



Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών
Πολυτεχνική Σχολή

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ
ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΑΕΡΑ ΠΑΘΗΤΙΚΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ ΧΡΗΣΗΣ
ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ



ΒΗΣΣΑΡΙΩΝ ΠΑΠΑΣΠΥΡΟΥ

ΑΕΜ: 2476

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΠΑΝΑΡΑΣ ΓΙΩΡΓΟΣ

ΚΟΖΑΝΗ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2024



University of Western Macedonia
Department of Mechanical Engineering
Faculty of Engineering

THESIS

INVESTIGATION OF ENERGY BEHAVIOUR AND INDOOR
ENVIRONMENTAL QUALITY AIR OF PASSIVE RESIDENTIAL
BUILDINGS



VISSARION PAPASPYROU

AEM: 2476

SUPERVISOR PROFESSOR

PANARAS GEORGE

KOZANI, JULY 2024

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Γεώργιο Πανάρα για όλη την βοήθεια που πρόσφερε για την διεκπεραίωση της παρούσας εργασίας. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Βασίλη Κίλη, για τη συνεχή βοήθεια, τις χρήσιμες συμβουλές και τη συνεργασία του. Η συμβολή του ήταν εξαιρετικά σημαντική για την επιτυχία αυτής της εργασίας.

Ειδικές ευχαριστίες οφείλω στη μητέρα μου, Μαρία Τσακνίδου, για την αδιάκοπη στήριξη και την ενθάρρυνση καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Περίληψη

Η κατανάλωση ενέργειας στα νοικοκυριά περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα δραστηριοτήτων, από τη θέρμανση και την ψύξη των σπιτιών μέχρι την τροφοδοσία συσκευών, φωτισμού και ηλεκτρονικών συσκευών. Κατά μέσο όρο, τα νοικοκυριά ευθύνονται για ένα σημαντικό μέρος της συνολικής χρήσης ενέργειας σε πολλές χώρες, με τη θέρμανση και την ψύξη να είναι από τους μεγαλύτερους συντελεστές. Παρά τις προόδους στις ενεργειακά αποδοτικές τεχνολογίες και τα πρότυπα για τα κτίρια, εξακολουθούν να υπάρχουν σημαντικά περιθώρια μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας μέσω της βελτίωσης της μόνωσης, της αποδοτικότητας των συσκευών, των αλλαγών στη συμπεριφορά και της υιοθέτησης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Η παρούσα διατριβή εμβαθύνει στην ενεργειακή συμπεριφορά ενός κτιρίου που τηρεί διαφορετικούς ενεργειακούς κανονισμούς. Πιο συγκεκριμένα, η πρώτη περίπτωση είναι για ένα αμόνωτο κτίριο, η δεύτερη για τον Κανονισμό Θερμομόνωσης Κτιρίων, η τρίτη για τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων και η τελευταία για τον Κανονισμό Παθητικής Κατοικίας. Οι τιμές λήφθηκαν από την οδηγία TOTEE 20701-1. Τα αποτελέσματα που θα παρουσιαστούν στην συνέχεια υπολογίστηκαν μέσω του προγράμματος TEE- KENAK, το οποίο βασίζει την ανάλυση του στο μηνιαίο μοντέλο του προτύπου ISO EN13790, ενώ χρησιμοποιήθηκε παράλληλα και προσέγγιση βασισμένη στο ωριαίο μοντέλο του προτύπου ISO EN13790

Παράλληλα γίνεται μια διερεύνηση των εσωτερικών επιπέδων του διοξειδίου του άνθρακα μέσα στην κατοικία στις περιπτώσεις που αναφέρθηκαν βάση του αντίστοιχου αερισμού, με σκοπό να κατανοηθεί η βαρύτητα του και να εκτιμηθεί η ποιότητα αέρα.

Abstract

Energy consumption in households includes a wide range of activities, from heating and cooling homes to powering appliances, lighting and electronics. On average, households account for a significant share of total energy use in many countries, with heating and cooling being among the largest contributors. Despite advances in energy-efficient technologies and standards for buildings, there is still considerable scope for reducing energy consumption through improved insulation, appliance efficiency, behavioural changes and the adoption of renewable energy sources.

This thesis delves into the energy behaviour of a building complying with different energy regulations. More specifically, the first case is for a single-unit building, the second for the Building Insulation Regulation, the third for the Building Energy Performance Regulation and the last for the Passive House Regulation. The values were taken from the TOTE 20701-1 directive. The results to be presented below were calculated using the TEEK-KENAK program, which bases its analysis on the monthly model of the ISO EN13790 standard, while an approach based on the hourly model of the ISO EN13790 standard was also used

In parallel, an investigation of the indoor levels of carbon dioxide inside the dwelling in the reported cases based on the corresponding ventilation is carried out to understand its gravity and to assess the air quality.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	iii
Περίληψη	iv
Abstract.....	v
Περιεχόμενα	1
Κεφάλαιο 1 : Εισαγωγή	3
1.1 Ενέργεια και Περιβάλλον στον Κτιριακό Τομέα.....	3
1.2 Πλήθος κτιρίων.....	4
1.3 Κλιματικές ζώνες.....	5
1.4 Ενεργειακή Αναβάθμιση Κτιρίων και Παθητικές Κατοικίες.....	7
1.5 Ενεργειακή φτώχεια	9
1.6 Στατιστικά στοιχεία καταναλώσεων ενέργειας κατοικιών	10
1.7 Σκοπός και Δομή της Εργασίας.....	15
Κεφάλαιο 2 : Παθητικό Κτίριο και Προϋποθέσεις	17
2.1 Προϋποθέσεις Παθητικού Κτιρίου	18
2.2 Θερμομονωτικά Υλικά.....	20
2.3 Θερμοχωρητικότητα	23
2.4 Παράθυρα και Αερισμός.....	24
2.4.1 Διαφανή δομικά υλικά.....	24
2.4.2 Αερισμός.....	25
Κεφάλαιο 3 : Ενεργειακά Μοντέλα	28
3.1 Μηνιαία Μέθοδος EN ISO 13790	30
3.2 Ωριαία Μηνιαία Μέθοδος EN ISO 13790	32
Κεφάλαιο 4 : Περιγραφή Κτιρίου.....	34
Κεφάλαιο 5: Συγκέντρωση CO ₂ και Ποιότητα Αέρα.....	38
5.1 CO ₂ και Εσωτερικό Περιβάλλον.....	38
5.2 Μεθοδολογία Υπολογισμού Συγκέντρωσης CO ₂	39
Κεφάλαιο 6 : Αποτελέσματα Ενεργειακών Μοντέλων	41
6.1.1 Μηνιαίο μοντέλο – κλιματική ζώνη Β	45
6.1.1.A Ενεργειακά Φορτία χωρίς Αερισμό	45
6.1.1.B Ενεργειακά Φορτία με Φυσικό Αερισμό	46
6.1.2 Ωριαίο μοντέλο – κλιματική ζώνη Β.....	47
6.1.2.A Ενεργειακά Φορτία χωρίς Αερισμό	47
6.1.2.B Ενεργειακά Φορτία με Φυσικό Αερισμό	50
6.2.1 Μηνιαίο μοντέλο – κλιματική ζώνη Δ	54

6.2.1.A Ενεργειακά Φορτία χωρίς Αερισμό	54
6.2.1.B Ενεργειακά Φορτία με Φυσικό Αερισμό	55
6.2.2 Ωριαίο μοντέλο – κλιματική ζώνη Δ.....	56
6.2.2.A Ενεργειακά Φορτία χωρίς Αερισμό	56
6.2.2.B Ενεργειακά Φορτία με Φυσικό Αερισμό	59
6.3 Συγκέντρωση Διοξειδίου του Άνθρακα.....	63
6.4 Σενάριο Παθητικού Κτιρίου με Αυξημένο Αερισμό και Σκίαση	64
Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα	69
Βιβλιογραφία	72

Κεφάλαιο 1 : Εισαγωγή

1.1 Ενέργεια και Περιβάλλον στον Κτιριακό Τομέα

Τα κτίρια είναι υπεύθυνα για περίπου το 40% της κατανάλωσης ενέργειας και το 36% των εκπομπών CO₂ της Ευρωπαϊκής Ένωσης [1]. Κατά μέσο όρο, οι Ευρωπαίοι περνούν το 90% του χρόνου τους σε εσωτερικούς χώρους και η ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος επηρεάζει την υγεία και την ποιότητα ζωής [2]. Τα 2/3 του κτιριακού αποθέματος της Ευρώπης κατασκευάστηκε πριν το 1980 [3]. Περίπου το 97% των κτιρίων της ΕΕ πρέπει να αναβαθμιστεί για να επιτευχθεί ο στόχος της απανθρακοποίησης έως το 2050 ωστόσο μόνο το 1% εξ αυτών ανακαινίζονται κάθε χρόνο [4]. Τα κτίρια έχουν τη δυνατότητα να αυξήσουν την ευελιξία του ενεργειακού συστήματος μέσω παραγωγής ενέργειας, ελέγχου, αποθήκευσης και απόκρισης ζήτησης καθώς και ως πράσινοι σταθμοί φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων, ωστόσο αυτό είναι εφικτό μόνο αν επιτευχθεί μια συστημική αναβάθμιση του κτιριακού αποθέματος. Ένα εξαιρετικά αποδοτικό, τεχνικά εξοπλισμένο και "εξυπνότερο" κτιριακό απόθεμα θα μπορούσε να αποτελέσει τον ακρογωνιαίο λίθο ενός ενεργειακού συστήματος απαλλαγμένου από τον άνθρακα.

Τα κτίρια αντιπροσωπεύουν μεγάλο ποσοστό της παγκόσμιας χρήσης ενέργειας, γεγονός που τα καθιστά κεντρικό σημείο των προσπαθειών για τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής και τη μείωση της εξάρτησης από τους πεπερασμένους ενεργειακούς πόρους [24] [25]. Στο πλαίσιο αυτό, οι αρχές ενεργειακού σχεδιασμού επιδιώκουν να αξιοποιήσουν καινοτόμες τεχνολογίες, στρατηγικές παθητικού σχεδιασμού και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για την ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας και τη μεγιστοποίηση της αποδοτικότητας καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής ενός κτιρίου.

Καθώς περιηγούμαστε στην πολυπλοκότητα ενός ταχέως εξελισσόμενου κόσμου, η επιτακτική ανάγκη να δοθεί προτεραιότητα στον σχεδιασμό ενεργειακά αποδοτικών κτιρίων δεν ήταν ποτέ πιο σαφής. Με την υιοθέτηση καινοτόμων τεχνολογιών, ολιστικών στρατηγικών σχεδιασμού και τη δέσμευση για βιωσιμότητα, μπορούμε να διαμορφώσουμε ένα μέλλον όπου τα κτίρια θα λειτουργούν όχι μόνο ως καταφύγια για τους ενοίκους αλλά και ως φάροι ενεργειακής απόδοσης και περιβαλλοντικής διαχείρισης.

1.2 Πλήθος κτιρίων

Ο συνολικός αριθμός των κτιρίων που εξακολουθούν να υπάρχουν στην Ελλάδα το 2015 εμφανίζεται στον Πίνακα 1. Τα κτίρια κατοικιών και νοικοκυριών αποτελούν την πλειοψηφία του κτιριακού αποθέματος της χώρας, ενώ ο τριτογενής τομέας αντιπροσωπεύει τα υπόλοιπα κτίρια. Συγκεκριμένα, τα νοικοκυριά αποτελούν την πλειονότητα των πολυκατοικιών και των μονοκατοικιών της χώρας, αντιπροσωπεύοντας το 95,4% του συνόλου των κτιρίων. Αντίθετα, τα κτίρια του τριτογενούς τομέα, τα οποία περιλαμβάνουν γραφεία, καταστήματα λιανικής πώλησης, εστιατόρια, αποθήκες και άλλες εγκαταστάσεις, αποτελούν το υπόλοιπο 4,6% του συνόλου των κτιρίων της χώρας. Δεδομένου ότι τα κτίρια κατοικιών αντιπροσωπεύουν ένα σημαντικό μέρος της συνολικής ενέργειας που καταναλώνεται, είναι επιτακτική ανάγκη να βελτιωθεί η ενεργειακή τους απόδοση

Πίνακας 1. Είδη Κτιρίων στην Ελλάδα.

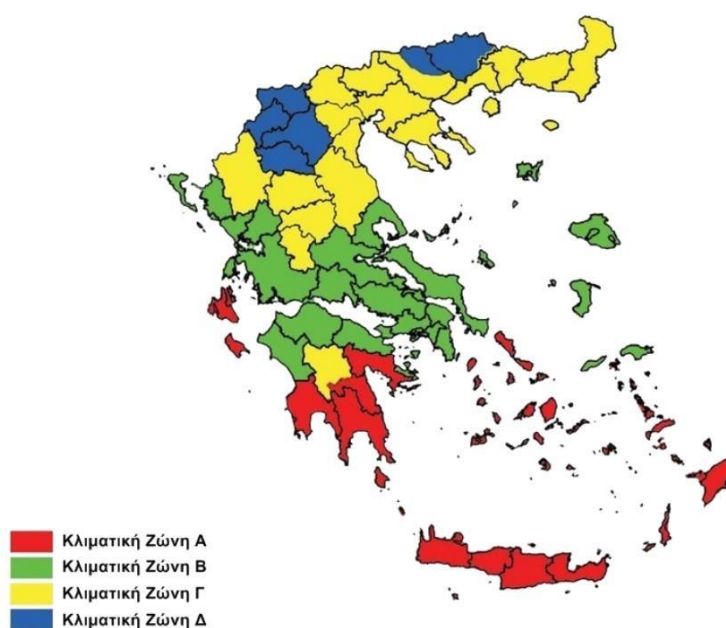
Χρήση Κτιρίου	Αριθμός κτιρίων
Κατοικίες – Νοικοκυριά	
Κατοικίες	4.631.528
Τριτογενής τομέας	
Ξενοδοχεία και εστιατόρια	24.109
Σχολεία και εκπαιδευτικά ιδρύματα	19.167
Κτίρια γραφείων	53.064
Νοσοκομεία και κλινικές	38.664
Εμπορικά καταστήματα	65.957
Αποθήκες	20.374
Ψυκτικές αποθήκες	308
Τριτογενής τομέας	221.643
Σύνολο	4.853.172

1.3 Κλιματικές ζώνες

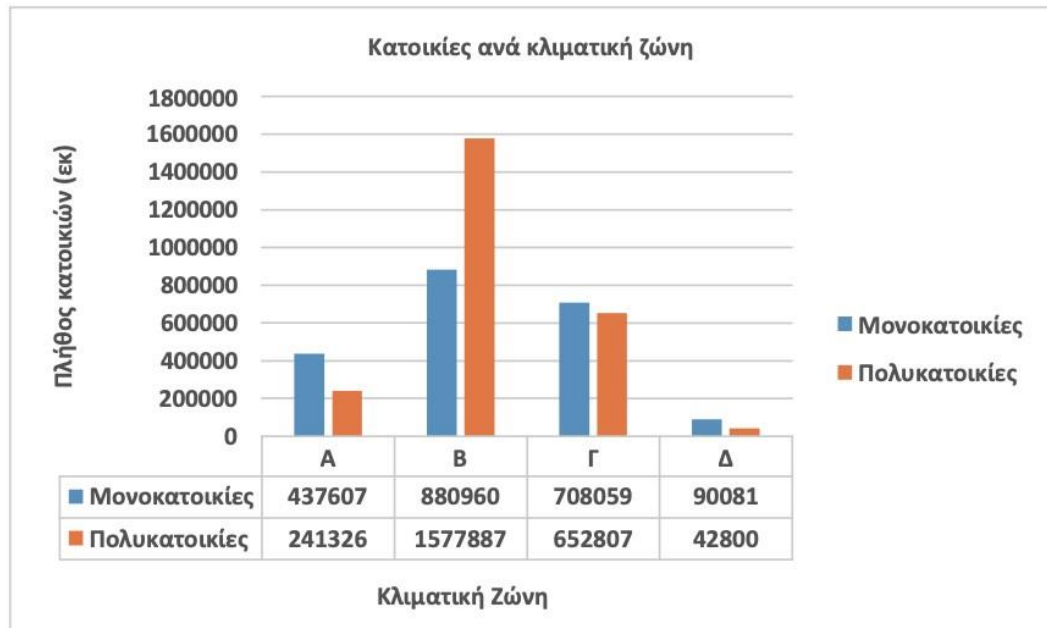
Η Ελλάδα χωρίζεται στις τέσσερις κλιματικές ζώνες Α, Β, Γ, και Δ από τη θερμότερη Ζώνη Α προς στην ψυχρότερη Ζώνη Δ, όπως φαίνεται στον εικόνα 1. Ο διαχωρισμός αυτός βασίζεται στις θερμοκρασιακές συνθήκες που επικρατούν σε κάθε νομό της χώρας σύμφωνα με τις βαθμομηέρες θέρμανσης.

Στην παρακάτω εικόνα 1 παρουσιάζονται οι ζώνες σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ). ενώ στο παρακάτω Γράφημα 1 παρουσιάζεται η κατανομή των κτιρίων στις κλιματικές ζώνες.

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.
ΖΩΝΗ Γ	Αρκαδίας (ορεινή), Ευρυτανίας, Ιωαννίνων, Λάρισας, Καρδίτσας, Τρικάλων, Πιερίας, Ημαθίας, Πέλλας, Θεσσαλονίκης, Κιλκίς, Χαλκιδικής, Σερρών (εκτός ΒΑ τμήματος), Καβάλας, Ξάνθης, Ροδόπης, Έβρου.
ΖΩΝΗ Δ	Γρεβενών, Κοζάνης, Καστοριάς, Φλώρινας, Σερρών (ΒΑ τμήμα), Δράμας.



Εικόνα 1. Κλιματικές Ζώνες Ελλάδος.[11]



Γράφημα 1. Κατανομή του πλήθους των κατοικιών στις διαφορετικές κλιματικές ζώνες.

1.4 Ενεργειακή Αναβάθμιση Κτιρίων και Παθητικές Κατοικίες

Η ενεργειακή αναβάθμιση των κτιρίων και η έννοια των παθητικών κατοικιών αποτελούν βασικές στρατηγικές για την επιδίωξη της ενεργειακής απόδοσης και της αειφόρας στο δομημένο περιβάλλον. Η διαδικασία της ενεργειακής αναβάθμισης περιλαμβάνει τη μετασκευή υφιστάμενων κτιρίων με διάφορα μέτρα που αποσκοπούν στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και στη βελτίωση της συνολικής απόδοσης. Τα μέτρα αυτά συχνά περιλαμβάνουν την ενίσχυση της μόνωσης, την αναβάθμιση των παραθύρων και των θυρών, τη βελτιστοποίηση των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης και την ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως οι ηλιακοί συλλέκτες. Με την εφαρμογή πρωτοβουλιών ενεργειακής αναβάθμισης, τα κτίρια μπορούν να μειώσουν σημαντικά το αποτύπωμα άνθρακα και ταυτόχρονα να βελτιώσουν τα επίπεδα άνεσης για τους ενοίκους.

Τα παθητικά σπίτια, από την άλλη πλευρά, αντιπροσωπεύουν μια αλλαγή παραδείγματος στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό, δίνοντας έμφαση σε μια ολιστική προσέγγιση της ενεργειακής απόδοσης και της άνεσης. Αυτά τα κτίρια σχεδιάζονται σχολαστικά για να ελαχιστοποιήσουν τη ζήτηση ενέργειας μεγιστοποιώντας τις παθητικές στρατηγικές θέρμανσης και ψύξης, όπως ο προσανατολισμός, η μόνωση και ο φυσικός αερισμός. Με αυστηρά πρότυπα επιδόσεων, τα παθητικά σπίτια καταναλώνουν συνήθως έως και 90% λιγότερη ενέργεια για θέρμανση και ψύξη σε σύγκριση με τα συμβατικά κτίρια [4]. Επιπλέον, δίνουν προτεραιότητα στην ποιότητα του εσωτερικού αέρα, τη θερμική άνεση και την ακουστική απόδοση, δημιουργώντας υγιέστερα και πιο άνετα περιβάλλοντα διαβίωσης για τους ενοίκους.

Η αδυναμία συγκρότησης καταρτισμένου πλαισίου ενεργειακής διαχείρισης είχε ως επακόλουθο το υφιστάμενο κτιριακό απόθεμα της χώρας να χαρακτηρίζεται πλέον ως ένα από τα πιο ενεργοβόρα της Ευρώπης καθώς συνδράμει με υψηλό ποσοστό συμμετοχής (40%) στη συνολική ακαθάριστη εγχώρια κατανάλωση ενέργειας.

Υπενθυμίζεται ότι η ψήφιση του Κανονισμού Θερμομόνωσης Κτιρίων (ΚΘΚ) το 1979 αποτέλεσε το έναυσμα για τη λογική χρήση της ενέργειας στον οικιακό τομέα της Ελλάδας. Παρά το γεγονός ότι ήταν ανεπαρκής, δεδομένου ότι αντιμετώπιζε τη μείωση του ενεργειακού κόστους μονοδιάστατα χωρίς να λαμβάνει υπόψη άλλους παράγοντες, μόνο με τη διασφάλιση της κατάλληλης θερμομόνωσης του κελύφους του κτιρίου για τον μετριασμό των θερμικών αναγκών, αποτέλεσε ωστόσο ένα πρώτο βήμα προς την ενδεχόμενη καθολική προσέγγιση (ΚΘΚ, 1979).

Ο Κανονισμός για την Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων (Κ.Εν.Α.Κ), 2010), όπως ακριβώς ορίζεται από τον ενεργειακό νόμο 3661/2008, ο οποίος αποτελεί την εναρμόνιση της εθνικής νομοθεσίας με την κοινοτική οδηγία 2002/91 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου, αντικατέστησε τον Κανονισμό για την Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων όταν έληξε η ισχύς του το 2008. Το κυκλικό ενεργειακό σχέδιο, το οποίο αποτελεί μια συντονισμένη και ολοκληρωμένη προσέγγιση του ενεργειακού σχεδιασμού, καθορίζει τις παραμέτρους μιας ολοκληρωμένης στρατηγικής για την αύξηση της παραγωγικότητας, τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας για διάφορους σκοπούς και τον προσδιορισμό της ενεργειακής χρήσης του κτιριακού αποθέματος. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι στόχος όλων των στοχευμένων μέτρων είναι η παροχή συνθηκών θερμικής άνεσης με τη χρήση αποδοτικότερων τρόπων και τη μείωση του ενεργειακού αποτυπώματος.

Σύμφωνα με το Κ.Εν.Α.Κ το πρωταρχικό μέσο για την επίτευξη των στόχων είναι η δημιουργία και εφαρμογή μιας τυποποιημένης μεθοδολογίας αξιολόγησης της ενεργειακής απόδοσης, από την οποία μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα, τόσο ποσοτικά με τον υπολογισμό της συνολικής κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας όσο και ποιοτικά με την αποσαφήνιση της καταλληλότητας των δομικών στοιχείων του κτιριακού κελύφους, του συστήματος HVAC, του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού και του βαθμού ενσωμάτωσης των συστημάτων ΑΠΕ. Επιπλέον, καθορίζει τις απαιτήσεις για την υποβολή ενεργειακής μελέτης με κάθε οικοδομική άδεια, τη διενέργεια ενεργειακού ελέγχου της κατασκευής και του εξοπλισμού που στεγάζει, και τον καθορισμό των χαμηλότερων αποδεκτών προτύπων ενεργειακής απόδοσης για τον εξοπλισμό που φέρει ενώ καθορίζει ελάχιστα επιτρεπτά επίπεδα ενεργειακής απόδοσης για τα νέα η ριζικώς ανακαινιζόμενα κτίρια.

1.5 Ενεργειακή φτώχεια

Με τον όρο Ενεργειακή φτώχεια ή Ενεργειακή ένδεια αναφερόμαστε στο φαινόμενο της αδυναμίας των ανθρώπων να ανταποκριθούν σε οικονομικό επίπεδο στο να έχουν επαρκή πρόσβαση στις πλέον βασικές υπηρεσίες ενέργειας (θέρμανση, ψύξη, φωτισμό) που εξασφαλίζουν την κάλυψη των βασικών βιοτικών αναγκών. Για την ακρίβεια μέχρι και σήμερα δεν έχει καθιερωθεί θεσμικά κάποιος επίσημος ορισμός που να οριοθετεί μέσω αντικειμενικών - ποιοτικών δεικτών τα κριτήρια που πρέπει να πληροί ένα νοικοκυριό ή ένας πολίτης ώστε να εντάσσεται σε αυτή την κατηγορία.

Μία πρώτη εννοιολογική προσέγγιση αποδόθηκε από το Ηνωμένο Βασίλειο το 1991 [26], όπου έθετε ένα νοικοκυριό σε κατάσταση ενεργειακής φτώχειας όταν χρειάζεται να δαπανήσει περισσότερο από το 10% του εισοδήματος του ώστε να διατηρήσει ένα ικανοποιητικό επίπεδο θερμικής άνεσης. Μία δεύτερη πτυχή [27], η οποία υιοθετήθηκε από την Ιρλανδία το 2017 συσχέτιζε την ενεργειακή φτώχεια με τα νοικοκυριά που δεν κατάφερναν να θερμάνουν επαρκώς την κατοικία τους εξαιτίας της χαμηλής ενεργειακής αποδοτικότητας. Συνεπώς, οι διαφορετικές μεθοδολογίες αντιμετώπισης δυσχεραίνουν την προσπάθεια αναγνώρισης των συνθηκών στις οποίες εντείνεται το πρόβλημα καθώς επίσης και της πραγματικής διάστασης.

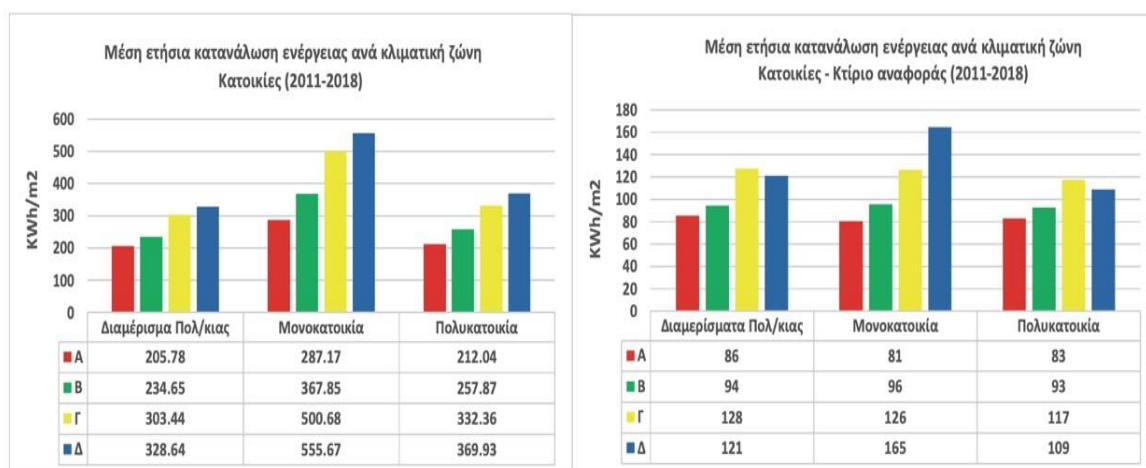
Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι η ενεργειακή φτώχεια αποτελεί ένα ιδιαίτερα κρίσιμο κοινωνικό θέμα που έχει άμεσο αντίκτυπο στα ευάλωτα στρώματα χαμηλού εισοδήματος, καθώς επίσης και στις ευπαθείς ομάδες λόγω των δυσμενών επιπτώσεων στην υγεία του ανθρώπου. Συνδέεται με την πρόκληση καρδιακών ασθενειών, πνευμονολογικών νόσων και ψυχικών διαταραχών. Οι ηλικιωμένοι είναι οι κυρίαρχες κοινωνικές ομάδες που εκτίθενται δεδομένου ότι συνήθως συγκεντρώνουν λιγότερα εισοδήματα από τον ενεργό πληθυσμό, έχουν περισσότερες απαιτήσεις θέρμανσης, είναι πιο επιρρεπείς σε σχετικές ασθένειες ενώ ταυτόχρονα δεν είναι εξοικειωμένοι με σύγχρονες τεχνολογίες εξοικονόμησης ενέργειας.

Τα τελευταία χρόνια στις κοινωνίες παρατηρείται μία μεγαλύτερη ευαισθητοποίηση στην αντιμετώπιση του ζητήματος με την προώθηση στοχευμένων παρεμβάσεων με στόχο να εξαλειφθεί η ενεργειακή φτώχεια και να διασφαλιστούν τα θεμελιώδη δικαιώματα των πολιτών για πρόσβαση σε καθαρή και οικονομικά προσιτή ενέργεια. Στον τομέα αυτό ολοένα και περισσότερα κράτη έχουν επιλέξει να εκσυγχρονίσουν και να ολοκληρώσουν μια σειρά θεσμικών μεταρρυθμίσεων ενσωματώνοντας εθνικά μέτρα κοινωνικής πολιτικής στο πλαίσιο μιας ισχυρής στρατηγικής που εγγυάται την άμβλυνση της ενεργειακής πενίας.

1.6 Στατιστικά στοιχεία καταναλώσεων ενέργειας κατοικιών

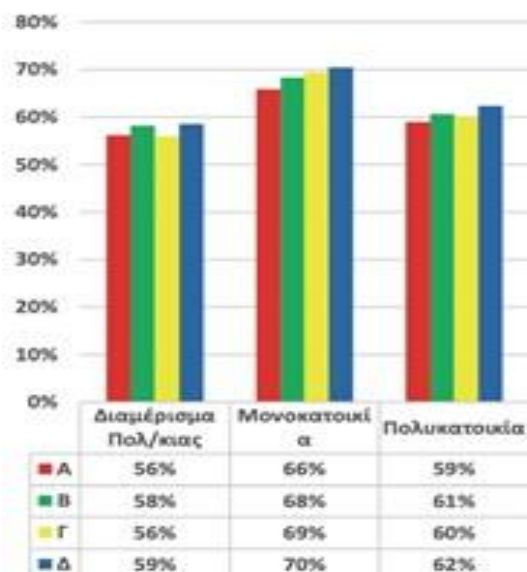
Ένας από τους τομείς με τις καλύτερες δυνατότητες περιορισμού των καταναλώσεων ενέργειας είναι αυτός που περιλαμβάνει την εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια κατοικιών. Στην Ελλάδα, βάσει του ενεργειακού ισοζυγίου για το έτος 2017 η κατανάλωση ενέργειας των κτιρίων ανέρχεται σε 4,316.6 ktoe, δηλαδή σε 28.07% της συνολικής τελικής ενεργειακής κατανάλωσης [30]. Τα μέχρι στιγμής εκ δοθέντα ΠΕΑ παρέχουν πληροφορίες για τις διαφορετικές καταναλώσεις ανάλογα με τη χρήση του κτιρίου ανά κλιματική ζώνη, αλλά και για τα ποσοστά εξοικονόμησης ενέργειας που επιτυγχάνονται (Γράφημα 2), δεδομένου ότι τα κτίρια έχουν κατασκευαστεί σύμφωνα με τις προδιαγραφές του Κ.Εν.Α.Κ.

Όσον αφορά τις κατοικίες, η μέση ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας των πολυκατοικιών σύμφωνα με το Γράφημα 2 είναι ίση με 257,08 kWh/m², ενώ οι μονοκατοικίες αποτελούν κτίρια με μεγαλύτερη ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας στις κλιματικές ζώνες Γ και Δ με τιμή 500,68 kWh/m² και 555,67 kWh/m² αντίστοιχα. Επιπροσθέτως, σύμφωνα με το Γράφημα 3 παρατηρείται ότι οι μονοκατοικίες εξοικονομούν το μέγιστο ποσοστό της ενέργειας για οποιαδήποτε κλιματική ζώνη. Τέλος, φαίνεται πως υπάρχει δυνατότητα μεγάλης εξοικονόμησης ενέργειας, καθώς η διαφορά της κατανάλωσης ενέργειας με αυτήν του κτιρίου αναφοράς είναι σημαντική.



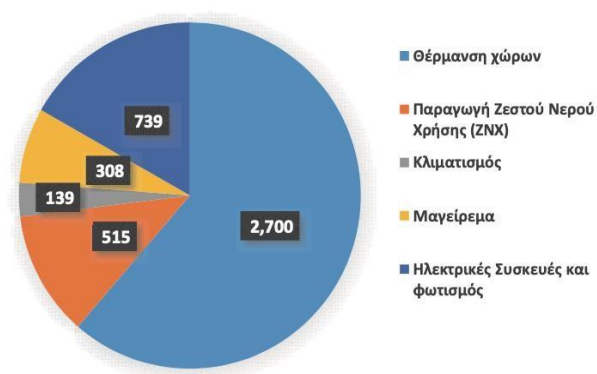
Γράφημα 2. Μέση ετήσια κατανάλωση ενέργειας ανά κλιματική ζώνη (α) Κατοικίες (2011-2018) και (β) Κατοικίες- Κτίριο αναφοράς (2011-2018).

Συνολικά τα ποσοστά εξοικονόμησης ενέργειας στις κατοικίες είναι σημαντικά, σύμφωνα με το Γράφημα 3.



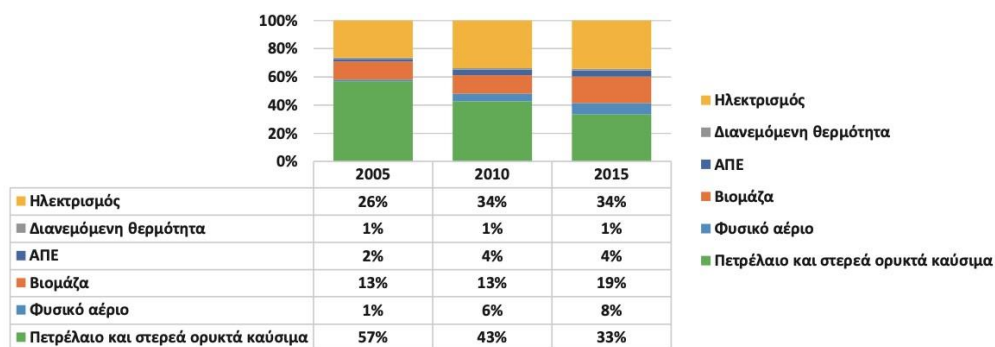
Γράφημα 3. Ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας κτιρίων κατοικιών ανά κλιματική ζώνη (2011-2018)..

Η αυξητική τάση των τιμών των καυσίμων λόγω της ύφεσης που υπέστη η χώρα τα περασμένα έτη στην οικονομία, επηρέασε σημαντικά την κατανάλωση ενέργειας των κατοικιών-νοικοκυριών. Σύμφωνα με τη Eurostat , η κατανάλωση για τις ελληνικές κατοικίες ανήλθε σε 4401 ktoe το 2015, αντί για 4615 ktoe το 2010 και 5510 ktoe το 2005. Στο Γράφημα 4 παρουσιάζεται η κατανάλωση ενέργειας για κάθε χρήση στον οικιακό τομέα στην Ελλάδα.



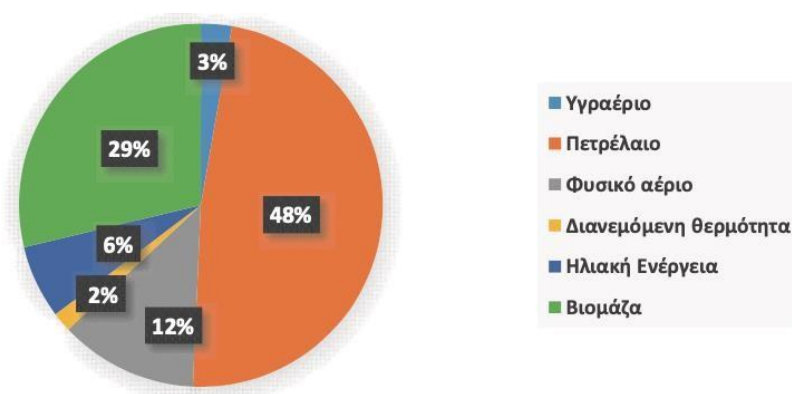
Γράφημα 4. Τελική κατανάλωση ανά χρήση στον οικιακό τομέα (ktoe) για το έτος 2015.

Όπως φαίνεται στο Γράφημα 5, κατά την περίοδο 2005-2015 σημειώθηκε μεγάλη μείωση σχετικά με το πετρέλαιο και σημαντική αύξηση στο μερίδιο του φυσικού αερίου και του ηλεκτρισμού.



Γράφημα 5. Μερίδια στην κατανάλωση ενέργειας στον οικιακό τομέα για τα έτη 2005, 2010 και 2015.

Πιο συγκεκριμένα για τις κατοικίες κατά το έτος 2015, η ενεργειακή κατανάλωση για την κάλυψη των θερμικών αναγκών ανήλθε σε 2892 ktoe, που καλύπτει το 66,62% της συνολικής ενέργειας, ενώ ο ηλεκτρισμός σε 1449 ktoe, που αντιστοιχεί στο 33,38%. Σύμφωνα με τη EUROSTAT [28] και το Γράφημα 6, το πετρέλαιο κατέχει την πρωτιά για την κάλυψη των αναγκών για θέρμανση με 48% με δεύτερη τη βιομάζα με 29% και ακολουθεί το φυσικό αέριο με 12%, η ηλιακή ενέργεια με 6%, το υγραέριο με 3% και η διανεμόμενη θερμότητα με 2%.



Γράφημα 6. Τελική κατανάλωση θερμικής ενέργειας ανά καύσιμο στον οικιακό τομέα για το 2015 (%).

Όπως γίνεται αντιληπτό από τον πίνακα 2, το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο σύστημα θέρμανσης στις κατοικίες για το 2015 είναι ο λέβητας πετρελαίου και ακολουθούν οι λέβητες καύσης ξύλου αλλά και φυσικού αερίου.

Πίνακας 2. Συστήματα θέρμανσης των κτιρίων το 2015.

Κατοικίες	
Πλήθος κτιρίων (χιλ. κτίρια)	
Λέβητας πετρελαίου	1773
Λέβητας αερίου	470
Λέβητας ξύλου	1237
Αυτόνομο σύστημα θέρμανσης αερίου	222
Αντλία θερμότητας	146
Σύστημα τηλεθέρμανσης	80
Ηλεκτρικός θερμαντήρας χώρου	115
Σόμπες στερεών και υγρών καυσίμων	548
Κατανάλωση θερμικής ενέργειας για κάλυψη αναγκών θέρμανσης (ktoe τελικής κατανάλωσης)	
Λέβητας πετρελαίου	928
Λέβητας αερίου	216
Λέβητας ξύλου	809
Αυτόνομο σύστημα θέρμανσης αερίου	127
Σύστημα τηλεθέρμανσης	50
Σόμπες στερεών και υγρών καυσίμων	402
Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για κάλυψη αναγκών θέρμανσης (ktoe τελικής κατανάλωσης)	
Αντλία θερμότητας	32

Ηλεκτρικός θερμαντήρας χώρου	135
Κτίρια τομέα υπηρεσιών	
Πλήθος κτιρίων (χιλ. κτίρια)	
Λέβητας πετρελαίου	56
Λέβητας αερίου	39
Λέβητας ξύλου	7
Αντλία θερμότητας	107

Όσον αφορά τις χρήσεις για τον ηλεκτρισμό, σύμφωνα με την εικόνα 2 παρατηρείται ότι το 18% της ενέργειας χρησιμοποιείται για να θερμανθεί το νερό, το 12% χρησιμοποιείται για να θερμανθούν οι εκάστοτε χώροι του κτιρίου και το 15% χρησιμοποιείται για τις συσκευές της κουζίνας.



Εικόνα 2. Καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια για κάθε χρήση (ktoe) το έτος 2015.

1.7 Σκοπός και Δομή της Εργασίας

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής διατριβής είναι η διερεύνηση της συμπεριφοράς ενός τυπικού κτιριακού κελύφους 80 m² χρήσης κατοικίας σε διαφορετικές κλιματικές ζώνες, συγκεκριμένα στην Β και Δ. Η έννοια της συμπεριφοράς ενός κτιριακού κελύφους σχετίζεται με τα ενεργειακά φορτία που καλείται να καλύψει προκειμένου να επιτύχει τη θερμική άνεση των ενοίκων. Η διερεύνηση έγινε θέτοντας τέσσερα σενάρια, αρχικά ενός πλήρως αμόνωτου και στη συνέχεια τρία σενάρια τα οποία τηρούν διαφορετικούς ενεργειακούς κανονισμούς, πιο συγκεκριμένα τον Κανονισμό Θερμομόνωσης Κτιρίων (Κ.Θ.Κ. 1970-2010), τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (Κ.Εν.Α.Κ 2010- έως σήμερα) και του Ινστιτούτο Παθητικού Κτιρίου της Γερμανίας. Τα σενάρια που δημιουργήθηκαν σχετίζονται με τη θερμομόνωση και την θερμοχωρητικότητα, που αυξάνεται με την προσθήκη της θερμομόνωσης. Παράλληλα αποδίδει την ίδια βαρύτητα στην συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα στις εκάστοτε περιπτώσεις βάσει του αερισμού που υπάρχει καθώς με την ενεργειακή αναβάθμιση ενός κτιρίου αυξάνεται η αεροστεγανότητα του και η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα. Συνεπώς με δημιουργία διαφορετικών σεναρίων βρίσκεται η ελάχιστη παροχή αερισμού ώστε η συγκέντρωση του διοξειδίου να είναι σε αποδεκτά επίπεδα, 800-900 ppm και παράλληλα ερευνάται η επίδραση στα ενεργειακά φορτία.

Αρχικά στο Κεφάλαιο 2, αναλύεται η έννοια του Παθητικού Κτιρίου και οι προϋποθέσεις που πρέπει να τηρούνται. Μεγάλη σημασία δίνεται στα δομικά υλικά, θερμομονωτικά υλικά και κουφώματα, και άλλες παράμετροι όπως ο μηχανικός αερισμός. Πιο συγκεκριμένα το Ινστιτούτο Παθητικού Κτιρίου ορίζει τιμές ως μέγιστο για την θερμομόνωση του Κτιρίου, για την αντανακλαστικότητα των διαφανών δομικών υλικών. Επίσης, αναφέρεται πως μέσω του αερισμού πρέπει να γίνεται εναλλαγή θερμότητας σε ένα ελάχιστο επίπεδο και πως ο φυσικός αερισμός πρέπει να είναι σε χαμηλά επίπεδα.

Στο Κεφάλαιο 3 εξηγούνται οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για την εύρεση των ενεργειακών φορτίων του κελύφους στις εκάστοτε περιπτώσεις. Αναλυτικότερα, η μέθοδος που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα TEE-KENAK του Τεχνικού Επιμελητηρίου της Ελλάδος, υπολογίζει τα φορτία σε μηνιαία βάση, με την μεθοδολογία που ορίζει το EN ISO 13790. Και στη συνέχεια χρησιμοποιείται η ωριαία μεθοδολογία που ορίζει το EN ISO 13790, όπου οι υπολογισμοί γίνονται σε ωριαία βάση.

Το 4ο κεφάλαιο ασχολείται με την περιγραφή του Κτιρίου υπό μελέτη. Αποτελεί μία τυπική κατοικία 80 m² και όγκου 240 m³. Παράλληλα γίνεται μια αναλυτική περιγραφή των

δομικών στοιχείων του Κτιρίου. Δεδομένου ότι κατοικούν τέσσερις ένοικοι, στο κεφάλαιο 5ο αναγράφονται οι εξισώσεις που βρίσκουν τη συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα μέσα στο κτίριο δεδομένης δωδεκάωρης απασχόλησης από τους ενοίκους.

Στην ενότητα 6 γίνεται μια παρουσίαση των αποτελεσμάτων των προηγούμενων κεφαλαίων, παράλληλα δημιουργείται ένα ακόμα σενάριο για την περίπτωση του Παθητικού Κτιρίου λόγω της υψηλής συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα.

Κλείνοντας στο κεφάλαιο 7, γίνεται μια σύνοψη των αποτελεσμάτων από όλα τα σενάρια που έχουν αναπτυχθεί και παρουσιάζεται το τελικό συμπέρασμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Κεφάλαιο 2 : Παθητικό Κτίριο και Προϋποθέσεις

Ο ορισμός του Παθητικού Κτιρίου είναι αρκετά συγκεκριμένος, βασίζεται σε αυστηρά κριτήρια με σκοπό την χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση. Πιο συγκεκριμένα τα κριτήρια αυτά σχετίζονται με την υψηλή θερμομόνωση, αεροστεγής κατασκευή, αποφυγή θερμογέφυρων, αποδοτικά κουφώματα και συστήματα μηχανικού αερισμού με ανάκτηση θερμότητας [5]. Μερικά χαρακτηριστικά των παθητικών κατοικιών είναι η μικρή απαίτηση τόσο για θέρμανση όσο και ψύξη, η καλή αεροστεγανότητα και η πρωτογενής ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές. Αυτά τα χαρακτηριστικά αποκτώνται μέσω υψηλής θερμομόνωσης, αποδοτικών κουφωμάτων, ανάκτησης θερμότητας από τον αερισμό και πολύ αποδοτικά συστήματα θέρμανσης και ψύξης.

Η εκμετάλλευση των ηλιακών κερδών μέσω βιοκλιματικών στοιχείων αποτελεί επίσης ένα κρίσιμο στοιχείο στη σχεδίαση παθητικών κτιρίων. Τα παθητικά ηλιακά συστήματα περιλαμβάνουν τη σωστή τοποθέτηση του κτιρίου, τη χρήση θερμοαποθήκευσης υλικών, και την ενσωμάτωση μεγάλων νοτίων παραθύρων που επιτρέπουν τη μέγιστη είσοδο ηλιακής ακτινοβολίας κατά τους χειμερινούς μήνες, ενώ παράλληλα προστατεύουν από την υπερθέρμανση το καλοκαίρι μέσω σκίασης.

Ο αερισμός στα παθητικά κτίρια είναι ιδιαίτερα σημαντικός λόγω της αεροστεγανότητας τους, η οποία εξασφαλίζεται μέσω εξειδικευμένων κατασκευαστικών τεχνικών και υλικών. Η αεροστεγανότητα μειώνει τις απώλειες θερμότητας και συμβάλλει στην ενεργειακή απόδοση του κτιρίου, αλλά παράλληλα καθιστά απαραίτητη την ύπαρξη ενός συστήματος μηχανικού αερισμού για την διατήρηση της ποιότητας του αέρα εσωτερικού χώρου.

2.1 Προϋποθέσεις Παθητικού Κτιρίου

Στον οδηγό του Παθητικού Κτιρίου ορίζονται επτά θερμικές ζώνες: Αρκτική, Ψυχρή, Ψυχρή- Εύκρατη, Θερμή- Εύκρατη, Θερμή, Ζεστή και Πολύ Ζεστή. Αυτό γίνεται με σκοπό την αλλαγή της οριακής τιμής του μέγιστου συντελεστή θερμοπερατότητας των αδιαφανών δομικών στοιχείων αλλά και για τα αδιαφανή στοιχεία. Στην εικόνα 3, που πάρθηκε από το Ελληνικό Ινστιτούτο Παθητικού Κτιρίου, που ακολουθεί φαίνονται αναλυτικά τα προαναφερόμενα [6]. Η Ελλάδα εμπίπτει στην περίπτωση της Θερμής Ζώνης.

Κλιματική Ζώνη σύμφωνα με το PHPP	Αδιαφάνες Κέλυφος ¹ προς...				Κουφώματα (συμπεριλαμβάνονται εξώθυρες)					Αερισμός	
	...έδαφος	...εξωτερικό αέρα			Συνολικά ⁴			Υαλοπίνακας ⁵	Ηλιακό φορτίο ⁶	Min. Ποσοστό ανάκτησης θερμότητας ⁷	Min. Ποσοστό ανάκτησης υγρασίας ⁸
	Μόνωση	Εξωτερική μόνωση	Εσωτερική μόνωση ²	Εξωτερική βαφή ³	Max. Συντελεστής θερμοπερατότητας (U _{DW, total})			Συντελεστής ηλιακών θερμικών κερδών (g-value)	Max. ειδικό ηλιακό φορτίο κατά την περίοδο ψύξης		
	Max. Συντελεστής θερμοπερατότητας (U-value)				Ψυχρές βαφές						
	[W/(m ² K)]				-			[W/(m ² K)]	-	[kWh/m ² a]	%
Αρκτική		0.09	0.25	-	0.45	0.50	0.60	U _g - g*0.7 ≤ 0	100	80%	-
Ψυχρή	Υπολογιζόμενη στο PHPP με βάση τις συγκεκριμένες βαθμομέρες θέρμανσης και ψύξης του έργου προς το έδαφος.	0.12	0.30	-	0.65	0.70	0.80	U _g - g*1.0 ≤ 0		80%	-
Ψυχρή-εύκρατη		0.15	0.35	-	0.85	1.00	1.10	U _g - g*1.6 ≤ 0		75%	-
Θερμή-εύκρατη		0.30	0.50	-	1.05	1.10	1.20	U _g - g*2.8 ≤ -1		75%	-
Θερμή		0.50	0.75	-	1.25	1.30	1.40	-		-	-
Ζεστή		0.50	0.75	Yes	1.25	1.30	1.40	-		-	60 % (υγρό κλίμα)
Πολύ ζεστή		0.25	0.45	Yes	1.05	1.10	1.20	-		-	60 % (υγρό κλίμα)

Εικόνα 3. Κριτήρια για δομικά στοιχεία [6].

Τα κριτήρια που ορίζονται αφορούν τη Θέρμανση, τη Ψύξη, την Αεροστεγανότητα και την Πρωτογενή Ενέργεια από Ανανεώσιμες Πηγές. Τα συστήματα ψύξης και Θέρμανσης πρέπει να πληρούν κάποια κριτήρια ώστε να μπορούν να εγκατασταθούν σε μία παθητική κατοικία. Αρχικά ο συντελεστής Απόδοσης COP πρέπει να είναι τουλάχιστον ίσος με τρία και ιδανικά μεγαλύτερος του τέσσερα [17]. Για το σύστημα Ζεστού Νερού Χρήσης η θερμοκρασία εξόδου του νερού μικρότερη των 55° C.

Η έμφαση θα δοθεί στα φορτία Ψύξης και Θέρμανσης στη συγκεκριμένη διπλωματική διατριβή. Στην εικόνα 4 αναγράφονται στα κριτήρια για να θεωρηθεί ένα κτίριο παθητικό, με μερικές διαφοροποιήσεις ανάλογα την κλιματική ζώνη που βρίσκεται το υπό μελέτη κτίριο.

			Κριτήρια ¹	Εναλλακτικά Κριτήρια ²	
Θέρμανση					
Απαίτηση Θέρμανσης [kWh/(m ² a)]	≤		15	-	
Θερμικό φορτίο ³ [W/m ²]	≤		-	10	
Ψύξη					
Απαίτηση Ψύξης+Αφύγρανσης [kWh/(m ² a)]	≤		15 + συνεισφορά αφύγρανσης ⁴	μεταβλητή οριακή τιμή ⁵	
Ψυκτικό Φορτίο ⁶ [W/m ²]	≤		-	10	
Αεροστεγανότητα					
Αποτέλεσμα ελέγχου συμπίεσης n ₅₀	≤		0.6		
Πρωτογενής Ενέργεια από Ανανεώσιμες Πηγές (ΠΕΑ)⁷					
			Classic	Plus	Premium
Απαίτηση ΠΕΑ ⁸ [kWh/(m ² a)]	≤		60	45	30
Παραγωγή ενέργειας ΑΠΕ ⁹ (σε σχέση με το προβαλλόμενο κτιριακό αποτύπωμα) [kWh/(m ² a)]	≥		-	60	120
			±15 kWh/(m ² a) απόκλιση από τα κριτήρια... ... με αντιστάθμιση της παραπάνω απόκλισης από διαφορετική ποσότητα παραγωγής		

Εικόνα 4. Μέγιστες Ενεργειακές Απαιτήσεις Παθητικού Κτιρίου [6].

Από την εικόνα 4, αντλούμε πως το μέγιστο ετήσιο ποσό θέρμανσης πρέπει να είναι 15 kWh/m² ανά χρόνο, ασχέτως θερμικής ζώνης. Για την ψύξη 15 kWh/m² ανά χρόνο με συντελεστή προσαύξησης συν 5 kWh/m² ανά χρόνο λόγο θερμικής ζώνης. Για τον αερισμό ορίζεται ως μέγιστη τιμή 0.6 εναλλαγές αέρα την ώρα σε συνθήκες πίεσης 50 Pa [6]. Στον πίνακα 3 παρουσιάζονται συγκεντρωμένα οι προϋποθέσεις που πρέπει να τηρεί το παθητικό κτήριο.

Πίνακας 3. Συγκεντρωτικά Κριτήρια Παθητικών Κτιρίων.

Θερμική Ζώνη	Θερμότητα	
Μέγιστος συντελεστής θερμοπερατότητας Αδιαφανών στοιχείων	0.5	W/m ² *K
Μέγιστος συντελεστής θερμοπερατότητας Διαφανών στοιχείων	1.25	
Μέγιστος συντελεστής Ηλιακών θερμικών Κερδών	-	
Μέγιστος αερισμός	144	m ³ /h
Μέγιστο ετήσιο Φορτίο ζήτησης Θέρμανσης	15	kWh/m ²
Μέγιστο ετήσιο Φορτίο ζήτησης Ψύξης	15	

2.2 Θερμομονωτικά Υλικά

Τα παθητικά κτίρια χαρακτηρίζονται από μεγάλα πάχη θερμομόνωσης. Τα Παθητικά Κτίρια βασίζονται σε υψηλά επίπεδα μόνωσης με σκοπό να μειώσουν δραστικά την κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση και ψύξη. Με τη προσθήκη μόνωσης, παράλληλα βελτιώνεται η θερμική άνεση στου εσωτερικό περιβάλλον αλλά και η περιβαλλοντική βιωσιμότητα, καθώς μειώνεται η πρωτογενής ενέργεια που καταναλώνει το κέλυφος. Τα υλικά που επιλέγονται για αυτόν τον σκοπό χαρακτηρίζονται από τα εξής χαρακτηριστικά: Θερμική Αγωγιμότητα, Ειδική Θερμοχωρητικότητα και Θερμική Διαχυτότητα. Η έννοια της Θερμοχωρητικότητας θα αναλυθεί στο κεφάλαιο 2.3. Αναφορικά, τα υλικά που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι Ορυκτοβάμβακας, Κυτταρίνη, Πολυστερίνη, Αφρός πολυουρεθάνης και μονωτικές πλάκες από Ίνες ξύλου.

Τα υλικά που επιλέγονται ως θερμομονωτικά είναι κυρίως μονωτικές πλάκες από ίνες ξύλου, από κυτταρίνη, από πετροβάμβακα και από πολυστερίνη. Στον πίνακα 4 φαίνονται αναλυτικά η θερμική αγωγιμότητα και θερμοχωρητικότητα τους [23].

Πίνακας 4. Ιδιότητες Θερμομονωτικών Υλικών.

	Θερμική Αγωγιμότητα	Ειδική Θερμοχωρητικότητα
Πετροβάμβακα [18]	0.03-0.045	800
Κυτταρίνη [19]	0.04	1600
Πολυστερίνη [20]	0.029-0.035	1400
Αφρός πολυουρεθάνης [21]	0.02	1400
Ίνες ξύλου [22]	0.0034-0.043	2100
	W/m*K	J/kg* K

Η θερμική αγωγιμότητα είναι μια ιδιότητα υλικού που δείχνει την ικανότητα ενός υλικού να μεταφέρει θερμότητα. Ορίζεται ως το ποσό της θερμότητας που μεταφέρεται μέσω ενός υλικού με μοναδιαίο πάχος σε κατεύθυνση κάθετη στην επιφάνεια μοναδιαίας επιφάνειας λόγω μιας βαθμίδας θερμοκρασίας [7]. Η υψηλότερη θερμική αγωγιμότητα υποδεικνύει κακό μονωτικό υλικό, καθώς επιτρέπει τη διέλευση της θερμότητας ευκολότερα. Τα υλικά χαμηλής

θερμικής αγωγιμότητας προτιμώνται για σκοπούς μόνωσης για την ελαχιστοποίηση της απώλειας ή του κέρδους θερμότητας.

Η θερμική διάχυση είναι ένα μέτρο του πόσο γρήγορα ένα υλικό μπορεί να μεταφέρει θερμική ενέργεια σε σχέση με την ικανότητά του να αποθηκεύει θερμική ενέργεια [8]. Συνδυάζει τη θερμική αγωγιμότητα, την πυκνότητα και την ειδική θερμοχωρητικότητα σε μία μόνο ιδιότητα. Η ικανότητα θερμικής διάχυσης δείχνει πόσο γρήγορα ένα υλικό θα φτάσει σε θερμική ισορροπία. Χαμηλότερη θερμική διαχυτότητα σημαίνει ότι το υλικό θα μεταβάλλει τη θερμοκρασία πιο αργά, πράγμα που είναι συνήθως επιθυμητό για τη μόνωση, καθώς υποδηλώνει καλύτερη θερμική σταθερότητα.

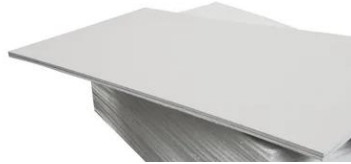
Με την πρόοδο της τεχνολογίας, πλέον υπάρχουν και πιο επαναστατικά υλικά μόνωσης στην αγορά. Συγκεκριμένα υπάρχουν πάνελ μόνωσης αερογέλης, μόνωσης κενού και υλικών αλλαγής φάσης.

Πίνακας 5. Ιδιότητες Νέων Θερμομονωτικών Υλικών.

	Θερμική Αγωγιμότητα	Ειδική Θερμοχωρητικότητα
Αερογέλη (aerogel)	0.020	1800
Πλάκες Κενού	0.004 - 0.008	750
Υλικά αλλαγής Φάσης	0.15 - 0.30	2000
	W/m*K	J/kg* K

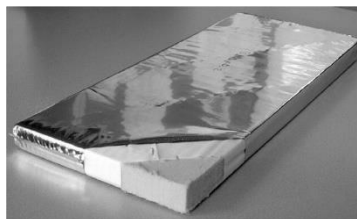
Οι μονωτικές πλάκες αερογέλης παρουσιάζουν σχετικά υψηλή θερμική διαχυτότητα λόγω του μοναδικού συνδυασμού ιδιοτήτων τους. Η ιδιαίτερα πορώδης δομή τους, που αποτελείται από διασυνδεδεμένα στερεά σωματίδια και σημαντικό όγκο πόρων γεμάτων αέρα ή αέριο, διευκολύνει την αποτελεσματική μεταφορά θερμότητας στο εσωτερικό του υλικού. Παρά τη χαμηλή τους πυκνότητα, οι πλάκες αυτές διαθέτουν στερεό πλαίσιο και νανοπορώδη φύση, προωθώντας την ταχεία διάδοση της θερμικής ενέργειας. Επιπλέον, η εξαιρετικά χαμηλή θερμική αγωγιμότητά τους εξασφαλίζει αποτελεσματική μεταφορά θερμότητας, συμβάλλοντας στη σχετικά υψηλή θερμική τους διαχυτότητα. Επιπλέον, τα στοιχεία αερογέλης επιδεικνύουν θερμική σταθερότητα σε ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών, ενισχύοντας περαιτέρω την αποτελεσματικότητά τους στην αγωγή της θερμότητας. Συνολικά, αυτά τα χαρακτηριστικά καθιστούν τα μονωτικά πάνελ από αερογέλη ιδιαίτερα αποτελεσματικά στην

ταχεία μεταφορά θερμικής ενέργειας και συμβάλλουν στη σχετικά υψηλή θερμική τους διαχυτότητα σε σύγκριση με άλλα μονωτικά υλικά.



Εικόνα 5. Πάνελ Αερογέλης.

Τα μονωτικά πάνελ κενού διαθέτουν μια μοναδική σύνθεση που συμβάλλει στη σχετικά υψηλή θερμική τους διαχυτότητα. Αυτά τα πάνελ αποτελούνται από ένα υλικό πυρήνα που περικλείεται μέσα σε ένα στεγανό φράγμα και εκκενώνεται για τη δημιουργία κενού, ελαχιστοποιώντας αποτελεσματικά την αγωγιμότητα και τη συναγωγή αερίων. Παρά το λεπτό προφίλ τους, τα μονωτικά πάνελ διευκολύνουν την αποτελεσματική μεταφορά θερμότητας μέσω του υλικού, επιτρέποντας τη σχετικά γρήγορη διάδοση της θερμικής ενέργειας. Αυτή η αποτελεσματική μεταφορά θερμότητας, σε συνδυασμό με το αεροστεγές φράγμα, έχει ως αποτέλεσμα σχετικά υψηλή θερμική διαχυτότητα για τα μονωτικά πάνελ σε σύγκριση με τα παραδοσιακά μονωτικά υλικά. Επιπλέον, τα μονωτικά πάνελ προσφέρουν θερμική σταθερότητα και χαμηλή θερμική αγωγιμότητα, ενισχύοντας περαιτέρω την αποτελεσματικότητά τους στην αγωγή της θερμότητας και συμβάλλοντας στην υψηλή θερμική τους διαχυτότητα.



Εικόνα 6. Πάνελ Κενού.

Τα υλικά αλλαγής φάσης διαθέτουν ξεχωριστές ιδιότητες που συμβάλλουν στη σχετικά υψηλή θερμική τους διαχυτότητα. Τα υλικά αλλαγής φάσης έχουν την ικανότητα να αποθηκεύουν και να απελευθερώνουν μεγάλα ποσά θερμικής ενέργειας κατά τη διάρκεια των μεταβάσεων φάσης, επιτρέποντας την ταχεία μεταφορά θερμότητας εντός του υλικού. Αυτή η ικανότητα αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας επιτρέπει στα υλικά αλλαγής φάσης να απορροφούν και να απελευθερώνουν θερμότητα γρήγορα, διευκολύνοντας την αποτελεσματική διάδοση της θερμικής ενέργειας. Επιπλέον, ορισμένοι τύποι υλικών αλλαγής φάσης διαθέτουν μικροδομική διάταξη που ενισχύει περαιτέρω την αποτελεσματικότητα της μεταφοράς θερμότητας. Παρά τη σχετικά χαμηλή πυκνοτήτά τους, τα υλικά αλλαγής φάσης

μεταφέρουν αποτελεσματικά τη θερμότητα μέσω του υλικού, με αποτέλεσμα να έχουν σχετικά υψηλή θερμική διαχυτότητα σε σύγκριση με τα συμβατικά μονωτικά υλικά. Επιπλέον, τα υλικά αλλαγής φάσης προσφέρουν θερμική σταθερότητα και παρουσιάζουν χαμηλή θερμική αγωγιμότητα, υποστηρίζοντας περαιτέρω την αποτελεσματικότητά τους στην αγωγή θερμότητας και συμβάλλοντας στην υψηλή θερμική τους διαχυτότητα.

2.3 Θερμοχωρητικότητα

Όπως προαναφέρθηκε στην ενότητα 2.2, τα παθητικά κτίρια χαρακτηρίζονται από μεγάλα στρώματα θερμομόνωσης. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοχωρητικότητας του Κτιρίου. Η θερμοχωρητικότητα αναφέρεται στην ικανότητα ενός υλικού να αποθηκεύει και να απορροφά θερμική ενέργεια. Είναι ένα μέτρο της ποσότητας της θερμικής ενέργειας που απαιτείται για να μεταβληθεί η θερμοκρασία μιας δεδομένης μάζας μιας ουσίας κατά έναν βαθμό [9]. Μια υψηλή θερμοχωρητικότητα υποδηλώνει ότι το υλικό μπορεί να απορροφήσει σημαντική ποσότητα θερμότητας χωρίς να υποστεί μεγάλη μεταβολή της θερμοκρασίας, γεγονός που το καθιστά χρήσιμο για εφαρμογές που απαιτούν σταθερότητα θερμοκρασίας. Η ιδιότητα αυτή είναι ζωτικής σημασίας σε ενεργειακό σχεδιασμό Κτιρίων, όπου η διατήρηση σταθερής θερμοκρασίας είναι απαραίτητη για την απόδοση και την αποδοτικότητα. Η ειδική θερμοχωρητικότητα, μια συναφής έννοια, είναι η θερμική χωρητικότητα ανά μονάδα μάζας ενός υλικού και παρέχει πληροφορίες σχετικά με την ικανότητα του υλικού να αποθηκεύει θερμότητα σε σχέση με τη μάζα του. Τα υλικά με χαμηλή ειδική θερμοχωρητικότητα θερμαίνονται και ψύχονται γρήγορα, γεγονός που μπορεί να είναι επωφελές σε εφαρμογές που απαιτούν ταχείς θερμικούς κύκλους.

Η θερμοχωρητικότητα ενός Κτιρίου, αναφέρεται στην ιδιότητα του να αποθηκεύει την θερμική ενέργεια που του προσάπτεται. Καθορίζεται από τη συνδυασμένη θερμοχωρητικότητα όλων των υλικών και εξαρτημάτων εντός του σπιτιού, συμπεριλαμβανομένων των τοίχων, των δαπέδων, των οροφών, των επίπλων, ακόμη και του αέρα στο εσωτερικό του. Είναι κρίσιμος παράγοντας για τη θερμική του απόδοση του Κτιρίου, επηρεάζοντας τον τρόπο με τον οποίο το κτίριο ανταποκρίνεται στις αλλαγές της εξωτερικής θερμοκρασίας και το πόσο σταθερή παραμένει η εσωτερική θερμοκρασία του με την πάροδο του χρόνου.

Δεδομένου ότι τα παθητικά κτίρια, έχουν μεγάλα θερμικά κέρδη και σε συνδυασμό με την υψηλή θερμοχωρητικότητά τους και την καλή αεροστεγανότητα τους, προκύπτει πως το χειμώνα επωφελούνται από τα ηλιακά κέρδη, συνεπώς, το φορτίο της Θέρμανσης μειώνεται.

Το πρόβλημα που δημιουργείται είναι στους καλοκαιρινούς μήνες καθώς λόγω των υψηλών επιπέδων ηλιακής ακτινοβολίας και της παραπάνω έκθεσης στον Ήλιο, το φορτίο της Ψύξης αυξάνεται με ορισμένες περιπτώσεις να είναι το μεγαλύτερο από τα δύο. Συνεπώς τους καλοκαιρινούς το κτίριο υπερθερμαίνεται, όποτε καλείται να «καταναλώσει» περισσότερο. Παράλληλα με αυτό το φαινόμενο και λόγω της καλής αεροστεγανότητας του Κτιρίου, ο εσωτερικός αέρας με περιορισμένη εναλλαγή και σε συνδυασμό με την υψηλή θερμοκρασία, ευνοείται η δημιουργία μικροοργανισμών αλλά και υγρασία, που μπορεί να αποδειχτεί καταστροφική για ένα σπίτι. Λόγω αυτού το Ινστιτούτο Παθητικής Κατοικίας ορίζει την αναγκαιότητα του μηχανικού αερισμού ώστε να εξαλείψει αυτούς τους κινδύνους και να διαβεβαιώσει την ασφάλεια της κατοικίας αλλά και των ενοίκων.

2.4 Παράθυρα και Αερισμός

2.4.1 Διαφανή δομικά υλικά

Τα διάφανα δομικά υλικά είναι κρίσιμα στοιχεία για ένα παθητικό κτίριο, καθώς το παθητικό κτίριο αξιοποιεί όσο το δυνατόν περισσότερο τα ηλιακά κέρδη, ενώ παράλληλα είναι υπεύθυνα για την καλή αεροστεγανότητα του κτιρίου. Προκειμένου να εγκατασταθεί ένα διάφανο δομικό στοιχείο σε ένα παθητικό κτίριο πρέπει να πληρή ορισμένα χαρακτηριστικά. Ονομαστικά είναι τα εξής υψηλή θερμική απόδοση, συντελεστή ηλιακών θερμικών κερδών, αεροστεγανότητα και συσκευές σκίασης.

Η υψηλή θερμική απόδοση, μπορεί να μεταφραστεί και ως χαμηλός δείκτης θερμοπερατότητας. Συγκεκριμένα στην εικόνα 3, αναφέρονται οι μέγιστες τιμές τους ανάλογα με την θερμική ζώνη που βρίσκεται το υπό μελέτη κτίριο. Οι τιμές του U κυμαίνονται από $0.4 \text{ W/m}^2\text{K}$, για τη ψυχρή ζώνη, έως $1.25 \text{ W/m}^2\text{K}$ για τη ζεστή ζώνη. Η αύξηση του συντελεστή θερμοπερατότητας είναι σχεδιασμένη για να παρέχει επαρκή μόνωση, αλλά να επιτρέπει μεγαλύτερο κέρδος ηλιακής θερμότητας κατά τους ψυχρότερους μήνες χωρίς υπερβολική απώλεια θερμότητας. Ενώ η χαμηλότερη τιμή U υποδηλώνει καλύτερες μονωτικές ιδιότητες, συμβάλλοντας στην ελαχιστοποίηση της απώλειας θερμότητας και στη διατήρηση άνετων εσωτερικών θερμοκρασιών κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών.

Τα παθητικά κτίρια έχουν υψηλά ηλιακά κέρδη, προκειμένου να μειώσουν το φορτίο της θέρμανσης. Όμως, δεν είναι πάντα βέλτιστο ένα κτίριο να έχει πολύ υψηλά ηλιακά θερμικά κέρδη. Για αυτόν τον λόγο, στα διαφανή δομικά στοιχεία ορίζεται ένα ελάχιστο όριο από την εικόνα 3 για το συντελεστή ηλιακών θερμικών κερδών. Ο συντελεστής ηλιακού θερμικού

κέρδους, που αντιπροσωπεύεται από το σύμβολο G , είναι μια κρίσιμη παράμετρος για την αξιολόγηση της ενεργειακής απόδοσης των παραθύρων στα κτίρια [10]. Ποσοτικοποιεί το κλάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας που διέρχεται από ένα παράθυρο και συμβάλλει στο θερμικό κέρδος του εσωτερικού χώρου. Αυτό περιλαμβάνει τόσο την άμεσα διαδιδόμενη ηλιακή ακτινοβολία όσο και το τμήμα που απορροφάτε από το υλικό του παραθύρου και στη συνέχεια επανεκπέμπεται ως θερμότητα στον εσωτερικό χώρο. Η τιμή του G κυμαίνεται από 0 έως 1, με υψηλότερη τιμή να υποδηλώνει μεγαλύτερη μετάδοση ηλιακής θερμότητας.

Για παράδειγμα, μια τιμή $G = 0,25$ σημαίνει ότι το 25% της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στο παράθυρο εισέρχεται στο κτίριο. Η κατανόηση και η επιλογή των κατάλληλων τιμών G είναι ζωτικής σημασίας για τη βελτιστοποίηση της θερμικής άνεσης και της ενεργειακής απόδοσης σε διαφορετικά κλίματα. Σε ψυχρότερες περιοχές, οι υψηλότερες τιμές G είναι επωφελείς για τη μεγιστοποίηση της παθητικής ηλιακής θέρμανσης, μειώνοντας την ανάγκη για τεχνητή θέρμανση. Αντίθετα, σε θερμότερα κλίματα, οι χαμηλότερες τιμές G συμβάλλουν στην ελαχιστοποίηση των φορτίων ψύξης με τη μείωση του ανεπιθύμητου κέρδους ηλιακής θερμότητας. Έτσι, η τιμή G αποτελεί βασικό παράγοντα στο σχεδιασμό παθητικών κατοικιών, επηρεάζοντας την επιλογή παραθύρων για την εξισορρόπηση του φυσικού φωτισμού, της θερμικής άνεσης και της κατανάλωσης ενέργειας.

Η αεροστεγανότητα αποτελεί βασικό και αναγκαίο χαρακτηριστικό των κουφωμάτων στα παθητικά κτίρια ώστε να ελαχιστοποιούνται οι θερμικές απώλειες. Έχοντας υψηλά επίπεδα αεροστεγανότητας περιορίζεται η ανεπιθύμητη διαρροή αέρα το χειμώνα, που θα είχε σαν αποτέλεσμα την μείωση της εσωτερικής θερμοκρασίας, αλλά και το καλοκαίρι, που θα αύξανε την εσωτερική θερμοκρασία. Σκοπός, λοιπόν, της καλής αεροστεγανότητας αποτελεί η συνθήκη ώστε το εσωτερικό περιβάλλον να μην έρχεται σε επαφή με το εξωτερικό, παρά μόνο μέσω του μηχανικού αερισμού. Έτσι, παράμετροι όπως υγρασία, μπορούν να είναι σε επιθυμητά επίπεδα με σκοπό την διασφάλιση της άνεσης του ένοικου. Σύμφωνα με τον οδηγό του Ινστιτούτο Παθητικής κατοικίας ορίζεται σαν μέγιστη τιμή για την εναλλαγή του αέρα 0.6 αλλαγές αέρα ανά ώρα σε πίεση 50 Pascal [6].

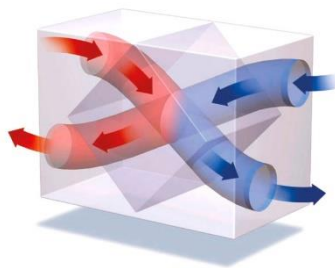
2.4.2 Αερισμός

Τα παθητικά κτίρια χαρακτηρίζονται από πολύ καλά επίπεδα αεροστεγανότητας, όπως αναφέρθηκε. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι πως το εσωτερικό περιβάλλον δεν πρέπει έρχεται σε «επαφή» με το εξωτερικό περιβάλλον παρά μόνο μέσω του μηχανικού αερισμού. Όμως, εξαιτίας των επιπέδων αεροστεγανότητας δίχως την ύπαρξη μηχανικού αερισμού τα

επίπεδα CO₂ φτάνουν υψηλά επίπεδα ενώ ακόμα παράγοντες όπως υγρασία, δεν μπορούν να ελεγχθούν, με αποτέλεσμα να τίθεται σε κίνδυνο τόσο οι ένοικοι όσο και το ίδιο το κτίριο. Η ύπαρξη του μηχανικού αερισμού κρίνεται απαραίτητη, ενώ παράλληλα αποφέρει βελτίωση του αέρα του εσωτερικού χώρου, ενεργειακή απόδοση και θερμική άνεση.

Τα συστήματα μηχανικού αερισμού με ανάκτηση θερμότητας ή ενέργειας είναι απαραίτητα για τα παθητικά κτίρια. Αυτά τα συστήματα ανταλλάσσουν τον αέρα του εσωτερικού χώρου με φρέσκο εξωτερικό αέρα, διατηρώντας τη θερμοκρασία και την ποιότητα του αέρα, χωρίς σημαντικές απώλειες θερμότητας. Οι μονάδες μηχανικού αερισμού αξιοποιούν την απορριπτόμενη θερμότητα του αέρα που εξέρχεται για να θερμάνουν ή να δροσίσουν τον εισερχόμενο αέρα, βελτιώνοντας την ενεργειακή αποδοτικότητα και την άνεση των εσωτερικών χώρων.

Μια τεχνολογία που χρησιμοποιούν τα συστήματα του μηχανικού αερισμού είναι η διαδικασία της αναθέρμανσης του αέρα. Μέσω αυτής διατηρείται η ποιότητα του αέρα στα θερμοκρασιακά επιθυμητά επίπεδα. Ο κύριος λόγος που χρησιμοποιείται είναι για τον έλεγχο των επιπέδων της υγρασίας. Έτσι, με την αναθέρμανση του αέρα απομακρύνεται η υγρασία και εξασφαλίζεται πως ο εισερχόμενος αέρας θα έχει κατάλληλη θερμοκρασία και υγρασία σε χαμηλά επίπεδα. Η αναθέρμανση του αέρα θεωρείται ενεργοβόρα, όποτε χρησιμοποιούνται τεχνολογίες ανάκτησης θερμότητας, μεταφέροντας θερμότητα από τον εξερχόμενο αέρα στον εισερχόμενο.



Εικόνα 7. Εναλλάκτης Θερμότητας Αερισμού.

Προκειμένου ο μηχανικός αερισμός να αποφέρει ενεργειακή απόδοση και θερμική άνεση, είναι απαραίτητη η εγκατάσταση ενός εναλλάκτη θερμότητας μεταξύ του εισερχόμενου αέρα με του εξερχόμενου. Αυτό φέρει ως αποτέλεσμα η θερμότητα που έχει προσδεθεί στον εσωτερικό αέρα που επρόκειτο να αλλαχτεί, να θερμαίνει τον εισερχόμενο αέρα.

Οπότε, το σύστημα θέρμανσης καλείται να καλύψει μικρότερη θερμική διαφορά σε αντίθεση με την μη ύπαρξη εναλλάκτη θερμότητας. Ακόμα, στην εισαγωγή του αερισμού, υπάρχουν φίλτρα έτσι ώστε επιβλαβείς ουσίες, μικροοργανισμοί, αλλά και υγρασία, να φιλτράρονται και μην εισέρχονται στο κτίριο. Το Ινστιτούτο Παθητικής Κατοικίας ορίζει ως ελάχιστη τιμή ανάκτησης θερμότητας το 75%, δηλαδή τουλάχιστον το 75% της θερμότητας που φέρει ο εξερχόμενος αέρας, θα πρέπει να μεταφερθεί στον εισερχόμενο αέρα [6].



Εικόνα 8. Μονάδα Μηχανικού Αερισμού με Εναλλάκτη Θερμότητας.

Κεφάλαιο 3 : Ενεργειακά Μοντέλα

Στη παρούσα διπλωματική εργασία αξιοποιήθηκαν δύο διαφορετικά λογισμικά ενεργειακής προσομοίωσης κτιρίων, με βασική διαφορά στη μέθοδο τους το χρονικό διάστημα στο οποίο γίνεται η ανάλυση των υπολογισμών των φορτίων με σκοπό να εξεταστούν οι διαφορές τους. Οι μεθοδολογίες υπολογισμού βασίστηκαν στο Ευρωπαϊκό πρότυπο EN ISO 13790, το οποίο παρέχει τις δύο μεθόδους υπολογισμού των φορτίων. Για την μηνιαία ανάλυση χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα TEE-KENAK του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος, το οποίο κάνει τους υπολογισμούς σε μηνιαία βάση. Σε δεύτερη φάση χρησιμοποιήθηκε ένα δυναμικό μοντέλο διαμορφωμένο σε προγραμματιστικό περιβάλλον, βασισμένο στο Ευρωπαϊκό πρότυπο EN ISO 13790, στο οποίο οι υπολογισμοί γίνονται σε ωριαίο επίπεδο.

Η Ομάδα Εξοικονόμησης Ενέργειας του Ινστιτούτου Περιβαλλοντικής Έρευνας και Αειφόρου Ανάπτυξης του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών σε συνεργασία με το Τεχνολογικό Επιμελητήριο Ελλάδος (ΤΕΕ) ανέπτυξε το λογισμικό υπολογισμού TEE KENAK.

Το παραπάνω λογισμικό χρησιμοποιείται κατά τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης και της ενεργειακής ταξινόμησης ενός κτιρίου, υποστηρίζοντας τη διαδικασία ενεργειακής επιθεώρησης για την έκδοση του Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης (ΠΕΑ). Επιπλέον, χρησιμοποιείται στις φάσεις προετοιμασίας και υποβολής μελετών ενεργειακής απόδοσης για την εκτίμηση της ενεργειακής απόδοσης και ταξινόμησης των κτηρίων.

Για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης / ενεργειακής πιστοποίησης του κτιρίου, εισάγονται στο λογισμικό τα γεωμετρικά και τεχνικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του κελύφους του κτιρίου καθώς και των Η/Μ εγκαταστάσεων του. Το λογισμικό ορίζει αυτόματα ένα κτίριο αναφοράς. Τα δεδομένα, το κτίριο αναφοράς και τα αποτελέσματα των υπολογισμών, εκτυπώνονται σε αντίστοιχες αναφορές που προκύπτουν από το λογισμικό. Για τα δύο αυτά κτίρια υπολογίζονται τα μηνιαία φορτία ανά χρήση, η ενεργειακή κατανάλωση και οι καταναλώσεις πρωτογενούς ενέργειας, καυσίμων και εκπομπών CO₂. Η ταξινόμηση του υπό μελέτη κτιρίου στην αντίστοιχη κατηγορία ενεργειακής απόδοσης με κριτήριο την πρωτογενή ενέργεια, πραγματοποιείται σε σύγκριση με το κτίριο αναφοράς.

Το ενεργειακό πρότυπο EN ISO 13790 παρέχει δύο μεθόδους υπολογισμού των ενεργειακών φορτίων για κτίρια, με βασική διαφορά την χρονική διάρκεια που γίνονται οι εκάστοτε αναλύσεις. Πιο συγκεκριμένα η πρώτη μέθοδος βασίζεται σε μηνιαία βάση ανάλυσης

και η δεύτερη σε ωριαία. Κατά συνέπεια, παρουσιάζει ενδιαφέρον η σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων.

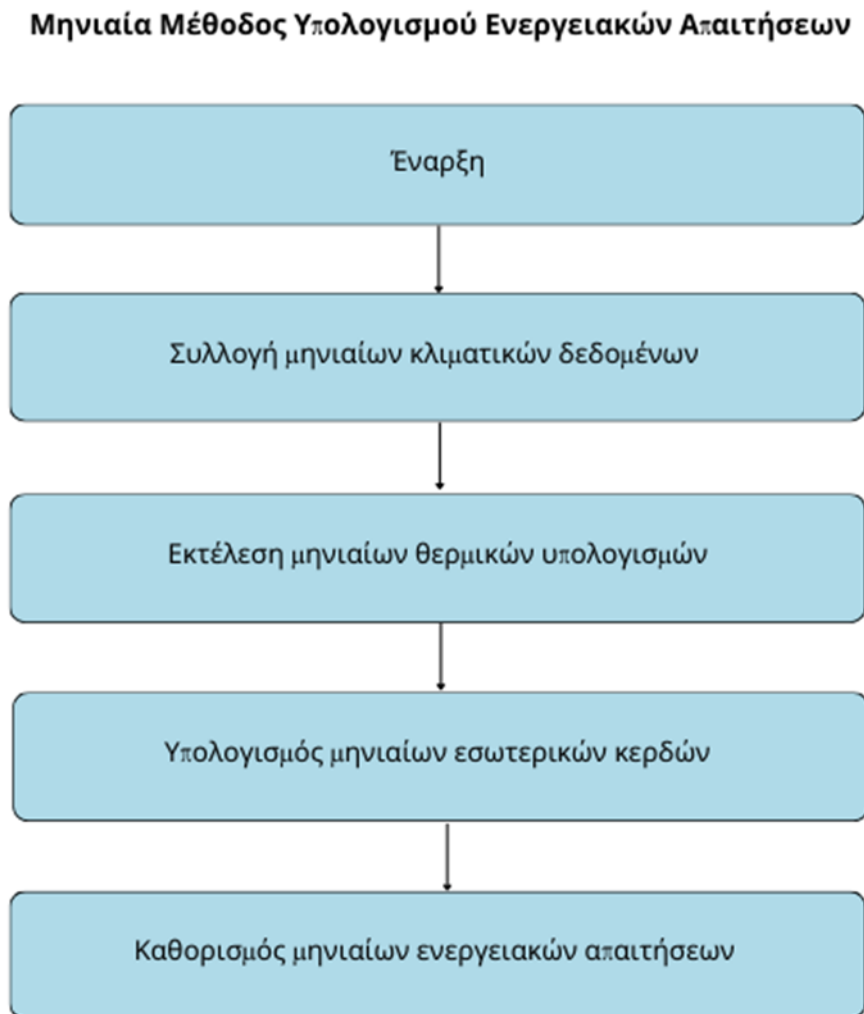
Ειδικότερα, στην ωριαία μέθοδο χρησιμοποιούνται λεπτομερή ωριαία δεδομένα, επιτρέποντας ακριβέστερους και πιο εύστοχους υπολογισμούς που μπορούν να λαμβάνουν υπόψη τις βραχυπρόθεσμες διακυμάνσεις της ζήτησης ενέργειας και των κλιματικών συνθηκών. Σε αντίθεση η μηνιαία μέθοδος χρησιμοποιεί συγκεντρωτικά μηνιαία δεδομένα, τα οποία μπορούν να εξομαλύνουν τις βραχυπρόθεσμες διακυμάνσεις και μπορεί να μην έχουν λεπτομερέστερες λεπτομέρειες στις διακυμάνσεις της ενεργειακής ζήτησης.

Επίσης το γεγονός πως οι αναλύσεις γίνονται σε διαφορετικό χρονικό διάστημα αποτελεί έναν ακόμα λόγο που μπορεί να αποκλίνουν. Πιο συγκεκριμένα, η ωριαία μέθοδος μπορεί να καταγράψει τα ημερήσια μοτίβα και τις συγκεκριμένες ωριαίες μεταβολές στη χρήση ενέργειας και τις κλιματικές συνθήκες, παρέχοντας μια λεπτομερή εικόνα της ενεργειακής απαίτησης. Εν αντιθέσει η μηνιαία μέθοδος καταγράφει ευρύτερες τάσεις κατά τη διάρκεια του μήνα, δυνητικά παραβλέποντας τις ημερήσιες διακυμάνσεις και τις περιόδους αιχμής ζήτησης.

Παράλληλα, το λογισμικό TEE KENAK, καθώς χρησιμοποιείται για την πιστοποίηση των κτιρίων, χρησιμοποιεί κάποια δεδομένα εισόδου, σχετιζόμενα με λειτουργικές παραμέτρους, τα οποία δεν ανταποκρίνονται απαραίτητα στις συνθήκες του εκάστοτε κτιρίου (π.χ. αριθμός χρηστών, συνθήκες αερισμού, ωράριο λειτουργίας, κοκ.). Στα πλαίσια της ανάλυσης έγινε προσπάθεια να ενσωματωθούν τα δεδομένα αυτά και στην περίπτωση του ωριαίου μοντέλου.

3.1 Μηνιαία Μέθοδος EN ISO 13790

Η μηνιαία μέθοδος του EN ISO 13790 χρησιμοποιεί την εξίσωση (1) για τους υπολογισμούς των φορτίων και οι υπολογισμοί γίνανε μέσω του TEE-KENAK.



Εικόνα 9. Μηνιαία Μέθοδος Υπολογισμού Ενεργειακών Απαιτήσεων

$$QH,nd = (Htr,adj + Hve,adj) * (\Theta_{int,set,H} - \theta_e) -/+ \eta_{H,gn} * Q_{H,gn} \quad (1)$$

Όπου :

- $Q_{H,nd}$ είναι το φορτίο Θέρμανσης/Ψύξης,
- $H_{tr,adj}$ είναι ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας λόγω μετάδοσης,
- $H_{ve,adj}$ είναι ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας λόγω αερισμού,
- $\Theta_{int,set,H}$ είναι η εσωτερική θερμοκρασία ρύθμισης για θέρμανση ή ψύξης,
- θ_e είναι η εξωτερική μέση μηνιαία θερμοκρασία,

- $H_{H,gn}$ είναι ο συντελεστής αξιοποίησης ηλιακών θερμικών κερδών,
- $Q_{H,gn}$ είναι τα συνολικά εσωτερικά και ηλιακά θερμικά κέρδη κατά τη διάρκεια του μήνα.

Ο πρώτος όρος της εξίσωσης ($H_{tr,adj}+H_{ve,adj}$), λαμβάνει υπόψη την απώλεια θερμότητας λόγω αερισμού και μετάδοσης θερμότητας του κελύφους. Μετά, ο όρος ($\Theta_{int,set,H-\theta_e}$) αντιπροσωπεύει την διαφορά θερμοκρασίας του εσωτερικού του κελύφους με του περιβάλλοντος. Τέλος ο όρος $\eta_{H,gn} \cdot Q_{H,gn}$ λαμβάνει υπόψη τα θερμικά κέρδη λόγω ηλιακών και εσωτερικών για την μείωση του φορτίου θέρμανσης ή για την αύξηση του φορτίου ψύξης. Στον υπολογισμό του φορτίου θέρμανσης/ψύξης η $\Theta_{int,set,H}$ επιλέγεται βάση την περίπτωση, συγκεκριμένα το TOTEE 20701-1/2017 [11] ορίζεται ως 20°C για την χειμερινή περίοδο και 26°C για την καλοκαιρινή περίοδο. Η Θ_e διαφέρει ανάλογα με την κλιματική ζώνη που γίνεται η μελέτη.

Η μηνιαία μέθοδος προσφέρει μια προσέγγιση για την εκτίμηση του φορτίου θέρμανσης- ψύξης ενός κτιρίου κατά τη διάρκεια ενός μήνα. Το κύριο πλεονέκτημα της μηνιαίας μεθόδου είναι η ευκολία χρήσης της και οι ελάχιστες απαιτήσεις δεδομένων, καθιστώντας την προσιτή για αξιολογήσεις σχεδιασμού σε πρώιμο στάδιο και για κτίρια όπου δεν είναι διαθέσιμα ωριαία δεδομένα. Με τον μέσο όρο των εξωτερικών θερμοκρασιών και των εσωτερικών θερμικών κερδών κατά τη διάρκεια ενός μήνα, η μέθοδος παρέχει μια γενικευμένη εικόνα της ενεργειακής απόδοσης, η οποία είναι χρήσιμη για τη σύγκριση διαφορετικών σχεδίων κτιρίων ή επιλογών αναβάθμισης.

Ωστόσο, η εξάρτηση της μεθόδου σε μηνιαίους μέσους όρους μπορεί να παραβλέψει τις βραχυπρόθεσμες διακυμάνσεις και τις απαιτήσεις αιχμής φορτίου, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε υποεκτιμήσεις ή υπερεκτιμήσεις των απαιτήσεων θέρμανσης. Συνεπώς, ενώ η μηνιαία μέθοδος είναι αποτελεσματική για ευρύτερες αξιολογήσεις, ενδέχεται να μην καταγράφει τις αποχρώσεις των ημερήσιων ή ωριαίων διακυμάνσεων της θερμικής απόδοσης.

Η Ομάδα Εξοικονόμησης Ενέργειας του Ινστιτούτου Περιβαλλοντικής Έρευνας και Αειφόρου Ανάπτυξης του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών σε συνεργασία με το Τεχνολογικό Επιμελητήριο Ελλάδος (ΤΕΕ) ανέπτυξε το λογισμικό υπολογισμού ΤΕΕ ΚΕΝΑΚ.

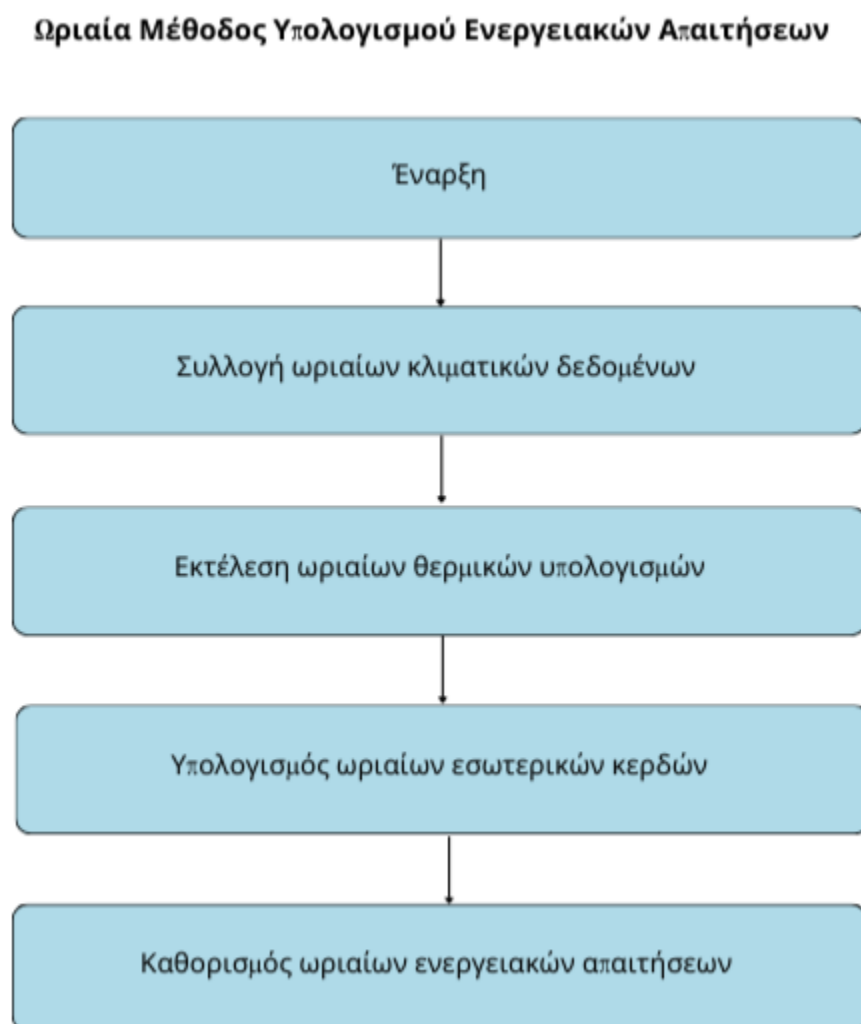
Το παραπάνω λογισμικό χρησιμοποιείται κατά τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης και της ενεργειακής ταξινόμησης ενός κτιρίου, υποστηρίζοντας τη διαδικασία ενεργειακής επιθεώρησης για την έκδοση του Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης (ΠΕΑ).

Επιπλέον, χρησιμοποιείται στις φάσεις προετοιμασίας και υποβολής μελετών ενεργειακής απόδοσης για την εκτίμηση της ενεργειακής απόδοσης και ταξινόμησης των κτηρίων.

Για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου, εισάγονται στο λογισμικό τα γεωμετρικά και τεχνικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του κελύφους του κτιρίου. Το λογισμικό ορίζει αυτόματα ένα κτίριο αναφοράς. Τα δεδομένα, το κτίριο αναφοράς και τα αποτελέσματα των υπολογισμών, εκτυπώνονται σε αντίστοιχες αναφορές που προκύπτουν από το λογισμικό.

3.2 Ωριαία Μηνιαία Μέθοδος EN ISO 13790

Η ωριαία μέθοδος του προτύπου EN ISO 13790 χρησιμοποιεί την εξίσωση (2) για τους υπολογισμούς των ενεργειακών φορτίων και οι υπολογισμοί γίνανε σε προγραμματιστικό περιβάλλον.



Εικόνα 11. Ωριαία Μέθοδος Υπολογισμού Ενεργειακών Απαιτήσεων

$$QH,nd(t) = (H_{tr} + H_{ve}) * (\theta_{int,set,H(t)} - \theta_e(t)) -/+ \eta_{H,gn(t)} * QH,gn(t) \quad (2)$$

Όπου :

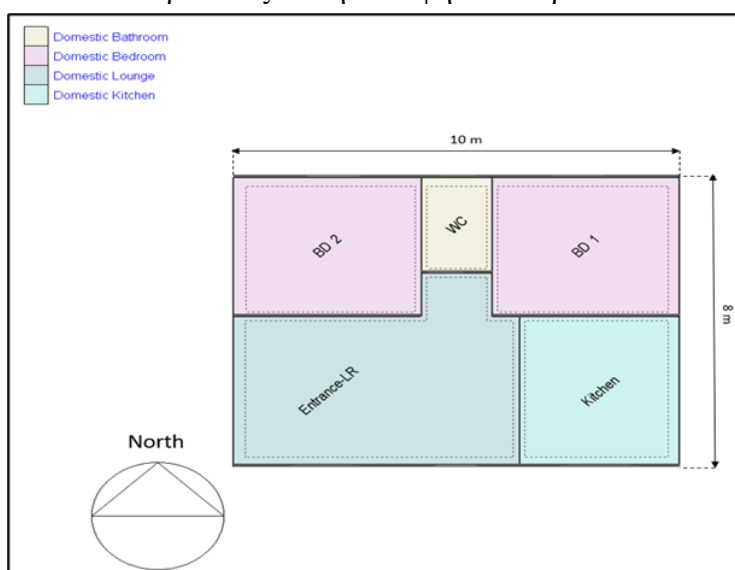
- $Q_{H,nd}$ είναι το φορτίο Θέρμανσης/Ψύξης,
- $H_{tr,adj}$ είναι ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας λόγω μετάδοσης,
- $H_{ve,adj}$ είναι ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας λόγω αερισμού,
- $\Theta_{int,set,H(t)}$ είναι η ωριαία εσωτερική θερμοκρασία ρύθμισης για θέρμανση ή ψύξης,
- $\Theta_e(t)$ είναι η εξωτερική ωριαία θερμοκρασία,
- $H_{H,gn(t)}$ είναι ο συντελεστής αξιοποίησης ωριαίων ηλιακών θερμικών κερδών,
- $Q_{H,gn(t)}$ είναι τα ωριαία εσωτερικά και ηλιακά θερμικά κέρδη.

Η διαφορά στους όρους της εξίσωσης 2 με την εξίσωση 1 είναι στους συντελεστές εσωτερικής θερμοκρασίας, εξωτερικής θερμοκρασίας, αξιοποίησης ηλιακών θερμικών κερδών και των εσωτερικών και ηλιακών κερδών, οι οποίοι διαφοροποιούνται με την ώρα, σε αντίθεση με την εξίσωση 1 που στη διάρκεια ενός μήνα η τιμή τους παραμένει σταθερή. Βέβαια, ο συντελεστής $\Theta_{int,set,H(t)}$ τίθεται βάση του TOTEE 20701-1/2017 [11] στην αρχή της μελέτης και στη συνέχεια λαμβάνει τιμή βάση της μετάδοσης θερμότητας που υφίσταται στο κτίριο.

Η ωριαία μέθοδος, παρέχει μια πιο λεπτομερή προσέγγιση για τον υπολογισμό των ενεργειακών φορτίων, λαμβάνοντας υπόψη τις μεταβολές της θερμοκρασίας, τα εσωτερικά κέρδη και τις απώλειες θερμότητας σε ωριαία βάση. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για λεπτομερή ενεργειακή μοντελοποίηση και προσομοίωση, επιτρέποντας τον ακριβή έλεγχο και τη βελτιστοποίηση των συστημάτων θέρμανσης. Παράλληλα λαμβάνει υπόψη τις δυναμικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ του εσωτερικού και του εξωτερικού περιβάλλοντος, όπως οι απότομες πτώσεις της θερμοκρασίας. Η μέθοδος επιτρέπει τον ακριβή προσδιορισμό των φορτίων αιχμής θέρμανσης και ψύξης, επιτρέποντας την κατάλληλη επιλογή συστημάτων θέρμανσης και ψύξης, με την σωστή διαστασιολόγηση τους. Βασικό μειονέκτημα της είναι ο όγκος των δεδομένων που απαιτεί για τον υπολογισμό των φορτίων, καθώς χρειάζονται πιο ολοκληρωμένες βάσεις δεδομένων για την μελέτη. Ως εκ τούτου, είναι πιο αποτελεσματική όταν είναι διαθέσιμα δεδομένα υψηλής.

Κεφάλαιο 4 : Περιγραφή Κτιρίου

Το υπό μελέτη κτίριο αποτελεί ένα τυπικό κτίριο κατοικίας συνολικής επιφάνειας 80 m² και ύψους 3.1 m. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κτιρίου ανά προσανατολισμό, φαίνονται στον Πίνακα 5, με την πόρτα της εισόδου να βρίσκεται στον Νότο με συνολικό εμβαδό m². Επίσης, στον Πίνακα 6 φαίνονται αναλυτικότερα τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των ανοιγμάτων για κάθε προσανατολισμό, τα οποία είναι χρήσιμα για τον υπολογισμό των σκιάσεων. Στην εικόνα 13 παρουσιάζεται η κάτοψη του κτιρίου.



Εικόνα 13. Κάτοψη Κτιρίου.

Πίνακας 5. Βασικές επιφάνειες τοιχοποιίας και ανοιγμάτων για κάθε προσανατολισμό.

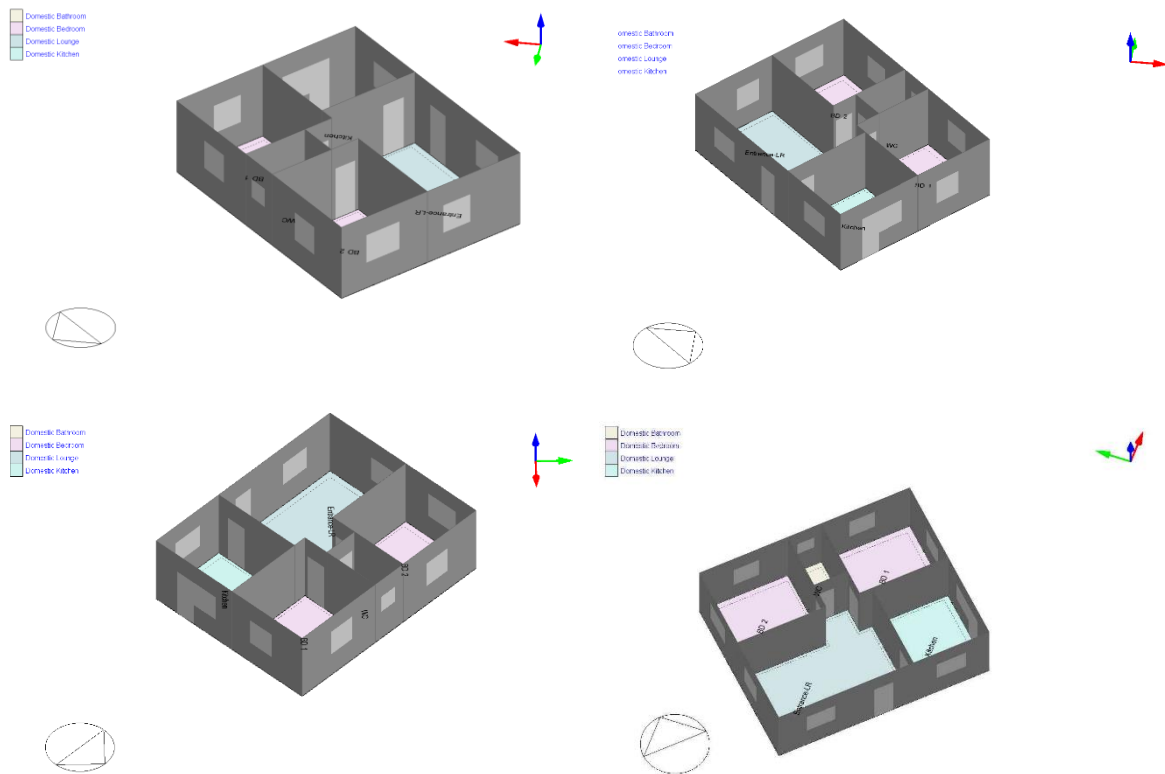
Προσανατολισμός	Επιφάνεια τοίχων (m ²)	Επιφάνεια Ανοιγμάτων(m ²)
Βορράς(0°)	28.9	2.81
Νότος (180°)	25.9	5
Δύση(270°)	21.5	3.2
Ανατολή (90°)	19.9	4.8

Πίνακας 6. Γεωμετρικά χαρακτηριστικά ανοιγμάτων.

Προσανατολισμός	Αριθμός	Ύψος (m)	Μήκος (m)	Ποδιά (m)
Βορράς (0°)	1	0.8	0.8	1.5
	2	1.2	1.2	1
Νότος (180°)	1	2.2	0.9	0 (πόρτα)
	2	1.2	1.2	1
Δύση (270°)	1	1.2	1.5	1
	1	1.2	1.2	1
Ανατολή (90°)	1	2.2	0.9	0 (μπαλκονοπόρτα)
	2	1.2	1.2	1

Για το κτίριο αυτό γίνονται ορισμένες παραδοχές:

- Το δάπεδο είναι σε επαφή με το έδαφος.
- Η οροφή στεγάζεται με επικλινές στέγαστρο.
- Το κτίριο δεν σκιάζεται με κανέναν τρόπο και από κανέναν προσανατολισμό ($f_{total}=1$).



Εικόνα 14. Πολύπλευρες Όψεις του Κτιρίου.

Στην εικόνα 14 παρουσιάζεται το κτίριο από διαφορετικές όψεις για την καλύτερη κατανόηση.

Το υφιστάμενο κτίριο μελετήθηκε ως προς την ενεργειακή του συμπεριφορά του ανάλογα με των εκάστοτε ενεργειακό οδηγό που θεωρήθηκε ότι πληροί. Ως εκ τούτου δημιουργήθηκαν 4 σενάρια τα οποία διαφέρουν στα επίπεδα θερμομόνωσης και ενεργειακής απόδοσης των κουφωμάτων. Η θερμομόνωση που προσδίδεται σε κάθε σενάριο έχει $\lambda=0.04$ W/m*k.

Το πρώτο σενάριο είναι ενός εντελώς αμόνωτου, όπου τα αδιαφανή δομικά στοιχεία αποτελούνται από 30% από σκυρόδεμα και 70% τούβλο με συντελεστή θερμοπερατότητας 2.7 W/m²*K και τα διαφανή δομικά στοιχεία από μονό υαλοπίνακα 20% πλαίσιο, υλικού ξύλου με συντελεστή θερμοπερατότητας 5 W/m²*K, δίνοντας Μέσο συντελεστή θερμοπερατότητας 2.956 W/m²*K.

Στο δεύτερο σενάριο που πληροί τον Κανονισμό Θερμομόνωσης Κτιρίων θεωρήθηκε πως στα αδιαφανή δομικά στοιχεία προσδέθηκαν 0.03m θερμομόνωσης, μειώνοντας τον συντελεστή θερμοπερατότητας τους σε 0.7 W/m²*K και τα αδιαφανή δομικά στοιχεία αντικαταστάθηκαν με μονό υαλοπίνακα 20% πλαίσιο, υλικού μετάλλου χωρίς θερμοδιακοπή

με συντελεστή θερμοπερατότητας $1.9 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, δίνοντας Μέσο συντελεστή θερμοπερατότητας $1.191 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

Στο τρίτο σενάριο που πληροί τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων, στα διαφανή δομικά στοιχεία προσδέθηκαν ακόμα 0.04m , σύνολο 0.07m , με νέο συντελεστή θερμοπερατότητας $0.5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ και τα αδιαφανή δομικά στοιχεία αντικαταστάθηκαν με κουφώματα με δίδυμο υαλοπίνακα με διάκενο αέρος 12mm με 20% πλαίσιο, υλικό μέταλλο, με μεμβράνη χαμηλής εκπομπής, με συντελεστή θερμοπερατότητας $1.9 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, με νέο συντελεστή θερμοπερατότητας $0.716 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

Τελευταίο σενάριο που πληροί τον Οδηγό Παθητικής Κατοικίας, προσδέθηκαν ακόμα 0.18m πάχος θερμομόνωσης, με τελικό συντελεστή θερμομόνωσης $0.25 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ και τα αδιαφανή δομικά στοιχεία αντικαταστάθηκαν με συνθετικά κουφώματα 20% πλαίσιο με δίδυμο υαλοπίνακα, με μεμβράνη χαμηλής εκπομπής, πιστοποιημένα κατά EN 12207 με συντελεστή θερμοπερατότητας $1.05 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, καταλήγοντας σε μέσο συντελεστή θερμοπερατότητας $0.298 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

Από το TOTEE 20701-1/2017, στο κεφάλαιο 4.2.4 από τον πίνακα 3.14 επιλέχθηκε η τιμή της ανηγμένης θερμοχωρητικότητας για το κάθε σενάριο.

Πίνακας 6. Χαρακτηριστικά Σεναρίων Μελέτης.

		Πάχος Μόνωσης	Θερμοχωρητικότητα	Συντελεστής Θερμοπερατότητας		
				Αδιαφανών	Διάφανων	Μέσος
Ενεργειακός Κανονισμός	Αμόνωτο	0	165	2.7	5	2.95
	ΚΘΚ	0.03	230	0.7	1.9	1.19
	ΚΕΝΑΚ	0.07	280	0.5	1.9	0.71
	Παθητικό	0.25	300	0.25	1.05	0.29
		m	$\text{kJ/m}^2\cdot\text{K}$	$\text{W/m}^2\cdot\text{K}$		

Κεφάλαιο 5: Συγκέντρωση CO₂ και Ποιότητα Αέρα

5.1 CO₂ και Εσωτερικό Περιβάλλον

Το διοξείδιο του άνθρακα είναι μια άχρωμη, άοσμη και μη τοξική χημική ουσία της ατμόσφαιρας σε χαμηλές συγκεντρώσεις [16]. Η αναπνοή, οι διεργασίες αποσύνθεσης και τα ηφαίστεια αποτελούν φυσικές πηγές CO₂. Η κύρια ανθρωπογενής πηγή CO₂ στο περιβάλλον είναι η καύση ορυκτών καυσίμων. Οι κύριες αιτίες ρύπανσης σε εσωτερικούς χώρους είναι οι μεταβολικές λειτουργίες και οι συσκευές καύσης [16]. Το CO₂ παράγεται από την καύση ενώσεων που περιέχουν άνθρακα, και τα συστήματα θέρμανσης και οι συσκευές κουζίνας που δεν λειτουργούν με καύσιμο ή δεν λειτουργούν επαρκώς, τα καυσαέρια των αυτοκινήτων σε κλειστούς χώρους στάθμευσης ή γκαράζ και ο καπνός των τσιγάρων του περιβάλλοντος αποτελούν πιθανές πηγές σε εσωτερικούς χώρους (σημειώστε ότι το κάπνισμα δεν επιτρέπεται στα περισσότερα μη οικιστικά κτίρια στην Ελλάδα) [15]. Όταν δεν υπάρχουν συσκευές καύσης, οι μεταβολικές δραστηριότητες συχνά αναλαμβάνουν ως κυρίαρχη πηγή CO₂ σε εσωτερικούς χώρους.

Το διοξείδιο του άνθρακα που παράγεται από τον άνθρωπο μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την ποιότητα του εσωτερικού αέρα στα σπίτια. Το CO₂ είναι ένα φυσικό υποπροϊόν της αναπνοής και μπορεί να συσσωρευτεί σε χώρους με κακό αερισμό. Ενώ τα χαμηλά επίπεδα CO₂ (400-1000 ppm) είναι γενικά αβλαβή και τυπικά σε κατειλημμένους χώρους με καλό αερισμό, τα υψηλότερα επίπεδα μπορούν να οδηγήσουν σε διάφορα προβλήματα υγείας.

Τα επίπεδα μεταξύ 1000-2000 ppm μπορεί να προκαλέσουν υπνηλία και μειωμένη ποιότητα αέρα, ενώ συγκεντρώσεις μεταξύ 2000-5000 ppm μπορεί να οδηγήσουν σε πονοκεφάλους, υπνηλία και κακή συγκέντρωση. Τα εξαιρετικά υψηλά επίπεδα (πάνω από 5000 ppm) ενέχουν σοβαρούς κινδύνους για την υγεία, όπως αυξημένο καρδιακό ρυθμό και ναυτία, ενώ οι συγκεντρώσεις πάνω από 40.000 ppm μπορεί να αποβούν μοιραίες λόγω στέρησης οξυγόνου και τοξικότητας του διοξειδίου του άνθρακα [13].

Η διατήρηση των κατάλληλων επιπέδων διοξειδίου του άνθρακα σε εσωτερικούς χώρους είναι ζωτικής σημασίας για την υγεία και την παραγωγικότητα. Η κακή ποιότητα του αέρα με υψηλά επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα έχει συνδεθεί με μειωμένες γνωστικές λειτουργίες, όπως η λήψη αποφάσεων και η στρατηγική σκέψη. Μια μελέτη του Εθνικού Εργαστηρίου Lawrence Berkeley [14] διαπίστωσε ότι συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα 2.500 ppm μείωσαν σημαντικά την απόδοση των συμμετεχόντων στη λήψη αποφάσεων,

υπογραμμίζοντας τη σημασία του εξαερισμού για τη διατήρηση της ποιότητας του αέρα εσωτερικών χώρων.

5.2 Μεθοδολογία Υπολογισμού Συγκέντρωσης CO₂

Παράλληλα λοιπόν με την ενεργειακή διερεύνηση του υφιστάμενου κτιρίου στα σενάρια που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 4, διεξάγεται και υπολογισμός των επιπέδων του Διοξειδίου του Άνθρακα, καθώς με την αντικατάσταση των κουφωμάτων, περιορίζονται οι απώλειες αερισμού μέσω χαραμάδων. Στο TOTEE 20701-1/2017 [11], στο κεφάλαιο 4.4.2 από τον πίνακα 3.24 ορίζονται οι τιμές της διείσδυσης του αέρα ανάλογα με την ποιότητα του εκάστοτε κουφώματος ως m³/h/m². Για το πρώτο σενάριο πάρθηκε η τιμή 15.1, για το δεύτερο 8.7, για το τρίτο 5.3 και για το τελευταίο 1.4 m³/h/m². Στην εξίσωση (3) παρουσιάζεται η εξίσωση που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό του φυσικού αερισμού.

$$Q_{inf} = A_w * S \quad (3)$$

- A_w : Συνολικό εμβαδό Διαφανών στοιχείων
- S : συντελεστής αεροπερατότητας από TOTEE 20701-1/2017 [11]

		Αμόνωτο	ΚΘΚ	Κενακ	Παθητικό	
Πίνακας 3.26	Παροχή Αέρα	248.84	143.37	112.06	23.07	m ³ /h

Η συγκέντρωση του Διοξειδίου του Άνθρακα προσδιορίστηκε ακολουθώντας τη μέθοδο υπολογισμού του Steady State της εξίσωσης 4. Η μέθοδος σταθερής κατάστασης (Steady -State) για τον υπολογισμό των συγκεντρώσεων CO₂ αξιοποιεί τις αρχές του ισοζυγίου μάζας και της ισορροπίας για να παρέχει πληροφορίες σχετικά με τους ρυθμούς αερισμού και το συνολικό περιβάλλον του εσωτερικού αέρα. Η μέθοδος βασίζεται στην επίτευξη μιας σταθερής συγκέντρωσης CO₂ σε ένα εσωτερικό περιβάλλον. Η συγκέντρωση αυτή επιτυγχάνεται όταν ο ρυθμός παραγωγής CO₂ από τους ενοίκους και άλλες πηγές ισούται με τον ρυθμό απομάκρυνσης του CO₂ μέσω του αερισμού. Η συγκέντρωση σταθερής κατάστασης μπορεί να εκφραστεί μαθηματικά και να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό του ρυθμού αλλαγής αέρα, παρέχοντας ένα άμεσο μέτρο της αποτελεσματικότητας του αερισμού.

$$C_{steady - state} = \frac{\text{Παραγωγή Διοξειδίου του Άνθρακα} + \text{Απώλειες αερισμού} * \text{Ατμοσφαιρική Συγκέντρωση διοξειδίου}}{\text{Απώλειες αερισμού} * 10^{-6}} \quad (4)$$

Όπου:

- $C_{\text{steady-state}}$ είναι η συγκέντρωση διοξειδίου που έχει το κτίριο σε PPM(part per million)
- Η παραγωγή διοξειδίου ορίζεται από τα άτομα στο χώρο σε LPM(litre per million)
- Οι απώλειες από χαραμάδες είναι ανάλογα με την εκάστοτε περίπτωση σε LPM (litre per million)
- Η ατμοσφαιρική συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα στον ατμοσφαιρικό αέρα σε LPM (litre per million)

Αυτή η μέθοδος υπολογισμού προσδιορίζει τις συγκεντρώσεις CO_2 σε ένα κατειλημμένο κτίριο υπό σταθερές συνθήκες. Οι διαστάσεις του δωματίου, ο αριθμός των ατόμων που βρίσκονται σε αυτό και ο ρυθμός αλλαγής του αέρα είναι κρίσιμες μεταβλητές που πρέπει να είναι γνωστές. Η παραγωγή του διοξειδίου του άνθρακα από τους ενοίκους έγινε βάση της εξίσωσης 5 [12].

$$\text{Παραγωγή Διοξειδίου του Άνθρακα} = N_{\text{ανθ}} * GR_{\text{co2}} \quad (5)$$

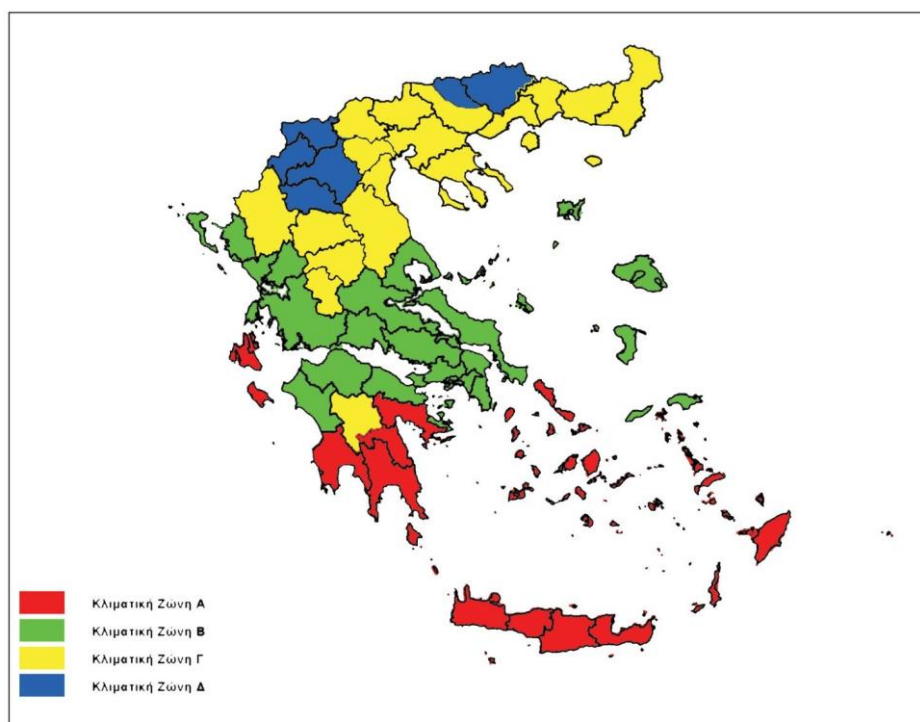
Οπού :

- $N_{\text{ανθ}}$ είναι ο αριθμός ατόμων στο κτίριο,
- GR_{co2} η παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα από ένα άτομο.

Οι ένοικοι θεωρήθηκαν πως είναι τέσσερις, με παραγωγή ανά άτομο 0.0041 λίτρα ανά δευτερόλεπτο, καταλήγοντας σε συνολική παραγωγή 0.972 λίτρα διοξειδίου του άνθρακα ανά λεπτό.

Κεφάλαιο 6 : Αποτελέσματα Ενεργειακών Μοντέλων

Η γεωμετρία του κτιρίου εξετάστηκε όπως αναφέρθηκε σε τέσσερις διαφορετικούς ενεργειακούς κανονισμούς, που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 4^ο, αλλά και σε δύο διαφορετικές κλιματικές ζώνες που ορίζει το TOTEE 20701-1/2017 [11]. Στην εικόνα 15 φαίνονται οι κλιματικές ζώνες. Πιο συγκεκριμένα, στην πόλη Αθηνά, Ελληνικό, ζώνη Β και στη πόλη Κοζάνη, ζώνη Δ.



Εικόνα 15. Κλιματικές Ζώνες Ελλάδος.

Τα τέσσερα σενάρια του κεφαλαίου 4^ο εξετάστηκαν σε δύο κλιματικές ζώνες. Σε κάθε κλιματική ζώνη χρησιμοποιούνται οι μέθοδοι του κεφαλαίου 3^ο. Πρώτα υπολογίζονται τα ενεργειακά φορτία χωρίς να λαμβάνεται υπόψη ο φυσικός αερισμός και στην συνέχεια λαμβάνοντας τον υπόψη, παρατηρώντας την αύξηση των ενεργειακών φορτίων λόγω αυτού. Στην υπό ενότητα 6.3 παρουσιάζονται οι τιμές των συγκεντρώσεων του διοξειδίου του άνθρακα βάση των εκάστοτε αερισμό.

Για το πρόγραμμα TEE- KENAK στην εικόνα 16 παρουσιάζεται ο τρόπος εισαγωγής των δομικών των στοιχείων .

Αδιαφανείς επιφάνειες		Σε επαφή με το έδαφος		Διαφανείς επιφάνειες										
Εισάγονται τα δεδομένα για τις αδιαφανείς επιφάνειες που έρχονται σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα														
	Τύπος	Περιγραφή	γ (deg)	β (deg)	Εμβαδόν (m ²)	U (W/m ² K)	a* (-)	ϵ^* (-)	F_hor_h (-)	F_hor_c (-)	F_ov_h (-)	F_ov_c (-)	F_fin_h (-)	F_fin_c (-)
▶ 1	Τοίχος	T_B	0	90	28.9	0.5	0.3	0.8	1	1	1	1	1	1
2	Τοίχος	T_N	180	90	25.9	0.5	0.3	0.8	1	1	1	1	1	1
3	Τοίχος	T_Δ	270	90	21.6	0.5	0.3	0.8	1	1	1	1	1	1
4	Τοίχος	T_A	90	90	19.9	0.5	0.3	0.8	1	1	1	1	1	1
5	Οροφή	OP	0	0	80	0.5	0.3	0.8	1	1	1	1	1	1
* 6														

Αδιαφανείς επιφάνειες		Σε επαφή με το έδαφος		Διαφανείς επιφάνειες									
Εισάγονται τα δεδομένα για τις διαφανείς επιφάνειες που έρχονται σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα													
	Τύπος	Περιγραφή	γ (deg)	β (deg)	Εμβαδόν (m ²)	U (W/m ² K)	g_w (-)	F_hor_h (-)	F_hor_c (-)	F_ov_h (-)	F_ov_c (-)	F_fin_h (-)	F_fin_c (-)
▶ 1	Ανοιγόμενο κουί	Π_B	0	90	2.8	1.25	0.54	1	1	1	1	1	1
2	Ανοιγόμενο	Π_N	180	90	5	1.25	0.54	1	1	1	1	1	1
3	Ανοιγόμενο	Π_Δ	270	90	3.2	1.25	0.54	1	1	1	1	1	1
4	Ανοιγόμενο	Π_A	90	90	4.8	1.25	0.54	1	1	1	1	1	1
* 5													

Εικόνα 16 Εισαγωγή Δεδομένων

Όπου:

- γ είναι ο προσανατολισμός του στοιχείου,
- β είναι η κλίση,
- U ο συντελεστής θερμοπερατότητας,
- F_hor_(c/h) ο συντελεστής σκίασης ορίζοντας χειμώνα/ καλοκαίρι,
- F_ov_(c/h) ο συντελεστής σκίασης προβόλων χειμώνα/ καλοκαίρι,
- F_fin_(c/h) ο συντελεστής σκίασης από πλευρικές εξοχές χειμώνα/ καλοκαίρι.

Για τα αδιαφανή δομικά στοιχεία :

- a* είναι ο συντελεστής απορροφητικότητας,
- ϵ^* είναι ο συντελεστής εκπομπής για την θερμική ακτινοβολία.

Για τα διαφανή δομικά στοιχεία:

- g_w είναι ο συντελεστής διαπερατότητας στην ηλιακή ακτινοβολία.

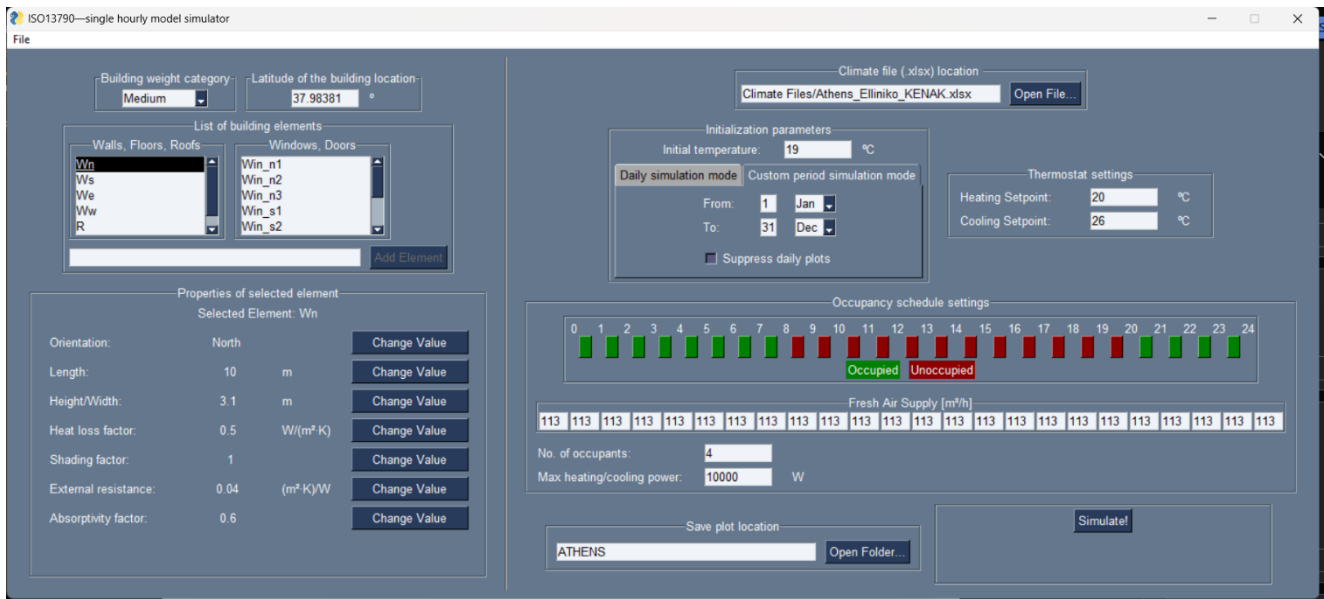
Τα αποτελέσματα το πρόγραμμα τα αποδίδει όπως στην εικόνα 17.

Ενεργειακές απαιτήσεις (kWh/m ²)	Ιαν.	Φεβ.	Μαρ.	Απρ.	Μαι.	Ιουν.	Ιουλ.	Αυγ.	Σεπ.	Οκτ.	Νοε.	Δεκ.	Ετήσιο
Θέρμανση	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
Ψύξη	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	8.7	10.4	10.2	3.8	0.0	0.0	0.0	36.2
Υγρανση	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
▶ ΖΝΧ	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	7.6

Εικόνα 17 Αποτελέσματα TEE KENAK

Παρουσιάζονται οι ενεργειακές απαιτήσεις ανά φορτίο για κάθε μήνα και σε ετήσιο επίπεδο. Ακόμα το πρόγραμμα δίνει ενεργειακή κατανάλωση βάση καυσίμου, που ορίζεται από το χρήστη και εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.

Η εισαγωγή των δομικών στοιχείων για την ωριαία ανάλυση παρουσιάζεται στην εικόνα 18.



Εικόνα 18 Περιβάλλον εφαρμογής Ωριαίας Ανάλυσης

Αρχικά εισάγεται ένα αρχείο .xlsx που περιέχει τα δομικά στοιχεία του κτιρίου. Στην εικόνα 19 παρουσιάζεται η δομή αυτού του αρχείου.

Element nan	Attribute	Orientation	Length	Height/Width	Heat loss factor	Shading factor	External resistance	Absorptivity factor	Attached frame indices
0	Wn	Wall	North	10	3.1	0.25	1	0.04	0.6 0,1,2
1	Ws	Wall	South	10	3.1	0.25	1	0.04	0.6 3,4,5
2	We	Wall	East	8	3.1	0.25	1	0.04	0.6 6,7,8
3	Ww	Wall	West	8	3.1	0.25	1	0.04	0.6 9,10
4	R	Roof	None	8	10	0.25	0	0.04	0.6
5	F	Floor	None	8	10	0.25	0	0.04	0.6

Εικόνα 19 Εισαγωγή Αδιαφανών Δομικών στοιχείων στην Ωριαία Ανάλυση

Όπου:

- Heat loss factor είναι ο συντελεστής θερμοπερατότητας,
- Shading Factor ο συνολικός συντελεστής σκίασης,
- External resistance ο συντελεστής θερμικής αντίστασης,
- Absorptivity factor ο συντελεστής απορροφητικότητας
- Η τελευταία στήλη δείχνει ποια αδιαφανή δομικά στοιχεία βρίσκονται σε κάθε τοίχο.

Στην εικόνα 20 παρουσιάζεται η καρτέλα που εισάγονται τα διαφανή δομικά στοιχεία.

Element nan	Attribute	Orientation	Length	Height/Width	Heat loss factor	Shading factor	Glazing factor	Frame factor
0	Win_n1	Window	North	0.8	0.8	1.05	0.515	0.51
1	Win_n2	Window	North	1.2	1.2	1.05	0.6	0.51
2	Win_n3	Window	North	1.2	1.2	1.05	0.6	0.51
3	Win_s1	Window	South	1.2	1.2	1.05	0.39	0.51
4	Win_s2	Window	South	1.2	1.2	1.05	0.39	0.51

Εικόνα 20 Εισαγωγή Διαφανών Δομικών στοιχείων στην Ωριαία Ανάλυση

Αντιστοίχως με τα αδιαφανή δομικά στοιχεία και Glazing Factor είναι ο συντελεστής διαπερατότητας στην ηλιακή ακτινοβολία και Frame factor το ποσοστό πλαισίου.

Έχοντας εισάγει τα δεδομένα για το κτιριακό κέλυφος, εισάγονται τα κλιματικά δεδομένα πάλι σε μορφή .xlsx.

The screenshot displays the software interface for simulation setup. It is divided into several sections:

- Initialization parameters:** Initial temperature is set to 19 °C. There are two modes: 'Daily simulation mode' (selected) and 'Custom period simulation mode'. The custom period is set from 1 Jan to 31 Dec. A checkbox for 'Suppress daily plots' is present.
- Thermostat settings:** Heating Setpoint is 20 °C and Cooling Setpoint is 26 °C.
- Occupancy schedule settings:** A 24-hour bar chart shows occupancy status. Hours 0-9 are green (Occupied), hours 10-19 are red (Unoccupied), and hours 20-24 are green (Occupied).
- Fresh Air Supply [m³/h]:** A row of 24 boxes, each containing the value 113.
- Other parameters:** No. of occupants is 4. Max heating/cooling power is 10000 W.
- Simulation controls:** A 'Save plot location' field contains 'ATHENS' with an 'Open Folder...' button. A 'Simulate!' button is also present.

Εικόνα 21 Ορισμός Προγράμματος ανάλυσης

Στην εικόνα 21, παρουσιάζεται οι παράμετροι της ωριαίας ανάλυσης. Αρχικά θέτεται η αρχική θερμοκρασία. Στη συνέχεια η περίοδος που θα γίνει η ανάλυση, μπορεί να γίνει για μια συγκεκριμένη μέρα έως και ένα χρόνο. Στα δεξιά ορίζεται η θερμοκρασία Θέρμανσης και η θερμοκρασίας Ψύξης.

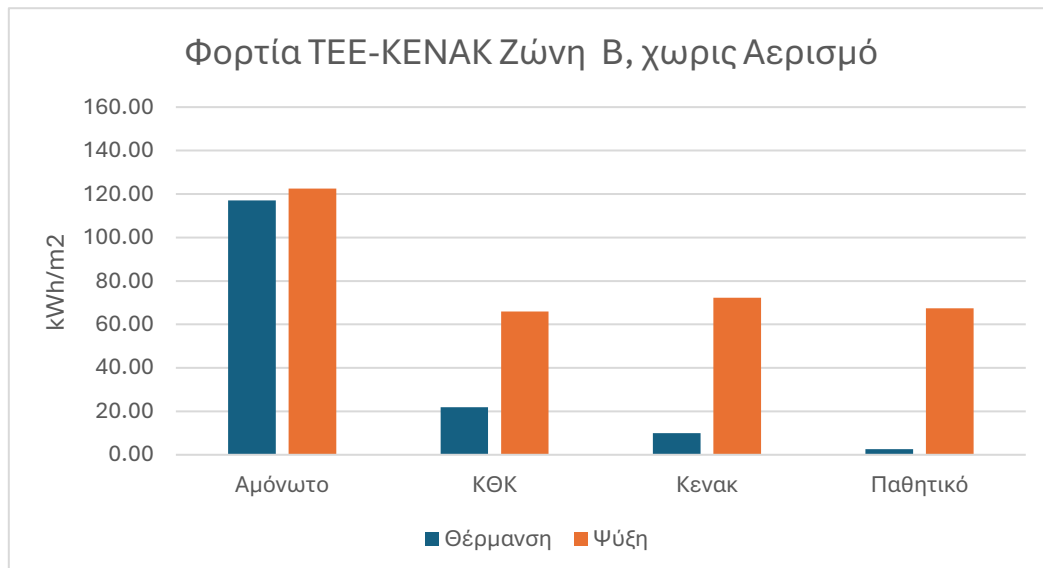
Το πρόγραμμα ακόμα χρειάζεται τις ώρες μέσα στη μέρα που θα κατοικείται το κτίριο. Η παροχή αερισμού ορίζεται για κάθε ώρα της ημέρας. Τέλος ορίζονται οι ένοικοι του κτιρίου και η μέγιστη ισχύς που μπορεί να αποδώσει το σύστημα. Διαλέγεται φάκελος για να εξάγει τα αποτελέσματα και μπορεί να αρχίσει η προσομοίωση.

6.1.1 Μηνιαίο μοντέλο – κλιματική ζώνη Β

Το κτίριο στη κλιματική ζώνη Β θεωρήθηκε πως είναι στον Δήμο του Ελληνικού και η κλιματική ζώνη Β χαρακτηρίζεται από μέσες τιμές χαμηλών θερμοκρασιών αλλά σχετικά υψηλών θερμοκρασιών το καλοκαίρι.

6.1.1.Α Ενεργειακά Φορτία χωρίς Αερισμό

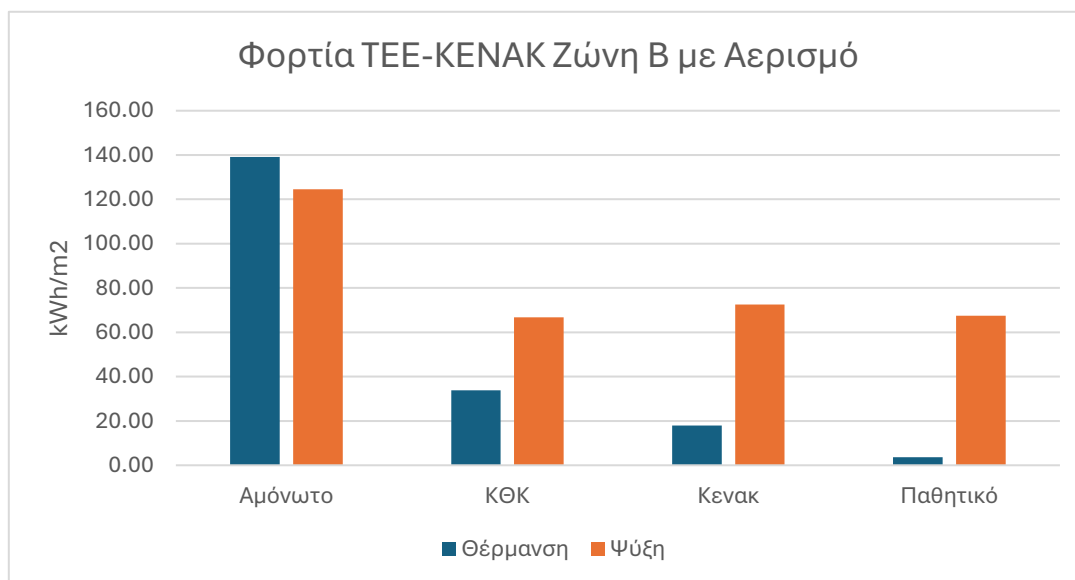
Όπως ειπώθηκε στο κεφάλαιο 3ο, για τον υπολογισμό των φορτίων σε μηνιαία βάση χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα του Τεχνικού Επιμελητηρίου της Ελλάδος το ΤΕΕ ΚΕΝΑΚ. Στον οριζόντιο άξονα τα σενάρια που φαίνονται είναι με την ακόλουθη σειρά, το Αμόνωτο, το σενάριο που τηρείται ο Κανονισμός Θερμομόνωσης Κτιρίων (ΚΘΚ), το σενάριο που τηρείται ο Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (ΚΕΝΑΚ) και τέλος το σενάριο που τηρείται ο Κανονισμός Παθητικής Κατοικίας (Παθητικό).



Διάγραμμα 1. Ενεργειακά Φορτία Ζώνη Β χωρίς Αερισμό.

6.1.1.B Ενεργειακά Φορτία με Φυσικό Αερισμό

Οι τιμές του Φυσικού Αερισμού υπολογίστηκαν βάσει της διείσδυσης αέρα από τα ανοίγματα (Κεφ.5). Το πρόγραμμα μας έδωσε τα εξής αποτελέσματα για τα ενεργειακά φορτία, όπως αυτά παρουσιάζονται στο διάγραμμα 2.



Διάγραμμα 2. Ενεργειακά Φορτία Ζώνης Β με Φυσικό Αερισμό.

Η θεώρηση του Φυσικού Αερισμού στους υπολογισμούς αποφέρει, όπως είναι λογικό, μια αύξηση σε όλα τα φορτία σε κάθε σενάριο, με την μεγαλύτερη αύξηση να γίνεται στο σενάριο του Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων.

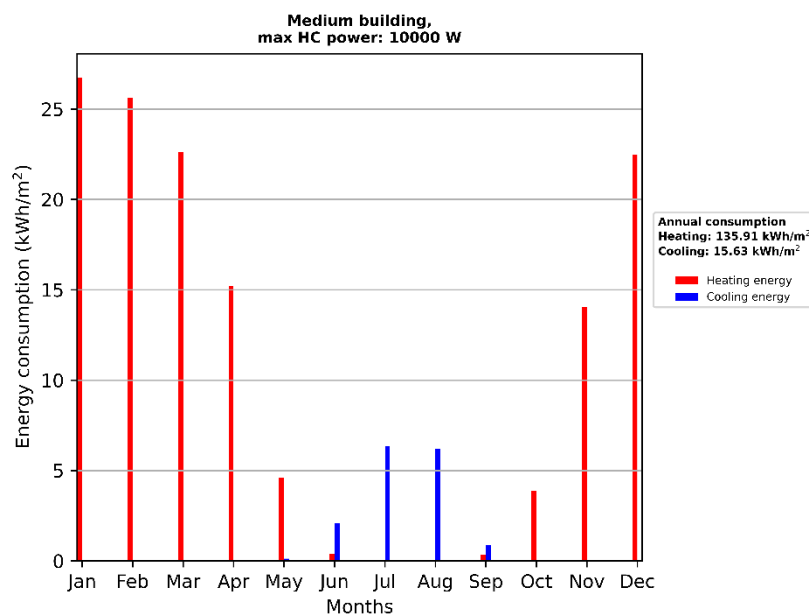
Ενδιαφέρον αποτελεί το σενάριο του Κανονισμού Θερμομόνωσης Κτιρίων που παρουσιάζει το ελάχιστο φορτίο Ψύξης, γεγονός που οφείλεται στα σχετικά χαμηλά επίπεδα θερμομόνωσης του και σε συνδυασμό τις τιμές του αερισμού, τους καλοκαιρινούς μήνες να μην επιδράνε αρνητικά σε αντίθεση με τα άλλα δύο σενάρια. Η ζώνη Β χαρακτηρίζεται από θερμό κλίμα και για αυτό ο αερισμός δεν αυξάνει σε μεγάλο βαθμό τα ενεργειακά φορτία.

6.1.2 Ωριαίο μοντέλο – κλιματική ζώνη Β

Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 3^ο χρησιμοποιήθηκαν οι εξισώσεις με ωριαία βάση που αναμένονται να αποδώσουν πιο αναλυτικά αποτελέσματα ως προς τα φορτία θέρμανσης και ψύξης. Οι υπολογισμοί γίνανε σε προγραμματιστικό μοντέλο που χτίστηκε σε περιβάλλον Python.

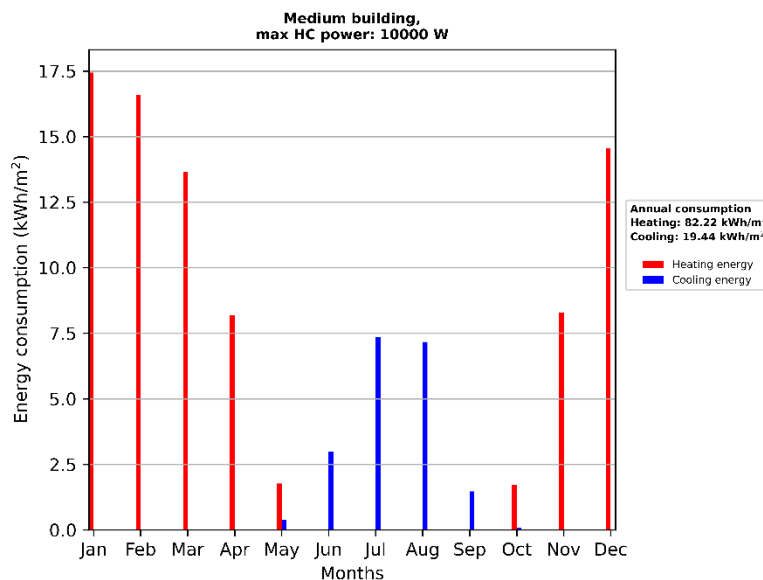
6.1.2.A Ενεργειακά Φορτία χωρίς Αερισμό

Για το σενάριο του Αμόνωτου κτιρίου, το μοντέλο έδωσε τα παρακάτω αποτελέσματα που φαίνονται στο διάγραμμα 3.



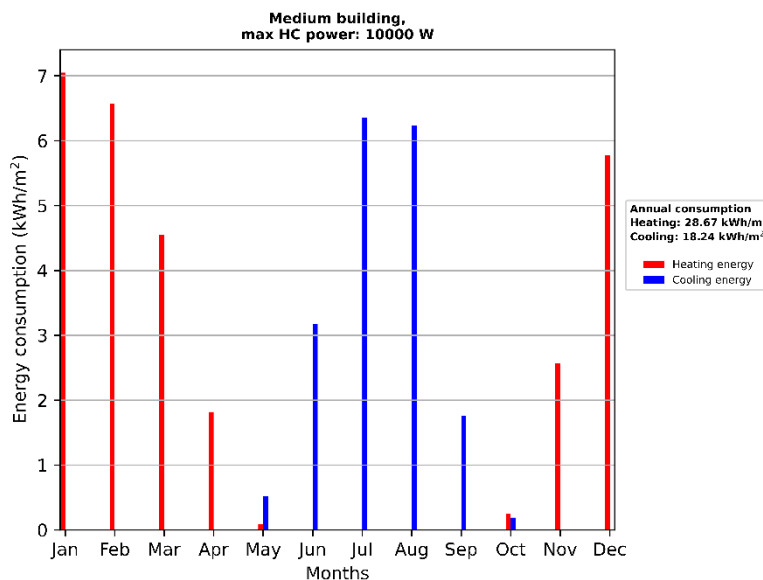
Διάγραμμα 3. Ενεργειακά Φορτία Σεναρίου Αμόνωτου χωρίς αερισμό.

Στο σενάριο του Κανονισμού Θερμομόνωσης Κτιρίων τα αποτελέσματα που φαίνονται στο διάγραμμα 4.



Διάγραμμα 4. Ενεργειακά Φορτία Σεναρίου ΚΟΚ χωρίς Αερισμό.

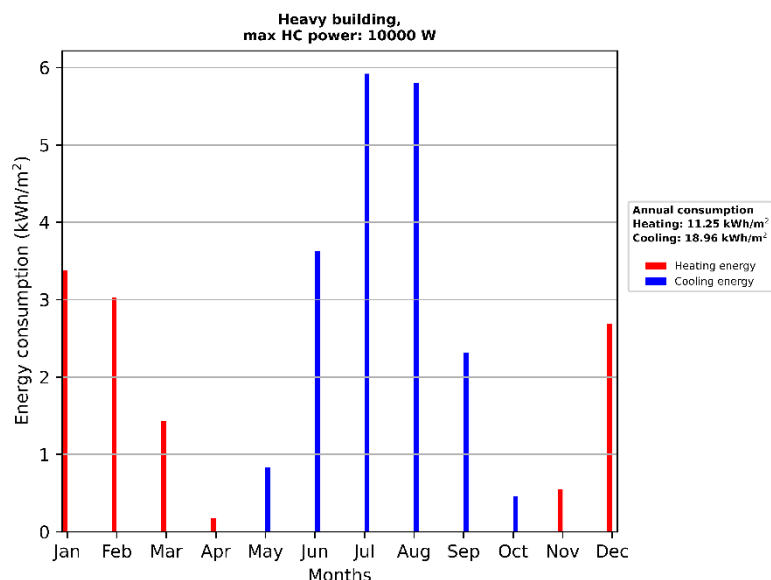
Στο σενάριο του Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων τα αποτελέσματα φαίνονται στο διάγραμμα 5 .



Διάγραμμα 5. Ενεργειακά Φορτία Σεναρίου ΚΕΝΑΚ χωρίς Αερισμό.

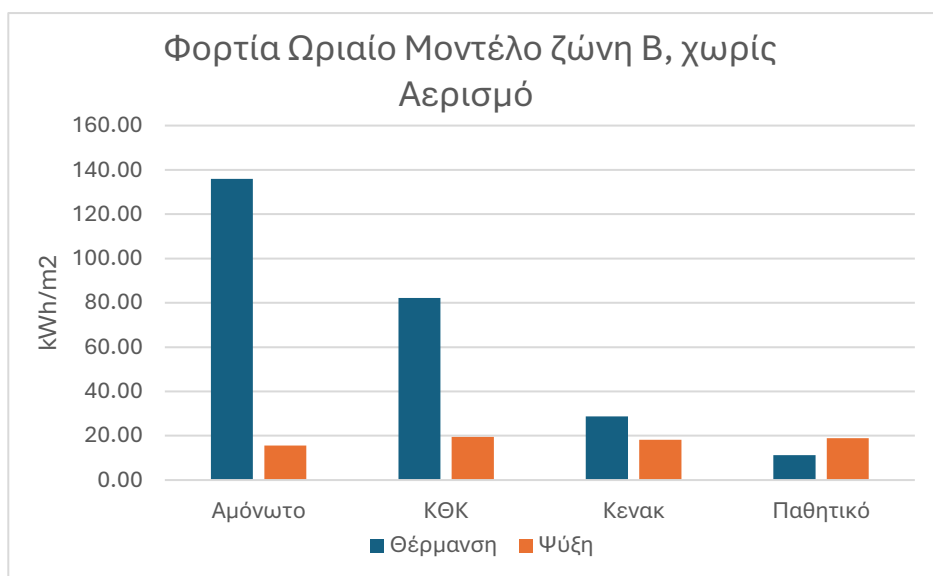
Με την αύξηση της θερμομόνωσης παρατηρείται η μείωση του φορτίου της Θέρμανσης αλλά η αύξηση του φορτίου της Ψύξης. Το μέγιστο φορτίο Ψύξης είναι τον Ιανουάριο και το φορτίο της Ψύξης τον Ιούλιο σε όλα τα σενάρια.

Στο σενάριο της Παθητικής Κατοικίας από το Ινστιτούτο Παθητικής Κατοικίας τα αποτελέσματα που φαίνονται στο διάγραμμα 6.



Διάγραμμα 6. Ενεργειακά Φορτία Παθητικού Κτιρίου.

Στο διάγραμμα 7 φαίνονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα των αναλύσεων των σεναρίων στην Ζώνη Β χωρίς φυσικό αερισμό.

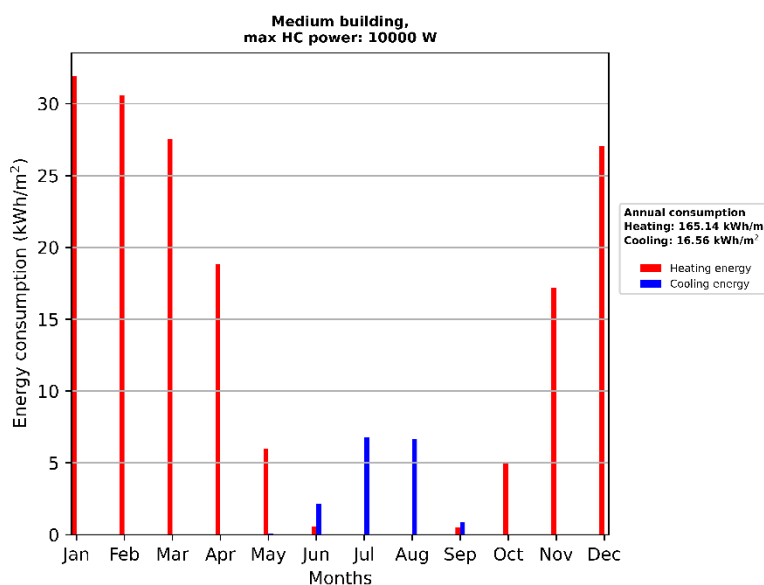


Διάγραμμα 7. Ενεργειακά Φορτία Ωριαίου Μοντέλου Ζώνη χωρίς Φυσικό Αερισμό.

6.1.2.B Ενεργειακά Φορτία με Φυσικό Αερισμό

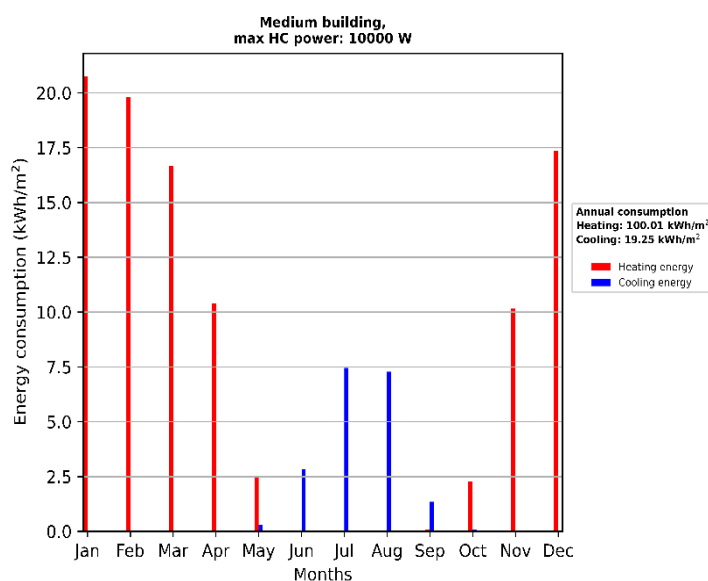
Οι υπολογισμοί σε αυτό το κεφάλαιο λάβαν υπόψη τον φυσικό αερισμό κάθε σεναρίου, με αποτέλεσμα οι τιμές των ενεργειακών φορτίων να διαφέρουν.

Αρχικά για το σενάριο του Αμόνωτου τα αποτελέσματα φαίνονται στο διάγραμμα 8.



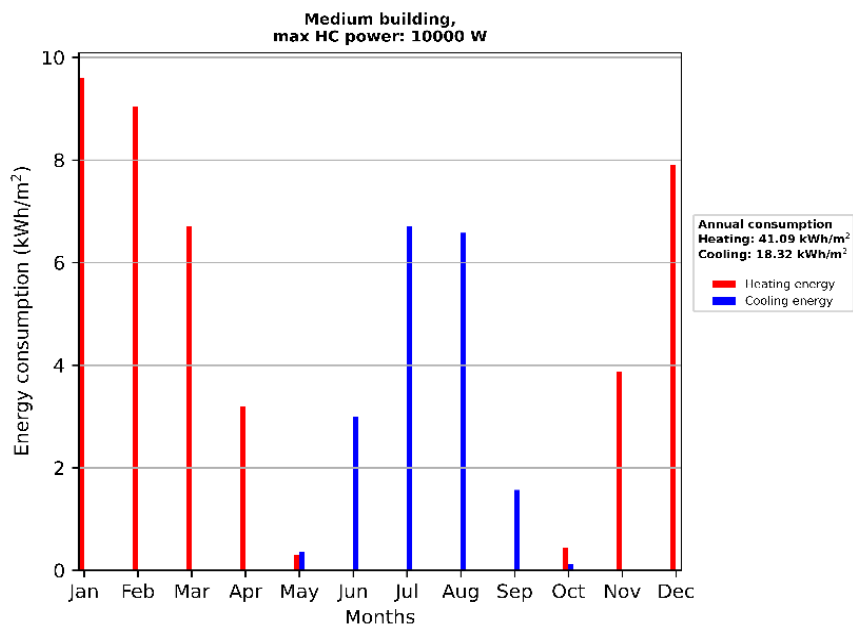
Διάγραμμα 8. Ενεργειακά Φορτία Σεναρίου Αμόνωτου με Φυσικό Αερισμό.

Για το σενάριο του Κανονισμού Θερμομόνωσης Κτιρίων τα αποτελέσματα φαίνονται στο διάγραμμα 9.



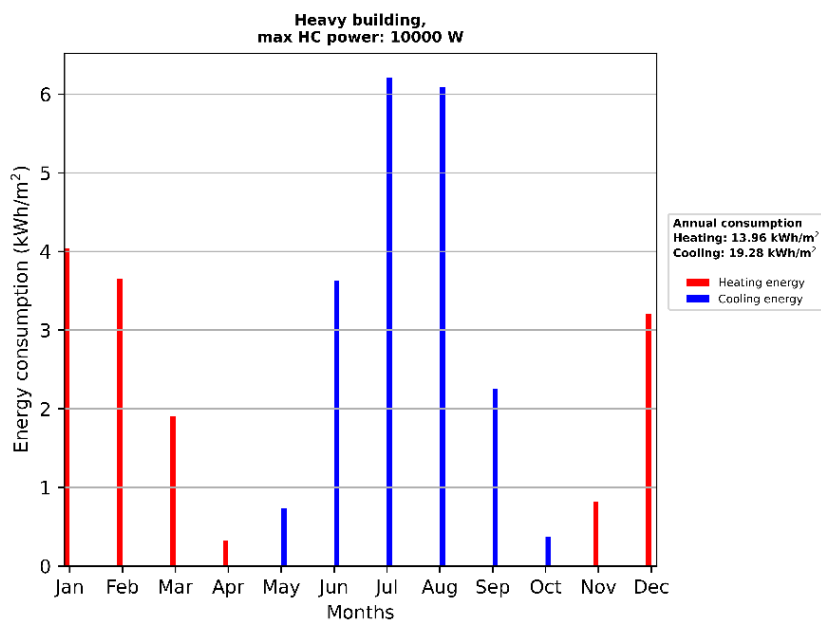
Διάγραμμα 9. Ενεργειακά Φορτία Σεναρίου ΚΘΚ με Φυσικό Αερισμό.

Για το σενάριο του Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων φαίνονται στο διάγραμμα 10.



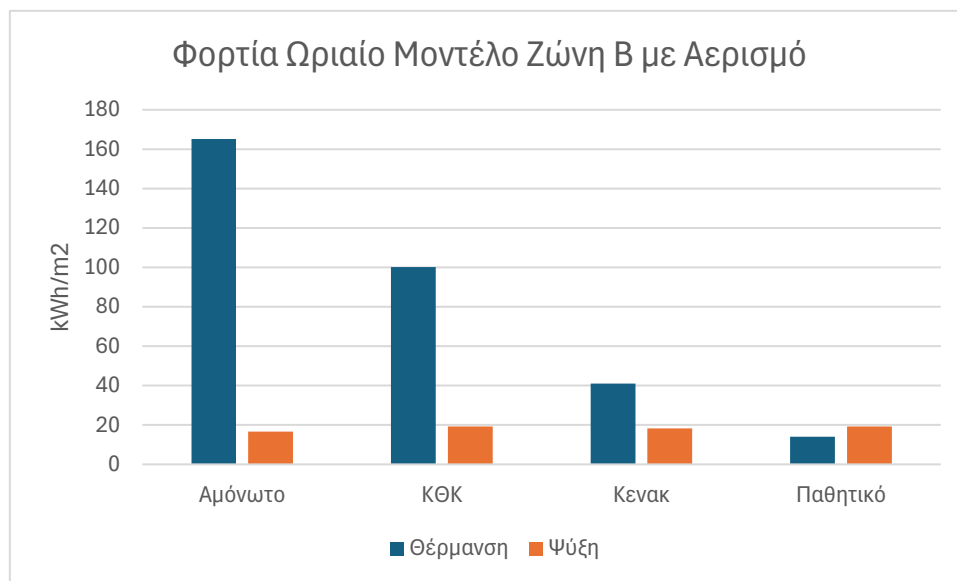
Διάγραμμα 10. Ενεργειακά Φορτία Σεναρίου ΚΕΝΑΚ με Φυσικό Αερισμό.

Τέλος για το σενάριο της Παθητικής Κατοικίας από το Ινστιτούτο Παθητικής Κατοικίας τα αποτελέσματα φαίνονται στο διάγραμμα 11.



Διάγραμμα 11. Ενεργειακά Φορτία Σεναρίου Παθητικού με Φυσικό Αερισμό

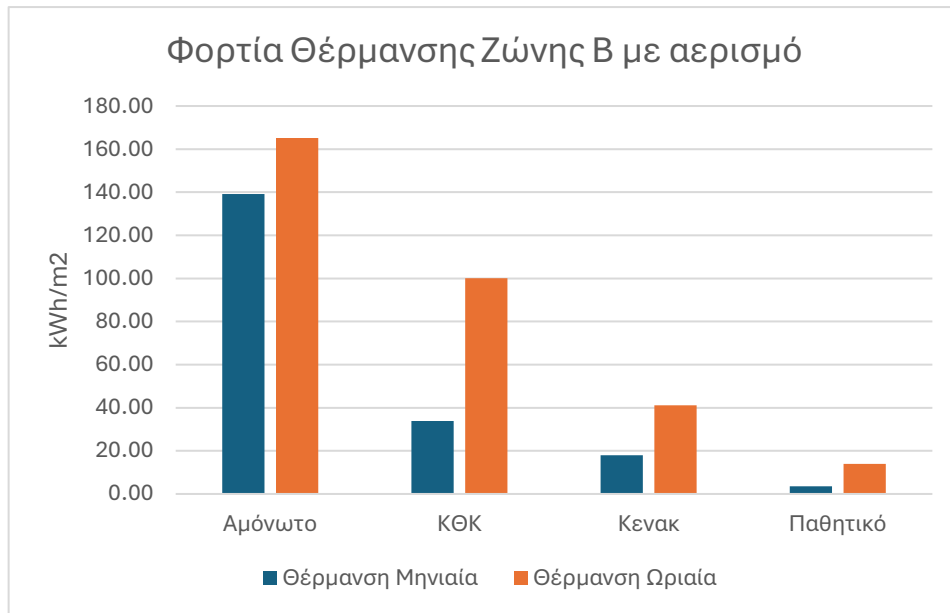
Στο διάγραμμα 12 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα των αναλύσεων της ωριαίας μεθόδου στη ζώνη Β με φυσικό αερισμό.



Διάγραμμα 12. Ενεργειακά Φορτία Ζώνης Β με φυσικό Αερισμό.

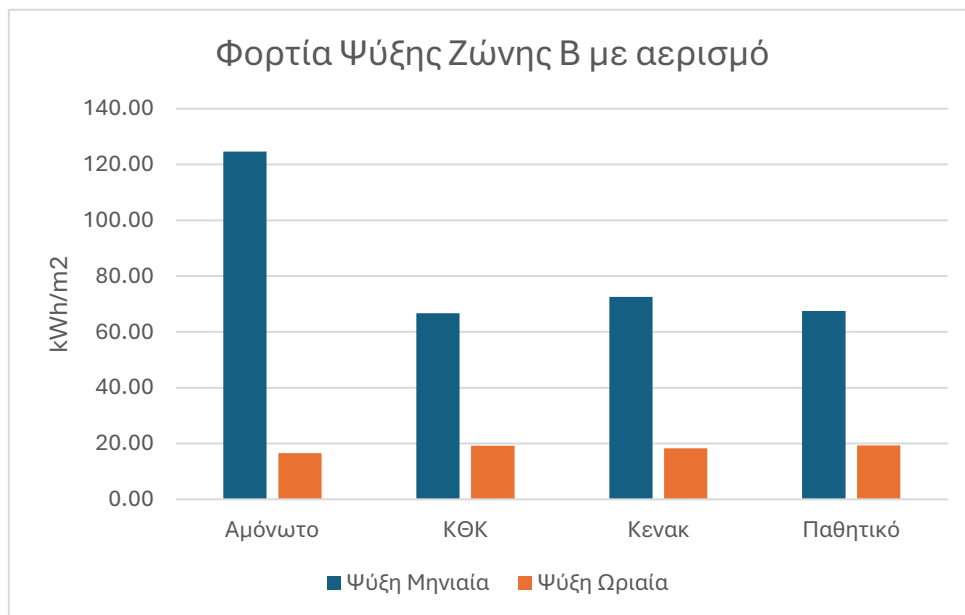
Πίνακας 7. Συγκεντρωτικά Χαρακτηριστικά Σεναρίων.

Ζώνη Β με Αερισμό	Αμόνωτο	ΚΘΚ	Κενακ	Παθητικό	
U μέσο	2.95	1.19	0.716	0.298	W/m2*k
Θέρμοχωρητικότητα	110	164	260	370	kJ/m2*k
Παροχή Αέρα	248.8	143.3	112	23	m3/h
Συγκέντρωση CO ₂	654.3	826.7	940.4	2947.7	ppm
Θέρμανση Μηνιαία	129.2	33.7	19.2	1.7	kWh/m2
Θέρμανση Ωριαία	165.1	100.1	41.1	13.9	
Ψύξη Μηνιαία	123.7	66.7	72.7	67.4	
Ψύξη Ωριαία	16.5	19.2	18.3	19.3	



Διάγραμμα 14. Φορτία Θέρμανσης ανά σενάριο.

Τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων παρουσιάζονται στα διαγράμματα 14 και 15. Όπως είναι αναμενόμενο παρουσιάζουν απόκλιση, με την μεγαλύτερη να σημειώνεται στο σενάριο του ΚΘΚ. Η προσθήκη θερμομόνωσης αποφέρει αποτελέσματα μειώνοντας το θερμικό φορτίο. Βέβαια η έντονη προσθήκη θερμομόνωσης απόφερε μια μικρή αύξηση από το σενάριο του ΚΕΝΑΚ προς το σενάριο του Παθητικού κτιρίου, αυτό οφείλεται στο πάχος της θερμομόνωσης που αύξησε την θερμοχωρητικότητα του κτιρίου, με αποτέλεσμα τους καλοκαιρινούς μήνες να αποφέρει θερμότητα στο εσωτερικό περιβάλλον κατά τη διάρκεια της νύχτας.



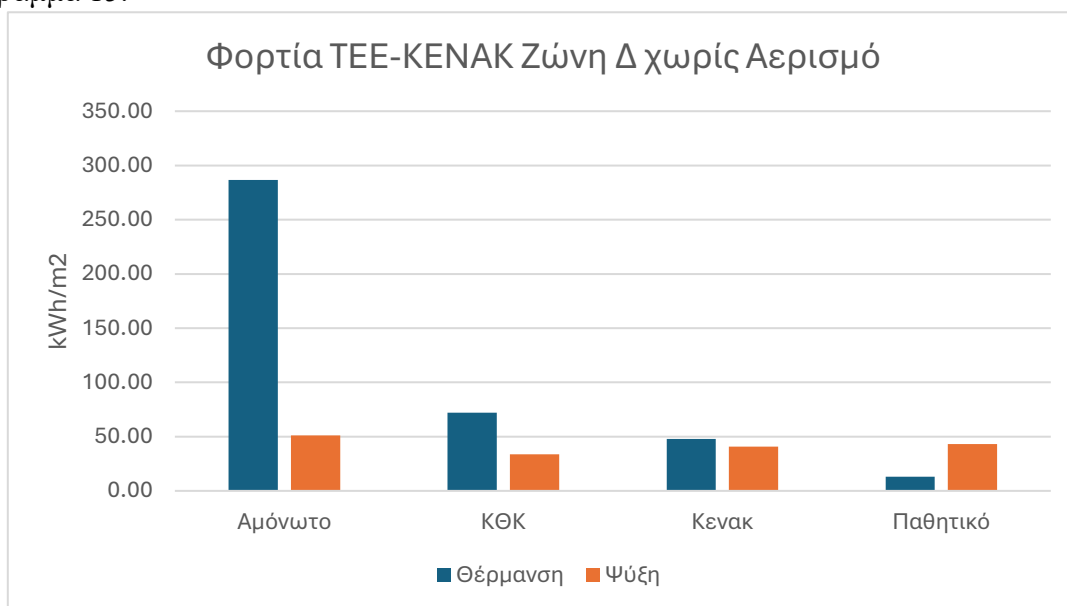
Διάγραμμα 13. Φορτία Ψύξης για τα δύο μοντέλα.

6.2.1 Μηνιαίο μοντέλο – κλιματική ζώνη Δ

Η πόλη Κοζάνη ανήκει στη κλιματική ζώνη Δ, λόγω αυτού χαρακτηρίζεται από αρκετά χαμηλές τιμές την χειμερινή περίοδο της θερμοκρασίας και σχετικά μέτριες τιμές θερμοκρασίας το καλοκαίρι.

6.2.1.A Ενεργειακά Φορτία χωρίς Αερισμό

Όπως ειπώθηκε στο κεφάλαιο 3ο, για τον υπολογισμό των φορτίων σε μηνιαία βάση χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα του Τεχνικού Επιμελητηρίου της Ελλάδος το TEE KENAK. Τα αποτελέσματα που έδωσε το πρόγραμμά για τα ενεργειακά φορτία φαίνονται στο διάγραμμα 15.

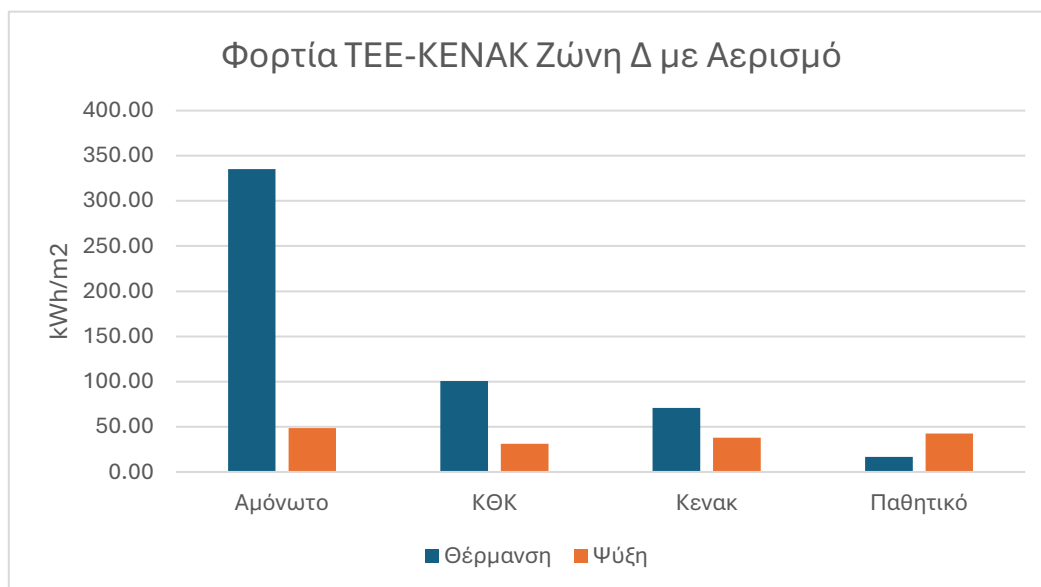


Διάγραμμα 15. Ενεργειακά Φορτία Ζώνης Δ χωρίς Αερισμό.

Στη συγκεκριμένη ζώνη το ψύχος είναι πιο έντονο και εδώ παρατηρείται η αποτελεσματικότητα του Παθητικού Κτιρίου καθώς η μείωση του φορτίου της θέρμανσης από το σενάριο του Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων είναι 72% μείωση.

6.2.1.B Ενεργειακά Φορτία με Φυσικό Αερισμό

Οι τιμές του Φυσικού Αερισμού που χρησιμοποιήθηκαν είναι από το κεφάλαιο 5^ο και ξαναέγιναν οι υπολογισμοί. Το πρόγραμμα μας έδωσε τα εξής αποτελέσματα για τα ενεργειακά φορτία που φαίνονται στο διάγραμμα 16.



Διάγραμμα 16. Ενεργειακά φορτία ζώνης Δ με Φυσικό Αερισμό.

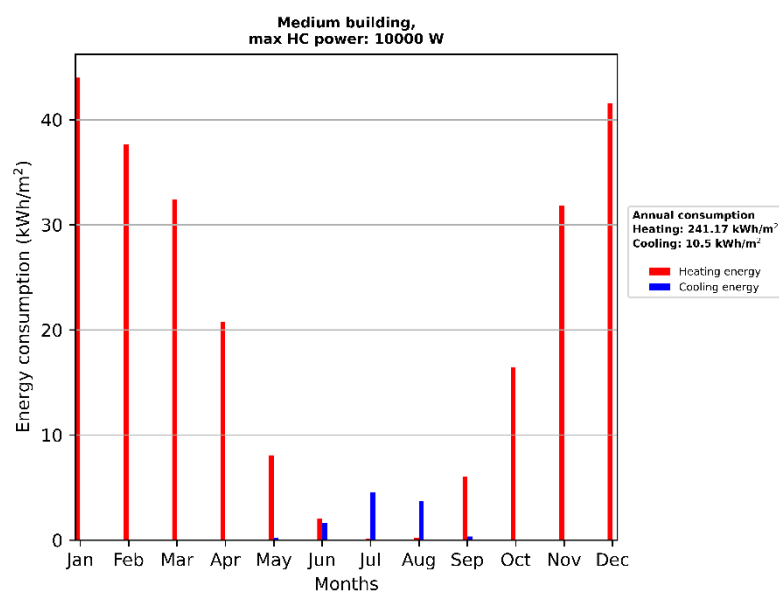
Λαμβάνοντας υπόψη το φυσικό αερισμό τα φορτία θέρμανσης, όπως είναι λογικό, αυξάνονται καθώς ο εξωτερικός αέρας είναι χαμηλότερης θερμοκρασίας και λόγω αυτού το φορτίο Ψύξης μειώθηκε. Λαμβάνοντας υπόψη τον φυσικό αερισμό τα αποτελέσματα είναι πιο ρεαλιστικά

6.2.2 Ωριαίο μοντέλο – κλιματική ζώνη Δ

Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 3^ο χρησιμοποιήθηκαν οι εξισώσεις με ωριαία βάση που αναμένονται να αποδώσουν πιο αναλυτικά αποτελέσματα ως προς τα φορτία θέρμανσης και ψύξης. Οι υπολογισμοί γίνανε σε προγραμματιστικό μοντέλο που χτίστηκε σε περιβάλλον Python.

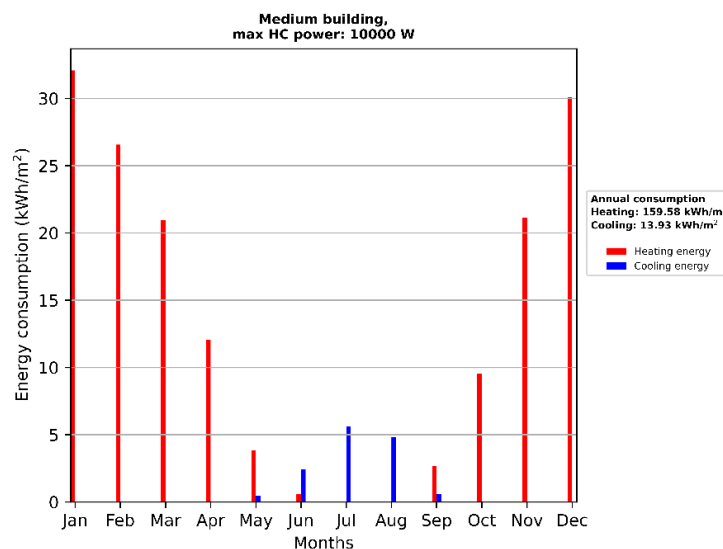
6.2.2.A Ενεργειακά Φορτία χωρίς Αερισμό

Για το σενάριο του Αμόνωτου το μοντέλο έδωσε τα παρακάτω αποτελέσματα που φαίνονται στο διάγραμμα 17.



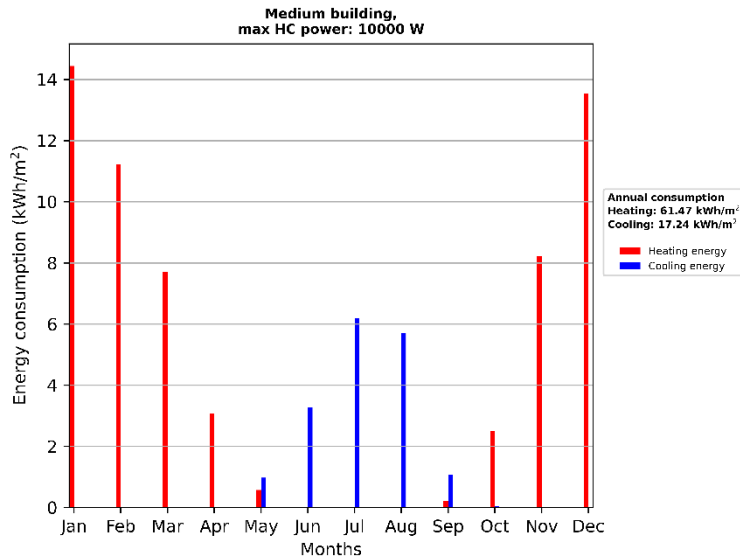
Διάγραμμα 17. Ενεργειακά Φορτία Σεναρίου Αμόνωτου χωρίς αερισμό ζώνης Δ.

Για το σενάριο του Κανονισμού Θερμομόνωσης Κτιρίων τα αποτελέσματα φαίνονται στο διάγραμμα 18.



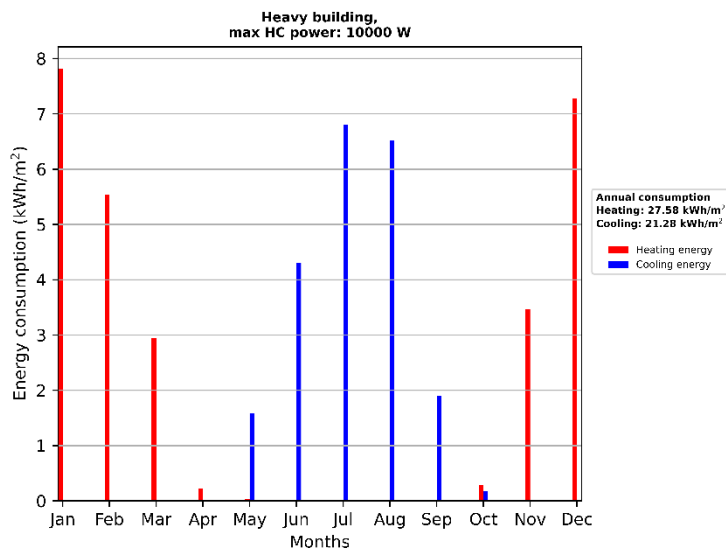
Διάγραμμα 18. Ενεργειακά Φορτία Σεναρίου ΚΘΚ χωρίς αερισμό ζώνης Δ.

Για το σενάριο του Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων τα αποτελέσματα φαίνονται στο διάγραμμα 19.



Διάγραμμα 19. Ενεργειακά Φορτία Σεναρίου ΚΕΝΑΚ χωρίς αερισμό ζώνης Δ.

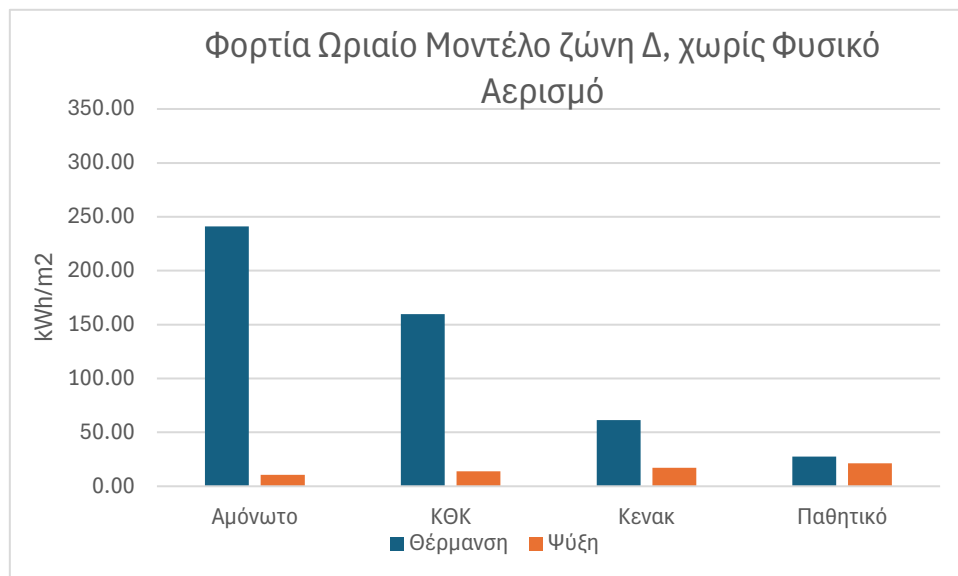
Τέλος για το σενάριο της Παθητικής Κατοικίας από το Ινστιτούτο Παθητικής Κατοικίας τα αποτελέσματα φαίνονται στο διάγραμμα 20.



Διάγραμμα 20. Ενεργειακά Φορτία Σεναρίου Παθητικού χωρίς αερισμό ζώνης Δ.

Το μέγιστο φορτίο Ψύξης είναι τον Ιανουάριο και το φορτίο της Ψύξης τον Ιούλιο σε όλα τα σενάρια.

Στο διάγραμμα 21 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα των αναλύσεων για την Ζώνη Δ χωρίς αερισμό.

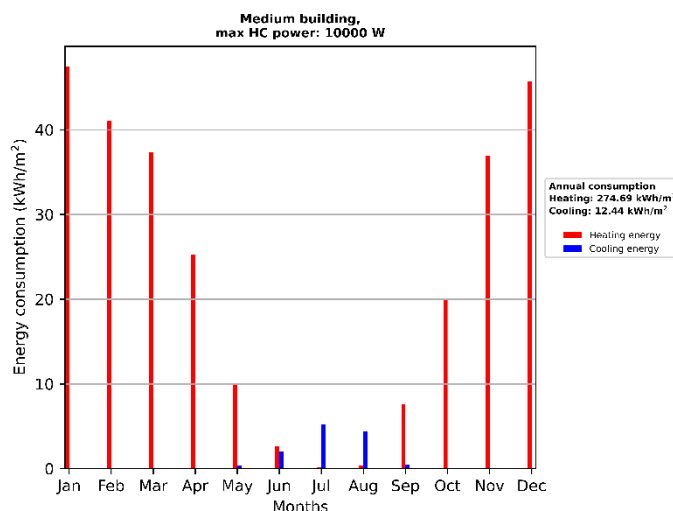


Διάγραμμα 21. Ενεργειακά Φορτία Ζώνης Δ χωρίς Φυσικό Αερισμό.

6.2.2.B Ενεργειακά Φορτία με Φυσικό Αερισμό

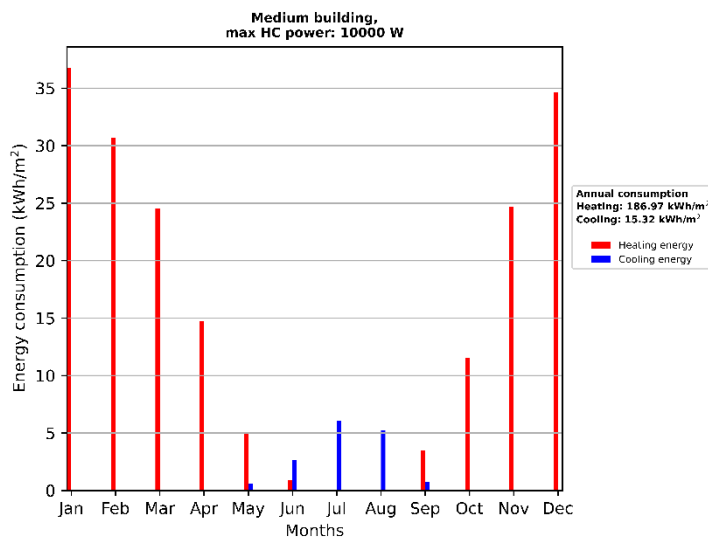
Οι υπολογισμοί σε αυτό το κεφάλαιο λάβαν υπόψη τον φυσικό αερισμό κάθε σεναρίου, με αποτέλεσμα οι τιμές των ενεργειακών φορτίων να διαφέρουν.

Για το σενάριο του Αμόνωτου το μοντέλο έδωσε τα παρακάτω αποτελέσματα που φαίνονται στο διάγραμμα 22.



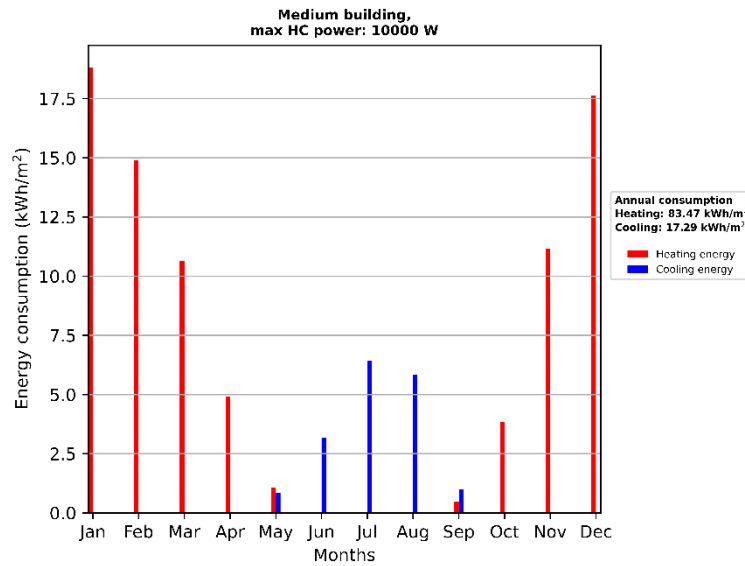
Διάγραμμα 22. Ενεργειακά Φορτία Σεναρίου Αμόνωτου με Φυσικό αερισμό ζώνης Δ.

Για το σενάριο του Κανονισμού Θερμομόνωσης Κτιρίων τα αποτελέσματα φαίνονται στο διάγραμμα 23.



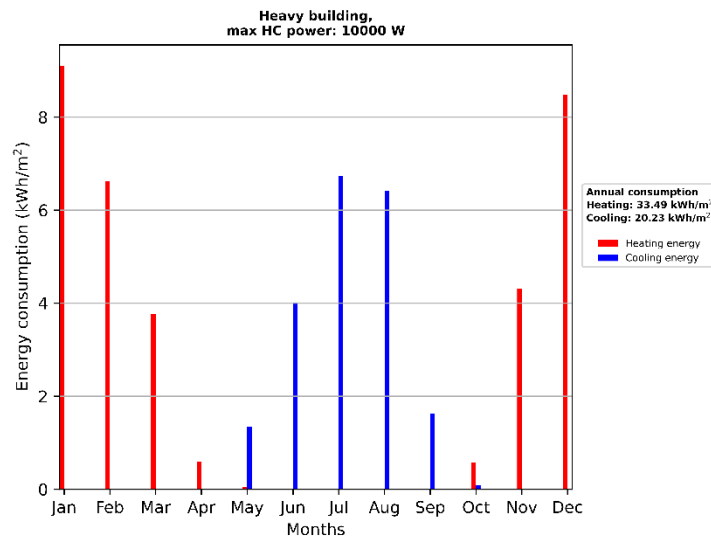
Διάγραμμα 23. Ενεργειακά Φορτία Σεναρίου ΚΘΚ με Φυσικό αερισμό ζώνης Δ.

Για το σενάριο του Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων τα αποτελέσματα φαίνονται στο διάγραμμα 24.



Διάγραμμα 24. Ενεργειακά Φορτία Σεναρίου ΚΕΝΑΚ με Φυσικό αερισμό ζώνης Δ.

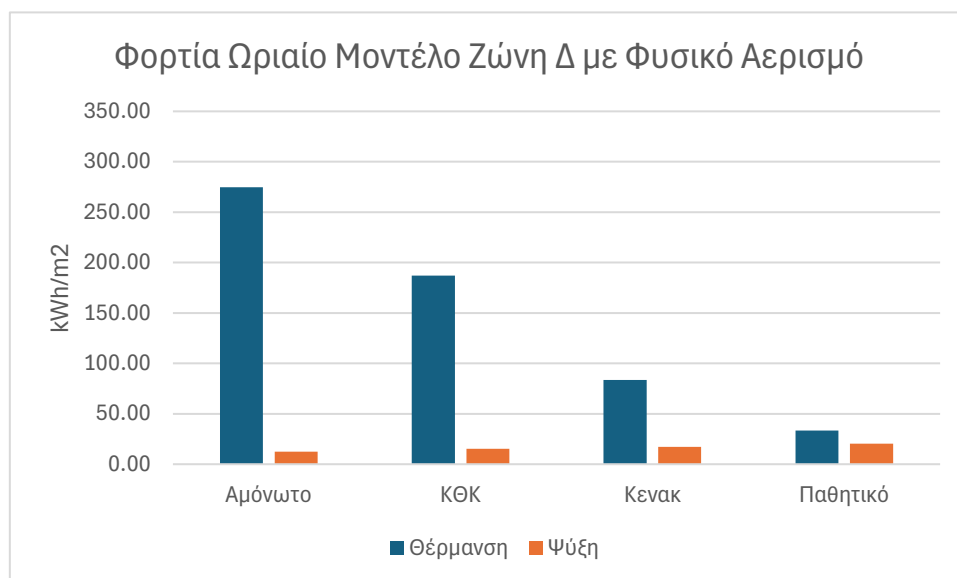
Τέλος για το σενάριο της Παθητικής Κατοικίας από το Ινστιτούτο Παθητικής Κατοικίας τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο διάγραμμα 25.



Διάγραμμα 25. Ενεργειακά Φορτία Σεναρίου Παθητικού με Φυσικό αερισμό ζώνης Δ.

Λαμβάνοντας υπόψη τον φυσικό αερισμό που υπάρχει σε κάθε σενάριο τα φορτία της Θέρμανσης αυξήθηκαν ενώ τα φορτία της Ψύξης έδειξαν μια μείωση. Το μέγιστο φορτίο Ψύξης είναι τον Ιανουάριο και το φορτίο της Ψύξης τον Ιούλιο σε όλα τα σενάρια.

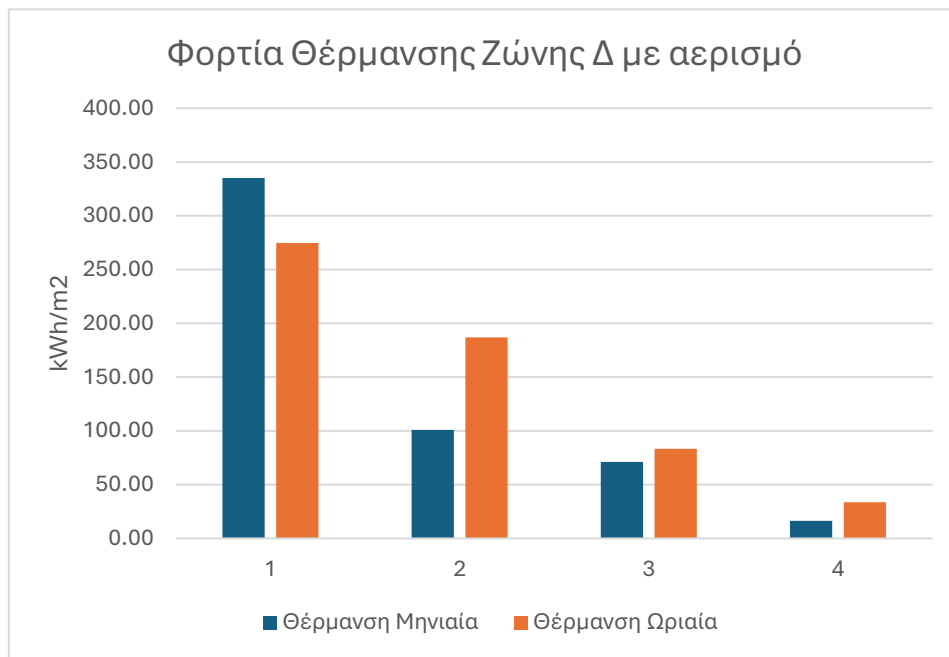
Στο διάγραμμα 26 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα των αναλύσεων της Ζώνης Δ με φυσικό αερισμό.



Διάγραμμα 26. Ενεργειακά Φορτία ζώνης Δ με φυσικό Αερισμό.

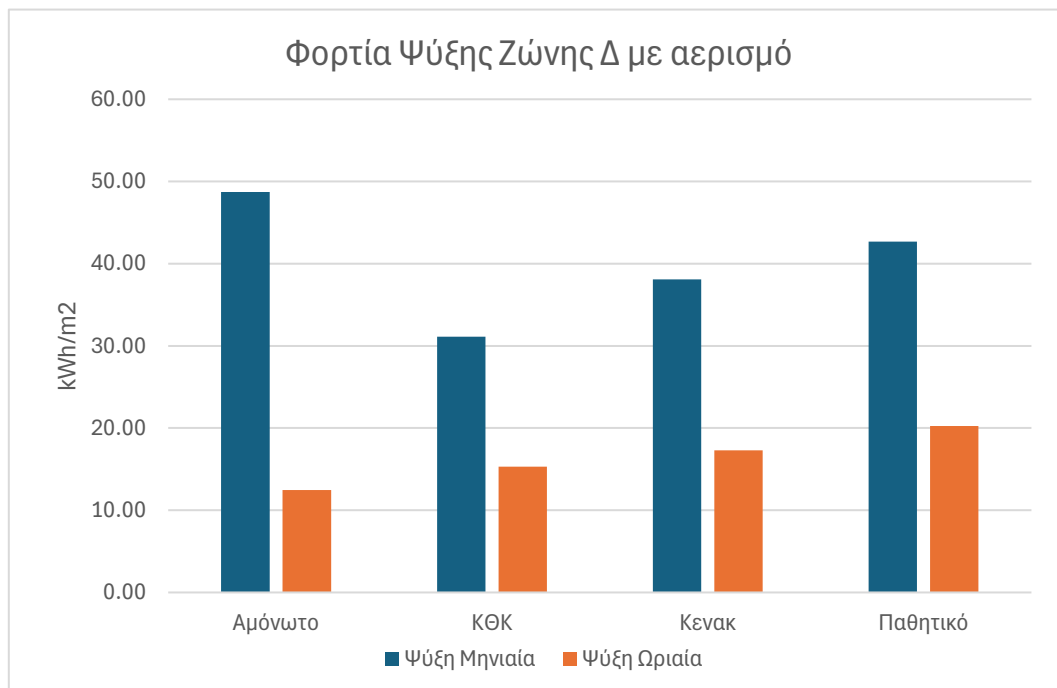
Πίνακας 8. Συγκεντρωτικά Χαρακτηριστικά Ζώνης Δ.

Ζώνη Δ με Αερισμό	Αμόνωτο	ΚΘΚ	Κενακ	Παθητικό	
U μέσο	2.95	1.19	0.71	0.29	W/m²*k
Θέρμοχωρητικότητα	110	164	260	370	kJ/m²*k
Παροχή Αέρα	248.84	143.37	112.06	23.07	M³/h
Θέρμανση Μηνιαία	313.30	99.50	74.30	12.80	kWh/m²
Θέρμανση Ωριαία	274.69	186.97	83.47	33.49	
Ψύξη Μηνιαία	49.70	31.20	37.70	42.60	
Ψύξη Ωριαία	12.44	15.32	17.29	20.23	
Συγκέντρωση CO ₂	654.36	826.76	940.42	2947.74	ppm



Διάγραμμα 27 Θερμικά Φορτία Ζώνης Δ σε αντιπαράθεση.

Στα διαγράμματα 27 και 28 παρουσιάζονται συγκεντρωμένα τα ενεργειακά φορτία της κλιματικής ζώνης Δ, η οποία χαρακτηρίζεται απο χαμηλότερο θερμοκρασιακό εύρος την χειμερινή περίοδο σε σχέση με την κλιματική ζώνη Β. Το σενάριο του Παθητικού κτιρίου φέρει αποτέλεσμα στην μείωση του φορτίου της θέρμανσης με μείωση της τάξης σχεδόν 90%. Αντιστοίχως στα φορτία της ψύξης παρουσιάζεται μια αύξηση λόγω της προσθήκης θερμομόνωσης, όπως και στην ενότητα 7.1.2.

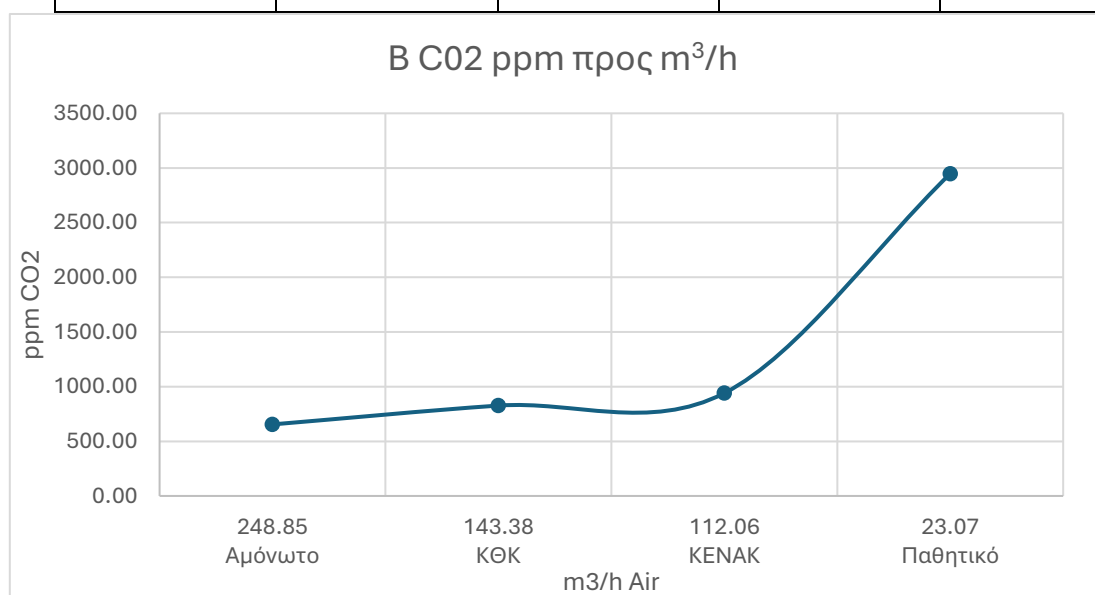


Διάγραμμα 28 Ψυκτικά Φορτία Ζώνης Δ σε αντιπαράθεση

6.3 Συγκέντρωση Διοξειδίου του Άνθρακα

Τα επίπεδα του διοξειδίου του άνθρακα σε κάθε σενάριο είναι ανεξάρτητα από την κλιματική ζώνη της εκάστοτε μελέτης. Επηρεάζονται μόνο από τον εκάστοτε φυσικό αερισμό λόγω χαραμάδων σε κάθε σενάριο. Όπως, αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 5^ο οι τιμές του φυσικού αερισμού υπολογίστηκαν βάση των τιμών από το TOTEE 20701-1/2017.

Αμόνωτο	ΚΘΚ	KENAK	Παθητικό	ppm CO ₂
654.4	826.8	940.4	2947.7	



Διάγραμμα 29. Συγκέντρωση Διοξειδίου το Άνθρακα σε ppm προς φυσικό αερισμό m³/h.

Το σενάριο του Παθητικού κτιρίου λόγω της καλής αεροστεγανότητας του η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα φτάνει σε ιδιαίτερα υψηλά επίπεδα, 2947 ppm, που μπορεί να είναι επιβλαβές για τους ενοίκους. Και σε συνδυασμό με τα υψηλά φορτία Ψύξης την καλοκαιρινή περίοδο θα δημιουργηθούν αλλά δυο σενάρια στα οποία θα αυξηθεί ο αερισμός ώστε η συγκέντρωση να φτάσει τα 850 ppm και παράλληλα θα τοποθετηθούν στέγαστρα στα παράθυρα και οροφή ώστε να μειωθεί το φορτίο της Ψύξης, που θα αφαιρούνται την χειμερινή περίοδο.

6.4 Σενάριο Παθητικού Κτιρίου με Αυξημένο Αερισμό και Σκίαση

Από τους υπολογισμούς που γίνανε βάση και των δύο μεθόδων, μηνιαίας και ωριαίας βάσης, τα αποτελέσματα έδειξαν για το σενάριο του Παθητικού Κτιρίου πως λόγω καλής αεροστεγανότητας τα επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα αυξάνονται σε υψηλά επίπεδα και σε συνδυασμό με το γεγονός πως το κτίριο δεν έχει σκίαση, όποτε τα ηλιακά θερμικά κέρδη είναι αυξημένα, δημιουργεί ένα δυσμενές εσωτερικό περιβάλλον.

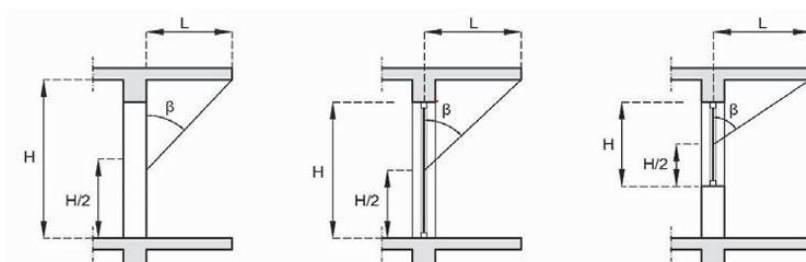
Συνεπώς, μέσω αντίστροφης επίλυσης της εξίσωσης (3) υπολογίστηκε πως ο αερισμός που χρειάζεται για συγκέντρωση 850 ppm διοξειδίου του άνθρακα είναι $136 \text{ m}^3/\text{h}$, δεδομένο πως το κέλυφος έχει ήδη φυσικό αερισμό $23.07 \text{ m}^3/\text{h}$, τα υπόλοιπα $112 \text{ m}^3/\text{h}$ θα παρέχονται από μηχανικό αερισμό χωρίς την ύπαρξη εναλλάκτη θερμότητας.

Επίσης το αυξημένο Ψυκτικό Φορτίο, επηρεάζεται άμεσα από τα Ηλιακά Θερμικά Κέρδη, ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες. Η βέλτιστη μέθοδος μείωσης του, είναι μέσω εγκατάστασης σκίαστρων στα Διαφανή δομικά στοιχεία και στην οροφή του κτιρίου. Με αυτόν τον τρόπο τους καλοκαιρινούς μήνες μειώνονται τα δομικά στοιχεία που αποφέρουν την περισσότερη μετάδοση θερμότητας προς το εσωτερικό περιβάλλον του κελύφους. Τα σκίαστρα στα διαφανή δομικά στοιχεία και στην οροφή θεωρούνται πως τους χειμερινούς μήνες θα αφαιρούνται, δίνοντας $F=1$ για τους αντίστοιχους μήνες.

Στην εικόνα 29 παρουσιάζεται ένα παθητικό κτίριο στο Ντουμπάι, στο οποίο η οροφή καλύπτεται από στέγαστρο χωρίς να είναι σε επαφή με το κέλυφος.



Εικόνα 24 Παθητικό Κτίριο στο Ντουμπάι με στέγαστρο στην οροφή [29]



Εικόνα 25 Γωνία Προβόλου

Για τα διάφανα δομικά στοιχεία θεωρήθηκε πως υπάρχει πρόβολος μήκους 1 μέτρου πάνω από κάθε παράθυρο και πλάτος αντίστοιχου του πλάτους κάθε παραθύρου. Ο υπολογισμός έγινε βάση της οδηγίας του TOTEE-20701-1/2017 από το κεφάλαιο 4.3.3.

Στον πίνακα 9 παρουσιάζονται οι συντελεστές σκίασης λόγω προβόλου στα διαφανή δομικά στοιχεία που προέκυψαν από τον υπολογισμό της εκάστοτε γωνίας και βάσει του πίνακα 3.20 από το TOTEE-20701-1/2017 λαμβάνοντας υπόψη και τον προσανατολισμό. Για την οροφή ο συντελεστής F θεωρήθηκε 0 καθώς η οδηγία του TOTEE-20701-1/2017 αναφέρει πως για πλήρη κάλυψη η τιμή του συντελεστή ορίζεται ως μηδέν.

Πίνακας 9. Υπολογισμός Γωνίας Προβόλου

No	Ύψος	L=	1	Γωνία προβόλος	Προσα/σμός	F
1	0.80	L/(H/2)	2.50	68.20	B	0.515
2	1.20		1.67	59.04	B	0.6
1	2.20		0.91	42.27	N	0.55
2	1.20		1.67	59.04	N	0.39
1	1.20		1.67	59.04	Δ	0.48
1	1.20		1.67	59.04	Δ	0.48
1	2.20		0.91	42.27	A	0.68
2	1.20		1.67	59.04	A	0.48

Συνεπώς με τα νέα δεδομένα του αερισμού και των συντελεστών σκίασης υπολογίστηκαν τα ενεργειακά φορτία για το σενάριο του Παθητικού Κτιρίου για Ζώνη Β και Δ. Το TEE KENAK έδωσε τα παρακάτω αποτελέσματα για τη ζώνη Β που παρουσιάζονται στο διάγραμμα 30 σε αντιπαράθεση με την περίπτωση του Παθητικού με φυσικό αερισμό και χωρίς σκίαση.

Η αύξηση του αερισμού στο κτίριο επέφερε μείωση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα, όπως ήταν αναμενόμενο. Στον πίνακα 10 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα.

Πίνακας 10. Νέος αερισμός και Συγκέντρωση Διοξειδίου του Άνθρακα

Παθητικό(Πριν)		Παθητικό (Μετά)	
23.07	Παροχή Αέρα	135.63	m ³ /h
2947.74	Συγκέντρωση CO ₂	850.00	ppm

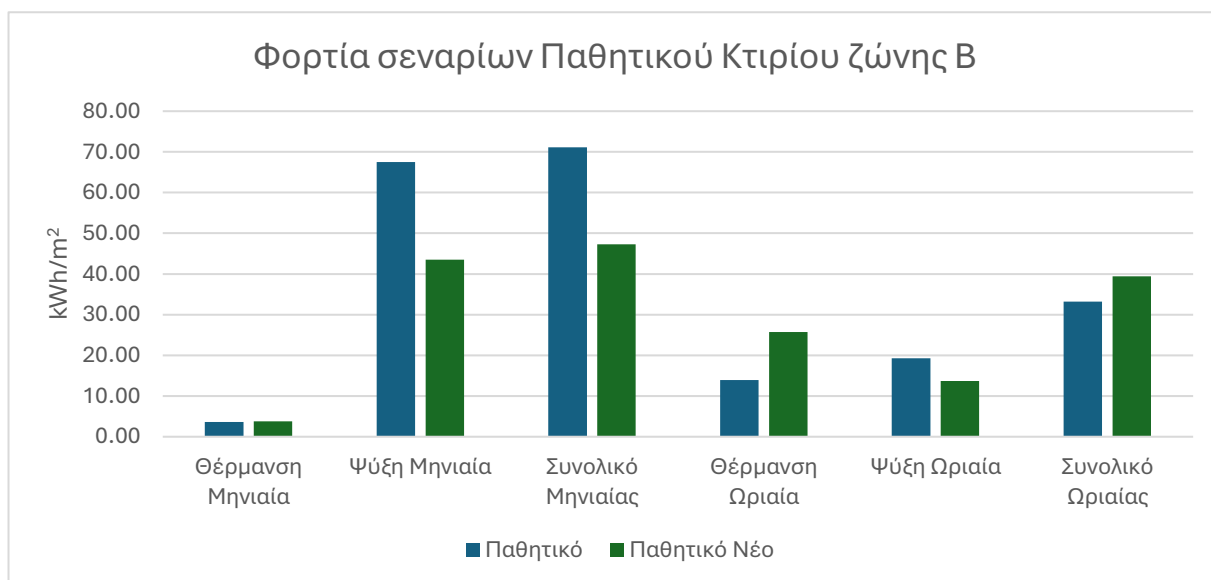
Όπως φαίνεται στο πίνακα 10, η αύξηση του αερισμού κατά 112.56 m³/h, επέφερε μείωση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα κατά 2124 ppm, της τάξης του 72%. Όπως αναφέρθηκε η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα, δεν επηρεάζεται από την

κλιματική ζώνη, όμως η αύξηση του αερισμού αναμένεται να επιφέρει αύξηση των ενεργειακών φορτίων.

Στον πίνακα 11 παρουσιάζονται τα νέα ενεργειακά φορτία του Παθητικού Κτιρίου στη Ζώνη Β, Αθήνα Ελληνικό μετά τις νέες παρεμβάσεις.

Πίνακας 11. Νέα Ενεργειακά Φορτία Ζώνη Β, Παθητικού Κτιρίου.

	Παθητικό (Πριν)		Παθητικό (Μετά)	
Ζώνη Β				
Μηνιαία Ανάλυση	3.60	Θέρμανση Ετήσιο	3.8	kWh/m ²
	67.50	Ψύξη Ετήσιο	43.5	
	71.10	Συνολικό Ετήσιο	47.30	
Ωριαία Ανάλυση	13.96	Θέρμανση Ετήσιο	25.73	
	19.28	Ψύξη Ετήσιο	13.66	
	33.24	Συνολικό Ετήσιο	39.39	



Διάγραμμα 30. Ενεργειακά Φορτία Παθητικών Κτιρίων Ζώνης Β

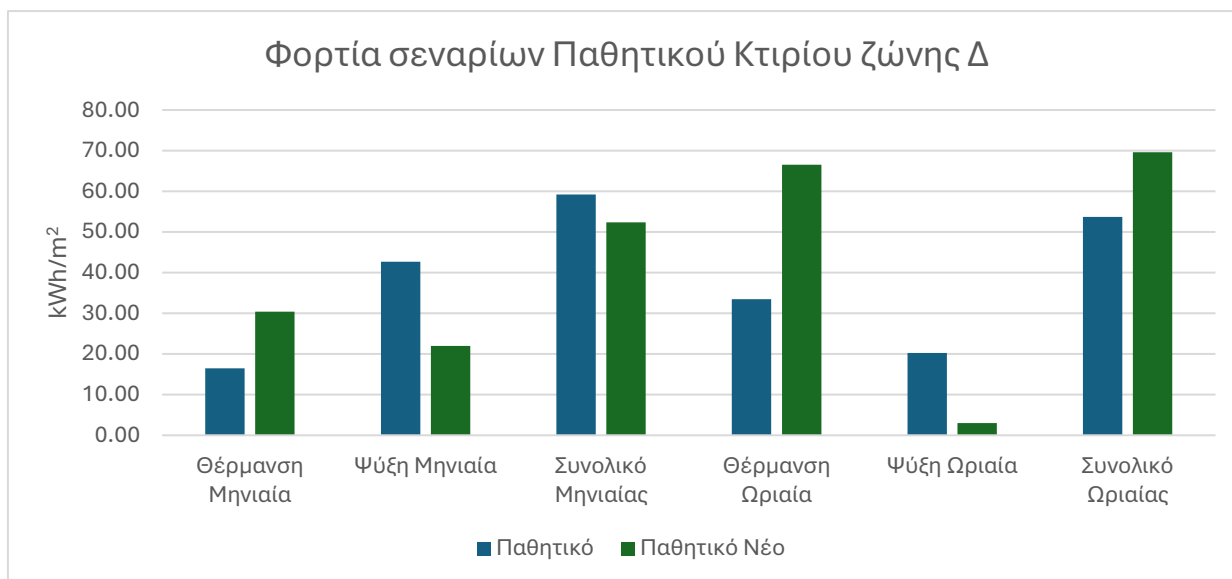
Για την μηνιαία ανάλυση στη ζώνη Β (Αθήνα - Ελληνικό), οι παρεμβάσεις επέφεραν μείωση στο φορτίο Ψύξης, κατά 23.8 kWh/m², μόνο μέσω της εγκατάστασης σκίαστρων στα διαφανή δομικά στοιχεία και στην οροφή. Έτσι γίνεται μια επιθυμητή μείωση του φορτίου της Ψύξης, χωρίς την δαπάνη περιττής ενέργειας. Η αύξηση του αερισμού, όμως επηρεάζει και τα δύο φορτία. Το φορτίο της Θέρμανσης αυξήθηκε κατά 0.2 kWh/m². Συνεπώς το κέλυφος παρά την αύξηση του αερισμού, καταφέρνει να διατηρεί την θερμική άνεση και να έχει αποδεκτή συγκέντρωση ,πλέον, του διοξειδίου του άνθρακα.

Για την ωριαία ανάλυση στη ζώνη Β, Αθήνα Ελληνικό, η αύξηση του αερισμού επέφερε αύξηση του φορτίου της Θέρμανσης κατά 11.77 kWh/m². Η ωριαία ανάλυση χρησιμοποιώντας ωριαίες τιμές του εξωτερικού αέρα, λαμβάνει καλύτερα την μετάδοση θερμότητας που πραγματοποιείται λόγω του αερισμού, την χειμερινή περίοδο καθώς ο εισερχόμενος αέρας έχει σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες. Συνεπώς, η αύξηση του φορτίου της Θέρμανσης γίνεται με σκοπό την θέρμανση του εισερχόμενου αέρα. Το φορτίο της ψύξης μειώθηκε κατά 3.76 kWh/m². Η τοποθέτηση των σκίαστρων και η αύξηση του αερισμού, επέφερε την μείωση του μέσω οικολογικών παρεμβάσεων.

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων για την ζώνη Δ Κοζάνη παρουσιάζονται στον πίνακα 12.

Πίνακας 12. Νέα Ενεργειακά Φορτία Ζώνης Δ, Παθητικού Κτιρίου.

	Παθητικό(Πριν)	Παθητικό (Μετά)		
Ζώνη Δ				
Μηνιαία Ανάλυση	16.50	Θέρμανση Ετήσιο	30.4	kWh/m ²
	42.70	Ψύξη Ετήσιο	22	
	59.20	Συνολικό Ετήσιο	52.40	
Ωριαία Ανάλυση	33.49	Θέρμανση Ετήσιο	66.57	
	20.23	Ψύξη Ετήσιο	3.03	
	53.72	Συνολικό Ετήσιο	69.60	



Διάγραμμα 31. Ενεργειακά Φορτία Παθητικών Κτιρίων Ζώνης Δ

Για την μηνιαία ανάλυση στη ζώνη Δ, Κοζάνη, το φορτίο Θέρμανσης αυξήθηκε κατά 13.9 kWh/m^2 , η αύξηση οφείλεται στην αύξηση του αερισμού. Η κλιματική Ζώνη Δ, έχει χαμηλότερες θερμοκρασίες εξωτερικού αέρα κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου. Συνεπώς, ο νέος αερισμός οφείλεται για την αύξηση του φορτίου Θέρμανσης. Το φορτίο της Ψύξης, μειώθηκε κατά 20.7 kWh/m^2 , οι παρεμβάσεις που γίνανε απόφεραν θετικά αποτελέσματα.

Για την ωριαία ανάλυση, το φορτίο της Θέρμανσης αυξήθηκε κατά 31.79 kWh/m^2 . Η αύξηση αυτή συνδέεται άμεσα με την αύξηση του αερισμού καθώς όπως αναφέρθηκε την χειμερινή περίοδο η θερμοκρασίες του εξωτερικού αέρα είναι πιο χαμηλές. Το φορτίο της Ψύξης σημείωσε μεγάλη μείωση 17.84 kWh/m^2 . Σε αυτή τη περίπτωση είναι η μεγαλύτερη μείωση που σημειώθηκε λόγω των παρεμβάσεων, καταλήγοντας σε 3.03 kWh/m^2 για φορτίο Ψύξης.

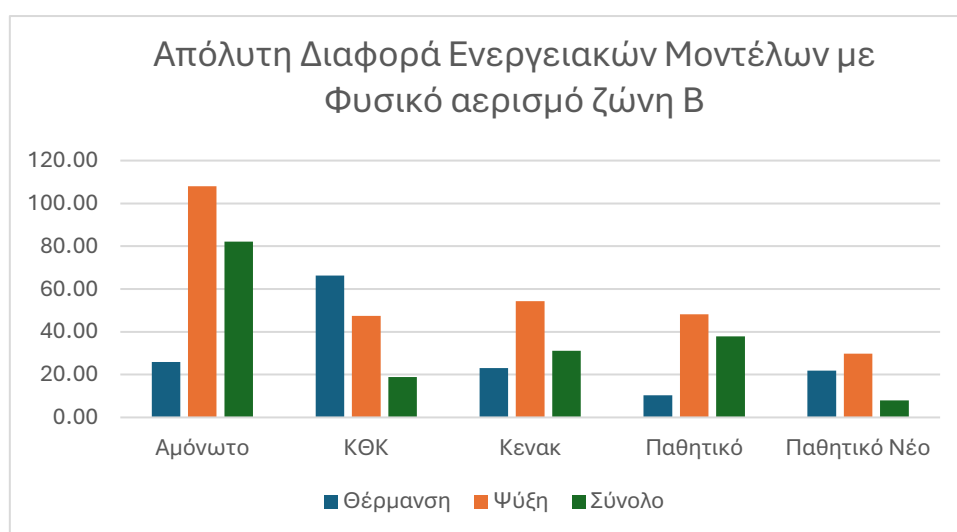
Εν κατακλείδι, με την τοποθέτηση σκίαστρων στα διαφανή δομικά στοιχεία και στην οροφή, η μείωση του φορτίου της Ψύξης μειώνεται με μια οικολογική παρέμβαση, χωρίς την δαπάνη περιττής ενέργειας για την επίτευξη της θερμικής άνεσης κατά την καλοκαιρινή περίοδο. Η αύξηση του αερισμού, πέρα από τη μείωση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα, απέφερε αύξηση του φορτίου της θέρμανσης και στις δύο περιπτώσεις, με χαρακτηριστικό παράδειγμα της ζώνης Δ. Η αύξηση αυτή τονίζει την αναγκαιότητα της ύπαρξης εναλλάκτη θερμότητας στον μηχανικό αερισμό, καθώς η αύξηση του φορτίου της Θέρμανσης συνδέεται με την ανάγκη για την θέρμανση του εξωτερικού αέρα που εισέρχεται στο κέλυφος.

Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας, με την ενεργειακή αναβάθμιση ενός κτιρίου πρέπει να λαμβάνονται κι άλλοι παράγοντες υπόψη καθώς με τα υψηλά επίπεδα θερμομόνωσης, η θερμοχωρητικότητα του κτιρίου αυξάνεται και φέρει σαν αποτέλεσμα θερμότητα να αποθηκεύεται στις θερμομονωτικές πλάκες κατά την διάρκεια της μέρας και να απελευθερώνεται κατά τη διάρκεια της νύχτας. Το γεγονός αυτό μπορεί να δράσει θετικά τους χειμερινούς μήνες μειώνοντας το φορτίο της Θέρμανσης αλλά τους καλοκαιρινούς μήνες δρα αρνητικά αυξάνοντας το φορτίο της Ψύξης.

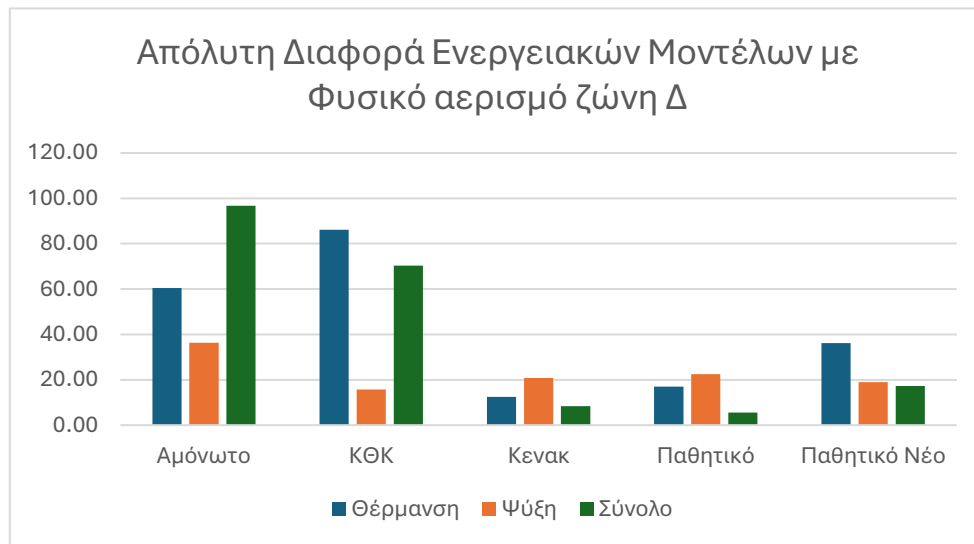
Τα δύο ενεργειακά μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν παρουσίασαν διαφορές στα ενεργειακά φορτία που υπολόγισαν. Η μεγαλύτερη απόκλιση παρατηρήθηκε για το σενάριο του ΚΘΚ, ενώ στα Σενάρια του ΚΕΝΑΚ και του Παθητικού, πριν και μετά, η απόκλιση να είναι η μικρότερη. Οι αποκλίσεις που παρατηρήθηκαν είναι σε αποδεκτά όρια. Οι αναλύσεις στη κλιματική ζώνη Δ παρουσίασαν την μικρότερη απόκλιση.

Η αύξηση της θερμομόνωσης αποφέρει αύξηση του φορτίου Ψύξης, γεγονός που οφείλεται πως τα ηλιακά θερμικά κέρδη που δεν μπορούν να διαφύγουν λόγω θερμομόνωσης και της καλής αεροστεγανότητας. Η καλή αεροστεγανότητα, ενώ παρέχει πολλά οφέλη, ελλοχεύουν παράμετροι που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στον σχεδιασμό μια καινούργιας κατοικίας. Ένας ακόμα σημαντικός παράγοντας είναι η αεροστεγανότητα διότι με την βελτίωση των κουφωμάτων, μειώνονται οι απώλειες από χαραμάδες, δηλαδή ο φυσικός αερισμός. Αν δεν ληφθεί υπόψη, τα επίπεδα του διοξειδίου του άνθρακα θα είναι πολύ αυξημένα αλλά και της υγρασίας για παράδειγμα.



Διάγραμμα 32. Απόλυτη Διαφορά Ενεργειακών Μοντέλων με Φυσικό αερισμό ζώνη Β.

Τα αποτελέσματα των δύο αναλύσεων αποκλίνουν μεταξύ τους, το οποίο είναι αναμενόμενο καθώς χρησιμοποιούν διαφορετικά δεδομένα. Αυτό που παρατηρήθηκε είναι πως στην ζώνη Β η μικρότερη συνολική απόκλιση των δύο μοντέλων είναι στο σενάριο του Νέου Παθητικού.



Διάγραμμα 33 . Απόλυτη Διαφορά Ενεργειακών Μοντέλων με Φυσικό αερισμό ζώνη Δ

Στην κλιματική Ζώνη Δ, η μικρότερη συνολική απόκλιση ήταν στο σενάριο του Παθητικού. Στο σενάριο του ΚΕΝΑΚ, τα δύο μοντέλα υπολόγισαν τα ενεργειακά φορτία σε πολύ καλό βαθμό. Οπότε, και τα δύο μοντέλα στη κλιματική Ζώνη Δ υπολογίζουν με σχετική ακρίβεια τα ενεργειακά φορτία. Στη κλιματική Ζώνη Β, λόγω της υψηλής ηλιακής ακτινοβολίας οι υπολογισμοί που ακολουθούν διαφέρουν, συνεπώς και διαφορετικά αποτελέσματα.

Η τήρηση του κανονισμού του Παθητικού Ινστιτούτου, απέφερε σημαντική μείωση στα ενεργειακά φορτία, όπως ήταν αναμενόμενο, και στις δύο κλιματικές ζώνες. Το μέγιστο όριο στο φορτίο της Θέρμανσης είναι 15 kWh/m² και στο φορτίο της Ψύξης είναι 20 kWh/m². Στο σενάριο του Νέου Παθητικού στη ζώνη Β σε καμία από τις δύο αναλύσεις δε τηρεί αυτά τα όρια, το ίδιο επίσης και στη ζώνη Δ.

Το σενάριο του Παθητικού σενάριο ενώ απέφερε την μείωση που αναμενόταν στα ενεργειακά φορτία, η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα βρίσκεται σε πολύ υψηλό επίπεδο, γεγονός που επιβάλλει την αύξηση του αερισμού. Οι παρεμβάσεις που γίνανε αποφέρανε το επιθυμητό αποτέλεσμα της μείωσης του φορτίου της Ψύξης, μέσω της τοποθέτησης σκιάστρων και αύξηση αερισμού. Η τοποθέτηση των σκιάστρων είναι μόνο για την καλοκαιρινή περίοδο, όμως η αύξηση του αερισμού είναι για όλο τον χρόνο.

Έχοντας, αυξήσει τον αερισμό, μειώνεται η συγκέντρωση του διοξειδίου αλλά με το κόστος της αύξησης του φορτίου Θέρμανση. Γεγονός που υποδεικνύει την αναγκαιότητα του εναλλάκτη θερμότητας στον μηχανικό αερισμό. Με κατάλληλες παρεμβάσεις το φορτίο της Ψύξης μειώθηκε με παρεμβάσεις χωρίς περιττή δαπάνη ενέργειας, αναδεικνύοντας την αποτελεσματικότητα των παθητικών τεχνικών.

Συμπερασματικά, τα παθητικά κτίρια παρουσιάζουν αξιοσημείωτο δυναμικό μειωμένης ενεργειακής ζήτησης, θα πρέπει όμως να λαμβάνεται υπόψη η ανάγκη επάρκειας αερισμού, ώστε να ικανοποιούνται τα κριτήρια ποιότητας αέρα, ενώ και παθητικές παρεμβάσεις μείωσης των φορτίων ψύξης είναι σημαντικές.

Βιβλιογραφία

- [1] In focus: Energy efficiency in buildings. (2020, February 17). European Commission. https://commission.europa.eu/news/focus-energy-efficiency-buildings-2020-02-17_en
- [2] Air. (2024, February 20). Environment. https://environment.ec.europa.eu/topics/air_en
- [3] Camarasa, C., Nägeli, C., Salzer, C., Saraf, S., & Ostermeyer, Y. (2015). Specific barriers to massive scale energetic refurbishment for sample markets in Europe. 8th Conference of the International Forum on Urbanism (. <https://doi.org/10.3390/ifou-e010>
- [4] EUR-LEX - 52020DC0662 - EN - EUR-LEX. (n.d.). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0662>
- [5] Passive House Institute Dr. Wolfgang Feist. (n.d.). Passivhaus Institut. Passive House Institute. https://passivehouse.com/02_informations/01_what_is_a_passive_house/01_what_is_a_passive_house.htm
- [6] Ελληνικό Ινστιτούτο Παθητικής Κατοικίας. (n.d.). Κριτήρια πιστοποίησης για τα πρότυπα Passive House, ENERPHIT και PHI Κτίριο χαμηλής ενέργειας. https://eipak.org/wp-content/uploads/2020/09/Κριτήρια%20Πιστοποίησης%20Παθητικών%20Κτιρίων%20V2_2019.pdf
- [7] Cahill, D. G., Goodson, K., & Majumdar, A. (n.d.). Thermometry and thermal transport in Micro/Nanoscale Solid-State devices and structures. Journal of Heat Transfer. <https://doi.org/10.1115/1.1454111>
- [8] Stankus, S. V., Savchenko, I. V., & Agazhanov, A. S. (2012). Thermal conductivity and thermal diffusivity of liquid Indium–Tin alloys. International Journal of Thermophysics, 33(5), 774–782. <https://doi.org/10.1007/s10765-012-1192-2>
- [9] Lin, W., Chen, W., & Shu, C. (2019). Thermal stability evaluation of multiple tubes of fireworks by calorimetry approaches. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 138(4), 2883–2890. <https://doi.org/10.1007/s10973-019-08496-y>
- [10] Marinovski, D. L., Güths, S., & Lamberts, R. (2012). Development of a calorimeter for determination of the solar factor of architectural glass and fenestrations. Building and Environment, 47, 232–242. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.07.017>
- [11] ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ. (n.d.). ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΕΘΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΤΗΡΙΩΝ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΚΔΟΣΗ ΤΟΥ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΤΙΚΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ. https://www.kenak.gr/files/TOTEE_20701-1_2017.pdf

- [12] US EPA. n.d. Introduction to Indoor Air Quality | US EPA. [online] Available at: <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/introduction-indoor-air-quality> [Accessed 15 September 2021].
- [13] López, L., Dessì, P., Cabrera-Codony, A., Rocha-Melogno, L., Kraakman, B., Naddeo, V., Balaguer, M., & Puig, S. (n.d.). CO₂ in indoor environments: From environmental and health risk to potential renewable carbon source. *Science of the Total Environment*, 856, 159088. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159088>
- [14] ASHRAE Journal - September 2019. (n.d.). https://www.nxtbook.com/nxtbooks/ashrae/ashraejournal_201909/index.php#/p/70
- [15] Australian Building Codes Board. (n.d.). Indoor air quality. <https://www.abcb.gov.au/sites/default/files/resources/2021/Handbook-Indoor-Air-Quality.pdf>
- [16] Education, U. C. F. S. (n.d.). Carbon dioxide | Center for Science Education. UCAR. <https://scied.ucar.edu/learning-zone/how-climate-works/carbon-dioxide>
- [17] Cost Efficient Passive Houses as European Standards. (2001). *COST EFFICIENT PASSIVE HOUSES AS EUROPEAN STANDARDS*. https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/nw_pdf/fofo/fofo2_01_en.pdf
- [18] Rockwool. (n.d.). *Cool 'n' Comfort™ Blanket and Slab*. rockwool.com. <https://p-cdn.rockwool.com/syssiteassets/rw-sa/product-documentation/product/building-insulation/data-sheets/cool-n-comfort/cool-n-comfort-data-sheet.pdf?f=20201025055933>
- [19] Environmental Product Declaration. (n.d.). *FOAMULAR® Extruded Polystyrene (XPS) Insulation*. <https://www2.owenscorning.com/literature/pdfs/10018927.pdf>
- [20] BASF Polyurethane. (n.d.). *WALLTITE US® SERIES BUILDING ENVELOPE INSULATION ICC-ES ESR-2642, INTERTEK CCRR-1031*. https://insights.basf.com/files/pdf/TDS_Walltite_US_071917.pdf
- [21] *FOAMULAR® & FOAMULAR® NGX® 250*. (n.d.). <https://www.owenscorning.com>. <https://dcpd6wotaa0mb.cloudfront.net/mdms/dms/EIS/43522/43522-FOAMULAR-250-XPS-Insulation-Product-Data-Sheet.pdf?v=1717609528000>
- [22] *STEICO Insulation Materials*. (n.d.). <https://www.steico.com/en/solutions/product-advantages/steico-insulation-materials>

[23] Straube, J. F., & Burnett, E. F. P. (2005). *Building Science for Building Enclosures*. Building Science Press.

European Insulation Manufacturers Association (EURIMA). (n.d.). Insulation materials. Retrieved from <https://www.eurima.org/insulation-materials>

[24] European Commission, Directorate-General For Energy. EU energy in figures- Statistical pocketbook 2023. Publications Office of the European Union. 2023. Available at: <https://data.europa.eu/doi/10.2833/502436>

[25] Eurostat. Energy Statistics – an overview. 2021. Available at: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?Title=Energy_statistics_-_an_overview#Primary_energy_production

[26] Participation, E. (n.d.). *Warm Homes and Energy Conservation Act 2000*. <https://www.legislation.gov.uk/ukpga/2000/31/introduction?view=extent>

[27] Curtis, A. P. M. T. R. J. (2022). Fuel poverty in Ireland: an analysis of trends and profiles. *ESRI*. <https://www.esri.ie/publications/fuel-poverty-in-ireland-an-analysis-of-trends-and-profiles>

[28] Eurostat. (n.d.). *Energy statistics - an overview*. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_statistics_-_an_overview

[29] *Gebaute Passivhaus Projekte / Beispiele Passivhäuser weltweit*. (n.d.). https://passivehouse-database.org/#d_5065

[30] Υπουργείο Ενέργειας και Περιβάλλον. Ετήσια Ενεργειακά Στοιχεία 2022 <https://ypen.gov.gr/energeia/statistika-stoicheia/>

