



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Τομέας Θερμότητας

Εργαστήριο Ατμοκινητήρων & Λεβήτων

Διπλωματική Εργασία

**Ενεργειακή Μελέτη του Τυπικού Κτιρίου Γραφείων
με Χρήση του Λογισμικού Autodesk Revit**

Κλεοπάτρα Αναγνωστοπούλου

Επιβλέπων: Σωτήριος Καρέλλας, Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Φεβρουάριος 2024



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS

SCHOOL OF MECHANICAL ENGINEERING

Thermal Engineering Section

Laboratory of Steam Boilers & Thermal Plants

Diploma Thesis

Energy Study of the Typical Office Building Using Autodesk Revit Software

Kleopatra Anagnostopoulou

Supervisor: Sotirios Karellas, Professor NTUA

Athens, February 2024

Ευχαριστίες

Με την παρούσα διπλωματική εργασία ολοκληρώνεται ο κύκλος των σπουδών μου στη Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Καταρχήν, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής μου εργασίας, κ. Σωτήριο Καρέλλα, για την ανάθεση του συγκεκριμένου θέματος, μέσα από το οποίο είχα την ευκαιρία να αποκομίσω ενδιαφέρουσες γνώσεις και να εμβαθύνω στην θερμική συμπεριφορά των κτιρίων. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ. Πλάτωνα Πάλλη για την καθοδήγηση και τη βοήθειά του σε όλα τα στάδια της διπλωματικής εργασίας. Ένα ιδιαίτερο ευχαριστώ οφείλω στην Επαμεινώντια Αγγέλου και στον Παναγιώτη Ρηγόπουλο για την άψογη συνεργασία, τον πολύτιμο χρόνο που αφιέρωσαν και την προθυμία τους να με βοηθήσουν ανά πάσα χρονική στιγμή. Η συμβολή τους ήταν καθοριστικής σημασίας για την περάτωση της παρούσας εργασίας.

Δεν θα μπορούσα να παραλείψω να ευχαριστήσω τους φίλους μου και συνοδοιπόρους στα φοιτητικά μου χρόνια, οι οποίοι μου πρόσφεραν πολλές όμορφες στιγμές και αναμνήσεις για το μέλλον. Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένειά μου που με τη συμπαράσταση, τη βοήθεια και την αγάπη της αποτελεί στήριγμα σε κάθε μου εγχείρημα.

Υπεύθυνη δήλωση για λογοκλοπή και για κλοπή πνευματικής ιδιοκτησίας:

Έχω διαβάσει και κατανοήσει τους κανόνες για τη λογοκλοπή και τον τρόπο σωστής αναφοράς των πηγών που περιέχονται στον οδηγό συγγραφής Διπλωματικών Εργασιών. Δηλώνω ότι, από όσα γνωρίζω, το περιεχόμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι προϊόν δικής μου εργασίας και υπάρχουν αναφορές σε όλες τις πηγές που χρησιμοποίησα.

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

Κλεοπάτρα Αναγνωστοπούλου

Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη	1
Abstract.....	2
Αρκτικόλεξα.....	3
1. Εισαγωγή.....	4
1.1 Ο ρόλος του κτιριακού τομέα στην περιβαλλοντική και ενεργειακή κρίση στην Ευρωπαϊκή Ένωση	4
1.2 Κτιριακός τομέας στην Ελλάδα	8
1.2.1 Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (KENAK).....	8
1.2.2 Χαρακτηριστικά κτιριακού αποθέματος στην Ελλάδα.....	12
1.3 Υπολογιστικές μέθοδοι ενεργειακής προσομοίωσης κτιρίων.....	17
2. Τυπικό κτίριο γραφείων	23
2.1 Ορισμός τυπικού κτιρίου γραφείων	23
2.2 Δεδομένα και παραδοχές για τη προσομοίωση του τυπικού κτιρίου γραφείων	25
2.2.1 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά και χωροθέτηση του τυπικού κτιρίου γραφείων.....	25
2.2.2 Θερμικές ζώνες και συνθήκες λειτουργίας του τυπικού κτιρίου γραφείων.....	30
2.2.3 Θερμοφυσικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του τυπικού κτιρίου γραφείων	34
3. Ενεργειακή μελέτη του τυπικού κτιρίου γραφείων με τη χρήση του λογισμικού Autodesk Revit.....	43
3.1 Μοντέλα Δομικών Πληροφοριών & λογισμικό Autodesk Revit	43
3.2 Διαδικασία προσομοίωσης τυπικού κτιρίου γραφείων στο λογισμικό Autodesk Revit.....	44
3.3 Αποτελέσματα Autodesk Revit.....	50
4. Ενεργειακή μελέτη τυπικού κτιρίου γραφείων μέσω του λογισμικού TEE KENAK.....	56
4.1 Λογισμικό TEE KENAK	56
4.2 Διαδικασία προσομοίωσης τυπικού κτιρίου γραφείων στο λογισμικό TEE KENAK.....	57
4.3 Αποτελέσματα TEE KENAK.....	61
5. Σύγκριση αποτελεσμάτων Autodesk Revit και TEE KENAK.....	67
6. Παρεμβάσεις ενεργειακής αναβάθμισης του τυπικού κτιρίου γραφείων.....	71
6.1 Αρχές βιοκλιματικού σχεδιασμού.....	71
6.2 Παρεμβάσεις στα συστήματα φωτισμού και στο κτιριακό κέλυφος	75
6.3 Συστήματα ηλιοπροστασίας.....	77
6.4 Φύτευση επιφανειών	83

6.5 Απεικόνιση της ενεργειακής αναβάθμισης του τυπικού κτιρίου γραφείων έπειτα από συνδυασμό των προτεινόμενων παρεμβάσεων	89
7. Συμπεράσματα	91
8. Προτάσεις μελλοντικής έρευνας	93
Κατάλογος Σχημάτων	94
Κατάλογος Πινάκων	97
Βιβλιογραφία	99

Περίληψη

Στη σύγχρονη εποχή, η παγκόσμια περιβαλλοντική και ενεργειακή κρίση επιβάλλουν τη λήψη δραστικών μέτρων για τον περιορισμό των ενεργειακών καταναλώσεων στα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Στην Ελλάδα το κτιριακό απόθεμα αποτελεί έναν ιδιαίτερα ενεργοβόρο τομέα, ο οποίος ευθύνεται για το 42.1% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας στη χώρα. Για αυτό το λόγο, αδιαμφισβήτητη κρίνεται η αναγκαιότητα ριζικής αναβάθμισης του γηρασμένου ελληνικού κτιριακού αποθέματος και η μετατροπή του σε υψηλής ενεργειακής απόδοσης και απαλλαγμένο από ανθρακούχες εκπομπές κτιριακό δυναμικό, μέσω τεχνοοικονομικά βέλτιστων προσεγγίσεων ανακαίνισης.

Στόχο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η επισκόπηση των ενεργειακών απαιτήσεων του εθνικού κτιριακού αποθέματος με χρήση γραφείων, μέσω του υπολογισμού των ενεργειακών απαιτήσεων σε θέρμανση, ψύξη και φωτισμό του τυπικού κτιρίου γραφείων, ως συνάρτηση της χρονικής περιόδου δόμησης και της κλιματικής ζώνης στην οποία ανήκει. Επιπλέον, διερευνώνται οι παρεμβάσεις που μπορούν να εφαρμοστούν για την ενεργειακή αναβάθμιση του κτιρίου.

Η προσομοίωση του κτιρίου και οι υπολογισμοί των ενεργειακών απαιτήσεων γίνονται με χρήση του λογισμικού Autodesk Revit. Το τυπικό κτίριο γραφείων διαθέτει καθορισμένη γεωμετρία και συγκεκριμένα χαρακτηριστικά λειτουργίας. Οι παράμετροι που διαφοροποιούν το κτίριο ανά χρονική περίοδο δόμησης και κλιματική ζώνη και επηρεάζουν τις ενεργειακές απαιτήσεις του, αφορούν τα κατασκευαστικά και θερμοφυσικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων (συντελεστής θερμοπερατότητας αδιαφανών και διαφανών δομικών στοιχείων, πάχος θερμομονωτικής στρώσης, συντελεστής ηλιακού θερμικού κέρδους διαφανών στοιχείων) και τις συνθήκες λειτουργίας του κτιρίου (εγκατεστημένη ισχύς φωτισμού, παροχή αθέλητου αερισμού).

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι ενεργειακές απαιτήσεις του κτιρίου όπως είχαν προκύψει μέσω της προσομοίωσης στο λογισμικό TEE KENAK. Τα αποτελέσματα των δύο λογισμικών συγκρίνονται μεταξύ τους και ερμηνεύονται τυχόν αποκλίσεις.

Τέλος, γίνεται αναφορά στις βασικές αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού και μελετάται η μεταβολή των ετήσιων ενεργειακών απαιτήσεων για θέρμανση και ψύξη ύστερα από την εφαρμογή ορισμένων παρεμβάσεων ενεργειακής αναβάθμισης του τυπικού κτιρίου γραφείων: χρήση φωτιστικών τεχνολογίας LED, αύξηση της θερμομονωτικής στρώσης, αντικατάσταση των υαλοπινάκων, τοποθέτηση συστημάτων ηλιοπροστασίας, φύτευση του δώματος και των όψεων του κτιρίου.

Abstract

Nowadays, the global environmental and energy crisis necessitate the implementation of drastic measures to limit energy consumption in the member states of the European Union. In Greece, the building sector constitutes a particularly energy-intensive area, responsible for 42.1% of the country's final energy consumption. Therefore, the necessity of radically upgrading the aging Greek building stock and converting it into high-energy performance and carbon-free buildings, through techno-economically optimal renovation approaches, is unquestionable.

The aim of this thesis is to review the energy requirements of the national office building stock, by calculating the energy demands for heating, cooling, and lighting of the typical office building as a function of the period of construction and the climatic zone to which it belongs. Additionally, interventions that can be applied for the energy upgrade of the building are explored.

The building simulation and energy requirement calculations are performed using Autodesk Revit software. The typical office building has defined geometry and specific operation characteristics. Parameters that differentiate the building across construction periods and climatic zones and affect its energy requirements include the construction and thermophysical characteristics of the structural components (thermal transmittance of opaque and transparent structural components, thickness of thermal insulation layer, solar heat gain coefficient of transparent components), and the building's operating conditions (installed lighting power, infiltration).

Subsequently, the energy requirements of the building are presented as derived from the simulation in the TEE KENAK software. The results of the two software programs are compared and any discrepancies are interpreted.

Finally, the basic principles of bioclimatic design, and the change in annual energy requirements for heating and cooling after the implementation of certain interventions for the energy upgrade of the typical office building are studied: use of LED lights, increase in thermal insulation layer, upgrade of the glazing type, installation of sun protection systems, green roof, and green facades.

Αρκτικόλεξα

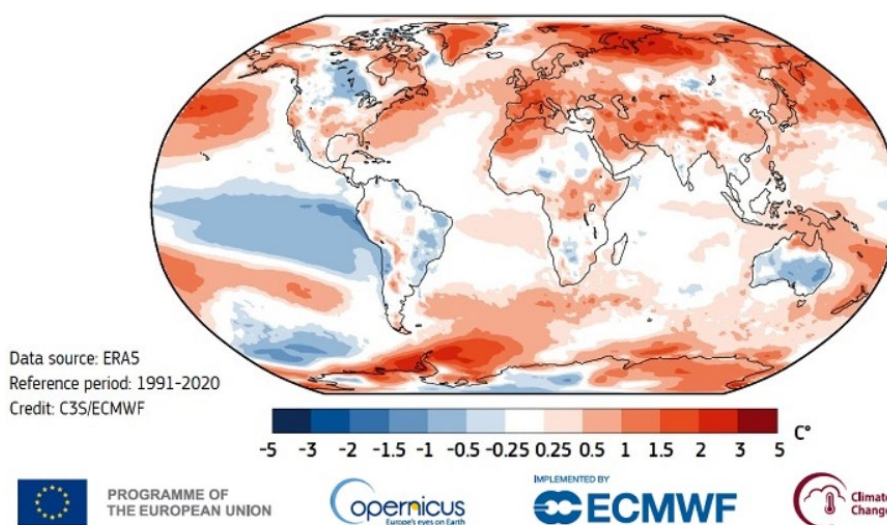
ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
ΕΕ	Ευρωπαϊκή Ένωση
ΕΛΣΤΑΤ	Ελληνική Στατιστική Αρχή
ΕΣΕΚ	Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα
Θ.Χ.	Θερμαινόμενος Χώρος
ΚΕΝΑΚ	Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων
Κ.Ζ.	Κλιματική Ζώνη
ΚΘΚ	Κανονισμός Θερμομόνωσης Κτιρίων
ΚΣΜΚΕ	Κτιρίων Σχεδόν Μηδενικής Κατανάλωσης Ενέργειας
Μ.Θ.Χ.	Μη Θερμαινόμενος Χώρος
ΝΟΚ	Νέος Οικοδομικός Κανονισμός
Ο/Σ	Οπλισμένο Σκυρόδεμα
ΠΕΑ	Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης
ΤΕΕ	Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας
ΤΟΤΕΕ	Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας
Χ.Π.	Χρονική Περίοδος
BIM	Building Information Modeling
EU BSO	European Union Building Stock Observatory
NREL	National Renewable Energy Laboratory
TMY	Typical Meteorological Year

1. Εισαγωγή

1.1 Ο ρόλος του κτιριακού τομέα στην περιβαλλοντική και ενεργειακή κρίση στην Ευρωπαϊκή Ένωση

Στη σύγχρονη εποχή η κλιματική αλλαγή αποτελεί ένα αναντίρρητο γεγονός. Η πρωτοφανής αύξηση της θερμοκρασίας (Σχήμα 1.1), η μεταβολή των χαρακτηριστικών των βροχοπτώσεων, το λιώσιμο των πάγων και η αύξηση της παγκόσμιας στάθμης της θάλασσας συνιστούν μερικά μόνο από τα παραδείγματα που αποδεικνύουν καθημερινά την ύπαρξη και την ένταση του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής [1]. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι η θερμοκρασία του πλανήτη έχει αυξηθεί κατά περίπου 1.2 °C, συγκρινόμενη με το θερμοκρασιακό επίπεδο που επικρατούσε πριν τη βιομηχανική εποχή, ενώ η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (IPPC) προειδοποιεί ότι η υπερθέρμανση του πλανήτη κατά 1.5 °C θα σηματοδοτήσει σοβαρές και μη αναστρέψιμες επιπτώσεις για το περιβάλλον και την κοινωνία [2].

Το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής αποδίδεται κατά κύριο λόγο στην παρατηρούμενη αύξηση των ατμοσφαιρικών συγκεντρώσεων αερίων του θερμοκηπίου, με σημαντικότερο το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), ως αποτέλεσμα των εκπομπών που προέρχονται από ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως η καύση ορυκτών καυσίμων για παραγωγή ενέργειας. Στα πλαίσια αντιμετώπισης του φαινομένου, η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) προτείνει σχέδιο για περιορισμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 55% έως το 2030, με στόχο η Ευρώπη να καταστεί η πρώτη κλιματικά ουδέτερη ήπειρος έως το 2050 [2]. Ως απόρροια των παραπάνω, το βλέμμα στρέφεται στην παραγωγή και κατανάλωση ενέργειας στα κράτη-μέλη της ΕΕ, και στους μετασχηματισμούς που πρέπει να γίνουν σε αυτό τον τομέα για αντιμετώπιση της περιβαλλοντικής κρίσης. Άλλωστε ο προσανατολισμός της ΕΕ δεν περιορίζεται μόνο στην επικράτηση περιβαλλοντικά φιλικών πηγών ενέργειας, αλλά και στην αυτή καθαυτή μείωση των ενεργειακών καταναλώσεων.

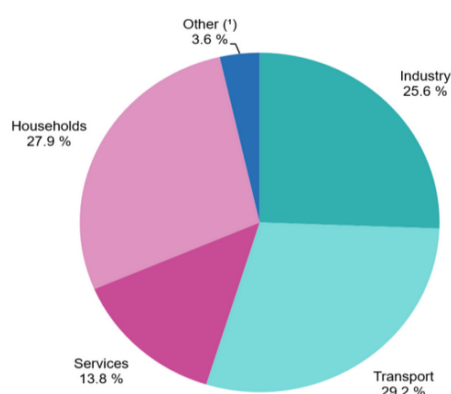


Σχήμα 1.1: Θερμοκρασιακή διαφορά σε ύψος δύο μέτρων για το έτος 2022 σε σύγκριση με τη μέση τιμή θερμοκρασίας τη περίοδο 1991-2020 [3].

Παράλληλα, η περιβαλλοντική κρίση συνοδεύεται από μια παγκόσμια ενεργειακή κρίση, η οποία χαρακτηρίζεται από έλλειψη ενεργειακών πόρων και αλματώδη αύξηση των τιμών της ενέργειας. Η στρατιωτική επίθεση της Ρωσίας κατά της Ουκρανίας και η εργαλειοποίηση του εφοδιασμού με φυσικό αέριο από τη Ρωσία οδήγησαν σε μια πρωτοφανή άνοδο των τιμών της ενέργειας κατά 35% το 2022, αφού η χονδρική τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας στην εσωτερική αγορά της ΕΕ συνδέεται άμεσα με τη τιμή του φυσικού αερίου [4]. Σε αυτά τα πλαίσια, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ενέκρινε ένα ευρωπαϊκό σχέδιο για μείωση της ζήτησης του φυσικού αερίου κατά 15%, βασικός πυλώνας του οποίου αποτελούν τα έκτακτα μέτρα για μείωση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας. Τίθεται στόχος για μείωση της συνολικής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας κατά 10 % και υποχρέωση για μείωση της ζήτησης στις ώρες αιχμής κατά 5 % [5].

Σύμφωνα με τα πιο πρόσφατα στατιστικά δεδομένα της Eurostat, με έτος αναφοράς το έτος 2021, η τελική ενεργειακή κατανάλωση των 27 κρατών που απαρτίζουν την ΕΕ ανήλθε στους 885.1 εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου πετρελαίου (Μtoe), αριθμός εξαιρετικά υψηλός αλλά παρ' όλα αυτά μειωμένος κατά 4% σε σχέση με την αντίστοιχη ενεργειακή κατανάλωση το 2000 [6]. Τα δύο τρίτα της συνολικής διαθέσιμης ενέργειας της ΕΕ καταναλώνονται από τους τελικούς χρήστες (τελική κατανάλωση ενέργειας), όπως για παράδειγμα τους ευρωπαϊκούς πολίτες, τη βιομηχανία και τις μεταφορές. Το υπόλοιπο ένα τρίτο αφορά τις ιδιοκαταναλώσεις του ενεργειακού τομέα και τις απώλειες που σημειώνονται κατά μετατροπή και διανομή ενέργειας, καθώς και τις μη ενεργειακές χρήσεις των φορέων ενέργειας, όπως η παραγωγή ασφάλτου για τα οδοστρώματα [7]. Στο Σχήμα 1.2 παρουσιάζεται το ποσοστό συμμετοχής κάθε τομέα στην τελική κατανάλωση ενέργειας στην ΕΕ κατά το έτος 2021. Ως κυρίαρχος καταναλωτής αναδεικνύονται οι μεταφορές, με ποσοστό 29.2%, ενώ ακολουθούν τα νοικοκυριά (27.9%), η βιομηχανία (25.6%) και οι υπηρεσίες (13.8%). Τα νοικοκυριά και οι υπηρεσίες αντιπροσωπεύουν τον κτιριακό τομέα με συνολικό ποσοστό ως προς την τελική κατανάλωση ενέργειας ίσο με 41.7%.

Final energy consumption by sector, EU, 2021
(% of total, based on terajoules)

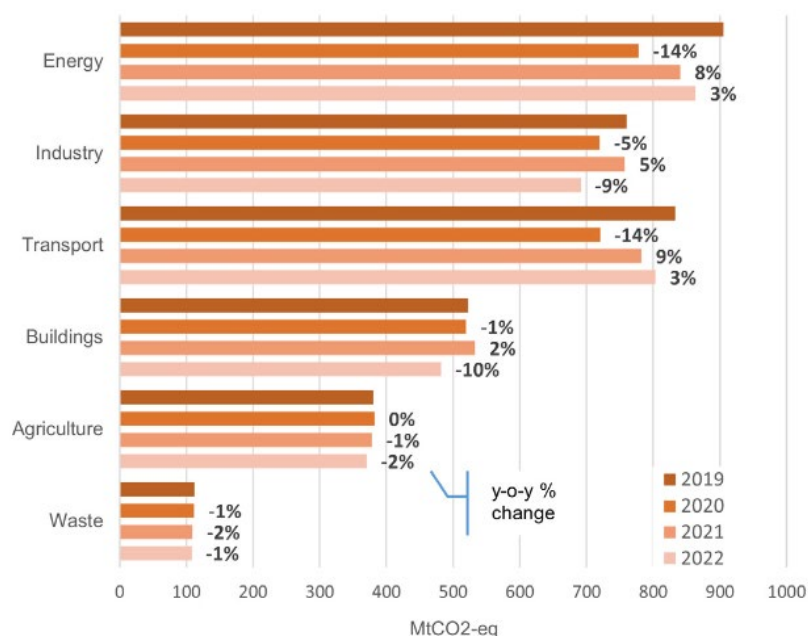


(*) International aviation and maritime bunkers are excluded from category Transport.
Source: Eurostat (online data code: nrg_bal_c)

eurostat 

Σχήμα 1.2: Τελική κατανάλωση ενέργειας ανά τομέα στην ΕΕ κατά το έτος 2021 [8].

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η συνεισφορά κάθε τομέα στην παραγωγή αερίων του θερμοκηπίου (Σχήμα 1.3). Ανά τα έτη, παρατηρείται αυξομείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου για τους περισσότερους τομείς, επισημαίνοντας την ανάγκη για μια στοχευμένη πολιτική της ΕΕ στη μείωση των ρύπων. Η παραγωγή ενέργειας (παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας, και διύλιση πετρελαίου) οφείλεται για την μεγαλύτερη εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου, όπου το 2021 ανέρχεται περίπου στους 850 εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου CO₂. Όσον αφορά τον κτιριακό τομέα, αυτός συμβάλλει καθοριστικά στις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου (GHG), αντιπροσωπεύοντας το 35% των εκπομπών της ΕΕ που σχετίζονται με την ενέργεια το 2021. Αυτές οι εκπομπές προέρχονται εν μέρει άμεσα από την επιτόπια χρήση ορυκτών καυσίμων σε κτίρια (π.χ. πετρέλαιο και αέριο που χρησιμοποιούνται σε λέβητες για θέρμανση) και εν μέρει έμμεσα από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας που παρέχεται από το δίκτυο για χρήση σε κτίρια (π.χ. ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται από θερμοσίφωνες, φωτισμό, ηλεκτρικές συσκευές, συστήματα ψύξης κ.λπ.). Μια ακόμα έμμεση εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου στον κτιριακό τομέα προκύπτει από τη εξόρυξη και παραγωγή υλικών, τη διάθεση απορριμμάτων, τις μεταφορές και πολλά άλλα. Η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία, η Πρωτοβουλία Renovation Wave και το σχέδιο ανάκαμψης της ΕΕ δίνουν μεγάλη έμφαση στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και της χρήσης ενέργειας από τα κτίρια. Το σχέδιο REPowerEU που δημοσιεύθηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή τον Μάιο του 2022, το οποίο στοχεύει να τερματίσει την εξάρτηση της ΕΕ από τα ρωσικά ορυκτά καύσιμα, ενώ παράλληλα επιδιώκει να αντιμετωπίσει την κλιματική κρίση, απαιτεί πρόσθετες εξοικονομήσεις και κέρδη ενεργειακής απόδοσης στα κτίρια, ιδίως μέσω της Ευρωπαϊκής Οδηγίας για την Ενεργειακή Αποδοτικότητα των Κτιρίων [9].



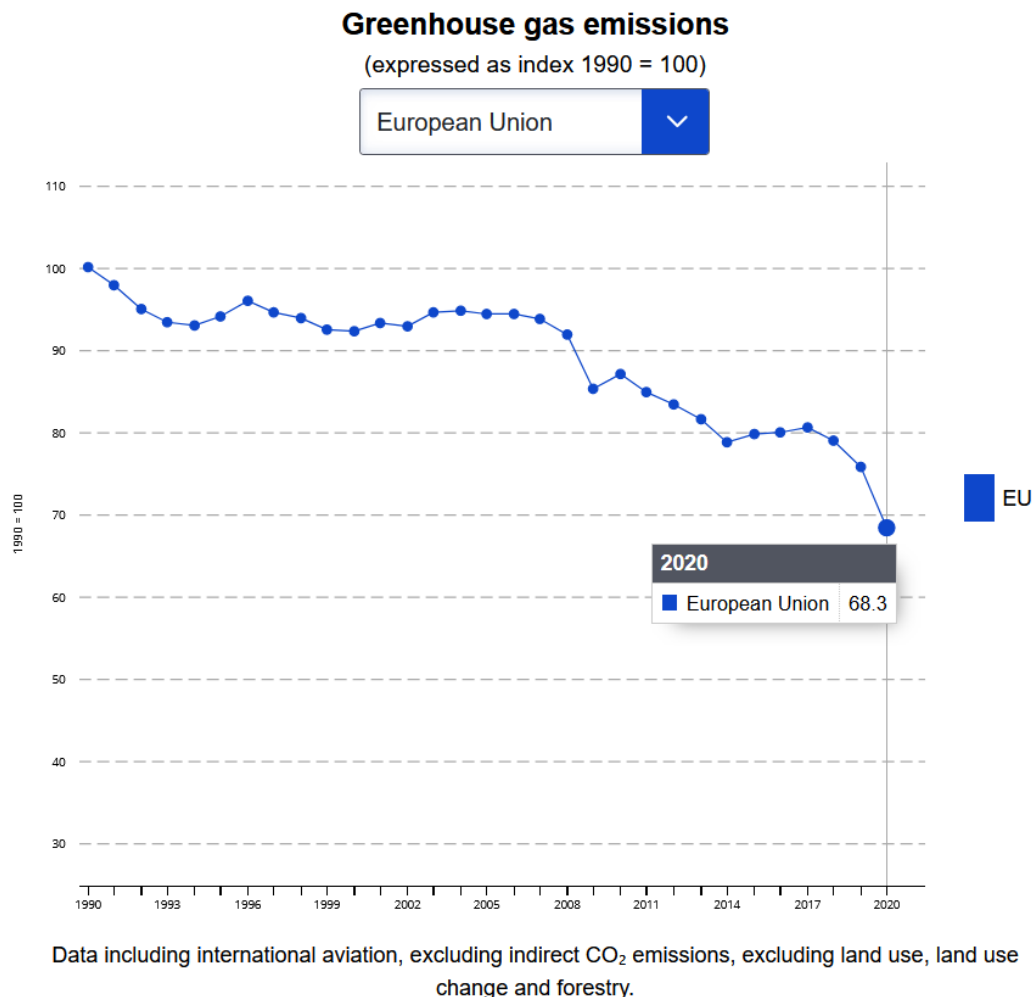
Σχήμα 1.3: Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου ανά τομέα για τα έτη 2019 έως 2022 στην ΕΕ [10].

Τον Ιούλιο του 2021, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ενέκρινε μια σειρά προτάσεων για να καταστήσει τις πολιτικές της ΕΕ για το κλίμα, την ενέργεια, τις μεταφορές και τη φορολογία

κατάλληλες για τη δραστική μείωση των καθαρών εκπομπών αερίων θερμοκηπίου έως το 2030.

Το πλαίσιο για το κλίμα και την ενέργεια για το 2030 ορίζει τους ακόλουθους βασικούς στόχους:

- Μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 55% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990 (Σχήμα 1.4).
- Αύξηση του μεριδίου των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην κατανάλωση ενέργειας στο 42.5%, με στόχο την επίτευξη του 45%.
- Μείωση της τελικής κατανάλωσης ενέργειας στην ΕΕ κατά 11.7% έως το 2030, σε σύγκριση με την προβλεπόμενη χρήση ενέργειας βάσει του σεναρίου αναφοράς του 2020 για το 2030. Ο στόχος αυτός μεταφράζεται σε μείωση της πρωτογενούς κατανάλωσης ενέργειας σε 992.5 Mtoe και μείωση της τελικής κατανάλωσης ενέργειας σε 763 Mtoe έως το 2030 [11].



Σχήμα 1.4: Διακύμανση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην ΕΕ κατά τη χρονική περίοδο 1990 έως 2020, θεωρώντας ως έτος αναφοράς (100%) το 1990 [12].

Ειδικότερα, αναφορικά με τον κτιριακό τομέα, η οδηγία 2010/31/ΕΕ (οδηγία για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων), η οποία τροποποιήθηκε το 2018, εισήγαγε υποχρεωτικές μακροπρόθεσμες στρατηγικές ανακαίνισης του υπάρχοντος κτιριακού αποθέματος των

κρατών μελών. Στόχος είναι η υποστήριξη της ανακαίνισης του εθνικού δυναμικού δημόσιων και ιδιωτικών κτιρίων, και η μετατροπή του σε υψηλής ενεργειακής απόδοσης και απαλλαγμένο από ανθρακούχες εκπομπές κτιριακό απόθεμα έως το 2050. Επιταχύνει επίσης τη μετατροπή των υφιστάμενων κτιρίων σε «κτίρια με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας» έως το 2050, απαιτώντας όλα τα νέα κτίρια από το 2021 και μετά να είναι σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας, και στηρίζει τον εκσυγχρονισμό όλων των κτιρίων με έξυπνες τεχνολογίες [13].

1.2 Κτιριακός τομέας στην Ελλάδα

Όπως ήδη αναφέρθηκε, ο κτιριακός τομέας ευθύνεται για το 41.7% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας μεταξύ των κρατών-μελών της ΕΕ. Το αντίστοιχο ποσοστό στην Ελλάδα ανέρχεται περίπου στο 42.1%. Παράλληλα, αποτελεί ένα τομέα που διαρκώς διευρύνεται, με αναπόφευκτο επακόλουθο την ταυτόχρονη αύξηση των ενεργειακών του καταναλώσεων. Με γνώμονα, λοιπόν, τις δεσμεύσεις της ΕΕ για την ενέργεια και το κλίμα, θα πρέπει να δοθεί έμφαση στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων [14]. Η εξοικονόμηση ενέργειας στις κατοικίες και στα κτίρια του τομέα των υπηρεσιών περιλαμβάνεται στις βασικές πολιτικές της χώρας με αδιαμφισβήτητα οφέλη, καθώς αποτελεί τον τομέα με τις μεγαλύτερες δυνατότητες μείωσης των ενεργειακών καταναλώσεων με οικονομικά αποδοτικό τρόπο [15].

1.2.1 Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (KENAK)

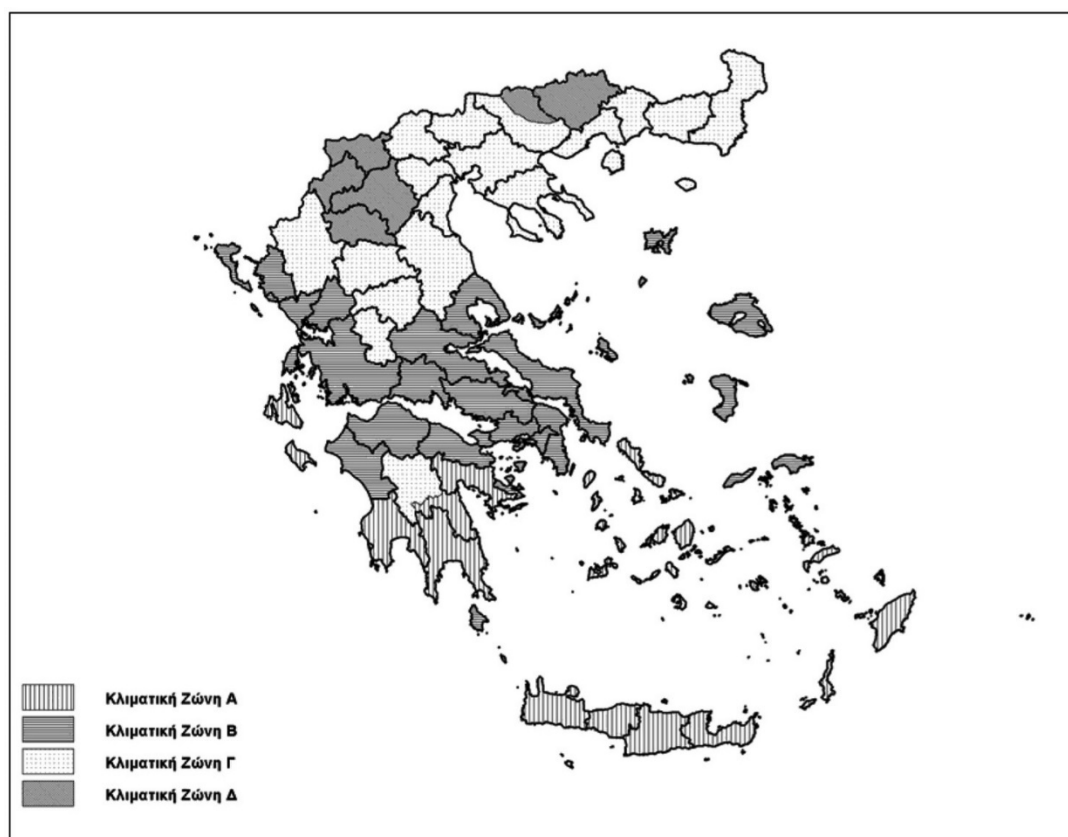
Η ενεργειακή απόδοση των κτιρίων υπολογίζεται με βάση την μεθοδολογία που ορίζει ο Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (KENAK), ο οποίος εγκρίθηκε με την Κοινή Υπουργική Απόφαση 5825/2010 που αναθεωρήθηκε με την 178581/2017 όμοια. Ο ΚENAK αποτελεί το κανονισμό μέσω του οποίου θεσμοθετείται ένας ολοκληρωμένος ενεργειακός σχεδιασμός στον κτιριακό τομέα με στόχο τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, την εξοικονόμηση ενέργειας και την προστασία του περιβάλλοντος. Τα παραπάνω επιτυγχάνονται μέσα από συγκεκριμένες δράσεις όπως η εκπόνηση μελέτης ενεργειακής απόδοσης κτιρίων, η ενεργειακή κατάταξη κτιρίων μέσω του Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης (ΠΕΑ) και οι ενεργειακές επιθεωρήσεις κτιρίων, λεβήτων και εγκαταστάσεων θέρμανσης, και εγκαταστάσεων κλιματισμού.

Πρακτικά, ο ΚENAK αποσκοπεί στη μείωση της κατανάλωσης συμβατικής ενέργειας για θέρμανση, ψύξη, κλιματισμό (ΘΨΚ), φωτισμό και παραγωγή ζεστού νερού χρήσης (ZNX), με ταυτόχρονη όμως διασφάλιση συνθηκών άνεσης στο εσωτερικό του κτιρίου [16]. Για αυτόν τον λόγο, λαμβάνονται υπόψη πλήθος παραγόντων όπως η θερμομονωτική προστασία της εξωτερικής επιφάνειας του κτιρίου (κέλυφος), ο βιοκλιματικός σχεδιασμός του κελύφους, οι ηλεκτρομηχανικές εγκαταστάσεις (Η/Μ) για ΘΨΚ και παραγωγή ZNX με υψηλούς βαθμούς απόδοσης, η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ), τα παθητικά στοιχεία θέρμανσης και ψύξης, η σκίαση, η ποιότητα του αέρα των εσωτερικών χώρων και η επάρκεια του φυσικού φωτισμού [17].

Πιο συγκεκριμένα, ο ΚENAK:

- i. Ορίζει αναλυτικά τη μεθοδολογία υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, μέσα από την εκτίμηση των σημαντικών ενεργειακών καταναλώσεων ανάλογα με την χρήση του κτιρίου, οι οποίες περιλαμβάνουν την ΘΨΚ, τον αερισμό, τον φωτισμό και το ΖΝΧ.
- ii. Καθορίζει τις ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης και τις κατηγορίες για την ενεργειακή κατάταξη των κτιρίων.
- iii. Θέτει τις ελάχιστες προδιαγραφές για τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό των κτιρίων, τα θερμικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του κελύφους και τις Η/Μ εγκαταστάσεις των υπό μελέτη νέων κτιρίων και των ριζικά ανακαινιζόμενων [16]. Οι απαιτήσεις αυτές έχουν καθοριστεί με σκοπό να επιτευχθεί η βέλτιστη από πλευράς κόστους ισορροπία μεταξύ των συναφών επενδύσεων και των ενεργειακών δαπανών που εξοικονομούνται στη διάρκεια ολόκληρου του κύκλου ζωής του κτιρίου, γεγονός που δεν συνεπάγεται απαραίτητα το βέλτιστο από πλευράς ενεργειακής απόδοσης αποτέλεσμα [17].
- iv. Καθορίζει το περιεχόμενο της μελέτης ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, τη μορφή και τα στοιχεία που περιλαμβάνει το ΠΕΑ και τη διαδικασία των ενεργειακών επιθεωρήσεων σε κτίρια, λέβητες και εγκαταστάσεις θέρμανσης, και εγκαταστάσεις κλιματισμού [16].

Η εκπόνηση μελέτης ενεργειακής απόδοσης απαιτείται για κάθε νέο κτίριο και κάθε υφιστάμενο κτίριο που ανακαινίζεται ριζικά. Για τους υπολογισμούς της ενεργειακής απόδοσης και της ενεργειακής κατάταξης των κτιρίων εφαρμόζεται μεθοδολογία υπολογισμού σύμφωνα με τα ευρωπαϊκά πρότυπα με τη μέθοδο ημι-σταθερής κατάστασης μηνιαίου βήματος βάσει της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας, ενώ λαμβάνονται υπόψη τα κλιματικά δεδομένα των τεσσάρων κλιματικών ζωνών (Α, Β, Γ, Δ - από τη θερμότερη στη ψυχρότερη), στις οποίες διαιρείται η ελληνική επικράτεια με βάση τις βαθμομέρες θέρμανσης. Στον Πίνακα 1.1 προσδιορίζονται οι νομοί που υπάγονται στις τέσσερις κλιματικές ζώνες, ενώ ακολουθεί σχηματική απεικόνισή τους στο Σχήμα 1.5. Τα κτίρια τα οποία βρίσκονται σε περιοχές με υψόμετρο άνω των 500 μέτρων, ανεξαρτήτως του νομού στον οποίο εντάσσονται, εξετάζονται βάσει των προδιαγραφών της επόμενης ψυχρότερης κλιματικής ζώνης από εκείνη στην οποία κανονικά ανήκουν. Για την Δ ζώνη όλες οι περιοχές, ανεξαρτήτως υψόμετρου, περιλαμβάνονται στην ζώνη Δ. Στο τμήμα του νομού Αρκαδίας που εντάσσεται στην κλιματική ζώνη Γ και στο τμήμα του νομού Σερρών (ΒΑ τμήμα) που εντάσσεται στην κλιματική ζώνη Δ, περιλαμβάνονται όλες οι περιοχές που έχουν υψόμετρο άνω των 500 μέτρων [18].



Σχήμα 1.5: Κλιματικές ζώνες ελληνικής επικράτειας [19].

Πίνακας 1.1: Νομοί της Ελλάδος ανά κλιματική ζώνη [20] [18].

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

Η μεθοδολογία βασίζεται στην ταυτόχρονη απαίτηση κάλυψης των ελάχιστων προδιαγραφών του ΚΕΝΑΚ και της ποσοτικής σύγκρισης του κτιρίου με το κτίριο αναφοράς. Ως κτίριο αναφοράς νοείται ένα κτίριο με τα ίδια γεωμετρικά χαρακτηριστικά, θέση, προσανατολισμό, χρήση και χαρακτηριστικά λειτουργίας με το εξεταζόμενο κτίριο, το οποίο όμως έχει συγκεκριμένα τεχνικά χαρακτηριστικά ως προς το σχεδιασμό του κτιρίου, το κτιριακό κέλυφος και τις Η/Μ εγκαταστάσεις. Το κτίριο αναφοράς αντιστοιχεί στην προαπαιτούμενη από το νόμο μέγιστη δυνατή κατανάλωση και ανήκει σε ενεργειακή κατηγορία Β [20]. Επομένως, κάθε κτίριο θα πρέπει να τηρεί τις ελάχιστες προδιαγραφές που περιλαμβάνουν τον σχεδιασμό του κτιρίου (κατάλληλη χωροθέτηση και προσανατολισμός, διαμόρφωση περιβάλλοντα χώρου, χωροθέτηση των ανοιγμάτων και λειτουργιών, ενσωμάτωση τουλάχιστον ενός παθητικού ηλιακού συστήματος, ένταξη τεχνικών φυσικού αερισμού και φωτισμού), το κτιριακό κέλυφος (θερμικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων κτιριακού κελύφους) και τις Η/Μ εγκαταστάσεις και ταυτόχρονα να εμφανίζει συνολική κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας μικρότερη από την μισή κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του κτιρίου αναφοράς (για οικοδομικές άδειες από 01/06/2021) [21].

Οι κατηγορίες ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων προκύπτουν μέσω της σύγκρισης της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας του εξεταζόμενου κτιρίου (EP) με τη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του κτιρίου αναφοράς (R_R), που αντιστοιχεί στο άνω όριο της κατηγορίας ενεργειακής απόδοσης Β. Κτίρια με χαμηλότερη ενεργειακή κατανάλωση κατατάσσονται σε κατηγορία Α+, Α, Β+ ή Β, ενώ κτίρια με υψηλότερη ενεργειακή κατανάλωση κατατάσσονται σε κατηγορία Γ, Δ, Ε, Ζ ή Η, όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 1.2. Ως T ορίζεται το πηλίκο $\frac{EP}{R_R}$ που αποτελεί τη βάση για τον καθορισμό των κατηγοριών ενεργειακής απόδοσης. Κατά την έκδοση του ΠΕΑ, ο ενεργειακός επιθεωρητής επιθεωρεί το κτίριο σύμφωνα με τα προβλεπόμενα στην μελέτη ενεργειακής απόδοσης και κατατάσσει το κτίριο στην ανάλογη ενεργειακή κατηγορία, η οποία υποχρεωτικά δεν μπορεί να είναι μικρότερη της ενεργειακής κατηγορίας Β [20].

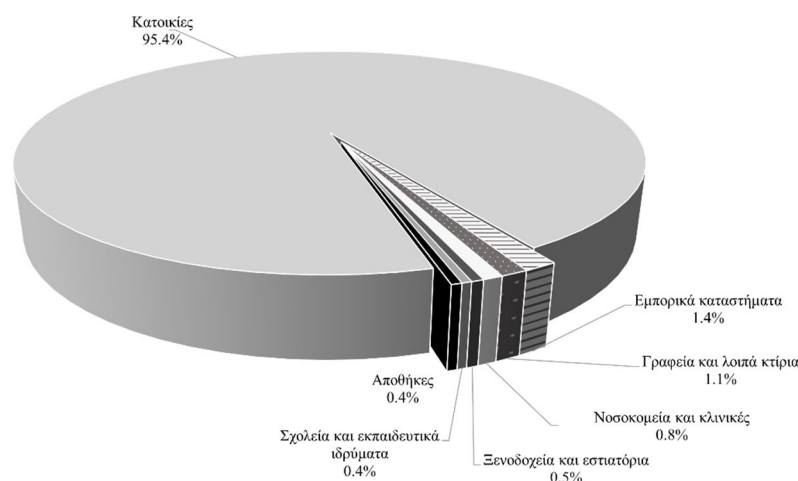
Πίνακας 1.2: Κατηγορίες ενεργειακής απόδοσης κτιρίων με βάση τη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του εξεταζόμενου κτιρίου και του κτιρίου αναφοράς [20].

Κατηγορία	Όρια κατηγορίας	Όρια κατηγορίας
A+	$EP \leq 0.33R_R$	$T \leq 0.33$
A	$0.33R_R < EP \leq 0.5R_R$	$0.33 < T \leq 0.50$
B+	$0.5R_R < EP \leq 0.75R_R$	$0.50 < T \leq 0.75$
B	$0.75R_R < EP \leq 1.0R_R$	$0.75 < T \leq 1.00$
Γ	$1.0R_R < EP \leq 1.41R_R$	$1.00 < T \leq 1.41$
Δ	$1.41R_R < EP \leq 1.82R_R$	$1.41 < T \leq 1.82$
Ε	$1.82R_R < EP \leq 2.27R_R$	$1.82 < T \leq 2.27$
Ζ	$2.27R_R < EP \leq 2.73R_R$	$2.27 < T \leq 2.73$
Η	$2.73R_R < EP$	$2.73 < T$

Παράλληλα με τη θέσπιση του ΚΕΝΑΚ, τα τελευταία χρόνια έχουν ληφθεί διάφορα κανονιστικά και οικονομικά μέτρα που προωθούν την ανακαίνιση κτιρίων του οικιακού και τριτογενούς τομέα και την εξοικονόμηση ενέργειας, σύμφωνα με την Ετήσια Έκθεση Επίτευξης Εθνικών Στόχων Ενεργειακής Απόδοσης του έτος 2020 (έτος αναφοράς 2018). Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν το πρόγραμμα «Εξοικονόμηση κατ' Οίκων»/«Εξοικονομώ - Αυτονομώ», το πρόγραμμα Ηλέκτρα, το Εθνικό Ταμείο Ενεργειακής Απόδοσης, το καθεστώς επιβολής υποχρέωσης ενεργειακής απόδοσης, η αύξηση του συντελεστή δόμησης σε κτίρια υψηλής ενεργειακής απόδοσης, οι ενεργειακοί υπεύθυνοι σε κτίρια του δημοσίου, το σχέδιο αύξησης Κτιρίων Σχεδόν Μηδενικής Κατανάλωσης Ενέργειας (ΚΣΜΚΕ) και άλλα [15]. Ως ΚΣΜΚΕ νοείται ένα κτίριο με πολύ υψηλή ενεργειακή απόδοση, στο οποίο η σχεδόν μηδενική ή πολύ μικρή ποσότητα ενέργειας που απαιτείται πρέπει να καλύπτεται σε πολύ μεγάλο βαθμό με ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές, περιλαμβανομένης της ενέργειας που παράγεται επιτόπου ή πλησίον του κτιρίου [16]. Επισημαίνεται ότι από 1.1.2021, όλα τα νέα κτίρια πρέπει να είναι ΚΣΜΚΕ, ενώ για τα νέα κτίρια που στεγάζουν υπηρεσίες του δημόσιου και ευρύτερου δημόσιου τομέα, η υποχρέωση αυτή έχει τεθεί σε ισχύ από 1.1.2019 [17].

1.2.2 Χαρακτηριστικά κτιριακού αποθέματος στην Ελλάδα

Το ελληνικό κτιριακό απόθεμα αποτελείται ως επί το πλείστον από κτίρια κατοικιών και από ένα μικρότερο πλήθος κτιρίων διαφορετικών χρήσεων του τριτογενούς τομέα, τα οποία απογράφονται κάθε δεκαετία στο σύνολο της επικράτειας. Σύμφωνα με τα στοιχεία της EU Building Stock Observatory (EU BSO) για το 2015, ο συνολικός αριθμός κτιρίων της χώρας είναι 4,853,172, εκ των οποίων τα 4,631,528 είναι κτίρια κατοικιών και τα 221,643 κατατάσσονται στον τριτογενή τομέα. Τα κτίρια του τριτογενούς τομέα κατηγοριοποιούνται σε 65,957 εμπορικά καταστήματα, 53,064 γραφεία και λοιπά κτίρια, 38,664 νοσοκομεία και κλινικές, 24,109 ξενοδοχεία και εστιατόρια, 20,374 αποθήκες, 19,167 σχολεία και εκπαιδευτικά ιδρύματα και 308 ψυκτικές αποθήκες [15]. Στο Σχήμα 1.6 φαίνεται το ποσοστό που καταλαμβάνει κάθε κατηγορία στο σύνολο του κτιριακού αποθέματος.



Σχήμα 1.6: Ποσοστιαία κατανομή του κτιριακού αποθέματος στην Ελλάδα με βάση τη χρήση [15].

Τα κτίρια μπορούν να κατανεμηθούν σε χρονικές περιόδους με βάση την ηλικία τους και τα ενεργειακά τους χαρακτηριστικά, λαμβάνοντας υπόψιν το υφιστάμενο νομικό πλαίσιο, το

οποίο ίσχυε κατά την αδειοδότησή τους και καθόριζε την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων. Πιο συγκεκριμένα, το 1979 θεσπίστηκε ο πρώτος κανονισμός θερμομονωτικής προστασίας στα κτίρια, γνωστός ως Κανονισμός Θερμομόνωσης Κτιρίων (ΚΘΚ), ο οποίος αντικαταστάθηκε το 2010 από τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων (ΚΕΝΑΚ). Ο τελευταίος τροποποιήθηκε το 2017 και έκτοτε ισχύει η αναθεωρημένη έκδοσή του. Σύμφωνα με τα παραπάνω, η κατηγοριοποίηση των κτιρίων διαμορφώνεται ως εξής:

Κτίρια ανεγερθέντα κατά τη Χρονική Περίοδο πριν το 1980 (Χ.Π. 1):

Τα κτίρια αυτής της περιόδου δεν φέρουν καμία θερμομονωτική προστασία, καθότι πριν τη θέσπιση του ΚΘΚ (1979) δεν υπήρχε πρόνοια για τον περιορισμό των ανταλλαγών θερμότητας μεταξύ εσωτερικών και εξωτερικών χώρων. Στην πλειονότητά τους, διαθέτουν, ως βασικό κατασκευαστικό χαρακτηριστικό, φέροντα οργανισμό οπλισμένου σκυροδέματος και τοιχοποιίες εξ' οπτοπλίνθων για την πλήρωση των κενών του σκελετού. Ως αποτέλεσμα, τα κτίρια αυτής της περιόδου κρίνονται ως κτίρια κακής ενεργειακής απόδοσης, σύμφωνα με τα σύγχρονα δεδομένα.

Κτίρια ανεγερθέντα κατά τη Χρονική Περίοδο 1980-2010 (Χ.Π. 2):

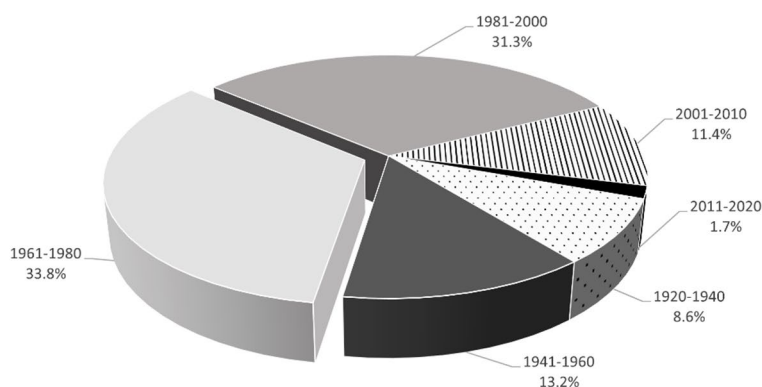
Η συγκεκριμένη περίοδος περιλαμβάνει τα κτίρια που κατασκευάστηκαν με την έναρξη εφαρμογής του ΚΘΚ, ο οποίος έθεσε τα ανώτερα όρια στη θερμοπερατότητα των δομικών στοιχείων των νεόδμητων τότε κτιρίων. Για τα κτίρια πριν τη δεκαετία του 2000, η θερμομονωτική προστασία συνήθως περιορίζεται στη τοιχοποιία πλήρωσης και απουσιάζει από τον φέροντα οργανισμό, είτε για οικονομικούς λόγους είτε για να αποφεύγεται η προεξοχή τους στους εσωτερικούς χώρους.

Κτίρια ανεγερθέντα κατά τη Χρονική Περίοδο 2011-2017 (Χ.Π. 3):

Με την εφαρμογή του ΚΕΝΑΚ στις αρχές του 2011, μειώνονται τα ανώτατα επιτρεπτά όρια των συντελεστών θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων και επέρχονται αλλαγές στα απαιτούμενα πάχη της θερμομονωτικής στρώσης. Επιπλέον, κατά τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο, η τοποθέτηση της θερμομονωτικής στρώσης εξωτερικά του κατακόρυφου περιβλήματος του κτιρίου θεωρείται πλέον η προσφορότερη λύση από τεχνική άποψη. Ωστόσο, εξαιτίας της οικονομικής κρίσης και της κατακόρυφης πτώσης της οικοδομικής δραστηριότητας, η εφαρμογή των νέων απαιτήσεων στα κτίρια είναι παρά μόνο μικρής έκτασης, σε σχέση με το συνολικό κτιριακό απόθεμα.

Κτίρια ανεγερθέντα κατά τη Χρονική Περίοδο από το 2018 και έπειτα (Χ.Π. 4):

Η αναθεωρημένη έκδοση του ΚΕΝΑΚ αποτελεί τον ισχύοντα κανονισμό για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων από το 2018 και έκτοτε. Οι αναθεωρημένες απαιτήσεις του ΚΕΝΑΚ ορίζουν περεταίρω αύξηση του πάχους της θερμομονωτικής προστασίας, τοποθέτηση της θερμομονωτικής στρώσης εξωτερικά του κτιριακού κελύφους για περιορισμό των θερμογεφυρών και χρήση προστατευτικού φύλλου στα κουφώματα με σκοπό τη μείωση των θερμικών απωλειών.



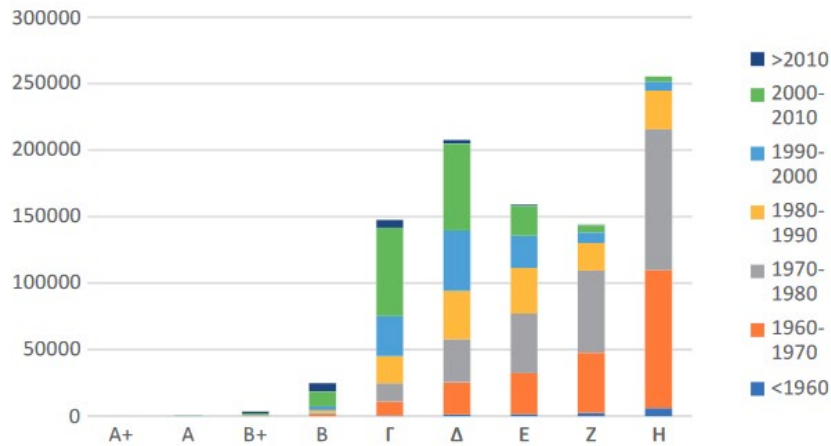
Σχήμα 1.7: Ποσοστιαία κατανομή του πλήθους των κτιρίων στην Ελλάδα με βάση τη περίοδο κατασκευής [15].

Στο Σχήμα 1.7 καθίσταται εμφανές ότι το συντριπτικό ποσοστό των κτιρίων στην Ελλάδα (55.7%) έχουν κατασκευαστεί πριν το 1980 και επομένως χαρακτηρίζονται ως θερμομονωτικά απροστάτευτα. Το 42.7% των κτιρίων έχουν κατασκευαστεί κατά τη χρονική περίοδο 1981-2010 και ως εκ τούτου σε αυτά προβλέπεται η μερική εφαρμογή συστημάτων θερμομόνωσης, ενώ μόλις το 1.7% των κτιρίων έχουν κατασκευαστεί με τις απαιτήσεις του ΚΕΝΑΚ.

Σε αντίθεση με τις κατοικίες που αποτελούν την πλειοψηφία του κτιριακού αποθέματος και ως εκ τούτου διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση των παραπάνω ποσοστών, στον τριτογενή τομέα το μεγαλύτερο ποσοστό των κτιρίων έχει κατασκευαστεί κατά την χρονική περίοδο 1981-2010, οπότε και εφαρμόζεται ο ΚΘΚ. Στο εξής, έμφαση θα δοθεί στα κτίρια του τριτογενούς τομέα και ειδικότερα στα κτίρια γραφείων, τα οποία αποτελούν και το θέμα της παρούσας εργασίας. Όσον αφορά, λοιπόν, τα κτίρια γραφείων, το 35.6% εξ αυτών έχει κατασκευαστεί πριν το 1980, το 61.2% την περίοδο από το 1981 έως το 2010 και 3.2% έχει έτος κατασκευής μετά το 2010. Το γεγονός αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο στο μεγάλο ποσοστό αναπλήρωσης των κτιρίων του τριτογενούς τομέα σε σύγκριση με τις κατοικίες, το οποίο εκφράζει το ρυθμό κατεδάφισης παλαιών και κατασκευής νέων κτιρίων, δεδομένου ότι τα κτίρια κατοικιών παραμένουν σε λειτουργία για πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα μετά τη κατασκευή τους. Λαμβάνοντας, λοιπόν, υπόψη την παλαιότητα του κτιριακού αποθέματος και τον μικρό ρυθμό κατασκευής νέων κτιρίων, αναδεικνύεται η επιτακτική ανάγκη για εκτεταμένη ενεργειακή αναβάθμιση των παλαιών κτιρίων, με στόχο το παλαιό κτιριακό απόθεμα να έχει αναβαθμιστεί έως το 2050 σχεδόν στο σύνολό του [15].

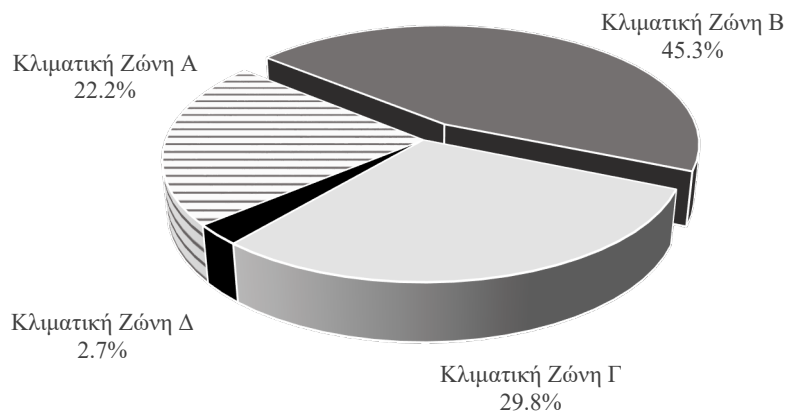
Η περίοδος κατασκευής των κτιρίων και η ενεργειακή απόδοσή τους συνδέονται μεταξύ τους ως αποτέλεσμα της εξέλιξης του νομοθετικού πλαισίου και της τεχνολογίας, γεγονός που επιβεβαιώνεται και από τα στατιστικά στοιχεία που προκύπτουν από τα ΠΕΑ. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.8, η πλειοψηφία των κτιρίων πριν το 1980 κατατάσσεται στην κατηγορία ενεργειακής απόδοσης Η, ενώ την περίοδο 1981-2010, όπου τίθεται σε ισχύ ο ΚΘΚ και βελτιώνεται η ενεργειακή απόδοση των κτιρίων, τα κτίρια είναι ενεργειακής κλάσης Δ και Γ. Μετά το 2010, τα κτίρια αναβαθμίζονται σε ενεργειακή κλάση Γ και Β. Τα εκδοθέντα ΠΕΑ, όμως, αφορούν κυρίως κτίρια με έτος κατασκευής έως το 2009, αφού από

το 2010 παρατηρήθηκε ύφεση των οικοδομικών δραστηριοτήτων. Τη χρονική περίοδο 2011-2018, το μεγαλύτερο ποσοστό των παλαιών κτιρίων που εξέδωσαν ΠΕΑ εντάσσεται στις ενεργειακές κατηγορίες Ε και Η (61.36%), το 35.71% στις Γ και Δ και το 2.94% στις Α και Β, ενώ το 94.90% των νεόδμητων και ριζικά ανακαινισμένων κτιρίων ανήκουν σε ενεργειακές κλάσεις Α και Β. Όσον αφορά τα κτίρια γραφείων, η συντριπτική πλειοψηφία του 65.4% των κτιρίων που εξέδωσαν ΠΕΑ κατατάσσεται στις κατηγορίες Γ και Δ, το 29.4% ανήκει στις κατηγορίες Ε και Η και το 5.3% στις Α και Β [15].



Σχήμα 1.8: Πλήθος ΠΕΑ ανά δεκαετία κατασκευής και ενεργειακή κατηγορία σύμφωνα με στατιστική ανάλυση για το έτος 2016 [15].

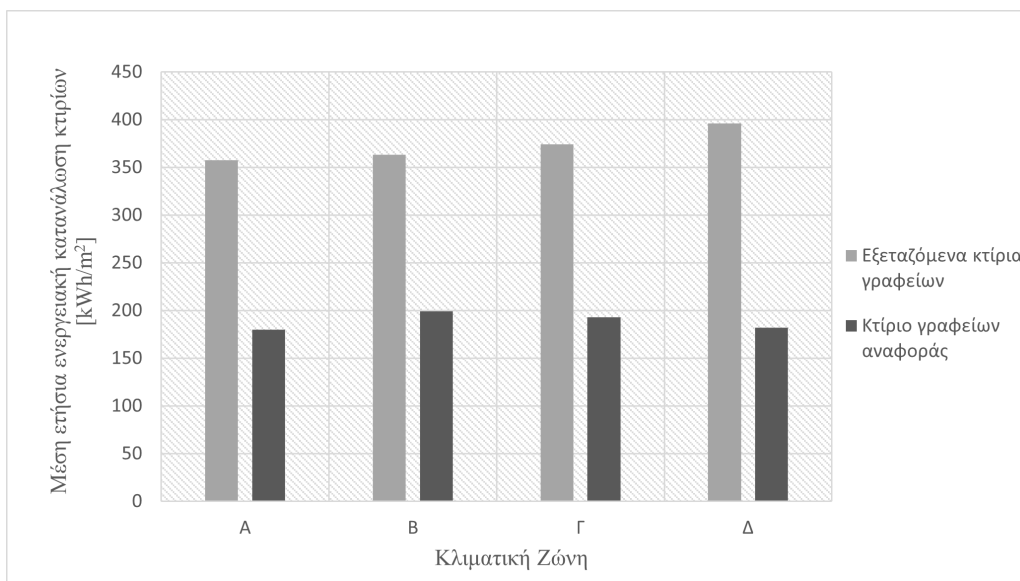
Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η ελληνική επικράτεια χωρίζεται σε 4 κλιματικές ζώνες ανάλογα με τις βαθμομημέρες θέρμανσης (Πίνακας 1.1). Το μεγαλύτερο πλήθος κτιρίων συγκεντρώνεται στη κλιματική ζώνη Β, γεγονός που επιβεβαιώνεται και για τα κτίρια γραφείων σύμφωνα με το Σχήμα 1.9.



Σχήμα 1.9: Ποσοστιαία κατανομή του πλήθους των κτιρίων γραφείων στην Ελλάδα ανά κλιματική ζώνη [15].

Λαμβάνοντας στοιχεία από τα εκδοθέντα ΠΕΑ, μπορούν να παρατηρηθούν οι διαφορετικές καταναλώσεις που προκύπτουν για κάθε χρήση κτιρίου ανά κλιματική ζώνη, καθώς και να μελετηθούν τα ποσοστά εξοικονόμησης ενέργειας που επιτυγχάνονται εάν εφαρμοστούν οι

προδιαγραφές του ΚΕΝΑΚ, μέσα από τη σύγκριση της μέσης ενεργειακής κατανάλωσης των εξεταζόμενων κτιρίων με την αντίστοιχη κατανάλωση των κτιρίων αναφοράς [15].



Σχήμα 1.10: Μέση ετήσια ενεργειακή κατανάλωση ανά κλιματική ζώνη για τα εξεταζόμενα κτίρια γραφείων και το κτίριο γραφείων αναφοράς (2011-2018), σύμφωνα με στατιστική ανάλυση για το έτος 2018 [15].

Στο Σχήμα 1.10 παρατηρείται ότι για το έτος 2018 η μέση ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας στα εξεταζόμενα κτίρια γραφείων κυμαίνεται από 357.75 kWh/m² για την κλιματική ζώνη Α έως και 395.89 kWh/m² για την κλιματική ζώνη Δ, στην οποία εμφανίζεται η μεγαλύτερη τιμή κατανάλωσης λόγω υψηλών αναγκών θέρμανσης. Μεταξύ των κλιματικών ζωνών, ωστόσο, δεν εμφανίζονται σημαντικές διαφορές ως προς την κατανάλωση ενέργειας. Επιπλέον, αξιοσημείωτα είναι τα περιθώρια εξοικονόμησης ενέργειας για τα κτίρια γραφείων, καθώς η κατανάλωση ενέργειας εν συγκρίσει με τη κατανάλωση στο κτίριο αναφοράς είναι σχεδόν διπλάσια.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει, επίσης, η διάρθρωση της κατανάλωσης ενέργειας στον τριτογενή τομέα. Σύμφωνα με στατιστικές αναλύσεις για το έτος 2015, το μεγαλύτερο μερίδιο της τελικής κατανάλωσης αποδίδεται στη θέρμανση των εσωτερικών χώρων (806 ktoe) και τη χρήση ηλεκτρικών συσκευών και φωτισμού (527 ktoe), ενώ ακολουθούν η παραγωγή ZNX (355 ktoe) και ο κλιματισμός (339 ktoe) [15].

Ο ηλεκτρισμός κατέχει κεντρικό ρόλο στην κατανάλωση ενέργειας στον τριτογενή τομέα, καλύπτοντας το 73% των ενεργειακών αναγκών. Τον ηλεκτρισμό διαδέχεται το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο, σε μικρότερα, όμως, ποσοστά. Όσον αφορά στην κατανάλωση θερμότητας των κτιρίων του τριτογενούς τομέα, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο μερίδιο με 55% και 29% αντίστοιχα, ενώ ακολουθούν το υγραέριο και η βιομάζα. Η χρήση ηλιακής και γεωθερμικής ενέργειας είναι σχεδόν αμελητέα [15].

1.3 Υπολογιστικές μέθοδοι ενεργειακής προσομοίωσης κτιρίων

Όπως γίνεται αντιληπτό από το υποκεφάλαιο 1.1, το ζήτημα της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων αποτελεί πρωταρχικό μέλημα της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Στην κατεύθυνση αυτή, έχουν αναπτυχθεί ποικίλα μοντέλα ενεργειακής προσομοίωσης κτιρίων που αφορούν τόσο τη μελέτη κατασκευής νέων κτιρίων, όσο και την αξιολόγηση παρεμβάσεων βελτίωσης της ενεργειακής συμπεριφοράς υπαρχόντων κτιρίων [22]. Μάλιστα, κατά την Οδηγία 2002/91/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου, ορίζεται ότι τα κράτη μέλη οφείλουν να εφαρμόσουν μεθοδολογία υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων βάσει κάποιων γενικών προδιαγραφών που ορίζει η Ε.Ε., όπως το πρότυπο ΕΛΟΤ EN ISO 13790 [23].

Οι δύο βασικές κατηγορίες υπολογιστικών μεθόδων για την ενεργειακή προσομοίωση των κτιρίων είναι οι εξής:

- Στατική υπολογιστική μέθοδος, στην οποία ο υπολογισμός του ισοζυγίου θερμότητας του κτιρίου γίνεται με μεγάλα χρονικά βήματα, με συνηθέστερο το μηνιαίο βήμα.
- Δυναμική υπολογιστική μέθοδος, στην οποία ο υπολογισμός του ισοζυγίου θερμότητας γίνεται με μικρά χρονικά βήματα, με συνηθέστερο το ωριαίο βήμα.

Η χρήση στατικών υπολογιστικών μοντέλων ημι-σταθερής κατάστασης μηνιαίου βήματος για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων αποτελεί μια λύση σχετικά εύκολη στην εφαρμογή, με μικρό αριθμό δεδομένων εισόδου και ευρέως διαδεδομένη, η οποία έχει υιοθετηθεί στο πρότυπο των ενεργειακών επιθεωρήσεων πολλών κρατών της ΕΕ, εκ των οποίων και της Ελλάδας. Η μέθοδος ημι-σταθερής κατάστασης μηνιαίου βήματος καθορίζεται λεπτομερώς στο πρότυπο ΕΛΟΤ EN ISO 13790. Σύμφωνα με αυτή τη μεθοδολογία, το κτίριο βρίσκεται σε κατάσταση θερμικής ισορροπίας, ο υπολογισμός είναι στατικός και λαμβάνει υπόψη το χρόνο με μηνιαίο βήμα. Ο υπολογισμός της ετήσιας ζήτησης ενέργειας για θέρμανση και ψύξη του κτιρίου βασίζεται στο άθροισμα των μέσων μηνιαίων ενεργειακών απαιτήσεων, οι οποίες προκύπτουν από το ισοζύγιο των θερμικών κερδών και θερμικών απωλειών του κτιρίου λόγω της απόκλισης των εσωτερικών και εξωτερικών συνθηκών, με χρήση των μέσων τιμών των κλιματικών δεδομένων κάθε μήνα. Οι μηνιαίες απαιτήσεις του κτιρίου σε θέρμανση και δροσισμό υπολογίζονται μέσω απλών εξισώσεων, λαμβάνοντας υπόψη τα θερμικά φορτία λόγω μετάδοσης θερμότητας στο κτιριακό κέλυφος, τα θερμικά φορτία λόγω αερισμού (φυσικού, μηχανικού και αθλήτου), καθώς και τα εσωτερικά και ηλιακά θερμικά κέρδη.

Τα δυναμικά φαινόμενα εισάγονται στις εξισώσεις της στατικής υπολογιστικής μεθόδου μέσω του συντελεστή αξιοποίησης των εσωτερικών και ηλιακών θερμικών κερδών ($\eta_{H,gn}$) κατά την περίοδο θέρμανσης και του συντελεστή αξιοποίησης των απωλειών θερμότητας λόγω μετάδοσης και αερισμού ($\eta_{C,ls}$) κατά την περίοδο ψύξης, με σκοπό την μερική μείωση των ενεργειακών αναγκών σε θέρμανση και ψύξη. Ο συντελεστής αξιοποίησης καθορίζει το βαθμό στον οποίο τα θερμικά κέρδη είναι ωφέλιμα στην ενεργειακή ζήτηση για θέρμανση και οι θερμικές απώλειες είναι ωφέλιμες στην ενεργειακή ζήτηση για ψύξη του κτιρίου. Για τη θέρμανση, ο συντελεστής αξιοποίησης των εσωτερικών και ηλιακών κερδών θερμότητας λαμβάνει υπόψη το γεγονός ότι μόνο ένα μέρος των εσωτερικών και ηλιακών θερμικών κερδών αξιοποιούνται για τη μείωση της ενεργειακής ανάγκης για θέρμανση, ενώ το

υπόλοιπο οδηγεί σε ανεπιθύμητη αύξηση της εσωτερικής θερμοκρασίας πάνω από το σημείο ρύθμισης. Αντίστοιχα, για την ψύξη, ο συντελεστής αξιοποίησης των θερμικών απωλειών λόγω μετάδοσης και αερισμού συνυπολογίζει το γεγονός ότι μόνο ένα μέρος των θερμικών απωλειών χρησιμοποιείται για τη μείωση των αναγκών ψύξης, ενώ οι υπόλοιπες απώλειες λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια χρονικών διαστημάτων όπου δεν εμφανίζονται ανάγκες ψύξης (π.χ. νύχτες) [24].

Για μηνιαίο χρονικό βήμα υπολογισμού, η ενεργειακή απαίτηση θέρμανσης $Q_{H,nd}$ [kWh] του κτιρίου δίνεται από τη σχέση (1.1), τα μεγέθη της οποίας υπολογίζονται μέσω των σχέσεων (1.2) και (1.3).

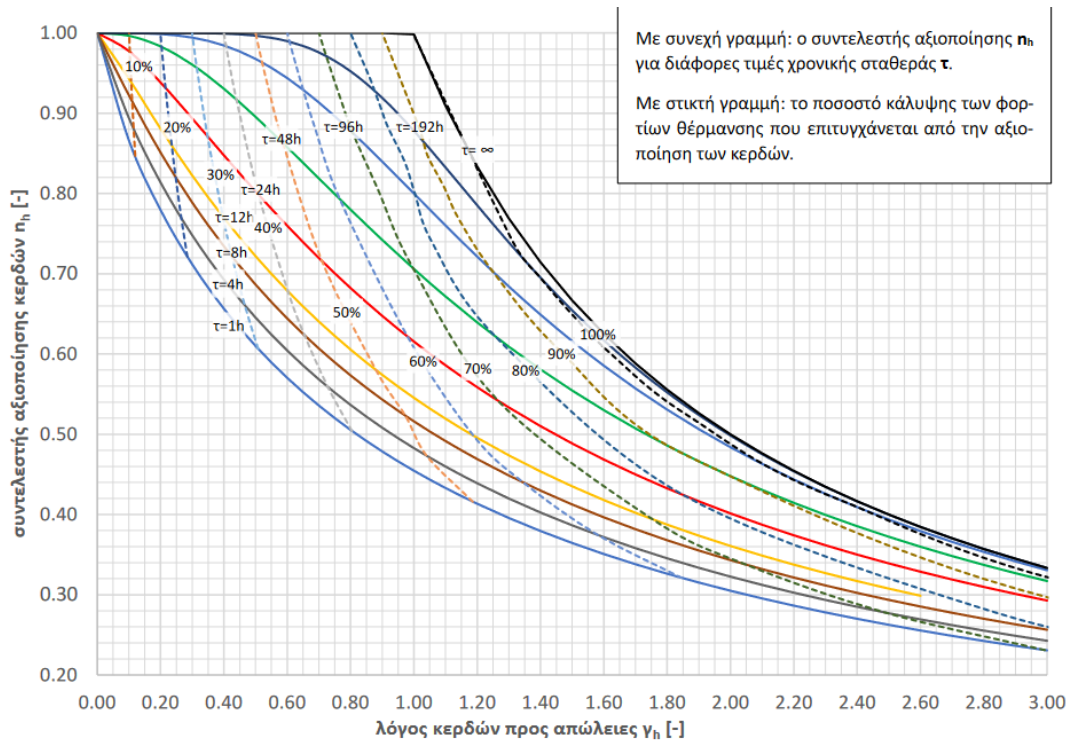
$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} Q_{H,gn} \quad (1.1)$$

Όπου:

$$Q_{H,ht} = Q_{tr} + Q_{ve} \quad (1.2)$$

$$Q_{H,gn} = Q_{int} + Q_{sol} \quad (1.3)$$

Στις παραπάνω σχέσεις, ως $Q_{H,ht}$ [kWh] συμβολίζεται η ολική μεταφορά θερμότητας κατά τη λειτουργία θέρμανσης, η οποία υπολογίζεται ως το άθροισμα της μεταφοράς θερμότητας λόγω μετάδοσης στο κτιριακό κέλυφος (Q_{tr} [kWh]) και λόγω αερισμού (Q_{ve} [kWh]). Ως $Q_{H,gn}$ [kWh] συμβολίζονται τα συνολικά θερμικά κέρδη του θερμαινόμενου χώρου, τα οποία περιλαμβάνουν τα εσωτερικά θερμικά κέρδη από τους χρήστες του κτιρίου (αισθητή μεταβολική θερμότητα) και των ηλεκτρικών συσκευών (Q_{int} [kWh]), καθώς και τα άμεσα και έμμεσα ηλιακά θερμικά κέρδη (Q_{sol} [kWh]) από τις διαφανείς και αδιαφανείς επιφάνειες αντίστοιχα. Ο συντελεστής αξιοποίησης των εσωτερικών και ηλιακών θερμικών κερδών $\eta_{H,gn}$ (Σχήμα 1.11) είναι αδιάστατος και εκτιμάται με βάση τη χρονική σταθερά του κτιρίου τ , η οποία είναι ανάλογη της θερμικής αδράνειας του κτιρίου και ορίζεται ως ο λόγος της ικανότητάς του να αποθηκεύσει ενέργεια (δρώσα θερμοχωρητικότητα) προς την ικανότητά του να αποβάλλει θερμότητα (συντελεστής θερμικών απωλειών), και τον λόγο $\frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}}$, ο οποίος συμβολίζεται με γ_H και επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τον λόγο της επιφάνειας των ανοιγμάτων προς στη θερμαινόμενη επιφάνεια $\frac{A_g}{A_f}$ (αύξηση κερδών άρα αύξηση του γ_H) και από το επίπεδο θερμομόνωσης του κτιρίου (μείωση απωλειών άρα αύξηση του γ_H) [25].



Σχήμα 1.11: Συντελεστής αξιοποίησης κερδών $\eta_{H,gn}$ από το κτιριακό κέλυφος κατά τη διάρκεια της περιόδου θέρμανσης, ως συνάρτηση του λόγου κερδών προς απώλειες γ_H [25].

Ομοίως υπολογίζεται η ενεργειακή απαίτηση ψύξης του κτιρίου, $Q_{C,nd}$ [kWh]. Στη σχέση (1.4), $Q_{C,ht}$ [kWh] είναι η ολική μεταφορά θερμότητας λόγω μετάδοσης στο κτιριακό κέλυφος και αερισμού κατά τη λειτουργία ψύξης, ενώ το $Q_{C,gn}$ [kWh] αναπαριστά τα συνολικά θερμικά κέρδη κατά τη λειτουργία ψύξης. Σε αυτή τη περίπτωση, ο συντελεστής αξιοποίησης των θερμικών απωλειών λόγω συναγωγής και αερισμού ($\eta_{C,ls}$) εκτιμάται με βάση τον λόγο $\frac{Q_{C,gn}}{Q_{C,ht}}$ και την θερμική αδράνεια του κτιριακού κελύφους [24].

$$Q_{C,nd} = Q_{C,gn} - \eta_{C,ls} Q_{C,ht} \quad (1.4)$$

Η ολική μεταφορά θερμότητας από μετάδοση στο κέλυφος του κτιρίου (Q_{tr}) δίνεται από τη σχέση (1.5).

$$Q_{tr} = H_{tr}(\theta_{int,set} - \theta_e)t \quad (1.5)$$

- Όπου: $H_{tr} \left[\frac{W}{K} \right]$ ο ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας από μετάδοση στο κέλυφος για περίοδο θέρμανσης ή ψύξης,
- $\theta_{int,set}$ [°C] η θερμοκρασία ρύθμισης του θερμαινόμενου χώρου για θέρμανση ή ψύξη,
- θ_e [°C] η μέση μηνιαία θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος,
- t [h] η διάρκεια του χρονικού βήματος.

Ο ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας από μετάδοση, H_{tr} , της σχέσης (1.5) υπολογίζεται ως το άθροισμα του άμεσου συντελεστή μεταφοράς θερμότητας προς το εξωτερικό περιβάλλον ($H_D \left[\frac{W}{K} \right]$), του συντελεστή μεταφοράς θερμότητας προς το έδαφος ($H_g \left[\frac{W}{K} \right]$), του συντελεστή μεταφοράς θερμότητας προς μη θερμαινόμενους χώρους ($H_u \left[\frac{W}{K} \right]$) και του συντελεστή μεταφοράς θερμότητας προς τα όμορα κτίρια ($H_A \left[\frac{W}{K} \right]$) (σχέση (1.6)).

$$H_{tr} = H_D + H_g + H_u + H_A \quad (1.6)$$

Γενικά, οι συντελεστές μεταφοράς θερμότητας από μετάδοση, H_x , αναφέρονται στην μεταφορά θερμότητας από τα δομικά στοιχεία του κελύφους, τις γραμμικές θερμογέφυρες και τις σημειακές θερμογέφυρες, οι οποίες όμως δεν διαθέτουν διαστάσεις και η επίδρασή τους στις θερμικές ανταλλαγές θεωρείται αμελητέα. Στη σχέση (1.7) παρουσιάζεται η γενική εξίσωση για τον προσδιορισμό των H_x .

$$H_x = b_{tr,x} \left[\sum_i (A_i U_i) + \sum_k (I_k \Psi_k) + \sum_j \chi_j \right] \quad (1.7)$$

Όπου: $A_i [m^2]$ το εμβαδόν του δομικού στοιχείου i του κτιριακού κελύφους,
 $U_i \left[\frac{W}{m^2K} \right]$ ο ολικός συντελεστής θερμοπερατότητας του δομικού στοιχείου i του κτιριακού κελύφους,
 $I_k [m]$ το μήκος της γραμμικής θερμογέφυρας k ,
 $\Psi_k \left[\frac{W}{mK} \right]$ ο συντελεστής γραμμικής θερμοπερατότητας της θερμογέφυρας k
 $\chi_j \left[\frac{W}{K} \right]$ ο συντελεστής σημειακής θερμοπερατότητας της σημειακής θερμογέφυρας j ,
 $b_{tr,x}$ ο συντελεστής διόρθωσης, με $b_{tr,x} \neq 1$ αν η θερμοκρασία στην άλλη πλευρά του δομικού στοιχείου x δεν είναι ίση με εκείνη του εξωτερικού περιβάλλοντος, όπως σε περιπτώσεις δομικών στοιχείων που χωρίζουν θερμαινόμενους και μη θερμαινόμενους χώρους και δομικών στοιχείων σε επαφή με το έδαφος.

Επιπλέον ορίζεται η ολική μεταφορά θερμότητας από αερισμό, η οποία εξαρτάται από την παροχή του αέρα και τη διαφορά μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας (σχέση (1.8)).

$$Q_{ve} = H_{ve}(\theta_{int,set} - \theta_e)t \quad (1.8)$$

Όπου: $H_{ve} \left[\frac{W}{K} \right]$	ο ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας από αερισμό για περίοδο θέρμανσης ή ψύξης,
$\theta_{int,set} [^{\circ}C]$	η θερμοκρασία ρύθμισης του θερμαινόμενου χώρου για θέρμανση ή ψύξη,
$\theta_e [^{\circ}C]$	η μέση μηνιαία θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος,
$t [h]$	η διάρκεια του χρονικού βήματος.

Ο ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας από αερισμό για περίοδο θέρμανσης ή ψύξης υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση (1.9).

$$H_{ve} = \rho_a C p_a \left(\sum_k b_{ve,k} f_{ve,t,k} \dot{V}_{ve,k} \right) \quad (1.9)$$

Όπου: $\rho_a C p_a \left[\frac{J}{m^3 K} \right]$	η θερμοχωρητικότητα του αέρα ανά κυβικό μέτρο αέρα, η οποία ισούται με $1200 \frac{J}{m^3 K}$,
$b_{ve,k}$	ο συντελεστής διόρθωσης, με $b_{ve,k} \neq 1$ αν η θερμοκρασία εισόδου του στοιχείου ροής αέρα k δεν ισούται με τη θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος,
$f_{ve,k}$	ο συντελεστής διόρθωσης λόγω χρονικής διάρκειας κάθε τύπου αερισμού, ο οποίος λαμβάνει την τιμή 1 για αθέλητο αερισμό και τιμή μικρότερη ή ίση του 1 για φυσικό και μηχανικό αερισμό, ανάλογα με το ωράριο χρήσης,
$\dot{V}_{ve,k} \left[\frac{m^3}{s} \right]$	η παροχή του στοιχείου ροής αέρα k κατά τη περίοδο θέρμανσης ή ψύξης,
k	αναπαριστά καθένα από τα στοιχεία ροής αέρα, όπως ο αέρας από διείσδυση, ο φυσικός αερισμός, ο μηχανικός αερισμός και ο επιπρόσθετος αερισμός για νυκτερινό δροσισμό.

Η ακρίβεια της στατικής μεθόδου, δηλαδή ο βαθμός στον οποίο τα αποτελέσματα των υπολογισμών αντιστοιχούν στη πραγματική ενεργειακή απαίτηση του κτιρίου, εξαρτάται κυρίως από την ποιότητα των δεδομένων εισόδου, ενώ ταυτόχρονα ορισμένα από αυτά δεν είναι γνωστά με ακρίβεια (π.χ. ο ρυθμός ανανέωσης του αέρα). Έτσι, η αβεβαιότητα των δεδομένων εισόδου διαδίδεται μέσω των τύπων και των εξισώσεων, οδηγώντας σε μεγαλύτερα σχετικά σφάλματα στα αποτελέσματα. Παράλληλα, σημειώνεται ότι ο μηνιαίος ενεργειακός υπολογισμός δίνει σωστά αποτελέσματα σε ετήσια βάση, όμως τα αποτελέσματα για μεμονωμένους μήνες κοντά στην έναρξη και την λήξη της περιόδου θέρμανσης και ψύξης μπορεί να εμπεριέχουν μεγάλα σχετικά σφάλματα [24].

Από την άλλη μεριά, οι μέθοδοι δυναμικής προσομοίωσης εφαρμόζουν αριθμητικές ή αναλυτικές μεθόδους για τον ωραίο ή υπό-ωραίο υπολογισμό των ανταλλαγών θερμότητας

σε ένα κτίριο και χρησιμοποιούνται ευρέως από τα περισσότερα λογισμικά ενεργειακής προσομοίωσης κτιρίων.

Στις μεθόδους δυναμικής προσομοίωσης, οι ωριαίες απαιτήσεις θέρμανσης και ψύξης προσδιορίζονται με βάση τα κλιματικά δεδομένα του τυπικού μετεωρολογικού έτους. Ένα τυπικό μετεωρολογικό έτος (Typical Meteorological Year-TMY) είναι ένα σύνολο μετεωρολογικών δεδομένων, το οποίο αποτελείται από τιμές δεδομένων κάθε ώρας ενός έτους για συγκεκριμένη γεωγραφική θέση. Τα δεδομένα επιλέγονται μέσα από διάφορες μετεωρολογικές μετρήσεις ανά ωριαία διαστήματα επί σειρά ετών για να δημιουργηθεί μια εικόνα του τοπικού κλίματος. Για κάθε μήνα του έτους τα δεδομένα έχουν επιλεγεί από το έτος που θεωρήθηκε πιο αντιπροσωπευτικό για τον συγκεκριμένο μήνα [26]. Παράλληλα, σημαντικό ρόλο στις δυναμικές μεθόδους διαδραματίζει η θερμική αδράνεια του κτιρίου, δηλαδή ο ρυθμός με τον οποίο ένα δομικό στοιχείο απορροφά ή αποβάλλει τη θερμότητα ανάλογα με το πάχος και τη θερμοχωρητικότητά του. Όπως αναφέρει το πρότυπο EN ISO 13790, η θερμική αδράνεια του κτιρίου, και ως εκ τούτου η εκλυόμενη θερμότητα από τη μάζα του, έχει ως συνέπεια την διατήρηση της εσωτερικής θερμοκρασίας του κτιρίου για ορισμένο χρονικό διάστημα, ακόμα κι αν ο θερμοστάτης κλείσει ή ρυθμιστεί σε διαφορετική θερμοκρασία.

Τα μοντέλα δυναμικής προσομοίωσης χαρακτηρίζονται για την ευελιξία, το μεγάλο εύρος εφαρμογής και την ακρίβειά τους. Ωστόσο, και σε αυτή τη περίπτωση, επέρχονται περιορισμοί ως προς τα δεδομένα εισόδου και τον τρόπο των υπολογισμών, καθότι συχνά αυτά τα εργαλεία λειτουργούν ως «μαύρο κουτί», επηρεάζοντας την ακρίβεια των αποτελεσμάτων.

2. Τυπικό κτίριο γραφείων

2.1 Ορισμός τυπικού κτιρίου γραφείων

Ως τυπικό κτίριο ορίζεται το κτίριο του οποίου τα γεωμετρικά και δομικά χαρακτηριστικά και συστήματα, η ενεργειακή απόδοση του κελύφους και των συστημάτων του, η λειτουργικότητα και η διάρθρωση του κόστους είναι αντιπροσωπευτικά του τυπικού και μέσου κτιριακού αποθέματος της ελληνικής επικράτειας, και το οποίο είναι αντιπροσωπευτικό των κλιματικών συνθηκών και της γεωγραφικής θέσης του.

Στα πλαίσια του έργου «Προσδιορισμός των βέλτιστων από πλευράς κόστους επιπέδων ελάχιστων απαιτήσεων ενεργειακής απόδοσης κτιρίων και δομικών στοιχείων (Άρθρο 5, παρ. 2 της Οδηγίας 2010/31/ΕΕ και του ν.4122/2013)» που δημοσιεύθηκε το 2017 από το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, είχε πραγματοποιηθεί ανάλυση του εθνικού κτιριακού αποθέματος και είχαν προσδιορισθεί τόσο τα αρχιτεκτονικά σχέδια όσο και τα οικοδομικά χαρακτηριστικά των τυπικών κτιρίων διαφόρων χρήσεων, εκ των οποίων και του τυπικού κτιρίου με χρήση γραφείων. Δεδομένου ότι η μελέτη ενεργειακής απόδοσης είναι αδύνατον να πραγματοποιηθεί για κάθε μεμονωμένο κτίριο, το τυπικό κτίριο θα πρέπει να αποτελεί μια όσο το δυνατόν ακριβέστερη αποτύπωση του πραγματικού εθνικού κτιριακού αποθέματος. Τα δεδομένα της μελέτης βασίστηκαν στην στατιστική ανάλυση του υφιστάμενου κτιριακού δυναμικού της χώρας, όπως αυτό έχει καταγραφεί σε δύο συνεχείς απογραφές της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής (ΕΛΣΤΑΤ), με την απογραφή κτιρίων της 15^{ης} Ιανουαρίου 2011, την απογραφή κατοικιών-νοικοκυριών της 9^{ης} Μαΐου 2011 και την απογραφή πληθυσμού της 18^{ης} Μαρτίου 2001.

Οι παράμετροι ανάλυσης του κτιριακού αποθέματος γραφείων ήταν οι εξής:

- Η παλαιότητα των κτιρίων:

Το τυπικό κτίριο διακρίνεται ανάλογα με τη χρονική περίοδο δόμησής του και τον ισχύοντα κανονισμό θερμομονωτικής επάρκειας. Ο διαχωρισμός σε περιόδους δόμησης πραγματοποιήθηκε σε τέσσερις κατηγορίες, όπως περιγράφηκαν στο υποκεφάλαιο 1.2.2.

- Η γεωγραφική θέση και συνεπώς οι κλιματικές συνθήκες:

Το τυπικό κτίριο εξετάζεται σε τέσσερις γεωγραφικές θέσεις, που αντιστοιχούν στις τέσσερις κλιματικές ζώνες της χώρας. Πιο συγκεκριμένα, επιλέγεται η πόλη του Ηρακλείου στην Κρήτη (35°20' N, 25°11' E), της Νέας Φιλαδέλφειας στην Αττική (38°03' N, 23°40' E), της Θεσσαλονίκης (40°31' N, 22°58' E) και της Κοζάνης (40°18' N, 21°47' E), οι οποίες αντιστοιχούν στις κλιματικές ζώνες Α, Β, Γ και Δ αντίστοιχα. Ωστόσο, στα πλαίσια της μελέτης, δεν λαμβάνονται υπόψη διαφοροποιήσεις στο τυπικό κτίριο αναλόγως της κλιματικής ζώνης στην οποία βρίσκεται, παρά μόνο ως προς ορισμένα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του.

- Τα τυπικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά των κτιρίων:

- Η τυπική γεωμετρία του τυπικού κτιρίου, συμπεριλαμβανομένου του τυπικού εμβαδού [m²], του τυπικού ύψους/πλήθος ορόφων [m], της διάπλασης του όγκου του κτιρίου, της ύπαρξης ή μη στέγης/υπογείου/πυλωτής και της αναλογία A/V , όπου A είναι το εμβαδόν όλων των επιμέρους δομικών στοιχείων του κελύφους που το διαχωρίζουν από το εξωτερικό περιβάλλον και V είναι ο όγκος του κτιρίου που περικλείεται από το παραπάνω εμβαδόν.
- Το τυπικό συμπαγές του κτιρίου, δηλαδή το ποσοστό του εμβαδού των παραθύρων ως προς το εμβαδόν του κελύφους, το ποσοστό του εμβαδού των παραθύρων χωρίς ηλιασμό, το προσανατολισμό (αζιμούθιο νότιας όψης) και το εμβαδόν των τεσσάρων όψεων του κτιρίου.

Τα βασικά δομικά μέρη του κελύφους των τυπικών κτιρίων περιλαμβάνουν το εξωτερικό περίβλημα (φέρον οργανισμός και εξωτερικά στοιχεία πλήρωσης), τα ανοίγματα (συστήματα κουφωμάτων), το ανώτερο πάτωμα (οριζόντιο δώμα, ανοικτού ή κλειστού τύπου στέγες) και το κατώτερο πάτωμα (κτίρια με πυλωτή, με ή χωρίς υπόγειο).

- Τα τυπικά δομικά συστήματα των κτιρίων και τα δομικά προϊόντα που τα απαρτίζουν, με συγκεκριμένες διαστάσεις και πάχη:

Βάσει της κατάταξης του τυπικού κτιρίου σε κάθε μια από τις εξεταζόμενες χρονολογικές περιόδους, αποδίδονται συγκεκριμένα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά στα δομικά μέρη του κελύφους. Κάθε επιμέρους δομικό στοιχείο εξετάζεται ως προς τα βασικά οικοδομικά χαρακτηριστικά (δομή και υλικά κατασκευής), αλλά και ως προς τα ειδικά οικοδομικά χαρακτηριστικά, όπως για παράδειγμα τους συντελεστές ηλιακού θερμικού κέρδους για τα κουφώματα και τους συντελεστές απορροφητικότητας, ανακλαστικότητας και εκπομπής για τα αδιαφανή δομικά στοιχεία. Η δομή του τυπικού κελύφους εκφράζεται μέσα από τις τιμές της θερμοπερατότητας, της ανηγμένης θερμοχωρητικότητας μεγάλης ή μικρής θερμικής μάζας και της πυκνότητας.

- Ο προσανατολισμός και το ποσοστό σκίασης των κτιρίων, που συναρτάται άμεσα από το τρόπο δόμησης του οικιστικού συνόλου (συνεχές ή πανταχόθεν ελεύθερο οικοδομικό σύστημα).

Με αυτόν τον τρόπο, σύμφωνα με το έργο «Προσδιορισμός των βέλτιστων από πλευράς κόστους επιπέδων ελάχιστων απαιτήσεων ενεργειακής απόδοσης κτιρίων και δομικών στοιχείων (Άρθρο 5, παρ. 2 της Οδηγίας 2010/31/ΕΕ και του ν.4122/2013)», πραγματοποιήθηκε επιλογή των αντιπροσωπευτικότερων κτιρίων γραφείων, με γνώμονα τη συνηθέστερη τυπολογία κτισμάτων με χρήση γραφείων σε κάθε χρονική περίοδο και κλιματική ζώνη. Έτσι, προέκυψαν δύο βασικοί τύποι γραφείων, οι οποίοι συγκέντρωναν στο βαθμό του εφικτού τα βασικότερα χαρακτηριστικά γνωρίσματα των κτιρίων γραφείων, επεκτεινόμενα μάλιστα στο σύνολο του εύρους των εξεταζόμενων χρονικών περιόδων δόμησης. Οι δύο τύποι βασίστηκαν σε πραγματικά κτίρια.

Ο πρώτος τύπος κτιρίων γραφείων που προέκυψε ήταν ένα μονώροφο κτίριο δύο επιπέδων με ισόγειο και όροφο, το οποίο θεωρήθηκε κυρίως αντιπροσωπευτικό των κτιρίων της επαρχίας. Ο δεύτερος τύπος γραφείων ήταν ένα πενταώροφο κτίριο έξι επιπέδων με ισόγειο και πέντε ορόφους, το οποίο συναντάται στα μεγάλα αστικά κέντρα και στο οποίο στεγάζονται γραφεία εταιρειών και ελεύθερων επαγγελματιών. Έπειτα από σύγκριση των δύο

τύπων κτιρίων, τελικά αποφασίστηκε ότι το πεντάωροφο κτίριο γραφείων αποτελεί το καταλληλότερο παράδειγμα για τη συγκεκριμένη χρήση.

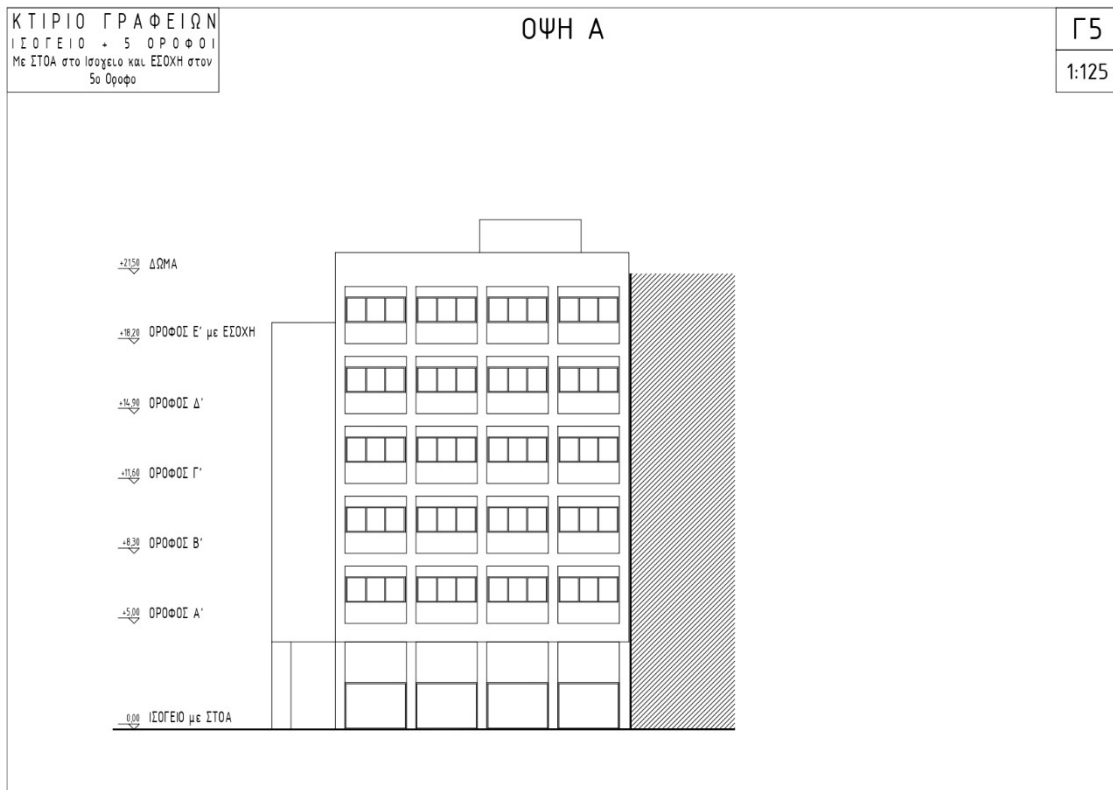
Αναφορικά με τα τεχνικά συστήματα, το τυπικό κτίριο γραφείων θεωρήθηκε ότι διαθέτει τα απαραίτητα τεχνικά συστήματα για την κάλυψη των απαιτήσεων σε θέρμανση, ψύξη, μηχανικό αερισμό και φωτισμό. Το είδος των συστημάτων και η ονομαστική ισχύς τους εξαρτώνται τόσο από την περίοδο κατασκευής του κτιρίου όσο και από την κλιματική ζώνη στην οποία ανήκει, λόγω των διαφορετικών απωλειών θερμότητας και ψυκτικών φορτίων που υπολογίζονται. Ωστόσο, η μελέτη της παρούσας εργασίας περιορίζεται στον υπολογισμό των ενεργειακών απαιτήσεων του τυπικού κτιρίου γραφείων, με αποτέλεσμα να μην λαμβάνονται υπόψη τα τεχνικά συστήματα και οι ενεργειακές καταναλώσεις τους.

2.2 Δεδομένα και παραδοχές για τη προσομοίωση του τυπικού κτιρίου γραφείων

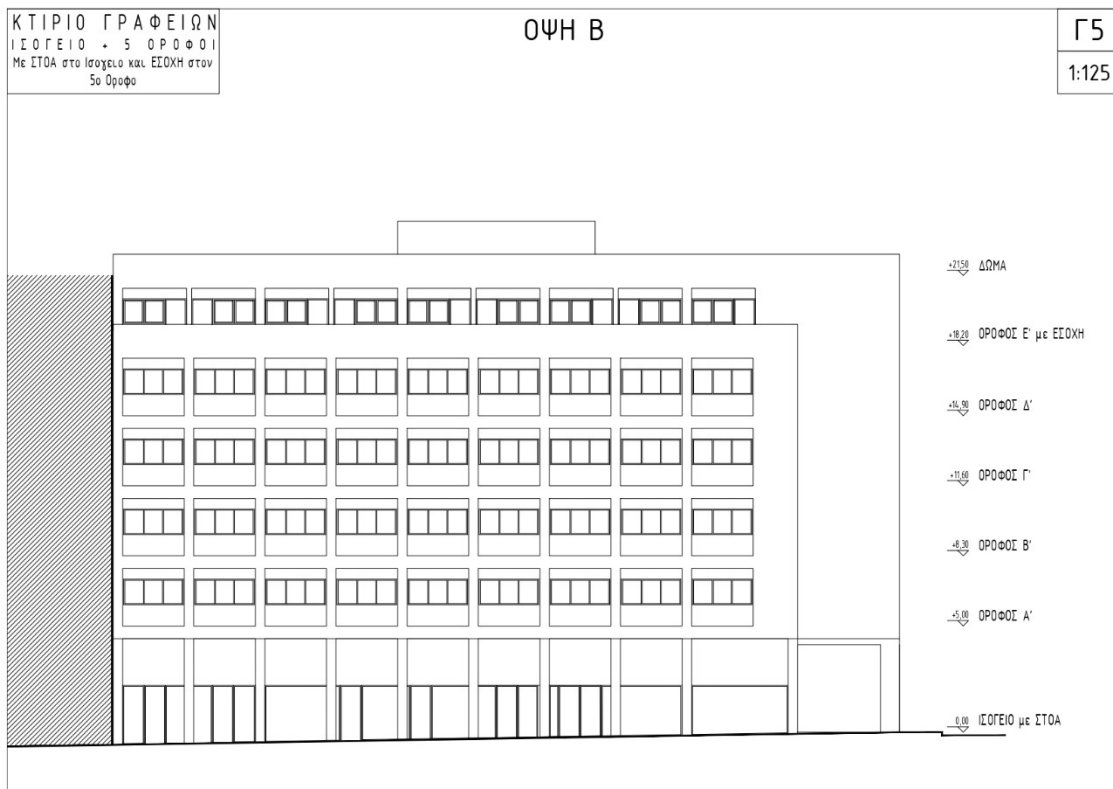
2.2.1 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά και χωροθέτηση του τυπικού κτιρίου γραφείων

Όπως αναφέρθηκε, η τυπολογία του κτιρίου γραφείων που επιλέχθηκε ως η συνηθέστερη και πιο αντιπροσωπευτική του ελληνικού κτιριακού αποθέματος γραφείων για το σύνολο των εξεταζόμενων χρονικών περιόδων δόμησης είναι ένα πεντάωροφο κτίριο έξι επιπέδων με ισόγειο και πέντε ορόφους.

Ως κυρίαρχη γεωμετρία του τυπικού κτιρίου αναδεικνύεται η ορθογωνική κάτοψη. Το ισόγειο βρίσκεται σε εσοχή του κτιρίου και περιβάλλεται από μια στοά στη νότια και ανατολική όψη του. Ο πρώτος έως και ο τέταρτος όροφος εμφανίζουν την ίδια χωροδιάταξη και επομένως μπορούν να απεικονιστούν με κοινή κάτοψη, η οποία αναφέρεται ως κάτοψη τυπικού ορόφου. Ο πέμπτος και τελευταίος όροφος παρουσιάζει παρόμοια χωροδιάταξη, όμως διαφέρει από τους υπόλοιπους καθότι βρίσκεται σε εσοχή (ρετιρέ), σχηματίζοντας βεράντα και καταλαμβάνοντας έτσι μικρότερη επιφάνεια γραφείων. Στα Σχήματα 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5 φαίνονται η ανατολική και νότια όψη του κτιρίου, καθώς και η κάτοψη του ισογείου, του τυπικού ορόφου και του πέμπτου ορόφου αντίστοιχα.



Σχήμα 2.1: Ανατολική όψη του τυπικού κτιρίου γραφείων.

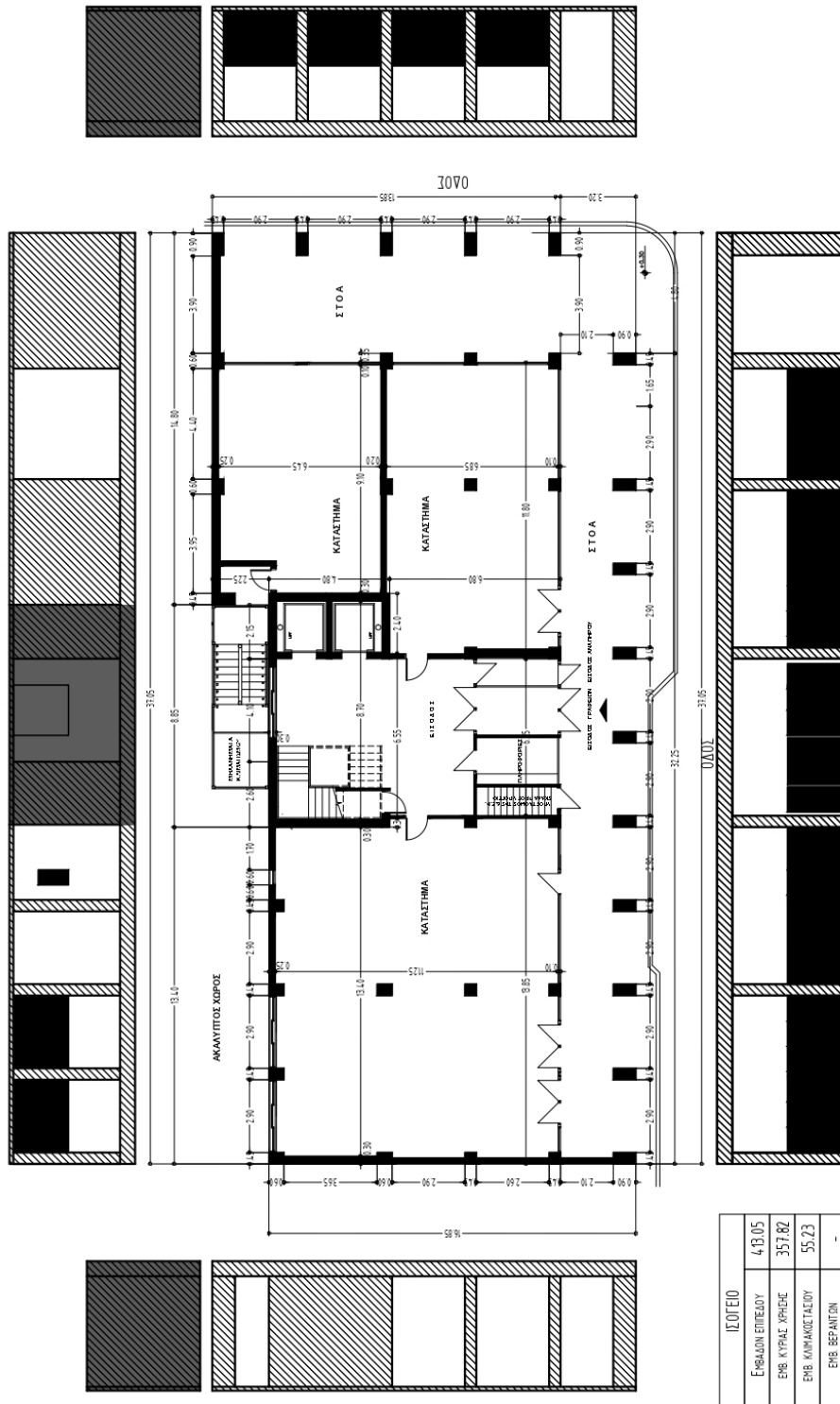


Σχήμα 2.2: Νότια όψη του τυπικού κτιρίου γραφείων.

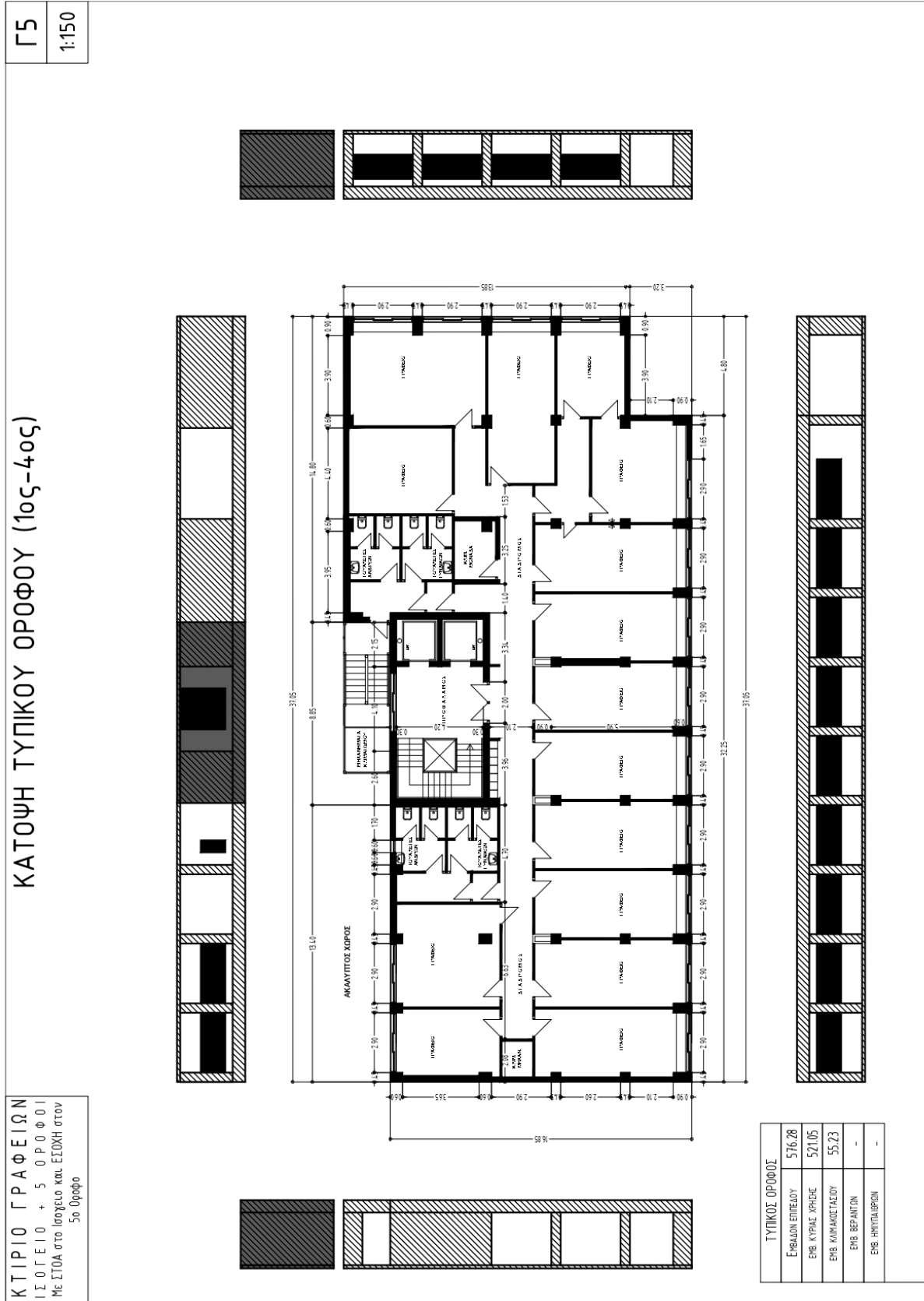
Γ5
1:150

ΚΑΤΩΦΗ ΙΣΟΓΕΙΟΥ

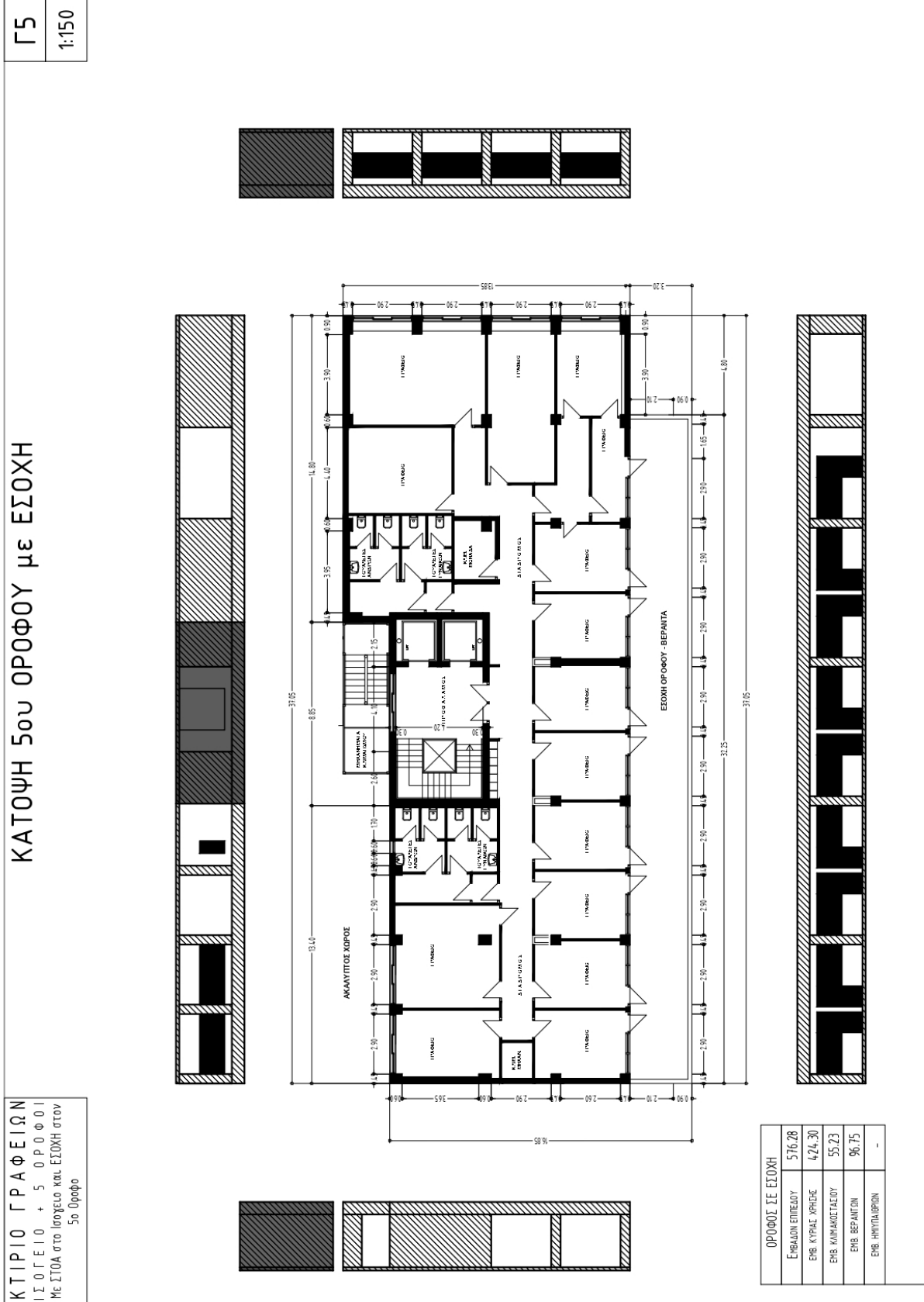
ΚΤΙΡΙΟ ΓΡΑΦΕΙΩΝ
ΙΣΟΓΕΙΟ + 5 ΟΡΟΦΟΙ
Με ΣΤΟΑ στο Ισόγειο και ΣΙΔΗ στον
5ο Όροφο



Σχήμα 2.3: Κάτοψη ισογείου τυπικού κτιρίου γραφείων.



Σχήμα 2.4: Κάτοψη τυπικού ορόφου τυπικού κτιρίου γραφείων.



Σχήμα 2.5: Κάτοψη πέμπτου ορόφου τυπικού κτιρίου γραφείων.

Το ύψος των ορόφων είναι 3.3 m, ενώ το ισόγειο έχει ύψος 5 m. Το εμβαδόν του επιπέδου κάθε ορόφου ανέρχεται στα 576.28 m², εκ των οποίων το εμβαδόν της κύριας χρήσης, αφαιρώντας δηλαδή το εμβαδόν του κλιμακοστασίου και της βεράντας, είναι 521.05 m² για τους τυπικούς ορόφους και 424.30 m² για το ρετιρέ. Επιπλέον, υπολογίζεται ότι για το σύνολο των ορόφων του κτιρίου ο λόγος $\frac{A}{V}$ ισούται με 0.30 $\frac{m^2}{m^3}$ και ο λόγος του εμβαδού των διαφανών δομικών στοιχείων της βόρειας, νότιας, ανατολικής και δυτικής όψης προς το συνολικό εμβαδόν του κελύφους των ορόφων (WWR) προκύπτει 2.46%, 5.89%, 2.13% και 0.00% αντίστοιχα.

Αναφορικά με τη χωροθέτηση του τυπικού κτιρίου, η πρόσοψη έχει άζιμούθιο 180°, δηλαδή το κτίριο έχει νότιο προσανατολισμό. Για τη διαμόρφωση της σκίασης, θεωρήθηκε πως περιμετρικά υπάρχουν ισοϋψή κτίρια με ίδιο αριθμό ορόφων με το τυπικό κτίριο. Οι αποστάσεις του τυπικού κτιρίου γραφείων με τα κτίρια περιμετρικά αυτού παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.1. Παρατηρείται ότι η δυτική όψη του κτιρίου είναι τυφλή, δηλαδή το κτίριο βρίσκεται σε άμεση επαφή με διπλανό ισοϋψές κτίριο.

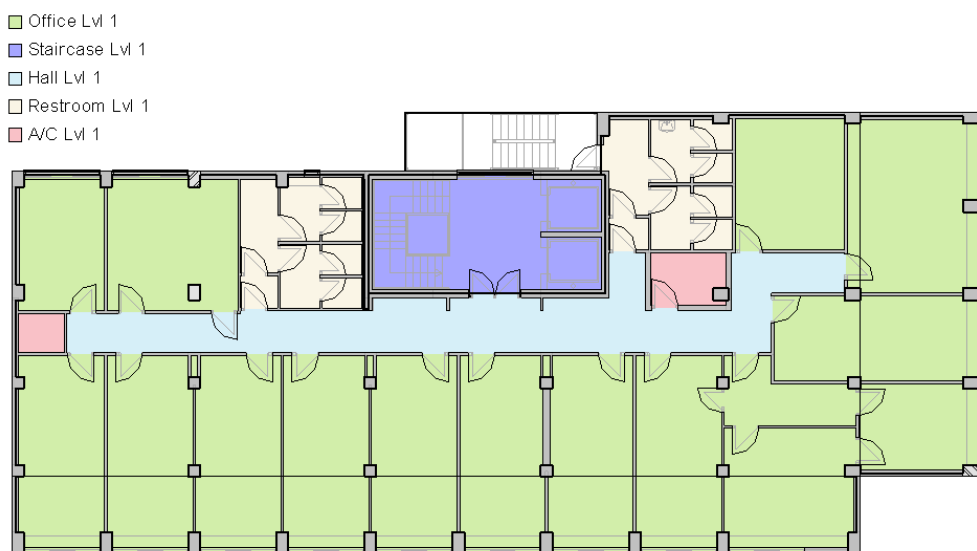
Πίνακας 2.1: Αποστάσεις μεταξύ των διαφόρων όψεων του τυπικού κτιρίου γραφείων και των απέναντι κτιρίων.

Όψη τυπικού κτιρίου γραφείων	Απόσταση από απέναντι κτίρια [m]
Μεγάλη ανατολική όψη	20.00
Μικρή ανατολική όψη	24.80
Μεγάλη νότια όψη	24.00
Μικρή νότια όψη	27.00
Μεγάλη δυτική όψη	0.00
Μικρή δυτική όψη	22.25
Αριστερή βόρεια όψη	7.50
Δεξιά βόρεια όψη	5.20

2.2.2 Θερμικές ζώνες και συνθήκες λειτουργίας του τυπικού κτιρίου γραφείων

Σύμφωνα με τις οδηγίες της TOTEE 20701-1/2017 [18], το κτίριο χωρίζεται σε «θερμικές ζώνες», δηλαδή χώρους με παρόμοια χρήση, ίδιο προφίλ λειτουργίας και κοινά ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα. Ο διαχωρισμός αυτός γίνεται στο μικρότερο δυνατό αριθμό ζωνών, προκειμένου να επιτευχθεί οικονομία στο πλήθος των δεδομένων εισόδου και στον υπολογιστικό χρόνο. Πιο συγκεκριμένα, στο πλαίσιο της μελέτης ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου, καθορίζονται οι θερμαινόμενοι χώροι, οι μη θερμαινόμενοι χώροι (Μ.Θ.Χ.) και οι ηλιακοί χώροι (π.χ. αίθρια), που γειτνιάζουν και έχουν θερμική σύζευξη με τους θερμαινόμενους χώρους. Οι μη θερμαινόμενοι και οι ηλιακοί χώροι του κτιρίου είναι ενεργειακά αδρανείς χώροι, χωρίς απαιτήσεις για θέρμανση, ψύξη και αερισμό. Κατά τους υπολογισμούς, τα εσωτερικά θερμικά κέρδη και ο φωτισμός των μη θερμαινόμενων και των ηλιακών χώρων θεωρούνται μηδενικά. Ωστόσο, συμμετέχουν δυναμικά στον υπολογισμό των απαιτούμενων φορτίων για θέρμανση και ψύξη των θερμαινόμενων χώρων (θερμικές ζώνες) και για το λόγο αυτό περιγράφονται και καθορίζονται με την ίδια ακρίβεια όπως και οι θερμαινόμενοι χώροι [18].

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, θεωρείται ότι το ισόγειο αποτελείται από χώρους καταστημάτων, δηλαδή ζώνες άλλης χρήσης με άλλες συνθήκες λειτουργίας, που για λόγους ασφαλείας λαμβάνονται υπόψιν ως Μ.Θ.Χ., ενώ οι πέντε όροφοι υπέρ του ισογείου φιλοξενούν τους χώρους των γραφείων, των WC, των κλιματιστικών μηχανημάτων και του διαδρόμου (θερμαινόμενοι χώροι) καθώς και του κλιμακοστασίου (Μ.Θ.Χ.), όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 2.6. Ωστόσο, γίνεται η παραδοχή ότι όλα τα ξεχωριστά δωμάτια κάθε ορόφου, πέραν του κλιμακοστασίου που είναι Μ.Θ.Χ., έχουν κοινές συνθήκες λειτουργίας και επομένως ανήκουν σε μια θερμική ζώνη, η οποία λαμβάνει τα χαρακτηριστικά των συνθηκών λειτουργίας των κτιρίων γραφείων.



Σχήμα 2.6: Κατηγοριοποίηση των χώρων του τυπικού ορόφου γραφείων ως προς τη χρήση.

Καθότι οι πραγματικές συνθήκες λειτουργίας των κτιρίων γραφείων μπορεί να διαφέρουν κατά περίπτωση, ανάλογα τη χρήση και τους χρήστες του κτιρίου, είναι απαραίτητο να ορίζονται σε εθνικό επίπεδο οι αποδεκτές συνθήκες λειτουργίας του κτιρίου, προκειμένου να προσδιορίζεται με τους υπολογισμούς η εκτιμώμενη κατανάλωση ενέργειας, η οποία και τελικά θα χαρακτηρίζει την ενεργειακή απόδοση του κτιρίου. Οι παράμετροι που σχετίζονται με τις συνθήκες λειτουργίας των κτιρίων καθορίζονται, σύμφωνα με τα ευρωπαϊκά πρότυπα (ENISO13790:2008 και EN 15251:2007 κ.ά.) στην TOTEE 20701-1/2017 [18] και περιγράφονται ακολούθως για το τυπικό κτίριο γραφείων.

Ωράριο και περίοδος λειτουργίας του κτιρίου

Το τυπικό ωράριο λειτουργίας του τυπικού κτιρίου γραφείων είναι 10 ώρες/ημέρα και η τυπική περίοδος λειτουργίας του είναι 5 ημέρες/εβδομάδα επί 12 μήνες/χρόνο. Αντίστοιχα, το ωράριο και η περίοδος λειτουργίας των βοηθητικών χώρων του τυπικού κτιρίου (π.χ. διάδρομοι, WC, κλιμακοστάσια) είναι το ίδιο με αυτό της κύριας χρήσης. Σημειώνεται ότι για τους υπολογισμούς των θερμικών και ψυκτικών φορτίων, λαμβάνονται συγκεκριμένες περιόδους για τη θέρμανση και ψύξη ανάλογα με την κλιματική ζώνη. Για τη ζώνη Α και Β η περίοδος θέρμανσης είναι από την 1^η Νοεμβρίου μέχρι και τις 15 Απριλίου και η περίοδος ψύξης από τις 15 Μαΐου μέχρι και τις 15 Σεπτεμβρίου. Για τη ζώνη Γ και Δ η περίοδος θέρμανσης είναι από την 15 Οκτωβρίου μέχρι και τις 30 Απριλίου και η περίοδος ψύξης από την 1^η Ιουνίου μέχρι και τις 31 Αυγούστου.

Επιθυμητή θερμοκρασία και σχετική υγρασία των εσωτερικών χώρων

Η θερμική άνεση στο εσωτερικό των κτιρίων είναι μια σχετικά υποκειμενική κατάσταση, που επηρεάζεται από μια σειρά παραμέτρων και συνθηκών, οι σημαντικότερες εκ των οποίων είναι η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία του εσωτερικού αέρα. Με βάση αυτές τις παραμέτρους προσαρμόζονται τα συστήματα θέρμανσης, για τη ρύθμιση της θερμοκρασίας του αέρα, και τα συστήματα κλιματισμού, για τη ρύθμιση της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας του αέρα. Για την εκτίμηση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, τα συνιστώμενα όρια εσωτερικής θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας καθορίζονται σε εθνικό επίπεδο από το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 15251:2007 με στόχο την επίτευξη της θερμικής άνεσης με τη μικρότερη δυνατή κατανάλωση ενέργειας. Για την περίπτωση των κτιρίων γραφείων, η τιμή της εσωτερικής θερμοκρασίας είναι 20 °C κατά τη χειμερινή περίοδο και 26 °C κατά τη θερινή περίοδο, ενώ η τιμή της σχετικής υγρασίας είναι 35% κατά τη χειμερινή περίοδο και 45% κατά τη θερινή περίοδο.

Απαιτούμενος νωπός αέρας εσωτερικών χώρων

Η εξασφάλιση συνθηκών υγιεινής στο εσωτερικό των κτιρίων προϋποθέτει την ανανέωση του αέρα, δηλαδή την αντικατάσταση μέρους του εσωτερικού αέρα από νωπό αέρα περιβάλλοντος. Οι απαιτήσεις νωπού αέρα καθορίζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να καλύπτουν τον ελάχιστο απαιτούμενο αερισμό ($\text{m}^3/\text{h}/\text{άτομο}$) ανάλογα με την πυκνότητα του πληθυσμού ($\text{άτομα}/\text{m}^2$), σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 15251:2007, το πρότυπο της ASHRAE 62.1-2010 και την Τεχνική Οδηγία του Τεχνικού Επιμελητηρίου Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 2425/86. Για το τυπικό κτίριο γραφείων, η πυκνότητα του πληθυσμού θεωρείται ίση με 10 άτομα/100 m^2 επιφάνειας δαπέδου και ο ενδεικνύμενος απαιτούμενος νωπός αέρας ανά άτομο και ανά μονάδα επιφάνειας δαπέδου είναι 30 $\text{m}^3/\text{h}/\text{άτομο}$ και 3.00 $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ αντίστοιχα.

Απαιτήσεις φωτισμού

Η εξασφάλιση της οπτικής άνεσης, δηλαδή η εξασφάλιση της απαιτούμενης ποσότητας και ποιότητας φωτισμού που επιτρέπει την ευχάριστη διαμονή και άσκηση της προβλεπόμενης δραστηριότητας, χωρίς φαινόμενα που να οδηγούν στην οπτική δυσφορία και κόπωση, αποτελεί πρωταρχικό μέλημα ιδιαίτερα για ένα κτίριο γραφείων. Για αυτό το λόγο, καθορίζεται η τιμή της εγκατεστημένης ισχύος φωτισμού για το τυπικό κτίριο γραφείων, η οποία ανέρχεται στα 41,696 kW για τη Χ.Π. 1 και Χ.Π. 2, στα 29,598 kW για τη Χ.Π. 3 και στα 14,252 kW για τη Χ.Π. 4. Οι παραπάνω τιμές προέκυψαν ύστερα από μελέτη φωτισμού, που διενεργήθηκε από αρμόδιο μηχανικό για τις ανάγκες του έργου, με βάση τα τυπικά φωτιστικά ανά χρονική περίοδο.

Εσωτερικά κέρδη κτιρίου

Τα εσωτερικά κέρδη των κτιρίων, δηλαδή η παραγόμενη/εκλυόμενη θερμότητα στο εσωτερικό των κτιρίων, επηρεάζει τη θερμοκρασία των χώρων και κατά συνέπεια τα φορτία θέρμανσης και ψύξης. Ως εκ τούτου είναι σημαντικό να λαμβάνονται υπόψη κατά τους υπολογισμούς των ενεργειακών καταναλώσεων. Τα εσωτερικά κέρδη συμπεριλαμβάνουν τα αισθητά κέρδη από τον ηλεκτροφωτισμό, τα οποία συνυπολογίζονται στην εγκατεστημένη ισχύ των φωτιστικών που αναφέρθηκε ανωτέρω, τα αισθητά και λανθάνοντα κέρδη που προκύπτουν κατά την έκλυση θερμότητας από τους χρήστες του κτιρίου και τα αισθητά κέρδη από τον εξοπλισμό.

Αναλυτικότερα, κάθε άτομο, ανάλογα τη δραστηριότητά του, εκλύει θερμότητα υπό τη μορφή αισθητού και λανθάνοντος φορτίου. Το αισθητό φορτίο οφείλεται στην ακτινοβολία του σώματός του και τη μεταφορά θερμότητας μέσω συναγωγής από το σώμα του στον αέρα. Η αναλογία ακτινοβολίας-συναγωγής είναι περίπου 50%-50% και εξαρτάται από την ένδυση και τη δραστηριότητα του ατόμου. Το λανθάνον φορτίο οφείλεται στην αναπνοή και στην εφίδρωση κάθε ανθρώπου και αυξάνεται αναλογικά με τη δραστηριότητα του ατόμου. Ο συνυπολογισμός της έκλυσης θερμότητας από τους χρήστες στα φορτία του κτιρίου γίνεται βάσει του μέσου συντελεστή παρουσίας χρηστών, ενός συντελεστή ετεροχρονισμού μέσω του οποίου αντιστοιχίζεται η πραγματική κατά μέσο όρο παρουσία των ατόμων στους χώρους, κατά τη διάρκεια της λειτουργικής ημέρας. Για την περίπτωση του τυπικού κτιρίου γραφείων, η αισθητή και η λανθάνουσα θερμική ισχύς των χρηστών-εργαζομένων λαμβάνονται 80 και 60 W/άτομο αντίστοιχα, με μέσο συντελεστή παρουσίας των εργαζομένων στο κτίριο γραφείων ίσο με 30%.

Η εκλυόμενη θερμική ισχύς από ηλεκτρικό κυρίως εξοπλισμό (ηλεκτρικές συσκευές) και δευτερευόντως από άλλες συσκευές, είναι η τρίτη βασική κατηγορία εσωτερικών κερδών στα κτίρια. Η μεταφορά θερμότητας γίνεται μέσω ακτινοβολίας και συναγωγής, σε αναλογία που εξαρτάται από το είδος της συσκευής. Στη συντριπτική πλειοψηφία των εφαρμογών αυτά τα κέρδη εισέρχονται στο χώρο υπό τη μορφή αισθητής θερμότητας. Λόγω αυξημένης παρουσίας ηλεκτρικών συσκευών στα κτίρια γραφείων, τα εσωτερικά κέρδη από τις συσκευές είναι ιδιαίτερα σημαντικά σε αυτή τη περίπτωση και φτάνουν τα 15 W/m². Για το συνυπολογισμό του εξοπλισμού στα φορτία του κτιρίου γραφείων χρησιμοποιείται ένας μέσος συντελεστής ετεροχρονισμού 30%, που αντιστοιχίζει τη πραγματική κατά μέσο όρο λειτουργία των συσκευών στους χώρους κατά τη διάρκεια της λειτουργικής ημέρας. Τελικά, η μέση ετεροχρονισμένη ισχύς εξοπλισμού για το τυπικό κτίριο γραφείων είναι 4.5 W/m².

Αθέλητος αερισμός εσωτερικών χώρων

Μια ακόμη παράμετρος που επηρεάζει τις απαιτήσεις των κτιρίων σε θέρμανση και ψύξη είναι ο αθέλητος αερισμός. Ο αθέλητος αερισμός ορίζεται ως η ανεξέλεγκτη παροχή του εξωτερικού αέρα που εισέρχεται στους χώρους του κτιρίου μέσω χαραμιάδων του κτιριακού κελύφους και επομένως εξαρτάται από το είδος και την ποιότητα των κουφωμάτων, τα οποία διαφοροποιούνται ανάλογα με τη χρονική περίοδο δόμησης. Στο τυπικό κτίριο γραφείων θεωρείται ότι ο ρυθμός διείσδυσης του εξωτερικού αέρα είναι 2,692 m³/h για τη Χ.Π. 1, 2,169 m³/h για τη Χ.Π. 2, 1,126 m³/h για τη Χ.Π. 3 και 385 m³/h για τη Χ.Π. 4.

Στον Πίνακα 2.2 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι συνθήκες λειτουργίας του τυπικού κτιρίου γραφείων που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Πίνακας 2.2: Συνθήκες λειτουργίας τυπικού κτιρίου γραφείων.

Συνθήκες λειτουργίας τυπικού κτιρίου γραφείων	
Τυπικό ωράριο λειτουργίας	10 ώρες/ημέρα, 5 ημέρες/εβδομάδα, 12 μήνες/χρόνο
Σημείο ρύθμισης θερμοκρασίας κατά τη χειμερινή περίοδο	20 °C
Σημείο ρύθμισης θερμοκρασίας κατά τη θερινή περίοδο	26 °C
Σημείο ρύθμισης υγρασίας κατά τη χειμερινή περίοδο	35%

Σημείο ρύθμισης υγρασίας κατά τη θερινή περίοδο	45%
Πυκνότητα πληθυσμού	0.1 άτομα/m ²
Συντελεστής παρουσίας	30%
Απαιτούμενος νωπός αέρας	3.00 m ³ /h/m ²
Εγκατεστημένη ισχύς φωτισμού	41,696 kW για X.Π. 1 & 2, 29,598 kW για X.Π. 3, 14,252 kW για X.Π. 4
Αισθητή θερμική ισχύς από εργαζομένους	80 W/άτομο
Λανθάνουσα θερμική ισχύς από εργαζομένους	60 W/άτομο
Θερμική ισχύς ηλεκτρικού εξοπλισμού	15 W/m ² , με συντελεστή ετεροχρονισμού 30%
Ρυθμός διείσδυσης εξωτερικού αέρα	2,692 m ³ /h για X.Π. 1 2,169 m ³ /h για X.Π. 2 1,126 m ³ /h για X.Π. 3 385 m ³ /h για X.Π. 4

2.2.3 Θερμοφυσικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του τυπικού κτιρίου γραφείων

Για την περιγραφή του θερμοφυσικού προφίλ των δομικών στοιχείων του κελύφους κρίνεται απαραίτητη η εισαγωγή σε κάποιες βασικές έννοιες και σχέσεις.

Κατά απλοποιητική παραδοχή, η ροή θερμότητας μέσω ενός δομικού στοιχείου αντιμετωπίζεται ως μονοδιάστατο μέγεθος και με διεύθυνση κάθετη προς την επιφάνεια του εξεταζόμενου δομικού στοιχείου. Οι ανταλλαγές θερμότητας θεωρούνται επίσης ανεξάρτητες από το χρόνο (στάσιμη κατάσταση) και ανεπηρέαστες από εξωγενείς παράγοντες. Ομοίως, όλα τα δομικά υλικά θεωρούνται κατά παραδοχή ομογενή και ισότροπα, με σταθερά θερμοφυσικά χαρακτηριστικά και ανεπηρέαστα από τις μεταβολές της θερμοκρασίας [27].

Με βάση τα παραπάνω, ως $R \left[\frac{m^2 K}{W} \right]$ συμβολίζεται η αντίσταση που προβάλλει μια ομογενής στρώση ενός δομικού στοιχείου στη ροή θερμότητας και υπολογίζεται από το γενικό τύπο της σχέσης (2.1).

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad (2.1)$$

Όπου $R \left[\frac{m^2 K}{W} \right]$ είναι η αντίσταση που προβάλλει η στρώση του δομικού στοιχείου στη ροή θερμότητας, $d \left[m \right]$ είναι το πάχος της στρώσης και $\lambda \left[\frac{W}{(mK)} \right]$ είναι ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του υλικού της στρώσης.

Το σύνολο των θερμικών αντιστάσεων όλων των στρώσεων ενός δομικού στοιχείου, που αποτελείται από n ομογενείς στρώσεις υλικών, ορίζει την αντίσταση θερμοδιαφυγής ($R_A \left[\frac{m^2 K}{W} \right]$) και προκύπτει από το άθροισμα των επί μέρους αντιστάσεων της κάθε στρώσης κατά τη γενικευμένη σχέση (2.2).

$$R_A = \sum_{j=1}^n R_j = \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\lambda_j} \quad (2.2)$$

Η σειρά των στρώσεων ενός δομικού στοιχείου δεν επηρεάζει υπολογιστικά τη ροή θερμότητας μέσω αυτού, επηρεάζει όμως την αξιοποίηση της θερμοχωρητικότητάς τους. Πιο συγκεκριμένα, η τοποθέτηση της θερμομονωτικής στρώσης σε θέση πλησιέστερη προς την εσωτερική επιφάνεια περιορίζει τη θερμοχωρητικότητα του δομικού στοιχείου, δηλαδή μειώνει την ικανότητά του να αποθηκεύει θερμότητα στη μάζα του, την οποία θα εκλύσει σε βάθος χρόνου προς το εσωτερικό του κτιρίου. Αντιθέτως, η τοποθέτηση της θερμομονωτικής στρώσης σε θέση πλησιέστερη προς την εξωτερική επιφάνεια επαυξάνει τη θερμοχωρητικότητά του.

Από την άλλη πλευρά, η θερμοχωρητικότητα του δομικού στοιχείου επηρεάζεται καθοριστικά από τη μάζα του. Όσο μεγαλύτερη είναι η μάζα του δομικού στοιχείου, τόσο μεγαλύτερη είναι και η ικανότητα αποθήκευσης θερμότητας. Στόχος είναι η αποθηκευόμενη ποσότητα θερμότητας να μπορεί να επαναποδοθεί στο εσωτερικό περιβάλλον του κτιρίου, όταν η θερμοκρασία του χώρου πέφτει σε χαμηλότερα επίπεδα από τη θερμοκρασία της μάζας του [27].

Οι θερμικές απώλειες ενός δομικού στοιχείου εκφράζονται μέσω του συντελεστή θερμοπερατότητας $U \left[\frac{W}{m^2K} \right]$, που δίνει την ποσότητα θερμότητας που μεταφέρεται στη μονάδα του χρόνου σε σταθερό θερμοκρασιακό πεδίο μέσω της μοναδιαίας επιφάνειας ενός δομικού στοιχείου, όταν η διαφορά θερμοκρασίας του αέρα στις δύο όψεις του δομικού στοιχείου ισούται με τη μονάδα. Ο συντελεστής θερμοπερατότητας ενός αδιαφανούς δομικού στοιχείου υπολογίζεται μέσω της σχέσης (2.3), στην οποία ορίζεται ως το αντίστροφο του αθροίσματος των θερμικών αντιστάσεων που προβάλλουν οι διαδοχικές στρώσεις του δομικού στοιχείου στη θεωρούμενη κατά παραδοχή μονοδιάστατη και κάθετη στην επιφάνειά του ροή θερμότητας και των αντίστοιχων θερμικών αντιστάσεων που προβάλλουν οι εκατέρωθεν των όψεων του στρώσεις αέρα [27].

$$U = \frac{1}{R_{o\lambda}} = \frac{1}{R_i + R_A + R_\delta + R_o} \quad (2.3)$$

Όπου:

$U \left[\frac{W}{m^2K} \right]$ ο συντελεστής θερμοπερατότητας του δομικού στοιχείου,

$R_i \left[\frac{m^2K}{W} \right]$ η αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στη μετάδοση θερμότητας από τον εσωτερικό χώρο προς το δομικό στοιχείο,

$R_A \left[\frac{m^2K}{W} \right]$ η αντίσταση θερμοδιαφυγής για το σύνολο των στρώσεων του δομικού στοιχείου που δίνεται από τη σχέση (2.2),

$R_\delta \left[\frac{m^2K}{W} \right]$ η θερμική αντίσταση του στρώματος αέρα σε τυχόν υφιστάμενο διάκενο ανάμεσα στις στρώσεις του δομικού στοιχείου, με την προϋπόθεση ότι ο αέρας του διακένου δεν επικοινωνεί ούτε με το εσωτερικό ούτε με το εξωτερικό περιβάλλον και άρα θεωρείται πρακτικά ακίνητος,

$R_o \left[\frac{m^2K}{W} \right]$ η αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στη μετάδοση θερμότητας από το δομικό στοιχείο προς το εξωτερικό περιβάλλον.

Έστω ότι $U_{nofilm} \left[\frac{W}{m^2K} \right]$ συμβολίζεται ο συντελεστής θερμοπερατότητας για το σύνολο των στρώσεων του δομικού στοιχείου, κατά τον υπολογισμό του οποίου θεωρείται απουσία διακένου ανάμεσα στις στρώσεις και δεν λαμβάνονται υπόψη οι θερμικές αντιστάσεις που προβάλλουν οι εκατέρωθεν του δομικού στοιχείου στρώσεις αέρα. Τότε, το συνολικό U και το U_{nofilm} συνδέονται σύμφωνα με τη σχέση (2.4).

$$U_{nofilm} = \frac{1}{\frac{1}{U} - R_i - R_o} \quad (2.4)$$

Επιπλέον, ορίζονται οι συντελεστές απορροφητικότητας και ανακλαστικότητας μιας επιφάνειας στην ηλιακή ακτινοβολία. Από το σύνολο της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε μια αδιαφανή επιφάνεια, ένα μέρος της θα απορροφηθεί, ενώ ένα άλλο μέρος της θα ανακλαστεί από αυτή. Το άθροισμα του ποσοστού της ηλιακής ακτινοβολίας που ανακλάται και του ποσοστού που απορροφάται από την επιφάνεια ισούται με τη μονάδα, σύμφωνα με τη σχέση (2.5).

$$\rho + \alpha = 1 \quad (2.5)$$

Όπου: ρ ο συντελεστής ανακλαστικότητας της επιφάνειας στην ηλιακή ακτινοβολία,

α ο συντελεστής απορροφητικότητας της επιφάνειας στην ηλιακή ακτινοβολία.

Η ανακλαστικότητα και η απορροφητικότητα στην ηλιακή ακτινοβολία ενός αδιαφανούς υλικού ή μιας επιφάνειας εξαρτώνται κυρίως από τη διαμόρφωση της τελικής επιφάνειας, δηλαδή από το χρώμα και την υφή της. Ο συντελεστής ανακλαστικότητας στιλπνών και λείων επιφανειών πλησιάζει προς τη μονάδα, με συνέπεια ο συντελεστής απορροφητικότητάς τους να είναι σχεδόν μηδενικός. Αντιθέτως, σκουρόχρωμες και τραχιές επιφάνειες εμφανίζουν υψηλή απορροφητικότητα και χαμηλή ανακλαστικότητα. Αυτές οι ιδιότητες των τελικών επιφανειών του κτιριακού κελύφους προσδιορίζουν ουσιαστικά τα ηλιακά κέρδη των αδιαφανών δομικών στοιχείων και διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο, κυρίως στις περιπτώσεις όπου οι επιφάνειες δέχονται μεγάλες ποσότητες ακτινοβολίας, όπως για παράδειγμα στα δώματα [18].

Από το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που έχει απορροφηθεί από μια εξωτερική επιφάνεια, ένα μέρος της εκπέμπεται πίσω προς το περιβάλλον με τη μορφή θερμικής ακτινοβολίας. Η ικανότητα εκπομπής της θερμικής ακτινοβολίας διαφοροποιείται ανάλογα με το υλικό και τη διαμόρφωση της τελικής του επιφάνειας. Για συνήθη δομικά υλικά, γυάλινες επιφάνειες και φυτεμένες όψεις ο συντελεστής εκπομπής (εκπεμπτικότητα) κυμαίνεται μεταξύ 0.80 και 0.90, ενώ χαμηλότερες τιμές κοντά στο 0.20 συναντώνται σε στιλπνές μεταλλικές επιφάνειες και επιστρώσεις από γαρμπίλι [18].

Τέλος, για τα διαφανή δομικά στοιχεία, ορίζεται ο συντελεστής ηλιακού θερμικού κέρδους του κουφώματος g_w , ο οποίος εκφράζει τη μέση τιμή του λόγου της ηλιακής ακτινοβολίας που περνά από την επιφάνεια του κουφώματος προς την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε αυτό. Η τιμή του εξαρτάται από το είδος του υαλοπίνακα και το ποσοστό του πλαισίου επί του κουφώματος. Η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που απορροφάται από το πλαίσιο και μεταδίδεται με τη μορφή θερμότητας στο εσωτερικό είναι πολύ μικρή συγκριτικά με αυτήν που διέρχεται από το διαφανές τμήμα του κουφώματος και γι' αυτό αγνοείται [18]. Ο συντελεστής ηλιακού θερμικού κέρδους υπολογίζεται από τη σχέση (2.6).

$$g_w = g_{gl} (1 - F_f) = 0.9g (1 - F_f) \quad (2.6)$$

Όπου: g_{gl} ο συντελεστής ηλιακού θερμικού κέρδους του υαλοπίνακα,

F_f το ποσοστό πλαισίου στο κούφωμα,

g ο συντελεστής ηλιακού κέρδους σε κάθετη πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας

Ο συντελεστής g_{gl} εκφράζει τη μέση τιμή του λόγου της ηλιακής ακτινοβολίας που διαπερνά την επιφάνεια του υαλοπίνακα προς την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε αυτόν και λαμβάνεται ίσος με το 90% του συντελεστή ηλιακού κέρδους g σε κάθετη πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας.

Για το τυπικό κτίριο γραφείων, η ανάλυση των δομικών στοιχείων του περιορίζεται στη μελέτη του εξωτερικού περιβλήματος, εξαιρώντας δηλαδή τα δομικά στοιχεία των εσωτερικών χώρων (εσωτερικοί τοίχοι και δάπεδα ενδιάμεσα των ορόφων). Ως εκ τούτου, η ανάλυση διαρθρώνεται γύρω από το καθορισμό των θερμοφυσικών χαρακτηριστικών των αδιαφανών δομικών στοιχείων του κελύφους και των εξωτερικών κουφωμάτων..

Τα αδιαφανή δομικά στοιχεία του κελύφους κατηγοριοποιούνται σε αδιαφανή στοιχεία προς εξωτερικό αέρα και αδιαφανή στοιχεία προς Μ.Θ.Χ.. Επομένως, αναφορικά με την τοιχοποιία των ορόφων, οι τοίχοι ομαδοποιούνται σε εκείνους που είναι σε επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον και σε εκείνους που είναι σε επαφή με το κλιμακοστάσιο. Καθότι το ισόγειο, ως Μ.Θ.Χ., εξαιρείται από την ενεργειακή μελέτη, το κατώτερο πάτωμα θεωρείται εκείνο του πρώτου ορόφου. Έτσι, το δάπεδο του πρώτου ορόφου χωρίζεται σε δύο τμήματα, το τμήμα που βρίσκεται άνωθεν των χώρων του ισόγειου (Μ.Θ.Χ.) και το τμήμα άνωθεν της στοάς (εξωτερικός αέρας). Τέλος, ως προς την επιστέγαση, το κτίριο έχει δώμα συμβατικού τύπου στον πέμπτο όροφο, ενώ υπάρχει κι ένα τμήμα της οροφής του τετάρτου ορόφου που αντιστοιχεί στη βεράντα του πέμπτου ορόφου.

Ως εξωτερικά κουφώματα ορίζονται τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται για να κλείνουν τα ανοίγματα των εξωτερικών τοίχων και να οριοθετήσουν το εξωτερικό με το εσωτερικό μέρος του κτίσματος, όμως για παράδειγμα τα παράθυρα, οι εξωστόθυρες και οι εξώθυρες [28]. Τα παράθυρα του τυπικού κτιρίου γραφείων (διαφανή δομικά στοιχεία) μπορούν να ομαδοποιηθούν ανάλογα με τα θερμοφυσικά χαρακτηριστικά τους σε τρεις κατηγορίες: στα παράθυρα του WC, στα παράθυρα της πρόσωσης του ρετιρέ και στο σύνολο όλων των υπόλοιπων παραθύρων του κτιρίου που στο εξής θα αναφέρονται ως τυπικά παράθυρα. Αντίστοιχα, οι πόρτες των ορόφων χωρίζονται στην εξώθυρα χωρίς υαλοπίνακα προς τον Μ.Θ.Χ. του κλιμακοστασίου (αδιαφανές δομικό στοιχείο), στην εξώθυρα χωρίς υαλοπίνακα

προς αέρα που οδηγεί στο χώρο των μηχανημάτων κλιματισμού (αδιαφανές δομικό στοιχείο) και στις εξωστόθυρες του ρετιρέ, οι οποίες κατατάσσονται στα διαφανή δομικά στοιχεία καθότι περιλαμβάνουν υαλοπίνακες.

Με βάση τη χρονική περίοδο δόμησης, το τυπικό κτίριο γραφείων διαφοροποιείται ως προς τον συντελεστή θερμοπερατότητας των αδιαφανών και διαφανών δομικών στοιχείων του, το πάχος της θερμομονωτικής στρώσης, τον συντελεστή ηλιακού θερμικού κέρδους των διαφανών στοιχείων, καθώς και ως προς την εγκατεστημένη ισχύ φωτισμού και την παροχή αθέλητου αερισμού που περιγράφηκαν στο υποκεφάλαιο 2.2.2. Παράλληλα, με βάση την κλιματική ζώνη στην οποία ανήκει, το κτίριο διαφοροποιείται ως προς τον συντελεστή θερμοπερατότητας των αδιαφανών και διαφανών δομικών στοιχείων του και το πάχος της θερμομονωτικής στρώσης.

Ακολουθεί ο Πίνακας 2.3 όπου παρουσιάζονται οι τιμές των συντελεστών θερμοπερατότητας U των αδιαφανών δομικών στοιχείων και των κουφωμάτων για τις διαφορετικές χρονικές περιόδους δόμησης και κλιματικές ζώνες, όπως χρησιμοποιήθηκαν για τη μοντελοποίηση του τυπικού κτιρίου. Οι τιμές αυτές λήφθηκαν με βάση τις ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης που ορίζονται στον εκάστοτε ισχύοντα κανονισμό θερμομονωτικής επάρκειας, με μια προσαύξηση λόγω θερμογεφυρών $0.20 \text{ W/m}^2\text{K}$ στα κτίρια της Χ.Π. 2 στα οποία υπάρχει πλημμελής θερμομόνωση και $0.10 \text{ W/m}^2\text{K}$ στα κτίρια της Χ.Π. 3 και Χ.Π. 4. Καθότι στη Χ.Π. 1 δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των τιμών θερμοπερατότητας ανά κλιματική ζώνη, οι παραπάνω συντελεστές θερμοπερατότητας ενσωματώθηκαν σε μία τιμή. Το ίδιο ισχύει και για τις τιμές θερμοπερατότητας στις κλιματικές ζώνες Γ και Δ της Χ.Π. 2, οι οποίες δεν διαχωρίζονται στον ΚΘΚ. Σημειώνεται, επίσης, ότι η τοιχοποιία της δυτικής όψης του κτιρίου, που βρίσκεται σε άμεση επαφή με διπλανό ισοϋψές κτίριο, θεωρείται αδιαβατική και γι' αυτό το λόγο η τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητας σε αυτούς τους τοίχους λαμβάνεται κοντά στο μηδέν.

Πίνακας 2.3: Συντελεστές θερμοπερατότητας αδιαφανών δομικών στοιχείων και κουφωμάτων του τυπικού κτιρίου γραφείων ανά χρονική περίοδο δόμησης και κλιματική ζώνη.

Χρονική Περίοδος	<1980	1980-2010			2011-2017				≥ 2018			
Κλιματική Ζώνη	A/B/Γ/Δ	A	B	Γ/Δ	A	B	Γ	Δ	A	B	Γ	Δ
Είδος στοιχείου	Συντελεστές Θερμοπερατότητας U [$\text{W/m}^2\text{K}$]											
Τοίχος προς αέρα	2.52	0.90	0.90	0.90	0.70	0.60	0.55	0.50	0.65	0.55	0.50	0.45
Τοίχος προς Μ.Θ.Χ	2.45	2.45	2.10	0.90	1.60	1.10	0.90	0.80	1.40	1.00	0.75	0.7
Δάπεδο προς αέρα	2.86	0.70	0.70	0.70	0.60	0.55	0.50	0.45	0.55	0.50	0.45	0.40
Δάπεδο προς Μ.Θ.Χ.	2.10	2.10	2.10	0.90	1.30	1.00	0.85	0.80	1.20	0.90	0.75	0.70
Δώμα	3.25	0.70	0.70	0.70	0.60	0.55	0.50	0.45	0.55	0.50	0.45	0.40
Εξώθυρα προς αέρα	6.00	6.00	6.00	6.00	3.20	3.00	2.80	2.60	3.20	3.00	2.80	2.60

Εξώθυρα προς Μ.Θ.Χ.	2.80	2.80	2.80	2.80	2.60	2.60	2.60	2.60	2.20	2.20	2.20	2.20
Εξωστόθυρα ρετιρέ	6.04	3.957	3.957	3.957	3.20	3.00	2.80	2.60	2.80	2.60	2.40	2.20
Τυπικό παράθυρο	6.123	4.245	4.245	4.245	3.20	3.00	2.80	2.60	2.80	2.60	2.40	2.20
Παράθυρο WC	6.256	4.678	4.678	4.678	3.20	3.00	2.80	2.60	2.80	2.60	2.40	2.20
Παράθυρο πρόσοψης ρετιρέ	6.116	4.226	4.226	4.226	3.20	3.00	2.80	2.60	2.80	2.60	2.40	2.20

Παράλληλα, στον Πίνακα 2.4 δίνονται οι τιμές της αντίστασης θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στη μετάδοση θερμότητας από τον εσωτερικό χώρο προς το δομικό στοιχείο (R_i) και από το δομικό στοιχείο προς το εξωτερικό περιβάλλον (R_o) για την περίπτωση τοίχου, δαπέδου και δώματος.

Πίνακας 2.4: Αντίσταση θερμικής μετάβασης από τον εσωτερικό χώρο προς το δομικό στοιχείο (R_i) και από το δομικό στοιχείο προς το εξωτερικό περιβάλλον (R_o) για την περίπτωση τοίχου, δαπέδου και δώματος στο τυπικό κτίριο γραφείων.

	$R_i \left[\frac{m^2 K}{W} \right]$	$R_o \left[\frac{m^2 K}{W} \right]$
Τοιχοποιία	0.13	0.04
Δάπεδο	0.17	0.00
Δώμα	0.10	0.04

Εκτός από το συντελεστή θερμοπερατότητας, τα αδιαφανή δομικά στοιχεία χαρακτηρίζονται με την πυκνότητα και την ειδική θερμότητά τους. Με βάση τη τυπική διατομή των δομικών στοιχείων, υπολογίζεται η μέση πυκνότητα και η μέση ειδική θερμότητα, ανά χρονική περίοδο δόμησης και ανά κλιματική ζώνη, για τις εξής κατηγορίες δομικών στοιχείων: τοίχος προς αέρα, τοίχος προς Μ.Θ.Χ., δάπεδο προς αέρα, δάπεδο προς Μ.Θ.Χ. και δώμα. Η αλληλουχία των δομικών υλικών στα διάφορα δομικά στοιχεία, η πυκνότητα και η ειδική θερμότητα των υλικών, το πάχος των στρώσεων και ειδικότερα το πάχος της θερμομόνωσης εμφανίζονται στους Πίνακες 2.5 και 2.6 και προκύπτουν ως οι στατιστικά και οικοδομικά επικρατέστερες περιπτώσεις.

Στον Πίνακα 2.6 παρατηρείται ότι, όπως αναμενόταν, το πάχος της θερμομόνωσης της Χ.Π. 1 για όλες τις κλιματικές ζώνες είναι μηδενικό. Κατά τη Χ.Π. 2, η θερμομόνωση εμφανίζεται στις διατομές των δομικών στοιχείων, με μικρό όμως πάχος, ενώ εξακολουθεί να είναι απύσχα από τα δομικά στοιχεία που είναι σε επαφή με Μ.Θ.Χ.. Έκτοτε τα πάχη του θερμομονωτικού υλικού σταδιακά αυξάνουν. Μεταξύ των κλιματικών ζωνών, στην κλιματική ζώνη Δ, παρατηρούνται τα μεγαλύτερα πάχη θερμομόνωσης αφού αυξάνονται οι θερμικές απαιτήσεις.

Πίνακας 2.5: Πυκνότητα, ειδική θερμότητα και πάχος των επιμέρους δομικών υλικών των δομικών στοιχείων του τυπικού κτιρίου γραφείων.

Δομικό Στοιχείο	Επιμέρους δομικά υλικά	Πυκνότητα ρ [kg/m^3]	Ειδική θερμότητα C_p [$J/(g^\circ C)$]	Πάχος στρώσης d [m]
Φέρον οργανισμός	Ασβεστοτσιμεντοκονίαμα	1800	1.00	0.02
	Οπλισμένο σκυρόδεμα (Ο/Σ)	2400	1.00	0.26/0.21/0.16 αναλόγως το συνολικό πάχος του τοίχου
	Ασβεστοτσιμεντοκονίαμα	1800	1.00	0.02
	Θερμομονωτικό υλικό	30	1.45	Βλ. Πίνακας 2.6
	Θερμομονωτικό επίχρισμα	500	1.1	0.007/0.00 για ύπαρξη ή μη θερμομόνωσης
Τοίχος πλήρωσης	Ασβεστοτσιμεντοκονίαμα	1800	1.00	0.02
	Οπτοπλινθοδομή από διάτρητες οπτοπλίνθους	1700	1.00	0.26/0.21/0.16 αναλόγως το συνολικό πάχος του τοίχου
	Ασβεστοτσιμεντοκονίαμα	1800	1.00	0.02
	Θερμομονωτικό υλικό	30	1.45	Βλ. Πίνακας 2.6
	Θερμομονωτικό επίχρισμα	500	1.1	0.007/0.00 για ύπαρξη ή μη θερμομόνωσης
Δάπεδο	Ασβεστοτσιμεντοκονίαμα	1800	1.00	0.02
	Πλάκα Ο/Σ	2400	1.00	0.15
	Θερμομονωτικό υλικό	30	1.45	Βλ. Πίνακας 2.6
	Πλακίδια	2000	0.84	0.03
Δώμα	Ασβεστοτσιμεντοκονίαμα	1800	1.00	0.02
	Πλάκα Ο/Σ	2400	1.00	0.15
	Θερμομονωτικό υλικό	30	1.45	Βλ. Πίνακας 2.6
	Πλάκες πεζοδρομίου	2100	1.00	0.03

Πίνακας 2.6: Πάχος θερμομονωτικού υλικού στα δομικά στοιχεία του τυπικού κτιρίου γραφείων με βάση τη χρονική περίοδο δόμησης και τη κλιματική ζώνη.

Χρονική Περίοδος	<1980		1980-2010		2011-2017				≥ 2018			
	A/B	Γ/Δ	A/B	Γ/Δ	A	B	Γ	Δ	A	B	Γ	Δ
Κλιματική Ζώνη	A/B	Γ/Δ	A/B	Γ/Δ	A	B	Γ	Δ	A	B	Γ	Δ

Δομικό στοιχείο	Πάχος θερμομονωτικού υλικού [m]										
Τοίχος προς αέρα	0.00	0.04	0.03	0.05	0.06	0.07	0.08	0.06	0.07	0.08	0.09
Τοίχος προς Μ.Θ.Χ	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.04
Δάπεδο προς αέρα	0.00	0.05	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.07	0.08	0.09	0.11
Δάπεδο προς Μ.Θ.Χ.	0.00	0.00	0.00	0.02	0.03	0.03	0.04	0.02	0.03	0.04	0.04
Δώμα	0.00	0.06	0.06	0.06	0.07	0.08	0.09	0.07	0.08	0.09	0.11

Τελικά, η μέση πυκνότητα και η μέση ειδική θερμότητα υπολογίζονται μέσω των σχέσεων (2.7) και (2.8) αντίστοιχα, για τις κατηγορίες δομικών στοιχείων που αναφέρθηκαν.

$$\rho_m = \frac{\sum_{j=1}^{\nu} \rho_j d_j}{\sum_{j=1}^{\nu} d_j} \quad (2.7)$$

$$Cp_m = \frac{\sum_{j=1}^{\nu} Cp_j d_j}{\sum_{j=1}^{\nu} d_j} \quad (2.8)$$

Όπου ως $\rho_m \left[\frac{kg}{m^3} \right]$ και $Cp_m \left[\frac{J}{g \cdot ^\circ C} \right]$ συμβολίζονται η μέση πυκνότητα και η μέση ειδική θερμότητα αντίστοιχα του δομικού στοιχείου, το οποίο αποτελείται από ν ομογενείς στρώσεις δομικών υλικών σύμφωνα με τον Πίνακα 2.5, $\rho_j \left[\frac{kg}{m^3} \right]$ και $Cp_j \left[\frac{J}{g \cdot ^\circ C} \right]$ είναι η πυκνότητα και η ειδική θερμότητα αντίστοιχα του επιμέρους δομικού υλικού της στρώσης j και $d_j [m]$ είναι το πάχος της αντίστοιχης στρώσης j .

Ειδικότερα, αναφορικά με την τοιχοποιία προς αέρα και προς Μ.Θ.Χ., η μέση πυκνότητα και η μέση ειδική θερμότητα υπολογίζονται για την περίπτωση του φέροντος οργανισμού και την περίπτωση του τοίχου πλήρωσης. Λαμβάνοντας ως δεδομένο ότι οι μέσες τιμές των ποσοστών παρουσίας Ο/Σ-οπτοπλινθοδομής στο κέλυφος του τυπικού κτιρίου είναι 50%-50%, η μέση πυκνότητα των τοίχων ορίζεται ως το ημίαθροισμα της μέσης πυκνότητας του φέροντος οργανισμού και της μέσης πυκνότητας του τοίχου πλήρωσης, τα οποία υπολογίζονται για τα διαφορετικά πάχη τοίχων που εμφανίζονται στις κατόψεις. Ομοίως γίνεται και ο υπολογισμός της μέσης ειδικής θερμότητας των τοίχων.

Στη συνέχεια περιγράφονται τα ειδικά οικοδομικά χαρακτηριστικά των αδιαφανών και διαφανών δομικών στοιχείων που χρησιμοποιούνται για τη μοντελοποίηση (Πίνακας 2.7 και Πίνακας 2.8). Οι συντελεστές απορροφητικότητας, ανακλαστικότητας και εκπομπής των αδιαφανών δομικών στοιχείων λαμβάνονται για σύνηθες δομικό υλικό, ανοιχτόχρωμο επίχρισμα για τα κατακόρυφα δομικά στοιχεία και ανοιχτόχρωμη επίστρωση για τα δώματα σύμφωνα με την TOTEE 20701-1/2017 [18]. Οι συντελεστές ηλιακού θερμικού κέρδους

g_w των κουφωμάτων υπολογίζονται με βάση τη σχέση (2.6) για τις διαφορετικές χρονικές περιόδους δόμησης του τυπικού κτιρίου γραφείων.

Πίνακας 2.7: Απορροφητικότητα, ανακλαστικότητα και συντελεστής εκπομπής αδιαφανών δομικών στοιχείων του τυπικού κτιρίου γραφείων.

	Απορροφητικότητα	Ανακλαστικότητα	Συντελεστής εκπομπής
Τοιχοποιία	0.40	0.60	0.80
Δώμα	0.65	0.35	0.80
Δάπεδο	0.00	0.00	0.00

Πίνακας 2.8: Συντελεστής ηλιακού θερμικού κέρδους διαφανών δομικών στοιχείων του τυπικού κτιρίου γραφείων.

	Συντελεστής ηλιακού θερμικού κέρδους (g_w) κουφωμάτων			
	<1980	1980-2010	2011-2017	≥ 2018
Τυπικό παράθυρο	0.47	0.41	0.41	0.37
Παράθυρο WC	0.34	0.30	0.30	0.26
Παράθυρο πρόσοψης ρετιρέ	0.43	0.38	0.38	0.34
Εξωστόθυρα ρετιρέ	0.55	0.48	0.48	0.43

3. Ενεργειακή μελέτη του τυπικού κτιρίου γραφείων με τη χρήση του λογισμικού Autodesk Revit

3.1 Μοντέλα Δομικών Πληροφοριών & λογισμικό Autodesk Revit

Ως Μοντέλο Δομικών Πληροφοριών, ή αλλιώς Building Information Modeling (BIM), ορίζεται μια ολοκληρωμένη ψηφιακή αναπαράσταση τόσο των φυσικών όσο και των λειτουργικών χαρακτηριστικών μιας υποδομής, η οποία εξελίσσει το δισδιάστατο (2D) σχέδιο του έργου σε τρισδιάστατο (3D) πληροφοριακό μοντέλο. Συνιστά πηγή όλων των απαραίτητων πληροφοριών ενός κτιρίου ή μιας υποδομής γενικότερα, εμπεριέχοντας στοιχεία από τις τοιχοποιίες και τα δομικά στοιχεία, μέχρι τα υλικά κατασκευής και τα μηχανολογικά συστήματα. Σήμερα, αποτελεί το πλέον σύγχρονο μέσο για το τεχνικό σχεδιασμό και τη διαχείριση κατασκευής και λειτουργίας τεχνικών έργων, αφού θεωρείται μια αξιόπιστη βάση για τη λήψη βελτιωμένων αποφάσεων σε όλο τον κύκλο ζωής των έργων.

Η χρήση του Μοντέλου Δομικών Πληροφοριών εκτείνεται σε όλη τη διάρκεια ζωής του έργου, από τα πρώιμα στάδια της σχεδιαστικής σύλληψης έως την κατασκευή, τη λειτουργία και την κατεδάφιση. Έτσι, υποστηρίζει διαδικασίες όπως η κοστολόγηση, η διαχείριση κατασκευής, η λειτουργία της εγκατάστασης, αλλά και εφαρμογές δόμησης φιλικές προς το περιβάλλον. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την έγκαιρη πρόγνωση και αντιμετώπιση των σχεδιαστικών αναντιστοιχιών και την χρονική και οικονομική βελτιστοποίηση του έργου. Όλες αυτές οι επιπρόσθετες πληροφορίες ομαδοποιούνται και κατηγοριοποιούνται σε «διαστάσεις» που βασίζονται στο 3D ψηφιακό μοντέλο σχεδίασης της κατασκευής, το οποίο εξελίσσεται σε 4D (χρόνος), 5D (κόστος), 6D (βιωσιμότητα) και 7D (διαχείριση λειτουργίας) [29] [30].

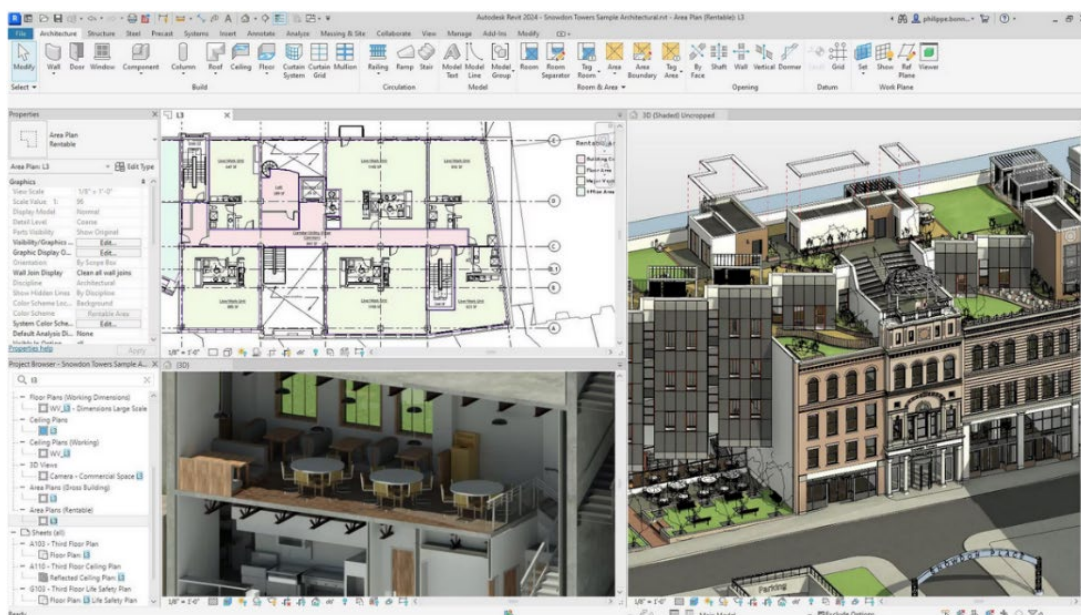
Στο 4D BIM το ψηφιακό μοντέλο αναπαριστά το ακριβές στάδιο του έργου σε κάθε χρονική στιγμή και ενσωματώνει πληροφορίες σχετικά με το είδος και τη χρονοσειρά των κατασκευών και των εγκαταστάσεων που απαιτούνται, περιορίζοντας έτσι τα λάθη και τις επαναλαμβανόμενες εργασίες. Για την παρακολούθηση του κόστους κατασκευής του κτιρίου, το 5D BIM παρέχει εργαλεία που συνδέουν το κόστος με τις 3D κατασκευές και δίνουν τη δυνατότητα στον αρχιτέκτονα, τον μηχανικό και τον ιδιοκτήτη να ελέγχουν τον οικονομικό προϋπολογισμό των εργασιών ανά πάσα στιγμή. Όσον αφορά στην ενεργειακή ανάλυση του κτιρίου, το 6D BIM δίνει πρόσβαση σε εργαλεία που παρέχουν ενεργειακά δεδομένα για την απόδοση των συστημάτων, την σκίαση, τον φωτισμό και όλες τις υπόλοιπες παραμέτρους του ενεργειακού σχεδιασμού, ήδη από τα πρώιμα στάδια της μελέτης. Τέλος, χάρη στο 7D BIM, δημιουργείται μια βάση δεδομένων για τη διαχείριση του κτιρίου, όπου εισάγονται πληροφορίες για την συντήρηση και το προσδόκιμο ζωής των στοιχείων του μοντέλου.

Παράλληλα, τα τελευταία χρόνια, τα Μοντέλα Δομικών Πληροφοριών ακολουθούν τη τάση των «πράσινων» κατασκευών και βοηθούν στη βελτίωση της βιωσιμότητας και την επίλυση περιβαλλοντικών προβλημάτων σε όλο τον κύκλο ζωής των έργων [29].

Το λογισμικό Autodesk Revit συμπεριλαμβάνεται ανάμεσα στα πιο διαδεδομένα λογισμικά BIM παγκοσμίως, μαζί με το Autodesk BIM360, το SketchUp, το Archicad, το Autodesk

Navisworks και άλλα (Σχήμα 3.1). Στο Autodesk Revit παρέχεται η δυνατότητα στο χρήστη να δημιουργήσει μια πιστή αναπαράσταση του κτιρίου που επιθυμεί να μοντελοποιήσει, μέσα από την τοποθέτηση τοίχων, παραθύρων και πορτών και την παραγωγή βιβλιοθηκών εξατομικευμένων δομικών στοιχείων («families»), κατόψεων σε διαφορετικά επίπεδα, 3D αναπαραστάσεων και 2D όψεων και τομών με ταχύτητα, ακρίβεια και φωτορεαλισμό. Πέραν του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού, μπορεί να πραγματοποιηθεί στατική ανάλυση της υποδομής και ανάλυση των μηχανολογικών, ηλεκτρικών και υδραυλικών συστημάτων. Επιπλέον, χάρη σε προηγμένα εργαλεία προσομοίωσης και δεδομένα απόδοσης κτιρίου ενσωματωμένα στο Autodesk Revit («System Analysis» και «Insight»), επιτυγχάνεται η εκτίμηση, αξιολόγηση και βελτιστοποίηση της συνολικής ενέργειας του κτιρίου, των φορτίων θέρμανσης και ψύξης, του φυσικού φωτισμού και άλλων παραμέτρων [31].

Πιο συγκεκριμένα, το εργαλείο «System Analysis» του Autodesk Revit κατασκευάστηκε με χρήση των λογισμικών EnergyPlus και OpenStudio, σε συνεργασία με το Υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ και το Εθνικό Εργαστήριο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (NREL) και επιτρέπει τη διενέργεια μελέτης γύρω από τα θερμικά φορτία των κτιρίων, τις μηνιαίες και ετήσιες απαιτήσεις σε θέρμανση, ψύξη και φωτισμό, τις ενεργειακές καταναλώσεις ανά καύσιμο, τα εσωτερικά κέρδη, τη σκίαση και το σχεδιασμό των Η/Μ συστημάτων του κτιρίου. Για τους ενεργειακούς υπολογισμούς εφαρμόζεται η μέθοδος δυναμικής ενεργειακής προσομοίωσης που περιγράφηκε στο υποκεφάλαιο 1.3.



Σχήμα 3.1: Μετατροπή μιας διδιάστατης κάτοψης κτιρίου σε φωτορεαλιστικό τρισδιάστατο μοντέλο σε περιβάλλον Autodesk Revit [31].

3.2 Διαδικασία προσομοίωσης τυπικού κτιρίου γραφείων στο λογισμικό Autodesk Revit

Κατά τον σχεδιασμό των κατόψεων τυπικού κτιρίου γραφείων χρησιμοποιείται το λογισμικό Autodesk AutoCAD 2022, ενώ για τη τρισδιάστατη προσομοίωση του τυπικού κτιρίου χρησιμοποιείται το λογισμικό Autodesk Revit 2024, που περιγράφηκε στο υποκεφάλαιο 3.1.

Σε πρώτο στάδιο σχεδιάζονται οι τρεις κατόψεις του τυπικού κτιρίου (Σχήμα 2.3, Σχήμα 2.4, Σχήμα 2.5) στο λογισμικό AutoCAD. Στη συνέχεια, στο περιβάλλον του Revit, δημιουργούνται έξι επίπεδα («Levels»), ένα για το ισόγειο και ένα για κάθε όροφο, στα οποία γίνεται εισαγωγή των κατόψεων, με την εντολή «Import CAD» και επιλογή νότιου προσανατολισμού και κοινής αρχής συντεταγμένων. Χρησιμοποιώντας ως οδηγό τις κατόψεις, τοποθετούνται οι κολώνες, οι τοίχοι, τα δάπεδα και η οροφή από την καρτέλα «Architecture», τα οποία εκτείνονται τρισδιάστατα καθ' ύψος και κατά μήκος των ορόφων. Με τον ίδιο τρόπο τοποθετούνται, εμβόλιμα πάνω στους τοίχους, οι πόρτες και τα παράθυρα στα κατάλληλα σημεία του χώρου. Τα παραπάνω στοιχεία εξατομικεύονται ως προς τις διαστάσεις τους, όπως ορίζεται από τις κατόψεις, με την εντολή «Edit type» στην καρτέλα «Properties».

Επόμενο βήμα είναι ο ορισμός των θερμοφυσικών χαρακτηριστικών των αδιαφανών δομικών στοιχείων και των κουφωμάτων, τα οποία θα διαμορφώσουν και θα επηρεάσουν τα αποτελέσματα της ενεργειακής μελέτης. Αναφορικά με τα αδιαφανή δομικά στοιχεία, στην καρτέλα «Properties» με χρήση των εντολών «Edit type» και «Edit structure» ακολούθως, επιλέγεται το επιθυμητό δομικό υλικό και εισάγονται οι τιμές του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, της μέσης ειδικής θερμότητας, της μέσης πυκνότητας, του συντελεστή εκπομπής, της ανακλαστικότητας και της απορροφητικότητας για κάθε δομικό στοιχείο, όπως ορίστηκαν στο υποκεφάλαιο 2.2.3 (Σχήμα 3.2). Η τιμή του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας $\lambda \left[\frac{W}{mK} \right]$ υπολογίζεται από την σχέση (3.1) για κάθε αδιαφανές δομικό στοιχείο. Στην σχέση (3.1) γίνεται χρήση του συντελεστή θερμοπερατότητας U_{nofilm} , έναντι του συνολικού U , καθότι το λογισμικό προσθέτει από μόνο του την επίδραση των θερμικών αντιστάσεων του αέρα κατά τους ενεργειακούς υπολογισμούς.

$$\lambda = U_{nofilm} \cdot d \quad (3.1)$$

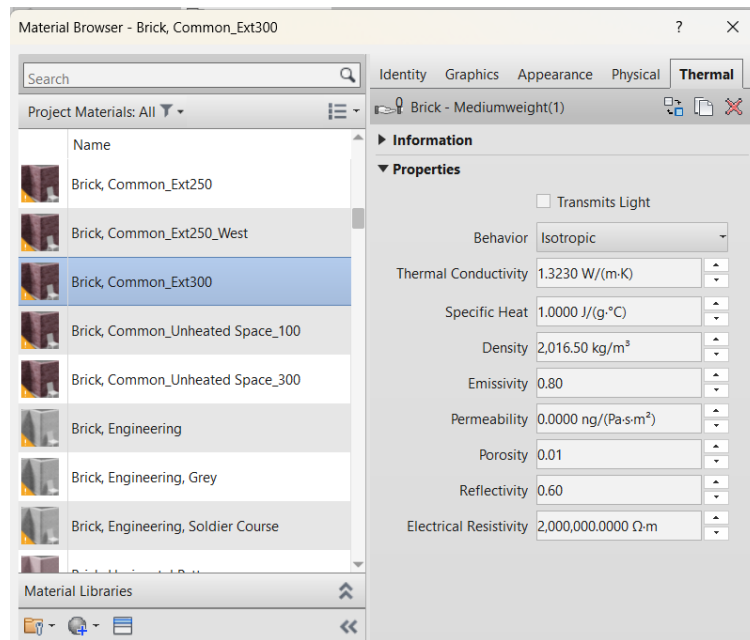
Όπου:

$U_{nofilm} \left[\frac{W}{m^2K} \right]$ ο συντελεστής θερμοπερατότητας του δομικού στοιχείου, στον οποίο δεν λαμβάνονται υπόψη οι θερμικές αντιστάσεις που προβάλλουν οι εκατέρωθεν του δομικού στοιχείου στρώσεις αέρα και υπολογίζεται από την σχέση (2.4) με χρήση του Πίνακα 2.3 και του Πίνακα 2.4.

$d [m]$ το πάχος της διατομής του δομικού στοιχείου

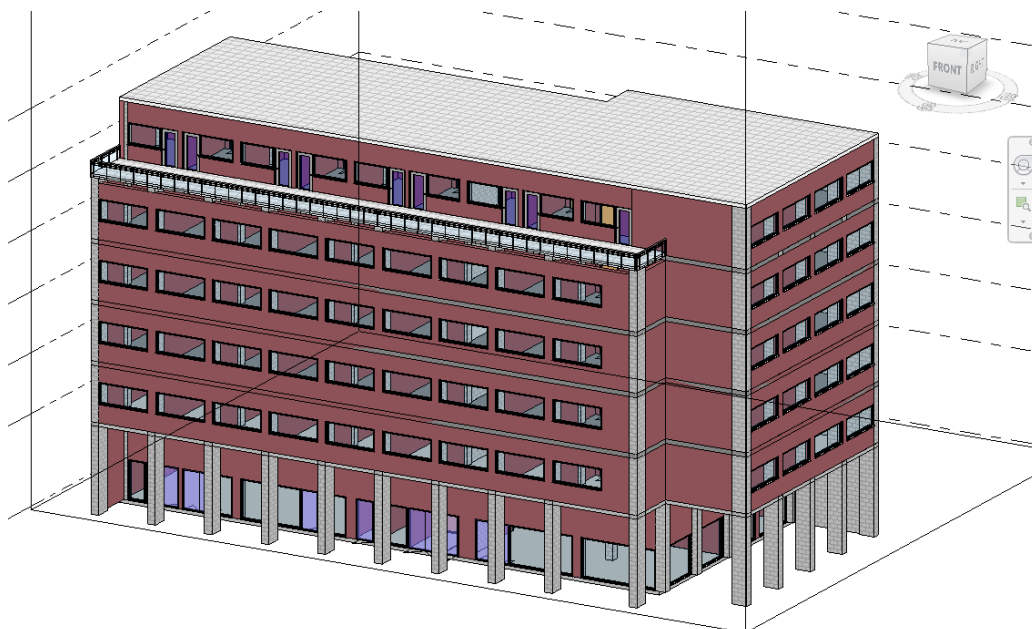
Για τους εσωτερικούς τοίχους του τυπικού κτιρίου λαμβάνονται ορισμένες προκαθορισμένες τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας, της πυκνότητας και της ειδικής θερμότητας που παρέχει το λογισμικό.

Αντίστοιχα, στην περίπτωση των κουφωμάτων, ορίζονται οι τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας και του συντελεστή ηλιακού θερμικού κέρδους που προκύπτουν από τον Πίνακα 2.3 και τον Πίνακα 2.8.

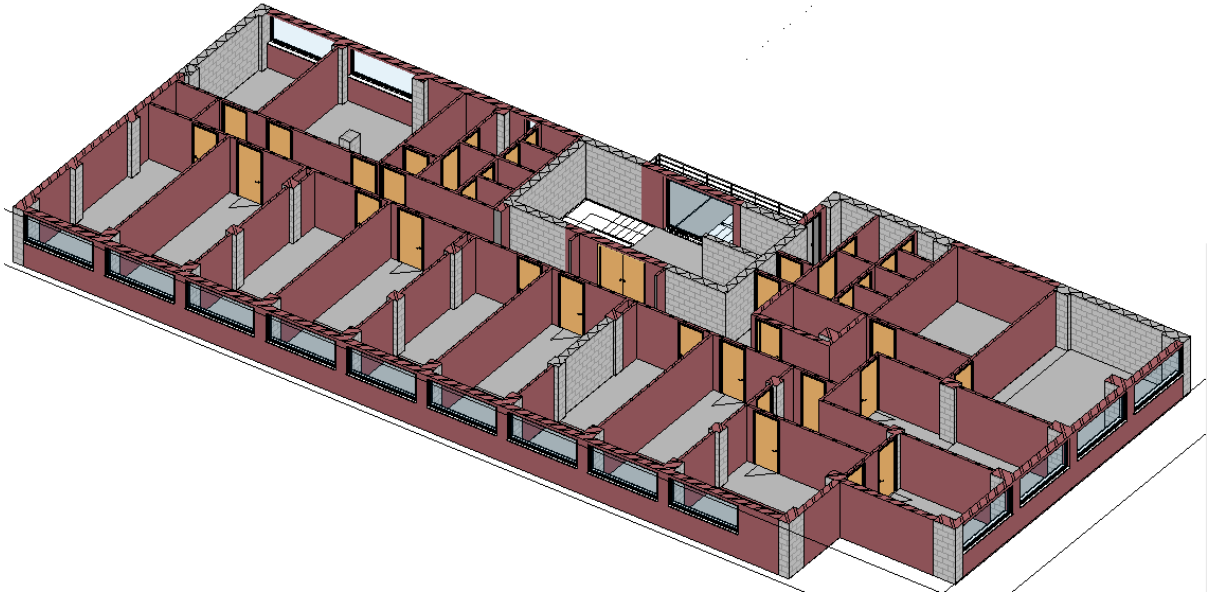


Σχήμα 3.2: Εισαγωγή των τιμών των θερμοφυσικών χαρακτηριστικών τοίχου προς αέρα με πάχος 0.30 m για τη Χ.Π. 1, σε περιβάλλον Autodesk Revit.

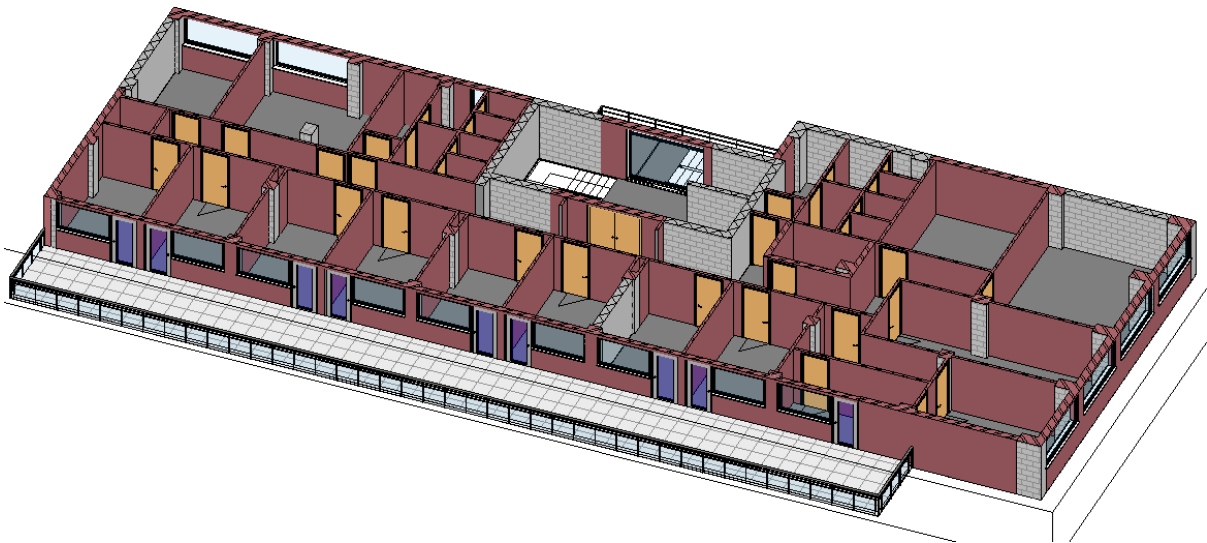
Με αυτό τον τρόπο, το τυπικό κτίριο γραφείων εξελίσσεται από δισδιάστατο σχέδιο σε τρισδιάστατο μοντέλο, με καθορισμένη γεωμετρία και καθορισμένα θερμοφυσικά χαρακτηριστικά στα δομικά στοιχεία του. Η τελική τρισδιάστατη μορφή του συνολικού κτιρίου, ενός εκ των τυπικών ορόφων και του ρετιρέ φαίνονται στα Σχήματα 3.3, 3.4, 3.5.



Σχήμα 3.3: Τρισδιάστατο μοντέλο προσομοίωσης του τυπικού κτιρίου γραφείων με χρήση του λογισμικού Autodesk Revit.



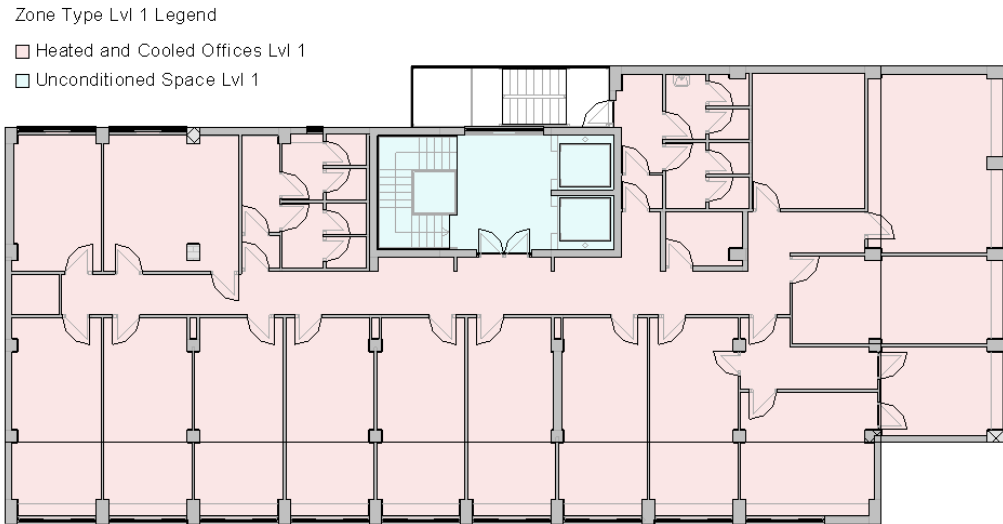
Σχήμα 3.4: Τρισδιάστατο μοντέλο προσομοίωσης του τυπικού ορόφου του τυπικού κτιρίου γραφείων με χρήση του λογισμικού Autodesk Revit.



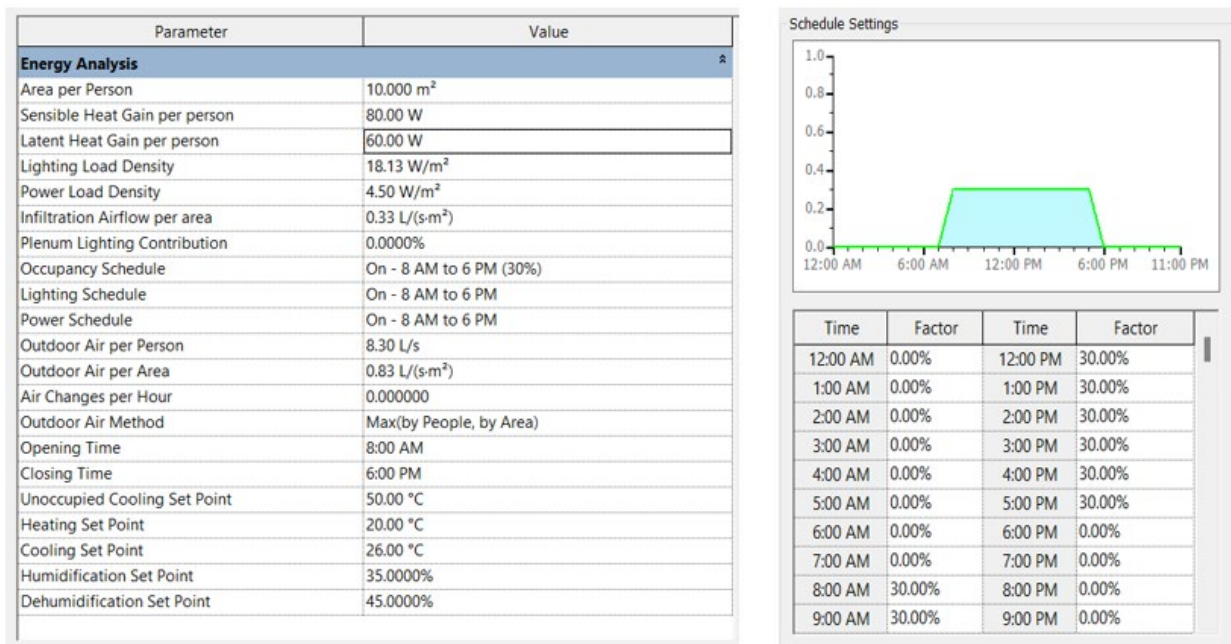
Σχήμα 3.5: Τρισδιάστατο μοντέλο προσομοίωσης του πέμπτου ορόφου του τυπικού κτιρίου γραφείων με χρήση του λογισμικού Autodesk Revit.

Εν συνεχεία, κάθε όροφος χωρίζεται σε χώρους («Spaces») και θερμικές ζώνες («Zones»). Με αυτό το τρόπο, το λογισμικό αντιλαμβάνεται τα δωμάτια του κτιρίου ως τρισδιάστατους όγκους που εκτείνονται από τον έναν όροφο στον επόμενο. Όπως αναφέρθηκε στο υποκεφάλαιο 2.2.2, ως θερμική ζώνη ορίζεται ένα σύνολο χώρων που έχουν κοινές περιβαλλοντικές ή σχεδιαστικές απαιτήσεις, δηλαδή ελέγχονται από συστήματα θέρμανσης, κλιματισμού και εξαερισμού για τη διατήρηση κοινών εσωτερικών συνθηκών, όπως η θερμοκρασία και η υγρασία. Το ισόγειο και ο χώρος του κλιμακοστασίου ορίζονται ως

«unconditioned» ζώνες, αφού αποτελούνται από Μ.Θ.Χ. (Σχήμα 3.6). Αντίθετα, όλοι οι υπόλοιποι εσωτερικοί χώροι κάθε ορόφου ενσωματώνονται σε μια ζώνη, η οποία χαρακτηρίζεται ως «heated and cooled», λαμβάνοντας τα χαρακτηριστικά του Πίνακα 2.2 (Σχήμα 3.7).

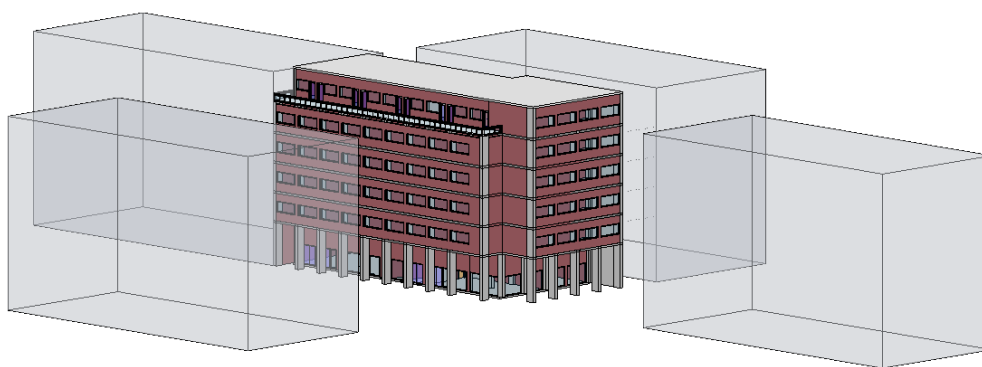


Σχήμα 3.6: Κατηγοριοποίηση των χώρων του τυπικού ορόφου γραφείων σε θερμικές ζώνες.



Σχήμα 3.7: Εισαγωγή των συνθηκών λειτουργίας του τυπικού κτιρίου γραφείων για τη Χ.Π. 1, σε περιβάλλον Autodesk Revit.

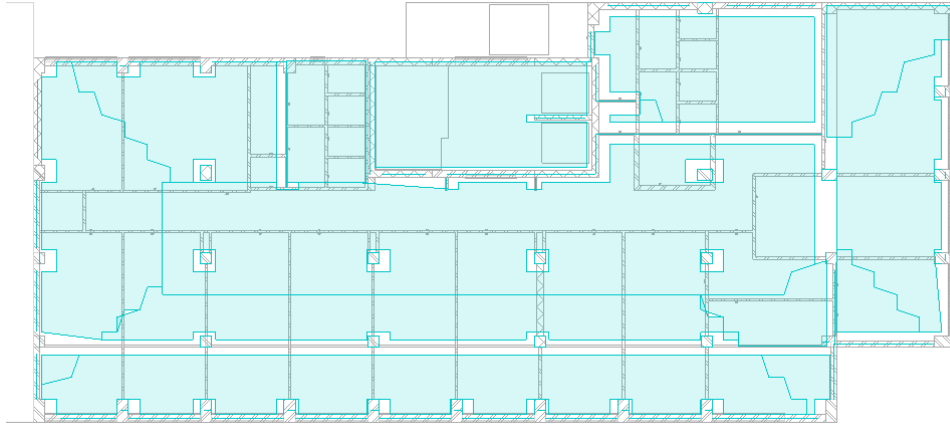
Επόμενο βήμα είναι η διαμόρφωση του περιβάλλοντα χώρου του τυπικού κτιρίου που θα καθορίσει τη σκίαση (Σχήμα 3.8). Τα γειτονικά ισοϋψή κτίρια είναι πανομοιότυπων διαστάσεων και τοποθετούνται ως «υποθετικές μάζες» στο περιβάλλον του Revit, στις αποστάσεις που αναφέρονται στον Πίνακα 2.1.



Σχήμα 3.8: Σχεδιασμός γειτονικών κτιρίων ως «υποθετικές μάζες» στο περιβάλλον του Revit.

Στην καρτέλα «Analyze», με επιλογή του «Location», καθορίζεται η γεωγραφική θέση του τυπικού κτιρίου και επιλέγεται ο μετεωρολογικός σταθμός ο οποίος παρέχει τα κλιματικά δεδομένα για την ενεργειακή ανάλυση. Αναλυτικότερα, τα δεδομένα λαμβάνονται από τον Κρατικό Αερολιμένα Ηρακλείου «Νίκος Καζαντζάκης» για την κλιματική ζώνη Α, από την Αεροπορική Βάση Ελευσίνας για την κλιματική ζώνη Β, από τον Διεθνή Αερολιμένα Θεσσαλονίκης «Μακεδονία» για τη κλιματική ζώνη Γ και από τον Κρατικό Αερολιμένα Καστοριάς «Αριστοτέλης» για τη κλιματική ζώνη Δ. Σημειώνεται πως τα κλιματικά δεδομένα της κλιματικής ζώνης Δ δεν ταυτίζονται απόλυτα με εκείνα που αντιστοιχούν στη γεωγραφική θέση της Κοζάνης η οποία υπεισέρχεται στο λογισμικό TEE KENAK, ωστόσο είναι παρεμφερή και η μελέτη των ενεργειακών απαιτήσεων της κλιματικής ζώνης Δ πραγματοποιείται για λόγους πληρότητας.

Τέλος, με την εντολή «Create Energy Model», καθίσταται πλέον εφικτή η δημιουργία αναλυτικών χώρων στο κτίριο (Σχήμα 3.9). Σε ένα αναλυτικό ενεργειακό μοντέλο, οι χώροι είναι διακριτοί όγκοι (μάζες) αέρα που παρουσιάζουν απώλεια ή κέρδος θερμότητας. Αυτές οι αλλαγές θερμότητας οφείλονται σε εσωτερικές διεργασίες όπως η συγκέντρωση ατόμων στο κτίριο, ο φωτισμός, ο εξοπλισμός και τα συστήματα θέρμανσης, κλιματισμού και εξαερισμού, καθώς και η ανταλλαγή θερμότητας με άλλους εσωτερικούς χώρους και με το εξωτερικό περιβάλλον. Ο ρόλος των αναλυτικών χώρων είναι να αποτυπώνουν με ακρίβεια τη διακύμανση των εσωτερικών και εξωτερικών ανταλλαγών θερμότητας σε ένα κτίριο. Το γεγονός αυτό συνεπάγεται το διαχωρισμό του κτιρίου σε πολλαπλούς διακριτούς αναλυτικούς χώρους, που πιθανότατα να διαφέρουν από τα δωμάτια του κτιρίου ως προς τη γεωμετρία και το μέγεθος, στα όρια των οποίων γίνονται οι ανταλλαγές θερμότητας. Η ακρίβεια απεικόνισης των αναλυτικών χώρων επηρεάζεται από την ευκρίνεια («resolution») των αναλυτικών χώρων και των αναλυτικών επιφανειών, τα οποία μπορούν να οριστούν στο παράθυρο «Energy Settings».



Σχήμα 3.9: Διαχωρισμός του πρώτου ορόφου του τυπικού κτιρίου γραφείων σε αναλυτικούς χώρους μεταφοράς θερμότητας, για δεδομένα Analytical Space Resolution και Analytical Surface Resolution ίσα με 0.4572 και 0.3048 αντίστοιχα.

3.3 Αποτελέσματα Autodesk Revit

Μέσω του εργαλείου «System Analysis», τελικά προέκυψαν οι ενεργειακές απαιτήσεις του τυπικού κτιρίου γραφείων για θέρμανση, ψύξη και φωτισμό για όλες τις χρονικές περιόδους δόμησης (Χ.Π.) και τις κλιματικές ζώνες (Κ.Ζ.). Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους ακόλουθους πίνακες (Πίνακας 3.1, Πίνακας 3.2, Πίνακας 3.3), ενώ οι ίδιες τιμές αναπαρίστανται γραφικά στα Σχήματα 3.10, 3.11 και 3.12 αντίστοιχα, σε kWh/m², για να γίνει καλύτερα αντιληπτή η μεταξύ τους σύγκριση.

Πίνακας 3.1: Ετήσια ενεργειακή απαίτηση θέρμανσης [kWh] του τυπικού κτιρίου γραφείων, ως συνάρτηση της χρονικής περιόδου δόμησης και της κλιματικής ζώνης, σύμφωνα με το λογισμικό Autodesk Revit.

	Ετήσια Απαίτηση Θέρμανσης [kWh]			
	Κ.Ζ. Α	Κ.Ζ. Β	Κ.Ζ. Γ	Κ.Ζ. Δ
Χ.Π. 1	18209	49277	99409	179415
Χ.Π. 2	7105	23307	42730	84527
Χ.Π. 3	3200	10824	22747	43867
Χ.Π. 4	3235	10375	20816	38262

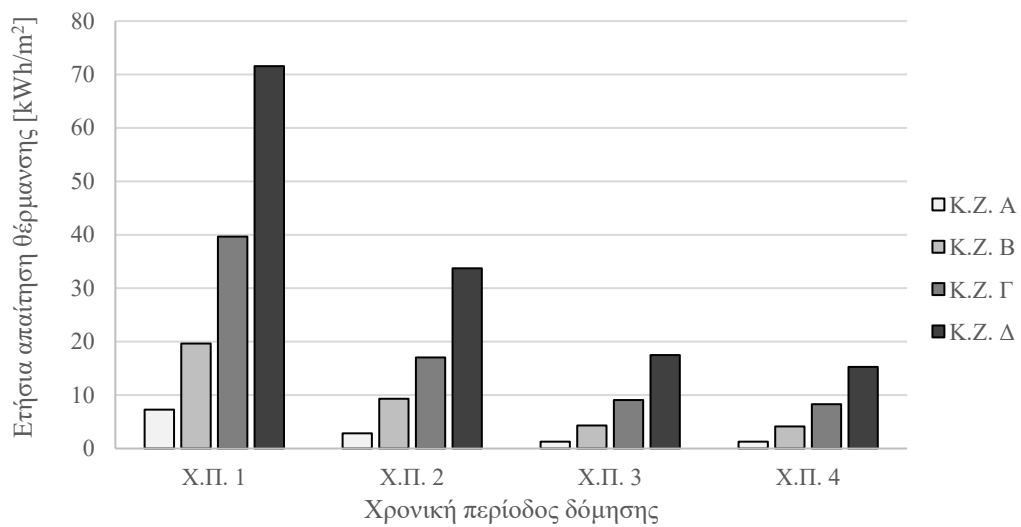
Πίνακας 3.2: Ετήσια ενεργειακή απαίτηση ψύξης [kWh] του τυπικού κτιρίου γραφείων, ως συνάρτηση της χρονικής περιόδου δόμησης και της κλιματικής ζώνης, σύμφωνα με το λογισμικό Autodesk Revit.

	Ετήσια Απαίτηση Ψύξης [kWh]			
	Κ.Ζ. Α	Κ.Ζ. Β	Κ.Ζ. Γ	Κ.Ζ. Δ
Χ.Π. 1	98425	114588	95574	50967
Χ.Π. 2	90432	95849	77685	49712

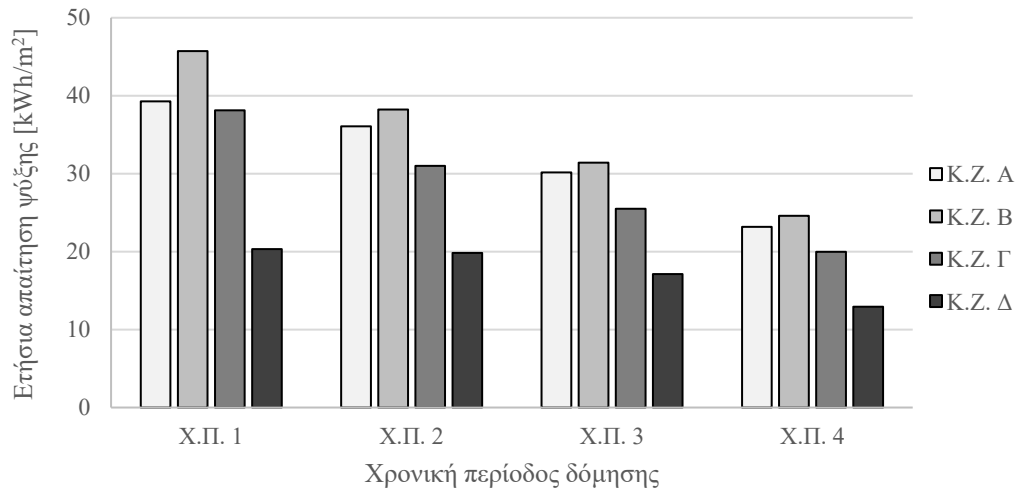
X.Π. 3	75590	78742	63903	42938
X.Π. 4	58086	61663	50086	32426

Πίνακας 3.3: Ετήσια ενεργειακή απαίτηση φωτισμού [kWh] του τυπικού κτιρίου γραφείων, ως συνάρτηση της χρονικής περιόδου δόμησης, σύμφωνα με το λογισμικό Autodesk Revit.

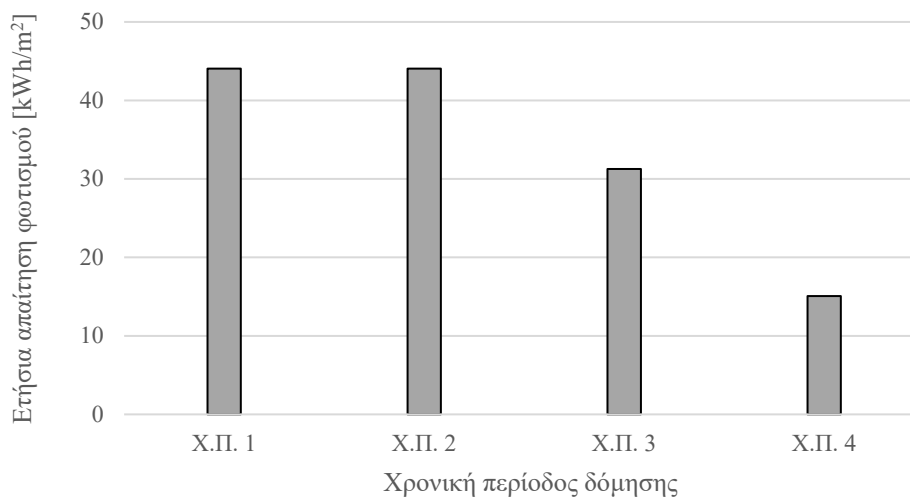
Ετήσια Απαίτηση Φωτισμού [kWh]	
X.Π. 1	110429
X.Π. 2	110429
X.Π. 3	78391
X.Π. 4	37763



Σχήμα 3.10: Ετήσια ενεργειακή απαίτηση θέρμανσης [kWh/m²] του τυπικού κτιρίου γραφείων, ως συνάρτηση της χρονικής περιόδου δόμησης και της κλιματικής ζώνης, σύμφωνα με το λογισμικό Autodesk Revit.



Σχήμα 3.11: Ετήσια ενεργειακή απαίτηση ψύξης [kWh/m²] του τυπικού κτιρίου γραφείων, ως συνάρτηση της χρονικής περιόδου δόμησης και της κλιματικής ζώνης, σύμφωνα με το λογισμικό Autodesk Revit.



Σχήμα 3.12: Ετήσια ενεργειακή απαίτηση φωτισμού [kWh/m²] του τυπικού κτιρίου γραφείων, ως συνάρτηση της χρονικής περιόδου δόμησης, σύμφωνα με το λογισμικό Autodesk Revit.

Μέσα από ανάλυση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από το λογισμικό Autodesk Revit και εμφανίζονται στα παραπάνω σχήματα, μπορεί να γίνει συγκριτική αξιολόγηση των ενεργειακών απαιτήσεων του τυπικού κτιρίου γραφείων μεταξύ των διαφορετικών χρονικών περιόδων δόμησης και των διαφορετικών κλιματικών ζωνών.

Όσον αφορά τις ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις θέρμανσης του κτιρίου (Σχήμα 3.10), συγκρίνοντας τα αποτελέσματα που αντιστοιχούν στην X.Π. 1 και την X.Π. 2, προκύπτει μείωση της απαίτησης θέρμανσης του τυπικού κτιρίου γραφείων ίση με 55.9% (κατά μέσο όρο των αποτελεσμάτων των κλιματικών ζωνών) μεταξύ των δύο χρονικών περιόδων δόμησης. Παρόμοια αποτελέσματα προκύπτουν και μέσα από τη σύγκριση των απαιτήσεων θέρμανσης της X.Π. 2 και της X.Π. 3, όπου παρατηρείται υποδιπλασιασμός της απαίτησης θέρμανσης της X.Π. 3, σχεδόν για όλες τις κλιματικές ζώνες. Όσον αφορά τα αποτελέσματα της X.Π. 4, παρατηρείται μικρή μείωση (κατά μέσο όρο 8.5%) των απαιτήσεων θέρμανσης

για τις κλιματικές ζώνες Β, Γ και Δ, ενώ εμφανίζεται αύξηση 1.1% των απαιτήσεων για τη Κ.Ζ. Α, σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές της Χ.Π. 3. Η τόσο μικρή μείωση, ακόμα και αύξηση, των απαιτήσεων θέρμανσης μεταξύ αυτών των δύο χρονικών περιόδων δόμησης μπορεί να αποδοθεί στο διαφορετικό είδος των χρησιμοποιούμενων λαμπτήρων. Κατά τη Χ.Π. 4 επιλέγεται χρήση λαμπτήρων LED, οι οποίοι παράγουν μικρό θερμικό φορτίο κατά το φωτισμό. Ως αποτέλεσμα, οι λαμπτήρες LED συνεισφέρουν ελάχιστα στην αύξηση της εσωτερικής θερμοκρασίας του κτιρίου, σε σύγκριση με λαμπτήρες παλαιότερης τεχνολογίας, και οι θερμικές ανάγκες του κτιρίου παραμένουν υψηλές.

Εν συνεχεία, γίνεται σύγκριση των απαιτήσεων θέρμανσης για τις διάφορες κλιματικές ζώνες. Όπως αναμενόταν, παρουσιάζεται αύξηση των αναγκών του τυπικού κτιρίου γραφείων σε θέρμανση όσο μεταβαίνουμε από τη θερμότερη προς τη ψυχρότερη κλιματική ζώνη, καθότι η ελληνική επικράτεια διαιρείται σε ζώνες με βάση τις βαθμομέρες θέρμανσης. Μάλιστα, αναφέρεται ότι οι απαιτήσεις θέρμανσης της Κ.Ζ. Β είναι τριπλάσιες των απαιτήσεων της Κ.Ζ. Α, σχεδόν για όλες τις χρονικές περιόδους δόμησης, ενώ αντίστοιχα οι απαιτήσεις θέρμανσης της Κ.Ζ. Γ είναι διπλάσιες σε σχέση με τις απαιτήσεις της Κ.Ζ. Β. Ομοίως, μεταξύ της Κ.Ζ. Γ και της Κ.Ζ. Δ, παρατηρείται αύξηση κατά μέσο όρο 88.7%.

Αναφορικά με τις ετήσιες απαιτήσεις ψύξης του τυπικού κτιρίου γραφείων (Σχήμα 3.11), οι διακυμάνσεις ανάμεσα στα αποτελέσματα των διαφορετικών χρονικών περιόδων δόμησης εμφανίζονται μικρότερου εύρους συγκριτικά με τις αντίστοιχες διακυμάνσεις των απαιτήσεων θέρμανσης του κτιρίου. Αναλυτικότερα, προκύπτει μείωση των απαιτήσεων ψύξης κατά μέσο όρο 14.4% μεταξύ της Χ.Π. 1 και της Χ.Π. 2 για τις κλιματικές ζώνες Α, Β και Γ, ενώ παρατηρείται μικρότερη μείωση 2.5% στη κλιματική ζώνη Δ. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα που αντιστοιχούν στη Χ.Π. 2 και στη Χ.Π. 3, παρατηρείται μείωση των ψυκτικών αναγκών της Χ.Π. 2 κατά μέσο όρο 16.4%, ενώ μεταξύ της Χ.Π. 3 και Χ.Π. 4 η μείωση ανέρχεται στο 22.7% κατά μέσο όρο.

Παράλληλα, αναλύοντας τα αποτελέσματα από πλευράς κλιματικών ζωνών, εμφανίζεται μικρή αύξηση (κατά μέσο όρο 8.2%) των αναγκών του κτιρίου σε ψύξη μεταξύ της Κ.Ζ. Α και της Κ.Ζ. Β, η οποία αιτιολογείται από τις υψηλότερες θερμοκρασιακές τιμές της Κ.Ζ. Β κατά τη περίοδο ψύξης (15 Μαΐου μέχρι και 15 Σεπτεμβρίου) [32]. Η αύξηση αυτή φτάνει το 16.4% στην περίπτωση της Χ.Π. 1, όπου η επίδραση των εξωτερικών συνθηκών θεωρείται σημαντική εξαιτίας της απουσίας θερμομονωτικής προστασίας. Επιπλέον, παρουσιάζεται μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων του κτιρίου σε ψύξη κατά μέσο όρο 18.3% μεταξύ της Κ.Ζ. Β και της Κ.Ζ. Γ και 37.7% μεταξύ της Κ.Ζ. Γ και της Κ.Ζ. Δ.

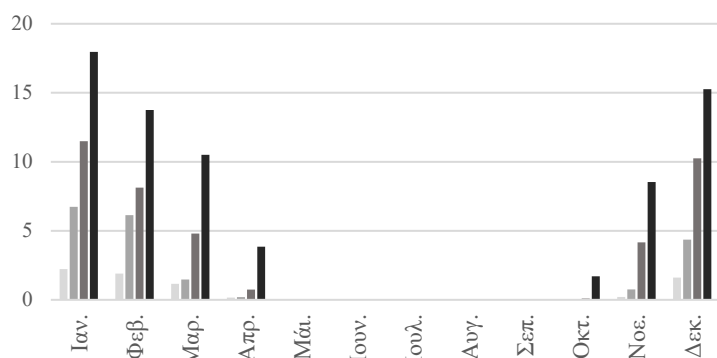
Οι ετήσιες απαιτήσεις του κτιρίου για φωτισμό (Σχήμα 3.12) εμφανίζουν, επίσης, σημαντική διακύμανση μεταξύ των καθορισμένων χρονικών περιόδων δόμησης. Όπως είναι λογικό, η Χ.Π. 1 και η Χ.Π. 2 παρουσιάζουν τις ίδιες ενεργειακές απαιτήσεις για φωτισμό, αφού έγινε εισαγωγή της ίδιας τιμής εγκατεστημένης ισχύος φωτισμού. Καθώς η εγκατεστημένη ισχύς φωτισμού μειώνεται, παράλληλα μειώνονται και οι ενεργειακές απαιτήσεις του τυπικού κτιρίου γραφείων για φωτισμό: 29.0% μείωση μεταξύ των Χ.Π. 2 και Χ.Π. 3 και 51.8% μείωση μεταξύ των Χ.Π. 3 και Χ.Π. 4.

Το λογισμικό Autodesk Revit παρέχει, παράλληλα, τη δυνατότητα για περαιτέρω ανάλυση των αποτελεσμάτων σε μηνιαία βάση (Σχήμα 3.13, Σχήμα 3.14). Όπως ήδη έχει αναφερθεί,

για τους υπολογισμούς των θερμικών και ψυκτικών φορτίων, λαμβάνονται συγκεκριμένες περιόδους για τη θέρμανση και την ψύξη ανάλογα με την κλιματική ζώνη. Για τη ζώνη Α και Β, η περίοδος θέρμανσης είναι από την 1^η Νοεμβρίου μέχρι και τις 15 Απριλίου και η περίοδος ψύξης από τις 15 Μαΐου μέχρι και τις 15 Σεπτεμβρίου. Για τη ζώνη Γ και Δ, η περίοδος θέρμανσης είναι από την 15 Οκτωβρίου μέχρι και τις 30 Απριλίου και η περίοδος ψύξης από την 1^η Ιουνίου μέχρι και τις 31 Αυγούστου. Γίνεται η παρατήρηση ότι, για τις περισσότερες χρονικές περιόδους δόμησης και κλιματικές ζώνες, η μέγιστη απαίτηση θέρμανσης εμφανίζεται τον Ιανουάριο (πέραν της Κ.Ζ. Β για τη Χ.Π. 3 και τη Χ.Π. 4, όπου η μέγιστη τιμή εμφανίζεται τον Φεβρουάριο), ενώ η μέγιστη απαίτηση ψύξης εμφανίζεται τον Ιούλιο (πέραν της Κ.Ζ. Γ, όπου η μέγιστη τιμή εμφανίζεται τον Αύγουστο).

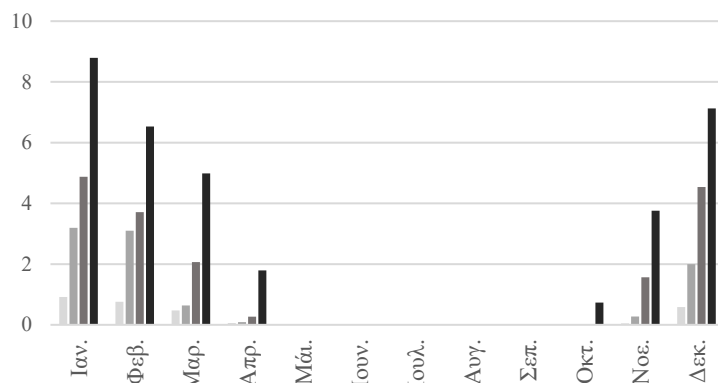
Μηνιαία Απαίτηση Θέρμανσης Χ.Π. 1 [kWh/m²]

■ Κ.Ζ. Α ■ Κ.Ζ. Β ■ Κ.Ζ. Γ ■ Κ.Ζ. Δ



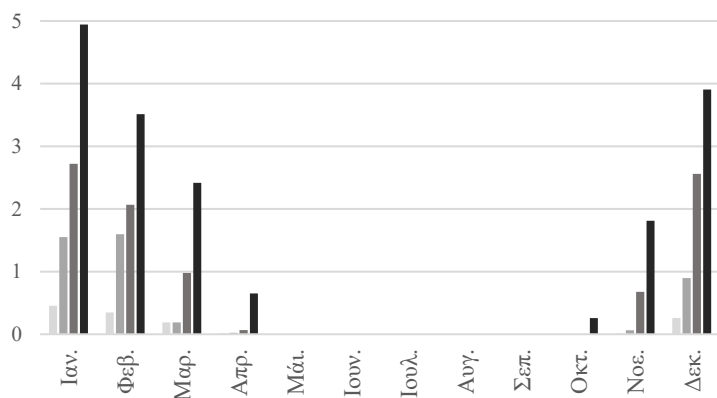
Μηνιαία Απαίτηση Θέρμανσης Χ.Π. 2 [kWh/m²]

■ Κ.Ζ. Α ■ Κ.Ζ. Β ■ Κ.Ζ. Γ ■ Κ.Ζ. Δ



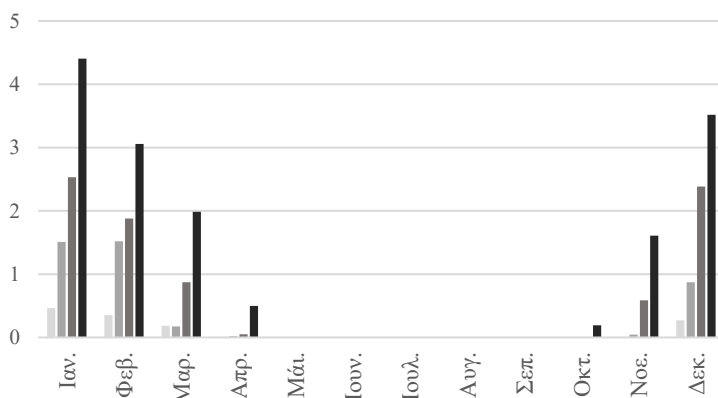
Μηνιαία Απαίτηση Θέρμανσης Χ.Π. 3 [kWh/m²]

■ Κ.Ζ. Α ■ Κ.Ζ. Β ■ Κ.Ζ. Γ ■ Κ.Ζ. Δ



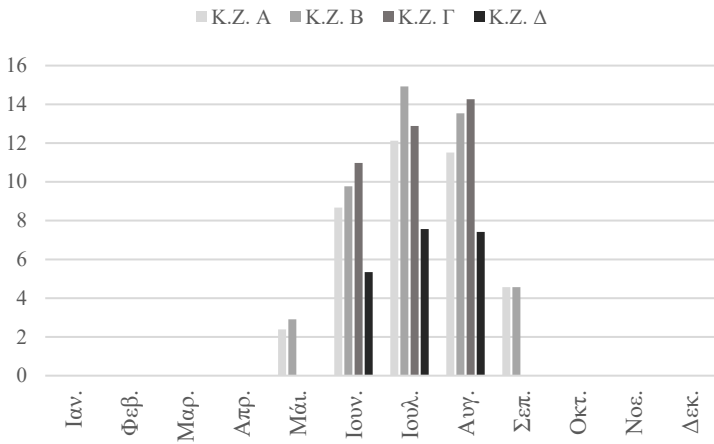
Μηνιαία Απαίτηση Θέρμανσης Χ.Π. 4 [kWh/m²]

■ Κ.Ζ. Α ■ Κ.Ζ. Β ■ Κ.Ζ. Γ ■ Κ.Ζ. Δ

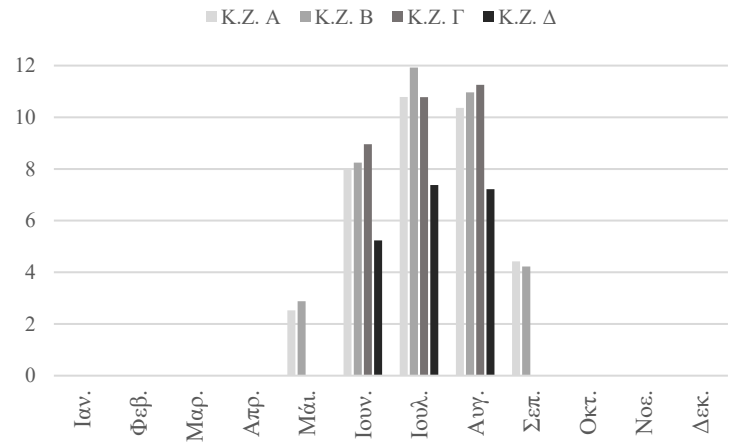


Σχήμα 3.13: Μηνιαίες ενεργειακές απαιτήσεις θέρμανσης [kWh/m²] του τυπικού κτιρίου γραφείων για τις τέσσερις χρονικές περιόδους δόμησης, συναρτήσει της κλιματικής ζώνης, όπως προκύπτουν από το λογισμικό Autodesk Revit.

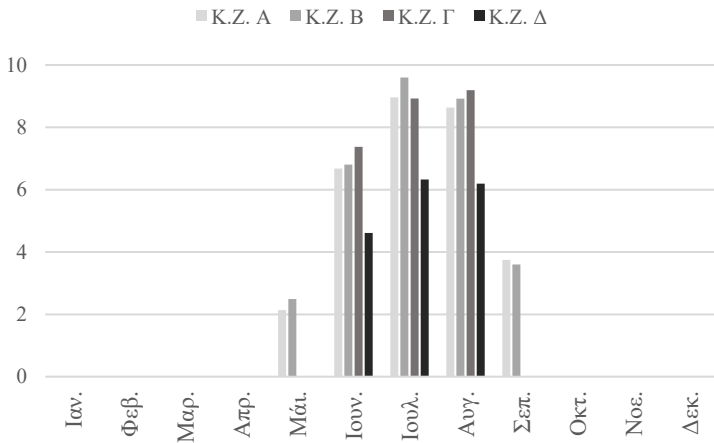
Μηνιαία Απαίτηση Ψύξης Χ.Π. 1 [kWh/m²]



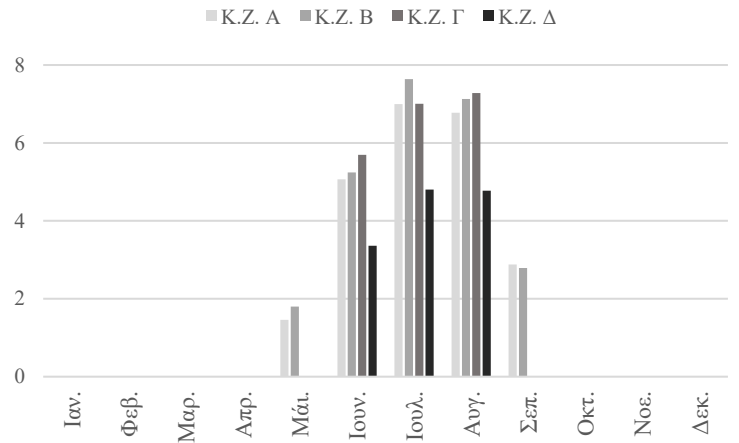
Μηνιαία Απαίτηση Ψύξης Χ.Π. 2 [kWh/m²]



Μηνιαία Απαίτηση Ψύξης Χ.Π. 3 [kWh/m²]



Μηνιαία Απαίτηση Ψύξης Χ.Π. 4 [kWh/m²]



Σχήμα 3.14: Μηνιαίες ενεργειακές απαιτήσεις ψύξης [kWh/m²] του τυπικού κτιρίου γραφείων για τις τέσσερις χρονικές περιόδους δόμησης, συναρτήσει της κλιματικής ζώνης, όπως προκύπτουν από το λογισμικό Autodesk Revit.

4. Ενεργειακή μελέτη τυπικού κτιρίου γραφείων με το λογισμικό TEE KENAK

4.1 Λογισμικό TEE KENAK

Το λογισμικό TEE-KENAK δημιουργήθηκε από την Ομάδα Εξοικονόμησης Ενέργειας, του Ινστιτούτου Ερευνών Περιβάλλοντος και Βιώσιμης Ανάπτυξης του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών στο πλαίσιο του προγράμματος συνεργασίας με το TEE και αποτελεί ένα κοινό σημείο αναφοράς για τον προσδιορισμό της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων της Ελλάδας. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης και την ενεργειακή κατάταξη των κτιρίων κατά την διαδικασία της ενεργειακής επιθεώρησης, με σκοπό την έκδοση των ΠΕΑ. Επίσης, χρησιμοποιείται για τους ίδιους υπολογισμούς στο στάδιο σύνταξης και υποβολής της Μελέτης Ενεργειακής Απόδοσης, προκειμένου να ακολουθείται μια κοινή μεθοδολογία και να υπάρχει αντιστοιχία των αποτελεσμάτων της μελέτης με εκείνα της ενεργειακής επιθεώρησης μετά την ολοκλήρωση κατασκευής του κτιρίου. Ωστόσο, το λογισμικό δεν υποστηρίζει τις μελέτες σχεδιασμού που υποβάλλονται για τα νέα κτίρια (π.χ. αρχιτεκτονική μελέτη, μελέτη θέρμανσης, κλιματισμού και λοιπών Η/Μ εγκαταστάσεων). Οι μελέτες αυτές πρέπει να προηγηθούν καθότι είναι απαραίτητες για τους υπολογισμούς της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου. Μέσω των τελικών μελετών σχεδιασμού τεκμηριώνεται η εφαρμογή ή η αδυναμία εφαρμογής των ελάχιστων προδιαγραφών (σχεδιασμός κτιρίου, κτιριακού κελύφους και Η/Μ εγκαταστάσεων) για τα νέα και ριζικά ανακαινιζόμενα κτίρια όπως ορίζονται στο άρθρο 8 του KENAK [33].

Το λογισμικό εφαρμόζει τους απαραίτητους αλγόριθμους για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης του κτιριακού αποθέματος, σύμφωνα με τη μέθοδο ημι-σταθερής κατάστασης μηνιαίου βήματος που περιγράφεται στα ευρωπαϊκά πρότυπα, όπως το ΕΛΟΤ EN ISO 13790. Ο πυρήνας των υπολογισμών βασίζεται στο προϋπάρχον λογισμικό EPA-NR (έκδοση 1.7.6.19), που αναπτύχθηκε στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού Προγράμματος Intelligent Energy - Europe, 17η Γ.Δ. της ΕΕ (EIE/04/125/S07.38651), ο οποίος έχει τροποποιηθεί κατάλληλα ώστε να είναι σύμφωνος με τις εθνικές απαιτήσεις, όπως αυτές προβλέπονται στον αναθεωρημένο KENAK και στις σχετικές TOTEE που παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.1 [34].

Πίνακας 4.1: Τεχνικές Οδηγίες TEE στις οποίες βασίζεται το λογισμικό TEE KENAK.

TOTEE 20701-1, Δ' έκδοση	"Αναλυτικές Εθνικές Προδιαγραφές Παραμέτρων για τον Υπολογισμό της Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων και την Έκδοση Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης"
TOTEE 20701-2, Γ' έκδοση	"Θερμοφυσικές Ιδιότητες Δομικών Υλικών και Έλεγχος της Θερμομονωτικής Επάρκειας των Κτηρίων"
TOTEE 20701-3, Β' έκδοση	"Κλιματικά Δεδομένα Ελληνικών Περιοχών"

Σύμφωνα με την TOTEE 20701-1/2017, η μεθοδολογία υπολογισμού θα πρέπει να περιλαμβάνει κατ' ελάχιστον τα παρακάτω στοιχεία:

- την πραγματική κύρια χρήση του κτιρίου ή της κτιριακής μονάδας, τις επιθυμητές συνθήκες εσωτερικού περιβάλλοντος (θερμοκρασία, υγρασία, αερισμό), τα χαρακτηριστικά λειτουργίας και τον αριθμό χρηστών,
- τα κλιματικά δεδομένα της περιοχής του κτιρίου ή της κτιριακής μονάδας (θερμοκρασία, σχετική και απόλυτη υγρασία, ταχύτητα ανέμου και ηλιακή ακτινοβολία),
- τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του κτιριακού κελύφους (μορφή του κτιρίου, διαφανείς και μη επιφάνειες, σκίαστρα κ.ά.), σε σχέση με τον προσανατολισμό και τα χαρακτηριστικά των εσωτερικών δομικών στοιχείων (χωρίσματα κ.ά.),
- τα θερμοφυσικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του κτιριακού κελύφους (θερμοπερατότητα, θερμική μάζα, απορροφητικότητα ηλιακής ακτινοβολίας, διαπερατότητα κ.ά.),
- τα τεχνικά χαρακτηριστικά των Η/Μ συστημάτων για ΘΨΚ και ΖΝΧ, της εγκατάστασης γενικού φωτισμού (στα κτίρια τριτογενή τομέα) και των διατάξεων αυτομάτου ελέγχου και ρύθμισης λειτουργίας των Η/Μ συστημάτων,
- το μηχανικό και φυσικό αερισμό, που περιλαμβάνει και την αεροστεγανότητα,
- τα παθητικά και υβριδικά ηλιακά συστήματα και την ηλιακή προστασία,
- την παθητική θέρμανση και δροσισμό,
- τις κλιματικές συνθήκες εσωτερικού χώρου, λαμβάνοντας υπόψη και τις συνθήκες σχεδιασμού εσωτερικού κλίματος,
- τα εσωτερικά φορτία

Παράλληλα, στους υπολογισμούς ενεργειακής απόδοσης λαμβάνεται υπόψη η θετική επίδραση των συστημάτων τηλεθέρμανσης και τηλεψύξης σε κλίμακα περιοχής ή οικοδομικού τετραγώνου, του φυσικού φωτισμού, των ενεργητικών ηλιακών συστημάτων και των άλλων συστημάτων θέρμανσης, ψύξης, ΖΝΧ και παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας βασιζόμενων σε ενέργεια από ΑΠΕ, καθώς και της ωφέλιμης θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας παραγόμενης με συμπαραγωγή [18].

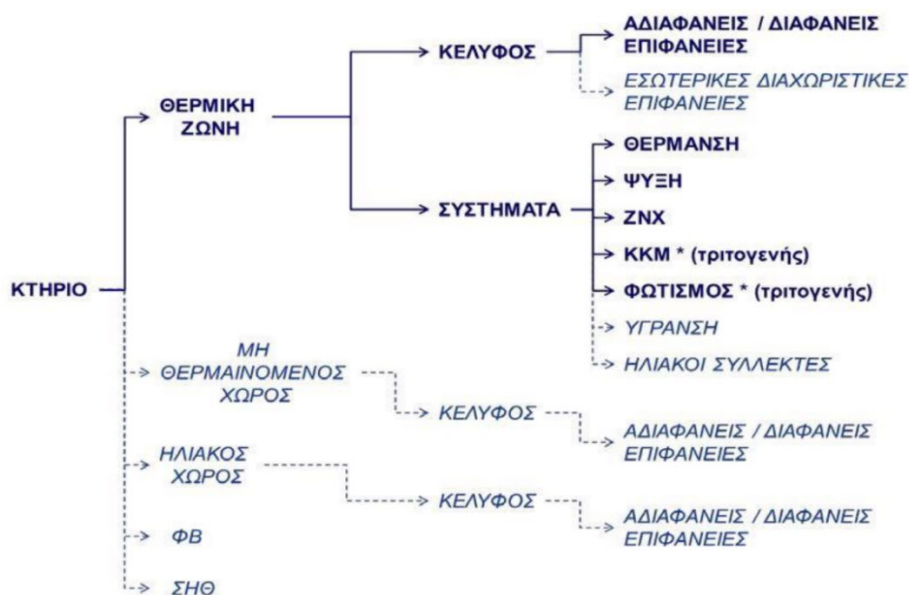
4.2 Διαδικασία προσομοίωσης τυπικού κτιρίου γραφείων στο λογισμικό TEE KENAK

Το υπολογιστικό εργαλείο TEE KENAK αποτελείται από την μάσκα εισαγωγής δεδομένων για το κέλυφος και τις Η/Μ εγκαταστάσεις, τις βιβλιοθήκες, τον πυρήνα των υπολογισμών (EPA-NR) και την μάσκα εξαγωγής των αποτελεσμάτων.

Στο λογισμικό εισάγονται δεδομένα σχετικά με τα γεωμετρικά και θερμοφυσικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του κτιριακού κελύφους (θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών στοιχείων, σκιάσεις κ.α.), καθώς και τα τεχνικά χαρακτηριστικά των απαραίτητων Η/Μ εγκαταστάσεων [33]. Τα δεδομένα κατηγοριοποιούνται στα πραγματικά στοιχεία, τα οποία εξαρτώνται από το υπό επιθεώρηση κτίριο και εισάγονται από τον ενεργειακό επιθεωρητή, τις τυπικές τιμές, οι οποίες καθορίζονται έμμεσα με βάση τη χρήση του υπό επιθεώρηση κτιρίου και τα στοιχεία των βιβλιοθηκών, τα οποία είναι ανεξάρτητα από το εκάστοτε κτίριο και απευθείας συνδεδεμένα με τον πυρήνα των υπολογισμών. Αναλυτικότερα, ένα μέρος των δεδομένων αφορά το συνολικό κτίριο και περιλαμβάνει την τοποθεσία του, τα γενικά κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του (εμβαδομετρήσεις, ογκομετρήσεις, αριθμός ορόφων, ύψος τυπικών και μη τυπικών ορόφων, αριθμός θερμικών ζωνών, γειτνιάζουσες επιφάνειες με όμορα κτίρια κ.α.), τα στοιχεία κατανάλωσης ενέργειας (καταχωρούνται προαιρετικά και εφόσον υπάρχουν), τις δηλώσεις του μηχανικού περί ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος, καθώς και τις Η/Μ εγκαταστάσεις του κτιρίου. Η πλειονότητα, όμως, των πραγματικών δεδομένων-στοιχείων εισάγονται ανά θερμική ζώνη (χρήση, εμβαδόν, θερμοχωρητικότητα, διείσδυση αέρα, χαρακτηριστικά κελύφους, Η/Μ συστήματα κ.α.) και μη θερμαινόμενο ή ηλιακό χώρο (χαρακτηριστικά κελύφους). Αναφορικά με τα χαρακτηριστικά του κελύφους, γίνεται καταγραφή των αδιαφανών επιφανειών σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα και σε επαφή με το έδαφος, των διαφανών επιφανειών και των εσωτερικών διαχωριστικών επιφανειών μεταξύ των διαφόρων ζωνών, ως προς τον προσανατολισμό, την κλίση, τις θερμοφυσικές ιδιότητες των υλικών και τις τιμές των συντελεστών θερμοπερατότητας και σκίασης. Τα δεδομένα και τα αποτελέσματα των υπολογισμών, εκτυπώνονται σε αντίστοιχες αναφορές του λογισμικού [35].

Οι εθνικές βιβλιοθήκες του υπολογιστικού εργαλείου TEE KENAK περιλαμβάνουν παραμέτρους τις οποίες ο ενεργειακός επιθεωρητής δεν έχει τη δυνατότητα να τροποποιήσει, ακόμη και αν δεν ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα του υπό επιθεώρηση κτιρίου, όπως για παράδειγμα τα κλιματικά δεδομένα των περιοχών που περιλαμβάνονται στη βιβλιοθήκη, τα δεδομένα των καυσίμων και τις σταθερές για τον υπολογισμό των ηλιακών κερδών από τις αδιαφανείς επιφάνειες και του συντελεστή χρήσης για τα θερμικά και ψυκτικά φορτία. Επιπλέον, μέσω της βιβλιοθήκης των τυπικών τιμών καθορίζονται δεδομένα τα οποία εξαρτώνται από τη χρήση της θερμικής ζώνης, προσδιορίζονται στην TOTEE 20701-1/2017 και δεν μπορούν να προσαρμοστούν. Σε αυτά συμπεριλαμβάνεται το τυπικό ωράριο λειτουργίας, η εσωτερική θερμοκρασία, η εσωτερική σχετική υγρασία, ο απαιτούμενος νωπός αέρας, η εκλυόμενη θερμότητα των χρηστών, η θερμική ισχύς των ηλεκτρικών συσκευών, η ελάχιστη εγκατεστημένη ισχύς φωτισμού και οι ετήσιες ώρες λειτουργίας κατά τη διάρκεια ύπαρξης ή μη διαθέσιμου φυσικού φωτισμού [35].

Στο Σχήμα 4.1 φαίνεται η γενική δομή για την ελάχιστη περιγραφή ενός κτιρίου κατά την εισαγωγή δεδομένων στο λογισμικό TEE KENAK. Με έντονους χαρακτήρες παρουσιάζονται τα απαραίτητα στοιχεία που πρέπει να καθοριστούν, ενώ με αχνούς χαρακτήρες αναπαρίστανται τα προαιρετικά στοιχεία.



Σχήμα 4.1: Γενική δομή κατά την εισαγωγή δεδομένων στο λογισμικό TEE KENAK [35].

Στα πλαίσια του έργου «Προσδιορισμός των βέλτιστων από πλευράς κόστους επιπέδων ελάχιστων απαιτήσεων ενεργειακής απόδοσης κτιρίων και δομικών στοιχείων (Άρθρο 5, παρ. 2 της Οδηγίας 2010/31/ΕΕ και του ν.4122/2013)» είχε γίνει προσομοίωση του τυπικού κτιρίου γραφείων στο λογισμικό TEE KENAK.

Για την προσομοίωση, επιλέχθηκε η χρήση του κτιρίου ως «γραφείο» και έγινε διαχωρισμός του τυπικού κτιρίου γραφείων σε θερμικές ζώνες όπως περιγράφεται στο υποκεφάλαιο 2.2.2. Αναφορικά με το κέλυφος του κτιρίου, οι τοίχοι του κελύφους ομαδοποιήθηκαν με βάση τον προσανατολισμό τους. Στο λογισμικό εισήχθησαν οι συντελεστές θερμοπερατότητας του Πίνακα 2.3, οι συντελεστές απορροφητικότητας, ανακλαστικότητας και εκπομπής των αδιαφανών δομικών στοιχείων του Πίνακα 2.7 και οι συντελεστές ηλιακού θερμικού κέρδους των διαφανών δομικών στοιχείων του Πίνακα 2.8. Ωστόσο, δεν υπήρχε η δυνατότητα για λεπτομερή περιγραφή των δομικών υλικών που απαρτίζουν τα αδιαφανή δομικά στοιχεία και των θερμοφυσικών χαρακτηριστικών τους (πυκνότητα και ειδική θερμότητα). Εκχωρήθηκε μόνο η τιμή της ανηγμένης θερμοχωρητικότητας για τυπικές κατασκευές ανά m^2 δαπέδου θερμικής ζώνης, η οποία λήφθηκε ίση με $280 \frac{kJ}{m^2K}$ για φέροντα οργανισμό από σκυρόδεμα και στοιχεία πλήρωσης από διάτρητες οπτόπλινθους, μέσα από μια σειρά επιλογών που παρείχε το λογισμικό. Επιπλέον ορίστηκαν οι συντελεστές σκίασης για τα αδιαφανή και διαφανή δομικά στοιχεία (Πίνακας 4.2, Πίνακας 4.3), ανάλογα με το είδος των σκιάστρων (οριζόντια, πλευρικά εξωτερικά εμπόδια και σκιάστρα) και την γεωμετρία τους. Ο συνολικός σκιασμός δομικού στοιχείου προκύπτει ως το γινόμενο των τριών συντελεστών σκίασης:

- του συντελεστή σκίασης από εμπόδιο του περιβάλλοντος χώρου, είτε φυσικού (π.χ. λόφος) είτε τεχνητού (π.χ. γειτνιάζοντα κτήρια κ.τ.λ.), F_{hor}
- του συντελεστή σκίασης από οριζόντιο πρόβολο ή εξωτερικό σκίαστρο (εξώστες, προστεγάσματα, υπέρθυρα ανοίγματα), F_{ove}
- του συντελεστή σκίασης από πλευρικό εμπόδιο (πλευρικές προεξοχές του ίδιου του κτιρίου ή διπλανών κτιρίων), F_{fin}

Καθότι ανάλογα με την εποχή οι συντελεστές σκίασης αλλάζουν, καθορίζονται για κάθε εξωτερική επιφάνεια με ορισμένο προσανατολισμό, οι αντίστοιχοι μέσοι συντελεστές σκίασης, ένας για τη χειμερινή περίοδο (δείκτης h) και ένας για τη θερινή περίοδο (δείκτης c), ανάλογα με το είδος σκιάστρου. Σημειώνεται ότι όλοι οι συντελεστές είναι μειωτικοί, λαμβάνοντας τιμή ίση με τη μονάδα (1), όταν δεν υπάρχει καθόλου σκίαση και ίση με μηδέν (0) για πλήρη σκίαση [18].

Πίνακας 4.2: Αδιαφανή δομικά στοιχεία και συντελεστές σκίασης.

Είδος επιφάνειας	Προσ/μός	Συνολικό καθαρό Εμβαδόν [m ²]	α	ε	$F_{hor,h}$	$F_{hor,c}$	$F_{ove,h}$	$F_{ove,c}$	$F_{fin,h}$	$F_{fin,c}$
Συνολικός θερμαινόμενος χώρος	-	2506.65	-	-	-	-	-	-	-	-
Τοίχος 1	B	436.125	0.4	0.8	0.9	0.9	1	1	1	1
Τοίχος 2	A	161.0025	0.4	0.8	0.9	0.9	1	1	1	1
Τοίχος 3	A	40.05	0.4	0.8	0.9	0.9	1	1	1	1
Τοίχος 4	N	463.2975	0.4	0.8	0.9	0.9	1	1	1	1
Τοίχος 5	Δ	28.6625	0.4	0.8	0.9	0.9	1	1	1	1
Τοίχος 6 (προς ΜΘΧ)	A	74.925	0.4	0.8	0.9	0.9	1	1	1	1
Τοίχος 7 (προς ΜΘΧ)	B	122.855	0.4	0.8	0.9	0.9	1	1	1	1
Τοίχος 8 (προς ΜΘΧ)	Δ	74.925	0.4	0.8	0.9	0.9	1	1	1	1
Τοίχος 9	N	80.865	0.4	0.8	0.9	0.9	1	1	1	1
Οροφή 5ου ορόφου	-	423.93	0.65	0.8	1	1	1	1	1	1
Οροφή 4ου ορόφου	-	96.75	0.65	0.8	1	1	1	1	1	1
Δάπεδο 1ου ορόφου προς ΜΘΧ	-	357.45	0.0	0.0	0	0	0	0	0	0
Δάπεδο 1ου ορόφου προς αέρα	-	163.23	0.0	0.0	0	0	0	0	0	0
Εξώθυρα προς ΜΘΧ	B	22	0.0	0.0	0	0	0	0	0	0
Εξώθυρα προς αέρα	Δ	8.8	0.0	0.0	0	0	0	0	0	0

Πίνακας 4.3: Διαφανή δομικά στοιχεία και συντελεστές σκίασης.

Είδος Επιφάνειας	Προσ/μός	Συνολικό μήκος [m]	Ύψος [m]	$F_{hor,h}$	$F_{hor,c}$	$F_{ove,h}$	$F_{ove,c}$	$F_{fin,h}$	$F_{fin,c}$
Κουφ. Τυπικού ορ. Π01	A	11.6	1.2	0.60	0.75	1	1	1	1
Κουφ. Τυπικού ορ. Π02	A	11.6	1.2	0.65	0.82	1	1	1	1
Κουφ. Τυπικού ορ. Π03	A	11.6	1.2	0.75	0.84	1	1	1	1
Κουφ. Τυπικού ορ. Π04	A	11.6	1.2	0.88	0.9	1	1	1	1
Κουφ. Τυπικού ορ. Π05	N	11.6	1.2	0.58	1	1	1	1	1
Κουφ. Τυπικού ορ. Π06	N	14.5	1.2	0.58	1	1	1	1	1
Κουφ. Τυπικού ορ. Π07	N	11.6	1.2	0.71	1	1	1	1	1
Κουφ. Τυπικού ορ. Π08	N	14.5	1.2	0.71	1	1	1	1	1
Κουφ. Τυπικού ορ. Π09	N	11.6	1.2	0.87	1	1	1	1	1

Κουφ. Τυπικού ορ. Π10	N	14.5	1.2	0.87	1	1	1	1	1
Κουφ. Τυπικού ορ. Π11	N	11.6	1.2	0.94	1	1	1	1	1
Κουφ. Τυπικού ορ. Π12	N	14.5	1.2	0.94	1	1	1	1	1
Κουφ. Τυπικού ορ. Π14	B	11.6	1.2	1	0.85	1	1	1	1
Κουφ. Τυπικού ορ. Π15	B	11.6	1.2	1	0.85	1	1	1	1
Κουφ. Τυπικού ορ. Π16 (WC)	B	2.4	1.2	1	0.85	1	1	1	1
Κουφ. Ρετιρέ Π01	A	2.9	1.2	1	1	1	1	1	1
Κουφ. Ρετιρέ Π02	A	2.9	1.2	1	1	1	1	1	1
Κουφ. Ρετιρέ Π03	A	2.9	1.2	1	1	1	1	1	1
Κουφ. Ρετιρέ Π04	A	2.9	1.2	1	1	1	1	1	1
Κουφ. Ρετιρέ Π06 (πρόσοψης)	N	2	1.2	1	1	1	1	1	1
Κουφ. Ρετιρέ Π07 (πρόσοψης)	N	2	1.2	1	1	1	1	1	1
Κουφ. Ρετιρέ Π10 (πρόσοψης)	N	2	1.2	1	1	1	1	1	1
Κουφ. Ρετιρέ Π11 (πρόσοψης)	N	2	1.2	1	1	1	1	1	1
Κουφ. Ρετιρέ Π14 (πρόσοψης)	N	2	1.2	1	1	1	1	1	1
Κουφ. Ρετιρέ Π15 (πρόσοψης)	N	2	1.2	1	1	1	1	1	1
Κουφ. Ρετιρέ Π18 (πρόσοψης)	N	2	1.2	1	1	1	1	1	1
Κουφ. Ρετιρέ Π19 (πρόσοψης)	N	2	1.2	1	1	1	1	1	1
Κουφ. Ρετιρέ Π22 (πρόσοψης)	N	2	1.2	1	1	1	1	1	1
Κουφ. Ρετιρέ Π23	B	2.9	1.2	1	1	1	1	1	1
Κουφ. Ρετιρέ Π24	B	2.9	1.2	1	1	1	1	1	1
Κουφ. Ρετιρέ Π25 (WC)	B	0.6	1.2	1	1	1	1	1	1
Εξωστόθυρα Ρετιρέ Π05	N	1	2.2	1	1	1	1	1	1
Εξωστόθυρα Ρετιρέ Π08	N	1	2.2	1	1	1	1	1	1
Εξωστόθυρα Ρετιρέ Π09	N	1	2.2	1	1	1	1	1	1
Εξωστόθυρα Ρετιρέ Π12	N	1	2.2	1	1	1	1	1	1
Εξωστόθυρα Ρετιρέ Π13	N	1	2.2	1	1	1	1	1	1
Εξωστόθυρα Ρετιρέ Π16	N	1	2.2	1	1	1	1	1	1
Εξωστόθυρα Ρετιρέ Π17	N	1	2.2	1	1	1	1	1	1
Εξωστόθυρα Ρετιρέ Π20	N	1	2.2	1	1	1	1	1	1
Εξωστόθυρα Ρετιρέ Π21	N	1	2.2	1	1	1	1	1	1

4.3 Αποτελέσματα ΤΕΕ ΚΕΝΑΚ

Ακολουθώς παρουσιάζονται οι ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις του τυπικού κτιρίου γραφείων, σε kWh, για θέρμανση, ψύξη και φωτισμό για όλες τις χρονικές περιόδους δόμησης (Χ.Π.) και τις κλιματικές ζώνες (Κ.Ζ.), οι οποίες προέκυψαν από το λογισμικό ΤΕΕ ΚΕΝΑΚ (Πίνακας 4.4, Πίνακας 4.5, Πίνακας 4.6). Οι ίδιες τιμές αναπαρίστανται γραφικά στα Σχήματα 4.2, 4.3 και 4.4 αντίστοιχα, σε kWh/m², για να γίνει καλύτερα αντιληπτή η μεταξύ τους σύγκριση.

Πίνακας 4.4: Ετήσια ενεργειακή απαίτηση θέρμανσης [kWh] του τυπικού κτιρίου γραφείων, ως συνάρτηση της χρονικής περιόδου δόμησης και της κλιματικής ζώνης, σύμφωνα με το λογισμικό ΤΕΕ ΚΕΝΑΚ.

Ετήσια Απαίτηση Θέρμανσης [kWh]			
Κ.Ζ. Α	Κ.Ζ. Β	Κ.Ζ. Γ	Κ.Ζ. Δ

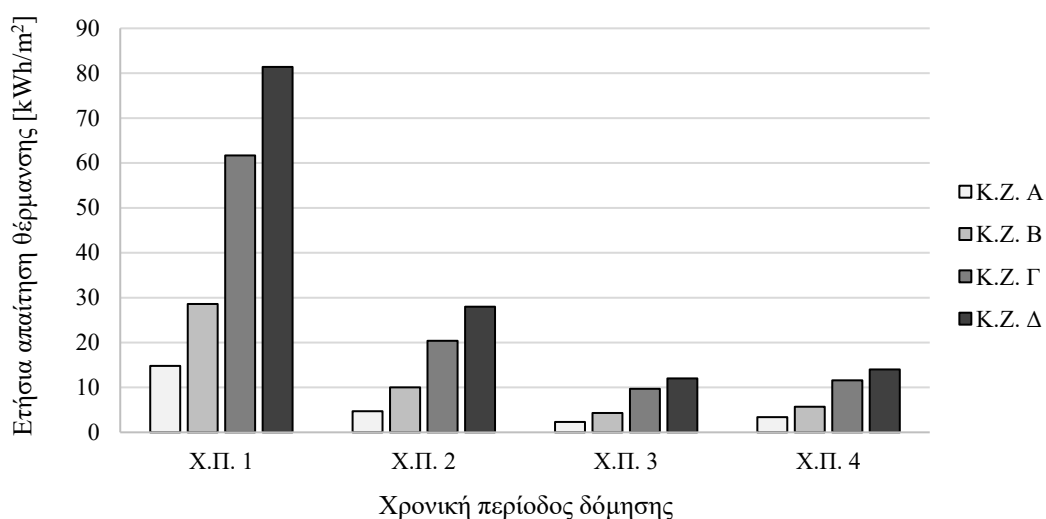
X.Π. 1	37098	71690	154660	204041
X.Π. 2	11781	25067	51136	70186
X.Π. 3	5765	10779	24315	30080
X.Π. 4	8523	14288	29077	35093

Πίνακας 4.5: Ετήσια ενεργειακή απαίτηση ψύξης [kWh] του τυπικού κτιρίου γραφείων, ως συνάρτηση της χρονικής περιόδου δόμησης και της κλιματικής ζώνης, σύμφωνα με το λογισμικό TEE KENAK.

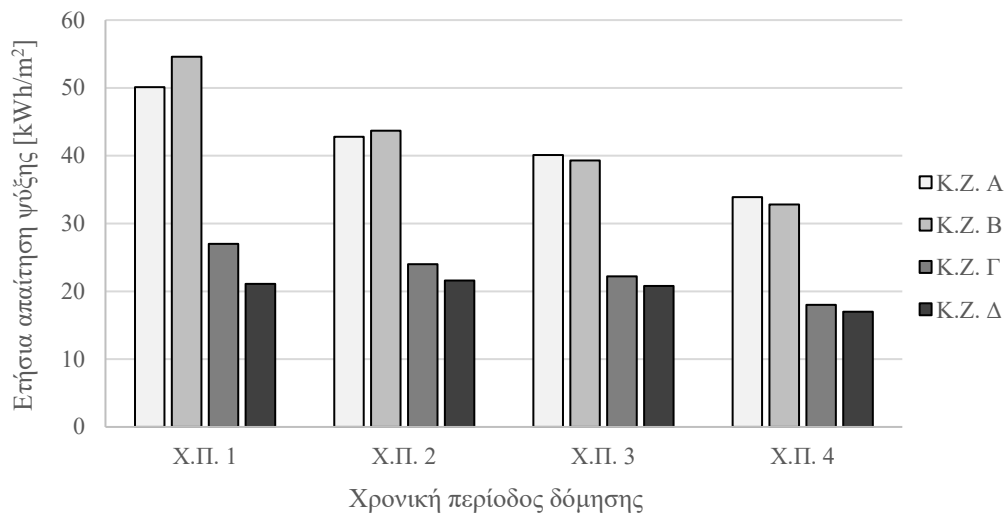
Ετήσια Απαίτηση Ψύξης [kWh]				
	K.Z. A	K.Z. B	K.Z. Γ	K.Z. Δ
X.Π. 1	125583	136863	67680	52890
X.Π. 2	107285	109541	60160	54144
X.Π. 3	100517	98511	55648	52138
X.Π. 4	84975	82218	45120	42613

Πίνακας 4.6: Ετήσια ενεργειακή απαίτηση φωτισμού [kWh] του τυπικού κτιρίου γραφείων, ως συνάρτηση της χρονικής περιόδου δόμησης, σύμφωνα με το λογισμικό TEE KENAK.

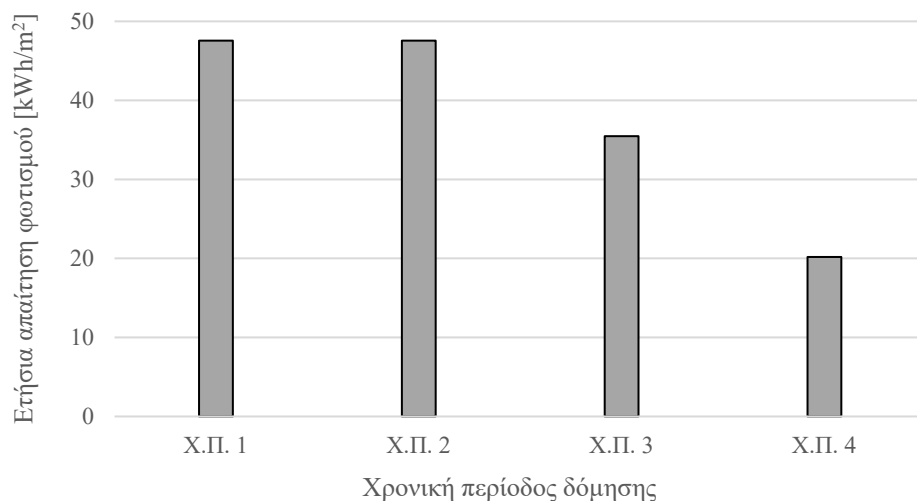
Ετήσια Απαίτηση Φωτισμού [kWh]	
X.Π. 1	119214
X.Π. 2	119214
X.Π. 3	88910
X.Π. 4	50591



Σχήμα 4.2: Ετήσια ενεργειακή απαίτηση θέρμανσης [kWh/m²] του τυπικού κτιρίου γραφείων, ως συνάρτηση της χρονικής περιόδου δόμησης και της κλιματικής ζώνης, σύμφωνα με το λογισμικό TEE KENAK.



Σχήμα 4.3: Ετήσια ενεργειακή απαίτηση ψύξης [kWh/m²] του τυπικού κτιρίου γραφείων, ως συνάρτηση της χρονικής περιόδου δόμησης και της κλιματικής ζώνης, σύμφωνα με το λογισμικό TEE KENAK.



Σχήμα 4.4: Ετήσια ενεργειακή απαίτηση φωτισμού [kWh/m²] του τυπικού κτιρίου γραφείων, ως συνάρτηση της χρονικής περιόδου δόμησης, σύμφωνα με το λογισμικό TEE KENAK.

Στα πλαίσια ανάλυσης των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από το λογισμικό TEE KENAK και εμφανίζονται στα παραπάνω σχήματα, μπορεί να γίνει και πάλι συγκριτική αξιολόγηση των ενεργειακών απαιτήσεων του τυπικού κτιρίου γραφείων μεταξύ των διαφορετικών χρονικών περιόδων δόμησης και των διαφορετικών κλιματικών ζωνών. Μέσα από αυτή τη διαδικασία θα καταστεί σαφέστερη και η αντιπαράθεση των αποτελεσμάτων με εκείνα που προκύπτουν από το λογισμικό Autodesk Revit.

Όσον αφορά τις ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις θέρμανσης του κτιρίου (Σχήμα 4.2), παρατηρείται μείωση ίση με 66.5% (κατά μέσο όρο των αποτελεσμάτων των κλιματικών ζωνών) μεταξύ των απαιτήσεων θέρμανσης της X.Π. 1 και της X.Π. 2, ενώ αντίστοιχα προκύπτει μείωση κατά μέσο όρο 54.4% μεταξύ των απαιτήσεων θέρμανσης της X.Π. 2 και

της Χ.Π. 3. Ωστόσο, μεταξύ των Χ.Π. 3 και Χ.Π. 4 εμφανίζεται μια μη αναμενόμενη αύξηση των αναγκών του τυπικού κτιρίου σε θέρμανση, η οποία παρατηρήθηκε και στα αντίστοιχα αποτελέσματα του λογισμικού Autodesk Revit. Το γεγονός αυτό αποδίδεται στη χρήση λαμπτήρων LED κατά τη Χ.Π. 4, οι οποίοι παράγουν μικρότερο θερμικό φορτίο κατά το φωτισμό, με συνέπεια την αύξηση των θερμικών αναγκών του κτιρίου.

Όπως αναμενόταν, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των θερμικών απαιτήσεων για τις διάφορες κλιματικές ζώνες, παρουσιάζεται αύξηση των αναγκών του τυπικού κτιρίου γραφείων σε θέρμανση όσο μεταβαίνουμε από τη θερμότερη προς τη ψυχρότερη κλιματική ζώνη. Μάλιστα, με αντιπαράθεση των αποτελεσμάτων των Κ.Ζ. Β και Κ.Ζ. Γ, παρατηρείται ότι οι τιμές των απαιτήσεων θέρμανσης υπερδιπλασιάζονται για όλες τις χρονικές περιόδους δόμησης. Μικρότερη αύξηση εμφανίζεται, ωστόσο, μεταξύ των Κ.Ζ. Γ και Κ.Ζ. Δ, πιθανότατα διότι οι κλιματικές συνθήκες των δύο ζωνών δεν διαφέρουν τόσο έντονα.

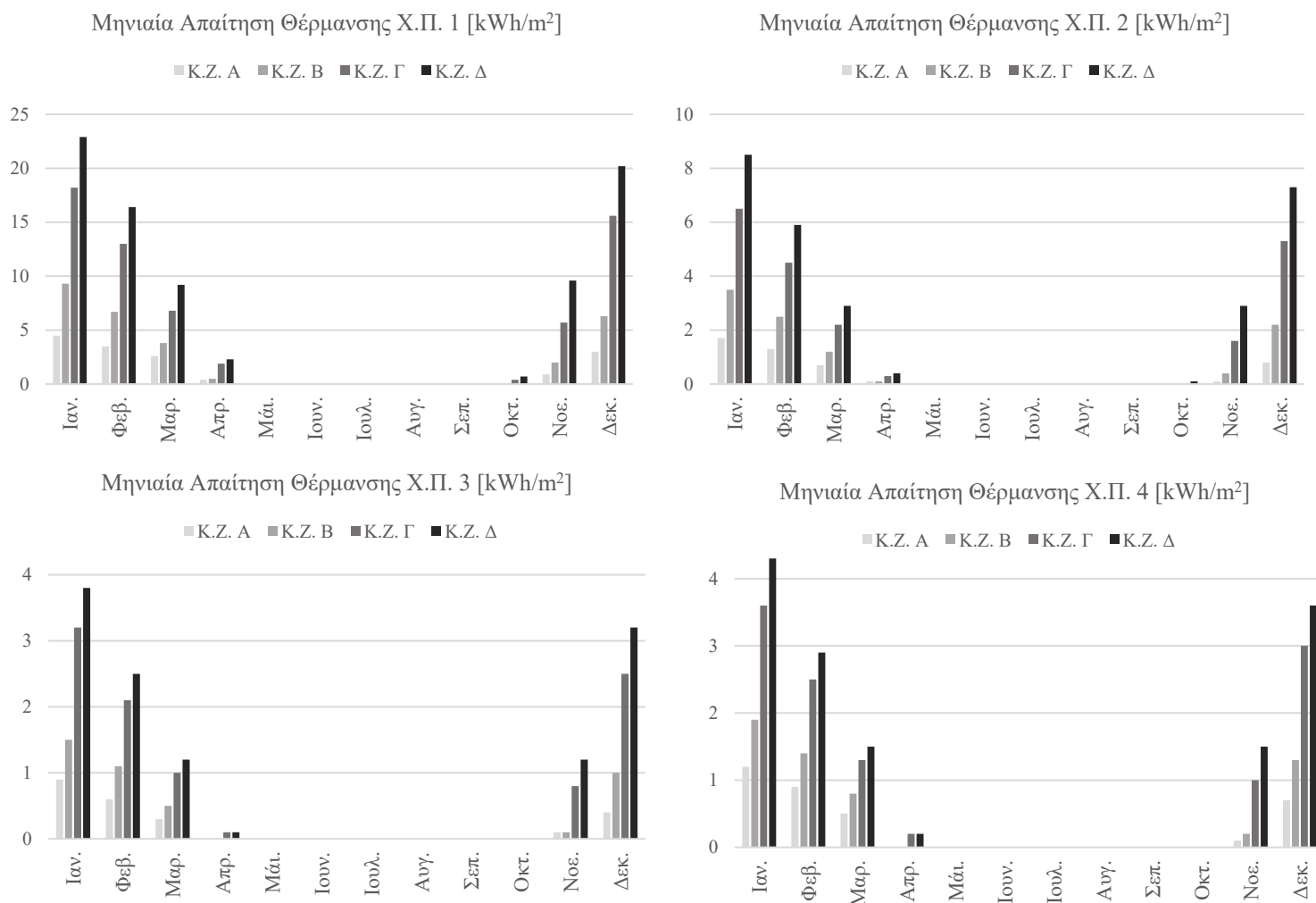
Αναφορικά με τις ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις ψύξης του τυπικού κτιρίου γραφείων (Σχήμα 4.3), οι διακυμάνσεις ανάμεσα στα αποτελέσματα των διαφορετικών χρονικών περιόδων δόμησης εμφανίζονται σε μικρότερο εύρος συγκριτικά με τις αντίστοιχες διακυμάνσεις των απαιτήσεων θέρμανσης του κτιρίου, όπως παρατηρήθηκε και μέσω της προσομοίωσης του τυπικού κτιρίου στο λογισμικό Autodesk Revit. Αναλυτικότερα, προκύπτει μείωση των απαιτήσεων ψύξης κατά μέσο όρο 15.2% μεταξύ της Χ.Π. 1 και της Χ.Π. 2 για τις κλιματικές ζώνες Α, Β και Γ, ενώ παρατηρείται μικρή αύξηση 2.4% στη κλιματική ζώνη Δ. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα που αντιστοιχούν στη Χ.Π. 2 και στη Χ.Π. 3, παρατηρείται μείωση των ψυκτικών αναγκών κατά μέσο όρο 6.9%, με τη μικρότερη μείωση να αφορά την κλιματική ζώνη Δ, ενώ μεταξύ της Χ.Π. 3 και Χ.Π. 4 η μείωση ανέρχεται στο 17.3% κατά μέσο όρο.

Παράλληλα, αναλύοντας τα αποτελέσματα από πλευράς κλιματικών ζωνών, εμφανίζεται μικρή αύξηση των αναγκών του κτιρίου σε ψύξη μεταξύ της Κ.Ζ Α και της Κ.Ζ. Β για την Χ.Π. 1 και την Χ.Π. 2, η οποία παρατηρήθηκε και κατά τη προσομοίωση του κτιρίου στο λογισμικό Autodesk Revit και αιτιολογείται από τις υψηλότερες θερμοκρασιακές τιμές της Κ.Ζ. Β κατά τη περίοδο ψύξης. Αντίθετα, για την Χ.Π. 3 και την Χ.Π. 4, όπου η επίδραση των εξωτερικών συνθηκών περιορίζεται χάρη στην ενισχυμένη θερμομονωτική προστασία, παρατηρείται μικρή μείωση ανάμεσα στις απαιτήσεις ψύξης της Κ.Ζ. Α και της Κ.Ζ. Β. Επιπλέον, οι απαιτήσεις ψύξης της Κ.Ζ. Γ παρουσιάζονται κατά μέσο όρο 46.1% μικρότερες σε σχέση με τις αντίστοιχες απαιτήσεις της Κ.Ζ. Β, ενώ σημαντικά μικρότερη μείωση παρατηρείται μεταξύ των απαιτήσεων ψύξης των Κ.Ζ. Γ και Κ.Ζ. Δ, λόγω παρεμφερών κλιματικών δεδομένων.

Παράλληλα, γίνεται μελέτη των διακυμάνσεων των ετήσιων απαιτήσεων του κτιρίου για φωτισμό, μεταξύ των χρονικών περιόδων δόμησης (Σχήμα 4.4). Όπως είναι λογικό, η Χ.Π. 1 και η Χ.Π. 2 παρουσιάζουν τις ίδιες ενεργειακές απαιτήσεις για φωτισμό, αφού έγινε εισαγωγή της ίδιας τιμής εγκατεστημένης ισχύος φωτισμού. Καθώς η εγκατεστημένη ισχύς φωτισμού μειώνεται, παράλληλα μειώνονται και οι ενεργειακές απαιτήσεις του τυπικού κτιρίου γραφείων για φωτισμό: 25.4% μείωση μεταξύ των Χ.Π. 2 και Χ.Π. 3 και 43.1% μείωση μεταξύ των Χ.Π. 3 και Χ.Π. 4.

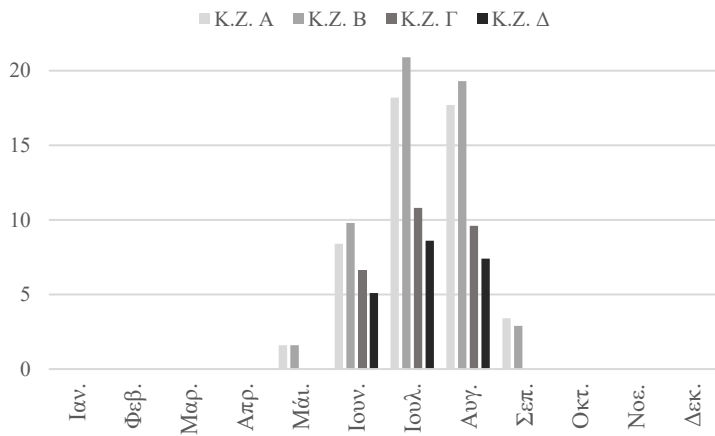
Ενδιαφέρον παρουσιάζει, επίσης, η κατανομή των ενεργειακών απαιτήσεων του κτιρίου σε θέρμανση και ψύξη κατά τη διάρκεια του έτους. Οι μηνιαίες απαιτήσεις του τυπικού κτιρίου

γραφείων σε θέρμανση και ψύξη, που προκύπτουν από το λογισμικό TEE KENAK, φαίνονται ακολούθως (Σχήμα 4.5, Σχήμα 4.6). Γίνεται η παρατήρηση ότι, για όλες τις χρονικές περιόδους δόμησης και όλες τις κλιματικές ζώνες, η μέγιστη απαίτηση θέρμανσης εμφανίζεται τον Ιανουάριο, ενώ η μέγιστη απαίτηση ψύξης τον Ιούλιο.

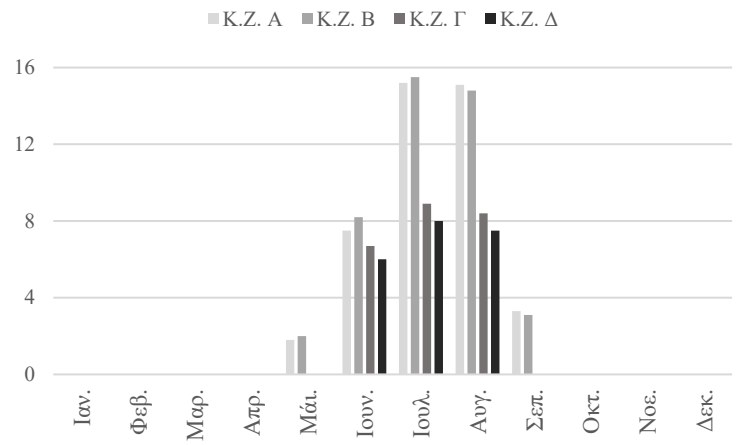


Σχήμα 4.5: Μηνιαίες ενεργειακές απαιτήσεις θέρμανσης [kWh/m²] του τυπικού κτιρίου γραφείων για τις τέσσερις χρονικές περιόδους δόμησης, συναρτήσει της κλιματικής ζώνης, σύμφωνα με το λογισμικό TEE KENAK.

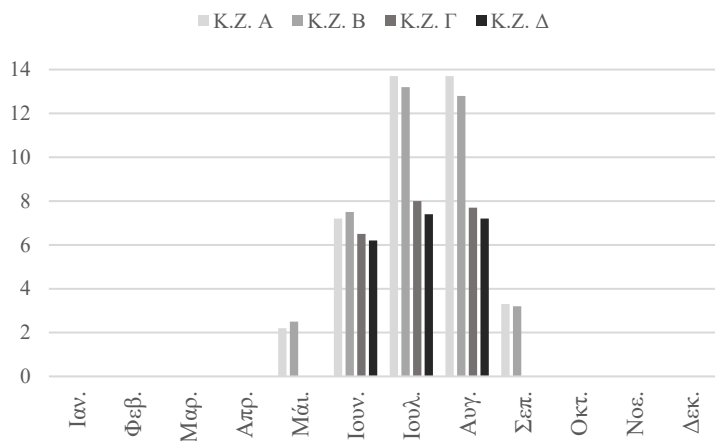
Μηνιαία Απαιτήση Ψύξης Χ.Π. 1 [kWh/m²]



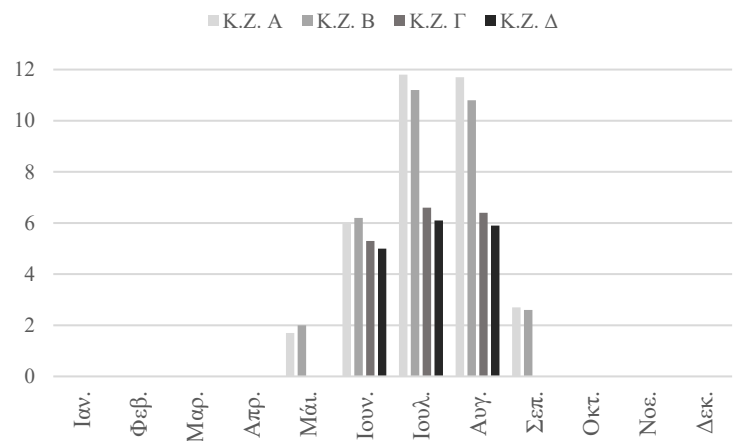
Μηνιαία Απαιτήση Ψύξης Χ.Π. 2 [kWh/m²]



Μηνιαία Απαιτήση Ψύξης Χ.Π. 3 [kWh/m²]



Μηνιαία Απαιτήση Ψύξης Χ.Π. 4 [kWh/m²]

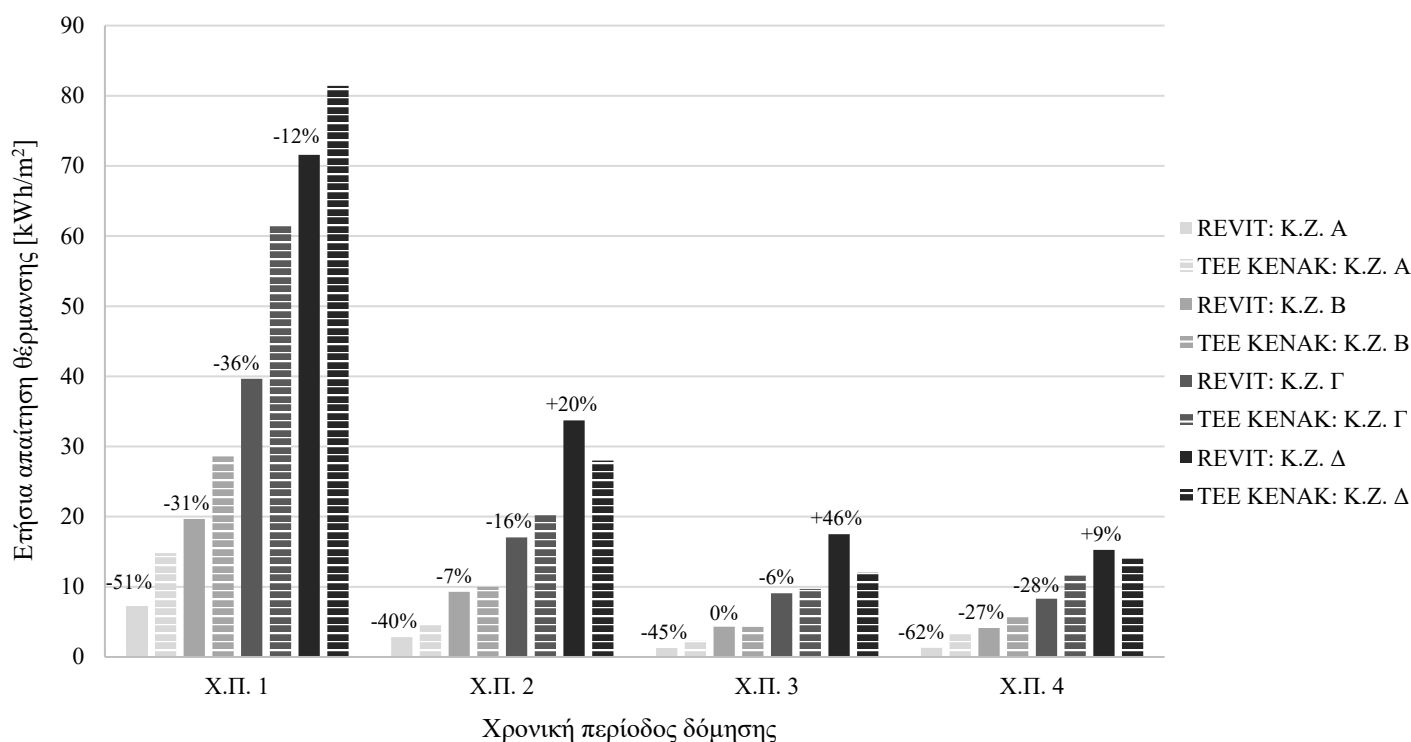


Σχήμα 4.6: Μηνιαίες ενεργειακές απαιτήσεις ψύξης [kWh/m²] του τυπικού κτιρίου γραφείων για τις τέσσερις χρονικές περιόδους δόμησης, συναρτήσει της κλιματικής ζώνης, σύμφωνα με το λογισμικό TEE KENAK.

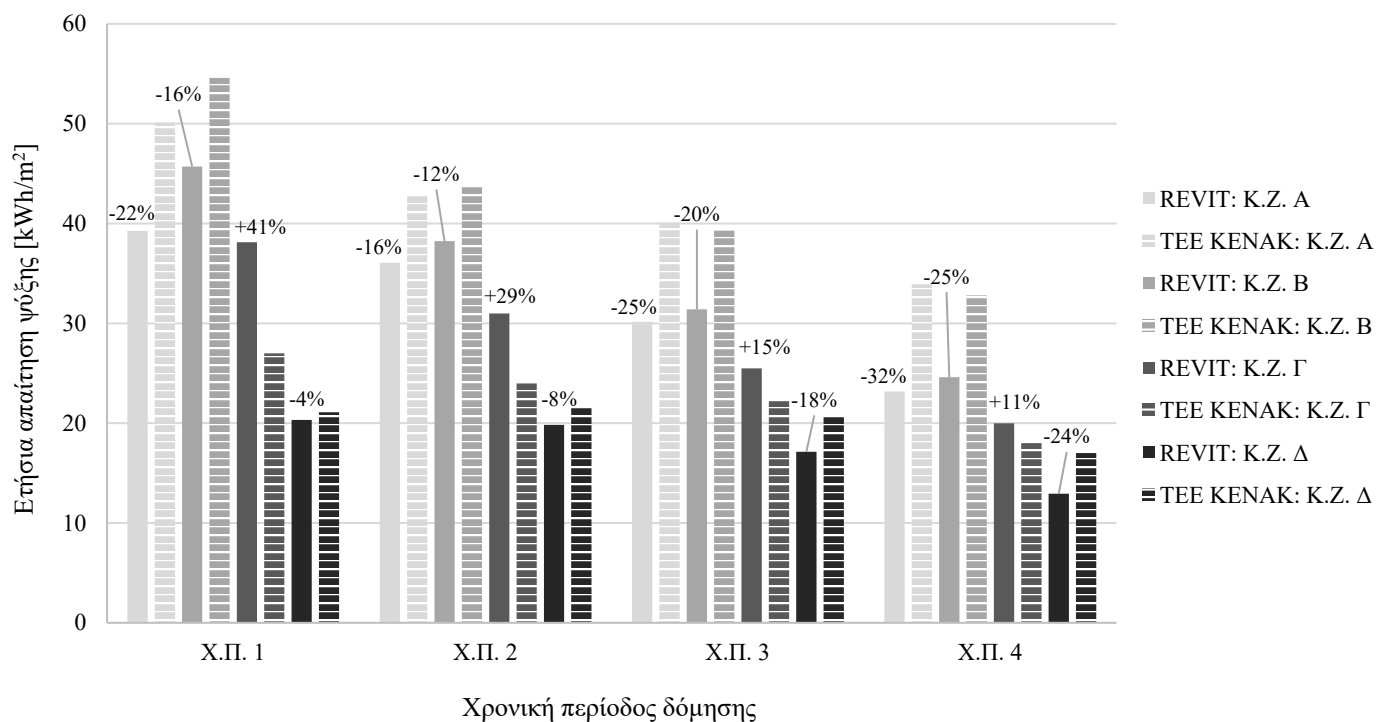
5. Σύγκριση αποτελεσμάτων Autodesk Revit και ΤΕΕ ΚΕΝΑΚ

Με στόχο την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των ενεργειακών απαιτήσεων που παράγονται μέσω της προσομοίωσης του τυπικού κτιρίου γραφείων στο λογισμικό Autodesk Revit, γίνεται σύγκρισή τους με τα αντίστοιχα αποτελέσματα του λογισμικού ΤΕΕ ΚΕΝΑΚ και ερμηνεύονται τυχόν αποκλίσεις που προκύπτουν.

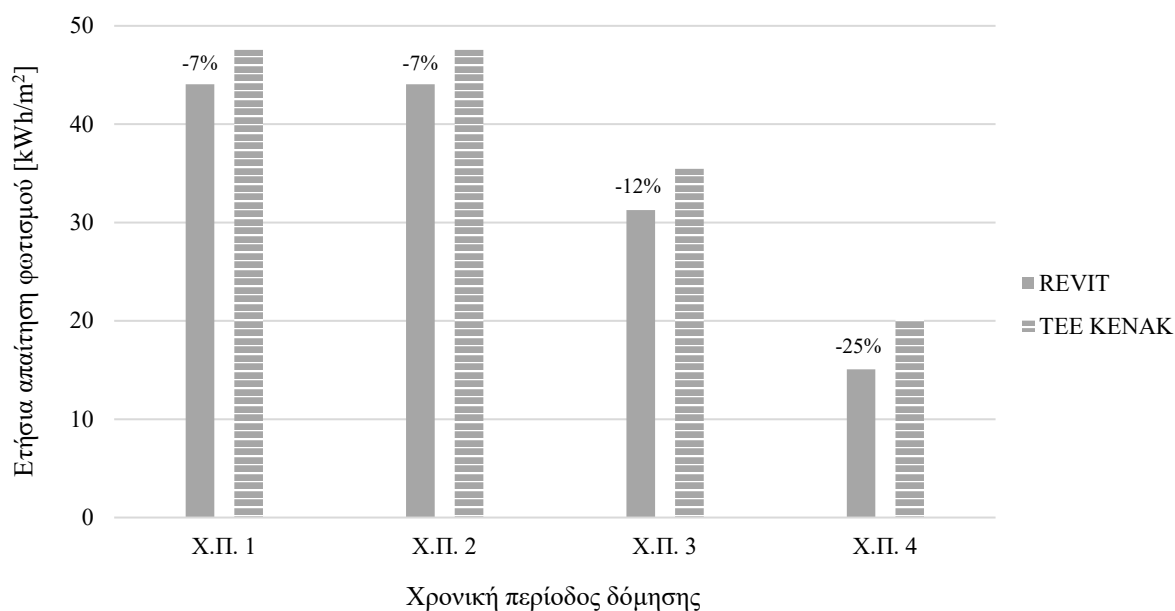
Στα Σχήματα 5.1, 5.2 και 5.3 αντιπαρατίθενται οι ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις του τυπικού κτιρίου όπως αυτές προέκυψαν από τα δύο λογισμικά. Παράλληλα, αναγράφεται η ποσοστιαία απόκλιση των αποτελεσμάτων του Autodesk Revit σε σχέση με τα αποτελέσματα του ΤΕΕ ΚΕΝΑΚ. Παρατηρείται ότι, κατά κύριο λόγο, οι απαιτήσεις θέρμανσης, ψύξης και φωτισμού που υπολογίστηκαν μέσω του Autodesk Revit λαμβάνουν μικρότερες τιμές σε σύγκριση με τις αντίστοιχες απαιτήσεις που υπολογίστηκαν μέσω του ΤΕΕ ΚΕΝΑΚ. Εξάιρεση αποτελούν οι απαιτήσεις θέρμανσης της Κ.Ζ. Δ για τη Χ.Π. 2, 3 και 4 και οι απαιτήσεις ψύξης της Κ.Ζ. Γ, πιθανότητα λόγω διαφορών στα χρησιμοποιούμενα κλιματικά δεδομένα.



Σχήμα 5.1: Σύγκριση των ετήσιων ενεργειακών απαιτήσεων θέρμανσης [kWh/m²] του τυπικού κτιρίου γραφείων, ως συνάρτηση της χρονικής περιόδου δόμησης και της κλιματικής ζώνης, όπως προκύπτουν από τα λογισμικά Autodesk Revit και ΤΕΕ ΚΕΝΑΚ.



Σχήμα 5.2: Σύγκριση των ετήσιων ενεργειακών απαιτήσεων ψύξης [kWh/m²] του τυπικού κτιρίου γραφείων, ως συνάρτηση της χρονικής περιόδου δόμησης και της κλιματικής ζώνης, όπως προκύπτουν από τα λογισμικά Autodesk Revit και TEE KENAK.



Σχήμα 5.3: Σύγκριση των ετήσιων ενεργειακών απαιτήσεων φωτισμού [kWh/m²] του τυπικού κτιρίου γραφείων, ως συνάρτηση της χρονικής περιόδου δόμησης και της κλιματικής ζώνης, όπως προκύπτουν από τα λογισμικά Autodesk Revit και TEE KENAK.

Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι τα δύο λογισμικά εφαρμόζουν δύο διαφορετικές υπολογιστικές μεθόδους ενεργειακής προσομοίωσης του κτιρίου. Από τη μια πλευρά, το λογισμικό Autodesk Revit δημιουργεί ένα μοντέλο δυναμικής προσομοίωσης με ωριαίο υπολογισμό του ισοζυγίου θερμότητας στο κτίριο και χρήση ωριαίων κλιματικών δεδομένων ενός τυπικού μετεωρολογικού έτους. Από την άλλη πλευρά, το TEE KENAK εφαρμόζει μέθοδο ημι-σταθερής κατάστασης μηνιαίου βήματος, χρησιμοποιώντας τις μέσες μηνιαίες τιμές κλιματολογικών δεδομένων των ελληνικών περιοχών, όπως αυτές αναγράφονται στην TOTEE 20701-3. Παρότι τα κλιματικά δεδομένα κάθε κλιματικής ζώνης που χρησιμοποιούν τα δύο λογισμικά για τους υπολογισμούς των ενεργειακών απαιτήσεων είναι παρεμφερή λόγω παρόμοιας γεωγραφικής θέσης συλλογής των δεδομένων, αυτά δεν ταυτίζονται απόλυτα, με συνέπεια να τίθεται εξ αρχής μια απόκλιση μεταξύ των αποτελεσμάτων. Σημειώνεται ότι το λογισμικό Autodesk Revit δεν παρέχει αναλυτική αναφορά των χρησιμοποιούμενων κλιματικών δεδομένων των γεωγραφικών θέσεων που μελετήθηκαν, ώστε να μπορέσει να γίνει μια εκτίμηση της απόκλισης που οφείλεται στα διαφορετικά κλιματικά δεδομένα. Επιπλέον, τα κλιματικά δεδομένα της ζώνης Δ, που αντιστοιχεί στην περιοχή της Κοζάνης, λαμβάνονται από τον Κρατικό Αερολιμένα Καστοριάς «Αριστοτέλης» και επομένως θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η θερμοκρασιακή διαφορά των δύο πόλεων. Σύμφωνα με την TOTEE 20701-3, η περιοχή της Κοζάνης, σε σχέση με την Καστοριά, εμφανίζει κατά μέσο όρο 0.35 °C υψηλότερη μηνιαία θερμοκρασία 24ώρου για την περίοδο θέρμανσης και 0.24 °C υψηλότερη μηνιαία θερμοκρασία 24ώρου για την περίοδο ψύξης.

Σημαντικό ρόλο στην απόκλιση των αποτελεσμάτων των δύο λογισμικών διαδραματίζει και η επίδραση της θερμικής αδράνειας του κτιρίου και ο τρόπος με τον οποίο αυτή αποτυπώνεται στους υπολογισμούς. Σε αυτό το σημείο, υπεισέρχεται η έννοια της θερμοχωρητικότητας των δομικών στοιχείων. Όπως έχει αναφερθεί, στο λογισμικό TEE KENAK υπάρχει δυνατότητα να εκχωρηθεί μόνο η τιμή της ανηγμένης θερμοχωρητικότητας για το σύνολο της θερμικής ζώνης μιας τυπικής κατασκευής. Από την άλλη πλευρά, στο Revit γίνεται λεπτομερής περιγραφή κάθε αδιαφανούς δομικού στοιχείου ως προς την πυκνότητα και την ειδική θερμοχωρητικότητά του. Παράλληλα, σε αντίθεση με το TEE KENAK, στο λογισμικό Autodesk Revit τοποθετούνται οι εσωτερικοί τοίχοι και τα ενδιάμεσα πατώματα του κτιρίου, αυξάνοντας τη θερμική μάζα του. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται ακριβέστερος υπολογισμός του ρυθμού με τον οποίο απορροφάται και αποβάλλεται θερμότητα σε κάθε σημείο του κτιριακού κελύφους, που επηρεάζει τελικά τη διαμόρφωση της εσωτερικής θερμοκρασίας της θερμικής ζώνης. Ταυτόχρονα, είναι διαφορετικός ο τρόπος με τον οποίο το κέλυφος του κτιρίου φορτίζεται και εκφορτίζεται θερμικά κατά τη συνολική διάρκεια ενός μήνα και κατά τη διάρκεια κάθε μεμονωμένης ώρας μέσα στην ημέρα. Το λογισμικό TEE KENAK εισάγει τα δυναμικά φαινόμενα στις εξισώσεις της στατικής υπολογιστικής μεθόδου μέσω του συντελεστή αξιοποίησης των εσωτερικών και ηλιακών κερδών κατά την περίοδο θέρμανσης και του συντελεστή αξιοποίησης των απωλειών θερμότητας λόγω μετάδοσης και αερισμού στην περίοδο ψύξης. Ωστόσο, αυτή η μέθοδος δεν μπορεί να αποτυπώσει απόλυτα τον τρόπο με τον οποίο εξελίσσονται οι δυναμικές διεργασίες του ισοζυγίου θερμότητας, όπως στην μέθοδο του ωριαίου βήματος.

Αναφέρεται, επίσης, ότι στο λογισμικό Revit κάθε θερμική ζώνη χωρίζεται σε επιμέρους αναλυτικούς χώρους, οι οποίοι παρουσιάζουν απώλεια ή κέρδος θερμότητας. Αντίθετα, το λογισμικό TEE KENAK θεωρεί ότι η θερμική ζώνη είναι ομογενής ως προς την εσωτερική

θερμοκρασία της και οι ανταλλαγές θερμότητας γίνονται μόνο στα όριά της και όχι εσωτερικά αυτής.

Επιπροσθέτως, πρέπει να αναφερθεί ότι, κατά την προσομοίωση του τυπικού κτιρίου γραφείων στο Revit, γίνεται λεπτομερής σχεδιασμός και των μη θερμαινόμενων χώρων (ισόγειο και κλιμακοστάσια), των συνθηκών λειτουργίας και των θερμοφυσικών χαρακτηριστικών τους. Αντίθετα, στο λογισμικό TEE KENAK είχε γίνει μια πιο απλοποιητική προσομοίωση των Μ.Θ.Χ.. Παρότι τα εσωτερικά θερμικά κέρδη και ο φωτισμός των Μ.Θ.Χ. είναι μηδενικά, αυτοί συμμετέχουν δυναμικά στις ανταλλαγές θερμότητας και επηρεάζουν τα απαιτούμενα φορτία θέρμανσης και ψύξης.

Επιπλέον, ο τρόπος προσομοίωσης της δυτικής όψης του κτιρίου που συνορεύει αδιαβατικά με γειτονικό ισοϋψές κτίριο διαφέρει για τα δύο λογισμικά. Το λογισμικό Autodesk Revit δεν παρείχε την δυνατότητα για ορισμό της επιφάνειας ως αδιαβατική και για αυτό το λόγο έγινε μια προσεγγιστική προσομοίωση της δυτικής όψης με χρήση όσο το δυνατόν πιο χαμηλού συντελεστή θερμοπερατότητας στα δομικά στοιχεία, με συνέπεια να δημιουργείται μια απόκλιση στα αποτελέσματα. Ταυτόχρονα, διαφέρει ο τρόπος με τον οποίο υπολογίζεται η σκίαση του κτιρίου σε ωριαία και σε μηνιαία βάση.

Τέλος, αναφορικά με τις ενεργειακές απαιτήσεις του κτιρίου σε φωτισμό, οι υψηλότερες τιμές που προκύπτουν από το λογισμικό TEE KENAK μπορούν να αιτιολογηθούν, διότι κατά την προσομοίωση του κτιρίου σε αυτό το λογισμικό είχε θεωρηθεί φωτισμός ασφαλείας που λειτουργεί καθ' όλη την διάρκεια της ημέρας και του έτους.

6. Παρεμβάσεις ενεργειακής αναβάθμισης του τυπικού κτιρίου γραφείων

6.1 Αρχές βιοκλιματικού σχεδιασμού

Σύμφωνα με τον Νέο Οικοδομικό Κανονισμό (NOK 2012), «Βιοκλιματικός σχεδιασμός κτιρίου είναι ο κατάλληλος σχεδιασμός του κτιρίου που αποσκοπεί στη βέλτιστη εκμετάλλευση των φυσικών και κλιματολογικών συνθηκών με σκοπό να επιτυγχάνονται οι βέλτιστες εσωτερικές συνθήκες θερμικής άνεσης και ποιότητας αέρα κατά τη διάρκεια όλου του έτους με την ελάχιστη δυνατή κατανάλωση ενέργειας». Η προσέγγιση του βιοκλιματικού σχεδιασμού στοχεύει στην μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων του κτιρίου μέσω κατάλληλων προσαρμογών των παραμέτρων σχεδιασμού του. Τα απαραίτητα ενεργειακά φορτία, στη συνέχεια, καλύπτονται με αξιοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, ώστε να περιοριστεί όσο το δυνατόν περισσότερο η κατανάλωση συμβατικών καυσίμων και ως εκ τούτου να ελαχιστοποιηθεί η παραγωγή αερίων του θερμοκηπίου [25].

Οι αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού βασίζονται στην εφαρμογή κατάλληλης διάταξης, μορφολογίας, γεωμετρίας και προσανατολισμού του κτιρίου, στην αξιοποίηση τεχνικών παθητικής θέρμανσης, φυσικού δροσισμού και φυσικού φωτισμού, καθώς και στην βελτίωση του μικροκλίματος στο περιβάλλον του κτιρίου.

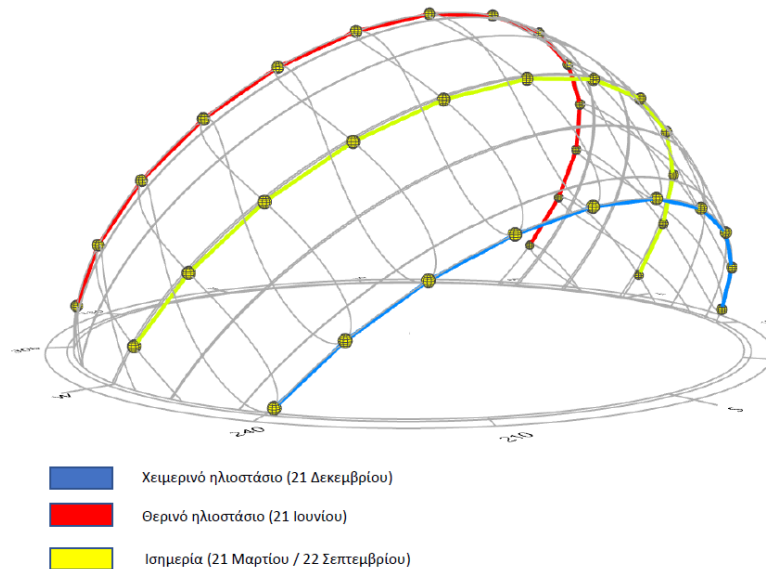
Διάταξη και προσανατολισμός κτιρίου

Η διάταξη του κτιρίου αποτελεί μια σημαντική παράμετρο σχεδιασμού, διότι η αναλογία της εκτεθειμένης επιφάνειας του κελύφους προς τον περικλειόμενο όγκο εσωτερικού χώρου καθορίζει τη δυνατότητα ροής θερμότητας με αγωγιμότητα από ή προς το κτίριο και επομένως τις ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση ή ψύξη. Μια συμπαγής διάταξη κτιρίου ορισμένου όγκου επιτρέπει μικρή επιφάνεια αλληλεπίδρασης με το εξωτερικό περιβάλλον, ενώ μια επιμήκης διάταξη κτιρίου του ίδιου όγκου επιτρέπει μεγαλύτερη επιφάνεια αλληλεπίδρασης και ενδεχομένως μεγαλύτερη ροή θερμότητας μέσω του κελύφους.

Ωστόσο, συνδυαστικά, η μορφολογία, ο προσανατολισμός των επιμέρους επιφανειών, οι θέσεις των ανοιγμάτων και τα υλικά των δομικών στοιχείων μπορούν να επηρεάσουν τις θερμοροές και να αντισταθμίσουν πιθανά μειονεκτήματα των γεωμετρικών αναλογιών. Για παράδειγμα, παρότι η επιμήκης διάταξη των κτιρίων αυξάνει την αναλογία επιφάνειας κελύφους προς περικλειόμενο όγκο, ταυτόχρονα επιτρέπει τη διαμόρφωση εσωτερικών χώρων με μικρό βάθος, ευνοώντας τον διαμερή αερισμό, τον φυσικό φωτισμό και την αξιοποίηση ηλιακού κέρδους [25].

Σε αυτό το γεγονός σημαντικό ρόλο διαδραματίζει, επίσης, η χωροθέτηση των ανοιγμάτων στο κτίριο. Στις κλιματικές ζώνες της Ελλάδας, με βάση την τροχιά του ήλιου (Σχήμα 6.1) και ως εκ τούτου τις τιμές προσπίπτουσας ακτινοβολίας στη διάρκεια του έτους, παρατηρείται ότι τα νότια προσανατολισμένα ανοίγματα δέχονται μεγάλη ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας το χειμώνα, ενισχύοντας την παθητική θέρμανση, και λιγότερη ποσότητα ακτινοβολίας το καλοκαίρι. Αντίθετα, τα βόρεια ανοίγματα δέχονται μηδενική ποσότητα απευθείας ηλιακής ακτινοβολίας το χειμώνα και μικρή ποσότητα ακτινοβολίας το καλοκαίρι.

Τα ανατολικά και δυτικά ανοίγματα δέχονται πολύ περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία το καλοκαίρι σε σύγκριση με τον χειμώνα και αποτελούν πηγές υπερθέρμανσης τη θερινή περίοδο. Σύμφωνα με τα παραπάνω δεδομένα, προτείνεται διάταξη μεγάλων νότιων ανοιγμάτων με επαρκή ηλιοπροστασία για το καλοκαίρι, μικρών βόρειων ανοιγμάτων για φυσικό φωτισμό και αερισμό και πρόβλεψη κατάλληλης ηλιοπροστασίας για τα ανατολικά και δυτικά ανοίγματα που είναι απαραίτητα για τον φωτισμό, αερισμό και δροσισμό των εσωτερικών χώρων [25].



Σχήμα 6.1: Διάγραμμα φαινόμενης τροχιάς ηλίου στην περιοχή της Αθήνας, με ένδειξη τριών χαρακτηριστικών ημερών [25].

Τεχνικές παθητικής θέρμανσης

Στόχος των παθητικών συστημάτων θέρμανσης αποτελεί η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση με συμβατικές πηγές ενέργειας, μέσω της παραγωγής θερμικής ενέργειας από το ίδιο το κέλυφος του κτιρίου. Για αυτό το λόγο μπορούν να αποδώσουν μόνο αν τοποθετούνται σε μη σκιαζόμενες τη χειμερινή περίοδο νότιες επιφάνειες (με απόκλιση έως $\pm 30^\circ$).

Οι τεχνικές για την παθητική θέρμανση του κτιρίου στηρίζονται στην συλλογή ηλιακών κερδών για θέρμανση των εσωτερικών χώρων, την αποθήκευση της συλλεχθείσας ενέργειας σε δομικά υλικά με ικανή θερμοχωρητικότητα και την προστασία από απώλειες θερμότητας μέσω του θερμικά θωρακισμένου κελύφους. Βασική αρχή λειτουργίας των παθητικών συστημάτων θέρμανσης είναι το φαινόμενο του θερμοκηπίου, δηλαδή η συλλογή της ηλιακής ενέργειας μέσω διαφανών, νότια προσανατολισμένων επιφανειών, που είναι διαπερατές στη μικρού μήκους (ηλιακή) ακτινοβολία, αλλά αδιαπέρατες από τη μεγάλου μήκους (θερμική) ακτινοβολία.

Τα υλικά συλλογής των ηλιακών κερδών είναι διαφανή υλικά (υαλοπίνακες, σκληρά πλαστικά ακρυλικά, πολυεστερικά, πολυκαρβονικά και διαφανής θερμομόνωση). Η σημαντικότερη παράμετρος που καθορίζει την απόδοσή τους είναι ο συντελεστής ηλιακών θερμικών κερδών, η αύξηση του οποίου υποδηλώνει και αύξηση της απόδοσης του συστήματος παθητικής θέρμανσης. Ρόλο παίζει, επίσης, το ποσοστό του πλαισίου, σε

περίπτωση που διαθέτουν, καθώς το μεγάλο ποσοστό πλαισίου μειώνει την ενεργή συλλεκτική επιφάνεια του συστήματος με αντίστοιχη μείωση του συντελεστή ηλιακών κερδών του δομικού στοιχείου [25].

Μια ακόμα σημαντική παράμετρος είναι η απορροφητικότητα της αδιαφανούς επιφάνειας στην οποία προσπίπτει η ηλιακή ακτινοβολία. Για αυτό το λόγο, οι επιφάνειες είτε των παθητικών συστημάτων είτε του εσωτερικού του κτιρίου όπου προσπίπτει η ηλιακή ακτινοβολία πρέπει να χαρακτηρίζονται από υψηλό συντελεστή απορροφητικότητας, δηλαδή να είναι σκούρων αποχρώσεων, ώστε να αυξάνει η απόδοση του συστήματος ως προς τη συλλογή των ηλιακών κερδών.

Παράλληλα, τα οικοδομικά υλικά του κελύφους, των εσωτερικών χώρων και του φέροντα οργανισμού, που χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση της θερμότητας, πρέπει να διαθέτουν μεγάλη θερμοχωρητικότητα. Το υλικό με τη μεγαλύτερη θερμοχωρητικότητα στη φύση είναι το νερό, ενώ συνήθη δομικά στοιχεία με μεγάλη θερμοχωρητικότητα είναι η πέτρα, το σκυρόδεμα, ο πηλός, οι οπτόπλιθοι. Υλικά χαμηλής θερμοχωρητικότητας είναι το ξύλο, η γυψοσανίδα και τα θερμομονωτικά υλικά. Καθώς η θερμοχωρητικότητα που προσφέρει τη θερμομόνωση είναι αμελητέα, όταν τοποθετείται εσωτερικά, οποιοδήποτε δομικό στοιχείο παύει να λειτουργεί ως στοιχείο αποθήκευσης της θερμότητας.

Τέλος, το κτίριο, ως ένα συνολικό σύστημα, πρέπει να χαρακτηρίζεται από ικανή θερμομονωτική επάρκεια, περιορισμένες θερμογέφυρες και μικρή αεροπερατότητα, ώστε τα παθητικά συστήματα θέρμανσης που τοποθετούνται να αποδίδουν στο μέγιστο.

Με βάση τις παραπάνω αρχές, μπορούν να κατασκευαστούν μια πληθώρα από συστήματα παθητικής θέρμανσης, όπως τα απλά νότια ανοίγματα (άμεσο κέρδος), τα θερμοκήπια, οι τοίχοι μάζας, οι τοίχοι νερού, οι τοίχοι Trombe, οι αδιαφανείς τοίχοι με διαφανή θερμομόνωση (έμμεσου κέρδους) και το θερμοσιφωνικό πανέλο (απομονωμένου κέρδους) [25].

Τεχνικές φυσικού δροσισμού

Οι τεχνικές φυσικού δροσισμού του κτιρίου βασίζονται στην προστασία από τα ηλιακά κέρδη, την προστασία του κελύφους από την εξωτερική θερμοκρασία, τη συγκράτηση θερμότητας στη θερμική μάζα των δομικών στοιχείων καθώς και την αποβολή της μέσω αερισμού και μέσω ακτινοβολίας.

Η προστασία από τα ηλιακά κέρδη μπορεί να επιτευχθεί μέσω τοποθέτησης συστημάτων σκίασης στο κτίριο, επιλογή υαλοστασίων χαμηλής διαπερατότητας και κατασκευή των επιφανειών του κελύφους με κατάλληλη υφή και χρώμα ώστε να έχουν χαμηλή απορροφητικότητα. Επιπλέον, η προστασία του κελύφους από την εξωτερική θερμοκρασία και η συγκράτηση θερμότητας στα δομικά στοιχεία υλοποιούνται μέσω της επαρκούς θερμομόνωσης και της υψηλής θερμοχωρητικότητας των εκτεθειμένων επιφανειών αντίστοιχα. Μια άλλη τεχνική φυσικού δροσισμού είναι η αποβολή της συσσωρευμένης θερμότητας με αερισμό και ακτινοβολία, η οποία επιτυγχάνεται με διαμπερή και νυχτερινό αερισμό του κτιρίου, ελκυσμό αέρα, σχεδιασμό ηλιακής καμινάδας και διπλού κελύφους, δροσισμό μέσω του εδάφους και άλλα. Παράλληλα εφαρμόζονται ορισμένες τεχνικές φυσικού δροσισμού που βασίζονται στην εξάτμιση υδάτινων στοιχείων που τοποθετούνται

στον περιβάλλοντα χώρο του κτιρίου ή σε αίθρια και στην εξατμισοδιαπνοή φυτών σε φυτεμένα δώματα και όψεις [25].

Τεχνικές βελτίωσης φυσικού φωτισμού

Ο φυσικός φωτισμός αποτελεί μια σημαντική παράμετρο σχεδιασμού του κτιρίου, καθότι επηρεάζει όχι μόνο την ενεργειακή απαίτηση του κτιρίου σε τεχνητό φωτισμό, αλλά και την διάθεση των χρηστών, αφού συνοδεύεται από προοπτική θέα μέσω των ανοιγμάτων και δυναμική μεταβολή στη διάρκεια της ημέρας, δημιουργώντας οπτικό ενδιαφέρον.

Οι τεχνικές για τη βελτίωση του φυσικού φωτισμού βασίζονται κυρίως στο σχήμα του κτιρίου και τη θέση των ανοιγμάτων. Πιο συγκεκριμένα, ο σχεδιασμός επιμηκών κατόψεων και αιθρίων στο κτίριο αυξάνει το ποσοστό της περιμετρικής περιοχής και την πρόσβαση σε φυσικό φωτισμό. Ένας τέτοιος σχεδιασμός, ωστόσο, θα πρέπει να είναι συμβατός και με την ανάγκη για περιορισμό των ηλιακών κερδών κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών. Στις προσόψεις με νότιο προσανατολισμό επιτυγχάνεται πιο εύκολα η ισορροπία ανάμεσα στην επάρκεια φυσικού φωτισμού και την ικανοποιητική αποκοπή ηλιακών κερδών λόγω του ύψους του ήλιου ιδίως την χρονική περίοδο Μαΐου-Σεπτεμβρίου. Στις ανατολικού και κυρίως δυτικού προσανατολισμού προσόψεις, ανάλογα και με το ωράριο λειτουργίας του κτιρίου, η σκίαση αποτελεί συνήθως προτεραιότητα, επηρεάζοντας έτσι την επάρκεια φυσικού φωτισμού. Η βορεινή πρόσοψη, από την άλλη πλευρά είναι πάροχος σταθερού φωτισμού κατά τη διάρκεια της ημέρας και ταυτόχρονα δεν εμφανίζει προβλήματα ρύθμισης των ηλιακών κερδών όπως η νότια. Ως λύση προτείνεται η διαφοροποίηση των ιδιοτήτων των υαλοπινάκων ανά προσανατολισμό, η οποία συνεισφέρει στην εξισορρόπηση των ηλιακών θερμικών κερδών και του φυσικού φωτισμού.

Παράλληλα, οι πρισματικοί υαλοπίνακες, οι ολογραφικοί υαλοπίνακες και οι υαλοπίνακες ειδικής επεξεργασίας με λείζερ, οι οποίοι συνήθως τοποθετούνται σε φεγγίτες γιατί εμποδίζουν τη θέαση, βελτιώνουν τις συνθήκες οπτικής άνεσης, αφού κατευθύνουν την άμεση ηλιακή ακτινοβολία στην οροφή και επιτυγχάνουν ομοιόμορφη διάχυση του φυσικού φωτισμού στο χώρο. Ο φυσικός φωτισμός ενισχύεται, επίσης, με επιπρόσθετα συστήματα όπως οι φωτοσωλήνες που αυξάνουν τα επίπεδα φωτισμού χώρων που δεν έχουν πρόσβαση σε ανοίγματα και τα ράφια φωτισμού που προσφέρουν ομοιομορφία και ταυτόχρονη σκίαση [25].

Τεχνικές βελτίωσης μικροκλίματος στο περιβάλλον του κτιρίου

Σε κάθε τοποθεσία, η παρέμβαση του ανθρώπου μπορεί να τροποποιήσει το περιβάλλον κοντά στα κτίρια, δημιουργώντας συνθήκες γνωστές ως το μικρόκλιμα ή το κλίμα μιας μικρής επιφάνειας. Οι αλλαγές στο σχεδιασμό σε μικροκλιματική στάθμη μπορεί να εξασφαλίσουν αξιοσημείωτα αποτελέσματα, σε αντίθεση με το γενικό μακρόκλιμα και μεσόκλιμα της περιοχής που είναι πέρα από κάθε επίδραση [36].

Οι αλλαγές στο σχεδιασμό σε μικροκλιματική στάθμη αφορούν στην εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας, του ανέμου, καθώς και της υγρασίας του αέρα. Σχετικά με την ηλιακή ακτινοβολία, το ποσό που λαμβάνεται σε μια τοποθεσία εξαρτάται από τον προσανατολισμό του κτιρίου, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του, την τοποθέτησή του στο οικόπεδο, τη θέση γειτονικών κτιρίων και την τοπική καλλιεργημένη βλάστηση [36].

Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι η βλάστηση στον περιβάλλοντα χώρο του κτιρίου μπορεί να συμβάλλει σημαντικά στη δημιουργία ευνοϊκού μικροκλίματος. Η διάταξη φύτευσης αειθαλών δέντρων και θάμνων στην πλευρά των χειμερινών ανέμων προστατεύει θερμικά το κτίριο, ενώ η φύτευση φυλλοβόλων δέντρων μπροστά από τις νότιες όψεις, σκιάζει τα νότια ανοίγματα τη θερινή περίοδο, αλλά επιτρέπεται την είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας τη χειμερινή περίοδο [25]. Παράλληλα, κάποιοι τύποι καλλιέργειας μπορούν να παρέχουν μόνο μερικό προπέτασμα, φιλτράροντας την ακτινοβολία που πέφτει αντί να την εμποδίζουν εντελώς, γεγονός που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πλεονέκτημα. Έτσι, η επιλογή των σωστών ειδών δέντρων σε συνδυασμό με την κατάλληλη τοποθέτησή τους στο οικόπεδο συντελούν στη δημιουργία ευνοϊκού μικροκλίματος [36].

Η βελτίωση του μικροκλίματος στο περιβάλλον του κτιρίου μπορεί, επίσης, να επιτευχθεί μέσω της εξατμισοδιαπνοής των φυτών σε φυτεμένα δώματα και όψεις του κτιρίου, καθώς και της εξατμικής υγρασίας από υδάτινα στοιχεία και το φυσικό έδαφος, τα οποία μειώνουν τη θερμοκρασία του αέρα αλλά ταυτόχρονα αυξάνουν την σχετική υγρασία.

Αναφορικά με τα επιφανειακά υλικά των δομικών στοιχείων, καθώς το ελλαδικό κλίμα χαρακτηρίζεται από υψηλές θερμοκρασίες κυρίως τους θερινούς μήνες, είναι απαραίτητο στον αστικό σχεδιασμό να χρησιμοποιούνται ψυχρά υλικά υψηλής ανακλαστικότητας και υψηλού συντελεστή εκπομπής της υπέρυθρης ακτινοβολίας που είναι ικανά να μειώσουν τις αστικές θερμοκρασίες.

Επιπρόσθετα, η ηλιοπροστασία των εξωτερικών επιφανειών με στέγαστρα, φυτεύσεις δέντρων και ημιυπαίθριους χώρους μπορεί να έχει ευεργετική επίδραση στην μείωση του ψυκτικού φορτίου του κτιρίου [25].

6.2 Παρεμβάσεις στα συστήματα φωτισμού και στο κτιριακό κέλυφος

Με στόχο την μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων του τυπικού κτιρίου γραφείων, μπορούν να εφαρμοστούν διάφορες παρεμβάσεις, οι οποίες μεμονωμένα αλλά και συνδυαστικά, συνεισφέρουν τελικά στην ενεργειακή αναβάθμιση του κτιρίου. Αρωγός σε αυτή τη διαδικασία μπορεί να είναι ο βιοκλιματικός σχεδιασμός του κτιρίου.

Όπως προκύπτει από τα χαρακτηριστικά του ελληνικού κτιριακού αποθέματος που εξετάζονται στο υποκεφάλαιο 1.2.2, το μεγαλύτερο πλήθος κτιρίων με χρήση γραφείων στην Ελλάδα βρίσκεται στην κλιματική ζώνη Β και έχει κατασκευαστεί κατά τη χρονική περίοδο 1981 έως 2010. Λαμβάνοντας αυτή την πληροφορία ως δεδομένο, αποφασίζεται ότι οι παρεμβάσεις ενεργειακής αναβάθμισης που θα εξεταστούν στην πορεία θα έχουν ως κτίριο αναφοράς το τυπικό κτίριο γραφείων της Χ.Π. 2 και της Κ.Ζ. Β, ως η συνηθέστερη περίπτωση κτιρίου γραφείων. Παράλληλα, με βάση τα αποτελέσματα του λογισμικού Autodesk Revit, γίνεται η παρατήρηση ότι οι απαιτήσεις ψύξης του τυπικού κτιρίου γραφείων της Χ.Π. 2 και της Κ.Ζ. Β (38.2 kWh/m^2) εμφανίζονται πολύ υψηλότερες σε σχέση με τις αντίστοιχες απαιτήσεις θέρμανσης (9.3 kWh/m^2). Για αυτό το λόγο, έμφαση θα δοθεί στον περιορισμό των ενεργειακών απαιτήσεων ψύξης.

Οι παρεμβάσεις που θα εξεταστούν αφορούν παθητικά μέτρα ενεργειακής αναβάθμισης του κελύφους. Ωστόσο, μια από τις πιο διαδεδομένες, αποδοτικές, οικονομικές και εύκολες ως προς την υλοποίηση παρεμβάσεις για την ενεργειακή αναβάθμιση των κτιρίων είναι η αναβάθμιση του φωτισμού, η οποία και θα εξεταστεί για τους παραπάνω λόγους.

Με χρήση, λοιπόν, του ήδη υπάρχοντος μοντέλου του κτιρίου αναφοράς στο λογισμικό Autodesk Revit, γίνεται επανακαθορισμός της εγκατεστημένης ισχύος φωτισμού ώστε πλέον να αντιστοιχεί στην τεχνολογία LED. Έτσι, η εγκατεστημένη ισχύς φωτισμού μειώνεται από τα 41,696 W στα 14,252 W. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.1, όπου παρατηρείται 35.5% αύξηση των ετήσιων απαιτήσεων σε θέρμανση, 25.8% μείωση των ετήσιων απαιτήσεων σε ψύξη και 65.8% μείωση των ετήσιων απαιτήσεων σε φωτισμό.

Πίνακας 6.1: Σύγκριση των ετήσιων ενεργειακών απαιτήσεων σε θέρμανση, ψύξη και φωτισμό του τυπικού κτιρίου γραφείων για το σενάριο αναφοράς και το σενάριο ενεργειακής αναβάθμισης με χρήση φωτιστικών τεχνολογίας LED.

	Σενάριο αναφοράς	Σενάριο ενεργειακής αναβάθμισης με φωτιστικά LED	Ποσοστιαία μεταβολή
Ετήσια απαίτηση θέρμανσης [kWh/m ²]	9.3	12.6	35.5% ↑
Ετήσια απαίτηση ψύξης [kWh/m ²]	38.2	28.4	25.8% ↓
Ετήσια απαίτηση φωτισμού [kWh/m ²]	44.1	15.1	65.8% ↓

Επόμενο βήμα αποτελεί η ενεργειακή αναβάθμιση του κτιριακού κελύφους. Για αυτό το λόγο μελετάται η επίδραση της αύξησης του πάχους της θερμομονωτικής στρώσης των αδιαφανών δομικών στοιχείων, και κατ' επέκταση της μείωσης του συντελεστή θερμοπερατότητας, στις ενεργειακές απαιτήσεις. Στο υπάρχον μοντέλο του κτιρίου αναφοράς, γίνεται εισαγωγή των θερμοφυσικών χαρακτηριστικών των αδιαφανών δομικών στοιχείων της Χ.Π. 4 (συντελεστής θερμοπερατότητας, πυκνότητα και ειδική θερμότητα, σύμφωνα με τους Πίνακες 2.3, 2.4, 2.5 και 2.6). Σύμφωνα τον Πίνακα 6.2, παρατηρείται σημαντική μείωση των απαιτήσεων του κτιρίου σε θέρμανση, αλλά μικρότερη μείωση των απαιτήσεων ψύξης. Γενικότερα, όπως παρατηρήθηκε και από τη σύγκριση των ενεργειακών απαιτήσεων για τις διάφορες χρονικές περιόδους δόμησης (Σχήμα 3.10, Σχήμα 3.11), οι τιμές των ενεργειακών απαιτήσεων ψύξης, σε σύγκριση με τις αντίστοιχες τιμές των ενεργειακών απαιτήσεων θέρμανσης, εμφανίζουν μικρότερη διακύμανση μεταξύ των διαφορετικών χρονικών περιόδων δόμησης, δηλαδή οι απαιτήσεις ψύξης παρουσιάζουν μικρότερη ευαισθησία ως προς βελτιώσεις που ορίζει ο εκάστοτε κανονισμός θερμομονωτικής προστασίας.

Πίνακας 6.2: Σύγκριση των ετήσιων ενεργειακών απαιτήσεων σε θέρμανση και ψύξη του τυπικού κτιρίου γραφείων για το σενάριο αναφοράς και το σενάριο ενεργειακής αναβάθμισης με αύξηση της θερμομονωτικής στρώσης των αδιαφανών δομικών στοιχείων.

	Σενάριο αναφοράς	Σενάριο ενεργειακής αναβάθμισης με ενίσχυση της θερμομόνωσης	Ποσοστιαία μεταβολή
Ετήσια απαίτηση θέρμανσης [kWh/m ²]	9.3	6.5	30.3% ↓
Ετήσια απαίτηση ψύξης [kWh/m ²]	38.2	36.7	4.1% ↓

Αναφορικά με το κέλυφος, οι ενεργειακές παρεμβάσεις μπορούν να επεκταθούν στα διαφανή στοιχεία του κτιρίου (Πίνακας 6.3). Η βελτίωση του τύπου του υαλοπινάκα, με σκοπό τον περιορισμό των απαιτήσεων ψύξης, μεταφράζεται σε μείωση του συντελεστή θερμοπερατότητας και του συντελεστή ηλιακού θερμικού κέρδους. Με χρήση ενός τυπικού διπλού υαλοπινάκα 4-15-4 με αργό 90%, μπορεί να επιτευχθεί ο συντελεστής θερμοπερατότητας που αντιστοιχεί στη Χ.Π. 4, ίσως με 2.6 W/m²K, και να μειωθούν οι συντελεστές ηλιακού θερμικού κέρδους.

Πίνακας 6.3: Σύγκριση των ετήσιων ενεργειακών απαιτήσεων σε θέρμανση και ψύξη του τυπικού κτιρίου γραφείων για το σενάριο αναφοράς και το σενάριο ενεργειακής αναβάθμισης των διαφανών δομικών στοιχείων.

	Σενάριο αναφοράς	Σενάριο ενεργειακής αναβάθμισης των υαλοπινάκων	Ποσοστιαία μεταβολή
Ετήσια απαίτηση θέρμανσης [kWh/m ²]	9.3	7.3	21.2% ↓
Ετήσια απαίτηση ψύξης [kWh/m ²]	38.2	36.8	3.7% ↓

6.3 Συστήματα ηλιοπροστασίας

Στα πλαίσια περαιτέρω περιορισμού των υψηλών απαιτήσεων ψύξης του τυπικού κτιρίου γραφείων μπορεί να γίνει αξιοποίηση των τεχνικών φυσικού δροσισμού, μέσα από την τοποθέτηση κατάλληλων συστημάτων ηλιοπροστασίας.

Η επιλογή κατάλληλων συστημάτων ηλιοπροστασίας, οριζόντιων ή κατακόρυφων, σταθερών ή κινητών, διαφέρει, ανάλογα με τον προσανατολισμό των ανοιγμάτων. Όσον αφορά στην ηλιοπροστασία των ανοιγμάτων με νότιο προσανατολισμό, αυτή επιτυγχάνεται ικανοποιητικά με τοποθέτηση οριζόντιων στεγάστρων πάνω από τα ανοίγματα, τα οποία εμποδίζουν την ηλιακή ακτινοβολία το καλοκαίρι και επιτρέπουν την έκθεση των ανοιγμάτων στον ήλιο τον χειμώνα. Το κατάλληλο μέγεθος του στεγάστρου εξαρτάται από το ύψος του ανοίγματος. Όσο μεγαλύτερο είναι το ύψος του ανοίγματος, τόσο μεγαλύτερο είναι το απαιτούμενο μήκος του προβόλου για επαρκή σκίαση. Εναλλακτικά συστήματα είναι οι

οριζόντιες περσίδες μπροστά από το άνοιγμα, οι αποστάσεις μεταξύ των οποίων εξαρτώνται από το πλάτος τους. Μεγαλύτερο πλάτος περσίδων σημαίνει και μεγαλύτερη απόσταση μεταξύ τους.

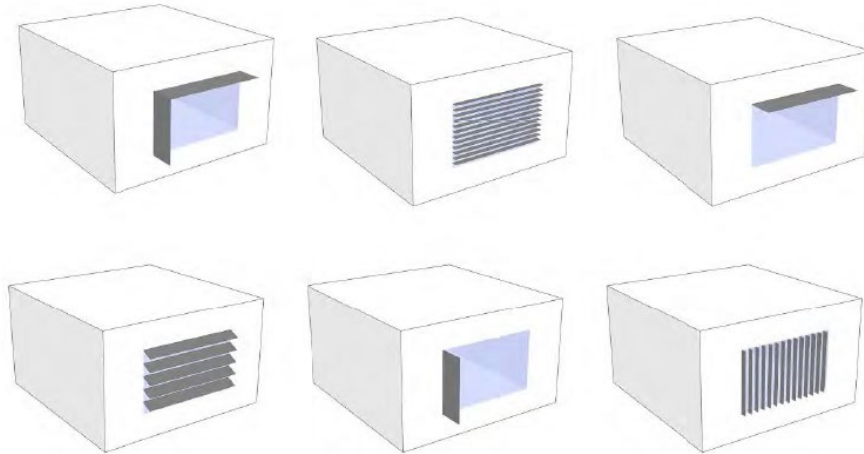
Αναφορικά με τα ανατολικά και δυτικά ανοίγματα και τα ανοίγματα με ενδιάμεσο προσανατολισμό, η ηλιοπροστασία τους επιτυγχάνεται με συνδυασμό οριζόντιων και κατακόρυφων (κάθετων ή με κλίση προς το νότο) σκιάστρων, λόγω της μικρής γωνίας ύψους του ήλιου τις πρωινές και απογευματινές ώρες.

Κατά την άνοιξη και το φθινόπωρο, ανάλογα με την διακύμανση της εξωτερικής θερμοκρασίας, είναι επιθυμητή είτε η ηλιοπροστασία των ανοιγμάτων είτε η αξιοποίηση των ηλιακών κερδών. Για αυτό τον σκοπό, μπορούν να τοποθετηθούν κινητά συστήματα ηλιοπροστασίας, τα οποία προσφέρουν την επιθυμητή ευελιξία ρυθμίσεων για την προσαρμογή στις ανάγκες σκίασης κατά τη διάρκεια της ημέρας ή του έτους ανάλογα με τη θέση του ήλιου. Σε αυτή την περίπτωση όμως απαιτείται η παρέμβαση των χρηστών ή η χρήση αυτοματισμών που έχουν αυξημένες ανάγκες συντήρησης.

Τα συστήματα ηλιοπροστασίας των ανοιγμάτων κατηγοριοποιούνται σε οριζόντια σκιάδια, κατακόρυφα σκιάδια, σκιάδια υπό γωνία, κινητά σκιάδια και περιστρεφόμενες περσίδες. Καθένα από τα συστήματα ηλιοπροστασίας εξυπηρετεί ένα διαφορετικό σκοπό. Πιο συγκεκριμένα, αναφέρεται ότι:

- Σταθεροί οριζόντιοι πρόβολοι προσφέρουν σταθερή ηλιοπροστασία τις ώρες της ημέρας κατά τις οποίες το ύψος ηλίου είναι μεγάλο, ενώ επιτρέπουν τον ηλιασμό των ανοιγμάτων όταν η γωνία ύψους του ήλιου είναι χαμηλή, δηλαδή κατά τις πρωινές και απογευματινές ώρες.
- Σταθερά κατακόρυφα σκιάδια και πλευρικές προεξοχές προσφέρουν ηλιοπροστασία σε ανοίγματα που εκτίθενται στην ηλιακή ακτινοβολία τις ώρες κατά τις οποίες η γωνία ύψους ηλίου είναι χαμηλή και οι οριζόντιοι πρόβολοι δεν επαρκούν για να την εμποδίσουν. Αυτές είναι οι πρωινές και απογευματινές ώρες της θερινής περιόδου για τα ανατολικά και δυτικά ανοίγματα, αντίστοιχα.
- Κινητά σκιάδια και τέντες μπορούν να προσφέρουν πλήρη ηλιοπροστασία κατά τις ώρες που απαιτείται σκίαση και αναιρούνται για να επιτρέπουν αερισμό, φωτισμό και ηλιακά κέρδη, όταν είναι επιθυμητά.
- Περιστρεφόμενες περσίδες μεταβάλλουν τη γωνία σκίασμού, ανάλογα με τις απαιτήσεις ηλιοπροστασίας σε διαφορετικές χρονικές περιόδους του έτους [25].

Στο Σχήμα 6.2 φαίνονται κάποια παραδείγματα συστημάτων ηλιοπροστασίας με οριζόντιους πρόβλους, οριζόντιες περσίδες, πλευρικές προεξοχές, κατακόρυφες περσίδες και κεκλιμένες περσίδες.



Σχήμα 6.2: Παραδείγματα διαφορετικών συστημάτων ηλιοπροστασίας: οριζόντιοι πρόβολοι, οριζόντιες περσίδες, πλευρικές προεξοχές, κατακόρυφες περσίδες, κεκλιμένες περσίδες [25].

Για τον σχεδιασμό και τη διαστασιολόγηση του συστήματος ηλιοπροστασίας είναι απαραίτητος ο υπολογισμός της οριζόντιας γωνίας σκίασης HSA και της κατακόρυφης γωνίας σκίασης VSA σε ορισμένο χρονικό διάστημα, σύμφωνα με τις σχέσεις (6.1) και (6.2).

$$HSA = |AZI - ORI| \leq 90^\circ \quad (6.1)$$

Όπου: HSA [°] η οριζόντια γωνία σκίασης,
 ORI [°] ο προσανατολισμός (αζιμούθιο) της επιφάνειας, δηλαδή η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του μεσημβρινού που περνά από το επίπεδο αναφοράς και την προβολή σε οριζόντιο επίπεδο της καθέτου επί του επιπέδου,
 AZI [°] το ηλιακό αζιμούθιο.

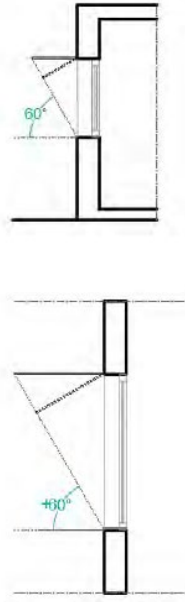
Όταν η τιμή του HSA είναι μεγαλύτερη των 90° , τότε ο ήλιος δεν «βλέπει» τη συγκεκριμένη επιφάνεια, τη συγκεκριμένη ημέρα του έτους.

$$VSA = \tan^{-1} \left[\frac{\tan(ALT)}{\cos(HSA)} \right] \quad (6.2)$$

Όπου: VSA [°] η κατακόρυφη γωνία σκίασης,
 ALT [°] το ηλιακό ύψος,
 HSA [°] η οριζόντια γωνία σκίασης.

Στην περίπτωση οριζόντιου σκιαδίου, το απαιτούμενο μήκος του πρόβολου υπολογίζεται σχεδιάζοντας την ευθεία που διέρχεται από το κατώτερο όριο του ανοίγματος και σχηματίζει την ορισμένη γωνία VSA με το οριζόντιο επίπεδο που διέρχεται από αυτό το όριο. Με παρόμοιο τρόπο, το απαιτούμενο μήκος κατακόρυφου πλευρικού σκιαδίου που βρίσκεται στο

άκρο ενός ανοίγματος υπολογίζεται σχεδιάζοντας την ευθεία που διέρχεται από το απέναντι άκρο του ανοίγματος ώστε να σχηματίζει την ορισμένη γωνία HSA με το κατακόρυφο επίπεδο κάθετο στο άνοιγμα (Σχήμα 6.3).



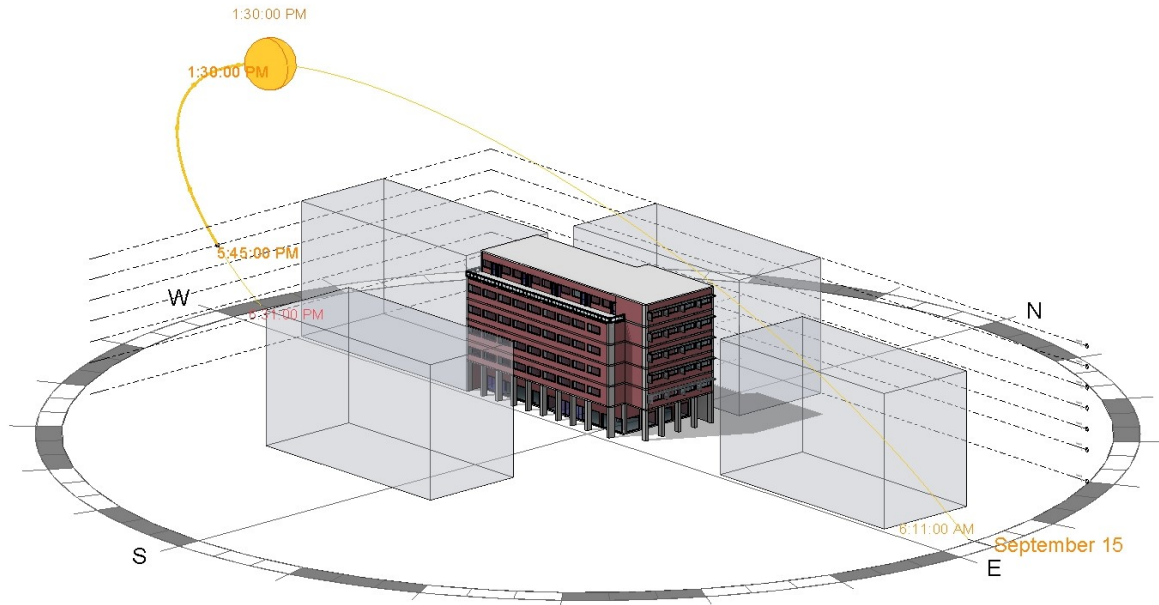
Σχήμα 6.3: Προσδιορισμός της διάστασης οριζόντιου προβόλου με βάση το σχέδιο τομής του ανοίγματος και τη γωνία VSA (πάνω σχήμα) και της διάστασης πλευρικού κατακόρυφου σκιαδίου με βάση το σχέδιο κάτοψης του ανοίγματος και τη γωνία VSA (κάτω σχήμα) [25].

Για την προσομοίωση των συστημάτων ηλιοπροστασίας του τυπικού κτιρίου γραφείων θεωρείται εφαρμογή οριζόντιων προβόλων στα ανοίγματα της νότιας όψης (πρόσοψη) και εφαρμογή οριζόντιων και πλευρικών κατακόρυφων σκιαδίων στα ανοίγματα της ανατολικής όψης του κτιρίου.

Κατά τη διαστασιολόγηση των οριζόντιων προβόλων της νότιας όψης λαμβάνεται, ως η δυσμενέστερη περίπτωση, το πέρας της περιόδου ψύξης (15 Σεπτεμβρίου), όπου ο ήλιος βρίσκεται πιο χαμηλά και επομένως απαιτείται μεγαλύτερο μήκος προβόλου για την αποκοπή της ηλιακής ακτινοβολίας (Σχήμα 6.4). Με αυτό τον τρόπο διασφαλίζεται η επαρκής σκίαση των ανοιγμάτων νοτίου προσανατολισμού καθ' όλη τη διάρκεια της περιόδου ψύξης του τυπικού κτιρίου γραφείων.

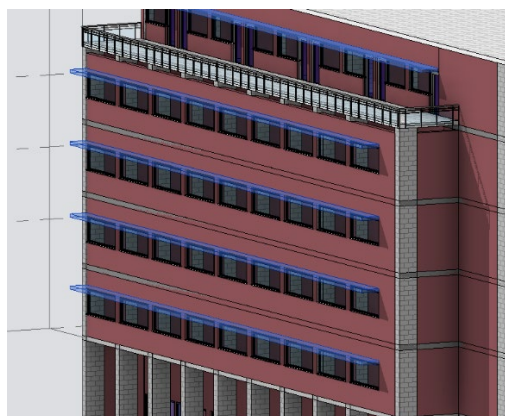
Με δεδομένα, λοιπόν, την τοποθεσία του κτιρίου (Αθήνα), την ημερομηνία (15 Σεπτεμβρίου) και την ώρα (13:30, όπου ο ήλιος βρίσκεται στο υψηλότερο σημείο της συγκεκριμένης ημέρας και «βλέπει» την νότια όψη του κτιρίου), προκύπτει το ηλιακό αζιμούθιο 0° και το ηλιακό ύψος 55° . Στη συνέχεια, σύμφωνα με τις σχέσεις (6.1) και (6.2), υπολογίζονται οι γωνίες σκίασης της επιφάνειας νοτίου προσανατολισμού. Τελικά, προκύπτει ότι το απαιτούμενο μήκος του προβόλου για ανοίγματα ύψους 1.20 m ισούται 0.84 m (σχέση (6.3)).

$$(\text{μήκος προβόλου}) [m] = (\text{ύψος ανοίγματος}) \tan(90^\circ - VSA) \quad (6.3)$$



Σχήμα 6.4: Σχηματική αναπαράσταση της θέσης του ήλιου σε σχέση με τη θέση και τον προσανατολισμό του τυπικού κτιρίου γραφείων για ημερομηνία 15 Σεπτεμβρίου και ώρα 13:30.

Επόμενο βήμα είναι η προσομοίωση των οριζόντιων προβόλων στο λογισμικό Autodesk Revit (Σχήμα 6.5) και ο εκ νέου υπολογισμός των ετήσιων απαιτήσεων θέρμανσης, ψύξης και φωτισμού. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.4, όπου παρατηρείται μικρή αύξηση των απαιτήσεων θέρμανσης και μικρή πτώση των απαιτήσεων ψύξης του τυπικού κτιρίου γραφείων. Για να αποφευχθεί η αύξηση των αναγκών του κτιρίου σε θέρμανση, μπορεί να γίνει επιλογή κινητών σκιαδίων που αφαιρούνται κατά τους χειμερινούς μήνες. Επιπλέον, αξίζει να αναφερθεί ότι, σύμφωνα με το λογισμικό Revit, οι απαιτήσεις του τυπικού κτιρίου για ψύξη δεν περιορίζονται μόνο στα πλαίσια της περιόδου ψύξης, όπου γίνεται ρύθμιση της εσωτερικής θερμοκρασίας του κτιρίου όπως προβλέπει η TOTEE 20701-1/2017. Αντίθετα, λόγω των υψηλών εσωτερικών κερδών, η ανάγκη ψύξης του κτιρίου επεκτείνεται σε όλη τη διάρκεια του χρόνου, με αποτέλεσμα ενισχύεται η χρησιμότητα της ηλιοπροστασίας.

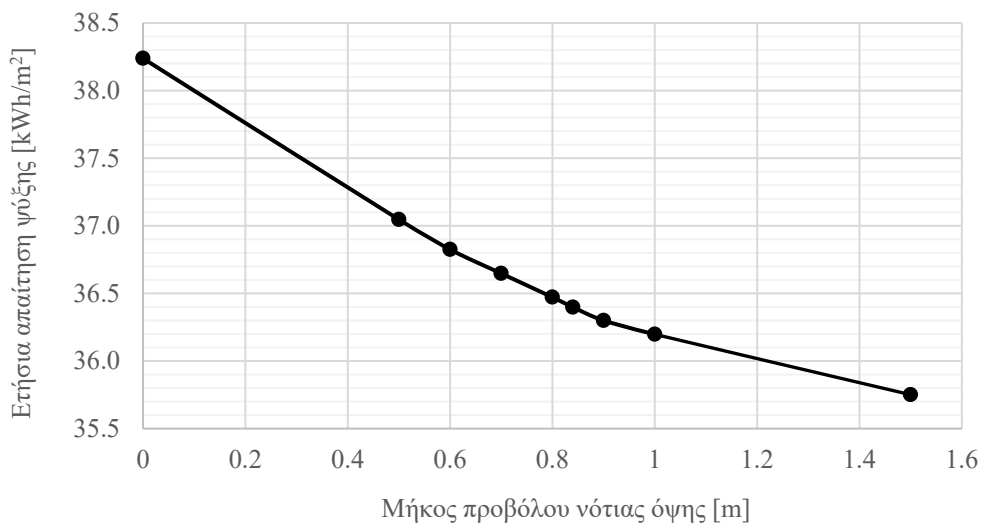


Σχήμα 6.5: Προσομοίωση των οριζόντιων προβόλων, μήκους 0.84 m, στην πρόσοψη του τυπικού κτιρίου γραφείων, σε περιβάλλον Autodesk Revit.

Πίνακας 6.4: Σύγκριση των ετήσιων ενεργειακών απαιτήσεων σε θέρμανση και ψύξη του τυπικού κτιρίου γραφείων για το σενάριο αναφοράς και το σενάριο ενεργειακής αναβάθμισης με τοποθέτηση οριζόντιων προβόλων μήκους 0.84 m στην νότια όψη του κτιρίου.

	Σενάριο αναφοράς	Σενάριο ενεργειακής αναβάθμισης με συστήματα ηλιοπροστασίας	Ποσοστιαία μεταβολή
Ετήσια απαίτηση θέρμανσης [kWh/m ²]	9.3	9.5	2.3% ↑
Ετήσια απαίτηση ψύξης [kWh/m ²]	38.2	36.4	4.8% ↓

Παράλληλα, διερευνήθηκε και η σταδιακή μείωση των ετήσιων ενεργειακών απαιτήσεων για ψύξη του κτιρίου συναρτήσει του μήκους των οριζόντιων προβόλων τη νότιας όψης. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.6, η αύξηση του μήκους των προβόλων στο 1.5 m επιφέρει μείωση 6.5% σε σχέση με τις ετήσιες απαιτήσεις ψύξης του κτιρίου αναφοράς.



Σχήμα 6.6: Ετήσια απαίτηση ψύξης [kWh/m²] του τυπικού κτιρίου γραφείων συναρτήσει του μήκους των οριζόντιων προβόλων στην νότια όψη του κτιρίου, όπως προέκυψαν μέσω της προσομοίωσης στο λογισμικό Autodesk Revit.

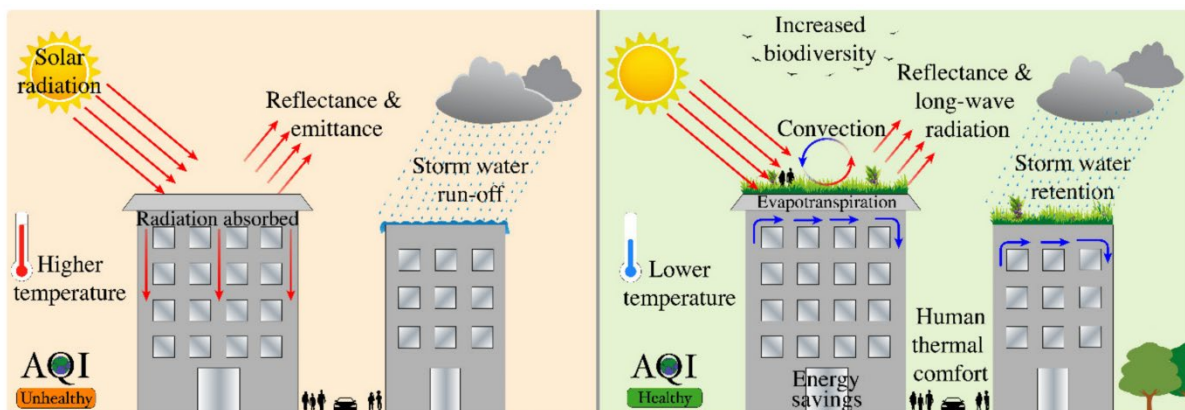
Στη συνέχεια, έγινε μελέτη της μεταβολής των ενεργειακών απαιτήσεων του κτιρίου για τοποθέτηση οριζόντιων και πλευρικών κατακόρυφων σκιαδίων στα ανοίγματα της ανατολικής όψης του κτιρίου. Κατά την προσομοίωση δεν εμφανίστηκαν σημαντικές μεταβολές των μεγεθών, πιθανότατα λόγω της χαμηλής θέσης του ήλιου κατά της πρωινές ώρες και της ήδη υπάρχουσας σκίασης από το γειτονικό κτίριο, και για αυτό το λόγο δεν κρίθηκε σκόπιμο να παρουσιαστούν.

6.4 Φύτευση επιφανειών

Η φύτευση στα δώματα και στις όψεις του κτιρίου αποτελεί μια τακτική με θετικές επιρροές τόσο σε αισθητικό, ψυχολογικό και κοινωνικό επίπεδο, όσο και από πλευρά θερμικής προστασίας του κτιρίου (Σχήμα 6.7).

Τα φυτά, ως ζωντανοί οργανισμοί, ανταποκρίνονται στις μεταβολές των καιρικών συνθηκών και διατηρούν τη θερμοκρασία τους σε επιθυμητά για τη διαβίωσή τους επίπεδα, τα οποία προσεγγίζουν τα επίπεδα θερμικής άνεσης του ανθρώπου, σε μεγαλύτερο βαθμό συγκριτικά με τα αυξημένα επίπεδα επιφανειακών θερμοκρασιών των δομικών υλικών. Πιο συγκεκριμένα, μέσω της εξατμισοδιαπνοής, το φυτό μετατρέπει τα μόρια του νερού σε ατμό, καταναλώνοντας ηλιακή ενέργεια αλλά και θερμότητα από τον εξωτερικό αέρα. Με αυτό τον τρόπο, η επιφανειακή τους θερμοκρασία δεν απέχει πολύ από τη θερμοκρασία του αέρα, με αποτέλεσμα να είναι 20-35 °C χαμηλότερη σε σχέση με τη θερμοκρασία των περισσότερων δομικών υλικών στο αστικό περιβάλλον [25].

Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι η φύτευση δωματίων και άλλων επιφανειών του κτιρίου συμβάλλει στον περιορισμό των θερμορροών και στη δημιουργία ενός ευνοϊκού μικροκλίματος για τη διαβίωση στο κτίριο. Παράλληλα, τα περιβαλλοντικά οφέλη διευρύνονται με την κατανάλωση διοξειδίου του άνθρακα εντός του δομημένου περιβάλλοντος, την μείωση του φαινομένου της θερμικής αστικής νησίδας, τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα μέσω κατακράτησης σκόνης και ρύπων, τη δημιουργία οικοσυστημάτων και τη βελτίωση έως και 16% της απόδοσης των φωτοβολταϊκών συστημάτων που τοποθετούνται στην φυτεμένη επιφάνεια λόγω μείωσης της τοπικής θερμοκρασίας του αέρα.



Σχήμα 6.7: Θερμικά οφέλη φυτεμένου δώματος.

Σημειώνεται ότι, κατά τη χειμερινή περίοδο, οι φυτεύσεις μπορεί να προκαλούν μικρή πτώση της θερμοκρασίας του αέρα και έτσι μικρή αύξηση της απαιτούμενης ενέργειας για θέρμανση, η οποία όμως αντισταθμίζεται από τη σημαντική μείωση της θερμοκρασίας κατά τη θερινή περίοδο και τη μεγάλη μείωση των απαιτήσεων για ψύξη. Στον Πίνακα 6.5 φαίνεται η μείωση της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας λόγω φυτεμένων επιφανειών για την κλιματική ζώνη Β. Για τις προσομοιώσεις είχαν θεωρηθεί φυτεύσεις καλά αρδευόμενες, με χώμα ελεύθερο από φύλλα ή λοιπές επιστρώσεις, για φυτά με αρκετές αρδευτικές ανάγκες (φυτό αναφοράς: γκαζόν) και για ξερικά φυτά (φυτό αναφοράς: αλόη). Στο δώμα, θεωρήθηκε φυτεμένο το 100% της επιφάνειάς του, ενώ για τις όψεις, το 70%. Οι μικροκλιματικές

διαφορές του Πίνακα 6.5 αναφέρονται μόνο στον τελευταίο όροφο για τα φυτεμένα δώματα, ενώ μπορούν να γενικευτούν για όλο το ύψος του κτιρίου για τους φυτεμένους τοίχους [25].

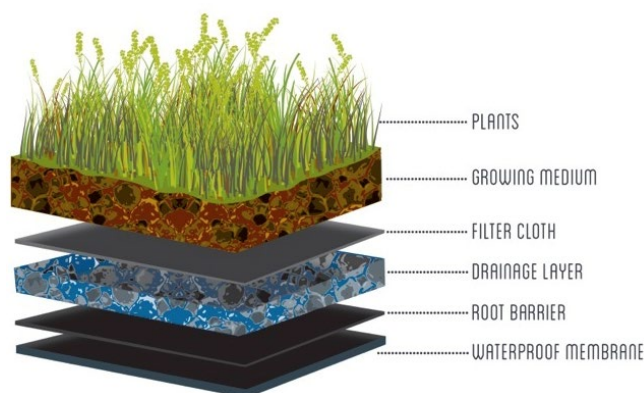
Πίνακας 6.5: Μείωση μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας λόγω φυτεμένων επιφανειών για την κλιματική ζώνη Β [25].

Τύπος στοιχείου	Προσ/μός	Ιαν.	Φεβ.	Μαρ.	Απρ.	Μάι.	Ιουν.	Ιουλ.	Αυγ.	Σεπ.	Οκτ.	Νοέ.	Δεκ.
Φυτεμένες επιφάνειες με αρκετές αρδευτικές ανάγκες													
Φυτεμένος τοίχος	B	0.3	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.3	0.3
	A	0.5	0.5	0.6	0.8	0.9	1.0	1.1	0.9	0.9	0.7	0.6	0.4
	N	1.2	1.1	1.2	1.1	1.0	0.8	1.0	1.3	1.3	1.4	1.3	1.1
Φυτεμένο δώμα	Δ	0.6	0.6	0.8	0.9	1.0	1.1	1.3	1.1	0.9	0.8	0.7	0.5
	οριζόντιο	0.6	0.8	0.9	1.2	1.4	1.5	1.6	1.5	1.3	1.0	0.8	0.6
Φυτεμένες επιφάνειες με ξερική φύτευση													
Φυτεμένος τοίχος	B	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	1.0	0.0	0.0	0.0
	A	0.3	0.4	0.4	0.6	0.7	0.8	0.7	0.7	0.7	0.4	0.4	0.3
	N	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.7	0.9	1.1	1.2	1.2	1.0	0.9
Φυτεμένο δώμα	Δ	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.8	1.0	0.9	0.7	0.6	0.5	0.4
	οριζόντιο	0.3	0.4	0.6	0.8	1.1	1.1	1.2	1.3	1.0	0.6	0.4	0.2

Αναλυτικότερα, τα φυτεμένα δώματα είναι οριζόντιες ή επικλινείς επιφάνειες της κατασκευής, οι οποίες καλύπτονται με κηπευτικό στρώμα και άλλα δομικά υλικά για την εξασφάλιση της προστασίας του δώματος από την υγρασία και τις ρίζες των φυτών. Ανάλογα με τις επιθυμητές ιδιότητες και το είδος της βλάστησης που χρησιμοποιείται, τα φυτεμένα δώματα διακρίνονται σε εκτατικά, εντατικά και ημιεντατικά. Το εκτατικό φυτεμένο δώμα χαρακτηρίζεται από χαμηλή βλάστηση (χλοοτάπητες, μικρούς θάμνους) και κηπευτική στρώση μικρού πάχους (10-15 cm) λόγω του επιφανειακού ριζικού συστήματος των χαμηλών σε ύψος φυτών. Το στατικό φορτίο κυμαίνεται από 70 ως 140 kg/m², κορεσμένο. Το εντατικό φυτεμένο δώμα χαρακτηρίζεται από υψηλή βλάστηση (δένδρα, θάμνοι), με στρώση φύτευσης 15-150 cm, ώστε να μπορεί να περιλαμβάνει μεγαλύτερο ριζικό σύστημα. Σε αυτή την περίπτωση, το στατικό φορτίο είναι τουλάχιστον 250 kg/m², κορεσμένο. Το ημιεντατικό φυτεμένο δώμα είναι ο συνδυασμός του εκτατικού και του εντατικού φυτεμένου δώματος και το κηπευτικό του στρώμα χαρακτηρίζεται από ποικιλία φυτών, θάμνων και μικρών δένδρων.

Η συνήθης διαστρωμάτωση του φυτεμένου δώματος απαρτίζεται (από κάτω προς τα πάνω) από τη δομική υποστήριξη (πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος), τη θερμομονωτική στρώση, τη στεγανωτική μεμβράνη από συνθετικό ελαστικό EPDM ή άλλα υλικά, την αντιριζική μεμβράνη που εμποδίζει τη διείσδυση των ριζών, τη μεμβράνη αποστράγγισης για την αποβολή του πλεονάζοντος νερού που δεν απορροφάται από το μέσο ανάπτυξης των φυτών,

το διηθητικό φίλτρο ώστε να αποτρέπεται η διαπέραση εδαφικού υλικού στο στρώμα της αποστράγγισης, το τροφικό υπόστρωμα (χώμα) και τα φυτά (Σχήμα 6.8).



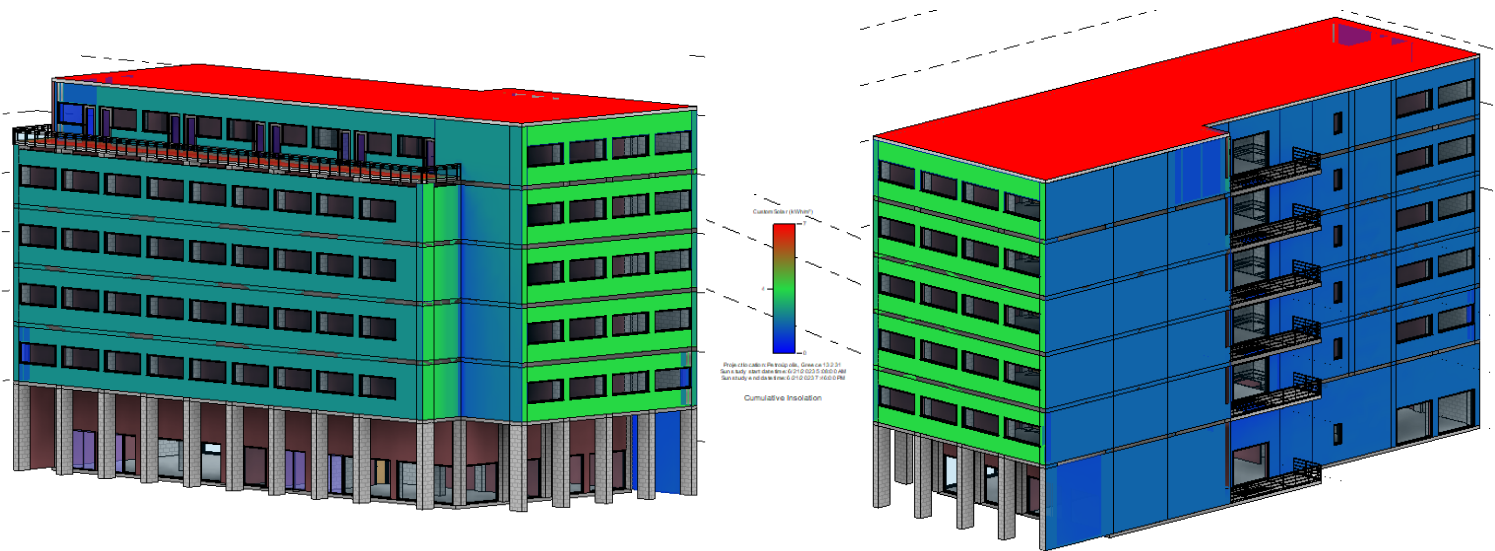
Σχήμα 6.8: Διαστρωμάτωση φυτεμένου δώματος.

Από την άλλη πλευρά, οι φυτεμένες όψεις παρουσιάζουν ταυτόχρονα αρχιτεκτονικό ενδιαφέρον και αποτελούν ένα νέο πεδίο έρευνας ως προς την επίδρασή τους στην ενεργειακή συμπεριφορά των κτιρίων. Σχετικά με το κτιριακό κέλυφος, τα κυριότερα αποτελέσματα αφορούν την μείωση της εσωτερικής θερμοκρασίας αέρα, που κυμαίνεται μεταξύ 0.5 °C – 7.0 °C και τον περιορισμό των ηλιακών κερδών με μείωση της κατανάλωσης ενέργειας για ψύξη τη θερινή περίοδο από 5% έως και 68%.

Οι φυτεμένες όψεις μπορούν να δημιουργηθούν είτε με αναρριχώμενα φυτά είτε με υδροπονικό σύστημα κατακόρυφων κήπων «vertical gardens». Και στις δύο περιπτώσεις, ανάλογα με το είδος των φυτών που χρησιμοποιούνται, οι φυτεμένοι τοίχοι μπορούν να εφαρμοσθούν σε όλους τους προσανατολισμούς. Πιο συγκεκριμένα, για όψεις βόρειου προσανατολισμού επιλέγονται φυτά που δεν εμφανίζουν μεγάλη ανάγκη από ήλιο, ενώ για όψεις νότιου προσανατολισμού επιλέγονται φυτά με αυξημένες ανάγκες σε ηλιακή ακτινοβολία καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου [25].

Τα αναρριχώμενα φυτά τοποθετούνται κατευθείαν στον τοίχο της επιθυμητής όψης του κτιρίου ή πάνω σε πλέγμα που στηρίζεται στον τοίχο. Όσον αφορά τους κατακόρυφους κήπους, πρόκειται για υδροπονική καλλιέργεια, στην οποία το χώμα αντικαθίσταται με μέσο υδροπονικής φύτευσης, πάνω στο οποίο τοποθετείται απευθείας το ριζικό σύστημα των φυτών. Πίσω από το κηπευτικό στρώμα τοποθετείται στεγανωτικό φύλλο και το όλο σύστημα αναρτάται στην τοιχοποιία. Με χρήση αρδευτικών αγωγών, γίνεται αυτοματοποιημένη υδροπονική άρδευση που ταυτόχρονα παρέχει θρεπτικά διαλύματα στα φυτά. Ως αποτέλεσμα, τα φυτά που αναπτύσσονται στο έδαφος, μπορούν να αναπτυχθούν και στο κατακόρυφο επίπεδο [25].

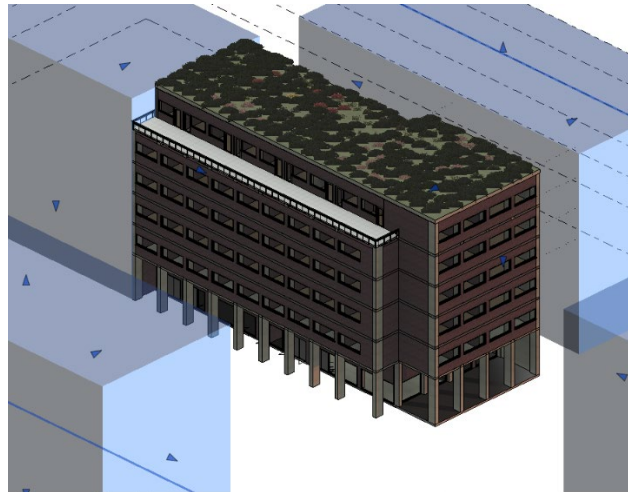
Αναφορικά με το τυπικό κτίριο γραφείων, γίνεται προσομοίωση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στο κέλυφος του κτιρίου αναφοράς κατά την ημέρα του θερινού ηλιοστασίου. Σύμφωνα με το Σχήμα 6.9, είναι προφανής η ανάγκη για θερμική προστασία του δώματος, αλλά και ορισμένων όψεων του κτιρίου, η οποία μπορεί να καλυφθεί σε σημαντικό βαθμό μέσω της φύτευσης των επιφανειών.



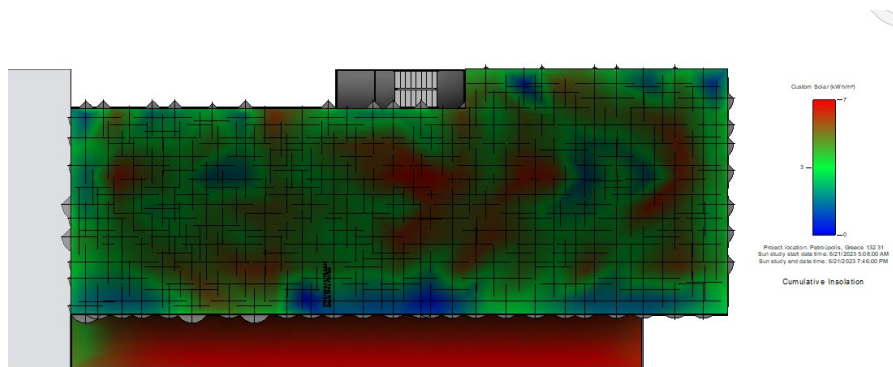
Σχήμα 6.9: Προσομοίωση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στο τυπικό κτίριο γραφείων αναφοράς, κατά την ημέρα του θερινού ηλιοστασίου, σε περιβάλλον Autodesk Revit.

Για την προσομοίωση του φυτεμένου δώματος σε περιβάλλον Autodesk Revit, θεωρείται ότι η φύτευση καταλαμβάνει το 100% της επιφάνειας του δώματος και επιλέγεται κατηγορία εκτατικού φυτεμένου δώματος, σύμφωνα με τη διαστρωμάτωση που αναφέρθηκε και με τροφικό υπόστρωμα από χώμα 10 cm, ώστε να διασφαλιστεί η στατικότητα του κτιρίου (Σχήμα 6.8). Αποτέλεσμα της τοποθέτησης φυτεμένου δώματος έναντι του τυπικού δώματος του κτιρίου αναφοράς είναι ο υποδιπλασιασμός της θερμοπερατότητας του δώματος στα $0.37 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Ωστόσο, θα πρέπει να σημειωθεί ότι το λογισμικό δεν λαμβάνει υπόψη τις διεργασίες εξατμισοδιαπνοής των φυτών, ούτε άλλες παραμέτρους όπως το είδος των φυτών και ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας, που επηρεάζουν σημαντικά στην διαμόρφωση της εξωτερικής θερμοκρασίας γύρω από τη φυτεμένη επιφάνεια. Ως αποτέλεσμα, οι υπολογισμοί να βασίζονται στην επίδραση του μικρότερου συντελεστή θερμοπερατότητας και της σκίασης που προσφέρουν τα φυτά. Στην πραγματικότητα αναμένεται βελτίωση του μικροκλίματος του δώματος, μείωση της τοπικής θερμοκρασίας και περαιτέρω ενεργειακά οφέλη.



Σχήμα 6.10: Μοντελοποίηση φυτεμένου δώματος στο λογισμικό Autodesk Revit.



Σχήμα 6.11: Προσομοίωση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στην κάτοψη του δώματος του τυπικού κτιρίου γραφείων μετά την τοποθέτηση φυτεμένου δώματος.

Στο Σχήμα 6.11 καθίσταται εμφανής η μείωση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στο δώμα μετά τη φύτευσή του, λόγω της σκίασης και της ανακλαστικότητας των φυτών.

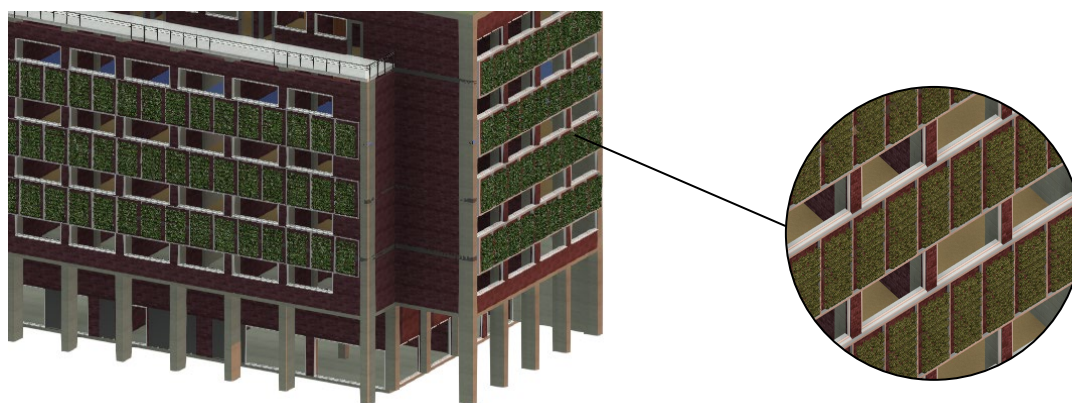
Τονίζεται ότι τα ενεργειακή οφέλη από τη φύτευση του δώματος περιορίζονται στον πέμπτο και τελευταίο όροφο του κτιρίου και δεν επηρεάζουν τις απαιτήσεις των υπόλοιπων ορόφων, με συνέπεια να μην αναμένεται μεγάλη μείωση των συνολικών ενεργειακών απαιτήσεων του τυπικού κτιρίου γραφείων, γεγονός που επιβεβαιώνεται και στον Πίνακα 6.6. Η ύπαρξη Η/Μ εγκαταστάσεων στο δώμα μπορεί να μειώσει την επιφάνεια κάλυψης από την φύτευση και να περιορίσει ακόμα περισσότερο την πτώση των ενεργειακών απαιτήσεων.

Πίνακας 6.6: Σύγκριση των ετήσιων ενεργειακών απαιτήσεων σε θέρμανση και ψύξη του τυπικού κτιρίου γραφείων για το σενάριο αναφοράς και το σενάριο ενεργειακής αναβάθμισης με φύτευση δώματος.

	Σενάριο αναφοράς	Σενάριο ενεργειακής αναβάθμισης με φύτευση δώματος	Ποσοστιαία μεταβολή
Ετήσια απαίτηση θέρμανσης [kWh/m ²]	9.3	8.7	6.9% ↓

Ετήσια απαίτηση ψύξης [kWh/m ²]	38.2	37.5	2.0% ↓
--	------	------	--------

Από το Σχήμα 6.9 συμπεραίνεται, επίσης, η ανάγκη φύτευσης της ανατολικής και νότιας όψης του κτιρίου. Για τη μοντελοποίηση χρησιμοποιείται πέργκολα με αναρριχώμενο αειθαλές φυτό, που συμβάλλει στην προστασία του κτιριακού κελύφους από τα ηλιακά θερμικά κέρδη καθ' όλη τη διάρκεια του έτους (Σχήμα 6.12). Και σε αυτή την περίπτωση το λογισμικό δεν παρείχε τη δυνατότητα συνυπολογισμού της μείωσης της τοπικής εξωτερικής θερμοκρασίας λόγω εξατμισοδιαπνοής των φυτών, γεγονός που θα ενίσχυε την ενεργειακή συμπεριφορά του κτιρίου. Στον Πίνακα 6.7 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των ενεργειακών απαιτήσεων που προέκυψαν ύστερα από φύτευση της ανατολικής και νότιας όψης του τυπικού κτιρίου γραφείων, συγκριτικά με το σενάριο αναφοράς. Παρατηρείται μείωση 12.4% στις ετήσιες απαιτήσεις θέρμανσης και 10.5% στις ετήσιες απαιτήσεις ψύξης του κτιρίου. Εμφανής είναι η επιπλέον μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων σε σχέση με το σενάριο φύτευσης του δώματος, αφού πλέον η φύτευση ωφελεί το κτίριο σε όλο το ύψος του.



Σχήμα 6.12: Προσομοίωση της φύτευσης στην ανατολική και νότια όψη του τυπικού κτιρίου γραφείων.

Πίνακας 6.7: Σύγκριση των ετήσιων ενεργειακών απαιτήσεων σε θέρμανση και ψύξη του τυπικού κτιρίου γραφείων για το σενάριο αναφοράς και το σενάριο ενεργειακής αναβάθμισης με φύτευση της ανατολικής και νότιας όψης.

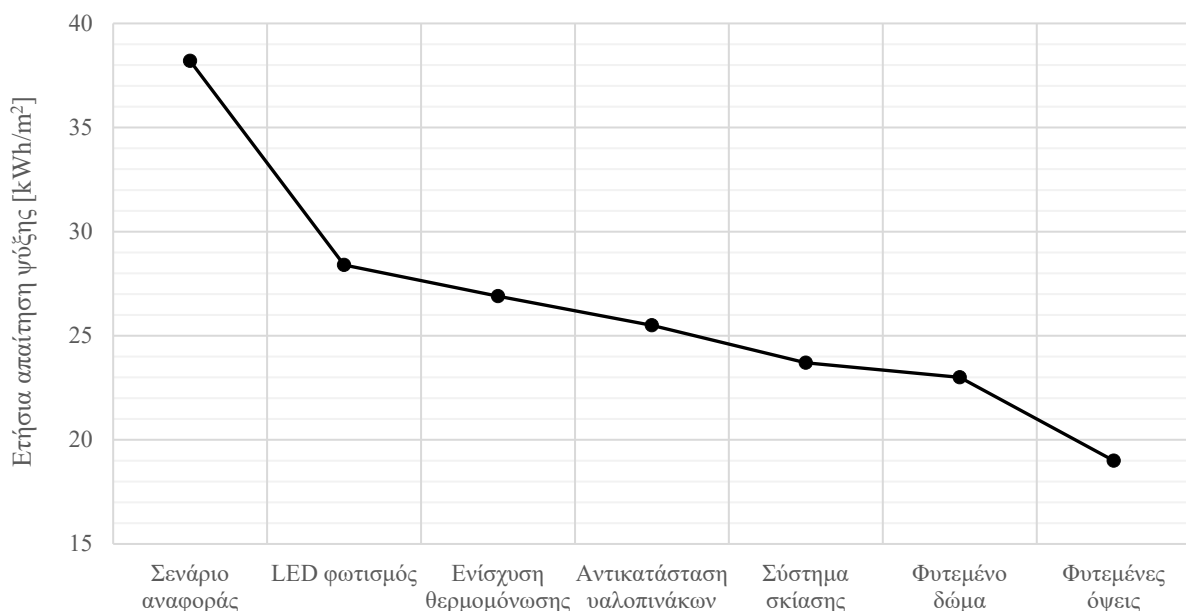
	Σενάριο αναφοράς	Σενάριο ενεργειακής αναβάθμισης με φύτευση όψης	Ποσοστιαία μεταβολή
Ετήσια απαίτηση θέρμανσης [kWh/m ²]	9.3	8.1	12.4% ↓
Ετήσια απαίτηση ψύξης [kWh/m ²]	38.2	34.2	10.5% ↓

6.5 Απεικόνιση της ενεργειακής αναβάθμισης του τυπικού κτιρίου γραφείων έπειτα από συνδυασμό των προτεινόμενων παρεμβάσεων

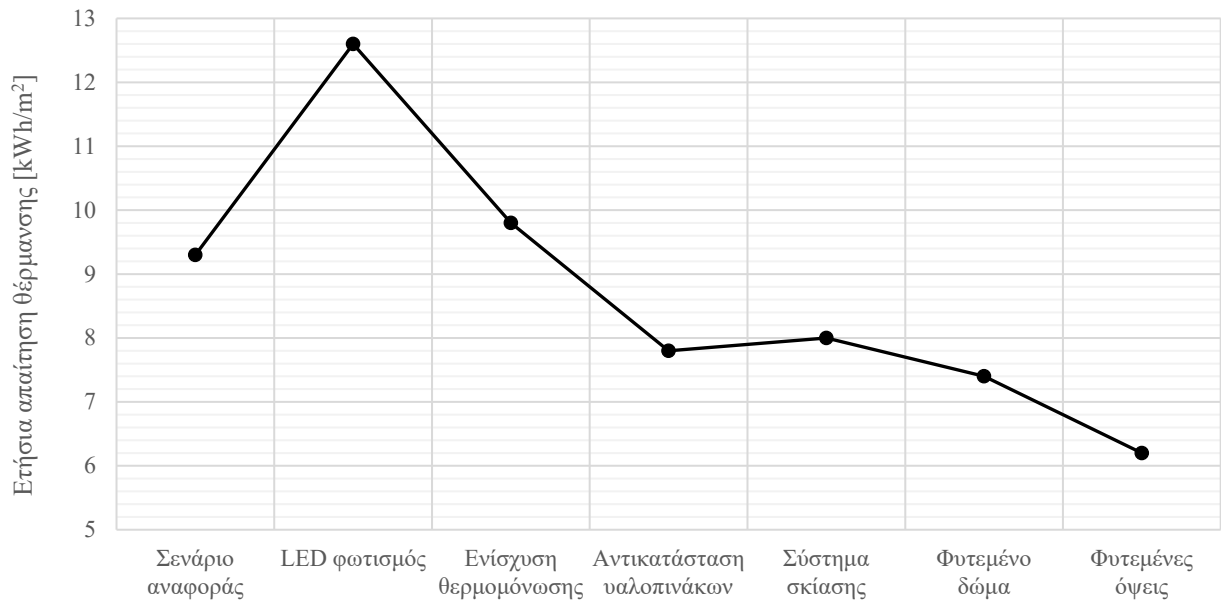
Ακολούθως παρουσιάζονται συνδυαστικά οι μεταβολές που καταγράφηκαν στις ετήσιες απαιτήσεις ψύξης και θέρμανσης του τυπικού κτιρίου γραφείων, για κάθε μία από τις παρεμβάσεις ενεργειακής αναβάθμισης που εξετάστηκαν (Σχήμα 6.13, Σχήμα 6.14). Η απότομη μεταβολή της κλίσης του ευθυγράμμου τμήματος υποδηλώνει την έντονη επίδραση της συγκεκριμένης παρέμβασης στις ενεργειακές απαιτήσεις του κτιρίου.

Στο Σχήμα 6.13 παρατηρείται ότι η ετήσια ενεργειακή απαίτηση ψύξης του τυπικού κτιρίου γραφείων παρουσιάζει καθοδική πορεία χάρη στις προτεινόμενες παρεμβάσεις. Από την άλλη πλευρά, ορισμένες παρεμβάσεις (φωτισμός LED και σύστημα ηλιοπροστασίας) έχουν αρνητική επίδραση στην απαίτηση θέρμανσης του κτιρίου, αυξάνοντάς την (Σχήμα 6.14). Πρωταρχικό μέλημα κατά την διερεύνηση των παρεμβάσεων θεωρείται η μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων για ψύξη του τυπικού κτιρίου γραφείων, οι οποίες λαμβάνουν υψηλές τιμές εξαιτίας των αυξημένων εσωτερικών κερδών. Για αυτό το λόγο, άλλωστε, έγινε επιλογή τεχνικών φυσικού δροσισμού. Επομένως, κατά την επιλογή των παρεμβάσεων, είναι πολύ σημαντικό να καθοριστούν εξ αρχής οι στόχοι που πρέπει να επιτευχθούν.

Παρατηρείται ότι, συγκεντρωτικά, οι εξεταζόμενες παρεμβάσεις μπορούν να επιτύχουν έως και υποδιπλασιασμό των απαιτήσεων ψύξης. Ως οι αποδοτικότερες παρεμβάσεις κρίνονται η αναβάθμιση των φωτιστικών σε τεχνολογία LED, με μείωση των ετήσιων απαιτήσεων ψύξης κατά 9.8 kWh/m^2 , και η φύτευση της ανατολικής και νότιας όψης του κτιρίου, με μείωση των ετήσιων απαιτήσεων ψύξης κατά 4.0 kWh/m^2 . Παρότι η επιλογή φωτιστικών τεχνολογίας LED φαίνεται να επιδρά αρνητικά στις απαιτήσεις θέρμανσης του κτιρίου, τα οφέλη που παρουσιάζονται ως προς την ψύξη υπερτερούν.



Σχήμα 6.13: Μεταβολή των ετήσιων απαιτήσεων ψύξης του τυπικού κτιρίου γραφείων με εφαρμογή των εξεταζόμενων παρεμβάσεων ενεργειακής αναβάθμισης.



Σχήμα 6.14: Μεταβολή των ετήσιων απαιτήσεων θέρμανσης του τυπικού κτιρίου γραφείων με εφαρμογή των εξεταζόμενων παρεμβάσεων ενεργειακής αναβάθμισης.

7. Συμπεράσματα

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που αντλήθηκαν από την παρούσα διπλωματική εργασία. Καταρχήν, αναφέρεται ότι μέσα από την έννοια του τυπικού κτιρίου γραφείων παρέχεται η δυνατότητα εκτίμησης των ενεργειακών απαιτήσεων όχι μόνο ενός μεμονωμένου κτιρίου, αλλά του μέσου ελληνικού κτιριακού αποθέματος με χρήση γραφείων, καθώς η συγκεκριμένη τυπολογία κτιρίου σχεδιάστηκε με τέτοιο τρόπο (αρχιτεκτονικό και κατασκευαστικό) ώστε να αποτελεί το αντιπροσωπευτικότερο μοντέλο κτιρίου γραφείων στην Ελλάδα. Επομένως, τα αποτελέσματα της εργασίας μπορούν να γενικευτούν για το σύνολο των κτιρίων γραφείων του ελλαδικού χώρου, ανάλογα με τη χρονική περίοδο κατά την οποία κατασκευάστηκαν και τη γεωγραφική θέση τους.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του λογισμικού Autodesk Revit προκύπτουν τα ακόλουθα:

- Το τυπικό κτίριο γραφείων με έτος κατασκευής πριν το 1980, που δεν φέρει καμία θερμομονωτική προστασία, έχει ετήσια απαίτηση θέρμανσης που κυμαίνεται από 7.3 kWh/m² για την Κ.Ζ. Α έως 71.6 kWh/m² για την Κ.Ζ. Δ, ετήσια απαίτηση ψύξης από 45.7 kWh/m² για την Κ.Ζ. Β έως 20.3 kWh/m² για την Κ.Ζ. Δ και ετήσια απαίτηση φωτισμού 44.1 kWh/m². Κατά την μετάβαση από τη θερμότερη (Κ.Ζ. Α) προς τη ψυχρότερη κλιματική ζώνη (Κ.Ζ. Δ), παρουσιάζεται αύξηση των απαιτήσεων σε θέρμανση και μείωση των απαιτήσεων σε ψύξη. Εξάιρεση αποτελούν οι απαιτήσεις ψύξης της Κ.Ζ. Β, που εμφανίζονται υψηλότερες σε σχέση με της Κ.Ζ. Α, λόγω των υψηλότερων θερμοκρασιακών τιμών της πρώτης κατά τη περίοδο ψύξης.
- Το τυπικό κτίριο γραφείων που κατασκευάστηκε κατά τη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1980-2010 και για το οποίο προβλέπεται μερική εφαρμογή συστημάτων θερμομόνωσης σύμφωνα με τον ΚΘΚ, έχει ετήσια απαίτηση θέρμανσης που κυμαίνεται από 2.8 kWh/m² για την Κ.Ζ. Α έως 33.7 kWh/m² για την Κ.Ζ. Δ, ετήσια απαίτηση ψύξης από 38.2 kWh/m² για την Κ.Ζ. Β έως 19.8 kWh/m² για την Κ.Ζ. Δ και ετήσια απαίτηση φωτισμού 44.1 kWh/m². Ως εκ τούτου, συμπεραίνεται ότι η εφαρμογή του ΚΘΚ στο τυπικό κτίριο γραφείων οδηγεί σε κατά μέσο όρο 55.9% μείωση των απαιτήσεων θέρμανσης και 11.4% μείωση των απαιτήσεων ψύξης του κτιρίου, σε σύγκριση με τις αντίστοιχες τιμές των απαιτήσεων για το κτίριο χωρίς θερμομονωτική προστασία. Η ετήσια απαίτηση φωτισμού παραμένει σταθερή λόγω ίδιας εγκατεστημένης ισχύος φωτισμού.
- Το τυπικό κτίριο γραφείων που κατασκευάστηκε κατά χρονική περίοδο 2011-2017 και εφαρμόζει τις απαιτήσεις θερμομόνωσης του ΚΕΝΑΚ, έχει ετήσια απαίτηση θέρμανσης που κυμαίνεται από 1.3 kWh/m² για την Κ.Ζ. Α έως 17.5 kWh/m² για την Κ.Ζ. Δ, ετήσια απαίτηση ψύξης από 31.4 kWh/m² για την Κ.Ζ. Β έως 17.1 kWh/m² για την Κ.Ζ. Δ και ετήσια απαίτηση φωτισμού 31.3 kWh/m². Επομένως, συμπεραίνεται ότι η εφαρμογή του ΚΕΝΑΚ στο τυπικό κτίριο γραφείων συντελεί στην κατά μέσο όρο 50.8% μείωση των απαιτήσεων θέρμανσης, 16.4% μείωση των απαιτήσεων ψύξης και 29.0% μείωση των απαιτήσεων φωτισμού του κτιρίου, σε σύγκριση με τις αντίστοιχες τιμές των απαιτήσεων για το κτίριο της Χ.Π. 2.
- Το τυπικό κτίριο γραφείων με έτος δόμησης από το 2018 και μετά, το οποίο ακολουθεί τις αναθεωρημένες απαιτήσεις του ΚΕΝΑΚ για πιο ενισχυμένη θερμομονωτική προστασία, έχει ετήσια απαίτηση θέρμανσης που κυμαίνεται από 1.3 kWh/m² για την Κ.Ζ. Α έως 15.3 kWh/m² για την Κ.Ζ. Δ, ετήσια απαίτηση ψύξης από 24.6 kWh/m² για

την Κ.Ζ. Β έως 12.9 kWh/m² για την Κ.Ζ. Δ και ετήσια απαίτηση φωτισμού 15.1 kWh/m². Ως εκ τούτου, συμπεραίνεται ότι η εφαρμογή του αναθεωρημένου KENAK στο τυπικό κτίριο γραφείων συντελεί στην κατά μέσο όρο 6.1% μείωση των απαιτήσεων θέρμανσης, 22.7% μείωση των απαιτήσεων ψύξης και 51.8% μείωση των απαιτήσεων φωτισμού του κτιρίου, σε σύγκριση με τις αντίστοιχες τιμές των απαιτήσεων για το κτίριο της Χ.Π. 3. Η μικρή μείωση, ή ακόμα και αύξηση, των απαιτήσεων θέρμανσης κατά τη Χ.Π. 4 αποδίδεται στη χρήση λαμπτήρων LED, οι οποίοι παράγουν χαμηλό θερμικό φορτίο.

Στη συνέχεια πραγματοποιείται σύγκριση των ενεργειακών απαιτήσεων που προκύπτουν από το λογισμικό Revit με εκείνες που είχαν υπολογιστεί μέσω του TEE KENAK. Κατά κύριο λόγο, οι απαιτήσεις θέρμανσης, ψύξης και φωτισμού που υπολογίστηκαν μέσω του Autodesk Revit λαμβάνουν μικρότερες τιμές σε σύγκριση με τις αντίστοιχες απαιτήσεις που υπολογίστηκαν μέσω του TEE KENAK. Η ποσοστιαία απόκλιση των αποτελεσμάτων των δύο λογισμικών ποικίλει αναλόγως της χρονικής περιόδου δόμησης και της κλιματικής ζώνης και στις περισσότερες περιπτώσεις κρίνεται σημαντική (άνω του 10%). Οι αποκλίσεις αποδίδονται, κυρίως, στις διαφορετικές υπολογιστικές μεθόδους ενεργειακής προσομοίωσης του κτιρίου που εφαρμόζουν τα λογισμικά (δυναμική μέθοδος ωριαίου βήματος και στατική μέθοδος μηνιαίου βήματος αντίστοιχα) και στα διαφορετικά κλιματικά δεδομένα των γεωγραφικών θέσεων. Σημαντικό ρόλο διαδραματίζει, επίσης, ο τρόπος με τον οποίο υπεισέρχεται στους υπολογισμούς η θερμική αδράνεια του κτιρίου. Ο ρυθμός με τον οποίο απορροφάται και αποβάλλεται θερμότητα από το κτιριακό κέλυφος εξαρτάται από την τιμή της θερμοχωρητικότητας των δομικών στοιχείων και από το μέγεθος του υπολογιστικού βήματος, τα οποία διαφέρουν στα δύο λογισμικά. Στο λογισμικό TEE KENAK, τα δυναμικά φαινόμενα εισέρχονται στους υπολογισμούς μόνο μέσω των συντελεστών αξιοποίησης. Επιπλέον, αναφέρεται ότι στο λογισμικό Autodesk Revit, σε αντίθεση με το TEE KENAK, οι θερμικές ζώνες χωρίζονται σε επιμέρους αναλυτικούς χώρους καθώς δεν θεωρούνται ομογενείς ως προς την εσωτερική θερμοκρασία, η επιφάνεια της δυτικής όψης δεν είναι απόλυτα αδιαβατική, η σκίαση του κτιρίου υπολογίζεται σε ωριαία βάση, ενώ γίνεται και λεπτομερής σχεδιασμός των εσωτερικών τοίχων, των ενδιάμεσων πατωμάτων και των Μ.Θ.Χ.. Αναφορικά με τις απαιτήσεις φωτισμού, οι υψηλότερες τιμές που προκύπτουν από το λογισμικό TEE KENAK μπορούν να αποδοθούν στη χρήση φωτισμού ασφαλείας.

Τέλος, γίνεται διερεύνηση των μεταβολών που εμφανίζουν οι ετήσιες απαιτήσεις θέρμανσης και ψύξης του τυπικού κτιρίου γραφείων της Χ.Π. 2 και της Κ.Ζ. Β με εφαρμογή ορισμένων παρεμβάσεων στο κτίριο: αναβάθμιση των φωτιστικών σε τεχνολογία LED, αύξηση της θερμομονωτικής στρώσης, αναβάθμιση των υαλοπινάκων, τοποθέτηση οριζόντιων προβόλων στη νότια όψη, φύτευση του δώματος και φύτευση τις ανατολικής και νότιας όψης. Με κύριο στόχο τον περιορισμό των απαιτήσεων ψύξης του κτιρίου, ως οι αποδοτικότερες παρεμβάσεις αναδεικνύονται η αναβάθμιση των φωτιστικών σε τεχνολογία LED και η φύτευση της ανατολικής και νότιας όψης, οι οποίες επιφέρουν μείωση των απαιτήσεων ψύξης κατά 25.8% και 10.5% αντίστοιχα σε σχέση με το σενάριο αναφοράς.

8. Προτάσεις μελλοντικής έρευνας

Η παρούσα εργασία μπορεί να αποτελέσει το έναυσμα για περαιτέρω μελέτες γύρω από τον υπολογισμό των ενεργειακών απαιτήσεων και καταναλώσεων των κτιρίων γραφείων, και όχι μόνο, μέσα από την αξιοποίηση λογισμικών BIM.

Σε πρώτο στάδιο, μια πρόταση μελλοντικής έρευνας είναι η μελέτη των ενεργειακών απαιτήσεων του τυπικού κτιρίου γραφείων μέσα από λεπτομερέστερη περιγραφή των δομικών υλικών στα δομικά στοιχεία. Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας κρίθηκε σκόπιμο η προσομοίωση του κελύφους να γίνει με χρήση των μέσων τιμών πυκνότητας και ειδικής θερμότητας των δομικών στοιχείων και των μέγιστων επιτρεπόμενων τιμών των συντελεστών θερμοπερατότητας σύμφωνα με τον εκάστοτε ισχύοντα κανονισμό θερμομονωτικής επάρκειας, ώστε να επιτευχθεί μια κοινή βάση για την σύγκριση των αποτελεσμάτων του λογισμικού Autodesk Revit και του λογισμικού TEE KENAK. Ωστόσο, η αναλυτική προσομοίωση της διαστρωμάτωσης των δομικών υλικών (είδος δομικού υλικού, πάχος και σειρά τοποθέτησης των επιμέρους στρώσεων και κυρίως του θερμομονωτικού υλικού), θα πρόσφερε μια ακριβέστερη αποτύπωση της θερμικής αδράνειας του κτιρίου.

Λογικό επακόλουθο της μελέτης των ενεργειακών απαιτήσεων του τυπικού κτιρίου γραφείων αποτελεί η μελέτη των ενεργειακών καταναλώσεών του. Για αυτό το λόγο προτείνεται ο υπολογισμός της τελικής και πρωτογενούς κατανάλωσης ενέργειας του τυπικού κτιρίου γραφείων για θέρμανση, ψύξη, φωτισμό και μηχανικό αερισμό, ανάλογα με το είδος των συστημάτων, την ονομαστική ισχύ και το βαθμό απόδοσής τους για τις διαφορετικές χρονικές περιόδους δόμησης και κλιματικές ζώνες. Στα πλαίσια αυτής της διαδικασίας, ενδιαφέρον θα παρουσίαζε η προσομοίωση των Η/Μ συστημάτων με χρήση αντικειμένων BIM, τα οποία αναπαριστούν πλήρως τα φυσικά και τεχνικά χαρακτηριστικά των συστημάτων και συνοδεύονται από τις προδιαγραφές και τα πιστοποιητικά των κατασκευαστών.

Παράλληλα, προτείνεται να μελετηθεί ο τρόπος με τον οποίο επιδρά το είδος της βλάστησης και η διαδικασία της εξατμισοδιαπνοής στη διαμόρφωση της τοπικής θερμοκρασίας του φυτεμένου δώματος και της φυτεμένης όψης και στη μεταβολή των ενεργειακών απαιτήσεων του τυπικού κτιρίου γραφείων. Τέλος, ενδιαφέρον θα παρουσίαζε η διεξαγωγή τεχνοοικονομικής ανάλυσης για τις παρεμβάσεις ενεργειακής αναβάθμισης που εξετάστηκαν ώστε να βρεθεί ο βαθμός στον οποίο είναι εφικτή και συμφέρουσα η εφαρμογή τους.

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1.1: Θερμοκρασιακή διαφορά σε ύψος δύο μέτρων για το έτος 2022 σε σύγκριση με τη μέση τιμή θερμοκρασίας τη περίοδο 1991-2020 [3].....	4
Σχήμα 1.2: Τελική κατανάλωση ενέργειας ανά τομέα στην ΕΕ κατά το έτος 2021 [8].....	5
Σχήμα 1.3: Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου ανά τομέα για τα έτη 2019 έως 2022 στην ΕΕ [10] European Commission, “Climate Action Progress Report 2023. Shifting gears: Increasing the pace of progress towards a green and prosperous future,” 2023.....	6
Σχήμα 1.4: Διακύμανση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην ΕΕ κατά τη χρονική περίοδο 1990 έως 2020, θεωρώντας ως έτος αναφοράς (100%) το 1990 [12].....	7
Σχήμα 1.5: Κλιματικές ζώνες ελληνικής επικράτειας [19].	10
Σχήμα 1.6: Ποσοστιαία κατανομή του κτιριακού αποθέματος στην Ελλάδα με βάση τη χρήση [15].....	12
Σχήμα 1.7: Ποσοστιαία κατανομή του πλήθους των κτιρίων στην Ελλάδα με βάση τη περίοδο κατασκευής [15].....	14
Σχήμα 1.8: Πλήθος ΠΕΑ ανά δεκαετία κατασκευής και ενεργειακή κατηγορία σύμφωνα με στατιστική ανάλυση για το έτος 2016 [15].....	15
Σχήμα 1.9: Ποσοστιαία κατανομή του πλήθους των κτιρίων γραφείων στην Ελλάδα ανά κλιματική ζώνη [15].....	15
Σχήμα 1.10: Μέση ετήσια ενεργειακή κατανάλωση ανά κλιματική ζώνη για τα εξεταζόμενα κτίρια γραφείων και το κτίριο γραφείων αναφοράς (2011-2018), σύμφωνα με στατιστική ανάλυση για το έτος 2018 [15].	16
Σχήμα 1.11: Συντελεστής αξιοποίησης κερδών $\eta_{H,gn}$ από το κτιριακό κέλυφος κατά τη διάρκεια της περιόδου θέρμανσης, ως συνάρτηση του λόγου κερδών προς απώλειες γ_H [25].	19
Σχήμα 2.1: Ανατολική όψη του τυπικού κτιρίου γραφείων.	26
Σχήμα 2.2: Νότια όψη του τυπικού κτιρίου γραφείων.....	26
Σχήμα 2.3: Κάτοψη ισογείου τυπικού κτιρίου γραφείων.....	27
Σχήμα 2.4: Κάτοψη τυπικού ορόφου τυπικού κτιρίου γραφείων.....	28
Σχήμα 2.5: Κάτοψη πέμπτου ορόφου τυπικού κτιρίου γραφείων.....	29
Σχήμα 2.6: Κατηγοριοποίηση των χώρων του τυπικού ορόφου γραφείων ως προς τη χρήση.	31
Σχήμα 3.1: Μετατροπή μιας δισδιάστατης κάτοψης κτιρίου σε φωτορεαλιστικό τρισδιάστατο μοντέλο σε περιβάλλον Autodesk Revit [31].	44
Σχήμα 3.2: Εισαγωγή των τιμών των θερμοφυσικών χαρακτηριστικών τοίχου προς αέρα με πάχος 0.30 m για τη Χ.Π. 1, σε περιβάλλον Autodesk Revit.	46
Σχήμα 3.3: Τρισδιάστατο μοντέλο προσομοίωσης του τυπικού κτιρίου γραφείων με χρήση του λογισμικού Autodesk Revit.	46
Σχήμα 3.4: Τρισδιάστατο μοντέλο προσομοίωσης του τυπικού ορόφου του τυπικού κτιρίου γραφείων με χρήση του λογισμικού Autodesk Revit.....	47
Σχήμα 3.5: Τρισδιάστατο μοντέλο προσομοίωσης του πέμπτου ορόφου του τυπικού κτιρίου γραφείων με χρήση του λογισμικού Autodesk Revit.....	47
Σχήμα 3.6: Κατηγοριοποίηση των χώρων του τυπικού ορόφου γραφείων σε θερμικές ζώνες.	48

Σχήμα 3.7: Εισαγωγή των συνθηκών λειτουργίας του τυπικού κτιρίου γραφείων για τη Χ.Π. 1, σε περιβάλλον Autodesk Revit.	48
Σχήμα 3.8: Σχεδιασμός γειτονικών κτιρίων ως «υποθετικές μάζες» στο περιβάλλον του Revit.....	49
Σχήμα 3.9: Διαχωρισμός του πρώτου ορόφου του τυπικού κτιρίου γραφείων σε αναλυτικούς χώρους μεταφοράς θερμότητας, για δεδομένα Analytical Space Resolution και Analytical Surface Resolution ίσα με 0.4572 και 0.3048 αντίστοιχα.	50
Σχήμα 3.10: Ετήσια ενεργειακή απαίτηση θέρμανσης [kWh/m ²] του τυπικού κτιρίου γραφείων, ως συνάρτηση της χρονικής περιόδου δόμησης και της κλιματικής ζώνης, σύμφωνα με το λογισμικό Autodesk Revit.	51
Σχήμα 3.11: Ετήσια ενεργειακή απαίτηση ψύξης [kWh/m ²] του τυπικού κτιρίου γραφείων, ως συνάρτηση της χρονικής περιόδου δόμησης και της κλιματικής ζώνης, σύμφωνα με το λογισμικό Autodesk Revit.....	52
Σχήμα 3.12: Ετήσια ενεργειακή απαίτηση φωτισμού [kWh/m ²] του τυπικού κτιρίου γραφείων, ως συνάρτηση της χρονικής περιόδου δόμησης, σύμφωνα με το λογισμικό Autodesk Revit.....	52
Σχήμα 3.13: Μηνιαίες ενεργειακές απαιτήσεις θέρμανσης [kWh/m ²] του τυπικού κτιρίου γραφείων για τις τέσσερις χρονικές περιόδους δόμησης, συναρτήσει της κλιματικής ζώνης, όπως προκύπτουν από το λογισμικό Autodesk Revit.	54
Σχήμα 3.14: Μηνιαίες ενεργειακές απαιτήσεις ψύξης [kWh/m ²] του τυπικού κτιρίου γραφείων για τις τέσσερις χρονικές περιόδους δόμησης, συναρτήσει της κλιματικής ζώνης, όπως προκύπτουν από το λογισμικό Autodesk Revit.	55
Σχήμα 4.1: Γενική δομή κατά την εισαγωγή δεδομένων στο λογισμικό TEE KENAK [35].	59
Σχήμα 4.2: Ετήσια ενεργειακή απαίτηση θέρμανσης [kWh/m ²] του τυπικού κτιρίου γραφείων, ως συνάρτηση της χρονικής περιόδου δόμησης και της κλιματικής ζώνης, σύμφωνα με το λογισμικό TEE KENAK.....	62
Σχήμα 4.3: Ετήσια ενεργειακή απαίτηση ψύξης [kWh/m ²] του τυπικού κτιρίου γραφείων, ως συνάρτηση της χρονικής περιόδου δόμησης και της κλιματικής ζώνης, σύμφωνα με το λογισμικό TEE KENAK.	63
Σχήμα 4.4: Ετήσια ενεργειακή απαίτηση φωτισμού [kWh/m ²] του τυπικού κτιρίου γραφείων, ως συνάρτηση της χρονικής περιόδου δόμησης, σύμφωνα με το λογισμικό TEE KENAK. ..	63
Σχήμα 4.5: Μηνιαίες ενεργειακές απαιτήσεις θέρμανσης [kWh/m ²] του τυπικού κτιρίου γραφείων για τις τέσσερις χρονικές περιόδους δόμησης, συναρτήσει της κλιματικής ζώνης, σύμφωνα με το λογισμικό TEE KENAK.....	65
Σχήμα 4.6: Μηνιαίες ενεργειακές απαιτήσεις ψύξης [kWh/m ²] του τυπικού κτιρίου γραφείων για τις τέσσερις χρονικές περιόδους δόμησης, συναρτήσει της κλιματικής ζώνης, σύμφωνα με το λογισμικό TEE KENAK.....	66
Σχήμα 5.1: Σύγκριση των ετήσιων ενεργειακών απαιτήσεων θέρμανσης [kWh/m ²] του τυπικού κτιρίου γραφείων, ως συνάρτηση της χρονικής περιόδου δόμησης και της κλιματικής ζώνης, όπως προκύπτουν από τα λογισμικά Autodesk Revit και TEE KENAK.	67
Σχήμα 5.2: Σύγκριση των ετήσιων ενεργειακών απαιτήσεων ψύξης [kWh/m ²] του τυπικού κτιρίου γραφείων, ως συνάρτηση της χρονικής περιόδου δόμησης και της κλιματικής ζώνης, όπως προκύπτουν από τα λογισμικά Autodesk Revit και TEE KENAK.....	68
Σχήμα 5.3: Σύγκριση των ετήσιων ενεργειακών απαιτήσεων φωτισμού [kWh/m ²] του τυπικού κτιρίου γραφείων, ως συνάρτηση της χρονικής περιόδου δόμησης και της κλιματικής ζώνης, όπως προκύπτουν από τα λογισμικά Autodesk Revit και TEE KENAK.	68

Σχήμα 6.1: Διάγραμμα φαινόμενης τροχιάς ηλίου στην περιοχή της Αθήνας, με ένδειξη τριών χαρακτηριστικών ημερών [25].	72
Σχήμα 6.2: Παραδείγματα διαφορετικών συστημάτων ηλιοπροστασίας: οριζόντιοι πρόβολοι, οριζόντιες περσίδες, πλευρικές προεξοχές, κατακόρυφες περσίδες, κεκλιμένες περσίδες [25].	79
Σχήμα 6.3: Προσδιορισμός της διάστασης οριζόντιου προβόλου με βάση το σχέδιο τομής του ανοίγματος και τη γωνία <i>VSA</i> (πάνω σχήμα) και της διάστασης πλευρικού κατακόρυφου σκιαδίου με βάση το σχέδιο κάτοψης του ανοίγματος και τη γωνία <i>VSA</i> (κάτω σχήμα) [25].	80
Σχήμα 6.4: Σχηματική αναπαράσταση της θέσης του ήλιου σε σχέση με τη θέση και τον προσανατολισμό του τυπικού κτιρίου γραφείων για ημερομηνία 15 Σεπτεμβρίου και ώρα 13:30.	81
Σχήμα 6.5: Προσομοίωση των οριζόντιων προβόλων, μήκους 0.84 m, στην πρόσοψη του τυπικού κτιρίου γραφείων, σε περιβάλλον Autodesk Revit.	81
Σχήμα 6.6: Ετήσια απαίτηση ψύξης [kWh/m^2] του τυπικού κτιρίου γραφείων συναρτήσει του μήκους των οριζόντιων προβόλων στην νότια όψη του κτιρίου, όπως προέκυψαν μέσω της προσομοίωσης στο λογισμικό Autodesk Revit.	82
Σχήμα 6.7: Θερμικά οφέλη φυτεμένου δώματος.	83
Σχήμα 6.8: Διαστρωμάτωση φυτεμένου δώματος.	85
Σχήμα 6.9: Προσομοίωση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στο τυπικό κτίριο γραφείων αναφοράς, κατά την ημέρα του θερινού ηλιοστασίου, σε περιβάλλον Autodesk Revit.	86
Σχήμα 6.10: Μοντελοποίηση φυτεμένου δώματος στο λογισμικό Autodesk Revit.	87
Σχήμα 6.11: Προσομοίωση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στην κάτοψη του δώματος του τυπικού κτιρίου γραφείων μετά την τοποθέτηση φυτεμένου δώματος.	87
Σχήμα 6.12: Προσομοίωση της φύτευσης στην ανατολική και νότια όψη του τυπικού κτιρίου γραφείων.	88
Σχήμα 6.13: Μεταβολή των ετήσιων απαιτήσεων ψύξης του τυπικού κτιρίου γραφείων με εφαρμογή των εξεταζόμενων παρεμβάσεων ενεργειακής αναβάθμισης.	89
Σχήμα 6.14: Μεταβολή των ετήσιων απαιτήσεων θέρμανσης του τυπικού κτιρίου γραφείων με εφαρμογή των εξεταζόμενων παρεμβάσεων ενεργειακής αναβάθμισης.	90

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1.1: Νομοί της Ελλάδος ανά κλιματική ζώνη [20] [18].	10
Πίνακας 1.2: Κατηγορίες ενεργειακής απόδοσης κτιρίων με βάση τη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του εξεταζόμενου κτιρίου και του κτιρίου αναφοράς [20].	11
Πίνακας 2.1: Αποστάσεις μεταξύ των διαφόρων όψεων του τυπικού κτιρίου γραφείων και των απέναντι κτιρίων.	30
Πίνακας 2.2: Συνθήκες λειτουργίας τυπικού κτιρίου γραφείων.	33
Πίνακας 2.3: Συντελεστές θερμοπερατότητας αδιαφανών δομικών στοιχείων και κουφωμάτων του τυπικού κτιρίου γραφείων ανά χρονική περίοδο δόμησης και κλιματική ζώνη.	38
Πίνακας 2.4: Αντίσταση θερμικής μετάβασης από τον εσωτερικό χώρο προς το δομικό στοιχείο (R_i) και από το δομικό στοιχείο προς το εξωτερικό περιβάλλον (R_o) για την περίπτωση τοίχου, δαπέδου και δώματος στο τυπικό κτίριο γραφείων.	39
Πίνακας 2.5: Πυκνότητα, ειδική θερμότητα και πάχος των επιμέρους δομικών υλικών των δομικών στοιχείων του τυπικού κτιρίου γραφείων.	40
Πίνακας 2.6: Πάχος θερμομονωτικού υλικού στα δομικά στοιχεία του τυπικού κτιρίου γραφείων με βάση τη χρονική περίοδο δόμησης και τη κλιματική ζώνη.	40
Πίνακας 2.7: Απορροφητικότητα, ανακλαστικότητα και συντελεστής εκπομπής αδιαφανών δομικών στοιχείων του τυπικού κτιρίου γραφείων.	42
Πίνακας 2.8: Συντελεστής ηλιακού θερμικού κέρδους διαφανών δομικών στοιχείων του τυπικού κτιρίου γραφείων.	42
Πίνακας 3.1: Ετήσια ενεργειακή απαίτηση θέρμανσης [kWh] του τυπικού κτιρίου γραφείων, ως συνάρτηση της χρονικής περιόδου δόμησης και της κλιματικής ζώνης, σύμφωνα με το λογισμικό Autodesk Revit.	50
Πίνακας 3.2: Ετήσια ενεργειακή απαίτηση ψύξης [kWh] του τυπικού κτιρίου γραφείων, ως συνάρτηση της χρονικής περιόδου δόμησης και της κλιματικής ζώνης, σύμφωνα με το λογισμικό Autodesk Revit.	50
Πίνακας 3.3: Ετήσια ενεργειακή απαίτηση φωτισμού [kWh] του τυπικού κτιρίου γραφείων, ως συνάρτηση της χρονικής περιόδου δόμησης, σύμφωνα με το λογισμικό Autodesk Revit.	51
Πίνακας 4.1: Τεχνικές Οδηγίες ΤΕΕ στις οποίες βασίζεται το λογισμικό ΤΕΕ KENAK.	56
Πίνακας 4.2: Αδιαφανή δομικά στοιχεία και συντελεστές σκίασης.	60
Πίνακας 4.3: Διαφανή δομικά στοιχεία και συντελεστές σκίασης.	60
Πίνακας 4.4: Ετήσια ενεργειακή απαίτηση θέρμανσης [kWh] του τυπικού κτιρίου γραφείων, ως συνάρτηση της χρονικής περιόδου δόμησης και της κλιματικής ζώνης, σύμφωνα με το λογισμικό ΤΕΕ KENAK.	61
Πίνακας 4.5: Ετήσια ενεργειακή απαίτηση ψύξης [kWh] του τυπικού κτιρίου γραφείων, ως συνάρτηση της χρονικής περιόδου δόμησης και της κλιματικής ζώνης, σύμφωνα με το λογισμικό ΤΕΕ KENAK.	62
Πίνακας 4.6: Ετήσια ενεργειακή απαίτηση φωτισμού [kWh] του τυπικού κτιρίου γραφείων, ως συνάρτηση της χρονικής περιόδου δόμησης, σύμφωνα με το λογισμικό ΤΕΕ KENAK.	62
Πίνακας 6.1: Σύγκριση των ετήσιων ενεργειακών απαιτήσεων σε θέρμανση, ψύξη και φωτισμό του τυπικού κτιρίου γραφείων για το σενάριο αναφοράς και το σενάριο ενεργειακής αναβάθμισης με χρήση φωτιστικών τεχνολογίας LED.	76

Πίνακας 6.2: Σύγκριση των ετήσιων ενεργειακών απαιτήσεων σε θέρμανση και ψύξη του τυπικού κτιρίου γραφείων για το σενάριο αναφοράς και το σενάριο ενεργειακής αναβάθμισης με αύξηση της θερμομονωτικής στρώσης των αδιαφανών δομικών στοιχείων.	77
Πίνακας 6.3: Σύγκριση των ετήσιων ενεργειακών απαιτήσεων σε θέρμανση και ψύξη του τυπικού κτιρίου γραφείων για το σενάριο αναφοράς και το σενάριο ενεργειακής αναβάθμισης των διαφανών δομικών στοιχείων.	77
Πίνακας 6.4: Σύγκριση των ετήσιων ενεργειακών απαιτήσεων σε θέρμανση και ψύξη του τυπικού κτιρίου γραφείων για το σενάριο αναφοράς και το σενάριο ενεργειακής αναβάθμισης με τοποθέτηση οριζόντιων προβόλων μήκους 0.84 m στην νότια όψη του κτιρίου.....	82
Πίνακας 6.5: Μείωση μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας λόγω φυτεμένων επιφανειών για την κλιματική ζώνη Β [25].	84
Πίνακας 6.6: Σύγκριση των ετήσιων ενεργειακών απαιτήσεων σε θέρμανση και ψύξη του τυπικού κτιρίου γραφείων για το σενάριο αναφοράς και το σενάριο ενεργειακής αναβάθμισης με φύτευση δώματος.	87
Πίνακας 6.7: Σύγκριση των ετήσιων ενεργειακών απαιτήσεων σε θέρμανση και ψύξη του τυπικού κτιρίου γραφείων για το σενάριο αναφοράς και το σενάριο ενεργειακής αναβάθμισης με φύτευση της ανατολικής και νότιας όψης.....	88

Βιβλιογραφία

- [1] “Κλιματική αλλαγή — Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος.” [Online]. Διαθέσιμο: <https://www.eea.europa.eu/el/themes/climate/intro>
- [2] “Κλιματική αλλαγή - Ευρωπαϊκή Ένωση.” [Online]. Διαθέσιμο: https://climate-pact.europa.eu/about/climate-change_el
- [3] “The year 2022 was the second warmest on record in Europe,” ECMWF. [Online]. Available: <https://www.ecmwf.int/en/about/media-centre/news/2023/year-2022-was-second-warmest-record-europe>
- [4] “Ενεργειακή κρίση: Τρία συντονισμένα μέτρα στην ΕΕ για να μειωθούν οι λογαριασμοί ενέργειας - Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης.” [Online]. Διαθέσιμο: <https://www.consilium.europa.eu/el/infographics/eu-measures-to-cut-down-energy-bills/>
- [5] “Δράσεις της ΕΕ για την αντιμετώπιση της ενεργειακής κρίσης - Ευρωπαϊκή Επιτροπή.” [Online]. Διαθέσιμο: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/eu-action-address-energy-crisis_el
- [6] European Commission, “EU energy in figures,” Sep. 2023.
- [7] Ευρωπαϊκή Ένωση, “Τελική κατανάλωση ενέργειας ανά τομέα - Data Europa EU.” [Online]. Διαθέσιμο: <https://data.europa.eu/data/datasets/vrjbnrjpeaowlunrht6tg?locale=el>
- [8] Eurostat, “Energy statistics - an overview - Statistics Explained.” [Online]. Available: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_statistics_-_an_overview#Final_energy_consumption
- [9] European Environment Agency, “Greenhouse gas emissions from energy use in buildings in Europe.” [Online]. Available: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/greenhouse-gas-emissions-from-energy>
- [10] “Climate Action Progress Report 2023. Shifting gears: Increasing the pace of progress towards a green and prosperous future.” Accessed: Mar. 03, 2024. [Online]. Available: https://climate.ec.europa.eu/system/files/2023-11/com_2023_653_glossy_en_0.pdf
- [11] Ευρωπαϊκή Επιτροπή, “Στόχοι για το 2030.” [Online]. Διαθέσιμο: https://commission.europa.eu/energy-climate-change-environment/overall-targets-and-reporting/2030-targets_el
- [12] European Commission. Eurostat, “Shedding light on energy in the EU.” [Online]. Available: <https://data.europa.eu/doi/10.2785/405482>
- [13] Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, “Ενεργειακή απόδοση.” [Online]. Διαθέσιμο: <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/el/sheet/69/ενεργειακη-αποδοση>
- [14] Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας, “Κτίρια.” [Online]. Διαθέσιμο: <https://ypen.gov.gr/energeia/energeiaki-exoikonomisi/ktiria/>
- [15] “Έγκριση της έκθεσης μακροπρόθεσμης στρατηγικής ανακαίνισης του δημόσιου και ιδιωτικού κτιριακού αποθέματος και μετατροπής του σε κτιριακό δυναμικό απαλλαγμένο από ανθρακούχες εκπομπές και υψηλής ενεργειακής απόδοσης έως το έτος 2050, σύμφωνα με την παρ. 2 του άρθρου 2Α του ν. 4122/2013,” *Εφημερίδα της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας*, Μαρτ. 2021, [Online]. Διαθέσιμο: <https://ypen.gov.gr/wp-content/uploads>
- [16] “Έγκριση Εθνικού Σχεδίου αύξησης του αριθμού των κτιρίων με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας,” *Εφημερίδα της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας*, Δεκ. 2018, [Online]. Διαθέσιμο: http://www.opengov.gr/minenv/wp-content/uploads/2018/09/ethniko_sxedio_KSMKE.pdf

- [17] Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας, “Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων.” [Online]. Διαθέσιμο: <https://ypen.gov.gr/energeia/energeiakik-exoikonomisi/ktiria/kenak/>
- [18] Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, Ειδική Γραμματεία Επιθεώρησης Περιβάλλοντος και Ενέργειας, Ειδική Υπηρεσία Επιθεωρητών Ενέργειας, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, “Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτηρίων και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης”, Νοεμβρ. 2014. [Online]. Διαθέσιμο: <http://portal.tee.gr/portal/page/portal/tptee/totee/TOTEE-20701-1-Final-%D4%C5%C5-3rd%20edition.pdf>
- [19] “Κ.ΕΝ.Α.Κ. - Οι 4 κλιματικές ζώνες της Ελλάδας ενεργειακά- Πίνακας και σχήμα.” [Online]. Διαθέσιμο: <https://rizosdimitris.blogspot.com/2012/01/4.html>
- [20] “Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιριακού Τομέα (KENAK).” [Online]. Διαθέσιμο: <http://www.opengov.gr/minenv/wp-content/uploads/downloads/2010/05/a-kenak.pdf>
- [21] Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας, Γενική Γραμματεία Ενέργειας & Ορυκτών Πρώτων Υλών, Γενική Δ/ση Ενέργειας, Διεύθυνση Ενεργειακών Πολιτικών & Ενεργειακής Αποδοτικότητας, Τμήμα Ενεργειακής Αποδοτικότητας, “Διευκρινίσεις για την εφαρμογή του ν.4122/2013 για την «Ενεργειακή απόδοση κτιρίων».” Νοεμβρ. 19, 2020.
- [22] Π. Βαλιούλη, “Συγκριτική αξιολόγηση ημισταθερής μηνιαίας μεθόδου και δυναμικής προσομοίωσης για την εκτίμηση των ενεργειακών αναγκών πολυκατοικίας σε διαφορετικές κλιματικές συνθήκες της Ελλάδας,” Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, 2018. [Online]. Διαθέσιμο: <http://ikee.lib.auth.gr/record/302545/files/GRI-2019-23474.pdf>
- [23] Α. Κώστα, “Συγκριτική αξιολόγηση ημισταθερής μηνιαίας μεθόδου και δυναμικής προσομοίωσης για την εκτίμηση των ενεργειακών αναγκών κτιρίου μονοκατοικίας”, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, 2018. [Online]. Διαθέσιμο: <https://ikee.lib.auth.gr/record/302498/files/GRI-2019-23465.pdf>
- [24] “ISO 52016-1:2017. Energy performance of buildings — Energy needs for heating and cooling, internal temperatures and sensible and latent heat loads — Part 1: Calculation procedures,” ISO. [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/65696.html>
- [25] Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας, Γενική Γραμματεία Ενέργειας & Ορυκτών Πρώτων Υλών. Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, “Βιοκλιματικός σχεδιασμός στον ελλαδικό χώρο,” Φεβρ. 2022. [Online]. Διαθέσιμο: <https://web.tee.gr/wp-content/uploads>
- [26] European Energy Efficiency Platform, “Typical meteorological year (TMY).” [Online]. Available: <https://e3p.jrc.ec.europa.eu/articles/typical-meteorological-year-tmy>
- [27] Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας, Γενική Γραμματεία Ενέργειας & Ορυκτών Πρώτων Υλών. Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, “Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας των κτιρίων,” Απρ. 2021. [Online]. Διαθέσιμο: <https://web.tee.gr/wp-content/uploads/TOTEE-20701-2-2021.pdf>
- [28] “Κούφωμα,” *Βικιπαίδεια*. Jun. 10, 2023. [Online]. Διαθέσιμο: <https://el.wikipedia.org/w/index.php?title=%CE%9A%CE%BF%CF%8D%CF%86%CF%89%CE%BC%CE%B1&oldid=10086416>
- [29] “Μοντέλο δομικών πληροφοριών,” *Βικιπαίδεια*. Sep. 26, 2023. [Online]. Διαθέσιμο: <https://el.wikipedia.org>
- [30] Tech Go Round, “Μοντέλο δομικών πληροφοριών.” [Online]. Διαθέσιμο: https://tech-go-round.com/el/home/building_information_modeling/

- [31] Autodesk, “Autodesk Revit Features | Revit Software Features.” [Online]. Available: <https://www.autodesk.com/products/revit/features>
- [32] Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, Ειδική Γραμματεία Επιθεώρησης Περιβάλλοντος και Ενέργειας, Ειδική Υπηρεσία Επιθεωρητών Ενέργειας, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, “Κλιματικά δεδομένα Ελληνικών περιοχών,” Απρ. 2012. [Online]. Διαθέσιμο: <http://portal.tee.gr/portal/page/portal/tpree/totee/TOTEE-20701-3-Final-TEE%202nd.pdf>
- [33] Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, “Λογισμικό TEE KENAK.” [Online]. Διαθέσιμο: <https://web.tee.gr/kenak/logismiko-tee-kenak/>
- [34] Χ. Χατζηλιόντος, “TEE KENAK Manual - 1. Ενεργειακή επιθεώρηση κτιρίων.” [Online]. Διαθέσιμο: <https://kemioteke.gr/index.php/news/615-293gr-tee-kenak-manual-1-energeiaki-epitheorisi-ktirion>
- [35] Α. Κρίθαρης, “Μεθοδολογία υπολογισμών χρήση λογισμικού,” [Online]. Διαθέσιμο: http://is-group.gr/complete-engineering/images/ERGALEIA/ENERGEIAKOI_EPITHEORITES/3_3.13.2%20-%20Calculation%20Methology%20%20Software%20usage.pdf
- [36] Μ. Βαρθαλίτης, “Προτάσεις εξοικονόμησης ενέργειας σε κτιριακές εγκαταστάσεις,” Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Πολιτικών Δομικών Έργων, 2009. [Online]. Διαθέσιμο: http://oceanis.lib.puas.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/124/pol_00476.pdf?sequence=1&isAllowed=y