



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΤΕΡΟΓΕΝΩΝ ΜΙΓΜΑΤΩΝ & ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΥΣΗΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΑΡΕΜΒΑΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ  
ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΤΩΝ ΠΑΛΑΙΩΝ ΕΣΤΙΩΝ ΤΟΥ ΕΜΠ, ΜΕ ΤΗ  
ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ EnergyPlus**

**ΖΑΧΑΡΗΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΜΑΡΙΑ ΦΟΥΝΤΗ**

**Αθήνα, Σεπτέμβριος 2019**



# ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Δεδομένου ότι το ενεργειακό ζήτημα κρίνεται ως ένα από τα πλέον κυρίαρχα πολιτικά και οικονομικά ζητήματα της εποχής μας, αλλά και του ότι η εξοικονόμηση ενέργειας και η βελτίωση της διαχείρισης της αποτελούν τις βασικές συνιστώσες του, κάθε σχετική μελέτη θα πρέπει να λαμβάνει υπόψιν πέρα από τις αμιγώς τεχνικές και τις οικονομοτεχνικές και νομικές πτυχές του προβλήματος που μελετά. Σε ότι αφορά τον κτιριακό τομέα, βλέπουμε ότι τόσο σε εθνικό όσο και διεθνές-ευρωπαϊκό επίπεδο, γίνονται εδώ και καιρό αρκετές προσπάθειες να οριστεί το κατάλληλο νομικό πλαίσιο για τον περιορισμό της σπατάλης ενέργειας στα κτίρια (παλαιές και νέες κατασκευές) στην κατεύθυνση της βιώσιμης ανάπτυξης.

Αντικείμενο διερεύνησης της παρούσας εργασίας αποτελεί κατ' αρχήν η μελέτη και προσομοίωση της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου των παλαιών εστιών του ΕΜΠ (ΦΕΕΜΠ) και δευτερευόντως η αναζήτηση οικονομικά αποδοτικών λύσεων ανακαίνισης με πρωταρχικό σκοπό την ενεργειακή του αναβάθμιση. Συγκεκριμένα, διερευνάται η επίδραση της αντικατάστασης των υαλοπινάκων των 8 κατοικίσιμων ορόφων του κτιρίου και της επένδυσης της εξωτερικής τοιχοποιίας τους με θερμομονωτικές πλάκες, στη διακύμανση της ενέργειας που καταναλώνεται από το σύστημα θέρμανσης-ψύξης. Χρησιμοποιήθηκαν και μελετήθηκαν διπλοί ενεργειακοί υαλοπίνακες με διαφορετικό αέριο πλήρωσης με ή χωρίς επένδυση υλικού χαμηλής εκπομπής (low-e) καθώς επίσης και θερμομονωτικές πλάκες διογκωμένης πολυστερίνης EPS διαφορετικών παχών. Ο σχεδιασμός του κτιρίου έγινε με χρήση του λογισμικού Sketch Up με το Plug-in του Open Studio και για τη προσομοίωση του χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Energy Plus.

Στα πρώτα κεφάλαια (1ο & 2ο ) της παρούσας εργασίας παρουσιάζονται και αναλύονται οι εγχώριες και ευρωπαϊκές νομοθεσίες που αφορούν την ενεργειακή απόδοση κτιρίων, ενώ κατά την ανάπτυξη της μεθόδου μοντελοποίησης του κτιρίου των ΦΕΕΜΠ στο 5ο κεφάλαιο, βλέπουμε ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα ανάλυσης της ενεργειακής απόδοσης ενός κτιρίου με βάση τις εθνικές οδηγίες του ΤΕΕ και τον Κ.Εν.Α.Κ. Τα Κεφάλαια 3 και 4 αφιερώνονται στην παρουσίαση του φυσικού προβλήματος της μεταφοράς θερμότητας στο κτιριακό κέλυφος. Συγκεκριμένα στο κεφάλαιο 3 περιγράφονται αναλυτικά τα φυσικά φαινόμενα της μεταφοράς θερμότητας στις περιπτώσεις της αδιαφανούς τοιχοποιίας του κελύφους και των διαφανών επιφανειών των υαλοπινάκων, γίνεται αναφορά στους παράγοντες που συνιστούν την θερμική άνεση και περιγράφονται τα βασικά χαρακτηριστικά, οι ιδιότητες και οι έννοιες της θερμικής μόνωσης. Στο 4ο Κεφάλαιο γίνεται εισαγωγή στο λογισμικό ενεργειακής προσομοίωσης κτιρίων EnergyPlus και παρατίθενται οι ενεργειακές εξισώσεις και αλγόριθμοι που χρησιμοποιεί για την μοντελοποίηση αυτή. Τα Κεφάλαια 5 και 6 είναι τα κεφάλαια στα οποία γίνονται οι υπολογισμοί και παρουσιάζεται η διαδικασία των προσομοιώσεων. Στο 5ο Κεφάλαιο για το υφιστάμενο κτίριο (κτίριο αναφοράς) και στο 6ο για τα υποθετικά σενάρια ανακαίνισης. Η τελική επιλογή του αποδοτικότερου σεναρίου έγινε με τεχνοοικονομικά κριτήρια και συγκεκριμένα με κριτήριο τον χρόνο απόσβεσης κεφαλαίου. •Το αποδοτικότερο σενάριο εκ των 16 που μελετήθηκαν (από όλες τις απόψεις) αποδείχθηκε αυτό της επένδυσης του κελύφους με θερμομονωτικές πλάκες διογκωμένης πολυστερίνης EPS πάχους 100 χιλιοστών και αλλαγής των υαλοπινάκων με διπλούς υαλοπίνακες χαμηλής εκπομπής (low-e) με αέριο πλήρωσης αέρα. Σε αυτή την περίπτωση έχουμε μείωση πρωτογενούς ενέργειας κατά 32.2% και χρόνο απόσβεσης κεφαλαίου τα 3,7 χρόνια. Στο 7<sup>ο</sup> κεφάλαιο επισημαίνονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την μελέτη, καθώς και οι πιθανοί τομείς μελλοντικής έρευνας.

# ABSTRACT

Given that the energy issue is considered one of the most prevalent political and economic issues of our time, but also that energy saving and improving its management are its key components, any such study should take into account the purely technical, economic and legal aspects of the problem it is considering. As far as the building sector is concerned, we see that, both at national and international level, there have been several attempts to define the appropriate legal framework to limit the waste of energy in buildings (old and new construction) in the direction of sustainable development.

In principle, the subject of this thesis is the study and simulation of the energy performance of the old NTUA campus halls of residence (FEEMP) and, secondly, the search for cost-effective renovation solutions with the primary purpose of energy upgrading. In particular, the effect of replacing the 8 habitable floors of the building and the investment of their external masonry with thermal insulating plates on the variation of the energy consumed by the heating-cooling system shall be investigated. A variation of double pane energy efficient windows was used and studied, as well as expanded polystyrene thermal plates (EPS) of different dashes. The building was designed using the Sketch Up software with the Plug-in of Open Studio and was finally simulated using Energy Plus software.

In the first chapters (1st & 2nd) of this thesis, domestic and European legislation relating to the energy performance of buildings is presented and analysed, while in developing the modelling method of the FEEMP building in Chapter 5, we see a typical example of a breakdown of the energy performance of a building based on the national TEE (Technical Chamber of Greece) and KENAK directives. Chapters 3 and 4 are devoted to the presentation of the natural problem of heat transfer in the building shell. In particular, Chapter 3 describes in detail the physical effects of heat transfer in the case of the opaque masonry of the shell and the transparent surfaces of the glass panes, refers to the factors that constitute thermal comfort and describes the basic characteristics, properties and concepts of thermal insulation. Chapter 4 introduces energy simulation software for EnergyPlus buildings and lists the energy equations and algorithms it uses for this modeling. Chapters 5 and 6 are the chapters in which the calculations are made and the simulations process is presented. Chapter 5 for the existing building (reference building) and chapter 6 for the hypothetical renovation scenarios. The most efficient scenario was ultimately selected on the basis of technoeconomic criteria, and in particular on the basis of the time of depreciation of capital. The most efficient scenario of the 16 surveyed (in all respects) was that of the shell lining with a thermoinsulated polystyrene plate EPS thickness of 100 mm and the change of low-e glass panes with air filling gas. In this case, we have a reduction in primary energy by 32.2% and a 3.7-year payback period time. Chapter 7 highlights the conclusions drawn from the study, as well as possible future research area proposals.

# ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την καθηγήτρια κ. Μαρία Φούντη για τη δυνατότητα που μου έδωσε να ασχοληθώ με το αντικείμενο της ενεργειακής μελέτης κτιρίων στα πλαίσια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας. Ευχαριστώ επίσης τον Δρ. Ιωάννη Μανδηλαρά και τον Δρ. Ιωάννη Ατσόνιο, για όλες τις χρήσιμες συμβουλές, την καθοδήγηση, τον χρόνο που αφιέρωσαν και τη συμπαράσταση τους σε όλη τη διάρκεια της εκπόνησης. Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να δώσω στον υποψ. Διδάκτορα Άρη Μανωλίτη για τη καταλυτική του βοήθεια από την αρχή έως το τέλος της εργασίας και την υποστήριξη σε όλα τα τεχνικά και θεωρητικά προβλήματα που προέκυπταν. Χωρίς την καθοριστική του συμβολή δεν θα ήταν δυνατή η ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας και γι αυτό το λόγο του την αφιερώνω.



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	i
ABSTRACT .....	ii
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ .....	iii
<b>1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ.....</b>	<b>2</b>
<b>1.2 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΤΙΡΙΩΝ .....</b>	<b>5</b>
1.2.1 ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ.....	5
1.2.2 ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	6
<b>1.3 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ ΦΟΙΤΗΤΙΚΩΝ ΕΣΤΙΩΝ .....</b>	<b>7</b>
<b>1.4 ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....</b>	<b>8</b>
<b>1.5 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ .....</b>	<b>9</b>
<b>2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΜΕΤΡΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ ΣΤΟΝ ΚΤΙΡΙΑΚΟ ΤΟΜΕΑ.....</b>	<b>10</b>
<b>2.1 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ.....</b>	<b>10</b>
<b>2.2 ΚΤΙΡΙΑΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ-ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΚΑΙ ΝΟΜΟΘΕΣΙΕΣ.....</b>	<b>10</b>
2.2.1 Το Πλάισιο EPBD και οι οδηγίες 2010/31/ΕΕ, 2012/27/ΕΕ.....	12
2.2.2 Οι πιο πρόσφατες αλλαγές του νομοθετικού πλαισίου στην Ευρώπη .....	13
<b>2.3 ΕΘΝΙΚΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΚΤΙΡΙΑΚΟ ΤΟΜΕΑ .....</b>	<b>13</b>
2.3.1 Ο Κανονισμός Θερμομόνωσης Κτιρίων.....	14
2.3.2 Κ.Εν.Α.Κ.....	15
<b>3 ΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ .....</b>	<b>20</b>
<b>3.1 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΚΕΛΥΦΟΣ ΚΤΙΡΙΟΥ.....</b>	<b>20</b>
3.1.1 Γενικά .....	20
3.1.2 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΕΞΩΤΕΡΙΚΕΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΕΣ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΟΡΟΦΗ .....	22
<b>3.2 ΘΕΡΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ .....</b>	<b>26</b>
3.2.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΚΑΙ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗΣ.....	27
3.2.2 ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ.....	29
3.2.3 ΘΕΡΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ ΣΤΟ ΚΤΙΡΙΑΚΟ ΚΕΛΥΦΟΣ .....	30
3.2.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΚΕΛΥΦΟΥΣ .....	32
<b>3.3 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΜΕΣΩ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΩΝ .....</b>	<b>35</b>
3.3.1 ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΟΝ ΚΤΙΡΙΑΚΟ ΤΟΜΕΑ-ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΜΕΣΟΥ ΗΛΙΑΚΟΥ ΚΕΡΔΟΥΣ.....	35
3.3.2 ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΘΕΩΡΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΜΕΣΩ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΩΝ ..	37
3.3.3 ΕΙΔΗ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΩΝ.....	40
3.3.4 ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ WINDOW .....	43
<b>3.4 ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΕΣΗ .....</b>	<b>45</b>

4	ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ENERGYPLUS (EP) .....	48
4.1	<b>ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ .....</b>	<b>48</b>
4.2	<b>ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ENERGYPLUS .....</b>	<b>49</b>
4.3	<b>ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ENERGY PLUS .....</b>	<b>51</b>
5	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΚΑΙ ΤΩΝ ΠΑΡΑΔΟΧΩΝ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ .....	53
5.1	<b>ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ .....</b>	<b>53</b>
5.2	<b>ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ .....</b>	<b>54</b>
5.3	<b>ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ .....</b>	<b>57</b>
5.3.1	ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ .....	57
5.3.2	ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΕ ΓΙΑ ΤΗΝ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ .....	58
5.3.3	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΤΟΤΕΕ-20701-1-2017	59
5.3.4	ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΖΩΝΩΝ .....	62
5.3.5	ΟΡΙΣΜΟΣ ΟΡΙΑΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ .....	65
5.3.6	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΑΔΙΑΦΑΝΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΓΕΦΥΡΩΝ .....	67
5.4	<b>ΟΡΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ .....</b>	<b>70</b>
5.4.1	ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΟΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ ΧΩΡΟ .....	70
5.4.2	ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ (Materials) ΚΑΙ ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (Surface Construction Elements) .....	71
5.4.3	ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ (Schedules) .....	74
5.4.4	ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΘΕΡΜΙΚΑ ΚΕΡΔΗ (Internal Gains) .....	77
5.4.5	ΡΟΗ ΤΟΥ ΑΕΡΑ ΔΙΑ ΜΕΣΟΥ ΤΩΝ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΖΩΝΩΝ (Zone Airflow) .....	78
5.4.6	ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ (HVAC) ΚΑΙ ΖΕΣΤΟ ΝΕΡΟ ΧΡΗΣΗΣ .....	80
5.5	<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ .....</b>	<b>82</b>
6	ΠΑΡΕΜΒΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ..	86
6.1	<b>ΣΕΝΑΡΙΟ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ .....</b>	<b>86</b>
6.1.1	ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΑΝΑΚΑΙΝΙΣΗΣ ΤΩΝ ΕΣΤΙΩΝ .....	88
6.1.2	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗΣ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗΣ .....	88
6.1.3	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ .....	90
6.2	<b>ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΛΛΑΓΗΣ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΩΝ .....</b>	<b>93</b>
6.2.1	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟΙ ΤΥΠΟΙ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΩΝ ΓΙΑ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ .....	93
6.2.2	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΤΟ ENERGYPLUS ...	93
6.2.3	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ .....	97
6.3	<b>ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΑ ΣΕΝΑΡΙΑ .....</b>	<b>100</b>
6.4	<b>ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ .....</b>	<b>103</b>
6.5	<b>ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΟΥ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΕΡΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ .....</b>	<b>106</b>
6.6	<b>ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΤΑΣΗΣ ΑΝΑΚΑΙΝΙΣΗΣ ΜΕ ΤΟ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ ΚΤΙΡΙΟ .....</b>	<b>109</b>

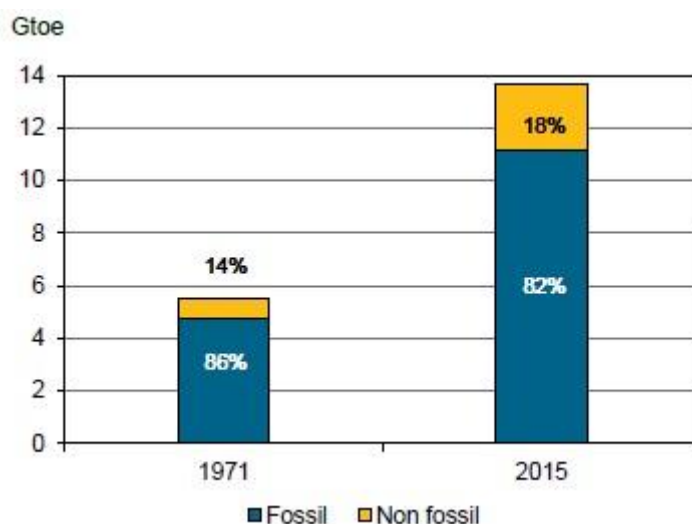


6.6.1	ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΙΣΗ ΠΡΩΤΟΓΕΝΟΥΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....	109
6.6.2	ΜΕΙΩΣΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ CO <sub>2</sub> .....	111
6.6.3	ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΟΦΕΛΗ .....	112
7	ΒΑΣΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ .....	113
<b>7.1</b>	<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>113</b>
<b>7.2</b>	<b>ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ .....</b>	<b>115</b>
8	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	117
9	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	120
9.1.1	Κατάλογος πινάκων.....	120
9.1.2	Κατάλογος εικόνων .....	122
9.1.3	Λοιπά αποτελέσματα από την ενεργειακή προσομοίωση του υφιστάμενου κτιρίου ....	124

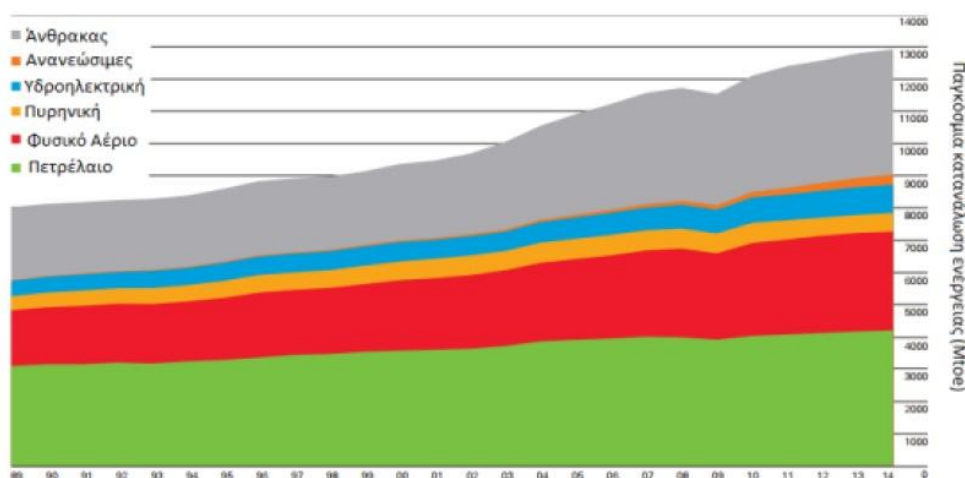


# 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το ενεργειακό ζήτημα αναδεικνύεται σε ένα από τα πλέον κυρίαρχα πολιτικά και οικονομικά ζητήματα της εποχής μας. Ο τομέας της ενέργειας αποτελεί άλλωστε, τον πλέον «παγκοσμιοποιημένο» τομέα της οικονομίας και επηρεάζει άμεσα την χάραξη πολιτικής σε άλλους βασικούς τομείς όπως είναι οι μεταφορές, οι υποδομές και η βιομηχανία. Επιπλέον είναι ιδιαίτερα σημαντικός για τον καθορισμό συγκεκριμένων ρυθμών ανάπτυξης, για τους τομείς της έρευνας και της τεχνολογίας καθώς επίσης και για το σύνολο των παραγωγικών κλάδων της οικονομίας κάθε χώρας. Στις μέρες μας βλέπουμε την παγκόσμια ενεργειακή ζήτηση να αυξάνεται παράλληλα με την αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού και την οικονομική επέκταση στις λεγόμενες αναπτυσσόμενες χώρες. Είναι ενδεικτικό να αναφέρουμε ότι η αύξηση της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας ήταν 2.2% το 2017, μεγαλύτερη κατά 1.2% από το 2016 και σαφώς ταχύτερη από αυτήν του 2013<sup>[1]</sup>. Συνολικά δε από το 1971 μέχρι το 2015 η ενεργειακή ζήτηση πρωτογενούς ενέργειας αυήθηκε κατά 150% όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα (Εικόνα 1.1.1). Σύμφωνα με εκτιμήσεις δε, αναμένεται ότι η παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας θα αυξηθεί περίπου κατά το ένα τρίτο μέχρι το 2040<sup>[2]</sup>. Κύρια πηγή ενέργειας είναι τα ορυκτά καύσιμα όπως φαίνεται και στα δύο παρακάτω σχήματα (Εικόνες 1.1.1, 1.1.2).

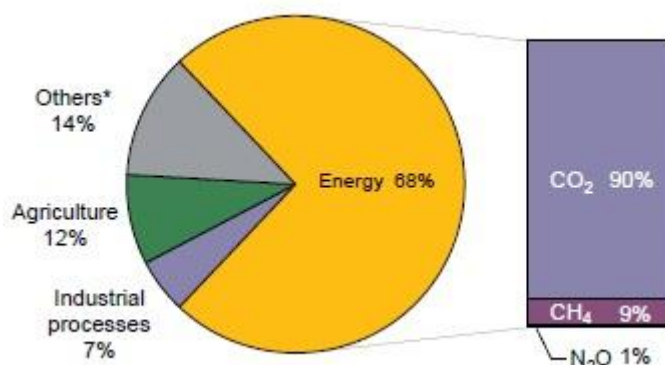


Εικόνα 1.1 Παγκόσμια κατανομή πρωτογενούς ενέργειας για τα έτη 1971 και 2015 σε Gtoe [IEA,2017]



Εικόνα 1.2 Παγκόσμια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για την περίοδο 1992-2014 σε Mtoe με βάση την πηγή ενέργειας[1]

Εξίσου σημαντικό είναι και το ζήτημα της κλιματικής αλλαγής και ο τρόπος με τον οποίο η παγκόσμια παραγωγή ενέργειας επηρεάζει τις εκπομπές αέριων ρύπων επιβλαβών για το περιβάλλον. Οι επιστήμονες οι οποίοι ασχολούνται με το κλίμα έχουν παρατηρήσει ότι η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) στην ατμόσφαιρα, που είναι και ο κύριος παράγοντας έντασης του φαινομένου του θερμοκηπίου, έχουν αυξηθεί σημαντικά τον τελευταίο αιώνα (κατά 280 ppm συγκρινόμενες με την προβιομηχανική περίοδο). Το 2016 η μέση συγκέντρωση CO<sub>2</sub> ανέρχονταν στα 403 ppm, με μέση ετήσια αύξηση της τάξης των 2ppm. Αντίστοιχη αύξηση παρατηρείται και στα επίπεδα του μεθανίου (CH<sub>4</sub>) το οποίο είναι υπεύθυνο και για την τρύπα του όζοντος αλλά και στα οξείδια του νατρίου (NO<sub>x</sub>). Όσον αφορά τον ενεργειακό τομέα, το CO<sub>2</sub> το οποίο προέρχεται από την οξείδωση του άνθρακα κατά την διεργασία της καύσης κυριαρχεί στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (GreenHouseGases-GHG). Όπως βλέπουμε και στο παρακάτω σχήμα (εικόνα 1.1.3) καταλαμβάνει το 68% του συνόλου των GHG με το 90% εξ αυτών να αποτελούν εκπομπές CO<sub>2</sub>.<sup>[3]</sup>



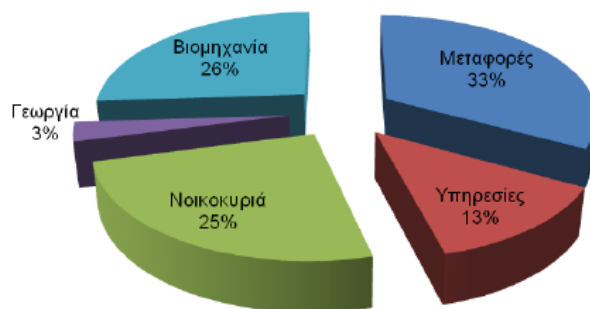
Εικόνα 1.3 Εκτίμηση ανθρωπογενών εκπομπών GHG [3]

Το πρόβλημα της διαμόρφωσης της σχέσης προσφοράς-ζήτησης στον ενεργειακό τομέα είναι πολύπλοκο και πολυπαραγοντικό με σημαντικές πολιτικές προεκτάσεις. Γιαυτό άλλωστε τα θέματα που συνδέονται με την ασφάλεια και την διαφοροποίηση του ενεργειακού εφοδιασμού αποκτούν αυξανόμενη σημασία παράλληλα και σε αλληλεπίδραση με την αύξηση της κατανάλωσης, ενώ είναι σαφές ότι οι πολιτικές αποφάσεις για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, για την κατανομή των δικαιωμάτων ρύπανσης (βλ. πχ. πρωτόκολλο του Κυότο (1997)) καθώς και για μια σειρά άλλων συναφών διακρατικών συμφωνιών, επηρεάζουν τόσο μακροπρόθεσμα όσο και μεσοπρόθεσμα την παγκόσμια ενεργειακή αγορά.

Η τεχνολογική διάσταση των ενεργειακών επιλογών, μαζί με την χρηματοδοτική επάρκεια και τελευταία την ανάσχεση των συνεπειών της κλιματικής αλλαγής, είναι ζητήματα τεράστιας σημασίας για τον έλεγχο του τομέα και αποτελούν ίσως τα αποτελεσματικότερα εργαλεία ελέγχου των ενεργειακών εξελίξεων σε παγκόσμια κλίμακα.

## 1.1 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ

Σε ότι αφορά τον κτιριακό τομέα και την συμβολή του στο ενεργειακό ζήτημα, βλέπουμε ότι αποτελεί έναν σημαντικότερο καταναλωτή ενέργειας με συνεχώς αυξανόμενη συμμετοχή στην συνολική παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση (ήδη καταλαμβάνει το 35% για τα κράτη μέλη του ΟΟΣΑ και το 39% για τις χώρες της Ε.Ε).<sup>[4]</sup>



Εικόνα 1.4 Κατανομή ενεργειακών καταναλώσεων παγκοσμίως με βάση την χρήση [4]

Η κατάσταση αυτή εκτιμάται ότι θα ενταθεί τα επόμενα χρόνια καθώς στοιχεία δείχνουν πως η κατανάλωση ενέργειας για ψύξη αναμένεται να αυξηθεί σχεδόν κατά 150% σε παγκόσμιο επίπεδο μέχρι το 2050 <sup>[4]</sup>, ενώ στις αναπτυσσόμενες χώρες με θερμά κλίματα κατά 300 έως 600%. Ειδικότερα στην Ευρώπη, τα κτίρια που αποτελούν τον οικιακό και τον τριτογενή τομέα, ευθύνονται για το 38% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης καταλαμβάνοντας την πρώτη θέση σε επίπεδο κατανάλωσης και εκπονίζοντας ακόμα και τους παραδοσιακούς μεγάλους καταναλωτές (την βιομηχανία και τις μεταφορές). <sup>[5]</sup> Ο ελληνικός τομέας των κτιρίων έχει έντονο ενεργειακό και περιβαλλοντικό αποτύπωμα, κυρίως εξαιτίας της χρήσης πρωτογενών υλών, της κατανάλωσης φυσικών πόρων και της παραγωγής ρύπων και αποβλήτων<sup>[6]</sup>. Στην Ελλάδα, ο κτιριακός τομέας καταναλώνει το 67% περίπου της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας ενώ συμβάλει κατά 43% περίπου στις συνολικές εκπομπές CO<sub>2</sub>.

Το ελληνικό κτιριακό απόθεμα συνίσταται κυρίως σε κτίρια κατοικιών και δευτερευόντως σε κτίρια του τριτογενούς τομέα άλλων χρήσεων. Όλα τα κτίρια της επικράτειας απογράφονται κάθε δέκα χρόνια. Σύμφωνα με την τελευταία απογραφή του 2011 (Μάιος 2015) της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής (ΕΛΣΤΑΤ), ο αριθμός των κτιρίων της χώρας είναι 4.105.637. Από το σύνολο των κτιρίων τα 3.775.848 (92%) είναι αποκλειστικής χρήσης ενώ τα 329.789 (8%) είναι μικτής. Με βάση τα στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε με την συμβολή του ΚΑΠΕ κατά την περίοδο Οκτωβρίου 2011-Σεπτεμβρίου 2012<sup>[7]</sup> προέκυψε ότι κάθε νοικοκυριό της χώρας καταναλώνει κατά μέσο όρο 13994kWh ετησίως για την κάλυψη των ενεργειακών του αναγκών.

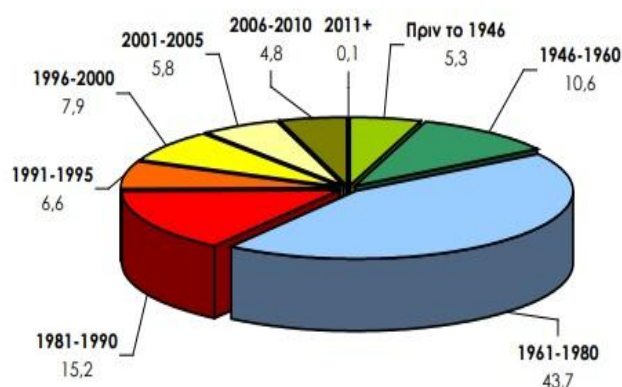


Εικόνα 1.5 Μέση ετήσια κατανάλωση ενέργειας ανά νοικοκυριό [6]

Το 73% περίπου της συνολικής ενέργειας αφορά θερμική ενέργεια και μόλις το 27% ηλεκτρική. Η θερμική ενέργεια που καταναλώνεται καλύπτει κατά 85,9% τις ανάγκες θέρμανσης των κατοικιών, κατά 4,4% την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης και 9,7% το μαγείρεμα. Πρόκειται για ένα ποσό αρκετά υψηλό, το οποίο παρουσιάζει αυξητικές τάσεις σε σημείο μάλιστα που βλέπουμε τον μέσο ρυθμό αύξησης της κατανάλωσης ενέργειας στα ελληνικά κτίρια να είναι μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο ρυθμό αύξησης της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης της χώρας (χαρακτηριστικά την περίοδο 2000-2007 ο μέσος ρυθμός αύξησης στα κτίρια ήταν 2,8% σε σχέση με το 1.8% για την συνολική

κατανάλωση ενέργειας). Επομένως, η ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων αναδεικνύεται σε σημαντικό θέμα της καθημερινότητας και η βελτίωση της ενεργειακής τους συμπεριφοράς σε πρωταρχικό στόχο.<sup>[7]</sup>

Τα πιο σπάταλα ενεργειακά κτίρια είναι αυτά που στερούνται θερμομονωτικής προστασίας, δηλαδή τα παλαιά κτίρια που έχουν συμπληρώσει τουλάχιστον 30 έτη ζωής. Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι το μεγαλύτερο ποσοστό του κτιριακού αποθέματος της χώρας (κοντά στο 60%) έχει κατασκευαστεί πριν από το 1980.



Εικόνα 1.6 Κατανομή κτιρίων με βάση την περίοδο κατασκευής[6]



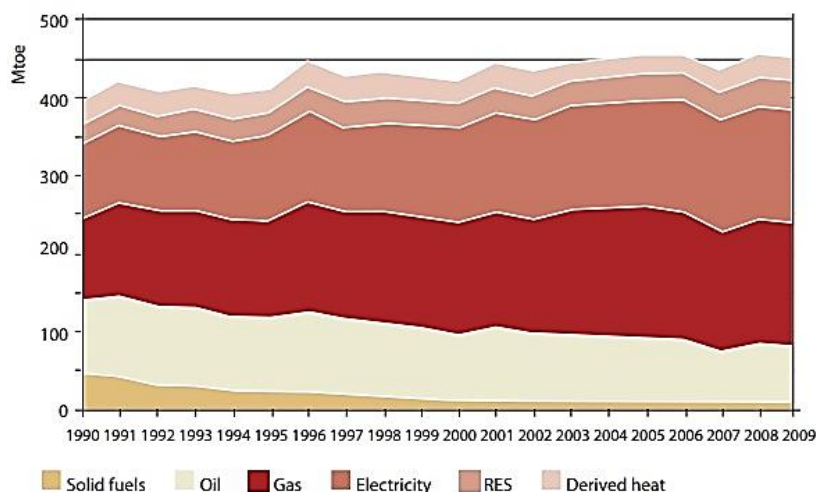
Εικόνα 1.7 Κατανομή κτιρίων με βάση την ύπαρξη θερμομόνωσης [6]

Αν στα παραπάνω προσθέσουμε την σύγκριση της ενεργειακής κατανάλωσης παλαιών κτιρίων με ελλιπή μόνωση, με αντίστοιχες νέες κατασκευές, με σωστό σχεδιασμό και χαμηλές ενεργειακές καταναλώσεις, προκύπτουν σημαντικά συμπεράσματα σχετικά με τη δυνατότητες που υπάρχουν προκειμένου για εξοικονόμηση ενέργειας. Το γεγονός αυτό καταμαρτυρείται και από τα στοιχεία που δίνονται από την Ευρωπαϊκή Ένωση<sup>[8]</sup> με βάση τα οποία το 75% περίπου των υφιστάμενων κτιρίων κρίνονται ως ενεργειακά μη αποδοτικά και θα πρέπει να ανακαινιστούν για να επιτύχουν τους στόχους εξοικονόμησης ενέργειας μέχρι το 2050. Στους στόχους αυτούς προστίθενται και η κοινοτική οδηγία ν.773 του 2018 για την επίτευξη ανταγωνιστικής και κλιματικά ουδέτερης οικονομίας.<sup>[9]</sup>

Άλλωστε τα κτίρια αποτελούν επενδύσεις εντάσεως κεφαλαίου, με υψηλό αρχικό κόστος και με μεγάλη διάρκεια ζωής. Υπό την έννοια αυτή δεσμευόμαστε να πληρώνουμε το αντίτιμο για οποιαδήποτε παράλειψη, αμέλεια ή αστοχία του σχεδιασμού και της κατασκευής επί δεκαετίες ολόκληρες

## 1.2 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΤΙΡΙΩΝ

Στα κτίρια, η ενέργεια χρησιμοποιείται για διάφορους σκοπούς όπως η θέρμανση, ο φωτισμός, ο εξαερισμός, ο κλιματισμός καθώς και για διάφορες συσκευές και μηχανήματα. Η ηλεκτρική ενέργεια και η θερμότητα είναι οι δύο μορφές τελικής ενέργειας που χρησιμοποιούνται στα κτίρια. Η ηλεκτρική ενέργεια καταναλώνεται για θέρμανση, ψύξη, κλιματισμό, φωτισμό και για διάφορες συσκευές, ενώ χρησιμοποιείται θερμότητα για θέρμανση. Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε την ιστορική εξέλιξη της ενεργειακής κατανάλωσης στον κτιριακό τομέα για τις ευρωπαϊκές χώρες [ ΕΕ, Ελβετία, Νορβηγία] με βάση την πηγή της ενέργειας.



Εικόνα 1.8 Ιστορική εξέλιξη της κατανάλωσης ενέργειας στα ευρωπαϊκά κτίρια 1990-2009 [4]

Ο ενεργειακός σχεδιασμός κτιρίων έχει ως στόχο την ποσοτική και ποιοτική βελτίωση των συνθηκών χρήσης ενέργειας για την κάλυψη των βασικών ενεργειακών απαιτήσεων σε ψύξη, θέρμανση, φωτισμό και ζεστό νερό χρήσης. Αποτελεί επι της ουσίας έναν οδικό χάρτη για την εξοικονόμηση ενέργειας και την παράλληλη εξασφάλιση συνθηκών άνεσης (θερμικής-οπτικής) ενώ η μεθοδολογία στην οποία βασίζεται έχει συνοπτικά ως <sup>[10]</sup> :

- I. Εφαρμογή του βιοκλιματικού σχεδιασμού κτιρίων και περιβάλλοντος για την ελαχιστοποίηση των ενεργειακών τους αναγκών.
- II. Αξιοποίηση των τοπικά διαθέσιμων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την μερική ή ολική κάλυψη των ενεργειακών τους αναγκών.
- III. Χρήση κατάλληλων συστημάτων χαμηλής ενέργειας και Η/Μ εξοπλισμού υψηλής ενεργειακής απόδοσης.
- IV. Ενεργειακή διαχείριση με κατάλληλα συστήματα στο επίπεδο της χρήσης και παραγωγής ενέργειας.

### 1.2.1 ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

Βιοκλιματικός σχεδιασμός ενός κτιρίου είναι ο σχεδιασμός ο οποίος λαμβάνοντας υπόψη το κλίμα κάθε περιοχής, στοχεύει στην εξασφάλιση των απαραίτητων εσωκλιματικών συνθηκών (θερμική και οπτική άνεση, ποιότητα αέρα) με την ελάχιστη δυνατή κατανάλωση ενέργειας, αξιοποιώντας τις διαθέσιμες περιβαλλοντικές πηγές (ήλιο, αέρα - άνεμο, νερό, έδαφος).

Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός συνεισφέρει στην εξοικονόμηση ενέργειας για τη θέρμανση, την ψύξη και το φωτισμό των κτιρίων. Τεχνικές του βιοκλιματικού σχεδιασμού αποτελούν η θερμική προστασία του κελύφους, τα παθητικά ηλιακά συστήματα, οι τεχνικές και τα συστήματα φυσικού δροσισμού και φυσικού φωτισμού και ορισμένες τεχνικές ορθολογικής χρήσης ενέργειας (θερμικές ζώνες, αποθήκευση θερμότητας στα δομικά στοιχεία του κτιρίου).

Στην Ελλάδα τα βιοκλιματικά κτίρια, όπως προκύπτει από μετρήσεις, ενεργειακές καταγραφές και προσομοιώσεις, παρουσιάζουν εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης του 30% σε σχέση με συνήθη συμβατικά κτίρια, ενώ σε σχέση με παλαιότερα αμόνωντα κτίρια η αντίστοιχη εξοικονόμηση ενέργειας ανέρχεται σε ποσοστό της τάξης του 80%.<sup>[12]</sup>.

Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός εξαρτάται από το τοπικό κλίμα και βασίζεται στις παρακάτω αρχές:

1. Θερμική προστασία των κτιρίων τόσο το χειμώνα, όσο και το καλοκαίρι με τη χρήση κατάλληλων τεχνικών που εφαρμόζονται στο εξωτερικό κέλυφος των κτιρίων, ιδιαίτερα με την κατάλληλη θερμομόνωση και αεροστεγάνωση του κτιρίου και των ανοιγμάτων του.
2. Αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας για τη θέρμανση των κτιρίων τη χειμερινή περίοδο και για φυσικό φωτισμό όλο το χρόνο. Αυτό επιτυγχάνεται με τον προσανατολισμό των χώρων και ιδιαίτερα των ανοιγμάτων (ο νότιος προσανατολισμός είναι ο καταλληλότερος) και την διαρρύθμιση των εσωτερικών χώρων ανάλογα με τις θερμικές τους ανάγκες και με τα παθητικά ηλιακά συστήματα που συλλέγουν την ηλιακή ακτινοβολία και αποτελούν «φυσικά» συστήματα θέρμανσης, αλλά και φωτισμού.
3. Προστασία των κτιρίων από τον καλοκαιρινό ήλιο, κυρίως μέσω της σκίασης, αλλά και της κατάλληλης κατασκευής του κελύφους.
4. Απομάκρυνση της θερμότητας που το καλοκαίρι συσσωρεύεται μέσα στο κτίριο με φυσικό τρόπο προς το εξωτερικό περιβάλλον με συστήματα και τεχνικές παθητικού δροσισμού, όπως ο φυσικός αερισμός τις νυχτερινές ώρες.
5. Εξασφάλιση επαρκούς φυσικού φωτισμού και ελέγχου της φωτεινής ακτινοβολίας ώστε να υπάρχει επάρκεια και ομαλή κατανομή του φωτός μέσα στους χώρους.
6. Βελτίωση του κλίματος έξω και γύρω από τα κτίρια, με τον βιοκλιματικό σχεδιασμό των εξωτερικών χώρων και, εν γένει, του δομημένου περιβάλλοντος, ακολουθώντας όλες τις παραπάνω αρχές.

Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός ενός κτιρίου συνεπάγεται τη συνύπαρξη και συνδυασμένη λειτουργία όλων των συστημάτων, ώστε να προκύπτουν θερμικά και οπτικά οφέλη καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

### 1.2.2 ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Όπως αναφέραμε παραπάνω, ο βιοκλιματικός σχεδιασμός περιλαμβάνει και τα Παθητικά Ηλιακά Συστήματα, που είναι αναπόσπαστα κομμάτια – δομικά στοιχεία ενός κτιρίου, που λειτουργούν χωρίς μηχανολογικά εξαρτήματα ή πρόσθετη παροχή ενέργειας και με φυσικό τρόπο θερμαίνουν, αλλά και δροσιζουν τα κτίρια.

Τα Παθητικά Συστήματα (ΠΣ) χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες<sup>[13]</sup>:

Α) Παθητικά Ηλιακά Συστήματα Θέρμανσης (ΠΗΣΘ):

Τα ΠΗΣΘ συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια, την αποθηκεύουν υπό μορφή θερμότητας και την αναδιανέμουν στον χώρο. Το συνηθέστερο ΠΗΣΘ είναι το σύστημα άμεσου κέρδους το οποίο βασίζεται στην αξιοποίηση των παραθύρων κατάλληλου προσανατολισμού (νότιου). Όλα τα ΠΗΣΘ απαιτούν προσανατολισμό περίπου νότιο, ώστε να επιτυγχάνεται μεγιστοποίηση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας κατά τους χειμερινούς μήνες. Επιπλέον επιβάλεται ο συνδιασμός τους με την απαιτούμενη θερμική προστασία (θερμική μόνωση) και την απαιτούμενη θερμική μάζα του κτιρίου. Υψηλή τιμή της θερμικής μάζας εξασφαλίζει την επαρκή αποθήκευση και την επαναακτινοβολία της θερμότητας προς το εσωτερικό με την κατάλληλη χρονική υστέρηση, ώστε να έχουμε εξομάλυνση της κατανομής θερμοκρασίας μέσα στο εικοσιτετράωρο. Κατά τους θερινούς μήνες, θα πρέπει τα ΠΗΣΘ να συνδυάζονται με ηλιοπροστασία και δυνατότητα αερισμού.



## Β) Παθητικά Συστήματα και Τεχνικές Φυσικού Δροσισμού:

Η λειτουργία των ΠΣ και Τεχνικών Δροσισμού βασίζεται σε τέσσερις στρατηγικές του βιοκλιματικού σχεδιασμού:

1. Στην μείωση των ηλιακών και θερμικών κερδών στο κέλυφος του κτιρίου
2. Στην απόρριψη θερμότητας από το εσωτερικό του κτιρίου πρόξτο φυσικό περιβάλλον (προς τον αέρα με συναγωγή, προς το έδαφος με αγωγή, προς τον ουρανό με ακτινοβολία, στον υδάτινο ορίζοντα μέσω εξάτμισης)
3. Στην αξιοποίηση της θερμοχωρητικότητας του κτιρίου ως «ρυθμιστή» της εσωτερικής θερμοκρασίας.
4. Στην βελτίωση της θερμικής άνεσης των ενοίκων, ανεξάρτητα από την ψύξη του κτιρίου, επηρεάζοντας τις περιβαλλοντικές παραμέτρους στους εσωτερικούς χώρους.

Κατηγορίες ΠΣ και τεχνικών φυσικού δροσισμού είναι οι: η Ηλιοπροστασία/Θερμική προστασία, ο φυσικός αερισμός, ο δροσισμός μέσω εδάφους, ο δροσισμός μέσω νυκτερινής ακτινοβολίας και ο εξάτμιστικός δροσισμός.

## Γ) Συστήματα και Τεχνικές Φυσικού Φωτισμού (ΦΦ):

Ο ΦΦ στοχεύει στην επίτευξη οπτικής άνεσης μέσα στα κτίρια. Συνδυάζει το φως, την θέα, την δυνατότητα αερισμού καθώς και την αξιοποίηση και ρύθμιση της εισερχόμενη ηλιακής ενέργειας. Ανάλογα με την χρήση του χώρου επιδιώκεται η κατά το δυνατόν μεγαλύτερη κάλυψη των απαιτήσεων σε φωτισμό από το φυσικό φως. Για την αξιοποίηση του ΦΦ με στόχο την εξασφάλιση οπτικής άνεσης θα πρέπει, μέσω κατάλληλων συστημάτων και τεχνικών, να εξασφαλίζεται επαρκής ποσότητα (στάθμη) φωτισμού για τους εσωτερικούς χώρους, αλλά και ομαλή κατανομή αυτής ώστε να αποφεύγονται οι διάφορες κατά τόπους έντονες διαφοροποιήσεις οι οποίες προκαλούν το φαινόμενο της «θάμβωσης». Η επάρκεια και η ομαλότητα της κατανομής εξαρτώνται από: τα γεωμετρικά στοιχεία του χώρου και των ανοιγμάτων, τα φωτομετρικά χαρακτηριστικά των αδιαφανών επιφανειών (χρώμα, τραχύτητα επιφανειών κ.α) και των υαλοπινάκων (φωτοδιαπερατότητα, ανακλαστικότητα και άλλοι συντελεστές). Τέλος, τα συστήματα ΦΦ περιλαμβάνουν: τους υαλοπίνακες ή άλλο φωτοδιαπερατό στοιχείο, τα πλαίσια και τις διατάξεις σκιασμού.

## 1.3 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ ΦΟΙΤΗΤΙΚΩΝ ΕΣΤΙΩΝ

Όπως αναφέραμε και παραπάνω η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των ήδη υφιστάμενων κτιρίων (ιδιωτικών και δημοσίων) αποτελεί προτεραιότητα τόσο σε εθνικό όσο και σε διεθνές επίπεδο. Από το σύνολο των παλαιών κτιρίων, τα κτίρια για εκπαιδευτικούς σκοπούς καταλαμβάνουν την πλειοψηφία <sup>[16]</sup>. Στην περίπτωση των κτιρίων αυτών δε, την μεγαλύτερη πρόκληση αποτελεί η ανακαίνιση των ήδη υφιστάμενων κτιρίων και όχι η ανέγερση νέων.

Οι φοιτητικές εστίες ως μερίδα των κτιρίων αυτών έχουν ιδιαίτερη σημασία, τόσο εξαιτίας των αρχιτεκτονικών και τεχνικών τους χαρακτηριστικών (μεγάλες επιφάνειες ανοιγμάτων, ύπαρξη κοινόχρηστων χώρων, πολλαπλότητα κοιτώνων κτλ) όσο και εξαιτίας του κοινωνικού αντίκτυπου της ορθής διαχείρισής τους αφού φιλοξενούν φοιτητές. Επιπλέον, τονίζεται ότι η εξοικονόμηση ενέργειας στα δημόσια κτίρια και η μείωση του κόστους λειτουργίας τους αποτελεί πάγια επιδίωξη της εθνικής πολιτικής, παράλληλα με την βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης των χρηστών. Αρκετές έρευνες σε διαφορετικές χώρες όπως η Ιταλία <sup>[17]</sup>, η Σερβία <sup>[18]</sup> και οι ΗΠΑ <sup>[19]</sup> επισημαίνουν τα οφέλη της ανακαίνισης κτιριακών συγκροτημάτων εστιών με βασικούς σκοπούς την ενεργειακή τους αναβάθμιση, την βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης των ενοίκων, την μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> αλλά και την προσέλκυση νέων φοιτητών-ενοίκων.

Το 2018, οι Assimakopoulos et al <sup>[20]</sup> συνέταξαν μία ολιστική μελέτη για την περιγραφή της μεθοδολογίας ανακαίνισης εκπαιδευτικών κτιρίων στην περιοχή της Μεσογείου. Ειδικότερα στην

περίπτωση της Ελλάδας εξετάστηκαν πέντε διαφορετικά σενάρια για την μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των φοιτητικών εστιών του Πανεπιστημίου Κρήτης. Η έρευνα αυτή κατέληξε στο συμπέρασμα ότι με εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πάνελ στην οροφή του κτιρίου επιτυγχάνεται μείωση απαιτήσεων σε πρωτογενή ενέργεια της τάξης του 62%, στα πλαίσια της επιδίωξης σχεδόν μηδενικής ενεργειακής απόδοσης κτηρίου (near zero energy building performance -nZEBP).

Πιο πρόσφατα, η μελέτη των Barmparesos et al <sup>[21]</sup> εφαρμόζοντας την παραπάνω μεθοδολογία σε συνδυασμό με επιτόπιες παρατηρήσεις, ενεργειακή μοντελοποίηση του κτηρίου με κατάλληλο λογισμικό (BIM) , ανέλυσε την ενεργειακή απόδοση του κτιρίου των φοιτητικών εστιών του Πανεπιστημίου Αθηνών (Β' ΦΕΠΑ) στην πανεπιστημιούπολη του Ζωγράφου. Η μελέτη αυτή εξετάστηκε ως πιλοτική εφαρμογή του προγράμματος Pro-GET-onE (Horizon 2020 G.A. n. 723747) με βάση το οποίο προγραμματίζονται εργασίες ενεργειακής αναβάθμισης σε βάθος μέχρι τα τέλη του 2019. Πρόκειται για μία μελέτη περίπτωσης αντίστοιχη αυτής που αναλύεται στην παρούσα εργασία, τόσο λόγω των παρόμοιων αρχιτεκτονικών και τεχνικών χαρακτηριστικών του κτιρίου (πανομοιότυπες συνθήκες περιβάλλοντος, παρόμοια κατασκευή κελύφους αν και με μεγάλη διαφορά έκτασης και χρονολογίας κατασκευής, αντίστοιχα υλικά κατασκευής κ.α) όσο και λόγω του γεγονότος ότι πρόκειται για ένα κτίριο με τις ίδιες απαιτήσεις, ανάλογους αρμόδιους φορείς εποπτίας και τον ίδιο τύπο χρηστών.

Γιαυτό το λόγο και η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε αλλά και τα συμπεράσματα στα οποία κατέληξε θα μπορούσαν να αποτελέσουν έναν καλό οδηγό σε περίπτωση σύνταξης μίας μελέτης πλήρους ανακαίνισης του κτιρίου που μελετάμε, των παλαιών Φοιτητικών Εστιών του ΕΜΠ. Τα βασικά συμπεράσματα στα οποία καταλήγει συνοψίζονται:

- Στην αδυναμία επίτευξης συνθηκών θερμικής άνεσης και επομένως στην απαίτηση για αλλαγή του κεντρικού συστήματος κλιματισμού.
- Στην απαίτηση για θερμική μόνωση του κελύφους.
- Στον δευτερεύοντα ρόλο των εκπομπών αέριων ρύπων στην συγκεκριμένη περίπτωση.

#### 1.4 ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Το θέμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη της ενεργειακής συμπεριφοράς ενός υπαρκτού κτιρίου μεγάλης κλίμακας με την χρήση λογισμικού δυναμικής προσομοίωσης και η διερεύνηση κατασκευαστικών παρεμβάσεων για την βελτίωση της ενεργειακής του απόδοσης.

Αρχικά γίνεται εκτενής θεωρητική έρευνα, η οποία καλύπτει με λογική σειρά τα βήματα εργασίας που ακολουθήθηκαν για την επίλυση του προβλήματος. Γίνεται αναφορά σε βασικές έννοιες όπως η ενεργειακή απόδοση κτιρίων -με την ανάλογη αναφορά στην παρούσα εθνική και ευρωπαϊκή νομοθεσία-, παρουσιάζεται αναλυτικά το φυσικό πρόβλημα της μετάδοσης θερμότητας με έμφαση στον ρόλο της θερμομόνωσης και της συμπεριφοράς των υαλοπινάκων και επιχειρείται μία πρώτη εισαγωγή στο λογισμικό Energy Plus.

Ανώτερος σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτιρίου της Παλαιάς Εστίας του ΕΜΠ στην Πολυτεχνειούπολη του Ζωγράφου. Όσον αφορά την γεωμετρία του μοντέλου προσομοίωσης, τα δεδομένα εισαγωγής στο πρόγραμμα προκύπτουν από την σχεδίαση των κατοικίσιμων ορόφων της εστίας (όροφοι 1 έως 8) με την χρήση του σχεδιαστικού προγράμματος Google Sketchup στην βάση των αρχικών κατασκευαστικών σχεδίων και δεδομένων που διατίθενται από την Τεχνική Υπηρεσία του Ιδρύματος. Εισάγοντας κατάλληλα στο λογισμικό EnergyPlus (μέσω της παρεμβολής του προγράμματος Openstudio) τα απαραίτητα δεδομένα για τα υφιστάμενα ενεργειακά συστήματα του κτιρίου και την χρήση των επιμέρους χώρων του, υπολογίζουμε τις ενεργειακές του καταναλώσεις. Στην συνέχεια γίνεται προσομοίωση της επίδρασης που θα είχαν στην ενεργειακή του απόδοση: α) η ύπαρξη θερμικής μόνωσης (διαφόρων παχών) στο εξωτερικό του κελύφους, β) η αλλαγή των κουφωμάτων και των υαλοπινάκων, γ) ο συνδυασμός των παραπάνω

παρεμβάσεων. Η εξαγωγή των αποτελεσμάτων από την προσομοίωση αυτή, η σύγκριση αυτών στην βάση οικονομοτεχνικής ανάλυσης και η εξαγωγή των ανάλογων συμπερασμάτων γίνονται σε συνάρτηση με τις απαιτήσεις που περιγράφονται στα πρώτα κεφάλαια της εργασίας. Οι δυνατότητες για περαιτέρω μελέτη και ανάλυση της συγκεκριμένης περίπτωσης, περιγράφονται αναλυτικά στο τέλος της εργασίας.

## 1.5 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Δηλώνεται ο σκοπός της εργασίας και γίνεται μια πρώτη εισαγωγή στο θέμα με αναφορά στην ενεργειακή κατανάλωση κτιρίων και στις βασικές αρχές και μεθόδους του ενεργειακού σχεδιασμού. Επιπλέον γίνεται επισκόπηση και ειδική αναφορά στα κτίρια φοιτητικών εστιών.

### 2. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ

Στο κεφάλαιο αυτό, το οποίο είναι και το πρώτο της θεωρητικής έρευνας, μελετάται η έννοια της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων με αναφορά στο νομοθετικό πλαίσιο το οποίο την διέπει τόσο σε εθνικό όσο και σε ευρωπαϊκό-κοινοτικό επίπεδο.

### 3. ΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ

Στο εκτενές αυτό κεφάλαιο παρουσιάζονται τα βασικά μεγέθη και οι έννοιες τα οποία συναντά ο αναγνώστης παρακάτω στο κείμενο. Αρχικά γίνεται ανάλυση των βασικών εννοιών στα φαινόμενα μεταφοράς θερμότητας στο κτιριακό κέλυφος και περιγράφεται ο ρόλος της θερμικής μόνωσης (με την αντίστοιχη παράθεση των βασικών εννοιών και αρχών της θερμομόνωσης, των βασικών υλικών θερμικής μόνωσης δομικών στοιχείων και της μεθόδου υπολογισμού των αναγκών της στον κτιριακό τομέα). Στην συνέχεια γίνεται ειδική αναφορά στις ιδιότητες των υαλοπινάκων (θερμικές, οπικές κ.α) και παρουσιάζονται βασικά στοιχεία που αφορούν τους εμπορικά διαθέσιμους τύπους υαλοπινάκων και την παραμετροποίησή τους μέσω του προγράμματος Window. Τέλος περιγράφονται οι βασικές αρχές και έννοιες σχετικά με την θερμική άνεση.

### 4. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ENERGYPLUS

Παρουσιάζεται το λογισμικό Η/Υ EnergyPlus, το οποίο είναι ένα ευρύτατα διαδεδομένο εργαλείο ενεργειακής προσομοίωσης κτιρίων. Παρουσιάζονται οι εξισώσεις ενέργειας τις οποίες χρησιμοποιεί και παρουσιάζονται αναλυτικά οι κατηγορίες δεδομένων που εισάγονται από τον χρήστη.

### 5. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΚΑΙ ΤΩΝ ΠΑΡΑΔΟΧΩΝ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται πλήρης περιγραφή του προς μελέτη κτιρίου και επεξηγούνται τα βήματα προσομοίωσής του. Αυτά περιλαμβάνουν την σχεδίαση, την μοντελοποίηση της λειτουργίας του, την εισαγωγή των κατάλληλων παραμέτρων προσομοίωσης, καθώς και την διαδικασία εκτέλεσης και εξαγωγής αποτελεσμάτων.

### 6. ΠΑΡΕΜΒΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ

Πραγματοποιείται μία σειρά προσομοιώσεων, μέσω της μεταβολής συγκεκριμένων παραμέτρων κάθε φορά, και γίνεται παράθεση των αποτελεσμάτων. Κάθε περίπτωση παρέμβασης αξιολογείται τόσο ενεργειακά όσο και οικονομικά και αντιπαρατίθεται τόσο με την αρχική περίπτωση όσο και με τις υπόλοιπες παρεμβάσεις.

### 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΣΥΝΕΧΙΣΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στο τελευταίο αυτό κεφάλαιο γίνεται μία συντομη ανασκόπηση της εργασίας, εξάγονται τα κατάλληλα συμπεράσματα και προτείνονται μελλοντικές εργασίες για περαιτέρω έρευνα.

## 2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΜΕΤΡΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ ΣΤΟΝ ΚΤΙΡΙΑΚΟ ΤΟΜΕΑ

### 2.1 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ

Οι θερμικές ανάγκες ενός χώρου και γενικότερα ενός κτιρίου είναι το ποσό θερμότητας που πρέπει να ληφθεί ως βάση για τον σχεδιασμό της εγκατάστασης θέρμανσης. Οι θερμικές ανάγκες είναι ιδιότητα του χώρου ή του κτιρίου και είναι ανεξάρτητες από το σύστημα θέρμανσης που θα εγκατασταθεί. Εξαρτώνται από το μέγεθος του χώρου, τον τρόπο κατασκευής των τοίχων, το μέγεθος και το υλικό κατασκευής των ανοιγμάτων από τον αερισμό και από άλλους παράγοντες. Ο υπολογισμός των θερμικών αναγκών γίνεται για κάθε χώρο του κτιρίου ξεχωριστά, για να μπορεί να προσδιορισθεί το μέγεθος των θερμαντικών σωμάτων του κάθε χώρου. Το σύνολο των θερμικών αναγκών του κτιρίου προκύπτει από το άθροισμα των θερμικών αναγκών όλων των χώρων που θερμαίνονται. Οι πραγματικές θερμικές απώλειες ενός κτιρίου είναι μικρότερες από το ποσό θερμότητας που μπορεί να δώσει η εγκατάσταση θέρμανσης. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο σχεδιασμός της εγκατάστασης γίνεται έτσι ώστε να καλύπτει τις απώλειες του κτιρίου ακόμη και στις ελάχιστες πιθανές τιμές της εξωτερικής θερμοκρασίας (μέση ελάχιστη εξωτερική θερμοκρασία της περιοχής). Οι θερμικές ανάγκες ενός κτιρίου αποτελούν συγχρόνως και τις μέγιστες θερμικές απώλειες.<sup>[18]</sup>

Η ενεργειακή απόδοση ενός κτιρίου προσδιορίζεται βάσει της υπολογιζόμενης ή μετρούμενης ετήσιας ενέργειας που καταναλώνει, προκειμένου να καλυφθούν οι διάφορες ανάγκες που σχετίζονται με την τυπική χρήση του. Η εκτίμηση της ενεργειακής απόδοσης ενός κτιρίου, βασίζεται σε θεωρητικές σχέσεις κάτω από συγκεκριμένες παραδοχές και εκτιμήσεις, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη ο ανθρώπινος παράγοντας στην πραγματική του διάσταση, ο οποίος στην πράξη διαφοροποιεί την ενεργειακή απόδοση του κτιρίου ανάλογα με τις δραστηριότητές του. Για κάθε κτίριο ανάλογα με την τελική του χρήση, λαμβάνονται υπόψη συγκεκριμένες παράμετροι που έχουν να κάνουν με τον ανθρώπινο παράγοντα και κυρίως με τα εσωτερικά κέρδη στα οποία συμμετέχει, καθώς επίσης και με τη σωστή χρήση των ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων του κτιρίου, όταν η λειτουργία τους δεν είναι αυτοματοποιημένη. Ο μελετητής ή ο επιθεωρητής επιλέγει τις παραμέτρους, δίνοντας προτεραιότητα στα στοιχεία που θα συλλέξει κατά την ενεργειακή επιθεώρηση ή –στην περίπτωση νέων κτιρίων– σε αυτά που καθορίζονται στη μελέτη εφαρμογής (αρχιτεκτονική, ηλεκτρομηχανολογική κ.ά.), προκειμένου να προσεγγίσει κατά το δυνατόν ακριβέστερα την πραγματική κατάσταση του κτιρίου.<sup>[19]</sup>

Επομένως η μεθοδολογία του υπολογισμού των θερμικών αναγκών και αντίστοιχα η εκτίμηση της ενεργειακής απόδοσης ενός κτιρίου βασίζονται κυρίως στους νόμους της μετάδοσης θερμότητας. Επειδή όμως κατά τον υπολογισμό πρέπει να καθοριστούν και να εκλεγούν πολλά μεγέθη, όπως π.χ. θερμοκρασίες χώρων διαφόρων χρήσεων, ποσότητες αερισμού κ.λ.π., για να αποφευχθούν αυθαίρετες παραδοχές οι διάφορες χώρες καθιέρωσαν έναν ενιαίο τρόπο υπολογισμού που δίνεται σε μορφή κανονισμού. Οι κανονισμοί αυτοί μπορούν να διαφέρουν από χώρα σε χώρα.

### 2.2 ΚΤΙΡΙΑΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ-ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΚΑΙ ΝΟΜΟΘΕΣΙΕΣ

Ο κτιριακός τομέας στην Ευρώπη αποτελεί τα τελευταία χρόνια το σημαντικότερο καταναλωτή ενέργειας και τη σημαντικότερη πηγή εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, καθώς ευθύνεται περίπου για το 40% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης και 40% των συνολικών εκπομπών CO<sub>2</sub>. Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχοντας αναγνωρίσει την αναγκαιότητα λήψης μέτρων στον κτιριακό τομέα, ήδη από το 1993 με την οδηγία SAVE 93/76/ΕΟΚ, έχει δώσει προτεραιότητα στην αύξηση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων στα κράτη-μέλη. Παράλληλα με το πρωτόκολλο του Κυότο (1997) για την Κλιματική Αλλαγή, την Ενέργεια και το Περιβάλλον, η Ευρωπαϊκή Ένωση δεσμεύτηκε να παρουσιάσει για την περίοδο 2008-2012 μείωση κατά 8% των εκπομπών των αερίων που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου σε σχέση με αυτές του 1990<sup>[20]</sup>. Η συμφωνία του Παρισιού του 2015 για την κλιματική αλλαγή, η οποία εγκρίθηκε μετά την 21η διάσκεψη των μερών της σύμβασης πλαισίου των Ηνωμένων Εθνών για την κλιματική αλλαγή (COP 21), ενισχύει τις προσπάθειες της Ένωσης για

απαλλαγή του κτιριακού δυναμικού της από τις ανθρακούχες εκπομπές. Δεδομένου ότι περίπου το 50 % της κατανάλωσης τελικής ενέργειας της Ένωσης χρησιμοποιείται για θέρμανση και ψύξη, και, ότι από αυτό, το 80 % χρησιμοποιείται σε κτίρια, η επίτευξη εκ μέρους της Ένωσης των στόχων που έχει θέσει για την ενέργεια και το κλίμα συνδέεται σε μεγάλο βαθμό με τις προσπάθειές της να ανακαινίσει το κτιριακό της δυναμικό, δίνοντας προτεραιότητα στην ενεργειακή απόδοση, σύμφωνα με την αρχή της «προτεραιότητας της ενεργειακής απόδοσης» και με την εξέταση της δυνατότητας εγκατάστασης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Το θέμα αυτό είναι σημαντικό καθώς η αυξομείωση των τιμών του πετρελαίου και η διεθνής οικονομική κρίση επαναφέρουν ως προτεραιότητα την απεξάρτηση από τα συμβατικά καύσιμα, είτε μειώνοντας τις ενεργειακές απαιτήσεις είτε αυξάνοντας τη συνεισφορά της χρήσης ΑΠΕ. Στα πλαίσια αυτά, η εξοικονόμηση ενέργειας αποτελεί πρώτη προτεραιότητα και ρητή απαίτηση της πολιτικής της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Οι ευρωπαϊκές οδηγίες που έχουν εκδοθεί τα τελευταία χρόνια προς την κατεύθυνση της εξοικονόμησης ενέργειας, της προώθησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, της μείωσης των εκπομπών αερίων ρύπων και γενικότερα της προστασίας του περιβάλλοντος με έμφαση στον κτιριακό τομέα έχουν ως:

- Οδηγία 93/76/ΕΟΚ για τον περιορισμό των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα με τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης (SAVE).
- Οδηγία 2001/77/ΕΚ για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στην εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας.
- Οδηγία 2002/91/ΕΚ για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων.
- Οδηγία 2003/30/ΕΚ σχετικά με την προώθηση της χρήσης βιοκαυσίμων ή άλλων ανανεώσιμων καυσίμων για τις μεταφορές.
- Οδηγία 2003/87/ΕΚ σχετικά με τη θέσπιση συστήματος για την εμπορία των δικαιωμάτων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην Ευρωπαϊκή Κοινότητα και την (τροποποίηση της οδηγίας 96/61/ΕΚ).
- Οδηγία 2004/8/ΕΚ για την προώθηση της χρήσης συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας.
- Οδηγία 2006/32/ΕΕ για την ενεργειακή απόδοση κατά την τελική χρήση και τις ενεργειακές υπηρεσίες (κατάργηση της οδηγίας 93/76/ΕΟΚ).
- Οδηγία 2009/28/ΕΚ σχετικά με την προώθηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές (τροποποίηση και συνακόλουθη κατάργηση των οδηγιών 2001/77/ΕΚ και 2003/30/ΕΚ).
- Οδηγία 2009/29/ΕΚ για τη βελτίωση και την επέκταση του συστήματος εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπής αερίων θερμοκηπίου της κοινότητας (τροποποίηση της οδηγίας 2003/87/ΕΚ).
- Οδηγία 2009/33/ΕΚ σχετικά με την προώθηση καθαρών και ενεργειακώς αποδοτικών οχημάτων οδικών μεταφορών.
- Οδηγία 2009/125/ΕΚ για τον οικολογικό σχεδιασμό (eco-design), όσον αφορά στα συνδεδεμένα με την ενέργεια προϊόντα.
- Οδηγία 2010/30/ΕΕ για την ένδειξη της κατανάλωσης ενέργειας και λοιπών πόρων από τα συνδεδεμένα με την ενέργεια προϊόντα (energy labeling, αναδιατύπωση 92/75/ΕΚ).
- **Οδηγία 2010/31/ΕΕ για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων - αναδιατύπωση της 2002/91/ΕΚ (EPBD).**
- Οδηγία 2012/27/ΕΕ για την ενεργειακή απόδοση (τροποποίηση των οδηγιών 2009/125/ΕΚ και 2010/30/ΕΕ και την κατάργηση των οδηγιών 2004/8/ΕΚ και 2006/32/ΕΚ)
- Οδηγία 2018/844/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου ( 10), προκειμένου να επιταχυνθεί η ανακαίνιση κτιρίων στην Ένωση.
- Οδηγία 2018/2002/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 11ης Δεκεμβρίου 2018, σχετικά με την τροποποίηση της οδηγίας 2012/27/ΕΕ για την ενεργειακή απόδοση

## 2.2.1 Το Πλάισιο EPBD και οι οδηγίες 2010/31/ΕΕ, 2012/27/ΕΕ

**Με την οδηγία 2010/31/ΕΕ , η οποία αποτελεί αναθεώρηση της προηγούμενης(2002/91/ΕΚ),** θεσπίζονται οι ακόλουθες απαιτήσεις από τα κράτη μέλη <sup>[21]</sup> :

1) Υιοθέτηση, σε εθνικό ή περιφερειακό επίπεδο, μιας κοινής μεθοδολογίας υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, η οποία να λαμβάνει υπόψη τα θερμικά χαρακτηριστικά του κτιρίου, τις εγκαταστάσεις θέρμανσης/κλιματισμού και παροχής ζεστού νερού, τις εγκαταστάσεις φωτισμού, τις εσωτερικές κλιματικές συνθήκες, τη θετική επίδραση της ηλιοφάνειας, την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΣΗΘ κ.ά.

2) Καθορισμός των ελάχιστων απαιτήσεων ενεργειακής απόδοσης που πρέπει να εμφανίζει ένα κτίριο ώστε να επιτευχθούν τα βέλτιστα από πλευράς κόστους επίπεδα. Το επίπεδο αυτών των απαιτήσεων αναθεωρείται κάθε πέντε χρόνια, ενώ δίνεται στα κράτη μέλη το δικαίωμα να διαφοροποιούν τα ελάχιστα όρια ανάλογα με το αν τα κτίρια είναι υφιστάμενα ή καινούρια, καθώς και ανάλογα με τη λειτουργία του κτιρίου.

Από την εφαρμογή των ελάχιστων απαιτήσεων μπορούν να εξαιρεθούν τα προστατευόμενα κτίρια (όπως κτίρια ιστορικής αξίας), κτίρια χρησιμοποιούμενα ως χώροι λατρείας, προσωρινά κτίρια, κτίρια κατοικίας που χρησιμοποιούνται για περιορισμένο χρονικό διάστημα κάθε χρόνο και μεμονωμένα κτίρια με συνολική ωφέλιμη επιφάνεια μικρότερη από 50 m<sup>2</sup>.

3) Κατάρτιση εθνικών σχεδίων που θα περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων, την πρακτική εφαρμογή του ορισμού του όρου Zero Energy Building με βάση τις εθνικές, περιφερειακές ή τοπικές συνθήκες, τους ενδιάμεσους στόχους για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των νέων κτιρίων έως το 2015 και πληροφορίες σχετικά με τις πολιτικές και τα οικονομικά μέτρα που λαμβάνονται υπέρ της προώθησης των κτιρίων με σχεδόν μηδενική ενεργειακή κατανάλωση συμβατικών ενεργειακών πηγών.

4) Θέσπιση συστήματος πιστοποίησης της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων. Το πιστοποιητικό ενεργειακής απόδοσης περιλαμβάνει την ενεργειακή απόδοση του κτιρίου, τιμές αναφοράς ώστε να διευκολύνεται η σύγκριση και αξιολόγησή της, πρόσθετες πληροφορίες όπως επί παραδείγματι το ποσοστό της ενέργειας που καλύπτεται από ΑΠΕ, αλλά και συστάσεις για συμφέρουσες οικονομικά βελτιώσεις.

Ο δείκτης ενεργειακής απόδοσης οφείλει να περιλαμβάνεται σε όλες τις διαφημίσεις πώλησης ή εκμίσθωσης του κτιρίου, ενώ το πιστοποιητικό θα πρέπει να επιδεικνύεται στον υποψήφιο και να παραδίδεται στον τελικό ενοικιαστή ή αγοραστή. Επιπλέον, όταν πρόκειται για κτίρια εκτασης μεγαλύτερης των 500m<sup>2</sup>, που χρησιμοποιούνται από δημόσια αρχή ή έχουν μεγάλη επισκεψιμότητα, το πιστοποιητικό θα πρέπει να αναρτάται σε περίοπτη για το κοινό θέση.

5) Τακτική επιθεώρηση των συστημάτων θέρμανσης και κλιματισμού των κτιρίων.

6) Θέσπιση ανεξάρτητων συστημάτων ελέγχου για τα πιστοποιητικά ενεργειακής απόδοσης και τις εκθέσεις επιθεώρησης.

Ένας πολύ σημαντικός στόχος της οδηγίας αυτής είναι τα κτίρια χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης. Από τις 31 Δεκεμβρίου 2020 και μετά, όλα τα νέα κτίρια πρέπει να έχουν σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας συμβατικών ενεργειακών πηγών, ενώ τα νέα κτίρια που στεγάζουν δημόσιες αρχές ή είναι ιδιοκτησίας τους πρέπει να πληρούν τα ίδια κριτήρια από τις 31 Δεκεμβρίου 2018.

**Η Οδηγία 2012/27/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου <sup>[22]</sup> , της 22 Νοεμβρίου 2012, για την ενεργειακή απόδοση** θέτει ένα κοινό πλαίσιο μέτρων για την προώθηση της ενεργειακής απόδοσης εντός της Κοινότητας, ώστε να επιτευχθεί ο στόχος της εξοικονόμησης κατά 20% μέχρι το 2020 και η κατανάλωση της ενέργειας να μην υπερβαίνει τους 1.474 εκατομμύρια



Ισοδύναμους Τόνους Πετρελαίου πρωτογενούς ενέργειας ή τους 1.078 εκατομμύρια Ισοδύναμους Τόνους Πετρελαίου τελικής ενέργειας.

Μεταξύ άλλων τα κράτη-μέλη αναλαμβάνουν τις παρακάτω δεσμεύσεις:

- Δημοσίευση μακροπρόθεσμης στρατηγικής για την ανακαίνιση του εθνικού κτιριακού αποθέματος, η οποία να περιλαμβάνει ανασκόπηση του εθνικού κτιριακού αποθέματος (βάσει στατιστικής δειγματοληψίας), εξεύρεση οικονομικώς αποδοτικών προσεγγίσεων για τις ανακαινίσεις ανάλογα με το είδος κτιρίου και την κλιματική ζώνη, πολιτικές και μέτρα για την τόνωση οικονομικώς αποδοτικών ριζικών ανακαινίσεων κτιρίων και τέλος την εκτίμηση της αναμενόμενης εξοικονόμησης ενέργειας.
- Ανακαίνιση των δημοσίων κτιρίων που έχουν επιφάνεια άνω των 500 m<sup>2</sup> σε ποσοστό τουλάχιστον 3% της συνολικής τους επιφάνειας.
- Προώθηση ενεργειακών ελέγχων, οι οποίοι θα διενεργούνται από ειδικευμένους εμπειρογνώμονες
- Εγκατάσταση μετρητών ενέργειας (ηλεκτρισμού, φυσικού αερίου, τηλεθέρμανσης και ζεστού νερού) που θα αντικατοπτρίζουν την πραγματική ενεργειακή κατανάλωση.
- Διασφάλιση ακριβούς πληροφόρησης τιμολόγησης σε όλα τα στάδια (διανομείς, διαχειριστές διανομής και εταιρείες λιανικής πώλησης ενέργειας).
- Προώθηση μέτρων για την αποδοτική χρήση ενέργειας από τους καταναλωτές, όπως φορολογικά κίνητρα, χρηματοδότηση, δανεισμός, επιδοτήσεις κ.ά.

## 2.2.2 Οι πιο πρόσφατες αλλαγές του νομοθετικού πλαισίου στην Ευρώπη

Η οδηγία 2012/27/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου τροποποιήθηκε από την οδηγία (ΕΕ) 2018/2002 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, και πλέον ορίζει ως πρωταρχικό στόχο ενεργειακής απόδοσης την εξοικονόμηση ενέργειας τουλάχιστον κατά 32,5 % σε επίπεδο Ένωσης έως το 2030. Η οδηγία (ΕΕ) 2018/2001 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου ) ορίζει επιπλέον ως δεσμευτικό στόχο τουλάχιστον το 32 % της ενέργειας να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές σε επίπεδο Ένωσης έως το 2030.

Οι οδηγίες 2010/31/ΕΕ (ΟΕΑΚ) και 2012/27/ΕΕ (ΟΕΑ) οι οποίες συνιστούν το πλαίσιο EPBD τροποποιήθηκαν από την οδηγία (ΕΕ) 2018/844, η οποία τέθηκε σε ισχύ στις 9 Ιουλίου 2018. Στο άρθρο 2α της ΟΕΑΚ καθορίζεται το πλαίσιο για τις μακροπρόθεσμες στρατηγικές ανακαίνισης οι οποίες θα στηρίξουν την ανακαίνιση των εθνικών κτιριακών δυναμικών με σκοπό τη μετατροπή τους, έως το 2050, σε κτίρια με υψηλή ενεργειακή απόδοση και απαλλαγμένα από ανθρακούχες εκπομπές, διευκολύνοντας την οικονομικά αποδοτική μετατροπή υφιστάμενων κτιρίων σε κτίρια με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας. Σύμφωνα με την οδηγία, οι στρατηγικές θα υποστηριχθούν από χρηματοπιστωτικούς μηχανισμούς για την κινητοποίηση των επενδύσεων για την ανακαίνιση κτιρίων που απαιτούνται για να επιτευχθούν οι συγκεκριμένοι στόχοι

## 2.3 ΕΘΝΙΚΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΚΤΙΡΙΑΚΟ ΤΟΜΕΑ

Στην Ελλάδα, η εισαγωγή στην έννοια της ενεργειακής οικονομίας έγινε πρώτη φορά με το νόμο-πλαίσιο Ν.40/75 περί «Λήψης μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας». Η πρώτη ουσιαστικά προσπάθεια για εξοικονόμηση ενέργειας στον κτιριακό τομέα έγινε το 1979 με τον Κανονισμό Θερμομόνωσης Κτιρίων( ΦΕΚ 362Δ/1979). Ο κανονισμός αυτός ήταν σχετικά ελαστικός, εφαρμόστηκε υποχρεωτικά από το 1979 μέχρι το 2010 χωρίς καμία τροποποίηση, οπότε και αντικαταστάθηκε από τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (Κ.Εν.Α.Κ). Στη διάρκεια των ετών που μεσολάβησε από το 1975 μέχρι την τελική εφαρμογή του Κ.Εν.Α.Κ, θεσπίστηκε μια σειρά νόμων και κανονισμών με κατεύθυνση την εξοικονόμηση ενέργειας και την προστασία του περιβάλλοντος. Συνοπτικά:

- 1975 – Ν.40/75 (Νόμος-Πλαίσιο) περί «Λήψεως μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας»
- 1979 – «Κανονισμός για τη Θερμομόνωση των Κτιρίων» (ΚΘΚ)
- 1985 – Άρθρο 26 του Ν.1577/85 «Γενικός Οικοδομικός Κανονισμός» (ΓΟΚ-2000)
- 1985 – Άρθρο 26 του Ν.1577/85 «Κίνητρα Εξοικονόμησης Ενέργειας»
- 1986 - Νόμος 1650/86 για την προστασία του περιβάλλοντος
- 1989 – Υ.Α. 3046/304 «ΚΤΙΡΙΟδομικός Κανονισμός»
- 1992 – Ν.2052/92 περί «Μέτρων για την καταπολέμηση του αστικού νέφους»
- 1993 – Οδηγία 93/76/ΕΟΚ (SAVE) για τον «Περιορισμό των εκπομπών CO<sub>2</sub> μέσω της βελτίωσης Ενεργειακής Απόδοσης»
- 1995 – Σχέδιο Δράσης «Ενέργεια 2001» του Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε.
- 1995 – «Κανονισμός Κατανομής Δαπανών Θέρμανσης»
- 1998 – Εναρμόνιση Κοινοτικής Οδηγίας SAVE (21475/4707 ΚΥΑ- ΦΕΚ880Β/19-8-98) για τον «Περιορισμό των εκπομπών CO<sub>2</sub> με το καθορισμό μέτρων και όρων για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων» - Άρθρο 4: Κ.Ο.Χ.Ε.Ε.
- 1999 – Υ.Α. 11038 «ΔΑΚ Κανονισμός Ενεργειακών Επιθεωρήσεων»
- 2001 – Στρατηγική Εξοικονόμησης στα κτίρια: Σχέδιο Δράσης «Ενέργεια 2001»
- 2001 – Ν.2831/00 – Τροποποίηση του ΓΟΚ (Ν.1577/85)- ΕΞΕ/ΑΠΕ
- 2002 – Οδηγία 2002/91/ΕΚ για την «Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων»
- 2005-2006 – Επιτροπή εμπειρογνομένων ΥΠΑΝ (Απόρριψη σχεδίου ΚΟΧΕΕ και αντικατάσταση με Κ.ΕΝ.Α.Κ, Σχέδιο Μητρώου Ενεργειακών Επιθεωρητών)

### 2.3.1 Ο Κανονισμός Θερμομόνωσης Κτιρίων

Η πρώτη ουσιαστική προσπάθεια της Ελλάδας για εξοικονόμηση ενέργειας στον κτιριακό τομέα εμφανίστηκε το 1979 με τον Κανονισμό Θερμομόνωσης Κτιρίων (ΦΕΚ 362Δ/1979). Πρόκειται για έναν κανονισμό που εφαρμόζοταν υποχρεωτικά από το 1979 μέχρι το 2010, χωρίς καμία απολύτως τροποποίηση, οπότε και αντικαταστάθηκε από τον Κ.Εν.Α.Κ. Από τότε και μετά η θερμική προστασία των κατασκευών έγινε απαραίτητη για μελετητές και κατασκευαστές και η μελέτη θερμομόνωσης αποτελούσε αναπόσπαστο κομμάτι κάθε οικοδομικής άδειας.<sup>[23]</sup>

Ο κανονισμός καθόριζε τις απαιτήσεις για τη μόνωση του κτιρίων και περιελάμβανε:

- τον ορισμό των τιμών της θερμοκρασίας του εσωτερικού χώρου και προτεινόμενες τιμές ανά είδος κτιρίου,
- τα ανώτερα όρια του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας για τα διάφορα δομικά στοιχεία του κτιρίου,
- τα ανώτερα όρια θερμικών απωλειών λόγω αερισμού,
- υποδείξεις για τη βέλτιστη εφαρμογή της θερμομόνωσης εξωτερικά των δομικών στοιχείων για εκμετάλλευση της θερμικής τους μάζας σε κτίρια που χρησιμοποιούνταν συνεχώς, εσωτερικά των δομικών στοιχείων σε κτίρια που χρησιμοποιούνταν προσωρινά και στα οποία η χρήση τους απαιτούσε γρήγορη θέρμανση ή ψύξη του χώρου,



- υποδείξεις για την αποφυγή σχηματισμού υδρατμών και υγρασίας στα δομικά στοιχεία (αποφυγή θερμογεφυρών).

Ο κανονισμός εφαρμόζοταν για κάθε οικοδομή προοριζόμενη για κατοικία ή παραμονή ατόμων προς άσκηση οποιασδήποτε δραστηριότητας (δεν απαιτείται για κτίρια αποθηκών κ.ά.), ενώ δεν διατύπωνε απαιτήσεις για τα υφιστάμενα κτίρια. Κύριος στόχος του κανονισμού ήταν η μείωση των απωλειών θερμότητας από το κτιριακό κέλυφος, έτσι ώστε να ελαχιστοποιούνται οι απαιτήσεις θέρμανσης του κτιρίου και να εξασφαλίζεται <sup>[24]</sup> :

- Υγιεινή και ευχάριστη διαμονή των ενοίκων
- Ορθολογική κατανάλωση ενέργειας για τη θέρμανση και τον κλιματισμό των χώρων
- Οικονομία στις δαπάνες κατασκευής της εγκατάστασης θέρμανσης
- Μικρότερη ρύπανση του περιβάλλοντος από τα καυσαέρια

### 2.3.2 Κ.Εν.Α.Κ.

Η ανάγκη για ολοκληρωμένο ενεργειακό σχεδιασμό των κτιρίων με σκοπό τη βελτίωση της ενεργειακής τους απόδοσης, την εξοικονόμηση ενέργειας αλλά και την προστασία του περιβάλλοντος, οδήγησε στην θεσμοθέτηση του Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (Κ.Εν.Α.Κ.), όπως προβλέπεται στο Άρθρο 3 του νόμου 3661/2008 που εκδόθηκε με σκοπό την εναρμόνιση της ελληνικής νομοθεσίας με την οδηγία 2002/91/ΕΚ. Ο Κ.Εν.Α.Κ. είναι η πρώτη ολοκληρωμένη προσπάθεια από ελληνικής πλευράς όσον αφορά τον καθορισμό όλων των παραμέτρων που επιδρούν στην ενεργειακή απόδοση ενός κτιρίου <sup>[25]</sup>.

Σκοπός της εγκυκλίου αποτελεί η μείωση της κατανάλωσης συμβατικής ενέργειας για θέρμανση, κλιματισμό, φωτισμό και παραγωγή ζεστού νερού χρήσης με την ταυτόχρονη διασφάλιση συνθηκών άνεσης στους εσωτερικούς χώρους των κτιρίων. Ο σκοπός αυτός επιτυγχάνεται μέσω του ενεργειακού σχεδιασμού του κελύφους, της χρήσης ενεργειακά αποδοτικών δομικών υλικών και ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων, ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας.

Τα βασικά στοιχεία του Κ.Εν.Α.Κ. είναι τα παρακάτω:

- Ορίζεται μεθοδολογία υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων.
- Καθορίζονται ελάχιστες απαιτήσεις για την ενεργειακή απόδοση και κατηγορίες για την ενεργειακή κατάταξη των κτιρίων.
- Καθορίζονται οι ελάχιστες προδιαγραφές για τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό των κτιρίων, τα θερμικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του κελύφους και οι προδιαγραφές των Η/Μ εγκαταστάσεων.
- Ορίζεται το περιεχόμενο της μελέτης της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων.
- Καθορίζεται η μορφή του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης κτιρίου, καθώς και τα στοιχεία που περιλαμβάνει.
- Καθορίζεται η διαδικασία ενεργειακών επιθεωρήσεων των κτιρίων, καθώς και η διαδικασία επιθεωρήσεων λεβήτων και εγκαταστάσεων θέρμανσης και κλιματισμού.

#### 2.3.2.1 Υπολογισμός της ενεργειακής απόδοσης κτιρίου

Σύμφωνα με το άρθρο 4 του Κ.Εν.Α.Κ., η ενεργειακή απόδοση των κτιρίων προσδιορίζεται με βάση τη συνολική κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας, η μεθοδολογία υπολογισμού της οποίας θα πρέπει να περιλαμβάνει κατ' ελάχιστον τα παρακάτω στοιχεία:

- Τη χρήση του κτιρίου, τις επιθυμητές συνθήκες εσωτερικού περιβάλλοντος (θερμοκρασία και σχετική υγρασία αέρα, αερισμό), τα χαρακτηριστικά λειτουργίας και τον αριθμό χρηστών.

- Τα κλιματικά δεδομένα της περιοχής του κτιρίου (θερμοκρασία, σχετική υγρασία, ταχύτητα ανέμου και ηλιακή ακτινοβολία).
- Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του κτιριακού κελύφους (σχήμα και μορφή κτιρίου, διαφανείς και μη διαφανείς επιφάνειες, σκίαστρα κ.ά.) σε σχέση με τον προσανατολισμό και τα χαρακτηριστικά των εσωτερικών δομικών στοιχείων (χωρίσματα κ.ά.).
- Τα θερμικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων και υλικών του κτιριακού κελύφους (θερμοπερατότητα, θερμική μάζα, απορροφητικότητα ηλιακής ακτινοβολίας κ.ά.).
- Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των εγκαταστάσεων θέρμανσης/ψύξης χώρων, μηχανικού αερισμού, παραγωγής ζεστού νερού χρήσης και εγκατάστασης φωτισμού για τα Κτίρια του τριτογενούς τομέα.
- Τα παθητικά ηλιακά συστήματα, εάν υπάρχουν στο κτίριο.

Επίσης στη μεθοδολογία υπολογισμού συνεκτιμάται κατά περίπτωση η θετική επίδραση των ακόλουθων συστημάτων:

- Ενεργητικών ηλιακών συστημάτων και άλλων συστημάτων παραγωγής θερμότητας, ψύξης και ηλεκτρισμού με τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Α.Π.Ε.).
- Ενέργεια παραγόμενη με τεχνολογίες συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας / ψύξης (Σ.Η.Θ.).
- Κεντρικά συστήματα θέρμανσης ή/και ψύξης σε κλίμακα περιοχής ή οικοδομικού τετραγώνου (τηλεθέρμανση).
- Αξιοποίηση φυσικού φωτισμού

Η μέθοδος υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων θα επανεξετάζεται κατά τακτά χρονικά διαστήματα, σύμφωνα με την παράγραφο 5 του άρθρου 3 του νόμου 3661/08. Η πρώτη επανεξέταση επιβάλλεται να πραγματοποιηθεί δύο έτη από την έναρξη ισχύος του Κ.Εν.Α.Κ.

#### 2.3.2.2 Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης (ΠΕΑ)

Για την εκπόνηση της μελέτης ο Κ.Εν.Α.Κ. προβλέπει τον ορισμό ενός κτιρίου αναφοράς, το οποίο έχει τα ίδια γεωμετρικά χαρακτηριστικά, θέση, προσανατολισμό, χρήση και χαρακτηριστικά λειτουργίας με το εξεταζόμενο κτίριο.

Συγκεκριμένα έχουμε ότι : Ως Κτίριο Αναφοράς ορίζεται ένα κτίριο με την ίδια χρήση, προφίλ λειτουργίας, γεωμετρία (επιφάνεια χρήσιμων και κοινόχρηστων χώρων, επιφάνεια κλιματιζόμενων χώρων, επιφάνεια εξωτερικών τοίχων, επιφάνεια δαπέδων & επιφάνεια οροφής) και προσανατολισμό εξωτερικών δομικών στοιχείων, με το υπό σχεδίαση και μελέτη νέο κτίριο. Το κτίριο αναφοράς έχει καθορισμένα τεχνικά χαρακτηριστικά τόσο στα εξωτερικά δομικά στοιχεία του όσο και στις εγκαταστάσεις Κλιματισμού- Αερισμού/Ψύξης/ Θέρμανσης (ΚΑΨΘ) καθώς και εγκαταστάσεις παραγωγής Ζεστού Νερού Χρήσης (ΖΝΧ). Για τα κτίρια εκτός κατοικίας, στο κτίριο αναφοράς περιλαμβάνονται και πρόσθετες απαιτήσεις για την χρήση και τις εγκαταστάσεις φωτισμού. Το κτίριο αναφοράς καταλαμβάνει πάντα την κατηγορία Β, στην Ενεργειακή Ταξινόμηση. Κτίρια με χαμηλότερη ή υψηλότερη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας κατατάσσονται στην αντίστοιχη ενεργειακή κατηγορία. Επιπλέον αξίζει να σημειωθεί ότι το εύρος των τιμών της ενεργειακής κατανάλωσης που καθορίζει τις ενεργειακές κατηγορίες διαφέρει ανά κατηγορία χρήσης.

Για τον υπολογισμό της συνολικής κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας εφαρμόζεται η ίδια μεθοδολογία τόσο στο υπό μελέτη κτίριο, όσο και στο αντίστοιχο κτίριο αναφοράς. Η αναγωγή της υπολογιζόμενης τελικής κατανάλωσης καυσίμου σε πρωτογενή γίνεται με τη χρήση των συντελεστών:

Πίνακας 2.1 Συντελεστές μετατροπής σε πρωτογενή Ενέργεια με βάση τον Κ.ΕΝ.Α.Κ

ΠΗΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΣΕ ΠΡΩΤΟΓΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	ΕΚΛΥΟΜΕΝΟΙ ΡΥΠΟΙ ΑΝΑ ΜΟΝΑΔΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (kgCO <sub>2</sub> /kWh)
Φυσικό αέριο	1,05	0,196
Πετρέλαιο θέρμανσης	1,10	0,264
Ηλεκτρική ενέργεια	2,90	0,989
Υγραέριο	1,05	0,238
Βιομάζα	1,00	-
Τηλεθέρμανση από ΔΕΗ	0,70	0,347
Τηλεθέρμανση από ΑΠΕ	0,50	-

Η μελέτη ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου πρέπει να οδηγήσει σε αναλυτικά αποτελέσματα των παρακάτω μεγεθών:

- θερμικές απώλειες κελύφους και αερισμού, ηλιακά και εσωτερικά κέρδη κλιματιζόμενων χώρων
- ετήσια τελική ενεργειακή κατανάλωση (kWh/m<sup>2</sup>), συνολική και ανά χρήση, ανά θερμική ζώνη και ανά μορφή χρησιμοποιούμενης ενέργειας
- ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m<sup>2</sup>) ανά χρήση και αντίστοιχες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.

Βάσει της τελικής ανηγμένης σε πρωτογενή ενέργεια κατανάλωσης του κτιρίου, καθορίζεται και η κατηγορία της ενεργειακής απόδοσής του και εκδίδεται το «πιστοποιητικό ενεργειακής απόδοσης κτιρίου - Π.Ε.Α.». Οι κατηγορίες ενεργειακής ταξινόμησης των κτιρίων δίνονται ως:

Πίνακας 2.2 Οι κατηγορίες ενεργειακής ταξινόμησης με βάση τον Κ.ΕΝ.Α.Κ

Κατηγορία	Όρια κατηγορίας	Όρια κατηγορίας
<b>A+</b>	EP ≤ 0.33RR	T ≤ 0.33
<b>A</b>	0.33RR < EP ≤ 0.50RR	0.33 < T ≤ 0.50
<b>B+</b>	0.50RR < EP ≤ 0.75RR	0.50 < T ≤ 0.75
<b>B</b>	<b>0.75RR &lt; EP ≤ 1.00RR</b>	<b>0.75 &lt; T ≤ 1.00</b>
<b>Γ</b>	1.00RR < EP ≤ 1.41RR	1.00 < T ≤ 1.41
<b>Δ</b>	1.41RR < EP ≤ 1.82RR	1.41 < T ≤ 1.82
<b>E</b>	1.82RR < EP ≤ 2.27RR	1.82 < T ≤ 2.27
<b>Z</b>	2.27RR < EP ≤ 2.73RR	2.27 < T ≤ 2.73
<b>H</b>	2.73RR < EP	2.73 < T

Το πηλίκο της υπολογιζόμενης κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m<sup>2</sup>) του εξεταζόμενου κτιρίου προς την υπολογιζόμενη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του κτιρίου αναφοράς (kWh/m<sup>2</sup>) αποτελεί το κριτήριο για την κατάταξη του κτιρίου στην αντίστοιχη κατηγορία ενεργειακής απόδοσης (A+, A, B+, B, Γ, Δ, E, Z, H).

Ο δείκτης RR είναι ίσος με την υπολογιζόμενη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του κτιρίου αναφοράς. Ο λόγος T είναι το πηλίκο της υπολογιζόμενης κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας του εξεταζόμενου κτιρίου (EP) προς την υπολογιζόμενη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του κτιρίου αναφοράς (RR) και αποτελεί το κριτήριο για την κατάταξη του κτιρίου στην αντίστοιχη κατηγορία ενεργειακής απόδοσης.

### 2.3.2.3 Ενεργειακή κατάταξη και καταναλώσεις κτιρίων με βάση τα στοιχεία του ΥΠ.Ε.Κ.Α

Από το έτος 2011 μέχρι και το έτος 2017 έχουν εκδοθεί συνολικά 1.179.168 Πιστοποιητικά Ενεργειακής Απόδοσης (Π.Ε.Α.) Κτιρίων (βλ. Πίνακα 1), εκ των οποίων το 17,73% αφορά σε κτίρια τριτογενούς τομέα και το 82,27% αφορά σε κτίρια κατοικιών<sup>[28]</sup>



Εικόνα 2.1 Ετήσια κατανομή ΠΕΑ για τα έτη 2011-2017 .[28]

Σχετικά με την ενεργειακή κατηγορία των κτιρίων για τα οποία έχουν εκδοθεί Π.Ε.Α. τη χρονική περίοδο 2011-2017, παρατηρείται ότι, το μεγαλύτερο ποσοστό αυτών (59,37%) κατατάσσεται στην ενεργειακή κατηγορία E-H.

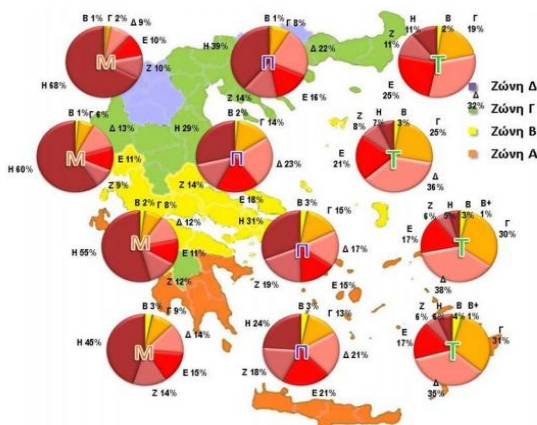


Εικόνα 2.2 Ενεργειακή κατηγορία κτιρίων για τα έτη 2011-2017 .[28]

Σε ότι αφορά τα κτίρια κατοικιών βλέπουμε ότι με βάση τα διαθέσιμα στατιστικά από το ΥΠ.Ε.Κ.Α, τα πιο ενεργοβόρα κτίρια κατοικιών είναι οι μονοκατοικίες (355,18 kWh/m<sup>2</sup>), ενώ τα κτίρια των πολυκατοικιών έχουν μέση ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ίση με 240,11 kWh/m<sup>2</sup>. Συγκρίνοντας τις μέσες ετήσιες καταναλώσεις πρωτογενούς ενέργειας των κτιρίων κατοικίας ανά κλιματική ζώνη προκύπτει ότι οι μονοκατοικίες στην κλιματική ζώνη Γ και Δ είναι οι πιο ενεργοβόρες (444,80 kWh/m<sup>2</sup> και 496,77 kWh/m<sup>2</sup> αντίστοιχα).

Για τον τριτογενή τομέα της χώρας η αντίστοιχη μελέτη καταλήγει στο ότι Τα πιο ενεργοβόρα κτίρια τριτογενούς τομέα είναι τα κτίρια συνάθροισης κοινού (μέση ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ίση με 762,32 kWh/m<sup>2</sup>), καθώς και τα κτίρια σωφρονισμού (μέση ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ίση με 663,48 kWh/m<sup>2</sup>) σε όλες σχεδόν τις κλιματικές ζώνες (Α,Β,Γ,Δ). Η

κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια εκπαίδευσης αυξάνεται στις ψυχρές ζώνες, ενώ στα γραφεία και στα καταστήματα δεν επηρεάζεται σημαντικά από την κλιματική ζώνη. Στα νοσοκομεία και στα νοσηλευτικά ιδρύματα, η κατανάλωση ενέργειας είναι μεγαλύτερη στις πιο θερμές ζώνες (λόγω των αναγκών σε κλιματισμό).



Εικόνα 2.3 Ενεργειακή κατάταξη για τις μονοκατοικίες (Μ), τις πολυκατοικίες (Π) και τα κτίρια του τριτογενή τομέα (Τ) ανα κλιματική ζώνη με βάση τα διαθέσιμα ΠΕΑ [28]

Τέλος, σε ότι αφορά τον δημόσιο τομέα βλέπουμε ότι τη χρονική περίοδο 2011-2017, το μεγαλύτερο ποσοστό των δημοσίων κτιρίων (53,89%) κατατάσσεται στην ενεργειακή κατηγορία Γ-Δ και το μεγαλύτερο ποσοστό της συνολικής ετήσιας καταναλισκόμενης ενέργειας χρησιμοποιείται για την κάλυψη αναγκών τους σε θέρμανση χώρων (112,70 kWh/m<sup>2</sup>) και φωτισμό (107,63 kWh/m<sup>2</sup>). Επιπλέον, τα πιο ενεργοβόρα δημόσια κτίρια είναι τα κτίρια σωφρονισμού (μέση ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ίση με 715,78 kWh/m<sup>2</sup>), καθώς και τα κτίρια προσωρινής διαμονής (μέση ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ίση με 581,38 kWh/m<sup>2</sup>).

Το κτίριο των εστιών το οποίο μελετάμε, κατατάσσεται δυνητικά και στις 3 παραπάνω κατηγορίες και γιαυτό θα πρέπει να λάβουμε σοβαρά υπόψιν μας τα παραπάνω στατιστικά στοιχεία τόσο κατά την διάρκεια της μοντελοποίησης όσο και κατά την διαδικασία μελέτης της ανακίνησης.

Παρακάτω παρατίθενται συγκεντρωτικά τα στοιχεία για την υπολογιζόμενη ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ανά κατηγορία κτιρίων στην κλιματική ζώνη Β (που είναι και η περιοχή της παρούσας μελέτης):

ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΧΡΗΣΗΣ ΚΤΙΡΙΩΝ	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΕΜΒΑΔΟΝ (m <sup>2</sup> )	ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΜΕΝΗ ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΠΡΩΤΟΓΕΝΟΥΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΥΠΑΡΧΟΝΤΟΣ ΚΤΙΡΙΟΥ (kWh/m <sup>2</sup> )	ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΜΕΝΗ ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΠΡΩΤΟΓΕΝΟΥΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΥΠΑΡΧΟΝΤΟΣ ΚΤΙΡΙΟΥ (GWh)	ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΜΕΝΗ ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΠΡΩΤΟΓΕΝΟΥΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΤΙΡΙΟΥ ΚΑΤΑ ΚΕΝΑΚ (kWh/m <sup>2</sup> )	ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΜΕΝΗ ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΠΡΩΤΟΓΕΝΟΥΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΤΙΡΙΟΥ ΚΑΤΑ ΚΕΝΑΚ (GWh)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (%)
B	Εμπορίου	9906443,659	451,86	4476,32	256,41	2540,14	43,25
	Υγείας και Πρόνοιας	991942,214	441,31	437,76	288,00	285,68	34,74
	Προσωρινής Διαμονής	1404196,855	510,14	716,34	288,01	404,42	43,54
	Εκπαίδευσης	1520058,749	190,46	289,51	121,18	184,21	36,37
	Ευνάθροιση Κοινού	2335469,799	760,92	1777,12	469,72	1097,02	38,27
	Σωφρονισμού	110608,35	675,86	74,76	433,00	47,89	35,93
	Γραφεία	7138260,822	353,45	2523,00	218,92	1562,72	38,06
	Μονοκατοικία	7914336,098	332,92	2634,87	113,12	895,25	66,02
Πολυκατοικία	39305720,98	222,16	8732,24	95,50	3753,66	57,01	

Εικόνα 2.4 Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας στην Ζώνη Β [28]



## 3 ΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ

### 3.1 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΚΕΛΥΦΟΣ ΚΤΙΡΙΟΥ

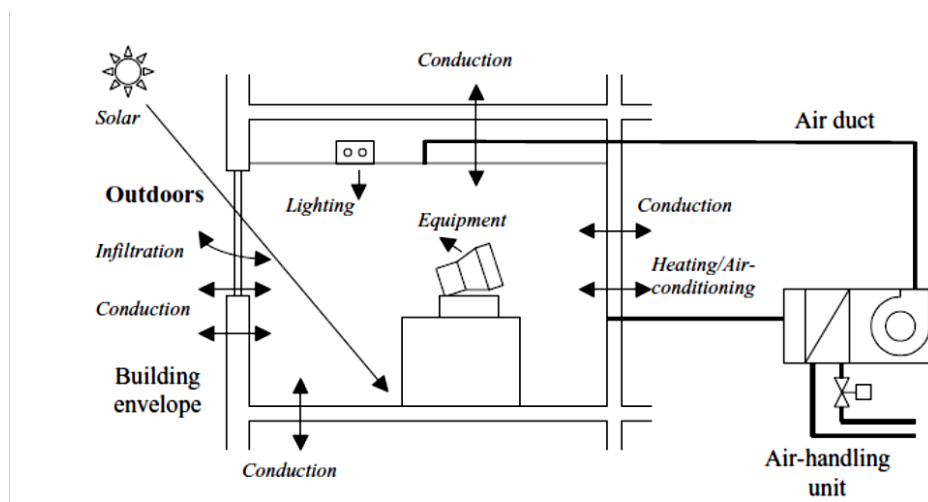
#### 3.1.1 Γενικά

Με τον όρο κτιριακό κέλυφος εννοούμε το σύνολο των επιφανειών και των δομικών στοιχείων που τις συνθέτουν και συναποτελούν το σύνορο μεταξύ του εξωτερικού και του εσωτερικού περιβάλλοντος ενός κτιρίου. Η διαμόρφωση και διατήρηση καλών περιβαλλοντικών συνθηκών στο εσωτερικό του κτιρίου αποτελεί τον βασικό λειτουργικό σκοπό του κελύφους ως παθητικό ενεργειακό σύστημα.

Σε ένα τυπικό κτίριο κατοικίας, το ενεργειακό ισοζύγιο υπολογίζεται από τα θερμικά κέρδη και τις απώλειες θερμότητας. Τα θερμικά κέρδη προέρχονται κυρίως από τα συστήματα θέρμανσης και την άμεση ηλιακή ακτινοβολία και δευτερευόντως από άλλες εσωτερικές πηγές θερμότητας όπως είναι ο τεχνητός φωτισμός, οι ηλεκτρικές συσκευές και η έκληση θερμότητας από τους ίδιους τους ενοίκους.

Οι απώλειες θερμότητας οφείλονται στα φαινόμενα μεταφοράς (μάζας και θερμότητας) τα οποία παρουσιάζονται ως:

- Συναγωγή θερμότητας μέσω των εσωτερικών και εξωτερικών επιφανειών του κτιρίου (εξωτερικοί τοίχοι, οροφή, δάπεδο, εσωτερικά χωρίσματα).
- Μεταφορά θερμότητας μέσω ηλιακής ακτινοβολίας και συναγωγής μέσω των υαλοπινάκων
- Διείσδυση εξωτερικού αέρα ή αέρα από συνορεύοντες εσωτερικούς χώρους με διαφορετική μέση θερμοκρασία.
- Διασπορά θερμότητας και υγρασίας μέσα από τον φωτισμό, τις ηλεκτρικές συσκευές, τους ενοίκους και άλλα εσωτερικά μέσα.
- Θέρμανση, Ψύξη, ύγρανση, αφύγρανση μέσω των Ηλεκτρομηχανικών συστημάτων και εγκαταστάσεων του χώρου.

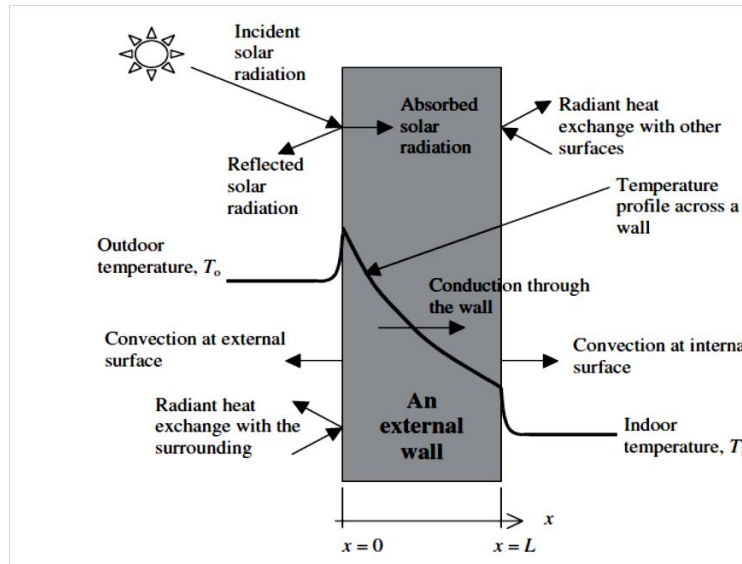


Εικόνα 3.1 Ισοζύγιο ενέργειας σε τυπικό κτίριο [35]

Οι βασικότερες παράμετροι που απαιτούνται για τους υπολογισμούς της ενεργειακής απόδοσης ενός κτιρίου, σε ότι αφορά την επίδραση του κελύφους, αφορούν κυρίως στις θερμοφυσικές ιδιότητες των δομικών υλικών και στοιχείων (θερμοπερατότητα, θερμογέφυρες, θερμοχωρητικότητα κ.ά.), στη σκίαση και στον αερισμό του κτιρίου. Για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτιρίου και συγκεκριμένα για τον υπολογισμό των θερμικών ή/και ψυκτικών φορτίων του, απαιτείται ο προσδιορισμός των παραμέτρων των δομικών στοιχείων (διαφανών ή αδιαφανών) του κτιρίου ή της

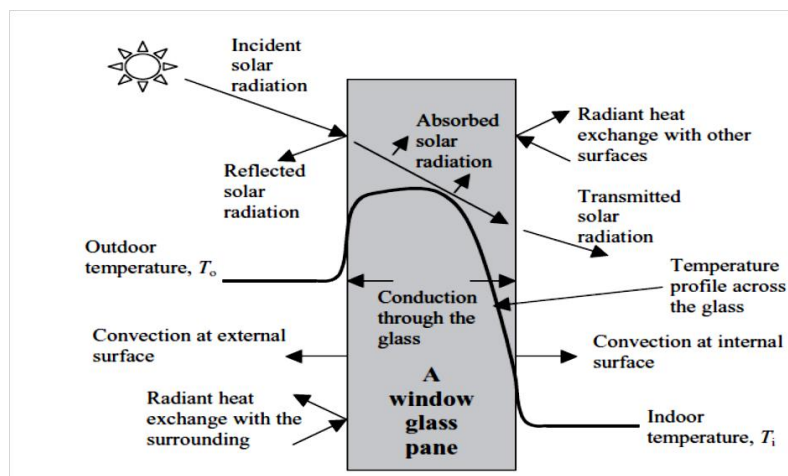
θερμικής ζώνης που έρχονται σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα, τους μη θερμαινόμενους χώρους και το έδαφος.

Η μεταφορά θερμότητας μέσω μιας αδιαφανούς συμπαγούς επιφάνειας, όπως είναι το στοιχείο εξωτερικής τοιχοποιίας που φαίνεται στην παρακάτω εικόνα, συντελείται μέσα από τους μηχανισμούς της συναγωγής και της ακτινοβολίας. Η συναγωγή θερμότητας πραγματοποιείται μεταξύ της εξωτερικής/εσωτερικής του επιφάνειας και του εξωτερικού/εσωτερικού ρευστού (αέρα) το οποίο βρίσκεται σε σχετική κίνηση και επαφή με αυτήν. Η μεταφορά θερμότητας μέσω ακτινοβολίας περιλαμβάνει τόσο την άμεση όσο και την διαθλώμενη.



Εικόνα 3.2 Μεταφορά θερμότητας σε αδιαφανές στοιχείο (εξωτερική τοιχοποιία) [35]

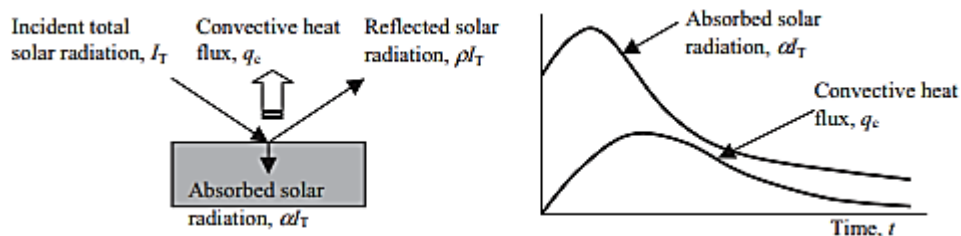
Η μεταφορά θερμότητας μέσω διαφανούς ή ημιδιαφανούς επιφάνειας, όπως ο υαλοπίνακας της παρακάτω εικόνας, πραγματοποιείται με ανάλογο τρόπο με την διαφορά ότι μέρος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας περνάει και στον εσωτερικό χώρο. Παράλληλα, το ποσό θερμότητας το οποίο απορροφάται από τον υαλοπίνακα, αυξάνει την θερμοκρασία του δημιουργώντας έτσι μεταφορά θερμότητας και προς τα μέσα και προς τα έξω, καταρχήν με αγωγιμότητα εντός του τζαμιού και δευτερευόντως με συναγωγή και ακτινοβολία στις επιφάνειες και από τις δύο πλευρές του



Εικόνα 3.3 Μεταφορά θερμότητας σε ιαφανές στοιχείο (υαλοπίνακας) [35]

Οι ροές θερμότητας στις επιφάνειες του κελύφους ,που προκαλούνται από την απορρόφηση ηλιακής ακτινοβολίας στα δομικά της στοιχεία και την ύπαρξη θερμοκρασιακής διαφοράς μεταξύ εσωτερικού και εσωτερικού περιβάλλοντος, συνήθως συνοπολιγίζονται με την χρήση της «ισοδύναμης εξωτερική θερμοκρασία». Το μέγεθος αυτό εκφράζει την θερμοκρασία ή οποία με την απουσία του φαινομένου της ακτινοβολίας θα μας έδινε τα ίδια ποσά αγωγής και συναγωγής. Αντίστοιχο μέγεθος είναι και η «θερμοκρασία περιβάλλοντος».

Η θερμική ακτινοβολία μέσω των υαλοπινάκων θα μεταφερθεί στο εσωτερικό περιβάλλον και θα θεωρηθεί θερμικό φορτίο μόνο αφού απορροφηθεί από τις εσωτερικές επιφάνειες. Έπειτα, η θερμοκρασία των επιφανειών αυτών θα αυξηθεί , οδηγώντας σε φαινόμενα συναγωγής στο εσωτερικό του κτιρίου. Αυτή η ροή θερμότητας μέσω συναγωγής επηρεάζει την εσωτερική θερμοκρασία του αέρα και συνιστά μέρος του φορτίου του χώρου. Το μέρος αυτό του φορτίου διαφέρει σε ένταση από τα υπόλοιπα και εμφανίζει μέγιστο σε διαφορετική χρονική στιγμή (βλ. Εικόνα 3.4). Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στην θερμοχωρητικότητα των των δομικών στοιχείων του χώρου που υπόκεινται στην ακτινοβολία.<sup>[35]</sup>



Εικόνα 3.4 Μεταφορά θερμότητας μέσω ακτινοβολίας [35]

### 3.1.2 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΕΞΩΤΕΡΙΚΕΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΟΡΟΦΗ

Για τη μελέτη της ροής θερμότητας σε ένα ομοιογενές σώμα, αναγκαίος είναι ο προσδιορισμός του θερμοκρασιακού πεδίου που προκύπτει από τις συνθήκες οι οποίες επικρατούν στα όρια του σώματος καθώς επίσης και των θερμικών του ιδιοτήτων.<sup>[36]</sup> Όταν η κατανομή της θερμοκρασίας είναι γνωστή, είναι δυνατόν με τη σχέση Fourier, να υπολογισθεί η ροή θερμότητας σε κάθε σημείο του σώματος ή και στην επιφάνεια του. Προκειμένου να ληφθεί υπόψη η κατάλληλη εξίσωση του θερμοκρασιακού πεδίου, εφαρμόζεται ο νόμος διατήρησης της ενέργειας, δηλαδή το πρώτο θερμοδυναμικό αξίωμα. Το αποτέλεσμα που προκύπτει, είναι μια διαφορική εξίσωση, η λύση της οποίας δίνει τη ζητούμενη θερμοκρασιακή κατανομή. Η παρακάτω σχέση εκφράζει τη γενική μορφή της εξίσωσης μεταφοράς θερμότητας (Fourier) σε καρτεσιανές συντεταγμένες..

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{C_p \rho} \left( \frac{\partial}{\partial x} \left( k_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( k_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) \right) + \frac{\Phi}{C_p \rho} \quad 3.1$$

Όπου:

$T(x,y,z)$ : Η θερμοκρασιακή κατανομή σε [K]

$C_p$ : Η ειδική θερμοχωρητικότητα υπό σταθερή πίεση

$\rho$ : Η πυκνότητα του μέσου [kg/m<sup>3</sup>]



$k_{x/y/z}$ : οι συντελεστές θερμικής αγωγιμότητας στις αντίστοιχες κατευθύνσεις [J/kg/K]

$\Phi$ : Το ποσό θερμότητας που εκλύεται από πηγές θερμότητας στο εσωτερικό του σώματος [J/m<sup>3</sup>/s=W/m<sup>3</sup>]

Από τη λύση της παραπάνω εξίσωσης προκύπτει η κατανομή της θερμοκρασίας  $T(x,y,z)$  σε συνάρτηση με τον χρόνο. Εάν υποθεθεί πως ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας είναι σταθερός τότε προκύπτει η εξίσωση:

$$\frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\Phi}{k} \quad 3.2$$

Όπου  $a=k/\rho C_p$  ο συντελεστής θερμικής διάχυσης

### 3.1.2.1 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ

Θερμική Αγωγιμότητα (thermal conduction) ορίζεται ως ο μηχανισμός μεταφοράς θερμότητας από μία περιοχή (ή σύστημα) υψηλής θερμοκρασίας σε μια άλλη (ή άλλο) χαμηλότερης θερμοκρασίας, μέσω ενός μέσου (στερεού, υγρού ή αέριου σε ηρεμία), λόγω της φυσικής επαφής. Η μεταφορά αυτή επιτυγχάνεται είτε με μοριακή αλληλεπίδραση, δηλαδή μεταφορά ενέργειας από τα περισσότερα ενεργητικά μόρια στα γειτονικά τους, με χαμηλότερο επίπεδο ενέργειας, είτε μέσω της συγκέντρωσης των ελεύθερων ηλεκτρονίων, στα καθαρώς μεταλλικά στερεά. Το πιο κλασικό παράδειγμα ροής θερμότητας με αγωγιμότητα είναι οι θερμικές απώλειες από τις αδιαφανείς επιφάνειες των κτιρίων το χειμώνα. Υπάρχει επίσης μια ισχυρή συσχέτιση μεταξύ της έννοιας της θερμικής αγωγιμότητας και αυτής της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στα στερεά. Ροές λόγω θερμικής αγωγιμότητας συμβαίνουν στην κατεύθυνση της μείωσης της θερμοκρασίας, ενώ αντίστοιχα η ηλεκτρική αγωγιμότητα εξελίσσεται από σημεία υψηλού σε σημεία χαμηλού δυναμικού. <sup>[37]</sup>

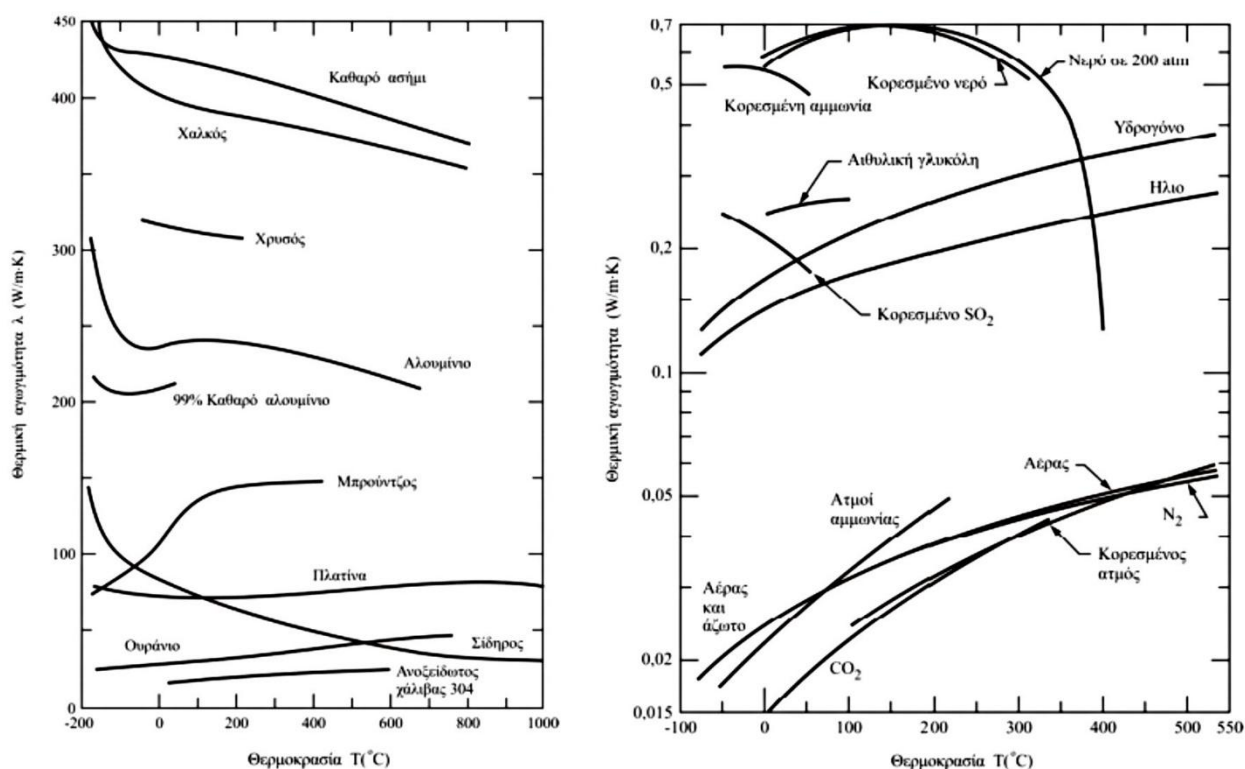
Η ικανότητα λοιπόν των στερεών να μεταδίδουν θερμότητα, εξαρτάται άμεσα από τη συγκέντρωση των ελεύθερων ηλεκτρονίων. Μια ποσοτική έκφραση, που συνδέει το ποσό θερμότητας που μεταφέρεται με την πτώση της θερμοκρασίας και το είδος του υλικού είναι η σχέση του Fourier η οποία και περιγράφηκε νωρίτερα. Συγχρόνως όμως, από τη σχέση αυτή, ορίζεται και ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας, μια χαρακτηριστική ιδιότητα του κάθε υλικού.

Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας, είναι ένας παράγοντας ο οποίος εκφράζει την ικανότητα των υλικών στην διάχυση θερμότητας διαμέσου αυτών, έχει μονάδες W/mk ή W/moC και συνήθως συμβολίζεται με  $k$  ή με  $\lambda$ . Για παράδειγμα, για το νερό, η θερμική αγωγιμότητα είναι  $k=0.607$  W/moC, ενώ για τον σίδηρο  $k=60$  W/moC, σε θερμοκρασία δωματίου. Από τις τιμές των συντελεστών θερμικής αγωγιμότητας, γίνεται αντιληπτό πως ο σίδηρος, άγει τη θερμότητα περίπου 100 φορές γρηγορότερα από ότι το νερό. Κατά συνέπεια το νερό, συγκρινόμενο με τον σίδηρο, είναι ένας σχετικά κακός αγωγός της θερμότητας ενώ ταυτόχρονα είναι ένα πολύ καλό μέσον για αποθήκευση θερμότητας.

Στην γενική περίπτωση ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας εξαρτάται τόσο από την θέση όσο και από την θερμοκρασία. Έχει δηλαδή την μορφή  $k=k[r,T(r,t)]$ , όπου  $r$  το διάνυσμα θέσης και  $T$  η θερμοκρασία

Για τα περισσότερα υλικά όμως μπορούμε να πάρουμε την παραδοχή ότι είναι ομοιογενή και επομένως να θεωρήσουμε ότι ο συντελεστής  $k$  είναι συνάρτηση μόνο της θερμοκρασίας ( $k=k(T)$ ). Όπως βλέπουμε και στο σχήμα είναι σταθερά ανοδική στα αέρια για χαμηλές πιέσεις αλλά μπορεί να αυξομειώνεται στα μέταλλα και τα ρευστά (βλ. σχήμα). Σε ακόμα πιο ειδικές περιπτώσεις μπορούμε να πάρουμε την παραδοχή ότι για μικρές θερμοκρασιακές μεταβολές υπάρχει ανεξαρτησία και από την

θερμοκρασία. Για παράδειγμα θα μπορούσαμε να υποθέσουμε με ασφάλεια ότι για θερμοκρασίες μεταξύ 0°C και 40°C η τιμή του k παραμένει σταθερή για το σίδηρο (βλ. σχήμα) αλλά σε καμία περίπτωση για το θερμοκρασιακό πεδίο -100°C και 800°C.



Εικόνα 3.5 Μεταβολή της θερμικής αγωγιμότητας μεταλλικών στερεών (Αριστερά) και υγρών/αερίων (Δεξιά) συναρτήσει της θερμοκρασίας [36]

### 3.1.2.2 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΔΙΑΧΥΣΗΣ

Το πρόβλημα της μεταφοράς θερμότητας σε μια τοιχοποιία είναι μη μόνιμο. Η εξίσωση μεταφοράς θερμότητας με αγωγή σε γενική μορφή χρησιμοποιώντας τον τελεστή Laplace, περιγράφεται από την εξίσωση

$$a\nabla^2\partial + \frac{\Phi}{\rho C_p} = \frac{\partial T}{\partial t} \quad 3.3$$

Το μέγεθος  $\alpha = k/\rho C$  ονομάζεται συντελεστής θερμικής διάχυσης της τοιχοποιίας και πρόκειται για μια φυσική ιδιότητα του υλικού του σώματος, από την τιμή της οποίας εξαρτάται ο απαιτούμενος χρόνος για τη μεταβολή της θερμοκρασίας στο σώμα. Είναι δηλαδή, ένα μέτρο θερμικής αδράνειας των σωμάτων.

Το γινόμενο  $m^*C_p$ , συναντάται συχνά σε προβλήματα μεταφοράς θερμότητας και ονομάζεται θερμική μάζα του υλικού. Η ειδική θερμοχωρητικότητα  $cp$  και η θερμοχωρητικότητα του μέσου  $C_p$ , εκφράζουν την ικανότητα αποθήκευσης θερμότητας ενός σώματος.

Πρέπει να επισημανθεί, πως ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας  $k$ , εκφράζει το πόσο καλός αγωγός της θερμότητας είναι το υλικό του μέσου, ενώ η θερμοχωρητικότητα  $C_p$ , το πόσο μεγάλο ποσό ενέργειας μπορεί να αποθηκεύσει.

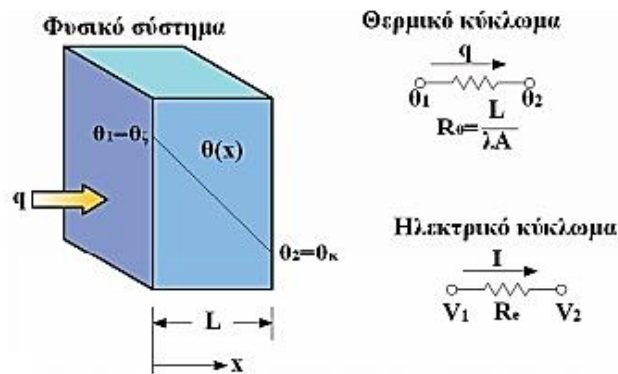
Επομένως, η θερμική διάχυση μπορεί να εκφραστεί σαν ο λόγος της θερμότητας που άγεται δια μέσου μιας μονάδας όγκου του υλικού, προς τη θερμότητα που αποθηκεύεται σε αυτό. Όσο

μεγαλύτερη είναι η τιμή του, τόσο ταχύτερα διαχέεται η θερμότητα μέσα σε μια τοιχοποιία. Υψηλές τιμές του  $\alpha$ , προκύπτουν είτε από υψηλούς συντελεστές θερμικής αγωγιμότητας, είτε από χαμηλές τιμές της θερμοχωρητικότητας των υλικών. Χαμηλή τιμή της θερμοχωρητικότητας σημαίνει ότι από την ποσότητα της θερμότητας η οποία ρέει μέσα στο σώμα, θα απορροφηθεί μικρότερο ποσοστό για την άνοδο της θερμοκρασίας του σώματος, οπότε θα έχουμε περισσότερη θερμότητα διαθέσιμη για επιπλέον μεταφορά.

### 3.1.2.3 ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΑΔΙΑΦΑΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Ο νόμος Fourier παρουσιάζει σημαντικές αναλογίες με άλλα φαινόμενα στην φυσική, με το ηλεκτρικό ανάλογο να αποτελεί ένα από αυτά. Αυτού του τύπου οι αναλογίες μας καθοδηγούν με ακρίβεια στην επίλυση αρκετών προβλημάτων μεταφοράς και αντιστροφα<sup>[29]</sup>.

Για να κατανοήσουμε καλύτερα την έννοια του ηλεκτρικού αναλόγου παίρνουμε το απλό παράδειγμα της ομοιόμορφης αγωγής θερμότητας σε επίπεδο τοίχωμα(βλ σχήμα).



Εικόνα 3.6 Το ηλεκτρικό ανάλογο στην μετάδοση θερμότητας [36]

Για την απλή αυτή περίπτωση της σταθερής κατάστασης μονοδιάστατης ροής θερμότητας μέσω ενός επίπεδου τοιχώματος:

- η κλίση της θερμοκρασίας και της ροής θερμότητας δεν μεταβάλλονται με το χρόνο
- η περιοχή μιας εγκάρσιας διατομής κατά μήκος της διαδρομής της ροής θερμότητας (δηλαδή κατά το πάχος L του τοιχώματος) είναι ομοιόμορφη
- η θερμική αγωγιμότητα μπορεί να ληφθεί ως σταθερά

Όπως γνωρίζουμε από την θεωρία, για αυτήν την απλή περίπτωση η ροή θερμότητας θα δίνεται ως

$$\frac{q}{A} = -k \frac{\partial T}{\partial x} \quad 3.4$$

Με ολοκλήρωση της παραπάνω σχέσης στα όρια που φαίνονται στο σχήμα, όπου η θερμοκρασία στην αριστερή πλευρά είναι ομοιόμορφη, σταθερή και ίση με  $T=\theta_{hot}=\theta_1$  και αντίστοιχα στην δεξιά είναι επίσης ομοιόμορφη και ίση με  $T=\theta_{cold}$ , προκύπτει:

$$\frac{q}{A} \int_0^L dx = -k \int_{\theta_{cold}}^{\theta_{hot}} dT = \frac{k}{L} (\theta_{hot} - \theta_{cold}) \quad 3.5$$

Η οποία γράφεται και στην μορφή:

$$q = \frac{\Delta\theta}{R\theta} \quad 3.6$$

Σε αυτή τη σχέση  $\Delta\theta$  είναι η διαφορά μεταξύ της υψηλότερης θερμοκρασίας  $\theta_{hot}$  και της χαμηλότερης θερμοκρασία  $\theta_{cold}$  και είναι η αιτία που προκαλεί τη ροή θερμότητας. Εξ' άλλου, η ποσότητα  $L/(k \cdot A)$  είναι ισοδύναμη με μια «θερμική αντίσταση»  $R\theta$ , την οποία το τοίχωμα προβάλλει προς τη ροή θερμότητας που το διαπερνά.

Υπάρχει επομένως μια αναλογία μεταξύ των συστημάτων ροής θερμότητας και των ηλεκτρικών κυκλωμάτων. Όπως φαίνεται η ροή του ηλεκτρικού ρεύματος  $I$  είναι ίση προς τη διαφορά δυναμικού  $V1-V2$ , διαιρούμενη με την ηλεκτρική αντίσταση  $R_e$ , ενώ ο ρυθμός της ροής θερμότητας  $q$  είναι ίσος με τη διαφορά δυναμικού της θερμοκρασίας  $\theta_{cold}-\theta_{hot}$ , διαιρούμενο με τη θερμική αντίσταση  $R\theta$ .

Ένα άλλο χρήσιμο μέγεθος για να υπολογίσουμε τη θερμική αγωγιμότητα μιας κατασκευής είναι ο «συντελεστής θερμοπερατότητας ή θερμικής διαπερατότητας»  $U$ , ο οποίος ορίζεται ως το αντίστροφο του συντελεστή θερμικής αντίστασης  $R$ . Ισχύει δηλαδή:  $U=1/R$

Η μονάδα του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας του είναι επομένως το  $[W/m^2K]$  και εκφράζει την ποσότητα θερμότητας ανα μονάδα χρόνου που περνά μέσα από  $1m^2$  στοιχείου κατασκευής με πάχος  $d$  (m) όταν η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των επιφανειών αυτών είναι ίση με  $1^\circ K$ . Η χρήση του  $R$  ή του  $U$  για την επίλυση ενός δεδομένου προβλήματος εξαρτάται από το ποιο είναι πιο εύχρηστο, ανάλογα με τα δεδομένα και τα ζητούμενα.

Ο υπολογισμός των συντελεστών θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων βασίζεται στη μέθοδο που υποδεικνύεται από τον θεσμοθετημένο Κανονισμό Θερμομόνωσης Κτιρίων. Στον κανονισμό δίνονται οι συντελεστές θερμικής αγωγιμότητας και οι πυκνότητες των πιο συνηθισμένων στον ελληνικό χώρο υλικών, καθώς και ο τρόπος υπολογισμού της θερμοπερατότητας δομικών στοιχείων που προκύπτουν από συνδυασμό αυτών των υλικών. Για τον υπολογισμό των θερμικών (ή ψυκτικών) φορτίων κτιρίων συνιστάται κατά περίπτωση μία προσαύξηση του συντελεστή θερμοπερατότητας από 10% έως 30% για εξωτερικούς τοίχους, δάπεδα και οροφές (κυρίως λόγω αστοχιών στην κατασκευή ή λόγω διείσδυσης υγρασίας μέσα στα υλικά). Ειδικά σε περιπτώσεις που αναμένεται αυξημένη ποσότητα υγρασίας στο δομικό στοιχείο λόγω καιρικών συνθηκών, η αύξηση του συντελεστή θερμοπερατότητας του μονωμένου σύμφωνα με τον Κανονισμό Θερμομόνωσης δομικού στοιχείου μπορεί να είναι μέχρι 50%. Μέχρι να υπάρξουν λεπτομερέστερα στοιχεία (π.χ. από αναθεώρηση του Κανονισμού Θερμομόνωσης) η κατά περίπτωση προσαύξηση αποτελεί αντικείμενο εκτίμησης του μηχανικού που συντάσσει τη μελέτη θέρμανσης.

## 3.2 ΘΕΡΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ

Η θερμική προστασία αποτελεί την βασική προϋπόθεση για τη σωστή θερμική συμπεριφορά οποιουδήποτε κτιρίου. Η θερμομόνωση αποτελεί βασική αρχή θερμικής προστασίας, μειώνοντας τις ανταλλαγές θερμότητας μεταξύ του κτιρίου και του περιβάλλοντος. Με τη λήψη μέτρων για θερμομόνωση του κελύφους ενός κτιρίου επιδιώκεται η μείωση του ρυθμού ροής θερμότητας μέσα από τα τοιχώματα που χωρίζουν περιοχές ή χώρους με διαφορετική θερμοκρασία. Η θερμομόνωση συνίσταται από ένα σύνολο στοιχείων (υλικά, διαδικασίες και μέθοδοι κατασκευής) και συνδέεται άμεσα με το κόστος κατασκευής και λειτουργίας του κτιρίου.

Ένα προσεκτικά μονωμένο κτίριο με την απαιτούμενη από τους ισχύοντες κανονισμούς θερμομόνωση, καλύπτει εν γένει τις ανάγκες ενός σωστά σχεδιασμένου από ενεργειακή άποψη κτιρίου, αρκεί να προσεχθεί η μόνωση όλων των δομικών στοιχείων ώρητικότητας να αποφεύγονται οι θερμογέφυρες (αμόνωτα ή περιορισμένης μονωτικής ικανότητας στοιχεία του

κελύφους), οι οποίες μπορεί να δημιουργήσουν «ευαίσθητα» σημεία στην οικοδομή, ακόμα και συμπύκνωση υδρατμών.

Η θερμομόνωση του κτιρίου συνεισφέρει θετικά στη θερμική προστασία του κτιρίου κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, ιδιαίτερα εφ' όσον συνδυάζεται με τον απαιτούμενο αερισμό, ιδιαίτερα το νυχτερινό. Όταν δεν υπάρχει επαρκής αερισμός του κτιρίου, η αυξημένη μόνωση του κελύφους, πέραν της προβλεπόμενης από τους κανονισμούς, επιβαρύνει τη θερμική λειτουργία του το καλοκαίρι, καθώς εμποδίζει την «αποφόρτιση» του κτιρίου από τη συσσωρευμένη θερμότητα. [37]

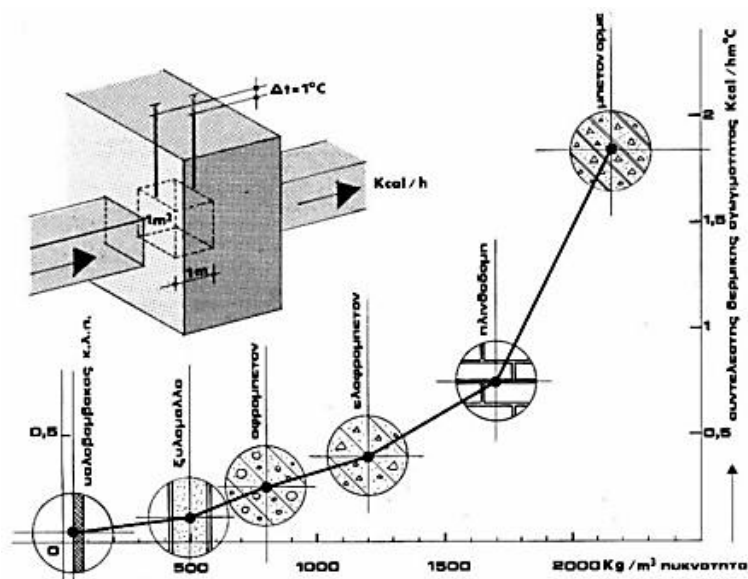
### 3.2.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΚΑΙ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗΣ

Οι βασικές έννοιες που συναντάμε κατά την μελέτη της θερμικής μόνωσης ενός κτιρίου είναι [38].

**Κέλυφος κτιρίου:** “κέλυφος του κτιρίου” σημαίνει το σύνολο των επιφανειών των δομικών στοιχείων που διαχωρίζουν τον θερμαινόμενο χώρο από το εξωτερικό περιβάλλον (αέρα, έδαφος ή νερό) ή από εφαπτόμενα κτίρια ή μη θερμαινόμενους χώρους

**Θερμαινόμενος χώρος:** Θερμαινόμενος χώρος είναι η κλειστή περιοχή για την οποία απαιτείται ενέργεια για επίτευξη και διατήρηση συνθηκών θερμικής άνεσης (θέρμανση, ψύξη).

**Συντελεστής θερμοπερατότητας (U) και Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας (k):** Πρόκειται για τις βασικότερες παραμέτρους σε ότι αφορά την μελέτη της θερμομόνωσης. Πέρα από τα όσα αναφέραμε στην προηγούμενη ενότητα, αξίζει να επισημάνουμε την εξάρτηση του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας από την πυκνότητα του θερμομονωτικού υλικού  $\rho$  [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]. Όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα όσο μικρότερη είναι η πυκνότητα του υλικού, τόσο καλύτερη είναι η μονωτική του ικανότητα, γιαυτόεπιλέγονται συνήθως υλικά πολύ μικρής πυκνότητας (όπως πχ ο υαλοβάμβακας).



Εικόνα 3.7 Εξάρτηση της θερμικής αγωγιμότητας από την πυκνότητα του υλικού

**Θερμική Αντίσταση/ Αντίσταση θερμοδιαφυγής:** Η θερμική αντίσταση και, συνεπώς, η θερμομονωτική ικανότητα του κάθε δομικού στοιχείου εξαρτάται από τη θερμική αγωγιμότητα του υλικού και αυξάνεται με το πάχος του (βλ. παραπάνω). Εν γένει, συνιστάται τα θερμομονωτικά υλικά να τοποθετούνται εξωτερικά ή ενδιάμεσα στις τοιχοποιίες, οροφές και δάπεδα, έτσι ώστε να μην αδρανοποιείται η θερμική μάζα (θερμοχωρητικότητα) του κελύφους. Η τοποθέτησή της όμως εξαρτάται από τεχνικοοικονομικούς παράγοντες, αλλά και από τη των χώρων.

## Μηχανισμοί μετάδοσης θερμότητας που μελετάμε κατά τον σχεδιασμό της θερμομόνωσης:

- **Μετάδοση θερμότητας με αγωγή:** Όπως είδαμε και παραπάνω, αυτή βασίζεται στην ιδιότητα των μορίων των υλικών σωμάτων να προσλαμβάνουν θερμότητα από γειτονικά μόρια υψηλότερης θερμοκρασίας και να μεταδίδουν τη θερμότητά τους σε γειτονικά μόρια χαμηλότερης θερμοκρασίας. Στα στερεά σώματα η μετάδοση της θερμότητας επιτυγχάνεται εύκολα λόγω της πολύ μικρής απόστασης (πρακτικά όταν έρχονται σε επαφή) μεταξύ των μορίων κάθε σώματος. Στα υγρά, την αγωγιμότητα βοηθούν οι ελαστικές κρούσεις των μορίων. Στα μέταλλα, η ροή της θερμότητας με αγωγή οφείλεται κύρια στη διάχυση των ελεύθερων ηλεκτρονίων.
- **Μετάδοση θερμότητας με μεταφορά:** Αυτή βασίζεται στη δυνατότητα μεταβίβασης της θερμότητας σε υγρά ή αέρια σώματα μέσω της μετακίνησης των θερμών μορίων. Στα κτίρια, με τη φυσική κυκλοφορία του αέρα διακινούνται σημαντικά ποσά θερμότητας. Εκτός από τη φυσική κυκλοφορία του αέρα, που οφείλεται σε θερμοκρασιακές μεταβολές μέσα στους χώρους, μετακινήσεις του αέρα προκαλούν και οι άνεμοι, οι κινήσεις των ανθρώπων, τα ανοίγματα θυρών και παραθύρων, η λειτουργία ανεμιστήρων κ.ά.
- **Μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία:** Αυτή συμβαίνει μεταξύ στερεών σωμάτων με διαφορετική θερμοκρασία που διαχωρίζονται από αέρα και μεταδίδεται με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.

**Θερμογέφυρα:** Είναι το τμήμα ενός κατασκευαστικού στοιχείου του οποίου ο βαθμός θερμομόνωσης είναι σημαντικά χαμηλότερος από τη μέση τιμή θερμομόνωσης του συνόλου του στοιχείου. Το πρόβλημα της θερμογέφυρας παρουσιάζεται συνήθως στις απολήξεις των πλακών, τα όρια της εξωτερικής τοιχοποιίας, τις ποδιές ανοιγμάτων, τα ανώφλια κ.ά. Στην περιοχή της θερμογέφυρας, λόγω της αυξημένης ροής της θερμότητας, παρουσιάζονται στις εσωτερικές πλευρές του τοιχώματος χαμηλότερες επιφανειακές θερμοκρασίες, με αποτέλεσμα τη συχνή εμφάνιση τοπικής υγρασίας και μούχλας.

**Γραμμική Θερμογέφυρα ( $\Psi$ ):** Η πρόσθετη απώλεια θερμότητας που αποδίδεται στη σύνδεση εκφράζεται ως γραμμική θερμική μετάδοση, τιμή  $\Psi$  (W/m.K).

**Υγρασία:** Είναι η περιεκτικότητα (κατά βάρος ή στα % μέρη) μιας ουσίας σε νερό. Ειδικά για τον αέρα, υγρασία είναι η περιεκτικότητά του σε νερό με τη μορφή υδρατμών. Αυτή εξαρτάται από τη δυνατότητα λήψης ποσοτήτων νερού (από ελεύθερες επιφάνειες νερού ή από υγρά σώματα στο χώρο εκτεθειμένα σε ρεύματα αέρα, ανθρώπινες εκπνοές και ιδρώτα) από τον αέρα, από τη θερμοκρασία και την πίεση του αέρα, καθώς και από την επιφανειακή θερμοκρασία των τοιχωμάτων ή άλλων αντικειμένων στο χώρο. Με την αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα αυξάνεται η δυνατότητά του να παραλαμβάνει υγρασία, ενώ με τη μείωση της θερμοκρασίας του μπορεί να επέλθει κορεσμός και, στη συνέχεια, να εμφανισθεί υγροποίηση των υδρατμών (εμφάνιση σταγόνων στην επιφάνεια των ψυχρότερων αντικειμένων ή τοιχωμάτων).

**Φράγμα υδρατμών:** Αυτό είναι λεπτό στρώμα υλικού μεγάλης αντίστασης υδατοδιαφυγής (π.χ. φύλλο αλουμινίου, PVC, πισσόχαρτου, γυαλιού, στρώμα πλαστικού χρώματος κ.ά.) που τοποθετείται στη θερμότερη πλευρά των χώρων όπου υπάρχει αυξημένη υγρασία για να εμποδίζει τους υδρατμούς να εισχωρήσουν και να ψυχθούν στο εσωτερικό του δομικού στοιχείου.

Οι βασικές αρχές της θερμομόνωσης, από τις οποίες και εξαρτάται η μελέτη και η σωστή εφαρμογή της, είναι επομένως συνοπτικά:

A) Η θερμομονωτική ικανότητα. Αυτή εξαρτάται από τις θερμοφυσικές ιδιότητες των βασικών συνθετικών της υλικών. Δηλαδή:



- Την θερμική τους αγωγιμότητα ( $k$ )
- Την περιεκτικότητα τους σε υγρασία
- Το πάχος τους

Β) Ο βαθμός διαπερατότητας του αέρα των στοιχείων κατασκευής, ο οποίος εξαρτάται από:

- Το είδος της κατασκευής που διαμορφώνει το περίβλημα ενός χώρου.
- Την επιφάνεια των κουφωμάτων και τον τρόπο συναρμογής τους. Τα μεγάλα ανοίγματα με υαλοπίνακες μεγάλης θερμικής αγωγιμότητας παρουσιάζουν μεγάλες θερμικές απώλειες. Το γεγονός αυτό κάνει τα παράθυρα και τις πόρτες να εμφανίζουν υπερβολικά μεγάλο συντελεστή θερμοπερατότητας ( $U$ ).

Γ) Η θερμοχωρητικότητα ( $C_p$ ) των στοιχείων της κατασκευής, η οποία συμβάλει στον περιορισμό της ταχύτητας μεταβολής της αρχικής κατάστασης της θερμοκρασίας. Όταν οι τοίχοι και οι οροφές έχουν μεγάλη θερμοχωρητική ικανότητα, η θερμότητα που συγκεντρώνουν όσο λειτουργεί το σύστημα θέρμανσης αποβάλλεται με χρονοκαθυστέρηση αφού αυτό σταματήσει, με αποτέλεσμα να εμποδίζεται η ταχεία ψύξη των χώρων. Κάτι αντίστοιχο συμβαίνει και με τον κλιματισμό των χώρων το καλοκαίρι.

Ανάλογα με την θέση της μόνωσης ( στην εσωτερική ή την εξωτερική επιφάνεια) οι τοίχοι και οι οροφές ενεργούν ως:

- Συσσωρευτές θερμότητας, όταν η θερμική μόνωση τοποθετείται στην εξωτερική επιφάνεια. Στην περίπτωση αυτή, συσσωρεύουν επί ένα μεγάλο χρονικό διάστημα τη θερμότητα, για να την αποβάλλουν και πάλι με ακτινοβολία στο περιβάλλον. Με την διαδικασία αυτή αυξάνεται αντίστοιχα και η διάρκεια μεταβολής των συνθηκών θερμοκρασίας στους χώρους όπου επιδιώκουμε να επιτύχουμε θερμική άνεση (βλ. το αντίστοιχο κεφάλαιο)
- Φράγμα προστασίας, όταν η θερμική μόνωση τοποθετείται στην εσωτερική τους επιφάνεια, στις περιπτώσεις που δεν ενδιαφέρει η διάρκεια αποθέρμανσης ή απόψυξης των χώρων αλλά αντίθετα η προστασία των κατασκευών από τη θερμότητα ή την ψύξη που αναπτύσσεται στους χώρους αυτούς.

Δ) Οι τιμές των συντελεστών θερμικής αγωγιμότητας ( $k$ ) και αντίστασης θερμοδιαφυγής ( $R$ ) των διαφόρων υλικών που συγκροτούν μία κατασκευή. Οι τιμές τους είναι τυποποιημένες κατά τα διεθνή πρότυπα.

Ε) Οι απαιτήσεις θερμομόνωσης που επιβάλλει ο «Κανονισμός Θερμομόνωσης» και οι πιο σύγχρονες οδηγίες του Κ.ΕΝ.Α.Κ.

### 3.2.2 ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Η επιλογή του κατάλληλου θερμομονωτικού υλικού αποτελεί μία από τις βασικότερες παραμέτρους κατά την διαδικασία της μελέτης. Τα θερμομονωτικά υλικά οφείλουν την μονωτική τους ιδιότητα κατά κύριο λόγο στην ύπαρξη πόρων (μικρών κυψελίδων εγκλωβισμένου αέρα) στο εσωτερικό τους. Ο ακίνητος αέρας παρουσιάζει την μικρότερη γνωστή τιμή θερμικής αγωγιμότητας. Η παρουσία σημαντικού αριθμού κυψελίδων αέρα στο εσωτερικό ενός υλικού έχει σαν αποτέλεσμα την εμφάνιση μικρού φαινομένου βάρους, το οποίο είναι και το δεύτερο κοινό χαρακτηριστικό των θερμομονωτικών υλικών.

Οι θερμομονωτικές ιδιότητες ενός υλικού επηρεάζονται από την θερμοκρασία και την υγρασία. Ειδικά η υγρασία αποτελεί σημαντικό πρόβλημα αφού εκτοπίζοντας τον αέρα μπορεί να γεμίσει του πόρους του αέρα προκαλώντας προσωρινά ή μόνιμα την καταστροφή της μονωτικής ικανότητας του υλικού. Η αναζήτηση αδιάβροχών μονωτικών υλικών είναι τεχνολογικά δύσκολη και οικονομικά ασύμφορη. Γιαυτό το λόγο συνήθως αναζητάμε υλικά τα οποία εμφανίζουν μικρή τάση απορρόφησης

νερού (υγροσκοπικότητα) ή εφαρμόζουμε κατασκευαστικές τεχνικές προστασίας των μονωτικών υλικών από την υγρασία (υγρομόνωση)

Άλλες ενδιαφέρουσες ιδιότητες των μονωτικών υλικών είναι:

- Η μηχανική τους αντοχή σε θλιπτικά φορτία
- Η σταθερότητα του όγκου τους
- Η ανθεκτικότητά τους στις έντονες θερμοκρασιακές μεταβολές με την υποσημείωση ότι αποφεύγεται η χρήση θερμομονωτικού υλικού για θερμοκρασίες πάνω από 60°C ή κάτω από 0°C χωρίς να εξεταστεί η ειδική συμπεριφορά τους για κάθε περίπτωση. Κατά την χρήση των θερμομονωτικών υλικών
- Η διάρκεια ζωής τους η οποία κατά περίπτωση μπορεί να είναι ανάλογη αυτής των δομικών υλικών.

Τα μονωτικά υλικά χωρίζονται ως:

- Ανόργανα ή οργανικά ανάλογα με την προέλευση και την σύστασή τους.
- Φυσικής προέλευση ή τεχνητά, ανάλογα με τον βαθμό επεξεργασίας που υφίστανται πριν διατεθούν στην κατανάλωση
- Ανοιχτών ή κλειστών κυψλών ή πόρων αέρα
- Μεγάλου ή μικρού φαινόμενου βάρους, δηλαδή διακρίνονται σε βαριά (πχ ελαφρό σκυρόδεμα με φαινόμενο ειδικό βάρος ανάμεσα σε 400 και 800 kg/m<sup>3</sup>) και σε ελαφρά (πχ υαλοβάμβακας φαινόμενο ειδικού βάρους 120 kg/m<sup>3</sup>)

Σήμερα στην αγορά υπάρχει μεγάλη ποικιλία θερμομονωτικών υλικών όπως: Εξηλασμένη πολυστερίνη, Διογκωμένη πολυστερίνη, Υαλοβάμβακας, Πολυουρεθάνη, Αφρώδες Γυαλί, Περλιτοειδή, Πετροβάμβακας, Φελλός, PVC, Κυψελωτό σκυρόδεμα, Θερμομονωτικά τούβλα, Πλάκες περλιτοϋάλου.

### 3.2.3 ΘΕΡΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ ΣΤΟ ΚΤΙΡΙΑΚΟ ΚΕΛΥΦΟΣ

Η πλήρης θερμική μόνωση ενός κτιρίου απαιτεί πρώτα και κύρια παρεμβάσεις σε όλες τις εξωτερικές επιφάνειές του, κατακόρυφες και οριζόντιες, που περικλείουν κλιματιζόμενους χώρους από τους οποίους είναι δυνατό να διαφύγει θερμική ενέργεια (επιφάνειες που έρχονται σε επαφή με ατμοσφαιρικό αέρα ή μη κλιματιζόμενους χώρους). Εκτός από τα αδιαφανή σημεία του κελύφους (τοιίχους, οροφές, δάπεδα) θα πρέπει να εξασφαλίζεται η θερμική προστασία των ανοιγμάτων, με τη χρήση διπλών (ή τριπλών για πολύ ψυχρές περιοχές, γενικά δεν συνιστώνται για τις Ελληνικές κλιματικές συνθήκες), είτε απλών είτε βελτιωμένων υαλοπινάκων, θερμομονωτικών κουφωμάτων και, σε πολλές περιπτώσεις, με τη χρήση κινητής νυκτερινής μόνωσης (π.χ. θερμομονωτικά ρολά ή παντζούρια, θερμοκουρτίνες, κ.α).

Ως εκ τούτου, τα πιο βασικά μέρη ενός κτιρίου τα οποία πρέπει να θερμομονώνονται είναι: Η εξωτερική τοιχοποιία, οι δοκοί και τα υποστυλώματα, Τα κουφώματα, Οι οροφές/στέγες, Τα εκτειθέμενα στο εξωτερικό περιβάλλον δάπεδα.

Οι περισσότερες παρεμβάσεις ανακαίνισης ήδη υφιστάμενων κτιρίων, αφορούν την θερμομόνωση της εξωτερικής τοιχοποιίας, των δοκών και των υποστυλωμάτων. Οι βασικοί τρόποι θερμομόνωσης της εξωτερικής τοιχοποιίας, δοκών και υποστυλωμάτων είναι οι ακόλουθοι:



#### A) Θερμομόνωση εξωτερικής τοιχοποιίας:

- Θερμομόνωση στην εσωτερική επιφάνεια
- Θερμομόνωση στην εξωτερική επιφάνεια
- Θερμομόνωση στον πυρήνα
- Χρήση θερμομονωτικών τούβλων

Στις περιπτώσεις θερμομόνωσης τοίχου, σε όποια θέση και να τοποθετηθεί η θερμομόνωση θα πρέπει:

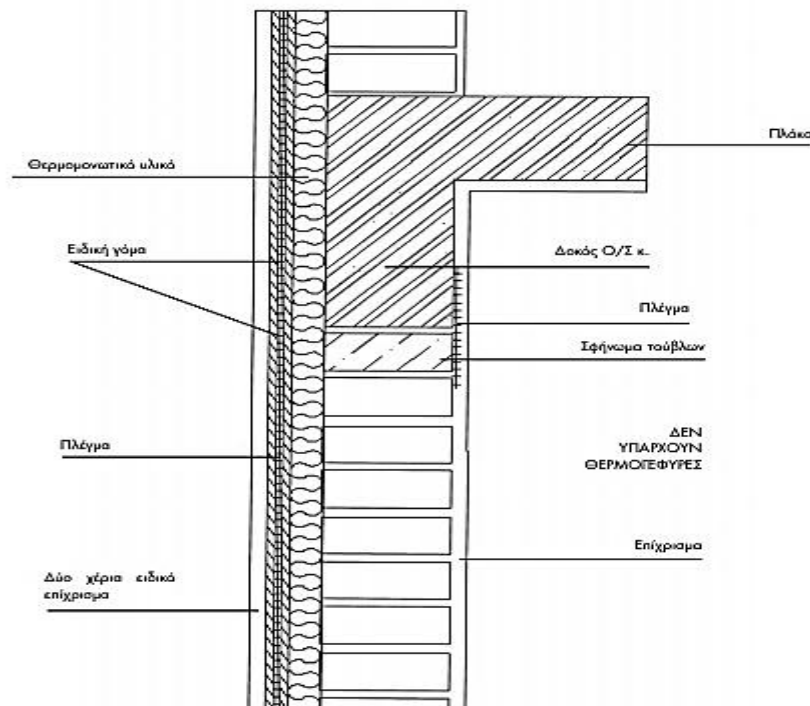
- Να παρέχει επαρκή θερμική αντίσταση ώστε να πληρούνται οι ελάχιστες απαιτήσεις θερμομόνωσης.
- Να παρέχει ένα συνεχές θερμομονωτικό στρώμα χωρίς θερμογέφυρες.
- Να αντιστέκεται στη διείδυση νερού.

#### B) Θερμομόνωση Δοκών - Υποστυλωμάτων:

- Θερμομόνωση στην εσωτερική παρειά
- Θερμομόνωση στην εξωτερική παρειά

#### Γ) Ενίσχυση Θερμομόνωσης με την χρήση θερμοσοβά.

Όπως αναλύεται και παρακάτω, η πλέον συμφέρουσα μέθοδος και μάλιστα η συμβατότερη με την περίπτωση ανακαίνισης που μελετάμε, είναι αυτή της θερμομόνωσης της εξωτερικής τοιχοποιίας στην εξωτερική της επιφάνεια (βλ. εικόνα 3.8). Πρόκειται για την πλέον διαδεδομένη τεχνική λύση για κτίρια στα οποία δεν μας ενδιαφέρει η άμεση απόδοση του συστήματος θέρμανσης/ ψύξης, ενώ μας ενδιαφέρει η απόδοση θερμότητας από τα δομικά στοιχεία και μετά τη διακοπή του κλιματισμού, δηλαδή σε κατοικίες μόνιμης διαμονής, νοσοκομεία κ.λπ. Επισημαίνεται δε ότι η χρήση της μεθόδου αυτής σε υφιστάμενα μη θερμομονωμένα κτίρια( όπως αυτό που μελετάμε) πρέπει να γίνεται με προσοχή, λόγω δυσκολίας κατασκευής, υψηλού κόστους και αύξησης περιμέτρου του κτιρίου που μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα συντελεστή δόμησης.<sup>[38]</sup>



Εικόνα 3.8 Θερμομόνωση της εξωτερικής τοιχοποιίας[38]

Ανάμεσα στα πλεονεκτήματα της μεθόδου αναφέρονται τα παρακάτω:

- Διατήρηση της θερμότητας στο χώρο και μετά τη διακοπή της θέρμανσης λόγω της θερμοχωρητικότητας των δομικών στοιχείων.
- Μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας λόγω μικρότερης χρονικά χρήσης του συστήματος θέρμανσης/ψύξης εξαιτίας της αποθήκευσης ενέργειας στα νότια κυρίως δομικά στοιχεία από τον ήλιο εφόσον εξασφαλίζεται η απαιτούμενη θερμοχωρητικότητα με την κατασκευή τοιχοποιίας, δοκών και υποστυλωμάτων επαρκούς πάχους.
- Προστασία εξωτερικών επιφανειών τοίχων από συστολές και διαστολές λόγω εξωτερικών θερμοκρασιακών μεταβολών.
- Ελαχιστοποίηση έως μηδενισμός των θερμογεφυρών.
- Σε περίπτωση που εφαρμοστεί σε υφιστάμενα κτίρια αφενός μεν δεν εμποδίζει τη λειτουργία του εσωτερικού χώρου κατά την κατασκευή και αφετέρου δεν μειώνει το ωφέλιμο εμβαδόν του.
- Προστασία από καιρικές συνθήκες

Ενώ στα μειονεκτήματά της συγκαταλέγονται το αυξημένο κόστος κατασκευής, η δυσκολία στην κατασκευή (ορθή επιλογή υλικών, ορθή τοποθέτηση) για αποφυγή δημιουργίας ρωγμών στην όψη και η αδυναμία εφαρμογής σε κτίρια με έντονες εξωτερικές μορφολογικές όψεις.

### 3.2.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΚΕΛΥΦΟΥΣ

Ο υπολογισμός των συντελεστών θερμοπερατότητας του κελύφους του κτιρίου δύναται να διενεργηθεί είτε με τη χρήση σχετικού υπολογιστικού εργαλείου (όπως είναι και το EnergyPlus ή τα υπολογιστικά πακέτα που προσφέρει το TEE) είτε ακολουθώντας τις σχετικές οδηγίες που δίνονται από τους κανονισμούς (πχ την τεχνική οδηγία του TEE). Σε περιπτώσεις κτιρίων που απαιτείται η έκδοση Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης (ΠΕΑ) οι υπολογισμοί των συντελεστών θερμοπερατότητας αποτελούν μέρος των υπολογισμών ενεργειακής απόδοσης κτιρίου.

Ο υπολογισμός του συντελεστή θερμοπερατότητας για τα αδιαφανή δομικά στοιχεία του κτιρίου γίνεται για κάθε ένα δομικό στοιχείο ξεχωριστά (τοίχοι, πατώματα, οροφές και στέγες).

Για τα αδιαφανή δομικά στοιχεία του κτιρίου που αποτελούνται από ομοιογενείς στρώσεις υλικών και διαχωρίζουν το εσωτερικό από το εξωτερικό περιβάλλον, ο υπολογισμός του συντελεστή θερμοπερατότητας  $U_i$  [W/m<sup>2</sup>K] δίνεται από τη σχέση:

$$U_i = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{d_i}{k_i} + R_{se}} \quad 3.7$$

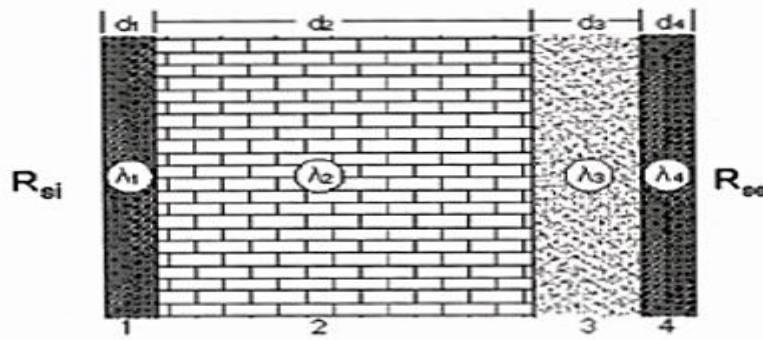
Όπου:

$R_{si}$ : η εσωτερική επιφανειακή αντίσταση (ανάμεσα στο εσωτερικό περιβάλλον και στην εσωτερική επίπεδη επιφάνεια του στοιχείου) [m<sup>2</sup> K / W]

$R_{se}$ : η εξωτερική επιφανειακή αντίσταση (ανάμεσα στο εξωτερικό περιβάλλον και στην εξωτερική επίπεδη επιφάνεια του στοιχείου) [m<sup>2</sup> K / W]

$d_i$  : πάχος υλικού [m]

$k_i$  : θερμική αγωγιμότητα υλικού



Εικόνα 3.9 Υπολογισμός ισοδύναμης θερμικής αντίστασης σε τοιχοποιία πολλαπλών στρώσεων[38]

Για τον υπολογισμό του συντελεστή θερμοπερατότητας  $U$  ενός δομικού στοιχείου, τα υλικά που λαμβάνονται υπόψη είναι μόνο αυτά που συμβάλλουν ουσιαστικά στη διαμόρφωση της θερμικής αντίστασης του δομικού στοιχείου. Υλικά με αμελητέα θερμική αντίσταση όπως π.χ. μπογιές, γόμες κ.λπ. μπορούν να αγνοηθούν κατά τον υπολογισμό της τελικής θερμικής αντίστασης του στοιχείου. Οι επιφανειακές αντιστάσεις  $R_{si}$  και  $R_{se}$  επιλέγονται από κατάλληλους πίνακες.

Γνωρίζοντας τις τιμές των  $U_i$  και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κελύφους, μπορούμε να υπολογίσουμε τον μέσο συντελεστή θερμοπερατότητας  $U_m$  ως:

$$U_m = \frac{\left( \sum_{i=1}^n U_i \cdot F_i \right)}{F_{total}} \quad 3.8$$

Όπου οι μεταβλητή  $F$  αναφέρεται στην επιφάνεια συναλλαγής του δομικού στοιχείου ( $i$ ) το οποίο έχει θερμοπερατότητα  $U_i$ .

Η μέγιστη τιμή του παραπάνω συντελεστή καθορίζεται κάθε φορά σε σχέση με την κλιματική ζώνη και τη μορφή του προς μελέτη κτιρίου, η οποία εκφράζεται από τον λόγο  $F/V$  όπου  $F$  η συνολική επιφάνεια περιβλήματος και  $V$  ο όγκος του κτιρίου.

Συγκεκριμένα στη μελέτη ενεργειακής απόδοσης, ο συντελεστής θερμοπερατότητας,  $U$ , υπολογίζεται για κάθε δομικό στοιχείο που αναφέρθηκε παραπάνω, με τον τρόπο που αναλύεται στην αναθεωρημένη τεχνική οδηγία «Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας των κτιρίων».

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας  $U_i$  (σε  $W/(m^2K)$ ) των δομικών στοιχείων στα νέα κτίρια δεν πρέπει να υπερβαίνει τις τιμές του πίνακα 3.1., όπως ορίζονται στο άρθρο 8 του Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων - Κ.Εν.Α.Κ. Επίσης, κατά τη μελέτη ανακαίνισης ενός κτιρίου θα πρέπει να υπολογίζεται και ο μέγιστος επιτρεπόμενος μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας  $U_m$  του κτιρίου, με τον τρόπο που αναλύεται στην ίδια τεχνική οδηγία. Ο μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας  $U_m$  του κτιρίου στα ανακαινιζόμενα κτίρια δεν πρέπει να υπερβαίνει τις τιμές του πίνακα 3.2., όπως ορίζονται στο άρθρο 8 του Κ.Εν.Α.Κ. Αυτές οι απαιτήσεις ισχύουν για κάθε κτίριο, αδιαφόρως της χρήσης του.

Πίνακας 3.1 Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας των επί μέρους δομικών στοιχείων ανά κλιματική ζώνη σε περίπτωση ριζικής ανακαίνισης υφιστάμενου κτιρίου. [με βάση το άρθρο 8 του Κ.ΕΝ.Α.Κ] [29]

Δομικό στοιχείο	Μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας U [W/(m <sup>2</sup> ·K)]			
	Ζώνη Α'	Ζώνη Β'	Ζώνη Γ'	Ζώνη Δ'
Εξωτερική οριζόντια ή κεκλιμένη επιφάνεια σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (οροφή)	0,50	0,45	0,40	0,35
Εξωτερικός τοίχος σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	0,60	0,50	0,45	0,40
Δάπεδο σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (πιλοτή)	0,50	0,45	0,40	0,35
Οριζόντια ή κεκλιμένη οροφή σε επαφή με κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο	1,20	0,90	0,75	0,70
Τοίχος σε επαφή με κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο	1,50	1,00	0,80	0,70
Δάπεδο σε επαφή με κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο	1,20	0,90	0,75	0,70
Οριζόντια ή κεκλιμένη οροφή σε επαφή με το έδαφος	1,20	0,90	0,75	0,70
Τοίχος σε επαφή με το έδαφος	1,50	1,00	0,80	0,70
Δάπεδο σε επαφή με το έδαφος	1,20	0,90	0,75	0,70
Κούφωμα ανοίγματος σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	3,20	3,00	2,80	2,60
Γυάλινη πρόσοψη κτιρίου μη ανοιγόμενη ή μερικώς	2,20	2,00	1,80	1,80

Πίνακας 3.2 Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας ενός κτιρίου ανά κλιματική ζώνη συναρτήσει του λόγου της περιβάλλουσας επιφάνειας του κτιρίου προς τον όγκο του σε περίπτωση ριζικής ανακαίνισης υφιστάμενου κτιρίου. [άρθρο 8 Κ.ΕΝ.Α.Κ] [29]

Λόγος F/V [m <sup>-1</sup> ]	Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας U <sub>m</sub> [W/(m <sup>2</sup> ·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

### 3.3 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΜΕΣΩ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΩΝ

#### 3.3.1 ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΟΝ ΚΤΙΡΙΑΚΟ ΤΟΜΕΑ-ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΜΕΣΟΥ ΗΛΙΑΚΟΥ ΚΕΡΔΟΥΣ

Η βέλτιστη αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας, αποτελεί για τον κτιριακό τομέα έναν από τους βασικούς παράγοντες εξοικονόμησης ενέργειας. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα στη χρήση της ηλιακής ενέργειας είναι η περιοδικότητά της, χαρακτηριστικό στοιχείο όλων σχεδόν των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Τα τεχνολογικά συστήματα που έχουν αναπτυχθεί για την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, για τη θέρμανση και την ψύξη των κτιρίων, διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

- τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα αποθήκευσης ενέργειας είναι συστήματα τα οποία απαιτούν την χρήση μηχανικών μέσων (αντλίες, εναλλάκτες κ.α) και προϋποθέτουν σύνθετους μηχανισμούς συλλογής, μεταφοράς και αποθήκευσης της προερχόμενης από την ηλιακή ακτινοβολία θερμικής ενέργειας. Ανάλογα με το κύκλωμα κυκλοφορίας του θερμενόμενου μέσου χωρίζονται σε δύο υποκατηγορίες : ανοιχτού και κλειστού κυκλώματος.
- τα παθητικά ηλιακά συστήματα είναι συστήματα τα οποία αξιοποιούνται για τους ίδιους σκοπούς χωρίς την διαμεσολάβηση μηχανικών μέσων. Με την σειρά τους χωρίζονται σε άμεσου, έμμεσου και απομονωμένου κέρδους ανάλογα με την διάταξη και τον μηχανισμό που διέπει την λειτουργία τους.

Στην παρούσα εργασία και ειδικότερα στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα ασχοληθούμε με τα παθητικά συστήματα άμεσου ηλιακού κέρδους.

Τα συστήματα άμεσου κέρδους είναι το πιο απλό και συνηθέστερο παθητικό ηλιακό σύστημα και βασίζεται στην εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας για τη θέρμανση των κτιρίων. Όλα τα κτίρια δέχονται την ηλιακή ακτινοβολία, η οποία είτε διερχόμενη μέσα από τα ανοίγματα (πόρτες, παράθυρα, φεγγίτες κ.α) στους εσωτερικούς χώρους είτε με την άμεση πρόσπτωση της στο κτιριακό κέλυφος συμμετέχει στο θερμικό τους ισοζύγιο. Στην περίπτωση αυτή το κτίριο λειτουργεί σαν συλλέκτης, αποθήκη και διανομέας της θερμότητας. Τα παράθυρα συμμετέχουν ούτως ή άλλως στο θερμικό ισοζύγιο του κτιρίου ανεξάρτητα αν ο σχεδιασμός είναι συμβατικός ή ενεργειακός. Στο παθητικό σύστημα του άμεσου κέρδους η διαφορά από ένα συμβατικό σύστημα, εντοπίζεται στη θερμική απόδοση των παραθύρων, των υλικών του και το μέγεθος των δομικών του στοιχείων. Για να είναι αποτελεσματική η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας θα πρέπει να συντρέχουν οι παρακάτω προϋποθέσεις<sup>[40]</sup> :

- Ο προσανατολισμός των ανοιγμάτων του κτιρίου να είναι τέτοιος ώστε να μεγιστοποιείται το χρονικό διάστημα κατά το οποίο «βλέπουν» απ' ευθείας τον ήλιο κατά τους χειμερινούς μήνες. Για τον σκοπό αυτό συνίσταται ο νότιος προσανατολισμός αφού τα νότια ανοίγματα δέχονται την περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία το χειμώνα και, με το κατάλληλο οριζόντιο σκίαστρο, την ελάχιστη το καλοκαίρι. Ανατολικά και δυτικά ανοίγματα έχουν τη χειρότερη συμπεριφορά όλο το χρόνο, γι' αυτό συνιστώνται μόνο όπου είναι απαραίτητα για λόγους φωτισμού ή θέας. Ιδιαίτερα τα δυτικά ανοίγματα είναι πολύ δυσμενή το καλοκαίρι, καθώς δέχονται άμεσα ήλιο μετά το μεσημέρι. Γενικά στα ανατολικά και δυτικά ανοίγματα πρέπει να προβλέπεται σκίαση κατά προτίμηση εξωτερική και κατακόρυφου τύπου.
- Πρέπει να υπάρχει επαρκής θερμική μόνωση ώστε να μην «χανεται» θερμότητα από τις εξωτερικές επιφάνειες και το κέλυφος του κτιρίου.
- Να υπάρχουν στο εσωτερικό τους κτιρίου υλικά με μεγάλη θερμική μάζα που να αποθηκεύουν μέρος της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας για μεγάλο διάστημα.

- Η διαρρύθμιση του κτιρίου να είναι τέτοια που να επιτρέπει την θέρμανση των χώρων που την απαιτούν και την σκίαση των υπολοίπων. Κατά την επιλογή του κατάλληλου συστήματος σκίασης θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν τόσο η θερμική όσο και η οπτική του απόδοση όλο τον χρόνο (να παρέχουν καλή ηλιοπροστασία το καλοκαίρι χωρίς να περιορίζουν τα ηλιακά κέρδη τον χειμώνα) . Μία άλλη ιδιαίτερα αποτελεσματική μέθοδος ηλιοπροστασίας ενός κτιρίου και των ανοιγμάτων του είναι και η χρήση της βλαστησης (με κατάλληλα φυτεμένα φυλλοβόλα ή αειθαλή δέντρα) και του περιβάλλοντος χώρου (πέργκολες, μπαλκόνια κλπ).

Ο σημαντικότερος παράγοντας από τους παραπάνω είναι η επιλογή του κατάλληλου προσανατολισμού. Παρ' όλα αυτά η επιλογή αυτή κρίνεται δυσχερής εως και αδύνατη στα πλαίσια του αστικού σχεδιασμού και ιδιαίτερα στις πυκνοκατοικημένες περιοχές. Υπάρχουν όμως αρκετές άλλες λύσεις για την βελτίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς κτιρίων με δυσμενή προσανατολισμό και περιορισμένη πρόσβαση στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία. Άλλωστε καθήκον του ενεργειακού σχεδιασμού δεν είναι να αξιοποιήσει την ηλιακή ακτινοβολία ως ΑΠΕ για την πλήρη κάλυψη των εξεργειακών αναγκών ενός κτιρίου, αλλά να παρέχει τις βέλτιστες συνθήκες με τον οικονομικότερο τρόπο για την κάθε δοθείσα περίπτωση.

Τα παράθυρα ενός κτιρίου είναι ένας ακόμα βασικός παράγοντας στην διαμόρφωση της ενεργειακής του κατανάλωσης για την θέρμανση και την ψύξη και συνδέεται τόσο με τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό του όσο και με την βελτιστοποίηση της διαχείρισης της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Σύμφωνα με την ASHRAE η διάταξη των παραθύρων (fenestration) είναι «ένας αρχιτεκτονικός όρος ο οποίος αναφέρεται στην διάταξη, την κατανομή και την σχεδίαση των υαλοπινάκων, των θυρών και άλλων ανοιγμάτων σε ένα κτίριο». Τα ανοίγματα ενός χώρου λειτουργούν τόσο ως φυσικό όριο και μέσω οπτικής επαφής με τους εξωτερικούς χώρους ενός κτιρίου, όσο και ως μέσο υποδοχής της ηλιακής ακτινοβολίας για τον φωτισμό και την θέρμανση του χώρου. Τα ανοίγματα αυτά μπορούν να είναι σταθερά ή να επιτρέπουν την δυνατότητα χειρισμού για τον φυσικό εξαερισμό του χώρου. Η επίδρασή τους στο ενεργειακό ισοζύγιο ενός κτιρίου διακρίνεται με βάση τους εξής μηχανισμούς: μεταφορά θερμότητας μέσω αγωγής και συναγωγής στις επιφάνειες των υαλοπινάκων και των κουφωμάτων, έμμεση/άμεση απόδοση ηλιακού κέρδους μέσω ακτινοβολίας, φυσικός δροσισμός/αερισμός/απαγωγή αέρα, φυσικός φωτισμός.

Η χρήση εξωτερικών ανοιγμάτων/θυρών/παραθύρων μπορεί δυνητικά να βελτιώσει την ενεργειακή απόδοση ενός κτιρίου εάν:

- Χρησιμοποιηθούν κατάλληλα κατασκευασμένα, ενεργειακά αποδοτικά παράθυρα με καλές θερμομονωτικές ιδιότητες και αεροστεγάνωση στους υαλοπίνακες και τα κουφώματα, για τον περιορισμό των φαινομένων μεταφοράς (μάζας και θερμότητας).
- Χρησιμοποιηθεί το κατάλληλο σύστημα σκίασης για την ρύθμιση των ηλιακών κερδών μέσω της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας.
- Ενσωματωθούν σε ένα ενεργειακά αποδοτικό σύστημα φυσικού δροσισμού/αερισμού.
- Αξιοποιηθεί κατάλληλα η δυνατότητα φυσικού φωτισμού για την μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας.

Σημαντική είναι επίσης και η ορθή επιλογή των διαστάσεων των παραθύρων και συγκεκριμένα της αναλογίας ύψους/πλάτους. Όσο οι αναλογίες αυτές γίνονται κατακόρυφες, τόσο περιορίζεται η θέα αλλά αυξάνεται η διεισδυτικότητα της ηλιακής ακτινοβολίας. Για οριζόντια διάταξη αντιθέτως έχουμε περιορισμό της διεισδυτικότητας αλλά επιτυγχάνουμε καλύτερη ομοιομορφία του φωτισμού. Όσον αφορά την θέση και το εμβαδόν τους, είναι φανερό ότι επηρεάζουν άμεσα τόσο τον ηλιασμό όσο και την ενεργειακή απόδοση του κτιρίου συνολικά. Ένα χαρακτηριστικό μέγεθος για την ποσοτικοποίηση της επιρροής αυτής είναι ο λόγος του εμβαδού των υαλοπινάκων προς το εμβαδόν των εξωτερικών τοίχων (Window to Wall Ratio- WWR). Τιμές του δείκτη WWR μέχρι 40% έχει φανεί από την εμπειρία ότι αρκούν για την επαρκή θερμομόνωση του κτιρίου, πάντοτε με βάση τον μέσο συντελεστή

θερμοπερατότητας του κτιρίου. Φυσικά η χρήση υαλοπινάκων με μεγαλύτερες τιμές θερμικής αντίστασης επιτρέπουν την αύξηση του ορίου αυτού μέχρι και τιμές κοντά στο 100%(πχ μεγάλα εμπορικά κτίρια).

Βλέπουμε επομένως ότι η κατασκευή των υαλοπινάκων αλλά και τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι εξίσου καθοριστικοί παράγοντες και θα αναλυθούν παρακάτω. Χαρακτηριστικά αναφέρουμε σε αυτό το σημείο ότι στην Ελλάδα, από την ισχύ του Κανονισμού Θερμομόνωσης του 1979 είναι υποχρεωτική η χρήση διπλών υαλοπινάκων σε νέα κτίρια, έτσι ώστε να πληρούνται οι απαιτήσεις του Κανονισμού. Για τα παλαιά κτίρια, κτισμένα εν γένει πριν το 1979, η αντικατάσταση των μονών υαλοπινάκων με διπλούς, με πιθανή αντικατάσταση και των κουφωμάτων, αποτελεί μια σημαντική τεχνική εξοικονόμηση ενέργειας. Εκτός από την εξοικονόμηση ενέργειας που επιφέρουν τα παράθυρα με διπλά τζάμια λόγω μειωμένων θερμικών ανταλλαγών με το περιβάλλον, παρουσιάζουν και μια σειρά από πλεονεκτήματα, όπως: μείωση της ακτινοβολίας από ή προς τον εσωτερικό χώρο καθώς παρουσιάζουν επιφανειακή θερμοκρασία πλησιέστερη σε αυτή των άλλων επιφανειών του χώρου και περιορίζουν τα ρεύματα του αέρα κοντά στο παράθυρο με αποτέλεσμα να προσφέρουν βελτιωμένες συνθήκες θερμικής άνεσης, αποτροπή της συμπύκνωσης υδρατμών το χειμώνα στην επιφάνειά τους, αλλά και μείωση του θορύβου.

### 3.3.2 ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΘΕΩΡΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΜΕΣΩ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΩΝ

Ένα ολοκληρωμένο σύστημα παραθύρου αποτελείται από τα εξής μέρη: τον υαλοπίνακα (κατασκευή από γυαλί ή πλαστικό), το πλαίσιο-κούφωμα, την μόνωση, τα διαχωριστικά, το σύστημα σκίασης. Η ροή θερμότητας δια μέσου ενός παραθύρου συναρτάται από <sup>[39]</sup>:

- Την μεταφορά θερμότητας λόγω θερμοκρασιακής διαφοράς: Όταν υπάρχει διαφορά στην θερμοκρασία μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος, τότε μεταφέρεται θερμότητα μέσω πλαισίου και υαλοπίνακα δια αγωγής, συναγωγής και ακτινοβολίας. Αυτό εκφράζεται μέσα από τον ισοδύναμο συντελεστή θερμικής διαπερατότητας  $U$  (της συναρμογής υαλοπίνακα-πλαισίου).
- Το ηλιακό κέρδος: Ανεξάρτητα από την εξωτερική θερμοκρασία έχουμε μεταφορά θερμότητας μέσω της άμεσης ή έμμεσης ηλιακής ακτινοβολίας. Το ποσό του ηλιακού κέρδους μετράται μέσω του συντελεστή ηλιακού θερμικού κέρδους SHGC (Solar Heat Gain Coefficient) του υαλοπίνακα.
- Την διείσδυση του αέρα (Infiltration): Έχουμε απώλειες και κέρδη από την ροή μάζας μέσω των χαραμάδων και των ατελειών στου πλαισίου. Το φαινόμενο αυτό ποσοτικοποιείται στην μετρούμενη ποσότητα αέρα και τις εναλλαγές στην μονάδα του χρόνου κάτω από τις δοσμένες συνθήκες πίεσης, θερμοκρασίας, υγρασίας και ταχύτητας του ανέμου.

#### **Ροή θερμότητας μέσω παραθύρου (q)**

Με βάση τις οδηγίες της ASHRAE <sup>[39]</sup> προτείνεται η παρακάτω σχέση για τον υπολογισμό της θερμορροής μέσω παραθύρου (με την παραδοχή μηδενικής διαφοράς υγρασίας ανάντι και κατάντι του υαλοπίνακα και ελάχιστης διείσδυσης αέρα):

$$q = U_t \cdot A_{pf} (t_{out} - t_{in}) + (SHGC_t \cdot A_{pf} \cdot I_t) \quad 3.9$$

Όπου:

- $q$ : η θερμορροή [W]
- $U_t$ : ο ολικός συντελεστής θερμοπερατότητας [ $W/m^2K$ ]
- $T_{in}$ : η εσωτερική θερμοκρασία [K]



- Tout: η εξωτερική θερμοκρασία
- Arf: η προβαλλόμενη επιφάνεια του υαλοπίνακα [ $m^2$ ]
- SHGC<sub>i</sub>: ο ολικός συντελεστής θερμικού κέρδους [αδιάστατος]
- It: η ολική προσπίπτουσα ακτινοβολία [ $W/m^2$ ]

### Ολική προσπίπτουσα ακτινοβολία σε υαλοπίνακα (It)

Η ολική ηλιακή ακτινοβολία, It, η οποία προσπίπτει σε έναν υαλοπίνακα αποτελεί το άθροισμα της διερχόμενης ακτινοβολίας (ίσης με  $\tau \cdot I_t$ ), της ανακλώμενης ακτινοβολίας (ίσης με  $\rho \cdot I_t$ ) και της απορροφούμενης ακτινοβολίας (ίσης με  $\alpha \cdot I_t$ ) δηλαδή είναι ίση με :

$$I_t = a \cdot I_t + \rho \cdot I_t + \tau \cdot I_t \quad 3.10$$

και θα ισχύει ότι

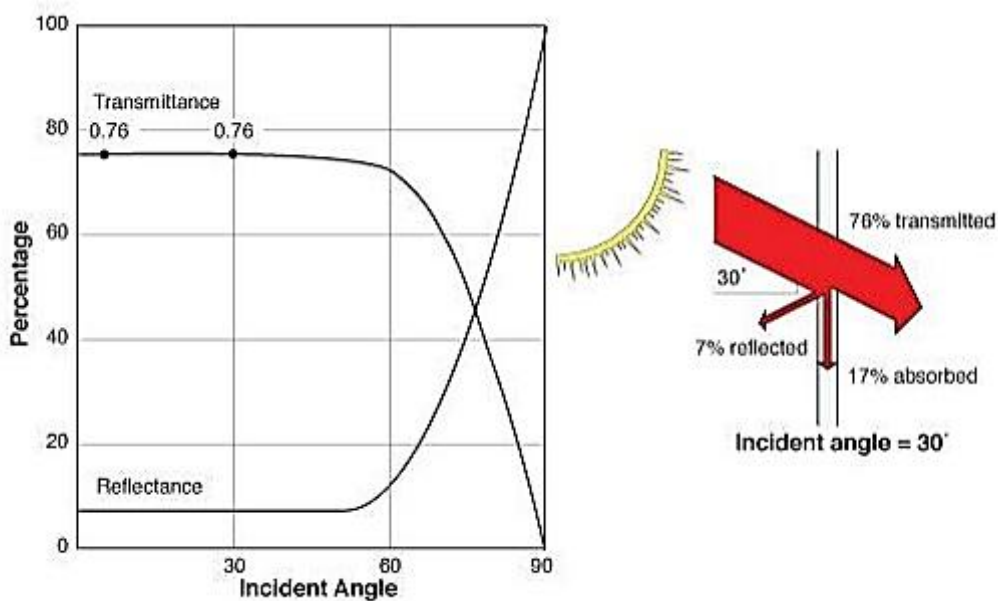
$$\alpha + \tau + \rho = 1 \quad 3.11$$

Όπου:

- $\tau$  είναι η διαπερατότητα (transmittance) του υαλοπίνακα και αναφέρεται στο ποσοστό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας που διέρχεται από τον υαλοπίνακα
- $\rho$  είναι η ανακλαστικότητα (reflectance) του υαλοπίνακα και αναφέρεται στο ποσοστό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας που ανακλάται από τον υαλοπίνακα
- $\alpha$  είναι η απορροφητικότητα (absorbance) του υαλοπίνακα και αναφέρεται στο ποσοστό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας που απορροφάται από τον υαλοπίνακα

Οι τιμές των παραπάνω ιδιοτήτων (ως ποσοστά) εξαρτώνται από:

- Το πάχος και τις φυσικές ιδιότητες του υλικού του υαλοπίνακα
- Το είδος της επιφανειακής επίστρωσης που ενδέχεται να υπάρχει
- Την γωνία πρόσπτωσης της ακτινοβολίας
- Το μήκος κύματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας



Εικόνα 3.10 Ποσοστό διερχόμενης και ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας από διαφανές γυαλί(πάχους 6mm) συναρτήσει της γωνίας πρόσπτωσης (σχηματικό παράδειγμα για γωνία 30ο) [41]

### **Ο συντελεστής ηλιακού θερμικού κέρδους SHGC (Solar Heat Gain Coefficient)**

Εκφράζει το ποσοστό της προσπίπτουσας ολικής ηλιακής ακτινοβολίας σε έναν υαλοπίνακα το οποίο γίνεται ηλιακό θερμικό κέρδος για τον χώρο. Ισούται με το άθροισμα της οπτικής διαπερατότητας τ (άμεσο κέρδος) και του ποσοστού της ενέργειας που απορροφάται από τον υαλοπίνακα και επανεκπέμπεται στον εσωτερικό χώρο (έμμεσο κέρδος). Παίρνει τιμές από 0 μέχρι 1 και εξαρτάται από τον τύπο του υαλοπίνακα, από την γωνία πρόσπτωσης και από την φασματική κατανομή της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Για λόγους απλοποίησης συνήθως λαμβάνεται μία φασματικά σταθμισμένη τιμή του συντελεστή για προσπίπτουσα ακτινοβολή κάθετη στην επιφάνεια του υαλοπίνακα. Χαμηλή τιμή του SHGC συνίσταται όταν υπάρχουν μεγάλα ψυκτικά φορτία ενώ υψηλή για τις περιπτώσεις που έχουμε παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης.

### **Ο συντελεστής θερμοπερατότητας (U<sub>t</sub> (t-total) ή U<sub>g</sub> (g-glazing))**

Ορίζεται με ανάλογο τρόπο με τον συντελεστή θερμοδιαπερατότητας όπως τον αναφέραμε παραπάνω και υπολογίζεται από την σχέση:

$$U_g = \frac{1}{R_{tg}} \quad 3.12$$

- Όπου  $R_{tg}$  η συνολική θερμική αντίσταση του υαλοπίνακα που δίνεται από την σχέση:

$$R_{tg} = R_i + \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{k_j} + \sum_{j=1}^{n-1} R(\delta_j) + R_a \quad 3.13$$

Όπου:

- $n$ : το πλήθος των φύλλων του υαλοπίνακα ( 1 για μονό, 2 για διπλό κ.ο.κ)
- $d_j$ : το πάχος τους κάθε φύλλου του υαλοπίνακα [m]
- $k_j$ : ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του υλικού του κάθε φύλλου [W/mK]
- $R_i$ : η αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στην μετάδοση θερμότητας από τον εσωτερικό χώρο προς το δομικό στοιχείο. Στον όρο αυτόν περιλαμβάνεται και η επίδραση των διαφόρων επιστρώσεων όπως πχ η επίστρωση low-e. [ $m^2K/W$ ]
- $R_a$ : η αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στη μετάδοση της θερμότητας από το δομικό στοιχείο προς το εξωτερικό περιβάλλον. [ $m^2K/W$ ]
- $R(\delta_j)$ : Η θερμική αντίσταση του εγκλωβισμένου στρώματος αέρα ή αερίου στο διάκενο ανάμεσα στα φύλλα του υαλοπίνακα [ $m^2K/W$ ]

### 3.3.3 ΕΙΔΗ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΩΝ

Η επιλογή του είδους υαλοπίνακα καθώς επίσης και των κουφωμάτων προσεγκατάσταση επηρεάζει άμεσα την ενεργειακή απόδοση του κτιρίου και εν τέλει την εξοικονόμηση ενέργειας σε αυτό. Οι βασικές παράμετροι οι οποίες καθορίζουν την επιλογή και σχετίζονται τόσο με τα τεχνικά του χαρακτηριστικά όσο και με το περιβάλλον εγκατάστασης είναι <sup>[40]</sup>:

- Τα επιδιωκόμενα ηλικά κέρδη
- Οι υπολογιζόμενες θερμικές απώλειες
- Τα χαρακτηριστικά του φυσικού φωτισμού
- Οι απαιτήσεις για ηχομόνωση
- Το κόστος αγοράς και η οικονομική του απόδοση σε βάθος χρόνου
- Η ευκολία συντήρησης και η αντοχή του
- Τα αισθητικά του χαρακτηριστικά

Τα πλέον διαδεδομένα είδη υαλοπινάκων είναι:

- **Οι απλοί μονοί υαλοπίνακες:**

Είναι το πιο απλό και το πλέον διαδεδομένο είδος υαλοπίνακα το οποίο σταδιακά αντικαθίσταται από άλλα πιο αποδοτικά είδη. Το πάχος τους κειμάνεται από τα 3mm έως τα 12mm. Ανάλογα με το πάχος, την λείανση και την μηχανική αντοχή χωρίζονται σε κοινούς, ημικρύσταλλους και κρύσταλλα. Οι απλοί (ή αλλιώς λευκοί) μονοί υαλοπίνακες έχουν και τον μεγαλύτερο συντελεστή θερμοδιαπερατότητας- $U$ , ο οποίος μειώνεται όσο αυξάνει το πάχος του γυαλιού. Τυπική τιμή των συντελεστών  $U$  και SHGC για έναν μονό υαλοπίνακα πάχους 4 χιλιοστών είναι περίπου 5,8 W/m<sup>2</sup>K και 0.86 αντίστοιχα, ενώ η διαπερατότητα κάθετου πρόσπτωσης περίπου 0.8.

- **Οι Απλοί διπλοί υαλοπίνακες:**

Αποτελούνται από δύο παράλληλα φύλλα (μονούς υαλοπίνακες) με την παρεμβολή ενός αποστάτη με αφυγραντικό υλικό στο εσωτερικό του, ενώ μεταξύ των φύλλων παρεμβάλλεται στρώμα ξηρού αέρα. Το στρώμα αυτό, το οποίο επιδιώκεται να είναι όσο πιο ξηρό γίνεται, αυξάνει την θερμική αντίσταση σε σχέση με τον απλό μονό υαλοπίνακα λόγω της μεγάλης θερμομονωτικής ικανότητας του αέρα (μικρό  $U$ ). Ο συντελεστής θερμοδιαπερατότητας του υαλοπίνακα μειώνεται όσο αυξάνει το πάχος του διακένου μεταξύ των φύλλων και εξαρτάται κατά βάση από αυτό και όχι από το πάχος των φύλλων του γυαλιού. Πάχος διακένου μεταξύ 15 και 17 χιλιοστών σε διπλό υαλοπίνακα εξασφαλίζει ικανοποιητική θερμομόνωση ενώ μεγαλύτερες τιμές είναι αποφευκταίες καθώς μειώνουν την θερμομονωτική ικανότητα λόγω έντασης των φαινομένων μεταφοράς (έχουμε κίνηση του αέρα μέσα στο διάκενο). Το διάκενο σφραγίζεται περιμετρικά με αεροστεγή υλικά τα οποία επίσης πρέπει να ναι στεγανά για να μπορέσουν να λειτουργήσουν ως φράγμα υδρατμών,

πρέπει να είναι ελαστικά και ανθεκτικά στις έντονες θερμοκρασιακές μεταβολές και να αντέχουν στην υπεριώδη ακτινοβολία και τις διάφορες χημικές ουσίες. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για τον σκοπό αυτό είναι τα πολυκαρβονικά, οι πολυουρεθάνες, τα πολυσουλφίδια και οι σιλικόνες.

Ένα υαλοστάσιο με διπλό υαλοπίνακα, αποτελούμενο από δύο απλούς υαλοπίνακες 4mm και διάκενο 6mm μεταξύ τους έχει συντελεστή θερμοδιαπερατότητας  $U=3,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Το ίδιο υαλοστάσιο με διπλάσιο διάκενο παρουσιάζει για τον ίδιο συντελεστή τιμή  $2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Αντίστοιχα ο συντελεστής SHGC κυμαίνεται για τον ίδιο υαλοπίνακα στο 0,75.

Παρακάτω βλέπουμε μία σχεδιαστική απεικόνιση ενός απλού διπλού υαλοπίνακα με εμφανή διάκριση στα φύλλα γυαλιού, το ιάκενο αέρα, τον αποστάτη με το αφυγραντικό υλικό στο εσωτερικό του και την περιμετρική σφράγιση του διακένου.



Εικόνα 3.11 Απεικόνιση διπλού υαλοπίνακα σε τομή[41]

Η χρήση βελτιωμένων ειδικών υαλοπινάκων μπορεί να συνεισφέρει σημαντικά στην εξοικονόμηση ενέργειας για τη θέρμανση, ψύξη και φωτισμό των κτιρίων και στη βελτίωση των συνθηκών θερμικής και οπτικής άνεσης που διαμορφώνονται στους εσωτερικούς χώρους. Οι ιδιότητες αυτές μπορεί να είναι σταθερές, μεταβαλλόμενες (ανάλογα με τις εξωτερικές συνθήκες) ή ρυθμιζόμενες.

Μία από τις βασικότερες κατηγορίες βελτιωμένων υαλοπινάκων, την οποία θα εξετάσουμε ως προσητη απόδοσή της και στην παρούσα εργασία είναι:

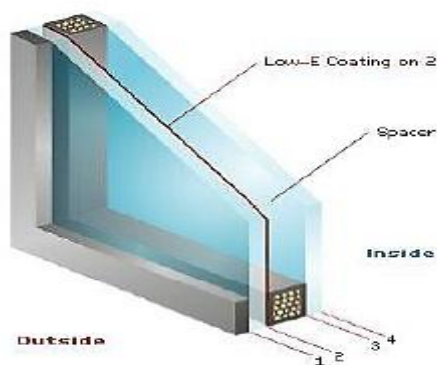
- **Οι Επιλεκτικοί υαλοπίνακες χαμηλού συντελεστή εκπομπής (Low-e) :**

Οι διπλοί ενεργειακοί υαλοπίνακες, γνωστοί και ως υαλοπίνακες χαμηλής εκπομπής, αποτελούν συνθέσεις τζαμιών με δομή παρόμοια όπως αυτή των συμβατικών διπλών υαλοπινάκων, οι οποίοι όμως διαθέτουν τζάμια ειδικού τύπου για υψηλότερη θερμομόνωση με ειδικό μονωτικό αέριο στο διάκενό τους. Εμποδίζουν μεγάλο μέρος της θερμικής ακτινοβολίας είτε να εισέρχεται προς το κτίριο, είτε να εκπέμπεται προς το εξωτερικό περιβάλλον (ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο τοποθετούνται). Συνιστώνται για τη μείωση των θερμικών απωλειών (το χειμώνα) ή κερδών (το καλοκαίρι) των κτιρίων, ανάλογα με τις θερμικές απαιτήσεις του κτιρίου και το κλίμα της περιοχής στην οποία βρίσκεται. Συγκεκριμένα, αποτελούνται κι αυτοί από δύο τζάμια ενωμένα μεταξύ τους με ένα προφίλ αλουμινίου, τα οποία σφραγίζονται περιμετρικά με ειδική κόλλα. Το ένα τζάμι είναι ένας απλός συμβατικός υαλοπίνακας (clear float glass), ενώ το δεύτερο τζάμι έχει υποστεί ειδική επεξεργασία κατά την οποία εφαρμόζεται μια επίστρωση χαμηλής εκπομπής (χαμηλό-E), ώστε να διαθέτει υψηλή ανακλαστικότητα στην υπέρυθη ακτινοβολία του ήλιου (μεταξύ 4 και 100  $\mu\text{m}$ ), περιορίζοντας έτσι σημαντικά τη μετάδοσή της σε εσωτερικούς χώρους.

Επισημαίνουμε σε αυτό το σημείο ότι το κοινό γυαλί έχει τυπική τιμή συντελεστή εκπομπής ( $\epsilon$ ) της τάξης του 84% για το τμήμα της θερμικής ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος, πράγμα το οποίο σημαίνει ότι για το 84% της προσπίπτουσας θερμικής ακτινοβολίας έχουμε απορρόφηση και μόλις για το 16% ανάκλαση. Με την επίστρωση χαμηλής εκπομπής εξασφαλίζουμε τιμές του συντελεστή εκπομπής της τάξης του 2%. Έτσι για παράδειγμα τον χειμώνα επιτυγχάνουμε μεγάλη μείωση των θερμικών απωλειών μέσω υαλοπινάκων, αφού το μεγαλύτερο μέρος της ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος από το εσωτερικό του θερμαινόμενου χώρου ανακλάται χωρίς να διαφεύγει και έχουμε επιπλέον μικρή απορρόφηση.

Επιπρόσθετα, όπως προαναφέρθηκε, στο διάκενο μεταξύ των δύο τζαμιών συμπληρώνεται με αέρα ή ευγενές αέριο (argon), το οποίο διαθέτει αυξημένες θερμομονωτικές ιδιότητες. Έτσι, μέσω των διπλών ενεργειακών υαλοπινάκων επιτυγχάνονται χαμηλότερες θερμικές απώλειες από το εσωτερικό προς το εξωτερικό περιβάλλον του σπιτιού σας. Επιπλέον, μειώνεται η ανεπιθύμητη ζέση που οφείλεται στην είσοδο της έντονης ηλιακής ακτινοβολίας το καλοκαίρι, διασφαλίζοντας έτσι περισσότερη δροσιά.

Η θέση της επίστρωσης έχει ιδιαίτερη σημασία για ποικίλει ανάλογα με την κλιματική ζώνη στην οποία θα τοποθετηθεί ο υαλοπίνακας. Σε έναν διπλό υαλοπίνακα υπάρχουν 4 δυνατές επιφάνειες για την τοποθέτηση της επίστρωσης. Παρακάτω βλέπουμε μία τυπική διάταξη διπλού υαλοπίνακα low-e σε πλαίσιο, σε τομή, με την επίστρωση να βρίσκεται στην επιφάνεια 2.



Εικόνα 3.12 Απεικόνιση διπλού υαλοπίνακα low-e σε τομή[41]

Οι κατασκευάστριες εταιρίες αναφέρουν ότι για ψυχρά κλίματα, όπου στόχος είναι η μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης την περίοδο θέρμανσης, η επίστρωση τοποθετείται στο εσωτερικό τζάμι από την έξω μεριά, δηλαδή στη θέση 3 όπως φαίνεται στην εικόνα 3.12. Σε θερμά κλίματα, όπου στόχος είναι η μείωση κόστους την περίοδο ψύξης, η επίστρωση τοποθετείται στη θέση 2, δηλαδή στο εξωτερικό τζάμι από την μέσα μεριά. Συνηθίζεται δηλαδή σε κάθε περίπτωση να τοποθετούμε την επίστρωση στο εσωτερικό του υαλοπίνακα. Ο συντελεστής θερμοπερατότητας είναι ο ίδιος και στις 2 περιπτώσεις αλλά ο SHGC αλλάζει (μεγαλύτερος στην θέση 3). Όσον αφορά τις υπόλοιπες θέσεις βλέπουμε ότι η θέση 1 (η οποία αποτελεί και την εξωτερική πλευρά) αποφεύγεται καθώς η επίστρωση παρουσιάζει ευαισθησία στην διάβρωση, ενώ η θέση 4 παρουσιάζει το δυνητικό μειονέκτημα ότι αφού επιφέρει μείωση στην θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειας του υαλοπίνακα, ενδέχεται κατά τις ψυχρές περιόδους να προκληθούν υγραποιήσεις του ατμοσφαιρικού αέρα στο διάκενο.

Άλλες Κατηγορίες ειδικών υαλοπινάκων, οι οποίοι διαφοροποιούνται από τους κοινούς ως προς τα θερμικά και τα φωτομετρικά τους χαρακτηριστικά, είναι:

- Ανακλαστικοί υαλοπίνακες : Ανακλούν σημαντικό μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας και συνιστώνται για τη μείωση των ηλιακών κερδών, αλλά μπορεί να προκαλέσουν θάμβωση στον περιβάλλοντα χώρο και στα γύρω κτίρια.
- Έγχρωμοι υαλοπίνακες : Με τη βοήθεια χημικής επεξεργασίας παρουσιάζουν χαμηλή θερμοπερατότητα, αλλά και μειωμένη φωτοδιαπερατότητα και συνιστώνται για τη μείωση των ηλιακών κερδών ενός χώρου.
- Απορροφητικοί υαλοπίνακες : Απορροφούν σημαντικό μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας (περιορίζουν τη θερμοπερατότητα χωρίς να μειώνουν σημαντικά τη φωτοδιαπερατότητα) και συνιστώνται για τη μείωση των ηλιακών κερδών ενός χώρου. Έχουν το πλεονέκτημα, σε σχέση με τους ανακλαστικούς, ότι δεν δημιουργούν θάμβωση στον περιβάλλοντα χώρο του κτιρίου.
- Θερμομονωτικοί υαλοπίνακες : Εκτός από τους συνήθεις διπλούς (ή τριπλούς) υαλοπίνακες, αυξημένη θερμομονωτική ικανότητα έχουν υαλοπίνακες που στο διάκενό τους περιέχουν άλλο αέριο (π.χ. αργό) αντί για αέρα. Συνιστώνται σε κτίρια με μεγάλα ανοίγματα, όπου απαιτείται υψηλή θερμομόνωση του κελύφους.
- Ηλεκτροχρωμικοί : Είναι υαλοπίνακες, των οποίων οι ιδιότητες (οπτικά χαρακτηριστικά, διαπερατότητα) μεταβάλλονται με τη διοχέτευση ηλεκτρικού ρεύματος.
- Φωτοχρωμικοί : Είναι υαλοπίνακες των οποίων οι οπτικές ιδιότητες μεταβάλλονται ανάλογα με το ποσό της προσπίπτουσας σε αυτούς ηλιακής ακτινοβολίας. Η φωτοδιαπερατότητά τους μειώνεται με την αύξηση της έντασης της φωτεινής ακτινοβολίας.
- Θερμοχρωμικοί : Είναι υαλοπίνακες των οποίων οι οπτικές ιδιότητες μεταβάλλονται ανάλογα με την εξωτερική θερμοκρασία. Με την αύξηση της θερμοκρασίας μεταβάλλονται από διαφανείς σε γαλακτόχρωμοι.
- Υαλοπίνακες υγρών κρυστάλλων : Με την εφαρμογή τάσης μετατρέπονται από γαλακτόχρωμοι σε διαφανείς.<sup>[33]</sup>

Για την επιλογή του κατάλληλου υαλοπίνακα θα πρέπει να εξετάζεται η χρήση του κτιρίου, η συνεισφορά του υαλοπίνακα στην εξοικονόμηση ενέργειας σε ετήσια βάση και η συνεπαγόμενη οικονομικότητα του συστήματος (κόστος-όφελος, χρόνος απόσβεσης). Ιδιαίτερη προσοχή κατά την επιλογή απαιτείται ώστε τα θερμικά και οπτικά χαρακτηριστικά του υαλοπίνακα, τα οποία θα επιλεγούν με κριτήριο τη συμπεριφορά του στη θέρμανση και στο δροσισμό του κτιρίου, να εξασφαλίζουν, μαζί με το συνολικό σχεδιασμό των ανοιγμάτων και τις απαιτήσεις σε φυσικό φωτισμό των χώρων.<sup>[41]</sup>

### 3.3.4 ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ WINDOW

Το λογισμικό Window είναι ένα υπολογιστικό εργαλείο το οποίο στηρίζεται προγραμματιστικά στο λογισμικό των Microsoft Windows και αναπτύχθηκε από το εργαστήριο Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) των ΗΠΑ με στόχο τον εύκολο υπολογισμό των οπτικών και θερμοφυσικών ιδιοτήτων συστημάτων παραθύρων και υαλοπινάκων από επαγγελματίες, μηχανικούς και εκπαιδευτικούς φορείς.

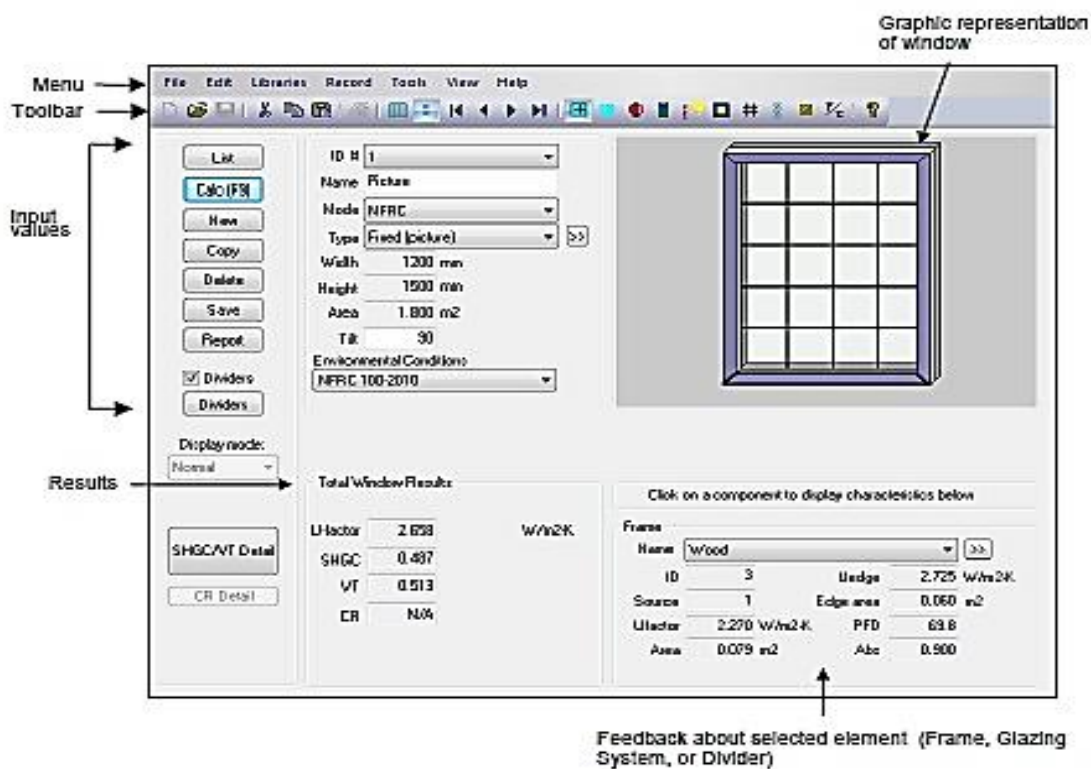
Μεταξύ των δυνατοτήτων που προσφέρει στον χρήστη, χαρακτηριστικά αναφέρουμε<sup>[42]</sup> :

- Την δυνατότητα υπολογισμού του ισοδύναμου συντελεστή θερμοπερατότητας (U factor), του συντελεστή ηλιακού θερμικού κέρδους SHGC καθώς και της ισοδύναμης οπτικής διαπερατότητας (Tvis) ενός απλού ή σύνθετου συστήματος υαλοπινάκων.
- Την δυνατότητα μοντελοποίησης αρκετά σύνθετων συστημάτων υαλοπινάκων-κουφωμάτων-διαχωριστικών-παραπετασμάτων-ειδικών επιστρώσεων (π.χ Venetian blinds, roller shades, cellular/honeycomb shades, fritted glass, storm panels, applied films)
- Την δυνατότητα μοντελοποίησης με βάση τους πλέον σύγχρονους αλγόριθμους, οι οποίοι είναι συμβατοί με τα πρότυπα ASHRAE SPC142 και ISO 15099.
- Την δυνατότητα παρουσίασης ολοκληρωμένου θερμικού χάρτη.

- Την δυνατότητα επεξεργασίας αρχείων προγραμμάτων άλλων λογισμικών θερμικών ή οπτικών υπολογισμών (THERM, RESFEN, AERCalc, IGBD κ.α) και εξαγωγής αντίστοιχων επεξεργασμένων αρχείων (πχ την δυνατότητα εξαγωγής αρχείου .idf για την επεξεργασία από το EnergyPlus).
- Τον μεγάλο όγκο δεδομένων για τα τυποποιημένα στοιχεία (υλικά, διατάξεις υαλοπινάκων κ.α) που δίνεται από τις βιβλιοθήκες του προγράμματος. [33]

Το περιβάλλον εργασίας του λογισμικού Window είναι αρκετά φιλικό προς τον χρήστη όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 3.13 και περιλαμβάνει τα εξής βασικά στοιχεία:

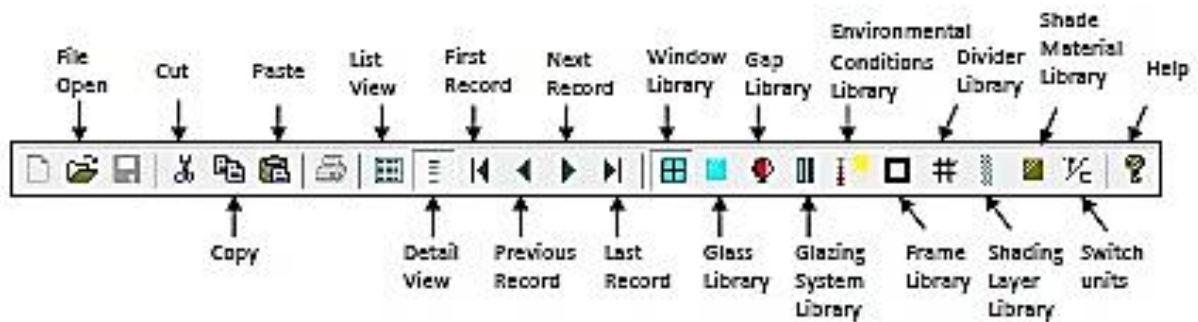
- Ένα σύνολο στοιχισμένων κουμπιών για την άμεση χρήση των βασικών εργαλείων (NEW, COPY, SAVE REPORT, DELETE CALC(ULATE), LIST)
- Τα δεδομένα εισόδου (όνομα μοντέλου, αλγόριθμο υπολογισμού, γεωμετρικές διαστάσεις, τύπο παραθύρου κ.α)
- Ανατροφοδότηση δεδομένων (Ufactor, SHGC, PFD κ.α) με βάση το στοιχείο του συστήματος παραθύρου που μελετάμε κάθε στιγμή.
- Γραφική αναπαράσταση του παραθύρου που μελετάμε



Εικόνα 3.13 Επιφάνεια εργασίας του λογισμικού Window.[35]

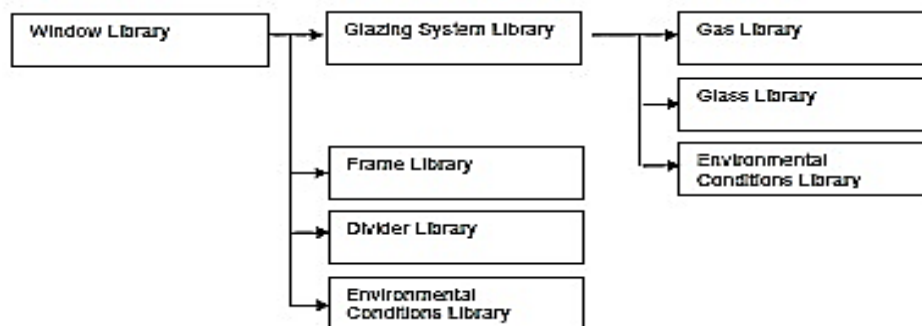
Πιο αναλυτικά η μπάρα με τα βασικά εργαλεία του προγράμματος έχει ως:





Εικόνα 3.14 Πλήκτρα εντολών στο λογισμικό Window (Toolbar Buttons) [35]

Ενώ οι βασικές βιβλιοθήκες του προγράμματος έχουν ως:



Εικόνα 3.15 Βιβλιοθήκες του λογισμικού Window [

### 3.4 ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΕΣΗ

Ο ολοκληρωμένος σχεδιασμός ενός κτιρίου έγκειται τόσο στην ελαχιστοποίηση της καταναλισκόμενης ενέργειας όσο και στην προσπάθεια βελτιστοποίησης των περιβαλλοντολογικών παραμέτρων στο εσωτερικό του. Οι παράμετροι αυτές οριοθετούν και την θερμική άνεση στο εσωτερικό του κτιρίου. Σύμφωνα με την Αμερικάνικη Επιστημονική Εταιρία Θέρμανσης, Ψύξης και Κλιματισμού (ASHRAE), ως θερμική άνεση ορίζεται εκείνη «η κατάσταση του μυαλού κατά την οποία εκφράζεται ικανοποίηση ως προς τις θερμικές συνθήκες του περιβάλλοντός του και η οποία εκτιμάται με υποκειμενικό τρόπο» (ASHRAE Standard 55). Ο ορισμός αυτός αφήνει ανοιχτή την ερμηνεία σχετικά με τον ορισμό της «κατάστασης του μυαλού» και της «ικανοποίησης», αλλά ορθά δίνει έμφαση στο γεγονός ότι η κρίση για την άνεση είναι μία γνωστική διαδικασία η οποία εξαρτάται από αρκετούς παράγοντες (φυσικούς, φυσιολογικούς, ψυχολογικούς κ.α).<sup>[17]</sup>

Πέρα από τους παράγοντες που συνδέονται με την κοινωνική και ψυχολογική κατάσταση του ατόμου, προκειμένου να αξιολογηθεί επιστημονικά η θερμική άνεση και επομένως να αποκτήσει και αντικειμενικό χαρακτήρα, ορίστηκαν οι φυσικές παράμετροι οι οποίες και την επηρεάζουν<sup>[15]</sup>:

- Φυσικές παράμετροι: θερμοκρασία του αέρα [°C], μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας των εσωτερικών επιφανειών [°C], η υγρασία και η σχετική υγρασία του αέρα [Pa], η ταχύτητα του εσωτερικού αέρα [m/s], η χωροταξική κατανομή των παραπάνω μεγεθών.

- Βιολογικές παράμετροι: Το βιολογικό φύλο των χρηστών του χώρου, η ηλικία των χρηστών του χώρου, οι συνήθειες των χρηστών του χώρου (πχ εάν είναι καπνιστές), ο μεταβολισμός τους, η κατάσταση της υγείας τους πιο ειδικά
- Εξωτερικές παράμετροι: Το είδος των δραστηριοτήτων των χρηστών του χώρου [met] ( $1\text{met}=58.15\text{W}/\text{m}^2$ ), ο τύπος του ρουχισμού των χρηστών του χώρου [clo] ( $1\text{clo}=0.155\text{m}^2\text{C}/\text{W}$ )

Όλες οι παραπάνω παράμετροι, και κυρίως οι φυσικές, επηρεάζουν τη ροή ενέργειας υπό τη μορφή θερμότητας από τον άνθρωπο προς το περιβάλλον. Ο άνθρωπος διαθέτει μηχανισμούς οι οποίοι ως στόχο έχουν να διατηρούν τη θερμική κατάσταση του σώματος σταθερή και να την προσαρμόζουν στις συνθήκες του περιβάλλοντος. Εξισορροπώντας τα θερμικά κέρδη και τις απώλειες θερμότητας (αυξομείωση των καύσεων, εφίδρωση), το σώμα μας καθορίζει την αναφερθείσα ροή θερμότητας ενώ διαθέτει ένα αποτελεσματικό σύστημα ρύθμισης της θερμοκρασίας, η οποία διατηρείται περίπου στους  $37^\circ\text{C}$ . Όταν η θερμοκρασία του σώματος αρχίσει να αυξάνεται, είτε λόγω κλιματολογικών συνθηκών είτε λόγω έντονης δραστηριότητας, κατάλληλοι μηχανισμοί ενεργοποιούνται για την ελάττωσή της.

Σύμφωνα με τη φυσιολογία δε, η θερμοκρασία του δέρματος είναι ο κατάλληλος δείκτης για τη θερμική αίσθηση του περιβάλλοντος. Η θερμική άνεση όμως είναι μια ολοκληρωτική μονάδα και απεικονίζει τη συνολική θερμική κατάσταση του σώματος. Συμπληρωματικά, έχει προταθεί η εισαγωγή και άλλων φυσικών παραμέτρων για την αξιολόγηση της θερμικής άνεσης όπως: Μέση θερμοκρασία δέρματος, Ρυθμός εφίδρωσης, Ξηρότητα του δέρματος.

Η θερμική ισορροπία του σώματος είναι μια δυναμική κατάσταση μεταξύ της παραγόμενης θερμότητας (ως αποτέλεσμα του ανθρώπινου μεταβολισμού) και της θερμότητας που μεταδίδεται με μεταφορά, αγωγή, ακτινοβολία και εξάτμιση από ή προς το περιβάλλον. Για τον υπολογισμό της θερμικής άνεσης που μπορεί να επιτευχθεί σε έναν χώρο μετρώντας ή γνωρίζοντας τις παραπάνω φυσικές παραμέτρους έχουν προταθεί αρκετά εργαλεία υπολογισμού με ευρύτερα διαδεδομένο αυτό του P.O. Fanger (1970) το οποίο είναι και το παλαιότερο.

Με βάση αυτό το θερμικό ισοζύγιο ανάμεσα στο ανθρώπινο σώμα και το περιβάλλον ρυθμίζεται από τη Σχέση:

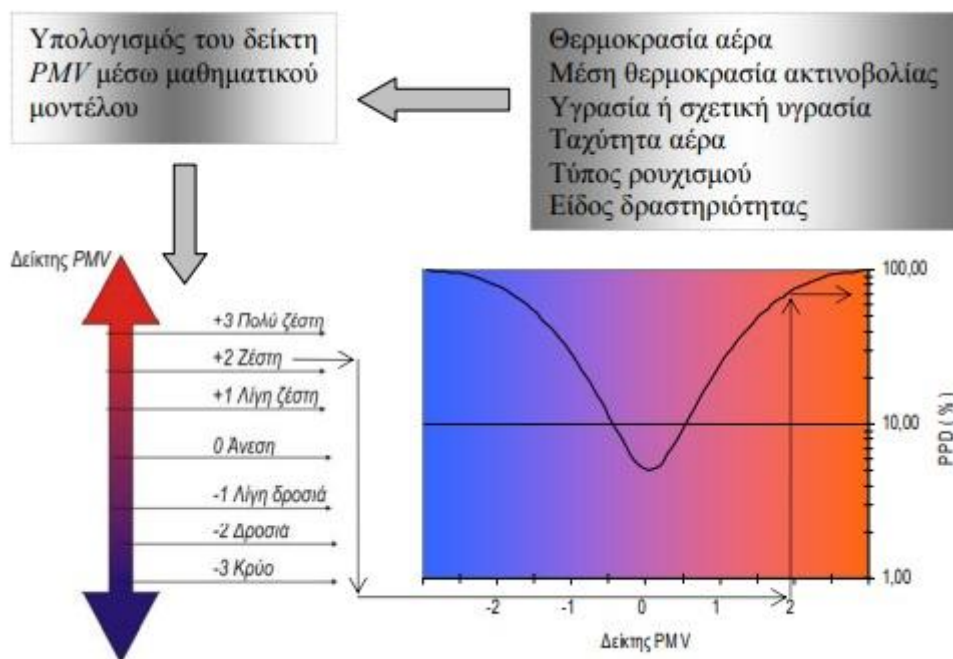
$$M - W = H + EC + Cres + Eres \quad 3.14$$

Όπου:

- M: ρυθμός μετατροπής της χημικής ενέργειας σε θερμότητα και μηχανικό έργο, μέσω αερόβιων και αναερόβιων διεργασιών μέσα στο σώμα [ $\text{W}/\text{m}^2$ ].
- W: το ωφέλιμο μηχανικό έργο [ $\text{W}/\text{m}^2$ ].
- H: οι απώλειες ενέργειας υπό την μορφή θερμότητας από την επιφάνεια του σώματος μέσω αγωγής, συναγωγής και ακτινοβολίας [ $\text{W}/\text{m}^2$ ].
- $E_c$ : το ποσό της θερμότητας που απάγεται λόγω εξάτμισης σε κατάσταση θερμικής ισορροπίας [ $\text{W}/\text{m}^2$ ].  $C_{res}$ : το πόσο της θερμότητας που απάγεται με αγωγή κατά την αναπνοή [ $\text{W}/\text{m}^2$ ].
- $E_{res}$ : το ποσό της θερμότητας που απάγεται λόγω εξάτμισης κατά την αναπνοή [ $\text{W}/\text{m}^2$ ].

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

Για τον παραπάνω λόγο, ο P.O. Fanger ακολούθησε μια πειραματική διαδικασία με στόχο τη δημιουργία ενός απλού δείκτη για τον χαρακτηρισμό των θερμικών συνθηκών ενός χώρου. Συγκεκριμένα, ανέπτυξε το δείκτη της μέσης προβλεπόμενης τιμής ψηφοφορίας PMV (Predicted Mean Vote), και το δείκτη δυσαρέσκειας των ανθρώπων ή αλλιώς δείκτη PPD (Predicted Percent of Dissatisfied people). Οι δύο αυτοί δείκτες, ως συνέχεια της θεωρίας του P.O. Fanger, κάνουν εύκολη την εξαγωγή συμπερασμάτων για την αίσθηση του θερμικού περιβάλλοντος που επικρατεί σε έναν χώρο. Οι δύο αυτοί δείκτες είναι σύνθετες μαθηματικές σχέσεις που λαμβάνουν υπόψη ένα πλήθος παραμέτρων.



Εικόνα 3.16 Η θεωρία του Fanger σχηματικά [ 18]

Η θεωρία του Fanger για τον υπολογισμό ή καλύτερα τη μοντελοποίηση της θερμικής αίσθησης των ατόμων, δεν είναι η μόνη. Οι εξελίξεις τα τελευταία χρόνια έχουν αναδείξει και άλλα μοντέλα υπολογισμού της θερμικής άνεσης ως συνέπεια της κριτικής που έχει δεχθεί η θεωρία του Fanger. Η θεωρία του Fanger και εξισώσεις των PMV και PPD έχουν περιληφθεί σε πολλά πρότυπα που προσδιορίζουν τις παραμέτρους που επηρεάζουν τη θερμική άνεση.<sup>[18]</sup>

Έτσι, παρουσιάζεται στα παρακάτω πρότυπα: Αμερικανική Επιστημονική Εταιρία Θέρμανσης Ψύξης και Κλιματισμού (ASHRAE) , Γαλλικό Πρότυπο AFNOR, Ελβετικό Πρότυπο SIA 180, Διεθνές Πρότυπο ISO 7730.

Σήμερα η καθολική ισχύς και εφαρμογή των προτύπων αυτών, που στηρίζονται στη στατική θεωρία της θερμικής άνεσης, βρίσκονται υπό συζήτηση με την δυναμική θεωρία της θερμικής άνεσης να κερδίζει έδαφος όχι όμως με στόχο την ανατροπή της κλασικής θεωρίας αλλά την συμπλήρωσή της.

## 4 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ENERGYPLUS (EP)

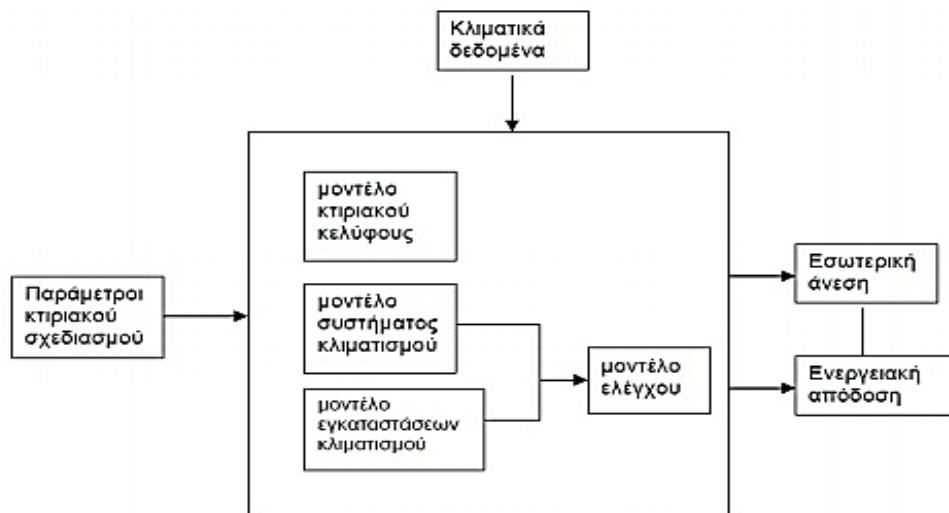
### 4.1 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ

Ενεργειακή προσομοίωση κτιρίων (building energy simulation) ονομάζεται η χρήση μεθόδων και μοντέλων προσομοίωσης με την βοήθεια κατάλληλων λογισμικών Η/Υ για την ανάλυση της ενεργειακής απόδοσης ενός κτιρίου. Πρόκειται για μία ολοκληρωμένη υπολογιστική διαδικασία η οποία προσφέρει μια προσεγγιστική εικόνα της ενεργειακής συμπεριφοράς ενός κτιρίου σε πραγματικές συνθήκες. Γι αυτό και αποτελεί βασικό εργαλείο στην δουλειά του μηχανικού (μηχανολόγου, πολιτικού, αρχιτέκτονα) για τη λήψη αποφάσεων κατά την κατασκευή ή για τυχόν επεμβάσεις σε ένα υπάρχον κτίριο.

Οι βασικές πληροφορίες που απαιτούνται για την εκκίνηση των λογισμικών αυτών δεν διαφέρουν από εκείνες που απαιτούνται για τον απλό υπολογισμό των ενεργειακών απωλειών ή της διαστασιολόγησης ενός ενεργειακού συστήματος. Χαρακτηριστικά αναφέρουμε:

- Τα κλιματολογικά δεδομένα της περιοχής του κτιρίου (weather file data) στα οποία περιλαμβάνονται η ηλιακή ακτινοβολία, η θερμοκρασία, η υγρασία, η ταχύτητα και κατεύθυνση του ανέμου, η ατμοσφαιρική πίεση, οι κατακρυμνήσεις κ.α. Ιδανικά θα πρέπει να αναφέρονται στην περίοδο ενός χρόνου και οι τιμές τους να έχουν κατά το δυνατόν ελάχιστο βήμα (πχ ωριαίο)
- Τα χαρακτηριστικά του κτιριακού κελύφους (γεωμετρία, προσανατολισμός, κατασκευή) με τον παράλληλο διαχωρισμό του κτιρίου σε θερμικές ζώνες (thermal zones) και τον ορισμό χρονικού προγράμματος λειτουργίας (Schedules) για:
  - Τα εσωτερικά θερμικά κέρδη από τις εγκατεστημένες ηλεκτρικές συσκευές, τον τεχνητό φωτισμό, τους ανθρώπους
  - Την ανανέωση του αέρα του εσωτερικού χώρου με φυσικό αερισμό (ventilation) αλλά και την διείσδυση ατμοσφαιρικού αέρα στο εσωτερικό (infiltration)
- Τα συστήματα θέρμανσης, εξαερισμού και κλιματισμού (HVAC Systems-Heating Ventilation and Air-condition Systems) και τις επιθυμητές συνθήκες στο εσωτερικό που καθορίζουν την λειτουργία τους.
- Την τυχούσα ύπαρξη άλλων ενεργειακών συστημάτων (πχ ενεργειακά ηλικά συστήμα)
- Τις διάφορες παραμέτρους που καθορίζουν την λειτουργία και τους υπολογισμούς του λογισμικού, την παρουσίαση των αποτελεσμάτων και την επικοινωνία με τον χρήστη

Με δεδομένα τα παραπάνω στοιχεία είναι δυνατόν να εκκινήσει η διαδικασία της δυναμικής προσομοίωσης της ενεργειακής κατανάλωσης του κτιρίου η οποία συνδυάζει τις διακυμάνσεις του εξωτερικού περιβάλλοντος (με βάση τα κλιματολογικά δεδομένα) με την απόκριση των ενεργειακών συστημάτων του κτιρίου και τα προφίλ των εσωτερικών κερδών. Ο μηχανισμός προσομοίωσης περιλαμβάνει την ανάλυση τεσσάρων αλληλοεπηρεαζόμενων βασικών μοντέλων: το μοντέλο του κτιριακού κελύφους, το μοντέλο του συστήματος κλιματισμού, το μοντέλο εγκαταστάσεων κλιματισμού που προκύπτει και το μοντέλο αυτομάτου ελέγχου.



Εικόνα 4.1 Οι βασικότερες συνιστώσες της ενεργειακής προσομοίωσης κτιρίων

Η βασική διαδικασία ενεργειακής προσομοίωσης κτιρίων αφορά πέντε βασικά βήματα για όλα τα διαθέσιμα πακέτα λογισμικού (εμπορικά και μη):

- Επίλυση λογισμικού εργαλείου
- Περιγραφή μοντέλων και έλεγχος παραδοχών
- Προετοιμασία και εισαγωγή δεδομένων προσομοίωσης
- Εκτέλεση προσομοίωσης σε λογισμικό
- Ανάλυση και αξιολόγηση αποτελεσμάτων

## 4.2 ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ENERGYPLUS

Το EP είναι ένα από τα βασικότερα προγράμματα ενεργειακής ανάλυσης, προσομοίωσης και υπολογισμού των θερμικών φορτίων αλλά και άλλων ενεργειακών καταναλώσεων μίας θερμικής εγκατάστασης ή ενός κτιρίου. Βασίζεται στη ταυτόχρονη λειτουργία πολλών υποπρογραμμάτων τα οποία έχουν σαν σκοπό να υπολογίσουν μια πληθώρα μεταβλητών όπως τα απαιτούμενα φορτία θέρμανσης και ψύξης για την θερμική ισορροπία του κτιρίου, οι θερμοκρασίες των θερμικών ζωνών και των επιφανειών, η ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου κλπ. Οι πληροφορίες οι οποίες απαιτούνται για την εκκίνηση της προσομοίωσης θα πρέπει να εισαχθούν από τον χρήστη και αφορούν την αναλυτική περιγραφή των γεωμετρικών και δομικών χαρακτηριστικών του κτιρίου καθώς επίσης και των συστημάτων ψύξης, θέρμανσης και κλιματισμού (HVAC Systems-Heating Ventilation and Air-condition Systems). Για την υλοποίηση της κτιριακής προσομοίωσης το Energy Plus παρέχει, μεταξύ άλλων, τα υποπρογράμματα: IDF Editor και EP-Launch τα οποία αντίστοιχα εξυπηρετούν στη δημιουργία/επεξεργασία αρχείων εισόδου και την εκτέλεση προσομοιώσεων. Η προσομοίωση όπως επίσης και οι υπολογισμοί στηρίζονται στις θεμελιώδεις αρχές της μεταφοράς θερμότητας.

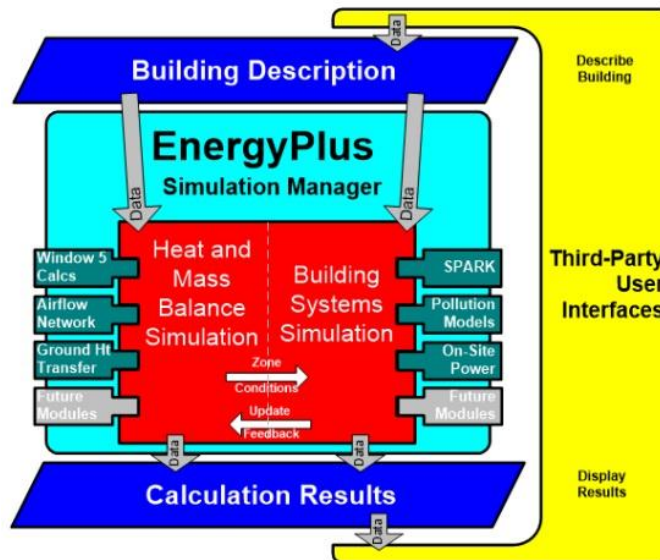
Πρόκειται επίσης για ένα ελεύθερο λογισμικό (freeware), ανοιχτού κώδικα (open source) και ανεξάρτητο πλατφόρμας (cross-platform) υλοποιημένο σε γλώσσα προγραμματισμού C++ (ή στην Fortran90 σε παλαιότερες εκδόσεις), το οποίο εκδόθηκε από το τμήμα ενέργειας της Αμερικάνικης κυβέρνησης το 2001 και έχει τις ρίζες του στα προγενέστερα προγράμματα BLAST (Building Loads Analysis and System Thermodynamics) και DOE-2. Τα προγράμματα αυτά αναπτύχθηκαν στα τέλη της δεκαετίας του '70 ως εργαλεία ενεργειακής προσομοίωσης, με σκοπό να συμβάλουν στην σχεδίαση κτιρίων και εγκαταστάσεων με βελτιστοποιημένη ενεργειακή απόδοση και μάλιστα σε μία περίοδο έντονης ανησυχίας για το ενεργειακό ζήτημα όπως αυτό διαμορφώθηκε μετά την πετρελαϊκή κρίση των αρχών του '70. Πολλά από τα χαρακτηριστικά του EP στηρίζονται στα δύο αυτά προγράμματα, αλλά

προφανώς πρόκειται για μία βελτιωμένη έκδοση η οποία υπερβαίνει τις ελλειματικές των προκατόχων της (πολυπλοκότητα στον κώδικα, αδυναμία ανατροφοδότησης με τα συστήματα HVAC και τις συνθήκες των θερμικών ζωνών, διαδικχικές προσομοιώσεις χωρίς την δυνατότητα ανάδρασης, χρήση απαρχαιωμένης γλώσσας προγραμματισμού κ.α).

Σε αντίθεση με τα BLAST/DOE-2, στο Energy Plus, το μοντέλο προσομοιώνεται αρκετά ρεαλιστικά αφού τα αποτελέσματα των υποπρογραμμάτων συνδέονται με αναδράσεις, καταλήγοντας σε μια λειτουργία ταυτόχρονης λύσης με αλληλεπίδραση μεταξύ θερμικών ζωνών και συστημάτων HVAC. Το σύνολο του προγράμματος, μπορεί να αναπαρασταθεί ως μια σειρά από λειτουργικά στοιχεία που ενώνονται με βρόχους. Η διαδικασία επίλυσης είναι μια επαναληπτική δομή διαδοχικών αντικαταστάσεων τύπου Gauss-Seidell. Όλα τα στοιχεία ενσωματώνονται και ελέγχονται από τον διαχειριστή της προσομοίωσης.

Κάποια από τα βασικά χαρακτηριστικά –δυνατότητες του προγράμματος είναι:

- Ολοκληρωμένη και ταυτόχρονη επίλυση της συμπεριφοράς του κτιρίου και των πρωτευόντων και δευτερευόντων συστημάτων, όταν αυτά είναι άμεσα συνδεδεμένα μεταξύ τους.
- Χρονικά βήματα μικρότερα της μίας ώρας για την αλληλεπίδραση μεταξύ θερμικών ζωνών και περιβάλλοντος, καθώς και μεταβλητά χρονικά βήματα για την αλληλεπίδραση των συστημάτων θέρμανσης, κλιματισμού και αερισμού (HVAC Systems)
- ASCII αρχεία κειμένου, για τα κλιματολογικά και τα δεδομένα εισόδου, που περιλαμβάνουν ωριαίες, ή και συντομότερες καταγραφές καθώς και αποτελέσματα με τύπο και μορφή που καθορίζονται από τον χρήστη.
- Τεχνική επίλυση βασισμένη στη θερμική ισορροπία των φορτίων του κτιρίου, που επιτρέπει τον ταυτόχρονο υπολογισμό των επιδράσεων της ακτινοβολίας και της συναγωγής, τόσο για την εσωτερική όσο και για την εξωτερική επιφάνεια του κτιρίου
- Συναρτήσεις θερμικής αγωγιμότητας για τον υπολογισμό αυτής στα διάφορα μέρη του κτιρίου, όπως τοίχοι, οροφές, δάπεδα κλπ.
- Βελτιωμένη προσομοίωση της μεταφοράς θερμότητας μέσω εδάφους, βασισμένη σε τρισδιάστατα μοντέλα εδάφους και απλοποιημένες μεθόδους ανάλυσης
- Συνδυασμένο μοντέλο διάδοσης θερμότητας και μάζας για τον υπολογισμό της απορρόφησης και της αποβολής υγρασίας από κάθε στρώμα των επιφανειών του κτιρίου. Ο υπολογισμός γίνεται μέσω συναρτήσεων θερμικής αγωγιμότητας ή με το μοντέλο EMPD (Effective Moisture Penetration Depth Model).
- Μοντέλα θερμικής άνεσης που λαμβάνουν υπόψη τους τη δραστηριότητα των ενοίκων, την υγρασία κλπ.
- Ανισοτροπικό μοντέλο ουρανού για τον καλύτερο υπολογισμό της διάχυτης ακτινοβολίας που προσπίπτει σε κεκλιμένες επιφάνειες.
- Σύνθετοι υπολογισμοί ανοιγμάτων που περιλαμβάνουν ελεγχόμενες περσίδες παραθύρων, ηλεκτροχρωμικούς υαλοπίνακες κ.ά.
- Έλεγχοι της ημερήσιας ηλιακής φωτεινότητας, συμπεριλαμβανομένων και των υπολογισμών του εσωτερικού φωτισμού, της προσομοίωσης και του ελέγχου και του τεχνητού φωτισμού.
- Υπολογισμοί της ατμοσφαιρικής ρύπανσης για τις ποσότητες των εκπεμπόμενων ρύπων CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, CO και μικροσωματιδίων, οι οποίοι παράγονται κατά τις μετατροπές της ενέργειας ώστε να μπορεί να καταναλωθεί από το κτίριο και τα συστήματα θέρμανσης, ψύξης και κλιματισμού που αυτό διαθέτει.
- Παραπομπές σε άλλα δημοφιλή περιβάλλοντα προσομοίωσης τα οποία επιτρέπουν την λεπτομερέστερη ανάλυση των δομικών στοιχείων του κτιρίου (όπως είναι το WINDOW7 που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία) [52]



Εικόνα 4.2 Σχηματική παρουσίαση του λογισμικού EP από την κατασκευάστρια εταιρία [52]

### 4.3 ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ENERGY PLUS

Το Energy Plus ακολουθεί τη μέθοδο θερμικής ισορροπίας (Heat Balance method) της ASHRAE για να τους υπολογισμούς των θερμικών και ψυκτικών φορτίων. Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στην εξισορρόπηση όλων των ενεργειακών ροών σε μία θερμική ζώνη και περιλαμβάνει την επίλυση ενός συνόλου εξισώσεων, οι οποίες είναι οι εξισώσεις ενεργειακού ισοζυγίου για την εξωτερική και την εσωτερική επιφάνεια για κάθε στοιχείο του καθώς και για τον αέρα στο εσωτερικό της κάθε θερμικής ζώνης. Η θερμότητα που μεταφέρεται με αγωγή μέσω των δομικών στοιχείων του κτιρίου, συνδέεται με το σύνολο των ενεργειακών εξισώσεων συνδυάζοντας έτσι τις εξωτερικές και εσωτερικές ενεργειακές ζυγοσταθμίσεις. Αυτό επιτυγχάνεται μοντελοποιώντας τη θερμότητα με συναρτήσεις θερμικής μεταφοράς (CTF-conduction transfer functions) οι οποίες τελικά συσχετίζουν τις θερμικές ροές με τις τρέχουσες και τις προηγούμενες τιμές θερμοκρασιών των επιφανειών.

Η προσομοίωση του κτιρίου των εστιών που μελετάται στην παρούσα εργασία, έγινε με βάση τον αλγόριθμο TARP<sup>[53]</sup> (Thermal Analysis Research Program). Ο αλγόριθμος αυτός προϋπήρξε του EP και αναπτύχθηκε από τον Walton το 1983. Ο Walton ανέπτυξε ένα περιεκτικό μοντέλο για την συναγωγή σε εξωτερικούς χώρους συνδυάζοντας συσχετίσεις της ASHRAE με πειραματικά αποτελέσματα των Sparrow et. al. Σε παλαιότερες εκδόσεις του EP, πριν την έκτη έκδοση, το μοντέλο TARP ονομάζονταν «Detailed». Το μοντέλο αυτό επανήλθε στην έκτη έκδοση για αξιοποιήσει τις μεταβλητές “area”, “perimeter” για το σύνολο των επιφανειών που διαμορφώνουν την πρόσοψη και την οροφή και όχι απλά οποιαδήποτε επιφάνεια. Σύμφωνα με τον αλγόριθμο αυτό, ο συνολικός συντελεστής συναγωγής θερμότητας είναι ίσος με το άθροισμα των επιμέρους συντελεστών:

$$h_c = h_f + h_n \quad 4.1$$

Με  $h_f$  αποτυπώνεται ο συντελεστής εξαναγκασμένης συναγωγής, με  $h_c$  ο συντελεστής συναγωγής εξωτερικής επιφάνειας και με  $h_n$  ο συντελεστής φυσικής συναγωγής. Επιπλέον:

$$h_f = 2.537W_f R_f \left( \frac{PV_z}{A} \right)^{\frac{1}{2}} \quad 4.2$$



Όπου:

Wf Συντελεστής κατεύθυνσης ανέμου (Wf =1.0 για προσήνεμες επιφάνειες & Wf =0.5 για υπήνεμες επιφάνειες )

A Εμβαδόν επιφάνειας [m<sup>2</sup>]

P Περίμετρος επιφάνειας [m]

Vz Ταχύτητα ανέμου [m/s]

Rf Συντελεστής τραχύτητας επιφάνειας [...]

Οι τιμές του συντελεστή τραχύτητας Rf , σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα κατά ASHRAE παρουσιάζονται στον Πίνακα:

Πίνακας 4.1 Οι συντελεστές θερμικής αντίστασης που χρησιμοποιεί το EP (Surface Roughness Multipliers (Walton 1981) ) [53]

Χαρακτηρισμός σκληρότητας (Roughness Index)	Rf	Παράδειγμα Υλικού
1: Αρκετά σκληρό (Very Rough)	2.17	Σοβάς
2: Σκληρό (Rough)	1.67	Οπτοπλινθοδομή
3: Μετρίως σκληρό (Medium Rough)	1.52	Τσιμέντο
4: Μετρίως Μαλακό (Medium Smooth)	1.13	Ξύλο Οξιάς
5:Μαλακό (Smooth)	1.11	Μαλακό ασβεστοκονίαμα
6: Αρκετά Μαλακό (Very Smooth)	1.00	Γυαλί

Ο συντελεστής φυσικής συναγωγής  $h$ , προσδιορίζεται από τον συσχετισμό του συντελεστή μεταφοράς θερμότητας με συναγωγή σε μια επιφάνεια, με την διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στην επιφάνεια αυτή και την θερμοκρασία της θερμικής ζώνης που εξετάζουμε (όπου  $\Delta T$ =θερμοκρασία αέρα – θερμοκρασία επιφάνειας). Ο αλγόριθμος αυτός, προέρχεται από το εγχειρίδιο της ASHRAE. [52], [39]

Για μηδενική θερμοκρασιακή διαφορά ή για κατακόρυφες επιφάνειες, χρησιμοποιείται η παρακάτω εξίσωση:

$$h = 1.31 |\Delta T|^{1/3} \quad 4.3$$

Για θερμοκρασιακές διαφορές  $\Delta T > 0.0$  στις κατάντη επιφάνειες, χρησιμοποιείται η ακόλουθη εξίσωση:

$$h = \frac{9.482 |\Delta T|^{1/3}}{7.283 - |\cos \Sigma|} \quad 4.4$$

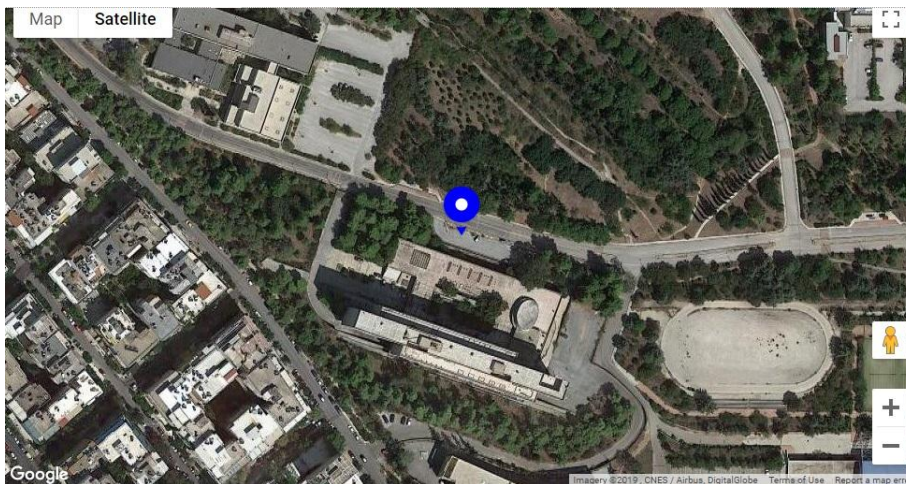
όπου  $\Sigma$  είναι η κλίση της επιφάνειας.

Για θερμοκρασιακές διαφορές  $\Delta T > 0.0$  στις ανάντη επιφάνειες ή για  $\Delta T < 0.0$  στις κατάντη επιφάνειες χρησιμοποιείται η εξίσωση

$$h = \frac{1,810 |\Delta T|^{1/3}}{1,382 + |\cos \Sigma|} \quad 4.5$$

## 5 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΚΑΙ ΤΩΝ ΠΑΡΑΔΟΧΩΝ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Στην παρούσα εργασία μελετάται η ενεργειακή απόδοση του κτιρίου της παλαιάς Φοιτητικής Εστίας του ΕΜΠ στην Πολυτεχνειούπολη του Ζωγράφου. Πρόκειται για ένα από τα πρώτα κτίρια που κτίστηκαν στον χώρο της Πολυτεχνειούπολης και ένα από τα παλαιότερα εν ενεργεία κτίρια φοιτητικών εστιών της χώρα.



Εικόνα 5.1 Δορυφορική λήψη του κτιρίου των εστιών [Google Maps]

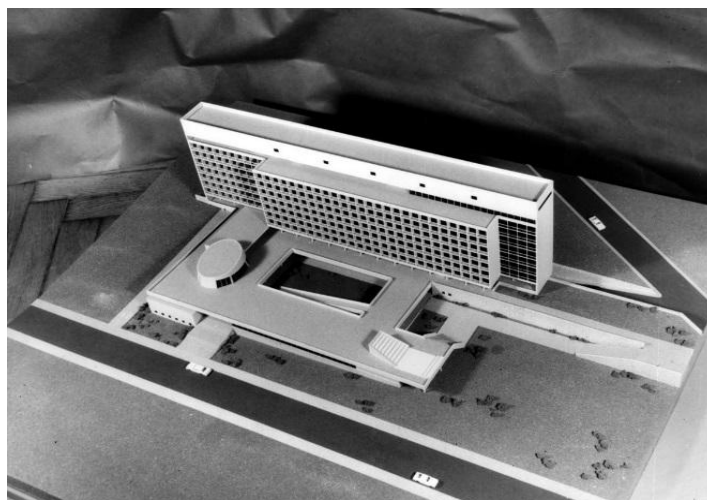
### 5.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Το 1966, το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο προκήρυξε Πανελλήνιο Αρχιτεκτονικό Διαγωνισμό και τον Σεπτέμβριο του 1967 η μελέτη ανατέθηκε στους αρχιτέκτονες Κωνσταντίνο Παπαϊωάννου και Κώστα Φινέ στους οποίους είχε απονεμηθεί το πρώτο βραβείο του Διαγωνισμού. Η στατική και η ηλεκτρομηχανολογική μελέτη ανατέθηκαν στους συνεργάτες των αρχιτεκτόνων, Ζεράρ Ναχνικιάν, πολιτικό μηχανικό, και Παναγιώτη Ιωαννίδη, μηχανολόγο-ηλεκτρολόγο. Σύμφωνα με τους όρους του συμφωνητικού που υπεγράφη, η μελέτη έπρεπε να ολοκληρωθεί σε 210 ημερολογιακές ημέρες για όλα τα στάδια, εκτός του χρόνου, που καταναλώθηκε για τις ενδιάμεσες εγκρίσεις. Το κτιριολογικό πρόγραμμα, βάσει του οποίου εκπονήθηκε η μελέτη, ήταν ακριβώς αυτό του αρχιτεκτονικού διαγωνισμού. Η κατασκευή του έργου άρχισε στο τέλος του 1970 και τελείωσε το 1974<sup>[54]</sup>.

Η Παλαιά Φοιτητική Εστία Ζωγράφου λειτουργεί αδιάλειπτα από το 1975 έως σήμερα. Στην Εστία στεγάζονται φοιτητές άλλων Πανεπιστημίων και Τ.Ε.Ι. και φοιτητές του Ε.Μ.Π. σε ποσοστό 1%. Αρμόδιο για την συντήρηση του κτιρίου είναι το ΙΝΕΔΙΒΙΜ (Ίδρυμα Νεολαίας και Δια Βίου Μάθησης). Σύμφωνα με το επίσημο καταστατικό και τους κανόνες που απευθύνονται στους σπουδαστές που μένουν στο κτίριο «ο οικότροφος πρέπει να θέτει το δωμάτιο του στην διάθεση της Τεχνικής Υπηρεσίας για εξωτερικές και εσωτερικές επισκευές, σε τακτικά διαστήματα κατά την διάρκεια του έτους και αφού ενημερωθεί νωρίτερα, έτσι ώστε αυτά να προβαίνουν στην αποκατάσταση ή στην εκτέλεση επισκευών στις κτιριακές εγκαταστάσεις, χωρίς να διασαλεύεται η ευταξία και ησυχία του χώρου». Κατά τα πρώτα χρόνια λειτουργίας υπήρχε μια σχετική φροντίδα συντήρησης του κτιρίου και του περιβάλλοντος χώρου. Αργότερα, το ενδιαφέρον ακολούθησε μια φθίνουσα πορεία ενώ με βάση τις μαρτυρίες των ίδιων των οικοτρόφων και επίσημων αρχών δεν έχει υπάρξει καμία σοβαρή ανακίνηση ή προσπάθεια συντήρησης από την έναρξη της λειτουργίας των ΦΕΕΜΠ μέχρι σήμερα.

Το κτίριο στην σημερινή του μορφή και κατάσταση δεν έχει καμία σχέση με το κτίριο που φαίνεται στην μακέτα της εικόνας. Σήμερα οι ελεύθεροι χώροι έχουν εγκαταλειφθεί και έχουν μετατραπεί σε parking μοτοσυκλετών, οι κοινόχρηστοι χώροι έχουν μαραζώσει, η αίθουσα πολλαπλών

χρήσεων δεν λειτουργεί, όπως και η κουζίνα του εστιατορίου. Επίσης επεμβάσεις έχουν γίνει από τους ίδιους τους ενοίκους στα δωμάτια και ιδιαίτερα στα μπαλκόνια, ενώ ακόμα και βασικά δομικά στοιχεία όπως είναι οι υαλοπίνακες στην βόρεια και την νότια όψη του κτιρίου έχουν πλέον καλυφθεί. Άλλα προβλήματα που αφορούν την κακή συντήρηση και εγκατάληψη του κτιρίου είναι οι αμέτρητες υλικές φθορές στα επιφανειακά του στοιχεία (πτώσεις σοβάδων, απογύμνωση του οπλισμού στο σκυρόδεμα, υλικές φθορές στα πλακάκια, τους νιπτήρες και τις λεκάνες στις τουαλέτες κ.α), η ανύπαρκτη συντήρηση του δικτύου σωληνώσεων η οποία έφτασε στο σημείο τα τελευταία χρόνια να καταστήσει το παρεχόμενο νερό μη πόσιμο, η αποδεδειγμένη ακαταλληλότητα των κοινόχρηστων χώρων υγιεινής καθώς και μία σειρά άλλων παραδειγμάτων. Σοβαρότερη περίπτωση όλων δε, είναι το πόρισμα της μελέτης για τον "Στατικό & Αντισεισμικό έλεγχο και μελέτη ενίσχυσης του φέροντα οργανισμού για την ολική ανακαίνιση της ΦΟΙΤΗΤΙΚΗΣ ΕΣΤΙΑΣ ΕΜΠ στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου" το οποίο εγείρει ερωτήματα για την κατοικισιμότητα της ΦΕΕΜΠ τα επόμενα χρόνια, εφόσον δεν υπάρξουν δραστικές λύσεις. Για το μέλλον του κτιρίου έχουν εκφραστεί επανειλημμένα οι ανησυχίες των οικοτρόφων αλλά και της πολυτεχνειακής κοινότητας, ενώ εκκρεμεί η μελέτη για την "Ολική ανακαίνιση της Φοιτητικής Εστίας στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου"(Αρχιτεκτονική, Στατική και Μελέτη Ηλεκτρομηχανολογικών Εγκαταστάσεων" η οποία ανακοινώθηκε μόλις τον Απρίλη του 2019.



Εικόνα 5.2 Η πρωτότυπη μακέτα του κτιρίου των ΦΕΕΜΠ [54]

## 5.2 ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ

Το κτίριο της ΦΕΕΜΠ βρίσκεται στην περιοχή του Ζωγράφου σε γεωγραφικό πλάτος και ύψος  $37^{\circ}58'26.0''N$   $23^{\circ}46'54.1''E$  αντίστοιχα και έχει νότιο προσανατολισμό. Η κύρια προσπέλαση του κτιρίου για αυτοκίνητα και πεζούς γίνεται από κεντρική οδό του Δήμου Ζωγράφου (οδός Ηρώων Πολυτεχνειού) και συνδέεται με το οδικό δίκτυο της Πολυτεχνειούπολης. Η τροφοδοσία του κτιρίου γίνεται με κεκλιμένο επίπεδο απ' ευθείας από τον εξωτερικό δρόμο προς το υπόγειο.

Παρά τη μεγάλη έκτασή του ο χώρος, που διατέθηκε για την οικοδόμηση του κτιρίου της Φοιτητικής Εστίας, ήταν περιορισμένος. Στα τελικά σχέδια, που εφαρμόστηκαν, έχουν τηρηθεί οι βασικές αρχές και η κατανομή των λειτουργικών ενοτήτων, όπως είχαν διατυπωθεί στην πρόταση του Αρχιτεκτονικού Διαγωνισμού. Κατά τη διάρκεια της μελέτης προσχεδίων διαφοροποιήθηκε η διάταξη των κοιτώνων στους ορόφους, από τον δεύτερο έως και τον όγδοο, επηρεάζοντας και εξωτερικά τις όψεις του κτιρίου δίνοντας στον κύριο όγκο του πιο ενδιαφέρουσα μορφή. Η επιφάνεια την οποία καταλαμβάνει η κάτοψη των ορόφων που μελετώνται στην παρούσα εργασία (όροφοι κοιτώνων) είναι  $2077m^2$ .

Οι διάφορες λειτουργικές ενότητες, που ορίζονται στο πρόγραμμα, τοποθετήθηκαν στο κτίριο ανάλογα με τη χρήση τους και τη σημασία τους. Κατανεμήθηκαν:

- σε ένα υψηλό κτίριο δέκα ορόφων οι κοιτώνες των σπουδαστών, οι ξενώνες, το ιατρείο και η κατοικία διευθυντή και
- στους ισόγειους χώρους με την κύρια είσοδο, το χωλ και τα καθιστικά, το εστιατόριο, η αίθουσα πολλαπλών χρήσεων και τα γραφεία διοίκησης.

Στο ισόγειο τοποθετήθηκαν η κεντρική είσοδος, το χωλ με τις πληροφορίες, τα δύο κλιμακοστάσια και τους ανελκυστήρες προς τους ορόφους, οι χώροι υποδοχής με τα καθιστικά, οι βοηθητικοί χώροι, το τηλεφωνικό κέντρο GR, WC και αποθήκες.

Σε ένα υπερυψωμένο επίπεδο έχουν τοποθετηθεί τα γραφεία της Διοίκησης, με επί πλέον ιδιαίτερη εξωτερική προσπέλαση, πέραν αυτής από την κεντρική είσοδο. Η μεγάλη αίθουσα πολλαπλών χρήσεων, χωρητικότητας 600 ατόμων έχει είσοδο από το κεντρικό χωλ, αλλά και ιδιαίτερη εξωτερική είσοδο στην νοτιοανατολική πλευρά της, ώστε να μπορεί να λειτουργεί και ανεξάρτητα. Ανάλογα με την περίπτωση χρησιμοποιείται για διαλέξεις, θέατρο, κινηματογράφο, κ.λπ. με τους απαραίτητους χώρους και τον μηχανικό εξοπλισμό για κάθε χρήση. Η αίθουσα αυτή παραμένει κλειστή προσωρινά λόγω ακαταλληλότητας.

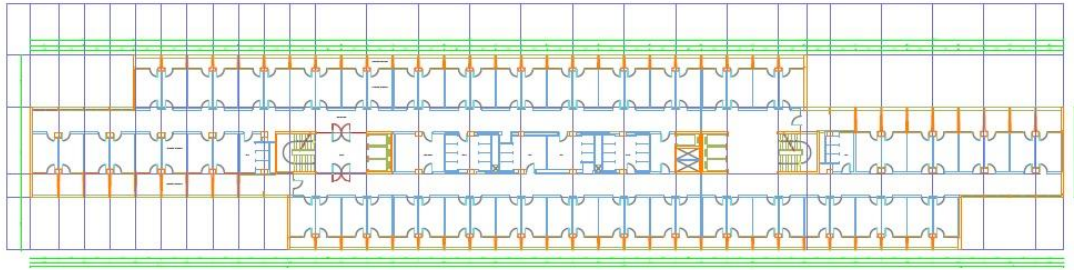
Στο ισόγειο είχε τοποθετηθεί και το εστιατόριο συνολικού εμβαδού 380m<sup>2</sup> με πλήρη εξοπλισμό, που λειτουργεί με το σύστημα της αυτοεξυπηρέτησης (πλέον δεν λειτουργεί με τον ίδιο τρόπο).

Η κεντρική είσοδος του συγκροτήματος, οι χώροι υποδοχής και καθιστικών και ο χώρος του εστιατορίου περικλείουν ένα αίθριο ικανών διαστάσεων με πράσινο και καθιστικά, ώστε να εξυπηρετεί τους σπουδαστές τους περισσότερους μήνες του έτους. Ένα κεκλιμένο επίπεδο σε καίριο σημείο ενώνει το αίθριο και τους ημιυπαίθριους χώρους του ισογείου με το δώμα, κατάλληλα διαμορφωμένο για παραμονή, περίπατο ακόμα και για μουσικές ή άλλες εκδηλώσεις. Από το δώμα μπορεί κανείς να προσεγγίσει και τους χώρους θορυβωδών ή ήσυχων παιχνιδιών, το σχεδιαστήριο, καθώς και τους χώρους του πρώτου ορόφου με τη βιβλιοθήκη, αναγνωστήρια και αίθουσες ξένων γλωσσών, που άλλωστε εξυπηρετούνται και εσωτερικά από τα δύο κλιμακοστάσια και τους ανελκυστήρες.

Μια ενιαία πλάκα με συμπαγές στηθαίο καλύπτει τους χώρους του ισογείου, ενοποιεί όλους τους επί μέρους όγκους και κυριαρχεί ως ένα ισχυρό οριζόντιο στοιχείο. Το αίθριο καθώς και οι υπαίθριοι και οι ημιυπαίθριοι χώροι διεισδύουν στην κύρια μάζα των κλειστών χώρων του ισογείου συμβάλλοντας σε μια συνεχή εναλλαγή εντυπώσεων.

Πάνω από το δώμα και τον πρώτο όροφο υψώνονται επτά όροφοι με 476 κοιτώνες σπουδαστών (68 ανά όροφο). (από τους ορόφους αυτούς πλέον μόνο οι 6 κατοικούνται καθώς ο 9<sup>ος</sup> δεν χρησιμοποιείται εδώ και χρόνια) Τα δωμάτια των κοιτώνων έχουν διαστάσεις 2,75\*4,1\*2.4 m<sup>3</sup> ενώ κάθε κοιτώνας εξοπλίζεται με κρεβάτι, σχεδιαστήριο, καθίσματα, μικρή βιβλιοθήκη, ερμάρια και νιπτήρα. Οι κοιτώνες είναι παρατεταγμένοι σε διαδρόμους ενώ όλοι διαθέτουν μπαλκόνια. Η πλευρά του κάθε κοιτώνα που εκτίθεται στο μπαλκόνι διαθέτει μεγάλη επιφάνεια μονού υαλοπίνακα χωρίς μόνωση, ενώ η είσοδος από τον διάδρομο εξασφαλίζεται με απλή ξύλινη πόρτα. Ο φωτισμός των δωματίων γίνεται με την χρήση 2 λαμπτήρων spot και ενός επιπλέον λαμπτήρα πυράκτωσης πάνω από τον νιπτήρα.





Εικόνα 5.3 Κάτοψη των κατοικίσιμων ορόφων (πανομοιότυπη για τους ορόφους 1 έως 8) [Τεχνική Υπηρεσία ΕΜΠ]

Οι χώροι υγιεινής ανά όροφο είναι κοινόχρηστοι και περιλαμβάνουν WC και douches, επίσης offices και χώρους λινοθηκών ανά 100 άτομα. Στον ένατο όροφο βρίσκονται οι ξενώνες με κοινόχρηστους χώρους, καθιστικά, WC και douches.

Στον δέκατο και τελευταίο όροφο βρίσκονται η κατοικία του διευθυντή, το ιατρείο και αναρρωτήριο 18 κλινών, με τις ανάλογες λινοθήκες, WC και λουτρά. (Ο όροφος αυτός δεν χρησιμοποιείται πια.) Στο υπόγειο τοποθετούνται βοηθητικοί χώροι, αποθήκες, τα μηχανοστάσια κεντρικής θέρμανσης και κλιματισμού και ο ηλεκτρικός υποσταθμός. Κάτω από το δάπεδο του πρώτου ορόφου κοιτώνων εκτείνεται χώρος χαμηλού ύψους για τη συγκέντρωση των μηχανολογικών σωληνώσεων αποχετεύσεων και θέρμανσης, χώρος, που επιτρέπει την επίσκεψη και τη συντήρηση των εγκαταστάσεων.

Όλα τα εμφανή τμήματα του φέροντος οργανισμού του κτιρίου, ως και η διαμόρφωση των όψεων, παραμένουν ανεπίχριστο σκυρόδεμα. Οι ξυλότυποι έχουν τοποθετηθεί βάσει ειδικών σχεδίων και είναι από σανίδες καινούργιες και απλάνιστες. Πηχίσκοι διαφόρων διατομών διακόπτουν σε επιλεγμένα σημεία τις επιφάνειες του γυμνού σκυροδέματος είτε για να αποκρύψουν έντεχνα τις αναπόφευκτες κακοτεχνίες κατά τα διαφορετικά στάδια διάστρωσης του σκυροδέματος, είτε για να προσδώσουν κλίμακα στις γυμνές επιφάνειες. Οι εξωτερικοί τοίχοι του κτιρίου έχουν πάχος 25cm και είναι ακτασκευασμένοι από ανεπίχριστο οπλισμένο σκυρόδεμα. Υπάρχουν στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα τα οποία δεν φέρουν μόνωση και έχουν συντελεστή θερμοπερατότητας ίσο με 3,83 W/m<sup>2</sup>K. Ο συντελεστής θερμοπερατότητας είναι κατά πολύ μεγαλύτερος από αυτόν που ορίζεται από τον Κανονισμό Θερμομόνωσης, που για την Β' Κλιματική Ζώνη στην οποία ανήκει η Αθήνα ορίζεται σε 0,7 W/m<sup>2</sup>K. Οι εσωτερικοί αποτελούνται από στρώσεις οπτοπληθοδομής, επιχρήματος και πλακιδίων όπως αναφέρεται πιο αναλυτικά και παρακάτω. Το δάπεδο του κάθε ορόφου είναι κατασκευασμένο από οπλισμένο ελαφρό σκυρόδεμα. Πάνω από αυτό υπάρχει στεγάνωση και η τελική επικάλυψη διαμορφώνεται με μωσαϊκό. Κάτω από το άοπλο σκυρόδεμα υπάρχει στρώση χαλικιών. Το δάπεδο δεν φέρει μόνωση. Ο συντελεστής θερμοπερατότητας της κατασκευής του δαπέδου είναι 1,21 W/m<sup>2</sup>K και είναι μικρότερος από αυτόν που ορίζεται από τον Κανονισμό Θερμομόνωσης, που για την Β' Κλιματική Ζώνη στην οποία ανήκει η Αθήνα ορίζεται σε 1,9 W/m<sup>2</sup>K.

Για την θέρμανση του κτιρίου είναι εγκατεστημένοι συμβατικοί λέβητες πετρελαίου ο οποίοι λειτουργούν για 5 ώρες την ημέρα κατά τους χειμερινούς μήνες παρέχοντας 650 με 800 λίτρα ζεστού νερού την ημέρα τα οποία ισομοιράζονται για την τροφοδοσία ζεστού νερού χρήσης και για την θέρμανση των δωματίων (με επιδαπέδια θερμαντικά σώματα παλαιάς τεχνολογίας). Η ελλιπής θέρμανση των δωματίων οδηγεί τους οικοτρόφους στην αναζήτηση άλλων λύσεων θέρμανσης πέρα από την κεντρικά παρεχόμενη όπως είναι η χρήση αερόθερμου. Σε χώρους ειδικής χρήσης, η θέρμανση γίνεται και με άλλα μέσα όπως είναι τα συστήματα ανακυκλοφορίας στο εστιατόριο. Μέριμνα για την ψύξη των δωματίων δεν υπάρχει ενώ πέρα από τη χρήση ανεξάρτητων κλιματιστικών μονάδων (A/C) που παρατηρούνται σε κάποια δωμάτια αλλά κυρίως στους χώρους των γραφείων. Το αμφιθέατρο διαθέτει αυτόνομο σύστημα ψύξης σε παράπλευρο χώρο. Η κεντρικές μονάδες των

κλιματιστικών σωμάτων βρίσκονται είτε στην εξωτερική πλευρά του κάθε χώρου, είτε στην ταράτσα όπου το πρώτο δεν είναι εφικτό. Ακόμη, παρατηρήθηκε ότι ορισμένα από αυτά είναι πολύ παλαιάς τεχνολογίας. Ο τύπος των κλιματιστικών διαφέρει από χώρο σε χώρο. Επιπλέον είναι εγκατεστημένα και δύο σώματα τύπου «ντουλάπα» κατασκευής LG στον χώρο του εστιατορίου.

### 5.3 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ

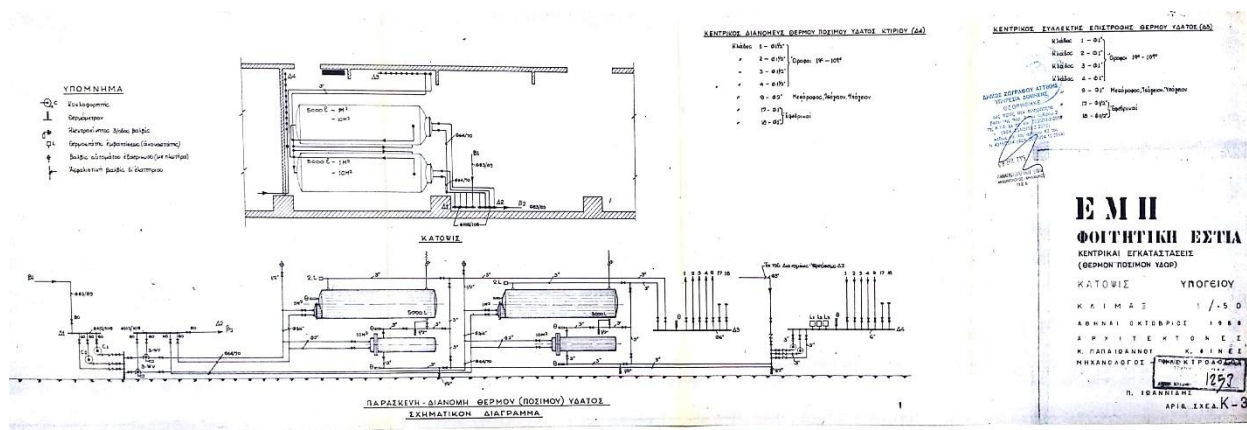
#### 5.3.1 ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Για την όσο το δυνατόν ρεαλιστικότερη μοντελοποίηση του κτιρίου και συγκεκριμένα για τον σχεδιασμό και την προσομοίωση των κατοικίσιμων ορόφων του (όροφοι 1 έως 8) ελήφθησαν δεδομένα με τους παρακάτω τρόπους:

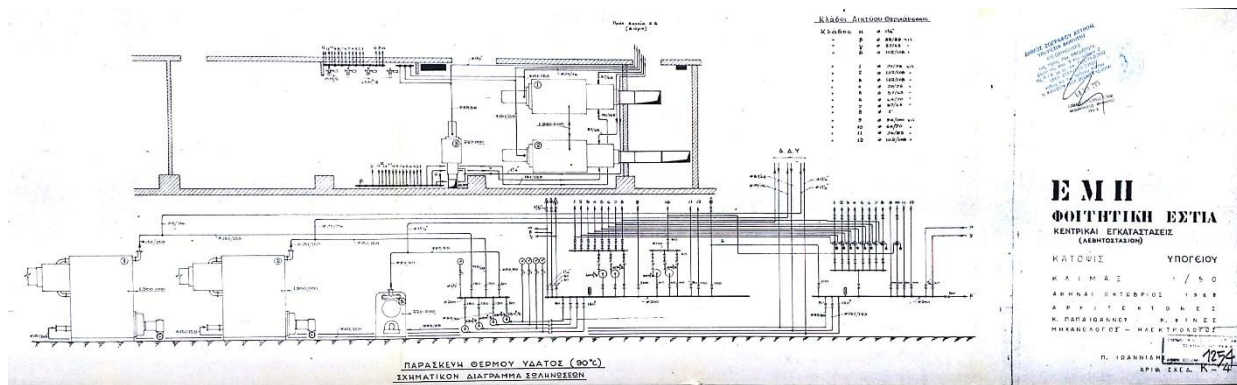
- Από τα αρχεία της Τεχνικής Υπηρεσίας του ιδρύματος. Τα αρχεία αυτά περιλαμβάνουν τα αρχιτεκτονικά-κατασκευαστικά σχέδια και τα σχέδια των Η/Μ εγκαταστάσεων (όπως αυτά που παρατίθενται στις παρακάτω εικόνες) τα οποία ωστόσο είναι σε μεγάλο βαθμό απαρχαιωμένα και δεν ανταποκρίνονται στην παρούσα κατάσταση του κτιρίου.
- Από τα στοιχεία τα οποία μας έδωσε η επιτόπια έρευνα και ο επιστάτης του κτιρίου Κος Ν και ο υπεύθυνος της Τεχνικής Υπηρεσίας Κος Φ.Ζ.
- Από την τεχνική οδηγία ΤΟΤΕΕ 20701-1/2017 για τις «ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΕΘΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΤΙΡΙΩΝ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΚΔΟΣΗ ΤΟΥ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΤΙΚΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗΝ ΑΝΑΘΕΩΡΗΣΗ ΤΟΥ Κ.ΕΝ.Α.Κ. (2017)»<sup>[29]</sup>

Όπως αναφέρει άλλωστε και η τελευταία:

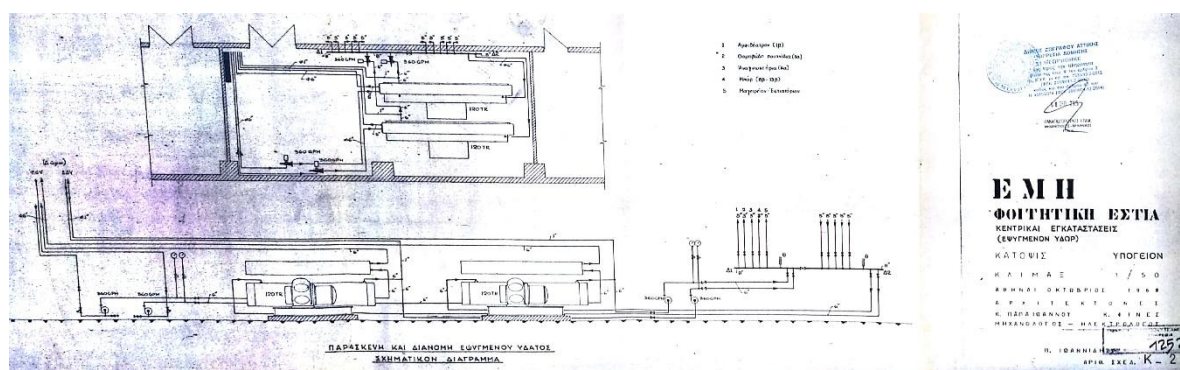
«Για τη διενέργεια της ενεργειακής επιθεώρησης, ο ιδιοκτήτης του κτιρίου είναι υποχρεωμένος να διαθέσει στο μηχανικό αντίγραφο της αρχιτεκτονικής μελέτης και της μελέτης θερμομόνωσης που υποβλήθηκε στην οικεία υπηρεσία δόμησης. Εάν αυτό δεν είναι εφικτό, ο ιδιοκτήτης πρέπει να διαθέσει στο μηχανικό τα αρχιτεκτονικά σχέδια του κτιρίου (κατόψεις, τομές) «ως κατασκευασθέντος». Σε κάθε περίπτωση, η πιστότητα εφαρμογής των αρχιτεκτονικών σχεδίων πρέπει να επιβεβαιωθεί κατά τη διάρκεια της επιθεώρησης με δειγματοληπτικές (π.χ. ανά όροφο κτιρίου) ή αναλυτικές μετρήσεις με τη χρήση κατάλληλων οργάνων. Σε περίπτωση απόκλισης της γεωμετρίας του κτιρίου από τα τελικά αρχιτεκτονικά σχέδια, λαμβάνεται υπόψη η σχηματική αποτύπωση γεωμετρίας του κτιρίου από τον επιθεωρητή.»<sup>[29]</sup>



Εικόνα 5.4 Μηχανολογικά Σχέδια των Κεντρικών Εγκαταστάσεων του δικτύου διανομής Ζεστού Νερού Χρήσης [Τεχνική Υπηρεσία ΕΜΠ]



Εικόνα 5.5 Μηχανολογικά Σχέδια του Λεβητοστασίου [Τεχνική Υπηρεσία ΕΜΠ]



Εικόνα 5.6 Μηχανολογικά Σχέδια του συστήματος Ψύξης [Τεχνική Υπηρεσία ΕΜΠ]

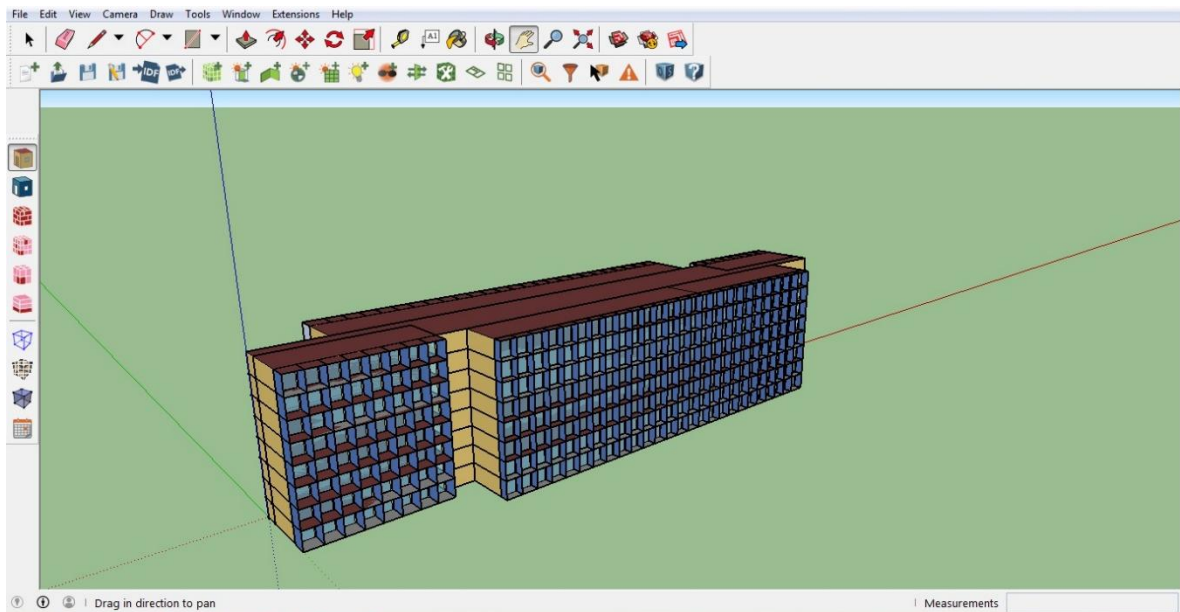
### 5.3.2 ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΕ ΓΙΑ ΤΗΝ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ

Τα λογισμικά που χρειάστηκαν για την σχεδίαση και ενεργειακή προσομοίωση του κτιρίου των εστών, με τη σειρά χρήσης τους, είναι: το google SketchUp (version 2016), το Open Studio plug-in for SketchUp και το Energy Plus (v.8.4).

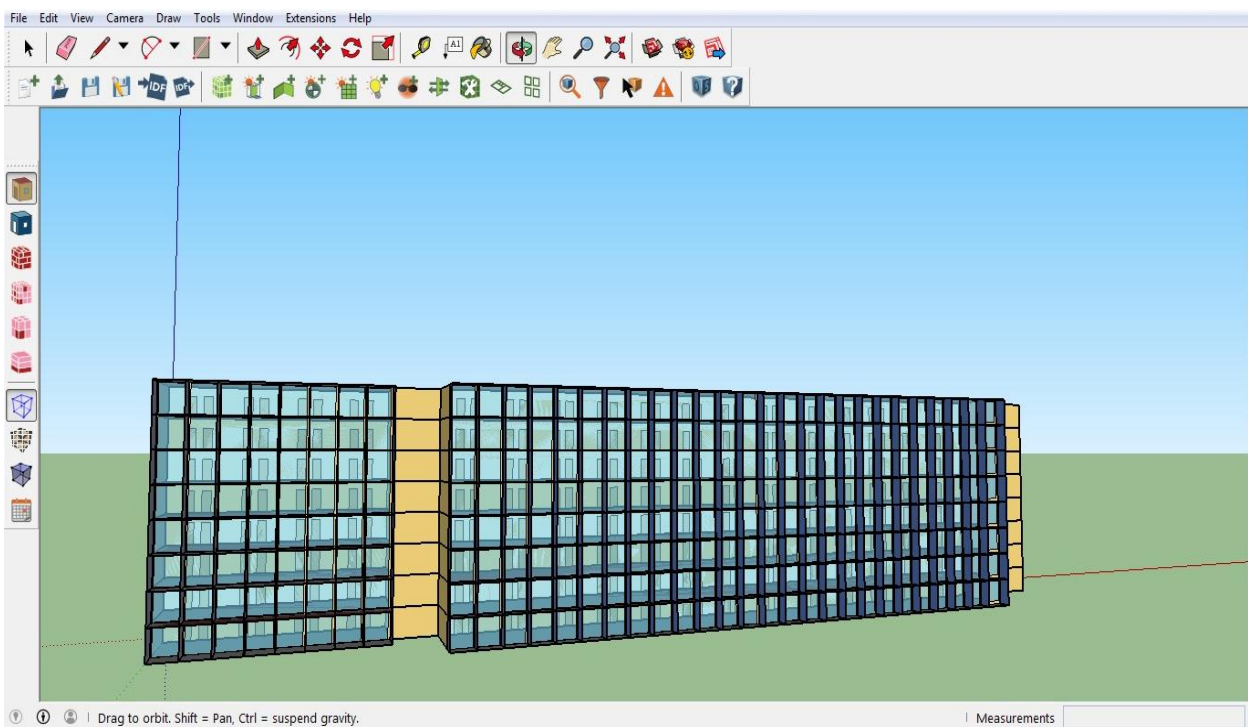
Το SketchUp είναι ένα πρόγραμμα τρισδιάστατης μοντελοποίησης ευρείας χρήσης, με πολλαπλές εφαρμογές. Το Open Studio αποτελεί μια πλατφόρμα εργαλείων λογισμικού για την υποστήριξη της ενεργειακής προσομοίωσης ενός κτιρίου. Η λειτουργία Open Studio plug-in που προσφέρει το λογισμικό Open Studio αποτελεί ένα μέσο γραφικής ενεργειακής μοντελοποίησης που υποστηρίζεται και “φιλοξενείται” στον περιβάλλοντα χώρο του SketchUp με τη μορφή μια επιπρόσθετης “ηλεκτρονικής εργαλειοθήκης”. Κατά το σχεδιασμό της γεωμετρίας στο περιβάλλον του SketchUp γίνεται συνδυασμός τόσο των εργαλείων του, όσο και αυτών του Open Studio plug-in. Το τελευταίο μετατρέπει αυτόματα το αρχείο σχεδιασμού σε μορφή (.idf) αναγνώσιμη από το Energy Plus και υλοποιήσιμη από το υποπρόγραμμα EP-Launch.

Το EP-Launch επιτρέπει στο χρήστη να επιλέξει τα αρχεία εισόδου που επιθυμεί να εκτελεστούν, μορφής .idf, (όπως αυτό που δημιουργήθηκε από τη “συνεργασία” των SketchUp και Legacy Open Studio plug-in) καθώς και τα αρχεία καιρού (τα οποία δίνουν πληροφορίες σχετικά με τις μετεωρολογικές συνθήκες της τοποθεσίας που ευρίσκεται το κτίριο) βάσει των οποίων θα προκύψει η ενεργειακή προσομοίωση με την επιλογή “simulate”.





Εικόνα 5.7 Βορειοανατολική όψη των ορόφων 1 έως 8 των ΦΕΕΜΠ στο σχεδιαστικό περιβάλλον SketchUp



Εικόνα 5.8 Βορινή όψη των ορόφων 1 έως 8 του κτιρίου των ΦΕΕΜΠ στο σχεδιαστικό περιβάλλον SketchUp με έμφαση στην αποτύπωση των υαλινάκων και τωνεσωτερικών θυρών του διαδρόμου

### 5.3.3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΤΟΤΕΕ-20701-1-2017

Με βάση την τελευταία έκδοση των οδηγιών του ΤΕΕ<sup>[29]</sup> έχουμε ότι:

- Σύμφωνα με τα άρθρα 6,7 του Κ.Εν.Α.Κ κάθε νέο ή κάθε υφιστάμενο προς ανακαίνιση κτίριο θα πρέπει να πληροί τις ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης κατά τα άρθρα 6,7 του ν. 4122/2013 (ΦΕΚ Α' 42)

- Η ενεργειακή απόδοση των κτιρίων προσδιορίζεται με βάση τη συνολική κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας. Η μεθοδολογία υπολογισμού θα πρέπει να περιλαμβάνει κατ' ελάχιστον τα παρακάτω στοιχεία:
  1. την πραγματική κύρια χρήση του κτιρίου ή της κτιριακής μονάδας, τις επιθυμητές συνθήκες εσωτερικού περιβάλλοντος (θερμοκρασία, υγρασία, αερισμό), τα χαρακτηριστικά λειτουργίας και τον αριθμό χρηστών,
  2. τα κλιματικά δεδομένα της περιοχής του κτιρίου ή της κτιριακής μονάδας (θερμοκρασία, σχετική και απόλυτη υγρασία, ταχύτητα ανέμου και ηλιακή ακτινοβολία),
  3. τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του κτιριακού κελύφους (μορφή του κτιρίου, διαφανείς και μη επιφάνειες, σκίαστρα κ.ά.), σε σχέση με τον προσανατολισμό και τα χαρακτηριστικά των εσωτερικών δομικών στοιχείων (χωρίσματα κ.ά.),
  4. τα θερμοφυσικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του κτιριακού κελύφους (θερμοπερατότητα, θερμική μάζα, απορροφητικότητα ηλιακής ακτινοβολίας, διαπερατότητα κ.ά.),
  5. τα τεχνικά χαρακτηριστικά των Η/Μ συστημάτων για ΘΨΚ και ΖΝΧ (τύπος συστημάτων, δίκτυο διανομής, απόδοση συστημάτων κ.α.),
  6. τα τεχνικά χαρακτηριστικά της εγκατάστασης γενικού φωτισμού (στα κτίρια τριτογενή τομέα)
  7. τα τεχνικά χαρακτηριστικά των διατάξεων αυτομάτου ελέγχου και ρύθμισης λειτουργίας των Η/Μ συστημάτων
  8. το μηχανικό και φυσικό αερισμό, που περιλαμβάνει και την αεροστεγανότητα,
  9. τα παθητικά και υβριδικά ηλιακά συστήματα και την ηλιακή προστασία,
  10. την παθητική θέρμανση και δροσισμό,
  11. τις κλιματικές συνθήκες εσωτερικού χώρου, λαμβάνοντας υπόψη και τις συνθήκες σχεδιασμού εσωτερικού κλίματος,
  12. τα εσωτερικά φορτία.
- Στους υπολογισμούς ενεργειακής απόδοσης λαμβάνεται υπόψη η θετική επίδραση των κατωτέρω παραγόντων:
  1. των ενεργητικών ηλιακών συστημάτων και άλλων συστημάτων θέρμανσης, ψύξης, ΖΝΧ και παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας βασιζόμενων σε ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές (ΑΠΕ)
  2. της ωφέλιμης θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας παραγόμενης με συμπαραγωγή (ΣΗΘ) και των συστημάτων τηλεθέρμανσης και τηλεψύξης σε κλίμακα περιοχής ή οικοδομικού τετραγώνου, του φυσικού φωτισμού.
- Επίσης στη μεθοδολογία υπολογισμού συνεκτιμάται κατά περίπτωση η θετική επίδραση των ακόλουθων συστημάτων:
  1. των ενεργητικών ηλιακών συστημάτων και άλλων συστημάτων θέρμανσης, ψύξης, ΖΝΧ και παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας βασιζόμενων σε ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές (ΑΠΕ),
  2. της ωφέλιμης θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας παραγόμενης με συμπαραγωγή (ΣΗΘ) και των συστημάτων τηλεθέρμανσης και τηλεψύξης σε κλίμακα περιοχής ή οικοδομικού τετραγώνου,
  3. του φυσικού φωτισμού.

#### 5.3.3.1 ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ, ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΠΡΩΤΟΓΕΝΟΥΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΚΤΙΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

Οι ειδικές συνθήκες λειτουργίας των επί μέρους χώρων ενός κτιρίου (WC, διαδρόμων, αποθηκών κ.ά.) λαμβάνονται υπόψη μόνο κατά το σχεδιασμό του κτιρίου ή κατά το σχεδιασμό της θερμικής ζώνης, ενώ κατά την μελέτη ενεργειακής απόδοσης λαμβάνεται υπόψη μια ενιαία τιμή για

κάθε παράμετρο (θερμοκρασία, σχετική υγρασία κ.ά.), όπως αναφέρεται στη γενική χρήση κτιρίου στους αντίστοιχους πίνακες.

Το κτίριο αναφοράς σύμφωνα με τον ορισμό του είναι ένα κτίριο με το ίδιο προφίλ και με ίδιες συνθήκες λειτουργίας με το υπό μελέτη κτίριο. Κατά συνέπεια οι συνθήκες λειτουργίας ισχύουν τόσο για το κτίριο αναφοράς, όσο και για το προς μελέτη ή προς επιθεώρηση κτίριο, εκτός αν για το υπό μελέτη κτίριο καθορίζεται διαφορετική τιμή για κάποια από τις παραμέτρους των υποενοτήτων των συνθηκών λειτουργίας.

Ο υπολογισμός κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας για την ενεργειακή μελέτη γίνεται με βάση την μεθοδολογία των άρθρων 4,5 του Κ.Εν.Α.Κ. Σύμφωνα με το άρθρο 5 του Κ.Εν.Α.Κ., για τους υπολογισμούς της ενεργειακής απόδοσης και της ενεργειακής κατάταξης των κτιρίων εφαρμόζεται η μέθοδος ημι-σταθερής κατάστασης μηνιαίου βήματος του ευρωπαϊκού προτύπου ΕΛΟΤ EN ISO 13790 και των υπόλοιπων ευρωπαϊκών προτύπων, όπως αυτά απεικονίζονται στο παράρτημα 1 του Κ.Εν.Α.Κ.

Για την επιλογή των παραμέτρων που αφορούν τις συνθήκες λειτουργίας των επιμέρους χώρων της ΦΕΕΜΠ γίνεται επαρκής τεκμηρίωση στις ακόλουθες ενότητες.

Σε ότι αφορά τα όρια όρια χαρακτηρισμού του κτιρίου αναφοράς, χρησιμοποιήθηκαν οι οδηγίες με βάση τον «Νόμο 3661 - Μέτρα για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων» και το «Σχέδιο Κανονισμού για την Ενεργειακή Αποδοτικότητα των κτιρίων – Κ.ΕΝ.Α.Κ»<sup>[55]</sup>. Συγκεκριμένα θεωρούμε ότι το κτίριο αναφοράς είναι ένα τυπικό κτίριο ξενοδοχείου στην κλιματική ζώνη Β (αφού με βάση τις 12 κατηγορίες χρήσης που δίνει η εν λόγω οδηγία αυτή είναι η πλησιέστερη) για το οποίο έχουμε κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας 165 kWh/m<sup>2</sup> όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα:

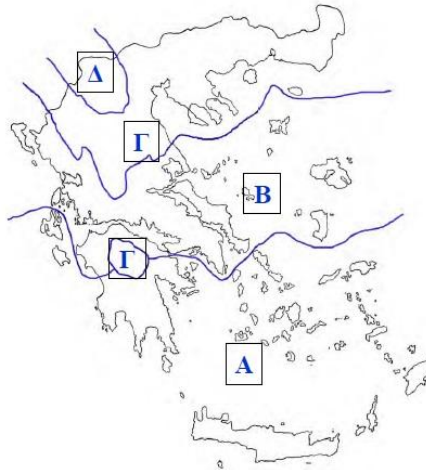
Πίνακας 5.1 Όρια ενεργειακών κατηγοριών ξενοδοχείων για τις 4 κλιματικές ζώνες [Κ.ΕΝ.Α.Κ]

ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟ												
Μέγιστες και ελάχιστες τιμές ενεργειακής κατανάλωσης [(kWh/(m <sup>2</sup> *έτος))]												
Κλιματική Ζώνη												
	Α			Β			Γ			Δ		
<b>A+</b>		EK <	55		EK <	65		EK <	75		EK <	85
<b>A</b>	55	≤ EK <	80	65	≤ EK <	95	75	≤ EK <	110	85	≤ EK <	125
<b>B+</b>	80	≤ EK <	120	95	≤ EK <	140	110	≤ EK <	165	125	≤ EK <	190
<b>B</b>	120	≤ EK <	160	140	≤ EK <	190	165	≤ EK <	220	190	≤ EK <	250
<b>Γ</b>	160	≤ EK <	210	190	≤ EK <	220	220	≤ EK <	255	250	≤ EK <	295
<b>Δ</b>	210	≤ EK <	265	220	≤ EK <	250	255	≤ EK <	290	295	≤ EK <	335
<b>E</b>	265	≤ EK <	330	250	≤ EK <	315	290	≤ EK <	365	335	≤ EK <	415
<b>Z</b>	330	≤ EK <	395	315	≤ EK <	375	365	≤ EK <	435	415	≤ EK <	500
<b>H</b>	395	≤ EK		375	≤ EK		435	≤ EK		500	≤ EK	

### 5.3.3.2 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΖΩΝΗΣ

Σημαντική παράμετρος για την προσομοίωση του κτιρίου μας και η αντιστοίχησή του με την ανάλογη κλιματική ζώνη. Η κλιματική ζώνη που αντιστοιχεί στην περίπτωση μας είναι η ΖΩΝΗ Β: Αττικής (εκτός Κυθήρων & νησιών Σαρωνικού), Κορινθίας, Ηλείας, Αχαΐας, Αιτωλοακαρνανίας, Φθιώτιδας, Φωκίδας, Βοιωτίας, Ευβοίας, Μαγνησίας, Λέσβου, Χίου, Κέρκυρας, Λευκάδας, Θεσπρωτίας, Πρέβεζας, Άρτας.

## ΚΕΝΑΚ - ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ



Εικόνα 5.9 Οι κλιματικές ζώνες στην Ελλάδα σύμφωνα με τον Κ.Ε.Ν.Α.Κ

### 5.3.3.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΚΤΙΡΙΟΥ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ Κ.Ε.Ν.Α.Κ

Στον ΚΤΙΡΙΟΔΟΜΙΚΟ κανονισμό καθορίζονται οι βασικές κατηγορίες των κτιρίων και οι επί μέρους υποκατηγορίες (χρήσεις). Προκειμένου να καθοριστούν οι συνθήκες λειτουργίας των κτιρίων ανάλογα με τη χρήση καθορίζονται οι βασικές κατηγορίες και χρήσεις κτιρίων, στις οποίες θα εντάσσεται το υπό μελέτη ή επιθεώρηση κτίριο, προκειμένου να πιστοποιηθεί η ενεργειακή του απόδοση. Με βάση την κατηγοριοποίηση που προτείνει ο Κ.Ε.ν.Α.Κ το κτίριο της ΦΕΕΜΠ ορίζεται ως «κτίριο προσωρινής διαμονής: οικοτροφείο/κοιτώνας».

Ειδικότερα σε ότι αφορά την περίοδο της οικοδομικής άδειας, το κτίριο των ΦΕΕΜ υπάγεται στην 1<sup>η</sup> κατηγορία η οποία περιλαμβάνει τα κτίρια εκείνα, των οποίων η οικοδομική άδεια έχει εκδοθεί πριν από την εφαρμογή του Κανονισμού Θερμομόνωσης Κτιρίων (4 Ιουλίου 1979), χρονική περίοδο κατά την οποία δεν υπήρχε καμία απαίτηση για θερμομονωτική προστασία του κτιριακού κελύφους. Επιπλέον του χαρακτηρισμού αυτού, συμπληρώνεται ο χαρακτηρισμός του «κτιρίου χωρίς καμία πρόνοια θερμομονωτικής προστασίας» ως υποκατηγορία στην 1<sup>η</sup> κατηγορία που αναφέρθηκε παραπάνω.

### 5.3.4 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΖΩΝΩΝ

Για την εκτίμηση της ενεργειακής του απόδοσης το κτίριο χωρίζεται σε «θερμικές ζώνες», δηλαδή σε χώρους με παρόμοια χρήση, ίδιο προφίλ λειτουργίας ή/και κοινά ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα. Για το διαχωρισμό του κτιρίου σε θερμικές ζώνες συνιστάται να ακολουθούνται οι παρακάτω γενικοί κανόνες:

- Ο διαχωρισμός του κτιρίου να γίνεται στο μικρότερο δυνατό αριθμό ζωνών, προκειμένου να επιτυγχάνεται οικονομία στο πλήθος των δεδομένων εισόδου και στον υπολογιστικό χρόνο.
- Κατά τη μελέτη ή την επιθεώρηση ο προσδιορισμός των θερμικών ζωνών να γίνεται καταγράφοντας την πραγματική εικόνα λειτουργίας του κτιρίου.
- Τμήματα του κτιρίου με όγκο μικρότερο από το 10% του συνολικού όγκου του κτιρίου να εξετάζονται ενταγμένα σε άλλες θερμικές ζώνες, κατά το δυνατόν παρόμοιες, ακόμη και αν οι συνθήκες λειτουργίας τους δικαιολογούν τη θεώρησή τους ως ανεξάρτητων ζωνών.

Για τους υπολογισμούς των απαιτούμενων φορτίων θέρμανσης και ψύξης, το κτίριο θα πρέπει να μελετάται ως μια ενιαία θερμική ζώνη ή να διαχωρίζεται κατά περίπτωση σε περισσότερες θερμικές

ζώνες. Ο καθορισμός ανεξάρτητων διαφορετικών θερμικών ζωνών σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ. και το πρότυπο ΕΛΟΤ EN ISO 13790:2009 επιβάλλεται στις περιπτώσεις κατά τις οποίες:

- Η επιθυμητή θερμοκρασία των εσωτερικών χώρων διαφέρει περισσότερο από 4 K (4 οC) σε σχέση με τα άλλα τμήματα του κτιρίου κατά τη χειμερινή ή/και τη θερινή περίοδο.
- Υπάρχουν χώροι με διαφορετική χρήση / λειτουργία. Για παράδειγμα, σε ένα νοσοκομείο υπάρχουν αίθουσες νοσηλείας, γραφείων, χειρουργείων, ειδικών ιατρικών μηχανημάτων, εργαστήρια κ.ά. Οι χώροι διαφορετικών χρήσεων έχουν συνήθως και διαφορετικές εσωτερικές συνθήκες σχεδιασμού (θερμοκρασία, σχετική υγρασία, νωπό αέρα κ.ά.).
- Υπάρχουν χώροι στο κτίριο, που εξυπηρετούνται από διαφορετικά συστήματα θέρμανσης ή/και ψύξης ή/και κλιματισμού λόγω διαφορετικών εσωτερικών συνθηκών.
- Υπάρχουν χώροι στο κτίριο που παρουσιάζουν πολύ μεγάλες (σε σχέση με το υπόλοιπο κτίριο) συναλλαγές ενέργειας (π.χ. εσωτερικά ή/και ηλιακά κέρδη, θερμικές απώλειες. Για παράδειγμα, οι χώροι με νότιο προσανατολισμό σε ένα κτίριο έχουν σημαντικά ηλιακά κέρδη σε σχέση με τους υπόλοιπους χώρους.

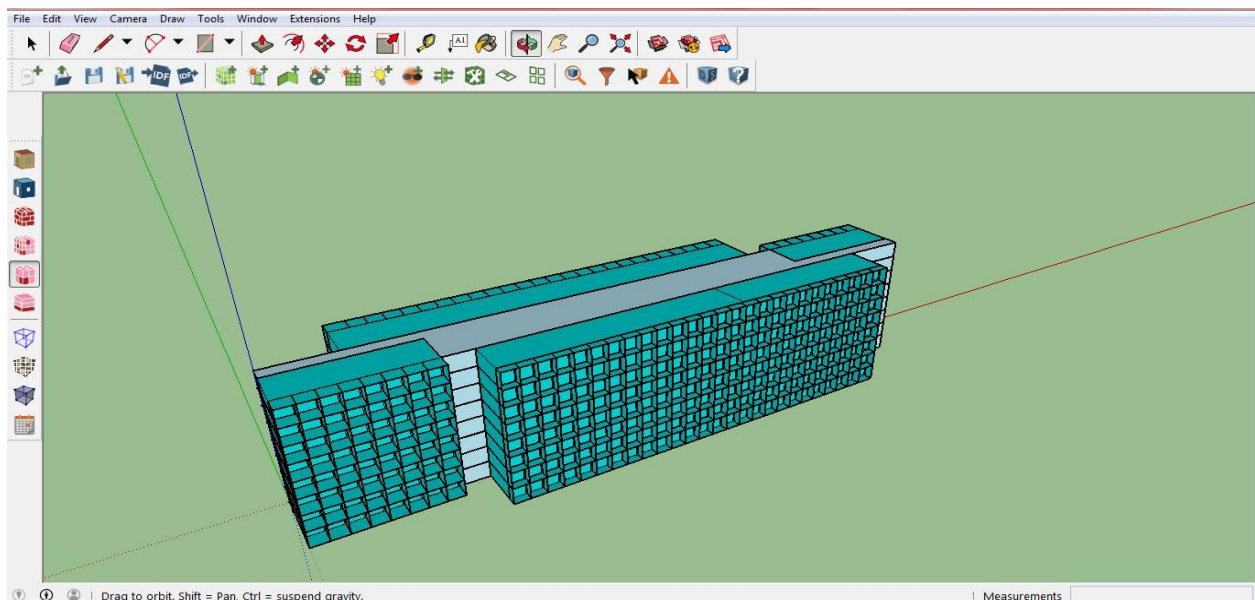
Ωστόσο, για τις ανάγκες της ενεργειακής μελέτης και της ενεργειακής επιθεώρησης η ακρίβεια των υπολογισμών δεν επηρεάζεται σημαντικά από το διαχωρισμό του κτιρίου σε περισσότερες θερμικές ζώνες από αυτές που συστήνεται να επιλέγονται βάσει των παραπάνω κανόνων. Γι' αυτό το λόγο καλό είναι ο διαχωρισμός του κτιρίου σε ζώνες να είναι κατά το δυνατόν μικρότερος. Αν το κτίριο δεν παρουσιάζει ιδιαίτερες διαφορές μεταξύ των τμημάτων του, η βέλτιστη προσέγγιση είναι να αντιμετωπιστεί ως μία ενιαία θερμική ζώνη. [ΤΟΤΕΕ 20701-1-2017]

ΑΡΧΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ (2 Θ.Ζ) :

Με βάση όλα τα παραπάνω, για την μοντελοποίηση των κατοικήσιμων ορόφων του κτιρίου μας (1<sup>ος</sup> με 8<sup>ο</sup>) επιλέχθηκαν αρχικά 2 θερμικές ζώνες ως:

- Μία θερμική ζώνη η οποία περιλαμβάνει τα δωμάτια/κοιτώνες, στα οποία παρουσιάζονται ιδιαίτερα υψηλές απαιτήσεις θερμικής άνεσης και τα οποία διαμορφώνουν ενιαίους χώρους με ταυτόσημη χρήση και αντίστοιχες ενεργειακές απαιτήσεις. (Θερμική Ζώνη ROOMS)
- Μία θερμική ζώνη για τους κοινόχρηστους χώρους (WC, διάδρομοι, καθιστικά, douches, γραφεία, χώροι λινοθηκών κ.α) οι οποίοι παρουσιάζουν παρόμοι χαρακτηριστικά και ανάλογες απαιτήσεις για θέρμανση/ψύξη. Η θερμική ζώνη αυτή περιλαμβάνει και τους χώρους του κλιμακοστασίου οι οποίοι είναι ναί μεν είναι μη κλιματιζόμενοι, αλλά η έκτασή τους δεν υπαρβαίνει το 10% της συνολικά μελετώμενης και επομένως νομιμοποιείται η ένταξή τους στην γειτνιαζουσα θερμική ζώνη. (Θερμική Ζώνη COM)





Εικόνα 5.10 Διαχωρισμός των προς μελέτη ορόφων σε 2 Θερμικές Ζώνες. Αποτύπωση στο SketchUp μέσω του προγράμματος OpenStudio Plug-in

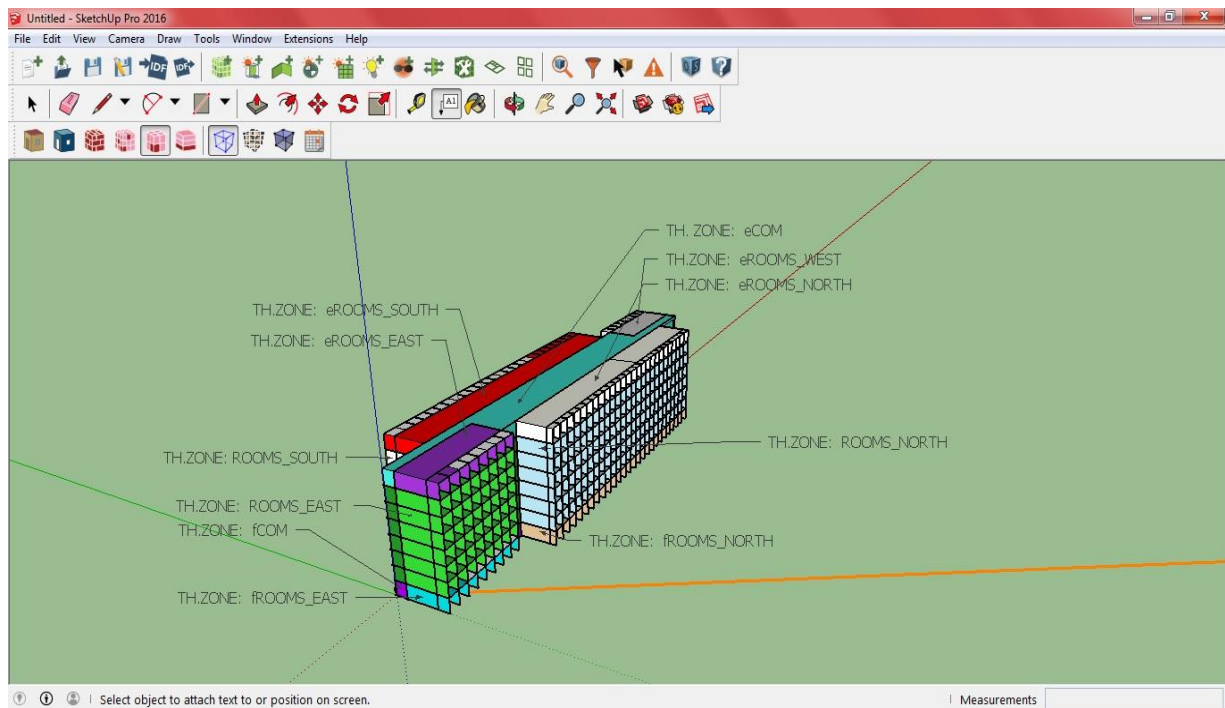
#### ΤΕΛΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ (15 Θ.Ζ):

Ωστόσο, η μεγάλη κλίμακα της κατασκευής και η πολυπλοκότητα την οποία εισάγει η ύπαρξη διαφορετικών οριακών συνθηκών ανά όροφο (βλ. επόμενη ενότητα) και η μεγάλη απόκλιση στην ποσότητα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας με βάση τον προσανατολισμό του κάθε χώρου, οδηγεί αναγκαστικά στην μοντελοποίηση του κτιρίου με περισσότερες θερμικές ζώνες. Με 15 θερμικές ζώνες (όπως φαίνονται παρακάτω) πληρούνται οι απαιτήσεις σε ακρίβεια των υπολογισμών.

Οι θερμικές ζώνες του τελικού μας μοντέλου ακολουθούν το βασικό σκεπτικό που περιγράψαμε για το μοντέλο με τις 2 Θ.Ζ, με την προσθήκη των κριτηρίων των διαφορετικών οριακών συνθηκών και της διαφοράς προσανατολισμού.

Έτσι έχουμε:

- 5 Θερμικές ζώνες για τον πρώτο όροφο (4 για τους κοιτώνες ανάλογα με τον προσανατολισμό και μία για τους κοινόχρηστους χώρους) [fROOMS\_SOUTH, fROOMS\_NORTH, fROOMS\_EAST, fROOMS\_WEST, fCOM]
- 5 Θερμικές ζώνες για το σύνολο των ορόφων 2 έως 7 (4 για τους κοιτώνες ανάλογα με τον προσανατολισμό και μία για τους κοινόχρηστους χώρους) [ROOMS\_SOUTH, ROOMS\_NORTH, ROOMS\_EAST, ROOMS\_WEST, COM]
- 5 Θερμικές ζώνες για τον όγδοο όροφο (4 για τους κοιτώνες ανάλογα με τον προσανατολισμό και μία για τους κοινόχρηστους χώρους) [eROOMS\_SOUTH, eROOMS\_NORTH, eROOMS\_EAST, eROOMS\_WEST, eCOM]



Εικόνα 5.11 Διαχωρισμός των προς μελέτη ορόφων σε 15 Θερμικές Ζώνες. Αποτύπωση στο SketchUp μέσω του προγράμματος OpenStudio Plug-in

### 5.3.5 ΟΡΙΣΜΟΣ ΟΡΙΑΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ

Για λόγους απλότητας και λειτουργικότητας του προς εκτέλεση κώδικα στο EP, το δεκαόροφο κτίριο των εστιών ,και συγκεκριμένα οι 8 όροφοι που μας ενδιαφέρουν στην παρούσα εργασία, σχεδιάστηκαν τμηματικά ανά όροφο (όπως φαίνεται στο σχήμα) και στην συνέχεια έγινε υπέρθεση των ορόφων αυτών για να εξαγάγουμε αποτελέσματα για όλο το κτιριακό σύνολο (βλ. παρακάτω). Για να μην παρουσιαστεί σφάλμα κατά την διαδικασία θα πρέπει οι οριακές συνθήκες που επιλέγουμε για κάθε όροφο να ανταποκρίνονται κατά το δυνατόν στην πραγματικότητα και να συμφωνούν με τις προδιαγραφές της μεθοδολογίας ενεργειακής προσομοίωσης που ακολουθείται.

Έτσι έχουμε ακολούθως τις παρακάτω οριακές συνθήκες:

A) Οριακές συνθήκες για τον 1<sup>ο</sup> όροφο:

Ο πρώτος όροφος συνορεύει στο κάτω μέρος του με τον μη θερμενόμενο χώρο του ισογείου του κτιρίου, στο επάνω με τον θερμενόμενο χώρο του 2<sup>ου</sup> ορόφου και στις πλευρικές του επιφάνειες με το περιβάλλον.

Σε ότι αφορά τις πλευρικές επιφάνειες οι οριακές συνθήκες ορίζονται αυτόματα από το πρόγραμμα του EP με βάση τους νόμους συναγωγής και τα κλιματολογικά δεδομένα.

Όσον αφορά την άνω επιφάνεια, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι οι οριακές μας συνθήκες είναι αυτές της ύπαρξης αδιαβατικής επιφάνειας καθώς οι κατόψεις των δύο ορόφων είναι πανομοιότυπες (τα δωμάτια του 1<sup>ου</sup> ορόφου εφάπτονται ακριβώς σε αυτά του 2<sup>ου</sup> όπως επίσης και οι κοινόχρηστοι χώροι) και επομένως δεν υφίσταται θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ τους για να εμφανίζονται φαινόμενα μεταφοράς θερμότητας.

Για την περίπτωση του πατώματος του 1<sup>ου</sup> ορόφου μπορούμε να πάρουμε την παραδοχή της υπερυψωμένης πλάκας όπως αυτή αναφέρεται στις TOTEE: Στην περίπτωση υπερυψωμένης πλάκας , ακόμη και όταν ο υποκείμενος χώρος είναι πληρωμένος με έδαφος, αυτός λαμβάνεται ως κενός μη θερμαινόμενος χώρος και το κάτω όριο του ως πλάκα εδραζόμενη στο έδαφος με ονομαστικό συντελεστή θερμοπερατότητας U ίσο με 4,50 [W/(m<sup>2</sup> .K)]. Το δάπεδο μεταξύ της θερμικής ζώνης και



του μη θερμαινόμενου χώρου αποτελεί διαχωριστική επιφάνεια και ο συντελεστής θερμοπερατότητάς του υπολογίζεται με τον τρόπο που περιγράφεται στην ενότητα 3.2.2.3. της παρούσας τεχνικής οδηγίας, βάσει της παραδοχής της γειτνίασής της με μη θερμαινόμενο χώρο. [TOTEE 2071-1-2017]

Όπου με βάση την ενότητα αυτή:

“Επισημαίνεται ότι ειδικά κατά την διαδικασία ενεργειακής επιθεώρησης ΚΤΙΡΙΑΚΗΣ μονάδας και μόνο (π.χ. διαμερίσματος), το οποίο εφάπτεται με μη θερμαινόμενους χώρους (π.χ. κλιμακοστάσιο), για τους υπολογισμούς της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου, θεωρείται κατά παραδοχή ότι εφάπτεται με τον εξωτερικό αέρα. Σ’ αυτή την περίπτωση, όλα τα δομικά στοιχεία του τμήματος κτιρίου που εφάπτονται με το μη θερμαινόμενο χώρο (τοιχοποιίες, ανοίγματα κ.ά.), περιγράφονται ως εφαπτόμενα με τον εξωτερικό αέρα αλλά με συντελεστή θερμοπερατότητας (U) μειωμένο κατά το ήμισυ του υπολογιζόμενου (δηλαδή πολλαπλασιαζόμενο επί μειωτικό συντελεστή  $b=0,5$ ) και με πλήρη σκίαση (μηδενικό συντελεστή σκίασης) χειμώνα και καλοκαίρι. Ο υπολογισμός του συντελεστή θερμοπερατότητας U γίνεται βάσει της πραγματικής θέσης του δομικού στοιχείου, δηλαδή σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο.” [TOTEE 2071-1-2017]

Β) Οριακές συνθήκες για τους ενδιάμεσους ορόφους ( $2^{ος}$ - $7^{ος}$ )

Με ανάλογο τρόπο μπορούμε να θεωρήσουμε το πάτωμα και την οροφή κάθε ορόφου σαν αδιαβατική επιφάνειες και τις εξωτερικές επιφάνειες να τις υπολογίσουμε ως εκτιθέμενες στο περιβάλλον.

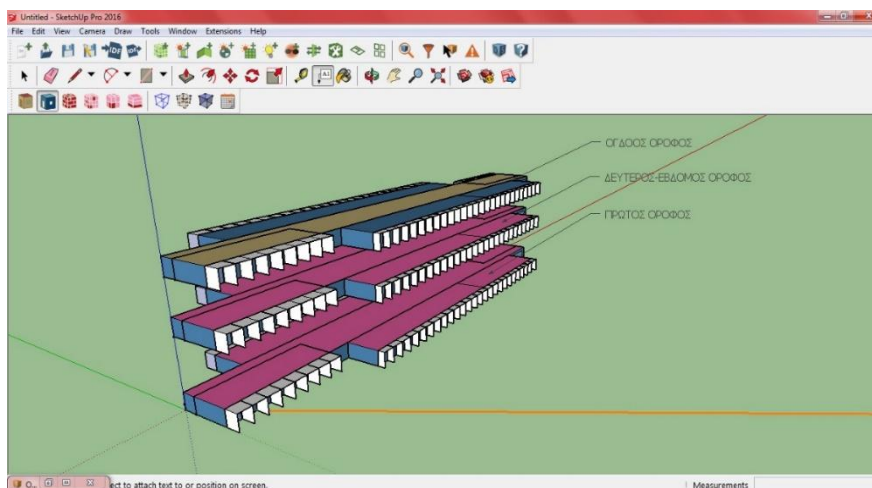
Γ) Οριακές συνθήκες για τον  $8^{ο}$  όροφο

Όμοια με τις οριακές συνθήκες για τον  $1^{ο}$  όροφο αλλά ανεστραμένα για τις οροφές των θερμικών ζωνών eROOMS\_EAST, eROOMS\_WEST, eCOM οι οποίες συνορεύουν με τον  $9^{ο}$  όροφο (με την ορθή παραδοχή ότι ο  $9^{ος}$  όροφος ο οποίος δεν χρησιμοποιείται πια δεν έχει απαιτήσεις για κλιματισμό και επομένως θεωρείται μη θερμενόμενος χώρος). Οι νότιοι και βόρειοι κοιτώνες (ΘΖ: eROOMS\_SOUTH, eROOMS\_NORTH) συνορεύουν εξωτερικά με το περιβάλλον.

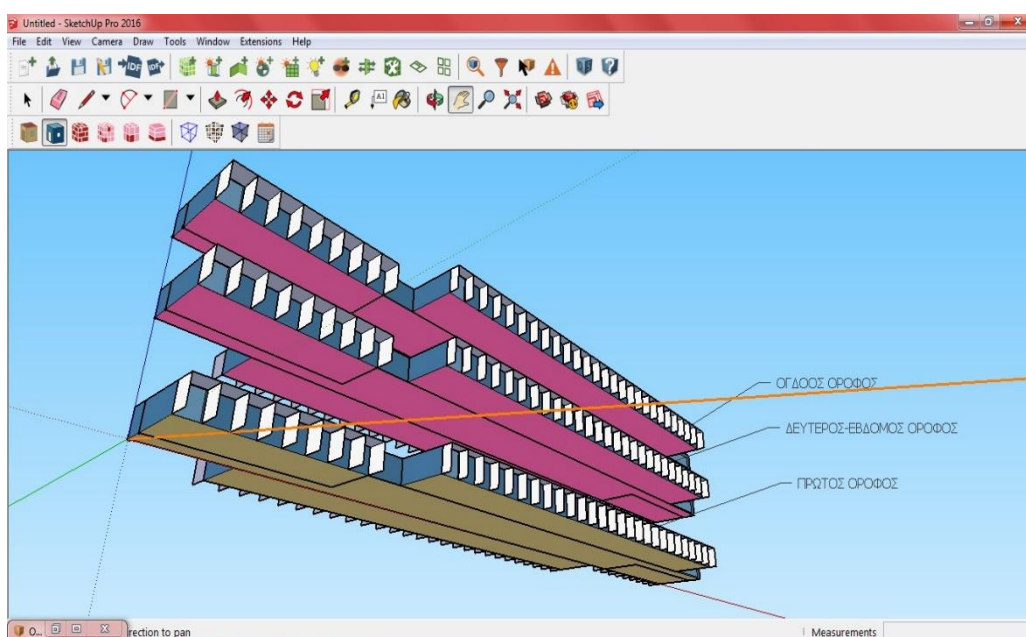
Στα παρακάτω σχήματα αναπαρίστανται στο περιβάλλον του SketchUp οι οριακές συνθήκες που επιλέξαμε ως:

- Με μπλέ χρώμα η οριακή συνθήκη της επαφής με το εξωτερικό περιβάλλον ( Outdoors)
- Με μωβ χρώμα η αδιαβατική οριακή συνθήκη (Adiabatic)
- Με καφέ χρώμα η οριακή συνθήκη επαφής με μη κλιματιζόμενο χώρο/έδαφος (Ground)

Επισημαίνεται ότι για λόγους ευκολίας στην αναπαράσταση παραλείπονται κάποιοι ενδιάμεσοι όροφοι οι οποίοι είναι πανομοιότυποι ( στο σχήμα παρουσιάζονται ως «ΔΕΥΤΕΡΟΣ-ΕΒΔΟΜΟΣ ΟΡΟΦΟΣ»)



Εικόνα 5.12 Οριακές Συνθήκες πλευρικών επιφανειών και οροφών Πρώτου, Όδγου και ενδιάμεσων ορόφων



Εικόνα 5.13 Οριακές Συνθήκες πλευρικών επιφανειών και δαπέδων Πρώτου, Όδγου και ενδιάμεσων ορόφων

### 5.3.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΑΔΙΑΦΑΝΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΓΕΦΥΡΩΝ

Για κάθε δομικό στοιχείο που διαχωρίζει μία θερμική ζώνη του κτιρίου με τον εξωτερικό αέρα (π.χ. τοιχοποιίες, κατακόρυφα στοιχεία φέροντος οργανισμού, επιστεγάσεις, δάπεδο επάνω από ανοικτό υπόστυλο χώρο κ.ά.), με το έδαφος (π.χ. κατακόρυφα στοιχεία σε επαφή με το έδαφος, δάπεδο σε επαφή με το έδαφος κ.ά.), με μη θερμαινόμενους χώρους (π.χ. τοιχοποιίες, φέροντα στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος, δάπεδα, οροφές σε επαφή με μη θερμαινόμενους χώρους) θα πρέπει να προσδιοριστούν οι θερμοφυσικές ιδιότητες τόσο των επί μέρους στρώσεων που το συνθέτουν, όσο και της συνολικής διατομής. Συγκεκριμένα στη μελέτη ενεργειακής απόδοσης, ο συντελεστής θερμοπερατότητας,  $U$ , υπολογίζεται για κάθε δομικό στοιχείο που αναφέρθηκε παραπάνω, με τον τρόπο που αναλύεται στην αναθεωρημένη τεχνική οδηγία «Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας των κτιρίων».

Εξίσου σημαντικός είναι και ο υπολογισμός των θερμικών γεφυρών. Παρ' όλα αυτά, με βάση τα χαρακτηριστικά της κατασκευής μας και τις οδηγίες του Κ.Εν.Α.Κ δεν απαιτείται ο υπολογισμός των

θερμικών γεφυρών για την ενεργειακή μελέτη του κτιρίου, ενώ οι συντελεστές θερμοπερατότητας δίνονται σε πινακοποιημένη μορφή όπως φαίνεται παραπάνω. Σε ότι αφορά τους συντελεστές θερμοπερατότητας αξίζει να αναφέρουμε ότι για τα δομικά στοιχεία τα οποία δεν καλύπτονται από τον Κ.Εν.Α.Κ έγινε είτε εκτίμηση με βάση την διεθνή βιβλιογραφία και τις οδηγίες της ASHRAE είτε έγινε θεώρηση ύπαρξης παρόμοιων δομικών υλικών (ανάλογες θερμοφυσικές και μηχανικές ιδιότητες).

Παρακάτω παραθέτουμε τους πίνακες που δίνονται από το ΤΕΕ και αφορούν τον υπολογισμό των συντελεστών θερμοπερατότητας αδιαφανων στοιχείων και των θερμικών γεφυρών:

Πίνακας 5.2 Συμβατικός τρόπος θεώρησης του συντελεστή θερμοπερατότητας και της τιμής των θερμογεφυρών στα επί μέρους δομικά στοιχεία ανά περίοδο έκδοσης οικοδομικής άδειας. [ΤΟΤΕΕ 20701/1/2017]

Περίοδος έκδοσης οικοδομικής άδειας	Θερμομονωτική Προστασία	Εξεταζόμενο Κτίριο		Κτίριο Αναφοράς	
		Υπολογισμός τιμών U	Υπολογισμός Θερμογεφυρών	Υπολογισμός τιμών U από λογισμικό	Υπολογισμός Θερμογεφυρών από λογισμικό
Πριν από το 1980 (ανυπαρξία κανονισμού)	Χωρίς θερμομονωτική Προστασία	Τιμές από Πίνακα του Κ.ΕΝ.Α.Κ	οχι	U <sub>max</sub> κατά τον αναθεωρημένο Κ.ΕΝ.Α.Κ	U <sub>max</sub> +0.2 [W/m <sup>2</sup> K]
	Μερική Πρόνια θερμομονωτικής Προστασίας (εξαρχής πρόνοι ή μετέπειτα εμέμβαση)	Τιμές από Πίνακα του Κ.ΕΝ.Α.Κ	U+0.2 [W/m <sup>2</sup> K]	U <sub>max</sub> κατά τον αναθεωρημένο Κ.ΕΝ.Α.Κ	U <sub>max</sub> +0.2 [W/m <sup>2</sup> K]

Πίνακας.5.3 Τυπικές τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας για υφιστάμενα κατακόρυφα ή οριζόντια αδιαφανή δομικά στοιχεία που συναντώνται σε κτίρια, η οικοδομική άδεια των οποίων εκδόθηκε πριν από την εφαρμογή του Κ.Εν.Α.Κ. (2010). [ΤΟΤΕΕ 20701/1/2017]

Περιγραφή στοιχείου	Χωρίς Θερμομονωτική προστασία		
	Κατακόρυφα Δομικά Στοιχεία	Σε επαφή με αέρα W/m <sup>2</sup> K	Σε επαφή με μη θερμενόμενο χώρο W/m <sup>2</sup> K
<b>Στοιχείο φέροντος οργανισμού οπλισμένου σκυροδέματος (πάχους μέχρι 80cm)</b>			
Ανεπίχρηστο από μία ή δύο όψεις	3.05	2.75	4.30
<b>Οπτοπλινθοδομή φέρουσα ή πλήρωσης (με ή χωρίς κλειστό διάκενο αέρος)</b>			
Επιχρησμένη και από τις δύο όψεις	2.20	1.85	--
Οριζόντια δομικά στοιχεία	Σε επαφή με αέρα W/m <sup>2</sup> K	Σε επαφή με μη θερμενόμενο χώρο W/m <sup>2</sup> K	Σε επαφή με έδαφος W/m <sup>2</sup> K
<b>Επιστεγάσεις με ή χωρίς ψευδοροφή</b>			
Οροφή Κάτω από μη θερμενόμενο χώρο	-	2.90	-
<b>Δάπεδο με επικάλυψη παντός τύπου (ξύλο, μάρμαρο, πλακάκι, μωσαϊκό κλπ)</b>			
Επί εδάφους	-	-	3.10
Επάνω από μη θερμενόμενο χώρο	-	2.00	-

Με βάση τα παραπάνω και γνωρίζοντας τις διαστάσεις του φέροντα οργανισμού του κτιρίου από τα κατασκευαστικά σχέδια, επιλέγουμε κατάλληλα τα υλικά και την κατασκευή τους ώστε να ανταποκρίνονται στις παραπάνω απαιτήσεις του Κ.Ε.Ν.Α.Κ (βλ. επόμενη παράγραφο «Ορισμός παραμέτρων προσομοίωσης»).

## 5.4 ΟΡΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Παρακάτω αναφέρουμε αναλυτικά και με σύντομη τεκμηρίωση την διαδικασία επιλογής των παραμέτρων της προσομοίωσης (υλικά κατασκευής, χρονοδιαγράμματα κ.α). Η σειρά παρουσίασης ακολουθεί την διαδικασία εισαγωγής των δεδομένων στο υποπρόγραμμα IDF-Editor. Η εισαγωγή των δεδομένων πραγματοποιείται στην λίστα παραμέτρων που εμφανίζεται μέσω της επιλογής Edit-IDF Editor. Η λίστα IDF Editor περιλαμβάνει παραμέτρους, κάποιες από τις οποίες είναι απαραίτητο να συμπληρωθούν, ενώ πολλές έχουν ήδη ρυθμιστεί μέσω της εισαγωγής των σχεδιαστικών δεδομένων του OpenStudio και θα πρέπει να ελεγχθούν.

### 5.4.1 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΟΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ ΧΩΡΟ

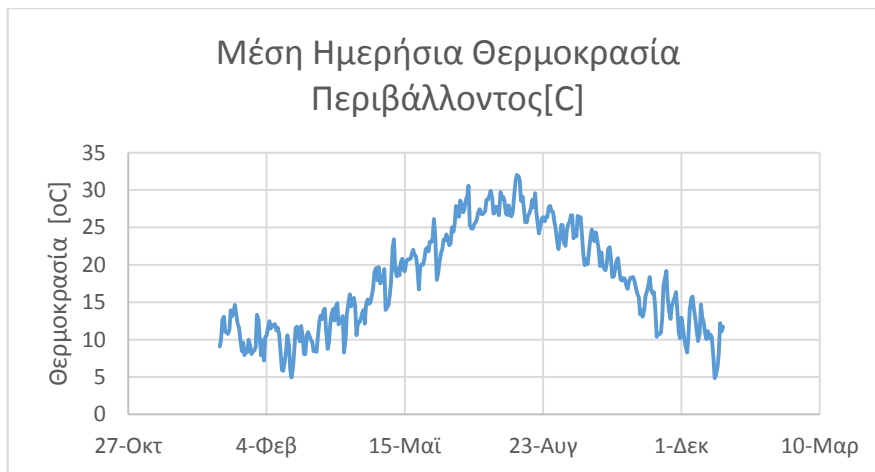
#### Simulation Parameters

Σε αυτήν την κατηγορία εισάγονται ορισμένες βασικές πληροφορίες τόσο για το κτίριο όσο και για το πρόγραμμα. Στην υποκατηγορία 'Version' εισάγεται η έκδοση του προγράμματος που χρησιμοποιήσαμε και στην υποκατηγορία 'Simulation Control' ο χρήστης επιλέγει τι θέλει να υπολογίσει το πρόγραμμα. Στην υποκατηγορία 'Building' εισάγουμε το όνομα του κτιρίου και η απόκλιση του από τον άξονα του Βορρά σε μοίρες. Στο 'Terrain' επιλέγουμε το 'City' αφού το εξεταζόμενο κτίριο βρίσκεται στην Πολυτεχνειούπολη, στην περιοχή του Ζωγράφου. Στο 'Solar Distribution' επιλέγουμε το μηχανισμό που διανέμεται η ακτινοβολία στο κτίριο, αν τυχόν υπάρχουν σκιάστρα, ή σκίαση από άλλα κτίρια, ή προεξοχές του κτιρίου που δημιουργούν σκίαση στους εξωτερικούς τοίχους.

Τέλος, στο πεδίο 'North Axis' σημειώνεται η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του πραγματικού Βορρά και του άξονα του κτιρίου. Το κτίριο σχεδιάστηκε στο SketchUp κατά τη διεύθυνση Βορρά – Νότου, ενώ στην πραγματικότητα είναι προσανατολισμένο βορειοανατολικά. Η πραγματική απόκλιση του άξονα του κτιρίου από τον πραγματικό Βορρά είναι  $-210^\circ$  και συνεπώς τέθηκε αυτή η τιμή στο συγκεκριμένο πεδίο.

#### Weather File

Κατ' αρχάς είναι απαραίτητο να εισάγουμε το αρχείο καιρού (Weather File) με τα κλιματικά δεδομένα της Αθήνας. Το αρχείο που επιλέχθηκε από τη βάση δεδομένων κλιματικών στοιχείων του EnergyPlus είναι σε μορφή .epw. Τα στοιχεία αυτά προέρχονται από μετρήσεις της ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc Atlanta, GA, USA 2001). Στο παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζεται η κατανομή της εξωτερικής θερμοκρασίας ξηρού βολβού της εξωτερικής ατμόσφαιρας κατά τη διάρκεια ενός χρόνου σύμφωνα με τα κλιματικά δεδομένα της ASHRAE. Παρατηρούμε ότι οι ακρότατες τιμές είναι γύρω στους  $32^\circ\text{C}$  στις αρχές Αυγούστου και γύρω στους  $4^\circ\text{C}$  κατά τις αρχές Φεβρουαρίου. Η μορφή του διαγράμματος της κατανομής θερμοκρασιών περιβάλλοντος είναι κατά προσέγγιση ημιτονοειδής με σχετικά μικρή διακύμανση.



Εικόνα.5.14 Ετήσια διακύμανση της εξωτερικής θερμοκρασίας περιβάλλοντος με βάση το διαθέσιμο αρχείο καιρού

### Site:Location

Στην επιλογή Site:Location ορίστηκε η ακριβής τοποθεσία του κτιρίου, δηλαδή το όνομα της περιοχής όπου βρίσκεται το κτίριο, το γεωγραφικό πλάτος, το γεωγραφικό μήκος, η διαφορά ώρας σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Ωρολογιακό Χάρτη, που για την Ελλάδα είναι οι 2 ώρες, και το υψόμετρο της περιοχής που τέθηκε στα 15 μέτρα. Τέλος, στην κατηγορία αυτή συμπληρώνονται και οι μέσες θερμοκρασίες εδάφους στο πεδίο 'Site: Ground Temperature: Building Surface', όπως υποδεικνύονται στην τεχνική οδηγία (T.O.T.E.E) [29].

### 5.4.2 ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ (Materials) ΚΑΙ ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (Surface Construction Elements)

#### Material

Στην επιλογή Material ορίστηκαν τα υλικά κατασκευής του κτιρίου, δηλαδή το όνομα, η τραχύτητα του υλικού κατασκευής, που μπορεί να οριστεί ως Very Rough, Rough, Medium Rough, Medium Smooth, Smooth, Very Smooth, το πάχος του υλικού κατασκευής, ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του υλικού κατασκευής σε (W/m\*k), η πυκνότητα του υλικού κατασκευής σε kg/m<sup>3</sup> και η ειδική θερμοχωρητικότητα του υλικού κατασκευής σε J/(g-K).

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		Cast_Concrete_Der	Cast_Concrete_Der	Cast_Concrete_Der
Roughness		MediumRough	MediumRough	MediumRough
Thickness	m	0.2	0.15	0.25
Conductivity	W/m-K	1.95	1.95	1.95
Density	kg/m <sup>3</sup>	2240	2240	2240
Specific Heat	J/kg-K	900	900	900
Thermal Absorptance				
Solar Absorptance				
Visible Absorptance				

Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9	Obj10
Brickwork_Innerleaf	Plaster_Lightweight	Chipboard_lowdens	Mosaiko	Asvestotsimentokor	stucco	wood for furniture
MediumRough	Smooth	MediumSmooth	MediumSmooth	MediumRough	Smooth	Smooth
0.102	0.02	0.05	0.03	0.03	0.005	0.05
0.78	0.58	0.15	2	0.87	0.6918	0.12
1760	800	608	2800	1800	1858	540
790	1090	1630	1000	1000	837	1210
					0.9	0.9
					0.7	0.7
					0.7	0.7

Εικόνα 5.15 Εισαγωγή των θερμοφυσικών και γεωμετρικών ιδιοτήτων των υλικών της κατασκευής στο περιβάλλον IDF Editor

## Material:AirGap

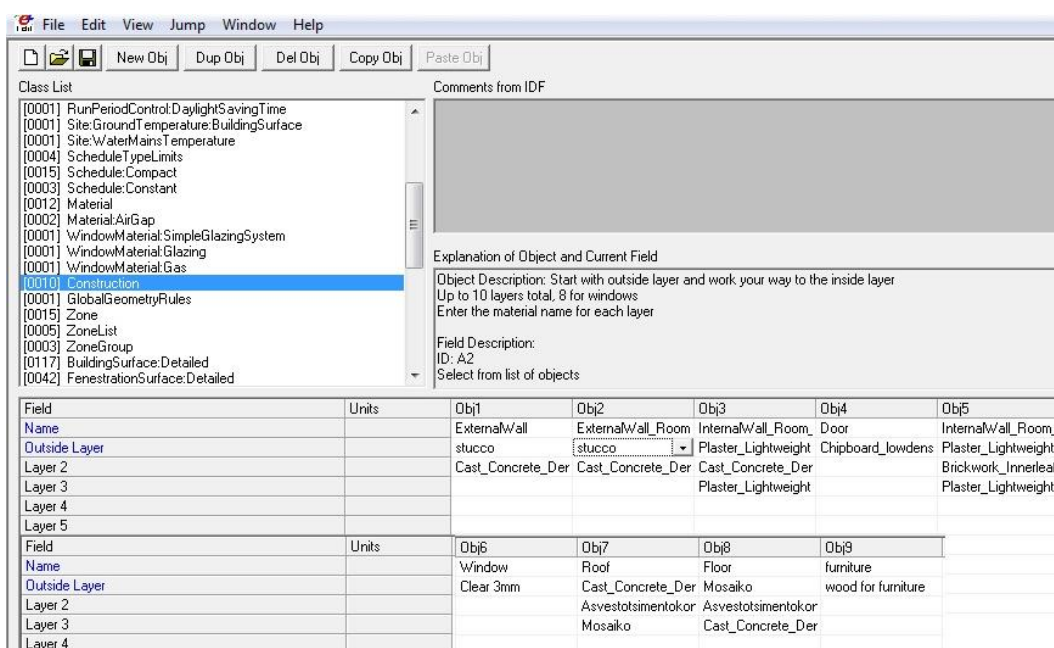
Στην επιλογή Material:AirGap ορίστηκε η θερμική αντίσταση του αέρα που βρίσκεται στο κενό των τοίχων (0.15 m<sup>2</sup>K/W) και των οροφών (0.18 m<sup>2</sup>K/W).

## WindowMaterial:Glazing

Στην επιλογή WindowMaterial:Glazing ορίζεται το είδος του υαλοπίνακα που φέρουν τα παράθυρα και οι ιδιότητές του. ( Αναλύεται στο παρακατω κεφαλαιο 6 το οποίο αφορά τις προτεινόμενες παρεμβάσεις)

## Construction

Στην επιλογή Construction ορίζονται οι στρώσεις των υλικών από τις οποίες αποτελούνται τα διάφορα στοιχεία της κατασκευής ξεκινώντας από την εξωτερική στρώση προς την εσωτερική. Πιο συγκεκριμένα, δημιουργήθηκαν 9 αντικείμενα κατασκευής τα χαρακτηριστικά των οποίων φαίνονται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 5.16 Εισαγωγή των κατασκευαστικών στοιχείων του κελύφους και του εσωτερικού των ορόφων 1 έως 8 στο περιβάλλον IDF Editor

## BuildingSurface:Detailed

Στην επιλογή BuildingSurface:Detailed εμφανίζονται όλες οι επιφάνειες που έχουν σχεδιαστεί στο OpenStudio, οπότε μπορεί να γίνει έλεγχος ή αλλαγή τους. Μέρος αυτού του χωρίου φαίνεται παρακάτω:



Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4
Name		CL_COM	EW_COM_E0	EW_COM_NO_1	EW_COM_NO_2
Surface Type		Wall	Wall	Wall	Wall
Construction Name		Roof	ExternalWall	ExternalWall	ExternalWall
Zone Name		COM	COM	COM	COM
Outside Boundary Condition		Adiabatic	Outdoors	Outdoors	Outdoors
Outside Boundary Condition Object					
Sun Exposure		NoSun	SunExposed	SunExposed	SunExposed
Wind Exposure		NoWind	WindExposed	WindExposed	WindExposed
View Factor to Ground					
Number of Vertices					
Vertex 1 X-coordinate	m	110.6	0	22.4	99.4
Vertex 1 Y-coordinate	m	-9.6	0	-9.6	-9.6
Vertex 1 Z-coordinate	m	3	3	3	3
Vertex 2 X-coordinate	m	110.6	0	22.4	99.4
Vertex 2 Y-coordinate	m	-7.05	0	-9.6	-9.6
Vertex 2 Z-coordinate	m	3	0	0	0
Vertex 3 X-coordinate	m	88.2	0	27.4	110.6
Vertex 3 Y-coordinate	m	-7.05	-2.55	-9.6	-9.6
Vertex 3 Z-coordinate	m	3	0	0	0
Vertex 4 X-coordinate	m	88.2	0	27.4	110.6

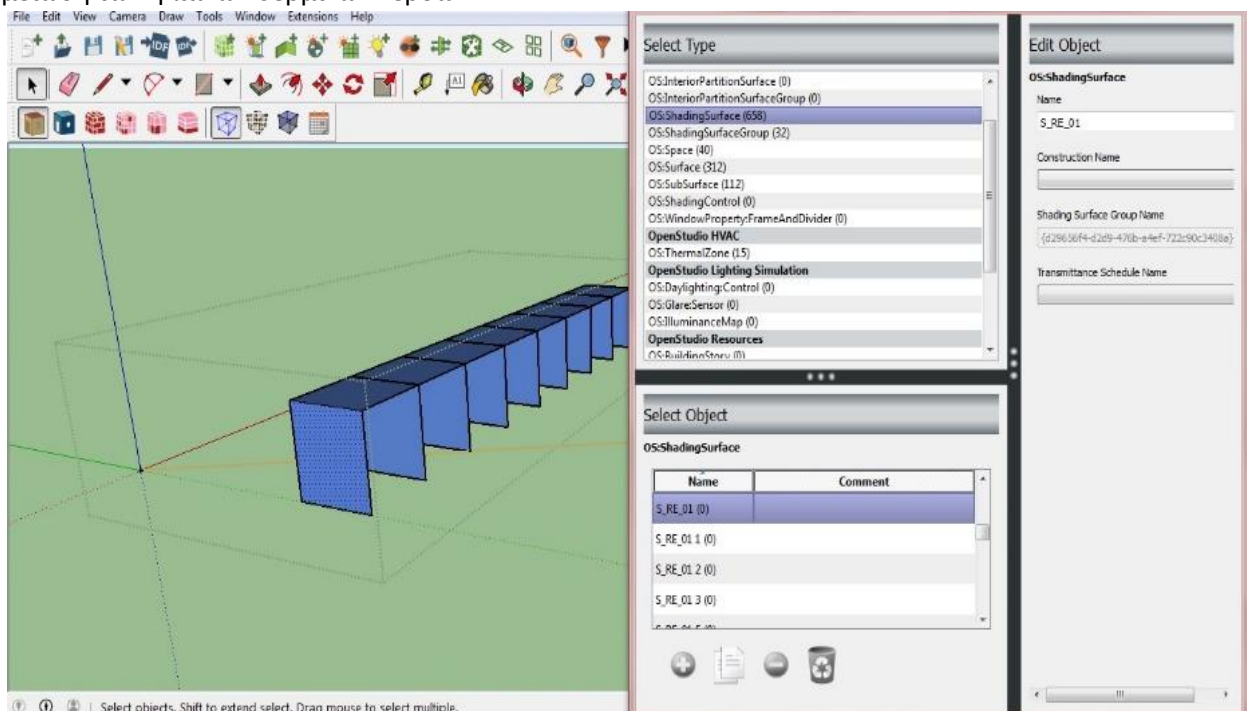
Εικόνα 5.17 Αναλυτική περιγραφή της κατασκευής στο περιβάλλον IDF Editor

### FenestrationSurface:Detailed

Στην επιλογή FenestrationSurface:Detailed εμφανίζονται τα ανοίγματα που έχουν σχεδιαστεί στο OpenStudio, δηλαδή οι πόρτες και τα παράθυρα.

### Shading:Building:Detailed

Στην επιλογή Shading:Building:Detailed εμφανίζονται το όνομα και τα χαρακτηριστικά των σκιάστρων που έχουν σχεδιαστεί στο OpenStudio. Τα σκιάστρα έχουν την μορφή που φαίνεται στο παρακάτω σχήμα και παίζουν κομβικό ρόλο στην ηλιοπροστασία του κτιρίου και επομένως στην μείωση των ηλιακών θερμικών κερδών.

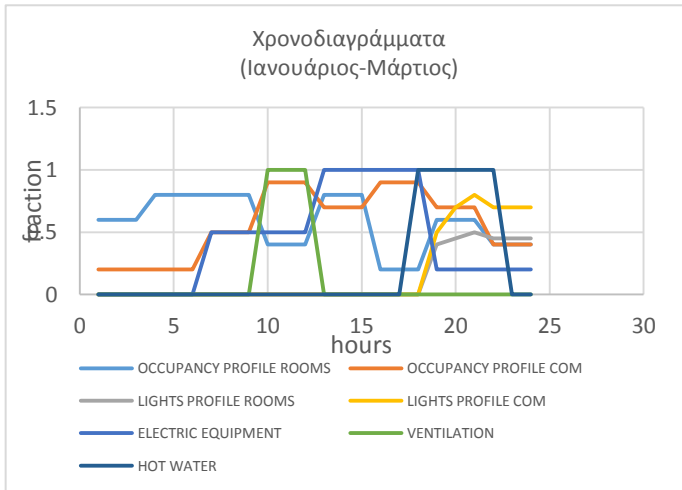


Εικόνα 5.18 Οι επιφάνειες σκίασης όπως φαίνονται στο περιβάλλον του SketchUp και του Open Studio Inspectr

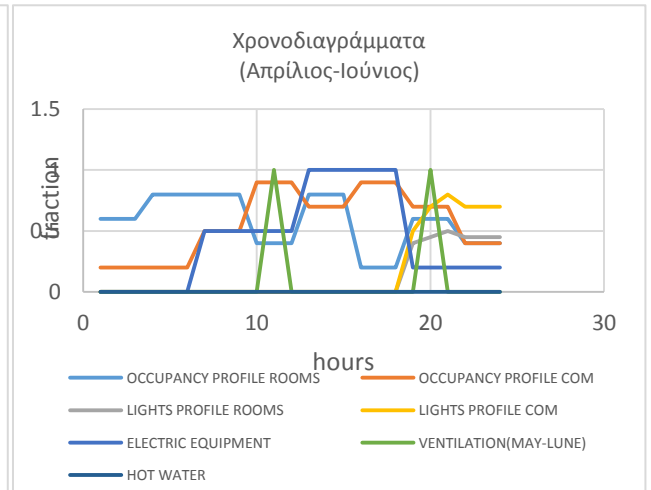
#### 5.4.3 ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ (Schedules)

Σε αυτήν την κατηγορία δίνεται η επιλογή στο χρήστη να προγραμματίσει πολλές παραμέτρους, όπως η ανθρώπινη δραστηριότητα, η πυκνότητα ανθρώπινης ύπαρξης, ο φωτισμός και η λειτουργία ηλεκτρικών συσκευών. Συμπληρώθηκε η υποκατηγορία 'Schedule:Compact' , όπου δημιουργήθηκαν χρονοδιαγράμματα για όλο το εικοσιτετράωρο για κάθε δραστηριότητα και δίνονται στους συντελεστές κατάλληλες τιμές (κατά βάση κλασματικές-fractional). Στα παρακάτω διαγράμματα φαίνονται συγκεντρωτικά τα χρονοδιαγράμματα του κτιρίου για το χρονικό διάστημα ενός 24ωρου , όπως προέκυψαν με βάση τα δεδομένα των προγραμμάτων και την διεθνή βιβλιογραφία, ενώ παρακάτω γίνεται μία πιο λεπτομερής ανάλυση στο χρονοδιάγραμμα του θερμοστάτη που χρησιμοποιήθηκε για το σύστημα κλιματισμού (βλ. παρακάτω).

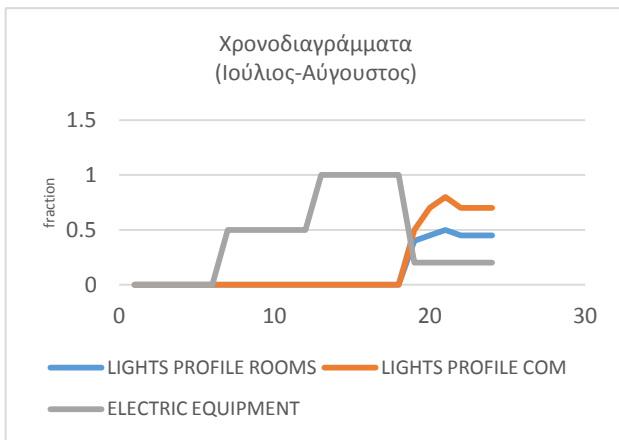
Παρατηρούμε ότι για όλους τους μήνες λειτουργίας των εστιών, η δραστηριότητα των ενοίκων και αντίστοιχα η «πύκνωση» των χρονοδιαγραμμάτων με υψηλές τιμές (κοντά στο 1) παρατηρείται κατά τις απογευματινές ώρες (6μμ με 9 μμ), όπως και είναι αναμενόμενο. Επιπλέον οι παράμετροι που παρουσιάζουν την μεγαλύτερη ποικιλία ανάλογα με την περίοδο του χρόνου είναι ο φυσικός αερισμός (ventilation) και η χρήση του ZNX, Οι υπόλοιποι παράγοντες είναι σχεδόν ανεξάρτητοι της εποχής του χρόνου.



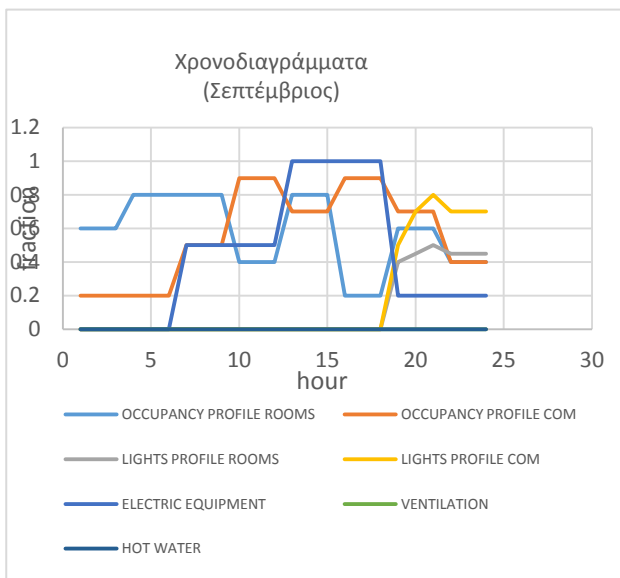
Εικόνα.5.20 Τα χρονοδιαγράμματα λειτουργίας για τους μήνες Ιανουάριο-Μάρτιο



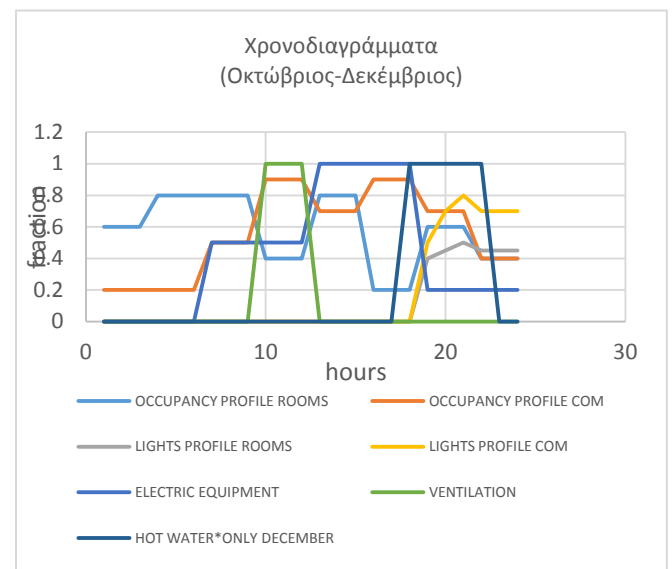
Εικόνα.5.19 Τα χρονοδιαγράμματα λειτουργίας για τους μήνες Απρίλιο-Ιούνιο



Εικόνα 5.21 Τα χρονοδιαγράμματα λειτουργίας για τους μήνες Ιούλιο-Αύγουστο



Εικόνα 5.23 Τα χρονοδιαγράμματα λειτουργίας για τον μήνα Σεπτέμβριο



Εικόνα 5.22 Τα χρονοδιαγράμματα λειτουργίας για τους μήνες Οκτώβριο-Δεκέμβριο

## ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ/ΨΥΞΗΣ ΚΑΙ ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΘΕΡΜΟΣΤΑΤΗ

Σε ότι αφορά την θέρμανση και την ψύξη του κτιρίου και την διαδικασία μοντελοποίησής της περιόδου εφαρμογής τους, τους εξετάστικαν αρχικά δύο σενάρια.

Το πρώτο αφορά την κατάσταση ως έχει, δηλαδή αποτελεί μία ρεαλιστική αποτύπωση της εγκατάστασης θέρμανσης/ψύξης με χρονοδιαγράμματα θερμοστατών (βλ. επόμενη ενότητα για την χρήση του θερμοστάτη) τα οποία ανταποκρίνονται στην πραγματική χρήση του κτιρίου συνυπολογίζοντας τις ώρες αιχμής αλλά και τα μεγάλα διαστήματα κατά τα οποία το κτίριο είναι άδειο. Ωστόσο τα αποτελέσματα τα οποία αφορούν τις συνολικές ενεργειακές καταναλώσεις του κτιρίου σε αυτήν την περίπτωση, ήταν ποιοτικά διαφορετικά από αυτά του δεύτερου σεναρίου.

Το δεύτερο σενάριο είναι εκείνο το οποίο χρησιμοποιείται κατά κόρον στην την διαδικασία μελέτης των θερμικών φορτίων ενός προς ανακαίνιση κτιρίου. Με βάση το σενάριο αυτό τα χρονοδιαγράμματα των θερμοστατών είναι πιο απλοποιημένα καλύπτοντας ομοιόμορφα όλη την διάρκεια προσομοίωσης. Πρόκειται δηλαδή για ένα «ιδεατό σύστημα θερμοστάτη» το οποίο υπολογίζει το σύνολο των θερμικών κερδών/απωλειών του μοντέλου και όχι τις καταναλώσεις του συστήματος θέρμανσης/ψύξης.

Εν τέλει το πρώτο σενάριο εγκαταλήφθηκε εντελώς και στους τελικούς υπολογισμούς εμφανίζονται μόνο τα αποτελέσματα του δεύτερου.

### 1<sup>ο</sup> ΣΕΝΑΡΙΟ ΤΟ ΟΠΟΙΟ ΑΝΤΑΠΟΚΡΙΝΕΤΑΙ ΣΤΗΝ ΥΠΑΡΧΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Θέρμανση:

Το σύστημα θέρμανσης λειτουργεί τους τρεις πρώτους μήνες του χρόνου (Ιανουάριος, Φεβρουάριος, Μάρτης) και τους δύο τελευταίους (Νοέμβρη και Δεκέμβρη) τις ώρες αιχμής, δηλαδή από τις 15:00 μέχρι τις 20:00, με τη θερμοκρασία να είναι σταθερή στους 20 °C. Τις υπόλοιπες ώρες της ημέρας, καθώς και τις βραδινές ώρες, τίθεται ένα όριο θερμοκρασίας 5 °C κάτω από το οποίο ενεργοποιείται ο κλιματισμός. Οι ίδιες συνθήκες θεωρήθηκαν και για τις μέρες που οι σχολές είναι κλειστές όπως στα προηγούμενα χρονοδιαγράμματα. Πρακτικά, επειδή η θερμοκρασία δεν θα πέσει σε τόσο χαμηλά επίπεδα, ο κλιματισμός είναι ανενεργός. Μέχρι το τέλος Οκτώβρη, ο κλιματισμός παραμένει επίσης ανενεργός, θέτοντας πάλι το όριο των 5 °C αφού είναι αδύνατον το καλοκαίρι η θερμοκρασία να πέσει κάτω από αυτό το όριο.

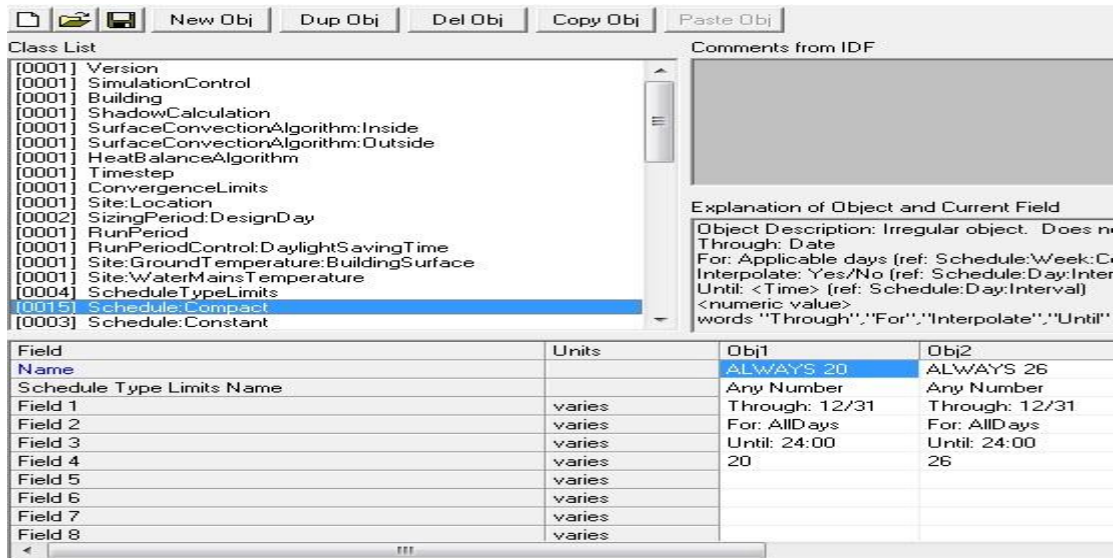
Ψύξη:

Όσον αφορά το σύστημα ψύξης, αυτό λειτουργεί τον Ιούνιο και το Σεπτέμβρη που η σχολή είναι ανοιχτή. Τον Ιούνιο λειτουργεί από τις 12:00 έως τις 16:00, και το Σεπτέμβρη λειτουργεί από τις 11:00 έως τις 15:00, που συναντώνται υψηλότερες θερμοκρασίες με σταθερή θερμοκρασία στους 26 °C. Τις υπόλοιπες ώρες της ημέρας τίθεται ένα όριο 45 °C πάνω από το οποίο ενεργοποιείται ο κλιματισμός, δηλαδή πρακτικά αδύνατο. Τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο που η σχολή παραμένει κλειστή τίθεται πάλι το όριο των 45 °C, δηλαδή το σύστημα ψύξης είναι πρακτικά ανενεργό.

### 2<sup>ο</sup> ΣΕΝΑΡΙΟ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ

Για να υπολογίσουμε τις συνολικές απαιτήσεις σε θέρμανση και ψύξη για το σύνολο των κλιματιζόμενων χώρων (15 θερμικές ζώνες), θεωρούμε μόνιμη λειτουργία θερμοστάτη με όρια τους 20 °C και τους 26 °C. Τα όρια αυτά τίθενται από τις οδηγίες του ΤΕΕ. Επομένως τα χρονοδιαγράμματα του θερμοστάτη θα έχουν τελικά ως:

Παρακάτω παραθέτουμε την υλοποίηση των παραπάνω στο IDF-editor:

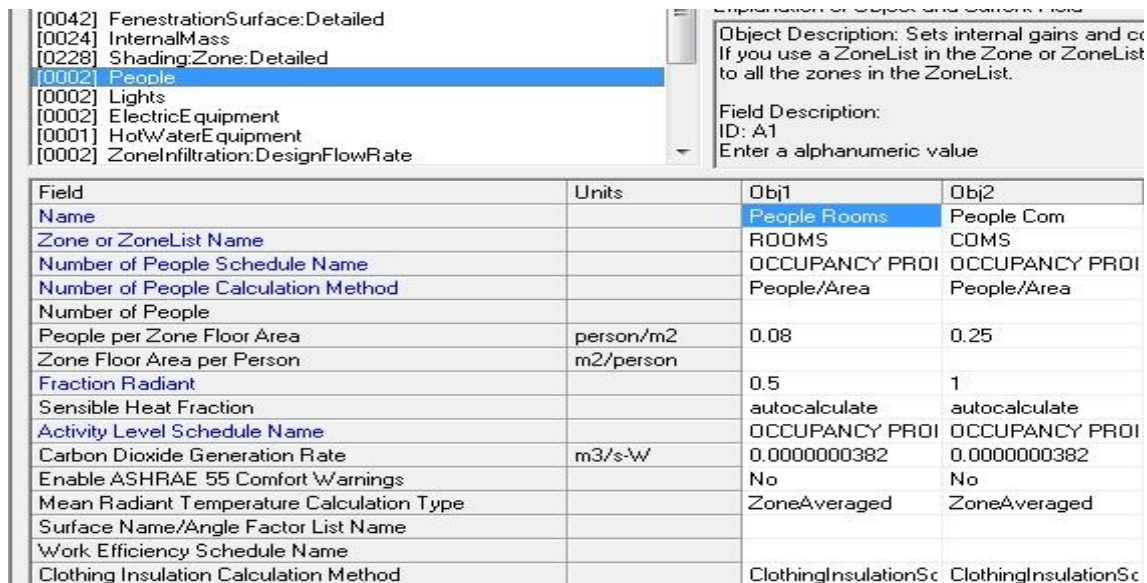


Εικόνα 5.24 Χρονοδιάγραμμα λειτουργίας Θερμοστάτη στο περιβάλλον IDF editor

#### 5.4.4 ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΘΕΡΜΙΚΑ ΚΕΡΔΗ (Internal Gains)

Οι επιδράσεις στην ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου δεν οφείλονται μόνο στις περιβάλλουσες συνθήκες και στην κατασκευή του κτιρίου. Εδώ λοιπόν εισάγονται τα θερμικά κέρδη που μπορεί να προέρχονται από ανθρώπους, φώτα και οικιακές συσκευές.

Η υποκατηγορία People χρησιμοποιείται για να μοντελοποιήσει την επίδραση του κατοίκου στις συνθήκες του χώρου καθώς και να προσομοιώσει την παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα στη θερμική ζώνη. Τα πεδία συμπληρώνονται ως εξής :



Εικόνα.5.25 Ορισμός των παραμέτρων υπολογισμού των εσωτερικών θερμικών κερδών εξαιτίας της ανθρώπινης παρουσίας (στο περιβάλλον IDF editor)

Στην υποκατηγορία Lights εισάγονται πληροφορίες για τον υπολογισμό των εσωτερικών θερμικών κερδών που αφορούν τον τεχνητό φωτισμό της θερμικής ζώνης του κτιρίου, όπως η ισχύς και

τα χρονοδιαγράμματα λειτουργίας του τεχνητού φωτισμού που δημιουργήθηκαν στην κατηγορία Schedules. Συμπληρώνονται τα πεδία όπως φαίνεται παρακάτω:

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		Lights Rooms	Lights Com
Zone or ZoneList Name		ROOMS	COMS
Schedule Name		LIGHTS PROFILE F	LIGHTS PROFILE C
Design Level Calculation Method		Watts/Area	Watts/Area
Lighting Level	W		
Watts per Zone Floor Area	W/m2	10	10
Watts per Person	W/person		
Return Air Fraction		0	0
Fraction Radiant		0	0
Fraction Visible		0	0
Fraction Replaceable		1	1
End-Use Subcategory		General	General
Return Air Fraction Calculated from Plenum Temperature Co		No	No
Return Air Fraction Function of Plenum Temperature Co			
Return Air Fraction Function of Plenum Temperature Co	1/K		

Εικόνα 5.26 Ορισμός των παραμέτρων υπολογισμού των εσωτερικών θερμικών κερδών εξαιτίας του εσωτερικού φωτισμού (στο περιβάλλον IDF editor)

Στην υποκατηγορία Electric Equipment ορίζονται οι παράμετροι υπολογισμού των εσωτερικών θερμικών κερδών της θερμικής ζώνης από τη λειτουργία των συστημάτων ηλεκτρικού εξοπλισμού των χώρων, όπως η ισχύς και τα χρονοδιαγράμματα λειτουργίας των ηλεκτρικών συσκευών που προγραμματίστηκαν παραπάνω. Συμπληρώνονται τα παρακάτω:

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		ELECTRIC EQUIPM	ELECTRIC EQUIPM
Zone or ZoneList Name		ROOMS	COMS
Schedule Name		ELECTRIC EQUIPM	ELECTRIC EQUIPM
Design Level Calculation Method		Watts/Area	Watts/Area
Design Level	W		
Watts per Zone Floor Area	W/m2	4	2
Watts per Person	W/person		
Fraction Latent		0	0
Fraction Radiant		0	0
Fraction Lost		0	0
End-Use Subcategory		General	General

Εικόνα 5.27 Ορισμός των παραμέτρων υπολογισμού των εσωτερικών θερμικών κερδών εξαιτίας της λειτουργίας ηλεκτρικών συσκευών (στο περιβάλλον IDF editor)

#### 5.4.5 ΡΟΗ ΤΟΥ ΑΕΡΑ ΔΙΑ ΜΕΣΟΥ ΤΩΝ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΖΩΝΩΝ (Zone Airflow)

Σε αυτό το σημείο ορίζεται η ροή του αέρα η οποία μπορεί να γίνει με δύο τρόπους : είτε με τον αθέλητο αερισμό (infiltration) , είτε με τον φυσικό αερισμό (ventilation) , σύμφωνα με τα χρονοδιαγράμματα που έχουν δημιουργηθεί σε προηγούμενα βήματα.

##### Υποκατηγορία 'Zone Infiltration: Design Flow Rate'

Εδώ περιγράφεται ο αθέλητος αερισμός, δηλαδή ο έμμεσος αερισμός, που προέρχεται είτε από τα κουφώματα είτε από το κλείσιμο ή το άνοιγμα των παραθύρων. Όπως και στις προηγούμενες



κατηγορίες συμπληρώνονται τα τρία πρώτα πεδία (Name, Thermal Zone, Schedule name), ενώ στο τέταρτο επιλέγεται το 'Flow/ ExteriorArea', δηλαδή ο όγκος του αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον που προσπίπτει στην εξωτερική επιφάνεια του κτιρίου προς την επιφάνεια αυτή. Για τον αθέλητο αερισμό, τέθηκε η τυπική τιμή 0.000226568 η οποία δίνεται από το ίδιο το πρόγραμμα και για τους δύο χώρους.

Explanation of Object and Current Field

Object Description: Infiltration is specified as a design level which is modified by a Schedule fraction, temperature difference and wind speed:  

$$\text{Infiltration} = I_{\text{design}} * F_{\text{Schedule}} * (A + B * (T_{\text{zone}} - T_{\text{odb}})) + C * \text{WindSpd} + D * \text{WindSpd}^{**2}$$
 If you use a ZoneList in the Zone or ZoneList name field then this definition applies

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		ROOMS_INFILTRA	COM_INFILTRATIC
Zone or ZoneList Name		ROOMS	COM
Schedule Name		INFILTRATION	INFILTRATION
Design Flow Rate Calculation Method		Flow/ExteriorArea	Flow/Zone
Design Flow Rate	m3/s		
Flow per Zone Floor Area	m3/s-m2		
Flow per Exterior Surface Area	m3/s-m2	0.000226568	0.000226568
Air Changes per Hour	1/hr		
Constant Term Coefficient			1
Temperature Term Coefficient			
Velocity Term Coefficient			
Velocity Squared Term Coefficient			

Εικόνα 5.28 Ορισμός των παραμέτρων διήθησης αέρα (στο περιβάλλον IDF editor)

#### Υποκατηγορία 'Zone Ventilation: Design Flow Rate'

Εδώ περιγράφεται ο φυσικός αερισμός, δηλαδή ο άμεσος αερισμός, με τον οποίο γίνεται η απομάκρυνση της θερμικής μάζας από το κτίριο. Έχει άμεση εξάρτηση από τα χρονοδιαγράμματα αερισμού του κτιρίου που δημιουργήθηκαν και υλοποιείται μέσω των ανοιγμάτων και κυρίως των παραθύρων. Ο φυσικός και ο μηχανικός αερισμός πραγματοποιούνται με την ανανέωση του εσωτερικού αέρα από νωπό αέρα περιβάλλοντος, για την επίτευξη αποδεκτών συνθηκών υγιεινής και άνεσης. Στη μεθοδολογία του Κ.Εν.Α.Κ ορίζονται τα απαιτούμενα επίπεδα νωπού αέρα ανάλογα με την κατηγορία και τη χρήση του κτιρίου. Δημιουργήθηκε τρία αντικείμενα: Ένα για να περιγράψει τις επιπλέον ανανεώσεις του αέρα κατά τις θερινές κυρίως περιόδους με βάση τα χρονοδιαγράμματα (schedules) και δύο επιπλέον που ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις που θέτει ο Κ.Εν.Α.Κ. Επιλέχθηκε το 'Air Changes/ Hour' στην πρώτη περίπτωση και τέθηκε η τιμή 2, ως η πλέον ρεαλιστική, ενώ για τις άλλες δυο περιπτώσεις διαλέξαμε το Flow/person (ροή ανά ένοικο) και τιμές 0,0042 και 0,00694 m<sup>3</sup>/s-person όπως προτείνει ο Κ.Εν.Α.Κ. Τέλος, στο πεδίο 'Ventilation Type' επιλέχθηκε ο φυσικός αερισμός και για τις 3 περιπτώσεις



Explanation of Object and Current Field

Object Description: Ventilation is specified as a design level which is modified by a schedule fraction, temperature difference and wind speed:  
 $Ventilation = V_{design} * F_{schedule} * (A + B * (T_{zone} - T_{odb})) + C * WindSpd + D * WindSpd^{**2}$   
 If you use a ZoneList in the Zone or ZoneList name field then this definition applies

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		Ventilation	Ventilation_addition	Ventilation_ad
Zone or ZoneList Name		ROOMS	ROOMS	COM
Schedule Name		VENTILATION	Always On Continuc	Always On Coi
Design Flow Rate Calculation Method		AirChanges/Hour	Flow/Person	Flow/Person
Design Flow Rate	m3/s			
Flow Rate per Zone Floor Area	m3/s-m2			
Flow Rate per Person	m3/s-person		0.0042	0.00694
Air Changes per Hour	1/hr	2		
Ventilation Type		Natural	Natural	Natural
Fan Pressure Rise	Pa			
Fan Total Efficiency		1	1	1
Constant Term Coefficient		1	1	1
Temperature Term Coefficient				
Velocity Term Coefficient				
Velocity Squared Term Coefficient				
Minimum Indoor Temperature	C	-100	20	20
Minimum Indoor Temperature Schedule Name				

Εικόνα 5.29 Ορισμός των παραμέτρων ανανέωσης αέρα (στο περιβάλλον IDF editor)

#### 5.4.6 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ (HVAC) ΚΑΙ ΖΕΣΤΟ ΝΕΡΟ ΧΡΗΣΗΣ

Στην κατηγορία HVAC Templates αναλύονται τα συστήματα κλιματισμού. Για ένα απλό σύστημα θέρμανσης – ψύξης χρησιμοποιούνται οι παρακάτω κατηγορίες :

##### Υποκατηγορία ‘HVAC Template: Thermostat’

Μέσω της συγκεκριμένης υποκατηγορίας ο μελετητής μπορεί να ορίσει το σύστημα θέρμανσης – ψύξης του κτιρίου μέσα στο πρόγραμμα. Δημιουργήθηκε ένα μόνο αντικείμενο με όνομα ‘Constant Setpoint’ και χρησιμοποιεί τα χρονοδιαγράμματα που έχουν ήδη δημιουργηθεί στην κατηγορία ‘Schedules’ ειδικά για τον κλιματισμό, για θέρμανση και ψύξη, στα αντίστοιχα πεδία. Ορίστηκε και ένας θερμοστάτης, δηλαδή μια θερμοκρασία τίθεται ως όριο για να λειτουργεί το σύστημα κλιματισμού.

Η εσωτερική θερμοκρασία είναι η βασικότερη παράμετρος διαμόρφωσης της θερμικής άνεσης σε ένα χώρο. Είναι σαφές ότι, δεδομένης της υποκειμενικότητας του επιπέδου θερμικής άνεσης και των επιλογών του εκάστοτε χρήστη, η επιθυμητή θερμοκρασία εσωτερικών χώρων μπορεί να ποικίλλει.

Ωστόσο, για τις ανάγκες της εκτίμησης της ενεργειακής απόδοσης ενός κτιρίου πρέπει να καθοριστούν σε εθνικό επίπεδο τα επιθυμητά όρια εσωτερικής θερμοκρασίας ανά χρήση. Αυτό πρέπει να γίνει στη βάση της επίτευξης της θερμικής άνεσης με τη μικρότερη δυνατή κατανάλωση ενέργειας. Τα θερμοκρασιακά όρια του θερμοστάτη τίθενται επομένως με βάση το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 15251:2007, το οποίο για την κατηγορία κτιρίου «Ξενώνας θερινής/χειμερινής λειτουργίας» ορίζει τα όρια στους 20 °C και 26 °C αντίστοιχα.

##### Υποκατηγορία ‘HVAC Template: Zone: Ideal Loads Air System

Σε αυτό το σημείο ορίζονται σε ποιες θερμικές ζώνες είναι διαθέσιμο το σύστημα κλιματισμού. ( Στην περίπτωση μας έχουμε 15 αντικείμενα).

[0001]	HVAC Template: Thermostat		
[0001]	HVAC Template: Zone Ideal Loads Air System		
[0001]	Sizing: Parameters		
[0001]	LifeCycleCost: Parameters		
[0001]	LifeCycleCost: Nonrecurring Cost		
[0005]	LifeCycleCost: Use Price Escalation		
[0001]	Output: Variable Dictionary		
[0001]	Output: Table: Summary Reports		
[0001]	OutputControl: Table: Style		
[0007]	Output: Variable		
[0008]	Output: Meter		
[0001]	Output: SQLite		

Field	Units	Obj1
Zone Name		ROOMS
Template Thermostat Name		THERMOSTAT
System Availability Schedule Name		
Maximum Heating Supply Air Temperature	C	50
Minimum Cooling Supply Air Temperature	C	13
Maximum Heating Supply Air Humidity Ratio	kgWater/kgDryA	0.0156
Minimum Cooling Supply Air Humidity Ratio	kgWater/kgDryA	0.0077
Heating Limit		NoLimit
Maximum Heating Air Flow Rate	m3/s	
Maximum Sensible Heating Capacity	W	
Cooling Limit		NoLimit
Maximum Cooling Air Flow Rate	m3/s	
Maximum Total Cooling Capacity	W	
Heating Availability Schedule Name		
Cooling Availability Schedule Name		
Dehumidification Control Type		ConstantSensibleHe
Cooling Sensible Heat Ratio	dimensionless	0.7
Dehumidification Setpoint	percent	60
Humidification Control Type		None
Humidification Setpoint	percent	30
Outdoor Air Method		None

Εικόνα 5.30 Εισαγωγή του συστήματος κλιματισμού με θερμοστάτη (στο περιβάλλον IDF editor)

## ΖΕΣΤΟ ΝΕΡΟ ΧΡΗΣΗΣ

Η ζήτηση ζεστού νερού χρήσης (Ζ.Ν.Χ.) σε ένα κτίριο εξαρτάται από τη χρήση του αλλά και σε σημαντικό βαθμό από τον ανθρώπινο παράγοντα. Έτσι, κάθε κτίριο, ανάλογα με τη γενική του χρήση αλλά και τις συνήθειες των χρηστών του, παρουσιάζει διαφορετική κατανάλωση Ζ.Ν.Χ. Για τον υπολογισμό της κατανάλωσης θερμικής ενέργειας για παραγωγή Ζ.Ν.Χ. καθορίστηκε, σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ αλλά και πίνακες που λαμβάνονται από τη διεθνή βιβλιογραφία και τις τυπικές τιμές που προτείνει το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 15316.3.1:2008, η τυπική ημερήσια κατανάλωση Ζ.Ν.Χ. ανά άτομο/χρήστη του υπό μελέτη κτιρίου ή της υπό μελέτη ζώνης, καθώς επίσης και η ετήσια κατανάλωση. Για την περίπτωση μας συνιστάται ως τυπική τιμή κατανάλωσης ζεστού νερού χρήσης (σε θερμοκρασία 45°C) για τον υπολογισμό της κατανάλωσης ενέργειας η τιμή των 50 λίτρων ΖΝΧ ανά άτομο και ημέρα και τα 18,25 κυβικά μέτρα ανά κλίνη σε ετήσια βάση.

Διευκρινίζεται επίσης, πως με βάση τις οδηγίες του Κ.Εν.Α.Κ οι υπολογισμοί της κατανάλωσης Ζ.Ν.Χ. γίνονται βάσει των τετραγωνικών που καταλαμβάνει η χρήση για την οποία υπάρχει απαίτηση Ζ.Ν.Χ. και όχι για το σύνολο του κτιρίου. Η επιφάνεια των κοινόχρηστων βοηθητικών χώρων των κτιρίων, π.χ. διάδρομοι, κλιμακοστάσια, λουτρά (WC), δεν συνηγορεί για τον καθορισμό των απαιτήσεων Ζ.Ν.Χ. Έτσι, στην περίπτωση που οι κοινόχρηστοι βοηθητικοί χώροι ενσωματώνονται σε μια μεγαλύτερη θερμική ζώνη, το εμβαδό τους δεν λαμβάνεται υπόψη για τον υπολογισμό της κατανάλωσης Ζ.Ν.Χ., ενώ στην περίπτωση κατά την οποία αυτοί οι χώροι οριστούν ως ξεχωριστές θερμικές ζώνες, η κατανάλωση Ζ.Ν.Χ. λαμβάνεται μηδενική. Στην περίπτωση μας το ΖΝΧ απαιτείται για τους κοιτώνες (οι οποίοι έχουν αυτόνομους νιπτήρες) και για τα κοινόχρηστα ντουζ τα οποία όπως αναφέραμε παραπάνω στον διαχωρισμό των θερμικών ζωνών υπάγονται στην ομάδα θερμικών ζωνών ROOMS. Άρα συνηγορούμε μόνο τις επιφάνειες που αφορούν τις Θ.Ζ "ROOMS".

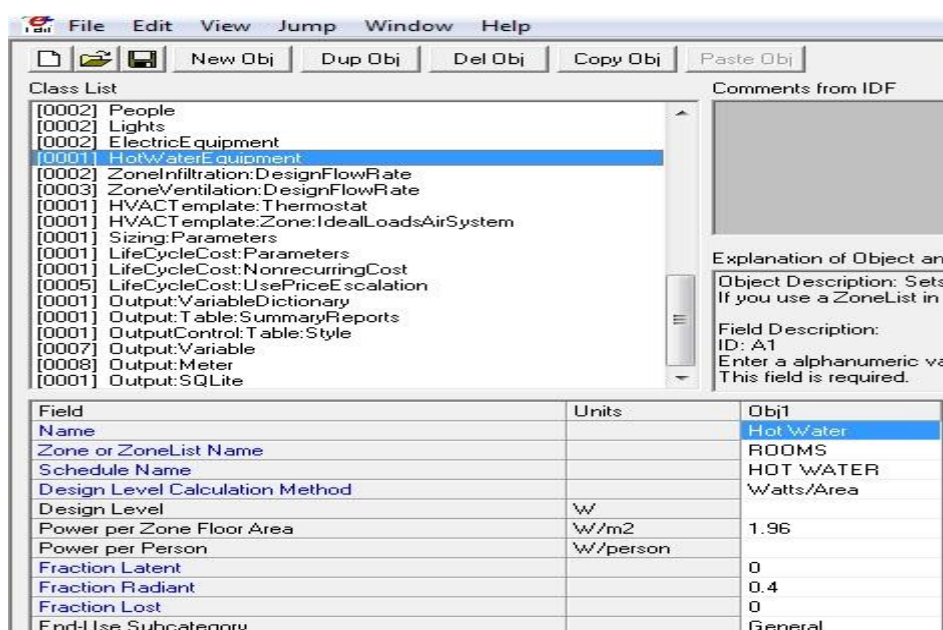
Για τους υπολογισμούς των απαιτούμενων φορτίων για ζεστό νερό χρήσης λαμβάνονται οι τιμές της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας νερού δικτύου:

Πίνακας 5.4 Μέση μηνιαία θερμοκρασία νερού δικτύου ανά κλιματική ζώνη. [Κ.ΕΝ.Α.Κ]

Κλιματική Ζώνη	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ
A	13,0	12,8	13,8	16,3	19,9	23,8	26,2	26,6	24,9	21,7	18,1	14,8
B	10,4	10,1	11,7	14,8	18,9	23,1	25,6	25,8	23,5	19,7	15,5	12,2
Γ	6,5	7,3	9,4	13,2	17,6	21,9	24,3	24,6	22,0	17,7	12,7	8,6
Δ	4,2	5,0	7,5	11,5	15,7	19,8	22,2	22,7	20,2	15,9	10,8	6,6

Από τα παραπάνω και με απλούς υπολογισμούς προκύπτει ότι ένας λέβητας της τάξης των 12kW είναι επαρκής και παρόμοιος με τον λέβητα που υπήρχε στο παρελθόν. Διαιρώντας την ισχύ του λέβητα με την επιφάνεια της Θερμικής Ζώνης ROOMS προκύπτει τιμή 1,96 W/m<sup>2</sup> και συμπληρώνουμε στο αρχείο IDF ως:

Εικόνα 5.31 Εισαγωγή του συστήματος ζεστού νερού χρήσης στο περιβάλλον IDF editor



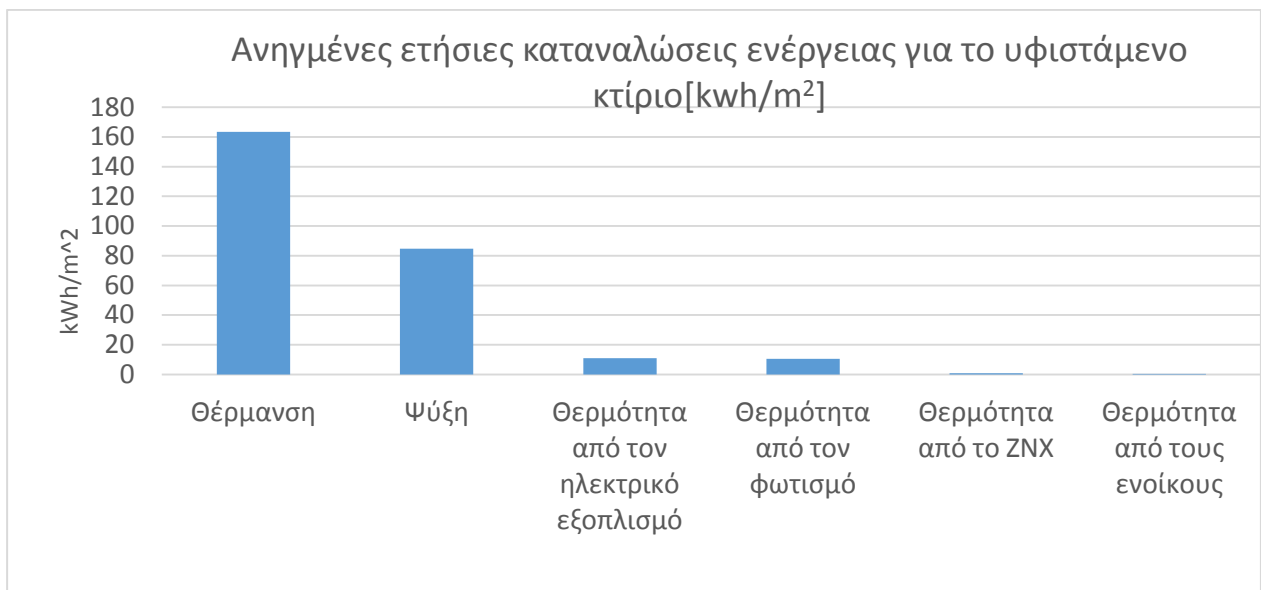
## 5.5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Το Energy Plus παρέχει τη δυνατότητα υπολογισμού πληθώρας παραμέτρων, η επιλογή των οποίων γίνεται ανάλογα με το είδος και το σκοπό της εκάστοτε μελέτης. Αφού ολοκληρωθεί η εισαγωγή των δεδομένων ακολουθεί ο ορισμός των μεταβλητών που θα ζητηθούν ως αποτελέσματα. Στην υποκατηγορία **Output:Variable** δηλώνουμε τα ονόματα των μεταβλητών που επιθυμούμε να μας υπολογίσει το πρόγραμμα καθώς και την επιθυμητή συχνότητα υποβολής αποτελεσμάτων.

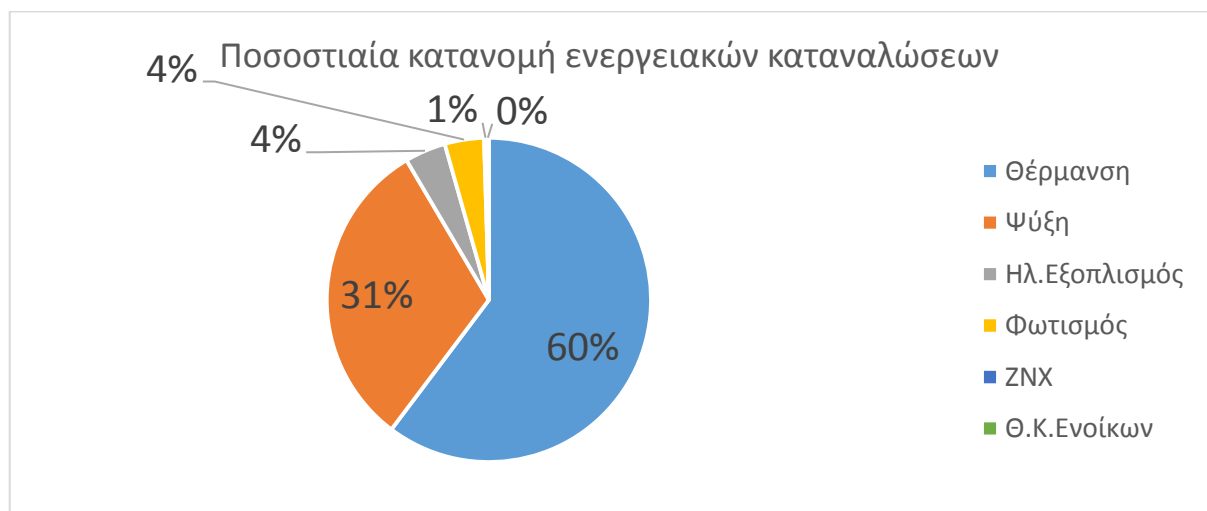
Παρακάτω παρουσιάζονται και σχολιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του μοντέλου που περιγράψαμε παραπάνω και εξάγονται κάποια βασικά συμπεράσματα σχετικά με τις απαιτήσεις του κτιρίου σε ανακαίνιση. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης στο περιβάλλον του EP Launch εξάγονται στα σχετικά αρχεία τύπου [.csv], [.html], [.elo] και [.eso] (βλ. ενότητα «5.4.7») και με κατάλληλη επεξεργασία στο πρόγραμμα Microsoft Office Excel καταλήγουμε στην τελική μορφή παρουσίασης. Αξίζει να σημειώσουμε ότι ο όγκος των δεδομένων που εξήχθησαν είναι αρκετά μεγάλος και επομένως τα αποτελέσματα τα οποία παρουσιάζονται προέκυψαν μετά από διαλογή,

άλλα λιγότερο σημαντικά για την άμεση εξαγωγή συμπερασμάτων, αποτελέσματα βρίσκονται στο παράρτημα.

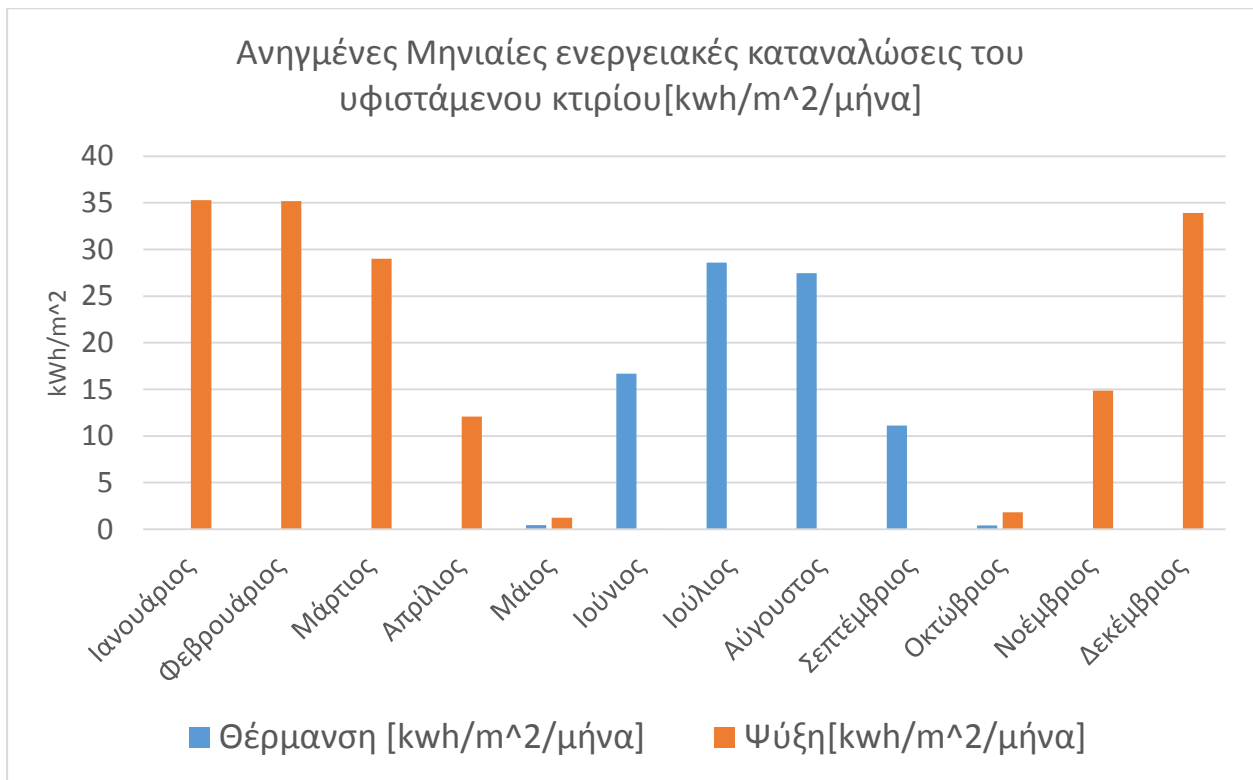
#### 5.5.1.1 Διαγράμματα Ενεργειακών καταναλώσεων:



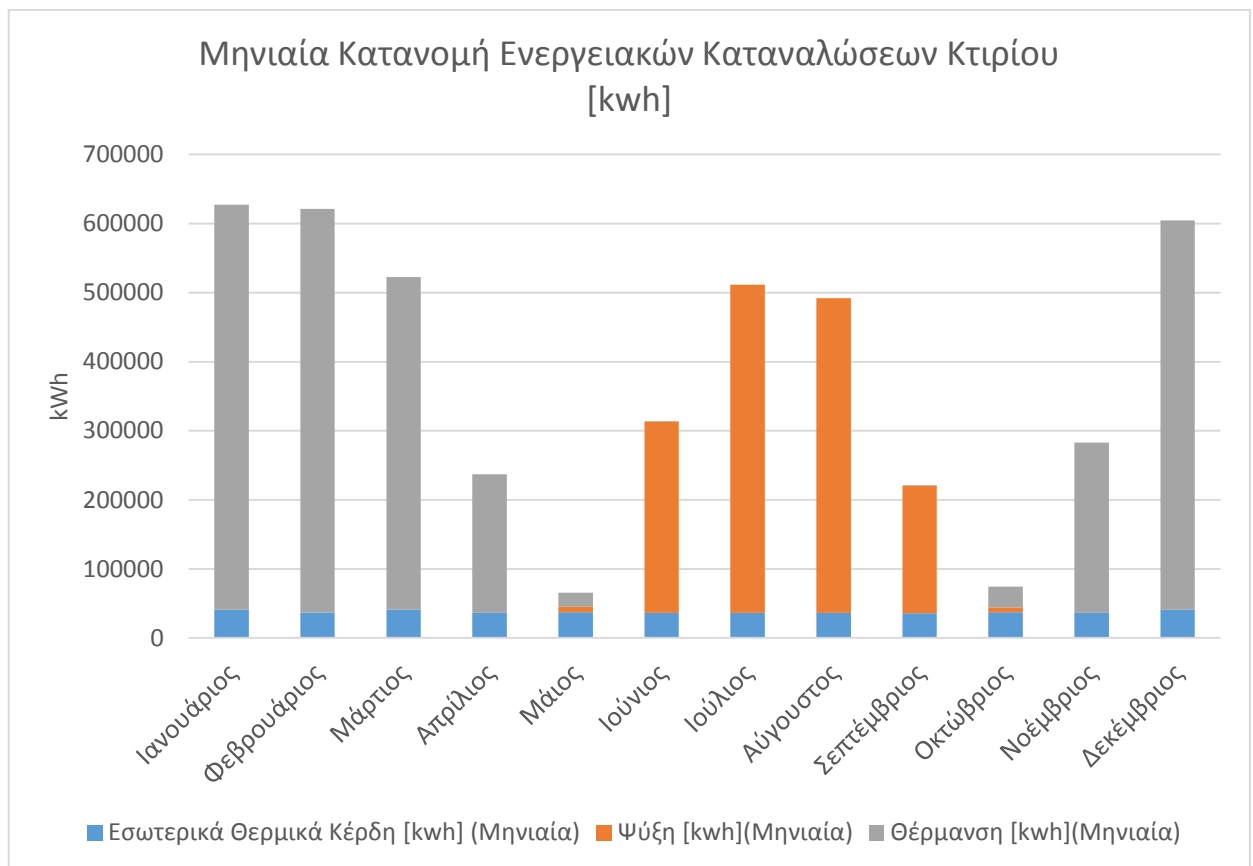
Εικόνα 5.32 Ανηγμένες καταναλώσεις ενέργειας για το υφιστάμενο κτίριο



Εικόνα 5.33 Ποσοστιαία κατανομή ενεργειακών καταναλώσεων



Εικόνα 5.34 Ανηγμένες Μηνιαίες ενεργειακές καταναλώσεις του υφιστάμενου κτιρίου



Εικόνα 5.35 Μηνιαίες ενεργειακές καταναλώσεις του υφιστάμενου κτιρίου

#### 5.5.1.2 Σχολιασμός Διαγραμμάτων:

Με βάση τα παραπάνω διαγράμματα οδηγούμαστε στις εξής παρατηρήσεις:

- Η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για το κτίριό μας είναι της τάξης των  $305\text{kWh/m}^2$  και  $T=EP/RR=1.84$  και επομένως με βάση τους πίνακες της ενότητας 5.3 θα εμπίπτει στην κατηγορία Ε.
- Βασικό στοιχείο στην κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας αποτελεί η κατανάλωση θέρμανσης με συνεισφορά της τάξης του 60% ενώ σημαντικές είναι και οι καταναλώσεις ψύξης (31%). Οι πρώτες δικαιολογούνται από την έλλειψη θερμικής μόνωσης και τις υψηλές τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων του κελύφους (βλ. επόμενη ενότητα) ενώ οι δεύτερες από την σχετικά μεγάλη επιφάνεια υαλοπινάκων οι οποίοι καταλαμβάνουν το 65% της συνολικής επιφάνειας του κελύφους.
- Τα εσωτερικά θερμικά κέρδη έχουν αμελητέα συνεισφορά στην κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ενώ παραμένουν σχετικά αμετάβλητα καθ' όλη την περίοδο λειτουργίας του κτιρίου (Σεπτέμβριος-Μάιος)

## 6 ΠΑΡΕΜΒΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ

Όπως διαπιστώσαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο, η ενεργειακή απόδοση του υφιστάμενου κτιρίου κρίνεται ως αρκετά χαμηλή, ενώ οι ανάγκες σε θέρμανση και ψύξη είναι ιδιαίτερα κοστοβόρες (όπως διαπιστώσαμε κατά την διαδικασία της αυτοψίας αλλά και όπως θα αναλύσουμε και στην συνέχεια του παρόντος κεφαλαίου). Για τον λόγο αυτό κρίνεται απαραίτητη η διερεύνηση κατάλληλων παρεμβάσεων για την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κατοικίσιμων ορόφων (1<sup>ος</sup>-8<sup>ος</sup>) οι οποίοι έχουν και τις κύριες απαιτήσεις για επίτευξη συνθηκών θερμικής άνεσης.

Οι παρεμβάσεις αυτές είναι οι εξής 2:

- Η ενίσχυση της θερμικής μόνωσης στην εξωτερική τοιχοποιία με θερμομονωτικές πλάκες (Αυτοσβενύμενες πλάκες Διογκωμένου Πολυστερενίου EPS ) διαφόρων παχών (50-80-100mm).
- Η αλλαγή των υαλοπινάκων και των κουφωμάτων με άλλα ενεργειακά αποδοτικότερα (3 είδη υαλοπινάκων για κουφώματα αλουμινίου).

Στην συνέχεια του κεφαλαίου αυτού αναλύεται πλήρως η διαδικασία της παραμετρικής ανάλυσης για τις παραπάνω επεμβάσεις και τους συνδιασμούς τους (4\*4=16 εναλλακτικά σενάρια συνυπολογισμένων και των ενδεχομένων απουσίας θερμομόνωσης ή διατήρησης των υπάρχοντων συστημάτων παραθύρου). Τα αποτελέσματα της ανάλυσης αυτής κρίνονται με βάση την οικονομική απόδοση της κάθε ενδεχόμενης επένδυσης και έτσι καταλήγουμε στην τελική πρόταση ανακαίνισης, η οποία είναι και ο πρωταρχικός σκοπός της εργασίας.

### 6.1 ΣΕΝΑΡΙΟ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ

Όπως προέκυψε από την προσομοίωση, η επιφάνεια της εξωτερικής τοιχοποιίας η οποία εκτίθεται στο εξωτερικό περιβάλλον καταλαμβάνει μόλις το 34,35% της συνολικής εξωτερικής επιφάνειας, με το υπόλοιπο 65,65% να καλύπτεται από τους υαλοπίνακες.

Πίνακας 6.1 Στοιχεία επιφάνειας κτιριακού κελύφους

	Σύνολο	Βορράς(315 to 45 deg)	Ανατολή (45 to 135 deg)	Νότος (135 to 225 deg)	Δύση (225 to 315 deg)
<b>Συνολική επιφάνεια τοιχοποιίας [m<sup>2</sup>]</b>	6446.4	2654.4	568.8	2654.4	568.8
<b>Εμβαδόν ανοιγμάτων [m<sup>2</sup>]</b>	4232	2116	0	2116	0
<b>Gross Window-Wall Ratio [%]</b>	65.65	79.72	0	79.72	0

Επιπλέον οι τιμές της συνολικής θερμοπερατότητας ανά δομικό στοιχείο όπως υπολογίζονται από το πρόγραμμα απέχουν κατά πολύ από τα προβλεπόμενα όρια που θέτει ο Κ.ΕΝ.Α.Κ για την περίπτωση ριζικής ανακαίνισης υφιστάμενου κτιρίου. Η σύγκριση μπορεί να γίνει άμεσα με την αντιπαραβολή των πινάκων του Κ.ΕΝ.Α.Κ και των αποτελεσμάτων που μας δίνει το αρχείο .html για το



μοντέλο του υφιστάμενου κτιρίου (Σημειώνεται ότι στον παρακάτω πίνακα αναγράφονται οι τιμές για τις εξωτερικές τοιχοποιίες των θερμικών ζωνών ROOMS-EAST, ROOMS\_WEST, ROOMS\_SOUTH, ROOMS\_NORTH, COM οι οποίες όμως είναι πανομοιότυπες με εκείνες των υπόλοιπων θερμικών ζωνών):

Πίνακας 6.2 Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας  $U$  [ $W/(m^2 \cdot K)$ ] των επί μέρους δομικών στοιχείων ανά κλιματική ζώνη σε περίπτωση ριζικής ανακαίνισης υφιστάμενου κτιρίου. {Κ.ΕΝ.Α.Κ 2010}

ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ	ΖΩΝΗ Α'	ΖΩΝΗ Β'	ΖΩΝΗ Γ'	ΖΩΝΗ Δ'
Εξωτερική οριζόντια ή κεκλιμένη επιφάνεια σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (οροφή)	0,50	0,45	0,40	0,35
Εξωτερικός τοίχος σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	0,60	0,50	0,45	0,40
Δάπεδο σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (πιλοτή)	0,50	0,45	0,40	0,35
Οριζόντια ή κεκλιμένη οροφή σε επαφή με κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο	1,20	0,90	0,75	0,70
Τοίχος σε επαφή με κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο	1,50	1,00	0,80	0,70
Δάπεδο σε επαφή με κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο	1,20	0,90	0,75	0,70
Οριζόντια ή κεκλιμένη οροφή σε επαφή με το έδαφος	1,20	0,90	0,75	0,70
Τοίχος σε επαφή με το έδαφος	1,50	1,00	0,80	0,70
Δάπεδο σε επαφή με το έδαφος	1,20	0,90	0,75	0,70
Κούφωμα ανοίγματος σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	3,20	3,00	2,80	2,60
Κούφωμα ανοίγματος χωρίς υαλοπίνακα σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	3,20	3,00	2,80	2,60
Γυάλινη πρόσοψη κτιρίου μη ανοιγόμενη ή μερικώς ανοιγόμενη σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	2,20	2,00	1,80	1,80

Πίνακας 6.3 Τιμές ισοδύναμου συντελεστή θερμοπερατότητας των βασικών δομικών στοιχείων του κελύφους του κτιρίου των εστιών.

Βασικό σκέλος ονοματοδοσίας στο EP στο χωρίο "Building Surface Detailed"	Construction (όπως ορίζεται η ονοματοδοσία στο αντίστοιχο σκέλος του EP)	U-Factor [ $W/m^2 \cdot K$ ]
EW_COM	EXTERNALWALL	3.507
EW_ROOMS	EXTERNALWALL_ROOMS	4.276

Από τα παραπάνω προκύπτει το ασφαλές συμπέρασμα ότι είναι απαραίτητη η θερμική ενίσχυση του κελύφους εστιάζοντας κατ' αρχάς στην μόνωση της εξωτερικής τοιχοποιίας ούτως ώστε να περιοριστεί σε ανεκτά πλαίσια η τιμή των συντελεστών θερμοπερατότητας των δομικών του στοιχείων. Η πλέον διαδεδομένη μέθοδος είναι αυτή της εξωτερικής θερμομόνωσης του κελύφους με θερμομονωτικό στρώμα.

### 6.1.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΑΝΑΚΑΙΝΙΣΗΣ ΤΩΝ ΕΣΤΙΩΝ

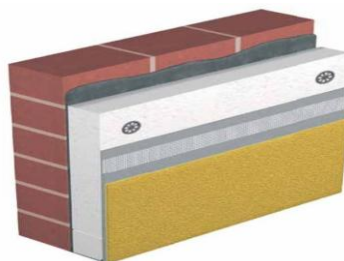
Μία επιλογή σαν και αυτή δεν επιβαρύνει με μεγάλο κόστος την ανακαίνιση, καθώς με την ορθή επιλογή των υλικών μας μπορούμε να επιτύχουμε βελτίωση της θερμικής συμπεριφοράς του κτιρίου επεμβέροντας σε ένα σχετικά μικτό ποσοστό της συνολικής του επιφάνειας και επομένως περιορίζοντας την προμύθια υλικού.

Επισημαίνεται επίσης ότι κατασκευαστικές λύσεις αυτού του τύπου δεν απαιτούν διπλό εξωτερικό τοίχο προκειμένου να τοποθετηθεί θερμομονωτικό υλικό στο διάκενο. Μπορούμε έτσι να κτίσουμε μονό (δρομικό) εξωτερικό τοίχο, με αποτέλεσμα να κερδηθούν πολύτιμα τετραγωνικά μέτρα ωφέλιμης επιφάνειας τα οποία είναι απαραίτητα σε ένα κτίριο σαν και αυτό των εστιών. Το στοιχείο αυτό έχει το επιπλέον πλεονέκτημα ότι οι εργασίες της ανακαίνισης δεν θα επιβαρύνουν τον φέροντα οργανισμό του κτιρίου, ο οποίος παρουσιάζει ήδη αρκετές φθορές.

Τέλος, η μέθοδος αυτή έχει το πλεονέκτημα, κατά τη διάρκεια της εφαρμογής της, να μην διακόπτονται οι λειτουργίες χρήσης του κτιρίου. Το σημείο αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό αν αναλογιστούμε τις απαιτήσεις που έχουν εκφραστεί από τους ενοίκους για μη μετεγκατάστασή τους κατά την διάρκεια των όποιων εργασιών αλλά και την μείωση του κόστους της όποιας προσωρινής μετεγκατάστασης.<sup>[42]</sup>

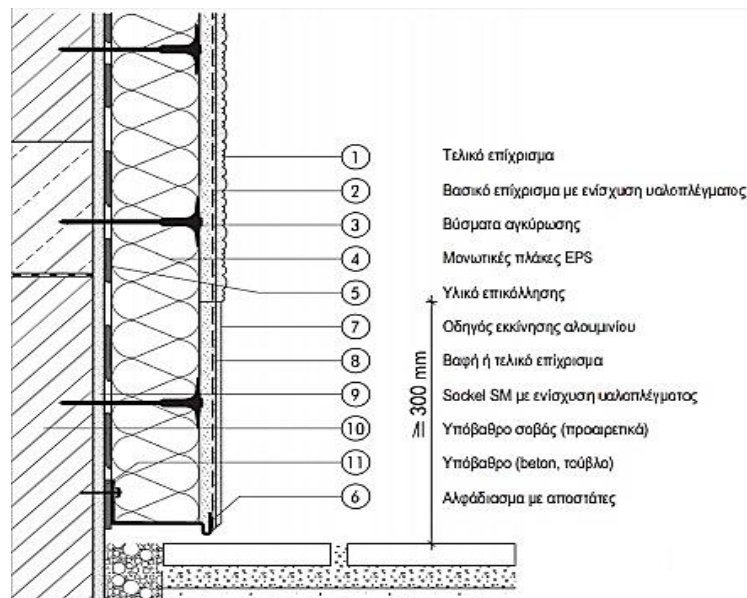
### 6.1.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗΣ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗΣ

Κατά την εφαρμογή του συστήματος εξωτερικής θερμομόνωσης επικολλώνται θερμομονωτικές πλάκες ειδικών προδιαγραφών εξωτερικά στις όψεις των κτιρίων. Στην συνέχεια διαμορφώνονται επάνω τους τα επιθυμητά διακοσμητικά αρχιτεκτονικά στοιχεία (σκοτίες, κορνίζες κτλ) και τέλος εφαρμόζονται υψηλής ποιότητας επιχρίσματα ενισχυμένα με κατάλληλο υαλόπλεγμα. Τα τελικά επιχρίσματα είναι έγχρωμα ή λευκά και υπάρχει η δυνατότητα για επιλογή ανάμεσα σε διαφορετικές αλλά παρεμφερείς τεχντροπίες<sup>[44]</sup>.



Εικόνα 6.1 Τομή απλού συστήματος εξωτερικής θερμομόνωσης με πλάκες διογκωμένης πολυστερίνης [44]

Ένα πλήρες σύστημα εξωτερικής θερμομόνωσης απαιτεί πέρα από τις μονωτικές πλάκες (οι οποίες αποτελούν και το βασικό του στοιχείο) τα εξής στοιχεία: υλικό επικόλλησης, βύσματα ακύρωσης, βασικό επίχρισμα, πλέγμα ενίσχυσης, αστάρι, τελικό επίχρισμα και βαφή.



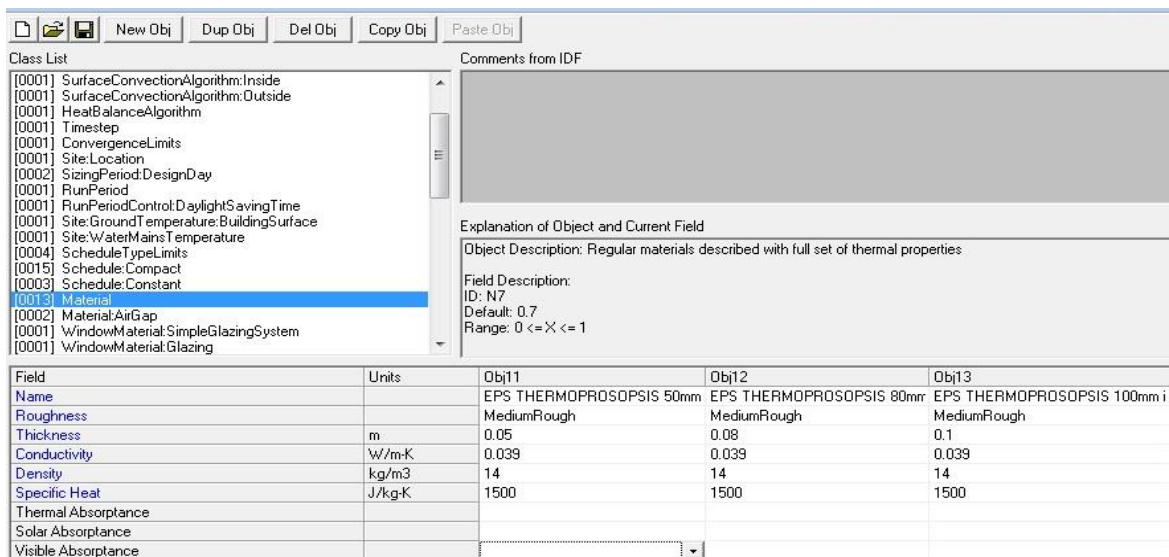
Εικόνα 6.2 Εφαρμογή της εξωτερικής θερμομόνωσης με μονωτικές πλάκες EPS [44]

Κατά την διαδικασία μελέτης της ανακαίνισης θα πρέπει να μελετηθούν όλα τα παραπάνω στοιχεία και να γίνει προσεκτική επιλογή του κάθε ενός με βάση παράγοντες τόσο οικονομικούς όσο και τεχνικούς (μηχανική αντοχή υλικών, αντοχή σε διάβρωση, επιβάρυνση του φέροντος οργανισμού του κτιρίου) αλλά και αισθητικούς. Ωστόσο σε ότι αφορά την παρούσα μελέτη της θερμικής συμπεριφοράς του κτιρίου, οι παράγοντες αυτοί παίζουν αμελητέο ρόλο και γιαυτό θα εστιάσουμε στις μονωτικές πλάκες και συγκεκριμένα στο μονωτικό υλικό.

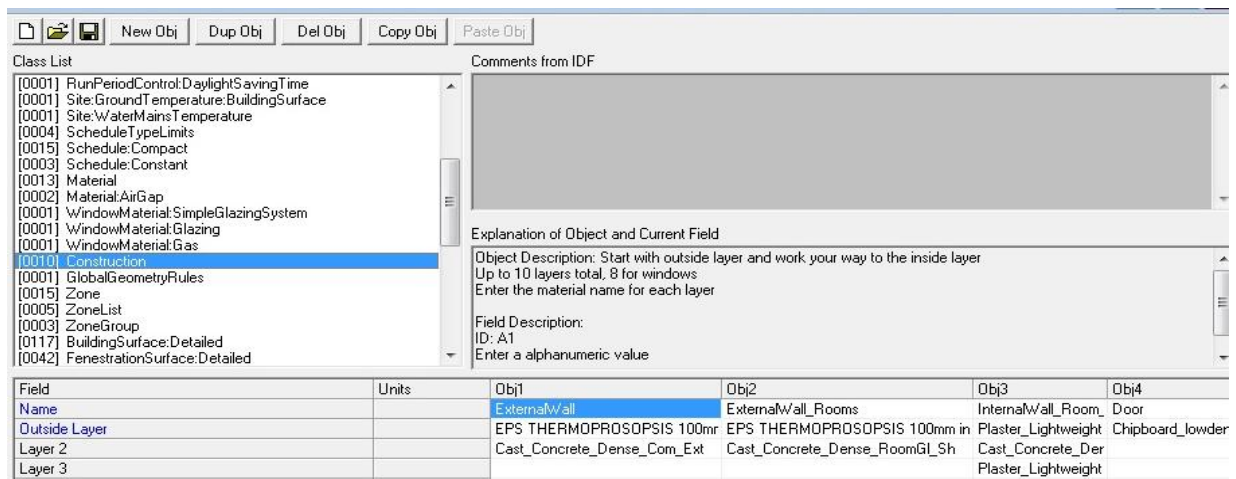
Το μονωτικό υλικό του συστήματος που μελετάμε είναι οι Αυτοσβενύμενες πλάκες Διογκωμένου Πολυστυρενίου EPS με  $\lambda=0,039\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  οι οποίες παράγονται σε διαστάσεις  $1,00 \times 0,60\text{m}$  με τις ευρωπαϊκές προδιαγραφές EN 13163:2001 και διαθέτουν σήμανση CE. Το πάχος του μονωτικού υλικού καθορίζεται από τη μελέτη θερμομόνωσης που εκπονείται σύμφωνα με τον ισχύοντα κανονισμό. Στην περίπτωση μας μελετάμε παραμετρικά 3 περιπτώσεις με διαφορετικά πάχη: 50mm, 80mm και 100mm αντίστοιχα.

#### ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΤΟ ENERGYPLUS

Η εισαγωγή της παραμέτρου της μόνωσης στο υπάρχον μοντέλο του Energy Plus γίνεται με την εισαγωγή των στοιχείων της μόνωσης στο IDF Editor μέσα από το χωρίο «Materials» και στην συνέχεια με την αλλαγή των χωρίων «Construction» κάθε φορά που αλλάζει το πάχος της μόνωσης.



Εικόνα 6.3 Περιγραφή των φυσικών ιδιοτήτων των θερμομονωτικών πλακών στο IDF Editor



Εικόνα 6.4 Περιγραφή της επένδυσης με θερμομονωτικές πλάκες στο περιβάλλον IDF Editor

### 6.1.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του υπάρχοντος μοντέλου για την επένδυση του κελύφους με θερμομονωτικές πλάκες EPS διαφορετικών παχών.

#### ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Το EP μας παρέχει δεδομένα για την θερμοπερατότητα των δομικών στοιχείων της εξωτερικής τοιχοποιίας μέσω του συντελεστή:

U-Factor (with Film) : Ο συντελεστής θερμοπερατότητας ο οποίος σχετίζεται με την επιφάνεια της θερμικής ζώνης και συνυπολογίζει την ύπαρξη οριακών στρωμάτων στις εσωτερικές και εξωτερικές επιφάνειες.

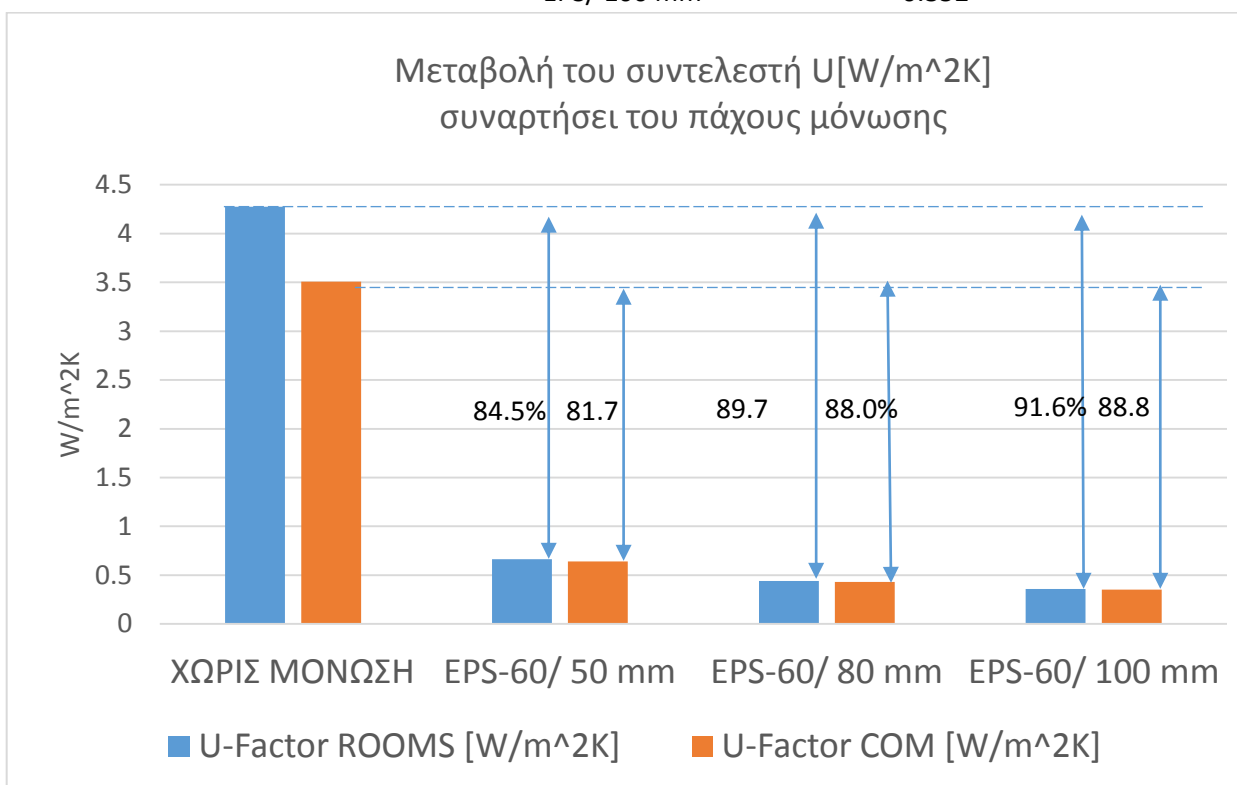
Όπως φαίνεται και στα διαγράμματα, η επένδυση του κελύφους με θερμομόνωση επέδρασε δραστικά στο να μειωθούν οι τιμές των U σε επίπεδα αποδεκτά από τον Κ.Ε.Ν.Α.Κ (βλ πίνακα παραπάνω).

Πίνακας 6.4 Μεταβολή του συντελεστή θερμοπερατότητας συναρτήσει του πάχους μόνωσης για την εξωτερική τοιχοποιία των κοιτώνων

Ονοματοδοσία κατασκευής στο ΕΡ	ΠΑΧΟΣ ΜΟΝΩΣΗΣ [mm]	U-VALUE (Συντελεστής Θερμοπερατότητας) [W/m <sup>2</sup> K]
EXTERNAL WALL ROOM ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ ΚΟΙΤΩΝΩΝ	ΧΩΡΙΣ ΜΟΝΩΣΗ	4.276
	EPS/ 50 mm	0.663
	EPS/ 80 mm	0.439
	EPS/ 100 mm	0.358

Πίνακας 6.5 Μεταβολή του συντελεστή θερμοπερατότητας συναρτήσει του πάχους μόνωσης για την εξωτερική τοιχοποιία των κοινόχρηστων χώρων

Ονοματοδοσία κατασκευής στο ΕΡ	ΠΑΧΟΣ ΜΟΝΩΣΗΣ [mm]	U-Factor (Συντελεστής Θερμοπερατότητας) [W/m <sup>2</sup> K]
EXTERNAL WALL COM ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ ΚΟΙΝΟΧΡΗΣΩΝ ΧΩΡΩΝ	ΧΩΡΙΣ ΜΟΝΩΣΗ	3.507
	EPS/ 50 mm	0.641
	EPS/ 80 mm	0.429
	EPS/ 100 mm	0.352



Εικόνα 6.5 Μεταβολή του συντελεστή θερμοπερατότητας συναρτήσει του πάχους μόνωσης για την εξωτερική τοιχοποιία των κοιτώνων και των κοινόχρηστων χώρων

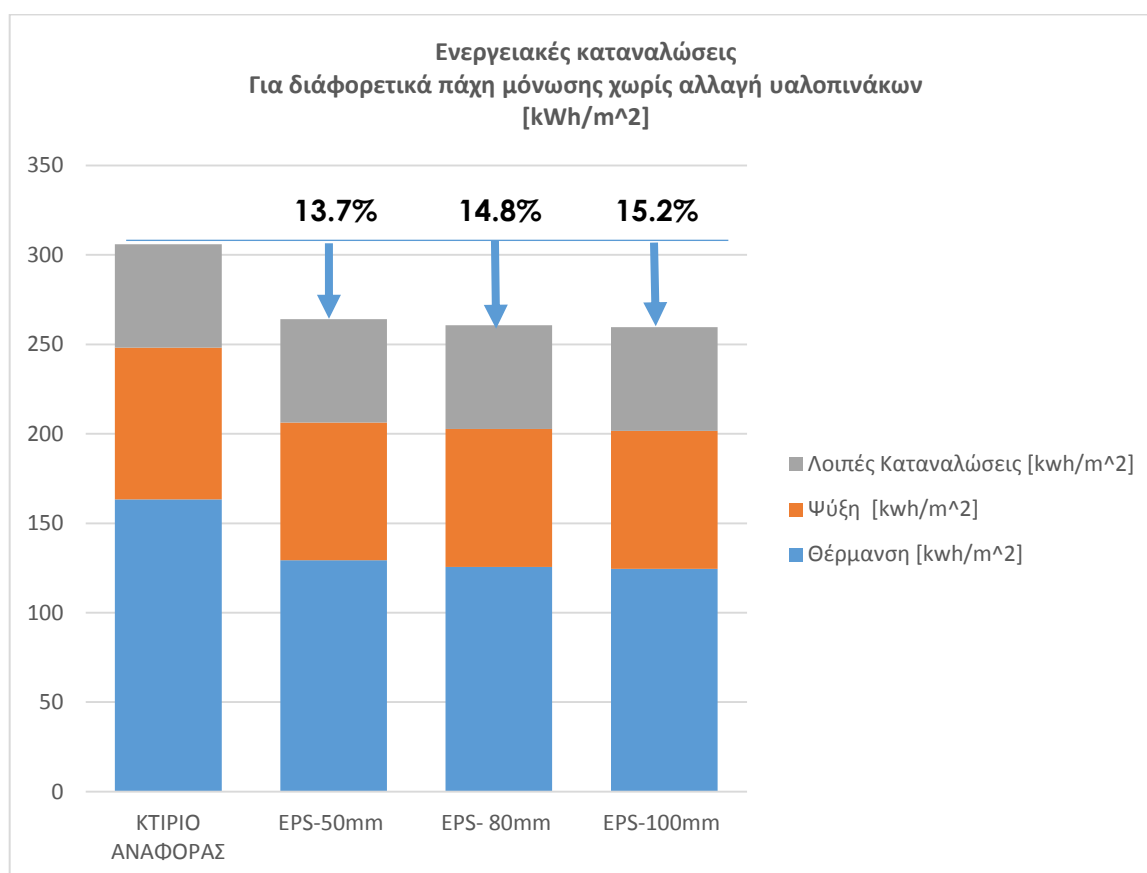
Ωστόσο σε ότι αφορά την ενεργειακή απόδοση του κτιρίου, εύκολα διαπιστώνουμε ότι τα αποτελέσματα δεν είναι τόσο εντυπωσιακά. Συγκεκριμένα βλέπουμε ότι ενώ με την κάλυψη του κελύφους με μόνωση πλακών 50mm επιτυγχάνεται μείωση της κατανάλωσης ενέργειας της τάξης του

13,67% (έναντι του μη μονωμένου), η αύξηση του πάχους της μόνωσης δεν συνεισφέρει ουσιαστικά στην αύξηση της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου. Χαρακτηριστικά αναφέρουμε ότι η διαφορά μεταξύ της πρωτογενούς καταναλώσεως ενέργειας για όλο το κτίριο μεταξύ των περιπτώσεων της μόνωσης με πλάκες 50 και 100 χιλιοστών αντίστοιχα είναι μόλις 1,49%. Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφέρουμε ότι υπάρχει απόκλιση μεταξύ της εξοικονόμησης στην θέρμανση που φτάνει μέχρι και το 24% και στην ψύξη που δεν ξεπερνά το 9%.

Όσον αφορά δε την συσχέτιση του πάχους μόνωσης με την εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας, βλέπουμε ότι με μία καλή προσέγγιση της σχέσης πάχους μόνωσης-εξοικονόμησης ενέργειας (με πολυωνυμική προσέγγιση δεύτερου βαθμού και τιμή  $R^2=0.994$  (βλ. εικόνα 6.1.7) ) η αύξηση του πάχους μόνωσης μετά τα 80mm περίπου δεν επιφέρει ενεργειακά οφέλη.

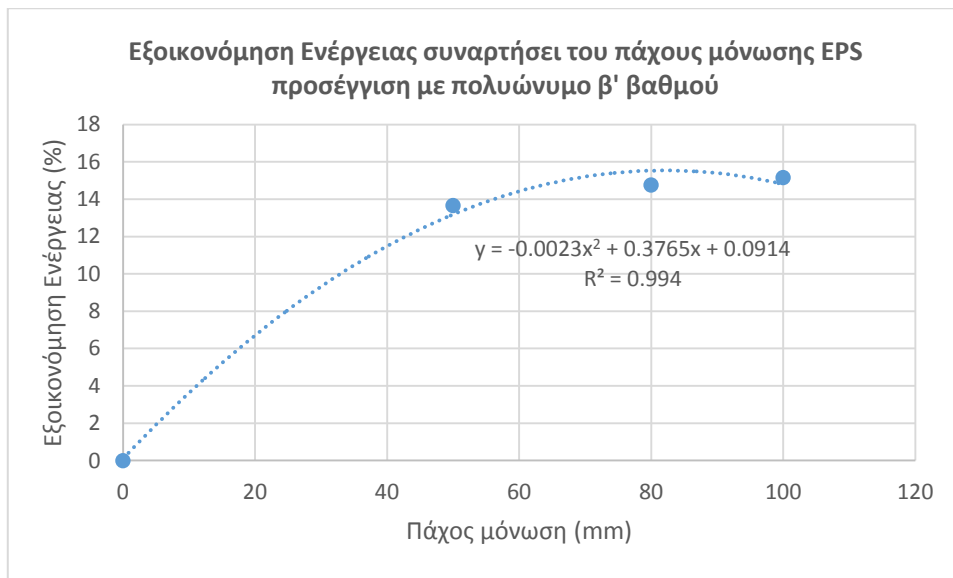
Πίνακας 6.6 Ενεργειακές καταναλώσεις κτιρίου πριν και μετά την εφαρμογή της θερμικής μόνωσης

	Θέρμανση [kwh/m <sup>2</sup> ]	Ψύξη [kwh/ m <sup>2</sup> ]	Κατανάλωση Πρωτογενούς Ενέργειας [kwh/ m <sup>2</sup> ]	εξοικονόμηση ενέργειας (%)
<b>Χωρίς μόνωση</b>	163.38	84.70	305.95	0
<b>EPS / 50mm</b>	129.28	76.99	264.13	13.67
<b>EPS / 80mm</b>	125.54	77.08	260.76	14.77
<b>EPS / 100mm</b>	124.55	77.14	259.55	15.17



Εικόνα 6.6 Ενεργειακές καταναλώσεις κτιρίου πριν και μετά την εφαρμογή της θερμικής μόνωσης





Εικόνα 6.7 Συσχέτιση του πάχους μόνωσης με την εξοικονόμηση ενέργειας στο κτίριο

## 6.2 ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΛΛΑΓΗΣ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΩΝ

Η δεύτερη κατηγορία παρεμβάσεων αφορά την αλλαγή υαλοπινάκων για το σύνολο των κατοικίσιμων ορόφων του κτιρίου. Στο σημείο αυτό επισημαίνουμε ότι η παραμετρική ανάλυση και οι υπολογισμοί που ακολουθούν αφορούν μόνο τους υαλοπίνακες και όχι το σύνολο των παραθύρων (κούφωμα-υαλοπίνακας-παραπέτασμα-διαχωριστικά.οκ). Άλλωστε ο υαλοπίνακας αποτελεί το κύριο μέρος του παραθύρου, καταλαμβάνοντας πάνω από το 80% της συνολικής του επιφάνειας και αποτελώντας την κ'ρια πηγή θερμικών κερδών και απωλειών. Μία πιο πλήρης μελέτη θα συνυπολόγιζε την ενδεχόμενη αλλαγή στα κουφώματα ή την εισαγωγή κατάλληλων σκιάστρων/παραπετασμάτων, αν και η απόκλιση σε αυτήν την περίπτωση από τα αποτελέσματα που εξάγονται στην παρούσα εργασία θα ήταν μικρή. Στην παρούσα εργασία θεωρούμε ότι τα κουφώματα παραμένουν ως έχουν (για την ακρίβεια το πρόγραμμα Window εισάγει στο EP με τρόπο αυτόματο κάποια δεδομένα που αφορούν τυπικές τιμές για συνήθη κουφώματα και ιαχωριστικά) και ότι δεν εισάγεται κάποιο σύστημα σκίασης. Κατά τον υπολογισμό του κόστους εγκατάστασης ωστόσο, συνυπολογίζεται η αλλαγή και των κουφωμάτων (βλ.παρακάτω).

### 6.2.1 ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟΙ ΤΥΠΟΙ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΩΝ ΓΙΑ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Οι τύποι υαλοπινάκων οι οποίοι εξετάστικαν ήταν οι;

- Απλός υαλοπίνακας πάχους 3mm: Πρόκειται για τον υφιστάμενο τύπο υαλοπίνακα
- Διπλός υαλοπίνακας με αέριο πλήρωσης Αέρα
- Διπλός υαλοπίνακας με αέριο πλήρωσης Argon
- Διπλός ενεργειακός υαλοπίνακας χαμηλής εκπομπής (low-e) με αέριο πλήρωσης Αέρα

Περισσότερα στοιχεία για τον κάθε τύπο υαλοπίνακα παρατίθενται στο κεφάλαιο 3 της παρούσας εργασίας και στην αντίστοιχη βιβλιογραφία..

### 6.2.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΤΟ ENERGYPLUS

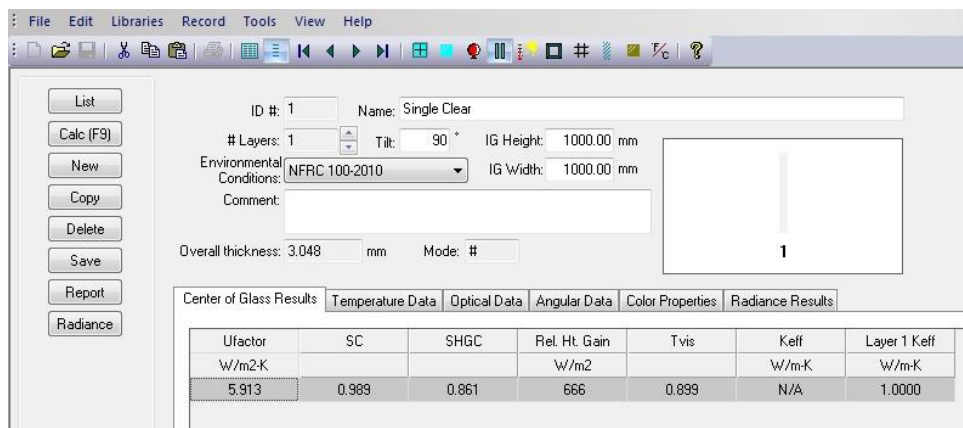
Για τον υπολογισμό των ιδιοτήτων του κάθε τύπου υαλοπίνακα χρησιμοποιήθηκε το υπολογιστικό εργαλείο Window, ενώ για την παραμετρική ανάλυση στο περιβάλλον του EnergyPlus έγινε εισαγωγή των κατάλληλων δεδομένων στις κατηγορίες: WindowMaterial: Glazing, WindowMaterial: Gas, Construction, WindowProperty: FrameAndDivider.

Οι τιμές των βασικών θερμικών και γεωμετρικών ιδιοτήτων των υαλοπινάκων που αξιολογήθηκαν έχουν ως εξής:

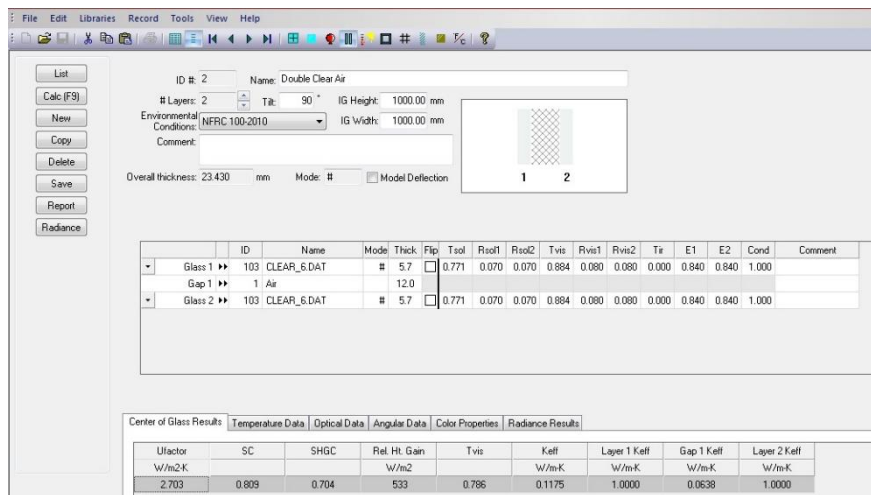
Πίνακας 6.7 Θερμικές ιδιότητες και γεωμετρικά χαρακτηριστικά υαλοπινάκων

Όνομασία στο λογισμικό	Συνολικό Πάχος [mm]	U [W/ m <sup>2</sup> K]	SHGC
Single Clear   Μονός Υαλοπίνακας	3.0	5.913	0.851
Double Clear Air   Διπλός Υαλοπίνακας (Αέρα)	23.4	2.703	0.704
Double Clear with argon   Διπλός Υαλοπίνακας (Αργό)	18.8	2.576	0.764
Double Clear Low-e Air   Διπλός Υαλοπίνακας Χαμηλής Εκπομπής	21.6	1.684	0.431

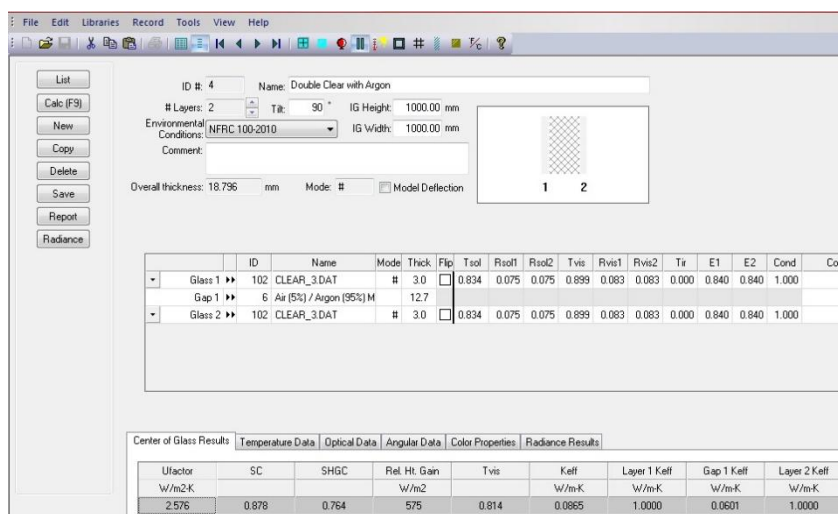
Ενώ η αναλυτικότερη περιγραφή τους στο περιβάλλον των Window και IDF Editor παρουσιάζεται στα παρακάτω σχήματα.



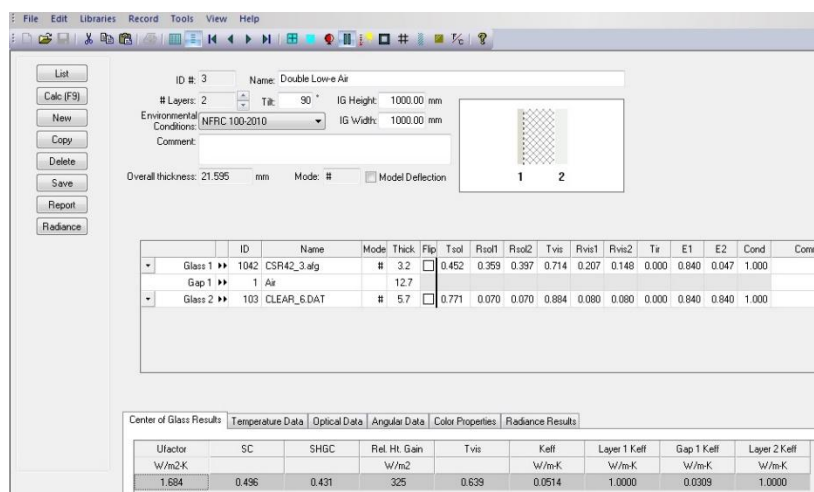
Εικόνα .6.8 Περιγραφή του μονού υαλοπίνακα στο περιβάλλον Window



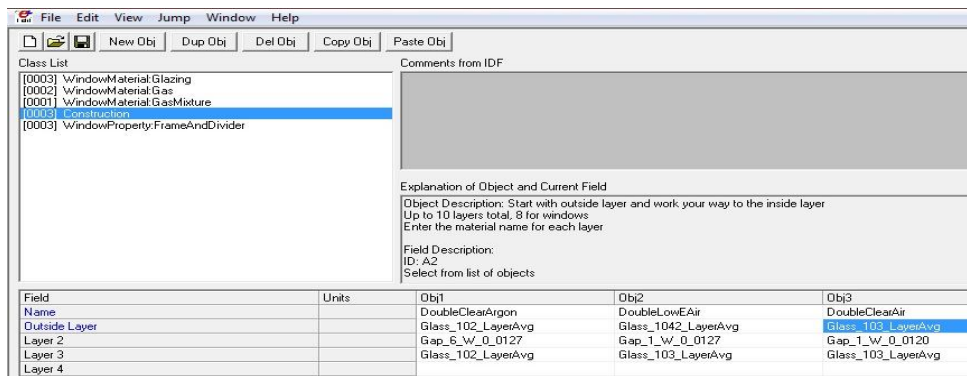
Εικόνα 6.9 Περιγραφή του διπλού απλού υαλοπίνακα με πληρωτικό υλικό αέρα στο περιβάλλον Window



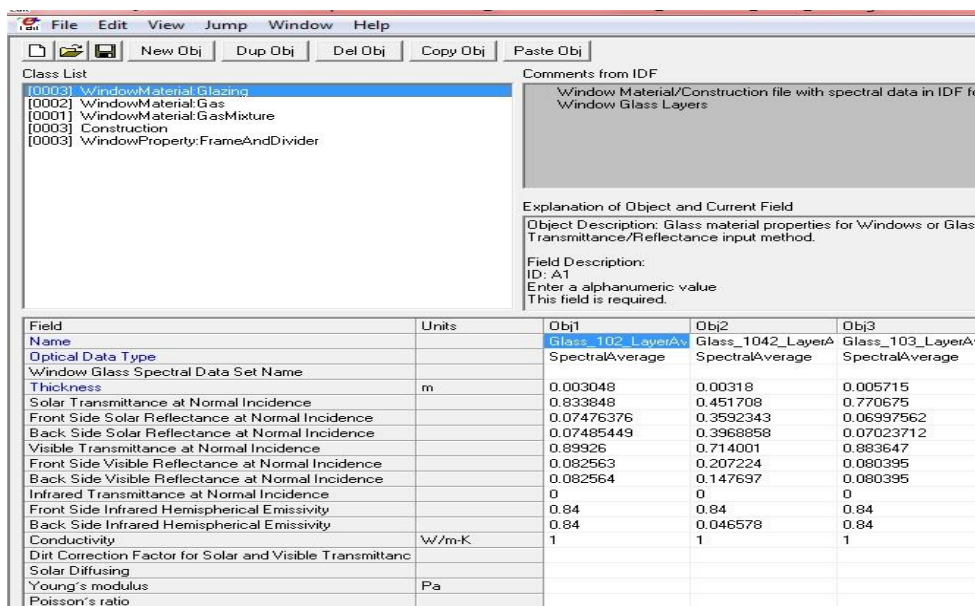
Εικόνα.6.10 Περιγραφή του διπλού απλού υαλοπίνακα με πληρωτικό υλικό Argon στο περιβάλλον Window



Εικόνα.6.11 Περιγραφή του διπλού υαλοπίνακα χαμηλής εκπομπής με πληρωτικό υλικό αέρα στο περιβάλλον Window



Εικόνα 6.12 Εισαγωγή των στοιχείων κατασκευής των υαλοπινάκων στο περιβάλλον IDF editor



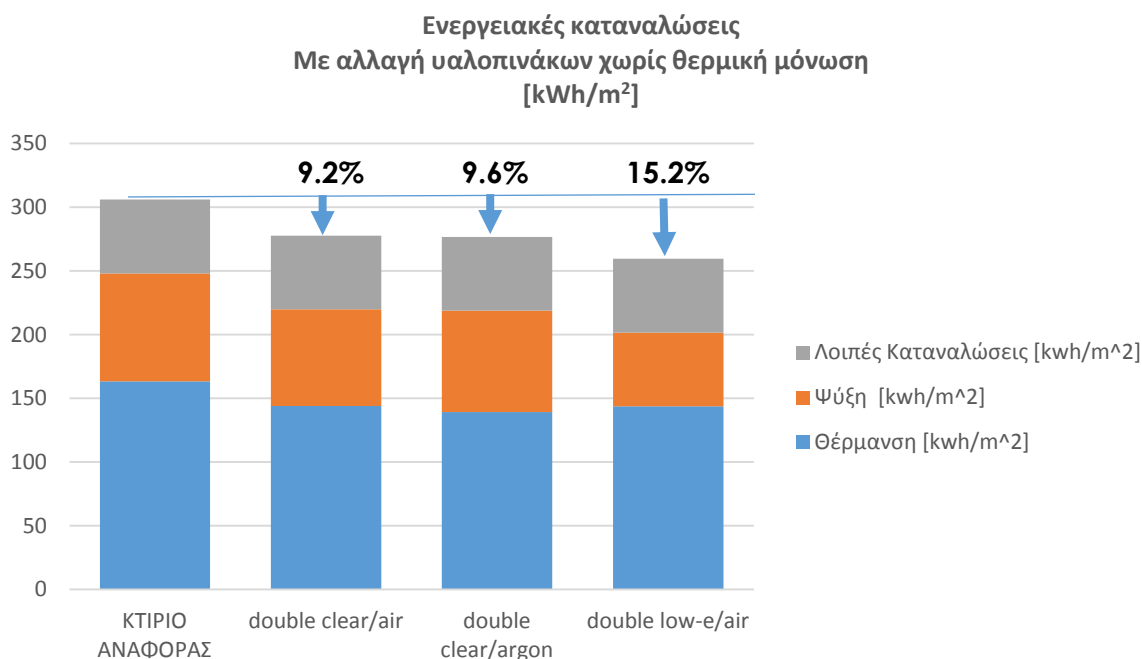
Εικόνα 6.13 Εισαγωγή των θερμοφυσικών και γεωμετρικών χαρακτηριστικών των υαλοπινάκων στο περιβάλλον IDF Editor

### 6.2.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του υπάρχοντος μοντέλου με αλλαγή των υαλοπινάκων:

Πίνακας 6.8 Ενεργειακές καταναλώσεις κτιρίου πριν και μετά την αλλαγή υαλοπινάκων

ΑΛΛΑΓΗ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΩΝ	Θέρμανση [kwh/m <sup>2</sup> ]	Ψύξη [kwh/m <sup>2</sup> ]	Κατανάλωση Πρωτογενούς Ενέργειας [kwh/m <sup>2</sup> ]	Εξοικονόμηση ενέργειας (%)
Μονός Υαλοπίνακας	163.38	84.70	305.95	-
Διπλός Υαλοπίνακας (Αέρα)	144.10	75.75	277.67	9.24
Διπλός Υαλοπίνακας (Αργό)	139.31	79.46	276.63	9.58
Διπλός Υαλοπίνακας Χαμηλής Εκπομπής	143.63	57.97	259.46	15.15



Εικόνα.6.14 Ενεργειακές καταναλώσεις κτιρίου πριν και μετά την αλλαγή υαλοπινάκων

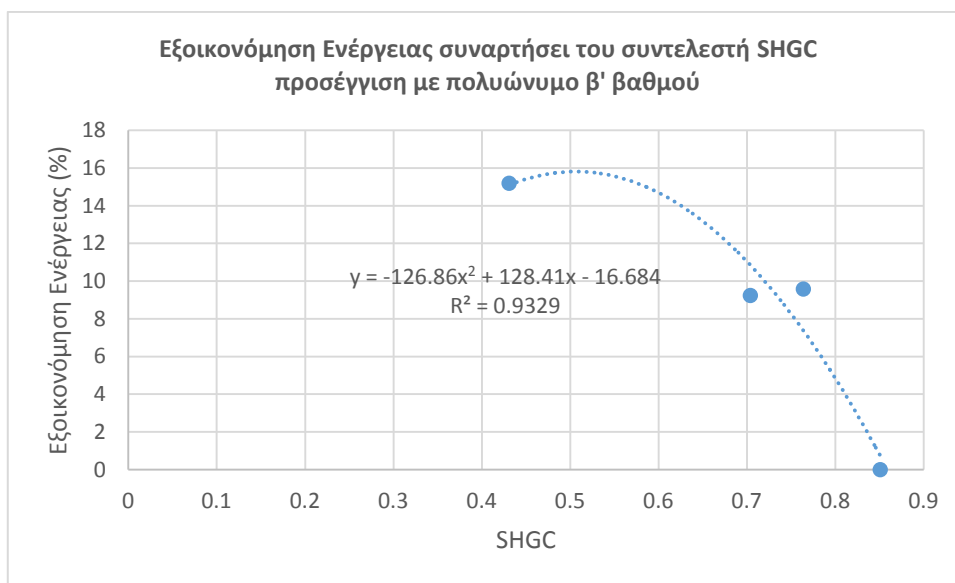
Παρατηρούμε ότι η αλλαγή των υαλοπινάκων μπορεί να επιφέρει αισθητή μείωση στην κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας της τάξης του 10-15%. • Όμως παρατηρείται αντιστροφή του φαινομένου που είχαμε στα σενάρια της θερμικής μόνωσης. Στην περίπτωση των υαλοπινάκων έχουμε μείωση των απαιτήσεων σε θέρμανση της τάξης του 11-12% ενώ αντίστοιχα για την ψύξη μεταξύ 11 και 32%. Ειδικότερα στην περίπτωση της αλλαγής των μονών υαλοπινάκων με διπλούς υαλοπίνακες χαμηλής εκπομπής, παρατηρούμε μεγάλη μείωση στις ανάγκες σε ψύξη (31,6%) , γεγονός αναμενόμενο

αφού η επίστρωση χαμηλής εκπομπής (χαμηλό-E), διαθέτει υψηλή ανακλαστικότητα στην υπέρυθη ακτινοβολία του ήλιου, περιορίζοντας έτσι σημαντικά τη μετάδοσή της σε εσωτερικούς χώρους.

Όσον αφορά δε την επιμέρους εξάρτηση της εξοικονόμησης ενέργειας από τους βασικούς θερμικούς συντελεστές των υαλοπινάκων (SHGC και U) βλέπουμε ότι με απλή πολυωνυμική προσέγγιση β' βαθμού (β'. εικόνες 6.2.8 και 6.2.9) και με σχετικά καλή ακρίβεια προκύπτει ότι:

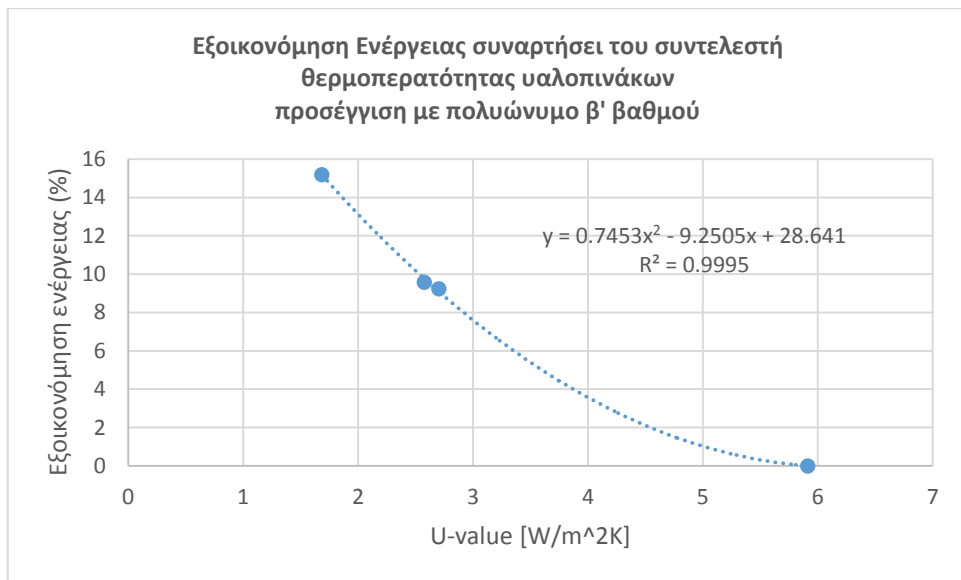
- Όσο μειώνεται ο συντελεστής θερμοπερατότητας, τόσο αυξάνεται η εξοικονόμηση ενέργειας. Γεγονός αναμενόμενο αφού θεωρητικά μία απειροελάχιστη τιμή του συντελεστή U θα μηδένιζε την συναλλαγή θερμότητας με το περιβάλλον και άρα δεν θα είχαμε θερμικές ανάγκες.
- Η μείωση του συντελεστή ανακλαστικότητας οδηγεί στην εξοικονόμηση ενέργειας μέχρι ένα σημείο (γύρω στο SHGC=0.5). Από εκεί και πέρα φαίνεται να έχουμε το αντίστροφο αποτέλεσμα. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι μεγάλες τιμές ανακλαστικότητας μειώνουν τα ψυκτικά φορτία το καλοκαίρι αλλά επηρεάζουν αρνητικά τα θερμικά φορτία τον χειμώνα, αφού περιορίζουν την ηλιακή θερμική ακτινοβολία.

Επομένως η επιλογή υαλοπινάκων πρέπει να γίνει κατάλληλα ώστε να συνδιαστούν οι παραπάνω παράγοντες.



Εικόνα 6.15 Εξοικονόμηση Ενέργειας συναρτήσει του συντελεστή SHGC





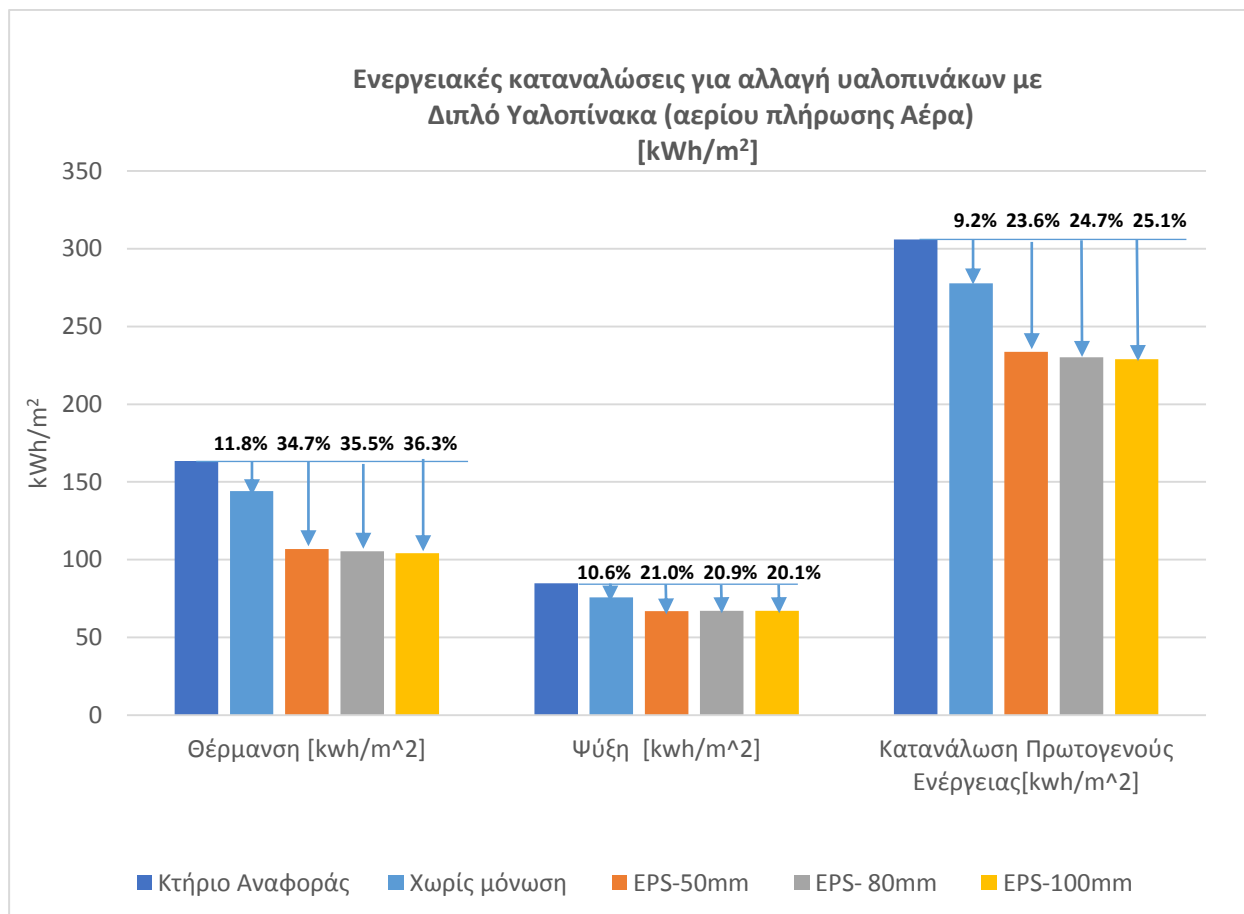
Εικόνα 6.16 Εξοικονόμηση Ενέργειας συναρτήσει του συντελεστή θερμοπερατότητας

### 6.3 ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΑ ΣΕΝΑΡΙΑ

Με βάση τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι για να επιτευχθεί ουσιαστική εξοικονόμηση ενέργειας θα πρέπει να συνδιαστούν με κατάλληλο τρόπο τα δύο βασικά σενάρια. Με κατάλληλη προσαρμογή της μεθοδολογίας που περιγράφηκε παραπάνω και μετά την εκτέλεση των αντίστοιχων προσομοιώσεων στο περιβάλλον του EP προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα:

Πίνακας 6.9 Ενεργειακή απόδοση κτιρίου με εφαρμογή διπλών απλών υαλοπινάκων αέρα συναρτήσεως του πάχους μόνωσης

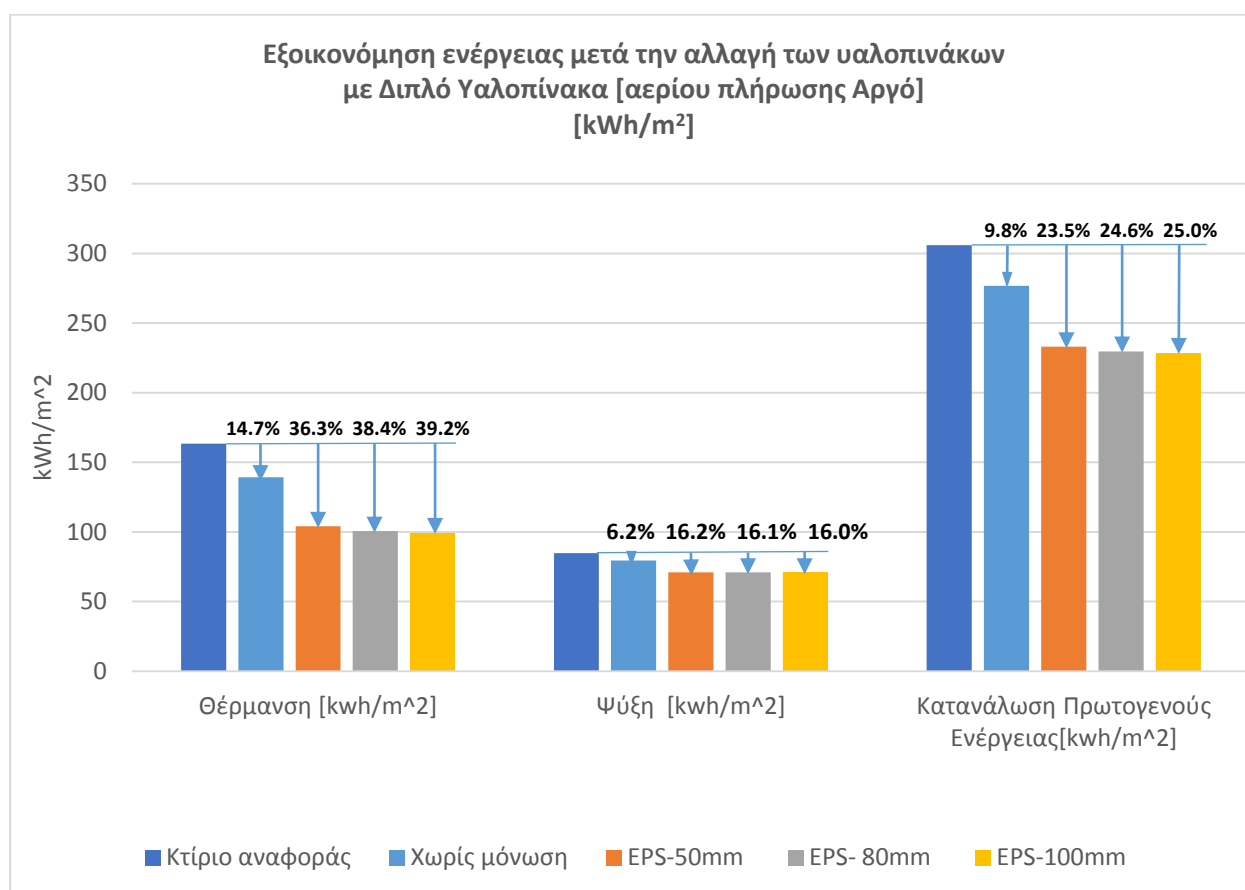
Διπλοί Υαλοπίνακες με αέριο πλήρωσης αέρα	Θέρμανση [kWh/m <sup>2</sup> ]	Ψύξη [kWh/m <sup>2</sup> ]	Συνολική Ενεργειακή κατανάλωση [kWh/m <sup>2</sup> ]	Εξοικονόμηση ενέργειας (%)
Χωρίς μόνωση	144.10	75.74	277.67	9.24
EPS / 50mm	106.74	66.93	233.74	23.60
EPS / 80mm	105.44	66.96	230.23	24.74
EPS / 100mm	104.13	66.99	228.98	25.15



Εικόνα.6.17 Ενεργειακή απόδοση κτιρίου με εφαρμογή διπλών απλών υαλοπινάκων αέρα συναρτήσεως του πάχους μόνωσης

Πίνακας .6.10 Ενεργειακή απόδοση κτιρίου με εφαρμογή διπλών απλών υαλοπινάκων Argon συναρτήσει του πάχους μόνωσης

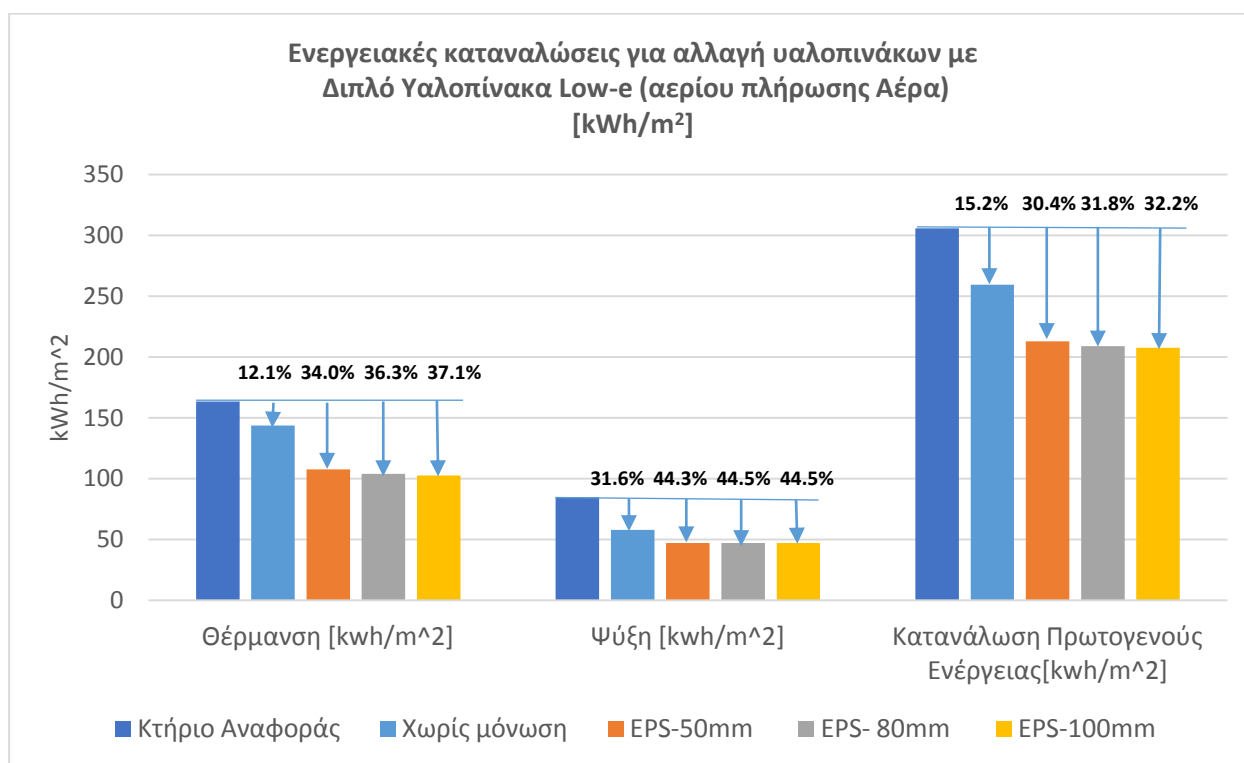
Διπλοί Υαλοπίνακες με αέριο πλήρωσης Αργό	Θέρμανση [kwh/m <sup>2</sup> ]	Ψύξη [kwh/m <sup>2</sup> ]	Κατανάλωση Πρωτογενούς Ενέργειας [kwh/m <sup>2</sup> ]	Εξοικονόμηση ενεργειας (%)
Χωρίς μόνωση	139.31	79.46	276.63	9.58
EPS 50mm	104.11	71.02	232.98	23.84
EPS 80mm	100.71	71.10	229.68	24.92
EPS 100mm	99.38	71.19	228.40	25.34



Εικόνα.6.18 Ενεργειακή απόδοση κτιρίου με εφαρμογή διπλών απλών υαλοπινάκων Argon συναρτήσει του πάχους μόνωσης

Πίνακας 6.11 Ενεργειακή απόδοση κτιρίου με εφαρμογή διπλών υαλοπινάκων χαμηλής εκπομπής με πληρωτικό αέριο αέρα, συναρτήσει του πάχους μόνωσης

Διπλοί Υαλοπίνακες χαμηλής εκπομπής με αέριο πλήρωσης αέρα	Θέρμανση [kwh/ m <sup>2</sup> ]	Ψύξη [kwh/ m <sup>2</sup> ]	Κατανάλωση Πρωτογενούς Ενέργειας [kwh/ m <sup>2</sup> ]	Εξοικονόμηση ενεργειας (%)
Χωρίς μόνωση	143.63	57.97	259.46	15.19
EPS 50mm	107.76	47.18	212.83	30.43
EPS 80mm	104.08	47.03	208.97	31.69
EPS 100mm	102.68	47.00	207.55	32.16



Εικόνα 6.19 Ενεργειακή απόδοση κτιρίου με εφαρμογή διπλών υαλοπινάκων χαμηλής εκπομπής με πληρωτικό αέριο αέρα, συναρτήσει του πάχους μόνωσης

#### 6.4 ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Η οικονομική αξιολόγηση των σεναρίων ανακαίνισης, βασίζεται στη μέθοδο του Χρόνου Ανάκτησης Κεφαλαίου, προσδιορίζοντας τον Χρόνο Απόσβεσης (ΧΑ), ο οποίος και αποτελεί μια πρώτη εκτίμηση για το κατά πόσο είναι αποδοτική η κάθε επένδυση ξεχωριστά. Για τον προσδιορισμό του, για κάθε μια περίπτωση ανακαίνισης ξεχωριστά χρησιμοποιούνται οι ακόλουθες σχέσεις:

$$PP = \frac{C_0}{Ct} \quad (6.1)$$

Όπου  $C_0$  είναι η Αρχική Δαπάνη (ΑΔ) και  $Ct$  το Ετήσιο Όφελος (ΕΟ) της κάθε επένδυσης. Το Ετήσιο Όφελος ( $Ct$ ) υπολογίστηκε από τη σχέση:

$$Ct = OCeb - OCrb \quad (6.2)$$

Όπου  $OCeb$  είναι το λειτουργικό κόστος για την υπάρχουσα κατασκευή, και  $OCrb$  το λειτουργικό κόστος για κάθε περίπτωση ανακαίνισης του κτιρίου.

Το αρχικό κόστος για κάθε περίπτωση ανακαίνισης του κτιρίου, προκύπτει από το κόστος για την αναβάθμιση του κελύφους είτε μέσω της επένδυσής του με θερμομονωτικές πλάκες, είτε μέσω της αλλαγής των υαλοπινάκων με ενεργειακά αποδοτικότερους, είτε με συνδιασμό των παραπάνω. Ο παρακάτω Πίνακας, συνοψίζει το κόστος για κάθε εργασία ξεχωριστά ενώ λαμβάνει υπόψιν κάποιες μέες τιμές της αγοράς<sup>[44],[46],[47]</sup>, καθώς επίσης και τα επιπλέον κόστη για την αλλαγή των κουφωμάτων (σε ότι αφορά την αλλαγή υαλοπινάκων) και τα κόστη προμυθειών των επιπλέον υλικών για την εγκατάσταση των πλακών θερμομόνωσης (βλ. προηγούμενη παράγραφο).

Πίνακας 6.12 Αρχικό κόστος επένδυσης της ανακαίνισης με βάση τα κόστη υλικών και εργασίας

Εργασία	Υλικό	Επιφάνεια Εγκατάστασης [m <sup>2</sup> ]	Κόστος Υλικών [€/m <sup>2</sup> ]	Εκτίμηση Κόστους Εργατικών [€/m <sup>2</sup> ]	Αρχικό Κόστος Επένδυσης με βάση την εργασία ανακαίνισης [€]
Επένδυση με θερμομονωτικές πλάκες	EPS 50mm	6446.4	12.53	13	164576.59
	EPS 80mm	6446.4	14.57	13	177727.24
	EPS 100mm	6446.4	15.93	13	186494.35
Αλλαγή υαλοπινάκων	Διπλός Υαλοπίνακας (Αέρα)	4232	80	10	380880
	Διπλός Υαλοπίνακας (Αργό)	4232	85	10	402040
	Διπλός Υαλοπίνακας Χαμηλής Εκπομπής	4232	90	10	423200

Η οικονομική ανάλυση για τις υπό μελέτη περιπτώσεις, λαμβάνει υπόψη τα ετήσια έξοδα από την κατανάλωση ενέργειας των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης του κτιρίου. Για τον υπολογισμό του κόστους σε ευρώ ανά κिलοβατώρα θεωρήσαμε ότι οι καταναλώσεις σε θέρμανση αντιστοιχούν σε σύστημα θέρμανσης κατανάλωσης πετρελαίου με κόστος 0.08870 ευρώ/kWh, ενώ οι καταναλώσεις για ψύξη αντιστοιχούν σε σύστημα ψύξης κατανάλωσης ρεύματος με κόστος 0,11936 ευρώ/ kWh. Οι παραπάνω τιμές εκτιμήθηκαν με βάση τα νέα τιμολόγια της ΔΕΗ και μία αντιπροσωπευτική τιμή στην αγορά για το πετρέλαιο θέρμανσης (0.95 ευρώ το λίτρο), όπως αυτά είχαν τον Σεπτέμβριο του 2019.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται το αρχικό κόστος της κάθε επένδυσης, το ετήσιο κόστος των ενεργειακών αναγκών για την υπάρχουσα κατάσταση του κτιρίου και γίνεται αντιπαραβολή με τις περιπτώσεις ανακαίνισης ξεχωριστά, επίσης παρατίθεται το ποσό της ετήσιας εξοικονόμησης ενέργειας (σε ευρώ) για την κάθε περίπτωση.

Πίνακας 6.13 Οικονομικά στοιχεία για τις προτεινόμενες παραμβάσεις ανακαίνισης

ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΑΝΑΚΑΙΝΙΣΗ	Αρχικό Κόστος Επένδυσης [€]	Ετήσιο Λειτουργικό Κόστος [€]	Ετήσια Οφέλη από την Εξοικονόμηση Πρωτογενούς Ενέργειας [€]
Χωρίς μόνωση   clear 3mm (ΑΡΧΙΚΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ)	-	-523539.76	0.00
Χωρίς μόνωση   double clear/air	380880.00	-477345.44	46194.32
Χωρίς μόνωση   double clear/argon	402040.00	-477655.07	45884.69
Χωρίς μόνωση   double low-e/air	423200.00	-441405.40	82134.36
EPS 50mm   clear 3mm	164576.59	-457978.14	65561.62
EPS 50mm   double clear/air	545456.59	-404811.34	118728.42
EPS 50mm   double clear/argon	566616.59	-409031.46	114508.30
EPS 50mm   double low-e/air	587776.59	-367140.11	156399.65
EPS 80mm   clear 3mm	177727.25	-452637.16	70902.60
EPS 80mm   double clear/air	558607.25	-402945.54	120594.22
EPS 80mm   double clear/argon	579767.25	-404203.36	119336.40
EPS 80mm   double low-e/air	600927.25	-361424.49	162115.27
EPS 100mm   clear 3mm	177727.25	-451299.01	72240.75
EPS 100mm   double clear/air	567374.35	-401079.73	122460.03
EPS 100mm   double clear/argon	588534.35	-402409.84	121129.92
EPS 100mm   double low-e/air	609694.35	-359315.43	164224.33

Ο χρόνος απόσβεσης των υπό εξέταση περιπτώσεων ανακαίνισης, προέκυψε ακολουθώντας τη μεθοδολογία του Χρόνου Ανάκτησης Κεφαλαίου<sup>[50]</sup>. Συγκρίνοντας τη μείωση του λειτουργικού κόστους για τις ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου, σε σχέση με την υπάρχουσα κατάσταση και λαμβάνοντας υπόψη τα έξοδα που απαιτούνται ύστερα από τις παρεμβάσεις στο κέλυφος του κτιρίου, προκύπτει ο χρόνος απόσβεσης (ΧΑ) ή αλλιώς PBP (Payback Period)<sup>[49]</sup>, για κάθε σενάριο ξεχωριστά.

Σημαντικό ρόλο στην αξιολόγηση των αποτελεσμάτων μας έπαιξε και ο δείκτης NPV (Net Price Value) ή αλλιώς δείκτης Καθαρής Παρούσας Αξίας (ΚΠΑ). Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ) είναι το άθροισμα των παρούσων αξιών των εισερχόμενων και εξερχόμενων ταμειακών ροών κατά τη διάρκεια μιας χρονικής περιόδου. Μετράει το πλεόνασμα ή την έλλειψη ταμειακών ροών, σε όρους παρούσας αξίας, σε σχέση με το κόστος κεφαλαίων (cost of funds) που χρησιμοποιήθηκαν για μια επένδυση.



Η Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ) είναι ένα χρήσιμο εργαλείο που χρησιμοποιείται στην οικονομική επιστήμη (economics), στα χρηματοοικονομικά (finance) και στη λογιστική (accounting) για να καθοριστεί αν μια επένδυση ή ένα έργο κρίνεται συμφέρον για να χρηματοδοτηθεί ή όχι<sup>[48]</sup>. Ισχύει δηλαδή ότι : Καθαρή Παρούσα Αξία = Παρούσα Αξία – Κόστος επένδυσης

Ή αλλιώς:

$$ΚΠΑ = \sum_{t=1}^n \frac{\text{Ταμειακές ροές}}{(1+r)^t} - \text{Αρχική Επένδυση} \quad (6.3)$$

Όπου t = Χρονική περίοδος, n= χρονική διάρκεια της επένδυσης, r=προεξοφλητικό επιτόκιο (στην περίπτωση μας επιλέξαμε σαν ρεαλιστική τιμή την r=0,4776 η οποία για ετήσιο πληθωρισμό της τάξης του 1% μας δίνει πραγματικό επιτόκιο 0.463)

Επομένως:

- μηδενική καθαρή παρούσα αξία (ΚΠΑ = 0) σημαίνει ότι τα έσοδα από το έργο αποπληρώνουν την αρχική επένδυση, χωρίς όφελος ή ζημιά για τον επενδυτή
- θετική καθαρή παρούσα αξία (ΚΠΑ>0) σημαίνει ότι η επένδυση είναι κερδοφόρα
- αρνητική καθαρή παρούσα αξία (ΚΠΑ<0) σημαίνει ότι η επένδυση καταλήγει σε ζημιά

Σε ότι αφορά την αξιολόγηση των πιθανών επενδύσεων για ανακαίνιση των εστιών, θεωρήσαμε ότι επενδυτικά σχέδια με αρνητική τιμή του δείκτη ΚΠΑ είναι μη αποδεκτά. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται με κόκκινο χρώμα οι περιπτώσεις ανακαίνισης οι οποίες δεν περιλαμβάνουν αλλαγή υαλοπινάκων και επομένως δεν συνεισφέρουν ουσιαστικά στην βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης.

Πίνακας 6.14 Χρόνος απόσβεσης κεφαλαίου και καθαρή παρούσα αξία για κάθε πιθανή εργασία ανακαίνισης

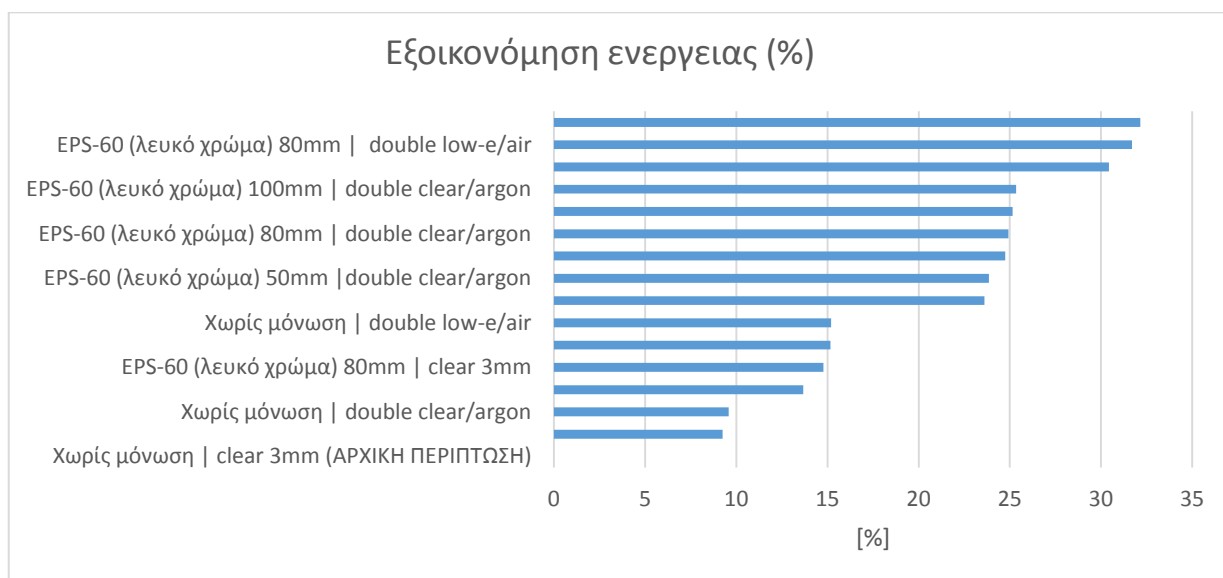
ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΑΝΑΚΑΙΝΙΣΗ	Αρχικό Κόστος Επένδυσης [€]	Ετήσιο Λειτουργικό Κόστος [€]	Εξοικονόμηση Πρωτογενούς Ενέργειας [€]	Χρόνος Απόσβεσης Κεφαλαίου [years]
Χωρίς μόνωση   clear 3mm (ΑΡΧΙΚΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ)		-523539.76	0.00	
Χωρίς μόνωση   double clear/air	380880.00	-477345.44	46194.32	8.25
Χωρίς μόνωση   double clear/argon	402040.00	-477655.07	45884.69	8.76
Χωρίς μόνωση   double low-e/air	423200.00	-441405.40	82134.36	5.15
<b>EPS 50mm   clear 3mm</b>	<b>164576.59</b>	<b>-457978.14</b>	<b>65561.62</b>	<b>2.51</b>
EPS 50mm   double clear/air	545456.59	-404811.34	118728.42	4.59
EPS 50mm   double clear/argon	566616.59	-409031.46	114508.30	4.95
EPS 50mm   double low- e/air	587776.59	-367140.11	156399.65	3.76
<b>EPS 80mm   clear 3mm</b>	<b>177727.25</b>	<b>-452637.16</b>	<b>70902.60</b>	<b>2.51</b>
EPS 80mm   double clear/air	558607.25	-402945.54	120594.22	4.63
EPS 80mm   double clear/argon	579767.25	-404203.36	119336.40	4.86
EPS 80mm   double low- e/air	600927.25	-361424.49	162115.27	3.71
<b>EPS 100mm   clear 3mm</b>	<b>177727.25</b>	<b>-451299.01</b>	<b>72240.75</b>	<b>2.46</b>
EPS 100mm   double	567374.35	-401079.73	122460.03	4.63

clear/air				
EPS 100mm   double clear/argon	588534.35	-402409.84	121129.92	4.86
EPS 100mm   double low-e/air	609694.35	-359315.43	164224.33	3.71

## 6.5 ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΟΥ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΕΡΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ

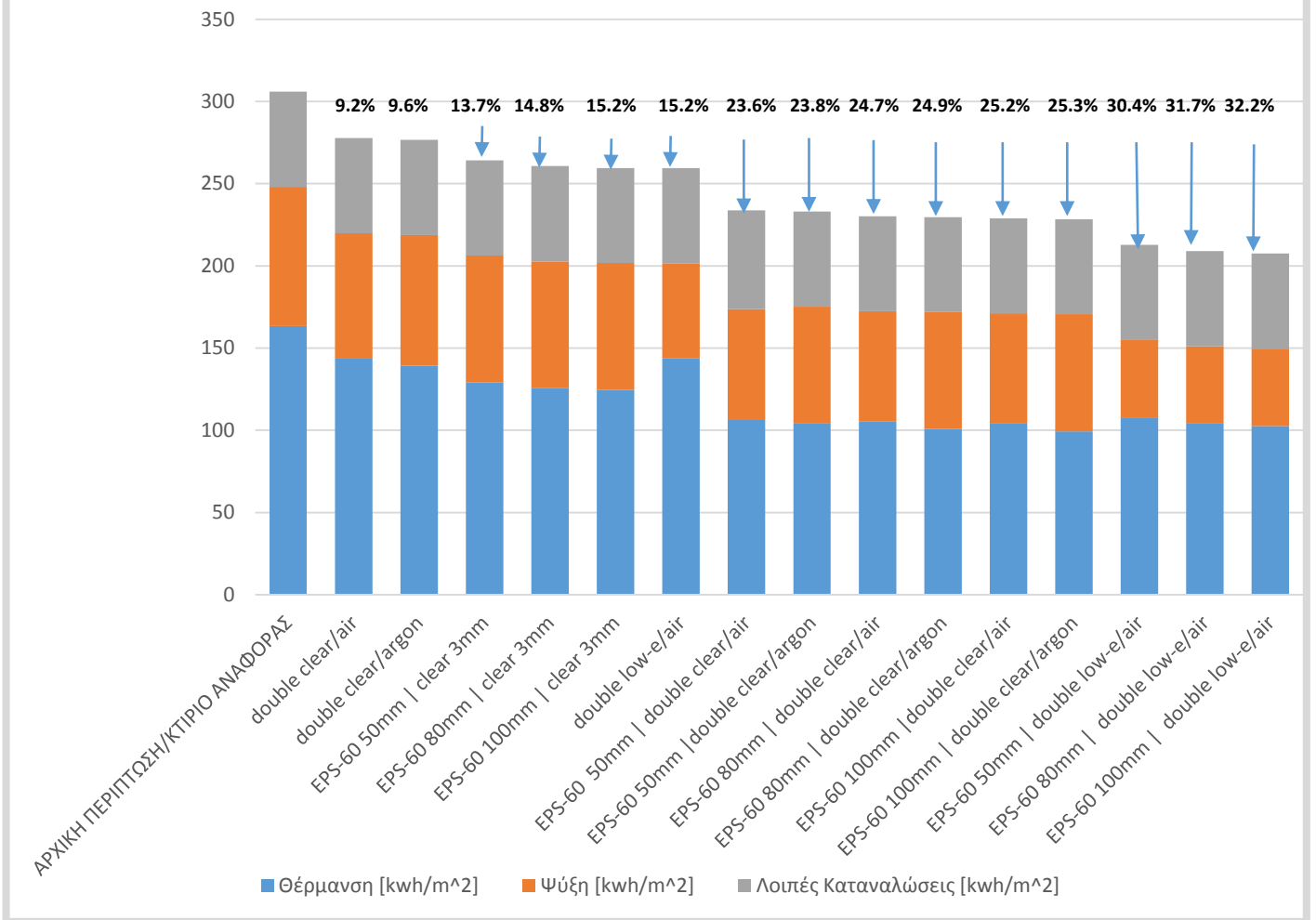
Στο παρόν κεφάλαιο εξετάστηκαν 16 διαφορετικά σενάρια επεμβάσεων στο κτιριακό κέλυφος του υφιστάμενου κτιρίου των Εστιών με πρωταρχικό στόχο την βελτίωση της ενεργειακής του απόδοσης. Τα σενάρια ανακαίνισης που μελετήθηκαν χωρίζονται σε 2 βασικές κατηγορίες οι οποίες είναι: η επένδυση της εξωτερικής τοιχοποιίας με θερμομονωτικές πλάκες διογκωμένης πολυστερίνης (EPS) διαφόρων παχών και η αντικατάσταση των υαλοπινάκων καίστους 8 κατοικίσιμους ορόφους με ενεργειακά αποδοτικότερους. Οι τύποι υαλοπινάκων οι οποίοι εξετάστηκαν ήταν αυτοί των διπλών υαλοπινάκων με διαφορετικό υλικό πλήρωσης διακένου (αέρα ή αργκόν) , συμβατικών ή χαμηλής εκπομπής (low-e).

Από την ενεργειακή προσομοίωση του κτιρίου με το πρόγραμμα EnergyPlus, προέκυψε πως η πρωτογενής ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου μειώθηκε μετά τις παρεμβάσεις σε ποσοστό από 9.2% με απλή επένδυση θερμομονωτικών πλακών EPS πάχους 50mm, μέχρι και 32,2% για αντικατάσταση των υαλοπινάκων με διπλούς ενεργειακούς υαλοπίνακες χαμηλής εκπομπής και επένδυση της τοιχοποιίας με θερμομονωτικές πλάκες EPS πάχους 100mm. Σε απόλυτους αριθμούς οι μεταβολές αυτές μεταφράζονται σε σε ανηγμένες καταναλώσεις πρωτογενούς ενέργειας 28,3 kWh/m<sup>2</sup> και 98,4 kWh/m<sup>2</sup> αντίστοιχα.



Εικόνα 6.20 Επί τοις εκατό [%] εξοικονόμηση ενέργειας για κάθε περίπτωση ανακαίνισης

## Εξοικονόμηση Πρωτογενούς ενέργειας μετά τις παρεμβάσεις ανακαίνισης



Εικόνα 6.21 Τελική κατανάλωση ενέργειας ανάλογα με την περίπτωση ανακαίνισης [kWh/m<sup>2</sup>]

Η οικονομική ανάλυση που ακολούθησε έδειξε πως η περίοδος ανάκτησης κεφαλαίου για όλες τις αποδεκτές περιπτώσεις επενδύσεων σε ανακαίνιση (όσων δηλαδή παρουσίαζαν θετική τιμή καθαρής παρούσας αξίας) κυμαίνονταν μεταξύ των 3,71 και 8,76 χρόνων.

Καθοριστικότερος παράγοντας τόσο στην ενεργειακή όσο και στην οικονομική απόδοση της ανακαίνισης ήταν η επιλογή των υαλοπινάκων με ύπαρξη μόνωσης(ανεξερέτου πάχους). Από όλες τις περιπτώσεις, η πλέον συμφέρουσα ήταν αυτή της αλλαγής των υπάρχοντων μονών με διπλούς ενεργειακούς υαλοπίνακες χαμηλής εκπομπής. Δεδομένου δε ότι η διαφορά στην οικονομική απόδοση μεταξύ των περιπτώσεων ανακαίνισης με υαλοπίνακες low-e για διαφορετικά πάχη μόνωσης δεν ξεπερνούσε του 0.05 μήνες, επιλέγουμε να χρησιμοποιήσουμε την μόνωση εκείνη που μας δίνει τα μεγαλύτερα ενεργειακά οφέλη, δηλαδή την μόνωση πάχους 100mm.

Ένας επιπλέον σημαντικός παράγοντας για την επιλογή της βέλτιστης περίπτωσης ανακαίνισης είναι και το περιβαλλοντικό αποτύπωμα του κτιρίου και συγκεκριμένα οι εκπομπές CO<sub>2</sub>. Για τον υπολογισμό των εκπομπών αυτών δεν πήραμε υπόψιν την συνεισφορά των επιτόπιων εκπομπών (πχ από τους χρήστες και τα μηχανήματα του κτιρίου) καθώς όπως επισημαίνουν και οι Βαμπραεσσοs et al στην αντίστοιχη μελέτη τους για τις εστίες του πανεπιστημίου Αθηνών <sup>[21]</sup> είναι αμελητέες. Ο υπολογισμός έγινε με βάση τις θερμικές ανάγκες όπως υπολογίστηκαν στο ΕΡ με χρήση των συντελεστών που προτείνει ο Κ.Εν.Α.Κ. Έτσι θεωρώντας ότι για το σύστημα θέρμανσης καταναλώνουμε πετρέλαιο και για τις ηλεκτρικές συσκευές και το σύστημα ψύξης ηλεκτρικό ρεύμα θα έχουμε τους συντελεστές:

Πίνακας 6.15 Συντελεστές Εκπομπής εκλυόμενων ρύπων ανα μονάδα ενέργειας (kgCO<sub>2</sub>/kWh) [Κ.Εν.Α.Κ]

ΠΗΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	ΕΚΛΥΟΜΕΝΟΙ ΡΥΠΟΙ ΑΝΑ ΜΟΝΑΔΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (kgCO <sub>2</sub> /kWh)
Πετρέλαιο θέρμανσης	0,264
Ηλεκτρική ενέργεια	0,989

Πίνακας 6.16 Μείωση εκπομπών CO<sub>2</sub> [%] για κάθε περίπτωση ανακαίνισης

ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΑΝΑΚΑΙΝΙΣΗ	Εκπομπές CO <sub>2</sub> [kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> /γ]	Μείωση Εκπομπών CO <sub>2</sub> [%]
Χωρίς μόνωση   clear 3mm (ΑΡΧΙΚΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ)	207.43	0
Χωρίς μόνωση   double clear/air	191.98	7.45
Χωρίς μόνωση   double clear/argon	194.97	6.01
EPS 50mm   clear 3mm	189.46	8.66
EPS 80mm   clear 3mm	188.56	9.09
EPS 100mm   clear 3mm	188.37	9.190
Χωρίς μόνωση   double low-e/air	171.44	17.35
EPS 50mm   double clear/air	171.88	17.13
EPS 50mm   double clear/argon	175.88	15.21
EPS 80mm   double clear/air	171.56	17.28
EPS 80mm   double clear/argon	175.06	15.60
EPS 100mm   double clear/air	171.25	17.44
EPS 100mm   double clear/argon	174.81	15.72
EPS 50mm   double low-e/air	149.46	27.94
EPS 80mm   double low-e/air	148.31	28.50
EPS 100mm   double low-e/air	147.90	28.69

## 6.6 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΤΑΣΗΣ ΑΝΑΚΑΙΝΙΣΗΣ ΜΕ ΤΟ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ ΚΤΙΡΙΟ

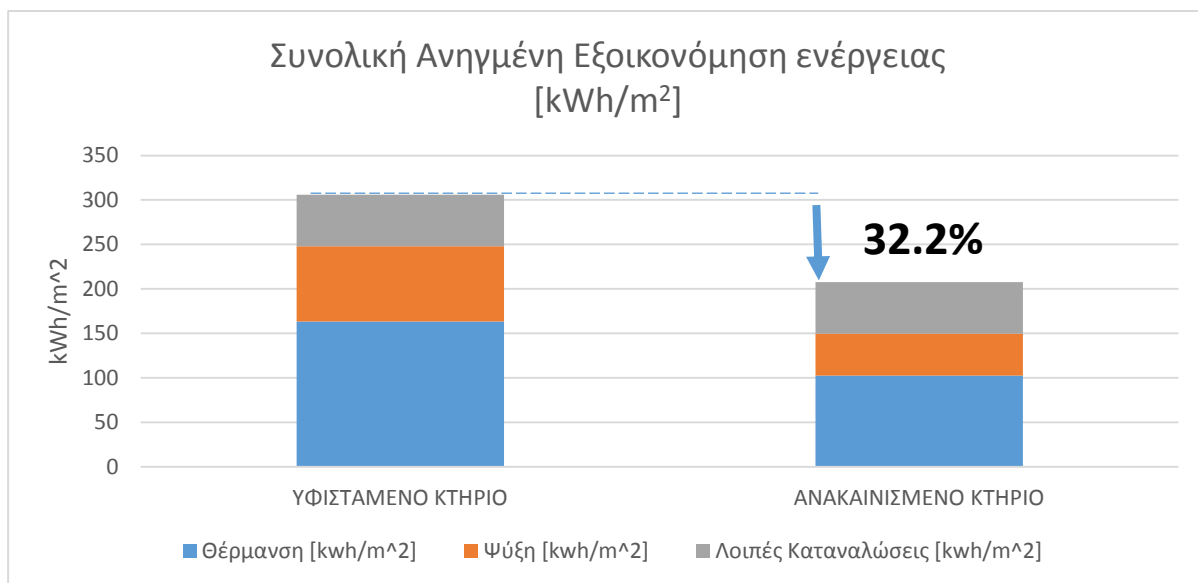
Παρακάτω παρατίθενται σε μορφή πινάκων και διαγραμμάτων τα συγκριτικά οφέλη της ανακαίνισης τόσο σε ενεργειακό όσο και σε τεχνοοικονομικό επίπεδο και ακολούθως σχολιάζεται η κρισιμότητά τους.

### 6.6.1 ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΙΣΗ ΠΡΩΤΟΓΕΝΟΥΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα η συνολική εξοικονόμηση ενέργειας ,μετά την αντικατάσταση των υαλοπινάκων με ενεργειακούς διπλούς χαμηλής εκπομπής και μετά την επένδυση της εξωτερικής τοιχοποιίας με θερμική μόνωση διογκωμένης πολυστερίνης πάχους 100 χιλιοστών, ανέρχεται στις 98,2397kWh/m<sup>2</sup> ή αλλιώς στο 32,2%. Η μείωση αυτή είναι αρκετά σημαντική αν αναλογιστούμε ότι με βάση την τυποποίηση του Κ.ΕΝ.Α.Κ και τις παραδοχές που πήραμε στο κεφάλαιο 5, επιτυγχάνεται ενεργειακή αναβάθμιση του κτιρίου κατά 2 ενεργειακές κατηγορίες (από την Ε στην Γ).

Η εκτίμηση αυτή είναι μία μετριοπαθής εκτίμηση αν αναλογιστούμε ότι υποτιμήθηκε η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του κτιρίου αναφοράς (θεωρήσαμε τις τυπικές τιμές του Κ.ΕΝ.Α.Κ για ξενοδοχειακή μονάδα). Μία λεπτομερέστερη μοντελοποίηση του κτιρίου αναφοράς και ο αντίστοιχος υπολογισμός της ενεργειακής του απόδοσης θα έδινε ακόμα πιο θετικά αποτελέσματα καθώς το πηλικό  $T=EP/RR$  θα μειωνόταν κι άλλο αφού ο παρονομαστής θα μεγάλωνε.

Με έναν πρόχειρο υπολογισμό μέσω μοντελοποίησης του κτιρίου των εστιών στο EP για ισοδυναμους συντελεστές θερμοπερατότητας ίσους με τους προβλεπόμενους από τον Κ.ΕΝ.Α.Κ, η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για το κτίριο αναφοράς προκύπτει ίση με 230.782 kWh/m<sup>2</sup>, τιμή η οποία θα μας έδινε  $T'=EP/RR'=0.89$  και θα κατέταξε το ανακαινισμένο κτίριο στην ενεργειακή κατηγορία Β.

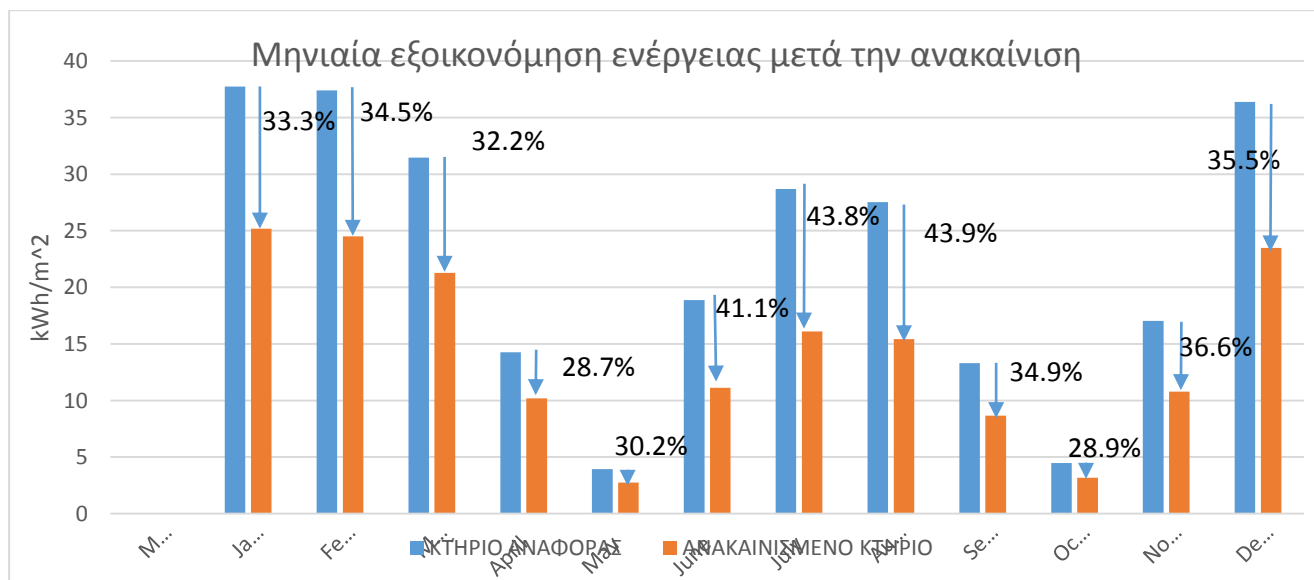


Εικόνα 6.22 Εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας μετά την ανακαίνιση

Πίνακας 6.17 Στοιχεία για την ενεργειακή αναβάθμιση του κτιρίου μετά την ανακαίνιση

	Κατανάλωση Πρωτογενούς Ενέργειας [kWh/m <sup>2</sup> ]	Εξοικονόμηση Πρωτογενούς Ενέργειας [kWh/m <sup>2</sup> ]	T=EP/RR	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ (Κ.Εν.Α.Κ)}
ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ ΚΤΙΡΙΟ	305.950	-	1.85	Ε
ΑΝΑΚΑΙΝΙΣΜΕΝΟ ΚΤΙΡΙΟ	207.553	98.397	1.26	Γ

Σε ότι αφορά την μηνιαία εξοικονόμηση ενέργειας βλέπουμε ότι ποσοστιαία είναι μεγαλύτερη κατά τους θερινούς μήνες (41-44%) ενώ κυμαίνεται γύρω στο 30% για τους υπόλοιπους. Το φαινόμενο αυτό εξηγείται από την δραστική μείωση στην κατανάλωση ενέργειας για ψύξη η οποία με την σειρά της οφείλεται σχεδόν αποκλειστικά στην αλλαγή των υαλοπινάκων. Άλλωστε βασική ιδιότητα των υαλοπινάκων χαμηλής εκπομπής με τοποθέτηση της επίστρωσης στην θέση 2 είναι η μείωση των ηλιακών θερμικών κερδών κατά το καλοκαίρι, τα οποία λόγω της μεγάλης επιφάνειας υαλοπινάκων στις εστίες είναι και η βασική πηγή θέρμανσης.



Εικόνα 6.23 Μηνιαία εξοικονόμηση ενέργειας μετά την ανακαίνιση

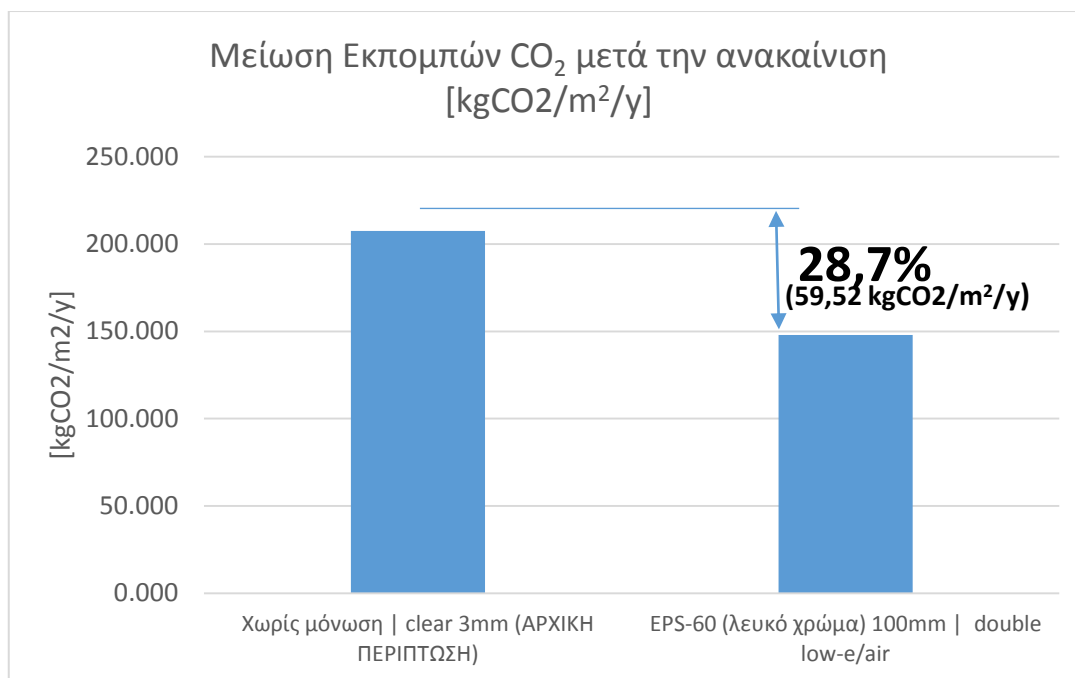
Πίνακας 6.18 Μηνιαία εξοικονόμηση ενέργειας μετά την ανακαίνιση

Μήνας	Εξοικονόμηση Ενέργειας [kWh/ m <sup>2</sup> ]	Εξοικονόμηση Ενέργειας [%]
Ιανουάριος	12.58	33.33
Φεβρουάριος	12.88	34.46
Μάρτιος	10.16	32.32
Απρίλιος	4.08	28.66
Μάιος	1.19	30.21
Ιούνιος	7.75	41.07
Ιούλιος	12.57	43.83
Αύγουστος	12.09	43.94
Σεπτέμβριος	4.63	34.86
Οκτώβριος	1.29	28.93
Νοέμβριος	6.23	36.60
Δεκέμβριος	12.90	35.47



## 6.6.2 ΜΕΙΩΣΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ CO<sub>2</sub>

Όπως αναφέραμε και στην προηγούμενη ενότητα, οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα είναι ανάλογες της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας. Επομένως είναι αναμενόμενο να επιτυγχάνουμε την μέγιστη μείωση των εκπομπών για την μέγιστη μείωση της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας, Η μείωση αυτή είναι αρκετά σημαντική και πλησιάζει το 30% όπως βλέπουμε και στο παρακάτω διάγραμμα.



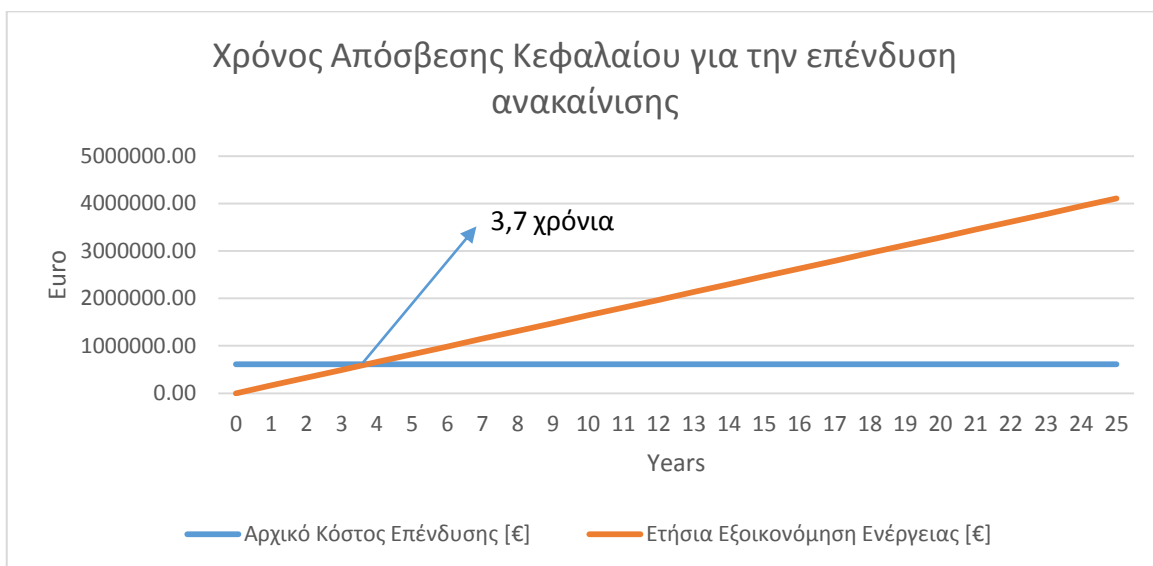
Εικόνα 6.24 Μείωση Εκπομπών CO<sub>2</sub> μετά την ανακαίνιση

Πίνακας 6.19 Μείωση Εκπομπών CO<sub>2</sub> μετά την ανακαίνιση

ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΑΝΑΚΑΙΝΙΣΗ	Εκπομπές CO <sub>2</sub> [kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> /y]	Μείωση Εκπομπών CO <sub>2</sub> [%]	Εκπομπές CO <sub>2</sub> [tnCO <sub>2</sub> /y]	Μείωση Εκπομπών CO <sub>2</sub> [tnCO <sub>2</sub> /y]
Χωρίς μόνωση   Απλός Μονός Υαλοπίνακας (ΑΡΧΙΚΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ)	207.430	-	3446.592	-
EPS 100mm   Διπλός Υαλοπίνακας Χαμηλής Εκπομπής	147.907	28.70	2457.570	989.022

### 6.6.3 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΟΦΕΛΗ

Τα οικονομικά οφέλη της ανακαίνισης ανέρχονται στις 164,224.32 € τον χρόνο. Παρά το γεγονός ότι το κόστος της αρχικής επένδυσης είναι το μέγιστο από όλα τα σενάρια ανακαίνισης τα οποία μελετήσαμε (της τάξης των 600,000.0€) , ο χρόνος απόσβεσης κεφαλαίου είναι ο ελάχιστος (μόλις 3,7 χρόνια). Ο μικρός χρόνος απόσβεσης και το αρκετά εύλογο αρχικό κόστος επένδυσης (αν αναλογιστούμε ότι πρόκειται για μία δημόσια επένδυση η οποία με κατάλληλους χειρισμούς ενδέχεται να διεκδικήσει και κάποια ευρωπαϊκή επιχορήγηση), κάνουν αρκετά ανταγωνιστική και ελκυστική την πρόταση ανακαίνισης.



Εικόνα 6.25 Χρόνος Απόσβεσης Κεφαλαίου για την επένδυση ανακαίνισης

Πίνακας 6.20 Οικονομικά οφέλη ανακαίνισης

	Αρχικό Κόστος Επένδυσης [€]	Ετήσιο Κόστος Λειτουργίας [€]	Ετήσια Εξοικονόμηση Ενέργειας [€]	Χρόνος Απόσβεσης Κεφαλαίου [years]	Καθαρή Παρούσα Αξία [€]
<b>ΑΝΑΚΑΙΝΙΣΜΕΝΟ ΚΤΙΡΙΟ</b>	609,694	-359,315	164,224	3.71	313,019
<b>ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ ΚΤΙΡΙΟ</b>	-	-523,539.75	-	-	-

## 7 ΒΑΣΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται σύντομη ανασκόπηση της εργασίας με ταυτόχρονη παρουσίαση των τελικών συμπερασμάτων, ενώ ακολουθούν προτάσεις για περαιτέρω έρευνα, προς επέκταση και βελτίωση της παρούσας.

### 7.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το θέμα διερεύνησης της παρούσας εργασίας ήταν κατ' αρχήν η μελέτη και προσομοίωση της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου των παλαιών εστιών του ΕΜΠ (ΦΕΕΜΠ) και δευτερευόντως η αναζήτηση οικονομικά αποδοτικών λύσεων ανακαίνισης με πρωταρχικό σκοπό την ενεργειακή του αναβάθμιση.

Δεδομένου ότι το ενεργειακό ζήτημα κρίνεται ως ένα από τα πλέον κυρίαρχα πολιτικά και οικονομικά ζητήματα της εποχής μας, αλλά και του ότι η εξοικονόμηση ενέργειας και η βελτίωση της διαχείρισης της αποτελούν τις βασικές συνιστώσες του, κάθε σχετική μελέτη θα πρέπει να λαμβάνει υπόψιν πέρα από τις αμιγώς τεχνικές και τις οικονομοτεχνικές και νομικές πτυχές του προβλήματος που μελετά. Σε ότι αφορά τον κτιριακό τομέα, βλέπουμε ότι τόσο σε εθνικό όσο και διεθνές-ευρωπαϊκό επίπεδο, γίνονται εδώ και καιρό αρκετές προσπάθειες να οριστεί το κατάλληλο νομικό πλαίσιο για τον περιορισμό της σπατάλης ενέργειας στα κτίρια (παλαιές και νέες κατασκευές) στην κατεύθυνση της βιώσιμης ανάπτυξης. Στα πρώτα κεφάλαια (1<sup>ο</sup> & 2<sup>ο</sup>) της παρούσας εργασίας παρουσιάζονται και αναλύονται οι εγχώριες και ευρωπαϊκές νομοθεσίες που αφορούν την ενεργειακή απόδοση κτιρίων, ενώ κατά την ανάπτυξη της μεθόδου μοντελοποίησης του κτιρίου των ΦΕΕΜΠ στο 5<sup>ο</sup> κεφάλαιο, βλέπουμε ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα ανάλυσης της ενεργειακής απόδοσης ενός κτιρίου με βάση τις εθνικές οδηγίες του ΤΕΕ και τον Κ.ΕΝ.Α.Κ.

Τα Κεφάλαια 3 και 4 αφιερώνονται στην παρουσίαση του φυσικού προβλήματος της μεταφοράς θερμότητας στο κτιριακό κέλυφος. Συγκεκριμένα στο κεφάλαιο 3 περιγράφονται αναλυτικά τα φυσικά φαινόμενα της μεταφοράς θερμότητας στις περιπτώσεις της αδιαφανούς τοιχοποιίας του κελύφους και των διαφανών επιφανειών των υαλοπινάκων, γίνεται αναφορά στους παράγοντες που συνιστούν την θερμική άνεση και περιγράφονται τα βασικά χαρακτηριστικά, οι ιδιότητες και οι έννοιες της θερμικής μόνωσης. Στο 4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο γίνεται εισαγωγή στο λογισμικό ενεργειακής προσομοίωσης κτιρίων EnergyPlus και παρατίθενται οι ενεργειακές εξισώσεις και αλγόριθμοι που χρησιμοποιεί για την μοντελοποίηση αυτή.

Τα Κεφάλαια 5 και 6 είναι τα κεφάλαια στα οποία γίνονται οι υπολογισμοί και παρουσιάζεται η διαδικασία των προσομοιώσεων. Στο 5<sup>ο</sup> Κεφάλαιο για το κτίριο αναφοράς (το υφιστάμενο δηλαδή κτίριο των εστιών) και στο 6<sup>ο</sup> για τα υποθετικά σενάρια ανακαίνισης.

Για το υφιστάμενο κτίριο προέκυψαν τα εξής:

- Για μοντελοποίηση των κατοικίσμων ορόφων του κτιρίου με βάση τις οδηγίες του Κ.ΕΝ.Α.Κ και διαχωρισμό σε 15 θερμικές ζώνες, προκύπτει ότι οι απαιτήσεις πρωτογενούς ενέργειας ανέρχονται στις 305,95 kWh/m<sup>2</sup> (εκ των οποίων οι 168,38 kWh/m<sup>2</sup> αφορούν την θέρμανση, οι 84,70 kWh/m<sup>2</sup> την ψύξη και οι υπόλοιπες τα λοιπά θερμικά κέρδη). Αν θεωρήσουμε ότι η πλησιέστερη κατηγορία κτιρίου με βάση την κατηγοριοποίηση ανά χρήση που προτείνει ο Κ.ΕΝ.Α.Κ, είναι αυτή του «Ξενοδοχείου», τότε το κτίριο των εστιών υπάγεται στην κατηγορία «Ε» με  $T=EP/RR=1.84$ . Σημειώνουμε στο σημείο αυτό ότι η εκτίμηση αυτή είναι μία συντηρητική εκτίμηση καθώς με εναλλακτικό υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου αναφοράς αρκετά πιο «ευνοϊκό» προκύπτει αντίστοιχη τιμή  $T=1.33$  και επομένως ενεργειακή κατηγορία «Γ». Όπως και να χει το κτίριο των εστιών στην παρούσα κατάσταση σε

κάθε περίπτωση είναι ασφαλώς μη αποδοτικό ενεργειακά, αρκετά κοστοβόρο σε ότι αφορά τον κλιματισμό του και χρίζει άμεσης ανακαίνισης ώστε να μπορέσει να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις που θέτει η κείμενη νομοθεσία.

- Σημαντικό μέρος των απωλειών προκύπτει εξαιτίας της ύπαρξης μεγάλης επιφάνειας υαλοπινάκων (οι οποίοι καλύπτουν περίπου το 70% της εξωτερικής επιφάνειας του κελύφους). Επομένως οι εργασίες ανακαίνισης θα πρέπει να περιλαμβάνουν αλλαγή υαλοπινάκων.
- Οι ανάγκες σε θέρμανση υπερβαίνουν κατά πολύ τις ανάγκες σε ψύξη και οι συνολικές ενεργειακές ανάγκες κατά του θερινούς μήνες αυτές των θερινών, επομένως θα πρέπει να υπάρξει μέριμνα για την πρόσθετη θερμική θωράκιση του κελύφους, η οποία επιτυγχάνεται συνήθως με την εφαρμογή συστήματος θερμομόνωσης. Επιπλέον είναι απαραίτητη η θερμική μόνωση των αδιαφανών επιφανειών καθώς οι μέσοι συντελεστές θερμοπερατότητας των στοιχείων του κελύφους υπερβαίνουν κατά πολύ τα όρια που θέτει ο Κ.ΕΝ.Α.Κ.

Στην συνέχεια με βάση τα παραπάνω συμπεράσματα έγινε παραμετρική ανάλυση στην βάση 6 πιθανών εργασιών ανακαίνισης (3 οι οποίες αφορούν την εξωτερική επένδυση θερμικής μόνωσης με πλάκες πολυστερίνης (EPS) διαφορετικών παχών και 3 οι οποίες αφορούν την αλλαγή των μονών υαλοπινάκων με άλλους ενεργειακά αποδοτικότερους διπλούς). Οι εργασίες αυτές επιλέχθηκαν με βάση την ευκολία της υλοποίησής τους, το χαμηλό κόστος προμήθειας και εργατικών αλλά και την ενεργειακή τους απόδοση (κατά βάση με το πόσο διαδεδομένες και δοκιμασμένες είναι αυτές οι μέθοδοι ώστε να έχουν αποδειχθεί αποδοτικές σε βάθος χρόνου και σε πλήθος περιπτώσεων εφαρμογής). Επίσης επισημαίνεται ότι οι προτάσεις ανακαίνισης επιλέγονται κατάλληλα ώστε να μην επιβαρύνουν ιδιαίτερα των ήδη επιβαρυνόμενο φέροντα οργανισμό του κτιρίου (όπως πχ οι υαλοπίνακες πολλών στρώσεων και άρα μεγάλου βάρους).

Για τα σενάρια ανακαίνισης μόνο μέσω θερμομόνωσης προέκυψαν τα εξής:

- Σε κάθε περίπτωση (για μόνωση διογκωμένης πολυστερίνης (EPS) πάχους 50,80 και 100 mm αντίστοιχα) πετυχαίνουμε μείωση του συντελεστή θερμοπερατότητας του κελύφους από 82% μέχρι 92% και επομένως το ανακαινισμένο κτίριο καλύπτει τις απαιτήσεις του Κ.ΕΝ.Α.Κ σε αυτό το ζήτημα.
- Η εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας οριακά ξεπερνάει το 15% και επομένως απαιτούνται πιο δραστικά μέτρα εξοικονόμησης. Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφέρουμε ότι υπάρχει απόκλιση μεταξύ της εξοικονόμησης στην θέρμανση που φτάνει μέχρι και το 24% και στην ψύξη που δεν ξεπερνά το 9%.

Για τα σενάρια ανακαίνισης μόνο μέσω υαλοπινάκων προέκυψαν τα εξής:

- Η εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας και πάλι είναι της τάξης του 15% όμως παρατηρείται αντιστροφή του φαινομένου που είχαμε στα σενάρια της θερμικής μόνωσης. Στην περίπτωση των υαλοπινάκων (και ιδιαίτερα των διπλών υαλοπινάκων χαμηλής εκπομπής με αέριο πλήρωσης αέρα) έχουμε μείωση των απαιτήσεων σε θέρμανση της τάξης του 12%(για όλα τα σενάρια) ενώ αντίστοιχα για την ψύξη παρουσιάζεται μείωση που ξεκινάει από το 12% και φτάνει το 32%.

Από τα παραπάνω γίνεται σαφές ότι προκειμένου να επιτύχουμε δραστική μείωση της πρωτογενούς κατανάλωσης ενέργειας θα πρέπει τα 6 αυτά σενάρια να συνδυαστούν. Ο συνδιασμός τους μας δίνει συνολικά (3 σενάρια αλλαγής θερμομόνωσης + το σενάριο της μη μόνωσης)\* (3σενάρια αλλαγής υαλοπινάκων + το σενάριο της μη αλλαγής υαλοπινάκων)=16 σενάρια.

Από την παραμετρική ανάλυση των σεναρίων προέκυψε ότι:

- Το αποδοτικότερο από ενεργειακή άποψη σενάριο είναι αυτό της επένδυσης του κελύφους με θερμομονωτικές πλάκες διογκωμένης πολυστερίνης πάχους 100 χιλιοστών και αλλαγής των

υαλοπινάκων με διπλούς υαλοπίνακες χαμηλής εκπομπής (low-e) με αέριο πλήρωσης αέρα. Σε αυτή την περίπτωση έχουμε μείωση πρωτογενούς ενέργειας κατά 32.2% και σε απόλυτα νούμερα 98.4 kWh/m<sup>2</sup>.

Η τελική επιλογή του αποδοτικότερου σεναρίου έγινε με τεχνοοικονομικά κριτήρια και συγκεκριμένα με κριτήριο τον χρόνο απόσβεσης κεφαλαίου. Και σε αυτή την περίπτωση η αποδοτικότερη λύση ήταν το σενάριο που αναφέραμε παραπάνω με τον χρόνο απόσβεσης κεφαλαίου να είναι μόλις 3,7 χρόνια για αρχικό κόστος επένδυσης της τάξης των 600000 ευρώ (ποσό αρκετά ρεαλιστικό για μία τέτοιου τύπου δημόσια επένδυση).

Επιπλέον το ενδεχόμενο μίας τέτοιας ανακαίνισης προσφέρει μεγάλα περιβαλλοντικά οφέλη καθώς η μεγάλη μείωση πρωτογενούς ενέργειας επιφέρει μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> της τάξης του 29%.

Καταλήγοντας θα μπορούσαμε να πούμε ότι η ανακαίνιση των ΦΕΕΜΠ με απλές, οικονομικές και εύκολα διαθέσιμες στην αγορά κατασκευαστικές λύσεις (όπως είναι η επένδυση της εξωτερικής τοιχοποιίας με θερμομονωτικές πλάκες διογκωμένης πολυστερίνης (EPS) και η αλλαγή των μονών υαλοπινάκων με διπλούς χαμηλής εκπομπής (low-e)) αποδίδει μεγάλα ενεργειακά, οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη χωρίς να απαιτούνται μεγάλες αρχικές δαπάνες και χωρίς να υπάρχει η παραμικρή παρενόχληση των ενοίκων. Ωστόσο, μία πλήρης μελέτη της ανακαίνισης θα πρέπει να προσεγγίσει με πιο ολιστικό τρόπο το ζήτημα, μελετώντας βασικούς παράγοντες όπως είναι η στατική του κτιρίου (η οποία σε μεγάλο βαθμό έχει μελετηθεί ήδη ενώ αναμένεται να παρουσιαστούν νέες προτάσεις ανακαίνισης το προσεχές διάστημα) αυτοί της θερμικής άνεσης, της περεταίρω εξοικονόμησης καυσίμων (δευτερογενώς) αλλά και άλλους αρχιτεκτονικούς/αισθητικούς που αφορούν την ποιότητα διαβίωσης των ενοίκων (πχ φωτισμός, εξαερισμός, διακόσμηση κ.α.).

## 7.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Η παρούσα εργασία θα μπορούσε να αποτελέσει αφορμή για επιπλέον μελέτες σε ότι αφορά τόσο τα στενά όρια της μελέτης του κτιρίου των ΦΕΕΜΠ όσο και το ζήτημα της ανακαίνισης και ενεργειακής αναβάθμισης των φοιτητικών εστιών της χώρας. Στην ενότητα αυτή προτείνονται ορισμένες ιδέες οι οποίες θα μπορούσαν να αποτελέσουν εφελκτήριο για μελλοντικές εργασίες.

Κατ' αρχάς σε ότι αφορά το κτίριο των ΦΕΕΜΠ:

- Η παρούσα εργασία εστίασε στους χώρους των κοιτώνων χωρίς να μελετά τις συνθήκες ή την απόδοση των άλλων χώρων (αμφιθέατρο, εστιατόριο, κυλικείο, δώμα κ.α). Μία συμπληρωματική μελέτη των χώρων αυτών θα έδινε μία πιο πλήρη εικόνα για την ενεργειακή κατάσταση του υφιστάμενου κτιρίου, ενώ σε υπέρθεση με τα αποτελέσματα για τους κοιτώνες θα μπορούσε να δώσει ακόμα πιο οικονομικές λύσεις ανακαίνισης για το σύνολο του κτιρίου. Ωστόσο, για να μην παραμείνει υποθετικό ένα σενάριο ανακαίνισης σαν και αυτό, θα προϋπέθετε τεράστια ποσά για την επένδυση της ανακαίνισης και επομένως ισχυρή πολιτική βούληση από τις αρμόδιες αρχές. Σε αυτήν την περίπτωση ε, θα μπορούσαν να δοκιμαστούν και πιο «τολμηρές» προτάσεις για την ριζική ανακαίνιση του κτιρίου ακόμα και στους κοιτώνες, όπως για παράδειγμα η αντικατάσταση των υαλοπινάκων με θερμοχρωμικούς ή άλλους ακριβότερους και ενεργειακά πιο αποδοτικούς.
- Επίσης θα μπορούσε να γίνει μελέτη για τα ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα και τις εγκαταστάσεις κλιματισμού του κτιρίου, τα οποία βρίσκονται σε άθλια κατάσταση και χρίζουν άμεσης αντικατάστασης. Πέρα από μια πιθανή αντικατάσταση με άλλα ενεργειακά αποδοτικότερα (όπως πχ η αντικατάσταση του λέβητα πετρελαίου με λέβητα φυσικού αερίου), θα μπορούσε να γίνει μία αξιολόγηση της εγκατάστασης διατάξεων ΑΠΕ στο κτιριακό συγκρότημα όπως για παράδειγμα φωτοβολταϊκών πάνελ ή ηλιακών συλλεκτών στην οροφή ή χρήση πιο εξελιγμένων ηλιακών θερμικών συστημάτων (Solar Combisystems).

- Τέλος θα μπορούσε να γίνει ανάλυση του κύκλου ζωής του κτηρίου (Life Cycle Assessment) με προσέγγιση στο πεδίο εφαρμογής της περιβαλλοντικής ανάλυσης στον κτηριακό τομέα.

Σε ότι αφορά τα κτίρια των εστιών γενικότερα:

- Μία ενδιαφέρουσα εργασία θα περιλάμβανε την αξιολόγηση των συνθηκών διαβίωσης των οικοτρόφων στο σύνολο των εστιών της χώρας. Με κατάλληλα ερωτηματολόγια και επιτόπιες μετρήσεις μεγεθών όπως η υγρασία, η θερμοκρασία, η ποιότητα του αέρα (ποσόστωση αερίων και σύνθεση), το επίπεδο φωτισμού κ.α θα μπορούσε να συνταχθεί μία εμπειριστατωμένη μελέτη η οποία να αξιολογεί τα επίπεδα θερμικής άνεσης και να προτείνει κατασκευαστικές λύσεις ανακαίνισης τόσο κατά τόπους (οι οποίες να αναφέρονται δηλαδή στις ανάγκες του κάθε κτηρίου/συγκροτήματος ξεχωριστά) όσο και συγκεντρωτικά με κάποιο πρόγραμμα εθνικής ή υπερεθνικής κλίμακας το οποίο θα ήταν και πιο συμφέρον οικονομικά και τεχνικά.
- Επιπλέον θα μπορούσε να συνταχθεί μία πιο ειδική μελέτη για τον ορισμό κανονισμών συμπληρωματικών του Κ.ΕΝ.Α.Κ εξειδικευμένων για την περίπτωση των εστιών. Προφανώς κάτι τέτοιο θα προϋπέθετε την συλλογή μεγάλου όγκου δεδομένων, αλλά σίγουρα θα διευκόλυνε και άλλες εργασίες όπως αυτές που αναφέρονται παραπάνω.

## 8 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] BP, “BP Statistical Review of World Energy June 2015,” London, 2015.
- [2] BP, “BP Energy Outlook 2040,” London, 2018.
- [3] IEA(2017), CO<sub>2</sub> emissions from fuel combustion, World Energy Outlook Special Report 2017
- [4] IEA (2013a), Transition to Sustainable Buildings: Strategies and Opportunities to 2050, OECD/IEA, Paris.
- [5]. International Energy Agency: Energy and Climate change, World Energy Outlook Special Report 2015.
- [6] Δρούτσα, Κ. Γ., Κοντογιαννίδης, Σ., Δασκαλάκη, Ε. Γ., & Μπαλαράς, Κ. Α. ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΩΝ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ ΜΕΣΩ ΤΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΤΙΚΩΝ
- [7] Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία, 2013. Δελτίο Τύπου – Έρευνα κατανάλωσης ενέργειας στα νοικοκυριά, 2011-2012. Διαθέσιμο στην ηλεκτρονική διεύθυνση: <http://www.statistics.gr/el/statistics/-/publication/SFA40/>
- [8] <http://www.indeepanalysis.gr/perivallon/energeiakh-katanalwsh-sta-ellhnika-kthria>
- [9] EU Commission and Parliament, Directive 2010/31/EC of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (EPBD Recast
- [10] COM (2018) 773, Communication From The Commission To The European Parliament, The European Council, The Council, The European Economic And Social Committee, The Committee Of The Regions And The European Investment Bank: A Clean Planet for all, a European strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy, Brussels, 28.11.2018.
- [11] BPIE, Europe’s buildings under the microscope. Available online at: [http://bpie.eu/wpcontent/uploads/2015/10/HR\\_EU\\_B\\_under\\_microscope\\_study.pdf](http://bpie.eu/wpcontent/uploads/2015/10/HR_EU_B_under_microscope_study.pdf)
- [12] «Εξοικονόμηση Ενέργειας στον κτιριακό τομέα», Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμηση Ενέργειας, INT. [http://www.cres.gr/energy\\_saving/Ktiria/ktiria\\_intro.htm](http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/ktiria_intro.htm)
- [13] «Εξοικονόμηση Ενέργειας στον κτιριακό τομέα», Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμηση Ενέργειας, INT. [http://www.cres.gr/energy\\_saving/Ktiria/ktiria\\_intro.htm](http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/ktiria_intro.htm):
- [14] “ Βιοκλιματικός σχεδιασμός στην Ελλάδα: Ενεργειακή απόδοση και κατευθύνσεις εφαρμογής.», Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμηση Ενέργειας, INT, [http://www.cres.gr/energy\\_saving/Ktiria/bioklimatikos\\_sxediasmos.htm](http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/bioklimatikos_sxediasmos.htm)
- [16] Παπαδόπουλος, Μ., & Αξαρή, Κ. (1982). Δομική Φυσική II, Ενεργειακός Σχεδιασμός–Παθητικά Ηλιακά Συστήματα. Αφοί Κυριακίδη, Θεσσαλονίκη
- [17] 2017 ASHRAE Handbook—Fundamentals, Chap. 9, Introduction.
- [18] Παπαδόπουλος, Α. Μ. (2006). Θερμική άνεση στα κτίρια/Νέα πρότυπα και βελτίωση θερμικής άνεσης στα κτίρια. Διδακτικές σημειώσεις του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, ΑΠΘ.
- [19] Cascone, S., & Sciuto, G. (2018). Recovery and reuse of abandoned buildings for student housing: A case study in Catania, Italy. *Frontiers of Architectural Research*, 7(4), 510-520.
- [20] Furundzic, A. K., Kosoric, V., & Golic, K. (2012). Potential for reduction of CO<sub>2</sub> emissions by integration of solar water heating systems on student dormitories through building refurbishment. *Sustainable Cities and Society*, 2(1), 50-62.



- [21] Mostafavi, N., Farzinmoghadam, M., & Hoque, S. (2015). Envelope retrofit analysis using eQUEST, IESVE Revit Plug-in and Green Building Studio: a university dormitory case study. *International Journal of Sustainable Energy*, 34(9), 594-613.
- [22] Assimakopoulos, M. N., De Masi, R. F., Papadaki, D., Ruggiero, S., & Vanoli, G. P. (2018). Energy audit and performance optimization of a residential university building in heating dominated climates of Italian backcountry. *Tema: Technology, Engineering, Materials and Architecture*, 4(3), 19-33.
- [23] Barmmparesos, N., Papadaki, D., Karalis, M., Fameliari, K., & Assimakopoulos, M. N. (2019). In Situ Measurements of Energy Consumption and Indoor Environmental Quality of a Pre-Retrofitted Student Dormitory in Athens. *Energies*, 12(11), 2210.
- [24] Β.Α. Σωτηρόπουλος, “Κατοικία και θέρμανση (Σημειώσεις)”
- [25] Ελλάδα, Τ. Ε. (2011). Κατάρτιση ενεργειακών επιθεωρητών εκπαιδευτικό υλικό, Α. Επιθεώρηση κτιρίων, Θεματική ενότητα ΔΚ3/ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ/Α΄Έκδοση/Αθήνα, Ιούνιος.
- [26] Αλεξόπουλος Κων, «Εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια: Ελληνική και Ευρωπαϊκή πραγματικότητα», Συνέδριο με θέμα «Κρίση:Επιπτώσεις και Προοπτικές: Ο τεχνικός κλάδος μοχλός για την ανάπτυξη», Αθήνα, Ιούνιος 2009..
- [27] Οδηγία 2010/31/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 19ης Μαΐου 2010 ,για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων (αναδιατύπωση)
- [28] Οδηγία 2012/27/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 22 Νοεμβρίου 2012, για την ενεργειακή απόδοση.
- [29] ΤΕΕ (2017), «Τεχνικές οδηγίες 20701-2/2017»
- [30] Π.Δ. της 1.6/1979 (ΦΕΚ 362/Δ`/4.7.1979) «Περί εγκρίσεως κανονισμού δια την θερμομόνωση των κτιρίων»
- [31] Σακκά, Α. (2014). Ολιστική ενεργειακή θεώρηση κτιρίων (Doctoral dissertation)
- [32] Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (Κ.Εν.Α.Κ), διαθέσιμος στον διαδικτυακό τόπο: <http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=aiS4GyKxx04%3d&tabid=525&language=el-GR>
- [33]ΥΠ.Ε.Κ.Α,2018 « Πιστοποιητικά ενεργειακής απόδοσης Κτιρίων, Στατιστική ανάλυση για το έτος 2017»
- [34] Modeling Methods for Energy in Buildings C.P. Underwood , F.W.H. Yik , 1.1 Heat and mass transfer processes in buildings
- [35] John, H. L. I. V., Lienhard, I. V., & Lienhard, V. (2006). A heat transfer textbook.
- [36] Katsarakakis, D., Moniakis, M., Κατσαπρακάκης, Δ., & Μονιάκης, Μ. (2015). Βασικά στοιχεία μεταφοράς θερμότητας.
- [37] ΚΑΠΕ (1999) , «ΟΔΗΓΟΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕΣΩ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗΣ»
- [38] ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ Υπουργείο Εμπορίου, Βιομηχανίας και Τουρισμού της Κυπριακής Δημοκρατίας (2010), «ΟΔΗΓΟΣ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗΣ ΚΤΙΡΙΩΝ», 2η έκδοση
- [39] 2017 ASHRAE Handbook of Fundamentals, Chapter 15-FENESTRATION
- [40] [http://www.cres.gr/energy\\_saving/Ktiria/thermiki\\_prostasia\\_kelyfous\\_xrisi\\_yalopinakon.htm](http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/thermiki_prostasia_kelyfous_xrisi_yalopinakon.htm)

- [41] Ντελαλής, Π., & Ntelalis, P. (2016). Επίδραση των θερμοχρωμικών υαλοπινάκων στην ενεργειακή απόδοση κτιρίων.
- [42] Lawrence Berkeley National Laboratory (2019), "WINDOW 7 User Manual"
- [43] KNAUF (12/2010), "Τεχνικός οδηγός εφαρμογής Ολοκληρωμένο Σύστημα Εξωτερικής Θερμομόνωσης
- [44] [http://www.knauf.gr/www/el/plasters\\_4/products/thermoprosopsis\\_2.html](http://www.knauf.gr/www/el/plasters_4/products/thermoprosopsis_2.html)
- [45] <https://katalipsiinedivim.wordpress.com/>
- [46] <http://www.prismaglass.gr>
- [47] <https://fragoulakis.gr/thermoprosopsi/thermoprosopsi-times/>
- [48] <https://www.investopedia.com/terms/n/npv.asp>
- [49] <https://www.investopedia.com/terms/p/paybackperiod.asp>
- [50] Αραβώσης, Κ., Καρμπέρης, Α., & Σωτήρχος, Α. (2012). Τεχνοοικονομική αξιολόγηση επενδύσεων. Εκδόσεις: Νομική Βιβλιοθήκη.
- [51] IEA(2017), CO2 emissions from fuelcombustion, World Energy Outlook Special Report 2017
- [52] Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, EnergyPlus Engineering Reference, 2015
- [53] <https://bigladdersoftware.com/>
- [54] <http://domesindex.com/architects/kwstas-fines/>
- [55] Νόμος 3661 - Μέτρα για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων Σχέδιο Κανονισμού για την Ενεργειακή Αποδοτικότητα των κτιρίων – Κ.ΕΝ.Α.Κ

## 9 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

### 9.1.1 Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 2.1 Συντελεστές μετατροπήςσε πρωτογενή Ενέργεια με βάση τον Κ.ΕΝ.Α.Κ .....	17
Πίνακας 2.2 Οι κατηγορίες ενεργειακής ταξινόμησης με βάση τον Κ.ΕΝ.Α.Κ.....	17
Πίνακας 3.1 Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας των επί μέρους δομικών στοιχείων ανά κλιματική ζώνη σε περίπτωση ριζικής ανακαίνισης υφιστάμενου κτιρίου.[με βάση το άρθρο 8 του Κ.ΕΝ.Α.Κ] [29] .....	34
Πίνακας 3.2 Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας ενός κτιρίου ανά κλιματική ζώνη συναρτήσει του λόγου της περιβάλλουσας επιφάνειας του κτιρίου προς τον όγκο του σε περίπτωση ριζικής ανακαίνισης υφιστάμενου κτιρίου. [άρθρο 8 Κ.ΕΝ.Α.Κ] [29] .....	34
Πίνακας 4.1 Οι συντελεστές θερμικής αντίστασης που χρησιμοποιεί το EP (Surface Roughness Multipliers (Walton 1981) ) [53].....	52
Πίνακας 5.1 Όρια ενεργειακών κατηγοριών ξενοδοχείων για τις 4 κλιματικές ζώνες [Κ.ΕΝ.Α.Κ] .....	61
Πίνακας 5.2 Συμβατικός τρόπος θεώρησης του συντελεστή θερμοπερατότητας και της τιμής των θερμογεφυρών στα επί μέρους δομικά στοιχεία ανά περίοδο έκδοσης οικοδομικής άδειας. [ΤΟΤΕΕ 20701/1/2017] .....	69
Πίνακας.5.3 Τυπικές τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας για υφιστάμενα κατακόρυφα ή οριζόντια αδιαφανή δομικά στοιχεία που συναντώνται σε κτίρια, η οικοδομική άδεια των οποίων εκδόθηκε πριν από την εφαρμογή του Κ.Εν.Α.Κ. (2010). [ΤΟΤΕΕ 20701/1/2017] .....	69
Πίνακας 5.4 Μέση μηνιαία θερμοκρασία νερού δικτύου ανά κλιματική ζώνη. [Κ.ΕΝ.Α.Κ] .....	82
Πίνακας 6.1 Στοιχεία επιφάνειας κτιριακού κελύφους.....	86
Πίνακας 6.2 Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας $U [W/(m^2 \cdot K)]$ των επί μέρους δομικών στοιχείων ανά κλιματική ζώνη σε περίπτωση ριζικής ανακαίνισης υφιστάμενου κτιρίου. {Κ.ΕΝ.Α.Κ 2010}.....	87
Πίνακας 6.3 Τιμές ισοδύναμου συντελεστή θερμοπερατότητας των βασικών δομικών στοιχείων του κελύφους του κτιρίου των εστιών. ....	87
Πίνακας 6.4 Μεταβολή του συντελεστή θερμοπερατότητας συναρτήσει του πάχους μόνωσης για την εξωτερική τοιχοποιία των κοιτώνων.....	91
Πίνακας 6.5 Μεταβολή του συντελεστή θερμοπερατότητας συναρτήσει του πάχους μόνωσης για την εξωτερική τοιχοποιία των κοινόχρηστων χώρων .....	91
Πίνακας 6.6 Ενεργειακές καταναλώσεις κτιρίου πριν και μετά την εφαρμογή της θερμικής μόνωσης ..	92
Πίνακας 6.7 Θερμικές ιδιότητες και γεωμετρικά χαρακτηριστικά υαλοπινάκων .....	94
Πίνακας 6.8 Ενεργειακές καταναλώσεις κτιρίου πριν και μετά την αλλαγή υαλοπινάκων .....	97
Πίνακας 6.9 Ενεργειακή απόδοση κτιρίου με εφαρμογή διπλών απλών υαλοπινάκων αέρα συναρτήσει του πάχους μόνωσης .....	100
Πίνακας .6.10 Ενεργειακή απόδοση κτιρίου με εφαρμογή διπλών απλών υαλοπινάκων Argon συναρτήσει του πάχους μόνωσης .....	101
Πίνακας 6.11 Ενεργειακή απόδοση κτιρίου με εφαρμογή διπλών υαλοπινάκων χαμηλής εκπομπής με πληρωτικό αέριο αέρα, συναρτήσει του πάχους μόνωσης.....	102
Πίνακας 6.12 Αρχικό κόστος επένδυσης της ανακαίνισης με βάση τα κόστη υλικών και εργασίας .....	103
Πίνακας 6.13 Οικονομικά στοιχεία για τις προτεινόμενες παραμβάσεις ανακαίνισης .....	104
Πίνακας 6.14 Χρόνος απόσβεσης κεφαλαίου και καθαρή παρούσα αξία για κάθε πιθανή εργασία ανακαίνισης.....	105
Πίνακας 6.15 Συντελεστές Εκπομπής εκλυόμενων ρύπων ανα μονάδα ενέργειας (kgCO <sub>2</sub> /kWh) [Κ.Εν.Α.Κ] .....	108
Πίνακας 6.16 Μείωση εκπομπών CO <sub>2</sub> [%] για κάθε περίπτωση ανακαίνισης.....	108
Πίνακας 6.17 Στοιχεία για την ενεργειακή αναβάθμιση του κτιρίου μετά την ανακαίνιση .....	109
Πίνακας 6.18Μηνιαία εξοικονόμηση ενέργειας μετά την ανακαίνιση .....	110
Πίνακας 6.19Μείωση Εκπομπών CO <sub>2</sub> μετά την ανακαίνιση .....	111

Πίνακας 6.20 Οικονομικά οφέλη ανακαίνισης .....	112
Πίνακας 8.1 Γεωμετρικά στοιχεία Υαλοπινάκων .....	126

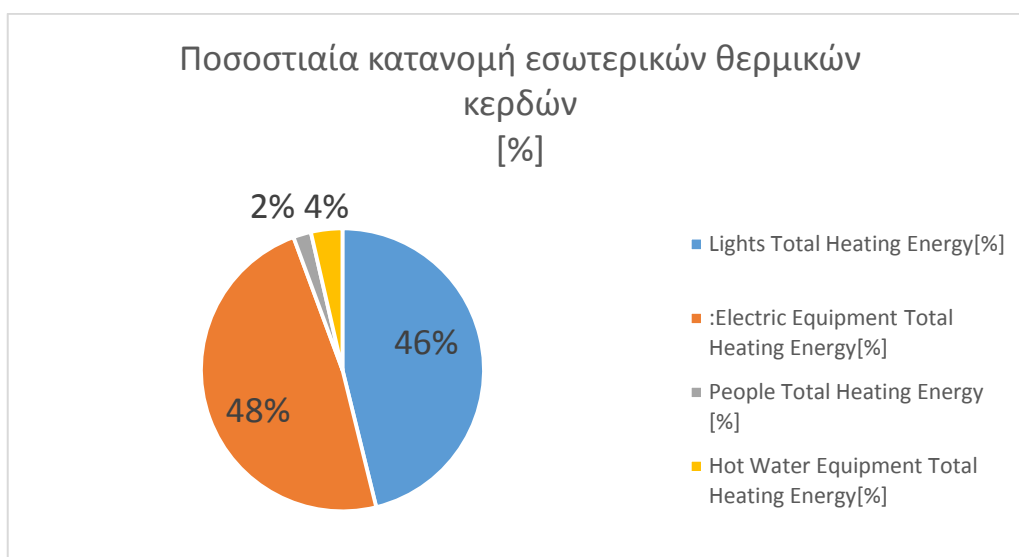
### 9.1.2 Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1.1 Παγκόσμια κατανομή πρωτογενούς ενέργειας για τα έτη 1971 και 2015 σε Gtoe [IEA,2017].	1
Εικόνα 1.2 Παγκόσμια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για την περίοδο 1992-2014 σε Mtoe με βάση την πηγή ενέργειας[1]	1
Εικόνα 1.3 Εκτίμηση ανθρωπογενών εκπομπών GHG [3]	2
Εικόνα 1.4 Κατανομή ενεργειακών καταναλώσεων παγκοσμίως με βάση την χρήση [4]	3
Εικόνα 1.5 Μέση ετήσια κατανάλωση ενέργειας ανά νοικοκυριό [6]	3
Εικόνα 1.6 Κατανομή κτιρίων με βάση την περίοδο κατασκευής[6]	4
Εικόνα 1.7 Κατανομή κτιρίων με βάση την ύπαρξη θερμομόνωσης [6]	4
Εικόνα 1.8 Ιστορική εξέλιξη της κατανάλωσης ενέργειας στα ευρωπαϊκά κτίρια 1990-2009 [4]	5
Εικόνα 2.1 Ετήσια κατανομή ΠΕΑ για τα έτη 2011-2017 .[28]	18
Εικόνα 2.2 Ενεργειακή κατηγορία κτιρίων για τα έτη 2011-2017 .[28]	18
Εικόνα 2.3 Ενεργειακή κατάταξη για τις μονοκατοικίες (Μ), τις πολυκατοικίες (Π) και τα κτίρια του τριτογενή τομέα (Τ) ανα κλιματική ζώνη με βάση τα διαθέσιμα ΠΕΑ [.28]	19
Εικόνα 2.4 Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας στην Ζώνη Β .[28]	19
Εικόνα 3.1 Ισοζύγιο ενέργειας σε τυπικό κτίριο [35]	20
Εικόνα 3.2 Μεταφορά θερμότητας σε αδιαφανές στοιχείο (εξωτερική τοιχοποιία) [35]	21
Εικόνα 3.3 Μεταφορά θερμότητας σε διαφανές στοιχείο (υαλοπίνακας) [35]	21
Εικόνα 3.4 Μεταφορά θερμότητας μέσω ακτινοβολίας [35]	22
Εικόνα 3.5 Μεταβολή της θερμικής αγωγιμότητας μεταλλικών στερεών (Αριστερά) και υγρών/αερίων (Δεξιά) συναρτήσει της θερμοκρασίας [36]	24
Εικόνα 3.6 Το ηλεκτρικό ανάλογο στην μετάδοση θερμότητας [36]	25
Εικόνα 3.7 Εξάρτηση της θερμικής αγωγιμότητας από την πυκνότητα του υλικού	27
Εικόνα 3.8 Θερμομόνωση της εξωτερικής τοιχοποιίας[38]	31
Εικόνα 3.9 Υπολογισμός ισοδύναμης θερμικής αντίστασης σε τοιχοποιία πολλαπλών στρώσεων[38]	33
Εικόνα 3.10 Ποσοστό διερχόμενης και ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας από διαφανές γυαλί(πάχους 6mm) συναρτήσει της γωνίας πρόσπτωσης (σηματικό παράδειγμα για γωνία 30ο) [41]	39
Εικόνα 3.11 Απεικόνιση διπλού υαλοπίνακα σε τομή[41]	41
Εικόνα 3.12 Απεικόνιση διπλού υαλοπίνακα low-e σε τομή[41]	42
Εικόνα 3.13 Επιφάνεια εργασίας του λογισμικού Window.[35]	44
Εικόνα 3.14 Πλήκτρα εντολών στο λογισμικό Window (Toolbar Buttons) [35]	45
Εικόνα 3.15 Βιβλιοθήκες του λογισμικού Window [	45
Εικόνα 3.16 Η θεωρία του Fanger σχηματικά [ 18]	47
Εικόνα 4.1 Οι βασικότερες συνιστώσες της ενεργειακής προσομοίωσης κτιρίων	49
Εικόνα 4.2 Σχηματική παρουσίαση του λογισμικού EP από την κατασκευάστρια εταιρία [52]	51
Εικόνα 5.1 Δορυφορική λήψη του κτιρίου των εστιών [Google Maps]	53
Εικόνα 5.2 Η πρωτότυπη μακέτα του κτιρίου των ΦΕΕΜΠ [54]	54
Εικόνα 5.3 Κάτοψη των κατοικίσιμων ορόφων (πανομοιότυπη για τους ορόφους 1 έως 8) [Τεχνική Υπηρεσία ΕΜΠ]	56
Εικόνα 5.4 Μηχανολογικά Σχέδια των Κεντρικών Εγκαταστάσεων του δικτύου διανομής Ζεστού Νερού Χρήσης [Τεχνική Υπηρεσία ΕΜΠ]	57
Εικόνα 5.5 Μηχανολογικά Σχέδια του Λεβητοστασίου [Τεχνική Υπηρεσία ΕΜΠ]	58
Εικόνα 5.6 Μηχανολογικά Σχέδια του συστήματος Ψύξης [Τεχνική Υπηρεσία ΕΜΠ]	58
Εικόνα 5.7 Βορειοανατολική όψη των ορόφων 1 έως 8 των ΦΕΕΜΠ στο σχεδιαστικό περιβάλλον SketchUp	59
Εικόνα 5.8 Βορινή όψη των ορόφων 1 έως 8 του κτιρίου των ΦΕΕΜΠ στο σχεδιαστικό περιβάλλον SketchUp με έμφαση στην αποτύπωση των υαλοπινάκων και των εσωτερικών θυρών του διαδρόμου..	59
Εικόνα 5.9 Οι κλιματικές ζώνες στην Ελλάδα σύμφωνα με τον Κ.ΕΝ.Α.Κ	62

Εικόνα 5.10 Διαχωρισμός των προς μελέτη ορόφων σε 2 Θερμικές Ζώνες. Αποτύπωση στο SketchUp μέσω του προγράμματος OpenStudio Plug-in .....	64
Εικόνα 5.11 Διαχωρισμός των προς μελέτη ορόφων σε 15 Θερμικές Ζώνες. Αποτύπωση στο SketchUp μέσω του προγράμματος OpenStudio Plug-in .....	65
Εικόνα 5.12 Οριακές Συνθήκες πλευρικών επιφανειών και οροφών Πρώτου, Όδγου και ενδιάμεσων ορόφων .....	67
Εικόνα 5.13 Οριακές Συνθήκες πλευρικών επιφανειών και δαπέδων Πρώτου, Όδγου και ενδιάμεσων ορόφων .....	67
Εικόνα.5.14 Ετήσια διακύμανση της εξωτερικής θερμοκρασίας περιβάλλοντος με βάση το διαθέσιμο αρχείο καιρού .....	71
Εικόνα 5.15 Εισαγωγή των θερμοφυσικών και γεωμετρικών ιδιοτήτων των υλικών της κατασκευής στο περιβάλλον IDF Editor .....	71
Εικόνα 5.16 Εισαγωγή των κατασκευαστικών στοιχείων του κελύφους και του εσωτερικού των ορόφων 1 έως 8 στο περιβάλλον IDF Editor .....	72
Εικόνα 5.17 Αναλυτική περιγραφή της κατασκευής στο περιβάλλον IDF Editor .....	73
Εικόνα 5.18 Οι επιφάνειες σκίασης όπως φαίνονται στο περιβάλλον του SketchUp και του Open Studio Inspectr .....	73
Εικόνα.5.19 Τα χρονοδιαγράμματα λειτουργίας για τους μήνες Απρίλιο-Ιούνιο .....	75
Εικόνα.5.20 Τα χρονοδιαγράμματα λειτουργίας για τους μήνες Ιανουάριο-Μάρτιο .....	75
Εικόνα 5.21 Τα χρονοδιαγράμματα λειτουργίας για τους μήνες Ιούλιο-Αύγουστο .....	75
Εικόνα 5.22 Τα χρονοδιαγράμματα λειτουργίας για τους μήνες Οκτώβριο-Δεκέμβριο .....	75
Εικόνα 5.23 Τα χρονοδιαγράμματα λειτουργίας για τον μήνα Σεπτέμβριο .....	75
Εικόνα 5.24 Χρονοδιάγραμμα λειτουργίας Θερμοστάτη στο περιβάλλον IDF editor .....	77
Εικόνα.5.25 Ορισμός των παραμέτρων υπολογισμού των εσωτερικών θερμικών κερδών εξαιτίας της ανθρώπινης παρουσίας (στο περιβάλλον IDF editor) .....	77
Εικόνα. 5.26 Ορισμός των παραμέτρων υπολογισμού των εσωτερικών θερμικών κερδών εξαιτίας του εσωτερικού φωτισμού (στο περιβάλλον IDF editor) .....	78
Εικόνα 5.27 Ορισμός των παραμέτρων υπολογισμού των εσωτερικών θερμικών κερδών εξαιτίας της λειτουργίας ηλεκτρικών συσκευών (στο περιβάλλον IDF editor) .....	78
Εικόνα 5.28 Ορισμός των παραμέτρων διήθησης αέρα (στο περιβάλλον IDF editor) .....	79
Εικόνα 5.29 Ορισμός των παραμέτρων ανανέωσης αέρα (στο περιβάλλον IDF editor) .....	80
Εικόνα 5.30 Εισαγωγή του συστήματος κλιματισμού με θερμοστάτη (στο περιβάλλον IDF editor) .....	81
Εικόνα 5.31 Εισαγωγή του συστήματος ζεστού νερού χρήσης στο περιβάλλον IDF editor .....	82
Εικόνα 5.32 Ανηγμένες καταναλώσεις ενέργειας για το υφιστάμενο κτίριο .....	83
Εικόνα 5.33 Ποσοστιαία κατανομή ενεργειακών καταναλώσεων .....	83
Εικόνα 5.34 Ανηγμένες Μηνιαίες ενεργειακές καταναλώσεις του υφιστάμενου κτιρίου .....	84
Εικόνα 5.35 Μηνιαίες ενεργειακές καταναλώσεις του υφιστάμενου κτιρίου .....	84
Εικόνα 6.1 Τομή απλού συστήματος εξωτερικής θερμομόνωσης με πλάκες διογκωμένης πολυστερίνης [44] .....	88
Εικόνα 6.2 Εφαρμογή της εξωτερικής θερμομόνωσης με μονωτικές πλάκες EPS [44] .....	89
Εικόνα 6.3 Περιγραφή των φυσικών ιδιοτήτων των θερμομονωτικών πλακών στο IDF Editor .....	90
Εικόνα 6.4 Περιγραφή της επένδυσης με θερμομονωτικές πλάκες στο περιβάλλον IDF Editor .....	90
Εικόνα 6.5 Μεταβολή του συντελεστή θερμοπερατότητας συναρτήσει του πάχους μόνωσης για την εξωτερική τοιχοποιία των κοιτώνων και των κοινόχρηστων χώρων .....	91
Εικόνα 6.6 Ενεργειακές καταναλώσεις κτιρίου πριν και μετά την εφαρμογή της θερμικής μόνωσης .....	92
Εικόνα 6.7 Συσχέτιση του πάχους μόνωσης με την εξοικονόμηση ενέργειας στο κτίριο .....	93
Εικόνα .6.8 Περιγραφή του μονού υαλοπίνακα στο περιβάλλον Window .....	94
Εικόνα 6.9 Περιγραφή του διπλού απλού υαλοπίνακα με πληρωτικό υλικό αέρα στο περιβάλλον Window .....	95

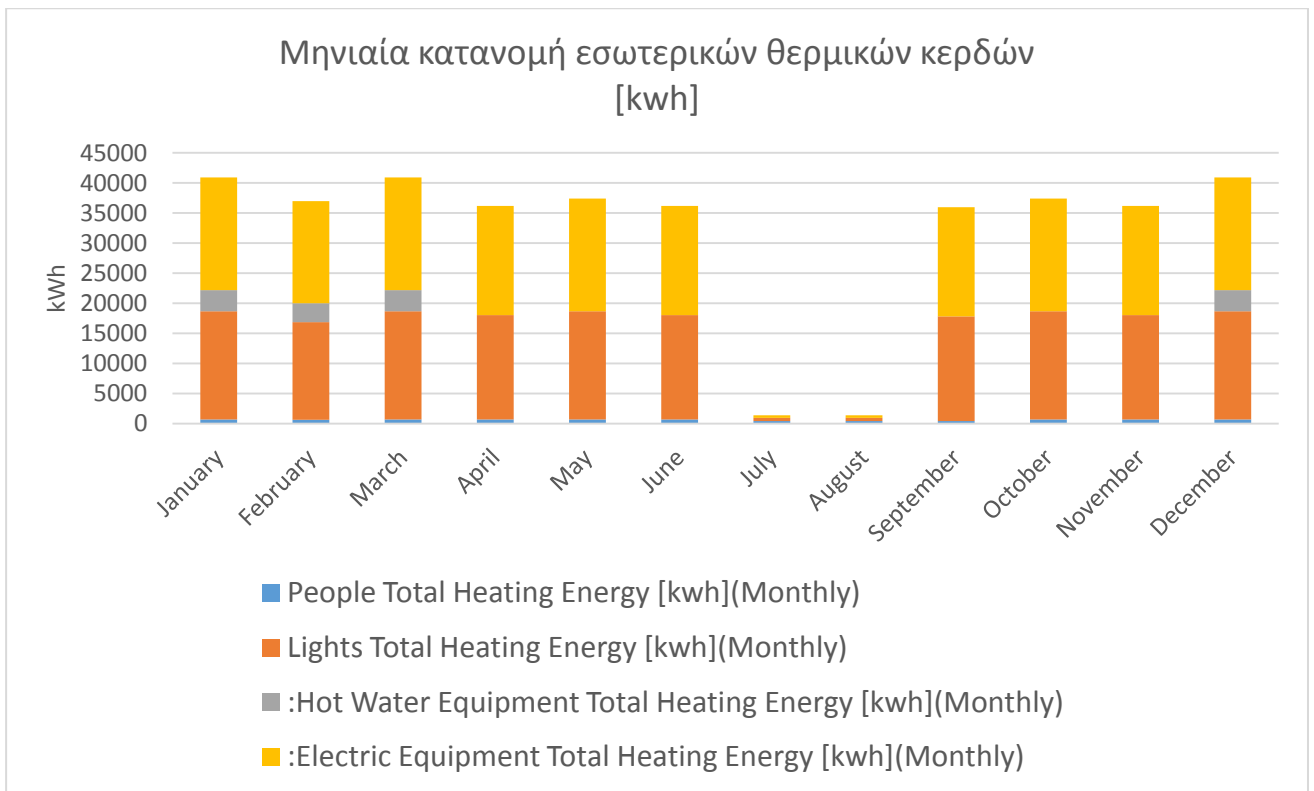
Εικόνα.6.10 Περιγραφή του διπλού απλού υαλοπίνακα με πληρωτικό υλικό Argon στο περιβάλλον Window .....	95
Εικόνα.6.11 Περιγραφή του διπλού υαλοπίνακα χαμηλής εκπομπής με πληρωτικό υλικό αέρα στο περιβάλλον Window .....	95
Εικόνα 6.12 Εισαγωγή των στοιχείων κατασκευής των υαλοπινάκων στο περιβάλλον IDF editor .....	96
Εικόνα 6.13 Εισαγωγή των θερμοφυσικών και γεωμετρικών χαρακτηριστικών των υαλοπινάκων στο περιβάλλον IDF Editor .....	96
Εικόνα.6.14 Ενεργειακές καταναλώσεις κτιρίου πριν και μετά την αλλαγή υαλοπινάκων .....	97
Εικόνα 6.15 Εξοικονόμηση Ενέργειας συναρτήσει του συντελεστή SHGC.....	98
Εικόνα 6.16 Εξοικονόμηση Ενέργειας συναρτήσει του συντελεστή θερμοπερατότητας .....	99
Εικόνα.6.17 Ενεργειακή απόδοση κτιρίου με εφαρμογή διπλών απλών υαλοπινάκων αέρα συναρτήσει του πάχους μόνωσης .....	100
Εικόνα.6.18 Ενεργειακή απόδοση κτιρίου με εφαρμογή διπλών απλών υαλοπινάκων Argon συναρτήσει του πάχους μόνωσης .....	101
Εικόνα 6.19 Ενεργειακή απόδοση κτιρίου με εφαρμογή διπλών υαλοπινάκων χαμηλής εκπομπής με πληρωτικό αέριο αέρα, συναρτήσει του πάχους μόνωσης.....	102
Εικόνα 6.20 Επί τοις εκατό [%] εξοικονόμηση ενέργειας για κάθε περίπτωση ανακαίνισης .....	106
Εικόνα 6.21 Τελική κατανάλωση ενέργειας ανάλογα με την περίπτωση ανακαίνισης [kWh/m <sup>2</sup> ].....	107
Εικόνα 6.22 Εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας μετά την ανακαίνιση .....	109
Εικόνα 6.23 Μηνιαία εξοικονόμηση ενέργειας μετά την ανακαίνιση.....	110
Εικόνα 6.24 Μείωση Εκπομπών CO <sub>2</sub> μετά την ανακαίνιση .....	111
Εικόνα 6.25 Χρόνος Απόσβεσης Κεφαλαίου για την επένδυση ανακαίνισης .....	112
Εικόνα 8.1 Ποσοστιαία κατανομή των Εσωτερικών Θερμικών Κερδών.....	124
Εικόνα 8.2 Μηνιαία κατανομή των εσωτερικών θερμικών κερδών.....	125
Εικόνα 8.3 Συναλλαγή θερμότητας μέσω των παραθύρων .....	125

### 9.1.3 Λοιπά αποτελέσματα από την ενεργειακή προσομοίωση του υφιστάμενου κτιρίου

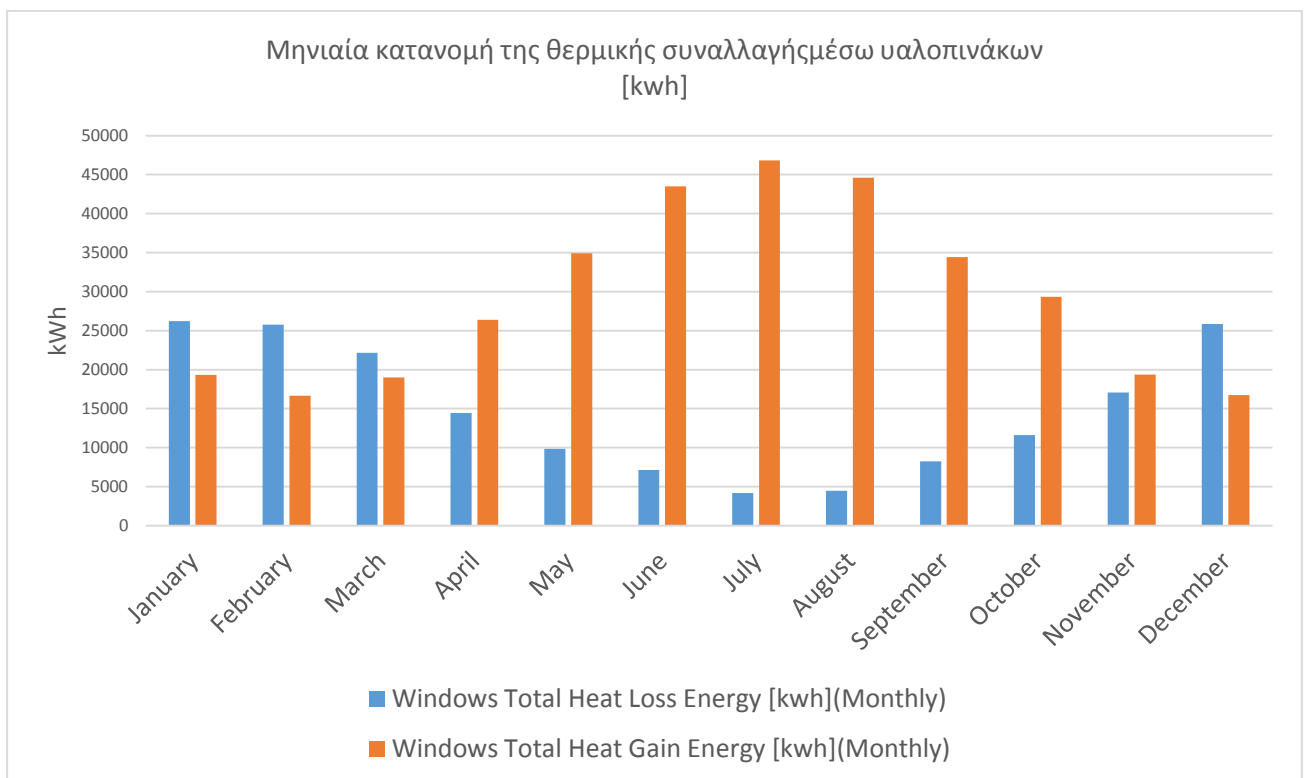


Εικόνα 9.1 Ποσοστιαία κατανομή των Εσωτερικών Θερμικών Κερδών





Εικόνα 9.2 Μηνιαία κατανομή των εσωτερικών θερμικών κερδών



Εικόνα 9.3 Συναλλαγή θερμότητας μέσω των παραθύρων

Πίνακας 9.1 Γεωμετρικά στοιχεία Υαλοπινάκων

	Total	North (315 to 45 deg)	East (45 to 135 deg)	South (135 to 225 deg)	West (225 to 315 deg)
Gross Wall Area [m <sup>2</sup> ]	6446.40	2654.40	568.80	2654.40	568.80
Above Ground Wall Area [m <sup>2</sup> ]	6446.40	2654.40	568.80	2654.40	568.80
Window Opening Area [m <sup>2</sup> ]	4232.00	2116.00	0.00	2116.00	0.00
Gross Window-Wall Ratio [%]	65.65	79.72	0.00	79.72	0.00
Above Ground Window-Wall Ratio [%]	65.65	79.72	0.00	79.72	0.00