



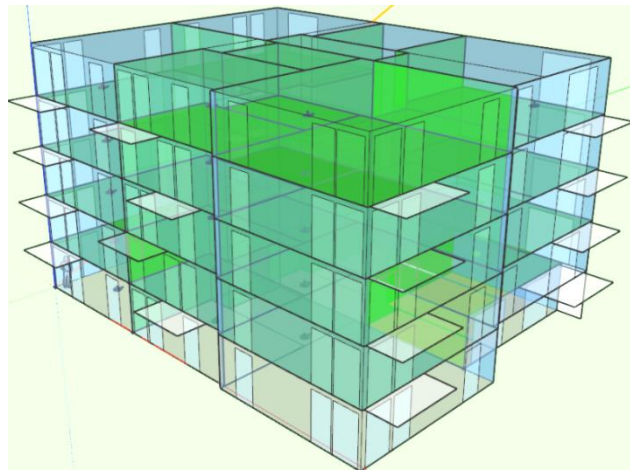
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

«Παραγωγή και Διαχείριση Ενέργειας»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Αξιολόγηση της ενεργειακής απόδοσης και βιωσιμότητας καινοτόμων συστημάτων ελαφράς τοιχοποιίας σε πολυώροφο κτίριο κατοικιών»



Του μεταπτυχιακού φοιτητή

Ζαχαρή Αντωνίου

Επιβλέπουσα

Κορωνάκη Ειρήνη, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια

Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών Ε.Μ.Π

ΑΘΗΝΑ, Φεβρουάριος 2020

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο διερεύνησης της παρούσας εργασίας αποτελεί η προσομοίωση και αξιολόγηση της ενεργειακής απόδοσης καινοτόμων συστημάτων τοιχοποιίας εφαρμοσμένων σε κτίρια κατοικίας. Τόσο η επιλογή των υλικών, συμβατικών ή και υπερμονωτικών, όσο και η διαμόρφωση ολοκληρωμένων συστημάτων τοιχοποιίας αποτελούν μια δυναμικά βιώσιμη λύση για την εφαρμογή μεθόδων εξοικονόμησης σε ευρεία κλίμακα. Δεδομένης δε της κρισιμότητας που λαμβάνει το ενεργειακό ζήτημα εν γένει, 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 πτυχές του προβλήματος που μελετά.

Σε ότι αφορά τον κτιριακό τομέα, παρατηρείται ότι τόσο σε εθνικό όσο και διεθνές-ευρωπαϊκό επίπεδο, πραγματοποιούνται αρκετές προσπάθειες να οριστεί το κατάλληλο νομικό πλαίσιο για τον περιορισμό της ενεργειακής κατανάλωσης στα κτίρια στην κατεύθυνση της βιώσιμης ανάπτυξης. Γι αυτό το λόγο στο πρώτο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας παρουσιάζονται και αναλύονται οι εγχώριες και ευρωπαϊκές νομοθεσίες που αφορούν στην ενεργειακή απόδοση κτιρίων.

Στα επόμενα κεφάλαια παρουσιάζονται οι επι μέρους πτυχές του φυσικού προβλήματος, σε ότι αφορά την τεκμηρίωση της επιλογής μελέτης των ξύλινων κατασκευών από Σταυρωτή Επικολλητή Ξυλεία (Cross-Laminated Timber, -CLT), , ενώ περιγράφεται το λογισμικό και οι οι μέθοδοι υπολογισμού που χρησιμοποιήθηκαν. Συγκεκριμένα στο κεφάλαιο 2 περιγράφονται αναλυτικά τα φυσικά φαινόμενα της μεταφοράς θερμότητας δια μέσου της τοιχοποιίας του κελύφους, οι βασικές αρχές της θερμομόνωσης ενώ παρουσιάζονται οι βασικές παράμετροι που αφορούν την μελέτη της ενεργειακής απόδοσης ενός κτιρίου. Στο 3^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά των κατασκευών από CLT, και μελετάται η απόδοσή του τόσο ως δομικό υλικό εν γένει όσο και ως υλικό υψηλής ενεργειακής απόδοσης. Στο 4^ο Κεφάλαιο περιγράφεται η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για την ενεργειακή προσομοίωση και τους υπολογισμούς σχετικά με την θερμική άνεση σε υπό εξέταση κτίριο κατοικίας.

Στα Κεφάλαια 5 και 6 πραγματοποιούνται οι υπολογισμοί, παρουσιάζεται η διαδικασία των προσομοιώσεων και καταγράφονται τα αποτελέσματα της μελέτης. Πιο συγκεκριμένα, ως αντικείμενο μελέτης περίπτωσης λαμβάνονται οι περιπτώσεις ελαφρών κατασκευών και ειδικότερα τα συστήματα τοιχοποιίας από πάνελ τύπου CLT, όπως και οι ελαφρές κατασκευές τοιχοποιίας, αποτελούμενες από προκατασκευασμένες μονάδες (modules) εφαρμοσμένες σε φέροντα οργανισμό μεταλλικών δοκών και ενισχυμένες θερμικά με μονωτικές Σανίδες Κενού (Vacuum Insulation panel- VIP). Σε κάθε μελέτη περίπτωσης τόσο η γεωμετρία όσο και τα ενεργειακά συστήματα του υπο μελέτη κτιρίου παραμένουν αμετάβλητα. Στην συνέχεια διεξάγεται παραμετρική ανάλυση με βάση την τοιχοποιία και την γεωγραφική τοποθεσία (Αθήνα/Λονδίνο) και συγκρίνονται οι επι μέρους περιπτώσεις μεταξύ τους αλλά και με κτίριο αναφοράς για τον προσδιορισμό της μεταβολής των

αναγκών σε θέρμανση, ψύξη και ζεστό νερό χρήσης (Z.N.X.), το ενεργειακό και περιβαλλοντικό αποτύπωμα της κατασκευής βασιζόμενο στις εκπομπές CO₂ καθώς επίσης και των επιδόσεων σε ότι αφορά την επίτευξη συνθηκών θερμικής άνεσης του χώρου. Τέλος, στο 7^ο κεφάλαιο επισημαίνονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων, καθώς και οι πιθανοί τομείς μελλοντικής έρευνας.

ABSTRACT

In principle, the subject of this thesis is the simulation and evaluation of the energy performance of innovative wall systems applied in residential buildings. Both the choice of materials, conventional or even insulating, and the configuration of integrated wall systems are a potentially viable solution for the application of large-scale energy saving methods in buildings. Not only due to the criticality of the energy issue in general, but also to the fact that applying energy saving methods and improving its management are its key components, any relevant study should take into account both the purely technical and the techno-economic aspects in any related case-study.

When it comes to the building sector, both at national and international level, there have been several attempts to define the appropriate legal framework to decrease the energy consumption of buildings in the direction of sustainable development. Therefore, in the first chapter of this study there is provided a state-of-the-art report on the domestic and European legislation related to the energy efficiency of buildings.

The following chapters are devoted to the presentation of the key features of heat transfer in the building shell, in terms of the documentation of the study choice of wooden structures by Cross-Laminated Timber (CLT). Furthermore, software and calculation methods are described in the same chapters. Chapter 2 includes in detail the physical properties of heat transfer in the case of the opaque masonry of the shell and the principals of thermal insulation in residential buildings. Chapter 3 provides a report on CLT constructions, and its properties as a high energy efficiency material.. Chapter 4 introduces the methodology, used for the energy simulations, and thermal comfort performance of the case-study.

Chapters 5 and 6 are the chapters in which the calculations are made and the simulations process is presented. In particular, this case examines two types of lightweight wall systems. The first type is composed of Vacuum Insulation panels (VIPs) utilized within steel framed modular construction with prefabricated façade elements and the second type consists of a typical CLT-Panel, insulated with mineral wool blanket. In both cases, the geometry and the energy systems remain the same. A parametric analysis is performed based on the wall-systems attached and the geographical location (Athens / London) as well. Additionally, the individual cases are compared with each other but also with a reference building to compare the thermal needs for heating, cooling and the domestic hot water (DHW) consumption, the energy and environmental footprint of the construction based on CO₂ emissions, as well as the performance in terms of achieving desired thermal comfort levels for the conditioned space. Finally, Chapter 7 highlights the conclusions drawn from the study and proposes possible future researches.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την καθηγήτρια κ. Μαρία Φούντη και την αν. Καθηγήτρια κ. Ειρήνη Κορωνάκη για τη δυνατότητα που μου έδωσαν να ασχοληθώ με το αντικείμενο της ενεργειακής μελέτης κτιρίων στα πλαίσια εκπόνησης της μεταπτυχιακής μου εργασίας. Ευχαριστώ επίσης τον Δρ. Ιωάννη Ατσόνιο και τον ΥΔ. Άρη Μανωλίτση, για όλες τις χρήσιμες συμβουλές, την καθοδήγηση, τον χρόνο που αφιέρωσαν και τη συμπαράστασή τους σε όλη τη διάρκεια της εκπόνησης. Ι

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

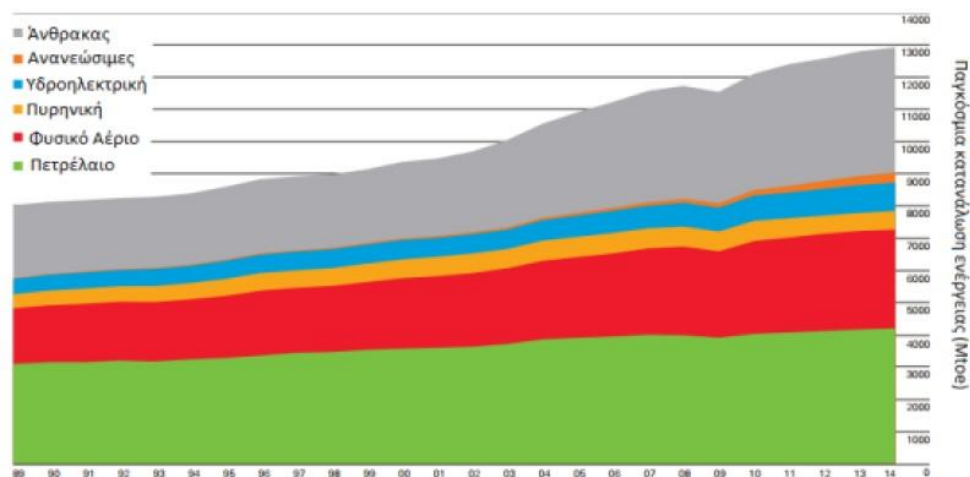
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	ii
ABSTRACT	iv
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	v
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	4
1.1 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΚΤΙΡΙΑΚΟΥ ΤΟΜΕΑ.....	5
1.1.1 Ενεργειακή κατανάλωση κτιρίων στην Ευρώπη	5
1.1.2 Ενεργειακή κατανάλωση κτιρίων στην Ελλάδα.....	7
1.2 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΤΙΡΙΩΝ	9
1.3 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΚΑΙ ΝΟΜΟΘΕΣΙΕΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΚΤΙΡΙΑΚΟ ΤΟΜΕΑ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ	10
1.3.1 Ισχύον νομοθετικό πλαίσιο	12
1.3.2 Πρόσφατες αλλαγές του νομοθετικού πλαισίου στην Ευρώπη:.....	14
1.4 ΕΘΝΙΚΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΚΤΙΡΙΑΚΟ ΤΟΜΕΑ	14
1.4.1 Ο Κανονισμός Θερμομόνωσης Κτιρίων.....	16
1.4.2 1.4.2 Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (Κ.Εν.Α.Κ.)	16
1.5 ΤΡΟΠΟΙ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΑ ΚΤΙΡΙΑ	17
1.5.1 Παθητικά συστήματα εξοικονόμησης.....	18
2 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΚΕΛΥΦΟΣ ΚΤΙΡΙΟΥ	20
2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	20
2.1.1 Μεταφορά θερμότητας σε αδιαφανή δομικά στοιχεία	22
2.1.2 Συντελεστής Θερμικής Αγωγιμότητας.....	23
2.1.3 Συντελεστής Θερμικής Διάχυσης.....	25
2.1.4 Θερμική Αντίσταση και Συντελεστής Θερμοπερατότητας αδιαφανών στοιχείων.....	26
2.1.5 Υπολογισμός Μέσου Συντελεστή Θερμοπερατότητας Δομικού Στοιχείου	28
2.1.6 Μεταφορά θερμότητας μέσω Υαλοπινάκων	29
2.2 ΘΕΡΜΟΓΕΦΥΡΕΣ.....	32
2.2.1 Κατηγορίες θερμογεφυρών	32
2.2.2 Τρόπος υπολογισμού των θερμικών απωλειών κατά μήκος Γραμμικών Θερμογεφυρών	33
2.3 ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗ.....	35
2.3.1 Συμβατικά Θερμομονωτικά Υλικά.....	36
2.3.2 Υπερμονωτικά Υλικά	38
3 ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟ ΣΤΑΥΡΩΤΗ ΕΠΙΚΟΛΛΗΤΗ ΞΥΛΕΙΑ (CROSS LAMINATED TIMBER PANELS – CLT).....	40
3.1 ΞΥΛΙΝΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ	40

3.1.1	Βασικές Ιδιότητες και πλεονεκτήματα των Ξύλινων Κατασκευών	41
3.1.2	Κατασκευαστικές μέθοδοι στις Ξύλινες Κατασκευές	42
3.2	ΤΟ CLT ΩΣ ΔΟΜΙΚΟ ΥΛΙΚΟ	42
3.2.1	Σπίτια Τύπου Πάνελ(Cross-Laminated-Timber-Panels-CLT/ Timber-Shear-Walls) 43	
3.2.2	Διαμόρφωση του πάνελ CLT	44
3.2.3	Τρόποι σύναρμογής των πάνελ CLT	45
3.2.4	Πλεονεκτήματα των κατασκευών CLT	46
3.3	ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΟΥ CLT	47
3.3.1	Θερμοφυσικές Ιδιότητες Υλικού	47
3.3.2	Επίδραση Θερμογεφυρών.....	48
4	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΚΤΙΡΙΟΥ	49
4.1	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ	49
4.2	ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΕΣΗ	50
4.3	ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ENERGYPLUS.....	54
5	ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ.....	57
5.1	ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΑΚΟΥ ΚΕΛΥΦΟΥΣ.....	57
5.1.1	Γεωμετρία Κτιριακού Κελύφους.....	57
5.1.2	Διαχωρισμός Θερμικών Ζωνών.....	62
5.1.3	Καθορισμός Οριακών Συνθηκών στις εξωτερικές επιφάνειες κάθε Θ.Ζ	63
5.1.4	Σκίαση	64
5.1.5	Διαφανή Δομικά στοιχεία Κελύφους και προσδιορισμός της Θερμοπερατότητας Υαλοπινάκων.....	66
5.2	ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΖΕΣΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΧΡΗΣΗΣ	68
5.2.1	Ιδεατό Σύστημα Κλιματισμού (ZoneHVAC: Ideal Loads AirSystem) '	68
5.2.2	Ζεστό Νερό Χρήσης (Z.N.X.).....	68
5.3	ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ	69
5.3.1	Συμβατική Τοιχοποιία	70
5.3.2	Σύστημα Τοιχοποιίας από CLT και Συμβατικά Μονωτικά Υλικά.....	79
5.3.3	Σύστημα Ελαφράς Τοιχοποιίας με Υπερμονωτικές Σανίδες Κενού (VIP)	89
5.4	ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΑΛΛΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ	95
5.4.1	Χρονοδιαγράμματα Χρήσης (Schedules).....	95
5.4.2	Εσωτερικά Θερμικά Κέρδη (Internal Gains).....	96
6	ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	99
6.1	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ.....	99
6.1.1	Μεθοδολογία υπολογισμού Κατανάλωσης Πρωτογενούς Ενέργειας	99
6.1.2	Μεθοδολογία Υπολογισμού Θερμικής Άνεσης.....	101

6.1.3	Μεθοδολογία Υπολογισμού Εκπομπών CO ₂	104
6.2	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ (U-Value) ΤΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΟΥ ΚΕΛΥΦΟΥΣ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑ	105
6.3	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΘΗΝΑ	107
6.3.1	Θερμικές Ανάγκες και Προσέγγιση της Κατανάλωσης Πρωτογενούς Ενέργειας.....	107
6.3.2	Ετήσιες Εκπομπές CO ₂ για Θέρμανση και Ψύξη	109
6.3.3	Αποτελέσματα Θερμικής Άνεσης.....	110
6.4	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΟ ΛΟΝΔΙΝΟ	112
6.4.1	Θερμικές Ανάγκες και Προσέγγιση της Κατανάλωσης Πρωτογενούς Ενέργειας.....	112
6.4.2	Ετήσιες Εκπομπές CO ₂ για Θέρμανση και Ψύξη	114
6.4.3	Αποτελέσματα Θερμικής Άνεσης.....	115
7	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ.....	118
7.1	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	118
7.2	ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	119
8	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	121
	Κατάλογος Πινάκων.....	125
	Κατάλογος Εικόνων/Διαγραμμάτων	126

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το ενεργειακό ζήτημα αναδεικνύεται στις μέρες μας σε έναν από τους καθοριστικότερους πολιτικοοικονομικούς παράγοντες παγκοσμίως. 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 αναφερθεί πως 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 [1]. Σύμφωνα με εκτιμήσεις δε, αναμένεται ότι η παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας θα αυξηθεί περίπου κατά το ένα τρίτο μέχρι το 2040[2].



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

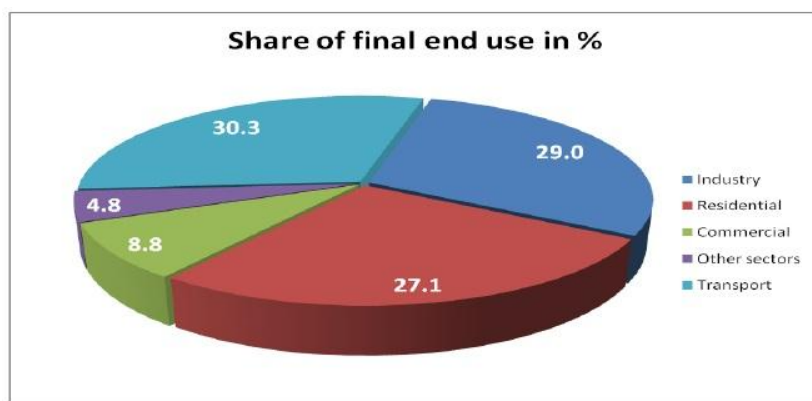
Το ζήτημα της διαμόρφωσης της σχέσης προσφοράς-ζήτησης στον ενεργειακό τομέα είναι ένα ζήτημα πολύπλοκο και πολυπαραγοντικό με σημαντικές πολιτικές προεκτάσεις. Γι αυτό άλλωστε τα θέματα που συνδέονται με την ασφάλεια και την διαφοροποίηση του ενεργειακού εφοδιασμού αποκτούν αυξανόμενη σημασία παράλληλα 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. Το σύμφωνο του Κιότο) 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 ΚΤΙΡΙΑΚΟΥ ΤΟΜΕΑ

Ο κτιριακός τόμεας αποτελεί έναν σημαντικό καταναλωτή ενέργειας, συμβάλλοντας στο συνολικό ενεργειακό αποτύπωμα με συνεχώς αυξανόμενη συμμετοχή στην συνολική παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση καθώς ήδη καταλαμβάνει το 1/3 αυτής [3].



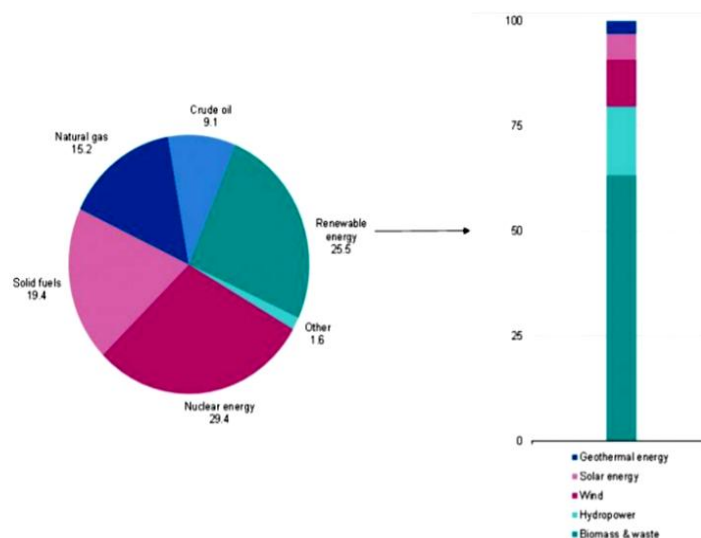
Εικόνα 1-2 Κατανομή ενεργειακών καταναλώσεων παγκοσμίως με βάση την χρήση [4]

Στοιχεία δείχνουν πως η κατανάλωση ενέργειας για ψύξη αναμένεται να αυξηθεί, σχεδόν κατά 150% σε παγκόσμιο επίπεδο μέχρι το 2050, ενώ στις αναπτυσσόμενες χώρες με θερμά κλίματα κατά 300% έως 600%. Επομένως, η ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων αναδεικνύεται σε σημαντικό θέμα της καθημερινότητας και η βελτίωση της ενεργειακής τους συμπεριφοράς σε πρωταρχικό στόχο.

1.1.1 Ενεργειακή κατανάλωση κτιρίων στην Ευρώπη

Σε ότι αφορά την κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας στην Ευρώπη, παρατηρείται πως το πετρέλαιο εξακολουθεί να αντιπροσωπεύει ένα πολύ υψηλό ποσοστό κατανάλωσης, ακολουθούμενο από το φυσικό αέριο και τον ηλεκτρισμό, ενώ τις τελευταίες δεκαετίες, αύξηση παρουσιάζει η χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε.). Συγκεκριμένα το 2014 η παραγωγή πρωτογενούς ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση ανήλθε συνολικά σε 771 εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου πετρελαίου (ΤΙΠ). Αυτό διατήρησε τη γενικά πτωτική πορεία που παρατηρούνταν τα τελευταία χρόνια, με εξαίρεση κυρίως το 2010, όταν η παραγωγή ανέκαμψε μετά τη σχετικά αισθητή μείωσή της το 2009, η οποία συνέπεσε με τη χρηματοπιστωτική και οικονομική κρίση. Το 2014 η παραγωγή πρωτογενούς ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση, εξεταζόμενη σε πιο μακροχρόνιο πλαίσιο, ήταν κατά 17,3 % χαμηλότερη απ’

ό,τι πριν από μία δεκαετία. Η γενικά πτωτική πορεία της παραγωγής πρωτογενούς ενέργειας εν μέρει αποδίδεται στην εξάντληση των πρώτων υλών και στο γεγονός ότι οι παραγωγοί θεωρούν την εκμετάλλευση περιορισμένων πόρων μη επικερδή. Το 2014, σχεδόν το ένα τέταρτο (25,5 %) της συνολικής παραγωγής πρωτογενούς ενέργειας της Ευρωπαϊκής Ένωσης αντιστοιχούσε σε Α.Π.Ε., ενώ το ποσοστό των στερεών καυσίμων (19,4 %, κυρίως άνθρακα) ήταν μόλις μικρότερο από το ένα πέμπτο, και το ποσοστό του φυσικού αερίου ήταν ελαφρώς χαμηλότερο (15,2 %). Το αργό πετρέλαιο (9,1 %) ήταν η μόνη άλλη σημαντική πηγή παραγωγής πρωτογενούς ενέργειας, όπως αποτυπώνεται και στην Εικόνα 1-3



Εικόνα 1-3 Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ΕΕ-28, 2014 (% επί του συνόλου με βάση τόνους ισοδύναμου πετρελαίου)[4]

Το ενεργειακό μίγμα που παρουσιάζεται στην Εικόνα 1-3 παρουσιάζει εμφανή βελτίωση όσον αφορά την επίτευξη των στόχων της ΕΕ αν συγκριθεί με την ιστορική εξέλιξη της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας τις προηγούμενες δεκαετίες.

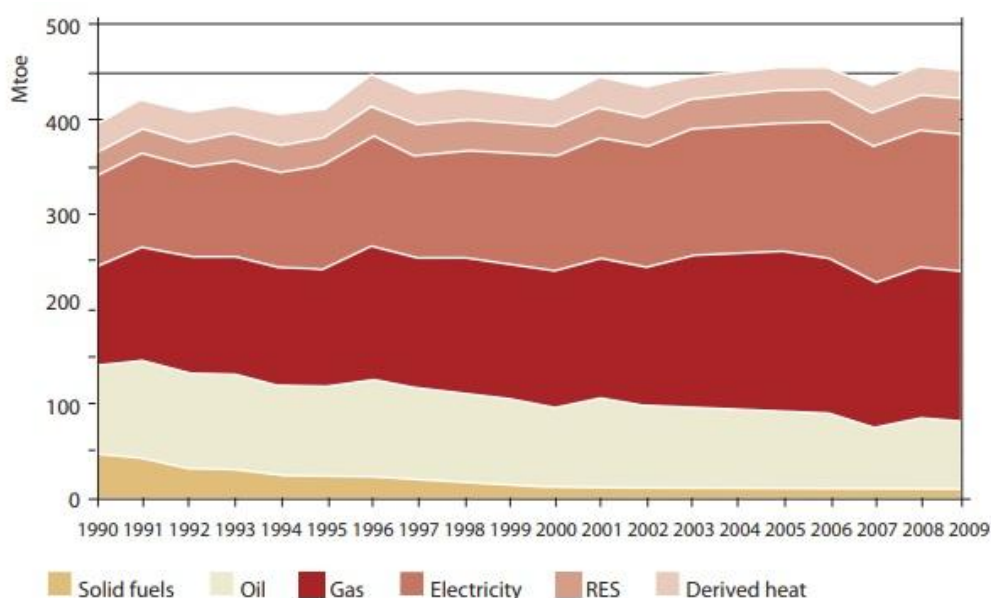
Τα κτίρια που αποτελούν τον οικιακό και τον τριτογενή τομέα στην Ευρώπη, ευθύνονται για το 38% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης καταλαμβάνοντας την πρώτη θέση σε επίπεδο κατανάλωσης και εκτοπίζοντας ακόμα και τους παραδοσιακούς μεγάλους καταναλωτές δηλαδή την βιομηχανία και τον κλάδο των μεταφορών. [3]

Στην κατανομή του υφιστάμενου κτιριακού αποθέματος με βάση την χρήση τους, τα μη οικιστικά κτίρια αντιστοιχούν στο 25% του κτιριακού αποθέματος. Η κατανομή των μη οικιστικών κτιρίων ανά κλάδο δεν είναι ομοιογενής και εξαρτάται από την οικονομική δομή των κρατών-μελών. Κατά μέσο όρο, τα μη οικιστικά κτίρια διακρίνονται σε εγκαταστάσεις λιανικού και χονδρικού εμπορίου 28%, γραφεία 23%, εκπαιδευτήρια 17%, ξενοδοχεία και εστιατόρια 11%, νοσοκομεία 7%, αθλητικές εγκαταστάσεις 4% και άλλα 11%. Τα κτίρια γραφείων έχουν επιφάνεια που αντιστοιχεί στο ένα τέταρτο του συνολικού εμβαδού των μη οικιστικών κτιρίων.

Το κτιριακό απόθεμα της ΕΕ είναι αρκετά ετερογενές και ως προς το έτος κατασκευής των υφιστάμενων κτιρίων. Ένα σημαντικό μέρος του αποθέματος είναι

άνω των 50 ετών με πολλά κτίρια που χρησιμοποιούνται σήμερα να έχουν ηλικία εκατοντάδων ετών. Πάνω από το 40% των οικιστικών κτιρίων έχουν κατασκευαστεί πριν από τη δεκαετία του 1960, όταν οι κανονισμοί για την ενεργειακή απόδοση ήταν πολύ περιορισμένοι ή και ανύπαρκτοι. Οι χώρες με τα παλαιότερα κτίρια είναι το Ηνωμένο Βασίλειο, η Δανία, η Σουηδία, η Γαλλία, η Τσεχία και η Βουλγαρία. Οι χώρες με το μεγαλύτερο ποσοστό νέων κατοικιών που χτίστηκαν μετά το 2000 είναι η Κύπρος, η Ισπανία και η Ιρλανδία. Η μέση ηλικία των υφιστάμενων κτιρίων και το ποσοστό των νέων κτιρίων επί του συνολικού αριθμού αυτών, αποτελούν τους βασικούς δείκτες ενεργειακής απόδοσης του κτιριακού αποθέματος. Όσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό των νέων κτιρίων που κατασκευάζονται με πρότυπα υψηλής ενεργειακής απόδοσης, τόσο μεγαλύτερη θα είναι η συνολική ενεργειακή απόδοση του κτιριακού αποθέματος.

Στην Εικόνα 1-4 αποτυπώνεται σε απόλυτα νούμερα η ιστορική εξέλιξη της ενεργειακής κατανάλωσης στον κτιριακό τομέα για τις ευρωπαϊκές χώρες [ΕΕ, Ελβετία, Νορβηγία] με βάση την πηγή της ενέργειας μέχρι και το 2009.



Εικόνα 1-4 Ιστορική εξέλιξη της κατανάλωσης ενέργειας στα ευρωπαϊκά κτίρια 1990-2009 [9]

1.1.2 Ενεργειακή κατανάλωση κτιρίων στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα, ο κτιριακός τομέας καταναλώνει το 67% περίπου της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας ενώ συμβάλει κατά 43% περίπου στις συνολικές εκπομπές CO₂, έχοντας κατά τον τρόπο αυτό, έντονο ενεργειακό και περιβαλλοντικό αποτύπωμα, λόγω της χρήσης πρωτογενών υλών, κατανάλωσης φυσικών, παραγωγής ρύπων και αποβλήτων.[5]

Το ελληνικό κτιριακό απόθεμα συντίθεται κυρίως από κτίρια κατοικιών και ένα αριθμό κτιρίων άλλων χρήσεων του τριτογενούς τομέα, τα οποία απογράφονται κάθε δέκα χρόνια στο σύνολο της επικράτειας. Σύμφωνα με την τελευταία απογραφή του 2011 (Μάιος 2015) της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής (ΕΛΣΤΑΤ), ο αριθμός των

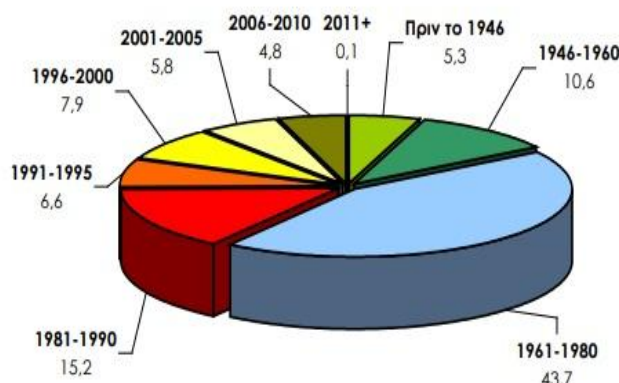
κτιρίων της χώρας είναι 4.105.637. Από το σύνολο των κτιρίων τα 3.775.848 (92%) είναι αποκλειστικής χρήσης ενώ τα 329.789 (8%) είναι μικτής. Με βάση τα στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε με την συμβολή του ΚΑΠΕ κατά την περίοδο Οκτωβρίου 2011-Σεπτεμβρίου 2012 [6] προέκυψε ότι κάθε νοικοκυριό της χώρας καταναλώνει κατά μέσο όρο 13994kWh ετησίως για την κάλυψη των ενεργειακών του αναγκών.



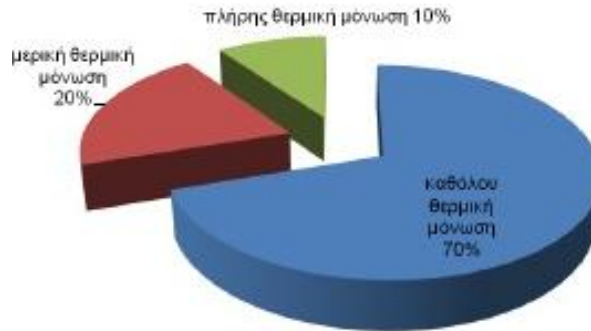
Εικόνα 1-5 Μέση ετήσια κατανάλωση ενέργειας ανά νοικοκυριό [6]

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. [7]

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 90%) 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 [8] 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 [9].

Άλλωστε τα κτίρια αποτελούν επενδύσεις έντασης 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 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ 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 αποτελούν ιδιότητα του θερμαινόμενου χώρου και είναι ανεξάρτητες από το εγκατεστημένο σύστημα κλιματισμού. 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. Οι θερμικές ανάγκες του κτιρίου δεν υπολογίζονται μόνο για τον προσδιορισμό των θερμαντικών σωμάτων του κάθε χώρου αλλά για την διαστασιολόγηση γενικότερα του ενεργειακού συστήματος ως προς την θέρμανση. Ο υπολογισμός των θερμαντικών σωμάτων περιλαμβάνεται μέσα στη διαδικασία της διαστασιολόγησης ολόκληρου του συστήματος. 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. [10]

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 του χρήση. 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.

Επομένως η μεθοδολογία του υπολογισμού των θερμικών αναγκών και αντίστοιχα η εκτίμηση της ενεργειακής απόδοσης ενός κτιρίου βασίζονται κυρίαρχα στον υπολογισμό του ισοζυγίου ενέργειας του θερμαινόμενου χώρου ή του κτιρίου που μελετάται. Επειδή όμως κατά τον υπολογισμούς πρέπει να καθοριστούν και να εκλεγούν πολλά μεγέθη, όπως π.χ. θερμοκρασίες χώρων διαφόρων χρήσεων, ποσότητες αερισμού κ.λπ., 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.

1.3 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΚΑΙ ΝΟΜΟΘΕΣΙΕΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΚΤΙΡΙΑΚΟ ΤΟΜΕΑ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχοντας αναγνωρίσει την αναγκαιότητα λήψης μέτρων στον κτιριακό τομέα, ήδη από το 1993 με την οδηγία SAVE 93/76/EOK, 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. 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. [11]

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 Α.Π.Ε.. 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 διακιωμάτων 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

1.3.1 Ισχύον νομοθετικό πλαίσιο

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

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 m².

3) Κατάρτιση εθνικών σχεδίων που θα περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων, την πρακτική εφαρμογή του ορισμού του όρου ZeroEnergyBuilding 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 500m², 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, 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. [17]

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 m² 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.

1.3.2 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 στηρίζουν 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

1.4 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 «Λήψεως 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. [13]

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 CO₂ 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 CO₂ 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 εμπειρογνομόνων ΥΠΙΑΝ (Απόρριψη σχεδίου ΚΟΧΕΕ και αντικατάσταση με τον Κανονισμό Ενεργειακής απόδοσης κτιρίων - Κ.Εν.ΝΑ.Κ.-., Σχέδιο Μητρώου Ενεργειακών Επιθεωρητών)
- Απο το 2006 και μετά έχουμε εναρμόνιση του εθνικού πλαισίου με τις Ευρωπαϊκές Οδηγίες όπως αποτυπώνεται στον Πίνακα 1-1: [12]

Πίνακας 1-1 Εναρμόνιση των Ευρωπαϊκών Οδηγιών στο Εθνικό Πλαίσιο

Ευρωπαϊκό πλαίσιο	Εθνικό πλαίσιο
2006/32/ΕΚ	2008: ΥΑ για τα δημόσια κτίρια 2008: 1 ^ο ΕΣΔΕΑ 2010: Ν.3855/2010 2011: ΥΑ για τις ESCOs 2011: 2 ^ο ΕΣΔΕΑ
2010/31/ΕΕ	2013: Ν.4122/2013 Εθνικού Σχεδίου για την αύξηση του αριθμού των κτιρίων με σχεδόν μηδενική ενεργειακή κατανάλωση 2014: Έκθεση μακροπρόθεσμης στρατηγικής για την κινητοποίηση επενδύσεων για την ανακαίνιση του κτιριακού Αποθέματος που αποτελείται από κατοικίες και εμπορικά κτίρια, δημόσια και ιδιωτικά 2014: 3 ^ο ΕΣΔΕΑ 2015: Ν.4342/2015 2017: 4 ^ο ΕΣΔΕΑ
2012/27/ΕΕ	2016: ΥΑ οικ. 188343/23.12.2016 (ΦΕΚ Β΄ 4508/30.12.2016) «Συστήματα αναγνώρισης προσόντων και πιστοποίησης Ενεργειακών ελεγκτών. Μητρώο Ενεργειακών Ελεγκτών και Αρχείο Ενεργειακών Ελέγχων». Καταργήθηκε 2017: εκδόθηκε η οικ.178679/04.07.2017 ΥΑ(ΦΕΚ Β΄ 2337) και αντικατέστησε την ΥΑ οικ. 188343/23.12.2016. Καταργήθηκε 2017: Στις 12-7-2017, ξεκίνησε η λειτουργία της ηλεκτρονικής πλατφόρμας του Μητρώου Ενεργειακών Ελεγκτών. 2018: ΥΑ οικ. 175275/22.05.2018 (ΦΕΚ Β΄ 1927/30.05.2018)

1.4.1 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 εφαρμοζόταν 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. [14]

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 εφαρμοζόταν για κάθε κτίριο προοριζόμενο για κατοικία ή παραμονής 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 ενεργειακές απαιτήσεις ως προς τη θέρμανση και την ψύξη του κτιρίου και να εξασφαλίζεται :

- 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

1.4.2 Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (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 [15].

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 εσωτερικού 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.

1.5 ΤΡΟΠΟΙ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΑ ΚΤΙΡΙΑ

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.

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:

Α) Εφαρμογή του βιοκλιματικού σχεδιασμού κτιρίων και περιβάλλοντος για την ελαχιστοποίηση των ενεργειακών τους αναγκών.

Β) Αξιοποίηση των τοπικά διαθέσιμων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την μερική ή ολική κάλυψη των ενεργειακών τους αναγκών.

Γ) Χρήση κατάλληλων συστημάτων χαμηλής ενέργειας και Η/Μ εξοπλισμού υψηλής ενεργειακής απόδοσης.

Δ) Ενεργειακή διαχείριση με κατάλληλα συστήματα στο επίπεδο της χρήσης και παραγωγής ενέργειας. [16]

1.5.1 Παθητικά συστήματα εξοικονόμησης

Τα Παθητικά Συστήματα (Π.Σ.) χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

Α) Παθητικά Ηλιακά Συστήματα Θέρμανσης (Π.Η.Σ.Θ.):

Τα Π.Η.Σ.Θ. 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 επιβάλλεται 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 επανακτινοβολία 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. [18]

Β) Παθητικά Συστήματα και Τεχνικές Φυσικού Δροσισμού:

Η λειτουργία των Π.Σ. και Τεχνικών Δροσισμού βασίζεται σε τέσσερις στρατηγικές του βιοκλιματικού σχεδιασμού:

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

Κατηγορίες Π.Σ. και τεχνικών φυσικού δροσισμού είναι οι: η Ηλιοπροστασία/Θερμική προστασία, ο φυσικός αερισμός, ο δροσισμός μέσω εδάφους, ο δροσισμός μέσω νυκτερινής ακτινοβολίας και ο εξατμιστικός 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 εισερχόμενης 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 τύπους 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.

2 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΚΕΛΥΦΟΣ ΚΤΙΡΙΟΥ

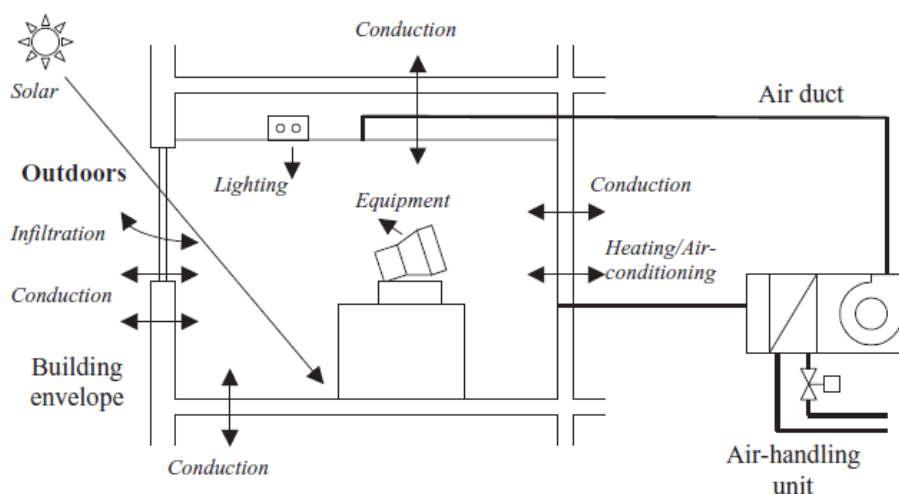
2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

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 έκλυση θερμότητας από τους ίδιους τους ενοίκους.

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

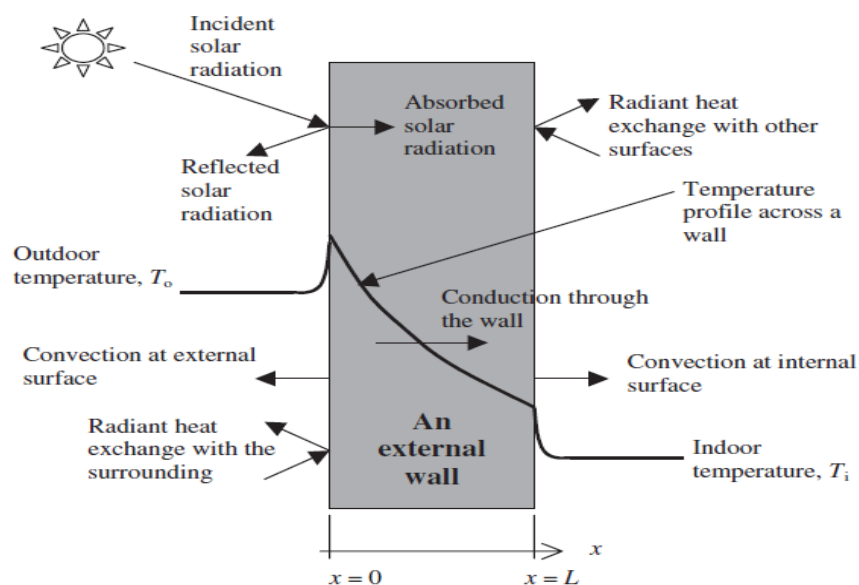
- Συναγωγή θερμότητας μέσω των εσωτερικών και εξωτερικών επιφανειών του κτιρίου (εξωτερικοί τοίχοι, οροφή, δάπεδο, εσωτερικά χωρίσματα)
- Μεταφορά θερμότητας μέσω ηλιακής ακτινοβολίας και συναγωγής μέσω των υαλοπινάκων
- Διείσδυση εξωτερικού αέρα ή αέρα από συνορεύοντες εσωτερικούς χώρους με διαφορετική 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 2-1 Ισοζύγιο ενέργειας σε τυπικό κτίριο [19]

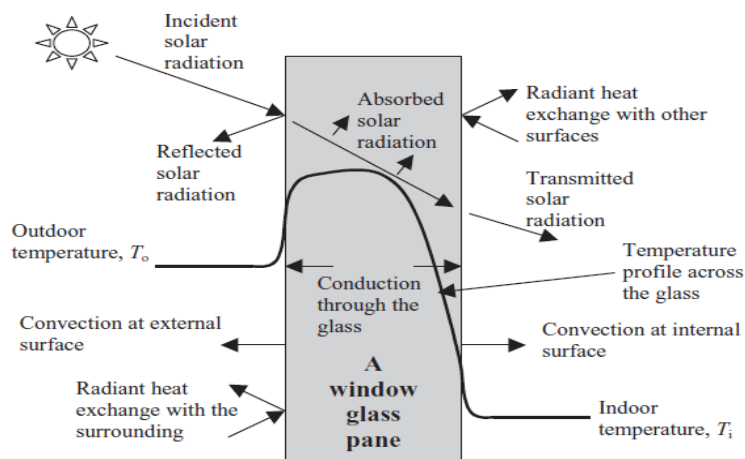
Οι βασικότερες παράμετροι που απαιτούνται για τους υπολογισμούς της ενεργειακής απόδοσης ενός κτιρίου ,σε ότι αφορά την επίδραση του κελύφους, αφορούν κυρίως στις θερμοφυσικές ιδιότητες των δομικών υλικών και στοιχείων (θερμοπερατότητα, θερμογέφυρες, θερμοχωρητικότητα κ.ά.), στη σκίαση και στον αερισμό 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 (αέρας) το οποίο βρίσκεται σε σχετική κίνηση και επαφή με αυτήν. Η μεταφορά θερμότητας μέσω ακτινοβολίας περιλαμβάνει τόσο την άμεση όσο και την διαθλώμενη.



Εικόνα 2-2 Μεταφορά θερμότητας σε αδιαφανές στοιχείο (εξωτερική τοιχοποιία)[19]

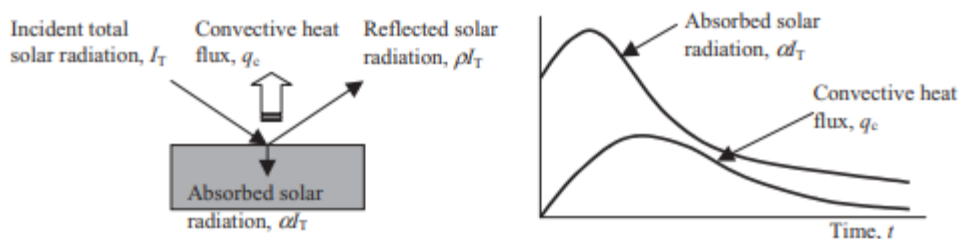
Η μεταφορά θερμότητας μέσω διαφανούς ή ημιδιαφανούς επιφάνειας ,όπως ο υαλοπίνακας της παρακάτω εικόνας, πραγματοποιείται με ανάλογο τρόπο με την διαφορά ότι μέρος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας περνάει και στον εσωτερικό χώρο. Παράλληλα, το ποσό θερμότητας το οποίο απορροφάται από τον υαλοπίνακα, αυξάνει 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 2-3 Μεταφορά θερμότητας σε ιαφανές στοιχείο (υαλοπίνακας)[19]

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 συνυπολογίζονται 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 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). Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στην θερμοχωρητικότητα των των δομικών στοιχείων του χώρου που υπόκεινται στην ακτινοβολία. [27] .



Εικόνα 2-4 Μεταφορά θερμότητας μέσω ακτινοβολίας [19]

2.1.1 Μεταφορά θερμότητας σε αδιαφανή δομικά στοιχεία

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.[20] 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..

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{c_p \rho} \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) \right] + \frac{\Phi}{c_p \rho} \quad (2.1)$$

Όπου:

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

C_p : Η ειδική θερμοχωρητικότητα υπό σταθερή πίεση

ρ : Η πυκνότητα του μέσου [kg/m^3]

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

Φ : Το ποσό θερμότητας που εκλύεται από πηγές θερμότητας στο εσωτερικό του σώματος [$\text{J}/\text{m}^3/\text{s}=\text{W}/\text{m}^3$]

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:

$$\frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\Phi}{k} \quad (2.2)$$

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

2.1.2 Συντελεστής Θερμικής Αγωγιμότητας

Ως Θερμική Αγωγιμότητα ορίζεται 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 περισσότερο 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

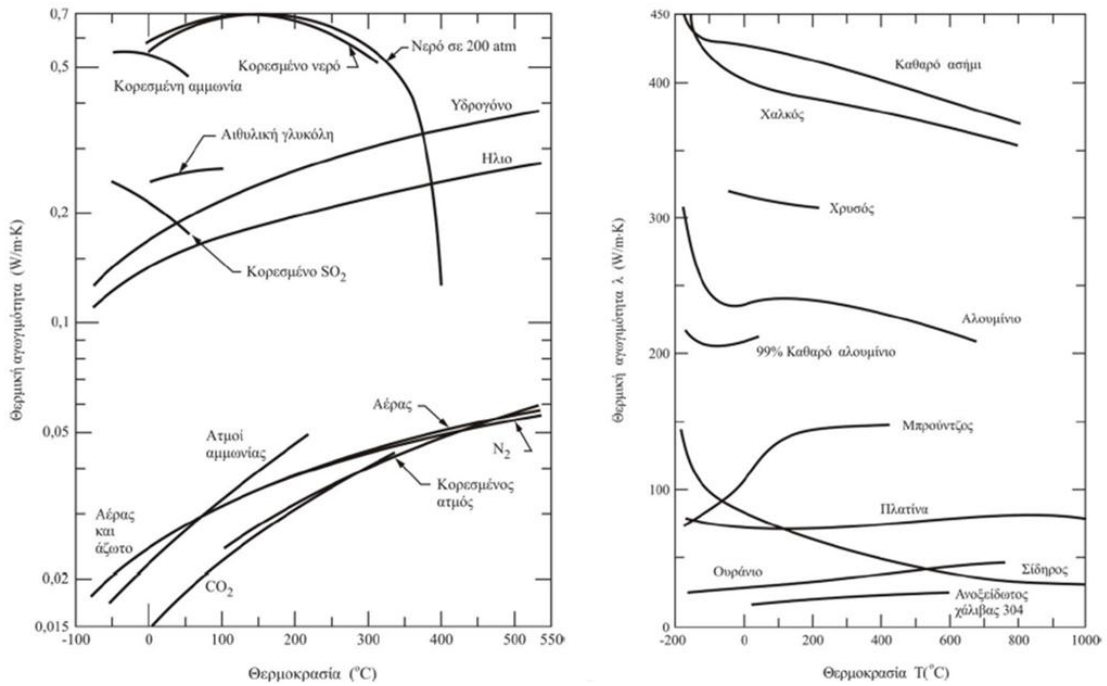
της θερμικής αγωγιμότητας και αυτής της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στα στερεά. Ροές λόγω θερμικής αγωγιμότητας συμβαίνουν στην κατεύθυνση της μείωσης της θερμοκρασίας, ενώ αντίστοιχα η ηλεκτρική αγωγιμότητα εξελίσσεται από σημεία υψηλού σε σημεία χαμηλού δυναμικού. [21]

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 λ . 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 $k=k[\mathbf{r},T(\mathbf{r},t)]$, όπου \mathbf{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 $0^{\circ}C$ και $40^{\circ}C$ η τιμή του k παραμένει σταθερή για το σίδηρο (βλ. σχήμα) αλλά σε καμία περίπτωση για το θερμοκρασιακό πεδίο $-100^{\circ}C$ και $800^{\circ}C$.



Εικόνα 2-5 Μεταβολή της θερμικής αγωγιμότητας σε στερεά, υγρά και αέρια συναρτήσει της θερμοκρασίας [19]

2.1.3 Συντελεστής Θερμικής Διάχυσης

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

$$\alpha \nabla^2 T + \Phi / \rho C = \partial T / \partial t \quad (2.3)$$

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 $m * Cp$, συναντάται συχνά σε προβλήματα μεταφοράς θερμότητας και ονομάζεται θερμική μάζα του υλικού. Η ειδική θερμοχωρητικότητα cp και η θερμοχωρητικότητα του μέσου Cp , 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 Cp , το πόσο μεγάλο ποσό ενέργειας μπορεί να αποθηκεύσει.

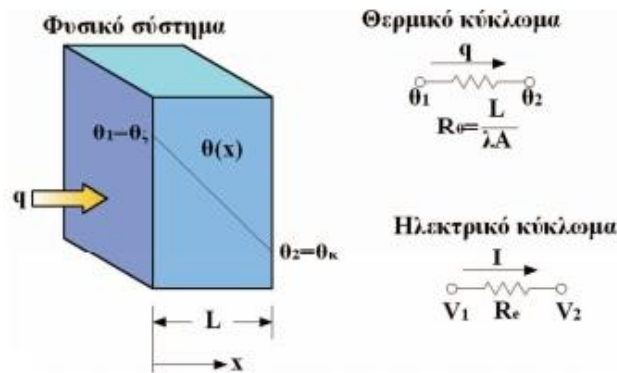
Επομένως, η θερμική διάχυση μπορεί να εκφραστεί σαν ο λόγος της θερμότητας που άγεται δια μέσου μιας μονάδας όγκου του υλικού, προς τη θερμότητα που αποθηκεύεται σε αυτό. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του, τόσο ταχύτερα διαχέεται η θερμότητα μέσα σε μια τοιχοποιία. Υψηλές τιμές του α , προκύπτουν είτε 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.

2.1.4 Θερμική Αντίσταση και Συντελεστής Θερμοπερατότητας αδιαφανών στοιχείων

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.

Για να κατανοήσουμε καλύτερα την έννοια του ηλεκτρικού αναλόγου παίρνουμε το απλό παράδειγμα της ομοιόμορφης αγωγής θερμότητας σε επίπεδο τοίχωμα όπως φαίνεται στην Εικόνα 2-6.



Εικόνα 2-6 Το ηλεκτρικό ανάλογο στην μετάδοση θερμότητας [20]

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

$$q/A = -k\partial T/\partial x \quad (2.4)$$

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:

$$\frac{q}{A} \int_0^L dx = -k \int_{\theta_{cold}}^{\theta_{hot}} dT = k/L(\theta_{hot}-\theta_{cold}) \quad (2.5)$$

Η οποία γράφεται και στην μορφή:

$$q = \frac{\Delta\theta}{R\theta} \quad (2.6)$$

Σε αυτή τη σχέση $\Delta\theta$ είναι η διαφορά μεταξύ της υψηλότερης θερμοκρασίας θ_{hot} και της χαμηλότερης θερμοκρασία θ_{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 V_1-V_2 , 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 1^0K . 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.

2.1.5 Υπολογισμός Μέσου Συντελεστή Θερμοπερατότητας Δομικού Στοιχείου

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 T.E.E.) είτε ακολουθώντας τις σχετικές οδηγίες που δίνονται από τους κανονισμούς (πχ την τεχνική οδηγία του T.E.E.). Σε περιπτώσεις κτιρίων που απαιτείται η έκδοση Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης (Π.Ε.Α.) 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 (τοιχοί, 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^2K] δίνεται από τη σχέση:

$$U_i = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{d_i}{k_i} + R_{se}} \quad (2.7)$$

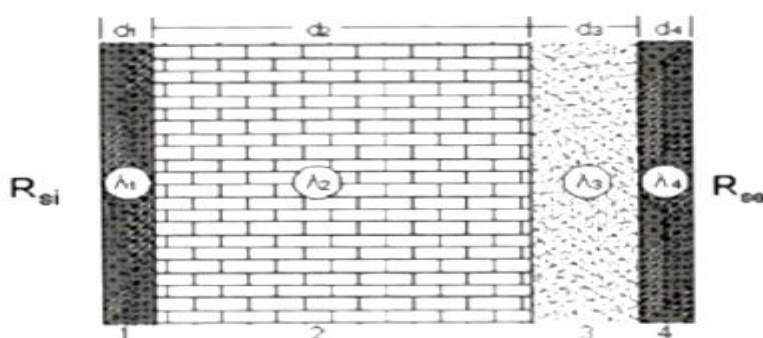
Όπου:

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

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

d_i : πάχος υλικού [m]

k_i : θερμική αγωγιμότητα υλικού



Εικόνα 2-7 Υπολογισμός ισοδύναμης θερμικής αντίστασης σε τοιχοποιία πολλαπλών στρώσεων [22]

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. [22]

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

$$U_m = \left(\sum_{i=1}^n U_i * F_i \right) / F_{total} \quad (2.8)$$

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 συνολική επιφάνεια περιβλήματος και V όγκος του κτιρίου.

2.1.6 Μεταφορά θερμότητας μέσω Υαλοπινάκων

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:

- 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 (SolarHeatGainCoefficient) του υαλοπίνακα.
- Την διείσδυση του αέρα (Infiltration): Έχουμε απώλειες και κέρδη από την ροή μάζας μέσω των χαραμάδων και των ατελειών στο πλαίσιο. 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 [22] προτείνεται η παρακάτω σχέση για τον υπολογισμό της θερμοροής μέσω παραθύρου (με την παραδοχή μηδενικής διαφοράς υγρασίας ανάντι και κατάντι του υαλοπίνακα και ελάχιστης διείσδυσης αέρα):

$$q = U_t * A_{pf} (t_{out} - t_{in}) + (SHGC_t * A_{pf} * I_t) \quad (2.9)$$

Όπου:

- q : η θερμορροή [W]
- U_t : ο ολικός συντελεστής θερμοπερατότητας [W/m^2K]
- T_{in} : η εσωτερική θερμοκρασία [K]
- T_{out} : η εξωτερική θερμοκρασία
- A_{pf} : η προβαλλόμενη επιφάνεια του υαλοπίνακα [m^2]
- $SHGC_i$: ο ολικός συντελεστής θερμικού κέρδους [αδιάστατος]
- I_t : η ολική προσπίπτουσα ακτινοβολία [W/m^2]

Ολική προσπίπτουσα ακτινοβολία σε υαλοπίνακα (I_t)

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

$$I_t = \alpha \cdot I_t + \rho \cdot I_t + \tau \cdot I_t \quad (2.10)$$

και θα ισχύει ότι

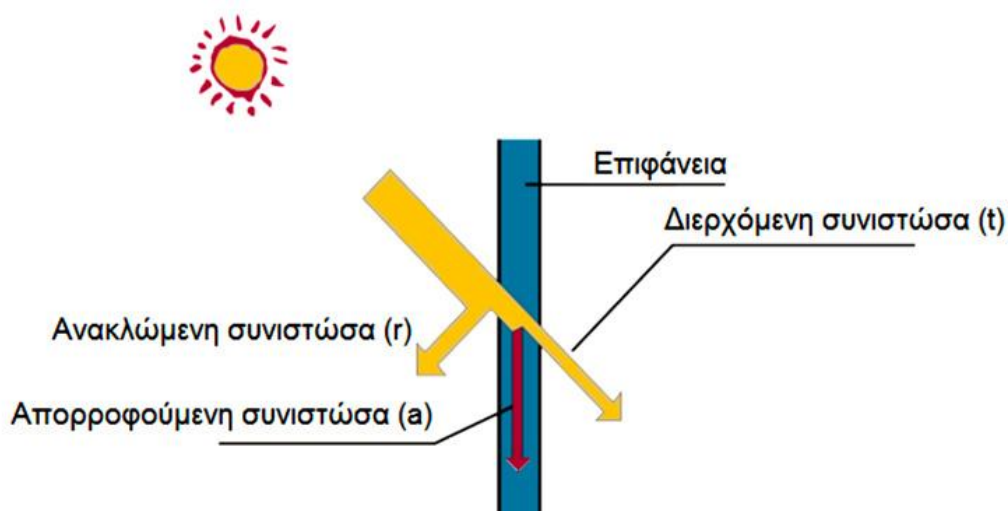
$$\alpha + \tau + \rho = 1 \quad (2.11)$$

Όπου:

- τ είναι η διαπερατότητα (transmittance) του υαλοπίνακα και αναφέρεται στο ποσοστό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας που διέρχεται από τον υαλοπίνακα
- ρ είναι η ανακλαστικότητα (reflectance) του υαλοπίνακα και αναφέρεται στο ποσοστό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας που ανακλάται από τον υαλοπίνακα
- α 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 2-8 Ποσοστό διερχόμενης και ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας από διαφανές σώμα [23]

Συντελεστής ηλιακού θερμικού κέρδους SHGC (SolarHeatGainCoefficient)

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.

Συντελεστής θερμοπερατότητας (U_t (t-total) ή U_g (g-glazing))

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

$$U_g = \frac{1}{R_{tg}} \quad (2.12)$$

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

$$R_{tg} = R_i + \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{k_j} + \sum_{j=1}^{n-1} R(\delta_j) + R_a \quad (2.13)$$

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]

2.2 ΘΕΡΜΟΓΕΦΥΡΕΣ

Θερμογέφυρες ονομάζονται οι θέσεις στο κέλυφος του κτιρίου, στις οποίες εμφανίζεται σε σχέση με τις γειτονικές τους διαφοροποίηση στη θερμική αντίσταση των δομικών στοιχείων είτε λόγω ασυνέχειας της στρώσης θερμομόνωσης είτε λόγω διαφοροποίησης του υλικού κατά μήκος του δομικού στοιχείου είτε λόγω αλλαγής της γεωμετρίας της διατομής. Σ' αυτές τις θέσεις παρατηρείται μεταβολή στη ροή θερμότητας και στην εσωτερική επιφανειακή θερμοκρασία σε σχέση με τις γειτονικές τους .

Η επίδρασή τους στη συνολική συμπεριφορά του κτιρίου θεωρείται σημαντική, καθώς επηρεάζουν καθοριστικά την ενεργειακή του κατανάλωση. Ενδεικτικά, αναφέρεται το ποσοστό αύξησης των ενεργειακών απωλειών του κτιριακού κελύφους, το οποίο ανέρχεται στο 5-30%. Το συγκεκριμένο εύρος εξαρτάται από παράγοντες, όπως το μέγεθος του κτιρίου, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του, τα αρχιτεκτονικά στοιχεία του και κατ' επέκταση το πλήθος των εμφανιζόμενων θερμογεφυρών.

Αν και η πλήρης εξάλειψη των θερμογεφυρών είναι πρακτικά αδύνατη, η παρουσία τους οδηγεί σε μία σειρά προβλημάτων. Τέτοια παραδείγματα είναι η μείωση της αίσθησης θερμικής άνεσης στο εσωτερικό του χώρου και η επιφανειακή συμπύκνωση των υδρατμών όταν η επιφανειακή θερμοκρασία των δομικών στοιχείων φτάσει σε τιμή χαμηλότερη από τη θερμοκρασία δρόσου. Στην τελευταία περίπτωση, αν οι συμπυκνωμένοι υδρατμοί έρθουν σε επαφή με μη αδιαβροχοποιημένες επιφάνειες, επικάθονται στα δομικά στοιχεία και στη συνέχεια τα εμποτίζουν με την υγρασία τους. Το επόμενο στάδιο είναι η ανάπτυξη μούχλας ή ο σχηματισμός σκούρων τμημάτων στους τοίχους, διότι η σκόνη και οι διάφοροι ρύποι του ατμοσφαιρικού αέρα κολλούν επάνω στα εμποτισμένα σημεία .

2.2.1 Κατηγορίες θερμογεφυρών

Οι θερμογέφυρες διακρίνονται σε:

- σημειακές θερμογέφυρες (point thermal bridge)
- γραμμικές θερμογέφυρες (linear thermal bridge)

Οι γραμμικές θερμογέφυρες έχουν ομοιόμορφη διατομή κατά μία διάσταση και οφείλονται στη δημιουργία θέσεων, στις οποίες η ροή θερμότητας παρουσιάζει έντονα δισδιάστατη φύση και η παραδοχή της μονοδιάστατης ροής θερμότητας παύει να ισχύει. Οι σημειακές θερμογέφυρες εμφανίζονται στις ενώσεις των γραμμικών θερμογεφυρών, στις οποίες η ροή θερμότητας έχει τρισδιάστατη φύση. Οι σημειακές θερμογέφυρες δεν έχουν καμία διάσταση, ενώ η επίδρασή τους στις θερμικές ανταλλαγές θεωρείται πρακτικά αμελητέα· γι' αυτό και δεν λαμβάνονται υπόψη στους υπολογισμούς. Αντιθέτως, οι γραμμικές θερμογέφυρες λαμβάνονται υπόψη και συγκριτικά με τις σημειακές έχουν μεγαλύτερη επίδραση στη θερμική συμπεριφορά του κελύφους. [24] Ως προς τις αιτίες δημιουργίας τους οι γραμμικές θερμογέφυρες διακρίνονται σε τρεις τύπους:

- στις γεωμετρικές,
- στις κατασκευαστικές,
- σε συνδυασμό των δύο παραπάνω τύπων

Οι γεωμετρικές θερμογέφυρες δημιουργούνται σε θέσεις, στις οποίες η βασική γεωμετρία του δομικού στοιχείου παύει να είναι γραμμική, π.χ. στη θέση κάθετης τομής δύο εξωτερικών δομικών στοιχείων με τη συνέχεια της θερμομόνωσης να μην διακόπτεται (γωνία). Σ' αυτή την περίπτωση, επειδή η συνολική εξωτερική επιφάνεια των δομικών στοιχείων διαφέρει από την εσωτερική, αναπτύσσονται έντονα φαινόμενα δισδιάστατης ροής θερμότητας. Αναλόγως, αν χρησιμοποιούνται εσωτερικές ή εξωτερικές διαστάσεις για τους υπολογισμούς των θερμικών ροών, η τιμή του γραμμικού συντελεστή της συγκεκριμένης θερμογέφυρας διαφοροποιείται. Στην περίπτωση χρήσης εσωτερικών διαστάσεων λαμβάνει θετικές τιμές, ενώ στην περίπτωση χρήσης εξωτερικών διαστάσεων λαμβάνει αρνητικές, λειτουργώντας στην ουσία ως διόρθωση στους υπολογισμούς των ροών θερμότητας με παραδοχή μονοδιάστατης ροής.

Οι κατασκευαστικές θερμογέφυρες δημιουργούνται σε θέσεις, στις οποίες υπάρχει ασυνέχεια του θερμομονωτικού υλικού, π.χ. στις θέσεις ένωσης δοκού με εξωτερική θερμομόνωση και τοιχοποιίας με θερμομόνωση στον πυρήνα. Σ' αυτή την περίπτωση αναπτύσσεται έντονη δισδιάστατη ροή θερμότητας στην περιοχή της ασυνέχειας, η οποία οδηγεί σε αυξημένες θερμικές απώλειες και μείωση της εσωτερικής επιφανειακής θερμοκρασίας. Σ' αυτές τις θερμογέφυρες η τιμή του γραμμικού συντελεστή θερμοπερατότητας είναι πάντα θετική. [24]

2.2.2 Τρόπος υπολογισμού των θερμικών απωλειών κατά μήκος Γραμμικών Θερμογεφυρών

Στόχος είναι να υπολογισθούν οι θερμικές απώλειες κατά μήκος της κάθε θερμογέφυρας. Για τον υπολογισμό τους απαιτούνται:

- ο κάθε τύπος θερμογέφυρας, ο οποίος εκφράζεται με ένα συντελεστή γραμμικής θερμοπερατότητας Ψ , μετρούμενο σε $W/(m \cdot K)$ και
- το συνολικό μήκος του κάθε τύπου θερμογέφυρας l , που αναπτύσσεται στο περίβλημα του κτιρίου, μετρούμενο σε m .

Οι θερμικές απώλειες κατά μήκος μιας θερμογέφυρας ορίζονται από το γινόμενο:

Επομένως για κάθε περίπτωση θερμογέφυρας θα πρέπει να προσδιοριστεί είτε πειραματικά είτε υπολογιστικά ο συντελεστής γραμμικής θερμοπερατότητας Ψ . Για το σκοπό αυτό έχουν αναπτυχθεί μία σειρά εργαλείων τα οποία χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες γεωμετρικών μοντέλων: τα δισδιάστατα (2-D) και τα τρισδιάστατα (3-D). Στηριζόμενοι στα μοντέλα αυτά έχουν διαμορφωθεί και οι επιμέρους εθνικοί κανονισμοί και τα πρότυπα πάνω στα οποία στηρίζονται οι μελετητές όταν είναι αδύνατος ο πειραματικός ή ο *en situ* προσδιορισμός των θερμικών απωλειών λόγω θερμογεφυρών. (Στην Ελλάδα το αντίστοιχο πρότυπο περιγράφεται από τον Κ.ΕΝ.Α.Κ και τις οδηγίες TOTEE_20701-2) [25]

Τα δισδιάστατα (2-D) μοντέλα βασίζονται στη γραμμική μετάδοση θερμότητας που πραγματοποιείται κατά μήκος της ομοιόμορφης επίπεδης διατομής του εξεταζόμενου δομικού στοιχείου ή του τμήματος του δομικού στοιχείου.

Τα τρισδιάστατα μοντέλα (3-D) παρουσιάζουν μεγαλύτερη πολυπλοκότητα. Βασίζονται στο συνδυασμό γραμμικής και σημειακής μετάδοσης θερμότητας που πραγματοποιείται δια μέσου μιας τρισδιάστατης τομής του εξεταζόμενου τμήματος του κελύφους. Η συγκεκριμένη τομή συντίθεται αφενός από τα στοιχεία σταθερής διατομής που προκύπτουν ως επιμέρους τομές της αρχικής τομής, κάθετες προς τουλάχιστον έναν άξονα, και αφετέρου από το κεντρικό στοιχείο που διαμορφώνεται τελικά ως το τμήμα του αρχικού στοιχείου που περισσεύει από τις προηγούμενες τομές. Από το πρώτο σκέλος της παραπάνω τομής θεωρείται ότι γίνεται η γραμμική μετάδοση θερμότητας και από το δεύτερο η σημειακή. Λόγω της πολυπλοκότητας των τρισδιάστατων μοντέλων (3-D), αυτά συχνά μελετώνται ως δισδιάστατα (2-D) μοντέλα, τα οποία αποτελούνται από διατομές δύο διαστάσεων για κάθε ένα από τα επίπεδα της εξεταζόμενης τομής.

Για τις γραμμικές θερμογέφυρες χρησιμοποιούνται κυρίως τα δισδιάστατα (2-D) μοντέλα ενώ για τη μελέτη των σημειακών θερμογεφυρών είναι απαραίτητη η ανάπτυξη τρισδιάστατων (3-D) μοντέλων, τα οποία οδηγούν σε δύσκολη προσομοίωση και απαιτητικούς υπολογισμούς.

Καθώς, όμως, η συνεισφορά των υπολογισμών των σημειακών θερμογεφυρών στη συνολική προσομοίωση των θερμογεφυρών ενός κτιρίου θεωρείται αμελητέα, στο πλαίσιο αυτής της διπλωματικής εργασίας θα μελετηθούν μόνο οι γραμμικές θερμογέφυρες με τους εξής τρεις τρόπους:

- Με χρήση του προτύπου του Κ.ΕΝ.Α.Κ και των οδηγιών TOTEE-20701_2 για την περίπτωση συμβατικής τοιχοποιίας
- Με χρήση των αποτελεσμάτων υπολογιστικής προσομοίωσης με αριθμητικές μεθόδους για την περίπτωση των γραμμικών και σημειακών θερμικών γεφυρών σε προκατασκευασμένη ελαφρά τοιχοποιία με ενίσχυση θερμομονωτικών σανίδων κενού (VIP).
- Με εφαρμογή κατάλληλων συντελεστών όπως προκύπτουν από πειραματικές μετρήσεις για την περίπτωση της τοιχοποιίας από σταυρωτή επικολλητή ξυλεία (CLT).

2.3 ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗ

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 ώορητικότητας να αποφεύγονται οι θερμογέφυρες (αμόνωτα ή περιορισμένης μονωτικής ικανότητας στοιχεία του κελύφους), οι οποίες μπορεί να δημιουργήσουν «ευαίσθητα» σημεία στην οικοδομή, ακόμα και συμπίκνωση 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. [26]

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 υπάρξη πόρων (μικρών κυψελίδων εκγλωβισμένου 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) [27]

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 φαινομένου βάρους, δηλαδή διακρίνονται σε βαριά (πχ ελαφρό σκυρόδεμα με φαινόμενο ειδικό βάρος ανάμεσα σε 400 και 800 kg/m³) και σε ελαφρά (πχ υαλοβάμβακας φαινομένου ειδικού βάρους 120 kg/m³)

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

2.3.1 Συμβατικά Θερμομονωτικά Υλικά

Πετροβάμβακας (Mineral Wool): Ο πετροβάμβακας είναι ένα ινώδες μονωτικό υλικό, το οποίο χρησιμοποιείται κυρίως στην βιομηχανία αλλά συναντάται συχνά και στην θερμομόνωση κτιρίων του τριτογενούς τομέα και των κατοικιών. Κύριες χρήσεις του είναι η ηχομόνωση και η θερμομόνωση. Αποτελείται από ίνες οξειδίου πυριτίου-αλουμινίου ενώ οι κύριες χημικές ενώσεις που συναντώνται στις διάφορες παραλλαγές του είναι τα οξείδια του πυριτίου, του αλουμινίου, του ασβεστίου, του μαγνησίου και του σιδήρου. Ο πετροβάμβακας παράγεται με τρόπο παρόμοιο με άλλα ινώδη μονωτικά υλικά, όπως λόγω χάρη ο υαλοβάμβακας που είναι πιο διαδεδομένος, αλλά σαν πρώτη ύλη χρησιμοποιείται βασάλτης και σκωρία. Τα δυο αυτά υλικά λιώνουν σε κλίβανο στους 1300°C με 1500°C. Τα σταγονίδια του λιωμένου υλικού περιστρέφονται δημιουργώντας ίνες του υλικού. Στις παραγόμενες ίνες προστίθενται συνδετικά υλικά και το προϊόν μπαίνει σε ειδικούς φούρνους για να αποκτήσει σκληρότητα. [54]

Μεταξύ των πλεονεκτημάτων του αναφέρουμε ότι:

- Ο πετροβάμβακας είναι ένα υλικό που αντέχει στην υγρασία. Διατηρεί τις μονωτικές του ιδιότητες ακόμα και όταν βραχεί.
- Έχει άριστες θερμομονωτικές ιδιότητες και χρησιμοποιείται στην θερμομόνωση των κτιρίων αλλά και δικτύων σωληνώσεων υψηλών θερμοκρασιών. Επίσης χρησιμοποιείται και την θερμομόνωση μηχανολογικού εξοπλισμού όπου αναπτύσσονται υψηλές θερμοκρασίες όπως λέβητες, δοχεία παραγωγής κ.α.

- Έχει την ιδιότητα να σταματά τον ήχο και χρησιμοποιείται κατά κόρον στο εσωτερικό των κτιρίων για ηχομόνωση.
- Είναι άκαυστος μέχρι και 1000°C. Η μόνωση με πετροβάμβακα πολλές φορές λειτουργεί και σαν πυροφραγή καθυστερώντας την εξάπλωση της φωτιάς, δίνοντας έτσι χρόνο στην πυροσβεστική να ελέγξει την πυρκαγιά.

Ενώ ένα βασικό μειονέκτημα που παρουσιάζει είναι η επικινδυνότητα του υλικού καθώς κατά την φάση της κατασκευής μικρές ίνες του υλικού αποκολλούνται και μπορεί να προσκολληθούν στο δέρμα και να εισέρθουν στους πνεύμονες ενώ σε περίπτωση εισπνοής των ινών του πετροβάμβακα μπορεί να δημιουργήσουν αναπνευστικά προβλήματα – ασθένεια του πνεύμονα.



Εικόνα 2-9 Πάπλωμα πετροβάμβακα [55]

Διογκωμένη πολυστερίνη (EPS): Η Διογκωμένη πολυστερίνη ή EPS (Expanded Polystyrene) ή αϊρπορ ή όπως είναι γνωστή στην Ελλάδα «φελιζόλ», είναι ένα υλικό, από τα πλέον διαδεδομένα διεθνώς, που χρησιμοποιείται στην κατασκευαστική βιομηχανία από τα θεμέλια ως την οροφή. Πρόκειται για ένα ελαφρύ δύσκαμπτο μονωτικό υλικό πλαστικού αφρού, το οποίο παράγεται από συμπαγείς κόκκους πολυστερίνης. Λόγω του ότι αποτελείται κατά 98% από αέρα, τα τελευταία χρόνια έχει καθιερωθεί πανευρωπαϊκά ο όρος αϊρπορ για τη διογκωμένη πολυστερίνη. [56]

Τα προϊόντα διογκωμένης πολυστερίνης EPS μεταξύ άλλων:

- Προσφέρουν άριστες θερμομονωτικές ιδιότητες ενώ ταυτόχρονα έχουν πολύ μικρό ίδιο βάρος καθώς αποτελούνται από 98% εγκλωβισμένο αέρα.
- Έχουν δομική σταθερότητα και δεν αποσυντίθενται. Τεστ αντοχής στο EPS για 30 περίπου χρόνια χρήσης κάτω από το έδαφος έδειξαν πως συνεχώς υπερέβαινε το ελάχιστο απαιτούμενο όριο των 100 kPa. EPS που χρησιμοποιήθηκε στα θεμέλια γέφυρας και είχε υποστεί καταπονήσεις για περίπου 40 χρόνια έδειξε μια παραμόρφωση λιγότερη από 1,3%. Η σταθερότητα του EPS δεν επηρεάζεται με την πάροδο του χρόνου.
- Παρουσιάζουν μικρές τιμές στον συντελεστή αντίστασης στη διάχυση υδρατμών μ , και έχουν την ιδιότητα να "αναπνέουν" αποτρέποντας το φαινόμενο σχηματισμού συμπύκνωσης υδρατμών.
- Συνεργάζονται άριστα με τα περισσότερα οικοδομικά υλικά (τσιμέντο, γύψος, ανυδρίτης, οργανικά και ανόργανα κονιάματα).

- Μπορούν να συμβάλλουν στην ακουστική μόνωση τόσο των αερόφερτων όσο και των κτυπογενών ήχων.
- Παράγονται για κτιριακές χρήσεις ως αυτοσβενήμενα (self-extinguishing SE) καθώς περιέχουν στη μάζα τους επιβραδυντή καύσης.
- Προσφέρουν άριστη αναλογία τιμής- απόδοσης και συμφέρουν οικονομικά.
- Είναι πλήρως ανακυκλώσιμα και φιλικά προς το περιβάλλον.



Εικόνα 2-10 Εφαρμογή πλακών διογκωμένης πολυστερίνης EPS(με λευκό χρώμα) σε δάπεδο[57]

2.3.2 Υπερμονωτικά Υλικά

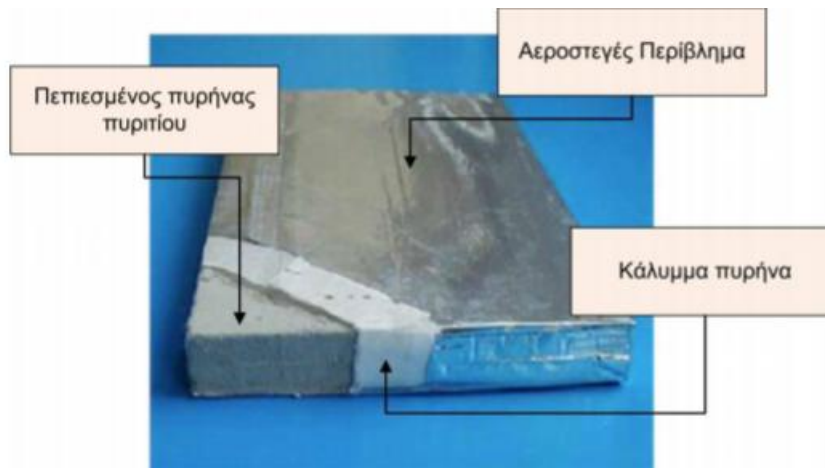
Πρόκειται για μονωτικά υλικά νέας γενιάς τα οποία φέρουν την ονομασία υπερμονωτικά υλικά-SIM (super insulation materials) και τα οποία παρουσιάζουν θερμική αγωγιμότητα μικρότερη από αυτή του ακίνητου αέρα (0.025W/mK) σε κανονικές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας . [58]

Μονωτικές Σανίδες Κενού (VIP-panels): Οι μονωτικές σανίδες κενού ή μονωτικά panels (Vacuum Insulation Panels - VIP) ανήκουν στην κατηγορία των υπερμονωτικών υλικών (Super Insulation Materials - SIM). Η θερμική τους αγωγιμότητα είναι 5-10 φορές μικρότερη από αυτή των συμβατικών μονωτικών ($\lambda =$

$0,004 - 0,008\text{W/mK}$), επομένως, η απόδοσή τους σε υφιστάμενα κτίρια θα μπορούσε να συγκριθεί με αυτή των κτιρίων μηδενικής κατανάλωσης. Ως αποτέλεσμα, τα απαιτούμενα πάχη του υλικού είναι πολύ μικρότερα από τη συμβατική μόνωση, ενδεικτικά 25mm μονωτικού panel έχει παρόμοια απόδοση με 120mm εξηλασμένης πολυστερίνης. Αποτελούνται από έναν πορώδη πυρήνα που εισάγεται σε μία πλήρως υδατοστεγή και αεροστεγή μεμβράνη. Για τον πυρήνα χρησιμοποιείται αερογέλη, αφρός πολυουρεθάνης και υαλονήματα, ενώ η μεμβράνη είναι τριστρωματική έχοντας αεροστεγής στρώση, στρώση φραγμού και στρώση προστασίας [59].

Μειονεκτήματα των VIPs είναι το υψηλό κόστος παραγωγής (για το λόγο αυτό, έχουν εφαρμοστεί σε κτίρια σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας), καθώς και το γεγονός ότι στη διάρκεια του χρόνου μεταβάλλεται ο συντελεστής λ του πυρήνα αυξάνοντας τη θερμική αγωγιμότητα . Άλλο μειονέκτημα των VIPs είναι ότι χάνουν μεγάλο μέρος της θερμικής τους αγωγιμότητας, όταν υποβληθούν σε διάτρηση,

συνεπώς δε μπορούν να κοπούν για να προσαρμοστούν στις ιδιαίτερες διαστάσεις των τοίχων .



Εικόνα 2-11 VIP σε τομή [32]

3 ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟ ΣΤΑΥΡΩΤΗ ΕΠΙΚΟΛΛΗΤΗ ΞΥΛΕΙΑ (CROSS LAMINATED TIMBER PANELS – CLT)

3.1 ΞΥΛΙΝΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

Το ξύλο και η ξύλινη κατασκευή, μαζί με την πέτρα και τον πηλό, απετέλεσαν τους βασικούς συντελεστές της ανθρώπινης δομικής δραστηριότητας για πολλές χιλιάδες χρόνια. Ωστόσο, η ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας δομικών υλικών που ακολούθησε την μεγάλη ανάπτυξη του κλάδου των κατασκευών κατά τις πρώτες δεκαετίες του 20^{ου} αιώνα οδήγησε σταδιακά στην υποκτάσταση των παραδοσιακών κατασκευαστικών υλικών (πλίνθοι, ξύλο κ.α) από άλλα ανθεκτικότερα και οικονομικά αποδοτικότερα σε ότι αφορά την παραγωγή-επεξεργασία-διανομή(σκυρόδεμα, ασφάλι, αλουμίνιο κ.α). Κατά την περίοδο αυτή, οι ξύλινες κατασκευές κτιρίων κατοικίας στην Ευρώπη και την Β. Αμερική περιορίστηκαν δραστικά με εξαιρέσεις κυρίως σε επαρχιακές πόλεις και σε σεισμογενείς περιοχές ,λόγω των αντισεισμικών ιδιοτήτων των ελαφρύτερων ξύλινων κατασκευών.

Ιδιαίτερα σε ότι αφορά τα κτίρια κατοικίας στα αστικά κέντρα του αναπτυσσόμενου δυτικού κόσμου, ο περιορισμός των ξύλινων κατοικιών ήταν δραστικός με το τσιμέντο να κυριαρχεί. Στις μέρες μας όμως η παγκόσμια παραγωγή τσιμέντου, ευθύνεται για το 5% των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα ετησίως, ποσοστό το οποίο ξεπερνά αυτό που αντιστοιχεί στις αερομεταφορές. Οι προβλέψεις μιλούν για διπλασιασμό στις παραγωγές τσιμέντου μέσα στις δύο επόμενες δεκαετίες, κάτι που σημαίνει και μεγαλύτερη επιβάρυνση στο κλίμα. Η αναζήτηση νέων φυσικών και οικολογικών υλικών οφείλει να αποτελέσει επομένως πρώτη προτεραιότητα για την χάραξη μιας οικολογικά βιώσιμης στρατηγικής στον κατασκευαστικό κλάδο.

Κατά τα τελευταία χρόνια, παρατηρείται μια ολοένα αυξανόμενη τάση αναβίωσης των ξύλινων κατασκευών κατοικίας, τόσο χάρη στην περιβαλλοντική ευαισθητοποίηση όσο και στο αυξημένο ενδιαφέρον γύρω από τις παραδοσιακές μεθόδους κατασκευής. Οι κατασκευαστικές προδιαγραφές γίνονται πιο φιλικές στο περιβάλλον και τους ανθρώπους για τους οποίους προορίζονται. Έτσι, καθώς η άνεση, η επιθυμία για καλύτερη ποιότητα ζωής και η επιστροφή σε ένα πιο φυσικό περιβάλλον αποτελεί ανάγκη για ανθρώπους που αναζητούν έναν απλό και υγιεινό τρόπο ζωής, όλο και περισσότεροι άνθρωποι καταλήγουν στην ίδια λύση: “ξύλινες κατοικίες”. Τα οικοδομήματα από ξύλο ακολουθούν τους ίδιους κανονισμούς με τους οποίους κτίζονται και όλα τα υπόλοιπα. Για την Ευρώπη οι κανονισμοί αυτοί ονομάζονται Ευρωκώδικες. Οι Ευρωκώδικες, συμπεριλαμβάνουν το ξύλο ισότιμα με τον χάλυβα και το οπλισμένο σκυρόδεμα, ως υλικό σχεδιασμού φορέων, για την αντιμετώπιση στατικών δυναμικών ή και θερμικών φορτίων.

3.1.1 Βασικές Ιδιότητες και πλεονεκτήματα των Ξύλινων Κατασκευών

Μεταξύ των κύριων πλεονεκτημάτων των ξύλινων κατασκευών διακρίνουμε τα εξής:

Ανθεκτικότητα: Η περιεκτικότητα του ξύλου σε υγρασία είναι ο σημαντικότερος παράγοντας που επηρεάζει την ανθεκτικότητα του. Εάν η περιεκτικότητα σε υγρασία του ξύλου είναι μικρότερη από 20% δεν υπάρχει περίπτωση να αναπτυχθούν μύκητες στο ξύλο. Η περιεκτικότητα του ξύλου σε υγρασία υπερβαίνει αυτό το ποσοστό μόνον όταν η σχετική υγρασία του αέρα έχει παραμείνει άνω του 85% για μια μεγάλη χρονική περίοδο.

Αντοχή στο χρόνο: Το ξύλο έχει μεγάλη διάρκεια ζωής, δεν θα θεωρούμασταν υπερβολικοί αν αναφέραμε ότι ο χρόνος ζωής μιας ξύλινης κατοικίας μπορεί να ξεπεράσει τους τρεις αιώνες, ενώ ο ελάχιστος χρόνος ζωής καθορίζεται περίπου στα 100 χρόνια, σχεδόν διπλάσιος χρόνος από αυτόν μιας συμβατικής κατοικίας

Οικολογία: Εκτός από την ενέργεια για την λειτουργία των κατοικιών και δημοσίων κτιρίων, στην Ευρώπη υπολογίζεται πλέον και η ενέργεια που καταναλίσκεται για την κατασκευή τους (αποτύπωμα άνθρακα). Το ξύλο ως δομικό υλικό απαιτεί για την επεξεργασία του την λιγότερη δυνατή ενέργεια σε σύγκριση με όλα τα άλλα δομικά υλικά, επομένως έχει το χαμηλότερο αποτύπωμα άνθρακα (CO₂).

Αντισεισμικότητα: Κάθε ξύλινη κατασκευή παρέχει μεγάλες αντοχές με σχετικά μικρό ίδιο βάρος και συμπεριφέρεται εξαιρετικά σε σεισμικές καταπονήσεις όταν είναι σχεδιασμένη σωστά. Το ξύλο αποτελεί το κυρίαρχο δομικό υλικό των σημαντικότερων αντισεισμικών δομικών συστημάτων του κόσμου. Οι ξύλινες κατασκευές παρουσιάζουν πολύ καλή σεισμική συμπεριφορά, παρέχουν μεγάλες αντοχές με σχετικά μικρό ίδιο βάρος με αποτέλεσμα να καταπονούνται από μικρές σεισμικές δυνάμεις. Η σεισμική δράση σε ένα ξύλινο κτίριο απορροφάται από τις συνδέσεις του σκελετού, λόγω της πλαστικής συμπεριφοράς του. Η συμπεριφορά αυτή οφείλεται στην ολκιμότητα και στην απορρόφηση (ανάλωση) ενέργειας. Επομένως απαραίτητη προϋπόθεση για την καλή σεισμική συμπεριφορά είναι ο σωστός σχεδιασμός κυρίως των περιοχών σύνδεσης των ξύλινων μελών.

Θερμομόνωση: Το ξύλο εν γένει έχει μικρή θερμοχωρητικότητα ως υλικό καθώς διαθέτει σημαντικά μικρό συντελεστή θερμομόνωσης, σε αντίθεση με τα συμβατικά υλικά, όπως μπετόν και πέτρα, που έχουν μεγάλη θερμοχωρητικότητα, το οποίο σημαίνει ότι το ξύλινο σπίτι θερμαίνεται πολύ πιο γρήγορα.

Ένας πιθανός ανασταλτικός παράγοντας στην επιλογή της ξύλινης κατασκευής είναι ο φόβος σχετικά με τον κίνδυνο της πυρκαγιάς. Ωστόσο σε αρκετές περιπτώσεις ο φόβος αυτός είναι αβάσιμος καθώς οι ξύλινες κατασκευές έχουν υψηλό δείκτη πυρασφάλειας.

Αντοχή στη φωτιά: Το ξύλο όπως και κάθε άλλη κατασκευή καίγεται, αλλά καίγεται επιφανειακά και αργά δίνοντας τη δυνατότητα να αντικατασταθεί το φθαρμένο κομμάτι, κάτι που δεν μπορεί να γίνει σε μια συμβατική κατασκευή. Σε επίσημη

δοκιμή απεδείχθη ότι μόλις τα φλόγιστρα που τροφοδοτούσαν με φωτιά το πείραμα έσβηναν, έσβηναν εύκολα και οι φλόγες της ξύλινης δοκού. Μελέτες και εργαστηριακές δοκιμές στη συμπεριφορά του ξύλου στη φωτιά απέδειξαν ότι η ταχύτητα απανθράκωσης των επιφανειών του ξύλου είναι γνωστή από πριν, σταθερή, με πολύ μικρές διαφορές στα διάφορα είδη (π.χ. πιο αργή στα ξύλα υψηλής πυκνότητας ή στην επικολλητή ξυλεία με την προϋπόθεση ότι έχουν χρησιμοποιηθεί κατάλληλες κόλλες κλπ). Γενικά αποδεκτή ταχύτητα απανθράκωσης των επιφανειών του ξύλου (για δομική ξυλεία) είναι 0,67 του χιλιοστού ανά λεπτό, ενώ η επίδραση της θερμότητας αυξάνει την αντοχή του ξύλου, λόγω της μείωσης της εσωτερικής υγρασίας. [28]

3.1.2 Κατασκευαστικές μέθοδοι στις Ξύλινες Κατασκευές

Οι κατασκευαστικές μέθοδοι στην περίπτωση των ξύλινων κατασκευών είναι και αυτές πλήρως τυποποιημένες και σχεδόν ίδιες σ' όλον τον κόσμο. Χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: την μέθοδο του σκελετού και την μέθοδο των διαφραγμάτων.

Η μέθοδος του σκελετού

Η μέθοδος του σκελετού δεν διαφέρει και πολύ από τον τρόπο με τον οποίο κατασκευάζουμε κτήρια από μπετό. Υπάρχουν δοκάρια στύλοι. Στη θέση των τοιχίων από μπετό τοποθετούνται ισχυρά ξύλινα δικτυώματα. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται σπάνια. Και αυτό γιατί προσκρούει στην αδυναμία μας να διαμορφώσουμε αξιόπιστους και φθηνούς κόμβους. Δηλαδή σημεία σύνδεσης μεταξύ δοκών και υποστυλωμάτων.

Η μέθοδος των κατακόρυφων διαφραγμάτων

Η μέθοδος των κατακόρυφων διαφραγμάτων αντίθετα μιμείται την κατασκευή των κατασκευών από τοιχοποιία. Διαμορφώνονται ξύλινοι τοίχοι οι οποίοι φέρουν κατακόρυφα και οριζόντια (άνεμος και σεισμός) φορτία. Οι τρόποι με τους οποίους δομούνται οι ξύλινοι τοίχοι έχουν μια παλιά και καθοριστική κεντρική ιδέα. Κατασκευάζεται καφασωτό το οποίο γεμίζει με ένα υλικό. Το υλικό πλήρωσης παλιά ήταν πλιθιά (ξύλοπηκτη τοιχοποιία), ενώ σήμερα είναι πλάκες προϊόντων ξύλου (OSB ή/και plywood). Βέβαια υπάρχει και η μέθοδος κατασκευής τοίχων με ξύλινους επεξεργασμένους μικροκορμούς οι οποίοι τοποθετούνται ο ένας πάνω στο άλλον. (παράγοντας τα λεγόμενα κορμόσπιτα ή ξυλόσπιτα). Στην περίπτωση των διαφραγμάτων από καφασωτό οι δοκίδες αναλαμβάνουν τα κατακόρυφα φορτία και οι καρφωμένες πλάκες τα οριζόντια ενώ στην περίπτωση των μικροκορμών τα κατακόρυφα αναλαμβάνονται από τους κορμούς φορτιζόμενους κάθετα στις ίνες τους ενώ τα οριζόντια από τις δυνάμεις τριβής που αναπτύσσονται μεταξύ τους.

3.2 ΤΟ CLT ΩΣ ΔΟΜΙΚΟ ΥΛΙΚΟ

Η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών επεξεργασίας και αξιοποίησης του ξύλου και των υπολειμμάτων της υλοτομίας αποτελούν βασικό παράγοντα στην αναβίωση της ξύλινης κατασκευής. Η ανάπτυξη των μεθόδων βελτίωσης στα δομικά συστήματα

που χρησιμοποιείται, με βάση το ξύλο, εστιάζει κυρίως σε σύγχρονες μεθόδους, όπως τα υβριδικά συστήματα κατασκευών όπου αναφερόμαστε σε συνδυασμό διαφορετικών υλικών (ξύλο με μέταλλο, με ανθρακόνημα κτλ).

Ένα από αυτά είναι και οι κατασκευές από σταυρωτή επικολλητή ξυλεία CLT ακρωνύμιο των Αγγλικών λέξεων Cross Laminated Timber. Η κατασκευή κτηριακών κατασκευών με χρήση φύλλων CLT είναι ευρέως διαδεδομένη σε πολλές περιοχές του κόσμου όπως η Ευρώπη και οι Η.Π.Α. Αυτό έχει ως συνέπεια την ύπαρξη πλήθους κανονισμών και ερευνητικών προγραμμάτων που αφορούν το υλικό αυτό. Ένα παράδειγμα τέτοιων κανονισμών είναι ο ευροκώδικας 5, ο οποίος αφορά ξύλινες κατασκευές και περιλαμβάνει διατάξεις που αφορούν την χρήση CLT.

Οι κατασκευές από CLT ξεκίνησαν πειραματικά στην Ευρώπη την δεκαετία του 90 αλλά σήμερα πρόκειται για μια ταχέως διαδιδόμενη κατασκευαστική μέθοδο σε όλο το κόσμο. Μόνο το 2012 στην Ευρώπη διενεργούνταν 100 ανάλογα πρότζεκτ ενώ το 2014 διεξήχθη στον Καναδά το πρώτο Παγκόσμιο Συνέδριο με ανάλογη θεματολογία (World Conference on Timber Engineering (WCTE)). Ανάλογα αισιόδοξες είναι και οι προβλέψεις για επέκταση στον αναπτυσσόμενο κόσμο. Με βάση το υπάρχον κτιριακό απόθεμα, ο κύριος τύπος κατασκευής από CLT αφορά τα κτίρια κατοικίας και συγκεκριμένα αυτά συγκροτημάτων πολυκατοικιών μέσης ανύψωσης (όπως και το Building Wood που μελετάμε). Ανάλογη ήταν και η θέση που διατύπωσαν αρχιτέκτονες σε σχετική στατιστική έρευνα στις ΗΠΑ όπου το 51% των ερωτηθέντων απάντησε ότι αυτού του τύπου η αξιοποίηση των κατασκευών CLT είναι η πλέον κατάλληλη. [29]

3.2.1 Σπίτια Τύπου Πάνελ(Cross-Laminated-Timber-Panels-CLT/ Timber-Shear-Walls)

Κύρια μέθοδος κατασκευής με χρήση CLT είναι αυτή των σπιτιών τύπου πάνελ. Πρόκειται για ένα δομικό σύστημα στο οποίο μεγάλα πάνελα αποτελούν τον φέροντα οργανισμό ενός κτιρίου. Αυτή η κατασκευαστική μέθοδος διαθέτει πολλούς οπαδούς στον τομέα των ξύλινων κατασκευών κυρίως στην Αυστρία, τη Γερμανία, και τις ιταλικές περιφέρειες του Νοτίου Τιρόλου και Βένετου. Το υψηλό επίπεδο προκατασκευασμένων στοιχείων και ο εξαιρετικά σύντομος χρόνος κατασκευής των κτιρίων είναι παράγοντες που βελτιστοποιούν αυτήν τη διαδικασία. Τα μέσα μεταφοράς είναι ο μόνος παράγοντας που περιορίζει το μέγεθος των δομικών στοιχείων. Τα πάνελ είναι φτιαγμένα από μεγάλα φύλλα ξύλου που, ανάλογα με τη μέθοδο παραγωγής, είναι τοποθετημένα σε στρώσεις και συγκολλημένα κάθετα μεταξύ τους. Το μέγεθος και η αντοχή του κάθε πάνελ (συμπεριλαμβανομένων των τοίχων και των πλακών), η συναρμολόγηση των επιμέρους πάνελ, οι λεπτομέρειες των ενώσεων, η τοποθέτηση και το πάχος της μόνωσης, καθώς και τα είδη ξύλου που χρησιμοποιούνται, εξαρτώνται από τους διάφορους κατασκευαστές, τις στατικές απαιτήσεις, και τέλος το επιθυμητό αρχιτεκτονικό αποτέλεσμα [28].



Εικόνα 3-1 Κατασκευή κτιρίου κατοικίας από πάνελ CLT [28]

3.2.2 Διαμόρφωση του πάνελ CLT

Το CLT είναι ένα υλικό που αποτελείται από στρώσεις επίπεδων φύλλων ξυλείας με πάχος στρώσης από 2 – 35 mm. Κάθε στρώση συγκολλάται με την διπλανή της με τέτοιο τρόπο ούτως ώστε η διεύθυνση των ινών του ξύλου να σχηματίζει γωνία 90° με τη διεύθυνση των ινών της προηγούμενης στρώσης. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται υψηλή δυσκαμψία και αντοχή και κατά τις δύο διευθύνσεις σε αντίθεση με την κοινή ξυλεία όπου η αντοχή και η δυσκαμψία είναι μεγαλύτερη στη διεύθυνση παράλληλα με τις ίνες.

Οι ρητίνες που χρησιμοποιούνται για τη συγκόλληση των στρώσεων είναι ικανές να διατηρηθούν ακέραιες οι επιφάνειες για ολόκληρο το προσδόκιμο ζωής της κατασκευής.

Στην αγορά κατασκευάζονται πάνελ διαφορών στρώσεων, με το πάχος κάθε στρώσης να ποικίλει, ξεκινώντας από 1,7 cm έως τα 8,0 cm. Το συνολικό πάχος του πάνελ κυμαίνεται από 5 cm έως 34 cm αν και μερικές εταιρείες προσφέρουν κατά παραγγελία και CLT με πάχος που φθάνει τα 50 cm. Το μήκος των πάνελ μπορεί να φτάσει και τα 20 m ενώ όσον αφορά το πλάτος, ποικίλει ανά εταιρεία, με αυτό να κυμαίνεται από 1,25 έως 3 m. Το CLT κατασκευάζεται συνήθως με τρία έως επτά στρώματα και ακόμη περισσότερα σε ορισμένες περιπτώσεις. Για την κατασκευή του κάθε στρώματος χρησιμοποιείται ξυλεία κωνοφόρων και κυρίως είναι ελάτη ή ερυθρελάτη, όμως, κατά περίπτωση και ανάλογα με τις ανάγκες κατασκευής μπορεί να χρησιμοποιηθεί και συνδυασμός διαφορετικής ξυλείας στο ίδιο πάνελ.

Η κοπή των σανίδων και η διαμόρφωση των εγκάρσιων επιφανειών σε δακτυλικό αρμό ξυλείας (finger-jointing) χρησιμοποιείται για να επιτευχθούν τα επιθυμητά μήκη. Η δυνατότητα αυτή είναι εφικτή, αλλά δεν συνιστάται παρά μόνο για την κατά μήκος ένωση (επιμήκυνση) των επί μέρους σανίδων.

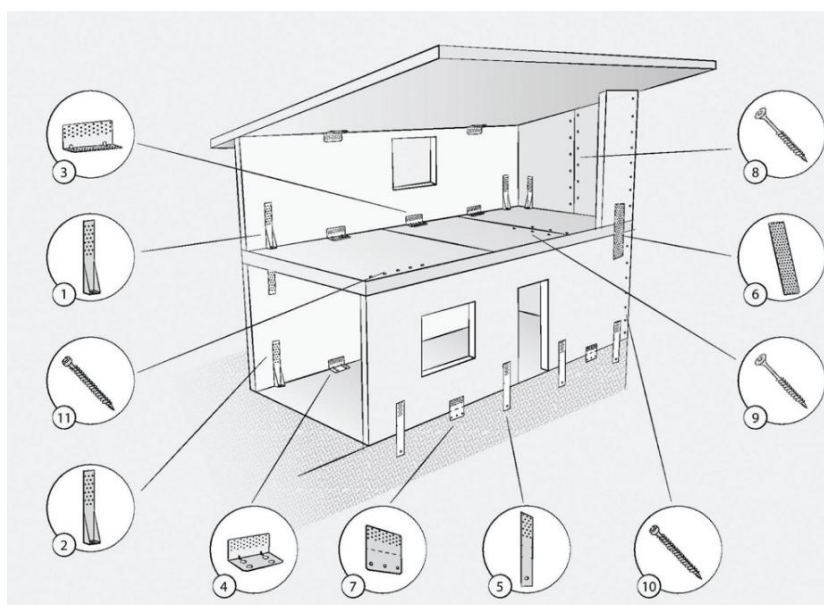
Η κόλλα είναι το δεύτερο σημαντικό υλικό, μετά το ξύλο όπου πρέπει να πληροί τις ίδιες απαιτήσεις με εκείνες που χρησιμοποιούνται στην επικολλητή ξυλεία και

περιλαμβάνουν ειδική πολυουρεθάνη, μελαμίνη και φαινολικές ρητίνες. Συνήθως χρησιμοποιείται πολυουρεθάνη, ώστε να «σκληραίνει» σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

3.2.3 Τρόποι σύνταρμολής των πάνελ CLT

Η δομική απόδοση της λειτουργίας του δαπέδου ως ένα διάφραγμα και εκείνης των τοιχωμάτων στην αντίσταση πλευρικών φορτίων εξαρτάται από την αποτελεσματικότητα των συστημάτων στερεώσεως και λεπτομερειών σύνδεσης που χρησιμοποιούνται για τη διασύνδεση των επιμέρους πάνελ μεταξύ τους και στη βάση του καθενός ανεξάρτητα. Ένας συνδυασμός μεταλλικών στηριγμάτων και λαμαρινόβιδες συνίστανται από τους κατασκευαστές των CLT και χρησιμοποιούνται συνήθως για τη σύνδεση των πάνελ σε πάνελ ή σε δάπεδα. Ωστόσο, υπάρχουν και άλλοι τύποι των παραδοσιακών και καινοτόμων συνδετήρων καθώς και συστήματα στερεώσεως που μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά στις σταθεροποίηση των CLT.

Στην Εικόνα 3-2 απεικονίζεται συνοπτικά η τοποθέτηση κάποιων υλικών σε ένα κτίριο καθώς και η κατηγοριοποίηση τους, αναλόγως των δυνάμεων στις οποίες υπόκεινται.



Εικόνα 3-2 Τρόποι Σύνδεσης Πάνελ CLT[30]

Τοποθέτηση ελασμάτων κατά περίπτωση

Γωνίες σε εφελκυσμό

1. Τοίχου – Τοίχου

2. Τοίχου – Θεμελίωσης

Οι παραπάνω γωνίες πρέπει να χρησιμοποιούνται εκεί όπου υπάρχει σημειακή δύναμη εφελκυσμού, τυπικά σε αντιστοιχία με τις γωνίες και τα ανοίγματα, τόσο στο έδαφος όσο και σε ύψος.

Γωνίες σε διάτμηση

3. Τοίχου – Δάπεδο Ορόφου / Τοίχου – Τοίχου

4. Τοίχου – Θεμελίωσης

Οι γωνίες σε εφελκυσμό πρέπει να χρησιμοποιούνται με εκτεταμένο τρόπο για τη μεταφορά των δυνάμεων διάτμησης, τόσο για τη σύνδεση ξύλου-ξύλου όσο και ξύλου-τσιμέντου.

Διάτρητα ελάσματα (σε διάτμηση ή σε εφελκυσμό)

5. Τοίχου – Θεμελίωσης (εφελκυσμός)

6. Τοίχου – Τοίχου (εφελκυσμός)

7. Τοίχου – Θεμελίωσης (διάτμηση)

Τα μεταλλικά διάτρητα ελάσματα επιτρέπουν τη μεταφορά τόσο δυνάμεων εφελκυσμού όσο και διάτμησης για συνδέσεις ξύλου-ξύλου και ξύλου-τσιμέντου, σε συνάρτηση με τη χρησιμοποιούμενη τυπολογία.

Αυτοδιατηρητικές βίδες

8. Τοίχου – Τοίχου

9. Δάπεδο Ορόφου – Δάπεδο Ορόφου

10. Τοίχου – Τοίχου (υπό γωνία)

11. Δάπεδο Ορόφου – Τοίχου

3.2.4 Πλεονεκτήματα των κατασκευών CLT

Το CLT χρησιμοποιείται τόσο σε τοίχους όσο και σε δάπεδα/οροφές, προσφέροντας πολλά πλεονεκτήματα, με βασικότερο ότι το ίδιο αποτελεί τον φέροντα οργανισμό ενός κτιρίου, παραλείποντας ουσιαστικά την ύπαρξη δοκών και κολόνων για την παραλαβή των φορτίων, όπως συμβαίνει στις συμβατικές κατασκευές από μπετόν. Η διασταυρούμενη μέθοδος συγκόλλησης παρέχει βελτιωμένη σταθερότητα στο προϊόν, σε όλες του τις διαστάσεις, επιτρέποντας έτσι την προκατασκευή μεγάλων πλακών δαπέδου καθώς και ενιαίους μεγάλους τοίχους δίχως την υποστήριξη κολόνας ή δοκών. Είναι εύκολο στο σχεδιασμό, αισθητικά ελκυστικό αλλά και οικονομικό, σε σχέση με τις ιδιότητες που παρέχει, αφού η συναρμολόγηση του δεν απαιτεί εξειδικευμένα εργαλεία. Επίσης, η καλή θερμομόνωση, ηχομόνωση και απόδοση υπό συνθήκες πυρκαγιάς καθώς και τα πρόσθετα οφέλη που προέρχονται από τη δομή του ξύλου, που είναι συμπαγές, το καθιστούν ένα εξαιρετικό σύγχρονο τεχνολογικά προϊόν.

Η κατασκευή κτιρίων από CLT είναι εφικτή και διαρκώς αυξανόμενη στην Ευρώπη και την Β. Αμερική. Οι δοκιμές συνεχίζονται ανά τον κόσμο υποβάλλοντας τεμάχια CLT σε διάφορες καταπονήσεις, όπως ο σεισμός, η αντίσταση στη φωτιά, κ.τ.λ όπως επιβάλλεται για κάθε νέο υλικό δείχνοντας ως τώρα θετικά αποτελέσματα άξιο να αντικαταστήσει μεγάλες μεταλλικές κατασκευές ακόμη και κατασκευές από σκυρόδεμα. [31]

3.3 ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΟΥ CLT

3.3.1 Θερμοφυσικές Ιδιότητες Υλικού

Οι θερμικές ιδιότητες των πανελ CLT ανταποκρίνονται στις συνήθεις τιμές που συναντάμε στην ξυλεία από κωνοφόρα. Όπως και τα περισσότερα προϊόντα ξυλείας, το CLT παρουσιάζει αρκετά καλές θερμομονωτικές ιδιότητες ενώ ο συντελεστής θερμικής διαπερατότητας λ [W/mK] με βάση πειραματικές μετρήσεις κυμαίνεται γύρω από τιμές της τάξης των 0,13 W/mK και άρα συγκρίσιμος με αυτόν του ελαφρού τσιμέντου και αρκετά μικρότερος από τους αντίστοιχους του μπετόν και του ατσαλιού. Συμφωνα με τον Jowett [32], ο συντελεστής θερμικής αντίστασης ενός πάνελ CLT μετρήθηκε σε τιμή έξι φορές μεγαλύτερη από πλάκα τσιμέντου με το ίδιο πάχος.

Άλλος ένας παράγοντας που επηρεάζει την θερμική απόδοση ενός υλικού είναι η θερμική του μάζα. Το CLT ως συμπαγές υλικό, είναι αναμενόμενο να παρουσιάζει υψηλές τιμές θερμοχωρητικότητας. Συγκεκριμένα παρατηρούνται τιμές της τάξης των 1300 J/kg°C έναντι των 880 J/kg°C που είναι μία συνηθισμένη τιμή για το τσιμέντο. Η αναμενόμενη πυκνότητα για ένα πάνελ CLT από έλατο όμως κυμαίνεται μεταξύ 480 και 500 kg/m³ γεγονός το οποίο το καθιστά υλικό μέτριας αποδοτικότητας ως προς τη θερμική του μάζα. Ο συνδυασμός όλων των παραπάνω παραγόντων αλλά και του τρόπου κόλλησης των πολλαπλών στρώσεων CLT σε ένα πάνελ, προσδίδει συνήθως στις ανάλογες κατασκευές μεγάλο χρόνο θερμικής υστέρησης. Η ιδιότητα αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε περίπτωση κατασκευών σε κλιματικές περιοχές που παρουσιάζουν υψηλές θερμοκρασίες το καλοκαίρι όπως η Ελλάδα καθώς έχει αποδειχθεί και πειραματικά ότι ο χρόνος θερμικής υστέρησης μπορεί να φτάσει από 10 μέχρι και 14 ώρες. [33]

Για την μοντελοποίηση ενός κτιριακού κελύφους δομημένου με πάνελ CLT, όπως για παράδειγμα το κτίριο κατοικιών που μελετάμε, είναι απαραίτητος ο σαφής προσδιορισμός των θερμοφυσικών ιδιοτήτων των υλικών της κατασκευής. Μεταξύ αυτών συμπεριλαμβάνονται η ειδική θερμική αγωγιμότητα (W/mK), η θερμοχωρητικότητα (J/kg•K), η πυκνότητα (ρ (kg/m³)) και ο ειδικός συντελεστής διαπερατότητας υδρατμών (μ , -). Για να γίνει κάτι τέτοιο απαραίτητη είναι η πειραματική διαδικασία. Στην παρούσα εργασία αξιοποιείται η διαθέσιμη βιβλιογραφία ώστε να παρουσιαστεί μία όσο το δυνατόν ρεαλιστικότερη εκτίμηση των παραπάνω συντελεστών.

Η G. Alsayegh [34] υπολόγισε τις υδροθερμικές ιδιότητες τεσσάρων ειδών CLT και βρήκε ότι η πυκνότητά του κυμαίνονταν μεταξύ των τιμών 340–440 kg/m³ ενώ η θερμική τους αγωγιμότητα μεταξύ 0.104–0.117W/mK. Οι Wang & Ge [35] σε ανάλογη μελέτη τοιχοποιίας από CLT έκαναν εκτίμηση της πυκνότητας στα 536 kg/m³, της θερμικής αγωγιμότητας στα 0.12W/mK, 1876 για τον συντελεστή μ και 2500 J/kgK για την θερμοχωρητικότητα. Με βάση εκτεταμένη πειραματική μελέτη σε πάνελ CLT του με 3-5 στρώσεις διαπιστώθηκαν οι παρακάτω τιμές: Θερμικής αγωγιμότητα: 0.1–0.25W/mK, πυκνότητα: 340–540 kg/m³, θερμοχωρητικότητα της τάξης των 1300 J/kgK, και ειδικός συντελεστής διαπερατότητας ατμών 130–1876.

3.3.2 Επίδραση Θερμογεφυρών

Το φαινόμενο των θερμογεφυρών αφορά την τοπική ροή θερμότητας δια μέσου διακοπών στην θερμομόνωση. Σε διεθνές επίπεδο υπάρχουν αρκετοί κανονισμοί αλλά και πειραματικά μοντέλα που προσφέρουν ημιεμπειρικές ή άλλες σχέσεις για τον υπολογισμό των θερμικών απωλειών λόγω θερμογεφυρών. Για τα κτίρια στην Ελλάδα το πλαίσιο αυτό ορίζεται μέσω του Κ.ΕΝ.Α.Κ.

Σε ότι αφορά τις κατασκευές από CLT, η θερμοπερατότητα της εξωτερικής τοιχοποιίας επηρεάζεται σχεδόν ελάχιστα από την επίδραση των θερμογεφυρών κυρίως εξαιτίας του συνεχούς προφίλ των πανελ. Παρ'όλα αυτά δεν υπάρχει πάνελ «άπειρων διαστάσεων» και έτσι οφείλουμε να εξετάσουμε τις θερμογέφυρες που παρουσιάζονται στους συνδέσμους και στις ακμές του κελύφους.

Ο διεθνής οργανισμός τυποποιήσεων έχει εκδόσει μία σειρά προτύπων με τις επωνυμίες ISO 10211 [36.] και ISO 14683 [37]για τον αναλυτικό υπολογισμό των θερμικών απωλειών λόγω θερμογεφυρών. Το ISO 10211 προβλέπει στις διατάξεις του τον αναλυτικό υπολογισμό του συντελεστή Ψ, ο οποίος επιτυγχάνεται με την διασδιάστατη προσομοίωση της ροής θερμότητας σε ειδικό λογισμικό μέσω χαρακτηριστικών διατομών. Με αυτόν τον τρόπο, δίνεται η δυνατότητα να υπολογιστεί ο συντελεστής γραμμικής θερμοπερατότητας Ψ για οποιαδήποτε διατομή και στρώση υλικού. Το ISO 14683 περιγράφει μία απλοποιημένη διαδικασία υπολογισμού μέσω πινάκων, στους οποίους υπάρχει μια λίστα από χαρακτηριστικές διατομές με τους αντίστοιχους συντελεστές γραμμικής θερμοπερατότητας Ψ. Σκοπός είναι οι συντελεστές Ψ να προσεγγίζουν το δυσμενέστερο σενάριο που συναντάται στις κατασκευές

Οι Chang et al. [38] μελέτησαν πειραματικά μία σειρά από δοκίμια CLT για τον καθορισμό των θερμοφυσικών τους ιδιοτήτων και χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα Blocon HEAT 2(το οποίο βασίζεται στο ISO 10211) διεξήγαγαν διαδοχικούς παραμετρικούς υπολογισμούς για την μελέτη της επίδρασης των θερμικών γεφυρών σε διαφορετικές κατασκευές CLT (με ή χωρίς μόνωση και με διαφορετικές μεθόδους σύνδεσης). Τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής βοηθούν στην εισαγωγή στους υπολογισμούς μιας ρεαλιστικής εκτίμησης για την επίδραση των θερμικών γεφυρών στην υπό μελέτη κατασκευή.

4 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΚΤΙΡΙΟΥ

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 κατακρημνίσεις κ.α. Ιδανικά θα πρέπει να αναφέρονται στην περίοδο ενός χρόνου και οι τιμές τους να έχουν κατά το δυνατόν ελάχιστο βήμα (π.χ. 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 ηλιακά σύστημα)
- Τις διάφορες παραμέτρους που καθορίζουν την λειτουργία και τους υπολογισμούς του λογισμικού, την παρουσίαση των αποτελεσμάτων και την επικοινωνία με τον χρήστη

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 ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΕΣΗ

Ο ολοκληρωμένος σχεδιασμός ενός κτιρίου έγκειται τόσο στην ελαχιστοποίηση της καταναλισκόμενης ενέργειας όσο και στην προσπάθεια βελτιστοποίησης των περιβαλλοντικών 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). [41]

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:

- **Φυσικές παράμετροι:** θερμοκρασία του αέρα [$^{\circ}\text{C}$], μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας των εσωτερικών επιφανειών [$^{\circ}\text{C}$], 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] ($1\text{clo}=0.155\text{m}^2\text{ }^\circ\text{C}/\text{W}$)

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 $37\text{ }^\circ\text{C}$. Όταν η θερμοκρασία του σώματος αρχίσει να αυξάνεται, είτε λόγω κλιματολογικών συνθηκών είτε λόγω έντονης δραστηριότητας, κατάλληλοι μηχανισμοί ενεργοποιούνται για την ελάττωσή της. [41]

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 η μέση θερμοκρασία δέρματος, ο ρυθμός εφίδρωσης, και η 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).

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

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

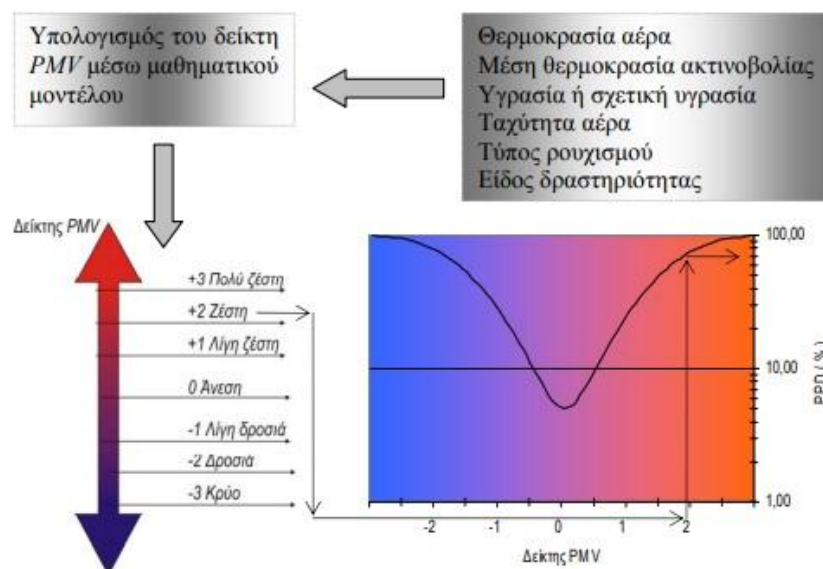
Όπου:

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

- E_{res} : το ποσό της θερμότητας που απάγεται λόγω εξάτμισης κατά την αναπνοή [W/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 4-2 Η θεωρία του Fanger σχηματικά [42]

Πιο αναλυτικά:

Δείκτης Προβλεπόμενης Μέσης Ψήφου: PMV (Predicted Mean Vote)

Ο δείκτης PMV βασίζεται σε στατιστική ανάλυση της συμπεριφοράς ενός μεγάλου δείγματος ανθρώπων και των δύο φύλων και διαφόρων ηλικιών. Αποτελεί τη μέση τιμή θερμικής άνεσης, όπως αυτή εκτιμάται από τους χρήστες ενός κτιρίου, σε συγκεκριμένες συνθήκες. Ο δείκτης αυτός, που με μια μαθηματική σχέση συνδέει παραμέτρους του περιβάλλοντος χώρου και τα επίπεδα ένδυσης και δραστηριότητας του ατόμου, αποτελείται από μία επταβάθμια κλίμακα, στην οποία το 0 αντιστοιχεί στις συνθήκες θερμικής άνεσης που η συντριπτική πλειοψηφία των ατόμων ενός

χώρου, περίπου το 95%, είναι ικανοποιημένη με το θερμικό περιβάλλον. Στον Πίνακα 4-1

Πίνακας 4-1 Δείκτης Θερμικής Άνεσης PMV κατά EN-ISO 7730

Δείκτης PMV	Αίσθηση Θερμικού Περιβάλλοντος	
-3	Πολύ Κρύο	Αίσθηση Ψύχους
-2	Κρύο	
-1	Ελαφρύ Κρύο	Άνεση
0	Άνεση	
1	Ελαφριά Ζέστη	
2	Ζέστη	Αίσθηση Καύσωνα
3	Καύσωνας	

Συσχέτιση του δείκτη PMV και των παραμέτρων που τον επηρεάζουν έδειξαν ότι υπάρχει σχέση αναλογίας μεταξύ του δείκτη και των μεταβολών θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας του περιβάλλοντος. Όταν συνδυάζονται χαμηλές θερμοκρασίες και μεγάλη ταχύτητα του ανέμου ο δείκτης είναι μειωμένος, ενώ, σε χαμηλές θερμοκρασίες η θερμική άνεση έχει ως αποτέλεσμα αύξηση του ρουχισμού. Τέλος, όταν έχουμε υψηλό ρυθμό μεταβολισμού και έντονη δραστηριότητα ο δείκτης λαμβάνει υψηλές τιμές και η θερμική άνεση επιτυγχάνεται με ελάττωση της θερμοκρασίας του χώρου.

Ο δείκτης PMV δε λαμβάνει υπόψη του κάποιες ιδιαίτερες συνθήκες, (υψηλή θερμοκρασία εδάφους, απότομη και μεγάλη αύξηση ή μείωση της θερμοκρασίας), που μπορεί να επιφέρουν δυσφορία στο χρήστη του κτιρίου και αυτό αποτελεί μειονέκτημά του. [60]

Δείκτης PPD- Predicted Percent of Dissatisfied People (Δείκτης δυσαρέσκειας των ανθρώπων)

Ο δείκτης PPD είναι ο δείκτης για την έκφραση της δυσαρέσκειας των χρηστών, σε σχέση με το σύνολο των χρηστών του κτιρίου, που προκαλείται όταν στο χώρο λαμβάνουν χώρα ξαφνικές και μη αναμενόμενες αλλαγές στις περιβαλλοντικές συνθήκες και στις προσωπικές παραμέτρους για θερμική άνεση. Σε σχέση με τις παραμέτρους της θερμοκρασίας και τις υγρασίας έχει καταδειχθεί ότι το ποσοστό δυσαρέσκειας αυξάνεται σχεδόν γραμμικά με την ταυτόχρονη αύξηση των τιμών των παραμέτρων αυτών. Αναφορικά με τον υπολογισμό του δείκτη PPD αξίζει να σημειωθεί ότι ο υπολογισμός του γίνεται συναρτήσει της αντίστοιχης τιμής του δείκτη PMV, μέσω του Διαγράμματος PMV-PPD της Εικόνα 4-2 Η θεωρία του Fanger σχηματικά [42])). Τα όρια των δεικτών αυτών, μέσα στα οποία θεωρείται ότι επικρατούν συνθήκες θερμικής άνεσης, παρουσιάζονται στο Διάγραμμα και φαίνεται ότι για το δείκτη PMV είναι συνήθως από -0,5 έως 0,5, ενώ για το δείκτη PPD είναι μέχρι το 10%

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.

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. [42]

4.3 ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ENERGYPLUS

Το EnergyPlus (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.

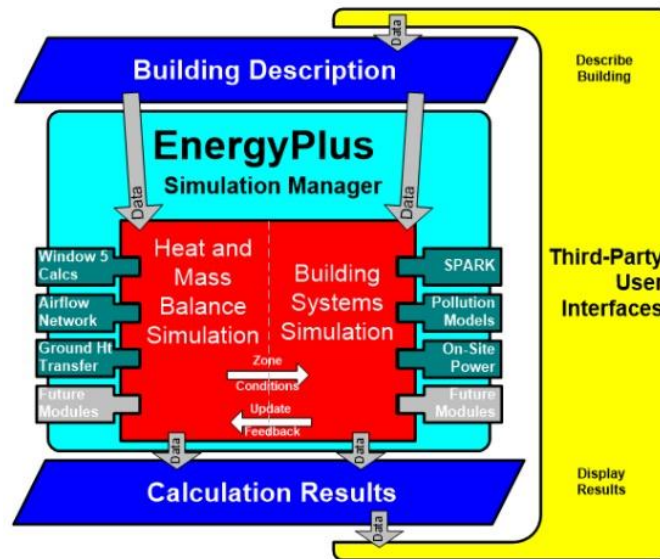
Πρόκειται επίσης για ένα ελεύθερο λογισμικό (freeware), ανοιχτού κώδικα (opensource) και ανεξάρτητο πλατφόρμας (cross-platform) υλοποιημένο σε γλώσσα προγραμματισμού C++ (ή στην Fortran90 σε παλαιότερες εκδόσεις), το οποίο εκδόθηκε από το τμήμα ενέργειας της Αμερικανικής κυβέρνησης το 2001 και έχει τις 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 ελλειμματικές των προκατόχων της (πολυπλοκότητα στον κώδικα, αδυναμία ανατροφοδότησης με τα συστήματα HVAC και τις συνθήκες των θερμικών ζωνών, διαδισκικές προσομοιώσεις χωρίς την δυνατότητα ανάδρασης, χρήση απαρχαιωμένης γλώσσας προγραμματισμού κ.α). [39]

Σε αντίθεση με τα BLAST/DOE-2, στο EnergyPlus, 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. [40]

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 CO₂, SO_x, NO_x, 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 [39]



Εικόνα 4-3 Σχηματική παρουσίαση του λογισμικού EP από την κατασκευάστρια εταιρεία [39]

5 ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ

Στην παρούσα μελέτη επιχειρείται η ενεργειακή αξιολόγηση της εφαρμογής καινοτόμων συστημάτων τοιχοποιίας στο εξωτερικό κέλυφος πολυώροφου κτιρίου κατοικιών. Πιο συγκεκριμένα μελετάται η εφαρμογή των παρακάτω δύο περιπτώσεων εφαρμογής ελαφρών κατασκευών σε πεντάώροφο κτίριο 5 ορόφων και 19 διαμερισμάτων:

- A. Σύστημα τοιχοποιίας από πάνελ Σταυρωτής Επικολητής Ξυλείας (Cross-Laminated Timber - CLT) με μόνωση από συμβατικά μονωτικά υλικά (διογκωμένη πολυστερίνη, ορυκτοβάμβακας κ.α)
- B. Ελαφρά κατασκευή τοιχοποιίας, αποτελούμενη από προκατασκευασμένες μονάδες (modules) εφαρμοσμένες σε φέροντα οργανισμό μεταλλικών δοκών και ενισχυμένες θερμικά με τη χρήση υπερμονωτικού υλικού κενού (Vacuum Insulation Panel – VIP).

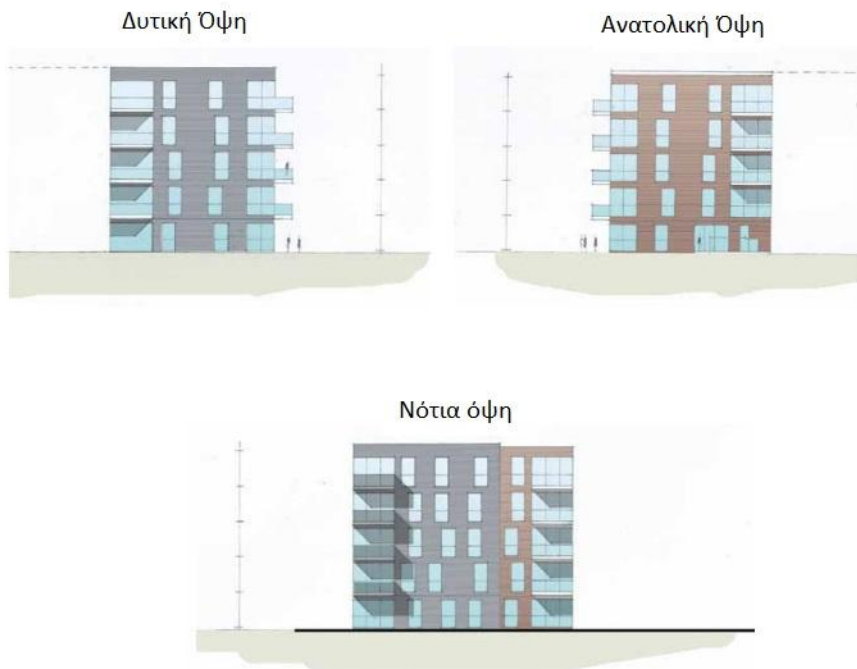
Αφού γίνει ο σχεδιασμός και η μοντελοποίηση της γεωμετρίας του κελύφους και όλων των υπόλοιπων απαραίτητων παραμέτρων (ενεργειακών συστημάτων, χρονοδιαγραμμάτων λειτουργίας κ.ο.κ) στο λογισμικό EnergyPlus, επιχειρείται σύγκριση των αποτελεσμάτων με κτίριο αναφοράς κατάλληλα προσαρμοσμένο με βάση τις βιβλιοθήκες πρότυπων κτιρίων του αμερικάνικου πρότυπου ASHRAE Standard 90.1–2013 και τις οδηγίες του Κ.Εν.Α.Κ.

Η προσομοίωση των παραπάνω μοντέλων γίνεται παραμετρικά για δύο τοποθεσίες οι οποίες παρουσιάζουν συμπληρωματική συμπεριφορά ως προς τις απαιτήσεις σε θέρμανση και ψύξη κατά την διάρκεια του έτους (Λονδίνο και Αθήνα) ενώ στην συνέχεια με βάση τα αποτελέσματα που αφορούν τις επιμέρους ενεργειακές καταναλώσεις, την επίτευξη ή μη θερμικής άνεσης και τις εκπομπές CO₂ επιχειρείται η εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων σχετικά την ενεργειακή απόδοση των προς αξιολόγηση συστημάτων τοιχοποιίας.

5.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΑΚΟΥ ΚΕΛΥΦΟΥΣ

5.1.1 Γεωμετρία Κτιριακού Κελύφους

Όπως προαναφέρθηκε, η μελέτη περίπτωσης αφορά πεντάώροφο κτίριο κατοικιών αποτελούμενο από 19 διαμερίσματα, τους κοινόχρηστους χώρους της εισόδου, του κλιμακοστασίου και του ανελκυστήρα. Η Είσοδος του κτιρίου βρίσκεται στα ανατολικά. Κάθε όροφος αποτελείται από 4 διαμερίσματα διατεταγμένα σε κατευθύνσεις ΒΑ, ΒΔ, ΝΑ, ΝΔ έχει ύψος ίσο με 2,53m και καλύπτεται κατά ποσοστό της τάξης του 33% από υαλοπίνακες και ανοίγματα (το ποσοστό αυτό κυμαίνεται ανά όψη και ανάλογα με τον προσανατολισμό μεταξύ 18-43%). Ανάμεσα στο ισόγειο και το έδαφος βρίσκεται υπόγειος χώρος στάθμευσης. Όλες οι όψεις εκτός από την βόρεια διαθέτουν εξώστες όπως φαίνεται στις εικόνες: Εικόνα 5-1, Εικόνα 5-2, Εικόνα 5-3, Εικόνα 5-4, Εικόνα 5-5, Εικόνα 5-6, Εικόνα 5-7, Εικόνα 5-8:



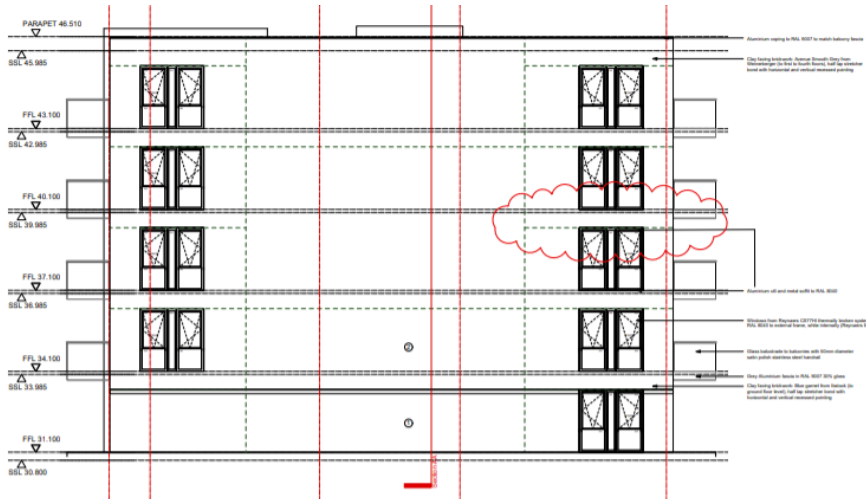
Εικόνα 5-1 Όψεις του υπο μελέτη κτιρίου σε σκαρίφημα



Εικόνα 5-2 Ανατολική Όψη



Εικόνα 5-3 Δυτική Όψη



Εικόνα 5-4 Βόρεια Όψη



Εικόνα 5-5 Νότια Όψη

Η συνολική επιφάνεια του κτιρίου ανάγεται στα $1500,95\text{m}^2$, ο προσανατολισμός του είναι βορειοδυτικός ενώ τα 19 διαμερίσματα χωρίζονται σε 3 επιμέρους τύπους με τα εξής χαρακτηριστικά:

Flat Type 1: Αφορά τα διαμερίσματα στην βορειοανατολική και την βορειοδυτική πλευρά του κτιρίου. Είναι ο μικρότερος τύπος διαμερίσματος με επιφάνεια ίση με $57,07\text{ m}^2$ το κάθε ένα και αποτελούνται από ένα υποδωμάτιο, ένα μπάνιο, χώλ, κοινόχρηστο χώρο κουζίνας-σαλονιού και από έναν εξώστη

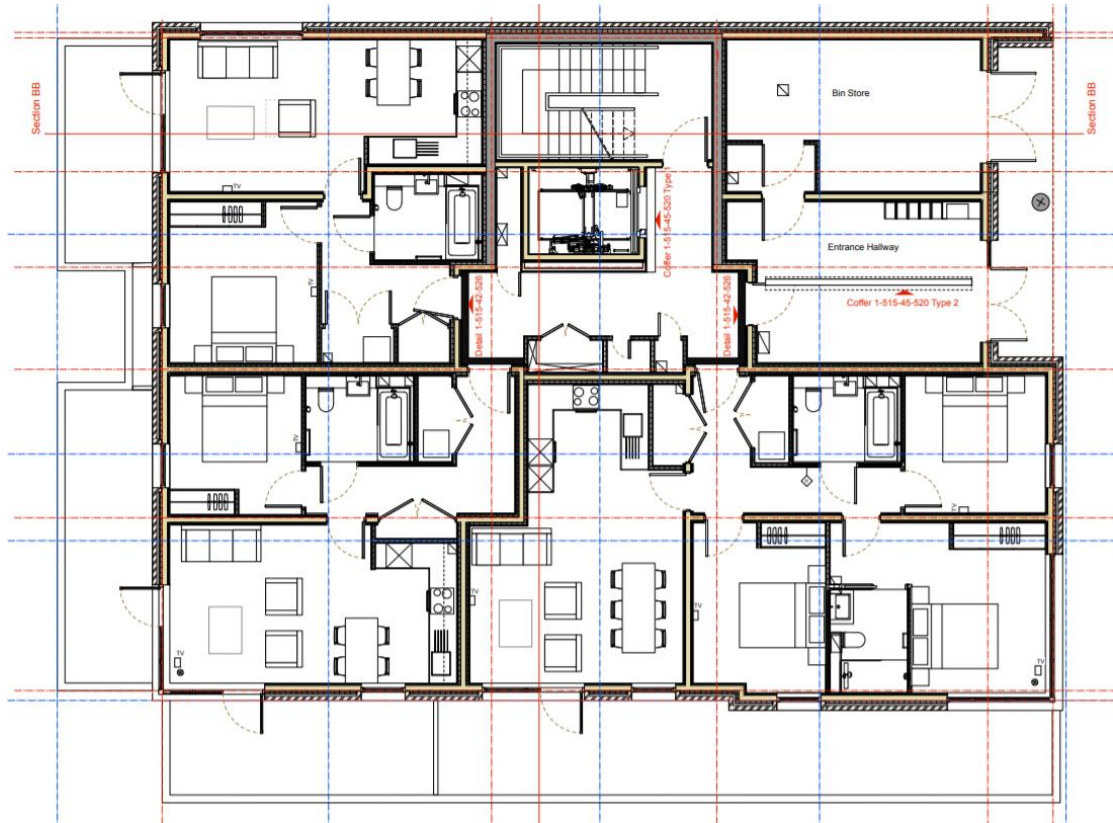
Flat Type 2: Αφορά τα διαμερίσματα που βρίσκονται νοτιοανατολικά. Είναι ο μεγαλύτερος τύπος διαμερίσματος με επιφάνεια ίση με $114,35\text{ m}^2$ ενώ διαθέτουν από 3 υποδωμάτια, ένα εκ των οποίων διαθέτει ατομικό WC, ένα μπάνιο, κοινόχρηστο χώρο κουζίνας-σαλονιού, χώλ και από δύο εξώστες.

Flat Type 3: Είναι όμοιο με το Flat Type 1 αλλά ελαφρώς μεγαλύτερο, με επιφάνεια ίση με $60,80\text{m}^2$, και αφορά τα διαμερίσματα που βρίσκονται νοτιοδυτικά.

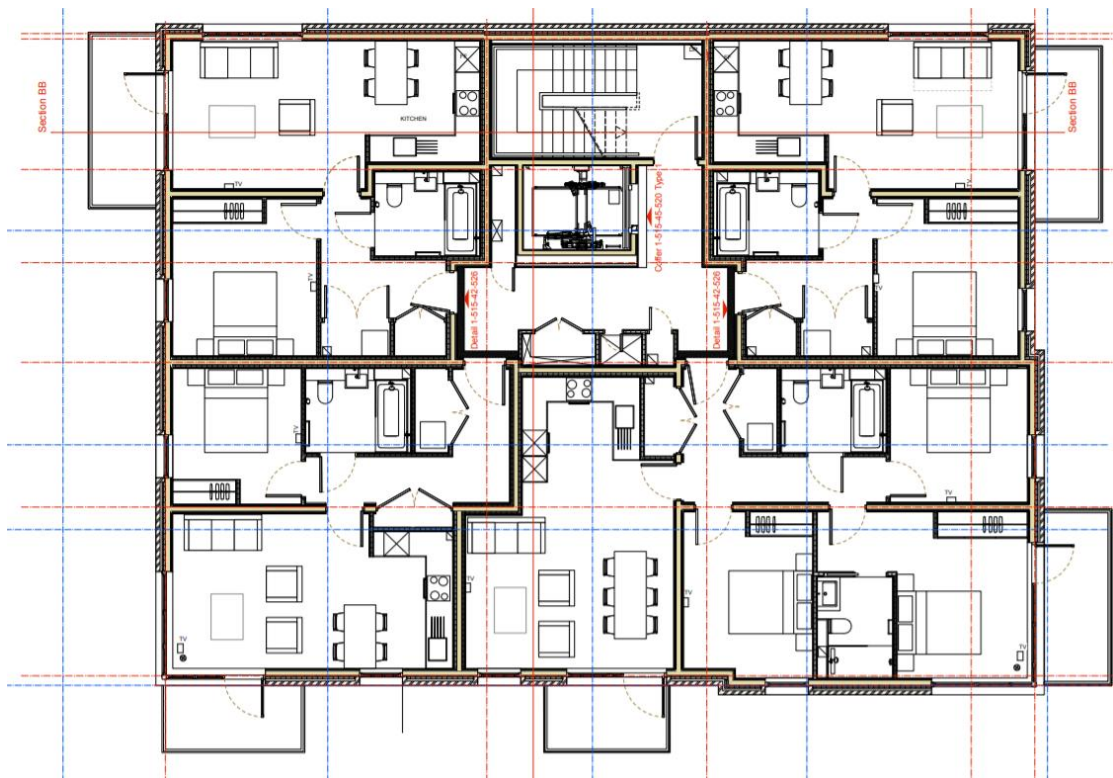
Οι κοινόχρηστοι χώροι αποτελούνται από το κλιμακοστάσιο, τον χώρο του ανελκυστήρα και των Η/Μ εγκαταστάσεων και έναν μικρό διάδρομο που οδηγεί στα διαμερίσματα. Κάτω από το ισόγειο βρίσκεται υπόγειος χώρος στάθμευσης .

Οι όροφοι του κτιρίου είναι τυπικοί με εξαίρεση τον όροφο του ισογείου όπου την θέση του Βορειοανατολικού διαμερίσματος καταλαμβάνει ο χώρος της εισόδου ο οποίος αποτελείται από διάδρομο και χώρο αποθήκευσης απορριμάτων.

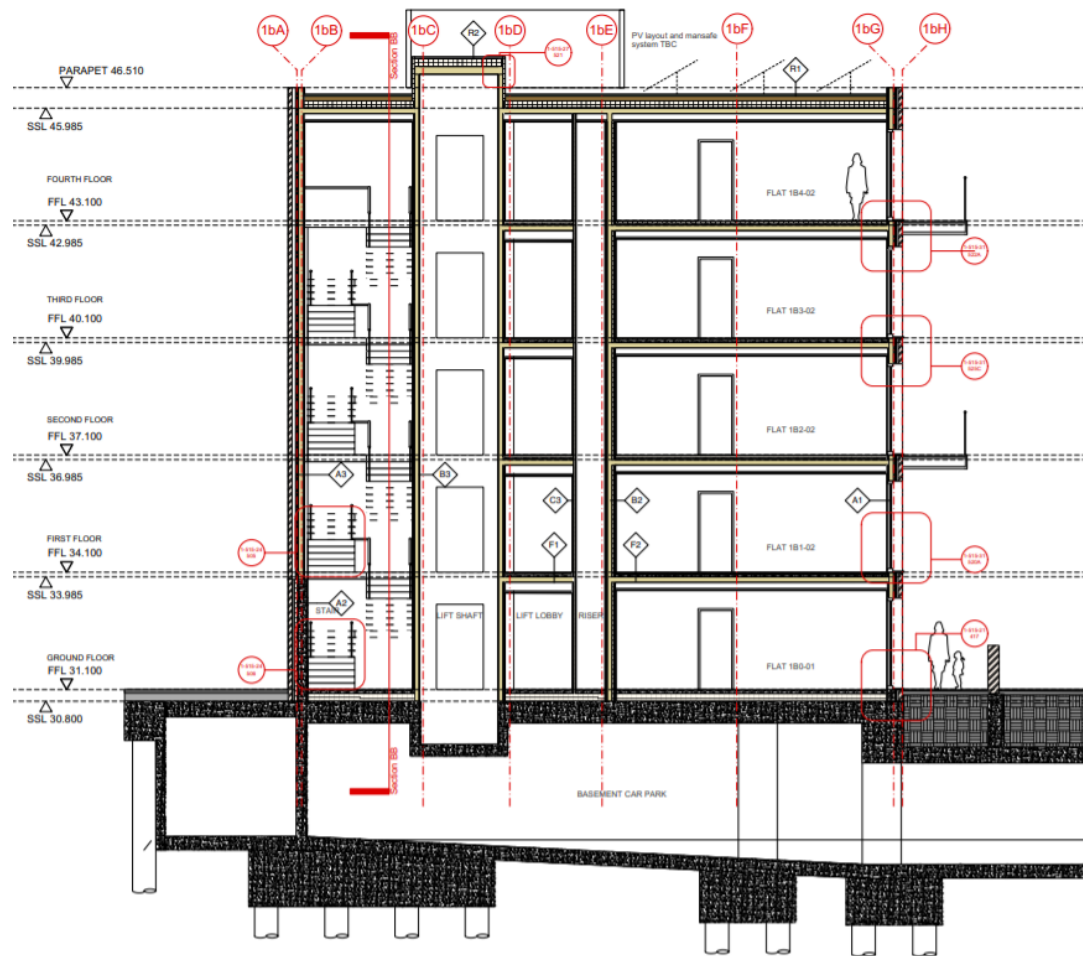
Οι κατόψεις του ισογείου και των ορόφων παρουσιάζονται στις εικόνες Εικόνα 5-6 Εικόνα 5-7 :



Εικόνα 5-6 Κάτοψη Ισογείου



Εικόνα 5-7 Κάτοψη Ορόφων



Εικόνα 5-8 Τομή Εγκάρσια στον άξονα Βορρά-Νότου όπου παρουσιάζεται το κλιμακοστάσιο, ο ανελκυστήρας και ο υπόγειος χώρος στάθμευσης

5.1.2 Διαχωρισμός Θερμικών Ζωνών

Η ακριβής εκτίμηση της ενεργειακής απόδοσης του υπό μελέτη κτιρίου, επιβάλει τον διαχωρισμό του κελύφους σε επιμέρους «θερμικές ζώνες- Θ.Ζ.», 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:

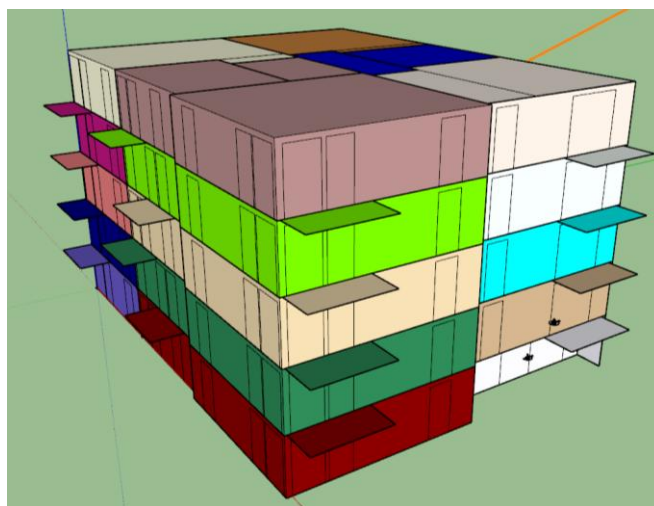
- Ο διαχωρισμός του κτιρίου να γίνεται στο μικρότερο δυνατό αριθμό ζωνών, προκειμένου να επιτυγχάνεται οικονομία στο πλήθος των δεδομένων εισόδου και στον υπολογιστικό χρόνο.
- Κατά τη μελέτη ή την επιθεώρηση ο προσδιορισμός των θερμικών ζωνών να γίνεται καταγράφοντας την πραγματική εικόνα λειτουργίας 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.

Σύμφωνα με τους εθνικούς κανονισμούς οι οποίοι διαμορφώνονται στα πρότυπα των ευρωπαϊκών και διεθνών κανονισμών, για τους υπολογισμούς των απαιτούμενων φορτίων θέρμανσης και ψύξης, το κτίριο μελετάται ως μια ενιαία θερμική ζώνη ή

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 4K (4 °C) 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.

Με βάση όλα τα παραπάνω, για την εκτίμηση των θερμικών αναγκών και της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας με τη μέγιστη δυνατή ακρίβεια, το υπό μελέτη κτίριο χωρίστηκε σε 21 ξεχωριστές θερμικές ζώνες εκ των οποίων 19 αφορούν τους θερμαινόμενους χώρους των διαμερισμάτων, και 2 τους μη θερμαινόμενους χώρους του κλιμακοστασίου και της εισόδου. φαίνεται στην Εικόνα 5-9 η οποία αποτελεί γραφική αναπαράσταση στο περιβάλλον του σχεδιαστικού προγράμματος Sketchup.



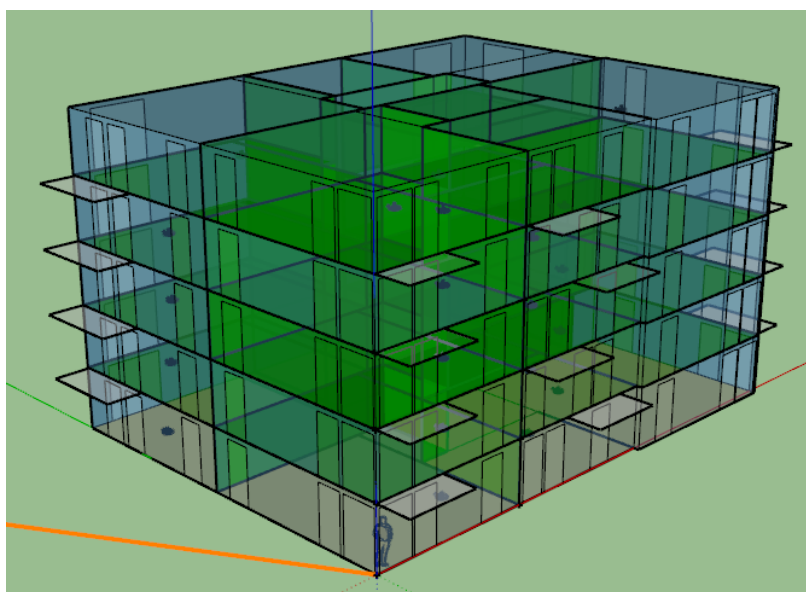
Εικόνα 5-9 Νοτιοανατολική Όψη του κτιρίου σε περιβάλλον Sketch Up με αναπαράσταση των διαφορετικών Θ.Ζ με ξεχωριστό χρώμα

5.1.3 Καθορισμός Οριακών Συνθηκών στις εξωτερικές επιφάνειες κάθε Θ.Ζ

Σε ότι αφορά τις οριακές συνθήκες για τον υπολογισμό των φαινομένων μεταφοράς στις επιφάνειες που είναι εκτεθειμένες στον εξωτερικό αέρα (με μπλέ χρώμα στην Εικόνα 5-10) , το λογισμικό EP δίνει την δυνατότητα εισαγωγής κλιματικών δεδομένων στο πρόγραμμα μέσω ξεχωριστού αρχείου καιρού (Weather File) σε μορφή «.epw». Το αρχείο αυτό είναι διαθέσιμο από οργανισμούς όπως η ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) και περιλαμβάνει στοιχεία μετρήσεων για την θερμοκρασία, την ταχύτητα/διεύθυνση του ανέμου, την υγρασία του αέρα κ.ο.κ. σε μία σειρά περιοχών ανά τον πλανήτη.

Σε ότι αφορά τις οριακές συνθήκες στις επιφάνειες του δαπέδου του ισογείου (με γκρι χρώμα) που συνορεύουν με τον μη θερμαινόμενο χώρο στάθμευσης, μία παραδοχή ,συμβατή με τις οδηγίες του Κ.Εν.Α.Κ και των αντίστοιχων κανονισμών άλλων χωρών, είναι να θεωρήσουμε ότι συνορεύει με το έδαφος. Το EP παρέχει την δυνατότητα υπολογισμού της μεταφοράς θερμότητας μεταξύ εδάφους-κελύφους εφόσον εισάγουμε ως δεδομένα τις μέσες μετρούμενες τιμές της θερμοκρασίας υπεδάφους για την τοποθεσία που μας ενδιαφέρει.

Οι επιφάνειες διεπαφής μεταξύ θερμικών ζωνών (με πράσινο χρώμα) θα πρέπει να δηλωθούν κατάλληλα στο λογισμικό ώστε η μία επιφάνεια να αποτελεί οριακή συνθήκη της άλλης. Η διαδικασία αυτή γίνεται μέσω των εντολών, στο λογισμικό OpenStudio, “Surface Matching” και “Intersect Entire Model” αλλά και του αντίστοιχου συμπληρωματικού ελέγχου στο .idf αρχείο του EP.



Εικόνα 5-10 Γραφική αναπαράσταση των διαφορετικών οριακών συνθηκών ανα επιφάνεια σε περιβάλλον SketchUp-OS Plugin

5.1.4 Σκίαση

5.1.4.1 Σκίαση Επιφανειών

Για τον υπολογισμό του ηλιακού θερμικού κέρδους σε κάθε Θ.Ζ. όπως αυτό προκύπτει από την επίδραση της άμεσης και έμμεσης ηλιακής ακτινοβολίας στην

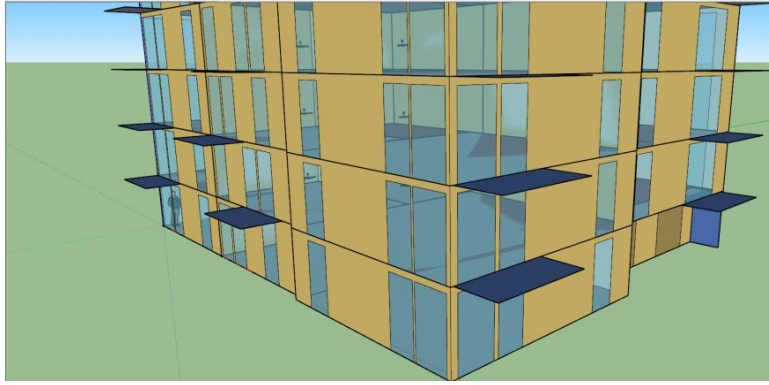
επιφάνεια του κελύφους, είναι απαραίτητος ο διαχωρισμός των επιμέρους επιφανειών σε σκιαζόμενες και μη. Το EP προσφέρει πληθώρα επιλογών σχετικά με την ακρίβεια και τον τρόπο υπολογισμού της σκίασης του κελύφους αξιοποιώντας ως βάση τους αλγόριθμους σκίασης BLAST και TARP. Συνοπτικά, οι αλγόριθμοι αυτοί βασίζονται στις μεθόδους γεωμετρικού μετασχηματισμού των Groth και Lokmanhekim και στην μεθοδο υπερθετικής σκίασης του Walton. [39]

Εισάγοντας με κατάλληλο τρόπο δεδομένα στο αντικείμενο εισόδου του idf Editor “ShadowCalculation” μπορούμε να επιλέξουμε την συχνότητα και τον τρόπο υπολογισμού της σκίασης. Στην υπό μελέτη περίπτωση επιλέγονται σαν συχνότητα υπολογισμού οι 20 ημέρες. Για την διαχείριση της υπέρθεσης σκιών χρησιμοποιείται στην παράμετρο “Polygon Clipping Algorithms” η μέθοδος Sutherland – Hodgman. Για την μοντελοποίηση της διαχεώμενης ακτινοβολίας η επιλογή “Simple Sky Diffuse Model”. [40]

Εξίσου σημαντική παράμετρο αποτελεί και ο προσδιορισμός του τρόπου με τον οποίο ο αλγόριθμος του EP υπολογίζει τα ηλιακά θερμικά κέρδη από την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στις επιφάνειες του κελύφους και στο εσωτερικό κάθε Θ.Ζ.. Στην παρούσα μελέτη, για τους εν λόγω υπολογισμούς πραγματοποιείται η πλέον απλοποιητική μέθοδος προσομοίωσης στο περιβάλλον EP για λόγους υπολογιστικού κόστους, και συγκεκριμένα η επιλογή Solar Distribution: Full Exterior στο αντικείμενο εισόδου “Building” του idf Editor. Άλλωστε όπως διαπιστώνεται με μία απλή δοκιμή, η επίδραση της επιλογής κάποιου πιο σύνθετου μοντέλου υπολογισμών στα τελικά αποτελέσματα είναι σχετικά αμελητέα.

Με βάση αυτή τη μέθοδο υπολογισμού, ο αλγόριθμος του EP αξιοποιώντας το αρχείο καιρού (Weather file) και τις παραμέτρους που ορίζονται και παραπάνω υπολογίζει πλήρως την κατανομή της σκίασης στην επιφάνεια του κελύφους εξαιτίας των όποιων προβόλων/σκιάστρων στην εξωτερική επιφάνεια του κτιρίου. Όσον αφορά δε την κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας στο εσωτερικό του κελύφους, όπως αυτή διεισδύει μέσα από τα ανοίγματα/υαλοπίνακες, ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί την απλοποιητική παραδοχή “Minimal Shadowing” με βάση την οποία όλη η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει στην οριζόντια επιφάνεια του πατώματος όπου και απορροφάται με βάση τον συντελεστή απορρόφησής της και στην συνέχεια ανακλάται ομοιόμορφα σε όλες τις υπόλοιπες επιφάνειες επηρεάζοντας το ενεργειακό ισοζύγιο της Θ.Ζ..

Απαραίτητη προϋπόθεση για την σωστή εφαρμογή όλων τα παραπάνω είναι φυσικά η εισαγωγή της γεωμετρίας, της θέσης και της αλληλεπίδρασης των σκιάστρων με τις Θ.Ζ.. Στην παρούσα μελέτη θεωρούμε ότι τα αδιαφανή δάπεδα των εξωστών των ορόφων λειτουργούν ως σκιάστρα για τις επιφάνειες της Θ.Ζ. που βρίσκεται απο κάτω τους. Έτσι η μοντελοποίηση τους γίνεται ως σκιάστρα και όχι ως απλές επιφάνειες (με μπλέ χρώμα στην Εικόνα 5-11). Το ίδιο επίσης και η προβολή του βόρειου τοίχου στο άνοιγμα της εισόδου του ισογείου (στην εικόνα κάτω δεξιά).



Εικόνα 5-11 Τα μπαλκόνια ως σκίαστρα στο περιβάλλον Sketchup-OS Plugin

5.1.4.2 Σκίαση Υαλοπινάκων (Window Shading Control)

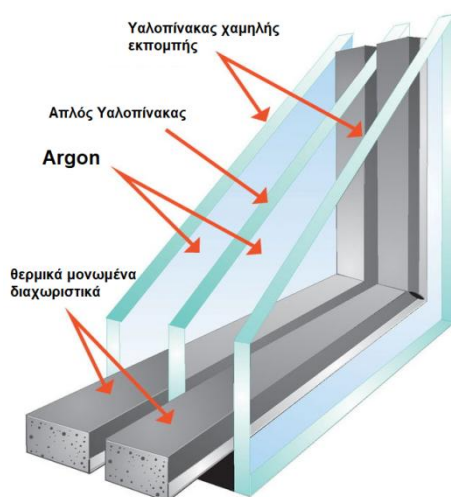
Η σκίαση των υαλοπινάκων ενός κτιρίου μπορεί να επιτευχθεί με πολλούς διαφορετικούς τρόπους όπως εσωτερικά/εξωτερικά σκίαστρα, περσίδες, κουρτίνες, ρολά, θερμοχρωμικοί ή ηλεκτροχρωμικοί υαλοπίνακες κ.α., ενώ χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο για να μειωθούν τα φαινόμενα θάμβωσης και υπερθέρμανσης του χώρου κατά την διάρκεια της μέρας αλλά και σε ορισμένες περιπτώσεις για να περιορίσουν οι θερμικές απώλειες μέσω των υαλοπινάκων κατά την διάρκεια της νύχτας. Η εισαγωγή δεδομένων για την εξωτερική ή εσωτερική σκίαση των υαλοπινάκων, αλλά όχι για την σκίαση μέσω των ίδιων των υαλοπινάκων όπως πχ μέσω της επίδρασης καινοτόμων θερμοχρωμικών ή ηλεκτροχρωμικών υλικών, προϋποθέτει την περιγραφή των κατασκευαστικών στοιχείων του σκιάστρου, του τρόπου ελέγχου της σκίασης και των παραμέτρων του ελέγχου αυτού. Στην συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιείται για όλους τους υαλοπίνακες ένα σύστημα ελέγχου με βάση το οποίο τα εξωτερικά σκίαστρα, τα οποία ορίζουμε στην ενότητα «Window Material Blind», κλείνουν όταν η οριζόντια δέσμη της ηλιακής ακτινοβολίας υπερβεί το όριο των 140 W/m^2 .

5.1.5 Διαφανή Δομικά στοιχεία Κελύφους και προσδιορισμός της Θερμοπερατότητας Υαλοπινάκων

Τα διαφανή δομικά στοιχεία του κελύφους αποτελούνται από τις γυάλινες μπαλκονόπορτες και τα παράθυρα. Για λόγους απλοποίησης θεωρούμε ότι όλα τα αδιαφανή στοιχεία έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά και γι αυτό θα αναφερόμαστε μόνο σε «παράθυρα» συμπεριλαμβανοντας και τις μπαλκονόπορτες.

Τα παράθυρα που επιλέχθηκαν για την μοντελοποίηση του κτιρίου αποτελούνται από συστήματα υαλοπινάκων χαμηλής εκπομπής και αρκετά υψηλής ενεργειακής απόδοσης. Πρόκειται για τριπλούς ενεργειακούς υαλοπίνακες χαμηλής εκπομπής με αέριο πλήρωσης αργό (argon). Οι τριπλοί ενεργειακοί υαλοπίνακες, γνωστοί και ως υαλοπίνακες χαμηλής εκπομπής (low-e), αποτελούν συνθέσεις τζαμιών με δομή παρόμοια όπως αυτή των συμβατικών τριπλών υαλοπινάκων, οι οποίοι όμως διαθέτουν τζάμια ειδικού τύπου για υψηλότερη θερμομόνωση με ειδικό μονωτικό αέριο στο διάκενό τους. Με τον τρόπο αυτό εμποδίζεται 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 ή κερδών του κτιρίου κατά τους χειμερινούς και θερινούς μήνες αντίστοιχα. , ανάλογα με τις θερμικές απαιτήσεις του κτιρίου και το κλίμα της περιοχής στην οποία αυτό βρίσκεται. Συγκεκριμένα, αποτελούνται κι αυτοί από τρία τζάμια ενωμένα μεταξύ τους με ένα προφίλ αλουμινίου,θερμικά μονωμένο, τα οποία σφραγίζονται περιμετρικά με ειδική κόλλα. Το ενδιάμεσο τζάμι είναι ένας απλός συμβατικός υαλοπίνακας (clear float glass), ενώ τα πλευρικά έχουν υποστεί ειδική επεξεργασία κατά την οποία εφαρμόζεται μια επίστρωση χαμηλής εκπομπής (low-e), ώστε να διαθέτουν υψηλή ανακλαστικότητα στην υπέρυθη ακτινοβολία του ήλιου (μεταξύ 4 και 100 μm), περιορίζοντας έτσι σημαντικά τη μετάδοσή της σε εσωτερικούς χώρους.



Εικόνα 5-12 Τριπλός ενεργειακός Υαλοπίνακας Χαμηλής Εκπομπής (low-e)

Για τον υπολογισμό των ιδιοτήτων του υαλοπίνακα που επιλέγεται χρησιμοποιείται το υπολογιστικό εργαλείο Window, ενώ για την παραμετρική ανάλυση στο περιβάλλον του EnergyPlus γίνεται η εισαγωγή των κατάλληλων δεδομένων στις κατηγορίες: WindowMaterial: Glazing, WindowMaterial: Gas, Construction, WindowProperty: FrameAndDivider.

Αναλυτικότερα οι τιμές των βασικών θερμικών ιδιοτήτων του επιλεγμένου υαλοπίνακα έχουν ως εξής:

	Συνολικό Πάχος [mm]	U [W/m ² K]	SHGC
Τριπλός ενεργειακός Υαλοπίνακας Χαμηλής Εκπομπής (low-e)	72,59	0,677	0,464

5.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΖΕΣΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΧΡΗΣΗΣ

5.2.1 Ιδεατό Σύστημα Κλιματισμού (ZoneHVAC: Ideal Loads AirSystem) ’

Στην παρούσα μελέτη γίνεται εστίαση στην αξιολόγηση της θερμικής απόδοσης του κελύφους και επομένως δεν απαιτείται άμεσα κάποια λεπτομερής αποτύπωση των ενεργειακών συστημάτων του κτιρίου.

Για τον υπολογισμό των ενεργειακών αναγκών του κτιρίου, το λογισμικό EnergyPlus δίνει την επιλογή ώστε να οριστεί ένα ιδεατό σύστημα θερμοστάτη και ένα ιδεατό σύστημα κλιματισμού-θέρμανσης-ψύξης (HVAC) το οποίο να αποδίδει πλήρως τις ανάγκες του κτιρίου σε θέρμανση-ψύξη. Η εισαγωγή του συστήματος αυτού στο EP γίνεται για κάθε κλιματιζόμενη θερμική ζώνη.

Επιπλέον για τις ανάγκες της εκτίμησης της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου καθορίζονται τα επιθυμητά όρια εσωτερικής θερμοκρασίας ανά χρήση στη βάση της επίτευξης συνθηκών θερμικής άνεσης με τη μικρότερη δυνατή κατανάλωση ενέργειας. Τα θερμοκρασιακά όρια του θερμοστάτη τίθενται με βάση το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 15251:2007, το οποίο για την κατηγορία κτιρίου «Κτίριο Πολυκατοικίας» ορίζει τα όρια ανάμεσα στους 20 °C και 26 °C αντίστοιχα.

5.2.2 Ζεστό Νερό Χρήσης (Z.N.X.)

Η κατανάλωση ζεστού νερού χρήσης (Z.N.X.) 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 Z.N.X. Για τον υπολογισμό της κατανάλωσης θερμικής ενέργειας για παραγωγή Z.N.X., 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, καθορίζεται η τυπική ημερήσια κατανάλωση Z.N.X. ανά άτομο/χρήστη του υπό μελέτη κτιρίου ή της υπό μελέτη ζώνης, καθώς επίσης και η ετήσια κατανάλωση. Για την υπό μελέτη περίπτωση συνιστάται ως τυπική τιμή κατανάλωσης ζεστού νερού χρήσης, σε θερμοκρασία 45°C, για τον υπολογισμό της κατανάλωσης ενέργειας η τιμή των 50 λίτρων Z.N.X. ανά άτομο και ημέρα και τα 27,38 κυβικά μέτρα ανά υπνοδωμάτιο σε ετήσια βάση.

Σύμφωνα με τις οδηγίες του Κ.Εν.Α.Κ οι υπολογισμοί της κατανάλωσης Z.N.X. γίνονται βάσει των τετραγωνικών που καταλαμβάνει η χρήση για την οποία υπάρχει απαίτηση Z.N.X. και όχι για το σύνολο του κτιρίου. Η επιφάνεια των κοινόχρηστων βοηθητικών χώρων των κτιρίων, π.χ. διάδρομοι, κλιμακοστάσια, λουτρά (WC), δεν συνυπολογίζεται για τον καθορισμό των απαιτήσεων Z.N.X. 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 Z.N.X., ενώ στην περίπτωση κατά την οποία αυτοί οι χώροι οριστούν ως ξεχωριστές θερμικές ζώνες, η κατανάλωση Z.N.X. λαμβάνεται μηδενική.

Στο υπό μελέτη κτίριο το ZNX απαιτείται για όλα τα διαμερίσματα και εξασφαλίζεται μέσω τοπικών ηλεκτρικών θερμαντήρων (θερμοσίφωνες). Με βάση τον Κ.ΕΝ.Α.Κ για τις τοπικές μονάδες παραγωγής Z.N.X. (μονάδες ροής ή αποθήκευσης), όπως είναι οι ηλεκτρικοί θερμοσίφωνες ή ταχυθερμοσίφωνες, ο συντελεστής απόδοσης λαμβάνεται ίσος με την μονάδα (1). Η απόδοση των μονάδων

παραγωγής ZNX καθορίζεται σύμφωνα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του κατασκευαστή. Η πραγματική όμως θερμική απόδοση λειτουργίας μονάδας παραγωγής Z.N.X. διαφοροποιείται και εξαρτάται από την εποχή, ανάλογα με την κλιματική ζώνη, από τα απαιτούμενα φορτία Z.N.X., από τις διατάξεις αυτοματισμών ελέγχου, από τη σωστή διαστασιολόγηση του συστήματος κ.ά. Για τους υπολογισμούς της κατανάλωσης θερμικής ενέργειας για παραγωγή Z.N.X. απαιτείται να προσδιοριστεί ο μέσος βαθμός θερμικής απόδοσης της μονάδας παραγωγής Z.N.X. Η θερμική ισχύς Pn, ενός τοπικού θερμαντήρα παραγωγής Z.N.X., συνήθως υπολογίζεται για μέσο χρόνο απόδοσης της συνολικής ημερήσια θερμικής ενέργειας σε 5 ώρες, όπως δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$Pn = Qd/5 \quad (5.1)$$

Όπου το ημερήσιο απαιτούμενο θερμικό φορτίο Qd σε (kWh/day) για Z.N.X. δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$Qd = Vd * \rho * \Delta T * \frac{c}{3600} \quad (5.2)$$

όπου:

Vd [ℓ /ημέρα] το ημερήσιο φορτίο,

ρ [kg/ ℓ] η πυκνότητα του νερού,

$\rho = 1$ kg/ ℓ, c [kJ/(kg.K)] η ειδική θερμότητα,

c = 4,18 kJ/(kg.K)

ΔT [K] ή [°C] θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ της χαμηλότερης θερμοκρασίας του νερού δικτύου και της θερμοκρασίας του Z.N.X. (45°C) (δίνεται στον Πίνακα 5-1):

Πίνακας 5-1 Θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ της χαμηλότερης θερμοκρασίας του νερού δικτύου και της θερμοκρασίας του Z.N.X. (45°C) [K.EN.A.K]

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

Με βάση τα παραπάνω μελετώντας την δυσμενέστερη περίπτωση η οποία να ανταποκρίνεται στην χρήση του κτιρίου, η πραγματική θερμική απόδοση λειτουργίας μονάδας παραγωγής Z.N.X. κυμαίνεται μεταξύ 12 και 15 kW και επιλέγουμε την τιμή των 15kW.

Σε ότι αφορά τα χρονοδιαγράμματα χρήσης αυτά λαμβάνονται από τους πίνακες του αμερικάνικου προτύπου ASHRAE 90.1.

5.3 ΤΟΙΧΟΠΟΙΑ

Στην παρούσα εργασία αξιολογείται η επίδραση της εφαρμογής καινοτόμων συστημάτων ελαφράς τοιχοποιίας στο κτιριακό κέλυφος για την βελτίωση της

ενεργειακής του απόδοσης. Η εισαγωγή δεδομένων στο λογισμικό EP σχετικών με τα κατασκευαστικά στοιχεία της τοιχοποιίας και τις θερμοφυσικές ιδιότητες των υλικών από τα οποία αποτελείται γίνεται μέσω των κατηγοριών αντικειμένων εισόδου (objects) «Material» και «SurfaceConstructionElements».

Στην κατηγορία Material εμπίπτουν πέρα από τα στοιχεία της τοιχοποιίας και τα στοιχεία των υαλοπινάκων αλλά και των διακένων αέρα. Στην επιλογή Material ορίστηκαν τα υλικά κατασκευής της κάθε τοιχοποιίας, 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/m³ και η ειδική θερμοχωρητικότητα του υλικού κατασκευής σε J/(g-K). Στην επιλογή Material:AirGap ορίζεται η θερμική αντίσταση του διακένου αέρα μεταξύ επιφανειών αδιαφανών δομικών στοιχείων (ενδεικτικά για την περιοχή της Αθήνας: 0.15 m²K/W για κατακόρυφες και 0.18m²K/W για οριζόντιες επιφάνειες) ενώ στην κατηγορία Material: NoMass εισάγονται δεδομένα για υλικά των οποίων οι βασικές εκτατικές ιδιότητες αγνοούνται και εισάγονται μόνο οι θερμικές τους. Στην επιλογή WindowMaterial:Glazing ορίζεται το είδος του υαλοπίνακα που φέρουν τα παράθυρα και οι ιδιότητές του.

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.

Η εισαγωγή όλων των παραπάνω δεδομένων για κάθε περίπτωση τοιχοποιίας που μελετάται παρουσιάζεται παρακάτω.

5.3.1 Συμβατική Τοιχοποιία

Για τον προσδιορισμό της ενεργειακής απόδοσης ενός κτιρίου και την κατηγοριοποίησή του με βάση την εθνική νομοθεσία, κομβική είναι η έννοια του «κτιρίου αναφοράς» ως μέτρο σύγκρισης.

Το «κτίριο αναφοράς» καθορίζεται να είναι παρόμοιο με το υπό μελέτη κτίριο αλλά να εμπίπτει πάντοτε στην κατηγορία Β. Συγκεκριμένα, θεωρείται πως έχει τα ίδια γεωμετρικά χαρακτηριστικά, θέση, προσανατολισμό, χρήση και χαρακτηριστικά λειτουργίας με το εξεταζόμενο κτίριο. Το κτίριο αναφοράς πληροί τις ελάχιστες προδιαγραφές όπως περιγράφονται στο άρθρο 9 του Κ.Εν.Α.Κ και έχει καθορισμένα τεχνικά χαρακτηριστικά τόσο στα εξωτερικά δομικά στοιχεία του, όσο και στα Η/Μ τεχνικά συστήματα που αφορούν στη Θ.Ψ.Κ. των εσωτερικών χώρων, στην παραγωγή Ζ.Ν.Χ. και στο φωτισμό. Στον Πίνακα 5-2 παρουσιάζονται ενδεικτικά οι τιμές αυτές για την περίπτωση ριζικής ανακαίνισης.

Πίνακας 5-2 Μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας U [W/(m²•K)] ανά κλιματική ζώνη [Κ.ΕΝ.Α.Κ]

Δομικό στοιχείο	Ζώνη Α'	Ζώνη Β'	Ζώνη Γ'	Ζώνη Δ'
Εξωτερική οριζόντια ή κεκλιμένη επιφάνεια σε	0,50	0,45	0,40	0,35

**επαφή με τον εξωτερικό αέρα
(οροφή)**

Εξωτερικός τοίχος σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	0,60	0,50	0,45	0,40
Δάπεδο σε επαφή με κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο	1,20	0,90	0,75	0,70

Δεδομένου ότι στην παρούσα εργασία συγκρίνονται παραμετρικά περιπτώσεις κελύφους σε εντελώς διαφορετικές κλιματικές ζώνες (Αθήνα και Λονδίνο), και ότι απότερος σκοπός είναι ο προσδιορισμός της θερμικής συμπεριφοράς του κελύφους και όχι ολόκληρου του κτιρίου, επιλέγεται η σύγκριση κάθε σεναρίου με ένα κτίριο που προσομοιάζει τις ιδιότητες των δομικών στοιχείων του κτιρίου αναφοράς όπως αναφέρει ο Κ.Εν.Α.Κ. (προς τη δυσμενέστερη περίπτωση-Κλιματική Ζώνη Δ') χωρίς όμως να ανταποκρίνεται πλήρως σε αυτές.

Επομένως κάθε αναφορά στο κτίριο με βάση το οποίο συγκρίνεται η θερμική συμπεριφορά του κτιρίου κάθε σεναρίου, αφορά το «κτίριο συμβατικής τοιχοποιίας» αντί για το «κτίριο αναφοράς». Για το κτίριο αυτό έγινε υπολογισμός των θερμικών γεφυρών με βάση τις οδηγίες του Κ.Εν.Α.Κ. που περιγράφονται στο έγγραφο TOTEE-207101-2 προκειμένου να επιτύχουμε ένα ακόμα πιο ρεαλιστικό σενάριο.

5.3.1.1 Υλικά Κατασκευής (Materials) και Δομικά Στοιχεία Επιφάνειας (Surface Construction Elements)

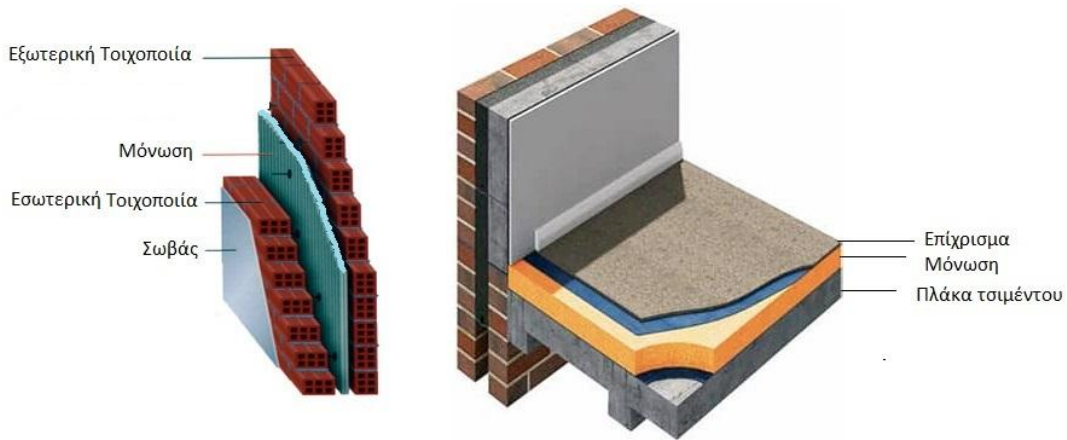
Το κτιριακό κέλυφος, αποτελείται από τα εξής στοιχεία:

- Εξωτερικοί τοίχοι συμβατικής τοιχοποιίας μπατικής οπτοπλινθοδομής επιχρησμένη και από τις δύο όψεις και ενισχυμένη με θερμική μόνωση ορυκτοβάμβακα στο εσωτερικό της. (Αποδιδόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας περίπου $0,4 \text{ W/m}^2 \text{ K}$)
- Οριζόντια δομικά στοιχεία (δάπεδα/οροφές μεταξύ ορόφων και σε επαφή με το έδαφος) από πλάκα τσιμέντου επιχρησμένη και από τις δύο πλευρές και μονωμένη με πλάκες διογκωμένης πολυστερίνης. (Αποδιδόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας $0,225 \text{ W/m}^2 \text{ K}$)
- Εσωτερικά διαχωριστικά από γυψοσανίδα με μόνωση ορυκτοβάμβακα. (Αποδιδόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας $1,098 \text{ W/m}^2 \text{ K}$)

Ο φέρων οργανισμός αποτελεί κατασκευή από οπλισμένο σκυρόδεμα και περιλαμβάνει υποστυλώματα, δοκούς και πλάκες από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Βασικά Δομικά Στοιχεία

του κτιριακού κελύφους συμβατικής τοιχοποιίας

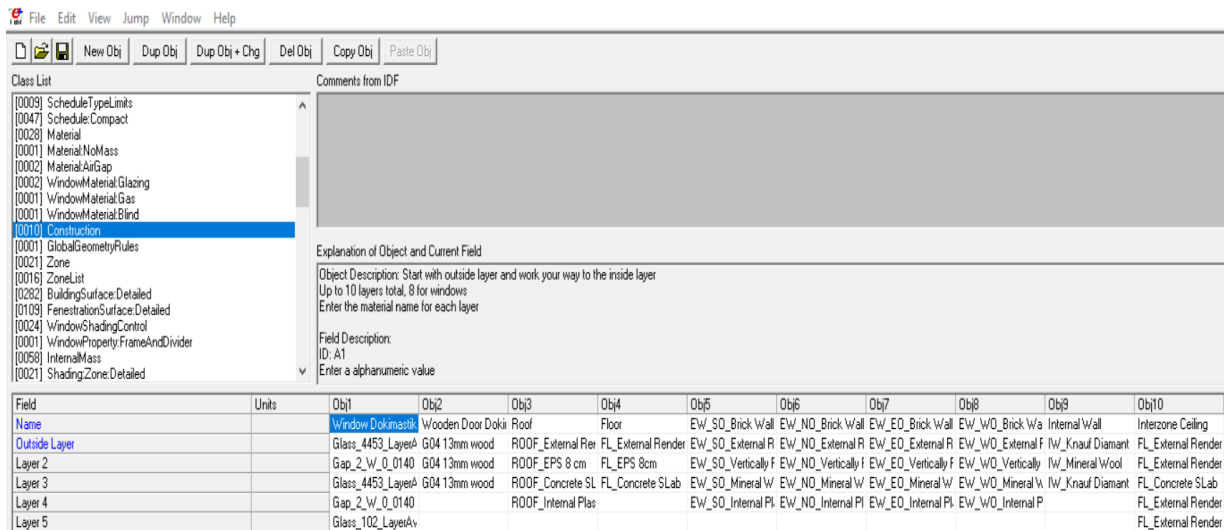


Εικόνα 5-13 Βασικά Δομικά Στοιχεία Κελύφους Συμβατικής Τοιχοποιίας

Στοιχεία για τα υλικά κατασκευής παρουσιάζονται ενδεικτικά στα παρακάτω στιγμιότυπα στο περιβάλλον του EnergyPlus(ενότητες Material ,Construction) ενώ στους πίνακες Πίνακας 5-3 και Πίνακας 5-4 στην επόμενη ενότητα παρατίθενται στοιχεία για τις θερμοφυσικές ιδιότητες κάθε στοιχείου.

Field	Units	Obj7	Obj18	Obj19	Obj20	Obj21	Obj22	Obj23	Obj24	Obj25	Obj26	Obj27
Name		ROOF_ExternalRer	ROOF_EPS	ROOF_Concrete SL	ROOF_InternalPlas	FL_ExternalRender	FL_EPS	FL_Concrete SLab	G04 13mm wood	Iw_Knauf Diamant	Iw_MineralWool	FL_EPS 8cm
Roughness		MediumRough	Smooth	MediumRough	MediumRough	MediumRough	Smooth	MediumRough	MediumSmooth	MediumRough	Smooth	Smooth
Thickness	m	0.015	0.15	0.3	0.015	0.015	0.15	0.3	0.0127	0.015	0.065	0.08
Conductivity	W/m-K	0.99	0.04	2.23	0.43	1.0889	0.0428	2.4469	0.15	0.3	0.04	0.0428
Density	kg/m3	1300	25	2000	1200	1300	25	2000	608	1000	30	25
Specific Heat	J/kg-K	1000	1400	840	837	1000	1400	840	1630	1800	1000	1400

Εικόνα 5-14 Εισαγωγή Δεδομένων για τα υλικά στο EP



Εικόνα 5-15 Εισαγωγή Δεδομένων για την διάταξη των δομικών στοιχείων στο EP

Ο υπολογισμός των συντελεστών θερμοπερατότητας κάθε δομικού στοιχείου έγινε με βάση τις εξισώσεις που περιγράφονται στο 3^ο Κεφάλαιο της παρούσας εργασίας και με δεδομένα τα θερμοφυσικά στοιχεία κάθε υλικού και τα γεωμετρικά στοιχεία κάθε τοιχοποιίας. Τα αποτελέσματα αυτών των υπολογισμών παρουσιάζονται στον πίνακα Πίνακας 5-3.

Πίνακας 5-3 Θερμοφυσικές Ιδιότητες Δομικών στοιχείων για την περίπτωση της συμβατικής τοιχοποιίας

Υλικό	Πάχος (m)	Συντελεστής Θερμικής Αγωγιμότητας k (W/mK)	Θερμική Αντίσταση R-value (m ² K/W)	Ισοδύναμη Θερμική Αντίσταση Rt (m ² K/W)	Ισοδύναμος Συντελεστής Θερμοπερατότητας U (W/m ² K)
Εξωτερικό Επίχρισμα	0,015	0,890	0,017		
Αργιλική Οπτόπλινθος με κάθετες οπές	0,1	0,450	0,222		
Μόνωση Ορυκτοβάμβακα	0,065	0,035	1,857	2,36	0,424
Αργιλική Οπτόπλινθος με κάθετες οπές	0,1	0,450	0,222		
Εσωτερικός Σοβάς	0,015	0,390	0,038		

Δάπεδο

Εξωτερικό Επίχρισμα	0,015	0,890	0,017		
Μόνωση Διογκωμένης Πολυστερίνης (EPS)	0,15	0,035	4,286	4,45	0,225
Πλάκα Τσιμέντου	0,3	2,000	0,150		

Οροφή

Εξωτερικό Επίχρισμα	0,015	0,890	0,017		
Μόνωση Διογκωμένης Πολυστερίνης (EPS)	0,15	0,035	4,286	4,55	0,220
Πλάκα Τσιμέντου	0,3	2,000	0,150		
Εσωτερικός Σοβάς	0,015	0,390	0,038		

Εσωτερική Τοιχοποιία

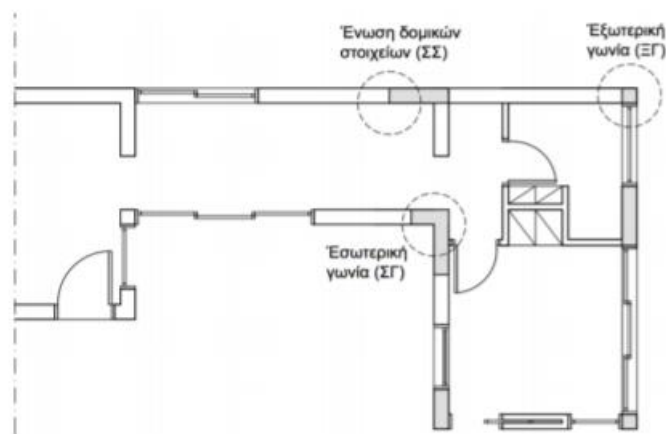
Γυψοσανίδα	0,015	0,270	0,056		
Μόνωση Ορυκτοβάμβακα	0,028	0,035	0,800	0,91	1,098
Γυψοσανίδα	0,015	0,270	0,056		

5.3.1.2 Υπολογισμός Θερμογεφυρών

Με βάση τον Κ.Εν.Α.Κ. ανάλογα με τη θέση εμφάνισής τους στο κτίριο, οι θερμογέφυρες απαντώνται:

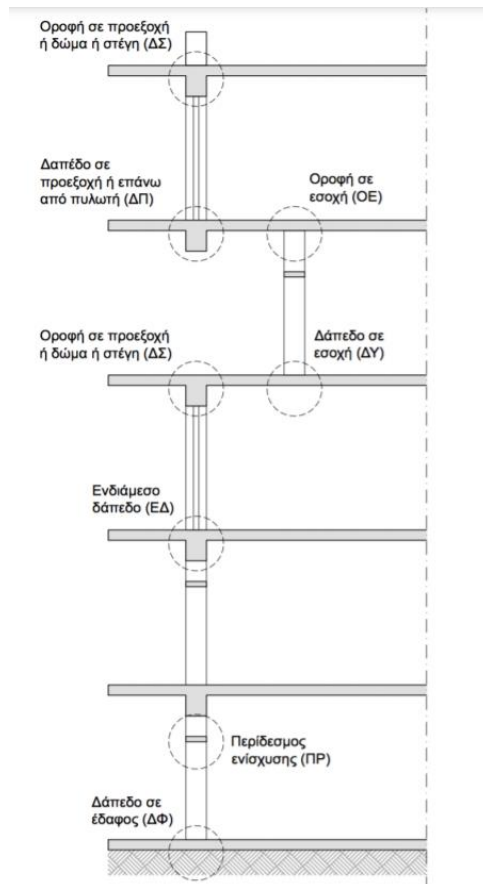
- στη συναρμογή των κατακόρυφων δομικών στοιχείων (κατακόρυφες θερμογέφυρες)
- στη συναρμογή των οριζόντιων δομικών στοιχείων με τα κατακόρυφα δομικά στοιχεία (οριζόντιες θερμογέφυρες)
- στη συναρμογή των κουφωμάτων με τα συμπαγή δομικά στοιχεία (θερμογέφυρες κουφωμάτων).

Οι κατακόρυφες θερμογέφυρες εντοπίζονται στις κατόψεις του κτιρίου, Δεδομένου ότι η κύρια διάστασή τους αναπτύσσεται καθ' ύψος, το μήκος τους μετράται με βάση τα σχέδια των τομών. Διακρίνονται τρεις υποκατηγορίες: θερμογέφυρες ένωσης δομικών στοιχείων (ΣΣ), θερμογέφυρες εσωτερικών γωνιών (ΣΓ), θερμογέφυρες εξωτερικών γωνιών (ΞΓ) όπως φαίνεται στο σχήμα:



Εικόνα 5-16 Ονοματοδοσία Κατακόρυφων Θερμογεφυρών [Κ.ΕΝ.Α.Κ]

Οι οριζόντιες θερμογέφυρες εντοπίζονται στις τομές του κτιρίου. Δεδομένου ότι η κύρια διάστασή τους αναπτύσσεται κατά μήκος των δομικών στοιχείων, το μήκος τους μετράται με βάση τα σχέδια των κατόψεων. Διακρίνονται επτά υποκατηγορίες όπως παρουσιάζεται και στο σχήμα:



Εικόνα 5-17 Ονοματοδοσία Οριζόντιων θερμογεφυρών [Κ.ΕΝ.Α.Κ]

Οι θερμογέφυρες κουφωμάτων εντοπίζονται στις θέσεις συναρμογής των κουφωμάτων με τα συμπαγή δομικά στοιχεία. Το μήκος τους μετράται με βάση τις διαστάσεις των ανοιγμάτων.

Διακρίνονται δύο υποκατηγορίες :

- θερμογέφυρες στο λαμπά του κουφώματος (ΛΠ) και
- θερμογέφυρες στο ανωκάσι / κατωκάσι του κουφώματος (ΥΠ)

Με βάση τα παραπάνω και τους αντίστοιχους πίνακες του Κ.Εν.Α.Κ οι υπολογισμοί των απωλειών λόγω θερμογεφυρών για το κτίριο συμβατικής τοιχοποιίας είχαν ως εξής:

Νότιος Τοίχος

Τύπος Θερμογέφυρας με βάση τις ΤΟΤΕΕ- 2017/2	Μήκος Θερμογεφυρών [m]	ψ [W/mK]	LQ [W/K]	Συντελεστής Θερμοπερατότητας U [W/m ² /K]
ΕΛ-11	20,915	0,45	9,412	0,237
ΔΣ-15	0	0,65	0	0
ΞΓ-11	10,120	-0,2	-2,024	-0,038
ΔΦ-3	0	0,35	0	0
ΣΣ-18	7,590	0,45	3,416	0,064

ΛΠ-25	11,834	0,05	0,592	0,011
Επιφάνεια [m ²]	52,914			
U-Αρχικό				0,424
U- Θερμογεφυρών				0,289
U-Ισοδύναμο				0,713

Ανατολικός Τοίχος

Τύπος Θερμογέφυρας με βάση τις ΤΟΤΕΕ- 2017/2	Μήκος Θερμογεφυρών [m]	ψ [W/mK]	LQ [W/K]	Συντελεστής Θερμοπερατότητας U [W/m ² /K]
ΕΛ-11	15,695	0,45	7,063	0,177
ΔΣ-15	6,800		0	0
ΞΓ-11	10,120	-0,2	-2,024	-0,050
ΔΦ-3	0	0,35	0	0
ΣΣ-18	7,590	0,45	3,416	0,086
ΛΠ-25	8,018	0,05	0,401	0,010
Επιφάνεια [m ²]	39,70			
U-Αρχικό				0,424
U- Θερμογεφυρών				0,223
U-Ισοδύναμο				0,647

Βόρειος Τοίχος

Τύπος Θερμογέφυρας με βάση τις ΤΟΤΕΕ- 2017/2	Μήκος Θερμογεφυρών [m]	ψ [W/mK]	LQ [W/K]	Συντελεστής Θερμοπερατότητας U [W/m ² /K]
ΕΔ-11	20,915	0,45	9,412	0,237
ΔΣ-15	0	0,65	0	0
ΞΓ-11	5,060	-0,2	-1,012	-0,025
ΔΦ-3	0	0,35	0	0
ΣΣ-18	7,590	0,45	3,416	0,086
ΛΠ-25	4,645	0,05	0,232	0,005
Επιφάνεια [m ²]	39,70			
U-Αρχικό				0,424
U- Θερμογεφυρών				0,303
U-Ισοδύναμο				0,727

Δυτικός Τοίχος

Τύπος Θερμογέφυρας με βάση τις TOTEE- 2017/2	Μήκος Θερμογεφυρών [m]	ψ [W/mK]	LQ [W/K]	Συντελεστής Θερμοπερατότητας U [W/m2/K]
ΕΛ-11	15,695	0,45	7,063	0,177
ΔΣ-15	3,400	0,65	2,210	0,055
ΞΓ-11	5,060	-0,2	-1,012	-0,025
ΔΦ-3	0	0,35	0	0
ΣΣ-18	0	0,45	0	0
ΛΠ-25	11,834	0,05	0,592	0,014
Επιφάνεια [m2]	39,70			
U-Αρχικό				0,424
U- Θερμογεφυρών				0,222
U-Ισοδύναμο				0,647

Οροφή

Τύπος Θερμογέφυρας με βάση τις TOTEE- 2017/2	Μήκος Θερμογεφυρών [m]	ψ [W/mK]	LQ [W/K]	Συντελεστής Θερμοπερατότητας U [W/m2/K]
ΕΛ-11	73,22	0,45	32,949	0,100
ΔΣ-15				
ΞΓ-11				
ΔΦ-3				
ΣΣ-18				
ΛΠ-25				
Επιφάνεια [m2]	328,26			
U-Αρχικό				0,222
U- Θερμογεφυρών				0,100
U-Ισοδύναμο				0,323

Δάπεδο

Τύπος Θερμογέφυρας με βάση τις TOTEE- 2017/2	Μήκος Θερμογεφυρών [m]	ψ [W/mK]	LQ [W/K]	Συντελεστής Θερμοπερατότητας U [W/m2/K]
ΔΦ-3	73,22	0,35	25,627	0,078
Επιφάνεια [m2]	328,26			

U-Καθαρής Επιφάνειας	0,224
U- Θερμογεφυρών	0,078
U-Ισοδύναμο	0,302

5.3.2 Σύστημα Τοιχοποιίας από CLT και Συμβατικά Μονωτικά Υλικά

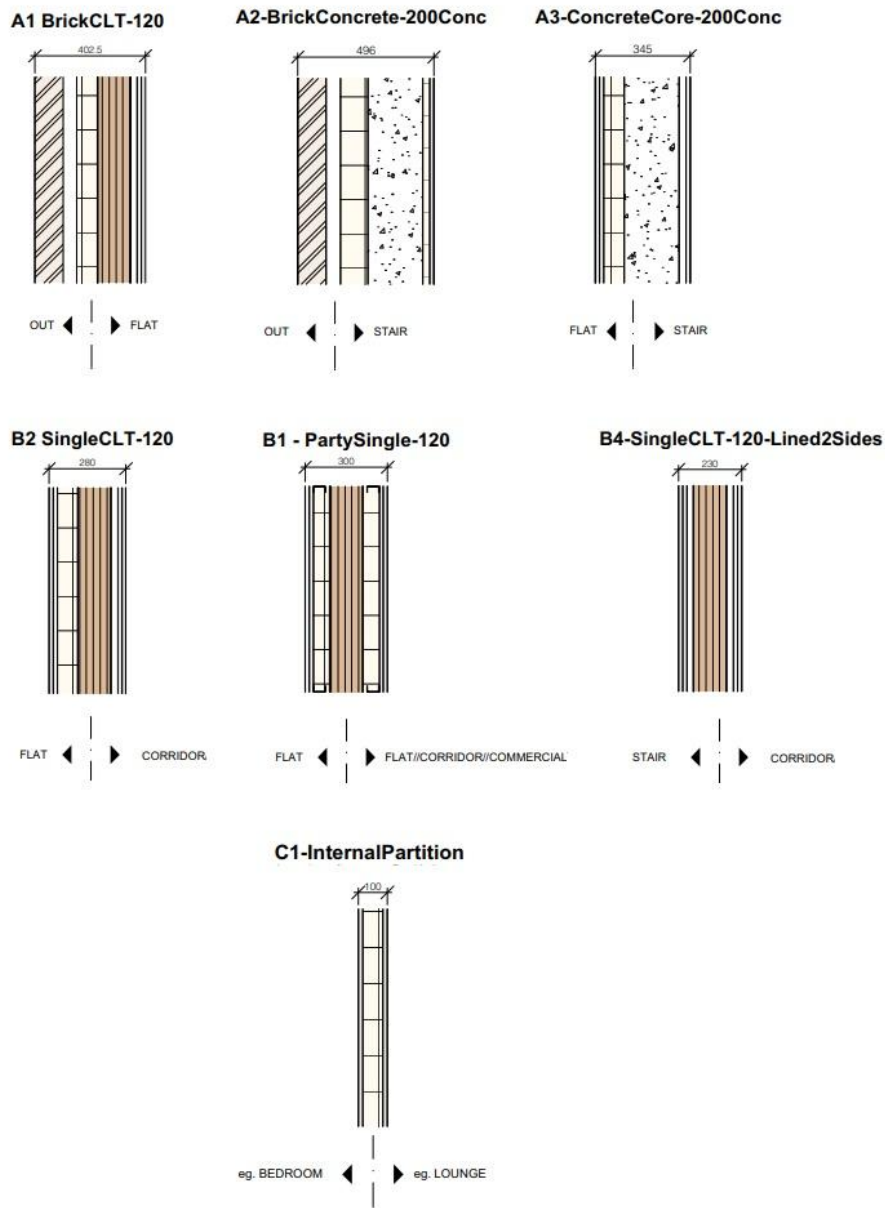
5.3.2.1 Υλικά Κατασκευής (*Materials*) και Δομικά Στοιχεία Επιφάνειας (*Surface Construction Elements*)

Βασικό δομικό υλικό της τοιχοποιίας αυτής αποτελεί το πάνελ σταυρωτής επικολλητής ξυλείας (CLT) από κόντρα πλακέ. Η εξωτερική τοιχοποιία επενδύεται για λόγους προστασίας από την υγρασία και τον αέρα από στρώση οπτοπλινθοδομής ενώ για στατικούς λόγους, στον χώρο του ισογείου η τοιχοποιία των κοινόχρηστων χώρων κατασκευάζεται από ενισχυμένο σκυρόδεμα (επένδυμένο με τούβλο στις εξωτερικές επιφάνειες για αισθητικούς λόγους). Η κατασκευή από πάνελ CLT δεν απαιτεί την ύπαρξη φέροντος οργανισμού από ατσάλι ή σκυρόδεμα καθώς τα ίδια τα πάνελ επιτελούν την λειτουργία του φέροντος οργανισμού παραλαμβάνοντας και κατανέμοντας τα φορτία ανάλογα. Κάθε δομικό στοιχείο (οριζόντιο ή κάθετο) είναι ενισχυμένο θερμικά με συμβατικά υλικά θερμικής μόνωσης (είτε διογκωμένης πολυστερίνης είτε ορυκτοβάμβακα) ενώ υπάρχει πρόβλεψη τόσο για την ηχομόνωση όσο και για την μόνωση με φίλμ απέναντι στην υγρασία. Σε ότι αφορά την θερμική απόδοση της τοιχοποιίας τα τελευταία παραλείπονται. Η σύνδεση μεταξύ των πάνελ γίνεται με μεταλλικούς συνδέσμους όπως περιγράφεται παρακάτω.

Αναλυτικότερα η διάταξη των δομικών στοιχείων και οι θερμοφυσικές ιδιότητες του κάθε δομικού υλικού παρουσιάζονται στα παρακάτω σχήματα και πίνακες

Κατακόρυφα Δομικά Στοιχεία

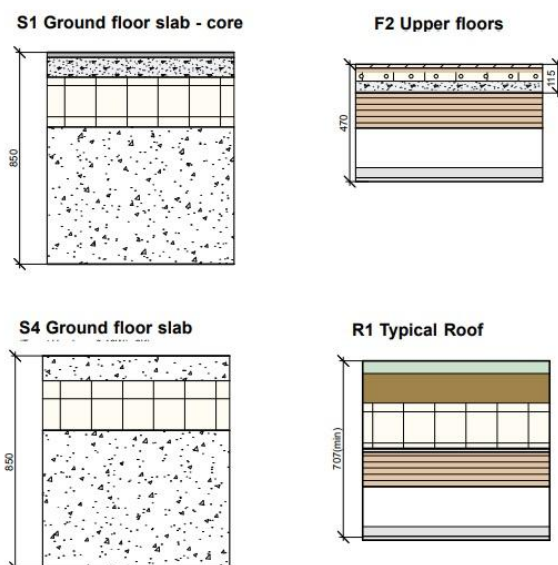
Συστήματος Τοιχοποιίας Σταυρωτής Επικολητής Ξυλείας (CLT)



Εικόνα 5-18 Κατακόρυφα δομικά στοιχεία για την τοιχοποιίας με CLT και συμβατικά μονωτικά υλικά

Οριζόντια Δομικά Στοιχεία

Συστήματος Τοιχοποιίας Σταυρωτής Επικολητής Ξυλείας (CLT)



Εικόνα 5-19 Οριζόντια δομικά στοιχεία για την τοιχοποιίας με CLT και συμβατικά μονωτικά υλικά

Πίνακας 5-4 Θερμοφυσικές Ιδιότητες Δομικών στοιχείων Τοιχοποιίας CLT

Σύστημα Τοιχοποιίας Σταυρωτής Επικολητής Ξυλείας (CLT)

Εξωτερική Τοιχοποιία Τύπου A1(οπτοπλινθοδομή και CLT)					
ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΥΛΙΚΟΥ	Πάχος (m)	Συντελεστής Θερμικής Αγωγ/τας k (W/mK)	Θερμική Αντίσταση R-value (m ² K/W)	Ισοδύναμη Θερμική Αντίσταση Rt (m ² K/W)	Ισοδύναμος Συντελεστής Θερμοπερατότητας U (W/m ² K)
Οπτοπλινθοδομή	0,103	0,350	0,292		
Άκαμπτη πλάκα φαινολικού Αφρού	0,075	0,021	3,571	5,05	0,197
Πάνελ CLT	0,120	0,130	0,923		

Διάκενο Αέρα			0,150		
Ηχομόνωση	0,015	0,250	0,060		
Ηχομόνωση	0,015	0,250	0,060		
Εξωτερική Τοιχοποιία Τύπου Α2(οπτοπλινθοδομή,σκυρόδεμα)					
Οπτοπλινθοδομή	0,103	0,350	0,292		
Υαλοβάμβακας	0,075	0,040	1,875		
Άκαμπτη πλάκα φαινολικού Αφρού	0,100	0,021	4,761	7,24	0,138
Σκυρόδεμα	0,200	2,330	0,085		
Διάκενο Αέρα			0,150		
Γυψοσανίδα	0,015	0,19	0,078		
Εξωτερική Τοιχοποιία Τύπου Α3 (σκυρόδεμα)					
Ηχομόνωση	0,015	0,250	0,060		
Υαλοβάμβακας	0,075	0,040	1,875		
Διάκενο Αέρα			0,150		
Σκυρόδεμα	0,200	2,330	0,085		
Διάκενο Αέρα			0,150	4,25	0,234
Υαλοβάμβακας	0,075	0,040	1,875		
Ηχομόνωση	0,015	0,250	0,060		
Εσωτερική Τοιχοποιία Τύπου Β1 (CLT 120mm)					
Ηχομόνωση	0,015	0,250	0,060		
Ηχομόνωση	0,015	0,250	0,060		
Υαλοβάμβακας	0,060	0,040	1,500		
Πάνελ CLT	0,120	0,130	0,923	4,16	0,240
Υαλοβάμβακας	0,060	0,040	1,500		
Ηχομόνωση	0,015	0,250	0,060		
Ηχομόνωση	0,015	0,250	0,060		
Εσωτερική Τοιχοποιία Τύπου Β2 (CLT 120mm)					
Ηχομόνωση	0,015	0,250	0,060		
Υαλοβάμβακας	0,060	0,040	1,500		
Διάκενο Αέρα			0,150		
Πάνελ CLT	0,120	0,130	0,923	4,34	0,230
Διάκενο Αέρα			0,150		
Υαλοβάμβακας	0,060	0,040	1,50		
Ηχομόνωση	0,015	0,250	0,060		

Εσωτερική Τοιχοποιία Τύπου Β4 (CLT 120mm)					
Ηχομόνωση	0,015	0,250	0,060		
Ηχομόνωση	0,015	0,250	0,060		
Διάκενο Αέρα			0,150		
Πάνελ CLT	0,120	0,130	0,923	1,46	0,683
Διάκενο Αέρα			0,150		
Ηχομόνωση	0,015	0,250	0,060		
Ηχομόνωση	0,015	0,250	0,060		
Εσωτερικό Διαχωριστικό Τύπου C1					
Γυψοσανίδα	0,015	0,190	0,078		
Υαλοβάμβακας	0,060	0,040	1,500	1,65	0,603
Γυψοσανίδα	0,015	0,190	0,078		
ΔΑΠΕΔΟ/ΟΡΟΦΗ ΜΕΤΑΞΥ ΟΡΟΦΩΝ					
Ηχομόνωση Οροφής	0,015	0,250	0,060		
Διάκενο Αέρα			0,180		
Πάνελ Δαπέδου CLT	0,140	0,130	1,076		
Γυψοσανίδα	0,400	2,500	0,160	7,34	0,13
Μόνωση Δαπέδου Διογκωμένης Πολυστερίνης (EPS)	0,200	0,035	5,714		
Γυψοσανίδα	0,018	0,320	0,056		
Ξύλινο Δάπεδο	0,015	0,150	0,1		
ΔΑΠΕΔΟ ΙΣΟΓΕΙΟΥ ΤΥΠΟΥ S1 (ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑΤΩΝ)					
Πλάκα Τσιμέντου	0,550	0,160	3,437		
Μόνωση Δαπέδου Διογκωμένης Πολυστερίνης (EPS)	0,200	0,035	5,714	9,57	0,104
Επίχρισμα Δαπέδου Πλακάκι	0,08	0,870	0,091		
	0,02	0,060	0,333		
ΔΑΠΕΔΟ ΙΣΟΓΕΙΟΥ ΤΥΠΟΥ S4 (ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΕΙΣΟΔΟΥ)					
Πλάκα Τσιμέντου	0,550	0,160	3,437		
Μόνωση Δαπέδου Διογκωμένης Πολυστερίνης (EPS)	0,200	0,035	5,714	9,22	0,108
Ενισχυμένο Σκυρόδεμα	0,100	1,400	0,071		
ΟΡΟΦΗ ΤΥΠΟΥ R1					
Ηχομόνωση Οροφής	0,015	0,250	0,060	5,92	0,168

Διάκενο Αέρα			0,180
Πάνελ Δαπέδου CLT	0,140	0,130	1,076
Διάκενο Αέρα			0,180
Μόνωση Οροφής	0,130	0,030	4,333
Εξωτερικό Επίχρισμα	0,080	0,870	0,091

5.3.2.2 Υπολογισμός Θερμογεφυρών

Η τοιχοποιία από CLT συγκρινόμενη με αντίστοιχα συστήματα τοιχοποιίας από ξύλο ή άλλες ελαφρές κατασκευές, παρουσιάζει πλεονέκτημα σε ότι αφορά τη μικρή παρουσία θερμογεφυρών λόγω του τρόπου συναρμολόγησης των μερών της. Οι σανίδες CLT διαμορφώνονται κατα κύριο λόγο ως συνεχείς μεγάλες επιφάνειες μειώνοντας τις επιμέρους συνδέσεις με αποτέλεσμα τη μείωση δημιουργίας γραμμικών θερμογεφυρών. Ωστόσο είναι αδύνατο να διαμορφωθεί μία «απειρη» επιφάνεια πάνελ και έτσι παρά την περιορισμένη έκτασή του, φαινόμενα θερμογεφυρών παρατηρούνται στα σημεία όπου υπάρχουν μεταλλικοί σύνδεσμοι, κοχλίες κατα κύριο λόγο, στις συνδέσεις μεταξύ των σανίδων.

Οι συνδέσεις των σανίδων CLT χωρίζονται στις κατηγορίες:

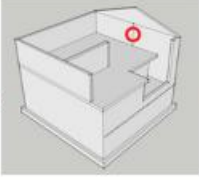
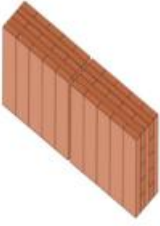
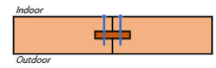
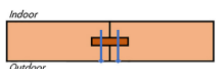
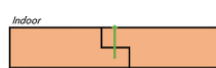
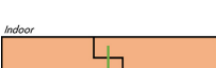
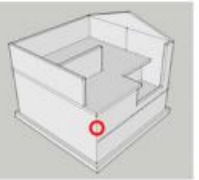

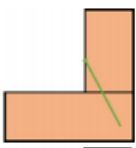
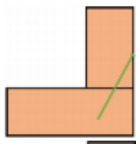
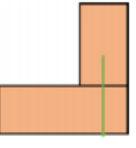
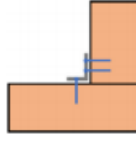
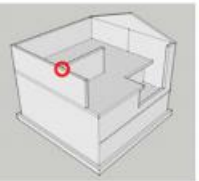
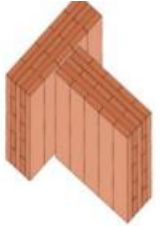
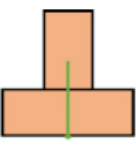
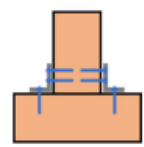
- α) συνδέσεις μεταξύ τοίχων,
- β) συνδέσεις τοίχων-οροφής,
- γ) συνδέσεις πατώματος-τοίχων.

Οι συνδέσεις μεταξύ τοίχων χωρίζονται με την σειρά τους σε συνδέσεις πάνελ-πάνελ (στην οποία έχουμε σύνδεση συνεχούς επιφάνειας και γωνίας) και στις συνδέσεις σταυρού (στην οποία το ένα πάνελ συναντά το άλλο κάθετα σε ενδιάμεση τομή της επιφάνειάς του). Οι συνδέσεις μεταξύ τοίχου-πατώματος χωρίζονται στις συνδέσεις τύπου «Μπαλόνη» (“ballon type”) όπου έχουμε κατακόρυφη εναπόθεση και σύνδεση του πατώματος σε προεξωχές της συνεχούς κατακόρυφης τοιχοποιίας, και σε συνδέσεις «εναλλακτικού τύπου» όπου το πάτωμα πακτώνεται σε εσωχές της συνεχούς κάθετης τοιχοποιίας. Για τον υπολογισμό των γραμμικών θερμογεφυρών στις συνδέσεις μεταξύ τοίχου και οροφής λαμβάνεται συνήθως η παραδοχή της παρουσίας οροφής οριζόντιας επιφάνειας. [Chang, S. J., Wi, S., & Kim, S. (2019). Thermal bridging analysis of connections in cross-laminated timber buildings based on ISO 10211. *Construction and Building Materials*, 213, 709-722.]

Αναλυτικότερα οι τύποι και η ονοματοδοσία των γραμμικών και σημειακών θερμογεφυρών στις κατασκευές από σανίδες CLT συστηματικοποιήθηκαν από τους Chang et al. οι οποίοι και υπολόγισαν πειραματικά τον συντελεστή γραμμικής θερμοπερατότητας για κάθε περίπτωση (για τοιχοποιία CLT τύπου ply-lam (plywood-lamina)). Τα αποτελέσματα αυτά χρησιμοποιούνται και για τους υπολογισμούς της παρούσας εργασίας και παρουσιάζονται συνοπτικά στον πίνακα Πίνακας 5-5:

Πίνακας 5-5 Στοιχεία Θερμογεφυρών στην τοιχοποιία CLT

Τύπος σύνδεσης	Γραφική αναπαράσταση	Ονοματοδοσία	Συντελεστής Γραμμικής Θερμοπερατότητας Ψ [W/mK]	Τρόπος Σύνδεσης
Τοίχος-Οροφή		R-1	0,1003	
		R-2	0,2195	
		F-B-1	-0,0072	
Τοίχος-Δάπεδο (Μπαλόνη)		F-B-2	0,0729	
		F-B-3	0,0735	
		F-A-2	0,0436	
		F-A-2	0,0362	
Τοίχου πατώματος (Εναλλακτικό)		F-A-3	0,0941	
		F-A-4	0,1555	

Τοίχος-Τοίχος (Πάνελ- Πάνελ)			W-P-1	0,0749	
			W-P-2	0,0877	
			W-P-3	0,0397	
			W-P-4	0,0472	
Τοίχος-Τοίχος (Ακμή)			W-E-1	0,1476	
			W-E-2	0,0630	
			W-E-3	0,0691	
			W-E-4	0,2195	
Τοίχος-Τοίχος (Σταυρός)			W-C-1	0,0841	
			W-C-2	0,1642	

Πίνακας 5-6 Υπολογισμός Θερμογεφυρών στην τοιχοποιία CLT

Νότιος Τοίχος				
Τύπος Θερμογέφυρας με βάση τους Chang et al.	Μήκος Θερμογεφυρών [m]	ψ [W/mK]	LQ [W/K]	Συντελεστής Θερμοπερατότητας U [W/m ² /K]
FA3	20,915	0,094	1,968	0,037
R2	6,000	0,213	1,275	0,024
WE4	10,120	0,220	2,221	0,042

WC2	7,590	0,164	1,246	0,024
Επιφάνεια [m2]	52,915			
U-Αρχικό				0,197
U- Θερμογεφυρών				0,127
U-Ισοδύναμο				0,324
Ανατολικός Τοίχος				
Τύπος Θερμογέφυρας με βάση τους Chang et al.	Μήκος Θερμογεφυρών [m]	ψ [W/mK]	LQ [W/K]	Συντελεστής Θερμοπερατότητας U [W/m2/K]
FA3	15,695	0,094	1,447	0,037
R2	6,800	0,213	1,445	0,036
WE4	10,120	0,220	2,221	0,042
WC2	7,590	0,164	1,246	0,024
Επιφάνεια [m2]	52,915			
U-Αρχικό				0,197
U- Θερμογεφυρών				0,161
U-Ισοδύναμο				0,358
Βόρειος Τοίχος				
Τύπος Θερμογέφυρας με βάση τους Chang et al.	Μήκος Θερμογεφυρών [m]	ψ [W/mK]	LQ [W/K]	Συντελεστής Θερμοπερατότητας U [W/m2/K]
FA3	20,915	0,094	1,968	0,037
WE4	5,06	0,220	1,111	0,042
WC2	7,59	0,164	1,246	0,024
Επιφάνεια [m2]	52,91495			
U-Αρχικό				0,198
U- Θερμογεφυρών				0,109
U-Ισοδύναμο				0,307
Δυτικός Τοίχος				
Τύπος Θερμογέφυρας με βάση τους Chang et al.	Μήκος Θερμογεφυρών [m]	ψ [W/mK]	LQ [W/K]	Συντελεστής Θερμοπερατότητας U [W/m2/K]
FA3	15,695	0,094	1,447	0,037
R2	3,400	0,213	0,723	0,018
WE4	5,060	0,220	1,111	0,028

Επιφάνεια [m ²]	52,915	
U-Αρχικό		0,198
U- Θερμογεφυρών		0,083
U-Ισοδύναμο		0,281

Οροφή

Τύπος Θερμογέφυρας με βάση τις ΤΟΤΕΕ- 2017/2	Μήκος Θερμογεφυρών [m]	ψ [W/mK]	LQ [W/K]	Συντελεστής Θερμοπερατότητας U [W/m ² /K]
R1	73,22	0,1003	7,344	0,021
Επιφάνεια [m ²]	328,26			
U-Αρχικό				0,140
U- Θερμογεφυρών				0,021
U-Ισοδύναμο				0,161

Δάπεδο

Τύπος Θερμογέφυρας με βάση τις ΤΟΤΕΕ- 2017/2	Μήκος Θερμογεφυρών [m]	ψ [W/mK]	LQ [W/K]	Συντελεστής Θερμοπερατότητας U [W/m ² /K]
F-B-2	73,22	0,0729	5,388	0,016
Επιφάνεια [m ²]	328,26			
U-Καθαρής Επιφάνειας				0,136
U- Θερμογεφυρών				0,016
U-Ισοδύναμο				0,152

5.3.3 Σύστημα Ελαφράς Τοιχοποιίας με Υπερμονωτικές Σανίδες Κενού (VIP)

Σε αυτή τη περίπτωση η συμβατική τοιχοποιία αντικαθίσταται πλήρως από προκατασκευασμένη τοιχοποιία ξηράς δόμησης με ελαφρύ μεταλλικό σκελετό, με τη συναρμογή της να πραγματοποιείται πάνω στον φέροντα οργανισμό του κτηρίου με τη χρήση ειδικών συνδέσμων. Για επιπλέον θερμομόνωση, τοποθετούνται μονωτικές σανίδες κενού (VIPs), οι οποίες και κατατάσσονται στην κατηγορία των υπέρ-μονωτικών υλικών. Το συνολικό U-value της τοιχοποιίας είναι $0.35\text{W/m}^2\text{K}$, συνυπολογίζοντας τις γραμμικές και τις σημειακές θερμογέφυρες. Τα κουφώματα του κτηρίου με συνθετικό πλαίσιο και τριπλούς υαλοπίνακες παραμένουν, όπως και στην περίπτωση της «Συμβατικής». Στις ενότητες που ακολουθούν, παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά του κελύφους του κτιρίου.

5.3.3.1 Υλικά Κατασκευής (Materials) και Δομικά Στοιχεία Επιφάνειας (Surface Construction Elements)

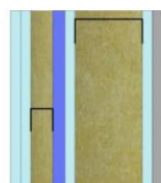
Το πρόγραμμα EnergyPlus, απαιτεί την αναλυτική περιγραφή των υλικών από τα οποία και κατασκευάζονται οι επιφάνειες του κελύφους του κτηρίου. Για κάθε υλικό ξεχωριστά, πρέπει να ορίζεται η τραχύτητα, το πάχος, ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας, η πυκνότητα και η θερμοχωρητικότητα του. Οι αναλυτικές διαστάσεις των επιφανειών που βρίσκονται εντός θερμικών ζωνών, ορίζονται μέσα από τις συντεταγμένες τους στον χώρο. Ταυτοχρόνως, εκτός από τον καθορισμό των επιφανειών (εξωτερική- εσωτερική τοιχοποιία, οροφή, δάπεδο) πρέπει να περιγράφεται για το εάν είναι εκτεθειμένες στην ηλιακή ακτινοβολία και τον άνεμο.

Τα δομικά στοιχεία του κτιρίου είναι 3 τύπων (ένα κατακόρυφο το οποίο αφορά την εξωτερική τοιχοποιία) και δύο για το δάπεδο και την οροφή όπως παρουσιάζονται στην Εικόνα 5-20. Ενώ στην Εικόνα 5-21 παρουσιάζονται συνοπτικά οι θερμοφυσικές ιδιότητες του κάθε υλικού με βάση τις οποίες υπολογίζεται και ο ισοδύναμος συντελεστής θερμοπερατότητας U-value.

Βασικά Δομικά Στοιχεία

Προκατασκευασμένου συστήματος τοιχοποιίας ελαφράς κατασκευής με Θερμομονωτικές Σανίδες Κενού (VIP)

Εξωτερική Τοιχοποιία



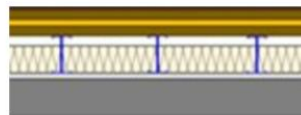
- Ορθοστάτες
- Επίχρισμα
- Συμβατική Μόνωση
- Γυψοσανίδα
- VIP

Οροφή



- Γυψοσανίδα
- Πετροβάμβακας
- Γυψοσανίδα
- Πετροβάμβακας
- Πλάκα Δαπέδου (οπλισμένο σκυρόδεμα)

Δάπεδο



- Δάπεδο
- Πλάκες δαπέδου
- Ηχομόνωση
- Πλάκες Δαπέδου
- Πετροβάμβακας
- Γυψοσανίδα
- Δάπεδο (Οπλισμένο σκυρόδεμα)

Εικόνα 5-20 Βασικά Δομικά στοιχεία ελαφράς τοιχοποιίας με υπερμονωτικά υλικά

Εξωτερική Τοιχοποιία

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΥΛΙΚΟΥ	Πάχος (m)	Συντελεστής Θερμικής Αγωγιμότητας k (W/mK)	Θερμική Αντίσταση R-value (m ² K/W)	Ισοδύναμη Θερμική Αντίσταση Rt (m ² K/W)	Συντελεστής Θερμοπερατότητας U (W/m ² K)
Εξωτερικό Επίχρισμα	0,015	0,890	0,017		
Γυψοσανίδα	0,015	0,300	0,050		
Μόνωση Ορυκτοβάμβακα	0,15	0,035	4,286		
Γυψοσανίδα	0,015	0,300	0,050	8,78	0,113
VIP	0,02	0,007	2,857		
Μόνωση Ορυκτοβάμβακα	0,05	0,035	1,429		
Γυψοσανίδα	0,015	0,300	0,050		
Γυψοσανίδα	0,015	0,300	0,050		

Δάπεδο

Πλάκα Τσιμέντου	0,150	1,830	0,082	6,29	0,159
-----------------	-------	-------	-------	-------------	--------------

Γυψοσανίδα	0,015	0,270	0,056
Μόνωση Ορυκτοβάμβακα	0,200	0,035	5,714
Πάνελ Δαπέδου Υψηλής Πυκνότητας	0,028	0,440	0,064
Ηχομόνωση	0,02	0,070	0,285
Σοβάς	0,032	0,380	0,084
Επίχρισμα Δαπέδου	0,015	1,500	0,010

Οροφή

Μονωτική Ταινία	0,006	0,200	0,030		
Πάνελ Δαπέδου Υψηλής Πυκνότητας	0,028	0,440	0,064		
Μόνωση Ορυκτοβάμβακα	0,200	0,035	5,714	6,71	0,149
Γυψοσανίδα	0,015	0,270	0,056		
Μόνωση Ορυκτοβάμβακα	0,028	0,035	0,800		
Γυψοσανίδα	0,015	0,270	0,055		

Εσωτερικά Διαχωριστικά Δωματίων

Γυψοσανίδα	0,015	0,270	0,056		
Μόνωση Ορυκτοβάμβακα	0,028	0,035	0,8	0,91	1,097
Γυψοσανίδα	0,015	0,270	0,056		

Εικόνα 5-21 Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών ελαφράς τοιχοποιίας με υπερμονωτικά υλικά

5.3.3.2 Υπολογισμός Θερμογεφυρών

Η μελέτη της επίδρασης του φαινομένου των θερμικών γεφυρών και ο υπολογισμός των θερμικών απωλειών εξαιτίας τους στην περίπτωση της ελαφράς τοιχοποιίας αυτής της μορφής έγινε αναλυτικά σε αντίστοιχη μελέτη του Α.Μανωλίτση και για περεταίρω μελέτη γίνεται αναφορά στην βιβλιογραφία [43]. Η μελέτη αυτή αφορά τον υπολογισμό τόσο των γραμμικών διαστάσεων θερμικών γεφυρών όσο και των

τρισευδιάστατων σημειακών θερμογεφυρών μέσω προγράμματος αριθμητικής προσομοίωσης CFD και ημιεμπειρικών σχέσεων. Παρακάτω αποτυπώνονται η ονοματοδοσία των τύπων θερμικών γεφυρών και η υπολογισμένες τιμές των συντελεστών γραμμικής θερμοπερατότητας για τον κάθε ένα αντίστοιχα.

Πίνακας 5-7 Στοιχεία Θερμογεφυρών Ελαφράς τοιχοποιίας

Τύπος σύνδεσης	Ονοματοδοσία	Συντελεστής Γραμμικής Θερμοπερατότητας Ψ [W/mK]
Τοίχος-Οροφή	Wall-Roof junction (R5)	-0,1074
Τοίχος-Μπαλκόνι	Wall-Balcony junction (B1)	0,3466
Τοίχος-Κολώνα (Ακμή)	Convex corner between walls with pillar (C14)	-0,0478
Τοίχος-Δάπεδο	Junction Wall-slab-on(GF5)	-0,0709
Τοίχος-Κούφωμα παραθύρου	Junction Wall-window frame with continuous insulation(W12a)	0,1036
Τοίχος-Κολώνα (Ενδιάμεση)	Wall- pillar junction (P5)	0,0247
Ορθοστάτης τύπου I	I-Stud	0,0230
Ορθοστάτης Τύπου C	C-Stud	0,0170
Ορθοστάτης-Τοίχος	CW-Stud	0,001

Πίνακας 5-8 Υπολογισμός Θερμογεφυρών Ελαφράς Τοιχοποιίας

Νότιος Τοίχος

Τύπος Θερμογέφυρας με βάση τους Chang et al.	Μήκος Θερμογεφυρών [m]	ψ [W/mK]	LQ [W/K]	Συντελεστής Θερμοπερατότητας U [W/m ² /K]
C-Stud	300	0,017	5,168	0,098
I-Stud	0	0,023	0	0,000
CW-Stud	300	0,001	0,384	0,007
C14	10,120	-0,020	-0,197	-0,004
R-5	20,915	-0,011	-0,230	-0,004
GF-5	0	0,000	0,000	0,000
B-1	6	0,096	0,576	0,011
P-5	7,590	0,153	1,161	0,022
W12a	11,834	0,091	1,077	0,020
Επιφάνεια [m²]	52,915			
U-Αρχικό				0,113788
U-Ορθοστατών				0,104925
U- Γραμμικών Θερμογεφυρών				0,043
U-Ισοδύναμο				0,262

Βόρειος Τοίχος

Τύπος Θερμογέφυρας με βάση τους Chang et al.	Μήκος Θερμογεφυρών [m]	ψ [W/mK]	LQ [W/K]	Συντελεστής Θερμοπερατότητας U [W/m ² /K]
C-Stud	300	0,017	5,168	0,098
I-Stud	0	0,023	0,000	0,000
CW-Stud	300	0,001	0,384	0,007
C14	5,060	-0,020	-0,099	-0,002
R-5	20,915	-0,011	-0,230	-0,004
GF-5	0	0,000	0,000	0,000
B-1	0	0,096	0,000	0,000

P-5	7,590	0,153	1,161	0,022
W12a	4,645	0,091	0,423	0,008
Επιφάνεια [m2]	52,915			
U-Αρχικό				0,114
U-Ορθοστατών				0,105
U- Γραμμικών Θερμογεφυρών				0,022
U-Ισοδύναμο				0,241

**Ανατολικός
Τοίχος**

Τύπος Θερμογέφυρας με βάση τους Chang et al.	Μήκος Θερμογεφυρών [m]	ψ [W/mK]	LQ [W/K]	Συντελεστής Θερμοπερατότητας U [W/m2/K]
C-Stud	225	0,017	3,876	0,098
I-Stud	0	0,023	0,000	0,000
CW-Stud	225	0,001	0,288	0,007
C14	10,120	-0,020	-0,197	-0,005
R-5	15,695	-0,011	-0,173	-0,004
GF-5	0	0,000	0,000	0,000
B-1	6,800	0,096	0,653	0,016
P-5	7,590	0,153	1,161	0,029
W12a	8,018	0,091	0,730	0,018
Επιφάνεια [m2]	52,915			
U-Αρχικό				0,114
U-Ορθοστατών				0,105
U- Γραμμικών Θερμογεφυρών				0,052
U-Ισοδύναμο				0,271

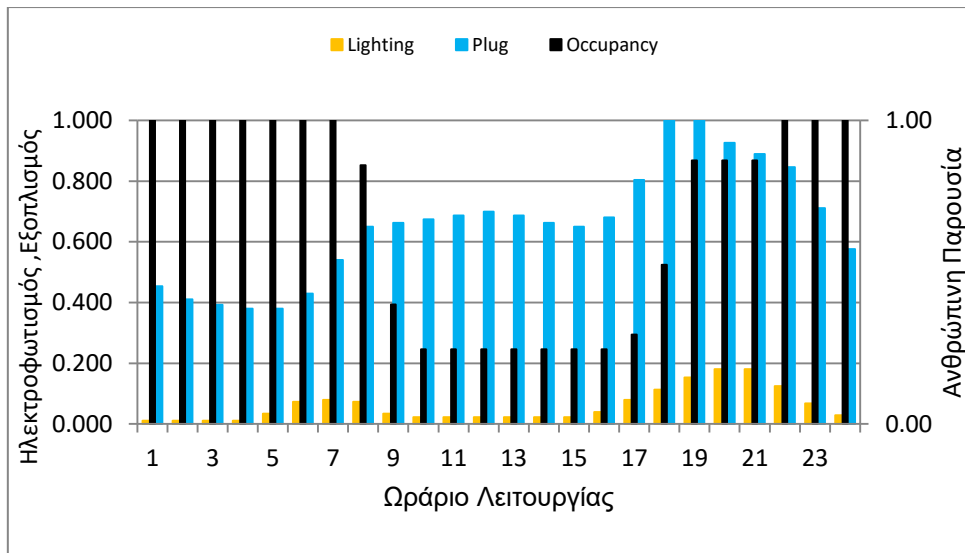
Δυτικός Τοίχος

Τύπος Θερμογέφυρας με βάση τους Chang et al.	Μήκος Θερμογεφυρών [m]	ψ [W/mK]	LQ [W/K]	Συντελεστής Θερμοπερατότητας U [W/m ² /K]
C-Stud	225	0,017	3,876	0,098
I-Stud	0	0,023	0,000	0,000
CW-Stud	225	0,001	0,288	0,007
C14	5,060	-0,020	-0,099	-0,002
R-5	15,695	-0,011	-0,173	-0,004
GF-5	0	0,000	0,000	0,000
B-1	3,400	0,096	0,326	0,008
P-5	5,060	0,153	0,774	0,019
W12a	7,118	0,091	0,648	0,0163124
Επιφάνεια [m²]	52,915			
U-Αρχικό				0,114
U-Ορθοστατών				0,105
U- Γραμμικών Θερμογεφυρών				0,035
U-Ισοδύναμο				0,254

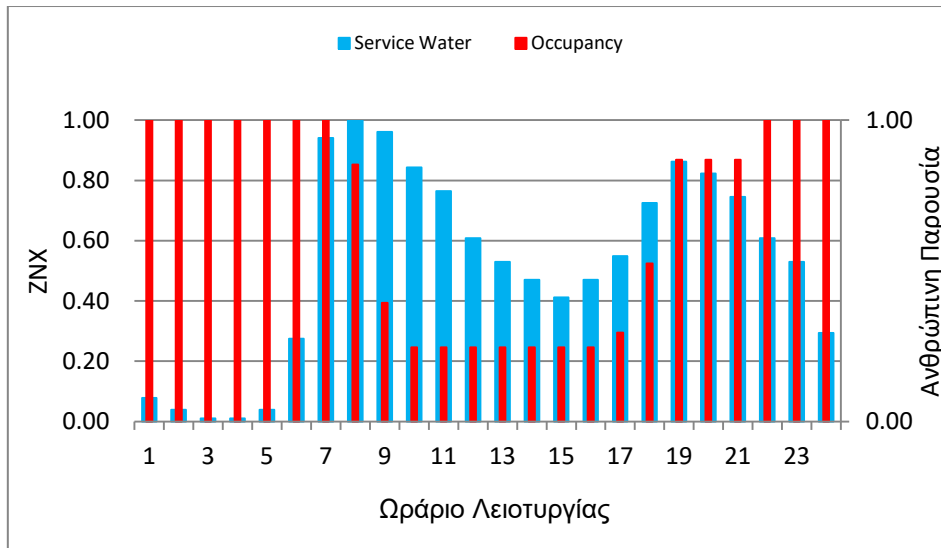
5.4 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΑΛΛΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ

5.4.1 Χρονοδιαγράμματα Χρήσης (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 χρήσης για τον εξοπλισμό, τον ηλεκτροφωτισμό και την ανάγκη για Ζεστό Νερό χρήσης για το χρονικό διάστημα ενός 24ωρου, όπως προέκυψαν με βάση τα δεδομένα από το πρότυπο ASHRAE 90.1. Οι τιμές είναι κλασματικές ως προς τις τιμές αναφοράς οι οποίες παρουσιάζονται στην επόμενη ενότητα.



Εικόνα 5-22 Χρονοδιαγράμματα Εσωτερικών Κερδών



Εικόνα 5-23 Χρονοδιαγράμματα ZNX και ανθρώπινης παρουσίας

5.4.2 Εσωτερικά Θερμικά Κέρδη (Internal Gains)

Η παραγόμενη / εκλύομενη θερμότητα στο εσωτερικό των κτηρίων επηρεάζει την εσωτερική θερμοκρασία των χώρων και κατά συνέπεια τα πραγματικά φορτία θέρμανσης και ψύξης. Τα εσωτερικά κέρδη συμπεριλαμβάνουν τρεις βασικές κατηγορίες, ως ακολούθως :

- τον ηλεκτροφωτισμό (αισθητά κέρδη)
- την έκλυση θερμότητας από τους ανθρώπους (αισθητά και λανθάνοντα κέρδη, η αναλογία των οποίων είναι συνάρτηση της δραστηριότητας των ανθρώπων) και
- τον εξοπλισμό (κατά μεγάλο ποσοστό αισθητά κέρδη στην πλειοψηφία των εφαρμογών)

5.4.2.1 Ηλεκτροφωτισμός

Για τα εσωτερικά κέρδη από ηλεκτροφωτισμό στους υπολογισμούς λαμβάνεται υπόψη η εγκατεστημένη ισχύς των φωτιστικών. Ιδιαίτερα για τα κτήρια κατοικιών ο συνυπολογισμός των εσωτερικών κερδών από ηλεκτροφωτισμό στα φορτία του κτιρίου γίνεται βάσει του συντελεστή ετεροχρονισμού (0,1), μέσω του οποίου αντιστοιχίζεται η πραγματική –κατά μέσο όρο– λειτουργία του φωτισμού στους χώρους κατοικίας κατά τη διάρκεια της λειτουργικής ημέρας.

Πίνακας 5-9 Στοιχεία για τον Ηλεκτροφωτισμό με βάση τον Κ.ΕΝ.Α.Κ

Χρήσεις κτηρίων ή θερμικών ζωνών	Στάθμη φωτισμού [lx]	Επίπεδο αναφοράς μέτρησης [m]	Δείκτης θάμβωσης UGR	Ομοιομορφία φωτισμού U_0 (min/μέση τιμή)
Μονοκατοικία, πολυκατοικία (περισσότερα του ενός διαμερίσματα)	200	0,8	-	-

Πίνακας 5-10 Στοιχεία για τον Ηλεκτροφωτισμό με βάση τον Κ.ΕΝ.Α.Κ

Ζώνες τεχνητού φωτισμού / Στάθμη φωτισμού [lx]	Ισχύς για κτίριο αναφοράς [W/m ²]	Ισχύς για ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης κτιρίων [W/m ²]
200	6,4	5,6

5.4.2.2 Χρήστες

Για τα εσωτερικά κέρδη από τους χρήστες του κτιρίου λαμβάνεται υπόψη ότι κάθε άτομο ανάλογα τη δραστηριότητα του, εκλύει θερμότητα υπό τη μορφή αισθητού και λανθάνοντος φορτίου. Το αισθητό φορτίο οφείλεται στην ακτινοβολία του σώματός του και τη μεταφορά θερμότητας από το σώμα του στον αέρα. Η αναλογία ακτινοβολίας / μεταφοράς είναι περίπου 50%-50% και φυσικά εξαρτάται από την ένδυση και τη δραστηριότητα του ατόμου. Ωστόσο, για τους απλούς υπολογισμούς στο πλαίσιο της εκτίμησης της ενεργειακής απόδοσης ενός κτιρίου, η αναλογία αυτή δεν επηρεάζει ουσιαστικά και συνήθως δεν υπεισέρχεται στους υπολογισμούς. Το λανθάνον φορτίο οφείλεται στην αναπνοή και στην εφίδρωση κάθε ανθρώπου και είναι τόσο μεγαλύτερο, όσο αυξάνεται η δραστηριότητα του ατόμου. Ο συνυπολογισμός της έκλυσης θερμότητας στα φορτία του κτιρίου θα πρέπει να γίνεται βάσει συντελεστή ετεροχρονισμού (μέσου συντελεστή παρουσίας χρηστών), μέσω του οποίου αντιστοιχίζεται η πραγματική –κατά μέσο όρο– παρουσία των ατόμων στους χώρους, κατά τη διάρκεια της λειτουργικής ημέρας. Ακόμη καλύτερα, σε αναλυτικότερους υπολογισμούς μπορούν να 44 χρησιμοποιούνται «προφίλ»

ετεροχρονισμού ανάλογα με τη χρήση του κτιρίου και την ώρα της ημέρας. Οι μέσες τυπικές τιμές έκλυσης θερμότητας ανά άτομο, λαμβάνοντας υπόψη την αντίστοιχη μέση δραστηριότητα των χρηστών στις διάφορες κατηγορίες κτηρίων, λαμβάνεται σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN ISO 13790:2009 και ΕΛΟΤ EN 13779:2008 ίση με 80 W/άτομο ή 4 W/m² με μέσο συντελεστή παρουσίας για πολυκατοικία ίσο με 0,75.

5.4.2.3 Ηλεκτρικός Εξοπλισμός

Η εκλυόμενη θερμική ισχύς από ηλεκτρικό –κατά το πλείστον– εξοπλισμό (ηλεκτρικές συσκευές) αλλά και δευτερευόντως από άλλες συσκευές, είναι η τρίτη βασική κατηγορία εσωτερικών κερδών στα κτήρια. Αυτή η ισχύς εκλύεται με ακτινοβολία και μεταφορά όπως συμβαίνει και με τις άλλες κατηγορίες εσωτερικών κερδών, σε αναλογία που εξαρτάται από το είδος της συσκευής. Η αναλογία των τμημάτων ακτινοβολίας - μεταφοράς δεν επηρεάζει ιδιαίτερα και δεν υπεισέρχεται σε απλουστευμένους υπολογισμούς. Στη συντριπτική πλειοψηφία των εφαρμογών αυτά τα κέρδη εισέρχονται στο χώρο υπό τη μορφή αισθητής θερμότητας.

Σύμφωνα με το ΕΛΟΤ EN ISO 13790:2009 εκτιμήθηκαν οι μέσες τιμές ισχύος ηλεκτρικών συσκευών για κάθε τύπο κτιρίου, ο μέσος συντελεστής ετεροχρονισμού, καθώς και η μέση ετεροχρονισμένη ισχύς εξοπλισμού και ο μέσος συντελεστής πραγματικού χρόνου λειτουργίας του κτιρίου και κατά συνέπεια των ηλεκτρικών συσκευών. Για την περίπτωση της πολυκατοικίας το παραπάνω πρότυπο δίνει:

Πίνακας 5-11 Στοιχεία για την ισχύ των συσκευών και του εξοπλισμού με βάση τον Κ.ΕΝ.Α.Κ

Χρήση κτιρίου ή θερμικών ζωνών	Ισχύς εξοπλισμού [W/m ²]	Μέσος συντελεστής ετερ/σμού	Ετεροχρον. ισχύς εξοπλ. [W/m ²]	Μέσος συντελεστής λειτουργίας
Πολυκατοικία (περισσότερα του ενός διαμερίσματα)	4,0	0,5	2,0	0,75

6 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Η προσομοίωση του μοντέλου και η παρουσίαση των αποτελεσμάτων της αποσκοπούν κυρίως στην εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων σχετικά με την επίδραση του κάθε συστήματος τοιχοποιίας στην μεταβολή της θερμικής απόδοσης του κτιρίου.

Η απόδοση του κελύφους για να αξιολογηθεί με πληρέστερο τρόπο, θα πρέπει να εξεταστεί σε διαφορετικές κλιματικές συνθήκες ώστε να αποκτήσει ο μελετητής μια πιο σαφή εικόνα για τα οφέλη της αλλαγής τοιχοποιίας στην μεταβολή των θερμικών αναγκών του κτιρίου (θέρμανση ή ψύξη αντίστοιχα). Ως τοποθεσίες αναφοράς επιλέχθηκαν το Λονδίνο και η Αθήνα, δύο περιοχές με εντελώς διαφορετικά προφίλ θερμοκρασίας και κλιματικών συνθηκών: μία σχετικά «ψυχρή» και «υγρή» και μία σχετικά «θερμή» και «Ξηρή». Επιπλέον, το μεν Λονδίνο επιλέχθηκε ως περιοχή στην οποία ήδη απαντώνται σε ευρεία κλίμακα κτίρια ελαφρών κατασκευών, η δε Αθήνα ως μία πιο οικεία μελέτη περίπτωσης.

Ωστόσο, για να αποκτηθεί μια πιο ολιστική προσέγγιση στην χρησιμότητα της όποιας βελτίωσης της θερμικής απόδοσης θα λαμβάνεται υπόψιν οι επιπτώσεις που αυτή έχει στην διαμόρφωση ενός πιο άνετου περιβάλλοντος για τους ενοίκους και στον περιορισμό του αποτυπώματος του κτιρίου σε περιβαλλοντικούς ρύπους. Κατά τον τρόπο αυτό, μαζί με τα αποτελέσματα που αφορούν την επίδραση της τοιχοποιίας στις θερμικές απώλειες του κτιρίου, οι οποίες εκφράζουν και το άνω όριο σε απαιτήσεις θέρμανσης/ψύξης για τα δοσμένα από τον μελετητή επιθυμητά θερμοκρασιακά όρια, επιχειρείται μία εκτίμηση της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας, των εκπεμπόμενων ποσοτήτων CO₂ καθώς επίσης και των συνθηκών θερμικής άνεσης εντός των διαμερισμάτων.

6.1 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ

6.1.1 Μεθοδολογία υπολογισμού Κατανάλωσης Πρωτογενούς Ενέργειας

Σε ότι αφορά την εκτίμηση της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας, είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός και η διαστασιολόγηση των συστημάτων θέρμανσης-ψύξης-κλιματισμού τα οποία καλύπτουν τις ανάγκες για θέρμανση, καθώς επίσης και η εκτίμηση της απόδοσης των καυσίμων που καταναλώνουν.

Για την επίδραση των καυσίμων χρησιμοποιείται η έννοια του Συντελεστή Μετατροπής Πρωτογενούς Ενέργειας-Σ.Μ.Π.Ε. (Primary Energy Factor-PEFs). Ο Σ.Μ.Π.Ε. συνδέει την Πρωτογενή Κατανάλωση Ενέργειας (Primary Energy Consumption) με την Τελική κατανάλωση Ενέργειας (Final Energy Consumption). Ο ΣΜΠΕ χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της ποσότητας πρωτογενούς ενέργειας που είναι αναγκαία για την παραγωγή μίας μονάδας ηλεκτρικής ενέργειας ή ωφέλιμης θερμικής ενέργειας που απαιτείται για την κάλυψη της τελικής ενεργειακής ζήτησης. Οι Σ.Μ.Π.Ε. εκφράζουν τη σχέση μεταξύ μίας παραγόμενης ποσότητας θερμότητας ή ηλεκτρισμού και της ποσότητας καυσίμου που απαιτείται για την παραγωγή αυτής της θερμότητας ή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι PEFs μπορούν να περιλαμβάνουν μόνο τα απαραίτητα ορυκτά καύσιμα (PEF_{fossil}) ή το σύνολο της απαραίτητης ποσότητας

καυσίμων και από ανανεώσιμες πηγές (PEF_{total}). Τυπικές τιμές με βάση την βιβλιογραφία είναι οι:

- 2,26 για την μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε πρωτογενή και
- 1,11 για την μετατροπή του φυσικού αερίου σε πρωτογενή αντίστοιχα.

Για την εκτίμηση της απόδοσης των συστημάτων λαμβάνονται υπόψη οι παραδοχές των οδηγιών του Κ.Εν.Α.Κ. για το κτίριο αναφοράς. Τα συστήματα του κτιρίου αναφοράς είναι ίδια και στις 3 υπό εξέταση περιπτώσεις καθώς στην παρούσα εργασία εξετάζεται η επίδραση της τοιχοποιίας και μόνο.

:

Σύστημα θέρμανσης

- A. Το κτίριο αναφοράς διαθέτει θερμοστατικό έλεγχο της θερμοκρασίας εσωτερικού χώρου ανά ελεγχόμενη θερμική ζώνη του. Τα θερμοκρασιακά όρια με βάση τον Κ.ΕΝ.Α.Κ για την χρήση του κτιρίου ως κτίριο κατοικίας ορίζονται στους 20 °C και 26°C (όπως και στην περίπτωση του υπολογισμού των θερμικών αναγκών).
- B. Θεωρώντας ότι το σύστημα θέρμανσης αποτελείται από ξεχωριστά συστήματα θέρμανσης με ένα τυπικό σύστημα λέβητα-καυστήρα φυσικού αερίου για κάθε κλιματιζόμενο χώρο, ο εποχιακός βαθμός απόδοσης του λέβητα - καυστήρα για το κτίριο αναφοράς είναι 85%. Επισημαίνεται ότι κάθε μονάδα παραγωγής θερμότητας έχει μια ονομαστική θερμική απόδοση σύμφωνα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του κατασκευαστή. Η πραγματική όμως απόδοση λειτουργίας μιας μονάδας θέρμανσης διαφοροποιείται και εξαρτάται από την περίοδο θέρμανσης (ανάλογα με την κλιματική ζώνη), το χρόνο λειτουργίας του κτιρίου και κατ' επέκταση της μονάδας θέρμανσης, τις εσωτερικές συνθήκες λειτουργίας των χώρων, τις διατάξεις αυτοματισμών (θερμοστάτες αντιστάθμισης), τη σωστή διαστασιολόγηση της μονάδας κ.ά. Για τους υπολογισμούς της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου απαιτείται να προσδιοριστεί ο μέσος εποχιακός βαθμός απόδοσης της μονάδας παραγωγής θέρμανσης.
- C. Η απόδοση των τερματικών μονάδων για την περίπτωση αναφοράς ορίζεται στο 94%.

Θεωρώντας ότι το σύστημα θέρμανσης καλύπτει πλήρως της ανάγκες για θέρμανση προκύπτει ότι η σχέση μετασχηματισμού των θερμικών αναγκών σε πρωτογενή ενέργεια είναι η:

$$\Theta A \theta * n_{εποχικός} * n_{τερματικών} * PEF_{φυσικού αερίου} = KΠΕΘ(6.1)$$

Όπου

$\Theta A \theta$: Θερμικές Ανάγκες για Θέρμανση[kWh/m²]

$n_{εποχικός}$: ο εποχιακός β.α ίσος με 85%

$n_{τερματικών}$: ο β.α των τερματικών μονάδων ίσος με 94%

$PEF_{\text{φυσικού αερίου}}$: Ο συντελεστής μετατροπής πρωτογενούς ενέργειας για το Φ.Α ίσος με 1,11

ΚΠΕΘ: Κατανάλωση Πρωτογενούς Ενέργειας για Θέρμανση [kWh/m²]

Σύστημα Ψύξης:

- A. Το κτίριο αναφοράς για τις κατοικίες θεωρείται πως διαθέτει τοπικές μονάδες άμεσης εξάτμισης (αντλίες θερμότητας διαιρούμενου τύπου ενός ή πολλαπλών εσωτερικών συσκευών) που καλύπτουν τμήμα των εσωτερικών χώρων της κατοικίας.
- B. Κάθε μονάδα παραγωγής ψύξης έχει μια ονομαστική ψυκτική απόδοση (EER: λόγος ή δείκτης ενεργειακής αποδοτικότητας) σύμφωνα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά που δίνει ο κατασκευαστής από την πιστοποίηση της μονάδας. Η πραγματική όμως απόδοση λειτουργίας μιας μονάδας ψύξης διαφοροποιείται και εξαρτάται από τη διάρκεια της περιόδου ψύξης (ανάλογα με την κλιματική ζώνη), το χρόνο λειτουργίας του κτιρίου και κατ' επέκταση του συστήματος ψύξης, τις εσωτερικές συνθήκες θερινής λειτουργίας των χώρων, τις διατάξεις αυτοματισμών (θερμοστάτες αντιστάθμισης), τη σωστή διαστασιολόγηση της μονάδας κ.ά. Για τους υπολογισμούς της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου απαιτείται να προσδιοριστεί ο μέσος (εποχιακός) δείκτης ενεργειακής αποδοτικότητας (SEER) της μονάδας ψύξης.
- C. Για τις αντλίες θερμότητας – ψύκτες με ψυχόμενο μέσο τον αέρα για τις οποίες δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία, ο Μέσος Εποχιακός Δείκτης Ενεργειακής Αποδοτικότητας SEER για τους υπολογισμούς της ενεργειακής απόδοσης του υπό μελέτη ή προς επιθεώρηση κτιρίου λαμβάνεται 2,5 για συστήματα εγκατεστημένα μετά το 2001 (στην περίπτωση μας θεωρούμε νέα κατασκευή).
- D. Ο βαθμός απόδοσης ($n_{em,t}$) των τερματικών μονάδων ψύξης για διακοπτόμενη λειτουργία ορίζεται στο 97%.

Θεωρώντας ότι το σύστημα ψύξης καλύπτει πλήρως της ανάγκες για θέρμανση προκύπτει ότι η σχέση μετασχηματισμού των θερμικών αναγκών ψύξης σε πρωτογενή ενέργεια είναι η:

$$\frac{\Theta A \Theta}{SEER} * n_{\text{τερματικών}} * PEF_{\text{ηλεκτρικής ενέργειας}} = KΠΕΘ \quad (6.2)$$

ΘΑΘ: Θερμικές Ανάγκες για Θέρμανση [kWh/m²]

SEER: ο Μέσος Εποχιακός Δείκτης Ενεργειακής Αποδοτικότητας SEER ίσος με 2,5

$n_{\text{τερματικών}}$: ο β.α των τερματικών μονάδων ίσος με 97%

$PEF_{\text{ηλεκτρικής ενέργειας}}$: Ο συντελεστής μετατροπής πρωτογενούς ενέργειας για την ηλεκτρική ενέργεια ίσος με 2,26

ΚΠΕΘ: Κατανάλωση Πρωτογενούς Ενέργειας για Ψύξη [kWh/m²]

6.1.2 Μεθοδολογία Υπολογισμού Θερμικής Άνεσης

Η εξέταση σχετικά με την επίτευξη (ή μη) θερμικής άνεσης, βασίζεται στην μεθοδολογία του Fanger και συγκεκριμένα τον υπολογισμό των δεικτών PMV και

PPD οι οποίοι αναλύονται στο αντίστοιχο θεωρητικό κεφάλαιο της παρούσας εργασίας. (ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΕΣΗ4.2)

Ο υπολογισμός των παραπάνω δεικτών γίνεται αυτόματα από το λογισμικό EP εφ' όσον εισαχθούν από τον χρήστη οι κατάλληλες παράμετροι σχετικά με:

- τα προφίλ χρήσης του κτιρίου
- τον αριθμό των χρηστών σε κάθε θερμική ζώνη
- την φυσιολογία και τις συνήθειες των χρηστών (ρυθμός παραγωγής CO₂, έκκλιση θερμότητας, ρουχισμός και θερμομονωτική επάρκεια αυτού ποσοστό μετατροπής της ενέργειάς τους σε θερμότητα)
- την ταχύτητα του αέρα στο εσωτερικό των θερμικών ζωνών
- και τον τρόπο υπολογισμού της αισθητής θερμοκρασίας που θα εισαχθεί στο μοντέλο του Fanger (στην περίπτωση μας λειτουργούμε με βάση την μέση θερμοκρασία της κάθε ΘΖ)

Οι τιμές των παραπάνω παραμέτρων λαμβάνονται με βάση μία σειρά προτύπων όπως αναγράφεται στον Πίνακας 6-1

Πίνακας 6-1 Βασκοί Δείκτες για την θερμική άνεση

Μέγεθος	Τιμή	Πρότυπο
Έκταση ανά ένοικο	2,8 m ² /άνθρωπο	ASHRAE Standard 62.1-2013
Ρυθμός παραγωγής CO₂	0,0000000382 m ³ /sW	ASHRAE Standard 90.1
Ταχύτητα Αέρα Εσωτερικού Περιβάλλοντος	0,1 m/s	BS EN 15251:2007
Αισθητή θερμοκρασία	Υπολογισμός μέσω της μέσης θερμοκρασίας ΘΖ	
Θερμική Αποδοτικότητα Εργασίας	100%	BS EN 15251:2007
Προφίλ Ρουχισμού	Από 1 έως 3 ανάλογα με την εποχή και την κλιματική Ζώνη	EN ISO 9920

Σε ότι αφορά τα όρια των δεικτών PPD, PMV με βάση τα οποία θεωρούμε ότι έχουμε συνθήκες θερμικής άνεσης, με βάση το βρετανικό πρότυπο BS EN 15251:2007 το οποίο στηρίζεται στο αντίστοιχο διεθνές πρότυπο EN ISO 7730, έχουμε ότι για τα θερμοκρασιακά όρια των 20 °C και 26 °C και για κτίριο κατοικίας εμπίπτουμε στην κατηγορία II. Για την κατηγορία αυτή προκύπτει ότι θερμική άνεση έχουμε όταν ο δείκτης PPD βρίσκεται κάτω από το όριο του 10% και ο δείκτης PMV βρίσκεται μεταξύ των τιμών -0,5 και 0,5.

Μεθοδολογία σύγκρισης αποτελεσμάτων PPD και PMV

Επειδή οι δείκτες αυτοί είναι περισσότερο ποιοτικοί παρά ποσοτικοί, αλλά και εξαιτίας του πολυπαραγοντικού χαρακτήρα της θερμικής άνεσης, εκ πρώτης όψης είναι αρκετά περίπλοκη η άμεση σύγκριση μεταξύ δύο κτιρίων τα οποία περιλαμβάνουν αρκετές θερμικές ζώνες το καθένα.

Επειδή όμως στην συγκεκριμένη εργασία συγκρίνονται τα αποτελέσματα που δίνει η προσομοίωση δύο κτιρίων ίδιας γεωμετρίας, διαφορετικής τοιχοποιίας κελύφους, θεωρείται ότι η επίδραση της τοιχοποιίας σε ότι αφορά την θερμική άνεση ακολουθεί ανάλογα προφίλ ανα θερμική ζώνη. Έτσι αρκεί να εξεταστεί η μεταβολή των δεικτών αυτών σε μία θερμική ζώνη και όχι σε ολόκληρο το κτίριο. Για αυτό το σκοπό συγκρίνεται η συμπεριφορά ενός διαμερίσματος ενδιάμεσου ορόφου (του 1^{ου}) με βορειοδυτικό προσανατολισμό η οποία όπως προέκυψε και από την προσομοίωση αποτελεί την δυσμενέστερη περίπτωση σε ότι αφορά την επίτευξη θερμικής άνεσης.

Επιπλέον για την ποσοτικοποίηση των δεικτών για την εξαγωγή συμπεράσματος σχετικά με το ποια από τις εξεταζόμενες περιπτώσεις έχει καλύτερη απόδοση θερμικής άνεσης και με τι τρόπο, ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα:

- Καταλληλότερος δείκτης για την ποσοτικοποίηση κρίθηκε ο PPD καθώς εκφράζει σε απόλυτα νούμερα και μη προσημασμένα την δυσαρέσκεια.
- Για κάθε περίπτωση (Συμβατική τοιχοποιία, CLT, VIP) σημασία έχει η σύγκριση των τιμών του PPD οι οποίες ξεπερνούν το όριο που θέτει το πρότυπο (10%). Έτσι για κάθε ημερήσια τιμή του PPD απορρίπτουμε τις τιμές που να μικρότερες από 10% και συγκρίνουμε τις υπόλοιπες.
- Επειδή δεν μας απασχολεί μόνο το εάν κάποια μέρα ο δείκτης PPD ξεπερνάει το όριο, αλλά και το κατά πόσο το περνάει, συγκρίνουμε για την μέρα αυτή τις τιμές του PPD (που ξεπερνούν το 10%) για κάθε περίπτωση και καταχωρούμε την διαφορά τους ως ξεχωριστή μεταβλητή με την ονομασία ΥΠΔ_i (Υπερβάλλον Ποσοστό Δυσαρέσκειας για την ώρα i) για κάθε ώρα I του έτους (i=1 έως 8760) ανάλογα με την συνθήκη που ελέγχεται αν καλύπτεται :
 - PPD_{CLT}>PPD_{VIP}>10% για τις μέρες που η δυσαρέσκεια στο κτίριο τοιχοποιίας CLT είναι μεγαλύτερη απ' ότι στο αντίστοιχο με τοιχοποιία με VIP και
 - PPD_{VIP}>PPD_{CLT}> 10% για τις μέρες που η δυσαρέσκεια στο κτίριο τοιχοποιίας VIP είναι μεγαλύτερη απ' ότι στο αντίστοιχο με τοιχοποιία CLT
- Στην συνέχεια αθροίζουμε τις διαφορές αυτές για κάθε μέρα και για κάθε συνθήκη. Η τοιχοποιία η οποία αντιστοιχεί στην συνθήκη με το μικρότερο άθροισμα για την διάρκεια του έτους, δηλαδή η συνθήκη για την οποία ισχύει ότι :

$$\sum_{i=1}^{8760} ΥΠΔ_i = \min(6.1)$$

είναι και αυτή που αντιστοιχεί στην τοιχοποιία στην οποία επιτυγχάνεται (συγκριτικά) καλύτερες συνθήκες θερμικής άνεσης. (VIP στην πρώτη περίπτωση και CLT στην δεύτερη αντίστοιχα)

Αν θέλουμε να αποδοθούν τα αίτια της καλύτερης συμπεριφοράς, δηλαδή το εάν η μείωση της δυσαρέσκειας οφείλεται στην καλύτερη επίδοση έναντι του ψύχους ή της

υπερθέρμανσης, τότε θα πρέπει αναγκαστικά να αξιολογηθεί και η μεταβολή του δείκτη PMV. Ακολουθώντας ανάλογη συλλογιστική με την περίπτωση της σύγκρισης του PPD, ορίζονται ως συμπληρωματικές μεταβλητές για κάθε περίπτωση μελέτης την μεταβλητή H.Y.Θ. (Ημέρες Υπερθέρμανσης) και την μεταβλητή H.Ψ. (Ημέρες Ψύχους). Οι μεταβλητές αυτές δεν είναι παρά «μετρητές» των ημερών κατά τις οποίες ο δείκτης PMV είναι μεγαλύτερος από το ανώτατο ή μικρότερος από το κατώτατο όριο που θέτει το πρότυπο (στην περίπτωσή μας οι τιμές -0,5 και +0,5 αντίστοιχα).

6.1.3 Μεθοδολογία Υπολογισμού Εκπομπών CO₂

Προκειμένου να γίνει μία εκτίμηση της βελτίωσης του αποτυπώματος εκπομπών CO₂ του κτιρίου μας μετά την αντικατάσταση της τοιχοποιίας του από άλλη ενεργειακά αποδοτικότερη, ακολουθήθηκε η μεθοδολογία που περιγράφεται στις ευρωπαϊκές οδηγίες του «Συμφώνου των Δημάρχων» για την απογραφή εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. [46]

Βασικό εργαλείο για τον υπολογισμό των εκπομπών CO₂ αποτελούν οι συντελεστές εκπομπών. Οι συντελεστές εκπομπών ποσοτικοποιούν τις εκπομπές ανά μονάδα δραστηριότητας. Οι εκπομπές CO₂ υπολογίζονται για κάθε φορέα ενέργειας πολλαπλασιάζοντας την τελική κατανάλωση ενέργειας επί τον αντίστοιχο συντελεστή εκπομπών. Με βάση την μεθοδολογία του Συμφώνου των Δημάρχων δύο προσεγγίσεις μπορούν να υιοθετηθούν:

- Η IPCC (Διακυβερνητική επιτροπή για την κλιματική αλλαγή) παρέχει συντελεστές εκπομπών για την καύση καυσίμων που βασίζονται στην περιεκτικότητα σε άνθρακα κάθε καυσίμου (IPCC, 2006).
- Η LCA (Ανάλυση Κύκλου Ζωής). Οι συντελεστές εκπομπών Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (Κοινό Κέντρο Ερευνών, 2009) λαμβάνουν υπόψη τον συνολικό κύκλο ζωής κάθε φορέα ενέργειας, δηλαδή, εκτός από τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου λόγω της καύσης καυσίμων, περιλαμβάνουν και εκπομπές ολόκληρης της αλυσίδας παροχής ενέργειας – εκμετάλλευση, μεταφορά, επεξεργασία.

Στην περίπτωσή μας χρησιμοποιείται η πρώτη προσέγγιση (IPCC) ενώ ως μονάδα αναφοράς εκπομπών για την επιλογή των κατάλληλων συντελεστών επιλέχθηκαν οι τόνοι CO₂ (αντί των ισοδύναμων τόνων CO₂).

Στην συγκεκριμένη μελέτη υπολογίζονται οι εκπομπές βάσει της προσέγγισης για την τελική κατανάλωση ενέργειας. Με βάση την προηγούμενη ενότητα η τελική κατανάλωση ενέργειας αφορά την κατανάλωση ορυκτού καυσίμου (φυσικό αέριο) για την κάλυψη των αναγκών σε θέρμανση, και την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για όλες τις άλλες περιπτώσεις (φωτισμός, ηλεκτρικός εξοπλισμός, ψύξη). Δεδομένου ότι για κάθε περίπτωση η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας μεταβάλλεται μόνο στην περίπτωση της ψύξης, οι υπόλοιπες καταναλώσεις παραλείπονται στην σύγκριση των αποτελεσμάτων.

Οι συντελεστές εκπομπών για καύση ορυκτών καυσίμων εμφανίζονται βάσει της προσέγγισης συντελεστή εκπομπών και της μονάδας αναφοράς που έχουν επιλεγεί όπως φαίνεται για παράδειγμα στον Πίνακα 6-2 για το φυσικό αέριο:

Πίνακας 6-2 PEF για το Φυσικό Αέριο

Φορείς ενέργειας		IPCC		ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ	
Υπόδειγμα ΣΔΑΕΚ	Τυπική ονομασία	t CO ₂ /MWh	t ισ. CO ₂ /MWh	t CO ₂ /MWh	t ισ. CO ₂ /MWh
Φυσικό αέριο	Φυσικό αέριο	0,202	0,202	0,221	0,237

Όσον αφορά τον συντελεστή εκπομπών ηλεκτρικής ενέργειας, γίνεται διαχωρισμός ανάμεσα στον εθνικό συντελεστή εκπομπών ηλεκτρικής ενέργειας (NEEFE) και, ανάλογα με την περίπτωση, στον τοπικό συντελεστή εκπομπών ηλεκτρικής ενέργειας (EFE). Ο δεύτερος ισχύει μόνο εάν υπάρχουν τοπικές μονάδες παραγωγής ενέργειας οι οποίες στην περίπτωση μας απουσιάζουν.

Η τιμή του συντελεστή NEEFE για την Ελλάδα με βάση την IPCC και για μονάδα αναφορά τους τόνους CO₂ προσδιορίζονται στους 1,149tn CO₂/MWh_e.

6.2 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ (U-Value) ΤΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΟΥ ΚΕΛΥΦΟΥΣ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑ

Το πρώτο στοιχείο το οποίο παρατηρείται ως μεταβολή με την αλλαγή της τοιχοποιίας και βάση για όλες τις υπόλοιπες υπό μελέτη παραμέτρους, είναι η μείωση του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας. Όπως παρουσιάζεται παραπάνω, στην περιγραφή των υλικών και της κατασκευής κάθε κάθετου ή οριζόντιου δομικού στοιχείου του κελύφους, και οι δύο τοιχοποιίες ελαφράς κατασκευής παρουσιάζουν σημαντική βελτίωση στον συντελεστή U-value.

Ειδικότερα, αναμένεται με βάση τα κατασκευαστικά στοιχεία κάθε υλικού η προκατασκευασμένη τοιχοποιία με VIP να αποδώσει το ελάχιστο U-value. Ενδεικτικά αναφέρεται η περίπτωση της εξωτερικής τοιχοποιίας όπου η τοιχοποιία με VIP παρουσιάζει θεωρητική απόδοση 0,113 W/m²K έναντι 0,198 W/m²K που αποδίδει θεωρητικά η τοιχοποιία CLT, δηλαδή επιφέρει μείωση του συντελεστή αυτού κατά 73% έναντι 54% - συγκρινόμενες με την συμβατική τοιχοποιία. Ωστόσο όπως φαίνεται και στα αποτελέσματα, συνυπολογίζοντας την επίδραση των θερμογεφυρών, η τοιχοποιία με CLT αποδίδει μείωση του U-value περίπου 48% , έναντι 31% του αντίστοιχου μέσου όρου μείωσης για την περίπτωση κελύφους με VIP (κυρίως λόγω της παρουσίας μεταλλικών ορθοστατών και όχι χάρη στην επίδραση των γραμμικών θερμογεφυρών).

Τα αποτελέσματα αυτά επιβεβαιώνουν την αρχική υπόθεση με βάση την οποία η σχετική απουσία θερμογεφυρών μεγάλης έντασης στις κατασκευές από σανίδες CLT, λόγω του τρόπου συναρμολόγησης των μερών της, αποτελεί πλεονέκτημα ως προς την κατασκευή. Στην προκειμένη περίπτωση, η παρουσία θερμογεφυρών αποτελεί καθοριστικότερο παράγοντα έναντι των υλικών κατασκευής ακόμα και αν η

διαφορά μεταξύ των θεωρητικών τιμών των συντελεστών θερμοπερατότητας των μονωτικών υλικών είναι μεγάλη (μονωτικό VIP έναντι συμβατικής μόνωσης ορυκτοβάμβακα).

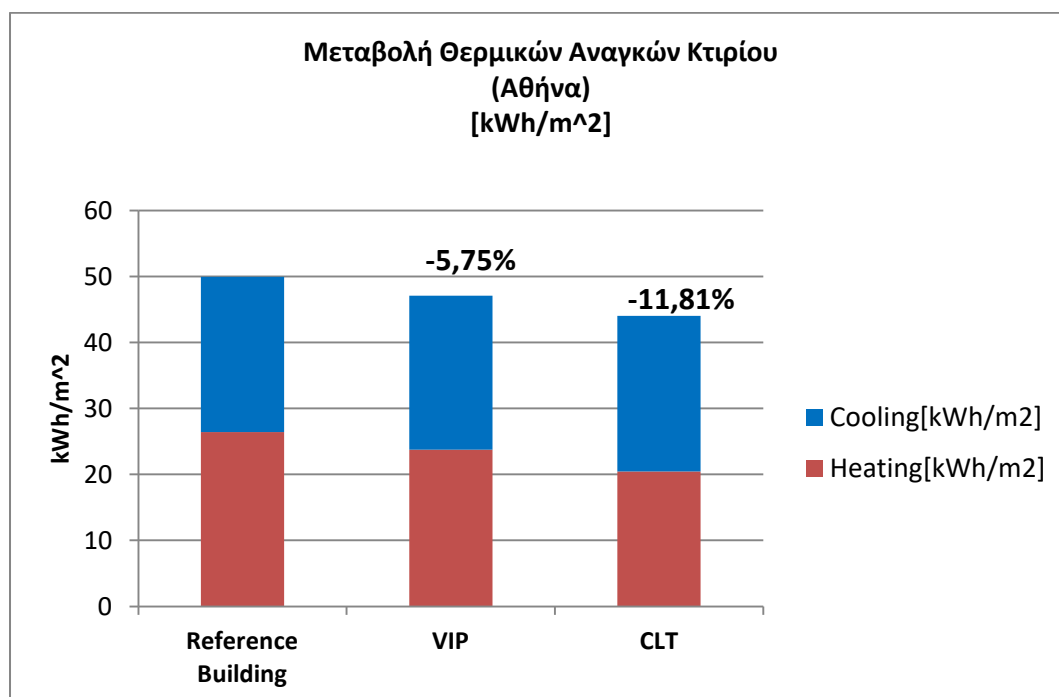
Πίνακας 6-36.2 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ (U-Value) ΤΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΟΥ ΚΕΛΥΦΟΥΣ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑ

Δομικό Στοιχείο	Κατασκευή	Μέσος Συντελεστής Θερμοπερατότητας U-Value [W/m²/K]	Μεταβολή U- Value [%]
Βόρειος Εξωτερικός Τοίχος	Συμβατική	0,5	-
	VIP	0,316	-36,8
	CLT	0,274	-45,2
Νότιος Εξωτερικός Τοίχος	Συμβατική	0,609	-
	VIP	0,267	-46,6
	CLT	0,288	-42,4
Ανατολικός Εξωτερικός Τοίχος	Συμβατική	0,499	-
	VIP	0,358	-28,3
	CLT	0,288	-42,3
Δυτικός Εξωτερικός Τοίχος	Συμβατική	0,499	-
	VIP	0,358	-28,3
	CLT	0,257	-48,5
Οροφή	Συμβατική	0,431	-
	VIP	0,325	-24,6
	CLT	0,216	-49,9
Δάπεδο	Συμβατική	0,461	-
	VIP	0,341	-26,0
	CLT	0,172	-62,7

6.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΘΗΝΑ

6.3.1 Θερμικές Ανάγκες και Προσέγγιση της Κατανάλωσης Πρωτογενούς Ενέργειας

Όπως παρουσιάζεται και στην Εικόνα 6-1 Μεταβολή Θερμικών Αναγκών Κτιρίου (Αθήνα), η αλλαγή της τοιχοποιίας επηρεάζει άμεσα τις θερμικές ανάγκες του κτιρίου.



Εικόνα 6-1 Μεταβολή Θερμικών Αναγκών Κτιρίου (Αθήνα)

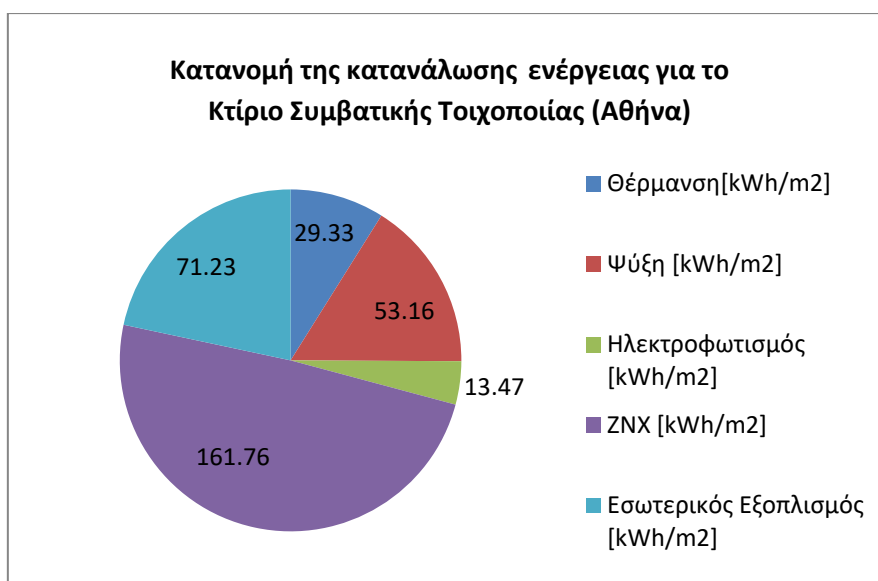
Σε κλιματικές ζώνες όπως αυτή της Αθήνα όπου οι ανάγκες σε θέρμανση και ψύξη είναι περίπου ισομοιρασμένες, η βελτίωση του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας του κελύφους έχει σχετικά μικρή επίδραση αφού ναι μεν μειώνει αισθητά τις ανάγκες σε θέρμανση, έως και 12% στην περίπτωση της τοιχοποιίας από CLT, ωστόσο διατηρούνται οι ανάγκες σε ψύξη και υπό συνθήκες ενδέχεται και να τις αυξήσει. Τέτοια φαινόμενα μπορεί να ενταθούν εάν το κέλυφος ενός κτιρίου έχει μεγάλη θερμική μάζα, όπως στην περίπτωση της τοιχοποιίας με VIP, ή μεγάλη επιφάνεια υαλοπινάκων η οποία ενδέχεται να προκαλέσει φαινόμενα θερμοκηπίου εάν δεν υπάρξει μέριμνα για καλό σχεδιασμό του συστήματος αερισμού.

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών την μετατροπή των θερμικών αναγκών σε μεγέθη πρωτογενούς ενέργειας με βάση την μεθοδολογία που αναλύθηκε παραπάνω παρουσιάζονται στον Πίνακα 6-4:

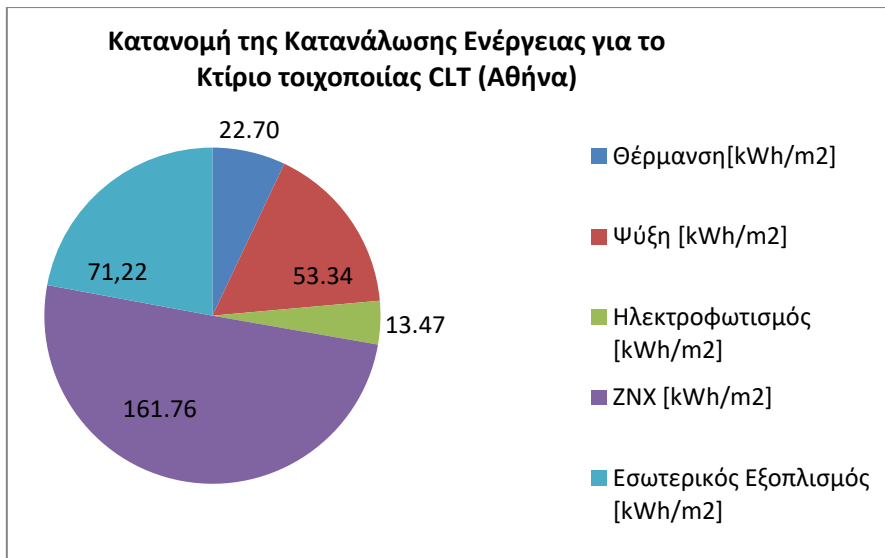
Πίνακας 6-4 Αποτελέσματα των υπολογισμών την μετατροπή των θερμικών αναγκών σε μεγέθη πρωτογενούς ενέργειας

Τοιχοποιία	Θ.Ανάγκες για Θέρμανση [kWh/m2]	Θ.Ανάγκες για Ψύξη [kWh/m2]	Κατανάλωση Πρωτογενούς Ενέργειας για Θέρμανση [kWh/m2]	Κατανάλωση Πρωτογενούς Ενέργειας για Ψύξη [kWh/m2]	Εξοικονόμηση Πρωτογενούς Ενέργειας [%]
Συμβατική Τοιχοποιία	26,42	23,52	39,01	19,77	
Τοιχοποιία με VIP	23,75	23,31	35,07	19,60	-6,99
Τοιχοποιία από CLT	20,44	23,59	30,18	19,84	-14,90

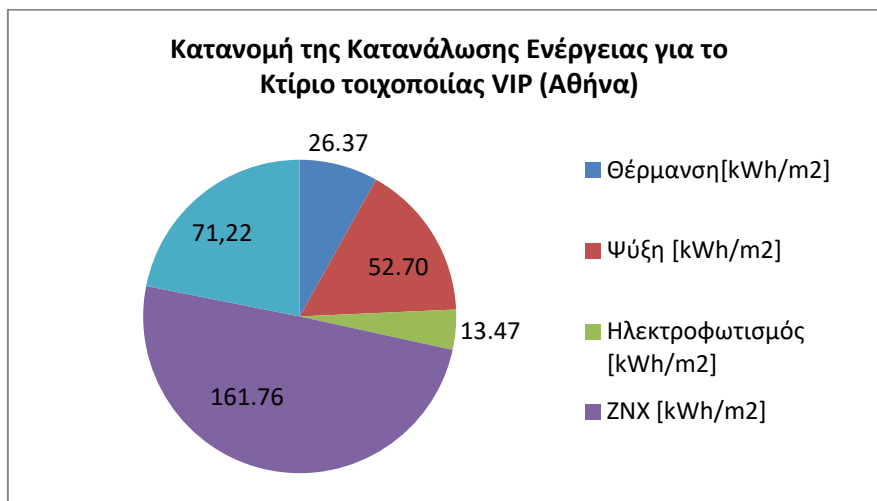
Ενώ η κατανομή της κατανάλωσης ενέργειας του κτιρίου παρουσιάζεται στα παρακάτω διαγράμματα: (Εικόνα 6-2 Εικόνα 6-3 Εικόνα 6-4)



Εικόνα 6-2 Κατανομή της κατανάλωσης ενέργειας για το Κτίριο Συμβατικής Τοιχοποιίας(Αθήνα)



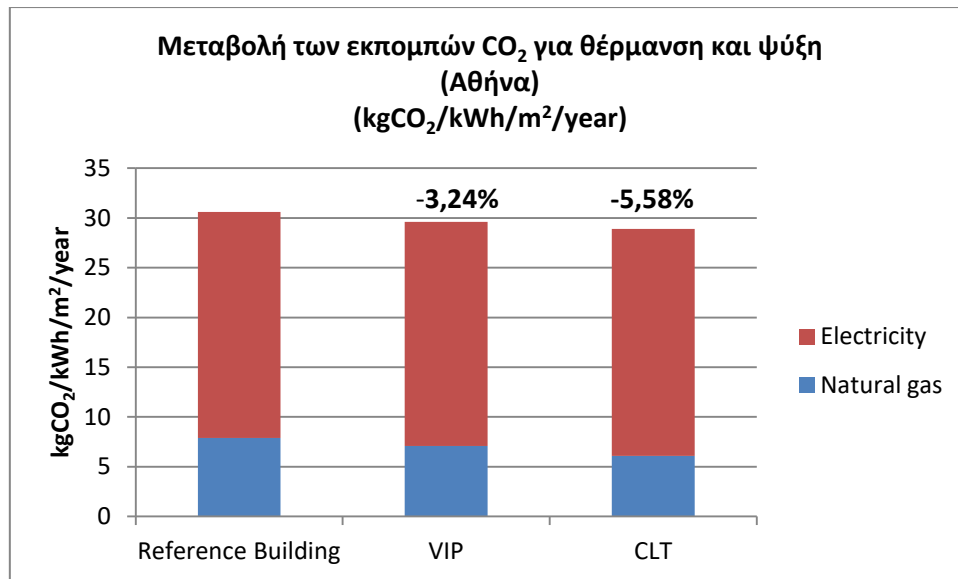
Εικόνα 6-3 Κατανομή της κατανάλωσης ενέργειας για το κτίριο τοιχοποιίας CLT (Αθήνα)



Εικόνα 6-4 Κατανομή της κατανάλωσης ενέργειας για το κτίριο τοιχοποιίας με VIP (Αθήνα)

6.3.2 Ετήσιες Εκπομπές CO₂ για Θέρμανση και Ψύξη

Η κατανομή των εκπομπών ακολουθεί εκείνη της πρωτογενούς ενέργειας κατά τους συντελεστές που αναφέρθηκαν στην ενότητα 6.1.3. Παρατηρείται μικρή ποσοστιαία μεταβολή στην εκλυόμενη μάζα CO₂ (της τάξης του 3 με 5,5 %) η οποία οφείλεται τόσο στην μεγάλη δυσαναλογία της αναγωγής του φυσικού αερίου έναντι της ηλεκτρικής ενέργειας σε πρωτογενή (0,202 έναντι 1,149 tn CO₂/MWh) όσο και στο γεγονός ότι στην περίπτωση της Αθήνας η συμμετοχή των φορτίων θέρμανσης (και άρα η συμμετοχή του φυσικού αερίου ως καταναλισκώμενης πηγής ενέργειας) είναι σημαντικά μικρότερη. Τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζονται στην Εικόνα 6-5



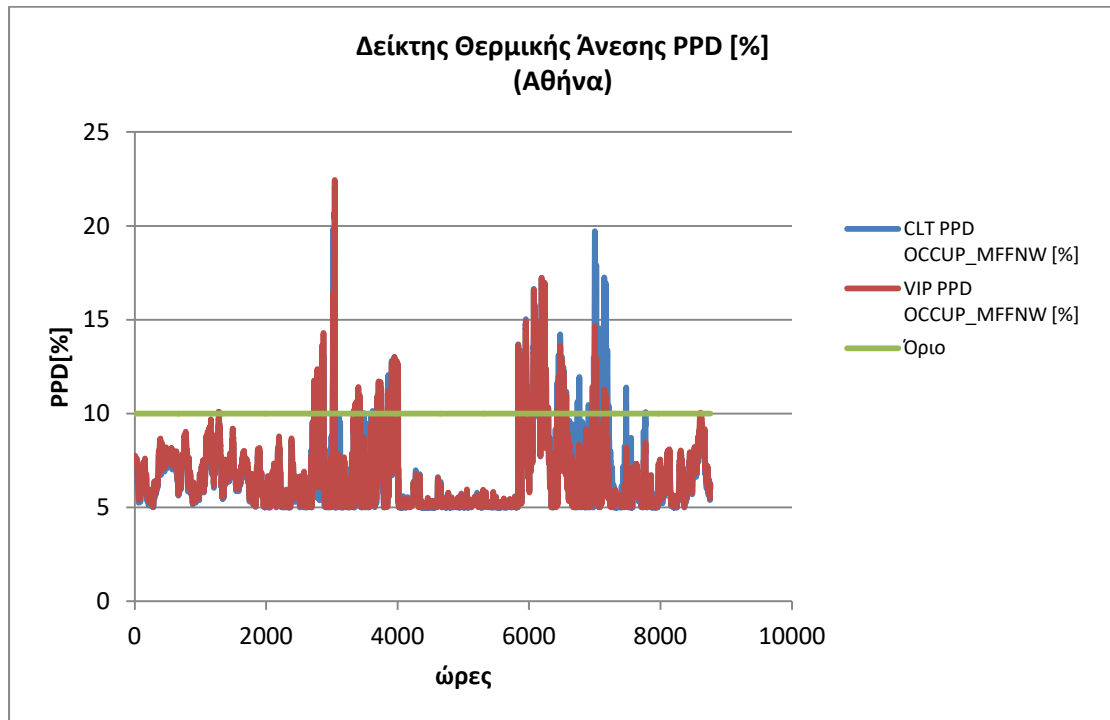
Εικόνα 6-5 Εκπομπές CO₂ για θέρμανση και ψύξη (Αθήνα)

6.3.3 Αποτελέσματα Θερμικής Άνεσης

Ο δείκτης clo [$1\text{clo}=0.155\text{m}^2\text{ oC/W}$] ο οποίος περιγράφει την θερμομονωτική επάρκεια του ρουχισμού αποτελεί βασική παράμετρο για τον υπολογισμό των δεικτών PPD και PMV. Με βάση το πρότυπο EN ISO 1920 οι τιμές του για την κατηγορία II στην οποία ανήκουν παίρνουν ελάχιστη τιμή την τιμή 0,5 clo ενώ με βάση πίνακες του προτύπου αυτού για την αντιστοιχία ρουχισμού-clo αλλά και με βάση τα κλιματολογικά δεδομένα της Αθήνας, εισήχθησαν τα παρακάτω δεδομένα στο λογισμικό του EP:

Πίνακας 6-5 Στοιχεία ρουχισμού για τον υπολογισμό των δεικτών θερμικής άνεσης [50] [51]

Περίοδος	Τιμή Συντελεστή Clo [$1\text{clo}=0.155\text{ m}^2\text{K/W}$] (EN ISO 1920)	Είδος ρουχισμού (EN ISO 1920)
1 ^η Ιανουαρίου - 6 ^η Μαΐου	1	Εσώρουχα με μακριά μανίκια και πατζάκια, θερμο-μπουφάν και παντελόνι, Παρκέ με βαρύ κόψιμο, φόρμες με βαμβακερή επένδυση, κάλτσες, παπούτσια,
7 ^η Μαΐου - 16 ^η Ιουνίου	0,75	Εσώρουχα με κοντά μανίκια και πατζάκια, πουκάμισο, παντελόνι, γιλέκο, σακάκι, κάλτσες, παπούτσια
17 ^η Ιουνίου - 31 ^η Αυγούστου	0,5	Εσώρουχα, μπλούζα, παντελόνι, ζακέτα, κάλτσες, παπούτσια
1 ^η Σεπτεμβρίου - 18 ^η Οκτωβρίου	0,75	Εσώρουχα με κοντά μανίκια και πατζάκια, πουκάμισο, παντελόνι, γιλέκο, σακάκι, κάλτσες, παπούτσια



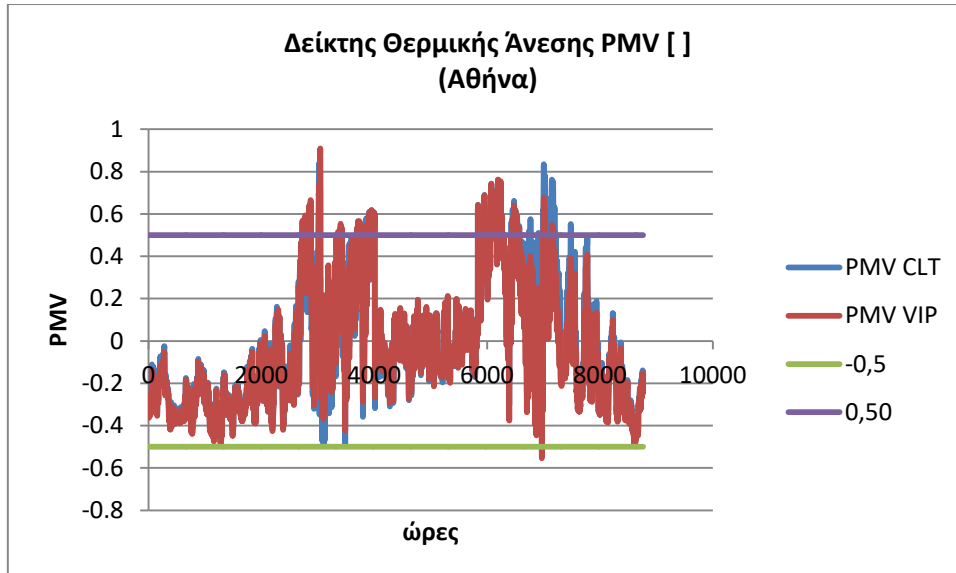
Εικόνα 6-6 Δείκτης Θερμικής Άνεσης PPD [%] (Αθήνα)

Πίνακας 6-6 Ετήσιο Άθροισμα Υπερβάλλοντος Ποσοστού Δυσaréσκειας (ΥΠΔ) (Αθήνα)

Τοιχοποιία	Συνθήκη	Ετήσιο Άθροισμα Υπερβάλλοντος Ποσοστού Δυσaréσκειας (ΥΠΔ)
CLT	$PPD_{CLT} > PPD_{VIP} > 10\%$	2084,4
VIP	$PPD_{VIP} > PPD_{CLT} > 10\%$	857,2

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι για την περίπτωση της Αθήνας η τοιχοποιία από VIP, η τοιχοποιία με τον μεγαλύτερο συντελεστή θερμοπερατότητας δηλαδή, διαμορφώνει καλύτερες συνθήκες θερμικής άνεσης για τις παραμέτρους που ορίσαμε. Το αποτέλεσμα αυτό οφείλεται κυρίως στα φαινόμενα υπερθέρμανσης κατά την περίοδο του φθινοπώρου (όπως καταμαρτυρά και το διάγραμμα για το PMV). Κατά τους χειμερινούς μήνες οι δείκτες θερμικής άνεσης παρουσιάζουν την αντίθετη συμπεριφορά (πιο «άνετο» το κτίριο από CLT). Ωστόσο τα φαινόμενα υπερθέρμανσης είναι εντονότερα από τα φαινόμενα ψύχους διαμορφώνοντας το τελικό αποτέλεσμα. Σε κάθε περίπτωση όμως κατά το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου

βρισκόμαστε εντός των ορίων που θέτει το πρότυπο αλλά ακόμα και για τις περιπτώσεις που βρισκόμαστε εκτός ορίων τα διαστήματα είναι αρκετά μικρά (αιχμές) και οι τιμές σχετικά οριοθετημένες (μέχρι 25% για τον δείκτη PPD και μεταξύ των ορίων -0,6 - 0,8 για τον δείκτη PMV). Επομένως και στις δύο περιπτώσεις τα αποτελέσματα θερμικής άνεσης είναι ικανοποιητικά.

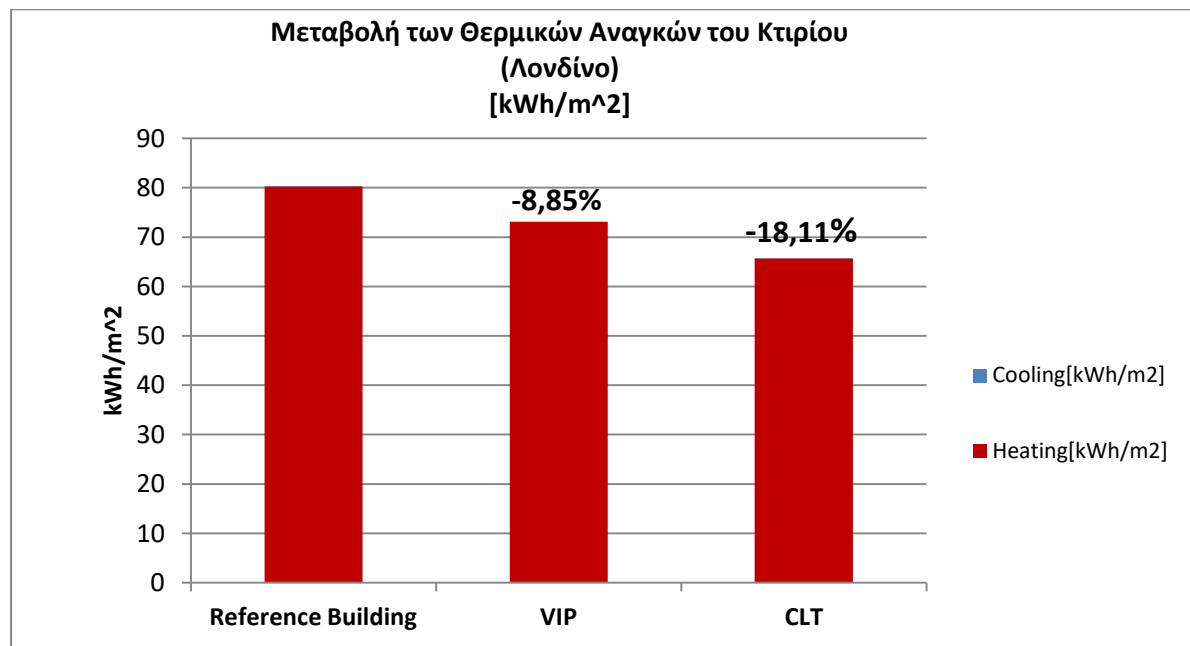


Εικόνα 6-7 Δείκτης Θερμικής Άνεσης PMV [] (Αθήνα)

6.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΟ ΛΟΝΔΙΝΟ

6.4.1 Θερμικές Ανάγκες και Προσέγγιση της Κατανάλωσης Πρωτογενούς Ενέργειας

Στην περίπτωση της προσομοίωσης στο Λονδίνο και για τα ίδια στοιχεία κελύφους και (ιδεατών) συστημάτων έχουμε τα παρακάτω αποτελέσματα:



Εικόνα 6-8 Μεταβολή των Θερμικών Αναγκών του Κτιρίου (Λονδίνο)

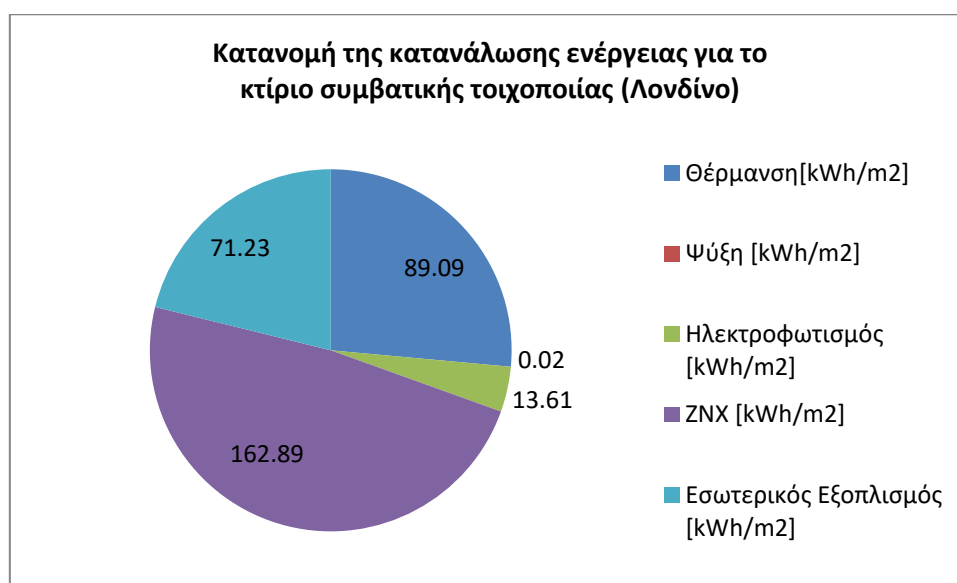
Παρατηρούμε ότι οι ανάγκες σε ψύξη είναι αμελητέες ενώ το γεγονός ότι οι ανάγκες σε ψύξη είναι πραγματικά μεγάλες (σχεδόν τετραπλάσιες από ότι στην περίπτωση της Αθήνας), οδηγεί και σε μεγαλύτερη απόλυτη αλλά και ποσοστιαία εξοικονόμηση ενέργειας σε κάθε περίπτωση παρέμβασης.

Η μετατροπή των θερμικών αναγκών σε κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ακολουθώντας την ίδια μεθοδολογία με την περίπτωση της Αθήνας, δίνει τα παρακάτω αποτελέσματα:

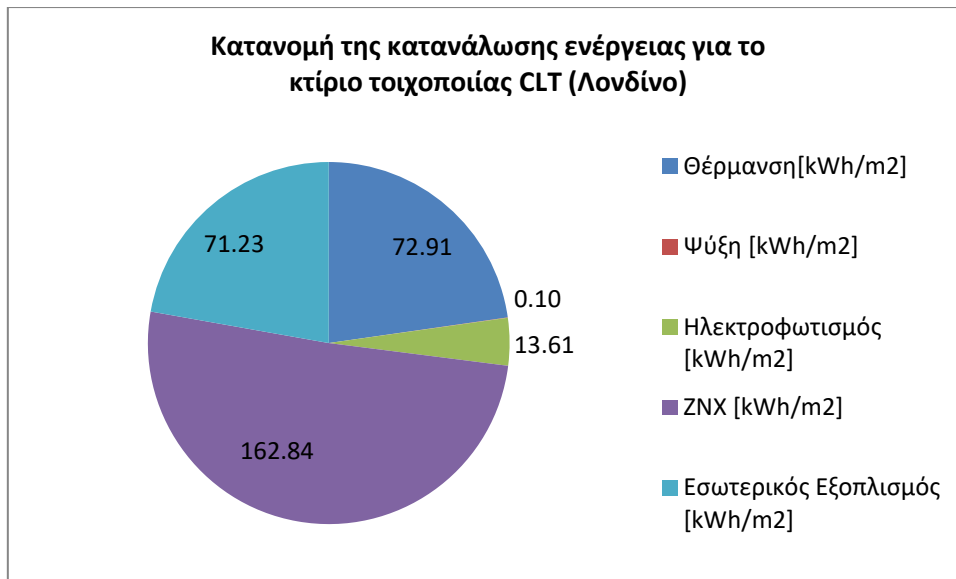
Πίνακας 6-7 Μετατροπή των θερμικών αναγκών σε κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (Λονδίνο)

Τοιχοποιία	Θ.Ανάγκες για Θέρμανση [kWh/m ²]	Θ.Ανάγκες για Ψύξη [kWh/m ²]	Κατανάλωση Πρωτογενούς Ενέργειας για Θέρμανση [kWh/m ²]	Κατανάλωση Πρωτογενούς Ενέργειας για Ψύξη [kWh/m ²]	Εξοικονόμηση Πρωτογενούς Ενέργειας [%]
Συμβατική Τοιχοποιία	80,25	0,008	118,46	0,007	
VIP	73,05	0,104	107,83	0,088	-8,90
CLT	65,68	0,045	96,95	0,038	-18,13

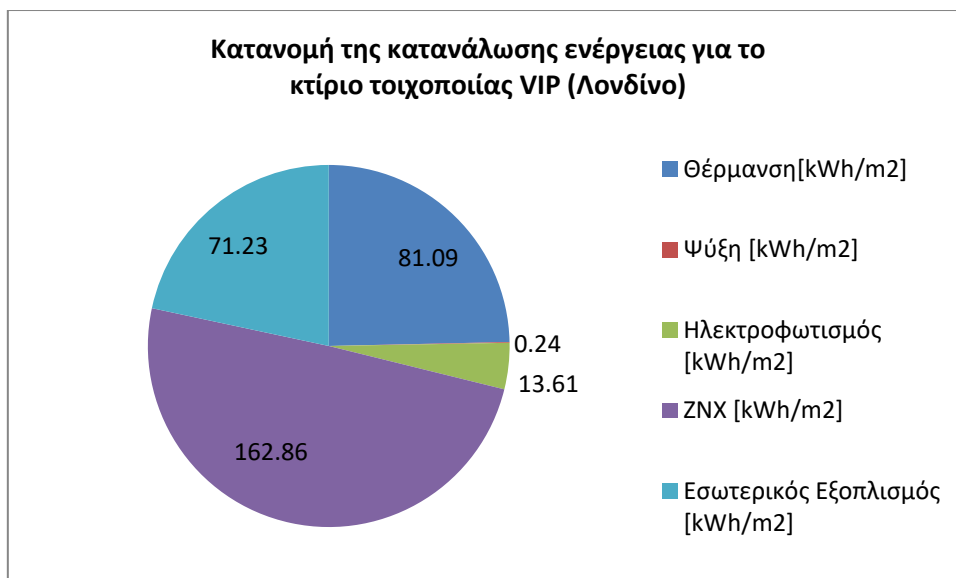
Ενώ η κατανομή της κατανάλωσης ενέργειας του κτιρίου παρουσιάζεται στα παρακάτω διαγράμματα:



Εικόνα 6-9κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για το κτίριο συμβατικής τοιχοποιίας (Λονδίνο)



Εικόνα 6-10 κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για το κτίριο CLT (Λονδίνο)

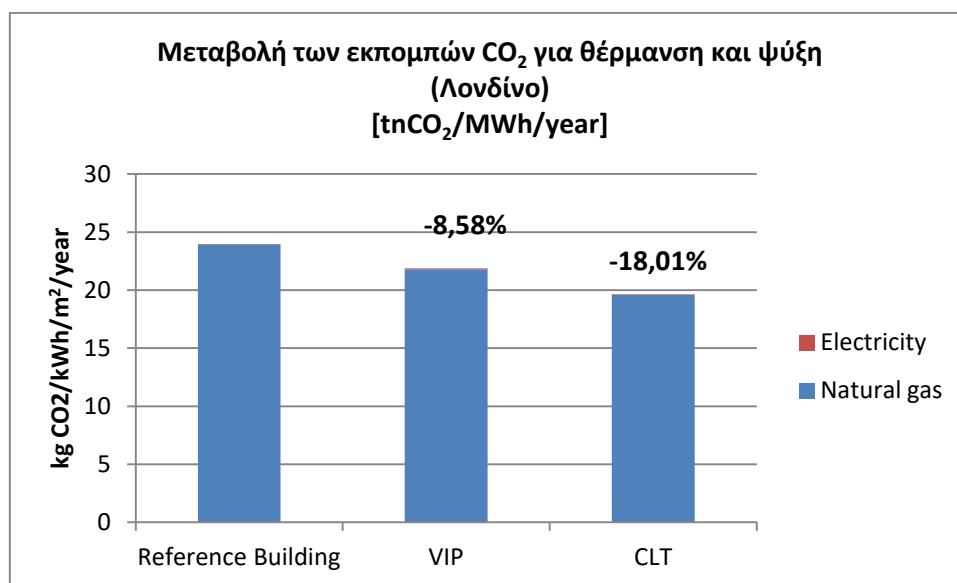


Εικόνα 6-11 κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για το κτίριο ελαφράς τοιχοποιίας με VIP (Λονδίνο)

6.4.2 Ετήσιες Εκπομπές CO₂ για Θέρμανση και Ψύξη

Η κατανομή των εκπομπών ακολουθεί εκείνη της πρωτογενούς ενέργειας κατά τους συντελεστές που αναφέρθηκαν στην ενότητα 6.1.3. Παρατηρείται μεγαλύτερη ποσοστιαία μεταβολή στην εκλυόμενη μάζα CO₂ (της τάξης του 9 με 18%) συγκριτικά με τα αποτελέσματα της Αθήνας η οποία αντισταθμίζει την μεγάλη δυσαναλογία της αναγωγής του φυσικού αερίου έναντι της ηλεκτρικής ενέργειας σε πρωτογενή (0,202 έναντι 1,149 tn CO₂/MWh) αφού στην περίπτωση του Λονδίνου η τα φορτία θέρμανσης (και άρα η συμμετοχή του φυσικού αερίου ως

καταναλισκώμενης πηγής ενέργειας) είναι με μεγάλη διαφορά η κύρια μορφή κατανάλωσης ενέργειας. Τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζονται στην Εικόνα 6-5



Εικόνα 6-12 Εκπομπές CO₂ για θέρμανση και ψύξη (Λονδίνο)

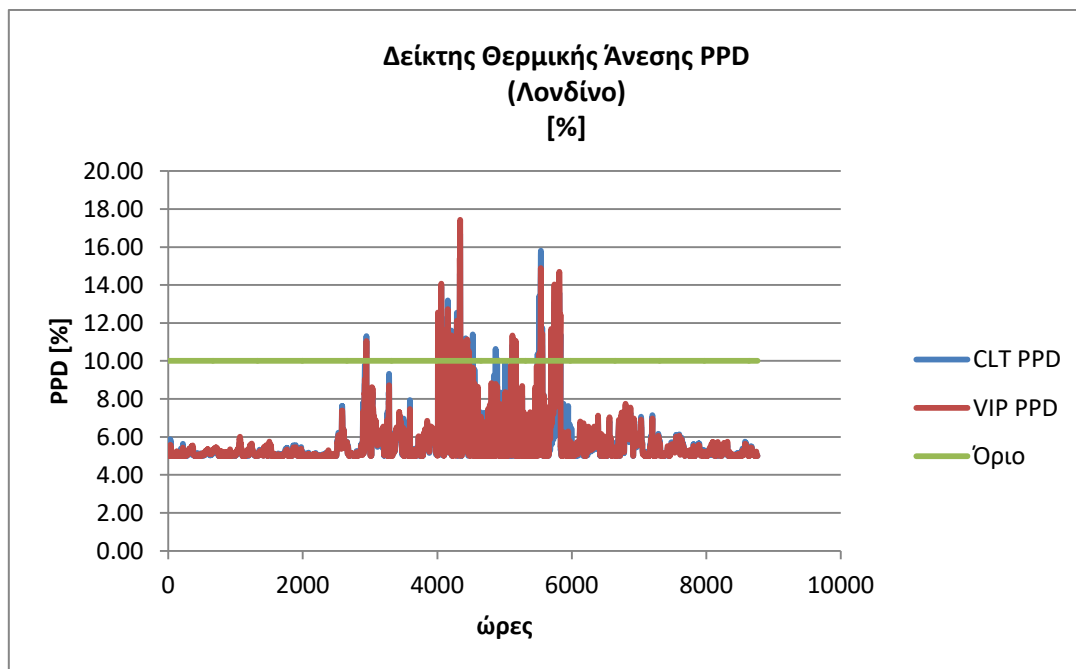
6.4.3 Αποτελέσματα Θερμικής Άνεσης

Ο δείκτης clo ο οποίος περιγράφει την θερμομονωτική επάρκεια του ρουχισμού αποτελεί βασική παράμετρο για τον υπολογισμό των δεικτών PPD και PMV . Με βάση το πρότυπο EN ISO 1920 οι τιμές του για την κατηγορία II στην οποία ανήκουν λαμβάνουν τις τιμές που αναγράφονται στον πίνακα 6-8 . Επιπλέον με βάση τα κλιματολογικά δεδομένα του Λονδίνου για τον διαχωρισμό των επιμέρους περιόδων, εισήγαμε τα παρακάτω δεδομένα στο λογισμικό του EP:

Πίνακας 6-8 Στοιχεία ρουχισμού για τον υπολογισμό των δεικτών θερμικής άνεσης (Λονδίνο)[50]

Περίοδος	Τιμή Συντελεστή Clo [1clo=0.155m ² °C/W]	Είδος ρουχισμού
1 ^η Ιανουαρίου- 6 ^η Μαΐου	1,5	Εσώρουχα με μακριά μανίκια και πατζάκια, θερμο-μπουφάν, πουκάμισο και παντελόνι, Παρκέ με βαρύ κόψιμο, φόρμες με βαμβακερή επένδυση, κάλτσες, παπούτσια,
7 ^η Μαΐου-16 ^η Ιουνίου	1	Εσώρουχα με μακριά μανίκια και πατζάκια, πουκάμισο και παντελόνι, Παρκέ με βαρύ κόψιμο, φόρμες με βαμβακερή επένδυση, κάλτσες, παπούτσια,
17 ^η Ιουνίου- 31 ^η Αυγούστου	0,75	Εσώρουχα με κοντά μανίκια και πατζάκια, μπλουζα, παντελόνι, γιλέκο, σακάκι, κάλτσες, παπούτσια

1 ^η Σεπτεμβρίου- 18 ^η Οκτωβρίου	1	Εσώρουχα με μακριά μανίκια και πατζάκια, πουκάμισο και παντελόνι, Παρκέ με βαρύ κόψιμο, φόρμες με βαμβακερή επένδυση, κάλτσες, παπούτσια,
19 ^η Οκτωβρίου- 31 ^η Δεκεμβρίου	1,5	Εσώρουχα με μακριά μανίκια και πατζάκια, θερμο-μπουφάν, πουκάμισο και παντελόνι, Παρκέ με βαρύ κόψιμο, φόρμες με βαμβακερή επένδυση, κάλτσες, παπούτσια,



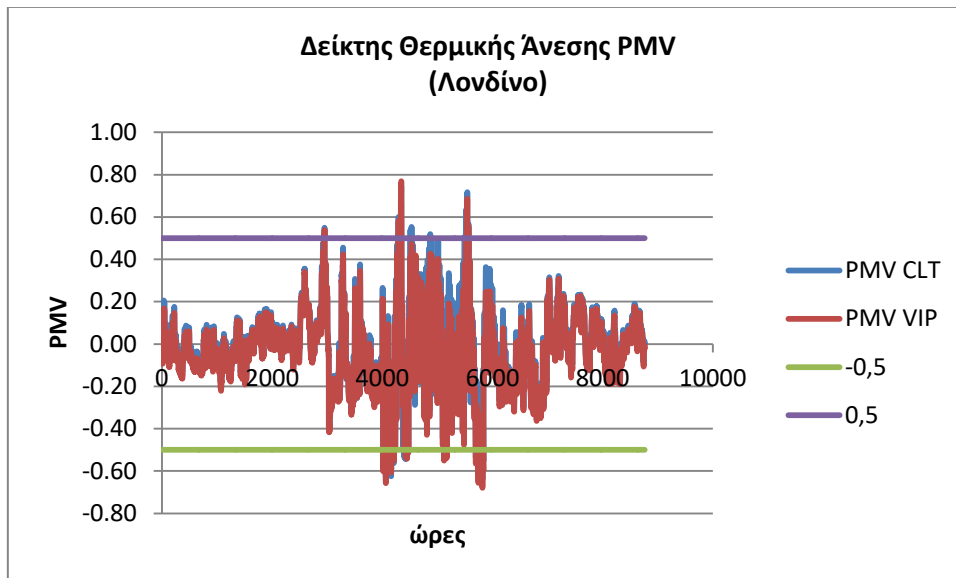
Εικόνα 6-13 Δείκτης Θερμικής Άνεσης PPD (Λονδίνο)

Πίνακας 6-9 Ετήσιο Άθροισμα Υπερβάλλοντος Ποσοστού Δυσαρέσκειας (Λονδίνο)

Τοιχοποιία	Συνθήκη	Ετήσιο Άθροισμα Υπερβάλλοντος Ποσοστού Δυσαρέσκειας (ΥΠΔ)
CLT	$PPD_{CLT} > PPD_{VIP} > 10\%$	398,1
VIP	$PPD_{VIP} > PPD_{CLT} > 10\%$	786,7

Από τα παραπάνω προκύπτει για την περίπτωση του Λονδίνου, όπως και ήταν αναμενόμενο, ότι τις καλύτερες επιδόσεις σε ότι αφορά την θερμική άνεση, τις παρουσιάζει το κτίριο με την τοιχοποιία με τον χαμηλότερο μέσο συντελεστή θερμοπερατότητας (η τοιχοποιία από CLT). Επιπλέον στην περίπτωση του Λονδίνου παρατηρείται καλύτερη απόδοση ως προς την θερμική άνεση εξαιτίας της μη εμφάνισης φαινομένων υπερθέρμανσης, γεγονός το οποίο επιβεβαιώνουν και τα δυο

διαγράμματα των δεικτών PPD (με τιμές μέχρι 17,5 %) και PMV (με τιμές στα όρια -0,6 και 0,78 αντίστοιχα).



Εικόνα 6-14 Δείκτης Θερμικής Άνεσης PMV (Λονδίνο)

7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

7.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η θερμική συμπεριφορά δύο καινοτόμων συστημάτων ελαφράς τοιχοποιίας, μία από πάνελ σταυρωτής επικολλητής ξυλείας – CLT- μονωμένης εξωτερικά με συμβατικά θερμομονωτικά υλικά (ορυκτοβάμβακας, διογκωμένη πολυστερίνη κ.α) , και άλλη μια από προκατασκευασμένα μέρη γυψοσανίδων-μεταλλικών ορθοστατών μονωμένης εσωτερικά με υπερμονωτικά υλικά όπως οι σανίδες κενού –VIP.. Στην συνέχεια αξιολογήθηκε η επίδρασή της εφαρμογής των συστημάτων αυτών σε κέλυφος πενταόροφου κτιρίου κατοικιών για την μείωση των θερμικών του αναγκών και την επίτευξη καλύτερων συνθηκών θερμικής άνεσης στο εσωτερικό του περιβάλλον. Η προσομοίωση της θερμικής συμπεριφοράς του κτιριακού κελύφους για κάθε σύστημα τοιχοποιίας έγινε παραμετρικά σε δύο διαφορετικές τοποθεσίες με «συμπληρωματικές» κλιματικές συνθήκες (Αθήνα και Λονδίνο) ενώ ακολούθησε σύγκριση με κτίριο αναφοράς συμβατικής τοιχοποιίας σύμφωνα με την μεθοδολογία που περιγράφει ο Κ.ΕΝ.Α.Κ. Με βάση την παραπάνω παραμετρική ανάλυση προέκυψαν αρκετά χρήσιμα συμπεράσματα.

Η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του κελύφους με την εφαρμογή των συστημάτων ελαφράς τοιχοποιίας είναι σημαντική και στις δύο περιπτώσεις. Η βελτίωση αυτή αφορά την μείωση των θερμικών αναγκών για θέρμανση καθώς η μεταβολή των αναγκών σε ψύξη είναι σχετικά αμελητέα. Ειδικότερα η εφαρμογή του συστήματος τοιχοποιίας από πάνελ CLT στο κέλυφος του κτιρίου, δύναται να επιφέρει μείωση στις θερμικές ανάγκες για θέρμανση του κτιρίου έως και 23% στην περίπτωση μελέτης για το Λονδίνο και 18% αντίστοιχα για την Αθήνα. Οι αντίστοιχες επιδόσεις για την ελαφρά τοιχοποιία με σανίδες κενού είναι σταθερά μικρότερες (της τάξης του 10% για το Λονδίνο και 9% για την Αθήνα). Το γεγονός αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο στο φαινόμενο των θερμογεφυρών. Παρά το γεγονός ότι ο μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας του συστήματος με CLT είναι θεωρητικά μεγαλύτερος από το αντίστοιχο με VIP (0,20 W/m²K έναντι 0,11 W/m²K αν λάβουμε υπόψιν μόνο τα πάχη των επάλλληλων στρώσεων και τις ιδιότητες των υλικών), η επίδραση των θερμογεφυρών είναι εντελώς δυσανάλογη (αύξηση του ισοδύναμου συντελεστή θερμοπερατότητας κατά 175% για την VIP έναντι 38% για την CLT). Η παρατήρηση αυτή επαληθεύει τα πορίσματα ερευνών της διεθνούς βιβλιογραφίας με βάση τα οποία ένα από τα συγκριτικά πλεονεκτήματα των κατασκευών από CLT είναι οι μικρές απώλειες θερμογεφυρών λόγω της απουσίας φέροντος οργανισμού και του τρόπου σύνδεσης των πάνελ.

Σε επίπεδο μείωσης της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης του κτιρίου, τα αποτελέσματα είναι πιο μετριοπαθή. Λαμβάνοντας υπόψιν τις παραδοχές του Κ.ΕΝ.Α.Κ για την διαστασιολόγηση των συστημάτων θέρμανσης, κλιματισμού, παραγωγής ζεστού νερού χρήσης και τον υπολογισμό της ενεργειακής κατανάλωσης για τον ηλεκτροφωτισμό και τη λειτουργία των ηλεκτρικών συσκευών στην περίπτωση κτιρίου κατοικιών, το ποσοστό το οποίο καταλαμβάνει η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για θέρμανση και ψύξη κυμαίνεται μεταξύ 20% και 26% (για

το αποδοτικότερο σενάριο (CLT-Λονδίνο) και το κτίριο αναφοράς αντίστοιχα). Αντίστοιχα είναι και τα αποτελέσματα για την μείωση των εκπομπών CO₂ (μέγιστη μείωση εκπομπών τα 18 kgCO₂/m²/y για την εφαρμογή τοιχοποιίας από CLT στο Λονδίνο) .

Όσον αφορά την μελέτη θερμικής άνεσης, ακολουθήθηκε η μεθοδολογία του Fanger. Με κατάλληλη προσομοίωση των μοντέλων μας στο λογισμικό EnergyPlus ,όπου εισήχθησαν δεδομένα βάσει διεθνών προτύπων (EN ISO 7730, EN ISO 9920 κ.α), υπολογίστηκαν οι δείκτες θερμικής άνεσης (PPD και PMV). Στην συνέχεια ακολούθησε σύγκριση μεταξύ των διαφορετικών σεναρίων απ' όπου προέξυψε ότι: καλύτερη συμπεριφορά θερμικής άνεσης παρουσιάζεται για κάθε τύπο τοιχοποιίας στα σενάρια που αφορούν το Λονδίνο. Αυτό οφείλεται όπως αναφέραμε και νωρίτερα στην καλύτερη απόδοση των συστημάτων έναντι του ψύχους. Αξίζει να σημειωθεί ότι για τα σενάρια μελέτης στην Αθήνα, η ελαφρά τοιχοποιία με VIP εμφανίζει καλύτερη συμπεριφορά, γεγονός το οποίο οφείλεται σε φαινόμενα υπερθέρμανσης κατά τους καλοκαιρινούς και φθινοπωρινούς μήνες.

Συμπερασματικά, η εφαρμογή και των δύο καινοτόμων συστημάτων τοιχοποιίας στο κέλυφος πολυώροφου κτιρίου κατοικιών δύναται να βελτιώσει σημαντικά την ενεργειακή του απόδοση διαμορφώνοντας καλύτερες συνθήκες θερμικής άνεσης και μειώνοντας σημαντικά τις ενεργειακές καταναλώσεις που αφορούν την θέρμανση και την ψύξη αλλά και τις εκπομπές CO₂. Η επιλογή της τοιχοποιίας από CLT είναι ανταγωνιστική ακόμα και απέναντι σε τεχνολογίες που χρησιμοποιούν καινοτόμα θερμομονωτικά υλικά ενώ εφαρμογή τους σε κλιματικές ζώνες που παρουσιάζουν χαμηλές θερμοκρασίες επαυξάνει τα παραπάνω οφέλη.

7.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Πέραν της συγκεκριμένης εργασίας, υπάρχουν ποικίλα πεδία τα οποία αξίζει να μελετηθούν στο μέλλον σχετικά με την εφαρμογή των συστημάτων τοιχοποιίας που μελετήθηκαν, στο κτιριακό κέλυφος κτιρίου κατοικίας:

- Σε ότι αφορά το σύστημα τοιχοποιίας CLT θα μπορούσε να γίνει αναλυτική μελέτη των θερμογεφυρών μέσω οποιουδήποτε διαθέσιμου εμπορικού προγράμματος θερμικών υπολογισμών (ANSYS, COMSOL) για τον ακριβέστερο προσδιορισμό της επίδρασής τους στις συνολικές θερμικές απώλειες του κελύφους.
- Για να είναι πιο πλήρης η μελέτη των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της αλλαγής του κελύφους θα μπορούσε να γίνει μελέτη μέσω της μεθοδολογίας LCA -Life Cycle Analysis (αντί της IPCC) ουτως ώστε να συμπεριληφθεί η οικολογία των υλικών. Ανάλογα ο συνυπολογισμός των ισοδύναμων εκπομπών CO₂ για τα υπόλοιπα επιβλαβή αέρια κρίνεται εξίσου σημαντικός.
- Θα είχε ιδιαίτερο ενδιαφέρον, πέραν του ιδεατού συστήματος θερμοστάτη που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη, να αξιολογηθούν πραγματικά συστήματα θέρμανσης-ψύξης-κλιματισμού-ZNX τα οποία συνίστανται για αυτού του τύπου τις εφαρμογές (λχ συστήματα κλιματισμού VAV, σύστημα θέρμανσης-ψύξης με αντλίες θερμότητας, συστήματα ενδοδαπέδιας ή επιτοίχιας θέρμανσης/ψύξης κ.α). Μεταξύ των συστημάτων αυτών θα

μπορούσαν να αξιολογηθούν συστήματα ΑΠΕ (λχ οικιακό σύστημα συμπαραγωγής, φωτοβολταϊκά πάνελ, ηλιακοί συλλέκτες ZNX). Με βάση την απόδοση των παραπάνω θα είχε ιδιαίτερο ενδιαφέρον να μελετηθεί το κατά πόσο η αλλαγή του συστήματος τοιχοποιίας επιδρά καθοριστικά στην ενεργειακή αναβάθμιση του κτιρίου (με βάση τα κριτήρια για κτίρια σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης- nZEB).

- Ανάλογα θα μπορούσε να γίνει συμπληρωματική μελέτη για τις επιμέρους πτυχές του προβλήματος του ενεργειακού ισολογισμού του κτιρίου με την μελέτη των υαλοπινάκων (θα μπορούσε να γίνει αλλαγή με θερμοχρωμικούς ή ηλεκτροχρωμικούς υαλοπίνακες μιας και η σκίαση για την περιοχή της Αθήνας παίζει καθοριστικό ρόλο) ή με την μελέτη του φωτισμού (μέσω της αντικατάστασης των λαμπτήρων, τον καλύτερο έλεγχο του τεχνητού φωτισμού μέσω ειδικού συστήματος αυτόματου ελέγχου κ.α)

8 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] BP, “BP Statistical Review of World Energy June 2015,” London, 2015.
- [2] BP, “BP Energy Outlook 2040,” London, 2018
- [3] IEA (2013a), Transition to Sustainable Buildings: Strategies and Opportunities to 2050, OECD/IEA, Paris
- [4] IEA(2017), CO2 emissions from fuelcombustion, World Energy Outlook Special Report 2017
- [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
- [10] 2017 ASHRAE Handbook—Fundamentals, Chap. 9, Introduction
- [11] 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
- [12] Απταλίδου, Φ. Β. (2019). Η νέα πρόκληση: Κτίρια σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας (No. GRI-2019-24176). Aristotle University of Thessaloniki.
- [13] “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.html
- [14] ΤΕΕ-ΤΚΜ (1979), «Εφαρμογή του Προεδρικού Διατάγματος Κανονισμού για την Θερμομόνωση Κτιρίων» http://library.tee.gr/digital/kma/kma_m019/kma_m019.pdf
- [15] Ελλάδας, Τ. Ε. (2011). Κατάρτιση ενεργειακών επιθεωρητών εκπαιδευτικό υλικό, Α. Επιθεώρηση κτιρίων, Θεματική ενότητα ΔΚ3/ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ/Α Έκδοση/Αθήνα, Ιούνιος 2011

- [16] «Εξοικονόμηση Ενέργειας στον κτιριακό τομέα», Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμηση Ενέργειας, INT. http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/ktiria_intro.htm
- [17] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/el/LSU/?uri=celex%3A32012L0027>
- [18] Λαζανδρέα, Μ. Ν. (2011). Ενέργεια στην αρχιτεκτονική, παθητικά ηλιακά συστήματα και άλλες τεχνικές εξοικονόμησης ενέργειας στον κτιριακό τομέα.
- [19] John, H. L. I. V., Lienhard, I. V., & Lienhard, V. (2006). A heat transfer textbook
- [20] Katsaprakakis, D., Moniakis, M., Κατσαπρακάκης, Δ., & Μονιάκης, Μ. (2015). Βασικά στοιχεία μεταφοράς θερμότητας.
- [21] Modeling Methods for Energy in Buildings C.P. Underwood , F.W.H. Yik , 1.1 Heat and mass transfer processes in buildings
- [22] Handbook, A. S. H. R. A. E. (2017). Fundamentals, ASHRAE–American Society of Heating, Ventilating and Air-Conditioning Engineers.
- [23] https://repository.kallipos.gr/cloud-reader-lite/exports/5405/unzipped/OEBPS/master_document_papamanolis_epub_neo2-45.xhtml
- [24] Δ. Αραβαντινός, Η θερμομονωτική προστασία των κτιρίων και τα θερμομονωτικά υλικά, Θεσσαλονίκη: Εργαστήριο οικοδομικής και φυσικής των κτιρίων, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2015
- [25] Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-2/2017, «Θερμοφυσικές ιδιότητες των δομικών υλικών και έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας των κτηρίων,» Έκδοση Α', 2017.
- [26] ΚΑΠΕ (1999) , «ΟΔΗΓΟΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕΣΩ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗΣ»
- [27] ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ Υπουργείο Εμπορίου, Βιομηχανίας και Τουρισμού της Κυπριακής Δημοκρατίας (2010), «ΟΔΗΓΟΣ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗΣ ΚΤΙΡΙΩΝ», 2η έκδοση
- [28] Μασσαλή, Ε. (2015). Μελέτη πανελών CLT κατά τον EC5 και σύγκριση με πειραματικά αποτελέσματα
- [29] Brandner, R., Flatscher, G., Ringhofer, A., Schickhofer, G., & Thiel, A. (2016). Cross laminated timber (CLT): overview and development. European Journal of Wood and Wood Products, 74(3), 331-351.
- [30] <https://ewood.gr/wp-content/uploads/2019/02/Clt-panel-xylou-syndeseis.jpg>
- [31] <https://ewood.gr/cl-ένα-νέο-προϊόν-ξύλου/>
- [32] O. Jowett, The thermal behaviour of cross-laminated timber construction and its resilience to summertime overheating, in: PLEA 2011 - Archit. Sustain. Dev. Conf. Proc. 27th Int. Conf. Passiv. Low Energy Archit., 2011, pp. 339–344.

- [33] <https://www.crosstimbersystems.com/wp-content/uploads/2016/05/Thermal-protection-.pdf>
- [34] AlSayegh, G. (2013). Hygrothermal properties of cross laminated timber and moisture response of wood at high relative humidity (Doctoral dissertation, Carleton University).
- [35] McClung, R., Ge, H., Straube, J., & Wang, J. (2014). Hygrothermal performance of cross-laminated timber wall assemblies with built-in moisture: field measurements and simulations. *Building and Environment*, 71, 95-110.
- [36] ISO, 10211 Thermal bridges in building construction - Heat flows and surface temperatures - Detailed calculations, 2017
- [37] ISO, 14683 Thermal bridges in building construction - Linear thermal transmittance - Simplified methods and default values, 2017
- [38] Chang, S. J., Wi, S., & Kim, S. (2019). Thermal bridging analysis of connections in cross-laminated timber buildings based on ISO 10211. *Construction and Building Materials*, 213, 709-722
- [39] Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, EnergyPlus Engineering Reference, 2015
- [40] <https://bigladdersoftware.com/>
- [41] 2017 ASHRAE Handbook—Fundamentals, Chap. 9, Introduction.
- [42] Παπαδόπουλος, Α. Μ. (2006). Θερμική άνεση στα κτίρια/Νέα πρότυπα και βελτίωση θερμικής άνεσης στα κτίρια. Διδακτικές σημειώσεις του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, ΑΠΘ./
- [43] Μανωλίτσης, Α. (2016). Επίδραση καινοτόμων μονωτικών υλικών στην ενεργειακή απόδοση κτιριακού κελύφους με χρήση του υπολογιστικού πακέτου EnergyPlus
- [44] ΕΛΟΤ EN ISO 13790:2009, «Ενεργειακή επίδοση κτιρίων - Υπολογισμός των απαιτήσεων ενέργειας για τη θέρμανση και την ψύξη χώρων», 2009
- [45] BS EN 13779:2007 “Ventilation for non-residential buildings. Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems”
- [46] <https://www.simfonodimarxon.eu/el/>
- [47] Eggleston, S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., & Tanabe, K. (Eds.). (2006). 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories (Vol. 5). Hayama, Japan: Institute for Global Environmental Strategies.
- [48] T.O.T.E.E 20701-1/2017, «Θερμοφυσικές ιδιότητες των δομικών υλικών και έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας των κτηρίων,» Έκδοση Α', 2017.
- [49] BS EN 15251:2007, «Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics (Withdrawn)», 2007

[50] EN ISO 7730, «Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria»,2005

[51] EN ISO 9920, «Ergonomics of the thermal environment — Estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble», 2007

[52] ASHRAE Standard62.1-2013, « Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality»

[53] ASHRAE Standard 90.1-2019 «ENERGY STANDARD FOR BUILDINGS EXCEPT LOW-RISE RESIDENTIAL BUILDINGS»,2019

[54] <https://greenbuilding.gr/thermomonose/πετροβάμβακας/>

[55] <https://boardandwall.com/insulationmaterials>

[56] <https://www.styropan.gr/proionta/thermomonotika/diogkomeni-polisterini/ti-einai>

[57] <https://ikogroup.co.uk>

[58] Ατσόνιος, Ι. (2016). Υπολογιστική προσομοίωση φαινομένων μεταφοράς θερμότητας και μάζας σε δομικά υλικά.

[59] Μανωλίτσης, Α. (2019). Ενεργειακή ανάλυση σε ριζική ανακαίνιση υφιστάμενου κτιρίου κατοικιών με προκατασκευασμένα συστήματα ξηράς δόμησης και υπερμονωτικά υλικά, στην κατεύθυνση δημιουργίας κτιρίου σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης (nZEB).

κτιριακού

[60] Αντωνίου Ι (2015). “ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΕΙΚΤΩΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ”

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1-1 Εναρμόνιση των Ευρωπαϊκών Οδηγιών στο Εθνικό Πλάισιο	15
Πίνακας 4-1 Δείκτης Θερμικής Άνεσης PMV κατα EN-ISO 7730.....	53
Πίνακας 5-1 Θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ της χαμηλότερης θερμοκρασίας του νερού δικτύου και της θερμοκρασίας του Ζ.Ν.Χ. (45°C) [Κ.ΕΝ.Α.Κ]	69
Πίνακας 5-2 Μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας U [W/(m ² •K)] ανά κλιματική ζώνη [Κ.ΕΝ.Α.Κ].....	70
Πίνακας 5-3 Θερμοφυσικές Ιδιότητες Δομικών στοιχείων για την περίπτωση της συμβατικής τοιχοποιίας	73
Πίνακας 5-4 Θερμοφυσικές Ιδιότητες Δομικών στοιχείων Τοιχοποιίας CLT	81
Πίνακας 5-5 Στοιχεία Θερμογεφυρών στην τοιχοποιία CLT	85
Πίνακας 5-6 Υπολογισμός Θερμογεφυρών στην τοιχοποιία CLT	86
Πίνακας 5-7 Στοιχεία Θερμογεφυρών Ελαφράς τοιχοποιίας	92
Πίνακας 5-8 Υπολογισμός Θερμογεφυρών Ελαφράς Τοιχοποιίας.....	92
Πίνακας 5-9 Στοιχεία για τον Ηλεκτροφωτισμό με βάση τον Κ.ΕΝ.Α.Κ.....	97
Πίνακας 5-10 Στοιχεία για τον Ηλεκτροφωτισμό με βάση τον Κ.ΕΝ.Α.Κ.....	97
Πίνακας 5-11 Στοιχεία για την ισχύ των συσκευών και του εξοπλισμού με βάση τον Κ.ΕΝ.Α.Κ.....	98
Πίνακας 6-1 Βασικοί Δείκτες για την θερμική άνεση	102
Πίνακας 6-2 PEF για το Φυσικό Αέριο	105
Πίνακας 6-36.2 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ (U-Value) ΤΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΟΥ ΚΕΛΥΦΟΥΣ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ	106
Πίνακας 6-4 Αποτελέσματα των υπολογισμών την μετατροπή των θερμικών αναγκών σε μεγέθη πρωτογενούς ενέργειας	108
Πίνακας 6-5 Στοιχεία ρουχισμού για τον υπολογισμό των δεικτών θερμικής άνεσης [50] [51]	110
Πίνακας 6-6 Ετήσιο Άθροισμα Υπερβάλλοντος Ποσοστού Δυσaréσκειας (ΥΠΔ) (Αθήνα)	111
Πίνακας 6-7 Μετατροπή των θερμικών αναγκών σε κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (Λονδίνο)	113
Πίνακας 6-8 Στοιχεία ρουχισμού για τον υπολογισμό των δεικτών θερμικής άνεσης (Λονδίνο)[50].....	115
Πίνακας 6-9 Ετήσιο Άθροισμα Υπερβάλλοντος Ποσοστού Δυσaréσκειας (Λονδίνο)	116

Κατάλογος Εικόνων/Διαγραμμάτων

Εικόνα 1-1 Παγκόσμια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για την περίοδο 1992-1014 σε Μτοε [1].....	4
Εικόνα 1-2 Κατανομή ενεργειακών καταναλώσεων παγκοσμίως με βάση την χρήση [4].....	5
Εικόνα 1-3 Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ΕΕ-28, 2014 (% επί του συνόλου με βάση τόνους ισοδύναμου πετρελαίου)[4].....	6
Εικόνα 1-4 Ιστορική εξέλιξη της κατανάλωσης ενέργειας στα ευρωπαϊκά κτίρια 1990-2009 [9].....	7
Εικόνα 1-5 Μέση ετήσια κατανάλωση ενέργειας ανά νοικοκυριό [6].....	8
Εικόνα 1-6 Κατανομή κτιρίων με βάση την περίοδο κατασκευής [6].....	8
Εικόνα 1-7 Κατανομή κτιρίων με βάση την ύπαρξη θερμομόνωσης[6].....	9
Εικόνα 2-1 Ισοζύγιο ενέργειας σε τυπικό κτίριο [19].....	20
Εικόνα 2-2 Μεταφορά θερμότητας σε αδιαφανές στοιχείο (εξωτερική τοιχοποιία)[19].....	21
Εικόνα 2-3 Μεταφορά θερμότητας σε ιαφανές στοιχείο (υαλοπίνακας)[19].....	22
Εικόνα 2-4 Μεταφορά θερμότητας μέσω ακτινοβολίας [19].....	22
Εικόνα 2-5 Μεταβολή της θερμικής αγωγιμότητας σε στερεά, υγρά και αέρια συναρτήσει της θερμοκρασίας [19].....	25
Εικόνα 2-6 Το ηλεκτρικό ανάλογο στην μετάδοση θερμότητας [20].....	26
Εικόνα 2-7 Υπολογισμός ισοδύναμης θερμικής αντίστασης σε τοιχοποιία πολλαπλών στρώσεων [22].....	28
Εικόνα 2-8 Ποσοστό διερχόμενης και ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας από διαφανές σώμα [23].....	31
Εικόνα 2-9 Πάπλωμα πετροβάμβακα [55].....	37
Εικόνα 2-10 Εφαρμογή πλακών διογκωμένης πολυστερίνης EPS(με λευκό χρώμα) σε δάπεδο[57].....	38
Εικόνα 2-11 VIP σε τομή [32].....	39
Εικόνα 3-1 Κατασκευή κτιρίου κατοικίας από πάνελ CLT [28].....	44
Εικόνα 3-2 Τρόποι Σύνδεσης Πάνελ CLT[30].....	45
Εικόνα 4-1 Οι βασικότερες συνιστώσες της ενεργειακής προσομοίωσης κτιρίων.....	50
Εικόνα 4-2 Η θεωρία του Fanger σχηματικά [42].....	52
Εικόνα 4-3 Σχηματική παρουσίαση του λογισμικού EP από την κατασκευάστρια εταιρεία [39].....	56
Εικόνα 5-1 Όψεις του υπο μελέτη κτιρίου σε σκαρίφημα.....	58
Εικόνα 5-2 Ανατολική Όψη.....	58
Εικόνα 5-3 Δυτική Όψη.....	59
Εικόνα 5-4 Βόρεια Όψη.....	59
Εικόνα 5-5 Νότια Όψη.....	59
Εικόνα 5-6 Κάτοψη Ισογείου.....	61
Εικόνα 5-7 Κάτοψη Ορόφων.....	61
Εικόνα 5-8 Τομή Εγκάρσια στον άξονα Βορρά-Νότου όπου παρουσιάζεται το κλιμακοστάσιο, ο ανεγκυστήρας και ο υπόγειος χώρος στάθμευσης.....	62

Εικόνα 5-9 Νοτιοανατολική Όψη του κτιρίου σε περιβάλλον Sketch Up με αναπαράσταση των διαφορετικών Θ.Ζ με ξεχωριστό χρώμα	63
Εικόνα 5-10 Γραφική αναπαράσταση των διαφορετικών οριακών συνθηκών ανα επιφάνεια σε περιβάλλον SketchUp-OS Plugin.....	64
Εικόνα 5-11 Τα μπαλκόνια ως σκίαστρα στο περιβάλλον Sketchup-OS Plugin	66
Εικόνα 5-12 Τριπλός ενεργειακός Υαλοπίνακας Χαμηλής Εκπομπής (low-e).....	67
Εικόνα 5-13 Βασικά Δομικά Στοιχεία Κελύφους Συμβατικής Τοιχοποιίας.....	72
Εικόνα 5-14 Εισαγωγή Δεδομένων για τα υλικά στο EP	72
Εικόνα 5-15 Εισαγωγή Δεδομένων για την διάταξη των δομικών στοιχείων στο EP..	73
Εικόνα 5-16 Ονοματοδοσία Κατακόρυφων Θερμογεφυρών [K.EN.A.K]	75
Εικόνα 5-17 Ονοματοδοσία Οριζόντιων θερμογεφυρών [K.EN.A.K].....	76
Εικόνα 5-18 Κατακόρυφα δομικά στοιχεία για την τοιχοποιίας με CLT και συμβατικά μονωτικά υλικά.....	80
Εικόνα 5-19 Οριζόντια δομικά στοιχεία για την τοιχοποιίας με CLT και συμβατικά μονωτικά υλικά.....	81
Εικόνα 5-20 Βασικά Δομικά στοιχεία ελαφράς τοιχοποιίας με υπερμονωτικά υλικά	90
Εικόνα 5-21 Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών ελαφράς τοιχοποιίας με υπερμονωτικά υλικά	91
Εικόνα 5-22 Χρονοδιαγράμματα Εσωτερικών Κερδών	96
Εικόνα 5-23 Χρονοδιαγράμματα ZNX και ανθρώπινης παρουσίας.....	96
Εικόνα 6-1 Μεταβολή Θερμικών Αναγκών Κτιρίου (Αθήνα)	107
Εικόνα 6-2 Κατανομή της κατανάλωσης ενέργειας για το Κτίριο Συμβατικής Τοιχοποιίας(Αθήνα).....	108
Εικόνα 6-3 Κατανομή της κατανάλωσης ενέργειας για το κτίριο τοιχοποιίας CLT(Αθήνα)	109
Εικόνα 6-4 Κατανομή της κατανάλωσης ενέργειας για το κτίριο τοιχοποιίας με VIP (Αθήνα).....	109
Εικόνα 6-5 Εκπομπές CO ₂ για θέρμανση και ψύξη (Αθήνα)	110
Εικόνα 6-6 Δείκτης Θερμικής Άνεσης PPD [%](Αθήνα).....	111
Εικόνα 6-7 Δείκτης Θερμικής Άνεσης PMV [] (Αθήνα).....	112
Εικόνα 6-8 Μεταβολή των Θερμικών Αναγκών του Κτιρίου (Λονδίνο).....	112
Εικόνα 6-9 Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για το κτίριο συμβατικής τοιχοποιίας (Λονδίνο)	113
Εικόνα 6-10 Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για το κτίριο CLT (Λονδίνο).....	114
Εικόνα 6-11 Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για το κτίριο ελαφράς τοιχοποιίας με VIP (Λονδίνο).....	114
Εικόνα 6-12 Εκπομπές CO ₂ για θέρμανση και ψύξη (Λονδίνο).....	115
Εικόνα 6-13 Δείκτης Θερμικής Άνεσης PPD (Λονδίνο)	116
Εικόνα 6-14 Δείκτης Θερμικής Άνεσης PMV(Λονδίνο).....	117