ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Διπλωματική εργασία

«Εξοικονόμηση ενέργειας και ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος σε κτίρια γραφείων»

Προβατά Ελένη

Α.Μ.: 2007050042

Τριμελής Επιτροπή

Κολοκοτσά Διονυσία (Επιβλέπουσα καθηγήτρια)

Λαζαρίδης Μιχαήλ

Τσούτσος Θεοχάρης

ΧΑΝΙΑ 2012

<u>Αφιέρωση</u>

Στους γονείς μου,

στον αδερφό μου και στη Μαρία

Ευχαριστίες

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω την κυρία Διονυσία Κολοκοτσά για την βοήθεια και την καθοδήγηση της καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Σωτήρη Παπαντωνίου για την βοήθεια του και τις συμβουλές του.

Στη συνέχεια, ευχαριστώ τα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής κύριο Λαζαρίδη Μιχαήλ και κύριο Θεοχάρη Τσούτσο για το χρόνο που αφιέρωσαν για την μελέτη και την παρουσίαση της διπλωματικής μου εργασίας.

Ευχαριστώ θερμά την φίλη μου Αρυμπλιά Μαρία για την ηθική της υποστήριξη και την αγάπη της καθ' όλη τη διάρκεια των προπτυχιακών μου σπουδών στο Πολυτεχνείο Κρήτης, καθώς και τους φίλους μου Λαγουδάκη Χάρη, Τσαγδή Χάρη και Χατά Γιάννη για την συμπαράσταση τους.

Τέλος, ευχαριστώ την οικογένεια μου για την υποστήριξη και τις συμβουλές τους κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1
Εισαγωγή

1.1. Ενεργειακός σχεδιασμός κτιρίων και ενεργειακή κατανάλωση 1
1.2. Ιστορική ανασκόπηση και καθιέρωση στη σημερινή εποχή 2
1.3. Συσχέτιση ενεργειακών απαιτήσεων και ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος. 3
1.4. Παράμετροι Επίδρασης στην Ποιότητα Εσωτερικού Περιβάλλοντος 5
1.4.1. Παράγοντες επίδρασης προερχόμενοι από το εξωτερικό περιβάλλον 5
1.4.2. Παράγοντες επίδρασης προερχόμενοι από το εσωτερικό περιβάλλον 6
1.4.2.1. Ανθρώπινος και Ζωικός Μεταβολισμός 6
1.4.2.2. Ανθρώπινη και Ζωική Δραστηριότητα 7
1.4.2.3. Συσκευές και Οικοδομικά υλικά 7
1.4.2.4. Σύστημα Ψύξης, Θέρμανσης και Αερισμού (HVAC – Heating, Ventilation and Air Condition System) 8
1.5. Ενεργειακό Ισοζύγιο Κτιρίου 8
1.5.1. Ενεργειακό Ισοζύγιο για περίοδο Θέρμανσης 9
1.5.2. Ενεργειακό Ισοζύγιο κατά τη περίοδο Ψύξης 9
1.6. Επιδράσεις αλλοίωσης ποιότητας εσωτερικού αέρα 9

Κεφάλαιο 2
Ποιότητα Εσωτερικού Αέρα

2.1. Εισαγωγή 12
2.2. Αέριοι Ρύποι στους Εσωτερικούς Χώρους 13
2.3. Αερισμός 16
2.4. Οδηγίες και κανονισμοί ποιότητας εσωτερικού αέρα 22
2.4.1. Ιστορική αναδρομή 22
2.4.2. Διαφοροποιήσεις μεταξύ Κανονισμού και Οδηγίας 22
2.4.3. Οδηγίες ποιότητας εσωτερικού αέρα – Ανάπτυξη Οδηγιών 23
2.4.4. Οδηγίες Αερισμού 25
2.5. Οδηγίες CO_2 27
2.6. Οδηγίες για Θερμική Άνεση 28
2.7. Οδηγίες στον ελληνικό χώρο 30

Κεφάλαιο 3
Θερμική Άνεση

3.1. Η έννοια του εσωκλίματος 32
3.2. Βασικοί Παράγοντες επίδρασης θερμικής άνεσης 32
3.2.1 Περιβαλλοντικοί παράγοντες 33
3.2.1.1. Θερμοκρασία του αέρα 33
3.2.1.2. Σχετική υγρασία ατμοσφαιρικού αέρα 35
3.2.1.3. Μέση ακτινοβολούμενη θερμοκρασία 38
3.2.1.4. Ταχύτητα αέρα 38
3.2.1.5. Θόρυβος 38
3.2.2. Προσωπικοί Παράγοντες 39
3.2.2.1. Μεταβολικός Ρυθμός 40
3.2.2.2. Ρουχισμός 40
3.3. Ανθρώπινο Θερμικό Ισοζύγιο 41
3.4. Δείκτες Θερμικής Άνεσης: PMV (Predicted Mean Vote) – PPD (Predicted Percent of Dissatisfied People) 42

Κεφάλαιο 4
ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΚΤΙΡΙΟΥ

4.1. Εργαλεία υπολογισμού της θερμικής και της ενεργειακής συμπεριφοράς των κτιρίων 45
4.2. Γενικά υπολογιστικά εργαλεία 45
4.2.1 Type 56 46
4.2.2 TRNBuild 47
4.3. Τα ειδικά υπολογιστικά εργαλεία 49
4.4. COMIS MODEL 49
4.4.1. Εισαγωγή Δεδομένων στο COMIS 50
4.4.2. Κατανομή του αέρα σε κτίριο 50
4.4.3. Κατανομή πίεσης αέρα 51
4.4.4. Συντελεστές πίεσης 53
4.5 Σύνδεση TRNsys – COMIS 55
4.5.1. Η ιδέα της σύζευξης 55
4.5.2. Μεταφορά αρχείων 56
4.5.3. Παράμετροι 56
4.5.4. Περιορισμοί σε σχέση με την αυτόνομη χρήση του COMIS 57

Κεφάλαιο 5
Περιγραφή του υπό μελέτη κτιρίου

5.1. Γενικές πληροφορίες 58
5.2. Διαχωρισμός του κτιρίου σε ζώνες 59
5.2.1. Ισόγειο 59
5.2.2. Πρώτος όροφος 61
5.2.3. Δεύτερος όροφος 63
5.3. Προσομοίωση με τη χρήση του σχεδιαστικού εργαλείου Google Sketch Up 63
5.4. Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά κτιρίου 64
5.4.1. Εξωτερικές τοιχοποιίες 64
5.4.1.1. Εσωτερικές τοιχοποιίες 64
5.4.2. Εξωτερικά παράθυρα και Πόρτες 65
5.4.2.2. Υπολογισμός του συντελεστή θερμοπερατότητας των παραθύρων και των εξωτερικών πορτών 65
5.4.3. Οροφές και Πατώματα 67
5.4.4. Εσωτερικά ανοίγματα 67
5.5. Προσωπικό, Υπολογιστές και Φωτισμός 68
5.5.1. Εσωτερικά Κέρδη 68
5.6. Στοιχεία εισόδου του μοντέλου προσομοίωσης TRNSys 70
5.7. Στοιχεία εισόδου του μοντέλου προσομοίωσης COMIS 71

Κεφάλαιο 6
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

6.1. Προσομοίωση με βάση τις εσωτερικές θερμοκρασίες 74
6.2. Ανάγκες θέρμανσης και ψύξης του κτιρίου 77
6.3. Επίπεδα CO_2 της ζώνης 9 80
6.5. Ενεργειακές ανάγκες της ζώνης 9 85

Κεφάλαιο 7

Συμπεράσματα και Προτάσεις 90

Βιβλιογραφία 93

Παραρτήματα 95

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη της ποιότητας αέρα στο εσωτερικό των κτιρίων και η επίδραση της στις ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις τους για θέρμανση και ψύξη.

Το κτίριο όπου εξετάστηκε είναι το κτίριο Κ2 του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος, το οποίο μοντελοποιήθηκε με τη χρήση των λογισμικών TRNSYS και COMIS. Το πρώτο χρησιμοποιήθηκε για την μελέτη της θερμικής συμπεριφοράς του κτιρίου, ενώ το δεύτερο για την μοντελοποίηση της ροής του αέρα στους εσωτερικούς χώρους, καθώς και την εκτίμηση της συγκέντρωσης του CO_2 που παράγεται από τους εργαζόμενους.

Η παράμετρος που εξετάστηκε ως προς την επίδραση της στην εξοικονόμηση της ενέργειας και στην ποιότητα του αέρα ήταν ο φυσικός αερισμός, καθώς όπως προκύπτει από της παρούσα διπλωματική εργασία, συμβάλλει στην βελτίωση της ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος, αλλά ταυτόχρονα αυξάνει τις ενεργειακές απαιτήσεις του κτιρίου.

Abstract

Subject of the current thesis is the study of air quality in the internal space of buildings and its effect on annual energy demands for heating as well as cooling.

The building studied is named K2, is located in the Environmental Engineering department and was modeled using the following two programs, TRNSYS and COMIS.

TRNSYS was used to study the buildings thermal behavior while COMIS to model the internal air flow as well as evaluate the concentration of CO_2 produced by the workers inside it.

The parameter that was studied on its effect on energy savings and air quality, is natural air flow and as shown from this thesis it contributes on improving the quality of the inner environment and also increase the buildings energy demands.

Κεφάλαιο 1
Εισαγωγή

1.1. Ενεργειακός σχεδιασμός κτιρίων και ενεργειακή κατανάλωση

Η ραγδαία αύξηση του αστικού πληθυσμού που σημειώθηκε κατά το δεύτερο μισό του 20^{ου} αιώνα, οδήγησε σε δραματική επέκταση των αστικών κέντρων με αποτέλεσμα την εμφάνιση σοβαρών περιβαλλοντικών, κοινωνικών, οικονομικών και δημογραφικών προβλημάτων. Η υπερκατανάλωση των πόρων, ιδίως της ενέργειας, η υψηλή ατμοσφαιρική ρύπανση και θερμοκρασία, το φαινόμενο της αστικής νησίδας, η ηχορύπανση, η τεράστια ποσότητα αστικών αποβλήτων, συγκαταλέγονται στα προβλήματα που δημιουργήθηκαν. Οι δύο πετρελαϊκές κρίσεις που έλαβαν χώρα τη δεκαετία του ’70 αποτέλεσαν το έναυσμα για μείωση στη κατανάλωση ενέργειας των κτιρίων με σκοπό την εξοικονόμηση μεγάλων ποσοτήτων καυσίμων και ταυτόχρονη προστασία του περιβάλλοντος. Τα μέτρα που λήφθηκαν και εφαρμόστηκαν από τους μηχανικούς της εποχής απέδωσαν ικανοποιητικά αποτελέσματα στη μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας των κτιρίων, οδήγησαν όμως στην εμφάνιση ενός νέου και εξαιρετικά δυσάρεστου φαινομένου, της υποβάθμισης του εσωτερικού περιβάλλοντος. Ο μη επαρκής αερισμός των εσωτερικών χώρων, η υψηλή συγκέντρωση ρύπων στο εσωτερικό περιβάλλον και η επικράτηση δυσμενών συνθηκών διαβίωσης στους χώρους κατοικίας και εργασίας αποτέλεσαν τα κύρια χαρακτηριστικά του φαινομένου τα οποία έπρεπε άμεσα να αντιμετωπιστούν δίχως όμως επιβάρυνση στο ήδη καταβεβλημένο από εκείνη την εποχή εξωτερικό περιβάλλον.

Η ανάγκη λοιπόν βελτίωσης της ενεργειακής συμπεριφοράς των κτιρίων με μεθόδους όπως η ενεργειακή αναβάθμιση του κελύφους των κτιρίων και η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας οδήγησε στη διατύπωση των βασικών αρχών του ενεργειακού ή βιοκλιματικού σχεδιασμού των κτιρίων. Λαμβάνοντας επίσης υπόψη μελέτες οι οποίες εξάγουν αποτελέσματα ότι ο κτιριακός τομέας στην Ευρώπη απαιτεί το 40% των συνολικών ποσοτήτων ενέργειας που καταναλώνονται, εύκολα γίνεται αντιληπτός ο λόγος για τον οποίο η Ευρωπαϊκή Ένωση θέτει ως βασικό άξονα της ενεργειακής της πολιτικής την εξοικονόμηση ενέργειας μέσω του ενεργειακού σχεδιασμού των κτιρίων.

Αναγκαίο κρίνεται να αναφερθεί επίσης το οικονομικό κόστος της μη σωστής διαχείρισης της ενέργειας και της υπέρμετρης κατανάλωσής της, το οποίο τείνει να γίνει δυσβάσταχτο ακόμη και για τις αναπτυσσόμενες χώρες με βάση τα νέα οικονομικά δεδομένα της εποχής και την παρούσα οικονομική

κατάσταση των περισσότερων χωρών παγκοσμίως και κυρίως στη χώρα μας. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι οι πολίτες των αναπτυσσόμενων χωρών καταναλώνουν περισσότερο από το 12% του εισοδήματός τους για τις ενεργειακές υπηρεσίες, ποσοστό πέντε φορές υψηλότερο από το μέσο όρο της Οργάνωσης για την Οικονομική συνεργασία και Ανάπτυξη. Παράλληλα, οι εισαγωγές ενέργειας αποτελούν μια από τις σημαντικότερες πηγές του εξωτερικού χρέους των χωρών. Στον αντίποδα, εκτιμήσεις δείχνουν ότι το κόστος των νέων εγκαταστάσεων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτούνται ώστε να ανταπεξέλθει η παγκόσμια κοινότητα στις ενεργειακές τις απαιτήσεις τα επόμενα 30 χρόνια, θα ανέλθει σε πάνω από 2 τρισεκατομμύρια δολάρια.

Συνοψίζοντας τα παραπάνω δεδομένα, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι ο κτιριακός τομέας, λόγω των υπερβολικών του απαιτήσεων σε ενέργεια, επιβάλλεται να ακολουθεί σχεδιασμό και διαχείριση ενεργειακά αποδοτικό με σκοπό την μειωμένη κατανάλωση με ταυτόχρονη επίτευξη ικανοποιητικών συνθηκών διαβίωσης στο εσωτερικό των κτιρίων.

1.2. Ιστορική ανασκόπηση και καθιέρωση στη σημερινή εποχή

Η εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια και η προστασία του περιβάλλοντος δεν τοποθετήθηκαν εξ αρχής στην κορυφή της λίστας προτεραιοτήτων κατά το σχεδιασμό ενός κτιρίου την εποχή της έξαρσης της οικοδόμησης στις αστικές περιοχές. Μόνον το 1974 λόγω της ενεργειακής κρίσης που ήλθε στο προσκήνιο ως απόρροια της αλόγιστης εώς τότε σπατάλης των καυσίμων και ειδικότερα του πετρελαίου, η επιστημονική κοινότητα κατέστησε σαφές ότι απαιτείται προσεκτικότερη και καλύτερη διαχείριση των ενεργειακών αποθεμάτων προς αποφυγή μελλοντικών ελλείψεων. Οι μηχανικοί που εώς τότε έδιναν βάση σε άλλες παραμέτρους όπως ο καλαίσθητος και εντυπωσιακός σχεδιασμός και η λειτουργικότητα των χώρων σε ένα κτίριο, αναθεώρησαν και έθεσαν στους κύριους στόχους τους την επίτευξη της ελάττωσης των ενεργειακών απαιτήσεων και καταναλώσεων στα νέα κτίρια.

Ακολουθήθηκαν λοιπόν μια σειρά από ενέργειες οι οποίες ήταν βασισμένες στις γνώσεις που προϋπήρχαν και στην επιλογή νέων υλικών όπως PVC. Ως πρώτο βήμα εξοικονόμησης ενέργειας θεωρήθηκε η μείωση του ρυθμού αλλαγής αέρα από το εσωτερικό προς το εξωτερικό περιβάλλον, δηλαδή ο ρυθμός ανανέωσης φρέσκου αέρα στο χώρο, λόγω του υψηλού κόστους θέρμανσης και ψύξης του φρέσκου αέρα που εισερχόταν στο εσωτερικό των κτιρίων. Με την αύξηση της τεχνολογίας αλλά και την επέκταση της

τεχνογνωσίας, εφαρμόστηκαν περιπλοκότερες τεχνικές κυρίως στα ηλεκτρολογικά συστήματα όπως η καθυστερημένη έναρξη των μηχανημάτων ψύξης, θέρμανσης και αερισμού, και η πρόωρη λήξη τους κατά τη διάρκεια της ημέρας. Ακολούθησε η εισαγωγή των ενεργειακά αποδοτικών μηχανικών συστημάτων μεταβλητής παροχής όγκου αέρα, στα οποία η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στη μείωση της παροχής αέρα μέσω του συστήματος διανομής αέρα, όταν λειτουργούν υπό μερικό φορτίο. Ταυτόχρονα, τα υπό ανέγερση κτίρια διακρίνονταν από μεγάλη στεγανότητα.

Οι παραπάνω ενέργειες συνέβαλαν σε αξιοσημείωτες μειώσεις ενέργειας για τη λειτουργία των κτιρίων στα τέλη της δεκαετίας του ’80. Ένα πολύ σημαντικό όμως πρόβλημα προέκυψε, το οποίο είχε ήδη να αναφέρεται από τα τέλη της δεκαετίας του ’60 και δεν ήταν άλλο από την υποβάθμιση της ποιότητας του εσωτερικού αέρα και την κατακόρυφη μείωση της θερμικής άνεσης στο εσωτερικό των κτιρίων. Τα φαινόμενα αυτά συνδέθηκαν με την εμφάνιση ασθενειών και προβλημάτων υγείας στους ενοίκους και χρήστες των κτιρίων. Συγκεκριμένα, ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας το 1984, ύστερα από μελέτες που έλαβαν χώρα, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι καταγγελίες από δυσαρεστημένους χρήστες θα προκύψουν για το 30% τουλάχιστον των νέων εκείνη την εποχή κτιρίων. Η πρόβλεψη αυτή επιβεβαιώθηκε κατά τη δεκαετία του 1990, όπου την εμφάνισή τους έκανα πλήθος συνδρόμων και ασθενειών όπως το γνωστότερο Σύνδρομο των Άρρωστων Κτιρίων – Sick Building Syndrome, τα οποία σχετίζονταν άμεσα με την λειτουργία των κτιρίων.

Η καθιέρωση επομένως της διασφάλισης της ποιότητας του εσωτερικού αέρα και της θερμικής άνεσης εντός των κτιρίων για την επικράτηση υγιεινού και ευχάριστου περιβάλλοντος εργασίας και κατοίκησης, ήταν μια διαδικασία η οποία έγινε αποδεκτή από την παγκόσμια επιστημονική κοινότητα και το σύνολο των μηχανικών σε όλες τις χώρες.

1.3. Συσχέτιση ενεργειακών απαιτήσεων και ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος.

Η επίτευξη συνθηκών άνεσης και η ικανοποιητικού επιπέδου ποιότητα εσωτερικού αέρα στο εσωτερικό δημόσιων (σχολεία, νοσοκομεία, αθλητικά κέντρα, αίθουσες εστίασης κτλ) αλλά και ιδιωτικών κτιρίων (κατοικιών) , αποτελούν αναφαίρετο δικαίωμα εργαζομένων, ενοίκων και πολιτών. Η άμεση σύνδεση της εξασφάλισης αυτών των συνθηκών με την κατανάλωση ενέργειας γίνεται αντιληπτή από όλους. Η ποσότητα του εισερχόμενου αέρα διασφαλίζει υψηλά ποιοτικά επίπεδα εσωτερικών χώρων καθώς έχει την ικανότητα να εφοδιάζει τον ανθρώπινο οργανισμό με το απαιτούμενο οξυγόνο για τις

μεταβολικές του διεργασίες, να παρέχει οξυγόνο για την θέρμανση και ψύξη των εσωτερικών χώρων, να διατηρεί την ποιότητα εσωτερικού αέρα μέσω των μηχανισμών διάλυσης και απομάκρυνσης των εσωτερικών ρύπων. Όσο μεγαλύτερός ο ρυθμός αερισμού, τόσο μεγαλύτερη η απομάκρυνση των ρύπων. Το ποσό ενέργειας που καταναλώνεται διαμορφώνεται ανάλογα με τη συγκέντρωση των ρύπων, με το ποσό αυτό να είναι τρομακτικά υψηλό. Έχει υπολογιστεί ότι η συνολική ετήσια απώλεια θερμικής ενέργειας λόγω του αερισμού σε μη βιομηχανικά κτίρια 13 χωρών αντιπροσωπεύει το 48%της διανεμόμενης ενέργειας κλιματισμού (Orme, 2001). Οι έρευνες τόσο σε Ευρωπαϊκό όσο και σε διεθνές επίπεδο, κατέδειξαν τις διαστάσεις του προβλήματος. Συγκεκριμένα, στην Ευρώπη, η αγορά θέρμανσης, ψύξης και αερισμού κοστολογείται στα 8000 εκατομμύρια ευρώ, με το 6% των κτιρίων που στεγάζουν γραφεία και εταιρείες και έχουν εγκατεστημένα τέτοια συστήματα, να καταλαμβάνουν 20 εκατομμύρια κυβικά μέτρα. Στις Ηνωμένες πολιτείες αντίστοιχα, η έκταση των κτιρίων με εγκατεστημένα συστήματα ψύξης, θέρμανσης και αερισμού, ανέρχεται σε 3,5 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα, με ενεργειακές απαιτήσεις της τάξεως των 250 TWh το χρόνο.

Στο φαινόμενο αυτό, προστίθενται νέες μελέτες, οι οποίες καταδεικνύουν ότι με αύξηση του ρυθμού αερισμού από τον ελάχιστο επιτρεπόμενο, όπως καθορίζεται από τα σημερινά πρότυπα και οδηγίες, αυξάνει την παραγωγικότητα, τον δείκτη άνεσης και ωφελεί την υγεία των εργαζόμενων εντός γραφείων. Η ενέργεια αυτή όπως είναι φυσικό, απαιτεί την ακόμη μεγαλύτερη ενεργειακή κατανάλωση. Ως σήμερα οι σχετικοί κανονισμοί και οι οδηγίες θεωρούν ότι η ποιότητα του εσωτερικού αέρα βρίσκεται σε αποδεκτά επίπεδα, αν το ποσοστό των δυσαρεστημένων ατόμων είναι μικρότερο από 20%. Η προσπάθεια να μειωθεί το παραπάνω ποσοστό κάτω από 1%, σημαίνει ότι η ποιότητα του εσωτερικού αέρα θα πρέπει να βελτιωθεί κατά 20 ή περισσότερες φορές, γεγονός που ισοδυναμεί με τεράστια αύξηση του ρυθμού αερισμού και, φυσικά, σε υπέρογκο κόστος και κατανάλωση ενέργειας (Fagner, 2006). Έχει υπολογιστεί, στο πλαίσιο του προγράμματος European TIP-Vent, ότι η αλλαγή του ρυθμού αερισμού από 1l/s.m2 σε 5l/s.m2 μπορεί να τριπλασιάσει την ετήσια κατανάλωση ενέργειας για τη θέρμανση, ψύξη και λειτουργία των ανεμιστήρων ενός μικρού κτιρίου γραφείων σε ένα σχετικά ήπιο κλίμα, όπως είναι αυτό του Βελγίου.

Ο αερισμός παρόλα αυτά, αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι του σχεδιασμού των κτιρίων καθώς στις πλείστες των περιπτώσεων αποτελεί τον μοναδικό τρόπο αντιμετώπισης της εσωτερικής ρύπανσης. Ο έλεγχος της συγκέντρωσης των ρύπων στο εσωτερικό περιβάλλον, επιτυγχάνεται μέσω τριών βασικών στρατηγικών, οι οποίες ιεραρχούνται ως εξής : αρχικά, η δυνατότητα απομάκρυνσης των πηγών εκπομπής των ρύπων από το εσωτερικό των χώρων,

στη συνέχεια ακολουθεί ο τοπικός εξαερισμός και τέλος ο αερισμός. Δεδομένου όμως ότι η κύρια πηγή εκπομπής ρύπων είναι οι ένοικοι των κτιρίων και ότι ο τοπικός εξαερισμός τις περισσότερες φορές είναι λειτουργικά και σχεδιαστικά αδύνατος, συνάγεται το συμπέρασμα ότι η μόνη επιλογή είναι ο αερισμός. Με γνώμονα τα όσα αναφέρθηκαν στην αρχή της ενότητας για τη σημασία του αερισμού αλλά και γνωρίζοντας τις αρνητικές επιπτώσεις του στην υγεία των ενοίκων οι οποίες θα παρουσιαστούν αναλυτικά σε επόμενη ενότητα, αντιλαμβάνεται κανείς την αναγκαιότητα ύπαρξής του παρόλη την υψηλή ενεργειακή απαίτησή του.

1.4. Παράμετροι Επίδρασης στην Ποιότητα Εσωτερικού Περιβάλλοντος

Η ποιότητα του εσωτερικού αέρα εξαρτάται από πλήθος περιβαλλοντικών παραγόντων, η επίδραση των οποίων αποτυπώνεται στην ενεργειακή απόδοση των κτιρίων. Η προέλευση των ρύπων βασίζεται τόσο στο εξωτερικό περιβάλλον (ρύποι που διεισδύουν από το εξωτερικό περιβάλλον εντός των κτιρίων), όσο και από τον ίδιο τον εσωτερικό χώρο του κτιρίου με υψηλές συγκεντρώσεις να προκαλούν προβλήματα υγείας στους ενοίκους. Λόγω του διαφορετικού σχεδιασμού και χρήσης υλικών στην κατασκευή του εκάστοτε κτιρίου, δεν συναντώνται οι ίδιες τιμές συγκεντρώσεων αλλά παρουσιάζονται σημαντικές διαφοροποιήσεις από κτίριο σε κτίριο.
Ο διαχωρισμός τους σύμφωνα με τα όσα προαναφέρθηκαν ακολουθεί στις επόμενες ενότητες.

1.4.1. Παράγοντες επίδρασης προερχόμενοι από το εξωτερικό περιβάλλον

Στα μεγάλα αστικά κέντρα όπου το πρόβλημα της ρύπανσης του ατμοσφαιρικού αέρα είναι εντονότερο, ο αερισμός των κτιρίων, είτε γίνεται με μηχανικό τρόπο είτε με φυσικό αερισμό, εισάγει στο εσωτερικό των κτιρίων μολυσμένο αέρα, υποβαθμίζοντας με αυτό τον τρόπο τη ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος. Οι βιομηχανικές εκπομπές, η ρύπανση από την κυκλοφορία των οχημάτων, κοντινές πηγές εκπομπής ρύπων καθώς και ρύποι προερχόμενοι από το χώμα αποτελούν τις σημαντικότερες υπαίθριες πηγές.

Βιομηχανικές Εκπομπές
Η έντονη εμφάνιση βιομηχανικής δραστηριότητας σε συνδυασμό με την τεχνολογική ανάπτυξη και τη συνεχώς αυξανόμενη χρήση μηχανών καύσης, ευθύνονται για τις μεγάλες συγκεντρώσεις βιομηχανικών ρύπων οι οποίοι απελευθερώνονται καθημερινώς στην ατμόσφαιρα. Στους ρύπους αυτούς

συγκαταλέγονται διοξείδια του αζώτου, μονοξείδιο του άνθρακα, όζον, καπνός, μόλυβδος κ.ά.
Μέσω του φυσικού αερισμού (άνοιγμα παραθύρων) αλλά και μέσω των μηχανικών συστημάτων αερισμού, οι ρύποι αυτοί εισέρχονται στο εσωτερικό περιβάλλον. Τα φαινόμενα επίσης των θερμικών νησίδων αλλά και της διανομής ροής αέρα γύρω από τα κτίρια, το πρόβλημα γίνεται εντονότερο.

Ρύπανση κυκλοφορίας
Κυρίαρχο ρόλο στους εξωτερικούς παράγοντες επίδρασης δεν θα μπορούσαν να μην διαδραματίζουν οι ρύποι των μηχανών καύσης των μηχανοκίνητων οχημάτων, ειδικότερα στα αστικά κέντρα όπου το πρόβλημα λόγω κυκλοφοριακής συμφόρησης παρουσιάζεται εντονότερο. Μεγαλύτερη επίδραση όπως είναι φυσικό έχουν τα κτίρια των μεγάλων αστικών περιοχών με εκατομμύρια αυτοκινήτων να διασχίζουν τους δρόμους καθημερινώς.

Κοντινές πηγές καύσης – Ρύποι από το έδαφος
Μερίδιο ευθύνης εσωτερικής ρύπανσης από υπαίθριους παράγοντες κατέχουν οι μηχανές καύσης όπως πύργοι ψύξης, οι οποίοι τυχόν βρίσκονται σε κοντινή απόσταση από το εξεταζόμενο κτίριο. Συνακόλουθα, η ύπαρξη πηγών ρύπων καλυμμένων με χώμα σε κοντινή απόσταση από το κτίριο συνεισφέρουν στην εσωτερική ρύπανση αυτού.

1.4.2. Παράγοντες επίδρασης προερχόμενοι από το εσωτερικό περιβάλλον

Το περιεχόμενο και η χρήση ενός χώρου ευθύνονται στις πλείστες των περιπτώσεων για αυξημένα επίπεδα συγκέντρωσης ρυπαντών στο εσωτερικό του παρόλο που η πλειοψηφία του πληθυσμού δεν έχει γνώση για αυτό είτε το αγνοεί. Συγκεκριμένα, οι βιολογικές λειτουργίες των οργανισμών των ενοίκων και οι δραστηριότητές τους επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό το εσώκλιμα σε περιοδική βάση, δηλαδή για το χρονικό διάστημα που βρίσκονται εντός του χώρου. Από την άλλη πλευρά, συνεχής έκθεση ρύπων λαμβάνει χώρα από επενδύσεις, έπιπλα, χρώματα και συσκευές που χρησιμοποιούνται.

1.4.2.1. Ανθρώπινος και Ζωικός Μεταβολισμός
Ο ανθρώπινος οργανισμός (όπως και ο ζωικός) εκτελεί πλήθος λειτουργιών για την κάλυψη των σωματικών του αναγκών : ανάπτυξη κυττάρων, αναπνοή, διατήρηση θερμοκρασίας, πέψη και πολλές άλλες. Κατά την διαδικασία της αναπνοής, ο οργανισμός προσλαμβάνει το οξυγόνο για τις απαραίτητες λειτουργίες του σώματος, και κατά την εκπνοή, αποβάλλεται ποσοστό του

διοξειδίου του άνθρακα που έχει παραχθεί στο σώμα. Από μελέτες, έχει αποδειχθεί η παραγωγή και πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs) από τον ανθρώπινο και ζωικό μεταβολισμό. Σημαντικά προβλήματα για την υγεία εμφανίζονται μόνο σε υψηλές συγκεντρώσεις εντός ενός κλειστού χώρου ενώ σε χαμηλότερες παρουσιάζονται προβλήματα στην ποιότητα εσωτερικού αέρα και οσμές.

1.4.2.2. Ανθρώπινη και Ζωική Δραστηριότητα

Το επίπεδο της ποιότητας αέρα σε εσωτερικό χώρο, επηρεάζεται επίσης από αυξημένη συγκέντρωση αέριων ρύπων οι οποίοι προέρχονται εκτός από την ανθρώπινη παρουσία, και από τη δραστηριότητα και τις ενέργειες των ατόμων αυτών που βρίσκονται στο χώρο. Πιο συγκεκριμένα, το κάπνισμα σε εσωτερικούς χώρους προκαλεί συγκέντρωση πλήθους ρύπων όπως διοξείδιο του άνθρακα, μονοξείδιο κτλ. Το μαγείρεμα, το καθάρισμα με απορρυπαντικά κ.ά αποτελούν ορισμένα μόνο παραδείγματα που συμβάλουν στην υποβάθμιση της ποιότητας εσωτερικού αέρα.

1.4.2.3. Συσκευές και Οικοδομικά υλικά

Σύμφωνα με μελέτες οι οποίες έχουν παρουσιαστεί εδώ και πολλά χρόνια, τόσο τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την ανέγερση ενός κτιρίου, όσο και ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για την τελική εμφάνισή του για χρήση από τους ενοίκους, έχει αποδειχθεί ότι ευθύνονται για χημική ρύπανση. Συγκεκριμένα, ορισμένα οικοδομικά υλικά εξαιτίας του περιεχόμενού τους και του τρόπου προέλευσής τους, εκπέμπονται στο χώρο ρυπαντικές και τοξικές ουσίες. Από τη πλευρά του εξοπλισμού, βερνίκια, έπιπλα, πατώματα, αντικείμενα από PVC, προκαλούν με τη σειρά τους εκπομπές επικίνδυνων για την υγεία ρύπων.

Οι πολλαπλές καταγραφές και διαπιστώσεις επιβάρυνσης της υγείας από υψηλές συγκεντρώσεις τοξικών ρύπων κατά τη διάρκεια πολλών χρόνων και σε κτίρια πολλαπλών χρήσεων, οδήγησε στη λήψη αυστηρών μέτρων που έπρεπε να ακολουθήσει η βιομηχανία κατασκευής κτιρίων για περιβαλλοντική προστασία. Τα υλικά ελέγχθηκαν σχολαστικά και πλέον ενδείκνυται και προτιμάται η χρήση υλικών χαμηλής εκπομπής έτσι ώστε να επιτευχθούν πολλαπλοί στόχοι : αφενός την διατήρηση ποιότητας εσωτερικού αέρα και στην περιβαλλοντική προστασία , αφετέρου στην μείωση του απαιτούμενου ρυθμού εξαερισμού και συνακόλουθα στην εξοικονόμηση ενέργειας.

Καταλήγοντας, σκόπιμο κρίνεται να αναφερθεί το γεγονός ότι πάσης φύσεως ηλεκτρικές συσκευές και εξοπλισμός γραφείου όπως φωτοτυπικά μηχανήματα, εκτυπωτές, φαξ, υπολογιστές εκπέμπουν ρύπους, η συγκέντρωση των οποίων εξαρτάται από το είδος και την συχνότητα χρήσης τους. Οι συσκευές φυσικού

αερίου απελευθερώνουν μοριακά υπολείμματα, διοξείδιο του αζώτου και μονοξείδιο του άνθρακα και θα πρέπει να απομονώνονται από τους κύριους δίαυλους του αέρα.

1.4.2.4. Σύστημα Ψύξης, Θέρμανσης και Αερισμού (HVAC – Heating, Ventilation and Air Condition System)

Τα συστήματα HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning Systems) – Συστήματα Ψύξης, Θέρμανσης και Αερισμού, με την ανάπτυξη της τεχνολογίας και της επιστήμης, καθίσταται δυνατό να σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζουν τις επιθυμητές συνθήκες για τη θερμοκρασία του εσωτερικού περιβάλλοντος και τον επαρκή αερισμό αλλά ταυτόχρονα, μέσω ελέγχων πίεσης και διήθησης, απομονώνονται και απομακρύνονται οι ρυπαντικοί και μολυσματικοί παράγοντες. Η αφαίρεση των οσμών, ο έλεγχος της υγρασίας και η οπτική άνεση, αποτελούν επίσης παράγοντες οι οποίοι ελέγχονται από ένα σωστά σχεδιασμένο σύστημα HVAC.

Υπάρχουν όμως περιπτώσεις, στις οποίες το σύστημα HVAC ευθύνεται για εμφάνιση υψηλών συγκεντρώσεων των ρύπων και για την υποβάθμιση συνεπώς της ποιότητας εσωτερικού αέρα, η οποία οδηγεί σε προβλήματα υγείας των ενοίκων.

1.5. Ενεργειακό Ισοζύγιο Κτιρίου

Όπως είναι ευρέως γνωστό από τον θερμοδυναμικό νόμο, η ροή θερμότητας έχει κατεύθυνση από υψηλό δυναμικό σε χαμηλότερο. Στην περίπτωση της θερμοκρασίας, κάθε περιοχή, χώρος ή αντικείμενο με υψηλή θερμοκρασία έχει τη τάση να μεταφέρει θερμότητα σε περιοχή, χώρο ή αντικείμενο χαμηλότερης θερμοκρασίας.

Στην περίπτωση των κτιρίων, το καλοκαίρι οι τιμές της εξωτερικής θερμοκρασίας είναι υψηλότερες από την εσωτερική με αποτέλεσμα την εισροή θερμότητας στο κτίριο. Εν αντιθέσει με τον χειμώνα που η ροή θερμότητας έχει κατεύθυνση από το υψηλότερης θερμοκρασίας εσωτερικό προς το ψυχρό εξωτερικό περιβάλλον. Δημιουργούνται με αυτό τον τρόπο δύο ξεχωριστά ενεργειακά ισοζύγια, ένα για τη περίοδο θέρμανσης του κτιρίου (χειμώνας) και ένα για τη περίοδο ψύξης (καλοκαίρι).

Το ενεργειακό ισοζύγιο χαρακτηρίζεται και στις δύο περιπτώσεις από τις θερμικές ροές προς και από τον χώρο οι οποίες διακρίνονται σε θερμικά κέρδη ή εισροές και σε θερμικές απώλειες ή εκροές. Οι αναλυτικές εξισώσεις για τις δύο περιπτώσεις παρουσιάζονται στη συνέχεια.

1.5.1. Ενεργειακό Ισοζύγιο για περίοδο Θέρμανσης

Η μαθηματική σχέση που εκφράζει το ισοζύγιο είναι η ακόλουθη :

$$Q_h + Q_i + Q_s = Q_T + Q_V \text{ (Εξίσωση 1.5.1.)}$$

Όπου,

Q_h : το ποσό της ενέργειας που καταναλώνεται από το σύστημα θέρμανσης και παραγωγής ζεστού νερού χρήσης [J]

Q_i : τα εσωτερικά θερμικά κέρδη από ηλεκτρικές / ηλεκτρονικές συσκευές, φωτισμό , ανθρώπους και κατοικίδια ζώα [J]

Q_s : τα ηλιακά θερμικά κέρδη από ανοίγματα και παθητικά ηλιακά συστήματα [J]

Q_T : οι θερμικές απώλειες λόγω μετάδοσης της θερμότητας με αγωγιμότητα και ακτινοβολία, μέσα από το κέλυφος και τα ανοίγματα του κτιρίου [J]

Q_V : οι θερμικές απώλειες λόγω μηχανικού και φυσικού αερισμού και διαφυγών αέρα από τις χαραμάδες [J]

1.5.2. Ενεργειακό Ισοζύγιο κατά τη περίοδο Ψύξης

Η αντίστοιχη μαθηματική έκφραση για αυτή τη περίπτωση είναι :

$$Q_i + Q_s + Q_{TH} + Q_{VH} = Q_C + Q_{TN} + Q_{VN} \text{ (Εξίσωση 1.5.2)}$$

Όπου,

Q_i : τα εσωτερικά θερμικά κέρδη από ηλεκτρικές / ηλεκτρονικές συσκευές, φωτισμό , ανθρώπους και κατοικίδια ζώα [J]

Q_s : τα ηλιακά θερμικά κέρδη από ανοίγματα και παθητικά ηλιακά συστήματα [J]

Q_{TH} : τα θερμικά κέρδη λόγω μετάδοσης της θερμότητας με αγωγιμότητα και ακτινοβολία, μέσα από το κέλυφος και τα ανοίγματα του κτιρίου κατά τη διάρκεια της ημέρας [J]

Q_{VH} : τα θερμικά κέρδη λόγω μηχανικού και φυσικού αερισμού και διαφυγών αέρα από τις χαραμάδες κατά τη διάρκεια της ημέρας [J]

Q_C : η ενεργειακή απαίτηση του συστήματος ψύξης [J]

Q_{TN} : οι θερμικές απώλειες λόγω μετάδοσης θερμότητας με ακτινοβολία και αγωγιμότητα μέσα από το κέλυφος και τα ανοίγματα του κτιρίου κατά τη διάρκεια της νύχτας [J]

Q_{VN} : οι θερμικές απώλειες λόγω μηχανικού και φυσικού αερισμού και διαφυγών αέρα από τις χαραμάδες κατά τη διάρκεια της νύχτας [J]

1.6. Επιδράσεις αλλοίωσης ποιότητας εσωτερικού αέρα

Εξετάζοντας τους παράγοντες που αναλύθηκαν στην παραπάνω ενότητα, εύκολα προκύπτει το συμπέρασμα ότι η πολυπλοκότητα και το πλήθος των παραγόντων επιβάλλουν την επίτευξη ικανοποιητικών συνθηκών και ειδικότερα του αερισμού εφόσον ο αερισμός αποτελεί συχνά το μοναδικό τρόπο απομάκρυνσης των ρύπων από το εσωτερικό όπως προαναφέρθηκε.

Η επικράτηση υψηλών συγκεντρώσεων ρύπων στο εσωτερικό των κτιρίων και ο μη επαρκής αερισμός επηρεάζει σε πολλές βαθμίδες τους ενοίκους. Την κυριότερη αποτελούν οι επιπτώσεις στην υγεία με ασθένειες να σημειώνονται αλλά και ενοχλήσεις και συμπτώματα όπως πονοκέφαλοι, ζαλάδες, υπνηλία, αίσθημα ξηρότητας στο λαιμό και στα μάτια, βήχας, καταρροή και άλλα. Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι από τις έρευνες που πραγματοποιήθηκαν προέκυψε ότι οι ένοικοι δεν γνώριζαν τους λόγους προέλευσης των συμπτωμάτων, απλώς τα αισθάνονταν.

Επιπτώσεις επίσης καταγράφονται στην απόδοση των εργαζομένων στα κτίρια γραφείων με την απόδοση των εργαζομένων να επηρεάζεται αρνητικά με την επικράτηση συνθηκών δυσφορίας. Σύμφωνα με μελέτες, η μειωμένη απόδοση εργαζομένων συνδεόταν με το άσχημο εργασιακό περιβάλλον το οποίο συνδεόταν με χαμηλή θερμική, οπτική και ηχητική άνεση.

Τα συμπτώματα αυτά οδήγησαν τους μελετητές στην χρήση του όρου «Σύνδρομο Άρρωστων Κτιρίων – Sick Building Syndrome» σε περιπτώσεις που καταγράφονται συμπτώματα ασθενείας στους ενοίκους αλλά χωρίς να καθίσταται δυνατός ο προσδιορισμός προέλευσής τους. Όπως χαρακτηριστικά αναφέρει ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας, τα άτομα που περνούν μεγάλο μέρος της μέρας τους σε κτίρια στεγανά και βιώνουν αυτό το σύνδρομο, *«κοστίζουν στην κοινωνία περισσότερο από όσο αυτή κερδίζει από τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας»* .

Η συμπτωματολογία του συνδρόμου δεν είναι σταθερή σε όλες τις περιπτώσεις και δεν έχει καθοριστεί πλήρως, αλλά εξαρτάται από την ευαισθησία και τον οργανισμό του κάθε ενοίκου. Τα συμπτώματα όμως που συναντώνται σε όλες τις περιπτώσεις είναι εκείνα της υπνηλίας, πονοκεφάλου, ενοχλήσεων στα μάτια και στη ρινική κοιλότητα. Σημαντικό κρίνεται να αναφερθεί επίσης το γεγονός, ότι όταν οι ένοικοι εγκαταλείπουν το κτίριο, τα συμπτώματα μετά από λίγη ώρα υποχωρούν.

Παρόλο που η σημασία και ανάγκη για επικράτηση υγιεινών συνθηκών στο εσωτερικό των χώρων είναι γνωστή ήδη από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα, τα πρώτα βήματα για αναγνώριση και αντιμετώπιση του προβλήματος της μειωμένης ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος έγιναν μόλις το 1974, κυρίως λόγω των κακής ποιότητας συνθηκών που επικρατούσαν μετά τον 2^{ο} Παγκόσμιο Πόλεμο. Η ποιότητα επηρεάστηκε κυρίως από το πρόβλημα αστικοποίησης που προκλήθηκε από τον πόλεμο και την αύξηση του κόστους εργασίας. Η άσχημη οικονομική κατάσταση των χωρών οδήγησε στη χρήση χαμηλής ποιότητας υλικών για την κατασκευή κτιρίων σε αντικατάσταση του ακριβού ξύλου. Επίσης, η εξάπλωση του PVC σε πολλά αντικείμενα οικιακής χρήσης όπως έπιπλα, γραφεία, εσωτερικό αυτοκινήτων κ.ά. σε συνδυασμό με την αλόγιστη χρήση νεοεισαχθέντων στην αγορά προϊόντων καθαρισμού όπως απορρυπαντικά, εντομοκτόνα, απολυμαντικά, αποσμητικά κτλ, οδήγησε στην υποβάθμιση της ποιότητας εσωτερικών χώρων. Η ενεργειακή κρίση του 1974 αποτέλεσε το τελειωτικό χτύπημα καθώς επιβλήθηκε η μόνωση και στεγανοποίηση των κτιρίων για μείωση της κατανάλωσης ενέργειας.

Στη σημερινή εποχή, ο ενεργειακός σχεδιασμός σε συνδυασμό με την επικράτηση συνθηκών θερμικής άνεσης και υψηλής ποιότητας εσωτερικού

αέρα, έχει οδηγήσει σε μεγάλη μείωση την εμφάνιση του συνδρόμου. Παρόλα αυτά, η εμφάνισή του σε ορισμένες περιοχές ευθύνεται κυρίως στο σύστημα εξαερισμού των κτιρίων καθώς και σε εσωτερικούς, υπαίθριους και βιολογικούς μολυσματικούς παράγοντες.

Κεφάλαιο 2
Ποιότητα Εσωτερικού Αέρα

2.1. Εισαγωγή

Στη σημερινή εποχή, το φαινόμενο της υποβάθμισης ποιότητας του εσωτερικού αέρα σε κατοικίες, συγκροτήματα γραφείων, δημόσια κτίρια και κτίρια παροχής υπηρεσιών και οι τρόποι με τους οποίους αντιμετωπίζεται, αποτελούν αντικείμενο πολλών επιστημόνων και ερευνητών και συγκεντρώνουν την προσοχή ολοένα και περισσότερων πολιτών. Η συσχέτιση δε του φαινομένου με αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία, στην παραγωγικότητα των ενοίκων και στην άνεσή τους εντός του κτιρίου, απαιτεί άμεση αντιμετώπιση και αποτελεσματική.

Η EPA (Environmental Protection Agency), σε έρευνα που δημοσιεύθηκε το 1990, θεωρεί ότι ανάμεσα στους πέντε σημαντικότερους περιβαλλοντικούς παράγοντες που επηρεάζουν την δημόσια υγεία συγκαταλέγεται η ρύπανση εσωτερικού αέρα. Προφανώς, η ποιότητα του εσωτερικού αέρα διαδραματίζει ιδιαίτερα σοβαρό ρόλο αν αναλογιστεί κανείς ότι τα επίπεδα της συγκέντρωσης ορισμένων ρύπων εντός των κτιρίων είναι υψηλότερα από ότι στο εξωτερικό περιβάλλον, ο αστικός πληθυσμός καταναλώνει περίπου το 90% του χρόνου του κατά τη διάρκεια της ημέρας εντός κάποιου κτιρίου αλλά και το γεγονός ότι τον περισσότερο χρόνο τους εντός των κτιρίων καταναλώνουν οι ευπαθείς ομάδες, δηλαδή οι ηλικιωμένοι και τα παιδιά.

Η **«ποιότητα εσωτερικού αέρα»** χρησιμοποιείται ευρέως ως όρος για την περιγραφή του αέρα σε ένα κλειστό περιβάλλον και **δηλώνει το βαθμό ρύπανσης στο χώρο αυτό που επηρεάζει την ανθρώπινη υγεία και ευεξία.** Σημαντικό κρίνεται σε αυτό το σημείο να αναφερθεί το γεγονός ότι, υπό μία ευρεία έννοια, ο όρος **περιλαμβάνει και τις θερμικές συνθήκες** που επικρατούν στο εσωτερικό του χώρου **παρόλο που αυτές συσχετίζονται τις περισσότερες φορές και μελετώνται με σκοπό τον προσδιορισμό της άνεσης παρά της ποιότητας εσωτερικού αέρα**.

Οι δύο κύριες διεργασίες οι οποίες επηρεάζουν σε μεγαλύτερο ποσοστό επομένως, και καθορίζουν τα επίπεδα της ποιότητας του αέρα είναι ο αερισμός (ventilation) και η συγκέντρωση των ρύπων στους εσωτερικούς χώρους. Εξάλλου, με βάση τους δύο αυτούς παράγοντες και τα ανώτερα όριά τους που έχει θεσπίσει τόσο η παγκόσμια κοινότητα, όσο και αυτά που ισχύουν για τον Ελληνικό χώρο και θα παρουσιαστούν στην συνέχεια, πραγματοποιείται ο ενεργειακός σχεδιασμός των κτιρίων. Πιο συγκεκριμένα, η ποιότητα του εσωτερικού αέρα αποτελεί τη βασική παράμετρο του ενεργειακού σχεδιασμού,

με τον ρυθμό αερισμού και την συγκέντρωση των ρύπων να μελετώνται και εξετάζονται σχολαστικά κατά τον σχεδιασμό αλλά και κατά τη λειτουργία του κτιρίου, για επικράτηση ικανοποιητικών συνθηκών.

2.2. Αέριοι Ρύποι στους Εσωτερικούς Χώρους

Οι ύπαρξη και οι υψηλές συγκεντρώσεις αέριων ρύπων στο εσώκλιμα, επηρεάζουν άμεσα την ανθρώπινη υγεία όπως πολλές φορές αναφέρθηκε. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας, η καύση στερεών καυσίμων στους εσωτερικούς χώρους είναι υπεύθυνη για 1,6 εκατομμύρια πρόωρους θανάτους το χρόνο, δηλαδή περισσότερους από τρεις ανθρώπους το λεπτό, και για το 1,3% ως 4% της παγκόσμιας επιβάρυνσης των ασθενειών (Warwick κ.α., 2004). Συνακόλουθα, έρευνες της EPA, φέρνουν στο φως στοιχεία όπως 1,5 εκατομμύριο σχολικές ήμερες οι οποίες χάνονται κάθε χρόνο παγκοσμίως σε όλα τα σχολεία λόγω της πρόκλησης άσθματος και ασθενειών από την υποβαθμισμένη ποιότητα του αέρα στα σχολεία και τις κατοικίες (πίνακας 2.2.).

Τα προβλήματα υγείας ξεκινούν στις περιπτώσεις ανίχνευσης συγκεντρώσεων των ρύπων εξαιρετικά υψηλών που ξεπερνούν τα ανεκτά για την ανθρώπινη υγεία όρια. Τους σημαντικότερους ατμοσφαιρικούς ρύπους αποτελούν το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), ο λεγόμενος «περιβαλλοντικός καπνός τσιγάρου» - (ETS, Environmental Tobacco Smoke), η φορμαλδεϋδη, η υγρασία, η μυρωδιά, το όζον, μόρια και πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs, Volatile Organic Compounds). Στο σύνολό τους, όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 1, προέρχονται από πηγές εντός του κτιρίου και συγκεκριμένα από τον εξοπλισμό του κτιρίου και την επίπτωση, την ανθρώπινη δραστηριότητα, τον εξοπλισμό του κτιρίου αλλά και από εξωτερικές πηγές : μολυσμένος αέρας, εκπομπές από γειτονικές πηγές κ.ά.

Το διοξείδιο του άνθρακα αποτελεί το πιο συχνά εμφανιζόμενο και στις υψηλότερες συγκεντρώσεις στοιχείο εξαιτίας του γεγονότος ότι προέρχεται από υλικά που περιέχουν άνθρακα αλλά κυρίως λόγω του ότι αποτελεί το κύριο προϊόν του ανθρώπινου μεταβολισμού. Οι παράγοντες αυτοί συνάδουν στο να αποτελεί το CO_2 και οι τιμές του στον εσωτερικό χώρο, τον σημαντικότερο δείκτη, μαζί με τον αερισμό, για την επικράτηση υψηλής ποιότητας αέρα.

Στον πίνακα 2.1 που ακολουθεί, παρατίθενται η ποσότητα CO_2 που παράγεται ανάλογα με τη μεταβολική δραστηριότητα των ενοίκων.

Δραστηριότητα	Μεταβολικό Ποσοστό [W]	Ποσοστό Παραγωγής CO_2 [l/s]
Στατική 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 2.1. Ποσοστό παραγωγής CO_2 για διάφορες δραστηριότητες [AIVC]

Σε υψηλές συγκεντρώσεις είναι δυνατό να προκαλέσει αναπνευστικά προβλήματα, λήθαργο και ναυτίες στους ενοίκους. Σύμφωνα με μελέτες της ASRHAE, έχει προκύψει κατηγοριοποίηση για τη συγκέντρωση του CO_2 και διακρίνει τρεις κατηγορίες σύμφωνα με τη τιμή της συγκέντρωσής του στο εσωτερικό του χώρου, υπό την προϋπόθεση ότι ο άνθρωπος αποτελεί τη μόνη πηγή ρύπανσης και στο εξωτερικό περιβάλλον η συγκέντρωση ανέρχεται σε 350 ppm.

A : 460 ppm , αντιστοιχεί σε δυσφορία για το 15 % των ενοίκων
B : 660 ppm , αντιστοιχεί σε δυσφορία για το 20 % των ενοίκων
C : 1190 ppm , αντιστοιχεί σε δυσφορία για το 30 % των ενοίκων

Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) είναι ευρέως γνωστό ως άοσμο, άγευστο και άχρωμο αέριο που εκλύεται από συσκευές θέρμανσης, μηχανοκίνητων οχημάτων και τσιγάρα. Αποτελεί προϊόν ελλιπούς καύσης και σε υψηλές συγκεντρώσεις είναι εξαιρετικά τοξικό, προκαλώντας θάνατο κατά την εισπνοή του.
Ο περιβαλλοντικός καπνός τσιγάρου (ETS) αντιστοιχεί στον καπνό που εκλύεται από τσιγάρα, πούρα, πίπες, το περιεχόμενο του οποίου περιλαμβάνει περισσότερες από 40 διαφορετικές, επικίνδυνες ουσίες. Οι περισσότερες από αυτές όπως η πίσσα, η νικοτίνη, αμμωνία, φορμαλδεΰδη, αρσενικό, μεθάνιο, κυανιούχο άλας, κάδμιο κτλ είναι άκρως τοξικές σε υψηλές συγκεντρώσεις καθώς επίσης και ιδιαίτερα εθιστικές.
Η φορμαλδεΰδη οφείλει την εμφάνισή της σε εσωτερικούς χώρους σε οικοδομικά υλικά, στο κάπνισμα, στη χρήση μηχανών καύσης. Πρόκειται για άχρωμο αέριο με χαρακτηριστική οσμή που προκαλεί αίσθηση καψίματος στα μάτια και στο λαιμό, δυσκολία στην αναπνοή και ναυτία.

Οι πτητικές οργανικές ενώσεις αποτελούν χημικές ουσίες που συγκρατούν διοξείδιο που συμμετέχουν σε φωτοχημικές αντιδράσεις στον περιβαλλοντικό αέρα. Είναι οργανικές ενώσεις που μπορούν να βρεθούν στη φάση ατμού στις περιβαλλοντικές θερμοκρασίες. Τα VOCs έχουν διάφορες πηγές που σχετίζονται με οικοδομικά υλικά όπως η διαδικασία βαψίματος, η χρήση διαλυτών, η αποθήκευση καυσίμων, η κάλυψη με τάπητα, οι κόλλες, τα μηχανοκίνητα οχήματα, ο καπνός του τσιγάρου, τα λουτρά και τα καλλυντικά, οι προμήθειες καθαρισμού. Γενικά, παράγονται όταν ορισμένα προϊόντα καταναλώνονται. Ορισμένες μελέτες δείχνουν ότι η εσωτερική συγκέντρωση των περισσότερων VOCs είναι δύο έως δέκα φορές υψηλότερη από των υπαίθριων.

Ο πίνακας που ακολουθεί (πίνακας 2.2) παρουσιάζει τις πηγές εκπομπής και τους αντίστοιχους ρύπους σε εσωτερικούς χώρους εκπαιδευτικών κτιρίων (αίθουσες διδασκαλίας, γυμναστήρια, βιβλιοθήκες, κυλικεία κτλ),η χρήση των οποίων οδηγεί σε προβλήματα υγείας όπως άσθμα, αλλεργίες, χιλιάδων παιδιών παγκοσμίως.

Χώρος	**Πηγές**	**Ρύποι**
Αίθουσα Διδασκαλίας	Πάτωμα	Φορμαλδεΰδη, τολουόλιο, ξυλόλια, στυρόλιο, ,μύκητες
	Οροφή	Μικρόβια, μύκητες, βακτήρια
	Ανθρώπινη Δραστηριότητα	CO_2, CO
	Προϊόντα Καθαρισμού	Τοξικές ουσίες, φορμαλδεΰδη, αλισίβα
	Νιπτήρας	Βακτήρια, μόλυβδος, εμφάνιση ινών
	Χρώματα Ζωγραφικής	Τοξικές ουσίες
	Θερμομονωτικά Υλικά	Ίνες , VOCs
	Έδρανα	VOCs, βαρέα μέταλλα, φορμαλδεΰδη
	Κουρτίνες	Φορμαλδεΰδη, αλδεΰδες,
	Άρωμα	Τοξικές ουσίες
	Κιμωλία	Ανθρακικό ασβέστιο
	Ντύσιμο	Μύκητες, βακτήρια
Γυμναστήριο	Ανθρώπινη δραστηριότητα	CO_2, CO
	Πάτωμα	Φαινόλη, φορμαλδεΰδη
	Συνθετικό γυαλί	Ίνες
	Σύστημα αεραγωγών	Ανάπτυξη μικροοργανισμών
	Αποδυτήρια	Τοξικές ουσίες, βακτήρια, ιοί

Ββλιοθήκη	Μοκέτα	Τοξικές ουσίες , βακτήρια
	Η/Υ	Όζον, VOCs, Φωσφορικό οξύ
	Φωτοτυπικό	VOCs, όζον, NO, σωματίδια γραφίτη, ατμοί αμμωνίας
	Εκτυπωτής	Αλδεΰδες, φορμαλδεΰδη, στυρόλιο, υδρογονάνθρακες, όζον
	Ταπετσαρία	VOCs, φορμαλδεΰδη
	Διαχωριστικά εσωτερικών χώρων	Φορμαλδεΰδη, τολουόλιο, βενζόλιο
	Κουρτίνες	Φορμαλδεΰδη, αλδεΰδες
	Έπιπλα	Φορμαλδεΰδη, VOCs, τοξικές ενώσεις
	Σύστημα αεραγωγών	Ανάπτυξη μικροβίων, ιοί
Κυλικείο	Καπνός τσιγάρου	CO, φορμαλδεΰδη, βενζόλιο, υδραζίνη
	Πάτωμα	Στυρόλιο, τολουόλιο, φορμαλδεΰδη
	Απορρίμματα	Βακτήρια, μύκητες
	Προϊόντα Καθαρισμού	Τοξικές ουσίες
	Ανθρώπινη Δραστηριότητα	CO_2, CO
	Πλαστικά Προϊόντα	DEHP, DINP
	Φούρνος	CO_2, SO_2, NO_2, βακτήρια
	Νιπτήρας	Βακτήρια, ιοί
Εργαστήριο	Ανθρώπινη Δραστηριότητα	Χημικές Ουσίες πειραμάτων

Πίνακας 2.2. – Πηγές εκπομπής και αντίστοιχοι ρύποι σε εσωτερικούς εκπαιδευτικούς χώρους

Μελετώντας τον πίνακα, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι την ευθύνη για τις εκπομπές των περισσότερων ρύπων φέρουν τα υλικά και ο εξοπλισμός του χώρου αλλά και η ανθρώπινη παρουσία και δραστηριότητα. Ο τρόπος αντιμετώπισής τους προτείνει τη χρήση υλικών περιβαλλοντικά φιλικών ,με οικολογικό χαρακτήρα, η χρήση των οποίων προωθείται από την παγκόσμια κοινότητα τα τελευταία χρόνια.

Στην περίπτωση της ανθρώπινης δραστηριότητας όμως και του μεταβολισμού, δεν είναι δυνατή η βελτίωση των τιμών των ρύπων (δηλαδή του CO_2 κυρίως και του CO) λόγω του ότι είναι αδύνατο να απομακρυνθούν οι χρήστες από το εσωτερικό του κτιρίου ή να μειωθεί ο χρόνος εργασίας τους εντός αυτού. Τρόπος αντιμετώπισης των υψηλών συγκεντρώσεων του CO_2 αποτελεί ο επαρκής και σωστός αερισμός, είτε με μηχανικά μέσα είτε με φυσικό τρόπο.

2.3. Αερισμός

Ο μηχανισμός του αερισμού βασίζεται στην ανανέωση του εσωτερικού αέρα με φρέσκο από το εξωτερικό περιβάλλον. Σε όλα τα κτίρια απαιτείται η εφαρμογή του με σκοπό τη διατήρηση της ποιότητας του αέρα σε ικανοποιητικές για τους ενοίκους συνθήκες όσον αφορά την παροχή οξυγόνου

στο χώρο, την απομάκρυνση οσμών και την διάλυση ρύπων, καθώς και για την επίτευξη θερμικής άνεσης. Μέσα από τα παραπάνω, γίνεται εύκολα αντιληπτός ο λόγος για τον οποίο η θερμική άνεση συνδέεται άμεσα με τον αερισμό κατά το σχεδιασμό και λειτουργία του κτιρίου. Το ελάχιστο ποσοστό αέρα που πρέπει να εισέρχεται καθορίζεται από τις εσωτερικές απαιτήσεις του χώρου έτσι ώστε η μέγιστη συγκέντρωση για κάθε ρύπο να είναι μικρότερη από τη μέγιστη αποδεκτή τιμή.

Δίχως αερισμό στα κτίρια, δυσμενείς συνθήκες για την ανθρώπινη υγεία θα επικρατούσαν και ένα συνεχές αίσθημα δυσαρέσκειας στους χρήστες του. Πιο συγκεκριμένα, οσμές, εμφάνιση υψηλών τιμών υγρασίας που θα οδηγούσαν στην παρουσίαση μούχλας, ιδιαίτερα υψηλές ή χαμηλές τιμές θερμοκρασίας, σκόνη, τοξικά αέρια από την ανθρώπινη δραστηριότητα και πλήθος άλλων διεργασιών θα έκαναν την εμφάνισή τους, προκαλώντας προβλήματα υγείας και χρήσης του χώρου.

Ο υπολογισμός συνεπώς της απαιτούμενης εισροής του αέρα στο εσωτερικό για επίτευξη των παραπάνω στόχων, κρίνεται ιδιαίτερα σημαντικός και προκύπτει τόσο από μαθηματικές εξισώσεις όσο και από μετρήσεις στο πεδίο αλλά και μέσω προγράμματα προσομοιώσεων των κτιρίων και της λειτουργίας τους. Κρίσιμο είναι να προσδιοριστεί ο σωστός ρυθμός αέρα κατά τη σχεδίαση του κτιρίου ώστε να επικρατούν ικανοποιητικές συνθήκες αλλά και επίσης, ο συνεχής έλεγχος της ροής κατά τη λειτουργία του κτιρίου. Η μαθηματική σχέση που προσδιορίζει τον ρυθμό αερισμού είναι η εξής :

——— (Εξίσωση 2.3.1)

Όπου,

Q, ο απαιτούμενος ρυθμός αερισμού (l/s)

G, ο συνολικός ρυθμός εκπομπής του ρύπου (mg/sec)

C_i, το υφιστάμενο από τα διεθνή πρότυπα όριο συγκέντρωσης του ρύπου (mg/l)

C_0, η συγκέντρωση του ρύπου στον εξωτερικό αέρα (mg/l)

E_v, η αποτελεσματικότητα του αερισμού

Η ύπαρξη πολλών διαφορετικών ρύπων όπως παρουσιάστηκε παραπάνω αναλυτικά, απαιτεί τον υπολογισμό απαιτούμενου ρυθμού αέρα για τον εκάστοτε ρύπο και στη συνέχεια την εξαγωγή αποτελεσμάτων με βάση την μεγαλύτερη υπολογιζόμενη τιμή από αυτές που προέκυψαν.

Σημειώνεται ότι κατά τη καλοκαιρινή περίοδο ο ρυθμός αερισμού είναι μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο του χειμώνα, δηλαδή το ελάχιστο ποσοστό ροής είναι μεγαλύτερο από τον απαιτούμενο ρυθμό αέρα για την διατήρηση της υγιεινής. Η ενέργεια αυτή πραγματοποιείται για την φυσική ψύξη του

κτιρίου. Αντίστοιχα, κατά τη διάρκεια του χειμώνα, ο απαιτούμενος ρυθμός αέρα καθορίζεται από τον ρυθμό που εξασφαλίζει συνθήκες υγιεινής εντός του χώρου.
Ανάλογα με τον τρόπο αερισμού που εφαρμόζεται σε ένα κτίριο, διακρίνεται σε φυσικά αεριζόμενο κτίριο ή κτίριο με μηχανικά μέσα αερισμού.

Φυσικός Αερισμός

Ο φυσικός αερισμός επιτυγχάνεται μέσω δύο διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στο κτίριο : α) στην εισροή του αέρα μέσω των αρμών του κελύφους (διήθηση – infiltration), β) στον άμεσο και εκτεταμένο αερισμό μέσω ανοιχτών παραθύρων και ανοιγμάτων που υπάρχουν στο κτίριο (ventilation).
Ο φυσικός αερισμός μέσω της διήθησης αέρα οφείλεται στη διαφορά πίεσης στο κέλυφος του κτιρίου. Η διαφορά αυτή υφίσταται λόγω των διαφορετικών τιμών ανέμου και πυκνότητας αέρα μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος. Η διαφορά αυτή της πίεσης ,ΔP, είναι δυνατό να προκύψει μέσω της μαθηματικής σχέσης :

$$\Delta P = P_0 + P_W - P_i + \Delta P_S \text{ (Εξίσωση 2.3.2)}$$

Όπου,
P_0, η υψομετρική πίεση
P_W, η πίεση του ανέμου
P_i, η πίεση από το εσωτερικό του κτιρίου
ΔP_S, η διαφορά πυκνότητας μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος

Η πίεση του ανέμου P_W προσδιορίζεται εύκολα μέσω της εξίσωσης Bernoulli :

$$P_W = (\rho/2) \cdot C_p \cdot W^2 \text{ (Εξίσωση 2.3.3)}$$

Όπου,
ρ , η πυκνότητα του αέρα (kg/m^3)
C_p , συντελεστής πίεσης επιφάνειας
W, η μέση ταχύτητα του αέρα στο επιθυμητό ύψος

Η πίεση του ανέμου αναφέρεται στη θετική και αρνητική πίεση στο κέλυφος ενός κτιρίου, όταν αυτό βάλλεται από τον άνεμο. Θετική πίεση δημιουργείται στην πλευρά που φυσάει ο αέρας και αρνητική πίεση στην αντίθετη πλευρά. Οι πιέσεις στις άλλες πλευρές μεριές του κτιρίου, εξαρτώνται από το σχήμα του κτιρίου και την κατεύθυνση του αέρα.
Η διαφορά πυκνότητας και θερμοκρασίας συνακόλουθα, ευθύνεται για την ύπαρξη του φυσικού αερισμού των κτιρίων. Η διαφορά αυτών των δύο παραμέτρων μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος, δημιουργεί

ένα φυσικά δημιουργούμενο δυναμικό σύστημα αερισμού. Η δημιουργία του συστήματος αυτού στο φαινόμενο της πυκνότητας του αέρα σε υψηλή και χαμηλή θερμοκρασία. Όπως είναι ευρέως γνωστό, ο θερμός αέρα έχει μικρότερη πυκνότητα και είναι πιο ελαφρύς από τον ψυχρό που είναι βαρύτερος εξαιτίας της μεγαλύτερης πυκνότητάς του. Η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού του κτιρίου, δημιουργεί «κενά» στην ομοιογένεια της πυκνότητας με αποτέλεσμα να τα αισθάνεται το άτομο ως ρεύματα αέρα. Στο εσωτερικό του κτιρίου, παρατηρείται το φαινόμενο της καμινάδας, δηλαδή της ανύψωσης του θερμού αέρα με σκοπό την διαφυγή του από το κτίριο την ίδια στιγμή που ο ψυχρός αέρας καταλαμβάνει τα κατώτερα στρώματα του χώρου αναπληρώνοντας το κενό που άφησε ο εσωτερικός αέρας. Ένα σωστά σχεδιασμένο σύστημα αερισμού πρέπει να είναι σχεδιασμένο με τέτοιο τρόπο, ώστε να εκμεταλλεύεται το φαινόμενο αυτό κατά τη λειτουργία του.

Στην περίπτωση των παραθύρων και των ανοιγμάτων, οι υπολογισμοί και τα φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα είναι πολυπλοκότερα και βασίζονται στην διαφορά των συγκεντρώσεων αέρα, στων ρευμάτων αέρα που εισέρχονται, στην θερμοκρασία και πλήθος άλλων παραγόντων. Συγκεκριμένα, ο φυσικός αερισμός βελτιώνεται όταν τα παράθυρα ή ανοίγματα του κτιρίου βρίσκονται το ένα δίπλα στο άλλο και μεγιστοποιείται όταν βρίσκονται παρακείμενα λόγω του ότι υποχρεώνουν τον αέρα να αλλάξει κατεύθυνση. Ένας ορθός σχεδιασμός ανοιγμάτων βελτιώνει τον φυσικό αερισμό και αυτό επιτυγχάνεται μέσω τριών μεθόδων :

1. **Της Απλοποιημένης Εμπειρικής φόρμουλας**

Βασίζεται σε εξισώσεις υπολογισμού του ρυθμού εναλλαγής αέρα σε σχέση με την επιφάνεια των ανοιγμάτων ενός κτιρίου. Οι εξισώσεις αυτές είναι σχετικά απλές και παραδείγματα αυτής της μεθοδολογίας είναι η μέθοδος ASHRAE 1993, η Απλοποιημένη Μέθοδος (Πανεπιστήμιο Αθηνών), η μέθοδος του Aynsley και των συνεργατών του, η μέθοδος ηλιακής ενέργειας της Φλόριδας 1(για ομοιόμορφα ανοίγματα) και 2(για μη ομοιόμορφα ανοίγματα).

2. **Η προσέγγιση σε ζώνες**

Η μέθοδος αυτή, έχει ως βάση της την αρχή διατήρησης της μάζας, σύμφωνα με την οποία, κάθε περιοχή ενός κτιρίου απλοποιείται σε κομβικά σημεία. Οι χώροι ή τα δωμάτια του εσωτερικού αντιπροσωπεύονται από κόμβους πίεσης ενώ τα εξωτερικά σημεία του κτιρίου από κόμβους ορίων. Τα κομβικά αυτά σημεία ενώνονται από τη ροή του αέρα, δημιουργώντας ένα δίκτυο το οποίο, προσεγγίζεται από εξισώσεις που αντιπροσωπεύουν τα κύρια χαρακτηριστικά ροής κάθε ανοίγματος καθώς και τις δυνάμεις που τα υποκινούν. Μέσω αυτής της τεχνικής επιτυγχάνεται σωστός σχεδιασμός των ανοιγμάτων για επαρκή φυσικό αερισμό και υπολογίζει το ποσοστό μηχανικού και φυσικού

εξαερισμού, το μέγεθος, την κατεύθυνση και την ταχύτητα διείσδυσης του αέρα, τις εσωτερικές πιέσεις και τον τρόπο ροής του αέρα μεταξύ των ζωνών.
Στην περίπτωση αυτών των μοντέλων υπάρχει διαφοροποίηση εάν είναι μονοζωνικά ή πολυζωνικά. Σε κάθε περίπτωση όμως επιβάλλεται να συμπεριληφθούν όλα τα ανοίγματα κατά τους υπολογισμούς για αποφυγή μεγάλων αποκλίσεων στα αποτελέσματα από τις πραγματικές συνθήκες.

3. Η Υπολογιστική Υδροδυναμική (Computational Fluid Dynamics)

Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται σε περιπτώσεις που οι συγκεντρώσεις του αέρα δεν είναι σταθερές και απαιτούνται επιπλέον πληροφορίες για τη ροή και διανομή του αέρα. Οι πληροφορίες αυτές είναι η ροή του αέρα των δωματίων και μεγάλων γειτονικών χώρων, η απόδοση εναλλαγής αέρα, η αποτελεσματικότητα μείωσης της εσωτερικής ρύπανσης, η διανομή θερμοκρασίας, ταχύτητας αέρα, αναταραχής και πίεσης, η ροή του αέρα γύρω από το κτίριο και η μετακίνηση του καπνού σε περιπτώσεις πυρκαγιάς εντός του κτιρίου.
Η μέθοδος βασίζεται σε βασικές αρχές της υδροδυναμικής, που εξετάζεται η συμπεριφορά υγρού σωματιδίου, το οποίο παραμορφώνεται εύκολα και λαμβάνεται υπόψη την κίνηση της σχετικής μάζας (η οποία δεν είναι απλά περιστροφική όπως στη περίπτωση στερεού σωματιδίου) και την ταχύτητα στο χώρο για συγκεκριμένο χρόνο. Η περιγραφή των παραπάνω γίνεται μέσω των εξισώσεων του Euler και του Lagrange. Η περιγραφή κατά Euler λαμβάνει υπόψη την πίεση και την πυκνότητα συναρτήσει του χώρου και του χρόνου στο πεδίο. Η περιγραφή αντίστοιχα κατά Lagrange θέτει ως βάση της τους νόμους του Νεύτωνα καθώς και τις βασικές αρχές της θερμοδυναμικής. Με βάση αυτά, γίνεται διαχωρισμός της κάθε μονάδας σε 30.000 κομμάτια, για το καθένα από τα οποία υπολογίζεται η ροή και όλες οι παράμετροι που την καθορίζουν σύμφωνα με τα όσα προαναφέρθηκαν (ταχύτητα, πίεση κτλ). ο διαχωρισμός παρέχει τη δυνατότητα εστίασης σε κομμάτια που έχουν περισσότερο ενδιαφέρον για τον μελετητή λόγω του ότι δεν απαιτείται να είναι ομοειδής. Γενικά ως μέθοδος, αποτελεί την πιο διαδεδομένη και ευρέως χρησιμοποιούμενη λόγω των καλών γραφικών που έχει το προγραμματικό της περιβάλλον και της ακρίβειας των αποτελεσμάτων αν ο χρήστης εφαρμόσει σωστά τα βήματα.
Σε γενικές γραμμές, ο φυσικός αερισμός χαρακτηρίζεται από καλή ανακύκλωση του αέρα αν ο αριθμός των ανοιγμάτων είναι ικανοποιητικός, δεν απαιτεί υψηλό κόστος συντήρησης και χώρο για νέα μηχανήματα και είναι πολύ οικονομικός. Παρόλα αυτά, υπάρχει η πιθανότητα να δημιουργηθούν προβλήματα στην ποιότητα του εσωτερικού αέρα, δεν είναι αρκετά αποδοτικό σε μεγάλα αστικά κέντρα, πολύ μολυσμένες περιοχές και ακραία κλίματα καθώς εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από της γεωγραφική περιοχή και τα

χαρακτηριστικά της. Συνακόλουθα, το φιλτράρισμα του αέρα δεν είναι εύκολα πραγματοποιήσιμο καθώς επίσης ο έλεγχος του εξαερισμού είναι περιορισμένος.

Μηχανικός Αερισμός

Ο μηχανικός αερισμός επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση και χρήση μηχανημάτων εντός του κτιρίου όπως σύστημα HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning System), ανεμιστήρες οροφής κτλ. Ο αερισμός, ο έλεγχος της θερμοκρασίας, της υγρασίας, το φιλτράρισμα του αέρα, ο ρυθμός εναλλαγής του αέρα και των άλλων παραμέτρων, επιτυγχάνονται μέσω μηχανικών μέσων. Ο τρόπος λειτουργίας των συστημάτων αυτών βασίζεται σε δύο μεθοδολογίες : **στην παροχή αέρα** για μείωση της πυκνότητας των εσωτερικών ρύπων και απομάκρυνση ίδιου όγκου μολυσμένου αέρα με τον εισαγόμενο, και **στην εκτόπιση** του ρύπου από την πηγή προέλευσής του πριν προλάβει να διαχυθεί στο χώρο.

Ο μηχανικός αερισμός περιλαμβάνει τα είδη των

- μηχανικού εξαερισμού,
- τον μηχανικό αερισμό με παροχή αέρα,
- τον ελεγχόμενο αερισμό καθώς και
- συνδυασμούς παροχής αέρα οι οποίοι ονομάζονται Ισορροπημένοι συνδυασμοί Μηχανικού Αερισμού.

Οι Ισορροπημένοι συνδυασμοί Μηχανικού Αερισμού αποτελούνται επίσης από τα παρακάτω συστήματα :

I. Ισορροπημένος Μικτός Μηχανικός Αερισμός
II. Ισορροπημένη Εκτόπιση Μολυσμένου Αέρα

Όπως εύκολα μπορεί να αντιληφθεί κανείς, εάν η σχεδίαση των παραπάνω μηχανισμών είναι σωστή και ολοκληρωμένη, τότε το κτίριο που θα εφαρμοστούν, θα χαρακτηρίζεται από υψηλής ποιότητας εσωτερικό αέρα με τις διαδικασίες αερισμού, εξαερισμού, φιλτραρίσματος του αέρα να πραγματοποιούνται επιτυχώς και τις τιμές της θερμοκρασίας, υγρασίας και των λοιπών παραμέτρων θα ανέρχονται στα επιθυμητά επίπεδα ώστε να επικρατεί θερμική άνεση, υπό την προϋπόθεση ότι η χρήση τους θα γίνεται ορθά από τους χρήστες. Παρόλα αυτά, όλα τα συστήματα χαρακτηρίζονται από υψηλό κόστος τοποθέτησης και συντήρησης και σε ορισμένες περιπτώσεις το κτίριο θα πρέπει αν είναι εντελώς μονωμένο, δεν θα καθίσταται δυνατός ο πλήρης έλεγχος ορισμένων παραμέτρων κ.ά.

2.4. Οδηγίες και κανονισμοί ποιότητας εσωτερικού αέρα

2.4.1. Ιστορική αναδρομή

Η επικράτηση συνθηκών ικανοποιητικής ποιότητας αέρα και άνεσης για χρήση ενός εσωτερικού χώρου, τέθηκε ως ζήτημα ήδη από την αρχή της εγκατάστασης του ανθρώπου σε σπήλαια, περίπου 2 εκατομμύρια χρόνια πριν. Η εύρεση από μελετητές της εποχής, μεγάλων ανοιγμάτων που είχαν δημιουργηθεί στο πάνω μέρος των σπηλαίων, μαρτυρά το πρώτο ίσως είδος εξαερισμού που ο άνθρωπος κατασκεύασε για την διαφυγή του καπνού από το εσωτερικό του χώρου.

Οι πρώτες πραγματικές μελέτες για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα βασισμένες σε αποτελέσματα επιστημόνων, σημειώθηκαν πολύ αργότερα, τη σημερινή εποχή, κατά τη δεκαετία του ’60. Συγκεκριμένα, μελέτες για την αέρια ρύπανση συντελέστηκαν το 1965 αλλά τα πρώτα αποτελέσματα δημοσιεύθηκαν μόλις το 1975. Αποτελέσματα οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι η εξωτερική ατμοσφαιρική ρύπανση επηρεάζει άμεσα το εσωτερικό περιβάλλον και της συνθήκες που το διακατέχουν, συνεπώς οι έρευνες άρχισαν να επικεντρώνονται και στο εσωτερικό των κτιρίων.

Στις μέρες μας, το τοπίο έχει μεταβληθεί και έχει δοθεί ιδιαίτερη προσοχή σε ζητήματα ποιότητας εσωτερικού αέρα σε σχέση με το πρόσφατο παρελθόν. Οι οδηγίες ποιότητας εσωτερικού αέρα από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας, αποτελούν σημαντικό επίτευγμα για την πολιτική του οργανισμού αλλά κυρίως για τους ίδιους τους ανθρώπους αφού η ποιότητα αέρα αποτελεί βασική συνιστώσα της ανθρώπινης υγείας και της ευημερίας εντός εσωτερικού χώρου. Η Ευρωπαϊκή Ένωση εστίασε μέχρι σήμερα στα ζητήματα, κατεξοχήν, της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα. Υπό την έννοια αυτή προτεραιότητα δόθηκε στην ανάπτυξη ενός νομικού πλαισίου αναφορικά με τα πρότυπα ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα, με τις μέγιστες εκπομπές ρύπων σε εθνικό επίπεδο και με τις μέγιστες επιτρεπόμενες εκπομπές ρύπων από τα οχήματα και τις βιομηχανίες. Η τρέχουσα στρατηγική επικεντρώνεται στην ποιότητα αέρα στο αστικό περιβάλλον με στόχο την αποτελεσματική προστασία της υγείας των ευρωπαίων πολιτών. ωστόσο, από το Έκτο Σχέδιο δράσης για το Περιβάλλον τα ζητήματα της ποιότητας του εσωτερικού αέρα βρίσκονται στο κέντρο του ενδιαφέροντος. (EEC, 2002)

2.4.2. Διαφοροποιήσεις μεταξύ Κανονισμού και Οδηγίας

Ο ρόλος των οδηγιών ποιότητας εσωτερικού αέρα, σύμφωνα με τον ΠΟΥ, είναι να παρέχουν μία βάση για την προστασία της δημόσιας υγείας από τις επιβλαβείς συνέπειες της ρύπανσης του αέρα και να εξαλείψουν ή μειώσουν στο ελάχιστο αυτούς τους αέριους ρύπους που είναι γνωστό ή πιθανό να έχουν επιβλαβείς συνέπειες για την ανθρώπινη υγεία και ευεξία. (WHO, 1987)

Αντίθετα, ένας κανονισμός ποιότητας αέρα αποτελεί μια περιγραφή ενός επιπέδου ποιότητας αέρα, ο οποίος υιοθετείται από μία νομοθετική αρχή και επιβάλλεται στους χρήστες των κτιρίων. Μέσα από τους δύο παραπάνω ορισμούς υπογραμμίζεται η διαφορά μεταξύ κανονισμών και οδηγιών. Οι οδηγίες δεν διακρίνονται από καθολικότητα και απαίτηση εφαρμογής της αλλά έχει ως σκοπό την παροχή πληροφοριών για την ανάπτυξη, διαμόρφωση και θεσμοθέτηση των κανονισμών. Όταν ένας αναγνωρισμένος οργανισμός παρουσιάσει μια οδηγία – τιμή , τότε καθίσταται ευκολότερη η διαδικασία για την θεσμοθέτηση της μέσω ενός κανονισμού. Αλλά και σε αυτή τη περίπτωση, πρέπει να ληφθούν υπόψη παράλληλα πολλοί παράγοντες όπως τα επίπεδα έκθεσης, οι περιβαλλοντικές, πολιτικές, πολιτισμικές και οικονομικές συνθήκες των χωρών στις οποίες θα εφαρμοστεί ο κανονισμός.

2.4.3. Οδηγίες ποιότητας εσωτερικού αέρα – Ανάπτυξη Οδηγιών

Η ανάπτυξη, διατύπωση και εφαρμογή των οδηγιών και των κανονισμών αποσκοπούν στον έλεγχο των πηγών εκπομπής ρύπων και στην καταγραφή των αέριων ρύπων στην ατμόσφαιρα ή την εφαρμογή μοντέλων για την διάχυση της ατμόσφαιρας με σκοπό τα αποτελέσματα αυτών των ερευνών να αποτελέσουν οδηγό για την ανθρώπινη συμπεριφορά και ορθολογική χρήση εντός των κτιρίων. Από την άλλη πλευρά, η στρατηγική εφαρμογής οδηγιών και κανονισμών δεν αποτελεί ίσως την καταλληλότερη επιλογή. Το γεγονός αυτό οφείλεται σε δύο φαινόμενα : αφενός στο πλήθος, την πολυπλοκότητα και την αλληλεξάρτηση των παραγόντων που επηρεάζουν την ποιότητα εσωτερικού αέρα και καθιστούν δύσκολη την εξαγωγή ομόφωνων αποτελεσμάτων και, αφετέρου, η μοναδικότητα του εκάστοτε εσωκλίματος που εξετάζεται. Πιο συγκεκριμένα, ο κάθε υπό μελέτη εργασιακός ή οικιστικός χώρος, χρησιμοποιείται με διαφορετικό τρόπο από τους ενοίκους και πολλές δραστηριότητες δεν πραγματοποιούνται με τον ίδιο τρόπο σε όλα τα είδη κτιρίων όπως η συχνότητα του καπνίσματος, ο τρόπος και τα απορριπαντικά καθαρισμού, ο εξοπλισμός που περιλαμβάνει, η χρήση και συντήρηση του συστήματος ψύξης – θέρμανσης κτλ. Αυτή η μοναδικότητα και η ανομοιομορφία σε κάθε εσωτερικό χώρο που εξετάζεται καθιστούν δύσκολο τον έλεγχο και προσδιορισμό της ποιότητας εσωτερικού αέρα στη βάση των κανονισμών και των οδηγιών.

Παρόλα αυτά, η σημαντικότητα του προβλήματος της ποιότητας αέρα και το αυξανόμενο ενδιαφέρον και ανησυχίες από την πλευρά τόσο της επιστημονικής κοινότητας όσο και των πολιτών για επικράτηση ικανοποιητικών συνθηκών στους χώρους, οδήγησε τη διεθνή κοινότητα στην εφαρμογή οδηγιών και κανονισμών. Στη διατύπωση και παρουσίαση των οδηγιών, λόγω της πολυπλοκότητας του θέματος, εμπλέκονται πολλοί φορείς

όπως οργανισμοί υγείας, ασφάλειας και προστασίας καταναλωτών, οργανισμοί για έλεγχο της αέριας ρύπανσης, για επικράτηση συνθηκών υγιεινής σε χώρους εργασίας και εκπαιδευτικά κτίρια καθώς και οργανισμοί για τη διατύπωση κτιριακών και αρχιτεκτονικών κανονισμών.

Σε διεθνές επίπεδο, τον σημαντικότερο ρόλο στην ανάπτυξη οδηγιών διαδραματίζει η ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers) και ο ΠΟΥ (Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας). Βιβλιογραφικά και ερευνητικά κριτήρια για το εσωτερικό περιβάλλον έχουν επίσης καθοριστεί από την ISO (International Organization for Standardization) και την Ευρωπαϊκή CEN (European Committee for Standardization).

Ο αερισμός αναγνωρίστηκε ως η σημαντικότερη παράμετρος μελέτης λόγω του ότι αποτελεί τον βασικό τρόπο διατήρησης ικανοποιητικής ποιότητας εσωτερικού αέρα ήδη από τον 18^{ο} αιώνα. Τον επόμενο αιώνα, εξαιτίας της ραγδαίας βιομηχανικής ανάπτυξης και της τεράστιας οικιστικής ανάπτυξης σε μεγάλα αστικά και βιομηχανικά κέντρα, η συσχέτιση μεταξύ αερισμού και ποιότητας εσωτερικού αέρα, κατέστη σαφέστερη. Ο T. Tredgold, το 1836, δημοσίευσε στην Αμερική τις πρώτες εκτιμήσεις του ρυθμού αερισμού λαμβάνοντας υπόψη στις μελέτες του τον ανθρώπινο μεταβολισμό. Ο ελάχιστος ρυθμός αερισμού πέρασε από πολλές διακυμάνσεις μέχρι την αρχή της δεκαετίας του ’70 όπου η πετρελαϊκή κρίση παραμέρισε την ποιότητα του εσωτερικού αέρα στις μελέτες και το βάρος μετατοπίστηκε στην αεροστεγανότητα και μόνωση των κτιρίων με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας και καυσίμου. Επιβλήθηκαν αυστηροί κανονισμοί για τις απώλειες ενέργειας λόγω μετάδοσης θερμότητας και για χρήση υψηλής ποιότητας θερμομονωτικών υλικών, γεγονός το οποίο οδήγησε σε σχετική αύξηση ψυκτικών και θερμικών φορτίων, παρόλο που ο αερισμός ήταν σε ιδιαίτερα χαμηλά επίπεδα (2.5 l/sec/άτομο).

Ο συνδυασμός των παραπάνω ενεργειών οδήγησε, στην εμφάνιση ενός νέου φαινομένου που αναμενόταν να αποτελέσει αντικείμενο ιδιαίτερης προσοχής και πολλών μελετών λόγω των δυσμενών επιπτώσεών του στην ανθρώπινη υγεία, την υποβάθμιση της ποιότητας εσωτερικού αέρα.

Οι οδηγίες που παρουσιάστηκαν στην συνέχεια και εφαρμόστηκαν από την παγκόσμια κοινότητα, έδωσαν ιδιαίτερη προσοχή στη διασφάλιση της ποιότητας εσωτερικού αέρα. Το κύριο πρότυπο της ASHRAE που αντιμετωπίζει τα θέματα ποιότητας εσωτερικού αέρα, εκδόθηκε το 1973 και έκτοτε αναθεωρείται ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Είναι το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο σε διεθνές επίπεδο και έχει την ονομασία πρότυπο 62.1 και ανανεώθηκε τελευταία φορά το 2004.

2.4.4. Οδηγίες Αερισμού

Η καθιέρωση του αερισμού ως βασικότερη παράμετρο για την επικράτηση συνθηκών υψηλής ποιότητας εσωτερικού αέρα και θερμικής άνεσης, εναπόθεσε το βάρος των μελετητών στην μελέτη και παρουσίαση οδηγίας για τις τιμές αυτού. Μακροχρόνιες μελέτες της ASHRAE και αποτύπωσή τους στο Standard 62.1, καθώς και της CEN με ανάπτυξη της τεχνικής οδηγίας CR1752 (θέτοντας ως βάση της την οδηγία TC156), μέσω αναλυτικών διαδικασιών για τον υπολογισμό καθορισμένου ρυθμού αερισμού, συνέταξαν τους πίνακες τιμών των παραμέτρων που αναρτώνται ακολούθως. Οι αναλυτικές αυτές διαδικασίες περιλαμβάνουν υπολογισμούς με βάση τον τύπο του ρυπαντή, τον ρυθμό εκπομπής του ρύπου και την αποδεκτή τιμή συγκέντρωσής του στο εσωτερικό περιβάλλον. Αξίζει να αναφερθεί ότι, όλα τα προτεινόμενα standards συνάδουν με τα θέματα υγείας και όχι μόνο με θέματα άνεσης.

Ο προτεινόμενος ρυθμός αερισμού μετράται σε αλλαγή αέρα ανά ώρα για τον εκάστοτε χώρο και /ή ανεφοδιασμό εξωτερικού αέρα και /ή προτεινόμενο εξαερισμό (σε χώρους όπως η κουζίνα, το μπάνιο, η τουαλέτα). Για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων, ακολουθείται η εξής διαδικασία : αρχικά υπολογίζεται ο απαραίτητος ρυθμός αερισμού για την διασφάλιση των συνθηκών θερμικής άνεσης και στη συνέχεια πραγματοποιείται νέος υπολογισμός με στόχο την αποδεκτή τιμή για διασφάλιση της ποιότητας εσωτερικού αέρα. Η τιμή που λαμβάνεται ως όριο είναι η υψηλότερη από τις δύο τιμές που προκύπτουν.

Ο εσωτερικός χώρος χαρακτηρίζεται από την ποιότητα του περιβάλλοντος και κατηγοριοποιείται σε τρεις κλάσεις A, B και C (κλάσεις ASHRAE – οι αντίστοιχες της CEN είναι I, II, III) που αντιστοιχούν σε υψηλό (15% PPD), μέσο (20% PPD) και μέτριο (30% PPD) επίπεδο προσδοκίας. Λόγω του ότι ο ρυθμός αερισμού εξαρτάται από δύο παράγοντες : τον απαιτούμενο αερισμό αν ληφθούν υπόψη μόνο οι ένοικοι ως ρυπαντές και την αντίστοιχη τιμή που λαμβάνονται υπόψη στους υπολογισμούς η ρύπανση από το κτίριο και τον εξοπλισμό. Συνυπολογίζοντας τον αριθμό των ατόμων που έχει σχεδιαστεί να χρησιμοποιείται ο χώρος, οι δύο αυτές τιμές προστίθενται τελικώς, και προκύπτει ο συνολικός ρυθμός αερισμού, τιμή σύμφωνα με την οποία σχεδιάζεται το κτίριο και η λειτουργία του συστήματος HVAC. Σε αυτό το σημείο δεν πρέπει να μεριμνήσει κανείς τον διαχωρισμό των κτιρίων σε κτίρια *πολύ χαμηλής, χαμηλής και όχι χαμηλής ρύπανσης*, με τη κάθε κατηγορία να έχει διαφορετικά όρια.

Ο πίνακας 2.3 που ακολουθεί, παρουσιάζει τον βασικό προτεινόμενο ρυθμό αερισμού για τις τρεις κατηγορίες κτιρίων που αναφέρθηκαν.

		Ρυθμός Αερισμού για τις εκπομπές των κτιρίων [l /s / m^2]		
Κατηγορία Κτιρίου	**Ρυθμός Αερισμού ανά άτομο [l /s / άτομο]**	**Πολύ χαμηλής ρύπανσης κτίριο**	**Χαμηλής ρύπανσης κτίριο**	**Όχι χαμηλής ρύπανσης κτίριο**
I	10	0,5	1	2
II	7	0,35	0,7	1,4
III	4	0,2	0,4	0,8

Πίνακας 2.3. –Προτεινόμενες τιμές ρυθμού αερισμού με βάση τους βιολογικούς ρύπους του ατόμου και τους ρύπους κτιρίου και εξοπλισμού [Πηγή : Οδηγία CEN/TC 156, 2006]

Για τον υπολογισμό των αποτελεσμάτων του πίνακα 2.3 έχει θεωρηθεί ότι η μόνο πηγή ρύπανσης από πλευράς του ατόμου είναι ο μεταβολικός του ρυθμός. Αφορά επομένως κτίρια και χώρους στα οποία το κάπνισμα απαγορεύεται. Στην περίπτωση που ο σχεδιασμός αφορά χώρους στους οποίους θα εισέρχονται και καπνιστές, ακολουθούνται τα κριτήρια του πίνακα 2.4. Η πρώτη στήλη αντιστοιχεί σε χώρους που απαγορεύεται το κάπνισμα και στις 2,3, κ 4 στήλη θεωρείται ότι το ποσοστό των ατόμων που καπνίζει επί των συνολικών ατόμων στο χώρο είναι 20%, 40% και 100% αντίστοιχα.

	Ρυθμός Αερισμού Ανά Χρήστη [l /s / άτομο]			
Κατηγορία Κτιρίου	**Καθόλου κάπνισμα**	**20%**	**40%**	**100%**
I	10	20	30	30
II	7	14	21	21
III	4	8	12	12

Πίνακας 2.4 – Προτεινόμενες τιμές ρυθμού αερισμού με την προϋπόθεση ότι οι ένοικοι αποτελούν τη μοναδική πηγή ρύπανσης [Santamouris, 2006]

Συνακόλουθα, ο απαιτούμενος ρυθμός αερισμού δεν έχει την ίδια τιμή σε όλους τους χώρους του κτιρίου. Παραδείγματος χάρη, δωμάτια όπως η κουζίνα, το μπάνιο, η τουαλέτα, απαιτούν καλύτερο εξαερισμό από το σαλόνι ή τα υπνοδωμάτια λόγω της μεγαλύτερης συγκέντρωσης ρύπων στους χώρους αυτούς.

Επίσης, οι τιμές διαφοροποιούνται όπως είναι φυσικό, ανάλογα με τη χρήση του κτιρίου, αν δηλαδή προορίζονται για κατοικίες ή γραφεία. Ο πίνακας 2.5 παρουσιάζει τιμές αερισμού για τις τρεις κατηγορίες κτιρίων ώστε να

επιτυγχάνεται διάλυση των βιορύπων και των προερχόμενων από το κτίριο και τον εξοπλισμό ρύπων.

Κατηγορία Κτιρίου	Κλάση	Επιφάνεια Δαπέδου (m^2/άτομο)	Ρυθμός αερισμού για διάλυση βιορύπων και ρύπων προερχόμενων από το κτίριο			
			Διάλυση βιορύπων (l/s/άτομο)	Κτίριο πολύ χαμηλής ρύπανσης (l/s/m^2)	Κτίριο χαμηλής ρύπανσης (l/s/m^2)	Κτίριο όχι χαμηλής ρύπανσης (l/s/m^2)
Ξεχωριστό γραφείο	I	10	1	1,5	2	3
	II	10	0,7	1	1,4	2,1
	III	10	0,4	0,6	0,8	1,2
Γραφεία με ελεύθερη διαρρύθμιση	I	15	0,7	1,2	1,7	2,7
	II	15	0,5	0,8	1,2	1,9
	III	15	0,3	0,5	0,7	1,1
Αίθουσες Συνεδρίων / Διδασκαλίας	I	2	5	5,5	6	7
	II	2	3,5	3,8	4,2	4,9
	III	2	2	2,2	2,4	2,8
Αίθουσα Ακροατηρίου	I	0,75	15	15,5	16	17
	II	0,75	10,5	10,8	11,2	11,9
	III	0,75	6	0,8	6,4	6,8
Εστιατόριο	I	1,5	7	7,5	8	9
	II	1,5	4,9	5,2	5,6	6,3
	III	1,5	2,8	3	3,2	3,6

Πίνακας 2,5 – Προτεινόμενες τιμές ρυθμού αερισμού σε διάφορους χώρους για διάλυση των βιορύπων και των προερχόμενων από το κτίριο ρύπων [Πηγή : Οδηγία CEN/TC 156, 2006]

2.5. Οδηγίες CO_2

Τα επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα, όπως πολλές φορές έχει τονιστεί στις ενότητες που προηγήθηκαν, θεωρούνται ο σημαντικότερος ίσως εσωτερικός ρύπος αφού αποτελούν το κύριο προϊόν της μεταβολικής διεργασίας του ανθρώπινου οργανισμού.

Οι κλάσεις αντίστοιχα σε αυτή τη περίπτωση, διακρίνονται με βάση τη συγκέντρωση του CO_2 (ανώτερες από αυτές που σημειώνονται στο εξωτερικό περιβάλλον) για ενεργειακούς υπολογισμούς και έλεγχο των απαιτήσεων του κτιρίου σε ενέργεια.

Κλάση	Συγκέντρωση CO_2 [ppm]	PPD [%]
I	460	15
II	660	20
III	1190	30

Πίνακας 2.6. - Διαχωρισμός κλάσεων των εσωτερικών χώρων με βάση την συγκέντρωση CO_2

Στον πίνακα 2.7 παρουσιάζονται προτεινόμενες τιμές συγκέντρωσης του CO_2 πάνω από τα επίπεδα του περιβάλλοντος για ενεργειακούς υπολογισμούς.

Κατηγορία κτιρίου	CO_2 (πάνω από τα επίπεδα εξ. περιβάλλοντος) [ppm]	PPD (%)	Ρυθμός Αερισμού [l/s/άτομο]	CO_2 (πάνω από τα επίπεδα εξ. περιβάλλοντος) [ppm]*	CO_2 (αν τα επίπεδα εξ. Περιβάλλοντος είναι 340 ppm) [ppm]
I	350	15	10	460	800
II	500	20	7	660	1000
III	800	30	4	1190	1530
IV	<800	>30	<4	>1190	>1530

Πίνακας 2.7 – Προτεινόμενες συγκεντρώσεις CO_2 πάνω από τα επίπεδα εξωτερικού περιβάλλοντος για ενεργειακούς υπολογισμούς [Olsen, 2007]
**Οι τιμές της $5^{ης}$ στήλης είναι μεγαλύτερες από της $2^{η}$ λόγω του ότι συμπεριλαμβάνονται και οι εκπομπές των ρύπων από το ίδιο το κτίριο*

2.6. Οδηγίες για Θερμική Άνεση

Στην ενότητα αυτή, παρατίθενται οι πίνακες τιμών για τις παραμέτρους θερμικής άνεσης, όπως αυτές καθορίζονται από την ASHRAE και την CEN. Συγκεκριμένα, καθορίζονται οι τιμές της θερμοκρασίας σε διάφορους εσωτερικούς χώρους κατοικιών και κοινής χρήσης όπως γραφεία, αίθουσες συνεδριάσεων, διδασκαλίας κτλ. , της υγρασίας, της ταχύτητας αέρα, του θορύβου.

Θερμοκρασία

Οι απαιτήσεις για θερμική άνεση σύμφωνα με το μοντέλο PMV –PPD (θερμοκρασίες λειτουργίας για τοπική θερμική ικανοποίηση), αποτυπώνονται στις τιμές των προτεινόμενων θερμοκρασιών και παρουσιάζονται σε πρότυπα και οδηγούς όπως τα EN7730, CR 1752, ASHRAE 55 κτλ. Λόγω της αδυναμίας καθολικής αποδοχής των προτεινόμενων τιμών από όλες τις χώρες εξαιτίας κλιματολογικών, γεωγραφικών, οικονομικών και πολιτικών διαφορών, παρέχεται η δυνατότητα καθορισμού των ορίων από την εκάστοτε χώρα ή από συνεννόηση μεταξύ μηχανικών και ιδιοκτήτη του κτιρίου.
Η επίτευξη θερμικής άνεσης όσον αφορά τη θερμοκρασία του εσωτερικού χώρου, πραγματοποιείται αν εφαρμοστούν οι τιμές (με τυχόν αυξομειώσεις να απαιτούνται για ορισμένα κλίματα και χώρες) που αναρτώνται στον πίνακα 2.7.

Κατηγορία Κτιρίου	**Κλάση**	**Ελάχιστη θερμοκρασία για Θέρμανση (°C)**	**Μέγιστη Θερμοκρασία για Ψύξη (°C)**
Κατοικίες (υπνοδωμάτια, σαλόνι, κουζίνα κτλ)	I	21 (21 -25)	25,5 (23,5 – 25,5)
	II	20 (20 -25)	26 (23 - 26)
	III	18 (18 -25)	27 (22 – 27)
Κατοικίες (αποθήκες, διάδρομοι κτλ)	I	18 (ως 25)	-
	II	16 (ως 25)	-
	III	14 (ως 25)	-
Ξεχωριστό γραφείο	I	21	25,5
	II	20	26
	III	19	27
Γραφεία με ελεύθερη διαρρύθμιση	I	21	25,5
	II	20	26
	III	19	27
Εστιατόριο	I	21	25,5
	II	20	26
	III	19	27

Πίνακας 2.7 – Τυπικές τιμές θερμοκρασίας ψύξης και θέρμανσης για εσωτερικούς χώρους [Πηγή : Οδηγία CEN/TC 156, 2006]

I

Ταχύτητα Αέρα

Τα πρότυπα της ASHRAE και της ISO, αποδέχονται την τιμή της ταχύτητας αέρα που έχει προκύψει από έρευνες στο πεδίο για κτίρια με εγκατεστημένα συστήματα ψύξης – θέρμανσης, και ανέρχεται σε 0,8 m/s. Η τιμή της ωστόσο θα πρέπει να ελέγχεται συνεχώς. Τα κτίρια στα οποία δεν είναι εγκατεστημένα συστήματα HVAC αλλά αρκούνται στον φυσικό αερισμό, απαιτείται το καλοκαίρι το άνοιγμα των παραθύρων ή αεριστήρες οροφής για διατήρηση της ποιότητας του αέρα.

Υγρασία - Θόρυβος

Η υγρασία, σε γενικές γραμμές, έχει μικρό αντίκτυπο στη θερμική άνεση και στην ποιότητα αέρα σε ένα δωμάτιο όπου γίνεται σταθερή χρήση αυτού. Εντούτοις, η τιμή της πρέπει να ελέγχεται σχολαστικά ώστε να μην εμφανίζει μεγάλες αυξομειώσεις διότι η μακροπρόθεσμη έκθεση σε υψηλές τιμές (>70%) προκαλεί ανάπτυξη μικροβίων και εμφάνιση μούχλας, ενώ η έκθεση σε χαμηλές συγκεντρώσεις (< 15 – 20%) προκαλεί ξηρότητα, προβλήματα στην όραση και στην αναπνευστική οδό. Γενικά, μία τιμή μεταξύ 30-60% θεωρείται ικανοποιητική.

Στην περίπτωση του θορύβου, η έντασή του δεν πρέπει να ξεπερνά τα 35 dB όταν ο θόρυβος προέρχεται από το εσωτερικό του κτιρίου. Αντίθετα, αν η πηγή του θορύβου είναι εξωτερική, δεν πρέπει να υπερβαίνεται το φράγμα των 55 dB ώστε ο θόρυβος να μην επηρεάζει τόσο την απόδοση και διάθεση των ενοίκων, όσο και την υγεία τους προκαλώντας πονοκεφάλους, ζαλάδες και άλλα συμπτώματα.

2.7. Οδηγίες στον ελληνικό χώρο

Γεωγραφικοί, πολιτικοί, οικονομικοί, κλιματολογικοί και περιβαλλοντικοί παράγοντες, επιτάσσουν την διαφοροποίηση όπου είναι απαραίτητο, των προτεινόμενων τιμών κατά τη φάση κατασκευής αλλά και λειτουργίας των κτιρίων. Για αυτό το λόγο, καθίσταται δύσκολη η δημιουργία ενός διεθνούς προτύπου.

Στα περισσότερα ήδη υπάρχοντα standards ή οδηγίες για τη ποιότητα εσωτερικού αέρα, τα κριτήρια ή απαιτήσεις δίνονται σε ρυθμούς αερισμού. Στην Ελλάδα, τα όρια θερμικής άνεσης και ποιότητας εσωτερικού αέρα καθορίζονται από το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, σύμφωνα πάντα με τα διεθνή πρότυπα.

Οι προτεινόμενες τιμές σχεδιασμού για κλιματιζόμενους χώρους σε διάφορα είδη χώρων, σύμφωνα με την Τεχνική Οδηγία 2423/86 του ΤΕΕ, παρουσιάζονται στον πίνακα 2.8.

Προτεινόμενες Τιμές Ρυθμού Αερισμού Εσωτερικών Χώρων		
Είδος Χώρου	**Καπνιστές**	**Ρυθμός Αερισμού (ach/h)**
Διαμερίσματα, Συλλογικά γραφεία	Μερικοί	8,5
Μπαρ, δωμάτια ξενοφοχείων	Πάρα πολλοί	25,5
Καταστήματα, θέατρα	Κανένας	8,5
Γραφεία διευθυντών, χώροι συγκεντρώσεων	Εκτάκτως πολλοί	25,5
Γραφεία προσωπικά	Κανένας	8,5
Γραφεία προσωπικά	Σημαντικός Αριθμός	25,5
Καφέ, μπαρ, εστιατόρια	Σημαντικός Αριθμός	17
Αίθουσες Διδασκαλίας	Κανένας	17
Τουαλέτες (εξαερισμός)	-	36 m^3/m^2

Πίνακας 2.8. – Προτεινόμενες τιμές ρυθμού αερισμού σε κλιματιζόμενους χώρους για διάφορα είδη χώρων [Οδηγία ΤΟΤΕΕ 2423/86]

Κεφάλαιο 3
Θερμική Άνεση

3.1. Η έννοια του εσωκλίματος

Το σύνολο μιας σειράς περιβαλλοντικών παραμέτρων ή στοιχείων όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, η ταχύτητα, η κατεύθυνση και η σύνθεση του αέρα *σε κλειστό χώρο* , αποτελεί το εσώκλιμα *(Πέρδιος, 2006)*. Οι παράμετροι αυτοί θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και να εκτιμώνται κατά το σχεδιασμό των κτιρίων αλλά και να υπολογίζονται συνεχώς κατά τη διάρκεια χρήσης του κτιρίου από τους ενοίκους διότι με βάση τη τιμή των παραμέτρων, καθορίζεται το αίσθημα της *θερμικής άνεσης*.

Θερμική άνεση στο εσωτερικό ενός χώρου επικρατεί όταν ο ανθρώπινος οργανισμός εντός του χώρου, καταναλώνει την ελάχιστη απαιτούμενη ενέργεια, ώστε να διατηρηθεί το θερμικό του ισοζύγιο. Η θερμορύθμιση του ατόμου, δηλαδή η διαδικασία με την οποία το σώμα διατηρεί τη θερμοκρασία του σε ανεκτά όρια, πρέπει να είναι η ελάχιστη για την δημιουργία της αίσθησης της θερμικής άνεσης.

Η θερμορύθμιση στον ανθρώπινο οργανισμό αποτελεί διαδικασία η οποία βασίζεται σε δύο ενέργειες του σώματος, στην διαστολή των αγγείων και την πρόκληση εφίδρωσης στις περιπτώσεις αύξησης της θερμοκρασίας ενώ σε περίπτωση ελάττωσής της, ο μηχανισμός της συστολής των αγγείων αρχικά και στη συνέχεια η εμφάνιση ρίγους, αυξάνει την παραγόμενη από το σώμα θερμότητα.

Η ιδανική θερμοκρασία για το σώμα σε περίοδο ανάπαυσης ανέρχεται σε 36,8 °C ενώ είναι γνωστό ότι σε θερμοκρασίες μικρότερες των 28 °C δημιουργείται καρδιακή αρρυθμία. Αντίθετα, σε περίπτωση αύξησης της θερμοκρασίας άνω των 40 °C , προκαλούνται στον ανθρώπινο οργανισμό εγκεφαλικά προβλήματα με μη αναστρέψιμα αποτελέσματα.

3.2. Βασικοί Παράγοντες επίδρασης θερμικής άνεσης

Το αίσθημα της θερμικής άνεσης για τον εκάστοτε ανθρώπινο οργανισμό διαφοροποιείται και εξαρτάται από πλήθος παραγόντων, καθιστώντας την θέσπιση συγκεκριμένων ορίων των εσωτερικών παραμέτρων σε διεθνές επίπεδο, ανέφικτη. Συγκεκριμένα, τόσο περιβαλλοντικοί όσο και προσωπικοί παράγοντες έχουν τη δυνατότητα να προκαλέσουν ή να εξαλείψουν το αίσθημα της θερμικής άνεσης. Ο διαχωρισμός τους στις κατηγορίες των φυσικών, βιολογικών και εξωτερικών, όπως έχει θεσπιστεί από την επιστημονική κοινότητα, παρουσιάζεται στον πίνακα 3.1, με τους κυριότερους από αυτούς να αναλύονται στις ακόλουθες ενότητες.

Παράμετροι που επηρεάζουν τη θερμική άνεση
I. Φυσικοί Παράμετροι
Θερμοκρασία του αέρα [°C]
Μέση Θερμοκρασία Ακτινοβολίας των εσωτερικών επιφανειών [°C]
Υγρασία και σχετική υγρασία του αέρα [Pa]
Ταχύτητα του εσωτερικού αέρα [m/s]
Χωροταξική κατανομή των παραπάνω μεγεθών
II. Βιολογικές παράμετροι
Το φύλλο των χρηστών του χώρου
Η ηλικία των χρηστών του χώρου
Οι συνήθειες των χρηστών του χώρου
III. Φυσικές παράμετροι
Το είδος των δραστηριοτήτων των χρηστών του χώρου [met] (1 met= 58,15 W/m^2)
Ο τύπος του ρουχισμού των χρηστών του χώρου [clo] (1clo= 0,155 m2 0C/W)

Πίνακας 3.1 – Παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμική άνεση (Πηγή, Τριανταφυλλιά Νικολάου M.Sc. , Πολυτεχνείο Κρήτης)

3.2.1 Περιβαλλοντικοί παράγοντες

3.2.1.1. Θερμοκρασία του αέρα

Η θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό περιβάλλον γίνεται αντιληπτή από τους ενοίκους μέσω των αισθητήριων οργάνων τους τα οποία βρίσκονται στο δέρμα. Αποτελεί ίσως τον σημαντικότερο παράγοντα, αφού μαζί με την σχετική υγρασία έχουν την δυνατότητα να καθορίσουν σε μεγάλο ποσοστό τον δείκτη θερμικής άνεσης εντός κλειστών χώρων. Συγκεκριμένα, επηρεάζει το θερμικό ισοζύγιο του ατόμου, την θερμική άνεση και την πρόκληση δυσφορίας και σαφώς την ποιότητα του εσωτερικού αέρα.

Η θερμοκρασία του αέρα επηρεάζεται με τη σειρά της από πλήθος παραμέτρων όπως το εξωτερικό περιβάλλον, ο προσανατολισμός του κτιρίου και η γεωγραφική του θέση. Καθίσταται σαφές ότι στο ήπιο κλίμα του Ελληνικού χώρου, η θερμοκρασία στο εσωτερικό των κτιρίων θα είναι ευκολότερο να προσαρμοστεί με βάση τις εξωτερικές συνθήκες από ότι στο ψυχρό κλίμα της Σουηδίας. Συνακόλουθα, τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του κτιρίου καθώς και η θερμομόνωση που έλαβε χώρα , διαδραματίζουν μαζί με τον τρόπο αερισμού του κτιρίου, σημαντικό ρόλο για τη τιμή της θερμοκρασίας εντός αυτού. Κρίσιμο σημείο αποτελεί ο τρόπος σχεδιασμού του κτιρίου, της κατασκευής και λειτουργίας του αλλά και το σύστημα θέρμανσης που εγκαθίσταται σε αυτό. Επιπροσθέτως, ο μεγάλος αριθμός ηλεκτρικών συσκευών, μηχανημάτων και παντός είδους εξοπλισμός, αυξάνει αυτόματα την θερμοκρασία. Καταλήγοντας, οι ίδιοι οι χρήστες έχουν την δυνατότητα να επηρεάσουν τις τιμές θερμοκρασίας με τον τρόπο που επιλέγουν να διαχειριστούν τα συστήματα ψύξης και θέρμανσης του χώρου τους.

Οι ένοικοι των κτιρίων έχουν τη δυνατότητα να διαμορφώσουν επίσης τον δείκτη θερμικής άνεσης με προσωπικές τους ενέργειες. Ο ρουχισμός και η μεταβολική διαδικασία συγκαταλέγονται σε αυτές. Εύκολα προκύπτει το συμπέρασμα ότι τόσο ο βαρύς ρουχισμός όσο και η έντονη άσκηση κατά την καλοκαιρινή περίοδο αποτελούν ενέργειες που απαιτούν μειωμένες τιμές θερμοκρασίας. Αντίστοιχα, τον χειμώνα, ο ελαφρύς ρουχισμός και η καθιστική εργασία απαιτούν πολύ υψηλές εσωτερικές θερμοκρασίες.
Στον πίνακα που ακολουθεί, παρατίθενται τιμές θερμοκρασίας άνεσης συναρτήσει του ρουχισμού και της δραστηριότητας των ενοίκων όπως αυτές προέκυψαν με τη χρήση του μοντέλου MEMI (Munich Energy Balance Model for Individuals) στην έρευνα του P. Hoppe το 1988. Οι συνθήκες μέτρησης ήταν η θερμοκρασία αέρα ίση με τη μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας, πίεση ατμών = 10 hPa και ταχύτητα αέρα = 0,1 m/s.

Εργασία	Μεταβολική Δραστηριότητα [W]	Ρουχισμός [clo]	Θερμοκρασία Άνεσης, T_a [°C]
Ηρεμία	0	0,5	31
	0	1	29
Καθιστική Εργασία	43	0,5	27
	43	1	23
Ελαφριά Εργασία	100	0,5	22
	100	1	16
Έντονη Εργασία	20	0,5 1	12

Πίνακας 3.2- Θερμοκρασία άνεσης σε σχέση με ρουχισμό και δραστηριότητα (Πηγή, Τριανταφυλλιά Νικολάου M.Sc. , Πολυτεχνείο Κρήτης)

Η έννοια της θερμικής άνεσης, δεν είναι δυνατό να προσδιοριστεί και οριοθετηθεί πλήρως, λόγω της υποκειμενικότητας με την οποία λαμβάνονται τα αποτελέσματα αλλά και το πλήθος των παραγόντων που όπως παρουσιάστηκε, διακρίνονται από μεγάλη πολυπλοκότητα. Ο εκάστοτε οργανισμός με λίγα λόγια, αντιλαμβάνεται διαφορετικά τις παραμέτρους αυτές και ο κάθε χρήστης θεσπίζει διαφορετικά όρια ανεκτικότητας.
Τα αποτελέσματα μελετών, όπως ο Fagner το 1982, βασίζεται σε υπολογισμό των μέσων τιμών των παραμέτρων μέσω ψηφοφορίας. Συγκεκριμένα, ο κάθε ένοικος, ερωτάται για την ανεκτικότητα σύμφωνα με τις παραμέτρους της θερμοκρασίας, υγρασίας και ταχύτητας του αέρα, σημειώνοντας επίσης τον ρουχισμό και την δραστηριότητα του κάθε ενός. Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός, ότι σε καμία περίπτωση δεν υπήρχε 100% ποσοστό αποδοχής αλλά τουλάχιστον ένα κομμάτι της τάξεως του 5% , ήταν δυσαρεστημένο.
Η ASHRAE (American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditions Engineers) παρόλα αυτά, μέσω μελετών, θεωρεί ότι το 80% των ατόμων

αισθάνεται θερμική άνεση όταν η θερμοκρασία του αέρα κυμαίνεται μεταξύ 21,5 °C και 25 °C , και η σχετική υγρασία στο 50% (ASHRAE, 1992).

3.2.1.2. Σχετική υγρασία ατμοσφαιρικού αέρα

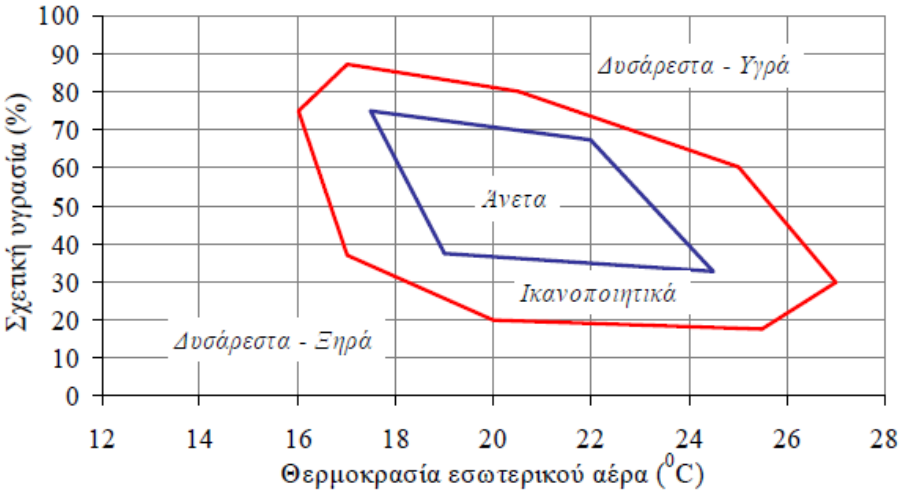
Το ποσοστό του κορεσμένου αέρα σε υδρατμούς εκφράζεται μέσω του όρου της σχετικής υγρασίας, έννοια η οποία χρησιμοποιείται συχνά για την αξιολόγηση της θερμικής άνεσης. Η επίδρασή της στο θερμικό ισοζύγιο του ανθρώπινου οργανισμού, γίνεται αντιληπτή μέσω των μηχανισμών εφίδρωσης και εξάτμισης στην επιφάνεια του δέρματος, οι οποίοι πραγματοποιούνται σε περίπτωση υψηλών και χαμηλών αντίστοιχα τιμών σχετικής υγρασίας. Σε κάθε περίπτωση, η θερμοκρασία του σώματος μεταβάλλεται. Σε συνδυασμό με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, η επίδραση της σχετικής υγρασίας γίνεται εντονότερα αντιληπτή.

Πιο συγκεκριμένα, στις περιπτώσεις υψηλών τιμών υγρασίας, της τάξης άνω του 60 – 70%, αλλά και υψηλών θερμοκρασιών, προκαλείται εφίδρωση στην επιφάνεια του δέρματος. Λόγω όμως της μεγάλης περιεκτικότητας του αέρα σε υδρατμούς, καθίσταται αδύνατη η εξάτμιση του ιδρώτα, με αποτέλεσμα να παραμένει στο δέρμα και ο άνθρωπος να αισθάνεται θερμότερο το περιβάλλον από όσο πραγματικά είναι και κολλώδες. Αντίθετα, μεγάλες ποσότητες υγρών εξατμίζονται σε περιπτώσεις σχετικής υγρασίας μικρότερης του 30%, λόγω της χαμηλής περιεκτικότητας υδρατμών στην ατμόσφαιρα. Το αίσθημα ξηρότητας που αισθάνεται ο άνθρωπος, οφείλεται στο φαινόμενο αυτό και προκαλεί κνησμό, εξανθήματα και αλλεργικές αντιδράσεις. Ενδεικτικά αναφέρεται, ότι σε θερμοκρασία 25 °C και σχετική υγρασία 20%, προκαλείται αναπνευστική δυσφορία.

Ο ανθρώπινος οργανισμός επηρεάζεται συνακόλουθα από τη σχετική υγρασία μέσω της αναπνευστικής οδού. Ο αέρας που εισέρχεται, ψύχεται στις βλεννώδεις μεμβράνες , διαδικασία που διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην αντίληψη του θερμικού περιβάλλοντος. Επίσης, μέσω της αναπνευστικής οδού ρυθμίζεται ο θερμοκρασία του αέρα πριν αυτός φτάσει στους πνεύμονες. Η αντίληψη της ποιότητα εσωτερικού αέρα μέσω της αναπνευστικής οδού, βασίζεται στους δύο αυτούς λόγους.

Τα όρια της υγρασίας για την επικράτηση συνθηκών θερμικής άνεσης βρίσκονται ακόμη σε ερευνητικό στάδιο καθώς είναι δυσκολότερο να καθοριστούν εξετάζοντάς τη μονόπλευρα. Σε συνδυασμό όμως με την θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού αέρα, η εξέταση αποδεκτών τιμών σχετικής υγρασίας, καθιστά δυνατή την εξαγωγή αποτελεσμάτων και τον καθορισμό ορίων. Τα όρια αυτά παρουσιάζονται πάντοτε συνδυαστικά, με ταυτόχρονη ανάδειξη ποσοστού σχετικής υγρασίας και θερμοκρασίας αέρα.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το διάγραμμα 3.Ι, στο οποίο οριοθετεί το πεδίο θερμικής ευεξίας και καθορίζει το ζεύγος τιμών θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας.



Γράφημα 3.Ι. Ποσοστά καθορισμού θερμικής άνεσης για εξεταζόμενες τιμές σχετικής υγρασίας – θερμοκρασίας

Μελέτες έχουν αποδείξει ότι η υγρασία γίνεται αισθητή για τον άνθρωπο, όταν η θερμοκρασία του αέρα είναι μικρότερη από 20 °C και μεγαλύτερη από 25 °C. Σε χώρους θερμοκρασίας μεταξύ 18 – 20 °C και με ποσοστό σχετικής υγρασίας 50 – 60%, το εσώκλιμα χαρακτηρίζεται ξηρό. Οι χαρακτηρισμοί υγρό και πολύ υγρό αντιστοιχούν σε ίδιες θερμοκρασίες αλλά με τιμές σχετικής υγρασίας 60-75% και μεγαλύτερη από 75% αντίστοιχα. Ο οποιοσδήποτε συνδυασμός υψηλής υγρασίας και υψηλής θερμοκρασίας, προκαλεί αίσθημα δυσφορίας για το χώρο αυτό. Η αύξηση επομένως της σχετικής υγρασίας από 20% σε 60% απαιτεί την ελάττωση της θερμοκρασίας κατά 1°C ώστε να μην διαταραχθεί η θερμική άνεση.

Στους πίνακες 3.3 και 3.4 που ακολουθούν, παρουσιάζονται οι συνιστώμενες συνθήκες θερμικής άνεσης κατά τη διάρκεια του χειμώνα και του καλοκαιριού για διάφορους χώρους που εξετάστηκαν.

Περιοχή Εφαρμογής	Με ύγρανση		Χωρίς Υγρασία	Επιτρεπτή Διακύμανση Θερμοκρασίας [°C]
	Θερμοκρασία [°C]	Σχ. Υγρασία [%]	Θερμοκρασία [°C]	
Κατοικίες, Γραφεία, Νοσοκομεία, Σχολεία, Ξενοδοχεία	23-24,5	30-35	24-25	ως 2
Τράπεζες, Πολυκαταστήματα, Κομμωτήρια	22-23	30-35%	23-24	ως 2
Θέρετρα, Κινηματογράφοι, Μπαρ,Εκκλησίες, Εστιατόρια	22-23	35-40%	23,5-24,5	ως 1,5
Μηχανοστάσια, Χώροι βιομηχανικής εργασίας	20-22	30-35	21-23,5	ως 2,5

*Πίνακας, 3.3 – Συνιστώμενες συνθήκες θερμικής άνεσης για το **Χειμώνα***

Περιοχή Εφαρμογής	Με ύγρανση		Χωρίς Υγρασία	Επιτρεπτή Διακύμανση Θερμοκρασίας [°C]
	Θερμοκρασία [°C]	Σχ. Υγρασία [%]	Θερμοκρασία [°C]	
Κατοικίες, Γραφεία, Νοσοκομεία, Σχολεία, Ξενοδοχεία	23-24,5	45-50	25-26	1-2
Τράπεζες, Πολυκαταστήματα, Κομμωτήρια	24,5-25,5	45-50	25,5-26,5	1-2
Θέρετρα, Κινηματογράφοι, Μπαρ,Εκκλησίες, Εστιατόρια	24,5-25,5	50-55	25,5-26,5	0,5-1
Μηχανοστάσια, Χώροι βιομηχανικής εργασίας	25-26,5	55-45	26,5-29,5	1,5-3

*Πίνακας, 3.4 – Συνιστώμενες συνθήκες θερμικής άνεσης για το **Καλοκαίρι***

Οι τιμές αυτές προήλθαν από συνδυασμό πολλών παραγόντων όπως το φύλλο, την ηλικία, την δραστηριότητα εντός του χώρου κ.ά. Μετρήσεις στον υπό εξέταση χώρο μεγαλύτερες ή μικρότερες από τις αναγραφόμενες στους πίνακες προκαλεί αίσθηση «παλιού» αέρα, ξηρότητα στο χώρο, δυσφορία από την προσκόλληση των ρούχων στο δέρμα, γίνονται οι οσμές εντονότερες κτλ. Σχετική υγρασία άνω του 80% στους 20 °C οδηγεί στην συμπύκνωση των

υδρατμών και εμφάνιση μούχλας, δημιουργώντας ιδανικές συνθήκες για την ανάπτυξη παθογόνων μικροοργανισμών και βακτηρίων.

3.2.1.3. Μέση ακτινοβολούμενη θερμοκρασία

Η παράμετρος της μέσης ακτινοβολούμενης θερμοκρασίας, θερμοκρασία που αντιστοιχεί στον μέσο όρο των επιφανειακών θερμοκρασιών των τοίχων που περικλείουν το χώρο, επηρεάζει σε μικρό αλλά αντιληπτό για τον άνθρωπο, επίπεδο της θερμικής άνεσης. Η αρχιτεκτονική του κτιρίου πρέπει να γίνεται με τρόπο, ώστε η διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας του αέρα και των επιφανειών των τοίχων, να είναι μικρότερη από 4 °C. Σύμφωνα με μελέτες της ASHRAE, κάθε διαφορά της τάξης των 0,55 °C μεταξύ θερμοκρασίας του αέρα και της μέσης ακτινοβολούμενης θερμοκρασίας, αντισταθμίζεται με μεταβολή της αισθητής θερμοκρασίας κατά 0,28 °C.

3.2.1.4. Ταχύτητα αέρα

Η ταχύτητα του αέρα σε εσωτερικούς χώρους, έχει τη δυνατότητα να προκαλεί αίσθηση δροσιάς στον ένοικο όταν η θερμοκρασία αέρα είναι χαμηλότερη από τη θερμοκρασία σώματός του. Στην αντίθετη περίπτωση, όταν δηλαδή η θερμοκρασία του σώματος είναι υψηλότερη, στον ένοικο δημιουργείται η αίσθηση του ψύχους. Στον πίνακα 3.5 που ακολουθεί, παρουσιάζεται η μεταβολή στη θερμοκρασία αέρα που αισθάνεται το ανθρώπινο σώμα ανάλογα με την ταχύτητα του αέρα.

Ταχύτητα αέρα [m/s]	Θερμοκρασία αέρα [° C]			
	4,4	1,6	-1,1	-4
2,2	-2,8	0	-2,2	-6,1
4,5	-5,6	-6,1	-8,9	-12,2
6,7	-7,7	-9,4	-12,2	-16,7
8,9	-9,4	-11,7	-15,6	-19,4
11,2	-11,1	-13,9	-17,8	-21,6

Πίνακας 3.5 – Αίσθηση ψύχους στο ανθρώπινο σώμα σε [° C]

3.2.1.5. Θόρυβος

Σκόπιμο κρίνεται να αναφερθεί η επίδραση του θορύβου στην διατήρηση ενός επιθυμητού επιπέδου θερμικής άνεσης. Ως θόρυβος εννοείται κάθε ήχος ο οποίος προκαλεί όχληση και είναι ανεπιθύμητος για τους ενοίκους. Η ένταση και η προέλευση του ήχου αποτελούν βασικά στοιχεία που καθιστούν τον ήχο

στην κατηγορία του θορύβου. Η προέλευσή του οφείλεται είτε σε πηγές από το εξωτερικό του κτιρίου όπως αεροπλάνα, αυτοκίνητα, μηχανήματα και άλλες ανθρωπογενείς δραστηριότητες, είτε από το εσωτερικό του όπως το σύστημα θέρμανσης, αερισμού και ψύξης. Μπορεί να είναι συνεχής ή ασυνεχής ανάλογα την προέλευσή του και η όχληση που δημιουργείται διακρίνεται σε τρεις κατηγορίες : υποκειμενική (όχληση συναισθημάτων και διατάραξη ησυχίας), παρεμβολή ή διακοπή δραστηριότητας και έντονη όχληση (η οποία οδηγεί σε συμπτώματα άγχους όπως πονοκέφαλο, κούραση, ερεθιστικότητα και χαμηλό ηθικό). Ο θόρυβος μπορεί ακόμη να δημιουργήσει προβλήματα στην επικοινωνία, ενώ αντίθετα η επίδρασή του στην παραγωγικότητα και απόδοση του ατόμου είναι είτε θετική είτε αρνητική καθώς εξαρτάται από το είδος του θορύβου και της εργασίας.
Η ποιότητα εσωτερικού αέρα επηρεάζεται επίσης από το θόρυβο, καθώς οι επιπτώσεις του έχουν αντίκτυπο στον επαρκή ή όχι αερισμό του χώρου. Πιο συγκεκριμένα, στη περίπτωση του φυσικού αερισμού, οι ένοικοι δεν επιλέγουν να ανοίξουν τα παράθυρα για ανανέωση φρέσκου αέρα και αίσθηση δροσιάς το καλοκαίρι εξαιτίας τυχόν εξωτερικών θορύβων. Και στη περίπτωση που είναι αναγκασμένοι να το κάνουν, πρέπει να ανεχτούν την όχληση αυτή. Επίσης, στη περίπτωση μηχανικού αερισμού, το σύστημα θέρμανσης, ψύξης και αερισμού προκαλεί ανάλογα τη κατασκευή του πολλές φορές μεγάλη όχληση κατά τη λειτουργία του, υποβαθμίζοντας με αυτό τον τρόπο τη ποιότητα του εσωτερικού χώρου. Αξίζει να αναφερθεί ότι στην περίπτωση του φυσικού αερισμού σε ένα κτίριο,

3.2.2. Προσωπικοί Παράγοντες

3.2.2.1. Μεταβολικός Ρυθμός

Η ενέργεια η οποία καταναλώνεται από τον ανθρώπινο οργανισμό για να πραγματοποιήσει τις ζωικές λειτουργίες του όπως η αναπνοή, η λειτουργία της καρδίας και των υπόλοιπων εσωτερικών οργάνων αλλά και η θερμοκρασία του σώματός του σε ικανοποιητικά επίπεδα, αποτελεί το βασικό μεταβολικό ρυθμό. Η ηλικία του ατόμου, το φύλλο του, η σωματική δραστηριότητα, η σωματική διάπλαση, επηρεάζουν έντονα τον μεταβολικό ρυθμό ο οποίος με τη σειρά του, μέσω της θερμότητας που εκπέμπεται από κάθε ανθρώπινο σώμα, έχει την δυνατότητα να επηρεάσει τις επικρατούσες συνθήκες σε ένα κλειστό χώρο. Συγκεκριμένα, όσο μεγαλύτερη σωματική διάπλαση έχει κάποιος και όσο πιο έντονη σωματική κίνηση κάνει εντός ενός χώρου, τόση περισσότερη ενέργεια υπό τη μορφή θερμότητας ελευθερώνει.
Στον πίνακα 3.6, αναρτώνται οι τιμές μεταβολικού ρυθμού και η αντίστοιχη ενέργεια που εκπέμπεται στο χώρο (ανά τετραγωνικό μέτρο) και ανά άτομο. Οι

μετρήσεις προήλθαν από έρευνες για τη σύνταξη του προτύπου EN-ISO 7730 και αφορούν άτομο με ύψος 1,7 m και βάρος 69 kg, με έκταση σώματος 1,8 m^2. Ο μεταβολικός ρυθμός εκφράζεται σε φυσικές μονάδες και μονάδες μεταβολισμού (met). Συγκεκριμένα, 1 μονάδα met αντιστοιχεί σε 58 W/m^2 εκπομπή θερμότητας ανά έκταση σώματος.

Δραστηριότητα	Εκπομπή Θερμότητας (met)	(W/m^2)	(W/άτομο)
Ανάπαυση	0,8	46	83
Ακινησία, Καθιστική στάση	1,0	58	104
Καθιστική δραστηριότητα (γραφείο, σχολείο, εργαστήριο)	1,2	70	126
Ελαφριά δραστηριότητα	1,6	93	167
Μεσαία δραστηριότητα	2,0	116	209
Περπάτημα με 4 km/h	2,8	162	292

Πίνακας 3.6 – Βασικός μεταβολικός ρυθμός για διάφορες δραστηριότητες (Πρότυπο EN-ISO 7730)

3.2.2.2. Ρουχισμός

Το επίπεδο ρουχισμού σε εσωτερικούς χώρους μπορεί να επηρεάσει σημαντικά τα επίπεδα θερμικής άνεσης καθώς βαρύς ρουχισμός σε υψηλές θερμοκρασίες συγκρατούν τη θερμότητα του σώματος και τα σκουρόχρωμα υφάσματα απορροφούν περισσότερη ακτινοβολία. Με αυτό τον τρόπο, ο ένοικος αισθάνεται αίσθημα δυσφορίας παρόλο που η θερμοκρασία μπορεί να βρίσκεται σε φυσιολογικά επίπεδα εντός του χώρου. Αντίστοιχα, το χειμώνα, ο ελαφρύς ρουχισμός δεν αρκεί ορισμένες φορές για τη διατήρηση της θερμοκρασίας του σώματος με αποτέλεσμα ο ένοικος να αισθάνεται ψύχος παρά τη λειτουργία του συστήματος θέρμανσης.

Το είδος των ρούχων που επιλέγει ένα άτομο να φορέσει εκφράζεται για τον προσδιορισμό της θερμικής άνεσης μέσω της θερμικής αντίστασης που αντιστοιχεί στο κάθε είδος και εκφράζεται σε φυσικές μονάδες και μονάδες ρουχισμού (clothing – clo). Σημειώνεται ότι μία μονάδα ρουχισμού (clo) αντιστοιχεί σε 0,15 m^2K/W για να εκφραστεί η ποσότητα θερμικής αντίστασης.

Ρουχισμός	(clo)	(m^2/K/W)
Χωρίς ρουχισμό	0,0	0,0
Μαγιό, κοντό παντελόνι	0,1	0,015
Καλοκαιρινά ρούχα, ελαφριά υφάσματα, παπούτσια, κάλτσες	0,5	0,08
Εσώρουχα, κάλτσες, παπούτσια	0,7	0,11
Παντελόνια, φούστες, φορέματα, πουκάμισα, σακάκια	1,0	0,15
Εσωθερμικά εσώρουχα, τζίν, παντελόνια από χοντρό ύφασμα, παλτό	1,5	0,23

Πίνακας 3.6- Θερμική αντίσταση βασικού ρουχισμού εκφρασμένη σε φυσικές μονάδες και μονάδες ρουχισμού

3.3. Ανθρώπινο Θερμικό Ισοζύγιο

Η επικράτηση συνθηκών Θερμικής Άνεσης σε ένα χώρο όπως προαναφέρθηκε εξαρτάται από πλήθος διαφορετικών παραγόντων αλλά και από την προσωπική γνώμη και επιθυμίες του κάθε ένοικου όσον αφορά την έννοια των βέλτιστων συνθηκών διαβίωσης και εργασίας.

Συνεπώς, για τον υπολογισμό της θερμικής άνεσης και την ανάπτυξη των μοντέλων για αυτό το σκοπό, πρέπει πρωτίστως να μελετηθεί το ανθρώπινο θερμικό ισοζύγιο και οι παράγοντες από τους οποίους καθορίζεται. Η θερμική ισορροπία του σώματος είναι μια δυναμική κατάσταση μεταξύ της παραγόμενης θερμότητας (ως αποτέλεσμα του ανθρώπινου μεταβολισμού) και της θερμότητας που μεταδίδεται με μεταφορά, αγωγή, ακτινοβολία και εξάτμιση από ή προς το περιβάλλον. Η σχέση μέσω της οποίας περιγράφεται είναι η ακόλουθη :

$$M - W = H + E_C + C_{RES} + E_{RES} \quad \text{(Εξίσωση 3.3.1)}$$

όπου:

M: ρυθμός μετατροπής της χημικής ενέργειας σε θερμότητα και μηχανικό έργο, μέσω αερόβιων και αναερόβιων διεργασιών μέσα στο σώμα [W/m2].

W: το ωφέλιμο μηχανικό έργο [W/m2].

H: οι απώλειες ενέργειας υπό την μορφή θερμότητας από την επιφάνεια του σώματος μέσω αγωγής, συναγωγής και ακτινοβολίας [W/m2].

E_C: το ποσό της θερμότητας που απάγεται λόγω εξάτμισης σε κατάσταση θερμικής ισορροπίας [W/m2].

C_{RES}: το πόσο της θερμότητας που απάγεται με αγωγή κατά την αναπνοή [W/m2].

E_{RES}: το ποσό της θερμότητας που απάγεται λόγω εξάτμισης κατά την αναπνοή [W/m2].

Μέσω της σχέσης αυτής, επιτυγχάνεται ο υπολογισμός της θερμικής άνεσης εντός του υπό μελέτη χώρου έχοντας ως δεδομένο τις φυσικές παραμέτρους που αναφέρθηκαν στις προηγούμενες ενότητες του κεφαλαίου ή υπολογίζοντας και μετρώντας τες. Δημοσιεύθηκε το 1970 από τον P.O. Fagner και θεωρείται από την επιστημονική κοινότητα ο πρόδρομος για την δημιουργία των υπόλοιπων σχέσεων ή μοντέλων υπολογισμού της θερμικής άνεσης που ακολούθησαν κατά τη διάρκεια των επόμενων χρόνων μέχρι σήμερα. Μέσω της εξίσωσης αυτής, ο Fagner εφηύρε δύο πολλοί σημαντικούς και χρήσιμους δείκτες, τον PMV (Predicted Mean Vote) και τον PPD (Predicted Percent of Dissatisfied People), η ανάλυση των οποίων πραγματοποιείται στο κεφάλαιο που ακολουθεί.

3.4. Δείκτες Θερμικής Άνεσης: PMV (Predicted Mean Vote) – PPD (Predicted Percent of Dissatisfied People)

Η ικανοποίηση της εξίσωσης της θερμικής άνεσης είναι μία συνθήκη για την επίτευξη θερμικής ευεξίας. Ωστόσο, η εξίσωση παρέχει πληροφορίες μόνο για το πώς οι παράμετροι πρέπει να συνδυαστούν ώστε να δημιουργηθούν συνθήκες θερμικής ευεξίας στο εσωκλίμα. Ως εκ τούτου, δεν είναι κατάλληλη άμεσα για την εξακρίβωση της αίσθησης ενός τυχαίου θερμικού περιβάλλοντος από τους χρήστες των κτιρίων όπου οι παράμετροι δεν ικανοποιούν την εξίσωση θερμικής άνεσης.

Ο Fagner συνεπώς, το 1982, έπειτα από μια σειρά μελετών η οποία περιλάμβανε μια πειραματική διαδικασία, πρότεινε μια μέθοδο υπολογισμού της μέσης προτίμησης των ατόμων για τα επίπεδα θερμικής άνεσης μέσω ενός δείκτη. Οι παράμετροι για τους οποίους ερωτήθηκαν αφορούσαν τη θερμοκρασία, την υγρασία και την ταχύτητα του αέρα και καταγράφηκε επίσης ο ρουχισμός και η δραστηριότητα εντός του δωματίου για τον εκάστοτε ερωτηθέντα. Ο δείκτης που προέκυψε από τη μελέτη αυτή, ονομάστηκε από τον Fagner PMV – Predicted Mean Vote, καθώς ήταν βασισμένος σε αποτελέσματα ψηφοφορίας και όχι σε μετρήσεις παραμέτρων με όργανα ή μηχανήματα. Ο αντίστοιχος δείκτης για τη δυσαρέσκεια των ενοίκων, ο PPD (Predicted Percent of Dissatisfied People), εξήχθηκε από αυτήν την έρευνα. Με τη χρήση και των δύο αυτών δεικτών μπορεί να προσδιοριστεί η θερμική άνεση σε ένα χώρο. Το πρότυπο EN – ISO 7730 που παρουσιάστηκε το 1993, αποτελεί τον πιο συχνά χρησιμοποιούμενο από μελετητές και ερευνητές πρότυπο, ώστε να αποδοθεί ο δείκτης θερμικής άνεσης σε έναν υπό εξέταση χώρο ή κτίριο. Όπως φαίνεται στον πίνακα 3.7. που ακολουθεί, Ο δείκτης

PMV είναι μια κλίμακα 7 σημείων και αποτελεί τη μέση τιμή εκτίμησης της θερμικής άνεσης από τα άτομα που βρίσκονται μέσα σε ένα χώρο με δεδομένες συνθήκες. Η μηδενική τιμή είναι η τιμή στην οποία το άτομο αισθάνεται άνετα με τις θερμικές συνθήκες.

Δείκτης Θερμικής Άνεσης	
-3 Κρύο -2 Κρύο	Αίσθηση Ψύχους
-1 Ελαφρύ κρύο 0 Άνεση 1 Ελαφριά ζέστη	Άνεση
2 Ζέστη 3 Καύσωνας	Αίσθηση Καύσωνα

Πίνακας 3.7 – Δείκτης Θερμικής άνεσης EN-ISO 7730

Ο μαθηματικός προσδιορισμός του δείκτη γίνεται με τη βοήθεια της εξίσωσης του Θερμικού ανθρώπινου ισοζυγίου που μελετήθηκε στην προηγούμενη ενότητα. Η σχέση αυτή ακολουθεί στη συνέχεια.

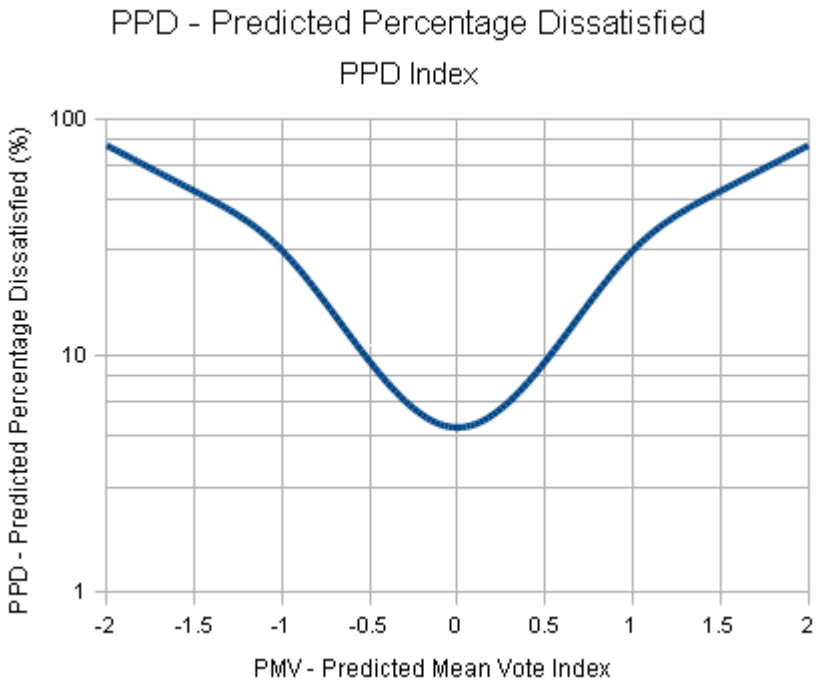
$$PMV = (0{,}303 \cdot e^{-0{,}036M} + 0{,}028) \cdot [\, M - W = H + E_C + C_{RES} + E_{RES}]$$

(Εξίσωση 3.3.2)

Όπου,

Η παράμετρος m αντιστοιχεί στην ειδική μεταβολική δραστηριότητα [W/m^2]

Ο δείκτης PPD, υπολογίζεται εάν είναι γνωστός ο PMV μέσω του διαγράμματος PMV vs PPD που παρουσιάζεται στη συνέχεια.



Διάγραμμα 3.ΙΙ – Δείκτης PMV συναρτήσει PPD (Πηγή : www.EngineeringToolBox.com)

Σύμφωνα με το διάγραμμα PPD ακόμη και στην περίπτωση που ο δείκτης PMV έχει μηδενική τιμή, οπότε ο άνθρωπος βρίσκεται σε κατάσταση θερμικής άνεσης, θα υπάρχει πάντα ένα ποσοστό 5% ατόμων που θα δηλώνει δυσφορία για τις θερμικές συνθήκες του σχετικού χώρου. Στις περιπτώσεις, επίσης, εκείνες κατά τις οποίες οι τιμές του PMV είναι ακραίες, είναι δηλαδή +3 ή -3, ο δείκτης PPD είναι 99,12%. Όταν, με άλλα λόγια, υπάρχει πολύ ζέστη ή πολύ κρύο, θα υπάρχει πάντα ένα ποσοστό ατόμων, περίπου 1%, που θα είναι ικανοποιημένο με τις θερμικές συνθήκες. Εκείνοι που υιοθετούν τη θεωρία του Fanger εκλαμβάνουν κατά κανόνα τη θερμική κατάσταση σε ένα χώρο ως ικανοποιητική, όταν το ποσοστό των δυσαρεστημένων ατόμων (PPD) δεν ξεπερνά το 10%.

Πολλά είναι τα πρότυπα που χρησιμοποιούν μοντέλα υπολογισμού της θερμικής άνεσης στα οποία εφαρμόζονται η θεωρία του Fanger και οι εξισώσεις των PMV και PPD, όπως είναι για παράδειγμα το αμερικάνικο πρότυπο ASHRAE 55 και το διεθνές πρότυπο ISO 7730.

Κεφάλαιο 4

ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΚΤΙΡΙΟΥ

4.1 Εργαλεία υπολογισμού της θερμικής και της ενεργειακής συμπεριφοράς των κτιρίων

Στην αγορά διατίθεται ένα μεγάλο εύρος προγραμμάτων υπολογισμού της ενεργειακής και θερμικής συμπεριφοράς των κτιρίων με διαφορετικές δυνατότητες και περιορισμούς. Τα υπολογιστικά προγράμματα διακρίνονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

- Τα γενικά υπολογιστικά εργαλεία
- Τα ειδικά υπολογιστικά εργαλεία
- Τα απλοποιημένα υπολογιστικά εργαλεία

Στην παρούσια εργασία δεν χρησιμοποιήθηκε κάποιο απλοποιημένο υπολογιστικό εργαλείο. Ενδεικτικά όμως αξίζει να σημειωθεί πως τα συγκεκριμένα εργαλεία βασίζονται σε εμπειρικούς και στατιστικούς αλγορίθμους, οι οποίοι ισχύουν υπο συγκεκριμένες οριακές συνθήκες και επομένως πρέπει να χρησιμοποιούνται μέσα στα όρια της ακρίβειας τους. Το πιο διαδεδομένο παράδειγμα αυτής της κατηγορίας εργαλείων είναι η μέθοδος των βαθμοημερών, η οποία λαμβάνει υπόψη αρκετές ροές θερμότητας (αγωγή, διήθηση, ηλιακά και εσωτερικά κέρδη), δεν εξετάζεται όμως η χρονική μεταβολή της θερμικής ισορροπίας, με αποτέλεσμα το αποτέλεσμα της μεθόδου να είναι προσεγγιστικό.

4.2 Γενικά υπολογιστικά εργαλεία

Τα γενικά υπολογιστικά εργαλεία υπολογίζουν μια σειρά μεταβλητών, όπως είναι η εσωτερική θερμοκρασία, η υγρασία, η ροή του αέρα, η κατανάλωση ενέργειας, η θερμική άνεση κλπ., επιλύοντας μια σειρά διαφορικών εξισώσεων που περιγράφουν τη μεταφορά μάζας και θερμότητας στα κτίρια. Αυτά τα μοντέλα, παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τη δυναμική της θερμικής συμπεριφοράς τόσο ολόκληρου του κτιρίου, όσο και για τα επιμέρους στοιχεία του.

Στην κατηγορία αυτή ανήκει και το μοντέλο προσομοίωσης TRNSYS (TRaNsient SYstems Simulation program), το οποίο είναι διαθέσιμο στο εμπόριο από το 1975. Είναι ένα ολοκληρωμένο και επεκτάσιμο περιβάλλον

προσομοίωσης μεταβαλλόμενων συστημάτων στο χρόνο και χρησιμοποιείται παγκοσμίως από μηχανικούς και ερευνητές για την προσομοίωση και τον σχεδιασμό κτιρίων και του εξοπλισμού τους, λαμβάνοντας ταυτόχρονα υπόψη τη συμπεριφορά των ατόμων μέσα σ' αυτό, καθώς και τα συστήματα εναλλακτικών πηγών ενέργειας.

Το TRNSYS περιέχει μια εκτενή βιβλιοθήκη με πλήθος εξαρτημάτων που συνθέτουν θερμικά και ηλεκτρικά ενεργειακά συστήματα, ενώ ο χρήστης είναι εκείνος που επιλέγει τα εξαρτήματα που συνθέτουν το σύστημα που μελετάει και ορίζει τις συνδέσεις μεταξύ τους.

Η δομή του προγράμματος είναι βασισμένη σε αρχεία DLL, γεγονός που προσφέρει τη δυνατότητα εισαγωγής άλλων μοντέλων, κατασκευασμένα σε κοινές γλώσσες προγραμματισμού (C, Fortran) από τον ίδιο των χρήστη, ενώ μπορεί να συνδεθεί εύκολα και με άλλες εφαρμογές, όπως π.χ. Matlab, COMIS κλπ.

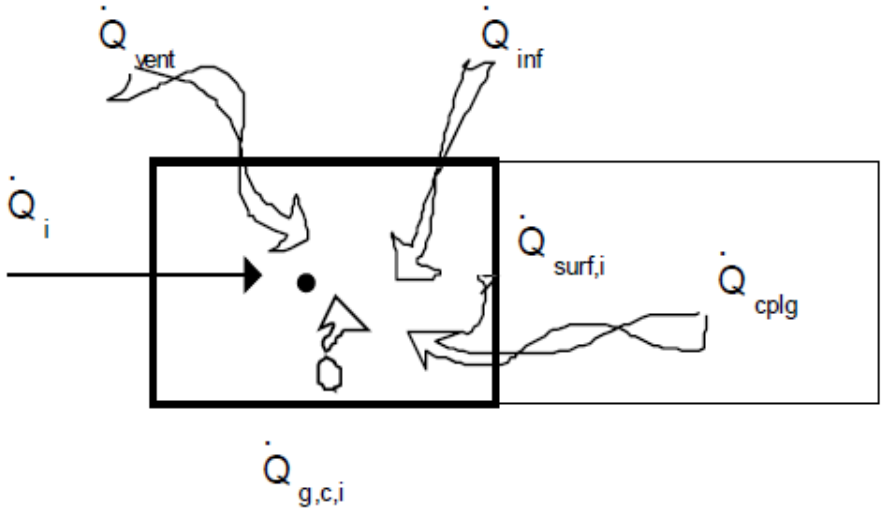
Το μοντέλο προσομοίωσης TRNSYS, αποτελείται από μια σειρά προγραμμάτων, τα οποία είναι: το στούντιο προσομοίωσης (simulation studio), το οποίο αποτελεί και το κεντρικό περιβάλλον του TRNSYS και το εκτελέσιμο αρχείο του (TRNExe.exe), το γραφικό περιβάλλον για την εισαγωγή στοιχείων του κτιρίου (TRNBuild.exe) και τον επεξεργαστή με τον οποίο μπορούν να δημιουργηθούν αυτόνομα προγράμματα γνωστά ως TRNSED εφαρμογές (TRNEdit.exe).

4.2.1 Type 56

Στο στούντιο προσομοίωσης, ο χρήστης επιλέγει από τη βιβλιοθήκη του TRNSYS τα στοιχεία που περιγράφουν το πρόβλημα που μελετά και τα συνδέει μεταξύ τους. Δημιουργείται δηλαδή μια γραφική απεικόνιση της μελέτης του. Τα διάφορα στοιχεία είναι γνωστά ως Types και το μοντέλο ενός πολυζωνικού κτιρίου αναφέρεται ως Type 56. Το στοιχείο Type 56 συνδέεται με μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής όπου βρίσκεται το κτίριο, δεδομένα της ηλιακής ακτινοβολίας, της νέφωσης και της υγρασίας της περιοχής, καθώς επίσης δέχεται ως είσοδο εξωτερικά αρχεία που περιγράφουν αναλυτικά το κτίριο και τις θερμικές ζώνες στις οποίες χωρίζεται.

Ως Θερμική ζώνη ορίζεται μια περιοχή που λειτουργεί με βάση ένα σημείο ή κόμβο ελέγχου που μπορεί να διαφοροποιείται ανάλογα με τη χρήση, είναι επομένως ένας χώρος ή ένα σύνολο χώρων σε ένα κτίριο όπου υπάρχει διαφορετική συμπεριφορά φορτίου από τους υπόλοιπους.

Για κάθε ζώνη του κτιρίου υπό μελέτη, το Type 56 θεωρεί ένα κόμβο αέρα το οποίο αναπαριστά το θερμικό δυναμικό του αέριου όγκου της ζώνης καθώς και θερμικά δυναμικά που συνδέονται άμεσα με αυτό. (Εικόνα 4.1.1)



Εικόνα 4.1.1: Θερμική ισορροπία στον κόμβο αέρα

Η εξίσωση που περιγράφει τη θερμική ισορροπία μιας θερμικής ζώνης είναι:

(Εξίσωση 4.1.1)

Όπου:

: η θερμική ισχύς από όλες τις εσωτερικές επιφάνειες της ζώνης

: κέρδη λόγω ροής αέρα από έξω

: κέρδη λόγω ροής αέρα από σύστημα θέρμανσης/εξαερισμού (HVAC)

: εσωτερικά κέρδη από ανθρώπους, εξοπλισμό, φωτισμό κλπ.

: κέρδη λόγω ροής αέρα από άλλη ζώνη

4.2.2 TRNBuild

Μέσω του TRNBuild καθορίζονται αρχικά οι γενικές παράμετροι του κτιρίου, καθώς και παράμετροι που αφορούν τις θερμικές ζώνες μεμονωμένα. Πιο συγκεκριμένα ορίζονται:

- Ιδιότητες του κτηρίου. Οι ιδιότητες περιλαμβάνουν τις τιμές σταθερών όπως αυτή του Stephan Boltzmann, την πυκνότητα του αέρα καθώς και τιμές συντελεστών για τον υπολογισμό της μεταφοράς θερμότητας.

- Οι επιτρεπτοί προσανατολισμοί για τους τοίχους και τα παράθυρα. Μπορούν να επιλεχθούν συνήθεις προσανατολισμοί που ήδη υπάρχουν ή να καθορισθούν νέοι δίνοντας ένα όνομα για τον προσανατολισμό και ορίζοντας νέες εισόδους στο μοντέλο για τον καθορισμό της ακτινοβολίας στον προσανατολισμό αυτό.

- Οι επιθυμητές έξοδοι του μοντέλου του κτιρίου και οι επιπλέον είσοδοι.

Ειδικότερα για τις ζώνες του κτιρίου, καθορίζονται:

- Τα δεδομένα των τοίχων που αφορούν διαστάσεις, τύπο, προσανατολισμό, υλικά κλπ.

- Καθορίζεται ο συντελεστής θέασης του τοίχου από τον ουρανό, ο συντελεστής κατανομής της εισερχόμενης ακτινοβολίας και τυχόν επιπρόσθετα φορτία του τοίχου.

- Τα δεδομένα των παραθύρων. Τα παράθυρα μπορούν να τοποθετηθούν σε εξωτερικούς τοίχους και σε τοίχους παρακείμενους σε άλλες ζώνες.

- Η μέθοδος θέρμανσης κάθε ζώνης. Η ενεργειακή απαίτηση μιας ζώνης σε θέρμανση εξαρτάται από την στρατηγική που θα επιλεχθεί για τη θέρμανση της ζώνης η οποία καθορίζεται από τη μέθοδο που θα επιλέξει ο χρήστης.

- Η μέθοδος ψύξης της ζώνης. Αντίστοιχα με την μέθοδο θέρμανσης δίνεται η επιλογή εισαγωγής μεθόδου ψύξης της ζώνης.

- Η διείσδυση του αέρα. Καθορίζεται το αν θα συνυπολογιστεί για τη συγκεκριμένη ζώνη το φορτίο από τη διείσδυση του αέρα.

- Η μέθοδος αερισμού κάθε ζώνης. Με τη μέθοδο αυτή μπορεί να καθορισθεί η εισροή αέρα από οποιαδήποτε πηγή (π.χ. από ένα κλιματιστικό).

- Τα εσωτερικά φορτία κάθε ζώνης. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται τα φορτία ανθρώπων, υπολογιστών, φωτισμού καθώς και κάθε άλλο φορτίο που ορίζεται από το χρήστη.

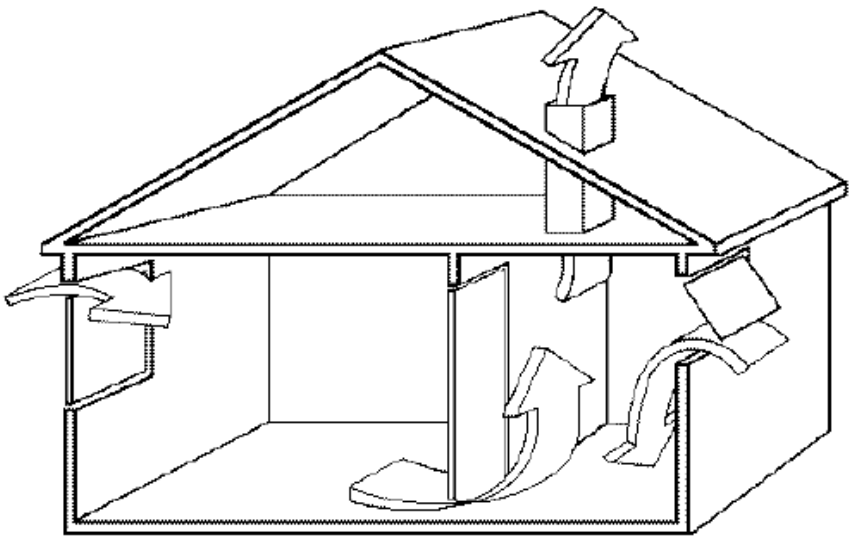
4.3 Τα ειδικά υπολογιστικά εργαλεία

Το COMIS περιλαμβάνεται στα Ειδικά υπολογιστικά εργαλεία, τα οποία υπολογίζουν την απόδοση και τη θερμική συμπεριφορά συγκεκριμένων στοιχείων του κτιριακού κελύφους, συγκεκριμένων τεχνικών (φυσικός αερισμός) ή μέρους του δομημένου περιβάλλοντος. Τα εργαλεία αυτά βοηθούν το χρήστη να αξιολογήσει την απόδοση διαφόρων συστημάτων υπό διαφορετικές συνθήκες και να μελετήσει την επίδραση συγκεκριμένων παραμέτρων στο κτίριο.

4.4 COMIS MODEL

Το COMIS δημιουργήθηκε από το έργο μιας ομάδας ειδικών του Διεθνούς Οργανισμού Ενέργειας (IEA) που ξεκίνησε την μελέτη μοντέλων ροής αέρα πολλαπλών ζωνών, το 1990. Ο στόχος της ομάδας αυτής ήταν η μελέτη φυσικών φαινομένων που προκαλούν ροή αέρα και μεταφορά ρύπων (π.χ. υγρασία) σε κτίρια πολλαπλών ζωνών και να αναπτύξουν ενότητες ώστε να ενσωματωθούν σε ένα σύστημα μοντελοποίησης πολλαπλών ζωνών ροής αέρα.

Τα μοντέλα ροής του αέρα μπορούν να χωριστούν σε 2 κατηγορίες, στα ενιαίας ζώνης μοντέλα και στα πολυζωνικά μοντέλα. Τα ενιαίας ζώνης μοντέλα υποθέτουν ότι ένα κτίριο μπορεί να περιγραφεί από μία ενιαία καλά αναμειγμένη ζώνη. Αυτά τα μοντέλα χρησιμοποιούνται κυρίως για μονοκατοικίες (Εικόνα 4.4.1) χωρίς εσωτερικά ανοίγματα.



Εικόνα 4.4.1: Παράδειγμα ροής αέρα σε μία κατοικία

Τα πολυζωνικά μοντέλα χρησιμοποιούνται για να προσδιορίσουν τις ροές του αέρα ενός κτιρίου χωρισμένου σε περισσότερες από μία καλά αναμεμειγμένες ζώνες. Ένα τέτοιο μοντέλο είναι το COMIS, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αυτόνομο μοντέλο με χαρακτηριστικά εισόδου και εξόδου ή ως υποσύστημα μελέτης αερισμού ενός ευρύτερου προγράμματος προσομοίωσης του κτιρίου.

4.4.1 Εισαγωγή Δεδομένων στο COMIS

Για το μοντέλο COMIS τα απαραίτητα δεδομένα που χρειάζονται για την μοντελοποίηση είναι τα ακόλουθα:

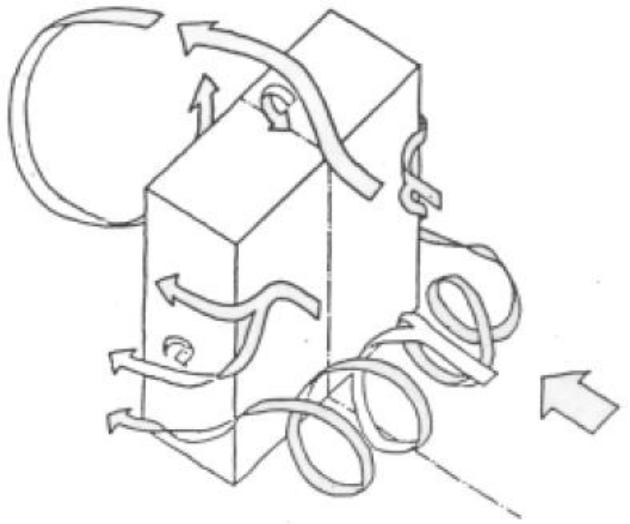
1. Περιγραφή Προβλήματος
2. Περιγραφή 3D-Κτηρίου
3. Άμεση περιγραφή δικτύου ροής αέρα
4. Εισαγωγή τιμών Cp
5. Περιγραφή περιβάλλοντος
6. Εισαγωγή χρονοδιαγράμματος λειτουργίας
7. Περιγραφή μετεωρολογικών στοιχείων

Εισάγοντας τα παραπάνω δεδομένα, ένα μοντέλο κόμβων αναπτύσσεται από το COMIS για να αναπαραστήσει το κτίριο. Ένας κόμβος με τιμές θερμοκρασίας, πίεσης και συγκέντρωσης για κάθε ένα από τους ρύπους αντιστοιχεί σε μία ζώνη, η οποία θεωρείται ομοιογενής. Οι κόμβοι συνδέονται μεταξύ τους με μη γραμμικές εξισώσεις που μοντελοποιούν τις διόδους του αέρα. Χρησιμοποιώντας τη διατήρηση της μάζας αέρα, ένα σύστημα μη γραμμικών εξισώσεων αναπτύσσεται και επιλύεται.

4.4.2 Κατανομή του αέρα σε κτίριο

Η ροή αέρα και η κατανομή του σε ένα κτίριο προκαλούνται από την διαφορά πίεσης στο εσωτερικό και στο εξωτερικό περιβάλλον του κτιρίου λόγω ανέμου, τη θερμική άνωση λόγω διαφοράς θερμοκρασίας στο εσωτερικό και στο εξωτερικό του κτιρίου, την χρήση μηχανικών συστημάτων εξαερισμού στους εσωτερικούς χώρους ή συνδυασμός αυτών. Η ροή αέρα επίσης επηρεάζεται από την κατανομή των ανοιγμάτων στο κέλυφος ενός κτιρίου, καθώς και από τα εσωτερικούς του διαδρόμους, ενώ ένας ακόμη παράγοντας που επηρεάζει τη ροή του αέρα στο εσωτερικό είναι η δραστηριότητα των ενοίκων του κτιρίου, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές διαφορές της κατανομής στο

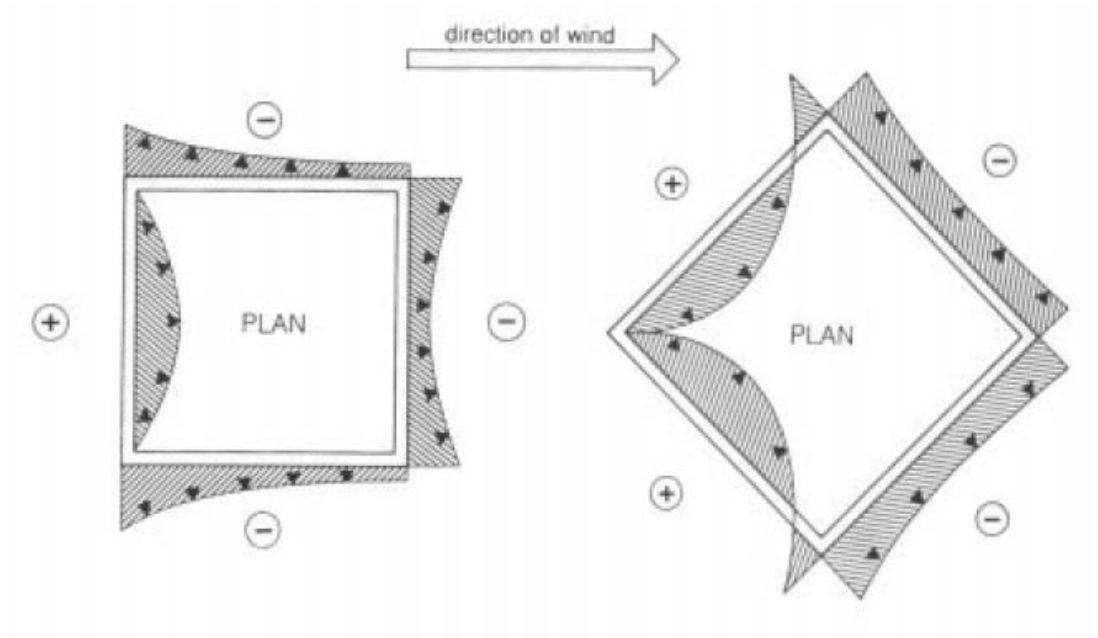
εσωτερικό. Όλες οι παραπάνω επιρροές πρέπει να ληφθούν υπόψη για την δημιουργία ενός αποτελεσματικού μοντέλου.
Στην εικόνα 4.4.2 φαίνεται πόσο πολύπλοκη μπορεί να είναι η διανομή του αέρα γύρω από ένα κτίριο.



Εικόνα 4.4.2: Διανομή αέρα γύρω από ένα κτίριο

4.4.3 Κατανομή πίεσης αέρα

Ο αέρας παράγει ένα πεδίο ταχύτητας και πίεσης γύρω από ένα κτίριο. Στην γενική περίπτωση, ο άνεμος ασκεί πίεση προς την προσήνεμη πλευρά και υποπίεση (αναρρόφηση) προς την υπήνεμη πλευρά μιας κατασκευής. Στην εικόνα 4.4.3 φαίνεται η δράση του ανέμου στην προσήνεμη πλευρά (θετική) και στην υπήνεμη (αρνητική). Το πρώτο σχήμα αντιστοιχεί στην περίπτωση όπου η διεύθυνση του ανέμου είναι κάθετη στην προσβαλλόμενη επιφάνεια, ενώ το δεύτερο αντιστοιχεί στην περίπτωση, όπου ο άνεμος προσπίπτει στην επιφάνεια υπό γωνία μικρότερη των 90°.



Εικόνα 4.4.3: Δράση ανέμου στην προσήνεμη και υπήνεμη πλευρά κτιρίου

Η δράση του ανέμου υπολογίζεται για κάθε προσβαλλόμενη επιφάνεια, η οποία μπορεί να είναι ολόκληρη η κατασκευή ή κάποια επιμέρους μέλη αυτής. Οι δράσεις του ανέμου μεταβάλλονται με το χρόνο και δρουν άμεσα στις εξωτερικές επιφάνειες της κατασκευής (πίεση) και έμμεσα στις εσωτερικές επιφάνειες αυτής (υποπίεση), μέσω του πορώδους των εξωτερικών επιφανειών.

Η ταχύτητα του ανέμου σε διάφορα ύψη υπολογίζεται μέσω της ακόλουθης εξίσωσης:

— (Εξίσωση 4.4.3.1)

Όπου

$v(z)$: Η ταχύτητα του αέρα στο ύψος z [m/s]

$v(z_0)$: Η ταχύτητα του αέρας στο ύψος αναφοράς z_0 [m/s]

α : εκθέτης

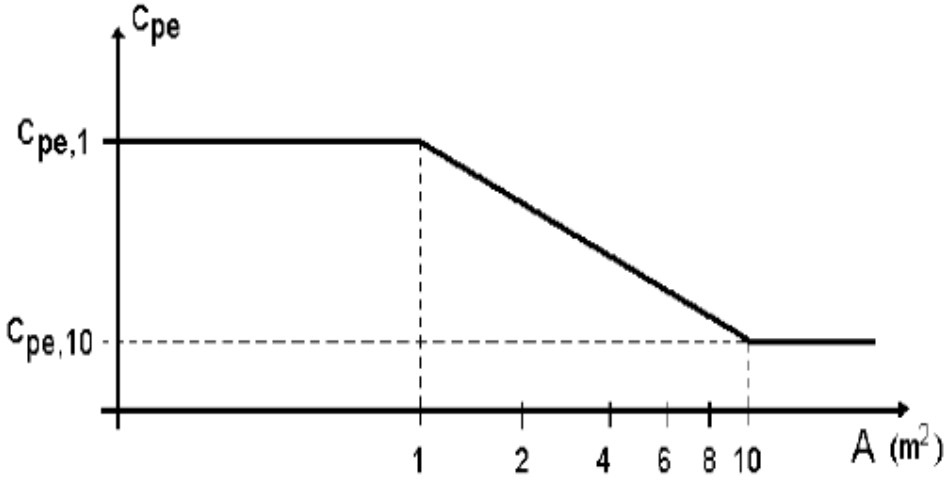
Ο εκθέτης α εξαρτάται από την τραχύτητα του εδάφους, καθώς και τη διαμόρφωση της γύρω περιοχής από το κτίριο. Για το λόγο αυτό λαμβάνει διάφορες τιμές μερικές από τις οποίες παρουσιάζονται στον πίνακα 4.4.4.

Τύπος περιοχής	Ύψος οριακού στρ.[m]	Συντελεστής [α]
Ανοιχτή περιοχή	270	0,14
Ορεινή	390	0,28
Πόλη	510	0,40

Πίνακας 4.4.4: Τυπικές τιμές εκθέτη α, ανάλογα με τον τύπο περιοχής

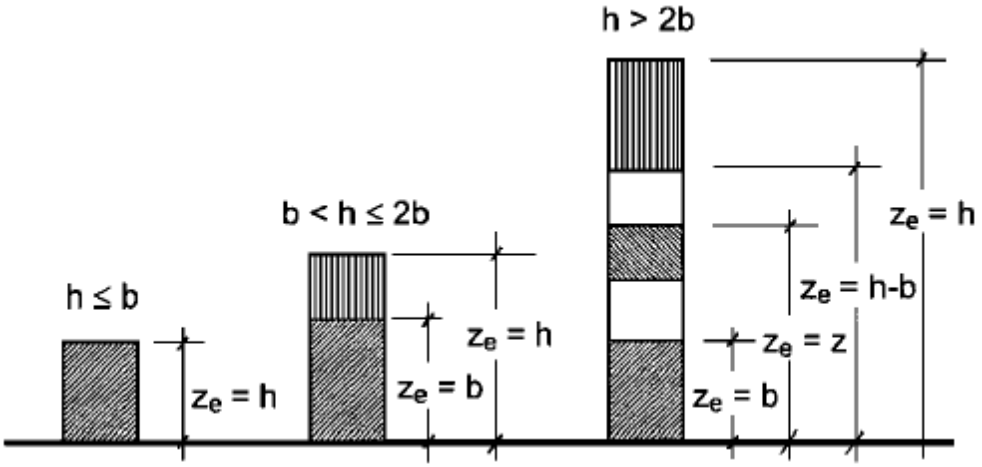
4.4.4 Συντελεστές πίεσης

Οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης για κτίρια και μεμονωμένα τμήματα κτιρίων εξαρτώνται, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 4.4.4.1. από το μέγεθος της φορτιζόμενης επιφάνειας A και συμβολίζονται ως $C_{pe,1}$ και $C_{pe,10}$ για επιφάνειες ίσες με $1m^2$ και $10m^2$ αντίστοιχα.



Διάγραμμα 4.4.4.1: Μεταβολή του συντελεστή εξωτερικής πίεσης (C_{pe}) για κτίρια συναρτήσει της φορτιζόμενης επιφάνειας A

Για τον υπολογισμό των εξωτερικών συντελεστών πίεσης, πρέπει αρχικά να προσδιοριστεί το ύψος αναφοράς z_e για τους προσήνεμους τοίχους. Στο ακόλουθο σχήμα (σχήμα 4.4.4.2) παρουσιάζονται τρεις διαφορετικές περιπτώσεις προσδιορισμού του ύψους αναφοράς z_e ανάλογα με την αναλογία ύψους/πλάτους του κτιρίου.



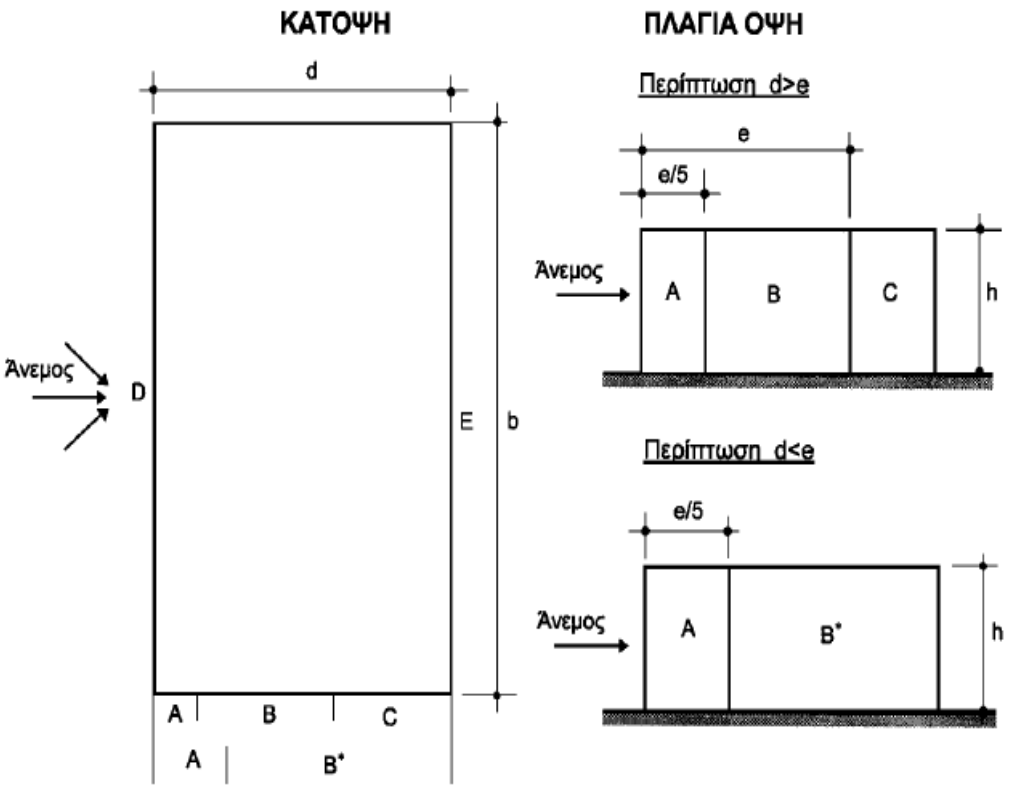
Σχήμα 4.4.4.2: Προσδιορισμός του ύψους αναφοράς

Σύμφωνα με το προηγούμενο σχήμα διακρίνονται οι εξής περιπτώσεις:

- $h \leq b$, τότε ως ύψος αναφοράς θεωρείται το ύψος του κτιρίου $z_e = h$
- $b < h \leq 2b$, τότε το κτίριο θεωρείται πως απαρτίζεται από δύο τμήματα με ύψος $z_e = b$ για το χαμηλότερο και $z_e = h$ για το υπερκείμενο.
- $h > 2b$, Το κτίριο θεωρείται πως απαρτίζεται από πολλά τμήματα, εκ των οποίων, το χαμηλότερο έχει ύψος $z_e = b$, το ψηλότερο έχει ύψος $z_e = h$ και το ενδιάμεσο τμήμα χωρίζεται σε τμήματα με μέγιστο ύψος κάθε τμήμα ίσο με b.

Όπου: b: το πλάτος του κτιρίου εγκάρσια στη διεύθυνση πνοής του ανέμου όπως φαίνεται στο σχήμα 4.4.4.3
h: το ύψος του κτιρίου σε πλάγια όψη όπως φαίνεται στο σχήμα 4.4.4.3

Για τον υπήνεμο τοίχο του κτιρίου, καθώς και τους παράπλευρους, το ύψος αναφοράς λαμβάνεται ίσο με το ύψος του κτιρίου.



Σχήμα 4.4.4.3: Ορισμοί για κατακόρυφους τοίχους, όπου e = min {b, 2h}

Στον πίνακα 4.4.4.4 παρουσιάζονται οι τιμές των συντελεστών $C_{pe,1}$ και $C_{pe,10}$ σύμφωνα με τη European Standard En 1991-1-4:2005, για τις ζώνες του κτιρίου που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο σχήμα.

Ζώνη	A		B		C		D		E	
h/d	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
5	-1.2	-1.4	-0.8	-1.1	-0.5		+0.8	+1,0	-0.7	
1	-1.2	-1.4	-0.8	-1.1	-0.5		+0.8	+1,0	-0.5	
≤0,25	-1.2	-1.4	-0.8	-1.1	-0.5		+0.8	+1,0	-0.3	

Πίνακας 4.4.4.4: Τυπικές τιμές των συντελεστών $C_{pe,1}$ και $C_{pe,10}$ (Πηγή: European Standard En 1991-1-4:2005)

Για ενδιάμεσες τιμές του λόγου h/d χρησιμοποιείται η μέθοδος της γραμμικής παρεμβολής.

4.5 Σύνδεση TRNsys – COMIS

4.5.1 Η ιδέα της σύζευξης

Βασικοί κανόνες

Η ιδέα της σύζευξης βασίστηκε στις παρακάτω βασικές απαιτήσεις και κανόνες:

- Προσαρμογή του προγράμματος προσομοίωσης COMIS του πακέτου COMIS σαν ξεχωριστό τύπο (Type) του TRNSYS, ονομαζόμενο Type 157 “COMIS-TRNSYS”, έτσι ώστε να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με το Type 56 του TRNSYS για πολυζωνικά κτήρια.
- Καμία αλλαγή στον κώδικα του TRNSYS
- Αλλαγές μόνο στην κύρια ρουτίνα του COMIS
- Σταθερά αρχεία εισόδου δεδομένων για το TRNSYS όσο και για το COMIS
- Ύπαρξη ενός μόνο αρχείου καιρού

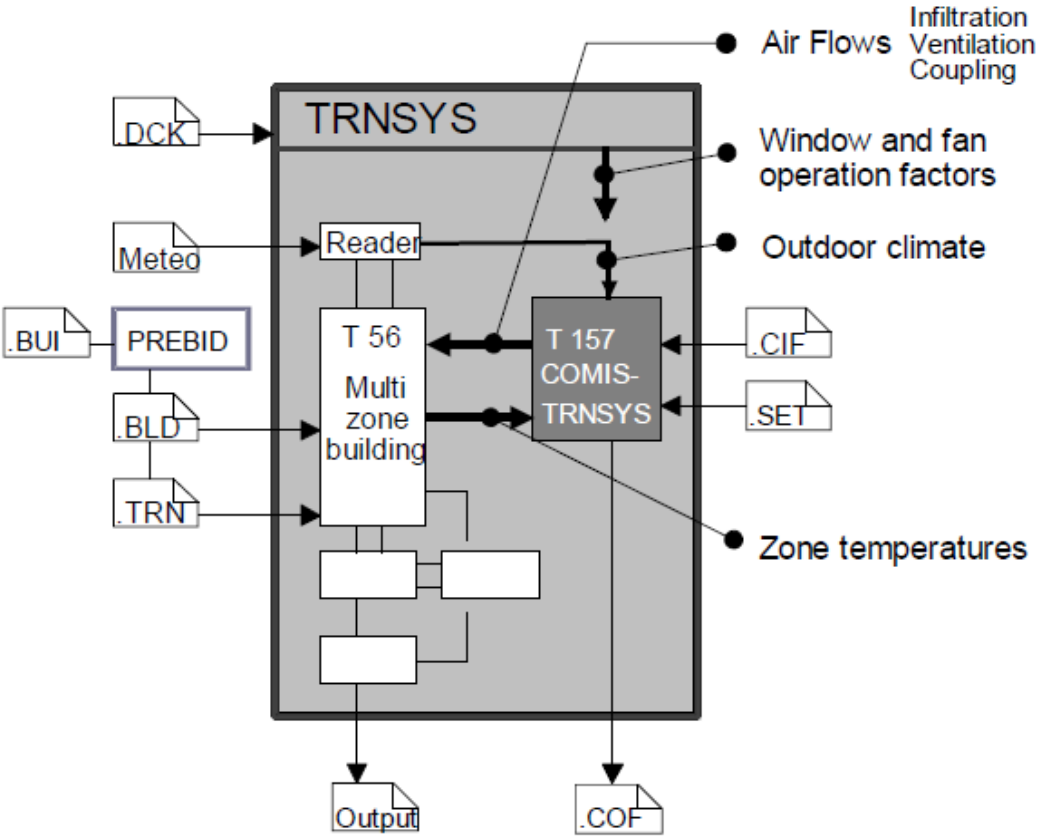
Συνέπειες

Βασικές συνέπειες των παραπάνω κανόνων είναι μεταξύ άλλων:

- Ύπαρξη περιττών δεδομένων στα δύο αρχεία εισαγωγής και αναγκαστικός έλεγχος τους από τον χρήστη

- Ο χρονικός προγραμματισμός γίνεται μόνο μέσω του TRNSYS
- Παρ' όλη την έξοδο δεδομένων από τον «εκτυπωτή» (printer) του TRNSYS, το κανονικό αρχείο εξόδου του COMIS παραμένει διαθέσιμο

4.5.2 Μεταφορά αρχείων

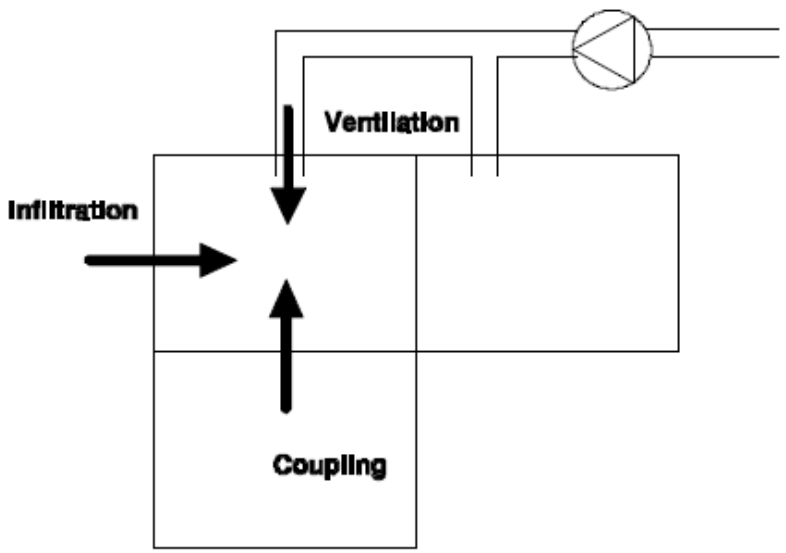


Ολοκλήρωση του COMIS σαν Type 157 στο TRNSYS, σχετικά αρχεία και προεπεξεργαζόμενα προγράμματα

4.5.3 Παράμετροι

1) Οι παράμετροι που εισέρχονται στο Type 56 από το Type 157 είναι οι εισερχόμενες ροές αέρα ανά ζώνη σύμφωνα με τους ορισμούς του Type 56 :

- Διείσδυση αέρα (Ροή αέρα από έξω λόγο φυσικού αερισμού)
- Αερισμός (Ροή αέρα από μηχανικά συστήματα)
- Σύζευξη (Διαζωνική ροή λόγο φυσικού ή μηχανικού αερισμού)



Οι τρείς διαφορετικοί τύποι ροών αέρα όπως ορίζονται από το Type 56 του TRNSYS

2) Παράμετροι που λαμβάνονται από το Type 56 στο Type 157 είναι:

- Θερμοκρασίες αέρα δωματίου

3) Παράμετροι που εισέρχονται στο Type 157 από άλλα Types του TRNSYS:

- Δεδομένα καιρού: Ταχύτητα ανέμων και κατεύθυνση , εξωτερική θερμοκρασία και υγρασία, βαρομετρική πίεση
- Χρονοδιάγραμμα όπως το αρχείο TDFF που ανάλογα την παράμετρο που περιλαμβάνει: τους συντελεστές ανοιγμάτων για πόρτες και παράθυρα και την σχετική ή απόλυτη ταχύτητα για ανεμιστήρες

4.5.4 Περιορισμοί σε σχέση με την αυτόνομη χρήση του COMIS

Χρήση προγραμμάτων: Τα προγράμματα καθορίζονται από CIF αρχείο και δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην τωρινή έκδοση του COMIS-TRNSYS. Παρόλα αυτά , η σύνδεση των προγραμμάτων για άνοιγμα παραθύρων, πορτών και λειτουργίας ανεμιστήρων μπορεί να καθοριστεί με την χρήση κατάλληλων TRNSYS types για παραγωγή προγραμμάτων όπως το type TDFF (Time dependant forcing function).

Έξοδος για τα .CGO αρχεία: Η έξοδος του γραφικού προγράμματος επεξεργασίας COMOUT δεν μπορεί να παραχθεί από την πραγματική έκδοση του COMIS-TRNSYS.

Κεφάλαιο 5
Περιγραφή του υπό μελέτη κτιρίου

5.1 Γενικές πληροφορίες

Το κτίριο του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης, αποτέλεσε το κτίριο μελέτης ως προς την ποιότητα εσωτερικού αέρα και της εξοικονόμησης ενέργειας. Συγκεκριμένα, το κτίριο Κ2 στο οποίο στεγάζεται το Μηχανογραφικό Κέντρο, γραφεία και εργαστήρια.

Το Κ2 ,μαζί με το κτίριο Κ1, βρίσκονται στο βορειότερο άκρο της Πολυτεχνειούπολης, σε απόσταση λίγων χιλιομέτρων από την θάλασσα. Η υψομετρική του διαφορά με τη θάλασσα, ανέρχεται σε 137 m και ο προσανατολισμός του είναι βορειοανατολικός.

Το κτίριο αποτελείται από ισόγειο, πρώτο και δεύτερο όροφο. Στο ισόγειο του κτιρίου στεγάζεται το μηχανογραφικό κέντρο, ο χώρος εκτυπώσεων, εργαστήρια ,σκάλες επικοινωνίας με τον πρώτο όροφο καθώς και τουαλέτες. Στον πρώτο όροφο υπάρχουν γραφεία καθηγητών, μεταπτυχιακών φοιτητών και υποψήφιων διδακτόρων, τουαλέτες και σκάλες επικοινωνίας με τον δεύτερο όροφο που περιλαμβάνει τον μηχανολογικό εξοπλισμό. Το μηχανοστάσιο του ανελκυστήρα, αντλία κενού, boiler για ζεστό νερό χρήσης, ο πίνακας κίνησης βρίσκονται στον τελευταίο αυτόν όροφο.

Στο ισόγειο, στη βόρεια και τη νότια πλευρά του κτιρίου, έχουν τοποθετηθεί παράθυρα με μεταξύ τους απόσταση δύο μέτρα, συνολικά 14 σε αριθμό στην κάθε πλευρά του κτιρίου. Ομοίως τοποθετημένα είναι και τα παράθυρα στον πρώτο όροφο, ενώ συνολικά ο αριθμός τους είναι 16.

Τα παράθυρα είναι κατασκευασμένα από αλουμίνιο και το κάθε παράθυρο επεκτείνεται σε μήκος 1 μέτρο και ύψος 2 μέτρα. Στον δεύτερο όροφο δεν υπάρχουν παράθυρα αλλά 8 περσίδες στη βόρεια και 8 στη νότια πλευρά. Οι διαστάσεις των περσίδων είναι 1 μέτρο μήκος και 1,5 μέτρο ύψος.

Στην ανατολική και τη δυτική πλευρά υπάρχουν από δύο παράθυρα στο ισόγειο και τον πρώτο όροφο, ενώ στον δεύτερο από δύο περσίδες. Επίσης στο

μέσο της δυτικής και της ανατολικής πλευράς του κτιρίου υπάρχει γυάλινη πόρτα μία για το ισόγειο και μία για τον πρώτο όροφο. Οι εξωτερικές αυτές πόρτες αποτελούνται από δύο φύλλα, είναι γυάλινες με πλαίσιο αλουμινίου, μήκους 2 μέτρα και ύψους 3 μέτρα η κάθε μία.
Η περιγραφή της βόρειας και νότιας πλευράς απεικονίζεται στη δεξιά φωτογραφία και της δυτικής και ανατολικής στην αριστερή φωτογραφία, που αναρτήθηκαν ανωτέρω.

5.2 Διαχωρισμός του κτιρίου σε ζώνες

Οι συνολικές διαστάσεις του Κ2 είναι :
Μήκος : 42 μέτρα
Ύψος : 12 μέτρα
Πλάτος : 14,4 μέτρα
Ο χωρισμός του σε ζώνες κρίθηκε απαραίτητος για την προσομοίωση και μελέτη του. Συγκεκριμένα, χωρίστηκε σε τριάντα με βάση τη χρήση και τον προσανατολισμό της κάθε ζώνης. Για το ισόγειο δημιουργήθηκαν 12 ζώνες, στον πρώτο όροφο 17 ενώ ο δεύτερος όροφος αποτέλεσε μία ενιαία ζώνη. Η αναλυτική περιγραφή της κάθε ζώνης και οι διαστάσεις της για τον εκάστοτε όροφο ξεχωριστά, παρουσιάζεται στους πίνακες που ακολουθούν.

5.2.1 Ισόγειο

Στον πίνακα 5.2.1.1, παρουσιάζονται οι ζώνες στις οποίες διακρίνεται το ισόγειο, όπου περιλαμβάνει 12 ζώνες. Το ισόγειο εκτείνεται σε μήκος 42 μέτρων, πλάτος 14,4 και ύψος 4 μέτρα.

Ισόγειο				
Αριθμός Ζώνης	**Χρησιμότητα Χώρου**	**Διαστάσεις (m)**		
		Μήκος	**Πλάτος**	**Ύψος**
Αρίθμηση στη βόρεια πλευρά , από ανατολικά προς τα δυτικά				
1	Εργαστήρια (1,2)	12	6	4
2	Σκάλες	3	6	4
3	Μηχανογραφικό Κέντρο	9	6	4
4	Εκτυπωτές	3	6	4
5	Σκάλες	3	6	4
6	Εργαστήρια (3,4)	12	6	4
Αρίθμηση στη νότια πλευρά, από δυτικά προς τα ανατολικά				
7	Εργαστήριο	9	6	4
8	Τουαλέτες και Ανελκυστήρας	9	6	4
9	Μηχανογραφικό	9	6	4
10	Τουαλέτες, δωμάτιο ελέγχου μηχ/κου, ανελκυστήρας	6	6	4
11	Εργαστήριο (5)	9	6	4
12	Διάδρομος ισογείου	42	2,4	4

Πίνακας 5.2.1.1– Αρίθμηση και περιγραφή ζωνών του ισογείου

Η θέση της κάθε ζώνης σημειώνεται και στην κάτοψη του ισογείου που παρατίθεται στα Παραρτήματα.

5.2.2 Πρώτος όροφος

Ο πρώτος όροφος του κτιρίου εκτείνεται σε μήκος 48 μέτρων, ύψος 4 μέτρων και πλάτος 14,4 μέτρα. Ο χωρισμός και σε αυτή τη περίπτωση σε ζώνες πραγματοποιήθηκε λαμβάνοντας υπόψη τον προσανατολισμό και τη χρήση των χώρων. Οι ζώνες που προέκυψαν είναι 17 συνολικά και στον πίνακα 5.2.2.1 παρουσιάζονται αναλυτικά μαζί με τις διαστάσεις τους, καθώς έχουν επίσης σημειωθεί και στην κάτοψη του 1^{ου} ορόφου που παρατίθεται στα Παραρτήματα.

Πρώτος όροφος				
Αριθμός Ζώνης	**Χρησιμότητα Χώρου**	**Διαστάσεις (m)**		
		Μήκος	**Πλάτος**	**Ύψος**
Αρίθμηση στη βόρεια πλευρά, από ανατολικά προς τα δυτικά				
1	Γραφεία	15	5	4
2	Σκάλες	3	5	4
3	Γραφείο	3	5	4
4	Γραφείο	3	5	4
5	Γραφεία	6	5	4
6	Σκάλες	3	5	4

7	Γραφεία	6	5	4
8	Γραφείο	3	5	4
9	Γραφείο	3	5	4
10	Γραφείο (άδειο)	3	5	4
Αρίθμηση στη νότια πλευρά, από τα δυτικά προς τα ανατολικά				
11	Γραφείο (άδειο)	12	5	4
12	Τουαλέτες, Ανελκυστήρας	6	5	4
13	Αίθουσα εργαστηρίου	12	5	4
14	Τουαλέτες , Ανελκυστήρας	6	5	4
15	Αίθουσα εργαστηρίου	12	5	4
Αρίθμηση στην ανατολική πλευρά				
16	Γραφείο	1,4	3	4
17	Διάδρομος ορόφου	48	4,4	4

Πίνακας 5.2.2.1 – Αρίθμηση και περιγραφή ζωνών πρώτου ορόφου

5.2.3 Δεύτερος όροφος

Στον δεύτερο όροφο είναι εγκατεστημένος ο μηχανολογικός εξοπλισμός του κτιρίου στον οποίο περιέχονται το μηχανοστάσιο του ανελκυστήρα, χώρος των UPS και των μπαταριών, αντλία κενού, boiler για ζεστό νερό χρήσης, ο πίνακας κίνησης. Αποτελεί μία ενιαία ζώνη με διαστάσεις :

Μήκος : 36 m

Πλάτος : 14,4 m

Ύψος : 3 m

5.3 Προσομοίωση με τη χρήση του σχεδιαστικού εργαλείου Google Sketch Up

Για την προσομοίωση του κτιρίου με το λογισμικό TRNSys, το πρώτο στοιχείο εισόδου που είναι απαραίτητο, είναι η τρισδιάστατη απεικόνιση του κτιρίου. Αυτό πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του σχεδιαστικού εργαλείου Google Sketch Up, εισάγοντας για κάθε ζώνη τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά που παρουσιάστηκαν προηγουμένως, ενώ διανοίχθηκαν και τα εξωτερικά ανοίγματα του κτιρίου.

Οι συνολικές ζώνες, στις οποίες χωρίστηκε το κτίριο ήταν 30. Ο διαχωρισμός έγινε, όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη ενότητα, με βάση τον προσανατολισμό της κάθε ζώνης, καθώς και τη χρήση τους. Θα μπορούσε τα γραφεία του 1^{ου} ορόφου να χωριστούν σε λιγότερες ζώνες, λόγω όμως του ελέγχου των αποτελεσμάτων της εσωτερικής θερμοκρασίας, του μοντέλου TRNSys με τις πραγματικές τιμές της θερμοκρασίας που μετρήθηκαν σε διάφορους χώρους, ο οποίος θα παρουσιαστεί στο επόμενο κεφάλαιο, επιλέχθηκε μερικά γραφεία να αποτελούν ξεχωριστή ζώνη.

Το κτίριο Κ2 σε τρισδιάστατη μορφή απεικονίζεται στο σχέδιο της επόμενης σελίδας. Οι επιφάνειες με μωβ χρώμα, αποτελούν εξωτερικές τοιχοποιίες που προκαλούν σκίαση στο κτίριο, ενώ οι περσίδες του τελευταίου ορόφου φαίνονται να έχουν τη μορφή γυάλινης επιφάνειας, ωστόσο τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά τους αλλάχθηκαν στο περιβάλλον TRNBuild. Επίσης στο εσωτερικό των κτιρίων και συγκεκριμένα στις ζώνες των διαδρόμων, διανοίχθηκαν 6 ανοίγματα, επιφάνειας 4m^2 το καθένα, με τη μορφή επίσης γυάλινης επιφάνειας. Και σε αυτή την περίπτωση στο γραφικό περιβάλλον TRNBuild, εισήχθησαν δεδομένα, ώστε να «διαβάζονται» από το πρόγραμμα ως ανοίγματα και όχι ως γυάλινες επιφάνειες.

Το τρισδιάστατο σχέδιο παρατίθεται στα Παραρτήματα στο τέλος της εργασίας.

5.4 Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά κτιρίου

5.4.1 Εξωτερικές τοιχοποιίες

Οι εξωτερικοί τοίχοι του κτιρίου Κ2 έχουν απόχρωση κίτρινη και τα υλικά, τα οποία είναι κατασκευασμένοι έχουν την εξής διαστρωμάτωση από μέσα προς τα έξω:

Γυψοσανίδα: πάχους: 10cm

Τσιμεντοσανίδα: πάχους: 3 cm

Μη Φέρον οπλισμένο σκυρόδεμα: πάχους: 20 cm

Φέρον οπλισμένο σκυρόδεμα: πάχους 30 cm σε κάποια σημεία

Τσιμεντοσανίδα τύπου Aquapanel: πάχους 12 mm

Από την Τεχνική Οδηγία ΤΟΤΕΕ-20701-2/2010, τα παραπάνω δομικά υλικά επιλέχθηκαν να έχουν τα χαρακτηριστικά που συνοψίζονται στον Πίνακα 5.4.1.1:

Δομικά υλικά	Πυκνότητα, ρ (kg/m^3)	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας, λ (W/m*K)	Ειδική θερμοχωριτηκότητα, Cp (J/kg*K)
Γυψοσανίδα	900	0,250	1000
Οπλισμένο Σκυρόδεμα	2000	1,350	1000
Τσιμεντοσανίδα	1200	0,3	1000

Πίνακας 5.4.1.1: Χαρακτηριστικά δομικών υλικών

5.4.1.1 Εσωτερικές τοιχοποιίες

Οι εσωτερικές τοιχοποιίες αποτελούνται από γυψοσανίδα πάχους 10 cm και φέρον οπλισμένο σκυρόδεμα πάχους 30 cm, ενώ είναι επενδυμένοι με υαλοΰφασμα με ακρυλική βαφή.

5.4.2 Εξωτερικά παράθυρα και Πόρτες

Τα εξωτερικά παράθυρα, όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο της γενικής περιγραφής του κτιρίου, είναι 14 σε αριθμό στη βόρεια πλευρά του κτιρίου και αντίστοιχα 14 στη νότια για το ισόγειο, ενώ ο αριθμός των παραθύρων για τους αντίστοιχους προσανατολισμούς του κτιρίου ανέρχεται στα 16 παράθυρα.

Η δυτική και ανατολική πλευρά του κτιρίου, περιλαμβάνει από δύο εξωτερικές γυάλινες πόρτες, μία για το ισόγειο και μία για τον 1° όροφο, ενώ δεξιά και αριστερά των πορτών και σε απόσταση 2,5m από αυτές, υπάρχει από ένα παράθυρο.

Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των εξωτερικών παραθύρων και πορτών αναγράφονται στον Πίνακα 5.4.2.1.

Είδος	Μήκος (m)	Ύψος (m)
Παράθυρα	**1**	**2**
Πόρτες	**2**	**3**

Πίνακας 5.4.2.1: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά εξωτερικών ανοιγμάτων

Τα παράθυρα αποτελούνται από πλαίσιο αλουμινίου με θερμοδιακοπή 12mm πλάτους 0,10 cm και δίδυμο υαλοπίνακα με διάκενο αέρα 12mm, πλάτους 0,8cm και ύψους 1,8m. Τα ίδια χαρακτηριστικά έχουν και οι εξωτερικές πόρτες του ισογείου και του πρώτου ορόφου του κτιρίου, οι οποίες αποτελούνται από δύο φύλλα.

5.4.2.2 Υπολογισμός του συντελεστή θερμοπερατότητας των παραθύρων και των εξωτερικών πορτών

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας ενός εξωτερικού ανοίγματος εξαρτάται από το υλικό του πλαισίου και του υαλοπίνακα. Ο συντελεστής θερμοπερατότητας των διαφανών επιφανειών υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

[1]

Όπου:

Af : το εμβαδόν του πλαισίου, m^2

Ag : το εμβαδόν του υαλοπίνακα, m^2

Uf : ο συντελεστής θερμοπερατότητας του πλαισίου, [$W/m^2 * K$]

Ug : ο συντελεστής θερμοπερατότητας του υαλοπίνακα, [$W/m^2 * K$]

Ig : η περίμετρος του υαλοπίνακα, m

Ψg : ο συντελεστής γραμμικής θερμοπερατότητας του υαλοπίνακα, [W/m*K]

Για μεταλλικό πλαίσιο με θερμοδιακοπή, σύμφωνα με τον Πίνακα 3.10 της Τεχνικής Οδηγίας Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010, ο συντελεστής θερμοπερατότητας είναι **U_f = 3,5 [$W/m^2 * K$].**

Για δίδυμο υαλοπίνακα με διάκενο αέρα 12mm, σύμφωνα με τον Πίνακα 3.9 της ίδιας οδηγίας, ο συντελεστής θερμοπερατότητας είναι **U_g = 2,8 [$W/m^2 * K$].**

Η γραμμική θερμοπερατότητα προσδιορίζεται από τον Πίνακα 3.11 της ίδιας οδηγίας για μεταλλικό πλαίσιο με θερμοδιακοπή και επίστρωση χαμηλής εκπομπής και είναι **Ψ_g = 0,11 [W/m*K].**

Το εμβαδόν του παραθύρου, του υαλοπίνακα και του πλαισίου συνοψίζονται στον ακόλουθο πίνακα 5.4.2.2.

	Εμβαδόν (m2)	Ποσοστό επί του συνολικού ανοίγματος (%)	Περίμετρος Υαλοπίνακα (m)
Παράθυρο	**2**	**100**	**-**
Πλαίσιο	**0,56**	**28**	**-**
Υαλοπίνακας	**1,44**	**72**	**5,2**

Πίνακας 5.4.2.2: Γεωμετρία πλαισίου, υαλοπίνακα και παραθύρου

Επιλύοντας της εξίσωση [1], υπολογίζεται ο συντελεστής θερμοπερατότητας του ανοίγματος, ο οποίος είναι **U_w = 3,282 W/m^2*K.**

Το εμβαδόν της πόρτας, του υαλοπίνακα και του πλαισίου συνοψίζονται στον ακόλουθο πίνακα 5.4.2.3.

	Εμβαδόν (m^2)	Ποσοστό επί του συνολικού ανοίγματος (%)	Περίμετρος Υαλοπίνακα (m)
Πόρτα	**6**	**100**	**-**
Πλαίσιο	**1,52**	**25,3**	**-**
Υαλοπίνακας	**4,48**	**74,7**	**8,8**

Πίνακας 5.4.2.3: Γεωμετρία πλαισίου, υαλοπίνακα και πόρτας

Αντίστοιχα με πριν υπολογίζεται ο συντελεστής θερμοπερατότητας της πόρτας, ο οποίος είναι **U_w = 3,13 W/m^2*K.**

5.4.3 Οροφές και Πατώματα

Τα πατώματα έχουν κατασκευαστεί από οπλισμένο σκυρόδεμα πάχους 25 cm και η τελική τους επιφάνεια είναι μαρμάρινη, με σοβατεπί επίσης μαρμάρινο.
Οι οροφές του ισογείου και του πρώτου ορόφου είναι ψευδοροφές, κατασκευασμένες από κασέτες γυψοσανίδας με επένδυση βινυλικής ταπετσαρίας.
Η εξωτερική οροφή του κτιρίου είναι κατασκευασμένη από οπλισμένο σκυρόδεμα πάχους 25cm και είναι επενδυμένη με θερμομονωτικά πάνελα Επίσης στην οροφή υπάρχουν έξι φωτοδιαπερατές κουπόλες από συμπαγή πολυκαρβονικά φύλλα.

5.4.4 Εσωτερικά ανοίγματα

Οι εσωτερικές πόρτες των γραφείων είναι ξύλινες πλάτους 0,90 m και ύψους 2,2 m, ενώ των αιθουσών που αναγράφονται ως εργαστήρια στην περιγραφή των ζωνών του κτιρίου, καθώς και των μηχανογραφικών κέντρων, έχουν πλάτος 1,3 m και ύψος 2,2 m.

Για τις εξωτερικές τοιχοποιίες, τις εσωτερικές, τις οροφές και τα πατώματα, καθώς και για τα εσωτερικά ανοίγματα, εισήχθησαν στο γραφικό περιβάλλον TRNBuild, τα αντίστοιχα υλικά τους, τα πάχη τους καθώς και τις τιμές των χαρακτηριστικών τους που επιλέχθηκαν από την Τεχνική Οδηγία ΤΟΤΕΕ-20701-2/2010, ώστε να υπολογιστεί ο συντελεστής θερμοπερατότητας τους από το πρόγραμμα.
Για τα εξωτερικά ανοίγματα, τα απαραίτητα στοιχεία εισόδου ήταν το ποσοστό πλαισίου και το ποσοστό υαλοπίνακα, καθώς και οι αντίστοιχες τιμές των συντελεστών θερμοπερατότητας, γι’ αυτό και υπολογίστηκαν αναλυτικά σε προηγούμενη ενότητα.

5.5 Προσωπικό, Υπολογιστές και Φωτισμός

5.5.1 Εσωτερικά Κέρδη

Με τον όρο εσωτερικά θερμικά κέρδη αποτυπώνεται η αισθητή και λανθάνουσα θερμότητα που εκπέμπεται σε έναν εσωτερικό χώρο από οποιαδήποτε πηγή και η οποία οδηγεί σε αύξηση της θερμοκρασίας και υγρασίας του χώρου. Η περίσσεια ποσότητα αυτής της θερμότητας απομακρύνεται μέσω του κλιματισμού ή του αερισμού για αποφυγή αναταραχής στη θερμική άνεση. Στις πηγές συμπεριλαμβάνονται το ανθρώπινο και ζωικό σώμα, ο φωτισμός, οι υπολογιστές και ο εξοπλισμός γραφείου, ηλεκτρικές μηχανές, μαγειρικές συσκευές και οικιακός εξοπλισμός.

Οι τιμή των εσωτερικών κερδών είτε μπορεί να εκτιμηθεί κατά τη σχεδίαση του κτιρίου σύμφωνα με τη χρήση για την οποία προορίζεται ώστε να είναι επαρκείς, είτε να επιλεχθούν τιμές αναφοράς, τυπικές για τη συγκεκριμένη χρήση και τύπο κτιρίου. Σε γενικές γραμμές, όταν η χρήση του κτιρίου από τους ενοίκους και η διάρκεια χρήσης του είναι γνωστή, είναι προτιμότερο να υπολογίζονται τα εσωτερικά κέρδη, όπως και στη συγκεκριμένη περίπτωση που με βάση την χρήση του κτιρίου από τους χρήστες, το ωράριο λειτουργίας του, τον εγκατεστημένο φωτισμό, τον εξοπλισμό και τις ηλεκτρικές συσκευές, αυτά υπολογίστηκαν μέσω του προγράμματος προσομοίωσης.

Η χρήση του υπό μελέτη κτιρίου παρουσιάζεται αναλυτικά στον πίνακα 5.1.1 που ακολουθεί. Συγκεκριμένα, μελετήθηκαν οι χρήστες των γραφείων του κτιρίου Κ2, του μηχανογραφικού κέντρου κατά μέσο όρο την ημέρα, το ωράριο λειτουργίας των παραπάνω, το πλήθος των ηλεκτρονικών υπολογιστών στο κτίριο, ο εγκατεστημένος φωτισμός και οι λοιπές ηλεκτρικές συσκευές του μηχανογραφικού κέντρου.

Χρήση Κτιρίου Κ2		
Χρήση χώρου	**Αριθμός ατόμων**	**Ηλεκτρονικοί Υπολογιστές – ηλεκτρικές συσκευές σε χρήση**
	Ισόγειο	
Εργαστήριο (1,2)	4	4
Μηχανογραφικό (1)	10	10
Χώρος εκτυπωτών	-	2 εκτυπωτές
Εργαστήριο (3)	3	4
Εργαστήριο (4)	3	3
Μηχανογραφικό (2)	10	10
Εργαστήριο (5)	8	8
	Πρώτος όροφος	
Γραφείο	1	1
Γραφείο	3	3
Γραφείο	2	2
Γραφεία	2	2
Γραφείο	1	1
Γραφείο	1	1
Γραφεία	5	5

Πίνακας 5.1.1 – Χρήση κτιρίου Κ2

Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι, στους διαδρόμους του ισογείου και του πρώτου ορόφου, τις σκάλες και το εργαστήριο στην ανατολική πλευρά του κτιρίου, δεξιά της πόρτας, θεωρήθηκε ότι έχουν μόνο φωτισμό. Επίσης, οι ζώνες του πρώτου για τις οποίες δεν γίνεται καμία αναφορά, δεν λειτουργούν και συνεπώς δεν συμπεριλήφθηκαν στους υπολογισμούς για τις ανάγκες θέρμανσης και ψύξης. Συνακόλουθα, ο δεύτερος όροφος όπου στεγάζεται ο μηχανολογικός εξοπλισμός, δεν λήφθηκε υπόψη κατά την προσομοίωση.
Η μέση πυκνότητα ισχύος για τον εγκατεστημένο φωτισμό ανέρχεται σε 13 W/m^2 για το εξεταζόμενο κτίριο, με το σύστημα θέρμανσης να λειτουργεί στους 20 °C και το σύστημα ψύξης στους 26 °C. Οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές λειτουργούν με ισχύ 230 W και οι εκτυπωτές με 220 W.
Τα ανωτέρω δεδομένα εισήχθησαν στο πρόγραμμα προσομοίωσης σε εβδομαδιαία χρονοδιαγράμματα, για τα οποία ίσχυε πενθήμερη εργασία, για 8 ώρες την ημέρα, από τις οχτώ το πρωί ως τις τέσσερις το απόγευμα όσον αφορά τα γραφεία και τους χρήστες των εργαστηρίων. Οι δύο χώροι που αποτελούν το μηχανογραφικό κέντρο, καθώς και το εργαστήριο 5 (pc lab), λειτουργούν από τις εννέα μέχρι τις τρείς, σύμφωνα με το πρόγραμμα λειτουργίας που έχει ορίσει το Πολυτεχνείο Κρήτης. Τα δεδομένα των χώρων αυτών αντιπροσωπεύουν μία ενδεικτική ημερήσια χρήση για την οποία θεωρείται ότι καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργία τους, 10 άτομα χρησιμοποιούν 10 ηλεκτρονικούς υπολογιστές σε κάθε έναν από τους δύο χώρους του μηχανογραφικού κέντρου και 8 άτομα αντίστοιχα 8 υπολογιστές στο εργαστήριο 5.
Τέλος, για τα άτομα που βρίσκονται στη κάθε ζώνη, επιλέχθηκε καθιστική, ελαφριά εργασία και η συνολική θερμότητα που εκλύεται από τον άνθρωπο σε αυτή την περίπτωση είναι 150W, εκ των οποίων τα 75W αποτελούν τη λανθάνουσα θερμότητα και τα υπόλοιπα 75W την αισθητή.

5.6 Στοιχεία εισόδου του μοντέλου προσομοίωσης TRNSys

Συνοπτικά τα στοιχεία εισόδου στο μοντέλο προσομοίωσης TRNSys είναι:

- Τα μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής του κτιρίου, τα οποία ελήφθησαν από τον μετεωρολογικό σταθμό του Πολυτεχνείου Κρήτης για την περίοδο από 1η Οκτωβρίου 2012 και για ένα χρόνο.
- Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κτιρίου και το διαχωρισμό των χώρων που το αποτελούν σε επιμέρους ζώνες, για το λόγο αυτό σχεδιάστηκε με τη βοήθεια του σχεδιαστικού εργαλείου Google Sketch Up, η τρισδιάστατη απεικόνιση του.

- Ο προσανατολισμός του κτιρίου, ο οποίος είναι Βορειοανατολικός (35° απόκλιση από το Βορρά)
- Τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων, τα οποία εισήχθησαν στο γραφικό περιβάλλον TRNBuild, όπως ακριβώς περιγράφηκαν στην ενότητα 5.4.
- Ο αριθμός των ατόμων που επιβαίνουν σε κάθε ζώνη, ο αριθμός των μηχανημάτων που λειτουργούν στις διάφορες ζώνες, καθώς επίσης και η ισχύς φωτισμού ανά m^2.
- Τα χρονοδιαγράμματα λειτουργίας των διαφόρων ζωνών, εργασίας του προσωπικού και λειτουργίας των υπολογιστών και του φωτισμού.
- Η διείσδυση του αέρα στις ζώνες του κτιρίου μέσω κουφωμάτων ή χαραμάδων. Αυτή η παράμετρος, υπολογίστηκε με τη βοήθεια του λογισμικού COMIS, το οποίο συνδέθηκε στη συνέχεια με το Type 56 μέσω του Type 157.

5.7 Στοιχεία εισόδου του μοντέλου προσομοίωσης COMIS

Το μοντέλο προσομοίωσης COMIS, όταν δουλεύει συνδεδεμένο με το TRNSys λαμβάνει δεδομένα εισόδου στο γραφικό περιβάλλον του δεύτερου, μέσω του Type 157. Τα δεδομένα αυτά περιλαμβάνουν τα μετεωρολογικά στοιχεία της περιοχής, καθώς και τη θερμοκρασία της αντίστοιχης ζώνης, της οποίας ο χρήστης επιθυμεί να υπολογίσει τη διείσδυση αέρα.
Στο περιβάλλον του COMIS τώρα, κατασκευάζονται οι ζώνες του κτιρίου, όπως περιγράφηκαν παραπάνω, εισάγοντας τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά τους. Οι ζώνες ενώνονται μεταξύ τους μέσω εσωτερικών τοίχων (cracks), καθώς και με τα εξωτερικά και εσωτερικά τους ανοίγματα. Έτσι δημιουργείται η αναπαράσταση του κτιρίου στο μοντέλο COMIS.
Για απλοποίηση της διαδικασίας, στην παρούσα διπλωματική εργασία κατασκευάστηκε ένα μοντέλο ροής για το ισόγειο και ένα για τον πρώτο όροφο. Τα μοντέλα ροής του αέρα επισυνάπτονται στα Παραρτήματα στο τέλος της εργασίας. Σχεδιαστικά φαίνεται τα μοντέλα ροής αέρα να είναι ίδια. Παρόλα αυτά για την σωστή προσομοίωση εισήχθησαν στο πρόγραμμα επιπλέον δεδομένα, όπως π.χ. το υψόμετρο που βρίσκεται η κάθε ζώνη από το επίπεδο του εδάφους (4m για το ισόγειο, 8m για τον πρώτο όροφο). Αντίστοιχα, για τα εσωτερικά και εξωτερικά ανοίγματα, προσδιορίστηκαν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά τους καθώς και η γεωμετρική θέση τους στη ζώνη που αντιστοιχούν.
Στη γενική καρτέλα του προγράμματος, χρειάζεται να προσδιοριστούν τα μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής, τα οποία, για την προσομοίωση της

ζώνης 9, η οποία παρουσιάζεται παρακάτω, αντιστοιχούν στην περίοδο του Αυγούστου. Τα μετεωρολογικά δεδομένα που χρειάζονται είναι: α) η εξωτερική θερμοκρασία, β) η ταχύτητα του ανέμου, γ) η διεύθυνση του ανέμου, δ) η αναλογία υδρατμών στην ατμόσφαιρα και δ) η εξωτερική πίεση. Επίσης, στην καρτέλα αυτή προσδιορίζεται το υψόμετρο όλου του κτιρίου (12m), το υψόμετρο από το επίπεδο της θάλασσας τόσο του κτιρίου, όσο και του μετεωρολογικού σταθμού (137m). Η ταχύτητα του ανέμου στο ενδιαφερόμενο ύψος υπολογίζεται από το πρόγραμμα μέσω της εξίσωσης (Εξίσωση 4.4.3.1):

—

η οποία περιγράφηκε στην αντίστοιχη ενότητα περιγραφής του μοντέλου COMIS. Το ύψος αναφοράς, αναφέρεται στο ύψος για το οποίο ο μετεωρολογικός σταθμός μετράει την ταχύτητα του ανέμου στην περιοχή. Εδώ, επιλέχθηκε η τιμή 12 m. Για να υπολογιστεί η ταχύτητα από το πρόγραμμα, στο ύψος της ζώνης, έπρεπε να οριστεί η παράμετρος α, η οποία σχετίζεται με την τραχύτητα του εδάφους, καθώς και με την διαμόρφωση της περιοχής που στεγάζεται το κτίριο, δηλαδή αν πρόκειται για αστική περιοχή με ψηλά κτίρια, ή περιοχή με χαμηλή βλάστηση χωρίς πολλά κτίρια τριγύρω κ.ο.κ. Στην συγκεκριμένη περίπτωση ο συντελεστής α επιλέχθηκε να έχει την τιμή 0.14, η οποία αντιστοιχεί σε ανοιχτές περιοχές.

Για τα μεγάλα εξωτερικά και εσωτερικά ανοίγματα (εξωτερικά παράθυρα και εσωτερικές πόρτες), το πρόγραμμα λαμβάνοντας υπόψη τις διαστάσεις, την αναλογία πλάτους/ύψος, τη θέση τους ως προς τη ζώνη, την πυκνότητα του αέρα καθώς και την πίεση της ζώνης (υπολογίζεται από το πρόγραμμα) υπολογίζει το συντελεστή μεταφοράς μάζας αέρα μέσω των ανοιγμάτων, επιλύοντας μη γραμμικές εξισώσεις.

Τέλος για το μοντέλο COMIS, σημαντική παράμετρος εισόδου αποτελεί ο συντελεστής πίεσης του αέρα στις εξωτερικές επιφάνειες του κτιρίου.

Ο συντελεστής αυτός υπολογίστηκε ακολουθώντας τη διαδικασία που περιγράφηκε σε προηγούμενη ενότητα για 4 διευθύνσεις ανέμου (0°, 90°, 180° και 270°) και παίρνει τις τιμές, για κάθε προσανατολισμό που παρουσιάζονται στον πίνακα (5.7.3).

Γωνία	North	South	East	West
0	0.78	-0.46	-1.2	-1.2
90	-1.2	-1.2	-0.3	0.7
180	-0.46	0.78	-1.2	-1.2
270	-1.2	-1.2	0.7	-0.3

Αυτά ήταν τα δεδομένα εισαγωγής στο πρόγραμμα COMIS για το κτίριο Κ2. Ακολουθεί η ενότητα των αποτελεσμάτων, όπου υπολογίζονται τα συνολικά φορτία θέρμανσης και ψύξης του κτιρίου, ενώ εξετάζεται μια ζώνη του κτιρίου ως προς την εσωτερική ρύπανση, καθώς και τις ανάγκες ψύξης και θέρμανσης της, επιλύοντας και στις δύο περιπτώσεις διάφορα σενάρια.

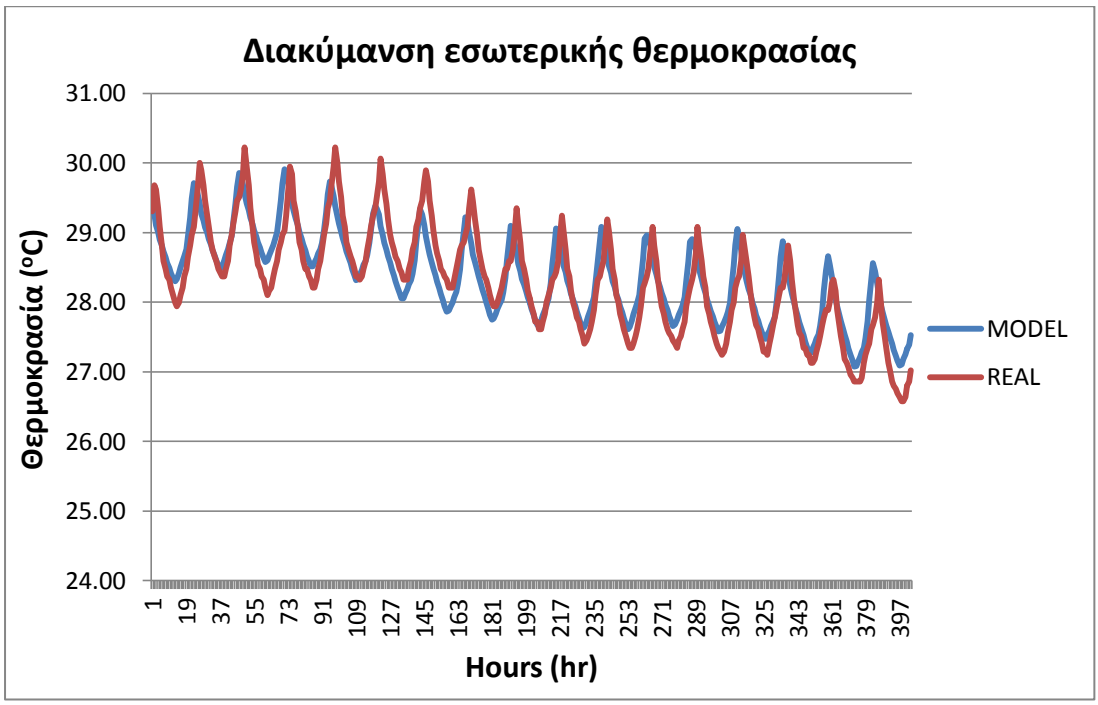
Κεφάλαιο 6
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

6.1. Προσομοίωση με βάση τις εσωτερικές θερμοκρασίες

Κατά την θερινή περίοδο του 2012, τοποθετήθηκαν σε διάφορα γραφεία μετρητές, οι οποίοι κατέγραφαν την εσωτερική θερμοκρασία και την υγρασία των χώρων. Κρίνεται σκόπιμο αρχικά να ελεγχθούν τα αποτελέσματα του μοντέλου με τις πραγματικές μετρήσεις. Ο έλεγχος θα γίνει για τρία γραφεία, τα οποία κατά την περίοδο των μετρήσεων ήταν κλειστά, δεν υπήρχαν εργαζόμενοι μέσα, ούτε λειτουργούσαν οι υπολογιστές, ο φωτισμός και το σύστημα ψύξης. Τα γραφεία αυτά, είναι οι ζώνες 4, 8 και 16 του 1^{ου} ορόφου.
Οι ζώνες, καθώς και οι αισθητήρες μέτρησης σημειώνονται στην κάτοψη του 1^{ου} ορόφου του Παραρτήματος.

- Ζώνη 4

Η ζώνη 4 αποτελεί γραφείο του πρώτου ορόφου και έχει εμβαδόν 15 m^2. Η περίοδος καταγραφής των μετρητών θερμοκρασίας ήταν από 4 Αυγούστου μέχρι 21 Αυγούστου. Η διακύμανση της εσωτερικής θερμοκρασίας, τόσο της πραγματικής, όσο και του μοντέλου απεικονίζεται στο διάγραμμα 6.1.1.

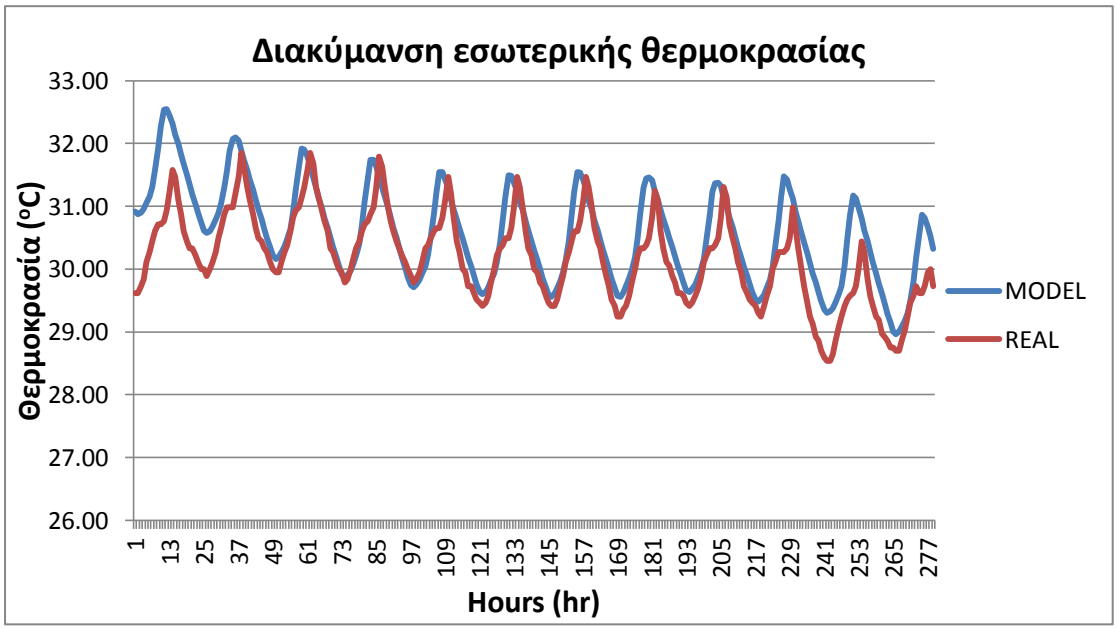


Διάγραμμα 6.1.1: Διακύμανση εσωτερικής θερμοκρασίας στη ζώνη 4

Σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα, φαίνεται πως η προσομοίωση της ζώνης είναι καλή. Η απόκλιση των πραγματικών και των υπολογισμένων από το μοντέλο τιμών είναι πολύ μικρή. Για την ακρίβεια η μέση απόκλιση υπολογίστηκε πως είναι της τάξης του 1%.

- Ζώνη 8

Η περίοδος καταγραφής των μετρητών θερμοκρασίας της ζώνης ήταν από 8 Αυγούστου μέχρι τις 19 Αυγούστου. Στο διάγραμμα 6.1.2, παρουσιάζονται οι πραγματικές τιμές της θερμοκρασίας, καθώς και η διακύμανση που υπολογίστηκε από το μοντέλο.

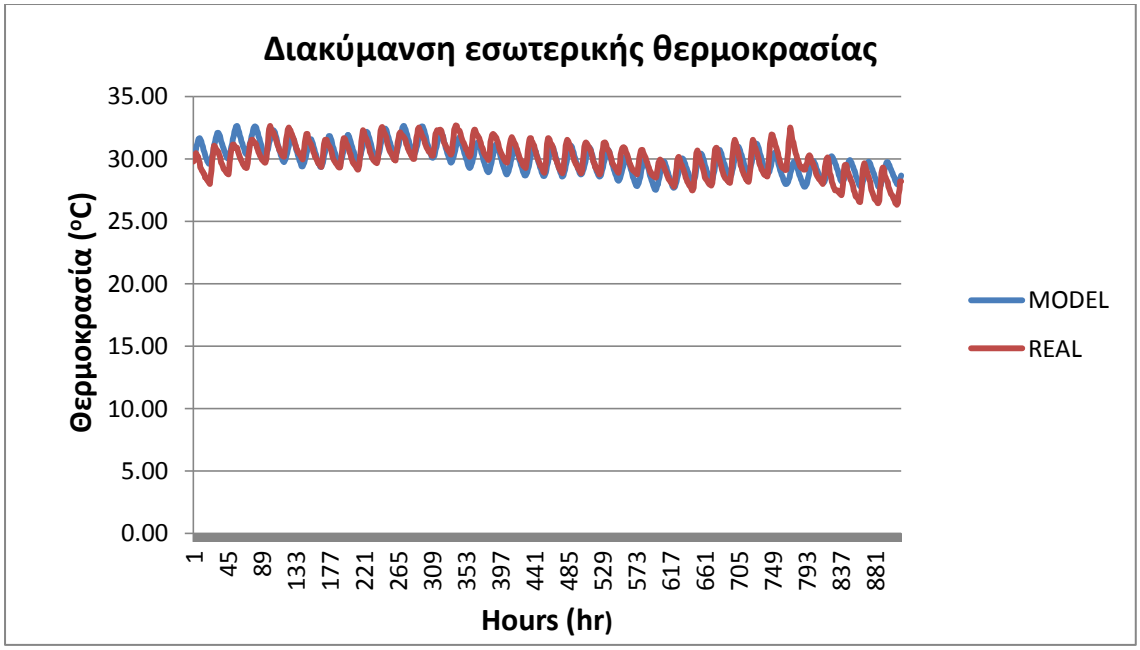


Διάγραμμα 6.1.2: Διακύμανση εσωτερικής θερμοκρασίας στη ζώνη 8

Παρατηρώντας το διάγραμμα, μπορεί να διαπιστωθεί πως η προσομοίωση είναι ικανοποιητική, καθώς η διακύμανση της εσωτερικής θερμοκρασίας σχεδόν συμπίπτει με την αντίστοιχη για τις πραγματικές τιμές. Συγκεκριμένα, η μέση απόκλιση υπολογίστηκε 1,4%.

- Ζώνη 16

Οι μετρητές κατέγραφαν τη θερμοκρασία της ζώνης 16 για την περίοδο 27 Ιουλίου έως 30 Αυγούστου. Τα αποτελέσματα για το μοντέλο και η πραγματική διακύμανση παρουσιάζονται στο διάγραμμα 6.1.3.



Διάγραμμα 6.1.3: Διακύμανση εσωτερικής θερμοκρασίας στη ζώνη 16

Η μέση απόκλιση των υπολογιζόμενων από το μοντέλο τιμών είναι σχεδόν μηδενική. Παρατηρείται και στο προηγούμενο διάγραμμα πως οι διακυμάνσεις σχεδόν ταυτίζονται, εκτός από μερικά σημεία, όπου αποκλίνουν ελάχιστα.

Λαμβάνοντας υπόψη και τους τρεις ελέγχους της εσωτερικής θερμοκρασίας, γίνεται αντιληπτό πως η μοντελοποίηση του κτιρίου με το λογισμικό TRNSys εισάγοντας του τη γεωμετρία του και τα κατασκευαστικά υλικά των δομικών του στοιχείων, είναι πολύ καλή και επομένως είναι δυνατόν τώρα να εξαχθούν αποτελέσματα που ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα για τις ανάγκες θέρμανσης και ψύξης του.

6.2 Ανάγκες θέρμανσης και ψύξης του κτιρίου

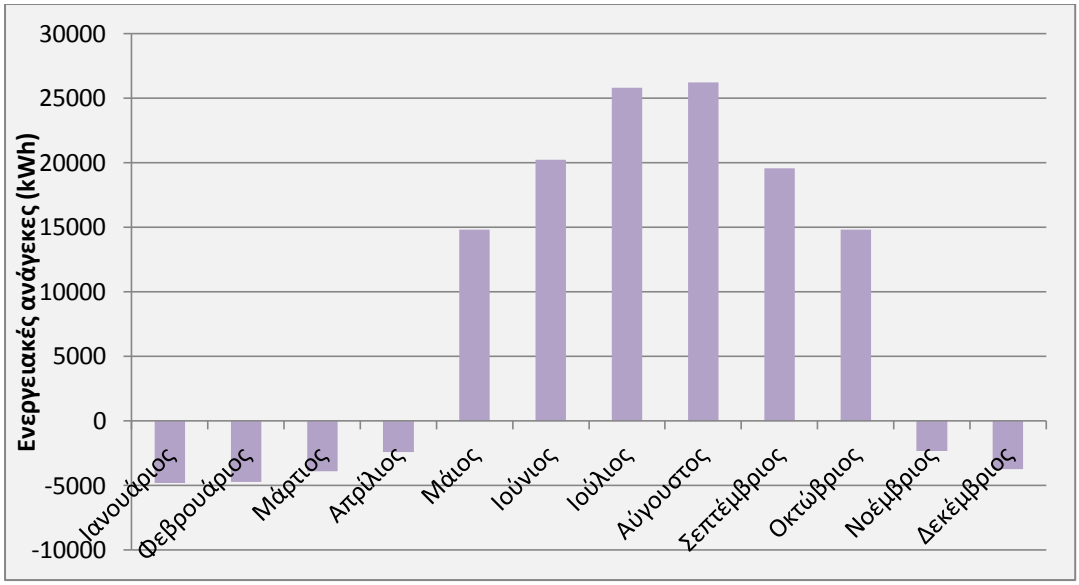
Για τον υπολογισμό των ενεργειακών αναγκών του κτιρίου από το TRNSys, χρειάστηκε να εισαχθούν περαιτέρω δεδομένα. Αυτά τα δεδομένα περιλαμβάνουν τον αριθμό των ατόμων που εργάζονται ή βρίσκονται σε κάθε ζώνη, τον αριθμό των υπολογιστών που λειτουργούν, την ισχύ του φωτισμού, καθώς και τη διείσδυση του αέρα. Η διείσδυση του αέρα, λαμβάνεται από το λογισμικό COMIS μέσω επίλυσης μη γραμμικών εξισώσεων και λαμβάνονται από το TRNSys ως δεδομένα εισόδου μέσω του Type 157, ενώ τα υπόλοιπα δεδομένα που αναφέρθηκαν εισάγονται στο περιβάλλον TRNBuild, όπως ακριβώς περιγράφηκαν στην ενότητα 5.5.

1η Περίπτωση: Ενεργειακές ανάγκες, λαμβάνοντας υπόψη και τη διείσδυση του αέρα

Οι ανάγκες θέρμανσης και ψύξης του κτιρίου, όπως υπολογίστηκαν από το λογισμικό TRNSys, για την χειμερινή περίοδο και την καλοκαιρινή αντίστοιχα, συνοψίζονται στον Πίνακα 6.2.1, ενώ παρουσιάζονται και στο διάγραμμα 6.2.2 για κάθε μήνα.

	Θέρμανση (kWh)	**Ψύξη (kWh)**
Ιανουάριος	4783,5	0
Φεβρουάριος	4714,8	0
Μάρτιος	3885,4	0
Απρίλιος	2399,2	0
Μάιος	0	14801,1
Ιούνιος	0	20244,7
Ιούλιος	0	25790,7
Αύγουστος	0	26236,4
Σεπτέμβριος	0	19562,9
Οκτώβριος	0	14834,7
Νοέμβριος	2309,8	0
Δεκέμβριος	3721	0
ΣΥΝΟΛΟ	**21813,7**	**121470,5**

Πίνακας 6.2.1: Ανάγκες θέρμανσης και ψύξης του κτιρίου σε kWh



Διάγραμμα 6.2.2: Ενεργειακές ανάγκες κτιρίου

Στο διάγραμμα 6.2.2 απεικονίζονται οι ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου κατά τη διάρκεια ενός έτους. Οι θετικές τιμές αντιπροσωπεύουν τις ανάγκες ψύξης κατά τη θερινή περίοδο, ενώ οι αρνητικές τις ανάγκες θέρμανσης κατά τη χειμερινή περίοδο.
Τα φορτία ψύξης φαίνεται πως είναι αρκετά μεγαλύτερα από τα φορτία θέρμανσης, γεγονός που είναι λογικό, καθώς η γεωγραφική θέση που βρίσκεται το κτίριο χαρακτηρίζεται από καλοκαίρια με έντονη ηλιοφάνεια και υψηλές εξωτερικές θερμοκρασίες, ενώ οι χειμώνες είναι ήπιοι με μέσες θερμοκρασίες περιβάλλοντος.

<u>2η Περίπτωση: Ενεργειακές ανάγκες χωρίς διείσδυση αέρα στις ζώνες του κτιρίου</u>

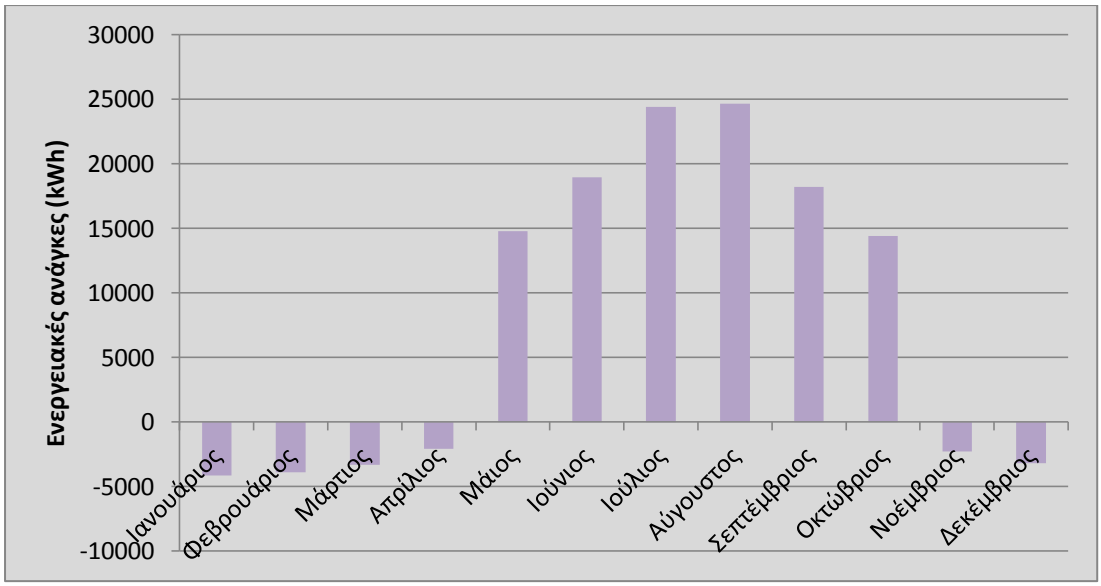
Υπολογίζονται εκ νέου τα φορτία θέρμανσης και ψύξης του κτιρίου, μηδενίζοντας αυτή τη φορά τη διείσδυση του αέρα στις ζώνες. Θεωρείται δηλαδή πως το κτίριο είναι πλήρως στεγανοποιημένο.

Τα φορτία θέρμανσης και ψύξης του κτιρίου για την χειμερινή και την καλοκαιρινή περίοδο αντίστοιχα παρουσιάζονται στον πίνακα 6.2.3. καθώς και στο διάγραμμα 6.2.4.

	Θέρμανση (kWh)	Ψύξη (kWh)
Ιανουάριος	4124,2	0
Φεβρουάριος	3876,4	0
Μάρτιος	3330,4	0
Απρίλιος	2064	0
Μάιος	0	14783,4
Ιούνιος	0	18952,5
Ιούλιος	0	24399,1
Αύγουστος	0	24650,1
Σεπτέμβριος	0	18200,4
Οκτώβριος	0	14404,9
Νοέμβριος	2298,3	0
Δεκέμβριος	3172,9	0
ΣΥΝΟΛΟ	**18866,2**	**115390,4**

Πίνακας 6.2.2: Ανάγκες θέρμανσης και ψύξης του κτιρίου σε kWh, χωρίς διείσδυση αέρα

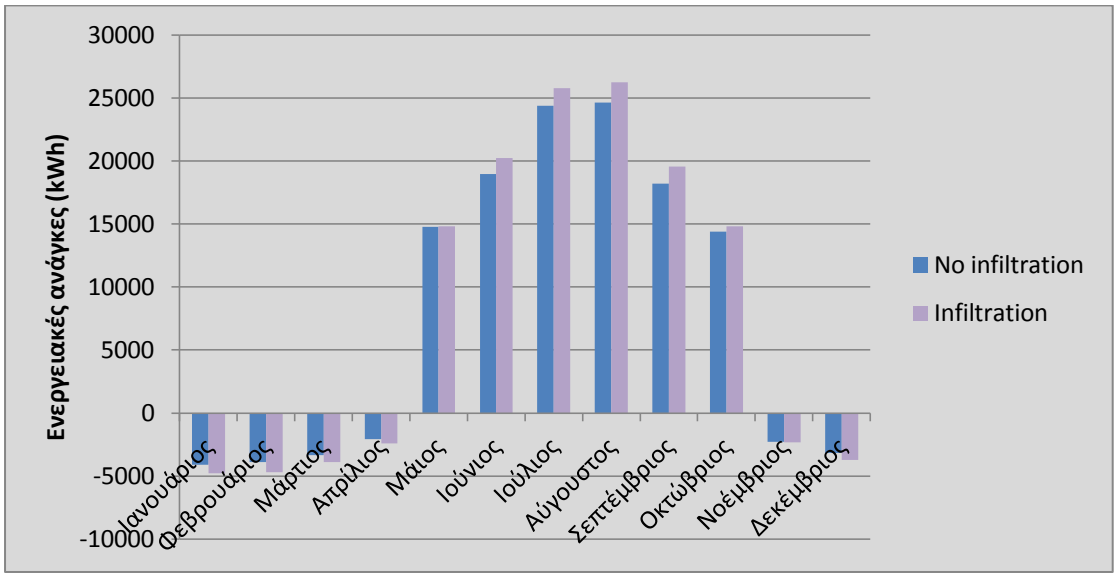
Η ενεργειακή απαίτηση σε θέρμανση απεικονίζεται στο διάγραμμα 6.2.3 με αρνητικές τιμές, ενώ για ψύξη με θετικές.



Διάγραμμα 6.2.3: Ενεργειακές ανάγκες κτιρίου, χωρίς διείσδυση αέρα

Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, αντίστοιχα και εδώ παρατηρείται πως οι ανάγκες ψύξης είναι αρκετά μεγαλύτερες από τις ανάγκες για θέρμανση. Παρόλα αυτά σε σχέση με την προηγούμενη περίπτωση παρατηρείται εξοικονόμηση ενέργειας τόσο στη θέρμανση, όσο και στην ψύξη.

Η εξοικονόμηση ενέργειας ανά μήνα φαίνεται στο επόμενο διάγραμμα (διάγραμμα 6.2.4), όπου για κάθε μήνα φαίνεται η διαφορά στην ενεργειακή απαίτηση όταν στο κτίριο εισέρχεται αέρας και όταν δεν εισέρχεται.



Διάγραμμα 6.2.4: Ενεργειακές ανάγκες κτιρίου και για τις δύο εξεταζόμενες περιπτώσεις

Από το παραπάνω διάγραμμα διαπιστώνεται διαφορά των ενεργειακών αναγκών του κτιρίου όταν αερίζεται και όταν δεν αερίζεται. Η διαφορά δεν είναι αισθητή για το μήνα Μάιο και για το μήνα Νοέμβριο, παρόλα αυτά επί του συνολικού, η εξοικονόμηση ενέργειας για θέρμανση όταν το κτίριο είναι πλήρως στεγανοποιημένο είναι 2947,5 kWh και για ψύξη 6080,1 kWh.

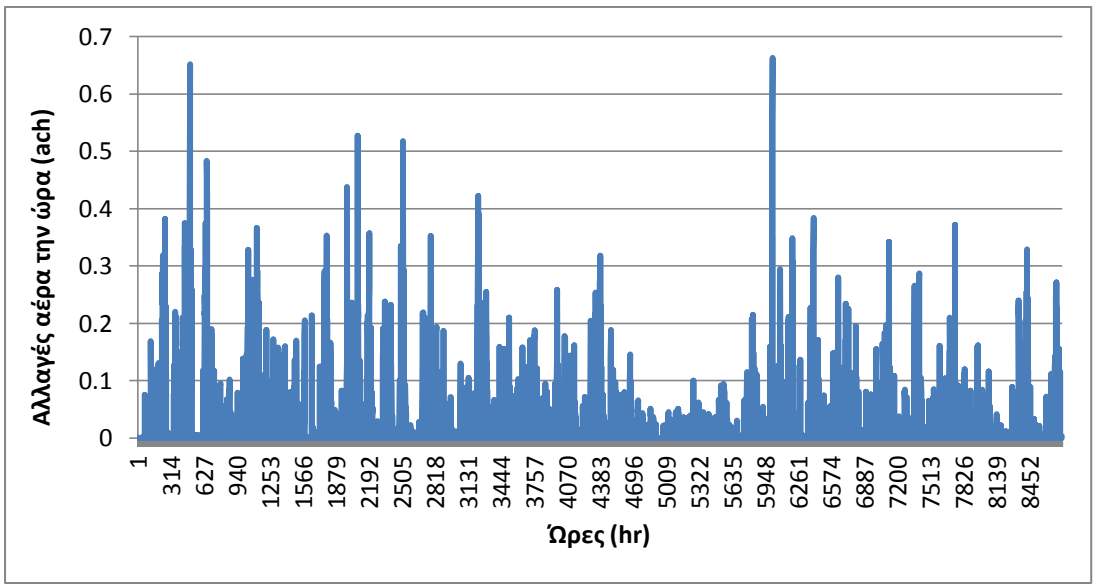
Εκτός από την εξοικονόμηση της ενέργειας, ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί και στην ποιότητα του αέρα των εσωτερικών χώρων, καθώς αυτή είναι που επηρεάζει άμεσα την υγεία των εργαζόμενων μέσα στο κτίριο. Για το λόγο αυτό εξετάστηκαν τα επίπεδα CO_2 της ζώνης 9, όπου εργάζεται ένα άτομο.

6.3 Επίπεδα CO_2 της ζώνης 9

Τα επίπεδα CO_2 στη ζώνη 9 υπολογίστηκαν μέσω του λογισμικού COMIS. Στη ζώνη 9 εργάζεται ένας άντρας ηλικίας 26 ετών, ύψους 1,8 m και βάρους 80 κιλών. Εισάγοντας τα χαρακτηριστικά του εργαζόμενου στο πρόγραμμα, η ποσότητα CO_2 που παράγεται από τον ίδιο. Ο εργαζόμενος τοποθετείται στη ζώνη 9 για διάστημα 10 ωρών κατά τη διάρκεια τη μέρας και συγκεκριμένα από της 8 το πρωί μέχρι τις 6 το απόγευμα. Αυτό πραγματοποιήθηκε με τη δημιουργία ενός χρονοδιαγράμματος, όπου για το παραπάνω χρονικό διάστημα εισάγεται στη ζώνη ένας εργαζόμενος. Εκτός από τον αριθμό των ατόμων στο

χρονοδιάγραμμα πρέπει να προσδιοριστεί και ένας συντελεστής, ο οποίος έχει να κάνει με την δραστηριότητα του ανθρώπου μέσα στη ζώνη, δηλαδή των μεταβολικό του ρυθμό. Για καθιστική εργασία σε γραφεία, σχολεία και εργαστήρια, ο συντελεστής αυτός κυμαίνεται στο εύρος 1,1-1,5 MET. Για τον εργαζόμενο της ζώνης 9 επιλέχθηκε η τιμή 1,1 MET.
Άλλα δεδομένα που εισήχθησαν στο πρόγραμμα ήταν η περίοδος προσομοίωσης, η οποία ήταν από 18 Αυγούστου στη μία και δέκα το μεσημέρι έως και 26 Αυγούστου στις 23:00. Η προσομοίωση στο COMIS πραγματοποιήθηκε για μικρό χρονικό διάστημα, καθώς το βήμα υπολογισμού έπρεπε να είναι τα 60 sec ώστε να γίνει έλεγχος με τις πραγματικές μετρήσεις. Την περίοδο αυτή είχε τοποθετηθεί μετρητής στη συγκεκριμένη ζώνη και καταμετρούσε τα επίπεδα CO_2. Ακόμα, στο πρόγραμμα εισήχθησαν τα μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής για την περίοδο εκείνη, η εξωτερική συγκέντρωση του CO_2, για την οποία επιλέχθηκε η τιμή 400 ppm (διακύμανση CO_2 στην ατμόσφαιρα 400 – 500 ppm), καθώς και οι πληροφορίες που αναγράφονται στην ενότητα 5.7.

Η διείσδυση του αέρα, μέσω χαραμάδων και κουφωμάτων, στην εν λόγω ζώνη για την περίοδο προσομοίωσης παρουσιάζεται στο διάγραμμα 6.3.1.

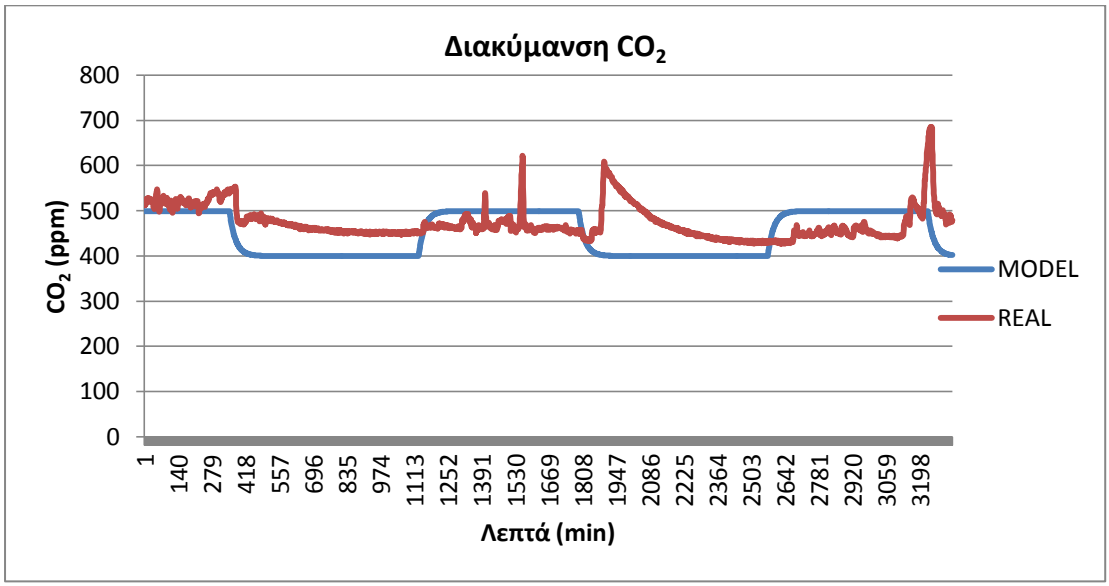


Διάγραμμα 6.3.1: Διείσδυση αέρα μέσω χαραμάδων και κουφωμάτων στη ζώνη 9

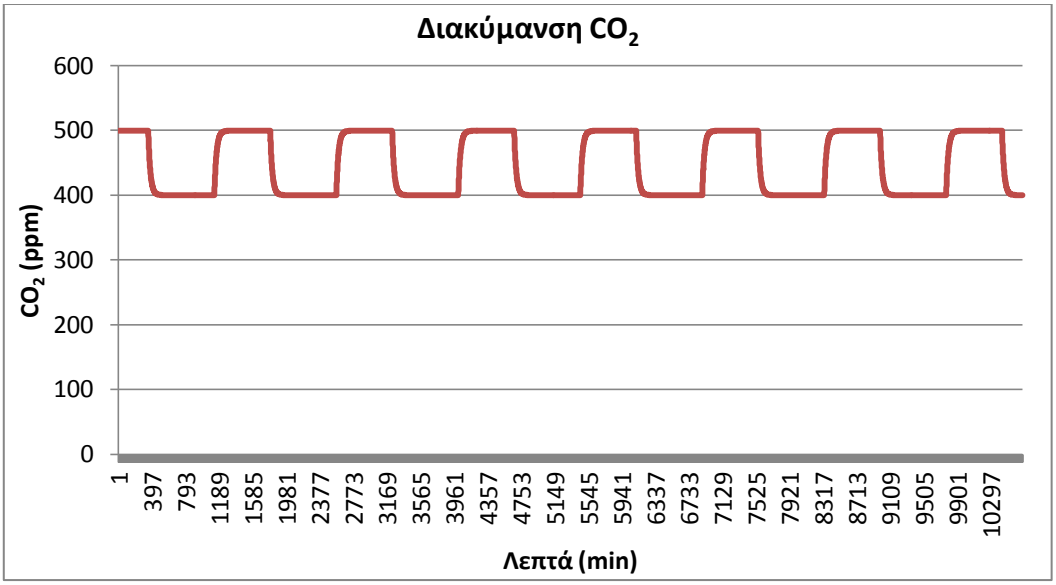
Η διείσδυση του αέρα στη ζώνη, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 6.3.1 κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα. Η διακύμανση της δεν είναι ομοιόμορφη και εμφανίζει κάποιες υψηλές κορυφές, που μάλλον οφείλονται στις καιρικές συνθήκες της περιοχής και κυρίως στην ένταση των ανέμων και στην πίεση

που δημιουργούν στις εξωτερικές επιφάνειες των κτιρίων. Παρόλα αυτά η περίοδος προσομοίωσης είναι τον Αύγουστο, ο οποίος διαρκεί για τις ώρες 5088hr έως 5832hr, όπου η διείσδυση αέρα κυμαίνεται στις 0,05 αλλαγές την ώρα και δεν παρουσιάζει ιδιαίτερες διακυμάνσεις.

Τα επίπεδα CO_2 στη ζώνη, λόγω της παρουσίας του εργαζομένου όπως υπολογίστηκαν από το μοντέλο καθώς και οι πραγματικές τιμές που καταγράφηκαν την περίοδο από 19 Αυγούστου έως 21 Αυγούστου παρουσιάζονται στο διάγραμμα 6.3.2.

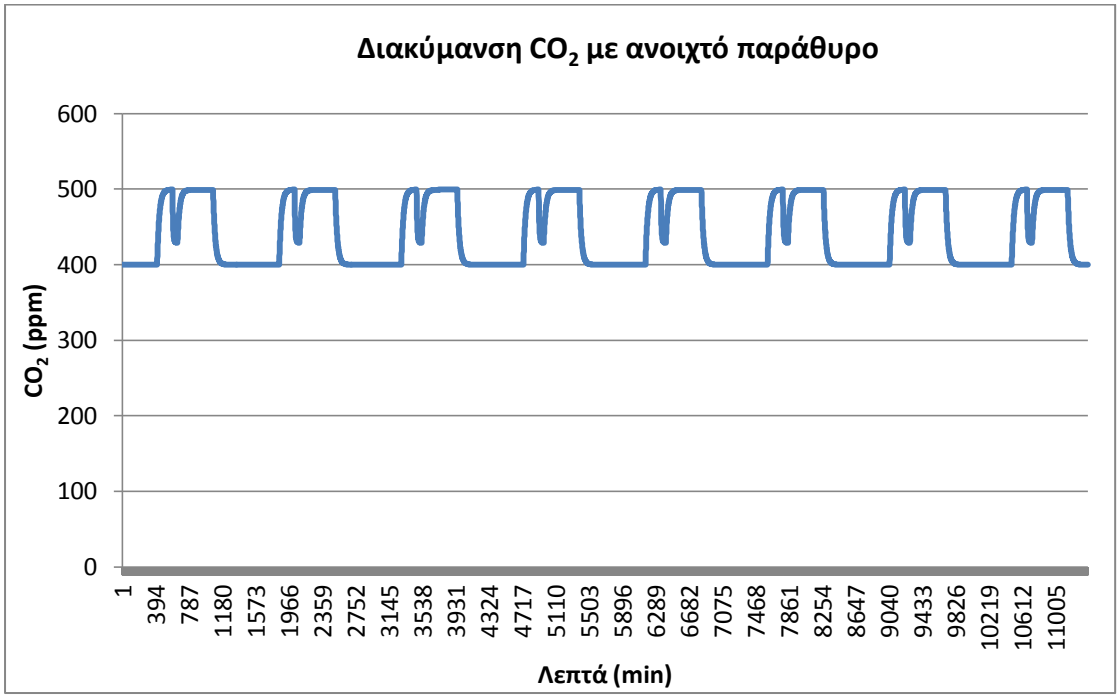


Παρατηρείται πως οι υπολογιζόμενες από το μοντέλο συγκεντρώσεις δε συμπίπτουν με τις πραγματικές τιμές, παρόλα αυτά η διακύμανση τους είναι φυσιολογική, καθώς κατά τη διάρκεια του 10ώρου, όπου ο εργαζόμενος βρίσκεται στη ζώνη, τα επίπεδα CO_2 αυξάνονται εκθετικά, ενώ αντίστοιχη μείωση παρατηρείται τις ώρες που ο εργαζόμενος λείπει. Σύμφωνα με τις οδηγίες για τα επίπεδα CO_2 στους εσωτερικούς χώρους που αναφέρθηκαν στην αρχή της εργασίας, η ζώνη 9 μπορεί να κατηγοριοποιηθεί στην κλάση ΙΙ με PPD 20%. Η διακύμανση της συγκέντρωσης CO_2, λαμβάνοντας υπόψη μόνο τη διείσδυση του αέρα από κουφώματα και χαραμάδες ακολουθεί στο διάγραμμα 6.3.3.



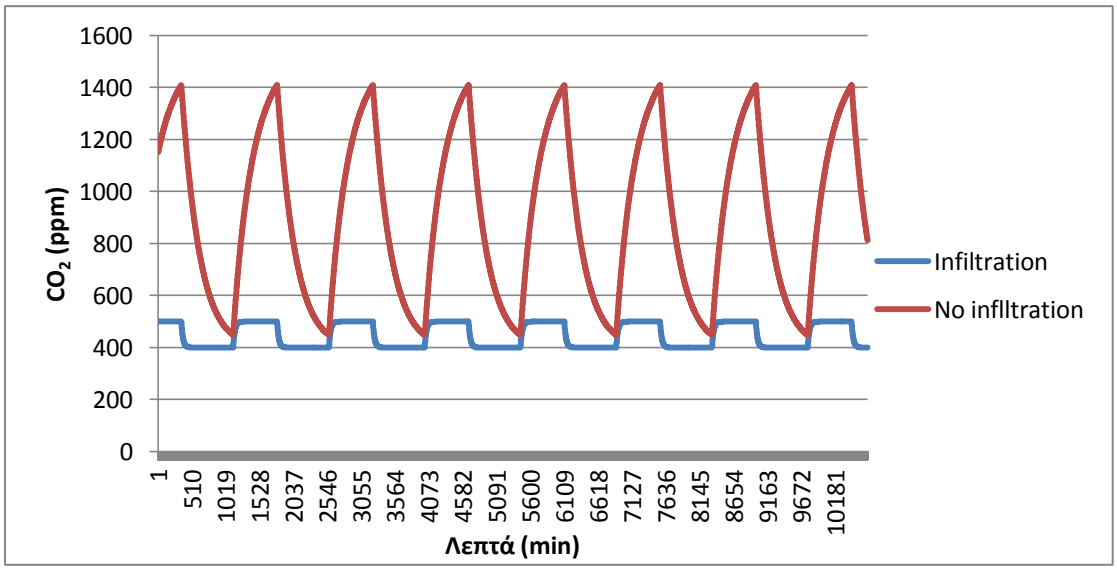
Διάγραμμα 6.3.3 : Διακύμανση CO_2, λαμβάνοντας υπόψη μόνο τη διείσδυση από χαραμάδες και κουφώματα

Στη συνέχεια, εξετάζεται η περίπτωση αύξηση της διείσδυσης του αέρα, ανοίγοντας το παράθυρο της ζώνης κάθε μέρα στις 11 το πρωί κατά 45° και κλείνοντας το στις 12 το μεσημέρι. Κατασκευάστηκε στο πρόγραμμα, χρονοδιάγραμμα που αφορά το εξωτερικό παράθυρο της ζώνης 9 και στις 11 το πρωί, ο συντελεστής ανοίγματος είναι 0,5, ενώ για τις υπόλοιπες ώρες ο συντελεστής είναι μηδενικός. Τα αποτελέσματα του μοντέλου για την περίπτωση αυτή παρουσιάζονται στο ακόλουθο διάγραμμα (διάγραμμα 6.3.4).



Διάγραμμα 6.3.4: Διακύμανση της συγκέντρωσης CO_2 ανοίγοντας το παράθυρο κάθε μέρα για μία ώρα

Συγκρίνοντας τα δύο παραπάνω διαγράμματα, εύκολα διαπιστώνεται πως η συγκέντρωση του CO_2 τη μία ώρα που μένει ανοιχτό το παράθυρο μειώνεται αισθητά, ενώ μετά το πέρας της ώρας, η συγκέντρωση επανέρχεται στα αρχικά επίπεδα. Αναμενόμενο ήταν το αποτέλεσμα, καθώς ο αέρας στο χώρο ανανεώνεται και η συγκέντρωση στον εσωτερικό χώρο αραιώνεται, αφού η εξωτερική έχει τιμή μικρότερη (400 ppm).
Επομένως εύκολα διαπιστώνεται πως σημαντικός παράγοντας στην ποιότητα του αέρα όσον αφορά την εσωτερική ρύπανση από CO_2 είναι ο αερισμός του χώρου. Το γεγονός αυτό διαπιστώνεται και από το επόμενο διάγραμμα (Διάγραμμα 6.3.5), όπου απεικονίζεται η διακύμανση της συγκέντρωσης του CO_2, όταν η ζώνη είναι πλήρως στεγανοποιημένη.



Διάγραμμα 6.3.5: Διακύμανση CO_2 χωρίς διείσδυση αέρα

Στο διάγραμμα 6.3.5 διαπιστώνεται σημαντική αύξηση των επιπέδων CO_2 κατά τη διάρκεια της μέρας, όπου εργάζεται το άτομο, αλλά και κατά τη διάρκεια που απουσιάζει. Η μέγιστη μάλιστα συγκέντρωση που παρατηρείται είναι περίπου στα 1400 ppm, σχεδόν τριπλάσια της συγκέντρωσης που παρατηρείται όταν στο χώρο εισέρχεται αέρας έστω και από χαραμάδες. Η εσωτερική ρύπανση σε αυτή την περίπτωση θα ήταν υψηλή και κατ' επέκταση επιβλαβής για την υγεία του ανθρώπου που εργάζεται στο περιβάλλον αυτό.
Κρίνεται επομένως απαραίτητος ο αερισμός του χώρου εργασίας, είτε με φυσικό αερισμό, είτε με κάποιο μηχανικό μέσο, ώστε ο αέρας να ανανεώνεται και να φιλτράρεται.

Παρόλα αυτά, ο συνεχόμενος αερισμός του χώρου επηρεάζει τις ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου για ψύξη και θέρμανση κατά την καλοκαιρινή και χειμερινή περίοδο αντίστοιχα, όπως διαπιστώθηκε για τα συνολικά φορτία του

κτιρίου. Στην επόμενη ενότητα εξετάζεται αποκλειστικά η ζώνη 9 ως προς τις ενεργειακές της ανάγκες σε διάφορες περιπτώσεις.

6.5 Ενεργειακές ανάγκες της ζώνης 9

Αφού εξετάστηκε η ποιότητα του αέρα της ζώνης 9, κρίθηκε σκόπιμο να υπολογιστούν και τα φορτία ψύξης και θέρμανσης. Θα εξεταστούν τέσσερις περιπτώσεις, οι απαιτήσεις της ζώνης σε περίπτωση διείσδυσης του αέρα μέσω κουφωμάτων και χαραμάδων, οι απαιτήσεις της ζώνης χωρίς διείσδυση αέρα, οι απαιτήσεις της ζώνης ανοίγοντας το παράθυρο για μία ώρα και συγκεκριμένα 11 με 12 και τέλος οι απαιτήσεις της ζώνης εισάγοντας τις απαιτούμενες αλλαγές αέρα την ώρα όπως προβλέπεται από την ελληνική νομοθεσία για ένα γραφείο (8,5 ach).

1η Περίπτωση: Χωρίς διείσδυση αέρα – πλήρως στεγανοποιημένη ζώνη

Τα αποτελέσματα γι' αυτήν την περίπτωση παρατίθενται στον πίνακα 6.5.1, όπου φαίνεται η μηνιαία απαίτηση σε θέρμανση της ζώνης κατά την χειμερινή περίοδο, καθώς και η μηνιαία απαίτηση της ζώνης σε ψύξη.

	Θέρμανση (kWh)	**Ψύξη (kWh)**
Ιανουάριος	112.8	0
Φεβρουάριος	120.4	0
Μάρτιος	73.5	0
Απρίλιος	21.9	0
Μάιος	0	398.3
Ιούνιος	0	598.9
Ιούλιος	0	810.7
Αύγουστος	0	832.5
Σεπτέμβριος	0	575.1
Οκτώβριος	0	391.9
Νοέμβριος	16.9	0
Δεκέμβριος	77.8	0
ΣΥΝΟΛΟ	**423.3**	**3607,4**

Πίνακας 6.5.1: Ενεργειακές ανάγκες ζώνης 9 χωρίς διείσδυση αέρα

2η Περίπτωση: Λαμβάνοντας υπόψη τη διείσδυση του αέρα μέσω χαραμάδων και κουφωμάτων

Η διείσδυση του αέρα αναμένεται να αυξήσει τα φορτία θέρμανσης και ψύξης, όπως διαπιστώθηκε και παραπάνω κατά τον υπολογισμό των συνολικών φορτίων του κτιρίου. Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον πίνακα 6.5.2.

	Θέρμανση (kWh)	**Ψύξη (kWh)**
Ιανουάριος	128.4	0
Φεβρουάριος	135.8	0
Μάρτιος	84.4	0
Απρίλιος	27.6	0
Μάιος	0	403.6
Ιούνιος	0	615.3
Ιούλιος	0	839.1
Αύγουστος	0	861.9
Σεπτέμβριος	0	592.6
Οκτώβριος	0	400.2
Νοέμβριος	19.9	0
Δεκέμβριος	87.6	0
ΣΥΝΟΛΟ	**483,7**	**3712.7**

Πίνακας 6.5.2 : Ενεργειακές ανάγκες της ζώνης λαμβάνοντας υπόψη τη διείσδυση αέρα από τα κουφώματα και τις χαραμάδες

Συγκρίνοντας της περιπτώσεις 1 και 2, διαπιστώνεται πως αν η ζώνη 9 ήταν πλήρως στεγανοποιημένη, η εξοικονόμηση ενέργειας για θέρμανση θα ήταν 60,4 kWh και για ψύξη 105.3 kWh. Παρόλη την εξοικονόμηση, διαπιστώθηκε στην προηγούμενη ενότητα, πως ο μη αερισμός του χώρου, αυξάνει σημαντικά τα επίπεδα CO_2 σε μονάδες ppm, γεγονός που θα έχει αρνητικές συνέπειες στο ανθρώπινο δυναμικό.

3η περίπτωση: Ανοιχτό παράθυρο το διάστημα 11 με 12 το πρωί

Αυτή η περίπτωση δε είναι δυνατόν να πραγματοποιείται κάθε μέρα, καθώς το χειμώνα υπάρχουν μέρες με άσχημες καιρικές συνθήκες και το καλοκαίρι υπάρχουν μέρες με πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Παρόλα αυτά τα αποτελέσματα για αυτήν την περίπτωση ακολουθούν στον πίνακα 6.5.3.

	Θέρμανση (kWh)	Ψύξη (kWh)
Ιανουάριος	125.1	0
Φεβρουάριος	131.1	0
Μάρτιος	84.3	0
Απρίλιος	26.4	0
Μάιος	0	404.4
Ιούνιος	0	614.8
Ιούλιος	0	839.2
Αύγουστος	0	859.4
Σεπτέμβριος	0	591.8
Οκτώβριος	0	399
Νοέμβριος	19.5	0
Δεκέμβριος	87.1	0
ΣΥΝΟΛΟ	**473.5**	**3708.6**

Πίνακας 6.5.3: Ενεργειακές απαιτήσεις ζώνης με ανοιχτό παράθυρο

Το σενάριο αυτό, αν και μη ρεαλιστικό λόγω των καιρικών συνθηκών προέκυψε κατά λίγο ικανοποιητικότερο σε σχέση με το προηγούμενο σενάριο. Ενδέχεται οι θερμοκρασίες του εξωτερικού περιβάλλοντος να βοήθησαν στη θέρμανση καθώς και στην ψύξη του κτιρίου κάποιες μέρες το χρόνο. Επιπλέον είναι σκόπιμο να υπενθυμιστεί, ότι στην προηγούμενη ενότητα που εξετάστηκε η εσωτερική ρύπανση του χώρου, το σενάριο αυτό ήταν το καλύτερο.

4η Περίπτωση: Προσφέροντας τις απαιτούμενες αλλαγές αέρα στη ζώνη

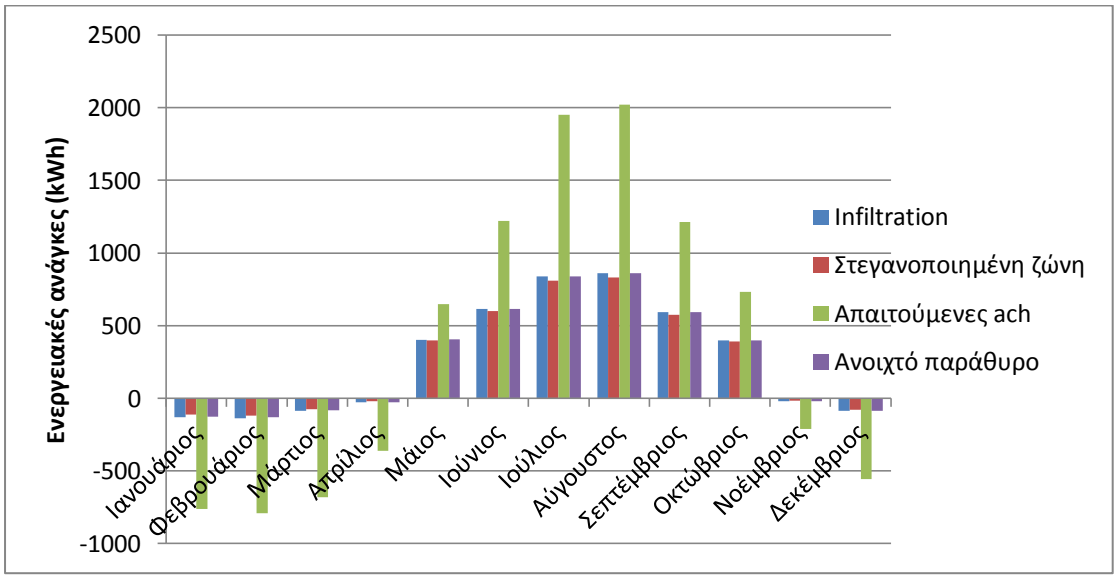
Οι απαιτούμενες αλλαγές αέρα την ώρα σε ένα απλό γραφείο, σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία είναι 8,5ach. Εισάγοντας την τιμή αυτή στο TRNSys με χρονοδιάγραμμα, να προσφέρεται ο απαιτούμενος αερισμός κατά τη διάρκεια της εργασίας του ατόμου και μόνο τις εργάσιμες μέρες, τα αποτελέσματα ήταν τα ακόλουθα:

	Θέρμανση (kWh)	Ψύξη (kWh)
Ιανουάριος	761	0
Φεβρουάριος	791.6	0
Μάρτιος	679.3	0
Απρίλιος	361.9	0
Μάιος	0	649.8
Ιούνιος	0	1222.4
Ιούλιος	0	1952.5
Αύγουστος	0	2021
Σεπτέμβριος	0	1214.3
Οκτώβριος	0	732.4
Νοέμβριος	209.8	0
Δεκέμβριος	556	0
ΣΥΝΟΛΟ	**3359,6**	**7792,4**

Πίνακας 6.5.4: Ενεργειακές ανάγκες προσφέροντας τις απαιτούμενες αλλαγές αέρα

Το σενάριο αυτό φαίνεται να είναι ενεργειακά μη αποδοτικό, καθώς οι ανάγκες ψύξης έχουν υπερδιπλασιαστεί σε σχέση με την περίπτωση 1, ενώ σημαντικότερη αύξηση παρουσιάζει η ενεργειακή ανάγκη της ζώνης για θέρμανση.

Τα αποτελέσματα όλων των σεναρίων παρουσιάζονται συνοπτικά στο διάγραμμα 6.5.5.



Διάγραμμα 6.5.5: Απεικόνιση όλων των περιπτώσεων

Και από το διάγραμμα φαίνεται πως το λιγότερο αποδοτικό, όσον αφορά τις ενεργειακές ανάγκες είναι το τελευταίο σενάριο. Τα υπόλοιπα σενάρια, φαίνεται να μην έχουν σημαντική απόκλιση μεταξύ τους, παρόλα αυτά σε μέγεθος κτιρίου, η διαφορά είναι αρκετή.

Κεφάλαιο 7
Συμπεράσματα και Προτάσεις

Αντικείμενο προβληματισμού αποτελεί ολοένα και περισσότερο η εξοικονόμηση ενέργειας στον τομέα των κτιρίων, καθώς αυτά απαιτούν το 30%-40% της συνολικής ενέργειας που καταναλώνεται στην Ευρώπη. Για το λόγο αυτό, δημιουργήθηκε η ανάγκη στην διατύπωση των βασικών αρχών του ενεργειακού ή του βιοκλιματικού σχεδιασμού των κτιρίων που στόχο έχουν τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης του κτιριακού τομέα.

Στην προσπάθεια όμως επίλυσης του ενεργειακού προβλήματος , με πολιτικές επιδιώξεις της μεγαλύτερης εξοικονόμησης ενέργειας, δημιούργησε άλλα σημαντικά προβλήματα στα κτίρια που αφορούν τη θερμική άνεση και την ποιότητα του εσωτερικού αέρα , διότι παραμελήθηκε μια βασική παράμετρος κατά το σχεδιασμό των κτιρίων, η οποία αφορά στη διασφάλιση κατάλληλων εσωκλιματικών συνθηκών για του χρήστες τους.

Σημαντική παράμετρος τόσο για το ενεργειακό ζήτημα του κτηριακού τομέα, όσο και για την εξασφάλιση καλής ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος, αποτελεί ο αερισμός είτε φυσικός είτε μηχανικός.

Η επίδραση της διείσδυσης αέρα μέσω του κελύφους και των κουφωμάτων στην ενεργειακή απαίτηση ενός κτιρίου, καθώς και στην ποιότητα εσωκλίματος του, μελετήθηκε στη παρούσα διπλωματική εργασίας με τη μελέτη του κτιρίου Κ2 του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος. Το κτίριο καθώς και η ροή αέρα μέσα σε αυτό μοντελοποιήθηκαν με τη χρήση των λογισμικών TRNSYS και COMIS.

Υπολογίστηκαν αρχικά τα φορτία θέρμανσης και ψύξης του κτιρίου, λαμβάνοντας υπόψη τη διείσδυση του αέρα όπως υπολογίζεται από το πρόγραμμα COMIS και περνάει στο TRNSYS μέσω του Type 157. Για την χειμερινή περίοδο του 2012 τα φορτία θέρμανσης υπολογίστηκαν περίπου 21,8 MWh, ενώ τα αντίστοιχα της ψύξης για τη θερινή περίοδο προέκυψαν περίπου 121,5 MWh. Παρατηρείται πως το κτίριο έχει περισσότερες ενεργειακές ανάγκες για ψύξη, κάτι που ήταν αναμενόμενο καθώς η περιοχή των Χανίων που εδρεύει το κτίριο, και γενικότερα η Κρήτη χαρακτηρίζεται από πολύ θερμά καλοκαίρια και ήπιους χειμώνες.

Τα αντίστοιχα αποτελέσματα για τη θέρμανση και ψύξη στην περίπτωση πλήρους στεγανότητας του κτιρίου υπολογίστηκαν 18,9 MWh και 115,4 MWh αντίστοιχα.

Συγκρίνοντας τα 2 σενάρια, φαίνεται πως για την περίοδο θέρμανσης στο κτίριο δεν εισέρχεται αέρας από το εξωτερικό περιβάλλον η εξοικονόμηση ενέργειας είναι 2,9 MWh , ενώ για την ψύξη 6,1 MWh , το χρόνο.

Η πλήρης στεγανοποίηση ενός κτιρίου έχει διαπιστωθεί πως δημιουργεί ανθυγιεινό περιβάλλον για τους χρήστες του και παρόλη την εξοικονόμηση ενέργειας και του ενεργειακού κόστους που ήταν ο πρωταρχικός στόχος των Ευρωπαϊκών διατάξεων.

Για το λόγο αυτό κρίθηκε σκόπιμο να μελετηθεί η ποιότητα του εσωκλίματος του κτιρίου και πως επηρεάζεται από τις συνθήκες αερισμού του.

Μελετήθηκε μία ζώνη μόνο, όπου είχε τοποθετηθεί μετρητής καταγραφής επιπέδων CO_2 στο χώρο. Η ζώνη αυτή ήταν η ζώνη 9, η οποία και απεικονίζεται στην κάτοψη του κτιρίου στο παράρτημα.

Η συγκέντρωση του CO_2 του μοντέλου δεν ήταν δυνατό να προσομοιωθεί ακριβώς με τη διακύμανση των πραγματικών τιμών, καθώς δεν είναι δυνατόν να προβλεφθούν τυχόν αναταραχές που συνέβησαν στη ζώνη κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Παρόλα αυτά η συγκέντρωση του CO_2 φαίνεται να αυξάνεται εκθετικά κατά τις ώρες εργασίας του ατόμου, ενώ κατά ην απουσία του μειώνεται.

Τα επίπεδα CO_2 στο εσωτερικό της ζώνης φτάνουν μέχρι και τα 500 ppm, λαμβάνοντας υπόψη και τη διείσδυση του αέρα κατά την περίοδο προσομοίωσης, η οποία δεν ήταν πολύ υψηλή. Για την ίδια περίοδο εξετάστηκε το σενάριο αύξησης του αερισμού του χώρου από τις 11 έως τις 12 μμ ανοίγοντας το παράθυρο κατά 45°. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα με το προηγούμενο σενάριο, διαπιστώνεται μια σημαντική μείωση τη χρονική διάρκεια όπου ο αερισμός στο χώρο είναι μεγαλύτερος. Διαπιστώνεται επομένως πως ο αερισμός του χώρου, βελτιώνει την ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος. Αντίθετα η πλήρης στεγανοποίηση της ζώνης οδηγεί στην αύξηση των επιπέδων CO_2 μέσα στη ζώνη, φτάνοντας την τιμή των 1400 ppm κατά τη διάρκεια του ωραρίου εργασίας του ατόμου, με αποτέλεσμα τώρα σύμφωνα με την οδηγία CEN/TC 156, 2006 να κατατάσσεται η ζώνη στην κλάση III, δηλαδή να χαρακτηρίζεται ως υψηλής ρύπανσης ζώνη.

Οι ενεργειακές ανάγκες της ζώνης υπολογίστηκαν 423,3 kWh για θέρμανση, ενώ για ψύξη 3607,4 kWh, όταν στη ζώνη δεν εισέρχεται αέρας. Αντίστοιχα λαμβάνοντας υπόψη τη διείσδυση του αέρα τα αποτελέσματα είναι 483,7 kWh για θέρμανση και 3712,7 kWh για ψύξη. Η εξοικονόμηση ενέργειας ανέρχεται στις 60,4 kWh για θέρμανση και στις 105,3 kWh για ψύξη αν η ζώνη στεγανοποιηθεί.

Αντίστοιχα αποτελέσματα και λίγο μικρότερα σε σχέση με την περίπτωση διείσδυσης από χαραμάδες προέκυψαν και στην περίπτωση υπολογισμού των ενεργειακών απαιτήσεων, αν το παράθυρο της ζώνης ανοίγει κάθε μέρα για μία ώρα. Το σενάριο αυτό γίνεται αντιληπτό πως δεν μπορεί να εφαρμοστεί καθημερινά καθώς η διάνοιξη του παραθύρου εξαρτάται από τις εξωτερικές καιρικές συνθήκες. Παρόλα αυτά οι ανάγκες προέκυψαν λιγότερες, κυρίως για

την θέρμανση, οπότε και συμπεραίνεται πως ο εξωτερικός αέρας συνέβαλε στη θέρμανση του χώρου κάποιες ημέρες όπου οι εξωτερικές συνθήκες ήταν αρκετά καλές για την χειμερινή περίοδο του 2012.

Το τελευταίο σενάριο που εξετάστηκε, ήταν η ενεργειακή απαίτηση της ζώνης σε θέρμανση και ψύξη προσφέροντας στη ζώνη τις απαιτούμενες αλλαγές αέρα που σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία ανέρχονται στις 8,5 (ach).

Το σενάριο αυτό αποδείχθηκε ενεργειακά μη αποδοτικό καθώς τα αποτελέσματα ήταν παραπάνω από διπλάσια (3359,6 kWh για θέρμανση και 7792,4 kWh για ψύξη) σε σχέση με το αντίστοιχα που προέκυψαν για το πλήρως στεγανοποιημένο κτίριο.

Συνοψίζοντας, γίνεται κατανοητό πως ο αερισμός είναι ο παράγοντας που επηρεάζει τόσο την ενεργειακή απαίτηση ενός κτιρίου για θέρμανση και ψύξη, όσο και για την εξασφάλιση καλής ποιότητας εσωτερικού αέρα. Η επιρροή του βέβαια είναι θετική για την ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος αλλά αρνητική για την εξοικονόμηση της ενέργειας.

Τέλος, θα είχε ενδιαφέρον να μελετηθεί η περίπτωση των μηχανικών μέσων αερισμού-εξαερισμού και πως αυτά επιδρούν στην εσωτερική ρύπανση, στις ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου καθώς και στο ενεργειακό κόστος, εξετάζοντας περισσότερες παραμέτρους εκτός της συγκέντρωσης CO_2 οι οποίες επηρεάζουν το εσώκλιμα των κτιρίων και κατ' επέκταση τους χρήστες τους.

Βιβλιογραφία

Διονυσία Κολοκοτσά, *Όρια, νομοθεσία και πρότυπα που αφορούν στην ποιότητα αέρα εσωτερικού περιβάλλοντος*, Πολυτεχνείο Κρήτης

Σταμάτης Δ. Πέρδιος (2006),*Ενεργειακή Επιθεώρηση Κτιρίων και Βιομηχανιών*, ΤεΚδοτική, Αθήνα.

B.W. Olsen (2006), *International Standards for the indoor environment, Blackwell Publishing*, Denmark.

B.W. Olsen, Olli Seppanen, Atze Boerstra (2006), *Criteria for the indoor environment for energy performance of buildings, A new European Standard*, Facilities vol. 24, Emerald Group Publishing, Great Britain.

Yuguo Li, Per Heiselberg, *Analysis Methods for Natural and Hybrid Ventilation – a Critical Literature Review and Recent Developments*, International Journal of Ventilation Volume 1, HybVent.

Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings- addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics, European Standard, CEN –TC156, 2006.

Steinar Larssen, Kevin J. Barrett, Jaroslav Fiala, Justin Goodwin, Leif Otto Hagen, Jan F. Henriksen, Frank de Leeuw, Leonor Tarrason (2002), *Air quality in Europe - State and trends 1990-99*, European Environment Agency.

Marcel Gerardus Louis Cornelius Loomans (1998), *The Measurement and Simulation of Indoor Air Flow*, GLC Publications, Eindhoven.

Αριστοτέλης Αυγελής (2008), Διπλ. Μηχανολόγος Μηχανικός Α.Π.Θ., *Ενεργειακή Διαχείριση Κτιρίων με έμφαση στην ποιότητα αέρα και στο εσώκλιμα,* Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.

Τριανταφυλλιά Νικολάου M.Sc. , *Το πρόβλημα της ποιότητας αέρα στο εσωτερικό των κτιρίων, Πολυτεχνείο Κρήτης*, Χανιά

Δημήτριος Ματθόπουλος Αναπληρωτής καθηγητής Βιολογίας / Κυτταρικής Βιολογίας Τμήμα Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, *Ρύπανση Βιολογικής Προέλευσης*, Αγρίνιο

Μαριάννα Παπαγλάστρα , *Επίδραση των προβλημάτων ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος στην υγεία – υγιεινή εσωτερικού περιβάλλοντος*, Τμήμα Φυσικής, Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα

Environmental design – CIBSE Guide A, CIBSE Publications, London. January 2007

Sustainability – CIBSE Guide L, Group of authors CIBSE, CIBSE Publications, Great Britain, 2007

Cristian Ghiaus, Fransis Allard, Earthscan (2005), *Natural Ventilation in the Urban Environment – Assessment and Design*, UK.

Yuguo Li, Sture Holmberg (1994), *General Flow and Thermal Boundary Conditions in Indoor Air Flow Simulation*, Building and Environment vol.29, Great Britain.

H. Breesch, A. Bossaer, A. Janssens (2005), *Passive cooling in a low-energy office building*, Solar Energy 79.

, Claude-Alain Roulet, Jean-Marie Furbringer, Pascal Cretton (1993), *The influence of the user on the results of multizone air flow simulations with COMIS*, Energy and Buildings 30,73-86.

Milorad BojicÃ, Sasa Kostic (2006), *Application of COMIS software for ventilation study in a typical building in Serbia*, Building and Environment 41, 12-20.

Viktor Dorer, Andreas Weber (2001*), Multizone Air Flow Model COMIS-TRNSYS ,TRNSYS Type 157*, Switzerland.

H. Breesch, A. Janssens, *Performance evaluation of passive cooling in office buildings based on uncertainty and sensitivity analysis*, Solar Energy 84, 1453- 1467.

COMIS with Simulation Studio - User Manual, COMIS 3.2., A multizone air flow calculation program by CSTB and EMPA

E. Dascalaki, M. Santamouris, M. Bruant, C.A. Balaras, A. Bossaer, D. Ducarme, P. Wouters (1999) ,*Modeling large openings with COMIS*, Energy and Buildings 30 ,105-115.

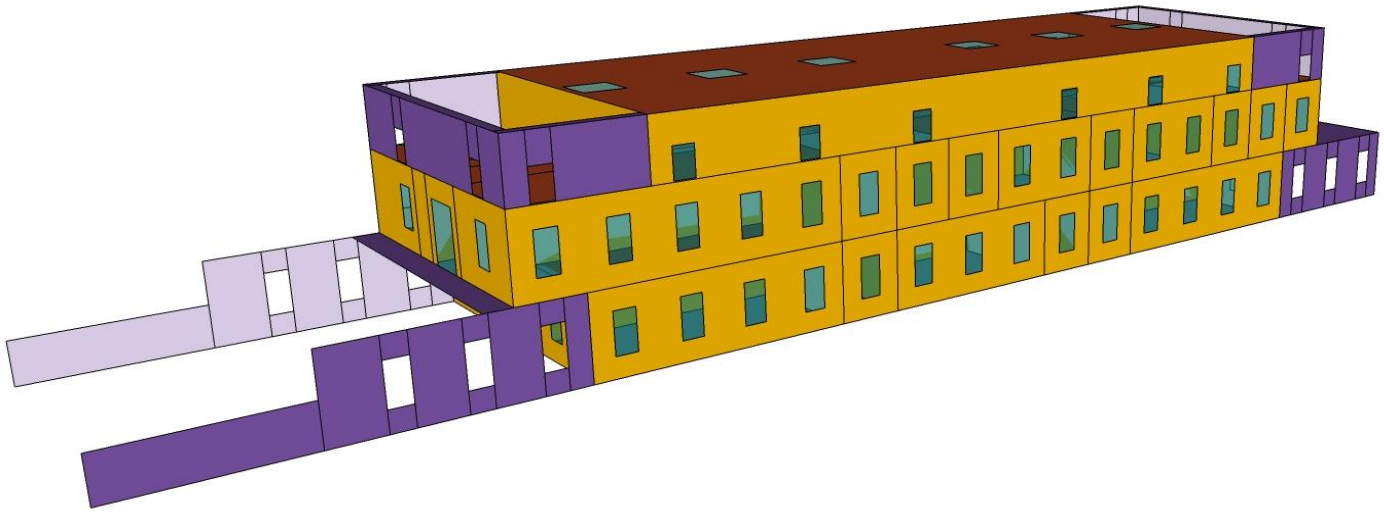
William A. Beckman, Lars Broman, Alex Fiksel, Sanford A. Klein, Eva Lindberg, Mattias Schuler, Jeff Thornton (1994), *TRNSYS, The most complete solar energy system modeling and simulation software*, Renewable Energy vol 5., 486-488.

Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-4: General actions, Wind actions, BSI – British Standards, April 2005

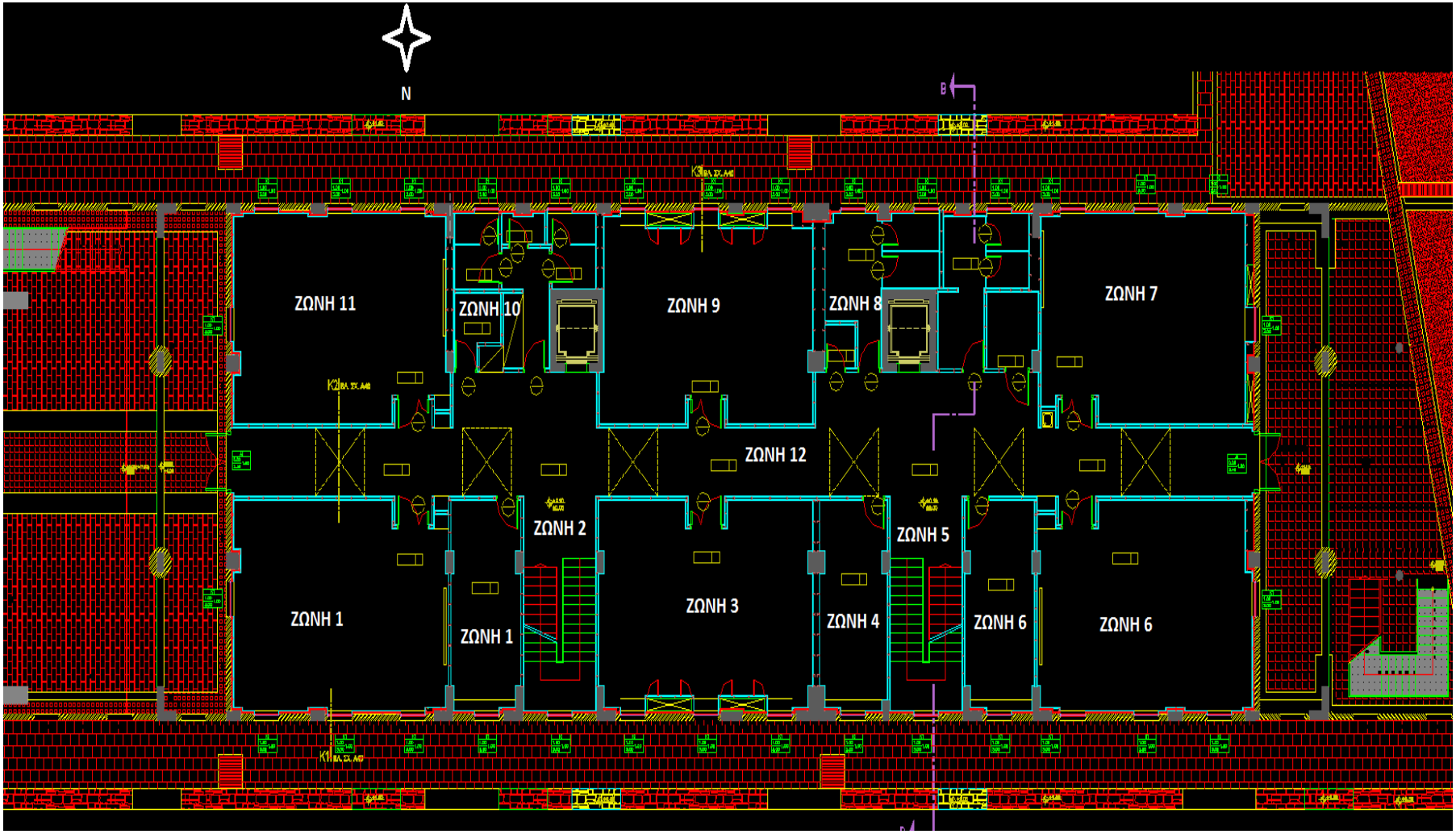
Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της Ενεργειακής Αξιολόγησης Κτιρίων και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης, Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος, Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, Αθήνα, Ιούλιος 2010.

Θερμοφυσικές Ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος της Θερμομονωτικής επάρκειας των κτιρίων, Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2/2010, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, Αθήνα, Ιούλιος 2010.

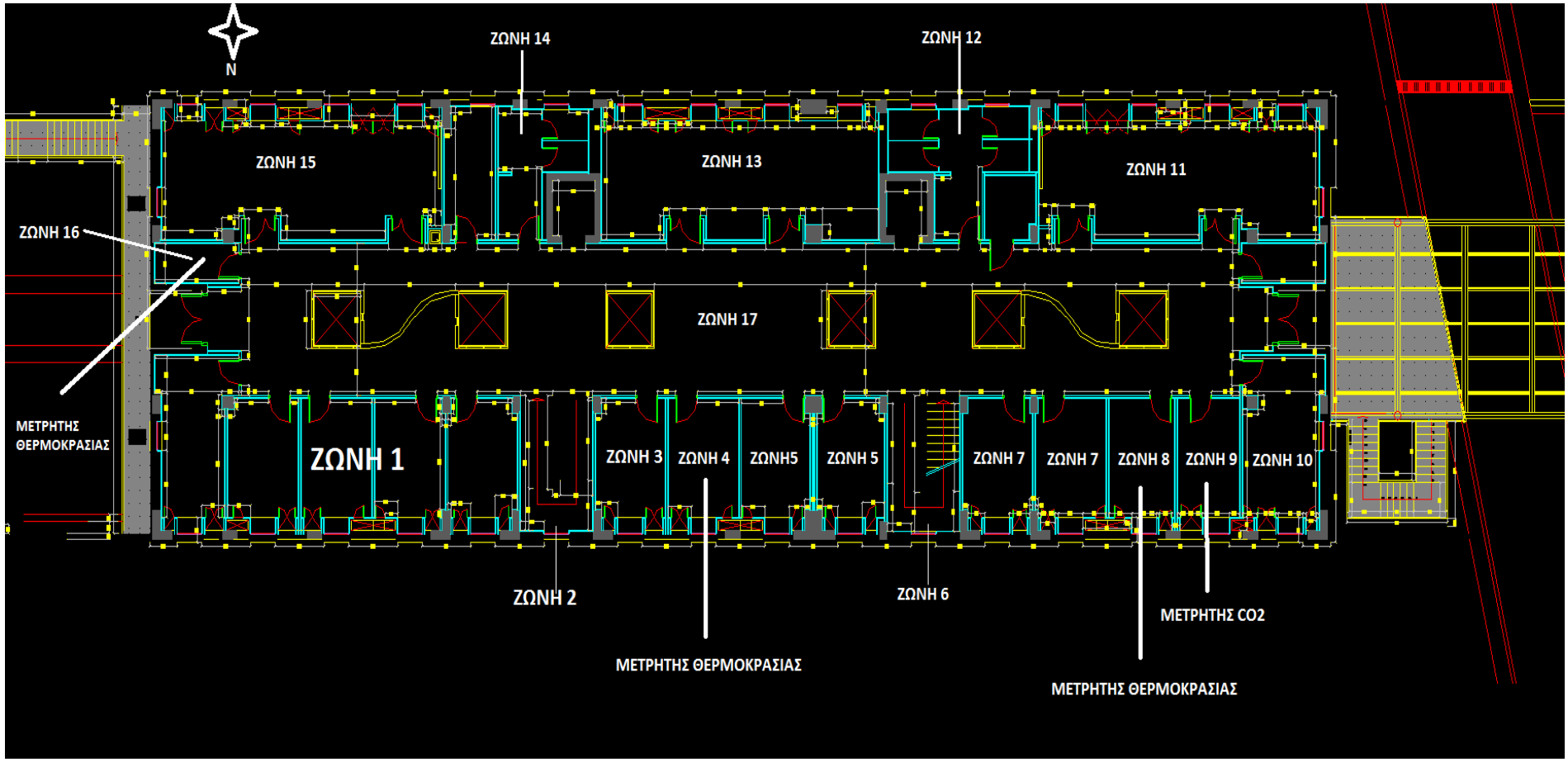
Παραρτήματα



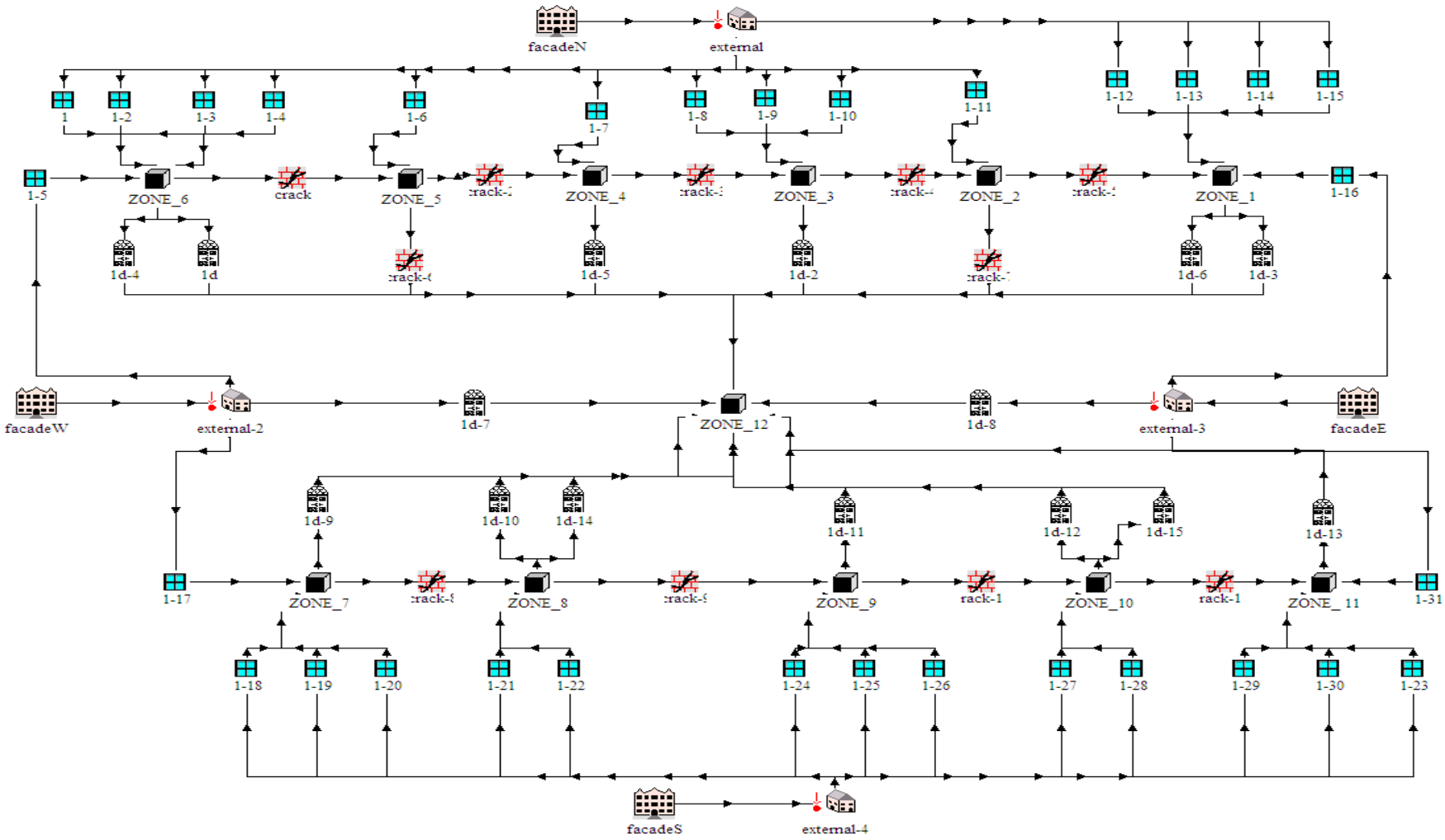
ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ Κ2



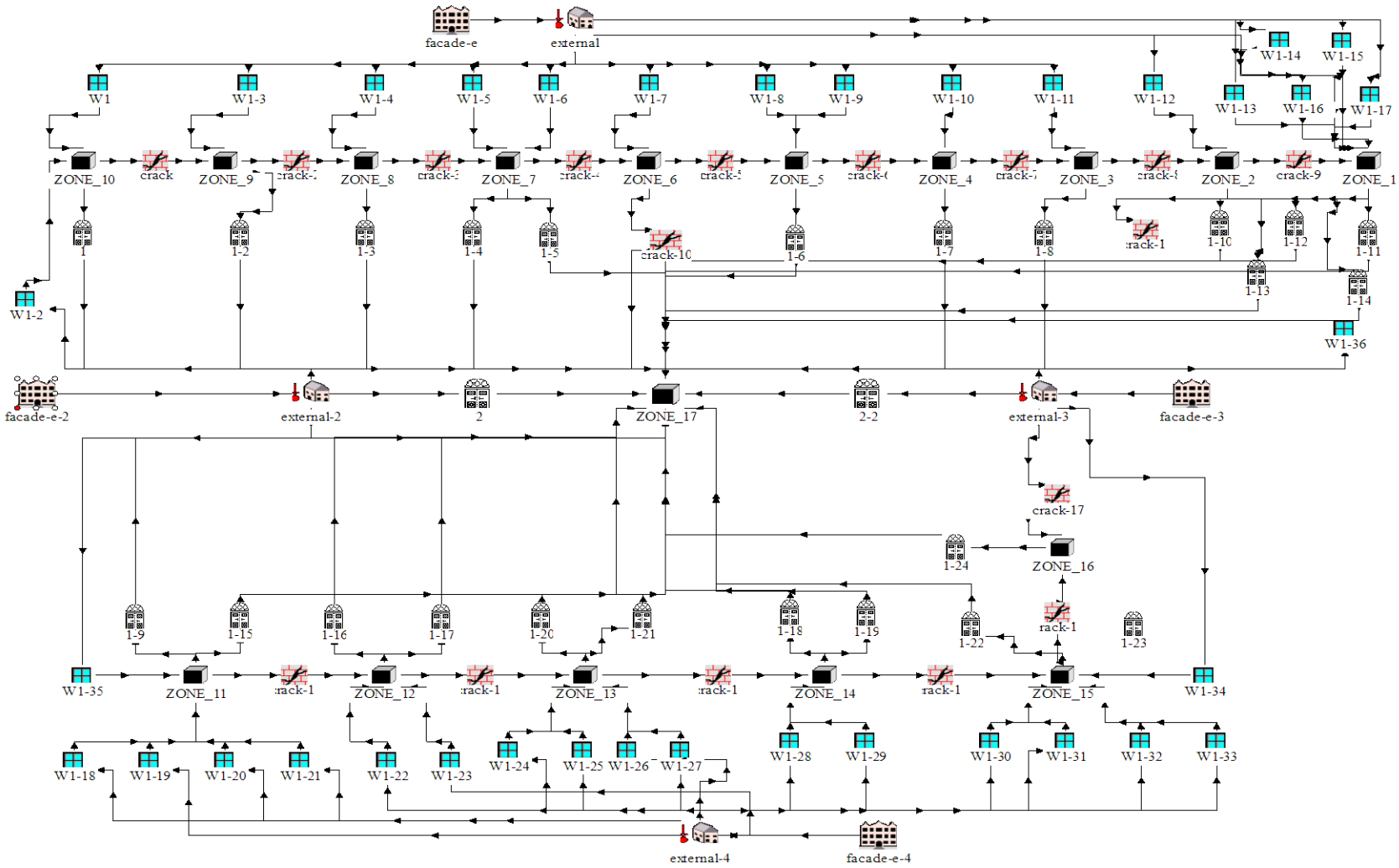
ΚΑΤΟΨΗ ΙΣΟΓΕΙΟΥ



ΚΑΤΟΨΗ ΠΡΩΤΟΥ ΟΡΟΦΟΥ



ΜΟΝΤΕΛΟ ΡΟΗΣ ΑΕΡΑ ΤΟΥ ΙΣΟΓΕΙΟΥ



ΜΟΝΤΕΛΟ ΡΟΗΣ ΑΕΡΑ ΣΤΟΝ ΠΡΩΤΟ ΟΡΟΦΟ