλευσης που σχηματίζονται από αλυσίδες άνθρακα. Προέρχονται συνήθως από το ισοπρένιο [$\text{CH}_2 = \text{C}(\text{CH}_3)\text{CH} = \text{CH}_2$] (κανόνας ισοπρενίου, Wallach 1887). Οι συντελεστές μετατροπής για το α -πινένιο και λιμονένιο είναι: $1 \text{ ppb} = 5,654 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$ (στους $20 \text{ }^\circ\text{C}/760 \text{ mm Hg}$). Τα τερπένια είναι ευρέως διαδεδομένα στη φύση, κυρίως σε φυτά (ιδίως κωνοφόρα) ως συστατικά των αιθέριων ελαίων, αν και εκπέμπονται επίσης από κάποια έντομα όπως οι πεταλούδες. Αποτελούν τα κύρια συστατικά της ρητίνης, και του τερεβινθελαίου που παράγεται από τη ρητίνη. Το όνομα "τερπένια" προέρχεται από την ελληνική λέξη "τέρπω" (προκαλώ ευχαρίστηση).

Τα τερπένια και τα τερπενοειδή είναι τα κύρια συστατικά των αιθέριων ελαίων πολλών τύπων φυτών και λουλουδιών. Αιθέρια έλαια χρησιμοποιούνται ευρέως ως φυσικά πρόσθετα γεύσης στα τρόφιμα, στην αρωματοποιία.

Συνθετικές παραλλαγές και παράγωγα φυσικών τερπενίων και τερπενοειδών επεκτείνουν σε μεγάλο βαθμό την ποικιλία των αρωμάτων που χρησιμοποιούνται στην αρωματοποιία και τις γεύσεις που χρησιμοποιούνται σε πρόσθετα τροφίμων. Τα τερπένια στα οποία εστιάζεται η μελέτη ανήκουν στην κατηγορία των μονοτερπενίων, δηλαδή αποτελούνται από δύο μονάδες ισοπρενίου και έχουν τον μοριακό τύπο $\text{C}_{10}\text{H}_{16}$.

Αυτά είναι τα:



Η πιο κοινή ομάδα τερπενίων είναι τα μονοτερπένια. Τα πιο πτητικά μονοτερπένια εκπέμπονται σε μεγάλες ποσότητες από την βλάστηση (Guenther et al., 2000). Για παράδειγμα, οι ουσίες α - και β -πινένιο που είναι μονοτερπένια, είναι υπεύθυνες για τη χαρακτηριστική μυρωδιά της ρητίνης πεύκου.

Η παρουσία ενός ή περισσοτέρων $\text{C} = \text{C}$ -διπλών δεσμών άνθρακα εντός των δομών τους, καθιστά τα τερπένια ιδιαίτερα αντιδραστικά με ατμοσφαιρικά συστατικά όπως το όζον, τα νιτρικά και οι ρίζες υδροξυλίου οδηγώντας σε διάφορα προϊόντα οξείδωσης. Κατά συνέπεια, τα τερπένια έχουν θεωρηθεί ως σημαντικές πρόδρομες ουσίες για σχηματισμό φωτοχημικού όζοντος σε εξωτερικούς χώρους (Andreae and Crutzen, 1997).

Σε περιορισμένους χώρους τα τερπένια μπορούν να υποβληθούν σε παρόμοιες αντιδράσεις παρουσία όζοντος και άλλων αντιδραστικών αερίων. Οι Weschler και Shields (1996, 1997, 1999) έχουν διερευνήσει σχολαστικά τις αντιδράσεις των τερπενίων και του όζοντος σε εσωτερικές συνθήκες, καθώς και το ρόλο τους ως πηγή σωματιδίων και ριζών υδροξυλίου σε εσωτερικούς χώρους. Μελέτες δείχνουν ότι οι αντιδράσεις μεταξύ επιλεγμένων τερπενίων (π.χ. λιμονενίου) και όζοντος σε εσωτερικά περιβάλλοντα ενδέχεται να παράγουν μια σημαντική αύξηση του αριθμού και της συγκέντρωσης “υπο-micron” σωματιδίων.

Κατά τη διάρκεια των δύο τελευταίων δεκαετιών, τα τερπένια έχουν γίνει όλο και πιο πανταχού παρόντα στους εσωτερικούς χώρους, λόγω της εκπομπής τους από πολλές πηγές, συμπεριλαμβανομένης της ξυλείας, των αρώματα και των προϊόντων καθαρισμού (Wolkoff et al., 2000). Πράγματι, έχει αναφερθεί ότι υπάρχουν σε συγκεντρώσεις 5-7 φορές υψηλότερες σε εσωτερικούς από ό, τι σε εξωτερικούς χώρους. (ιδιαίτερα στο εύρος των χαμηλών ppb (μέρη ανά δισεκατομμύριο κατά όγκο) (Saarela et al., 2003). Μαζί με αρωματικές ενώσεις (π.χ. βενζόλιο και τολουόλιο), τα τερπένια αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος των πτητικών οργανικών ενώσεων σε εσωτερικούς χώρους.

Λόγω της ευχάριστης οσμής τους, τα τερπένια χρησιμοποιούνται εκτενώς ως συστατικά σε πολλά οικιακά προϊόντα, ιδίως σε προϊόντα καθαρισμού και αποσμητικά χώρου. Επιπλέον, χρησιμοποιούνται ευρέως τερπένια σε διαλύτες, πίνακες ζωγραφικής, αποσμητικά και βερνίκια. Η ποσότητα των τερπενίων στα διάφορα προϊόντα οικιακής χρήσης κυμαίνεται από 0,2 έως 26% (Nazaroff et al., 2006). Ο πίνακας 1.6 περιλαμβάνει μερικές από τις πιο κοινές ενώσεις μονοτερπενίων και τις αντίστοιχες εσωτερικές τους πηγές. Τα α-πινένιο, β-πινένιο, 3-καρένιο και λιμονένιο είναι τα πιο κοινά "εσωτερικά" τερπένια, με το λιμονένιο να είναι το πιο συχνά ανιχνεύσιμο σε εσωτερικούς χώρους (Weschler και Shields, 1999).

Terpene compounds	Indoor sources
Limonene	Natural paints; floor wax; air freshener; cleaning agents; wood-based products.
α-pinene	Wood-based materials; textile ; cleaning agents; floor wax and polishes; air fresheners; turpentine.
β-pinene	Wood-based products; floor wax; cleaning agents.
Camphene	Cleaning agents; air fresheners.
3-carene	Wood-based materials; Cleaning agents; floor wax and polishes.
α-terpinene	Major constituent of pine oil.

Πίνακας 1.6 – Εσωτερικές πηγές κοινών τερπενίων (Nazaroff et al., 2006; Weschler and Shields, 1997; Wolkoff et al. 2000)

Πολλά έγγραφα αναφέρουν τυπικά συγκεντρώσεις σε εσωτερικούς χώρους για το λιμονένιο μεταξύ ~ 2 και 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (De Bortoli et al., 1986; Montgomery and Kalman, 1989; Wallace et al., 1991; Fellin and Otson,). Ωστόσο, μια συγκέντρωση λιμονενίου ~ 975 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ μετρήθηκε μετά την εφαρμογή ψεκασμού κεριού σε ένα τραπέζι (Wainman et al., 2000) και περίπου ~ 1950 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, κατά το ξεφλούδισμα ενός πορτοκαλιού (Langer et al., 2007).

Στο πλαίσιο της AIRMEX (European Indoor Air Monitoring and Exposure Assessment Project) (Κοτζιάς et al., 2005, η ιστοσελίδα του έργου AIRMEX), εκστρατείες μετρήσεων πραγματοποιήθηκαν σε διάφορες ευρωπαϊκές πόλεις για την παρακολούθηση των δεικτών I/O (Indoor/Outdoor) και των συγκεντρώσεων έκθεσης σε επιλεγμένες πτητικές οργανικές ενώσεις, συμπεριλαμβανομένων του λιμονενίου και του α -πινενίου (Πίνακας 1.7) σε συνολικά περισσότερα από 1000 δείγματα τα οποία ελήφθησαν από περίπου 80 δημόσια κτίρια, όπως σχολεία και νηπιαγωγεία. Στις περισσότερες πόλεις, οι εκστρατείες μέτρησης διεξήχθησαν κατά τη διάρκεια διαφορετικών εποχών για να αξιολογηθούν πιθανές διακυμάνσεις.

Όρια ερεθισμού για τα α -πινένιο και λιμονένιο.

Έγινε μια βιοδοκιμασία σε ποντίκια προκειμένου να μετρηθούν οι αντιδράσεις των αεραγωγών, δηλαδή ο πνευμονικός ερεθισμός και η βρογχοσυστολή εξ' αιτίας του λιμονενίου και του α -πινενίου. Οι τιμές RD50 (η συγκέντρωση που προκαλεί μείωση κατά 50% του αναπνευστικού ρυθμού) είναι χρήσιμες για την εκτίμηση των επιπέδων προστασίας για τον γενικό πληθυσμό (Kuwabara et al, 2007)(Nielsen et al, 2007b). Οι τιμές παρατίθενται στον Πίνακα 1.7. Οι RD50 τιμές εάν πολλαπλασιασθούν με 0,03 δίνουν μια χονδρική εκτίμηση του σχετικού OEL (ορίου έκθεσης). Η φορμαλδεΐδη, ένα γνωστό προϊόν από την οζονόλυση των τερπενίων (Atkinson and Arey, 2003), προστίθεται για σύγκριση.

Υπάρχει αυξημένη ανησυχία για τις πιθανές επιπτώσεις στην υγεία που έχει η χημική σύσταση του εσωτερικού αέρα, και ειδικότερα τα προϊόντων που προέρχονται από την οζονόλυση των τερπενίων (π.χ. λιμονένιο και α -πινένιο). Απαιτείται περισσότερη έρευνα προτού οριστικοποιηθούν συμπεράσματα (SCHER, 2007). Πρόσφατα ευρήματα, τόσο επιδημιολογικά και πειραματικά, δείχνουν ότι τα προϊόντα της οζονόλυσης θα μπορούσαν να προκαλέσουν αύξηση των αναφορών για αίσθηση ερεθισμού, αν και τα αποτελέσματα θα πρέπει να τεκμηριωθούν σε πειράματα πλήρους κλίμακας. Δεν υπάρχουν βιβλιογραφικά στοιχεία διαθέσιμα για τις δυνητικές μακροπρόθεσμες επιπτώσεις στην υγεία.

Compound	RD50	0.03xRD50	Pulmonary irritation	Tentative indoor guideline
(-)- α -pinene	6302	189	no	2
(+)- α -pinene	2125	64		0.6 0,8
S(-)-Limonene	1467	44	no	0.4
R-(+)-Limonene	1076	32		0.3 -0.8
Terpenes				0.04 or 0.4
Formaldehyde	4	0.1	no	0.1

Πίνακας 1.7 – Οι τιμές RD50 (ppm) του α -πινενίου και λιμονενίου και πιλοτικές κατευθυντήριες γραμμές (ppm).

1.2.5 Αιτίες του συνδρόμου «άρρωστου κτιρίου»

Η κακή ποιότητα του αέρα στα κτίρια εκδηλώνεται μερικές φορές με τη μορφή « Sick Building Syndrome » (SBS), δηλαδή ελαφρών συμπτωμάτων αδιαθεσίας των ενοίκων του κτιρίου κατά τη διάρκεια του χρόνου παραμονής τους σε αυτό. Τα τυπικά συμπτώματα περιλαμβάνουν λήθαργο, πονοκεφάλους, έλλειψη συγκέντρωσης, καταρροή, ξηρό λαιμό και ερεθισμό στα μάτια και το δέρμα. Περιβάλλοντα που περιέχουν επιβλαβείς ρύπους μπορεί να έχουν μακροπρόθεσμα μόνιμες αρνητικές συνέπειες στην υγεία των ενοίκων. Παρά τις πολυάριθμες έρευνες και τις διασκέψεις που έχουν γίνει, οι πραγματικές αιτίες του συνδρόμου «άρρωστου κτιρίου» παραμένουν αδιευκρίνιστες. Εμπειρογνώμονες έχουν αναπτύξει διαφορετικές θεωρίες ως προς το βασικό αίτιο δημιουργίας του συνδρόμου. Κάποιοι υποστηρίζουν ότι ευθύνεται η έκλυση χημικών ουσιών από τα δομικά υλικά, άλλοι πιστεύουν πως κύρια αιτία είναι η ανάπτυξη μυκήτων στο σύστημα, άλλοι πως φυσικοί παράγοντες, όπως υγρασία, θερμοκρασία ή ο φωτισμός αποτελούν τη γενετήσια αιτία του συνδρόμου, ενώ, τέλος υπάρχει και η θεωρία πως το ίδιο το σύστημα κλιματισμού και εξαερισμού αποτελεί την αιτία.

Έρευνες που πραγματοποιήθηκαν το 1983 στις Ηνωμένες Πολιτείες από το εθνικό ίδρυμα για την επαγγελματική ασφάλεια και την υγεία (National Institute for Occupational Safety and Health) απέδειξαν πως κύριος παράγοντας περίπου στα μισά από τα κτίρια είναι ο ανεπαρκής εξαερισμός (βλ. Πίνακα 1.8)

Τα συμπτώματα είναι πιο κοινά σε κτίρια με κεντρικά συστήματα κλιματισμού και μηχανικού εξαερισμού. Πέντε χαρακτηριστικά γνωρίσματα οικοδόμησης συνδέονται με το σύνδρομο «άρρωστου κτιρίου»:

- Μηχανική θέρμανση, εξαερισμός και συστήματα κεντρικού κλιματισμού αέρα
- Χρήση υλικών και εξοπλισμού που εκπέμπουν διάφορα αέρια και καπνούς
- Φωτισμός φθορισμού που μπορεί να παράγει φωτοχημική αιθαλομίχλη
- Εφαρμογή μέτρων διατήρησης ενέργειας
- Έλλειψη μεμονωμένου ελέγχου των περιβαλλοντικών όρων

Σύστημα αερισμού	Ρυθμός αερισμού (πολύ υψηλός, πολύ χαμηλός) Κακή διανομή του αέρα Σύστημα αερισμού δεν λειτουργεί Κλιματισμός Κακή διήθηση Κακή συντήρηση
Κτιριακοί ρύποι	Αμίαντος Διοξείδιο του Άνθρακα Μονοξείδιο του Άνθρακα Σκόνη Φορμαλδεΰδη Σπόροι μυκήτων Υγρασία (πολύ υψηλή, πολύ χαμηλή) Ιόντα Οσμές Εξωτερικοί ρύποι: Όζον Γύρη Ραδόνιο Καπνός Πτητικές Οργανικές Ενώσεις
Ένοικοι	Ηλικία Φύλο Γενική κατάσταση υγείας Δραστηριότητα
Διάφορα	Τύπος κτιρίου Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία Έλλειψη περιβαλλοντικών ελέγχων Φωτισμός Θόρυβος Ψυχολογικοί παράγοντες Στρές Τερματικά οπτικής απεικόνισης - οθόνες

Πίνακας 1.8: Παράγοντες που έχουν ερευνηθεί για το «Σύνδρομο Άρρωστου Κτιρίου»

Σε μια προσπάθεια να κατανοήσουμε τα αίτια της άρρωστα κτίρια , πολλές παράμετροι έχουν διερευνηθεί. Τυπικές παράμετροι που διερευνώνται παρατίθενται στον Πίνακα 1.4 ([Liddament 1990](#)) . Στη συνέχεια θα εξετασθούν λεπτομερέστερα μερικά από τα αποτελέσματα αυτών των χαρακτηριστικών γνωρισμάτων.

Από τη συνεχιζόμενη έρευνα και τις παρατηρήσεις, είναι σαφές ότι ο αερισμός παρουσιάζει μία μόνο πτυχή ενός πολύ σύνθετου προβλήματος. Ο ρόλος που διαδραματίζει ο αερισμός φαίνεται να είναι πιο σημαντικός όταν οι ρυθμοί αερισμού είναι πολύ χαμηλοί.

Κεφάλαιο 2

1. Ο αερισμός των κτιρίων

2.1.1.Γενικά

Ο αερισμός διατελεί έναν σημαντικό ρόλο στη διατήρηση της καλής ποιότητας του εσωτερικού αέρα και συγχρόνως τη διατήρηση της θερμικής άνεσης. Καθώς πολύς χρόνος αναλώνεται μέσα σε κτιριακές εγκαταστάσεις, έχουν γίνει προσπάθειες με στόχο την επίτευξη ενός βέλτιστου εσωτερικού περιβάλλοντος, το οποίο θα είναι υγιές, εύοσμο και θερμικά άνετο.

Ο αερισμός, όπως αναφέρθηκε, είναι απαραίτητος για την υγεία και την άνεση των ενοίκων των κτιρίων. Συγκεκριμένα απαιτείται για την αραίωση και την απομάκρυνση των ρύπων που εκπέμπονται από αναπόφευκτες πηγές, όπως εκείνους που προέρχονται από τον μεταβολισμό και από τις βασικές δραστηριότητες των ενοίκων. Ο αερισμός αντιπροσωπεύει μόνο μία όψη της ποιότητας του αέρα στο κτίριο και δεν θα πρέπει να παραβλέπεται ο έλεγχος των πηγών προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν οι συγκεντρώσεις των ρύπων σε ένα χώρο. Ρύποι που μπορούν να αποφευχθούν θα πρέπει να εξαλείφονται.

Γενικά, οι ανάγκες εξαερισμού εξαρτώνται από την κατοχή και χρήση του κτιρίου. Είναι πολύ σημαντικό να γίνει κατανοητή η πολυπλοκότητα του αερισμού και πώς αυτή επηρεάζεται από την ίδια τη δομή του κτιρίου. Πρόθεση αυτού του κεφαλαίου είναι να εξετάσει το ρόλο του αερισμού και τη συμβολή του σε ένα υγιές περιβάλλον μέσα στα κτίρια, καθώς και την εισαγωγή στην τρέχουσα φιλοσοφία του αερισμού στα κτίρια.

2.1.2 Ορισμός και σκοπιμότητα του αερισμού

Οι ορισμοί που καλύπτουν τον αερισμό και τις ροές αέρα μέσα και έξω από ένα χώρο περιλαμβάνουν:

Σκόπιμος αερισμός: *Ο αερισμός είναι η διαδικασία με την οποία «καθαρός» αέρας (σε κανονικές συνθήκες εξωτερικός αέρας) παρέχεται σκοπίμως σε ένα χώρο και συγχρόνως απομακρύνεται ο αέρας που καταλάμβανε το χώρο.*

Διείσδυση αέρα: Συμπληρωματικά του σκόπιμου αερισμού, ο αέρας αναπόφευκτα εισέρχεται σε ένα κτίριο με την ανεξέλεγκτη ροή μέσα από τυχαία ή ακούσια κενά και ρωγμές στο κελύφος του κτιρίου. Αντίστοιχα όταν υπάρχει απώλεια αέρα από περικλειστο χώρο, ονομάζεται « διαφυγή ». Το ποσοστό της διείσδυσης αέρα εξαρτάται από το πορώδες του κελύφους του κτιρίου και το μέγεθος των φυσικών

κινητήριων δυνάμεων του ανέμου και της θερμοκρασίας. Ανοίγματα εξαερισμού και άλλα ανοίγματα που αποτελούν μέρος του σχεδίου αερισμού, μπορούν επίσης να γίνει διαδρομές για ακούσια ροή αέρα, όταν οι πιέσεις που ασκούνται σε αυτά τα ανοίγματα κυριαρχούνται από τις καιρικές συνθήκες.

Ο αερισμός χρειάζεται προκειμένου να παρέχεται οξυγόνο για τον ανθρώπινο μεταβολισμό και προκειμένου να διαλύονται ρύποι του μεταβολισμού (διοξείδιο του άνθρακα και οσμές). Επίσης βοηθά στη διατήρηση καλής ποιότητας αέρα στο εσωτερικό ενός χώρου, διαλύοντας και απομακρύνοντας άλλους ρύπους που εκπέμπονται. Ο αερισμός επίσης χρησιμοποιείται για δροσισμό (κυρίως σε κατοικίες) και για παροχή οξυγόνου σε συσκευές καύσεως. Ο καλός αερισμός συμβάλλει σημαντικά στην υγεία και άνεση των ενοίκων του κτιρίου. Για τις τεχνολογικές εφαρμογές έχουν καταρτισθεί τυποποιημένοι πίνακες που καθορίζουν τα ελάχιστα επιτρεπτά όρια για την ανανέωση του αέρα σε χώρους με διάφορες δραστηριότητες, λαμβάνοντας υπόψη τις παραμέτρους όπως τον όγκο του χώρου, την εξωτερική θερμοκρασία, τη χρήση του χώρου και κυρίως την απαγόρευση ή όχι το κάπνισμα στους συγκεκριμένους χώρους (Πίνακας 2.1).

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΞΩΤΕΡ. ΑΕΡΑ (°C)	ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΝΑΝΕΩΣΕΩΝ ΣΕ ΧΩΡΟΥΣ ΠΟΥ ΤΟ ΚΑΠΝΙΣΜΑ :	
	ΑΠΑΓΟΡΕΥΕΤΑΙ	ΕΠΙΤΡΕΠΕΤΑΙ
-20	28	50
-15	52	1750
-10	11	2500
-5	6	10700
0 έως 26	2	67000
26 και άνω	1	910000

Πίνακας 2.1 - Ελάχιστες ανανεώσεις αέρα αιθουσών παραμονής ανθρώπων
(κατά DIN 1946 A8)

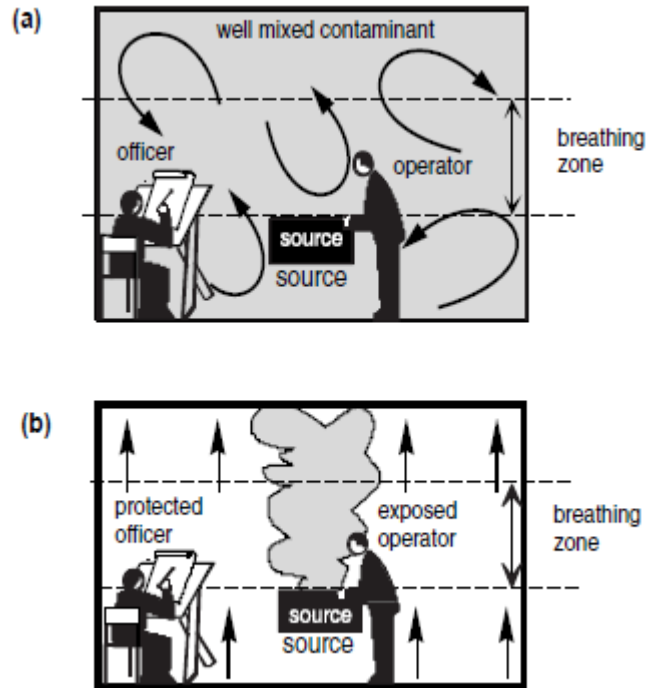
2.1.3. Τρόποι με τους οποίους επιτυγχάνεται ο αερισμός

Ο αερισμός επιτυγχάνεται με την εισαγωγή των «καθαρού» αέρα σε ένα χώρο. Αυτός ο αέρα είτε αναμιγνύεται με τον αέρα που ήδη υπάρχει στο χώρο ώστε να γίνει «ανάμειξη» ή «αραίωση» του υπάρχοντος αέρα, ή χρησιμοποιείται για να «εκτοπίσει» τον αέρα του χώρου, να προκαλέσει «μετατόπιση» του αέρα (αερισμό

τύπου «ροής εμβόλου»). Αυτές οι δύο τεχνικές δίνουν χαρακτηριστικά διαφορετικά προφίλ ρύπων.

Αερισμός ανάμιξης: Η ανάμιξη διεγείρεται από φυσική τύρβη στη ροή του αέρα και (στην περίπτωση του μηχανικού αερισμού) από το σχεδιασμό συστήματος παροχής αέρα. Εάν η ανάμιξη είναι τέλεια, η συγκέντρωση ρύπων είναι ομοιόμορφη σε όλο το χώρο. Η σχέση μεταξύ ρυθμού αερισμού και συγκέντρωσης του ρύπου (υποθέτοντας σταθερό ρυθμό εκπομπής) απεικονίζεται στο Σχήμα 2.2 (α).

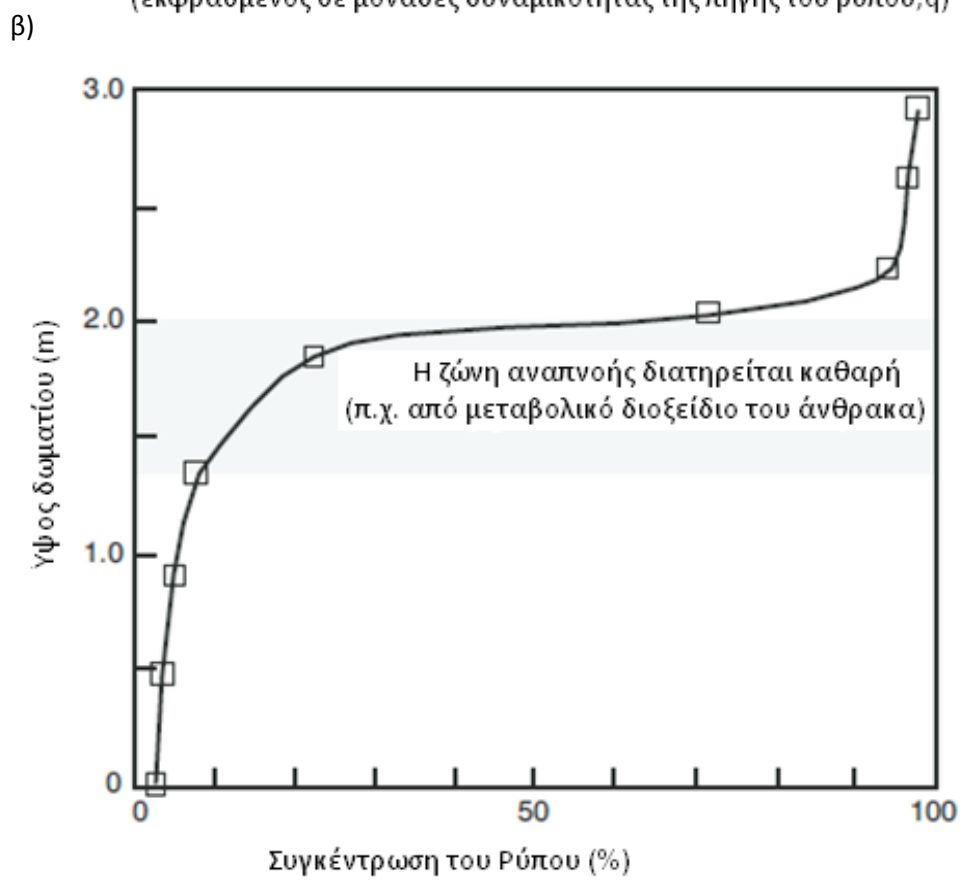
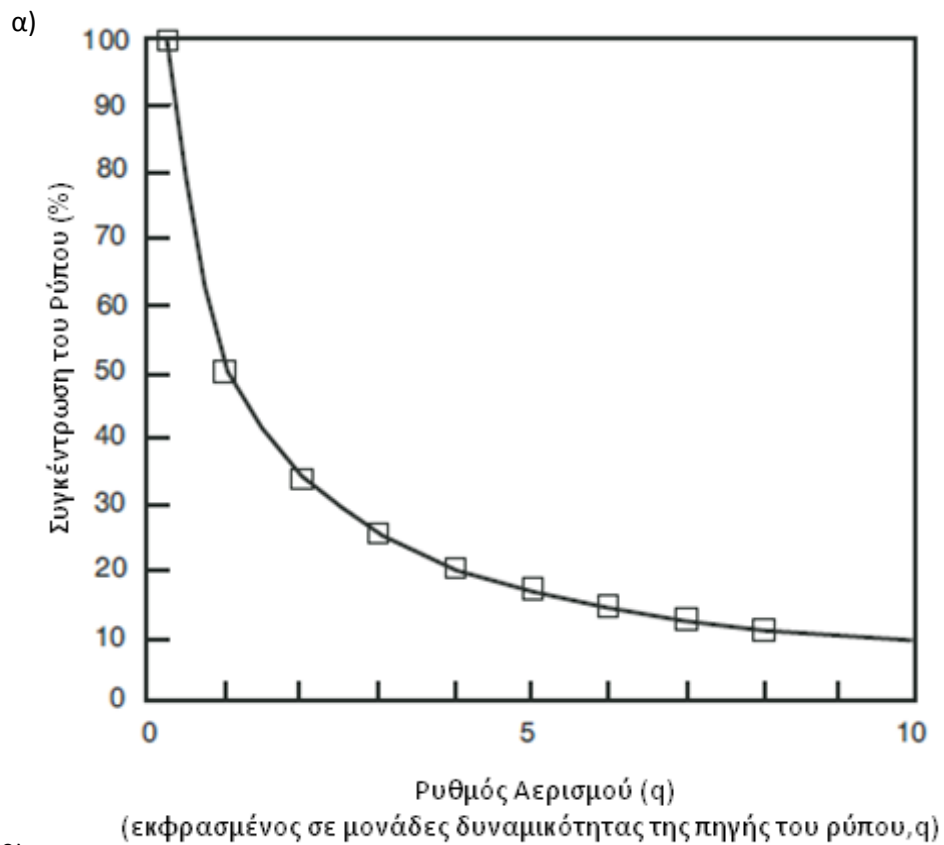
Αερισμός εκτόπισης: Οι μέθοδοι αερισμού εκτόπισης έχουν γίνει πολύ δημοφιλείς σε ορισμένες χώρες για χώρους γραφείων και επαγγελματικά κτίρια. Κατ' αρχήν είναι πιο αποτελεσματικός στην ικανοποίηση των αναγκών εξαερισμού από την μέθοδο αερισμού με ανάμιξη. Ωστόσο, η ικανότητα ψύξης ή θέρμανσης του αέρα περιορίζεται από την ανάγκη για προσεκτική θερμοκρασιακό έλεγχο της παροχής εξωτερικού αέρα. Πρόσθετη θέρμανση που χρειάζεται συνήθως καλύπτεται με πάνελ ακτινοβολίας οροφής. Εν αντιθέσει με τον αερισμό ανάμιξης, η συγκέντρωση ενός ρύπου εντός του χώρου είναι ανομοιόμορφη, καθώς ο αέρας αντίθετα στο ρεύμα της πηγής ρύπων μπορεί να είναι καθαρός ενώ το ρεύμα αέρα που περνά από την περιοχή της πηγής ρύπων μπορεί να είναι σε μεγάλο βαθμό μολυσμένο. Ο καλός σχεδιασμός πρέπει να έχει ως στόχο την εξασφάλιση του διαχωρισμού των ανθρώπων από το μολυσμένο αέρα. Ένα τυπικό προφίλ ρύπου απεικονίζεται στο Σχήμα 2.2 (β). Σε αυτό το παράδειγμα, η συσσώρευση του ρύπου (π.χ. μεταβολικό διοξείδιο του άνθρακα) διατηρείται πάνω από την ζώνη αναπνοής του ανθρώπου. Στην πράξη, κάποια ανάμιξη συμβαίνει αναπόφευκτα. Πολύ προσεκτικός έλεγχος της ροής του αέρα και της θερμοκρασίας είναι απαραίτητη για την αναστολή ανάμιξης. Οι ρυπογόνες ουσίες στο χώρο που κινούνται οι άνθρωποι ή στη «ζώνη αναπνοής» των ανθρώπων πρέπει να αποφεύγονται (Εικόνα 1). Παραδείγματα τέτοιων ρύπων είναι οι ρύποι από το επίπεδο του δαπέδου και οι εκπομπές από επιστρώσεις δαπέδων και χαλιά.



Σχήμα 2.1 - Επίδραση της στρατηγικής αερισμού στην κατανομή της συγκέντρωσης των ρύπων.

Διαζωνικός αερισμός: Στις κατοικίες, είναι σύνηθες να εξάγεται αέρας από «υγρούς» χώρους όπως κουζίνες και μπάνια. Φρέσκος αέρας εισάγεται συγχρόνως από εισόδους αέρα που βρίσκονται σε χώρους όπως το καθιστικό ή τα υπνοδωμάτια. Αυτό προκαλεί ένα μοτίβο ροής που αναστέλλει την ανάμιξη του μολυσμένου αέρα που προέρχεται από «μολυσμένους» χώρους με τον καθαρό αέρα από άλλους χώρους. Αυτός ο τύπος αερισμού χρησιμοποιείται και σε νοσοκομειακές εφαρμογές.

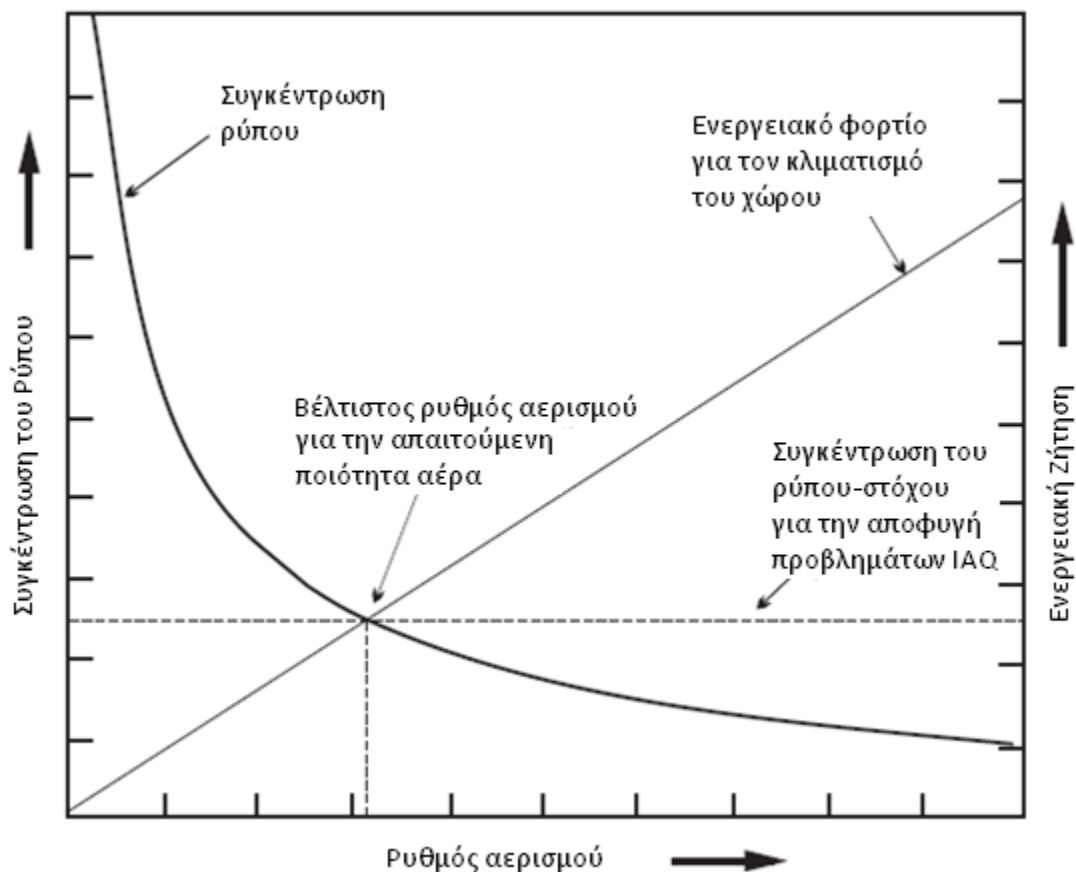
Βραχυκύκλωμα: Εάν ένα σύστημα εξαερισμού δεν είναι καλά σχεδιασμένο, μπορεί να συμβεί «μικρό βραχυκύκλωμα» κατά το οποίο φρέσκος αέρας εξάγεται από το κτίριο πριν να έχει αναμειχθεί εκτοπίσει τον μολυσμένο αέρα του κτιρίου. Αυτό μπορεί να συμβεί οι εισοδοί και εξοδοί του αέρα είναι τοποθετημένοι πολύ κοντά μεταξύ τους ή, στην περίπτωση των συστημάτων μετατόπισης, η θερμοκρασία του αέρα τροφοδοσίας είναι υψηλότερη από ότι η θερμοκρασία του αέρα στον χώρο.



Σχήμα 2.2 - Χαρακτηριστικά (α)Αερισμού Ανάμιξης και (β)Αερισμού Εκτόπισης

2.1.4 Τρόπος καθορισμού του απαραίτητου ρυθμού αερισμού

Η ποσότητα του αερισμού που χρειάζεται εξαρτάται από την ποσότητα και τη φύση των ρύπων που υπάρχουν σε ένα χώρο. Στην πράξη, ένας κλειστός χώρος θα περιέχει πολλούς διαφορετικούς ρύπους. Αν τα χαρακτηριστικά εκπομπής του καθενός είναι γνωστά, τότε είναι δυνατόν να υπολογιστεί το ποσοστό αερισμού που απαιτείται ώστε κάθε ρύπος να μην υπερβαίνει ένα προκαθορισμένο όριο συγκέντρωσης. Όταν πανομοιότυποι ρύποι εκπέμπονται από περισσότερες από μία πηγές, τότε ο ρυθμός αερισμού θα πρέπει να βασίζεται στο συνολικό ποσό εκπομπών από όλες τις πηγές. Για να προσδιοριστεί η συνολική ανάγκη αερισμού, είναι χρήσιμο να προσδιορίσει ο κυρίαρχος ρύπος. Αυτός είναι ο ρύπος που απαιτεί τη μεγαλύτερη ποσότητα αερισμού για τον έλεγχο του. Καθώς θα παρέχεται επαρκής ρυθμός αερισμού για τον έλεγχο του κυρίαρχου ρύπου,



Σχήμα 2.3 – Ελέγχοντας τον Κυρίαρχο Ρύπο

όλοι οι υπόλοιποι ρύποι θα παραμένουν κάτω από τις αντίστοιχες οριακές συγκεντρώσεις τους (βλ. Σχήμα 2.3). Ο ελάχιστος αποδεκτός ρυθμός αερισμού είναι εκείνος ο οποίος απαιτείται για να αραιώσει το κυρίαρχο ρύπο σε μία αποδεκτή

συγκέντρωση. Ρύποι προερχόμενοι από τοπικές πηγές θα πρέπει να περιορίζονται ή να εξάγονται στο σημείο της πηγής ώστε να αποφευχθεί η μόλυνση των κατειλημμένων χώρων.

Θα μπορούσαν επίσης οι πηγές ρύπων να ταξινομηθούν σε αυτές που είναι αναπόφευκτες και αυτές που θα μπορούσαν να αποφευχθούν. Οι αναπόφευκτες πηγές είναι αυτές που συνδέονται με τον μεταβολισμό και τις βασικές δραστηριότητες των ενοίκων. Από την άλλη πλευρά, μπορούν να αποφευχθούν πηγές που συνδέονται με υλικά και συσκευές κακής σχεδίασης. Εάν η κυρίαρχη ανάγκη για εξαερισμό προκαλείται από μία πηγή ρύπων που δύναται να αποφευχθεί, τότε η μείωση ή εξάλειψη της πηγής ρύπου θα αποτελέσει την πιο αποδοτική μέθοδο ελέγχου της ποιότητας του αέρα.

Δυστυχώς, αποδεκτές και ασφαλείς συγκεντρώσεις πολλών ρύπων είναι προς το παρόν άγνωστες. Γίνεται, ως εκ τούτου, μεγάλη συζήτηση σχετικά με το πώς να αντιμετωπίζονται οι απαιτήσεις αερισμού για τέτοιους ρύπους. Από την άλλη πλευρά, συνιστώμενες ασφαλείς συγκεντρώσεις είναι διαθέσιμες για αρκετούς από τους πιο κοινούς ρύπους.

Οι αναγκαίες ποσότητες αέρα

Η ελάχιστη αναγκαία ποσότητα οξυγόνου για τον άνθρωπο ανέρχεται σε 1,8 m³/h ανά άτομο. Η αναγκαία όμως ποσότητα προκειμένου να απομακρυνθούν οι επιβλαβείς ουσίες και οσμές είναι πολύ περισσότερο (30 m³/h ανά άτομο).

		ΠΙΘΑΝΗ ΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (kcal/h)	ΠΙΘΑΝΗ ΑΠΟΒΟΛΗ ΥΓΡΑΣΙΑΣ (gr/l)	ΠΙΘΑΝΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΝΩΠΟΥ ΑΕΡΑ (m ³ /h)
ΗΡΕΜΙΑ	Σε πλήρη αδράνεια	70		0,36
	Σε καθιστική θέση	80		0,42
	Σε όρθια θέση	100		0,48
ΕΛΑΦΡΑ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ	Εύκολη καθιστική εργασία γραφείου	100	40	0,5
	Βηματισμός περπατήτου (3,3 km/h)	200	~ 75	0,84
	Συνήθης βηματισμός σε κάποιον δρόμο (5,5 km/h)	300	~ 200	1,56
ΕΝΤΟΝΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ	Ελαφρό τρέξιμο (7,2 km/h)	350	~ 375	2,7
	Βηματισμός (4 km/h) με φορτίο -30kg	375	530	3,5
	Βαριά εργασία	400	~ 600	3,9
	Μέγιστη σωματική προσπάθεια	500 - 600		6

Πίνακας 2.2 - Ανθρώπινες ανάγκες σε νωπό αέρα, ανάλογα με την απασχόληση ή τη δραστηριότητα του ατόμου

Σχέση μεταξύ ρυθμού αερισμού και οσμών στο χώρο.

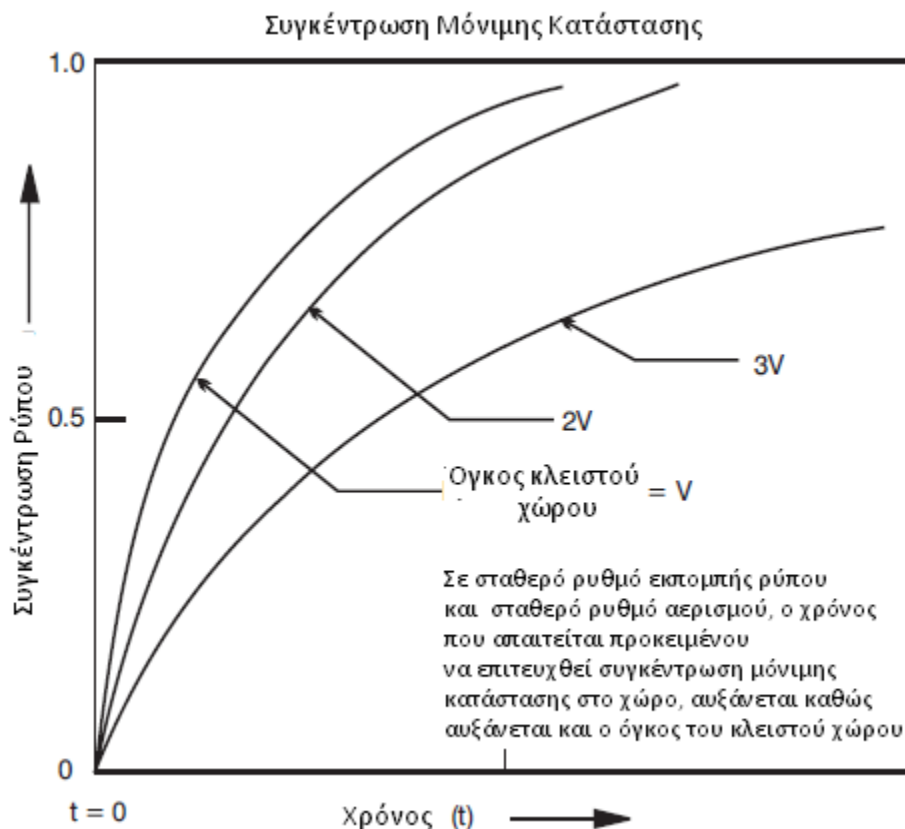
Η μυρωδιά μπορεί να θεωρηθεί ως ένας «ρύπος» ή ως μια ένδειξη ύπαρξης ρύπου. Μερικές φορές προειδοποιεί τον ένοικο για την ύπαρξη επιβλαβούς στοιχείου στον αέρα, αν και η μυρωδιά δεν είναι πάντα αξιόπιστο σημάδι, καθώς μερικοί υψηλής τοξικότητας ρύποι, όπως το ραδόνιο και το μονοξείδιο του άνθρακα, είναι άοσμοι.

Σε γενικά πλαίσια, η μυρωδιά προκαλεί δυσφορία σε περιβάλλοντα «καθιστικά», στα οποία οι ένοικοι δεν δραστηριοποιούνται έντονα, όπως τα σπίτια και τα γραφεία. Μια δυσκολία που υπάρχει στην ανάλυση των οσμών είναι ότι πολλές φορές οι οσμές δεν μπορούν να μετρηθούν με όργανα μετρήσεων. Επομένως, η αξιολόγησή τους βασίζεται σε υποκειμενικά τεστ, γεγονός που κάνει την ανάλυση των αποτελεσμάτων δύσκολη. Εκτενή έρευνα για τις οσμές και τον έλεγχο των οσμών με αερισμό, έκανε ο [Fanger \(1988\)](#).

Ο χώρος ως ταμιευτήρας ποιοτικού αέρα

Ο χρόνος που χρειάζεται για ένα ρύπο να φθάσει τη συγκέντρωση μόνιμης κατάστασης εξαρτάται από τον όγκο του κλειστού χώρου. Έτσι, κάτω από ορισμένες συνθήκες, το κτίριο μπορεί να αντιμετωπίζεται ως μια «δεξαμενή ποιοτικού αέρα», στο οποίο ο αντίκτυπος μιας παροδικής πηγής ρύπανσης μπορεί να παραληφθεί αρχικά από την μάζα του αέρα που υπάρχει στον κλειστό χώρο. Επομένως, ο όγκος του χώρου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αντισταθμίσει την μεταβλητή φύση των φυσικών διαδικασιών αερισμού και είναι μια βασική πτυχή στο σχεδιασμό του φυσικού αερισμού.

Βέβαια, όταν αναφερόμαστε σε συγκέντρωση μόνιμης κατάστασης υποθέτουμε συνθήκες ανάμιξης του αέρα που έχουν ως αποτέλεσμα ομοιόμορφη συγκέντρωση σε όλο του χώρο. Σε αντίθετη περίπτωση, η θα υπάρχουν διάφορες συγκεντρώσεις μέσα στον ίδιο χώρο.



Σχήμα 2.4 – Ο χώρος ως ταμιευτήρας «καθαρού» αέρα

Ουσιαστικά, επιτρέπει την καλή ποιότητα του αέρα να διατηρείται χωρίς την ανάγκη για συνεχή αερισμό. Αυτή η προσέγγιση μπορεί να μην έχει ικανοποιητικά αποτελέσματα εάν οι εκπομπές προέρχονται από έπιπλα και εξαρτήματα που βρίσκονται στο εσωτερικό του κτιρίου και αυτές αποτελούν τους κυρίαρχους ρύπους.

2.1.5 Όταν ο αερισμός δεν είναι η κατάλληλη πρακτική.

Πολύ συχνά ο αερισμός δεν είναι σκόπιμος για την εκτέλεση εργασιών για τις οποίες δεν είναι σκόπιμο. Ο κύριος ρόλος του αερισμού είναι να αραιώσει και να αφαιρέσει τους ρύπους που προέρχονται από αναπόφευκτες πηγές. Στην ουσία αυτοί είναι εκείνοι που παράγονται από τους ίδιους τους ενοίκους και από τις βασικές δραστηριότητές τους. Μερικοί ρύποι αντιδρούν χημικά, προσροφούνται σε επιφάνειες, ή ο ρυθμός εκπομπής τους διεγείρεται από την διαδικασία αερισμού. Οι ουσίες αυτές δεν μπορούν να ελεγχθούν με τον αερισμό, δηλαδή στην περίπτωση αυτή, ο αερισμός μπορεί να μην είναι ο κατάλληλος μηχανισμός ελέγχου. Παραδείγματα μπορεί να περιλαμβάνουν ορισμένες πτητικές οργανικές ενώσεις (VOC's), τα αέρια που προέρχονται από το έδαφος και η υγρασία. Πάλι αποφυγή της πηγής ή περιορισμός της είναι οι καλύτερες στρατηγικές ελέγχου. Επίσης με τον αερισμό δεν μπορούν να ελεγχθούν ουσίες που μολύνουν το μηχανικό σύστημα εξαερισμού, όπως ουσίες που προέρχονται από το εξωτερικό περιβάλλον ή ουσίες που βρίσκονται μέσα στο μηχανισμό του συστήματος εξαερισμού, ή ανάμεσα στην

παροχή αέρα και στη «ζώνη αναπνοής». Τεχνικές φιλτραρίσματος σε συνδυασμό με την προσεκτική εισαγωγή αέρα μπορεί να είναι αναγκαίες για την αντιμετώπιση των υπαίθρια πηγών ρύπων.

2.1.6 Τρόποι παροχής καθαρού αέρα.

Ο φυσικός αερισμός χρησιμοποιείται σε πολλούς τύπους κτιρίων σε όλο τον κόσμο προκειμένου να καλύψει τις ανάγκες τους σε φρέσκο αέρα.

Φυσικός αερισμός: Παραδοσιακά, οι ανάγκες αερισμού ικανοποιούνται από τον «φυσικό» αερισμό, κατά τον οποίο η διαδικασία ροής οδηγείται από τον άνεμο και τη θερμοκρασία. Σε ήπια κλίματα, ο σχεδιασμός στηρίχθηκε συχνά στο φυσικό πορώδες του κτιρίου, σε συνδυασμό με το άνοιγμα των παραθύρων. Σε ψυχρότερα κλίματα, τα σχέδια φυσικού αερισμού τείνουν να είναι πιο συγκεκριμένα και ενσωματώνουν προσεκτικά συγκεκριμένου μεγέθους εισόδους αέρα σε συνδυασμό με παθητικό κατακόρυφο αερισμό. Άλλα κλίματα μπορούν να επωφεληθούν από έναν επικρατών άνεμο ο οποίος καθοδηγεί τη διαδικασία του αερισμού.

Το κύριο μειονέκτημα του φυσικού αερισμού είναι η έλλειψη ελέγχου, όπου μη ελεγχόμενες κινητήριες δυνάμεις μπορεί να οδηγήσουν σε περιόδους ανεπαρκούς αερισμού, οι οποίες να ακολουθούνται από περιόδους υπερβολικού εξαερισμού και σπατάλης ενέργειας. Ένας καλός σχεδιασμός μπορεί να δώσει κάποιο μέτρο ελέγχου της ροής αέρα, αλλά συνήθως είναι απαραίτητο για τον ένοικο να προσαρμόσει τα ανοίγματα αερισμού ανάλογα με τις συνθήκες. Παρά τη δυσκολία ελέγχου, σε πολλούς τύπους κτιρίων σε όλο τον κόσμο χρησιμοποιείται ο φυσικός αερισμός προκειμένου να καλύψει τις ανάγκες τους σε φρέσκο αέρα.

Μηχανικός αερισμός : Κατ 'αρχήν, οι ελλείψεις του φυσικού αερισμού σε ένα κτίριο μπορούν να ξεπεραστούν με τον μηχανικό αερισμό. Τα συστήματα μηχανικού αερισμού είναι ικανά να παρέχουν ένα ελεγχόμενο ρυθμό αλλαγών αέρα ώστε να ανταποκρίνονται στις ποικίλες απαιτήσεις των ενοίκων και των φορτίων ρύπων, ανεξάρτητα από τις εξωτερικές συνθήκες που επικρατούν. Μερικά συστήματα επιτρέπουν το φιλτράρισμα του εισερχόμενου αέρα τροφοδοσίας, ενώ άλλα προβλέπουν για την ανάκτηση θερμότητας από τον αέρα που εξέρχεται. Σε ορισμένες χώρες, ιδιαίτερα σε τμήματα του Καναδά και της Σκανδιναβίας, τα μηχανικά συστήματα αερισμού ενσωματώνονται σε σχεδόν όλα τα νέα κτίρια που κατασκευάζονται ή και συμπεριλαμβάνονται σε προγράμματα ανακαίνισης οικοδομών. Σε χώρες με ηπιότερο κλίμα ωστόσο, τα δυνητικά πλεονεκτήματα των μηχανικών συστημάτων εξαερισμού, ιδίως για μικρότερα κτίρια, μπορεί συχνά να αντισταθμιστεί από κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας, τις ανάγκες συντήρησης και την ανεπαρκή ανάκτηση θερμότητας. Ανεξάρτητα από το κλίμα, ο μηχανικός αερισμός είναι συχνά απαραίτητος σε μεγάλων διαστάσεων κτίρια γραφείων, όπου φρέσκος αέρας πρέπει να διεισδύσει στο κέντρο του κτιρίου.

2.1.7 Πώς οι ανάγκες και οι στρατηγικές αερισμού διαφέρουν ανάλογα με τον τύπο του κτιρίου.

Οι ανάγκες και οι στρατηγικές αερισμού διαφέρουν ανάλογα με τον τρόπο χρήσης και τον τύπο του κτιρίου. Οι στρατηγικές φυσικού αερισμού θα αναλυθούν εκτενέστερα στο δεύτερο τμήμα του κεφαλαίου αυτού. Γενικά μπορούμε να διακρίνουμε:

Στις κατοικίες: Ο «κυρίαρχος ρύπος» στις κατοικίες είναι συχνά η υγρασία, η οποία είναι καλύτερα να εξάγεται απευθείας στην πηγή από τις υγρές ζώνες με τη χρήση μηχανικών συστημάτων εξαερισμού ή κατακόρυφο αερισμό. Η παροχή φρέσκου αέρα είναι αναγκαία στο σαλόνι και στα υπνοδωμάτια. Επίσης πρόσθετος αερισμός μπορεί να είναι απαραίτητος καπνίζουν εντός της οικίας ή λειτουργούν ανοιχτά τζάκια ή άλλες συσκευές καύσης. Θα πρέπει να λαμβάνεται ιδιαίτερη προσοχή ώστε να μην επιδρούν τα συστήματα εξαερισμού στη λειτουργία των καμινάδων με αποτέλεσμα της έκλυση καπνού εντός του κτιρίου. Σε περιοχές με υψηλή εκπομπή ραδονίου, πρέπει να δίδεται προσοχή στη σφράγιση των θεμελίων σε συνδυασμό με υποδαπέδιο αερισμό.

Σε γραφεία και άλλα μη οικιστικά κτίρια: Σημαντικοί ρύποι στα μη οικιστικά κτίρια αποτελούν το διοξείδιο του άνθρακα, οι πτητικές οργανικές ενώσεις από έπιπλα και εξαρτήματα καθώς και οι εκπομπές όζοντος και άνθρακα από εκτυπωτές και φωτοτυπικά. Σε πολλά από αυτά τα κτίρια, το διοξείδιο του άνθρακα που προέρχεται από τον άνθρωπο μπορεί να αποτελέσει την κύρια πηγή ρύπων. Υψηλές θερμοκρασίες μπορεί να επηρεάσουν την επιλογή μεταξύ ελάχιστου φυσικού αερισμού σε συνδυασμό με μηχανική ψύξη ή μέγιστου αερισμού για παθητική ψύξη του κτιρίου.

Ένα ευρύ φάσμα συστημάτων και τεχνικών είναι διαθέσιμα προκειμένου να καλύψουν τις ανάγκες του αερισμού με την κάθε μέθοδο να έχει τα δικά της πλεονεκτήματα, μειονεκτήματα και εφαρμογές. Μερικές φορές η επιλογή υπαγορεύεται από τις τοπικές κλιματικές συνθήκες ή τον τύπο του κτηρίου. Συχνά, η ανταγωνιστικότητα των τιμών και η απροθυμία να εφαρμοστεί κάτι παραπάνω από τις ελάχιστες προδιαγραφές του σχετικού Κατασκευαστικού Κανονισμού μπορούν να τυποποιήσουν την επιλογή και επίσης να περιορίσουν τις ευκαιρίες για καινοτομία. Για να δικαιολογηθεί μια σύνθετη στρατηγική, είναι συνήθως αναγκαίο για να καταδειχθούν σημαντικά πλεονεκτήματα όσον αφορά τη βελτίωση του κλίματος στον εσωτερικό χώρο, μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και αποδεκτή περίοδο απόσβεσης του κόστους της επένδυσης. Στο επόμενο τμήμα του κεφαλαίου θα αναλυθούν οι μηχανισμοί και τα πλεονεκτήματα του φυσικού αερισμού κτιρίων.

2. Φυσικός Αερισμός

Ο φυσικός αερισμός είναι ο βασικότερος και απλούστερος τρόπος απομάκρυνσης αερίων και επιβλαβών για την υγεία ουσιών στους εσωτερικούς χώρους. Επίσης αποκτά καίρια σημασία όταν πρόκειται για την αποβολή της υγρασίας από τους χώρους κατά τους ψυχρούς μήνες.

Όταν αναφερόμαστε στον φυσικό αερισμό κτιρίων, εννοούμε την εναλλαγή του αέρα που προκύπτει από τον άνεμο και τις διαφορές θερμοκρασίας εντός του κτιρίου. Κατά το φυσικό αερισμό η ροή του αέρα προκαλείται από την πίεση του ανέμου και τις διαφορές θερμοκρασίας, και γίνεται μέσα από ρωγμές στο κέλυφος του κτιρίου ή σκόπιμα εγκατεστημένα ανοίγματα.

2.2.1 Στρατηγικές στον Φυσικό Αερισμό - Ιστορικό και Εφαρμογές

Πολλά κτίρια σε όλο τον κόσμο αερίζονται «φυσικά». Ο συνδυασμός του αερισμού των παραθύρων και η διέλευση του αέρα μέσω της διαπνοής των υλικών της τοιχοποιίας και της οροφής ήταν και είναι ακόμα σε ορισμένα κτίρια ο δόκιμος τρόπος αερισμού. Στα σύγχρονα κτίρια ωστόσο αυτός ο αερισμός κρίνεται ανεπαρκής λόγω χρήσης μη αεροδιαπερατών υλικών μόνωσης και λόγω σφραγισμάτων στα κουφώματα. Σήμερα, οι απαιτήσεις αερισμού είναι μεγαλύτερες με σύγχρονα συστήματα να παρέχουν βελτιωμένη αξιοπιστία και έλεγχο. Με προσεκτική σχεδίαση, είναι δυνατόν ο φυσικός αερισμός να παράσχει ένα ικανοποιητικό περιβάλλον ακόμη και σε αρκετά περίπλοκα κτίρια.

Ο φυσικός αερισμός είναι πιο κατάλληλη μέθοδος αερισμού για τα κτίρια που βρίσκονται σε ήπια και μέτρια κλίματα, μακριά από το κέντρο πόλεων. Ουσιαστικά, ο φυσικός αερισμός λειτουργεί «αραιώνοντας» τους ρύπους. Ο έλεγχος της ροής του αέρα δεν επιτρέπει ολική μετατόπιση αέριων μαζών ή ροή «εμβόλου» και επιπλέον δεν υπάρχει σαφής διαχωρισμός μεταξύ «καθαρών» και «μολυσμένων» ζωνών.

Τυπικές εφαρμογές του φυσικού αερισμού περιλαμβάνουν:

- χαμηλές κατοικίες,
- γραφεία μικρού και μεσαίου μεγέθους,
- σχολεία,
- κτίρια αναψυχής,
- δημόσια κτίρια,
- αποθήκες,
- μικρές βιομηχανικές εγκαταστάσεις .

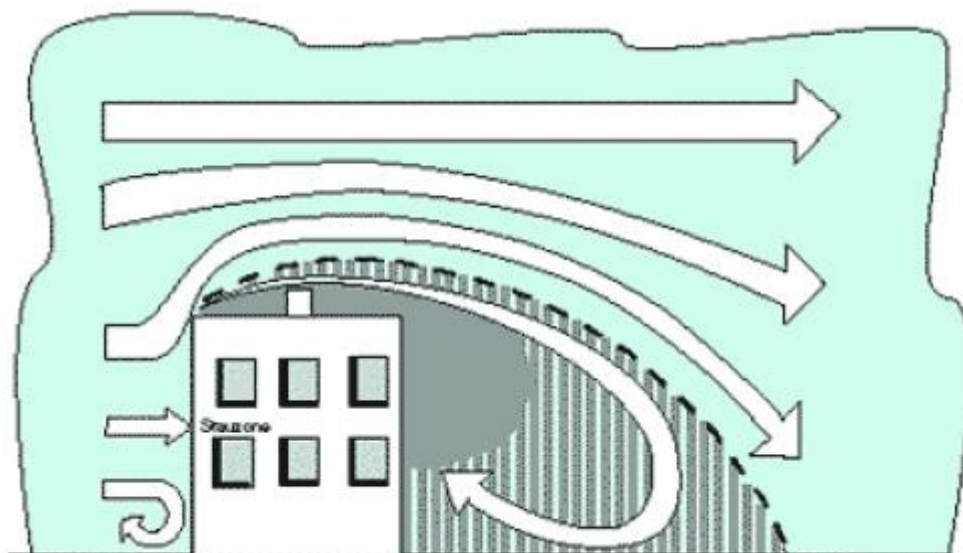
Εξειδικευμένα φυσικά συστήματα αερισμού μπορούν να εφαρμοστούν σε ένα ευρύτερο φάσμα κλιματικών συνθηκών και κτιρίων.

2.2.2 Μηχανισμοί φυσικού αερισμού

Για δεδομένη διαμόρφωση των ανοιγμάτων, ο ρυθμός φυσικού αερισμού ποικίλλει ανάλογα με τις επικρατούσες κατευθύνσεις και δυνάμεις του ανέμου και τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος. Ακόμα και αν αυτοί οι παράγοντες μεταβάλλονται, μπορούν να αναπτυχθούν ικανοποιητικές λύσεις σχεδιασμού που θα διαθέτουν ευελιξία ώστε να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις για την θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα, την ταχύτητα ροής του αέρα και τον ρυθμό αερισμού.

Κινητήριες δυνάμεις.

Ο φυσικός αερισμός καθοδηγείται από τον άνεμο και από τις διαφορές πίεσης που δημιουργούνται λόγω των διαφορετικών θερμοκρασιών (stack). Η σχεδίαση του φυσικού αερισμού θα πρέπει να αξιοποιεί αυτές τις δυνάμεις με την προσεκτική διαστασιολόγηση και τοποθέτηση των ανοιγμάτων.

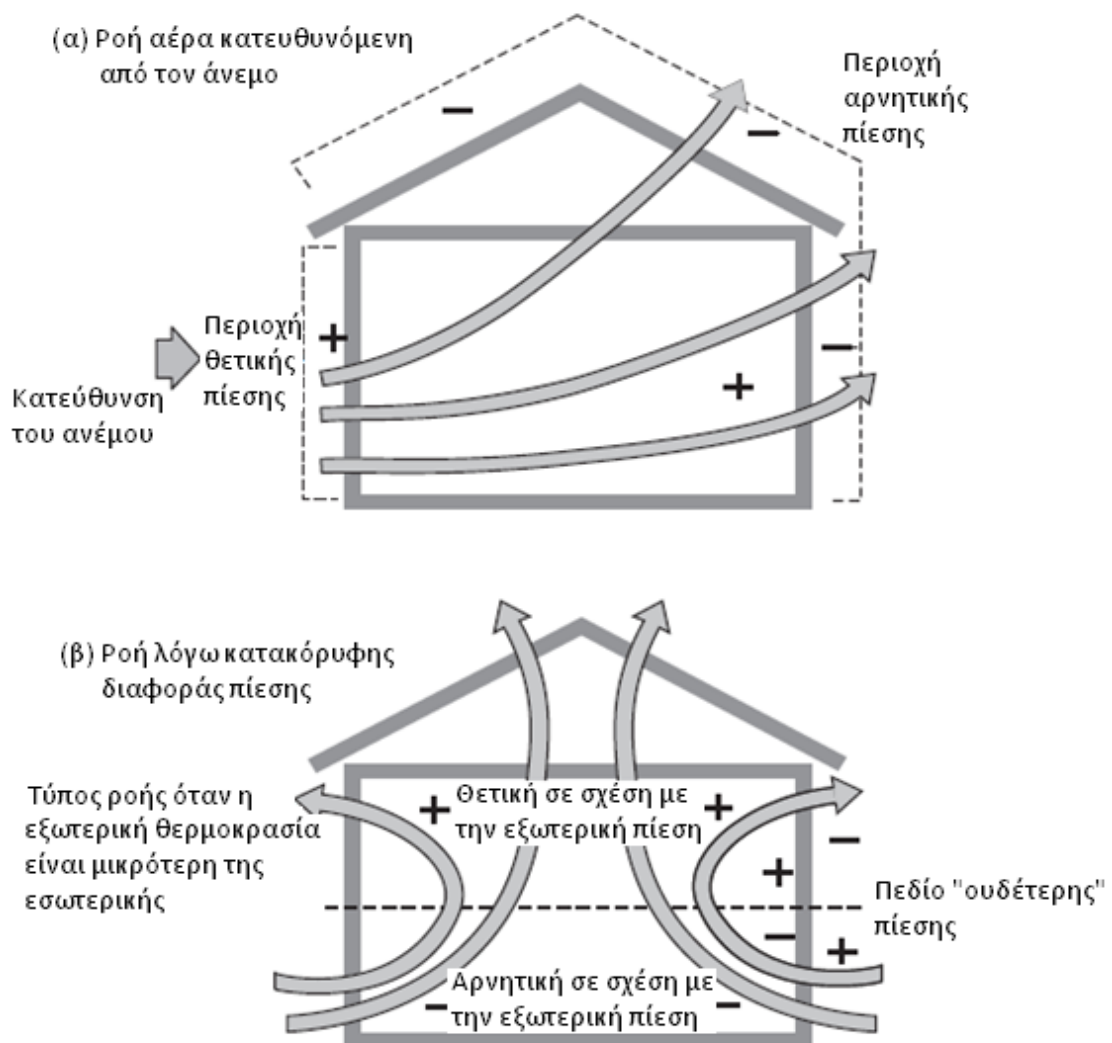


Πηγή: Zelger, T., Pokorny, W.: ‚Lüftungstechnische Grundlagen‘

Πίεση του ανέμου : Καθώς ο άνεμος προσκρούει πάνω σε ένα ορθογώνιο σχήμα κτιρίου προκαλεί μια θετική πίεση στην προσήνεμη πλευρά και αρνητικές πιέσεις στις άλλες όψεις του κτιρίου. Αυτό αναγκάζει τον αέρα να εισέλθει από τα ανοίγματα και να περάσει μέσα από το κτίριο από την υψηλή πίεση της προσήνεμης πλευράς στις χαμηλής πίεσης κατάντη περιοχές (βλέπε σχήμα 2.5 (α)). Σε απλές περιπτώσεις γίνονται απλές υποθέσεις σχετικά με την κατανομή της πίεσης λόγω του ανέμου. Εάν απαιτείται μεγαλύτερη λεπτομέρεια, όπως η κατανομή της πίεσης σε πιο πολύπλοκες δομές, μπορεί να είναι απαραίτητο να καταφύγουμε σε μεθόδους αεροδυναμικής σήραγγας.

Κατακόρυφη πίεση («Stack pressure»): Το φαινόμενο της κατακόρυφης διαφοράς πίεσης είναι αποτέλεσμα των διαφορών στη θερμοκρασία του αέρα, και επομένως και

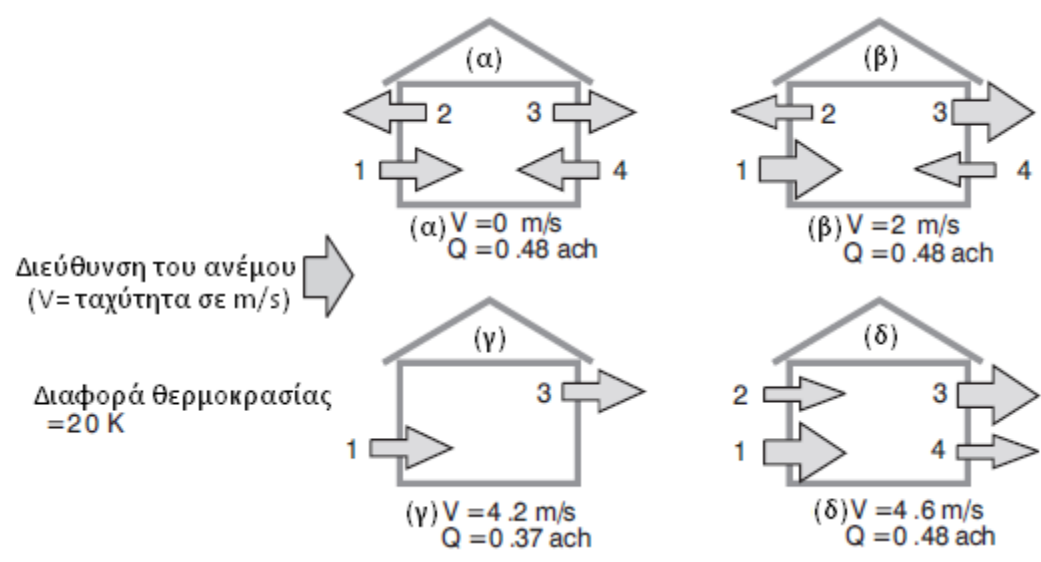
της πυκνότητας του αέρα, μεταξύ του εσωτερικού και του εξωτερικού περιβάλλοντος του κτιρίου. Αυτό προκαλεί μια ανισοροπία στις πιέσεις των εσωτερικών και εξωτερικών μαζών αέρα, η οποία οδηγεί σε μια κατακόρυφη διαφορά πίεσης. Όταν η εσωτερική θερμοκρασία του αέρα είναι μεγαλύτερη από την εξωτερική, ο αέρας εισέρχεται διαμέσου ανοιγμάτων στο κάτω μέρος του κτιρίου και διαφεύγει μέσω ανοιγμάτων σε μεγαλύτερο ύψος (βλέπε σχήμα 2.5β)). Η κατεύθυνση ροής αντιστρέφεται όταν η εσωτερική θερμοκρασία του αέρα είναι χαμηλότερη από την εξωτερική θερμοκρασία αέρα. Ο υπολογισμός της κατακόρυφης πίεσης γίνεται βάσει της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ των δύο μαζών αέρα και της κατακόρυφης απόστασης μεταξύ των ανοιγμάτων.



Σχήμα 2.5 - Μηχανισμοί φυσικής οδήγησης



Σχήμα 2.6 - Επίδραση του ανέμου και της διαφοράς θερμοκρασίας στον φυσικό αερισμό.



Επίδραση του ανέμου και της διαφοράς θερμοκρασία (stack effect) στον ρυθμό αερισμού και στην διάταξη των ροών αέρα.

Καθώς ο ρυθμός αερισμού μπορεί να διατηρηθεί σχεδόν σταθερός για ένα εύρος καιρικών συνθηκών, η διάταξη των ροών αέρα αλλάζει.

Στο (α) παρακάτω, ο αερισμός κυριαρχείται από την διαφορά θερμοκρασίας (καθεστώς κυρίαρχης θερμοκρασίας). Ο αέρας εισέρχεται από τα χαμηλότερα ανοίγματα (1 και 4) και εξέρχεται από τα υψηλότερα ανοίγματα (2 και 3).

Καθώς η ταχύτητα του ανέμου αυξάνεται, (β), η πίεση του ανέμου ενισχύει την κατακόρυφη πίεση (stack pressure) στα προσήνεμα χαμηλότερα ανοίγματα (1) και υπήνεμα υψηλότερα ανοίγματα, αλλά αντιτίθεται στην κατακόρυφη πίεση στα υπόλοιπα ανοίγματα (2 και 4). Παρόλο που συνολικά, η διάταξη και το μέγεθος της ροής παραμένουν αναλλοίωτα, ο ρυθμός ροής διαμέσου κάθε ανοίγματος αλλάζει.

Στο (γ) ο άνεμος αντιτίθεται της κατακόρυφης πίεσης στο ανοίγματα (2 και 4), αφήνοντας τον αέρα να ρέει μόνο μέσω των ανοιγμάτων (1 και 3). Η μείωση αυτή στον αριθμό των ανοιγμάτων μειώνει ελαφρώς τον συνολικό ρυθμό αερισμού. Αυτό η επίδραση στον ρυθμό αερισμού είναι λιγότερο σαφής από τη μείωση στον αριθμό των ανοιγμάτων καθώς δεν είναι πιθανό να ασκηθούν αντίθετες πιέσεις, ώστε να υπάρξει ροή, στα ανοίγματα αυτά.

Σε μεγαλύτερες ταχύτητες ανέμου, (δ), η ροή εισέρχεται στο κτίριο από την προσήνεμη πλευρά (1 και 2), και εξέρχεται από τα υπήνεμα ανοίγματα (2 και 4). Αυτό σηματοδοτεί την έναρξη του καθεστώτος όπου ο άνεμος είναι η κυρίαρχη δύναμη.

Σχήμα 2.7 – Συνδυαστική επίδραση του ανέμου και της διαφοράς θερμοκρασίας στον ρυθμό αερισμού στη διάταξη των ροών αέρα.

Συμπληρωματική και συνδυασμένη χρήση της πίεσης του ανέμου και της κατακόρυφης διαφοράς πίεσης

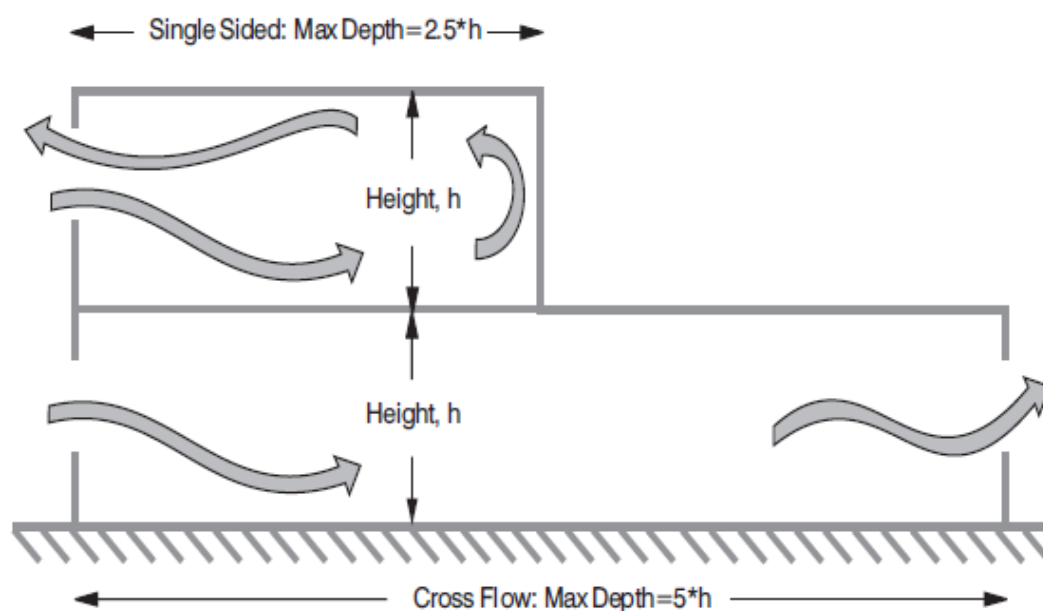
Τα συστήματα αερισμού πρέπει να είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να διασφαλίζουν ότι οι πιέσεις λόγω ανέμου και οι κατακόρυφες πιέσεις θα δρουν συμπληρωματικά και δεν θα αντιτίθεται η μία δράση της άλλης. Αυτό επιτυγχάνεται με την διερεύνηση και της κατανομής πίεσης στο κτίριο που αναπτύσσει κάθε μηχανισμός αερισμού και την τοποθέτηση των ανοιγμάτων ώστε να επιτυγχάνεται το καλύτερο αποτέλεσμα. Η τυπική αλληλεπίδραση της πίεσης του ανέμου και της κατακόρυφης πίεσης απεικονίζεται στα σχήματα 2.6 και 2.7. Ο ρυθμός αερισμού σε χαμηλές ταχύτητες ανέμου, ρυθμίζεται από την κατακόρυφη διαφορά πίεσης. Καθώς αυξάνεται η ταχύτητα του ανέμου, αναλαμβάνει η πίεση του ανέμου ως κυρίαρχη δύναμη να επηρεάσει το ρυθμό αερισμού. Σε ορισμένες ταχύτητες ανέμου, η πίεση του ανέμου μπορεί να ενεργήσει σε πλήρη αντίθεση με τις κατακόρυφες δυνάμεις πίεσης σε ορισμένα ανοίγματα, με αποτέλεσμα μια μείωση του ρυθμού αερισμού. Η εφαρμογή των τεχνικών υπολογισμού «δικτύου», σε συνδυασμό με αντιπροσωπευτικά στοιχεία του καιρού για την τοποθεσία του κτιρίου, επιτρέπουν την αξιολόγηση της απόδοσης των επιμέρους σχεδιαστικές λύσεων του φυσικού αερισμού .

Μη εμφανής κινητήρια δύναμη: Είναι θεωρητικά δυνατό να μην υπάρχει προφανής φυσική κινητήρια δύναμη, αν και στην πράξη αυτό είναι απίθανο. Το χειμώνα, η κατακόρυφη πίεση αναπτύσσεται λόγω της θέρμανσης του εσωτερικού χώρου και το καλοκαίρι λόγω των αποκλίσεων στη θερμοκρασία του αέρα.

2.2.3. Τεχνικές φυσικού αερισμού

Οι διάφορες τεχνικές ή συνδυασμοί τεχνικών που χρησιμοποιούνται για τον φυσικό αερισμό περιλαμβάνουν:

Διασταυρούμενο αερισμό: Αποτελείται από δύο ή περισσότερα ανοίγματα σε απέναντι όψεις. Ο διασταυρούμενος αερισμός εξαρτάται από τη δημιουργία μιας καθορισμένης και ανεμπόδιστης διαδρομής του αέρα μεταξύ των εισερχομένων και εξερχομένων ρευμάτων αέρα, η οποία θα πρέπει να περνάει μέσα από τη ζώνη δραστηριότητας των ενοίκων. Ένα τέτοιο μοτίβο ροής του αέρα παρεμποδίζεται εάν το κτίριο είναι κατακεραματισμένο. Κατά συνέπεια συνιστάται ένα εσωτερικό «ανοιχτό». Παραδείγματα διασταυρούμενου αερισμού απεικονίζονται στο σχήμα 2.8.



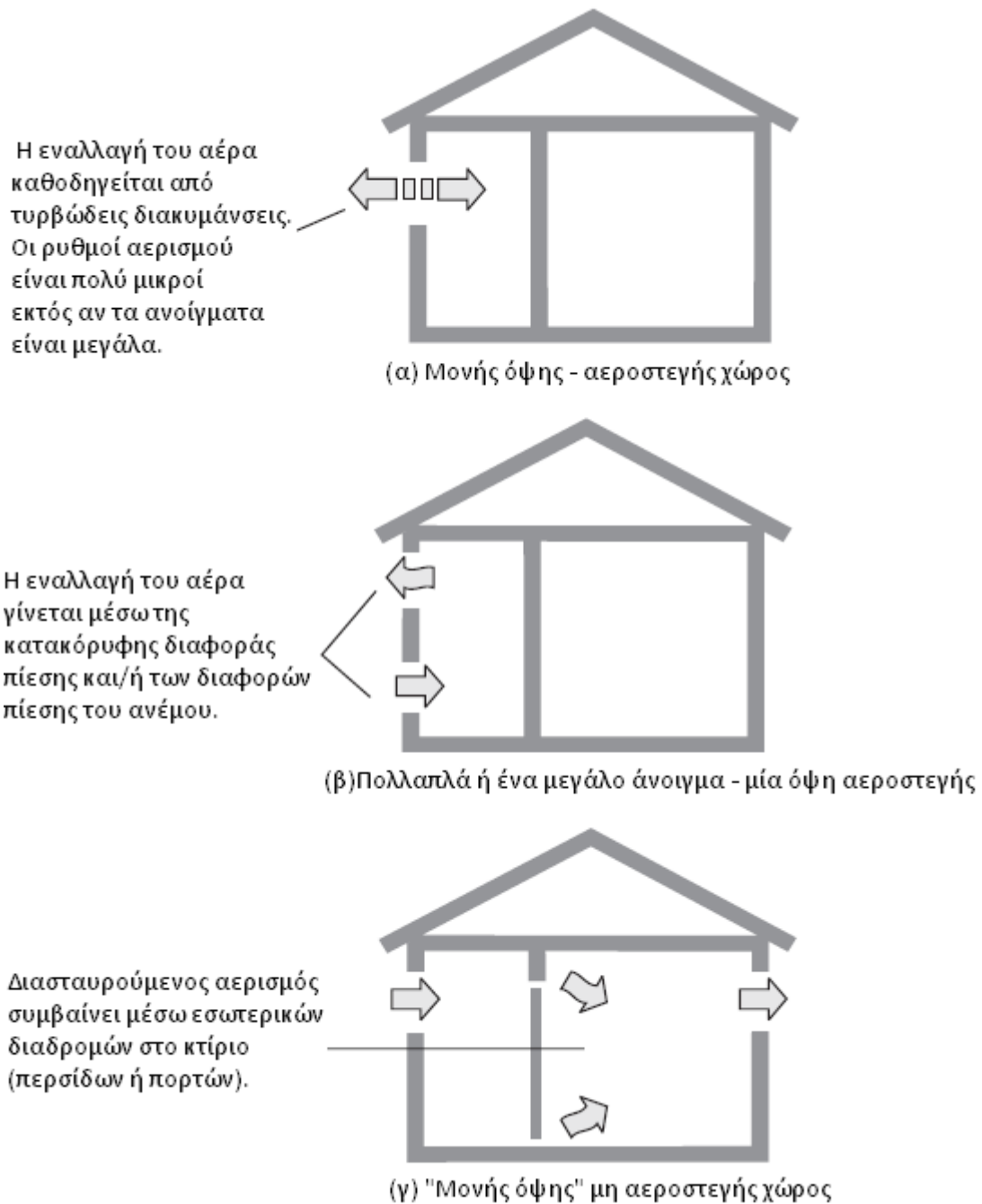
Σχήμα 2.8 – Διασταυρούμενος αερισμός

Αερισμό μονής όψης: Μερικές φορές ο σχεδιασμός αερισμού φαίνεται να είναι «μονής όψης», δεδομένου ότι τα ανοίγματα είναι τοποθετημένα κατά μήκος μόνο μίας πλευράς του χώρου. Στην πράξη ο μονής όψης αερισμός που γίνεται μέσω ενός μικρού ανοίγματος (βλ. Σχήμα 2.9 (α)) οδηγείται από τυχαία τυρβώδη ρεύματα. Αυτό το είδος αερισμού δεν είναι πολύ αξιόπιστο και δεν συνιστάται σε μια μελετημένη στρατηγική φυσικού αερισμού.

Γενικότερα, περισσότερα από ένα ανοίγματα μπορούν να τοποθετηθούν σε μια πλευρά ή ένα μοναδικό άνοιγμα το οποίο να είναι αρκετά μεγάλο ώστε ο αέρας να ρέει ταυτόχρονα σε δύο κατευθύνσεις (βλ. Σχήμα 2.9 (β)). Αερισμός στη συνέχεια καθορίζεται από τις πιέσεις του ανέμου και τις κατακόρυφες διαφορές πίεσης που δημιουργούνται. Για αυτούς τους τύπους αερισμού, ο ρυθμός αερισμού μπορεί να υπολογιστεί με τη χρήση υπολογιστικών μεθόδων δικτύου. Ικανοποιητική απόσταση

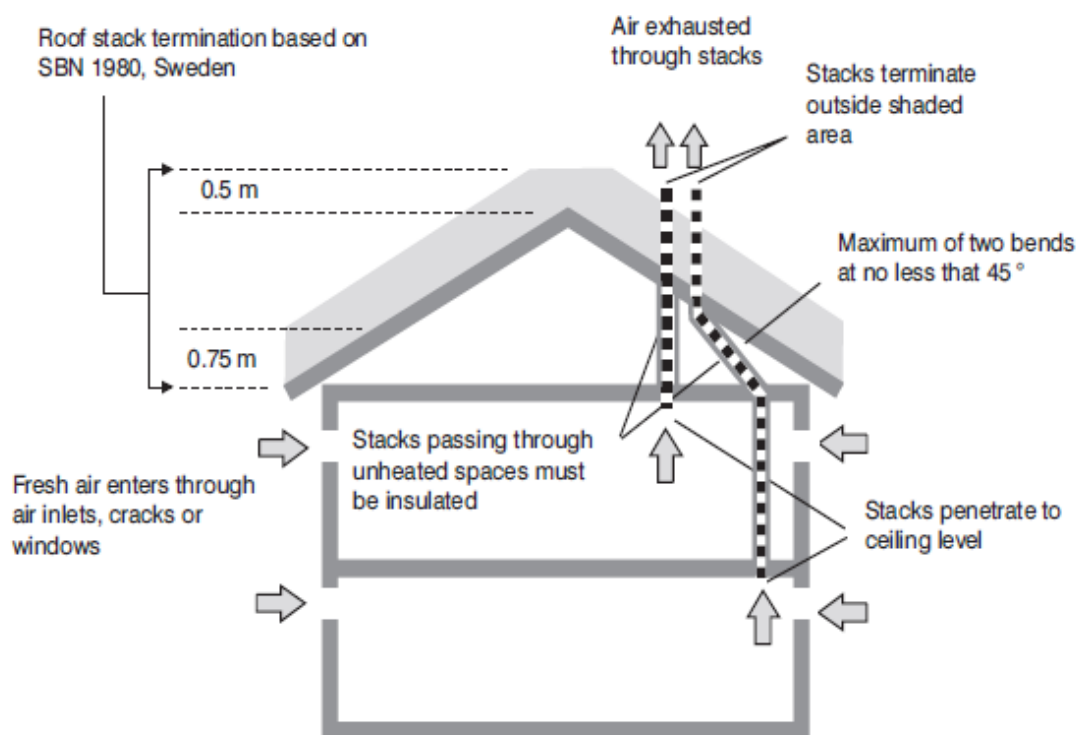
μεταξύ των ανοιγμάτων είναι απαραίτητη για να δημιουργήσει τον ρυθμό αλλαγών αέρα που χρειάζεται σε πρακτικές εφαρμογές.

Συχνά αερισμός που φαίνεται «μονής όψης», αποδεικνύεται ότι είναι διασταυρούμενος αερισμός» όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 2.9 (γ). Σε αυτό το παράδειγμα, ενυπάρχει μια δεύτερη ροή μέσα από τις χαραμάδες ή άλλες διόδους αέρα στα εσωτερικά χωρίσματα του κτιρίου. Ανοίγματα μεταξύ των εσωτερικών χώρων ή ανοιχτές πόρτες βοηθούν αυτήν τη διαδικασία.



Σχήμα 2.9 – Αερισμός μονής όψης

Πύργοι αερισμού: Παθητικά συστήματα όπως οι πύργοι αερισμού έχουν χρησιμοποιηθεί σε πολλές περιοχές της Σκανδιναβίας και σε άλλες τοποθεσίες σε όλη την Ευρώπη κυρίως για τον αερισμό των κατοικιών. Συνήθως χρησιμοποιούνται για να προωθήσουν την εξαγωγή του αέρα από «υγρά» δωμάτια. Δημιουργείται ροή αέρα προς την «καμινάδα» του πύργου αερισμού λόγω της πίεσης που δημιουργείται μέσα στην καμινάδα λόγω άνωσης και συγχρόνως λόγω του ελκυσμού που δημιουργεί ο άνεμος στην κορυφή. Παρά το γεγονός ότι ο ρυθμός ροής του αέρα είναι μεταβλητός, είναι δυνατό να υπάρξει κάποιος έλεγχος της ροής του αέρα, μέσω κυρίως της ρύθμισης του εισερχόμενου αέρα. Για κάθε δωμάτιο είναι απαραίτητος ένας ξεχωριστός πύργος αερισμού. Περιστασιακά μπορεί να υπάρξει «αντιστροφή ροής» όταν η πίεση που δημιουργείται στον πύργο αερισμού δεν μπορεί να ξεπεράσει τη στατική πίεση του εξωτερικού κρύου αέρα που υπάρχει πάνω από την «καμινάδα» του πύργου αερισμού. Αυτή η αντιστροφή της ροής, αν συμβεί, είναι συνήθως προσωρινή και κανονικά δεν θα πρέπει να παρουσιάσει πρόβλημα στην ποιότητα του εσωτερικού αέρα. Μερικές φορές αγωγοί που ξεκινούν από μεμονωμένα δωμάτια ή διαμερίσματα συνδέονται σε έναν κεντρικό πύργο αερισμού. Σε αυτήν την περίπτωση υπάρχει σοβαρός κίνδυνος διασταυρούμενης μόλυνσης μεταξύ των συνδεδεμένων χώρων.



Σχήμα 2.10 – Πύργος αερισμού (για κατοικία)

Προκειμένου να λειτουργεί σωστά ο πύργος αερισμού απαιτείται προσεκτικός σχεδιασμός (οι πύργοι αερισμού είναι πιο κατάλληλοι για μέτρια έως μέτρια ψυχρά κλίματα, όπου μπορεί να αναπτυχθεί μια συνεπής κινητήρια δύναμη κατά τη διάρκεια

του χειμώνα). Ένας τυπικός σχεδιασμός για μονοκατοικία απεικονίζεται στο Σχήμα 2.10 . Η διάμετρος του πύργου (της «καμινάδας») είναι τυπικά μεταξύ 100 και 150 χιλιοστών. Δεδομένου ότι οι απώλειες τριβής πρέπει να ελαχιστοποιηθούν, είναι προτιμότερο ο πύργος να είναι εντελώς ίσιος και κατακόρυφος. Σε περίπτωση που δεν γίνεται να είναι εντελώς κατακόρυφος δεν θα πρέπει να υπάρχουν περισσότερες από δύο γωνίες και αυτές δεν θα πρέπει να υπερβαίνουν τις 45 °. Επίσης ο πύργος θα πρέπει να τερματίζει στον χώρο «αρνητικής πίεσης» πάνω από την οροφή του κτιρίου. Όπου χρησιμοποιείται εύκαμπτος αεραγωγός θα πρέπει να κοπεί στο ακριβές μήκος που απαιτείται ώστε να αποφευχθεί συσπίρωση του αγωγού. Αγωγοί που διέρχονται μέσω μη θερμαινόμενων χώρων πρέπει να είναι μονωμένοι προκειμένου να αποφευχθεί κάθε συμπύκνωση. Εισαγωγή καθαρού αέρα θα πρέπει να γίνεται από ελεγχόμενα ανοίγματα.

Κεφάλαιο 3

1. Διαθέσιμες μέθοδοι και τεχνικές υπολογισμού του αερισμού κτιρίων.

3.1.1 Εισαγωγή στην προσομοίωση του αερισμού κτιρίων.

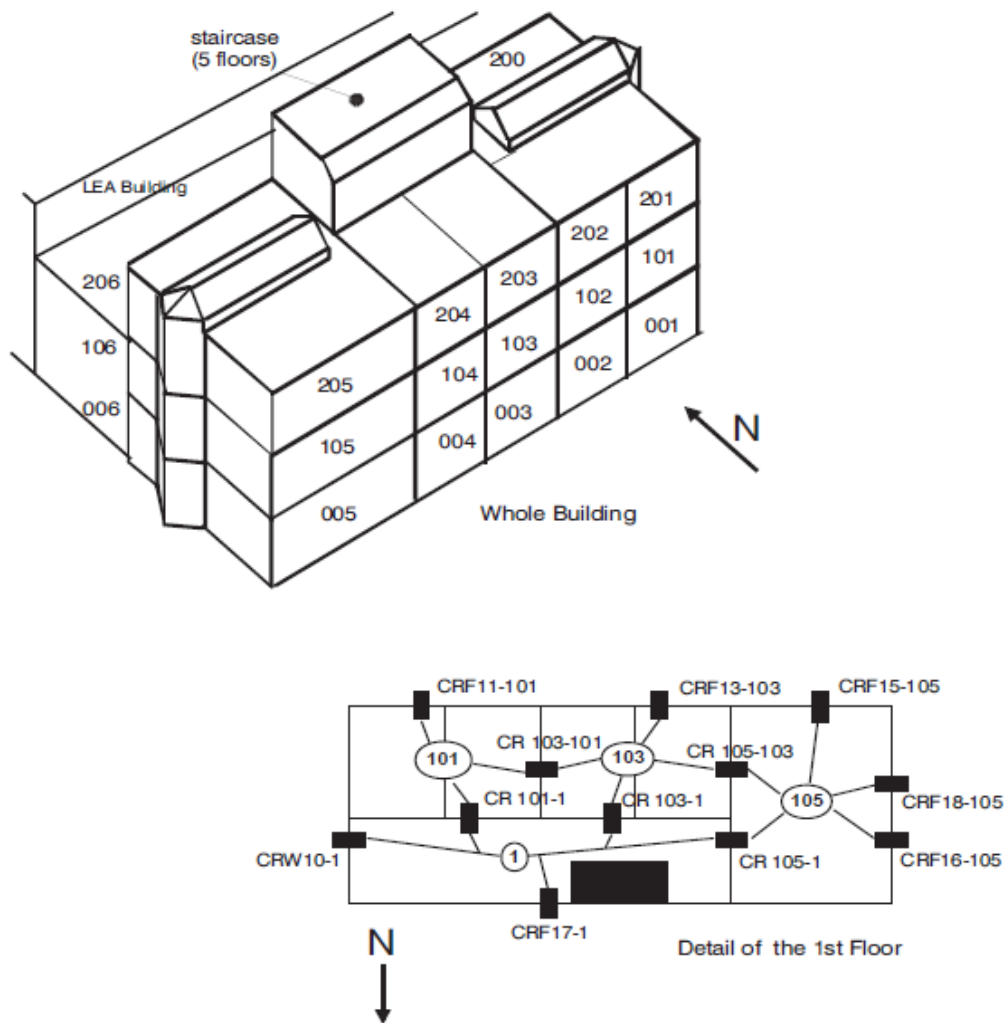
Οι τεχνικές υπολογισμού και τα αριθμητικά μοντέλα είναι απαραίτητα για κάθε διαδικασία σχεδιασμού. Παρέχουν τα μέσα με τα οποία ο σχεδιαστής μπορεί να αναπτύξει και ερευνήσει μια ιδέα πριν να δεσμευτεί για τα αποτελέσματά της. Τυπικά στοιχεία σχεδιασμού αποτελούν το μέγεθος και η απόδοση του συστήματος, η πρόβλεψη της ποιότητας του εσωτερικού αέρα, η ενεργειακή κατανάλωση, καθώς και η ανάλυση κόστους-οφέλους.

Μια υπολογιστική μέθοδος ή μοντέλο χρησιμοποιείται για να αναλύσει την αλληλεπίδραση διαφόρων σχεδιαστικών επιλογών με σταθερούς τους περιορισμούς που υπάρχουν. Μια τέτοια διαδικασία είναι αναγκαστικά επαναληπτική, με προσαρμογές που γίνονται στις παραμέτρους που μπορούν να ελεγχθούν, μέχρις ότου επιτευχθεί μία βέλτιστη λύση σχεδιασμού.

Ένα ευρύ φάσμα μεθόδων διαφορετικής πολυπλοκότητας έχουν αναπτυχθεί χωρίς να είναι κάποια μέθοδος καταλληλότερη σε γενικό πλαίσιο. Η επιλογή μεθόδου ποικίλλει ανάλογα με το απαιτούμενο επίπεδο της ακρίβειας, της διαθεσιμότητας των δεδομένων και ο τύπος του κτιρίου που μελετάται. Καθώς τα σχέδια έχουν γίνει πιο πολύπλοκα και οι απαιτήσεις ως προς τις αποδόσεις μεγαλύτερες, είναι ολοένα και πιο σημαντικό για το σχεδιαστή να είναι σε θέση να κατανοεί και να χρησιμοποιεί τις υπολογιστικές μεθόδους. Η ανάγκη αυτή είχε ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη βελτιωμένων αλγορίθμων και ευρύτερη διαθεσιμότητα σχεδιαστικών δεδομένων.

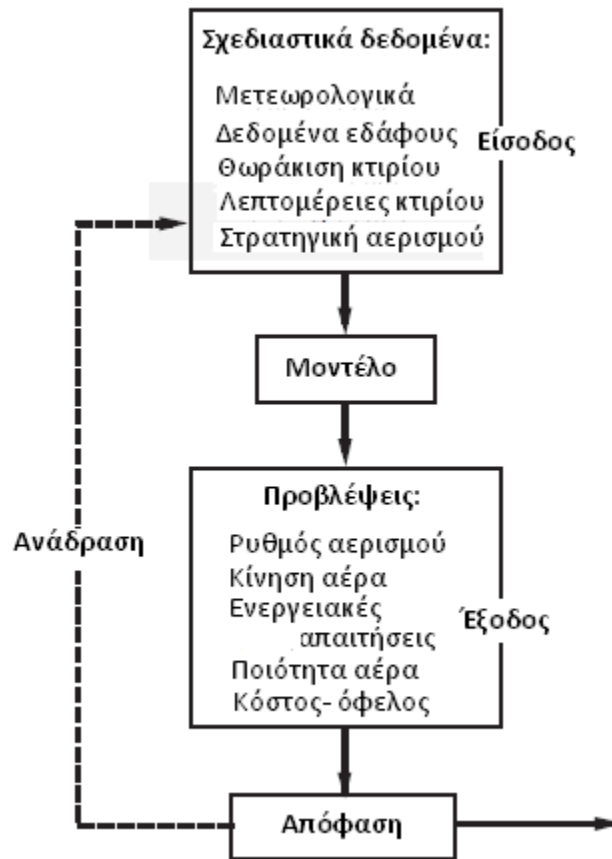
Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται κυρίως προσδιορίζουν:

- το ρυθμό αλλαγής του αέρα σε κτίρια και χώρους
- την ταχύτητα ροής του αέρα μέσω διείσδυσης και εν δυνάμει ανοίγματα (μέθοδοι δικτύου, βλέπε σχήμα 3.1),
- το μοτίβο της ροής του αέρα σε ένα χώρο (υπολογιστική ρευστομηχανική)



Σχήμα 3.1 – Αναπαράσταση του κτιρίου ως ένα Δίκτυο Ροών.

Αριθμητικά μοντέλα αερισμού χρησιμοποιούνται προκειμένου να υπολογιστούν οι ροές αέρα εντός και εκτός του κτιρίου και μεταξύ των χώρων ή αλλιώς «ζωνών» μέσα στο κτίριο. Υπάρχουν πολλές τεχνικές υπολογισμού διαθέσιμες για τον υπολογισμό αυτών των ροών καθώς και άλλων παραμέτρων που σχετίζονται με τον αερισμό των κτιρίων. Τα κύρια προβλήματα αφορούν την ευκολία χρήσης και την παροχή των δεδομένων εισόδου. Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα δεδομένα εισόδου που χρησιμοποιούνται και οι πιο κατάλληλες περιπτώσεις εφαρμογής των μοντέλων αυτών.



Σχήμα 3.2 – Ο ρόλος της προσομοίωσης στον σχεδιασμό του αερισμού.

Σε γενικές γραμμές, ο σχεδιαστής βρίσκεται αντιμέτωπος με ένα σύνολο σταθερών όρων που αφορούν το περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται το κτήριο. Αυτοί οι όροι περιλαμβάνουν το κλίμα, τις πηγές ρύπων (π.χ. από την κίνηση και τα παρακείμενα κτίρια κ.λπ.), τα χαρακτηριστικά του εδάφους και τη θωράκιση που υφίσταται από τα γύρω κτίρια.

Οι τεχνικές υπολογισμού αποτελούν μέρος της διαδικασίας σχεδιασμού προκειμένου να ταιριάζουν οι αντίστοιχες μεταβλητές (π.χ. σχεδιασμός κτιρίου, προσέγγιση του αερισμού, κλπ.), με τους διάφορους περιορισμούς σχεδιασμού, ώστε να επιτευχθεί μια βέλτιστη λύση αερισμού (βλ. Σχήμα 3.2). Η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων εξαρτάται από την καλή γνώση των τεχνικών και των δεδομένων του σχεδιαστή.

3.1.2 Μοντέλα αερισμού που χρησιμοποιούνται – Πεδία εφαρμογής τους

Όπως αναφέρθηκε, σκοπός των μοντέλων αερισμού είναι η αξιολόγηση του ρυθμού και της διεύθυνσης των ροών του αέρα. Η αρχή στην οποία στηρίζονται τέτοιου είδους προγράμματα είναι ότι για συγκεκριμένες οριακές συνθήκες, προβλέπουν το

ρυθμό ροής της μάζας του αέρα σε σταθερή κατάσταση διαμέσου των ανοιγμάτων του κτιρίου (δηλαδή με το εξωτερικό του κτιρίου), και σε μερικές περιπτώσεις μεταξύ διαφορετικών ζωνών εντός του κτιρίου. Είναι βασική υπόθεση σε αυτά τα μοντέλα ότι οι εισερχόμενες και εξερχόμενες ροές αέρα πρέπει να ισούνται, λόγω της αρχής διατήρησης της μάζας.

Τα χαρακτηριστικά και οι δυνατότητες των παρακάτω μοντέλων αναφέρονται συνοπτικά παρακάτω.

- AIDA
- AIM-2
- AIOLOS
- BREEZE
- CEN simplified calculation procedures
- CIBSE 'inverse sizing' model
- COMIS
- CONTAMW
- LBL
- LESOCOOL
- NatVent
- NatVent Na VIAQ
- NiteCool
- PASSPORT Plus
- SUMMER
- VENT

Επιπλέον στο τρίτο μέρος αναλύεται και το πρόγραμμα COMIS το οποίο και χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία.

Τα περισσότερα μοντέλα που αναφέρονται είναι «μοντέλα δικτύου». Σε ένα μοντέλο δικτύου, το κτίριο αναπαρίσταται από ένα σύνολο «ζωνών», οι οποίες συνδέονται μεταξύ τους με διαδρομές ροών αέρα. Αυτού του είδους η αναπαράσταση είναι γνωστή ως δίκτυο αέριων ροών. Κάθε ζώνη τυπικά αναπαριστά έναν ανεξάρτητο χώρο, και οι διαδρομή ροής αέρα αναπαριστά τη διαδρομή που ακολουθεί ο καθαρός αέρας, μέσω των ανοιγμάτων. Οι εξισώσεις της ροής εφαρμόζονται συσχετίζοντας την διαφορά πίεσης στα άκρα κάθε διαδρομής με την ροή αέρα που ακολουθεί τη διαδρομή αυτή. Πρόσθετες εξισώσεις αναπαριστούν τις διαφορές πίεσης που δημιουργούνται από ανεμιστήρες αερισμού. Τα κύρια βήματα για τη ρύθμιση των μοντέλων δικτύου είναι:

- η επιλογή των κατάλληλων εξισώσεων για τις διαδρομές από τις οποίες υπάρχει διαρροή αέρα, για τα ανοίγματα και τους αγωγούς αερισμού,
- η ανάπτυξη του δικτύου διαδρομών του αέρα,
- ο καθορισμός της διανομής της πίεσης στο κτίριο λόγω του ανέμου και
- ο καθορισμός των φυσικών (άνεμος και θερμοκρασιακές διαφορές) και μηχανικών δυνάμεων (ανεμιστήρες) που οδηγούν τις ροές αέρα στο κτίριο.

Ο πίνακας 1 παρέχει μια σύνοψη των πεδίων εφαρμογής των προαναφερθέντων μοντέλων. Οι λόγοι οι οποίοι καθιστούν χρήσιμα τα μοντέλα αερισμού είναι:

- εκτίμηση του σχεδιασμού αερισμού πριν και μετά την κατασκευή του,
- πρόβλεψη του εσωτερικού κλίματος του κτιρίου,
- σχεδιασμός του συστήματος αερισμού ώστε να είναι ενεργειακά αποδοτικό, ή
- επαλήθευση του σχεδιασμού.

Τα παραπάνω μπορεί να απαιτούν συμπληρωματικούς υπολογισμούς βάσει των ροών αέρα και των προβλέψεων αερισμού, όπως:

- καθορισμό του ενεργειακού κόστους του αερισμού
- **πρόβλεψη της συγκέντρωσης ρύπων** (ανάλυση ποιότητας του εσωτερικού αέρα και της αποδοτικότητας του συστήματος στην απομάκρυνση των ρύπων),
- εκτίμηση της μεταφοράς ρύπων μεταξύ των ζωνών ή μεταξύ εξωτερικού και εσωτερικού του κτιρίου,
- υπολογισμό πιέσεων λόγω ελκυσμού σε χώρους και κτίριο ή αξιολόγηση διασταυρούμενης μόλυνσης,
- διαστασιολόγηση των ανοιγμάτων αερισμού (για βελτιστοποίηση του συστήματος),
- ανάλυση κόστους και ενεργειακής απόδοσης (για παράδειγμα, προκειμένου να επιλεγεί η στρατηγική αερισμού), και
- ανάλυση θερμικής άνεσης (αποφυγή ρευμάτων αέρα και ανεπιθύμητων θερμοκρασιών)

Γενικά, όσο πιο απλό είναι το μοντέλο, τόσο λιγότερα δεδομένα εισόδου θα απαιτεί. Επίσης, η ποιότητα των αποτελεσμάτων θα βασίζεται έντονα στην ποιότητα των δεδομένων εισόδου αλλά θα επηρεάζεται επίσης από τις υποθέσεις που γίνονται από το ίδιο το μοντέλο.

Πίνακας 1(α) – Τα πεδία εφαρμογής των μοντέλων αερισμού συνοπτικά.

	Ventilation rates	Indoor air quality	Indoor air temperature	Sizing of natural ventilation openings	
Simplified single zone	AIM-2 CEN-explicit LBL VENT			CIBSE 'Inverse Sizing' Model	
Simplified thermal + ventilation	LESOCOOL NatVent® NiteCool SUMMER-Build.			LESOCOOL NatVent® NiteCool	LESOCOOL NiteCool
Single zone ventilation	AIDA CEN-implicit				
Multi-zone ventilation	AIOLOS BREEZE COMIS CONTAMW	BREEZE COMIS CONTAMW NatVent® - NaVIAQ			
Thermal + ventilation	Passport Plus SUMMER-Tech.		Passport Plus		

Πίνακας 2(α) – Τα πεδία εφαρμογής των μοντέλων αερισμού συνοπτικά.

	AIDA	AIM-2	AIOLOS	BREEZE	CEN	
					Explet	Implct
Simplified	No	Yes	No	No	Yes	No
Single zone/ Multi-zone	Single	Single	Multi-	Multi-	Single	
Modelling of air handling systems	Fixed air flows	Not applicable	Not applicable	Partial	Fixed air flows	
Component airtightness database	No	Not applicable	No	No	No	
Airtightness data format	Power law	Equivalent leakage area	Orifice (large vertical), power law (cracks)	Power law or quadratic	Power law	
Two-way flow modelled in large openings	No	No	Yes	Yes	No	
Default wind pressure coeffs. - calculated - database	No	Simplified	Yes Yes	No	(Yes)	
Pollutant generation schedules	Not applicable	Not applicable	Not applicable	(Yes)	Not applicable	
Occupancy schedules	No	No	No	No	No	
Opening schedules	No	No	Yes	(Yes)	No	
Long term meteorological data input files	No	No	Yes	(Yes)	No	
Type of user interface	Mini-spreadsheet MS-Windows™	Paper based	Menu MS-Windows™	Graphical DOS	Paper based	Algor- ithm only
Output format	Numerical	Numerical	Numerical + graphical	Numerical + graphical	Paper based	Algor- ithm only
Availability	Public domain	Public domain	Commercial	Commercial	Public domain	

Πίνακας 2(β) – Τα πεδία εφαρμογής των μοντέλων αερισμού συνοπτικά.

	CIBSE	COMIS	CONTAMW	LBL	NatVent*
Simplified Single zone/ Multi-zone	Yes Single	No Multi-	No Multi-	Yes Single	Yes Single
Modelling of air handling systems	Not applicable	Yes	Yes	Not applicable	Not applicable
Component airtightness database	Not applicable	User defined	User defined	Not applicable	Not applicable
Airtightness data format	Orifice equation	Power law or quadratic	Power law or quadratic	Effective leakage area	Equivalent leakage area
Two-way flow modelled in large openings	No	Yes	Yes	No	No
Default wind pressure coeffs. - calculated - database	No	Yes	Yes	Simplified	Simplified
Pollutant generation schedules	Not applicable	Yes	Yes	Not applicable	Not applicable
Occupancy schedules	Not applicable	Yes	Yes	No	Yes
Opening schedule	No	Yes	Yes	No	No
Long term meteorological data input files	No	Yes	Yes	No	Yes
Type of user interface	Paper based	Graphical MS-Windows™	Graphical MS- Windows™	Paper based	Menu MS-Windows™
Output format	Paper based	Numerical	Numerical and graphical	Numerical	Graphical
Availability	Public domain	Eventually commercial ?	Public domain	Public domain	Commercial

Πίνακας 2(γ) – Τα πεδία εφαρμογής των μοντέλων αερισμού συνοπτικά.

	NatVent® NaVIAQ	NiteCool	PASSPORT Plus	Summer		VENT
				Build.	Tech.	
Simplified Single zone/ Multi-zone Modelling of air handling systems Component airtightness database Airtightness data format	Yes	Yes	No	Yes	No	Yes
	Multi-	Single	Multi-	Single	Multi-	Single
	Not applicable	Fixed air flows	Fixed air flows	Not applicable		Fixed air flows
	Not applicable	Not applicable	No	No		No
Two-way flow modelled in large openings Default wind pressure coeffs. - calculated - database	Not applicable	Opening area	Opening area	Open- ing dimen- sions	Open- ing + crack dimen- sions	Quadratic
	No	No	Yes	No	Yes	No
Pollutant generation schedules	Simplified		No	No		No
	(Yes)	Yes Not applicable	Not applicable	Not applicable		Not applicable
Occupancy schedules	No	Some	Yes	No		No
Opening schedule	Yes	Yes	Yes	Yes		No
Long term meteorological data input files	No	Summary only	Yes	Yes		No
Type of user interface	Menu MS-Windows™	Menu MS-Windows™	Menu DOS	Menu MS-Windows™		DOS
Output format	Graphical	Graphical + numerical	Numerical	Graphical + numerical		Numerical
Availability		Commercial	Commercial	Commercial		Public domain

Είναι σημαντικό να υπάρχει η αξιοπιστία στα μοντέλα αερισμού, δηλαδή ότι δίνουν ακριβή αποτελέσματα που προσεγγίζουν τις αντίστοιχες μετρήσεις. Γι' αυτό το λόγο έχουν γίνει ασκήσεις αξιολόγησης προκειμένου να συγκριθούν τα αποτελέσματα των μοντέλων με πειραματικά αποτελέσματα.

Μοντέλα αερισμού CFD

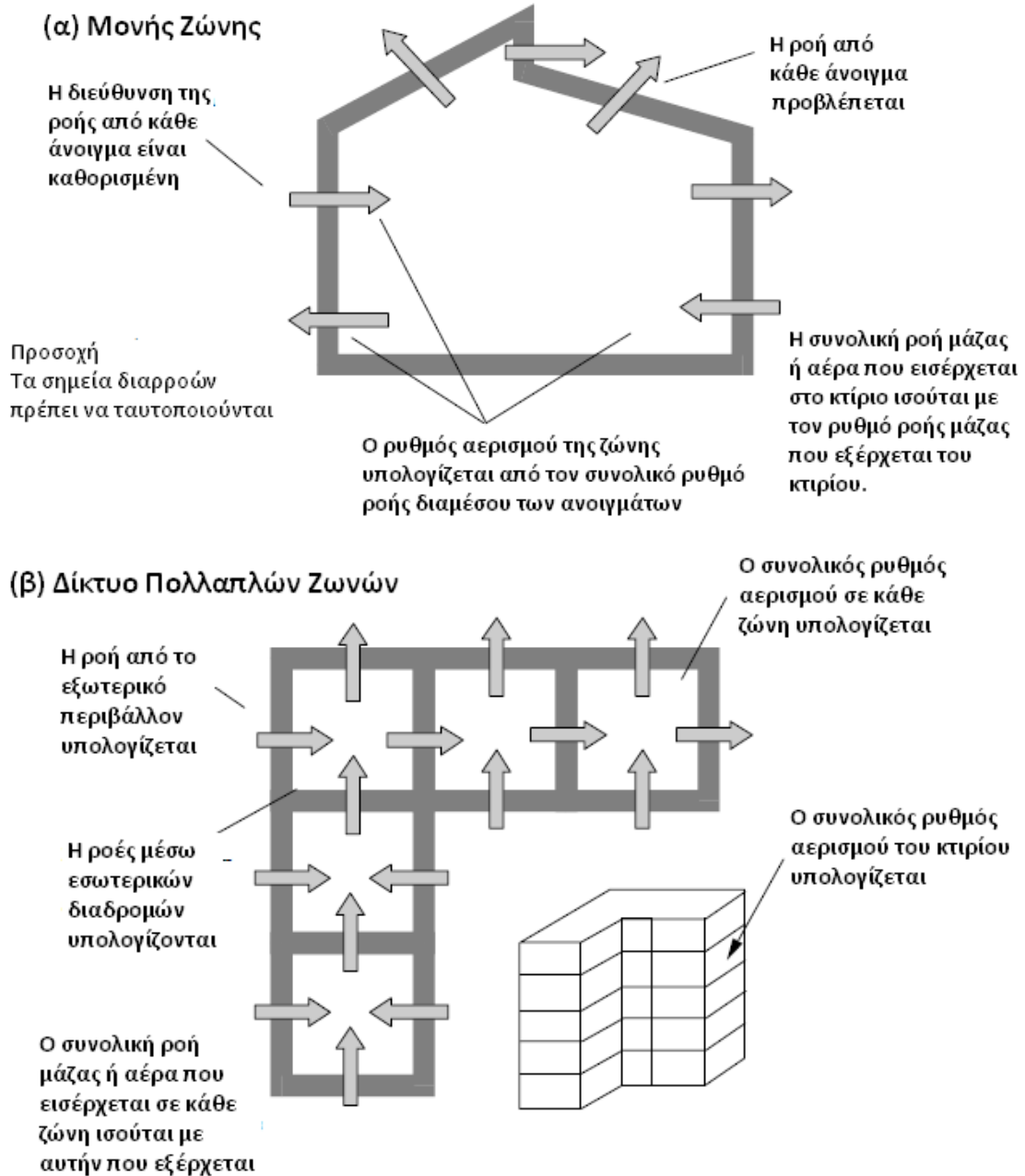
Η εφαρμογή της υπολογιστική ρευστομηχανικής, CFD, ξεκίνησε στις αρχές της δεκαετίας του '30 του 20ου αιώνα ως μια προσομοίωση σε ηλεκτρονικό υπολογιστή, στην οποία περιέχονταν σύμμεικτες φυσικές επιστήμες, αριθμητικές μέθοδοι και

γραφικά υπολογιστών, συνδυασμένα σε ένα ενιαίο σύνολο. Πλέον, εφαρμόζεται ευρέως σε όλους τους τομείς. Υιοθετεί μια σειρά πεπερασμένων διακριτών σημείων στα οποία τοποθετούνται μεταβλητές τιμές που εκφράζουν το αρχικό και στη συνέχεια το μεταβαλλόμενο πεδίο φυσικών ποσοτήτων και τιμών στο χώρο και χρόνο. Τέλος, μπορούμε να πάρουμε μια προσέγγιση του μεταβλητού πεδίου επιλύοντας ένα σύνολο αλγεβρικών εξισώσεων. Σε σχέση με τις παραδοσιακές μεθόδους που βασίζονται στη θεωρία «ζωνών» και με τις πειραματικές μετρήσεις, τα μοντέλα αερισμού CFD έχουν το πλεονέκτημα της καλής προσαρμογής και της ευρείας εφαρμογής. Συγχρόνως όμως έχουν το μειονέκτημα να είναι πιο περίπλοκα, πιο απαιτητικά σε δυνατότητες των υπολογιστικών συστημάτων και πιο χρονοβόρα είτε στον χειρισμό, είτε στην απόδοση των αποτελεσμάτων. Προς το παρόν, μοντέλα CFD που εφαρμόζονται ευρέως είναι τα Fluent, Phoenics, Airpak (Yang, Ye, 2014) και άλλα.

3.1.3 Μιας ζώνης και πολλαπλών ζωνών μοντέλα

Σε μερικά από τα πιο απλά μοντέλα, τα κτίρια μεταχειρίζονται ως μιας ζώνης. Γίνεται η υπόθεση ότι ο εσωτερικός αέρας βρίσκεται σε μια ενιαία θερμοκρασία. Αυτοί οι τύποι των μοντέλων ρυθμίζονται γρήγορα και οι αριθμητικές διαδικασίες επίλυσης γίνονται επίσης γρήγορα. Ωστόσο, η ταχύτητα αυτή είναι εις βάρος της ακρίβειας των αποτελεσμάτων. Μία σχηματική αναπαράσταση ενός κτιρίου που διαχειρίζεται ως μονοζωνικό δίνεται στο Σχήμα 3.3(α). Σε αυτήν την περίπτωση όμως δεν υπάρχει περιθώριο τροποποιήσεων για εσωτερικούς τοίχους ή πατώματα ή για τις διαρροές αέρα από σχισμές και ανοίγματα που διαπιστώνονται στην πράξη.

Από την άλλη, τα πολλαπλών ζωνών μοντέλα επιτρέπουν το διαχωρισμό ενός κτιρίου σε ζώνες, οι οποίες έχουν διαφορετικές εσωτερικές πιέσεις και θερμοκρασίες μεταξύ τους. Η επίλυσή τους δίνει λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με το ρυθμό ροής μάζας για όλες τις διαδρομές του αέρα, αλλά σίγουρα καθυστερεί περισσότερο από την επίλυση των μοντέλων μιας ζώνης. Στην Εικόνα 1(β) αποτυπώνεται μια σχηματική αναπαράσταση ενός μοντέλου πολλαπλών ζωνών. Και οι δύο τύποι μοντέλων βασίζονται στην «αρχή διατήρησης της μάζας» των αέριων ροών που διαπερνούν το κτίριο. (Μια διαφορετική πιθανή προσέγγιση, που μπορεί να προτιμάται ο σχεδιασμός γίνεται προκειμένου να επιτύχει συγκεκριμένους ρυθμούς ροής, παρατίθεται στο CIBSE.1997. το μοντέλο «αντίστροφης διαστασιολόγησης», το οποίο μελετήθηκε εκτενέστερα από τον Axley, 1998. Το μέγεθος των απαραίτητων ανοιγμάτων που απαιτούνται κατά τον φυσικό αερισμό προκειμένου να επιτυγχάνονται οι απαιτούμενοι ρυθμοί ροής, βρίσκονται με αυτήν την τεχνική.)



Σχήμα 3.3 – Διαδρομές ροής σε δίκτυα μοντέλων μίας και πολλαπλών ζωνών. (από Liddament, 1996)

3.1.4 Μοντέλα αερισμού και εργαλεία θερμικής προσομοίωσης του κτιρίου

Οι εναλλαγές του αέρα επηρεάζονται κατά ένα βαθμό από τις θερμοκρασιακές συνθήκες, γι' αυτό δεν είναι πάντα δυνατό να εξεταστούν τα μοντέλα αερισμού, που βασίζονται στην διατήρηση της μάζας, ξεχωριστά από τα θερμικά μοντέλα, τα οποία

βασίζονται στην διατήρηση της ενέργειας. Γι' αυτό το λόγο, μπορεί να καταστεί απαραίτητο δύο τύποι μοντέλων να συνδυαστούν.

Τα θερμικά μοντέλα, σε σχέση με τα μοντέλα αερισμού, επικεντρώνονται στην μεταφορά θερμότητας μέσα και έξω από τα κτίρια. Δύνανται να λάβουν υπόψη αποθήκευση ενέργειας στη μάζα του κτιρίου και μεταφορά της, ηλιακά κέρδη, όπως και άλλα θερμικά κέρδη και απώλειες. Ως εκ τούτου, δεν θα δώσουν απάντηση σε ερωτήματα που αφορούν την ποιότητα του εσωτερικού αέρα, ή επίσης δεν θα επιλύσουν εντελώς ζητήματα θερμικής άνεσης. Κι αυτό γιατί στα δεδομένα εισόδου των θερμικών μοντέλων, μερικές φορές γίνεται η υπόθεση ότι οι ρυθμοί ροής αέρα είναι σταθεροί, δηλαδή δεν αλλάζουν με το πέρασ του χρόνου. Αυτή η υπόθεση μπορεί να απομακρύνει τα αποτελέσματα από την πραγματική θερμική συμπεριφορά του κτιρίου, καθώς στην πραγματικότητα, οι ρυθμοί ροής σε συστήματα φυσικού αερισμού ή σε κτίρια μη επαρκώς σφραγισμένα, αλλάζουν σημαντικά με το πέρασ του χρόνου.

Μοντέλα αερισμού και νυχτερινός δροσισμός

Ο νυχτερινός δροσισμός είναι μια στρατηγική αερισμού που εφαρμόζεται σε αρκετά ξηρά κλίματα προκειμένου να αποφευχθεί (ή έστω να μειωθεί) η ανάγκη για ψύξη, χρησιμοποιώντας τον αέρα κατά τη διάρκεια της νύχτας για να κρυώσει τη μάζα του κτιρίου. Με αυτόν τον τρόπο κατά τη διάρκεια της ημέρας, ο εισερχόμενος αέρας ψύχεται καθώς εισέρχεται στο κτίριο, μέχρις ότου αυτό φτάσει σε μια θερμική ισορροπία με το περιβάλλον. Ορισμένα μοντέλα αερισμού, έχουν συμπεριλάβει στους υπολογισμούς τους την επίδραση του νυχτερινού δροσισμού (π.χ. NiteCool) στις εσωτερικές θερμοκρασίες του κτιρίου κατά τη διάρκεια της ημέρας. Κι αυτό γιατί λαμβάνουν υπόψη την αποθήκευση ενέργειας στη μάζα του κτιρίου καθώς και τα ηλιακά κέρδη.

Ορισμένα μοντέλα αερισμού έχουν δοθεί για χρήση στο ευρύ κοινό (π.χ. CONTAMW, COMIS, AIDA) όταν άλλα είναι εμπορικά διαθέσιμα (π.χ. BREEZE). Είναι μια πρόκληση για τους χρήστες των μοντέλων, η σωστή ρύθμιση των δεδομένων, καθώς αυτές οι ρυθμίσεις μπορεί να έχουν σημαντική επίδραση στα τελικά αποτελέσματα. Τα δεδομένα εισόδου θα πρέπει να δίδονται σωστά, και τα αποτελέσματα να ερμηνεύονται κατάλληλα. Γι' αυτό απαιτείται προσεκτική καθοδήγηση για την προετοιμασία και το στήσιμο κάθε μοντέλου. Οι [Furbringer et al \(1996a\)](#), περιγράφουν ασκήσεις που έγιναν με το πρόγραμμα COMIS αλλά και με άλλα μοντέλα, κατά τις οποίες διαφορετικοί χρήστες παρήγαγαν μεγάλη ποικιλία αποτελεσμάτων προσομοιώνοντας την ίδια ακριβώς περίπτωση.

3.1.5 Δεδομένα για την προσομοίωση του αερισμού.

Δεδομένα εισόδου σε σχέση με το κτίριο

Προκειμένου να ρυθμιστούν τα μοντέλα αερισμού, είναι απαραίτητο να σχεδιαστεί ένας τύπος «δικτύου ροών αέρα». Αυτό το δίκτυο περιλαμβάνει και τα σημεία (τις σχισμές) από όπου ο αέρας διέρχεται μέσω στον δομικών στοιχείων του κτιρίου και τα στοιχεία του συστήματος αερισμού, τα οποία συνδέουν μέρη του κτιρίου με τον εξωτερικό αέρα (ή και μέρη του κτιρίου μεταξύ τους, στην περίπτωση των μοντέλων πολλαπλών ζωνών). Τυπικά τα σημεία εξόδου του αέρα σχεδιάζονται σε συνάρτηση με τα κατασκευαστικά στοιχεία του κτιρίου. Πριν το σχεδιασμό του δικτύου ροών αέρα, κάποια χαρακτηριστικά του κτιρίου πρέπει να έχουν εξακριβωθεί:

- η αεροστεγανότητα του κτιρίου, ή
- η αεροστεγανότητα των τμημάτων του κτιρίου, και
- το μέγεθος και η θέση των προβλεπόμενων ανοιγμάτων αερισμού,
- τα χαρακτηριστικά των εγκατεστημένων ανεμιστήρων (αν υπάρχουν),
- οι συντελεστές πίεσης λόγω του ανέμου (c_p)

Στις ενότητες που ακολουθούν, τα παραπάνω θα εξεταστούν λεπτομερέστερα. *Παρ' όλα αυτά, είναι σημαντικό να τονιστεί ότι η αεροστεγανότητα από μόνη της δεν είναι αρκετή ώστε να καθορίσει το ρυθμό αερισμού. Θα πρέπει να υπάρχει η γνώση για το ποιες είναι οι δυνάμεις που καθοδηγούν τις εναλλαγές αέρα, για παράδειγμα ο άνεμος, οι θερμοκρασιακές διαφορές, ο μηχανικός αερισμός, ώστε να καθορίζονται και να αξιολογούνται οι πραγματικοί ρυθμοί αερισμού. Αυτός είναι ο ρόλος της μοντελοποίησης του αερισμού.*

Είναι σημαντικό να γίνει ένας προσεκτικός σχεδιασμός του δικτύου ροών αέρα για το κτίριο που προσομοιώνεται, ακόμα και πριν ξεκινήσει η διαδικασία εισαγωγής των δεδομένων που γίνεται μέσα από ένα γραφικό περιβάλλον. Έχοντας μια ξεκάθαρη εικόνα του δικτύου, η διαδικασία ρύθμισης του μοντέλου γίνεται πιο απλή. Οι πιθανότητες για παραλείψεις ή λάθη μειώνονται επίσης με τη συστηματική ταυτοποίηση των ζωνών και των μεταξύ τους συνδέσεων (ανοίγματα μέσω των οποίων κυκλοφορεί ο αέρας).

Στην πράξη, χρειάζεται να ληφθούν αποφάσεις για τον καθορισμό ορισμένων δεδομένων όπως ο αριθμός και η θέση των διαδρομών της ροής, οι συντελεστές διαρροής από ανοίγματα και η κατανομή της πίεσης λόγω ανέμου. Τα προγράμματα δίνουν μερικά έτοιμα δεδομένα εισόδου προκειμένου να γίνουν πιο εύκολα ευρέως προσβάσιμα από τους χρήστες. Βέβαια, είναι ένα ερώτημα κατά πόσο οι χρήστες κατανοούν τη σημασία αυτών των δεδομένων καθώς και τη χρήση τους. Η ικανότητα των χρηστών είναι αυτή που διασφαλίζει αξιόπιστα αποτελέσματα.

Τα δεδομένα για τη διαρροή αέρα είναι στοιχειώδη για το σχεδιασμό των δικτύων ροών αέρα, άρα και για την προσομοίωση του αερισμού. Σημεία διαρροής

(«μονοπάτια») δύναται να υφίστανται μέσα στα δομικά στοιχεία του κτιρίου ή μεταξύ τους.

Η μειονότητα των σημείων διαρροής είναι μονωμένα, εύκολα αναγνωρίσιμα ανοίγματα, τα οποία μπορούν να προσομοιωθούν με «κανονικά» ανοίγματα. Τα περισσότερα μονοπάτια διαρροών είναι διασκορπισμένα. Στην πράξη ακόμα και αντίθετες ροές εντοπίζονται σε διαφορετικά σημεία το ίδιου στοιχείου. Γι' αυτό το λόγο θα χρειαστούν απλοποιήσεις σε τέτοιου είδους διαρροές ώστε να παραμείνει το δίκτυο αερισμού σχετικά απλό, χωρίς όμως να απέχει πολύ από την πραγματικότητα. Για παράδειγμα, στη μοντελοποίηση μεγάλων κάθετων ανοιγμάτων, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν δύο διαδρομές ροής σαν μια πρώτη προσέγγιση, μία στο ένα τέταρτο του ύψους από τη βάση και η άλλη στα υπόλοιπα τρία τέταρτα. (Να σημειωθεί ότι η συνολική ροή του στοιχείου πρέπει να ισούται με το συνδυασμό των δύο αυτών ροών.) Αυτή η τεχνική συνήθως χρησιμοποιείται για να προσομοιώσει κλειστές πόρτες και παράθυρα. Ορισμένα μοντέλα αερισμού επιτρέπουν πιο περίπλοκους μηχανισμούς της ροής στα μεγάλα κάθετα ανοίγματα, έτσι ώστε να μπορούν να συνυπάρξουν ροές δύο κατευθύνσεων μέσω ενός ανοίγματος.

Χαρακτηριστικές εξισώσεις ροής

Για μια δεδομένη διαφορά πίεσης μεταξύ των δυο πλευρών ενός ανοίγματος, ο ρυθμός ροής του αέρα μέσω του ανοίγματος αυτού, εξαρτάται από το μέγεθός του και από τη γεωμετρία του.

- Η εξίσωση power law είναι μια εμπειρική σχέση που εφαρμόζεται γενικά σε διάκενα και ρωγμές του υλικού του κτιρίου.
- Για σχετικά μεγάλα ανοίγματα (για παράδειγμα σκόπιμες οπές αερισμού, ορατά διάκενα γύρω από εξαρτήματα και σωλήνες αερισμού στους τοίχους) η ροή του αέρα πιθανόν να αναπαρίσταται καλύτερα από μια ισοδύναμη ροή μέσω ενός επίπεδου ανοίγματος, που εκφράζεται από τις αντίστοιχες εξισώσεις.
- Ακόμα μια σχέση που συνδέει τη ροή με τη διαφορά πίεσης είναι γνωστή ως τετραγωνική εξίσωση και χρησιμοποιείται στο πρόγραμμα VENT.

Στοιχεία αεροστεγανότητας των διαφόρων στοιχείων που είναι διαθέσιμα.

Διαθέσιμα δεδομένα που αφορούν την αεροστεγανότητα για διάφορα δομικά στοιχεία είναι τα ακόλουθα, τα οποία προέρχονται από δημοσιευμένες αλλά και από αδημοσίευτες πηγές. Επίσης υπάρχουν μετρήσεις για ποικιλία τύπων για το καθένα.

- παράθυρα
- πόρτες
- ενώσεις των παραθύρων ή των πορτών με τους τοίχους
- τοίχους, ταβάνια και πατώματα

- ενώσεις μεταξύ πατώματος ή οροφής με τους τοίχους
- ενώσεις τοίχων μεταξύ τους
- τρύπες από τις οποίες διέρχονται στοιχεία και αγωγοί αερισμού-κλιματισμού
- στέγη
- τζάκια και καπνοδόχους, και
- επίτοιχους ανεμιστήρες και οπές αερισμού.

Εάν είναι διαθέσιμη μόνο μία τιμή αεροστεγανότητας για όλο το κτίριο, τότε θα πρέπει να ληφθούν αποφάσεις για τον καταμερισμό των σημείων διαρροής στις επιφάνειες του κτιρίου.

Συντελεστές πίεσης ανέμου

Το σχήμα του κτιρίου καθώς και ο βαθμός προστασίας από τον άνεμο που παρέχεται από γειτονικές κτιριακές κατασκευές (ή βλάστηση) καθορίζουν τις επιφανειακές πιέσεις λόγω ανέμου για κάθε κατεύθυνση ανέμου. Οι επιφανειακές πιέσεις θα ποικίλουν ανάλογα με την διεύθυνση του ανέμου. Οι συντελεστές πίεσης ανέμου είναι αδιάστατοι συντελεστές, οι οποίοι δίνουν την δυνατότητα ώστε η κατανομή της πίεσης σε ένα κτίριο λόγω του ανέμου, να μπορεί να ανακατασκευαστεί για κάθε ταχύτητα του ανέμου. Είναι συγκεκριμένοι για κάθε κτίριο με δεδομένο βαθμό προστασίας από τον άνεμο και για κάθε διεύθυνση του ανέμου. Επιπροσθέτως, είναι σημαντικό να γίνει κατανοητό ότι οι συντελεστές αυτοί σχετίζονται με την ταχύτητα του ανέμου σε ένα δεδομένο ύψος αναφοράς και για ένα αδιατάραχο ρεύμα αέρα.

Οι χρήστες των προγραμμάτων δύναται να συναντήσουν δυσκολίες στην εύρεση των κατάλληλων δεδομένων εάν πρόκειται για κτίρια με ασυνήθιστο σχήμα, καθώς τα περισσότερα δεδομένα αφορούν απλά σχήματα κτιρίων (για παράδειγμα, χαμηλές οικίες με κεκλιμένη στέγη, ψηλά κτίρια με ταράτσα, ψηλά κτίρια με ταράτσα και κεντρικό φωταγωγό). Επίσης έχουν αναπτυχθεί τεχνικές πρόβλεψης των συντελεστών πίεσης ανέμου, οι οποίες λαμβάνουν υπόψη την επίδραση του σχήματος του κτιρίου καθώς και των γύρω κτισμάτων. Για ασυνήθεις κτιριακές γεωμετρίες, είναι συνήθως απαραίτητη η τέλεση πειραμάτων σε αεροδυναμική σήραγγα ή η χρήση προγραμμάτων υπολογιστικής ρευστομηχανικής (CFD) προκειμένου να καθοριστούν οι συντελεστές πίεσης ανέμου. (Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιείται το πρόγραμμα QUIC)

Εργαλεία παραγωγής συντελεστών πίεσης ανέμου

Ο καθορισμός των συντελεστών πίεσης ανέμου για τη χρήση τους σε μοντέλα αερισμού, είναι μερικές φορές προβληματική, εκτός από την περίπτωση απλού σχήματος κτιρίου σε απομονωμένη περιοχή. (Συντελεστές για απλά σχήματα κτιρίων

βρίσκονται από πίνακες, Orme et al, 1998.) Στην προσπάθεια παροχής βοήθεια στον καθορισμό κατάλληλων τιμών, οι Knoll et al (1995), δημιούργησαν ένα υπολογιστικό εργαλείο. Η κατευθείαν εισαγωγή των συντεταγμένων και των προσανατολισμών του κτιρίου, καθώς και των τριγύρω εμποδίων, επέτρεπε τον αυτόματο υπολογισμό των συντελεστών πίεσης ανέμου στις όψεις και τις οροφές ορθογώνιου σχήματος κτιρίων.

Επίσης, ο Grosso (1991) έφτιαξε ένα παραμετρικό μοντέλο κατανομής της πίεσης ανέμου γύρω από κτίρια. Το έργο του επεκτάθηκε (Grosso et al, 1994) στην εφαρμογή ενός παραμετρικού μοντέλου κατανομής της πίεσης ανέμου σε επίπεδες ή κεκλιμένες στέγες. Η τελευταία έκδοση του μοντέλου CPCALC+, περιλαμβάνεται στη μελέτη του Allard (1998). Προβλέπει συντελεστές πίεσης ανέμου για απλές γεωμετρικές κτιρίων με είτε επίπεδες ή κεκλιμένες οροφές. Οι παράμετροι που χρειάζονται ποικίλουν, περιλαμβάνοντας την κατεύθυνση του ανέμου, την τραχύτητα του εδάφους, την περιφερειακή πυκνότητα δόμησης, το ύψος σε σχέση με τα περιφερειακά κτίρια, καθώς και την γεωμετρία του ίδιου του κτιρίου, τις διαστάσεις των τοίχων και της οροφής.

Μετεωρολογικά δεδομένα

Η πιο κατανοητή και χαμηλού κόστους μετεωρολογική βάση δεδομένων διατίθεται επί του παρόντος από το ISWO (International Surface Weather Observations). Περιλαμβάνονται ωριαία και/ή συνοπτικά (κάθε τρεις ώρες) κλιματικά δεδομένα για περίπου 1500 σταθμούς παγκοσμίως για τα έτη 1982-1997. Όμως δεν περιλαμβάνει δεδομένα για την ηλιακή ακτινοβολία.

Οι ελάχιστες απαιτήσεις των μοντέλων αερισμού για μετεωρολογικά δεδομένα είναι η το διάνυσμα της ταχύτητας του ανέμου και η εξωτερική θερμοκρασία.

Δύο είναι οι κύριες οδηγήτριες δυνάμεις που επηρεάζουν το ρυθμό εισόδου και εξόδου αέρα από συγκεκριμένα ανοίγματα αερισμού. Αυτές είναι η πίεση του ανέμου στα κτίρια και οι θερμοκρασιακές διαφορές μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος.

Πολλά μοντέλα μπορούν να λάβουν υπόψη μεταβαλλόμενες μετεωρολογικές συνθήκες (χρησιμοποιώντας ωριαία μετεωρολογικά δεδομένα) ενώ άλλα χρησιμοποιούν μια χρονικά εξαρτώμενη ρουτίνα των ενοίκων.

Άνεμος και θερμοκρασία σε αστικά περιβάλλοντα

Μετρήσεις της θερμοκρασίας του αέρα γίνονται συχνά σε μετεωρολογικούς σταθμούς, οι οποίοι είναι σε κάποια απόσταση από την τοποθεσία του κτιρίου. Ακόμα, οι σταθμοί αυτοί μπορεί βρίσκονται εκτός του πυκνού αστικού περιβάλλοντος και να καταγράφουν χαμηλότερες θερμοκρασίες από αυτές που αναπτύσσονται σε κεντρικές αστικές περιοχές. Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται “urban heat island” και είναι πιο έντονο σε χαμηλές ταχύτητες ανέμου και με καθαρό ουρανό (Allard, 1998).

Ως μέρος του προγράμματος POLIS, το Τμήμα Σπουδών Ενεργειακής Δόμησης του Πανεπιστημίου Αθηνών, πραγματοποίησε εντατικές μετρήσεις στην Αθήνα, στην Ελλάδα, προκειμένου να μελετήσει αυτό το φαινόμενο. Αποτελέσματα έδειξαν ότι η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των σταθμών στην πόλη και στα προάστια κυμαίνονται από 5°C μέχρι και 17°C.

Ο αστικός θόλος είναι ένα στρώμα της ατμόσφαιρας που εκτείνεται από το επίπεδο του εδάφους μέχρι ένα επίπεδο πάνω από τις οροφές των κτιρίων της αστικής περιοχής. Μέσα σε αυτό το στρώμα παρατηρείται μία μείωση της μέσης ταχύτητας του ανέμου από 20% μέχρι 30%. Επιπλέον, για μικρές ταχύτητες ανέμου υπάρχει μια αύξηση της ταχύτητας εξαιτίας των πιέσεων που δημιουργεί το φαινόμενο “urban heat island”. Ο θερμός αέρας ανέρχεται προκαλώντας μείωση της πίεσης στο κατώτερο επίπεδο, το οποίο πληρώνεται με αέρα προερχόμενο από γειτονική περιοχή, δημιουργώντας ρεύμα αέρα. Η παρουσία υδάτων ή γεωλογικών σχηματισμών δύναται να έχει σημαντική επίδραση στην ταχύτητα του ανέμου. Το «οριακό αστικό στρώμα» τοποθετείται πάνω από το επίπεδο του αστικού θόλου, εκτείνεται προς την προσήνεμη κατεύθυνση και πάνω από την πόλη.

Οι [Santamouris et al \(1998\)](#) αναφέρονται σε μετρήσεις που έγιναν σε «δρόμους-αστικά φαράγγια», όπου παρατηρείται μέχρι και δέκα φορές μείωση στην επικρατούσα ταχύτητα του ανέμου, καθώς η συμπεριφορά του ανέμου εξαρτάται κυρίως από το ύψος των κτιρίων περιμετρικά του δρόμου και από το πλάτος του δρόμου.

Μετατροπή των μετεωρολογικών δεδομένων

Αρχικά πρέπει να γίνει σωστή μεταχείριση των δεδομένων, καθώς τα μετεωρολογικά δεδομένα, όσο αφορά τις ταχύτητες του ανέμου, είναι συνήθως διαθέσιμα σε μορφή μετρήσεων οι οποίες γίνονται σε κάποια απόσταση από την τοποθεσία του κτιρίου. Έπειτα, απαιτείται μια μετατροπή από το ύψος αναφοράς που γίνονται αυτές οι μετρήσεις (συνήθως στα 10μ πάνω από το έδαφος) στο ύψος αναφοράς που χρησιμοποιούμε για το κτίριο, λαμβάνοντας υπόψη και τους εδαφικούς σχηματισμούς που παρεμβάλλονται. Το ύψος αναφοράς για την τοποθεσία το κτιρίου, συνήθως είναι στο ύψος της άκρης της στέγης ή της οροφής του κτιρίου. Οι συνήθειες μετατροπές βασίζονται στην υπόθεση ότι ένα σταθερό οριακό στρώμα υφίσταται μεταξύ του σημείου μέτρησης και της τοποθεσίας του κτιρίου. Η πίεση του ανέμου στις όψεις του κτιρίου είναι ανάλογη με το τετράγωνο της ταχύτητας του ανέμου, γι’ αυτό και είναι σημαντικό να χρησιμοποιείται η σωστή τιμή.

Θερμοκρασιακά δεδομένα

Ο [Kimani \(1998\)](#) διεξήγαγε μια έρευνα για τους δημοσιευμένους αλγορίθμους μετατροπής μετεωρολογικών δεδομένων για αστικές περιοχές, με έμφαση στη θερμοκρασία. Επίσης, οι [Lennon και Turner \(1995\)](#) ανέπτυξαν μια μέθοδο παρεμβολής μεταξύ μετρήσεων θερμοκρασίας σε μετεωρολογικούς σταθμούς. Η μέθοδος αυτή λαμβάνει υπόψη το υψόμετρο, την απόσταση από τη θάλασσα, την

κλίση και την τραχύτητα του εδάφους. Δε λαμβάνει όμως υπόψη φαινόμενα που υφίστανται στο αστικό περιβάλλον.

Οι ιδιότητες του υγρού αέρα

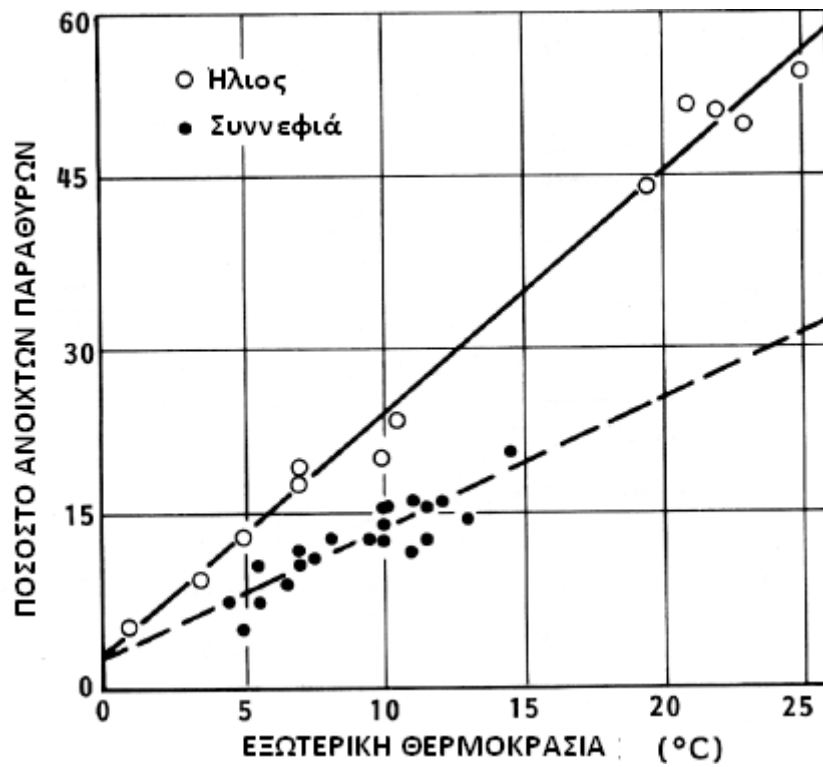
Τρεις κύριοι παράγοντες καθορίζουν την πυκνότητα του αέρα. Η θερμοκρασία, η απόλυτη πίεση και η υγρασία. Κάθε διαφορά αυτών των παραγόντων μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού αέρα, προκαλεί ροή αέρα στο κτίριο. Χρησιμοποιούνται επίσης ψυχομετρικοί χάρτες από το ίδιο το μοντέλο προκειμένου να προσδιοριστούν οι ιδιότητες του αέρα.

Προβλέψεις αερισμού

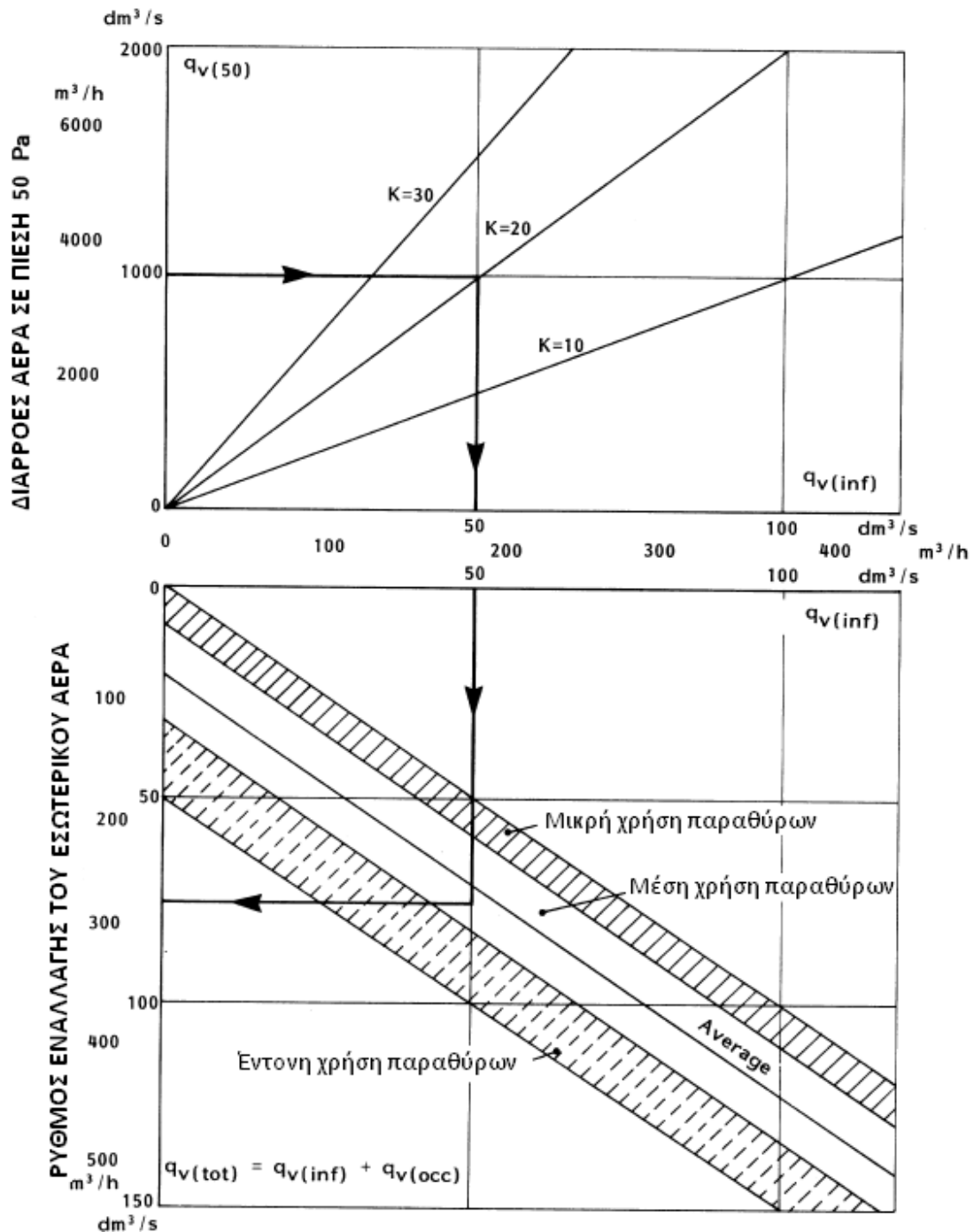
Οι παράγοντες απώλειας πίεσης (“K-values”) για τους αγωγούς και για άλλα στοιχεία του συστήματος αερισμού καθώς και χαρακτηριστικά ανεμιστήρων διατίθενται ευρέως. (ASHRAE, 1997 ή CIBSE, 1986).

Στοιχεία συμπεριφοράς των ενοίκων

Τα διαθέσιμα δεδομένα για τη συμπεριφορά των ενοίκων όσον αφορά τον αερισμό, βρίσκονται από τυπικά προγράμματα των ενοίκων που έχουν καταγραφεί ανάλογα με τον τύπο του κτιρίου. Ένα παράδειγμα της επίδρασης που έχει η συμπεριφορά των ενοίκων στον αερισμό του κτιρίου, φαίνεται στο Σχήμα 3.4. Παρατηρείται το ποσοστό των παραθύρων που καταγράφηκε να είναι ανοιχτά σε ένα εύρος εξωτερικών θερμοκρασιών σε καταστάσεις συννεφιάς ή καθαρού ουρανού για διαφόρους τύπους κατοικιών. Επίσης στο Σχήμα 3.5 φαίνεται ένα νομογράφημα για τον καθορισμό των τυπικών ρυθμών αερισμού κατά τις περιόδους θέρμανσης των κατοικιών, το οποίο δείχνει πόσο σημαντική επίδραση έχει το άνοιγμα των παραθύρων στον αριθμό αλλαγών του αέρα.



Σχήμα 3.4 – Το άνοιγμα των παραθύρων συναρτίζεται της εξωτερικής θερμοκρασίας και της ηλιοφάνειας. (από Dubrul, 1988)



Σχήμα 3.5 – Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των ρυθμών αερισμού σε κατοικίες κατά τη διάρκεια της περιόδου θέρμανσης. (από Dubrul, 1988)

Δεδομένα ρύπων

Μοντέλα που υπολογίζουν μεταφορά ρύπων, χρειάζονται δεδομένα για τις πηγές και καταβόθρες ρύπων σε συγκεκριμένους χρόνους. Αυτές οι πληροφορίες, σε συνδυασμό με τους ρυθμούς αερισμού του μοντέλου, χρησιμοποιούνται για τον

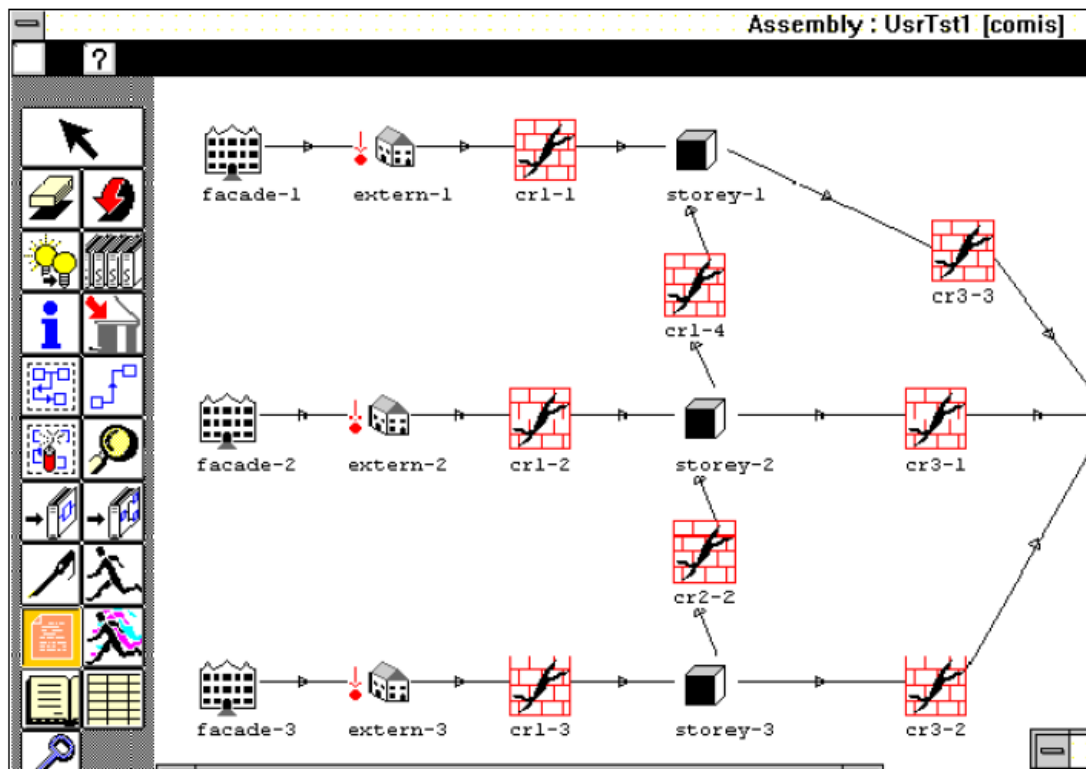
υπολογισμό των συγκεντρώσεων ρύπων σε κάθε ζώνη εντός συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος. Ορισμένα μοντέλα διαχειρίζονται και περισσότερους από έναν ρύπους συγχρόνως.

2. Πρόγραμμα COMIS

Το πρόγραμμα COMIS είναι ένα μοντέλο ροής αέρα πολλαπλών ζωνών το οποίο αναπτύχθηκε στα πλαίσια του προγράμματος Ενεργειακής Προστασίας σε Κτίρια και σε Κοινοτικά Συστήματα (ECBCS) της Παγκόσμιας Αρχής Ενέργειας (IEA) (“Multi-Zone Modelling”). Ο κώδικας σε Fortran αρχικά γράφτηκε στο Lawrence Berkeley National Laboratory, στις Η.Π.Α., στα πλαίσια της ετήσιας συνεργασίας για το COMIS. Από τότε έχουν γίνει σημαντικές εξελίξεις στο μοντέλο. Στο COMIS έχουν ενσωματωθεί επίσης τα πιο εξελιγμένα χαρακτηριστικά δύο άλλων προγραμμάτων ενεργειακής προσομοίωσης κτιρίων, των BLAST και DOE-2, ως το εργαλείο EnergyPlus.

Το πρόγραμμα COMIS επιτρέπει στους χρήστες να προσομοιώσουν τις ροές του αέρα καθώς και κάποιες συμπεριφορές ρύπων σε κτίρια πολλαπλών ζωνών. Μπορούν να προσομοιωθούν στοιχεία φυσικού και μηχανικού αερισμού. Το μοντέλο περιλαμβάνει επιλογές για ρωγμές, συστήματα αγωγών, ανεμιστήρες, μεγάλα κάθετα ανοίγματα, πηγές και καταβόθρες ρύπων, συντελεστές πίεσης για τις όψεις του κτιρίου. Υπάρχει επίσης η επιλογή για τον καθορισμό διαφόρων «προγραμμάτων» καθρεφτίζοντας τη συμπεριφορά των ενοίκων σε διαφορετικούς χρόνους, στην περίπτωση του φυσικού αερισμού ή τις ρυθμίσεις του συστήματος αερισμού σε διάφορα χρονικά διαστήματα, στην περίπτωση του μηχανικού αερισμού. «Προγράμματα» μπορούν να καθοριστούν για το εξωτερικό κλίμα, για τις εσωτερικές θερμοκρασίες των χώρων, για τις πηγές και καταβόθρες των ρύπων καθώς και για το σύστημα αερισμού. Οι [Feustel](#) και [Smith \(1997\)](#) περιγράφουν τη χρήση αυτών των εργαλείων.

Τα αποτελέσματα του COMIS είναι σε αριθμητική μορφή. Είναι δυνατή η προσαρμογή της μορφής των αποτελεσμάτων, ώστε να παρατίθενται μόνο τα στοιχεία που έχουν κάθε φορά ενδιαφέρον. Το περιβάλλον μέσω του οποίου ο χρήστης μπορεί να εισάγει και να εξάγει δεδομένα διατίθεται για PC, για DOS και MS-WINDOWS. Επιπλέον, αναπτύχθηκε και ένα γραφικό περιβάλλον για το COMIS, το IISiBat. Παράδειγμα εισαγωγής δεδομένων μέσω του περιβάλλοντος IISiBat φαίνεται στο Σχήμα 3.6.



Σχήμα 3.6 – Περιβάλλον IISiBat για το πρόγραμμα COMIS- παράδειγμα οθόνης εισαγωγής δεδομένων.

3.2.1 Γενικές μέθοδοι υπολογισμού των ροών αέρα στο κτίριο

Σε γενικές γραμμές, ο ρυθμός διαρροής του αέρα μέσω του κελύφους του κτιρίου εξαρτάται από:

- το μέγεθος και την κατανομή των διαδρομών αερισμού (ανοιγμάτων).
- τα χαρακτηριστικά ροής των διαδρομών αερισμού. Αυτές οι διαδρομές - μονοπάτια περιλαμβάνουν κατασκευαστικές ρωγμές και σκόπιμα ανοίγματα - περσίδες - αεραγωγούς και ανοιχτά παράθυρα ή πόρτες.
- τη διαφορά πίεσης που ενεργεί εγκάρσια στο άνοιγμα. Αυτή αναπτύσσεται από τη συνδυασμένη επίδραση των φυσικών και μηχανικών δυνάμεων οδήγησης.

Η βασική αρχή της εκτίμησης των διαρροών αέρα είναι το ισοζύγιο μάζας του αέρα που εφαρμόζεται σε όλο το περίβλημα του κτιρίου.

Επιπλέον, το μοτίβο της κίνησης του αέρα μέσα σε κάθε επιμέρους χώρο επηρεάζεται επίσης από:

- τις θέσεις όλων των πηγών του εισερχόμενου αέρα,
- τη θερμοκρασία, την ταχύτητα και τον στροβιλισμό του εισερχόμενου αέρα σε κάθε πηγή
- τη θέση και την ταχύτητα όλων των σημείων όπου υπάρχει εξερχόμενη ροή αέρα,
- την κατανομή των εμποδίων στη ροή (π.χ. διαχρισμός του χώρου, έπιπλα),
- τη διανομή και τη δύναμη όλων των θερμικών πηγών και καταβόθρων,
- τα θερμικά χαρακτηριστικά όλων των επιφανειών.

Αυτές οι επιπλέον ανάγκες καθιστούν την πρόβλεψη των προτύπων ροής του αέρα σε κλειστούς χώρους μια εξαιρετικά πολύπλοκη διαδικασία.

Στην πραγματικότητα, ο προσδιορισμός των χαρακτηριστικών της ροής, των δυνάμεων οδήγησης, του μεγέθους και της τοποθεσίας του κάθε ανοίγματος θα ήταν ένα τεράστιο έργο. Αντί όλων αυτών, η εισαγωγή μιας σειράς απλουστευμένων υποθέσεων επιτρέπει την έκφραση των κύριων φυσικών εννοιών της ροής του αέρα χωρίς συμβιβασμούς στα αποτελέσματα. Είναι ο βαθμός απλοποίησης των μηχανικών ροής που προσδιορίζει τον τύπο του μοντέλου, τη λεπτομέρεια των στοιχείων που απαιτούνται και το εύρος εφαρμογής των αποτελεσμάτων. Γενικές μορφές της μεθόδου υπολογισμού που χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη του αερισμού και του μοτίβου ροής του αέρα στα κτίρια περιλαμβάνουν:

- εκτίμηση των δεδομένων αεροστεγανότητας του κτιρίου,
- «απλουστευμένες» θεωρητικές μεθόδους,
- μοντέλα δικτύου (ζωνών),
- υπολογιστική ρευστοδυναμική.

Επιπλέον, άλλα μοντέλα ενέργειας, ρύπων και την απώλειας θερμότητας μπορούν να συνδυαστούν με τα μοντέλα αερισμού και προσομοίωσης των ροών, ώστε να αναπαρασταθεί ένα ευρύ φάσμα των περιβαλλοντικών συνθηκών του κτιρίου.

3.2.2 Η θεωρία πίσω από το μοντέλο COMIS

(α) Οι εξισώσεις ροής

Η ροή του αέρα μέσα από ένα δομικό στοιχείο ή κέλυφος είναι πολύ περίπλοκη, αλλά μια εκτίμηση του ρυθμού ροής μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας μία από τις δύο βασικές εξισώσεις ανάλογα με τον τύπο του ανοίγματος. Αυτές είναι οι εξισώσεις για πλήρως τυρβώδη ροή και την εξίσωση για στρωτή ροή ή μεταβατική. Ο ρυθμός της ροής του αέρα που δημιουργείται από ένα άνοιγμα εξαρτάται από την πίεση που δρα πάνω σε αυτό, από τις διαστάσεις και τη γεωμετρία του.

Μικρά ανοίγματα

Ο ρυθμός ροής του αέρα διαμέσου των ρωγμών και των κενών συνήθως προσεγγίζεται από μία εκθετική εξίσωση της μορφής:

$$Q_m = rC(p_{ext} - p_{int})^n \text{ (kg/s)}$$

όπου Q_m = ο ρυθμός ροής μάζας μέσω του ανοίγματος (kg/s)

r = η πυκνότητα του αέρα που διαρρέει το άνοιγμα (kg/m³)

p_{ext} = η πίεση που επιδρά στην εξωτερική πλευρά του ανοίγματος (

p_{int} = η πίεση που επιδρά στην εσωτερική πλευρά του ανοίγματος (

C = συντελεστής ροής

n = εκθέτης ροής

Η συντελεστής ροής, C , είναι περίπου ανάλογος με το μέγεθος του ανοίγματος και εκφράζεται σε όρους m³/s (ή dm³/s) για κάθε m² πορώδους επιφάνειας ή για κάθε μέτρο (m) μήκους της ρωγμής. Ο εκθέτης ροής, n , χαρακτηρίζει τον τύπο της ροής και κυμαίνεται από 0,5 για τις πλήρως τυρβώδεις ροές σε 1,0 για τις εντελώς στρωτές ροές. Τα περισσότερα ανοίγματα που βρίσκονται στα κτίρια έχουν τιμές από 0.6 έως 0.7.

Μεγάλα ανοίγματα

Η ροή μέσω ορατών ανοιγμάτων συχνά προσεγγίζεται από την σχέση:

$$Q_m = C_d \rho A \left[\frac{2(P_{ext} - P_{int})}{\rho} \right]^{\frac{1}{2}} \text{ (kg / s)}$$

όπου C_d = ο συντελεστής εκφόρτισης (0.61 για επίπεδο άνοιγμα) (kg/s)

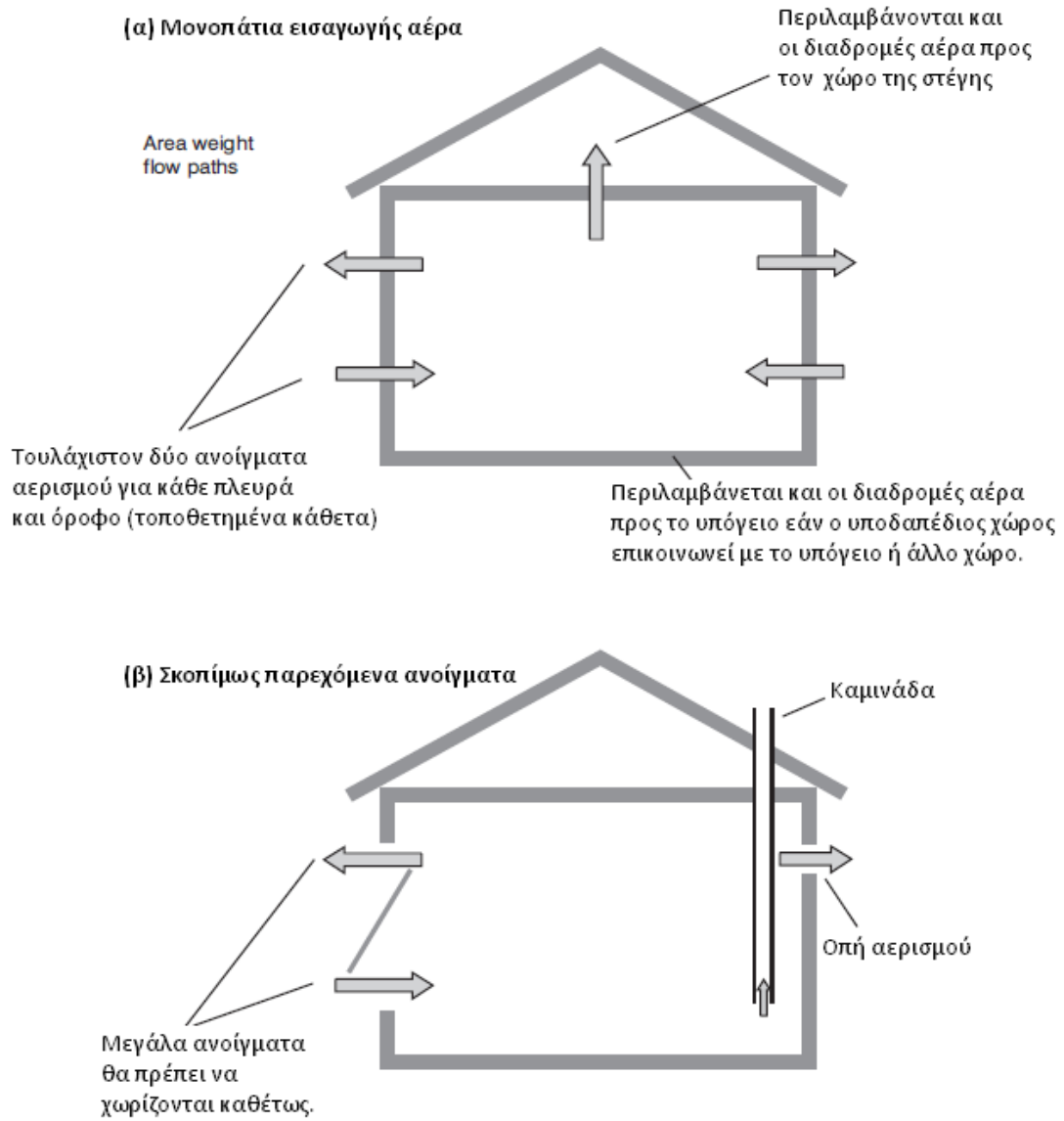
A = η επιφάνεια του ανοίγματος (m²)

ρ = η πυκνότητα του αέρα (kg/m³)

Ο συντελεστής ροής C και ο εκθέτης ροής n είναι:

$$C = C_d A \left[\frac{2}{\rho} \right]^{\frac{1}{2}} \text{ και } n = 1/2$$

(β) Ανάπτυξη του δικτύου ροών



Σχήμα 3.7 – Τυπικές διαδρομές ροής

Το δίκτυο ροών πρέπει να αντιπροσωπεύει όλα τα ανοίγματα, μέσω των οποίων ο αέρας μπορεί να εισέλθει ή να εξέλθει. Κάθε διείσδυση αέρα στο κέλυφος του κτιρίου και μεταξύ των ζωνών πρέπει να προσδιορίζεται με ακρίβεια και να εκφράζεται σε όρους «C» και «n». Τα αποτελέσματα του προγράμματος αποκλίνουν εύκολα από την πραγματικότητα, αν τυχόν ανοίγματα αγνοηθούν. Τυπικές διαδρομές ροής του αέρα και διαρροές απεικονίζονται στο Σχήμα 3.7 και περιλαμβάνουν:

- σκοπίμως παρεχόμενα ανοίγματα, όπως οπές και καμινάδες,
- τυχαία «παρασκηνιακά» ανοίγματα που προέρχονται από την διαδικασία κατασκευής του κτιρίου (π.χ. ρωγμές, κενά, ημι-πορώδεις επιφάνειες τοίχων και επιφανειών),
- κενά γύρω από οπές σωληνώσεων,
- ανοιχτά παράθυρα και πόρτες.

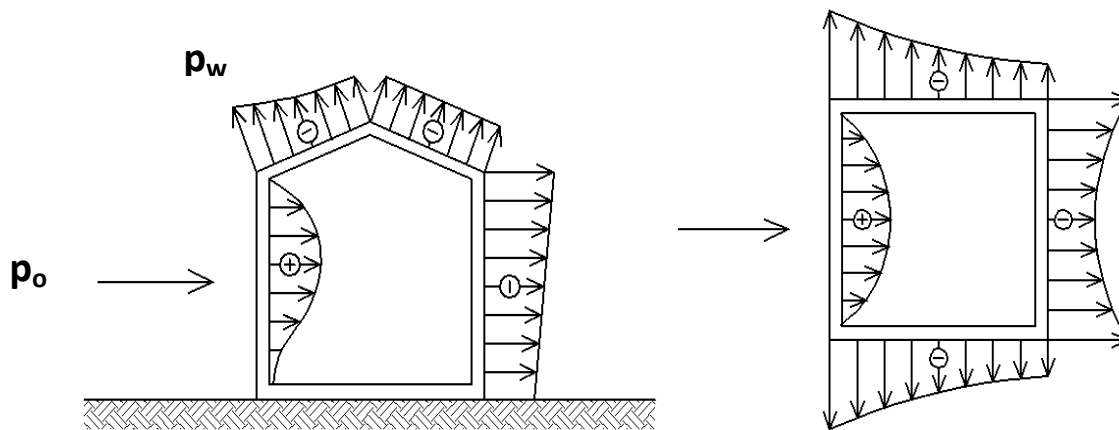
Για τα μη σκόπιμα ανοίγματα, χρησιμοποιείται ο συντελεστής ροής (C_i), που αντιπροσωπεύει το σύνολο των «χαρακτηριστικών διαρροής» του κτιρίου, προσδιορίζεται και διαιρείται με το συνολικό εκτεθειμένο περίβλημα ώστε να ληφθεί ένας συντελεστής διαρροής ανά μονάδα επιφάνειας. Ο συντελεστής διαρροής κάθε ανοίγματος προσδιορίζεται πολλαπλασιάζοντας την τιμή της μοναδιαίας επιφάνειας με την επιφάνεια κάθε ανοίγματος.

Τα δίκτυα ροών από τα σκόπιμα και μη ανοίγματα συνδυάζονται για να διαμορφώσουν ένα πλήρες δίκτυο ροής στο οποίο έχουν ταυτοποιηθεί οι συντελεστές της ροής της κάθε διαδρομής.

(γ) Αξιολόγηση των δυνάμεων οδήγησης (εξωτερική πίεση)

Η ροή του αέρα μέσω ανοιγμάτων οδηγείται από τις διαφορές πίεσης που δημιουργούνται από τον άνεμο, τη διαφορά θερμοκρασίας και τα μηχανικά συστήματα αερισμού. Η επίδραση που έχει κάθε μία από αυτές τις δυνάμεις σε κάθε άνοιγμα πρέπει να προσδιορίζεται.

Προσδιορισμός πίεσης ανέμου: Καθώς ο άνεμος προσπίπτει στην επιφάνεια ενός εκτεθειμένου κτιρίου, προκαλείται μία θετική πίεση στην προσήνεμη πλευρά. Η ροή χωρίζεται στα άκρα των γωνιών του κτιρίου, προκαλώντας μια αρνητική πίεση κατά μήκος των πλάγιων πλευρών και στην υπήνεμη όψη. (βλ. Σχήμα 3.7). Τα χαρακτηριστικά πίεσης στο επίπεδο της στέγης ποικίλουν ανάλογα με την κλίση της. Για στέγες με κλίση μικρότερη των 30 °, οι δύο πλευρές της τείνουν να είναι σε αρνητική πίεση (σε σχέση με την ατμοσφαιρική, βλέπε Σχήμα 3.8) ενώ πάνω από 30 °, η πίεση στην μπροστινή πλευρά τείνει να είναι θετική.



Σχήμα 3.8 - Συντελεστές πίεσης ανέμου σε ένα κτίριο με δίρριχτη στέγη.

Σε σχέση με την στατική πίεση που ασκεί ο ανεμπόδιστος άνεμος, η πίεση που ασκείται σε οποιοδήποτε σημείο της επιφάνειας μπορεί να υπολογιστεί προσεγγιστικά από την εξίσωση:

$$P_w = \frac{\rho c_p v^2}{2} \quad (Pa)$$

όπου c_p = ο συντελεστής πίεσης του ανέμου

v = η τοπική ταχύτητα του ανέμου σε συγκεκριμένο ύψος αναφοράς (m/s)

ρ = η πυκνότητα του αέρα (kg/m^3)

Προκειμένου να εκτιμηθεί η πίεση του ανέμου απαιτούνται τα παρακάτω δεδομένα:

Η ταχύτητα του ανέμου: Δεδομένου ότι η δύναμη του ανέμου επηρεάζεται από την τραχύτητα της επιφάνειας και το ύψος πάνω από το έδαφος, πρέπει να προβλεφθεί ένα ύψος αναφοράς για την ταχύτητα του ανέμου ώστε να χρησιμοποιηθεί κατά τον υπολογισμό της πίεσης του ανέμου. Συνήθως λαμβάνεται το ύψος του κτιρίου. Συνήθως « επί τόπου » ανεμολογικά δεδομένα δεν είναι διαθέσιμα και πρέπει να χρησιμοποιηθούν πληροφορίες από ένα τοπικό μετεωρολογικό σταθμό. Τα δεδομένα αυτά πρέπει να διορθωθούν, δηλαδή να λαμβάνεται υπόψη η διαφορά του ύψους και της οικοδόμησης, καθώς και η επίδραση της τραχύτητα του εδάφους που μεσολαβεί ανάμεσα στο κτίριο και την τοποθεσία των μετρήσεων (βλέπε Σχήμα 3.9). Δεδομένου ότι η τιμή της ταχύτητας του ανέμου επηρεάζει στο τετράγωνο στην την πίεση του ανέμου, η χρήση ακατέργαστων δεδομένων από έναν μετεωρολογικό σταθμό μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικό σφάλμα υπολογισμού. Στην ιδανική περίπτωση τα δεδομένα του ανέμου θα πρέπει να ληφθούν από κοντινή περιοχή που μοιάζει παρόμοια τοπογραφία (π.χ. δεν διαχωρίζονται από λόφους). Μια προσεγγιστική εξίσωση διόρθωσης για να ληφθεί υπόψη η διαφορά ύψους και η μεσολάβηση γεωλογικών και άλλων σχηματισμών δίδεται παρακάτω (BS 5925 : 1991):

$$U_z = U_m k z^a \quad (m/s)$$

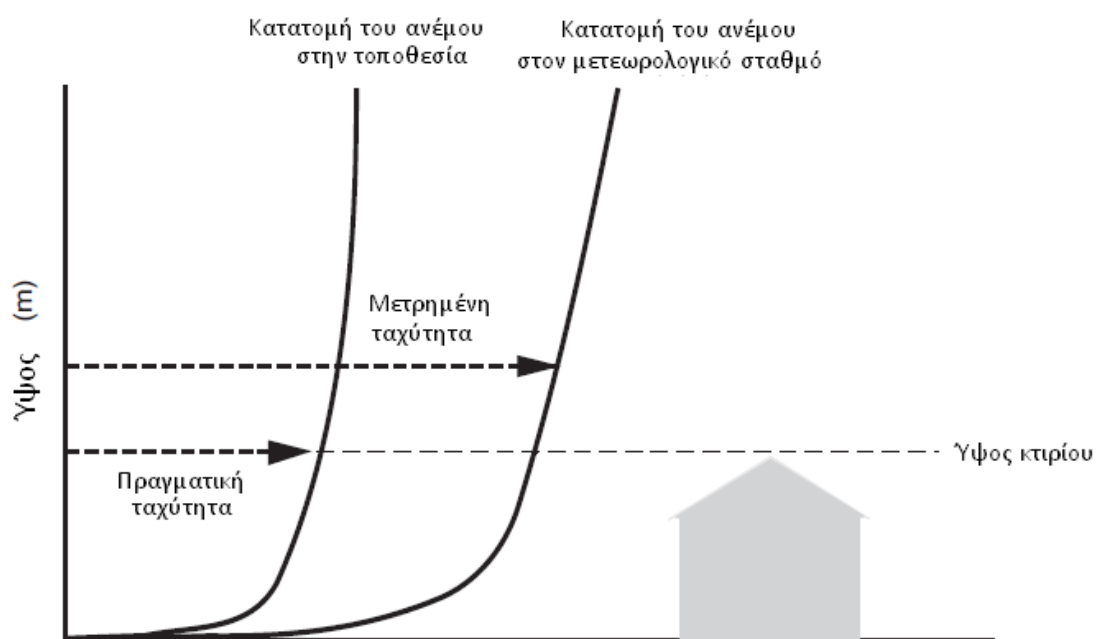
όπου U_z = η ταχύτητα του ανέμου στο ύψος του κτιρίου (m/s)

U_m = η ταχύτητα του ανέμου μετρημένη σε υπαίθρια τοποθεσία στο πρότυπο ύψος των 10m (m/s)

z = το ύψος του κτιρίου (m)

k, a = σταθερές που εξαρτώνται από τη διαμόρφωση του εδάφους (βλέπε παρακάτω)

Συντελεστές εδάφους	k	a
ανοιχτή τοποθεσία, υπαίθρος	0.68	0.17
ύπαιθρος	0.52	0.20
αστική τοποθεσία	0.35	0.25
Πόλη	0.21	0.33



Σχήμα 3.9 – Επίδραση της κατατομής του ανέμου και των χαρακτηριστικών του εδάφους στην τοπική ταχύτητα του ανέμου

Συντελεστής πίεσης: Ο συντελεστής πίεσης είναι ένας αδιάστατος αριθμός που περιγράφει τις σχετικές πιέσεις σε όλο το πεδίο ροής στην ρευστομηχανική. Κάθε σημείο σε ένα πεδίο ροής ρευστού έχει το δικό του μοναδικό συντελεστή πίεσης, C_p .

Ποικίλλει ανάλογα με την κατεύθυνση του ανέμου και τη θέση επί της επιφάνειας του κτιρίου. Επηρεάζεται σημαντικά από την εμπόδια στην ευρύτερη περιοχή, με αποτέλεσμα παρόμοια κτίρια σε διαφορετικά περιβάλλοντα εμφανίζουν διαφορετικές τιμές συντελεστών πίεσης. Στην παρούσα μελέτη, αντί για εκτίμηση του C_p , όπως συνηθίζεται στα μοντέλα προσομοίωσης αερισμού, γίνεται υπολογισμός του με τη βοήθεια ενός άλλου μοντέλου προσομοίωσης της ευρύτερης περιοχής, το οποίο θα αναλυθεί στο επόμενο κεφάλαιο.

Καθορισμός κατακόρυφης πίεσης: Κατακόρυφη πίεση δημιουργείται από τη διαφορά θερμοκρασίας και επομένως από την διαφορά πυκνότητας του αέρα μεταξύ του εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος ενός κτιρίου. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται μια ανισορροπία στο κατακόρυφο επίπεδο των κλίσεων των πιέσεων, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη μιας κατακόρυφης διαφοράς πίεσης (βλέπε Σχήμα 3.10). Όταν η θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα είναι μεγαλύτερη από την εξωτερική θερμοκρασία, ο αέρας εισέρχεται στο κτίριο από τα χαμηλότερα ανοίγματα και εξέρχεται από τα υψηλότερα ανοίγματα. Αυτό το μοτίβο ροής αντιστρέφεται όταν η εσωτερική θερμοκρασία είναι χαμηλότερη από την εξωτερική. Το επίπεδο στο οποίο συμβαίνει η μετάβαση μεταξύ εισροής και εκροής είναι το επίπεδο ουδέτερης πίεσης. Κοινώς, η κατακόρυφη πίεση εκφράζεται σε σχέση με ένα συνεπές δεδομένο, όπως το επίπεδο του εδάφους ή το επίπεδο του χαμηλότερου ανοίγματος. Στο Σχήμα 3.10, η επαγόμενη κατακόρυφη πίεση μεταξύ δύο κάθετα τοποθετημένων ανοιγμάτων, h_1 και h_2 αντιπροσωπεύεται από τη συνολική οριζόντια μετατόπιση των καμπυλών πίεσης σε αυτά τα επίπεδα (δηλαδή «A' + B'). Με την εφαρμογή του Νόμου των Ιδανικών Αερίων, αυτή η διαφορά πίεσης δίνεται από:

$$P_s = -\rho_0 g 273 (h_2 - h_1) \left[\frac{1}{T_{ext}} - \frac{1}{T_{int}} \right] \quad (Pa)$$

όπου ρ_0 = η πυκνότητα του αέρα στους 273K (1.29 kg / m³)

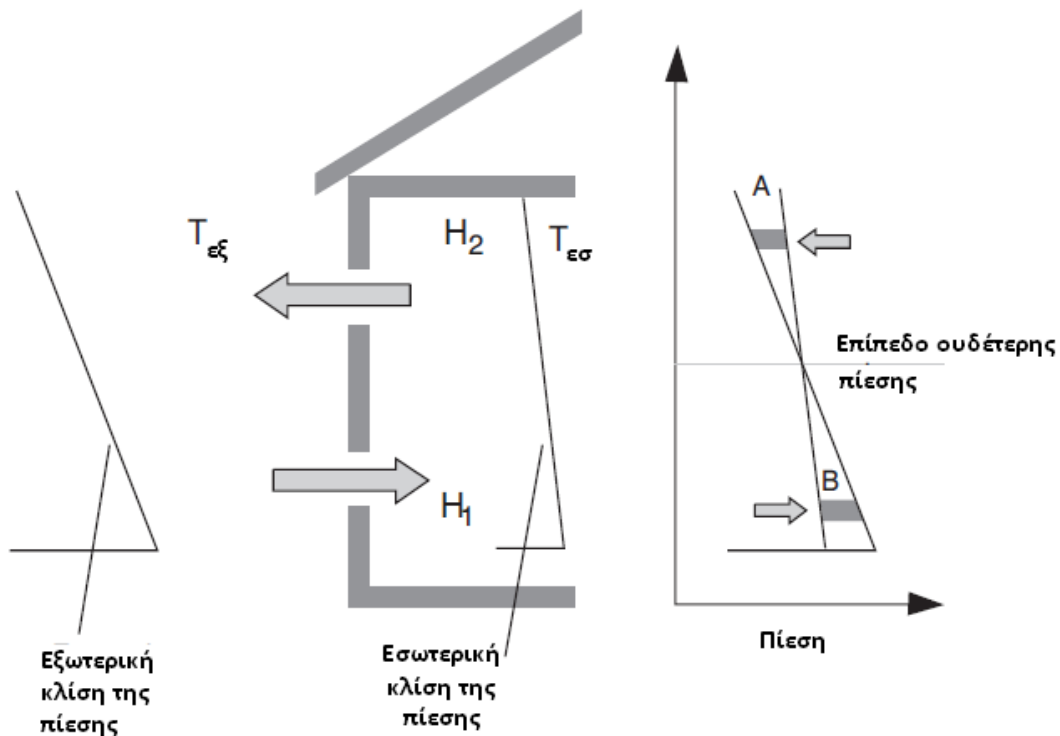
g = η επιτάχυνση της βαρύτητας (9,81 m / s²)

T_{ext} = η εξωτερική θερμοκρασία (K)

T_{int} = η εσωτερική θερμοκρασία (K)

h_1 = το ύψος του ανοίγματος 1 (m),

h_2 = το ύψος του ανοίγματος 2 (m)



Σχήμα 3.10 – Κατανομή της κατακόρυφης πίεσης μεταξύ κάθετα τοποθετημένων ανοιγμάτων.

Συνδυάζοντας τις πιέσεις λόγω ανέμου και θερμοκρασίας: Οι τιμές της πίεσης του ανέμου και της κατακόρυφης πίεσης υπολογίζονται για κάθε διαδρομή εξωτερικής ροής. Η συνολική εφαρμοζόμενη πίεση προσδιορίζεται με την πρόσθεση αυτών των πιέσεων δηλαδή:

$$P_{total} = P_w + P_s$$

(δ) Μηχανικός Αερισμός

Σε βασικό επίπεδο, ο μηχανικός αερισμός εφαρμόζεται ως μια σταθερού ρυθμού ροή. Αυτή η προσέγγιση σταθερής ροής ισχύει υπό την προϋπόθεση ότι η μεταβολή της πίεσης στη ζώνη μπορεί να καλυφθεί από τον ανεμιστήρα χωρίς καμία αλλαγή στο ρυθμό ροής. Σε πρακτικούς όρους, αυτό σημαίνει ότι η υπολογισμένη διαφορά πίεσης σε όλη τη διαδρομή της ροής του ανεμιστήρα θα πρέπει να ελέγχεται με δεδομένα των κατασκευαστών για να διασφαλιστεί ότι το σύστημα μπορεί να παρέχει την ονομαστική ροή αέρα κατά τις συνθήκες υπολογισμού.

Μια πιο ακριβής αναπαράσταση του μηχανικού αερισμού είναι η ενσωμάτωση της πτώσης πίεσης του συστήματος αερισμού και του ανεμιστήρα ως προς τον ρυθμό ροής του αέρα, σαν να μην υπήρχε οποιοσδήποτε άλλος τύπος διαδρομής ροής. Αυτό

απαιτεί την κατανόηση των χαρακτηριστικών ροής του ανεμιστήρα και τον αντίκτυπο στη ροή των συνδεδεμένων αγωγών.

(ε) Επίλυση για την ισορροπία της ροής μάζας

Η εξίσωση της ροής, ο συντελεστής ροής, ο εκθέτης ροής και η ασκούμενη πίεση εφαρμόζονται σε κάθε διαδρομή της ροής. Δεδομένου ότι η συνολική ροή μάζας του αέρα μέσα μια ζώνη πρέπει να αντισταθμίζεται από αντίστοιχη εκροή του αέρα, προκύπτει ότι, αν υπάρχουν «j» διαδρομές ροής σε μια συγκεκριμένη ζώνη, το άθροισμα αυτών των ροών θα ισούται με το μηδέν (μαζική ροή προς τα μέσα ισούται με μαζική ροή προς τα έξω), δηλαδή:

$$\sum_{i=1}^j Q_{mi} = 0$$

όπου Q_{mi} = ο ρυθμός ροής της μάζας αέρα από την i-οστή διαδρομή ροής.
 j = ο συνολικός αριθμός διαδρομών της ζώνης

Για την i-οστή διαδρομή ροής ισχύει:

$$Q_{mi} = C_i (P_i - P_{int})^{n_i} \quad \text{εάν } P_i > P_{int}$$

$$\text{ή: } Q_{mi} = -C_i (P_{int} - P_i)^{n_i} \quad \text{εάν } P_i < P_{int}$$

Αντικαθιστώντας για κάθε διαδρομή ροής:

$$Q_{m1} + Q_{m2} + \dots + Q_{mi} + \dots + Q_{mj} = 0$$

Από τα παραπάνω συνάγεται ότι υπάρχει μια μοναδική τιμή εσωτερικής πίεσης, P_{int} για κάθε ζώνη, στην οποία λαμβάνει χώρα η ισορροπία της ροής. Ο στόχος της τεχνικής υπολογισμού είναι να εκτιμήσει την εσωτερική πίεση κάθε ζώνης. Σπάνια είναι δυνατόν να εκτιμηθεί αυτή η πίεση κατ' ευθείαν μέσω υπολογισμού. Αντ' αυτού, καθορίζεται με επαναληπτικές μεθόδους, όπου λαμβάνεται αρχικά μία αυθαίρετη πίεση. Ο βαθμός απόκλισης από την ισορροπία της ροής χρησιμοποιείται στη συνέχεια για τον υπολογισμό μια ακριβέστερης τιμής πίεσης. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου επιτευχθεί ισορροπία ροής εντός καθορισμένης ανοχής.

Μερικές φορές το μοντέλο απλοποιείται με τον υπολογισμό ενός ογκομετρικού ρυθμού ροής αέρα αντί του ρυθμού ροής μάζας, μέσα από κάθε άνοιγμα. Αυτό επιτυγχάνεται διαιρώντας τη ροή μάζας με την πυκνότητα του αέρα. Με τον τρόπο αυτό δεν υπάρχει η αστάθεια κατά τον υπολογισμό που μπορεί να δημιουργείται από μια μικρή διαφορά στην πυκνότητα μεταξύ του εισερχόμενου και του εξερχόμενου αέρα, αλλά παύει να είναι το αποτέλεσμα αποδεκτό αν η διαφορά μεταξύ της εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας του αέρα υπερβαίνει περίπου τα 25K.

3.2.3 Αερισμός μιας όψης και τυρβώδεις διακυμάνσεις της ροής

Κατά τον αερισμό μιας όψης, δηλαδή όταν σε έναν κλειστό χώρο προβλέπονται ανοίγματα στη μία μόνο πλευρά, συχνά παρουσιάζουν δυσκολίες υπολογισμού. Κατ' αρχήν, μοντέλα δικτύου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό του αερισμού μιας όψης υποθέτοντας ότι η ροή του αέρα οδηγείται από μια σταθερή πίεση οδήγησης και ότι αυτή η πίεση αναπαρίσταται με ακρίβεια από το μοντέλο. Ουσιαστικά, αυτό σημαίνει ότι κατακόρυφα σε απόσταση ανοίγματα (ή ενιαία μεγάλα ανοίγματα) πρέπει να καθορίζονται από άποψη υψομετρικής διαφοράς, έτσι ώστε η κατακόρυφη πίεση οδήγησης να μπορεί να προσομοιωθεί. Η χωρική κατανομή της πίεσης του ανέμου, πρέπει παρομοίως να σημειωθεί, ώστε να αναπαρασταθούν και οι διαφορές πίεσης μεταξύ των ανοιγμάτων.

Όταν οι σταθερές κινητήριες δυνάμεις είναι αμελητέες, η ρυθμός εναλλαγής του αέρα καθοδηγείται από τυχαίες τυρβώδεις διακυμάνσεις. Αυτό το φαινόμενο δεν προσομοιώνεται από τα μοντέλα δικτύου και, ως εκ τούτου, τα αποτελέσματα θα υποτιμήσουν το ρυθμό αερισμού. Διάφορες τεχνικές έχουν προταθεί για να αντιπροσωπευθεί αυτή η επιπλέον κινητήρια δύναμη (π.χ. [Riberon et al 1990](#), [Rao et al 1991](#)), αν και, στην πράξη, αυτό αντιπροσωπεύει μια πολύ μικρή συμβολή στον ρυθμό αερισμού των κτιρίων και δεν πρέπει να θεωρείται ως ένας κανονικός μηχανισμός αερισμού. Τις περισσότερες φορές, η αποτυχία στον υπολογισμό του αερισμού μιας όψης είναι η ατελής αναπαράσταση της ροής στη δομή του δικτύου, η μη κατάλληλη προσέγγιση της πίεσης του ανέμου και η αδυναμία ενσωμάτωσης σημείων διείσδυσης αέρα ή άλλων ανοιγμάτων διαρροής αέρα στην όλη δομή ώστε να διαπιστωθούν μοτίβα διασταυρούμενου αερισμού.

Κεφάλαιο 4

1. Μοντέλο υπολογισμού πεδίου ροής γύρω από το κτίριο - QUIC

4.1 Γενικά για τα μοντέλα προσομοίωσης πεδίων ροής αέρα γύρω από κτίρια

Η γνώση του τρισδιάστατου πεδίου ροών αέρα μιας περιοχής χρειάζεται για πλήθος εφαρμογές: για την εκτίμηση της ενέργειας που μπορεί να παραχθεί από συστήματα μετατροπής αιολικής ενέργειας, για την προσομοίωση της κίνησης του αέρα πάνω σε κατασκευαστικές δομές (κτίρια, γέφυρες, κτλ), για την μεταφορά και διασπορά ρύπων και την εξέλιξη δασικών πυρκαγιών. Τα σωστά σχεδιασμένα τρισδιάστατα (3-D) ροϊκά πεδία αέρα μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για τη διαμόρφωση αρχικών και οριακών συνθηκών που απαιτούνται για δυναμικά μοντέλα μέσης κλίμακας (mesoscale dynamical models).

Επιπροσθέτως, η γνώση του κάθετου ροϊκού πεδίου είναι σημαντική προκειμένου να γίνει αξιόπιστη πρόγνωση της μεταφοράς των αέριων ρύπων. Συνήθως ο περιορισμένος αριθμός οριζόντιων μετρήσεων αέρα και η επίδραση από εγγενή σφάλματα καθιστούν δύσκολη την εκτίμηση της κάθετης ταχύτητας. Παρομοίως, η διατήρηση της μάζας στο χρησιμοποιούμενο ροϊκό πεδίο είναι απαραίτητη για την αποφυγή μη πραγματικών φαινομένων πηγών/καταβόθρων στον υπολογισμό της μεταφοράς και διασποράς. Τα συγκεκριμένα αριθμητικά μοντέλα επιλύουν τέτοιου τύπου προβλήματα.

Τα μοντέλα που προσομοιώνουν τα πεδία ροής αέρα σε μία περιοχή ανομοιογενούς εδάφους μπορούν να χωριστούν σε δύο τύπους: τα «προγνωστικά» και τα «διαγνωστικά» ή «κινηματικά» μοντέλα.

Τα «προγνωστικά» μοντέλα βασίζονται στην επίλυση χρονικά εξαρτημένων και θερμοδυναμικών εξισώσεων οι οποίες απορρέουν απευθείας από βασικές αρχές διατήρησης και προσαρμόζονται σε εφαρμογές στην ατμόσφαιρα. Αυτά τα μοντέλα επίσης ονομάζονται και «δυναμικά» καθώς σαφώς περιλαμβάνουν δυναμικές εξισώσεις. Μοντέλα αυτής της φύσης γενικά περιλαμβάνουν επιδράσεις οριζόντιας μεταφοράς, στρωμάτωσης, δύναμης Coriolis, ακτινοβολίας και τυρβώδων ροών καθώς και ορμής, θερμότητας και υγρασίας. Η επίλυση του πλήρους πακέτου εξισώσεων όμως παραμένει μία κοπιώδης και ακριβή εργασία.

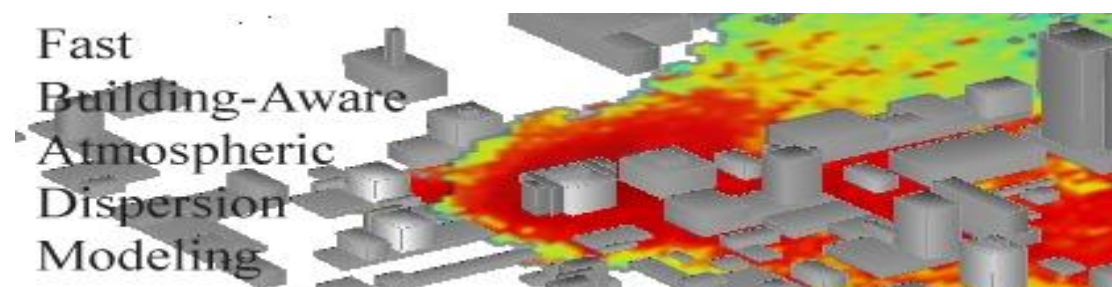
Επίσης, όσο πιο εξελιγμένο είναι το μοντέλο, τόσο και τα δεδομένα εισόδου θα πρέπει να είναι αξιόπιστα και ακριβή, ώστε να επωφεληθούμε από τα πλεονεκτήματα

που προσφέρονται από το μοντέλο: συχνά όμως αυτού του τύπου δεδομένα δεν είναι διαθέσιμα. Ακόμα, εξ' αιτίας της πολυπλοκότητας και του κόστους, αυτά τα μοντέλα προσομοιώνουν λίγες περιπτώσεις μόνο, που συνήθως αντιστοιχεί για τα πιο σημαντικά μετεωρολογικά γεγονότα που επηρεάζουν την υπό μελέτη περιοχή.

Οι «διαγνωστικοί» κώδικες χρήζουν αυτής της ονομασίας, καθώς οι κώδικες με την ενσωμάτωση των σχέσεων διατήρησης δεν χρησιμοποιούνται για την μεταγενέστερη στο χρόνο πρόβλεψη, αλλά για την καταγραφή μιας συγκεκριμένης κατάστασης.

Μεταξύ των «διαγνωστικών» μοντέλων που πραγματοποιούν προσομοίωση του πεδίου ροών αέρα, αυτά που βασίζονται στη διατήρηση της μάζας παίζουν σημαντικό ρόλο χάρη στην απλή φυσική που χρησιμοποιούν και στην δυνατότητά τους να δέχονται μετρήσεις αέρα σε διάφορα σημεία του πεδίου. Το σύνολο των διεργασιών και η μαθηματική υποστήριξη αυτού του τύπου προσομοίωσης, με ιδιαίτερη αναφορά στις προσεγγίσεις που χαρακτηρίζουν το μοντέλο, αναλύονται παρακάτω.

4.2 Αριθμητικό μοντέλο QUIC (Quick Urban & Industrial Complex Dispersion Modeling System)



Το Quick Urban & Industrial Complex (QUIC) Dispersion Modeling System είναι ένα αστικό μοντέλο διασποράς γρήγορης απόκρισης. Το QUIC αποτελείται από ένα τρισδιάστατο μοντέλο του πεδίου ανέμου που ονομάζεται QUIC-URB, από ένα μοντέλο μεταφοράς και διασποράς που ονομάζεται QUIC-PLUME, από έναν υπολογιστή πίεσης, QUIC-PRESSURE, και από ένα γραφικό περιβάλλον με το χρήστη που ονομάζεται QUIC-GUI. Οποιαδήποτε χημική, βιολογική, ραδιολογική (CBR) διασπορά μπορεί να υπολογιστεί από την κλίμακα ενός και μόνο κτιρίου μέχρι και για κλίμακα ολόκληρης γειτονιάς σε χρόνο δεκάδων δευτερόλεπτων μέχρι μερικών δεκάδων λεπτών. Το QUIC δεν θα δώσει ποτέ τέλειες απαντήσεις, αλλά θα λάβει υπόψη τις επιδράσεις των κτιρίων με έναν προσεγγιστικό τρόπο και θα είναι πιο ρεαλιστικό από τα μοντέλα διασποράς που δεν λαμβάνουν καθόλου υπόψη τα κτίρια.

4.3 QUIC-URB

Το QUIC - URB είναι ένα γρήγορο μοντέλο για τον υπολογισμό του μέσου πεδίου ροής γύρω από τα κτίρια. Χρησιμοποιεί εμπειρικούς αλγορίθμους και την αρχή διατήρησης της μάζας για τον ταχύ υπολογισμό 3D πεδίων ροής γύρω από οικοδομικά συγκροτήματα. Ο υποκείμενος κώδικας βασίζεται στο έργο του [Röckle \(1990\)](#). Οι παραμετροποιήσεις της ροής για κοιλότητες με καθοδική κατεύθυνση ανέμου και αστικά κανάλια, για κοιλότητες με ανοδική κατεύθυνση ανέμου, για ζώνες ανακυκλοφορίας στις ταράτσες των κτιρίων, για δίνες σε φαράγγια που σχηματίζουν οι δρόμοι ανάμεσα στα κτίρια και για διασταυρώσεις, εφαρμόζονται στα κτίρια με βάση την επικρατούσα κατεύθυνση του ανέμου και το ύψος, το πλάτος, το μήκος, και την απόσταση των κτιρίων. Τέλος, προκειμένου να παραχθεί ένα τρισδιάστατο πεδίο άνεμου επιβάλλεται η αρχή διατήρησης μάζας. Ορισμένα από τα πρωτότυπα σχέδια Röckle έχουν τροποποιηθεί ώστε να συμφωνούν καλύτερα με πειραματικά δεδομένα και επίσης έχουν εισαχθεί νέα συστήματα. Το QUIC - URB έχει τροποποιηθεί για να ανταποκρίνεται σε πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές, ημι - πολύπλοκα σχήματα κτιρίων, και στην υστέρηση που προκαλεί η δασώδης βλάστηση. Το μοντέλο μπορεί να αφομοιώσει μετρήσεις ανέμων και διαθέτει ικανότητα επίλυσης μεγαλύτερης έκτασης προβλημάτων, (δηλαδή διαθέτει δύο δίκτυα, ένα εσωτερικό, το οποίο επιλύει τη ροή γύρω από τα κτίρια, και ένα εξωτερικό, το οποίο λαμβάνει χονδρικά γεωλογικά στοιχεία και στοιχεία βλάστησης χωρίς να επιλύει ροές γύρω από κατασκευές ή κτίρια). Για μικρά προβλήματα μερικών κτιρίων, ο κώδικας εκτελείται σε δευτερόλεπτα. Για τα μεγαλύτερα προβλήματα με μερικά εκατομμύρια κυψελίδες που περιλαμβάνουν αρκετά τετραγωνικά χιλιόμετρα σε πυκνοκατοικημένη περιοχή, η εκτέλεση του κώδικα μπορεί να διαρκέσει από 5 έως 15 λεπτά.

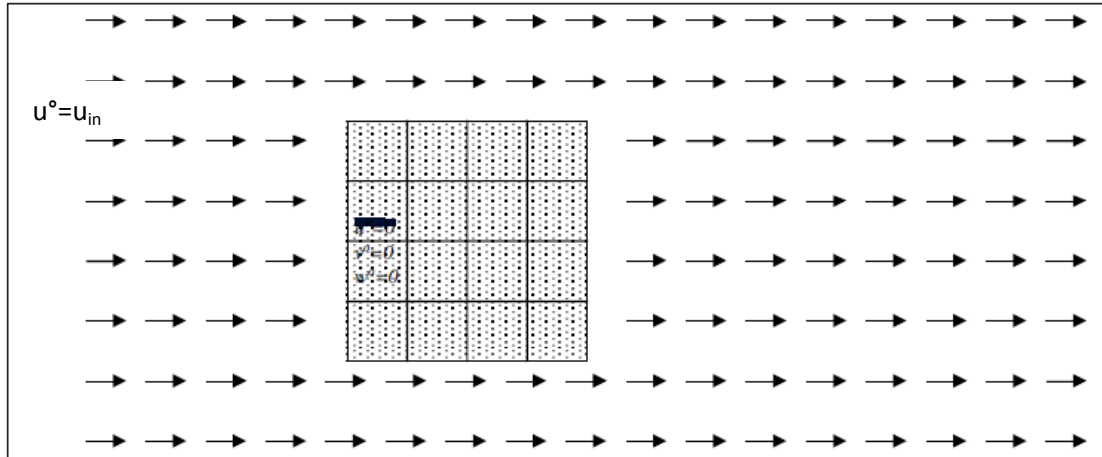
4.4 Η θεωρία πίσω από το αριθμητικό μοντέλο QUIC

Το μοντέλο QUIC-URB βασίζεται όπως προαναφέρθηκε στην γρήγορης απόκρισης προσομοίωση του ροϊκού πεδίου του αέρα που προτάθηκε στην διατριβή του [Röckle \(1990\)](#).

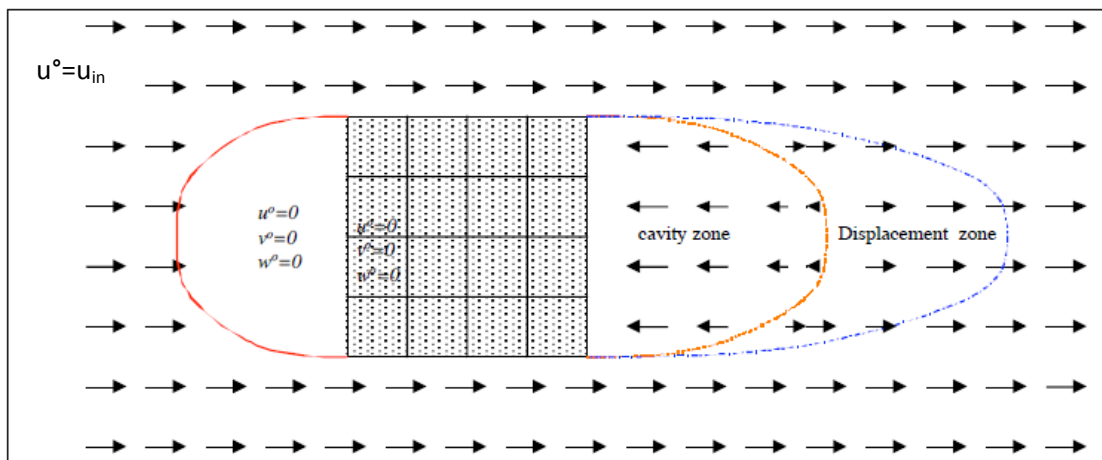
Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό, ορίζεται ένα ομοιόμορφο αρχικό πεδίο ανέμου (u_0, v_0, w_0) , βάσει μιας μέτρησης της ταχύτητας ή ενός γεγονότος u_{in} και βάσει των επιδράσεων της ροής αέρα από την γεωμετρία των κτιρίων. Το τελικό πεδίο ταχύτητας (u, v, w) υπολογίζεται εξαναγκάζοντας το αρχικό πεδίο ταχύτητας να είναι συνεπές ως προς τη διατήρηση της μάζας του. Το προκύπτον τρισδιάστατο σύμπλοκο πεδίο ταχύτητας προσομοιάζει με τον μέσο χρονικό όρο ενός πειραματικού αποτελέσματος.

Οι αρχικές συνθήκες που εκκινούν τον υπολογισμό του πεδίου ταχύτητας φαίνονται στις παρακάτω εικόνες. Σε περιοχές όπου υπάρχουν κτίρια, οι ταχύτητες

αναγκάζονται να είναι μηδέν (βλέπε εικόνα 4.1). Γύρω από τα ίδια τα κτίρια επικαλούνται εμπειρικές παραμετροποιήσεις ώστε να παραχθεί ένα πεδίο ταχύτητας που διατηρεί σημαντικά χαρακτηριστικά του κατά μέσο χρονικό όρο πεδίου ροής (για παράδειγμα βλέπε την επίδραση της ροής στην κοιλότητα που σχηματίζεται στην Εικόνα 4.2).



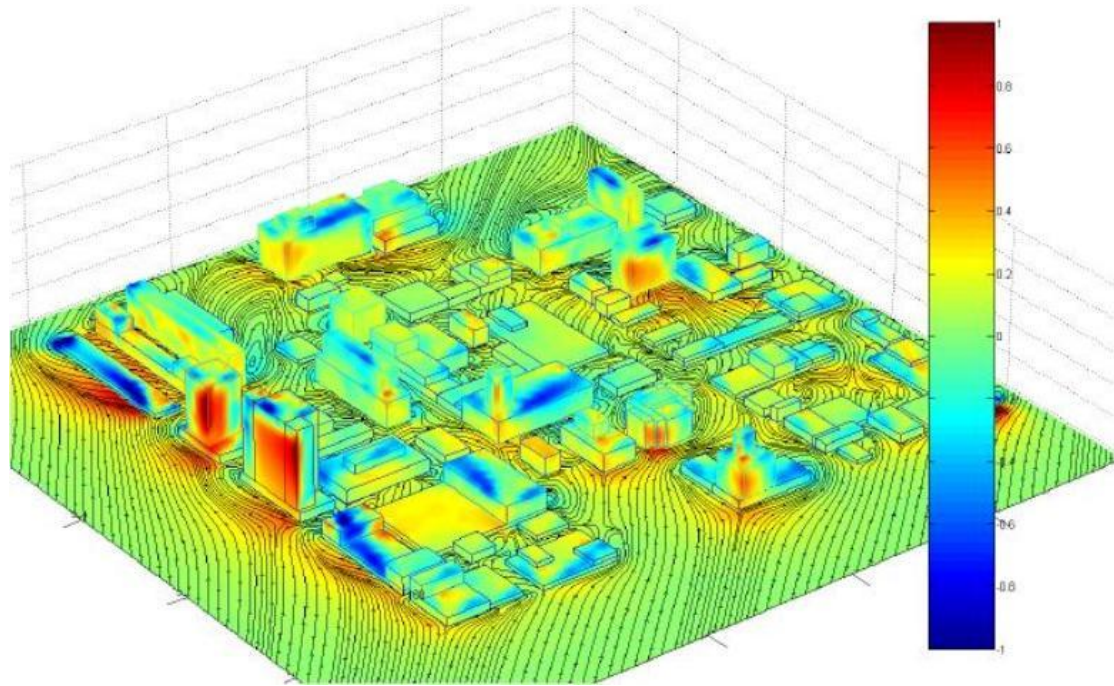
Εικόνα 4.1 – Κάτοψη (x-y όψη) ενός αρχικού τυχαίου πεδίου ανέμου γύρω από έναν κύβο.



Εικόνα 4.2 – Κάτοψη (x-y όψη) ενός αρχικού πεδίου ανέμου με εμπειρικές παραμετροποιήσεις.

Η μέθοδος που χρησιμοποιείται πλέον στο μοντέλο QUIC-URB (version 1.0) μετέρχεται την ίδια εμπειρική λογική με τον [Rockle \(1990\)](#) (και αργότερα τους [Kaplan and Dinar, 1996](#)), όμως οι αριθμητική εφαρμογή είναι λίγο διαφορετική και θα αναλυθεί παρακάτω.

Χρησιμοποιώντας τη το μέσο τρισδιάστατο πεδίο ταχύτητας που παράγεται από το QUIC-URB, το QUIC-PRESSURE επιλύει τα τρισδιάστατα πεδία πίεσης με τη χρήση της εξίσωσης πίεσης Poisson. Οι πιέσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν στον προσδιορισμό των διαρροών ενός κτιρίου, καθώς και τις πιέσεις που προκαλούνται στο κτίριο από τους ανέμους.



Η εκκίνηση της επίλυσης του εξωτερικού δικτύου, γίνεται με τη χρήση ενός τρισδιάστατου πεδίου ανέμου(πάνω αριστερά). Στη συνέχεια, οι άνεμοι του εξωτερικού δικτύου χρησιμοποιούνται για την εκκίνηση επίλυσης του εσωτερικού δικτύου, το οποίο και επιλύει ξεχωριστά κάθε κτίριο.(πάνω δεξιά)

4.5 Η αριθμητική μέθοδος

Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφεται λεπτομερώς η αριθμητική μέθοδος που χρησιμοποιείται και πως εφαρμόζεται (QUIC-URB v1.1 , Theory and User's Guide). Ελαχιστοποιώντας την διακύμανση της διαφοράς μεταξύ του παρατηρούμενου πεδίου ανέμου (u_0, v_0, w_0) και του υπολογιζόμενου πεδίου ανέμου(u, v, w) που υπόκειται σε φυσικούς περιορισμούς οι οποίοι ικανοποιούνται ακριβώς ή προσεγγιστικά από το υπολογιζόμενο πεδίο (Sherman, 1978).

$$E(u,v,w,\lambda) = \int_V \left[\alpha_1^2 (u - u^o)^2 + \alpha_1^2 (v - v^o)^2 + \alpha_2^2 (w - w^o)^2 + \lambda \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right] dx dy dz \quad (1)$$

Το κύριο μέρος του κώδικα επιλύει την παρακάτω εξίσωση για τους πολλαπλασιαστές Lagrange χρησιμοποιώντας μια SOR μέθοδο.

$$\frac{\partial^2 \lambda}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \lambda}{\partial y^2} + \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2} \right)^2 \frac{\partial^2 \lambda}{\partial z^2} = R \quad (2)$$

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.3, το λ είναι μια ποσότητα στο κέντρο κάθε κελιού και οι ταχύτητες ποσότητες στις πλευρές των κελιών. Τα α είναι συντελεστές ακριβείας του Gauss και θα συζητηθούν αργότερα. Για τα κελιά που δεν επηρεάζονται από οριακές συνθήκες, η εξίσωση (1) διακριτοποιείται ως εξής:

$$\frac{\lambda_{i+1,j,k} - 2\lambda_{i,j,k} + \lambda_{i-1,j,k}}{\Delta x^2} + \frac{\lambda_{i,j+1,k} - 2\lambda_{i,j,k} + \lambda_{i,j-1,k}}{\Delta y^2} + \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2} \right)^2 \frac{\lambda_{i,j,k+1} - 2\lambda_{i,j,k} + \lambda_{i,j,k-1}}{\Delta z^2} = R_{i,j,k} \quad (3)$$

Για κελιά με στερεά όρια στη θετική κατεύθυνση i , έγινε η ακόλουθη απλοστευση (το όριο αυτό καθορίζεται ως ένας τοίχος προς τα δεξιά):

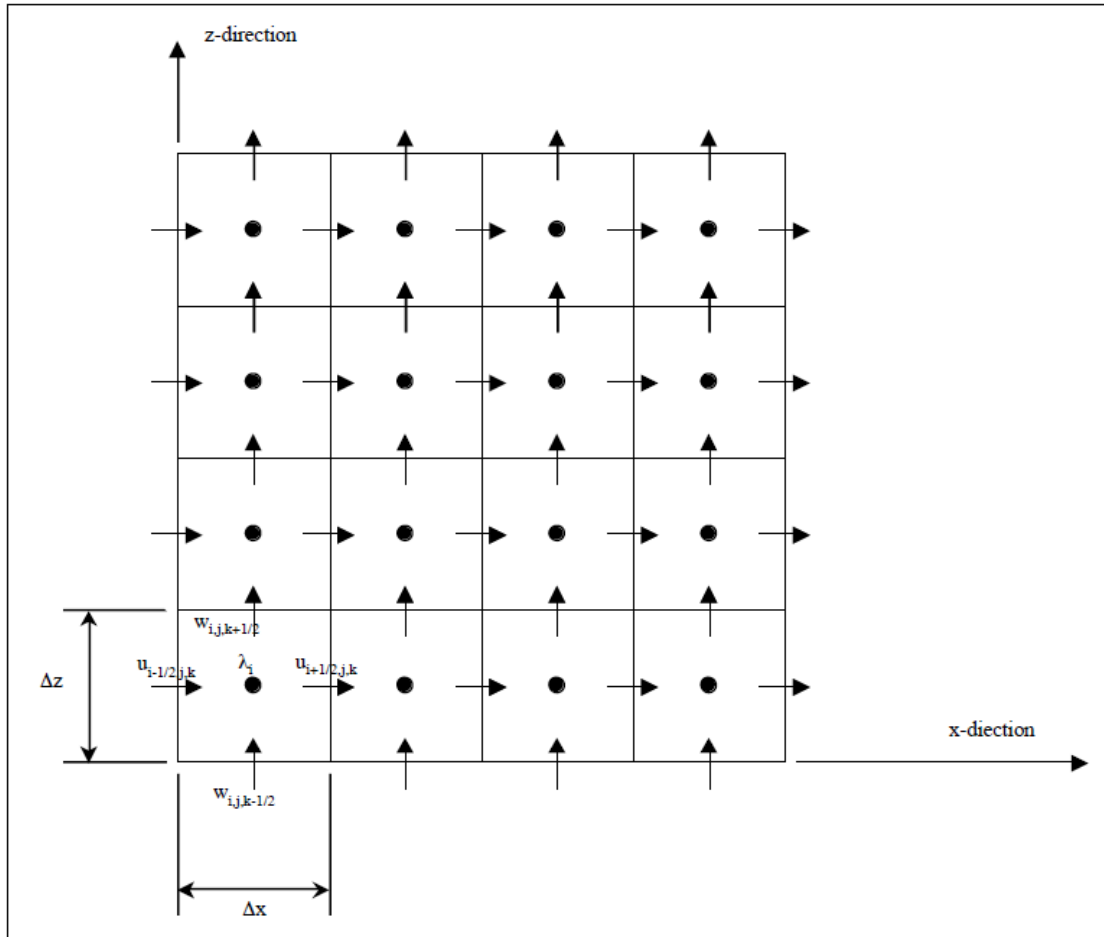
$$\frac{\partial^2 \lambda}{\partial x^2} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial \lambda}{\partial x} \right) \approx \frac{1}{\Delta x} \left(\frac{\partial \lambda}{\partial x} \Big|_{i+\frac{1}{2}} - \frac{\partial \lambda}{\partial x} \Big|_{i-\frac{1}{2}} \right) \quad (4)$$

Καθώς οι οριακές συνθήκες για στερεά όρια είναι $\frac{\partial \lambda}{\partial x} = 0$

Εάν ο τοίχος βρίσκεται σε $i+1/2$, τότε η (3) απλοποιείται σε:

$$\frac{\partial^2 \lambda}{\partial x^2} \approx \frac{1}{\Delta x} \left(0 - \frac{\partial \lambda}{\partial x} \Big|_{i-\frac{1}{2}} \right) \approx \frac{1}{\Delta x} \left(-\frac{\lambda_i - \lambda_{i-1}}{\Delta x} \right) \eta$$

$$\frac{\partial^2 \lambda}{\partial x^2} \approx \frac{\lambda_{i-1} - \lambda_i}{\Delta x^2}$$
(5)



Εικόνα 4.3 – Διαδοχικό αριθμητικό πλέγμα για το QUIC-URB

Χρησιμοποιώντας αυτόν τον τύπο προσέγγισης και αντικαθιστώντας $\eta = \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2} \right)^2$

$$\frac{\lambda_{i-1} - \lambda_i}{\Delta x^2} + \frac{\lambda_{i,j+1,k} - 2\lambda_{i,j,k} + \lambda_{i,j-1,k}}{\Delta y^2} + \eta \left(\frac{\lambda_{i,j,k+1} - 2\lambda_{i,j,k} + \lambda_{i,j,k-1}}{\Delta z^2} \right) = R_{i,j,k}$$
(6)

Αυτού του τύπου προσεγγίσεις των οριακών συνθηκών μπορούν εύκολα να εφαρμοστούν ώστε να απλοποιηθεί η εξίσωση (2). Πρώτα πολλαπλασιάζεται η εξίσωση (2) με Δx^2 :

$$\begin{aligned} \lambda_{i+1,j,k} - 2\lambda_{i,j,k} + \lambda_{i-1,j,k} + \frac{\Delta x^2}{\Delta y^2} (\lambda_{i,j+1,k} - 2\lambda_{i,j,k} + \lambda_{i,j-1,k}) + \\ + \eta \frac{\Delta x^2}{\Delta z^2} (\lambda_{i,j,k+1} - 2\lambda_{i,j,k} + \lambda_{i,j,k-1}) = \Delta x^2 R_{i,j,k} \end{aligned} \quad (7)$$

Αντικαθιστάται όπου $A = \frac{\Delta x^2}{\Delta y^2}$ και $B = \eta \frac{\Delta x^2}{\Delta z^2}$.

Για να είναι δυνατή η εφαρμογή των οριακών συνθηκών, χρησιμοποιούνται οι ακόλουθοι συντελεστές οριακής κατάστασης $e, f, g, h, m, n, o, p, q$. Κάθε συντελεστής είναι μια ποσότητα που εφαρμόζεται στο κέντρο κάθε κελιού και ποικίλει ανάλογα με τη θέση του σε σχέση με τα όρια.

$$\begin{aligned} -2o\lambda_{i,j,k} - Ap2\lambda_{i,j,k} - Bq2\lambda_{i,j,k} = \\ (\Delta x^2 R_{i,j,k}) - (e\lambda_{i+1,j,k} + f\lambda_{i-1,j,k} + A(g\lambda_{i,j+1,k} + h\lambda_{i,j-1,k}) + B(m\lambda_{i,j,k+1} + n\lambda_{i,j,k-1})) \end{aligned} \quad (8)$$

Αναδιατάσσοντας και επιλύοντας για $\lambda_{i,j,k}$:

$$\lambda_{i,j,k} = \frac{-(\Delta x^2 R_{i,j,k}) + (e\lambda_{i+1,j,k} + f\lambda_{i-1,j,k} + A(g\lambda_{i,j+1,k} + h\lambda_{i,j-1,k}) + B(m\lambda_{i,j,k+1} + n\lambda_{i,j,k-1}))}{2(o + Ap + Bq)} \quad (9)$$

Η εξίσωση (5) μπορεί να γίνει μορφής SOR ως εξής:

$$\lambda^{t+1}_{i,j,k} = \omega \left[\frac{-\left(\Delta x^2 R^t_{i,j,k}\right) + \left(e\lambda^t_{i+1,j,k} + f\lambda^{t+1}_{i-1,j,k} + A\left(g\lambda^t_{i,j+1,k} + h\lambda^{t+1}_{i,j-1,k}\right) + \right.}{2(o + Ap + Bq)} + \right. \\ \left. \frac{+ B\left(m\lambda^t_{i,j,k+1} + n\lambda^{t+1}_{i,j,k-1}\right)}{2(o + Ap + Bq)} \right] + (1 - \omega)\lambda^{t+1}_{i,j,k} \quad (10)$$

Όπου $\omega=1.78$ είναι ο παραμετρικός συντελεστής επιτάχυνσης SOR. Αυτή η τιμή επιλέχθηκε βάσει συστάσεων του [Rockle \(1990\)](#). Οι οριακές συνθήκες ορίζονται με συντελεστές.

Πρέπει να σημειωθεί ότι κάθε οριακός συντελεστής είναι μοναδικός σε κάθε κελί, έτσι ώστε $e=e_{i,j,k}$. Εάν όλα τα γύρω κελιά είναι «υγρά» κελιά, τότε οι συντελεστές e, f, g, h, m, n, o, p και q είναι μονάδες. Εάν υπάρχουν «μη υγρά» κελιά, για παράδειγμα εάν η Εξίσωση 4 πρόκειται να εφαρμοστεί (ένας στερεός τοίχος στα δεξιά), οι μόνοι συντελεστές που χρειάζονται αλλαγή από μονάδα είναι: $o = 0.5$, $e = 0$. Ο Πίνακας 1 παρακάτω απαριθμεί όλες τις οριακές συνθήκες.

No.	E	F	G	H	M	N	O	P	Q	Τύπος κελιού
1	1	1	1	1	1	0	1	1	0.5	Τοίχος από κάτω
2	1	1	1	1	0	1	1	1	0.5	Τοίχος από πάνω
3	0	1	1	1	1	1	0.5	1	1	Τοίχος από δεξιά
4	1	0	1	1	1	1	0.5	1	1	Τοίχος από αριστερά
5	1	1	0	1	1	1	1	0.5	1	Τοίχος από πίσω
6	1	1	1	0	1	1	1	0.5	1	Τοίχος από μπροστά
7	1	1	0	1	1	0	1	0.5	0.5	Από κάτω & μπροστά
8	1	0	1	1	1	0	0.5	1	0.5	Από κάτω & αριστερά
9	0	1	1	1	1	0	0.5	1	0.5	Από κάτω & δεξιά
10	1	1	1	0	1	0	1	0.5	0.5	Από κάτω & πίσω

Πίνακας 4.1 – Λίστα των συντελεστών οριακών συνθηκών για το QUIC-URB

Πρέπει να σημειωθεί ότι τα μπροστά, πίσω, πάνω, κάτω, δεξιά, αριστερά, υποθέτουν ότι ο χρήστης βρίσκεται μέσα στο υπολογιστικό κελί.

Υπολογισμός της απόκλισης του παρατηρούμενου πεδίου ροής

Ο δεξιός όρος της εξίσωσης (1) είναι η απόκλιση του παρατηρούμενου πεδίου ροής:

$$R_{i,j,k} = -2\alpha_1^2 \left(\frac{\partial u_o}{\partial x} + \frac{\partial v_o}{\partial y} + \frac{\partial w_o}{\partial z} \right) \quad (11\alpha)$$

Και αυτή υπολογίζεται αριθμητικά εφαρμόζοντας την παρακάτω μέθοδο:

$$R_{i,j,k} = -2\alpha_1^2 \left(\frac{u^o_{i+\frac{1}{2},j,k} - u^o_{i-\frac{1}{2},j,k}}{\Delta x} + \frac{v^o_{i,j+\frac{1}{2},k} - v^o_{i,j-\frac{1}{2},k}}{\Delta y} + \frac{w^o_{i,j,k+\frac{1}{2}} - w^o_{i,j,k-\frac{1}{2}}}{\Delta z} \right) \quad (11\beta)$$

Επίλυση της εξίσωσης Poisson:

Η εξίσωση Poisson (6) επιλύεται επαναληπτικά μέχρις ότου επιτευχθεί μία κατάσταση ελάχιστου σφάλματος στον πολλαπλασιαστή Lagrange πάνω από κάθε επίπεδο στο χώρο, δηλαδή:

$$E_k = \sum_{j=1}^{ny} \sum_{i=1}^{nx} \left| \lambda^{t+1}_{i,j,k} - \lambda^t_{i,j,k} \right| < \varepsilon$$

Ενημέρωση του νέου πεδίου ταχύτητας

Το πεδίο ταχύτητας ενημερώνεται χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις Euler-Lagrange των οποίων η λύση ελαχιστοποιεί την εξίσωση (1).

$$u = u^o + \frac{1}{2\alpha_1^2} \frac{\partial \lambda}{\partial x} \quad (13\alpha)$$

$$v = v^o + \frac{1}{2\alpha_1^2} \frac{\partial \lambda}{\partial y} \quad (13\beta)$$

$$w = w^o + \frac{1}{2\alpha_2^2} \frac{\partial \lambda}{\partial z} \quad (13\gamma)$$

Αυτές οι εξισώσεις υπόκεινται στις ακόλουθες οριακές συνθήκες: $\frac{\partial \lambda}{\partial n} = 0$ σε στερεό όριο και $\lambda=0$ σε όριο εισροών/εκροών.

$$\frac{\partial^2 \lambda}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \lambda}{\partial y^2} + \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2}\right)^2 \frac{\partial^2 \lambda}{\partial z^2} = -\alpha_1^2 \left(\frac{\partial u^o}{\partial x} + \frac{\partial v^o}{\partial y} + \frac{\partial w^o}{\partial z} \right)$$

(14)

4.6 Καθορισμός του αρχικού πεδίου ταχύτητας

Το πεδίο ροής σε ολόκληρη την περιοχή εκκινείται με τη χρήση ενός Power-Law προφίλ ταχύτητας.

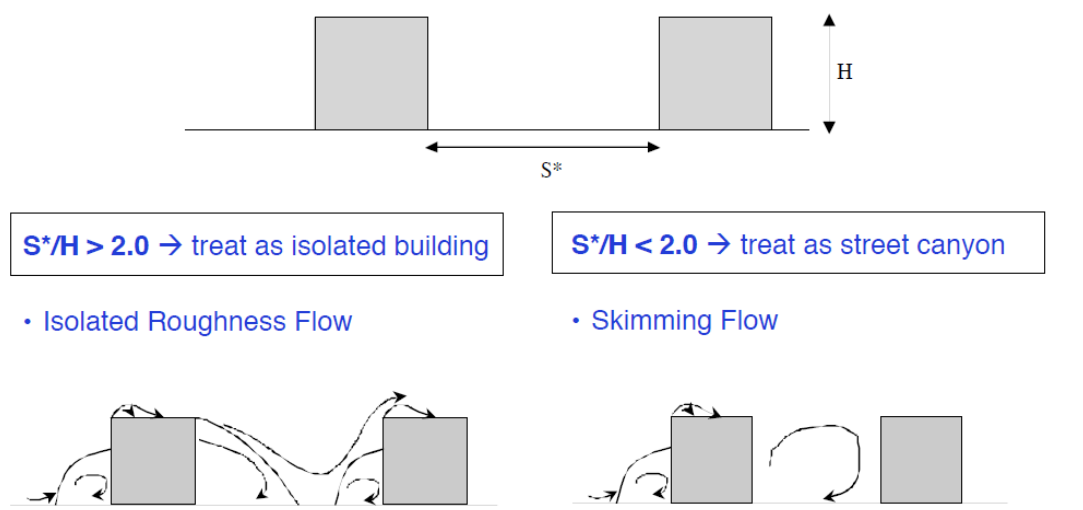
$$U_o(z) = U_o(z_{ref}) * \left(\frac{z}{z_{ref}} \right)^p$$

(15)

Ο καθορισμός του αρχικού πεδίου ροής γύρω από τα κτίρια, περιγράφεται παρακάτω:

4.7. Εφαρμογή των παραμέτρων της ροής γύρω από κτίρια α) Προσδιορισμός τύπου ροής

Ο κώδικας του QUIC-URB αρχικά καθορίζει την απόσταση μεταξύ των κτιρίων. Αν τα κτίρια είναι πολύ κοντά το ένα στο άλλο (αναλογία πλάτος προς ύψος μικρότερη του δύο), τότε θα χρησιμοποιηθούν αλγόριθμοι για τυρβώδη τύπο ροής (skimming flow regime). Εάν τα κτίρια έχουν μεγαλύτερη απόσταση μεταξύ τους, τότε θα χρησιμοποιηθούν αλγόριθμοι για απομονωμένα κτίρια. (βλέπε Εικόνα 4.4)



Εικόνα 4.4 – Αναπαράσταση των δύο τύπων ροής που χρησιμοποιούνται στο μοντέλο QUIC-URB.

β) Παραμετροποίηση ενός κτιρίου

Ζώνες πρωτοβάθμιας ροής

Το μήκος του μπροστινού (L_f) ρεύματος παραμετροποιείται χρησιμοποιώντας τον τύπο του Hosker's (1984)

$$\frac{L_f}{H} = \frac{2 \frac{W}{H}}{1 + 0.8 \frac{W}{H}} \quad (16)$$

Το μήκος της κοιλότητας (L_r) που σχηματίζεται μετά από το κτίριο υπολογίστηκε από τον Fackrell (1984):

$$\frac{L_r}{H} = \frac{1.8 \frac{W}{H}}{\left(\frac{L}{H}\right)^{0.3} \left(1 + 0.24 \frac{W}{H}\right)} \quad (17)$$

Ζώνη Εμπρός Ρεύματος	FW_x	FW_y
Μισός άξονας a_x	$L_f \sin^2 \phi \sqrt{1 - \left(\frac{z}{0.6h}\right)^2}$	$\frac{l}{2}$
Μισός άξονας a_y	$\frac{b}{2}$	$L_f \cos^2 \phi \sqrt{1 - \left(\frac{z}{0.6h}\right)^2}$
Προσδιορισμός ταχύτητας	$u_o = 0$	$v_o = 0$

Πίνακας 4.2 – Προσδιορισμοί για την ταχύτητα της μπροστινής κοιλότητας:

Ζώνη Ροής	NN	FN
Μισός άξονας a'_x	$L_r \sqrt{1 - \left(\frac{z}{h}\right)^2}$	$3L_r \sqrt{1 - \left(\frac{z}{h}\right)^2}$
Μισός άξονας a'_y	$\frac{b_e}{2}$	$\frac{b_e}{2}$
Προσδιορισμός Ταχύτητας	$u_o = -u(h) \left(1 - \frac{x_l}{d_N}\right)^2$	$u_o = u(z) \left(1 - \frac{x_l}{d_N}\right)^{1.5}$
Προσδιορισμός Ταχύτητας	$v_o = -v(h) \left(1 - \frac{x_l}{d_N}\right)^2$	$v_o = v(z) \left(1 - \frac{x_l}{d_N}\right)^{1.5}$

Πίνακας 4.3 – Διαστάσεις της προσήνεμης πίσω ζώνης και περιγραφή των συνιστωσών της ταχύτητας.

Ροές ανακυκλοφορίας στην οροφή και στα πλευρικά τοιχώματα του κτιρίου

Η αρχική διατύπωση από τον Rockle δεν περιείχε ζώνες ανακυκλοφορίας στην οροφή ή στα πλευρικά τοιχώματα.

γ) Παραμετροποιήσεις πολλαπλών κτιρίων

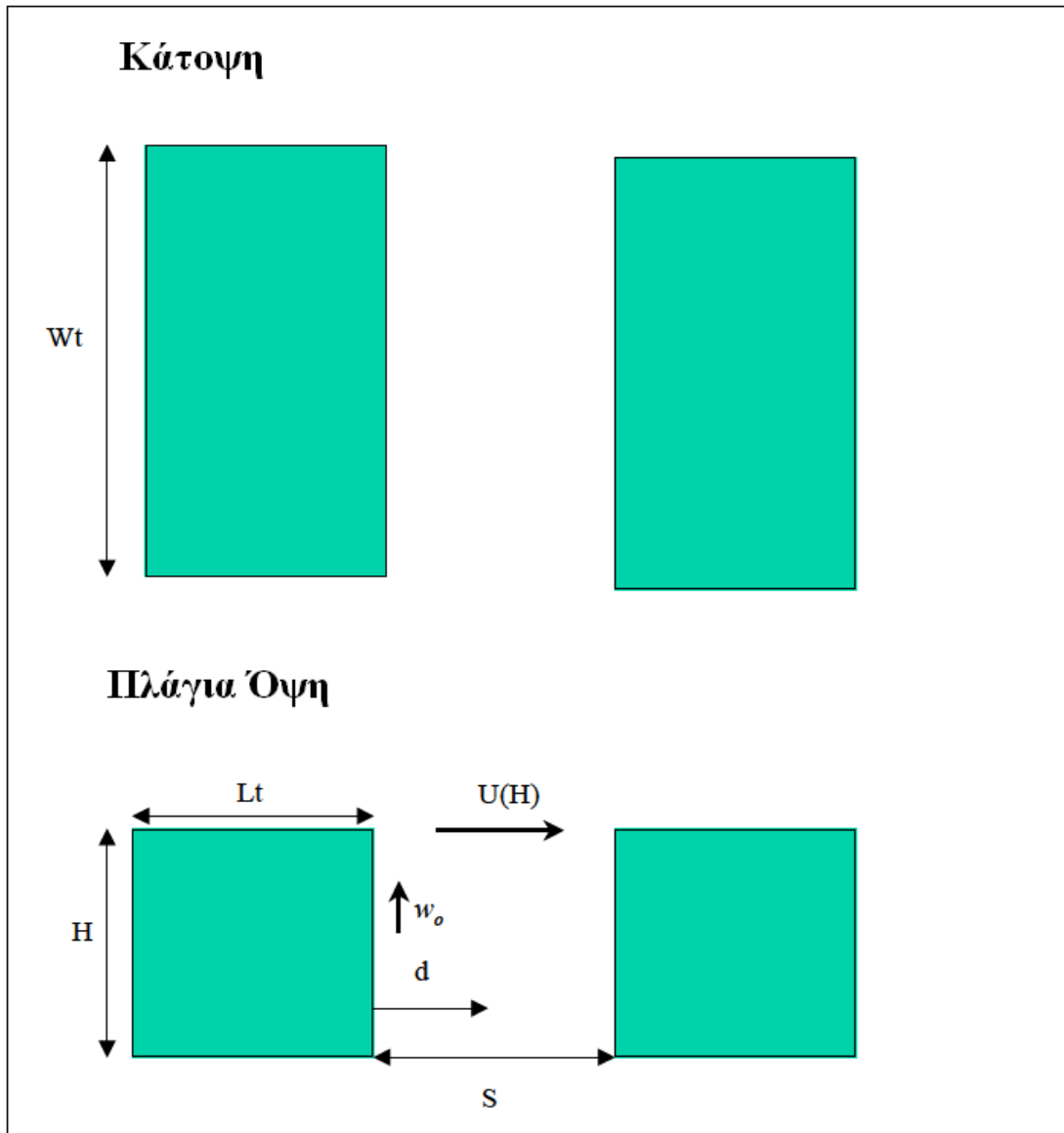
Ροή στα φαράγγια που σχηματίζονται μεταξύ των κτιρίων

Η αρχική διατύπωση του Rockle για τις προδιαγραφές του αρχικού πεδίου ταχύτητας μεταξύ των κτιρίων είναι:

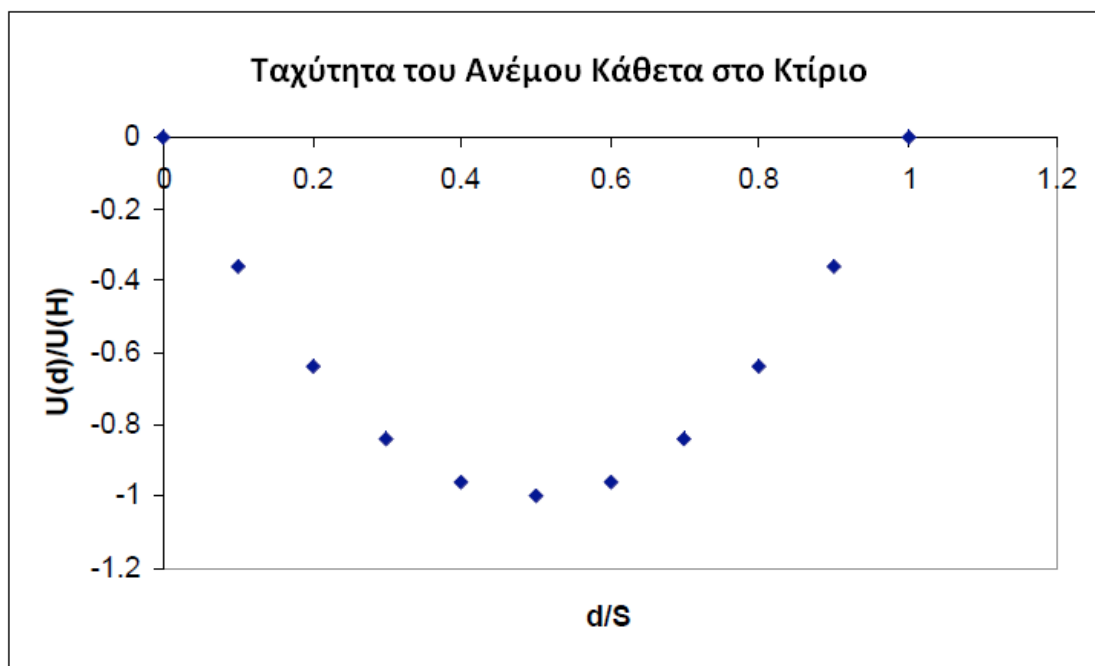
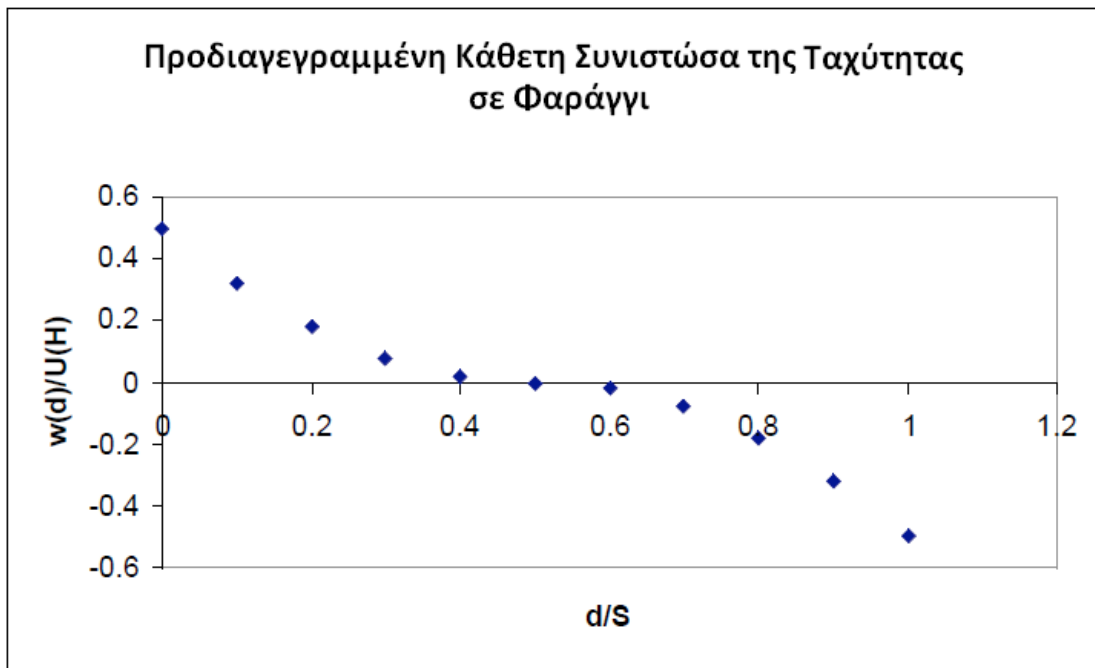
$$\frac{u_0}{U(H)} = -\frac{d}{(0.5S)} \left(\frac{S-d}{0.5S} \right) \quad (18)$$

$$\frac{w_0}{U(H)} = -\left| \frac{1}{2} \left(1 - \frac{d}{0.5S} \right) \right| \left(1 - \frac{S-d}{0.5S} \right) \quad (19)$$

όπου S είναι η απόσταση μεταξύ των κτιρίων, d είναι η απόσταση από το υπήνεμο τμήμα του προσήνεμου κτιρίου, W είναι η κατακόρυφη συνιστώσα της ταχύτητας και $U(H)$ είναι η ταχύτητα του ανέμου στην κορυφή του προσήνεμου κτιρίου. Το παρακάτω σχήμα δείχνει κάθε μία από τις μεταβλητές μέσα στο φαράγγι. Οι παρακάτω γραφικές παραστάσεις δείχνουν την γραφική κατατομή της ταχύτητας ως συνάρτηση του d/S .



Εικόνα 4.5 – Αναπαράσταση των δύο τύπων ροής που χρησιμοποιούνται στο μοντέλο QUIC-URB.



Εικόνα 4.6 – Η γραφική κατατομή της ταχύτητας ως συνάρτηση του d/S .

Η ροή πάνω από τα κτίρια

Η ροή πάνω από τα κτίρια πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας ένα λογαριθμικό προφίλ με τρόπο παρόμοιο με αυτόν του Rockle (1990) (Monin & Obukhov, 1954) Συγκεκριμένα:

$$u = \frac{u_*}{k} \ln\left(\frac{z - D}{z_o}\right) \quad (20)$$

όπου D είναι το ύψος μετατόπισης, z_o η αεροδυναμική τραχύτητα και u_* η ταχύτητα τριβής (προερχόμενη από την διατμητική τάση). Δεδομένου ότι η ταχύτητα τριβής είναι αναγκαία γνωστή η εξίσωση γίνεται:

$$u = u_{ref} \frac{\ln\left(\frac{z - D}{z_o}\right)}{\ln\left(\frac{z_{ref} - D}{z_o}\right)} \quad (21)$$

όπου z_{ref} είναι το ύψος της γνωστής μετρημένης ταχύτητας u_{ref} . Το ύψος μετατόπισης και το μήκος τραχύτητας υπολογίζονται ως εξής:

$$D = 0.8 \frac{\sum_{i=1}^{\#blds} W_i L_i h_i}{\sum_{i=1}^{\#blds} W_i L_i} \quad z_o = 0.2 \frac{\sum_{i=1}^{\#blds} W_i L_i h_i}{L_x L_y} \quad (22)$$

όπου L_x και L_y είναι τα μήκη του υπολογιστικού τομέα στις κατευθύνσεις x και y .

4.8 Εκτελώντας το πρόγραμμα

A) Το Makefile

Ο κώδικας του QUIC-URB αποτελείται από τις παρακάτω επτά υπορουτίνες,

```
bcsetup.f          divergence.f      euler.f
init.f            main.f          outfile.f
sor3d.f
```

ένα makefile και ένα αρχείο εισόδου, το input.dat

Το κύριο πρόγραμμα που καλεί μια σειρά από υπορουτίνες είναι το main.f. Το πρόγραμμα συντάσσεται χρησιμοποιώντας ένα makefile. Το πρόγραμμα έχει δοκιμαστεί στα ακόλουθα λειτουργικά: σε Linux και σε τροποποιημένη μορφή στον PGIFortran77 στα windows.

B) Το αρχείο εισόδου

Η εκτέλεση του QUIC-URB απαιτεί μόνο ένα αρχείο εισόδου. Τα περιεχόμενα του αρχείου εισόδου “input.dat” παρουσιάζονται παρακάτω:

270.		!wind angle (std met, ie 0 out of North, 90 out of East)				
1.		!wind speed (meters/sec)				
6.		!reference height for power law				
0.16		!exponent for inlet profile				
1		!building input mode (1 for input, 2 for city file)				
2		!number of buildings				
bldnum	bldtype	height	width	length	xfo	yfo
1	1	19	6	6	15	12
2	1	19	6	6	30	12

Εικόνα 4.7 – Αρχείο εισόδου “input.dat” για το μοντέλο QUIC-URB.

Η πρώτη γραμμή του αρχείου εισόδου είναι η γωνία του ανέμου σε μοίρες, σε τυπική μετεωρολογική διάταξη.

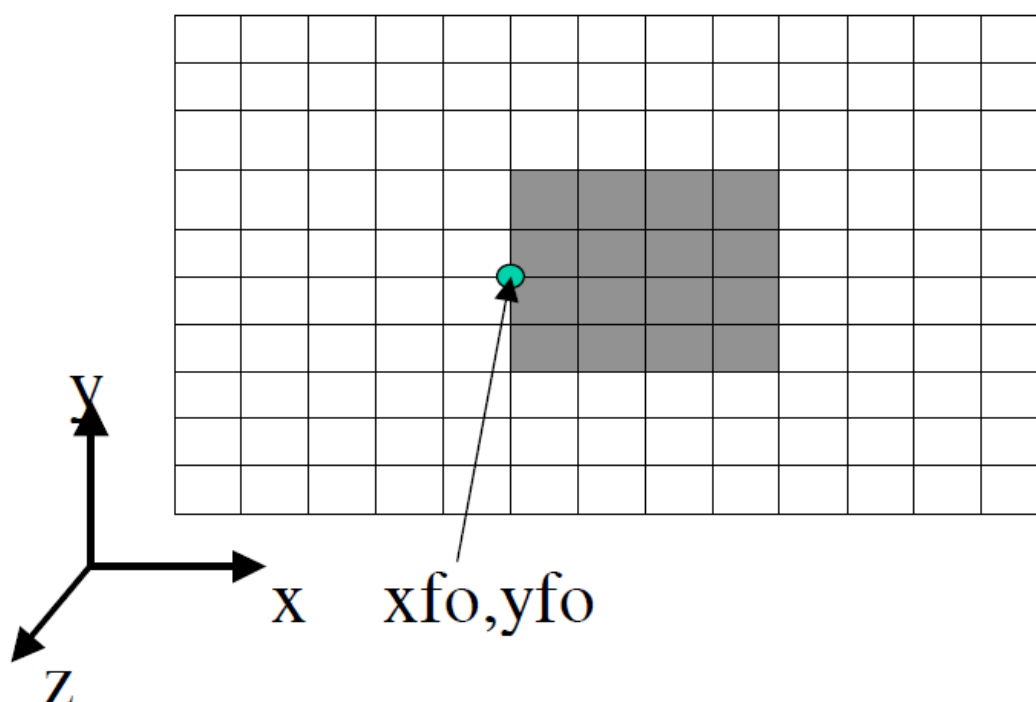
Η δεύτερη γραμμή είναι η ταχύτητα του ανέμου στο ύψος αναφοράς σε μέτρα/δευτερόλεπτο.

Η τρίτη γραμμή του κώδικα είναι το ύψος αναφοράς για την κατατομή της ταχύτητας του προσήνεμου οριακού στρώματος και η τέταρτη γραμμή είναι ο εκθέτης της παρακάτω σχέσης:

$$\frac{u_o(z)}{u_{ref}} = \left(\frac{z}{z_{ref}} \right)^p$$

Η πέμπτη γραμμή του αρχείου καθορίζει εάν τα στοιχεία των κτιρίων θα εισαχθούν από το αρχείο εισόδου ή από ένα άλλο αρχείο κτιριακών δεδομένων. Μέχρι πρότινος μόνο η πρώτη επιλογή είναι διαθέσιμη. Η έκτη γραμμή καθορίζει τον αριθμό των κτιρίων που θα ληφθούν υπόψη στους υπολογισμούς. Η έβδομη γραμμή είναι γραμμή κειμένου που δεν χρησιμοποιείται από τον κώδικα.

Οι γραμμές από την οχτώ και πάνω καθορίζουν τη γεωμετρία των κτιρίων και τη θέση τους. Το πλάτος είναι η διάσταση του κτιρίου στον άξονα y, ενώ το μήκος η διάσταση του κτιρίου στον άξονα x. Το ύψος μετράται στον άξονα z. Το μπροστά κέντρο κάθε κτιρίου καθορίζεται κοιτώντας την κάτοψη όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 4.8 – Κάτοψη ενός κτιρίου στο σύστημα συντεταγμένων του QUIC-URB που δείχνει το μπροστά / κεντρικό σημείο xfo και yfo του κτιρίου.

Γ) Αρχεία εξόδου

Οι χρήστες μπορούν να τροποποιήσουν τον κώδικα για να δώσει όποιο αποτέλεσμα θέλουν, ωστόσο, η βασική έκδοση του QUIC-URB έχει τα ακόλουθα αρχεία εξόδου:

<code>celltype.dat</code>	<code>celltype2.dat</code>	<code>uofield.dat</code>
<code>uoutmat.dat</code>	<code>uoutfield.dat</code>	<code>buildout.dat</code>

Όλα τα αρχεία εξόδου είναι επί του παρόντος σε μορφή ASCII. Τα αρχεία `celltype.dat` και `celltype2.dat` περιέχουν ένα δικτυωμένο σύνολο δεδομένων για το "έδαφος" και τα "κτίρια" αντίστοιχα. Τα αρχεία αυτά είναι χρήσιμα για την οπτικοποίηση της θέσης των κτιρίων. Αυτά χρησιμοποιούνται κατά την επεξεργασία από το Matlab GUI για τη δημιουργία κτιρίων. Τα αρχεία περιέχουν x , y , z και μια σημαία. Η σημαία έχει οριστεί σε 0 για ένα κελί που περιέχει υγρό στοιχείο και 1 για ένα στερεό κελί.

Το `uofield.dat` έχει τα αρχικά δεδομένα ταχύτητας πριν από το στάδιο εφαρμογής της διατήρησης μάζας του κώδικα. Δηλαδή, περιέχει τα στοιχεία από τις πρώτες εμπειρικές παραμετροποιήσεις.

Τα αρχεία `uoutmat.dat` και `uoutfield.dat` είναι ουσιαστικά το ίδιο (δηλαδή περιέχουν: x , y , z , U , V , W δεδομένα σε μορφή ASCII), ωστόσο το `uoutmat.dat` έχει μια μορφή κεφαλίδας που διαβάζεται από το Matlab GUI, ενώ το `uoutfield.dat` έχει μια επικεφαλίδα που διαβάζεται από το Tecplot.

Κεφάλαιο 5

1. Αποτελέσματα εκπομπών επιφανειών – Μέθοδος από NORDTEST – Μονάδα ελέγχου εκπομπής (FLEC)

Προκειμένου να εκτιμηθεί η συγκέντρωση των ρύπων, λήφθηκαν τα αποτελέσματα μετρήσεων εκπομπών από τις Γεωργακάκη και Δουκιανού, (2007). Οι τιμές εκπομπών τριών από τους ρύπους εισήχθησαν ως δεδομένα εισόδου στο πρόγραμμα υπολογισμού συγκεντρώσεων ατμοσφαιρικών ρύπων, ώστε να υπολογιστούν οι συγκεντρώσεις των τριών αυτών ρύπων στο χώρο του γραφείου.

5.1.1 Μέθοδος μέτρησης εκπομπών από το δάπεδο.

Στο κτίριο στο οποίο πραγματοποιήθηκε η προσομοίωση, και συγκεκριμένα στο χώρο του γραφείου 102 πραγματοποιήθηκε μέτρηση εκπομπών για εννέα ρύπους οι οποίοι παρατίθενται στον Πίνακα 6.1.

Η μέθοδος με την οποία λήφθηκαν οι εκπομπές από τις Γεωργακάκη και Δουκιανού, (2007) καθορίστηκε από την πρότυπη διαδικασία εργαστηριακού ελέγχου της NORDTEST. Η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ταξινομήσει ποικίλα προϊόντα και τύπους προϊόντων σε σχέση με το προφίλ εκπομπών τους (π.χ. παράγοντες εκπομπής, ειδικές εκπεμπόμενες οργανικές ενώσεις).

Αυτή η εργαστηριακή μέθοδος ισχύει κυρίως για τον έλεγχο εκπομπών αντικειμένων, όπου η εκπομπή καθορίζεται μέσω διάχυσης στο υλικό. Η μέθοδος περιγράφει μια διαδικασία δειγματοληψίας για πρόσφατα παραχθέντα υλικά, αλλά μπορεί να εφαρμοστεί και σε υλικά κάποιας ηλικίας ή ήδη εγκατεστημένα σε κτίριο. Άλλωστε όπως υποδεικνύει το όνομα της συσκευής (Field and Laboratory Emission Cell, FLEC), είναι δυνατό να εκτελεστούν επιτόπου οι μετρήσεις των εκπομπών των οικοδομικών υλικών του κτιρίου.

Η ανάλυση των εκπεμπόμενων πτητικών ενώσεων διεξάγεται κυρίως χρησιμοποιώντας προσροφητικούς σωλήνες και αέρια χρωματογραφία. Ωστόσο, η συσκευή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μετρήσεις εκπομπών ανιχνεύσιμων ενώσεων και με άλλες τεχνικές ανάλυσης.

5.1.2 Υπολογισμοί των παραγόντων εκπομπής (Emission Factors) – Αποτελέσματα FLEC

Η συγκέντρωση C (g/m^3) των πτητικών ενώσεων στην έξοδο του αέρα από τη μέτρηση εκπομπής θα μετατραπεί σε παράγοντα εκπομπής EF, με χρήση της σταθερής αναλογικότητας της συσκευής $K = [1/0,0177 \text{ m}^2]$ και της συνολικής μετρημένης ροής αέρα μέσω της συσκευής ($0,006 \text{ m}^3/\text{h} = 100 \text{ mL}/\text{min}$).

Το C είναι η μέση συγκέντρωση, που υπολογίζεται σε δείγμα αέρα με τη διαίρεση της μάζας των ενώσεων από τον όγκο αέρα που ελέγχεται με δειγματοληψία.

$$EF = K \times 0,006 \times C$$

Το αποτέλεσμα χαρακτηρίζεται ως παράγοντας εκπομπής (Emission Factors (EF ή απλώς E)) [$\mu\text{g}/(\text{m}^2 \times \text{h})$].

Η μονάδα ελέγχου (FLEC) χρησιμοποιήθηκε για τον μέτρηση εκπομπών δύο επίπεδων επιφανειών στην αίθουσα δειγματοληψίας του υπό μελέτη κτιρίου. Συγκεκριμένα εφαρμόστηκε σε γραφείο από μοριοσανίδα με επικάλυψη μελανίνης και στο πάτωμα από καουτσούκ.

Με εφαρμογή της σχέσης $EF = K \times 0,002 \times C$, όπου C η συγκέντρωση των πτητικών ενώσεων στην έξοδο του αέρα σε ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), K η σταθερή αναλογικότητα της συσκευής ($1/0,0177 \text{ m}^2$) και $0,002 \text{ m}^3$ η συνολική μετρημένη ροή αέρα μέσω της συσκευής υπολογίζουμε το ρυθμό εκπομπής EF [$\mu\text{g}/(\text{m}^2 \times \text{h})$] για την επιφάνεια εφαρμογής της FLEC.

Ο ρυθμός εκπομπής των ρύπων από το δάπεδο δίνεται στον ακόλουθο πίνακα:

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΑΠΟ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΤΟΥ ΠΑΤΩΜΑΤΟΣ									
	$\mu\text{g}/(\text{m}^2 \times \text{h})$								
	Benzene	Toluene	p-xylene	o-xylene	1R-a-pinene	b-pinene	3-carene	1,2,3-trimethylbenzene	Limonene
E1	0,738418	0,871186	0,105650	0,075706	0,084181	0,011299	0,000000	0,054237	0,014689
E2	0,602260	0,975706	0,101695	0,070621	0,090960	0,012429	0,000000	0,058757	0,026554
M.O.	0,670339	0,923446	0,103672	0,073164	0,087571	0,011864	0,000000	0,056497	0,020621
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$								
	Benzene	Toluene	p-xylene	o-xylene	1R-a-pinene	b-pinene	3-carene	1,2,3-trimethylbenzene	Limonene
$\Delta 1$	6,535	7,710	0,935	0,670	0,745	0,100	0,000	0,480	0,130
$\Delta 2$	5,330	8,635	0,900	0,625	0,805	0,110	0,000	0,520	0,235
M.O.	5,932500	8,172500	0,917500	0,647500	0,775000	0,105000	0,000000	0,500000	0,182500

Πίνακας 5.1: Ρυθμοί εκπομπής των ρύπων για το πάτωμα σε $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \times \text{h})$ και σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

2. Μέθοδος υπολογισμού συγκεντρώσεων στο χώρο – Πρόγραμμα CONC-CPM

Το μοντέλο CONC-CPM χρησιμοποιείται για να προβλέψει εσωτερικές συγκεντρώσεις ατμοσφαιρικών ρύπων με βάση τα αποτελέσματα εκπομπών άλλων μοντέλων ή μετρήσεων. Το CONC-CPM είναι σε θέση να προσομοιώνει στιγμιαίες εκπομπές καθώς και η συνεχείς εκπομπές κατά τη διάρκεια μιας χρονικής περιόδου.

Το πρόγραμμα προσομοιώνει εσωτερικές συγκεντρώσεις ρύπων του αέρα με την επίλυση της ακόλουθης εξίσωσης:

$$C(t_i) = C_0 + \frac{1}{V} \sum_{j=1}^i \delta t_j \cdot [E_j + (\lambda \cdot C_s - \lambda_t \cdot C_0) \cdot V] \cdot \exp[-\lambda_t (t_i - t_j)]$$

όπου

$$C_s = \frac{1}{\lambda} \sum_k \lambda_{ik} C_{sk} \quad \& \quad \sum_k \lambda_{ik} = \lambda$$

$$\lambda_t = \lambda + \lambda_d$$

Περιορισμός: $\lambda_t \cdot \delta t_j \ll 1$

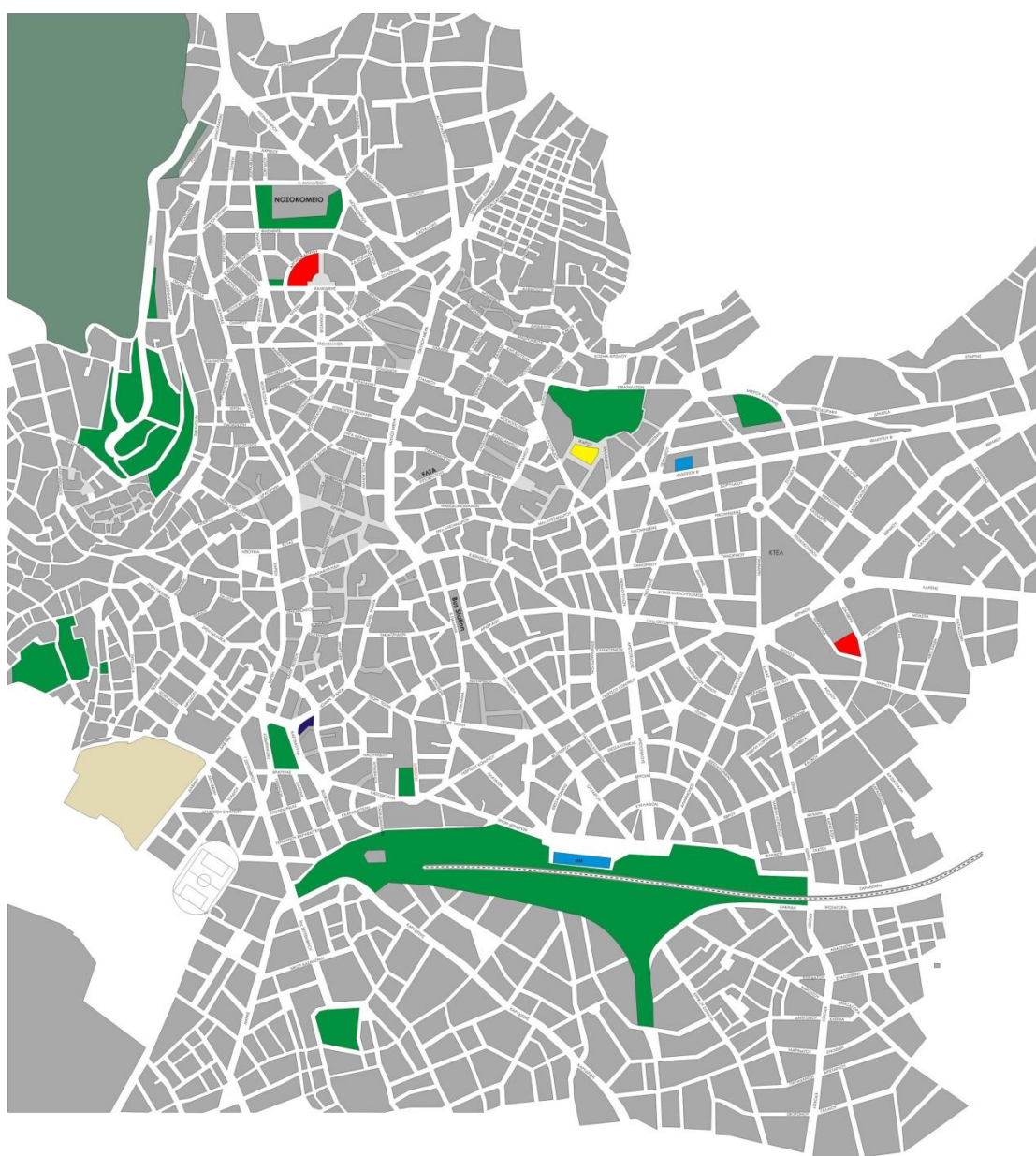
- C_0 είναι η αρχική συγκέντρωση του δωματίου
- E_j είναι ο ρυθμός εκπομπής των ρύπων σε ένα χρονικό βήμα δt
- λ είναι ο ρυθμός αερισμού του χώρου
- λ_d είναι ο ρυθμός απόσβεσης του ρύπου
- k δηλώνει τον αριθμό των ανοιγμάτων (στο εξωτερικό περιβάλλον και τους περιβάλλοντες χώρους).

Κεφάλαιο 6

1. Περιγραφή της εφαρμογής

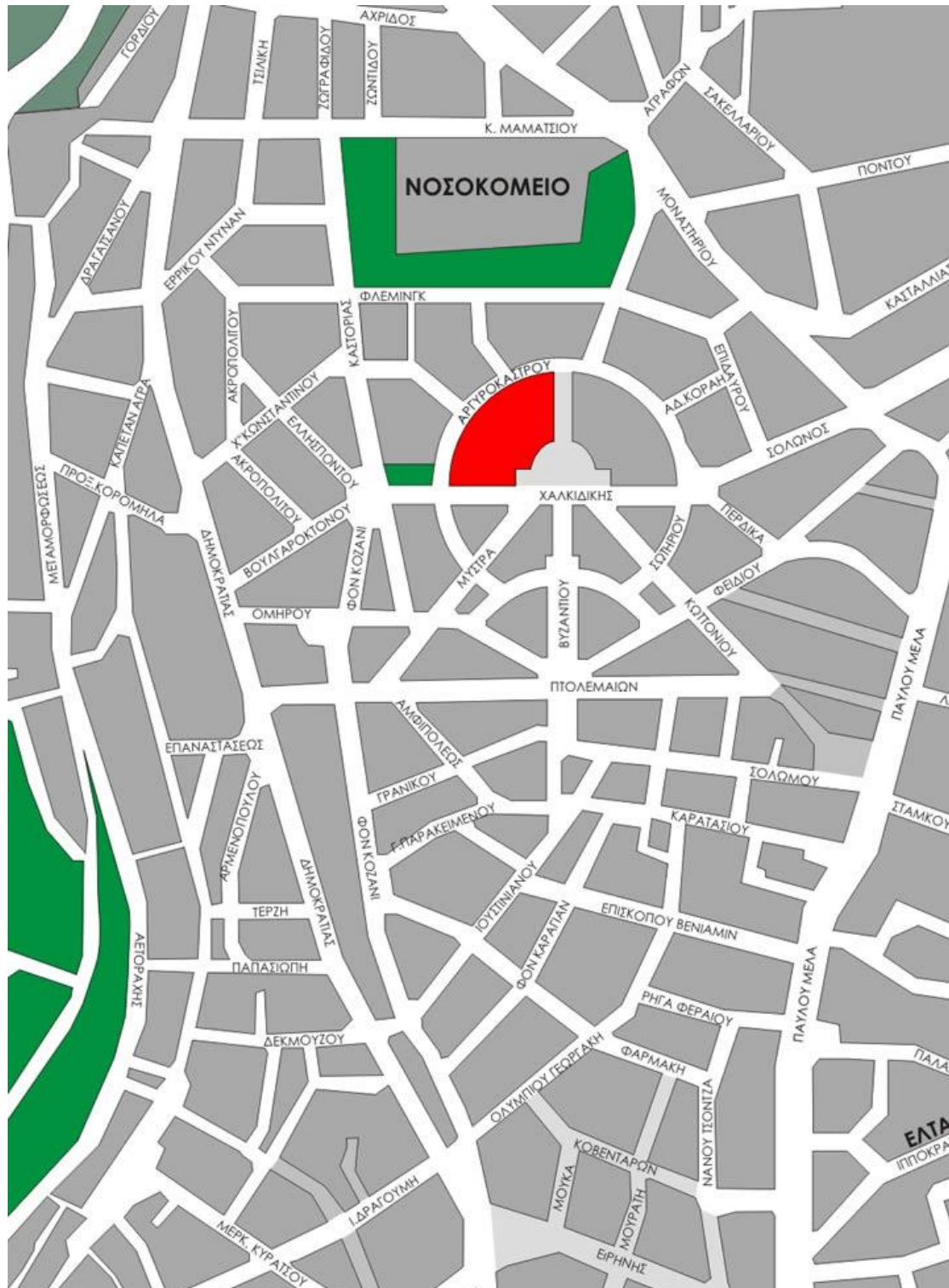
6.1.1 Περιγραφή της τοποθεσίας του κτιρίου

Το κτίριο στο οποίο γίνεται η μελέτη αερισμού βρίσκεται στη βορειοδυτικό άκρο της πόλης της Κοζάνης (φαίνεται με κόκκινο χρώμα, κάτω από το νοσοκομείο της πόλης στην Εικόνα 6.1). Είναι τοποθετημένο επί της ημικυκλικής οδού Αργυροκάστρου, αριθμός 13, απέναντι από τη συμβολή των οδών Αργυροκάστρου και .



Εικόνα 6.1 – Η πόλη της Κοζάνης. Με κόκκινο πάνω αριστερά, η τοποθεσία του κτιρίου

Το υπό μελέτη κτίριο βρίσκεται σε αστική λοιπόν περιοχή, όπου ο μέσος όρος ύψους των κτιρίων είναι στα εννέα μέτρα από το έδαφος. Ιδιαιτερότητα της τοποθεσίας είναι η κλίση του εδάφους, καθώς το κτίριο βρίσκεται σε ανηφορική περιοχή με κλίση περίπου 11,5°. Παρατηρούνται δηλαδή αποκλίσεις των αποστάσεων από το έδαφος μέχρι και τρία μέτρα σε σχέση με ένα σταθερό ύψος αναφοράς.



Εικόνα 6.2 – Η περιοχή του Νοσοκομείου. Με κόκκινο η τοποθεσία του κτιρίου

6.1.2 Περιγραφή του κτιρίου

Το κτίριο αποτελείται από υπόγειο, ισόγειο και δύο ορόφους. Το εμβαδό του κάθε ορόφου ανέρχεται σε περίπου 480 τ.μ. Το κτίριο είναι τριγωνικού περίπου σχήματος, με τη βορειοδυτική πλευρά να σχηματίζει ημικύκλιο καθώς ακολουθεί το σχήμα του οικοπέδου. Οι άλλες πλευρές του κτιρίου είναι η νότια, απ' όπου βρίσκεται η κεντρική είσοδος και ένας προαύλιος χώρος του κτιρίου και η ανατολική. Το κτίριο φαίνεται να έχει ευνοϊκό προσανατολισμό, καθώς ο μεγαλύτερος αριθμός παραθύρων βρίσκεται στη νότια και ανατολική πλευρά.

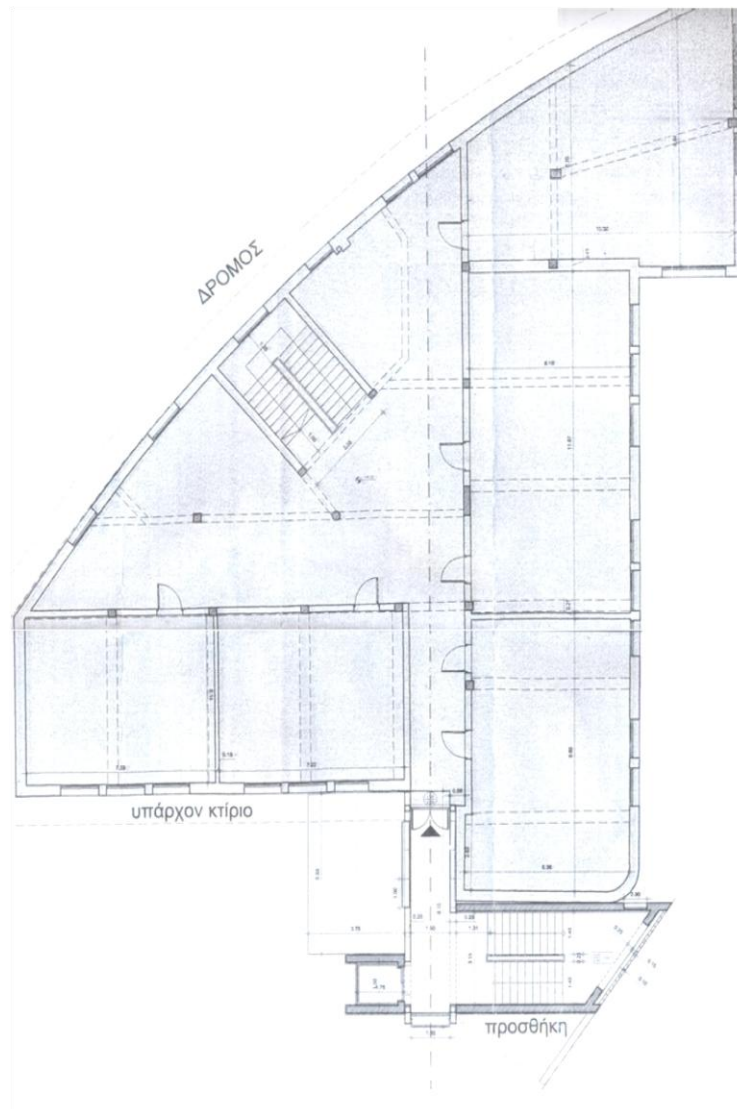
6.1.3 Υφιστάμενες χρήσεις και επεμβάσεις στο κτίριο

Το κτίριο αποτελεί ιδιοκτησία του Δήμου Κοζάνης και το ισόγειο στεγάσει υπηρεσίες του Δήμου και του Οργανισμού Γεωργικών Ασφαλίσεων. Ο πρώτος και δεύτερος όροφος έχουν παραχωρηθεί στο Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας προκειμένου να στεγαστούν εργαστήρια του τμήματος.



Εικόνα 6.3 – Αεροφωτογραφία της τοποθεσίας του εξεταζόμενου κτιρίου.

Για να γίνει η εγκατάσταση των εργαστηρίων του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας, έγινε το 2001 σημαντική ανακαίνιση του κτιρίου που περιέλαβε ανακατασκευή των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων, αλλαγή των κουφωμάτων και ριζική ανακαίνιση της βορειοδυτικής όψης και της κεντρικής εισόδου καθώς επίσης και των εσωτερικών χώρων του κτιρίου. Επίσης σταδιακά προστέθηκαν συσκευές κλιματισμού σε μερικούς χώρους.



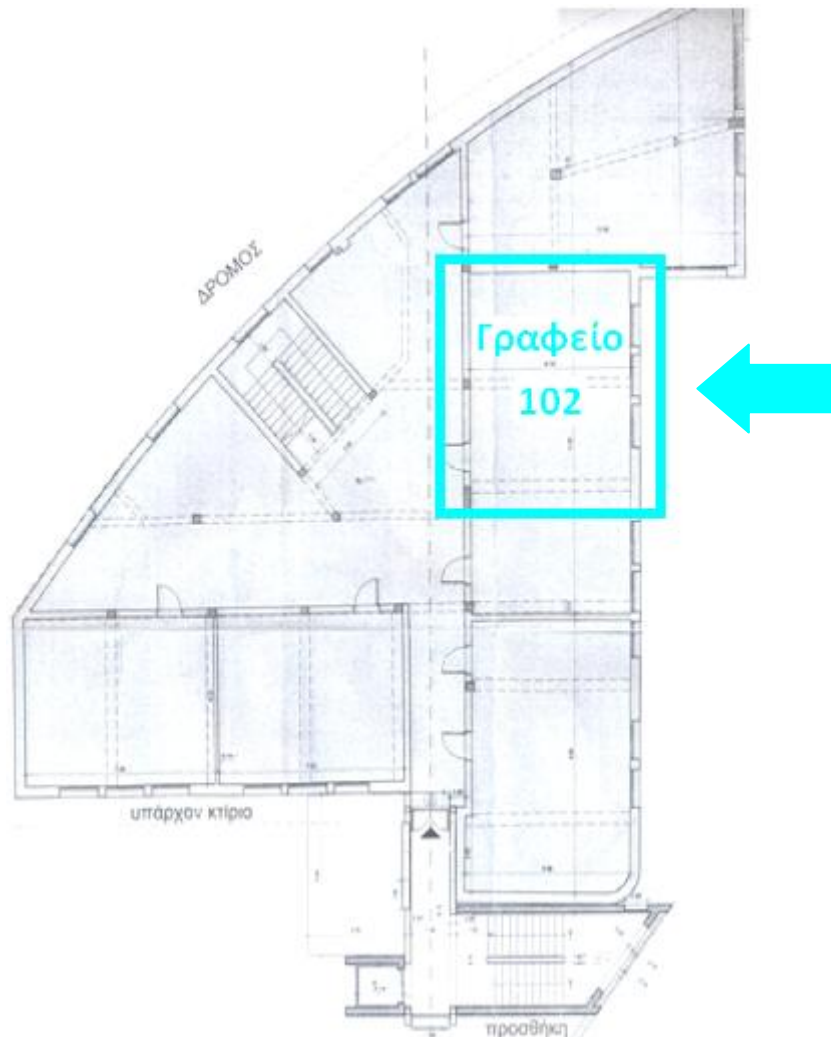
Εικόνα 6.3 – Κάτοψη πρώτου ορόφου. Με διακεκομμένη γραμμή φαίνονται οι παρεμβάσεις κατά την ανακαίνιση του κτιρίου, το 2001.

Εφεξής όταν θα γίνεται αναφορά στο κτίριο, θα εννοούνται οι δύο όροφοι και η νότια κεντρική είσοδος που χρησιμοποιούνται από το Πανεπιστήμιο και όχι οι χώροι στο ισόγειο.

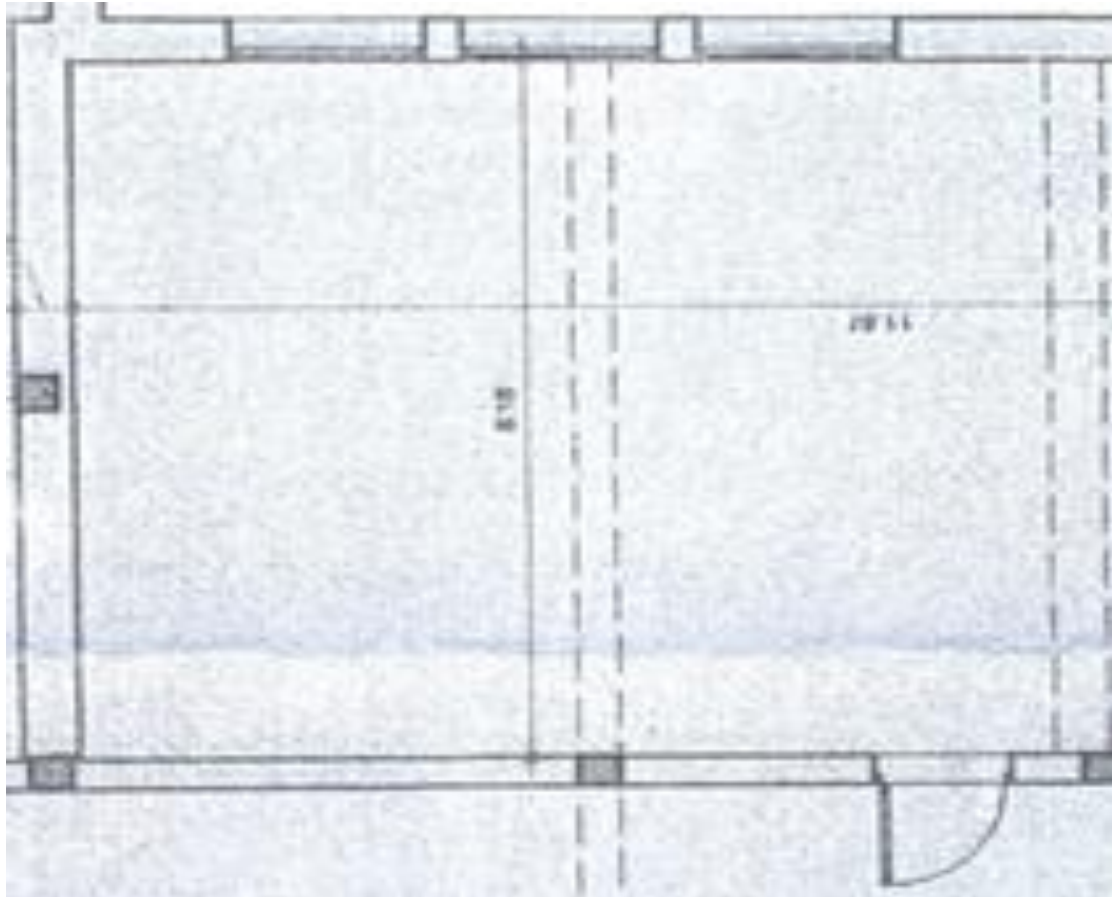
6.1.4 Περιγραφή του εσωτερικού χώρου του κτιρίου

Το κτίριο λοιπόν χρησιμοποιείται επί των πλείστον για γραφεία αλλά επίσης διαθέτει χώρους όπου στεγάζονται ηλεκτρονικοί υπολογιστές μεγάλων δυνατοτήτων (με πολλαπλούς επεξεργαστές) και ένα εργαστήριο. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.3, οι χώροι των γραφείων επικοινωνούν με έναν κεντρικό ενιαίο χώρο και οι περισσότεροι χώροι επικοινωνούν μέσω παραθύρων με το εξωτερικό περιβάλλον. Το κτίριο περιλαμβάνει δύο κλίμακες, την νότια κλίμακα που επικοινωνεί με την κεντρική είσοδο, και την κεντρική κλίμακα η οποία χρησιμοποιείται για την επικοινωνία κυρίως του πρώτου ορόφου με τον δεύτερο και με την ταράτσα.

Η έρευνα εστιάζεται στο κεντρικό γραφείο του πρώτου ορόφου (Εικόνα 6.4), το οποίο έχει είσοδο από τον κεντρικό χώρο και τρία ανοίγματα στην ανατολική πλευρά του κτιρίου. Ο χώρος είναι διαστάσεων (Π/Μ/Υ) 6,18/7,32/3,35.



Εικόνα 6.4 – Σε πλαίσιο φαίνεται ο χώρος στον οποίο επικεντρώνεται η μελέτη αερισμού και διερεύνηση συγκέντρωσης ρύπων.



Εικόνα 6.5 – Σχεδιάγραμμα κάτοψης του χώρου στον οποίο επικεντρώνεται η μελέτη.

2. Μέθοδος επίλυσης του προβλήματος

6.2.1. Η αλληλουχία των μοντέλων

Προκειμένου να γίνει η εκτίμηση της συγκέντρωσης ρύπων στο εσωτερικό της αίθουσας 102, χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα μετρήσεων από προηγούμενη μελέτη, των Γεωργακάκη και Δουκιανού (2007), και το ισοζύγιο ροών αέρα μέσα στο χώρο.

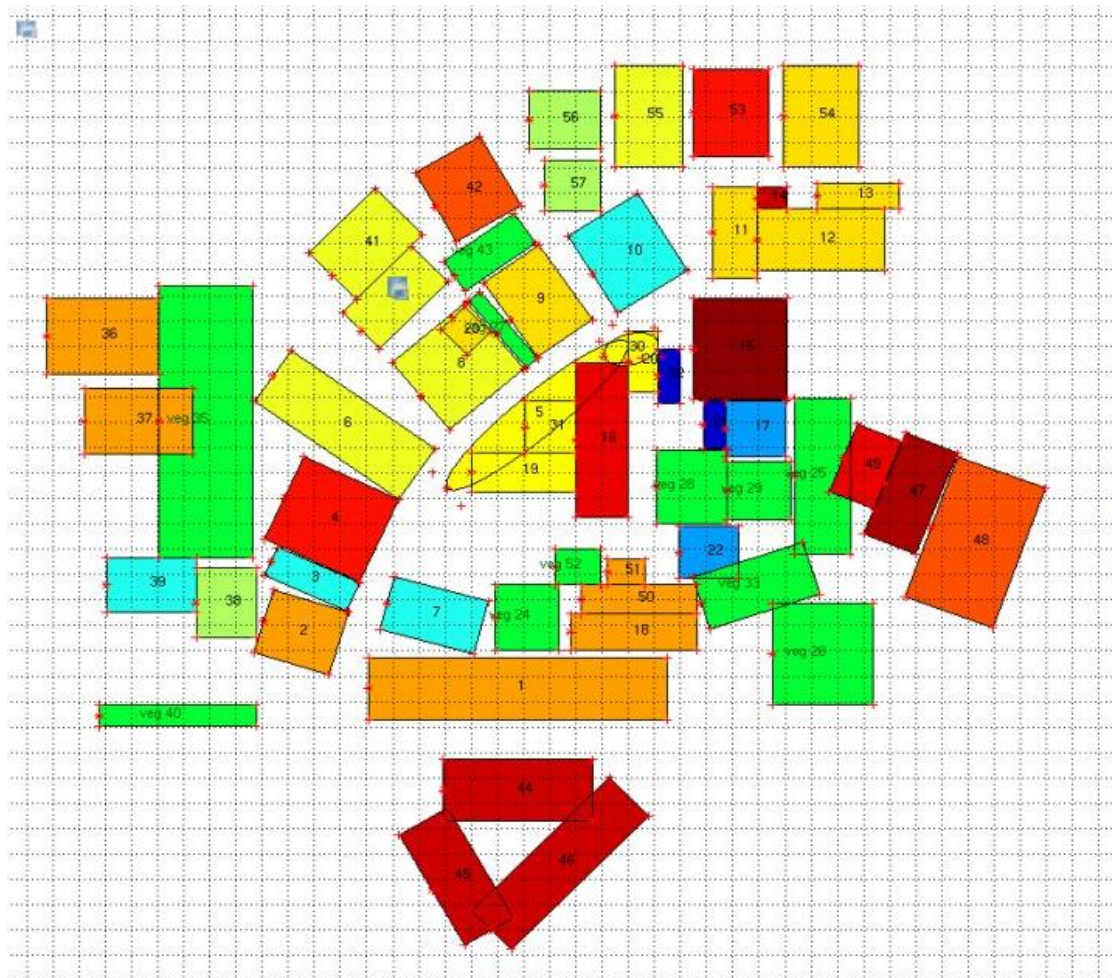
Για τον υπολογισμό του ισοζυγίου ροών χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα COMIS, το οποίο προσομοίωσε τον αερισμό όλου του κτιρίου. Για τα δεδομένα πίεσης του ανέμου στην εξωτερική επιφάνεια του κτιρίου, τα οποία είναι απαραίτητα όπως αναφέρθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια για τον υπολογισμό του ισοζυγίου ροών, επιστρατεύθηκε ένα δεύτερο πρόγραμμα, το QUIC (το οποίο αναλύεται στο κεφάλαιο 4). Το πρόγραμμα COMIS διαθέτει κι αυτό μια απλουστευμένη προσέγγιση για τον υπολογισμό των συντελεστών πίεσης στην εξωτερική πλευρά των ανοιγμάτων, η οποία δεν χρησιμοποιήθηκε, καθώς το κτίριο που μελετάται έχει ιδιαίτερη γεωμετρία, πολύ διαφορετική από τις τυπικές μορφές κτιρίων στις οποίες οι υπάρχουν μέθοδοι προσεγγιστικού υπολογισμού των συντελεστών πίεσης χωρίς να χρειαστεί

προσομοίωση. Βέβαια, το πλεονέκτημα της χρήσης του προγράμματος QUIC, εκτός από το ότι λαμβάνεται υπόψη η ακριβής γεωμετρία του κτιρίου, είναι ότι υπολογίζεται και η επίδραση των γειτονικών κτιρίων αλλά και της ευρύτερης περιοχής, γεγονός που μπορεί να έχει σημαντική επίδραση στα αποτελέσματα καθώς το κτίριο βρίσκεται σε αστική και ημιορεινή περιοχή.

Ως συντελεστές πίεσης, C_p , εισήχθησαν επομένως τα αποτελέσματα του προγράμματος QUIC-URB, προκειμένου να ξεπεραστούν οι όποιοι περιορισμοί του COMIS και να αναπαρασταθεί πιστότερα η πραγματική κατάσταση.

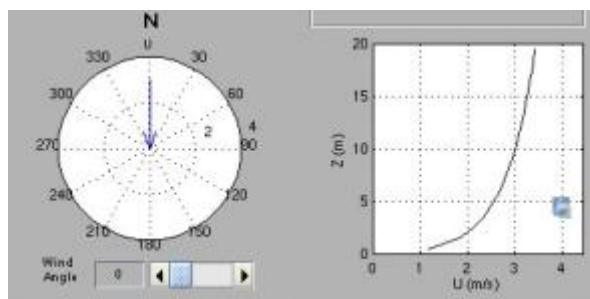
6.2.2 Η διαμόρφωση και εκτέλεση του μοντέλου QUIC-URB.

Αρχικά έγινε ο σχεδιασμός των κτιρίων της «γειτονιάς» του εξεταζόμενου κτιρίου στο σχεδιαστικό πρόγραμμα του QUIC, City Builder. Ο σχεδιασμός έγινε βάσει αεροφωτογραφίας και επιτόπου επίσκεψης προκειμένου να διαπιστωθούν τα ύψη των περιφερειακών κτιρίων.



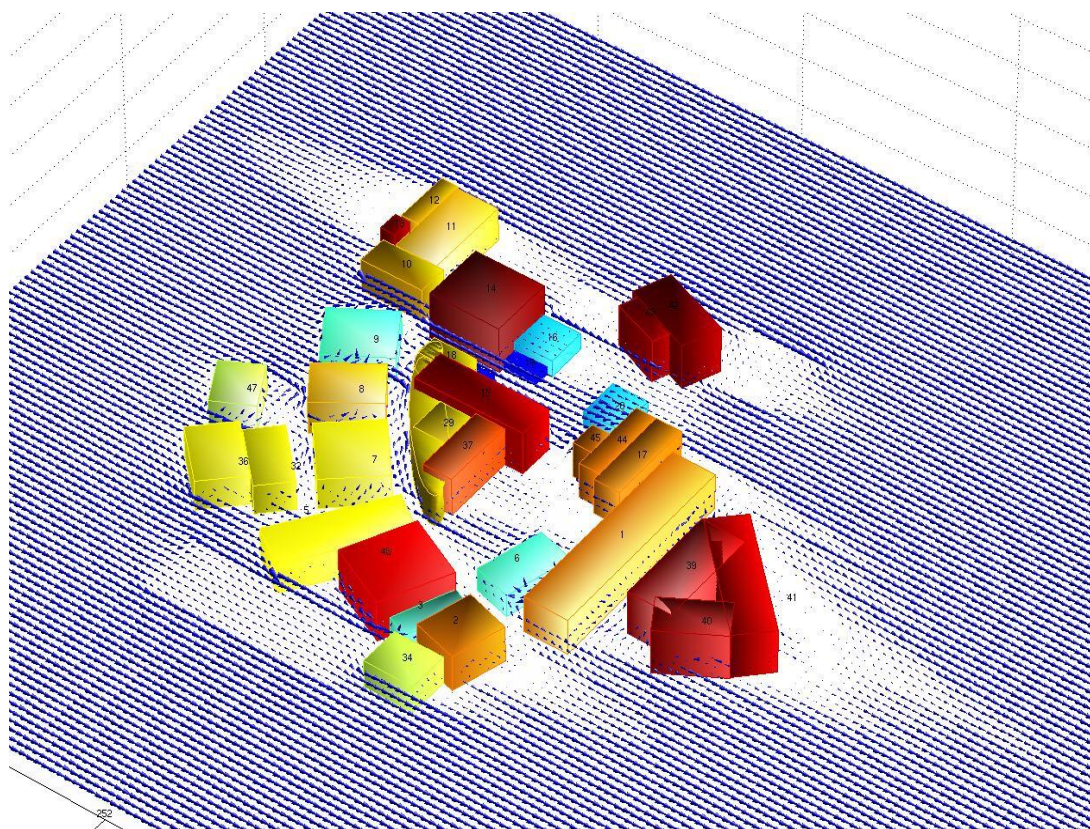
Εικόνα 6.6 - Τα κτίρια στο σχεδιαστικό πρόγραμμα του QUIC. Τα χρώματα ποικίλουν ανάλογα με το ύψος.

Με το μοντέλο QUIC δίνεται η δυνατότητα να λαμβάνονται υπόψη και οι επιδράσεις της διαμόρφωσης της γύρω περιοχής στις δυνάμεις πίεσης που ασκούνται στις εξωτερικές επιφάνειες του κτιρίου. Διαθέτει ένα εξωτερικό πλέγμα (outer grid του προγράμματος) το οποίο επεκτείνεται πέρα από το εσωτερικό πλέγμα (inner grid), δηλαδή το πλέγμα που περιλαμβάνει τα κτίρια. Το πλέγμα του QUIC-URB είναι $1\text{m} \times 1\text{m} \times 1\text{m}$ και συνολικά (εξωτερικό και εσωτερικό πλέγμα) εκτείνεται σε 374 κελιά κατά τον άξονα x, 419 κελιά κατά τον y και 89 κελιά κατά τον άξονα z.

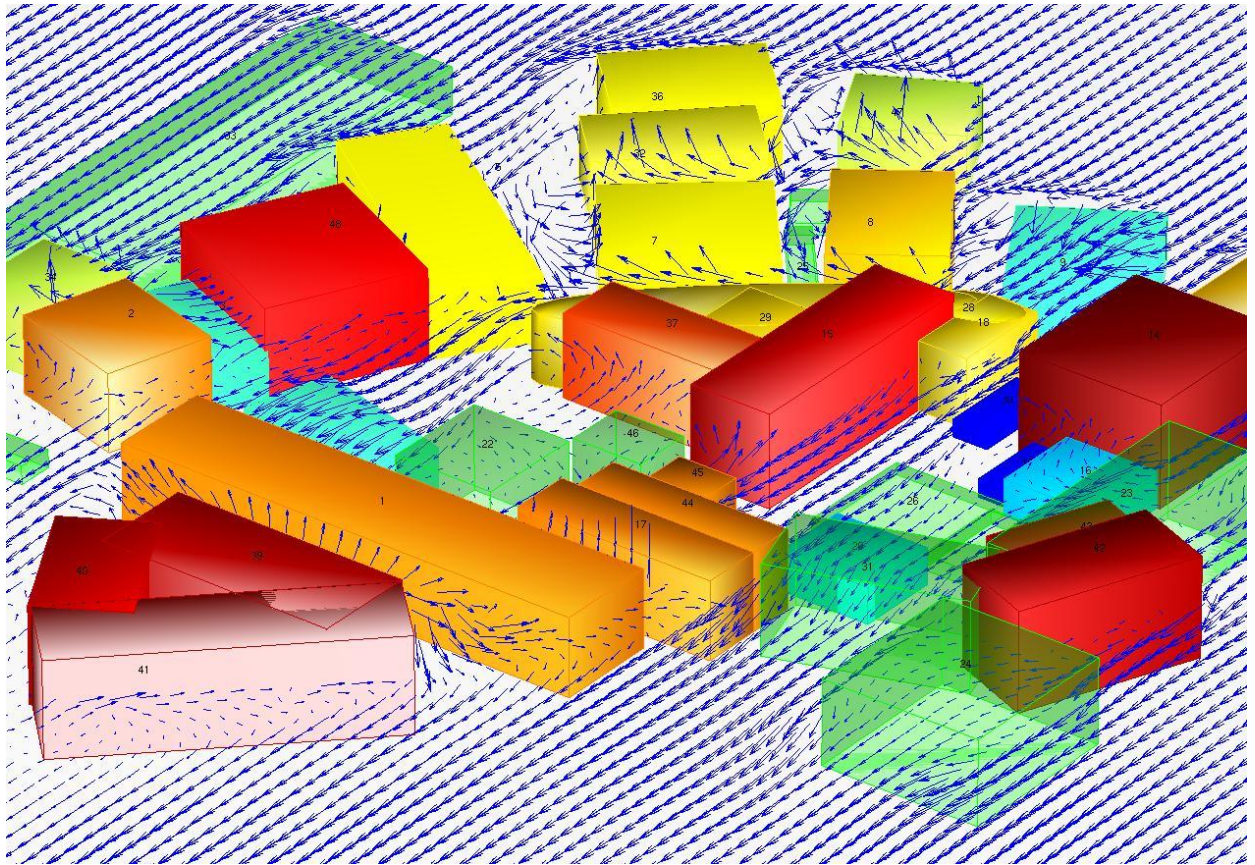


Εικόνα 6.7 – Εισαγωγή δεδομένων ανέμου στο γραφικό περιβάλλον του QUIC.

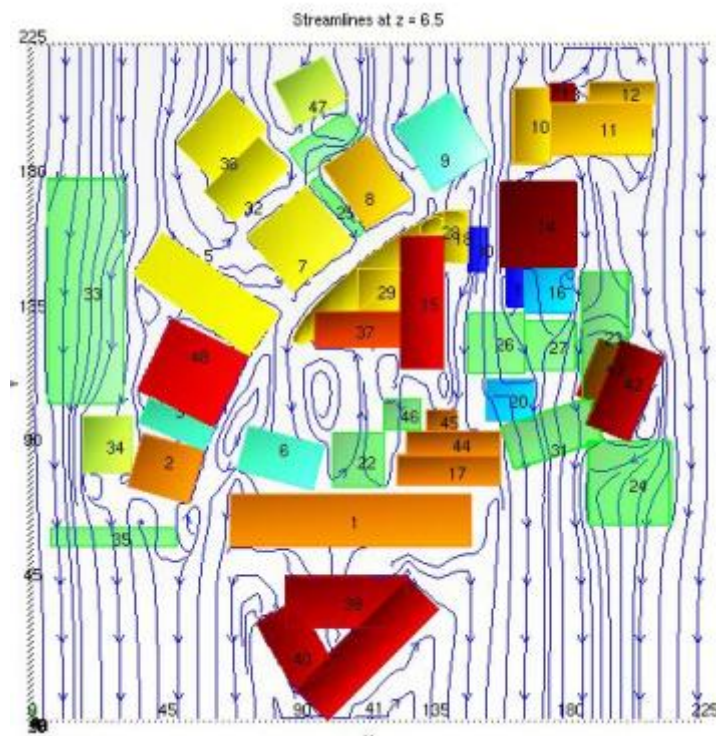
Ως αρχικές συνθήκες ανέμου επιλέξαμε βόρειο άνεμο ταχύτητας 3m/s σε ύψος 10 μέτρων. Το πρόγραμμα κάνοντας χρήση της κατατομής Power Law υπολογίζει τις αρχικές ταχύτητες για τα υπόλοιπα ύψη (Εικόνα 6.7).



Εικόνα 6.8 – Γραφικά αποτελέσματα του QUIC. Πεδίο ταχυτήτων



Εικόνα 6.9 – Γραφικά αποτελέσματα του QUIC. Πεδίο ταχυτήτων

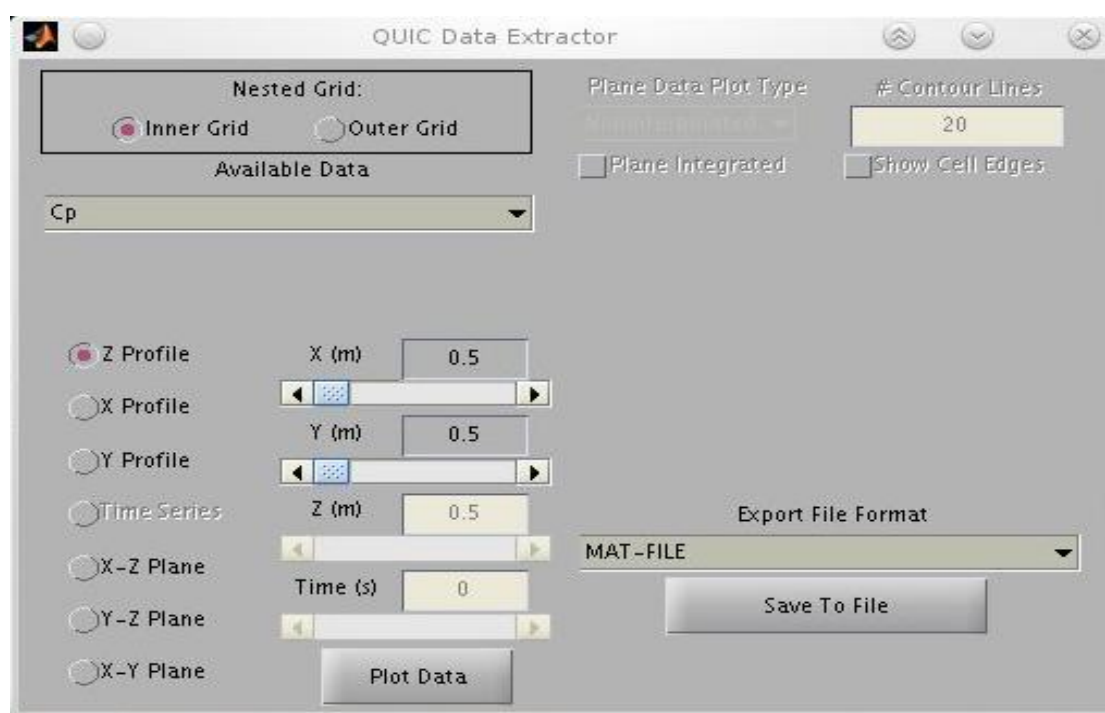


Εικόνα 6.10 – Γραφικά αποτελέσματα του QUIC. Ροϊκές γραμμές σε ύψος 6,5μέτρων από το έδαφος.

Το τελικό πεδίο ταχυτήτων υπολογίζεται προκαλώντας το αρχικό πεδίο ταχυτήτων να παραμείνει σταθερό σε μάζα.

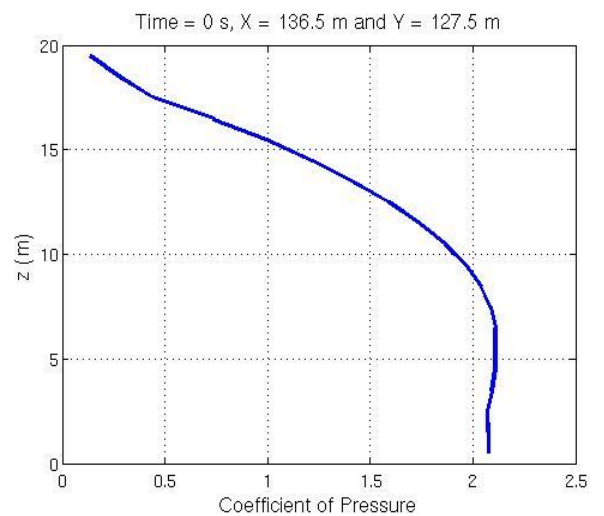
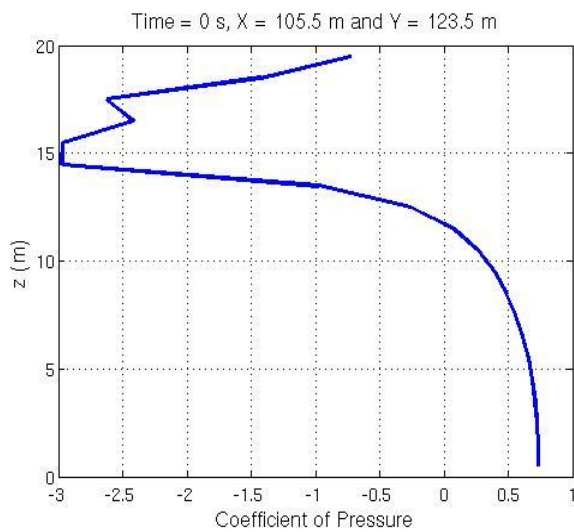
Χρησιμοποιώντας τη διαδικασία εξαγωγής δεδομένων του QUIC, λαμβάνουμε τις τιμές C_p που αντιστοιχούν για κάθε εξωτερική επιφάνεια ανοίγματος του κτιρίου.

Η διαδικασία εξαγωγής δεδομένων από το QUIC, δέχεται μόνο 2 συντεταγμένες και αποδίδει τις τιμές αυξανόμενης της 3ης συντεταγμένης. Δηλαδή για μια πλευρά του κτιρίου δίνονται οι συντεταγμένες x και y που ορίζουν την επιφάνειά της και ως αποτέλεσμα από το QUIC Data Extractor (βλέπε Εικόνα 6.11), δίνεται η γραφική παράσταση του C_p ανά το ύψος, δηλαδή τον άξονα z . (Εικόνα 6.12).



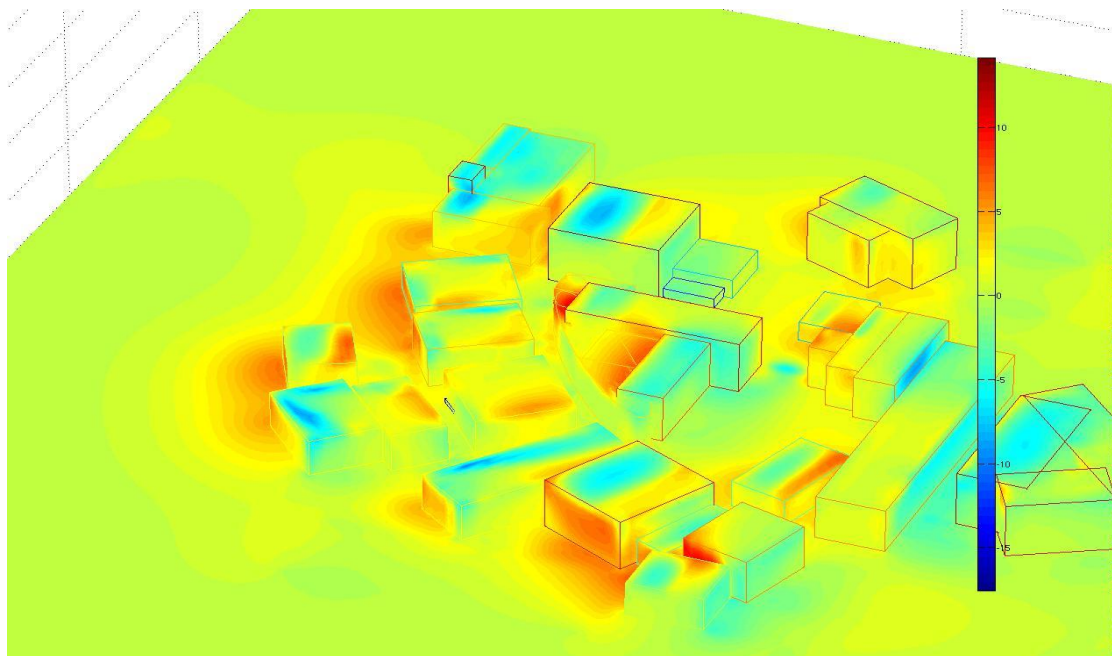
Εικόνα 6.11 – Το παράθυρο εξαγωγής δεδομένων του προγράμματος QUIC. Πάνω αριστερά φαίνεται η επιλογή C_p .

Σύμφωνα με τις συντεταγμένες όλων των παραθύρων και ανοιγμάτων λήφθηκαν αντίστοιχα διαγράμματα C_p . Τα C_p υπολογίστηκαν για το μέσο κάθε ανοίγματος.



Εικόνα 6.12 – Τα γραφικά αποτελέσματα των τιμών C_p καθ' ύψος, για συγκεκριμένα x και y στη νότια (αριστερά) και στην ανατολική πλευρά (δεξιά) του κτιρίου.

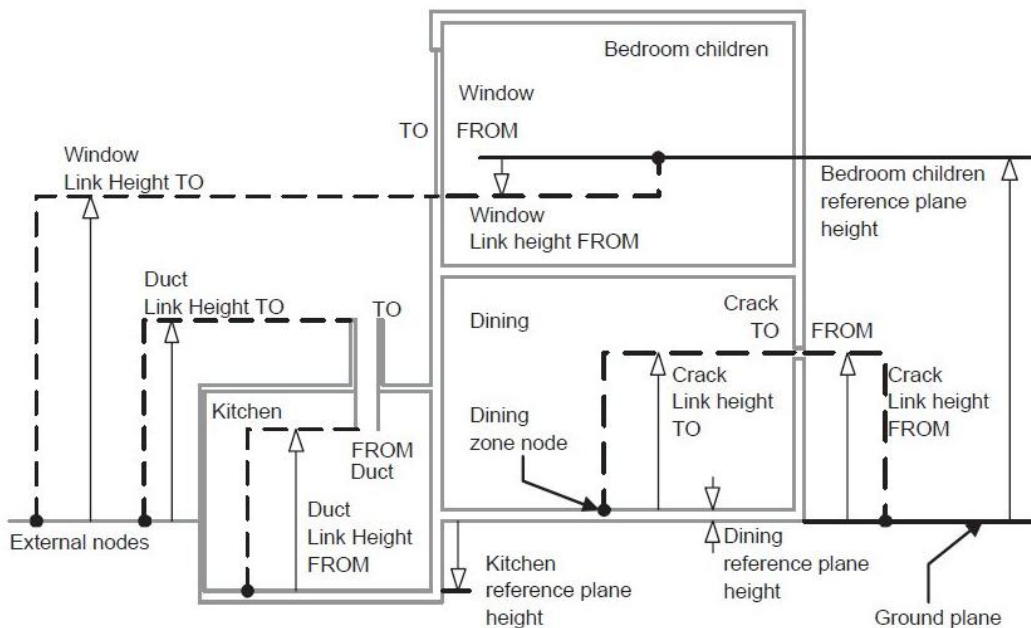
Στη συνέχεια, τα αποτελέσματα των συντελεστών πίεσης εισήχθησαν στο πρόγραμμα COMIS, μαζί με όλα τα υπόλοιπα δεδομένα εισόδου, προκειμένου να υπολογιστούν οι ροές αέρα στο κτίριο.



Εικόνα 6.13 – Γραφική τρισδιάστατη κατανομή των συντελεστών πίεσης (C_p) στις επιφάνειες των κτιρίων.

6.2.3 Η διαμόρφωση και εκτέλεση του μοντέλου COMIS.

Ένα μοντέλο πολλαπλών ζωνών, το COMIS εξιδανικεύει το κτίριο ως ένα δίκτυο κόμβων και συνδέσεων των ροών του αέρα μεταξύ τους. Οι κόμβοι, ή αλλιώς ζώνες αναπαριστούν τους εσωτερικούς χώρους καθώς και το εξωτερικό περιβάλλον του κτιρίου. Οι σύνδεσμοι απεικονίζουν ανοίγματα, πόρτες, ρωγμές, αρμούς παραθύρων καθώς εξαρτήματα του συστήματος μηχανικού αερισμού, όπου υπάρχει. Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται οι κόμβοι και τα ανοίγματα καθώς και πως αυτά ορίζονται για το κτίριο.



Εικόνα 6.14 – Αναπαράσταση των κόμβων και των ανοιγμάτων για ένα τυπικό κτίριο.

Δεδομένα εισόδου στο πρόγραμμα COMIS

- Δεδομένα ζωνών.
- Δεδομένα εξωτερικών κόμβων.
- Δεδομένα συνδέσεων των ζωνών.
- Δεδομένα παραθύρων /πορτών
- Τιμές εξωτερικών C_p απευθείας από QUIC.

Για κάθε χώρο του κτιρίου (κόμβο) απαιτούνται οι διαστάσεις και ο όγκος του, η θερμοκρασία του καθώς και το ύψος αναφοράς του, το οποίο μετράται από το ύψος αναφοράς του κτιρίου (βλέπε Εικόνα 6.14).

Για τους εξωτερικούς κόμβους δίνονται μόνο ένας αριθμός κόμβου και ένας αριθμός που προσδιορίζει σε ποια πλευρά του κτιρίου ανήκει.

Όσον αφορά τους συνδέσμους (links), τα δεδομένα που απαιτούνται είναι τα εξής: τα ύψη από τους εκατέρωθεν κόμβους, ένας παράγοντας ανοίγματος ο οποίος είναι 0 όταν το άνοιγμα είναι κλειστό και 1 όταν είναι ανοιχτό.

Για τα παράθυρα και τις πόρτες απαιτούνται: κατ' αρχήν οι διαστάσεις των ανοιγμάτων, ο τύπος τους (ανοιγόμενο, ανακλινόμενο) καθώς και το ύψος τους μετρημένο από το ύψος αναφοράς του κάθε κόμβου, ο συντελεστής C_s ο οποίος καθορίζει τη ροή του αέρα από το πλαίσιο όταν το άνοιγμα είναι κλειστό, ο συντελεστής n της ροής, ένας συντελεστής ανοίγματος, που αυτή τη φορά καθορίζει το ποσοστό ανοίγματος και κάποιες επιπλέον λεπτομέρειες εάν πρόκειται για ειδικούς τύπους παραθύρων (π.χ. ανακλινόμενα, φεγγίτες, παράθυρα στέγης) και ο συντελεστής εκφόρτισης C_d (Discharge coefficient), ο οποίος χαρακτηρίζει το άνοιγμα (π.χ. 0,61 για επίπεδο άνοιγμα).

Στην παρούσα εφαρμογή εξετάστηκε ο αερισμός του χώρου που οφείλεται αποκλειστικά στη διείσδυση αέρα και όχι σε κάποιο πλάνο φυσικού αερισμού του χώρου με άνοιγμα παραθύρων.

Τέλος, αφού εκτελεστεί το πρόγραμμα, αποδίδει ένα αρχείο εξόδου στο οποίο αναγράφονται οι ροές αέρα από όλα τα ανοίγματα του κτιρίου καθώς και οι εναλλαγές αέρα όλων των χώρων. Τμήμα του αρχείου στο οποίο αναγράφονται οι ροές από τα ανοίγματα του γραφείου 102, παρατίθεται παρακάτω.

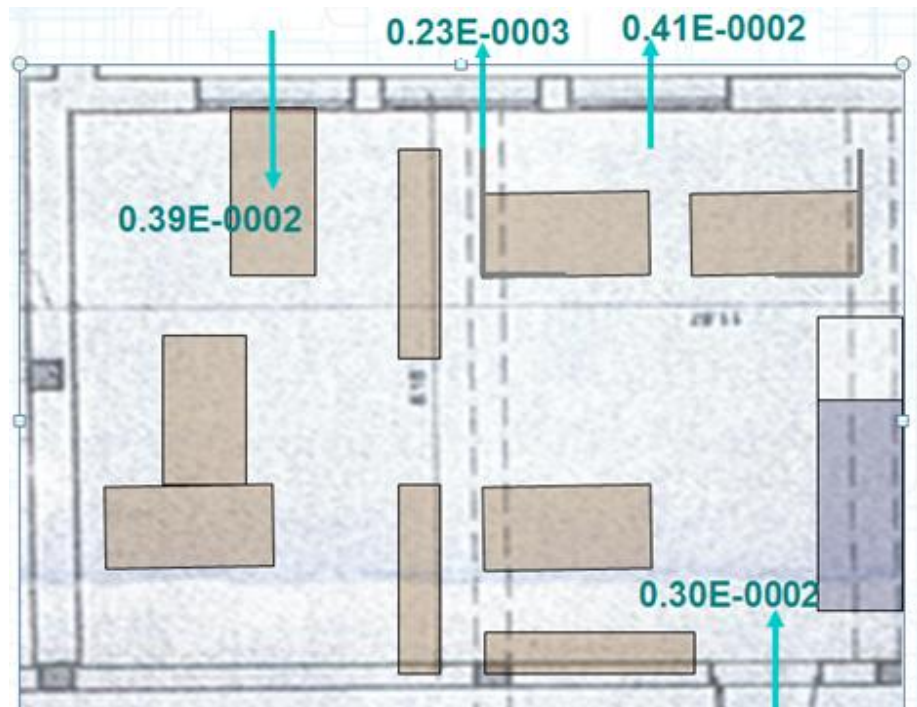
Mean Values			
=====			
Keyword	Li/Zo-Name	Value	Unit

FZ-T	12	0.427893E-0002	kg/s
IB-T	Building	-0.166825E+0001	kg/s
AB-T	Building	0.161137E+0001	l/h
FL-T	<w102a	0.398311E-0002	kg/s
FL-T	<w102b	0.000000E+0000	kg/s
FL-T	<w102c	0.000000E+0000	kg/s
FL-T	>dr13_102	0.295823E-0003	kg/s
FL-T	>w102a	0.000000E+0000	kg/s
FL-T	>w102b	0.227433E-0003	kg/s
FL-T	>w102c	0.405150E-0002	kg/s
FL-T	<dr13_102	0.000000E+0000	kg/s
MZ-T	12	0.116991E+0002	h

Ροές αέρα που εισέρχονται στον χώρο

Ροές αέρα που εξέρχονται από τον χώρο

Εικόνα 6.15 – Τμήμα του αρχείου εξόδου του COMIS όπου αναγράφονται τα αποτελέσματα των ροών αέρα εντός και εκτός του χώρου 102.



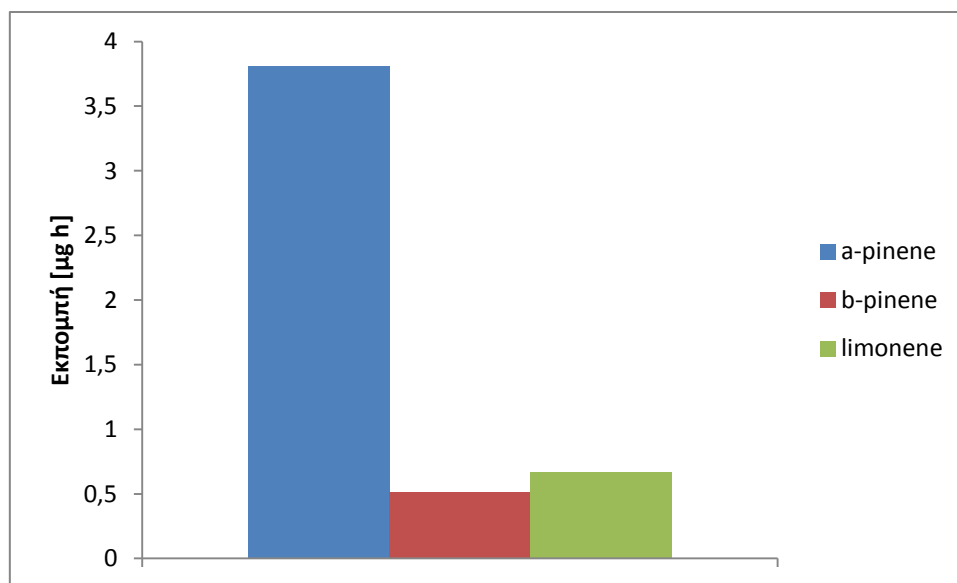
Εικόνα 6.16 – Αναπαράσταση του χώρου του γραφείου 102 με αναγραφόμενες τις ροές αέρα που υπολόγισε το μοντέλο COMIS.

Total infiltration	=	2.523967	kg/s				
Total air change rate	=	2.507581	1/h				
Total building volume	=	3019.604	m ³				
-Room groups- -----flow rates----- -----air change rates-----							
name	volume	inf	vent	total	inf	vent	total
	m ³	kg/s	kg/s	kg/s	1/h	1/h	1/h
10	346.7	1.2	2.9	4.1	10.1	25.1	35.2
s1	164.3	0.0	4.1	4.1	0.0	74.0	74.0
s2	163.3	0.0	2.9	2.9	0.0	53.3	53.3
AM	10.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.4
12	151.5	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1
c1	118.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
c2	20.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
13	56.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
c3	19.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
c_	14.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2
14	96.4	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.3
15	55.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.4
11	139.3	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1
16	150.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
17	148.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1
1w	4.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.7
2w	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3w	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
WC	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	1.1
4w	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1
5w	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6w	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Εικόνα 6.17- Αποτελέσματα αερισμού του κτιρίου και κάθε ζώνης χωριστά (1/h).

1. Συγκέντρωση των ρύπων

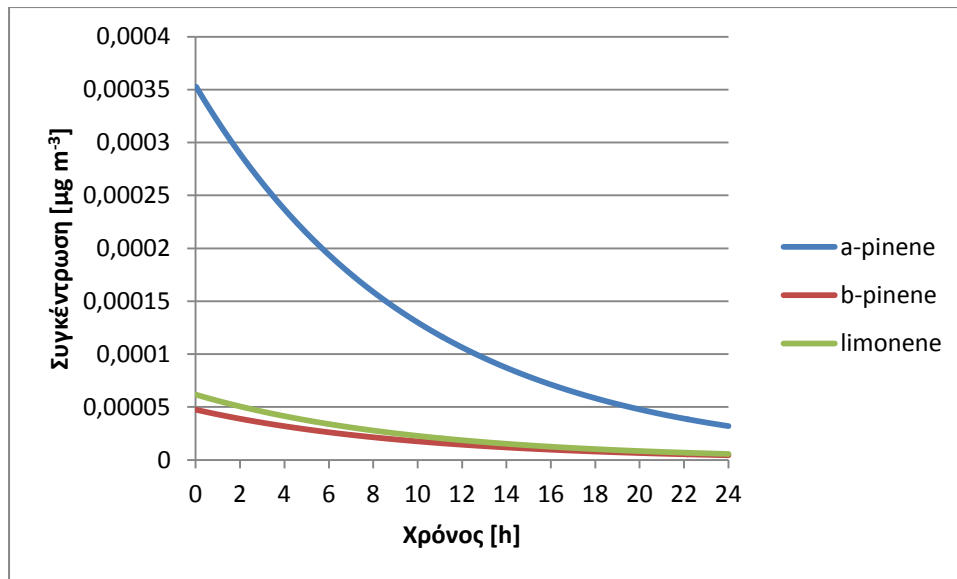
Για τον υπολογισμό των συγκεντρώσεων του α-πινενίου, β-πινενίου και λιμονένιου έγινε η υπόθεση ότι η εκπομπή των ρύπων προέρχεται από τη διαδικασία καθαρισμού του χώρου, καθώς και ότι ο καθαρισμός του δαπέδου διαρκεί 0,5 λεπτό της ώρας.



Διάγραμμα 1 - Οι εκπομπές των τριών ρύπων σε mg.h

Από τα αποτελέσματα του προγράμματος CONC-CPM για τους ρύπους α-πινένιο, β-πινένιο και λιμονένιο παρατηρούμε ότι οι συγκεντρώσεις για τα β-πινένιο και λιμονένιο είναι χαμηλές και φθίνουν με την πάροδο του χρόνου, μάλιστα μετά την πάροδο 24ώρου σχεδόν απαλείφονται. (Διάγραμμα 1)

Οι συγκεντρώσεις του α-πινενίου, καθώς και υψηλότερες, φθίνουν με μεγαλύτερο βαθμό με την πάροδο του χρόνου, αλλά ακόμα και μετά την πάροδο ενός 24ώρου παραμένει μία συγκέντρωση του ρύπου στο χώρο η οποία προστίθεται στην εκπομπή του επόμενου 24ώρου.(Διάγραμμα 2)



Διάγραμμα 2 - Η συγκέντρωση των ρύπων στη διάρκεια ενός 24ώρου. ($\mu\text{g/m}^3$).

Συμπεράσματα

Ως το πιο σημαντικό συμπέρασμα από την μελέτη που έγινε είναι ότι η συνεργασία τριών υπολογιστικών προγραμμάτων έγινε με επιτυχία. Ιδιαίτερα δε η συνεργασία των μοντέλων QUIC, που υπολόγισε το εξωτερικό ροϊκό πεδίο, και του COMIS, που υπολόγισε τις εσωτερικές ροές αέρα, έδειξε ότι μπορεί να αποτελέσει μια καλή πρόταση για την καλύτερη προσομοίωση του αερισμού των κτιρίων. Κι αυτό γιατί φάνηκε ότι δίνει πολύ καλά αποτελέσματα σε ασυνήθεις γεωμετρίες κτιρίων, όπως ήταν και το κτίριο για οποίο διεξήχθη η μελέτη.

Ξεχωριστά τώρα, το υπολογιστικό πρόγραμμα QUIC, προσομοίωσε αρκετά γρήγορα το ροϊκό πεδίου του αέρα, και κύριο πλεονέκτημά του είναι η ευελιξία του σε προσαρμογές των κτιρίων, της βλάστησης ή και γενικά του τοπίου έτσι ώστε να επιτευχθεί ένα αποτέλεσμα όσο το δυνατό πιο κοντά στην πραγματικότητα. Έχει επίσης το πλεονέκτημα να δίνει αποτελέσματα ακόμα και σε τελείως πρωτότυπες κατασκευές ή ιδέες χωρίς ιδιαίτερα προβλήματα.

Το πρόγραμμα υπολογισμού του αερισμού εντός του κτιρίου, COMIS απεδείχθη αξιόπιστο εργαλείο για τον υπολογισμό των ροών αέρα σε όλο το κτίριο. Από τα κύρια πλεονεκτήματά του είναι ότι δέχεται ένα μεγάλο εύρος δεδομένων εισόδου ανάλογα με τη διαθεσιμότητά τους κάθε φορά, ενώ έχει συγχρόνως προσεγγιστικούς τρόπους ρύθμισης δεδομένων που πιθανόν να μη υπάρχουν από τον μελετητή. Αυτό είναι το κύριο στοιχείο που βοηθά στη συνεργασία του COMIS με άλλα υπολογιστικά προγράμματα. Κατά τα άλλα, το μοντέλο COMIS είναι πιο αναλυτικό, περιλαμβάνει πολλά στοιχεία που αν ενδιαφέρουν τον μελετητή μπορούν να ενεργοποιηθούν, καθώς ακόμα και κατά τη διάρκεια διεξαγωγής της μελέτης πολλά στοιχεία του προγράμματος δεν χρησιμοποιήθηκαν. Είναι απαιτητικό ως προς το χειρισμό του αλλά συγχρόνως αποτελεί μια πολύ καλή πρόταση για ακριβή και λεπτομερή αποτελέσματα.

Η προσομοίωση έγινε με την υπόθεση ότι ο χώρος είναι κλειστός και ότι ο μόνος αερισμός που υφίσταται είναι αυτός της διείσδυσης αέρα λόγω της διαφοράς πίεσης, επομένως και ο ρυθμός αερισμού του χώρου, 0,1 αλλαγές ανά ώρα είναι φυσιολογικός υπό αυτές τις συνθήκες.

Όσον αφορά τα αποτελέσματα των συγκεντρώσεων ρύπων στο χώρο, είναι λογικά σύμφωνα και με τη βιβλιογραφία.

Οι πολύ μικρές συγκεντρώσεις των τριών τερπενίων, του α-πινενίου, β-πινενίου και λιμονενίου ήταν αναμενόμενες καθώς - λαμβάνοντας υπ' όψιν και τη φύση των ρύπων αυτών, ότι δηλαδή περιέχονται σε αρώματα, αποσμητικά χώρου και καθαριστικά- μόνο τα καθαριστικά και σε πολύ περιορισμένο βαθμό εμφανίζονταν μέσα στο χώρο. Επίσης, καθώς το ύψος οροφής του χώρου είναι μεγάλο, ο λόγος επιφάνειας δαπέδου προς τον όγκο του χώρου είναι μικρός σε σχέση με ένα τυπικό

χώρο γραφείου. Επομένως οι συγκεντρώσεις που εμφανίζονται στο χώρο είναι πολύ μικρότερες από τα ασφαλή όρια έκθεσης, τα οποία βεβαίως δεν έχουν ακόμα καθοριστεί αλλά έχουν προταθεί με επιφύλαξη (Πίνακα 1.7, παράγραφος 1.2.4).

Βιβλιογραφία

ACGIH, *Threshold Limit Values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices*, American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati, 1990.

Allard F, Dorer V B, Feustel H E, et al, *Fundamentals of the multi-zone air flow model – COMIS*, Technical Note 29, Air Infiltration and Ventilation Centre, 1990.

Andreae, M.O., Crutzen, P.J., 1997. *Atmospheric aerosols: biochemical sources and role in atmospheric chemistry*, Science, 276, 1052-1058.

application of the RD50 for determining acceptable exposure levels of airborne sensory irritants for the general public. Environmental Health Perspectives 115, 1609-1616.

ASHRAE Standard 62 *Minimum ventilation for acceptable indoor air quality*, (1989, new revision 1996/7).

Atkinson, R., and Arey, J., *Gas-phase tropospheric chemistry of biogenic volatile organic compounds: a review*. Atmospheric Environment 37, S197-S219, (2003)

Billington N, *The art of ventilation*, Proc 3rd AIVC Conference 1982

BRE Natural ventilation in non-domestic buildings, BRE Digest 399, Building Research Establishment, (UK), 1994.

Burge P S, Jones P, and Robertson A S, *Sick building syndrome* Proc Indoor Air, Canada, 1990.

Burge P S, *The sick building syndrome: where are we in 1992*, Indoor Environment, 1992

Cano-Ruiz J A, Modera M P, Nazaroff W W, *Indoor ozone concentrations: ventilation rate impacts and mechanisms of outdoor concentration attenuation*, Proc. Air Infiltration and Ventilation Centre, 13th AIVC Conference, 1992.

De Bortoli, M., Knöppel, H., Pecchio, E., Peil, A., Rogora, L, Schauenburg, H., Schlitt, H., Vissers, H., 1986. Concentrations of selected organic pollutants in indoor and outdoor air in Northern Italy. Environment international, 12, 343-350.

Dinar, N., *Mass Consistent Models for Wind Distribution in Complex Terrain – Fast Algorithms for Three Dimensional Problems*, Boundary-Layer Met. Vol. 30, pp. 177-199, 1984.

Dubrul C, *Inhabitant's behaviour with respect to ventilation*, Technical Note 23, Air Infiltration and Ventilation Centre, 1988.

Fanger P O, *Introduction of the olf and the decipol units to quantify air pollution perceived by humans indoors and outdoors*, Energy and Buildings, No 12, 1988

Feustel H E, *Development of a simplified multi-zone infiltration model*, Proc 6th AIC Conference Ventilation Strategies and Measurement Techniques, 1985.

Feustel H E, Dieris J A, *A survey of air flow models for multi-zone structures*, Lawrence Berkeley Laboratory Report, Applied Science Division, 1991.

Guenther, A., Geron, C., Pierce, T., Lamb, B., Harley, P., and Fall, R., *Natural emissions of non-methane volatile organic compounds, carbon monoxide, and oxides of nitrogen from North America*. Atmospheric Environment, 34, 2205-2230, 2000

Hubbard, H.F., Coleman, B.K., Sarwar, G, Corsi, R.L.,. *Effects of ozone-generating airpurifiers on indoor secondary particles in three residential dwellings*. Indoor Air, 15, 432-44, 2005.

Joint research centre- Institute for health & consumer protection, Physical & chemical exposure unit, *Impact of Ozone-initiated Terpene Chemistry on Indoor Air Quality and Human Health*, Environment and Quality of Life, Report No 26, European Commission, 2007

Kaplan, H. and N. Dinar, *A Lagrangian Dispersion Model for Calculating Concentration Distribution within a built-up domain*, Atmos. Env., Vol. 30, No. 24, pp. 4197-4207, 1996.

Kotzias, D., Geiss, O., Tirendi, S., Bruinen de Bruin, Y., Kephelopoulos, S., The AIRMEX (European Indoor Air Monitoring and Exposure Assessment) Project report. Phase I, European Commission, 2005.

Kuwabara, Y., Alexeeff, G.V., Broadwin, R. and Salmon, A.G. *Evaluation and application of the RD50 for determining acceptable exposure levels of airborne sensory irritants for the general public*. Environmental Health Perspectives 115, 1609-1616. (2007)

Liddament M W, *Ventilation and building sickness – a brief review*, Air Infiltration Review, 11, No 3, 1990.

Limb M J, *Ventilation and building air-tightness: an international comparison of Standards, Codes of Practice and Regulations*, Air Infiltration and Ventilation Centre, Technical Note 43, 1994.

Limb M, *Natural ventilation, an annotated bibliography*, Air Infiltration and Ventilation Centre, Report No. BIB3, 1994a.

Orme M S, Liddament M W, Wilson A, *An analysis and data summary of the AIVC's numerical database*, Technical Note 44, Air Infiltration and Ventilation Centre, 1994.

QUIC URB v. 1.1

Eric R. Pardyjak, Michael J. Brown, *QUIC-URB v1.1 Theory and Users Guide*, Los Alamos National Laboratory, 2003

Rao J, Haghghat F, *Wind induced fluctuating airflow in buildings*, Proc. AIVC 12th Conference, *Air Movement and Ventilation Control within Buildings*, Vol 1, 1991.

Riberon J, Bienfait D, Barnaud G, Villain J, *Effect of wind pressurefluctuations on air movements inside buildings*, Proc 11th AIVC Conference, *Ventilation System Performance*, Vol 1 1990.

Röckle, R. (1990) *Bestimmung der Stomungsverhältnisse im Bereich komplexer Bebauungsstrukturen*. Ph.D. thesis, Vom Fachbereich Mechanik, der Technischen Hochschule Darmstadt, Germany.

Saarela,K.,Tirkkonene,T., Laine-Ylijoki, J., Jurvelin, J.,Nieuwenhuijsen,M.J., and Jantunen,M., *Exposure of population and microenvironmental distributions of volatileorganic compounds in the EXPOLIS study*. Atmospheric Environment, 37, 5563-5575, 2003.

Saum D W, Osborne M C, *Radon mitigation effects of passive stacks in residential new construction*, Proceedings of the 5th International Conference on Indoor Air Quality and climate, Toronto, Volume 3, 1990.

Scientific Committee on Health and Environmental Risks (SCHER) “Opinion on risk assessment on indoor air quality”. pp. 1-33. European Commission: *Health & application of the RD50 for determining acceptable exposure levels of airborne sensory irritants for the general public*. EnvironmentalHealth Perspectives 115, 1609-1616. (2007).

Sherman, C. A., *A Mass Consistent Model for Wind Fields over Complex Terrain*, Journal of Applied Meteorology, vol. 17, 1978

Wainman, T., Zhang, J.,Weschler, C.J., Liroy, P.J., *Ozone and limonene in indoor air:Asource of submicron particle exposure*. Environmental Health Perspectives, 108(12),1139-1145, 2000.

Wallach, *Isoprene rule*, 1887.

Weschler C J, Shields H C, Naik D V, *Indoor ozone exposures*, JAPCA, No 39,1989.

Weschler, C.J., and Shields, H.C., 1996. Production of the hydroxyl radical in indoor air.Environmental Science and Technology, 30, 3250-3258.

Weschler, C.J., and Shields, H.C., 1997. *Measurements of the hydroxyl radical in a manipulated but realistic indoor environment*. Environmental Science and Technology,31, 3719-3722.

Weschler, C.J., and Shields, H.C., 1999. *Indoor ozone/terpene reactions as a source of indoor particles*. Atmospheric Environment, 33, 2301-2312.

World Health Organisation, *Air quality guidelines for Europe*, WHO Regional Pubs, European Series No.23, 1989

Wolkoff, P., Clausen, P.A., Wilkins, C.K., and Nielsen, G.D.,. *Formation of strong airway irritants in terpene/ozone mixtures*. *Indoor Air*, 10, 82-91, 2000.

Yang L., Ye M., he B. , *CFD simulation research on residential indoor air quality*, *Science of the Total Environment* 472 1137–1144, 2014

