



Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών
Πολυτεχνική Σχολή

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΤΟΥ
ΚΤΗΡΙΟΥ ΤΟΥ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ
ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟΥ ΚΟΖΑΝΗΣ**

ΓΚΡΙΤΖΑΠΗ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: κ. ΠΑΝΑΡΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ



ΚΟΖΑΝΗ, ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2019



Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών
Πολυτεχνική Σχολή

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΤΟΥ
ΚΤΗΡΙΟΥ ΤΟΥ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ
ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟΥ ΚΟΖΑΝΗΣ**

ΓΚΡΙΤΖΑΠΗ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ

ΑΕΜ: 1625

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: κ. ΠΑΝΑΡΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΚΟΖΑΝΗ, ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2019

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί μελέτη ενεργειακής αναβάθμισης του Εμπορικού και Βιομηχανικού Επιμελητηρίου Κοζάνης. Βασικοί στόχοι της είναι η μείωση των ενεργειακών απωλειών, η μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας, η παραγωγή ενέργειας από παθητικά ηλιακά συστήματα και ΑΠΕ και η μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂).

Το υπό μελέτη κτήριο προσομοιώνεται σχεδιαστικά στο Revit της Autodesk και στη συνέχεια πραγματοποιείται η ενεργειακή του ανάλυση στο Green Building Studio (GBS). Επιπλέον, εξετάζεται η θερμομονωτική επάρκεια των δομικών στοιχείων του κτηριακού κελύφους καθώς και ολόκληρου του κτηρίου βάσει τους περιορισμούς που ορίζει ο Κ.Εν.Α.Κ. Με αυτόν τον τρόπο εξάγονται συμπεράσματα σχετικά με την ύπαρξη ή όχι ενεργειακών απωλειών, οι οποίες επηρεάζουν σημαντικά τις συνθήκες εσωτερικού χώρου και το λειτουργικό κόστος του κτηρίου. Η επιπρόσθετη τοποθέτηση κατάλληλων πειραματικών διατάξεων διερευνά και διασφαλίζει τα συμπεράσματα σχετικά με την ύπαρξη συνθηκών άνεσης. Ακόμη, αξιολογείται η κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων του κτηρίου από τον υφιστάμενο ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό και παρατίθενται οι ενεργειακές καταναλώσεις, οι καταναλώσεις πρωτογενούς ενέργειας και οι εκλυόμενοι ρύποι.

Τέλος, η μελέτη αυτή ολοκληρώνεται με προτάσεις ενεργειακής αναβάθμισης. Τέτοιες επεμβάσεις μπορούν να επέλθουν στο κτηριακό κέλυφος και στα ενεργειακά συστήματα, βελτιώνοντας σημαντικά την ενεργειακή απόδοση του κτηρίου. Η αναβάθμιση του κτηρίου θα έχει ως αποτέλεσμα την εξοικονόμηση ενέργειας, τη σημαντική μείωση του λειτουργικού κόστους, την εξασφάλιση καλύτερης ποιότητας ζωής και προστασίας του φυσικού περιβάλλοντος.

Abstract

In this thesis, the energy upgrade of the Commercial and Industrial Chamber of Kozani is presented. The proposed study aims to reduce energy loss, energy consumption and the emissions of carbon dioxide (CO₂). It also aims to generate energy from passive solar and renewable energy systems.

The building of study is designed in Revit Autodesk and the building performance simulation is run in the Green Building Studio (GBS). Firstly, the whole building is compared with KENAK restrictions due to the heat transfer coefficients of structural elements. Therefore, the building is examined for energy loss that affects the indoor conditions and the operating cost. For these reasons, experimental equipment was placed in the building to investigate thermal comfort conditions and indoor air quality as well. In addition, the sufficiency of HVAC systems concerning the building is evaluated and the results of energy consumption, primary energy consumption and pollutant emissions are presented below.

Finally, this study includes energy interventions that improve thermal insulation, HVAC systems and optimize the energy efficiency of the building. The energy upgraded building will save considerable amounts of energy, will reduce the operating cost, will offer better life conditions and will protect the environment.

Ευχαριστίες

Στα πλαίσια αυτής της εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Γεώργιο Πανάρα για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπο μου, για την υλοποίηση της συγκεκριμένης ενεργειακής μελέτης. Οι γνώσεις με τις οποίες εφοδιάστηκα από τα μαθήματα ‘Ενεργειακού Σχεδιασμού Κτηρίων’ αποτέλεσαν σημαντικά θεμέλια για την διεκπεραίωση αυτής της εργασίας.

Στη συνέχεια, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον διδάκτορα κ. Ευάγγελο Τόλη για τον εργαστηριακό προγραμματισμό και τη συλλογή δεδομένων των πειραματικών διατάξεων, που τοποθετήθηκαν στο υπό μελέτη κτήριο για τη διερεύνηση ύπαρξης συνθηκών άνεσης.

Επίσης, οφείλω να ευχαριστήσω την προϊσταμένη διεύθυνση του επιμελητηρίου Κοζάνης κ. Κατερίνα Καρακουλάκη, για την αποδοχή της πρότασης συνεργασίας με το Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, με σκοπό την εκπόνηση της παρούσας κτηριακής μελέτης.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω στον κ. Γεώργιο Γεωργαντζιά και στην κ. Βασιλική Δούσιου για την άψογη συνεργασία, την περιήγηση στους χώρους του επιμελητηρίου και την παροχή χρήσιμων πληροφοριών.

Τέλος, ευχαριστώ θερμά την οικογένεια μου, τον παππού μου και τη γιαγιά μου, για την αγάπη τους και την αμέριστη συμπαράσταση και στήριξη που μου παρείχαν σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	3
Abstract	4
Ευχαριστίες	5
Συμβολισμοί.....	8
Συνομογραφίες.....	9
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή	11
1.1 Κλιματική αλλαγή.....	11
1.2 Ευρωπαϊκή πολιτική.....	15
1.3 Ενέργεια & Κτήρια.....	17
1.4 Στατιστικά στοιχεία ενεργειακής κατανάλωσης κτηρίων.....	19
Κεφάλαιο 2: Revit & Σχεδίαση κτηρίου	29
Κεφάλαιο 3: Το υπό μελέτη κτήριο.....	36
3.1 Εισαγωγή.....	36
3.2 Γενική περιγραφή του επιμελητηρίου Κοζάνης.....	37
3.3 Κτηριακό κελύφος.....	38
3.3.1 Δομικά στοιχεία κτηριακού κελύφους.....	38
3.3.2 Συντελεστές θερμοπερατότητας και έλεγχος θερμομονωτικής επάρκειας δομικών στοιχείων.....	39
3.3.2.1 Αδιαφανή στοιχεία	40
3.3.2.2 Διαφανή στοιχεία.....	49
3.3.2.3 Συγκεντρωτικά στοιχεία	52
3.3.3 Έλεγχος θερμομονωτικής επάρκειας κτηρίου	53
3.4 Ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα.....	57
3.4.1 Συστήματα θέρμανσης.....	58
3.4.2 Σύστημα ψύξης, ΖΝΧ, φωτισμού και αερισμού.....	59
3.5 Συνθήκες εσωτερικού χώρου.....	60
3.5.1 Εγκατάσταση και λειτουργία μετρητικών οργάνων	61
3.5.2 Αποτελέσματα των μετρητικών οργάνων.....	65
3.5.2.1 Θερμοκρασία αέρα	66
3.5.2.2 Σχετική υγρασία αέρα	69
3.5.2.3 Ειδική υγρασία	72

3.5.2.4	Στάθμη φωτισμού	76
3.5.2.5	Συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα (CO ₂)	78
Κεφάλαιο 4:	Ενεργειακή ανάλυση κτηρίου	81
4.1	Δημιουργία χώρων (spaces) και θερμικών ζωνών (zones) στο Revit	81
4.2	Καθορισμός τύπου κτηρίου και ρυθμίσεις ενεργειακής ανάλυσης	83
4.3	Ενεργειακή προσομοίωση στο Green Building Studio (GBS)	85
4.4	Ετήσια ενεργειακά φορτία παρούσας κατάστασης.....	89
4.4.1	Ενεργειακές απαιτήσεις	90
4.4.1.1	Θέρμανση & Ψύξη.....	90
4.4.1.2	Ζεστό νερό χρήσης (ZNX)	93
4.4.1.3	Φωτισμός & Εξοπλισμός	95
4.4.1.4	Συγκεντρικά αποτελέσματα ενεργειακών απαιτήσεων	97
4.4.2	Ενεργειακές καταναλώσεις	99
4.4.2.1	Σύστημα θέρμανσης.....	99
4.4.2.2	Σύστημα ψύξης.....	102
4.4.2.3	Σύστημα παραγωγής ζεστού νερού χρήσης (ZNX).....	105
4.4.2.4	Φωτισμός & Εξοπλισμός	107
4.4.2.5	Συγκεντρικά αποτελέσματα ενεργειακών καταναλώσεων	108
4.5	Έλεγχος αξιοπιστίας μοντέλου	113
4.5.1	Σύγκριση αποτελεσμάτων υπολογισμών με πραγματικά δεδομένα	113
4.5.2	Σύγκριση καταναλώσεων κτηρίου με αντίστοιχες βιβλιογραφικές τιμές κτηρίων γραφείων	114
Κεφάλαιο 5:	Προτάσεις ενεργειακής αναβάθμισης	116
5.1	Προτεινόμενες επεμβάσεις ενεργειακής αναβάθμισης.....	117
5.1.1	Αλλαγή κουφωμάτων.....	117
5.1.2	Μόνωση οροφής.....	119
5.1.3	Συνολικά αποτελέσματα αναβάθμισης κτηριακού κελύφους	121
5.1.4	Τοποθέτηση ψηφιακών χρονοδιακοπών ρεύματος.....	122
5.1.5	Αναβάθμιση συστήματος τεχνητού φωτισμού.....	123
5.1.6	Τοποθέτηση φωτοβολταϊκών συστημάτων	124
5.2	Οικονομοτεχνική μελέτη	127
Κεφάλαιο 6:	Συμπεράσματα	133
Βιβλιογραφία – Πηγές – Ιστοσελίδες.....		136

Συμβολισμοί

A: Εμβαδόν-Εκταση, [m²]

CH₄: Μεθάνιο

CO₂: Διοξείδιο του άνθρακα

d: Πάχος, [m]

EER: Δείκτης ενεργειακής απόδοσης

h: Ύψος-Υψόμετρο, [m]

Hu: Θερμογόνος δύναμη, [KJ/Kg για στερεά ή υγρά καύσιμα, KJ/m³ για αέρια καύσιμα]

l: Μήκος, [m]

m: Μάζα, [gr, Kg, tn]

n: Βαθμός απόδοσης, [%]

N₂O: Υποξείδιο του αζώτου

p: Πίεση, [Pa]

P: Ισχύς, [W, W/m², BTU/h]

Q_{con}: Ενεργειακές καταναλώσεις, [kWh, kWh/m²]

Q_{dem}: Ενεργειακές απαιτήσεις, [kWh, kWh/m²]

R: Θερμική αντίσταση, [m²K/W]

RH: Σχετική υγρασία, [%]

SEER: Εποχιακός δείκτης ενεργειακής απόδοσης

SH: Ειδική υγρασία, [gr υδρατμών/gr ξηρού αέρα]

t: Χρόνος, [s, min, h, yrs]

T: Θερμοκρασία, [K, °C]

U: Συντελεστής θερμοπερατότητας, [W/m²K]

V: Όγκος, [m³, lt]

w: Πλάτος, [m]

Ελληνικά Σύμβολα

E: Ενέργεια, [J, kWh, BTU]

EP: Εκπομπές ρύπων, [ppm, Kg ρύπου/m²]

K: Κόστος, [€]

λ: Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας, [W/mK]

ρ: Πυκνότητα, [Kg/m³]

φ: Γεωγραφικό πλάτος, [μοίρες °]

Φ: Φωτεινότητα-Στάθμη φωτισμού, [lux]

ΦP: Φωτεινή ροή, [lumen]

Ψ: Συντελεστής γραμμικής θερμοπερατότητας, [W/mK]

Συντομογραφίες

Στην ελληνική γλώσσα

ΑΠΕ: Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

BE & NE: Βορείου Ελλάδος και νοτίου Ελλάδος

ΔΕΗ: Δημόσια επιχείρηση ηλεκτρισμού

ΔΕΥΑΚ: Δημοτική επιχείρηση ύδρευσης αποχέτευσης Κοζάνης

ΕΕ: Ευρωπαϊκή ένωση

ZNX: Ζεστό νερό χρήσης

ΚΑΠΕ: Κέντρο ανανεώσιμων πηγών και εξοικονόμησης ενέργειας

Κ.Εν.Α.Κ: Κανονισμός ενεργειακής αναβάθμισης κτηρίου

ΚΘΚ: Κανονισμός θερμομόνωσης κτηρίων

ΚΣΜΚΕ: Κτήριο με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας

ΟΤΑ: Οργανισμός τοπικής αυτοδιοίκησης

ΠΕΑ: Πιστοποιητικό ενεργειακής αναβάθμισης

ΣΑΚ: Σύνδρομο άρρωστου κτηρίου

ΣΕΠΔΕΜ: Σώμα επιθεώρησης περιβάλλοντος, δόμησης, ενέργειας και μεταλλείων

ΣΗΘ: Συμπαράγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας

T.E.E: Τεχνικό επιμελητήριο Ελλάδας

ΥΠΕΚΑ: Υπουργείο περιβάλλοντος, ενέργειας και κλιματικής αλλαγής

ΥΠΕΝ: Υπουργείο περιβάλλοντος και ενέργειας

Φ/Β: Φωτοβολταϊκό

Στην αγγλική γλώσσα

ASHRAE: American society of heating, refrigerating and air-conditioning engineers

BIM: Building information modeling

BTU: British thermal unit

DHW: Domestic hot water

F-Gases: Fluorinated gases

GBS: Green building studio

HVAC System: Heating, ventilation and air-conditioning system

LED: Light emitting diode

Low-E: Low-emissivity

MEP: Mechanical, electrical, plumbing

ppm: Parts per million

W.C: Water-closets

ZEB: Zero energy buildings

1.1 Κλιματική αλλαγή

Κλιματική αλλαγή ορίζεται η μεταβολή του παγκόσμιου κλίματος και ειδικότερα η μεταβολή των μετεωρολογικών συνθηκών ενός τόπου που εκτείνονται σε μεγάλη χρονική κλίμακα. Η κλιματική αλλαγή αποτελεί ένα καίριο ζήτημα καθώς επηρεάζει όλες τις περιοχές του κόσμου και οι επιπτώσεις της εγκυμονούν τεράστιους κινδύνους για το περιβάλλον και την ανθρωπότητα. Για αυτόν τον λόγο αποτελεί κοινωνική ευθύνη όλων μας, η λήψη δραστικών μέτρων και η υιοθέτηση ενός διαφορετικού τρόπου ζωής, με απώτερο στόχο τη σταθεροποίηση της κλιματικής κατάστασης και την πιο φιλική παρέμβαση του ανθρώπου στο περιβάλλον.

Η υπερθέρμανση του πλανήτη αποτελεί ειδική περίπτωση της κλιματικής μεταβολής και συνδέεται με τις περισσότερες συνέπειες αυτής. Υπερθέρμανση του πλανήτη ορίζεται η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας και των ωκεανών της γης, το οποίο συμβαίνει κυρίως λόγω ανθρωπίνων παραγόντων. Οι επιπτώσεις που ακολουθούν (European Commission) αναμένεται να ενταθούν τις επόμενες δεκαετίες αν δε ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα.

- Τήξη των πάγων και άνοδος της στάθμης των θαλασσών

Η υπερθέρμανση του πλανήτη προκαλεί κατάρρευση όγκων πάγου στις πολικές περιοχές και τήξη των παγετώνων. Αυτό έχει ως άμεση συνέπεια την άνοδο της στάθμης των θαλασσών, προκαλώντας πλημμύρες και διάβρωση στις ακτές και τις πεδινές παράκτιες περιοχές.

- Ακραία καιρικά φαινόμενα

Ορισμένες περιοχές πλήττονται συχνότερα από ακραία καιρικά φαινόμενα και βροχοπτώσεις, ενώ άλλες δοκιμάζονται από μεγάλης έντασης καύσωνες και ξηρασίες. Άμεσες συνέπειες αυτών είναι οι πλημμύρες, η υποβάθμιση της ποιότητας του νερού, καθώς και ο περιορισμός των υδάτινων πόρων.

Πιο συγκεκριμένα για την Ευρώπη, οι νότιες και κεντρικές χώρες πλήττονται όλο και πιο συχνά από κύματα καύσωνα, δασικές πυρκαγιές και ξηρασίες. Η λειψυδρία

στις περιοχές της Μεσογείου αυξάνεται συνεχώς με αποτέλεσμα τον μεγάλο κίνδυνο ξηρασίας και ανεξέλεγκτων πυρκαγιών. Εν αντιθέσει οι βόρειες χώρες δέχονται περισσότερες βροχοπτώσεις με αποτέλεσμα τις συχνές πλημμύρες κατά τη χειμερινή περίοδο.

- Συνέπειες για τις αναπτυσσόμενες χώρες

Ανάμεσα στις χώρες που πλήττονται βρίσκονται πολλές φτωχές αναπτυσσόμενες χώρες. Οι άνθρωποι που ζουν εκεί εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το φυσικό περιβάλλον και η έλλειψη οικονομικών πόρων δυσχεραίνει την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής.

- Κίνδυνοι για την ανθρώπινη υγεία

Παρατηρείται αύξηση του αριθμού θανάτων που σχετίζονται με τον καύσωνα ενώ παράλληλα παρατηρείται μείωση του αριθμού θανάτων που σχετίζονται με το κρύο. Επίσης έχουν διαπιστωθεί αλλαγές στην κατανομή ορισμένων ασθενειών που μεταδίδονται με το νερό καθώς και φορέων νόσων.

- Κόστος για την κοινωνία και την οικονομία

Οι υλικές ζημιές, οι ζημιές στις υποδομές, καθώς και οι συνέπειες στην ανθρώπινη υγεία αποτελούν υψηλό κόστος για την κοινωνία και την οικονομία. Επιπλέον τομείς όπως η γεωργία, η δασοκομία, η ενέργεια και ο τουρισμός πλήττονται σε μεγάλο βαθμό διότι εξαρτώνται από το επίπεδο της θερμοκρασίας και τις βροχοπτώσεις.

- Κίνδυνοι για την άγρια πανίδα και χλωρίδα

Η κλιματική αλλαγή επηρεάζει πολλά είδη φυτών και ζώων με την ολοένα αυξανόμενη θερμοκρασία της γης με αποτέλεσμα τον υψηλό κίνδυνο εξαφάνισης τους. Πολλά είδη που ζουν σε ξηρά, γλυκά ή θαλασσινά νερά έχουν μετακινηθεί προς νέες περιοχές.

Η αποφυγή αυτών των επιπτώσεων επιτάσσει τη διερεύνηση των αιτιών με στόχο την άμεση αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών προβλημάτων. Όπως προαναφέρθηκε, οι ανθρώπινες δραστηριότητες επηρεάζουν το κλίμα και τη θερμοκρασία της γης καθώς προσθέτουν τεράστιες ποσότητες αερίων του θερμοκηπίου, αποτελώντας κύρια αιτία αύξησης του φαινομένου του θερμοκηπίου και της υπερθέρμανσης του πλανήτη.

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι η διαδικασία κατά την οποία η ατμόσφαιρα ενός πλανήτη συγκρατεί θερμότητα και συμβάλλει στην αύξηση της θερμοκρασίας της επιφάνειάς του. Πιο συγκεκριμένα, η γη δέχεται ηλιακή ακτινοβολία όπου ένα μέρος αυτής απορροφάται από το σύστημα γη-ατμόσφαιρα ενώ το υπόλοιπο διαφεύγει στο διάστημα. Περίπου το 70% της ηλιακής ακτινοβολίας απορροφάται ενώ το υπόλοιπο ανακλάται από την επιφάνεια της γης. Με τη σειρά τους, η γη και η ατμόσφαιρα λόγω της θερμοκρασίας εκπέμπουν θερμική ακτινοβολία η οποία απορροφάται από την επιφάνεια της γης και τη θερμαίνουν ακόμη περισσότερο. Σε αυτό το φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου οφείλεται το γεγονός ότι ο πλανήτης μας είναι κατοικήσιμος και δεν επικρατούν πολικές θερμοκρασίες.

Όμως η υπερθέρμανση του πλανήτη εντοπίζεται στην αύξηση των συγκεντρώσεων ορισμένων αερίων της ατμόσφαιρας, τα οποία λειτουργούν σαν το γυαλί των θερμοκηπίων, παγιδεύοντας τη θερμότητα του ήλιου και εμποδίζοντας τη διάχυση της στο διάστημα. Τα αέρια αυτά γνωστά και ως αέρια του θερμοκηπίου είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το μεθάνιο (CH_4), το υποξείδιο του αζώτου (N_2O) και τα φθοριούχα αέρια (F-Gases).

Το διοξείδιο του άνθρακα είναι το αέριο του θερμοκηπίου που παράγεται συχνότερα από τις ανθρώπινες δραστηριότητες και ευθύνεται για το 63% της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Επίσης, η συγκέντρωσή του στην ατμόσφαιρα είναι σήμερα κατά 40% υψηλότερη από ότι κατά την έναρξη της εκβιομηχάνισης. Τα άλλα αέρια του θερμοκηπίου εκλύονται σε μικρότερες ποσότητες αλλά παγιδεύουν τη θερμότητα πολύ περισσότερο από το διοξείδιο του άνθρακα. Πιο συγκεκριμένα, το μεθάνιο ευθύνεται για το 19% της υπερθέρμανσης του πλανήτη και το υποξείδιο του αζώτου για το 6%. Τα φθοριούχα αέρια έχουν τεράστια θερμοαντική επίδραση, έως και 23.000 φορές μεγαλύτερη από αυτή του διοξειδίου του άνθρακα. Ευτυχώς εκλύονται σε μικρότερες ποσότητες και καταργούνται σταδιακά σύμφωνα με κανονισμό της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ, 2014α).

Τα αίτια στα οποία οφείλεται η αύξηση εκπομπής αυτών των αερίων είναι οι ακόλουθες ανθρώπινες ενέργειες (European Commission):

- Χρήση ορυκτών πόρων

Η καύση άνθρακα, πετρελαίου και φυσικού αερίου παράγει διοξείδιο του άνθρακα και υποξείδιο του αζώτου.

- Αποψίλωση δασών

Τα δέντρα συμβάλλουν στη ρύθμιση του κλίματος διότι απορροφούν το διοξείδιο του άνθρακα από την ατμόσφαιρα. Επομένως η μείωση αυτών έχει ως αποτέλεσμα

ο άνθρακας που θα αποθηκευόταν σε αυτά να διοχετεύεται στην ατμόσφαιρα και να επιδεινώνει το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

- Αύξηση κτηνοτροφίας

Τα ζώα παράγουν μεγάλες ποσότητες μεθανίου κατά την πέψη της τροφής τους.

- Λιπάσματα

Τα αζωτούχα λιπάσματα ευθύνονται για τις εκπομπές υποξειδίου του αζώτου.

1.2 Ευρωπαϊκή πολιτική

Η πρόληψη της επικίνδυνης κλιματικής αλλαγής αποτελεί βασική προτεραιότητα της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Στόχος της είναι η συνολική ετήσια μέση αύξηση της θερμοκρασίας στην επιφάνεια του πλανήτη να μην υπερβεί τους 2°C σε σύγκριση με τα επίπεδα της προβιομηχανικής εποχής. Για να επιτευχθεί κάτι τέτοιο, πρέπει μέχρι το 2020 να σταθεροποιούν οι συγκεντρώσεις των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα και μέχρι το 2050 να μειωθούν οι εκπομπές αυτών κατά 60% σε σχέση με το 2010 (European Commission). Ακολουθούν αναλυτικά οι στόχοι της ΕΕ στην πάροδο του χρόνου (EC, 2018; ΕΕ, 2014β; ΕΕ, 2009):

Στόχοι της ΕΕ για το 2020:

- Μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 20% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990
- Άντληση του 20% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας
- Μείωση στη χρήση πρωτογενούς ενέργειας κατά 20% σε σύγκριση με τα προβλεπόμενα επίπεδα μέσω της βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης

Οι στόχοι 20-20-20 είναι γνωστοί και ως ‘δέσμη μέτρων για το κλίμα και την ενέργεια’.

Στόχοι της ΕΕ για το 2030:

- Μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 40% τουλάχιστον σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990
- Άντληση του 27% τουλάχιστον της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας
- Αύξηση της ενεργειακής απόδοσης κατά 27% τουλάχιστον

Μακροπρόθεσμος στόχος της ΕΕ:

Μέχρι το 2050 η ΕΕ στοχεύει στη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου κατά 80-95% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990. Αν τα καταφέρει, η Ευρώπη θα μετατραπεί σε μια οικονομία υψηλής ενεργειακής απόδοσης και χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, ενισχύοντας τον τομέα της οικονομίας, δημιουργώντας θέσεις εργασίας και βελτιώνοντας την ανταγωνιστικότητα της.

1.3 Ενέργεια & Κτήρια

Ο κτηριακός τομέας αποτελεί έναν μεγάλο ενεργειακό καταναλωτή αλλά ταυτοχρόνως διαθέτει υψηλό δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας. Ειδικότερα τα κτήρια στην Ελλάδα καταναλώνουν περίπου το 1/3 της παραγόμενης ενέργειας και το κτηριακό απόθεμα είναι από τα πιο ενεργειακά σπάταλα στην Ευρώπη (ΥΠΕΚΑ). Εφόσον όμως υπάρχουν σημαντικά περιθώρια βελτίωσης των συστημάτων θέρμανσης, ψύξης και φωτισμού με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας γίνεται η έναρξη της ενεργειακής αναβάθμισης των κτηρίων.

Στόχος της νέας ευρωπαϊκής οδηγίας (EE, 2010) είναι, μέχρι το τέλος του έτους 2020 όλα τα νέα κτήρια να αποτελούν κτήρια με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας. Τέτοια κτήρια είναι τα ZEB κτήρια (Zero Energy Buildings) και τα παθητικά κτήρια (Passive House).

Το ZEB κτήριο (ZEB ENGINEERING) πρόκειται για ένα κτήριο υψηλής ενεργειακής απόδοσης το οποίο καταναλώνει σχεδόν μηδενική ενέργεια ετησίως. Τα συστήματα θέρμανσης και ψύξης ενός τέτοιου κτηρίου χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια η οποία παρέχεται από το ηλεκτρικό δίκτυο της ΔΕΗ. Όμως τέτοια κτήρια παράγουν την ενέργεια που καταναλώνουν κι αυτό επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση φωτοβολταϊκών συστημάτων στη στέγη ή στην οροφή του κτηρίου. Με αυτόν τον τρόπο, η ετήσια κατανάλωση ενέργειας από το δίκτυο συμψηφίζεται με την παραγόμενη ενέργεια των συστημάτων ΑΠΕ και επιτυγχάνεται η μηδενική ενεργειακή κατανάλωση. Επιπλέον η μη χρήση ορυκτών καυσίμων συνεπάγεται μηδενικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα καθιστώντας το απόλυτα φιλικό με το περιβάλλον.

Το παθητικό κτήριο (ΕΠΙΑΚ; ΥΠΕΚΑ; ZEB ENGINEERING, 2019) αποτελεί κι αυτό κτήριο σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης, το οποίο διατηρεί όλο τον χρόνο συνθήκες άνεσης με ελάχιστες ενεργειακές απαιτήσεις, ανεξαρτήτως του κλίματος ή της περιοχής. Η λειτουργία ενός τέτοιου κτηρίου βασίζεται στην πολύ καλή μόνωση και η ύπαρξη συμβατικού συστήματος θέρμανσης μπορεί να κριθεί μη αναγκαία. Δηλαδή, οι ανάγκες θέρμανσης καλύπτονται από την αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας και των εσωτερικών κερδών θερμότητας που μπορούν να προέλθουν από διάφορες πηγές, όπως είναι οι χρήστες και οι διάφορες συσκευές φωτισμού και εξοπλισμού. Επομένως η θερμομονωτική θωράκιση του κτηριακού κελύφους ελαχιστοποιεί τις απώλειες ενέργειας με αποτέλεσμα το κτήριο να έχει ελάχιστες ανάγκες θέρμανσης ετησίως. Αντιθέτως, κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου χρησιμοποιεί παθητικές τεχνικές ψύξης, όπως είναι ο σωστός σχεδιασμός σκίασης και ο

νυχτερινός φυσικός αερισμός, προκειμένου το κτήριο να διατηρείται δροσερό. Το κόστος κατασκευής ενός τέτοιου κτηρίου είναι αρκετά προσιτό, καθώς η επένδυση σε υψηλής ποιότητας υλικά κατασκευής εξισορροπείται από τη μη αναγκαία αγορά συμβατικών συστημάτων θέρμανσης και ψύξης. Επιπλέον, η επένδυση αυτή είναι φθηνότερη και μακροπρόθεσμα αποδοτικότερη από τη μονομερή επένδυση σε συστήματα ΑΠΕ και την ‘εύκολη’ λύση της αλλαγής καυσίμου και κατά σειρά συμβατικού συστήματος.

Τέλος, τα υφιστάμενα κτήρια μπορούν να αναβαθμιστούν ενεργειακά, εξοικονομώντας σημαντικά ποσά ενέργειας, με τη δυνατότητα να μετατραπούν ακόμη και σε κτήρια σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης. Βέβαια μια τέτοια αναβάθμιση δεν αποτελεί εύκολη υπόθεση ωστόσο με τις κατάλληλες επεμβάσεις μπορεί να επιτευχθεί μείωση στις ενεργειακές καταναλώσεις και αντίστοιχα μείωση στους λογαριασμούς θέρμανσης και ηλεκτρικού ρεύματος. Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα ένταξης του κτηρίου σε επιδοτούμενα προγράμματα όπως είναι το ‘Εξοικονομώ κατ’ οίκον’ που έχει εφαρμογή στη χώρα μας τα τελευταία χρόνια, με εξασφάλιση έκπτωσης έως και 70%.



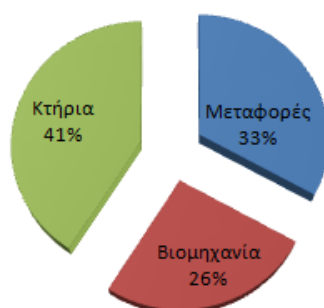
Εικόνα 1.1: Το ελληνικό επιδοτούμενο πρόγραμμα ‘Εξοικονομώ κατ’ οίκον’, πηγή: [EPT, 2019].

1.4 Στατιστικά στοιχεία ενεργειακής κατανάλωσης κτηρίων

Στην παρούσα ενότητα θα παρουσιαστούν κάποια ποσοτικά στοιχεία, βασισμένα σε υφιστάμενες μελέτες στατιστικής ανάλυσης, για την ενεργειακή κατανάλωση κτηρίων σε ΕΕ και Ελλάδα.

Στο Σχήμα 1.1 παρατίθεται η κατανάλωση ενέργειας της ΕΕ ανά τομέα (ΥΠΕΝ, 2019), όπου το 33% καταναλώνεται στις μεταφορές, το 26% στη βιομηχανία και το 41% στα κτήρια.

Κατανάλωση ενέργειας στην ΕΕ ανά τομέα

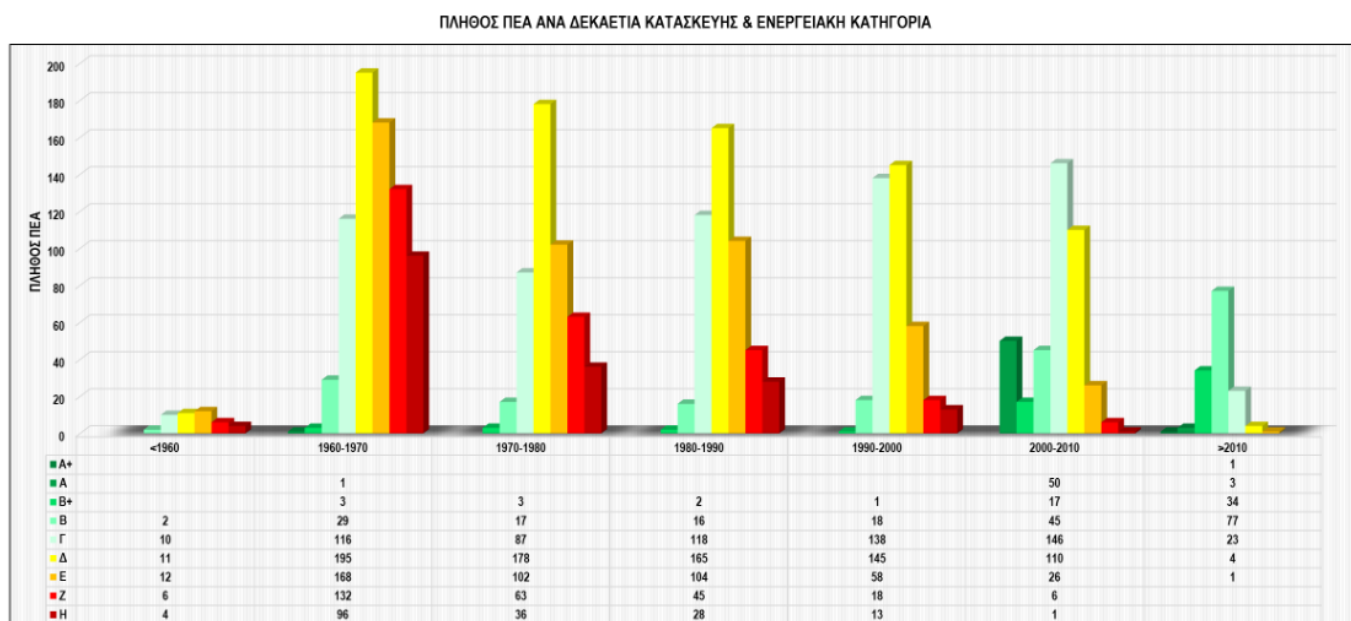


Σχήμα 1.1: Ποσοστό κατανάλωσης ενέργειας για κάθε τομέα στην ΕΕ

Παρατηρείται ότι τα κτήρια αποτελούν τον μεγαλύτερο καταναλωτή ενέργειας, όπου τα 2/3 αυτής της ενέργειας χρησιμοποιείται για κάλυψη αναγκών σε θέρμανση και ψύξη. Εφόσον τα κτήρια έχουν υψηλό δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας, κρίνεται αναγκαία η εφαρμογή κατάλληλων επεμβάσεων για την ενεργειακή αναβάθμισή τους, κάτι το οποίο θα έχει θετικά αποτελέσματα σχετικά με το περιβάλλον αλλά και το κόστος λειτουργίας τους.

Ομοίως και στην Ελλάδα, τα κτήρια είναι αρκετά ενεργοβόρα. Η έκδοση πιστοποιητικών ενεργειακής αναβάθμισης (ΠΕΑ) συναρτήσει του χρόνου αποδεικνύει τη δυνατότητα αναβάθμισης των υφιστάμενων κτηρίων, εφόσον η κατάταξή τους στις ενεργειακές κλάσεις είναι αρκετά χαμηλή. Παρατηρείται ότι πριν το 1979, δηλαδή την ψήφιση του κανονισμού θερμομόνωσης κτηρίων (ΚΘΚ) όπου τα κτήρια δεν υποχρεούνταν να έχουν την απαιτούμενη μόνωση στο εξωτερικό κέλυφος, τα κτήρια είναι πολύ χαμηλά στην ενεργειακή κατάταξη (κυρίως κλάσεις Δ-Η). Αυτό συνεπάγεται υψηλές ενεργειακές

καταναλώσεις και λειτουργικό κόστος καθώς και σοβαρές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Τη χρονική περίοδο 1980-2010, παρατηρείται σημαντική βελτίωση εφόσον υπάρχει αισθητή αλλαγή στην κατανομή των κτηρίων ανά ενεργειακή κλάση με την πλειοψηφία αυτών να ανήκει σε κλάσεις Β-Γ. Το 2010, ο κανονισμός θερμομόνωσης αντικαθίσταται από τον κανονισμό ενεργειακής αναβάθμισης κτηρίων (Κ.Εν.Α.Κ). Η Ελλάδα καλείται να εναρμονιστεί με την Οδηγία 2002/91/ΕΚ (ΕΕ, 2002) και έτσι εκδίδεται ο Ν.3661/2008 βάσει του οποίου είναι υποχρεωτική η έκδοση του Κ.Εν.Α.Κ και των σχετικών οδηγιών εφαρμογής του (ΤΕΕ, 2017α; ΤΕΕ, 2017β; ΤΕΕ, 2010). Δηλαδή θεσμοθετείται ολοκληρωμένος ενεργειακός σχεδιασμός στον κτηριακό τομέα με σκοπό τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων, την εξοικονόμηση ενέργειας και την προστασία του περιβάλλοντος. Έτσι γίνεται έντονη προσπάθεια ενεργειακής αναβάθμισης των κτηρίων, η οποία αποτυπώνεται από την αισθητή αύξηση κτηρίων σε ενεργειακές κλάσεις Β, Β⁺, Α και Α⁺. Το παρακάτω Σχήμα 1.2, αποτυπώνει αυτές τις μεταβολές εξοικονόμησης ενέργειας και ενεργειακής κατάταξης συναρτήσει του χρόνου.

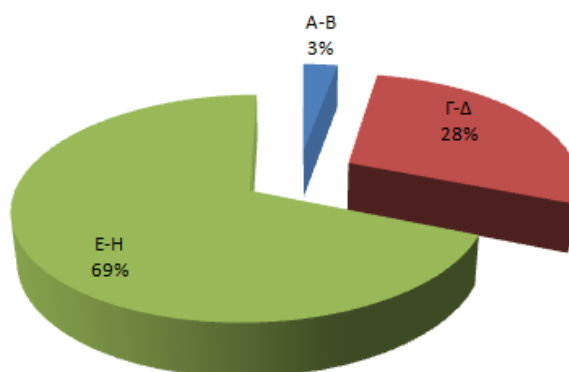


Σχήμα 1.2: Ενεργειακή κατάταξη κτηρίων ανά δεκαετία κατασκευής, πηγή: [ΥΠΕΝ, 2016].

Σύμφωνα με στατιστική ανάλυση (ΥΠΕΝ, 2019), το 2018 εκδόθηκαν 304.095 ΠΕΑ, εκ των οποίων το 68,88% των κτηρίων κατατάχθηκε στις ενεργειακές κλάσεις Ε-Η, το 28,25% στις κλάσεις Γ-Δ και το 2,87% στις κλάσεις Α-Β (Σχήμα 1.3). Η έκδοση αυτών προήλθε για λόγους κυρίως ενοικίασης (62,78%) και για το επιδοτούμενο πρόγραμμα ‘Εξοικονομώ κατ’

οίκον' (16,91%). Παρατηρήθηκε σχεδόν ίδιο ποσοστό κατάταξης κτηρίων στις αντίστοιχες ενεργειακές κλάσεις με αυτές του 2017.

Ενεργειακή κατάταξη κτηρίων 2018



Σχήμα 1.3: Ενεργειακή κατάταξη κτηρίων για το έτος 2018

Εφόσον η παρούσα μελέτη πραγματοποιείται για δημόσιο κτήριο το οποίο βρίσκεται στην περιφέρεια Δυτικής Μακεδονίας ακολουθούν κάποια στατιστικά αποτελέσματα σχετικά με αυτόν τον τύπο κτηρίου.



Σχήμα 1.4: Ενεργειακή κατάταξη δημοσίων κτηρίων για τη χρονική περίοδο 2011-2018, πηγή: [ΥΠΕΝ, 2019].

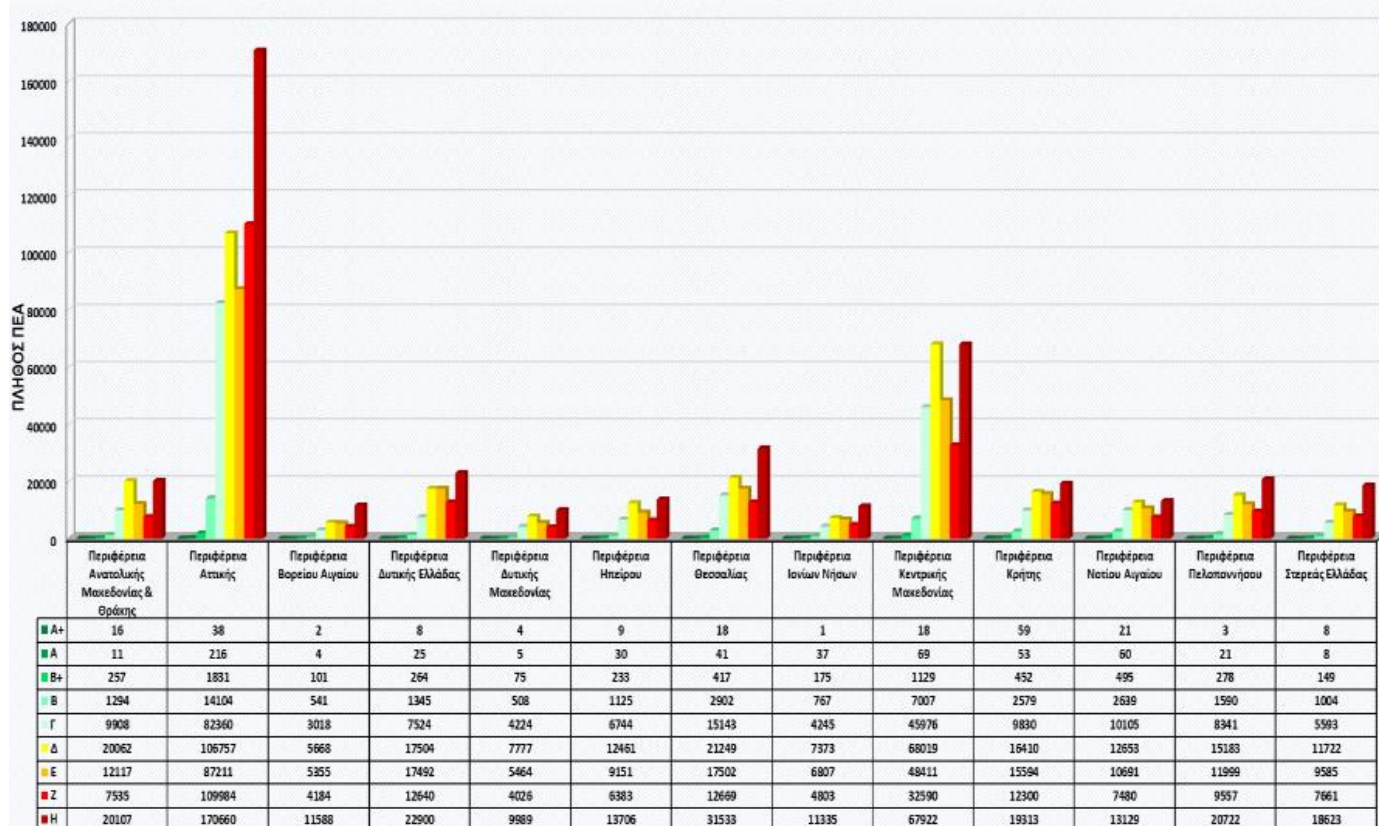
Τη χρονική περίοδο 2011-2018, το μεγαλύτερο ποσοστό των δημοσίων κτηρίων (49,82%) κατατάσσεται στις ενεργειακές κλάσεις Γ-Δ (Σχήμα 1.4) και οι μεγαλύτερες ετήσιες καταναλώσεις ενέργειας χρησιμοποιούνται για κάλυψη αναγκών σε θέρμανση και φωτισμό. Πιο συγκεκριμένα, η μέση κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση είναι ίση με 126,48 kWh/m² και για φωτισμό 112,61 kWh/m² αντίστοιχα. Επίσης διαπιστώνεται ότι η ηλεκτρική ενέργεια συνεισφέρει κατά 59% στο ενεργειακό ισοζύγιο των δημοσίων κτηρίων, ενώ το πετρέλαιο κατά 30,02% αντίστοιχα (ΥΠΕΝ, 2019).

Ειδικότερα το 2018, το 0,38% των ΠΕΑ που εκδόθηκαν, 1.116 σε αριθμό κατέταξε το 54,2% των δημοσίων κτηρίων στις ενεργειακές κλάσεις Ε-Η, το 37,99% στις κλάσεις Γ-Δ και το 7,8% στις κλάσεις Α-Β (Σχήμα 1.4). Το μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας καταναλώνεται επίσης για την κάλυψη αναγκών σε θέρμανση και φωτισμό. Πιο συγκεκριμένα, ο μέσος όρος ετήσιας κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας για θέρμανση είναι 169,76 kWh/m² και για φωτισμό 128,82 kWh/m² αντίστοιχα (ΥΠΕΝ, 2019).

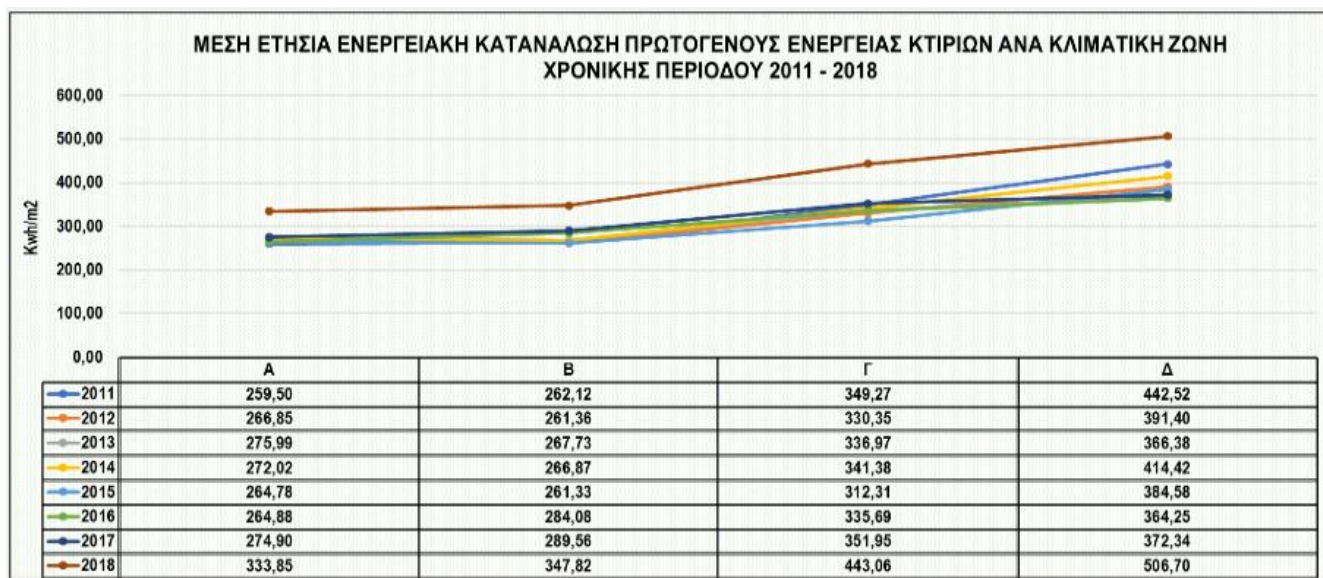
Για να χαρακτηριστεί όμως ένα υφιστάμενο κτήριο ως κτήριο με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας (ΚΣΜΚΕ) πρέπει να κατατάσσεται τουλάχιστον στην ενεργειακή κατηγορία Β⁺. Τα κτήρια του τριτογενή τομέα πρέπει να κάνουν την αρχή και να εναρμονιστούν με την ευρωπαϊκή πολιτική παραδίδοντας σκυτάλη στα κτήρια κατοικιών, κάτι το οποίο είναι εφικτό καθώς διαθέτουν σημαντικά περιθώρια αναβάθμισης.

Αξίζει να σημειωθεί ότι το 60,7% των κτηρίων της περιφέρειας Δυτικής Μακεδονίας ανήκει στις ενεργειακές κλάσεις Ε-Η (Σχήμα 1.5). Αυτό συνεπάγεται μεγάλο αριθμό κτηρίων με χαμηλή ενεργειακή απόδοση, τα οποία βρίσκονται σε μια απαιτητική ενεργειακά κλιματική ζώνη, τη Δ που είναι η ψυχρότερη σε όλη την Ελλάδα. Σύμφωνα με το Σχήμα 1.6, η κλιματική ζώνη Δ είναι η πιο ενεργοβόρα καθώς η μέση ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας είναι ίση με 408,76 kWh/m². Η χρονολογία ανέγερσης, η ελλιπής θερμομόνωση του κτηριακού κελύφους και η λάθος επιλογή και διαστασιολόγηση των ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων ίσως να αποτελούν λόγους αυτού του αποτελέσματος.

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΚΤΙΡΙΩΝ ΑΝΑ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΕΛΛΑΔΟΣ



Σχήμα 1.5: Ενεργειακή κατάταξη κτηρίων ανά περιφέρεια Ελλάδας για τη χρονική περίοδο 2011-2018, πηγή: [ΥΠΕΝ, 2019].

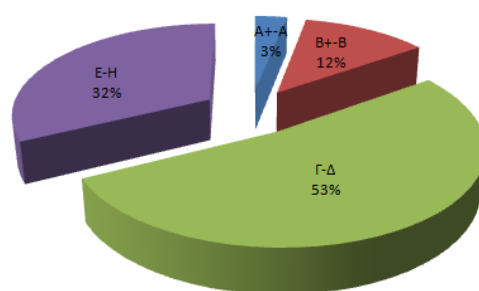


Σχήμα 1.6: Μέση ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας των κτηρίων ανά κλιματική ζώνη για τη χρονική περίοδο 2011-2018, πηγή: [ΥΠΕΝ, 2019].

Επιπλέον το υπό μελέτη κτήριο εξυπηρετεί ανάγκες γραφείου για αυτό θα ακολουθήσουν σχετικά στατιστικά αποτελέσματα που αφορούν τον συγκεκριμένο τύπο κτηρίου.

Τη χρονική περίοδο 2011-2018, το 3,1% των γραφείων κατατάχθηκε στις ενεργειακές κλάσεις A⁺ - A, το 12,1% στις B⁺ - B, το 52,4% στις Γ-Δ και το 32,4% στις Ε-Η και παρουσιάζεται στο ακόλουθο Σχήμα 1.7 (ΥΠΕΝ, 2019).

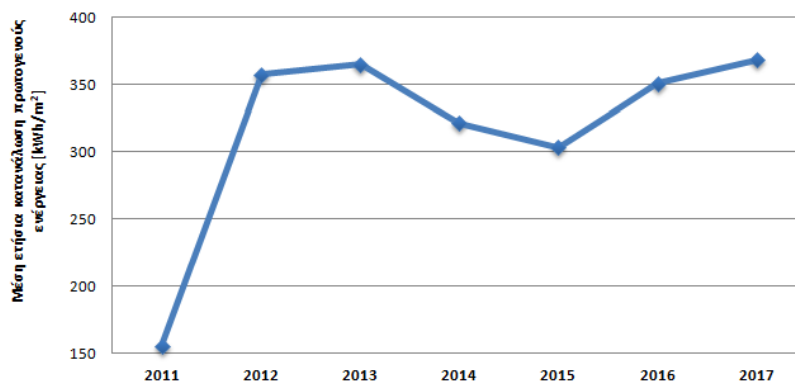
Ενεργειακή κατάταξη γραφείων τη χρονική περίοδο 2011-2018



Σχήμα 1.7: Ενεργειακή κατάταξη γραφείων για τη χρονική περίοδο 2011-2018

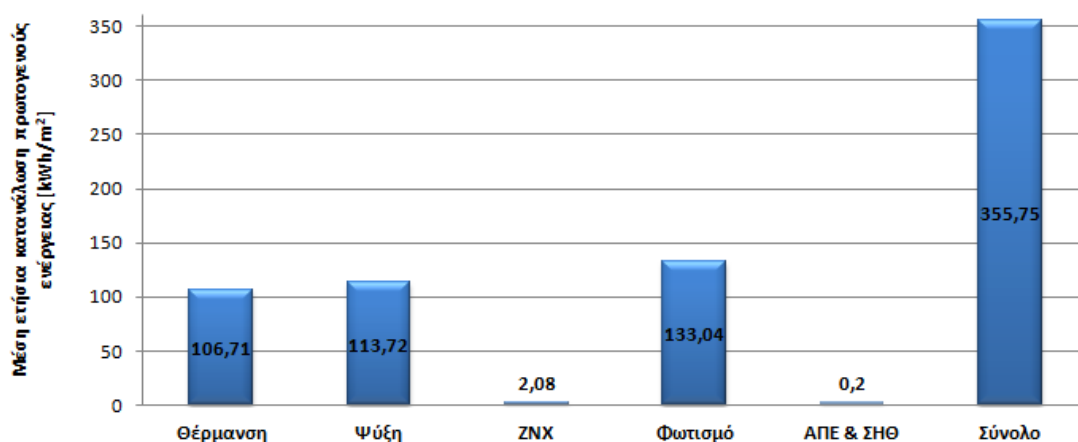
Ακολουθούν τα Σχήματα 1.8 – 1.10 στα οποία παρουσιάζεται η μέση ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας των γραφείων για τη χρονική περίοδο 2011-2018, ανά χρήση αυτής, ανά κλιματική ζώνη και ανά ενεργειακή κλάση.

Μέση ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας των γραφείων τη χρονική περίοδο 2011-2017



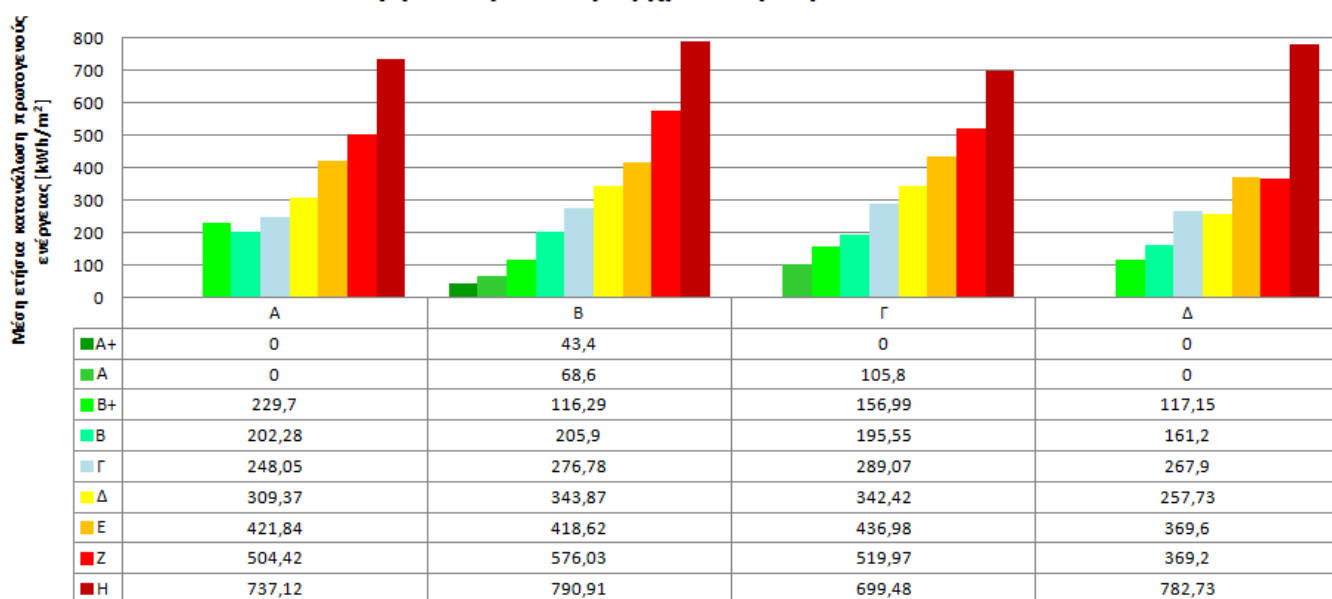
Σχήμα 1.8: Μέση ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας των γραφείων για τη χρονική περίοδο 2011-2018, πηγή: [ΥΠΕΝ, 2018].

Μέση ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας των γραφείων ανά χρήση τη χρονική περίοδο 2011-2018



Σχήμα 1.9: Μέση ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας των γραφείων ανά χρήση για τη χρονική περίοδο 2011-2018, πηγή: [ΥΠΕΝ, 2019].

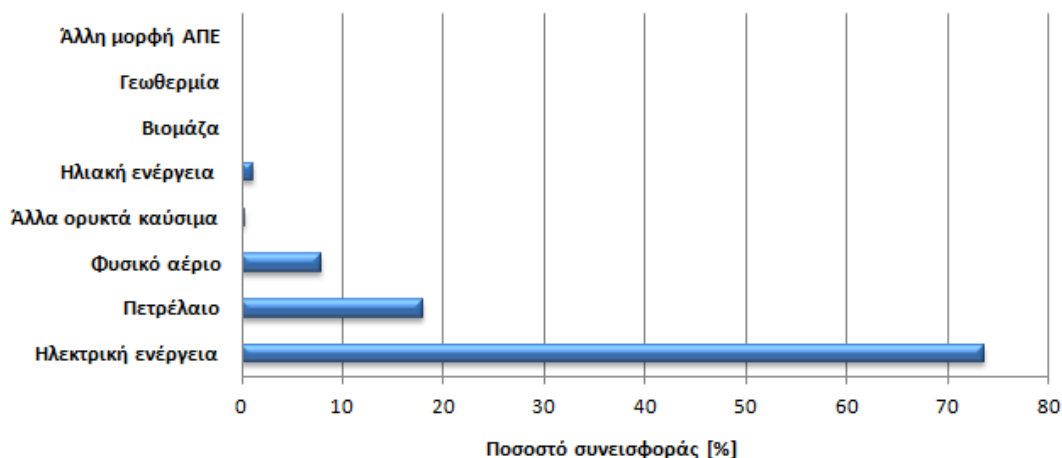
Μέση ετήσια ενεργειακή κατανάλωση των γραφείων ανά κλιματική ζώνη και ενεργειακή κλάση τη χρονική περίοδο 2011-2018



Σχήμα 1.10: Μέση ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας των γραφείων ανά κλιματική ζώνη και ενεργειακή κλάση για τη χρονική περίοδο 2011-2018, πηγή: [ΥΠΕΝ, 2019].

Η ενέργεια αυτή προέρχεται από διάφορες πηγές, οι οποίες παρουσιάζονται στο παρακάτω Σχήμα 1.11. Κύριες πηγές ενέργειας των γραφείων αποτελούν η ηλεκτρική ενέργεια με ποσοστό συνεισφοράς 73,75% και το πετρέλαιο με 17,98% αντίστοιχα.

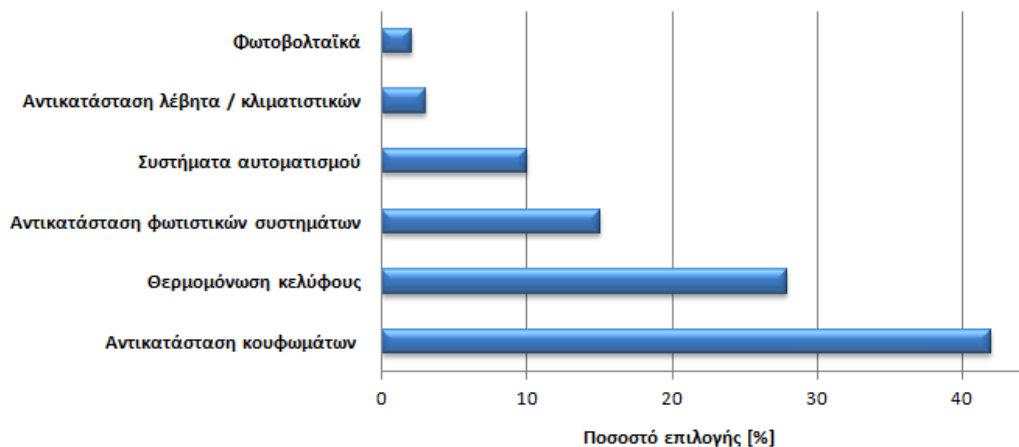
Συνεισφορά ενέργειας στα γραφεία από διάφορες πηγές ενέργειας



Σχήμα 1.11: Συνεισφορά διάφορων πηγών ενέργειας στο ενεργειακό ισοζύγιο των γραφείων, πηγή: [ΥΠΕΝ, 2019].

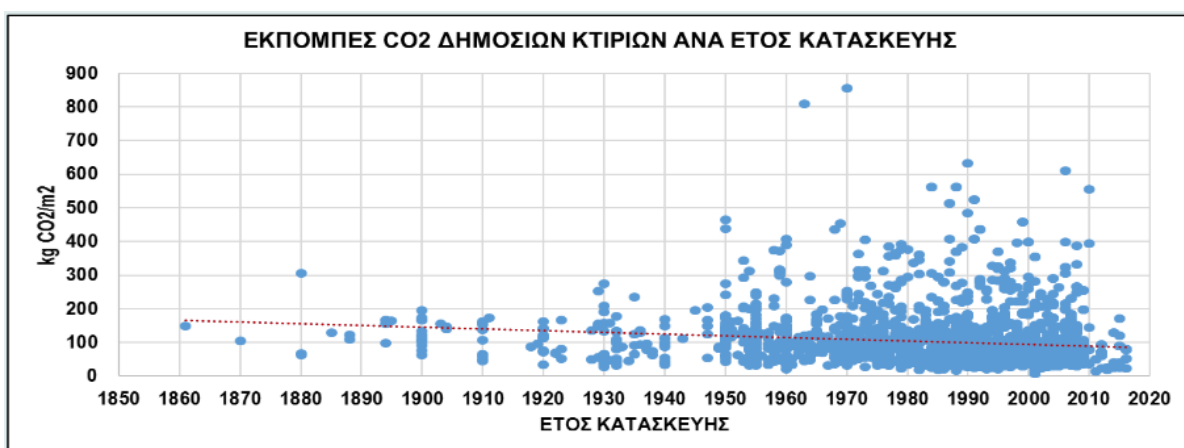
Οι ενεργειακές αναβαθμίσεις που έχουν πραγματοποιηθεί μέχρι σήμερα σε δημόσια κτήρια μπορούν να εξάγουν κάποια συμπεράσματα σχετικά με τη συνηθέστερη ενεργειακή παρέμβαση με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας. Κυριαρχεί η αντικατάσταση κουφωμάτων με ποσοστό επιλογής 42% και ακολουθούν η θερμομόνωση κελύφους με 28%, η αντικατάσταση φωτιστικών συστημάτων με 15%, η τοποθέτηση συστημάτων αυτοματισμού με 10%, η αντικατάσταση λέβητα/κλιματιστικών με 3% και τέλος η τοποθέτηση φωτοβολταϊκών συστημάτων με 2%, τα οποία παρουσιάζονται στο ακόλουθο Σχήμα 1.12 (ΥΠΕΝ, 2016).

Μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας σε δημόσια κτήρια

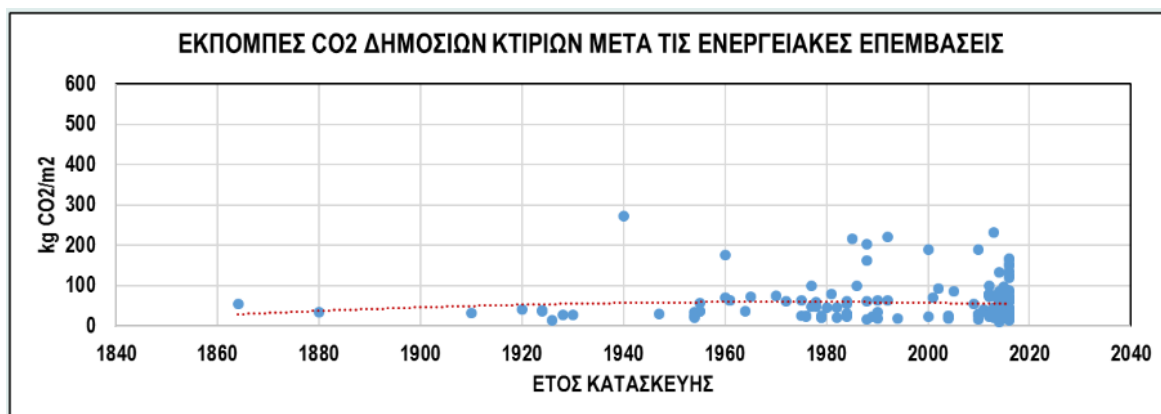


Σχήμα 1.12: Επιλογή μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας σε δημόσια κτήρια

Τις τελευταίες δεκαετίες η αλόγιστη χρήση πρωτογενούς ενέργειας έχει ως άμεση συνέπεια τις ολοένα αυξανόμενες εκπομπές ρύπων στην ατμόσφαιρα, εντείνοντας έτσι το περιβαλλοντικό πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής. Η ενεργειακή αναβάθμιση κτηρίων εκτός από την εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνει, στρέφεται σε εναλλακτικές μορφές ενέργειας όπως οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ), οι οποίες είναι πιο φιλικές προς το περιβάλλον, περιορίζοντας έτσι σημαντικά τη χρήση συμβατικών καυσίμων. Αυτό μπορεί να επιβεβαιωθεί από τα επόμενα Σχήματα 1.13 & 1.14 που αφορούν δημόσια κτήρια πριν και μετά από υλοποίηση ενεργειακών επεμβάσεων, όπου απεικονίζουν τις εκπομπές τους σε διοξείδιο του άνθρακα (CO₂).



Σχήμα 1.13: Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα δημοσίων κτηρίων, πηγή: [ΥΠΕΝ, 2016].



Σχήμα 1.14: Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα δημοσίων κτηρίων μετά από ενεργειακές επεμβάσεις, πηγή: [ΥΠΕΝ, 2016].

Τα αποτελέσματα αναδεικνύουν το υψηλό δυναμικό των ενεργειακών παρεμβάσεων για τη μείωση των εκπομπών CO₂.

Ο σταδιακός συμβιβασμός όλου του κτηριακού αποθέματος σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ και την ευρωπαϊκή πολιτική θα φέρει τεράστιες θετικές αλλαγές στον τομέα της ενέργειας και του φυσικού περιβάλλοντος στο άμεσο μέλλον.

Σύμφωνα με το κτηριακό απόθεμα των γραφείων που παρουσιάστηκε, η υπολογιζόμενη ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ανά κλιματική ζώνη καθώς και το αντίστοιχο ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας αν ήταν κατασκευασμένα με προδιαγραφές Κ.Εν.Α.Κ παρουσιάζονται στον επόμενο Πίνακα 1.1.

Κλιματική Ζώνη	Υπολογιζόμενη μέση ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας υφιστάμενου γραφείου [kWh/m ²]	Υπολογιζόμενη μέση ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας γραφείου κατά Κ.Εν.Α.Κ [kWh/m ²]	Ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας [%]
A	357,75	203,76	43,04
B	363,09	216,36	40,41
Γ	374,25	215,99	42,29
Δ	395,89	211,15	46,67

Πίνακας 1.1: Ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας των γραφείων σε κάθε κλιματική ζώνη της Ελλάδας, πηγή: [ΥΠΕΝ, 2019].

Τα ποσοστά εξοικονόμησης ενέργειας σε κτήρια γραφείων είναι αρκετά υψηλά, κάτι το οποίο ενθαρρύνει και αποδεικνύει ότι η ενεργειακή αναβάθμιση είναι μια συμφέρουσα επένδυση στον κτηριακό τομέα με πολλές θετικές συνέπειες τόσο οικονομικά όσο και περιβαλλοντικά. Τέλος, αυτό καλείται να πραγματοποιήσει και η παρούσα μελέτη διερευνώντας όλους τους παράγοντες με τους οποίους το κτήριο μπορεί να μετατραπεί σε ένα κτήριο υψηλής απόδοσης.

Κεφάλαιο 2: Revit & Σχεδίαση κτηρίου

Η παρούσα ενεργειακή μελέτη του κτηρίου υλοποιείται με το πρόγραμμα Revit της Autodesk. Το Revit είναι ένα αρχιτεκτονικό BIM (Building Information Modeling) πρόγραμμα, δηλαδή ένα λογισμικό μοντελοποίησης κτηρίων για μηχανικούς, το οποίο διατίθεται δωρεάν για εκπαιδευτικούς σκοπούς. Αποτελεί σύγχρονο πρόγραμμα 3D σχεδίασης χρησιμοποιώντας παραμετρικό σχεδιασμό, δηλαδή ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να τοποθετεί αντικείμενα στο σχέδιο του και να ορίζει τις παραμέτρους αυτών. Για παράδειγμα μπορεί να εισάγει ορόφους καθορίζοντας το ύψος, το πάχος της πλάκας κ.α., να εισάγει τοίχους διαμορφώνοντας το πάχος, τη θερμομόνωση, τα επιχρίσματα κ.α. τα οποία θα αναλυθούν στη συνέχεια.

Το Revit προσφέρει γρήγορη 3D σχεδίαση, για όλα τα στάδια του κύκλου ζωής ενός κτηρίου, είτε πρόκειται για ανέγερση ενός νέου οικοδομήματος, είτε για συντήρηση-αναβάθμιση ενός υφιστάμενου. Επιπρόσθετα, παρέχει πλήρη έλεγχο στα εμβιά, στους όγκους, στα δομικά στοιχεία και στα υλικά κατασκευής ενός έργου, τα οποία μπορούν να τροποποιηθούν και διαδικτυακά μέσω του GBS (Green Building Studio) της Autodesk.

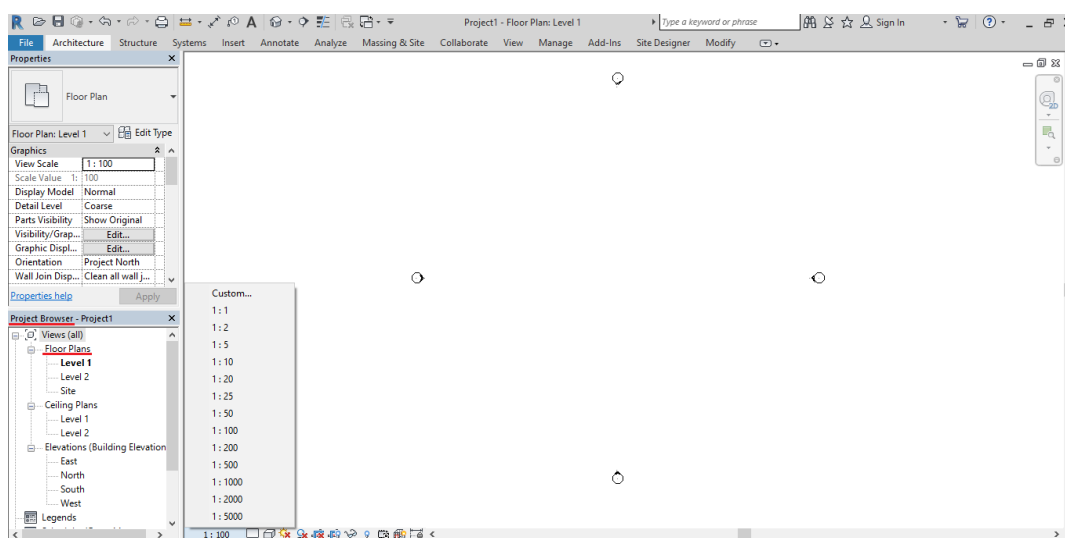
Στο πρόγραμμα αυτό υπάρχουν τρεις γενικές κατηγορίες σχεδίασης, οι οποίες είναι οι εξής:

- Revit Architecture: αρχιτεκτονική σχεδίαση
- Revit Structure: σχεδίαση δομικών στοιχείων, π.χ. μεταλλικές κατασκευές
- Revit MEP (Mechanical-Electrical-Plumbing): σχεδίαση μηχανολογικών, ηλεκτρικών και υδραυλικών συστημάτων

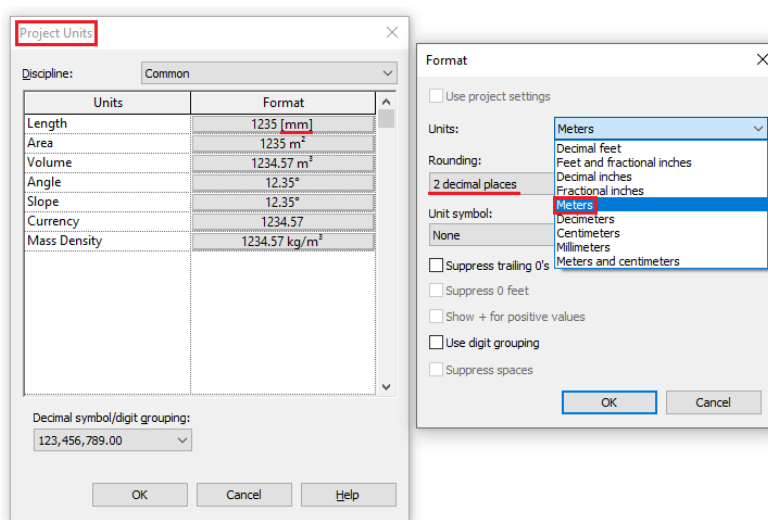
Σημαντικό πλεονέκτημα αποτελεί η δυνατότητα συνύπαρξης μηχανικών διαφορετικών ειδικοτήτων για το αρχιτεκτονικό, δομοστατικό και μηχανολογικό σχεδιασμό ενός έργου, βελτιστοποιώντας το τελικό αποτέλεσμα με την άμεση και αποδοτική συνεργασία τους.

Στην περίπτωση του υπό μελέτη κτηρίου χρησιμοποιείται η αρχιτεκτονική σχεδίαση και γίνεται η επιλογή των δομικών στοιχείων του κελύφους από τις κατηγορίες αντικειμένων (Families) που διαθέτει το Revit. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά αυτών διαμορφώνονται βάσει των αρχιτεκτονικών σχεδίων του κτηρίου και έτσι ολοκληρώνεται η μοντελοποίηση του.

Πριν την έναρξη της σχεδίασης του κτηρίου, γίνεται ρύθμιση της κλίμακας (Σχήμα 2.1) και επιλογή των μονάδων μέτρησης καθώς και του πλήθους των δεκαδικών ψηφίων (Σχήμα 2.2). Για να εμφανιστεί η καρτέλα «Project Units» πληκτρολογούνται ταυτόχρονα τα γράμματα ‘U’ και ‘N’. Επίσης επιλέγεται από τις όψεις (Views) της καρτέλας «Project Browser» η κάτοψη (Floor Plan) του επιπέδου – ορόφου στο οποίο θα ξεκινήσει η σχεδίαση.



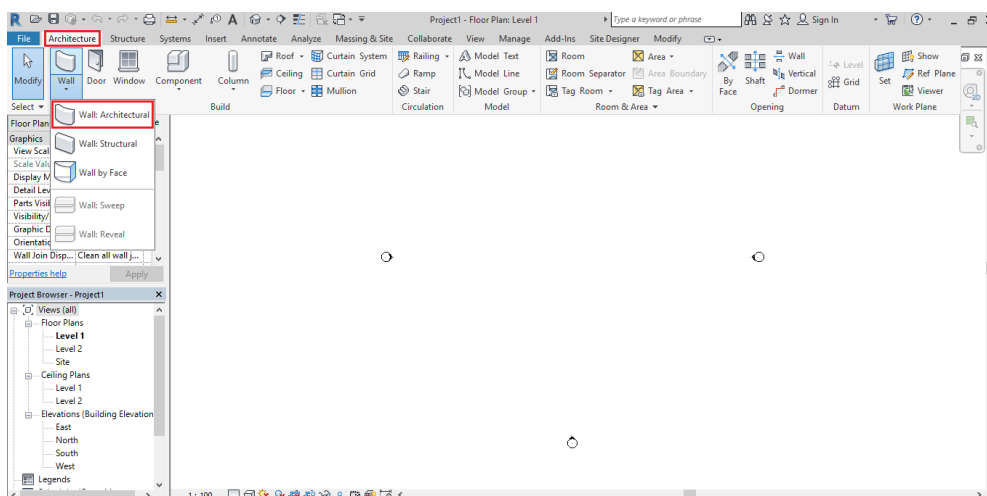
Σχήμα 2.1: Επιλογή επιθυμητής κλίμακας



Σχήμα 2.2: Επιλογή μονάδων μέτρησης και δεκαδικών ψηφίων

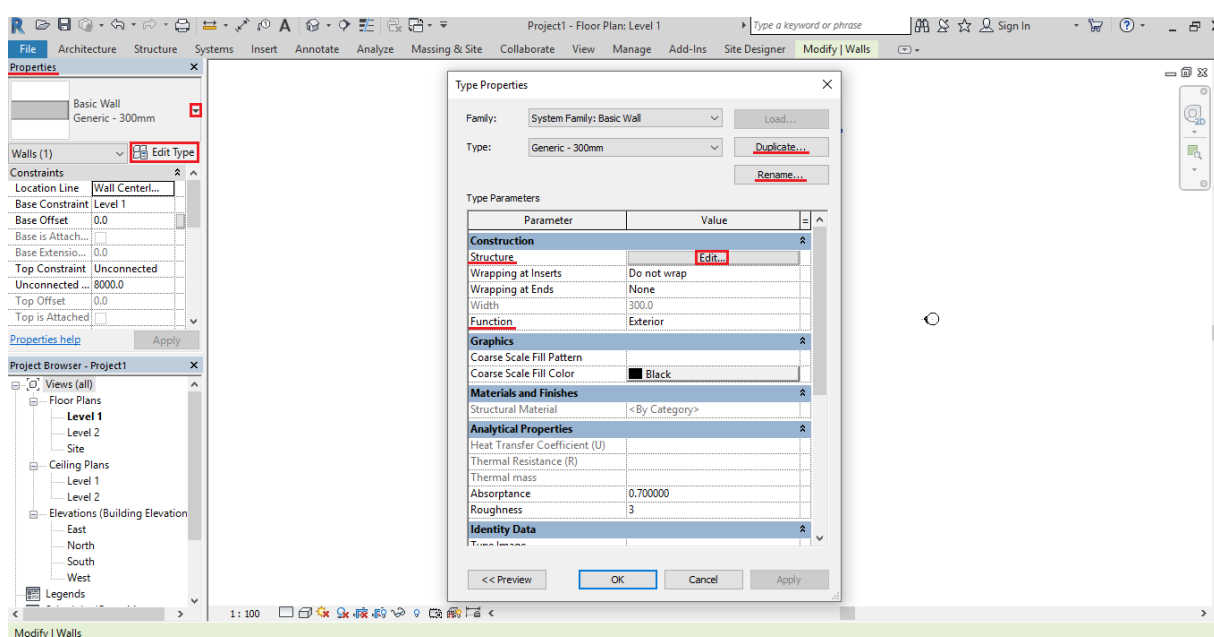
Αρχικά σχεδιάζονται οι εξωτερικοί τοίχοι οι οποίοι περιβάλλουν το κτήριο και αποτελούν τα μεγαλύτερα δομικά στοιχεία του κελύφους και στη συνέχεια οι εσωτερικοί τοίχοι ώστε να πραγματοποιηθεί η τελική διαμόρφωση των χώρων. Στην καρτέλα

«Architecture» της γραμμής εντολών, επιλέγεται ‘Wall’ και ‘Wall: Architectural’ για να ξεκινήσει η σχεδίαση του τοίχου (Σχήμα 2.3).



Σχήμα 2.3: Βήματα έναρξης σχεδίασης τοίχου

Στην καρτέλα των ιδιοτήτων «Properties», επιλέγεται ο τύπος τοιχοποιίας (εσωτερικός-εξωτερικός) σύμφωνα με τη δομή και το πάχος που καλείται να έχει το δομικό στοιχείο. Επίσης υπάρχει δυνατότητα τροποποίησης ή δημιουργίας νέου τοίχου επιλέγοντας ‘Edit Type’ και κάνοντας τις απαραίτητες αλλαγές στην καρτέλα που εμφανίζεται «Type Properties». Για να τροποποιηθούν τα στρώματα (Layers) του δομικού στοιχείου, επιλέγεται ‘Construction > Structure > Edit...’ (Σχήμα 2.4).



Σχήμα 2.4: Τροποποίηση ιδιοτήτων και γεωμετρικών χαρακτηριστικών του τοίχου

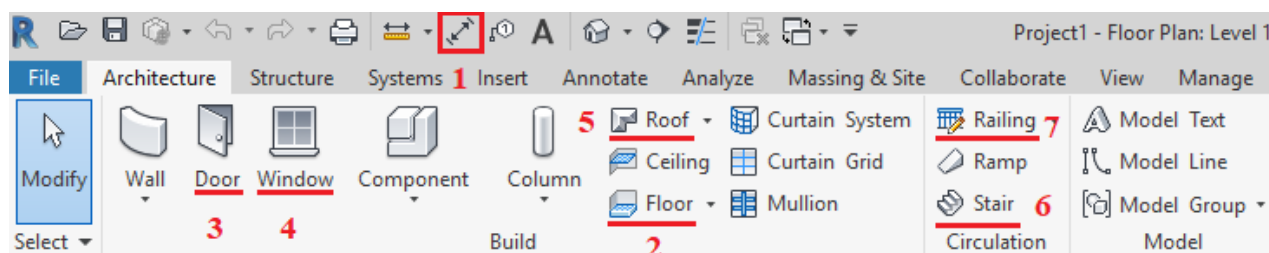
Το ύψος και το όνομα κάθε ορόφου του κτηρίου μπορεί να οριστεί από τις πλάγιες όψεις (Building Elevations) ή τις βοηθητικές τομές (Building Sections) που μπορούν να δημιουργηθούν κατά τη σχεδίαση του κτηρίου, της καρτέλας «Project Browser» (Σχήμα 2.5).



Σχήμα 2.5: Πλάγια όψη κτηρίου

Έτσι στη συνέχεια μπορούν να οριοθετηθούν οι τοίχοι που έχουν σχεδιαστεί, δηλαδή να καθοριστεί μεταξύ ποιών επιπέδων του κτηρίου (Base & Top Constraint στην καρτέλα των ιδιοτήτων του τοίχου που έχει επιλεγεί) θα εκτείνονται.

Η διαστασιολόγηση των δομικών στοιχείων επιτυγχάνεται με την επιλογή του εικονιδίου 1 από τη γραμμή εργαλείων, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.6. Επίσης με τη βοήθεια του πλήκτρου Tab ορίζεται με ακρίβεια η αρχή και το τέλος κάθε στοιχείου που καλείται να διαστασιολογηθεί. Κατά τη σχεδίαση, η διαστασιολόγηση εκτός από την μετρητική πληροφορία, δίνει τη δυνατότητα να τροποποιούνται διαρκώς οι διαστάσεις των στοιχείων μέχρι την ολοκλήρωση του έργου.



Σχήμα 2.6: Γραμμή εντολών και εργαλείων του Revit

Αφού σχεδιαστούν οι τοίχοι που περικλείουν κάποιον όροφο του κτηρίου και γίνει διαμόρφωση των εσωτερικών χώρων σχεδιάζοντας τους εσωτερικούς τοίχους, σειρά έχει το δάπεδο, είτε αυτό είναι σε επαφή με το έδαφος, είτε αποτελεί διαχωριστική πλάκα μεταξύ των ορόφων, είτε είναι δώμα οροφής. Η σχεδίαση του και στις τρεις περιπτώσεις γίνεται με τον ίδιο τρόπο, απλώς διαφοροποιούνται οι διαστάσεις – πάχη και τα στρώματα υλικών από τα οποία αποτελείται σε κάθε περίπτωση. Η δημιουργία δαπέδου γίνεται εξίσου από την καρτέλα «Architecture» με την επιλογή ‘Floor: Architectural’ όπως φαίνεται στην επισήμανση 2 του Σχήματος 2.6. Τα βήματα τροποποίησης ή δημιουργίας νέου δαπέδου είναι ίδια με αυτά που περιγράφηκαν στην τοιχοποιία μέσω της καρτέλας ιδιοτήτων του δομικού στοιχείου.

Ομοίως δημιουργούνται τα ανοίγματα του κτηρίου, δηλαδή οι εσωτερικές, εξωτερικές πόρτες, τα παράθυρα και οι μπαλκονόπορτες. Από την γραμμή εντολών επιλέγεται ‘Door’ και ‘Window’, με τις επισημάνσεις 3 και 4 αντίστοιχα στο Σχήμα 2.6 και επιλέγονται τα κατάλληλα ανοίγματα από τη μεγάλη βιβλιοθήκη αντικειμένων (Family) που διαθέτει το Revit. Στη συνέχεια τα δομικά στοιχεία μπορούν να διαστασιολογηθούν και να γίνει επιλογή των υλικών κατασκευής τους μέσω της καρτέλας ιδιοτήτων. Επιπλέον για τις πόρτες καθορίζεται αν είναι εσωτερικές ή εξωτερικές και για τα παράθυρα επιλέγεται το πλήθος υαλοπινάκων που διαθέτει καθώς και το ύψος του τοίχου από το οποίο θα ξεκινά να εκτείνεται.

Το κτηριακό κέλυφος του κτηρίου ολοκληρώνεται με την τοποθέτηση της στέγης στο περίγραμμα του δώματος του τελευταίου ορόφου επιλέγοντας ‘Roof by Footprint’ στην επισήμανση 5 του Σχήματος 2.6. Κατά τη σχεδίαση υπάρχει η δυνατότητα προεξοχής (offset), δηλαδή η στέγη να προεξέχει κάποια εκατοστά από το επίπεδο της οροφής. Επίσης δίνεται ιδιαίτερη σημασία στην κλίση που θα έχει βάσει τον προσανατολισμό του κτηρίου. Αυτό συμβαίνει καθώς αποτελεί σημαντικό παράγοντα σε ενδεχόμενη τοποθέτηση παθητικού ηλιακού συστήματος για τη μέγιστη αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας, ώστε να παράγει την απαιτούμενη ενέργεια που χρειάζεται για τη λειτουργία του. Επιπρόσθετα, το ύψος στέγης εκτός σχεδίου συνιστάται να μην υπερβαίνει τα 1,5 m, κάτι το οποίο εξαρτάται άμεσα από την κλίση και τον σχεδιασμό της.

Τέλος, η δημιουργία σκάλας και κιγκλιδώματος (κάγκελο) υλοποιείται με την επιλογή ‘Stair’ και ‘Railing’ από την ενότητα «Circulation» της καρτέλας «Architecture» (επισημάνσεις 6 & 7 στο Σχήμα 2.6).

Ακολουθούν τα Σχήματα 2.7 – 2.15 με τις 2D & 3D όψεις του υπό μελέτη κτηρίου έπειτα τη σχεδίαση του στο Revit.



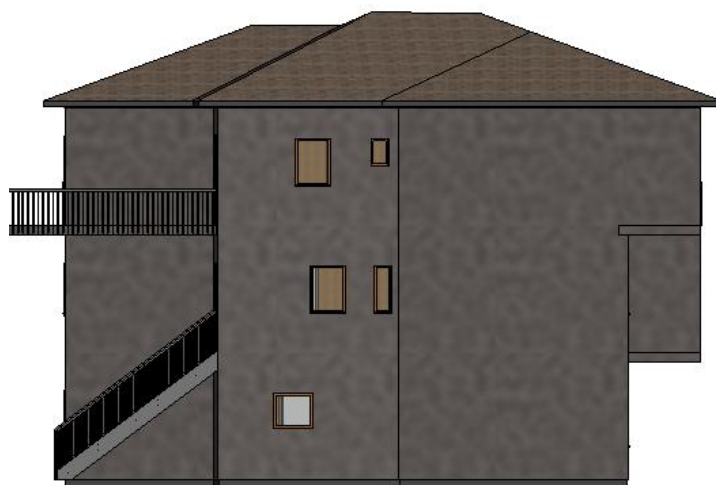
Σχήμα 2.7: Πρόσοψη κτηρίου



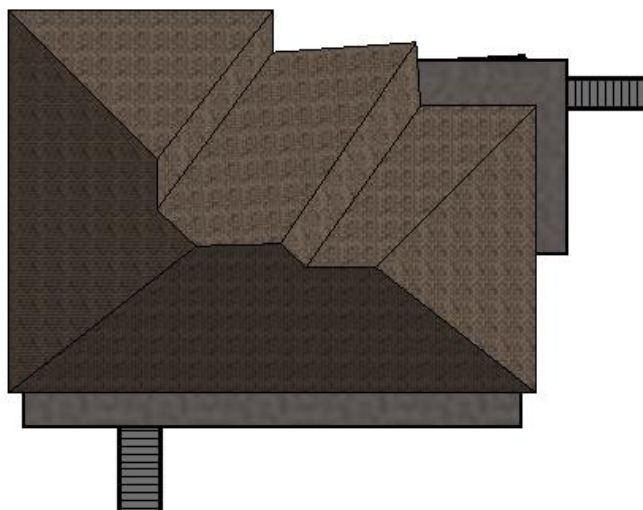
Σχήμα 2.8: Πλάγια αριστερή όψη κτηρίου



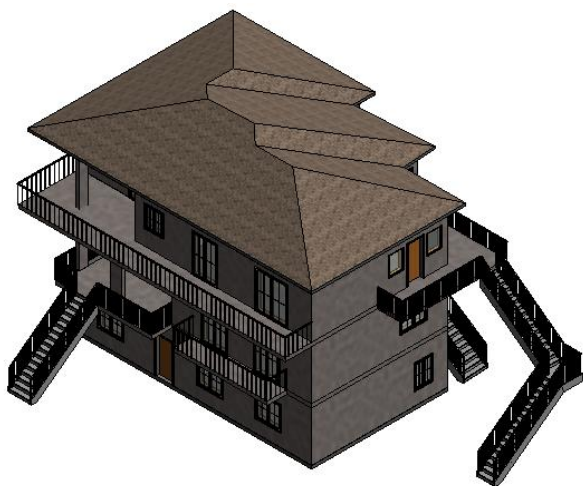
Σχήμα 2.9: Πλάγια δεξιά όψη κτηρίου



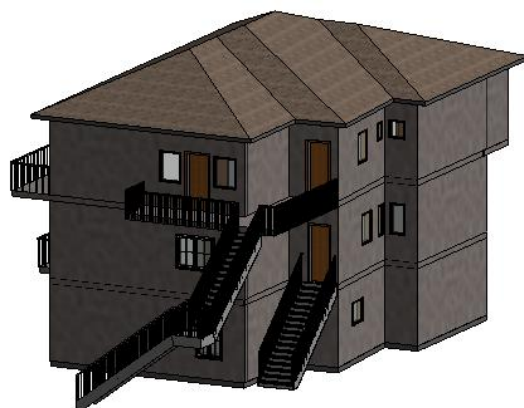
Σχήμα 2.10: Πίσω όψη κτηρίου



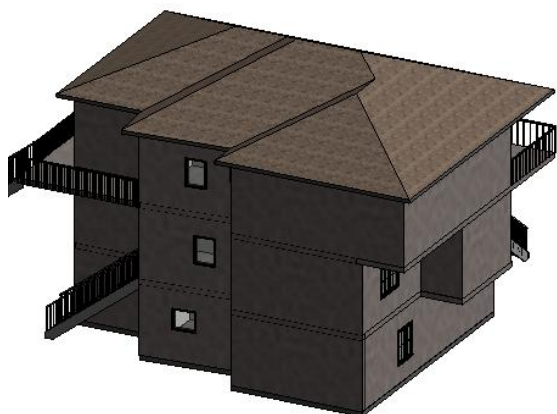
Σχήμα 2.11: Κάτοψη κτηρίου



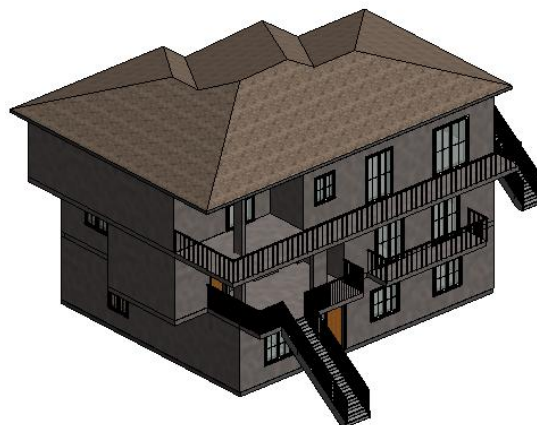
Σχήμα 2.12: Νοτιοανατολική 3D όψη κτηρίου



Σχήμα 2.13: Βορειοανατολική 3D όψη κτηρίου



Σχήμα 2.14: Βορειοδυτική 3D όψη κτηρίου



Σχήμα 2.15: Νοτιοδυτική 3D όψη κτηρίου

Κεφάλαιο 3: Το υπό μελέτη κτήριο

3.1 Εισαγωγή

Το εξεταζόμενο κτήριο είναι το εμπορικό και βιομηχανικό επιμελητήριο Κοζάνης, το οποίο θα διερευνηθεί ως προς την ενεργειακή του συμπεριφορά και τις συνθήκες που επικρατούν στο εσωτερικό του. Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει εκτενής ανάλυση της τοποθεσίας του, των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του και των δομικών στοιχείων του κτηριακού κελύφους. Επιπλέον θα γίνει αναφορά στα ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα που χρησιμοποιούνται για την κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων σε θέρμανση, ψύξη, ζεστό νερό χρήσης και φωτισμό. Σημειώνεται πως πρόκειται για ένα παλιό κτήριο με μοναδικά επίσημα στοιχεία τα αρχιτεκτονικά σχέδια του κτηρίου, χωρίς επιπρόσθετες μελέτες όπως για παράδειγμα μελέτες θερμομόνωσης. Επομένως τα περισσότερα στοιχεία που αναφέρονται στην παρούσα μελέτη έχουν συλλεχθεί με επιτόπιες επιθεωρήσεις στους χώρους του κτηρίου και με τοποθέτηση πειραματικών διατάξεων για την αξιολόγηση και τον έλεγχο τήρησης των συνθηκών άνεσης.



Εικόνα 3.1: Το εμπορικό και βιομηχανικό επιμελητήριο Κοζάνης, πηγή: [Εφημερίδα 'Αυτική Μακεδονία', 2018].

3.2 Γενική περιγραφή του επιμελητηρίου Κοζάνης

Το εμπορικό και βιομηχανικό επιμελητήριο βρίσκεται επί της οδού Ιωάννη Φαρμάκη στο κέντρο της Κοζάνης. Πρόκειται για ένα αιωνόβιο δημόσιο κτήριο το οποίο χρονολογείται ότι χτίστηκε στις αρχές του 20^{ου} αιώνα, δηλαδή τη δεκαετία 1910. Συγκεκριμένα το επιμελητήριο ιδρύθηκε στις 16 Νοεμβρίου 1918 στην πόλη της Κοζάνης, η οποία αποτελούσε το εμπορικό κέντρο όλης της Δυτικής Μακεδονίας.

Σύμφωνα με την Τεχνική Οδηγία Τ.Ε.Ε. 20701-3/2010 (ΤΕΕ, 2010), η Κοζάνη με υψόμετρο περίπου 720 m ανήκει στην κλιματική ζώνη Δ. Επομένως το υφιστάμενο κτήριο εντάσσεται στην ψυχρότερη κλιματική ζώνη της Ελλάδας, είναι έκτασης περίπου 350 m² και αποτελείται από ένα ισόγειο και δύο ορόφους. Επίσης διαθέτει ένα μικρό υπόγειο περίπου 12 m², χώρος στον οποίο είναι εγκατεστημένος ο λέβητας πετρελαίου του παλιού λεβητοστασίου. Το κτήριο εξυπηρετεί ανάγκες γραφείου για αυτό και αποτελείται κυρίως από χώρους γραφείων και μιας μεγάλης αίθουσας παρουσιάσεων. Επιπλέον υπάρχουν κουζίνες, αποθήκες, W.C, χολ και ένας χώρος με τον θερμικό υποσταθμό της τηλεθέρμανσης όπου αποτελεί την τωρινή εγκατάσταση κεντρικής θέρμανσης του κτηρίου.

Στη συνέχεια ακολουθεί ο Πίνακας 3.1 όπου δίνονται αναλυτικά οι χρήσεις χώρων του κτηρίου ανά όροφο.

Όροφος	Χρήσεις χώρων
Ισόγειο	Είσοδος-Χολ, (3) Γραφεία, W.C, (2) Χολ, Αποθήκη, Υποσταθμός Τηλεθέρμανσης
Πρώτος	Είσοδος-Χολ, (5) Γραφεία, W.C, Κουζίνα, Χολ
Δεύτερος	Αίθουσα Παρουσιάσεων, (3) Γραφεία, W.C, Κουζίνα, Αποθήκη, Χολ

Πίνακας 3.1: Η χρήση χώρων ανά όροφο

Το ωράριο λειτουργίας του κτηρίου σύμφωνα και με την ΤΟΤΕΕ 20701-1/2017 (ΤΕΕ, 2017α) για χρήση γραφείου είναι 12 μήνες τον χρόνο, 5 ημέρες την εβδομάδα και 10 ώρες την ημέρα. Συγκεκριμένα, λειτουργεί από Δευτέρα έως Παρασκευή 07:00-17:00 και σε αυτό απασχολείται προσωπικό 15 ατόμων περίπου.

3.3 Κτηριακό κέλυφος

Κατά τη διαδικασία ενεργειακής αναβάθμισης κτηρίου, πρωταρχικό στάδιο της μελέτης λαμβάνει η διερεύνηση του κτηριακού κελύφους. Το κτηριακό κέλυφος αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες για τις συνθήκες που επικρατούν στο εσωτερικό ενός κτηρίου εφόσον διαχωρίζει το εσωτερικό από το εξωτερικό περιβάλλον.

Η τοποθέτηση κατάλληλης θερμομόνωσης στο περίβλημα ενός κτηρίου, το θωρακίζει, μειώνοντας σημαντικά τις θερμικές απώλειες και κατά συνέπεια τις ενεργειακές καταναλώσεις του. Το παρόν κτήριο δε διαθέτει κάποιο είδος θερμομόνωσης διότι κατασκευάστηκε πριν την εφαρμογή του ελληνικού κανονισμού θερμομόνωσης (4 Ιουλίου 1979), δηλαδή σε χρονική περίοδο κατά την οποία δεν υπήρχε καμία απαίτηση για θερμομονωτική προστασία.

3.3.1 Δομικά στοιχεία κτηριακού κελύφους

Τα δομικά στοιχεία που περικλείουν ένα κτήριο είναι κατά κύριο λόγο οι εξωτερικοί τοίχοι αφού καταλαμβάνουν τη μεγαλύτερη έκταση του κελύφους, ακολουθούν το δάπεδο, η οροφή και τα ανοίγματα δηλαδή τα παράθυρα και οι πόρτες. Όπως έχει ήδη προαναφερθεί πρόκειται για ένα κέλυφος χωρίς θερμομόνωση εφόσον το κτήριο δεν έχει ανακαινιστεί στο πέρας του χρόνου. Τα δομικά στοιχεία του είναι κατασκευασμένα από απλά υλικά και βασίζονται στις τεχνικές οικοδόμησης της εποχής στην οποία χτίστηκε. Για τον λόγο αυτό, ίσως είναι αναγκαίες κάποιες παρεμβάσεις στο κέλυφος, οι οποίες θα αποτελέσουν σημαντικό μέρος της ενεργειακής αναβάθμισης που θα επέλθει στο κτήριο. Κάτι τέτοιο μπορεί να επιβεβαιωθεί στη συνέχεια από τον έλεγχο θερμομονωτικής επάρκειας των δομικών στοιχείων και του κτηρίου που θα υλοποιηθεί στο πλαίσιο αυτής της μελέτης.

Ύστερα από επιτόπια επιθεώρηση του κτηρίου (έλλειψη θερμομονωτικής μελέτης) σε συνδυασμό με τεχνικές οικοδόμησης (Καραμπέκος & Μιχαλάκης, 2010) και διασταύρωσης αυτών με την ΤΟΤΕΕ 20701-2/2017 (ΤΕΕ, 2017β) προκύπτουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του επιμελητηρίου.

Η εξωτερική τοιχοποιία του κτηρίου δομείται από διπλή σειρά οπτόπλινθων (κοινώς γνωστά ως τούβλα) με διάκενο αέρα χωρίς κάποια τοποθέτηση μονωτικού υλικού στο ενδιάμεσο αυτών. Επιπλέον, εξωτερικά και εσωτερικά της οπτόπλινθης συστοιχίας υπάρχει

ασβεστοσιμεντοκονίομα. Οι περισσότεροι εξωτερικοί τοίχοι είναι πάχους 0,25 m με εξαίρεση κάποιους που βρίσκονται στο νότιο τμήμα του πρώτου ορόφου με πάχος 0,2 m.

Το δάπεδο του ισογείου βρίσκεται στο σύνολο του σε επαφή με το έδαφος και δομείται από οπλισμένο σκυρόδεμα, τσιμεντοκονίομα και η τελική του επιφάνεια καλύπτεται από κεραμικά πλακίδια. Το συνολικό πάχος του δαπέδου είναι 0,205 m.

Το δώμα του δεύτερου ορόφου είναι βατό, αποτελείται από ασβεστοσιμεντοκονίομα, οπλισμένο σκυρόδεμα και τσιμεντοκονίομα με συνολικό πάχος 0,24 m. Την οροφή του κτηρίου ολοκληρώνει ο ξύλινος σκελετός που υπάρχει στο δώμα για τη στήριξη της κεραμοσκεπής.

Τα ανοίγματα του κτηρίου αποτελούν οι εξωτερικές πόρτες και τα παράθυρα που έχουν ως βασικό υλικό το ξύλο. Πιο συγκεκριμένα συναντώνται τρεις τύποι παραθύρων στο κτήριο. Υπάρχουν τα απλά παράθυρα τα οποία βρίσκονται κυρίως στο βόρειο τμήμα του κτηρίου σε χώρους όπως οι κουζίνες, τα W.C, οι αποθήκες και τα χολ. Έχουν μικρές διαστάσεις και αποτελούνται από μονό υαλοπίνακα τον οποίο περιβάλλει ένα μικρό ποσοστό ξύλινου πλαισίου. Ακολουθούν τα δίφυλλα παράθυρα τα οποία συναντώνται σε χώρους κύριας χρήσης όπως τα γραφεία και αποτελούνται από μεγαλύτερο ποσοστό ξύλινου πλαισίου με μονό υαλοπίνακα. Τέλος, υπάρχουν οι δίφυλλες μπαλκονόπορτες που είναι τοποθετημένες σε νότιο προσανατολισμό στον πρώτο και στον δεύτερο όροφο, αποτελούνται σε μεγάλο ποσοστό από ξύλινο πλαίσιο και διαθέτουν κι αυτές μονό υαλοπίνακα.

3.3.2 Συντελεστές θερμοπερατότητας και έλεγχος θερμομονωτικής επάρκειας δομικών στοιχείων

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας [U ($W/m^2 \cdot K$)] εκφράζει την ποσότητα θερμότητας ανά μονάδα χρόνου που περνά από ένα τετραγωνικό μέτρο ενός δομικού στοιχείου με πάχος d όταν η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των επιφανειών του (εξωτερικά - εσωτερικά) είναι ίση με ένα βαθμό Kelvin. Με τον συντελεστή αυτό φαίνεται με πόση ευκολία διαπερνά η θερμότητα ένα στοιχείο ή σύστημα. Όσο μικρότερος είναι αυτός ο συντελεστής ενός υλικού ή στρώσεων υλικών ή γενικά ενός δομικού στοιχείου τόσο καλύτερη θερμομόνωση υπάρχει στο κτήριο.

Επομένως σε αυτή την ενότητα θα υπάρξει ανάλυση των δομικών στρώσεων αδιαφανών και μη στοιχείων του κτηριακού κελύφους καθώς και ο τρόπος που υπολογίζεται ο συντελεστής θερμοπερατότητας ανά περίπτωση. Ακόμη θα διερευνηθεί αν οι τιμές αυτές των δομικών στοιχείων συνάδουν με τις μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές που ορίζει ο Κ.Εν.Α.Κ ανά κλιματική ζώνη σύμφωνα με την ΤΟΤΕΕ 20701-2/2017 (ΤΕΕ, 2017β), οι οποίες παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.2 που ακολουθεί.

Δομικό στοιχείο	Σύμβολο	Μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας [W/(m ² ·K)]			
		Ζώνη Α	Ζώνη Β	Ζώνη Γ	Ζώνη Δ
Εξωτερική οριζόντια ή κεκλιμένη επιφάνεια σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (οροφές)	U _R	0,50	0,45	0,40	0,35
Εξωτερικοί τοίχοι σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	U _T	0,60	0,50	0,45	0,40
Δάπεδα σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (πιλοτές)	U _{FA}	0,50	0,45	0,40	0,35
Εξωτερικοί τοίχοι σε επαφή με μη θερμαινόμενους χώρους	U _{TU}	1,50	1,00	0,80	0,70
Εξωτερικοί τοίχοι σε επαφή με το έδαφος	U _{TB}	1,50	1,00	0,80	0,70
Δάπεδα σε επαφή με κλειστούς μη θερμαινόμενους χώρους	U _{FU}	1,20	0,90	0,75	0,70
Δάπεδα σε επαφή με το έδαφος	U _{FB}	1,20	0,90	0,75	0,70
Κουφώματα ανοιγμάτων	U _W	3,20	3,00	2,80	2,60
Γυάλινες προσόψεις κτηρίων μη ανοιγόμενες ή μερικώς ανοιγόμενες	U _{GF}	2,20	2,00	1,80	1,80

Πίνακας 3.2: Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας διαφόρων δομικών στοιχείων ανά κλιματική ζώνη, πηγή: [ΤΕΕ, 2017β].

3.3.2.1 Αδιαφανή στοιχεία

Σύμφωνα με την ΤΟΤΕΕ 20701-2/2017 ο συντελεστής θερμοπερατότητας αδιαφανών δομικών στοιχείων ορίζεται από το αντίστροφο άθροισμα των θερμικών αντιστάσεων που προβάλλουν οι στρώσεις υλικών του δομικού στοιχείου στην κάθετη προς αυτό ροή θερμότητας και των αντιστάσεων θερμικής μετάβασης που προβάλλουν οι στρώσεις αέρα εκατέρωθεν του. Η γενική σχέση υπολογισμού είναι η εξής:

$$U = \frac{1}{R_1 + \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\lambda_j} + R_\delta + R_\alpha}, \quad [W/(m^2 \cdot K)] \quad (3.1)$$

Όπου:

n: το πλήθος στρώσεων του δομικού στοιχείου

d: το πάχος κάθε στρώσης του δομικού στοιχείου, [m]

λ: ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας κάθε στρώσης του δομικού στοιχείου, [W/(m·K)]

R_i: η αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στη μετάδοση θερμότητας από τον εσωτερικό χώρο προς το δομικό στοιχείο, [(m²·K)/W]

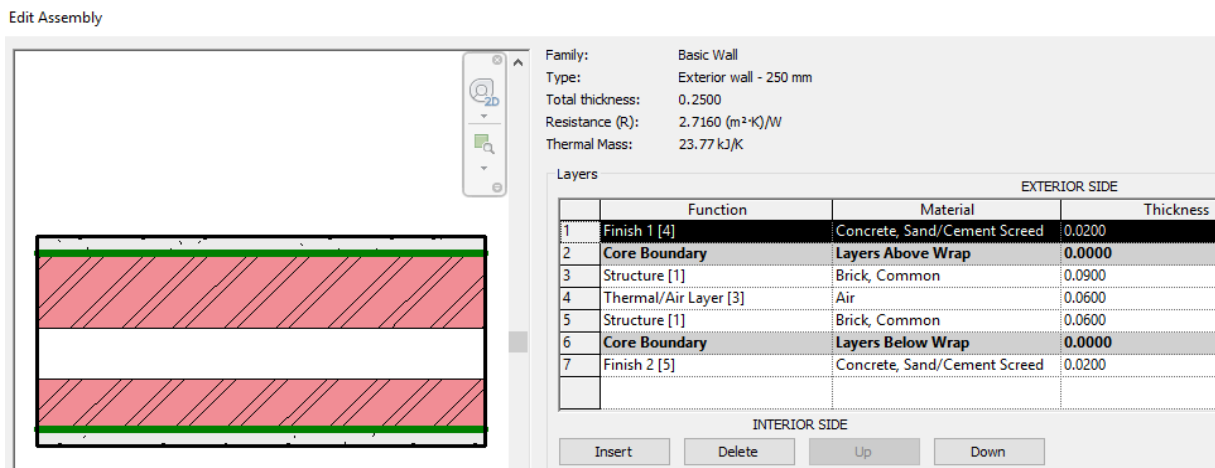
R_a: η αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στη μετάδοση θερμότητας από το δομικό στοιχείο προς το εξωτερικό περιβάλλον, [(m²·K)/W]

R_δ: η θερμική αντίσταση σε περίπτωση ύπαρξης κλειστού διάκενου αέρα ανάμεσα στις στρώσεις του δομικού στοιχείου, [(m²·K)/W]

Αρχικά γίνεται εισαγωγή των γεωμετρικών χαρακτηριστικών και των υλικών κάθε στρώσης των αδιαφανών δομικών στοιχείων στην προσομοίωση του επιμελητηρίου στο Revit. Το λογισμικό έχοντας αυτά ως δεδομένα και γνωρίζοντας τους συντελεστές θερμικής αγωγιμότητας κάθε υλικού έχει τη δυνατότητα να εξάγει ως αποτέλεσμα τους συντελεστές θερμοπερατότητας.

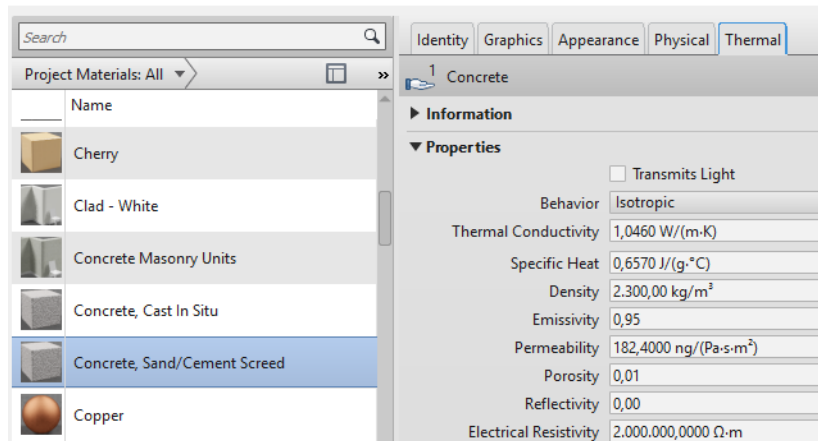
Ακολουθούν οι συντελεστές θερμοπερατότητας που υπολογίστηκαν αυτομάτως στο Revit ανά κατηγορία.

- Εξωτερική τοιχοποιία συνολικού πάχους 0,25 m



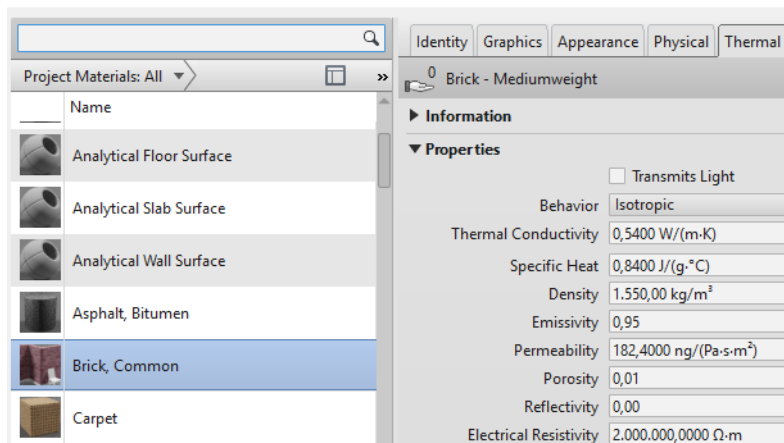
Εικόνα 3.2: Η δομή του εξωτερικού τοίχου πάχους 0,25 m

Material Browser - Concrete, Sand/Cement Screed



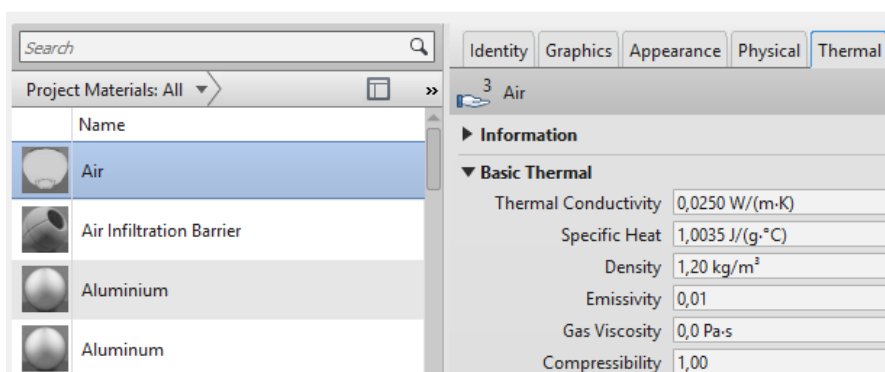
Εικόνα 3.3: Οι θερμικές ιδιότητες του τσιμεντοκονιόματος

Material Browser - Brick, Common



Εικόνα 3.4: Οι θερμικές ιδιότητες του οπτόπλινθου-τούβλου

Material Browser - Air



Εικόνα 3.5: Οι θερμικές ιδιότητες του αέρα που υπάρχει στο διάκενο

Parameter	Value
Construction	
Structure	Edit...
Wrapping at Inserts	Do not wrap
Wrapping at Ends	None
Width	0.2500
Function	Exterior
Graphics	
Coarse Scale Fill Pattern	
Coarse Scale Fill Color	Black
Materials and Finishes	
Structural Material	Brick, Common
Analytical Properties	
Heat Transfer Coefficient (U)	0.3682 W/(m ² ·K)
Thermal Resistance (R)	2.7160 (m ² ·K)/W
Thermal mass	23.77 kJ/K
Absorptance	0.700000
Roughness	3

Εικόνα 3.6: Ο συντελεστής θερμοπερατότητας των εξωτερικών τοίχων πάχους 0,25 m

Σύμφωνα με τον Πίνακα 3.2, η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητας για εξωτερικό τοίχο σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα και για κλιματική ζώνη Δ είναι ίση με 0,4 W/(m²·K). Εφόσον $U_{\text{εξ.τοίχου}} = 0,368 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K}) < U_{\text{εξ.τοίχου,max}} = 0,4 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$, οι εξωτερικοί τοίχοι πάχους 0,25 m κρίνονται επαρκείς και πληρούν τους περιορισμούς θερμομόνωσης.

- Εξωτερική τοιχοποιία συνολικού πάχους 0,2 m

Edit Assembly

EXTERIOR SIDE			
	Function	Material	Thickness
1	Finish 1 [4]	Concrete, Sand/Cement Screed	0.0200
2	Core Boundary	Layers Above Wrap	0.0000
3	Structure [1]	Brick, Common	0.0600
4	Thermal/Air Layer [3]	Air	0.0500
5	Structure [1]	Brick, Common	0.0600
6	Core Boundary	Layers Below Wrap	0.0000
7	Finish 2 [5]	Concrete, Sand/Cement Screed	0.0100

INTERIOR SIDE

Insert Delete Up Down

Εικόνα 3.7: Η δομή του εξωτερικού τοίχου πάχους 0,2 m

Parameter	Value	=
Construction ^		
Structure	Edit...	
Wrapping at Inserts	Do not wrap	
Wrapping at Ends	None	
Width	0.2000	
Function	Exterior	
Graphics ^		
Coarse Scale Fill Pattern		
Coarse Scale Fill Color	Black	
Materials and Finishes ^		
Structural Material	Brick, Common	
Analytical Properties ^		
Heat Transfer Coefficient (U)	0.4443 W/(m ² ·K)	
Thermal Resistance (R)	2.2509 (m ² ·K)/W	
Thermal mass	18.73 kJ/K	
Absorptance	0.700000	
Roughness	3	

Εικόνα 3.8: Ο συντελεστής θερμοπερατότητας των εξωτερικών τοίχων πάχους 0,2 m

Ο συγκεκριμένος εξωτερικός τοίχος έχει ελάχιστα μεγαλύτερο συντελεστή θερμοπερατότητας από τον επιτρεπτό $U_{\text{εξ.τοίχου,max}} = 0,4 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$.

- Δάπεδο σε επαφή με το έδαφος

Edit Assembly

Function	Material	Thickness
1 Finish 1 [4]	Ceramic Tile	0.0050
2 Core Boundary	Layers Above Wrap	0.0000
3 Structure [1]	Concrete, Sand/Cement Screed	0.0500
4 Structure [1]	Concrete Masonry Units	0.0750
5 Structure [1]	Structure, Steel Bar Joist Layer	0.0750
6 Core Boundary	Layers Below Wrap	0.0000

Family: Floor
Type: Beam and Block 205mm
Total thickness: 0.2050 (Default)
Resistance (R): 3.1097 (m²·K)/W
Thermal Mass: 18.35 kJ/K

Buttons: Insert, Delete, Up, Down

Εικόνα 3.9: Η δομή του δαπέδου

Material Browser - Concrete, Sand/Cement Screed

The screenshot shows the Material Browser interface with the 'Concrete, Sand/Cement Screed' material selected. The 'Thermal' tab is active, displaying the following properties:

Property	Value
Behavior	Isotropic
Thermal Conductivity	1,0460 W/(m·K)
Specific Heat	0,6570 J/(g·°C)
Density	2,300,00 kg/m ³
Emissivity	0,95
Permeability	182,4000 ng/(Pa·s·m ²)
Porosity	0,01
Reflectivity	0,00
Electrical Resistivity	2.000.000,0000 Ω·m

Εικόνα 3.10: Οι θερμικές ιδιότητες του τσιμεντοκονιόματος

Material Browser - Concrete Masonry Units

The screenshot shows the Material Browser interface with the 'Concrete Masonry Units' material selected. The 'Thermal' tab is active, displaying the following properties:

Property	Value
Behavior	Isotropic
Thermal Conductivity	1,3000 W/(m·K)
Specific Heat	0,8400 J/(g·°C)
Density	1.800,00 kg/m ³
Emissivity	0,95
Permeability	0,0000 ng/(Pa·s·m ²)
Porosity	0,01
Reflectivity	0,00
Electrical Resistivity	2.000.000,0000 Ω·m

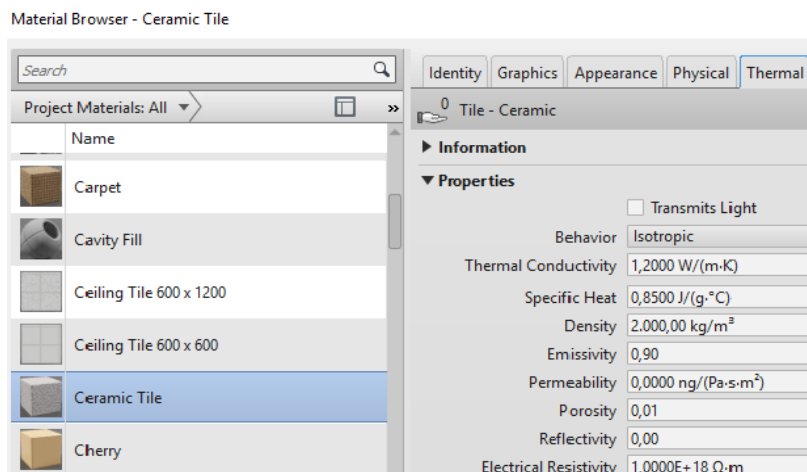
Εικόνα 3.11: Οι θερμικές ιδιότητες του σκυροδέματος

Material Browser - Structure, Steel Bar Joist Layer

The screenshot shows the Material Browser interface with the 'Structure, Steel Bar Joist Layer' material selected. The 'Thermal' tab is active, displaying the following properties:

Property	Value
Thermal Conductivity	0,0250 W/(m·K)
Specific Heat	1,0035 J/(g·°C)
Density	1,20 kg/m ³
Emissivity	0,01
Gas Viscosity	0,0 Pa·s
Compressibility	1,00

Εικόνα 3.12: Οι θερμικές ιδιότητες της χαλύβδινης δοκού



Εικόνα 3.13: Οι θερμικές ιδιότητες του κεραμικού πλακιδίου

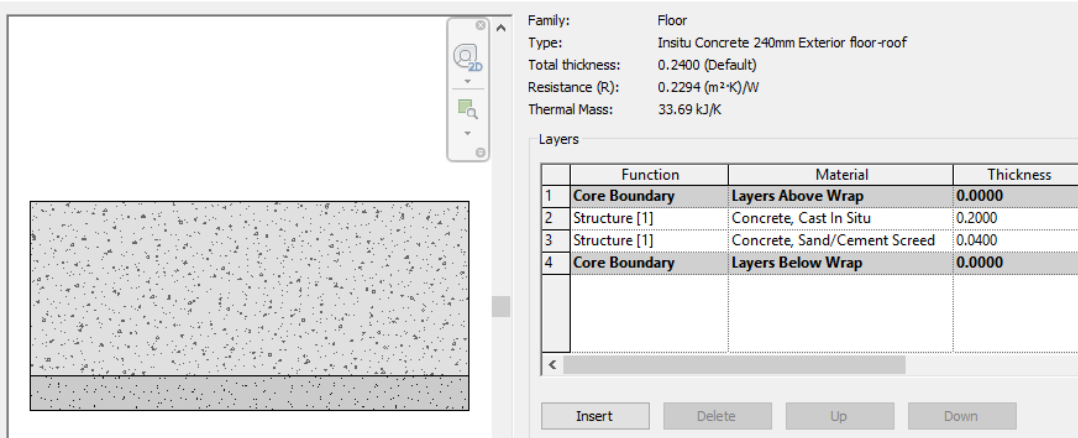
Parameter	Value
Construction	
Structure	Edit...
Default Thickness	0.2050
Function	Exterior
Graphics	
Coarse Scale Fill Pattern	
Coarse Scale Fill Color	Black
Materials and Finishes	
Structural Material	Concrete Masonry Units
Analytical Properties	
Heat Transfer Coefficient (U)	0.3216 W/(m²·K)
Thermal Resistance (R)	3.1097 (m²·K)/W
Thermal mass	18.35 kJ/K
Absorptance	0.700000
Roughness	3

Εικόνα 3.14: Ο συντελεστής θερμοπερατότητας του δαπέδου σε επαφή με το έδαφος

Η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητας για δάπεδο σε επαφή με το έδαφος και για κλιματική ζώνη Δ σύμφωνα με τον Πίνακα 3.2 είναι ίση με $U_{\text{δαπέδου,max}} = 0,7 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$. Παρατηρείται ότι $U_{\text{δαπέδου}} = 0,322 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K}) < U_{\text{δαπέδου,max}} = 0,7 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$, επομένως το δάπεδο κρίνεται επαρκές θερμομονωτικά.

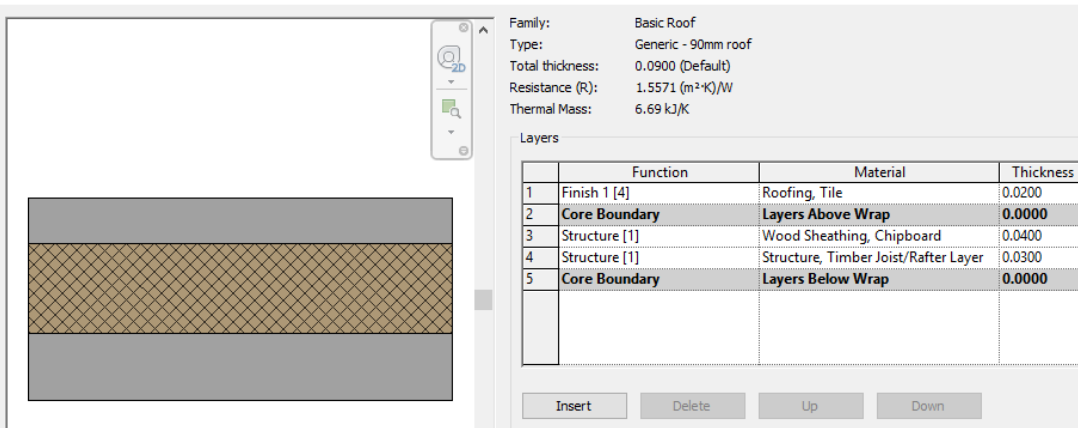
- Οροφή

Edit Assembly



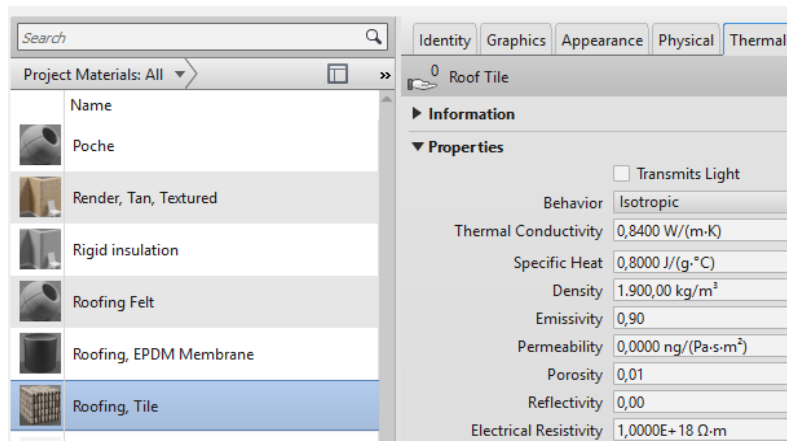
Εικόνα 3.15: Η δομή του δώματος του δεύτερου ορόφου

Edit Assembly



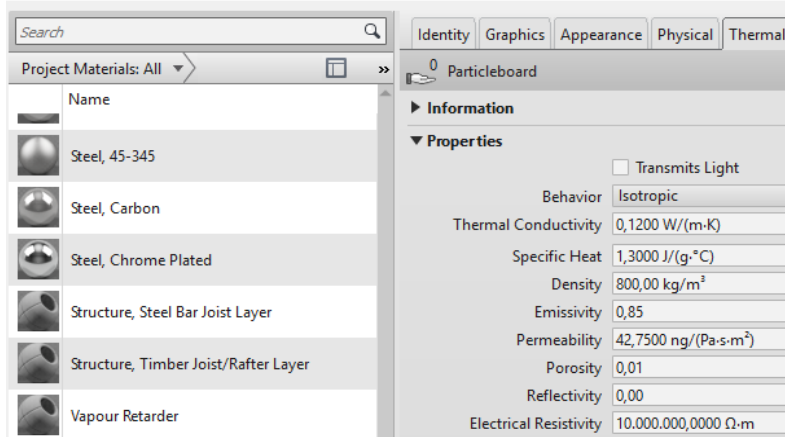
Εικόνα 3.16: Η δομή της κεραμοσκεπής

Material Browser - Roofing, Tile



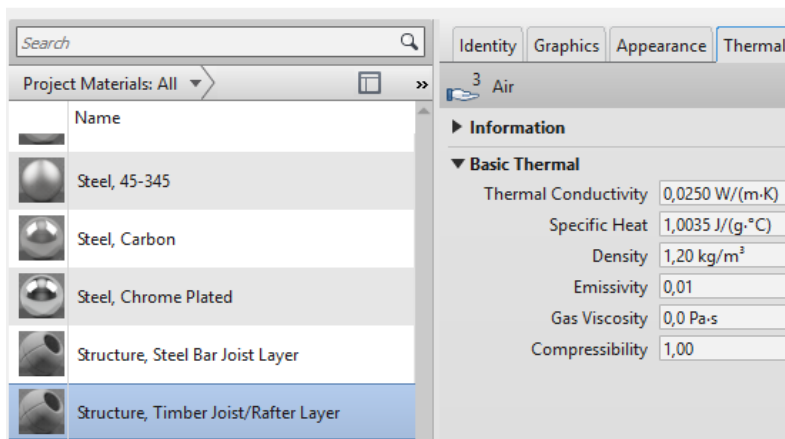
Εικόνα 3.17: Οι θερμικές ιδιότητες του κεραμικού πλακιδίου της σκεπής

Material Browser - Wood Sheathing, Chipboard



Εικόνα 3.18: Οι θερμικές ιδιότητες του ξύλινου σκελετού της σκεπής

Material Browser - Structure, Timber Joist/Rafter Layer



Εικόνα 3.19: Οι θερμικές ιδιότητες του ξύλινου σκελετού της σκεπής

Parameter	Value	=
Construction ⤴		
Structure	Edit...	
Default Thickness	0.0900	
Graphics ⤴		
Coarse Scale Fill Pattern		
Coarse Scale Fill Color	Black	
Analytical Properties ⤴		
Heat Transfer Coefficient (U)	0.6422 W/(m²·K)	
Thermal Resistance (R)	1.5571 (m²·K)/W	
Thermal mass	6.69 kJ/K	
Absorptance	0.700000	
Roughness	3	

Εικόνα 3.20: Ο συντελεστής θερμοπερατότητας της οροφής

Όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.2, ο μέγιστος συντελεστής θερμοπερατότητας για οροφή σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα και σε κλιματική ζώνη Δ είναι ίσος με $U_{\text{οροφής,max}} = 0,35 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$. Έτσι αποδεικνύεται πως η υφιστάμενη οροφή του κτηρίου είναι μη επαρκής και θα χρειαστεί κάποια παρέμβαση θερμομόνωσης. Ακόμη κι αν ο συντελεστής θερμοπερατότητας της οροφής προκύψει από το αντίστροφο άθροισμα των θερμικών αντιστάσεων του δώματος και της σκεπής (θεωρώντας αυτά στρώσεις υλικών της οροφής), εξακολουθεί να μην πληρούται ο θερμομονωτικός περιορισμός εφόσον υπολογίζεται ότι

$$U_{\text{οροφής}} = \frac{1}{R_{\text{δώματος}} + R_{\text{σκεπής}}} = \frac{1}{0,229 + 1,557} \Rightarrow U_{\text{οροφής}} = 0,56 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K}).$$

3.3.2.2 Διαφανή στοιχεία

Τα διαφανή δομικά στοιχεία ενός κτηρίου αποτελούν τα κουφώματα του, δηλαδή οι πόρτες και τα παράθυρα. Σύμφωνα με την ΤΟΤΕΕ 20701-2/2017 (ΤΕΕ, 2017β), ο συντελεστής θερμοπερατότητας του κουφώματος ορίζεται ως το άθροισμα των συντελεστών θερμοπερατότητας του πλαισίου και του υαλοπίνακα κατά την ποσοστιαία αναλογία εμβαδού κάθε υλικού που απαρτίζει το κούφωμα. Επίσης λαμβάνονται υπόψη οι γραμμικές θερμογέφυρες που αναπτύσσονται περιμετρικά του υαλοπίνακα κατά τη συναρμογή του με το κούφωμα. Η σχέση υπολογισμού του συντελεστή θερμοπερατότητας όλου του κουφώματος είναι η εξής:

$$U_{\text{W}} = \frac{A_{\text{f}} \cdot U_{\text{f}} + A_{\text{g}} \cdot U_{\text{g}} + I_{\text{g}} \cdot \Psi_{\text{g}}}{A_{\text{g}} + A_{\text{f}}}, \quad [\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})] \quad (3.2)$$

Όπου:

U_{f} : ο συντελεστής θερμοπερατότητας του πλαισίου του κουφώματος, $[\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})]$

U_{g} : ο συντελεστής θερμοπερατότητας του υαλοπίνακα του κουφώματος (μονού, διπλού ή περισσότερων φύλλων), $[\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})]$

A_{f} : το εμβαδό επιφάνειας του πλαισίου του κουφώματος, $[\text{m}^2]$

A_{g} : το εμβαδό επιφάνειας του υαλοπίνακα του κουφώματος, $[\text{m}^2]$

I_g : το μήκος της θερμογέφυρας του υαλοπίνακα του κουφώματος (δηλαδή η περίμετρος του υαλοπίνακα), [m]

Ψ_g : ο συντελεστής γραμμικής θερμοπερατότητας του υαλοπίνακα του κουφώματος, [W/(m·K)]

Ακολουθούν οι συντελεστές θερμοπερατότητας των κουφωμάτων που προκύπτουν έπειτα την προσομοίωση του επιμελητηρίου στο λογισμικό Revit. Σύμφωνα με τον Πίνακα 3.2, η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητας για κλιματική ζώνη Δ και για κουφώματα ανοιγμάτων είναι ίση με $U_{\text{κουφωμάτων,max}} = 2,6 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$.

Type Parameters	
Parameter	Value
Construction	
Function	Exterior
Wall Closure	By host
Construction Type	
Materials and Finishes	
Door Material	Door - Panel
Frame Material	Door - Frame
Dimensions	
Analytical Properties	
Visual Light Transmittance	0.000000
Thermal Resistance (R)	0.4557 (m ² ·K)/W
Solar Heat Gain Coefficient	0.000000
Heat Transfer Coefficient (U)	2.1944 W/(m ² ·K)
Analytic Construction	Wooden

Εικόνα 3.21: Ο συντελεστής θερμοπερατότητας των εξωτερικών πορτών

Type Parameters	
Parameter	Value
Materials and Finishes	
Frame Exterior Material	Clad - White
Frame Interior Material	Wood - Stained
Glass Pane Material	Glass
Sash	Sash
Dimensions	
Analytical Properties	
Visual Light Transmittance	0.900000
Thermal Resistance (R)	0.1743 (m ² ·K)/W
Solar Heat Gain Coefficient	0.860000
Heat Transfer Coefficient (U)	5.7361 W/(m ² ·K)
Analytic Construction	Single-glazed windows - domestic

Εικόνα 3.22: Ο συντελεστής θερμοπερατότητας των απλών παραθύρων

Type Parameters	
Parameter	Value
Muntin Pattern<Generic Models>	M_Muntin Pattern_2x2
Exterior Trim<Generic Models>	M_Trim-Window-Exterior-Flat : with Sill
Interior Trim<Generic Models>	M_Trim-Window-Interior-Flat : Picture Frame
Graphics	
Muntin Visibility	<input checked="" type="checkbox"/>
Materials and Finishes	
Exterior Frame Material	Clad - White
Interior Frame Material	Wood - Stained
Exterior Trim Material	Clad - White
Interior Trim Material	Wood - Stained
Glass Panel Material	Glass
Dimensions	
Analytical Properties	
Analytic Construction	Single-glazed windows - domestic
Visual Light Transmittance	0.900000
Solar Heat Gain Coefficient	0.860000
Thermal Resistance (R)	0.1743 (m ² ·K)/W
Heat Transfer Coefficient (U)	5.7361 W/(m ² ·K)

Εικόνα 3.23: Ο συντελεστής θερμοπερατότητας των δίφυλλων παραθύρων και μπαλκονόπορτων

Παρατηρείται ότι, $U_{εξ.πορτών} = 2,194 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K}) < U_{κουφομάτων,max} = 2,6 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ που σημαίνει πως οι εξωτερικές πόρτες πληρούν τον θερμομονωτικό περιορισμό του Κ.Εν.Α.Κ. Αντιθέτως τα παράθυρα δεν επαρκούν θερμομονωτικά, εφόσον $U_{παραθύρων} = 5,736 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K}) > U_{κουφομάτων,max} = 2,6 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ και η μελλοντική αντικατάστασή τους θα αποτελέσει αναγκαία παρέμβαση στο κέλυφος του κτηρίου με στόχο την ενεργειακή αναβάθμιση του.

3.3.2.3 Συγκεντρωτικά στοιχεία

Δομικό στοιχείο	U [W/(m ² ·K)]	U _{max} [W/(m ² ·K)]
Εξωτερική τοιχοποιία 0,25 m	0,37	0,4
Εξωτερική τοιχοποιία 0,2 m	0,44	0,4
Δάπεδο	0,32	0,7
Οροφή	0,64	0,35
Εξωτερικές πόρτες	2,19	2,6
Παράθυρα	5,74	2,6

Πίνακας 3.3: Συγκεντρωτικός και συγκριτικός πίνακας των συντελεστών θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων του κτηριακού κελύφους με τις θερμομονωτικές απαιτήσεις του Κ.Εν.Α.Κ

Η οροφή και τα παράθυρα κρίνονται ανεπαρκή θερμομονωτικά σύμφωνα με τον Πίνακα 3.3, για αυτό εκτιμάται αναγκαία η παρέμβαση στο κτηριακό κέλυφος με στόχο τη βελτίωση της θερμικής προστασίας αυτών των δομικών στοιχείων, κάτι το οποίο θα αναλυθεί σε επόμενο κεφάλαιο.

3.3.3 Έλεγχος θερμομονωτικής επάρκειας κτηρίου

Ο έλεγχος θερμομονωτικής επάρκειας καλείται να αποδείξει πόσο θερμικά προστατευμένο είναι το κτήριο που διερευνάται και πραγματοποιείται σε δύο στάδια. Πρώτα ελέγχεται η θερμομονωτική επάρκεια κάθε δομικού στοιχείου και αφού πληρούνται οι θερμομονωτικές απαιτήσεις του Πίνακα 3.2, σε δεύτερο στάδιο υπολογίζεται ο μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας του κτηρίου U_m και ελέγχεται η συμμόρφωση του ως προς τις μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές που ορίζει ο Κ.Εν.Α.Κ. ανά κλιματική ζώνη, οι οποίες παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.4 που ακολουθεί.

Λόγος A/V [m ⁻¹]	Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας U_m [W/(m ² ·K)]			
	Ζώνη Α	Ζώνη Β	Ζώνη Γ	Ζώνη Δ
≤ 0,2	1,26	1,14	1,05	0,96
0,3	1,20	1,09	1,00	0,92
0,4	1,15	1,03	0,95	0,87
0,5	1,09	0,98	0,90	0,83
0,6	1,03	0,93	0,86	0,78
0,7	0,98	0,88	0,81	0,73
0,8	0,92	0,83	0,76	0,69
0,9	0,86	0,78	0,71	0,64
≥ 1,0	0,81	0,73	0,66	0,60

Πίνακας 3.4: Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας ενός κτηρίου ανά κλιματική ζώνη συναρτήσει του λόγου της περιβάλλουσας επιφάνειας του κτηρίου προς τον όγκο του, πηγή: [ΤΕΕ, 2017β].

Σύμφωνα με την ΤΟΤΕΕ 20701-2/2017 (ΤΕΕ, 2017β), ο μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας όλου του κτηρίου προκύπτει από το άθροισμα των συντελεστών θερμοπερατότητας όλων των δομικών στοιχείων (αδιαφανών και μη) του περιβλήματος του θερμαινόμενου χώρου του κτηρίου κατά την ποσοστιαία αναλογία των αντίστοιχων εμβαδών τους. Επίσης λαμβάνονται υπόψη οι γραμμικές θερμογέφυρες που αναπτύσσονται στα δομικά στοιχεία, με ιδιαίτερη έμφαση στην περίμετρο αυτών. Η σχέση υπολογισμού του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας όλου του κτηρίου είναι η εξής:

$$U_m = \frac{\sum_{j=1}^n (A_j \cdot U_j \cdot b) + \sum_{i=1}^v (l_i \cdot \Psi_i \cdot b)}{\sum_{j=1}^n A_j}, \quad [W/(m^2 \cdot K)] \quad (3.3)$$

Όπου:

n: το πλήθος των επί μέρους δομικών στοιχείων του κελύφους του κτηρίου

A_j: το εμβαδό επιφάνειας που καταλαμβάνει κάθε δομικό στοιχείο στη συνολική επιφάνεια του κτηριακού κελύφους, [m²]

U_j: ο συντελεστής θερμοπερατότητας κάθε δομικού στοιχείου j, [W/(m²·K)]

v: το πλήθος των θερμογεφυρών που αναπτύσσονται στα εξωτερικά ή εσωτερικά όρια κάθε επιφάνειας A_j του κελύφους

l_i: το συνολικό μήκος κάθε θερμογέφυρας που αναπτύσσεται στο περίβλημα του κτηρίου, [m]

Ψ_i: ο συντελεστής γραμμικής θερμοπερατότητας κάθε θερμογέφυρας i, [W/(m·K)]

b: μειωτικός συντελεστής

Σημειώνεται ότι ο μειωτικός συντελεστής (b) για επιφάνειες σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα, σε επαφή με το έδαφος και για οριζόντια οροφή κάτω από μη θερμομονωμένη στέγη (δηλαδή συνθήκες που επικρατούν στα δομικά στοιχεία του κτηρίου που μελετάται) λαμβάνει τιμή ίση με 1.

Σύμφωνα με τα δεδομένα των δομικών στοιχείων που παρουσιάζονται στους παρακάτω συγκεντρωτικούς Πίνακες 3.5 – 3.8 και με έναν γρήγορο υπολογισμό χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι θερμογέφυρες, ο μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας του κτηρίου είναι ίσος με:

$$U_m = \frac{751,67 \frac{W}{K}}{1284,26 m^2} = 0,585 W/(m^2 \cdot K)$$

Επιπλέον ο λόγος του εμβαδού [A (m²)] όλων των εξωτερικών επιφανειών που διαμορφώνουν το κέλυφος του κτηρίου προς τον όγκο [V (m³)] του που περικλείεται από όλες αυτές τις επιφάνειες $\frac{A}{V}$ είναι ίσος με: $\frac{1284,26 m^2}{1024,096 m^3} = 1,25 m^{-1}$

Σύμφωνα με τον Πίνακα 3.4 και για κλιματική ζώνη Δ, η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας είναι ίση με U_{m,max} = 0,6 W/(m²·K). Το κτήριο κρίνεται στο σύνολο του ανεπαρκές θερμομονωτικά, καθώς ο μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας έχει οριακή τιμή σύμφωνα με τα επιτρεπτά όρια του Κ.Εν.Α.Κ, χωρίς να

συμπεριλαμβάνονται στους υπολογισμούς οι επιπλέον θερμικές απώλειες των θερμογεφυρών που παρουσιάζονται στα σύνορα που ενώνουν τα δομικά στοιχεία. Για αυτόν τον λόγο είναι σημαντική η επέμβαση στο κτηριακό κέλυφος και συγκεκριμένα στην οροφή και στα ανοίγματα του, εφόσον προσφέρουν ελλιπή θερμομόνωση στο κτήριο.

Όροφος	Όψη	Δομικό στοιχείο	U [W/m ² ·K]	A [m ²]	U*A [W/K]	ΣΑ [m ²]	Σ(U*A) [W/K]
Ισόγειο	Δ	Εξ. τοίχος (0,25 m)	0,37	33,56	12,36	280,7	103,35
	B	Εξ. τοίχος (0,25 m)	0,37	148,68	54,74		
	A	Εξ. τοίχος (0,25 m)	0,37	66,08	24,33		
	N	Εξ. τοίχος (0,25 m)	0,37	32,38	11,92		
1 ^{ος}	Δ	Εξ. τοίχος (0,25 m)	0,37	31,96	11,77	298,47	111,79
	B	Εξ. τοίχος (0,25 m)	0,37	150,49	55,41		
	A	Εξ. τοίχος (0,25 m)	0,37	66,08	24,33		
	N	Εξ. τοίχος (0,25 m)	0,37	24,99	9,2		
		Εξ. τοίχος (0,2 m)	0,44	24,95	11,08		
2 ^{ος}	Δ	Εξ. τοίχος (0,25 m)	0,37	47,78	17,59	308,1	113,44
	B	Εξ. τοίχος (0,25 m)	0,37	153,22	56,42		
	A	Εξ. τοίχος (0,25 m)	0,37	66,08	24,33		
	N	Εξ. τοίχος (0,25 m)	0,37	41,02	15,1		
Σύνολο:						887,27	328,58

Πίνακας 3.5: Συγκεντρωτικά στοιχεία για τα αδιαφανή κατακόρυφα στοιχεία

Δομικό στοιχείο	U [W/m ² ·K]	ΣΑ [m ²]	Σ(U*A) [W/K]
Δάπεδο	0,32	139,82	44,97
Οροφή	0,64	205,34	131,87
Σύνολο:		345,16	176,84

Πίνακας 3.6: Συγκεντρωτικά στοιχεία για τα αδιαφανή οριζόντια στοιχεία

Όροφος	Όψη	Κουφώμα	Πλάτος [m]	Ύψος [m]	A [m ²]	U [W/m ² K]	U*A [W/K]	ΣΑ [m ²]	Σ(U*A) [W/K]
Ισόγειο	Δ	Παράθυρο	1,1	1,35	1,48	5,74	8,52	11,81	59,94
	B	Απλό παράθυρο	1	0,9	0,9	5,74	5,16		
	A	Παράθυρο	1	1,35	1,35	5,74	7,74		
	N	Παράθυρο	1,45	1,35	1,96	5,74	11,23		
		Παράθυρο	1,45	1,35	1,96	5,74	11,23		
		Παράθυρο	1,45	1,35	1,96	5,74	11,23		
	Εξ.πόρτα	1	2,2	2,2	2,19	4,83			
1 ^{ος}	Δ	Παράθυρο	1,4	1,2	1,68	5,74	9,64	20,62	88,67
	B	Απλό παράθυρο	0,65	1,2	0,78	5,74	4,47		
		Απλό παράθυρο	0,45	1,2	0,54	5,74	3,1		
		Απλό παράθυρο	0,9	1,2	1,08	5,74	6,2		
		Εξ.πόρτα	0,8	2,2	1,76	2,19	3,86		
	A	Απλό παράθυρο	1,5	1,2	1,8	5,74	10,32		
	N	Μπαλκονόπορτα	1,45	2,2	3,19	5,74	18,3		
		Μπαλκονόπορτα	1,45	2,2	3,19	5,74	18,3		
		Εξ.πόρτα	0,8	2,2	1,76	2,19	3,86		
		Εξ.πόρτα	1,1	2,2	2,42	2,19	5,31		
	Εξ.πόρτα	1,1	2,2	2,42	2,19	5,31			
2 ^{ος}	B	Απλό παράθυρο	0,65	0,7	0,45	5,74	2,61	19,4	97,64
		Απλό παράθυρο	0,45	0,7	0,32	5,74	1,81		
		Απλό παράθυρο	0,9	1,2	1,08	5,74	6,19		
		Εξ.πόρτα	0,85	2,2	1,87	2,19	4,1		
	A	Απλό παράθυρο	0,9	1,2	1,08	5,74	6,19		
		Απλό παράθυρο	0,9	1,2	1,08	5,74	6,19		
		Εξ.πόρτα	0,9	2,2	1,98	2,19	4,35		
	N	Παράθυρο	1	1,2	1,2	5,74	6,88		
		Μπαλκονόπορτα	1,45	2,2	3,19	5,74	18,3		
		Μπαλκονόπορτα	1,4	2,2	3,08	5,74	17,67		
	Μπαλκονόπορτα	1,85	2,2	4,07	5,74	23,35			
Σύνολο:								51,83	246,25

Πίνακας 3.7: Συγκεντρωτικά στοιχεία κουφωμάτων ανά όροφο

Δομικά στοιχεία	ΣΑ [m ²]	Σb*(U*A) [W/K]
Κατακόρυφες αδιαφανείς επιφάνειες	887,27	328,58
Οριζόντιες αδιαφανείς επιφάνειες	345,16	176,84
Κουφώματα	51,83	246,25
Σύνολο	1284,26	751,67

Πίνακας 3.8: Συγκεντρωτικά στοιχεία των δομικών στοιχείων

3.4 Ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα

Η επιλογή του κατάλληλου ενεργειακού συστήματος βασίζεται κυρίως στα κλιματικά δεδομένα της τοποθεσίας του κτηρίου αλλά και τη χρήση του κτηρίου. Επίσης τα ενεργειακά συστήματα πρέπει να διαστασιολογούνται σωστά ώστε να καλύπτονται οι απαιτήσεις σε θέρμανση, ψύξη, ζεστό νερό χρήσης, φωτισμό και αερισμό.

Τα συστήματα θέρμανσης και ψύξης είναι υπεύθυνα για το μεγαλύτερο ποσοστό καταναλισκόμενης ενέργειας ενός κτηρίου για αυτόν τον λόγο είναι αναγκαία η διερεύνηση τους για το αν λειτουργούν αποδοτικά, αν είναι επαρκή να καλύψουν τις ανάγκες του κτηρίου και αν είναι φιλικά προς το περιβάλλον. Ένα κτήριο για να είναι ενεργειακά πιο αποδοτικό και πιο φιλικό προς το περιβάλλον, θα πρέπει να περιορίζει τη χρήση συμβατικών καυσίμων και κατά συνέπεια την πρωτογενή ενέργεια και τις εκπομπές CO₂, χρησιμοποιώντας εναλλακτικές ενεργειακές λύσεις όπως η χρήση συστημάτων ΑΠΕ.

Το κτήριο για το οποίο πραγματοποιείται η παρούσα μελέτη έχει κυρίως απαιτήσεις θέρμανσης αφού ανήκει στην ψυχρότερη κλιματική ζώνη της Ελλάδας (Κλιματική Ζώνη Δ). Τους χειμερινούς μήνες η πόλη της Κοζάνης έρχεται αντιμέτωπη με χαμηλές θερμοκρασίες και χιονοπτώσεις που επηρεάζουν τις εσωτερικές συνθήκες του κτηρίου. Για αυτό είναι σημαντική η θωράκιση του κτηριακού κελύφους θερμομονωτικά ώστε να μην υπάρχουν θερμοκρασιακές μεταβολές λόγω των εξωτερικών δυσμενών συνθηκών, καθώς και η χρήση κατάλληλου ενεργειακού συστήματος για την κάλυψη των φορτίων θέρμανσης.

Αντιθέτως το υπό μελέτη κτήριο έχει λιγότερες απαιτήσεις σε κάλυψη φορτίων ψύξης λόγω κλιματικής ζώνης καθώς και της σκίασης από γειτονικά κτήρια και ψηλά δέντρα που βρίσκονται στον προαύλιο χώρο. Επιπλέον, υπάρχει η δυνατότητα φυσικού αερισμού κάθε χώρου λόγω των αρκετών ανοιγμάτων που υπάρχουν σε όλες τις όψεις του κτηρίου.

Το ζεστό νερό χρήσης απαιτείται μόνο σε χώρους όπως οι κουζίνες και τα W.C του κτηρίου για αυτό και οι ανάγκες κάλυψης ZNX είναι ελάχιστες. Ο φωτισμός όμως είναι σημαντικός για ένα κτήριο που εξυπηρετεί ανάγκες γραφείου και θα πρέπει να είναι επαρκής σε χώρους κύριας χρήσης όπως τα γραφεία. Επομένως οι τεχνολογίες φωτισμού που χρησιμοποιούνται θα πρέπει να είναι εκσυγχρονισμένες, για την επίτευξη μεγαλύτερης διάρκειας ζωής των λαμπτήρων και εξοικονόμησης της ηλεκτρικής ενέργειας.

3.4.1 Συστήματα θέρμανσης

Αρχικά η κάλυψη των αναγκών θέρμανσης του κτηρίου πραγματοποιούνταν με χρήση λέβητα πετρελαίου, ο οποίος είναι εγκατεστημένος μέχρι και σήμερα στο υπόγειο λεβητοστάσιο. Η Κοζάνη όμως από το 1993 κι έπειτα απέκτησε το πλεονέκτημα παροχής θέρμανσης μέσω τηλεθέρμανσης. Το σύστημα τηλεθέρμανσης αξιοποιεί το θερμικό φορτίο των γειτονικών θερμοηλεκτρικών σταθμών της ΔΕΗ και με ειδικό δίκτυο μονωμένων αγωγών μεταφέρει το ζεστό νερό στους θερμικούς υποσταθμούς τηλεθέρμανσης κάθε κτηρίου. Επιπλέον στην εγκατάσταση της τηλεθέρμανσης είναι εφικτή η ταυτόχρονη παραγωγή ζεστού νερού χρήσης περιορίζοντας έτσι τη χρήση ηλεκτρικού θερμοσίφωνα.

Η σύνδεση του επιμελητηρίου Κοζάνης με το δίκτυο της τηλεθέρμανσης αποτελεί σημαντική ενεργειακή αναβάθμιση στο σύστημα θέρμανσης τόσο οικονομικά όσο και ενεργειακά. Πρώτα από όλα οι δυσμενείς καιρικές συνθήκες της περιοχής κυρίως τη χειμερινή περίοδο απαιτούν μεγάλα φορτία θέρμανσης κι αυτό οδηγεί σε τεράστιο κόστος λειτουργίας του κτηρίου. Παράλληλα, η συνεχής αύξηση της τιμής του πετρελαίου επιβαρύνει οικονομικά και δυσχεραίνει τη λειτουργία ενός τέτοιου συστήματος, περιορίζοντας ή στερώντας ακόμα και τη θερμική άνεση του κτηρίου. Από ενεργειακή σκοπιά περιορίζεται η χρήση συμβατικών καυσίμων και πρωτογενούς ενέργειας και φυσικά επιτυγχάνεται μείωση των εκπομπών CO₂.

Σύμφωνα με επίσημες πληροφορίες της δημοτικής επιχείρησης ύδρευσης-αποχέτευσης Κοζάνης (ΔΕΥΑΚ - Τηλεθέρμανση), στην πόλη της Κοζάνης είναι συνδεδεμένα 5.500 περίπου κτήρια και 28.000 διαμερίσματα με το δίκτυο της τηλεθέρμανσης το οποίο λειτουργεί αδιάκοπα και με απόλυτη επιτυχία μέχρι σήμερα. Η συμβολή της τηλεθέρμανσης στην αναβάθμιση και στην προστασία του φυσικού περιβάλλοντος της περιοχής όλα τα χρόνια λειτουργίας της, αποδεικνύεται από την κατάργηση περισσότερων από 5.000 καπνοδόχων, τη μείωση εκπομπών CO₂ κατά 760.000 tn και αιωρούμενων σωματιδίων κατά 70 tn καθώς και τη μείωση χρήσης πετρελαίου θέρμανσης κατά 587.000 m³. Επίσης έχει αποφέρει πολύ σημαντικά οικονομικά οφέλη εφόσον το κόστος τηλεθέρμανσης είναι κατά 25% τουλάχιστον μικρότερο από το κόστος του πετρελαίου θέρμανσης και παραμένει σταθερό παρά την ολοένα αυξανόμενη τιμή του πετρελαίου.

Τέλος, το σύστημα τηλεθέρμανσης παρέχει θέρμανση και ΖΝΧ στα κτήρια της πόλης συνήθως από αρχές Οκτώβρη έως τέλη Μαΐου, αναλόγως βέβαια και τα καιρικά φαινόμενα

που επικρατούν κάθε χρόνο. Έτσι καλύπτεται όλη η περίοδος θέρμανσης, όπου η TOTEE 20701-1/2017 (ΤΕΕ, 2017α) την ορίζει στο διάστημα 15/10-30/4 για κλιματική ζώνη Δ.

3.4.2 Σύστημα ψύξης, ZNX, φωτισμού και αερισμού

Η περίοδος ψύξης σύμφωνα με την TOTEE 20701-1/2017 (ΤΕΕ, 2017α) για κλιματική ζώνη Δ ορίζεται το διάστημα 1/6-31/8. Το κτήριο όπως έχει ήδη προαναφερθεί δεν έχει μεγάλες απαιτήσεις για κάλυψη φορτίων ψύξης, κάτι το οποίο θα επιβεβαιωθεί σε επόμενη ενότητα με την παράθεση των μετρήσεων των πειραματικών διατάξεων που τοποθετήθηκαν στο κτήριο κατά τη διάρκεια θερινής περιόδου. Επομένως υπάρχουν κάποιες κλιματιστικές μονάδες σε χώρους κύριας χρήσης όπως τα γραφεία χωρίς όμως να είναι απαραίτητη η καθημερινή χρήση τους. Αυτό εξαρτάται από τα καιρικά φαινόμενα και τις συνθηκών που επικρατούν στους εσωτερικούς χώρους. Ο φυσικός αερισμός συμβάλει θετικά στον φυσικό δροσισμό του κτηρίου και αντίστοιχα στη ψύξη του κτηριακού κελύφους.

Το ζεστό νερό χρήσης παρέχεται κυρίως από το δίκτυο της τηλεθέρμανσης, επειδή όμως δε λειτουργεί όλο το χρόνο υπάρχουν ηλεκτρικοί θερμοσίφωνες που λειτουργούν βοηθητικά στο κτήριο και βρίσκονται σε χώρους όπως οι κουζίνες και τα W.C.

Τέλος, ο φωτισμός των χώρων του κτηρίου παρέχεται από λάμπες φθορισμού.

3.5 Συνθήκες εσωτερικού χώρου

Ένα κτήριο είναι σημαντικό να διαθέτει συνθήκες άνεσης και να τις διατηρεί σταθερές ανεξάρτητα από τις συνθήκες που επικρατούν στο εξωτερικό περιβάλλον. Συνθήκες άνεσης χαρακτηρίζονται οι τιμές θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας που καλείται να έχει ένας εσωτερικός χώρος ανάλογα τη χρήση του και τη χρονική περίοδο (χειμερινή / θερινή), καθώς και ο επαρκής φωτισμός και αερισμός.

Σύμφωνα με την TOTEE 20701-1/2017 (TEE, 2017α) οι εσωτερικές συνθήκες που καλείται να έχει ένα κτήριο με γραφεία είναι οι εξής:

- Στάθμη φωτισμού: 500 lux

Χειμερινή περίοδος:

- Θερμοκρασία: 20 °C
- Σχετική υγρασία: 35%

Θερινή περίοδος:

- Θερμοκρασία: 26 °C
- Σχετική υγρασία: 45%

Για αυτόν τον λόγο, το κτηριακό κέλυφος και τα ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα αποτελούν καθοριστικούς παράγοντες στη διαμόρφωση και στη διατήρηση αυτών των συνθηκών.

Κατά την εκπόνηση της παρούσας μελέτης τοποθετήθηκαν πειραματικές διατάξεις σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους του επιμελητηρίου Κοζάνης ώστε να συλλεχθούν μετρήσεις θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας, στάθμης φωτισμού και συγκεντρώσεων διοξειδίου του άνθρακα (CO₂). Έτσι θα γίνει έλεγχος ύπαρξης ή μη συνθηκών άνεσης και θα εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με την επάρκεια του κτηριακού κελύφους και την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών από τον ήδη υπάρχοντα ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό.

3.5.1 Εγκατάσταση και λειτουργία μετρητικών οργάνων

Τα μετρητικά όργανα τοποθετήθηκαν τη χρονική περίοδο 18/6/18 - 25/6/18 σε χώρους κύριας χρήσης ώστε οι μετρήσεις να είναι αντιπροσωπευτικές με το ωράριο και τη λειτουργία των γραφείων του επιμελητηρίου Κοζάνης. Με αυτή την ενέργεια θα είναι πιο σωστή η σύγκριση των αποτελεσμάτων με τις συνθήκες που καλείται να έχει ένας εργασιακός χώρος γραφείου και θα είναι πιο ορθό το πόρισμα ύπαρξης ή μη συνθηκών άνεσης. Επίσης, επισημαίνεται ότι η τοποθέτηση τους έγινε σε σημεία που υπέδειξαν οι υπεύθυνοι του κτηρίου ώστε να μην εμποδίζουν τους χρήστες κατά τη διάρκεια εργασίας αλλά και να μην υπάρχουν μετακινήσεις στις πειραματικές διατάξεις, διασφαλίζοντας έτσι τις μετρήσεις τους.

Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 4 αισθητήρες HOBO για τη μέτρηση της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας του αέρα εσωτερικά και εξωτερικά του κτηρίου, εκ των οποίων οι 3 κατέγραφαν και τη στάθμη φωτισμού. Οι 2 αισθητήρες που τοποθετήθηκαν εντός του κτηρίου είχαν την επιπλέον δυνατότητα μέτρησης των συγκεντρώσεων διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) λόγω της επιπρόσθετης σύνδεσης συσκευής Telaire.



Εικόνα 3.24: Οι αισθητήρες HOBO και οι συσκευές TELAIRE

Οι παραπάνω διατάξεις πριν την τοποθέτηση τους στο κτήριο, είχαν προγραμματιστεί εργαστηριακά σχετικά με την περίοδο λήψης των δεδομένων και με τις μετρήσεις που θα λαμβάνει κάθε μετρητικό όργανο ανάλογα τη θέση του (εξωτερικά - εσωτερικά). Για την ακρίβεια ορίστηκε κάθε 10' λεπτά να γίνεται η καταγραφή των μετρήσεων στη μνήμη κάθε οργάνου, δηλαδή 6 μετρήσεις την ώρα.

Πιο αναλυτικά όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.9, ο αισθητήρας HOB0 D τοποθετήθηκε στον εξωτερικό χώρο του ισόγειου και συγκεκριμένα στην είσοδο του κτηρίου που βρίσκεται στη νότια όψη, καταγράφοντας τη θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία του εξωτερικού αέρα καθώς και τη φωτεινότητα. Σε εσωτερικό χώρο του ισόγειου τοποθετήθηκε ο αισθητήρας HOB0 E και η συσκευή TELAIRE B λαμβάνοντας μετρήσεις θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας, στάθμης φωτισμού και συγκεντρώσεων CO₂. Συγκεκριμένα τοποθετήθηκε στη βορειοανατολική όψη του γραφείου με τη μεγαλύτερη τετραγωνική επιφάνεια. Στη συνέχεια τοποθετήθηκαν μετρητικά όργανα στον πρώτο όροφο του κτηρίου εντός και εκτός αυτού. Ο αισθητήρας HOB0 C και η συσκευή TELAIRE C τοποθετήθηκαν εσωτερικά του γραφείου με τη μεγαλύτερη τετραγωνική επιφάνεια που βρίσκεται στην νοτιοανατολική όψη του κτηρίου καταγράφοντας μετρήσεις θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας, φωτεινότητας και συγκεντρώσεων CO₂. Ενώ ο αισθητήρας HOB0 2 τοποθετήθηκε εξωτερικά, στο μπαλκόνι του ίδιου γραφείου μετρώντας τη θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία.

Θέση		Μετρητικό όργανο		Μετρήσεις
		Τύπος	Κωδικός	
1^{ος} Όροφος (NA) Γραφείο	Εσωτερικά	Hobo	C	T – RH – Στάθμη φωτισμού
		Telaire	C	Συγκεντρώσεις CO ₂
	Εξωτερικά	Hobo	2	T – RH
Ισόγειο (BA) Γραφείο	Εσωτερικά	Hobo	E	T – RH – Στάθμη φωτισμού
		Telaire	B	Συγκεντρώσεις CO ₂
Ισόγειο (N) Είσοδος	Εξωτερικά	Hobo	D	T – RH – Στάθμη φωτισμού

Πίνακας 3.9: Περιγραφή των μετρητικών οργάνων και η θέση τους στο κτήριο

Να αναφερθεί πως για τη διασφάλιση της σωστής λειτουργίας των αισθητήρων που τοποθετήθηκαν εξωτερικά του κτηρίου, επιλέχτηκε κατάλληλη θέση ώστε να προστατεύονται από ακραία καιρικά φαινόμενα, όπως απρόοπτες μπόρες και βροχοπτώσεις που σημειώθηκαν αυτήν την περίοδο στην περιοχή της Κοζάνης.



Εικόνα 3.25: Ο αισθητήρας HOBO 2 εξωτερικά του πρώτου ορόφου

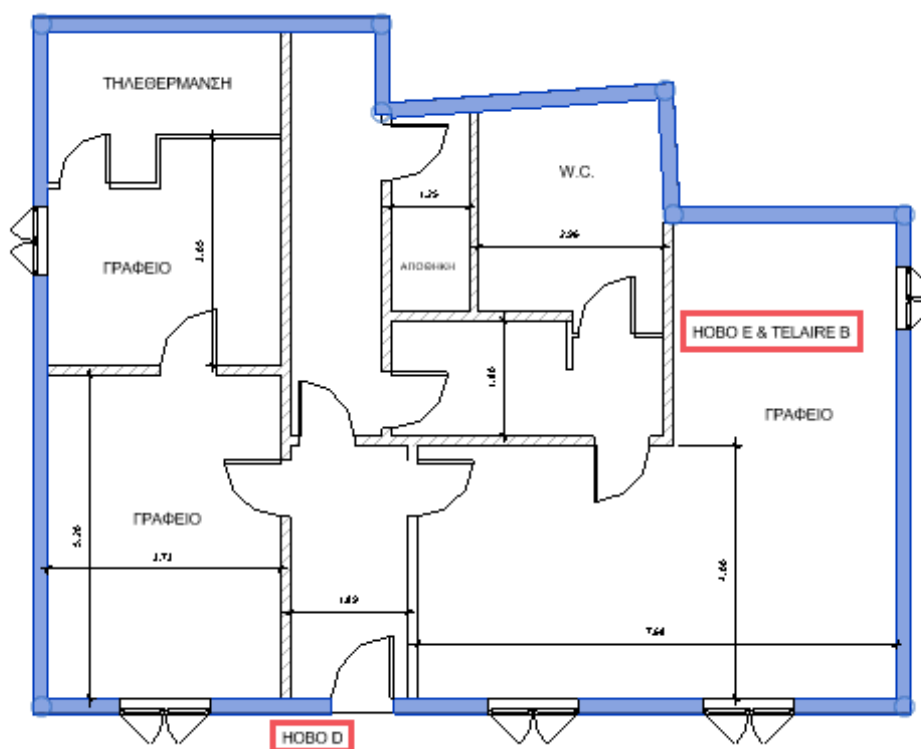


Εικόνα 3.26: Ο αισθητήρας HOBO C και η συσκευή TELLAIRE C εσωτερικά του πρώτου ορόφου

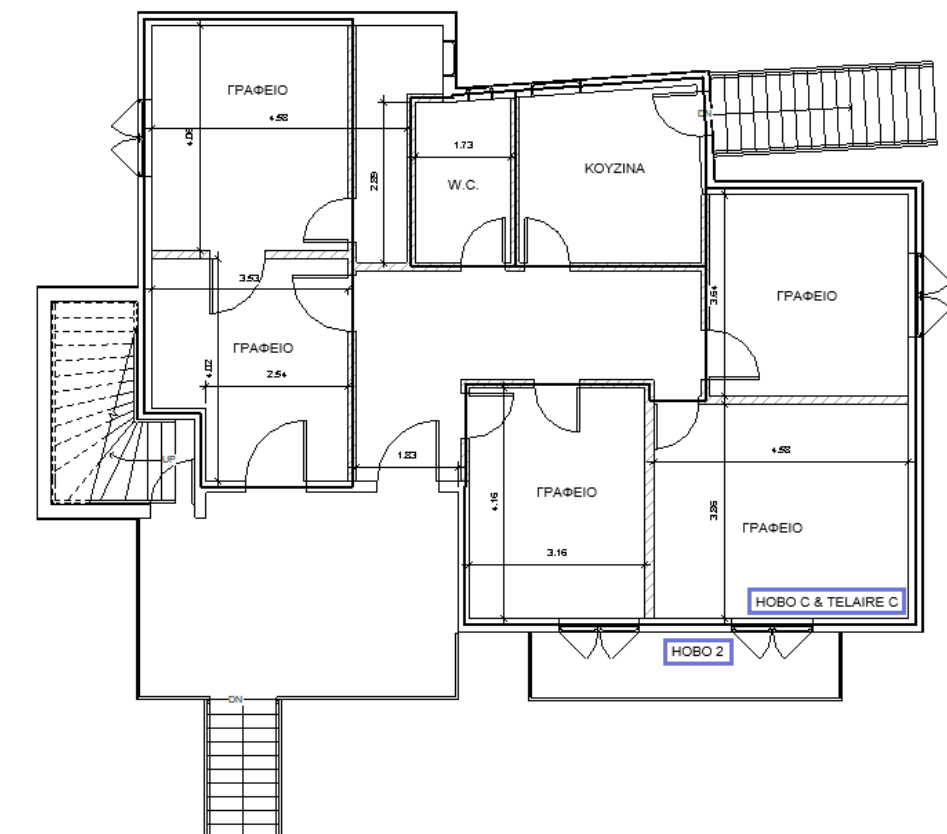


Εικόνα 3.27: Ο αισθητήρας HOBO D εξωτερικά του ισογείου

Ακολουθούν οι κατόψεις του ισογείου (Σχήμα 3.1) και του πρώτου ορόφου (Σχήμα 3.2) έπειτα από τη σχεδίαση τους στο λογισμικό Revit, με την ακριβή θέση των μετρητικών οργάνων για περαιτέρω κατανόηση της θέσης τους στους χώρους του κτηρίου.



Σχήμα 3.1: Η θέση των μετρητικών οργάνων εσωτερικά και εξωτερικά του ισογείου



Σχήμα 3.2: Η θέση των μετρητικών οργάνων εσωτερικά και εξωτερικά του πρώτου ορόφου

3.5.2 Αποτελέσματα των μετρητικών οργάνων

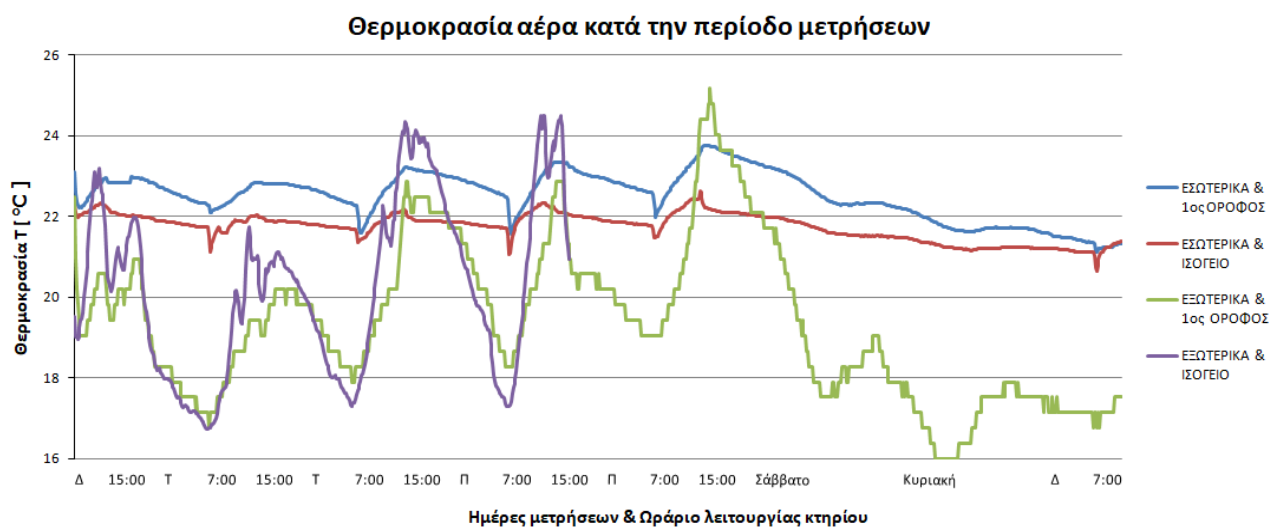
Ολοκληρώνοντας το απαραίτητο χρονικό διάστημα τοποθέτησης των πειραματικών διατάξεων για τη συλλογή των μετρήσεων, ακολουθεί η επεξεργασία αυτών των δεδομένων ώστε να γίνει εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την επάρκεια των ενεργειακών συστημάτων και την ύπαρξη ή μη συνθηκών άνεσης στους εσωτερικούς χώρους του κτηρίου. Πιο συγκεκριμένα, θα υπάρξει ανάλυση των τιμών θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας και συγκεντρώσεων CO₂ του εσωτερικού αέρα και των τιμών φωτεινότητας καθώς και σύγκριση με τις προτεινόμενες τιμές της τεχνικής οδηγίας. Επιπλέον από τις μετρήσεις των εξωτερικών συνθηκών, θα γίνει εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την επάρκεια του κτηριακού κελύφους και το πόσο επηρεάζουν τις εσωτερικές συνθήκες των χώρων, ενώ θα πραγματοποιηθεί και σύγκριση με τα κλιματικά δεδομένα που ορίζει ο Κ.Εν.Α.Κ για την πόλη της Κοζάνης. Για καλύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων θα υπάρξει οπτική απεικόνιση του μεγάλου πλήθους δεδομένων μέσω σχετικών γραφημάτων. Τέλος, στα σχήματα που θα ακολουθήσουν δίνεται έμφαση στο ωράριο λειτουργίας (Δευτέρα–Παρασκευή & 07:00–15:00)

ώστε να διερευνηθούν οι πιθανές μεταβολές που προκύπτουν στις τιμές των μετρήσεων κατά τη διάρκεια χρήσης του κτηρίου.

3.5.2.1 Θερμοκρασία αέρα

Στο παρακάτω Σχήμα 3.3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων θερμοκρασίας του εσωτερικού και εξωτερικού αέρα κατά την εβδομαδιαία λειτουργία του κτηρίου που προέκυψαν τη χρονική περίοδο 18/6/18 - 25/6/18 από τις τέσσερις διαφορετικές θέσεις των αισθητήρων HOBO.

Σημειώνεται πως για τον αισθητήρα HOBO D (με μωβ απόχρωση στα σχήματα που ακολουθούν) που τοποθετήθηκε εξωτερικά του ισογείου, την τέταρτη ημέρα των μετρήσεων σταμάτησε απρόσμενα η λειτουργία του. Παρά το γεγονός αυτό, λήφθηκαν υπόψη οι μετρήσεις του ώστε να υπάρξει σύγκριση με τον αισθητήρα HOBO 2 που τοποθετήθηκε εξωτερικά του πρώτου ορόφου.



Σχήμα 3.3: Αποτελέσματα των μετρήσεων της θερμοκρασίας του αέρα

(Hobo C - Hobo E - Hobo 2 - Hobo D)

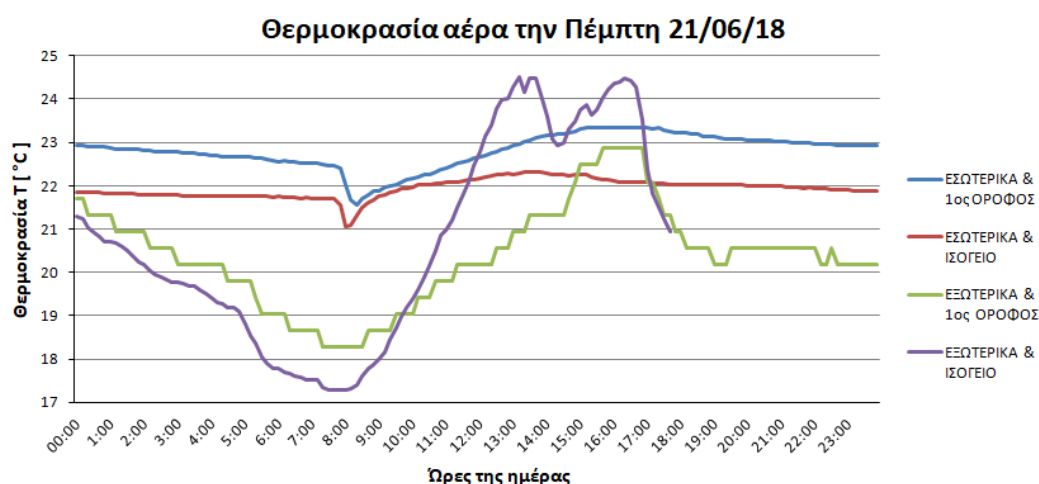
Αρχικά παρατηρείται διαφορά της τάξης του 1°C και ομοιογένεια στην τάση των εσωτερικών θερμοκρασιών του κτηρίου καθώς και των εξωτερικών θερμοκρασιών του περιβάλλοντος κατά την πάροδο του χρόνου. Σχετικά με τις τιμές, η θερμοκρασία στο χώρο είναι σχετικά χαμηλότερη από την υποδεικνυόμενη από τα πρότυπα, σε επίπεδα όμως συμβατά

με την ικανοποίηση θερμικής άνεσης για το ανθρώπινο σώμα. Πιο συγκεκριμένα, η μέση εσωτερική θερμοκρασία κυμαίνεται στους 22°C περίπου (σε εύρος τιμών 20,7-23,8°C) και η προτεινόμενη εσωτερική θερμοκρασία για θερινή περίοδο από την τεχνική οδηγία είναι 26°C.

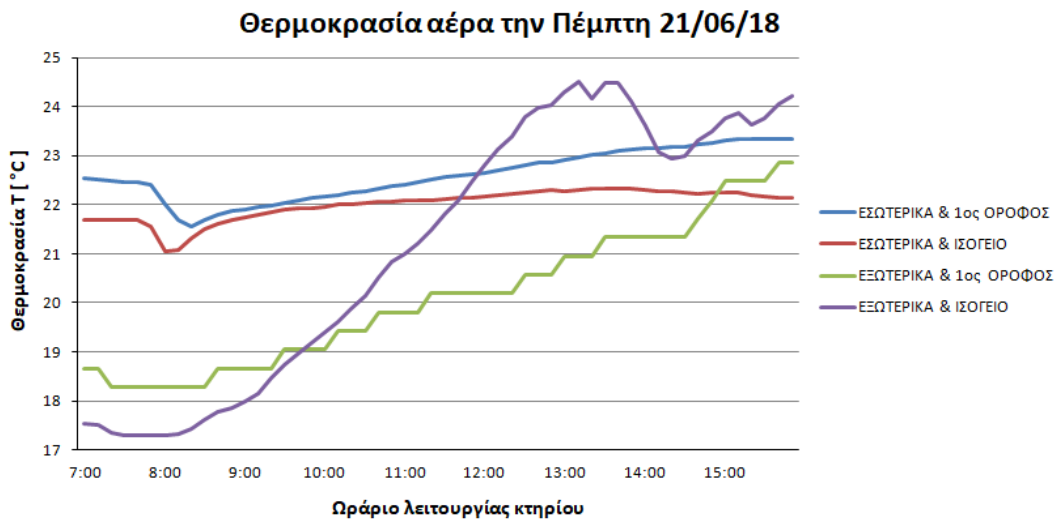
Οι υψηλότερες τιμές κατά τη διάρκεια της ημέρας και οι ελαφρώς χαμηλότερες τιμές κατά τη διάρκεια της νύχτας που παρατηρούνται μεταξύ του αισθητήρα HOBO D (μωβ απόχρωση) και του αισθητήρα HOBO 2 (πράσινη απόχρωση) οφείλονται κυρίως στη θέση τοποθέτησης του μετρητικού οργάνου. Ενώ και τα δύο τοποθετήθηκαν σε νότια όψη του κτηρίου, το HOBO D βρισκόταν στην είσοδο του ισογείου χωρίς κάποια σκίαση λαμβάνοντας μεγαλύτερα θερμικά φορτία και ήταν πιο εκτεθειμένο σε ανέμους με σύγκριση το HOBO 2 που βρισκόταν σε μπαλκόνι του πρώτου ορόφου υπό την επίδραση φυσικής σκίασης των ψηλών δέντρων που βρίσκονται στον προαύλιο χώρο του κτηρίου.

Επιπρόσθετα οι διαφορετικές εσωτερικές θερμοκρασίες μεταξύ ισογείου και πρώτου ορόφου παρατηρούνται κι αυτές λόγω θέσης του μετρητικού οργάνου. Το HOBO C τοποθετήθηκε στη νότια όψη του κτηρίου, δίπλα στην μπαλκονόπορτα του νοτιανατολικού γραφείου του πρώτου ορόφου, λαμβάνοντας μεγαλύτερα θερμικά φορτία λόγω του υαλοπίνακα του παραθύρου, ενώ το HOBO E τοποθετήθηκε στην βορειοανατολική όψη του κτηρίου, μακριά από ανοίγματα (πόρτες & παράθυρα) του ανατολικού γραφείου του ισογείου.

Οι μικρές διακυμάνσεις στις εσωτερικές θερμοκρασίες αέρα που παρουσιάζονται τις πρώτες πρωινές ώρες λειτουργίας του κτηρίου μπορούν να αναλυθούν καλύτερα απομονώνοντας γραφικά τις θερμοκρασιακές μετρήσεις για μια τυχαία ημέρα πχ. την Πέμπτη 21/06/18 και δίνοντας έμφαση στη συνέχεια στις ώρες λειτουργίας του κτηρίου (07:00-15:00).



Σχήμα 3.4: Αποτελέσματα των μετρήσεων της θερμοκρασίας του αέρα τυχαίας ημέρας (Hobo C - Hobo E - Hobo 2 - Hobo D)



Σχήμα 3.5: Αποτελέσματα των μετρήσεων της θερμοκρασίας του αέρα τυχαίας ημέρας κατά τη διάρκεια λειτουργίας του κτηρίου

(Hobo C - Hobo E - Hobo 2 - Hobo D)

Όπως παρατηρείται από τα παραπάνω Σχήματα 3.4 & 3.5, η εσωτερική θερμοκρασία μειώνεται αισθητά κατά την έναρξη λειτουργίας του κτηρίου κι αυτό οφείλεται στο άνοιγμα των παραθύρων για την ανανέωση των χώρων με φρέσκο αέρα (φυσικός αερισμός) προκαλώντας φυσικό δροσισμό λόγω των χαμηλότερων θερμοκρασιών του περιβάλλοντος. Στη συνέχεια, η εσωτερική θερμοκρασία αυξάνεται σταδιακά καθώς η άνοδος του ήλιου προκαλεί ολοένα και υψηλότερες εξωτερικές θερμοκρασίες. Αντίστοιχα η ομαλή μείωση της εσωτερικής θερμοκρασίας που παρατηρείται στο τέλος του ωραρίου λειτουργίας του κτηρίου οφείλεται στην καθοδική πορεία του ηλίου και στα γειτονικά κτήρια που επιφέρουν σκίαση, εμποδίζοντας την ηλιακή ακτινοβολία να φτάσει στα χαμηλότερα σημεία του κτηρίου. Αυτό αποδεικνύεται στα παραπάνω σχήματα καθώς πρώτα σημειώνεται σταδιακή πτώση της εσωτερικής θερμοκρασίας στο ισόγειο και έπειτα στον πρώτο όροφο.

Γενικά δεν παρουσιάζονται μεγάλες θερμοκρασιακές μεταβολές εσωτερικά του κτηρίου, αποδεικνύοντας ότι δεν υπάρχει σημαντική επιρροή από τις εξωτερικές συνθήκες που μεταβάλλονται συνεχώς κατά τη διάρκεια της ημέρας.

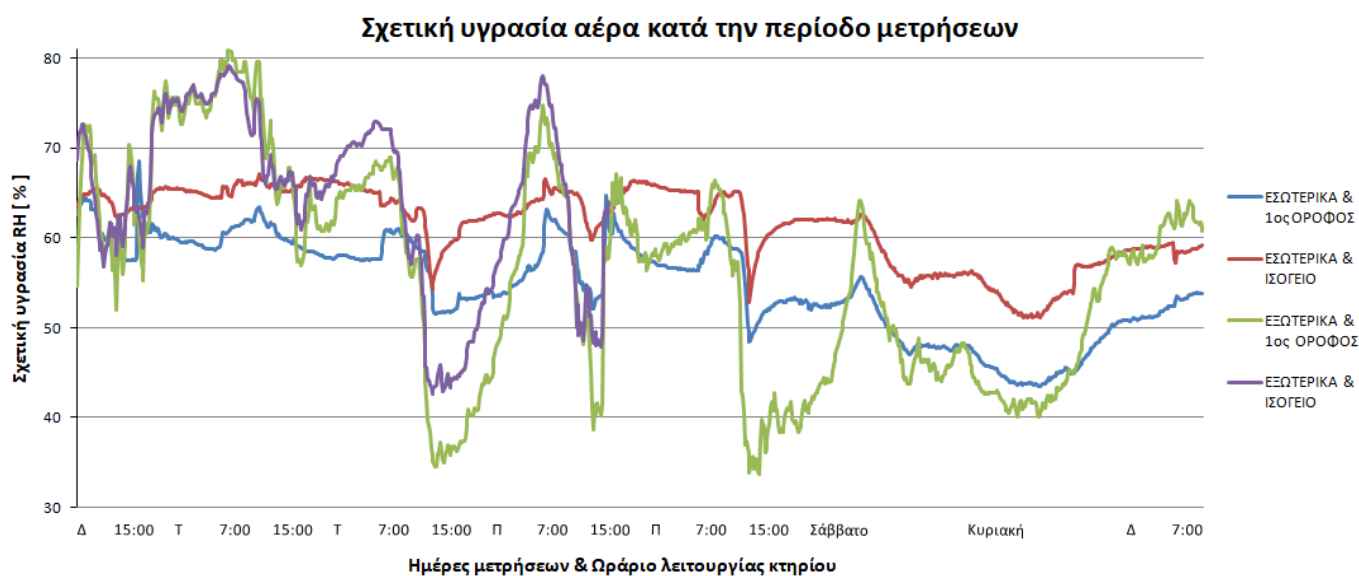
Τέλος, παρατηρούνται αποκλίσεις των πειραματικών μετρήσεων και των κλιματικών δεδομένων που ορίζει ο Κ.Εν.Α.Κ καθώς την περίοδο των μετρήσεων σημειώθηκαν τοπικές μπόρες και βροχοπτώσεις. Πιο συγκεκριμένα, η μέση εξωτερική θερμοκρασία εικοσιτετραώρου των μετρήσεων είναι ίση με 19,6°C αντί των 21,5°C που ορίζει η ΤΟΤΕΕ 20701-3/2010 (ΤΕΕ, 2010) για τον Ιούνιο μήνα και την πόλη της Κοζάνης. Η μέγιστη εξωτερική θερμοκρασία που μετρήθηκε την περίοδο αυτή είναι 25,2°C έναντι της μέσης

μέγιστης τιμής των 26,5°C που ορίζει η TOTEE 20701-3/2010 (TEE, 2010). Αντίστοιχα, η ελάχιστη εξωτερική θερμοκρασία που σημειώθηκε την περίοδο μετρήσεων είναι ίση με 16°C, ενώ η TOTEE 20701-3/2010 (TEE, 2010) ορίζει την τιμή των 13,2°C. Κάτι τέτοιο είναι αναμενόμενο, καθώς οι τιμές του Κ.Εν.Α.Κ αναφέρονται σε αντιπροσωπευτικό έτος, ενώ εδώ πρόκειται για πραγματικές μετρούμενες τιμές συγκεκριμένου έτους.

3.5.2.2 Σχετική υγρασία αέρα

Στο παρακάτω Σχήμα 3.6 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων σχετικής υγρασίας του εσωτερικού και εξωτερικού αέρα κατά την εβδομαδιαία λειτουργία του κτηρίου που προέκυψαν τη χρονική περίοδο 18/6/18 - 25/6/18 από τις τέσσερις διαφορετικές θέσεις των αισθητήρων HOBO.

Σημειώνεται πως για τον αισθητήρα HOBO D (με μωβ απόχρωση στα σχήματα που ακολουθούν) που τοποθετήθηκε εξωτερικά του ισόγειου, την τέταρτη ημέρα των μετρήσεων σταμάτησε απρόσμενα η λειτουργία του. Παρά το γεγονός αυτό, λήφθηκαν υπόψη οι μετρήσεις του ώστε να υπάρξει σύγκριση με τον αισθητήρα HOBO 2 που τοποθετήθηκε εξωτερικά του πρώτου ορόφου.

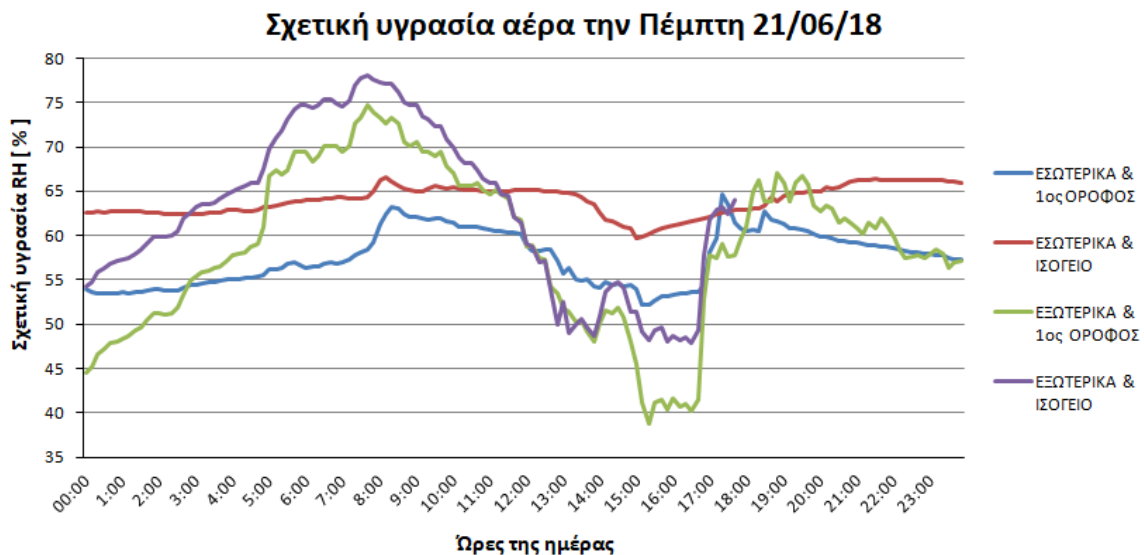


Σχήμα 3.6: Αποτελέσματα των μετρήσεων της σχετικής υγρασίας του αέρα
(Hobo C - Hobo E - Hobo 2 - Hobo D)

Αρχικά παρατηρείται ομοιομορφία στην τάση των εσωτερικών σχετικών υγρασιών του κτηρίου και των εξωτερικών σχετικών υγρασιών του περιβάλλοντος όλη την περίοδο των μετρήσεων. Όμως τα επίπεδα υγρασίας εντός του κτηρίου είναι αρκετά υψηλά σε σχέση με τα επιθυμητά ώστε να ικανοποιούνται οι συνθήκες άνεσης. Η μέση εσωτερική σχετική υγρασία των μετρήσεων είναι ίση με 58,1% (σε εύρος τιμών 43,4-68,6%) έναντι της συνιστώμενης τιμής της τεχνικής οδηγίας που ορίζεται στα 45% για θερινή περίοδο. Τα καιρικά φαινόμενα (μπόρες & βροχοπτώσεις) που σημειώθηκαν αυτή την περίοδο έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση αυτών των συνθηκών αφού και η μέση εξωτερική σχετική υγρασία των μετρήσεων είναι ίση με 59%, εμφανώς μεγαλύτερη από το 54,8% που προκύπτει από τα κλιματικά δεδομένα που ορίζει η TOTEE 20701-3/2010 (TEE, 2010) για τον Ιούνιο μήνα και την πόλη της Κοζάνης. Μια από τις αιτίες της ελαφρώς υψηλής υγρασίας είναι και το γεγονός ότι η θερμοκρασία είναι χαμηλότερη του σχετικού ορίου άνεσης, με αποτέλεσμα η σχετική υγρασία να είναι υψηλότερη, ενώ η ποσότητα του υδρατμού στον αέρα (ειδική υγρασία) να είναι αποδεκτή όπως θα αποδειχτεί στη συνέχεια. Σε κάθε περίπτωση, οι παρατηρούμενες τιμές θεωρούνται αποδεκτές σύμφωνα με την ASHRAE (ASHRAE, 2005).

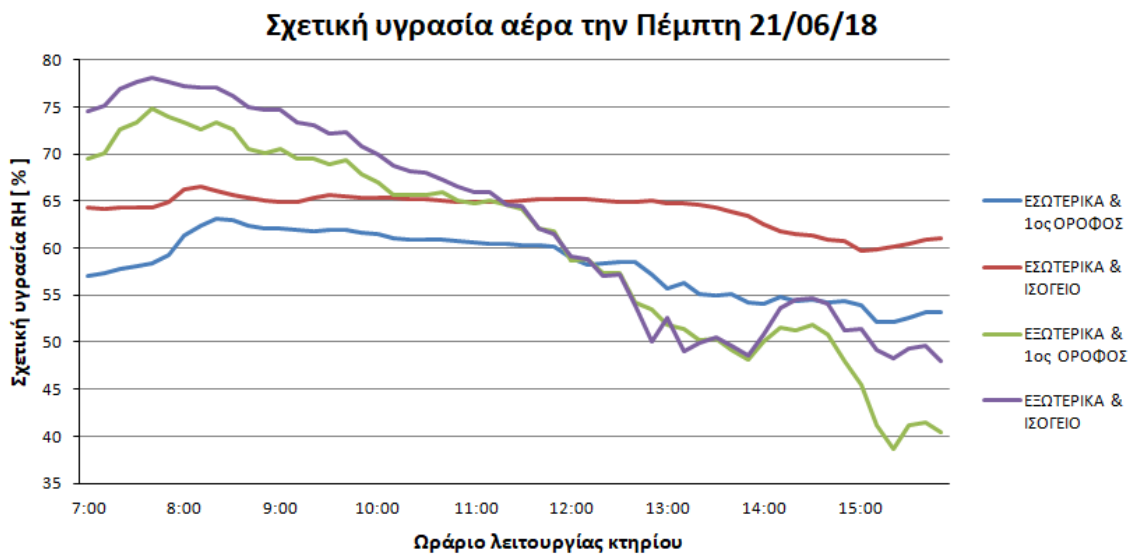
Ο αισθητήρας HOBO D που τοποθετήθηκε εξωτερικά του ισογείου κατέγραψε υψηλότερες τιμές υγρασίας από τον αισθητήρα HOBO 2 που τοποθετήθηκε εξωτερικά του πρώτου ορόφου κι αυτό δικαιολογείται από την θέση του, διότι ήταν πιο εκτεθειμένος στα καιρικά φαινόμενα. Εσωτερικά ο αισθητήρας HOBO C του πρώτου ορόφου που λάμβανε μεγαλύτερα θερμικά φορτία λόγω του υαλοπίνακα του παραθύρου κατέγραψε αναμενόμενα χαμηλότερες τιμές υγρασίας από τον αισθητήρα HOBO E του ισογείου. Επιπλέον, τα κουφώματα που παραμένουν ανοιχτά κατά τη διάρκεια του φυσικού αερισμού, αποτελούν σημαντικό παράγοντα σχετικά με την υγρασία που εισέρχεται εντός του κτηρίου.

Ακολουθούν σχηματικές απεικονίσεις με τις εικοσιτετράωρες μετρήσεις της τυχαίας ημέρας (Πέμπτη 21/06/18) καθώς και με τις μετρήσεις που σημειώθηκαν στο ωράριο λειτουργίας του κτηρίου ώστε να είναι πιο ευδιάκριτες οι διακυμάνσεις των τιμών.



Σχήμα 3.7: Αποτελέσματα των μετρήσεων της σχετικής υγρασίας του αέρα τυχαίας ημέρας

(Hobo C - Hobo E - Hobo 2 - Hobo D)



Σχήμα 3.8: Αποτελέσματα των μετρήσεων της σχετικής υγρασίας του αέρα τυχαίας ημέρας κατά τη διάρκεια λειτουργίας του κτηρίου

(Hobo C - Hobo E - Hobo 2 - Hobo D)

Όπως παρατηρείται από τα παραπάνω Σχήματα 3.7 & 3.8 κατά τη διάρκεια της ημέρας με την ηλιακή παρουσία μειώνεται η υγρασία του περιβάλλοντος σε αντίθεση με τις νυχτερινές ώρες που βρίσκεται σε υψηλά επίπεδα. Οι διακυμάνσεις της εσωτερικής σχετικής υγρασίας που σημειώνονται τις πρώτες πρωινές ώρες και προς το τέλος λειτουργίας του κτηρίου επιβεβαιώνουν το γεγονός των ανοιχτών παραθύρων κατά τη χρήση των γραφείων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να εισέρχεται η υγρασία του περιβάλλοντος και να επηρεάζει τις εσωτερικές

συνθήκες, μη ικανοποιώντας τις συνθήκες άνεσης. Τα καιρικά φαινόμενα όμως που σημειώθηκαν την περίοδο αυτή ήταν ακραία για θερινή περίοδο, επομένως επηρέασαν σημαντικά τα αποτελέσματα.

3.5.2.3 Ειδική υγρασία

Ειδική υγρασία (ή λόγος υγρότητας ή περιεχόμενο υγρασίας) ονομάζεται ο λόγος της μάζας των υδρατμών προς τη μάζα του ξηρού ατμοσφαιρικού αέρα στην οποία περιέχεται. Αποτελεί σημαντική παράμετρο, κυρίως όταν το κτήριο διαθέτει συστήματα κλιματισμού με διαχείριση αέρα και χρησιμοποιείται στους υπολογισμούς ενεργειακής απόδοσης του κτηρίου. Σύμφωνα με την ΤΟΤΕΕ 20701-3/2010 (ΤΕΕ, 2010), η ειδική υγρασία SH υπολογίζεται από τις παρακάτω εμπειρικές σχέσεις:

$$SH = \frac{MR}{1+MR}, \quad [\text{gr υδρατμών} / \text{gr ξηρού αέρα}] \quad (3.4)$$

$$MR = \frac{0,622 \cdot P_v}{P - P_v} \quad (3.5)$$

$$P_v = \frac{RH \cdot P_{sv}}{100} \quad (3.6)$$

$$P_{sv} = 6,11 \cdot 10^{7,5 \cdot \frac{T_a}{273,5 + T_a}} \quad (3.7)$$

Όπου:

MR: η αναλογία μάζας μείγματος

P_v: η τάση υδρατμών στη θερμοκρασία αέρα, [hPa]

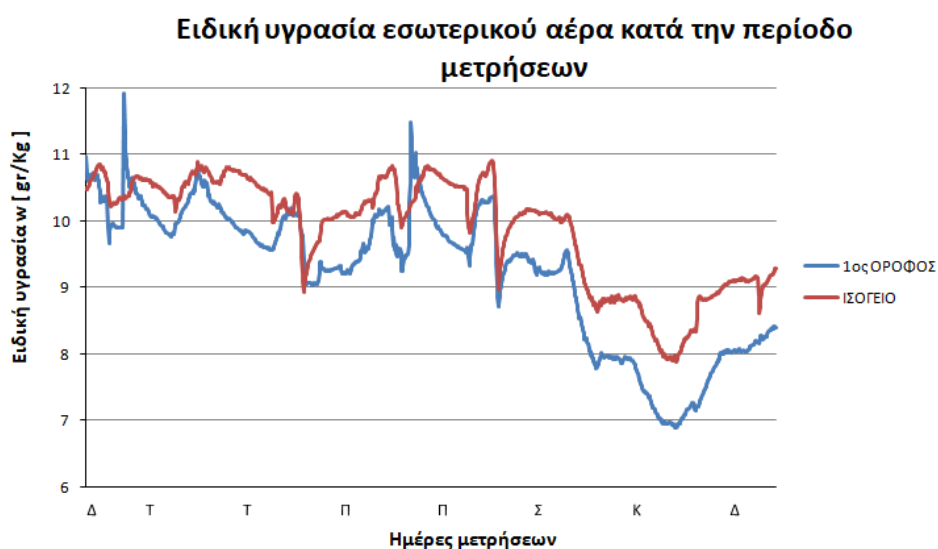
P: η πίεση του αέρα, ίση με 1013,25 [hPa]

RH: η σχετική υγρασία, [%]

P_{sv}: η τάση κεκορεσμένων ατμών στη θερμοκρασία αέρα, [hPa]

T_a: η θερμοκρασία αέρα, [°C]

Σύμφωνα με τις μετρήσεις $T - RH$ που κατέγραψαν οι αισθητήρες Hobo εσωτερικά και εξωτερικά του κτηρίου και μέσω των παραπάνω σχέσεων υπολογίζεται η ειδική υγρασία SH. Στα παρακάτω Σχήματα 3.9 & 3.10 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του υπολογισμού της ειδικής υγρασίας του εσωτερικού και εξωτερικού αέρα κατά την εβδομαδιαία λειτουργία του επιμελητηρίου, τη χρονική περίοδο 18/6/18 - 25/6/18. Επίσης να αναφερθεί πως την τέταρτη ημέρα των μετρήσεων σταμάτησε απρόσμενα η λειτουργία του αισθητήρα HOBO D που ήταν τοποθετημένος εξωτερικά του ισογείου, παρ' όλα αυτά λήφθηκαν υπόψη οι μετρήσεις του.

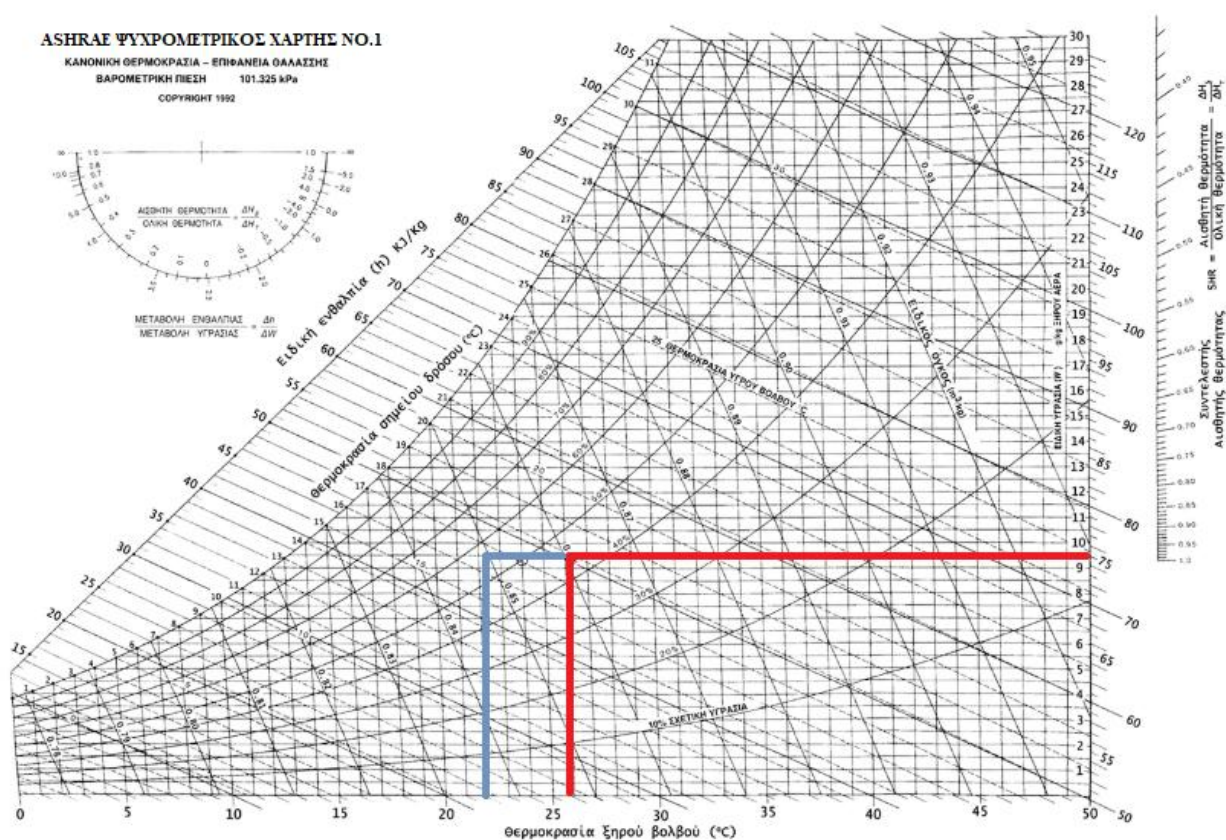


Σχήμα 3.9: Αποτελέσματα του υπολογισμού της ειδικής υγρασίας του εσωτερικού αέρα (Hobo C - Hobo E)



Σχήμα 3.10: Αποτελέσματα του υπολογισμού της ειδικής υγρασίας του εξωτερικού αέρα (Hobo 2 - Hobo D)

Η μέση εσωτερική ειδική υγρασία των μετρήσεων είναι ίση με 9,5 [gr υδρατμών / Kg ξηρού αέρα] σε εύρος τιμών 6,9-11,9 [gr υδρατμών / Kg ξηρού αέρα]. Η τεχνική οδηγία για θερινή περίοδο ορίζει ιδανική θερμοκρασία $T=26^{\circ}\text{C}$ και ειδική υγρασία $RH=45\%$. Οι συγκεκριμένες εσωτερικές συνθήκες με βάση τον ψυχομετρικό χάρτη που ακολουθεί στο Σχήμα 3.11 συνιστούν εσωτερική ειδική υγρασία ίση με 9,4[gr υδρατμών / Kg ξηρού αέρα]. Επιπλέον, μπορεί να επιβεβαιωθεί η εσωτερική ειδική υγρασία του κτηρίου μέσω του ψυχομετρικού χάρτη για τις μέσες τιμές $T - RH$ των μετρητικών οργάνων (Πίνακας 3.10). Επομένως, η ποσότητα υδρατμού στον εσωτερικό αέρα είναι οριακά αποδεκτή και αποδεικνύει ότι, το κτήριο δεν αντιμετωπίζει σοβαρά προβλήματα σχετικά με την ποιότητα του αέρα.



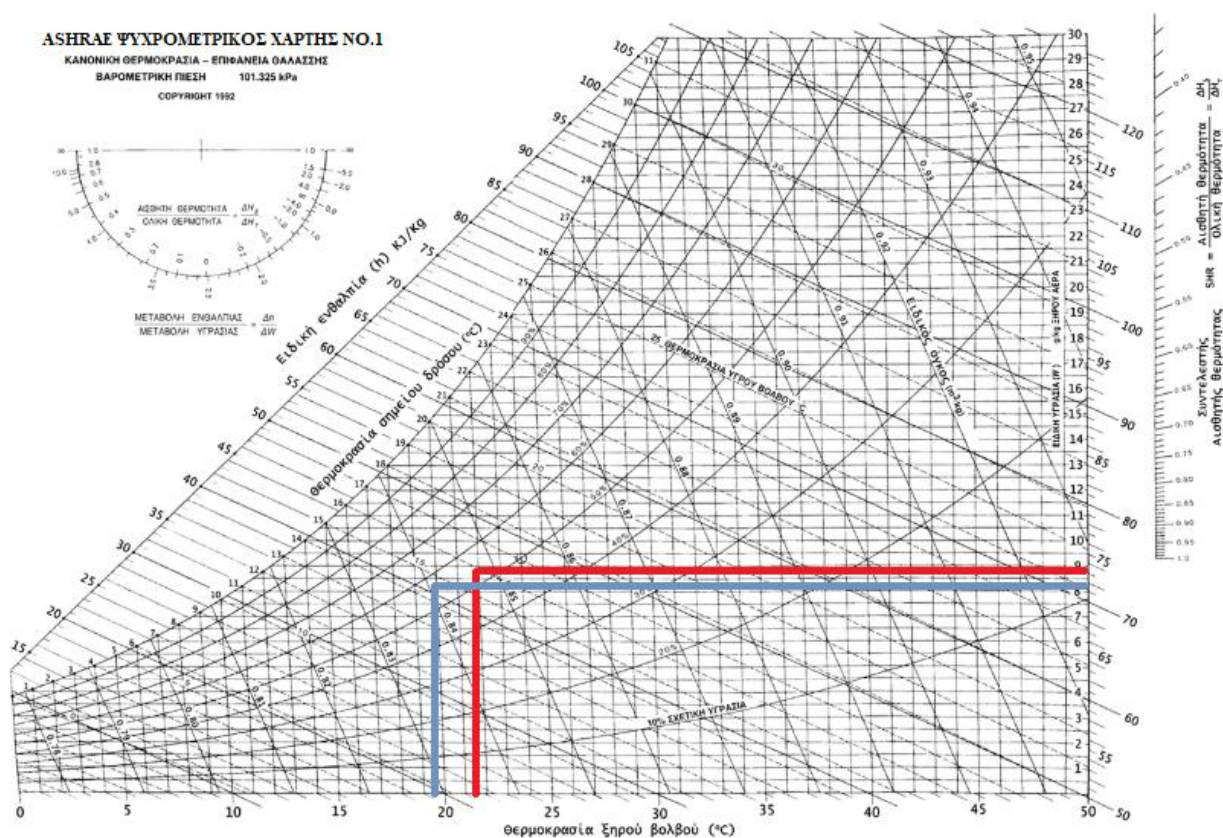
Σχήμα 3.11: Ψυχομετρικός χάρτης εσωτερικών συνθηκών

(SH μετρήσεων – SH TOTEE)

Εσωτερικές συνθήκες	M.T Μετρήσεων Hobo	Τεχνική οδηγία
$T [^{\circ}\text{C}]$	22	26
$RH [\%]$	58,1	45

Πίνακας 3.10: Μέση τιμή θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας των μετρήσεων των αισθητήρων και οι συνιστώμενες τιμές από την τεχνική οδηγία

Σύμφωνα με την TOTEE 20701-3/2010 (TEE, 2010), η μέση μηνιαία ειδική υγρασία του εξωτερικού αέρα για τον μήνα Ιούνιο και την πόλη της Κοζάνη είναι ίση με 8,7 [gr υδρατμών / Kg ξηρού αέρα]. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, η μέση τιμή της εξωτερικής ειδικής υγρασίας προέκυψε ίση με 8,2 [gr υδρατμών / Kg ξηρού αέρα] (σε εύρος τιμών 4,4-10,9 gr υδρατμών / Kg ξηρού αέρα). Οι τιμές αυτές μπορούν να επιβεβαιωθούν σύμφωνα με τις μέσες τιμές T - RH των μετρητικών οργάνων και των τιμών που ορίζει ο Κ.Εν.Α.Κ (Πίνακας 3.11) μέσω του ψυχομετρικού χάρτη του ακόλουθου Σχήματος 3.12 .



Σχήμα 3.12: Ψυχομετρικός χάρτης εξωτερικών συνθηκών

(SH μετρήσεων – SH TOTEE)

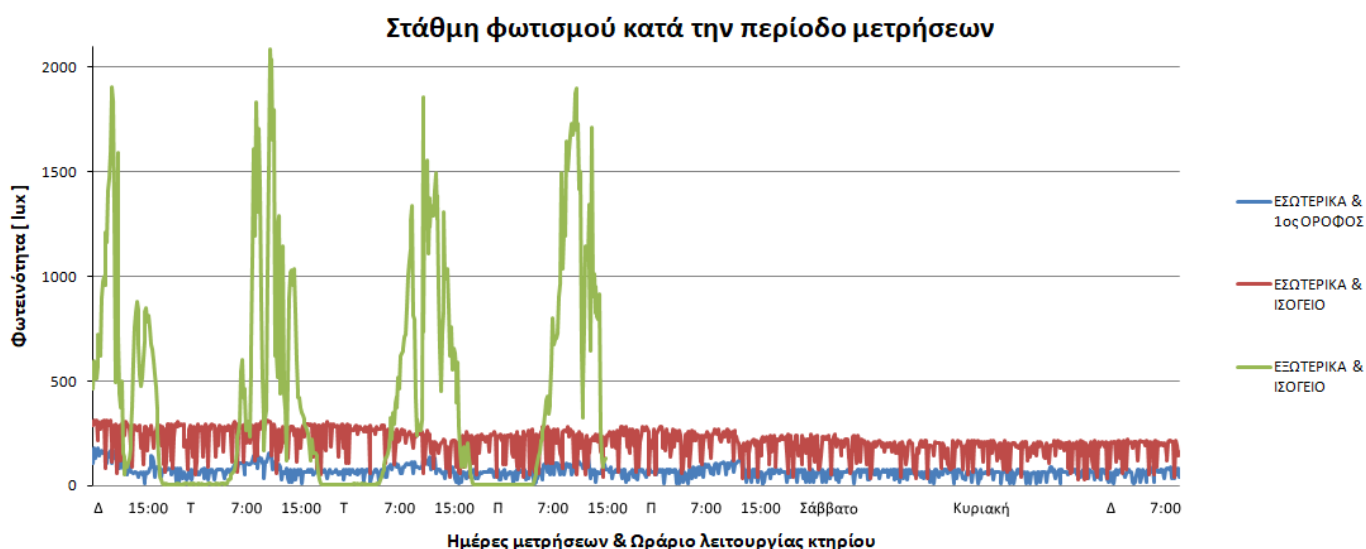
Εξωτερικές συνθήκες	M.T Μετρήσεων Hobo	Τεχνική οδηγία
T [°C]	19,6	21,5
RH [%]	59	54,8

Πίνακας 3.11: Μέση τιμή θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας των μετρήσεων των αισθητήρων και οι τιμές που ορίζει η τεχνική οδηγία για την Κοζάνη τον Ιούνιο μήνα

3.5.2.4 Στάθμη φωτισμού

Στο παρακάτω Σχήμα 3.13 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων φωτεινότητας εσωτερικά και εξωτερικά κατά την εβδομαδιαία λειτουργία του κτηρίου που προέκυψαν τη χρονική περίοδο 18/6/18 - 25/6/18 από τις τρεις διαφορετικές θέσεις των αισθητήρων HOBO.

Σημειώνεται πως για τον αισθητήρα HOBO D (με πράσινη απόχρωση στο σχήμα που ακολουθεί) που τοποθετήθηκε εξωτερικά του ισογείου, την τέταρτη ημέρα των μετρήσεων σταμάτησε απρόσμενα η λειτουργία του. Παρά το γεγονός αυτό, λήφθηκαν υπόψη οι μετρήσεις του ώστε να είναι γνωστά τα επίπεδα φωτεινότητας του περιβάλλοντα χώρου, κυρίως κατά τη διάρκεια της ημέρας λόγω ηλιακής ακτινοβολίας.

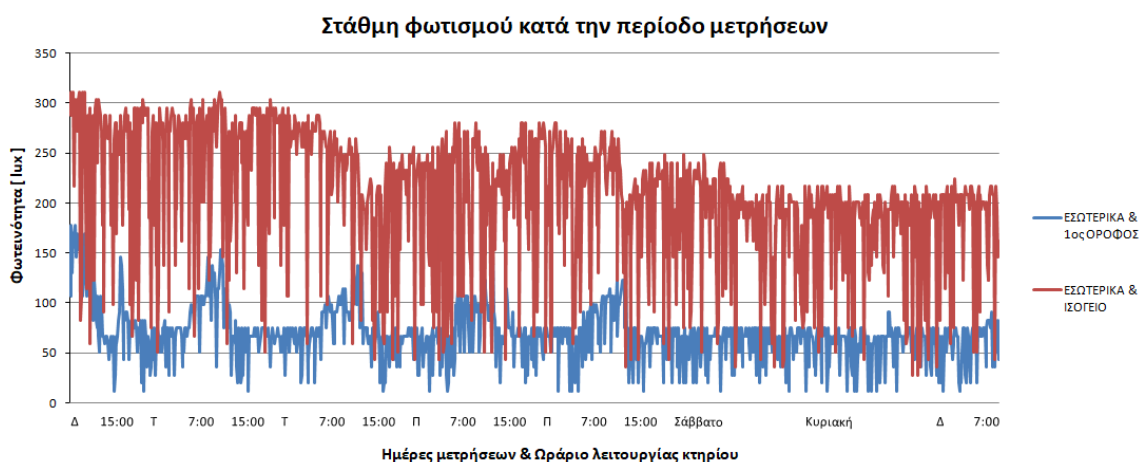


Σχήμα 3.13: Αποτελέσματα των μετρήσεων της στάθμης φωτισμού

(Hobo C - Hobo E - Hobo D)

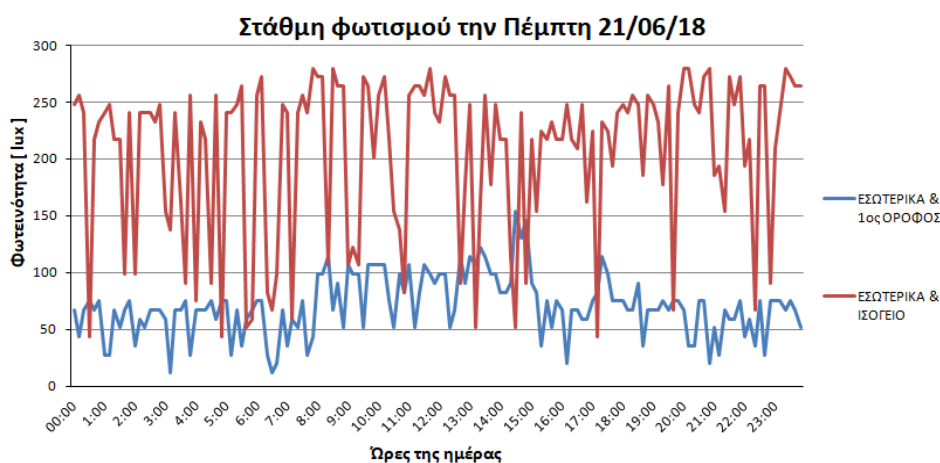
Σύμφωνα με την τεχνική οδηγία, η επιθυμητή στάθμη φωτισμού για χώρους γραφείων είναι ίση με 500 lux ώστε να ικανοποιούνται οι οπτικές συνθήκες άνεσης των χρηστών του κτηρίου. Όμως από τα Σχήματα 3.14 & 3.15 κρίνεται ανεπαρκής ο υφιστάμενος εξοπλισμός φωτισμού καθώς οι τιμές φωτεινότητας κυμαίνονται πολύ χαμηλότερα από τα επιθυμητά επίπεδα. Η μέση τιμή στάθμης φωτισμού για το γραφείο του ισογείου είναι ίση με 227,6 lux ενώ του γραφείου του πρώτου ορόφου είναι ίση με 98 lux για τις ημέρες και τις ώρες λειτουργίας του κτηρίου (Δευτέρα - Παρασκευή & 07:00-15:00). Αντιθέτως το

Σαββατοκύριακο η στάθμη φωτισμού σταθεροποιείται στα 176 lux για το ισόγειο και στα 60 lux για τον πρώτο όροφο.



Σχήμα 3.14: Αποτελέσματα των μετρήσεων της στάθμης φωτισμού των εσωτερικών χώρων του κτηρίου (Hobo C - Hobo E)

Ακόμη παρατηρούνται (Σχήμα 3.14) κάποιες διακυμάνσεις στη στάθμη φωτισμού του πρώτου ορόφου κάτι το οποίο δικαιολογείται από την τοποθέτηση του αισθητήρα HOB0 C κοντά στο παράθυρο του γραφείου. Έτσι τα εσωτερικά επίπεδα φωτεινότητας επηρεάζονται από τον φυσικό φωτισμό που προσφέρει ο ήλιος τη διάρκεια της ημέρας, όσο τα παντζούρια παραμένουν ανοιχτά κατά τη λειτουργία του κτηρίου. Αντιθέτως στο γραφείο του ισογείου που ο αισθητήρας HOB0 E τοποθετήθηκε μακριά από ανοίγματα παρατηρείται ομοιομορφία στη στάθμη φωτισμού.

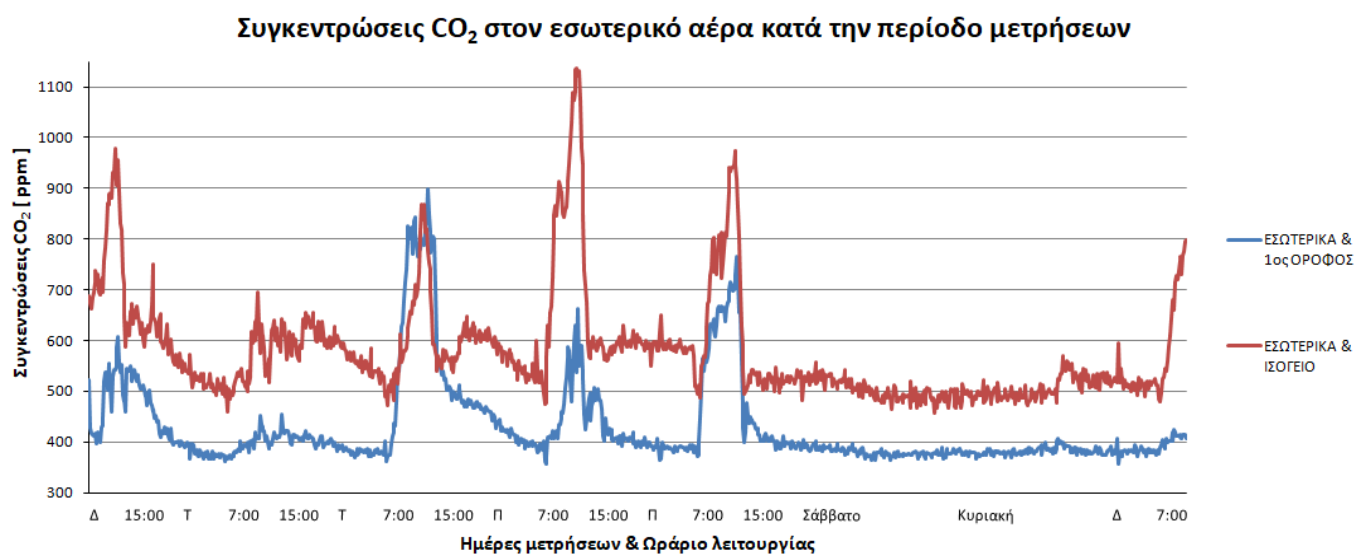


Σχήμα 3.15: Αποτελέσματα μετρήσεων της στάθμης φωτισμού των εσωτερικών χώρων του κτηρίου τυχαίας ημέρας (Hobo C - Hobo E)

Τέλος παρατηρείται ότι, τα επίπεδα φωτεινότητας παραμένουν σχεδόν σταθερά την περίοδο μη λειτουργίας του κτηρίου, δηλαδή αφού ολοκληρωθεί το ωράριο εργασίας καθώς και το Σαββατοκύριακο που το επιμελητήριο είναι κλειστό. Αυτές οι τιμές φωτεινότητας θεωρούνται αρκετά υψηλές για περιόδους αδράνειας του κτηρίου και απαιτείται διερεύνηση σχετικά με τη χρήση του συστήματος τεχνητού φωτισμού, ώστε να εξαλειφθούν τυχόν άσκοπες καταναλώσεις ηλεκτρικής ενέργειας.

3.5.2.5 Συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα (CO₂)

Στο παρακάτω Σχήμα 3.16 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων των συγκεντρώσεων διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) του εσωτερικού αέρα κατά την εβδομαδιαία λειτουργία του κτηρίου που προέκυψαν τη χρονική περίοδο 18/6/18 - 25/6/18 από τις δύο διαφορετικές θέσεις των συσκευών TELAIRE.



Σχήμα 3.16: Αποτελέσματα των μετρήσεων των συγκεντρώσεων διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) του εσωτερικού αέρα (Telaire C - Telaire B)

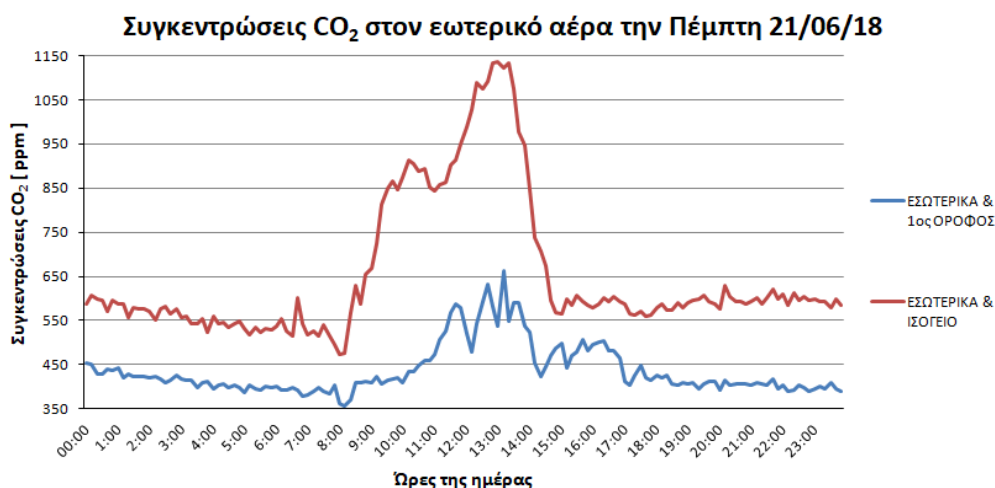
Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων CO₂ στο σύνολο των μετρήσεων για το γραφείο του ισογείου είναι ίση με 581 ppm (σε εύρος τιμών 456-1.136,1 ppm) και για το γραφείο του πρώτου ορόφου είναι ίση με 430,1 ppm (σε εύρος τιμών 355,3-898,7 ppm). Οι διακυμάνσεις των μετρήσεων που παρατηρούνται τις ημέρες λειτουργίας του επιμελητηρίου οφείλονται απόλυτα στη χρήση των γραφείων του κτηρίου. Πρώτα από όλα οι χρήστες και το πλήθος

αυτών ανά χώρο επηρεάζουν το επίπεδο συγκεντρώσεων CO₂ με την ανθρώπινη εκπνοή. Επιπλέον η χρήση φωτοτυπικών μηχανημάτων, χημικών προϊόντων καθαρισμού, καθώς και ο καπνός από τσιγάρα σε συνδυασμό με τυχόν ανεπαρκή αερισμό δημιουργούν ένα βλαβερό εργασιακό περιβάλλον. Αντιθέτως, το Σαββατοκύριακο οι συγκεντρώσεις CO₂ παραμένουν σταθερές και σε πιο χαμηλά επίπεδα εφόσον το κτήριο είναι λειτουργικά αδρανές. Πιο συγκεκριμένα, η μέση τιμή των συγκεντρώσεων CO₂ στο γραφείο του ισόγειου είναι ίση με 503,3 ppm ενώ στο γραφείο του πρώτου ορόφου είναι ίση με 381 ppm.

Σύμφωνα με την αμερικανική ένωση μηχανικών θέρμανσης, ψύξης και κλιματισμού ASHRAE (ANSI/ASHRAE, 2016) συστήνεται οι εσωτερικοί χώροι ενός κτηρίου να μη ξεπερνούν πάνω από 700 ppm τις συγκεντρώσεις CO₂ του ατμοσφαιρικού αέρα. Δηλαδή αν οι συγκεντρώσεις CO₂ του ατμοσφαιρικού αέρα κυμαίνονται μεταξύ 300-500 ppm, το συνιστώμενο ανώτατο όριο των συγκεντρώσεων CO₂ των εσωτερικών χώρων είναι 1.000-1.200 ppm αντίστοιχα. Το διοξείδιο του άνθρακα δεν αποτελεί τοξική ουσία, ωστόσο σε πολύ μεγάλες συγκεντρώσεις, μεγαλύτερες του ανώτατου επιτρεπτού ορίου των 5.000 ppm, μπορεί να αποτελέσει κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία (πχ. ασφυξία). Ο ανεπαρκής αερισμός μπορεί να προκαλέσει στους χρήστες του κτηρίου συμπτώματα όπως πονοκέφαλο, δύσπνοια, ίλιγγο, εξάντληση, λήθαργο, δακρύρροια και αδυναμία συγκέντρωσης, γνωστά ως σύνδρομο άρρωστου κτηρίου (ΣΑΚ).

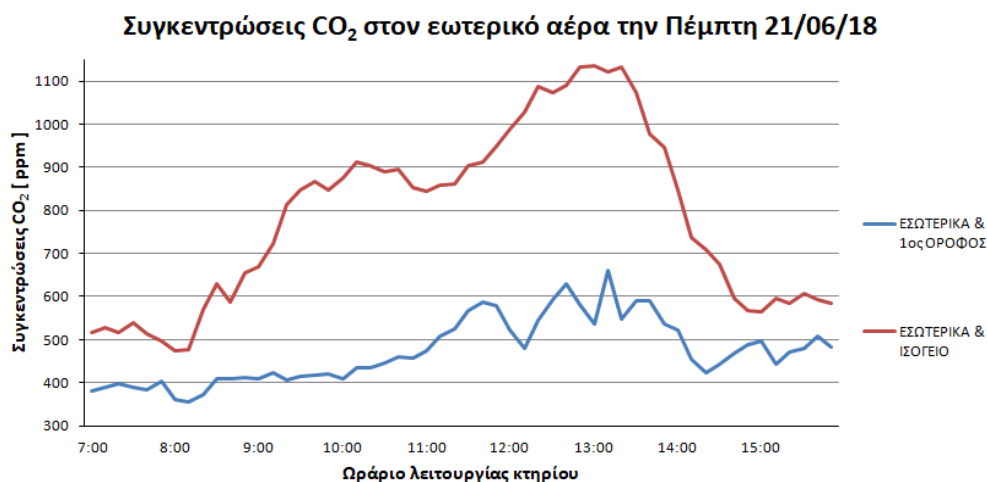
Στην περίπτωση του επιμελητηρίου φαίνεται να ικανοποιούνται οι συνθήκες άνεσης αερισμού, καθώς οι τιμές των συγκεντρώσεων CO₂ του εσωτερικού αέρα δεν ξεπερνούν τα επιτρεπτά όρια. Επιπλέον οι μέσες τιμές αυτών στο ισόγειο (680,6 ppm) και στον πρώτο όροφο (500,5 ppm), αποκλειστικά μόνο την περίοδο λειτουργίας τους, φαίνεται πως δεν ξεπερνούν το εύρος των 600-800 ppm, αποδεικνύοντας έτσι τον επαρκή και συχνό αερισμό των χώρων του κτηρίου.

Ακολουθούν τα Σχήματα 3.17 & 3.18 με τις μετρήσεις της τυχαίας ημέρας (Πέμπτη 21/06/18), στα οποία είναι πιο ευδιάκριτες οι διακυμάνσεις των συγκεντρώσεων CO₂ κατά τη διάρκεια λειτουργίας του κτηρίου (07:00-15:00).



Σχήμα 3.17: Αποτελέσματα μετρήσεων των συγκεντρώσεων διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) του εσωτερικού αέρα τυχαίας ημέρας

(Telaire C - Telaire B)



Σχήμα 3.18: Αποτελέσματα μετρήσεων των συγκεντρώσεων διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) του εσωτερικού αέρα τυχαίας ημέρας κατά τη διάρκεια λειτουργίας του κτηρίου

(Telaire C - Telaire B)

Οι υψηλότερες τιμές που παρατηρούνται γενικά στο γραφείο του ισογείου, δικαιολογούνται από την ύπαρξη περισσότερων ατόμων, σε σύγκριση με το γραφείο του πρώτου ορόφου που χρησιμοποιείται ως επί το πλείστον από ένα άτομο. Επίσης, μόνο την τέταρτη μέρα των μετρήσεων παρατηρήθηκαν τόσο υψηλές τιμές συγκεντρώσεων CO₂ στο γραφείο του ισογείου, δηλαδή μεγαλύτερες των 1.000 ppm, παραμένοντας όμως εντός του συνιστώμενου ανώτερου ορίου. Αυτό μπορεί να οφείλεται στη συγκέντρωση πολλών ατόμων, με τον φυσικό αερισμό να μην είναι επαρκής να καλύψει τις μεγαλύτερες ανάγκες σε νωπό αέρα ή να οφείλεται σε εξωγενείς παράγοντες όπως ο καπνός και τα καυσαέρια.

Κεφάλαιο 4: Ενεργειακή ανάλυση κτηρίου

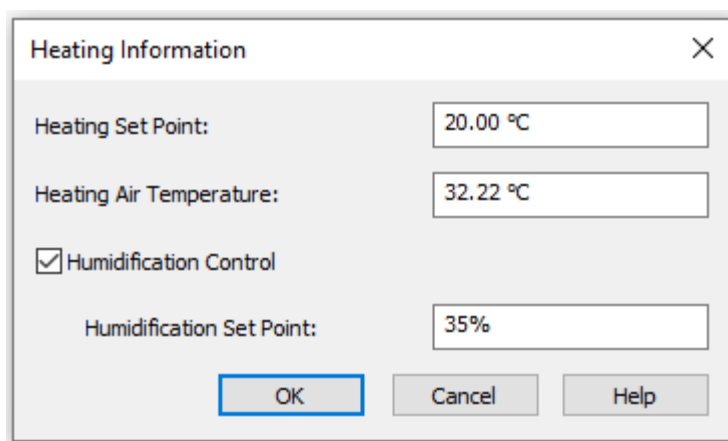
4.1 Δημιουργία χώρων (spaces) και θερμικών ζωνών (zones) στο Revit

Κάθε χώρος του κτηρίου έχει διαφορετική χρήση επομένως και διαφορετικές ενεργειακές απαιτήσεις. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά, τα δομικά στοιχεία, ο προσανατολισμός, η λειτουργία, ο εξοπλισμός και οι χρήστες των χώρων διαμορφώνουν τις ενεργειακές ανάγκες του κτηρίου. Αφού ολοκληρωθεί η σχεδίαση του κτηρίου στο λογισμικό Revit, δημιουργούνται οι χώροι κάθε ορόφου και καθορίζονται οι συνθήκες που επικρατούν σε αυτούς. Με αυτόν τον τρόπο ορίζονται οι θερμαινόμενοι ή μη χώροι του κτηρίου, εφόσον γίνεται η επιλογή για το αν θα θερμαίνονται, ψύχονται, θερμαίνονται και ψύχονται ή αν θα επικρατεί φυσικός αερισμός. Για το υπό μελέτη κτήριο έγιναν οι παρακάτω επιλογές που παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.1, σύμφωνα με τον τρόπο λειτουργίας κάθε χώρου:

Χώροι	Συνθήκες
Γραφεία	Θέρμανση & Ψύξη
Αίθουσα Παρουσιάσεων	Θέρμανση & Ψύξη
W.C	Θέρμανση
Κουζίνες	Θέρμανση
Είσοδοι-Χολ	Φυσικός αερισμός
Αποθήκες	Μη θερμαινόμενος χώρος
Χολ	Μη θερμαινόμενος χώρος
Υποσταθμός Τηλεθέρμανσης	Μη θερμαινόμενος χώρος

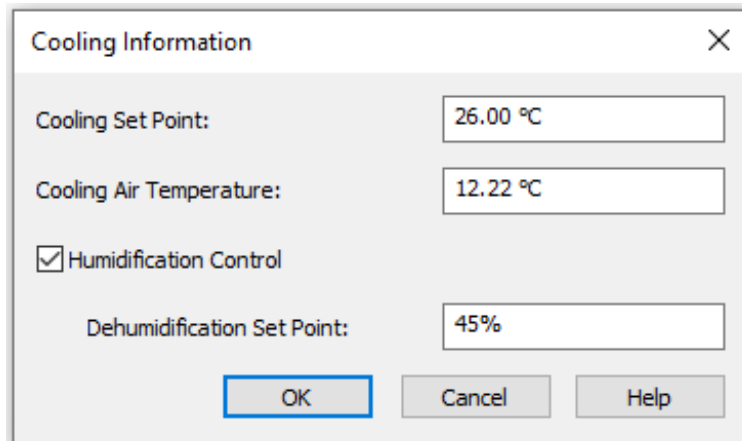
Πίνακας 4.1: Θερμαινόμενοι ή μη χώροι του κτηρίου

Στη συνέχεια, δημιουργούνται οι θερμικές ζώνες του κτηρίου στις οποίες εντάσσονται οι χώροι που καλούνται να έχουν τις ίδιες συνθήκες, δηλαδή ίδιες θερμοκρασίες θέρμανσης και ψύξης καθώς και ίδιες τιμές υγρασίας. Σύμφωνα με τις εσωτερικές συνθήκες που προτείνει η τεχνική οδηγία για κτήριο γραφείων ορίστηκαν οι παρακάτω συνθήκες σε χειμερινή και θερινή περίοδο αντίστοιχα.



Heating Information	
Heating Set Point:	20.00 °C
Heating Air Temperature:	32.22 °C
<input checked="" type="checkbox"/> Humidification Control	
Humidification Set Point:	35%
OK Cancel Help	

Εικόνα 4.1: Εσωτερικές συνθήκες χειμερινής περιόδου



Cooling Information	
Cooling Set Point:	26.00 °C
Cooling Air Temperature:	12.22 °C
<input checked="" type="checkbox"/> Humidification Control	
Dehumidification Set Point:	45%
OK Cancel Help	

Εικόνα 4.2: Εσωτερικές συνθήκες θερινής περιόδου

4.2 Καθορισμός τύπου κτηρίου και ρυθμίσεις ενεργειακής ανάλυσης

Στη συνέχεια στο λογισμικό Revit επιλέγεται ο τύπος κτηρίου, όπου στην παρούσα μελέτη είναι κτήριο γραφείων. Η επιλογή αυτή έχει κάποιες καθορισμένες παραμέτρους σύμφωνα με τα πρότυπα ASHRAE για κτήρια γραφείων, οι οποίες μπορούν να τροποποιηθούν αν αυτό κριθεί απαραίτητο, για να επιτευχθεί η καλύτερη δυνατή προσέγγιση με το υπό μελέτη κτήριο. Σύμφωνα με την τεχνική οδηγία T.E.E 20701-1/2017 (TEE, 2017α) οι παράμετροι επαληθεύονται για τα ελληνικά δεδομένα ενός κτηρίου γραφείων. Το ωράριο λειτουργίας προσαρμόστηκε στα δεδομένα του υπό μελέτη κτηρίου (07:00-17:00) διότι αποτελεί σημαντική παράμετρο στην εξαγωγή των ενεργειακών αποτελεσμάτων.

Energy Analysis ⤴	
Area per Person	28.570 m ²
Sensible Heat Gain per person	73.27 W
Latent Heat Gain per person	58.61 W
Lighting Load Density	10.76 W/m ²
Power Load Density	13.99 W/m ²
Plenum Lighting Contribution	20.0000%
Occupancy Schedule	Common Office Occupancy -
Lighting Schedule	Office Lighting - 7 AM to 5 PM
Power Schedule	Office Lighting - 7 AM to 5 PM
Outdoor Air per Person	8.33 L/s
Outdoor Air per Area	0.83 L/(s·m ²)
Air Changes per Hour	0.000000
Outdoor Air Method	by People and by Area
Opening Time	7:00 πμ
Closing Time	5:00 μμ
Unoccupied Cooling Set Point	27.78 °C

Εικόνα 4.3: Ρυθμίσεις τύπου κτηρίου

Στις παραπάνω παραμέτρους συμπληρώθηκαν οι απαιτούμενες ποσότητες νωπού αέρα που συνιστώνται για ένα κτήριο γραφείων σύμφωνα με την TOTEE 20701-1/2017 (TEE, 2017α), οι οποίες υπολογίστηκαν ως εξής:

$$30 \frac{\text{m}^3}{\text{h άτομο}} * 1000 \frac{\text{lt}}{\text{m}^3} * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 8,33 \frac{\text{lt}}{\text{s άτομο}}$$

$$3 \frac{\text{m}^3}{\text{h m}^2} * 1000 \frac{\text{lt}}{\text{m}^3} * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 0,83 \frac{\text{lt}}{\text{s m}^2}$$

Τέλος, σημαντική ρύθμιση αποτελεί η επιλογή του συστήματος θέρμανσης, ψύξης, αερισμού και παραγωγής ZNX (HVAC System) ώστε να ολοκληρωθεί η μοντελοποίηση του επιμελητηρίου.

Advanced Energy Settings

Parameter	Value
Building Data ^	
Building Type	Office
Building Operating Schedule	Default
HVAC System	Residential 14 SEER/0.9 AFUE Split/Packaged Gas <5.5 ton
Outdoor Air Information	Edit...
Room/Space Data ^	
Export Category	Spaces
Material Thermal Properties ^	
Conceptual Types	Edit...
Schematic Types	<Building>

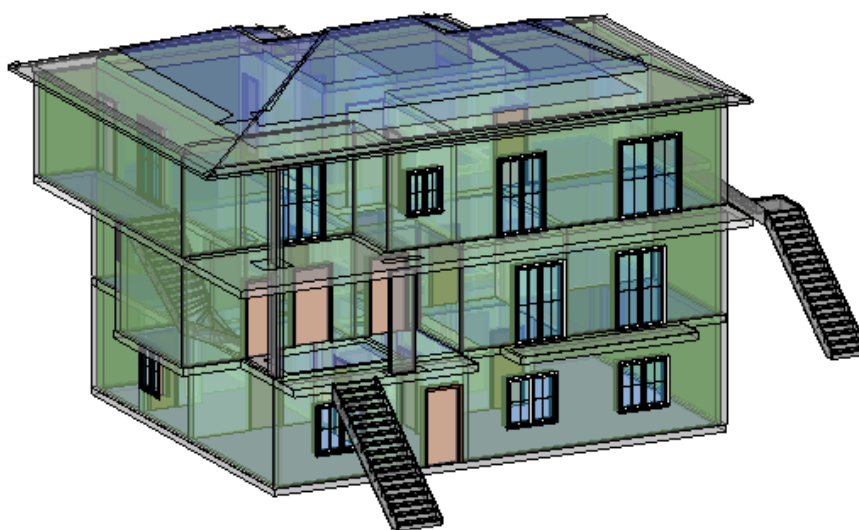
Εικόνα 4.4: Ρυθμίσεις ενεργειακής ανάλυσης

Το λογισμικό Revit ενώ διαθέτει πολλά συστήματα HVAC, η επιλογή του δεν ήταν εύκολη καθώς τέτοιες τεχνολογίες δεν εφαρμόζονται στην Ελλάδα. Η επιλογή του συστήματος HVAC επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τις ενεργειακές καταναλώσεις του κτηρίου, για αυτόν τον λόγο τα αποτελέσματα που θα εξαχθούν από τη συγκεκριμένη ενεργειακή ανάλυση θα προσαρμοστούν στα ελληνικά δεδομένα.

Το σύστημα HVAC που επιλέχθηκε σε αυτό το στάδιο της μελέτης είναι το Residential 14 SEER / 0,9 AFUE Split / Packaged Gas < 5,5 tn. Αποτελείται από έναν λέβητα αερίου καυσίμου (φυσικό αέριο) με βαθμό απόδοσης 90%. Το σύστημα κλιματισμού είναι ενσωματωμένο στη διάταξη αυτή, με εποχιακό βαθμό ενεργειακής απόδοσης ψύξης ίσο με SEER=14. Όσο μεγαλύτερο είναι το SEER τόσο πιο αποτελεσματικό είναι το σύστημα ψύξης, όπως ακριβώς συμβαίνει και με τον δείκτη ενεργειακής αποδοτικότητας EER. Αυτές οι τιμές εμφανίζονται υψηλές σε σχέση με τις αντίστοιχες Ευρωπαϊκές, λόγω του διαφορετικού συστήματος μονάδων. Ειδικότερα, στην Αμερική η ψυκτική ενέργεια που αποδίδει το σύστημα ψύξης μετράται σε kBtu, ενώ η ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνει σε kWh και ο λόγος αυτών διαμορφώνει τον εποχιακό βαθμό SEER (Power Knot LLC, 2019). Τέλος, ο δείκτης αποδοτικότητας της συγκεκριμένης διάταξης για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης ισούται με 0,575.

4.3 Ενεργειακή προσομοίωση στο Green Building Studio (GBS)

Μετά την ολοκλήρωση της σχεδίασης του επιμελητηρίου Κοζάνης στο λογισμικό Revit και τη διαμόρφωση όλων των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν την πραγματική λειτουργία του κτηρίου, ακολουθεί η δημιουργία του ενεργειακού μοντέλου. Με αυτόν τον τρόπο υλοποιείται η ενεργειακή προσομοίωση και εξάγονται τα αποτελέσματα της ενεργειακής ανάλυσης.

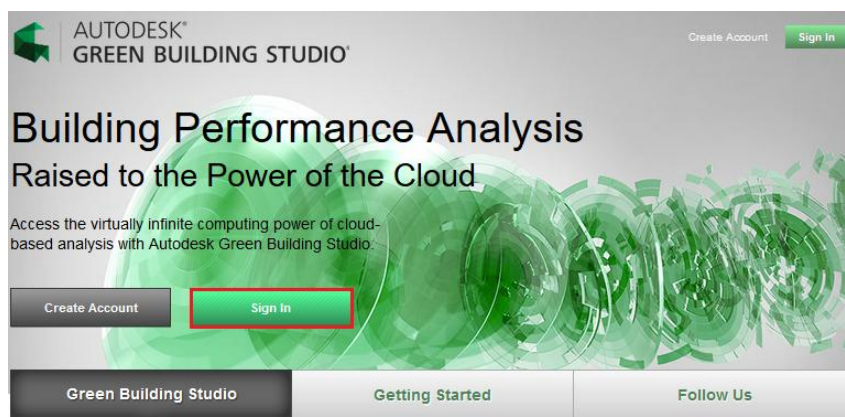


Εικόνα 4.5: Το ενεργειακό μοντέλο του επιμελητηρίου Κοζάνης

Τα αποτελέσματα της ενεργειακής ανάλυσης μπορούμε να τα λάβουμε και να τα επεξεργαστούμε μέσα από το περιβάλλον του Revit, καθώς και από την ενεργειακή προσομοίωση στο GBS, εξάγοντας το αρχείο σε μορφή .gbXML. Η ενεργειακή ανάλυση στο GBS διαθέτει περισσότερες λεπτομέρειες με πίνακες και διαγράμματα που σχετίζονται με τις ενεργειακές καταναλώσεις του κτηρίου. Πιο συγκεκριμένα, υπολογίζονται σε ετήσια και μηνιαία βάση οι ενεργειακές καταναλώσεις ανά χρήση (θέρμανση, ψύξη, ZNX, φωτισμό, εξοπλισμό) καθώς και τα κόστη αυτών σύμφωνα με την καύσιμη ύλη και την ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνει ο ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός του κτηρίου για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών. Επιπλέον, υπολογίζονται οι ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) ανάλογα την πηγή ενέργειας που χρησιμοποιούν τα υφιστάμενα ενεργειακά συστήματα του κτηρίου και γίνονται προτάσεις ενεργειακής αναβάθμισης υπολογίζοντας την

παραγωγή ενέργειας από διάφορα συστήματα ΑΠΕ, την εξοικονόμηση που επιφέρει η χρήση αυτών και τα έτη απόσβεσης μια τέτοιας ενεργειακής επένδυσης.

Αρχικά γίνεται σύνδεση (Sign In) στην ιστοσελίδα της Autodesk Green Building Studio και δημιουργείται το έργο (Create a New Project) στο οποίο θα πραγματοποιηθεί η ενεργειακή προσομοίωση.

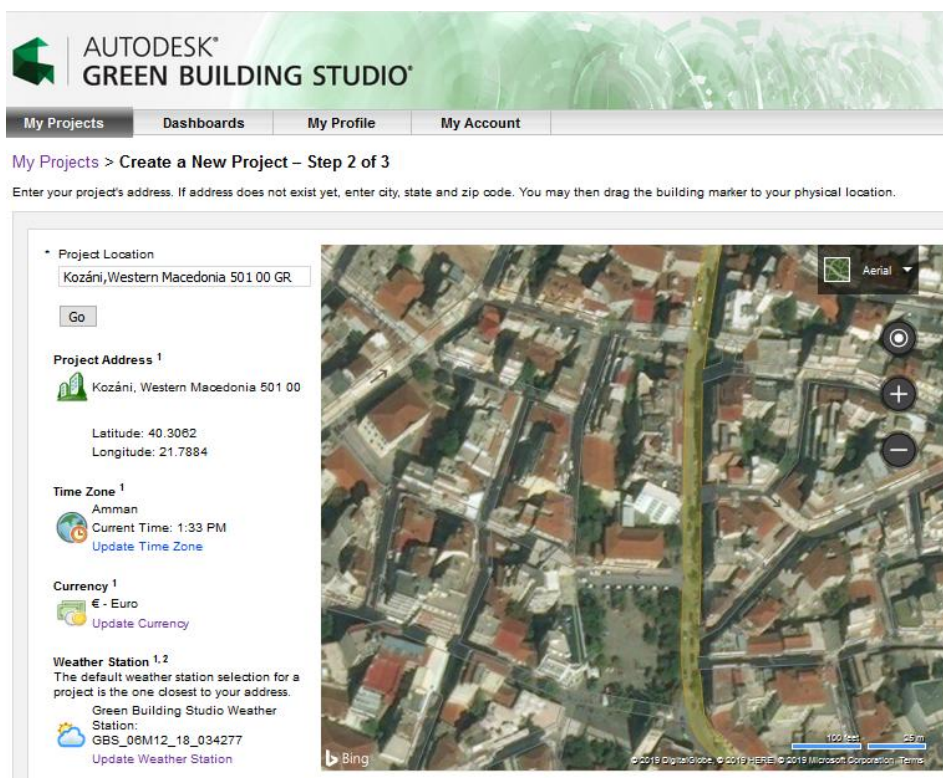


Εικόνα 4.6: Είσοδος στην πλατφόρμα του GBS

Στο πρώτο βήμα εισάγεται το όνομα του έργου, ο τύπος κτηρίου, το πρόγραμμα λειτουργίας του και επιλέγεται το «test project» διότι η παρούσα μελέτη υλοποιείται εντός εκπαιδευτικού πλαισίου.

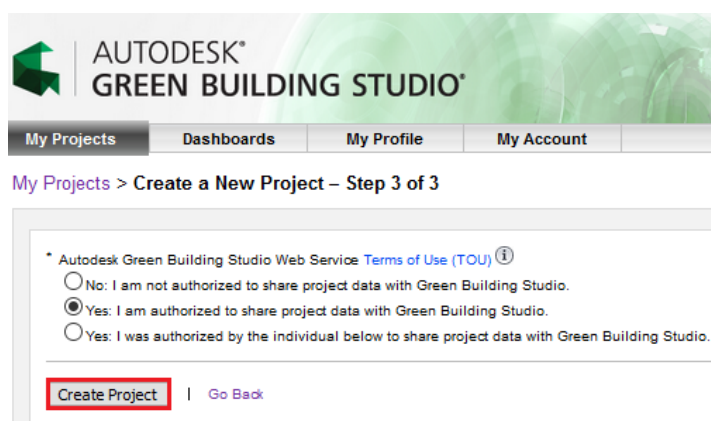
Εικόνα 4.7: Πρώτο βήμα της ενεργειακής προσομοίωσης του κτηρίου στο GBS

Στη συνέχεια, επιλέγεται η περιοχή στην οποία βρίσκεται το υπό μελέτη κτήριο και προκύπτουν πληροφορίες σχετικά με το γεωγραφικό μήκος και πλάτος της περιοχής, την τρέχουσα ώρα ζώνης, το νόμισμα καθώς και στοιχεία του κοντινότερου μετεωρολογικού σταθμού που θα χρησιμοποιηθούν στην ενεργειακή προσομοίωση.



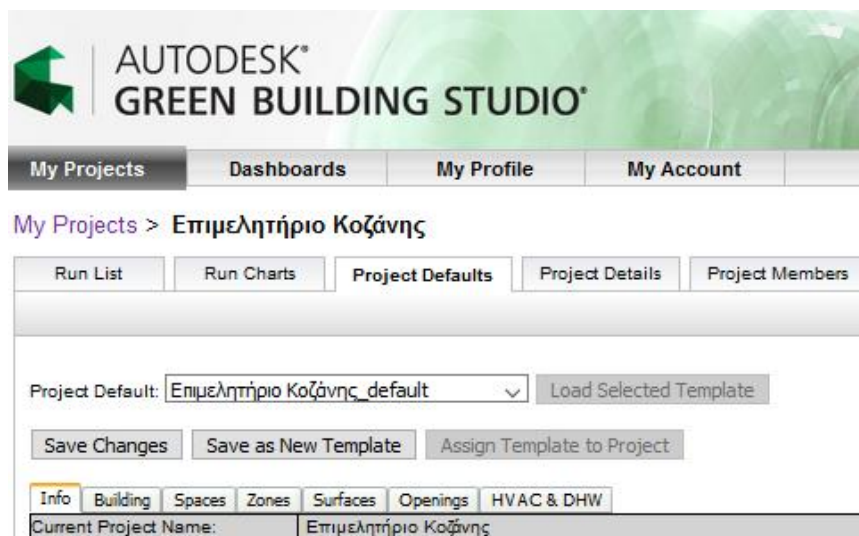
Εικόνα 4.8: Δεύτερο βήμα της ενεργειακής προσομοίωσης του κτηρίου στο GBS

Τέλος, αφού γίνει η συμπλήρωση των βασικών πληροφοριών του κτηρίου που θα προσομοιωθεί ολοκληρώνεται η δημιουργία του έργου (Create Project).



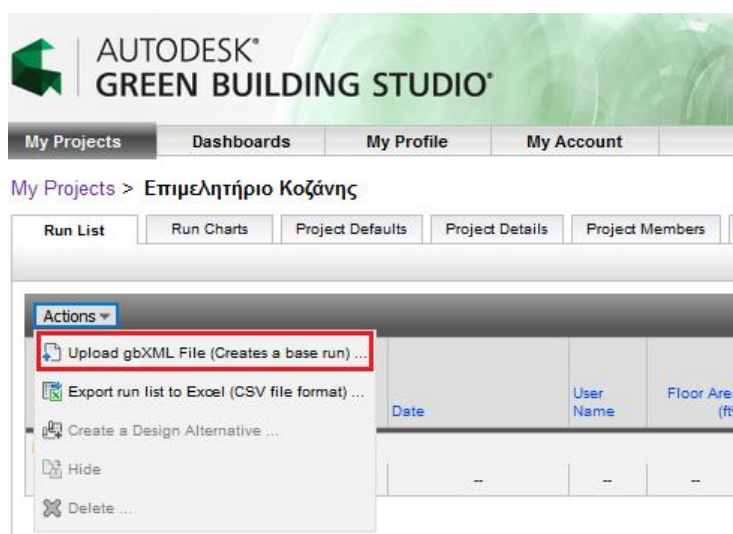
Εικόνα 4.9: Τρίτο βήμα της ενεργειακής προσομοίωσης του κτηρίου στο GBS

Επιπλέον, δίνεται η δυνατότητα αλλαγής διαφόρων παραμέτρων από την καρτέλα «Project Defaults» σχετικά με τους χώρους (Spaces), τις θερμικές ζώνες (Zones), τις επιφάνειες (Surfaces), τα ανοίγματα (Openings) και τα συστήματα θέρμανσης-αερισμού-κλιματισμού και παραγωγής ζεστού νερού χρήσης (HVAC & DHW) του κτηρίου. Αν δεν υπάρξουν τροποποιήσεις σε αυτές τις παραμέτρους, λαμβάνονται υπόψη τα στοιχεία που έχουν επιλεγεί κατά την εκπόνηση της μελέτης στο Revit.



Εικόνα 4.10: Καρτέλα επιλογής / αλλαγής διαφόρων παραμέτρων του κτηρίου στο GBS

Τελικό στάδιο για την ολοκλήρωση της ενεργειακής προσομοίωσης στο GBS αποτελεί η εισαγωγή του αρχείου .gbXML (Upload gbXML file).



Εικόνα 4.11: Εισαγωγή του αρχείου .gbXML για την ολοκλήρωση της ενεργειακής προσομοίωσης του κτηρίου

4.4 Ετήσια ενεργειακά φορτία παρούσας κατάστασης

Με την ολοκλήρωση της προσομοίωσης στο GBS, εξάγονται τα αποτελέσματα των ενεργειακών καταναλώσεων του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού που χρησιμοποιείται για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του κτηρίου (θέρμανση, ψύξη, ZNX, φωτισμός, εξοπλισμός). Όμως, όπως έχει ήδη προαναφερθεί τα ενεργειακά συστήματα που είναι διαθέσιμα στο Revit συναντώνται κυρίως στην Αμερική, για αυτόν τον λόγο τα ενεργειακά φορτία θα μετατραπούν στα ευρωπαϊκά-ελληνικά δεδομένα. Έτσι, η προσομοίωση προσεγγίζει περισσότερο την πραγματικότητα και τα ενεργειακά φορτία προκύπτουν σύμφωνα με τα ενεργειακά συστήματα που έχουν εφαρμογή στο επιμελητήριο Κοζάνης, διασφαλίζοντας τα αποτελέσματα της μελέτης.

Η τροποποίηση των ενεργειακών φορτίων είναι πολύ σημαντική διότι οι ενεργειακές καταναλώσεις εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την επιλογή του ηλεκτρομηχανολογικού συστήματος για την κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων του κτηρίου. Επομένως, δε θεωρούνται βάσιμα τα αποτελέσματα των ενεργειακών καταναλώσεων που προκύπτουν από ενεργειακά συστήματα τα οποία είναι τελείως διαφορετικά από αυτά που χρησιμοποιεί στην πραγματικότητα το υπό μελέτη κτήριο.

Η διαδικασία μετατροπής αυτών των αποτελεσμάτων βασίζεται κυρίως στην αποδοτικότητα των αντίστοιχων ενεργειακών συστημάτων. Διότι η τελική απόδοση των συστημάτων διαμορφώνεται από τον βαθμό απόδοσης παραγωγής ενέργειας, τον βαθμό απόδοσης των συστημάτων διανομής καθώς και τον βαθμό απόδοσης των τερματικών μονάδων. Δηλαδή οι ενεργειακές καταναλώσεις ενός συστήματος είναι μεγαλύτερες από τις ενεργειακές απαιτήσεις του κτηρίου εφόσον υπάρχουν ενεργειακές απώλειες κατά την παραγωγή, τη διανομή και την απόδοση-εκπομπή της ενέργειας. Ο συνυπολογισμός αυτών των απωλειών σε μια ενεργειακή μελέτη είναι πολύ σημαντικός καθώς διασφαλίζει την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του κτηρίου.

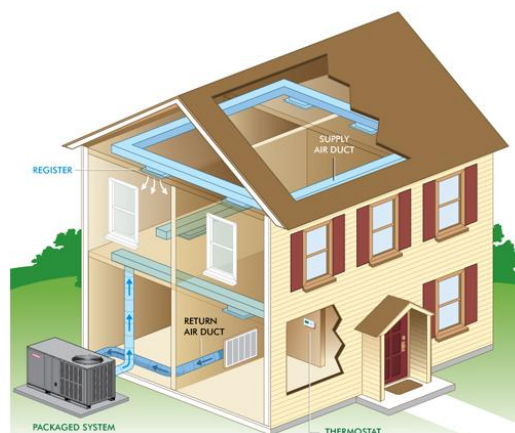
Επομένως, οι καταναλώσεις που προκύπτουν από την προσομοίωση θα μετατραπούν σύμφωνα με τους βαθμούς απόδοσης των αμερικανικών συστημάτων στις ενεργειακές απαιτήσεις του κτηρίου. Έτσι προκύπτουν οι πραγματικές ανάγκες του κτηρίου ανεξαρτήτως του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού που χρησιμοποιείται για την κάλυψη αυτών. Τέλος θα υπολογιστούν εκ νέου οι ενεργειακές καταναλώσεις που αυτή τη φορά προκύπτουν από την αποδοτικότητα των υφιστάμενων ενεργειακών συστημάτων του επιμελητηρίου Κοζάνης.

4.4.1 Ενεργειακές απαιτήσεις

Για την ανάλυση των φορτίων ζήτησης, το λογισμικό απαιτεί την παρουσία ενεργειακών συστημάτων, καθώς ουσιαστικά δεν περιέχει τιμές ζήτησης αλλά απ' ευθείας κατανάλωσης. Όπως θα αναλυθεί στη συνέχεια, για τις ανάγκες της εργασίας, τα φορτία ζήτησης υπολογίζονται κατάλληλα μέσω των φορτίων κατανάλωσης που παρέχει το λογισμικό και της αποδοτικότητας των συστημάτων που έχουν επιλεγεί κατά την προσομοίωση. Πρακτικά οι ενεργειακές απαιτήσεις μεταφράζονται στην ενέργεια που χρειάζεται το κτήριο σύμφωνα με το κέλυφος και τα κλιματικά δεδομένα της τοποθεσίας του, ώστε να καλυφθούν οι ανάγκες του, για τη διαμόρφωση των κατάλληλων εσωτερικών συνθηκών άνεσης. Επομένως, τα συγκεκριμένα φορτία παύουν να εξαρτώνται από τα συστήματα παραγωγής ενέργειας καθώς αυτά αποτελούν τις ενεργειακές καταναλώσεις και θα υπολογιστούν στην επόμενη ενότητα, σύμφωνα με τα συστήματα που έχουν εφαρμογή στο υπό μελέτη κτήριο.

4.4.1.1 Θέρμανση & Ψύξη

Το ενεργειακό σύστημα που επιλέχτηκε στο Revit αποτελείται από λέβητα φυσικού αερίου με βαθμό απόδοσης 90% για παροχή θερμότητας και συσκευή κλιματισμού με εποχιακό βαθμό απόδοσης SEER=14 για παροχή ψύξης. Ο δείκτης ενεργειακής απόδοσης (EER) ορίζεται ως ο λόγος της συνολικής ψυκτικής ενέργειας που αποδίδει το σύστημα κατά την περίοδο ψύξης σε [BTU], προς τη συνολική ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνει σε [Wh] (Power Knot LLC, 2019). Ο δείκτης ενεργειακής απόδοσης, αν υιοθετηθούν ίδιες μονάδες για την ψυκτική και ηλεκτρική ενέργεια, προκύπτει ίσος με $EER' = 3,41$.



Εικόνα 4.12: Packaged HVAC system, πηγή: [Ray's HEATING & AIR].

Επομένως οι ενεργειακές απαιτήσεις θέρμανσης και ψύξης σε μηνιαία και ετήσια βάση υπολογίζονται ως εξής:

$$Q_{H,dem} = Q_{H,con,REVIT} * \eta_H \quad (4.1)$$

και

$$Q_{C,dem} = Q_{C,con,REVIT} * \eta_C \quad (4.2)$$

Όπου:

$Q_{H/C,dem}$: οι ενεργειακές απαιτήσεις θέρμανσης / ψύξης, [kWh ή kWh/m²]

$Q_{H/C,con,REVIT}$: οι ενεργειακές καταναλώσεις θέρμανσης / ψύξης του συστήματος που επιλέχθηκε στο Revit και εξήχθησαν από την προσομοίωση του κτηρίου στο GBS, [kWh ή kWh/m²]

η_H : ο βαθμός απόδοσης του ενεργειακού συστήματος κατά την περίοδο θέρμανσης, ο οποίος ισούται με 0,9

η_C : ο βαθμός απόδοσης του ενεργειακού συστήματος κατά την περίοδο ψύξης, ο οποίος ισούται με 3,41

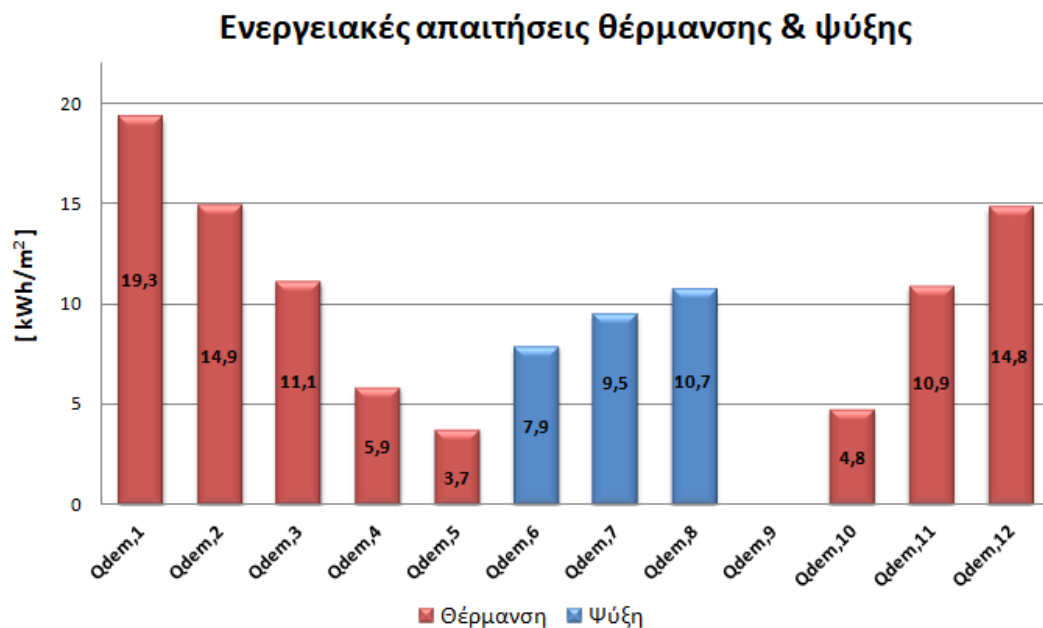
Να σημειωθεί πως για κλιματική ζώνη Δ στην οποία ανήκει το υπό μελέτη κτήριο, η περίοδος θέρμανσης ορίζεται το χρονικό διάστημα 15/10-30/4, ενώ η περίοδος ψύξης ορίζεται το χρονικό διάστημα 1/6-31/8. Την υπόλοιπη χρονική περίοδο, δε σημειώνονται σημαντικές απαιτήσεις θέρμανσης-ψύξης καθώς καλύπτονται από τα θερμικά κέρδη-απώλειες του κτηρίου.

Το επιμελητήριο όμως καλύπτει τις ανάγκες θέρμανσης από το δίκτυο της τηλεθέρμανσης το οποίο λειτουργεί από αρχές Οκτωβρίου έως τέλη Μαΐου. Επομένως, η περίοδος θέρμανσης σε αυτή την περίπτωση ορίζεται το χρονικό διάστημα 1/10-31/5, η περίοδος ψύξης παραμένει ίδια 1/6-31/8 και ο μήνας Σεπτέμβριος παραμένει ουδέτερος χωρίς ιδιαίτερες απαιτήσεις σε θέρμανση ή ψύξη.

Στη συνέχεια ακολουθεί ο Πίνακας 4.2 με τις μηνιαίες και ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις σε θέρμανση και ψύξη του επιμελητηρίου Κοζάνης καθώς και σχηματική απεικόνιση (Σχήμα 4.1) για περαιτέρω κατανόηση των αποτελεσμάτων.

Ενεργειακές απαιτήσεις					
Θέρμανση	[kWh]	[kWh/m ²]	Ψύξη	[kWh]	[kWh/m ²]
Q _{H,dem,1}	6761,7	19,3	Q _{C,dem,1}	0	0
Q _{H,dem,2}	5218,2	14,9	Q _{C,dem,2}	0	0
Q _{H,dem,3}	3900,6	11,1	Q _{C,dem,3}	0	0
Q _{H,dem,4}	2050,2	5,9	Q _{C,dem,4}	0	0
Q _{H,dem,5}	1309,5	3,7	Q _{C,dem,5}	0	0
Q _{H,dem,6}	0	0	Q _{C,dem,6}	2755,3	7,9
Q _{H,dem,7}	0	0	Q _{C,dem,7}	3314,5	9,5
Q _{H,dem,8}	0	0	Q _{C,dem,8}	3744,2	10,7
Q _{H,dem,9}	0	0	Q _{C,dem,9}	0	0
Q _{H,dem,10}	1665,9	4,8	Q _{C,dem,10}	0	0
Q _{H,dem,11}	3804,3	10,9	Q _{C,dem,11}	0	0
Q _{H,dem,12}	5187,6	14,8	Q _{C,dem,12}	0	0
Σύνολο	29898	85,4	Σύνολο	9814	28

Πίνακας 4.2: Ενεργειακές απαιτήσεις θέρμανσης & ψύξης του επιμελητηρίου Κοζάνης



Σχήμα 4.1: Μηνιαίες ενεργειακές απαιτήσεις θέρμανσης & ψύξης του επιμελητηρίου Κοζάνης

Γενικά παρατηρείται ότι η τάση των ενεργειακών απαιτήσεων σε θέρμανση/ψύξη δικαιολογείται απόλυτα από τα κλιματικά δεδομένα της περιοχής. Όπως ήταν αναμενόμενο το κτήριο έχει μεγαλύτερες ενεργειακές απαιτήσεις τη χειμερινή περίοδο λόγω του ψυχρού κλίματος.

4.4.1.2 Ζεστό νερό χρήσης (ZNX)

Το ενεργειακό σύστημα που επιλέχθηκε στο Revit παράγει ζεστό νερό χρήσης (ZNX) με βαθμό απόδοσης 0,575. Επομένως για την εύρεση των ενεργειακών απαιτήσεων του κτηρίου σε ZNX ακολουθείται η ίδια διαδικασία υπολογισμών, δηλαδή:

$$Q_{ZNX,dem} = Q_{ZNX,con,REVIT} * \eta_{ZNX} \quad (4.3)$$

Όπου:

$Q_{ZNX,dem}$: οι ενεργειακές απαιτήσεις παραγωγής ζεστού νερού χρήσης, [kWh ή kWh/m²]

$Q_{ZNX,con,REVIT}$: οι ενεργειακές καταναλώσεις παραγωγής ζεστού νερού χρήσης του συστήματος που επιλέχθηκε στο Revit και εξήχθησαν από την προσομοίωση του κτηρίου στο GBS, [kWh ή kWh/m²]

η_{ZNX} : ο βαθμός απόδοσης του ενεργειακού συστήματος παραγωγής ζεστού νερού χρήσης, ο οποίος ισούται με 0,575

Στη συνέχεια ακολουθεί ο Πίνακας 4.3 με τις μηνιαίες και ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις σε ZNX του επιμελητηρίου Κοζάνης καθώς και σχηματική απεικόνιση (Σχήμα 4.2) για περαιτέρω κατανόηση των αποτελεσμάτων.

Ενεργειακές απαιτήσεις		
ZNX	[kWh]	[kWh/m ²]
$Q_{ZNX,dem,1}$	205,3	0,6
$Q_{ZNX,dem,2}$	183,4	0,5
$Q_{ZNX,dem,3}$	196,1	0,6
$Q_{ZNX,dem,4}$	175,4	0,5
$Q_{ZNX,dem,5}$	166,7	0,5
$Q_{ZNX,dem,6}$	146,1	0,4
$Q_{ZNX,dem,7}$	137,4	0,4
$Q_{ZNX,dem,8}$	135,7	0,4
$Q_{ZNX,dem,9}$	135,1	0,4
$Q_{ZNX,dem,10}$	158,7	0,5

Q _{ZNX,dem,11}	171,9	0,5
Q _{ZNX,dem,12}	188,6	0,5
Σύνολο	2000,4	5,7

Πίνακας 4.3: Ενεργειακές απαιτήσεις παραγωγής ζεστού νερού χρήσης του επιμελητηρίου Κοζάνης



Σχήμα 4.2: Μηνιαίες ενεργειακές απαιτήσεις παραγωγής ζεστού νερού χρήσης του επιμελητηρίου Κοζάνης

Παρατηρείται ότι τους θερινούς μήνες το κτήριο έχει λιγότερες ενεργειακές απαιτήσεις για παραγωγή ΖΝΧ και αυτό δικαιολογείται απόλυτα από τη μικρότερη διαφορά μεταξύ της επιθυμητής θερμοκρασίας (45°C) και της θερμοκρασίας του νερού δικτύου της περιοχής.

Σύμφωνα με την ΤΟΤΕΕ 20701-3/2010 (ΤΕΕ, 2010), η μέση μηνιαία θερμοκρασία του νερού δικτύου για την κλιματική ζώνη Δ στην οποία ανήκει η πόλη της Κοζάνης είναι η ακόλουθη (Πίνακας 4.4):

Μέση μηνιαία θερμοκρασία νερού δικτύου [°C]											
I	Φ	M	A	M	I	I	A	Σ	O	N	Δ
4,2	5	7,5	11,5	15,7	19,8	22,2	22,7	20,2	15,9	10,8	6,6

Πίνακας 4.4: Μέση μηνιαία θερμοκρασία νερού δικτύου για την κλιματική ζώνη Δ

Γενικά, παρατηρείται πως η τάση των ενεργειακών απαιτήσεων ταιριάζει με τα κλιματικά δεδομένα της περιοχής με μικρή διακύμανση (μείωση) τον μήνα Φεβρουάριο. Αυτό ίσως να οφείλεται στον μειωμένο αριθμό ημερών του συγκεκριμένου μήνα, το οποίο λαμβάνεται υπόψη κατά τη διάρκεια των υπολογισμών των ενεργειακών απαιτήσεων παραγωγής ZNX.

4.4.1.3 Φωτισμός & Εξοπλισμός

Τα συστήματα τεχνικού φωτισμού και όλες οι συσκευές που χρησιμοποιούνται στα γραφεία όπως οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές, τα φωτοτυπικά μηχανήματα κ.ά. αποτελούν τον εξοπλισμό του κτηρίου και τροφοδοτούνται με ηλεκτρική ενέργεια. Οι ενεργειακές απαιτήσεις ταυτίζονται με τις ενεργειακές καταναλώσεις κάλυψης αυτών των φορτίων καθώς δεν υπάρχουν σημαντικές απώλειες ενέργειας.

Στη συνέχεια ακολουθεί ο Πίνακας 4.5 με τα μηνιαία και ετήσια ενεργειακά φορτία φωτισμού και εξοπλισμού του επιμελητηρίου Κοζάνης καθώς και σχηματική απεικόνιση (Σχήμα 4.3) για περαιτέρω κατανόηση των αποτελεσμάτων. Αυτά τα ενεργειακά φορτία είναι ίδια με αυτά που προέκυψαν από την προσομοίωση του κτηρίου στο GBS.

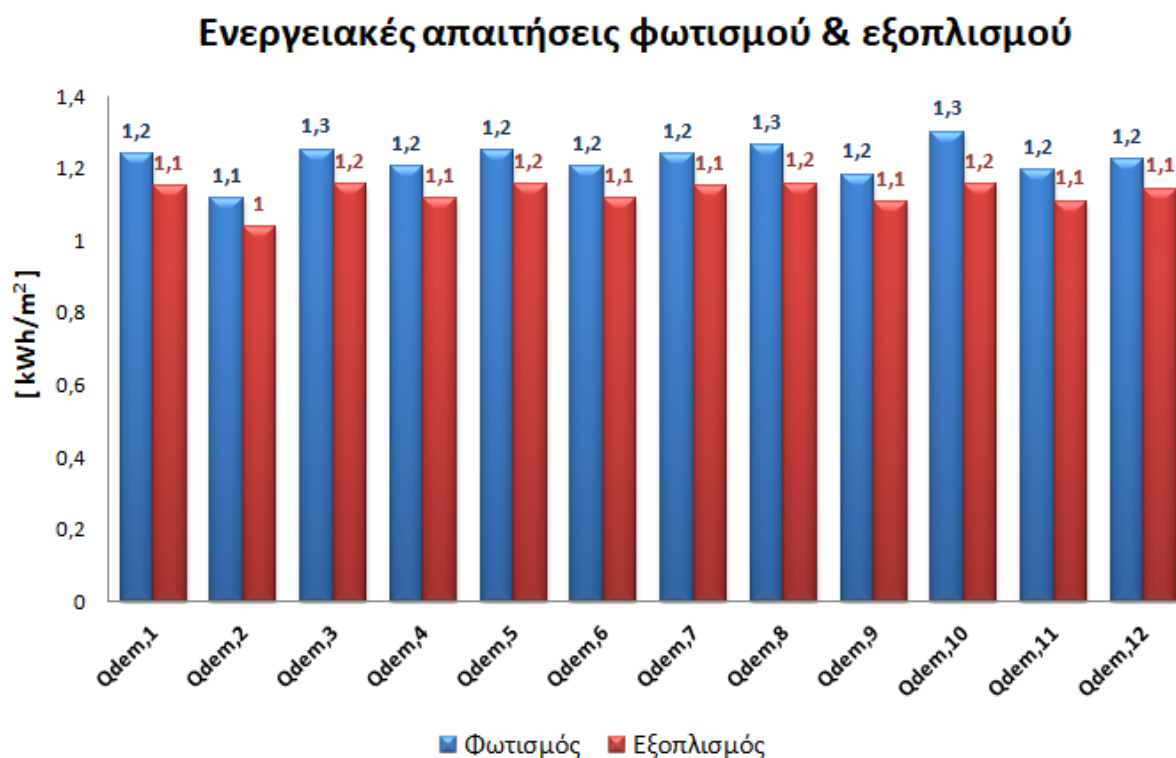
Ενεργειακές απαιτήσεις					
Φωτισμός	[kWh]	[kWh/m ²]	Εξοπλισμός	[kWh]	[kWh/m ²]
Q _{light,dem,1}	433	1,2	Q _{eq,dem,1}	402	1,1
Q _{light,dem,2}	391	1,1	Q _{eq,dem,2}	363	1
Q _{light,dem,3}	438	1,3	Q _{eq,dem,3}	404	1,2
Q _{light,dem,4}	422	1,2	Q _{eq,dem,4}	390	1,1
Q _{light,dem,5}	437	1,2	Q _{eq,dem,5}	404	1,2
Q _{light,dem,6}	422	1,2	Q _{eq,dem,6}	390	1,1
Q _{light,dem,7}	433	1,2	Q _{eq,dem,7}	402	1,1
Q _{light,dem,8}	442	1,3	Q _{eq,dem,8}	405	1,2
Q _{light,dem,9}	414	1,2	Q _{eq,dem,9}	387	1,1
Q _{light,dem,10}	437	1,3	Q _{eq,dem,10}	404	1,2
Q _{light,dem,11}	418	1,2	Q _{eq,dem,11}	388	1,1
Q _{light,dem,12}	429	1,2	Q _{eq,dem,12}	400	1,1
Σύνολο	5116	14,6	Σύνολο	4739	13,5

Πίνακας 4.5: Ενεργειακές απαιτήσεις φωτισμού & εξοπλισμού του επιμελητηρίου Κοζάνης

Να σημειωθεί πως η ισχύς φωτισμού και εξοπλισμού όπου αποτελούν σημαντικές παραμέτρους των χώρων του κτηρίου στο Revit, συμπληρώθηκαν σύμφωνα με την ΤΟΤΕΕ 20701-1/2017 (ΤΕΕ, 2017α).

Πιο συγκεκριμένα, για στάθμη φωτισμού 250 lux (σύμφωνα με τα αποτελέσματα των μετρητικών οργάνων) προκύπτει ισχύς φωτισμού ίση με 7 W/m^2 και αναλόγως την ιδιότητα κάθε χώρου προκύπτει η ακόλουθη ισχύς εξοπλισμού ανά περίπτωση:

- Γραφεία: 15 W/m^2
- Λουτρό (κοινόχρηστο): 0 W/m^2
- Διάδρομοι και άλλοι κοινόχρηστοι βοηθητικοί χώροι: 0 W/m^2
- Χώρος συνεδρίων (αίθουσα παρουσιάσεων): 2 W/m^2



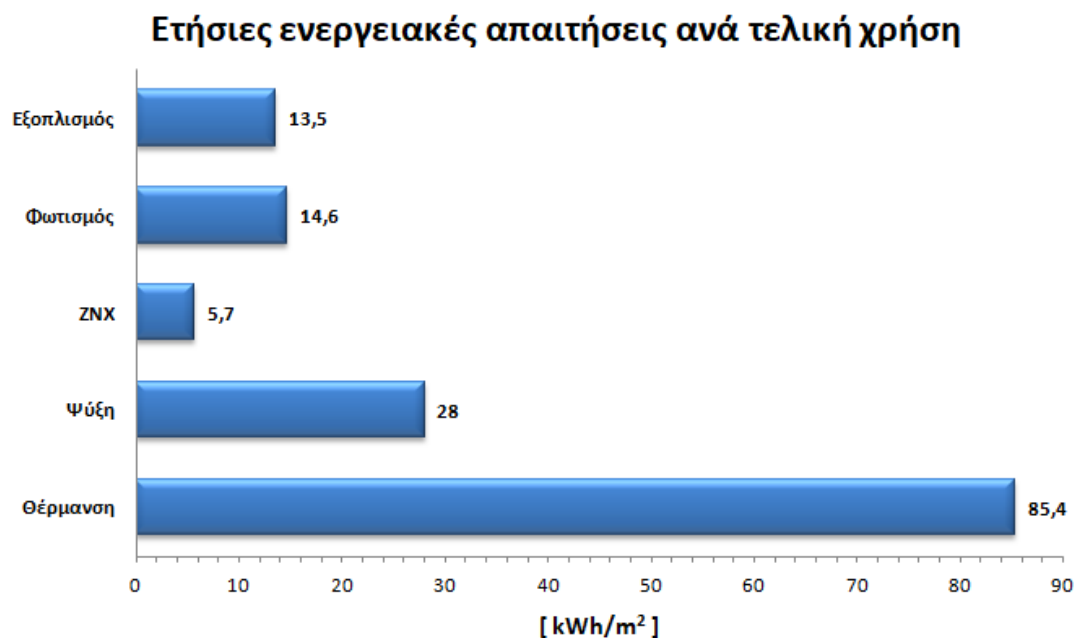
Σχήμα 4.3: Μηνιαίες ενεργειακές απαιτήσεις φωτισμού & εξοπλισμού του επιμελητηρίου Κοζάνης

4.4.1.4 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα ενεργειακών απαιτήσεων

Ακολουθεί ο Πίνακας 4.6 με τις ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις ανά τελική χρήση του επιμελητηρίου Κοζάνης, καθώς και σχηματικές απεικονίσεις (Σχήματα 4.4 & 4.5) για περαιτέρω κατανόηση των αποτελεσμάτων.

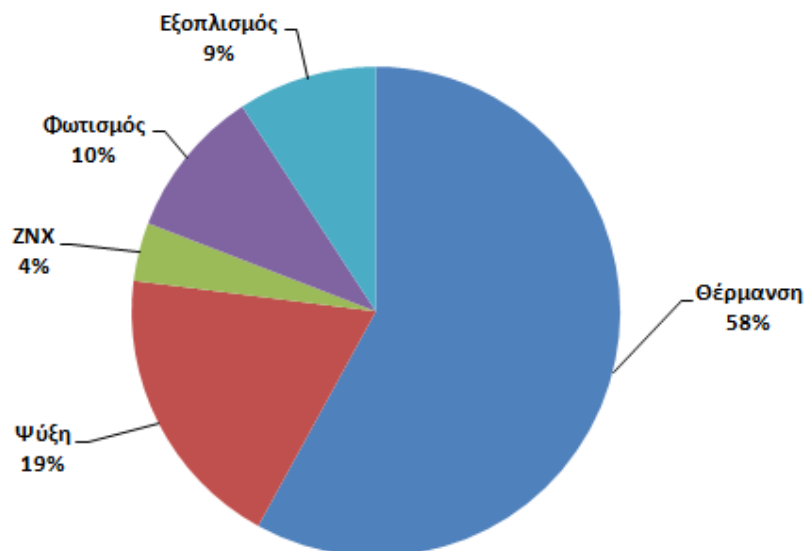
Ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις ανά τελική χρήση	[kWh]	[kWh/m ²]
Θέρμανση	29898	85,4
Ψύξη	9814	28
ZNX	2000,4	5,7
Φωτισμός	5116	14,6
Εξοπλισμός	4739	13,5
Σύνολο	51567,4	147,2

Πίνακας 4.6: Ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις ανά τελική χρήση του επιμελητηρίου Κοζάνης



Σχήμα 4.4: Ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις ανά τελική χρήση του επιμελητηρίου Κοζάνης

Ενεργειακές απαιτήσεις ανά τελική χρήση



Σχήμα 4.5: Ενεργειακές απαιτήσεις ανά τελική χρήση του επιμελητηρίου Κοζάνης

Αριθμητικά αλλά και γραφικά επιβεβαιώνεται πως το υπό μελέτη κτήριο έχει μεγάλες απαιτήσεις θέρμανσης αγγίζοντας σχεδόν το 60% των συνολικών ετήσιων ενεργειακών απαιτήσεων. Αυτό οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στο ψυχρό κλίμα της Κοζάνης καθώς σημειώνονται πολύ χαμηλές θερμοκρασίες τη χειμερινή περίοδο. Επιπρόσθετα η ελλιπής θερμομόνωση του κτηριακού κελύφους οδηγεί σε θερμικές απώλειες και σε μεγαλύτερες ανάγκες θέρμανσης αντίστοιχα. Αντιθέτως το κτήριο δεν έχει σημαντικές ανάγκες κάλυψης φορτίων ψύξης αφού αποτελεί μόλις το 1/3 του φορτίου θέρμανσης.

Τα ηλεκτρικά φορτία (φωτισμός & εξοπλισμός) αποτελούν το 20% των ενεργειακών απαιτήσεων ενώ οι απαιτήσεις παραγωγής ζεστού νερού χρήσης είναι ελάχιστες της τάξης του 4% εφόσον το κτήριο εξυπηρετεί ανάγκες γραφείου.

4.4.2 Ενεργειακές καταναλώσεις

Στην παρούσα ενότητα δίνεται έμφαση στην απόδοση των ενεργειακών συστημάτων που χρησιμοποιεί το επιμελητήριο Κοζάνης για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης, ψύξης, ZNX, φωτισμού και εξοπλισμού. Πιο συγκεκριμένα θα υπάρξει αναλυτικός υπολογισμός της αποδοτικότητας τους, καθώς υπάρχουν απώλειες από την παραγωγή έως την εκπομπή-απόδοση κάθε ενέργειας. Έτσι θα προκύψουν οι ενεργειακές καταναλώσεις σύμφωνα με τα δικά του ενεργειακά συστήματα και αναλόγως την πηγή ενέργειας θα υπολογιστούν οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας. Τέλος να αναφερθεί ότι, προτιμήθηκε η ανάλυση των ενεργειακών καταναλώσεων να γίνει με τη βοήθεια της μεθόδου που προτείνει ο Κ.Εν.Α.Κ (ΤΕΕ, 2017), καθώς είναι πιο απλή στην εφαρμογή της και ιδιαίτερα αξιόπιστη.

4.4.2.1 Σύστημα θέρμανσης

Το υπό μελέτη κτήριο είναι συνδεδεμένο στο δίκτυο τηλεθέρμανσης της Κοζάνης και με αυτόν τον τρόπο καλύπτει τις ανάγκες του σε θέρμανση και ZNX. Ο συνολικός βαθμός απόδοσης του συστήματος θέρμανσης εξαρτάται από τους βαθμούς απόδοσης του εναλλάκτη του θερμικού υποσταθμού τηλεθέρμανσης, του δικτύου διανομής και των τερματικών μονάδων. Οι απώλειες του δικτύου από το σημείο παραγωγής (ΔΕΗ) μέχρι τον εναλλάκτη δε λαμβάνονται υπόψη στους υπολογισμούς, καθώς δεν αφορούν τις κτηριακές εγκαταστάσεις.

Πιο αναλυτικά ο βαθμός απόδοσης του πλακοειδούς εναλλάκτη θερμότητας νερού-νερού είναι 0,99 αλλά λόγω παλαιότητας λαμβάνεται μειωμένος κατά 10%, δηλαδή ίσος με $n_{gen}=0,89$.

Σχετικά με το δίκτυο διανομής και σύμφωνα με την TOTEE 20701-1/2017 (ΤΕΕ, 2017α):

- για θερμική ισχύ δικτύου διανομής μεγαλύτερη των 400 kW
- για δίκτυα διανομής θέρμανσης με υψηλές θερμοκρασίες προσαγωγής θερμικού μέσου ($\geq 60^{\circ}\text{C}$)
- για διέλευση σε εσωτερικούς χώρους έως και 20% σε εξωτερικούς χώρους

και

- για ανεπαρκή μόνωση

προκύπτουν θερμικές απώλειες της τάξης του 4%, δηλαδή ο βαθμός απόδοσης του δικτύου διανομής είναι ίσος με $n_{H,ls}=0,96$.

Τέλος, ο βαθμός απόδοσης των τερματικών μονάδων σύμφωνα με την TOTEE 20701-1/2017 (ΤΕΕ, 2017α) υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$n_{em,t} = \frac{n_{em}}{f_{rad} * f_{im} * f_{hydr}} \quad (4.4)$$

Όπου:

f_{rad} : ο παράγοντας για την αποτελεσματικότητα της ακτινοβολίας των τερματικών μονάδων και εξαρτάται από το ύψος των χώρων που θερμαίνονται

f_{im} : ο παράγοντας διακοπτόμενης λειτουργίας

f_{hydr} : ο παράγοντας για την υδραυλική ισορροπία του δικτύου των τερματικών μονάδων

n_{em} : η απόδοση εκπομπής της τερματικής μονάδας

Οι τερματικές μονάδες της παρούσας μελέτης έχουν τα εξής χαρακτηριστικά:

- βρίσκονται σε χώρους με ύψος μικρότερο από 4 m, άρα $f_{rad}=1$
- έχουν διακοπτόμενη λειτουργία, άρα $f_{im}=0,97$
- έχουν υδραυλικά εξισορροπημένο σύστημα, άρα $f_{hydr}=1$

και για τερματική μονάδα άμεσης απόδοσης σε εσωτερικό τοίχο με θερμοκρασία μέσου $T=90-70^{\circ}C$, προκύπτει η απόδοση εκπομπής της ίση με $n_{em}=0,85$.

Επομένως, ο βαθμός απόδοσης των τερματικών μονάδων είναι ίσος με $n_{H,em,t}=0,876$.

Ο συνολικός βαθμός απόδοσης του συστήματος θέρμανσης ισούται με:

$$n_H = n_{gen} * n_{H,ls} * n_{H,em,t} = 0,89 * 0,96 * 0,876 \Rightarrow n_H = 0,748 \text{ ή } 74,8\%$$

Επομένως οι ζητούμενες τελικές ενεργειακές καταναλώσεις θέρμανσης σε μηνιαία και ετήσια βάση υπολογίζονται ως εξής:

$$Q_{H,con} = \frac{Q_{H,dem}}{\eta_H} \quad (4.5)$$

Όπου:

$Q_{H,con}$: οι ενεργειακές καταναλώσεις θέρμανσης, [kWh ή kWh/m²]

$Q_{H,dem}$: οι ενεργειακές απαιτήσεις θέρμανσης όπου υπολογίστηκαν στην προηγούμενη ενότητα, [kWh ή kWh/m²]

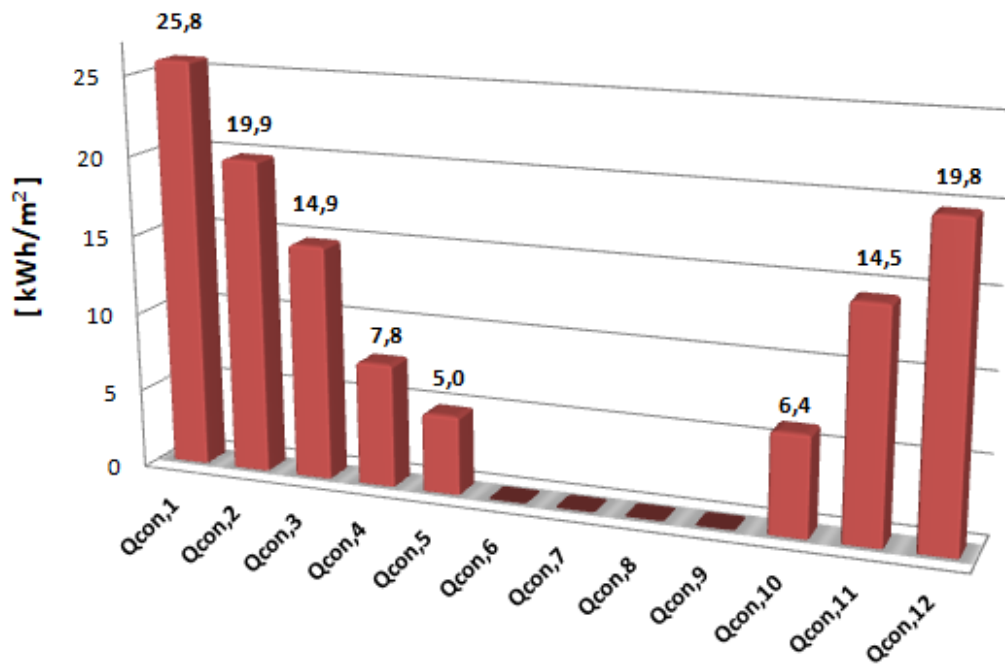
η_H : ο βαθμός απόδοσης του συστήματος θέρμανσης, ο οποίος ισούται με 0,748

Στη συνέχεια ακολουθεί ο Πίνακας 4.7 με τις μηνιαίες και ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις θέρμανσης του επιμελητηρίου Κοζάνης καθώς και σχηματική απεικόνιση (Σχήμα 4.6) για περαιτέρω κατανόηση των αποτελεσμάτων.

Ενεργειακές καταναλώσεις		
Θέρμανση	[kWh]	[kWh/m ²]
$Q_{H,con,1}$	9039,7	25,8
$Q_{H,con,2}$	6976,2	19,9
$Q_{H,con,3}$	5214,7	14,9
$Q_{H,con,4}$	2740,9	7,8
$Q_{H,con,5}$	1750,7	5
$Q_{H,con,10}$	2227,1	6,4
$Q_{H,con,11}$	5086	14,6
$Q_{H,con,12}$	6935,3	19,8
Σύνολο	39970,6	114,2

Πίνακας 4.7: Ενεργειακές καταναλώσεις θέρμανσης του επιμελητηρίου Κοζάνης

Ενεργειακές καταναλώσεις θέρμανσης



Σχήμα 4.6: Μηνιαίες ενεργειακές καταναλώσεις θέρμανσης του επιμελητηρίου Κοζάνης

4.4.2.2 Σύστημα ψύξης

Το υπό μελέτη κτήριο διαθέτει σε κάποια γραφεία κλιματιστικές μονάδες, όπου σύμφωνα με την TOTEE 20701-1/2017 (TEE, 2017α) έχουν βαθμό ενεργειακής απόδοσης ίσο με **EER=2,8**.

Πρόκειται για τοπικά συστήματα ψύξης, δηλαδή δεν υπάρχει δίκτυο διανομής, οι απώλειες θεωρούνται μηδενικές για αυτό και ο βαθμός απόδοσης του δικτύου διανομής είναι ίσος με $n_{c,ls}=1$.

Τέλος, ο βαθμός απόδοσης των τερματικών μονάδων σύμφωνα με την TOTEE 20701-1/2017 (TEE, 2017α) υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$n_{em,t} = \frac{n_{em}}{f_{im} * f_{hydr}} \quad (4.6)$$

Όπου:

f_{im} : ο παράγοντας διακοπτόμενης λειτουργίας

f_{hydr} : ο παράγοντας για την υδραυλική ισορροπία του δικτύου των τερματικών μονάδων

n_{em} : η απόδοση εκπομπής της τερματικής μονάδας

Οι τερματικές μονάδες της παρούσας μελέτης έχουν τα εξής χαρακτηριστικά:

- έχουν διακοπτόμενη λειτουργία, άρα $f_{im}=0,97$
- έχουν υδραυλικά εξισορροπημένο σύστημα, άρα $f_{hydr}=1$
- και αφού το κτήριο διαθέτει μόνο κλιματιστικές μονάδες διαχείρισης αέρα για την κάλυψη του συνολικού ψυκτικού φορτίου, η απόδοση εκπομπής λαμβάνεται ίση με $n_{em}=1$

Επομένως, ο βαθμός απόδοσης των τερματικών μονάδων είναι ίσος με $n_{C,em,t}=0,97$.

Ο συνολικός βαθμός απόδοσης του συστήματος ψύξης ισούται με:

$$n_C = EER * \eta_s * n_{em,t} = 2,8 * 1 * 0,97 \Rightarrow n_C = 2,72$$

Επομένως οι ζητούμενες τελικές ενεργειακές καταναλώσεις ψύξης σε μηνιαία και ετήσια βάση υπολογίζονται ως εξής:

$$Q_{C,con} = \frac{Q_{C,dem}}{n_C} \quad (4.7)$$

Όπου:

$Q_{C,con}$: οι ενεργειακές καταναλώσεις ψύξης, [kWh ή kWh/m²]

$Q_{C,dem}$: οι ενεργειακές απαιτήσεις ψύξης όπου υπολογίστηκαν στην προηγούμενη ενότητα, [kWh ή kWh/m²]

n_C : ο βαθμός απόδοσης του συστήματος ψύξης, ο οποίος ισούται με 2,72

Στη συνέχεια ακολουθεί ο Πίνακας 4.8 με τις μηνιαίες και ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις ψύξης του επιμελητηρίου Κοζάνης καθώς και σχηματική απεικόνιση (Σχήμα 4.7) για περαιτέρω κατανόηση των αποτελεσμάτων.

Ενεργειακές καταναλώσεις		
Ψύξη	[kWh]	[kWh/m ²]
Q _{H,con,6}	984	2,8
Q _{H,con,7}	1183,7	3,4
Q _{H,con,8}	1337,2	3,8
Σύνολο	3504,9	10

Πίνακας 4.8: Ενεργειακές καταναλώσεις ψύξης του επιμελητηρίου Κοζάνης



Σχήμα 4.7: Μηνιαίες ενεργειακές καταναλώσεις ψύξης του επιμελητηρίου Κοζάνης

4.4.2.3 Σύστημα παραγωγής ζεστού νερού χρήσης (ZNX)

Το ζεστό νερό χρήσης παρέχεται από το δίκτυο τηλεθέρμανσης της Κοζάνης για αυτό ο βαθμός απόδοσης παραγωγής ZNX ισούται με $n_{gen}=0,89$, δηλαδή ίσος με τον βαθμό απόδοσης του εναλλάκτη θερμότητας.

Σχετικά με το δίκτυο διανομής και σύμφωνα με την TOTEE 20701-1/2017 (TEE, 2017α):

- για ημερήσια ζήτηση ZNX: 50-200 lt (την κατώτερη εφόσον εξυπηρετεί ανάγκες γραφείου)
- χωρίς ανακυκλοφορία και ανεπαρκή μόνωση

προκύπτουν θερμικές απώλειες της τάξης του 16%, δηλαδή ο βαθμός απόδοσης του δικτύου διανομής είναι ίσος με $n_{ZNX,ls}=0,84$.

Τέλος, ο βαθμός απόδοσης των τερματικών μονάδων σύμφωνα με την TOTEE 20701-1/2017 (TEE, 2017α) λόγω:

- των θερμικών απωλειών του εναλλάκτη θερμότητας των θερμοαντήρων (boiler) τάξης του 5%

και

- των πλευρικών θερμικών απωλειών από το μεταλλικό μονωμένο τοίχωμα των θερμοαντήρων, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι σε εσωτερικό χώρο τάξης του 2%

προκύπτει ίσος με $n_{ZNX,em,t}=0,93$.

Ο συνολικός βαθμός απόδοσης ZNX ισούται με:

$$n_{ZNX} = n_{gen} * n_{ZNX,ls} * n_{ZNX,em,t} = 0,89 * 0,84 * 0,93 \Rightarrow n_{ZNX} = 0,695 \text{ ή } 69,5\%$$

Επομένως οι ζητούμενες τελικές ενεργειακές καταναλώσεις παραγωγής ZNX σε μηνιαία και ετήσια βάση υπολογίζονται ως εξής:

$$Q_{ZNX,con} = \frac{Q_{ZNX,dem}}{\eta_{ZNX}} \quad (4.8)$$

Όπου:

$Q_{ZNX,con}$: οι ενεργειακές καταναλώσεις παραγωγής ZNX, [kWh ή kWh/m²]

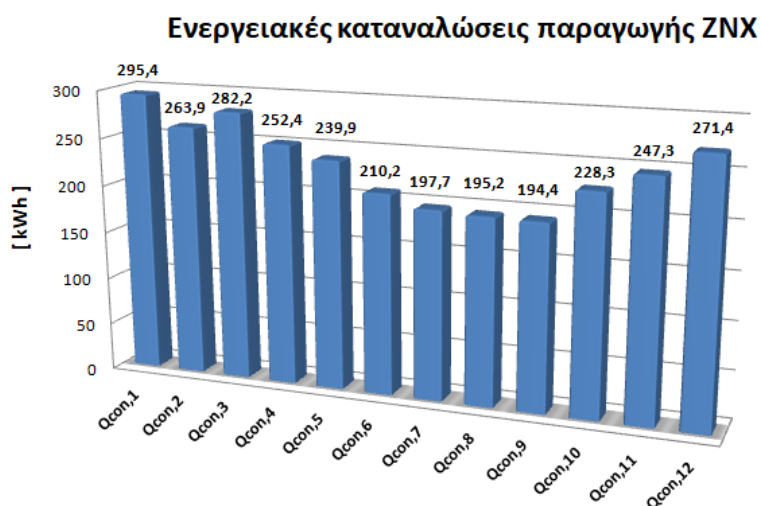
$Q_{ZNX,dem}$: οι ενεργειακές απαιτήσεις παραγωγής ZNX όπου υπολογίστηκαν στην προηγούμενη ενότητα, [kWh ή kWh/m²]

η_{ZNX} : ο βαθμός απόδοσης ZNX, ο οποίος ισούται με 0,695

Στη συνέχεια ακολουθεί ο Πίνακας 4.9 με τις μηνιαίες και ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις παραγωγής ZNX του επιμελητηρίου Κοζάνης καθώς και σχηματική απεικόνιση (Σχήμα 4.8) για περαιτέρω κατανόηση των αποτελεσμάτων.

Ενεργειακές καταναλώσεις		
ZNX	[kWh]	[kWh/m ²]
$Q_{ZNX,con,1}$	295,4	0,8
$Q_{ZNX,con,2}$	263,9	0,7
$Q_{ZNX,con,3}$	282,2	0,8
$Q_{ZNX,con,4}$	252,4	0,7
$Q_{ZNX,con,5}$	239,9	0,7
$Q_{ZNX,con,6}$	210,2	0,6
$Q_{ZNX,con,7}$	197,7	0,6
$Q_{ZNX,con,8}$	195,2	0,6
$Q_{ZNX,con,9}$	194,4	0,6
$Q_{ZNX,con,10}$	228,3	0,6
$Q_{ZNX,con,11}$	247,3	0,7
$Q_{ZNX,con,12}$	271,4	0,8
Σύνολο	2878,3	8,2

Πίνακας 4.9: Ενεργειακές καταναλώσεις παραγωγής ζεστού νερού χρήσης του επιμελητηρίου Κοζάνης



Σχήμα 4.8: Μηνιαίες ενεργειακές καταναλώσεις παραγωγής ζεστού νερού χρήσης του επιμελητηρίου Κοζάνης

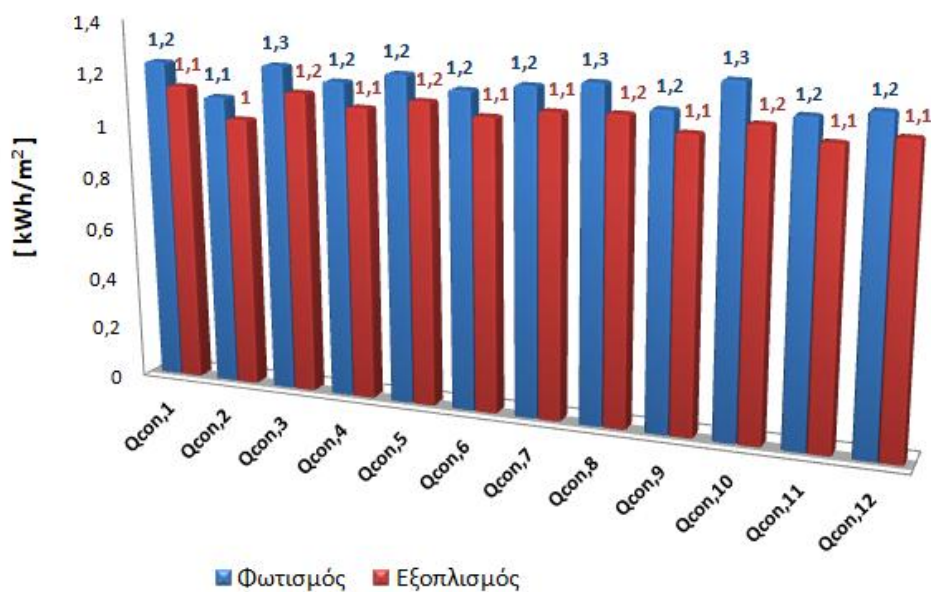
4.4.2.4 Φωτισμός & Εξοπλισμός

Οι ενεργειακές καταναλώσεις του φωτισμού και εξοπλισμού (Πίνακας 4.10 & Σχήμα 4.9) ταυτίζονται με τις ενεργειακές απαιτήσεις που υπολογίστηκαν στην προηγούμενη ενότητα καθώς δεν υπάρχουν απώλειες ηλεκτρικής ενέργειας.

Ενεργειακές καταναλώσεις					
Φωτισμός	<i>[kWh]</i>	<i>[kWh/m²]</i>	Εξοπλισμός	<i>[kWh]</i>	<i>[kWh/m²]</i>
Q _{light,con,1}	433	1,2	Q _{eq,con,1}	402	1,1
Q _{light,con,2}	391	1,1	Q _{eq,con,2}	363	1
Q _{light,con,3}	438	1,3	Q _{eq,con,3}	404	1,2
Q _{light,con,4}	422	1,2	Q _{eq,con,4}	390	1,1
Q _{light,con,5}	437	1,2	Q _{eq,con,5}	404	1,2
Q _{light,con,6}	422	1,2	Q _{eq,con,6}	390	1,1
Q _{light,con,7}	433	1,2	Q _{eq,con,7}	402	1,1
Q _{light,con,8}	442	1,3	Q _{eq,con,8}	405	1,2
Q _{light,con,9}	414	1,2	Q _{eq,con,9}	387	1,1
Q _{light,con,10}	437	1,3	Q _{eq,con,10}	404	1,2
Q _{light,con,11}	418	1,2	Q _{eq,con,11}	388	1,1
Q _{light,con,12}	429	1,2	Q _{eq,con,12}	400	1,1
Σύνολο	5116	14,6	Σύνολο	4739	13,5

Πίνακας 4.10: Ενεργειακές καταναλώσεις φωτισμού & εξοπλισμού του επιμελητηρίου Κοζάνης

Ενεργειακές καταναλώσεις φωτισμού & εξοπλισμού



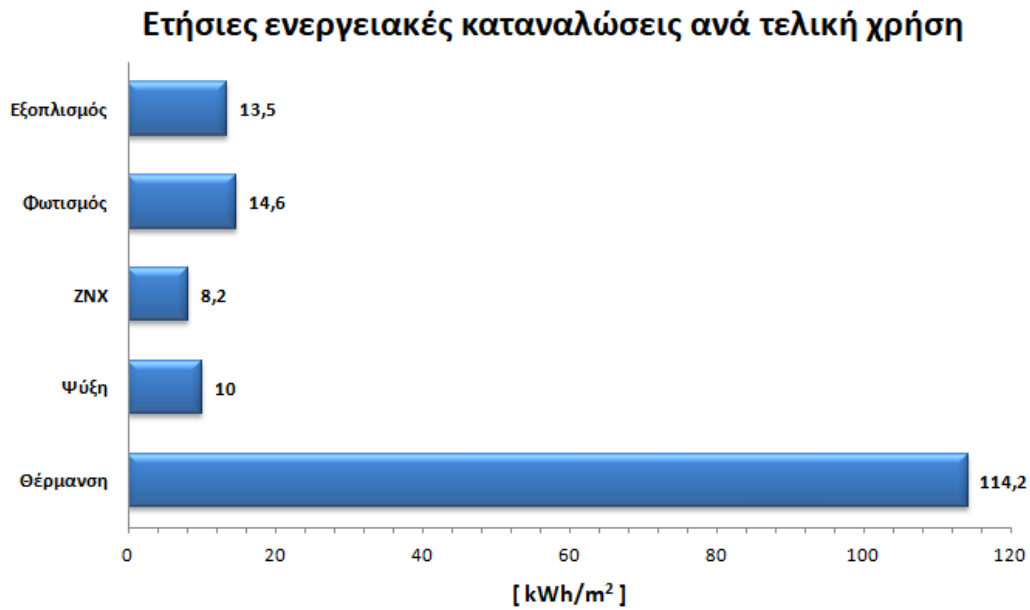
Σχήμα 4.9: Μηνιαίες ενεργειακές καταναλώσεις φωτισμού & εξοπλισμού του επιμελητηρίου Κοζάνης

4.4.2.5 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα ενεργειακών καταναλώσεων

Ακολουθούν οι Πίνακες 4.11 & 4.12 με τις μηνιαίες και ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις ανά τελική χρήση του επιμελητηρίου Κοζάνης, καθώς και σχηματικές απεικονίσεις (Σχήματα 4.10 – 4.12) για περαιτέρω κατανόηση των αποτελεσμάτων.

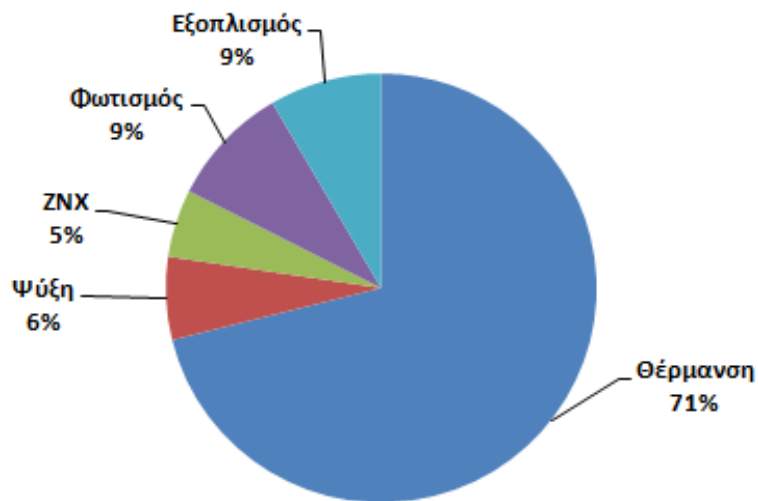
Ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις ανά τελική χρήση	[kWh]	[kWh/m ²]
Θέρμανση	39970,6	114,2
Ψύξη	3504,9	10
ZNX	2878,3	8,2
Φωτισμός	5116	14,6
Εξοπλισμός	4739	13,5
Σύνολο	56208,8	160,5

Πίνακας 4.11: Ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις ανά τελική χρήση του επιμελητηρίου Κοζάνης



Σχήμα 4.10: Ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις ανά τελική χρήση του επιμελητηρίου Κοζάνης

Ενεργειακές καταναλώσεις ανά τελική χρήση



Σχήμα 4.11: Ενεργειακές καταναλώσεις ανά τελική χρήση του επιμελητηρίου Κοζάνης

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι το 71% της καταναλισκόμενης ενέργειας αποσκοπεί στην κάλυψη των φορτίων θέρμανσης του κτηρίου.

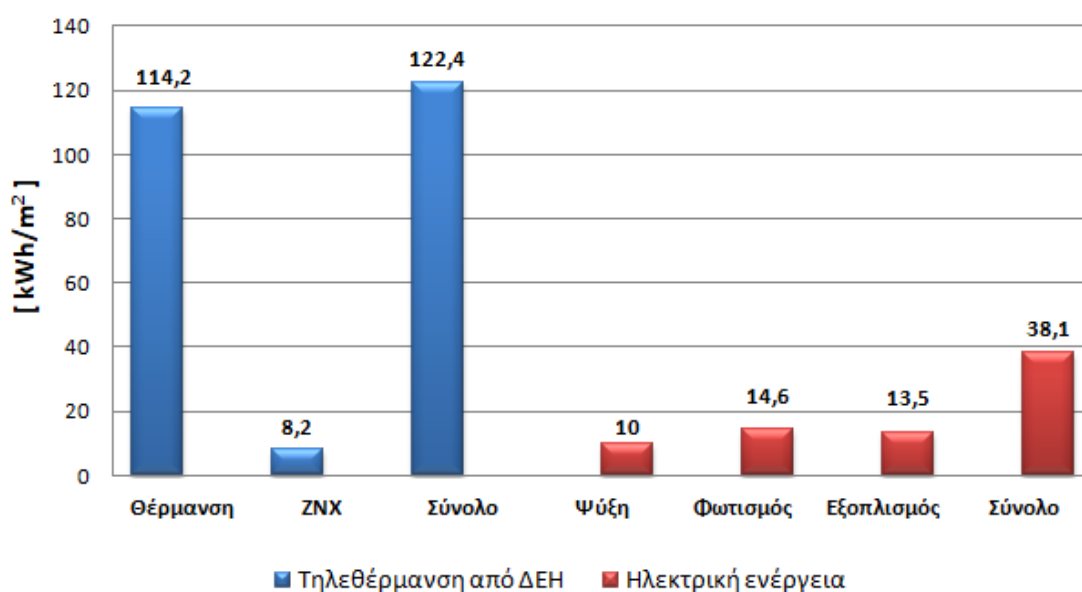
Συνολικές ενεργειακές καταναλώσεις						
[kWh/m ²]	Θέρμανση	Ψύξη	ZNX	Φωτισμός	Εξοπλισμός	Σύνολο
Q _{con,1}	25,8	0	0,8	1,2	1,1	28,9
Q _{con,2}	19,9	0	0,7	1,1	1	22,7
Q _{con,3}	14,9	0	0,8	1,3	1,2	18,2
Q _{con,4}	7,8	0	0,7	1,2	1,1	10,8
Q _{con,5}	5	0	0,7	1,2	1,2	8,1
Q _{con,6}	0	2,8	0,6	1,2	1,1	5,7
Q _{con,7}	0	3,4	0,6	1,2	1,1	6,3
Q _{con,8}	0	3,8	0,6	1,3	1,2	6,9
Q _{con,9}	0	0	0,6	1,2	1,1	2,9
Q _{con,10}	6,4	0	0,6	1,3	1,2	9,5
Q _{con,11}	14,6	0	0,7	1,2	1,1	17,6
Q _{con,12}	19,8	0	0,8	1,2	1,1	22,9
Σύνολο	114,2	10	8,2	14,6	13,5	160,5

Πίνακας 4.12: Συγκεντρωτικός πίνακας με τις ενεργειακές καταναλώσεις του επιμελητηρίου Κοζάνης



Σχήμα 4.12: Μηνιαίες ενεργειακές καταναλώσεις ανά τελική χρήση του επιμελητηρίου Κοζάνης

Καταναλώσεις ανά πηγή ενέργειας



Σχήμα 4.13: Ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις ανά πηγή ενέργειας του επιμελητηρίου Κοζάνης

Οι εκπομπές CO₂ και η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας σε ετήσια βάση (Πίνακας 4.13 & 4.14 αντίστοιχα) υπολογίζονται σύμφωνα με την ετήσια ενεργειακή κατανάλωση ανά πηγή ενέργειας (Σχήμα 4.13), τους εκλυόμενους ρύπους ανά μονάδα ενέργειας και τον συντελεστή μετατροπής σε πρωτογενή ενέργεια που δίνονται από την TOTEE 20701-1/2017 (ΤΕΕ, 2017α).

Πηγή ενέργειας	Κατανάλωση [kWh / m ²]	Εκλυόμενοι ρύποι ανά μονάδα ενέργειας [kg CO ₂ / kWh]	Εκπομπές CO ₂ [kg CO ₂ / m ²]
Τηλεθέρμανση από ΔΕΗ	122,4	0,347	42,5
Ηλεκτρική ενέργεια	38,1	0,989	37,7
Σύνολο	160,5	-	80,2

Πίνακας 4.13: Ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα του επιμελητηρίου Κοζάνης

Παρατηρείται ότι οι μισές περίπου εκπομπές CO₂ (47%) προέρχονται από τις ηλεκτρικές καταναλώσεις του κτηρίου ενώ ποσοτικά αποτελούν μόνο το 1/3 των καταναλώσεων τηλεθέρμανσης. Στόχος αυτής της μελέτης είναι να περιοριστούν οι

συγκεκριμένοι εκλυόμενοι ρύποι με την υλοποίηση ενεργειακών αναβαθμίσεων που θα προταθούν στο επόμενο κεφάλαιο, κάνοντας τη λειτουργία του κτηρίου πιο φιλική προς το περιβάλλον.

Πηγή ενέργειας	Κατανάλωση [kWh / m ²]	Συντελεστής μετατροπής σε πρωτογενή ενέργεια	Πρωτογενής κατανάλωση [kWh / m ²]
Τηλεθέρμανση από ΔΕΗ	122,4	0,7	85,7
Ηλεκτρική ενέργεια	38,1	2,9	110,5
Σύνολο	160,5	-	196,2

Πίνακας 4.14: Ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του επιμελητηρίου Κοζάνης

Ομοίως, η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για την κάλυψη ηλεκτρικής ισχύος του κτηρίου ανέρχεται σε ποσοστό 56,32% έναντι του συνολικού, κρίνοντας αναγκαία τη χρήση συστημάτων ΑΠΕ. Τέτοια συστήματα αξιοποιούν τις ανεξάντλητες πηγές ενέργειας του φυσικού περιβάλλοντος, όπως την ηλιακή ή αιολική ενέργεια, μετατρέποντας αυτές σε ηλεκτρική ενέργεια για την κάλυψη των αναγκών του κτηρίου. Η ενέργεια αυτή δεν παράγεται από συμβατικά καύσιμα, επομένως οι εκπομπές CO₂ και η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας είναι μηδενικές. Τέτοια σενάρια ενεργειακής αναβάθμισης θα αναλυθούν στο επόμενο κεφάλαιο σχετικά με την εφαρμογή τους στο υπό μελέτη κτήριο, καθώς θα υπάρξει και ανάλυση των κερδών που θα αποφέρουν σε μια μελλοντική υλοποίηση τους.

4.5 Έλεγχος αξιοπιστίας μοντέλου

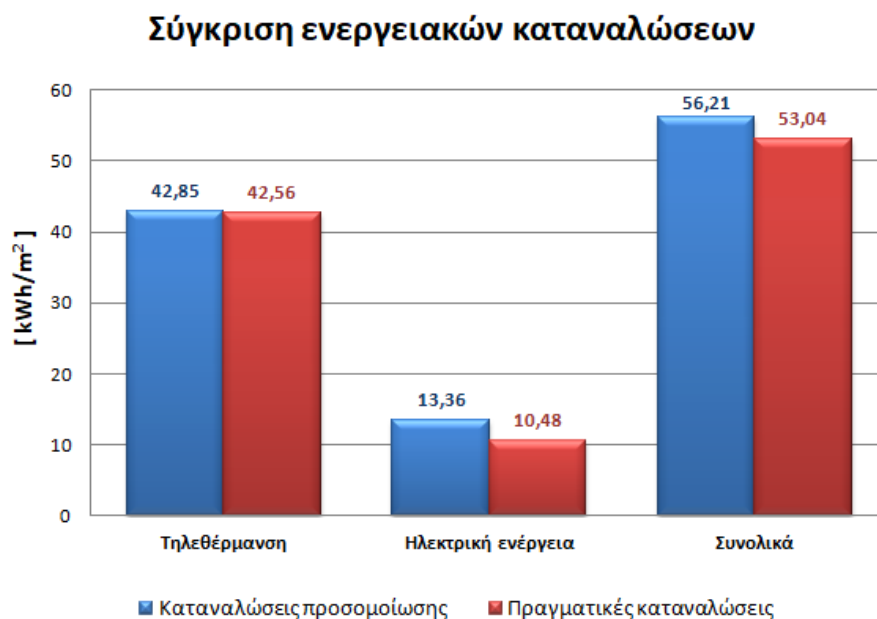
4.5.1 Σύγκριση αποτελεσμάτων υπολογισμών με πραγματικά δεδομένα

Σύμφωνα με ετήσιους λογαριασμούς ΔΕΥΑΚ και ΔΕΗ του επιμελητηρίου Κοζάνης, πραγματοποιείται σύγκριση των ενεργειακών καταναλώσεων της προσομοίωσης και των πραγματικών καταναλώσεων του κτηρίου και τα αποτελέσματα της παρουσιάζονται στον ακόλουθο Πίνακα 4.15 και Σχήμα 4.14.

Πηγή ενέργειας	Κατανάλωση [MWh]	Πραγματική κατανάλωση [MWh]
Τηλεθέρμανση από ΔΕΗ	42,85	42,56
Ηλεκτρική ενέργεια	13,36	10,48
Σύνολο	56,21	53,04

Πίνακας 4.15: Σύγκριση πραγματικών ενεργειακών καταναλώσεων με αυτές της προσομοίωσης

Παρατηρείται ότι οι καταναλώσεις τηλεθέρμανσης για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης και ΖΝΧ σχεδόν ταυτίζονται με τις πραγματικές καταναλώσεις του κτηρίου. Η ποσοστιαία διαφορά τους είναι της τάξης του 0,68%. Αντιθέτως με την ηλεκτρική κατανάλωση παρατηρείται μια απόκλιση της τάξης του 27,48%. Αυτό δικαιολογείται από το γεγονός ότι το κτήριο έχει χαμηλές απαιτήσεις σε φορτία ψύξης λόγω κλιματικής ζώνης, επιπλέον συνηθίζεται ο φυσικός δροσισμός των χώρων του κτηρίου με το άνοιγμα των κουφωμάτων, περιορίζοντας σε μεγάλο βαθμό τη χρήση των κλιματιστικών μονάδων. Επομένως από τις ενεργειακές καταναλώσεις ψύξης (~ 3,5 MWh) που υπολογίστηκαν κατά την προσομοίωση του κτηρίου στο Revit και το GBS, ένα μέρος αυτών καταναλώνεται στην πραγματικότητα.



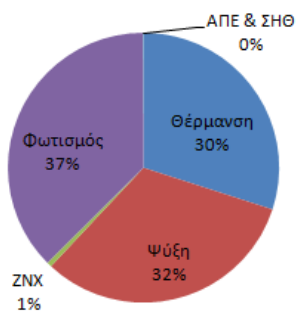
Σχήμα 4.14: Σύγκριση πραγματικών ενεργειακών καταναλώσεων με αυτές της προσομοίωσης

4.5.2 Σύγκριση καταναλώσεων κτηρίου με αντίστοιχες βιβλιογραφικές τιμές κτηρίων γραφείων

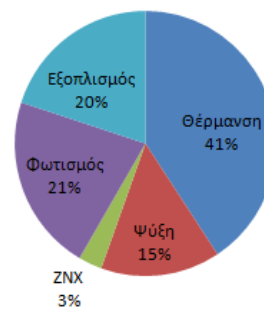
Τα αποτελέσματα των ενεργειακών καταναλώσεων της προσομοίωσης επιβεβαιώνουν το γεγονός ότι τέτοιοι τύποι κτηρίων χρησιμοποιούν το μεγαλύτερο ποσοστό της συνολικής ετήσιας καταναλισκόμενης ενέργειας για την κάλυψη αναγκών σε θέρμανση χώρων και φωτισμό. Η στατιστική ανάλυση για τη χρονική περίοδο 2011-2018 (ΥΠΕΝ, 2019), παρουσιάζει μέση ετήσια κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση ίση με 126,48 kWh/m² και του υπό μελέτη κτηρίου υπολογίστηκε ίση με 114,2 kWh/m². Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι στο συγκεκριμένο κτήριο οι απαιτήσεις θέρμανσης είναι ιδιαίτερα σημαντικές, γεγονός που μπορεί να αποδοθεί και στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της κλιματικής ζώνης Δ, και ειδικότερα των χαμηλών θερμοκρασιών κατά την περίοδο του χειμώνα.

Ακολουθούν τα Σχήματα 4.15 & 4.16, στα οποία απεικονίζονται τα ποσοστά ετήσιας κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας ανά χρήση, της στατιστικής ανάλυσης της βιβλιογραφίας (Σχήμα 1.9) και των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης του κτηρίου.

Βιβλιογραφία



Προσομοίωση



Σχήματα 4.15 & 4.16: Ποσοστά ετήσιας κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας ανά χρήση, α) Στατιστική ανάλυση βιβλιογραφίας (αριστερά) β) Αποτελέσματα προσομοίωσης (δεξιά)

Κεφάλαιο 5: Προτάσεις ενεργειακής αναβάθμισης

Με την ολοκλήρωση της ενεργειακής ανάλυσης και την αξιολόγηση της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτηρίου, σειρά έχουν οι προτάσεις ενεργειακής αναβάθμισης που στόχο έχουν να ελαχιστοποιήσουν τα ετήσια ενεργειακά φορτία. Αρχικά εξετάζονται ενεργειακές παρεμβάσεις όπου μπορούν να επέλθουν σε κτηριακό κέλυφος και ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα, εξοικονομώντας ενέργεια και ελαχιστοποιώντας τα λειτουργικά έξοδα του κτηρίου. Στη συνέχεια υπολογίζονται η ενεργειακή εξοικονόμηση που επιτυγχάνεται, τα κόστη και ο χρόνος απόσβεσης αυτών των επενδύσεων. Έτσι εξάγονται συμπεράσματα σχετικά με τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του κτηρίου και κρίνονται από οικονομική σκοπιά πόσο συμφέρουσες είναι τέτοιες ενεργειακές αναβαθμίσεις και αν αξίζει να υλοποιηθούν.

Στο επιμελητήριο Κοζάνης παρατηρούνται ελλείψεις στην θερμομόνωση του κτηρίου κρίνοντας αναγκαία την αναβάθμιση των κουφωμάτων και την μόνωση της οροφής του κτηρίου. Η θερμομονωτική θωράκιση του κτηριακού κελύφους θα μειώσει σημαντικά τις θερμικές απώλειες του κτηρίου, εξοικονομώντας σημαντικά ποσά ενέργειας. Σχετικά με τα ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα, η χρήση τηλεθέρμανσης για παροχή θέρμανσης και ZNX αποτελεί σημαντικό προνόμιο της περιοχής συμβάλλοντας θετικά στην εξοικονόμηση συμβατικών καυσίμων και πρωτογενούς ενέργειας. Επιπλέον, αποτελεί οικονομική λύση στην κάλυψη των μεγάλων απαιτήσεων θέρμανσης λόγω κλιματικής ζώνης προσφέροντας θερμική άνεση όλη την χειμερινή περίοδο. Ο τεχνικός φωτισμός του κτηρίου κρίνεται ανεπαρκής και χρίζει άμεση αντικατάσταση εφόσον η παρούσα στάθμη φωτισμού σε πολλούς χώρους δεν προσεγγίζει ούτε κατά το ήμισυ το επιθυμητό επίπεδο των 500 lux που συστήνεται για χώρους γραφείου. Τέλος, η μείωση των ηλεκτρικών καταναλώσεων μπορεί να πραγματοποιηθεί με τοποθέτηση φωτοβολταϊκών συστημάτων καθώς και ειδικών χρονοδιακοπών στους ηλεκτρολογικούς πίνακες του κτηρίου.

Βραχυπρόθεσμος στόχος μιας τέτοιας ενεργειακής μελέτης είναι η μετατροπή του κτηρίου σε ενεργειακό κτήριο σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης (Zero Energy Building). Δηλαδή κτήριο υψηλής ενεργειακής αποδοτικότητας, η οποία θα οφείλεται στα χαρακτηριστικά της κατασκευής και των μηχανολογικών εγκαταστάσεων, με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας και τη μείωση εκπομπών CO₂. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση παθητικών ηλιακών συστημάτων και συστημάτων ΑΠΕ, εκμηδενίζοντας τις καταναλώσεις ενέργειας που προέρχονται από ορυκτούς πόρους.

5.1 Προτεινόμενες επεμβάσεις ενεργειακής αναβάθμισης

Στην παρούσα ενότητα πραγματοποιείται μελέτη των προτάσεων ενεργειακής αναβάθμισης του επιμελητηρίου Κοζάνης. Πιο συγκεκριμένα προτείνονται οι ακόλουθες δράσεις:

- Αλλαγή κουφωμάτων
- Μόνωση οροφής
- Τοποθέτηση ψηφιακών χρονοδιακοπών ρεύματος
- Αναβάθμιση συστήματος τεχνητού φωτισμού
- Τοποθέτηση φωτοβολταϊκών συστημάτων

5.1.1 Αλλαγή κουφωμάτων

Τα ξύλινα παράθυρα του επιμελητηρίου κρίνονται ανεπαρκή σύμφωνα με τα όρια του συντελεστή θερμοπερατότητας που ορίζει ο Κ.Εν.Α.Κ (ΤΕΕ, 2017β), για αυτό προτείνεται η αντικατάστασή τους. Πιο συγκεκριμένα συστήνονται ενεργειακοί υαλοπίνακες χαμηλής εκπομπής (Low-emissivity ή Low-E), οι οποίοι μειώνουν σημαντικά τη μεταφορά θερμότητας από τη μια πλευρά του παραθύρου στην άλλη, συντελώντας στην εξοικονόμηση ενέργειας. Η μείωση της ροής θερμότητας οφείλεται στις λεπτές επιστρώσεις μικροσκοπικών μεταλλικών στοιχείων (όπως οξειδίων αργύρου) στην επιφάνεια των υαλοπινάκων.

Κατά τη χειμερινή περίοδο, οι συγκεκριμένοι υαλοπίνακες αντανακλούν τη θερμότητα από τα καλοριφέρ πίσω στους διάφορους χώρους του κτηρίου και δεν επιτρέπουν να διαφύγει εξωτερικά από τα παράθυρα (η ροή θερμότητας μεταδίδεται από τα θερμότερα προς τα ψυχρότερα σώματα). Ταυτόχρονα αξιοποιεί πλήρως την ενέργεια του ήλιου καθώς αυτή απορροφάται από τα αντικείμενα των εσωτερικών χώρων με τη διέλευση του ηλιακού φωτός και μετατρέπεται σε θερμότητα. Αντιθέτως κατά τη θερινή περίοδο, οι ενεργειακοί υαλοπίνακες έχουν την ιδιότητα να αντανακλούν το υπέρυθρο φως του ήλιου δηλαδή τη θερμότητα του ήλιου και την έμμεση θερμότητα που εκπέμπουν διάφορα αντικείμενα του εξωτερικού χώρου όταν αυτά θερμαίνονται από το ηλιακό φως, επιτρέποντας μόνο τη διέλευση του άμεσου ηλιακού φωτός.

Η συγκεκριμένη ενεργειακή αναβάθμιση διατηρεί τους εσωτερικούς χώρους του κτηρίου στην ιδανική θερμοκρασία, δηλαδή δεν επιτρέπει την υπερβολική συσσώρευση θερμότητας κατά τη διάρκεια ηλιόλουστου καιρού και ταυτόχρονα αποτρέπει τη διαφυγή της εσωτερικής θερμότητας σε ψυχρές περιόδους. Έτσι μειώνονται οι ενεργειακές απώλειες, εφόσον το κτήριο διατηρείται ζεστό τον χειμώνα και δροσερό το καλοκαίρι μειώνοντας με τη σειρά τους το κόστος θέρμανσης και ψύξης.

Με την αντικατάσταση των υφιστάμενων παραθύρων με παράθυρα αλουμινίου, διπλού ενεργειακού υαλοπίνακα χαμηλής εκπομπής στην προσομοίωση του κτηρίου στο Revit προκύπτει νέος συντελεστής θερμοπερατότητας ίσος με $U_{\text{παραθύρων,low-E}} = 2,21 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$.

Type Parameters	
Parameter	Value
Construction	⌵
Graphics	⌵
Materials and Finishes	⌵
Dimensions	⌵
Analytical Properties	⌶
Analytic Construction	Low-E double glazing - domestic
Visual Light Transmittance	0.760000
Solar Heat Gain Coefficient	0.650000
Thermal Resistance (R)	0.4515 (m ² ·K)/W
Heat Transfer Coefficient (U)	2.2147 W/(m ² ·K)

Εικόνα 5.1: Ο συντελεστής θερμοπερατότητας των παραθύρων Low-E

Η σύγκριση με το όριο που δίνει ο Κ.Εν.Α.Κ (ΤΕΕ, 2017β) για ανοίγματα $U_{\text{κουφωμάτων,max}} = 2,6 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ αποδεικνύει ότι τα νέα παράθυρα πληρούν τον θερμομονωτικό κανονισμό. Επιπλέον οι νέες ενεργειακές καταναλώσεις θέρμανσης που προκύπτουν μετά το πέρας της συγκεκριμένης δράσης παρουσιάζονται στον ακόλουθο Πίνακα 5.1.

Ενεργειακές καταναλώσεις		
Θέρμανση	[kWh]	[kWh/m ²]
Q _{H,con,1}	7492,1	21,5
Q _{H,con,2}	5781,9	16,5
Q _{H,con,3}	4321,9	12,3
Q _{H,con,4}	2271,7	6,5
Q _{H,con,5}	1451	4,1

$Q_{H,con,10}$	1845,8	5,3
$Q_{H,con,11}$	4215,4	12
$Q_{H,con,12}$	5748	16,4
Σύνολο	33127,7	94,6

Πίνακας 5.1: Ενεργειακές καταναλώσεις θέρμανσης έπειτα την αντικατάσταση των κουφωμάτων

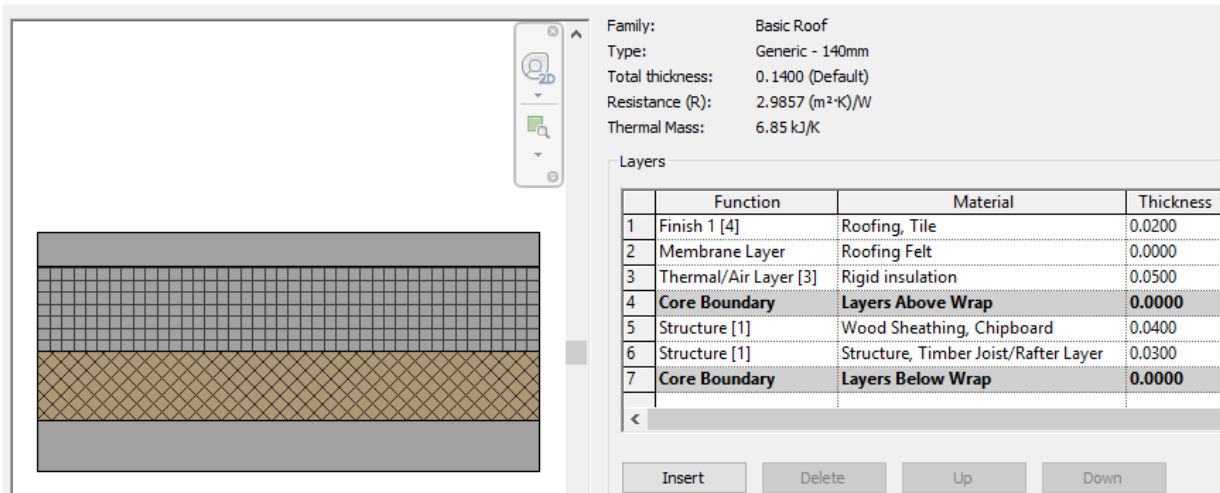
Παρατηρείται σημαντική μείωση των ενεργειακών καταναλώσεων της τάξης του **17,1%**.

5.1.2 Μόνωση οροφής

Η υπάρχουσα οροφή με την κεραμοσκεπή δε διαθέτει μονωτικά υλικά και δεν πληροί τον κανονισμό θερμομόνωσης Κ.Εν.Α.Κ (ΤΕΕ, 2017β). Επιπλέον το κεραμίδι λόγω χρώματος γίνεται συλλέκτης της ηλιακής ακτινοβολίας και στη συνέχεια την εκπέμπει σε μορφή θερμότητας προς το εσωτερικό του κτηρίου.

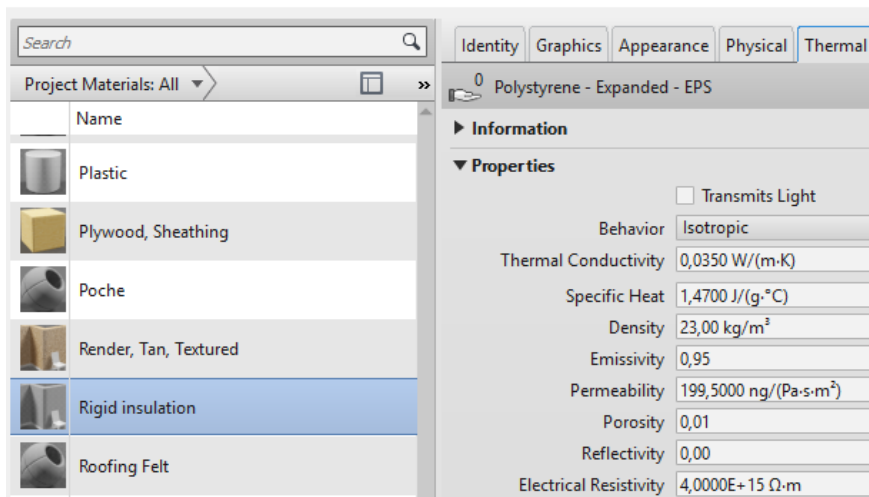
Η στεγανοποίηση και η θερμομόνωση της οροφής θα θωρακίσουν τους εσωτερικούς χώρους του κτηρίου από θερμοκρασιακές μεταβολές και από υγρασία, εξοικονομώντας σημαντικά ποσά ενέργειας. Συστήνεται μόνωση ελαφρύ τύπου εφόσον πρόκειται για παλιό κτήριο με μικρή αντοχή σε επιπλέον φορτία βάρους στην συνολική κατασκευή. Η μόνωση αυτή θα περιλαμβάνει τοποθέτηση θερμομονωτικών πλακών στο δώμα, όπου το βάρος αυτής της επέμβασης δε θα ξεπερνά τα 9 Kg/m^2 . Επιπλέον συμπεριλαμβάνονται υλικά όπως αστάρι πολουρεθάνης, επαλειπτικό πολουρεθάνης, αφρός πολουρεθάνης χαμηλής διόγκωσης, κόλλα τσιμεντοειδούς βάσης και επαλειπτικό σιλανικών ρητινών το οποίο θα προσφέρει πλήρη στεγανοποίηση στην κατασκευή.

Η προσθήκη θερμομονωτικών πλακών πάχους 0,05 m στην προσομοίωση του κτηρίου στο Revit εξάγει νέο συντελεστή θερμοπερατότητας ίσο με $U_{\text{μονωμένης_οροφής}} = 0,33 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$.



Εικόνα 5.2: Η νέα δομή της οροφής

Material Browser - Rigid insulation



Εικόνα 5.3: Οι θερμικές ιδιότητες της θερμομόνωσης της σκεπής

Parameter	Value
Construction	
Graphics	
Analytical Properties	
Heat Transfer Coefficient (U)	0.3349 W/(m²·K)
Thermal Resistance (R)	2.9857 (m²·K)/W
Thermal mass	6.85 kJ/K
Absorptance	0.700000
Roughness	3

Εικόνα 5.4: Ο νέος συντελεστής θερμοπερατότητας της οροφής

Η σύγκριση με το όριο που δίνει ο Κ.Εν.Α.Κ (ΤΕΕ, 2017β) για οροφές $U_{\text{οροφής,max}} = 0,35 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ αποδεικνύει ότι η νέα δομή της οροφής πληροί τον θερμομονωτικό κανονισμό. Επιπλέον οι νέες ενεργειακές καταναλώσεις θέρμανσης που προκύπτουν μετά το πέρας της συγκεκριμένης δράσης παρουσιάζονται στον ακόλουθο Πίνακα 5.2.

Ενεργειακές καταναλώσεις		
Θέρμανση	$[kWh]$	$[kWh/m^2]$
$Q_{H,con,1}$	8298,4	23,7
$Q_{H,con,2}$	6404,2	18,3
$Q_{H,con,3}$	4787,1	13,7
$Q_{H,con,4}$	2516,1	7,2
$Q_{H,con,5}$	1607,1	4,6
$Q_{H,con,10}$	2044,5	5,8
$Q_{H,con,11}$	4669	13,3
$Q_{H,con,12}$	6366,6	18,2
Σύνολο	36693	104,8

Πίνακας 5.2: Ενεργειακές καταναλώσεις θέρμανσης έπειτα τη μόνωση της οροφής

Παρατηρείται μείωση των ενεργειακών καταναλώσεων της τάξης του **8,2%**.

5.1.3 Συνολικά αποτελέσματα αναβάθμισης κτηριακού κελύφους

Οι μηνιαίες και ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις θέρμανσης που προκύπτουν μετά την αλλαγή κουφωμάτων και τη θερμομόνωση της οροφής παρουσιάζονται στον ακόλουθο Πίνακα 5.3.

Ενεργειακές καταναλώσεις		
Θέρμανση	$[kWh]$	$[kWh/m^2]$
$Q_{H,con,1}$	6750,9	19,3
$Q_{H,con,2}$	5209,8	14,9
$Q_{H,con,3}$	3894,3	11,1
$Q_{H,con,4}$	2046,9	5,8
$Q_{H,con,5}$	1307,4	3,7

$Q_{H,con,10}$	1663,2	4,8
$Q_{H,con,11}$	3798,2	10,9
$Q_{H,con,12}$	5179,3	14,8
Σύνολο	29850	85,3

Πίνακας 5.3: Ενεργειακές καταναλώσεις θέρμανσης έπειτα τη θερμομόνωση του κτηριακού κελύφους

Παρατηρείται σημαντική μείωση των ενεργειακών καταναλώσεων της τάξης του **25,3%** έπειτα την αναβάθμιση των ‘ευάλωτων’ δομικών στοιχείων του κτηριακού κελύφους.

5.1.4 Τοποθέτηση ψηφιακών χρονοδιακοπών ρεύματος

Τα αποτελέσματα των μετρητικών οργάνων παρουσιάζουν υψηλή στάθμη φωτισμού σε διάφορα γραφεία του επιμελητηρίου ενώ το κτήριο βρίσκεται εκτός λειτουργίας. Μάλιστα η στάθμη φωτός παραμένει στα ίδια επίπεδα με αυτά της κανονικής λειτουργίας, κάτι το οποίο υποδηλώνει την αδιάκοπη λειτουργία του εσωτερικού φωτισμού. Επιπλέον, η αποχώρηση του προσωπικού από το κτήριο συνοδεύεται με το κλείσιμο των παντζουριών, επομένως τα μετρητικά όργανα δεν επηρεάστηκαν από εξωτερικούς φωτισμούς.

Η τοποθέτηση ψηφιακών χρονοδιακοπών ράγας δίνει τη δυνατότητα ελέγχου των φωτισμών εντός και εκτός του κτηρίου ακόμα και διάφορων άλλων συσκευών του εξοπλισμού που διαθέτει συνολικά το κτήριο. Η δράση αυτή είναι ιδανική για δημόσια κτήρια και πόσο μάλλον για γραφεία που έχουν σταθερό πρόγραμμα λειτουργίας και μπορούν να προγραμματιστούν οι χρονοδιακόπτες για μεγάλο χρονικό διάστημα. Πιο συγκεκριμένα, προτείνεται η διακοπή του εσωτερικού φωτισμού (ίσως και κάποιων άλλων συσκευών) τις ώρες που το κτήριο δε λειτουργεί και ο εξωτερικός φωτισμός να είναι προγραμματισμένος συγκεκριμένες ώρες σύμφωνα με τη δύση και την ανατολή ηλίου. Με αυτό τον τρόπο παύουν να υπάρχουν άσκοπες ηλεκτρικές καταναλώσεις και εξοικονομούνται σημαντικά ποσά ενέργειας.



Εικόνα 5.5: Ψηφιακός χρονοδιακόπτης ράγας, πηγή: [ΚΑΥΚΑΣ].

5.1.5 Αναβάθμιση συστήματος τεχνητού φωτισμού

Ο φωτισμός των εσωτερικών χώρων του επιμελητηρίου παρέχεται από συμβατικούς επιμήκεις λαμπτήρες φθορισμού (14 W/λαμπτήρας). Η παρούσα συνολική εγκατεστημένη ισχύς του συστήματος τεχνητού φωτισμού υπολογίζεται στα 2,7 kW και οι ετήσιες ηλεκτρικές καταναλώσεις είναι ίσες με 5.116 kWh.

Οι υφιστάμενες καταναλώσεις ηλεκτρικής ενέργειας μπορούν να μειωθούν με την αντικατάσταση των συμβατικών λαμπτήρων από λαμπτήρες LED (Light Emitting Diode) ή στα ελληνικά αποκαλούμενοι δίοδοι εκπομπής φωτός. Πρόκειται για μια νέα τεχνολογία που προσφέρει σωστό, οικονομικό και φιλικό προς το περιβάλλον φωτισμό. Οι λαμπτήρες LED (8 W/λαμπτήρας) έχουν μικρότερη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, διαρκούν πέντε φορές περισσότερο από τους συμβατικούς (ονομαστική διάρκεια ζωής 50.000 ώρες) και δεν περιέχουν υδράργυρο που μολύνει το περιβάλλον.

Η δράση αυτή μειώνει σημαντικά τη συνολική ισχύ του συστήματος τεχνητού φωτισμού στα 1,5 kW και οι νέες ετήσιες ηλεκτρικές καταναλώσεις προκύπτουν ίσες με 2.918,4 kWh. Δηλαδή παρατηρείται μείωση των ενεργειακών καταναλώσεων της τάξης του **42,96%**.

Τέλος, η συγκεκριμένη αναβάθμιση βελτιώνει και τη στάθμη φωτισμού όπου για χώρους γραφείου συνιστάται φωτεινότητα της τάξης των 500 lux. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων έκριναν ανεπαρκή τον υπάρχον φωτισμό, εφόσον η στάθμη φωτός σε διάφορους χώρους μετρήθηκε μικρότερη των 250 lux. Ένας γρήγορος υπολογισμός αποδεικνύει την κάλυψη της συνιστώμενης φωτεινότητας καθώς οι λαμπτήρες LED διαθέτουν φωτεινή ροή ίση με 1.050 lumens ο έκαστος ($1 \text{ lux} = 1 \text{ lumen/m}^2$), δηλαδή γενικά προσφέρουν στάθμη φωτός ίση με 570 lux.



Εικόνα 5.6: Επιμήκης λαμπτήρας LED, πηγή: [PHILIPS].

5.1.6 Τοποθέτηση φωτοβολταϊκών συστημάτων

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια αποτελούν συστήματα ΑΠΕ καθώς αξιοποιούν την ηλιακή ενέργεια και παράγουν ηλεκτρική ενέργεια. Στην παρούσα μελέτη η εγκατάσταση τέτοιων συστημάτων θα συνεισφέρει στην κάλυψη των ηλεκτρικών καταναλώσεων του κτηρίου. Οι ηλεκτρικές καταναλώσεις του επιμελητηρίου προκύπτουν από κάλυψη φορτίων ψύξης, φωτισμού και εξοπλισμού. Εφόσον οι χρονοδιακόπτες μειώσουν τις ηλεκτρικές καταναλώσεις φωτισμού και εξοπλισμού και αφού οι καταναλώσεις ψύξης ενδέχεται να είναι λιγότερες από αυτές που εξήγαγε η προσομοίωση, προτείνεται η κάλυψη του 60% των ηλεκτρικών καταναλώσεων από φωτοβολταϊκά συστήματα. Επίσης η κάλυψη ενός μέρους της καταναλισκόμενης ενέργειας απαιτεί λιγότερα Φ/Β πλαίσια και έτσι περιορίζεται η επιβάρυνση του οικοδομικού σκελετού εφόσον πρόκειται για παλιό κτήριο.

Η αποδοτικότητα ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου εξαρτάται σημαντικά από την κλίση και τον προσανατολισμό του, εφόσον αυτά με τη σειρά τους επηρεάζουν το ποσοστό της

ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια του. Πιο συγκεκριμένα, με βάση το γεωγραφικό πλάτος κάθε περιοχής επιλέγεται η βέλτιστη γωνία κλίσης Φ/Β και συνιστάται ο νότιος προσανατολισμός ο οποίος λαμβάνει τις περισσότερες ώρες ήλιου τον χειμώνα.

Η αποδοτικότητα των φωτοβολταϊκών συστημάτων υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση, από την οποία θα προκύψει η διαστασιολόγηση της συγκεκριμένης αναβάθμισης. Δηλαδή θα προκύψει ο αριθμός των φωτοβολταϊκών πλαισίων και η έκταση που θα καλύψουν στην κεραμοσκεπή για την κάλυψη του 60% των ηλεκτρικών καταναλώσεων του επιμελητηρίου Κοζάνης.

$$E_{PV} = CF_{PV} * H_S * A_{PV} \quad (5.1)$$

Όπου:

E_{PV} : η μέση ετήσια παραγόμενη ενέργεια του Φ/Β πλαισίου, [kWh]

CF_{PV} : ο συντελεστής αξιοποίησης της ηλιακής ακτινοβολίας από το Φ/Β πλαίσιο ή αλλιώς ο βαθμός απόδοσης που ορίζει ο κατασκευαστής

H_S : η μέση ετήσια προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια στο επίπεδο του Φ/Β για βέλτιστη γωνία κλίσης ανά μονάδα επιφάνειας, [kWh/m²]

A_{PV} : η επιφάνεια του Φ/Β πλαισίου, [m²]

Σύμφωνα με την τεχνική οδηγία Τ.Ε.Ε 20701-3/2010 (ΤΕΕ, 2010), η Κοζάνη έχει γεωγραφικό πλάτος ίσο με 40° 18' ή διαφορετικά 40,45°. Επομένως, η βέλτιστη γωνία κλίσης των Φ/Β πλαισίων για το συγκεκριμένο γεωγραφικό πλάτος προκύπτει από την ΤΟΤΕΕ 20701-1/2017 (ΤΕΕ, 2017α), όπου προτείνεται η κλίση 30° για ετήσια περίοδο. Έτσι η μέση ετήσια προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια στο επίπεδο του Φ/Β προκύπτει από την ΤΟΤΕΕ 20701-3/2010 (ΤΕΕ, 2010), για βέλτιστη κλίση 25°-35° και για γεωγραφικό πλάτος Θεσσαλονίκης φ = 40,63° (παραδοχή λόγω έλλειψης δεδομένων για την πόλη της Κοζάνης και μικρής απόκλισης του φ) ίση με $H_s = 1.543 \text{ kWh/m}^2$.

Για την υλοποίηση της συγκεκριμένης ενεργειακής αναβάθμισης προτείνεται η τοποθέτηση φωτοβολταϊκών πλαισίων πολυκρυσταλλικού πυριτίου της εταιρείας Vikram

Solar. Το κάθε πλαίσιο αποτελείται από 60 κυψέλες, έχει ισχύ 275 W, βαθμό απόδοσης 16,9%, διαστάσεις 1,64 m x 0,992 m x 0,04 m (ύψος x πλάτος x πάχος) και καθαρό βάρος 18,5 Kg.



Εικόνα 5.7: Φωτοβολταϊκό πλαίσιο, πηγή: [INERGION].

Επομένως, η μέση ετήσια παραγόμενη ενέργεια κάθε Φ/Β πλαισίου είναι ίση με:

$$E_{PV} = 0,169 * 1.543 \text{ kWh/m}^2 * (1,64 \text{ m} * 0,992 \text{ m}) \Rightarrow E_{PV} = 424,2 \text{ kWh}$$

Η συνολική εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών συστημάτων καλείται να καλύψει το 60% των ηλεκτρικών καταναλώσεων ψύξης, του αναβαθμισμένου συστήματος τεχνητού φωτισμού με λαμπτήρες LED και του εξοπλισμού των γραφείων.

Οι συνολικές ετήσιες ηλεκτρικές καταναλώσεις κάλυψης αυτών των αναγκών του κτηρίου προκύπτουν ίσες με $3.504,9 + 2.918,4 + 4.739 = 11.162,3 \text{ kWh}$

Άρα, για την κάλυψη του 60% αυτής της ενέργειας, απαιτούνται τα παρακάτω Φ/Β πλαίσια:

$$\frac{0,6 * 11.162,3 \text{ kWh}}{424,2 \text{ kWh}} = 15,79$$

δηλαδή **16 φωτοβολταϊκά πλαίσια**, τα οποία καταλαμβάνουν έκταση **26 m²** και χωράνε στον νότιο προσανατολισμό της κεραμοσκεπής του επιμελητηρίου Κοζάνης.

Τέλος, το υπόλοιπο ποσό ενέργειας (~ 4,46 MWh) που μπορεί να απαιτηθεί, καλύπτεται κανονικά από το ηλεκτρικό δίκτυο της ΔΕΗ.

5.2 Οικονομοτεχνική μελέτη

Η αξιολόγηση της οικονομικής βιωσιμότητας των παραπάνω προτάσεων ενεργειακής αναβάθμισης εξαρτάται από τον χρόνο απόσβεσης του αρχικού επενδυτικού κεφαλαίου αναλογικά με την εξοικονόμηση ενέργειας και αντίστοιχα των οικονομικών πόρων που επέρχεται από την αναβάθμιση των συστημάτων. Επομένως, ο χρόνος αποπληρωμής της επένδυσης για την ενεργειακή αναβάθμιση του κτηρίου υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$\text{Έτη απόσβεσης} = \frac{\text{Αρχικό επενδυτικό κεφάλαιο}}{\text{Ετήσιο εξοικονομούμενο κόστος μετά την αναβάθμιση των συστημάτων}} \quad (5.2)$$

Πιο συγκεκριμένα, ως αρχικό επενδυτικό κεφάλαιο ορίζονται οι οικονομικές δαπάνες για την αγορά των υλικών, των δομικών στοιχείων, των εξαρτημάτων κάθε συστήματός καθώς και το κόστος εγκατάστασης τους. Από την άλλη το όφελος των ενεργειακών επεμβάσεων προκύπτει από την εξοικονομούμενη ενέργεια και την τιμή αγοράς της.

Συνοψίζοντας, τα υφιστάμενα συστήματα του επιμελητηρίου καλύπτουν τις ανάγκες θέρμανσης και ZNX μέσω του δικτύου τηλεθέρμανσης και τις ανάγκες ψύξης, φωτισμού και εξοπλισμού μέσω του ηλεκτρικού δικτύου της ΔΕΗ. Επιπλέον η σημαντικότερη αναβάθμιση του συστήματος θέρμανσης υλοποιήθηκε τα προηγούμενα χρόνια καθώς καταργήθηκε η χρήση του λέβητα πετρελαίου και το κτήριο συνδέθηκε στο δίκτυο της τηλεθέρμανσης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, οι προτεινόμενες αναβαθμίσεις να επικεντρώνονται στη βελτίωση των ηλεκτρικών συστημάτων με στόχο τη μείωση των ηλεκτρικών καταναλώσεων και γενικά του κόστους λειτουργίας του κτηρίου. Γίνεται πρόταση εγκατάστασης συστημάτων ΑΠΕ όπως είναι τα Φ/Β, τα οποία θα συμβάλουν στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με τρόπο φιλικό προς το περιβάλλον σε αντίθεση με τους σταθμούς της ΔΕΗ στους οποίους γίνεται καύση συμβατικών καυσίμων. Επομένως η κάλυψη θέρμανσης και ZNX εξακολουθεί να παρέχεται από το δίκτυο της τηλεθέρμανσης, ενώ το 60% των ηλεκτρικών καταναλώσεων προτείνεται να καλύπτεται από Φ/Β συστήματα.

Τέλος, σύμφωνα με τα δεδομένα της ΔΕΥΑΚ και της ΔΕΗ οι μέσες τιμές αγοράς τηλεθέρμανσης και ηλεκτρικού ρεύματος είναι 43,5 € / MWh και 0,12269 € / kWh αντίστοιχα.

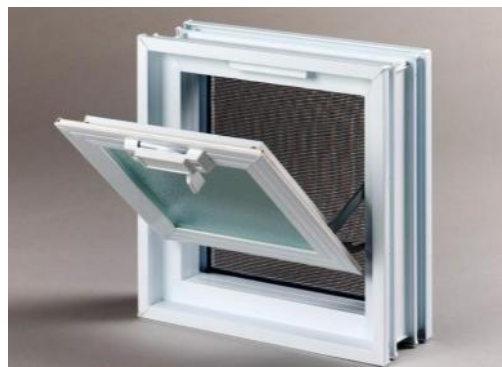
- Κόστος αλλαγής κουφωμάτων

Στην συγκεκριμένη επέμβαση του κτηριακού κελύφους, τα ξύλινα παράθυρα μονού υαλοπίνακα θα αντικατασταθούν από παράθυρα αλουμινίου με διπλό ενεργειακό υαλοπίνακα, διπλής σφράγισης και με αέριο argon 90%. Πιο συγκεκριμένα, τα δίφυλλα παράθυρα και οι μπαλκονόπορτες θα αντικατασταθούν από δίφυλλα ανοιγοανακλινόμενα με περιστρεφόμενο μηχανισμό παράθυρα αντίστοιχων διαστάσεων.



Εικόνα 5.8: Δίφυλλο παράθυρο αλουμινίου με διπλό ενεργειακό υαλοπίνακα Low-E, πηγή: [Eurora].

Τα απλά παράθυρα θα αντικατασταθούν στην πλειοψηφία από κουμπάσο με πόμολο στο πλάτος, εκτός από τα μεγαλύτερα που βρίσκονται στον χώρο της κουζίνας του δεύτερου ορόφου τα οποία θα αντικατασταθούν από μονόφυλλα ανοιγοανακλινόμενα με περιστρεφόμενο μηχανισμό παράθυρα αντίστοιχων διαστάσεων.



Εικόνα 5.9: Μονόφυλλο παράθυρο (αριστερά) και κουμπάσο με πόμολο στο πλάτος (δεξιά) με διπλό ενεργειακό υαλοπίνακα Low-E, πηγές: [ART & DESIGN, ΚΑΞΗΡΗΣ].

Σύμφωνα με τιμοκατάλογο γνωστής εταιρείας αλουμινίων η αλλαγή κουφωμάτων κοστίζει 9.458 €. Το κόστος εγκατάστασης τους από ειδικό συνεργείο υπολογίζεται ίσο με 816,5 €. Δηλαδή επένδυση συνολικής αξίας **10.274,5 €**.

Επίσης το ετήσιο ποσό που εξοικονομείται από αυτή την επένδυση ανέρχεται στα:

$$6,8429 \text{ MWh} * 43,5 \text{ € / MWh} = 297,7 \text{ €} \sim \mathbf{300 \text{ €}}$$

- Κόστος μόνωσης οροφής

Η αγορά των υλικών για τη θερμομόνωση και τη στεγανοποίηση της οροφής κοστίζει περίπου 2.500 €, ενώ η εγκατάσταση κοστίζει περίπου 2.000 €, με τα συνολικά έξοδα να ανέρχονται περίπου στα **4.500 €**.

Επίσης το ετήσιο ποσό που θα εξοικονομείται από αυτή την επένδυση ανέρχεται στα:

$$3,2776 \text{ MWh} * 43,5 \text{ € / MWh} = 142,6 \text{ €} \sim \mathbf{140 \text{ €}}$$



Εικόνα 5.10: Θερμομονωτικές πλάκες τοποθετημένες σε δώμα κτηρίου, πηγή: [FRAGOULAKIS].

- Συνολικό κόστος αναβάθμισης του κτηριακού κελύφους

Το συνολικό κόστος της θερμομόνωσης του κτηριακού κελύφους ανέρχεται στα **14.774,5 €**, ενώ το ετήσιο ποσό που εξοικονομείται από αυτή την επένδυση υπολογίζεται ίσο με **440 €**.

- Κόστος τοποθέτησης ψηφιακών χρονοδιακοπών ρεύματος

Η αγορά ενός ψηφιακού χρονοδιακόπτη ράγας κοστίζει περίπου 50 €, στο υπό μελέτη κτήριο ίσως χρειαστούν 3-6 χρονοδιακόπτες. Δηλαδή το κόστος αγοράς τους κυμαίνεται από **150 – 300 €**.

- Κόστος αναβάθμισης τεχνητού συστήματος φωτισμού

Η αντικατάσταση όλων των συμβατικών λαμπτήρων από λαμπτήρες LED, κοστίζει σύμφωνα με τις τιμές της αγοράς περίπου **1.140 €**.

Επίσης η ετήσια αξία της εξοικονομούμενης ηλεκτρικής ενέργειας από την επέμβαση αυτή υπολογίζεται ίση με:

$$2.197,6 \text{ kWh} * 0,12269 \text{ € / kWh} = 269,6 \text{ €} \sim \mathbf{270 \text{ €}}$$

- Κόστος τοποθέτησης φωτοβολταϊκών συστημάτων

Η αγορά και η εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου κοστίζει 300 €, επομένως η τοποθέτηση 16 Φ/Β πλαισίων θα κοστίσει συνολικά **4.800 €**.

Επίσης η ετήσια αξία της εξοικονομούμενης ηλεκτρικής ενέργειας από την εγκατάσταση του Φ/Β συστήματος υπολογίζεται ίση με:

$$6.697,38 \text{ kWh} * 0,12269 \text{ € / kWh} = 821,7 \text{ €} \sim \mathbf{820 \text{ €}}$$

Επομένως, τα έτη απόσβεσης της εγκατάστασης των Φ/Β συστημάτων για την κάλυψη του 60% των ηλεκτρικών καταναλώσεων ψύξης, του αναβαθμισμένου τεχνητού συστήματος φωτισμού και του εξοπλισμού προκύπτουν ίσα με: $\frac{(1.140+4.800) \text{ €}}{(1.639,1-547,8) \text{ €}} = \frac{5.940 \text{ €}}{1.091,3 \text{ €}} = \mathbf{5,44 \text{ έτη}}$.

Η οικονομοτεχνική αξιολόγηση για το σύνολο των προτεινόμενων ενεργειακών αναβαθμίσεων προκύπτει ίση με:
$$\frac{(14.774,5+1.140+4.800)\text{€}}{(3.503-1.971,5)\text{€}} = \frac{20.714,5 \text{ €}}{1.531,5 \text{ €}} = 13,5 \text{ έτη.}$$

Παρατηρείται ότι ο χρόνος αποπληρωμής όλων των επενδύσεων αυξάνεται κατακόρυφα όταν προστεθούν στην οικονομοτεχνική αποτίμηση οι επεμβάσεις στο κτηριακό κέλυφος. Αυτό συμβαίνει διότι οι αναβαθμίσεις αυτές αποτελούν μέτρα θερμομόνωσης του κτηρίου και όχι αναβάθμιση των υφιστάμενων συστημάτων ή αλλαγή αυτών για παραγωγή θέρμανσης. Όπως έχει προαναφερθεί η μεγάλη αναβάθμιση στο σύστημα θέρμανσης έχει υλοποιηθεί με τη σύνδεση του επιμελητηρίου στο δίκτυο της τηλεθέρμανσης, πετυχαίνοντας σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας αλλά και ελαχιστοποίηση κόστους λειτουργίας (43,5 € / MWh τηλεθέρμανσης ενώ η τιμή πετρελαίου ξεπερνά το 1€ / lt).

Εφόσον έχει γίνει η βέλτιστη επιλογή του συστήματος παραγωγής θέρμανσης και στην παρούσα μελέτη δεν έχει τροποποιηθεί, είναι αναμενόμενο πως ο χρόνος αποπληρωμής της αναβάθμισης του κτηριακού κελύφους με βάση την τρέχουσα βέλτιστη κατάσταση θα είναι πολύ υψηλός. Αυτό συμβαίνει διότι το κόστος παραγωγής ενέργειας για θέρμανση έχει ήδη ελαχιστοποιηθεί και τα εξοικονομούμενα ποσά ενέργειας που θα επέλθουν, θα έχουν ελάχιστο οικονομικό κέρδος.

Από οικονομική σκοπιά, για την τρέχουσα κατάσταση του κτηρίου συμφέρει να γίνουν οι αναβαθμίσεις φωτισμού και κάλυψης ενός μεγάλου ποσοστού των ηλεκτρικών καταναλώσεων από Φ/Β συστήματα, μια επένδυση ύψους 6.000€ περίπου με χρόνο απόσβεσης περίπου 5,5 έτη. Οι παρεμβάσεις στο κέλυφος αποτελούν ακριβές δράσεις σχετικά με το μικρό κέρδος σε χρήματα που αποφέρει η ‘οικονομική’ τηλεθέρμανση.

Από οικολογική όμως πλευρά, το κτηριακό κέλυφος πρέπει στο σύνολο του να τηρεί τους θερμομονωτικούς περιορισμούς του Κ.Εν.Α.Κ, ελαχιστοποιώντας έτσι τις θερμικές απώλειες. Αυτή η ‘συμμόρφωση’ του κτηρίου θα μειώσει τις ενεργειακές καταναλώσεις του, θα εξοικονομήσει σημαντικά ποσά πρωτογενούς ενέργειας αλλά θα μειώσει και τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα CO₂. Όλα αυτά παίζουν καθοριστικό ρόλο στην ενεργειακή απόδοση του κτηρίου και την άνοδο του σε υψηλότερη ενεργειακή κλάση.

Ένας άλλος τρόπος που μπορούν να υποστηριχτούν οικονομικά οι επεμβάσεις στο κέλυφος του κτηρίου την τρέχουσα στιγμή, είναι η αποπληρωμή τους από την εξοικονόμηση οικονομικών πόρων της κατάργησης του λέβητα πετρελαίου. Με έναν γρήγορο υπολογισμό, τα έτη απόσβεσης τους προκύπτουν ίσα με:
$$\frac{14.774,5 \text{ €}}{(3.905,7 \text{ lt} * 1,019 \frac{\text{€}}{\text{lt}}) - 1.298,5 \text{ €}} = \frac{14.774,5 \text{ €}}{2.681,4 \text{ €}} = 5,51 \text{ έτη.}$$

Διότι για να καλυφθεί η ετήσια ενεργειακή κατανάλωση θέρμανσης από τον λέβητα πετρελαίου χρειάζονται: $V = \frac{Q_{con}}{H_u * \rho} = \frac{39.970,6 \text{ kWh}}{11,9 \frac{\text{kWh}}{\text{Kg}} * 0,86 \frac{\text{Kg}}{\text{lt}}} \Rightarrow V = 3.905,7 \text{ lt πετρελαίου}$

Τέλος, η οικονομοτεχνική αξιολόγηση των συνολικών αναβαθμίσεων των συστημάτων του κτηρίου (συμπεριλαμβάνοντας την αναβάθμιση του συστήματος παραγωγής θέρμανσης) οδηγεί σε πιο ορθά αποτελέσματα με χρόνο αποπληρωμής των επενδύσεων ίσο με:

$$\frac{(14.774,5+1.140+4.800)\text{€}}{[(3.980+1.639,1)-(1.298,5+ 547,8)]\text{€}} = \frac{20.714,5 \text{ €}}{3.772,8 \text{ €}} = \mathbf{5,5 \text{ \textit{έτη}}}$$

Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η διερεύνηση μελλοντικής ενεργειακής αναβάθμισης του Εμπορικού και Βιομηχανικού Επιμελητηρίου Κοζάνης. Πρόκειται για ένα παλιό δημόσιο κτήριο με υψηλό δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας και αναβάθμισης, που καλείται να εναρμονιστεί με τους κανονισμούς και τις οδηγίες της Ευρωπαϊκής πολιτικής. Στόχος αυτής της περιβαλλοντικής εκστρατείας είναι η μείωση των καταναλώσεων του ενεργοβόρου κτηριακού τομέα, η μείωση εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου που εντείνουν το πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής και η στροφή σε εναλλακτικές μορφές ενέργειας, όπως οι ΑΠΕ, περιορίζοντας τη χρήση ορυκτών πόρων.

Αρχικά, εξετάστηκε η θερμομονωτική επάρκεια του κτηριακού κελύφους σύμφωνα με τους περιορισμούς που ορίζει ο Κ.Εν.Α.Κ, για κάθε δομικό στοιχείο και για την κλιματική ζώνη Δ στην οποία ανήκει η πόλη της Κοζάνης. Τα αποτελέσματα αυτής, έκριναν ανεπαρκή θερμομονωτικά τα παράθυρα και την οροφή του κτηρίου. Στη συνέχεια εξετάστηκαν τα ενεργειακά συστήματα που είναι εγκατεστημένα και καλύπτουν τις ενεργειακές απαιτήσεις του κτηρίου. Αξιοσημείωτη είναι η αναβάθμιση του συστήματος θέρμανσης που έχει υλοποιηθεί τα τελευταία χρόνια και αφορά τη σύνδεση του επιμελητηρίου με το δίκτυο της τηλεθέρμανσης. Η δράση αυτή χαρακτηρίζεται πολύ σημαντική καθώς το μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας καταναλώνεται για την κάλυψη αναγκών θέρμανσης λόγω γεωγραφικής τοποθεσίας.

Στη συνέχεια, τοποθετήθηκαν πειραματικές διατάξεις εσωτερικά και εξωτερικά του κτηρίου καταγράφοντας μετρήσεις θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας, στάθμης φωτισμού και συγκεντρώσεων διοξειδίου του άνθρακα. Πιο αναλυτικά, η εσωτερική θερμοκρασία με μέση τιμή 22°C, παρατηρήθηκε σχετικά χαμηλότερη από την υποδεικνυόμενη των 26°C για θερινή περίοδο, σε επίπεδα όμως συμβατά για την ικανοποίηση της θερμική άνεσης των χρηστών. Το γεγονός της χαμηλότερης θερμοκρασίας από το σχετικό όριο άνεσης, έχει ως αποτέλεσμα την υψηλότερη σχετική υγρασία (μ.τ. 58,1%) που μετρήθηκε εσωτερικά έναντι της συνιστώμενης (45% για θερινή περίοδο). Η ποσότητα όμως υδρατμού στον αέρα (ειδική υγρασία) είναι αποδεκτή καθώς ταυτίζεται σχεδόν με την συνιστώμενη τιμή των 9,4 [gr υδρατμών / Kg ξηρού αέρα], διασφαλίζοντας έτσι την ποιότητα του εσωτερικού αέρα. Επιπλέον, το σύστημα τεχνητού φωτισμού κρίθηκε ανεπαρκές καθώς δεν παρείχε την επιθυμητή στάθμη των 500 lux που συστήνεται για χώρους γραφείου. Ακόμη παρατηρήθηκε υψηλή στάθμη φωτισμού σε

διάφορα γραφεία ενώ το κτήριο βρισκόταν εκτός λειτουργίας. Σχετικά με τις συγκεντρώσεις CO₂, η μέση τιμή ήταν 581 ppm για το γραφείο του ισογείου και 430 ppm για το γραφείο του πρώτου ορόφου, χώροι στους οποίους είχαν τοποθετηθεί οι μετρητικές συσκευές. Το γεγονός ότι δεν ξεπερνούν το εύρος των 600-800 ppm αποδεικνύει τον επαρκή και συχνό αερισμό του κτηρίου.

Το υπό μελέτη κτήριο προσομοιώθηκε σχεδιαστικά στο Revit και η ενεργειακή του ανάλυση πραγματοποιήθηκε στο GBS της Autodesk. Ειδικότερα, υπολογίστηκαν τα φορτία ζήτησης σύμφωνα με το λογισμικό. Στη συνέχεια, για λόγους απλότητας, εφαρμόστηκε η μεθοδολογία που προτείνει ο Κ.Εν.Α.Κ, η οποία υπολογίζει τις ενεργειακές καταναλώσεις στη βάση των φορτίων ζήτησης και σύμφωνα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά των συστημάτων που διαθέτει το κτήριο. Τα αποτελέσματα αυτών ανέδειξαν τις υψηλές απαιτήσεις κάλυψης αναγκών θέρμανσης, καθώς οι ενεργειακές καταναλώσεις θέρμανσης αγγίζουν το 71% και είναι ίσες με 114,2 kWh/m², ακολουθούν οι καταναλώσεις φωτισμού και εξοπλισμού που αποτελούν το 9% του συνόλου η κάθε μια, με τιμές 14,6 kWh/m² και 13,5 kWh/m² αντίστοιχα. Αντιθέτως έχει λιγότερες απαιτήσεις σε ψύξη λόγω κλιματικής ζώνης καθώς και σε ZNX αφού το κτήριο εξυπηρετεί ανάγκες γραφείου. Επιπρόσθετα, η ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας υπολογίστηκε ίση με 196,2 kWh/m² και οι ετήσιες εκπομπές CO₂ ίσες με 80,2 Kg/m². Η σύγκριση των αποτελεσμάτων προσομοίωσης με τις πραγματικές καταναλώσεις του κτηρίου παρουσίασε σχεδόν ταύτιση στις καταναλώσεις τηλεθέρμανσης, ενώ στις ηλεκτρικές καταναλώσεις παρατηρήθηκε απόκλιση της τάξης του 27,5%. Αυτό ενδεχομένως να οφείλεται στην απόκλιση των καταναλώσεων ψύξης της προσομοίωσης με τις πραγματικές, καθώς συνηθίζεται ο φυσικός αερισμός και δροσισμός των χώρων του κτηρίου και έχει ως αποτέλεσμα την περιορισμένη χρήση των κλιματιστικών μονάδων.

Συνυπολογίζοντας όλα τα παραπάνω, έγινε πρόταση ενεργειακών αναβαθμίσεων με στόχο τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του κτηρίου. Σχετικά με το κτηριακό κέλυφος, προτάθηκε η αντικατάσταση των υφιστάμενων παραθύρων με παράθυρα αλουμινίου, διπλού ενεργειακού υαλοπίνακα (Low-E) και η θερμομόνωση και στεγανοποίηση της οροφής. Τα αποτελέσματα αυτών των δράσεων παρουσίασαν σημαντική μείωση των καταναλώσεων θέρμανσης, της τάξης του **25%**. Επιπλέον, θεωρήθηκε αναγκαία η αντικατάσταση των λαμπτήρων φθορισμού με λαμπτήρες LED, οι οποίοι προσφέρουν επαρκή φωτεινότητα, μειώνουν σημαντικά τις ηλεκτρικές καταναλώσεις και έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Πιο συγκεκριμένα, η εξοικονόμηση ηλεκτρικών καταναλώσεων υπολογίστηκε ίση με **43%**. Η διατηρούμενη σε υψηλά επίπεδα στάθμη φωτισμού σε κάποια γραφεία ενώ το κτήριο

βρισκόταν εκτός λειτουργίας, όπως παρουσίασαν τα αποτελέσματα των μετρήσεων, οδήγησε στη σύσταση τοποθέτησης ψηφιακών χρονοδιακοπών με στόχο τη μείωση των άσκοπων ηλεκτρικών καταναλώσεων. Επιπρόσθετα, έγινε πρόταση τοποθέτησης παθητικών ηλιακών συστημάτων, δηλαδή Φ/Β πλαισίων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και κάλυψης του **60%** των ηλεκτρικών καταναλώσεων του κτηρίου.

Η απόσβεση της συνολικής επένδυσης της ενεργειακής αναβάθμισης του επιμελητηρίου Κοζάνης, λαμβάνοντας υπόψη και την αναβάθμιση του συστήματος θέρμανσης, προέκυψε ίση με **5,5 έτη**. Ακόμη και η τμηματική εφαρμογή των επεμβάσεων οδηγεί στον ίδιο χρόνο απόσβεσης, όπως είναι η θερμομονωτική θωράκιση του κτηρίου με την εξοικονόμηση ενέργειας που προσφέρει το δίκτυο της τηλεθέρμανσης και η αντικατάσταση λαμπτήρων και η τοποθέτηση Φ/Β με την εξοικονόμηση που προσφέρουν τα βελτιωμένα ηλεκτρικά συστήματα. Αυτή η χρονική περίοδος θεωρείται ιδιαίτερα ευνοϊκή για την υλοποίηση των επεμβάσεων, καθώς μειώνεται το λειτουργικό κόστος του κτηρίου και προκύπτουν τεράστια περιβαλλοντικά οφέλη. Ειδικότερα, η ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας μετά το πέρας των ενεργειακών αναβαθμίσεων υπολογίστηκε ίση με 102,3 kWh/m², δηλαδή παρουσιάστηκε μείωση της τάξης του **48%** (περίπου 47% δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας για κλιματική ζώνη Δ σύμφωνα με τον Πίνακα 1.1), ενώ οι ετήσιες εκπομπές CO₂ υπολογίστηκαν ίσες με 45 Kg/m², δηλαδή μείωση της τάξης του **44%**. Τα αποτελέσματα αυτά επιβεβαιώνουν το υψηλό δυναμικό των ενεργειακών παρεμβάσεων για την μετατροπή του επιμελητηρίου Κοζάνης σε κτήριο υψηλής ενεργειακής απόδοσης καθώς και για την προστασία του φυσικού περιβάλλοντος.

Βιβλιογραφία – Πηγές – Ιστοσελίδες

Βιβλιογραφία στην ελληνική γλώσσα

Βικιπαίδεια (Κλιματική αλλαγή – Υπερθέρμανση του πλανήτη – Φαινόμενο του θερμοκηπίου) (www.wikipedia.gr)

ΔΕΗ. Δημόσια επιχείρηση ηλεκτρισμού (www.dei.gr)

ΔΕΥΑΚ. Δημοτική επιχείρηση ύδρευσης αποχέτευσης Κοζάνης - Τηλεθέρμανση (new.deyakozanis.gr)

ΕΒΕ Κοζάνης. Εμπορικό και βιομηχανικό επιμελητήριο Κοζάνης (www.evekozani.gr)

ΕΕ, 2014α. Κανονισμός ΕΕ 517/2014. Επίσημη εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης – Για τα φθοριούχα αέρια του θερμοκηπίου και για την κατάργηση του κανονισμού (ΕΚ) αριθ. 842/2006

ΕΕ, 2014β. Ανακοίνωση/2014/015. Ανακοίνωση της επιτροπής προς το Ευρωπαϊκό κοινοβούλιο, το συμβούλιο, την Ευρωπαϊκή οικονομική και κοινωνική επιτροπή και την επιτροπή των περιφερειών – Πλαίσιο πολιτικής για το κλίμα και την ενέργεια κατά την περίοδο από το 2020 έως το 2030. Βρυξέλλες.

ΕΕ, 2010. Οδηγία 2010/31/ΕΕ. Επίσημη εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης – Για την ενεργειακή απόδοση των κτηρίων.

ΕΕ, 2009. Οδηγία 2009/28/ΕΚ. Επίσημη εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης – Σχετικά με την προώθηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές και την τροποποίηση και τη συνακόλουθη κατάργηση των οδηγιών 2001/77/ΕΚ και 2003/30/ΕΚ.

ΕΕ, 2002. Οδηγία 2002/91/ΕΚ. Επίσημη εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων – Για την ενεργειακή απόδοση κτηρίων.

ΕΙΠΑΚ. Ελληνικό ινστιτούτο παθητικού κτηρίου (www.eipak.org)

Καραμπέκος Θ., Μιχαλάκης Κ., 2010. Σημειώσεις μαθήματος ‘Οικοδομικής ΙΙ’, ΤΕΙ Λάρισας, Τμήμα Ανακαίνισης και Αποκατάστασης Κτηρίων. Τρίκαλα.

Ν.3661/2008. Νόμος υπ’ αριθ. 3661 (ΦΕΚ Α’ 89). Μέτρα για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτηρίων και άλλες διατάξεις.

Πανάρας Γ., Σημειώσεις μαθήματος ‘Ενεργειακός Σχεδιασμός Κτηρίων Ι’, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών. Κοζάνη, 2017.

Πανάρας Γ., Σημειώσεις μαθήματος ‘Ενεργειακός Σχεδιασμός Κτηρίων ΙΙ’, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών. Κοζάνη, 2017.

Πανάρας Γ., Σημειώσεις μαθήματος ‘Θέρμανση – Ψύξη – Κλιματισμός’, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών. Κοζάνη, 2016.

ΤΕΕ, 2017α. Τεχνική Οδηγία Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1. Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτηρίων και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης. Αθήνα.

ΤΕΕ, 2017β. Τεχνική Οδηγία Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2. Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας των κτηρίων. Αθήνα.

ΤΕΕ, 2010. Τεχνική Οδηγία Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3. Κλιματικά δεδομένα ελληνικών περιοχών. Αθήνα.

ΥΠΕΚΑ. Υπουργείο περιβάλλοντος, ενέργειας και κλιματικής αλλαγής (www.ypeka.gr)

ΥΠΕΝ, 2019. ΥΠΕΝ – ΣΕΠΔΕΜ - Τμήματα επιθεώρησης ενέργειας ΒΕ & ΝΕ, Πετρολιάγκη Μ., 2019. Ενεργειακές επιθεωρήσεις – Στατιστική ανάλυση για το έτος 2018 και της χρονικής περιόδου 2011-2018.

ΥΠΕΝ, 2018. ΥΠΕΝ – ΣΕΠΔΕΜ - Τμήμα επιθεώρησης ενέργειας ΝΕ, Πετρολιάγκη Μ., 2018. Υφιστάμενη κατάσταση δημοσίων κτηρίων ως προς την ενεργειακή αναβάθμιση. Ημερίδα Εργαστηρίου Διερεύνησης (Living Lab): Χρηματοδότηση πράσινων λύσεων & ενσωμάτωση πράσινων κριτηρίων στις δημόσιες συμβάσεις. Αθήνα.

ΥΠΕΝ, 2016. ΥΠΕΝ – ΣΕΠΔΕΜ - Τμήμα επιθεώρησης ενέργειας ΝΕ, Πετρολιάγκη Μ., 2016. Ενεργειακή απόδοση δημοσίων κτηρίων. Ημερίδα ΚΑΠΕ: Έργα αιεφόρου ενέργειας στο δημόσιο τομέα και η εμπειρία των ΟΤΑ από τον σχεδιασμό στην υλοποίηση. Αθήνα.

Ξενόγλωσσες πηγές

ANSI/ASHRAE, 2016. ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2016, Ventilation for acceptable indoor air quality. Atlanta.

ASHRAE, 2005. ASHRAE Fundamentals. Atlanta.

EC, 2018. COM/2018/773. Communication/2018/773. In-depth analysis in support of the commission – A clean planet for all – A European strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy. Brussels.

European Commission. Climate change – Causes & Consequences. (ec.europa.eu)

Power Knot LLC, 2019. COPs, EERs and SEERs, ‘How Efficient is Your Air Conditioning System?’. Milpitas CA, USA.

ZEB ENGINEERING (www.zero-energybuilding.gr)

Ιστοσελίδες

EPT, 2019. Ελληνική ραδιοφωνία τηλεόραση - 'Εξοικονόμηση κατ' οίκον II': Οι νέες ημερομηνίες για τις υπόλοιπες περιφέρειες. (www.ert.gr)

Εφημερίδα 'Δυτική Μακεδονία', 2018. ΕΒΕ Κοζάνης: Ενημερωτική ημερίδα στην Πτολεμαΐδα και την Κοζάνη. (ditiki.gr)

ΚΑΞΗΡΗΣ (www.kaxirismonotika.gr)

ΚΑΥΚΑΣ (www.kafkas.gr)

ART & DESIGN (artanddesign.com.gr)

Europa Aluminium Systems (www.profil.gr)

FRAGOULAKIS – Μονωτικά υλικά (www.monotikaylika.gr)

INERGION (www.inergion.com)

PHILIPS (www.lighting.philips.gr)

Ray's HEATING & AIR (rays-hvac.com)