



Διπλωματική Εργασία | Μηχανικός Αερισμός Κτιρίων με Ανάκτηση Θερμότητας (Έρευνα, Σχεδιασμός & Προσομοίωση)

Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ
Τομέας Θερμότητας

Πέτρος Α. Κουκάς mc17101
Σπουδαστής Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ

Επιβλέπων: Δρ. Χρήστος Τζιβανίδης, Καθηγητής ΕΜΠ
Εργαστήριο Ψύξης, Κλιματισμού και Ηλιακής Ενέργειας

Αθήνα, Φεβρουάριος 2024



Diploma Thesis | Mechanical Ventilation of Buildings by utilizing Heat Recovery (Research, Design & Simulation)

School of Mechanical Engineering NTUA
Division of Thermal Engineering

Petros A. Koukas mc17101
Mechanical Engineering Student

Supervisor: Dr. Christos Tzivanidis, Professor at NTUA
Refrigeration, Air Conditioning & Solar Energy Lab

Athens, February 2024

Υπεύθυνη Δήλωση για λογοκλοπή και κλοπή πνευματικής ιδιοκτησίας

Δηλώνω υπεύθυνα ότι η παρούσα Διπλωματική Εργασία εκπονήθηκε κάτω από τους διεθνείς ηθικούς και ακαδημαϊκούς κανόνες δεοντολογίας και προστασίας της πνευματικής ιδιοκτησίας. Σύμφωνα με αυτούς τους κανονισμούς, δεν έχω προβεί σε ουδεμία ιδιοποίηση ξένου επιστημονικού έργου και έχω πλήρως αναφέρει τις πηγές που χρησιμοποιήθηκαν στην συγκεκριμένη εργασία.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτή τη Διπλωματική εργασία είναι του συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών ή του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Ονοματεπώνυμο: Πέτρος Α. Κουκάς

Ευχαριστίες

Στο σημείο αυτό, επιθυμώ να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθηγητή, κ. Χρήστο Τζιβανίδη, ο οποίος στάθηκε αρωγός καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Μου έδειξε εμπιστοσύνη από την αρχή προτείνοντας μου το κατάλληλο θέμα σχετικά με τα δικά μου ερευνητικά ενδιαφέροντα, τις γνώσεις μου και τις δεξιότητες μου. Η καθοδήγηση και οι κατευθύνσεις που μου δόθηκαν ήταν πολύτιμες και καθοριστικής σημασίας για την ομαλή πορεία του πονήματος και την εξαγωγή ασφαλών και χρήσιμων πορισμάτων.

Επίσης, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στους γονείς μου, στον αδερφό μου και σε όλα εκείνα τα αγαπημένα μου πρόσωπα που με τη βοήθεια τους, την εμπρακτική στήριξη τους και την αγάπη τους έκαναν πιο εύκολο το έργο μου στη Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ.

Πίνακας περιεχομένων

Ευχαριστίες.....	5
Περίληψη	10
Abstract.....	11
Θεωρητικό Μέρος	12
Κεφάλαιο 1 – Εισαγωγή	12
1.1 Κίνητρα για έρευνα & ανάλυση	12
1.2 Στόχοι της έρευνας	14
1.3 Πεδίο Εφαρμογής της εργασίας.....	15
1.3.1 Γεωγραφικό πεδίο εφαρμογής	15
1.3.2 Τύποι κτιρίων	15
1.3.3 Ενέργεια στον τομέα των κατασκευών	16
1.3.4 Υγιεινή και θερμική άνεση	18
1.4 Μεθοδολογία της έρευνας	19
1.4.1 Σχεδιασμός της έρευνας	19
1.4.2 Προσομοίωση και μοντελοποίηση.....	19
Κεφάλαιο 2 - Βιβλιογραφική ανασκόπηση	24
2.1 Αρχές του μηχανικού αερισμού.....	24
2.1.1 Ο αερισμός ως βασικό στοιχείο του κτιρίου	24
2.1.2 Μέθοδοι εξαερισμού	24
2.1.3 Ποσοστό αερισμού και ποιότητα αέρα εσωτερικού χώρου.....	25
2.1.4 Ενεργειακά ζητήματα στον αερισμό.....	25
2.2 Συστήματα με ανάκτηση θερμότητας σε κτίρια	27
2.2.1 Η λογική των συστημάτων με ανάκτηση θερμότητας	27
2.2.2 Τύποι συστημάτων ανάκτησης θερμότητας	28
2.2.3 Ενσωμάτωση στον εξαερισμό των κτιρίων	28
2.3 Ενεργειακή απόδοση στον αερισμό κτιρίων	29
2.3.1 Ενεργειακές προκλήσεις στον αερισμό κτιρίων	29
2.3.2 Ο ρόλος της ανάκτησης θερμότητας	29
2.3.3 Αερισμός ελεγχόμενος κατά ζήτηση	29
2.3.4 Οικονομικά οφέλη από την χρήση συστημάτων εξαερισμού	30
2.3.5 Περιβαλλοντικές ωφέλειες.....	30
2.3.6 Πρότυπα ενεργειακής απόδοσης και κώδικες δόμησης.....	30
2.4 Τεχνολογικές εξελίξεις στον μηχανικό αερισμό	30

2.4.1 Έξυπνα συστήματα εξαερισμού	30
2.4.2 Συστήματα αερισμού με ανάκτηση ενέργειας ERV	30
2.4.3 Επιλογή μεταξύ των συστημάτων ERV και HRV	31
2.4.4 Φιλτράρισμα με σκοπό την υγιεινή του αέρα	36
2.4.5 Ενεργειακά αποδοτικοί ανεμιστήρες και κινητήρες	36
2.4.6 Ασύρματη σύνδεση και ενσωμάτωση του Internet of Things (IoT)	37
2.4.7 Ενσωμάτωση με τις μηχανολογικές εγκαταστάσεις του κτιρίου	37
2.4.8 Εφαρμογές αερισμού και αλληλεπίδραση του χρήστη	37
2.4.9 Εργαλεία μοντελοποίησης & προσομοίωσης	37
2.5 Οφέλη για το περιβάλλον και την υγεία	38
2.5.1 Περιβαλλοντικά οφέλη	38
2.5.2 Οφέλη ευεξίας.....	39
2.6 Προκλήσεις και περιορισμοί.....	39
Κεφάλαιο 3 - Συστήματα Αερισμού Κτιρίων.....	41
3.1 Φυσικός αερισμός	41
3.1.1 Αρχές φυσικού αερισμού	41
3.1.2 Πλεονεκτήματα του φυσικού αερισμού	41
3.1.3 Περιορισμοί του φυσικού αερισμού.....	42
3.2 Μηχανικός αερισμός	43
3.2.1 Αρχές μηχανικού αερισμού.....	44
3.2.2 Λεπτομέρειες & Απαιτήσεις ενός συστήματος μηχανικού αερισμού.....	45
3.2.3 Είδη συστημάτων μηχανικού αερισμού	47
3.2.3 Πλεονεκτήματα του μηχανικού αερισμού	48
3.2.4 Περιορισμοί του μηχανικού αερισμού.....	49
3.3 Αερισμός μόνο με απαγωγή	49
3.3.1 Αρχή αερισμού μόνο με απαγωγή	49
3.3.2 Πλεονεκτήματα αερισμού μόνο με απαγωγή.....	50
3.3.3 Περιορισμοί αερισμού μόνο με απαγωγή	50
3.3.4 Ζητήματα εφαρμογής	51
3.4 Αερισμός μόνο με παροχή	51
3.4.1 Αρχές αερισμού μόνο με παροχή	51
3.4.2 Πλεονεκτήματα αερισμού μόνο με παροχή.....	51
3.4.4 Ζητήματα εφαρμογής	52
3.5 Ισορροπημένος Αερισμός	53
3.5.1 Αρχές ισορροπημένου αερισμού.....	53

3.5.4 Ζητήματα εφαρμογής	55
3.6 Συστήματα αερισμού με ανάκτηση θερμότητας (HRV).....	56
3.6.1 Εναλλάκτες θερμότητας	56
3.6.2 Τύποι συστημάτων HRV.....	59
3.6.3 Πλεονεκτήματα και περιορισμοί των συστημάτων HRV	60
3.7 Ενσωμάτωση συστημάτων HRV σε κτίρια	61
3.7.1 Αρχές ολοκλήρωσης συστήματος HRV	61
3.7.2 Στρατηγικές για την ενσωμάτωση των συστημάτων HRV	62
3.7.3 Οφέλη και προκλήσεις από την ενσωμάτωση των συστημάτων HRV	62
Κεφάλαιο 4 - Κλιματισμός κτιρίων.....	64
4.1. Ενεργειακή απόδοση κτιρίων	64
4.2. Μετάδοση θερμότητας & Θερμική άνεση	66
4.3 Αντλίες Θερμότητας Α/Θ	71
4.3.1. Εισαγωγή	71
4.3.2. Βασικά δομικά μέρη	72
4.3.3. Αρχή λειτουργίας Α/Θ	73
4.3.4. Απόδοση Α/Θ	75
4.3.5. Αντλίες θερμότητας αέρα-αέρα	75
4.4. Μονάδα αφυγραντήρα.....	76
Υπολογιστικό Μέρος.....	77
Κεφάλαιο 5 - Σχεδιασμός κατοικίας	77
5.1 Το λογισμικό SketchUp	77
5.2 Μεθοδολογία σχεδιασμού	78
Κεφάλαιο 6 - Εισαγωγή παραμέτρων και προσομοίωση.....	87
6.1 Το λογισμικό OpenStudio.....	87
6.2 Εισαγωγή παραμέτρων	88
6.2.1 SITE TAB	88
6.2.2 Schedules Tab	89
6.2.3 Constructions Tab	95
6.2.4 Διερεύνηση επί του συντελεστή θερμοπερατότητας	101
6.2.5 Loads Tab.....	106
6.2.6 Space Types Tab	109
6.2.7 Spaces Tab	112
6.2.8 Thermal Zone Tab	114
6.2.9 Measures Tab	118

Κεφάλαιο 7 - Αποτελέσματα.....	121
7.1 Σενάριο Ιδανικών Φορτίων - Ideal Air Loads.....	121
7.2 Σενάριο με Αντλία Θερμότητας.....	124
7.3 Σενάριο με Μηχανικό Αερισμό	126
7.4 Ανακεφαλαίωση αποτελεσμάτων	130
Κεφάλαιο 8 - Συμπεράσματα & Περαιτέρω Βήματα.....	132
Λίστα Εικόνων.....	135
Λίστα Πινάκων	138
Βιβλιογραφία.....	139

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία συνιστά μια εμπειριστατωμένη μελέτη σχετικά με την επιρροή του μηχανικού αερισμού με ανάκτηση θερμότητας σε μια οικία. Ως μελέτη περίπτωσης επιλέχθηκε μια μονοκατοικία τετραμελούς οικογένειας στην περιοχή της Ραφήνας με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας και την βελτιστοποίηση των εσωτερικών συνθηκών άνεσης που επικρατούν στους χώρους της οικίας.

Αρχικά, δόθηκε εκτενές θεωρητικό υπόβαθρο για όλα τα απαραίτητα ειδικά θέματα που ερευνήθηκαν μέσω της ελληνικής ή και της διεθνούς βιβλιογραφίας. Καθορίστηκαν με σαφήνεια τόσο το πεδίο εφαρμογής της συγκεκριμένης εργασίας όσο και οι μεθοδολογίες που αξιοποιήθηκαν για την υλοποίηση της. Παρατίθενται όλες οι χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με τις αρχές του μηχανικού αερισμού, τις διαθέσιμες τεχνικές, τον ρόλο τους στην ανάκτηση θερμότητας και φυσικά τις ωφέλειες σε οικονομικό και περιβαλλοντικό επίπεδο. Ακόμη, γίνεται εκτενής λόγος για τα διάφορα είδη αερισμού που δύνανται να εφαρμοστούν στα σύγχρονα κτίρια, τα πλεονεκτήματα και οι περιορισμοί αυτών.

Δεν θα μπορούσε κανείς να μην αναφερθεί και στο ζήτημα του κλιματισμού των κτιρίων και τον τρόπο με τον οποίο επηρεάζουν τις εσωτερικές συνθήκες των κτιρίων. Γίνεται λόγος και για τις αντλίες θερμότητας, μέσω των οποίων υλοποιείται ο αερισμός των κτιρίων.

Ως προς το κομμάτι της προσομοίωσης, αρχικά σχεδιάστηκε η κατοικία στο λογισμικό SketchUp στην τελική της μορφή, με πόρτες, παράθυρα και πλήρως ορισμένες συνοριακές συνθήκες των επιφανειών αυτών. Στη συνέχεια, μέσω του OpenStudio πραγματοποιήθηκε η πλήρης παραμετροποίηση της οικίας – χρονοπρογράμματα χρόνου παραμονής, χρόνου λειτουργίας ηλεκτρικών συσκευών, θερμοστάτες κ.λπ., κατασκευαστικά υλικά για το σύνολο των δομικών στοιχείων, εισαγωγή φορτίων από τους ενοίκους, τις ηλεκτρικές συσκευές και τα φωτιστικά σώματα, αλλά και εισαγωγή εξοπλισμού στη θερμική ζώνη. Στο πρώτο σενάριο στη θερμική ζώνη εισήχθη αφυγραντήρας και αντλία θερμότητας αέρα-αέρα προς επίτευξη συνθηκών θερμικής άνεσης σε συνδυασμό με φυσικό αερισμό της οικίας μέσω του ανοίγματος των παραθύρων. Στο δεύτερο σενάριο, εισήχθη επιπλέον ένα σύστημα μηχανικού αερισμού με ανάκτηση θερμότητας μέσω του οποίου πραγματοποιείται ο αερισμός της οικίας, χωρίς να ανοίγουν τα παράθυρα.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης έδειξαν ότι το σύστημα μηχανικού αερισμού προσφέρει περίπου 8% μείωση της συνολικής καταναλισκόμενης ενέργειας σε ετήσια βάση και 45% μείωση των αναγκών σε θέρμανση, καθώς και σημαντική βελτίωση των εσωτερικών συνθηκών διαβίωσης των ενοίκων και θερμικής τους άνεσης.

Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης θα μπορούσαν να συμβάλουν σε μελλοντικές έρευνες σχετικά με εγκατάσταση συστημάτων μηχανικού αερισμού σε κατοικίες και κτίρια εν γένει.

Abstract

The present study constitutes a comprehensive examination of the impact of mechanical ventilation with heat recovery in a residential building. A single-family residence in the area of Rafina was chosen as a case study, aiming at energy savings and optimizing internal comfort conditions within the home.

Initially, an extensive theoretical background was provided for all relevant topics explored through both Greek and international literature. The scope of this specific work and the methodologies employed for its implementation were clearly defined. All pertinent information regarding the principles of mechanical ventilation, available techniques, their role in heat recovery, and their economic and environmental benefits were outlined. Additionally, various types of ventilation applicable in modern buildings, along with their advantages and limitations, were discussed.

The issue of building air conditioning and its influence on internal conditions were also addressed, including the use of heat pumps for building ventilation. Regarding the simulation part, the residence was initially designed in SketchUp software in its final form, with doors, windows, and fully defined boundary conditions for these surfaces. Subsequently, using OpenStudio, a complete parameterization of the house was carried out, encompassing occupancy schedules, operation times of electrical devices, thermostats, construction materials for all structural elements, introduction of loads from occupants, electrical appliances, and lighting fixtures, as well as the inclusion of equipment in the thermal zone.

In the first scenario, a dehumidifier and an air-to-air heat pump were introduced into the thermal zone to achieve thermal comfort conditions in combination with natural ventilation through window openings. In the second scenario, an additional mechanical ventilation system with heat recovery was implemented, allowing ventilation of the residence without opening windows.

The simulation results showed that the mechanical ventilation system offers approximately an 8% reduction in overall annual energy consumption and a 45% reduction in heating needs. Moreover, it significantly improved the internal living conditions and thermal comfort of the occupants.

The findings of this study could contribute to future research on the installation of mechanical ventilation systems in residences and buildings in general.

Θεωρητικό Μέρος

Κεφάλαιο 1 – Εισαγωγή

1.1 Κίνητρα για έρευνα & ανάλυση

Η αναζήτηση ενεργειακά αποδοτικών και βιώσιμων κτιρίων συνιστά αδήριτη ανάγκη για μια τεχνολογικά προηγμένη κοινωνία. Όσο ο παγκόσμιος πληθυσμός αυξάνεται, όλο και περισσότερης βαρύνουσας σημασίας θα θεωρείται το ζήτημα των κτιρίων που προσφέρουν προστασία, άνεση και χρηστική αξία. Η συνεχής αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού συνοδεύεται συγχρόνως και από αντίστοιχα υψηλότερη ζήτηση για χρήση ηλεκτρικής ενέργειας, μεγάλο μέρος της οποίας καταναλώνεται κατά τη διάρκεια λειτουργίας των κτιρίων. Οι φυσικές ανησυχίες και η ανάγκη μείωσης των εκπομπών του φαινομένου του θερμοκηπίου καθιστούν ζωτικής σημασίας την αναζήτηση εφευρετικών λύσεων με στόχο την ελαχιστοποίηση του αποτυπώματος άνθρακα των κτιρίων και την εξασφάλιση θερμικής άνεσης στο εσωτερικό τους.

Τα συστήματα μηχανικού αερισμού (mechanical ventilation) διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο κατά τον σχεδιασμό καινοτόμων κτιρίων, που βρίσκονται στην αιχμή της τεχνολογίας των δομικών κατασκευών. Και αυτό συμβαίνει γιατί τα συγκεκριμένα συστήματα έχουν επιφέρει πλήθος ερευνών και αντίστοιχων προσπαθειών απορρίπτοντας άλλες παρωχημένες λύσεις. Τις περισσότερες φορές, τα συστήματα αυτά σχεδιάζονται ώστε να πληρούν τις ελάχιστες δυνατές απαιτήσεις εξαερισμού, δίχως όμως να υπολογίζονται οι ανάλογες ενεργειακές συνέπειες κατά την προετοιμασία της εγκατάστασης. Όπως και αν έχει, η συγκεκριμένη λύση δεν προκρίνεται αυτοτελώς σε κτίρια υψηλής ενεργειακής κλάσης.

Γι' αυτόν το λόγο, σε μια πολλά υποσχόμενη λύση, ο μηχανικός αερισμός πραγματοποιείται μέσω ανάκτησης θερμότητας (heat recovery). Ουσιαστικά, χρησιμοποιείται εκ νέου θερμότητα από το παρόν ρεύμα του αέρα, μέσω ανάκτησής της, και με αυτόν τον τρόπο ο αερισμός πραγματοποιείται πιο αποδοτικά συμβάλλοντας στην διατήρηση της αειφορίας των κτιρίων. Μια τέτοια λύση εξασφαλίζει την ευστάθεια, τη βιωσιμότητα και τη θερμική άνεση ενός κτιρίου περιορίζοντας σημαντικά τις επιζήμιες συνέπειες για το φυσικό περιβάλλον. Ακόμη, οι διαμένοντες εντός ενός κτιρίου αυτών των προδιαγραφών νιώθουν μεγαλύτερη ευημερία και ασφάλεια.

Στο συγκεκριμένο πεδίο του μηχανικού αερισμού με ανάκτηση θερμότητας (Heat Recovery Ventilation – HRV), υφίστανται πάρα πολλές ευκαιρίες για ερευνητικές προσπάθειες. Αρχικά, είναι πολλοί οι προβληματισμοί που αναπτύσσονται σχετικά με τις επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον. Και αυτό γιατί τα κτίρια καταναλώνουν ένα κρίσιμο ποσοστό της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας παγκοσμίως και παράλληλα απελευθερώνουν πάνω από το 1/3 των εκπομπών ρυπογόνων αερίων εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Η αντιμετώπιση του συγκεκριμένου ζητήματος καθίσταται ζωτικής σημασίας για την επιβράδυνση της κλιματικής αλλαγής. Η μειωμένη χρήση ηλεκτρισμού σαφώς θα οδηγήσει σε μείωση του

κόστους λειτουργίας των κτιρίων για τους ιδιοκτήτες, οι οποίοι μπορούν να τοποθετούν τα πλεονάζοντα κεφάλαια σε άλλου είδους οικονομικές δραστηριότητες ή και επενδύσεις.

Η συγκεκριμένη μελέτη εξετάζει διάφορες εκφάνσεις του μηχανικού αερισμού, παραθέτοντας πλούσιο θεωρητικό υπόβαθρο της εξειδικευμένης αυτής τεχνολογίας, ενεργειακά ζητήματα που άπτονται αυτού, τις φυσικές συνέπειες αλλά και θέματα σχετικά με την υγιεινή, την ασφάλεια και την παροχή θερμικής άνεσης. Η παρούσα εργασία αποσκοπεί στη δημιουργία νέων γνώσεων, σχετικά με τη βιώσιμη ανάπτυξη των κτιρίων, για νέους μηχανικούς, ερευνητές και όποιον επιχειρεί να προσεγγίσει το περιγραφόμενο ερευνητικό πεδίο. Ακόμη, η έρευνα αυτή εστιάζει στην ανάγκη αντιμετώπισης των προκλήσεων που θέτει η βιωσιμότητα των κτιρίων. Εξετάζονται οι εξελίξεις στον τομέα ανάκτησης θερμότητας που είναι συνυφασμένος με τον μηχανικό αερισμό και διαπιστώνονται τα δυνατά σημεία αλλά και οι προκλήσεις για την ανάπτυξη των αειφόρων κτιρίων και κατά συνέπεια για την εξασφάλιση ενός πιο πράσινου μέλλοντος [10].



Εικόνα 1: Παράδειγμα βιώσιμου κτιρίου [17]

1.2 Στόχοι της έρευνας

Οι σκοποί της εργασίας ορίζονται ακριβώς, έχουν συγκεκριμένο στόχο και βρίσκονται υπό το πρίσμα της καθολικής αξιολόγησης του μηχανικού αερισμού μέσω ανάκτησης θερμότητας. Αυτοί οι στόχοι αποτελούν τους άξονες διεξαγωγής και συνέχειας της εργασίας και χρησιμεύουν για την πλήρη χαρτογράφηση του συγκεκριμένου πεδίου. Οι πέντε σαφείς στόχοι παρατίθενται στην παρακάτω λίστα:

- 1) Αξιολόγηση των τεχνικών χαρακτηριστικών της έννοιας του αερισμού με ανάκτηση θερμότητας
- 2) Αξιολόγηση της ενεργειακής απόδοσης και εν γένει της αποδοτικότητας των συστημάτων HRV
- 3) Διερεύνηση της ωφέλειας στο περιβάλλον αλλά και των αντίστοιχων συνεπειών
- 4) Διερεύνηση της υγιεινής και της θερμικής άνεσης σε κτίρια με συστήματα HRV
- 5) Ανάλυση του κανονιστικού πλαισίου και των επιμέρους προτύπων

Ο πρώτος στόχος θέτει επί τάπητος όλες τις εξειδικευμένες προϋποθέσεις που απαιτούνται για τον αερισμό με ανάκτηση θερμότητας. Εξετάζονται οι θερμικές συσκευές που συγκροτούν αυτά τα συστήματα και η λειτουργία αυτών όπως οι εναλλάκτες θερμότητας, οι ανεμιστήρες και τα συστήματα ελέγχου. Έτσι, εμποδώνεται ένα σημαντικό τεχνολογικό υπόβαθρο σχετικά με την μηχανική αλλά και την πολυπλοκότητα που κρύβουν τα συστήματα HRV.

Ο επόμενος στόχος εξετάζει ενεργειακά τα συστήματα αυτά, τον βαθμό απόδοσης τους κατά τη λειτουργία τους σε κτίρια. Εισάγονται ποσοτικοί δείκτες που αφορούν στην ικανότητα ανάκτησης θερμότητας και στον έλεγχο του ανεμιστήρα. Ακόμα, πραγματοποιείται μοντελοποίηση και προσομοίωση διαφόρων περιπτώσεων συστημάτων HRV σε διαφορετικά κτίρια και καιρικές συνθήκες, ώστε να δούμε τα πιθανά οφέλη σε ενεργειακό αλλά και σε οικονομικό επίπεδο.

Ο τρίτος στόχος αφορά στην περιγραφή των υπαρχόντων δυσμενών επιπτώσεων αλλά και στην παρουσία περιβαλλοντικών οφελών μετά την εγκατάσταση συστημάτων HRV και ανάλογα με τις μεθόδους αερισμού που αξιοποιούνται. Αναμένεται ο περιορισμός εκπομπών των αερίων του φαινομένου του θερμοκηπίου και των υπόλοιπων επιβλαβών αερίων. Εξετάζεται ακόμη η επιρροή των συστημάτων HRV στην ποιότητα του αέρα και στη συνολική κατάσταση του κτιρίου.

Ο τέταρτος στόχος αφορά στην μελέτη των συνεπειών των συστημάτων HRV αποκλειστικά εντός των κτιρίων. Αναλύονται διεξοδικά η θερμική άνεση, η ποιότητα του αέρα και τα επίπεδα θορύβου εξαιτίας της λειτουργίας των εγκαταστάσεων αυτών. Ακόμα, εξετάζεται και το πως νιώθουν οι κάτοικοι αυτών των κτηρίων εξαιτίας της υλοποίησης του μηχανικού αερισμού σε αυτά.

Συνοψίζοντας, ο τελικός στόχος αφορά στην παροχή κατάλληλων κατευθυντήριων γραμμών για τον αερισμό των κτηρίων και να δοθεί το κατάλληλο τεχνικό πλαίσιο σχετικά με τα συστήματα HRV ως προς τους κανονισμούς δόμησης των κτιρίων, την

βελτιστοποίηση της απόδοσης και την εγκατάσταση αυτών των συστημάτων. Κάθε επιμέρους στόχος δύναται να συμβάλλει στην ανάλυση του προβλήματος και στην τελική αξιολόγηση των συστημάτων μηχανικού αερισμού με ανάκτηση θερμότητας.

1.3 Πεδίο Εφαρμογής της εργασίας

Το πεδίο εφαρμογής του παρόντος τεύχους ορίζεται λεπτομερώς ώστε να είναι ευδιάκριτα τα όρια αλλά και το εύρος διεξαγωγής της έρευνας μας σχετικά με την στοχευμένη εξέταση του μηχανικού αερισμού κτιρίων με ανάκτηση θερμότητας.

1.3.1 Γεωγραφικό πεδίο εφαρμογής

Η συγκεκριμένη εργασία επικεντρώνεται σε συστήματα μηχανικού αερισμού με ανάκτηση θερμότητας σε κτίρια που εδρεύουν σε ήπιο κλίμα. Αν και τα κατάλληλα πρότυπα και οι εξελίξεις αναφέρονται σε όλη την υφήλιο, οι ιδιαίτερες καιρικές συνθήκες, ο σχεδιασμός του κτιρίου και τα συστήματα διαχείρισης μεταβάλλονται από χώρα σε χώρα. Για αυτόν το λόγο, η διπλωματική αυτή θα αναλύσει διάφορα σενάρια με υψηλά ψυκτικά και θερμικά φορτία τα οποία ευνοούν την τεχνική της ανάκτησης θερμότητας.

1.3.2 Τύποι κτιρίων

Όσον αφορά τους τύπους των κτηρίων, θα καλύψουμε διάφορα είδη όπως κατοικίες, εμπορικά κτίρια ή και βιομηχανικούς χώρους. Συνεπώς, δεν εξετάζεται μόνο ένα προφίλ κτιρίου αλλά πολλά διαφορετικά που συνεπάγονται διαφορετικές προϋποθέσεις αερισμού και τρόπους αξιοποίησης της διαθέσιμης ενέργειας. Επομένως, μετά από αυτήν την ανάλυση μπορεί κανείς να λάβει χρήσιμα δεδομένα για πλήθος περιπτώσεων που θα μπορούσαν να γενικευτούν και σε πραγματικές καταστάσεις.



Εικόνα 2: Διάφοροι τύποι κτηρίων που σχετίζονται με ένα σύστημα αερισμού

1.3.3 Ενέργεια στον τομέα των κατασκευών

Στα πλαίσια του μηχανικού εξαερισμού δίδονται μερικές δυνατότητες ανάκτησης θερμότητας. Η μελέτη αυτή εστιάζει στους εναλλάκτες θερμότητας ποικίλων ειδών όπως σταυρωτής ροής, αντίθετης ροής, διαιρούμενης πλάκας, περιστρεφόμενου πηνίου και θερμού τροχού, που συγκροτούν τους πιο διαδεδομένους εναλλάκτες που αξιοποιούνται διεθνώς.

Στο επίκεντρο της έρευνας τίθενται ποσοτικοί δείκτες σχετιζόμενοι με τα συναλλασσόμενα ποσά ενέργειας όπως η παραγωγή αισθητής ανάκτησης θερμότητας, η επιπρόσθετη επάρκεια ανάκτησης θερμότητας και ο έλεγχος του ανεμιστήρα. Οι συγκεκριμένοι δείκτες είναι πολύ σημαντικοί για τη διερεύνηση αλλά και τη βιωσιμότητα των συστημάτων HRV. Αυτοί οι δείκτες υπολογίζονται μέσω της μοντελοποίησης και της προσομοίωσης των συγκεκριμένων συστημάτων.

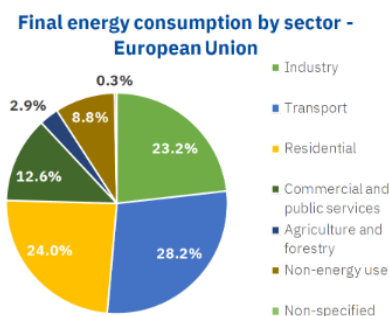
Η συγκεκριμένη αξιολόγηση αφορά στον βαθμό με τον οποίο περιορίζονται οι εκπομπές των ρυπογόνων αερίων και πως αυτή η μείωση συμβάλλει στην ενίσχυση της βιωσιμότητας των κτιρίων. Ακόμη, εξετάζεται η δυνατότητα αύξησης του κύκλου ζωής και η αειφορία του κτιρίου. Εξαιτίας της ταχείας αύξησης του παγκόσμιου πληθυσμού, της υπερκατανάλωσης των φυσικών πόρων καθώς και της αλόγιστης χρήσης της ενέργειας, μια σημαντική ποσότητα ενέργειας δαπανάται καθημερινά. Στην πραγματικότητα, ο άνθρωπος έχει λάβει τους γήινους πόρους ως δεδομένους για πάρα πολύ καιρό. Αυτό το γεγονός έχει οδηγήσει σε σοβαρά περιβαλλοντικά ζητήματα καθώς και την ενεργειακή κρίση, η οποία υποδηλώνει ένα ανησυχητικό μέλλον. Αυτές έχουν γίνει οι μεγαλύτερες προκλήσεις για την ανθρωπότητα. Για να καταφέρουμε να αντιμετωπίσουμε την ενεργειακή κρίση, η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και η αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έχουν γίνει τα κύρια θέματα της παγκόσμιας κοινωνίας μας.

Για αυτούς τους λόγους, το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο ίδρυσε τρεις βασικούς στόχους, γνωστοί ως «20-20-20», τον Ιούνιο του 2009 με στόχο την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων έως το 2020. Αυτοί ήταν:

- Η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην Ευρωπαϊκή Ένωση κατά 20% έως το 2020 σε σύγκριση με το επίπεδο του 1990.
- Το 20% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας στην Ε.Ε. να προέρχεται από Α.Π.Ε έως το 2020.
- Να βελτιωθεί η ενεργειακή απόδοση στην Ε.Ε. κατά 20% έως το 2020.

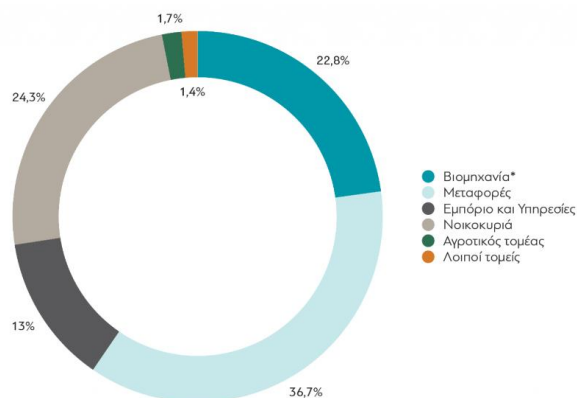
Προκειμένου να ανταποκριθεί στους στόχους «20-20-20» που καθορίστηκαν από το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, η Σουηδία έχει θέσει εθνικά στόχους που αναφέρουν ότι η κατανάλωση ενέργειας πρέπει να μειωθεί κατά 20% στον κτιριακό τομέα έως το 2020 και κατά 50% έως 2050 [20, 21].

Ο τομέας της κατανάλωσης ενέργειας των κτιρίων (οικιστικά και εμπορικά κτίρια) αποτελούν σημαντικό ποσοστό της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας που αντιπροσωπεύει έως και 40 % της συνολικής χρήσης ενέργειας στην ΕΕ. Σύμφωνα με τα δεδομένα της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, ο κτιριακός τομέας απαιτεί συνολικά ένα ποσοστό της τάξης 36,6 % της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας (Residential 24%, Commercial Public Services 12,6 %). Στην συνέχεια βρίσκονται οι μεταφορές με ποσοστό 28,2% και βιομηχανία με ποσοστό 23,2 %.



Εικόνα 3: Κατανάλωση ενέργειας ανά τομέα στην Ευρωπαϊκή Ένωση (2019)

Το αντίστοιχο διάγραμμα για την Ελλάδα διαμορφώνεται ως εξής:



Εικόνα 4: Κατανάλωση ενέργειας ανά κλάδο στον Ελλαδικό χώρο[21]

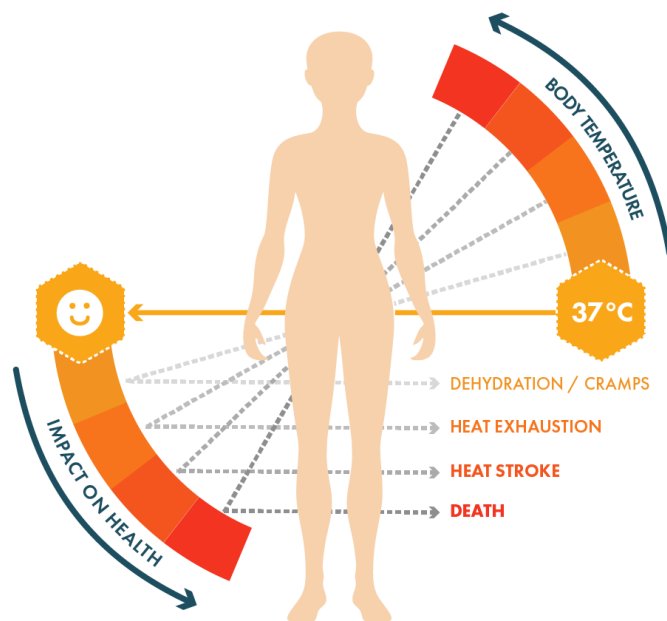
Επομένως, το ποσοστό αυτό διαμορφώνεται στο 37,3% για τον Ελλαδικό χώρο. Αντιλαμβανόμεστε λοιπόν, ότι ο κτιριακός τομέας στην Ελλάδα κατέχει ένα μεγάλο ποσοστό στην κατανάλωση ενέργειας. Στην σημερινή εποχή, δημιουργούνται όλο και περισσότερα κτίρια με στόχο την κάλυψη των αναγκών της σύγχρονης κοινωνίας επομένως η ζήτηση ενέργειας αυξάνεται. Κρίνεται λοιπόν απαραίτητη η χρήση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας αλλά και η ταυτόχρονη ενεργειακή αναβάθμιση των κτιρίων σύμφωνα με τα σύγχρονα πρότυπα. Αυτά είναι απαραίτητα διότι οι επιπτώσεις της κατανάλωσης ενέργειας στον κτιριακό τομέα είναι μεγάλες εξαιτίας του αρκετά μεγάλου κύκλου ζωής τους. Τέλος, μέσω της εφαρμογής των νέων ενεργειακών κτιριακών προτύπων θα μειωθούν σημαντικά οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου, θα βελτιωθεί η ποιότητα της ζωής των ανθρώπων που κατοικούν σε αυτά και θα επιτευχθεί εξοικονόμηση χρημάτων και ενεργειακών πόρων [20, 21].

1.3.4 Υγιεινή και θερμική άνεση

Η διερεύνηση σχετικά με την υγιεινή και την άνεση εστιάζει στη θερμική άνεση, την ποιότητα του αέρα στον εσωτερικό χώρο και στον έλεγχο του θορύβου. Όμως, δεν επεκτεινόμαστε σε θέματα που αφορούν στην εργονομία ή στην συνολική ευημερία των ατόμων που βρίσκονται εντός του κτιρίου. Αναλύοντας την θερμική άνεση, σύμφωνα με την ASHRAE «The American Society of Heating Refrigeration and Air-conditioning Engineers» (πρότυπο ANSI/ASHRAE 55-2010) αυτή ορίστηκε ως «η συνθήκη του νου που εκφράζει ικανοποίηση για τη θερμικό περιβάλλον και αξιολογείται με υποκειμενική αξιολόγηση». Έτσι, η επίτευξη ορισμένων προτύπων θερμικής άνεσης θεωρείται συχνά παράγοντας ζωτικής σημασίας και βασικό συστατικό για τη διατήρηση της ανθρώπινης υγείας (ορίζεται ως συνολική αίσθηση της σωματικής, ψυχικής και κοινωνικής ευεξίας).

Ωστόσο, σύμφωνα με τους Gut και Ackerknecht (1993) υφίστανται και διαφορετικές απόψεις. Οι ίδιοι πιστεύουν ότι «η βέλτιστη θερμική κατάσταση μπορεί να οριστεί ως η κατάσταση κατά την οποία απαιτείται η ελάχιστη επιπλέον προσπάθεια για τη διατήρηση του ανθρώπινου σώματος σε θερμική ισορροπία». Εστιάζοντας στο ζεστό ξηρό κλίμα του Ghadames, οι παρατηρήσεις που πραγματοποιήθηκαν, αναφέρουν ότι το θέμα των κριτηρίων άνεσης σε νέα σχέδια κτιρίων γίνεται λιγότερο συζητήσιμο από τότε.

Οι κάτοικοι χρησιμοποιούν συστήματα κλιματισμού, ενώ ο σχεδιασμός του κελύφους του κτιρίου δεν έχει βελτιωθεί με μια απολύτως χαμηλή ζήτηση θέρμανσης και ψύξης. Επομένως, το μοντέλο θερμικής άνεσης θα μπορούσε να βελτιωθεί τη χρήση στρατηγικών παθητικής ψύξης και την αύξηση της παθητικής ροής αέρα εξαερισμού κατά τις περιόδους που η θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα είναι αρκετά χαμηλή ώστε να εκπέμπεται θερμότητα από το κτίριο [1, 27].



Εικόνα 5: Παράγοντες επιρροής της θερμικής άνεσης

1.4 Μεθοδολογία της έρευνας

Στη παρούσα ενότητα δίδεται η μεθοδολογία βάσει της οποίας πραγματοποιείται μια λεπτομερής έρευνα όπως τη δική μας σχετικά με τον μηχανικό αερισμό με ανάκτηση θερμότητας. Δίδονται οι τεχνικές και οι προσεγγίσεις που αξιοποιούνται με σκοπό την επίτευξη των στόχων της έρευνας όπως περιεγραφήκαν παραπάνω.

1.4.1 Σχεδιασμός της έρευνας

Η εργασία σχεδιάζεται ώστε έτσι να διερευνά ολοκληρωμένα το θέμα με διπλό τρόπο, δηλαδή και με υποκειμενικές προσεγγίσεις αλλά και με ποσοτικές αναλύσεις, με στόχο την πληρέστερη κατανόηση του ζητήματος του μηχανικού αερισμού με θερμή ανάκτηση.

Τα δεδομένα, που χρησιμοποιούνται στην παρούσα εργασία, είναι δύο ειδών: ποιοτικά και ποσοτικά. Τα πρώτα συγκεντρώνονται μέσω των ήδη υπάρχουν επιστημονικών άρθρων και αντίστοιχων βιβλίων και εργασιών. Με αυτόν τον τρόπο, αντιλαμβάνεται κανείς εννοιολογικά το θέμα με μια πρώτη ανάγνωση ως προς τις προϋποθέσεις εγκατάστασης τέτοιων συστημάτων, τις επιπτώσεις αυτών στο περιβάλλον και τις προοπτικές ευημερίας και θερμικής άνεσης αυτού του είδους μηχανικού αερισμού. Ως προς τα ποσοτικά δεδομένα, αυτά αφορούν στο κυρίως μέρος της εργασίας που αφορά τη συλλογή των πρωταρχικών δεδομένων – σταθερών του προβλήματος, που είναι απαραίτητα για το στήσιμο της προσομοίωσης. Έπειτα, αναλύουμε και σχολιάζουμε τα αποτελέσματα που προκύπτουν ανάλογα με το κτίριο σε κάθε μελέτη περίπτωσης.

Αφορά στην επεξεργασία των δεδομένων που συλλέχθηκαν στο προηγούμενο βήμα και σχετίζεται είτε με την παράθεση πληροφοριών και προτύπων σχετικά με το ζήτημα του μηχανικού αερισμού με ανάκτηση θερμότητας είτε με την βελτίωση κάποιων μελέτης περίπτωσης από αυτές που εξετάζονται. Ακόμη, γίνεται εκτίμηση και αξιολόγηση των δεικτών που εξάγονται από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης και σχετίζονται με ζητήματα ποιότητας αέρα στους εσωτερικούς χώρους, θερμική άνεση και αποδεκτά επίπεδα θορύβου.

1.4.2 Προσομοίωση και μοντελοποίηση

Σε αυτήν την ενότητα περιγράφονται σύντομα όλα τα λογισμικά που χρησιμοποιούνται για την μοντελοποίηση και την προσομοίωση συναλλαγών ποσών ενέργειας σε διαφορετικά είδη κτιρίων και καιρικές συνθήκες.

Για να μοντελοποιηθεί το επιθυμητό κτίριο, που είναι απαραίτητο να διαθέτει μηχανικό αερισμό με θερμή ανάκτηση και να διεξαχθεί η υπολογιστική ανάλυση πρέπει να εκλεχθεί το κατάλληλο λογισμικό. Αυτό το εμπορικό πακέτο χρειάζεται να υποστηρίζει την προσομοίωση όλων των ροών ενέργειας και να παρουσιάζει ευελιξία ως προς τους θερμικούς συντελεστές. Ακόμη, το πρόγραμμα αυτό απαιτείται να ικανοποιεί τα εξής κριτήρια:

- ο Τεχνική δυνατότητα μοντελοποίησης των διαφόρων τεχνολογιών, τόσο των ενεργειακών όσο και των παθητικών συστημάτων, και της απόδοσής τους.
- ο Φιλικότητα ως προς το χρήστη (User – Friendliness) καθώς προσομοιώνεται καταστάσεις χρήσιμες στην πραγματική ζωή και το λογισμικό δεν μπορεί να απαιτεί πολύ εξεζητημένες γνώσεις για να χρησιμοποιηθεί.
- ο Ικανότητα να παρέχει αποτελέσματα γρήγορα ώστε να διευκολυνθεί η επαναληπτική φύση της ανάλυσης όταν συνεκτιμώνται διάφοροι παράγοντες ταυτόχρονα.
- ο Ικανότητα πραγματοποίησης της ανάλυσης σε διάφορα επίπεδα (κτήριο ή μεγαλύτερη έκταση).
- ο Δυνατότητα καταχώρησης των δεδομένων εισόδου σε απλουστευμένη μορφή και όχι σε αναλυτική.
- ο Δυνατότητα απόκτησης των δεδομένων εξόδου σε μια δομή που επιτρέπει την αξιολόγηση διαφορετικών σεναρίων βασισμένων σε επιλεγμένους δείκτες, ώστε να διευκολυνθεί η παραμετρική ανάλυση.

Για να καθορισθεί το λογισμικό το οποίο μπορεί να συνταιριάξει όλες τις παραπάνω απαιτήσεις, εξετάζεται μια σειρά προγραμμάτων που κυκλοφορούν στην παγκόσμια αγορά. Στις επόμενες σελίδες περιγράφονται τα υπολογιστικά πακέτα, αναλύονται οι δυνατότητες τους, τα πλεονεκτήματά τους και τα μειονεκτήματά τους [8].

	Building Analysis	System Analysis	District/Grid Analysis	Heat	Electricity	Transport	Storage	Simulation Level	Access
TRNSYS	X	X	X	X	X	X	X	Detailed generic simulations of transient systems	Commercial
HOMER Pro	-	X	X	X	X	-	X	Advanced simulation for assessing power plant and grid performance	Commercial
PV syst	-	X	-	-	X	-	X	Advanced simulation for assessing PV system performance	Commercial
T*sol	-	X	-	X	-	-	X	Advanced simulation for assessing solar thermal system performance	Commercial
PV*sol	-	X	-	-	X	X	X	Advanced simulation for assessing PV system performance and electric vehicles	Commercial
Geo T*sol	-	X	-	X	X	-	X	Advanced simulation for assessing heat pump and solar thermal system integration	Commercial
IDA ICE	X	X	-	X	X	-	X	Detailed building performance simulation software	Commercial
ESP-r	X	X	-	X	X	-	-	Detailed building performance simulation software	Free
EDSL Tas	X	X	-	X	X	-	-	Detailed building performance simulation software	Commercial
Design Builder	X	X	-	X	X	-	-	Detailed building performance simulation software	Commercial
Energy Plus	X	X	-	X	X	-	X	Detailed generic building performance simulation engine	Free
RETScreen	X	X	X	X	X	-	X	Preliminary analysis software of various renewable energy and energy efficiency measures	Commercial
EnergyPLAN	-	-	X	X	X	X	X	Advanced simulation of complex energy systems at regional and national level	Free
Energy Pro	-	X	X	X	X	-	X	Advanced simulation of complex energy systems at system/regional level	Commercial

Εικόνα 6: Πίνακας αξιολόγησης λογισμικών μοντελοποίησης και προσομοίωσης ενεργειακών ποσών στα κτίρια

Το πρόγραμμα προσομοίωσης TRNSYS (Transient System Simulation Program) αποτελεί ένα ολοκληρωμένο και εκτεταμένο περιβάλλον προσομοίωσης μεταβλητών συστημάτων στον χρόνο. Στα συστήματα αυτά συμπεριλαμβάνονται και τα πολυζωνικά κτίρια (multi-zone buildings). Βρίσκει ευρεία εφαρμογή παγκοσμίως από μηχανικούς και ερευνητές προκειμένου να επιτευχθεί αξιολόγηση νέων ενεργειακών συστημάτων, από ένα απλό

οικιακό σύστημα θέρμανσης νερού, μέχρι τον σχεδιασμό και την προσομοίωση κτιρίων καθώς επίσης και του εξοπλισμού τους. Η προσομοίωση αυτή, περιλαμβάνει τη χρήση συστημάτων ελέγχου και λαμβάνει υπόψη της τη συμπεριφορά των κατοίκων που ζουν μέσα στο κτίριο. Επίσης δίνει τη δυνατότητα ενσωμάτωσης συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως ηλιακά, φωτοβολταϊκά και αιολικά συστήματα.

Όσον αφορά την αρχιτεκτονική του προγράμματος, αυτή βασίζεται σε αρχεία DLL, επιτρέπει την δημιουργία νέων μοντέλων από την πλευρά του χρήστη με τη βοήθεια γλωσσών προγραμματισμού (C, C++, PASCAL, FORTRAN κλπ.) Επίσης, διάφορες εφαρμογές όπως Microsoft Excel, MATLAB, COMIS κλπ. μπορούν να συνδεθούν με το πρόγραμμα TRNSYS με σκοπό την επεξεργασία πριν, μετά ή κατά την διάρκεια της προσομοίωσης [11].



Εικόνα 7: Λογότυπο λογισμικού TRNSYS[11]

Αναφέρουμε επίσης ότι στο λογισμικό TRNSYS περιλαμβάνονται:

- ο Κτίρια χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας και συστήματα HVAC με στοιχεία προηγμένου σχεδιασμού (φυσικός αερισμός, ενδοδαπέδια θέρμανση και ψύξη, διπλές προσόψεις κ.α)
- ο Συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
- ο Συμπαραγωγή, κυψέλες καυσίμου
- ο Ηλιακά συστήματα (θερμικά ηλιακά και φωτοβολταϊκά)
- ο Οτιδήποτε απαιτεί δυναμική προσομοίωση

Τέλος, το TRNSYS αποτελείται από τα παρακάτω προγράμματα:

- ο Το στούντιο προσομοίωσης (TRNSYS Simulation Studio)
- ο το εκτελέσιμο αρχείο του (TRNExe.exe)
- ο το γραφικό περιβάλλον διεπαφής κτιρίου, για την εισαγωγή των δεδομένων κτιρίων (TRNBuild.exe) και
- ο τον επεξεργαστή με τον οποίο μπορούν να δημιουργηθούν αυτόνομα προγράμματα, γνωστά ως 'TRNSED εφαρμογές' (TRNEdit.exe) [11].

Το λογισμικό IDA-ICE (Indoor Climate and Energy) είναι ένα λογισμικό προσομοίωσης της απόδοσης του κτιρίου. Είναι μια εφαρμογή προσομοίωσης που επιτρέπει την πολυζωνική και την δυναμική μελέτη των κλιματικών φαινομένων εσωτερικών χώρων καθώς και της χρήσης ενέργειας. Τα μοντέλα που εφαρμόζονται είναι μοντέλα αιχμής και επίσης τα έως

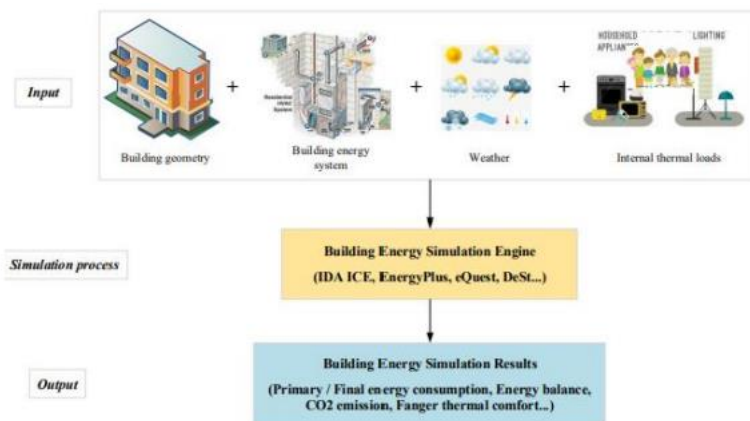
τώρα αποτελέσματα παρουσιάζουν ότι τα δεδομένα της προσομοίωσης και τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσιάζουν μικρές αποκλίσεις [9].



Εικόνα 8: Λογότυπο λογισμικού IDA – ICE [9]

Έπειτα από την αναλυτική περιγραφή της κατασκευής και των υπολοίπων μηχανικών και ενεργειακών συστημάτων που υφίστανται, το λογισμικό IDA-ICE μπορεί να υπολογίσει τις ενεργειακές απαιτήσεις του κτιρίου, καθώς επίσης και τα ψυκτικά και θερμικά φορτία που απαιτούνται ώστε να γίνει η κάλυψη των θερμικών και των ψυκτικών απαιτήσεων αντίστοιχα.

Παρακάτω παρουσιάζεται αναλυτικά ο τρόπος λειτουργίας του λογισμικού [9].



Εικόνα 9: Τρόπος λειτουργίας του λογισμικού IDA – ICE

Το λογισμικό DesignBuilder είναι ένα λογισμικό σχεδίασης, μοντελοποίησης και δυναμικής προσομοίωσης της ενεργειακής συμπεριφοράς κτιρίων και εγκαταστάσεων. Απευθύνεται κυρίως σε μηχανικούς και επιστήμονες οι οποίοι ασχολούνται κυρίως με την κατασκευή, μελέτη και επίβλεψη κτιρίων και άλλων βιομηχανικών χώρων. Παρέχει πληθώρα εργαλείων τα οποία έπειτα από κατάλληλη εισαγωγή δεδομένων παρέχουν μια αλληλουχία αποτελεσμάτων για την γενική περιβαλλοντική απόδοση του υπό μελέτη κτιρίου. Σε αυτά συμπεριλαμβάνεται η κατανάλωση ενέργειας, οι συνθήκες θερμικής άνεσης με τα εύρη των θερμοκρασιών που επικρατούν, τα επίπεδα του διοξειδίου του άνθρακα καθώς επίσης και η διαστασιολόγηση των υπό χρήση συστημάτων κλιματισμού-αερισμού και θέρμανσης [12].



Εικόνα 10: Λογότυπο λογισμικού DesignBuilder [12]

Το περιβάλλον εργασίας του χρήστη είναι πολύ φιλικό προς αυτόν και υπάρχουν πολλές Οδηγίες Βοήθειας τις οποίες ο χρήστης μπορεί να χρησιμοποιήσει όταν υπάρχει ανάγκη. Το λογισμικό Design Builder ξεχωρίζει από τα υπόλοιπα συναφή λογισμικά διότι παρέχει την δυνατότητα στον χρήστη να πραγματοποιεί υπολογισμούς και προσομοιώσεις σε πολύ μικρό χρονικό βήμα, έως και μικρότερο της μίας ώρας. Επίσης, το λογισμικό DesignBuilder χρησιμοποιεί το λογισμικό δυναμικής προσομοίωσης EnergyPlus για να πραγματοποιήσει τον υπολογισμό του βαθμού απόδοσης συστημάτων θέρμανσης-κλιματισμού-αερισμού, λαμβάνοντας υπόψη κλιματικά δεδομένα από το "International Weather for Energy Calculation (IWEC)". Το λογισμικό EnergyPlus αποτελεί ένα από τα πιο διαδεδομένα και πιστοποιημένα προγράμματα ενεργειακών υπολογισμών στην περίπτωση των κτιριακών εγκαταστάσεων.

Αναφέρουμε επιγραμματικά μερικές από τις εφαρμογές του DesignBuilder [12].

- Υπολογισμός των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης
- Ο υπολογισμός εξοικονόμησης ενέργειας λόγω της χρήσης του φυσικού φωτισμού
- Μελέτη και προσομοίωση των φυσικά αεριζόμενων κτιρίων
- Λεπτομερής προσομοίωση και σχεδίαση των συστημάτων θέρμανσης-κλιματισμού-αερισμού.
- Τεχνοοικονομική μελέτη και ανάλυση του κόστους κατασκευής, του κόστους χρησιμότητας και του κόστους κύκλου ζωής (LCC)
- Ανάλυση του κύκλου ζωής (LCA)

Το PHPP (Passive House Planning Package) που βασίζεται στο Excel κυκλοφόρησε για πρώτη φορά το 1998 και έκτοτε αναπτύσσεται συνεχώς. Τα φύλλα υπολογισμού για τα ισοζύγια θέρμανσης χώρου (ετήσιες και μηνιαίες μεθόδους), καθώς και για τη διανομή και την παροχή θερμότητας και για την απαίτηση ρεύματος και πρωτογενούς ενέργειας, αποτελούν τα κύρια χαρακτηριστικά αυτού του εργαλείου. Οι βασικές ενότητες συμπληρώθηκαν διαδοχικά για τον πρακτικό σχεδιασμό έργων ενεργειακής απόδοσης σε όλο τον κόσμο, συμπεριλαμβανομένου του υπολογισμού των χαρακτηριστικών τιμών των κουφωμάτων, της σκίασης, του φορτίου θέρμανσης και της θερινής συμπεριφοράς, της απαίτησης ψύξης και αφύγρανσης, αερισμού για μεγάλα έργα και κτίρια τριτογενούς τομέα, λαμβάνοντας υπόψη τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, και την πιστοποίηση EnerPHit (ανακαίνιση υπαρχόντων κτιρίων). Το PHPP επικυρώνεται συνεχώς και επεκτείνεται βάσει των μετρημένων τιμών και των νέων ερευνητικών ευρημάτων [23].



Εικόνα 11: Λογότυπο λογισμικού Passive House Planning Package) [23].

Κεφάλαιο 2 - Βιβλιογραφική ανασκόπηση

2.1 Αρχές του μηχανικού αερισμού

Το κεφάλαιο 2 αφορά σε μια ολοκληρωμένη παρουσίαση των βασικών συστημάτων μηχανικού αερισμού και όχι μόνο και θέτει τις βάσεις για την επακόλουθη ανάλυση της τεχνολογίας ανάκτησης με θερμότητα και την ενσωμάτωση αυτών τον αερισμό κτιρίων. Ο μηχανικός αερισμός συνιστά κύριο χαρακτηριστικό του πρωτοπόρου σχεδιασμού κτιρίων και παίζει κρίσιμο ρόλο στην εξασφάλιση της ποιότητας του αέρα και στην συνεχή παραγωγικότητα του κτιρίου.

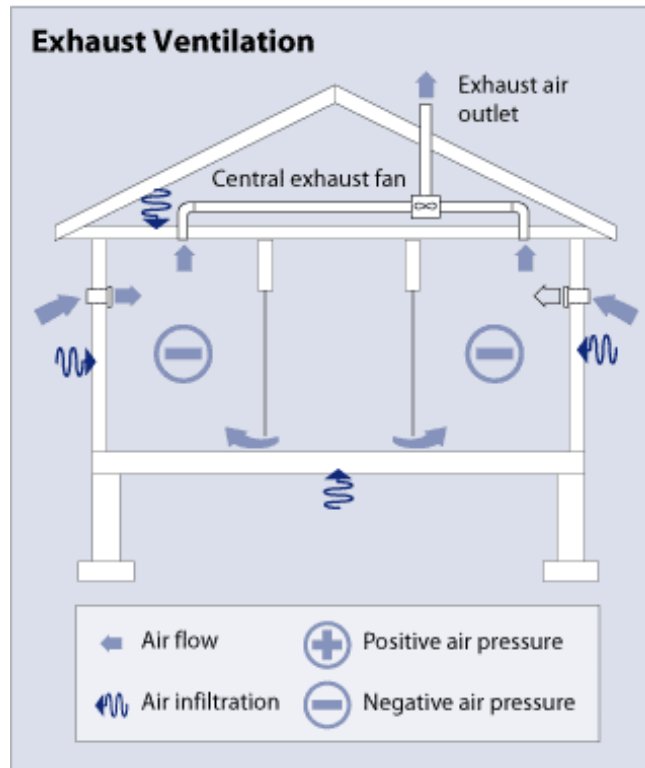
2.1.1 Ο αερισμός ως βασικό στοιχείο του κτιρίου

Τα πλαίσια μηχανικού αερισμού συνιστούν απαραίτητο στοιχεία στα κτίρια και διαδραματίζουν ρόλο στον έλεγχο της ποιότητας του αέρα και της θερμικής άνεσης. Αυτή η διαδικασία είναι θεμελιώδης για την αποβολή των επιβλαβών ουσιών, τον έλεγχο της υγρασίας και την ανανέωση του οξυγόνου. Τα συστήματα μηχανικού εξαερισμού σχεδιάζονται έτσι ώστε να ανταποκρίνονται στους ενδεικνυόμενους όγκους εξαερισμού και αποτελούν κρίσιμο στοιχείο για την επάρκεια ενός κτιρίου.

2.1.2 Μέθοδοι εξαερισμού

Υφίστανται διάφορες τεχνικές μηχανικού αερισμού, κάθε μία από τις οποίες προσαρμόζεται συναρτήσει του είδους και του σχεδιασμού κτιρίου αλλά και το κλίμα της εκάστοτε περιοχής.

- Αποδυναμωμένος αερισμός: Πρόκειται για μια τεχνική που σχετίζεται με ανεμιστήρες αποδυνάμωσης με στόχο τη δημιουργία αρνητικής πίεσης στο εσωτερικό του κτιρίου. Είναι μια βασική περίπτωση και οικονομικά αποδεκτή.
- Εξαερισμός με παροχή αέρα: Οι μέθοδοι αερισμού μόνο με παροχή αέρα χρησιμοποιούν ανεμιστήρες για να φέρουν εξωτερικά ρεύματα στο κτίριο και να διώξουν τα περιττά ρεύματα από το δωμάτιο. Με αυτόν τον τρόπο, είναι πιο ελέγξιμη η μεταφορά ρευμάτων αλλά με μια αντίστοιχη ανομοιομορφία αυτών.
- Ρυθμιζόμενος εξαερισμός: Η συγκεκριμένη τεχνική αξιοποιεί ανεμιστήρες προσαγωγής και αποδυνάμωσης με στόχο τη διατήρηση της πίεσης στον εσωτερικό χώρο του κτιρίου. Αυτή η μέθοδος προσδίδει πλήρη έλεγχο των ρευμάτων και συχνά έχει τη δυνατότητα ενσωμάτωσης της τεχνολογίας ανάκτησης με θερμότητα [10].



Εικόνα 12: Βασικά μεγέθη σε ένα εποπτικό σχέδιο μηχανικού αερισμού

2.1.3 Ποσοστό αερισμού και ποιότητα αέρα εσωτερικού χώρου

Ο ρυθμός εξαερισμού, που ανακοινώνεται ως εναλλαγές αέρα ανά ώρα (Air Changes per Hour – ACH) ή κυβικά πόδια ανά λεπτό (Cubic Feet per Minute – CFM) αποτελεί μια σημαντική παράμετρο στο σχεδιασμό ενός συστήματος μηχανικού αερισμού. Καθορίζει τη συχνότητα που τα νέα ρεύματα αέρα εισρέουν στον χώρο. Ένας υψηλής ποιότητας σχεδιασμός αερισμού εγγυάται την αποβολή των επιβλαβών ουσιών από τον εσωτερικό χώρο όπως οι πτητικές οργανικές ενώσεις (Volatile Organic Compounds - VOC), το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) και τα σωματίδια PM_{2.5} και PM₁₀. Επομένως, διατηρείται υψηλή ποιότητα αέρα στον εσωτερικό χώρο του κτιρίου (Indoor Air Quality – IAQ) [3].

2.1.4 Ενεργειακά ζητήματα στον αερισμό

Ο βαθμός της ενεργειακής απόδοσης αρχίζει να αποτελεί κεντρικό θέμα στο σχεδιασμό των νέων κτιρίων. Τα συστήματα μηχανικού αερισμού καταναλώνουν ηλεκτρική ενέργεια για τη λειτουργία του ανεμιστήρα και σε μερικές περιπτώσεις για τη θέρμανση ή την ψύξη των υπόλοιπων μερών. Για να πετύχει κανείς ισορροπία μεταξύ του επαρκή αερισμού και της εξοικονόμησης ηλεκτρισμού, τούτο συνιστά μια δύσκολη πρόκληση. Γι' αυτό το λόγο, υιοθετούνται άλλες λύσεις όπως ο ελεγχόμενος αερισμός και κυρίως ο μηχανικός αερισμός με ανάκτηση θερμότητας.

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή νόρμα EN 13779, η αναγκαία ποσότητα αέρα ανά ώρα είναι 30m³ για κάθε χρήστη του κτιρίου. Αντίστοιχα σε σχολεία ή ξενοδοχεία είναι 15-20 m³ την ώρα ανά άτομο. Επίσης, ο συνολικός όγκος αέρα ενός κτιρίου θα πρέπει να ανανεώνεται μια φορά στο σύνολό του κάθε τρεις ώρες. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα CO₂ και άλλων αερίων του θερμοκηπίου να μην ξεπερνούν τα 1000ppm.

Η απόδοση των συστημάτων αυτών για κατοικίες κυμαίνεται σε υψηλά επίπεδα της τάξης του 90% σε ανάκτηση θερμότητας και 75% υγρασίας, ελάχιστης όχλησης που δεν ξεπερνάει τα 25 dB και σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας που δεν ξεπερνάει τα 0,35 Wh/m³ [18].

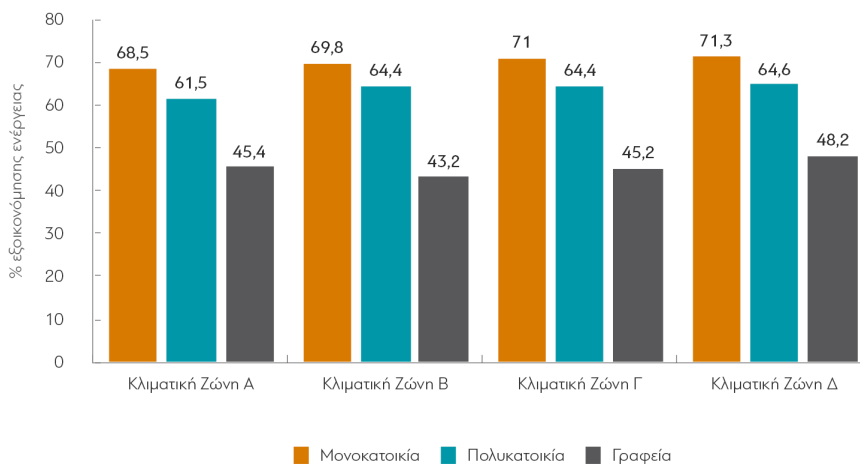
Επίσης, η ενεργειακή αποδοτικότητα είναι ένα από τα σημαντικότερα θέματα τα οποία αφορούν τόσο τον ενεργειακό κλάδο όσο και τις πολιτικές για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Συνιστά ένα σοβαρό πρόβλημα το οποίο δεν πρέπει να περνά απαρατήρητο. Υπάρχουν μεγάλα περιθώρια για παρεμβάσεις και βελτιώσεις που όχι μόνο θα βελτιώναν τις προοπτικές επίτευξης των στόχων για το 2030 και το 2050, αλλά θα προσέφεραν και μια γερή τόνωση στην ελληνική οικονομία.

Σύμφωνα με τους ερευνητές, «Η βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας, η οποία υποστηρίζεται και προωθείται από την ενεργειακή πολιτική, απαιτεί σημαντικές επενδύσεις, οι οποίες δημιουργούν θέσεις εργασίας και προστιθέμενη αξία στην οικονομία. Παράλληλα, οδηγεί σε περιορισμό των δαπανών των επιχειρήσεων και των νοικοκυριών για ενέργεια, ενισχύοντας την ανταγωνιστικότητα και το διαθέσιμο εισόδημά τους, αντίστοιχα. Τα οφέλη είναι σημαντικά και για την ενεργειακή ασφάλεια των δικτύων, τα οποία θα είναι σε θέση να εξυπηρετούν τη ζήτηση πιο εύκολα. Επιπλέον, η βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας είναι σημαντικό εργαλείο για τον περιορισμό της ενεργειακής φτώχειας».

Ακόμη, στο Ελλαδικό χώρο οι κατοικίες δαπανούν ενέργεια πρωτίστως για θέρμανση (60%) και για την χρήση των οικιακών συσκευών (20%). Είναι αξιοσημείωτο επίσης το γεγονός ότι το 55% των περίπου 6,4 εκτ. Κατοικιών στην Ελλάδα έχουν χτιστεί πριν από το 1981, επομένως διαθέτουν αρκετά χαμηλά επίπεδα θερμικής μόνωσης. Μόνο ένα ποσοστό της τάξης του 6% ανήκει σε ενεργειακές τάξεις «Α» και «Β». Κρίνονται λοιπόν απαραίτητες ενεργειακές επεμβάσεις για την αναβάθμιση των κτιρίων στην Ελλάδα. Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι σύμφωνα με προβλέψεις, εάν τα κτίρια στην Ελλάδα πληρούσαν τις προδιαγραφές του νέου Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων, τότε αυτά θα κατανάλωναν από 43%-71% λιγότερη ενέργεια.

Προκειμένου να επιτύχουμε το 2050 την κλιματική ουδετερότητα, θα χρειαστούν πολύ περισσότερες ενέργειες. Το Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ) προβλέπει την ανακαίνιση ή αντικατάσταση του 12%-15% του συνόλου των κατοικιών της χώρας ώστε να μετατραπούν σε κατοικίες σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης μέχρι το 2030.

Στο παρακάτω διάγραμμα μπορούμε να δούμε αναλυτικά στην εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται με τις αντίστοιχες αναβαθμίσεις [20, 21].



Σημείωση: Κλιματική Ζώνη Α (Περιφερειακές Ενότητες): Ηράκλειο, Χανιά, Ρέθυμνο, Λασιθί, Κυκλάδες, Δωδεκάνησα, Σάμος, Μεσσηνία, Λακωνία, Αργολίδα, Ζάκυνθος, Κεφαλονιά, Ιθάκη, Αττική (μόνο νησιά Σαρωνικού και Κύθηρα), Αρκαδίας (πεδινή). Κλιματική Ζώνη Β: Κορινθία, Ηλεία, Αχαΐα, Απωλοακαρνανία, Φθιώτιδα, Φωκίδα, Βοιωτία, Αττική, Εύβοια, Μαγνησία, Σποράδες, Λέσβος, Χίος, Κέρκυρα, Λευκάδα, Θεσπρωτία, Πρέβεζα, Άρτα. Κλιματική Ζώνη Γ: Αρκαδία (ορεινή), Ευρυτανία, Ιωάννινα, Λάρισα, Καρδίτσα, Τρίκαλα, Πιερία, Ημαθία, Πέλλα, Θεσσαλονίκη, Κιλκίς, Χαλκιδική, Σέρρες (εκτός ΒΑ τμήματος), Καβάλα, Θάσος, Σαμοθράκη, Ξάνθη, Ροδόπη, Έβρος. Κλιματική Ζώνη Δ: Γρεβενά, Κοζάνη, Καστοριά, Φλώρινα, Δράμα, Σέρρες (ΒΑ τμήμα).

Πηγή: Πιστοποιητικά Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων: Στατιστική ανάλυση για το 2019, ΥΠΕΝ.

Εικόνα 13: Ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας με την εφαρμογή των προδιαγραφών του ΚΕΝΑΚ ανά τύπο κτηρίου και κλιματική ζώνη [21]

2.2 Συστήματα με ανάκτηση θερμότητας σε κτίρια

2.2.1 Η λογική των συστημάτων με ανάκτηση θερμότητας

Ο τρόπος ενσωμάτωσης των τεχνικών ανάκτησης θερμότητας στις μεθόδους εξαερισμού των κτιρίων βασίζεται σε δύο βασικούς προβληματισμούς: την ενεργειακή απόδοση και την θερμική άνεση.

- Ενεργειακή απόδοση: Εξαιτίας της λειτουργίας των κτιρίων δαπανάται μεγάλο μέρος της παγκόσμιας ηλεκτρικής ενέργειας και ένα μεγάλο μέρος αυτής καταναλώνεται σε θέρμανση, ψύξη και αερισμό. Οι μελετώμενες τεχνικές αντιμετωπίζουν αυτήν την κατάσταση μέσω ανάκτησης θερμότητας από το ενεργό ρεύμα του αέρα.
- Θερμική άνεση: Η άνεση και η ευημερία των διαμενόντων του κτιρίου είναι παράγοντες κρίσιμης σημασίας. Οι τεχνικές με ανάκτηση θερμότητας διατηρούν τη θερμική άνεση ρυθμίζοντας το ρεύμα του αέρα σε μια πιο ευνοϊκή θερμοκρασία αναβαθμίζοντας και την ποιότητα του αέρα στον εσωτερικό χώρο [10].

2.2.2 Τύποι συστημάτων ανάκτησης θερμότητας

Διατίθεται μεγάλο εύρος μεθόδων με ανάκτηση θερμότητας που μπορούν να αξιοποιηθούν σε κάθε λογής κτίρια. Κάθε επιμέρους τεχνική προορίζεται για διαφορετική εφαρμογή και άλλον τρόπο λειτουργίας, όπως αναφέρεται παρακάτω:

- ο Εναλλάκτες θερμότητας διασταυρούμενης ροής: Πρόκειται για εναλλάκτες που χαρακτηρίζονται από παράλληλες ροές ρευμάτων που κινούνται αντίθετα η μία από την άλλη. Με αυτόν τον σχεδιασμό, πραγματοποιείται αποτελεσματική συναλλαγή θερμότητας αλλά με μικρότερο θερμικό βαθμό απόδοσης.
- ο Εναλλάκτες θερμότητας αντιρροής: Αφορά σε εναλλάκτες εντός των οποίων κινούνται ρεύματα αντίθετων κατευθύνσεων με στόχο την μεγιστοποίηση της μεταφοράς θερμότητας. Αξιοποιούνται διαρκώς σε συστήματα HRV λόγω των εκτεταμένων δυνατοτήτων τους.
- ο Πλακοειδείς εναλλάκτες θερμότητας: Λειτουργούν μέσω πολύ μικρού πάχους μεταλλικών πλακών με στόχο την απομόνωση του ενεργού ρεύματος αέρα και του αντίστοιχου που προσεγγίζει το κτίριο. Χαρακτηρίζονται από ευστάθεια και μεγάλη ικανότητα ανταλλαγής θερμότητας και μπορούν να εγκατασταθούν σε μικρής χωρητικότητας κτίρια.
- ο Συστήματα πηνίων run – around: Οι τεχνικές πηνίων run – around χρησιμοποιούν μεμονωμένες σπείρες και για τα δύο ρεύματα αέρα. Ο σχεδιασμός αυτός παρέχει ευελιξία ως προς τη μορφή του συστήματος και είναι οικονομικά προσιτός σε σύνθετες δομές κτιρίων.
- ο Εναλλάκτες θερμότητας με θερμικούς τροχούς: Η καινοτομία αυτή έγκειται στους περιστρεφόμενους τροχούς με τεχνολογία συγκράτησης θερμότητας. Έχουν υψηλό βαθμό απόδοσης, αλλά απαιτούν προσεκτική έδραση εξαιτίας του γεγονότος ότι τα κινούμενα μέρη έχουν μεγάλη εγγύτητα [10].

2.2.3 Ενσωμάτωση στον εξαερισμό των κτιρίων

Η ενσωμάτωση των περιγραφόμενων συστημάτων με ανάκτηση θερμότητας αποτελεί ένα σημαντικό βήμα για το σχεδιασμό του τρόπου αερισμού ενός κτιρίου, ανάλογα με τη μέθοδο αυτού όπως περιγράφεται στην ενότητα 2.1.2. Η ανάκτηση θερμότητας βελτιστοποιείται στην περίπτωση του προσαρμοσμένου εξαερισμού.

2.3 Ενεργειακή απόδοση στον αερισμό κτιρίων

2.3.1 Ενεργειακές προκλήσεις στον αερισμό κτιρίων

Ο αερισμός των κτιρίων βρίσκεται στο επίκεντρο όσον αφορά της διατήρησης της ποιότητας του αέρα του εσωτερικού χώρου. Όμως, τα συστήματα αυτά απαιτούν ηλεκτρική ενέργεια για να λειτουργήσουν οι ανεμιστήρες και τα υποσυστήματα που συγκροτούν ώστε να ελέγξουν το ρεύμα αέρα. Η ολοένα και αυξανόμενη ζήτηση ενέργειας θέτει σοβαρούς προβληματισμούς, καθώς παράλληλα υπάρχει και η ανάγκη περιορισμού του αποτυπώματος άνθρακα.

2.3.2 Ο ρόλος της ανάκτησης θερμότητας

Η ενσωμάτωση αυτής της τεχνολογίας με ανάκτηση θερμότητας στον εξαερισμό ενός κτιρίου συνιστά σημαντική πρόκληση. Και αυτό γιατί επιδιώκεται η μείωση της ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται για τη θέρμανση ή την ψύξη του επερχόμενου ρεύματος αέρα μέσω της αξιοποίησης του ήδη υπάρχοντος. Οι κύριοι ποσοτικοί δείκτες είναι οι εξής:

- Reasonable hot recovery efficiency: Πρόκειται για τον προσδιορισμό της παραγωγικότητας από την ανάκτηση θερμότητας στην συναλλαγή θερμότητας από το εξαντλημένο ρεύμα αέρα. Μια υψηλή τιμή αυτού του δείκτη συνεπάγεται και άμεση εξοικονόμηση πόρων.
- Total heat recovery productivity: Λαμβάνει υπόψη την ανταλλαγή αισθητής θερμότητας καθώς και της λανθάνουσας θερμότητας, που σχετίζεται με την υγρασία. Αυτός ο δείκτης παρέχει μια ολοκληρωμένη εικόνα σχετικά με το πόσο αποδοτική ήταν η επένδυση μας.
- Usage of the fan control: Το πόσο αποτελεσματικό είναι ένα σύστημα εξαερισμού εξαρτάται και από τον τρόπο ελέγχου του ανεμιστήρα. Το μέγεθος αυτός έχει μονάδες μέτρησης Watt ανά κυβικό μέτρο αέρα το δευτερόλεπτο [$\frac{W}{m^3s}$]. Εξετάζεται με αυτόν τον τρόπο η παραγωγικότητα του συστήματος του ανεμιστήρα.

2.3.3 Αερισμός ελεγχόμενος κατά ζήτηση

Πρόκειται για έναν τρόπο βελτίωσης της παραγωγικότητας ενός συστήματος εξαερισμού, καθώς αυτό λειτουργεί συναρτήσει της απαιτούμενης ζήτησης. Η τεχνολογία αυτή ονομάζεται DCV (Demand Controlled Ventilation) και δύναται να παρέχει διαφορετικούς όγκους αέρα στη μονάδα του χρόνου με βάση τις online μετρήσεις που λαμβάνει σε ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα CO_2 ή και σχετικής εργασίας. Συνεπώς, εξοικονομούνται σημαντικά ποσά ηλεκτρικής ενέργειας, αποφεύγεται ο υπερβολικός εξαερισμός και προασπίζεται επαρκώς η ποιότητα του αέρα του εσωτερικού χώρου [3, 8].

2.3.4 Οικονομικά οφέλη από την χρήση συστημάτων εξαερισμού

Τα οικονομικά οφέλη των ενεργειακά αποδοτικών συστημάτων εξαερισμού είναι πολύτιμα, καθώς η περιορισμένη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας οδηγεί σε μικρότερο λειτουργικό κόστος ενός κτιρίου. Σε μακροπρόθεσμο χρονικό ορίζοντα, δύναται κανείς αυτά τα κεφάλαια που εξοικονομούνται να τα προορίσει σε άλλες επενδυτικές δραστηριότητες ενισχύοντας την κερδοφορία του και μέσω των αποδοτικών συστημάτων αερισμού.

2.3.5 Περιβαλλοντικές ωφέλειες

Η μείωση των δαπανών σε ηλεκτρική ενέργεια για τον αερισμό ενός κτιρίου συνδέεται άρρηκτα και με τον περιορισμό των εκπομπών ρυπογόνων αερίων. Καθώς τα κτίρια είναι υπεύθυνα για πολύ μεγάλο μέρος αυτών των εκπομπών, η λειτουργία ενός συστήματος εξαερισμού ελαχιστοποιεί τις απώλειες θερμότητας, συμβάλλει κατά της κλιματικής αλλαγής και επιτρέπει την βιώσιμη ανάπτυξη.

2.3.6 Πρότυπα ενεργειακής απόδοσης και κώδικες δόμησης

Οι κώδικες σχετικά με τα κτίρια, τα πρότυπα που αφορούν στην ενεργειακή απόδοση και την αναγκαία ποσότητα αέρα συντείνουν στον βέλτιστο σχεδιασμό και στην λειτουργία των κτιρίων. Το να πληροί κανείς τέτοιες νόρμες όπως το EN 13779 ή η Ευρωπαϊκή Οδηγία 31/2010 είναι υποχρεωτικό βάσει νομοθεσίας και με αυτόν τον τρόπο επικρατεί μια κοινή γλώσσα ως προς την ασφάλεια, τον σχεδιασμό και την λειτουργικότητα των σύγχρονων κτιρίων [18].

2.4 Τεχνολογικές εξελίξεις στον μηχανικό αερισμό

2.4.1 Έξυπνα συστήματα εξαερισμού

Γίνεται λόγος για τις τελευταίες προόδους στο ζήτημα του μηχανικού αερισμού και οι πιο σύγχρονες λύσεις που μπορούν να δοθούν σε αυτά τα συστήματα. Αξιοποιούνται αισθητές, συλλογή και επεξεργασία δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και αυτοματοποίηση με στόχο τη βελτιστοποίηση του αποτελέσματος του αερισμού ανάλογα με τα άτομα εντός του κτιρίου, τα επίπεδα επιβλαβών ουσιών και τις υπόλοιπες συνθήκες.

2.4.2 Συστήματα αερισμού με ανάκτηση ενέργειας ERV

Τα σύστημα αερισμού με ανάκτηση ενέργειας ERV συνιστούν μια καινοτόμα λύση στα πλαίσια του αερισμού. Σε σχέση με το σύστημα HRV, που αφορά στην ανάκτηση θερμότητας, είναι πολύ πιο πρόσφορα για «αποπνικτικά» περιβάλλοντα, όπου ο έλεγχος της υγρασίας είναι απαραίτητος για την εξασφάλιση της εσωτερικής άνεσης και της βιωσιμότητας του κτιρίου.

2.4.3 Επιλογή μεταξύ των συστημάτων ERV και HRV

Ένα σύγχρονο αεροστεγές σπίτι χρειάζεται μηχανικό αερισμό. Οι επιλογές είναι ο Αερισμός με Ανάκτηση Θερμότητας (Heat Recovery Ventilation) και ο Αερισμός με Ανάκτηση Ενέργειας (Energy Recovery Ventilation). Παρακάτω θα παρουσιάσουμε κάποια παραδείγματα εφαρμογών και τις βασικές διαφορές των συστημάτων.

Τα κτίρια και τα σπίτια πλέον δεν κατασκευάζονται με τρόπο που να διαφεύγει θερμότητα και υγρασία από το εσωτερικό τους περιβάλλον όπως παλιά. Πλέον, κατασκευάζονται όσο πιο στεγανά γίνεται, ειδικά τα σπίτια με πιστοποίηση Passive House ή LEED. Αυτό το γεγονός, όπως αντιλαμβανόμαστε καθιστά τον μηχανικό αερισμό απαραίτητο σε αυτά τα σπίτια υψηλής ενεργειακής απόδοσης εγκαθιστώντας σε αυτά συστήματα εναλλαγής αερισμού H.R.V ή E.R.V αντίστοιχα [13].



Εικόνα 14: Σύγκριση συστημάτων ERV και HRV

Είναι πολύ δύσκολο για τους ανθρώπους να ανιχνεύσουν χαμηλά επίπεδα ρύπων στον αέρα που εισπνέουν ακόμη και όταν αποτελούν κίνδυνο για την υγεία τους. Η καλύτερη επιλογή μας προς το παρόν όσον αφορά την ασφάλεια των κατοίκων είναι να παρέχουμε μια ελάχιστη παροχή φρέσκου εξωτερικού αέρα ανά πάσα στιγμή. Οι περισσότεροι οικοδομικοί κώδικες βασίζονται στο πρότυπο ASHRAE ή κάποια παραλλαγή του για τη θέσπιση κανόνων αερισμού για τα σπίτια. Σύμφωνα με την τρέχουσα έκδοση του προτύπου ASHRAE (2013), ο υπολογισμός για μεμονωμένες κατοικίες έχει ως εξής:

$$Q = \frac{7.5 \text{ cfm}}{\text{occupant}} + 3 \frac{\text{cfm}}{100 \text{ ft}^2 \text{ of living area}} \quad (1)$$

όπου:

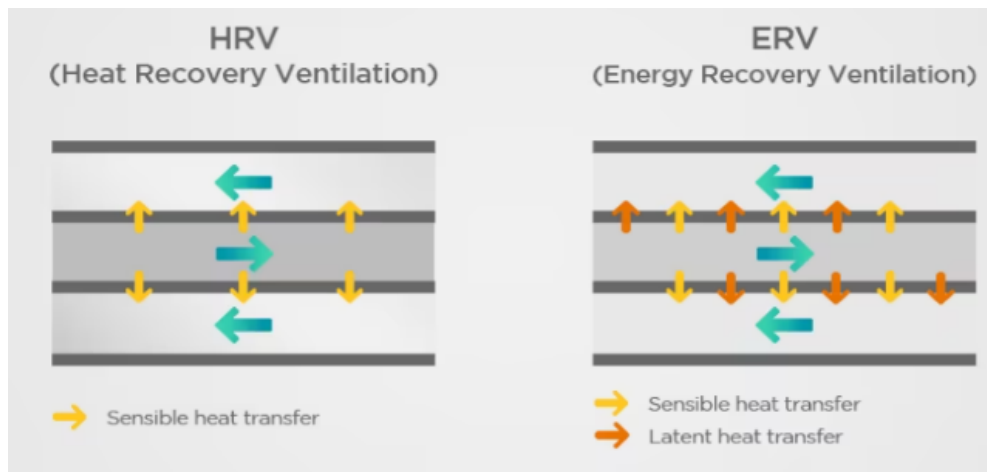
cfm: Κυβικά πόδια ανά λεπτό

Q: Παροχή όγκου του αέρα

Ένα αρκετά καλά μονωμένο σπίτι θα έχει αεροστεγανότητα με περίπου 3 εναλλαγές αέρα ανά ώρα σε πίεση 50 Pascal (ACH @ 50 Pa). Για το μέσο σπίτι (190 m²) αυτό σημαίνει περίπου 75 m³/hr ή 21 L/s (44 cfm) εξωτερικού αέρα υπό κανονικές συνθήκες. Σε

πραγματικούς όρους, αυτό σημαίνει ότι σε ένα σπίτι μεσαίου μεγέθους με μέση διαρροή παραθύρων θυρών και τοίχων/οροφής, ολόκληρος ο όγκος του αέρα θα αντικαθίσταται ίσως 3 ή 4 φορές την ημέρα.

Η βασική διαφορά μεταξύ των μονάδων ERV και HRV βρίσκεται στους πυρήνες τους. Πιο συγκεκριμένα, ένα σύστημα HRV μεταφέρει θερμότητα, ενώ ένα ERV μεταφέρει τόσο θερμότητα όσο και υγρασία. Το σύστημα ERV εκτελεί τις ίδιες λειτουργίες εναλλαγής θερμότητας με εκείνες ενός HRV, ενώ ενσωματώνει επίσης μια τεχνολογία για τη μεταφορά υγρασίας μεταξύ των ρευμάτων αέρα. Τα συστήματα ERV χρησιμοποιώντας μια διαδικασία που ονομάζεται «μεταφορά ενθαλπίας», αφαιρούν τους υδρατμούς από το υγρότερο ρεύμα αέρα και τους προσθέτει στο ξηρότερο ρεύμα αέρα. Το καλοκαίρι η υγρασία αντίστοιχα αφαιρείται από το εισερχόμενο ρεύμα αέρα και απορρίπτεται στο εξερχόμενο ρεύμα αέρα, μειώνοντας την επίδραση της εξωτερικής υγρασίας στο εσωτερικό του χώρου. Τον χειμώνα αντίστοιχα, η διαδικασία αντιστρέφεται συμβάλλοντας έτσι στην διατήρηση των επιπέδων υγρασίας για την αποφυγή υπερβολικά ξηρών εσωτερικών συνθηκών [14].



Εικόνα 15: Φιλοσοφία εναλλαγής θερμότητας των HRV και ERV [13]

Ενώ τα διαχωριστικά τοιχώματα του πυρήνα ανάκτησης θερμότητας ενός HRV συστήματος είναι σφραγισμένα έναντι της υγρασίας, αυτά σε ένα ERV σύστημα είναι διαφορετικά (περιέχουν ένα αποξηραντικό υλικό το οποίο και απορροφά μέρος της υγρασίας). Τα συστήματα ERV ανακατευθύνουν την υγρασία από την πιο υγρή ροή αέρα στην λιγότερο υγρή ροή. Το χειμώνα, η ανάκτηση υγρασίας βοηθάει στο να μην γίνει πολύ ξηρός ο εσωτερικός αέρας, ενώ το καλοκαίρι αποτρέπει την υπερβολική υγρασία να εισέλθει στο εσωτερικό της οικίας.

Ο υπερβολικά ξηρός αέρας κάνει τους κατοίκους πιο ευάλωτους σε καταστάσεις υγείας όπως ξηρό δέρμα και πονόλαιμος. Από την άλλη πλευρά, ο αέρας που είναι πολύ υγρός ευνοεί την ανάπτυξη μούχλας και υγρασίας, οδηγώντας σε αλλεργίες και αναπνευστικά προβλήματα. Και τα δύο άκρα είναι μη επιθυμητά για την ομαλή διαβίωση στην οικία μας [15].

Το σύστημα HRV της DAIKIN ανακτά την θερμότητα που χάνεται κατά τον εξαερισμό και περιορίζει τις αλλαγές στην θερμοκρασία δωματίου που προκαλούνται από τον εξαερισμό, διατηρώντας με αυτόν τον τρόπο ένα άνετο και καθαρό περιβάλλον. Περιορίζει επίσης το φορτίο που πρέπει να καλύψει το σύστημα κλιματισμού και εξοικονομεί ενέργεια. Η περιγραφόμενη σειρά περιλαμβάνει μοντέλα με σερπαντίνα άμεσης εκτόνωσης (DX) και/ή αφυγραντήρα- η σερπαντίνα DX βοηθά στην αποτροπή της άμεσης κατεύθυνσης του κρύου αέρα πάνω στα άτομα κατά τη λειτουργία θέρμανσης και αντιστρόφως. Χάρη στην υψηλή στατική πίεση αυξάνεται η ευελιξία κατά την εγκατάσταση.

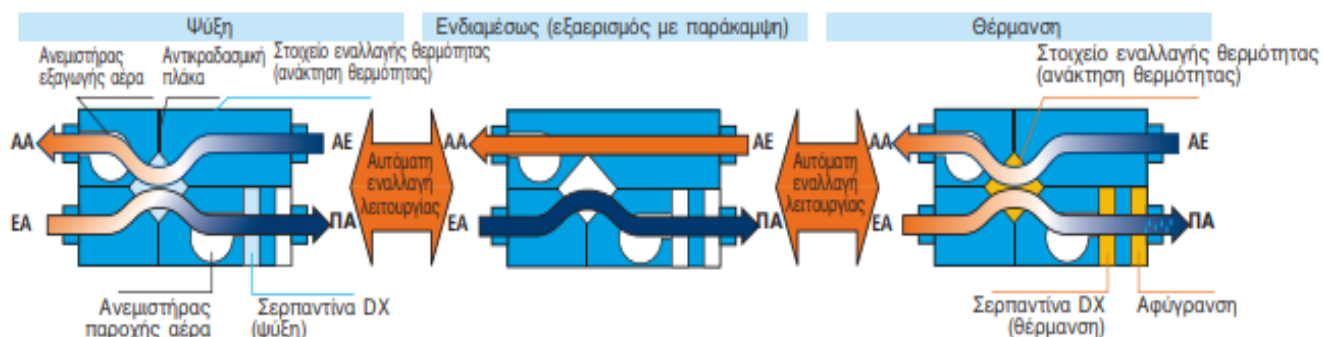


Εικόνα 16: Μοντέλο VKM 80 - 100 GM της εταιρείας DAIKIN

Τα γενικά χαρακτηριστικά της παραπάνω μονάδας αφορούν στην ενεργειακή αποδοτικότητα, στον ευέλικτο σχεδιασμό και στην μεταφορά καθαρού αέρα ως εξής:

1) Ενεργειακή αποδοτικότητα

- Πάνω από 30% μείωση του μεγέθους
- Ειδικά κατασκευασμένο στοιχείο HEP (το στοιχείο εναλλαγής θερμότητας χρησιμοποιεί Χαρτί Υψηλής Απόδοσης το οποίο έχει εκπληκτικές ιδιότητες απορρόφησης υγρασίας).
- Αυτόματη εναλλαγή λειτουργίας για μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα (το σύστημα περνά αυτόματα στο βέλτιστο πρόγραμμα λειτουργίας ώστε να ανταποκριθεί στις συνθήκες που επικρατούν στο χώρο)

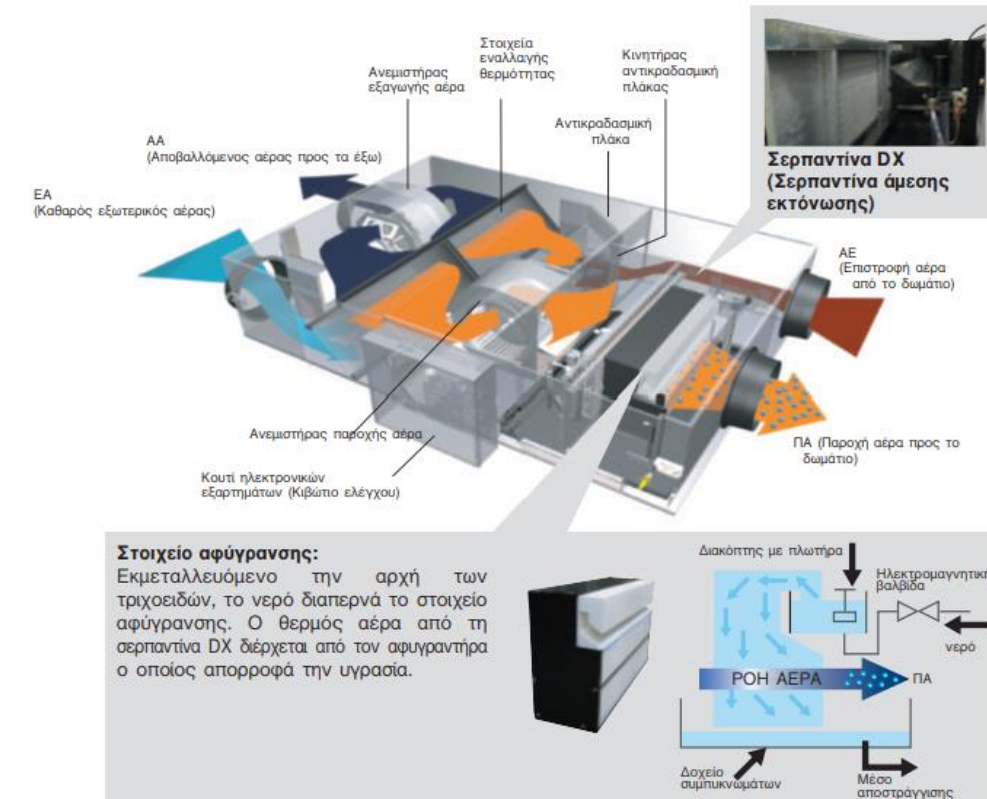


Εικόνα 17: Οπτικοποίηση της λειτουργίας HRV της DAIKIN

2) Ευέλικτος σχεδιασμός

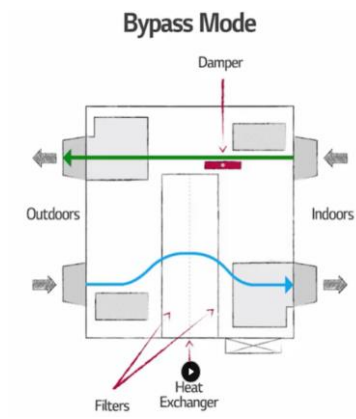
- Εξωτερική θερμοκρασία λειτουργίας έως -15 C.
- Λεπτό σχέδιο
- Απλότητα στο σχεδιασμό και την κατασκευή

- Αθόρυβη λειτουργία
- 3) Μεταφορά καθαρού αέρα
- Λειτουργία ανανέωσης αέρα
 - Αποτροπή πτώσης σκόνης
 - Καθαρισμός φίλτρου



Εικόνα 18: Τεχνικά χαρακτηριστικά λειτουργίας των συστημάτων VKM

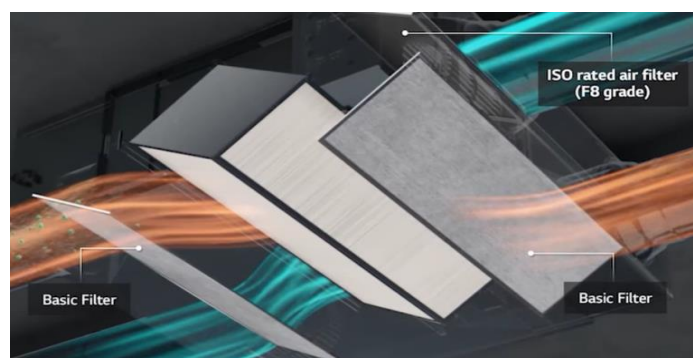
Το σύστημα ERV διαθέτει πολλές έξυπνες λειτουργίες που βοηθούν στη ρύθμιση της θερμοκρασίας και της ποιότητας του αέρα, ενσωματώνοντας τις εγγενείς κλιματικές συνθήκες, ώστε να προσφέρει μια βέλτιστη εμπειρία στον χρήστη, βελτιώνοντας παράλληλα την ενεργειακή απόδοση. Η λειτουργία δωρεάν ψύξης τη νύχτα είναι μια τέτοια λειτουργία που εκμεταλλεύεται τις διαφορές θερμοκρασίας του αέρα, διοχετεύοντας δροσερό βραδινό αέρα σε εσωτερικούς χώρους τους καλοκαιρινούς μήνες (μέθοδος by-pass).



Εικόνα 19: Γράφημα μεθόδου by-pass

Ομοίως, στη λειτουργία αυτοματοποιημένης εποχιακής λειτουργίας, το LG ERV ανιχνεύει την εξωτερική θερμοκρασία και αλλάζει αυτόματα τον τρόπο λειτουργίας ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες. Αυτή η λειτουργία επιτρέπει τη λειτουργία παράκαμψης κατά τους ήπιους ανοιξιάτικους και φθινοπωρινούς μήνες, όπου η θερμοκρασία και η υγρασία του εξωτερικού αέρα είναι επαρκείς. Ο φρέσκος εξωτερικός αέρας εισάγεται απευθείας στον εσωτερικό χώρο χωρίς εναλλαγή θερμότητας με τον εξερχόμενο εσωτερικό αέρα - γεγονός που οδηγεί σε μείωση του κόστους.

Το σύστημα ERV συνεργάζεται με άλλες συσκευές, όπως μονάδες κλιματισμού, για να υπερνικά τις απότομες μεταβάσεις μεταξύ ακραίων θερμοκρασιών. Με αυτές τις λειτουργίες και με τη διασύνδεση του ERV με το σύστημα κλιματισμού, είναι δυνατή η εξοικονόμηση ενέργειας κατά τη θέρμανση/ψύξη και τον αερισμό του εσωτερικού χώρου [25, 26].



Εικόνα 20: Επεξήγηση φίλτρων του συστήματος LG ERV [25]

Το LG ERV διοχετεύει υγιεινό εσωτερικό αέρα μέσω φίλτρων αέρα για την απομάκρυνση διαφόρων βλαβερών ουσιών, όπως σωματίδια σκόνης και μικρόβια στον αέρα. Είναι επίσης δυνατή η προσθήκη ενός ενδιάμεσου φίλτρου για ακόμα καλύτερα αποτελέσματα. Καταβάλλονται συνεχείς προσπάθειες για να διευρυνθούν τα όρια σε αυτόν τον τομέα, και επί του παρόντος διατίθεται ένα φίλτρο αέρα με πιστοποίηση ISO για τα συστήματα ERV & ERV DX. Τα αποτελέσματα των δοκιμών με βάση το πρότυπο ISO 16890-1 δείχνουν ότι το

ενδιάμεσο φίλτρο εξωτερικού αέρα (OA) που διατίθεται σήμερα στο σύστημα ERV είναι συγκριτικά ισοδύναμο με ένα MERV 14 ή F8 [26].

Η επιλογή μεταξύ των μονάδων HRV και ERV εξαρτάται, σε μεγάλο βαθμό, από τα επίπεδα υγρασίας στο κτίριο- αλλά επίσης θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν:

- ο Αριθμός ατόμων στην οικία: Ένα HRV σύστημα ταιριάζει καλύτερα στις ανάγκες μιας μεγαλύτερης, δραστήριας οικογένειας που 'παράγει' πολύ υγρασία. Αντίθετα, όσο λιγότεροι άνθρωποι βρίσκονται στην οικία, τόσο πιο στεγνός και ξηρός θα είναι ο αέρας, επομένως το σύστημα ERV θα είναι καλύτερη επιλογή.
- ο Διαστάσεις: Γενικά οι μονάδες HRV ταιριάζουν καλύτερα σε σπίτια μικρού ή μεσαίου μεγέθους, όπου η υγρασία μπορεί να συσσωρευτεί γρήγορα. Τα ERV, από την άλλη πλευρά, θα εξυπηρετούν καλύτερα μεγαλύτερα σπίτια όπου ο αέρας τείνει να είναι πιο ξηρός.
- ο Αεροστεγανότητα του κτιρίου: Όσο καλύτερα σφραγισμένο και στεγανό είναι το κέλυφος του κτιρίου, τόσο περισσότερη υγρασία παραμένει στο εσωτερικό, καθιστώντας το HRV καλύτερη εφαρμογή.
- ο Είδος θέρμανσης κατοικίας: Σε ένα περιβάλλον που θερμαίνεται με ξύλα, το οποίο είναι πιο πιθανό να είναι ξηρό, ένα σύστημα ERV θα παρέχει ένα πιο υγιές επίπεδο υγρασίας και διαβίωσης.
- ο Τοπικό κλίμα: Ένας άλλος καθοριστικός παράγοντας είναι το τοπικό κλίμα που επικρατεί στην περιοχή. Τα συστήματα ERV ταιριάζουν καλύτερα για ψυχρότερα, ξηρότερα κλίματα. Τα HRV λειτουργούν καλύτερα στους πιο ήπιους και πιο υγρούς χειμώνες.

Ωστόσο, ένα γεγονός είναι σίγουρο, όποιο και από τα δύο συστήματα και αν διαλέξουμε. Ένα σπίτι με . Ένα σπίτι με ERV ή HRV αποτελεί ένα εξελικτικό άλμα πέρα από τα σπίτια του 20^{ου} αιώνα. Επομένως, εάν χτίζουμε ή ανακαινίζουμε ένα οίκημα στην σημερινή εποχή, ειδικά εάν πρόκειται για ένα Passive House ή ένα πιστοποιημένο LEED, θα πρέπει σίγουρα να επιλέξουμε ένα εκ των δύο συστημάτων ERV ή HRV [14].

2.4.4 Φιλτράρισμα με σκοπό την υγιεινή του αέρα

Οι τεχνικές φιλτραρίσματος του αέρα έχουν βελτιωθεί αισθητά σε σχέση με το παρελθόν και φτάνουν σε υψηλές αποδόσεις πλέον. Για την αποβολή των σωματιδίων, των παθογόνων μικροοργανισμών και των ασταθών οργανικών ενώσεων (VOC) από τους εσωτερικούς χώρους αξιοποιούνται τεχνικές όπως τα φίλτρα HEPA (high efficiency particulate air) που τηρούν το ανάλογο πρότυπο, η ακτινοβολία UV που δρα ως μικροβιοκτόνο φως και η φωτοκαταλυτική οξείδωση. Όλες αυτές οι καινοτόμες τεχνολογίες συμβάλλουν στην ποιότητα και στην ευεξία των εσωτερικών χώρων.

2.4.5 Ενεργειακά αποδοτικοί ανεμιστήρες και κινητήρες

Η αποτελεσματικότητα των συστημάτων εξαερισμού εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό και από την λειτουργία των κινητήρων και των ανεμιστήρων. Οι εξελίξεις στο μηχανολογικό σχεδιασμό των ανεμιστήρων, όπως η δυνατότητα μεταβολής στροφών και η βελτιστοποίηση της γεωμετρίας τους, οδηγούν σε σημαντικές βελτιώσεις ως προς την αποδοτικότητα. Οι κινητήρες DC δίχως ψήκτρες, που είναι γενικά πιο υψηλής απόδοσης από τους συνήθεις κινητήρες, αξιοποιούνται σταδιακά στα συστήματα αερισμού.

2.4.6 Ασύρματη σύνδεση και ενσωμάτωση του Internet of Things (IoT)

Σε όλον τον κόσμο, υπάρχουν δισεκατομμύρια συσκευές που επικοινωνούν μεταξύ τους, συνδέονται στο Διαδίκτυο και ανταλλάσσουν δεδομένα ασύρματα. Μέσω του IoT, είναι δυνατό και στα συστήματα αερισμού αλλά και γενικότερα στα συστήματα διαχείρισης κτιρίων (BMS) να ενσωματώνονται καθημερινά νέες πληροφορίες. Όλες αυτές οι πληροφορίες εξυπηρετούν στην παρατήρηση, την προληπτική συντήρηση, την βελτιστοποίηση της χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας και τελικά την λήψη κατάλληλων αποφάσεων.

2.4.7 Ενσωμάτωση με τις μηχανολογικές εγκαταστάσεις του κτιρίου

Τα συστήματα αερισμού συνδυάζονται και συνδέονται και μια πιο μεγάλη οικογένεια συστημάτων που αφορούν στον έλεγχο των κτιρίων. Πιο συγκεκριμένα, ενσωματώνονται και συνεργάζονται με αισθητήρες HVAC, φωτισμού και επιπέδου CO₂ με στόχο ξανά την βέλτιστη χρήση ηλεκτρισμού και την εγγύηση εσωτερικής άνεσης και ποιότητας αέρα.

2.4.8 Εφαρμογές αερισμού και αλληλεπίδραση του χρήστη

Η διεπαφή χρήστη – συστήματος αερισμού είναι πολύ πιο άνετη και συντείνει στην ευκολία προς χρήση. Τα διάφορα είδη αερισμού επιτρέπουν στους διαμένοντες του κτιρίου να αλλάζουν τις παραμέτρους ποιότητας του αέρα στον εσωτερικό χώρο. Με αυτόν τον τρόπο παρέχεται εξατομικευμένη εμπειρία και διευρυμένη δυνατότητα ελέγχου.

2.4.9 Εργαλεία μοντελοποίησης & προσομοίωσης

Για να σχεδιαστούν και να βελτιστοποιηθούν τα συστήματα εξαερισμού χρησιμοποιούνται προγράμματα αναπαράστασης της γεωμετρίας του κτιρίου, μοντελοποίησης αυτού όπως και των αντίστοιχων ενεργειακών ροών εντός και εκτός του κτίσματος σύμφωνα με τις αρχές της υπολογιστικής ρευστομηχανικής (CFD). Με αυτές τις διαδικασίες, προσπαθεί κανείς να προβλέψει τη συμπεριφορά κατά τη λειτουργία του συστήματος και να αξιολογήσει την αποδοτικότητά του [10].

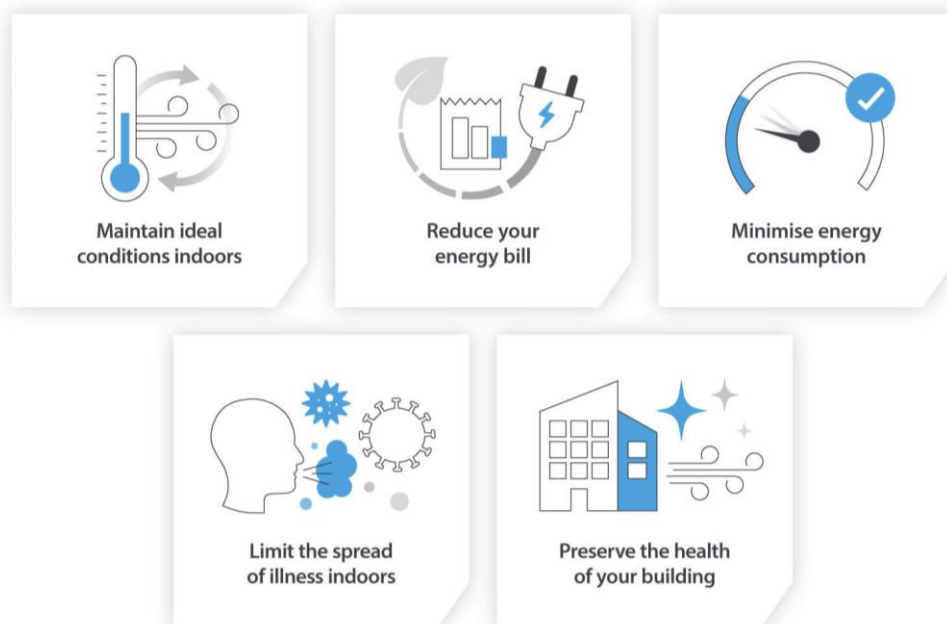
2.5 Οφέλη για το περιβάλλον και την υγεία

Τα συστήματα μηχανικού αερισμού των κτιρίων δεν καλύπτουν μόνο τις καθημερινές ανάγκες για υψηλής ποιότητας αέρα αλλά παρέχουν ακόμη πολλαπλά οφέλη για το φυσικό περιβάλλον και την ευεξία των ανθρώπων.

2.5.1 Περιβαλλοντικά οφέλη

Ένα από τα σημαντικότερα οφέλη του μηχανικού αερισμού είναι η δραματική μείωση της χρήσης σε ενέργεια. Τα συστήματα αυτά ελαχιστοποιούν τις απώλειες θέρμανσης και ψύξης. Οι μόνιμα ισορροπημένες ροές προσαγωγής και απαγωγής αέρα συμβάλλουν στην αποτελεσματική λειτουργία, καθώς με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατή η πλήρης αξιοποίηση του δυναμικού της ανάκτησης θερμότητας του συστήματος μηχανικού αερισμού. Η επαναχρησιμοποίηση ενέργειας και η εξοικονόμηση αυτής στέκεται εμπόδιο στην κλιματική αλλαγή εφόσον περιορίζονται οι εκπομπές του φαινομένου του θερμοκηπίου (Greenhouse gases – GHG)

Η περιορισμένη χρήση ηλεκτρισμού είναι άμεσα συνυφασμένη με το μειωμένο αποτύπωμα διοξειδίου του άνθρακα. Επομένως, στη σύγχρονη εποχή που ο περιορισμός των εκπομπών CO_2 αποτελεί αδήριτη ανάγκη, τα συστήματα μηχανικού αερισμού διαδραματίζουν πολύτιμο ρόλο στην προσπάθεια αυτή με τη δυνατότητα ανάκτησης θερμότητας. Τα συστήματα εξαερισμού υψηλής ενεργειακής απόδοσης οφείλουν να πληρούν τις κατευθυντήριες γραμμές και τις οδηγίες που δίνονται από τα ανάλογα πρότυπα και προγράμματα πιστοποίησης. Για παράδειγμα, το LEED παρέχει ένα αναλυτικό πλαίσιο πιστοποίησης σχετικά με το βέλτιστο ενεργειακό σχεδιασμό ενός κτιρίου [3, 8].



Εικόνα 21: Συνολικές ωφέλειες από τη χρήση αερισμού

2.5.2 Οφέλη ευεξίας

Η κύρια λειτουργία των συστημάτων μηχανικού αερισμού είναι η αποβολή των επιβλαβών ουσιών, των αλλεργιογόνων, των πτητικών οργανικών ενώσεων και των σωματιδίων *PM* από τον εσωτερικό χώρο του κτιρίου. Συνεπώς, βελτιώνεται σημαντικά ο δείκτης IAQ που αφορά στην ποιότητα της εσωτερικής ατμόσφαιρας.

Το άριστο εσωτερικό περιβάλλον απαλλαγμένο από σκόνη και γύρη και με σωστά επίπεδα υγρασίας (αφού πλέον ο αέρας είναι επαρκής και φιλτράρεται πριν μπει στο κτίριο) εξασφαλίζουν συνθήκες ιδανικές για τον χρήστη, αφού με την επαρκή ανανέωση αέρα έχουμε ελάχιστες συγκεντρώσεις *ppm CO₂*. Έτσι, εκμηδενίζεται η πιθανότητα αλλεργιών, κινδύνου άσθματος και αναπνευστικών λοιμώξεων. Αντιθέτως, ο νέος φρέσκος αέρα συντείνει στην υγεία του αναπνευστικού συστήματος και στη συνολική ευεξία.

Τα συστήματα μηχανικού αερισμού με ανάκτηση θερμότητας διασφαλίζουν τη θερμική άνεση εντός του κτιρίου. Και αυτό γιατί μέσω της ρύθμισης των ρευμάτων αέρα, μειώνεται σημαντικά η ανάγκη για θέρμανση ή και ψύξη και συγχρόνως διατηρείται μια σταθερή θερμοκρασία στο εσωτερικό.

Τα συστήματα αερισμού με τεχνολογία περιορισμού των επιπέδων του θορύβου συντελούν σε ένα πιο ήρεμο εσωτερικό χώρο. Έτσι, όχι μόνο δεν επικρατεί ανησυχία και αναταραχή την ώρα που διαμένουν ή και εργάζονται άνθρωποι στο κτίριο, αλλά και εξασφαλίζεται η ευημερία των ατόμων εκεί.

Η ολοένα αυξανόμενη ποιότητα της ατμόσφαιρας στον εσωτερικό χώρο του κτιρίου αλλά και η ανάλογη θερμική άνεση συνδέονται με το αυξημένο αίσθημα ευεξίας των ατόμων που βρίσκονται στο κτίριο. Με αυτόν τον τρόπο, μπορούν να είναι πιο παραγωγικοί κατά την εργασία τους και να νιώθουν πιο εργονομικά μέσα στο κτίριο [4, 8].

2.6 Προκλήσεις και περιορισμοί

Τα συστήματα μηχανικού αερισμού φέρουν πολλές ωφέλειες μαζί τους, αλλά όπως κάθε τεχνολογικό σύστημα, έτσι και αυτό δεν είναι απαλλαγμένο περιορισμών και προκλήσεων. Σε αυτήν την ενότητα συγκεντρώνονται οι προϋποθέσεις και οι απαιτήσεις που αφορούν στο σχεδιασμό, στην εγκατάσταση και στη λειτουργία των συστημάτων μηχανικού αερισμού. Μέσω της κατανόησης αυτών, λαμβάνονται οι κατάλληλες αποφάσεις για την παροχή πρόσφορων διαδικασιών αερισμού.

Μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις στον μηχανικό αερισμό είναι η επιτυχία ισορροπίας μεταξύ του ρυθμού αερισμού και της χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας. Η αύξηση του ρυθμού ανανέωσης του αέρα ενδεχομένως βελτιώσει την ποιότητα του αέρα αλλά παράλληλα να αυξήσει τις απαιτήσεις για ηλεκτρισμό, ιδίως όχι και τόσο εύκρατα κλίματα. Η υπερδιαστασιολόγηση των συστημάτων εξαερισμού μπορεί να οδηγήσει σε υπεραερισμό, δηλαδή περισσότερή παροχή όγκου αέρα από την αναγκαία. Ενδεχομένως, αυτή η κατάσταση επηρεάζει και τη θερμοκρασία του χώρου και δημιουργεί δυσφορία. Ανάλογα

το μέγεθος και τον τύπο του κτιρίου αλλά και τον αριθμό παρευρισκόμενων του κτιρίου χρειάζεται να μεταβάλλεται κατάλληλα η παροχή αέρα για να προσαρμόζεται το σύστημα στην κατάλληλη κατάσταση.

Όλα αυτά τα περιγραφόμενα συστήματα μηχανικού αερισμού απαιτούν διαρκή τεχνική υποστήριξη με στόχο τη διασφάλιση της βέλτιστης απόδοσης. Οι σωληνώσεις, οι εναλλάκτες θερμότητας και οι ανεμιστήρες χρειάζονται τακτικό καθαρισμό και αντικατάσταση όταν υφίστανται βλάβη. Ωστόσο, αυτές οι διαδικασίες αυξάνουν το κόστος συντήρησης. Ωστόσο, αν αυτές οι εργασίες παραλειφθούν, τότε ο αερισμός δεν θα πραγματοποιείται ορθά με δυσμενή ποιότητα αέρα.

Το κόστος εγκατάστασης για ένα σύστημα μηχανικού αερισμού, ιδίως αν συμπεριλαμβάνει και την καινοτομία με ανάκτηση θερμότητας, είναι σχετικά υψηλό. Γι' αυτόν το λόγο, κάποιος μπορεί να αποθαρρύνεται εξαιτίας αυτού παρά τα μακροπρόθεσμα οφέλη. Τα συστήματα μηχανικού αερισμού πρέπει να σχεδιάζονται πολύ προσεκτικά για εσωτερικούς χώρους, καθώς ελλοχεύει ο κίνδυνος να μην αποβληθούν οι ρυπαντές από τον εσωτερικό χώρο. Και αυτό θα μπορούσε να συμβεί για παράδειγμα λόγω ανεπαρκούς έδρασης κάποιων σωλήνων στον εσωτερικό χώρο.

Το πόσο αποτελεσματικός είναι ο μηχανικός εξαερισμός τελικά εξαρτάται και από τα επίπεδα της ποιότητας του αέρα IAQ. Όσο πιο υψηλή είναι η ποιότητα αέρα τόσο πιο προσεγμένο φιλτράρισμα έχει πραγματοποιηθεί. Αν δεν συμβεί αυτό, τότε μικρά σωματίδια ή και αλλεργιογόνα βρίσκονται στην εσωτερική ατμόσφαιρα με ανεπιθύμητες συνέπειες.

Τα συστήματα αερισμού, ιδίως εκείνα με ισχυρούς ανεμιστήρες, ενδεχομένως προκαλέσουν δυνατό θόρυβο, που μπορεί να είναι ενοχλητικός για όσους βρίσκονται στο κτήριο. Για αυτόν τον λόγο, απαιτείται η υιοθέτηση κατάλληλων μεθοδολογιών σχεδιασμού μείωσης του θορύβου για την διατήρηση της εύρυθμης ακουστικής του χώρου. Μερικές φορές κάποιος χώρος διαθέτει ιδιαίτερες χωροταξικές ανάγκες, οι οποίες να προκαλέσουν δυσκολίες ή και αδυναμία εγκατάστασης τέτοιων συστημάτων αερισμού.

Οι τεχνικές μηχανικού αερισμού, που μπορεί να εφαρμόζονται σε ένα κλίμα ή μια περιοχή μπορεί να διαφέρουν σε ένα άλλο. Οι επιλογές που γίνονται συναρτώνται άμεσα από τις καιρικές συνθήκες και το μικροκλίμα κάθε τόπου, στο οποίο βρίσκεται το κτίριο [2, 3, 10].

Κεφάλαιο 3 - Συστήματα Αερισμού Κτιρίων

Τα συστήματα αερισμού συνιστούν μοιραία αναγκαίο τμήμα του σύγχρονου σχεδιασμού κτιρίων από ένα τυπικό διαμέρισμα έως πολυώροφα κτίσματα. Η συγκεκριμένη τεχνολογία επιτρέπει σε ένα κτίριο να ανανεώνει τον αέρα, που βρίσκεται εντός αυτού, και διασφαλίζει τις κατάλληλες συνθήκες διαβίωσης των ανθρώπων που ζουν σε αυτά. Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται λόγος για τα χαρακτηριστικά, τα πλεονεκτήματα, τους περιορισμούς και τα πρότυπα του αερισμού και δίδεται έμφαση στην αξία του μηχανικού αερισμού σε κτίρια, που βρίσκονται στην αιχμή της τεχνολογίας.

3.1 Φυσικός αερισμός

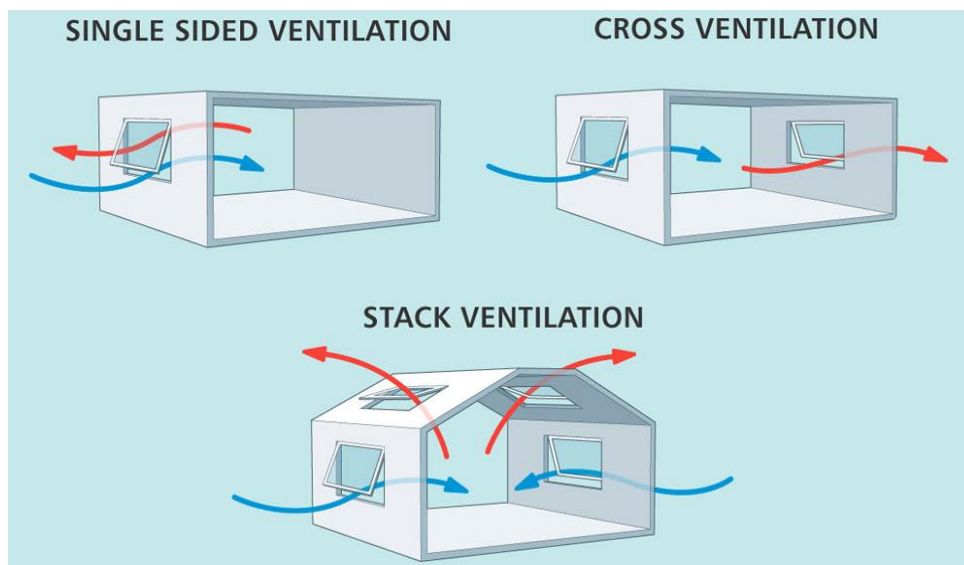
3.1.1 Αρχές φυσικού αερισμού

Ο φυσικός αερισμός (natural ventilation) ουδεμία σχέση έχει με την φύση, όπως ενδεχομένως θα μπορούσε να υποθέσει κανείς. Ο φυσικός αερισμός ταυτίζεται με την ουσιαστική παρέμβαση του ανθρώπινου παράγοντα, είτε με το χέρι είτε μέσω ενός συστήματος αυτομάτου ελέγχου, στο άνοιγμα των κουφωμάτων του κτιρίου (π.χ. πόρτα είτε παράθυρο) με σκοπό την ανανέωση του εσωτερικού αέρα. Όμως, δεν διασφαλίζεται ούτε η ποσότητα ούτε η ποιότητα του εισερχόμενου αέρα. Επί της ουσίας, ο φυσικός αερισμός αποτελεί ένα είδος μη ελεγχόμενου αερισμού του κτιρίου [18].

3.1.2 Πλεονεκτήματα του φυσικού αερισμού

Ο φυσικός αερισμός διαθέτει κάποια συγκριτικά πλεονεκτήματα έπειτα οποιασδήποτε άλλης τεχνικής αερισμού, τα οποία είναι τα εξής:

- Εξοικονόμηση ενέργειας, υπό την έννοια ότι ο φυσικός αερισμός δεν απαιτεί ηλεκτρομηχανολογικό (H/M) εξοπλισμό ούτε κατανάλωση ηλεκτρισμού, όπως συμβαίνει με τον μηχανικό αερισμό.
- Περιορισμός του κόστους, καθώς απουσιάζουν οποιαδήποτε μηχανολογικά μέρη ή επιπρόσθετος εξοπλισμός. Δεν υφίστανται σχεδόν καθόλου έξοδα εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης του συγκεκριμένου «συστήματος» αερισμού. Προτιμάται σε περιοχές που το κλίμα είναι εύκρατος και ο φυσικός αερισμός μπορεί να υποστηρίξει τις ανάγκες ενός κτιρίου για το μεγαλύτερο μερίδιο του έτους.
- Ενίσχυση της βιωσιμότητας, καθώς αυτό το είδος αερισμού είναι σχετικά αξιόπιστο προασπίζοντας τις ανάγκες της αειφόρου ανάπτυξης και την αντίστοιχη άνοδο των κατασκευών [10, 18].



Εικόνα 22: Παραδείγματα φυσικού αερισμού ανάλογα με την έλευση του ρεύματος αέρα και την τοποθέτηση των κουφωμάτων [5]

3.1.3 Περιορισμοί του φυσικού αερισμού

Αν και ο φυσικός αερισμός φαντάζει εξ αρχής μια ελκυστική λύση για την τακτική ανανέωση του αέρα ενός χώρου, δυστυχώς συνοδεύεται με σημαντικά προβλήματα, τα οποία χρειάζεται να ληφθούν υπόψη στον σχεδιασμό αλλά και στη χρήση. Τα πιο σημαντικά εξ' αυτών παρατίθενται στην παρακάτω λίστα:

- Είναι ακατάλληλη τεχνική αερισμού για ακραίες κλιματικές ή και καιρικές συνθήκες, όπως για παράδειγμα σε περιόδους που επικρατούν πολύ χαμηλές ή υψηλές θερμοκρασίες.
- Πρόκειται για ένα ανεξέλεγκτο είδος αερισμού, αθέλητο και χειροκίνητο μέσω κουφωμάτων, αρκετά ελλιπές και ανεπαρκές δημιουργώντας συχνά ανάγκη εφύγρανσης ή αφύγρανσης του κτιρίου.
- Άγνωστη πιστότητα και κίνδυνος χαμηλής ποιότητας αέρα ή και είσοδος υγρασίας και μούχλας. Δεν παρέχεται κάποιο είδος φιλτραρίσματος του αέρα ή έλεγχος των συγκεντρώσεων CO_2 . Ακόμη, σύμφωνα με το ευρωπαϊκό πρότυπο EN13779, για μια κατοικία, απαιτούνται $30m^3/h$ ανά άτομο που βρίσκεται στο συγκεκριμένο κτίριο και περιορισμός των συγκεντρώσεων αερίων του φαινομένου του θερμοκηπίου κάτω από $1000 ppm$. Ωστόσο, δεν υπάρχει καμία εξασφάλιση πως όλα αυτά τηρούνται με την λειτουργία μόνο του φυσικού αερισμού.
- Δημιουργία θορύβου και ενόχλησης των χρηστών του κτιρίου από το άνοιγμα και το κλείσιμο των κουφωμάτων του κτιρίου, αλλά και από τους εξωτερικούς ήχους υπερβαίνοντας τα επιτρεπτά επίπεδα όχλησης (πάνω από $25dB$) [10, 18]

Συνεπώς, ο φυσικός αερισμός συνιστά την παλαιότερη τεχνική αερισμού των κτιρίων και βασίζεται στην ομαλή ροή των ρευμάτων αέρα. Κυριαρχεί και είναι λειτουργικός και αποτελεσματικός σε περιοχές με ήπιο κλίμα εξαιτίας και της σχέσης κόστους – αποτελέσματος. Όμως, δεν μπορεί να υλοποιηθεί στις περισσότερες περιοχές του πλανήτη, που δεν επικρατούν επιθυμητές κλιματολογικές συνθήκες, και καθίσταται ανεπαρκής. Γι' αυτόν τον λόγο, μελετάται εκτενώς ο μηχανικός αερισμός, που συνιστά και το ουσιαστικό θέμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

3.2 Μηχανικός αερισμός

Τα «Κτίρια Σχεδόν Μηδενικής Ενεργειακής Κατανάλωσης», NZEB (Nearly Zero Energy Buildings), όπως αυτά έχουν οριστεί από την Ευρωπαϊκή Οδηγία 31/2021 είναι κτίρια τα οποία έχουν πολύ υψηλή ενεργειακή απόδοση, δηλαδή απαιτούν σχεδόν μηδενική ή πολύ χαμηλή ποσότητα ενέργειας για την κάλυψη των ενεργειακών τους αναγκών. Αποτελούν υποχρέωση στις κατασκευές βάση της εθνικής νομοθεσίας από 01/06/2021. Για να επιτευχθεί αυτό, θα πρέπει η επίδραση του εξωτερικού περιβάλλοντος στο εσωτερικό του κτιρίου να μειωθεί στο ελάχιστο δυνατό, δηλαδή οι θερμικές απώλειες του κτιρίου να μειωθούν στο ελάχιστο. Αυτό, μπορεί να επιτευχθεί μέσω της χρήσης αεροστεγών κουφωμάτων, την ελαχιστοποίηση των θερμογεφύρων και την ορθή εφαρμογή θερμομόνωσης ώστε να αποφεύγεται η έξοδος του θερμού αέρα τον χειμώνα και αντίστοιχα του ψυχρού το καλοκαίρι από το εσωτερικό του κτιρίου. Οι εφαρμογές αυτές έχουν ως άμεσο αποτέλεσμα να μην επιτρέπεται η είσοδος της απαιτούμενης ποσότητας φρέσκου αέρα στον χώρο κατοικίας. Έτσι λοιπόν, αυξάνεται σημαντικά η υγρασία και οι ρύποι στο χώρο με αποτέλεσμα οι χρήστες να αισθάνονται δυσφορία εξαιτίας ελλείψεως οξυγόνου.

Ο αερισμός μέσω των παραθύρων που πραγματοποιείται, δεν αποτελεί μία αποδοτική λύση, αφού κατά την διαδικασία αυτή οι απώλειες ενέργειας προσεγγίζουν το 50% της ενέργειας που απαιτείται για να ψυχθεί ή να θερμανθεί αντίστοιχα ένα κτίριο. Έτσι λοιπόν, η τοποθέτηση ενός συστήματος μηχανικού αερισμού με ανάκτηση θερμότητας, αποτελεί μια αποδοτική λύση, αφού μέσω αυτού επιτυγχάνεται ο απαραίτητος αερισμός της ατμόσφαιρας για να εξασφαλίζεται μια κορυφαία ποιότητα εσωτερικής ατμόσφαιρας ταυτόχρονα με την ελάχιστη δυνατή χρήση ενέργειας.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα τέσσερα βασικά σημεία προκειμένου να επιτυγχάνεται η αποτελεσματική λειτουργία του συστήματος αερισμού:

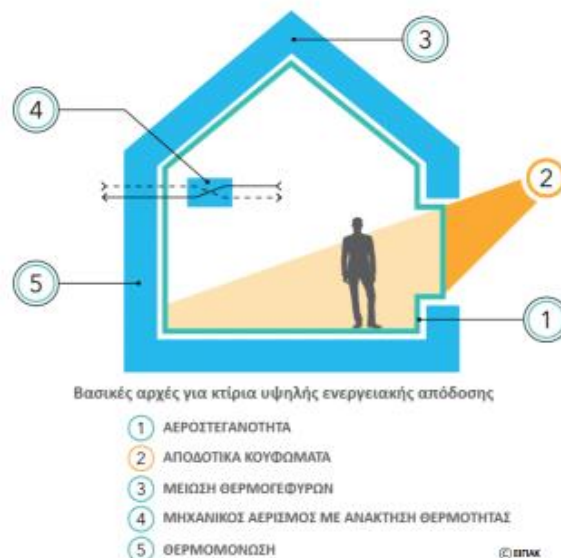
- Βελτιστοποιημένοι αεραγωγοί με την ελάχιστη δυνατή πτώση πίεσης και αντιβακτηριακή προστασία
- Εφαρμογή μονάδων αερισμού υψηλής απόδοσης με βαθμό ανάκτησης θερμότητας μεγαλύτερο του 75%
- Επίτευξη ισορροπημένης λειτουργίας μεταξύ των παροχών προσαγωγής και απαγωγής
- Τακτική συντήρηση του συστήματος μηχανικού αερισμού

3.2.1 Αρχές μηχανικού αερισμού

Ο μηχανικός αερισμός συνιστά έναν είδος ελεγχόμενου αερισμού, το οποίο εξασφαλίζει κορυφαία ποιότητα αέρα και ουδεμία σχέση έχει με τον φυσικό αερισμό. Το ρεύμα αέρα ελέγχεται, ρυθμίζεται και φιλτράρεται ώστε να δοθεί μια αποτελεσματική λύση στην ανανέωση του αέρα της εσωτερικής ατμόσφαιρας. Τα κύρια σημεία του μηχανικού αερισμού καταγράφονται παρακάτω:

- Εξαναγκασμένη ροή αέρα, καθώς τα συστήματα μηχανικού αερισμού παρέχουν την δυνατότητα ακριβούς ελέγχου της ταχύτητας του ρεύματος αέρα και χρησιμοποιούνται ανεμιστήρες για το συντονισμό της ροής. Ο ελεγχόμενος αερισμός είναι απαραίτητος, όπου η θερμική άνεση και η ποιότητα αέρα είναι θέματα ζωτικής σημασίας.
- Φιλτράρισμα και έλεγχος ρύπων, κατά τον οποίο τα συστήματα αυτά εμπεριέχουν φίλτρα που απομονώνουν τα σωματίδια, τα αλλεργιογόνα και τα επιβλαβή ρυπογόνα αέρια. Με αυτόν τον τρόπο, αναβαθμίζεται η ποιότητα του ανακυκλοφορούντος αέρα στον εσωτερικό χώρο.
- Ανάκτηση θερμότητας ή ενέργειας: Πραγματοποιείται παθητικά ανάκτηση θερμότητας ή ενέργειας, που συνιστά ανάκτηση θερμότητας και υγρασίας συγχρόνως, μέσω εναλλακτών θερμότητας. Με αυτόν τον τρόπο κερδίζει κανείς 30% και επιπλέον σε εξοικονόμηση ενέργειας, αναβαθμίζοντας και τη ενεργειακή κλάση του κτιρίου [2, 3].

Παρακάτω, οπτικοποιούνται οι βασικές αρχές για κτίρια υψηλής ενεργειακής απόδοσης:



Εικόνα 23: Βασικές αρχές για κτίρια υψηλής ενεργειακής απόδοσης [18]

3.2.2 Λεπτομέρειες & Απαιτήσεις ενός συστήματος μηχανικού αερισμού

Στην διαδικασία σχεδίασης ενός συστήματος Μ.Α.Α.Θ (Μηχανικού Αερισμού με Ανάκτηση Θερμότητας), για να προβούμε στην τελική επιλογή της μονάδας μηχανικού αερισμού, θα πρέπει να λάβουμε υπόψιν μας αρκετές παραμέτρους που αφορούν το κτίριο αλλά και τα άτομα που επρόκειτο να κατοικήσουν εντός αυτού. Αναφέρουμε αυτές επιγραμματικά στην συνέχεια:

- Επαρκής Αεροστεγανότητα, δηλαδή η ορθή αεροστεγανότητα του κτιρίου που επρόκειτο να τοποθετήσουμε το σύστημα του μηχανικού αερισμού είναι απαραίτητη και συντελεί στην βέλτιστη λειτουργία της εγκατάστασης.
- Διαστασιολόγηση της απαιτούμενης παροχής αέρα που απαιτείται. Πιο συγκεκριμένα, οι συνθήκες υγιεινής καθώς και ο αριθμός των ατόμων που επρόκειτο να κατοικήσουν στην κατοικία θα καθορίσουν και την παροχή όγκου αέρα που απαιτείται στον χώρο. Για να επιτευχθεί η ορθή ποιότητα του εσωτερικού αέρα, ακολουθούμε τις προδιαγραφές IDA 3, με βάση το πρότυπο EN 13779.

Category	Quality	CO ₂ -level above outdoor
IDA1	High	≤ 400 ppm
IDA2	Medium	400-600 ppm
IDA3	Moderate	600-1000 ppm
IDA4	Low	> 1000 ppm

Εικόνα 24: Κατηγοριοποίηση ποιότητας αέρα (IAQ) σύμφωνα με το πρότυπο EN13779 [18]

Ο εσωτερικός αέρας του κτιρίου διακρίνεται σε 4 διαφορετικές καταστάσεις όπως παρατηρούμε στο παραπάνω πίνακα. Αφού προσδιορίσουμε την ποιότητα του εσωτερικού αέρα που επιθυμούμε να έχουμε εντός του κτιρίου, ακολουθεί ο επόμενος πίνακας, όπου με βάση τον επιθυμητό δείκτη IDA μας παρέχονται και τα αντίστοιχα όρια σε ppm CO₂ και επίσης την απαιτούμενη ανανέωση εσωτερικού αέρα/άτομο/hr. Βάσει Ευρωπαϊκής Οδηγίας ως ελάχιστη απαίτηση ποιότητας αέρα θεωρείται η κατηγορία IDA 3, με ελάχιστη απαίτηση φρέσκου αέρα ανά άτομο τα 20-30 m³/hr [18].

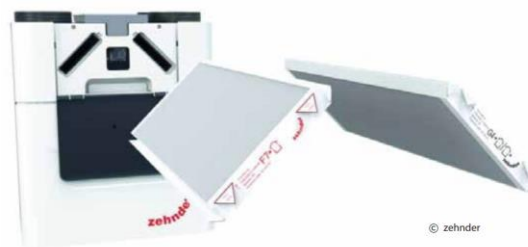
Category	Description	CO2 level ppm	Outside Air m ³ /h/person
IDA 1	High indoor air quality	< 400	> 54
IDA 2	Medium indoor air quality	400-600	36-54
IDA 3	Moderate indoor air quality	600-1000	22-36
IDA 4	Low indoor air quality	> 1000	<22

Εικόνα 25: Κατηγορίες της ποιότητας αέρα εσωτερικής ατμόσφαιρας σύμφωνα με το πρότυπο EN13779 [18]

Επιπλέον, κατά τον σχεδιασμό ενός συστήματος μηχανικού αερισμού, είναι πολύτιμο να διευκρινιστούν και να εξασφαλιστούν τα παρακάτω σημεία:

- Απώλειες Πίεσης. Το δίκτυο αγωγών που χρησιμοποιείται θα πρέπει να μην έχει πολλές στροφές και να εκτείνεται σε όσο το δυνατόν μικρότερο μήκος ώστε να ελαχιστοποιούνται οι απώλειες πίεσης.
- Φίλτρα Αέρα. Τα φίλτρα αέρα, έχουν ως κύρια λειτουργία την προστασία του συστήματος και του εναλλάκτη θερμότητας από τα σωματίδια και τη σκόνη που τον φράζουν. Επίσης, μέσω του φιλτραρίσματος του αέρα μειώνεται ο αριθμός των σωματιδίων που εισέρχονται από το εξωτερικό περιβάλλον. Τέλος, εάν δεν πραγματοποιείται τακτική συντήρηση και αντικατάσταση των φίλτρων αέρα, τότε όπως είναι λογικό η απόδοση του συστήματος μειώνεται

Παρακάτω παρουσιάζεται ένα τυπικό φίλτρο συστήματος μηχανικού αερισμού της εταιρείας Zehnder:



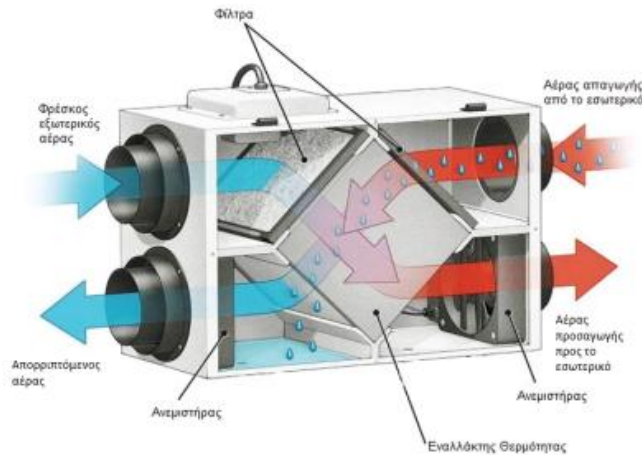
Εικόνα 26: Τυπικό φίλτρο συστήματος μηχανικού αερισμού

- Χρήση Μηχανικού Αερισμού το καλοκαίρι: Κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, προκειμένου να προστατέψουμε την εγκατάσταση από υπερθέρμανση εφαρμόζεται η λειτουργία σε bypass mode. Η λειτουργία αυτή, ενεργοποιείται αυτόματα από την εγκατάσταση κατά την καλοκαιρινή περίοδο, κατά την οποία η εξωτερική θερμοκρασία είναι χαμηλότερη από την αντίστοιχη εσωτερική και έτσι επιτυγχάνεται παράκαμψη του εναλλάκτη θερμότητας.
- Προστασία από τον παγετό: Κατά την λειτουργία τους χειμερινούς μήνες θα πρέπει να προβλέπεται η προστασία η προστασία του εναλλάκτη θερμότητας από τον σχηματισμό πάγου επί αυτού.
- Αποστράγγιση συμπυκνωμάτων: Θα πρέπει πάντα να συμπεριλαμβάνεται μία διάταξη για ορθή αποστράγγιση των συμπυκνωμάτων στην εγκατάσταση [18].

3.2.3 Είδη συστημάτων μηχανικού αερισμού

Αξιοποιούνται ποικίλα συστήματα μηχανικού αερισμού στον σχεδιασμό κατοικιών σε συνάρτηση με το είδος και τις ανάγκες αυτών, όπως τα παρακάτω:

- Αερισμός μόνο με απαγωγή: Τα συστήματα μόνο με απαγωγή χρησιμοποιούν ανεμιστήρες για να εξατμίσουν το ρεύμα από το εσωτερικό και να μεταφερθεί στον εξωτερικό χώρο. Αυτή η διαδικασία δημιουργεί μια αρνητική πίεση στο εσωτερικό του κτιρίου και έλκει τον εξωτερικό αέρα.
- Αερισμός μόνο για παροχή: Οι τεχνολογίες αερισμού μόνο για παροχή αξιοποιούν έναν ανεμιστήρα για να μεταφέρουν τον φρέσκο εξωτερικό αέρα στο κτίριο. Ο αέρας απαγωγής από το εσωτερικό μεταφέρεται μέσω του εναλλάκτη και του ανεμιστήρα εξωτερικά και απορρίπτεται.
- Ισορροπημένος αερισμός: Συνδυάζεται με την καινοτομία θερμής ανάκτησης και επιτρέπεται ο πλήρης έλεγχος της διασποράς των ρευμάτων αέρα. Η πίεση εντός του κτιρίου διατηρείται σταθερή χάρη στους ανεμιστήρες τροφοδοσίας και εξασθέρνησης των ρευμάτων αέρα [10].

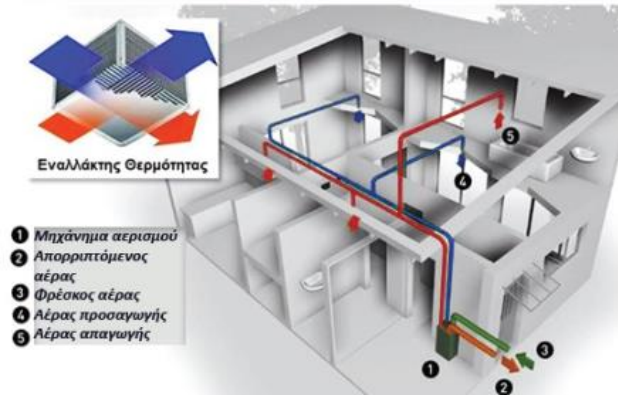


Εικόνα 27: Εσωτερικό ενός συστήματος μηχανικού αερισμού

3.2.3 Πλεονεκτήματα του μηχανικού αερισμού

Ο μηχανικός αερισμός βρίθκει πλεονεκτημάτων και καθίσταται μια από τις πιο ενδιαφέρουσες, ευέλικτες αλλά και επιτυχημένες λύσεις αερισμού:

- Έλεγχος και ακρίβεια: Τα συστήματα μηχανικού αερισμού δύνανται να ελέγξουν αποτελεσματικά την παροχή και την ταχύτητα του αέρα ανάλογα με τον αριθμό των χρηστών του κτιρίου και τις ανάγκες θερμικής άνεσης που επικρατούν. Ακόμη, διασφαλίζεται υψηλής ποιότητας αέρας (οποιαδήποτε εποχή του χρόνου) μέσω των φίλτρων, τα οποία προστατεύουν συγχρόνως το μηχάνημα και τον εναλλάκτη θερμότητας, εντός αυτού, από σκόνη και σωματίδια.
- Ευελιξία: Υφίστανται διάφορα συστήματα μηχανικού αερισμού, τα οποία μπορούν να υποστηρίξουν ένα ευρύ φάσμα κτιρίων για κάθε τύπο και μέγεθος, από οικιστικά κτίρια έως και εμπορικά κέντρα (κεντρική ή μη κεντρική μονάδα).
- Εξοικονόμηση ενέργειας: Για αρκετά αεροστεγανά κτίρια, στα οποία είναι εγκατεστημένα συστήματα μηχανικού αερισμού, διαπιστώνεται τουλάχιστον 30% εξοικονόμηση ενέργειας. Ακόμη, ο μέγιστος βαθμός απόδοσης που μπορούν να φθάσουν είναι το 90% με τεχνολογία ανάκτησης θερμότητας και 75% με τεχνολογία ανάκτησης ενέργειας [10, 18].



Εικόνα 28: Εξοικονόμηση ενέργειας μέσω συστήματος μηχανικού αερισμού με εναλλάκτη θερμότητας [18]

3.2.4 Περιορισμοί του μηχανικού αερισμού

Σαφώς κάθε μηχανολογικό σύστημα έτσι και τα συστήματα μηχανικού αερισμού συνοδεύονται και με κάποια μειονεκτήματα:

- Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας: Τα συστήματα μηχανικού αερισμού χρειάζονται ηλεκτρική ισχύ για να λειτουργήσουν, καθώς περιέχουν ανεμιστήρες, στρεφόμενα μέρη και άλλα μηχανολογικά εξαρτήματα. Όμως, αυτή η επιπλέον ισχύς επιβαρύνει τις αυξημένες ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου, απαιτώντας πιο προσεκτικό σχεδιασμό με στόχο την ελαχιστοποίηση απωλειών ενέργειας.
- Υψηλό αρχικό κόστος: Για την ομαλή λειτουργία ενός συστήματος μηχανικού αερισμού υπεισέρχεται το αρχικό κόστος εγκατάστασης αλλά και μετέπειτα τα κόστη συντήρησης και τεχνικής υποστήριξης. Τα τελευταία γίνονται για την αποφυγή φθοράς αυτών των συστημάτων όπως και την διατήρηση του βαθμού απόδοσής τους. Ωστόσο το υψηλό αρχικό κόστος αντισταθμίζεται μερικώς από το σχετικά χαμηλό κόστος κατανάλωσης ενέργειας, το οποίο είναι περίπου ίσο με $0,35Wh/m^3$ [10, 18].

3.3 Αερισμός μόνο με απαγωγή

Στο πεδίο των εφαρμογών μηχανικού αερισμού, ο αερισμός μόνο με απαγωγή μπορεί να αποτελέσει μια αναμφισβήτητα αποτελεσματική και ευρέως αποδεκτή προσέγγιση. Σε αυτήν την ενότητα αναλύονται τα πρότυπα, οι δυνατότητες, τα οφέλη και όποια εμπόδια στέκονται έναντι των συστημάτων αερισμού μόνο με απαγωγή.

3.3.1 Αρχή αερισμού μόνο με απαγωγή

Αυτό το είδος αερισμού λειτουργεί με βάση τον θεμελιώδη κανόνα χρήσης ανεμιστήρων εξάτμισης με στόχο την απομάκρυνση αέρα από τον εσωτερικό χώρο ενός κτιρίου, μέσω

της δημιουργίας μιας αρνητικής πίεσης. Η αρνητική πίεση επιτρέπει στο εξωτερικό ρεύμα να εισέλθει μέσω ανοιγμάτων (χαραμάδες κάτω από την πόρτα, ειδικά στόμια θυρών).

3.3.2 Πλεονεκτήματα αερισμού μόνο με απαγωγή

Τα συστήματα αερισμού μόνο με απαγωγή κατέχουν μερικά χαρακτηριστικά πλεονεκτήματα, τα οποία καταγράφονται παρακάτω:

- Ενεργειακή αποδοτικότητα: Λόγω της αμελητέας μηχανικής ενέργειας που απαιτείται, αυτά τα συστήματα καθίστανται αποδοτικά όσον αφορά την καταναλισκόμενη ενέργεια. Με αυτόν τρόπο, μειώνεται το ενεργειακό φορτίο ενός κτιρίου, το οποίο αφορά στον αερισμό, και συνεπώς οδηγείται κανείς σε συνολικά χαμηλότερο κόστος εργασίας.
- Απλότητα και σχέση κόστους – αποτελέσματος: Τα αναφερόμενα συστήματα μόνο με απαγωγή είναι σχετικά απλά ως προς τον σχεδιασμό τους και είναι οικονομικά αποδοτικά τόσο στην εγκατάσταση όσο και στην παρακολούθησή τους. Το συνολικό κόστος είναι περιορισμένο εξαιτίας της απουσίας επιπρόσθετων συσκευών όπως ανεμιστήρες τροφοδοσίας ή σύνθετους αγωγούς.
- Ποιότητα εισερχόμενου αέρα: Δεν συσσωρεύονται επιβλαβή αέρια στην εσωτερική ατμόσφαιρα μιας και το εισερχόμενο ρεύμα αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον τείνει να είναι υψηλότερης ποιότητας από το αντίστοιχο ρεύμα του εσωτερικού χώρου [10].

3.3.3 Περιορισμοί αερισμού μόνο με απαγωγή

Παρά τα πλεονεκτήματά τους, τα συστήματα αυτά συνοδεύονται και με κάποια προβλήματα, τα οποία αναφέρονται ως εξής:

- Απουσία ελέγχου, υπό την έννοια ότι τα συστήματα αυτά περιορίζουν την δυνατότητα επέμβασης ως προς τον όγκο αερισμού και το σχετικό ρεύμα αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον. Αυτό το γεγονός μπορεί να οδηγήσει σε διαφορετική ποιότητα αέρα και συνθήκες θερμικής άνεσης εντός του κτιρίου.
- Ισχυρή εξάρτηση από το κλίμα, δηλαδή επηρεάζεται σημαντικά από τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στο περιβάλλον. Σε ακραίες θερμοκρασίες, θερμές ή ψυχρές, το σύστημα ενδεχομένως να μην ανταποκρίνεται κατάλληλα και η απόδοση του να είναι αρκετά χαμηλή.
- Πιθανή παρουσία αλλεργιογόνων εξαιτίας των μη ελεγχόμενων ροών αέρα

3.3.4 Ζητήματα εφαρμογής

Ο αερισμός μόνο με απαγωγή ενδείκνυται για ορισμένες περιπτώσεις:

- ο Μονοκατοικίες: Σε αυτές τις οικίες, τα συστήματα αυτά αξιοποιούνται εξαιτίας της απλότητας τους και της σχέσης τιμής – ποιότητας και προσφέρουν συνεχή παροχή νέων ρευμάτων αέρα σε όλο τον χώρο.
- ο Εύκρατο κλίμα: Είναι ιδανικός σε περιοχές με ήπιο κλίμα, όπου εκεί διατηρείται πιο εύκολα η θερμική άνεση των εσωτερικών χώρων.
- ο Συμπληρωματικός αερισμός: Μπορεί να δράσει επικουρικά σε μεγάλα κτίρια με σύνθετα συστήματα αερισμού ώστε να εγδυθεί την μεταφορά ικανοποιητικού ρεύματος αέρα σε ορισμένες ζώνες.

3.4 Αερισμός μόνο με παροχή

Ανάμεσα στα διάφορα είδη μηχανικού αερισμού που αξιοποιούνται κατά τον σχεδιασμό ενός κτιρίου, εμφανίζεται και ο αερισμός μόνο με παροχή. Σε αυτήν την ενότητα αναλύονται οι αρχές, οι δυνατότητες, τα πλεονεκτήματα και οι αδυναμίες της συγκεκριμένης λύσης μηχανικού αερισμού.

3.4.1 Αρχές αερισμού μόνο με παροχή

Αυτά τα συστήματα αερισμού λειτουργούν με γνώμονα την αποτελεσματική είσοδο του εξωτερικού ρεύματος αέρα εντός του κτιρίου. Χρησιμοποιούνται ανεμιστήρες και αγωγοί για την παροχή του αέρα. Στηρίζεται στις παρακάτω αρχές:

- ο Δημιουργία θετικής πίεσης: Οι ανεμιστήρες τροφοδοσίας ρυθμίζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να το προωθούν το εξωτερικό ρεύμα μέσα στο κτίριο. Με αυτόν τον τρόπο, το νέο ρεύμα αέρα μεταφέρεται σε διάφορες ζώνες.
- ο Παροχή φιλτραρισμένου αέρα, ο οποίος έχει επεξεργαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να μην φέρει μαζί του σωματίδια, αλλεργιογόνα και επιβλαβή αέρια. Αυτή η προετοιμασία επιτρέπει στους εσωτερικούς χώρους να διαθέτουν μια αναβαθμισμένη ποιότητα αέρα.

3.4.2 Πλεονεκτήματα αερισμού μόνο με παροχή

Τα συστήματα εξαερισμού μόνο με παροχή διαθέτουν συγκεκριμένα πλεονεκτήματα:

- ο Επιτυχία ελέγχου και ακρίβειας, εφόσον αυτά τα συστήματα παρέχουν τη δυνατότητα ρύθμισης της παροχής αέρα, μεταφέρουν το ρεύμα αέρα και επιτυγχάνουν ικανοποιητικές συνθήκες στην εσωτερική ατμόσφαιρα. Αυτό το

πλεονέκτημα είναι υψίστης σημασίας σε περιοχές όπου η θερμική άνεση των διαμενόντων τίθεται σε προτεραιότητα.

- Προσαρμοστικότητα των συστημάτων αυτών μιας και μπορούν να πληρούν και να καλύψουν όλες τις απαραίτητες προϋποθέσεις και προδιαγραφές που τίθενται σε ένα κτίριο ανάλογα με το είδος, το μέγεθος και την εφαρμογή του. Επομένως συνιστά μια αξιόπιστη λύση για ένα ευρύ φάσμα περιπτώσεων.
- Έλεγχος θερμοκρασίας & stickness, αφού στα συγκεκριμένα συστήματα αερισμού μόνο με παροχή περιλαμβάνονται είτε θερμαντικά είτε ψυκτικά στοιχεία για να κατευθύνουν κατάλληλα το εξωτερικό ρεύμα αέρα. Συνεπώς, με αυτόν τον τρόπο μπορεί να υπερκαλυφθεί η θερμοκρασιακή διαφορά ώστε να επιτυγχάνεται μια σταθερή εσωτερική θερμοκρασία και ένα ικανοποιητικό επίπεδο θερμικής άνεσης.

3.4.3 Περιορισμοί αερισμού μόνο με παροχή

Κάποιες παραλείψεις αυτής της λύσης αερισμού παρατίθενται ως ακολούθως:

- Υψηλή κατανάλωση ενέργειας, αφού αξιοποιούνται σημαντικά ποσά ηλεκτρικής ισχύος, τα οποία απαιτούνται για την λειτουργία των ανεμιστήρων αλλά και όλων των υπόλοιπων μηχανολογικών εξαρτημένων. Με αυτόν τον τρόπο, διευρύνονται οι ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου. Γι' αυτούς τους λόγους, ο σχεδιασμός αερισμού του κτιρίου πρέπει να επικεντρώνεται στην ελαχιστοποίηση των καταναλισκόμενων ενεργειακών πόρων.
- Σχετικά μεγάλο κόστος κτήσης, που συμπεριλαμβάνει την αγορά αυτού του συστήματος μαζί με τα παρελκόμενα που συνοδεύεται όπως εργαλεία, αγωγοί και χειριστήρια. Ωστόσο, σε μακροπρόθεσμο ορίζοντα, αυτή η απόσβεση μπορεί να αποσβεστεί.
- Απαιτήσεις τεχνικής υποστήριξης ως προς την προβλεπτική αλλά και την τυπική συντήρηση που είναι απαραίτητη για την διασφάλιση της ομαλής εκτέλεσης του αναφερόμενου συστήματος μηχανικού αερισμού.

3.4.4 Ζητήματα εφαρμογής

Τα πλαίσια αερισμού μόνο για παροχή δύνανται να αποβούν κατάλληλα για πληθώρα εφαρμογών. Μια εξ αυτών αποτελούν τα εμπορικά κτίρια, στα οποία είναι αναγκαίος ο έλεγχος των συνθηκών του εσωτερικού χώρου, απαιτείται πολύ υψηλή ποιότητα αέρα εξαιτίας του υψηλού συγχρωτισμού. Τέτοια παραδείγματα κτιρίων είναι οι χώροι εργασίας, τα καταστήματα λιανικής και τα νοσοκομεία.

Ακόμη, τα προαναφερόμενα συστήματα αερισμού μπορούν να ανταποκριθούν σε υγρά κλίματα, δηλαδή σε περιπτώσεις που επικρατεί πολύ υψηλό ποσοστό υγρασίας, ώστε να λειτουργήσουν για σκοπούς αφύγρανσης. Τέλος, η συγκεκριμένα λειτουργία μπορεί να δράσει συμπληρωματικά με σκοπό την εξασφάλιση ικανοποιητικής παροχής σε κτίρια στα οποία ήδη είναι εγκατεστημένο ένα σύστημα μηχανικού αερισμού.

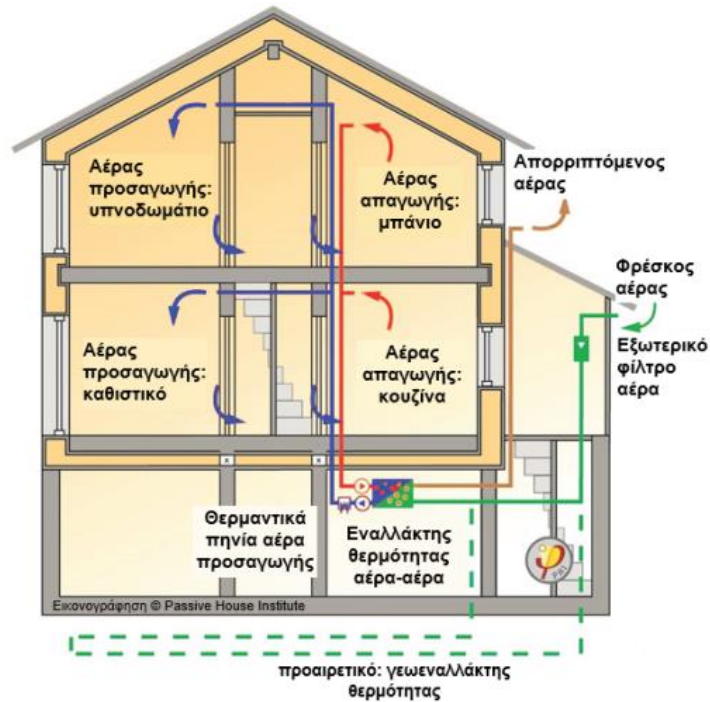
3.5 Ισορροπημένος Αερισμός

Πρόκειται για μια προηγμένη μέθοδο μηχανικού αερισμού που συνδυάζει και την καινοτόμο τεχνολογία της θερμής ανάκτησης. Όπως και στα προηγούμενα δύο είδη αερισμού, όμοια εξετάζονται οι βασικές αρχές αυτού του συστήματος αερισμού.

3.5.1 Αρχές ισορροπημένου αερισμού

Η παρούσα τεχνολογία αερισμού λειτουργεί με γνώμονα την θεμελιώδη αρχή της διατήρησης μιας αναλλοίωτης διαφοράς πίεσης στον εσωτερικό χώρο του κτιρίου. Το σύστημα αξιοποιεί ανεμιστήρες εξασθένισης (weakened) αλλά και εφοδιασμού (supply) με σκοπό την εγγύηση μιας ελεγχόμενης και προσαρμοσμένης ανταλλαγής εσωτερικών και εξωτερικών ρευμάτων αέρα. Σημρίζεται στα παρακάτω σημεία:

- Ισοδύναμη παροχή αέρα: Τα συστήματα ισορροπημένου αερισμού σχεδιάζονται με τέτοιον τρόπο ώστε να προσφέρουν ίσες ποσότητες όγκου αέρα, με αποτέλεσμα να διατηρείται σταθερή η πίεση εντός του κτιρίου.
- Ανάκτηση θερμότητας: Η μονάδα με τον ανεμιστήρα απαγωγής αποβάλλει τον αέρα, που περιέχει υγρασία, από τις ζώνες απαγωγής και ανακτά το μεγαλύτερο μέρος της θερμικής του ενέργειας μέσω της διέλευσης του από τον εναλλάκτη θερμότητας, προτού αυτός απορριφθεί στο εξωτερικό περιβάλλον.
- Παροχή φιλτραρισμένου αέρα: Την ίδια στιγμή με τον ανεμιστήρα προσαγωγής, γίνεται λήψη του φρέσκου αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον, ο οποίος φιλτράρεται και διέρχεται από τον εναλλάκτη θερμότητας. Έτσι, ανακτάται το φορτίο που άφησε ο απορριπτόμενος αέρας και ο φρέσκος αέρας οδηγείται στις ζώνες εισαγωγής [2, 10, 18].

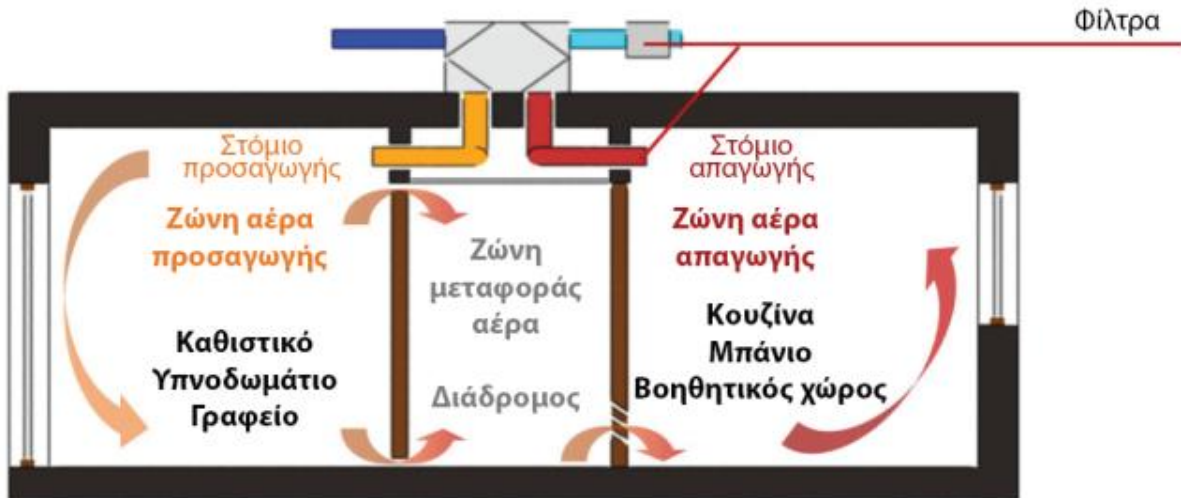


Εικόνα 29: Ζώνες μεταφοράς αέρα σε ένα τυπικό κτίριο [18]

3.5.2 Πλεονεκτήματα ισορροπημένου αερισμού

Τα συστήματα ισορροπημένου αερισμού διαθέτουν μια σειρά από συγκεκριμένα πλεονεκτήματα, όπως:

- Έλεγχος και ακρίβεια: Αυτή η τεχνολογία δίνει τη δυνατότητα ρύθμισης της παροχής αέρα και επιτυγχάνει ικανοποιητικές συνθήκες στην εσωτερική ατμόσφαιρα. Αυτό το πλεονέκτημα είναι υψίστης σημασίας σε περιοχές όπου η θερμική άνεση των διαμενόντων τίθεται σε προτεραιότητα.
- Υψηλή ενεργειακή απόδοση: Τα συγκεκριμένα συστήματα αερισμού, επειδή συνήθως συνοδεύονται με την τεχνολογία της θερμής ανάκτησης, δύνανται να περιορίσουν τις απώλειες ενέργειας με βαθμό ανάκτησης θερμότητας μεγαλύτερο ή ίσο του 75%. Όσο υψηλότερος είναι ο βαθμός απόδοσης του συστήματος τότε τόσο καλύτερη είναι η αεροστεγανότητα του κτιρίου και τόσο υψηλότερη η εξοικονόμηση ενέργειας.
- Ισορροπημένες ροές αέρα: Ακριβώς επειδή η παροχή του αέρα προσαγωγής είναι ίση με αυτή του αέρα απαγωγής, αποφεύγονται απώλειες από την υπερπίεση ή υποπίεση που θα προκαλούσε ένα διαφορετικό μηχανήμα. Επομένως, δεν δημιουργούνται ροές με μεγάλη θερμοκρασιακή διαφορά ως αποτέλεσμα των ψυχρών ή των θερμών αέριων μαζών που θα προκαλούνταν. Με όλους αυτούς τους τρόπους, αποκλείεται η δυσφορία εντός του κτιρίου.



Εικόνα 30: Απλοποιημένη οπτικοποίηση συστήματος αερισμού με ισορροπημένες ροές αέρα [18]

3.5.3 Μειονεκτήματα ισορροπημένου αερισμού

Αν και ο αερισμός με ισορροπημένες ροές παρουσιάζει κάποια ελκυστικά σημεία, υφίστανται και κάποια συγκεκριμένα μειονεκτήματα:

- Πολυπλοκότητα: Τα συγκεκριμένα συστήματα είναι ως επί το πλείστον αρκετά σύνθετα κατά τον σχεδιασμό, την εγκατάσταση, την λειτουργία, και την μεταφορά των ρευμάτων αέρα. Ενδεχομένως αυτό το στοιχείο να απαιτεί εξειδικευμένες γνώσεις.
- Υψηλό αρχικό κόστος, που περιλαμβάνει την αγορά αυτού του συστήματος μαζί με όλα τα υποσυστήματα τα οποία είναι απαραίτητα σε αυτό. Όμως, οι ενεργειακές ωφέλειες αντισταθμίζουν την τιμή αυτή σε βάθος χρόνου.
- Εξειδικευμένες απαιτήσεις συντήρησης, όπως για παράδειγμα λειτουργία της συσκευής για να προστατεύεται από τον παγετό ή μια διάταξη για την αποστράγγιση των συμπυκνωμάτων. Ακόμα, απαιτείται τακτική συντήρηση του φίλτρου, ώστε να μην μειωθεί ραγδαία η απόδοση του συστήματος.

3.5.4 Ζητήματα εφαρμογής

Τα συστήματα αερισμού με ισορροπημένες ροές αέρα ενδείκνυνται για πλήθος κτιριακών εφαρμογών, όπως αναγράφεται παρακάτω:

- Εμπορικά κτίρια: Σε αυτά είναι πολύ σημαντικό να μην δημιουργείται ούτε υποπίεση ούτε υπερπίεση, ώστε οι άνθρωποι εκεί να νιώθουν ευφορία, εφόσον οι επικρατούσες συνθήκες ελέγχονται με ακρίβεια.

- ο Κτίρια υψηλής ενεργειακής απόδοσης, στα οποία τίθεται προ των πυλών η εξοικονόμηση ενέργειας μέσω της καινοτόμου τεχνολογίας ανάκτησης θερμότητας
- ο Κτίρια με μεταβλητές απαιτήσεις: Σε αυτά τα κτήρια δεν είναι σταθερός ο αριθμός των ανθρώπων που διαμένουν, ούτε οι απαιτήσεις ποιότητας αέρα, ούτε οι προδιαγραφές θερμικής άνεσης. Επομένως τα συστήματα ισορροπημένου αερισμού επιτρέπουν μια ευελιξία ως προς τον μηχανικό αερισμό με ανάκτηση θερμότητας [10, 18].

3.6 Συστήματα αερισμού με ανάκτηση θερμότητας (HRV)

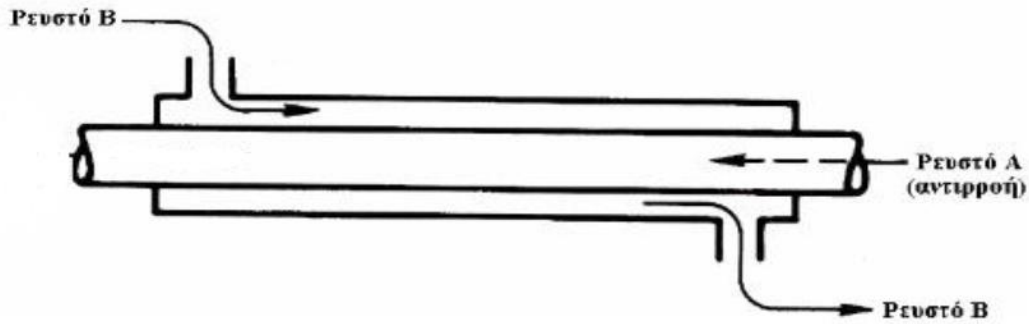
3.6.1 Εναλλάκτες θερμότητας

Οι εναλλάκτες θερμότητας διαδραματίζουν ενεργό ρόλο στα συστήματα αερισμού με ανάκτηση θερμότητας (Heat Recovery Ventilation - HRV), παρέχοντας διευρυμένες δυνατότητες για τη διπλή πρόκληση ως προς την απόσβεση των πόρων και τις συνθήκες θερμικής άνεσης και ποιότητας αέρα. Σε αυτήν την ενότητα αναλύονται οι αρχές λειτουργίας, οι δυνατότητες, τα είδη και η αποτελεσματικότητα των εναλλακτών θερμότητας στα συστήματα HRV και αναδεικνύεται η αξία τους στο θέμα του κτιριακού αερισμού.

3.6.1.1 Αρχές εναλλακτών θερμότητας σε συστήματα HRV

Ο εναλλάκτης θερμότητας, ο οποίος συνιστά την καρδιά ενός συστήματος HRV, λειτουργεί σύμφωνα με την θεμελιώδη αρχή της αξιοποίησης της εσωτερικής και της εξωτερικής διαφοράς θερμοκρασίας με σκοπό την ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ των εσωτερικών και των εξωτερικών αερίων. Ως αποτέλεσμα, μειώνεται έτσι η εσωτερική θερμοκρασία. Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά των εναλλακτών είναι τα εξής:

- ο Είδος ροής εναλλακτών: Στα συστήματα μηχανικού αερισμού με ανάκτηση θερμότητας (HRV) χρησιμοποιούνται κυρίως διατάξεις αντιρροής. Και αυτό γιατί παρουσιάζουν την μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα σε όρους μετάδοσης θερμότητας. Γενικά ένας εναλλάκτης σχεδιάζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να μεγιστοποιείται η επιφάνεια συναλλαγής των δύο ρευστών και συγχρόνως να ελαχιστοποιείται η αντίσταση στη ροή του ρευστού εντός του εναλλάκτη. Μια άλλη λιγότερο διαδεδομένη λύση είναι αυτή της διασταυρούμενης ροής (σταυροροής), όπου η ροή του ρευστού είναι κάθετη ως προς το επίπεδο ροής του δεύτερου ρευστού [10].



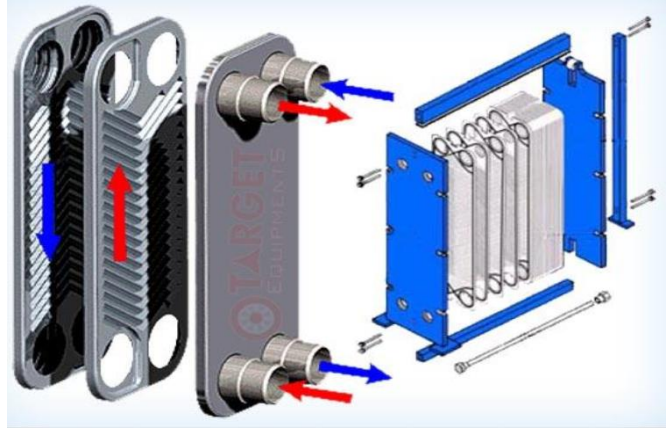
Εικόνα 31: Απλοποιημένο σχέδιο ανταλλαγής θερμότητας μεταξύ δύο ρευστών εντός ομοαξονικών σωλήνων σε έναν εναλλάκτη αντιρροής [19]

- ο Θερμικός βαθμός απόδοσης: Όσο πιο αποδοτικός είναι ένας εναλλάκτης θερμότητας τόσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό ανάκτησης θερμότητας που επιτυγχάνουν. Γι' αυτόν τον λόγο, αυτό το κριτήριο είναι ζωτικής σημασίας κατά την εκλογή ενός συστήματος HRV.
- ο Διαχωρισμός ρευμάτων: Σε αυτά τα συστήματα όπου εμπεριέχονται εναλλάκτες θερμότητας, τα δύο ρεύματα είναι απομονωμένα το ένα με το άλλο ώστε να αποφευχθεί η οποιαδήποτε ανάμειξη τους. Με αυτόν τον τρόπο, αποκλείεται οποιαδήποτε εισχώρηση επιβλαβών αερίων και μεγιστοποιείται η αποτελεσματική ανταλλαγή θερμότητας

3.6.1.2 Τύποι εναλλακτών θερμότητας σε συστήματα HRV

Η τεχνολογία μηχανικού αερισμού μπορεί να υποστηρίξει διάφορα είδη εναλλακτών θερμότητας υπό την έννοια της κατασκευαστικής δομής, όπως φαίνεται παρακάτω:

- ο Πλακοειδείς εναλλάκτες: Κατασκευάζονται από πολλές ανοξείδωτες λεπτές πλάκες που ενώνονται μεταξύ τους με συγκόλληση. Αυτές οι πλάκες διαθέτουν μεγάλη επιφάνεια και υφίσταται ένα πολύ μικρό διάκενο ανάμεσα τους. Διαμορφώνονται με τέτοιο τρόπο ώστε σε κάθε στρώση να κυκλοφορεί το ένα από τα δύο ρευστά. Με την κατασκευή αυτή, η επιφάνεια εναλλαγής είναι πολύ μεγάλη σε σχέση με το μέγεθος του εναλλάκτη, αφού τα δύο ρευστά ανταλλάσσουν θερμική ενέργεια σε όλες τις πλάκες ταυτόχρονα.



Εικόνα 32: Τα τέσσερα στόμια σύνδεσης του εμπρόσθιου μέρους του εναλλάκτη θερμότητας

- ο Σπειροειδείς εναλλάκτες: Τα ρευστά ρέουν σε σπειροειδείς επιφάνειες, οι οποίες διαχωρίζονται από υπερυψωμένες προεξοχές και στεγανώνονται με δύο πλάκες. Τα κανάλια απέχουν μεταξύ τους μια μικρή απόσταση. Εξαιτίας της ελικοειδούς τους μορφής, τα κανάλια έχουν μεγάλη διαδρομή και επομένως επιτυγχάνονται υψηλοί βαθμοί απόδοσης για μικρού μεγέθους εναλλάκτες.



Εικόνα 33: Εσωτερική δομή σπειροειδούς εναλλάκτη

- ο Ομοκεντρικοί εναλλάκτες: Πρόκειται για τον πιο απλό σχεδιασμό εναλλάκτη που συνίσταται από δύο ομοαξονικούς σωλήνες στους οποίους τα δύο ρευστά ρέουν εντός αυτών, συνήθως σε αντίθετες κατευθύνσεις (αντιρροής). Το ένα ρευστό ρέει διαμέσου του μικρότερου σωλήνα και το δεύτερο στο χώρο που παρεμβάλλεται μεταξύ των σωλήνων. Αφορά σε μια προσιτή οικονομικά λύση τόσο στην κατασκευή όσο και στην συντήρησή τους και αξιοποιούνται σε διατάξεις HRV μικρής κλίμακας [8, 10].

3.6.1.3 Κριτήρια εκλογής εναλλακτών θερμότητας σε συστήματα HRV

Το πόσο επαρκής είναι ένας εναλλάκτης θερμότητας σε συστήματα HRV είναι ζήτημα κρίσιμης σημασίας ώστε να επιτυγχάνονται οι στόχοι εξοικονόμησης ενέργειας. Στην παρακάτω λίστα παρατίθενται τα χαρακτηριστικά που επηρεάζουν περισσότερο την αποτελεσματικότητα ενός εναλλάκτη θερμότητας:

- ο Επιλογή υλικών κατασκευής: Προτιμώνται υλικά με υψηλή θερμική αγωγιμότητα όπως ο ανοξείδωτος χάλυβας, τα οποία ευνοούν την αποδοτική μετάδοση και εναλλαγή θερμότητας. Παράλληλα, όμως προνοεί κανείς ώστε αυτά τα υλικά να αντέχουν υπό μεγάλες θερμοκρασιακές διαφορές για να αποφεύγονται φαινόμενα διαστολής. Ο σχεδιασμός του εναλλάκτη είναι πολύ κρίσιμος για την αποδοτική του λειτουργία και παράλληλα λαμβάνεται μέριμνα ώστε να είναι όσο το δυνατόν μικρότερος σε μέγεθος και ελαφρύτερος.
- ο Ρυθμός ροής αέρα: Ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας αποτελεί τον πιο σημαντικό ενεργειακό παράγοντα κατά την επιλογή ενός εναλλάκτη. Η ταχύτητα με την οποία μεταφέρονται τα ρεύματα αέρα εντός συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος επηρεάζει την ικανότητα του εναλλάκτη να αποδώσει ωφέλιμο έργο.
- ο Κόστος: Οι οικονομικοί περιορισμοί διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην επιλογή των εναλλακτών. Οι ετοιμοπαράδοτοι εναλλάκτες κοστίζουν πολύ λιγότερο από τους κατά παραγγελία εναλλάκτες. Έτσι η κατασκευή του είναι αναγκαία, ιδιαίτερα όταν χρειάζεται να ενταχθεί σε μία ολοκληρωμένη διάταξη. Τα κόστη σχετίζονται με τα κόστη κτήσης, λειτουργίας και συντήρησης, ώστε η διάταξη να μην μεταφέρει ρύπους και επιβλαβή αέρια μαζί με το διακινούμενο μέσο [2, 3, 10].

3.6.2 Τύποι συστημάτων HRV

Στην παρούσα υποενότητα αναγράφονται τα χαρακτηριστικά των διαφόρων ειδών HRV, που είναι χρήσιμα για τον επιτυχημένο αερισμό των κτιρίων. Μία από τις κατηγορίες αυτές είναι τα συστήματα HRV διασταυρούμενης ροής, όπου τα δύο ρεύματα αέρα αναγκάζονται να εισέλθουν διασταυρωμένα στον εναλλάκτη θερμότητας και με αυτόν τον τρόπο να γίνει η συναλλαγή θερμότητας. Πρόκειται για μια απλή και οικονομικά αποδοτική λύση, που συνοδεύεται με σχετικά χαμηλό κόστος συντήρησης. Τα συστήματα HRV αντίθετης ροής είναι ένας από τους πιο αποτελεσματικούς τύπους, καθώς σε αυτήν την περίπτωση μεγιστοποιείται η ανταλλαγή θερμότητας ως ρεύμα αέρα στον εσωτερικό χώρο. Χαρακτηρίζονται από υψηλή ικανότητα ανάκτησης θερμότητας και όταν εγκαθίστανται σε σύγχρονα κτίρια συμβάλλουν στην απόδοση αυτών.



Εικόνα 34: Παράδειγμα εμπορικού συστήματος HRV αντίθετης ροής

Ακόμη, είναι διαθέσιμα τα περιστροφικά συστήματα HRV, τα οποία είναι συμπαγή και αρκετά αποτελεσματικά, αξιοποιώντας περιστρεφόμενα μέσα για την μετάδοση θερμότητας μεταξύ των δύο ρευμάτων. Εκτός από αυτά, τα συστήματα HRV περιστρεφόμενου πηνίου συνιστούν μία ακόμα εναλλακτική λύση, η οποία μπορεί να λειτουργήσει υπό συγκεκριμένες προϋποθέσεις ως προς την χρήση του κτιρίου. Ο θερμός αέρας κυκλοφορεί ανάμεσα στα μεμονωμένα πηνία για να μεγιστοποιηθεί το ποσό μετάδοσης θερμότητας.

3.6.3 Πλεονεκτήματα και περιορισμοί των συστημάτων HRV

Κάθε ένα από τα είδη συστημάτων HRV διαθέτει τα δικά του πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, σύμφωνα με τα παρακάτω σημεία:

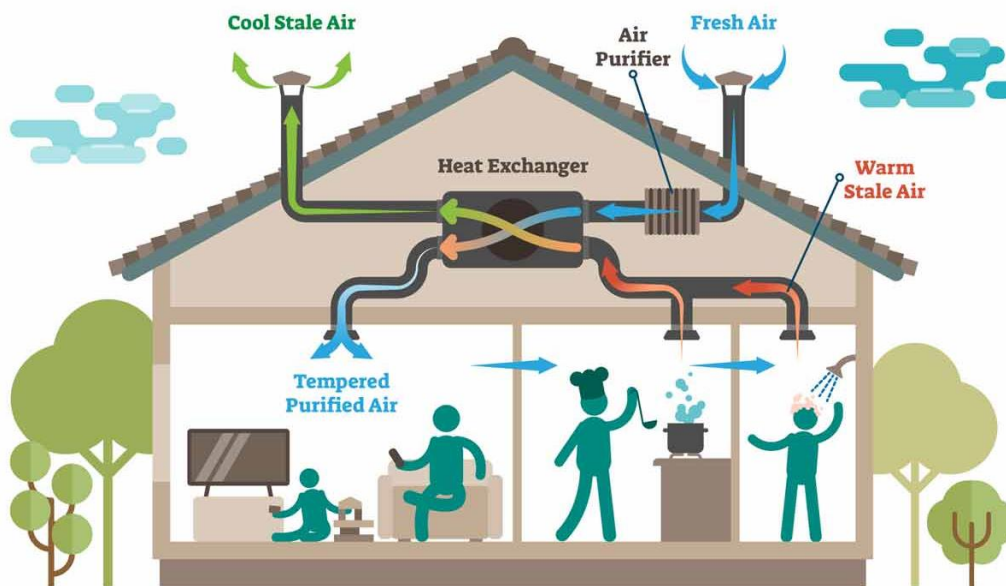
- Τα συστήματα HRV διασταυρούμενης ροής μπορούν να προσφέρουν ικανοποιητική παροχή και ευφορία στους διαμένοντες του κτιρίου, αλλά ο βαθμός ανάκτησης θερμότητας είναι αρκετά χαμηλότερος συγκριτικά με άλλα είδη.
- Τα συστήματα αντίθετης ροής HRV διαθέτουν υψηλό βαθμό ανάκτηση θερμότητας, αλλά είναι αρκετά σύνθετα και επιφέρουν σχετικά υψηλό κόστος κατά την αρχική τους εγκατάσταση.
- Τα περιστροφικά συστήματα HRV είναι συμπαγή και μπορούν να καλύψουν ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών. Όπως και να έχει, το κόστος κτήσης είναι σχετικά υψηλό.
- Τα συστήματα HRV περιστρεφόμενου πηνίου παρέχουν μεγάλο βαθμό ευελιξίας, αλλά υπάρχει κίνδυνος να αποβούν πολύπλοκα και απαιτούν σημαντική υποστήριξη [2, 3].

3.7 Ενσωμάτωση συστημάτων HRV σε κτίρια

Η ενσωμάτωση της τεχνολογίας μηχανικού αερισμού με ανάκτηση θερμότητας αποτελεί σημαντικό συστατικό για τον σχεδιασμό των σύγχρονων κτιρίων με γνώμονα την εξοικονόμηση ενέργειας και τη βιωσιμότητα. Σε αυτήν την ενότητα, αναλύονται οι διαδικασίες, τα οφέλη και οι προκλήσεις της ενσωμάτωσης των πλαισίων HRV σε διακριτά είδη κτιρίων, αναδεικνύοντας τον κρίσιμο ρόλο τους για την επιτυχία θερμικής άνεσης σε εσωτερικούς χώρους.

3.7.1 Αρχές ολοκλήρωσης συστήματος HRV

Η ενσωμάτωση εντός συστήματος μηχανικού αερισμού HRV με ανάκτηση θερμότητας στα κτίρια συνεπάγεται ότι αυτά αποτελούν ένα μέρος του ενιαίου πλαισίου HVAC (Heat, Ventilation & Air Conditioning) του κτιρίου. Τα πρότυπα της ενσωμάτωσης των συστημάτων HRV στοχεύουν στη βελτιστοποίηση της ποιότητας του αέρα των εσωτερικών χώρων και στην εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας. Αρχικά, σημαντικό ρόλο παίζει η τοποθέτηση των προαναφερόμενων μονάδων με σκοπό την προώθηση την ανταλλαγή του εσωτερικού και του εξωτερικού ρεύματος αέρα και την ανάκτηση θερμότητας. Η κατάλληλη ενσωμάτωση της συσκευής στο χώρο είναι πολύτιμη για την παραγωγική μεταφορά του αέρα και την θερμική άνεση. Σαφώς και το φιλτράρισμα αέρα επηρεάζει τον σχεδιασμό ενός τέτοιου συστήματος αλλά εγγυάται ότι ο νεοεισερχόμενος αέρας είναι απαλλαγμένος από επιβλαβή αέρια. Τέλος, ένα συμπαγές και ορθά σχεδιασμένο δίκτυο αεραγωγών περιορίζει τις απώλειες λόγω πίεσης και αντίστοιχα την κατανάλωση ισχύος κατά τη λειτουργία. Συγχρόνως, διευκολύνεται με αυτόν τον τρόπο η εγκατάστασή του [3, 4, 10].



Εικόνα 35: Ενσωμάτωση συστήματος HRV σε μια μονοκατοικία [7]

3.7.2 Στρατηγικές για την ενσωμάτωση των συστημάτων HRV

Η ενσωμάτωση των συστημάτων μηχανικού αερισμού με ανάκτηση θερμότητας στα κτίρια προϋποθέτει την συμπερίληψη των παρακάτω σημείων, ως εξής:

- Σωστός σχεδιασμός του κτιρίου, ώστε να ληφθεί υπόψιν το ότι χρειάζεται να δεσμευτεί ένας χώρος για την εγκατάσταση των κατάλληλων συσκευών μαζί με το δίκτυο των αγωγών αέρα.
- Ενσωμάτωση αερισμού του κτιρίου στο σχέδιο ψύξης και κλιματισμού ενός εσωτερικού χώρου, ώστε να λειτουργούν όλα αυτά μαζί αρμονικά και αποτελεσματικά με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας.
- Συστήματα αυτομάτου ελέγχου, τα οποία ρυθμίζουν την εύρυθμη πορεία αυτών των συστημάτων HRV. Με αυτόν τον τρόπο, μπορεί κανείς να έχει εικόνα ανά πάσα στιγμή για την μεταφορά των ρευμάτων αέρα και την αντίστοιχη μετάδοση θερμότητας.
- Τακτική συντήρηση, με αποτέλεσμα να προλαμβάνεται οποιαδήποτε εξέλιξη βλάβης και να διασφαλίζεται η ποιότητα λειτουργίας των συστημάτων HRV. Συνεπώς, μεγιστοποιείται η διάρκεια ζωής του [10].

3.7.3 Οφέλη και προκλήσεις από την ενσωμάτωση των συστημάτων HRV

Σαφώς, η ενσωμάτωση των συστημάτων μηχανικού αερισμού με ανάκτηση θερμότητας φέρει μαζί μια σειρά από ωφέλειες όπως την ενεργειακή αποδοτικότητα. Και αυτό γιατί αναβαθμίζεται ενεργειακά ένα κτίριο μετά την εγκατάσταση τέτοιων συσκευών μέσω της σημαντικής εξοικονόμησης ηλεκτρικής ενέργειας. Δευτερευόντως, ένα σύστημα HRV αποτελεί ένα σύστημα που εγγυάται υψηλή ποιότητα εσωτερικής ατμόσφαιρας, ελέγχου υγρασίας και αποφυγής της μούχλας μέσω του κατάλληλου φιλτραρίσματος. Αξίζει να ενσωματώνεται σε ένα κτίριο καθώς αναβαθμίζει την ευημερία των κατοίκων εντός αυτού. Ακόμη, επιτρέπει την επικράτηση μιας απρόσκοπτης θερμικής άνεσης εντός του κτιρίου, μιας και διατηρείται σταθερή η εσωτερική θερμοκρασία και ανανεώνεται διαρκώς ο αέρας. Τέλος, η ολοκλήρωση αυτών των συστημάτων HRV στον τομέα των δομικών κατασκευών συμβάλλει σε όρους βιωσιμότητας επιτρέποντας την επιτυχία μιας αιεφόρου ανάπτυξης στο πλαίσιο του οικολογικού σχεδιασμού και των παθητικών κτιρίων, τηρώντας όλα τα διεθνή πρότυπα και λαμβάνοντας αντίστοιχες πιστοποιήσεις.

Ωστόσο, πολλές είναι οι προκλήσεις που αναδύονται κατά την σύνδεση των συστημάτων HRV και τα κτίρια. Αρχικά, το κόστος κτήσης και εγκατάστασης είναι σχετικά υψηλό, λαμβάνοντας υπόψιν όλα τα επιμέρους τμήματα όπως το δίκτυο των αγωγών, των συστημάτων ΣΑΕ, των μετρητικών οργάνων και των σχεδιαστών – μελετητών. Επιπλέον, εμπεριέχεται και ο παράγοντας της πολυπλοκότητας λόγω της υψηλής και εξειδικευμένης

τεχνογνωσίας, της απαιτούμενης εμπειρίας και του συντονισμού με όλα τα στοιχεία θέρμανσης, ψύξης και κλιματισμού (HVAC) της κατοικίας. Η προληπτική αλλά και αναγκαία συντήρηση είναι και αυτή επιτακτική, ώστε να εξασφαλίζεται η απρόσκοπτη λειτουργία όλων των συστημάτων, η οποία επιδέχεται το ανάλογο κόστος και εξαρτάται πάρα πολλές φορές από τις κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής που βρίσκεται το κτήριο [10].

Κεφάλαιο 4 - Κλιματισμός κτιρίων

4.1. Ενεργειακή απόδοση κτιρίων

Ένα μείζον θέμα αυτή την εποχή αφορά στην κατανάλωση ενέργειας από κτιριακές μονάδες. Η κατανάλωση ενέργειας παρουσιάζει συνεχή αύξηση με σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και ειδικότερα στην εξάντληση των διαθέσιμων πόρων. Η εύρεση μεθόδων εξοικονόμησης ενέργειας αποκτά, πλέον, σημαντικό ρόλο στην αντιμετώπιση αυτών των επιπτώσεων, συμβάλλοντας με αυτόν τον τρόπο στην παγκόσμια οικονομία, στην κάλυψη των αναγκών της κοινωνίας και στην προστασία του περιβάλλοντος.

Στην Ελλάδα, σήμερα, οι κτιριακές μονάδες απορροφούν περίπου το 40% της συνολικής ενέργειας που καταναλώνεται στη χώρα. Επιπλέον, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε κτίρια, για θέρμανση και ψύξη (κλιματισμό), το φωτισμό και τις υπόλοιπες ηλεκτρικές συσκευές, αναμένεται να φτάσει και στο 65%. Τα κτίρια συμμετέχουν σε μεγάλο ποσοστό στην κατανάλωση ενέργειας και δη της ηλεκτρικής ενέργειας, με αποτέλεσμα την εκπομπή ρύπων CO₂ σε ποσοστό άνω του 40%. Το μεγαλύτερο ποσοστό ηλεκτρικών καταναλώσεων των κτιρίων αφορά στον κλιματισμό τους.

Ο κλιματισμός των κτιρίων, και ειδικότερα των βιομηχανικών και επαγγελματικών, είναι πολύ σημαντικός προκειμένου να εξασφαλίζονται συνθήκες που να ανταποκρίνονται κατάλληλα στις ανάγκες των εργαζομένων ή των κατοίκων για άνετη και υγιεινή διαβίωση στους χώρους εργασίας ή διαμονής. Ο έλεγχος της θερμοκρασίας, της υγρασίας, της κίνησης και καθαρότητας του αέρα και ο καθορισμός αυτών των παραμέτρων σε συγκεκριμένα όρια, επιτυγχάνεται από τα κατάλληλα συστήματα ψύξης-θέρμανσης, ύγρανσης-αφύγρανσης και αερισμού, τα οποία καταναλώνουν σημαντικά ποσά ενέργειας. Για αυτό το λόγο είναι μείζονος σημασίας η κατασκευή ενεργειακά αποδοτικών κτιρίων.

Στην Ελλάδα οι δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας στον κτιριακό τομέα είναι πολύ υψηλές και είναι εύκολα υλοποιήσιμες με την εφαρμογή κατάλληλων μέτρων. Επισημαίνεται ότι το 70% των ελληνικών κτιρίων δεν είναι θερμομονωμένα, ενώ ταυτόχρονα το μεγαλύτερο ποσοστό από αυτά χαρακτηρίζονται από κακή αεροστεγανότητα και ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό παλιάς τεχνολογίας (εξοπλισμός θέρμανσης, ψύξης, φωτισμού κ.ά.). Η σημερινή, υψηλής ενεργειακής απόδοσης τεχνολογία χρήσης και διαχείρισης ενέργειας μπορεί να συμβάλει ουσιαστικά στην εξοικονόμηση στα κτίρια, ενώ η χρήση συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ηλιακών συστημάτων, γεωθερμίας, βιομάζας κ.ά.) είναι πλέον ενεργειακά αποδοτικότερη και τεχνικοοικονομικά βιώσιμη στα κτίρια.

Ένα κτίριο καταναλώνει ενέργεια για θέρμανση - ψύξη - κλιματισμό, (ΘΨΚ), ζεστό νερό χρήσης (ZNX) και φωτισμό (εκτός της ηλεκτρικής ενέργειας που δαπανάται για την χρήση ηλεκτρικών συσκευών, π.χ. διαφόρων οικιακών συσκευών, ηλεκτρονικών υπολογιστών, μηχανημάτων στην βιομηχανία κ.α.). Η εξοικονόμηση ενέργειας σε ένα κτίριο

εξασφαλίζεται με την ποιότητα των ενεργειακών συστημάτων και την ορθή ενεργειακή διαχείριση, που περιλαμβάνει πολλές δραστηριότητες με στόχο τον καταρτισμό ενός ενεργειακά αποδοτικού κτιρίου.

Η εφαρμογή μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας σε κτίρια και βιομηχανίες, μπορεί να αποδώσει οικονομικά, λειτουργικά και περιβαλλοντικά οφέλη. Τα οικονομικά οφέλη συμβάλλουν στην μείωση των λειτουργικών εξόδων, τα λειτουργικά οφέλη βελτιώνουν τα επίπεδα άνεσης, ασφάλειας και αποδοτικότητας των εργαζομένων μιας βιομηχανίας ή των ενοίκων ενός κτιρίου και τα περιβαλλοντικά οφέλη εξασφαλίζουν την μείωση των εκπομπών των διαφόρων ρύπων και των ενεργειακών αναγκών σε εθνικό επίπεδο.

Ο υπολογισμός της ενεργειακής απόδοσης ενός κτιρίου ουσιαστικά είναι ο υπολογισμός της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας ανά τελική χρήση (ψύξη, θέρμανση, κλιματισμός, ζεστό νερό χρήσης, φωτισμός, ηλεκτρικές συσκευές), αλλά και αθροιστικά, και η σύγκριση αυτής τιμής με την αντίστοιχη κατανάλωση του κτιρίου αναφοράς, προκειμένου να καταταχθεί ενεργειακά το κτίριο. Ως κτίριο αναφοράς ορίζεται ένα απόλυτα όμοιο με το υπό μελέτη κτίριο. Έχει ίδια ακριβώς γεωμετρία και χρήση, ίδιο προσανατολισμό, βρίσκεται στην ίδια τοποθεσία, χαρακτηρίζεται από πανομοιότυπα δομικά χαρακτηριστικά. Η ενεργειακή κατάσταση ενός κτιρίου αποδίδει σε αυτό έναν ποιοτικό δείκτη ενεργειακής κατανάλωσης, ο οποίος επιτρέπει στον κάθε ένοικο ή γενικότερα χρήστη του κτιρίου να έχει μια γενική άποψη για την ποιότητα της κατασκευής του (από άποψη θερμομονώσεως αλλά και εφαρμογής «έξυπνων» ενεργειακών λύσεων) και των ηλεκτρομηχανολογικών του εγκαταστάσεων.

Το 2010 εκδόθηκε ο κανονισμός ενεργειακής απόδοσης κτιρίων, KENAK, στον οποίο αναφέρονται οι εθνικές προδιαγραφές για όλες τις παραμέτρους που απαιτούνται για τη διαδικασία υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων, ακολουθούνται μεθοδολογίες υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης ενός κτιρίου και παρουσιάζεται εν συντομία το πρόγραμμα TEE KENAK του τεχνικού επιμελητηρίου Ελλάδος (TEE), το οποίο αποτελεί χρήσιμο εργαλείο των μηχανικών για την εκπόνηση ενεργειακών μελετών.

4.2. Μετάδοση θερμότητας & Θερμική άνεση

Στους εσωτερικούς χώρους των κτιρίων είναι αναγκαίο να επικρατούν ικανοποιητικές συνθήκες, που να επιτρέπουν στους ενοίκους να ζουν άνετα και να πραγματοποιούν τις εργασίες τους. Οι ικανοποιητικές αυτές συνθήκες περιγράφονται από το φαινόμενο της θερμικής άνεσης. Για την επίτευξη των συνθηκών αυτών χρησιμοποιούνται συστήματα θέρμανσης και κλιματισμού (HVAC systems), τα οποία και καταναλώνουν σημαντικά ποσά ενέργειας. Για την εξοικονόμηση ενέργειας και χρημάτων από τη χρήση αυτών των συστημάτων είναι πολύ σημαντική η ύπαρξη ενός λειτουργικού κτιριακού κελύφους. Ως «θερμική άνεση» ορίζεται η νοητική διεργασία που αφορά στην κατάσταση εκείνη στην οποία ένας άνθρωπος μπορεί να εκφράσει την ικανοποίησή του σχετικά με τις επικρατούσες θερμικές συνθήκες [22].

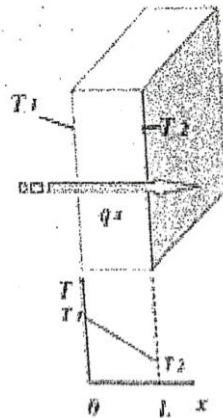
Από τον ορισμό της θερμικής άνεσης γίνεται αντιληπτό ότι πρόκειται για έναν υποκειμενικό δείκτη που δεν είναι δυνατό να είναι ίδιος για όλους τους ανθρώπους. Επιστημονικά, οι παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμική άνεση έχουν χωριστεί σε δύο κατηγορίες: α) ατομικούς και β) περιβαλλοντικούς.

- α) Ατομικοί παράγοντες. Πρόκειται για παραμέτρους που επηρεάζουν την αντίληψη του ατόμου για τη θερμική άνεση και έχουν σχέση με το ίδιο το άτομο και τις ιδιαιτερότητές του. Η ηλικία, η σωματική άσκηση, η κατάσταση της υγείας, ο ρουχισμός κ.ά. είναι παράμετροι που επιδρούν σημαντικά στο αίσθημα της θερμικής άνεσης. Άτομα μεγάλης ηλικίας συνήθως νοιώθουν άνετα όταν η θερμοκρασία χώρου είναι μεγαλύτερη. Το ίδιο συμβαίνει σε άτομα που νοσηλεύονται σε νοσοκομεία ενώ το ακριβώς αντίθετο, αλλά με παροδικό χαρακτήρα, σε εγκύους. Επίσης άτομα που αθλούνται θέλουν γενικά ηπιότερες θερμοκρασίες στους χώρους άθλησης. Αυτά είναι μερικά παραδείγματα που δείχνουν ότι ο άνθρωπος επιδρά σημαντικά στη διαμόρφωση του δείκτη θερμικής άνεσης.
- β) Περιβαλλοντικοί παράγοντες. Έχουν να κάνουν με τις εξωγενείς συνθήκες που επιδρούν και διαμορφώνουν την αντίληψη θερμικής άνεσης του ατόμου όπως η θερμοκρασία, οι ακτινοβολίες, η υγρασία και η ροή του αέρα. Πρόκειται για παράγοντες για τους οποίους η αντικειμενικότητα της φύσης τους και η καθολικότητα της επίδρασής τους στον άνθρωπο τους κάνει περισσότερο πρόσφορους να ελεγχθούν και να διαμορφώσουν το γενικό αίσθημα της θερμικής άνεσης. Αν για παράδειγμα η θερμοκρασία σε ένα δωμάτιο κατά το χειμώνα είναι 21 °C, τότε ικανοποιείται η γενική συνθήκη θερμικής άνεσης που ικανοποιεί τους περισσότερους ανθρώπους. Φυσικά είναι δυνατό να επέμβουμε με τεχνικά μέσα προκειμένου να διαμορφώσουμε τους περιβαλλοντικούς παράγοντες.

Ο άνθρωπος λειτουργεί όπως μία θερμική μηχανή. Το ανθρώπινο σώμα καταναλώνει ουσίες που λαμβάνει μέσω της τροφής και με τη χημική διαδικασία της καύσης, χρησιμοποιώντας το ατμοσφαιρικό οξυγόνο, παράγει θερμότητα. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται μεταβολισμός και είναι απαραίτητη για τη διατήρηση της ζωής. Η θερμική ενέργεια που παράγεται αυξάνει τη θερμοκρασία του ανθρώπινου σώματος στους

36.6οC και τη διατηρεί εκεί. Το ανθρώπινο σώμα διαθέτει διάφορους μηχανισμούς που δρουν προς εξισορρόπηση στη μεταβολή της θερμοκρασίας διατηρώντας τη στο σωστό επίπεδο, όπως ακριβώς επιτυγχάνει και ο κινητήρας του αυτοκινήτου μέσω του ψυγείου του. Το σώμα, λοιπόν, παράγει θερμότητα και οι διάφοροι μηχανισμοί αναλαμβάνουν να την αποβάλλουν στο περιβάλλον, ώστε η τελική του θερμοκρασία να παραμένει πάντα η ίδια. Υπάρχουν τρεις μηχανισμοί μεταφοράς της θερμότητας από ένα σώμα: η αγωγή, η συναγωγή και η ακτινοβολία. Το ανθρώπινο σώμα χρησιμοποιεί και τους τρεις τρόπους για να αποβάλλει τη θερμότητα προς το περιβάλλον που συνήθως βρίσκεται σε χαμηλότερη θερμοκρασία από αυτό.

- Αγωγή:** Η μετάδοση θερμότητας με αγωγή λαμβάνει χώρα όταν υπάρχει θερμοκρασιακή διαφορά μέσα σε ένα σώμα στερεό, υγρό ή αέριο, χωρίς να συνοδεύεται από αλλαγή φάσης καθώς και στην περίπτωση δύο σωμάτων που βρίσκονται σε απόλυτη επαφή χωρίς σχετική κίνηση. Στα στερεά σώματα, η μετάδοση της θερμότητας πραγματοποιείται είτε μέσω μοριακών ταλαντώσεων είτε μέσω ελεύθερων ηλεκτρονίων. Στα υγρά σώματα, η ύπαρξη δυνάμεων μεταξύ των μορίων τους επιδρά στην κίνησή τους και συνεπώς στη μετάδοση θερμότητας. Στα αέρια σώματα η κινητική ενέργεια των μορίων αυξάνεται όταν αυτά συγκρούονται με μόρια που προέρχονται από περιοχές υψηλότερης θερμοκρασίας του σώματος και με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η μετάδοση θερμότητας. Στην περίπτωση των αερίων σωμάτων, η μετάδοση θερμότητας εξαρτάται και από την πίεση αφού αυτή επιδρά στην κινητικότητα των μορίων τους. Είναι φανερό ότι η μετάδοση θερμότητας με αγωγή στα υγρά και στα αέρια σώματα υφίσταται μόνο σε λεπτά στρώματα αυτών, αφού σε παχύτερα στρώματα λαμβάνουν χώρα μακροσκοπικές κινήσεις των μορίων και ατόμων τους οπότε εμφανίζονται φαινόμενα συναγωγής.



Εικόνα 36: Μονοδιάστατη αγωγή θερμότητας σε επίπεδο στερεό σώμα [24]

Η γνωστή εξίσωση του Fourier, που περιγράφει τη θερμορροή που περνά ανά μονάδα χρόνου από τη στοιχειώδη επιφάνεια ισότροπου σώματος, σε στερεό επίπεδο σώμα, στο οποίο λαμβάνει χώρα μονοδιάστατη αγωγή θερμότητας παράλληλα προς τον άξονα x στη μονάδα του χρόνου δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$q_x = -k \cdot \frac{dT}{dx} \quad (2)$$

Η πυκνότητα παροχής θερμότητας q_x [W/m²] είναι κάθετη στον άξονα x όπως και η επιφάνεια στην οποία λαμβάνει χώρα η μετάδοση θερμότητας. Όπως φαίνεται και από τη Σχέση (4), η πυκνότητα παροχής θερμότητας εξαρτάται από την κλίση της θερμοκρασίας και το συντελεστή k [W/m·K], που ονομάζεται ειδική θερμική αγωγιμότητα και προσδιορίζεται από τις ιδιότητες του σώματος. Το αρνητικό πρόσημο υποδεικνύει την αντίστροφη μεταβολή των μεγεθών της θερμοκρασίας T και του μήκους x . Στην απλή περίπτωση η κατανομή της θερμοκρασίας στο επίπεδο σώμα είναι γραμμική. Οπότε η Σχέση (1) μετασχηματίζεται ως:

$$q_x = k \cdot \frac{T_1 - T_2}{L} = k \cdot \frac{\Delta T}{L} \quad (3)$$

Οι θερμοκρασίες T_1 και T_2 αναφέρονται στις θέσεις 1, 2 του στερεού επιπέδου σώματος και L [m] είναι το πάχος αυτού. Με δεδομένη την κάθετη επιφάνεια στην οποία λαμβάνει χώρα η μετάδοση της θερμότητας A [m²], το ρεύμα θερμότητας Q_x [W] δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$Q_x = A \cdot q_x \quad (4)$$

- **Συναγωγή:** Μετάδοση θερμότητας με συναγωγή συμβαίνει μεταξύ της επιφάνειας ενός στερεού σώματος και ενός ρευστού (υγρού ή αέριου σώματος) που έρχονται σε επαφή και παρουσιάζουν θερμοκρασιακή διαφορά. Η μετάδοση θερμότητας με συναγωγή είναι μεγαλύτερη κοντά στην επιφάνεια επαφής των δύο σωμάτων όπου η ταχύτητα του ρευστού είναι χαμηλή, ενώ στα σημεία όπου η ταχύτητα του ρευστού μηδενίζεται η μετάδοση θερμότητας γίνεται με αγωγή. Όταν η κίνηση του ρευστού οφείλεται σε εξωτερικά αίτια π.χ. έναν ανεμιστήρα (fan), η συναγωγή χαρακτηρίζεται ως εξαναγκασμένη ενώ, όταν οφείλεται σε διαφορές πυκνοτήτων του ρευστού λόγω θερμοκρασιακών διαφορών (π.χ. ο αέρας ενός δωματίου στο οποίο λειτουργεί θερμαντικό σώμα) χαρακτηρίζεται ως ελεύθερη ή φυσική.

Χαρακτηριστική σχέση για τον υπολογισμό της πυκνότητας παροχής θερμότητας q [W/m²] μέσω συναγωγής είναι η σχέση Newton:

$$q = h \cdot (T_s - T_\infty) \quad (5)$$

Η πυκνότητα παροχής θερμότητας είναι ανάλογη της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ της επιφάνειας του στερεού σώματος T_s και του ρευστού σώματος σε σημείο το οποίο δεν επηρεάζεται πλέον από τη θερμοκρασία του στερεού T_∞ . Ο συντελεστής h [W/m²·K] ονομάζεται ειδική συναγωγιμότητα και εξαρτάται από τη γεωμετρία της επιφάνειας, το είδος του ρευστού και της ροής του. Η ειδική συναγωγιμότητα είναι συνάρτηση της ειδικής θερμικής αγωγιμότητας, της ταχύτητας, του δυναμικού ιξώδους, της πυκνότητας

και της ειδικής θερμοχωρητικότητας υπό σταθερή πίεση του ρευστού, καθώς και των γεωμετρικών συνθηκών [24].

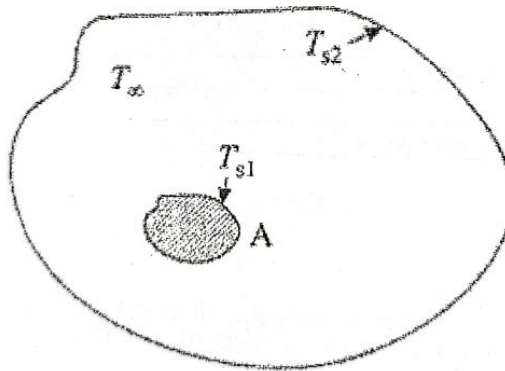
- **Ακτινοβολία:** Η μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία γίνεται μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Βασίζεται στην ικανότητα αρκετών σωμάτων να απορροφούν μέρος της ακτινοβολίας που δέχονται και να την επανεκπέμπουν. Σε αντίθεση με τους προαναφερθέντες τρόπους μετάδοσης θερμότητας με αγωγή και συναγωγή, στην ακτινοβολία δεν απαιτείται η ύπαρξη υλικού μέσου για να πραγματοποιηθεί η μετάδοση θερμότητας, η οποία ενισχύεται στο κενό.

Η πυκνότητα παροχής θερμότητας q [W/m^2] που ακτινοβολείται από ένα σώμα δίνεται από τη σχέση:

$$q = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_s^4 \quad (6)$$

Όπου ε είναι ο συντελεστής εκπομπής του σώματος, που κυμαίνεται από 0 έως 1 και

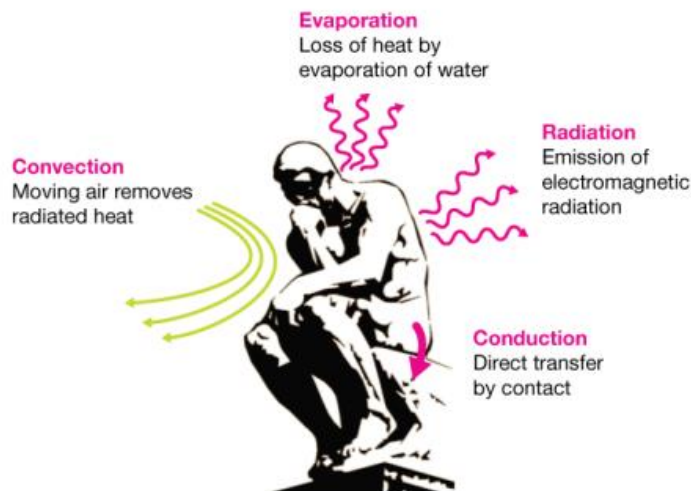
$\sigma = 5.6697 \cdot 10^{-8}$ [$W/m^2 \cdot K^4$] η σταθερά Stefan – Boltzmann και T_s [K] η θερμοκρασία του σώματος.



Εικόνα 37: Μετάδοση θερμότητας μεταξύ δύο σωμάτων όπου το ένα περιβάλλει το άλλο με συναγωγή και ακτινοβολία [24]

Το ολικό ρεύμα θερμότητας Q [W] υπολογίζεται ως το άθροισμα της μετάδοσης θερμότητας με συναγωγή από το μικρό στερεό σώμα θερμοκρασίας T_{s1} στο αέριο θερμοκρασίας T_{∞} και της μετάδοσης θερμότητας με ακτινοβολία από το μικρό στερεό σώμα θερμοκρασίας T_{s1} στο μεγάλο θερμοκρασίας T_{s2} .

$$Q = Q_{conv} + Q_{rad} = hA(T_{s1} - T_{\infty}) + \varepsilon A \sigma (T_{s1}^4 - T_{s2}^4) \quad (7)$$

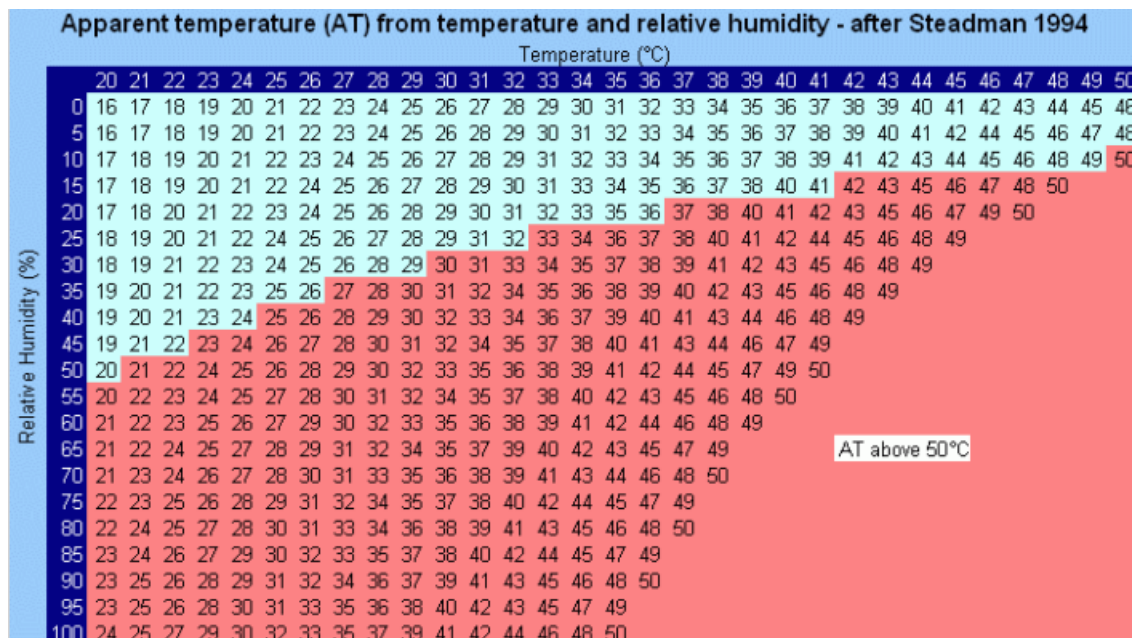


Εικόνα 38: Μεταφορά θερμότητας στον άνθρωπο [27]

Κάθε τρόπος μεταφοράς από τους παραπάνω μπορεί να δρα και αντίστροφα μεταφέροντας ενέργεια από το περιβάλλον προς τον άνθρωπο. Η διαδικασία είναι αμφίδρομη και εκτελείται συνεχώς και προς τις δυο κατευθύνσεις. Ο ανθρώπινος οργανισμός ενεργοποιεί διάφορους μηχανισμούς μεγιστοποίησης ή ελαχιστοποίησης της αποβολής θερμότητας ανάλογα με το εάν απαιτείται να δροσιστεί ή να ζεσταθεί. Ο γνωστότερος, τέτοιος, μηχανισμός είναι η εφίδρωση, κατά την οποία ο ιδρώτας που ρέει μέσω των πόρων του δέρματος στην επιδερμίδα εξατμίζεται και συνεπώς ψύχει το σώμα. Η εξατμική του ιδρώτα είναι ισχυρός μηχανισμός αποβολής θερμότητας. Αντίθετα, όταν το σώμα αντιληφθεί ότι χάνει περισσότερη θερμότητα από όση πρέπει, ενεργοποιεί μηχανισμούς περιορισμού της απώλειας. Συστέλλει για παράδειγμα τα αγγεία των άκρων για να περιορίσει σε αυτά τη ροή του θερμού αίματος και να διατηρήσει ζεστό το υπόλοιπο σώμα και ενεργές τις κρίσιμες λειτουργίες του.

Φυσικά υπάρχουν και περιβαλλοντικοί παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν και συνεκτιμώνται από τον ανθρώπινο οργανισμό στο σχηματισμό του αισθήματος θερμικής άνεσης. Αυτοί είναι οι εξής: θερμοκρασία του αέρα, θερμοκρασία σωμάτων και επιφανειών, ταχύτητα αέρα και υγρασία. Ιδιαίτερα σημαντικός παράγοντας, πέραν της θερμοκρασίας του αέρα, είναι η υγρασία. Ατμοσφαιρική υγρασία είναι η ποσότητα των υδρατμών που βρίσκεται σε κάποιο όγκο ατμοσφαιρικού αέρα. Με άλλα λόγια το μείγμα των ατμοσφαιρικών αερίων όπως είναι ευρέως γνωστό (άζωτο, οξυγόνο κλπ.) περιέχει και κάποια ποσότητα νερού υπό τη μορφή υδρατμών. Όταν κάποιος αναφέρεται, λοιπόν, στην ατμοσφαιρική υγρασία και συγκεκριμένα στην απόλυτη υγρασία εννοεί την ποσότητα αυτού του νερού που βρίσκεται στον αέρα. Ο αέρας όμως δεν μπορεί να συγκρατήσει απεριόριστα μεγάλη ποσότητα υδρατμών. Έχει οριστεί ένα χρησιμότερο μέγεθος, η σχετική υγρασία, η οποία πληροφορεί για το ποσοστό των υδρατμών του αέρα σε σχέση με το μέγιστο που θα μπορούσε να έχει ο αέρας. Σε αυτό το σημείο εισάγεται ο όρος φαινόμενη θερμοκρασία. Η φαινόμενη θερμοκρασία συμπεριλαμβάνει όλες τις αντικειμενικές παραμέτρους που επηρεάζουν το ανθρώπινο αίσθημα της θερμικής άνεσης και προσεγγίζει καλύτερα το πώς αισθάνεται κάποιος. Το ενδιαφέρον είναι ότι η φαινόμενη θερμοκρασία ως συνισταμένη μετρήσιμων μεγεθών όπως η θερμοκρασία, η υγρασία κ.α. μπορεί να δώσει το ίδιο αποτέλεσμα ως ανθρώπινη αίσθηση με

διαφορετικούς συνδυασμούς των μεγεθών αυτών. Στην Εικόνα 39 φαίνεται το πώς επηρεάζει η υγρασία τη φαινόμενη θερμοκρασία. Για παράδειγμα είναι φανερό ότι σε θερμοκρασία αέρα 22°C και για ποσοστό υδρατμών ίσο με 50%, η φαινόμενη θερμοκρασία ισούται με 22°C, ενώ για την ίδια θερμοκρασία αέρα και ποσοστό υδρατμών ίσο με 70%, η φαινόμενη θερμοκρασία ισούται με 24°C.



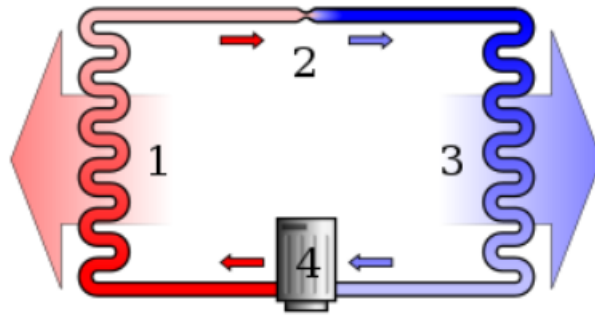
Εικόνα 39: Σχέση φαινόμενης θερμοκρασίας – υγρασίας [27]

4.3 Αντλίες Θερμότητας A/Θ

4.3.1. Εισαγωγή

Ως αντλία θερμότητας ορίζεται μία διάταξη-συσκευή, η οποία επιτρέπει τη μεταφορά θερμικής ενέργειας από έναν χώρο σε έναν άλλο, είτε αυτό αφορά σε θέρμανση είτε σε ψύξη. Είναι γνωστό ότι η θερμότητα ρέει φυσικά από το θερμό προς το ψυχρό σώμα, δηλαδή από το χώρο υψηλότερης προς το χώρο χαμηλότερης θερμοκρασίας. Η αντλία θερμότητας, ως σύστημα, έχει την ικανότητα να μεταφέρει θερμότητα αντίθετα προς τη φυσική ροή, για αυτό το λόγο και χρειάζεται ενέργεια για να λειτουργήσει. Το μεγάλο πλεονέκτημα τέτοιων συστημάτων είναι ότι μπορούν να λειτουργήσουν με υψηλές αποδόσεις, σε ένα μεγάλο θερμοκρασιακό εύρος, τόσο για θέρμανση όσο και για ψύξη. Φυσικά, όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ ενός εσωτερικού χώρου που κλιματίζεται και του εξωτερικού περιβάλλοντος, τόσο μειώνονται οι επιδόσεις του συστήματος.

Η αρχή λειτουργίας των αντλιών θερμότητας βασίζεται στον ψυκτικό κύκλο, δηλαδή σε έναν συνεχή ψυκτικό κύκλο εκτόνωσης και συμπίεσης ενός ρευστού (ψυκτικού μέσου), μεταφέροντας θερμότητα από το περιβάλλον σε έναν χώρο και αντίστροφα.



Εικόνα 40: Ψυκτικός κύκλος [28]

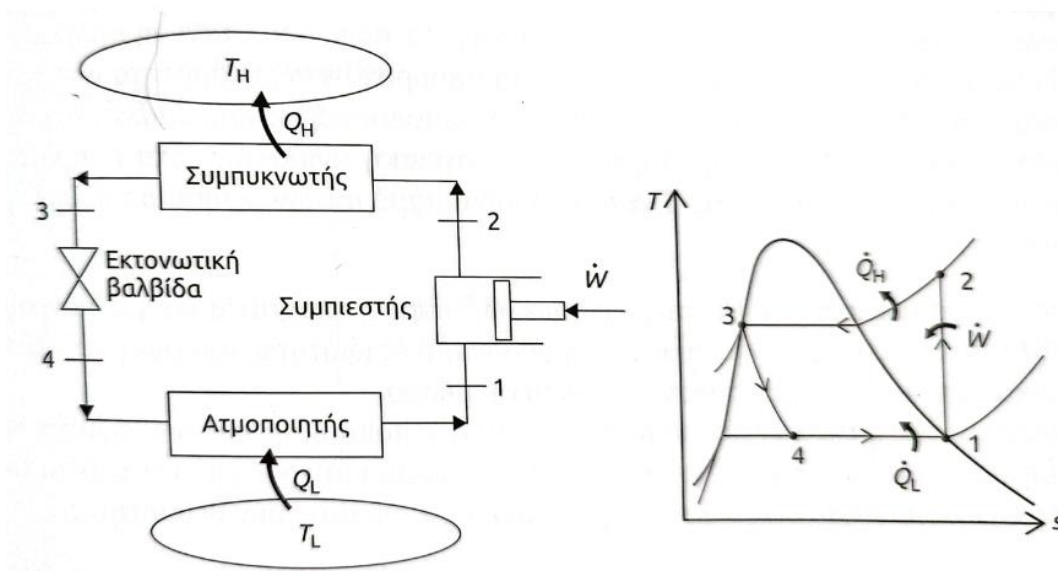
4.3.2. Βασικά δομικά μέρη

Τα βασικά δομικά μέρη μιας αντλίας θερμότητας είναι τα εξής:

- **Ατμοποιητής:** είναι ένας εναλλάκτης θερμότητας για την παραγωγή ψύξης, εντός του οποίου λαμβάνει χώρα η ατμοποίηση του ψυκτικού μέσου υπό χαμηλή θερμοκρασία, γεγονός που οδηγεί σε απορρόφηση θερμότητας από το ψυκτικό μέσο.
- **Γραμμή αναρρόφησης:** είναι ο σωλήνας που συνδέει τον ατμοποιητή με το συμπιεστή. Αφού απορροφήσει θερμότητα στον ατμοποιητή, το ψυκτικό μέσο οδηγείται μέσω της γραμμής αναρρόφησης (suction line), συνήθως σε κατάσταση κορεσμένου ατμού, στο συμπιεστή.
- **Συμπιεστής:** η συσκευή αυτή αποτελεί «σύνορο» μεταξύ της περιοχής χαμηλής και της περιοχής υψηλής πίεσης του κύκλου. Πραγματοποιεί διπλή εργασία, την αναρρόφηση των ατμών από τον ατμοποιητή και τη συμπίεση των ατμών χαμηλής πίεσης σε μικρότερο όγκο, ώστε να παραχθεί υπέρθερμος ατμός υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας [17].
- **Γραμμή κατάθλιψης:** αυτός ο σωλήνας συνδέει το συμπιεστή με το συμπυκνωτή. Αφού ο συμπιεστής μετατρέψει το ψυκτικό μέσο σε ατμό υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας, η γραμμή κατάθλιψης (hot gas discharge line) διοχετεύει το ψυκτικό μέσο προς το συμπυκνωτή [17].
- **Συμπυκνωτής:** είναι ένας εναλλάκτης θερμότητας, όπως και ο ατμοποιητής, με τη διαφορά ότι ο συμπυκνωτής αποσκοπεί στην απόρριψη θερμότητας (και όχι στην απορρόφηση θερμότητας όπως ο ατμοποιητής), που είναι η σημαντική διαφορά μεταξύ τους. Στο συμπυκνωτή προκαλείται αλλαγή φάσης του υπέρθερμου ατμού σε κορεσμένο υγρό.
- **Συμπληρωματική ηλεκτρική αντίσταση:** αυξάνει τη θερμική απόδοση του συστήματος. Η λειτουργία της συνίσταται στο να αποτρέπει την ψύξη του ρευστού σε χαμηλές θερμοκρασίες.

- **Τετράοδη βαλβίδα:** αποτελεί τον μηχανισμό αντιστροφής του συστήματος από θέρμανση σε ψύξη και αντίστροφα, ανάλογα με τις ανάγκες του κλιματιζόμενου χώρου.
- **Γραμμή υγρού:** είναι ο σωλήνας που συνδέει το συμπυκνωτή με την εκτονωτική βαλβίδα. Μόνο υγρή φάση επιτρέπεται να διέρχεται από τη γραμμή υγρού (liquid line), η οποία χαρακτηρίζεται από σχετικά υψηλές θερμοκρασίες, αφού το ψυκτικό μέσο είναι ακόμα υπό υψηλή πίεση.

Εκτός από τα παραπάνω, όπως είναι λογικό, υπάρχουν και αυτοματισμοί που είναι υπεύθυνοι για την ορθή λειτουργία του συστήματος.

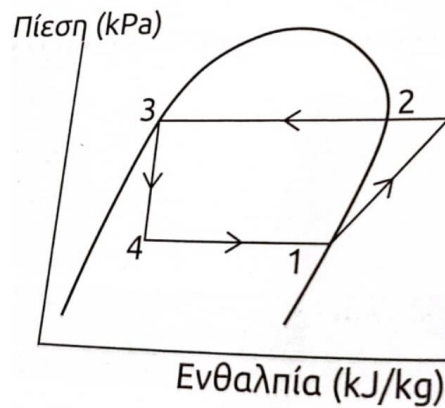


Εικόνα 41: Ιδανικός ψυκτικός κύκλος και διάγραμμα T-s [29]

4.3.3. Αρχή λειτουργίας A/Θ

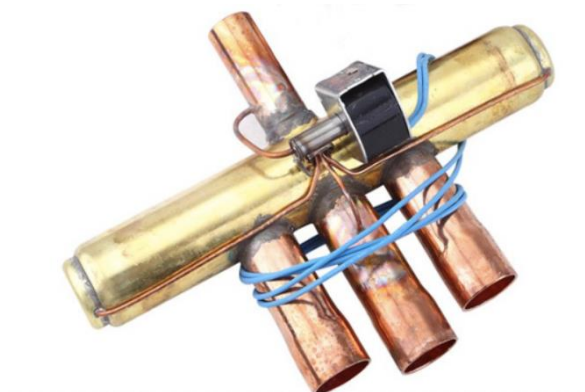
Η αρχή λειτουργίας μιας A/Θ είναι η ίδια που εφαρμόζεται σε ψυγεία και κλιματιστικές συσκευές. Η λειτουργία τους βασίζεται στον ψυκτικό κύκλο, όπως προαναφέρθηκε, ο οποίος είναι ένας αένας κύκλος εκτόνωσης και συμπίεσης ενός ρευστού (εργαζόμενο μέσο). Το ρευστό ρέει μέσα σε σωλήνες και στο σημείο 1 είναι κορεσμένος ατμός πριν την είσοδο στο συμπιεστή. Ο συμπιεστής αυξάνει την πίεση και κατ' επέκταση τη θερμοκρασία του εργαζόμενου μέσου. Στην έξοδο του συμπιεστή (σημείο 2) το εργαζόμενο μέσο βγαίνει ως υπέρθερμος ατμός και κατευθύνεται στο συμπυκνωτή. Στο συμπυκνωτή αποβάλλει τη θερμότητα που έδωσε ο συμπιεστής κατά τη συμπίεση και εξέρχεται σε κατάσταση κορεσμένου υγρού στο σημείο 3. Στη συνέχεια το ψυκτικό μέσο εκτονώνεται στην εκτονωτική βαλβίδα με αποτέλεσμα την πτώση της πίεσης και της θερμοκρασίας του (μεταβολή 3 → 4). Τέλος, από τη βαλβίδα στραγγαλισμού (ή εκτονωτική βαλβίδα) το διφασικό μείγμα χαμηλής πίεσης οδηγείται στον ατμοποιητή, όπου ατμοποιείται απορροφώντας θερμότητα για να παράξει το ψυκτικό αποτέλεσμα (μεταβολή 4 → 1). Η

περιγραφή του ψυκτικού κύκλου που προηγήθηκε αφορά στο θερμοδυναμικό διάγραμμα της Εικόνας 42.



Εικόνα 42: Θεωρητικό θερμοδυναμικό διάγραμμα ψυκτικού κύκλου για αντλίες θερμότητας πίεσης-ενθαλπίας (logP-h) [29]

Μια αντλία θερμότητας λειτουργεί είτε για θέρμανση είτε για ψύξη. Σε κάθε περίπτωση ακολουθεί τη λειτουργία του ψυκτικού κύκλου. Το μόνο που αντιστρέφεται στις δύο περιπτώσεις είναι ο ρόλος του ατμοποιητή με εκείνον του συμπυκνωτή. Το καλοκαίρι ο ατμοποιητής είναι τοποθετημένος στον ψυχόμενο χώρο εφόσον αντλεί – απορροφά θερμότητα από αυτόν και τον ψύχει. Το χειμώνα, αντίστροφα, θα έπρεπε ο ατμοποιητής να τοποθετηθεί στο εξωτερικό περιβάλλον ώστε να απορροφήσει θερμότητα την οποία θα απέβαλε μέσω του συμπυκνωτή στον θερμαινόμενο σε αυτή την περίπτωση χώρο. Αντί λοιπόν να μεταφέρονται οι εναλλάκτες του ατμοποιητή και του συμπυκνωτή από τον κλιματιζόμενο χώρο στο περιβάλλον και αντίστροφα, η ύπαρξη της τετράοδης βαλβίδας επιτρέπει την αντιστροφή της ροής του ψυκτικού μέσου, διατηρώντας φυσικά τον ψυκτικό κύκλο, στον οποίο συνεχίζεται κανονικά η προσφορά μηχανικού έργου για τη συμπίεση των ατμών του ψυκτικού μέσου [6].



Εικόνα 43: Τετράοδη βαλβίδα για αντιστροφή της ροής σε Α/Θ [30]

4.3.4. Απόδοση A/Θ

Η λειτουργία μιας αντλίας θερμότητας χαρακτηρίζεται από περισσότερους από έναν βαθμούς απόδοσης, καθένας εκ των οποίων επικεντρώνεται σε κάτι διαφορετικό. Ο κάθε βαθμός απόδοσης της αντλίας θερμότητας είναι διαφορετικός στη θέρμανση και στην ψύξη.

Ο σημαντικότερος βαθμός απόδοσης μιας αντλίας θερμότητας είναι ο στιγμιαίος βαθμός απόδοσης, COP (Coefficient of Performance), ή αλλιώς συντελεστής συμπεριφοράς, για τον οποίο ισχύει γενικά ο παρακάτω κανόνας:

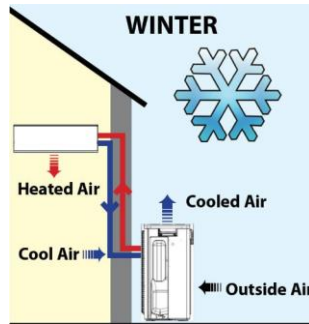
$$COP = \frac{\text{Τι κερδίζω}}{\text{Τι πληρώνω}} = \frac{\text{Θερμική Ισχύς Ατμοποιητή [W]}}{\text{Ηλεκτρική ισχύς συμπιεστή [W]}_{\psiύξη}} \quad \text{ή} \quad \frac{\text{Θερμική Ισχύς Συμπυκνωτή [W]}}{\text{Ηλεκτρική ισχύς συμπιεστή [W]}_{\thetaέρμανση}} \quad [8]$$

Όσο μικρότερη είναι η θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ του κλιματιζόμενου χώρου και του εξωτερικού περιβάλλοντος, τόσο υψηλότερο είναι και το COP. Αυτό σημαίνει ότι στην Ελλάδα για παράδειγμα, όπου εν γένει δεν επικρατούν ακραίες θερμοκρασίες, η απόδοση των αντλιών θερμότητας παρουσιάζεται γενικά υψηλή. Ο συντελεστής συμπεριφοράς, COP, συνήθως κυμαίνεται στο εύρος 3-5.

Όμως, η τιμή του COP ισχύει μόνο για μια συγκεκριμένη εξωτερική θερμοκρασία και δε συμπεριλαμβάνει τις διακυμάνσεις. Τις περισσότερες φορές, μάλιστα, οι κατασκευαστές των αντλιών θερμότητας, βασίζονται τον COP σε εκείνη την εξωτερική θερμοκρασία που δίνει την υψηλότερη απόδοση. Για αυτό το λόγο υπάρχει και ο εποχιακός συντελεστής απόδοσης, SCOP, ο οποίος δίνει μια πιο ακριβή εικόνα της απόδοσης μιας αντλίας θερμότητας σε σχέση με τον COP και δείχνει πόσο αποτελεσματική είναι η αντλία σε ετήσια βάση. Διευκρινίζεται ότι ο όρος SCOP αντιστοιχεί στην εποχιακή απόδοση των αντλιών θερμότητας μόνο σε λειτουργία θέρμανσης.

4.3.5. Αντλίες θερμότητας αέρα-αέρα

Οι αντλίες θερμότητας διακρίνονται σε διάφορους τύπους, ανάλογα με το ρευστό που προσλαμβάνει και το ρευστό που προσδίδει θερμότητα, όπως για παράδειγμα αντλίες αέρα-νερού, νερού-νερού, αέρα-αέρα κ.ά. Πιο συγκεκριμένα, οι αντλίες θερμότητας αέρα-αέρα είναι η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη μονάδα για μεικτή λειτουργία θέρμανσης και ψύξης σε κτίρια κατοικιών, κτίρια στέγασης γραφείων και χώρους καταστημάτων. Όπως είναι προφανές, ο αέρας είναι τόσο το ρευστό που προσλαμβάνει θερμότητα, όσο και το ρευστό που προσδίδει θερμότητα. Σε λειτουργία θέρμανσης, πηγή θέρμανσης είναι ο αέρας του περιβάλλοντος και η θερμική ισχύς αποδίδεται στους εσωτερικούς χώρους του κτιρίου. Μια γνωστή κατηγορία τέτοιων αντλιών θερμότητας είναι τα κλιματιστικά διαιρούμενου τύπου (split type). Σε αυτόν τον τύπο αντλιών θερμότητας το ένα στοιχείο βρίσκεται εντός του κτιρίου και προσλαμβάνει ενέργεια και το άλλο στοιχείο βρίσκεται εξωτερικά του κτιρίου μαζί με το συμπιεστή. Συνήθως την εσωτερική μονάδα τη συναντάμε σε άνοιγμα του τοίχου.



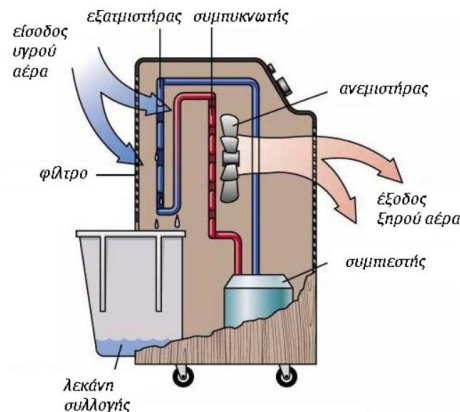
Εικόνα 44: Αντλία θερμότητας αέρα-αέρα [31]

4.4. Μονάδα αφυγραντήρα

Η τοποθέτηση αφυγραντήρα γίνεται κυρίως προκειμένου αυτός να ορίζει τα επιθυμητά επίπεδα υγρασίας σε έναν χώρο, συμβάλλοντας έτσι στην επίτευξη θερμικής άνεσης. Οι χώροι στους οποίους συχνά τοποθετούνται αφυγραντήρες είναι σε οικίες, δωμάτια με προβλήματα υγρασίας, σε αποθήκες, σκάφη και σε άλλους χώρους. Ορισμένες φορές οι ενδείξεις που καταδεικνύουν την εφαρμογή συστήματος αφύγρυνσης μπορούν να γίνουν ιδιαίτερα έντονες και εμφανείς, όπως οι παρακάτω:

- Όταν πάνω στους υαλοπίνακες και στα παντζούρια συγκεντρώνονται υδρατμοί στη μορφή σταγόνων.
- Σημάδια μούχλας στο ταβάνι ή στις γωνίες των τοίχων (κυρίως στο μπάνιο)
- Ύπαρξη χαρακτηριστικής οσμής της μούχλας και της υγρασίας (π.χ. στο γκαράζ)

Οι αφυγραντήρες με ψυκτικό κύκλωμα ψύχουν τον αέρα σε έναν εναλλάκτη και του αφαιρούν την υγρασία. Ο τύπος αυτός αφυγραντήρα διαθέτει ψυκτικό κύκλωμα ίδιο με αυτό των κλιματιστικών που περιλαμβάνει συμπιεστή, εκτονωτική βαλβίδα και δύο εναλλάκτες θερμότητας. Ο αέρας του χώρου εισέρχεται στον αφυγραντήρα, ψύχεται, αποβάλλει την υγρασία του και στη συνέχεια αναθερμαίνεται και αποδίδεται και πάλι στον χώρο σε θερμοκρασία ελάχιστα μεγαλύτερη της αρχικής. Πρόκειται για τον συνηθέστερο τύπο αφυγραντήρα της αγοράς.



Εικόνα 45: Αφυγραντήρας με ψυκτικό κύκλωμα [32]

Υπολογιστικό Μέρος

Κεφάλαιο 5 - Σχεδιασμός κατοικίας

5.1 Το λογισμικό SketchUp

Το SketchUp, αρχικά, ήταν ένα πρόγραμμα της εταιρείας Last Software σχεδιασμένο για αρχιτέκτονες, πολιτικούς μηχανικούς, σκηνοθέτες, παραγωγούς video-games και ξεκίνησε να γίνεται γνωστό ως ένα γενικής χρήσης εργαλείο σχεδιασμού τρισδιάστατων (3D) μοντέλων. Κατά τη πρώτη του εμπορική επίδειξη το έτος 2000 κατέκτησε το βραβείο επιλογής του κοινού (Community Choice Award), γεγονός που το κατέστησε γρήγορα ως το κύριο εργαλείο πολλών βιομηχανιών αρχιτεκτονικής και σχεδιασμού κτιρίων. Το κλειδί για την άμεση επιτυχία του ήταν το εύχρηστο περιβάλλον του (interface), το οποίο το έκανε κατανοητό και προσιτό ακόμα και στον πιο απλό χρήστη.

Το Μάρτιο του 2006 η Google αποκτά την Last Software, αξιοποιώντας την πρόσθετη λειτουργία του SketchUp που του επέτρεπε να αλληλεπιδρά με το Google Earth. Το Google SketchUp διατίθεται σε δύο εκδόσεις: τη δωρεάν (Free) και την επαγγελματική (PRO). Οι βασικές διαφορές είναι η προσθήκη των λειτουργιών LayOut και Style Builder στην PRO: με το LayOut οι χρήστες μπορούν να μετατρέψουν τα τρισδιάστατα μοντέλα που κατασκευάζουν σε δισδιάστατες (2D) επαγγελματικές παρουσιάσεις γρήγορα και εύκολα, προσθέτοντας κείμενο και λεζάντες, ενώ με το Style Builder μπορούν να μετατρέψουν τα μοντέλα τους σε σχέδια, προσδίδοντάς τους μια καλλιτεχνική πινελιά

Το λογισμικό SketchUp είναι μια εμπορική εφαρμογή που ο χρήστης μπορεί να εγκαταστήσει εύκολα στον υπολογιστή του και παρέχει τη δυνατότητα για γρήγορη και ακριβή σχεδίαση τρισδιάστατων μοντέλων (3D). Τα 3D μοντέλα μπορούν να σχεδιασθούν είτε από την αρχή είτε χρησιμοποιώντας ήδη υπάρχοντα δεδομένα όπως σχέδια από το AutoCAD, φωτογραφίες κτλ.

Φυσικά, το SketchUp είναι ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο και για το λόγο αυτό το SketchUp και η βιβλιοθήκη 3D Warehouse περιλαμβάνει μία σειρά από δωρεάν ή επί πληρωμή πρόσθετες εφαρμογές με τις οποίες οι χρήστες μπορούν να επεκτείνουν τις λειτουργίες της 3D μοντελοποίησης. Οι επεκτάσεις αυτές καλύπτουν μία σειρά από διάφορα πεδία δραστηριοτήτων και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε τομείς κάθε ειδικότητας: αρχιτέκτονες, διακοσμητές, κατασκευαστές, παραγωγοί παιχνιδιών, σκηνοθέτες, πολεοδόμοι, μηχανικοί, αρχιτέκτονες τοπίου, μηχανολόγοι, σχεδιαστές επίπλων, ξυλουργοί είναι μόνο μερικές από αυτές. Ένα από τα σημαντικότερα πρόσθετα είναι το OpenStudio SketchUp Plugin που επιτρέπει στο χρήστη περαιτέρω επεξεργασία και μοντελοποίηση σε περιβάλλον OpenStudio, όπως έγινε και στη συγκεκριμένη εργασία.

Οι σημαντικότερες εντολές που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι εξής:

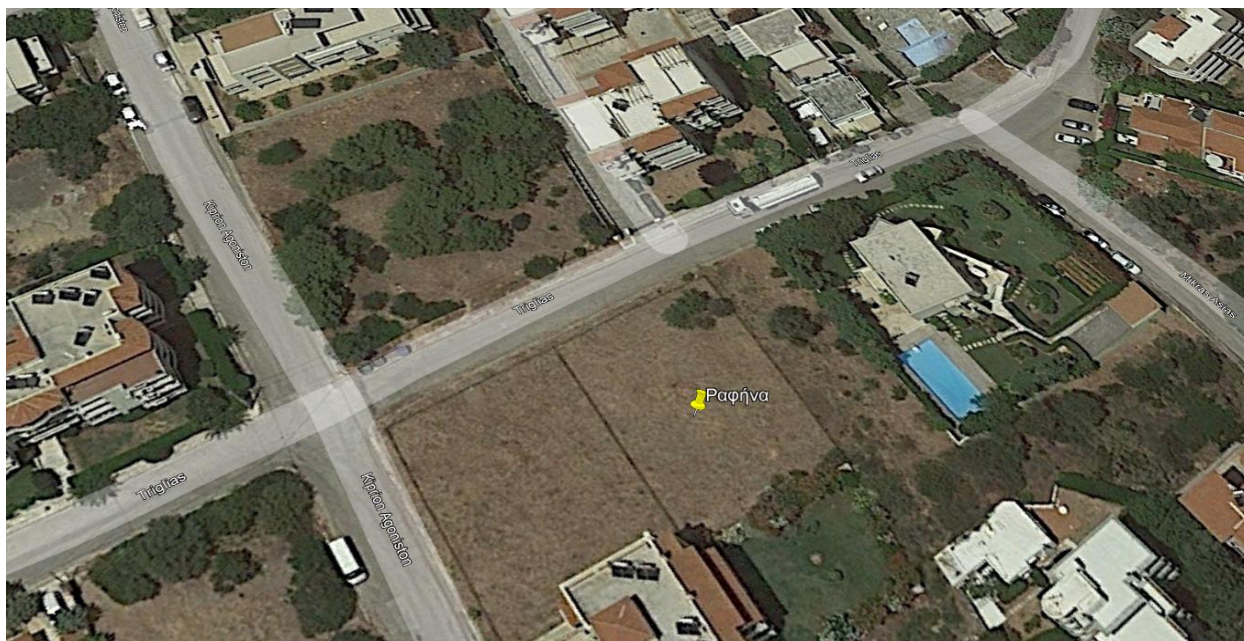
- **Line, Rectangle:** γραμμές σχεδίασης ή πολύγωνο σχεδίασης για συντομία προς σχεδίαση της επιθυμητής γεωμετρίας κάτοψης της οικίας.
- Η **μετροταινία:** για την καταμέτρηση και τον ορισμό των επιθυμητών διαστάσεων
- **Create Spaces from Diagram:** για την ανύψωση της σχεδιασμένης κάτοψης σε συγκεκριμένο αριθμό ορόφων ορισμένου ύψους.
- **Section Plane:** για την πραγματοποίηση τομής στο επίπεδο που ορίζει ο χρήστης
- **Project loose geometry:** προκειμένου το λογισμικό να αναγνωρίσει τα subsurfaces που σχεδιάζει ο χρήστης.
- **Surface matching:** ώστε το λογισμικό να αναγνωρίσει πως τα subsurfaces (πόρτες, παράθυρα, μπαλκονόπορτες) που σχεδιάζονται, βρίσκονται εκατέρωθεν της επιφάνειας επί της οποίας σχεδιάζονται και όχι μόνο από τη μία μεριά όπως αναγνωρίζει συνήθως το λογισμικό.
- **Render by boundary condition:** για την προβολή και καθορισμό των συνοριακών συνθηκών.
- **Set Attributes for selected spaces:** για τον ορισμό συγκεκριμένων λειτουργιών στους χώρους που επιλέγονται, όπως η εισαγωγή θερμικής ζώνης.

Φυσικά χρησιμοποιήθηκαν ακόμη περισσότερες εντολές οι οποίες θα αναλυθούν στη συνέχεια. Μάλιστα, τα αρχεία μπορούν να αποθηκευτούν σε 3 μορφές: .skp, .osm, .idf. Η πρώτη μορφή υποστηρίζεται μόνο σε περιβάλλον SketchUp, η δεύτερη αφορά άμεσα την εργασία μας καθώς μέσω αυτής ο χρήστης μπορεί να ανοίξει (Launch OpenStudio) το ήδη υπάρχον αρχείο σε περιβάλλον OpenStudio για να προχωρήσει στη μοντελοποίηση και στον ορισμό παραμέτρων, ενώ η τρίτη μορφή αφορά σε φόρτωση του αρχείου σε περιβάλλον EnergyPlus και δεν εξετάστηκε στην παρούσα εργασία.

Με πλήρως ορισμένη τη γεωμετρία, τις συνοριακές συνθήκες και τις επιφάνειες – υποεπιφάνειες μέσω του SketchUp ο χρήστης αποθηκεύει το αρχείο σε μορφή .osm προκειμένου να προχωρήσει τη μελέτη του στο OpenStudio.

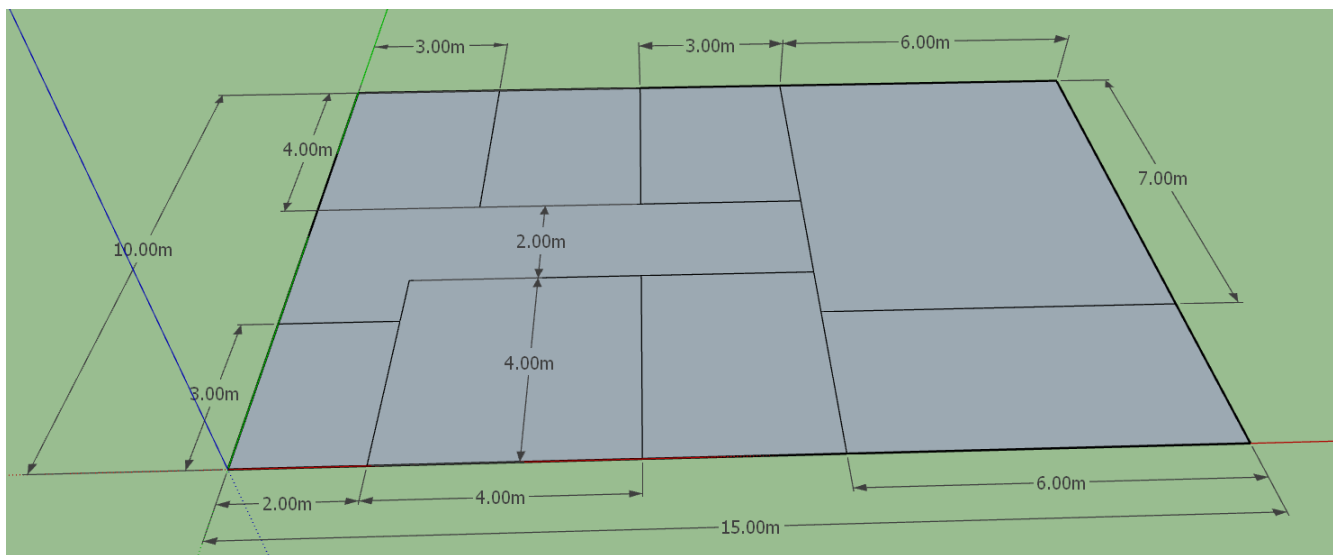
5.2 Μεθοδολογία σχεδιασμού

Αρχικά, επιλέγεται η τοποθεσία στην οποία θα ανεγερθεί η μονοκατοικία που εξετάζεται. Πρόκειται για μία μονοκατοικία συνολικής επιφάνειας 150 τετραγωνικών μέτρων, η οποία σχεδιάζεται να στεγάσει μία τετραμελή οικογένεια. Μέσω του Google Earth η τοποθεσία που επιλέγεται βρίσκεται στην περιοχή της Ραφήνας σε σχετικά αραιοκατοικημένο σημείο. Συγκεκριμένα πρόκειται για οικόπεδο έκτασης προσεγγιστικά στα 420 - 450 τετραγωνικά μέτρα, επί της οδού Τρίγλιας, στο ύψος διασταύρωσης με την οδό Κυπρίων αγωνιστών. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται η ακριβής τοποθεσία του οικοπέδου (πινέζα).



Εικόνα 46: Τοποθεσία οικοπέδου στο οποίο θα ανεγερθεί η μονοκατοικία που εξετάζεται – με την πινέζα στην περιοχή της Ραφήνας. Με το βέλος προσδιορίζεται η βορεινή πλευρά του οικοπέδου

Στη συνέχεια θα σχεδιαστεί η γεωμετρία της οικίας στο λογισμικό SketchUp Make. Με απλές εντολές, όπως **Line** και **Rectangle** σχεδιάζεται η κάτοψη της οικίας.

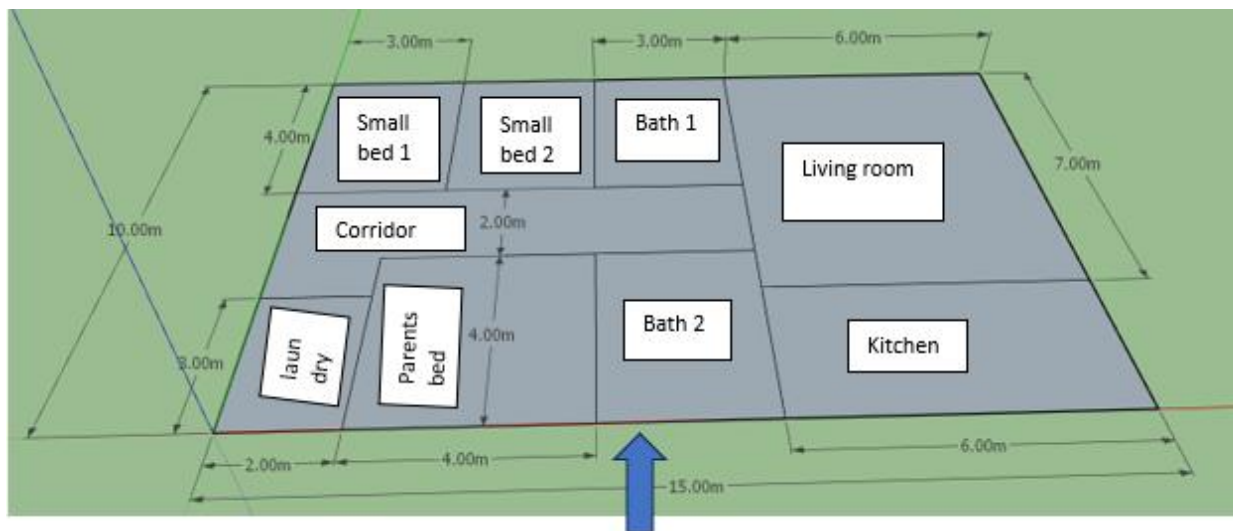


Εικόνα 47: Κάτοψη μονοκατοικίας

Πιο συγκεκριμένα η οικία αποτελείται από εννιά διαφορετικούς χώρους: υπνοδωμάτιο γονέων, 2 παιδικά δωμάτια, 2 μπάνια, κουζίνα, καθιστικό, δωμάτιο πλυσίματος ρούχων (laundry) και έναν διάδρομο που ενώνει τα δωμάτια μεταξύ τους. Οι διαστάσεις των επιμέρους χώρων παρατίθενται συγκεντρωτικά στον ακόλουθο πίνακα.

Χώρος	Μήκος (m)	Πλάτος (m)	Επιφάνεια (m ²)
Laundry	2	3	6
Small Bedroom 1	3	4	12
Small Bedroom 2	3	4	12
Parents Bedroom	4	4	16
Bathroom 1	3	4	12
Bathroom 2	3	4	12
Corridor	9	2 ή 3 (μεταβλητό πλάτος)	20
Kitchen	6	3	18
Living room	6	7	42

Πίνακας 1: Διαστάσεις των διαφόρων χώρων της μονοκατοικίας



Εικόνα 48: Χωροθέτηση χώρων μονοκατοικίας - το βέλος δείχνει τη βορεινή πλευρά της οικίας

Με χρήση της εντολής Create Spaces from Diagram δίνεται η επιλογή της δημιουργίας πολλών ορόφων με βάση τη σχεδιασμένη κάτοψη, επιθυμητού ύψους. Προφανώς, επειδή πρόκειται για μονοκατοικία, επιλέγεται αριθμός ορόφων ίσος με 1 και ύψος ορόφου ίσο με 3 m. Για να σχεδιαστούν οι πόρτες (ή άλλες διατομές, αντικείμενα) στο εσωτερικό της οικίας είναι χρήσιμη η εντολή Section plane από τη γραμμή εργαλείων Tools, τοποθετείται η όψη της τομής στην οροφή της οικίας και στη συνέχεια από τη γραμμή εργαλείων View από – επιλέγεται η εντολή Section Fill. Σχεδιάζονται οι εσωτερικές πόρτες. Εύκολα σχεδιάζονται και τα παράθυρα της οικίας, όπως και η εξωτερική πόρτα με την εντολή Rectangle. Αφού σχεδιάσουμε πόρτες και παράθυρα (subsurfaces) είναι απαραίτητη η χρήση της εντολής Project Loose Geometry για κάθε σχεδιασμένη υπό – επιφάνεια προκειμένου το λογισμικό να αναγνωρίσει πως πρόκειται για υπό – επιφάνειες (subsurfaces).

Χάριν πληρότητας, σε αυτό το σημείο αναφέρεται ότι τα παράθυρα συνήθως υπακούουν σε κάποιες τυποποιημένες διαστάσεις, ωστόσο στις μέρες μας η κατασκευή παραθύρων είναι μια αρκετά ευέλικτη διαδικασία και δεν περιορίζεται από τυποποιήσεις, αλλά λαμβάνει υπόψη κυρίως ενεργειακά και περιβαλλοντικά πρότυπα (π.χ. μηδενικών κτιρίων). Τα

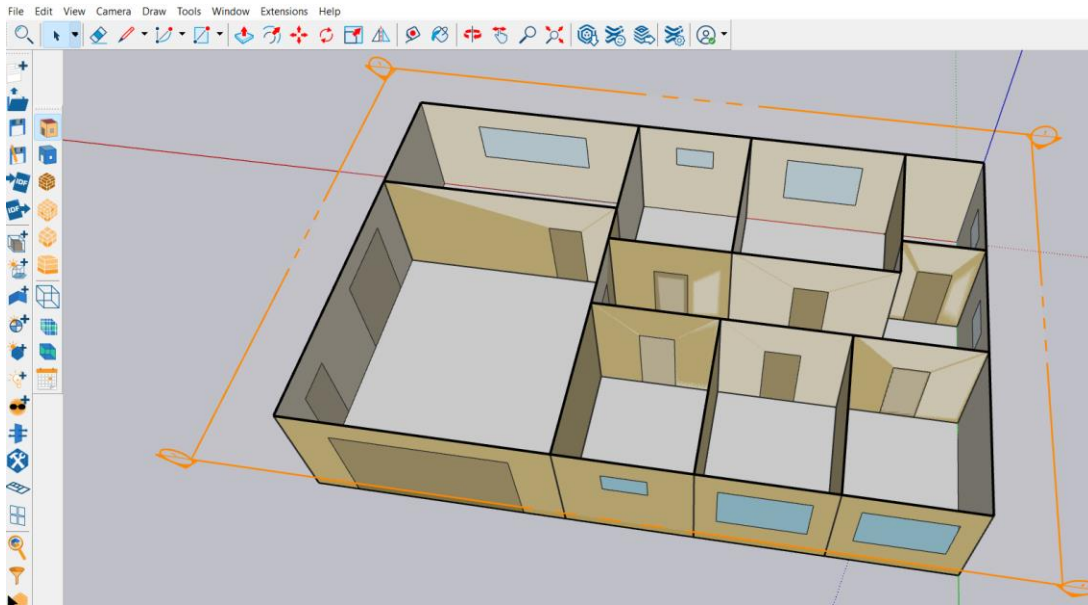
πρότυπα αυτά αφορούν όλα τα ενεργητικά και παθητικά στοιχεία ενός κτιρίου (TOTEE, ASHRAE κλπ). Σε κτίρια κατοικιών υπάρχουν τυποποιημένες θέσεις τοποθέτησης των υαλοπινάκων όσον αφορά στο ύψος.

- Στα υπνοδωμάτια ένα τυπικό ύψος τοποθέτησης υαλοπινάκων κυμαίνεται από 700 έως 1000 mm και παρέχει εξαιρετικό φωτισμό στο δωμάτιο, ενώ επιτρέπει και τον εξοπλισμό του δωματίου με τα απαραίτητα έπιπλα (π.χ. γραφείο)
- Στην κουζίνα το ύψος τοποθέτησης υαλοπινάκων κυμαίνεται στα 1200-1300 mm, γεγονός που επιτρέπει τον εξοπλισμό της κουζίνας με ηλεκτρικές συσκευές και ράφια υπό των παραθύρων
- Στις τουαλέτες/μπάνια το ύψος τοποθέτησης έχει ως κατώτατο όριο τα 1600 mm προκειμένου να υπάρχει ιδιωτικότητα για το χρήστη και να αποφεύγει τα αδιάκριτα βλέμματα
- Στα βοηθητικά δωμάτια το ύψος τοποθέτησης κυμαίνεται μεταξύ 1200 και 1600 mm

Στη βορεινή πλευρά έχουν τοποθετηθεί όσο το δυνατόν λιγότερα παράθυρα, ενώ νότια έχουν τοποθετηθεί οι μεγαλύτερες και περισσότερες επιφάνειες υαλοπινάκων για εκμετάλλευση του ήλιου. Πιο συγκεκριμένα, τα παράθυρα έχουν τοποθετηθεί ως εξής:

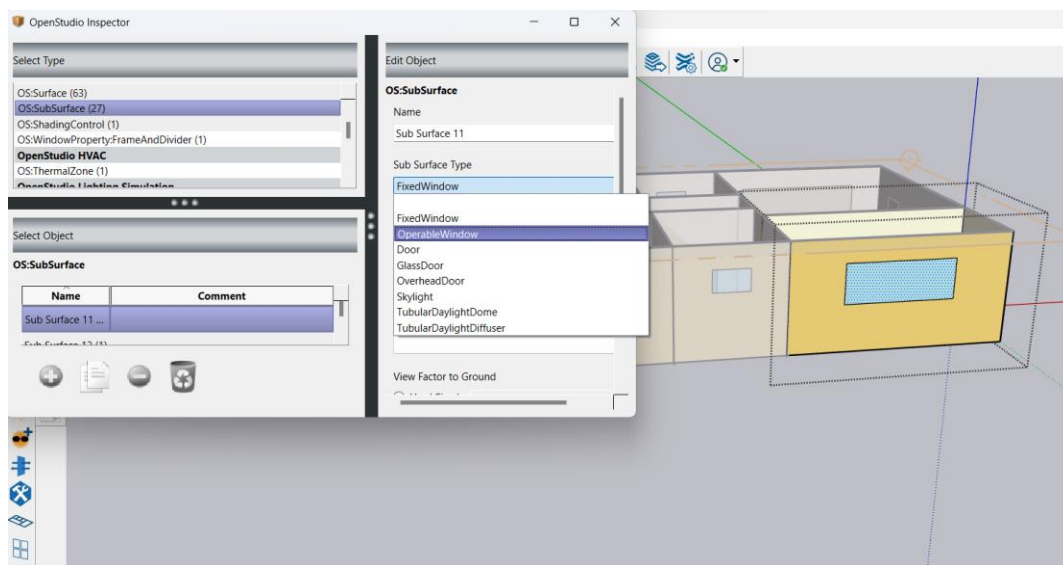
- Στα τρία υπνοδωμάτια (Small Bedroom 1 & 2 και Parents Bedroom) έχουν τοποθετηθεί όμοιοι υαλοπίνακες διαστάσεων 2×1,4 m με βάση στο 1 m.
- Στα δύο μπάνια (Bath 1 & 2) έχουν τοποθετηθεί πανομοιότυπα παράθυρα διαστάσεων 1×0,6 m με βάση στα 1,8 m.
- Στο χώρο Laundry το παράθυρο είναι διαστάσεων 1×0,8 m με βάση στο 1,6 m.
- Στην κουζίνα το παράθυρο είναι διαστάσεων 3×1,1 m με βάση στο 1,3 m.
- Στο χώρο του καθιστικού έχουν τοποθετηθεί 2 μπαλκονόπορτες με διαστάσεις 4×2,4 m (νότιο) και 2×2,4 m (δυτικό).
- Στο διάδρομο έχει τοποθετηθεί ένα μικρό παράθυρο διαστάσεων 1×0,8 m με βάση στο 1,6 m.

Επίσης, οι εσωτερικές πόρτες σχεδιάζονται με ύψος 2 m και πλάτος 85 cm, ενώ η μοναδική εξωτερική πόρτα της μονοκατοικίας σχεδιάζεται με ύψος 2,15 m και πλάτος 1 m.

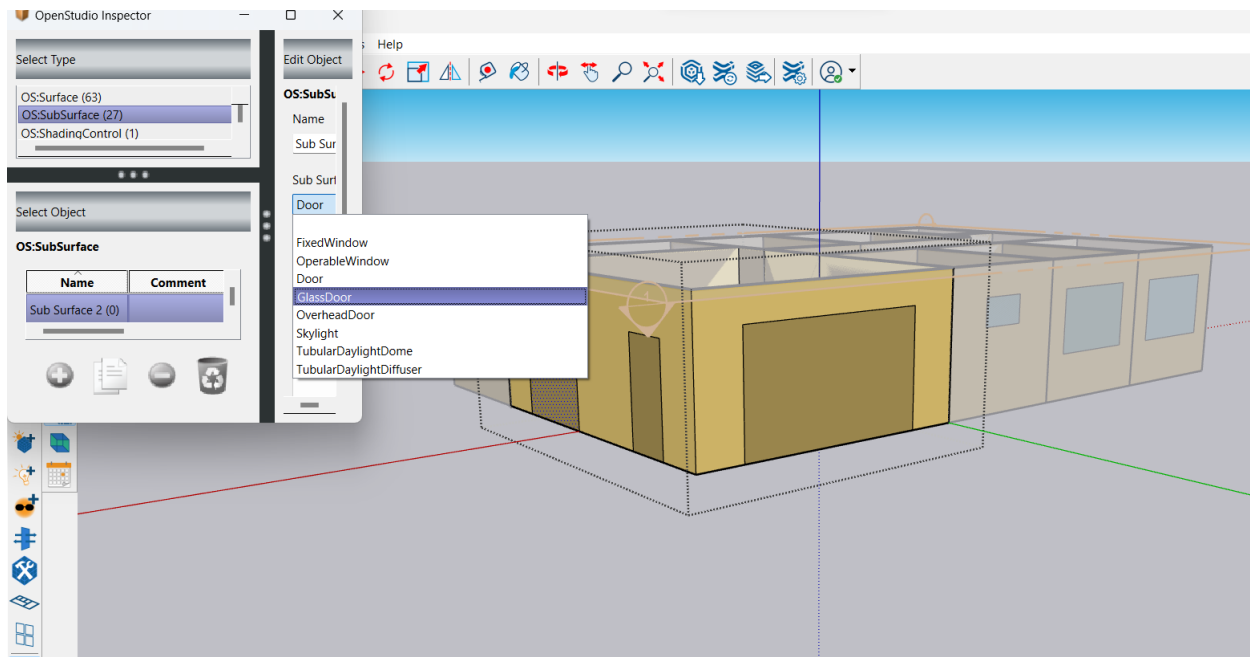


Εικόνα 49: Κάτοψη Οικίας με πόρτες και παράθυρα

Το λογισμικό αναγνωρίζει αυτόματα ως πόρτες όσες διατομές σχεδιάζονται επί των τοίχων (Surfaces) έρχονται σε επαφή με το έδαφος, ενώ αναγνωρίζει ως παράθυρα εκείνες που δεν έχουν επαφή με το έδαφος. Για αυτό, όπως φαίνεται στην επάνω εικόνα, οι δύο μπαλκονόπορτες που σχεδιάστηκαν στο καθιστικό έχουν χρωματιστεί με καφέ χρώμα και το λογισμικό τις θεωρεί πόρτες. Για να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα, χρειάζεται κανείς να ανατρέξει στην εντολή **OpenStudio Inspector** και να επιλέξει κατάλληλα τί παριστάνει η κάθε διατομή (πόρτα, ανοιγόμενο παράθυρο, μπαλκονόπορτα, κλπ). Με αυτόν τον τρόπο έχουν όλα τα παράθυρα οριστεί ως **operable windows** (ανοιγόμενα), ενώ ορίζονται και οι δύο μπαλκονόπορτες του καθιστικού ως **glass doors**. Στις επόμενες εικόνες φαίνονται τέτοιου είδους παραδείγματα.

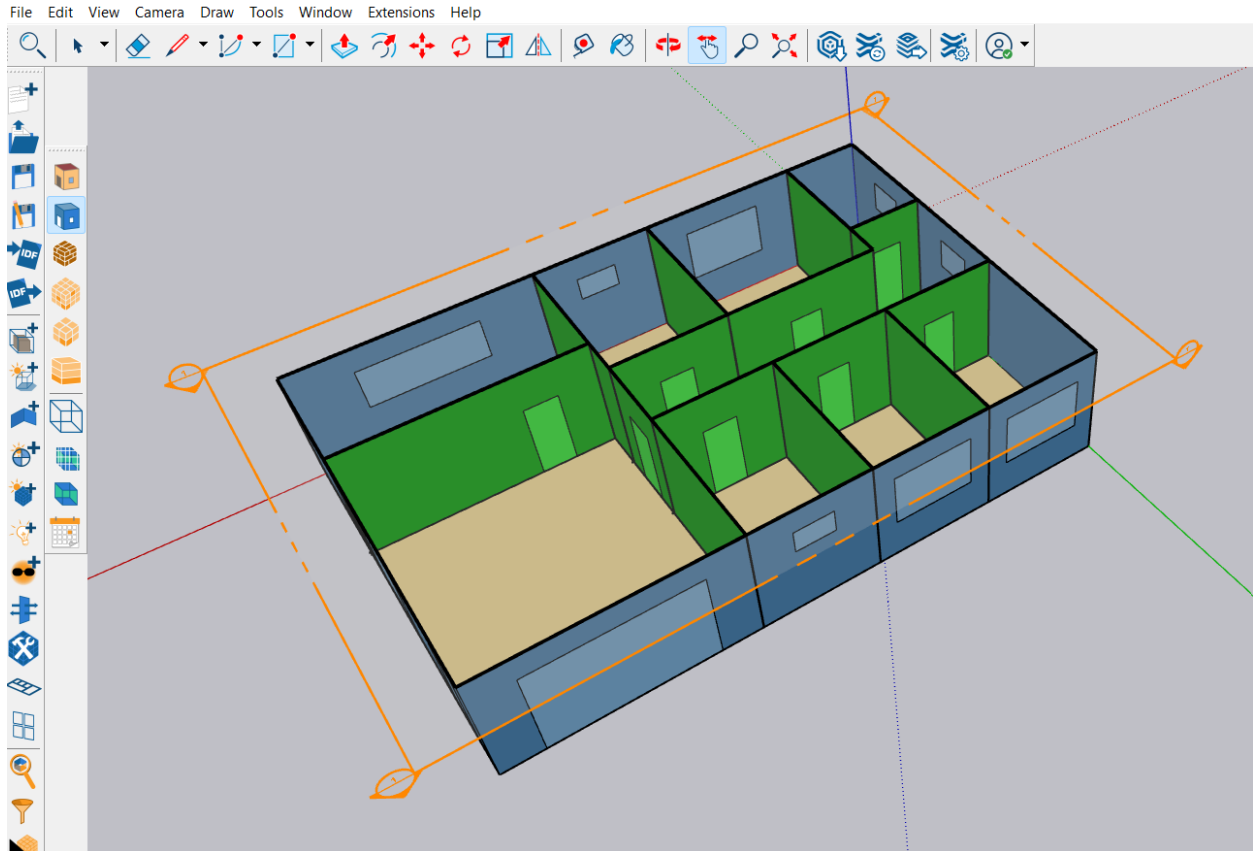


Εικόνα 50: Παράδειγμα ορισμένου ανοιγόμενου παραθύρου



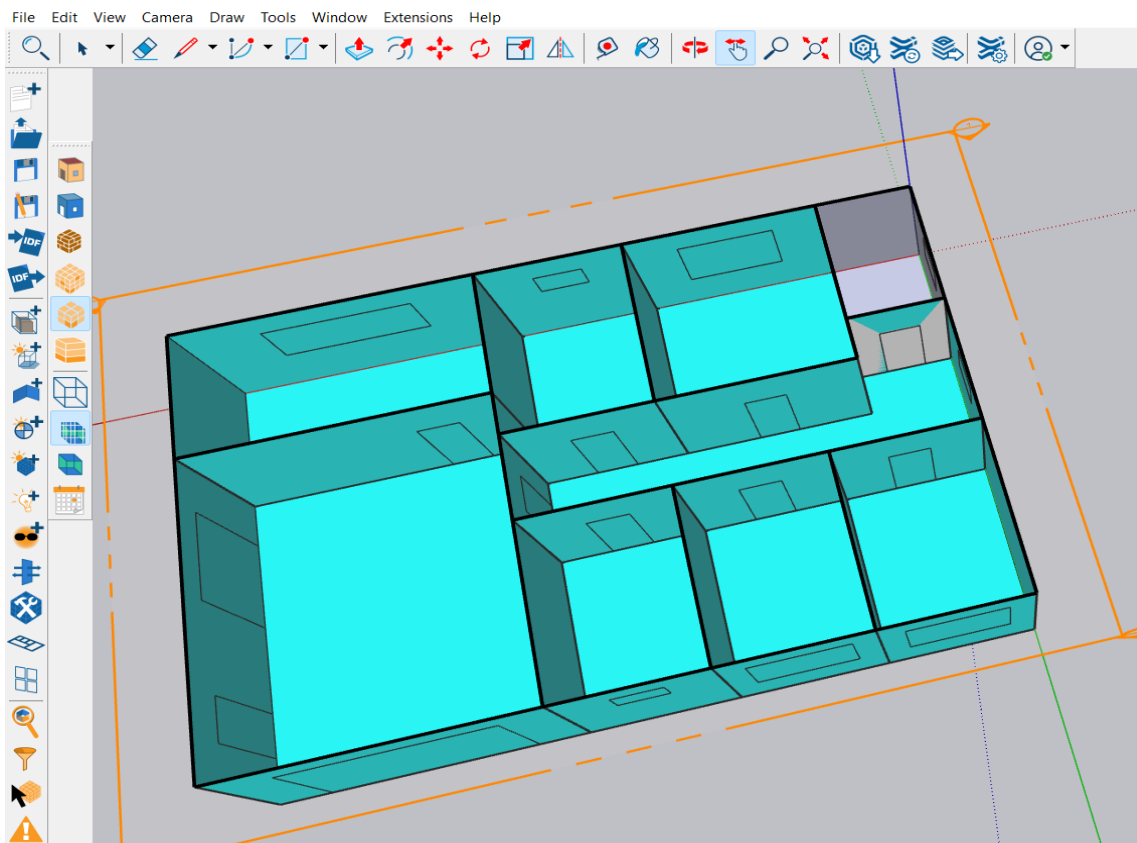
Εικόνα 51: Παράδειγμα ορισμού μπαλκονόπορτας

Είναι πολύ σημαντικό να οριστούν οι συνοριακές συνθήκες προκειμένου να λαμβάνεται ορθά η μετάδοση θερμότητας μεταξύ των χώρων. Για παράδειγμα, πρέπει με κάποιο τρόπο να ξεχωρίζουν οι εσωτερικοί τοίχοι της οικίας με τους εξωτερικούς, οι εσωτερικές πόρτες με την εξωτερική και ούτω καθεξής. Συνήθως, προκύπτουν προβλήματα στον καθορισμό των συνθηκών που πηγάζουν από τις υπό – επιφάνειες. Για αυτό είναι σημαντικό, πριν τον καθορισμό των συνοριακών συνθηκών, να χρησιμοποιηθεί η εντολή **Surface Matching** και συγκεκριμένα η εντολή **Intersect in Entire Model** προκειμένου το λογισμικό να αναγνωρίσει πως η διατομή που έχει σχεδιαστεί ως υπό – επιφάνεια (πόρτα, παράθυρο κλπ) βρίσκεται και στις δύο μεριές του εκάστοτε τοίχου (surface). Στη συνέχεια πάλι μέσω της εντολής **Surface Matching** χρησιμοποιείται η εντολή **Match in Entire Model**. Για να είναι κανείς σίγουρος για τον καθορισμό των συνοριακών συνθηκών, μπορεί να επιλέξει την εντολή **Render by boundary condition**. Το SketchUp χρωματίζει τις επιφάνειες ανάλογα με τις συνοριακές συνθήκες που έχει ορίσει ο χρήστης. Έτσι, οι εσωτερικοί τοίχοι και οι εσωτερικές πόρτες χρωματίζονται με πράσινο χρώμα, οι εξωτερικοί τοίχοι – πόρτες με μπλε χρώμα, ενώ το δάπεδο με καφέ.



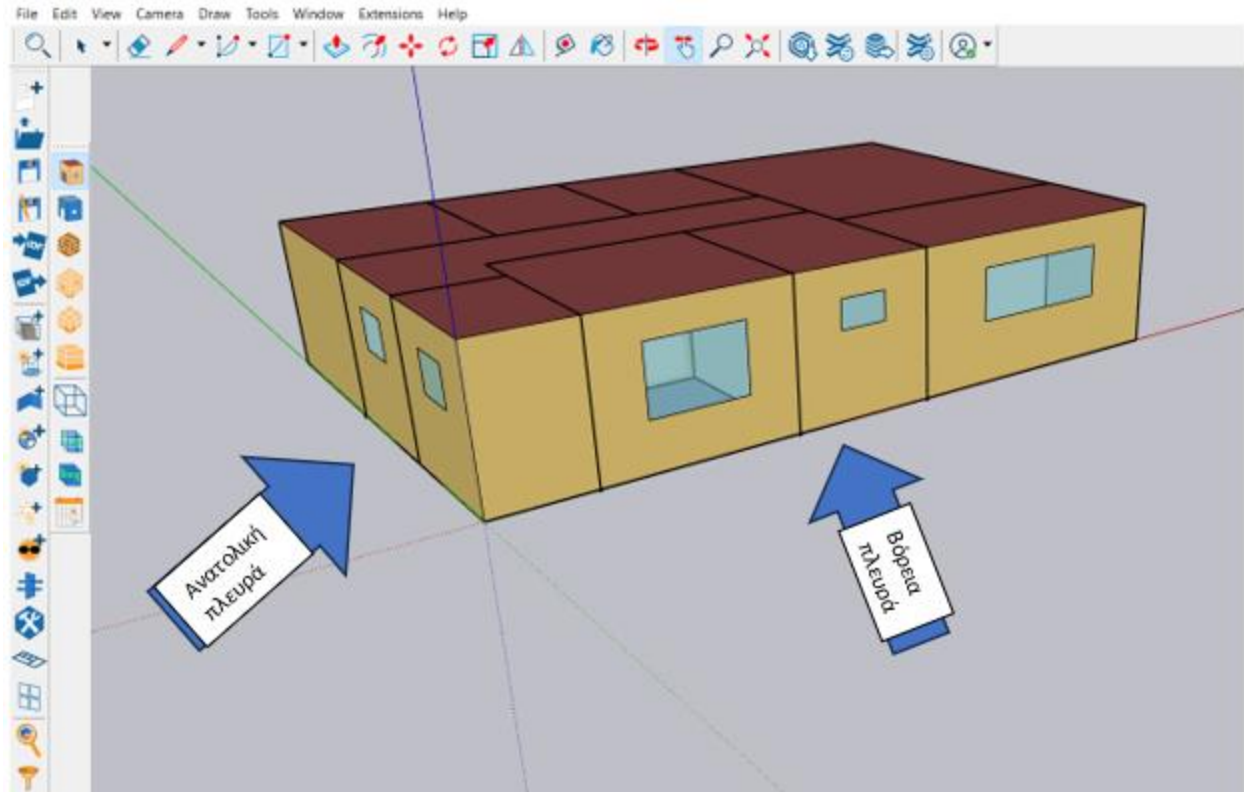
Εικόνα 52: Καθορισμός συνοριακών συνθηκών και χρωματισμός επιφανειών

Τέλος, ο χρήστης χρειάζεται να ορίσει τη θερμική ζώνη του κτιρίου. Στο συγκεκριμένο σενάριο πρόκειται για μια μονοκατοικία, οπότε οι χρήσεις κάθε χώρου δεν επιβάλλουν την ύπαρξη συγκεκριμένων συνθηκών για να επιτελέσει κανείς κάποια λειτουργία, όπως μπορεί να χρειάζεται σε κάποιον επαγγελματικό χώρο (π.χ. νοσοκομείο), για αυτό και δε χρειάζεται κάποιο σύνθετο σύστημα. Επιλέγεται, λοιπόν, μια ενιαία θερμική ζώνη για τη μονοκατοικία, η οποία περιλαμβάνει όλους τους χώρους της οικίας, εκτός από το χώρο στον οποίο πλένονται τα ρούχα (Laundry). Ο καθορισμός της θερμικής ζώνης γίνεται μέσω της εντολής **Set Attributes for Selected Spaces**. Έτσι, όλοι οι χώροι ανήκουν στην ίδια θερμική ζώνη, συγκεκριμένα στη Thermal zone 1, εκτός από το Laundry room που δε λαμβάνεται υπόψη στη θερμική ζώνη. Με την εντολή **Render by Thermal zone** το λογισμικό χρωματίζει με το ίδιο χρώμα όσους χώρους ανήκουν στην ίδια θερμική ζώνη.

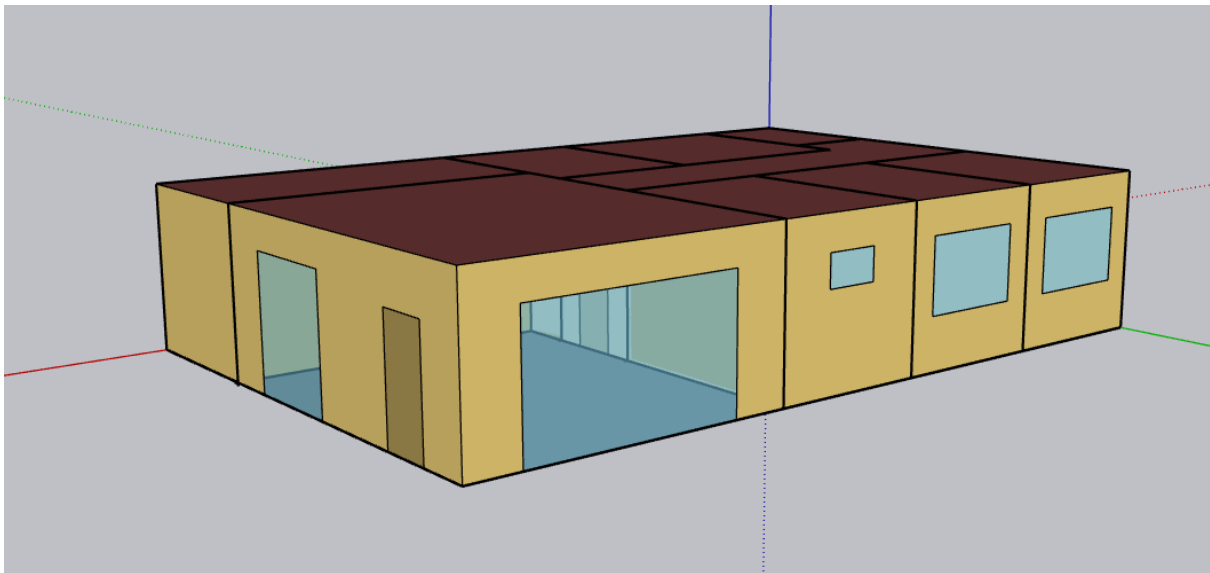


Εικόνα 53: Καθορισμός μίας ενιαίας θερμικής ζώνης και χρωματισμός των χώρων που ανήκουν σε αυτή

Η τελική μορφή της οικίας φαίνεται στις επόμενες εικόνες:



Εικόνα 54: ΒΑ πλευρά μονοκατοικίας



Εικόνα 55: ΝΔ πλευρά μονοκατοικίας

Η εισαγωγή του συνόλου των παραμέτρων (καθορισμός φορτίων, κατασκευαστικά υλικά των δομικών στοιχείων, ηλεκτρικές συσκευές κ.λπ.) για τη μονοκατοικία θα γίνει σε περιβάλλον OpenStudio με την εντολή Launch OpenStudio.

Κεφάλαιο 6 - Εισαγωγή παραμέτρων και προσομοίωση

6.1 Το λογισμικό OpenStudio

Το OpenStudio κυκλοφόρησε για πρώτη φορά τον Απρίλιο του 2008 από το Εθνικό Εργαστήριο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (NREL). Έχει σχεδιασθεί για να λειτουργεί σε συνδυασμό με το SketchUp, ως πρόσθετο SketchUp Plugin, καθώς πολλοί είναι οι αρχιτέκτονες που ήδη σχεδιάζουν κτίρια στο SketchUp. Πρόκειται για ένα δωρεάν λογισμικό ανοιχτού κώδικα που χρησιμοποιείται για την ενεργειακή ανάλυση και μοντελοποίηση κτιρίων. Η κύρια εφαρμογή του είναι το πρόσθετο SketchUp Plugin που επιτρέπει στους μηχανικούς να προβάλουν και να επεξεργάζονται τρισδιάστατα μοντέλα με στόχο την προσομοίωσή τους στο λογισμικό EnergyPlus. Στις επόμενες ενότητες θα γίνει ανάλυση του προσδιορισμού των παραμέτρων της οικίας.

Το OpenStudio φέρει διάφορες καρτέλες στις οποίες ο χρήστης μπορεί να ορίσει το σύνολο των παραμέτρων για τη γεωμετρία που έχει σχεδιάσει. Αυτές είναι οι παρακάτω:

- Site Tab: όπου ο χρήστης εισάγει τα καιρικά δεδομένα της περιοχής στην οποία πραγματοποιείται η μελέτη με δύο αρχεία (.epw και .ddy)
- Schedules Tab: στην οποία ο χρήστης δημιουργεί τα λεγόμενα χρονοπρογράμματα. Αυτά μπορεί αφορούν σε α) occupancy, δηλαδή σε χρόνο παραμονής ενός ατόμου σε έναν χώρο, β) activity level που έχει να κάνει με τα ποσά θερμότητας που ο χρήστης εκλύει ανάλογα τη δραστηριότητά του σε κάθε χώρο, γ) σε καθορισμό του χρόνου λειτουργίας για φωτιστικά σώματα και ηλεκτρικές συσκευές (fractional), δ) μπορεί να ορίζουν δείκτες ελέγχου όπως παράδειγμα θερμοκρασίας (temperature), ποσοστά επί τοις εκατό, όπως για παράδειγμα υγρασία, καθώς και αμέτρητες άλλες λειτουργίες.
- Constructions Tab: όπου ο χρήστης μπορεί να ορίσει σεντ δομικών υλικών για κάθε δομικό στοιχείο ενός κτιρίου, όπως πόρτες, τοίχους κ.λπ. Υπάρχουν, έτοιμα προτεινόμενα σεντ κατασκευής από το λογισμικό για κάθε δομικό στοιχείο, ενώ επίσης ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει το δικό του, custom made, κατασκευαστικό σεντ όποτε επιθυμεί. Φυσικά, το λογισμικό παρέχει τις θερμοφυσικές ιδιότητες κάθε υλικού (όπως είναι το πάχος κάθε στρώσης, ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας, πυκνότητα, δείκτης απορρόφησης θερμότητας κ.ά.)
- Loads Tab: όπου γίνεται ο καθορισμός των φορτίων για τον άνθρωπο, για τις ηλεκτρικές συσκευές, τα φωτιστικά σώματα, συστήματα ατμού, συστήματα νερού χρήσης και οτιδήποτε άλλο περιέχεται στο σενάριο μελέτης.
- Space Types Tab: όπου συγκεντρώνονται και αντιστοιχίζονται για κάθε χώρο του σχεδιασμένου κτιρίου όλα τα στοιχεία που έχουν καθοριστεί στις προηγούμενες καρτέλες (χρονοπρογράμματα, κατασκευαστικά σεντ, φορτία κ.λπ.)
- Geometry Tab: η καρτέλα στην οποία ο χρήστης μπορεί να επεξεργαστεί τη δεδομένη γεωμετρία που έχει εισάγει στο περιβάλλον του λογισμικού.

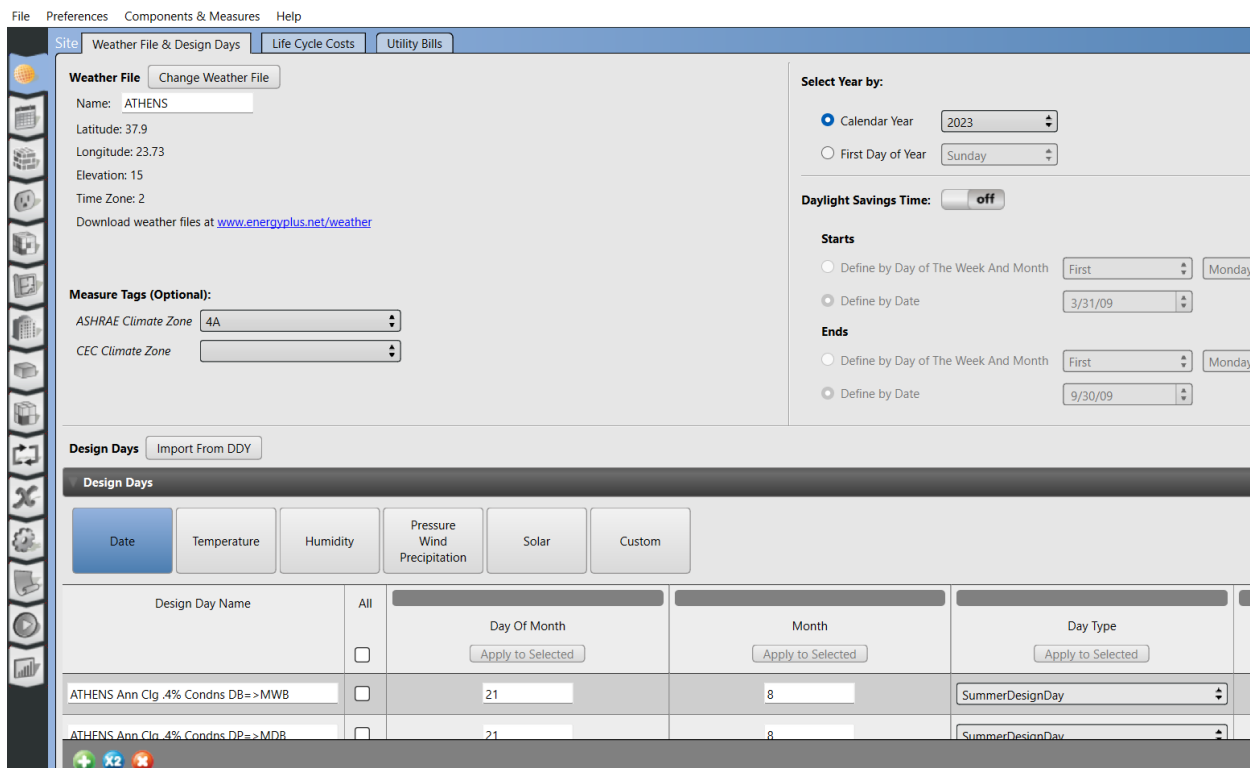
- Spaces Tab: σε αυτή την καρτέλα, σε συνδυασμό με την καρτέλα Space Types, πραγματοποιείται ο «τελικός» ορισμός και έλεγχος των παραμέτρων που έχει εισάγει ο χρήστης. Συγκεντρώνονται όλα τα σεντ (schedule & construction), φαίνονται ποιοι χώροι ανήκουν στην εκάστοτε θερμική ζώνη, ακόμη και τι δηλώνει ακριβώς κάθε σχεδιασμένη επιφάνεια, μαζί με το κατασκευαστικό σεντ της και τις συνοριακές συνθήκες – πλήρως ορισμένη.
- Thermal Zones Tab: πολύ σημαντική καρτέλα, όπου εισάγεται ο επιθυμητός, από το χρήστη, εξοπλισμός στη θερμική ζώνη. Ο εξοπλισμός αυτός μπορεί να αφορά σε ψύξη-θέρμανση του κτιρίου, σε σύστημα αφυγραντήρα, σε ενσωμάτωση συστήματος μηχανικού αερισμού κ.ά.
- HVAC Systems Tab: σε αυτή την καρτέλα ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει τα δικά του, custom made, συστήματα, τα οποία να εξυπηρετούν ακριβώς τις ανάγκες του και να τα εισάγει στη θερμική ζώνη. Τέτοια συστήματα μπορεί να είναι κλιματιστικά, συστήματα ζεστού νερού χρήσης, συστήματα με αναθέρμανση ή ανάκτηση θερμότητας και πολλά άλλα.
- Simulation Settings Tab: για ρύθμιση λειτουργιών σχετικά με την προσομοίωση και εστίαση σε πιθανά σημεία ενδιαφέροντος από το χρήστη.
- Measures Tab: είναι μια καρτέλα που περιέχει διάφορα υποπρογράμματα, υπορουτίνες σχετικά με επιμέρους χαρακτηριστικά και λειτουργίες που επιθυμεί να ορίσει ο χρήστης. Μέσω measure για παράδειγμα μπορεί να επιτευχθεί ο φυσικός αερισμός της οικίας, εισάγοντας τα κατάλληλα στοιχεία που ζητά το λογισμικό, ο προγραμματισμός ηλεκτρικών συσκευών να λειτουργούν σε χαμηλότερα φορτία όταν αυτό είναι δυνατό για εξοικονόμηση ενέργειας, οικονομοτεχνική ανάλυση αν το επιθυμεί ο χρήστης, εγκατάσταση συστημάτων παραγωγής ενέργειας και πολλές άλλες λειτουργίες.
- Run Simulation Tab: όπου ο χρήστης τρέχει την προσομοίωση και εμφανίζονται τυχόν παρατηρήσεις από το λογισμικό ή σημεία που χρίζουν βελτίωσης.
- Results Summary Tab: η καρτέλα στην οποία ο χρήστης μπορεί να δει τα αποτελέσματα της προσομοίωσης όταν αυτή ολοκληρωθεί.

Η παραμετροποίηση της μονοκατοικίας πραγματοποιήθηκε στο OpenStudio.

6.2 Εισαγωγή παραμέτρων

6.2.1 SITE TAB

Πρώτη εμφανίζεται η καρτέλα **Site**, η οποία αφορά στα κλιματικά δεδομένα της περιοχής. Αρχικά, ο χρήστης κατεβάζει τα αρχεία με τα καιρικά δεδομένα της περιοχής ενδιαφέροντος από τις βιβλιοθήκες του EnergyPlus και στη συνέχεια τα εισάγει στην καρτέλα Site. Τα σημαντικότερα αρχεία που πρέπει να κάνει import ο χρήστης είναι τα τύπου .epw και .ddy.



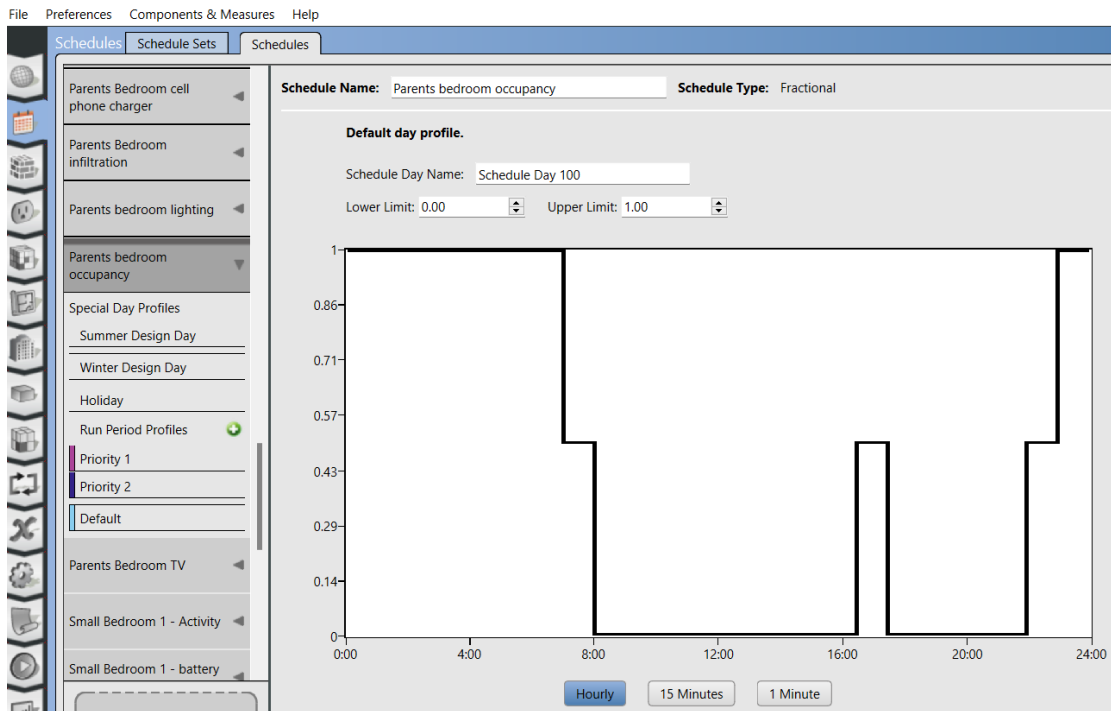
Εικόνα 56: Εισαγωγή καιρικών δεδομένων στην καρτέλα Site

6.2.2 Schedules Tab

Στην καρτέλα αυτή ο χρήστης δημιουργεί τα κατάλληλα schedules για κάθε χώρο της οικίας. Τα χρονοπρογράμματα αυτά είναι διαφόρων τύπων και ορίζονται λαμβάνοντας υπόψη ένα τυπικό ημερήσιο πρόγραμμα μιας τετραμελούς οικογένειας. Τα χρονοπρογράμματα που δημιουργούνται καλύπτουν όλο το 24ωρο και είναι σημαντικό να συμπληρώνονται με υψηλή ακρίβεια, προκειμένου η προσομοίωση να είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά στις πραγματικές συνθήκες. Στη διάρκεια του 24ωρου τα μέλη της οικογένειας κοιμούνται, γευματίζουν, χρησιμοποιούν τους χώρους και τις ηλεκτρικές συσκευές της οικίας, απουσιάζουν από αυτή, επιτελούν δηλαδή ένα «κανονικό» ημερήσιο πρόγραμμα δραστηριοτήτων. Επίσης, έχουν οριστεί και δύο διαστήματα στη διάρκεια του έτους (priority 1 & 2), κατά τη διάρκεια των οποίων τα μέλη απουσιάζουν σε οικογενειακές διακοπές. Αυτές οι περιόδους έχουν οριστεί στην περίοδο των Χριστουγέννων (23-31/12) και κατά τις καλοκαιρινές διακοπές (12-26/08), οπότε και η οικία θεωρείται «κενή», ενώ ο φωτισμός, οι ηλεκτρικές συσκευές και η θέρμανση-ψύξη στην οικία δεν τίθενται σε λειτουργία.

➤ Occupancy schedules

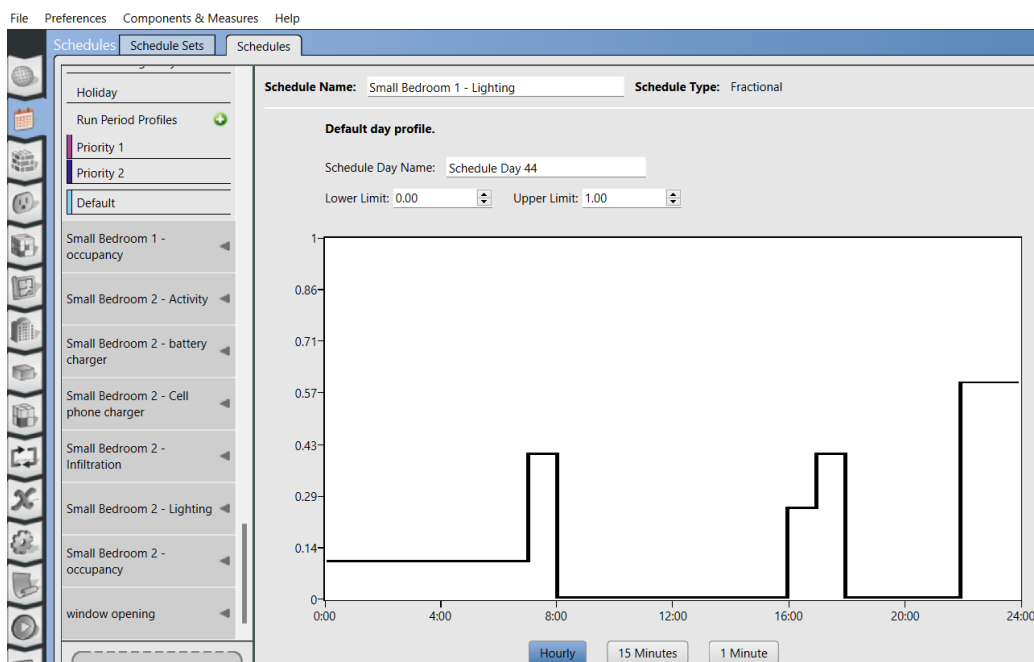
Αφορά στο χρόνο παραμονής των ατόμων σε κάθε χώρο της οικίας. Είναι προγράμματα τύπου fractional, δηλαδή ο αριθμός των ατόμων που βρίσκονται σε έναν χώρο κατά τη διάρκεια της ημέρας εκφράζεται ως ποσοστό του συνολικού αριθμού των ατόμων που εισέρχονται σε αυτό το χώρο. Φυσικά, η δημιουργία αυτού του τύπου χρονοπρογραμμάτων βασίζεται στην εμπειρική εκτίμηση των ημερήσιων δραστηριοτήτων μιας οικογένειας.



Εικόνα 57: Occupancy schedule για το χώρο Parents Bedroom

➤ Lighting Schedules

Πρόκειται για χρονοπρογράμματα τύπου fractional, δηλαδή προσδιορίζονται ως ποσοστό επί του συνολικού αριθμού φωτιστικών σωμάτων που υπάρχουν σε κάθε χώρο και προφανώς έχουν να κάνουν με το χρόνο λειτουργίας των φωτιστικών σωμάτων.



Εικόνα 58: : Lighting schedule για το Small Bedroom 1

➤ **Activity level schedules**

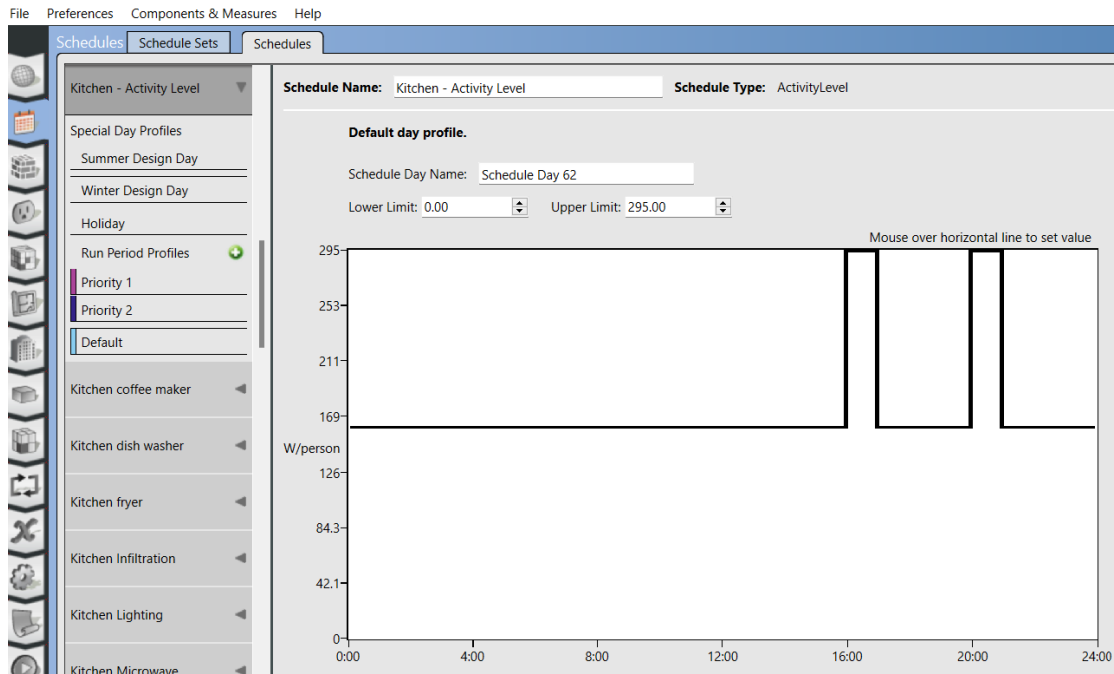
Τα χρονοπρογράμματα αυτά πραγματοποιούνται τα ποσά θερμότητας που εκλύει ο χρήστης κάθε χώρου ανάλογα με τη δραστηριότητα που επιτελεί στον εκάστοτε χώρο. Για παράδειγμα σε ένα γυμναστήριο ο χρήστης θα εκλύει μεγαλύτερη ισχύ συγκριτικά με την ισχύ που εκλύει όταν κάθεται στο καθιστικό του σπιτιού του. Οι τιμές της ισχύος είναι τυποποιημένες και λαμβάνονται από αντίστοιχους πίνακες της ASHRAE και της TOTEΕ.

Χρήσεις κτηρίων ή θερμικών ζωνών	Θερμική ισχύς ανά άτομο [W/άτομο]	Θερμική ισχύς ανά μονάδα δομημένης επιφάνειας [W/m ²]	Μέσος συντελεστής παρουσίας
Μονοκατοικία, πολυκατοικία (περισσότερα του ενός διαμερίσματα)	80	4	0,75
Ξενοδοχείο ετήσιας λειτουργίας	75	11	1,00
θερινής λειτουργίας	75	11	0,58
χειμερινής λειτουργίας	75	11	0,66
Ξενώνας ετήσιας λειτουργίας	75	11	1,00
θερινής λειτουργίας	75	11	0,58
χειμερινής λειτουργίας	75	11	0,66

Εικόνα 59: Θερμική ισχύς σύμφωνα με την TOTEΕ

Degree of Activity	Location	Total Heat, W		Sensible Heat, W	Latent Heat, W	% Sensible Heat that is Radiant ^b	
		Adult Male	Adjusted, M/F ^a			Low V	High V
Seated at theater	Theater	115	105	70	35	60	27
Seated, very light work	Offices, hotels, apartments	130	115	70	45		
Moderately active office work	Offices, hotels, apartments	140	130	75	55		
Standing, light work; walking	Department store; retail store	160	130	75	55	58	38
Walking, standing	Drug store, bank	160	145	75	70		
Sedentary work	Restaurant ^c	145	160	80	80		
Light bench work	Factory	235	220	80	140		
Moderate dancing	Dance hall	265	250	90	160	49	35
Walking 4.8 km/h; light machine work	Factory	295	295	110	185		
Bowling ^d	Bowling alley	440	425	170	255		
Heavy work	Factory	440	425	170	255	54	19
Heavy machine work; lifting	Factory	470	470	185	285		
Athletics	Gymnasium	585	525	210	315		

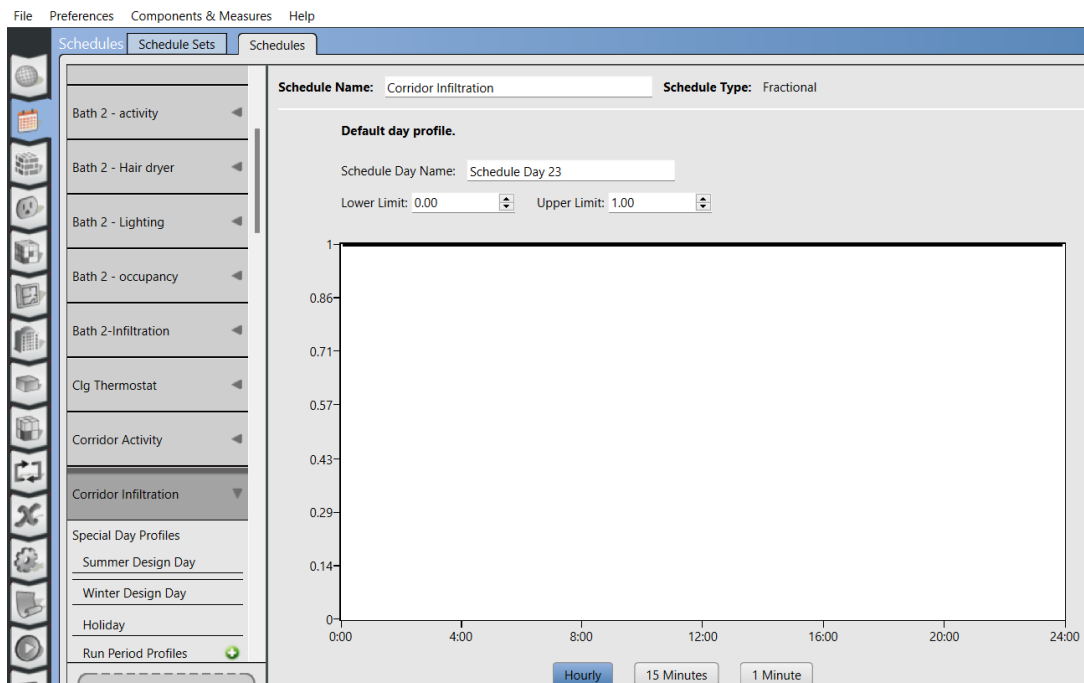
Εικόνα 60: Θερμική ισχύς σύμφωνα με την ASHRAE



Εικόνα 61: Activity level schedule για το χώρο της κουζίνας

➤ Infiltration Schedules

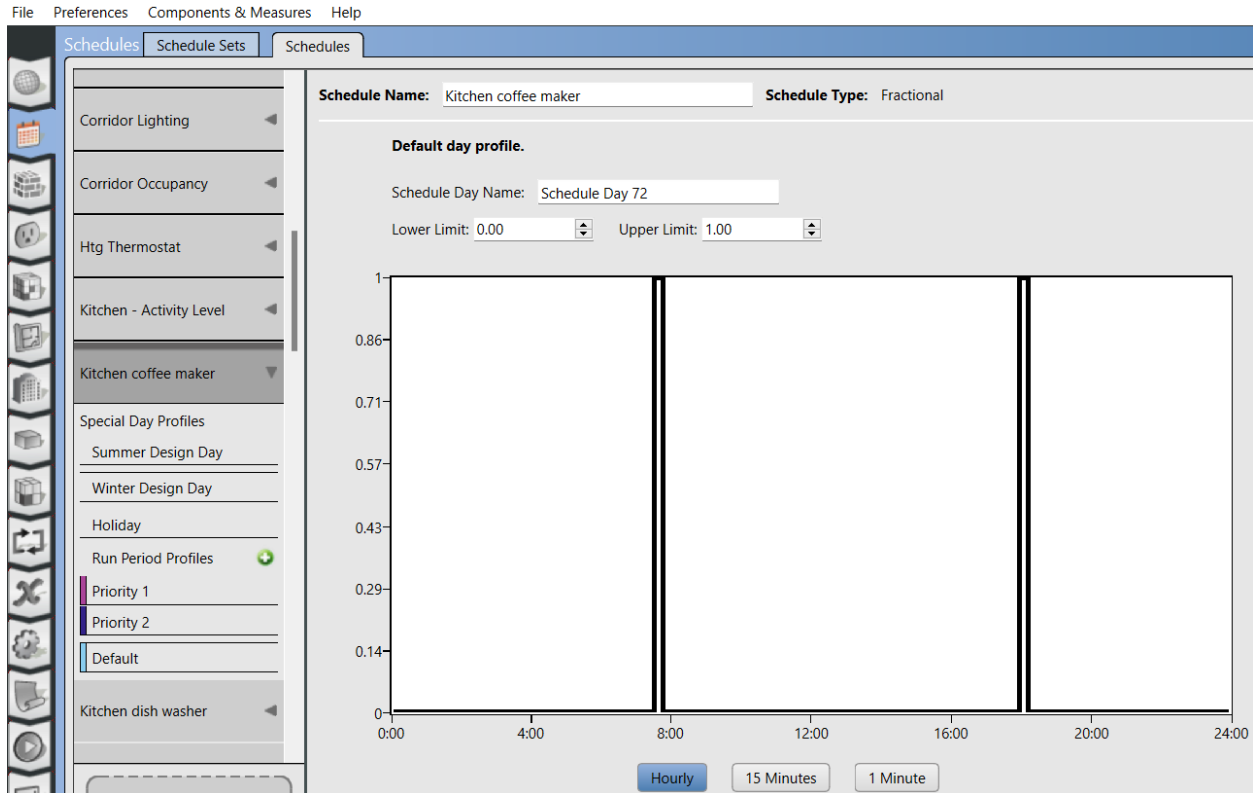
Πρόκειται για χρονοπρογράμματα που αφορούν στον αερισμό της οικίας από διάφορες χαραμάδες και ανοίγματα (π.χ. εισροή αέρα κάτω από τις πόρτες). Ο αερισμός θεωρείται συνεχής, οπότε το τύπου fractional χρονοπρόγραμμα που δημιουργείται λαμβάνει την τιμή της μονάδας.



Εικόνα 62: Infiltration Schedule για το χώρο Corridor

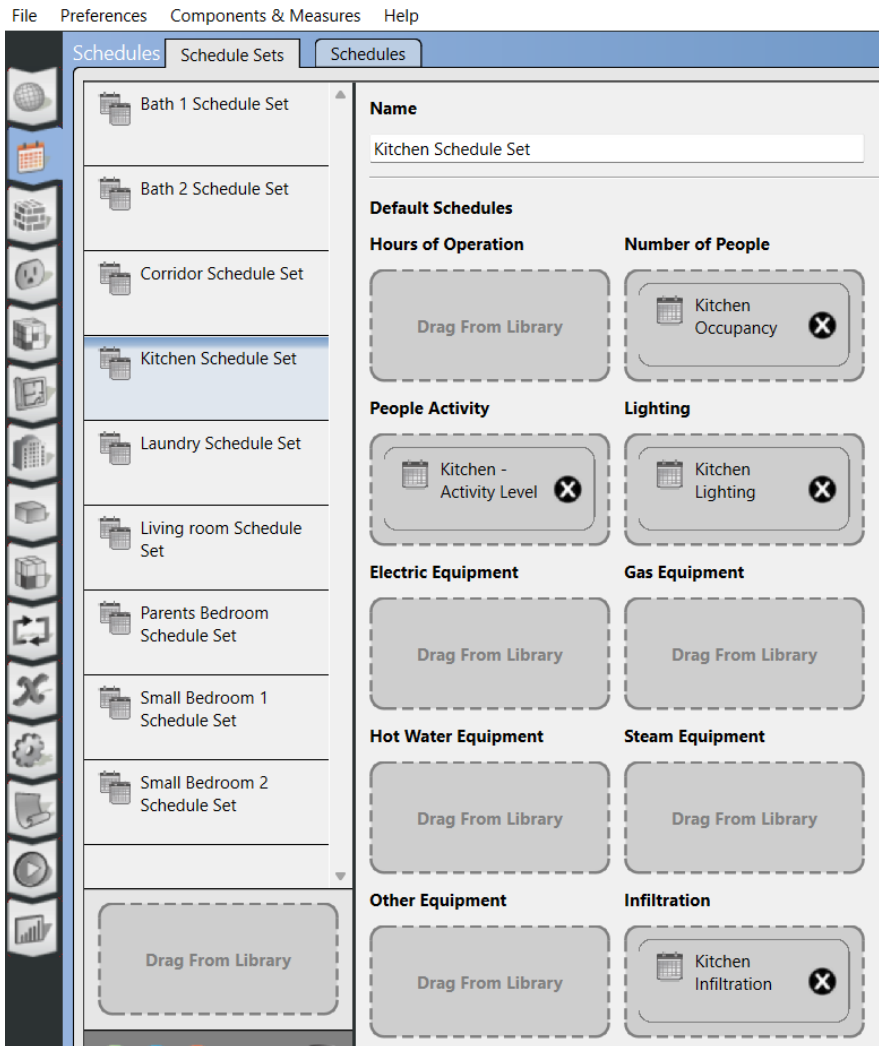
➤ Electric equipment schedules

Πρόκειται για τα χρονοπρογράμματα που αφορούν στη λειτουργία των ηλεκτρικών συσκευών για κάθε χώρο. Δημιουργείται ξεχωριστό χρονοπρόγραμμα για κάθε ηλεκτρική συσκευή. Και πάλι είναι χρονοπρογράμματα τύπου fractional, επομένως για κάθε χρονικό διάστημα κατά το οποίο η εκάστοτε συσκευή τίθεται σε λειτουργία, το πρόγραμμα λαμβάνει τιμή ίση με τη μονάδα.



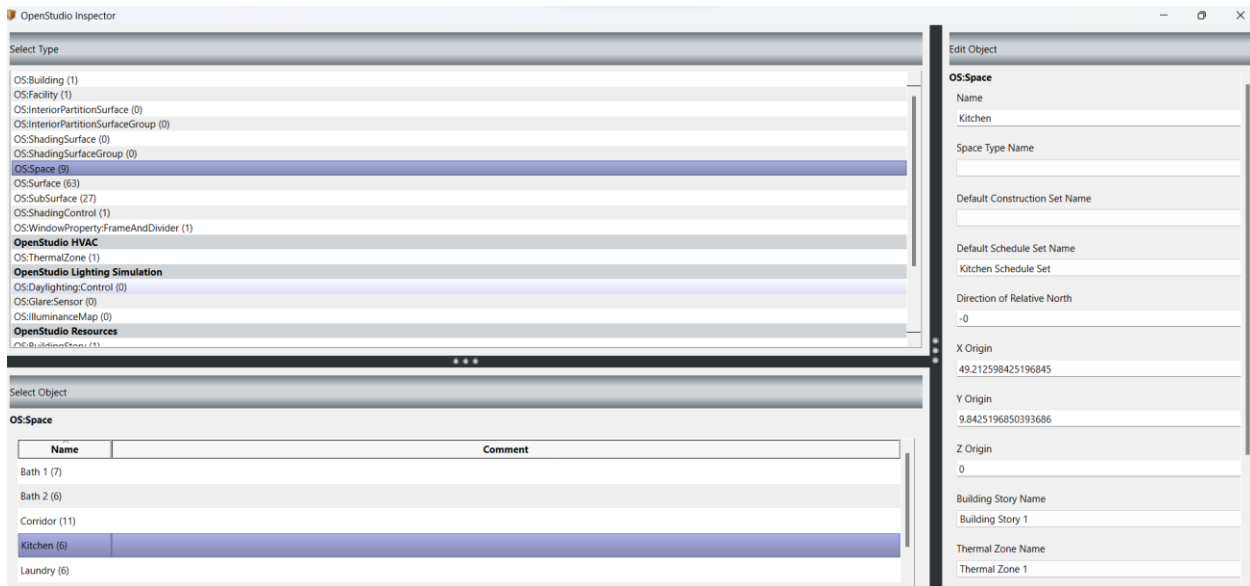
Εικόνα 63: Schedule για την καφετιέρα που βρίσκεται στο χώρο Kitchen

Για καλύτερη οργάνωση και ευχέρεια στη χρήση του λογισμικού, γίνεται ομαδοποίηση των χρονοπρογραμμάτων κατά space type. Για παράδειγμα όλα τα χρονοπρογράμματα που αφορούν στο χώρο της κουζίνας θα ομαδοποιηθούν στο συνολικό Kitchen Schedule Set μέσω της καρτέλας **Schedule Sets**.



Εικόνα 64: Ομαδοποίηση χρονοπρογραμμάτων για το χώρο Kitchen

Τέλος, μέσω του **OpenStudio Inspector**, ανοίγοντας ο χρήστης το SketchUp μπορεί να επιλέξει τον κάθε χώρο της οικίας, να του δώσει την ονομασία που επιθυμεί και να αντιστοιχίσει το αντίστοιχο schedule set που έχει δημιουργήσει στο OpenStudio πατώντας **Default Schedule Set**. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται ο ορισμός ονομασίας και default schedule set μέσω του openstudio inspector για το χώρο Kitchen.

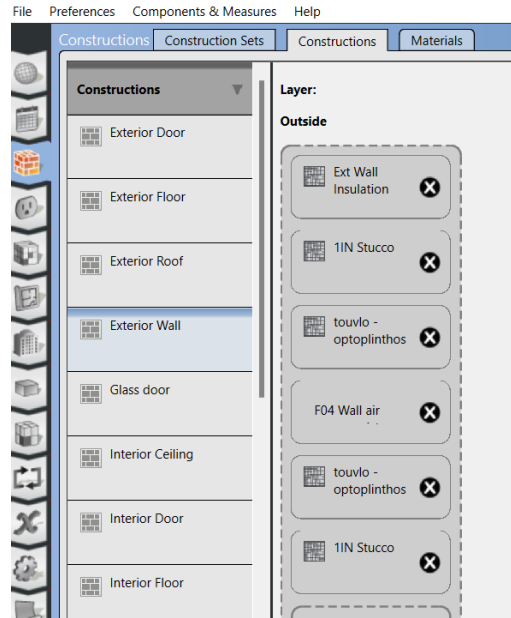


Εικόνα 65: Ονομασία και αντιστοίχιση χρονοπρογράμματος για την κουζίνα

6.2.3 Constructions Tab

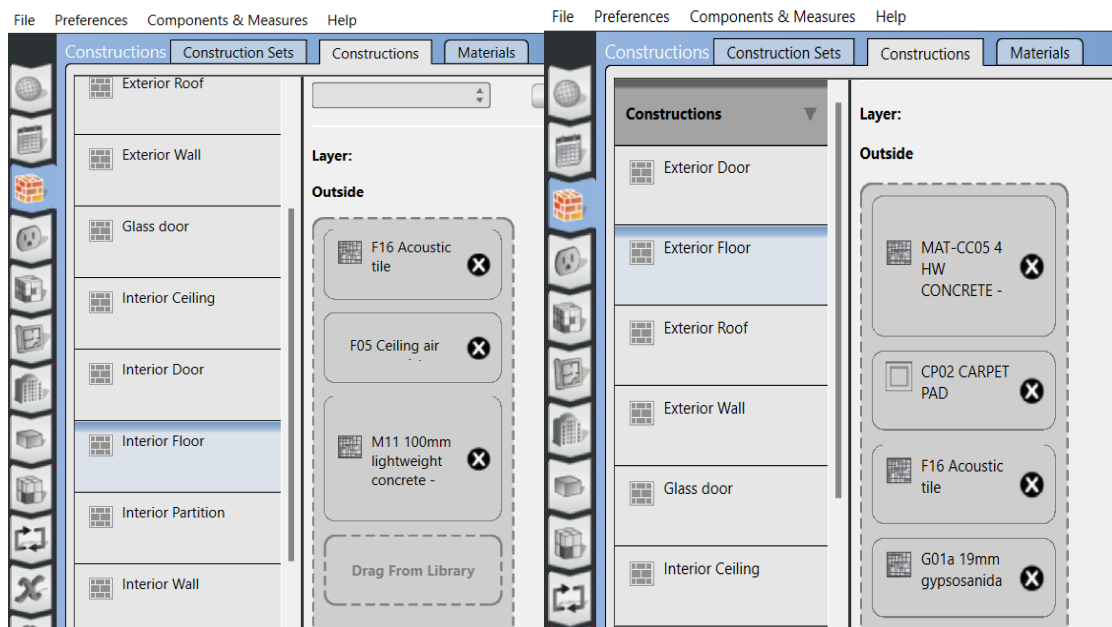
Σε αυτή την καρτέλα δημιουργούνται τα κατασκευαστικά σετ για τα δομικά μέρη της οικίας. Καθορίζονται δηλαδή τα υλικά κατασκευής για τους τοίχους (surfaces), για τις πόρτες, τα παράθυρα – μπαλκονόπορτες (subsurfaces). Οι στρώσεις των υλικών δίνονται από έξω προς τα μέσα. Στην υπό καρτέλα Materials ο χρήστης μπορεί να βρει τις ιδιότητες των υλικών που έχει χρησιμοποιήσει, όπως η θερμική αγωγιμότητα, το πάχος της στρώσης κ.ά.

- ✳ **Εξωτερικοί τοίχοι:** Για τους εξωτερικούς τοίχους εφαρμόστηκε η μέθοδος της θερμοπρόσοψης προς περιορισμό των θερμικών απωλειών. Η εξωτερική στρώση, δηλαδή, είναι μόνωση πάχους 11 cm. Ακολουθεί μια στρώση σοβά 2,5 cm (1 in) και δύο σειρές από τούβλα (οπτόπλινθους) πάχους 10,16 cm, με διάκενο πάχους 1 cm ανάμεσά τους. Τέλος, εσωτερικά εφαρμόζεται δεύτερη στρώση σοβά (ασβεστοκόνημα). Το κατασκευαστικό σετ των εξωτερικών τοίχων φαίνεται στην επόμενη εικόνα.



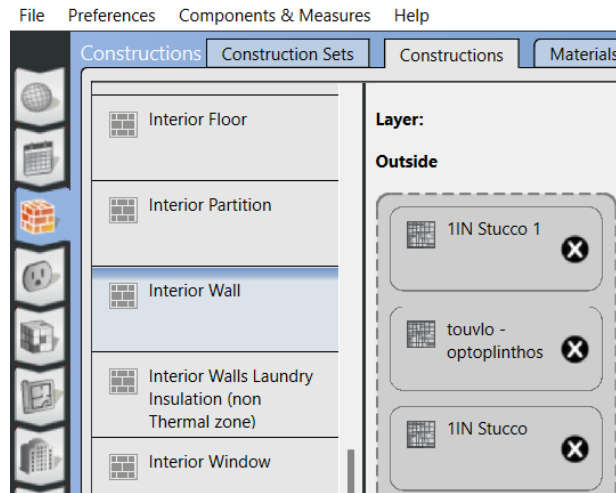
Εικόνα 66: Κατασκευαστικό σετ εξωτερικών τοίχων

- * **Δάπεδο:** Το κατασκευαστικό σετ για το δάπεδο διακρίνεται σε δύο κατασκευαστικά σετ, το εσωτερικό (interior) και το εξωτερικό (exterior). Για το εσωτερικό δάπεδο (interior floor) το σετ κατασκευής αποτελείται από μία ακουστική πλάκα πάχους 19 mm, διάκενο 1 mm και από ελαφρύ οπλισμένο σκυρόδεμα πάχους 100 mm. Όσον αφορά στο εξωτερικό δάπεδο (exterior floor), αυτό αποτελείται από ενισχυμένο οπλισμένο σκυρόδεμα πάχους 10,16 cm, από ένα είδος μοκέτας που προτείνει το λογισμικό, μια ακουστική πλάκα πάχους 19 mm και μια γυψοσανίδα πάχους 19 mm. Τα κατασκευαστικά σετ φαίνονται στις επόμενες εικόνες αναλυτικά.



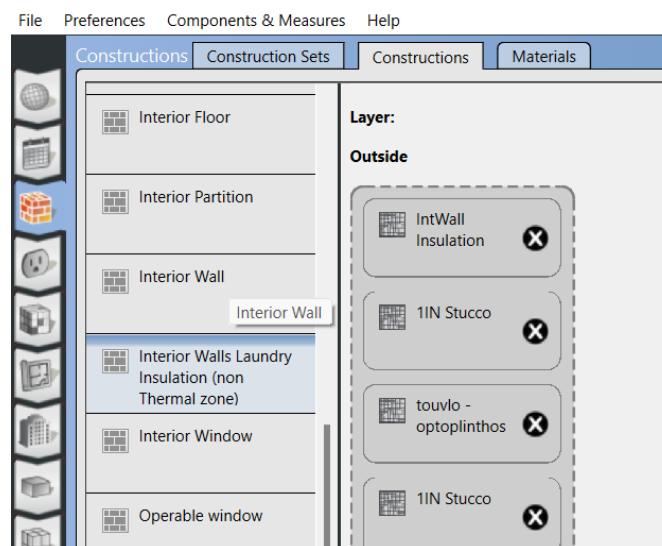
Εικόνα 67: Κατασκευαστικά σετ για interior & exterior floor

- * **Εσωτερικοί τοίχοι:** Οι εσωτερικοί τοίχοι έχουν ένα απλό κατασκευαστικό σετ. Πρόκειται για μια εξωτερική στρώση ασβεστοκονιάματος πάχους 2,5 cm, απλή σειρά από τούβλα (οπτόπλινθους) πάχους 10,16 cm και μια εσωτερική στρώση ασβεστοκονιάματος ίδιου πάχους με την εξωτερική. Το σετ κατασκευής εσωτερικών τοίχων παρουσιάζεται στην επόμενη εικόνα.



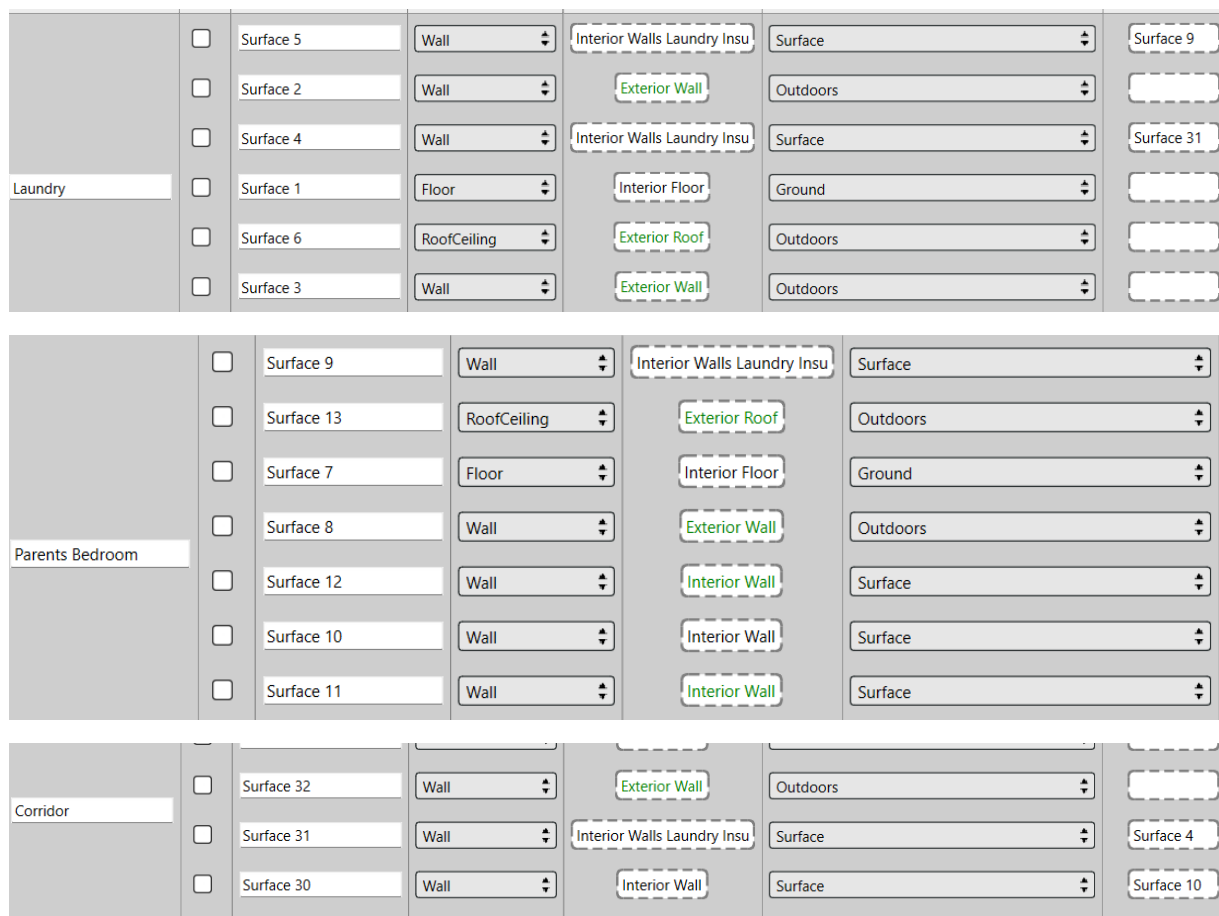
Εικόνα 68: Κατασκευαστικό σετ εσωτερικών τοίχων

Υπάρχει όμως μια ιδιαιτερότητα καθώς ο χώρος Laundry δεν ανήκει στη θερμική ζώνη και αποτελείται από 2 εσωτερικούς τοίχους (και 2 εξωτερικούς), εκ των οποίων ο ένας επικοινωνεί με το διάδρομο και ο άλλος με την κρεβατοκάμαρα των γονιών, που είναι χώροι που ανήκουν στη θερμική ζώνη. Για το λόγο αυτό, για τους 2 αυτούς εσωτερικούς τοίχους έχει δημιουργηθεί ειδικό σετ εσωτερικού τοίχου με μια μόνωση, ώστε οι απώλειες να είναι ελάχιστες. Πρόκειται για τα ίδια υλικά που χρησιμοποιήθηκαν στο απλό σετ εσωτερικών τοίχων, μόνο που έχει προστεθεί μια μόνωση πάχους 5,66 cm. Το συγκεκριμένο κατασκευαστικό σετ φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα.



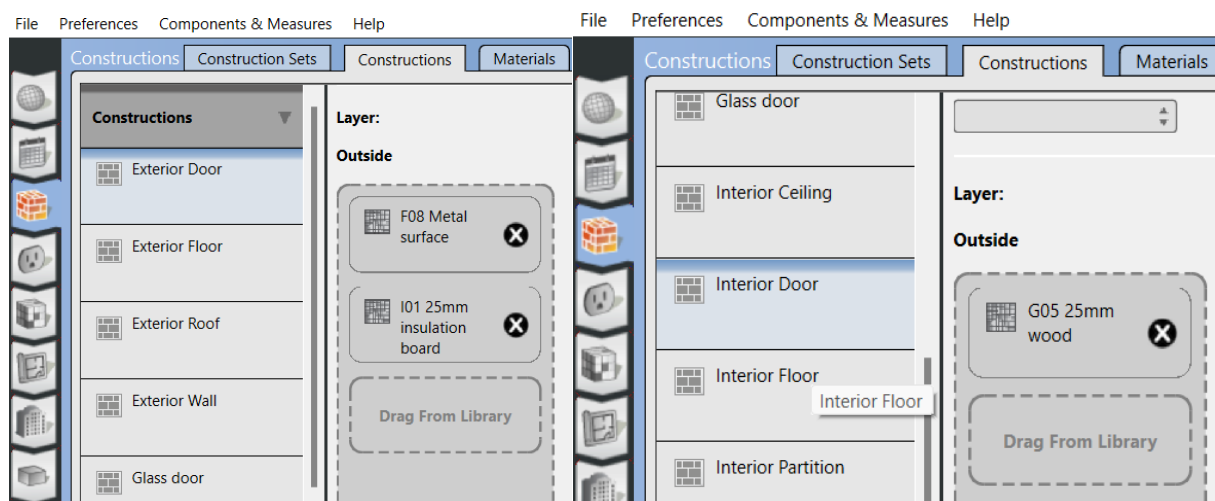
Εικόνα 69: Κατασκευαστικό σετ εσωτερικών τοίχων με μόνωση

Επειδή όμως, όπως ειπώθηκε προηγουμένως, το συγκεκριμένο format αντιστοιχεί μόνο σε 2 τοίχους, ο χρήστης οφείλει να καταδείξει στο λογισμικό συγκεκριμένα ποιοι τοίχοι θα έχουν αυτό το ιδιαίτερο format. Έτσι, μέσω της καρτέλας **Spaces**, κάνοντας κλικ στην υπό καρτέλα **Surfaces** μπορούμε να ορίσουμε το κατασκευαστικό σετ για όποια επιφάνεια θέλουμε. Στις επόμενες εικόνες φαίνονται οι τοίχοι που χρειάζονται κατασκευαστικό σετ εσωτερικών τοίχων με μόνωση, τόσο για το χώρο Laundry, όσο και για την κρεβατοκάμαρα των γονιών και το διάδρομο, τα δωμάτια δηλαδή με τα οποία επικοινωνεί ο χώρος Laundry.



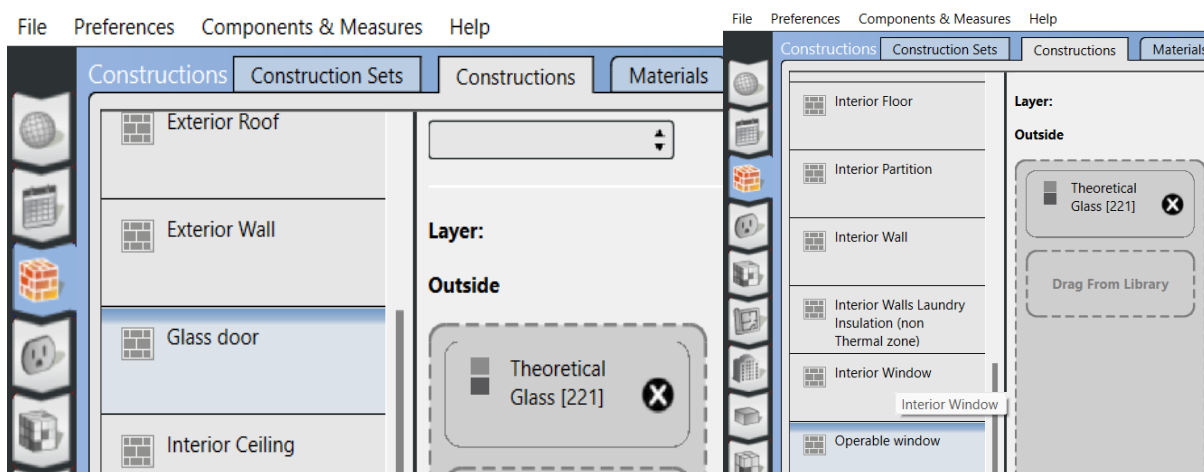
Εικόνα 70: Εσωτερικοί τοίχοι με ειδικό κατασκευαστικό σετ

- * **Πόρτες:** Η μονοκατοικία φέρει εσωτερικές πόρτες (interior doors) προκειμένου να μπορούν οι χρήστες να μετακινηθούν μεταξύ των διάφορων χώρων και μία εξωτερική πόρτα (exterior door), αυτή της εισόδου στην οικία. Όπως είναι λογικό, το κατασκευαστικό σετ της εξωτερικής πόρτας διαφέρει με αυτό για τις εσωτερικές πόρτες, αφού αυτό επιβάλλουν οι συντοριακές συνθήκες. Η εξωτερική πόρτα συνορεύει με το εξωτερικό περιβάλλον, οπότε για να παρατηρηθούν ελάχιστες θερμικές απώλειες εντός της μεταλλικής της επιφάνειας προστέθηκε και μία μονωτική πλάκα πάχους 2,5 cm. Το σετ κατασκευής για της εσωτερικές πόρτες είναι ίδιο για όλες και είναι μια τυπική ξύλινη πόρτα εσωτερικού χώρου. Τα δύο κατασκευαστικά σετ φαίνονται στην επόμενη εικόνα.



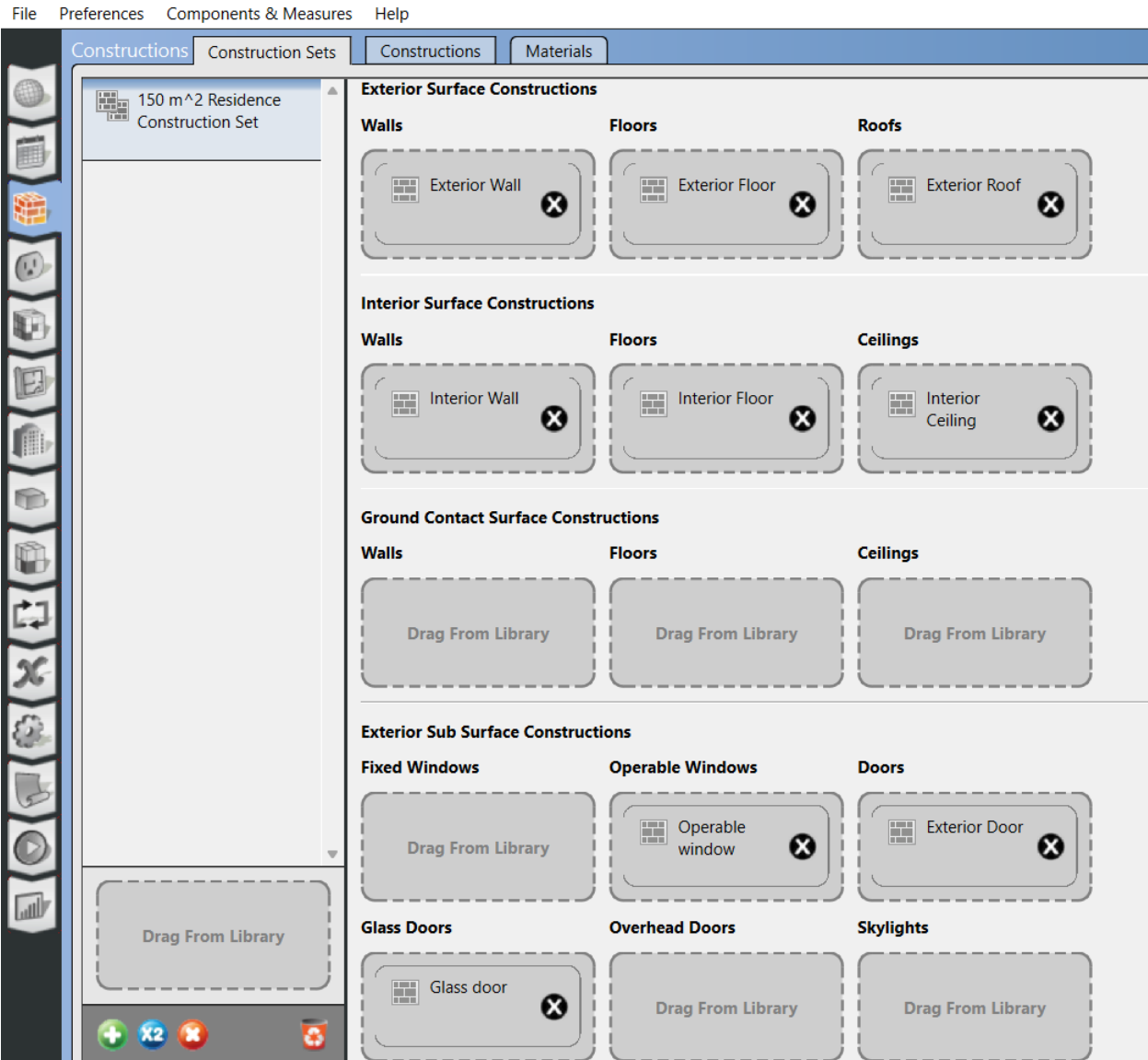
Εικόνα 71: Κατασκευαστικά σετ για την εξωτερική και τις εσωτερικές πόρτες

- * **Παράθυρα – Μπαλκονόπορτες:** Τα παράθυρα (operable windows) και οι μπαλκονόπορτες (glass doors) είναι σημαντικά στο σχεδιασμό της οικίας, καθώς εξασφαλίζουν τον απαραίτητο φωτισμό και φυσικό αερισμό για τους διάφορους χώρους. Οι υαλοπίνακες που χρησιμοποιούνται είναι τυπικό σετ κατασκευής παραθύρων του OpenStudio με χαμηλό συντελεστή θερμοπερατότητας, το σετ **Theoretical Glass [221]**, το οποίο φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



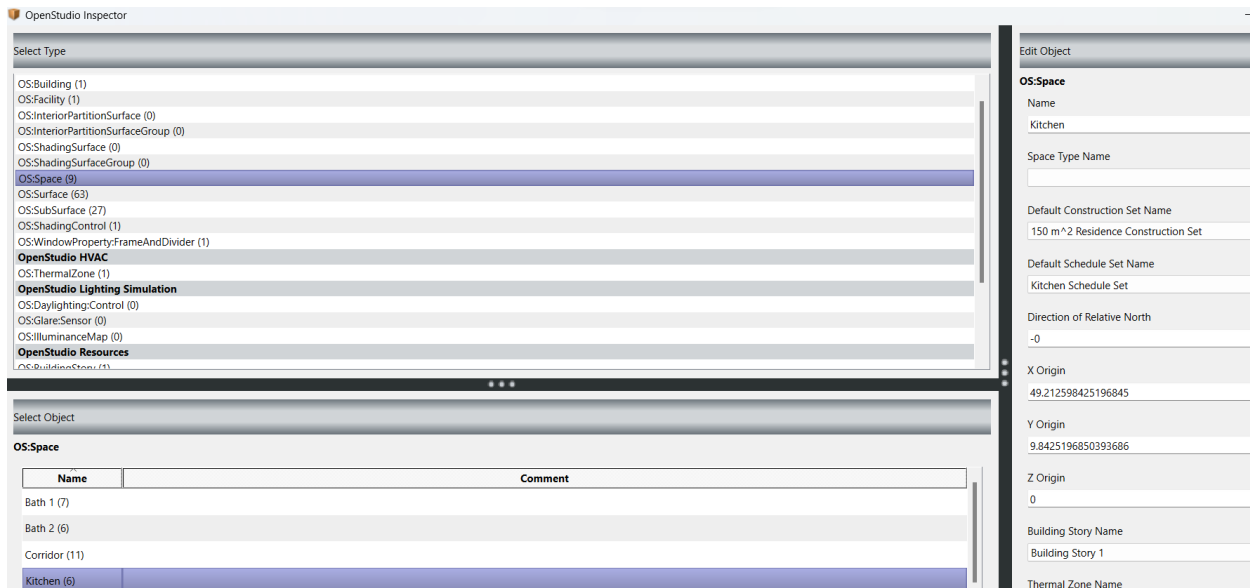
Εικόνα 72: Κατασκευαστικό σετ για παράθυρα και μπαλκονόπορτες

Αφού ολοκληρωθεί ο ορισμός των κατασκευαστικών υλικών ακολουθεί η αντιστοίχιση των επί μέρους σετ των δομικών στοιχείων της οικίας στο συνολικό κατασκευαστικό σετ της μονοκατοικίας. Αυτό γίνεται στο **Construction Sets**. Αυτή η διαδικασία φαίνεται στην επόμενη εικόνα. Το συνολικό construction set λαμβάνει την ονομασία «150 m² Residence Construction Set».



Εικόνα 73: Αντιστοίχιση των επιμέρους σετ κατασκευής των δομικών στοιχείων επί του συνολικού construction set της μονοκατοικίας

Τέλος, πρέπει το μοναδικό construction set της μονοκατοικίας να αποδοθεί στους χώρους της. Αυτό γίνεται και πάλι μέσω του **OpenStudio Inspector**, πατώντας **Default Construction Set** σε κάθε χώρο και επιλέγοντας το **150 m² Residence Construction Set**.



Εικόνα 74: Ορισμός του Construction Set στην κουζίνα (όμοια σε όλους τους χώρους)

6.2.4 Διερεύνηση επί του συντελεστή θερμοπερατότητας

Σε αυτό το σημείο χρειάζεται να διερευνηθεί η τήρηση των προδιαγραφών των κατασκευαστικών υλικών όπως ορίζει ο Κ.Εν.Α.Κ.. Οι προδιαγραφές αυτές έχουν να κάνουν με τον μέγιστο συντελεστή θερμοπερατότητας, U , των δομικών στοιχείων του κελύφους, όσο και το κέλυφος συνολικά. Επομένως, χρειάζεται να υπολογιστεί ο συντελεστής θερμοπερατότητας για κάθε δομικό στοιχείο. Η ακόλουθη σχέση ορίζει τον συντελεστή θερμοπερατότητας ενός πολυστρωματικού δομικού στοιχείου.

$$U = \frac{1}{R_{o\lambda}} \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right] \quad [9]$$

όπου:

$$R_{o\lambda} = R_i + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_\delta + R_\alpha \left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right] \quad [10]$$

- $R_i \left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$ η αντίσταση θερμικής μετάβασης επιφανειακού στρώματος αέρα από τον εσωτερικό χώρο προς το δομικό στοιχείο
- $R_\delta \left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$ σε περίπτωση που υπάρχει διάκενο αέρος ανάμεσα στις στρώσεις ενός δομικού στοιχείου, με R_δ συμβολίζεται η θερμική αντίσταση του αέρα
- $R_\alpha \left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$ η αντίσταση θερμικής μετάβασης επιφανειακού στρώματος αέρα από το δομικό στοιχείο προς το εξωτερικό περιβάλλον
- $R_{o\lambda} \left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$ η συνολική αντίσταση που προβάλλει το δομικό στοιχείο στη μετάδοση θερμότητας
- η [-] το πλήθος των στρώσεων

Οι συντελεστές R_i και R_a προσδιορίζονται από τον επόμενο πίνακα της ΤΟΤΕΕ.

Α/Α	Δομικό στοιχείο	Συντελεστές θερμικής μετάβασης		Αντιστάσεις θερμικής μετάβασης	
		$1/R_i$	$1/R_a$	R_i	R_a
		$W/(m^2 \cdot K)$	$W/(m^2 \cdot K)$	$(m^2 \cdot K)/W$	$(m^2 \cdot K)/W$
1	Εξωτερικοί τοίχοι και παράθυρα (προς εξωτ. αέρα)	7,70	25,00	0,13	0,04
2	Τοίχος που συνορεύει με μη θερμαινόμενο χώρο	7,70	7,70	0,13	0,13
3	Τοίχος σε επαφή με έδαφος	7,70	–	0,13	0,00
4	Στέγη, δώμα (ανερχόμενη ροή θερμότητας)	10,00	25,00	0,10	0,04
5	Οροφή που συνορεύει με μη θερμαινόμενο χώρο (ανερχόμενη ροή θερμότητας)	10,00	10,00	0,10	0,10
6	Δάπεδο επάνω από ανοικτή διάβαση (πυλωτή) (κατερχόμενη ροή θερμότητας)	5,88	25,00	0,17	0,04
7	Δάπεδο επάνω από μη θερμαινόμενο χώρο (κατερχόμενη ροή θερμότητας)	5,88	5,88	0,17	0,17
8	Δάπεδο σε επαφή με το έδαφος	5,88	–	0,17	0,00

Πίνακας 2: Τιμές συντελεστών R_i και R_a από ΤΟΤΕΕ

Οι προδιαγραφές που ορίζει ο Κ.Εν.Α.Κ. διαφοροποιούνται ανάλογα την περιοχή μελέτης. Η οικία που μελετάται θα ανεγερθεί στην περιοχή της Ραφήνας, που βρίσκεται στην περιφέρεια Αττικής και άρα λαμβάνει τις αντίστοιχες προδιαγραφές της Ζώνης Β, όπως φαίνεται και στην επόμενη εικόνα.

ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ	ΝΟΜΟΙ
ΖΩΝΗ Α	Ηρακλείου, Χανίων, Ρεθύμνου, Λασιθίου, Κυκλάδων, Δωδεκανήσου, Σάμου, Μεσσηνίας, Λακωνίας, Αργολίδας, Ζακύνθου, Κεφαλληνίας & Ιθάκης, Κύθηρα & νησιά Σαρωνικού (Αττικής), Αρκαδίας (πεδινή).
ΖΩΝΗ Β	Αττικής (εκτός Κυθήρων & νησιών Σαρωνικού), Κορινθίας, Ηλείας, Αχαΐας, Αιτωλοακαρνανίας, Φθιώτιδας, Φωκίδας, Βοιωτίας, Ευβοίας, Μαγνησίας, Λέσβου, Χίου, Κέρκυρας, Λευκάδας, Θεσπρωτίας, Πρέβεζας, Άρτας.

Πίνακας 3: Διαχωρισμός της Ελλάδας σε δύο κλιματικές ζώνες ανάλογα με την περιφέρεια – ΤΟΤΕΕ

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζεται ο μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας για κάθε δομικό στοιχείο για την περίπτωση κτιρίου προς ανέγερση.

Δομικό στοιχείο	Μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας U [W/(m ² ·K)]			
	Ζώνη Α'	Ζώνη Β'	Ζώνη Γ'	Ζώνη Δ'
Εξωτερική οριζόντια ή κεκλιμένη επιφάνεια σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (οροφή)	0,45	0,40	0,35	0,30
Εξωτερικός τοίχος σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	0,55	0,45	0,40	0,35
Δάπεδο σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (πιλοτή)	0,45	0,40	0,35	0,30
Οριζόντια ή κεκλιμένη οροφή σε επαφή με κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο	1,10	0,80	0,65	0,60
Τοίχος σε επαφή με κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο	1,30	0,90	0,70	0,65
Δάπεδο σε επαφή με κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο	1,10	0,80	0,65	0,60
Οριζόντια ή κεκλιμένη οροφή σε επαφή με το έδαφος	1,10	0,80	0,65	0,60
Τοίχος σε επαφή με το έδαφος	1,30	0,90	0,70	0,65
Δάπεδο σε επαφή με το έδαφος	1,10	0,80	0,65	0,60
Κούφωμα ανοίγματος σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	2,80	2,60	2,40	2,20
Κούφωμα ανοίγματος χωρίς υαλοπίνακα σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	2,80	2,60	2,40	2,20
Γυάλινη πρόσοψη κτιρίου μη ανοιγόμενη ή μερικώς ανοιγόμενη σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	2,10	1,90	1,75	1,70

Πίνακας 4: Μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας δομικών στοιχείων κτιρίου, ανά κλιματική ζώνη, για κτίριο προς ανέγερση

Το OpenStudio στα αποτελέσματα της προσομοίωσης έχει υπολογίσει έμμεσα το συντελεστή θερμοπερατότητας για τους εξωτερικούς τοίχους και την οροφή και άμεσα για τα παράθυρα και τις μπαλκονόπορτες.

Για παράθυρα (operable windows) και μπαλκονόπορτες (glass doors) το λογισμικό έχει υπολογίσει το συντελεστή θερμοπερατότητας ίσο με $1,98 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$ για το κατασκευαστικό σετ που έχει επιλεγεί.

Construction	Net Area (m ²)	Surface Count	U-factor (W/m ² *K)
Exterior Door	2.1	1	
Glass door	14.4	2	1.98
Operable window	14.5	8	1.98

Πίνακας 5: Συντελεστής θερμοπερατότητας για παράθυρα και μπαλκονόπορτες

Για τους εξωτερικούς τοίχους και την οροφή της οικίας το λογισμικό έχει υπολογίσει έμμεσα το συντελεστή θερμοπερατότητας μέσω της αντίστασης που προβάλλει το δομικό στοιχείο στη μετάδοση θερμότητας. Έτσι, για τους εξωτερικούς τοίχους υπολογίζεται $U = 0,3246 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$ ($R=3,08 \left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$), ενώ για την οροφή $U = 0,2207 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$ ($R=4,53 \left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$) για τα κατασκευαστικά σετ που έχουν επιλεγεί.

Construction	Net Area (m ²)	Surface Count	R Value (m ² *K/W)
Exterior Roof	150.0	9	4.53
Exterior Wall	121.3	13	3.08

Πίνακας 6: Αντίσταση εξωτερικών τοίχων και οροφής στη μετάδοση θερμότητας

Επομένως, πρέπει να υπολογιστεί ο συντελεστής θερμοπερατότητας για τα υπόλοιπα δομικά στοιχεία του κτιρίου και να εξεταστεί η τιμή του σε σχέση με τη μέγιστη επιτρεπτή. Για να γίνει αυτό πρέπει πρώτα να υπολογίσουμε την αντίσταση κάθε δομικού στοιχείου στη μετάδοση θερμότητας. Η τιμή της αντίστασης κάθε στρώσης υλικού δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$R_{1,2,\dots,n} = \frac{k}{L} \left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right] \quad [11]$$

όπου:

- $k \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$ ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας για κάθε στρώση
- $L [m]$ το πάχος κάθε στρώσης

Οι τιμές που υπολογίστηκαν με την παραπάνω διαδικασία παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον ακόλουθο πίνακα:

	$U \left[\frac{W}{m^2} \cdot K \right]$	$U_{max} \left[\frac{W}{m^2} \cdot K \right]$
Εξωτερικοί τοίχοι	0.3247	0.45
Οροφή	0.2208	0.4
Παράθυρα	1.98	2.6
Μπαλκονόπορτες	1.98	2.6
Εσωτερικοί τοίχοι	0.5266	0.9
Δάπεδο	0.6781	0.8
Εξωτερική πόρτα	0.9965	2.6

Πίνακας 7: Υπολογισμός τιμών συντελεστών θερμοπερατότητας

Παρατηρείται ότι τα κατασκευαστικά σετ για όλα τα δομικά στοιχεία βρίσκονται εντός προδιαγραφών.

Για να ολοκληρωθεί η διερεύνηση θα πρέπει να εξεταστεί αν και ο μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας του κελύφους του κτηρίου, U_m , βρίσκεται εντός προδιαγραφών. Ο μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας υπολογίζεται σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$U_m = \frac{\sum_{i=1}^n A_i U_i b_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad [12]$$

όπου

- A_i [m^2] το εμβαδό του κάθε δομικού στοιχείου του κελύφους του κτηρίου
- U_i [$\frac{W}{m^2} \cdot K$] ο συντελεστής θερμοπερατότητας κάθε δομικού στοιχείου
- b_i [-] ο μειωτικός συντελεστής, ο οποίος λαμβάνεται ίσος με τη μονάδα για δομικά στοιχεία σε επαφή με θερμαινόμενο χώρο και ίσος με 0.5 για δομικά στοιχεία σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο (Laundry).

Μετά τους υπολογισμούς βρέθηκε το $\sum_{i=1}^n A_i U_i b_i = 91.57187$ και το $\sum_{i=1}^n A_i = 150$, οπότε και ο μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας του κτηρίου $U_m = 0.61$ [$\frac{W}{m^2} \cdot K$].

Ο μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας του κτηρίου πρέπει κι αυτός να ελεγχθεί για το αν πληροί τα κριτήρια της ΤΟΤΕΕ. Σύμφωνα με την τεχνική οδηγία το $U_{m,max}$ υπολογίζεται με βάση έναν λόγο A/V . Πρόκειται για τον λόγο της συνολικής επιφάνειας του κελύφους του κτηρίου, προς το συνολικό όγκο του κτηρίου αν από αυτόν αφαιρέσουμε τον όγκο που δεν εντάσσεται στη θερμική ζώνη. Κατόπιν υπολογισμών προκύπτει ότι: $\frac{A}{V} = \frac{432}{150} = 0,347222$.

Σύμφωνα με το λόγο A/V που υπολογίστηκε και ανατρέχοντας στον παρακάτω πίνακα της ΤΟΤΕΕ για τη ζώνη Β (Αττική) λαμβάνουμε το ανώτατο επιτρεπόμενο όριο του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας του κτηρίου.

Λόγος A/V [m^{-1}]	Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας U_m [$W/(m^2 \cdot K)$]			
	Ζώνη Α'	Ζώνη Β'	Ζώνη Γ'	Ζώνη Δ'
≤ 0,2	1,25	1,13	1,04	0,95
0,3	1,17	1,05	0,96	0,88
0,4	1,10	0,99	0,91	0,83
0,5	1,04	0,93	0,86	0,78
0,6	0,98	0,89	0,81	0,73
0,7	0,92	0,83	0,76	0,68
0,8	0,86	0,77	0,71	0,63
0,9	0,80	0,73	0,65	0,59
≥ 1,0	0,77	0,69	0,62	0,55

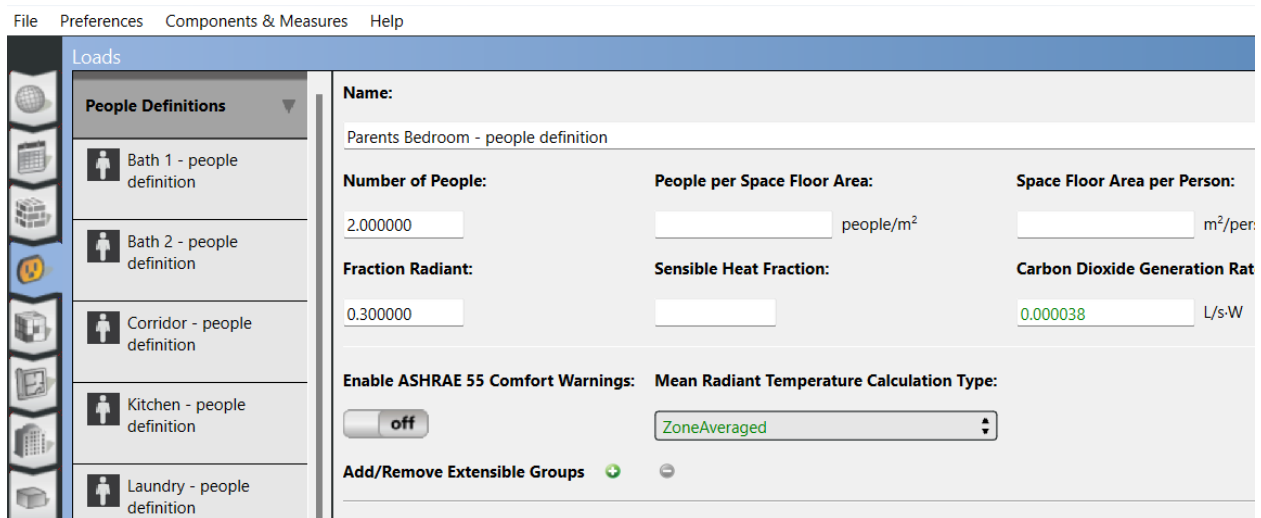
Πίνακας 8: Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας για λόγο A/V ανά κλιματική ζώνη σύμφωνα με την ΤΟΤΕΕ

Με γραμμική παρεμβολή προκύπτει ο $U_{m,max} = 1.021667$ [$\frac{W}{m^2} \cdot K$]. Και άρα, τελικά, η μονοκατοικία βρίσκεται εντός προδιαγραφών και ως προς το μέσο συντελεστή θερμοπερατότητας αφού $U_m < U_{m,max}$.

6.2.5 Loads Tab

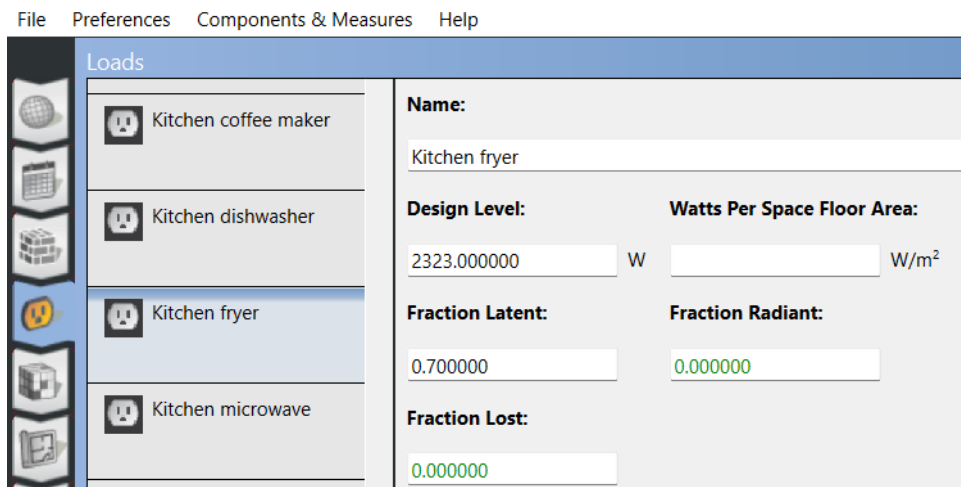
Σε αυτή την καρτέλα πραγματοποιείται ο ορισμός των φορτίων για τους διάφορους χώρους της οικίας. Ορίζονται τα ανθρώπινα φορτία (people definitions) ανάλογα με το χρόνο παραμονής στον εκάστοτε χώρο, για εύρεση ακτινοβολούσας και αισθητής θερμότητας, τα φορτία από ηλεκτρικές συσκευές (electric equipment definitions), αλλά και τα φορτία από φωτιστικά σώματα (lights definitions).

- **Καθορισμός ανθρωπίνων φορτίων:** στην επόμενη εικόνα φαίνεται ο ορισμός των ανθρωπίνων φορτίων για την κρεβατοκάμαρα των γονέων.



Εικόνα 75: Ορισμός ανθρωπίνων φορτίων για το χώρο Parents Bedroom

- **Καθορισμός φορτίων από ηλεκτρικές συσκευές:** σε αυτό το σημείο ορίζεται η ονομαστική ισχύς για κάθε ηλεκτρική συσκευή που έχει εισάγει ο χρήστης. Για το λόγο αυτό αξιοποιούνται εξειδικευμένοι πίνακες της ASHRAE ή και φύλλα κατασκευαστών. Στην επόμενη εικόνα δίνεται ένα τέτοιο παράδειγμα.



Εικόνα 76: Ορισμός ονομαστικής ισχύος για τη συσκευή kitchen fryer

Appliance	Energy Rate, W		Rate of Heat Gain, W				Usage Factor F_U	Radiation Factor F_R
	Rated	Cooking	Sensible Radiant	Sensible Convective	Latent	Total		
Cheesemelter	2400	2714	443	1094	599	2136	1.13	0.16
Egg cooker	2380	1191	65	369	630	1065	0.50	0.05
Fryer, countertop, open deep fryer	4600	3818	202	492	1629	2323	0.83	0.05
Griddle, countertop	8000	3280	848	631	1277	2757	0.41	0.26
Hot dog roller	1600	1577	267	611	679	1556	0.99	0.17
Hot plate, single burner	1100	985	313	627	44	985	0.90	0.32
Induction hob, countertop	5000	653	0	318	335	653	0.13	0.00
Oven, conveyor	5000	4292	718	2454	193	3365	0.86	0.17
Microwave	1700	2363	0	934	995	1929	1.39	0.00
Rapid cook	5700	2310	96	1234	771	2102	0.41	0.04
Panini grill	1800	1374	195	718	150	1062	0.76	0.14
Popcorn popper	850	576	28	236	192	457	0.68	0.05
Rice cooker	1550	1159	14	95	44	153	0.75	0.01
Soup warmer	800	842	0	85	716	801	1.05	0.00
Steamer (bun)	1500	791	32	240	511	783	0.53	0.04
Steamer, countertop	8300	7731	0	499	6934	7433	0.93	0.00
Toaster, conveyor	1745	1705	358	974	373	1705	0.98	0.21
Vertical	2600	1841	180	715	322	1218	0.71	0.10
Tortilla grill	2200	2194	254	1267	673	2194	1.00	0.12
Waffle maker	2700	1180	60	357	559	975	0.44	0.05

Πίνακας 9: Θερμικό κέρδος από ηλεκτρικές συσκευές σε κατάσταση λειτουργίας κατά ASHRAE

Χάριν πληρότητας παρατίθενται όλες οι ηλεκτρικές συσκευές της οικίας ορισμένες στον ακόλουθο πίνακα:

Ηλεκτρική συσκευή	Ονομαστική ισχύς [W]
Ψυγείο	150
Καφετιέρα	500
Τηγάνι (fryer)	2323
Φορτιστές λάμπτοπ	80
Φορτιστές κινητών	20
Πλυντήριο	2000
Τηλεοράσεις	250
Φούρνος μικροκυμάτων	1000
Πλυντήριο πιάτων	1200
Πιστολάκι για μαλλιά	1800

Πίνακας 10: Συγκεντρωτικός πίνακας φορτίων ηλεκτρικών συσκευών

Σημειώνεται ότι για την εξοικονόμηση ενέργειας και τον περιορισμό των απαιτήσεων σε ηλεκτρισμό, χρησιμοποιείται ένα εργαλείο του λογισμικού για μείωση των φορτίων κατά τις νυχτερινές ώρες (**Reduce Night Time Electric Loads**). Το εργαλείο αυτό επιστρατεύεται για τη λειτουργία του ψυγείου σε χαμηλότερο φορτίο κατά τις νυχτερινές ώρες. Περισσότερες πληροφορίες για αυτό το εργαλείο θα δοθούν στη καρτέλα **Measures**.

- **Καθορισμός φορτίων από φωτιστικά σώματα:** Σημειώνεται πως σε όλους τους χώρους της οικίας έχουν τοποθετηθεί οικονομικοί λαμπτήρες LED αντί για λαμπτήρες πυρακτώσεως. Μάλιστα, η ισχύς του φωτισμού εξαρτάται από τον τύπο κάθε χώρου και τη δράση που πραγματοποιεί ο χρήστης όταν παρευρίσκεται σε αυτόν. Ακολουθεί παράδειγμα ορισμού φωτιστικού σώματος.

Loads

Name:
Lights Definition - Small Bedroom 1

Lighting Power: W **Watts Per Space Floor Area:** W/m² **Watts Per Person:** W/person

Fraction Visible:

Return Air Fraction:

Εικόνα 77: Παράδειγμα ορισμού φωτιστικού σώματος στο παιδικό Υ/Δ

Common Space Types*	LPD, W/m ²	Common Space Types*	LPD, W/m ²	Building-Specific Space Types*	LPD, W/m ²
Atrium		Loading Dock, Interior	5.1	Health Care Facility	
≤12.2 m high	1.1/m total height	Lobby		In exam/treatment room	18.0
>12.2 m high	4.3 + 0.7/m total height	In facility for the visually impaired (and not used primarily by staff) ^c	19.4	In imaging room	16.3
		For elevator	7.0	In medical supply room	7.96
Audience Seating Area		In hotel	11.5	In nursery	9.5
In auditorium	6.8	In motion picture theater	6.4	In nurses' station	7.6
In convention center	8.9	In performing arts theater	21.6	In operating room	26.8
In gymnasium	7.1	All other lobbies	9.7	In patient room	6.7
In motion picture theater	12.3	Locker Room	8.1	In physical therapy room	9.9
In penitentiary	3.1	Lounge/Breakroom		In recovery room	12.4
In performing arts theater	26.2	In health care facility	10.0	Library	
In religious building	16.5	All other lounges/breakrooms	7.9	In reading area	11.5
In sports arena	4.7	Office		In stacks	18.4
All other audience seating areas	4.7	Enclosed	12.0	Manufacturing Facility	
Banking Activity Area	11.9	Open plan	10.6	In detailed manufacturing area	13.9
Breakroom (See Lounge/Breakroom)		Parking Area, Interior	2.1	In equipment room	8.0
Classroom/Lecture Hall/Training Room		Pharmacy Area	18.1	In extra-high-bay area (15.2 m floor-to-ceiling height)	11.3
In penitentiary	14.5	Restroom		In high-bay area (7.6 to 15.2 m floor-to-ceiling height)	13.3
All other classrooms/lecture halls/training rooms	13.4	In facility for the visually impaired (and not used primarily by staff) ^c	13.1		

Πίνακας 11: Απόσπασμα του πίνακα της ASHRAE για τον καθορισμό των φωτιστικών σωμάτων ανά τύπο χώρου

Στον επόμενο πίνακα παρατίθενται συγκεντρωτικά τα φωτιστικά σώματα για κάθε χώρο της μονοκατοικίας:

Δωμάτιο	Ισχύς ανά επιφάνεια [W/m ²]	Fraction Radiant	Fraction visible
Κουζίνα	13.1	0.32	0.23
Διάδρομος	7.1	0.32	0.23
Laundry	6.5	0.32	0.23
Υ/Δ γονέων	11.5	0.32	0.23
Υ/Δ παιδικά	11.5	0.32	0.23
Μπάνια	10.6	0.32	0.23
Καθιστικό	9.6	0.32	0.23

Πίνακας 12: Συγκεντρωτικός πίνακας φωτιστικών σωμάτων της μονοκατοικίας

6.2.6 Space Types Tab

Σε αυτή την καρτέλα τα σετ που έχουν δημιουργηθεί αντιστοιχίζονται σε κάθε χώρο. Έτσι, το σύνολο των χρονοπρογραμμάτων για κάθε χώρο, Default Schedule Set, Default Construction Set, υπό-προγράμματα για αερισμό, όλα εισάγονται σε αυτή την καρτέλα στον αντίστοιχο τύπο χώρου. Στις στήλες Design Specification Outdoor Air και Space Infiltration Design Flow Rates, που αφορούν στη διείσδυση και στη απαραίτητη ανανέωση του αέρα στους χώρους της οικίας πάρθηκαν μοντέλα από τη βιβλιοθήκη του OpenStudio, τα οποία παρουσιάζονται στις επόμενες εικόνες.

File Preferences Components & Measures Help

Space Types

Drop Space Type

General Loads Measure Tags Custom

Filter: Load Type
Show all loads

Space Type Name	All	Rendering Color	Default Construction Set <small>Apply to Selected</small>	Default Schedule Set <small>Apply to Selected</small>	Design Specification Outdoor Air <small>Apply to Selected</small>	Space Infiltration Design Flow Rates <small>Apply to Selected</small>	Space Infiltration Effective Leakage Areas <small>Apply to Selected</small>
Bath 1 Space Type	<input type="checkbox"/>	■	150 m ² Residence Constr	Bath 1 Schedule Set	WholeBuilding Ventilation	Bath 1 Infiltration	
Bath 2 Space Type	<input type="checkbox"/>	■	150 m ² Residence Constr	Bath 2 Schedule Set	WholeBuilding Ventilation	Bath 2 Infiltration	
Corridor Space Type	<input type="checkbox"/>	■	150 m ² Residence Constr	Corridor Schedule Set	WholeBuilding Ventilation	Corridor Infiltration	
Kitchen Space Type	<input type="checkbox"/>	■	150 m ² Residence Constr	Kitchen Schedule Set	WholeBuilding Ventilation	Kitchen Infiltration	
Laundry Space Type	<input type="checkbox"/>	■	150 m ² Residence Constr	Laundry Schedule Set	WholeBuilding Ventilation	Laundry Infiltration	

Εικόνα 78: Καρτέλα Space Types – General

OS:DesignSpecification:OutdoorAir	OS:SpaceInfiltration:DesignFlowRate
Name WholeBuilding Ventilation	Name Bath 1 Infiltration
Outdoor Air Method Sum	Design Flow Rate Calculation Method Flow/ExteriorArea
Outdoor Air Flow per Person 0.002359737216 m ³ /s-person	Design Flow Rate m ³ /s
Outdoor Air Flow per Floor Area 0.0003048 m	Flow per Space Floor Area m/s
Outdoor Air Flow Rate 0.0 m ³	Flow per Exterior Surface Area 0.000226568 m/s
Outdoor Air Flow Air Changes per Hour 0.0 1	Air Changes per Hour 1/h
	Constant Term Coefficient 1.0

Εικόνα 79: Ορισμός Design Specification Outdoor Air και Space Infiltration Design Flow Rate - κοινά για τους χώρους της οικίας

Επίσης, στην καρτέλα **Space Types → Loads** αντιστοιχίζεται κάθε τύπος φορτίου σε κάθε τύπο χώρου. Έτσι, ανθρώπινα φορτία, φορτία από φωτισμό και ηλεκτρικές συσκευές (**load definitions**) αντιστοιχίζονται σε κάθε τύπο χώρου με το αντίστοιχο **multiplier**, ανάλογα με τον αριθμό που έχει ορίσει ο χρήστης για κάθε κατηγορία. Συνοδεύονται από το αντίστοιχο **Schedule** που έχει οριστεί από το χρήστη, ενώ για τα ανθρώπινα φορτία, συμπληρωματικά εισάγεται και το αντίστοιχο χρονοπρόγραμμα Activity level.

File Preferences Components & Measures Help

Space Types

Drop Space Type General Loads Measure Tags Custom

Filter: Load Type
Show all loads

Space Type Name	All	Load Name	Multiplier	Definition	Schedule	Activity Schedule (People Only)
Bath 1 Space Type	<input type="checkbox"/>	People 1	1.000000	Bath 1 - people definition	Bath 1 - occupancy	Bath 1 - Activity
	<input type="checkbox"/>	Lights 1	2.000000	Lights Definition - Bath 1	Bath 1 - Lighting	
	<input type="checkbox"/>	Electric Equipment 1	1.000000	Bath 1 Hair dryer	Bath 1 - Hair dryer	
	<input type="checkbox"/>	Bath 1 Infiltration			Bath 1-Infiltration	

Εικόνα 80: Καρτέλα Space Types - Loads παράδειγμα για το μπάνιο

Kitchen Space Type	<input type="checkbox"/>	People 4	2.000000	Kitchen - people definition	Kitchen Occupancy	Kitchen - Activity Level
	<input type="checkbox"/>	Lights 4	2.000000	Lights Definition - Kitchen	Kitchen Lighting	
	<input type="checkbox"/>	Electric Equipment 7	1.000000	Kitchen refrigerator	Kitchen Refrigerator	
	<input type="checkbox"/>	Electric Equipment 6	1.000000	Kitchen microwave	Kitchen Microwave	
	<input type="checkbox"/>	Electric Equipment 5	2.000000	Kitchen fryer	Kitchen fryer	
	<input type="checkbox"/>	Electric Equipment 3	1.000000	Kitchen coffee maker	Kitchen coffee maker	
	<input type="checkbox"/>	Electric Equipment 4	1.000000	Kitchen dishwasher	Kitchen dish washer	
	<input type="checkbox"/>	Kitchen Infiltration			Kitchen Infiltration	
Laundry Space Type	<input type="checkbox"/>	People 5	1.000000	Laundry - people definition	Laundry occupancy	Laundry activity level
	<input type="checkbox"/>	Lights 5	1.000000	Lights Definition - Laundry	Laundry Lighting	
	<input type="checkbox"/>	Electric Equipment 8	1.000000	Laundry Washing machine	Laundry washing machine	
	<input type="checkbox"/>	Laundry Infiltration			Laundry infiltration	

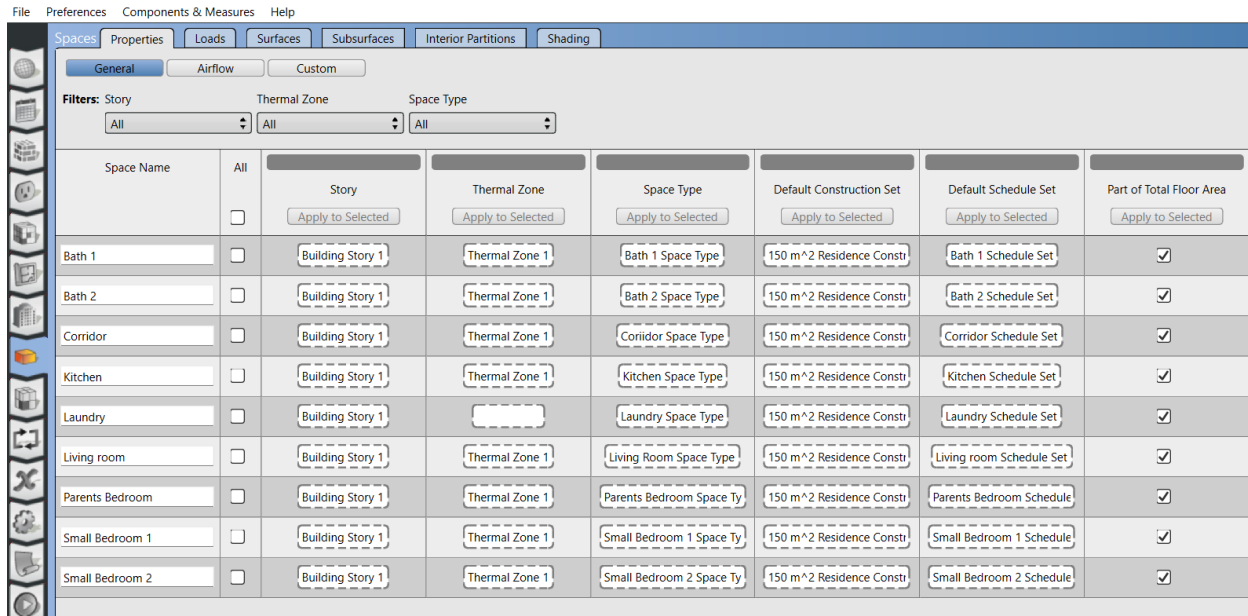
Εικόνα 81: Καρτέλα Space Types - Loads για τους χώρους της κουζίνας και του Laundry

Τέλος, όπως είναι προφανές ως ονομασία για κάθε Space Type, έχει οριστεί η ονομασία που έχει αποδοθεί στον κάθε χώρο συνοδευόμενη από τις λέξεις space type. Προκειμένου οι ιδιότητες που έχουν αποδοθεί σε κάθε χώρο να αντιστοιχηθούν πλήρως σε αυτόν, συμπληρωματικά με αυτή την καρτέλα, ο χρήστης χρειάζεται να ανατρέξει στο OpenStudio Inspector και να ορίσει το κατάλληλο Space Type, όπως είχε γίνει και με τα σετ χρονοπρογραμμάτων και κατασκευαστικών υλικών.

Εικόνα 82: Πλήρως ορισμένοι χώροι (Name, Space Type Name, Default Construction Set Name και Default Schedule Set Name) μέσω του OpenStudio Inspector)

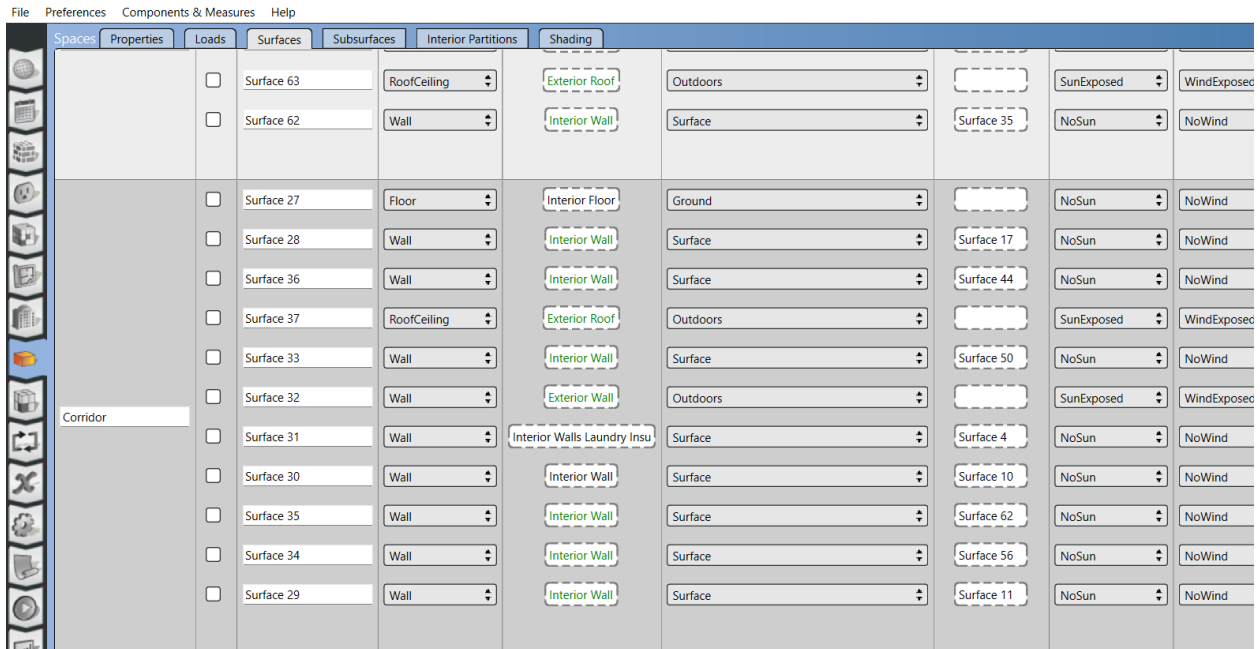
6.2.7 Spaces Tab

Η καρτέλα Spaces είναι πολύ σημαντική, καθώς αποτελεί, ουσιαστικά, τη σύνοψη των ιδιοτήτων που έχει ορίσει ο χρήστης ήδη από το SketchUp. Στη γραμμή **Properties** έχει την ονομασία κάθε χώρου (αντιστοίχιση ονόματος – χώρου μέσω OpenStudio Inspector), το κατασκευαστικό σετ που έχει οριστεί (Default Construction Set Name), τη θερμική ζώνη (Thermal Zone) και τους χώρους που εντάσσονται σε αυτήν (όλοι πλην Laundry), το σετ χρονοπρογραμμάτων κάθε χώρου (Default Schedule Set Name) και τον τύπο χώρου (space type).



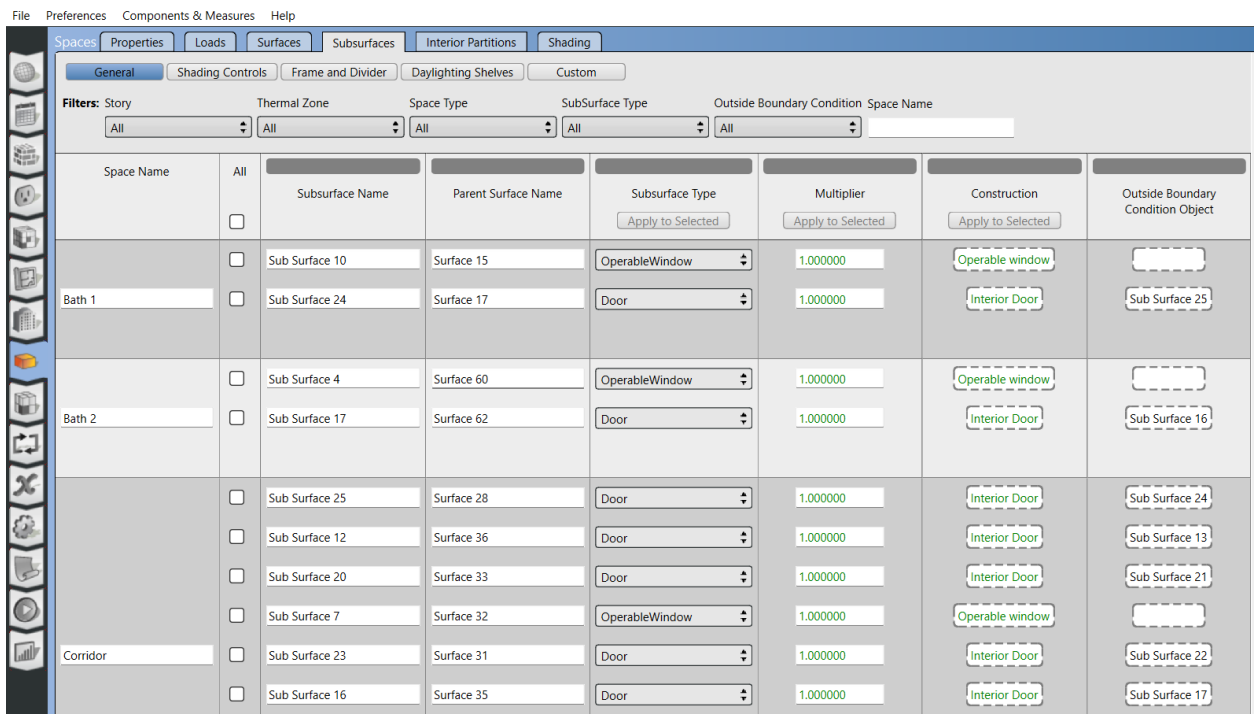
Εικόνα 83: Καρτέλα Spaces-Properties

Στη γραμμή **Loads** έχει συγκεντρωμένο το σύνολο των φορτίων που έχει ορίσει ο χρήστης, όμοια με την καρτέλα Space Types – Loads. Στη γραμμή **Surfaces** βρίσκεται το σύνολο των τοίχων της οικίας (εσωτερικών και εξωτερικών), με το αντίστοιχο construction set που έχει αποδοθεί και τις συνοριακές συνθήκες. Μέσω αυτής της καρτέλας μπορεί να χρησιμοποιηθεί διαφορετικό κατασκευαστικό σετ για ορισμένες επιφάνειες από ότι για άλλες όμοιες και υπενθυμίζεται πως μέσω αυτής αντιστοίχισε ο χρήστης το κατασκευαστικό σετ εσωτερικών τοίχων με μόνωση για τους χώρους που βρίσκονται σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο (2 εσωτερικοί τοίχοι Laundry και οι 2 που συνορεύουν στους χώρους Corridor & Parents Bedroom).



Εικόνα 84: Καρτέλα Spaces-Loads για το χώρο Corridor

Στη γραμμή **Subsurfaces** παρατηρεί κανείς τις υπό επιφάνειες που έχει ορίσει ο χρήστης, δηλαδή τις πόρτες, τα παράθυρα και τις μπαλκονόπορτες, μαζί με τις συνοριακές συνθήκες.



Εικόνα 85: Καρτέλα Spaces-Subsurfaces παράδειγμα για τους χώρους Bath 1&2 και Corridor

6.2.8 Thermal Zone Tab

Σε αυτή την καρτέλα επιρροή δέχονται όλοι οι χώροι που ανήκουν στη θερμική ζώνη. Επομένως, αφορά σε όλους τους χώρους της οικίας, εκτός του Laundry.

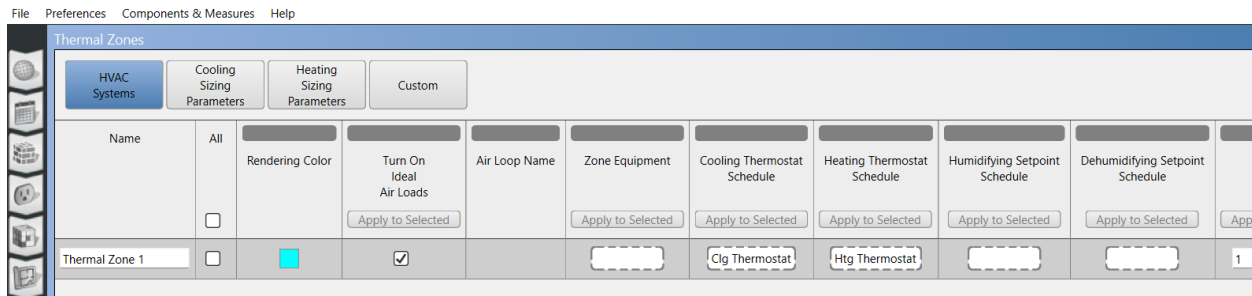
Σενάριο 1° – Ιδανικά Φορτία

Σε πρώτη φάση, θα επιλεγεί η περίπτωση των ιδανικών φορτίων **Turn on Ideal Air Loads**. Σε αυτή την περίπτωση δεν επιλέγεται κάποια συσκευή κλιματισμού, αλλά το λογισμικό παρέχει ένα ιδανικό HVAC σύστημα, το οποίο δε συνδέεται με κάποιο κεντρικό σύστημα αερισμού, αλλά παρέχει αέρα θέρμανσης ή ψύξης, ώστε να καλύπτονται οι ανάγκες των χώρων της οικίας. Για να λειτουργήσει αυτό το σενάριο θα πρέπει ο χρήστης να ορίσει μέσω χρονοπρογραμμάτων τύπου **temperature** την επιθυμητή θερμοκρασία για θέρμανση και ψύξη των χώρων. Έτσι, δημιουργούνται 2 χρονοπρογράμματα τύπου temperature, τα Htg Thermostat και Clg Thermostat. Η θερμοκρασία για έναρξη heating ορίζεται στους 20 °C και η θερμοκρασία για ψύξη ορίζεται στους 26 °C. Οι τιμές αυτές λαμβάνονται έπειτα από σχετική υπόδειξη της TOTEE.

Χρήσεις κτηρίων ή θερμικών ζωνών	Θερμοκρασία [°C]		Σχετική υγρασία [%]	
	Χειμερινή περίοδος	Θερινή περίοδος	Χειμερινή περίοδος	Θερινή περίοδος
Μονοκατοικία, πολυκατοικία (περισσότερα του ενός διαμερίσματα)	20	26	40	45

Πίνακας 13: Ορισμός θερμοκρασίας για θέρμανση και ψύξη σύμφωνα με την TOTEE

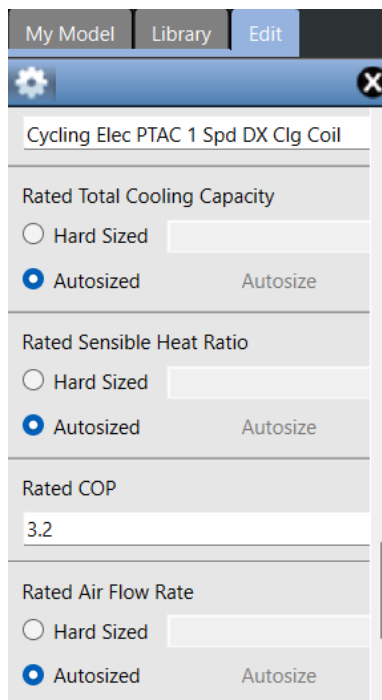
Και εισάγοντας τα χρονοπρογράμματα θέρμανσης και ψύξης στη θερμική ζώνη ο χρήστης θα έχει την παρακάτω εικόνα κοιτάζοντας το λογισμικό:



Εικόνα 86: Καρτέλα Thermal Zone για την περίπτωση ιδανικών φορτίων

Σενάριο 2° – Αντλία Θερμότητας αέρα-αέρα

Στο δεύτερο σενάριο ο κλιματισμός της μονοκατοικίας επιτυγχάνεται με χρήση αντλίας θερμότητας αέρα – αέρα. Στην ουσία πρόκειται για διπλό στοιχείο τύπου split, δηλαδή ο ένας εναλλάκτης θερμότητας της αντλίας βρίσκεται στο εσωτερικό και ο άλλος στο εξωτερικό περιβάλλον της θερμαινόμενης οικίας. Επειδή το OpenStudio δεν έχει αντλία θερμότητας αυτή καθ' αυτή, επιστρατεύεται το στοιχείο **Cycling PTAC DX Clg Elec Htg**, το οποίο βασίζεται στην ίδια αρχή λειτουργίας με την αντλία θερμότητας, με μόνη διαφορά ότι όλα τα μηχανολογικά εξαρτήματα βρίσκονται συγκεντρωμένα σε ένα σημείο και τοποθετούνται σε κάποιο άνοιγμα του τοίχου. Προφανώς, το κλιματιστικό τροφοδοτείται με ηλεκτρικό ρεύμα. Σύμφωνα με την τεχνική οδηγία (TOTEE) ο συντελεστής συμπεριφοράς για μια αντλία θερμότητας στην Αθήνα ορίζεται ίσος με 3,2 (COP=3,2). Επίσης, ορίζεται η ονομαστική ισχύς της αντλίας σε θέρμανση και ψύξη ίση με 4229,56 W και 4240,50 W αντίστοιχα, τα οποία υπολογίζονται από το λογισμικό στη διάρκεια της προσομοίωσης.



Εικόνα 87: Ορισμός του συντελεστή συμπεριφοράς της αντλίας COP

	Heating/Cooling	Calculated Design Load	Design Load With Sizing Factor
THERMAL ZONE 1	Cooling	3687.39 (W)	4240.5 (W)
THERMAL ZONE 1	Heating	3383.65 (W)	4229.56 (W)

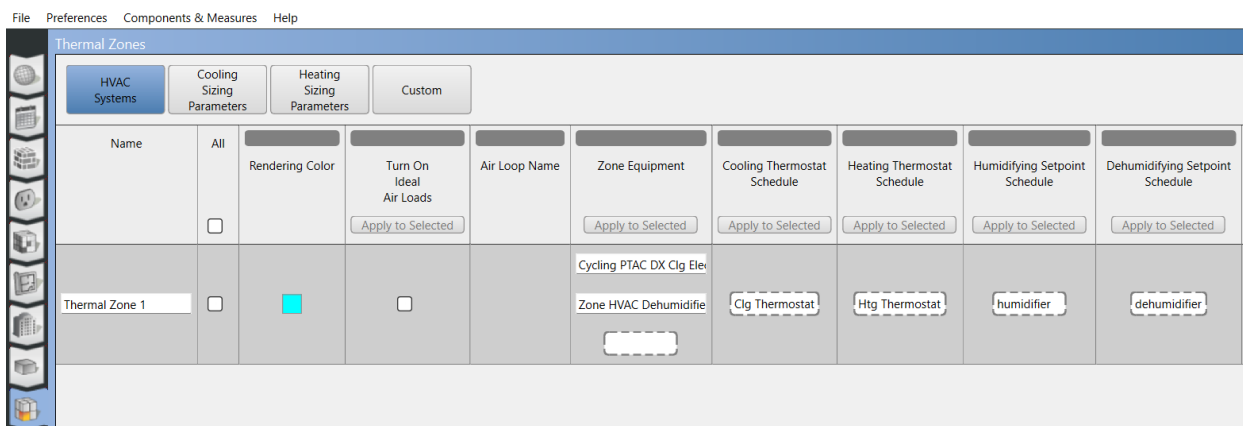
Πίνακας 14: Ορισμός ονομαστικής ισχύος σε θέρμανση και ψύξη

Ακόμη, τα αποτελέσματα της προσομοίωσης στην περίπτωση των ιδανικών φορτίων κατέδειξαν υψηλά ποσοστά υγρασίας, ακόμη και ως 70 % εντός της οικίας, ενώ πολλές ήταν οι ώρες όπου η υγρασία μετρήθηκε μεταξύ 55 % και 60 %.

Zone	< 30 (%)	30-35 (%)	35-40 (%)	40-45 (%)	45-50 (%)	50-55 (%)	55-60 (%)	60-65 (%)	65-70 (%)	70-75 (%)	75-80 (%)	>= 80 (%)	Mean Relative Humidity (%)
THERMAL ZONE 1	425	669	791	1065	1285	1443	1406	876	510	209	61	20	49.8 (%)

Πίνακας 15: Μετρηθείσες ώρες ανά ποσοστό υγρασίας

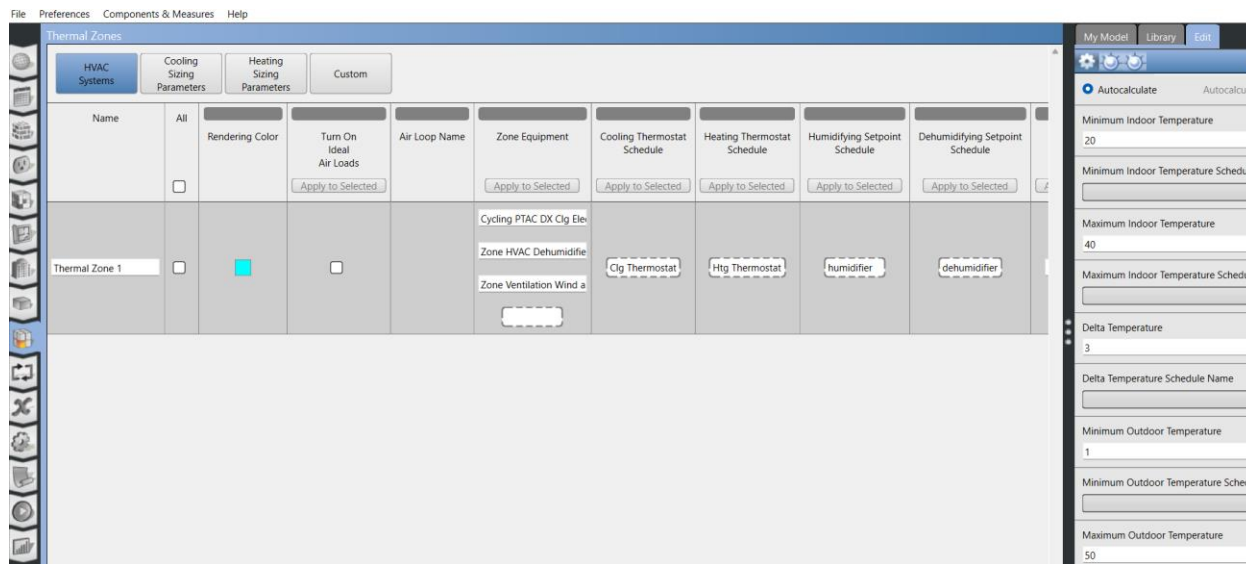
Για αυτό και, εκτός της αντλίας θερμότητας, εντός της θερμικής ζώνης εισάγεται και ένας αφυγραντήρας, προς εξασφάλισης ευνοϊκότερων συνθηκών θερμικής άνεσης. Για το σκοπό αυτό δημιουργούνται δύο χρονοπρογράμματα τύπου percent τα οποία περιορίζουν τη μέση τιμή της υγρασίας στο διάστημα 40 - 45 %. Τα χρονοπρογράμματα ονομάζονται humidifier (40 %) και dehumidifier (45 %). Στην επόμενη εικόνα φαίνεται η ένταξη αντλίας θερμότητας και αφυγραντήρα στη θερμική ζώνη της οικίας.



Εικόνα 88: Εισαγωγή αντλίας θερμότητας και αφυγραντήρα στη θερμική ζώνη

Τέλος, στη θερμική ζώνη εισάγεται και το στοιχείο «Zone Ventilation Wind and Stack Open Area», μέσω του οποίου επιτυγχάνεται ο απαραίτητος φυσικός αερισμός της οικίας, ο οποίος και θα ληφθεί υπόψη στη θερμική ζώνη. Ο φυσικός αερισμός πραγματοποιείται μέσω του ανοίγματος των παραθύρων της μονοκατοικίας (operable windows) συγκεκριμένες χρονικές περιόδους στη διάρκεια της ημέρας. Πιο συγκεκριμένα, οι εισοδοί που ζητά το λογισμικό είναι η επιφάνεια των παραθύρων που θα ανοίξουν, το αντίστοιχο χρονοπρόγραμμα για τις ώρες που ανοίγουν τα παράθυρα, μέγιστη και ελάχιστη εσωτερική θερμοκρασία, μέγιστη κι ελάχιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος και η μέγιστη ταχύτητα ανέμου με την οποία θα εισέρχεται στη μονοκατοικία και η μέγιστη θερμοκρασιακή διαφορά εσωτερικά και εξωτερικά της οικίας (delta temperature). Ως ανοιγόμενη επιφάνεια ορίζεται η συνολική επιφάνεια των operable windows ίση με 13,9 m². Το χρονοπρόγραμμα (window opening) που δημιουργήθηκε είχε ως στόχο τις ελάχιστες θερμικές απώλειες, για αυτό και για την καλοκαιρινή περίοδο το άνοιγμα των παραθύρων πραγματοποιείται νωρίς το πρωί (7:30 – 8:00 π.μ.) και αργά το βράδυ (22:30 – 23:00) προς εκμετάλλευση του φυσικού δροσισμού, ενώ τη χειμερινή περίοδο τα

παράθυρα ανοίγουν τις πιο ζεστές ώρες της ημέρας, δηλαδή το μεσημέρι. Μέγιστη και ελάχιστη εσωτερική θερμοκρασία ορίστηκαν ίσες με 40°C και 20°C αντίστοιχα, ενώ μέγιστη κι ελάχιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος ορίστηκαν ίσες με 50°C και 1°C αντίστοιχα. Η μέγιστη ταχύτητα του αέρα ορίστηκε ίση με 5,4 m/s και η delta temperature ίση με 3K.



Εικόνα 89: Εισαγωγή στοιχείου φυσικού αερισμού στη θερμική ζώνη

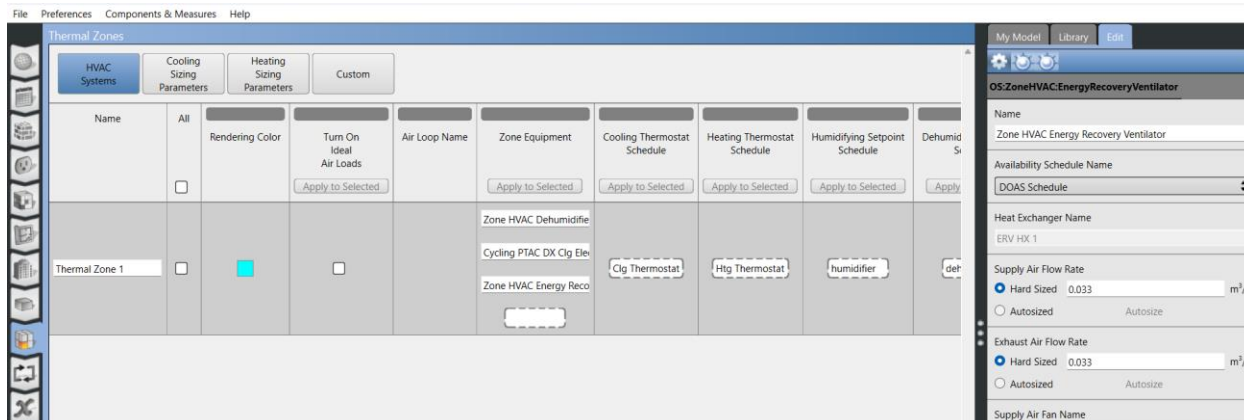
Σενάριο 3^ο – Μηχανικός αερισμός

Στο συγκεκριμένο σενάριο θεωρείται ότι ο αερισμός της οικίας επιτυγχάνεται μέσω συστήματος μηχανικού αερισμού, χωρίς καθόλου φυσικό αερισμό. Έτσι, αφαιρείται το στοιχείο «Zone Ventilation Wind and Stack Open Area» από τη θερμική ζώνη και αντί αυτού ο χρήστης εισάγει το στοιχείο «Zone HVAC Energy Recovery Ventilator». Μέσω αυτού του στοιχείου επιτυγχάνεται ο μηχανικός αερισμός της οικίας με ανάκτηση θερμότητας. Πρόκειται για ένα σύστημα του οποίου η λειτουργία πραγματοποιείται σε 2 φάσεις. Σε πρώτη φάση πραγματοποιείται η απαγωγή του αέρα από τους εσωτερικούς χώρους της οικίας και συγκεκριμένα το μεγαλύτερο ποσοστό λαμβάνεται από τα μπάνια και την κουζίνα, ο αέρας με τη βοήθεια ενός ανεμιστήρα διέρχεται από έναν εναλλάκτη θερμότητας στον οποίο αποθηκεύεται η θερμότητα του αέρα για την επόμενη φάση και στη συνέχεια ο αέρας εξέρχεται στο περιβάλλον. Σε δεύτερη φάση, μέσω ενός δεύτερου ανεμιστήρα γίνεται η εισαγωγή καθαρού αέρα. Ο αέρας διέρχεται από τον εναλλάκτη θερμότητας και απορροφά (ανακτά) τη θερμότητα που είχε προσδώσει στον εναλλάκτη ο εξερχόμενος αέρας στην πρώτη φάση. Έτσι, ο φρέσκος αέρας εισέρχεται στους χώρους της οικίας προθερμασμένος και καθαρός, απαλλαγμένος από σκόνη και αιωρούμενα σωματίδια χάρη στα φίλτρα του συστήματος. Κάθε φάση διαρκεί συνήθως 60-70 δευτερόλεπτα.

Ο αέρας απάγεται από τα δύο μπάνια (το ένα χρησιμοποιείται ως WC) και την κουζίνα, δωμάτια δηλαδή που παρουσιάζουν υψηλά ποσοστά υγρασίας ή θερμικών φορτίων, ενώ ο φρέσκος αέρας αποδίδεται στα υπνοδωμάτια και στο καθιστικό. Η μεταφορά του αέρα

πραγματοποιείται μέσω αεραγωγών. Το σύστημα μηχανικού αερισμού τοποθετείται στην οροφή του διαδρόμου της μονοκατοικίας.

Για εγκατάσταση συστήματος μηχανικού αερισμού σε κατοικία έχει αποδειχθεί ότι η παροχή φρέσκου αέρα θα πρέπει να ισούται με $20 - 30 \text{ m}^3/\text{h}$ ανά άτομο, σύμφωνα με το πρότυπο DIN 1946-6. Έτσι, για τα 4 άτομα της μονοκατοικίας, επιλέγεται η άνω τιμή για καλή ποιότητα αέρα εσωτερικών χώρων, οπότε η ονομαστική παροχή αέρα σχεδιάζεται ίση προς $120 \text{ m}^3/\text{h}$ ή $0,033 \text{ m}^3/\text{s}$. Ορίζεται μέγιστη και ελάχιστη παροχή για το σύστημα ανάλογα με τις ανάγκες της οικίας. Το σύστημα θα λειτουργεί σε μέγιστο φορτίο, το οποίο έχει οριστεί 30% υψηλότερο του ονομαστικού και ίσο με $0,0429 \text{ m}^3/\text{s}$ όταν θα υπάρχουν επιπλέον άτομα στο σπίτι (καλεσμένοι). Το σύστημα θα λειτουργεί σε ελάχιστο φορτίο, το οποίο έχει οριστεί 30% χαμηλότερο του ονομαστικού και ίσο με $0,023 \text{ m}^3/\text{s}$ τις ώρες που οι ένοικοι θα απουσιάζουν από την οικία για τις δραστηριότητές τους. Φυσικά έχει δημιουργηθεί κατάλληλο χρονοπρόγραμμα για το χρόνο λειτουργίας του συστήματος, ο οποίος θεωρείται ίσος με 2 λεπτά και πραγματοποιείται σε σταθερά διαστήματα ανά μία ώρα και για όλο το 24ωρο. Επιπλέον, έχει οριστεί θερμοστάτης για τον έλεγχο της θερμοκρασίας του αέρα όταν εκείνος διέρχεται από τον εναλλάκτη, με ελάχιστη θερμοκρασία στους $20 \text{ }^\circ\text{C}$ και μέγιστη στους $26 \text{ }^\circ\text{C}$. Η απόδοση της ανάκτησης θερμότητας του εναλλάκτη είναι 90%. Το φίλτρο καθαρού αέρα είναι τύπου F7. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται η εισαγωγή του συστήματος μηχανικού αερισμού στη θερμική ζώνη της οικίας, με τις παραμέτρους που δόθηκαν παραπάνω.



Εικόνα 90: Εισαγωγή συστήματος μηχανικού αερισμού στη θερμική ζώνη

6.2.9 Measures Tab

Σε αυτή την καρτέλα τα **Measures** είναι σαν υπό προγράμματα, σαν υπορουτίνες που προγραμματίζουν ένα ξεχωριστό κομμάτι του συνολικού προγράμματος. Είναι κάτι σαν μια μακροεντολή στο Excel. Διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες: OpenStudio Measures, EnergyPlus Measures και Reporting Measures. Δύο σημαντικά Measures είναι το «**OpenStudio Results**», που ανήκει στην κατηγορία των **Reporting Measures** και το «**Add Output Diagnostics**». Το πρώτο measure παρέχει αναλυτικά αποτελέσματα με πολλά διαγράμματα, ραβδογράμματα κ.λπ. που διευκολύνουν τη συλλογή της πληροφορίας και

την κατανόηση των αποτελεσμάτων. Το δεύτερο measure στην έξοδο του εμφανίζει σημεία που χρίζουν βελτίωσης ή διόρθωσης από το χρήστη, εμφανίζοντας τα μηνύματα «warning» ή «error» μαζί με μια συνοδευτική περιγραφή που επιδεικνύει στο χρήστη το ακριβές σημείο σφάλματος.

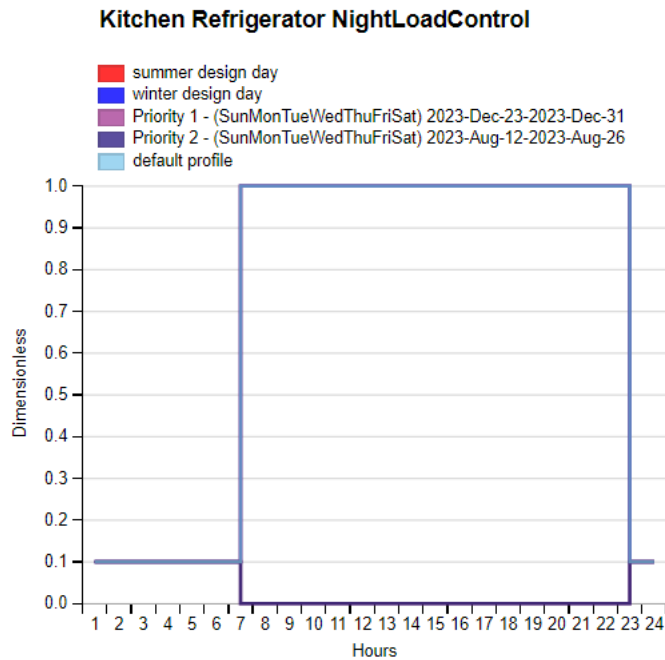
Ένα OpenStudio Measure που χρησιμοποιείται στην παρούσα μελέτη είναι το «**Reduce Night Time Electric Equipment Loads**», το οποίο χρησιμοποιείται με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας από ηλεκτρικές συσκευές. Το συγκεκριμένο Measure τέθηκε σε εφαρμογή μόνο για τη συσκευή του ψυγείου. Πιο συγκεκριμένα, θεωρείται ότι κατά τις βραδινές ώρες, 23:00 μ.μ. έως 7:00 π.μ., το ψυγείο δεν ανοιγοκλείνει, και άρα δεν υπάρχουν σημαντικές θερμικές απώλειες, καθώς οι ένοικοι κοιμούνται, και επομένως ο συμπιεστής ορίζεται να λειτουργεί σε πολύ χαμηλότερο φορτίο στο 10% του μέγιστου. Αυτό φαίνεται στην επόμενη εικόνα.

The screenshot shows the configuration window for the 'Reduce Night Time Electric Equipment Loads' measure. The window has two tabs: 'Library' and 'Edit'. The 'Edit' tab is active. The configuration is organized into several sections:

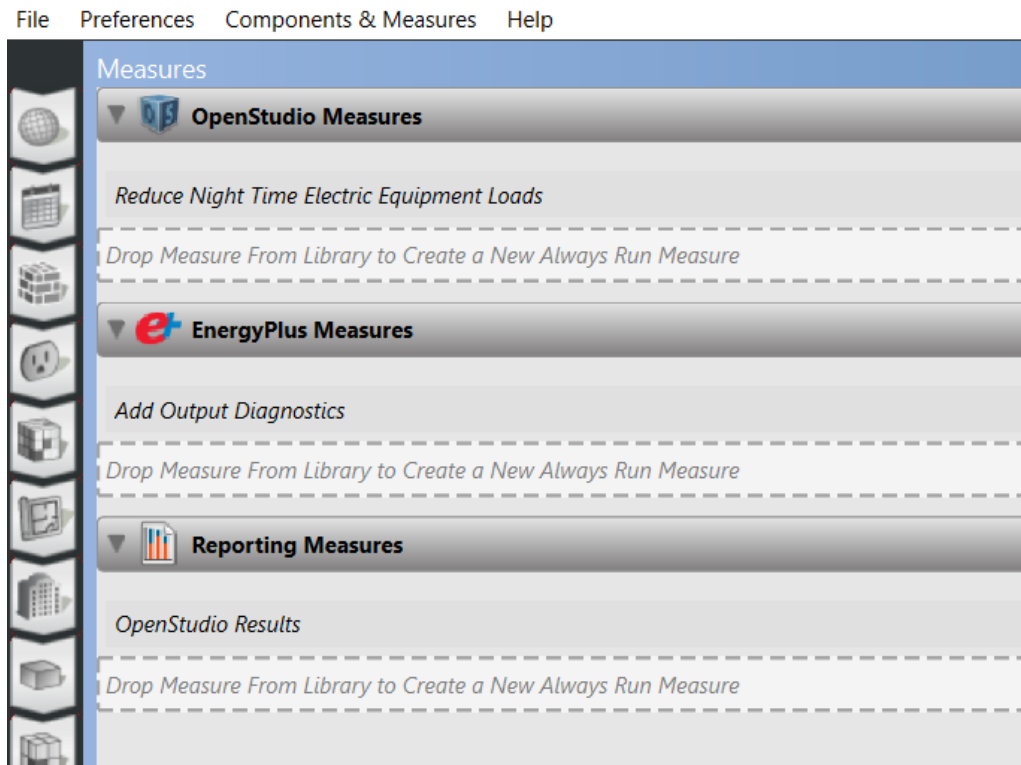
- Name:** Night Time Electric Equipment Loads
- Description:** Many buildings have electric equipment that runs unnecessarily at night. Turning this equipment off at night can
- Modeler Description:** This measure sets fractional electric equipment schedule values for all instances of the selected electric equipment
- Inputs:**
 - Pick an Electric Equipment Definition(schedules using this will be altered): Kitchen refrigerator
 - Fractional Value for Night Time Load: 0.1
 - Apply Schedule Changes to: Weekday and Default Profiles?
 - Weekday/Default Time to Start Night Time Fraction(24hr, use decimal for sub hour): 23
 - Weekday/Default Time to End Night Time Fraction(24hr, use decimal for sub hour): 7
 - Apply Schedule Changes to: Saturdays?

Εικόνα 91: Reduce Night Time Electric Equipment Loads Measure για το ψυγείο

Το αντίστοιχο χρονοπρόγραμμα έπεται από την εφαρμογή του Measure για την εξοικονόμηση ενέργειας κατά τις βραδινές ώρες φαίνεται στην επόμενη εικόνα:



Εικόνα 92: Schedule set για το ψυγείο έπεται από την εφαρμογή του Reduce Night Time Electric Equipment Loads



Εικόνα 93: Καρτέλα Measures

Κεφάλαιο 7 - Αποτελέσματα

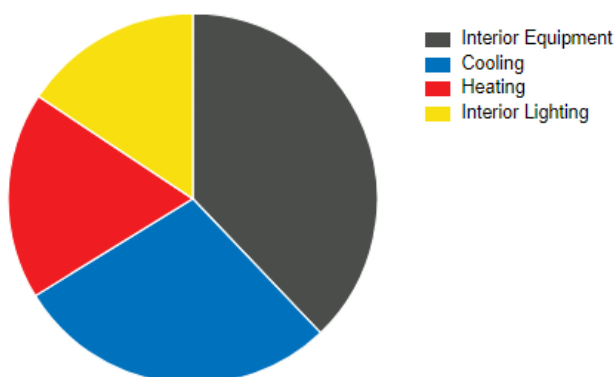
7.1 Σενάριο Ιδανικών Φορτίων - Ideal Air Loads

Στην περίπτωση των ιδανικών φορτίων τα αποτελέσματα της προσομοίωσης τα αποτελέσματα κατέδειξαν συνολικές ανάγκες ύψους 13.367 kWh ανά έτος.

Data	Value
Building Name	Building 1
Total Site Energy	13,367 kWh
Total Building Area	144 m ²
Total Site EUI	92.82 kWh/m ²
OpenStudio Standards Building Type	n/a

Πίνακας 16: Συνολικές ετήσιες ενεργειακές ανάγκες μονοκατοικίας

Οι ετήσιες ενεργειακές ανάγκες φυσικά επιμερίζονται σε ανάγκες για θέρμανση, ψύξη, ηλεκτρικές συσκευές, φωτισμό. Οι επιμέρους, λοιπόν, ενεργειακές ανάγκες φαίνονται στην επόμενη εικόνα.

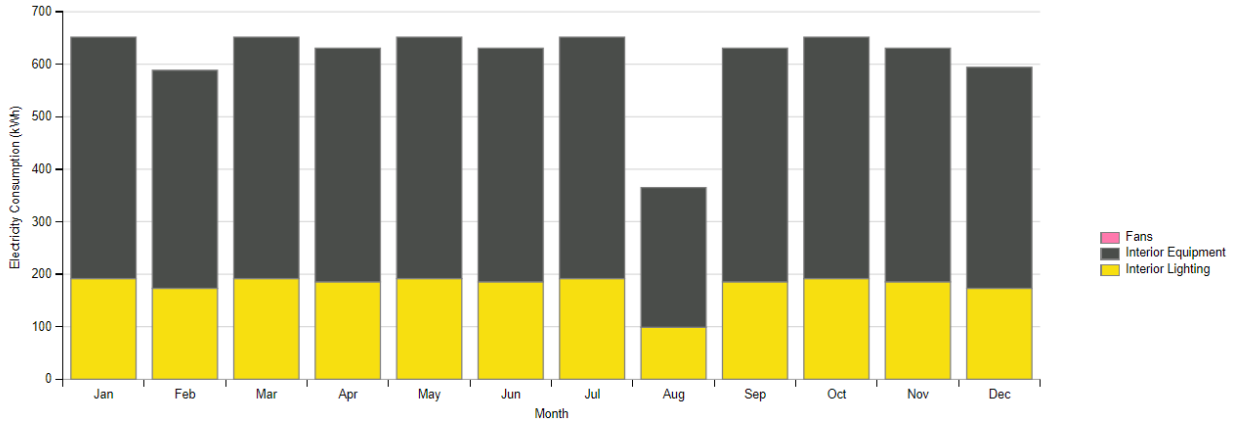


Εικόνα 94: Ενεργειακές ανάγκες ανά τύπο κατανάλωσης

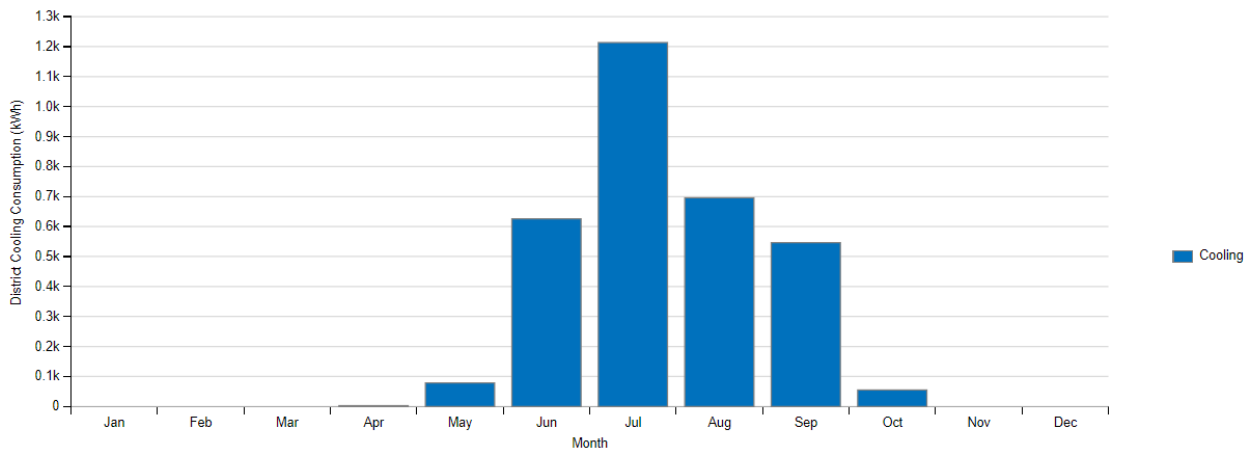
Πιο συγκεκριμένα, οι επιμέρους ανάγκες παρουσιάζονται και στον παρακάτω πίνακα αριθμητικά:

Είδος	Ετησίως (kWh)	Ποσοστό επί του συνόλου (%)
Cooling	3217	24
Heating	2822	21
Interior lighting	2147	16
Electric equipment	5181	39

Πίνακας 17: Επιμέρους ετήσιες ενεργειακές ανάγκες

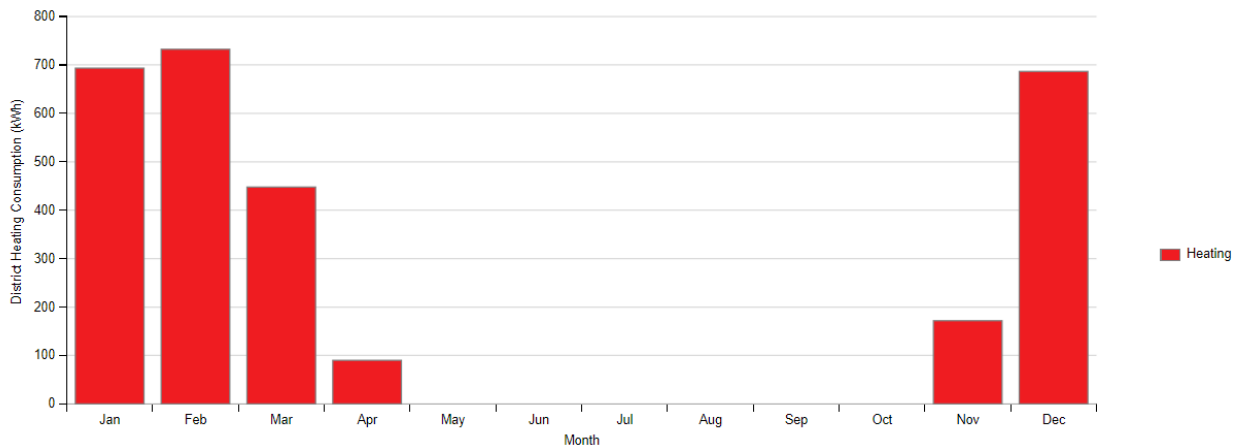


Εικόνα 95: Μηνιαία ηλεκτρική κατανάλωση για φωτισμό και ηλεκτρικές συσκευές



Εικόνα 96: Μηνιαία ψυκτικά φορτία

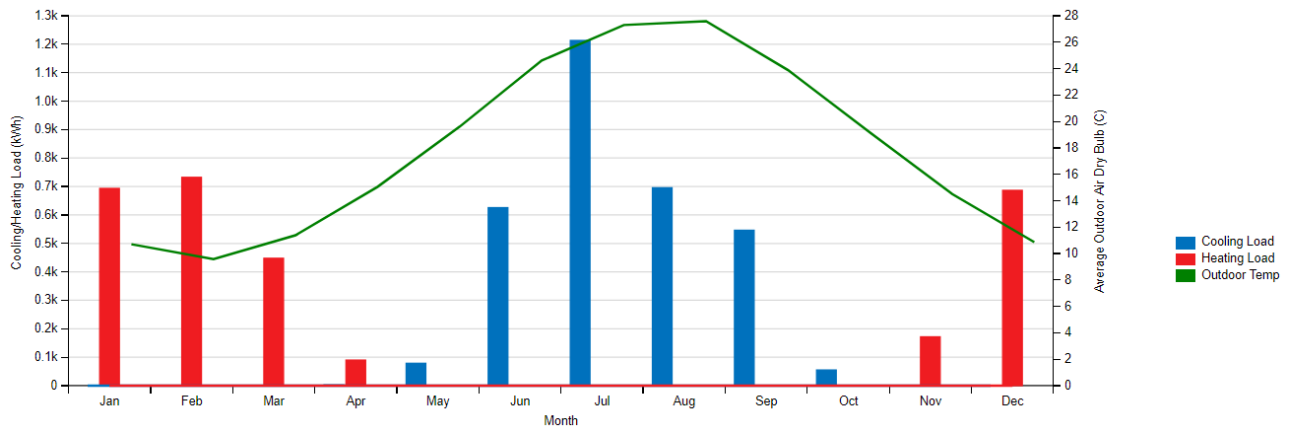
Στην προηγούμενη εικόνα αναπαρίστανται τα μηνιαία ψυκτικά φορτία. Παρατηρείται πως ψύξη χρειάζεται κυρίως για 4 μήνες το χρόνο, το διάστημα Ιουνίου – Σεπτεμβρίου, ενώ ελάχιστες (σχεδόν αμελητέες) παρουσιάζονται οι ανάγκες σε ψύξη κατά τους μήνες Μάιο και Οκτώβριο.



Εικόνα 97: Μηνιαία θερμικά φορτία

Σύμφωνα με την προηγούμενη εικόνα, οι μήνες κατά τους οποίους υπάρχει ανάγκη είναι έξι. Δεκέμβριο έως και Μάρτη οι ανάγκες σε θέρμανση είναι υψηλές, ενώ κατά τους μήνες Νοέμβριο και Απρίλιο παρουσιάζονται αισθητά χαμηλότερες.

Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζεται το διάγραμμα θερμικών και ψυκτικών φορτίων ανά μήνα συναρτήσει της θερμοκρασίας περιβάλλοντος. Φαίνεται, δηλαδή, πώς η εξωτερική θερμοκρασία επηρεάζει τις ανάγκες της οικίας σε θέρμανση και ψύξη. Χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος έχουν ως αποτέλεσμα υψηλά θερμικά φορτία, ενώ υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος οδηγούν σε υψηλά ψυκτικά φορτία.



Εικόνα 98: Θερμικά και ψυκτικά φορτία ανά μήνα συναρτήσει της θερμοκρασίας περιβάλλοντος

Τέλος, παρουσιάζονται και τα επίπεδα υγρασίας της οικίας. Πιο συγκεκριμένα, φαίνονται οι ώρες κατά τη διάρκεια του έτους κατά τις οποίες επικρατούν τα διάφορα επίπεδα υγρασίας. Παρατηρούνται κάπως υψηλότερα από το εύρος 40-45%, καθώς η μέση υγρασία στη διάρκεια του έτους κυμαίνεται κοντά στο 50%. Για αυτό και στα επόμενα σενάρια, τα επίπεδα υγρασίας θα ελέγχονται με τη χρήση αφυγραντήρα και εισαγωγή του στη θερμική ζώνη.

Zone	< 30 (%)	30-35 (%)	35-40 (%)	40-45 (%)	45-50 (%)	50-55 (%)	55-60 (%)	60-65 (%)	65-70 (%)	70-75 (%)	75-80 (%)	>= 80 (%)	Mean Relative Humidity (%)
THERMAL ZONE 1	425	669	791	1065	1285	1443	1406	876	510	209	61	20	49.8 (%)

Πίνακας 18: Ώρες ετησίως στα διάφορα επίπεδα υγρασίας

7.2 Σενάριο με Αντλία Θερμότητας

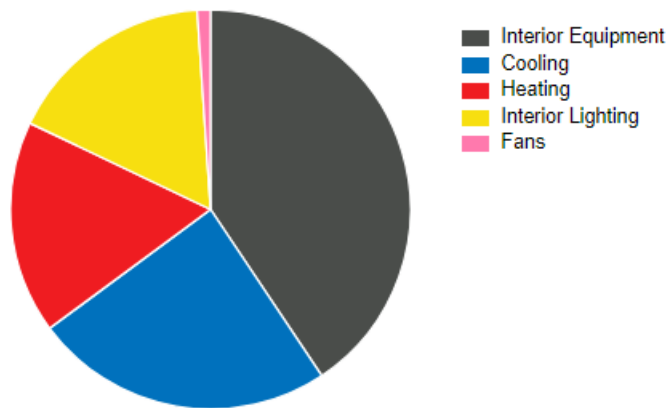
Σε αυτή την περίπτωση οι ετήσιες ενεργειακές ανάγκες της μονοκατοικίας μετά τη λήξη της προσομοίωσης βρέθηκαν ίσες με 12.753 kWh ή με $88,56 \frac{kWh}{m^2}$.

Data	Value
Building Name	Building 1
Total Site Energy	12,753 kWh
Total Building Area	144 m ²
Total Site EUI	88.56 kWh/m ²
OpenStudio Standards Building Type	n/a

Πίνακας 19: Ετήσιες ενεργειακές ανάγκες μονοκατοικίας - Σενάριο 2

Παρατηρείται, δηλαδή, μια μικρή εξοικονόμηση ενέργειας με τη χρήση συστήματος αντλίας θερμότητας.

Στην επόμενη εικόνα παρουσιάζονται οι ετήσιες ενεργειακές ανάγκες της οικίας ανά τύπο κατανάλωσης. Οι ηλεκτρικές συσκευές και ο εξοπλισμός της οικίας καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο ποσοστό των καταναλώσεων, ενώ ελάχιστη ενέργεια καταναλώνουν οι ανεμιστήρες (fans).

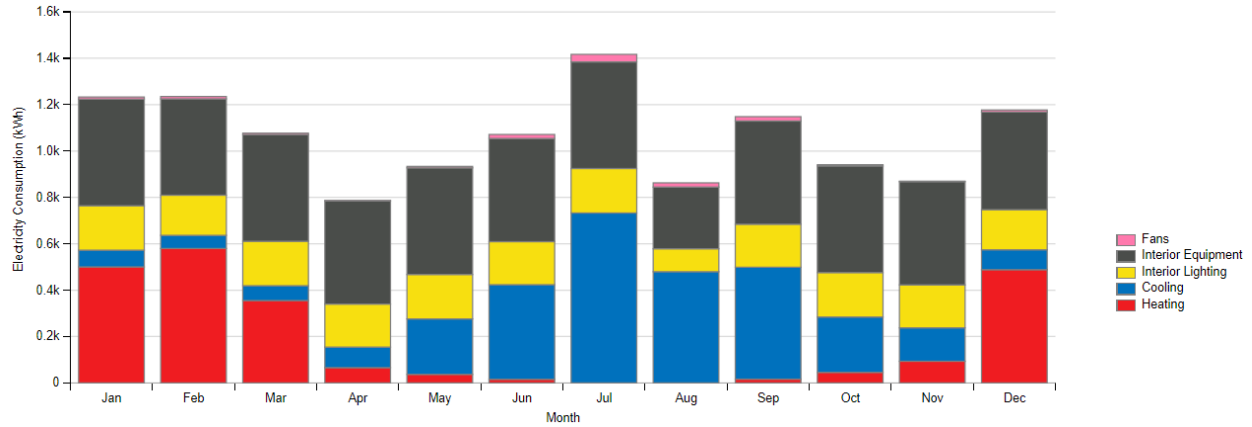


Εικόνα 99: Επιμέρους ενεργειακές καταναλώσεις

Πιο συγκεκριμένα, οι ενεργειακές ανάγκες παρουσιάζονται χάριν πληρότητας και στον ακόλουθο πίνακα:

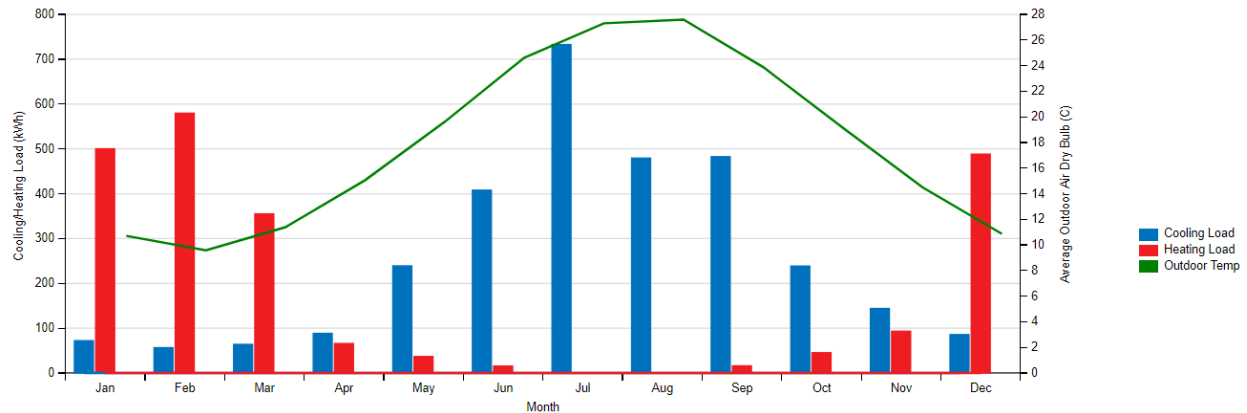
Είδος	Ετησίως (kWh)	Ποσοστό επί του συνόλου (%)
Cooling	3092	24
Heating	2197	17
Interior lighting	2147	17
Electric equipment	5181	41
Fans	136	1

Πίνακας 20: Επιμέρους ετήσιες ενεργειακές ανάγκες



Εικόνα 100: Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά μήνα για τα επιμέρους φορτία

Στην επόμενη εικόνα παρουσιάζονται τα φορτία σε θέρμανση (κόκκινο) και ψύξη (μπλε) συναρτήσει της θερμοκρασίας περιβάλλοντος. Τα φορτία έχουν αναμενόμενη κατανομή, ενώ επισημαίνεται ότι ψυκτικά φορτία κατά τους χειμερινούς μήνες και θερμικά φορτία κατά τους εαρινούς αφορούν στο σύστημα του αφυγραντήρα, που έχει σχεδιαστεί να διατηρεί την υγρασία στα επίπεδα του 40 – 45 %.



Εικόνα 101: Θερμικά και ψυκτικά φορτία συναρτήσει της θερμοκρασίας περιβάλλοντος

Ακολουθούν οι συνθήκες υγρασίας στην επόμενη εικόνα με τις ώρες κατά τις οποίες παρατηρούνται τα διάφορα ποσοστά υγρασίας ανά έτος:

Zone	< 30 (%)	30-35 (%)	35-40 (%)	40-45 (%)	45-50 (%)	50-55 (%)	55-60 (%)	60-65 (%)	65-70 (%)	70-75 (%)	75-80 (%)	>= 80 (%)	Mean Relative Humidity (%)
THERMAL ZONE 1	362	536	847	4365	2053	458	92	37	10	0	0	0	43.2 (%)

Πίνακας 21: Ώρες ανά έτος όπου παρατηρείται το κάθε ποσοστό υγρασίας

Με την εγκατάσταση αφυγραντήρα στη θερμική ζώνη παρατηρείται πτώση της μέσης τιμής της ετήσιας υγρασίας σχεδόν 7% συγκριτικά με το σενάριο των ιδανικών φορτίων, καθώς από 49,8% αυτή πλέον βρίσκεται στο 43,2%. Φυσικά, παρατηρείται ότι ο μέσος όρος βρίσκεται εντός του εύρους 40-45%, όπως και τις περισσότερες ώρες του έτους, συγκεκριμένα 4365 ώρες, δηλαδή στο 50% των ωρών του έτους.

Τέλος, μέσω της επόμενης εικόνας, διαπιστώνει κανείς την ορθή λειτουργία του θερμοστάτη σε θέρμανση και ψύξη, καθώς παρατηρείται μέση εσωτερική θερμοκρασία κατά τη διάρκεια του έτους ίση με 23,4 °C, εντός δηλαδή των προδιαγραφών επιθυμητής θερμοκρασίας στο εσωτερικό της οικίας μεταξύ 20 °C και 26 °C.

Zone	Unmet Htg (hr)	Unmet Htg - Occ (hr)	< 13 (C)	13-16 (C)	16-18 (C)	18-20 (C)	20-21 (C)	21-22 (C)	22-23 (C)	23-24 (C)	24-26 (C)	26-28 (C)	28-30 (C)	>= 30 (C)	Unmet Cig (hr)	Unmet Cig - Occ (hr)	Mean Temp (C)
THERMAL ZONE 1	93	93	0	14	68	172	2210	777	573	594	2007	2185	160	0	60	60	23.4 (C)

Πίνακας 22: Ώρες ανά έτος κατά τις οποίες παρατηρείται το κάθε εύρος θερμοκρασίας

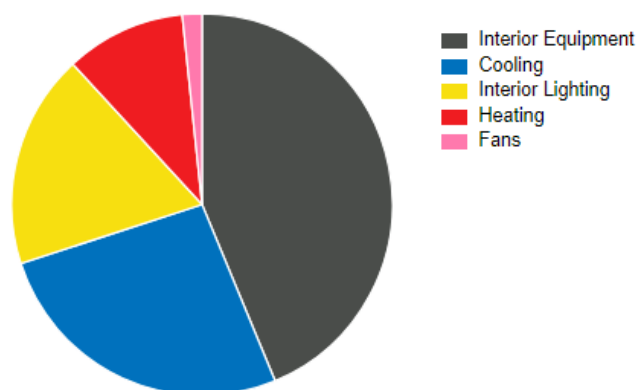
7.3 Σενάριο με Μηχανικό Αερισμό

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης κατέδειξαν το συγκεκριμένο σενάριο, με τη χρήση συστήματος μηχανικού αερισμού ανάκτησης θερμότητας, το πλέον οικονομικό. Οι ετήσιες ενεργειακές ανάγκες βρέθηκαν ίσες με 11.847 kWh ή με $82,27 \frac{kWh}{m^2}$, όπως φαίνεται παρακάτω.

Data	Value
Building Name	Building 1
Total Site Energy	11,847 kWh
Total Building Area	144 m ²
Total Site EUI	82.27 kWh/m ²
OpenStudio Standards Building Type	n/a

Πίνακας 23: Ετήσιες ενεργειακές ανάγκες της μονοκατοικίας με εγκατάσταση συστήματος μηχανικού αερισμού

Οι επιμέρους ενεργειακές ανάγκες σε θέρμανση, ψύξη, φωτιστικά σώματα, ηλεκτρικές συσκευές και ανεμιστήρες των HVAC συστημάτων φαίνονται ποιοτικά στην επόμενη εικόνα και αριθμητικά στον πίνακα που ακολουθεί.



Εικόνα 102: Ετήσιες ενεργειακές ανάγκες ανά τύπο κατανάλωσης

Είδος	Ετησίως (kWh)	Ποσοστό επί του συνόλου (%)
Cooling	3114	26
Heating	1208	10
Interior lighting	2147	18
Electric equipment	5181	44
Fans	197	2

Πίνακας 24: Επιμέρους ετήσιες ενεργειακές ανάγκες - Σενάριο 3

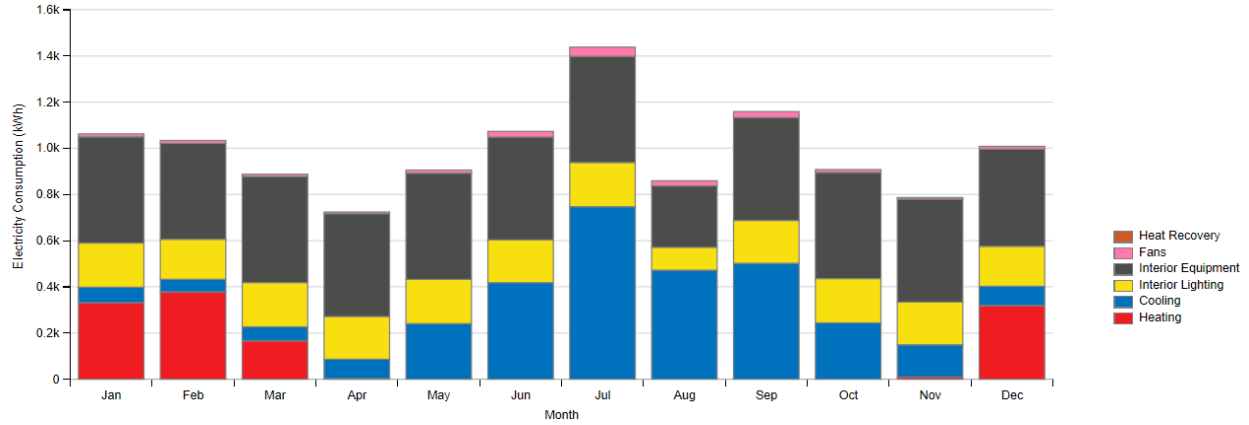
Σε σχέση με το δεύτερο σενάριο, με την εγκατάσταση αντλίας θερμότητας αέρα – αέρα και αφυγραντήρα για την εξασφάλιση θερμικής άνεσης, με φυσικό αερισμό μέσω ανοίγματος των παραθύρων, παρατηρούνται ορισμένες διαφορές.

Όσον αφορά στις ανάγκες σε ψύξη, παρατηρείται άνοδος της ετήσιας κατανάλωσης κατά 22 kWh, από τις 3092 kWh στις 3114 kWh, δηλαδή αύξηση της τάξεως του 0,7% όσον αφορά τις ψυκτικές ανάγκες και 0,18% όσον αφορά τις συνολικές ανάγκες της μονοκατοικίας. Η διαφορά αυτή θεωρείται αμελητέα.

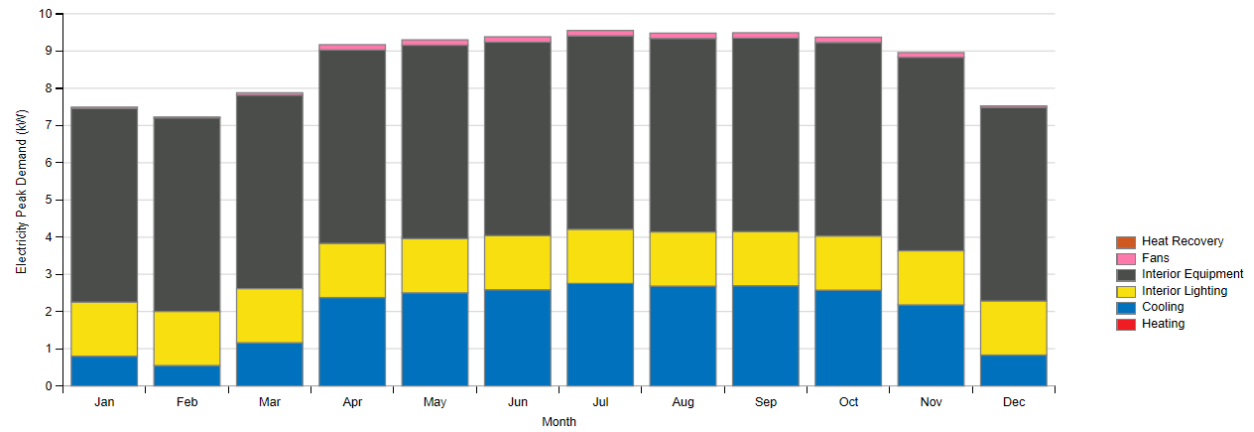
Όσον αφορά στις ανάγκες σε θέρμανση παρατηρούνται σημαντικές διαφορές. Συγκεκριμένα, μέσω του μηχανικού αερισμού παρατηρείται πτώση της κατανάλωσης σε θέρμανση κατά 989 kWh ετησίως, από τις 2197 kWh στις 1208 kWh. Αυτό συνεπάγεται πτώση της κατανάλωσης σε θέρμανση κατά περίπου 45% και 8,35% επί της συνολικής ετήσιας κατανάλωσης. Παρατηρείται, δηλαδή, ένα σημαντικό ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας μέσω του μηχανικού αερισμού.

Τέλος, όσον αφορά στους ανεμιστήρες, παρατηρείται μία αύξηση της τάξεως των 61 kWh ετησίως, από τις 136 kWh στις 197 kWh, δηλαδή αύξηση της τάξεως του 0,5% επί των συνολικών ετήσιων ενεργειακών αναγκών.

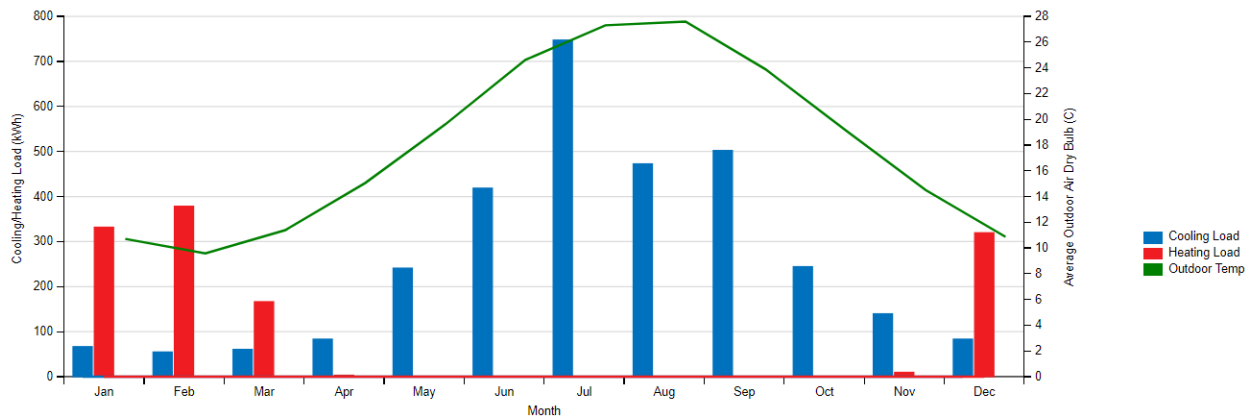
Επομένως, παρατηρείται συνολική εξοικονόμηση ενέργειας ίση με 906 kWh ανά έτος, δηλαδή εξοικονόμηση σε ποσοστό 7,64% συνολικά και 45% εξοικονόμηση σε θέρμανση, με ταυτόχρονη βελτίωση στην ποιότητα του αέρα των εσωτερικών χώρων.



Εικόνα 103: Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά μήνα



Εικόνα 104: Μέγιστη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας ανά μήνα



Εικόνα 105: Θερμικά και ψυκτικά φορτία συναρτήσει της εξωτερικής θερμοκρασίας περιβάλλοντος

Σημαντικά σχόλια προκύπτουν και μέσω της παραπάνω εικόνας για τη χρησιμότητα του μηχανικού αερισμού. Φαίνεται πως ορισμένα μικρά θερμικά φορτία για τους μήνες Μάιο, Ιούνιο, Σεπτέμβριο και Οκτώβριο, που αφορούσαν στην ύγρανση της οικίας πλέον δεν υπάρχουν. Αυτό σημαίνει πως ο μηχανικός αερισμός συνέβαλε και στον έλεγχο της σχετικής υγρασίας των εσωτερικών χώρων. Επίσης, σχετικά χαμηλά θερμικά φορτία κατά τους μήνες Απρίλιο και Νοέμβριο, που αφορούσαν σε θέρμανση της μονοκατοικίας για λιγοστές ώρες που υπήρχε ανάγκη προκειμένου να διατηρηθούν οι συνθήκες θερμικής άνεσης, έχουν σχεδόν μηδενιστεί. Το γεγονός αυτό αιτιολογείται μέσω του συστήματος μηχανικού αερισμού, καθώς περιορίζονται οι θερμικές απώλειες σε σχέση με το σενάριο φυσικού αερισμού με άνοιγμα των παραθύρων.

Zone	Unmet Htg (hr)	Unmet Htg - Occ (hr)	< 13 (C)	13-16 (C)	16-18 (C)	18-20 (C)	20-21 (C)	21-22 (C)	22-23 (C)	23-24 (C)	24-26 (C)	26-28 (C)	28-30 (C)	>= 30 (C)	Unmet Clg (hr)	Unmet Clg - Occ (hr)	Mean Temp (C)
THERMAL ZONE 1	0	0	0	0	1	327	1882	862	613	535	2404	1959	177	0	63	63	23.6 (C)

Πίνακας 25: Ώρες ανά έτος κατά τις οποίες παρατηρείται το κάθε θερμοκρασιακό εύρος

Zone	< 30 (%)	30-35 (%)	35-40 (%)	40-45 (%)	45-50 (%)	50-55 (%)	55-60 (%)	60-65 (%)	65-70 (%)	70-75 (%)	75-80 (%)	>= 80 (%)	Mean Relative Humidity (%)
THERMAL ZONE 1	365	537	889	4672	1939	331	26	1	0	0	0	0	42.8 (%)

Πίνακας 26: Ώρες ανά έτος κατά τις οποίες επικρατεί το κάθε ποσοστό υγρασίας

Στις δύο προηγούμενες εικόνες φαίνεται και η βελτίωση που επιφέρει ο μηχανικός αερισμός στη θερμοκρασία και στη σχετική υγρασία των εσωτερικών χώρων και άρα στη θερμική άνεση των ενοίκων. Συγκεκριμένα, παρατηρείται μείωση των ωρών κατά τις οποίες η θερμοκρασία βρίσκεται στο εύρος 26-28 °C, δηλαδή χαμηλότερη εσωτερική θερμοκρασία το καλοκαίρι για περισσότερες ώρες και μείωση των ωρών κατά τις οποίες η θερμοκρασία βρίσκεται στο εύρος 20-21 °C, δηλαδή υψηλότερη εσωτερική θερμοκρασία το χειμώνα για περισσότερες ώρες και περίπου 400 ώρες περισσότερες ετησίως στο εύρος 24-26 °C.

Παρατηρείται αύξηση της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας κατά 0,2 °C. Παρόμοια κατάσταση παρατηρείται και όσον αφορά στη σχετική υγρασία των εσωτερικών χώρων, καθώς παρατηρείται μείωση των ωρών που η υγρασία βρίσκεται στο εύρος του 45-50% και αύξηση κατά περίπου 300 ώρες ετησίως που αυτή βρίσκεται εντός του εύρους 40-45%, που συνεπάγεται πτώση της μέσης υγρασίας στη διάρκεια του έτους κατά 0,5%.

7.4 Ανακεφαλαίωση αποτελεσμάτων

Για τη διευκόλυνση του αναγνώστη αλλά και της διαδικασίας διεξαγωγής των συμπερασμάτων επιλέγεται να καταγραφούν συγκεντρωτικά τα σημαντικότερα αποτελέσματα.

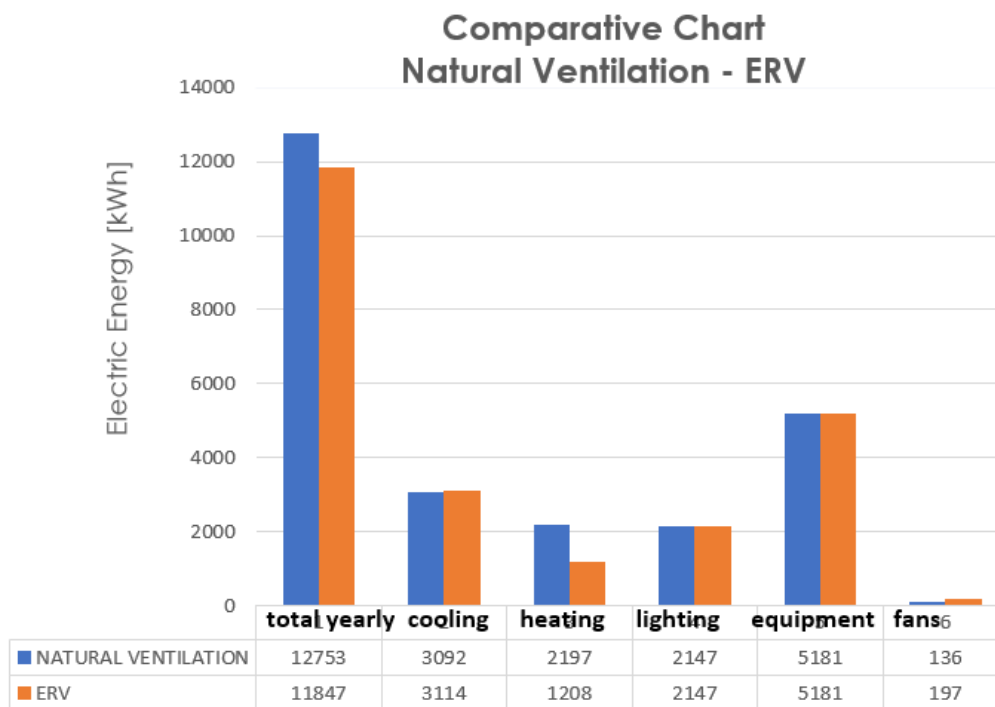
Έτσι, σε πρώτη φάση, παρατίθενται τα αποτελέσματα που αφορούν στις συνολικές ετήσιες ενεργειακές ανάγκες της μονοκατοικίας σε kWh, αλλά και με αναγωγή τους ανά τετραγωνικό μέτρο επιφανείας της κατοικίας.

	Ιδανικά φορτία	Φυσικός αερισμός	Μηχανικός αερισμός
Συνολικές ετήσιες ενεργειακές ανάγκες [kWh]	13367	12753	11847
Συνολικές ετήσιες ενεργειακές ανάγκες ανά μονάδα επιφανείας [kWh/m ²]	92,82	88,56	82,27

Πίνακας 27: Ετήσιες ενεργειακές ανάγκες της μονοκατοικίας για τα διάφορα σενάρια μελέτης

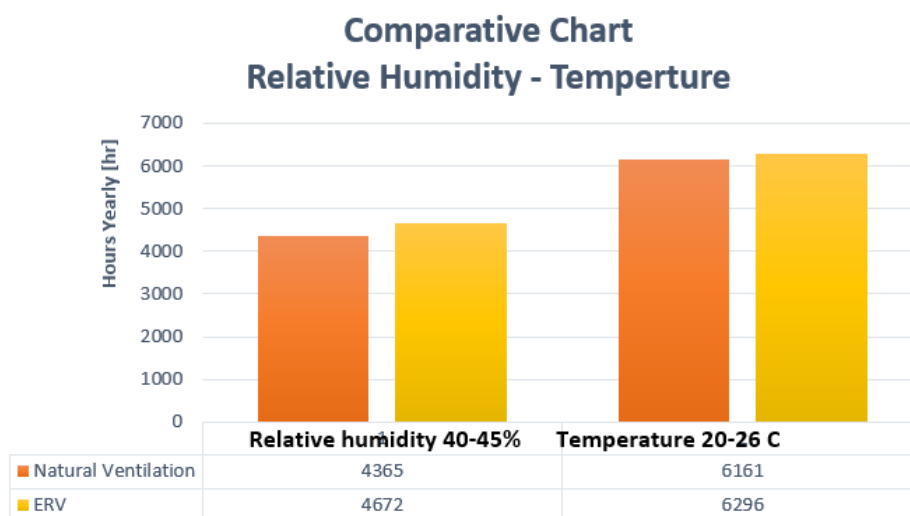
Καθώς η μελέτη επικεντρώθηκε κυρίως στα σενάρια του φυσικού και του μηχανικού αερισμού, στη συνέχεια παρατίθενται οι βασικές διαφορές και σημεία ενδιαφέροντος μόνο για αυτά τα δύο σενάρια και όχι για το σενάριο των ιδανικών φορτίων που αποτέλεσε απλώς «καλούπι» για την περαιτέρω έρευνα.

Στην επόμενη εικόνα φαίνονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τα 2 βασικά σενάρια με τις βασικές διαφορές να παρατηρούνται στις ενεργειακές ανάγκες για θέρμανση της οικίας, όπως εξηγήθηκε προηγουμένως. Δίνονται, αναλυτικά, οι ενεργειακές ανάγκες προς ψύξη, θέρμανση, φωτισμό, ηλεκτρικές συσκευές και ανεμιστήρες της κατοικίας για το σενάριο του φυσικού αερισμού (Natural Ventilation) και το σενάριο του μηχανικού αερισμού με ανάκτηση θερμότητας (ERV – Energy Recovery Ventilator).



Εικόνα 106: Συγκεντρωτικό διάγραμμα ενεργειακών αναγκών στις περιπτώσεις φυσικού και μηχανικού αερισμού

Εξίσου σημαντικά είναι και τα αποτελέσματα που αφορούν στη θερμοκρασία και στη σχετική υγρασία των εσωτερικών χώρων της οικίας. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, μέσω του μηχανικού αερισμού επιτυγχάνεται το επιθυμητό επίπεδο υγρασίας, 40-45%, και τα επιθυμητά επίπεδα θερμοκρασίας για τους εσωτερικούς χώρους, 20-26°C για περισσότερες ώρες κατά τη διάρκεια του έτους συγκριτικά με το σενάριο του φυσικού αερισμού. Αυτό φαίνεται και στην εικόνα που ακολουθεί:



Εικόνα 107: Ώρες στη διάρκεια του έτους που επικρατούν τα επιθυμητά επίπεδα θερμοκρασίας και υγρασίας εσωτερικών χώρων για φυσικό και μηχανικό αερισμό

Κεφάλαιο 8 - Συμπεράσματα & Περαιτέρω Βήματα

Η παρούσα εργασία πραγματεύεται την επίδραση της εγκατάστασης συστήματος μηχανικού αερισμού, σε μια μονοκατοικία τετραμελούς οικογένειας στην περιοχή της Ραφήνας, τόσο στην εξοικονόμηση ενέργειας όσο και στις εσωτερικές συνθήκες άνεσης που επικρατούν στους χώρους της οικίας. Πιο συγκεκριμένα, μελετήθηκαν τρία σενάρια. Ένα σενάριο με ιδανικά φορτία, ένα σενάριο με εγκατάσταση αντλίας θερμότητας και αφυγραντήρα για την επίτευξη συνθηκών θερμικής άνεσης για τους ενοίκους σε συνδυασμό με φυσικό αερισμό της οικίας μέσω ανοίγματος των παραθύρων και ένα σενάριο με αντλία θερμότητας και αφυγραντήρα σε συνδυασμό, όμως, με σύστημα μηχανικού αερισμού ανάκτησης θερμότητας. Σκοπός της εργασίας ήταν αφενός να σχεδιασθεί μία μονοκατοικία με κατάλληλο προσανατολισμό και χωροθέτηση, η εισαγωγή πλήθους παραμέτρων, όπως κατασκευαστικά υλικά δομικών στοιχείων, χρονοπρογράμματα, ηλεκτρικές συσκευές, φωτισμός και άλλα τα οποία θα καθιστούσαν την προσομοίωση όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστική και αφετέρου να μελετηθεί η επίδραση εγκατάστασης συστήματος φυσικού αερισμού με ανάκτηση θερμότητας και ο πιθανός θετικός αντίκτυπος στην κατανάλωση ενέργειας και στην ποιότητα των συνθηκών διαβίωσης των ενοίκων.

Τα σχέδια της μονοκατοικίας πραγματοποιήθηκαν στο λογισμικό SketchUp, όπου ορίστηκαν πλήρως οι συνοριακές συνθήκες, που είναι πολύ σημαντικές για να υπολογιστεί σωστά η μετάδοση θερμότητας μεταξύ των διαφορετικών χώρων. Στη συνέχεια, μέσω του OpenStudio SketchUp Plugin η γεωμετρία μεταφορτώθηκε στο λογισμικό OpenStudio, όπου πραγματοποιήθηκε η πλήρης παραμετροποίηση της οικίας: καιρικά δεδομένα που ελήφθησαν από τη βιβλιοθήκη του EnergyPlus, χρονοπρογράμματα για το χρόνο παραμονής των ατόμων σε κάθε χώρο, για το χρόνο λειτουργίας των ηλεκτρικών συσκευών, θερμοστάτες κ.λπ., κατασκευαστικά σετ που αφορούν στα υλικά από τα οποία αποτελούνται τα δομικά στοιχεία της οικίας (τοιχοί, πόρτες, παράθυρα, οροφή κ.λπ.), καθορισμός των φορτίων από φωτιστικά σώματα, ηλεκτρικές συσκευές και άνθρωπο, εισαγωγή συστημάτων στη θερμική ζώνη και, φυσικά, η προσομοίωση.

Το πρώτο σενάριο στο οποίο πραγματοποιήθηκε προσομοίωση ήταν αυτό με τα ιδανικά φορτία (Ideal Air Loads) περίπτωση στην οποία δεν επιλέγεται κάποια συσκευή κλιματισμού, αλλά το λογισμικό παρέχει ένα ιδανικό HVAC σύστημα, το οποίο δε συνδέεται με κάποιο κεντρικό σύστημα αερισμού, αλλά παρέχει αέρα θέρμανσης ή ψύξης, ώστε να καλύπτονται οι ανάγκες των χώρων της οικίας. Τα αποτελέσματα κατέδειξαν συνολικές ετήσιες ενεργειακές ανάγκες ύψους 13.367 kWh ανά έτος ή 92,82 kWh/m², ενώ οι επιμέρους ανάγκες υπολογίστηκαν ίσες με: 3.217 kWh για ψύξη, 2.822 kWh για θέρμανση, 2.147 kWh για τα φωτιστικά σώματα των εσωτερικών χώρων και 5.181 kWh για τις ηλεκτρικές συσκευές. Επιπλέον, η μέση σχετική υγρασία υπολογίστηκε ίση με 49,8%, που είναι υψηλή σε σχέση με τα όσα ορίζει η ΤΟΤΕΕ, για αυτό και έγινε εισαγωγή αφυγραντήρα στα επόμενα σενάρια.

Στο δεύτερο σενάριο η θερμική ζώνη περιλαμβάνει ένα σύστημα αντλίας θερμότητας αέρα - αέρα για θέρμανση και ψύξη της οικίας, ενώ συμπληρωματικά εισάγεται και αφυγραντήρας για βελτίωση των συνθηκών θερμικής άνεσης μέσω περιορισμού της υγρασίας στο εύρος 40-45%. Ο αερισμός της μονοκατοικίας σε αυτό το σενάριο επιτυγχάνεται μέσω του ανοίγματος των παραθύρων, είναι δηλαδή φυσικός. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης κατέδειξαν συνολικές ετήσιες ενεργειακές ανάγκες ίσες με 12.753 kWh ανά έτος ή 88,56 kWh/m² και συγκεκριμένα 3.092 kWh για ψύξη, 2.197 kWh σε θέρμανση συν ένα πολύ μικρό ποσό που αφορά στους ανεμιστήρες του εξοπλισμού της θερμικής ζώνης (136 kWh), ενώ οι καταναλώσεις για εσωτερικά φωτιστικά σώματα και ηλεκτρικές συσκευές προφανώς παραμένουν ίδιες με το σενάριο των ιδανικών φορτίων. Συμπεραίνεται, δηλαδή, ότι η χρήση αντλίας θερμότητας αποτελεί οικονομικότερη λύση, γεγονός που επιβεβαιώνει τη βιβλιογραφία. Επιπλέον, όσον αφορά στη μέση θερμοκρασία εσωτερικών χώρων αυτή ισούται με 23,4 °C, δηλαδή εντός του εύρους 20-26 °C που ορίζει η ΤΟΤΕΕ, ενώ η μέση σχετική υγρασία ισούται με 43,2%. Συγκεκριμένα, για την υγρασία προκύπτει σημαντικός έλεγχος μέσω του αφυγραντήρα και περιορισμός της στα επίπεδα 40-45% για 4365 ώρες ετησίως, δηλαδή στο 50% του χρόνου. Άξιες σχολιασμού είναι και οι 2053 ώρες κατά τις οποίες η υγρασία βρίσκεται στα επίπεδα του 45-50% και θα γίνει στη συνέχεια σύγκριση με το τρίτο σενάριο.

Στο τρίτο σενάριο, η θερμική ζώνη παραμένει ως έχει, με αντλία θερμότητας αέρα - αέρα και αφυγραντήρα. Ο αερισμός της μονοκατοικίας, πλέον, επιτυγχάνεται μόνο μέσω συστήματος μηχανικού αερισμού με ανάκτηση θερμότητας, χωρίς τον παραμικρό φυσικό αερισμό. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης κατέδειξαν συνολικές ετήσιες ενεργειακές ανάγκες ίσες με 11.847 kWh ή με 82,27 kWh/m². Οι επιμέρους ενεργειακές ανάγκες σε θέρμανση και ψύξη ισούνται με 1.208 kWh και 3.114 kWh αντίστοιχα, με ελαφρώς αυξημένες καταναλώσεις για ανεμιστήρες, όπως αναμενόταν, λόγω του συστήματος μηχανικού αερισμού ίσες με 197 kWh. Όσον αφορά στην ψύξη παρατηρείται μία ελάχιστη αύξηση της κατανάλωσης από 3.092 kWh σε 3.114 kWh, η οποία θεωρείται αμελητέα. Το συγκεκριμένο αποτέλεσμα δείχνει και τη σημαντικότητα του φυσικού δροσισμού, που έχει ληφθεί υπόψη κατά τη θερινή περίοδο για το σενάριο του φυσικού αερισμού. Από την άλλη, παρατηρείται σημαντική μείωση των αναγκών σε θέρμανση, από 2.197 kWh σε 1.208 kWh, δηλαδή μία πτώση της τάξεως του 45% επί των αναγκών σε θέρμανση και 8,35% επί των συνολικών ετήσιων αναγκών της οικίας. Η τελική εξοικονόμηση ενέργειας με μηχανικό αερισμό ανάκτησης θερμότητας υπολογίζεται ίση με 7,64%, καθώς όπως αναφέρθηκε παρατηρείται μεν μεγάλη πτώση των θερμικών φορτίων, μικρή αύξηση των ψυκτικών φορτίων και των ανεμιστήρων δε. Σημαντικά συμπεράσματα εξάγονται και όσον αφορά στις συνθήκες θερμικής άνεσης των εσωτερικών χώρων της οικίας. Συγκεκριμένα, όσον αφορά στην μέση εσωτερική θερμοκρασία κατά τη διάρκεια του έτους παρατηρείται μικρή άνοδος ίση με 0,2 °C, η οποία συνδέεται με περισσότερες ώρες σε υψηλότερη θερμοκρασία εσωτερικών χώρων κατά τη χειμερινή περίοδο, ενώ παρατηρείται επίσης αύξηση κατά 400 ώρες ετησίως εντός του εύρους 24-26 °C (κερδίζονται από το εύρος 26-28 °C) κατά τη θερινή περίοδο. Ακόμη, η μέση ετήσια σχετική υγρασία μειώνεται κατά 0,5%, καθώς παρατηρούνται 300 περισσότερες ώρες εντός του εύρους 40-45% στη διάρκεια του έτους, συγκριτικά με το σενάριο του φυσικού αερισμού. Συμπεραίνεται, λοιπόν, πως ένα σύστημα μηχανικού αερισμού ανάκτησης θερμότητας σε μια κατοικία, στη Ραφήνα, έχει

πολλαπλά οφέλη. Πρώτον, συμβάλλει καθοριστικά στη μείωση των θερμικών φορτίων, καθώς ιδίως τη χειμερινή περίοδο δεν ψύχεται σε μεγάλο βαθμό το σπίτι αφού τα παράθυρα δεν ανοίγουν για φυσικό αερισμό. Δεύτερον, επιδρά θετικά στην ποιότητα των συνθηκών των εσωτερικών χώρων και δη στη θερμική άνεση και ποιότητα αέρα εσωτερικών χώρων για τους ενοίκους. Και, φυσικά, ως αποτέλεσμα του πρώτου συμπεράσματος, συμβάλλει στην εξοικονόμηση ενέργειας και άρα χρημάτων για το νοικοκυριό.

Τέλος, παρατίθενται και δύο προτάσεις για μελλοντική έρευνα. Η πρώτη αφορά σε μια φυσική συνέχεια της συγκεκριμένης μελέτης, το ενδεχόμενο και τις δυνατότητες ενός συνδυασμού φυσικού και μηχανικού αερισμού προς επίτευξη βέλτιστου αποτελέσματος θερμικής άνεσης και ποιότητας αέρα εσωτερικών χώρων. Η δεύτερη θα μπορούσε να αφορά στην εξέλιξη της παρούσας μελέτης και την πραγματοποίηση μιας έρευνας προς το σχεδιασμό μιας ενεργειακής κατοικίας με την εγκατάσταση συστημάτων παραγωγής ενέργειας. Μια τέτοια μορφή συστήματος μπορεί να είναι τα φωτοβολταϊκά στην οροφή της οικίας προς παραγωγή ενέργειας που θα συμβάλλει στην κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων της οικίας υπό το πρίσμα του Net Metering.

Λίστα Εικόνων

Εικόνα 1: Παράδειγμα βιώσιμου κτιρίου	13
Εικόνα 2: Διάφοροι τύποι κτηρίων που σχετίζονται με ένα σύστημα αερισμού	15
Εικόνα 3: Κατανάλωση ενέργειας ανά τομέα στην Ευρωπαϊκή Ένωση (2019)	17
Εικόνα 4: Κατανάλωση ενέργειας ανά κλάδο στον Ελλαδικό χώρο	17
Εικόνα 5: Παράγοντες επιρροής της θερμικής άνεσης	18
Εικόνα 6: Πίνακας αξιολόγησης λογισμικών μοντελοποίησης και προσομοίωσης ενεργειακών προσών στα κτίρια	20
Εικόνα 7: Λογότυπο λογισμικού TRNSYS	21
Εικόνα 8: Λογότυπο λογισμικού IDA - ICE	22
Εικόνα 9: Τρόπος λειτουργίας του λογισμικού IDA – ICE	22
Εικόνα 10: Λογότυπο λογισμικού DesignBuilder	22
Εικόνα 11: Λογότυπο λογισμικού Passive House Planning Package)	23
Εικόνα 12: Βασικά μεγέθη σε ένα εποπτικό σχέδιο μηχανικού αερισμού	25
Εικόνα 13: Ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας με την εφαρμογή των προδιαγραφών του KENAK ανά τύπο κτηρίου και κλιματική ζώνη	27
Εικόνα 14: Σύγκριση συστημάτων ERV και HRV	31
Εικόνα 15: Φιλοσοφία εναλλαγής θερμότητας των HRV και ERV	32
Εικόνα 16: Μοντέλο VKM 80 - 100 GM της εταιρείας DAIKIN	33
Εικόνα 17: Οπτικοποίηση της λειτουργίας HRV της DAIKIN	33
Εικόνα 18: Τεχνικά χαρακτηριστικά λειτουργίας των συστημάτων VKM	34
Εικόνα 19: Γράφημα μεθόδου by-pass	35
Εικόνα 20: Επεξήγηση φίλτρων του συστήματος LG ERV	35
Εικόνα 21: Συνολικές ωφέλειες από τη χρήση αερισμού	38
Εικόνα 22: Παραδείγματα φυσικού αερισμού ανάλογα με την έλευση του ρεύματος αέρα και την τοποθέτηση των κουφωμάτων	42
Εικόνα 23: Βασικές αρχές για κτίρια υψηλής ενεργειακής απόδοσης	44
Εικόνα 24: Κατηγοριοποίηση ποιότητας αέρα (IAQ) σύμφωνα με το πρότυπο EN13779	45
Εικόνα 25: Κατηγορίες της ποιότητας αέρα εσωτερικής ατμόσφαιρας σύμφωνα με το πρότυπο EN13779	46
Εικόνα 26: Τυπικό φίλτρο συστήματος μηχανικού αερισμού	46
Εικόνα 27: Εσωτερικό ενός συστήματος μηχανικού αερισμού	48
Εικόνα 28: Εξοικονόμηση ενέργειας μέσω συστήματος μηχανικού αερισμού με εναλλάκτη θερμότητας	49
Εικόνα 29: Ζώνες μεταφοράς αέρα σε ένα τυπικό κτίριο	54
Εικόνα 30: Απλοποιημένη οπτικοποίηση συστήματος αερισμού με ισορροπημένες ροές αέρα	55
Εικόνα 31: Απλοποιημένο σχέδιο ανταλλαγής θερμότητας μεταξύ δύο ρευστών εντός ομοαξονικών σωλήνων σε έναν εναλλάκτη αντιρροής	57
Εικόνα 32: Τα τέσσερα στόμια σύνδεσης του εμπρόσθιου μέρους του εναλλάκτη θερμότητας	58
Εικόνα 33: Εσωτερική δομή σπειροειδούς εναλλάκτη	58
Εικόνα 34: Παράδειγμα εμπορικού συστήματος HRV αντίθετης ροής	60
Εικόνα 35: Ενσωμάτωση συστήματος HRV σε μια μονοκατοικία	61
Εικόνα 36: Μονοδιάστατη αγωγή θερμότητας σε επίπεδο στερεό σώμα	67
Εικόνα 37: Μετάδοση θερμότητας μεταξύ δύο σωμάτων όπου το ένα περιβάλλει το άλλο με συναγωγή και ακτινοβολία	69
Εικόνα 38: Μεταφορά θερμότητας στον άνθρωπο	70

Εικόνα 39: Σχέση φαινόμενης θερμοκρασίας - υγρασίας	71
Εικόνα 40: Ψυκτικός κύκλος.....	72
Εικόνα 41: Ιδανικός ψυκτικός κύκλος και διάγραμμα T-s	73
Εικόνα 42: Θεωρητικό θερμοδυναμικό διάγραμμα ψυκτικού κύκλου για αντλίες θερμότητας πίεσης-ενθαλπίας (logP-h).....	74
Εικόνα 43: Τετράοδη βαλβίδα για αντιστροφή της ροής σε Α/Θ.....	74
Εικόνα 44: Αντλία θερμότητας αέρα-αέρα.....	76
Εικόνα 45: Αφυγρανήτριας με ψυκτικό κύκλωμα.....	76
Εικόνα 46: Τοποθεσία οικοπέδου στο οποίο θα ανεγερθεί η μονοκατοικία που εξετάζεται – με την πινέζα στην περιοχή της Ραφήνας. Με το βέλος προσδιορίζεται η βορεινή πλευρά του οικοπέδου	79
Εικόνα 47: Κάτοψη μονοκατοικίας.....	79
Εικόνα 48: Χωροθέτηση χώρων μονοκατοικίας - το βέλος δείχνει τη βορεινή πλευρά της οικίας....	80
Εικόνα 49: Κάτοψη Οικίας με πόρτες και παράθυρα	82
Εικόνα 50: Παράδειγμα ορισμένου ανοιγόμενου παραθύρου	82
Εικόνα 51: Παράδειγμα ορισμού μπαλκονόπορτας	83
Εικόνα 52: Καθορισμός συνοριακών συνθηκών και χρωματισμός επιφανειών.....	84
Εικόνα 53: Καθορισμός μίας ενιαίας θερμικής ζώνης και χρωματισμός των χώρων που ανήκουν σε αυτή.....	85
Εικόνα 54: ΒΑ πλευρά μονοκατοικίας	86
Εικόνα 55: ΝΔ πλευρά μονοκατοικίας.....	86
Εικόνα 56: Εισαγωγή καιρικών δεδομένων στην καρτέλα Site	89
Εικόνα 57: Occupancy schedule για το χώρο Parents Bedroom.....	90
Εικόνα 58: : Lighting schedule για το Small Bedroom 1	90
Εικόνα 59: Θερμική ισχύς σύμφωνα με την TOTEΕ.....	91
Εικόνα 60: Θερμική ισχύς σύμφωνα με την ASHRAE	91
Εικόνα 61: Activity level schedule για το χώρο της κουζίνας	92
Εικόνα 62: Infiltration Schedule για το χώρο Corridor.....	92
Εικόνα 63: Schedule για την καφετιέρα που βρίσκεται στο χώρο Kitchen	93
Εικόνα 64: Ομαδοποίηση χρονοπρογραμμάτων για το χώρο Kitchen.....	94
Εικόνα 65: Ονομασία και αντιστοίχιση χρονοπρογράμματος για την κουζίνα	95
Εικόνα 66: Κατασκευαστικό σετ εξωτερικών τοίχων.....	96
Εικόνα 67: Κατασκευαστικά σετ για interior & exterior floor.....	96
Εικόνα 68: Κατασκευαστικό σετ εσωτερικών τοίχων.....	97
Εικόνα 69: Κατασκευαστικό σετ εσωτερικών τοίχων με μόνωση	97
Εικόνα 70: Εσωτερικοί τοίχοι με ειδικό κατασκευαστικό σετ.....	98
Εικόνα 71: Κατασκευαστικά σετ για την εξωτερική και τις εσωτερικές πόρτες	99
Εικόνα 72: Κατασκευαστικό σετ για παράθυρα και μπαλκονόπορτες	99
Εικόνα 73: Αντιστοίχιση των επιμέρους σετ κατασκευής των δομικών στοιχείων επί του συνολικού construction set της μονοκατοικίας	100
Εικόνα 74: Ορισμός του Construction Set στην κουζίνα (όμοια σε όλους τους χώρους)	101
Εικόνα 75: Ορισμός ανθρωπίνων φορτίων για το χώρο Parents Bedroom	106
Εικόνα 76: Ορισμός ονομαστικής ισχύος για τη συσκευή kitchen fryer	106
Εικόνα 77: Παράδειγμα ορισμού φωτιστικού σώματος στο παιδικό Υ/Δ	108
Εικόνα 78: Καρτέλα Space Types – General	109
Εικόνα 79: Ορισμός Design Specification Outdoor Air και Space Infiltration Design Flow Rate - κοινά για τους χώρους της οικίας.....	110
Εικόνα 80: Καρτέλα Space Types - Loads παράδειγμα για το μπάνιο.....	110
Εικόνα 81: Καρτέλα Space Types - Loads για τους χώρους της κουζίνας και του Laundry	111

Εικόνα 82: Πλήρως ορισμένοι χώροι (Name, Space Type Name, Default Construction Set Name και Default Schedule Set Name) μέσω του OpenStudio Inspector)	111
Εικόνα 83: Καρτέλα Spaces-Properties	112
Εικόνα 84: Καρτέλα Spaces-Loads για το χώρο Corridor	113
Εικόνα 85: Καρτέλα Spaces-Subsurfaces παράδειγμα για τους χώρους Bath 1&2 και Corridor....	113
Εικόνα 86: Καρτέλα Thermal Zone για την περίπτωση ιδανικών φορτίων	114
Εικόνα 87: Ορισμός του συντελεστή συμπεριφοράς της αντλίας COP.....	115
Εικόνα 88: Εισαγωγή αντλίας θερμότητας και αφυγραντήρα στη θερμική ζώνη.....	116
Εικόνα 89: Εισαγωγή στοιχείου φυσικού αερισμού στη θερμική ζώνη.....	117
Εικόνα 90: Εισαγωγή συστήματος μηχανικού αερισμού στη θερμική ζώνη.....	118
Εικόνα 91: Reduce Night Time Electric Equipment Loads Measure για το ψυγείο	119
Εικόνα 92: Schedule set για το ψυγείο έπειτα από την εφαρμογή του Reduce Night Time Electric Equipment Loads	120
Εικόνα 93: Καρτέλα Measures	120
Εικόνα 94: Ενεργειακές ανάγκες ανά τύπο κατανάλωσης.....	121
Εικόνα 95: Μηνιαία ηλεκτρική κατανάλωση για φωτισμό και ηλεκτρικές συσκευές	122
Εικόνα 96: Μηνιαία ψυκτικά φορτία.....	122
Εικόνα 97: Μηνιαία θερμικά φορτία	122
Εικόνα 98: Θερμικά και ψυκτικά φορτία ανά μήνα συναρτήσει της θερμοκρασίας περιβάλλοντος	123
Εικόνα 99: Επιμέρους ενεργειακές καταναλώσεις	124
Εικόνα 100: Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά μήνα για τα επιμέρους φορτία	125
Εικόνα 101: Θερμικά και ψυκτικά φορτία συναρτήσει της θερμοκρασίας περιβάλλοντος	125
Εικόνα 102: Ετήσιες ενεργειακές ανάγκες ανά τύπο κατανάλωσης	127
Εικόνα 103: Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά μήνα.....	128
Εικόνα 104: Μέγιστη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας ανά μήνα	128
Εικόνα 105: Θερμικά και ψυκτικά φορτία συναρτήσει της εξωτερικής θερμοκρασίας περιβάλλοντος	128
Εικόνα 106: Συγκεντρωτικό διάγραμμα ενεργειακών αναγκών στις περιπτώσεις φυσικού και μηχανικού αερισμού	131
Εικόνα 107: Ώρες στη διάρκεια του έτους που επικρατούν τα επιθυμητά επίπεδα θερμοκρασίας και υγρασίας εσωτερικών χώρων για φυσικό και μηχανικό αερισμό	131

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1: Διαστάσεις των διαφόρων χώρων της μονοκατοικίας	80
Πίνακας 2: Τιμές συντελεστών R_i και R_a από ΤΟΤΕΕ.....	102
Πίνακας 3: Διαχωρισμός της Ελλάδας σε δύο κλιματικές ζώνες ανάλογα με την περιφέρεια – ΤΟΤΕΕ	102
Πίνακας 4: Μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας δομικών στοιχείων κτιρίου, ανά κλιματική ζώνη, για κτίριο προς ανέγερση	103
Πίνακας 5: Συντελεστής θερμοπερατότητας για παράθυρα και μπαλκονόπορτες.....	103
Πίνακας 6: Αντίσταση εξωτερικών τοίχων και οροφής στη μετάδοση θερμότητας	104
Πίνακας 7: Υπολογισμός τιμών συντελεστών θερμοπερατότητας	104
Πίνακας 8: Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας για λόγο A/V ανά κλιματική ζώνη σύμφωνα με την ΤΟΤΕΕ	105
Πίνακας 9: Θερμικό κέρδος από ηλεκτρικές συσκευές σε κατάσταση λειτουργίας κατά ASHRAE. 107	
Πίνακας 10: Συγκεντρωτικός πίνακας φορτίων ηλεκτρικών συσκευών.....	107
Πίνακας 11: Απόσπασμα του πίνακα της ASHRAE για τον καθορισμό των φωτιστικών σωμάτων ανά τύπο χώρου	108
Πίνακας 12: Συγκεντρωτικός πίνακας φωτιστικών σωμάτων της μονοκατοικίας	108
Πίνακας 13: Ορισμός θερμοκρασίας για θέρμανση και ψύξη σύμφωνα με την ΤΟΤΕΕ.....	114
Πίνακας 14: Ορισμός ονομαστικής ισχύος σε θέρμανση και ψύξη	115
Πίνακας 15: Μετρηθείσες ώρες ανά ποσοστό υγρασίας	116
Πίνακας 16: Συνολικές ετήσιες ενεργειακές ανάγκες μονοκατοικίας.....	121
Πίνακας 17: Επιμέρους ετήσιες ενεργειακές ανάγκες	121
Πίνακας 18: Ώρες ετησίως στα διάφορα επίπεδα υγρασίας	123
Πίνακας 19: Ετήσιες ενεργειακές ανάγκες μονοκατοικίας - Σενάριο 2	124
Πίνακας 20: Επιμέρους ετήσιες ενεργειακές ανάγκες	124
Πίνακας 21: Ώρες ανά έτος όπου παρατηρείται το κάθε ποσοστό υγρασίας	125
Πίνακας 22: Ώρες ανά έτος κατά τις οποίες παρατηρείται το κάθε εύρος θερμοκρασίας.....	126
Πίνακας 23: Ετήσιες ενεργειακές ανάγκες της μονοκατοικίας με εγκατάσταση συστήματος μηχανικού αερισμού	126
Πίνακας 24: Επιμέρους ετήσιες ενεργειακές ανάγκες - Σενάριο 3.....	127
Πίνακας 25: Ώρες ανά έτος κατά τις οποίες παρατηρείται το κάθε θερμοκρασιακό εύρος.....	129
Πίνακας 26: Ώρες ανά έτος κατά τις οποίες επικρατεί το κάθε ποσοστό υγρασίας	129
Πίνακας 27: Ετήσιες ενεργειακές ανάγκες της μονοκατοικίας για τα διάφορα σενάρια μελέτης ...	130

Βιβλιογραφία

- [1] ASHRAE.55. (2013). ASHRAE Standard 55 - Thermal environmental conditions for human occupancy. American Society of Heating, RAA-C.E.
- [2] Badescu, V., Laaser, N., & Crutescu, R. (2010). Warm season cooling requirements for passive buildings in Southeastern Europe (Romania). *Energy*, 35(8), 3284–3300.
- [3] Balvers, J., Bogers, R., Jongeneel, R., Van Kamp, I., Boerstra, A., & Van Dijken, F. (2012) Mechanical ventilation in recently built Dutch homes: Technical shortcomings, possibilities for improvement, perceived indoor environment and health effects. *Architectural Science Review*, 55(1), 4–14.
- [4] Balvers, J., Boxem, G., & de Wit, M. (2008). Indoor air quality in low-energy houses in the Netherlands: Does mechanical ventilation provide a healthy indoor environment? *Indoor Air*, Copenhagen, 17–22.
- [5] Dima Stouhi, Back to Basics: Natural Ventilation and its Use in Different Contexts
Available at: <https://www.archdaily.com/963706/back-to-basics-natural-ventilation-and-its-use-in-different-contexts> (last accessed on 9th January 2024)
- [6] Four – Way Reversing Valve for Air – Conditioner & Refrigeration
Available at: coowor.com
- [7] EnviroVent Ltd, 2013. A Guide to Ventilation for Self Builders.
Available at: <http://www.homeventilation.co.uk/self-builders-home-improvers-guide.php> (last accessed on 27th November 2023)
- [8] McGill, G., Oyedele, L., & Keeffe, G. (2015). Indoor air quality investigations in code for sustainable homes and passive houses dwellings. *Indoor Air Quality Investigation*, 12(1), 39–60
- [9] IDA ICE - Simulation Software | EQUA
Available at: <https://www.equa.se/en/ida-ice> (last accessed on 1st December 2023)
- [10] Zheng, Jie (2019), Urban Residential Energy Efficiency - Technology Optimization and Behavior Change: Case study on social housing in Darmstadt, Germany. Technische Universität, Ph.D. Thesis, Primary publication
- [11] Welcome | TRNSYS : Transient System Simulation Tool
Available at: <https://www.trnsys.com/> (last accessed on 1st December 2023)
- [12] DesignBuilder Software Ltd – Home
Available at: <https://designbuilder.co.uk/> (last accessed on 1st December 2023)
- [13] Choosing between an HRV and an ERV – Ecohome
Available at: <https://www.ecohome.net/guides/2276/choosing-between-an-hrv-and-an-erv/> (last accessed on 1st December 2023)
- [14] HRV or ERV: which ventilation system to choose? – CAA Quebec
Available at: <https://www.caaquebec.com/en/at-home/advice/tips-and-tricks/tip-and-trick/show/sujet/hrv-or-erv-which-ventilation-system-to-choose> (last accessed on 1st December 2023)

- [15] What's The Difference Between HRV And ERV Systems? | Dr HVAC
Available at: <https://www.drhvac.ca/blog/difference-between-hrv-and-erv-systems/> (last accessed on 1st December 2023)
- [16] Joey Fox, Improving Home Indoor Air Quality, It's Airborne
Available at: <https://itsairborne.com/improving-home-indoor-air-quality-3db83fd0051a> (last accessed on 1st December 2023)
- [17] Thet Hin, Sustainable Architecture: Everything you need to know, NOVATR
Available at: <https://www.novatr.com/blog/sustainable-architecture-guide> (last accessed on 9th January 2024)
- [18] Παλλαντζάς Σ., Ελληνικό Ινστιτούτο Παθητικού Κτιρίου, ΟΔΗΓΟΣ, Συστήματα Μηχανικού Αερισμού με Ανάκτηση Θερμότητας
Διαθέσιμο online: <https://www.passivehouse-international.org/upload/VentilationGuide.pdf>
(τελευταία επίσκεψη την 27/11/2023)
- [19] Ανδριοπούλου Χ., Μελέτη θερμοσιφωνικού συστήματος επιπέδου συλλέκτη με χρήση του προγράμματος TRNSYS, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Φυσικής (2009)
Διαθέσιμο online: <https://nemertes.library.upatras.gr/server/api/core/bitstreams/cc8da9c0-d95e-4abe-80bd-f47c95224b26/content> (τελευταία επίσκεψη την 27/11/2023)
- [20] Έκθεση μακροπρόθεσμης στρατηγικής για την κινητοποίηση επενδύσεων για την ανακαίνιση του αποτελούμενου από κατοικίες και εμπορικά κτίρια, δημόσια και ιδιωτικά, εθνικού κτιριακού αποθέματος (Άρθρο 4, Οδηγία 27/2012/ΕΕ)" - Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας (ΥΠΕΝ)
- [21] Έρευνα κατανάλωσης ενέργειας στα νοικοκυριά, 2011 – 2012 (ΕΛΣΤΑΤ)»
Διαθέσιμο online: <http://www.cres.gr/energyhubforall/2.2.1.html>
(τελευταία επίσκεψη την 1/12/2023)
- [22] Χ. Τζιβανίδης, «Θερμική Συμπεριφορά Κτηρίων»
- [23] Passive House Planning Package – ένα δοκιμασμένο εργαλείο σχεδιασμού, Ελληνικό Ινστιτούτο Παθητικό Κτιρίου
Διαθέσιμο online: <https://eipak.org/product/phpp9-greekdesignph-2-0-pro> (τελευταία επίσκεψη την 1/12/2023)
- [24] Α. Στέγγου και Ζ. Σαγιά, Μετάδοση Θερμότητας, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2018
- [25] Οι 6 πιο συχνές ερωτήσεις σχετικά με το ERV | LG Ελλάς
Διαθέσιμο online: <https://www.lg.com/gr/business/klimatizmos-thermansis/ERV-6FAQs> (τελευταία επίσκεψη την 1/12/2023)
- [26] LG – Μονάδες εξαερισμού ERV | LG Ελλάς
Διαθέσιμο online: <https://www.lg.com/gr/business/epaggelmatikos-klimatizmos/lg-ERV> (τελευταία επίσκεψη την 1/12/2023)
- [27] Θερμική Άνεση σε Εσωτερικούς Χώρους, Charmeg Technologies, 2017
- [28] Κ. Pachtas, Mechanical Engineering.
- [29] Ι. Dincer, Refrigeration Systems and Applications, ΤΖΙΟΛΑ.

[30] "Four-Way Reversing Valve for Air Conditioner & Refrigeration," [Online]. Available: coowor.com.

[31] "TiSoft," [Online]. Available: https://www.tisoft.com/el/support/help/epacad/project/systhmata_paragwghs/thermansi/bathmos/aera.

[32] technoelectric, [Online]. Available: <https://techno-electric.gr/blog-arthra/aphugranteres-ti-einai-kai-pos-leitourgoun.html>.