



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Διπλωματική εργασία

«Βέλτιστη επιλογή δομικών υλικών για την ελαχιστοποίηση του ψυκτικού φορτίου κτιρίου»



ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ

Επιβλέπων : Τζιβανίδης Χρήστος , Καθηγητής Μηχανολόγων Μηχανικών
ΕΜΠ

Αθήνα , Ιούνιος 2023



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF MECHANICAL ENGINEERING
SECTION OF THERMAL ENGINEERING

Diploma Thesis

«Material system selection to minimize building cooling load»



PAPADOPOYLOS APOSTOLOS

Supervisor : Tzivanidis Christos , Professor of school of Mechanical
Engineering, NTUA

Athens , June 2023

Copyright © Παπαδόπουλος Απόστολος 2023

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ'ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

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

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Ευχαριστίες

Για την συγγραφή της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω τον αξιότιμο Καθηγητή της σχολής μου κ. Χρήστο Τζιβανίδη, για την επίβλεψη, την επιστημονική γνώση, τις συμβουλές, και την άριστη καθοδήγηση σε όλη την πορεία της ενασχόλησής μου με αυτήν. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την αμέριστη υποστήριξη και συμπαράσταση σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας, και να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου. Τέλος, ευχαριστώ τους συναδέλφους μου για τα υπέροχα φοιτητικά χρόνια που περάσαμε μαζί και όλη τη συνεργασία και στήριξη που πρόσεφερε ο ένας στον άλλον κατά τη διάρκεια των σπουδών μας.

Με εκτίμηση,

Παπαδόπουλος Απόστολος, Αθήνα 2023

Σύνοψη

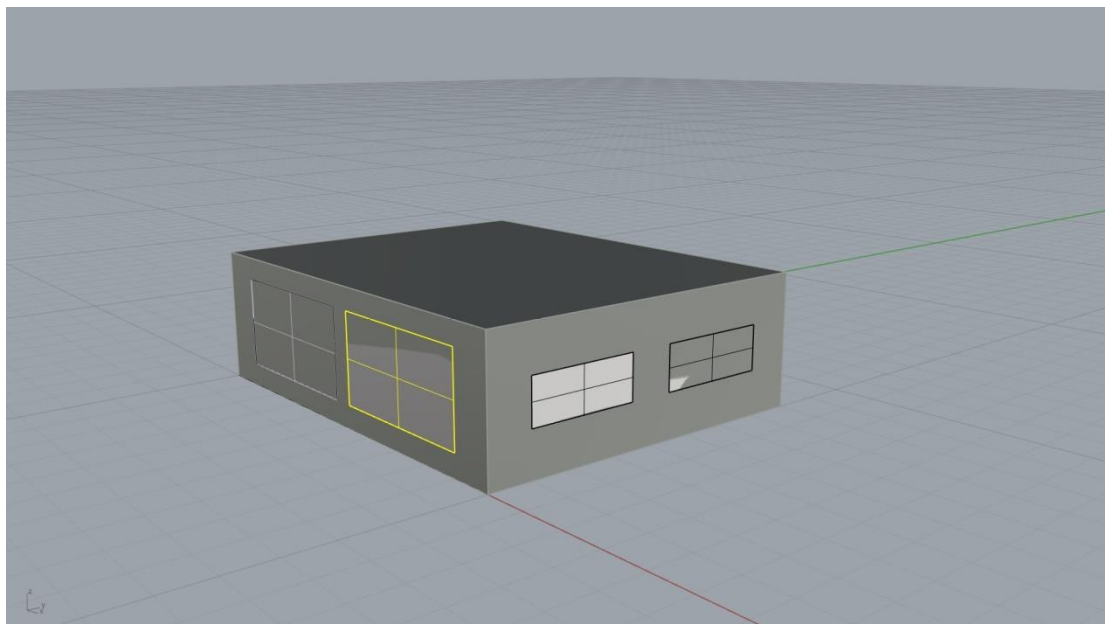
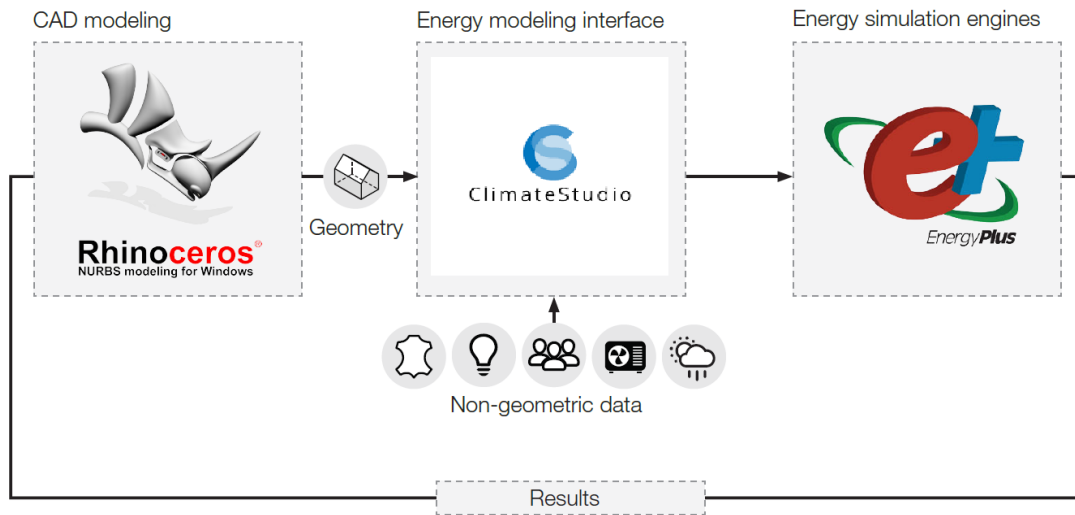
Η παρούσα διπλωματική εργασία μελετάει απο σκοπιά ενεργειακής απόδοσης την βέλτιστη επιλογή δομικών υλικών, με τελικό στόχο την ελάχιστη απαίτηση ψυκτικού φορτίου για τα κτίρια. Αυτή η ανάλυση επιτυγχάνεται αφενός με την επιλογή ενεργειακά ευνοικών υλικών δόμησης με παράγοντα τις ιδιότητές τους (συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας, πυκνότητα, ειδική θερμοχωρητικότητα), και αφετέρου με τη δημιουργία σεναρίων συνδυασμών τους. Η επιλογή δομικών υλικών σε κάθε σενάριο γίνεται είτε μέσω βιβλιοθηκών υλικών (ASHRAE, I.C.E. κλπ), είτε μέσω δημιουργίας τους απο το περιβάλλον προγραμματισμού *Grasshopper*, και εν συνεχεία τοποθετούνται διαδοχικά κατά στρώσεις στις επιφάνειες του κελύφους για την ενεργειακή μοντελοποίηση. Για τη ζητούμενη σύγκριση θα εφαρμοστεί η μέθοδος μελέτης περίπτωσης για ένα κτίριο, το οποίο σχεδιάστηκε και μοντελοποιήθηκε με τη βοήθεια του λογισμικού *Rhinoceros 7*. Το μοντέλο αφορά ένα απλό κτίριο που έχει συγκεκριμένες γεωμετρικές διαστάσεις και τα σενάρια θα προσομοιώσουν την κατά περίπτωση εφαρμογή δομικών υλικών και πως αυτά θα μεταβάλλουν τη θερμική συμπεριφορά του κελύφους του. Απο την θερμική ανάλυση με χρήση του λογισμικού *ClimateStudio* θα προκύψουν οι συνολικές ενεργειακές απαιτήσεις και τα ψυκτικά φορτία για κάθε σενάριο και θα γίνει η ζητούμενη σύγκριση.

Στο 1^ο κεφάλαιο παρέχονται στατιστικές πληροφορίες για την κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια, την επίδραση των κτιρίων στη κλιματική αλλαγή, και βασικές αρχές βιοκλιματικού σχεδιασμού. Το 2^ο κεφάλαιο αναπτύσσει θεωρητική ανάλυση περί ψυκτικών φορτίων και θερμικών απωλειών κτιρίων, και περιγράφει το αντικείμενο της θερμικής άνεσης. Στο 3^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα δομικά υλικά που χρησιμοποιούνται στις κτιριακές κατασκευές, με αναφορά στη συμβατική δόμηση των ελληνικών κτιρίων, και στο 4^ο κεφάλαιο αναφερόμαστε στα λογισμικά που θα χρησιμοποιηθούν. Το 5^ο και τελευταίο κεφάλαιο εμπεριέχει το υπολογιστικό μέρος, την μελέτη περίπτωσης κτιρίου με τα σενάρια δομικών υλικών και τον ενεργειακό υπολογισμό, ενώ ακολουθεί σχολιασμός αποτελεσμάτων, συμπεράσματα και νέες προτάσεις για μελέτη.

Abstract

The present Diploma Thesis studies from the view of energy efficiency the optimal choice of building materials, with the aim of the minimum cooling load requirement for the buildings. The specific analysis is achieved on the one hand by selecting energy-efficient building materials with their properties of thermal conductivity coefficient, density and specific heat capacity, and on the other hand by creating scenarios of their combinations, for which one of them energy modeling will follow. Material selection system done by selecting from libraries (e.g. Ashrae, I.C.E. etc), or by creating them on [Grasshopper](#) programming environment canvas, and following their input as layers successively to produce walls, roofs and floors. For the requested energy comparison, the case study method will be applied for a building designed and modeled with [Rhino](#) drawing software. The model concerns a simple residential building with specific geometric dimensions and the above scenarios will simulate each application of materials and how these affect the thermal behavior of its envelope. From the thermal analysis using [ClimateStudio](#) software, the total energy requirements and cooling loads for each scenario will be calculated and the energy comparison will be made.

The 1st Chapter provides statistical information on energy consumption in buildings in Greece, the impact of buildings on climate change, and basic principles of bioclimatic design. The 2nd Chapter develops a theoretical analysis of cooling loads and thermal losses of buildings, and describes the subject of thermal comfort. At the 3rd Chapter the building materials used in the building constructions are presented, with reference to the conventional construction of Greek buildings, and the 4th Chapter refers to the software that will be used. Finally, the 5th and last Chapter includes the building case study with the construction material scenarios, and the cooling loads calculation part, while following commentary on results, conclusions and new proposals for study.



Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΕΝΕΡΓΕΙΑ	1
1.1 Κλιματική αλλαγή	1
1.1.1. Εισαγωγή στην κλιματική αλλαγή	1
1.1.2. Επιστημονική συναίνεση	2
1.1.3. Επιπτώσεις κλιματικής αλλαγής	4
1.1.4. Πολιτικές Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ)	7
1.1.5. Κλιματική αλλαγή στην Ελλάδα – στοιχεία εκπομπών CO ₂	8
1.1.6. Επίδραση κτιρίων στην κλιματική αλλαγή	11
1.2 Ενέργεια	13
1.2.1. Εισαγωγή	13
1.2.2. Ενεργειακό πρόβλημα	14
1.2.3. Ενέργεια και κτιριακός τομέας	14
1.2.4. Κατανάλωση ενέργειας στα ελληνικά κτίρια	16
1.3 Βιοκλιματικός σχεδιασμός κτιρίων	27
1.3.1. Αρχές βιοκλιματικού σχεδιασμού	27
1.3.2. Αρχιτεκτονική δομή κτιρίου	30
1.3.3. Χωροθέτηση κτιρίου σε οικόπεδο	31
1.3.4. Παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης	31
1.3.5. Συστήματα παθητικής ή φυσικής ψύξης	36
1.4 Δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας	40
1.4.1. Εισαγωγή	40
1.4.2. Ενεργειακή συμπεριφορά	41
1.4.3. Θέρμανση και ψύξη	41
1.4.4. Ζεστό νερό χρήσης (ΖΝΧ)	42
1.4.5. Θερμομόνωση	42
1.4.6. Κουφώματα – ανοίγματα	43
1.4.7. Σκιασμός	44
1.4.8. Φωτισμός	44
1.4.9. Χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ)	45
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΦΟΡΤΙΑ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ	46
2.1 Θερμική άνεση σε εσωτερικούς χώρους κτιρίων	46
2.1.1. Εισαγωγή – περιγραφή θερμικής άνεσης	46
2.1.2. Ατομικοί παράγοντες	47
2.1.3. Περιβαλλοντικοί παράγοντες	50

2.2 Συντελεστής Θερμικής Διαπερατότητας.....	52
2.2.1. Θερμικές αντιστάσεις δομικών στοιχείων	52
2.2.2. Υπολογισμός συντελεστή θερμικής διαπερατότητας.....	53
2.2.3. Τυπική κατασκευή δομικού στοιχείου	54
2.3 Ψυκτικά φορτία κτιρίων.....	57
2.3.1. Εισαγωγή – ορισμοί.....	57
2.3.2. Διαδικασία υπολογισμού και συνιστώσες ψυκτικού φορτίου.....	58
2.3.3. Μέθοδοι υπολογισμού ψυκτικού φορτίου.....	60
2.4 Θερμικές απώλειες κτιρίου.....	61
2.4.1. Περιγραφή.....	61
2.4.2. Μέθοδος υπολογισμού θερμικών απωλειών	62
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ	64
3.1 Εισαγωγή	64
3.1.1. Χρήση υλικών στη δόμηση.....	64
3.1.2. Δομικά υλικά, εξοικονόμηση ενέργειας και περιβάλλον	66
3.2 Δομικοί λίθοι	67
3.2.1. Εισαγωγή	67
3.2.2. Μάρμαρο.....	68
3.2.3. Γρανίτης	70
3.2.4. Σχιστόλιθος.....	71
3.2.5. Ασβεστόλιθος	72
3.3 Ξυλεία.....	73
3.3.1. Το ξύλο στη δόμηση	73
3.3.2. Structural Insulated Panels (SIP's).....	76
3.3.3. Cross Laminated Timber (CLT)	79
3.3.4. OSB - MDF – Plywood boards	82
3.4 Τοιχοποιία	85
3.4.1. Εισαγωγή	85
3.4.2. Στοιχεία πλινθοδομών.....	86
3.4.3. Κεραμικά τούβλα (Brick Fired Clay).....	87
3.4.4. Τούβλα Ορθομπλόκ (Poroton Plan Bricks).....	88
3.4.5. Τούβλα απο πορομπετόν (AAC blocks-Autoclaved Aerated Concrete)	90

3.5 Σκυρόδεμα.....	92
3.5.1. Απλό και οπλισμένο σκυρόδεμα	92
3.5.2. Ελαφροσκυρόδεμα και Κυψελωτό σκυρόδεμα (Lightweight and Cellular Concrete)	95
3.5.3. Σκυρόδεμα με περλίτη (Concrete Perlite)	97
3.5.4. Insulated Concrete Forms (ICF's)	98
3.6 Επικαλύψεις δομικών στοιχείων κελύφους	101
3.6.1. Επιχρίσματα - κονιάματα	101
3.6.2. Επιστρώσεις δαπέδων	103
3.6.3. Επιστρώσεις οροφών	106
3.6.4. Σύγκριση θερμομονωτικών ιδιοτήτων στο Climate Studio.....	108
3.7 Θερμική μόνωση κελύφους κτιρίων	109
3.7.1. Περιγραφή - είδη θερμομόνωσης.....	109
3.7.2. Θερμοφυσικές ιδιότητες	111
3.7.3. Περιβαλλοντικές ιδιότητες.....	113
3.7.4. Παρουσίαση θερμομονωτικών υλικών	114
3.7.4.1. Διογκωμένη πολυστερίνη (Expanded Polystyrene EPS)	114
3.7.4.2. Εξηλασμένη πολυστερίνη (Extruded Polystyrene XPS)	116
3.7.4.3. Πολυουρεθάνη (Polyurethane insulation)	117
3.7.4.4. Υαλοβάμβακας (Fiberglass insulation)	119
3.7.4.5. Πετροβάμβακας (Mineral wool)	121
3.7.4.6. Αφρώδες γυαλί (Cellular Foam Glass)	123
3.7.4.7. Ξυλόμαλλο (Wood fiber insulation).....	124
3.7.4.8. Φελλός (Cork insulation)	126
3.7.4.9. Κυτταρίνη (Cellulose ecowool)	127
3.7.4.10. Διογκωμένος περλίτης (Expanded Perlite)	128
3.7.4.11. Φαινολικός αφρός (Phenolic Foam)	129
3.7.4.12. Πλάκες καλαμιού (Reed insulation panels)	130
3.7.4.13. Πολυισοκυανουρικός αφρός (Polyisocyanurate foam)	131
3.7.4.14. Αεροπήκτωμα (Silica Aerogel)	132
3.7.4.15. Πάνελ κενού (Vacuum insulation panels VIP's)	134
3.7.5. Σύγκριση ιδιοτήτων μονωτικών υλικών στο Climate Studio.....	136
3.8 Υαλοπίνακες	137
3.8.1. Εισαγωγή – ο ρόλος των υαλοπινάκων στα κτίρια	137
3.8.2. Τύποι και χαρακτηριστικά υαλοπινάκων	141
3.8.3. Ενεργειακοί υαλοπίνακες - στοιχεία.....	146
3.9 Συμβατική δόμηση στα ελληνικά κτίρια	148

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ	149
4.1 Εισαγωγή – λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν	149
4.2 Rhinoceros 7 - περιγραφή.....	150
4.3 Grasshopper - περιγραφή	151
4.4 Climate-Studio - περιγραφή.....	152
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ – ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ	154
5.1 Κτιριακό μοντέλο Rhino	154
5.1.1. Σχεδίαση μοντέλου – γεωμετρία κελύφους	154
5.1.2. Συνθήκες λειτουργίας θερμικής ζώνης – ρυθμίσεις μοντελοποίησης	159
5.1.3. Δομικά στοιχεία σεναρίων μοντέλου.....	166
5.2 Σενάριο αναφοράς – συμβατική κατασκευή (2xBrick + XPS).....	168
5.2.1. Διαμόρφωση τοίχου	168
5.2.2. Διαμόρφωση οροφής	169
5.2.3. Διαμόρφωση δαπέδου	170
5.2.4. Υαλοπίνακας	171
5.2.5. Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου	171
5.3 Σενάριο 1 (ICF's + EPS).....	174
5.3.1. Διαμόρφωση τοίχου	174
5.3.2. Διαμόρφωση οροφής	175
5.3.3. Διαμόρφωση δαπέδου	176
5.3.4. Υαλοπίνακας	177
5.3.5. Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου	177
5.4 Σενάριο 2 (SIP's + PUR foam)	180
5.4.1. Διαμόρφωση τοίχου	181
5.4.2. Διαμόρφωση οροφής	182
5.4.3. Διαμόρφωση δαπέδου	183
5.4.4. Υαλοπίνακας	184
5.4.5. Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου	184
5.5 Σενάριο 3 (CLT + PIR).....	187
5.5.1. Διαμόρφωση τοίχου	187
5.5.2. Διαμόρφωση οροφής	188
5.5.3. Διαμόρφωση δαπέδου	189
5.5.4. Υαλοπίνακας	190
5.5.5. Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου	190

5.6 Σενάριο 4 (Poroton blocks + Aerogel)	193
5.6.1. Διαμόρφωση τοίχου	193
5.6.2. Διαμόρφωση οροφής	194
5.6.3. Διαμόρφωση δαπέδου	195
5.6.4. Υαλοπίνακας	196
5.6.5. Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου	197
5.7 Σενάριο 5 (AAC blocks + VIP's)	200
5.7.1. Διαμόρφωση τοίχου	200
5.7.2. Διαμόρφωση οροφής	201
5.7.3. Διαμόρφωση δαπέδου	202
5.7.4. Υαλοπίνακας	203
5.7.5. Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου	203
5.8 Σύγκριση ψυκτικών φορτίων σεναρίων και σχολιασμός	206
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΕΡΕΥΝΑ	209
6.1 Συμπεράσματα μελέτης	209
6.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα	211
6.3 Βιβλιογραφία	213

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΕΝΕΡΓΕΙΑ

1.1 ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

1.1.1 Εισαγωγή στην κλιματική αλλαγή

Με τον όρο κλιματική αλλαγή περιγράφεται η μεταβολή του κλίματος σε παγκόσμιο επίπεδο και συγκεκριμένα αφορά τις αλλαγές των μετεωρολογικών συνθηκών μακροπρόθεσμα λόγω διαφόρων παραγόντων. Οι μεταβολές αυτές περιλαμβάνουν διακυμάνσεις ως προς τη μέση κατάσταση του κλίματος (Εικόνα 1.1), εκτείνονται σε βάθος χρόνου δεκαετιών ή περισσότερο, και οφείλονται σε πρώτο βαθμό σε φυσικές διαδικασίες και μετέπειτα σε εύρος ανθρώπινων δραστηριοτήτων που έχουν επιπτώσεις στο κλίμα όπως η αλλαγή σύνθεσης της ατμόσφαιρας [5].

Η βασική επίπτωση της κλιματικής αλλαγής είναι η υπερθέρμανση του πλανήτη, και ουσιαστικά απο τα μέσα του 20^{ου} αιώνα παρατηρείται μια ταχεία άνοδος στα επίπεδα μέσης θερμοκρασίας του, ενώ σύμφωνα με ειδικούς και επιστήμονες είναι αδύνατη η ευθύνη μόνο των φυσικών φαινομένων. Αυτό σημαίνει οτι υπάρχει μεγάλη συμμετοχή απο τις ανθρώπινες δραστηριότητες όπως η εκτεταμένη χρήση ορυκτών καυσίμων για μεταφορές, βιομηχανία, παραγωγή ενέργειας κλπ, που αποτελούν την κύρια μέθοδο εκπομπής των λεγόμενων αερίων του θερμοκηπίου, με τα σημαντικότερα εξ'αυτών να είναι [5] :

- ✓ Διοξείδιο του άνθρακα CO₂
- ✓ Μεθάνιο CH₄
- ✓ Οξείδια του αζώτου N₂O
- ✓ Χλωροφθοράνθρακες CFC

Τα παραπάνω δρουν όπως το γυαλί σε ένα θερμοκήπιο, δηλαδή απορροφούν την ηλιακή ενέργεια και τη θερμότητα που εκπέμπεται απο την επιφάνεια της γης, την εγκλωβίζουν στην ατμόσφαιρα και την εμποδίζουν να διαφύγει στο διάστημα, ενώ καθένα απο τα παραπάνω έχει διαφορετικό δυναμικό θέρμανσης και χρόνο ζωής στην ατμόσφαιρα. Αξίζει να σημειωθεί οτι ενώ το CO₂ αποτελεί το σημαντικότερο αέριο θερμοκηπίου ποσοτικά , το μεθάνιο απο την άλλη είναι τουλάχιστον 80 φορές πιο ισχυρό ανά μονάδα μάζας σε μια περίοδο 20 ετών [5].



Εικόνα 1.1 Η κλιματική αλλαγή ως βασική αιτία μεταβολής των φυσικών συνθηκών

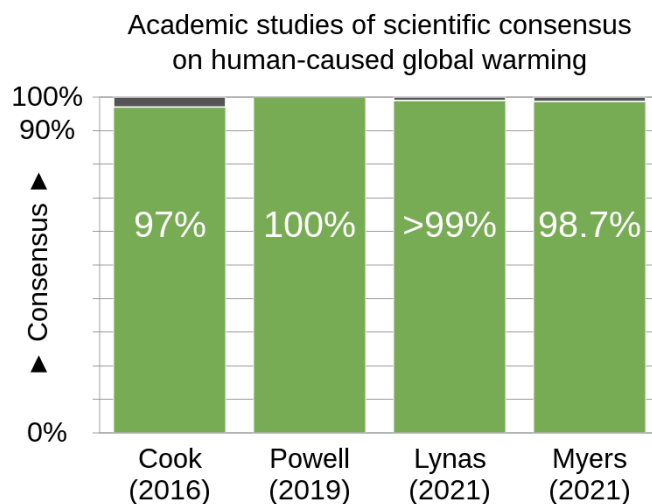
Όπως αναφέρθηκε, τα αέρια του θερμοκηπίου εκπέμπονται μέσω φυσικών διεργασιών και ανθρώπινων δραστηριοτήτων, με τις τελευταίες να παράγουν μεγάλες ποσότητες αυξάνοντας έτσι τη συγκέντρωσή τους στην ατμόσφαιρα [6].

Οι κύριες πηγές που προκαλούνται από τον άνθρωπο είναι :

- ✓ Καύση ορυκτών καυσίμων όπως πετρέλαιο, άνθρακας, αέριο κλπ για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, μεταφορές, βιομηχανία, οικιστική ζώνη
- ✓ Γεωργία (CH₄) και αλλαγές στη χρήση γής όπως αποψίλωση δασών (CO₂)
- ✓ Υγειονομική ταφή απορριμμάτων (CH₄)
- ✓ Χρήση βιομηχανικών φθοριούχων αερίων

1.1.2. Επιστημονική συναίνεση

Υπάρχει μια παγκόσμια επιστημονική συνεργασία που συμφωνεί στο κομμάτι της υπερθέρμανσης του πλανήτη, μεγάλο μερίδιο ευθύνης της οποίας κατέχουν οι ανθρώπινες δραστηριότητες. Αυτή η συναίνεση υποστηρίζεται από ποικίλες μελέτες και απόψεις πανεπιστημίων, επιστημόνων και επιστημονικών φορέων και οργανισμών, ενώ η σύνθεση της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Αλλαγή του Κλίματος (IPCC) συνεδριάζει ανά τακτά χρονικά διαστήματα θέτοντας τα πιο πρόσφατα ζητήματα και λαμβάνοντας αποφάσεις. Στην Εικόνα 1.2 παρουσιάζονται ακαδημαϊκές μελέτες της τελευταίας δεκαετίας μεταξύ εμπειρογνομώνων για το κλίμα και δείχνουν το επίπεδο συναίνεσης [7].



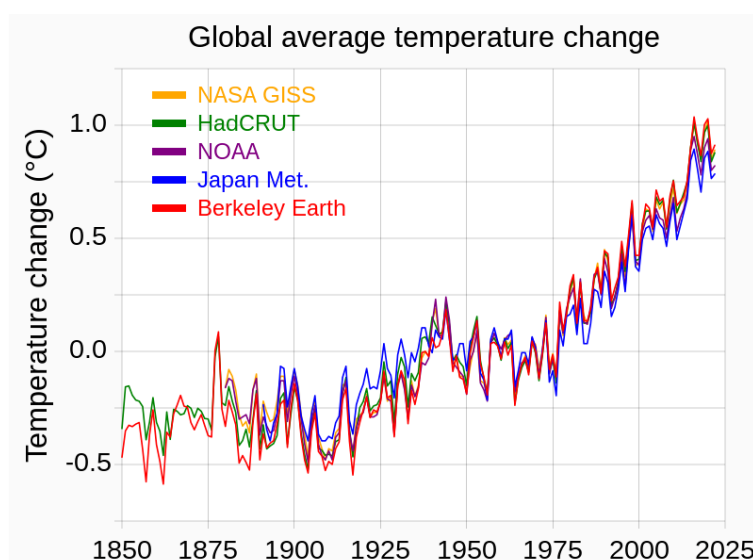
Εικόνα 1.2 Ακαδημαϊκές μελέτες επιστημονικής συναίνεσης για την κλιματική αλλαγή 2010-2019

Η συντριπτική πλειονότητα των επιστημόνων που ασχολείται και δημοσιεύει μελέτες για το θέμα της κλιματικής αλλαγής συμφωνεί ότι η μεταβολή του παγκόσμιου κλίματος έχει ανθρωπογενή αίτια.

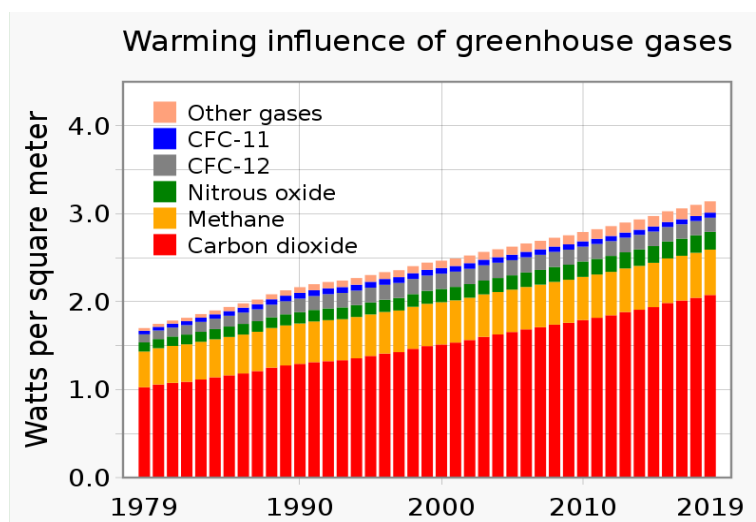
Τα βασικά σημεία σύγκλισης είναι :

- ✓ Παρατήρηση σημαντικής αύξησης θερμοκρασίας της γης , ιδίως μετά τα τέλη του 1800
- ✓ Ανθρωπογενής δραστηριότητα βασικός παράγοντας για τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου
- ✓ Οι αδιάκοπες εκπομπές και η μη εφαρμογή διαδικασιών μετρίασής τους θα οδηγήσουν σε παγκόσμιες επιπτώσεις
- ✓ Τα κράτη και οι άνθρωποι πρέπει να δράσουν τόσο συλλογικά όσο και ατομικά για να επιβραδύνουν τον ρυθμό υπερθέρμανσης του πλανήτη [7].

Τα δεδομένα μέσης αλλαγής θερμοκρασίας σε παγκόσμια κλίμακα απο διάφορους επιστημονικούς οργανισμούς δείχνουν την επιστημονική συναίνεση για την πρόοδο της υπερθέρμανσης του πλανήτη [7] , όπως φαίνεται στις Εικόνες 1.3 & 1.4.



Εικόνα 1.3 Πρόοδος αύξησης μέσης θερμοκρασίας τα τελευταία 200 χρόνια , NASA data



Εικόνα 1.4 «Ακτινοβολητική» πίεση (W/m^2) στα μακροχρόνια ατμοσφαιρικά αέρια θερμοκηπίου

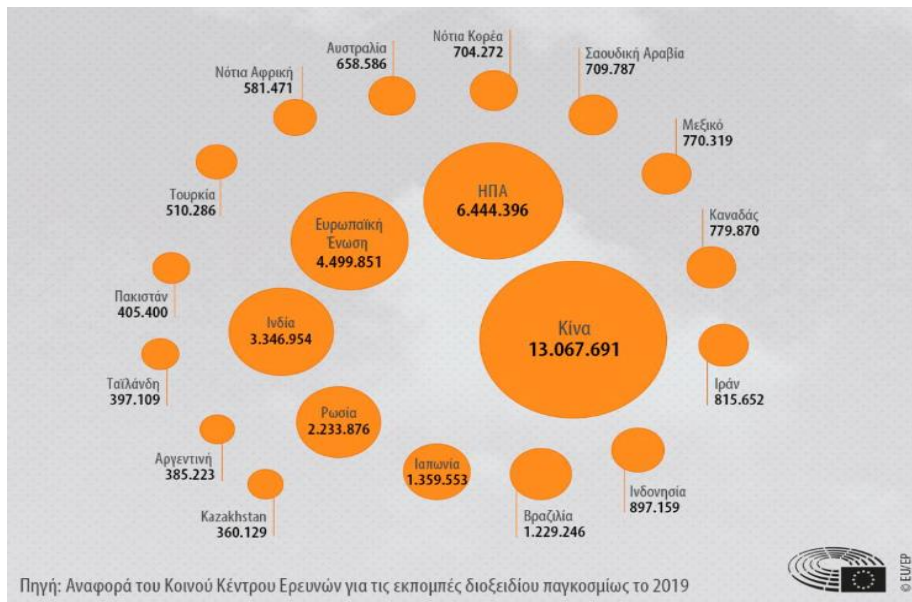
Απο έκθεση αξιολόγησης της επιτροπής για την κλιματική αλλαγή (IPCC) προέκυψαν τα ακόλουθα συμπεράσματα :

- ✓ Η υπερθέρμανση του πλανήτη είναι πλέον σαφής και ξεκάθαρη , με αξιοσημείωτο το γεγονός οτι απο το 1950 πολλές απο τις παρατηρούμενες αλλαγές στο κλίμα είναι άνευ προηγουμένου για εκατοντάδες χρόνια
- ✓ Οι συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα , μεθανίου και οξειδίων του αζώτου στην ατμόσφαιρα έχουν αυξηθεί σε επίπεδα που δεν υπήρξαν ποτέ για χιλιάδες χρόνια
- ✓ Η ανθρώπινη επιρροή ήταν η κυρίαρχη αιτία του ρυθμού αύξησης της υπερθέρμανσης μεταξύ 1950 και 2010
- ✓ Οι επιπτώσεις της θερμοκρασιακής αύξησης είναι βαθιές και μη αναστρέψιμες
- ✓ Ουσιαστικός στόχος η μείωση του ρυθμού και του μεγέθους της κλιματικής αλλαγής απο τις ανθρώπινες δραστηριότητες για να περιοριστεί το εύρος των μακροπρόθεσμων επιπτώσεων κατά το δυνατό
- ✓ Η μη άμεση υιοθέτηση και εφαρμογή πολιτικών αντιμετώπισης θα οδηγήσει σε αύξηση της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας το 2100 απο 3.7 °C έως 4.8 °C , σε σύγκριση με τα προ-βιομηχανικά επίπεδα [7].

1.1.3. Επιπτώσεις κλιματικής αλλαγής

Τα αποτελέσματα της μεταβολής του κλίματος είναι ήδη αντιληπτά αρκετές δεκαετίες και οι δημοσιευμένες επιστημονικές μελέτες δεν είναι καθόλου αισιόδοξες για το προσεχές μέλλον. Η αύξηση της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας σε σχέση με τις προ-βιομηχανικής περιόδου τιμές είναι παρατηρούμενη σε πολλές εκφάνσεις του κλίματος και της μετεωρολογίας. Σε άρθρο που δημοσιεύτηκε το 2018 αναφέρθηκε οτι έχουν παρατηρηθεί πάρα πολλές επιδράσεις των κλιματικών επιπτώσεων που επηρεάζουν την ανθρώπινη υγεία , το κλίμα, το νερό, τα τρόφιμα, την οικονομία , τις υποδομές και την ασφάλεια [8].

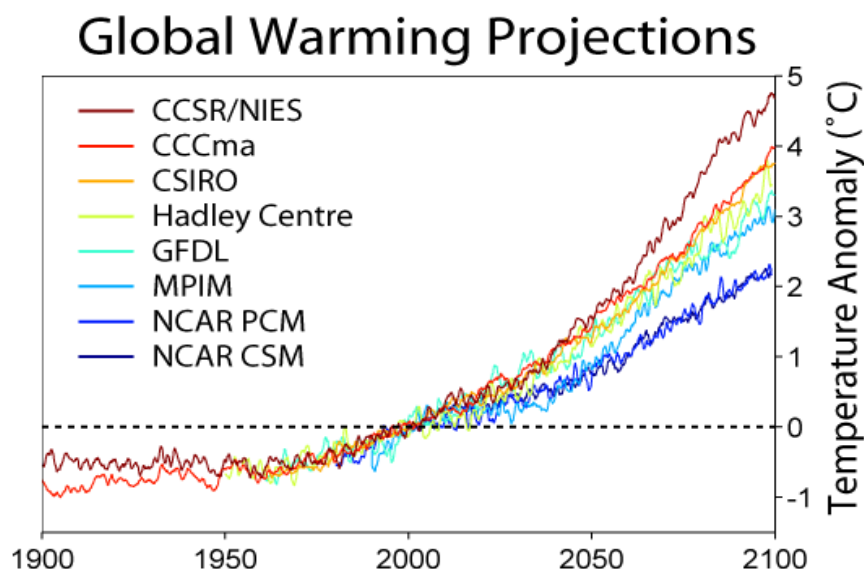
Σύμφωνα με μελέτη του Κέντρου Ανθεκτικότητας της Στοκχόλμης, το 2009 η οριακή τιμή συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) στην ατμόσφαιρα έχει ήδη ξεπεραστεί σε ποσοστό 11% πάνω, και χαρακτήρισε την ανθρωπογενή κλιματική αλλαγή ως το δεύτερο μεγαλύτερο παγκόσμιο οικολογικό πρόβλημα μετά την εξαφάνιση των ειδών [8]. Στην Εικόνα 1.5 αναφέρονται οι χώρες –μεγαλύτεροι εκπομποί- κιλτοτόνων CO₂ στην ατμόσφαιρα , σε έρευνα του 2015 [10].



Εικόνα 1.5 Κράτη με τις μεγαλύτερες εκπομπές (kt CO₂) παγκοσμίως

Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής είναι ήδη -και θα γίνουν ακόμα περισσότερο- αισθητές σε όλα τα σημεία του πλανήτη τις επόμενες δεκαετίες με φαινόμενα όπως: α) πρόωροι θάνατοι λόγω καύσωνα και ατμοσφαιρικής ρύπανσης, β) μικρότερη διαθεσιμότητα πόσιμου νερού, γ) κίνδυνος παράκτιων περιοχών από πλημμύρες, δ) οικονομικές ζημιές [8].

Στην Εικόνα 1.6 παρουσιάζονται προβλέψεις αύξησης μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη έως το 2100 από διάφορους οργανισμούς [8].



Εικόνα 1.6 Εκτιμήσεις αύξησης θερμοκρασίας πλανήτη τον επόμενο αιώνα

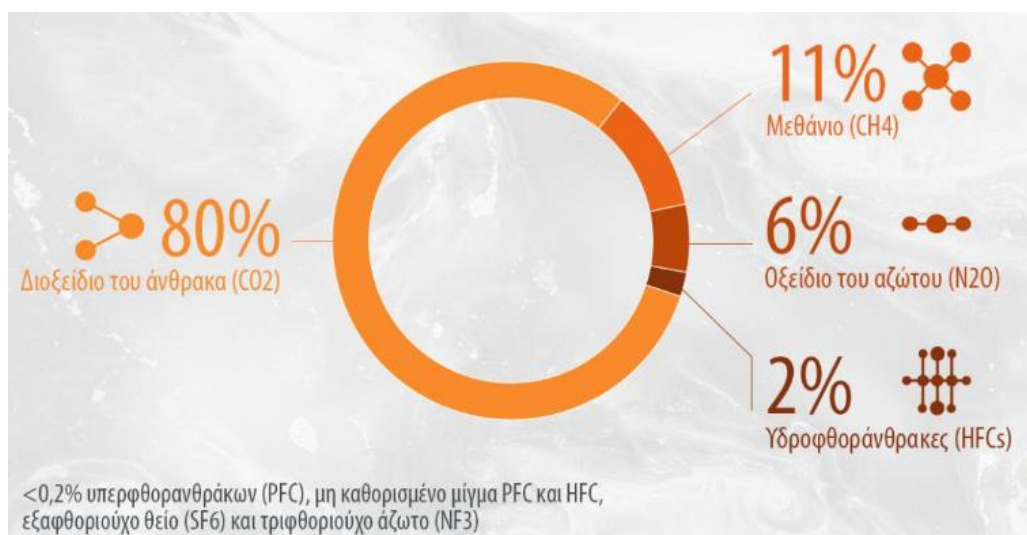
Στο περιβαλλοντικό κομμάτι έχουν προκύψει στοιχεία [8] για τις εξής επιπτώσεις :

- ✓ Βιοποικιλότητα
Οι αυξημένες συγκεντρώσεις CO₂ στην ατμόσφαιρα και ο αυξανόμενος ρυθμός κλιματικής αλλαγής έχουν οδηγήσει σε μαζικές εξαφανίσεις στην ιστορία της γης, που σημαίνει ότι η υπερθέρμανση μπορεί να επιταχύνει και σήμερα την εξαφάνιση ειδών
- ✓ Επίδραση στους ωκεανούς
Οι ωκεανοί απορροφούν περίπου το 1/3 της ποσότητας του CO₂ που απελευθερώνεται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες
- ✓ Υποχώρηση παγετώνων
Η αύξηση της θερμοκρασίας οδηγεί στην μείωση ορεινών όγκων παγετώνων και η τήξη του θαλάσσιου πάγου οδηγεί σε αύξηση στάθμης της θάλασσας με μακροπρόθεσμες συνέπειες
- ✓ Αλλαγή εποχών
Αφορά την χρονική μετατόπιση των εποχών με κλιματολογικούς όρους . Παρατηρείται τόσο στα καιρικά φαινόμενα και τη θερμοκρασία , όσο και στην ανάπτυξη της βλάστησης, ακόμα και στη συμπεριφορά των αποδημητικών πουλιών
- ✓ Επίπεδα βροχόπτωσης
Η υπερθέρμανση του πλανήτη οδηγεί σε αλλαγή της κατανομής και της ποσότητας της βροχής, που πέφτει σε διαφορετικά διαστήματα από ότι συνήθως και ανακατανέμεται κατά τη διάρκεια των εποχών δημιουργώντας περιόδους ξηρασίας και περιόδους πλημμυρών
- ✓ Μεταβολή κλιματικών ζωνών
Η υπερθέρμανση μετατόπισε τις κλιματικές ζώνες σε θερμότερα και ξηρότερα κλίματα κατά την περίοδο 1950 – 2010 για το 5.7 % της γης
- ✓ Δασικές πυρκαγιές
Οι αυξημένες θερμοκρασίες του πλανήτη σε συνδυασμό με την αυξημένη ποσότητα διαθέσιμης βιομάζας στα δάση έδειξαν άυξηση στον αριθμό, τη σοβαρότητα και την διάρκεια των δασικών πυρκαγιών τις τελευταίες δεκαετίες. Ακόμη, η κατά συνέπεια αυξημένη ξήρανση πιθανών καυσίμων όπως το ξύλο ενισχύει ακόμα πιο σημαντικά τον κίνδυνο για πυρκαγιές μεγάλης κλίμακας

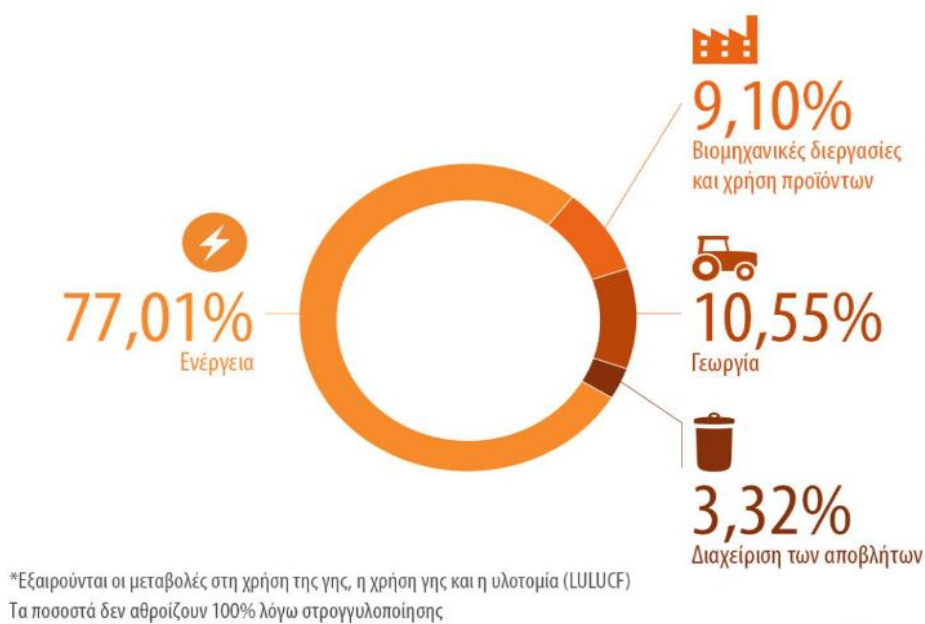
- ✓ **Ηπειρωτικά ύδατα**
Αύξηση θερμοκρασίας νερού σε λίμνες και αύξηση ρυθμού εξάτμισης , ενώ οι ποταμοί καταψύχονται όλο και λιγότερο συχνά , με σημαντική μείωση της περιοχής τους που καλύπτονται απο πάγο
- ✓ **Τροπικοί κυκλώνες**
Υπάρχουν ενδείξεις παρουσίας της ανθρωπογενούς δραστηριότητας στα αρχαία τροπικών κυκλώνων που δείχνουν σημάδια επίδρασης
- ✓ **Χλωρίδα της Σαχάρας**
Είναι ήδη παρατηρήσιμη απο δορυφορικές εικόνες η διαδικασία μετακίνησης της στεπικής λωρίδας προς τη βόρεια Σαχάρα [8].

1.1.4. Πολιτικές της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ)

Σύμφωνα με τους θεσμούς και τους υπεύθυνους οργανισμούς της Ευρωπαϊκής Ένωσης για το κλίμα και την κλιματική αλλαγή , δεσμευτικός στόχος είναι η άμεση επίτευξη μείωσης εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 40% έως το 2030. Αφού πέτυχε ήδη τους στόχους που είχαν συμφωνηθεί στο πλαίσιο του Πρωτοκόλλου του Κιότο, η επόμενη επιδίωξη ήταν η μείωση κατά 20% των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου έως το 2020. Πλέον σύμφωνα με ανακοινώσεις η Ευρώπη επιδιώκει να γίνει η πρώτη κλιματικά ουδέτερη ήπειρος έως το 2050, πράγμα που σημαίνει οτι θα «συνεισφέρει» στο ελάχιστο έως καθόλου στους ρυθμούς εκπομπής αερίων θερμοκηπίου αλλά και στην αύξηση των αποροφήσεων απο την ατμόσφαιρα [11]. Στην Εικόνα 1.7 παρουσιάζεται η ποσότητα εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου ανά αέριο στην Ευρωπαϊκή Ένωση, και στην Εικόνα 1.8 οι εκπομπές ρύπων ανά τομέα [10].



Εικόνα 1.7 Ποσοστιαία κατανομή εκπομπών θερμοκηπικών αερίων Ε.Ε. στην ατμόσφαιρα



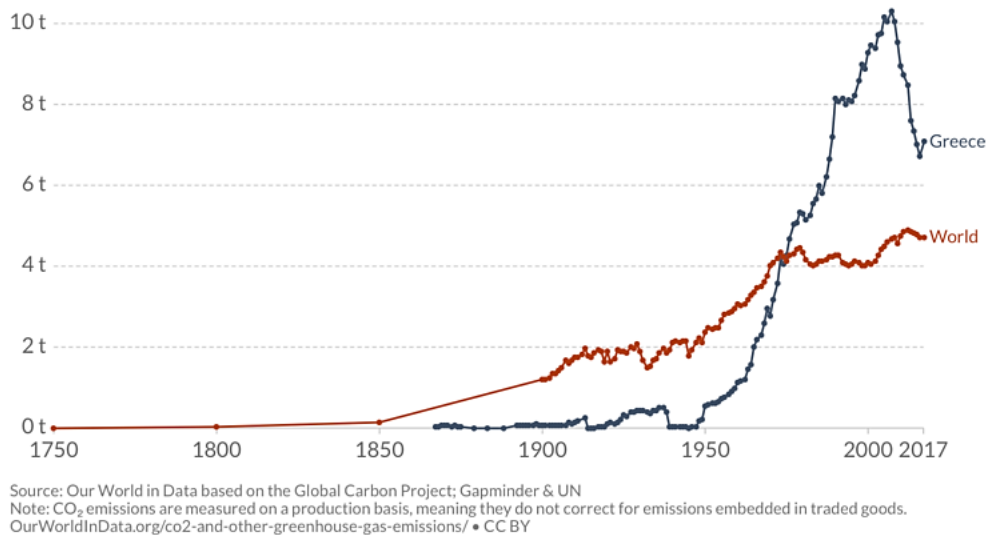
Εικόνα 1.8 Ποσοστιαία κατανομή εκπομπών Ε.Ε. ανά τομέα

Ο συγκεκριμένος στόχος αποτελεί κομμάτι της «Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας», μια σειρά μέτρων για τη μείωση των εκπομπών ως ένα ουδέτερο ισοζύγιο, δημιουργώντας ένα κλιματικά καλύτερο μέλλον στις επόμενες γενιές. Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει αναγγείλει ότι θα συμβάλλει στην ετοιμότητα και στην ικανότητα αντιμετώπισης των συνεπειών της κλιματικής αλλαγής, τόσο μέσα από τη συνεργασία με άλλα κράτη και τη στήριξη αντίστοιχων προσπαθειών, όσο και με προτάσεις – εφαρμογές απαραίτητων αναγκαίων μέτρων. Πιο συγκεκριμένα, έχει εκδοθεί νομοθετικό πλαίσιο για ενίσχυση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (αιολικά, ηλιακά και υδροηλεκτρικά συστήματα) τόσο από υφιστάμενες εγκαταστάσεις και σταθμούς, όσο και από περαιτέρω διεύρυνση. Η Ευρωπαϊκή Ένωση ακόμη επιδιώκει την ανάπτυξη και εφαρμογή τεχνολογιών δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα για την παγίδευση του CO₂ και των εκπομπών του από βιομηχανικές εγκαταστάσεις και σταθμούς παραγωγής ενέργειας [12].

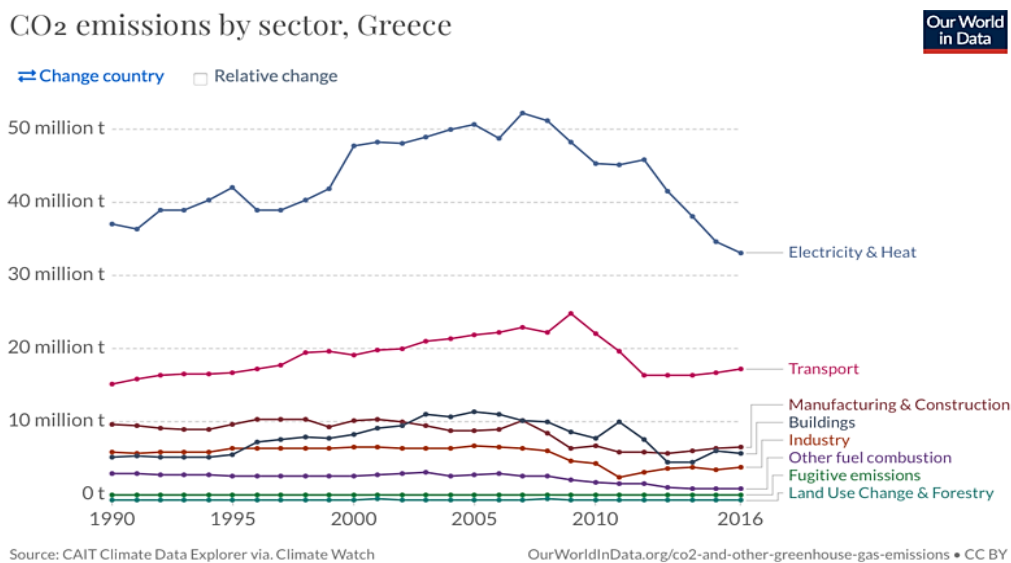
1.1.5. Κλιματική αλλαγή στην Ελλάδα – στοιχεία εκπομπών CO₂

Οι κλιματολογικές συνθήκες και το επίπεδο της μέσης θερμοκρασίας περιβάλλοντος και στον γεωγραφικό χώρο της Ελλάδας προφανώς δεν έχουν μείνει ανεπηρέαστα από την παγκόσμια κλιματική αλλαγή. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω οι επιπτώσεις δεν είναι μόνο περιβαλλοντικές και μετεωρολογικές, αλλά επιδρούν σαν αλυσίδα σε κάθε πτυχή της ανθρώπινης δραστηριότητας. Από ειδικές εκθέσεις για σεναρια εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (IPCC), στην περίπτωση των κλιματικών δεδομένων της Ελλάδας εκτιμάται ότι η θερμοκρασία θα αυξηθεί κατά 2.5 °C έως το 2050, συγκριτικά με τη μέση θερμοκρασία της περιόδου 1960-1990 [9].

Επίσης, οι μέρες των λεγόμενων θερμικών κυμάτων (δηλαδή ημέρες που οι θερμοκρασίες ανεβαίνουν άνω των 35 βαθμών Κελσίου) θα αυξηθούν κατά 15 με 20 σε ετήσια βάση, ενώ οι μέρες με νυχτερινό παγετό θα μειωθούν κατά 40 ημέρες αντίστοιχα. Στο κομμάτι των βροχοπτώσεων η εκτίμηση αναφέρει ότι θα μειωθούν κατά 12% κατά μέσο όρο και η στάθμη της θάλασσας στην Ελλάδα θα αυξηθεί μεταξύ 20 και 59 εκατοστών στις επόμενες δεκαετίες [9]. Παράλληλα τα ακραία καιρικά φαινόμενα θα συμβαίνουν με πολύ μεγαλύτερη συχνότητα και με ασύμμετρη κατανομή μέσα στο έτος. Η επίδραση των καιρικών συνθηκών δεν θα είναι ίδια σε όλες τις περιοχές, με την έκθεση να αναφέρει ότι τα μεγαλύτερα προβλήματα θα αντιμετωπίσουν η Κεντρική Μακεδονία, η Θεσσαλία, η Δυτική Πελοπόννησος και τέλος η Αττική. Στην Εικόνα 1.9 φαίνονται οι κατά κεφαλήν εκπομπές CO₂ στην Ελλάδα, και στην Εικόνα 1.10 οι εκπομπές CO₂ ανά τομέα αντίστοιχα [9].

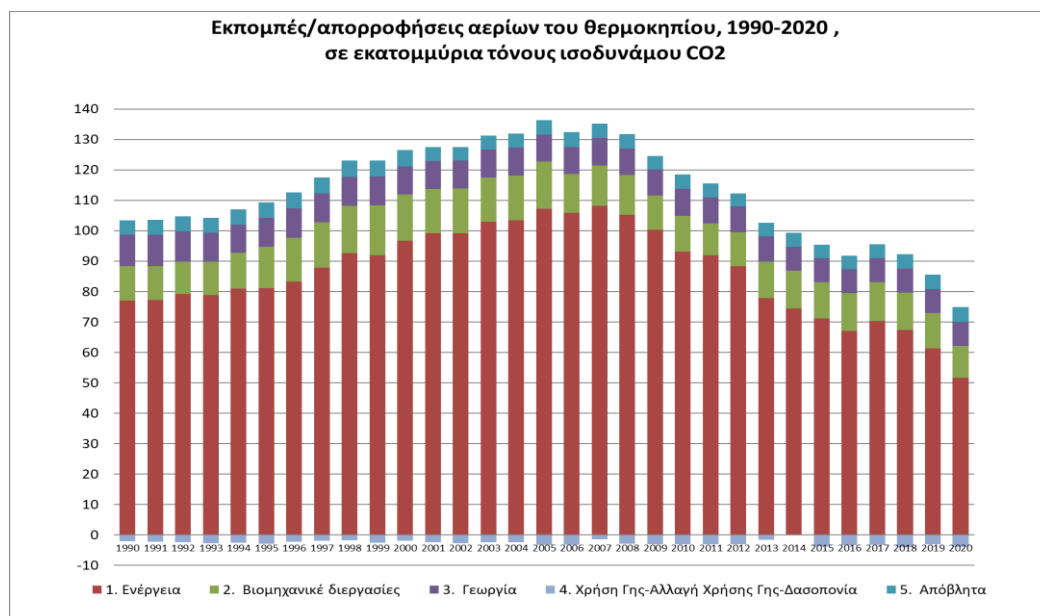


Εικόνα 1.9 Κατά κεφαλήν εκπομπές CO₂ ανά έτος και σύγκριση (Ελλάδα)



Εικόνα 1.10 Εκπομπές CO₂ ανά τομέα (Ελλάδα)

Στην Εικόνα 1.11 φαίνεται σε διάγραμμα η εξέλιξη των εθνικών εκπομπών/απορροφήσεων αερίων του θερμοκηπίου τις τελευταίες δεκαετίες, σύμφωνα με το Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας, ενώ στην Εικόνα 1.12 φαίνεται το μερίδιο εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) ανά ξεχωριστό καύσιμο [6].



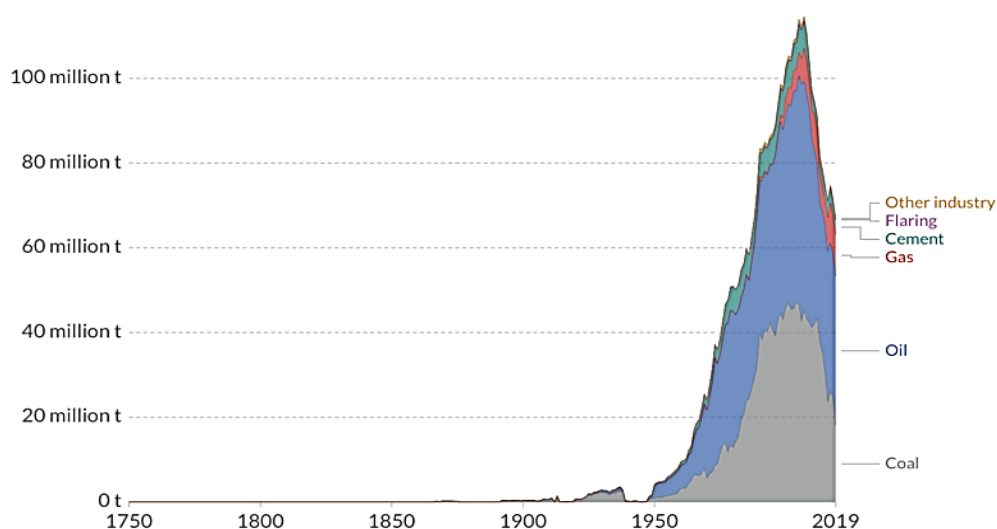
Εικόνα 1.11 Εξέλιξη εθνικών εκπομπών/απορροφήσεων αερίων θερμοκηπίου , έκθεση απογραφής 2022 - Υπ.Ενέργειας

CO₂ emissions by fuel type, Greece

Annual carbon dioxide (CO₂) emissions from different fuel types, measured in tonnes per year.



Change country Relative



Εικόνα 1.12 Μερίδιο εκπομπών CO₂ ανά καύσιμο στην Ελλάδα

Σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος (Ε.Ο.Π.) η Ελλάδα σημείωσε μείωση στις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου μεταξύ των δεκαετιών 1990-2020 κατά ποσοστό της τάξης του 10.7% , με την σημαντικότερη μείωση να προέρχεται από τον τομέα της ενέργειας , με 12.6% μειωμένες εκπομπές σε σύγκριση με το 1990 [9].

Οι εκπομπές απο γεωργικές δραστηριότητες κατέγραψαν μείωση της τάξης του 23.3% κυρίως λόγω μειωμένων εκπομπών οξειδίου του αζώτου (N₂O) και συνθετικών λιπασμάτων. Τέλος, λόγω αυξανόμενης τάσης στην ανακύκλωση μειώθηκαν οι εκπομπές απο τα απόβλητα κατά 2.4% αντίστοιχα. Στην ελληνική επικράτεια οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής θα έχουν σοβαρό αντίκρυσμα σε ποικίλες κατηγορίες [9] όπως :

- ✓ Τουρισμός (κύματα θερμότητας σε περιοχές , περισσότερη ενέργεια για ψύξη, προβλήματα παροχής νερού, προβλήματα σε αρχαιολογικούς χώρους, πυρκαγιές)
- ✓ Γεωργικές δραστηριότητες (μείωση βροχοπτώσεων, έλλειμα υγρασίας, ξηρότερο κλίμα)
- ✓ Μεταβολή των ακτών (αύξηση επιπέδου στάθμης θάλασσας, απώλεια επιφανειών ελληνικής γης)
- ✓ Υγεία πληθυσμού (καύσωνες , αναπνευστικές και καρδιακές παθήσεις λόγω υψηλότερων θερμοκρασιών, ευπαθείς ομάδες)

1.1.6. Επίδραση κτιρίων στην κλιματική αλλαγή

Είναι δεδομένο οτι οι κτιριακές κατασκευές αποτελούν σημαντικό παράγοντα ευθύνης για εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και κατ'επέκταση διόγκωση του προβλήματος, τόσο στο κομμάτι της λειτουργίας του κτιρίου στην πάροδο των ετών, όσο και στην ενσωματωμένη ενέργεια των δομικών υλικών. Η πρώτη κατηγορία αφορά τις ενεργειακές καταναλώσεις κατά τη διάρκεια χρήσης του κτιρίου , όπως είναι η ηλεκτρική ενέργεια και η παραγωγή της απο συμβατικά ορυκτά καύσιμα που αφήνουν αντίκτυπο σε εκπομπές αερίων , και επιπλέον η ενέργεια που απαιτείται για θέρμανση-ψύξη του κτιρίου είτε πάλι απο ηλεκτρισμό, είτε απο επιτόπιες εγκαταστάσεις καύσης. Στη δεύτερη κατηγορία εμπίπτουν οι καταναλώσεις ενέργειας και οι αντίστοιχες εκπομπές που έγιναν κατά τη διάρκεια εξόρυξης, παραγωγής , επεξεργασίας , και μεταφοράς προς διάθεση των δομικών υλικών κάθε κτιριακής κατασκευής , που μεν δεν έχει μακροπρόθεσμο συνεχές αποτύπωμα αλλά έχει σημαντική συνεισφορά και αξίζει να μελετηθεί.

Οι πόλεις σήμερα συνεισφέρουν περίπου στο 50% των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), ποσοστό που εκτιμάται οτι θα αυξηθεί στο 70% έως το 2050, σύμφωνα με επιστημονικές επιτροπές της ΕΕ. Στην Αθήνα , τα κτίρια είναι υπεύθυνα για το 68% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, πολύ μεγάλο μερίδιο ευθύνης , που όμως με κατάλληλα μέτρα μπορεί να μειωθεί αφού ο κτιριακός τομέας μπορεί να συμβάλλει με τις κατάλληλες επεμβάσεις στην αντιμετώπιση του προβλήματος [6]. Στην Εικόνα 1.13 αναφέρονται σε γραφικό οι ενεργειακές κλάσεις κτιρίων για την ΕΕ, βασικό κριτήριο του ενεργειακού «χαρακτηρισμού» των κατοικιών.



Εικόνα 1.13 Ενεργειακή κατάταξη κτιρίου : κριτήριο κατανάλωσης και εκπομπών

Τα κτίρια είναι πηγές εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, είτε πρόκειται για ιδιωτικές κατοικίες, είτε για κτίρια δημοσίου ή εμπορικού τομέα κλπ , κυρίως ως προς το είδος και την ποσότητα της ενέργειας που καταναλώνουν για το κομμάτι της ψύξης και θέρμανσης. Άρα η άμεση σκέψη για μέτρα εφαρμογής μείωσης καταναλώσεων σίγουρα θα περιέχει τον βιοκλιματικό σχεδιασμό και τη θερμική προστασία κτιρίων για μικρότερες ενεργειακές απαιτήσεις, την εκμετάλλευση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που δεν αφήνουν αποτύπωμα στην ατμόσφαιρα, και σε προγενέστερη φάση την επιλογή ενεργειακών δομικών υλικών που έχουν τη μικρότερη δυνατή ενσωματωμένη ενέργεια απο την φάση παραγωγής έως χρησιμοποίησής τους.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει ενεκρίνει μέτρα για αύξηση του ρυθμού επεμβάσεων και ανακαινίσεων των κτιρίων, με στόχο την ενεργειακή τους αναβάθμιση που μακροπρόθεσμα θα έχει θετικό αντίκρισμα στις ατμοσφαιρικές εκπομπές, ενώ δημοσιεύσεις αναφέρουν οτι απο το 2028 όλα τα καινούρια κτίρια θα πρέπει να έχουν σχεδόν μηδενικές εκπομπές αερίων. Οι προτεινόμενες οδηγίες περιγράφουν κατα αυτόν τον τρόπο τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων , αρχικά με γνώση του μεγέθους των υφιστάμενων απαιτήσεων, κυρίως απο τις κατοικίες, και έπειτα των ριζικών επεμβάσεων σε αυτές [11].

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, ο κτιριακός τομέας στα κράτη-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης ευθύνεται για το 40% της ενεργειακής κατανάλωσης, που καταλήγει στο 36% του συνόλου των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου. Για να μειωθούν τα παραπάνω ποσοστά, οι οδηγίες αναφέρουν πως όλα τα νέα κατασκευασμένα ή ριζικά ανακαινισμένα κτίρια θα πρέπει να είναι εξοπλισμένα με τεχνολογίες συλλογής ηλιακής ενέργειας, να εγκαταστήσουν ή αναβαθμίσουν τα συστήματα θερμομόνωσης, να έχουν αποδοτικά συστήματα θέρμανσης και ψύξης, και εν τέλει να πετύχουν κατάταξη σε υψηλότερη ενεργειακή κατηγορία, με προθεσμίες ως το 2030 για τα κτίρια κατοικιών [12], [17].

1.2 ΕΝΕΡΓΕΙΑ

1.2.1. Εισαγωγή

Τα περιβαλλοντικά ζητήματα απασχολούν την παγκόσμια κοινωνία εδώ και αρκετές δεκαετίες και μελετώνται τόσο σε κοινωνικό όσο και σε επιστημονικό επίπεδο. Η ενεργειακή κρίση, η ραγδαία αύξηση των εκλυόμενων ρύπων, η καταστροφή της βιοποικιλότητας, η αποψίλωση των δασών και η εξάντληση των φυσικών πόρων προκαλούν ανησυχία για την οικολογική ισορροπία ολόκληρου του πλανήτη με άμεσο αντίκτυπο στην ανθρώπινη καθημερινότητα. Τα τελευταία χρόνια έχουν ενεργοποιηθεί διεθνείς οργανισμοί και μηχανισμοί για την προστασία του περιβάλλοντος μέσω συμφωνιών και διεθνών κανονισμών για τη μείωση της υπερκατανάλωσης ενέργειας. Έχει δοθεί έμφαση στη βελτίωση της ποιότητας ζωής ενώ τα μοντέλα διαχείρισης της ενέργειας αποσκοπούν στη δημιουργία ενός υγιούς περιβάλλοντος, με βάση την αρχή της προστασίας και διατήρησης των φυσικών πόρων και του περιορισμού των αρνητικών επιπτώσεων από την υπερκατανάλωση των πρώτων υλών και της αλόγιστης χρήσης ενέργειας [14], [17].

Ο βασικός πυλώνας της ευρωπαϊκής ενεργειακής πολιτικής είναι η σταθερή δέσμευση για την ανάγκη αύξησης της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων. Ο κύριος στόχος είναι η επίτευξη μείωσης της πρωτογενούς ενέργειας κατά 20% έως το 2020 και κατά 32% έως το 2030. Σύμφωνα με το Κ.Α.Π.Ε. η ανάγκη για εξοικονόμηση ενέργειας είναι ιδιαίτερα έντονη στον κτιριακό τομέα στην Ευρωπαϊκή Ένωση, καθώς ο κτιριακός τομέας, τα νοικοκυριά και η τριτογενής βιομηχανία (νοσοκομεία, ξενοδοχεία κ.λπ.), αντιπροσωπεύουν τον σημαντικότερο τομέα κατανάλωσης σε ποσοστό περίπου 40%. Επιπλέον, η θέρμανση αντιπροσωπεύει ένα πολύ υψηλό ποσοστό (69%) της κατανάλωσης ενέργειας των κτιρίων, με το ζεστό νερό χρήσης (ZNX) να ακολουθεί σε ποσοστό 15% και τρίτη στη σειρά κατανάλωση ενέργειας οι ηλεκτρικές συσκευές και ο φωτισμός με 11% [14].

Στο κομμάτι των κτιρίων επιβάλλεται η υιοθέτηση μιας βιοκλιματικής προσέγγισης σε υφιστάμενα και νέα κτίρια που θα συμβάλλουν στην εξοικονόμηση ενέργειας αλλά και θα εξασφαλίζουν συνθήκες θερμικής και οπτικής άνεσης. Για να επιτευχθούν τα παραπάνω, δύναται να χρησιμοποιούνται ενεργειακά δομικά υλικά και να εφαρμόζονται οικιακά τεχνολογικά συστήματα όπως είναι τα φωτοβολταϊκά και οι οικιακές ανεμογεννήτριες για αξιοποίηση των φυσικών πηγών ενέργειας (ήλιος, άνεμος κλπ). Ένα ιδιαίτερα σημαντικό στοιχείο του βιοκλιματικού σχεδιασμού είναι η χρήση περιβαλλοντικών πηγών για τη θέρμανση, την ψύξη και τον φωτισμό του χώρου, με παθητικά συστήματα ενσωματωμένα στο κτίριο. Βοηθούν επίσης στη βελτίωση της φυσικής λειτουργίας του κτιρίου και της «εποχιακής» ενεργειακής απόδοσης του κελύφους του [18].

1.2.2. Ενεργειακό πρόβλημα

Το ενεργειακό πρόβλημα άρχισε να αναγνωρίζεται με φιλοσοφικό τρόπο κατά τη δεκαετία του 1950, όταν εκτιμήθηκε ότι τα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα καυσίμων θα επαρκούσαν για τουλάχιστον ακόμη 20 χρόνια και υπήρχε μια σχετική ηρεμία όσον αφορά τον ενεργειακό εφοδιασμό. Ωστόσο, το ξέσπασμα της ενεργειακής κρίσης το 1973 "ταρακούνησε" τις τότε κυβερνήσεις ώστε να αναγνωρίσουν το ενεργειακό πρόβλημα, ενώ όπως έγινε σαφές η ανεξέλεγκτη χρήση των ορυκτών καυσίμων και η παραγωγή ενέργειας έγινε μείζον ζήτημα για το μέλλον του πλανήτη. Το ενεργειακό πρόβλημα προέκυψε καθώς ο παγκόσμιος πληθυσμός αυξήθηκε, η τεχνολογική ανάπτυξη προχώρησε και οι ενεργειακές απαιτήσεις αυξήθηκαν με ραγδαίο ρυθμό.

Με την κλιμάκωση των παραπάνω προβλημάτων, όλα τα κράτη σε πλανητικό επίπεδο έχουν αναπτύξει μέτρα και λύσεις για τη μείωση της ενεργειακής εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα και την ανάπτυξη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Δεδομένου ότι πάνω από το 75% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (πχ. διοξείδιο του άνθρακα CO₂, μεθάνιο CH₄ κλπ) προέρχονται από την παραγωγή και χρήση ενέργειας από συμβατικά καύσιμα, το ενεργειακό σύστημα πρέπει να αναζωογονηθεί προκειμένου να επιτευχθούν οι στόχοι που έχουν τεθεί για την κλιματική αλλαγή. Μια σειρά προτάσεων που ανατέθηκαν σε ευρωπαϊκή αλλά και παγκόσμια κλίμακα αποσκοπούν στη δημιουργία ενός διασυνδεδεμένου ενεργειακού συστήματος, στην ενίσχυση της ενεργειακής απόδοσης και του οικολογικού σχεδιασμού, στην προώθηση ενεργειακών προτύπων και τεχνολογιών σε παγκόσμιο επίπεδο, στην αξιοποίηση όλων των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και στην προώθηση μιας βιώσιμης και πράσινης οικονομίας, σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή το 2019 [9].

Σε συνδυασμό με την κλιματική κρίση και τις ολοένα αυξανόμενες εκπομπές αερίων που εντείνουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, είχε θεσπιστεί η οδηγία «στόχοι 20-20-20» της Ευρωπαϊκής Ένωσης που προέβλεπε ότι έως το 2020 θα έπρεπε να έχουν μειωθεί οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου σε ποσοστό 20% σε σχέση με τα επίπεδα του 1990, να εισαχθούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στο ενεργειακό ισοζύγιο της Ε.Ε. σε ποσοστό 20% καθώς και να βελτιωθούν ενεργειακά τα κτίρια στην Ε.Ε. κατά 20% [11], [20].

1.2.3. Ενέργεια και Κτιριακός τομέας

Ο κτιριακός τομέας συμμετέχει κατά σημαντικό ποσοστό τόσο στην κατανάλωση ενέργειας όσο και στην έκλυση ρύπων προς το περιβάλλον. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) περίπου το 40% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης αφορά τα κτίρια, εκ των οποίων το 74% αφορά κτίρια κατοικιών και περί το 26% τα κτίρια τριτογενή τομέα –επαγγελματικούς χώρους, βιομηχανικά κτίρια κλπ [20].

Οι ενεργειακές καταναλώσεις των κτιρίων αφορούν την θερμική και την ηλεκτρική ενέργεια για διάφορες τελικές χρήσεις και είναι :

α) Θερμικές καταναλώσεις

- Θέρμανση χώρων τους χειμερινούς μήνες
- Παραγωγή ζεστού νερού χρήσης (ΖΝΧ)
- Μαγείρεμα

β) Ηλεκτρικές καταναλώσεις

- Φωτισμός χώρων
- Ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές
- Ψύξη χώρων τους θερινούς μήνες

Στον Πίνακα 1.1 περιγράφεται το κτιριακό απόθεμα κατά είδος χρήσης στην Ελλάδα, σύμφωνα με την ελληνική στατιστική αρχή (ΕΛΣΤΑΤ), και στον Πίνακα 1.2 η διάκριση των κατοικιών αντίστοιχα [21].

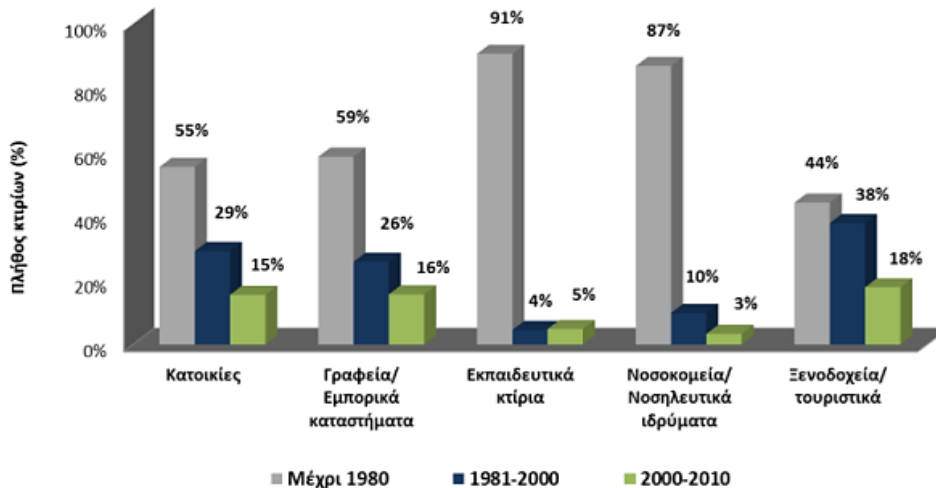
Πίνακας 1.1 Αριθμός κτιρίων ανά χρήση , ΦΕΚ974 12/03/2021

Χρήση κτιρίου	Αριθμός κτιρίων
ΚΑΤΟΙΚΙΕΣ	
Κατοικίες - νοικοκυριά	4.631.528
ΤΡΙΤΟΓΕΝΗΣ ΤΟΜΕΑΣ	
Ξενοδοχεία - εστιατόρια	24.109
Σχολεία – εκπαιδευτικά ιδρύματα	19.167
Γραφεία κλπ	53.064
Νοσοκομεία - κλινικές	38.664
Εμπορικά καταστήματα	65.957
Αποθήκες	20.374
Ψυκτικές αποθήκες	308
Βιομηχανικοί χώροι	221.643
Σύνολο :	4.853.172

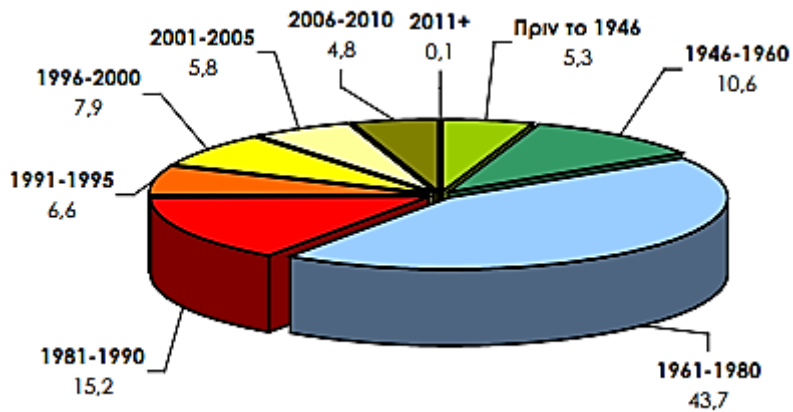
Πίνακας 1.2 Διάκριση κατοικιών , ΦΕΚ974 12/03/2021

Είδος κατοικίας	Αριθμός κτιρίων
Μονοκατοικίες	2.116.707
Πολυκατοικίες	2.514.821
Σύνολο :	4.631.528

Με κριτήριο την περίοδο κατασκευής, στην Εικόνα 1.15, προκύπτει ότι το μεγαλύτερο πλήθος κτιρίων στην ελληνική επικράτεια έγινε προ του 1980, οπότε ως επί των πλείστων αποτελούν κτίρια χωρίς θερμομόνωση, ενώ οι κατοικίες αφορούν δείγμα της τάξεως του 55% όπως φαίνεται και στην Εικόνα 1.14 [21].



Εικόνα 1.14 Πλήθος κτιρίων ανά έτος κατασκευής, Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ)



Εικόνα 1.15 Κατανομή κτιρίων κατά περίοδο κατασκευής, Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ)

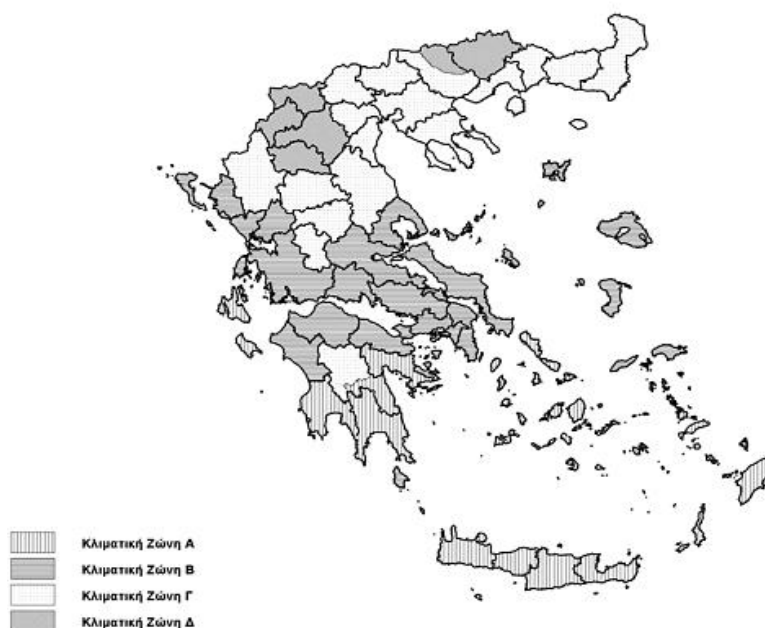
1.2.4. Κατανάλωση ενέργειας στα ελληνικά κτίρια

Τα κλιματολογικά δεδομένα των ελληνικών περιοχών είναι η βάση για τις συνθήκες σχεδιασμού και τη διαστασιολόγηση συστημάτων θέρμανσης, ψύξης και κλιματισμού των κτιρίων. Σύμφωνα με τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (Κ.Εν.Α.Κ), όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η ελληνική επικράτεια διαιρείται σε 4 κλιματικές ζώνες με βάση τις βαθμοημέρες θέρμανσης. Με ταξινόμηση από την θερμότερη στην ψυχρότερη κλιματική ζώνη παρουσιάζεται στην Εικόνα 1.16 σε ποια ζώνη υπάγεται κάθε νομός της χώρας σύμφωνα με τις ΤΟΤΕΕ [27].

ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ	ΝΟΜΟΙ
ΖΩΝΗ Α	Ηρακλείου, Χανίων, Ρεθύμνου, Λασιθίου, Κυκλάδων, Δωδεκανήσου, Σάμου, Μεσσηνίας, Λακωνίας, Αργολίδας, Ζακύνθου, Κεφαλληνίας & Ιθάκης, Κύθηρα & νησιά Σαρωνικού (Αττικής), Αρκαδίας (πεδινή)
ΖΩΝΗ Β	Αττικής (εκτός Κυθήρων & νησιών Σαρωνικού), Κορινθίας, Ηλείας, Αχαΐας, Αιτωλοακαρνανίας, Φθιώτιδας, Φωκίδας, Βοιωτίας, Ευβοίας, Μαγνησίας, Λέσβου, Χίου, Κέρκυρας, Λευκάδας, Θεσπρωτίας, Πρέβεζας, Άρτας
ΖΩΝΗ Γ	Αρκαδίας (ορεινή), Ευρυτανίας, Ιωαννίνων, Λάρισας, Καρδίτσας, Τρικάλων, Πιερίας, Ημαθίας, Πέλλης, Θεσσαλονίκης, Κιλκίς, Χαλκιδικής, Σερρών (εκτός ΒΑ τμήματος), Καβάλας, Ξάνθης, Ροδόπης, Έβρου
ΖΩΝΗ Δ	Γρεβενών, Κοζάνης, Καστοριάς, Φλώρινας, Σερρών (ΒΑ τμήμα), Δράμας

Εικόνα 1.16 Νομοί ελληνικής επικράτειας ανά κλιματική ζώνη, TOTEE

Αν σε ένα νομό κάποια περιοχή βρίσκεται σε υψόμετρο άνω των 500 μέτρων, τότε εντάσσεται κατευθείαν στην επόμενη ψυχρότερη κλιματική ζώνη. Στην Εικόνα 1.17 φαίνονται οι κλιματικές ζώνες στην Ελλάδα σε σχηματική απεικόνιση [27].



Εικόνα 1.17 Σχηματική απεικόνιση κλιματικών ζωνών ελληνικής επικράτειας, TOTEE

Η μέση μηνιαία θερμοκρασία T(°C) 24-ώρου των πιο μεγάλων ελληνικών πόλεων αναγράφεται στον Πίνακα 1.3 , σύμφωνα με το ΤΕΕ [27].

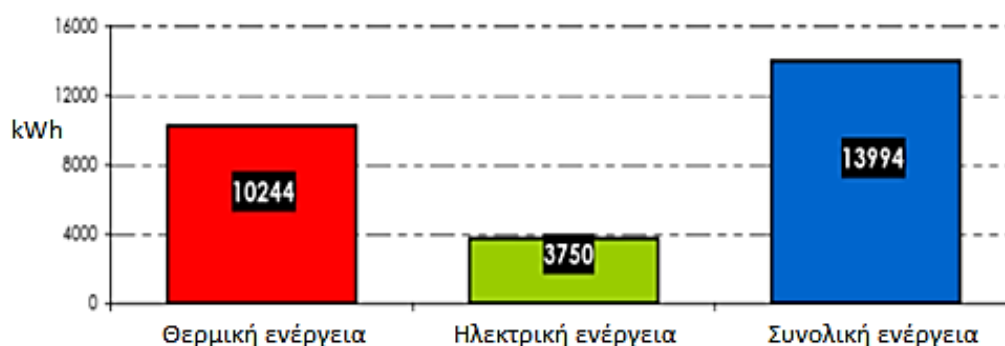
Πίνακας 1.3 Μέση μηνιαία θερμοκρασία (°C) μεγάλων ελληνικών πόλεων , ΤΟΤΕΕ 20701-3/2017

Περιοχή/μήνας	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
Αθήνα (Ελληνικό)	10,3	10,6	12,3	16	20,7	25,4	28,1	28	24,3	19,6	15,4	12
Αθήνα (Φιλαδέλφ.)	8,7	9,3	11,2	15,4	20,7	25,7	28,1	27,5	23,4	18,2	13,8	10,3
Θεσσαλονίκη	5,3	6,8	9,8	14,3	19,7	24,5	26,8	26,2	21,9	16,3	11,1	6,9
Αλεξανδρούπολη	5	5,9	8,3	13,2	18,4	23,2	25,9	25,6	21,1	15,7	10,8	7
Δράμα	4,7	6,5	10	14,7	20,2	24,7	26,7	25,9	22,3	16,4	9,9	6
Ζάκυνθος	10,5	10,5	11,8	14,8	19,7	24,3	27,2	27,1	23,6	19,1	14,8	11,7
Ηράκλειο	12,1	12,2	13,5	16,5	20,3	24,4	26,2	26,1	23,6	20,1	16,7	13,7
Ιωάννινα	4,7	6	8,8	12,4	17,5	22	24,9	24,5	20,1	15	9,7	5,8
Καλαμάτα	10,2	10,6	12,3	15,2	19,8	24,2	26,5	26,3	23,2	19	14,8	11,6
Καστοριά	2,2	3,4	6,9	11,5	16,4	21,4	24	23,2	18,9	13,4	7,2	3
Κέρκυρα	9,7	10,3	12	15	19,8	24	26,5	26,5	22,7	18,5	14,3	11,1
Καβάλα	5,5	6,2	8,7	13,7	18,6	23,4	25,9	25,3	21	15,6	10,4	6,6
Κόρινθος	8,8	9,3	11,5	15,4	20,7	25,8	28,3	27,8	23,4	18,6	13,4	10,1
Κύθηρα	10,9	10,9	11,9	14,6	18,9	23,2	25,7	25,7	22,9	19,1	15,8	12,7
Κως	11	10,5	12,1	15,4	19,5	23,8	25,9	25,4	23,2	19,4	15	12,4
Λάρισα	5,2	6,8	9,5	14	19,7	25,2	27,3	26,3	21,9	16,3	10,9	6,5
Μήλος	10,7	10,8	11,9	15	19,4	23,6	25,2	24,9	22,3	18,8	15,3	12,4
Μυτηλίνη	9,5	9,9	11,6	15,6	20,2	24,7	26,6	26,1	22,9	18,5	14,3	11,3
Νάξος	12,1	12,2	13,3	16,1	19,5	23,3	24,9	24,8	22,8	19,6	16,3	13,6
Ξάνθη	5,6	6,8	9,6	14,3	19,8	24,1	26,6	26	22,4	16,5	11	6,9
Πάρος	11,2	11,2	12,9	16,2	19,8	24	25,5	25	22,8	19,1	15,2	12,3
Πάτρα	10	10,6	12,5	15,6	20,1	24,1	26,4	26,7	23,5	19	14,5	11,4
Ρέθυμνο	12,8	12,9	14,2	17,1	20,7	24,9	26,9	26,8	24,2	20,6	17,3	14,5
Ρόδος	12	12,2	13,7	16,6	20,6	24,8	26,9	27,1	24,7	20,9	16,7	13,5
Σάμος	10,4	10,2	12,2	16,1	20,8	25,7	28,6	28,2	24,4	19,6	14,7	12
Σύρος	11,8	11,8	13,1	16,4	20,3	25	26,7	26,5	24,1	20,1	15,9	12,8
Τρίκαλα	5,4	6,9	10,6	15	20,6	25,6	27,4	26,1	22,6	16,4	10,2	6,4
Τρίπολη	5,1	5,8	7,9	11,7	17	22	24,5	24,1	20	14,6	10,1	6,7
Φλώρινα	0,5	2,7	6,7	11,6	16,8	21	23,1	22,5	18,4	12,6	7	2,2
Χανιά	11,6	11,8	13,2	16,3	20,1	24,5	26,5	26,1	23,3	19,4	16,1	13,1
Χίος	9,6	9,7	11,6	15,1	19,6	24,1	26,4	25,9	22,7	18,1	13,6	11,1

Παρά το γεγονός ότι η μέση κατανάλωση της ενέργειας ανά κατοικία για θέρμανση στην Ε.Ε. έχει μειωθεί ελαφρά από το 1990, παραμένει ακόμα σημαντικά αυξημένη. Χώρες με μεσογειακό κλίμα, όπως είναι η Ελλάδα, θα πρέπει να έχουν πολύ λιγότερες απαιτήσεις για θέρμανση κατά τους χειμερινούς μήνες, ωστόσο οι ανάγκες για θέρμανση των κατοικιών ανέρχονται περί το 70% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης. Η κατανάλωση ενέργειας για τις οικιακές συσκευές, το φωτισμό και τον κλιματισμό ανέρχονται στο 18%. Οι κατοικίες με κεντρικό σύστημα θέρμανσης που χρησιμοποιεί πετρέλαιο ως το μόνο καύσιμο αντιστοιχούν στο 35.5% του συνόλου, ενώ το υπολειπόμενο 64% αφορά αυτόνομα θερμαινόμενες κατοικίες οι οποίες χρησιμοποιούν 25% σε πετρέλαιο, 12% ηλεκτρικό ρεύμα και 18% σε καυσόξυλα, σύμφωνα με το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας [14].

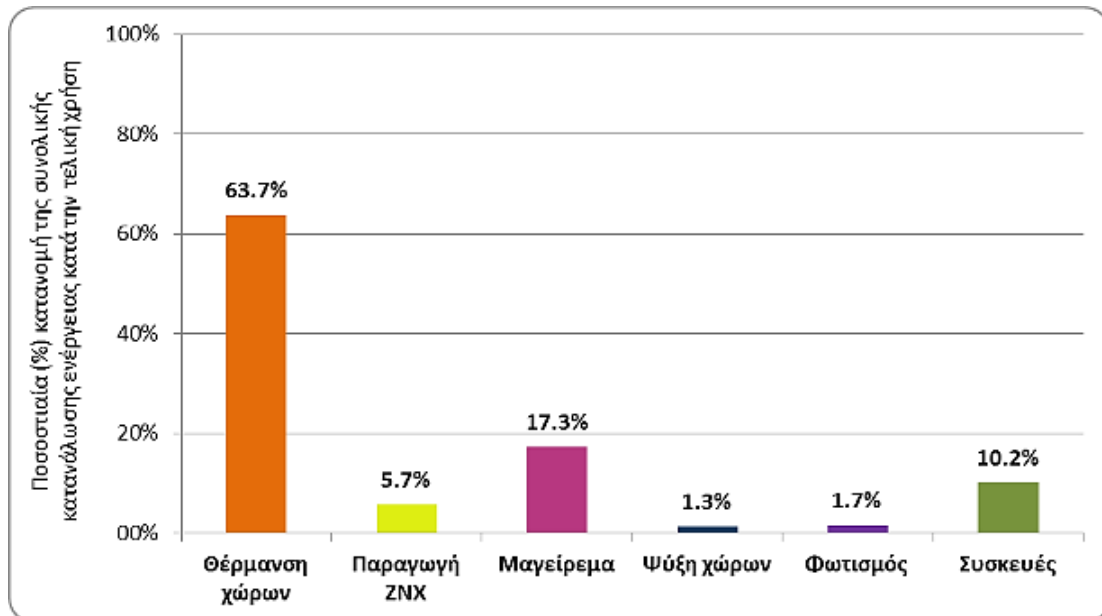
Στην περίπτωση της Ελλάδας ο κτιριακός τομέας αντιπροσωπεύει το 40% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης, εκ των οποίων των 60% αφορά κτίρια κατοικιών και το 52% κτίρια του τριτογενή τομέα (επαγγελματικοί χώροι , βιομηχανία, γραφεία, γυμναστήρια, νοσοκομεία κλπ). Η ΕΛΣΤΑΤ (Ελληνική Στατιστική Αρχή) αναφέρει ότι κάθε ελληνικό νοικοκυριό καταναλώνει περίπου 13.994 kWh σε ετήσια βάση [14] προκειμένου να καλυφθούν οι ενεργειακές του ανάγκες, ενώ η μέση ετήσια κατανάλωση θερμικής ενέργειας (για θέρμανση χώρου, ζεστό νερό, μαγείρεμα κ.ά.) ανά νοικοκυριό είναι 10.244 kWh (Εικόνα 1.18), εκ των οποίων προέκυψε η εξής διάκριση :

- ✓ το 85.9% για θέρμανση χώρων
- ✓ το 4.4% για παραγωγή ΖΝΧ
- ✓ το 9.7% για μαγείρεμα

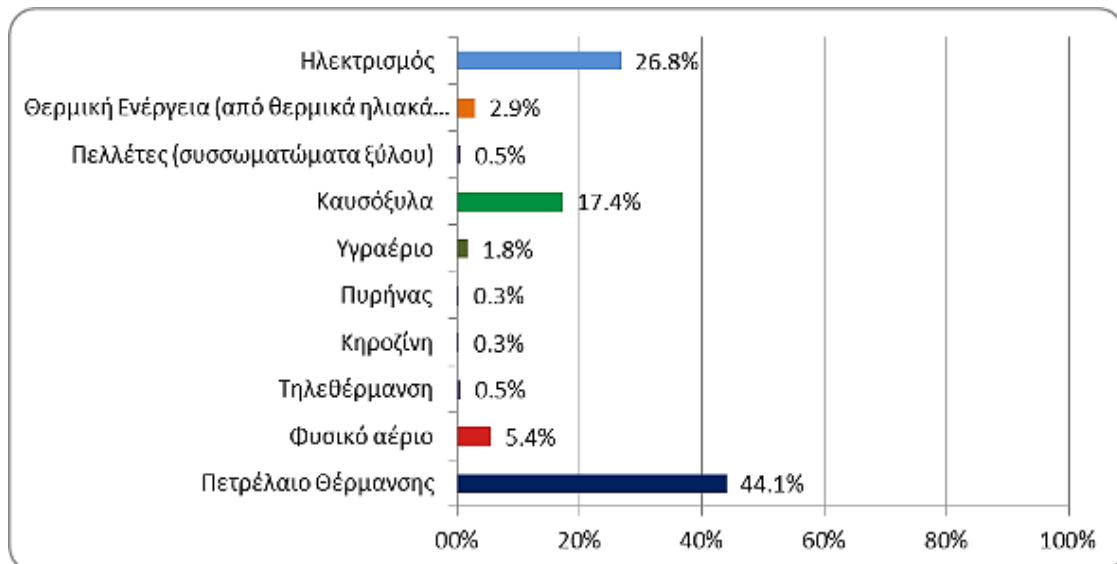


Εικόνα 1.18 Μέση ετήσια κατανάλωση ενέργειας (kWh) ανά κατοικία , ΕΛΣΤΑΤ

Στις Εικόνες 1.19 & 1.20 παρακάτω παρουσιάζονται διαγράμματα απο δημοσιεύσεις του κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ) για τις ενεργειακές καταναλώσεις και τους τύπους καυσίμων [14].



Εικόνα 1.19 Κατανομή ενεργειακών καταναλώσεων ανά τελική χρήση , ΚΑΠΕ



Εικόνα 1.20 Κατανομή ενεργειακών καταναλώσεων κατά τύπο καυσίμου , ΚΑΠΕ

Απο στατιστικά αποτελέσματα για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων που διεξήχθησαν απο τα τμήματα επιθεώρησης ενέργειας του ΥΠΕΚΑ, παρήχθησαν πληροφορίες για καταναλώσεις κτιρίων κατοικιών, κτιρίων τριτογενούς τομέα και νέων ή ριζικώς ανακαινισμένων κτιρίων. Προέκυψε κατά αυτή τη μελέτη η μέση ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (kWh_{th} / m^2) των κτιρίων κατοικίας ανά κατηγορία χρήσης για τη χρονική περίοδο 2011-2017, όπως φαίνεται στον Πίνακα 1.4, σύμφωνα με το Υπουργείο Ενέργειας [29].

Πίνακας 1.4 Μέση ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας κτιρίων κατοικίας 2011-2017, ΥΠΕΝ

Καταναλώσεις (kWh/m^2)	Μονοκατοικίες	Πολυκατοικίες
Θέρμανση	264.11	155.66
Ψύξη	43.48	29.59
Φωτισμός	0.00	0.00
ZNX	47.68	54.87
ΑΠΕ & ΣΗΘ	0.17	0.02
Σύνολο:	355.18	240.11

Κατά την ίδια χρονική περίοδο 2011-2017, η μέση ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m^2) των κτιρίων κατοικίας με διάκριση ως προς την κλιματική ζώνη φαίνεται στον Πίνακα 1.5 [29].

Πίνακας 1.5 Μέση ετήσια κατανάλωση ενέργειας κατοικιών ανά κλιματική ζώνη 2011-2017, ΥΠΕΝ

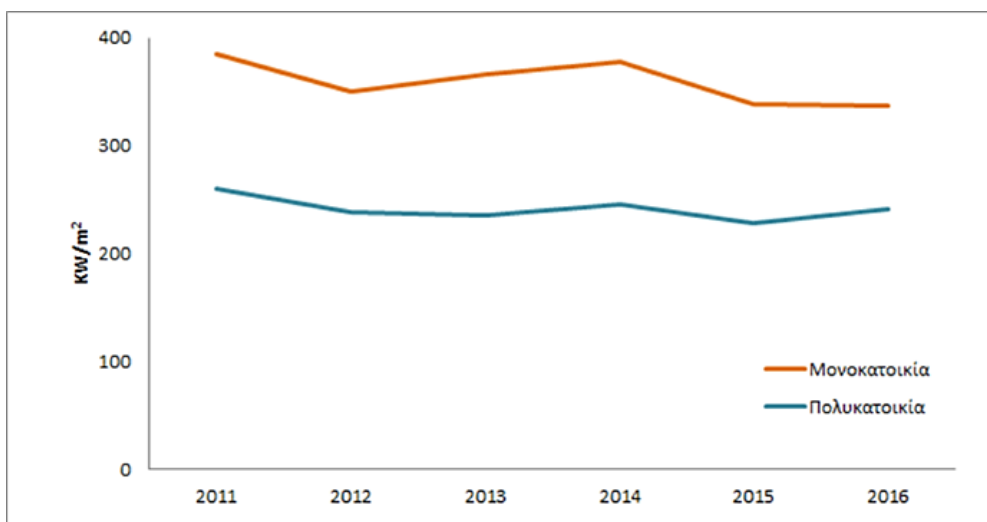
kWh/m^2	A	B	Γ	Δ
Μονοκατοικίες	254.05	332.92	444.80	496.77
Πολυκατοικίες	191.63	222.16	285.75	314.10

Όπως φαίνεται οι μονοκατοικίες αποτελούν τα πιο ενεργοβόρα κτίρια κατοικιών, ιδιαίτερα αυτές που ανήκουν στις κλιματικές ζώνες Γ και Δ. Απο άποψη συνεισφοράς στο ενεργειακό ισοζύγιο των κτιρίων κατοικιών, σύμφωνα με το Υπουργείο Ενέργειας και Περιβάλλοντος προέκυψαν οι τιμές του Πίνακα 1.6 [29].

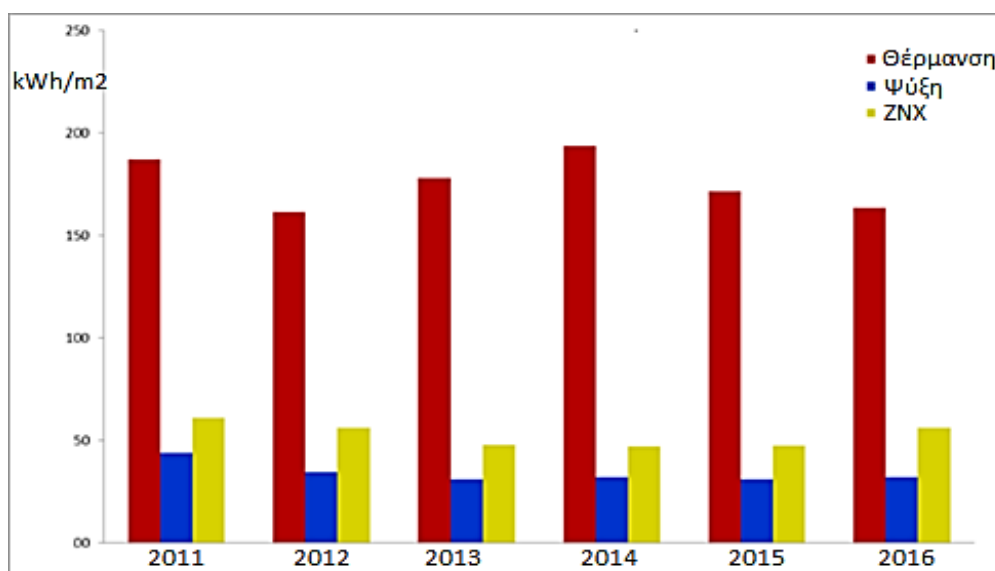
Πίνακας 1.6 Ποσοστιαία συνεισφορά στο ενεργειακό ισοζύγιο κτιρίων κατοικιών, ΥΠΕΝ

(%)	Ηλεκτρική Ενέργεια	Πετρέλαιο	Φυσικό αέριο	Άλλα ορυκτά καύσιμα	Ηλιακή ενέργεια	Βιομάζα	Γεωθερμία	Άλλες μορφές ΑΠΕ
Μονοκατοικίες	23.84	66.00	1.61	0.62	6.08	8.22	0.00	0.01
Πολυκατοικίες	27.76	56.62	13.46	0.83	5.00	1.27	0.00	0.02

Στις Εικόνες 1.21 & 1.22 φαίνονται οι αντίστοιχες μέσες καταναλώσεις με πηγή το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, για τη χρονική περίοδο 2011-2016 [16].



Εικόνα 1.21 Χρονική διακύμανση μέσης κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας κτιρίων κατοικίας , περίοδος 2011-2016 , ΚΑΠΕ



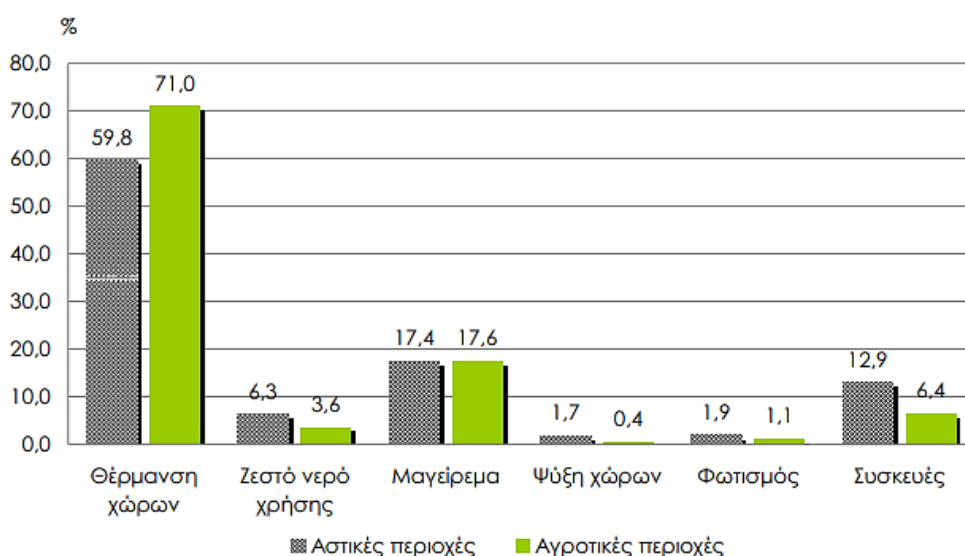
Εικόνα 1.22 Μέση κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας κτιρίων περίοδος 2011-2016 , ΚΑΠΕ

Σύμφωνα με στοιχεία ερευνών η κατανάλωση ενέργειας επηρεάζεται σημαντικά από το βαθμό αστικότητας της περιοχής που βρίσκεται η κατοικία. Σύμφωνα με την ΕΛΣΤΑΤ, η ετήσια κατανάλωση θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας κατά μέσο όρο σε ένα ελληνικό νοικοκυριο σε αστική και αγροτική τοποθεσία αναγράφεται στον Πίνακα 1.7 [30].

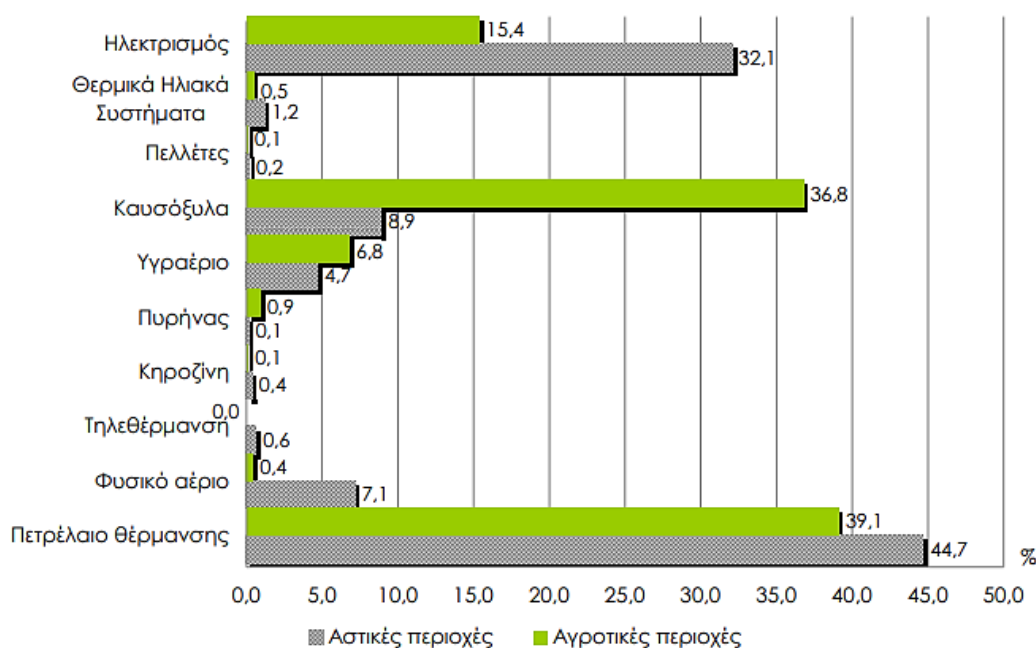
Πίνακας 1.7 Κατανάλωση ενέργειας σε αστικές και μη περιοχές , ΕΛΣΤΑΤ

	Αστικές περιοχές	Αγροτικές περιοχές
Θερμική ενέργεια (kWh)	8.453	16.923
Ηλεκτρική ενέργεια (kWh)	4.000	3.070

Στις Εικόνες 1.23 & 1.24 παρουσιάζεται η ποσοστιαία κατανομή κατανάλωσης ενέργειας ανά τελική χρήση και η κατανάλωση κατά τύπο χρησιμοποιούμενου καυσίμου, σε σύγκριση μεταξύ αστικών και αγροτικών περιοχών [30].



Εικόνα 1.23 Κατανομή (%) συνολικής κατανάλωσης ενέργειας κατά τελική χρήση και βαθμό αστικότητας



Εικόνα 1.24 Κατανομή (%) συνολικής κατανάλωσης ενέργειας κατά τύπο καυσίμου και βαθμό αστικότητας

Η ενεργειακή κατανάλωση στην Ελλάδα έχει αυξηθεί κατακόρυφα τα τελευταία 30 έτη και σύμφωνα με το Τ.Ε.Ε. (Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος) το ποσοστό αύξησης ανέρχεται σε περίπου 39%. Διαπιστώνεται συνεπώς ότι τα υφιστάμενα κτίρια στην χώρα καταναλώνουν μεγάλα ποσά ενέργειας για την κάλυψη των θερμικών και ψυκτικών αναγκών τους που σημαίνει ότι έχουν μειωμένη ή ελλειπή ενεργειακή

απόδοση και θα πρέπει να ληφθούν μέτρα προκειμένου να αναβαθμιστεί η ενεργειακή τους κλάση. Για να επιτευχθεί αυτό, μια απαραίτητη λύση είναι η χρήση και ενσωμάτωση δομικών υλικών που θα αυξήσουν την ενεργειακή αποδοτικότητα, με βασική αρχή την ενίσχυση της θερμομονωτικής προστασίας, που θα οδηγήσει σε μειωμένες ανάγκες ψύξης και θέρμανσης. Στον Πίνακα 1.8 αναφέρονται βασικά Μέτρα Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΜΕΕ) και μείωσης ρύπων (kt CO₂) των ελληνικών κτιρίων σύμφωνα με το Τ.Ε.Ε. [31].

Πίνακας 1.8 Μ.Ε.Ε. για μείωση ρύπων (kt CO₂) στα ελληνικά κτίρια, ΤΕΕ

Μέτρα Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΜΕΕ)	Μείωση ρύπων CO ₂ σε (kt) από τα κτήρια				
	Γραφεία / Καταστήματα	Ξενοδοχεία	Σχολικά κτήρια	Νοσοκομεία	Κατοικίες
#1. Θερμομόνωση εξωτερικών τοίχων	54.1	48.7	54.0	52.8	3573.6
#2. Θερμομόνωση οροφής	10.9	12.0	9.5	10.5	549.6
#3. Διπλά υαλοστάσια	46.9	21.1	21.6	26.6	1539.2
#4. Συντήρηση κεντρικών θερμάνσεων	137.5	59.5	23.4	34.8	951.4
#5. Αντικατάσταση των παλιών κεντρικών θερμάνσεων με νέες πετρελαίου	49.2	23.1	23.5	29.6	438.6
#6. Αντικατάσταση των παλιών κεντρικών θερμάνσεων με νέες φυσικού αερίου	16.4	5.4	--	18.7	144.0
#7. Θερμοστάτες Αντιστάθμισης	26.0	5.7	9.0	7.5	156.8
#8. Θερμοστάτες Χώρων	18.4	2.6	6.3	5.3	146.9
#9. Εξωτερική σκίαση	49.6	21.1	21.6	26.6	78.2
#10. Ανεμιστήρες οροφής	488.5	292.9	28.3	38.8	93.0
#11: Νυχτερινός αερισμός	53.9	--	--	--	--
#12: Ηλιακοί συλλέκτες για ΖΝΧ	15.3	133.4	1.5	45.9	2709.7
#13: Λαμπτήρες υψηλής ενεργειακής απόδοσης	713.1	369.0	148.2	106.2	817.3
#14: ΒMS – Σύστημα Διαχείρισης Κτηρίων	815.1	423.5	--	59.7	--
#15: Αεροστεγάνωση Ανοιγμάτων	--	--	--	--	1712.2
#16: Εγκατάσταση νέων κλιματιστικών	--	--	--	--	240.9

Για την θέσπιση νέων κανονισμών που θα θωρακίζει τα νέα κατασκευασμένα ή ανακαινισμένα κτίρια (και θα μειώνει τις ενεργειακές τους καταναλώσεις) δημιουργήθηκε ο Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (Κ.Εν.Α.Κ.). Αυτός δύναται να υπολογίσει με βάση τη μεθοδολογία του τα θερμομονωτικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων κελύφους ενός κτιρίου καθώς και άλλες μεταβλητές που έχουν ρόλο μείζονος σημασίας στην ενεργειακή απόδοση. Ουσιαστικά μέσω του Κ.Εν.Α.Κ. μπορούν να καθοριστούν οι ελάχιστες απαιτήσεις για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων μέσω των δομικών τους υλικών, την τοποθέτηση θερμομόνωσης, τους ενεργειακούς υαλοπίνακες, την σκίαση κλπ. Οι εν λόγω ελάχιστες απαιτήσεις καθορίζονται ώστε να επιτυγχάνεται η βέλτιστη ισορροπία μεταξύ κόστους και ενεργειακών δαπανών κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής ενός κτιρίου σύμφωνα με το Υπουργείο Ενέργειας [32].

Η ενεργειακή απόδοση ενός κτιρίου προκύπτει από το Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης (Π.Ε.Α.) το οποίο περιγράφει την ενεργειακή του δομή και συμπεριφορά και μπορεί να διευκρινίσει σε ποια ενεργειακή κλάση αυτό ανήκει. Έτσι, το Π.Ε.Α. κατατάσσει τα κτίρια σε ενεργειακές κλάσεις με κλίμακα από το «Α» έως το «Η»,

όπου «Α» αφορά κτίρια ή κτιριακές μονάδες με την πιο υψηλή ενεργειακή απόδοση και «Η» την δυσχερέστερη. Οι 9 κατηγορίες ενεργειακής κατάταξης (Α+, Α, Β+, Β, Γ, Δ, Ε, Ζ, Η) καθορίζονται από ένα εύρος τιμών βάσει της υπολογιζόμενης συνολικής κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m² έτος) του κτιρίου σε σύγκριση με το κτίριο αναφοράς, όπως αναγράφονται στην Εικόνα 1.25. Το κτίριο αναφοράς είναι το ίδιο υπο μελέτη κτίριο αλλά με συγκεκριμένες προδιαγραφές και ιδεατά τεχνικά χαρακτηριστικά. Επίσης το Π.Ε.Α. παρέχει πληροφορίες για τις ετήσιες εκπομπές ρύπων καθώς και τη συμβολή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την ικανοποίηση των ενεργειακών αναγκών [32].

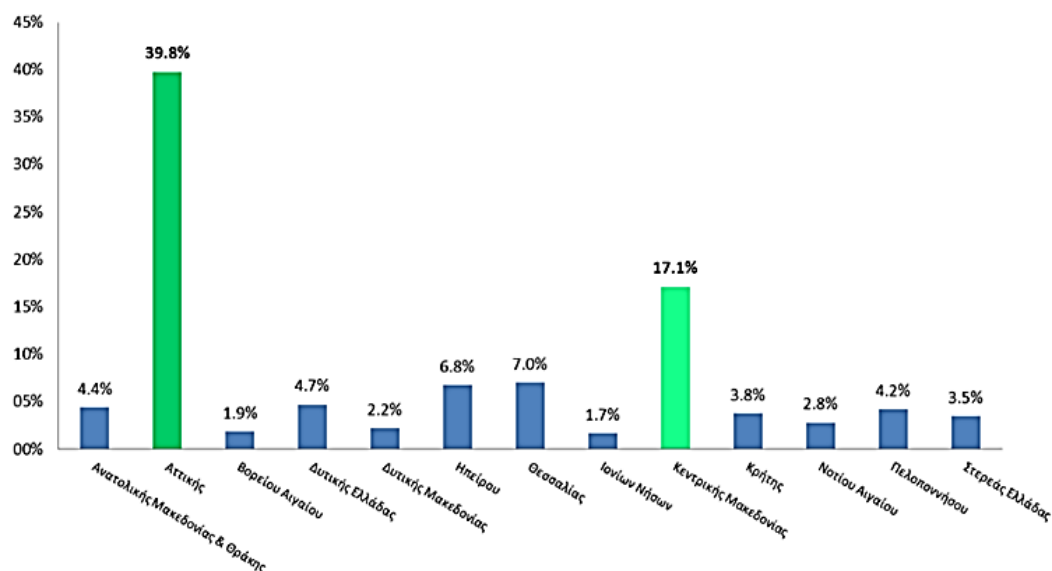
ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΤΙΡΙΩΝ		
Κατηγορία	Όριο κατηγορίας	Όριο κατηγορίας
A+	$EP \leq 0,33R_{\text{R}}$	$T \leq 0,33$
A	$0,33R_{\text{R}} < EP \leq 0,50R_{\text{R}}$	$0,33 < T \leq 0,50$
B+	$0,50R_{\text{R}} < EP \leq 0,75R_{\text{R}}$	$0,50 < T \leq 0,75$
B	$0,75R_{\text{R}} < EP \leq 1,00R_{\text{R}}$	$0,75 < T \leq 1,00$
Γ	$1,00R_{\text{R}} < EP \leq 1,41R_{\text{R}}$	$1,00 < T \leq 1,41$
Δ	$1,41R_{\text{R}} < EP \leq 1,82R_{\text{R}}$	$1,41 < T \leq 1,82$
Ε	$1,82R_{\text{R}} < EP \leq 2,27R_{\text{R}}$	$1,82 < T \leq 2,27$
Ζ	$2,27R_{\text{R}} < EP \leq 2,73R_{\text{R}}$	$2,27 < T \leq 2,73$
Η	$2,73R_{\text{R}} < EP$	$2,73 < T$

Εικόνα 1.25 Ενεργειακές κατηγορίες κτιρίων σε σύγκριση με κτίριο αναφοράς, ΤΕΕ

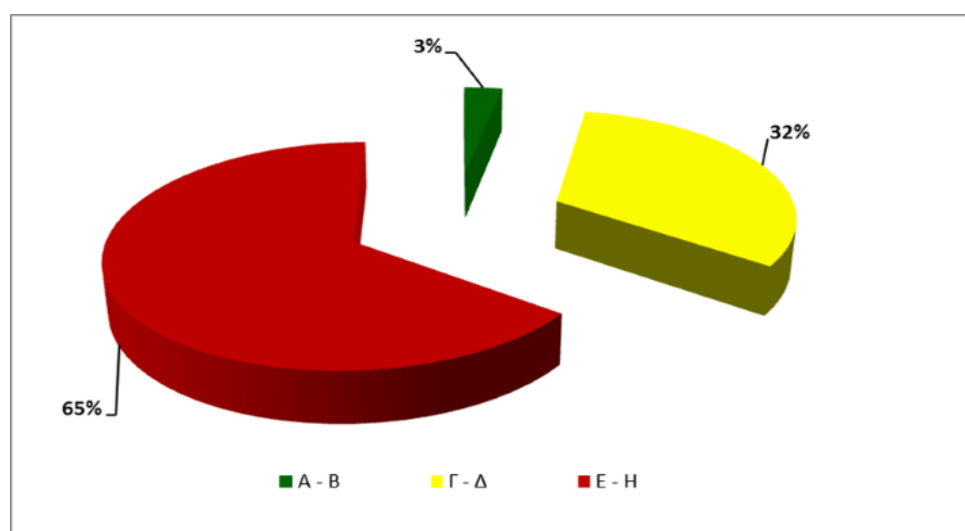
Οι πιο πρόσφατες οδηγίες που έχουν επίσημα δημοσιευτεί σύμφωνα με το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος (ΤΕΕ) για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων είναι:

- ΤΟΤΕΕ 20701-1/2017_ ΦΕΚ 4003B/17-11-2017_ *Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης*
- ΤΟΤΕΕ 20701-2/2017_ ΦΕΚ 4003B/17-11-2017_ *Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας των κτιρίων*
- ΤΟΤΕΕ 20701-3/2010_ ΦΕΚ 2945B/3-11-2014_ *Κλιματικά δεδομένα ελληνικών περιοχών*
- ΤΟΤΕΕ 20701-4/2017_ ΦΕΚ 4003B/17-11-2017_ *Οδηγίες και έντυπα ενεργειακών επιθεωρήσεων κτηρίων, λεβήτων και εγκαταστάσεων θέρμανσης και εγκαταστάσεων κλιματισμού*
- ΤΟΤΕΕ 20701-5/2017_ ΦΕΚ 4003B/17-11-2017 *Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού, Θερμότητας και Ψύξης: Εγκαταστάσεις σε κτήρια*

Στην Εικόνα 1.26 παρουσιάζεται το ποσοστό κτιρίων κατοικιών ανα περιφέρεια της χώρας που έχουν εκδόσει ΠΕΑ την πενταετία 2011-2016 , ενώ στην Εικόνα 1.27 αναγράφεται το ποσοστό των κατοικιών που ανήκουν σε κάθε ενεργειακή κλάση για την ίδια χρονική περίοδο, σύμφωνα με το κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας [16].

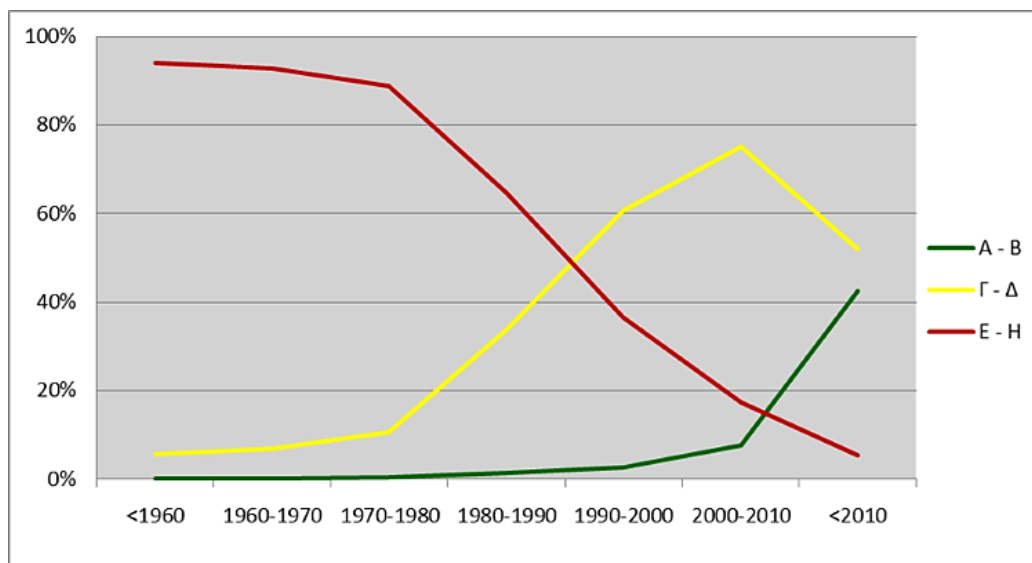


Εικόνα 1.26 Ποσοστιαία κατανομή ΠΕΑ κτιρίων κατοικίας ανά περιφέρεια , περίοδος 2011-2016, ΚΑΠΕ



Εικόνα 1.27 Ποσοστά κτιρίων κατοικίας ανά ενεργειακή κατηγορία, περίοδος 2011-2016, ΚΑΠΕ

Όπως διαπιστώνεται , πριν από την εφαρμογή του Κανονισμού Θερμομόνωσης (ΚΘ) των κτιρίων (1980), το μεγαλύτερο μέρος των κατοικιών βρισκόταν στη χειρότερη ενεργειακή κατηγορία «Η». Με την μετέπειτα εφαρμογή του ΚΘ αυξήθηκε σημαντικά το ποσοστό κατάταξης σε υψηλότερες ενεργειακές κατηγορίες «Γ-Δ» , λόγω μερικών ή ριζικών ανακαινίσεων. Πλέον με την εφαρμογή του νεότερου Κ.Εν.Α.Κ. (2011) όπως αναφέρθηκε, τα νέα κτίρια κατοικίας που κατασκευάστηκαν ή υπέστησαν ολική ανακαίνιση απο το 2010 και έπειτα κατατάσσονται ήδη στις βέλτιστες ενεργειακές κλάσεις «Α-Β» (Εικόνα 1.28) [16].



Εικόνα 1.28 Ποσοστιαία κατανομή κτιρίων κατοικιών ανά δεκαετία κατασκευής και ενεργειακή κλάση, ΚΑΠΕ

1.3 ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΤΙΡΙΩΝ

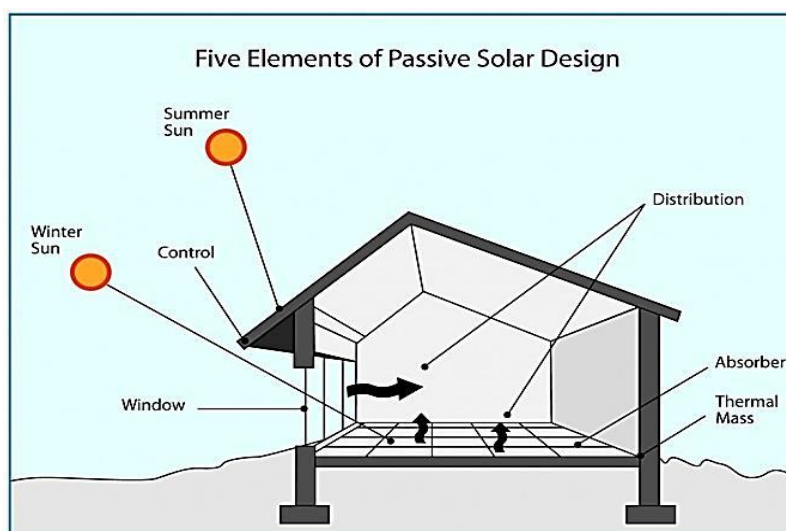
1.3.1. Αρχές βιοκλιματικού σχεδιασμού



Εικόνα 1.29 "Πράσινα κτίρια": εφαρμογές αρχών βιοκλιματικού σχεδιασμού

Ως βιοκλιματικός σχεδιασμός ή βιοκλιματική αρχιτεκτονική ορίζεται ο σχεδιασμός κτιριακών έργων και χώρων (εσωτερικών, εξωτερικών ή υπαίθριων) με βασική επιδίωξη την εξασφάλιση συνθηκών θερμικής και οπτικής άνεσης, με όσο το δυνατόν πιο εκτεταμένη χρήση παθητικών συστημάτων δροσισμού και θέρμανσης. Αυτή η προσέγγιση σχεδιασμού έχει σαν κύρια μέσα την αξιοποίηση ηλιακής ενέργειας (και άλλων ανανεώσιμων πηγών), το τοπικό μικροκλίμα, τον προσανατολισμό του κτιρίου, καθώς και τις ιδιότητες των υλικών δόμησης και λοιπών αρχιτεκτονικών στοιχείων (Εικόνα 1.30). Αποτελεί μια προσέγγιση που συναντάμε όλο και περισσότερο στις μέρες μας όταν αναφερόμαστε στις τεχνικές προδιαγραφές που πρέπει να έχουν τα κτίρια του μέλλοντος [22].

Το εξαιρετικά ενεργοβόρο κτιριακό αποτύπωμα και η επίδραση του στην οικονομία, το περιβάλλον και την κλιματική αλλαγή αποτελούν ιδιαίτερη πρόκληση για τον κατασκευαστικό τομέα και καθίσταται αναγκαία η βέλτιστη αξιοποίηση των δυνατοτήτων εξοικονόμησης που υπάρχουν. Οι χαμηλές απαιτήσεις ενέργειας για την ικανοποίηση αναγκών σε θέρμανση, ψύξη και φωτισμό αποτελούν ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής, η οποία κατά αυτόν τον τρόπο αποτελεί το πιο χρήσιμο εργαλείο στην κατεύθυνση της περιβαλλοντικής πολιτικής [22].



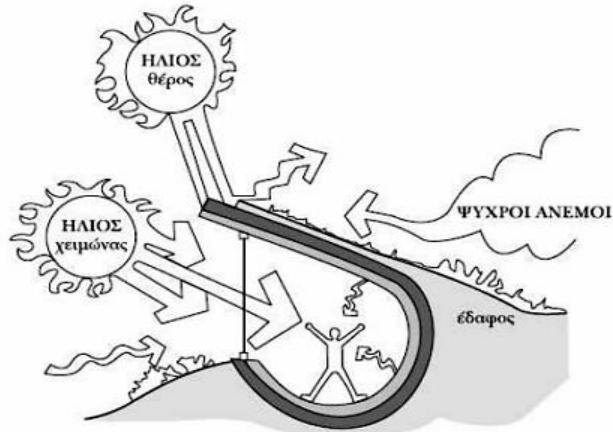
Εικόνα 1.30 Στοιχεία παθητικού σχεδιασμού κτιρίου

Το ζητούμενο στον βιοκλιματικό σχεδιασμό είναι η όσο το δυνατόν πιο πλήρης κάλυψη των ενεργειακών αναγκών κτιρίων (π.χ. βιομηχανικών μονάδων, κτιρίων γραφείων, κτιρίων κατοικίας κλπ) και ακόμη στο ετήσιο ισοζύγιο να είναι όσο πιο μηδενική η επιβάρυνση του περιβάλλοντος με εκπομπές βλαβερών αερίων. Άρα λαμβάνοντας υπόψη το κλίμα της εκάστοτε περιοχής και αξιοποιώντας τις διαθέσιμες περιβαλλοντικές πηγές (ήλιο, αέρα-άνεμο, νερό, έδαφος), στόχος είναι η εξασφάλιση των απαραίτητων εσωκλιματικών συνθηκών για τους χρήστες του χώρου, δηλαδή θερμική και οπτική άνεση αλλά και ποιότητα αέρα. Τεχνικές που χρησιμοποιούνται κυρίως αποτελούν η θερμική προστασία του κελύφους, τα παθητικά ηλιακά συστήματα, συστήματα φυσικού δροσισμού, συστήματα φυσικού φωτισμού και ακόμη η όσο γίνεται ορθολογική διαχείριση χρήσης ενέργειας (δημιουργία θερμικών ζωνών και αποθήκευση θερμότητας στη θερμική μάζα του κτιρίου για χρησιμοποίηση αργότερα) [23].

Σύμφωνα με το κέντρο ανανεωσίμων πηγών ενέργειας, στην Ελλάδα τα βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής κτίρια παρουσιάζουν ενεργειακή εξοικονόμηση της τάξης του 30% σε σχέση με συνήθη συμβατικά κτίρια, ενώ αν συγκριθούν με ακόμη παλαιότερα κτίρια, που κατά πλειοψηφία δεν έφεραν μονωτικά στοιχεία, η αντίστοιχη εξοικονόμηση θα πλησίαζε το ποσοστό του 80% [33].

Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός βασίζεται στις παρακάτω αρχές :

- Κατάλληλη θερμομόνωση και αεροστεγάνωση του κτιρίου και των ανοιγμάτων του – θερμική προστασία στο εξωτερικό κέλυφος, εφαρμογή τόσο το χειμώνα για διατήρηση θερμότητας στο εσωτερικό όσο και το καλοκαίρι για αποφυγή εξωτερικών θερμικών κερδών αντίστοιχα.
- Εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας για θέρμανση των κτιρίων και των εσωτερικών χώρων χρήσης το χειμώνα και παράλληλα αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού που προσφέρει καθ'όλη τη διάρκεια του έτους. Σημαντικό ρόλο σε αυτά παίζει ο προσανατολισμός του κτιρίου και αντίστοιχα η διάρθρωση των χώρων ανάλογα τις θερμικές τους ανάγκες ,με ευνοικότερο ενεργειακά τον νότιο προσανατολισμό. Η χρήση παθητικών ηλιακών συστημάτων αφορά τη συλλογή της ηλιακής ακτινοβολίας και αποτελούν «φυσικά» συστήματα θέρμανσης και φωτισμού του εσωτερικού χώρου. Το χειμώνα η χαμηλή θέση του ηλίου (που μεταφράζεται σε μικρές γωνίες προσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας) μπορεί να γίνει εκμεταλλεύσιμη για σημαντική διείσδυση στο εσωτερικό του κτιρίου και πρόσδοση θερμότητας τόσο άμεσα όσο και έμμεσα με αποθήκευση στη θερμική μάζα του κελύφους (Εικόνα 1.31). Τα δομικά υλικά με τη σειρά τους έχουν κατάλληλη ειδική θερμοχωρητικότητα και μπορούν να αποδώσουν ετεροχρονισμένα την αποθηκευμένη ενέργεια.
- Τους θερινούς μήνες επιτακτικό ρόλο παίζει η προστασία του κτιρίου απο τον καλοκαιρινό ήλιο που βρίσκεται ψηλά στον ουρανό και έχει μεγάλες γωνίες πρόσπτωσης. Άρα μέσω κατάλληλης κατασκευής του κελύφους και εφαρμογής συστημάτων σκίασης μπορούν να αποκλειστούν σημαντικά τα θερινά θερμικά κέρδη.
- Συστήματα και τεχνικές παθητικού δροσισμού είναι εξίσου σημαντικά διότι απομακρύνουν την θερμότητα που συσσωρεύεται τους θερινούς μήνες απο το εσωτερικό προς το εξωτερικό περιβάλλον. Ένα παράδειγμα είναι ο φυσικός αερισμός κατά τις νυχτερινές ώρες.
- Εξασφάλιση επαρκούς φυσικού φωτισμού και έλεγχος της φωτεινής ακτινοβολίας ,ώστε μεν να υπάρχει επάρκεια με όσο δυνατόν λιγότερη χρήση τεχνητών μέσω φωτισμού, όσο και να γίνεται η βέλτιστη κατανομή του φωτός μέσα στους εσωτερικούς χώρους.
- Συμπληρώνοντας τις παραπάνω αρχές, παράλληλη βελτίωση του κλίματος πέριξ των κτιρίων με κατάλληλο σχεδιασμό των εξωτερικών χώρων και του δομημένου περιβάλλοντος προς αυτήν την ενεργειακή κατεύθυνση [23].



Εικόνα 1.31 Εκμετάλλευση/απόρριψη ηλίου, Θερμική Συμπεριφορά Κτιρίων ΕΜΠ

Επομένως σαν στόχους του βιοκλιματικού σχεδιασμού μπορούμε να ορίσουμε :

Για το χειμώνα :

- ✓ Εξασφάλιση ηλιασμού
- ✓ Προστασία απο δυνατούς ανέμους
- ✓ Ελαχιστοποίηση απωλειών θερμότητας

Για το καλοκαίρι :

- ✓ Ηλιακή προστασία – χρήση σκίασης
- ✓ Εκμετάλλευση δροσερών ανέμων
- ✓ Απομάκρυνση πλεονάζουσας θερμότητας

Απο πρώιμο κατασκευαστικό στάδιο, ουσιαστικό ρόλο στην μετέπειτα ενεργειακή απόδοση έχει τόσο η χωροθέτηση όσο και η αρχιτεκτονική δομή του κτιρίου και η «έξυπνη» εσωτερική διαρρύθμιση όπως αναφέρονται παρακάτω [23].

1.3.2. Αρχιτεκτονική δομή κτιρίου

Επισημαίνονται τα παρακάτω στοιχεία :

- ✓ Για μια κατοικία το καταλληλότερο σχήμα είναι το επιμήκες κατά τον άξονα ανατολής – δύσης. Εάν το σχήμα του οικοπέδου-χώρου δόμησης δεν επιτρέπει τέτοιο προσανατολισμό τότε πρέπει να γίνει κατάλληλη διαμόρφωση με τρόπο ώστε να υπάρξουν «σπαστοί» όγκοι που θα εξασφαλίζουν τον απαραίτητο ηλιασμό το χειμώνα όλοι οι χώροι του κτίσματος.
- ✓ Για καλύτερη προστασία απο θερμοκρασιακές μεταβολές οι τοίχοι του κτιρίου θα πρέπει να είναι κατασκευασμένοι απο συμπαγή υλικά , ενώ παράλληλα οι υαλοπίνακες των ανοιγμάτων να λειτουργούν σαν ηλιακοί συλλέκτες.

- ✓ Προς την νότια κατεύθυνση προτείνονται μεγάλα ανοίγματα καθώς είναι ο ευνοικότερος ενεργειακά προσανατολισμός και θα αποτελέσει την κύρια είσοδο θερμικών κερδών τους χειμερινούς μήνες.
- ✓ Σε ανατολική και δυτική όψη του κτιρίου συστήνεται χρήση μεσαίου μεγέθους ανοιγμάτων, ενώ στους βορεινούς χώρους τα μικρότερα.
- ✓ Κατάλληλη τοποθέτηση ανοιγμάτων για εύνοια διαμπερή αερισμού .
- ✓ Έξυπνη χωροθέτηση των εσωτερικών τμημάτων του κτιρίου ώστε κάθε χώρος να αντιστοιχίζει τις θερμικές ανάγκες του με την θερμική ικανότητα που προσφέρει η βιοκλιματική αρχιτεκτονική. Πιο αναλυτικά , δεδομένου οτι η βόρεια πλευρά αποτελεί την πιο ψυχρή και λιγότερο φωτεινή , αυτοί οι χώροι προορίζονται για δωμάτια με ολιγόωρη χρήση. Αντίστοιχα οι κύριοι χώροι χρήσης θα εκμεταλλευτούν τον νότιο προσανατολισμό και θα είναι τα πιο θερμά τμήματα του εσωτερικού χώρου, ενώ οι δευτερεύοντες χώροι θα λειτουργήσουν σαν ζώνες προστασίας ανάσχεσης θερμικών απωλειών των πρώτων.
- ✓ Πιθανή εκμετάλλευση θερμικής αδράνειας του εδάφους όπου αυτό είναι δυνατό πχ. εδάφη με μεγάλη κλίση [22].

1.3.3. Χωροθέτηση κτιρίου στο οικοπέδο

Για να οριστεί ο προσανατολισμός και το σχήμα ενός υπο κατασκευή κτιρίου σημαντικό παράγοντα θα αποτελέσουν οι γωνίες πρόσπτωσης των ηλιακών ακτινών ανάλογα και τον τόπο, την εποχή και ώρα της ημέρας , αφού όπως διευκρινίστηκε και παραπάνω βασικός στόχος είναι η μέγιστη δυνατή συλλογή ηλιακής ενέργειας το χειμώνα και αντίστοιχα η αποφυγή της το καλοκαίρι [22]. Επομένως θα πρέπει να δοθεί σημασία στα εξής βήματα :

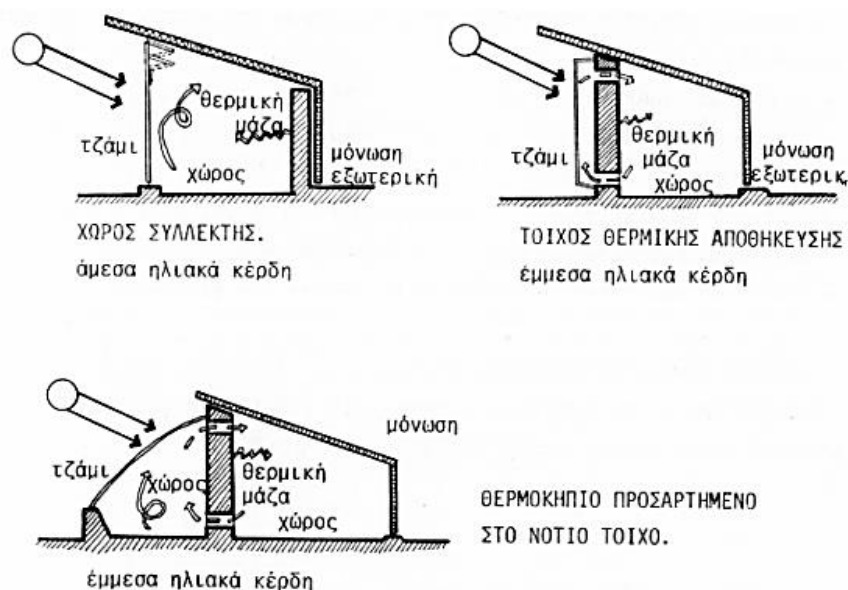
- ✓ Προσανατολισμός του οικοπέδου στον ηλιακό χάρτη
- ✓ Προσδιορισμός απόκλισης απο νότο (εάν υπάρχει)
- ✓ Ορισμός απέναντι και τριγύρω εμποδίων με χρήση αζιμουθίων ή οργάνων
- ✓ Καθορισμός σκιασμού περιβάλλοντος χώρου του υπο έλεγχο οικοπέδου ή κτιρίου

Στοιχεία του βιοκλιματικού σχεδιασμού αποτελούν και τα παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης και τα παθητικά συστήματα ψύξης τα οποία περιγράφονται παρακάτω.

1.3.4. Παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης

Οι κλιματολογικές συνθήκες αποτελούν πάντα σημαντικό παράγοντα στον κατασκευαστικό τομέα δεδομένου οτι κάθε κτίριο, ιδίως κατοικίας, μπορεί να επωφεληθεί απο τον ήλιο και να απορροφά θερμότητα προς το εσωτερικό μέσω του εξωτερικού κελύφους. Σε ένα κτίριο που η θερμική ροή επιτυγχάνεται με φυσικούς τρόπους (μετάδοση με αγωγή, συναγωγή και ακτινοβολία) και αυτή καλύπτει περισσότερο απο τη μισή απαίτηση για θέρμανση τότε το κτίριο αποτελεί ηλιακή παθητική κατασκευή ή παθητικό κτίριο, με τεχνικές όπως φαίνονται στην Εικόνα 1.32 [2].

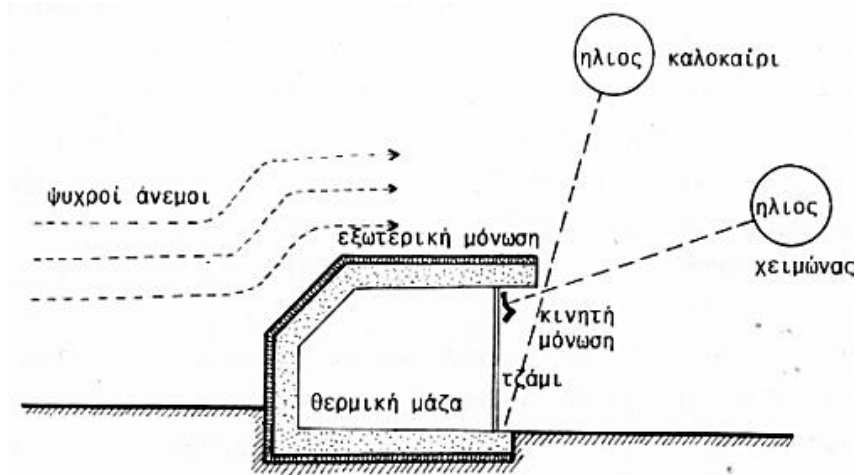
Η παθητική εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας μπορεί να επιτευχθεί είτε με σύστημα άμεσου κέρδους είτε με σύστημα έμμεσου ηλιακού κέρδους.



Εικόνα 1.32 Στοιχεία παθητικής θέρμανσης, Θερμική Συμπεριφορά Κτιρίων ΕΜΠ

Στην πρώτη περίπτωση, η οποία είναι και ευκολότερη, συμμετέχουν σημαντικά οι νότια προσανατολισμένοι υαλοπίνακες και συγκεκριμένα η μεγάλη γυάλινη επιφάνεια με ενεργειακά παράθυρα και τζάμια, ενώ παράλληλα η κατάλληλη εξωτερική μόνωση σε μια θερμική μάζα τοίχων και οροφών απο μπετόν και τούβλα θα έχει πολλά πλεονεκτήματα. Το κυριότερο είναι η χρονική υστέρηση που δημιουργεί στην απόδοση της θερμότητας μέσα στο χώρο που σημαίνει ότι θα συνεχίσει τη θερμική ροή και μετά τη δύση του ηλίου. Είναι συνήθως υπο τη μορφή μονωμένης εξωτερικά τοιχοποιίας με «βαριά» υλικά μεγάλης ειδικής θερμοχωρητικότητας που αποθηκεύουν και απελευθερώνουν θερμότητα κατάλληλα την ώρα της ημέρας. Τα συνήθη υλικά τέτοιας δόμησης στα ελληνικά κτίρια είναι το σκυρόδεμα (μπετόν), οι πλίνθοι (τούβλα) και οι πέτρες [2].

Στο κομμάτι των ανοιγμάτων, το είδος, η κλίση και η κατάλληλη επιλογή υαλοπινάκων παίζουν σημαντικό ρόλο στην ενεργειακή απόδοση και εξοικονόμηση. Ευνοικότερες είναι οι κατακόρυφου τύπου γυάλινες επιφάνειες διότι αφενός δέχονται την περισσότερη ηλιακή ενέργεια κατά τους χειμερινούς μήνες και αφετέρου μικρότερα θερμικά κέρδη το θέρος απο ότι θα ήταν σε εφαρμογές υπο κλίση. Το καλοκαίρι που ο ήλιος είναι ψηλά και έχει μεγάλες γωνίες πρόσπτωσης η ακτινοβολία περιορίζεται, και ακόμα περισσότερο με τη χρήση σκιάστρων ίσως και να αποκλείεται εντελώς. Ένας υαλοπίνακας κεκλιμένος ακόμα και με μικρή γωνία ως προς τον ορίζοντα (15° - 30°) μπορεί να παραλάβει πολύ μεγαλύτερα θερμικά φορτία το καλοκαίρι και μικρότερα κέρδη το χειμώνα [2].

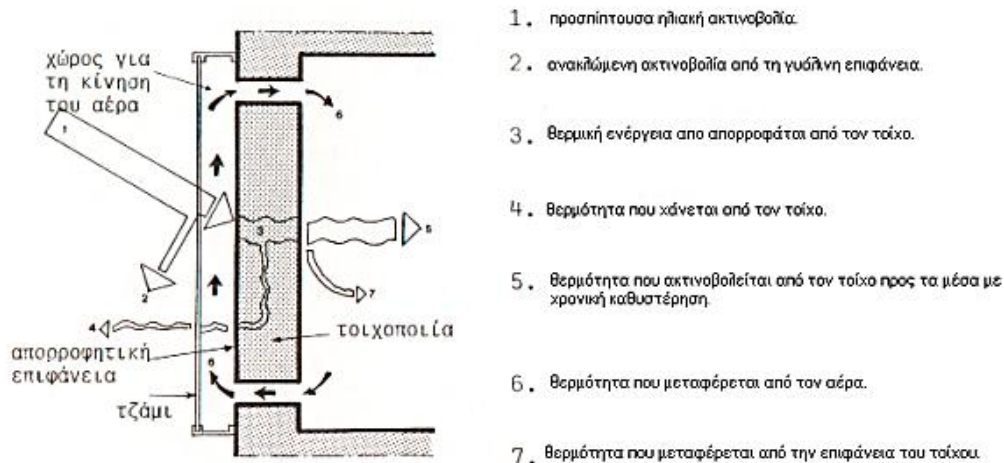


Εικόνα 1.33 Αρχή παθητικού σχεδιασμού , Θερμική Συμπεριφορά Κτιρίων ΕΜΠ

Τα συστήματα *αμέσου ηλιακού κέρδους* αποτελούν σημαντική λύση εξοικονόμησης που λειτουργούν «αυτόματα» τόσο απο τη θέση του ήλιου όσο και την εκάστοτε εποχή του χρόνου, επομένως προς την κατεύθυνση εκμετάλλευσής τους μπορούμε να συνοψίσουμε :

- ✓ Θερμική προστασία στο εξωτερικό τμήμα του κελύφους – εξωτερική θερμομόνωση
- ✓ Μεγάλα ανοίγματα, σωστή κλίση και χρήση ενεργειακών υαλοπινάκων στο νότιο προσανατολισμό
- ✓ Οργάνωση εσωτερικών χώρων προς το νότο
- ✓ Μεγάλη θερμική μάζα κτιρίου για απορρόφηση και μετέπειτα απόδοση θερμότητας

Στη δεύτερη περίπτωση υπάρχει το σύστημα *έμμεσου ηλιακού κέρδους* , που βρίσκει βασική εφαρμογή στην κατασκευή τοίχων Trombe ή αλλιώς τοίχων θερμικής αποθήκευσης (Εικόνα 1.34). Πρόκειται για κατασκευή απο υλικά υψηλής θερμοχωρητικότητας (συμπαγή ενισχυμένα τούβλα ή σκυρόδεμα συνήθως) και η εξωτερική τους επιφάνεια είναι σκούρου χρώματος, συνήθως μαύρου, για μεγιστοποίηση απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας. Αυτή η θερμική ενέργεια στη συνέχεια μεταδίδεται με αγωγή διαμέσου των υλικών του τοίχου και με συναγωγή και ακτινοβολία απο την εσωτερική πλέον πλευρά του τοίχου προς τον εσωτερικό χώρο [2].



Εικόνα 1.34 Τοίχος Trombe θερμικής αποθήκευσης , Θερμική Συμπεριφορά Κτιρίων ΕΜΠ

Η τοποθέτηση γίνεται σε μικρή απόσταση πίσω από διπλό υαλοπίνακα , της τάξεως των 10 - 15 εκατοστών, ενώ ο χρόνος που η θερμότητα θα διαπεράσει τον παχύ τοίχο και θα αποδοθεί στον εσωτερικό χώρο μπορεί να πάρει πολλές ώρες, κάτι που είναι θεμιτό αφού η απαίτηση θερμότητας θα προκύψει νυχτερινές ώρες. Στους τοίχους θερμικής αποθήκευσης υπάρχουν ακόμη οι λεγόμενες θυρίδες εισαγωγής και εξαγωγής αέρα στο άνω και κάτω τμήμα του τοίχου και οι οποίες λειτουργούν με πολύ απλό τρόπο. Κατά τη διάρκεια της ημέρας τον χειμώνα παραμένουν ανοικτές και η είσοδος του ψυχρού αέρα από την κάτω θυρίδα παραλαμβάνει την θερμότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που έχει «εγκλωβιστεί» μεταξύ του κενού τοίχου και τζαμιού, οπότε θερμαίνεται και με φυσική κυκλοφορία εξέρχεται από την άνω θυρίδα και εισέρχεται ζεστός πλέον στον εσωτερικό χώρο [2].

Σε περίπτωση εξαναγκασμένης συναγωγής προστίθεται κατάλληλος ανεμιστήρας που διευκολύνει την ροή και την ενεργειακή αναβάθμιση του εσωτερικού αέρα . Στην περίπτωση της νύκτας ή ημέρας με νέφωση οι άνω θυρίδες του τοίχου μπορούν να μείνουν κλειστές για να εμποδιστεί η αντίστροφη κίνηση του θερμού αέρα από το χώρο προς την ψυχρή επιφάνεια του υαλοπίνακα, ενώ κατά τη διάρκεια του θέρους απαιτείται ηλιοπροστασία όλης της συλλεκτικής επιφάνειας συνήθως με εξωτερικό σύστημα [2].

Σύστημα θερμικής συμπεριφοράς θερμοκηπίου

Ιδιαίτερη περίπτωση αποτελεί η *θερμική συμπεριφορά του θερμοκηπίου*.

Σε αυτή τη λειτουργία κατά τη διάρκεια της ημέρας η ηλιακή ακτινοβολία γίνεται εκμεταλλεύσιμη και αφήνεται να διέλθει διαμέσου κατάλληλης διαφανούς επιφάνειας και μεν θερμαίνει με άμεσο τρόπο, δε απορροφάται από τη θερμική μάζα των δομικών υλικών. Η απόδοση ενός τέτοιου συστήματος θα εξαρτηθεί κυρίως από τον προσανατολισμό, το μέγεθος και την κλίση των υαλοστασίων, τα υλικά κατασκευής και η σύνδεση με τοίχους θερμικής αποθήκευσης του κτιρίου [2].

Η ευνοικότερη λειτουργία περιλαμβάνει σύνδεση με σύστημα θερμικής αποθήκευσης που θα διαχωρίζει το θερμοκήπιο από τον εσωτερικό χώρο ενώ σημαντική είναι η αύξηση της θερμικής μάζας.



Εικόνα 1.35 Σύστημα θερμοκηπίου , Θερμική Συμπεριφορά Κτιρίων ΕΜΠ

Για την πρακτική εφαρμογή πρέπει να κατασκευαστεί το θερμοκήπιο μπροστά από το εξωτερικό νότιο τμήμα του κτιρίου , αλλά αυτό έχει ως αποτέλεσμα να αυξάνεται το θερμικό κέρδος το καλοκαίρι και αντίστοιχα να μειώνονται οι θερμικές απώλειες το χειμώνα διότι το θερμικό ισοζύγιο ημέρας (κέρδος μείον απώλειες) είναι θετικό. Πιο αναλυτικά, τα θερμοκήπια στα κτίρια αποτελούν συνήθως κλειστούς χώρους στο νότιο τμήμα με σημαντικό μέγεθος γυάλινων επιφανειών που δέχονται το μεγαλύτερο κομμάτι της ηλιακής ακτινοβολίας και ο θερμός αέρας μπορεί να διοχετευτεί μέσα στον κύριο εσωτερικό χώρο (Εικόνα 1.35) και η θερμότητα να αποθηκευτεί από τους εσωτερικούς τοίχους.

Τη νύχτα η θερμότητα αποβάλλεται στο περιβάλλον με ακτινοβολία και το θερμικό ισοζύγιο γίνεται αρνητικό, όπως παρίσταται και σχηματικά στην Εικόνα 1.36. Το μέγεθος του συστήματος θερμοκηπίου εξαρτάται από το μέγεθος του εσωτερικού χώρου, τη διαθέσιμη επιφάνεια στο νότιο τμήμα και την απαίτηση θέρμανσης. Η βέλτιστη κλίση του υαλοστασίου είναι 30° - 65° για εύκρατα κλίματα ως αναφορά με το οριζόντιο επίπεδο και εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος [2].



Εικόνα 1.36 Κίνηση θερμικών ροών μέρα και νύχτα , Θερμική Συμπεριφορά Κτιρίων ΕΜΠ

Παρόλαυτα η εφαρμογή του συστήματος του θερμοκηπίου χωρίς περαιτέρω άλλη ρύθμιση δεν καθίσταται συμφέρουσα. Τους θερινούς μήνες η θερμική συμπεριφορά αναστρέφεται, η ένταση της ηλιακής ενέργειας είναι αυξημένη και πιθανών να δημιουργηθούν στο εσωτερικό του θερμοκηπίου συνθήκες υπερθέρμανσης, κυρίως όταν θα υπάρξει ανεπαρκής αερισμός. Αυτό σημαίνει συνολικά ότι πρέπει να εφαρμοστούν οι κατάλληλες ρυθμίσεις ηλιοπροστασίας για το καλοκαίρι ώστε να ελαχιστοποιηθούν τα μειονεκτήματα, και η κατάλληλη προστασία το χειμώνα για να μεγιστοποιηθούν τα πλεονεκτήματα. Η διαφορά του τοίχου θερμικής αποθήκευσης από το σύστημα θερμοκηπίου είναι ότι στην πρώτη περίπτωση κατασκευάζεται παχύς τοίχος σε απόσταση λίγων εκατοστών από την γυάλινη επιφάνεια, ενώ στη δεύτερη κατασκευάζεται ολόκληρος χώρος που παραλαμβάνει και διοχετεύει τα θερμικά κέρδη και μπορεί και να κατοικηθεί [2].

1.3.5 Συστήματα παθητικής ή φυσικής ψύξης

Το κομμάτι της μείωσης της θερμοκρασίας του εσωτερικού χώρου και η εξασφάλιση θερμικής άνεσης μέσω απαιτούμενου αερισμού και απομάκρυνσης θερμότητας αποτελεί το αντικείμενο μελέτης της παθητικής ψύξης. Η διαδικασία αυτή εκμεταλλεύεται τις τοπικές κλιματικές συνθήκες και τον παθητικό σχεδιασμό του κτιρίου ώστε να επιτευχθεί ο επαρκής δροσισμός μέσω της κυκλοφορίας του αέρα κατά τους θερινούς μήνες. Για την λειτουργία παθητικής (ή φυσικής) ψύξης σε ένα κτίριο κατοικίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφοροι συνδυασμοί ανάκτησης θερμότητας από το εσωτερικό για δημιουργία δροσιάς και μείωσης θερμοκρασίας [2], όπως τα εξής :

- ✓ Με τον περιβάλλοντα αέρα (φυσική ψύξη με εξάτμιση ή μεταφορά θερμότητας)
- ✓ Με την περιβάλλουσα ατμόσφαιρα (φυσική νυχτερινή ψύξη με ακτινοβολία)
- ✓ Με το υπέδαφος (άμεση και έμμεση φυσική ψύξη)

Η παθητική ψύξη με βάση τις παραπάνω αρχές και για κάθε κλιματικό τύπο διέπεται από συγκεκριμένες διαδικασίες και μπορεί να αναλυθεί στις παρακάτω κατηγορίες :

- ✓ Μείωση στο ελάχιστο των θερμικών ροών στο εσωτερικό του κτιρίου κατά το καλοκαίρι. Τρόποι επίτευξης: α) Προστασία κελύφους από τον ήλιο, β) αποτελεσματική σκίαση των υαλοπινάκων, γ) ανοιχτά χρώματα στέγης και τοίχων για ανακλαστικότητα ηλιακής ακτινοβολίας
- ✓ Χρήση διασταυρούμενου φυσικού αερισμού με τη χρήση των κατάλληλων ανοιγμάτων που θα δημιουργεί συνθήκες άνεσης κατά την ημέρα (κυρίως απογευματινές ώρες) και θα αποβάλλει την συσσωρευμένη θερμότητα κατά τη νύκτα. Είναι η πιο σημαντική κατηγορία φυσικής ψύξης και σε περίπτωση ανεπαρκούς ταχύτητας ανέμου η ενεργητική συμμετοχή συσκευής ανεμιστήρα θα επιτάχυνε τη διαδικασία

- ✓ Αξιοποίηση της κατεύθυνσης των ανέμων της περιοχής και κατάλληλος σχεδιασμός ανοιγμάτων των παραθύρων . Αυτό σε συνδυασμό με την γενική αρχή ότι επιλέγεται νότιος προσανατολισμός για την μεγαλύτερη πλευρά του κτιρίου που ελαχιστοποιεί την ηλιακή ακτινοβολία το θέρος και την μεγιστοποιεί το χειμώνα αντίστοιχα
- ✓ Σε περιπτώσεις ξηρών και θερμών κλιμάτων η φυσική ψύξη μπορεί να πραγματοποιηθεί με εξάτμιση νερού στο σημείο εισόδου του αέρα στον εσωτερικό χώρο. Ακόμη εφαρμόζεται εξάτμιση σταγονιδίων νερού για ψύξη του περιβλήματος του κτιρίου με διαβροχή της στέγης ή του δώματος
- ✓ Ψύξη με νυχτερινή ακτινοβολία θερμότητας (θερινοί μήνες). Τις νυχτερινές ώρες που η θερμοκρασία του περιβλήματος είναι μεγαλύτερη απο του περιβάλλοντος και του ουρανού, η αποθηκευμένη θερμότητα ακτινοβολείται πίσω στο περιβάλλον και δροσίζει το κτίριο. Η θερμοκρασία κάθε επιφάνειας εξαρτάται απο τον συντελεστή απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας και την ειδική θερμοχωρητικότητα των δομικών υλικών που την αποτελούν. Απο φυσικών ιδιοτήτων των υλικών προκύπτει οτι η εξωτερική επιφάνεια του κελύφους πρέπει να έχει όσο πιο μεγάλο γίνεται συντελεστή εκπομπής υπέρυθρης ακτινοβολίας ώστε να αποδίδει την συγκεντρωμένη μέσα της θερμότητα πίσω στον ατμοσφαιρικό αέρα
- ✓ Εκμετάλλευση της θερμικής κατάστασης του υπεδάφους.

Αξίζει να σημειωθεί οτι ανάλογα την περιοχή και τις τοπικές κλιματολογικές συνθήκες όπως την ηλιοφάνεια, τη θερμοκρασία, την υγρασία και την διαθεσιμότητα ανέμου, οι αρχές των παθητικών συστημάτων διαφέρουν και δεν είναι συστηματική η χρήση τους. Όπως είναι λογικό, σε ζώνες θερμού ή εύκρατου κλίματος ο σχεδιασμός μέτρων φυσικής ψύξης των κτιρίων καθίσταται υποχρεωτικός , αλλά για παράδειγμα οι μέθοδοι νυχτερινής ακτινοβολίας και ψύξης με εξάτμιση, κατά πως φαίνεται θα είχαν μεγαλύτερη απόδοση σε τόπους θερμού και ξηρού κλίματος, ενώ η εφαρμογή σε υγρές περιοχές δε θα είχε την ίδια απόδοση [2].

Φυσικός αερισμός

Οι βασικοί παράγοντες αξιοποίησης του φυσικού αερισμού είναι οι κλιματικές συνθήκες, προσανατολισμός κτιρίου, θέση και διαστάσεις ανοιγμάτων , η χρήση του κτιρίου και η δραστηριότητα των ανθρώπων. Είναι η πιο σημαντική και εύκολα εφαρμόσιμη διαδικασία φυσικής ή παθητικής ψύξης και επιτυγχάνεται με τη διείσδυση του εξωτερικού αέρα στους εσωτερικούς χώρους, ενώ όχι μόνο μειώνει ικανοποιητικά τη θερμοκρασία αλλά βελτιώνει και την ποιότητα του αέρα. Η φυσική ροή πραγματοποιείται με κατάλληλα ανοίγματα που λόγω της διαφοράς πίεσης που επικρατεί δημιουργούν την κίνηση. Η δεδομένη διαφορά πίεσης προκύπτει είτε απο την ύπαρξη ανέμου κάποιας ταχύτητας είτε σε θερμοκρασιακές διαφορές σε διάφορα σημεία, είτε σε συνδυασμό και των δύο. Η κίνηση του αέρα συμπαρασύρει και αποβάλλει την θερμότητα απο το εσωτερικό του κτιρίου ενώ επαφή με τους ανθρώπους επιταχύνει το ρυθμό εξάτμισης μέσω του δέρματος [2].

Στον φυσικό αερισμό ιδιαίτερο ρόλο παίζει η ταχύτητα και η διεύθυνση του ανέμου, ενώ η βέλτιστη ροή θεωρείται αυτή κατά μήκος στοιχείων μεγάλου όγκου του κτιρίου. Το μέγεθος, το σχήμα και η θέση των ανοιγμάτων πρέπει να επιλέγονται πολύ προσεκτικά τόσο για το κομμάτι της απομάκρυνσης ενέργειας αλλά και διότι τα επίπεδα αερισμού πρέπει να καλύπτουν επαρκώς στο ύψος του ανθρώπινου κεφαλιού και με ταχύτητα όχι τέτοια που πιθανώς να προκαλούσε δυσφορία.

Σε εύκρατες περιοχές απαιτείται μικρότερο ποσοστό φυσικού αερισμού κατά το χειμώνα ώστε να μην αυξάνονται οι θερμικές απώλειες, ενώ στους θερινούς μήνες είναι απαραίτητος για την εξασφάλιση όσο καλύτερων συνθηκών θερμικής άνεσης αφού η κίνηση του αέρα μειώνει την εσωτερική θερμοκρασία και απομακρύνει την περισεύον υγρασία του χώρου. Σε θερμές και ξηρές περιοχές ο αερισμός κατά τη διάρκεια της ημέρας είναι ασύμφορος, και αυτό λόγω υπερβολικά υψηλών θερμοκρασιών του εξωτερικού αέρα. Παραταύτα, αντίστροφη είναι η λειτουργία κατά τις νυχτερινές ώρες όπου ο φυσικός αερισμός ψύχει το εσωτερικό με μεγάλη απόδοση αφού μεν ο εξωτερικός αέρας έχει χαμηλότερη θερμοκρασία και δε η αποθηκευμένη θερμότητα στη θερμική μάζα πρέπει να απομακρυνθεί.

Στο κομμάτι του νυκτερινού αερισμού ο ψυχρότερος εξωτερικός αέρας κυκλοφορεί στο εσωτερικό και παραλαμβάνει την αποθηκευμένη θερμότητα στο κέλυφος και την απομακρύνει. Η θερμοκρασία της κτιριακής μάζας μειώνεται και ως αποτέλεσμα αυτού την επόμενη ημέρα ξεκινάει από χαμηλότερη θερμοκρασία τον νέο κύκλο υποδοχής ηλιακών θερμικών ροών και παράγει μικρότερο ψυκτικό φορτίο για το κτίριο και πιο δροσερό εσωτερικό χώρο για τους χρήστες. Όπως είναι λογικό αυτή η διαδικασία μπορεί να επιταχυνθεί με την εγκατάσταση στοιχείου ανεμιστήρα, τύπου οροφής συνήθως, που θα δημιουργήσει εξαναγκασμένη συναγωγή μεταξύ του αέρα και των εσωτερικών επιφανειών και πιο γρήγορη ελάττωση της θερμοκρασίας σε επίπεδα άνεσης [2].

Παθητική ψύξη με εξάτμιση

Αυτή η μέθοδος λειτουργεί με εξάτμιση νερού και προσθήκη στο ρεύμα αέρα που εισέρχεται στο εσωτερικό του κτιρίου, ενώ λειτουργεί κυρίως κατά τη διάρκεια της ημέρας σε τόπους ξηρού κλίματος και με εξωτερικό αέρα θερμοκρασίας άνω των 35°C. Για επίτευξη ικανοποιητικής θερμικής αίσθησης έχει το μειονέκτημα ότι απαιτεί πολλές αλλαγές αέρα ανά ώρα λόγω του εσωτερικού υγρού αέρα που και αυτό κατα συνέπεια επηρεάζει την ταχύτητά του μέσα στο χώρο. Σε τόπους όμως που διακρίνονται από σχετικά χαμηλά επίπεδα υγρασίας ίσως αποτελεί και την πιο συμφέρουσα μέθοδο φυσικής ψύξης με πολύ καλά αποτελέσματα.

Μια ιδιαίτερη κατηγορία φυσικής ψύξης με εξάτμιση, και ίσως πιο έμμεσος αλλά αποδοτικός τρόπος, αποτελεί η προσθήκη δεξαμενής νερού στο δώμα με ελεύθερη αμόνωντη επιφάνεια. Σε αυτό το σύστημα η θερμοκρασία επιφανείας του δώματος ελέγχει τη θερμοκρασία ψυχρού βολβού του νερού και καθιστά την οροφή σαν παθητική ψυκτική επιφάνεια, αφού μεταφέρει θερμότητα από το κάτω μέρος της [2].

Αυτή η διαδικασία έχει ως συνέπεια να πέφτει η θερμοκρασία στον εσωτερικό χώρο με σημαντικό ρόλο να παίζει ο τρόπος και το είδος κατασκευής της δεξαμενής νερού, η οποία όντας σε χαμηλή θερμοκρασία είτε λόγω σκίασης είτε λόγω μειωμένης νυχτερινής θερμοκρασίας παρέχει το ζητούμενο φυσικό ψυκτικό αποτέλεσμα.

Παθητική ψύξη με νυχτερινή ακτινοβολία

Σε αυτή τη διαδικασία η θερμότητα μεταφέρεται με τη μέθοδο της ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος απο τις θερμές επιφάνειες του κελύφους ,λόγω απορρόφησης ηλιακής ενέργειας κατά την ημέρα , προς τον περιβάλλοντα αέρα της ατμόσφαιρας. Αυτή η απόρριψη θερμότητας των υλικών παρέχει κάποιο φυσικό ψυκτικό αποτέλεσμα στο εσωτερικό του κτιρίου και γίνεται με δύο περιπτώσεις :

α) άμεση νυχτερινή ψύξη της επιφάνειας του δώματος , β) χρήση ελαφρά μονωμένου ειδικού σώματος που θα ψύχει τον περιβάλλοντα αέρα ή νερό και έπειτα θα ψύχει τη μάζα του κτιρίου.

Όλες οι επιφάνειες του εξωτερικού στρώματος του κελύφους ενός κτιρίου ακτινοβολούν θερμότητα κατά τη διάρκεια της νύχτας προς τον ουρανο , ο οποίος όσο πιο καθαρός είναι και με όσο χαμηλότερη υγρασία έχει στον αέρα, τόσο μεγαλύτερη ακτινοβολία εκπέμπεται. Δεδομένου οτι οι επιφάνειες θα πρέπει να είναι «ελεύθερες» και χωρίς πολλά εμπόδια, κατά συνέπεια οι οροφές των κτιρίων αποτελούν τα σημεία που ακτινοβολούν το μεγαλύτερο ποσό θερμότητας. Σε πρακτική εφαρμογή η φυσική ψύξη με ακτινοβολία απαιτεί την μη ύπαρξη μόνωσης στην οροφή, η οποία όμως αντίστροφα είναι χρήσιμη κατά τη διάρκεια της ημέρας για προστασία απο τον ήλιο και τα θερμικά του κέρδη. Επομένως αυτό το σύστημα δροσισμού προϋποθέτει πάντα μια ειδική κατασκευή όπως ο μεταλλικός ακτινοβολητής ή η λίμνη οροφής [2].

Δροσισμός μέσω του εδάφους

Η λειτουργία αυτής της μεθόδου έχει σαν βασική αρχή την θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ του υπεδάφους και του περιβαλλοντικού αέρα. Τους θερινούς μήνες, που κυρίως μας αφορά η επίτευξη δροσισμού, η θερμοκρασία σε σημεία του υπεδάφους, άλλοτε πιο επιφανειακά άλλοτε σε μεγαλύτερα βάθη, είναι κατά πολύ χαμηλότερη απο την θερμοκρασία του αέρα . Αυτό απορρέει στην σκέψη οτι θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί αυτή η θερμοκρασιακή διαφορά για παραλαβή του περισσεύοντος θερμικού φορτίου του κτιρίου απο το υπέδαφος και οι πρακτικοί τρόποι εφαρμογής τέτοιας διαδικασίας θα ήταν :

- ✓ απευθείας επαφή του κελύφους του κτιρίου ,ή μέρους του, με το υπέδαφος
- ✓ έμμεση χρήση υπεδάφους με κατάλληλους εναλλάκτες

Στην πρώτη περίπτωση επιτυγχάνεται μεταφορά θερμότητας μέσω αγωγής απο το περίβλημα του κτιρίου στο υπέδαφος, και η κατασκευή χαρακτηρίζεται ως υπόσκαφη ή ημιπύσκαφη. Βρίσκει αρκετές εφαρμογές σε παραδοσιακά ελληνικά κτίρια και στο εν λόγω κλίμα διακρίνεται απο σχετική ζέση το χειμώνα και δροσισμό το καλοκαίρι.Μειονέκτημα τέτοιων κατασκευών αποτελεί το κόστος και η σημαντική ανεπάρκεια επιπέδων φυσικού φωτισμού, ενώ τα σημεία που βρίσκονται σε επαφή με το υπέδαφος θα πρέπει να στερούνται μονωτικού υλικού για να ευνοείται η ζητούμενη θερμική ροή, πράγμα που δημιουργεί θερμογέφυρες.

Στη δεύτερη περίπτωση η χρήση εναλλάκτη εδάφους-αέρα δημιουργεί ένα κύκλο κυκλοφορίας αέρα σα ψυκτικό μέσο, που με κατάλληλες σωληνώσεις και τοποθέτηση στοιχείου ανεμιστήρα παραλαμβάνει και απορρίπτει τα ζητούμενα ποσά θερμότητας απο το κέλυφος στο υπέδαφος. Η τοποθέτηση γίνεται σε βάθος 1-3 μέτρων, οι σωληνώσεις είναι μεταλλικές ή απο υλικό PVC, ενώ απο τεχνολογικής σκοπιάς το σύστημα μπορεί συνδυαστεί με σύστημα κλιματισμού μειώνοντας θερμοκρασιακές διαφορές εισερχόμενου και εξερχόμενου αέρα, συμβάλλοντας στην εξοικονόμηση ενέργειας για ψύξη και θέρμανση [2].

1.4 ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1.4.1. Εισαγωγή

Η ενεργειακή απόδοση των κτιρίων βρίσκεται ψηλά στις προτεραιότητες της ευρωπαϊκής και εγχώριας ενεργειακής πολιτικής και δύναται να βοηθήσει στο κομμάτι της ενεργειακής κατανάλωσης , της ενεργειακής εξάρτησης , αλλά και της κλιματικής αλλαγής. Η ενεργειακή απόδοση των κτιρίων εν ολίγοις συμβάλλει σημαντικά στα παρακάτω :

- Μείωση ενεργειακών απαιτήσεων θέρμανσης και ψύξης
- Μείωση ενεργειακής εξάρτησης απο εισαγωγές καυσίμων πχ.πετρέλαιο,φυσικό αέριο
- Βελτίωση συνθηκών θερμικής άνεσης εσωτερικών χώρων χρήσης και ποιότητας ζωής ανθρώπων
- Μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα
- Δημιουργία θέσεων εργασίας στους τομείς που σχετίζονται με την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων [15]

Όπως είναι λογικό, η προσεκτική μελέτη ενός κτιρίου και η ενεργειακή του αναβάθμιση μπορεί να προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα στους χρήστες. Οι δυνατότητες για να επιτευχθεί εξοικονόμηση ενέργειας σε ένα συμβατικό κτίριο περιγράφεται σε ένα πλήθος βημάτων όπως :

- Αναβάθμιση του κελύφους του κτιρίου και των στοιχείων του (εξωτερική θερμομόνωση , ενεργειακοί υαλοπίνακες κλπ)
- Αναβάθμιση εγκαταστάσεων θέρμανσης , ψύξης και ZNX
- Αναβάθμιση συστημάτων φωτισμού και ηλεκτρικών συσκευών
- Βελτίωση ενεργειακής συμπεριφοράς χρηστών κτιρίου [15]

1.4.2. Ενεργειακή συμπεριφορά

Αφορά την ενεργειακή συμπεριφορά του χρήστη του κτιρίου που είναι αρκετά κρίσιμος παράγοντας οποιασδήποτε στρατηγικής ενεργειακής διαχείρισης, και καθορίζει πλήρως την τελική ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου και των συστημάτων του [15].

Ο καθημερινός τρόπος χρήσης του κτιρίου και των συστημάτων του είναι αυτός που θα επιβεβαιώσει τις προβλέψεις των εκάστοτε μελετών για εξοικονόμηση ενέργειας και για παράδειγμα μπορούν να αναφερθούν τα εξής χαρακτηριστικά χρήσης :

- ✓ Αν ένα νότιο υαλοστάσιο καλυφθεί απο εξωτερικό σύστημα σκίασης ή κουρτίνα, τότε κατά τους χειμερινούς μήνες δεν θα αποδόσει τα αναμενόμενα ηλιακά κέρδη θέρμανσης
- ✓ Τους θερινούς μήνες πρέπει να γίνεται εκμετάλλευση του νυχτερινού αερισμού με άνοιγμα παραθύρων ή φεγγιτών. Αν αντ'αυτού το κτίριο αερίζεται τις ζεστές ώρες της ημέρας και παράλληλα δεν λειτουργεί η επαρκής σκίαση των παραθύρων, τότε θα συμβεί συσσώρευση θερμότητας και υπερθέρμανση στο κτίριο
- ✓ Οι θερμικές απώλειες το χειμώνα πρέπει να περιορίζονται στο ελάχιστο , με προσεκτικό και όχι υπερβολικό αερισμό, κάλυψη χαραμάδων που αποτελούν διαφυγή ενέργειας κλπ
- ✓ Περιορισμός αλόγιστης χρήσης ηλεκτρικών συσκευών, συνέπεια υπερκατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας , λειτουργικές δαπάνες κλπ [15].

1.4.3. Θέρμανση και ψύξη

Τα συστήματα θέρμανσης και ψύξης , πέραν της προσεκτικής μελέτης, υπολογισμού και διαστασιολόγησης για εφαρμογή τους στο κτίριο, επιβάλλουν και τον περιορισμό απωλειών ενέργειας στο σύνολο της εγκατάστασής τους [15]. Οι μεγαλύτερες απώλειες ενέργειας σε αυτά τα συστήματα συνήθως εντοπίζονται :

- Υπερδιαστασιολόγηση εγκαταστάσεων
- Ελλιπής θερμική προστασία-μόνωση δικτύου διανομής , σωληνώσεων κλπ
- Απουσία κατάλληλων αυτοματισμών , όπως θερμοστάτες χώρων , σύστημα αντιστάθμισης , θερμοστατικές βαλβίδες κλπ

Σύμφωνα με μελέτες, οι απώλειες δια μέσου τέτοιων εγκαταστάσεων ,και κυρίως των σωληνώσεων , μπορούν να φτάσουν το 4% για τα μονώροφα κτίρια, και έως το 12% για πολυόροφα. Άρα, η αναβάθμιση των συστημάτων ψύξης και θέρμανσης του κτιρίου, είτε με μικρές επεμβάσεις σε κάποια σημεία (προσθήκη μονώσεων), είτε με πλήρη αντικατάστασή τους (με συστήματα νέας τεχνολογίας), παίζει καίριο ρόλο στην συνολική ενεργειακή αναβάθμιση και εξοικονόμηση του κτιρίου [15].

1.4.4. Ζεστό νερό χρήσης (ZNX)

Η Ελλάδα αποτελεί μια μεσογειακή χώρα που χαίρεται άφθονης ηλιακής ενέργειας , τους περισσότερους μήνες του έτους, και για αυτό βρίσκεται στις πρώτες θέσεις παγκοσμίως στη χρήση ηλιακού συλλέκτη για θέρμανση νερού , σε εγκατεστημένη ισχύ ανά κάτοικο. Οι ηλιακοί συλλέκτες αποτελούν μια πολύ ώριμη τεχνολογία με ευρεία εφαρμογή, που αξιοποιούν την ανεξάντλητη προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για θέρμανση νερού και αξιοποίησής του απο τους χρήστες του κτιρίου, ενώ αξίζει να σημειωθεί και ότι η Ελλάδα αποτελεί σημαντική εξαγωγική δύναμη στη βιομηχανία συστημάτων ηλιακών συλλεκτών [15].

Σύμφωνα με το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας τα θερμικά ηλιακά συστήματα υποκαθιστούν κατά 60 – 100% τη χρήση συμβατικών καυσίμων και ηλεκτρισμού, ανάλογα και τα κλιματικά δεδομένα κάθε περιοχής και τη θέση του εκάστοτε κτιρίου υπό εφαρμογή [15].

Μερικά απο τα οφέλη ηλιακών συστημάτων είναι τα εξής :

- Βελτίωση ενεργειακής απόδοσης κτιρίου, βάσει του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης (ΠΕΑ)
- Μείωση ενεργειακής εξάρτησης της χώρας , δηλαδή απο χρήση συμβατικών καυσίμων εξωτερικών χωρών
- Αυξημένη διείδυση ηλιακών συστημάτων και για τη θέρμανση χώρων
- Σημαντική μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα CO₂ απο την αντικατάσταση του ηλεκτρικού ρεύματος ή του πετρελαίου

1.4.5. Θερμομόνωση

Η θερμική μόνωση ενός κτιρίου αποτελεί το «πέπλο» προστασίας του κελύφους του, που στόχο έχει να μειώσει την μετάδοση θερμότητας απο και προς το εσωτερικό του. Ουσιαστικά ισχύουν οι εξής αρχές :

- ✓ Το χειμώνα, τα θερμομονωτικά υλικά εμποδίζουν τον ρυθμό της θερμικής ροής προς το εξωτερικό περιβάλλον και διατηρούν πιο εύκολα τη θερμική άνεση στο χώρο
- ✓ Το καλοκαίρι, αντίστροφα, εμποδίζουν τη μετάδοση θερμότητας απο το εξωτερικό περιβάλλον στο εσωτερικό του κτιρίου.

Η μείωση των θερμικών απωλειών απο την αλληλεπίδραση κτιριακού κελύφους – εξωτερικού περιβάλλοντος έχει σημαντικά αποτελέσματα τόσο στην εξοικονόμηση ενέργειας για θέρμανση και ψύξη, όσο και στη βελτίωση συνθηκών θερμικής άνεσης στο εσωτερικό. Το κομμάτι της θερμομόνωσης θα αναλυθεί πιο αναλυτικά στο αντίστοιχο κεφάλαιο [15].

1.4.6. Κουφώματα - Ανοίγματα

Τα συστήματα κουφωμάτων που κυκλοφορούν στην αγορά μπορούν να ικανοποιήσουν τις ανάγκες για εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια , με προσεκτική μελέτη του τύπου , την επιλογή του συστήματος , και την τοποθέτηση ανάλογα την εκάστοτε απαίτηση. Οι βασικές απαιτήσεις αφορούν τον σχεδιασμό, τη λειτουργικότητα , την αεροστεγάνωση , την υδατοστεγάνωση, την θερμομόνωση και την ηχομόνωση [15].

Η εξοικονόμηση ενέργειας που μπορεί να επιτευχθεί με κατάλληλη χρήση κουφωμάτων μπορεί να φτάσει το 20-25% (πχ. με χρήση ενεργειακών υαλοπινάκων) και εξαρτάται :

- Απο τη χρήση του κτιρίου
- Απο τα αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά του κτιρίου
- Απο τα κλιματικά δεδομένα της περιοχής

Οι υαλοπίνακες και η χρήση βελτιωμένων ενεργειακά συστημάτων μπορεί να ενισχύσει πολύ σημαντικά την στρατηγική εξοικονόμησης ενέργειας σε τομείς όπως θέρμανση, ψύξη , φωτισμό κλπ, που αφορούν τις συνθήκες τόσο θερμικής όσο και οπτικής άνεσης στους εσωτερικούς χώρους των κτιρίων [15]. Οι ενεργειακοί υαλοπίνακες αποτελούν αναπόσπαστο στοιχείο της αποδοτικής ενεργειακής διαχείρισης ενός κτιρίου, και έχουν τα ακόλουθα βασικά χαρακτηριστικά :

Σε θερμά κλίματα :

- ✓ Αντανακλούν το υπέρυθρο φως του ήλιου
- ✓ Λειτουργούν σαν ασπίδα στην εισαγωγή θερμότητας απο το εξωτερικό περιβάλλον
- ✓ Συμβάλλουν στο κόστος ψύξης

Στα ψυχρά κλίματα :

- ✓ Μεγιστοποιούν την διείσδυση της ηλιακής ενέργειας
- ✓ Εμποδίζουν τη διαφυγή θερμότητας απο τον εσωτερικό χώρο
- ✓ Μειώνουν το κόστος θέρμανσης

Περισσότερη ανάλυση για τους υαλοπίνακες, το ρόλο, τις ιδιότητες και την ενσωμάτωση στα κτίρια θα γίνει παρακάτω στο αντίστοιχο κεφάλαιο.

1.4.7. Σκιασμός

Τη βασικότερη, και απλούστερη ίσως, τεχνική για αντιμετώπιση και αποφυγή των εξωτερικών ηλιακών κερδών κατά τους θερινούς μήνες αποτελούν τα συστήματα σκιασμού. Τα θερμικά φορτία του άφθονου καλοκαιρινού ήλιου αποτελούν την βασική πηγή υπερθέρμανσης των εσωτερικών χώρων των κτιρίων που δεν προστατεύονται κατάλληλα. Ο σκιασμός εξασφαλίζει την ελάχιστη εισερχόμενη ακτινοβολία, με όσο το δυνατόν αξιοποίηση της δυνατότητας του φυσικού φωτισμού, αερισμού και οπτικής ορατότητας. Στη περίπτωση του χειμώνα τα συστήματα σκίασης αντίστροφα δεν θα πρέπει να εμποδίζουν τον απαραίτητο ηλιασμό από το εσωτερικό του κτιρίου [15].

Δεδομένου ότι η λειτουργία της σκίασης των ανοιγμάτων εξαρτάται κυρίως από τον προσανατολισμό τους και τα ηλιακά δεδομένα της περιοχής, μπορούν να αναφερθούν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά :

- ✓ Στα ανοίγματα νοτίου προσανατολισμού, η χρήση ενός οριζοντίου σκίαστρου (σταθερού ή κινητού) θα εμποδίζει ίσως και τελείως τις ηλιακές ακτίνες του θέρους, που έρχονται από το ψηλότερο σημείο του ορίζοντα (μεγάλες γωνίες πρόσπτωσης)
- ✓ Στα ανοίγματα ανατολικού και δυτικού προσανατολισμού απαιτείται σκίαση κατακόρυφου τύπου, διότι οι ηλιακές ακτίνες προσπίπτουν από χαμηλά
- ✓ Στα ανοίγματα βόρειου προσανατολισμού δεν απαιτείται τόσο σύστημα σκίασης

1.4.8. Φωτισμός

Αποτελεί σημαντικό παράγοντα ενεργειακής κατανάλωσης σε ένα κτίριο, και η διαχείριση του φωτισμού πάντα συγκαταλέγεται στις στρατηγικές εξοικονόμησης ενέργειας. Η κατανάλωση ενέργειας για φωτισμό αντιπροσωπεύει περίπου το 1/5 της ηλεκτρικής κατανάλωσης σε παγκόσμιο επίπεδο για τα κτίρια, με ολοένα αυξητική τάση [15].

Η εξοικονόμηση ενέργειας δια μέσω των συστημάτων φωτισμού μπορεί να επέλθει με τα εξής :

- ✓ Βελτιωμένος σχεδιασμός
- ✓ Αποδοτικότερα συστήματα και μείωση εγκατεστημένου ισχύος
- ✓ Μείωση χρόνου λειτουργίας
- ✓ Υιοθέτηση συστημάτων ελέγχου
- ✓ Αξιοποίηση φυσικού φωτισμού (βιοκλιματικός σχεδιασμός κτιρίου)

1.4.9. Χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ)

Η ολοένα και μεγαλύτερη ενσωμάτωση συστημάτων αξιοποίησης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας συμβάλλει όλο και περισσότερο στην ενεργειακή εξοικονόμηση των κτιρίων, ιδίως στο κομμάτι της ψύξης και θέρμανσης. Η Ελλάδα αποτελεί χώρα παραλαβής ανεξάντλητων ποσών ενέργειας, κυρίως του ήλιου και του ανέμου, και με ένα αξιόλογο δυναμικό αξιοποίησής τους μπορεί να παρέχει εναλλακτικές λύσεις στις ενεργειακές ανάγκες των κτιρίων, και πόσο μάλλον σημαντική αποδέσμευση από τα συμβατικά καύσιμα [15].

Οι συνηθέστερες μορφές ΑΠΕ που ενσωματώνονται στα κτίρια είναι :

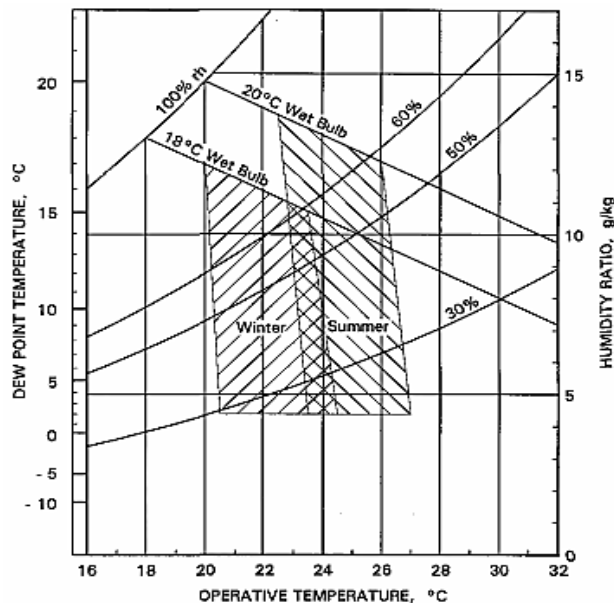
- ✓ Θερμικά ηλιακά συστήματα (ηλιακοί συλλέκτες για θέρμανση νερού ή χώρων, συστήματα ηλιακής ψύξης κλπ)
- ✓ Φωτοβολταϊκά συστήματα παραγωγής ηλεκτρισμού (κάλυψη σημαντικού μέρους του φορτίου ενός κτιρίου)
- ✓ Γεωθερμία (Χρήση αντλιών για κάλυψη απαιτήσεων θέρμανσης και ψύξης).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΦΟΡΤΙΑ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ

2.1. ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΕΣΗ ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ ΚΤΙΡΙΩΝ

2.1.1. Εισαγωγή – περιγραφή θερμικής άνεσης

Με τον όρο θερμική άνεση εκφράζεται η κατάσταση ή ο βαθμός ικανοποίησης του ανθρώπινου παράγοντα σε έναν εσωτερικό χώρο χρήσης , χωρίς να επιθυμεί καμία θερμική αλλαγή στο περιβάλλον του. Αν και στον ορισμό της θερμικής άνεσης υπάρχουν υποκειμενικοί παράγοντες , μπορούμε να ορίσουμε ότι η θερμική άνεση ή θερμική ισορροπία σε έναν χώρο είναι η βασική επιδίωξη και προτεραιότητα ενός συστήματος κλιματισμού. Το πόσο άνετα αισθανόμαστε σε έναν χώρο είναι μια συνάρτηση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντα αέρα στο σώμα και της θερμοκρασίας των δομικών στοιχείων, αλλά και της ποσότητας υγρασίας που υπάρχει (Εικόνα 2.1). Κάθε μεταβολή στο συνδυασμό αυτών των στοιχείων, ιδίως πάνω και κάτω απο κάποια όρια, δημιουργεί και μια αντιληπτή μεταβολή στο δείκτη θερμικής άνεσης [2].



Εικόνα 2.1 Περιοχές θερμικής άνεσης κατά ASHRAE

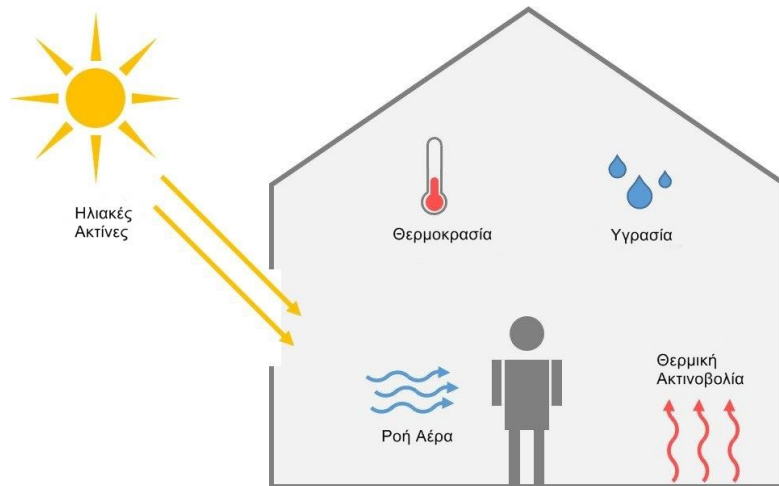
Η θερμική άνεση αποτελεί έναν δείκτη που δεν είναι ίδιος για όλους , για αυτό οι παράγοντες απο τους οποίους εξαρτάται έχουν διακριθεί σε ατομικούς και περιβαλλοντικούς [24]. Πιο αναλυτικά :

✓ Ατομικοί παράγοντες

Αφορούν τις παραμέτρους που επιδρούν στην αντίληψη του ατόμου για τη θερμική του ικανοποίηση , και εξαρτώνται απο το ίδιο το άτομο και τις ιδιαιτερότητές του, όπως το σώμα, η ηλικία, η κατάσταση της υγείας, η σωματική άσκηση, το είδος εργασίας κλπ.

✓ Περιβαλλοντικοί παράγοντες

Αφορούν τις εξωγενείς συνθήκες που επηρεάζουν την αντίληψη θερμικής άνεσης του ανθρώπου, και είναι η θερμοκρασία, η υγρασία, οι ακτινοβολίες και η ταχύτητα ροής του αέρα (Εικόνα 2.2). Το γενικό αίσθημα της θερμικής άνεσης και ο παράγοντας της υγείας έχουν καθορίσει συγκεκριμένα όρια τιμών για τα παραπάνω, και βρίσκουν εφαρμογή στις περισσότερες περιπτώσεις.



Εικόνα 2.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την θερμική άνεση του ατόμου

2.1.2. Ανθρώπινοι παράγοντες

Για να αισθανθεί ένας άνθρωπος θερμοκρασιακή άνεση και ισορροπία με το γύρω περιβάλλον του έχει συγκεκριμένες ανάγκες. Ο οργανισμός καταναλώνοντας χημική ενέργεια από τις τροφές και με τη διαδικασία της καύσης και της χρήσης οξυγόνου, παράγει ποσά θερμότητας και τα διοχετεύει στο περιβάλλον του, σε μια διαδικασία που ονομάζεται μεταβολισμός. Κατ'επέκταση, με αυτό τον τρόπο παράγεται θερμική ενέργεια που διατηρεί της θερμοκρασία του ατόμου περί τους 36 με 37 °C.

Οι μηχανισμοί μεταφοράς θερμότητας από το ανθρώπινο σώμα προς το περιβάλλον του λειτουργούν με σκοπό να διατηρούν την τελική του θερμοκρασία σταθερή, όπως φαίνονται και στην Εικόνα 2.3 [24], και είναι οι εξής τρεις :

- Μεταφορά θερμότητας με αγωγή

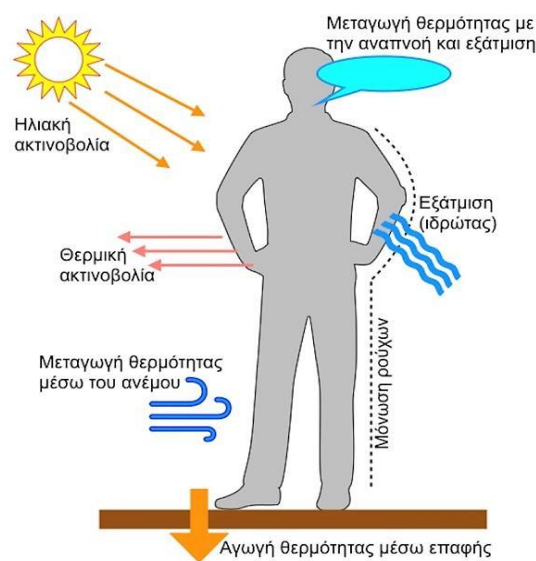
Η θερμική ενέργεια ρέει από ένα σώμα μεγαλύτερης θερμοκρασίας σε ένα σώμα μικρότερης θερμοκρασίας, και αυτό αποτελεί φυσική διαδικασία. Η αγωγή θερμότητας συμβαίνει δια μέσου του δέρματος και των ρούχων, μεταξύ στρώσεων που είναι σε επαφή.

- Μεταφορά θερμότητας με συναγωγή

Μεταφορά θερμικής ενέργειας προς τον αέρα απο τα ακάλυπτα σημεία του σώματος - εξωτερικό δέρμα ή την τελευταία στρώση ρουχισμού. Οφείλεται στην κίνηση του αέρα στον χώρο , ή τις κινήσεις του ανθρώπινου σώματος ή συνδυασμό και των δύο.

- Μεταφορά θερμότητας με ακτινοβολία

Κάθε σώμα που βρίσκεται σε μια θερμοκρασία εκπέμπει ακτινοβολία προς το περιβάλλον του (στα γύρω σώματα και στον αέρα).



Εικόνα 2.3 Μηχανισμοί μεταφοράς θερμότητας απο το ανθρώπινο σώμα στο περιβάλλον

Η αισθητή μεταφορά θερμότητας απο όλη την επιφάνεια του ανθρώπινου σώματος λοιπόν γίνεται και με τους τρεις τρόπους μεταφοράς θερμότητας. Αν κάνουμε μια συγκρότηση της θερμικής ροής προκύπτει η εξής «διαδρομή» : μεταφορά θερμότητας απο το δέρμα προς την εσωτερική πλευρά των ρούχων -> μεταφορά θερμότητας με αγωγή δια μέσου των ρούχων ανάλογα τη θερμομονωτική τους ικανότητα -> μεταφορά θερμότητας με συναγωγή και ακτινοβολία απο εξωτερική πλευρά ρούχων προς το περιβάλλον [24].

Η θερμοκρασία του δέρματος (επιδερμική) για επίτευξη θερμικής άνεσης για καθιστική εργασία είναι μεταξύ 33-34 °C , ενώ όσο αυξάνεται η δραστηριότητα οι τιμές πέφτουν. Αντίστροφα με την επιδερμική λειτουργεί η εσωτερική θερμοκρασία του σώματος , που με αύξηση της δραστηριότητας αυξάνει αντίστοιχα, ενώ το κέντρο ρύθμισης θερμοκρασίας βρίσκεται στον εγκέφαλο και λέγεται υποθάλαμος.

Η θερμότητα που παράγεται από το σώμα μέσου ενήλικα σε κατάσταση ακινησίας ή ήπιας δραστηριότητας είναι περίπου της τάξεως των 100 Watt , και μεταφέρεται εξ'ολοκλήρου στο περιβάλλον. Προκύπτει λοιπόν ότι οι κατάλληλες συνθήκες άνεσης εξαρτώνται και από το έργο που παράγουμε και κατ'επέκταση από αυτό που ονομάζεται μεταβολικός ρυθμός παραγωγής ενέργειας, που αυξάνει αναλογικά με την ένταση της δραστηριότητας. Τέτοιες τιμές αναλόγως το είδος της εργασίας παρουσιάζονται στην Εικόνα 2.4, ενώ ο καρδιακός ρυθμός και η αντίστοιχη κατανάλωση οξυγόνου φαίνονται στην Εικόνα 2.5 [2].

	W/m ²	met ^a
Resting		
Sleeping	40	0.7
Reclining	45	0.8
Seated, quiet	60	1.0
Standing, relaxed	70	1.2
Walking (on level surface)		
3.2 km/h (0.9 m/s)	115	2.0
4.3 km/h (1.2 m/s)	150	2.6
6.4 km/h (1.8 m/s)	220	3.8
Office Activities		
Reading, seated	55	1.0
Writing	60	1.0
Typing	65	1.1
Filing, seated	70	1.2
Filing, standing	80	1.4
Walking about	100	1.7
Lifting/packing	120	2.1
Driving/Flying		
Car	60 to 115	1.0 to 2.0
Aircraft, routine	70	1.2
Aircraft, instrument landing	105	1.8
Aircraft, combat	140	2.4
Heavy vehicle	185	3.2
Miscellaneous Occupational Activities		
Cooking	95 to 115	1.6 to 2.0
Housecleaning	115 to 200	2.0 to 3.4
Seated, heavy limb movement	130	2.2
Machine work		
sawing (table saw)	105	1.8
light (electrical industry)	115 to 140	2.0 to 2.4
heavy	235	4.0
Handling 50 kg bags	235	4.0
Pick and shovel work	235 to 280	4.0 to 4.8

Εικόνα 2.4 Μεταβολικός ρυθμός παραγωγής θερμότητας (W/m² ή met) για διάφορες δραστηριότητες

Στη περίπτωση που η θερμοκρασία (εσωτερική) αυξηθεί σημαντικά τότε ενεργοποιείται ο μηχανισμός της εφίδρωσης, με σκοπό την ψύξη της επιφάνειας του δέρματος από εξάτμιση του ιδρώτα και αύξηση ρυθμού μεταφοράς θερμότητας από το εσωτερικό προς το περιβάλλον. Τα πειραματικά αποτελέσματα όμως έχουν δείξει ότι αν το ποσοστό εφίδρωσης ανέβει άνω του 25% της επιφάνειας του σώματος τότε μειώνεται σημαντικά η αίσθηση άνεσης , ίσως ακόμη και σε επίπεδα ενόχλησης. Μεγάλες ποσότητες αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας αποβάλλονται από το σώμα και μέσω της αναπνοής, με διαδικασίες συναγωγής και εξάτμισης παράλληλα. Ο αέρας κατά την εισπνοή έχει τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, αλλά στη φάση της εκπνοής είναι σχεδόν κορεσμένος και πολύ κοντά στη θερμοκρασία του πυρήνα του σώματος [2].

Level of Exertion	Heart Rate, bpm	Oxygen Consumed, mL/s
Light work	< 90	< 8
Moderate work	90 to 110	8 to 16
Heavy work	110 to 130	16 to 24
Very heavy work	130 to 150	24 to 32
Extremely heavy work	150 to 170	> 32

Source: Astrand and Rodahl (1977).

Εικόνα 2.5 Καρδιακός ρυθμός και κατανάλωση οξυγόνου ανά είδος εργασίας

2.1.3. Περιβαλλοντικοί παράγοντες

Επηρεάζουν το αίσθημα της θερμικής άνεσης [24], όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, και αφορούν τα εξής στοιχεία :

- Θερμοκρασία αέρα

Είναι ο σημαντικότερος παράγοντας θερμικής άνεσης ,με την πιο άμεση επίδραση στην ανθρώπινη αντίληψη, αφού ο αέρας έρχεται άμεσα σε επαφή με το ανθρώπινο σώμα και δημιουργεί στιγμιαία αντίστοιχη αίσθηση άνεσης ή δυσφορίας στο άτομο. Μπορεί να ρυθμιστεί άμεσα με κατάλληλο αερισμό, ή κλιματιστικά μηχανήματα ή σώματα θέρμανσης. Οι σύνηθες τιμές θερμοκρασίας για κατάσταση θερμικής άνεσης, εξαιρώντας τον ατομικό παράγοντα και το είδος δραστηριότητας , είναι για χειμώνα περίπου 20-22 °C και για καλοκαίρι περίπου 25-27 °C.

- Θερμοκρασία σωμάτων και επιφανειών

Τα σώματα και τα αντικείμενα που υπάρχουν σε ένα χώρο και έχουν κάποια θερμοκρασία, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, ακτινοβολούν προς το περιβάλλον και τα γύρω αντικείμενα. Η θερμότητα που ακτινοβολείται συμμετέχει στη διαμόρφωση της φαινόμενης θερμοκρασίας , η οποία έχει στενότερη σχέση με την αντίληψη του ατόμου για θερμική άνεση. Ακόμα και αν η θερμοκρασία αέρα του χώρου είναι σε τιμή που θα δικαιολογούσε κατάσταση θερμικής άνεσης, εάν τα σώματα και οι επιφάνειες παραμένουν ακόμα σε χαμηλότερη τιμή, θα ακτινοβολούν πολύ λιγότερο και θα καθυστερήσουν την αίσθηση άνεσης.

- Ταχύτητα αέρα

Είναι πολύ σημαντικός παράγοντας σε ένα σύστημα κλιματισμού διότι ακόμα και σε επιθυμητά θερμοκρασιακά επίπεδα σε ένα χώρο ,μπορεί να δημιουργήσει δυσφορία στους χρήστες. Εάν ξεπεράσει κάποιο όριο γίνεται άμεσα αντιληπτή η ενόχληση , κυρίως στο δροσισμό, ενώ αντίθετα χαμηλές ταχύτητες πέραν κάποιου ορίου συνοδεύονται απο αίσθημα στασιμότητας και ελλειπούς ανανέωσης. Αυτά επιβάλλουν πολύ προσεκτική μελέτη και τοποθέτηση των στομιών παροχής και απαγωγής αέρα σε ένα σύστημα

κλιματισμού. Η κατεύθυνση της δέσμης αέρα είναι επίσης ουσιαστικής σημασίας. Εάν κατευθύνεται στο ύψος του προσώπου των χρηστών, εκτός από το ότι προκαλεί δυσάρεστο συναίσθημα, εγκυμονεί και κινδύνους υγείας όπως πονοκέφαλο, ίλιγγο, απώλεια ισορροπίας, ακόμα και ασθένεια.

Αν σε ένα ψυχόμενο χώρο η ρύθμιση της θερμοκρασίας είναι πχ. στους 26°C, ο ψυχρός αέρας παροχής έχει αρκετά χαμηλότερη θερμοκρασία από τους 26°C, και αν έρθει σε άμεση επαφή με τον άνθρωπο θα δημιουργήσει αίσθηση ψύχους. Επίσης η ροή αέρα αυξάνει το ρυθμό εξάτμισης από το ανθρώπινο δέρμα, ανανεώνοντας τον κορεσμένο με υδρατμούς αέρα που έρχεται σε επαφή με το δέρμα, με άλλον μικρότερης υγρασίας.

- Υγρασία

Διαμορφώνει επίσης το αίσθημα της φαινόμενης θερμοκρασίας, και αφορά την ποσότητα περιεχόμενων υδρατμών σε κάποιο όγκο ατμοσφαιρικού αέρα. Η σύσταση του ατμοσφαιρικού αέρα (οξυγόνο, άζωτο, διοξείδιο του άνθρακα κλπ) περιέχει επίσης ποσότητες νερού με την μορφή υδρατμών. Ο ορισμός της *απόλυτης υγρασίας* λοιπόν είναι ένας λόγος που πληροφορεί την ποσότητα αυτού του νερού που υπάρχει στον όγκο του περιβάλλοντα αέρα στο χώρο ($g_{H_2O} / kg_{αέρα}$), και πρέπει να ρυθμίζεται κατάλληλα για λόγους άνεσης και υγιεινής. Ο ορισμός της *σχετικής υγρασίας* (%), ενός άλλου μεγέθους, αφορά το ποσοστό υδρατμών που περιέχει ο αέρας σε συγκεκριμένες συνθήκες θερμοκρασίας, σε σχέση με το μέγιστο που εν δυνάμει θα μπορούσε να περιέχει στις ίδιες συνθήκες.

Η πληροφόρηση της σχετικής υγρασίας σε έναν εσωτερικό χώρο είναι χρησιμότερη της απόλυτης διότι οι διαδικασίες εξάτμισης υδρατμών που μας αφορούν σχετίζονται με την δυνατότητα απορρόφησης και όχι με το απόλυτο μέγεθός τους. Για παράδειγμα, σε συνθήκες σχετικής υγρασίας 100% είναι αδύνατο να εξατμιστεί ποσότητα υδρατμού από το ανθρώπινο δέρμα σε τέτοιο περιβάλλον, αφού ο αέρας δεν μπορεί να συγκρατήσει περισσότερο. Η αύξηση των τιμών σχετικής υγρασίας (%) αυξάνει και τις τιμές της φαινόμενης θερμοκρασίας, ανεξάρτητα της κανονικής θερμοκρασίας του αέρα. Για επίτευξη θερμικής άνεσης, με επιθυμητές θερμοκρασίες αέρος περίπου 20 °C για χειμώνα και περίπου 26 °C για καλοκαίρι, η σχετική υγρασία πρέπει να προσεγγίζει το 45-55%.

- Άμεση ακτινοβολία

Αυτή η ακτινοβολία δεν διαφέρει σε κάτι από την παραπάνω ακτινοβολία σωμάτων και επιφανειών, παρά μόνο στο ότι αποτελεί πηγή δραματικά μεγαλύτερης ισχύος. Αφορά κυρίως την άμεση ακτινοβολία από τον ήλιο μέσω υαλοπινάκων, ή μια εστία τζακιού που ακτινοβολεί κατευθείαν στο ανθρώπινο σώμα ή κάποια άλλη ισχυρή πηγή στο χώρο, που θα διαμορφώσει σημαντικά το αίσθημα θερμικής άνεσης [24].

2.2. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ

Ο ολικός συντελεστής θερμικής διαπερατότητας U (W/m^2K) των δομικών στοιχείων αποτελεί τον πιο κρίσιμο παράγοντα για τη μετάδοση θερμότητας δια μέσου του. Εκφράζει «αντίστροφα» τη θερμομονωτική ικανότητα ενός δομικού στοιχείου και χαρακτηρίζει τη μετάδοση θερμότητας μέσω αγωγής και μετάβασης εκατέρωθεν του στοιχείου. Για να αποκτήσει την επιθυμητή χαμηλότερη δυνατή τιμή εξαρτάται από τη διαστρωμάτωση των υλικών, το πάχος τους και τη θερμική τους αγωγιμότητα k ή λ (W/mK). Αυτός ο συντελεστής καθορίζει το ποσό της ενέργειας που θα μεταδοθεί μεταξύ εσωτερικού – εξωτερικού χώρου, ανηγμένη στη μονάδα θερμοκρασιακής διαφοράς μεταξύ τους, ή αλλιώς της θερμικής ισχύος (W) που θα διαπεράσει μια επιφάνεια (m^2) δομικού στοιχείου όταν η διαφορά θερμοκρασίας εκατέρωθεν του στοιχείου είναι $1 K$ (Kelvin). Υπό αυτό τον ορισμό προκύπτει και η μονάδα μέτρησης του συντελεστή $U \rightarrow W/m^2K$ [2].

2.2.1. Θερμικές αντιστάσεις δομικών στοιχείων

Για τον υπολογισμό του συντελεστή U (W/m^2K) είναι αναγκαίος ο υπολογισμός και η γνώση των θερμικών αντιστάσεων :

- i. αγωγής των στρωμάτων των δομικών υλικών, και
- ii. συναγωγής μεταξύ επιφανειών σε επαφή με τον αέρα

Η θερμική αντίσταση αγωγής R (m^2K/W) είναι η αντίσταση που ασκείται στη θερμική ροή δια μέσω ενός στρώματος ομοιογενούς υλικού για διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των δυο πλευρών ίση με $1 K$ ($= 1 ^\circ C$) [2]. Οι θερμικές αντιστάσεις αγωγής υπολογίζονται από την σχέση :

$$R_{\text{αγωγής}} = \frac{L}{k} \quad (m^2K/W) \quad (\text{Σχέση 2.1})$$

- L : πάχος του υλικού/στοιχείου (m)
- k : συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας υλικού/στοιχείου (W/mK)
Αποτελεί φυσική ιδιότητα κάθε υλικού και καθορίζει την θερμομονωτική του ικανότητα, συχνά αναφέρεται και ως λ (W/mK).

Η συνολική θερμική αντίσταση που προκύπτει από πολυστρωματικό δομικό στοιχείο, από ομογενείς στρώσεις υλικών (Εικόνα 2.6), θα είναι το άθροισμα των επιμέρους θερμικών αντιστάσεων αγωγής και συναγωγής [2] :

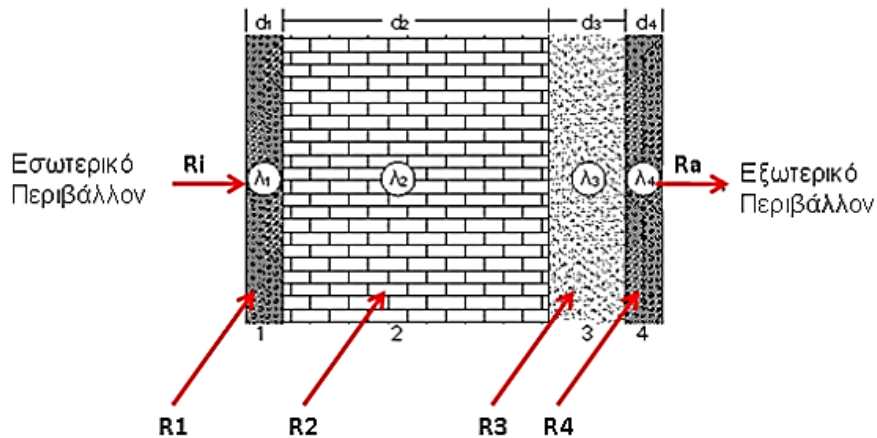
$$R_{\text{ολικό}} = R_i + R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n + R_a \quad (m^2K/W) \quad (\text{Σχέση 2.2})$$

- $R_{\text{ολικό}}$: συνολική θερμική αντίσταση
- R_1 έως R_n : θερμικές αντιστάσεις αγωγής μεταξύ στρωμάτων υλικών
- R_i : θερμική αντίσταση συναγωγής που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στη μετάδοση της θερμότητας από τον εσωτερικό χώρο προς το δομικό στοιχείο.

Ισχύει : $R_i = 1 / h_i$ (Σχέση 2.3) ,
 με h_i : συντελεστής συναγωγής εσωτερικού αέρα

- R_a : θερμική αντίσταση συναγωγής που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στη μετάδοση της θερμότητας από το δομικό στοιχείο προς το εξωτερικό περιβάλλον.

Ισχύει $R_a = 1 / h_a$ (Σχέση 2.4) ,
 με h_a : συντελεστής συναγωγής εξωτερικού αέρα



Εικόνα 2.6 Θερμικές αντιστάσεις επιμέρους υλικών δομικού στοιχείου τοίχου

2.2.2. Υπολογισμός συντελεστή θερμικής διαπερατότητας

Επομένως ο υπολογισμός του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας U (W/m^2K) θα προκύπτει από την σχέση :

$$U = \frac{1}{R_{ολικό}} \quad (W/m^2K) \quad (\text{Σχέση 2.5})$$

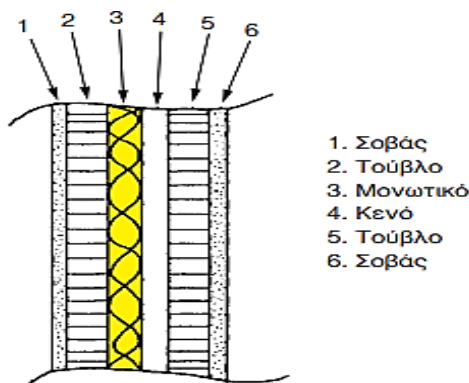
ή σαν γενική έκφραση με τις θερμικές αντιστάσεις :

$$\frac{1}{U} = R_i + \sum_{j=1}^n R_j + R_a \quad (m^2K/W) \quad (\text{Σχέση 2.6})$$

Δεδομένου ότι ο συντελεστής θερμοπερατότητας εξαρτάται από τα πάχη των στρώσεων του δομικού στοιχείου και από τη συναγωγή θερμότητας με τα στρώματα αέρα εκατέρωθεν των επιφανειών του, συνεπάγεται ότι αύξηση ή μείωση του πάχους στρώσεων των υλικών θα επηρεάσει αντίστοιχα και τον συντελεστή U [2].

2.2.3. Τυπική κατασκευή δομικού στοιχείου

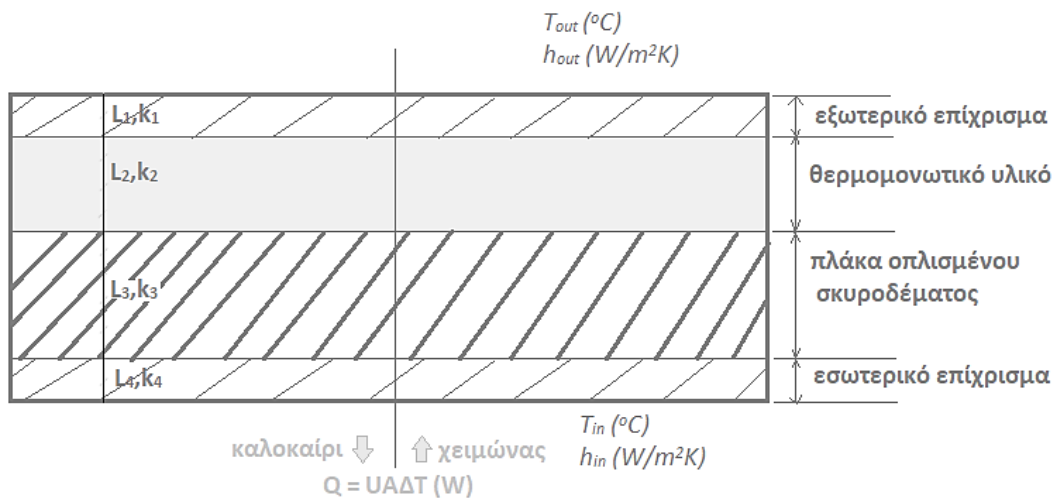
Ένα παράδειγμα τυπικής κατασκευής τοίχου οικοδομής φαίνεται στην Εικόνα 2.7, με εμφανείς τις στρώσεις των δομικών υλικών. Όπως και στα μονογραμμικά σχέδια στις Εικόνες 2.8 , 2.9 & 2.10 αντίστοιχα η διαστρωμάτωση κατά μήκος της θερμικής ροής για θερινούς και χειμερινούς μήνες, σαν προσομοίωση της ροής μέσα απο το κέλυφος κτιρίου. Το βασικό συστατικό αποτελεί σχεδόν πάντοτε η πλινθοδομή (τούβλο), είτε σε μονή στρώση είτε σε διπλή, με επιχρίσματα (σοβάς) εκατέρωθεν και κατάλληλη θερμική μόνωση στο εσωτερικό για θερμική προστασία [1],[2].



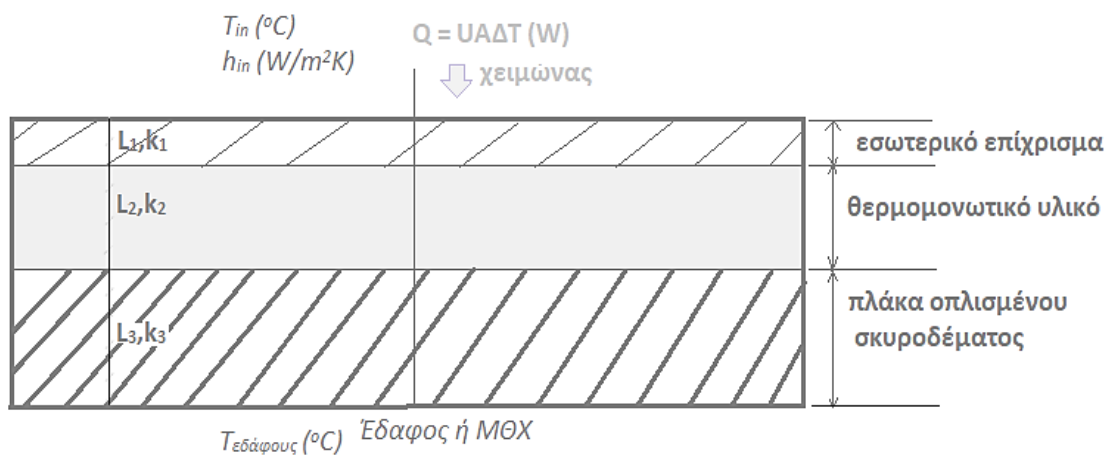
Εικόνα 2.7 Τομή τοιχοποιίας – τυπικά υλικά δόμησης



Εικόνα 2.8 Σχέδιο συμβατικής κατασκευής εξωτερικού τοίχου κατά μήκος θερμικής ροής



Εικόνα 2.9 Σχέδιο συμβατικής κατασκευής οροφής κατά μήκος θερμικής ροής



Εικόνα 2.10 Σχέδιο συμβατικής κατασκευής δαπέδου κατά μήκος θερμικής ροής

Η επιλογή των επιμέρους υλικών, με τις ιδιότητες, το πάχος και τα εκάστοτε χαρακτηριστικά διαμορφώνουν τη συμπεριφορά κάθε δομικού στοιχείου του κελύφους απέναντι στη ροή της θερμότητας, είτε απο το εξωτερικό προς το εσωτερικό, είτε αντίστροφα. Η τυπική κατασκευή των στοιχείων δόμησης, και στην περίπτωση των ελληνικών κατασκευών, αποτελείται συνήθως απο τα παραπάνω υλικά, που σε συνάρτηση με την ποιότητα και το πάχος τοποθέτησης διαμορφώνουν αντίστοιχους συντελεστές θερμοπερατότητας [2].

Στον Πίνακα 2.1 αναγράφονται οι μέγιστοι επιτρεπόμενοι συντελεστές θερμικής διαπερατότητας όλων των δομικών στοιχείων και ανοιγμάτων ανάλογα την κλιματική ζώνη, από τις τεχνικές οδηγίες Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας [26].

Πίνακας 2.1 Μέγιστοι επιτρεπόμενοι συντελεστές $U(W/m^2K)$ - Τ.Ο.Τ.Ε.Ε.

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

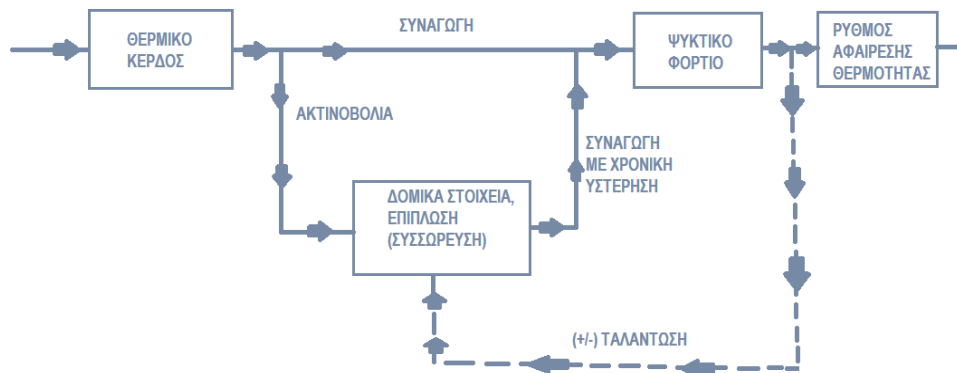
2.3. ΨΥΚΤΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ ΚΤΙΡΙΩΝ – ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

2.3.1. Εισαγωγή - ορισμοί

Σε έναν κλιματιζόμενο χώρο η λειτουργία ενός συστήματος κλιματισμού διακρίνεται από 4 ανεξάρτητες ροές θερμότητας που μεταβάλλονται με τον χρόνο και είναι:

- *Θερμικό κέρδος χώρου* : ο ρυθμός με τον οποίο η θερμότητα εισέρχεται ή παραγεται μέσα στον εσωτερικό χώρο μια ορισμένη χρονική στιγμή και προέρχεται από α) αγωγή μέσω εξωτερικών τοίχων και οροφών , β) ακτινοβολία μέσω διαφανών επιφανειών , γ) αγωγή μέσω εσωτερικών χωρισμάτων , δ) παραγωγή μέσα στο χώρο από συσκευές, μηχανές, φωτισμό και ανθρώπους , και ε) από ανανέωση και διείσδυση εξωτερικού αέρα. Διακρίνεται σε αισθητό θερμικό κέρδος όταν προκειται για άμεση προσθήκη θερμότητας στον χώρο με αγωγιμότητα συναγωγή ή ακτινοβολία, και σε λανθάνον θερμικό κέρδος όταν προστίθεται στο χώρο υδρατμός από ανθρώπους, συσκευές ή τον εισερχόμενο εξωτερικό αέρα.
- *Ψυκτικό φορτίου χώρου* : η θερμότητα που πρέπει να απομακρυνθεί από το χώρο για διατήρηση σταθερής θερμοκρασίας αέρα και συνθηκών άνεσης
- *Ρυθμός απομάκρυνσης θερμότητας χώρου* : ο ρυθμός με τον οποίο η θερμότητα απάγεται από τον κλιματιζόμενο χώρο, και είναι ίσος με το ψυκτικό φορτίο μόνο όταν η θερμοκρασία διατηρείται όντως σταθερή (στην πράξη υπάρχει ταλάντωση στη θερμοκρασία λόγω διακοπτόμενης λειτουργίας ψυκτικής συσκευής)
- *Φορτίο ψυκτικού στοιχείου* : ο ρυθμός με τον οποίο η θερμότητα απάγεται από το ψυκτικό στοιχείο, το οποίο εξυπηρετεί έναν ή περισσότερους κλιματιζόμενους χώρους και σε αυτό συγκαταλέγονται οι απώλειες κλιματιστικής συσκευής και απώλειες διανομής κλάδων μεταξύ κλιματιζόμενων χώρων [1].

Με τον όρο *ψυκτικό φορτίο* λοιπόν ορίζεται το ποσό θερμότητας που πρέπει να αφαιρεθεί από τον εσωτερικό χώρο, ή γενικά το κτίριο, για να επιτευχθεί και να διατηρηθεί το επιθυμητό επίπεδο θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας για την θερμική άνεση των ανθρώπων που υπάρχουν μέσα σε αυτό. Η τιμή του ψυκτικού φορτίου και του θερμικού κέρδους κατά την ίδια χρονική στιγμή διαφέρουν μεταξύ τους αφού δημιουργείται διαφορά φάσης που οφείλεται στην απορρόφηση ηλιακής ακτινοβολίας από τα δομικά υλικά αλλά αποβολής της με χρονική καθυστέρηση, δηλαδή όταν η θερμοκρασία τους γίνει μεγαλύτερη της θερμοκρασίας αέρος του χώρου. Άρα το άθροισμα όλων των στιγμιαίων θερμικών κερδών ενός χώρου δεν είναι απαραίτητα ίσο με το ψυκτικό φορτίο αφού η θερμότητα που προστίθεται στο χώρο με τη μορφή ακτινοβολίας δεν μετατρέπεται αμέσως σε τέτοιο (Εικόνα 2.11). Σημαντικό ρόλο παίζει η θερμοχωρητικότητα των υλικών που συνθέτουν την επιφάνεια του χώρου και είναι αυτή που καθορίζει τον ρυθμό απορρόφησης θερμότητας και έπειτα απόδοσης ως ψυκτικό φορτίο [1].



Εικόνα 2.11 Διάγραμμα ροής θερμότητας στον χώρο

Οι συνθήκες σχεδιασμού αφορούν τους θερινούς μήνες και οι μεταβλητές που επηρεάζουν τους υπολογισμούς των ψυκτικών φορτίων είναι ποικίλες και χρίζουν προσεκτικής μελέτης. Με τον υπολογισμό του ψυκτικού φορτίου για ένα υπο μελέτη κτίριο καθίσταται δυνατή η μετέπειτα επιλογή συστημάτων κλιματισμού, τόσο στο είδος και τον τρόπο εγκατάστασης, όσο και στη διαστασιολόγηση της απαιτούμενης ισχύος. Η μελέτη τέτοιων φορτίων ενέργειας βασίζεται στους φυσικούς νόμους μετάδοσης θερμότητας και μεταφοράς μάζας, και χρίζει παράλληλα την κατανόηση της φυσικής έννοιας της ροής θερμότητας αλλά και της μαθηματικής της ανάλυσης [4].

Για τις κτιριακές εφαρμογές έχουν προβλεφθεί διάφορα μοντέλα και μέθοδοι υπολογισμού που πλέον περιλαμβάνουν απλουστευμένες μαθηματικές εξισώσεις και λαμβάνεται υπόψη η επίδραση κυρίως των πιο βασικών φυσικών μεγεθών. Οι περιοδικές μεταβολές των συνιστωσών των ψυκτικών φορτίων συνήθως δεν είναι ποσοτικά και χρονικά ίδιες για όλες τις συνιστώσες, για αυτό γίνεται ακριβής ανάλυση όλων των παραμέτρων και υπολογίζεται το μέγιστο ψυκτικό φορτίο μιας ζώνης ή ενός κτιρίου συνολικά με όσο μεγαλύτερη ακρίβεια γίνεται [1].

Ο υπολογισμός του ψυκτικού φορτίου γίνεται για κάθε χώρο – θερμική ζώνη ξεχωριστά και αποτελείται επιμέρους απο:

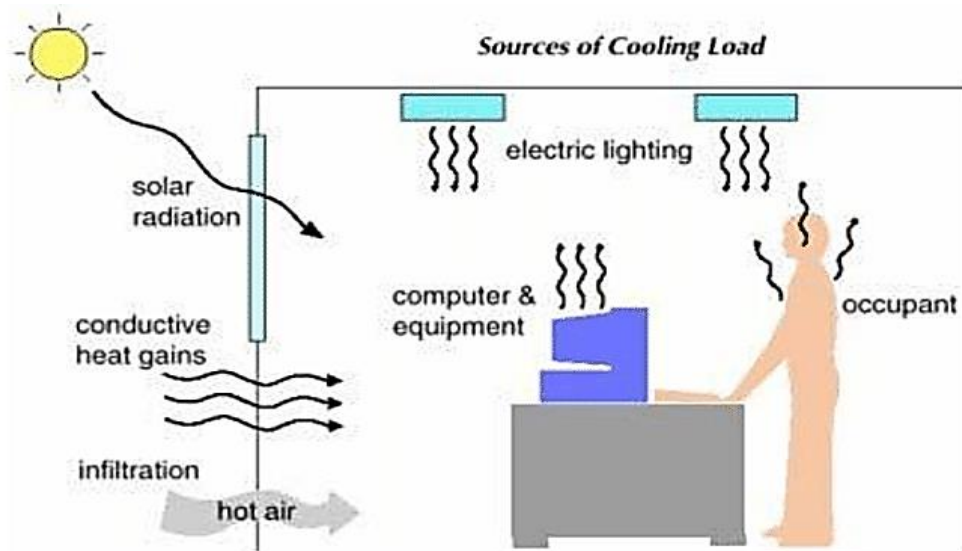
- ✓ το αισθητό φορτίο , το οποίο μεταβάλλει τη θερμοκρασία του χώρου, και
- ✓ το λανθάνον φορτίο , που μεταβάλλει την υγρασία του χώρου [1].

2.3.2. Διαδικασία υπολογισμού και συνιστώσες ψυκτικού φορτίου

Η διαδικασία υπολογισμού ψυκτικού φορτίου ενός χώρου είναι η εξής [1] :

- Καθορισμός χαρακτηριστικών υπο μελέτη κτιρίου όπως γεωμετρία, διαστάσεις, σχέδιο , δομικά υλικά και ιδιοτήτων τους, χρώματα κλπ
- Καθορισμός της θέσης , του προσανατολισμού και της εξωτερικής σκίασης του κτιρίου

- Ακριβής γνώση των κλιματικών-μετεωρολογικών δεδομένων της περιοχής του κτιρίου και εκτίμηση εξωτερικών συνθηκών μελέτης
- Καθορισμός εσωτερικών συνθηκών μελέτης δηλαδή η επιθυμητή θερμοκρασία αέρος, η σχετική υγρασία αλλά και ο ρυθμός ανανέωσης του αέρα
- Γνώση λειτουργίας και προγράμματος των χώρων όπως είναι οι ώρες εργασίας και συνάθροισης ανθρώπων, το πλήθος τους, οι ώρες λειτουργίας του φωτισμού και των συσκευών κλπ
- Επιλογή εποχής, μήνα, ημέρας και ώρας για τον υπολογισμό του ψυκτικού φορτίου. Συνήθως γίνεται υπολογισμός για διάφορες ώρες ή και για ολόκληρη την ημέρα του έτους κατά την οποία εμφανίζονται μέγιστες οι τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας
- Αναλυτικός υπολογισμός των επίμερους συνιστωσών του ψυκτικού φορτίου που προκύπτουν από τα επίμερους θερμικά κέρδη αντίστοιχα (Εικόνα 2.12), δηλαδή στην εξής κατηγοριοποίηση :
 - ✓ Ψυκτικό φορτίο αγωγής εξωτερικών τοίχων και οροφών
 - ✓ Ψυκτικό φορτίο αγωγής και ακτινοβολίας υαλοπινάκων
 - ✓ Ψυκτικό φορτίο εσωτερικών τοίχων, δαπέδων και οροφών
 - ✓ Ψυκτικό φορτίο εσωτερικών πηγών θερμότητας
 - ✓ Ψυκτικό φορτίο ανανέωσης και διείσδυσης αέρος



Εικόνα 2.12 Πηγές ψυκτικού φορτίου σε υπο μελέτη εσωτερικό χώρο

2.3.3. Μέθοδοι υπολογισμού ψυκτικού φορτίου

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των ψυκτικών φορτίων καθορίζουν την ενεργειακή απαίτηση ψύξης για ένα χώρο ή κτίριο έχοντας ως σκοπό τον εντοπισμό των μέγιστων δυνατών φορτίων και κατά συνέπεια το μέγεθος κλιματιστικής συσκευής για την δημιουργία συνθηκών θερμικής άνεσης. Για τον υπολογισμό των μέγιστων φορτίων λαμβάνονται υπόψη οι ακραίες συνθήκες λειτουργίας στις οποίες πρέπει να ανταποκριθούν οι επιλεγμένες συσκευές της εγκατάστασης με ορισμένα όρια ανοχών. Κατά αυτή τη προσέγγιση ο υπολογισμός του ψυκτικού φορτίου πρέπει να είναι όσο πιο ακριβής γίνεται, τόσο απο πλευράς πληρότητας μεθόδου όσο και απο εμπειρία μηχανικού-μελετητή, ώστε να αποφευχθεί μια εγκατάσταση υποδιαστασιολογημένη ή υπερδιαστασιολογημένη [1].

Οι παράγοντες που πιθανώς να επηρεάσουν την ακρίβεια στον υπολογισμό είναι συνήθως :

- ✓ Αβεβαιότητα στον τρόπο που θα λειτουργεί το κτίριο
- ✓ Αστοχίες στην κατασκευή
- ✓ Απρόβλεπτη συμπεριφορά συντελεστών θερμικής διαπερατότητας δομικών στοιχείων του κτιρίου [1]

Οι πιο σύνηθες και γνωστές μέθοδοι υπολογισμού ψυκτικού φορτίου είναι οι :

- Μέθοδος Θερμοκρασιακής Διαφοράς Ψυκτικού Φορτίου *CLTD/CLF* (Cooling Load Temperature Difference/Cooling Load Factor) της ASHRAE (American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers)
- Μέθοδος Ολικής Ισοδύναμου Θερμοκρασιακής Διαφοράς *TETD* (Total Equivalent Temperature Differential Method) της ASHRAE
- Μέθοδος Συνάρτησης Μεταφοράς *TFM* (Transfer Function Method) της ASHRAE
- Μέθοδος Θερμικής Ισορροπίας *HB* (Heat Balance) της ASHRAE
- Μέθοδος Χρόνου Ακτινοβολίας *RTS* (Radiant Time Series) της ASHRAE [1]

Την πιο διαδεδομένη και ευρείας εφαρμογής μέθοδο υπολογισμού που ανταποκρίνεται σε μεγάλη ποικιλία κλιματικών συνθηκών αποτελεί η μέθοδος *θερμοκρασιακής διαφοράς ψυκτικού φορτίου CLTD/CLF*, και χρησιμοποιείται στις περισσότερες μελέτες κλιματισμού-ψυκτικών φορτίων. Σε όλες τις μεθόδους η γενική δομή υπολογισμού είναι κοινή και αφορά όπως έχει αναφερθεί :

- ✓ Υπολογισμός εξωτερικών φορτίων
- ✓ Υπολογισμός εσωτερικών φορτίων
- ✓ Υπολογισμός φορτίων αερισμού [1].

2.4. ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΚΤΙΡΙΟΥ

2.4.1. Περιγραφή

Το σύνολο των θερμικών απωλειών, ή αλλιώς του θερμικού φορτίου, ενός χώρου βασίζονται στο δεύτερο νόμο της θερμοδυναμικής που περιγράφει τη ροή θερμότητας από χώρους ή σώματα υψηλότερης θερμοκρασιακής κατάστασης προς χώρους ή σώματα χαμηλότερης θερμοκρασιακής κατάστασης. Στην περίπτωση των κτιρίων, κατά τους χειμερινούς μήνες ο αέρας του εξωτερικού περιβάλλοντος βρίσκεται σε χαμηλότερη θερμοκρασία από τον θερμαινόμενο εσωτερικό χώρο, κατά συνέπεια δημιουργείται θερμική ροή-θερμικές απώλειες από μέσα προς τα έξω. Στην Εικόνα 2.13 φαίνεται η χρήση ειδικής συσκευής (θερμοκάμερας) που εντοπίζει τα σημεία -θερμογέφυρες- του κελύφους, από όπου διαφεύγουν τα σημαντικότερα ποσά θερμότητας [1],[3].



Εικόνα 2.13 Θερμική κάμερα ως μέσο εντοπισμού απωλειών κελύφους κτιρίου

Για να υπολογιστεί το σύνολο των θερμικών απωλειών ενός χώρου πρέπει να αθροιστούν τα παρακάτω :

- Απώλειες θερμότητας μέσω δομικών στοιχείων και ανοιγμάτων
- Απώλειες θερμότητας από κυκλοφορία αέρα μέσω χαραμάδων ανοιγμάτων
- Απώλειες θερμότητας ανανέωσης αέρα χώρου

Το συνολικό θερμικό φορτίων απωλειών που θα προκύψει αποτελεί σημαντικό στοιχείο για την αξιολόγηση της κατάστασης και της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτιρίου, και είναι η αφετηρία για υπολογισμούς και διαστασιολόγηση ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού θέρμανσης των χώρων. Για τον αναλυτικό υπολογισμό απαιτούνται οι πληροφορίες για την κλιματική ζώνη και τα κλιματικά δεδομένα της περιοχής του κτιρίου, και γνώση για τις επικρατούσες μέσες ελάχιστες εξωτερικές θερμοκρασίες, όπως αναφέρθηκαν παραπάνω [1],[3].

2.4.2. Μέθοδος υπολογισμού θερμικών απωλειών

Απώλειες θερμοπερατότητας δομικών στοιχείων

Είναι οι απώλειες θερμότητας που μεταφέρονται απο τον εσωτερικό χώρο του κτιρίου προς το εξωτερικό περιβάλλον του αέρα, μέσω των δομικών στοιχείων του κελύφους όπως τοίχων, οροφών, δαπέδων και των ανοιγμάτων (υαλοπίνακες, πόρτες κλπ). Η εξίσωση υπολογισμού αφορά όλες τις επιφάνειες που εκτίθενται στο εξωτερικό περιβάλλον και για κάθε στοιχείο ξεχωριστά [1],[3] είναι:

$$Q_{\text{απωλ}} = U \cdot A \cdot \Delta T \text{ (W)} \quad (\text{Σχέση 2.7})$$

- $Q_{\text{απωλ}}$: Θερμότητα -> απώλειες (W)
- U : Συντελεστής θερμικής διαπερατότητας δομικού στοιχείου ή ανοίγματος/υαλοπίνακα ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)
- A : Επιφάνεια στοιχείου (m^2)
- ΔT : Διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εσωτερικού – εξωτερικού περιβάλλοντος (K)

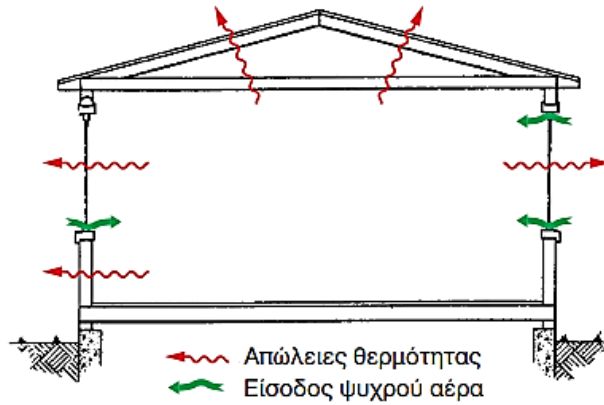
Το συνολικό φορτίο θερμικών απωλειών μέσω δομικών στοιχείων του κτιρίου προκύπτει μετά απο κατάλληλες προσαυξήσεις λόγω *διακοπτόμενης λειτουργίας* z_D (%) και *προσανατολισμού* z_H (%) , απο την τελική σχέση υπολογισμού :

$$Q_{\text{τελικό}} = Q_{\text{απωλ}} \cdot (1 + z_H + z_D) \text{ (W)} \quad (\text{Σχέση 2.8})$$

Απώλειες λόγω διείσδυσης και ανανέωσης αέρος

Η διείσδυση εξωτερικού αέρα έχει ως αποτέλεσμα θερμικές απώλειες εξαιτίας του οτι ο κρύος αέρας που εισέρχεται στον εσωτερικό χώρο πρέπει να θερμανθεί αντίστοιχα στην επιθυμητή θερμοκρασία του χώρου και ίσως να προστεθεί υγρασία. Το μέγεθος των απωλειών λόγω διείσδυσης εξαρτάται απο :

- Το μήκος των χαραμάδων
- Την ποιότητα κατασκευής θυρών και παραθύρων (αεροστεγανότητα)
- Τη θέση του ανοίγματος
- Τη θερμοκρασία περιβάλλοντος
- Την ένταση και την διεύθυνση των ανέμων της περιοχής [1],[3].



Εικόνα 2.14 Σχήμα κατευθύνσεων θερμικών ροών στο κέλυφος και κυκλοφορίας αέρα

Η ίδια λογική και στο κομμάτι της ανανέωσης με νωπό εξωτερικό αέρα, αν για παράδειγμα απαιτείται 0.5 ach (air-changes-per-hour ή εναλλαγές αέρα ανά ώρα) για εσωτερικό όγκο μιας κατοικίας, αυτή η παροχή αέρα θα πρέπει να θερμανθεί αντίστοιχα για να μη διαταράξει τη θερμοκρασιακή ισορροπία στο χώρο (Εικόνα 2.14). Ο υπολογισμός των φορτίων αέρα γίνεται με την ίδια σχέση ακριβώς όπως αναφέρθηκε στο αντίστοιχο ψυκτικού φορτίου πιο πάνω [1],[3].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

3.1.1. Χρήση υλικών στη δόμηση

Με τον όρο «δομικά υλικά» περιγράφεται το σύνολο των υλικών που χρησιμοποιούνται σε ένα τεχνικό έργο για την διαδικασία της κατασκευής του, τη λειτουργία του, και την μετέπειτα συντήρησή του. Τα δομικά υλικά ενσωματώνονται στην κτιριακή κατασκευή διαδοχικά σε κάποια φάση του έργου, με προοπτική της μη μεταγενέστερης αφαίρεσής τους, που δε γίνεται με συνήθεις μεθόδους παρά μόνο με αποξήλωση, καθαίρεση ή κατεδάφιση. Ο όρος «δομικός» προέρχεται από το ρήμα «δομώ» που σημαίνει οικοδομώ – διαρθρώνω ένα σύνολο ή του προσδίδω δομή, για εξυπηρέτηση κάποιου σκοπού. Επομένως ως δομική κατασκευή εννοείται η τοποθέτηση των προς δόμηση υλικών για τη δημιουργία ενός τεχνικού-κατασκευαστικού έργου με συγκεκριμένη δομή, διαστάσεις και ιδιότητες (Εικόνα 3.1) [37],[39].



Εικόνα 3.1 Υλικά δόμησης - πλινθοδομή και τσιμεντόλιθος

Η επιλογή σύγχρονων δομικών υλικών προηγμένης τεχνολογίας δύναται τόσο να εξοικονομήσει ενέργεια στις κτιριακές κατασκευές όσο και οικονομικούς πόρους. Είναι δεδομένο πως η κατάλληλη επιλογή δομικών υλικών παίζει ρόλο μείζονος σημασίας για την ενεργειακή κατανάλωση ενός κτιρίου και κυρίως των υλικών που εφαρμόζονται στην κατασκευή του κελύφους. Μάλιστα, η ενεργειακή κατάταξη μιας κατασκευής εξαρτάται άμεσα από τα κατασκευαστικά δομικά υλικά αφού αναλόγως τη μέθοδο κατασκευής του εξωτερικού κελύφους ενός κτιρίου (τοιχοποιίες, δάπεδα, οροφές κλπ) αυτές δύναται να χαρακτηρίζονται είτε ελαφριές, είτε μέσες ή σύμμεικτες, είτε βαριές κατασκευές, προσδίδοντας ανάλογες ενεργειακές ιδιότητες στη θερμική μάζα. Οι εν λόγω κατηγορίες διαχωρίζονται λόγω του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας $U(W/m^2K)$, η τιμή του οποίου «αποτρέπει» τις ροές θερμότητας από το εξωτερικό προς το εσωτερικό περιβάλλον για περίπτωση θέρους, και από το εσωτερικό προς το εξωτερικό για περίπτωση χειμώνα [37].

Η συνολική ενέργεια λειτουργίας (OE-Operational Energy) ενός κτιρίου είναι επομένως άμεσα εξαρτώμενη από το συντελεστή θερμοπερατότητας, καθιστώντας τον στους πιο σημαντικούς παράγοντες συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης ενός κτιρίου σε σχέση και με άλλες παραμέτρους (γεωγραφική θέση ,κλιματικά δεδομένα , βιοκλιματικός σχεδιασμός).

Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, ο κτιριακός τομέας είναι υπεύθυνος για το 40% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας (σε παγκόσμια κλίμακα), ενώ το ποσοστό αυτό αναμένεται να αυξηθεί ακόμη περισσότερο (επηρεάζοντας αρνητικά το περιβάλλον μέσω των εκπομπών ρύπων και φυσικά την ανθρώπινη υγεία) εφόσον δεν παρθούν κατάλληλα μέτρα. Συνεπώς, τα δομικά υλικά των κατασκευών θα πρέπει να είναι φιλικά ως προς το περιβάλλον. Αυτό χαρακτηρίζεται μέσα από την ενσωματωμένη ενέργεια των δομικών υλικών (EE – Embodied Energy) που αφορά την ενέργεια που έχει καταναλωθεί και τις εκλούμενες εκπομπές ρύπων κατά τη διαδικασία εξόρυξης και παραγωγής του υλικού, την μεταφορά , αλλά και την κατασκευή. Τα υλικά που επιλέγονται για την κατασκευή ενός κτιρίου ή την ανακαίνιση μιας υφιστάμενης κτιριακής κατασκευής, θα πρέπει να φέρουν τη σήμανση της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 89/106/ΕΟΚ (CPD) η οποία ενσωματώθηκε στην ελληνική νομοθεσία μέσω του Προεδρικού Διατάγματος Π.Δ. 334/94 ΦΕΚ 176/Α/1994. Η εν λόγω οδηγία αφορά στη συμμόρφωση των προϊόντων στις δομικές κατασκευές φέροντας το διακριτικό σήμα "CE". Έχοντας ως βάση αυτήν την Οδηγία, εκδίδονται και τα σχετικά Ευρωπαϊκά Πρότυπα με σκοπό τη συμμόρφωση των δομικών προϊόντων στις συγκεκριμένες απαιτήσεις [34].

Οι γενικές απαιτήσεις ώστε να λάβει ένα δομικό υλικό τη σήμανση «CE» είναι:

- Μηχανική αντοχή και ευστάθεια
- Πυρασφάλεια
- Υγιεινή, υγεία και περιβάλλον
- Ασφάλεια και προσβασιμότητα χρήσης
- Προστασία κατά του θορύβου
- Εξοικονόμηση ενέργειας και διατήρηση της θερμότητας
- Βιώσιμη χρήση των φυσικών πόρων

Δομικά υλικά φέρουσας κατασκευής :

- ✓ Λίθοι (ασβεστόλιθος,σχιστόλιθος,γρανίτης,μάρμαρο κλπ)
- ✓ Κεραμικά (πλινθοδομές διαφόρων τύπων , πλακίδια κλπ)
- ✓ Σκυρόδεμα (απλό,οπλισμένο με χάλυβα,ελαφροσκυρόδεμα, κυψελωτό κλπ)
- ✓ Ξύλο (βελανιδιά,πεύκο,σφεντάμι , ινοσανίδες, συγκολλητή ξυλεία κλπ)
- ✓ Μέταλλα (χαλκός , σίδηρος , κασσίτερος , χάλυβας)
- ✓ Κονιάματα (απο τσιμέντο , άμμο, χαλίκι, ασβέστης , μπετόν κλπ)
- ✓ Επιχρίσματα (σοβάδες διαφόρων τύπων κλπ) [36],[38].

Δομικά υλικά μη φέρουσας κατασκευής :

- ✓ Γυαλί – υαλοπίνακες (μονοί , διπλοί , ενεργειακοί , ειδικών τύπων κλπ)
- ✓ Θερμομονωτικά υλικά (θερμική προστασία κελύφους)
- ✓ Πλαστικά (PVC, PE , PP για σωληνώσεις , πλαίσια υαλοπινάκων κλπ)
- ✓ Φινιρίσματα (βαφές-χρώματα , βερνίκια , κόλλες κλπ) [36],[38].

3.1.2. Δομικά υλικά , εξοικονόμηση ενέργειας και περιβάλλον

Οι βασικές συνιστώσες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στην εκλογή δομικών υλικών συναρτήσει της επίδρασης στο περιβάλλον είναι :

- Η εξόρυξη πρώτων υλών προκαλεί μείωση φυσικών πόρων
- Η διαδικασία παραγωγής και μεταφοράς των υλικών καταναλώνει ενέργεια και προκαλεί εκπομπές ρύπων
- Τα οικοδομικά απόβλητα δημιουργούν ζητήματα ρύπανσης του εδάφους
- Διαμόρφωνουν της ποιότητα του εσωτερικού αέρα των κτιρίων
- Καθορίζουν τη θερμική συμπεριφορά του κτιρίου απέναντι στο εξωτερικό περιβάλλον
- Οι κατάλληλοι συνδυασμοί και οι θερμικές τους ιδιότητες διαμορφώνουν τις ενεργειακές απαιτήσεις των κτιρίων [28].

Η ένταξη των δομικών υλικών στις κτιριακές κατασκευές πρέπει να ικανοποιούν ορισμένα κριτήρια όπως :

- Εξοικονόμηση πρώτων υλών, και δυνατότητες επανάχρησης ή ανακύκλωσης
- Διάρκεια ζωής υλικών
- Έλεγχος τοξικής συμπεριφοράς σε όλες τις φάσεις του κύκλου ζωής (εκπομπές ρύπων)
- Παρουσία ραδιενέργειας στα υλικά των κτιρίων
- Ενσωματωμένη ενέργεια των υλικών (παραγωγή-μεταφορά)
- Εξοικονόμηση ενέργειας κατά τη λειτουργία του κτιρίου [28].

Οι στόχοι των βιομηχανιών-παραγωγών δομικών υλικών θα πρέπει να βασίζονται στις παρακάτω αρχές για τα δομικά υλικά :

- Μείωση κόστους κύκλου ζωής τους
- Βελτίωση προβλεψιμότητας και επάρκειας διαδικασιών παραγωγής
- Μείωση περιβαλλοντικών επιπτώσεων κατά την παραγωγή και απόρριψή τους
- Βελτίωση συνθηκών διαβίωσης εσωτερικών χώρων (υγιεινή,ασφάλεια,αισθητική)
- Βελτίωση συνθηκών εργασίας κατά την παραγωγή και κατασκευή
- Ανάπτυξη νέων, σύγχρονων πολυ-λειτουργικών υλικών προσαρμοσμένων στις σύγχρονες ανάγκες των κτιρίων και των χρηστών τους [28].

Βασικές δοκιμές πιστοποίησης δομικών υλικών σύμφωνα με νομοθετικά πρότυπα :

- ✓ Μέτρηση θερμικής αντίστασης
- ✓ Έλεγχος απορρόφησης νερού
- ✓ Ελαστικότητα
- ✓ Αντοχή σε διάτμηση
- ✓ Υγρο-θερμική συμπεριφορά
- ✓ Αντοχή σε κύκλους ψύξης-απόψυξης
- ✓ Αντίσταση σε κρούση
- ✓ Πρόσφυση μεταξύ υλικών (τοιχοποιία-μόνωση-επίχρισμα-κόλλες κλπ)
- ✓ Πρόσφυση έπειτα απο τεχνητή γήρανση [28].

3.2 ΔΟΜΙΚΟΙ ΛΙΘΟΙ

3.2.1. Εισαγωγή

Οι λιθοδομές (τοιχοί κτισμένοι απο φυσική πέτρα) αποτελούν το παλαιότερο χρησιμοποιούμενο είδος τοιχοποιίας. Αν και στην ελληνική παραδοσιακή αρχιτεκτονική η δόμηση κελύφους κτιρίων με φυσικούς λίθους είναι η συνηθέστερη περίπτωση που συναντάται, στη σύγχρονη δομική φιλοσοφία έχει σχετικά εγκαταλειφθεί λόγω υψηλού κόστους υλικών και εργασίας. Χρησιμοποιείται συνήθως ως εξωτερική αισθητική επένδυση πάνω απο την ήδη υπάρχουσα οπτοπλινθοδομή , σε περιοχές όπου η πρώτη ύλη αφθονεί και σε περιπτώσεις που επιβάλλεται η παραδοσιακή μορφή των κτιρίων [34],[39].

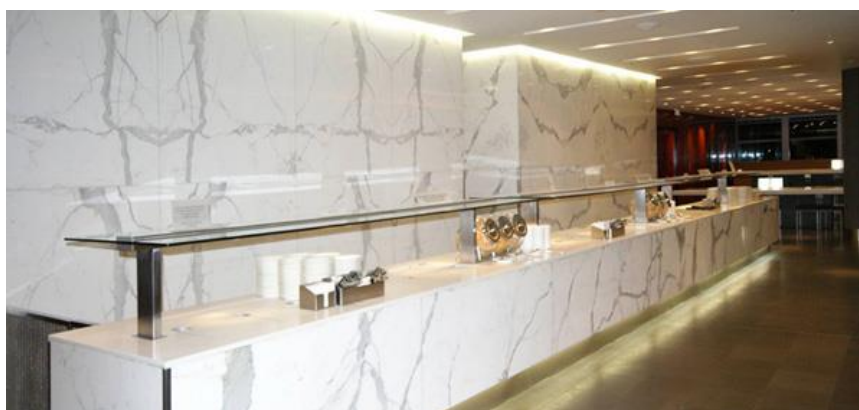
Οι λιθοδομές διακρίνονται ανάλογα με την επεξεργασία της πέτρας στις ακόλουθες κατηγορίες :

- Ξηρολιθοδομές (ή ξερολιθιές, ονομάζονται οι λιθοδομές που κατασκευάζονται χωρίς ύπαρξη κονιάματος-λάσπης και με σχετικά μικρή επιτόπια επεξεργασία της πέτρας , είναι η παλαιότερη μέθοδος λιθοδομής , χρήση σήμερα μόνο σε κατασκευές μικρής σημασίας)
- Αργολιθοδομές (τοιχοποιίες με αργούς λίθους με προσθήκη κονιάματος και μικρή έως καθόλου επεξεργασία, χρήση σε υπόγειους τοίχους, αντιστήριξης, ανωδομές κτιρίων κλπ)
- Ημιλαξευτές λιθοδομές (κτίση συνήθως απο τη μια πλευρά με μισολαξευμένες πέτρες με τον υπόλοιπο όγκο της οικοδομής απο αργούς λίθους , προσθήκη κονιάματος, χρήση σε περιπτώσεις που ενδιαφέρει η εμφάνιση της τοιχοποιίας όπως κατοικίες , μνημεία κλπ)
- Λαξευτές λιθοδομές (κάθε πέτρα έχει υποστεί σημαντική επεξεργασία και έχει αποκτήσει πλήρως το σχήμα-διατομή που χρειάζεται για την κατασκευή της λιθοδομής, εφαρμογή σε σημαντικά μνημεία, γέφυρες, θόλοι, οικοδομικά έργα και άλλα) [39].

Παρακάτω θα περιγραφούν οι βασικότερες κατηγορίες λίθων που χρησιμοποιούνται στα οικοδομικά έργα όπως το μάρμαρο, ο γρανίτης, ο σχιστόλιθος και ο ασβεστόλιθος.

3.2.2. Μάρμαρο

Το μάρμαρο σχηματίζεται από τη μεταμόρφωση ασβεστόλιθου και δολομίτη και έχει χρώμα το οποίο ποικίλει από λευκό έως μαύρο (Εικόνα 3.2). Αποτελεί πέτρωμα κρυσταλλοκοκκώδες, με αρκετά καλή λείανση και λαξεύεται σχετικά εύκολα. Το μάρμαρο δεν είναι ανθεκτικό έναντι της φωτιάς, ενώ παράλληλα η ανθεκτικότητά του απέναντι στις καιρικές συνθήκες ποικίλει αναλόγως τη σύστασή του και τις μηχανικές ιδιότητες [40].



Εικόνα 3.2 Τοίχος και πάγκος με μάρμαρο

Ένα από τα κύρια ενεργειακά χαρακτηριστικά του μαρμάρου ως δομικό υλικό, είναι η θερμική του μάζα, η οποία αναφέρεται στην ικανότητά του να απορροφά και να αποθηκεύει θερμότητα στο εσωτερικό του, ενώ αποσκοπιά θερμικής αγωγιμότητας έχει μέτριες τιμές. Πιο συγκεκριμένα, το μάρμαρο είναι δυνατόν να αποτελέσει παράγοντα στη ρύθμιση των εσωτερικών θερμοκρασιών, και την ανάγκη για συστήματα θέρμανσης και ψύξης, ενώ η συνήθης χρήση του στις εγχώριες κτιριακές κατασκευές αφορά την εφαρμογή σε δάπεδα, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.3. Είναι ένα ανθεκτικό υλικό που μπορεί να διαρκέσει για πολλά χρόνια με την κατάλληλη φροντίδα, μειώνοντας την ανάγκη για συχνές αντικαταστάσεις και το σχετικό ενεργειακό κόστος κατασκευής και μεταφοράς. Συνολικά, ενώ το μάρμαρο μπορεί να μην θεωρείται ενεργειακά αποδοτικό υλικό με τον ίδιο τρόπο όπως μια μόνωση, προσφέρει ορισμένα οφέλη εξοικονόμησης ενέργειας που μπορούν να συμβάλουν σε ένα πιο βιώσιμο δομημένο περιβάλλον. Η θερμική μάζα-ειδική θερμοχωρητικότητα του μαρμάρου κυμαίνεται στα 790-900 J/kgK, με πυκνότητα περίπου 1600 kg/m³ και συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας 1.10 – 2.90 W/mK [36].



Εικόνα 3.3 Δάπεδο απο μάρμαρο

Αναλόγως την τάση της εποχής, το μάρμαρο διευρύνεται και χαρακτηρίζεται ως ο «λευκός χρυσός». Στην Ελλάδα αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα εξαγωγικά προϊόντα και έχει εδραιωμένη θέση ισχύος στη διεθνή αγορά. Αισθητικά είναι ο απόλυτος πρωταγωνιστής του κατασκευαστικού κλάδου ενώ διαθέτει αξιοθαύμαστη αντοχή, απαιτεί λίγη συντήρηση και χαμηλότερο κόστος σε σχέση με άλλα ανταγωνιστικά υλικά. Τα ελληνικά μάρμαρα, είναι γνωστά σε όλη την υφήλιο διότι έχουν αρχικά ταυτιστεί με τα μεγάλα αριστουργήματα της γλυπτικής και αρχιτεκτονικής της αρχαίας Ελλάδας. Τα μοναδικά έργα τέχνης Ελλήνων καλλιτεχνών έχουν γίνει ανεπανάληπτα τα οποία όπως έχει δείξει η ιστορία αποσπών παγκόσμιο θαυμασμό. Γίνεται λοιπόν κατανοητό ότι το μάρμαρο έχει ευρεία χρήση όχι μόνο για καλλιτεχνική χρήση αλλά και για κατασκευαστική. Στην Ελλάδα η εξόρυξη μαρμάρου γίνεται από τα αρχαία χρόνια σε πολλά μέρη της χώρας όπως το όρος της Πεντέλης στην Αττική, τη Νάξο, την Πάρο, τη Θάσο κλπ. Ο Παρθενώνας, το πιο σημαντικό αρχαίο μνημείο κατασκευάστηκε εξολοκλήρου από Πεντελικό μάρμαρο (Εικόνα 3.4) [36].



Εικόνα 3.4 Παρθενώνας, Αθήνα , εξ'ολοκλήρου απο Πεντελικό μάρμαρο

3.2.3. Γρανίτης

Ο γρανίτης αφορά έναν τύπο πυριγενούς πετρώματος που αποτελείται κυρίως από ορυκτά όπως χαλαζία (quartz), άστριο (feldspar) και μαρμαρυγία (mica). Σχηματίζεται όταν το μάγμα (λιωμένο πέτρωμα) ψύχεται και στερεοποιείται αργά κάτω από την επιφάνεια της γης, επιτρέποντας να σχηματιστούν κρύσταλλοι. Είναι σαν υλικό βαρύς, σκληρός, συμπαγής, δύσκολος στην κατεργασία, ανθεκτικός στις καιρικές επιδράσεις και θρυμματίζεται σε περίπτωση πυρκαγιάς. Ο γρανίτης είθισται να είναι ανοιχτόχρωμος και χονδρόκοκκος, με διάφορα στίγματα που προκαλούνται από την παρουσία διαφόρων ορυκτών. Αποτελεί ένα από τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα υλικά στην κατασκευή και τη διακόσμηση λόγω της ανθεκτικότητας, της αντοχής αλλά και της αντοχής του έναντι στις φθορές. Ορισμένες κοινές χρήσεις του γρανίτη περιλαμβάνουν δάπεδα (Εικόνα 3.5), επενδύσεις τοίχων και διακοσμητικά χαρακτηριστικά όπως αγάλματα και μνημεία. Χρησιμοποιείται επίσης και σε εξωτερικούς χώρους λόγω της ικανότητάς του να αντέχει στις καιρικές συνθήκες και τη διάβρωση. Ο γρανίτης εξορύσσεται συχνά από λατομεία σε μεγάλους όγκους, οι οποίοι στη συνέχεια κόβονται και γυαλίζονται σε διάφορα σχήματα και μεγέθη για χρήση στην κατασκευή και τη διακόσμηση [40].



Εικόνα 3.5 Δάπεδο από γρανίτη

Ο γρανίτης δεν χαρακτηρίζεται ως το πλέον ενεργειακό υλικό για κατασκευαστικούς σκοπούς με τον ίδιο τρόπο όπως η μόνωση ή άλλα υλικά εξοικονόμησης ενέργειας. Ωστόσο, προσφέρει κάποια οφέλη με ένα από τα πιο κύρια να είναι η ανθεκτικότητα και η μακροζωία του. Ο γρανίτης είναι ένα σκληρό και πυκνό υλικό ιδιαίτερα ανθεκτικό στη φθορά, πράγμα που σημαίνει ότι μπορεί να διαρκέσει για πολλά χρόνια χωρίς να χρειάζεται να αντικατασταθεί. Αυτό μειώνει την ανάγκη για συχνές αντικαταστάσεις και το σχετικό ενεργειακό κόστος κατασκευής και μεταφοράς. Επιπλέον, ο γρανίτης έχει υψηλή θερμική μάζα, ήτοι δύναται να απορροφήσει και να αποθηκεύσει θερμότητα, όπως και το μάρμαρο. Η θερμική αγωγιμότητα του γρανίτη κυμαίνεται από 2.8 W/mK για γρανίτες με υψηλό πορώδες έως 3.6 W/mK για εκείνους με χαμηλό πορώδες υπό κορεσμένες συνθήκες. Η ειδική θερμοχωρητικότητα του γρανίτη κυμαίνεται από 760 έως 790 J/kgK υπό ξηρή κατάσταση και από 800 έως 850 J/kgK υπό κορεσμένη κατάσταση[36].

3.2.4. Σχιστόλιθος

Αποτελεί ένα λεπτόκοκκο κλαστικό ιζηματογενές πέτρωμα, που σχηματίζεται κυρίως από λάσπη. Είναι ένα μείγμα αργλικών ορυκτών και μικροσκοπικών θραυσμάτων άλλων ορυκτών, κυρίως χαλαζία και ασβεσίτη. Ο σχιστόλιθος χαρακτηρίζεται από την ιδιότητα να τείνει να σχίζεται σε λεπτά στρώματα (φύλλα), με πάχος μικρότερο του εκατοστομέτρου. Πρόκειται για ένα αρκετά δημοφιλές δομικό υλικό το οποίο χρησιμοποιείται εδώ και αρκετά εκατοντάδες χρόνια τόσο για την επίστρωση δαπέδων όσο και για την κάλυψη στεγών. Στη Ελλάδα, πολλοί οικισμοί, κυρίως σε επαρχιακές περιοχές, χρησιμοποιούν το σχιστόλιθο ευρέως στη δόμηση, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.6. Αναφορικά με την προέλευση του υλικού, εξάγεται από πολλές περιοχές όπως για παράδειγμα ο σχιστόλιθος Πηλίου, Καρύστου, Ικαρίας κλπ. Ο σχιστόλιθος διαθέτει αρκετά πλεονεκτήματα, μεταξύ άλλων την αδρή υφή του – μετατρέποντας ένα δάπεδο σε αντιολισθηρό (κατάλληλο για εξωτερικούς χώρους), η καλή μηχανική αντοχή του δηλαδή δεν παραμορφώνεται ενώ παράλληλα δεν επηρεάζεται από την υγρασία και τις καιρικές συνθήκες. Λόγω της αντοχής του στις καιρικές συνθήκες είθισται να χρησιμοποιείται κυρίως σε υπαίθριους και ημι-υπαίθριους χώρους. Ως κατασκευαστικό υλικό, οι χρήσεις του αφορούν κυρίως παραδοσιακές κατοικίες που βρίσκονται σε ορεινούς οικισμούς, σε πετρόκτιστα σπίτια κλπ [36],[40].

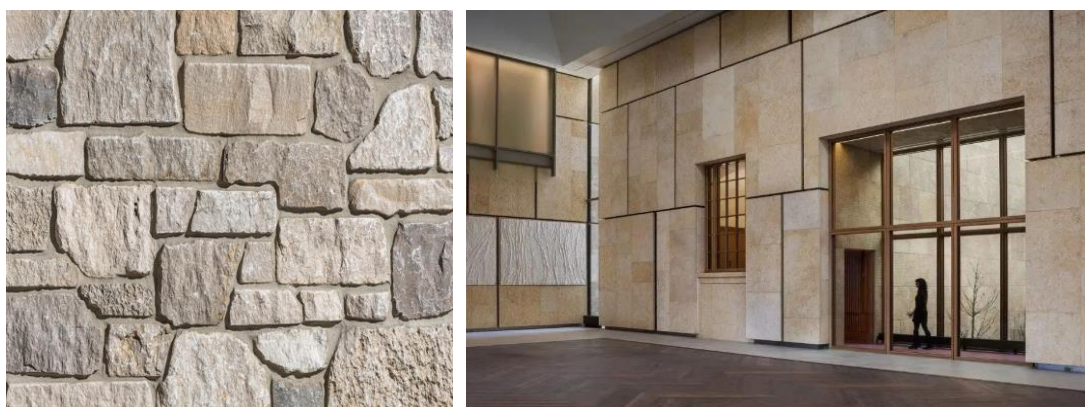


Εικόνα 3.6 Επένδυση κατοικίας με σχιστόλιθο

Όσον αφορά την ενεργειακή απόδοση, αυτή μπορεί να επηρεαστεί από τον τρόπο χρήσης και εγκατάστασής του, είτε απορροφώντας είτε απελευθερώνοντας θερμότητα. Επιπλέον, εάν ο σχιστόλιθος προέρχεται από την τοπική περιοχή και εγκαθίσταται χρησιμοποιώντας βιώσιμες πρακτικές, μπορεί να έχει χαμηλότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις συνολικά, γεγονός που μπορεί να συμβάλει στη συνολική ενεργειακή απόδοση. Έτσι, ενώ ο ίδιος ο σχιστόλιθος δεν είναι εγγενώς ενεργειακά αποδοτικός, η χρήση και η εγκατάστασή του μπορεί να έχει αντίκτυπο στην ενεργειακή απόδοση ανάλογα με τις συγκεκριμένες συνθήκες. Τέλος, η θερμική αγωγιμότητα του σχιστόλιθου κυμαίνεται από $1.73 - 2.20 \text{ W/mK}$, με πυκνότητα περίπου 2400 kg/m^3 και ειδική θερμοχωρητικότητα περί τα 760 J/kgK [36].

3.2.5. Ασβεστόλιθος

Ο ασβεστόλιθος αποτελεί ένα ιζηματογενές πέτρωμα αποτελούμενο κυρίως από ανθρακικό ασβέστιο, συνήθως με τη μορφή του ορυκτού ασβεστίτη (CaCO_3). Ο σχηματισμός γίνεται από τη συσσώρευση οργανικών υλικών, όπως κοχύλια, κοράλλια και άλλα θαλάσσια συντρίμια, που έχουν συμπιεστεί και τσιμεντοποιηθεί με την πάροδο του χρόνου. Μπορεί να χωριστεί σε μια σειρά χρωμάτων, συμπεριλαμβανομένου του λευκού, του γκρι, του κίτρινου και του καφέ, και η υφή του μπορεί να ποικίλει από λεπτόκοκκο έως χονδρόκοκκο. Παρουσιάζει μικρή ανθεκτικότητα στη φωτιά, στα οξέα και στις καιρικές συνθήκες. Ο ασβεστόλιθος είναι ένας ευπροσάρμοστος βράχος που έχει ένα ευρύ φάσμα χρήσεων, από κατασκευαστικά και δομικά υλικά έως βιομηχανικές εφαρμογές. Χρησιμοποιείται κατά κανόνα ως οικοδομικό υλικό, για τοίχους, δάπεδα και γλυπτά, λόγω της ανθεκτικότητας και της ελκυστικής εμφάνισής του (Εικόνα 3.7). Χρησιμοποιείται επίσης στην παραγωγή τσιμέντου, ως βελτιωτικό εδάφους και στην κατασκευή χάλυβα και άλλων προϊόντων [40].



Εικόνα 3.7 Τοιχοποιίες με ασβεστόλιθο

Όπως όλα τα υλικά από φυσική πέτρα, και ο ασβεστόλιθος είναι δομικό υλικό χωρίς ακτινοβολία, πράσινο και φιλικό προς το περιβάλλον. Έχει αποδειχθεί ότι οι θερμικές ιδιότητες του ασβεστόλιθου επηρεάζονται έντονα τόσο από τη θερμοκρασία όσο και από την περιεκτικότητα σε νερό. Τα εν λόγω θα πρέπει να συνεκτιμώνται εφόσον ο σχιστόλιθος χρησιμοποιηθεί ως δομικό υλικό προκειμένου να βελτιωθεί η ενεργειακή απόδοση του αλλά και να διατηρηθεί η δομική του ανθεκτικότητα με την ταυτόχρονη εξασφάλιση της άνεσης των ενοίκων. Ορισμένοι τύποι ασβεστόλιθου δύναται να εκτεθούν μέσα στο περιβάλλον προκειμένου με τις αδύναμες ιδιότητές του ως προς την απορρόφηση νερού να ρυθμιστεί η υγρασία. Οι θερμικές ιδιότητες του ασβεστόλιθου αποδεικνύουν την ικανότητά του να αποθηκεύει και να αποθηκεύει μεγάλες ποσότητες θερμότητας και επομένως να μειώνει και να μετατοπίζει τη φάση των θερμικών καταπονήσεων που επιβάλλονται στα κτίρια. Αυτό το πολύπλευρο δυναμικό επηρεάζει την κατανάλωση ενέργειας της κατοικίας και βελτιώνει την άνεση των ενοίκων. Η θερμική αγωγιμότητα του ασβεστόλιθου κυμαίνεται $1.26 - 2.58 \text{ W/mK}$, με πυκνότητα περίπου 2000 kg/m^3 και ειδική θερμοχωρητικότητα περί τα 1000 J/kgK [36].

3.3 ΞΥΛΕΙΑ

3.3.1. Το ξύλο στη δόμηση

Το ξύλο αποτελεί ένα απο τα παλαιότερα δομικά υλικά που χρησιμοποιήθηκε στις κατασκευές. Λόγω εύκολης επεξεργασίας και ετοιμότητας προς χρήση συντέλεσε αποτελεσματικά στην κατασκευή έργων δόμησης ανάκαθεν σε όλη τη πορεία ανάπτυξης του ανθρώπινου πολιτισμού. Παρόλου που σήμερα η ανάπτυξη και εκτεταμένη χρήση προηγμένων υλικών και συστημάτων στην ασφαλή δόμηση (χάλυβας , οπλισμένο σκυρόδεμα κλπ) επέφεραν δευτερεύοντα ρόλο στο ξύλο, αυτό συνεχίζει να χρησιμοποιείται σε εύρος δομικών εφαρμογών και ανακαινίσεων όπως κατασκευές κελύφους , επενδύσεις , δάπεδα , κουφώματα κλπ (Εικόνα 3.8) [41].



Εικόνα 3.8 Ξύλινη οικεία 300x300x210cm

Τα βασικότερα είδη δέντρων της δομικής ξυλείας είναι :

- ✓ Τα βελονόφυλλα ή κωνοφόρα (πχ. έλατο, πεύκο, λάρτσινο, μαύρη πεύκη κλπ). Από τα βελονόφυλλα παράγεται μαλακό ξύλο το οποίο αποτελεί το μεγαλύτερο ποσοστό της χρησιμοποιούμενης δομικής ξυλείας.
- ✓ Τα πλατύφυλλα (πχ. δρυς, οξιά, καστανιά κλπ) , των οποίων το ξύλο είναι σκληρότερο.
- ✓ Τα τροπικά. Αυτά εισάγονται απο την Αφρική, τις τροπικές περιοχές της Αμερικής κλπ. Τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα είναι το ξύλο Τικ, το Παλλίσανδρο, το Ιρόκο και το Σάπελε [35].

Οι τάσεις στη σύγχρονη δόμηση επιβάλλουν όλο και περισσότερο τη χρήση του ξύλου ως ένα υλικό φιλικό προς το περιβάλλον, προσδίδοντας ιδιαίτερα χαρακτηριστικά στις κατασκευές. Τα πλεονεκτήματά του το έχουν καταστήσει μόνιμο αντικείμενο έρευνας, ιδιαίτερα σε κράτη που η ξυλεία αφθονεί και η αντίστοιχη δόμηση είναι ευνοϊκότερη [35].

Τα πλεονεκτήματα απο την χρήση ξύλου στη δόμηση περιγράφονται ως εξής :

- Είναι φυσικό υλικό, ανανεώσιμο απο την φύση
- Διαμορφώνει κατασκευές που εντάσσονται αρμονικά στο περιβάλλον
- Έχει υψηλή αντοχή με μικρό ίδιο βάρος
- Η απόρριψή του δεν ρυπαίνει το περιβάλλον, κάτω απο κατάλληλες συνθήκες αποσυντίθεται
- Αποτελεί κακό αγωγό του ηλεκτρισμού
- Διακρίνεται απο μικρές θερμικές συστολές-διαστολές
- Έχει καλές θερμομονωτικές και ακουστικές ιδιότητες
- Βρίσκεται σε μεγάλη ποικιλία ειδών, χρωμάτων, υφών και σχεδίασης
- Έχει σχετικά εύκολη επεξεργασία και διαμόρφωση με μικρές καταναλώσεις ενέργειας
- Προβλέψιμη συμπεριφορά στη φωτιά [41]

Στην αντίπερα όχθη, τα μειονεκτήματα του ξύλου συνοπτικά είναι :

- Υψηλή υγρασκοπικότητα μεταβάλλει οριακά τις διαστάσεις του ανάλογα με την πρόσληψη ή την απώλεια υγρασίας
- Το παραπάνω δημιουργεί συχνά ρωγμές στο σοβά των κτιρίων
- Αποτελεί ανισότροπο υλικό που προσβάλλεται απο μύκητες και έντομα υπο συνθήκες υγρασίας και θερμοκρασίας
- Καύσιμο που συντηρεί πιθανη πυρκαγιά
- Συνήθως απαιτεί συχνή συντήρηση, ιδίως αν δεν υπάρχει κατάλληλη προστασία (προστατευτικοί χρωματισμοί , επάλειψη με βερνίκια κλπ)
- Υπάρχει δυσκολία στην πιστοποίηση των υλικών ξύλου, συγκριτικά με το σκυρόδεμα
- Ύπαρξη εγκλεισμάτων στη μάζα του ξύλου (ρόζοι) που διακόπτουν τη συνέχεια των ινών ,εξασθενίζουν το στοιχείο του ξύλου και το καθιστούν χαμηλότερης ποιότητας [41]

Το ξύλο θεωρείται ως το αρχιτεκτονικό υλικό του 21^{ου} αιώνα με πολλούς επιστήμονες των κατασκευών να επιμένουν στην βιωσιμότητα, την ποιότητα και την ταχύτητα κατασκευής που προσφέρει στη δόμηση, με θετικό αποτύπωμα στο περιβάλλον. Σύμφωνα με μελέτες, αντικαθιστώντας τη συμβατική χρήση χάλυβα και σκυροδέματος με ξύλο που προέρχεται απο δάση βιώσιμης διαχείρισης, η οικοδομική βιομηχανία θα μπορούσε να μειώσει έως και 30% την παγκόσμια εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου. Δεδομένου οτι οι υψηλές μηχανικές ιδιότητες σε αντοχή και η σταθερότητα των δομικών ξύλινων πάνελ επιτρέπουν στους μηχανικούς να τα χρησιμοποιήσουν σαν βασικό υλικό σε μικρές και μεγάλες κατασκευές , οι νέες προτάσεις θα αφορούν τη διαμόρφωση υβριδικών κτιρίων με την προσθήκη τμημάτων χάλυβα σε επιλεγμένα σημεία [36],[37].

Ακόμα και οι ξύλινοι ουρανοξύστες θα αποτελούν μια πραγματικότητα, αφού ο ψηλότερος «ξύλινος ουρανοξύστης» του κόσμου θα κατασκευαστεί το 2041 στο Τόκιο από την Sumitomo. Θα είναι υβριδική κατασκευή και θα αποτελείται κατά 90% από ξύλο. Θα είναι γνωστός με το όνομα W350, και η όψη του φαίνεται στην Εικόνα 3.9, ενώ στην Εικόνα 3.10 εμφανίζονται ήδη υπάρχουσες υψηλές ξύλινες κτιριακές κατασκευές [43].



Εικόνα 3.9 W350 project , Ξύλινος ουρανοξύστης στο κέντρο του Τόκιο, θα παραδοθεί το 2041



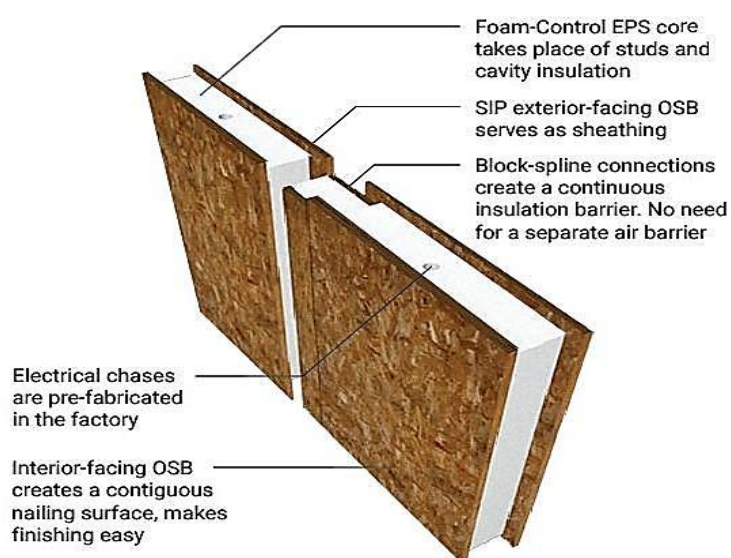
Εικόνα 3.10 Πολυόροφα κτίρια κατασκευασμένα από ξύλο

Πρόσθετα οφέλη από την υιοθέτηση του ξύλου στη δόμηση :

- ✓ Συνδυασμός αστικής ανάπτυξης παράλληλα με την αγροτική ανάπτυξη, με μεγάλο οικονομικό όφελος σε τοπικές κοινωνίες που εκμεταλλεύονται τα υπο διαχείριση δάση
- ✓ Μειωμένη χρήση θέρμανσης και άλλων μέσων λόγω θερμομόνωσης και ηχομόνωσης, με συνέπεια περαιτέρω μείωση κατανάλωσης ενέργειας και εκπομπών
- ✓ Δημιουργία υγιούς περιβάλλοντος για τους χρήστες των κτιρίων με θετικές ψυχολογικές επιπτώσεις [36].

3.3.2. Structural Insulated Panels (SIP's)

Τα δομικά θερμομονωτικά πάνελ (SIP's) αποτελούν υψηλής ενεργειακής απόδοσης δομικά συστήματα για κτιριακές κατασκευές. Είναι ελαφριά και εύκολα στην εγκατάσταση και παρέχουν εξαιρετική μόνωση. Αποτελούνται από ξύλινα πλαίσια από μοριόπλακες (πεπιεσμένα συγκολλημένα ξυλόφυλλα) ή κόντρα πλακέ που στο ενδιάμεσο τους τοποθετείται ένας άκαμπτος πυρήνας θερμομονωτικού αφρού (συνήθως πολυστερένιο ή πολυουρεθάνη), όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.11. Τα SIP's λειτουργούν ως ένα σώμα και διαθέτουν εξαιρετικές θερμομονωτικές και ηχομονωτικές ιδιότητες ενώ έχουν μεγάλη αντοχή σε στατικά και δυναμικά φορτία αφού προσομοιάζουν σε δοκό τύπου «I». Το πάχος των SIP's συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 12 και 30 cm ενώ εξασφαλίζεται ένας συντελεστής θερμικής αντίστασης 0.65-1.1 m²·K/W ανά 2.54 cm πάχους, αναλόγως το είδος του θερμομονωτικού αφρού, με τις μεγαλύτερες τιμές όταν χρησιμοποιείται αφρός πολυουρεθάνης [45].



Εικόνα 3.11 Στοιχεία δομής Structural Insulated Panel (SIP)

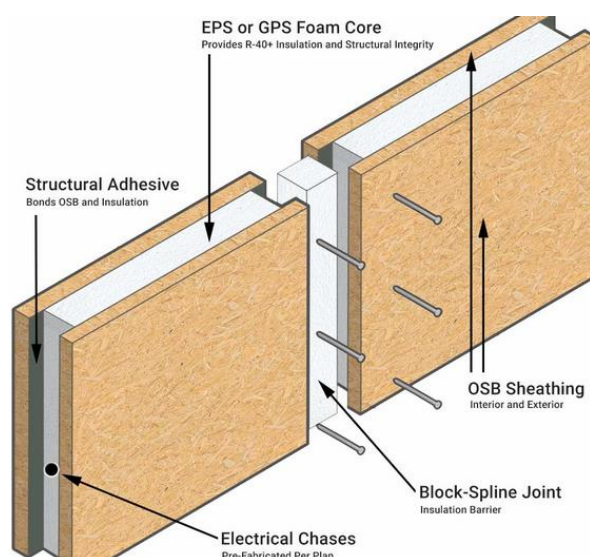
Στον Πίνακα 3.1 γίνεται σύγκριση της θερμικής επίδοσης διαφορετικών ξύλινων τοιχοποιιών με όμοιο πάχος, με κριτήριο την θερμική αντίσταση και διαπερατότητα.

Πίνακας 3.1 Σύγκριση θερμικής συμπεριφοράς ξύλινων τοιχοποιιών με δεδομένο πάχος

	Ξύλινη τοιχοποιία με σκελετό ελαφρού τύπου	Τοιχοποιία SIP's με αφρό εξηλ.πολυστερίνης	Τοιχοποιία SIP's με αφρό πολυουρεθάνης
Πάχος (cm)	14	14	14
Συντελεστής θερμικής αντίστασης R (m ² K/W)	2.976	3.59	6.06
Συντελεστής θερμικής διαπερατότητας U (W/m ² K)	0.33	0.28	0.17

Τα SIP's χρησιμοποιούνται σε μια ποικιλία οικοδομικών εφαρμογών, συμπεριλαμβανομένων τοίχων, οροφών και δαπέδων, και χρησιμοποιούνται τόσο σε οικιστικές όσο και σε εμπορικές κατασκευές. Προκατασκευάζονται σε εργοστάσια στις διαστάσεις που απαιτούνται για το κάθε έργο και μπορούν εύκολα να μεταφερθούν στο εργοτάξιο, όπου συναρμολογούνται με απλά εργαλεία και τεχνικές. Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα των SIP's είναι η υψηλή θερμομονωτική ικανότητα, η οποία μπορεί να μειώσει σημαντικά το κόστος θέρμανσης και ψύξης σε σύγκριση με τα συμβατικά δομικά υλικά [44].

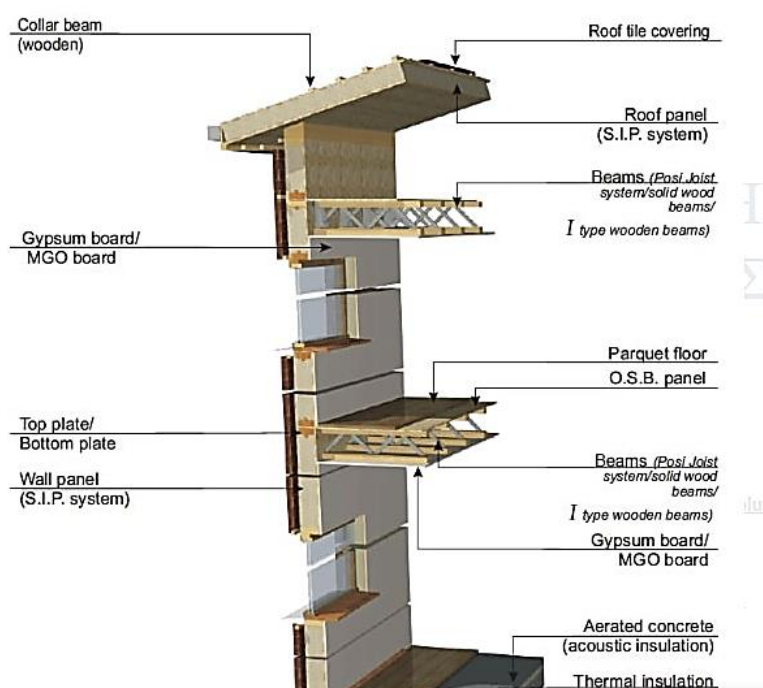
Είναι επίσης πολύ ισχυρά και ανθεκτικά και μπορούν να σχεδιαστούν ώστε να πληρούν ή να υπερβαίνουν τους τοπικούς οικοδομικούς κώδικες και κανονισμούς. Επιπλέον, η προκατασκευασμένη φύση τους επιτρέπει ταχύτερη και πιο αποτελεσματική κατασκευή, η οποία μπορεί να εξοικονομήσει χρόνο και χρήμα σε κτιριακά έργα. Συνολικά, τα SIP's προσφέρουν μια σειρά από πλεονεκτήματα για τους κατασκευαστές και τους ιδιοκτήτες σπιτιού, όπως εξαιρετική μόνωση, αντοχή και ευκολία κατασκευής. Αποτελούν ολοένα και πιο δημοφιλή επιλογή για ενεργειακά αποδοτικά και βιώσιμα κτιριακά έργα [44].



Εικόνα 3.12 Τρισδιάστατη μορφή SIP

Τα SIP's διαθέτουν πλεονεκτήματα όπως δύναμη, αντοχή, υψηλή θερμομόνωση και ηχομόνωση. Θεωρείται ένα από τα καλύτερα δομικά υλικά αφού εξοικονομεί φυσικούς πόρους και χρήματα. Ως εκ τούτου, τα SIP's καθίσταται ως ένα ολοκληρωμένο σύστημα δόμησης στον κατασκευαστικό τομέα του 21^{ου} αιώνα. Αναφορικά με την ιστορία τους, άρχισαν να κατασκευάζονται πίσω στη δεκαετία του 1930. Ο τότε διάσημος αρχιτέκτονας Frank Wright εφάρμοζε αυτά τα καινοτόμα μονωτικά πάνελ και προσπαθούσε να ενσωματώσει την αισθητική και την απλότητα σε κατοικίες με σχετικά χαμηλό κόστος. Κάποιοι από τους τοίχους που σχεδίαζε αποτελούνταν από τρία στρώματα ξυλείας κόντρα πλακέ και από δύο στρώματα πιασαρισμένου χαρτιού δίχως να προσφέρουν όμως σχετική θερμομόνωση [44].

Το 1952, ένας φοιτητής ο Dow, δημιούργησε το πρώτο SIP πάνελ με πυρήνα αφρώδους υλικού. Πειραματίστηκε με το σχεδιασμό και τη μηχανική των δομικών υλικών με θερμομόνωση και εξέλιξε τα SIP's ως το πλέον ανταγωνιστικό δομικό υλικό. Πλέον τα SIP's επιλέγονται ως δομικά υλικά αφού λόγω των πολλαπλών πλεονεκτημάτων τους δύναται να αντικαταστήσουν τις συμβατικές κατασκευές (σκελετοί με δοκούς). Μπορούν να εφαρμοστούν σε τοιχοποιίες, οροφές, δάπεδα αλλά και στέγες κτιρίων (Εικόνα 3.13) και έχουν φέρει ραγδαία επανάσταση στην κατασκευαστική βιομηχανία αφού η ανέγερση τους είναι ταχύτατη, αποδίδουν πιο ίσιους και επίπεδους τοίχους, διαθέτουν εξαιρετικές θερμομονωτικές ιδιότητες και είναι αρκετά ανθεκτικά [45].

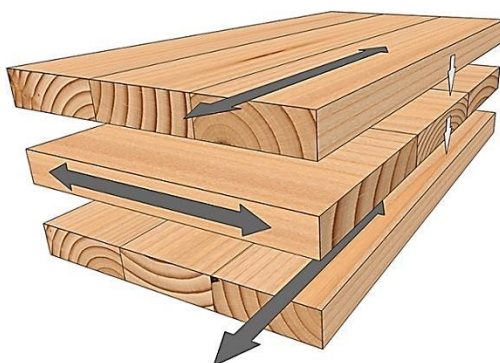


Εικόνα 3.13 Τρισδιάστατη μορφή θέσεων τοποθέτησης SIP's

Οι μηχανικές ιδιότητες της δομικής ξυλείας σε σχέση με τα άλλα δομικά υλικά είναι το μικρό βάρος της που συντελεί στην εύκολη μεταφορά της και στη μείωση του ίδιου βάρους της φέρουσας κατασκευής, διαθέτει υψηλή ελαστικότητα περίπου $E=100.000 \text{ kg/cm}$, όπου η ιδιότητα αυτή δίνει τη δυνατότητα στο ξύλινο φορέα να καταπονείται σε κάμψη και να επανέρχεται στην αρχική του θέση. Έχει υψηλή αντοχή κατά την αξονική φόρτιση κατά μήκος των ινών, διαθέτει μειωμένη αντοχή σε διάτμηση και επίσης ικανοποιητική αντοχή σε κάμψη. Όλα τα παραπάνω δικαιολογούν σε σημαντικό βαθμό την αυξανόμενη τάση ζήτησης των δομικών θερμομονωτικών πανελ, με τα πλεονεκτήματά τους να τα καθιστούν αντάξιους ανταγωνιστές των συμβατικών-και μη- συστημάτων δόμησης του κελύφους [45].

3.3.3. Cross Laminated Timber (CLT)

Η σταυρωτή επικολλητή ξυλεία -Cross Laminated Timber- είναι ένα στοιχείο βασισμένο στο ξύλο που κατασκευάζεται με τοποθέτηση φύλλων ξύλου με εναλλαγή κατευθύνσεων (Εικόνα 3.14). Είναι ανθεκτικό, παρέχει σημαντική θερμική μόνωση και η εν λόγω κατηγορία δομικού υλικού σταυρωτή επικολλητή ξυλεία που κατασκευάζεται από τη συγκόλληση τουλάχιστον τριών στρωμάτων ξυλείας. Τα στρώματα αφορούν τμήματα ξυλείας από μόνο ένα είδος ξύλου ενώ κάθε στρώμα είθισται να είναι προσανατολισμένο ώστε οι ίνες του να είναι κάθετα ως προς τις ίνες των γειτονικών παρακείμενων στρωμάτων και κολλημένο στις επιφάνειες της εκάστοτε σανίδας προκειμένου τα εξωτερικά φύλλα να διαθέτουν τον ίδιο προσανατολισμό [42].



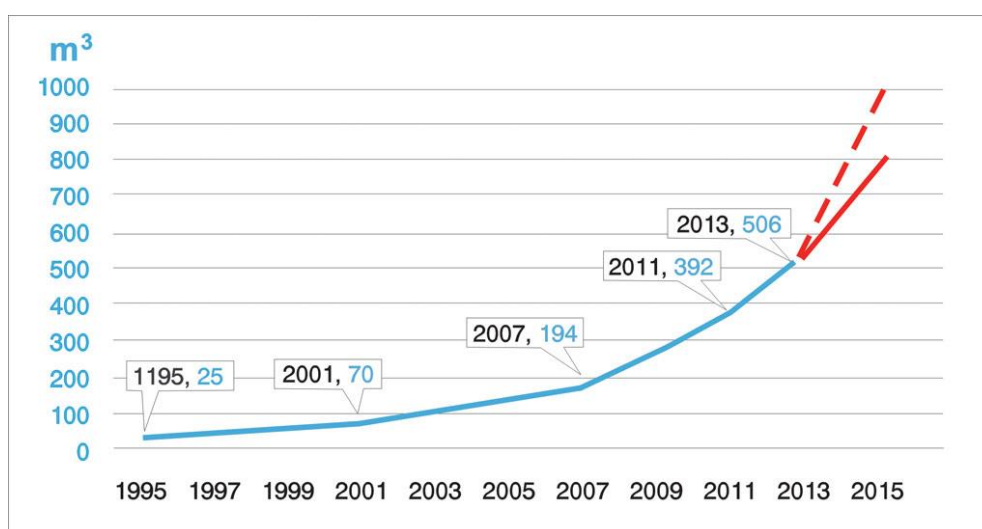
Εικόνα 3.14 Σταυρωτή δομή στρωμάτων CLT

Αυτή η τοποθέτηση δημιουργεί «σταυρωτή» δομή και επιτυγχάνει ιδιότητες αντοχής σε διάτμηση και κάμψη αλλά και αποφυγή μεταβολών συρρίκνωσης ή διόγκωσης από υγρασία. Ο αριθμός των στρωμάτων είναι κυρίως μονός ωστόσο υπάρχουν και είδη CLT τα οποία διαθέτουν ζυγούς αριθμούς. Τα CLT αφορούν ένα δομικό υλικό ανισοτροπικό δηλαδή οι φυσικές του ιδιότητες μεταβάλλονται αναλόγως την κατεύθυνση στην οποία εφαρμόζεται το φορτίο. Μέσω της συγκόλλησης των ξύλων υπό ορθή γωνία, οι σανίδες επιτυγχάνουν δομική ακαμψία και προς στις δύο κατευθύνσεις. Το εν λόγω δομικό υλικό παρομοιάζεται με εκείνο του κόντρα πλακέ ωστόσο διαθέτει παχύτερες στρώσεις ξύλου [42].



Εικόνα 3.15 Τοιχοποιία και στέγη κτιρίου από CLT

Το CLT είναι ένα δομικό σύστημα στο οποίο μεγάλες ξύλινες επιφάνειες (προκατασκευασμένα πάνελ) αποτελούν οι ίδιες τον φέροντα οργανισμό του κτιρίου (Εικόνα 3.15). Τα είδη του ξύλου που θα χρησιμοποιηθούν, το μέγεθος και η αντοχή του κάθε πάνελ εξαρτώνται κυρίως από τους διάφορους κατασκευαστές, τις απαιτήσεις στατικότητας σε κάθε κτιριακή περίπτωση, αλλά και το επιθυμητό τελικό αρχιτεκτονικό αποτέλεσμα. Αυτή η κατασκευαστική μέθοδος έχει διαδοθεί ευρέως στο εξωτερικό, κυρίως σε Βόρειες χώρες όπως η Αυστρία και η Γερμανία. Στην Ελλάδα αποτελεί ουσιαστικά νέο υλικό, αφού παραδοσιακά το ξύλο ως δομικό υλικό δεν είχε ευρεία χρήση, ωστόσο κατά το τελευταίο διάστημα παρατηρείται μια αύξηση, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.16, που οφείλεται κυρίως στο κομμάτι της εσωτερικής αρχιτεκτονικής. Μάλιστα η ζήτηση του CLT από το 1995 έως το 2015 έχει αυξηθεί σε ποσοστό έως και περίπου 95% [42].



Εικόνα 3.16 Τάση ζήτησης και ανάπτυξης του CLT

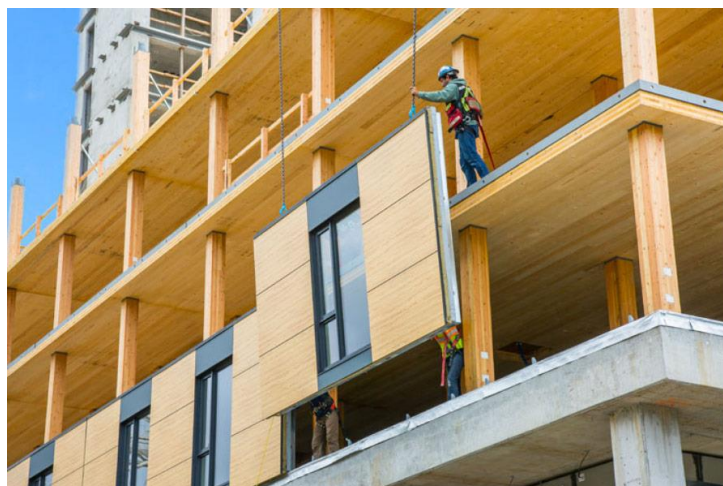
Από τα βασικά πλεονεκτήματα του εν λόγω δομικού υλικού είναι η ευρεία χρήση του καθώς δύναται να χρησιμοποιηθεί τόσο σε τοίχους, δάπεδα, όσο και οροφές αποτελούμενο από το φέροντα οργανισμό του κτιρίου, παραλείποντας την ύπαρξη δοκών και υποστυλωμάτων για την παραλαβή φορτίων, όπως είθισται να συμβαίνει στις συμβατικές στατικές κατασκευές από σκυρόδεμα (Εικόνα 3.17). Η εφαρμογή CLT παρέχει μια βελτιωμένη σταθερότητα στο προϊόν, στις επιθυμητές διαστάσεις και συνεπώς δύναται να προκατασκευαστούν μεγάλες πλάκες δαπέδου με ενιαίους μεγάλους τοίχους δίχως την υποστήριξη υποστυλωμάτων και δοκών. Είναι εύκολο στο σχεδιασμό, αισθητικά ελκυστικό ενώ είναι και οικονομικό σε σύγκριση με τις ιδιότητες που παρέχει αφού η συναρμολόγηση του δεν απαιτεί εξειδικευμένα εργαλεία και υλικά [42].



Εικόνα 3.17 Cross Laminated Timber , το "σκυρόδεμα" του μέλλοντος , ArchDaily

Στο ενεργειακό σκέλος, το CLT παρέχει καλή θερμομόνωση, ηχομόνωση αλλά και ενεργειακή απόδοση υπό συνθήκες πυρκαγιάς όπως και πρόσθετα οφέλη που λαμβάνονται από τη δομή του ξύλου, όπως το ότι είναι συμπαγές το μετατρέπει σε ένα εξαιρετικά τεχνολογικό σύγχρονο προϊόν (Εικόνα 3.18). Αποτελεί ξύλινη κατασκευή που προτιμάται έναντι άλλων υλικών λόγω της ενεργειακής θερμικής αποδοτικότητας του. Λόγω της εύκολης τοποθέτησης και των τρόπων συνδέσεων, η τελική συνολική κατασκευή είναι αεροστεγής ενώ επιτρέπεται η είσοδος ενός μικρού δυναμικού ροής αέρα.

Οι κατασκευές CLT έχουν τη δυνατότητα να παγιδεύουν αλλά και να ρυθμίζουν τη θερμότητα εντός των εσωτερικών χώρων ενώ η ροή του αέρα δύναται να αγγίξει έως και το 90%. Αυτό οφείλεται κυρίως στην υψηλή θερμική μάζα του εν λόγω υλικού που έχει ως αποτέλεσμα η εσωτερική θερμοκρασία να είναι σταθερή καθόλα τη διάρκεια της ημέρας, διατηρώντας το κτίριο θερμό κατά τη διάρκεια του χειμώνα και δροσερό κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Η θερμική μάζα είναι δυνατόν να μειώσει σημαντικά το κόστος θέρμανσης και ψύξης ενώ ταυτόχρονα μειώνεται και η χρήση ενέργειας ενισχύοντας την άνεση των χρηστών. Η θερμομονωτική συμπεριφορά των CLT, ιδίως σε τοποθετήσεις σημαντικού πάχους στο κέλυφος, μπορεί να μειώσει την ανάγκη για πρόσθετη μόνωση και περαιτέρω κόστη [42],[43].



Εικόνα 3.18 Κατασκευή κτιρίου με χρήση CLT

Αν συγκεντρώσουμε τα χαρακτηριστικά της σταυρωτής επικολητής ξυλείας θα προκύψουν τα εξής:

- Εξαιρετικές μηχανικές και δομικές ιδιότητες
- Ευέλικτος σχεδιασμός
- Ακρίβεια διαστάσεων
- Προκατασκευασμένες δομές έτοιμες προς συγκόλληση
- Σύντομος χρόνος κατασκευής κτιρίου
- Χαμηλό αποτύπωμα CO₂
- Περιβαλλοντικά συμβατή αρχιτεκτονική

Ως προς τη χρήση στις κτιριακές κατασκευές, το CLT μπορεί να εφαρμοστεί στο κέλυφος :

- Κατοικιών και πολυκατοικιών
- Δημόσια κτίρια
- Επαγγελματικών χώρων – κτίρια γραφείων
- Βιομηχανικά ή εμπορικά κτίρια , αποθήκες
- Επεκτάσιμα κτίρια
- Εξοχικές κατοικίες
- Συστήματα στεγάστρων και πέργκολες [42],[43].



Εικόνα 3.19 Κέλυφος μεγάλου κτιρίου από CLT

3.3.4. OSB – MDF – Plywood

Υπάρχουν ακόμα κατηγορίες ξύλινων δομικών στοιχείων-διατάξεων όπως είναι τα :

- a. Oriented Strand Board (OSB)
- b. Medium Density Fiberboards (MDF)
- c. Plywoods

Αυτές οι κατηγορίες συναντώνται κατασκευαστικά κυρίως σε μορφή επίπεδων σανιδών και θα αναλυθούν παρακάτω ως εξής :

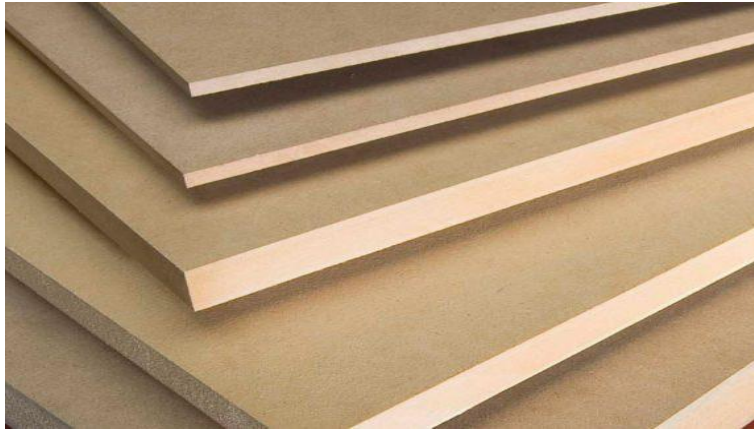
a) Τα OSB (Oriented Strand Board), ή αλλιώς πλάκες με προσανατολισμένα ξυλοτεμαχίδια, αφορούν ένα είδος συγκολλημένου προϊόντος ξύλου που συντίθεται από μακριά και πλατιά τεμαχίδια ξύλου στα οποία προστίθεται μια θερμοσκληρυνόμενη συγκολλητική ουσία. Ύστερα από μια στρωμάτωση τα τεμαχίδια πρεσάρονται μέσω μιας θερμής πρέσας προκειμένου να συγκολληθούν (Εικόνα 3.20). Το εν λόγω δομικό υλικό είναι πολύ οικονομικό και διαθέτει καλές ιδιότητες για τη συγκράτηση καρφιών και βιδών δίχως να σχισθούν οι στρώσεις τους. Είναι εύκολο κατεργάσιμο και δύναται να πλανηθεί, να λειανθεί και να του ανοιχτούν τρύπες. Αντικαθιστούν σε πολλές περιπτώσεις τα κόντρα πλακέ λόγω του ότι είναι πιο οικονομικό και διαθέτει την ίδια αντοχή [48].



Εικόνα 3.20 Όψη OSB σανίδας

Τα OSB χρησιμοποιούνται για γενική χρήση σε εσωτερικούς χώρους, για ανθεκτικές φορτίσεις για εσωτερική χρήση καθώς και χρήση σε εξωτερικούς χώρους. Διακρίνονται σε γενικής χρήσης, σε ανθεκτικά για φορτίσεις, σε εσωτερικής χρήσης σε ξηρούς χώρους και σε εξωτερικής χρήσης για υγρούς χώρους. Τα OSB γενικά με κατάλληλο πάχος προσφέρουν σχετική μόνωση και δύναται να χρησιμοποιηθούν σε περιοχές με σχετική ατμοσφαιρική υγρασία που αγγίζει έως το 85%. Ως εκ τούτου, εφαρμόζονται σε ξηρές και υγρές συνθήκες όπως για παράδειγμα σε στέγες [49].

b) Τα MDF (Medium-density fibreboard), ή αλλιώς ινόπλακα μέτριας πυκνότητας, είναι παράγωγα ξύλου τα οποία κατασκευάζονται από κομμάτια, ίνες και υπολείμματα ξύλου τα οποία συνδυάζονται με κερί καθώς και ένα ρητινούχο συνδετικό υλικό που απλώνεται με εφαρμογή υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας ώστε να δοθεί το επιθυμητό σχήμα (Εικόνα 3.21). Τα εν λόγω υλικά είναι αρκετά δημοφιλή για αρκετούς λόγους όπως είναι η χαμηλή τιμή και η ανθεκτικότητα του. Υπάρχουν αρκετές κατηγορίες MDF όπως το άνυδρο MDF το οποίο έχει μεγαλύτερη αντοχή έναντι της υγρασίας, το πυράντοχο MDF το οποίο είναι ανθεκτικό έναντι της φωτιάς, το οικολογικό MDF το οποίο δεν χρησιμοποιεί φορμαλδεΐδη και το χρωματιστό στο οποίο μπορεί να περαστεί διάφανο βερνίκι ή λάκα [46].



Εικόνα 3.21 Σανίδες MDF σε διάφορα πάχη

Ένα βασικό μειονέκτημα του MDF είναι η μικρή αντοχή του έναντι στην υγρασία και ως εκ τούτου αν απορροφήσει υγρασία τότε αρχίζει και φουσκώνει και χάνει τη συνοχή του. Εάν αυτό γίνει τότε δεν μπορεί το MDF να επισκευαστεί και ως εκ τούτου καθίσταται άχρηστο. Βέβαια, οι αντοχές του MDF έναντι στην υγρασία εξαρτώνται από την ποιότητα και τις ρητίνες που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη συγκόλληση του. Συνεπώς εάν το MDF έχει κακή ποιότητα μπορεί να φουσκώσει ακόμη και με την ατμοσφαιρική υγρασία. Τα άνυδρα MDF παρά το γεγονός ότι δεν παρέχουν πλήρη προστασία έχουν μεγαλύτερη αντοχή στην υγρασία [46],[47].

ς) Το κόντρα-πλακέ (Plywood) είναι ίσως το πιο δημοφιλές είδος τεχνητής ξυλείας μαζί με το MDF. Αποτελεί ένα τύπο ξύλου που κατασκευάζεται με τη συγκόλληση λεπτών στρωμάτων ξύλινου καπλαμά, γνωστών ως πλεξούδες ή στρώματα, με τους κόκκους των παρακείμενων πλεγμάτων προσανατολισμένους κάθετα μεταξύ τους. Αυτή η τεχνική διασταύρωσης δίνει στο κόντρα πλακέ τη δύναμη και τη σταθερότητά του, καθιστώντας το μια δημοφιλή επιλογή για μια ποικιλία εφαρμογών, ενώ στην Εικόνα 3.22 φαίνεται η όψη του σε διάφορες διαστάσεις [50].



Εικόνα 3.22 Κόντρα πλακέ (Plywood) δαπέδου σε διάφορα πάχη

Το κόντρα πλακέ διατίθεται σε διαφορετικές ποιότητες και πάχη και μπορεί να κατασκευαστεί από διάφορα είδη ξύλου. Εκτός από τη χρήση σε δομικά στοιχεία , δάπεδα, επενδύσεις κλπ, χρησιμοποιείται ακόμη και στην κατασκευή επίπλων, ντουλαπιών αλλά και διαφόρων προϊόντων όπως υλικά συσκευασίας κλπ. Μερικά από τα πλεονεκτήματα του κόντρα πλακέ περιλαμβάνουν τη δύναμη, την αντοχή στη στρέβλωση και τις ρωγμές ενώ είναι σχετικά ελαφρύ και εύκολο στην εργασία.

Ωστόσο, το κόντρα πλακέ έχει κάποια πιθανά μειονεκτήματα. Μπορεί να είναι πιο ακριβό από άλλους τύπους ξύλου και απο άποψη αισθητικής μπορεί να μην αρέσει η εμφάνιση των εκτεθειμένων άκρων κόντρα πλακέ. Επιπλέον, κατασκευάζεται από ορισμένα είδη ξύλου που μπορεί να περιέχουν φορμαλδεΐδη ή άλλες χημικές ουσίες επιβλαβείς για την ανθρώπινη υγεία. Παρ'όλα αυτά διαθέτει εξαιρετική αντοχή στις πιέσεις και είναι πιο ανθεκτικό ακόμα και από το μασίφ ξύλο.

Αναφορικά με τις μονωτικές του ιδιότητες, αναλόγως ποιο είδος κόντρα πλακέ θα επιλεγεί, αντιστοιχεί και η επιθυμητή μόνωση. Για παράδειγμα το κόντρα πλακέ θαλάσσης έχει εξαιρετική αντοχή στην υγρασία και είθισται να κατασκευάζεται από καλής ποιότητας τροπική ξυλεία και άνυδρη κόλλα. Για το λόγο αυτό παλαιότερα ήταν το κύριο υλικό κατασκευής μικρών πλοιαρίων. Χρησιμοποιείται από πολλές βιομηχανίες όπως ναυπηγική, επιπλοποιία, κατασκευαστική, δερματοποίηση [50].

3.4 ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ

3.4.1. Εισαγωγή

Τοιχοποιίες ονομάζονται τα κατακόρυφα στοιχεία μιας κτιριακής κατασκευής ,είτε πλήρους είτε με ανοίγματα, με βασικά συστατικά στοιχεία λιθοδομές, πλινθοδομές, χυτά υλικά τοιχοποιίας και άλλα. Ανάλογα με τη θέση, τη μορφή και τη χρήση ενός κτιρίου γίνεται η κατάλληλη επιλογή του αντίστοιχου υλικού κατασκευής της τοιχοποιίας, με βασική αρχή την εξασφάλιση αντοχής, λειτουργικότητας, προστασίας, αισθητικής, οικονομίας και διάρκειας ζωής για την κατασκευή [39].

Ανάλογα με τη θέση τους στο κτίριο οι τοιχοποιίες διακρίνονται σε :

- Εξωτερικές (όταν χωρίζουν τον εσωτερικό απο τον εξωτερικό χώρο)
- Εσωτερικές (όταν διαρρυθμίζουν τα εσωτερικά τμήματα)

Ανάλογα με τις καταπονήσεις που υφίστανται διακρίνονται σε :

- Φέρουσες (όταν επάνω τους στηρίζονται άλλα δομικά στοιχεία του κτιρίου πχ πλάκα απο σκυρόδεμα)
- Πληρώσεως (όταν υπάρχει φέρων οργανισμός και η τοιχοποιία συμπληρώνει τα κενά ανάμεσα στα στοιχεία του)
- Ειδικές τοιχοποιίες (αντιστηρίξεις , περιφράξεις κλπ) [39]

Ανάλογα με τα συστατικά υλικά κατασκευής διακρίνονται σε :

- Πλινθοδομές (χρήση τεχνητών λίθων με κονίαμα)
- Λιθοδομές (χρήση φυσικών λίθων με ή χωρίς κονίαμα)
- Χυτές τοιχοποιίες (απο χυτά υλικά όπως οπλισμένο σκυρόδεμα κλπ)
- Μεικτές (συνδυασμός των παραπάνω περιπτώσεων)
- Μεταλλικές , ξύλινες ή με χρήση άλλων σχετικά ελαφρών υλικών [39]

3.4.2. Στοιχεία πλινθοδομών

Ο άνθρωπος μέσα από την ανάγκη κατασκευής πιο ευέλικτης και οικονομικής κατοικίας ανακάλυψε τους πλίνθους και μετέπειτα τους οπτόπλινθους ή αλλιώς τα κοινά τούβλα. Η εξέλιξη της τεχνολογίας στο τομέα της δόμησης επέτρεψε να τυποποιηθεί η παραγωγή τους, προσθέτοντάς πολλά πλεονεκτήματα απέναντι στην χρήση των λιθοδομών, όπως χαμηλότερο εργοστασιακό κόστος παραγωγής, συγκεκριμένες διαστάσεις και ομοιομορφία, στοιχεία που δίνουν τεχνικές «ευκολίες» στην κατασκευή τοιχοποιίας (περισσότερα μέτρα) και φυσικά πολλές επιλογές στον σχεδιασμό της οικοδομής από τον αρχιτέκτονα μηχανικό [39].

Οι πλινθοδομές σαν δομικά στοιχεία έχουν προδιαγεγραμμένες ιδιότητες και συγκεκριμένες – τυποποιημένες διαστάσεις , κατασκευάζονται τεχνητά (τεχνητοί λίθοι) και ανάλογα το υλικό κατασκευής διακρίνονται σε ωμόπλινθους , οπτόπλινθους (τούβλα), πυρότουβλα κλπ. Η κατασκευή γίνεται με χρήση κατάλληλων κονιαμάτων (Εικόνα 3.23), ανάλογα το είδος των οποίων και την επεξεργασία που υφίστανται προκύπτουν οι φυσικές, μηχανικές και θερμικές ιδιότητες της τελικής πλινθοδομής. Διακρίνονται απο υψηλή αντοχή σε θλίψη και μηχανική στερεότητα οπότε ενισχύουν το σκελετό της οικοδομής και αυξάνουν την ασφάλεια της κτιριακής κατασκευής [35],[39].

Οι τοιχοποιίες αναλόγως με τα τούβλα και με τον τρόπο που κτίζονται, χωρίζονται στις κατηγορίες :

- Ορθοδρομική (πάχος τοίχου συνήθως στα 6 cm ή όσο το ύψος του τούβλου , χρήση χωνευτών-συρόμενων κουφωμάτων, δεν χρησιμοποιείται συχνά σήμερα για λόγους στατικότητας)
- Δρομική (τοποθέτηση τούβλων κατά μήκος , παχός τοίχου συνήθως 12 cm ή όσο το πάχος του τούβλου, για κατασκευή εσωτερικών χωρισμάτων , ή και εξωτερικών τοιχοποιιών με διπλή σειρά τούβλου και τοποθέτηση θερμομονωτικού υλικού ανάμεσα, μεγαλύτερο πάχος για πιο ισχυρό τοίχο)
- Μπατική (πάχος τοίχου συνήθως 19 cm ή όσο το μήκος του τούβλου, η φέρουσα τοιχοποιία κατασκευάζεται υποχρεωτικά απο μπατικούς ή υπερμπατικούς τοίχους)
- Υπερμπατική (πάχος τοίχου όσο ένας μπατικός και ένας δρομικός μαζί , δηλαδή μήκος συν πάχος τούβλου συν τον ενδιάμεσο αρμό, δεν χρησιμοποιείται πολύ παρά μόνο σε ειδικές περιπτώσεις φέρουσας τοιχοποιίας)
- Ψαθωτή (υπάρχει διάκενο αέρα 2 έως 10 cm στο εσωτερικό της τοιχοποιίας που λειτουργεί και σαν μόνωση , κυρίως εξωτερικές τοιχοποιίες , θεωρείται ξεπερασμένη η χρήση σήμερα λόγω προσθήκης θερμομονωτικών υλικών) [52].



Εικόνα 3.23 Δομική οπτοπλινθοδομή με προσθήκη τσιμεντοκονιάματος

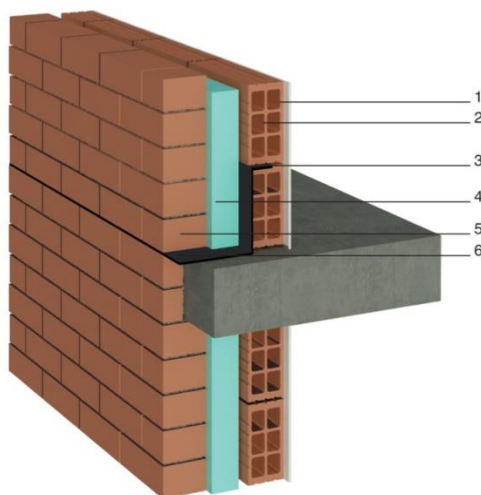
Οι βασικές κατηγορίες δομικών πλινθοδομών για τοιχοποιίες, μερικές από τις οποίες είναι ευνοϊκές ενεργειακά και θα αναλυθούν παρακάτω [52], είναι οι εξής :

- Τούβλο πυριτίου με βάση ασβέστη και άμμο
- Συμβατικό κεραμικό τούβλο με βάση τον πηλό
- Τούβλο κεραμικό ορθοπλόκ Poroton
- Τούβλα σκυροδέματος ή τσιμεντότουβλα
- Τούβλα από πορομπετόν

3.4.3. Κεραμικά τούβλα (Brick Fired Clay)

Το κεραμικό σύνηθες τούβλο αφορά ένα δομικό υλικό το οποίο κατασκευάζεται/παράγεται από ψημένο πηλό. Η πρώτη ύλη δηλαδή ο πηλός αναμειγνύεται με νερό και άλλα υλικά όπως άμμο, και διαμορφώνεται στην επιθυμητή διάσταση και σχήμα. Το τελικό προϊόν ψήνεται μέσα σε ειδικούς φούρνους έως ότου ψηθεί και αποκτήσει την κατάλληλη αντοχή του. Τα τούβλα χρησιμοποιούνται εδώ και αρκετά χιλιάδες χρόνια σε κατασκευές και είναι ευρέως γνωστά για την αντοχή τους, την ανθεκτικότητά τους καθώς και την πυραντοχή τους. Είθισται να χρησιμοποιούνται κυρίως για την κατασκευή-δόμηση εξωτερικών και εσωτερικών τοιχοποιιών (Εικόνα 3.24) αλλά και ως επενδύσεις καμινάδων, τζακιών και άλλων κατασκευών. Αποτελεί ίσως το πιο αναγνωρίσιμο οικοδομικό υλικό σε παγκόσμια κλίμακα δεδομένου ότι δεν έχει χάσει την αξία του και την ευρεία χρήση του, παρά τις σύγχρονες εναλλακτικές δομικές λύσεις [51].

Τα πρώτα τούβλα ήταν αρκετά συμπαγή με συνέπεια μεγαλύτερο βάρος, όπου από τη μια πλευρά τους είχαν λεία επιφάνεια και από την άλλη μια μικρή λακκούβα για να δένει καλύτερα το τούβλο με το κονίαμα – λάσπη. Η ανάγκη για μικρότερο βάρος οδήγησε στα διάτρητα τούβλα, των οποίων η χρήση αποτελεί σήμερα τη συντριπτική πλειονότητα των οικοδομών. Οι τρύπες (τα πιο κοινά τούβλα είναι έξι ή δώδεκα οπών) παρέχουν ωστόσο και κάποιες θερμομονωτικές και ηχομονωτικές ιδιότητες ενώ χρησιμεύουν παράλληλα στη καλύτερη πρόσφυση της λάσπης και στην ισχυροποίηση της τοιχοποιίας. Τα τούβλα έχουν αρκετά καλή θερμική συμπεριφορά και εξισορροπούν το θερμοκρασιακό περιβάλλον κάθε εποχής ενώ ενίοτε λειτουργούν και σαν ρυθμιστές της υγρασίας απορροφώντας την πλεονάζουσα και επιστρέφοντάς την όταν υπάρχει ξηρότητα [51].



Εικόνα 3.24 Διπλή οπτοπλινθοδομή με θερμική μόνωση ενδιάμεσα

Τα τούβλα κατασκευάζονται σε διάφορες διαστάσεις, χρώματα και υφές και δύναται να χρησιμοποιηθούν για κατασκευαστικούς αλλά και διακοσμητικούς σκοπούς. Αποτελούν μια εύκολη επιλογή για την κατασκευή αφού είναι συγκριτικά πιο οικονομικά σε σχέση με άλλα δομικά υλικά, είναι πάντα διαθέσιμα στην αγορά και δύναται να παραχθούν από την εγχώρια οικοδομική βιομηχανία ώστε να μην εισάγονται από το εξωτερικό. Επιπροσθέτως, οι κατασκευές από τούβλο φημίζονται για τη μακροζωία τους και δεν απαιτούν κάποια συγκεκριμένη συντήρηση. Οι τιμές συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας για το σύνθετο οικοδομικό τούβλο κυμαίνονται γύρω στο 0.80 W/mK , με πυκνότητες περί τα 2000 kg/m^3 και ειδική θερμοχωρητικότητα 900 J/kgK [36],[51].

3.4.4. Τούβλα Ορθομπλόκ (Poroton Plan Bricks)

Τα τούβλα ορθομπλόκ Poroton (αναφέρονται και ως θερμομονωτικά τούβλα) αποτελούν κεραμικά δομικά υλικά κατακόρυφων οπών, παρόμοιας ή ίδιας χημικής σύστασης με το κοινό τούβλο που αναφέρθηκε παραπάνω, που συνεισφέρουν σημαντικά στην ενίσχυμένη μόνωση προσόψεων (Εικόνα 3.25). Το 2009 στο Bau (Μόναχο), ο κ. Schlagmann παρουσίασε ένα οικολογικό σύστημα μόνωσης προσόψεων με ονομασία Poroton-WDF. Το εν λόγω υλικό στην πραγματικότητα είναι ένα σύστημα τοιχοποιίας διπλού φύλλου το οποίο αποτελείται από υψηλά θερμομονωτικά μπλοκ, τα οποία αποτελούν το βασικό υλικό πλήρωσης της τοιχοποιίας ή μπορούν να τοποθετηθούν γρήγορα και εύκολα μπροστά από τον ευάλωτο υφιστάμενο τοίχο. Τα Poroton τούβλα παράγονται σε ποίκιλα πάχη και διαστάσεις με σύνθετες διατομές να είναι $250\text{mm} \times 250\text{mm} \times 240\text{mm}$, με βάρος $12 - 14 \text{ kg}$ ανά τεμάχιο [53].



Εικόνα 3.25 Κατασκευή τοιχοποιίας από Poroton blocks

Ο πυρήνας των συγκεκριμένων τούβλων υψηλής θερμομόνωσης έχει την δυνατότητα να πληρωθεί με γέμισμα ορυκτού περλίτη ή με γραφιτούχα διογκωμένη πολυστερίνη. Χάρη στο συνδυασμό μπλοκ, αργίλου και περλίτη, το Poroton διαθέτει πολύ χαμηλή τιμή θερμικής αγωγιμότητας 0.065 έως 0.12 W/mK. Η πυκνότητα κυμαίνεται γύρω στα 650 kg/m³ και η ειδική θερμοχωρητικότητα περίπου 1000 J/kgK. Λόγω του χαμηλού συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, η θερμομονωτική πρόσοψη Poroton με βάση το μπλοκ αργίλου δύναται να χρησιμοποιηθεί για τη βελτίωση της μόνωσης των υφιστάμενων τοίχων που χτίστηκαν παλαιότερα προκειμένου να ταιριάζουν με την ενεργειακή απόδοση των νεόδμητων κτιρίων σύμφωνα με την Schlagmann Poroton [53].

Επιπλέον, χάρη στη δομική σταθερότητά που προσφέρει το εν λόγω δομικό υλικό σε σύγκριση με άλλα συστήματα, μπορεί να αποτελέσει μια πολύ ανθεκτική εναλλακτική μέθοδο για την ενεργειακή αναβάθμιση των προσόψεων των κτιρίων. Απο σκοπιά κόστους επένδυσης, συνυπολογίζοντας την αντοχή και την ανθεκτικότητα στο χρόνο, το Poroton χαρακτηρίζεται αρκετά αποδοτικό. Βασικές ιδιότητες του συγκεκριμένου τούβλου παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.2 και περιγράφουν τη συμπεριφορά απέναντι σε διάφορες συνθήκες [38].

Πίνακας 3.2 Φυσικές, θερμικές και μηχανικές ιδιότητες οπτόπλινθων, TOTEE

Προσβολή από έντομα / πουλιά / τρωκτικά	Όχι
Προσβολή από χημικούς διαλύτες	Όχι
Προσβολή από την ηλιακή ακτινοβολία	Όχι
Συμπεριφορά στη θερμότητα	Αντοχή σε παγετό και υψηλές θερμοκρασίες
Θερμική αγωγιμότητα (σύμφωνα με την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2/2010)	$\lambda = 0,260 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ για πυκνότητα $\rho = 940 \text{ kg/m}^3$ *
Απορρόφηση νερού	Ναι
Αντίσταση στη διάχυση των υδρατμών	$\mu = 10$
Αντοχή στη συμπίεση	Ναι
Μεταβολή διαστάσεων	Σταθερότητα
Συμπεριφορά σε φωτιά	Άκαυστα

Εκτός από τις θερμικές ιδιότητες που παρέχει σε μια υπο κατασκευή τοιχοποιία, τα εν λόγω τούβλα διακρίνονται από εξαιρετική αντίσταση στη φωτιά. Σύμφωνα με τον διευθυντή πωλήσεων Matt O'Halloran της εταιρίας παραγωγής στο Ην.Βασίλειο τα συστήματα δομής με Poroton αποτελούν συστήματα υψηλής ενεργειακής απόδοσης, βιώσιμη και οικολογική λύση για νέα κτίρια, ενώ διακρίνονται από

ταχύτητα και απλότητα στην κατασκευή. Ανέφερε χαρακτηριστικά ότι μπορούν να κτιστούν σε ύψη έως και δύο ορόφων σε μια μέρα. Ακόμη τόνισε ότι γύρω στα 600 εμπορικά καταστήματα της γνωστής αλυσίδας Lidl στο Ην. Βασίλειο επέλεξαν το συγκεκριμένο σύστημα δόμησης, επιτάχυναν την κατασκευή, ενώ παράλληλα μείωσαν και το οικονομικό κόστος [53].

3.4.5. Τούβλα απο πορομπετόν (AAC blocks– Autoclaved aerated concrete)

Τα τούβλα απο πορομπετόν ή αυτόκλειστο κυψελωτό σκυρόδεμα (AAC Blocks - Autoclaved aerated concrete) αποτελούν ένα σύγχρονο δομικό υλικό που παράγεται απο κυψελωτό σκυρόδεμα, το οποίο μετά απο κατάλληλη υδροθερμική κατεργασία αποκτά πόρους στο εσωτερικό του και αφρώδη υφή. Τα συγκεκριμένα δομικά τούβλα αποτελούν μια πιο ελαφριά παραλλαγή σκυροδέματος και διαθέτουν υψηλή φέρουσα ικανότητα, ενώ ταυτόχρονα είναι πιστοποιημένα δομικά υλικά παντός καιρού. Στην Εικόνα 3.26 φαίνεται η όψη κελύφους κτιρίου απο τούβλα πορομπετόν [54].

Εφευρέθηκαν σχετικά πρόσφατα, το 1920, από έναν Σουηδό αρχιτέκτονα, και τις τελευταίες δεκαετίες αποκτάνε ολοένα και περισσότερο έδαφος στον κατασκευαστικό κλάδο, ιδίως σε κτιριακές κατασκευές που απαιτούν συστατικά υψηλής ενεργειακής απόδοσης. Το 1978, τα AAC Blocks έγιναν δημοφιλή ως μια τέλεια εναλλακτική λύση στον παραδοσιακό τρόπο κατασκευής, ωστόσο από το 2012 και έπειτα, η χρήση του εν λόγω δομικού υλικού εκτοξεύθηκε και άρχισε να χρησιμοποιείται ευρέως σε παγκόσμια κλίμακα και ιδιαίτερα ειδικά σε ανεπτυγμένες και αναπτυσσόμενες οικονομίες όπως οι ΗΠΑ, η Κίνα, η Ινδία, η Σιγκαπούρη, η Αυστραλία κλπ [54].



Εικόνα 3.26 Κτιριακό κέλυφος απο AAC blocks

Τα AAC Blocks απο σκοπιά συστατικών υλικών κατασκευάζονται από λεπτά αδρανή πυριτικά συστατικά, τσιμέντο και ένα παράγοντα διαστολής (διογκωτικό μέσο) συνήθως διάλυμα αφρογόνου ουσίας ,που δημιουργεί τις φυσαλίδες που εγκλωβίζονται στο μείγμα. Μικροσκοπικά, το εν λόγω δομικό υλικό περιέχει 80% αέρα ενώ κατά τη διαδικασία κατασκευής του στο εργοστάσιο χυτεύεται και κόβεται σε ακριβείς και επιθυμητές διαστάσεις. Η δόμηση επιτυγχάνεται με κατάλληλο κονίαμα ή με ειδική κόλλα και κάθε 2.5 - 4 μέτρα κατασκευάζεται σενάζ. Στις δύο όψεις μπορεί να εφαρμοστεί εύκολα τελικό επίχρισμα, ή και να παραμείνουν ανεπίχριστες [55]. Στον Πίνακα 3.3 αναφέρεται η συμπεριφορά του συστήματος απέναντι σε διάφορες συνθήκες [38].

Τα τούβλα από πορομετόν διαθέτουν αρκετά πλεονεκτήματα, μεταξύ άλλων :

- Υψηλή δομική ικανότητα για εφαρμογή σε τοίχους, δάπεδα και οροφές
- Ελαφριές/κυψελοειδείς ιδιότητες το καθιστούν εύκολο στη διαμόρφωση του
- Ευέλικτο ενώ αντιστέκεται σε μικροοργανισμούς, μούχλα και μύκητες
- Μεγάλη αντοχή έναντι πυρκαγιάς (4 ώρες το λιγότερο) άρα θεωρητικά άκαυστο και ως εκ τούτου δεν εκπέμπει τοξικές αναθυμιάσεις
- Μικρό βάρος – υψηλότερη τιμή θερμικής μάζας. Η θερμική αγωγιμότητα των AAC block κυμαίνεται από 0.10 - 0.24 W/mK με πυκνότητα 400 - 700 kg/m³ [55]

Καταλήγοντας, η χρήση AAC Blocks για ενεργειακούς σκοπούς προτείνεται αφού λόγω της πορώδους φύσης τους και της χαμηλής θερμικής αγωγιμότητας εμποδίζουν τη ροή θερμότητας απο το εσωτερικό στο εξωτερικό περιβάλλον, και αντίστροφα. Ιδίως με παράλληλη τοποθέτηση κατάλληλου στρώματος θερμομονωτικού υλικού ισχυροποιείται πολύ σημαντικά η ενεργειακή απόδοση του κελύφους και κατά συνέπεια μειώνεται στο ελάχιστο το κόστος κλιματισμού [56].

Πίνακας 3.3 Φυσικές, θερμικές και μηχανικές ιδιότητες

Προσβολή από έντομα / πουλιά / τρωκτικά	Όχι
Προσβολή από χημικούς διαλύτες	Όχι
Προσβολή από την ηλιακή ακτινοβολία	Όχι
Θερμική αγωγιμότητα (σύμφωνα με την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2/2010)	<ul style="list-style-type: none"> • Ελαφροβαρείς τσιμεντόλιθοι Για $\rho = 400 - 800 \text{ kg/m}^3$ $\lambda = 0,110 - 0,220 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ • Διάτρητες πλίνθοι από κυψελωτό σκυρόδεμα Για $\rho = 600 - 1600 \text{ kg/m}^3$ $\lambda = 0,350 - 1,000 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ • Κισηρόλιθοι Για $\rho = 500 - 800 \text{ kg/m}^3$ $\lambda = 0,170 - 0,260 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
Απορρόφηση νερού	Ναι
Αντίσταση στη διάχυση των υδρατμών	$\mu = 3,0-10,0$
Αντοχή στη συμπίεση	Ναι
Μεταβολή διαστάσεων	Σταθερότητα
Συμπεριφορά σε φωτιά	Άκαυστο



Εικόνα 3.27 Εξωτερικές και εσωτερικές τοιχοποιίες από AAC blocks

3.5 ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

3.5.1. Απλό και οπλισμένο σκυρόδεμα

Το σκυρόδεμα αποτελεί ένα δομικό υλικό που συνιστάται από μείγμα ορυκτών αδρανών υλικών (κυρίως χαλίκια, νερό και τσιμέντο ως συνδετικό – Εικόνα 3.28) που έπειτα από χημική αντίδραση μετατρέπεται σε ένα στερεό σώμα. Η σύνθεση του σκυροδέματος και η αναλογία των υλικών διαφέρει από την εκάστοτε μελέτη σύνθεσης του σκυροδέματος ενώ οι απαιτήσεις περιεκτικότητας τσιμέντου ως προς το συνολικό μείγμα κυμαίνονται από 11-17 % της συνολικής μάζας, και αντίστοιχα το νερό μεταξύ 48 – 70 % του βάρους του τσιμέντου. Επισημαίνεται ότι το νερό δε χάνεται από το τελικό αποτέλεσμα αλλά δεσμεύεται χημικά. Η αύξηση της ποσότητας νερού στο αρχικό μείγμα αυξάνει και μεν την εργασιμότητα ωστόσο οδηγεί σε αστοχίες όπως μειωμένη αντοχή, ρηγματώσεις, μειωμένη προστασία του σιδηρού οπλισμού κλπ. Την πλειοψηφία του βάρους την κατέχουν τα αδρανή υλικά τα οποία θα πρέπει να είναι γωνιώδη και να έχουν καλή διαβάθμιση από λεπτόκοκκα έως πιο χονδρόκοκκα (ΦΕΚ 315/97, 1997), ενώ μπορούν να προστεθούν επιπλέον χημικές ενώσεις που θα μεταβάλλουν διάφορες ιδιότητές του όπως χρόνος πήξης, ευκολία ροής κλπ [57].

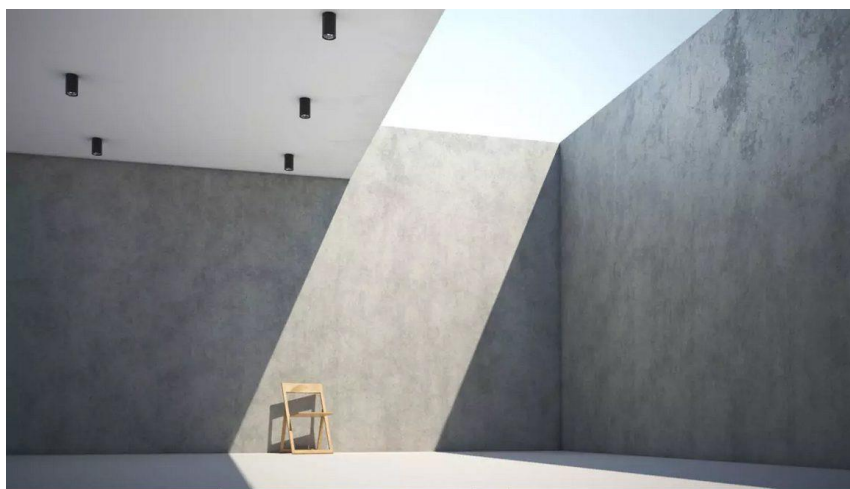


Εικόνα 3.28 Απλό χυτό σκυρόδεμα σε κατασκευή

Βασικά πλεονεκτήματα που παρουσιάζει το σκυρόδεμα στις κτιριακές κατασκευές είναι τα εξής :

- Εύκολος σχηματισμός μέσα σε κατάλληλα καλούπια (συνήθως ξυλότυποι)
- Υψηλή θλιπτική αντοχή (αλλά όμως μικρή αντοχή σε εφελκυσμό)
- Μεγάλη διάρκεια ζωής
- Αντοχή απέναντι στη φωτιά
- Σχετικά μικρό κόστος
- Χαμηλή ενσωματωμένη ενέργεια (για παραγωγή και επεξεργασία)
- Σχετικά μικρή περιβαλλοντική επιβάρυνση [35].

Το οπλισμένο σκυρόδεμα (αναφέρεται και ως μπετόν «αρμέ») αποτελεί το σύνθετο υλικό που προκύπτει απο την ενίσχυση του απλού σκυροδέματος με κάποιο στοιχείο οπλισμού, δηλαδή κάποιο άλλο υλικό με μεγαλύτερη αντοχή. Το βασικό υλικό οπλισμού που χρησιμοποιείται είναι ο χάλυβας υπό μορφή ράβδων ή ινών , ή σπανιότερα ίνες γυαλιού, πολυμερή υλικά και άλλα. Το ουσιαστικό κριτήριο της ενίσχυσης είναι ο συνδυασμός των ιδιοτήτων των παραπάνω υλικών για τη σύνθεση του νέου μεγαλύτερης αντοχής που θα ικανοποιήσει τις ανάγκες της εκάστοτε κατασκευής. Στην Εικόνα 3.29 φαίνεται η χρήση σκυροδέματος σαν τελική όψη στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό, και στην Εικόνα 3.30 φαίνεται η διαδικασία εφαρμογής οπλισμένου σκυροδέματος σε κτιριακή κατασκευή [57].



Εικόνα 3.29 Εμφανές σκυρόδεμα τοίχου στην αρχιτεκτονική

Το υλικό απο το οποίο αποτελείται ο οπλισμός πρέπει να διακρίνεται απο υψηλή μηχανική αντοχή σε εφελκυσμό, προκειμένου να «καλύψει» την αδυναμία παραλαβής αυτών των εφελκυστικών φορτίων απο το απλό σκυροδέμα , και για να επιτευχθεί η συνεργασία μεταξύ τους θα πρέπει να έχουν παρόμοιο συντελεστή θερμικής διαστολής. Ο χάλυβας, το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο πλέον υλικό οπλισμού σκυροδέματος με τη μορφή συμπαγών ράβδων, έχει και τις δυο αυτές ιδιότητες, αν και μειονεκτεί σε θέματα διάβρωσης και ευαισθησίας στη φωτιά. Οι επιλεγμένες θέσεις των ράβδων οπλισμού στο σκυρόδεμα προκύπτουν απο την στατική ανάλυση της κατασκευής και έχουν στόχο την επίτευξη επάρκειας απέναντι σε κάθε είδους φόρτιση [57].

Ενεργειακά, το σκυρόδεμα διαθέτει υψηλή θερμική μάζα η οποία οδηγεί σε θερμική σταθερότητα. Αυτό ενισχύει τις μεθόδους εξοικονόμησης ενέργειας ενώ παράγεται ένα καλό εσωτερικό περιβάλλον για τους χρήστες ενός κτιρίου. Είτε αφορά οπλισμένο είτε άοπλο σκυρόδεμα, αποτελούν τα πιο δημοφιλή δομικά υλικά με χρήση τόσο ευρωπαϊκά όσο και παγκοσμίως καλύπτοντας τις δομικές ανάγκες όλων των τύπων κτιρίων.



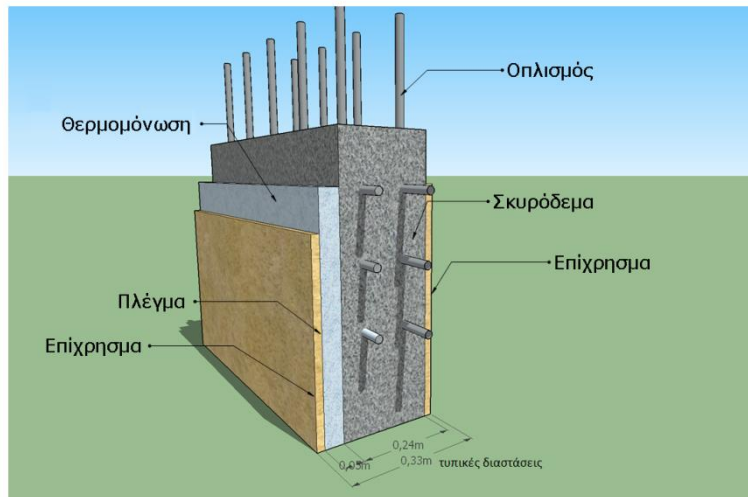
Εικόνα 3.30 Οπλισμένο σκυρόδεμα

Η εφαρμογή του σκυροδέματος είναι ευρεία όπως σε πλάκες (πλάκες θεμελίωσης, ισογείου, δαπέδων και ορόφων), σε στοιχεία του φέροντος οργανισμού των κτιρίων (υποστυλώματα, δοκοί), αλλά και εσωτερικούς και εξωτερικούς τοίχους ακόμη και στέγες. Η πυκνότητα του σκυροδέματος είναι μεταξύ $2000 - 2500 \text{ kg/m}^3$, με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας γύρω στα 2 W/mK και ειδική θερμοχωρητικότητα περίπου 880 J/kgK . Είναι εξαιρετικά ευπροσάρμοστο όσον αφορά τις δομικές του ιδιότητες, γεγονός που αποτελεί έναν από τους λόγους της επιτυχίας του.

Η πλειοψηφία των κτιρίων χρησιμοποιεί πυκνό σκυρόδεμα (Εικόνα 3.31), το οποίο είναι γνωστό για την αντοχή, την πυροπροστασία, την ηχομόνωση και για τη θερμική του μάζα (European Concrete Platform ASBL, 2007). Λόγω των ανωτέρω πλεονεκτημάτων, το σκυρόδεμα αποτελεί μια ιδανική λύση έναντι στις απαιτήσεις του Energy Performance of Buildings Directive (Directive 2002/91/EC of 16 December 2002), το οποίο ουσιαστικά αφορά τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων στην Ευρώπη. Έτσι, λόγω της σημαντικής του θερμικής μάζας οδηγεί το εσωτερικό περιβάλλον των κτιρίων σε θερμική σταθερότητα, προσφέροντας βελτιωμένες ανάγκες ενεργειακών καταναλώσεων [35],[39].

Μπορούν να συνοψιστούν τα εξής στοιχεία για το σκυρόδεμα :

- Συμβολή στη διατήρηση σταθερής εσωτερικής θερμοκρασίας κτιρίου
- Καθυστέρηση θερμοκρασιακών μεταβολών λόγω θερμικών ροών
- Όταν τίθενται σε λειτουργία τα συστήματα κλιματισμού, μπορεί να μειώσει τις ψυκτικές ανάγκες κατά 50%.

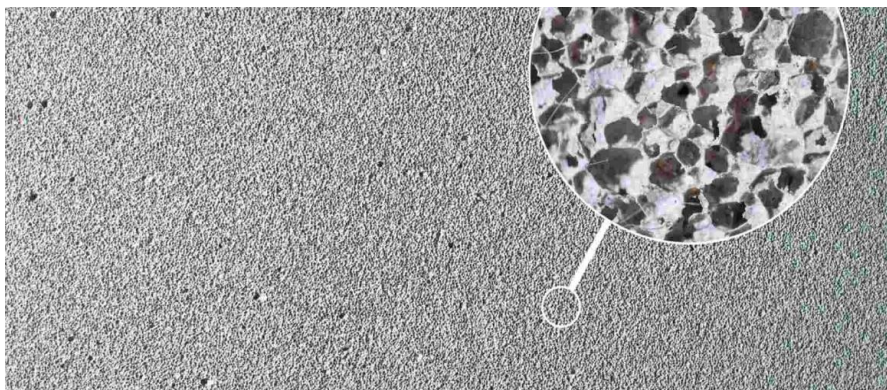


Εικόνα 3.31 Τομή τυπικού τοιχίου με οπλισμένο σκυρόδεμα εσωτερικά

Ένα ισχυρό κέλυφος κτιριακής κατασκευής θα αποτελείται εξ'ολοκλήρου από οπλισμένο σκυρόδεμα στον σκελετό του φέροντα οργανισμού, και έπειτα στις εξωτερικές τοιχοποιίες, μειώνοντας σημαντικά προβλήματα όπως ρωγμές λόγω διαφορετικών υλικών, πιθανές κακές κατανομές των υλικών, κενά, επικαλύψεις λόγω κακής σκυροδέτησης κλπ [35],[39].

3.5.2. Ελαφροσκυρόδεμα και Κυψελωτό σκυρόδεμα (Lightweight and Cellular Concrete)

Το ελαφροσκυρόδεμα ή ελαφρομπετόν (Lightweight concrete) αφορά ένα καλών θερμομονωτικών ιδιοτήτων δομικό υλικό το οποίο ανήκει ουσιαστικά στις μονώσεις ταρατσών και αποτελεί ένα πολύ ελαφρύ υλικό. Γενικά ως ελαφροσκυροδέματα χαρακτηρίζονται τα τσιμεντοκονιάματα με πυκνότητα και αντοχή πολύ μικρότερη από αυτήν των κανονικών σκυροδεμάτων, που αυξάνει όμως συναρτήσσει της πυκνότητας. Κατασκευάζεται από τσιμέντο, νερό και αφρό (Εικόνα 3.32), και έχει ποικίλες χρήσεις με βασικές εξ'αυτών να αποσκοπούν και στη θερμική προστασία. Έχει οριστεί ως τσιμεντένιο υλικό που συγκρατείται από 20% αφρό, ο οποίος μεταφέρεται μηχανικά μέσα στο πλαστικό κονίαμα. Η ξηρή πυκνότητα του ελαφροσκυροδέματος κυμαίνεται μεταξύ 300-1600 kg/m³, και η αντοχή του στη θλίψη κυμαίνεται από 0,2-10 N/mm² [36],[58].



Εικόνα 3.32 Δομή ελαφρομπετόν

Ανάλογα τον τρόπο παρασκευής και τα συστατικά το ελαφροσκυρόδεμα διακρίνεται σε τρεις τύπους : α) με ελαφρά αδρανή (κίσηρη,περλίτης κλπ) , με εγκλωβισμένο αέρα (κυψελοκονίαμα, αφροσκυρόδεμα) και γ) μόνο με χονδρόκοκκα αδρανή. Στην Ελλάδα, το πιο σύνηθες φυσικό ελαφροβαρές αδρανές που χρησιμοποιείται είναι η κίσηρη και αποτελεί ένα φυσικό ηφαιστειογενές υλικό. Το ελαφροσκυρόδεμα εφαρμόζεται στις υφιστάμενες κατασκευές σαν τελική επίστρωση και ενισχύει τη θερμική συμπεριφορά της κατασκευής. Στην Εικόνα 3.33 παρουσιάζονται οροφές ενισχυμένες με τελική επίστρωση ελαφρομπετον, τόσο για το κομμάτι της προστασίας, όσο και της αισθητικής του δώματος [58].



Εικόνα 3.33 Οροφές απο ελαφροσκυρόδεμα

Το κυψελωτό σκυρόδεμα (Cellular concrete) αποτελεί ένα είδος ελαφρομπετόν με χαμηλό βάρος, υψηλή σκληρότητα και δημιουργείται από την ανάμειξη ενυδατωμένου τσιμέντου και αφρού υψηλής αντοχής. Το εν λόγω μείγμα έχει την ικανότητα να εγκλωβίζει τις φυσαλίδες αέρα διαμέτρου 0.1 – 1 mm εντός της μάζας του τσιμεντοκονιάματος, με τελικό αποτέλεσμα μια ομοιογενή δομή σε μορφή «κηρήθρας» η οποία δίνει θερμομονωτικές και ηχομονωτικές ικανότητες και μεγάλη αντοχή. Οι φυσαλίδες δημιουργούνται είτε με τον εγκλωβισμό αερίου που παράγεται από κάποια χημική αντίδραση , είτε με τον εγκλωβισμό αέρα σε μορφή αφρού (αφροσκυρόδεμα). Η πυκνότητα του κυψελωτού σκυροδέματος κυμαίνεται από 250-500 kg/m³ , ενώ αν στο κονίαμα περιέχεται λεπτή άμμος τότε η πυκνότητα είναι μεταξύ 400 – 1100 kg/m³ και αντοχή απο 2-10 MPa.

Για την ανάμειξη προστίθενται στον αναμκτήρα πρώτα η απαιτούμενη ποσότητα νερού και τα τυχόν προβλεπόμενα υδατοδιαλυτά πρόσμεικτα και ακολουθούν με τη σειρά το τσιμέντο, τα αφροποιητικά υλικά (στο κυψελωτό κονιόδεμα οι φυσαλίδες σχηματίζονται μέσα στη μάζα του), τα αδρανή και τα διάφορα πρόσθετα όταν απαιτούνται. Η σειρά αυτή εξασφαλίζει την ελάχιστη απώλεια φυσαλίδων, δεν είναι όμως δεσμευτική και μπορεί να προσαρμοστεί ανάλογα τις απαιτήσεις κάθε έργου. Οι κυριότερες εφαρμογές του είναι τόσο ως θερμομονωτική επίστρωση και δημιουργία ρύσεων σε δώματα, όσο και για ηχομόνωση και πυροπροστασία δαπέδων [58].

3.5.3. Σκυρόδεμα με περλίτη (Concrete Perlite)

Το σκυρόδεμα με περλίτη ή περλομπετόν αποτελεί ένα είδος θερμο-ηχομονωτικού ελαφρούς σκυροδέματος με βάση τον διογκωμένο περλίτη. Είναι συνήθως ημίετομο προϊόν και έχει κύρια χρήση στα γεμίσματα και επιστρώσεις δαπέδων κυρίως εσωτερικών χώρων, αντικαθιστώντας τα προϊόντα τσιμεντοκονίας. Ο διογκωμένος περλίτης που είναι άφθατος σαν ανόργανο υλικό και έχει ελάχιστο βάρος, όταν αναμειχθεί με το τσιμέντο και το νερό δημιουργεί ένα πλήρες τελικό υλικό-μείγμα που προσφέρει και θερμική και ηχομονωτική προστασία. Με το πέρασμα του εκάστοτε γεμίματος-επίστρωσης η τελική επιφάνεια μπορεί να υποδεχθεί την εφαρμογή και υπολοίπων υλικών επίστρωσης όπως πλακίδια, μάρμαρο και άλλα υλικά επίστρωσης δαπέδων. Στην Εικόνα 3.34 φαίνεται η επίστρωση εσωτερικού δαπέδου από το συγκεκριμένο υλικό για περίπτωση χρήσης κατοικίας.

Το τελικό προϊόν, που αναφέρεται και ως περλομπετόν, χαρακτηρίζεται από ευκολία στη διάστρωση και άριστη σχέση βάρους με μηχανικές αντοχές. Από σκοπιά τεχνικών χαρακτηριστικών το περλομπετόν διαθέτει συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας 0.13-0.26 W/mK στους 20°C και πυκνότητα περί τα 800 kg/m³, ενώ έχει ειδική θερμοχωρητικότητα περίπου 840 J/kgK, όλα αυτά σε συνάρτηση με την περιεκτικότητα του τελικού μείγματος σε τσιμέντο και διογκωμένο περλίτη [59].



Εικόνα 3.34 Εσωτερικό δάπεδο οικίας από περλομπετόν

Πλεονεκτήματα :

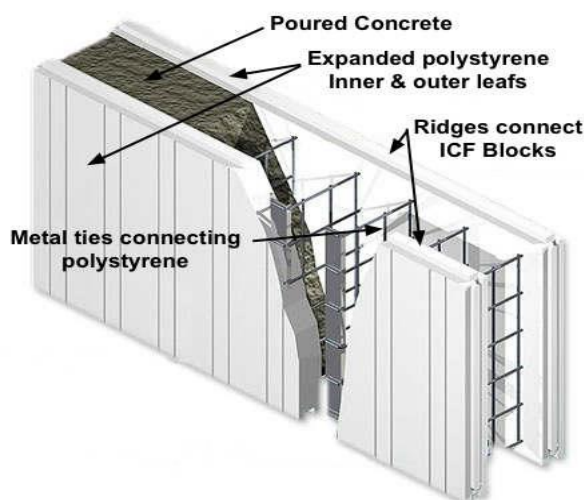
- Άριστη εργασιμότητα και ευκολία διάστρωσης τελικής επιφάνειας
- Θερμομονωτικές και ηχομονωτικές ιδιότητες
- Αναλλοίωτο προϊόν στη πάροδο του χρόνου και άκαυστο
- Καλή συμπεριφορά στη θερμική διαστολή
- Χαμηλό βάρος στρώσης γεμίματος και βελτίωσης αντισεισμικής συμπεριφοράς
- Μη τοξικό

Μειονεκτήματα :

- Σημαντικά υψηλότερο κόστος συγκριτικά με οποιοδήποτε άλλο υλικό πχ. αφρομετόν
- Δεν είναι πλήρως αδιάβροχο , πρόβλημα έκθεσης σε καιρικές συνθήκες , απαίτηση έξτρα υγρομόνωσης [59].

3.5.4. Insulated Concrete Forms (ICF's)

Τα ICF's αποτελούν δομικές κατασκευές κτιριακού κελύφους υψηλής ενεργειακής απόδοσης, με σκυρόδεμα που τοποθετείται ανάμεσα σε δύο μόνιμα στρώματα θερμομονωτικών υλικών. Οι φόρμες συγκρατούν το χυτό σκυρόδεμα και σαν μονάδες «κουμπώνουν» μεταξύ τους και δημιουργούν τα δομικά στοιχεία του τοίχου του κτιρίου. Δεδομένου ότι μπορούν να εφαρμοστούν εξωτερικά και εσωτερικά τα συνήθη συμβατικά επιχρίσματα, αυτά τελικά δείχνουν οπτικά σαν τυπική κατασκευή. Στην Εικόνα 3.35 φαίνεται αναλυτικά η δομή του Insulated Concrete Form, από τα συστατικά στοιχεία που το αποτελούν, όσο και σαν ολοκληρωμένη σύνθεση [61].



Εικόνα 3.35 Δομή Insulated Concrete Form (ICF)

Η υιοθέτηση των ICF's σαν δομική κατασκευή αυξήθηκε σταθερά από τη δεκαετία του 1970, αν και αρχικά βρήκε εμπόδια την έλλειψη ενημέρωσης, τους οικοδομικούς κώδικες και τη σύγχυση μεταξύ των κατασκευαστών που ανέπτυσαν διαφορετικά σχέδια και όχι αυστηρές τυποποιημένες δομές. Πλέον η κατασκευή με ICF's πραγματοποιείται με ασφάλεια αφού οι κώδικες σχεδιασμού το συμπεριλαμβάνουν ως υλικό κατασκευής. Έχει σημαντικά αυξανόμενη τάση ζήτησης τόσο λόγω των πλεονεκτημάτων, όπως αναλύονται παρακάτω, όσο και διότι δεν χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερη πολυπλοκότητα κατασκευής [61].

Έχουν σημαντικό αποτέλεσμα στην εξοικονόμηση ενέργειας, με σύνηθες δείκτη θερμικής αντίστασης άνω των $3 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$, ενώ δεν εμφανίζει σημαντικές θερμογέφυρες και κενά μόνωσης στο κέλυφος όπως σε συμβατικές κατασκευές. Η χρήση αυτών των υλικών μπορεί επίσης να μειώσει την ποσότητα τσιμέντου που απαιτείται στο μείγμα, καθιστώντας το μια πιο βιώσιμη και φιλική προς το περιβάλλον επιλογή. Το ICF είναι ένα ευπροσάρμοστο και αποτελεσματικό υλικό για μια σειρά εφαρμογών, προσφέροντας ένα μοναδικό συνδυασμό αντοχής, ελαφρότητας και θερμικής προστασίας. Στην Εικόνα 3.36 εμφανίζονται υπο κατασκευή τοιχοποιίες από ICF's και το υπο διαμόρφωση συνολικό κέλυφος ενός κτιρίου [60].



Εικόνα 3.36 Κατασκευή κελύφους κτιρίου από ICF's

Τα ICF's είναι συστήματα διαμόρφωσης τοίχων από σκυρόδεμα που δεν αφαιρούνται μετά τη σκλήρυνση του σκυροδέματος, αλλά παραμένουν μόνιμα στη θέση τους ως μέρος της δομής. Οι μορφές είναι γενικά κατασκευασμένες από δυο στρώματα θερμομονωτικού υλικού, με συνηθέστερη τη χρήση της πολυστερίνης, που περικλείουν το χυτό σκυρόδεμα. Αυτά είναι είτε προδιαμορφωμένα αλληλοσυνδεδεόμενα μπλοκ είτε ξεχωριστά πάνελ που συνδέονται με πλαστικούς ή μεταλλικούς δεσμούς. Είναι δεδομένο ότι παρέχουν συνεχή θερμομόνωση, ηχομόνωση και στεγανότητα, και δύναται να υποστηρίξουν και άλλα δομικά υλικά όπως γυψοσανίδες στο εσωτερικό μιας κατασκευής και άλλα.

Ανάλογα τη διάσταση και το πάχος τόσο των θερμομονωτικών επιφανειών όσο και του εσωτερικού σκυροδέματος, διαμορφώνεται αρκετά χαμηλός συντελεστής θερμικής διαπερατότητας που μεταφράζεται σε υψηλή ενεργειακή απόδοση της κατασκευής και χαμηλότερες καταναλώσεις για θέρμανση και ψύξη του χώρου. Χαρακτηρίζονται ως το ενεργειακό δομικό υλικό του μέλλοντος αφού δεν επιτρέπουν την εύκολη διέλευση θερμικών ροών από το εσωτερικό προς το εξωτερικό περιβάλλον και αντίστροφα, συνεπώς οι απώλειες είναι ελάχιστες. Η τοποθέτηση ICF's στατιστικά εξοικονομεί στους ιδιοκτήτες κατοικιών έως και 50% καταναλώσεων ενέργειας [60].

Τα ICF's παράγονται συνήθως με χρήση των κάτωθι υλικών :

- ✓ Αφρό πολυστερίνης (διογκωμένης ή εξηλασμένης)
- ✓ Αφρό πολυουρεθάνης
- ✓ Ίνες ξύλου δεμένες με τσιμέντο
- ✓ Πολυστυρένιο δεμένο με τσιμέντο
- ✓ Κυψελωτό σκυρόδεμα [62]

Στα ICF's δύναται να τοποθετηθούν και ράβδοι μέσα στα καλούπια πριν χυθεί το σκυρόδεμα, προκειμένου να προσδώσουν στο τελικό υλικό αντοχή κάμψης, παρόμοια με τις γέφυρες και τα πολυώροφα κτίρια οπλισμένου σκυροδέματος. Κατόπιν σκλήρυνσης του σκυροδέματος, οι φόρμες παραμένουν μόνιμα και ανάλογα τη χρήση περαιτέρω πρόσθετων υλικών προσφέρουν :

- Θερμομόνωση
- Ηχομόνωση
- Ισχυρή τοιχοποιία
- Μηχανική αντοχή
- Βελτιωμένη ποιότητα εσωτερικού αέρα
- Εύκολη και γρήγορη κατασκευή
- Ρύθμιση επιπέδων υγρασίας
- Αντίσταση στη μούχλα και τους μικροοργανισμούς
- Ενεργειακή απόδοση με όχι υψηλό κόστος
- Εύκολη μεταφορά
- Διόδους για ηλεκτρολογικούς και υδραυλικούς σκοπούς [62]

Επιπροσθέτως, το εν λόγω υλικό χαρακτηρίζεται σχετικά φιλικό προς το περιβάλλον με τη δυνατότητα να εξοικονομεί αρκετούς τόνους αέριων ρύπων κατά τη διάρκεια παραγωγής και λειτουργίας τους. Τα παραπάνω επιτυγχάνονται λόγω της δομής των ICF's καθώς η θερμική μάζα που διαθέτει επιτρέπει τη διατήρηση της θερμοκρασίας εντός των κτιρίων. Εκ τούτου οδηγεί τόσο σε εξοικονόμηση θερμικής ενέργειας και κόστους, όσο και εκπομπών αερίων απο αποφυγή πλεονάζουσας λειτουργίας εγκαταστάσεων θέρμανσης. Όσον αφορά τους οικοδομικούς κώδικες για τα ICF's, δεδομένου ότι είναι μια σύμμεικτη κατασκευή η οποία διαθέτει και σκυρόδεμα, το δομικό αυτό υλικό διακρίνεται για την υψηλή αντοχή του ενάντι σε φορτία και καταπονίσεις [62].

3.6 ΕΠΙΚΑΛΥΨΕΙΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΚΕΛΥΦΟΥΣ

3.6.1. Επιχρίσματα – κονιάματα

Ως επίχρισμα ή σοβάς ονομάζεται η τελική επικάλυψη των τοιχοποιιών ή και άλλων τμημάτων του σκελετού μιας κτιριακής κατασκευής (υποστηλώματα, δοκάρια, τοιχία, πλάκες) με ένα ή περισσότερα στρώματα κονιάματος. Αποτελούν βασικό μέρος των κτιρίων και αφορούν στην ουσία την επικάλυψη των δομικών στοιχείων με ειδικά κονιάματα ποικίλων συστάσεων και μορφών, συνήθως μείγματα νερού, άμμου και συνδετικών υλών (συνήθως τσιμέντο, ασβέστης και άλλα). Τα επιχρίσματα αποτελούν βασικό στοιχείο της αισθητικής των εξωτερικών και εσωτερικών επιφανειών των κτιρίων και παράλληλα προσφέρουν προστασία τόσο απέναντι στις καιρικές συνθήκες (ηλιακή ακτινοβολία, ρύπανση, ψύχος, υγρασία κλπ), όσο και απέναντι στη φθορά του χρόνου της κατασκευής [39].

Επιπλέον, τα επιχρίσματα ενισχύουν την θερμική μόνωση των στοιχείων μιας τοιχοποιίας ή άλλων τμημάτων του κελύφους και κατορθώνουν την καλύτερη σύνδεση διαφόρων δομικών υλικών (πλίνθοι, πέτρες κλπ) είτε μεταξύ τους είτε με τον φέροντα οργανισμό, διαμορφώνοντας μια κατασκευή πιο συμπαγή και ανθεκτική.

Η σημασία των επιχρισμάτων στις κτιριακές κατασκευές μπορεί να συνοψιστεί στα παρακάτω στοιχεία :

- Αισθητική (επίτευξη λείας, συνεχούς και ομοιόμορφης τελικής επιφάνειας στα δομικά στοιχεία)
- Θερμική μόνωση (ανάλογα και το πάχος τα επιχρίσματα προσφέρουν μικρή αλλά όχι αμελητέα προστασία σε μεταβολές της θερμοκρασίας και στην υγρασία)
- Προστασία (η ύπαρξη σοβά προστατεύει το σκυρόδεμα, τα τούβλα ή όποιο άλλο δομικό υλικό από την άμεση επαφή με τις καιρικές συνθήκες και την κατ'επέκταση πρόωρη φθορά) [63]

Με τον όρο κονίαμα αναφέρεται το μείγμα νερού, άμμου ή μαρμαρόσκονης (αδρανές υλικό) και μιας συνδετικής – συγκολλητικής ύλης (κονία) που είναι συνήθως το τσιμέντο, ο ασβέστης ή η ριτήνη. Η κονία δρά χημικά και μετά από ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα στερεοποιεί το κονίαμα, ενώ η προσθήκη του νερού επιτυγχάνει την χημική αντίδραση πήξης του κονιάματος. Τα κονιάματα χρησιμοποιούνται συχνά σαν επιχρίσματα σε 2 ή 3 λεπτές διαδοχικές στρώσεις στην επιφάνεια μιας τοιχοποιίας, όπου αφού ξεραθεί και υποστεί σκλήρυνση λαμβάνει την τελική του μορφή (Εικόνα 3.37). Η δημιουργία επιχρισμάτων αφορά συνήθως τη χρήση τσιμεντοκονιαμάτων, ασβεστοκονιαμάτων, κονιαμάτων με γύψο κλπ, με τις αναλογίες των υλικών και της σύστασης να ποικίλουν ανάλογα το είδος του επιχρίσματος, την εφαρμογή που εξυπηρετεί, την επιφάνεια που θα επιχρισθεί κλπ. Όσο μεγαλύτερο πάχος φέρει ένα επίχρισμα τόσο μεγαλύτερη προστασία παρέχει σε μια τοιχοποιία κτιρίου [63],[64].

Με βάση τον τρόπο στεγανοποίησης και τη χρησιμοποιούμενη κονία τα επιχρίσματα διακρίνονται σε υδραυλικά, αερακτικά, οργανικά και ειδικά επιχρίσματα, ενώ ανάλογα τη μηχανική τους αντοχή χαρακτηρίζονται σε χαμηλής-μέτριας-υψηλής αντοχής. Οι κατηγορίες των επιχρισμάτων αναφέρονται στα εξής α) τριφτά , β) πατητά , γ) πεταχτά , δ) τραβηχτά και ε) αρτιφισιέλ, ανάλογα τον τρόπο και την επιθυμητή εφαρμογή στο δομικό στοιχείο. Οι πιο σύνηθεις βλάβες των επιχρισμάτων είναι οι ρηγματώσεις, οι κηλίδες, τα επανθίσματα και οι αποφλοιώσεις , για καθένα από τα οποία υπάρχουν μέτρα προστασίας.

Όπως αναφέρθηκε ήδη, τα βασικά υλικά με τα οποία παρασκευάζονται τα κονιάματα των επιχρισμάτων είναι το τσιμέντο, ο ασβέστης, η άμμος ή μαρμαρόσκονη, το νερό κλπ, ενώ μπορούν να προστεθούν συμπληρωματικά και ανάλογα τις απαιτήσεις κάποια φυσικά υλικά όπως θηραϊκή γη, χημικά πρόσμεικτα και χρωστικές ουσίες, όπως και τεχνητές ίνες, ακόμη και διογκωμένος περλίτης για διαμόρφωση θερμομονωτικού σοβά [63],[64].



Εικόνα 3.37 Τοποθέτηση σοβά-επιχρίσματος ως τελική στρώση σε τοιχοποιία εσωτερικά & εξωτερικά

Αναφορικά στοιχεία για τα παραπάνω :

- Τσιμέντο (χρήση σε συγκεκριμένες αναλογίες ανάλογα τον επιθυμητό βαθμό αντοχής του επιχρίσματος , χρησιμοποιείται και το λευκό τσιμέντο ως τελική επίστρωση, πρέπει να αποφεύγεται η επαφή με υγρασία γιατί αχρηστεύεται, έχει μικρή διάρκεια αποθήκευσης)
- Ασβέστης (η προσθήκη του βελτιώνει την εργασιμότητα και την πρόσφυση του κονιάματος στα δομικά στοιχεία , πρέπει να προστατεύεται επίσης από την υγρασία)
- Άμμος (πρέπει να είναι καθαρή και απαλλαγμένη από προσμίξεις και ανάλογα το είδος του επιχρίσματος και την επιδιωκόμενη υφή διαβαθμίζεται σε λεπτόκοκκη και χονδρόκοκκη, θεμιτό να αποφεύγεται άμμος θαλάσσης λόγω αλάτων)

- Μαρμαρόσκονη (χρήση αντί της άμμου κυρίως στην τελευταία στρώση, βασική ή αποφυγή ρύπανσης και μίξης με άλλα υλικά)
- Νερό (χρήση καθαρού νερού χωρίς φυσικές ή χημικές προσμίξεις, σε κατάλληλες αναλογίες ώστε να έχει το τελικό κονίαμα την απαραίτητη συνεκτικότητα και να επιστρώνεται εύκολα)
- Θηραϊκή γη (φυσική κονία, χρήση κυρίως σε τσιμεντοκονιάματα και ασβεστοκονιάματα αντικαθιστώντας την άμμο διότι αυξάνει τις στεγανωτικές ιδιότητες του κονιάματος)
- Γύψος (τα επιχρίσματα με βάση το γύψο είναι κατάλληλα για σοβάτισμα εσωτερικών επιφανειών, προσφέρουν πολύ ομαλή και λεία επιφάνεια, ενισχύουν τις ιδιότητες θερμικής μόνωσης του επιχρίσματος)
- Χημικά πρόσμεικτα (αφορά στεγανοποιητές , πλαστικοποιητές και άλλα και προστίθενται στο κονίαμα για βελτίωση της αντίστοιχης συμπεριφοράς)
- Χρωστικές (οι χρωστικές ύλες αποτελούν έγχρωμες , φυσικές ή τεχνητές, ανόργανες ή οργανικές ουσίες , πρέπει να έχουν σταθερό χρωματισμό, να μην επηρεάζονται από τον ασβέστη και να μην αλλοιώνονται από το φως, συνήθως προσδίδουν καφέ ή κόκκινες ή κίτρινες αποχρώσεις στο κονίαμα, ποσοτικά αποτελούν το 5-10% της ποσότητας του τσιμέντου)
- Τεχνητές ίνες (ίνες γυαλιού ή συνθετικές, προστίθενται σε πολύ μικρή ποσότητα, λειτουργούν σαν οπλισμός κατά συστολο-διαστολών και προστατεύουν το κονίαμα από ρηγματώσεις) [63],[65].

3.6.2. Επιστρώσεις δαπέδων

Οι επιστρώσεις δαπέδων αφορούν το τελικό στρώμα του πατώματος προς τον εσωτερικό χώρο και η επιλογή γίνεται με βάση τις επιθυμητές ιδιότητες, το είδος χρήσης, την αντοχή και τελική αισθητική εικόνα. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για αυτό το σκοπό τοποθετούνται πάνω από την πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος, το στρώμα θερμικής μόνωσης ή όποιο άλλο δομικό στοιχείο δαπέδου υπάρχει, και αποτελούν την τελευταία επιφάνεια-επικάλυψη των οριζόντιων κατασκευών που έρχεται σε άμεση επαφή με τους χρήστες και το εσωτερικό περιβάλλον. Ανάλογα το είδος των υλικών, τις θερμοφυσικές τους ιδιότητες αλλά και το πάχος τοποθέτησης, αυτά διατηρούν ή και ενισχύουν την θερμική συμπεριφορά του κελύφους και «αντιστέκονται» στις θερμικές ροές [39].

Τα βασικά στοιχεία-κριτήρια που πρέπει να λαβάνονται υπόψη για την επιλογή υλικών δαπέδων [67] είναι συνήθως :

- Ασφάλεια του δαπέδου – καταπονίσεις
- Καλή πρόσφυση – συνεργασία με τη φέρουσα κατασκευή
- Θερμομονωτικές ιδιότητες
- Αντοχή στην υγρασία ή άλλους χημικούς παράγοντες
- Βαθμός συντήρησης και αντοχή στις φθορές
- Κλίμακα των υλικών
- Βαθμός αντανάκλασης φωτός
- Χρήση μη τοξικών υλικών
- Απορρόφηση θορύβων χώρου και επίπεδο ήχου στο περπάτημα
- Υφή και άνεση τελικής επιφάνειας
- Αισθητική εμφάνιση
- Κόστος υλικών
- Ευελιξία ένταξης μηχανολογικών εγκαταστάσεων (καλωδιώσεις, σωληνώσεις, στοιχεία θέρμανσης κλπ) - ισχύει και στις οροφές



Εικόνα 3.38 Κεραμικά πλακίδια δαπέδου με κονίαμα-κόλλα για τοποθέτηση

Τα δάπεδα των κτιρίων ανάλογα με τον τρόπο και το υλικό κατασκευής τους διακρίνονται σε φυσικά, βιομηχανικά και χυτά. Τα φυσικά υλικά εξάγονται κατευθείαν από τη φύση με κατάλληλη επεξεργασία, τα βιομηχανικά υλικά παρασκευάζονται με βιομηχανικές διαδικασίες και έχουν συγκεκριμένα τεχνικά χαρακτηριστικά, ενώ τα χυτά αποτελούν δάπεδα από ρευστό υλικό που στερεοποιείται μετά την επίστρωση. Στις Εικόνες 3.38, 3.39 & 3.40 φαίνονται παραδείγματα σύνθητων επιστρώσεων για δάπεδα εσωτερικών χώρων, όπως συμβατικά κεραμικά πλακίδια, σανίδες ξύλου και τσιμεντοκονία [66].

Τυπικές εφαρμογές υλικών για στοιχεία δαπέδων, με εφαρμογή στα ελληνικά κτίρια αποτελούν οι παρακάτω κατηγορίες :

- Ξύλινο δάπεδο (καρφωτές πλάκες ξύλου, συγκολλητή ξυλεία – κόντρα πλακέ, CLT και άλλα)
- Φυσικοί λίθοι σε πλάκες (μάρμαρο, σχιστόπλακες , γρανίτης κλπ)
- Πλακίδια (κεραμικά, πορσελάνης, πλαστικά ή άλλης σύνθεσης, θερμομονωτικά φελλού κλπ)
- Τεχνητές πλάκες (Τσιμεντόπλακες , ψηφίδες κλπ)
- Τσιμεντοκονίαμα δαπέδου (πατητή τσιμεντοκονία, περλομπετόν, βιομηχανικό δάπεδο κλπ)
- Μωσαϊκό δάπεδο (μάρμαροψηφίδες , ασβεστόλιθος κλπ)
- Σύνθετα πλαστικά ή ελαστικά σε πλακίδια ή φύλλα (PVC, linoleum, laminate, LVT tiles, SPC, θερμοπλαστικά υλικά, καουτσούκ, μοκέτες wall-to-wall φυτικών ή συνθετικών ινών κλπ) [66],[67].



Εικόνα 3.39 Ξύλινο δάπεδο εσωτερικού χώρου κτιρίου



Εικόνα 3.40 Δάπεδο απο τσιμεντοκονία

3.6.3. Επιστρώσεις οροφών

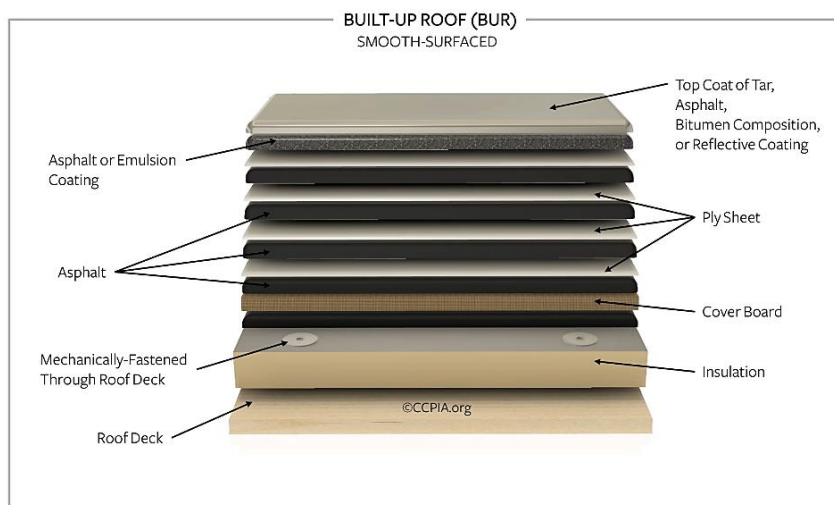
Η αντίστοιχη λογική στην επιλογή υλικών ισχύει και στις επιστρώσεις των δομικών στοιχείων οροφής στις κτιριακές κατασκευές. Επιβάλλεται αντίστοιχα η διαλογή συστημάτων υλικών που στην εσωτερική πλευρά θα ενισχύουν την θερμική συμπεριφορά και την ενεργειακή απόδοση, θα έχουν ηχομονωτικές ιδιότητες και καλή αισθητική εμφάνιση, ενώ στην εξωτερική πλευρά θα διακρίνονται από αντοχή στις καιρικές συνθήκες και την ηλιακή ακτινοβολία, μειωμένη φθορά και διάρκεια ζωής, είδος χρήσης χώρου κάτω από το δώμα, κόστος κατασκευής και συντήρησης κλπ. Τα παραπάνω διαμορφώνονται αντίστοιχα με βάση τα τεχνικά και θερμοφυσικά χαρακτηριστικά των υλικών, το πάχος της στρώσης πάνω ή κάτω από τα δομικά στοιχεία της οροφής κλπ [36].

Τυπικά συστήματα υλικών που χρησιμοποιούνται στο εσωτερικό τμήμα της οροφής και είναι σε άμεση οπτική επαφή με το εσωτερικό περιβάλλον των χώρων είναι :

- Εσωτερικά επιχρίσματα – σοβάδες (τσιμεντοκονιάματα, γυψοσοβάδες, σοβάδες με περλίτη κλπ)
- Ψευδοροφές από γυψοσανίδα ή πλάκες ορυκτών ινών
- Επενδύσεις με σανίδες από ξύλο (OSB-Oriented Strand Board, MDF-Medium Density Fiberboard κλπ) ή επιφάνεια δομικής ξυλείας CLT-Cross Laminated Timber
- Πλάκες εσωτερικής οροφής από σύνθετα υλικά (βελτίωση αισθητικής ακόμη και ενίσχυση θερμομόνωσης) [36].

Αντίστοιχα, στην εξωτερική πλευρά της οροφής και επάνω από το εξωτερικό σύστημα θερμομόνωσης εφαρμόζονται στρώματα υλικών που ενισχύουν περαιτέρω το δομικό στοιχείο που έρχεται σε επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον, με τυπικά παραδείγματα να φαίνονται στις Εικόνες 3.41, 3.42 & 3.43. Οι βασικές τελικές επιστρώσεις που βρίσκουν εφαρμογή σε υφιστάμενα ή νέα κτίρια είναι :

- Ξύλινη στέγη
- Πλάκα σκυροδέματος δώματος με στεγανοποιητικά – υγρομονωτικά υλικά
- Συμβατικά κεραμίδια αργιλικά
- Ασφαλτικά κεραμίδια
- Πάνελ πολυουρεθάνης
- Μεταλλικά πάνελ
- Πλαστικά πάνελ
- Ασφαλτόπανα
- Ελαφρομετόν
- Built – up roofs (φύλλα ξύλου με στρώσεις ασφάλτου εναλλάξ) [39].



Εικόνα 3.41 Δομή επικάλυψης οροφής Built-up roof



Εικόνα 3.42 Πάνελ στέγης-οροφής πολυουρεθάνης



Εικόνα 3.43 Επίστρωση οροφής με ελαφρομεπτόν - αύξηση θερμικής προστασίας

3.6.4. Σύγκριση θερμομονωτικών ιδιοτήτων στο Climate Studio

Ορισμένα απο τα παραπάνω υλικά με βάση την ενεργειακή τους απόδοση χρησιμοποιήθηκαν στο πειραματικό μέρος σε συνδυασμό με τις δομικές επιλογές κάθε σεναρίου. Τα χαρακτηριστικά τους παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.4, με βάση τις βιβλιοθήκες ASHRAE και I.C.E. στο Climate Studio [92].

Πίνακας 3.4 Χαρακτηριστικά επιχρισμάτων, επιστρώσεων και επενδύσεων – Climate Studio

Περιγραφή επίστρωσης	Description	Thermal Conductivity (W/mK)	Density (kg/m ³)	Specific Heat (J/kgK)
Σοβάς με τσιμέντο	Cement plaster	0.769	1600	1000
Σοβάς με γύψο	Gypsum plaster	0.179	800	1800
Σοβάς με περλίτη	Perlite plaster	0.526	700	1800
Τσιμεντοκονία	Cement screed	1.40	2000	1000
Περλομπετόν δαπέδου	Perlite concrete screed	0.265	800	795
Γυψοσανίδα	Gypsum board	0.16	800	1090
Ξύλο Oriented Strand Board	OSB	0.13	650	1700
Ξύλο Medium Density Fiberboard	MDF	0.09	500	1700
Ξύλο Cross Laminated Timber	CLT	0.13	500	1600
Ελαφρομπετόν	Lightweight concrete	0.53	1280	840
Κεραμίδια αργιλικά	Clay roof tiles	0.50	1680	800
Δομή ασφαλτικών φύλλων με ξύλο	Built-up roof	0.172	1020	1800
Πλακάκια κεραμικά	Ceramic tile floor	1.05	1800	800
Μωσαικό δάπεδο	Terrazzo floor	1.80	2560	790
Πλακίδια φελλού	Cork tile	0.204	450	1800
Επικάλυψη τύπου μοκέτας	Carpeting wall-to-wall floor	0.027	90	-
Βινυλικό δάπεδο	LVT tiles	1.11	1700	1400
Ξύλο κόντρα-πλακέ	Plywood floor	0.12	544	1210

3.7 ΘΕΡΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ

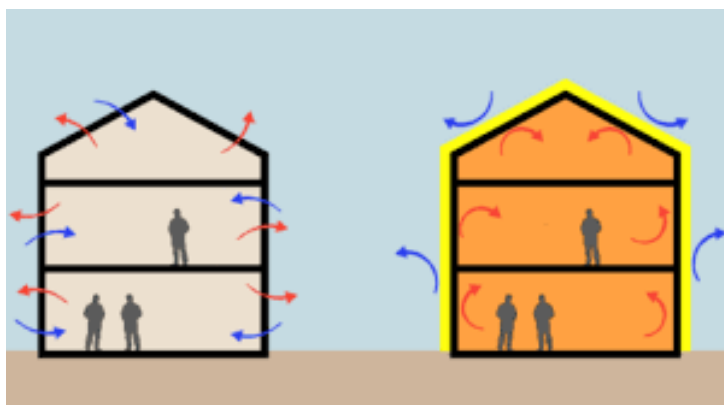
3.7.1. Περιγραφή – είδη θερμομόνωσης

Ως θερμική μόνωση , ή επικρατέστερα θερμομόνωση , χαρακτηρίζεται οποιοδήποτε μέτρο λαμβάνεται για την προστασία μεταφοράς θερμότητας σε ένα κτίριο ή σε μέρος της επιφάνειάς του και επιτυγχάνεται με την επένδυση των δομικών στοιχείων του κελύφους, όπως το εξωτερικό περίβλημα του κτιρίου, με ποίκιλα θερμομονωτικά υλικά. Βασικός στόχος της εφαρμογής θερμομονωτικής προστασίας και χρήσης αντίστοιχων ιδιοτήτων υλικών αποτελεί η μείωση των θερμικών ροών μεταξύ εσωτερικού – εξωτερικού περιβάλλοντος του κτιρίου, δηλαδή της ενέργειας που μεταφέρεται λόγω θερμοκρασιακών διαφορών.

Στην περίπτωση του χειμώνα η θερμική προστασία μειώνει τις θερμικές απώλειες που θα προκύψουν από το εσωτερικό τμήμα του κτιρίου προς το εξωτερικό, ενώ αντίστροφα τους θερινούς μήνες μειώνει τα θερμικά κέρδη από το εξωτερικό περιβάλλον στον εσωτερικό χώρο. Η λειτουργία επομένως της θερμομόνωσης είναι να ελαττώσει τη μεταφορά θερμότητας από αγωγή ή ακτινοβολία εμποδίζοντας ή αντανακλώντας την, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.44 [34],[36].

Μέχρι και το 1979, στα ελληνικά κτίρια δεν υπήρχε καμία πρόνοια για τη θερμική μόνωση των κτιρίων. Τα κτίρια εκείνης της περιόδου, που αποτελούν και την συντριπτική πλειοψηφία στην ελληνική επικράτεια, είναι εντελώς αμόνωτα και απροστάτευτα στις καιρικές συνθήκες. Το 1980 θεσμοθετήθηκε ο Κανονισμός Θερμομόνωσης Κτιρίων (Κ.Θ.Κ.), ο οποίος εισήγαγε την υποχρεωτική θερμομόνωση του κτιριακού κελύφους για τα νέα κτίρια. Το 2010 τον αντικαθιστά ο νέος Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (Κ.ΕΝ.Α.Κ), ο οποίος και τελικά διαμόρφωσε τις τρεις βασικές χρονικές περιόδους ενεργειακής αποτύπωσης ως εξής [31],[32] :

- ✓ Κτίρια προ του 1980 : Αμόνωτα , καμία θερμομονωτική προστασία
- ✓ Κτίρια μεταξύ 1980 – 2010 : Θερμομονωτική προστασία κατά Κ.Θ.Κ.
- ✓ Κτίρια από 2010 – σήμερα : Πλήρη θερμική μόνωση κατά Κ.ΕΝ.Α.Κ.



Εικόνα 3.44 Θερμική μόνωση : βασικό μέτρο προστασίας κελύφους κτιρίων

Τα συστήματα εξωτερικής, ή και εσωτερικής, μόνωσης εφαρμόζονται τόσο σε υφιστάμενα όσο και νεόδμητα κτίρια. Κύριο πεδίο εφαρμογής αποτελεί το σύνολο των στοιχείων του εξωτερικού κελύφους ενός κτιρίου, όπως η εξωτερική οροφή ή δώμα, οι εξωτερικές τοιχοποιίες και το δάπεδο, ακόμα και το υπόγειο τμήμα, ενώ με τη σωστή επιλογή και τοποθέτησή τους μπορούν να εξασφαλίσουν έως και 50% εξοικονόμηση ενέργειας για θέρμανση και ψύξη ενός κτιρίου. Τα υλικά που λειτουργούν ως θερμική μόνωση είναι πάντα ελαφρά υλικά που έχουν εγκλωβίσει στη μάζα τους ακίνητο αέρα και διακρίνονται από την υψηλή τους θερμική αντίσταση [36]. Βασικά πλεονεκτήματα που παράγουν είναι τα ακόλουθα :

- Μείωση θερμικών ροών από και προς το εξωτερικό περιβάλλον ανάλογα την εποχή
- Προστασία στοιχείων κτιρίου από θερμικές συστολές και διαστολές, αιτίες πρόκλησης ρωγμών στα δομικά υλικά
- Προστασία από συμπυκνώματα υδρατμών εντός των δομικών υλικών ή πάνω σε εσωτερικές επιφάνειες λόγω θερμοκρασιακών διαφορών
- Εξοικονόμηση χρημάτων μακροπρόθεσμα από τις χαμηλότερες ενεργειακές απαιτήσεις σε ψύξη – θέρμανση του κτιρίου
- Βελτίωση ποιότητας ζωής για τους χρήστες, θερμική άνεση ως συνέπεια της βελτιωμένης ενεργειακής απόδοσης
- Αύξηση προσδοκίμου ζωής του κτιρίου
- Παρατείνει για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα την ποιότητα εμφάνισης του κτιρίου
- Έμμεση προστασία του περιβάλλοντος αφού οι υψηλές λειτουργίες θέρμανσης-ψύξης αποτελούν καθοριστικό παράγοντα στις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου [26]

Τα θερμομονωτικά υλικά έχουν ως αντικειμενική επιδίωξη την μείωση του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας U (W/m^2K) των δομικών στοιχείων του κτιρίου, και όπως αναφέρθηκε αποτελούν το εμπόδιο στη θερμική ροή μεταξύ εξωτερικού-εσωτερικού περιβάλλοντος. Για να χαρακτηριστεί ένα υλικό ως θερμομονωτικό πρέπει να έχει χαμηλό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, που κυμαίνεται μεταξύ $0.02 < k < 0.10$ (W/mK), και κατά συνέπεια να προκύπτει σημαντική θερμική αντίσταση R (m^2K/W), για την οποία συντελλεί και το πάχος του υλικού σύμφωνα με τις εξισώσεις θερμικής αντίστασης αγωγής από τη μεταφορά θερμότητας. Η μονωτική ιδιότητα προκύπτει κατά βάση από το μεγάλο αριθμό πόρων του υλικού που περιέχει παγιδευμένο αέρα (κυψελίδες ή πλέγμα ινών), από το οποίο οφείλεται και το γενικά μικρό βάρος. Άρα ο χαρακτήρας τους να αντιστέκονται στη μεταφορά θερμότητας οφείλεται στην ποσότητα αέρα που εμπεριέχουν, ο οποίος αποτελεί κακό αγωγό της θερμότητας [2].

Οι ιδιότητες των θερμομονωτικών υλικών διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες και είναι :

- ✓ Θερμοφυσικές ιδιότητες, που περιγράφουν την συμπεριφορά του υλικού
- ✓ Περιβαλλοντικές ιδιότητες, που περιγράφουν το περιβαλλοντικό αποτύπωμα και τον οικολογικό χαρακτήρα του υλικού [38].

3.7.2. Θερμοφυσικές ιδιότητες

- Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας

Εκφράζει το ποσό της θερμικής ενέργειας που διαπερνά ανά μονάδα επιφάνειας του υλικού για μοναδιαία διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των δύο απέναντι επιφανειών του. Η τιμή του υπολογίζεται εργαστηριακά σε θερμοκρασία 10 °C και σε ξηρή κατάσταση και λαμβάνεται υπόψη η επίδραση της «πρακτικής υγρασίας». Η τιμή του επηρεάζεται από την θερμοκρασία, αφού αύξησή της επιφέρει και άνοδο του συντελεστή αγωγιμότητας και άρα αντίστοιχη μείωση της θερμομονωτικής ικανότητας του υλικού.

- Πυκνότητα

Η μάζα που περιέχεται ανά μονάδα όγκου του υλικού. Κάθε υλικό παράγεται για ένα εύρος πυκνοτήτων και επηρεάζει την τιμή του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας

- Αντοχή στην υγρασία

Εκφράζει την δυσκολία στη διάχυση υδρατμών που διαπερνούν το μονωτικό υλικό και την ποσότητα υγρασία εξομοίωσης. Υλικά που έχουν εμποτισθεί με υγρασία μειώνουν ή ακόμα και χάνουν τις θερμομονωτικές τους ιδιότητες και κατά συνέπεια αυξάνουν τη θερμική τους αγωγιμότητα. Αυτό συμβαίνει διότι ουσιαστικά το νερό «εκτοπίζει» τον εγκλωβισμένο αέρα που υπάρχει ανάμεσα στις ίνες ή τις κυψελίδες του υλικού και καταλαμβάνει τη θέση.

- Αντίσταση στην ηλιακή ακτινοβολία

Τα αφρώδη οργανικά θερμομονωτικά υλικά επηρεάζονται από την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας όταν βρίσκονται μακροπρόθεσμα εκτεθειμένα και κυρίως τα πολυστερινικά και πολυουρεθανικά. Το υλικό σταδιακά αλλοιώνεται από τις ηλιακές ακτίνες με αποτέλεσμα τη μείωση της αντοχής του ενώ παράλληλα το καθιστούν πιο εύθραυστο. Κατά συνέπεια γίνεται εμφανής η ελαφρά απόχρωση της επιφάνειάς του και ο σταδιακός θρυμματισμός του υλικού. Επομένως, υπό αυτές τις ιδιαιτερότητες είναι αναγκαία η φύλαξή τους σε σκιαζόμενους ή υπόγειους χώρους μέχρι την τοποθέτησή τους, στην οποία επίσης πρέπει άμεσα να επικαλυφθούν με άλλα υλικά

- Πυραντοχή

Εκφράζει την συμπεριφορά των υλικών απέναντι στη φωτιά, τα οποία υλικά κατατάσσονται σε κλάσεις πυραντοχής. Σχεδόν όλα τα θερμομονωτικά υλικά ανόργανης προέλευσης παρουσιάζουν πολύ καλή συμπεριφορά απέναντι στη φωτιά όπως πετροβάμβακας, αφρώδες γυαλί, περλίτης κλπ, ενώ τα αντίστοιχα υλικά οργανικής προέλευσης είτε φυσικά είτε τεχνητά είναι σημαντικά εύφλεκτα και αναφλέγονται αν εκτεθούν απευθείας σε φλόγα όπως πολυουρεθάνη, ξυλόμαλλο, φελλός κλπ. Τα μη εύφλεκτα υλικά βρίσκονται στις κλάσεις A1, A2, τα υλικά που αντιστέκονται στη φωτιά κατατάσσονται στη B1, τα κανονικά υλικά στη B2 και τέλος τα εύφλεκτα υλικά στην κλάση B3.

- Διάρκεια ζωής

Αντοχή του υλικού και των ιδιοτήτων του στην πάροδο του χρόνου, εκφράζεται σε έτη διάρκειας ζωής και χαρακτηρίζεται από το ποσοστό φθοράς που θα προκύψει. Προβλέπεται από εργαστηριακές δοκιμές γήρανσης των υλικών σε πραγματικές συνθήκες.

- Ευκολία κατεργασίας και τοποθέτησης

Αφορά την ευκολία μεταφοράς του θερμομονωτικού υλικού, της διαχείρισής του από το τεχνικό προσωπικό (κοπή τεμαχίων και προσαρμογή σε διαστάσεις, μαλακότητα του υλικού) αλλά και στην τοποθέτηση με τις κατασκευαστικές απαιτήσεις που θα προκύψουν.

- Ηχοαπορροφητικότητα

Τα θερμομονωτικά υλικά εξετάζονται και από ηχομονωτικής απόψεως που αφορά την προστασία των εσωτερικών χώρων και των χρηστών από εξωτερικούς θορύβους, με τις ανεκτές στάθμες θορύβων να υπολογίζονται σε μονάδες της κλίμακας Decibel. Ο βαθμός απορρόφησης του ήχου περιγράφει την ηχοαπορροφητικότητα του υλικού για τις διάφορες ηχητικές συχνότητες, με τέτοια να αποτελούν τα διάφορα ανώργανα ινώδη υλικά, όπως υαλοβάμβακας και πετροβάμβακας, ή οργανικά πορώδη όπως ο φελλός και το ξυλόμαλλο.

- Μηχανική αντοχή

Αυτή η ιδιότητα περιγράφει την αντοχή των θερμομονωτικών υλικών σε τάσεις εφελκυσμού, κάμψης και θλιψής, την πλαστική τους παραμόρφωση και το σημείο θραύσης, ώστε να εκτιμάται η συνοχή του υλικού απέναντι σε φορτίσεις και καταπονίσεις και για το αν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αυτοφερόμενο ή με χρήση πλέγματος, σε ψευδοροφές κλπ. Το θέμα της αντοχής σε θλιπτικά ή εφελκυστικά φορτία άλλοτε είναι σημαντικό, όπως σε μια φέρουσα τοιχοποιία, και άλλοτε όχι, όπως μια τοιχοποιία πλήρωσης.

Η μηχανική αντοχή αξιολογείται επίσης στο αν πρόκειται να τοποθετηθούν σε δώμα ή δάπεδο, δηλαδή στο ποιο θα είναι το εύρος των φορτίων που θα ασκηθούν και πόσο ισχυρά θα είναι αυτά. Σε υψηλές καταπονήσεις προσφέρονται θερμομονωτικά υλικά με υψηλή αντοχή όπως το αφρώδες γυαλί και το ξυλόμαλλο, ενώ πιο ευάλωτα είναι υλικά τύπου υαλοβάμβακα

- Εύρος χρήσης

Αφορά το θερμοκρασιακό διάστημα στο οποίο η χημική σύσταση, η θερμομονωτική ικανότητα και η μηχανική αντοχή είναι σε ικανοποιητικά επίπεδα για την απόδοση του υλικού [38].

3.7.3. Περιβαλλοντικές ιδιότητες

- Περιεχόμενη πρωτογενής ενέργεια

Αφορά το ποσό ενέργειας που χρειάζεται για την παραγωγή μιας μονάδας όγκου του θερμομονωτικού υλικού. Προφανώς λόγω της απαίτησης για χαμηλή κατανάλωση ενέργειας παραγωγής προτιμούνται υλικά με όσο δυνατόν πιο χαμηλή περιεχόμενη πρωτογενή ενέργεια.

- Αντοχή σε μικροοργανισμούς και έντομα

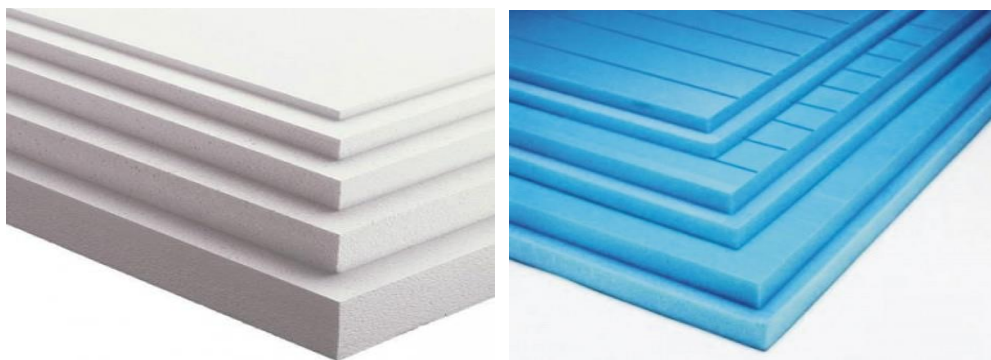
Είναι πολύ πιθανή η προσβολή των θερμομονωτικών υλικών από πάσης φύσεως έντομα, τρωκτικά και μύκητες. Ένας τρόπος αντιμετώπισης αποτελεί η προσθήκη χημικών ουσιών σε αυτά, που όμως αντίστροφα έχουν σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον, οπότε αναζητούνται και εναλλακτικοί τρόποι [38].

Το κομμάτι της ταξινόμησης των θερμομονωτικών υλικών των κτιρίων εξαρτάται από την πρώτη ύλη παραγωγής τους, τον τρόπο επεξεργασίας, της μορφής τους και των ιδιοτήτων των τελικών προϊόντων. Επομένως ανάλογα με τα παραπάνω κριτήρια μπορεί να γίνει η διάκριση σε :

- Οργανικά και ανόργανα, με βασικό κριτήριο την πρώτη ύλη παραγωγής
- Ινώδη, κυψελώδη και κοκκώδη, με βασικό κριτήριο τη μορφή τους
- Προσβαλλόμενα και μη προσβαλλόμενα από υγρασία, ανθεκτικά σε υψηλές θερμοκρασίες κλπ
- Πλάκες, παπλώματα, χύδην, άκαμπτα ή εύκαμπτα, με κριτήριο τη μορφή τους
- Φυσικά και τεχνητά, με κριτήριο την παραγωγή τους
- Βαριά και ελαφρά, με κριτήριο το βάρος τους [38].

3.7.4. Παρουσίαση θερμομονωτικών υλικών

3.7.4.1. Διογκωμένη Πολυστερίνη (Expanded Polystyrene – EPS)



Εικόνα 3.45 Όψεις πάνελ EPS σε διάφορα πάχη (cm)

Η διογκωμένη πολυστερίνη αποτελεί ένα ελαφρύ θερμομονωτικό υλικό και είναι από τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα στις οικοδομικές εργασίες. Η προέλευσή του είναι από την πετροχημική βιομηχανία και ανήκει στην κατηγορία αφρώδων συνθετικών υλικών. Παράγεται από κόκκους πολυστυρολίου, οι οποίοι με τη διόγκωσή τους γίνονται σφαιρίδια που κολλούν μεταξύ τους. Είναι ένα άοσμο σχετικά υλικό με δομή κλειστών κυψελίδων και κυκλοφορεί συνήθως :

α) σε κόκκους , β) σε ορθογωνισμένες πλάκες (Εικόνα 3.45) [38].

Οι ορθογωνισμένες πλάκες παράγονται σε διάφορα πάχη που εξαρτώνται από την εταιρία παραγωγής αλλά και την χρήση, με σύνηθες τιμές μεταξύ 2 και 10 cm. Οι πλάκες μπορεί να είναι απόλυτα ορθογωνισμένες ή σε περιμετρικό αναβαθμό (πατούρα) ώστε στο κομμάτι της συναρμογής να αποφεύγεται ο αρμός στο πάχος της στρώσης που λειτουργεί ως θερμογέφυρα. Η θερμομονωτική της ικανότητα είναι αρκετά ανταγωνιστική αφού εμφανίζει τιμές συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας μεταξύ 0.030 και 0.038 W/mK και προσφέρει ευκολία στην τοποθέτηση, όπως φαίνεται και στην επικάλυψη του κελύφους στην Εικόνα 3.46.



Εικόνα 3.46 Κάλυψη κελύφους κτιρίου με EPS για θερμική προστασία

Τα προϊόντα διογκωμένης πολυστερίνης κυκλοφορούν στο εμπόριο συνήθως σε λευκό χρώμα , απαλό κίτρινο ή ρόζ, ανάλογα την εταιρία παραγωγής, ενώ σε χρώμα γκρι κυκλοφορεί είδος πολυστερίνης με γραφίτη στη μάζα της. Οι τελευταίες που περιέχουν πλάκες γραφίτη ονομάζονται Neopor και παρουσιάζουν καλύτερη τιμή συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας. Στον Πίνακα 3.5 αναγράφονται βασικές φυσικές, μηχανικές και θερμικές ιδιότητες της διογκωμένης πολυστερίνης [38].

Πίνακας 3.5 Φυσικές, μηχανικές και θερμικές ιδιότητες EPS , Εκπαιδευτικό υλικό Τ.Ε.Ε.

Μορφή	Σε πλάκες. Συνήθη πάχη 2 - 10 cm Σε μορφή κόκκων (χύμα)
Προσβολή από έντομα / πουλιά / τρωκτικά	Ναι
Προσβολή από χημικούς διαλύτες	Ναι: από ακετόνη (ασετόν), αιθέρα, βενζόλιο, βενζίνες, κετόνες, ρευστή άσφαλτο και υλικά που περιέχουν πίσσα
Προσβολή από την ηλιακή ακτινοβολία	Ναι
Συμπεριφορά στη θερμότητα	Αντοχή περίπου από -80°C έως +80°C
Θερμική αγωγιμότητα (σύμφωνα με την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2/2010)	Σε κόκκους 0,033 - 0,038 W/(m·K) Σε πλάκες 0,033 - 0,038 W/(m·K) Με γραφίτη, σε πλάκες 0,030 - 0,032 W/(m·K)
Απορρόφηση νερού (σύμφωνα με το πρότυπο EN 13163/2009)	Μέγιστο επιτρεπόμενο ποσοστό απορροφώμενου νερού μικρότερο από 2% έως 5% κατ' όγκο.
Αντίσταση στη διάχυση των υδρατμών	Σε πλάκες $\mu = 20 - 100$ Με γραφίτη, σε πλάκες $\mu = 30 - 80$
Αντοχή στη συμπίεση	Ικανοποιητική
Μεταβολή διαστάσεων	Σχετική σταθερότητα. Σύμφωνα με το πρότυπο δεν πρέπει να υπερβαίνουν το 1% σε συγκεκριμένες συνθήκες υπό παραμονή 48 ωρών.
Συμπεριφορά σε φωτιά	Εύφλεκτο και αυτοσβεννόμενο υλικό Με γραφίτη: άφλεκτο υλικό

Για την μηχανική αντοχή του υλικού αξίζει να αναφερθεί πως τα προϊόντα διογκωμένης πολυστερίνης κατατάσσονται σε διαφορετικούς τύπους ανάλογα την αντοχή τους σε θλίψη (πχ τύπος EPS100 έχει αντοχή σε θλίψη φορτίο 100kPa) και αυτή η τιμή αφορά σε κατανεμημένα φορτία με σύνηθες τιμές μεταξύ 30 – 500kPa. Η εφαρμογή ισχυρών μοναχικών φορτίων μπορεί να οδηγήσει κατά συνέπεια σε παραμόρφωση ή και θραύση του υλικού ,για αυτό προτείνεται συνήθως η χρήση είδος πλέγματος που θα μετατρέψει τα φορτία σε γραμμικά.

Η χρήση στη δόμηση ως θερμομονωτικό προϊόν για την προστασία των στοιχείων του κτιριακού κελύφους αφορά τόσο την τοποθέτηση σε τοιχοποιίες πλήρωσης, οροφές και δάπεδα, κεκλιμένων επιφανειών όσο και σε στοιχεία του φέροντος οργανισμού όπως υποστηλωμάτων , δοκών και τοιχίων, υπο την προτίμηση οτι δεν είναι εκτεθειμένα στην επίδραση της βροχής. Λόγω των ευνοϊκών θερμομονωτικών της ιδιοτήτων η διογκωμένη πολυστερίνη αποτελεί ένα απο τα πιο ευρείας χρήσης θερμομονωτικά υλικά [38].

3.7.4.2. Εξηλασμένη Πολυστερίνη (XPS)



Εικόνα 3.47 Όψη πάνελ XPS σε διάφορα πάχη (cm)

Η αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη αποτελεί συγγενικό προϊόν της διογκωμένης πολυστερίνης και προέρχεται αντίστοιχα από την πετροχημική βιομηχανία. Είναι διεθνώς γνωστή ως XPS (extruded polystyrene) και ανήκει στην κατηγορία των αφρώδων συνθετικών υλικών, χαρακτηρίζεται ως άοσμο προϊόν και έχει δομή κλειστών πολυεδρικών κυψελίδων. Παράγεται και κυκλοφορεί στο εμπόριο συνήθως με τη μορφή ορθογωνισμένων πλακών (Εικόνα 3.47) , με πάχη μεταξύ 2 και 10 cm , ενώ μπορούν να παραχθούν και μεγαλύτερα πάχη κατά παραγγελία και ζήτηση από τις εταιρίες παραγωγής. Αντίστοιχα με τη διογκωμένη πολυστερίνη, για να αποφευχθεί ο αμμός κατά το πάχος της στρώσης που λειτουργεί ως θερμογέφυρα, οι πλάκες μπορεί να είναι απόλυτα ορθογωνισμένες ή να έχουν περιμετρικό αναβαθμό (πατούρα), ενώ επίσης μπορεί να υπάρχει εξωτερική επιδερμίδα με λεία ή τραχειά επιφάνεια. Τα χρώματα στα οποία κυκλοφορούν τα προϊόντα εξηλασμένης πολυστερίνης είναι συνήθως ανοιχτό πράσινο ή γαλάζιο , χωρίς φυσικά να αποκλείονται άλλες επιλογές. Στον Πίνακα 3.6 περιγράφονται οι βασικές θερμοφυσικές ιδιότητες [38].

Πίνακας 3.6 Φυσικές , μηχανικές και θερμικές ιδιότητες XPS , Εκπαιδευτικό υλικό Τ.Ε.Ε.

Μορφή	Πλάκες. Συνήθη πάχη 2 - 10 cm
Προσβολή από έντομα / πουλιά / τρωκτικά	Ναι
Προσβολή από χημικούς διαλύτες	Ναι: από ακετόνη (ασετόν), αιθέρας, βενζόλιο, βενζίνες, κετόνες, ρευστή άσφαλτος και υλικά που περιέχουν πίσσα
Προσβολή από την ηλιακή ακτινοβολία	ΝΑΙ
Συμπεριφορά στη θερμότητα	Αντοχή από -50°C ως +75°C
Θερμική αγωγιμότητα (σύμφωνα με την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2/2010)	σε πλάκες: 0,031 - 0,038 W/(m·K) με άνθρακα σε πλάκες: 0,030 - 0,032 W/(m·K)
Απορρόφηση νερού (σύμφωνα με το πρότυπο EN 13163/2009)	Μέγιστο επιτρεπόμενο ποσοστό απορροφώμενου νερού μικρότερο από 0,7% έως 3% κατ' όγκο.
Αντίσταση στη διάχυση των υδρατμών	$\mu = 80 - 250$
Αντοχή στη συμπίεση	Ικανοποιητική
Μεταβολή διαστάσεων	Σχετική σταθερότητα. Σύμφωνα με το πρότυπο δεν πρέπει να υπερβαίνουν το 2% σε συγκεκριμένες συνθήκες υπό παραμονή 48 ωρών.
Συμπεριφορά σε φωτιά	Εύφλεκτο και αυτοσβεννόμενο υλικό

Η μηχανική αντοχή της εξηλασμένης πολυστερίνης είναι αρκετά ικανοποιητική στη θλίψη με τιμές μεταξύ των 100 – 1000 kPa με βάση το πρότυπο EN 13164/2009. Αντίστοιχα όμως με την περίπτωση της διογκωμένης πολυστερίνης, όταν γίνεται επιβολή ισχυρών μοναχικών φορτίων, για παράδειγμα κατά της χρήσης ως εξωτερικής στρώσης δομικών στοιχείων, απαιτείται προστασία με εφαρμογή επιχρίσματος, όπως κάποιο σπλισμένο κονίαμα που θα μετατρέψει τα σημειακά φορτία σε κατανεμημένα [38].

Η χρήση ως θερμομονωτικό προϊόν στη δόμηση αφορά τη θερμική προστασία όλων των δομικών στοιχείων, είτε στοιχεία φέροντος οργανισμού (υποστηλώματα, δοκοί κλπ), είτε τοιχοποιιών πλήρωσης, δαπέδων, οροφών, τοιχίων υπογείων σε επαφή με το έδαφος κλπ. Αν και έχει σημαντικό ρόλο στην αγορά θερμομονωτικών υλικών δόμησης, υπολείπεται σαν επιλογή σε σχέση με την διογκωμένη πολυστερίνη. Αν συγκεντρώσουμε τα βασικά πλεονεκτήματα της τελευταίας σε μια λίστα και κάνουμε μια σύγκριση στα δύο προϊόντα θα προκύψει :

- Η EPS είναι πιο φθηνή από την XPS
- Καλύτερη θερμομόνωση της EPS στην πάροδο του χρόνου
- Η EPS έχει μεγαλύτερη ελαστικότητα και απορροφά ευκολότερα κραδασμούς που θα προκαλούσαν εμφάνιση ρωγμών
- Η EPS είναι πιο φιλική με το περιβάλλον διότι η εξηλασμένη περιέχει χλωροφθοράνθρακες που απελευθερώνονται, που εκτός ότι αποτελούν απειλή για το περιβάλλον, οδηγούν σε σταδιακή μείωση του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας
- Η EPS έχει καλύτερη διαστασιακή σταθερότητα στις συνήθεις θερμοκρασίες και είναι πιο πυράντοχη σε σχέση με την εξηλασμένη πολυστερίνη [68],[69].

3.7.4.3. Πολυουρεθάνη (Polyurethane insulation)



Εικόνα 3.48 Αφρός πολυουρεθάνης, ευρείας χρήσης θερμομονωτικό υλικό

Η πολυουρεθάνη ως θερμομονωτικό προϊόν ανήκει στην κατηγορία των σκληρών αφρώδων μονωτικών υλικών κλειστής κυψελωτής δομής, με τη μορφή του άκαμπτου αφρού να είναι διεθνώς γνωστή με τον όρο PUR foam (polyurethane foam). Το χρώμα της είναι συνήθως κίτρινο με αποχρώσεις προς το λευκό και το κιτρινοπορτοκαλί, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.48 [38].

Κυκλοφορεί στο εμπόριο των θερμομονωτικών υλικών σε διάφορες μορφές όπως :

- ✓ Σε σκληρές πλάκες
- ✓ Σε αφρό (σε φιάλες ή κυλινδρικά κιβώτια)
- ✓ Σε μορφοποιημένα κογγύλια
- ✓ Σε μορφή πετασμάτων τύπου σάντουιτς με επικαλύψεις μεταλλικών φύλλων και στις δύο πλευρές
- ✓ Σε πλάκες με επικάλυψη λεπτού φύλλου αλουμινίου επίπεδης ή τραπεζοειδούς μορφής [38]



Εικόνα 3.49 Εφαρμογή μόνωσης PUR σε οροφή

Η πολυουρεθάνη έχει ικανοποιητική μηχανική αντοχή σε θλίψη ,με τις τιμές να βρίσκονται στην περιοχή μεταξύ 25 – 800 kPa , αλλά για την εγγυημένη προστασία της απαιτείται επίστρωση με κάποιο επίχρισμα, όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενες περιπτώσεις, για την αποφυγή παραμόρφωσης σε μοναχικά φορτία. Όταν εφαρμόζεται στο δομικό υλικό με τη μορφή του αφρού, πρώτα ψεκάζεται στην επιφάνεια και σε μικρό χρονικό διάστημα πολυμερίζεται και στερεοποιείται. Εφαρμόζεται στα περισσότερα δομικά υλικά και ιδιαίτερα στα πετρώδη, ενώ δεν ενδείκνυται πάνω σε πλαστικά, σιλικόνες, φύλλα πολυαιθυλενίου και σε ρυπαρές επιφάνειες με έλαια διότι δεν έχει την απαιτούμενη πρόσφυση [38].

Πίνακας 3.7 Φυσικές , θερμικές και μηχανικές ιδιότητες πολυουρεθάνης , Τ.Ε.Ε.

Προσβολή από έντομα / πουλιά / τρωκτικά	Ναι
Προσβολή από χημικούς διαλύτες	Ναι: από ακετόνη (ασετόν) και άλλοι ισχυροί διαλύτες Όχι: από βενζίνη και πετρελαιοειδή, οξέα και βάσεις
Προσβολή από την ηλιακή ακτινοβολία	Ναι
Συμπεριφορά στη θερμότητα	Αντοχή από -50°C έως +110°C
Θερμική αγωγιμότητα (σύμφωνα με την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2/2010)	0,023 - 0,030 W/(m·K)
Απορρόφηση νερού	Όχι
Αντίσταση στη διάχυση των υδρατμών	$\mu = 50 - 100$
Αντοχή στη συμπίεση	Ικανοποιητική
Μεταβολή διαστάσεων	Σχετική σταθερότητα. Σύμφωνα με το πρότυπο Για μικρότερη διάσταση των 1000 mm η ανοχή στην απόκλιση είναι ± 5 mm σε συγκεκριμένες συνθήκες.
Συμπεριφορά σε φωτιά	Αυτοσβεννόμενο υλικό

Η τοποθέτηση ως θερμομονωτικό υλικό βρίσκει εφαρμογή ανεξάρτητα από τη μορφή της στα αντίστοιχα στοιχεία του φέροντος οργανισμού αλλά και στις εξωτερικές ή εσωτερικές τοιχοποιίες, στα δάπεδα, στο δώμα, σε ευάλωτες στην υγρασία κατασκευές κλπ (Εικόνα 3.49). Η μορφή του αφρού με ψεκασμό έχει το πλεονέκτημα της χρήσης σε καμπύλες ή θολωτές επιφάνειες που η χρήση των συμβατικών πλακών πολυουρεθάνης δεν θα ήταν εφαρμόσιμη. Οι προκατασκευασμένες πλάκες βρίσκουν ως επί το πλείστον εφαρμογή σε λυόμενες κατασκευές, βιομηχανικά κτίρια κλπ, ενώ χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα και ως στοιχεία πλήρωσης. Στον Πίνακα 3.7 παραπάνω αναφέρονται οι βασικές θερμοφυσικές ιδιότητες της πολυουρεθάνης [38].

3.7.4.4. Υαλοβάμβακας (Fiberglass insulation)



Εικόνα 3.50 Ρολά θερμομονωτικού υαλοβάμβακα

Ο υαλοβάμβακας αποτελεί ένα θερμομονωτικό υλικό που ανήκει στην κατηγορία των ανόργανων ινωδών υλικών. Παράγεται και κυκλοφορεί στο εμπόριο ανάλογα με τη χρήση του σε διάφορες μορφές όπως :

- ✓ πάπλωμα σε ρολά
- ✓ ως πάπλωμα με φύλλο αλουμινίου στη μια όψη
- ✓ πάπλωμα ενισχυμένο με μεταλλικό πλέγμα
- ✓ ως απλές ή ενισχυμένες πλάκες
- ✓ ως κογχύλια για θερμική ή ηχητική μόνωση σωληνώσεων [38]

Ο υαλοβάμβακας ως προϊόν παράγεται σε κίτρινο χρώμα (Εικόνα 3.50) που το αποκτά κατά την επεξεργασία των ινών του γυαλιού με τη θερμοσκληρυνόμενη ρητίνη, ενώ σε ορισμένα προϊόντα κυκλοφορεί και σε λευκό χρώμα. Ο υαλοβάμβακας δεν συνιστάται στην εφαρμογή φορτίων αφού δεν παρουσιάζει υψηλή μηχανική αντοχή, πιο συγκεκριμένα τα παπλώματα υαλοβάμβακα δεν έχουν καθόλου αντοχή σε συμπίεση και κατά συνέπεια δεν μπορούν να τοποθετηθούν σαν ενδιάμεση στρώση σε οριζόντια οικοδομικά στοιχεία. Κατά την εφαρμογή θλιπτικών φορτίων καταλήγουν να συμπιεστούν και να μειώνουν το πάχος τους και ως αποτέλεσμα μειώνεται και η ζητούμενη θερμομονωτική προστασία. Στην Εικόνα 3.51 φαίνεται η εφαρμογή του θερμομονωτικού υλικού σε στέγη κατασκευής [38].



Εικόνα 3.51 Επίστρωση στέγης κτιριακής κατασκευής με υαλοβάμβακα

Η χρήση του υαλοβάμβακα είναι ευρεία στη δόμηση αλλά και στη βιομηχανία διότι προσφέρει εκτός από τις θερμομονωτικές, και ηχομονωτικές ιδιότητες. Η θερμική του προστασία αφορά τα δομικά στοιχεία των κτιριακών κατασκευών, και με τη μορφή παπλώματος εξυπηρετεί ιδιαίτερες καμπύλες επιφάνειες, ακανόνιστης επιφάνειας δομικά στοιχεία, ξύλινα δάπεδα κλπ, αφού μπορεί να προσαρμοστεί στην μορφή της επιφάνειας που καλύπτει. Στον Πίνακα 3.8 αναγράφονται βασικές θερμοφυσικές ιδιότητες του υαλοβάμβακα και η «απόκρισή» του σε διάφορες συνθήκες [38]

Πίνακας 3.8 Φυσικές, θερμικές και μηχανικές ιδιότητες υαλοβάμβακα, Τ.Ε.Ε.

Προσβολή από έντομα / πουλιά / τρωκτικά	Όχι
Προσβολή από χημικούς διαλύτες	Όχι (προσβάλλεται όμως από το υδροχλωρικό οξύ)
Προσβολή από την ηλιακή ακτινοβολία	Όχι
Συμπεριφορά στη θερμότητα	Αντοχή έως 400°C
Θερμική αγωγιμότητα (σύμφωνα με την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2/2010)	Παπλώματα 0,035 - 0,041 W/(m·K) Σκληρές πλάκες 0,033 - 0,041 W/(m·K)
Συγκράτηση νερού	Ναι
Αντίσταση στη διάχυση των υδρατμών	$\mu = 1,0 - 1,5$
Αντοχή στη συμπίεση	Όχι (το πάπλωμα)
Μεταβολή διαστάσεων	Σταθερότητα (όταν δεν συμπιέζεται)
Συμπεριφορά σε φωτιά	Άκαυστο

Στις περισσότερες περιπτώσεις στις κτιριακές κατασκευές προτιμάται η μορφή παπλώματος υαλοβάμβακα ή οι σκληρές-ημισκληρές πλάκες. Εφαρμόζεται σχεδόν σε όλα τα δομικά στοιχεία είτε φέροντος οργανισμού είτε πλήρωσης, εξωτερικά ή εσωτερικά ή στον πυρήνα τοιχοποιίας, σε δάπεδα επάνω από υπόγεια ή πιλοτές, σε ψευδοροφές, σε δώματα συμβατικού τύπου κλπ, με την προϋπόθεση ότι προστατεύεται από την υγρασία [74].

3.7.4.5. Πετροβάμβακας (Mineral Wool)



Εικόνα 3.52 Θερμομόνωση πετροβάμβακα σε πάνελ και ρολά

Ανήκει στην κατηγορία των ανόργανων ινωδών υλικών , όπως και ο υαλοβάμβακας , ενώ παράγεται επίσης με την ίδια διαδικασία με την διαφορά οτι χρησιμοποιούνται πρώτες ύλες όπως :

- ✓ Δολομίτης
- ✓ Ασβεστόλιθος
- ✓ Βωξίτης
- ✓ Πλουτώνια πετρώματα [38]

Κυκλοφορεί ως θερμομονωτικό υλικό στο εμπόριο σε διάφορες μορφές αντίστοιχα ανάλογα με τη χρήση του, όπως :

- ✓ Πάπλωμα σε ρολό , απλό ή ενισχυμένο με μεταλλικό πλέγμα
- ✓ Απλές ,ή ενισχυμένες αντίστοιχα ,πλάκες
- ✓ Ως κογχύλια για θερμομονώσεις και ηχομονώσεις [38]

Τα προϊόντα πετροβάμβακα, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.52, εντοπίζονται συνήθως στην αγορά σε σκούρο κιτρινοπράσινο χρώμα, ενώ μπορεί να παραχθεί και με διάφορες επικαλύψεις όπως με υαλούφασμα, με φύλλο αλουμινίου ή και με ασφαλτομένο υαλοπίλημα. Στην παραγωγή του χρησιμοποιούνται περίπου κατά 80% φυσικά πετρώματα χωρίς να αφήνει μεγάλες ποσότητες αποβλήτων ενώ είναι σημαντικό πως οι ίνες του προϊόντος κατά την αποκομιδή τους είναι βιοδιαλυτές με την πάροδο του χρόνου. Ένα μειονέκτημα του πετροβάμβακα αποτελεί η μεγάλη κατανάλωση ενέργειας στο στάδιο παραγωγής του (έχει υψηλή εμπεριεχόμενη ενέργεια) [75].



Εικόνα 3.53 Εφαρμογή πετροβάμβακα εσωτερικά σε τοιχοποιία πληρώσεως

Είναι γνωστό ότι ο πετροβάμβακας δεν παρουσιάζει μεγάλες μηχανικές αντοχές, ιδιαίτερα υπο τη μορφή παπλώματος, αφού η συμπίεση μπορεί να τον παραμορφώσει. Υπό τη μορφή πλακών εμφανίζει ελαφρώς αυξημένη αντοχή (τιμές στην περιοχή μεταξύ 5 – 20 kPa για τάσεις θλίψης σύμφωνα με τις εταιρίες παραγωγής), που και πάλι δεν επαναπαύουν για χρήση σε οριζόντια δομικά στοιχεία που θα δεχθούν φορτία και κατά συνέπεια συμπίεση. Στον Πίνακα 3.9 αναφέρονται οι βασικές θερμοφυσικές ιδιότητες του πετροβάμβακα [38].

Πίνακας 3.9 Φυσικές, θερμικές και μηχανικές ιδιότητες πετροβάμβακα, Τ.Ε.Ε.

Προσβολή από έντομα / πουλιά / τρωκτικά	Όχι						
Προσβολή από χημικούς διαλύτες	Όχι (προσβάλλεται όμως από το υδροχλωρικό οξύ)						
Προσβολή από την ηλιακή ακτινοβολία	Όχι						
Συμπεριφορά στη θερμότητα	Αντοχή έως 750°C						
Θερμική αγωγιμότητα (σύμφωνα με την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2/2010)	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 60%;">Παπλώματα</td> <td style="text-align: right;">0,035 - 0,041 W/(m·K)</td> </tr> <tr> <td>Σκληρές πλάκες</td> <td style="text-align: right;">0,033 - 0,041 W/(m·K)</td> </tr> <tr> <td>Χύμα (κοκκώδης μορφή)</td> <td style="text-align: right;">0,058 W/(m·K)</td> </tr> </table>	Παπλώματα	0,035 - 0,041 W/(m·K)	Σκληρές πλάκες	0,033 - 0,041 W/(m·K)	Χύμα (κοκκώδης μορφή)	0,058 W/(m·K)
Παπλώματα	0,035 - 0,041 W/(m·K)						
Σκληρές πλάκες	0,033 - 0,041 W/(m·K)						
Χύμα (κοκκώδης μορφή)	0,058 W/(m·K)						
Συγκράτηση νερού	Ναι						
Αντίσταση στη διάχυση των υδρατμών	$\mu = 1,0 - 1,5$						
Αντοχή στη συμπίεση	Όχι						
Μεταβολή διαστάσεων	Σταθερότητα (όταν δεν συμπιέζεται)						
Συμπεριφορά σε φωτιά	Άκαυστο, πυράντοχο						

Η χρήση του πετροβάμβακα στη δόμηση και στη βιομηχανία έχει περίπου τις ίδιες εφαρμογές με τον υαλοβάμβακα, αλλά δεδομένου ότι παρουσιάζει καλύτερη αντοχή στη θερμότητα, προτιμάται και σε εφαρμογές σε χώρους που αναπτύσσονται υψηλές θερμοκρασίες. Η τοποθέτηση από τους τεχνίτες πρέπει να γίνεται με χρήση γαντιών και όχι με γυμνά χέρια, λόγω των τριμμάτων που αφήνουν οι ίνες του [75].

3.7.4.6. Αφρώδες γυαλί (Cellular Foam Glass)



Εικόνα 3.54 Αφρώδες γυαλί σε διάφορα πάχη (cm)

Το αφρώδες γυαλί, ονομάζεται και κυψελωτό γυαλί, αποτελεί θερμομονωτικό υλικό που διεθνώς αναγνωρίζεται με το σύμβολισμό CG (Cellular Glass). Αποτελεί υλικό ορυκτής προέλευσης με κυψελωτή δομή αφού εμπεριέχει πλήθος πολύ μικρών κυψελών ερμητικά κλειστών και ανεξάρτητων μεταξύ τους. Το βασικό υλικό από το οποίο παράγεται είναι η καθαρή άμμος και η διαδικασία παραγωγής αφορά τη θερμική διεργασία αλεσμένου γυαλιού αναμεμιγμένου με άνθρακα. Στην Εικόνα 3.54 φαίνεται η όψη του θερμομονωτικού αφρώδους γυαλιού σε διάφορες διαστάσεις [38].

Στην ελληνική δόμηση δεν έχει χρησιμοποιηθεί ιδιαίτερα καθώς είναι άγνωστο και μη διαδεδομένο υλικό στην οικοδομική κοινότητα. Στο εμπόριο που κυκλοφορεί εντοπίζεται σε πλάκες αφρώδες γυαλιού μικρών διαστάσεων, με ενιαίο πάχος μεταξύ 2.5 και 12 cm, ή με μεταβλητό πάχος που με την τοποθέτηση θα διαμορφωθούν οι απαραίτητες κλίσεις πχ θερμομόνωση σε δώμα. Στον Πίνακα 3.10 παρουσιάζονται οι θερμοφυσικές ιδιότητες του αφρώδους γυαλιού και η ανταπόκριση του σε διάφορες συνθήκες [38].

Πίνακας 3.10 Φυσικές, θερμικές και μηχανικές ιδιότητες αφρώδους γυαλιού, Τ.Ε.Ε.

Προσβολή από έντομα / πουλιά / τρωκτικά	Όχι
Προσβολή από χημικούς διαλύτες	Όχι: (προσβάλλεται όμως από το υδροφθορικό οξύ)
Προσβολή από την ηλιακή ακτινοβολία	Όχι
Συμπεριφορά στη θερμότητα	Αντοχή από -260° έως 430°C
Θερμική αγωγιμότητα (σύμφωνα με την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2/2010)	0,040 - 0,052 W/(m·K)
Απορρόφηση νερού	Μηδενική
Αντίσταση στη διάχυση των υδρατμών	$\mu = 100.000$
Αντοχή στη συμπίεση	Ναι
Μεταβολή διαστάσεων	Σχετική σταθερότητα. Σύμφωνα με το πρότυπο δεν πρέπει να υπερβαίνουν το 1% σε συγκεκριμένες συνθήκες υπό παραμονή 48 ωρών.
Συμπεριφορά σε φωτιά	Άκαυστο

Το αφρώδες γυαλί είναι ουσιαστικά ασυμπίεστο υλικό, και έχει μεγάλη αντοχή σε θλιπτικά φορτία, με τιμές μεταξύ 600 – 1200 kPa. Αυτό το καθιστά ιδανικό στη θερμομόνωση δαπέδων και άλλων επιφανειών που ασκούνται μεγάλα φορτία. Ακόμη, είναι ιδιαίτερα χρήσιμο στη θερμική προστασία τοιχοποιίας (είτε στο εξωτερικό στρώμα είτε στον πυρήνα), τοιχίων υπόγειων χώρων, δαπέδων σε επαφή με το έδαφος, δωματίων, πλακών οροφής, στέγης κλπ. Σε επιφάνειες που είναι κατακόρυφες το υλικό στερεώνεται με ισχυρά βύσματα και με ειδικές ελαστικές κόλλες ασφαλτικής βάσης, ενώ σε δάπεδα και σε δώματα επικολλάται σε καθαρό υπόστρωμα με χρήση θερμής ή ψυχρής ασφάλτου [38].

3.7.4.7. Ξυλόμαλλο (Wood fiber insulation)



Εικόνα 3.55 Πλάκες ξυλόμαλλου για θερμομόνωση κτιρίων

Το ξυλόμαλλο αποτελεί θερμομονωτικό υλικό, γνωστό με το συμβολισμό WW (wood wool), που συνίσταται από ξυλώδεις ίνες που έχουν αναμειχθεί και ορυκτοποιηθεί με τσιμέντο υψηλής αντοχής. Την πρώτη ύλη αποτελεί προφανώς το ξύλο και άλλα συγγενή προϊόντα όπως ροκανίδια, άχυρα και άλλα φυτικά προϊόντα υπό μορφή ινών. Σαν προϊόν το ξυλόμαλλο είναι άοσμο, με φαιό χρώμα (Εικόνα 3.55), και εκτός από θερμική προστασία προσφέρει και ηχομονωτικές ιδιότητες.

Στο εμπόριο κυκλοφορεί σε δύο βασικές μορφές :

- ✓ Απλές συμπαγείς πλάκες
- ✓ Πλάκες τύπου σάντουιτς, με εξωτερικές στρώσεις ξυλόμαλλου στις δύο επιφάνειες και ενδιάμεσα στρώση διογκωμένης πολυστερίνης ή πετροβάμβακα. Αυτός ο τύπος είναι πιο ελαφρύς από τις συμπαγείς πλάκες και παράλληλα συνδυάζει τις ιδιότητες παραπάνω θερμομονωτικών υλικών.

Στον Πίνακα 3.11 αναγράφονται οι βασικές θερμοφυσικές ιδιότητες του ξυλόμαλλου σύμφωνα με τις τεχνικές οδηγίες του TEE [38].

Πίνακας 3.11 Φυσικές , θερμικές και μηχανικές ιδιότητες ξυλόμαλλου , Τ.Ε.Ε.

Προσβολή από έντομα / πουλιά / τρωκτικά	Ναι	
Προσβολή από χημικούς διαλύτες	Όχι	
Προσβολή από την ηλιακή ακτινοβολία	Όχι	
Συμπεριφορά στη θερμότητα	Ικανοποιητική	
Θερμική αγωγιμότητα (σύμφωνα με την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2/2010)	Πλάκες πάχους < 25 mm	0,150 W/(m·K)
	Πλάκες πάχους ≥ 25 mm	0,090-0,100 W/(m·K)
Απορρόφηση νερού	Ναι	
Αντίσταση στη διάχυση των υδρατμών	$\mu = 2,0 - 5,0$	
Αντοχή στη συμπίεση	Ναι	
Μεταβολή διαστάσεων	Σταθερότητα	
Συμπεριφορά σε φωτιά	Θεωρείται πυράντοχο μόνο με την επίχρισή του	

Αποτελεί ένα απο τα θερμομονωτικά υλικά με τη μεγαλύτερη αντοχή σε θλίψη , με τιμές φορτίων μεταξύ 1000 – 1800 kPa, που σημαίνει οτι αντέχει καταπονήσεις τόσο απο μοναχικά, όσο και απο κατανεμημένα φορτία, χωρίς τον κίνδυνο εμφάνισης παραμόρφωσης. Με βάση αυτή την ιδιότητα, το ξυλόμαλλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ξυλότυπος σε στοιχειά φέροντος οργανισμού του κτιρίου, που δε θα χρειασθεί να αφαιρεθεί μετά την τελειοποίηση του σκυροδέματος, αλλά να παραμείνει ως θερμομονωτική στρώση. Στην Εικόνα 3.56 φαίνεται η επίστρωση του θερμομονωτικού ξυλόμαλλου σε όλη την επιφάνεια εσωτερικά του κελύφους.



Εικόνα 3.56 Κάλυψη κελύφους με ξυλόμαλλο

Έχει ικανοποιητική εφαρμογή και προσφέρει θερμική προστασία σε όλους τους τύπους των δομικών στοιχείων , με την προϋπόθεση μη προσβολής απο υγρασια. Οι πιο σύνηθες τοποθετήσεις είναι στα στοιχειά του φέροντος οργανισμού, σε εσωτερικές οροφές μεγάλων χώρων και πλάκες οροφής, σε κεκλιμένες στέγες , σε πιλοτές, ακόμα και σε επιφάνειες που θα προστεθεί επίχρισμα λόγω της καλής πρόσφυσης μεταξύ τους.Η επιφάνειά του λοιπον μπορεί είτε να επιχριστεί, είτε να καλυφθεί με ταπετσαρία ή και να μείνει ελεύθερη, ενώ σε περίπτωση βαφής μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υλικό κοινό διακοσμητικό υδατοδιαλυτό χρώμα [38].

3.7.4.8. Φελλός (Cork insulation)



Εικόνα 3.57 Θερμομονωτικός φελλός σε πλάκες και ρολά

Ο φελλός αποτελεί φυσικό θερμομονωτικό προϊόν και ένα απο τα παλαιότερα μονωτικά υλικά με χρήση όχι μόνο στη θερμική αλλά και στην ηχητική προστασία των κτιριακών κατασκευών. Έχει μικρή ενσωματωμένη ενέργεια αφού για την παραγωγή του δεν καταναλώνονται μεγάλα ποσά ενέργειας και αποτελεί υλικό φιλικό προς το περιβάλλον. Πωλείται συνήθως στο φυσικό του χρώμα (Εικόνα 3.57), αν και μπορεί να χρωματιστεί με ειδικές βαφές. Στον Πίνακα 3.12 αναγράφονται οι βασικές θερμοφυσικές ιδιότητες του θερμομονωτικού φελλού [38].

Ο μονωτικός φελλός κυκλοφορεί στο εμπόριο συνήθως ως :

- ✓ Πλάκες ή σανίδες σκληρής μορφής , που προέρχονται απο τη διόγκωση του κοκκώδους φελλού σε θερμοκρασία περίπου 400 °C, και υπό πίεση με συγκόλληση των κόκκων του
- ✓ Με κοκκώδη μορφή, που διαμορφώνεται απο την απόξεση και την επεξεργασία ακατέργαστου φελλού
- ✓ Υπό σωληνωτή μορφή ανοικτών «κογχυλιών» (αφορά εφαρμογή σε σωλήνες)

Πίνακας 3.12 Φυσικές , θερμικές και μηχανικές ιδιότητες φελλού , Τ.Ε.Ε.

Προσβολή από έντομα / πουλιά / τρωκτικά	Προσβάλλεται από ορισμένες μόνο κατηγορίες εντόμων)
Προσβολή από χημικούς διαλύτες	Ναι
Συμπεριφορά στη θερμότητα	Αντοχή από -200°C έως +130°C
Θερμική αγωγιμότητα (σύμφωνα με την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2/2010)	Σκληρά πλακίδια 0,065 W/(m·K) Φύλλα και πλάκες 0,042 - 0,046 W/(m·K).
Απορρόφηση νερού	Αδιάβροχο
Αντίσταση στη διάχυση των υδρατμών	Σκληρά πλακίδια $\mu = 40$ Φύλλα και πλάκες $\mu = 10 - 30$
Αντοχή στη συμπίεση	Ικανοποιητική
Μεταβολή διαστάσεων	Σταθερότητα. Σύμφωνα με το πρότυπο δεν πρέπει να υπερβαίνουν το 0,5% σε συγκεκριμένες συνθήκες υπό παραμονή 48 ωρών.
Συμπεριφορά σε φωτιά	Καίγεται δύσκολα.

Όπως αναφέρεται, ο φελλός αποτελεί υλικό με ικανοποιητική αντοχή στη συμπίεση, και που με την απομάκρυνση του εκάστοτε φορτίου επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση. Η ελάχιστη αντοχή του σε θλίψη βρίσκεται στην περιοχή μεταξύ 90 – 110 kPa για 10% παραμόρφωση σύμφωνα με το πρότυπο EN13170. Στις ελληνικές οικοδομικές κατασκευές η χρήση του φελλού σαν μονωτικό υλικό δεν είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη, με βασικό σημείο αναφοράς το υψηλό κόστος, ενώ συνηθίζεται περισσότερο η τοποθέτησή του για ηχομονωτικούς σκοπούς. Απο πλευράς θερμικής προστασίας αξιοποιείται η σταθερότητα διαστάσεων του φελλού, η ελαστικότητα και η αντοχή του στη συμπίεση, ενώ η χρήση του καθίσταται σημαντική κυρίως ως τελική επικάλυψη τοιχοποιιών και δαπέδων, και εξαιτίας του καλού αισθητικού αποτελέσματος που δίνει στο χώρο [38].

3.7.4.9. Κυτταρίνη (Cellulose ecowool insulation)



Εικόνα 3.58 Πλάκες και ρολά κυτταρίνης για θερμομόνωση

Η κυτταρίνη αποτελεί ένα θερμομονωτικό υλικό που παρασκευάζεται από την ανακύκλωση χαρτιού, δηλαδή από απορρίματα χαρτιών που δέχονται κατάλληλη επεξεργασία για να πάρουν συγκεκριμένη μορφή και να καταστούν ανθεκτικά εναντίον της φωτιάς αλλά και από προσβολή εντόμων και μυκητών [38]. Δεν αποτελεί τόσο διαδεδομένο και χρησιμοποιούμενο υλικό στην ελληνική αγορά και στις κατασκευές, αλλά σε χώρες του εξωτερικού μπορεί να βρεθεί, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.58, με τις εξής μορφές :

- ✓ Άμορφο, απλή ελεύθερη διάστρωση ή ψεκασμός
- ✓ Σε μορφή πλακών

Η κυτταρίνη αποτελεί συμπίεσιμο υλικό και δεν χαρακτηρίζεται από σημαντική αντοχή σε θλιπτικά φορτία. Σύμφωνα με τις τεχνικές οδηγίες του τεχνικού επιμελητηρίου [38], ανάλογα και τη μορφή της παρουσιάζει τιμές συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας :

- ✓ Σε ελεύθερη ινώδη μορφή : $k = 0.040 - 0.045 \text{ W/mK}$
- ✓ Σε συμπαγή κολλώδη μορφή : $k = 0.040 - 0.060 \text{ W/mK}$

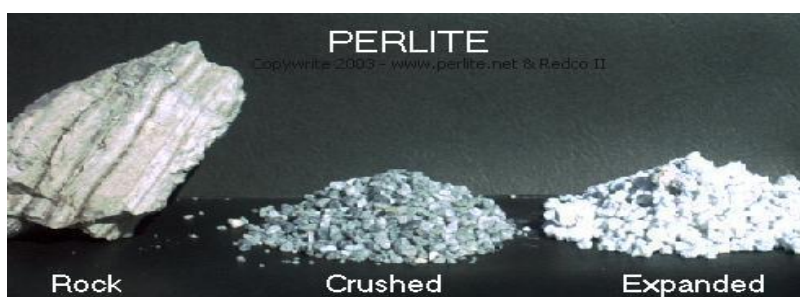
Βασική χρήση της κυτταρίνης αποτελεί η θερμική προστασία οριζόντιων οροφών κάτω από μη θερμαινόμενες στέγες, και στις δύο μορφές, είτε σε χύμα είτε σε πλάκες. Στην περίπτωση θερμομόνωσης τοιχοποιίας μπορεί να γίνει τοποθέτηση είτε στον πυρήνα των στρωμάτων δομικών υλικών είτε στην εσωτερική πλευρά με επίστρωση υλικών ξηρής δόμησης, με την προϋπόθεση ότι δεν κινδυνεύει από υγρασία [76].

3.7.4.10. Διογκωμένος περλίτης (Expanded Perlite – insulation)



Εικόνα 3.59 Θερμομονωτικές πλάκες περλίτη με έντονο λευκό χρώμα

Ο περλίτης αποτελεί θερμομονωτικό υλικό που προέρχεται από ορυκτές ηφαιστιογενείς πρώτες ύλες και αποτελείται από πολλές μικρές κυψέλες, ενώ ανήκει στα ανόργανα κυψελωτά υλικά. Τα βασικά συστατικά από τα οποία αποτελείται είναι το διοξείδιο του πυριτίου και το οξείδιο του αργιλίου, ενώ παράλληλα περιέχει αλκαλικά και άλλα οξείδια. Η πρώτη ύλη έχει μεγάλη περιεκτικότητα σε νερό, και η διόγκωση προκύπτει από το τρίψιμο των κόκκων του ορυκτού που πυρακτώνεται απότομα σε θερμοκρασία περίπου 900 °C. Στο εσωτερικό των κόκκων δημιουργούνται κλειστές κυψέλες που προσδίδουν στον περλίτη τις θερμομονωτικές του ιδιότητες. Με πλεονέκτημα την ελεύθερη ροή του περλίτη, η έγχυσή του σε κοιλότητες θεωρείται εύκολη και επομένως ο περλίτης μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατά βάση ως υλικό πληρώσεων κενού διπλών τοίχων, ή ως υλικό γεμισμάτων δαπέδων σε συνδυασμό με τσιμέντο, ως υλικό γεμίματος ρωγμών, αλλά και υπό τη μορφή περλομπετόν για τη δημιουργία ρύσεων σε δώματα [77].



Εικόνα 3.60 Περλίτης σε διάφορα στάδια

Το χρώμα του διογκωμένου περλίτη είναι κυρίως λευκό (Εικόνες 3.59 & 3.60) και χαρακτηρίζεται ως άοσμο και ελαφρύ υλικό, με πυκνότητα μεταξύ $30 - 140 \text{ kg/m}^3$. Στη μορφή των κόκκων υλικού δεν παρουσιάζει κάποια μηχανική αντοχή, αλλά σαν προϊόν περλομπετού έχει άριστες μηχανικές ιδιότητες. Έχει υψηλή αντοχή στη γήρανση και οι ιδιότητές του παραμένουν αναλοίωτες στο πέρασμα του χρόνου, ενώ προσφέρει συγχρόνως και ηχομονωτικές ιδιότητες. Στην Εικόνα 3.61 εμφανίζεται η τοποθέτηση περλίτη για γέμισμα δομής τοιχοποιίας, για αύξηση θερμομονωτικών ιδιοτήτων.



Εικόνα 3.61 Χρήση διογκωμένου περλίτη ως πλήρωση σε τοιχοποιία

Ο διογκωμένος περλίτης εμφανίζει συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας k στην περιοχή μεταξύ $0,040 - 0,065 \text{ W/mK}$, ενώ σαν περλομπετόν που έχειτσιμέντο ανεβαίνει στο $k = 0.1 \text{ W/mK}$. Το εύρος λειτουργίας του περλίτη είναι μεταξύ -200°C μέχρι 1000°C πράγμα που τον καθιστά ιδανικό και για χρήση σε χώρους που απαιτούνται υψηλές θερμοκρασίες. Απο πλευράς πυραντοχής αποτελεί άκαυστο υλικό και σε περίπτωση πυρκαγιάς δεν παράγει καπνό ή τοξικά αέρια. Επίσης ο διογκωμένος περλίτης δεν προσβάλλεται από μύκητες, βακτήρια και έντομα, ενώ δεν επηρεάζεται και από την ηλιακή ακτινοβολία [77].

3.7.4.11. Φαινολικός αφρός (Phenolic foam insulation)

Ο φαινολικός αφρός αποτελεί μονωτικό υλικό που ανήκει στα αφρώδη υλικά με κλειστή κυψελωτή δομή και είναι σκληροποιημένος. Για την παραγωγή του γίνεται ανάμιξη πρώτης ύλης υπό τήξη με κάποιο μέσο διόγκωσης, ενώ στη συνέχεια προστίθεται στο μίγμα σκληρυντικό υλικό με παράλληλη ανάδευση που προκαλεί αφρισμό της ρητίνης μέσω εξώθερμης αντίδρασης. Κατά την ψύξη του υλικού γίνεται δημιουργία κλειστών κυψελών μέσα στις οποίες παγιδεύεται το διογκωτικό αέριο, το οποίο και τελικά προσδίδει στο τελικό υλικό τις θερμομονωτικές ιδιότητες. Ο φαινολικός αφρός κυκλοφορεί στο εμπόριο σε πλάκες με διάφορα πάχη μεταξύ $2 - 12 \text{ cm}$, και αποτελεί άοσμο υλικό συνήθως κίτρινου ή πορτοκαλί χρώματος. Απο πλευράς τεχνικών του χαρακτηριστικών έχει πολύ χαμηλή πυκνότητα περίπου 35 kg/m^3 , με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας $k = 0.022 \text{ W/mK}$, και έχει καλή αντοχή στη συμπίεση. Το θερμοκρασιακό εύρος λειτουργίας του είναι από -160°C μέχρι 200°C και παράλληλα εμφανίζει και ηχομονωτικές ιδιότητες [78].

3.7.4.12. Πλάκες καλαμιού (Reed insulation panels)



Εικόνα 3.62 Πλάκες καλαμιού για θερμική προστασία

Το καλάμι σαν υλικό χρησιμοποιήθηκε στην παραδοσιακή δόμηση ως σπλισμός ελαφρών δομικών στοιχείων ή για την κατασκευή φορέων επιχρισμάτων, διότι έχουν μεγάλη αντοχή στην υγρασία. Εμφανίζεται πλέον και ως θερμομονωτικό υλικό στην αγορά υπό τη μορφή σκληρών εύκαμπτων πλακών μίσχων καλαμιού (Εικόνα 3.62) [73]. Οι συγκεκριμένες πλάκες αποτελούνται από στρώματα μίσχων που συμπιέζονται μηχανικά και ράβονται μεταξύ τους με χρήση γαλβανισμένου ατσαλοσύρματος, σε πάχη από 2 έως 10 cm (Εικόνα 3.63). Η τοποθέτηση γίνεται σαν εξωτερική ή εσωτερική θερμομόνωση σε στέγες, σε διάκενα διπλής τοιχοποιίας του κελύφους των κτιρίων ή απλά σαν εξωτερική θερμομόνωση δομικών στοιχείων.



Εικόνα 3.63 Στενό δέσιμο μίσχων καλαμιού για συγκρότηση θερμομονωτικής πλάκας

Οι πλάκες καλαμιού έχουν φυσικές και περιβαλλοντικές ιδιότητες που περιγράφονται συνοπτικά στη συνέχεια.

Φυσικές ιδιότητες :

- ✓ Η θερμομονωτική ικανότητα των πλακών καλαμιού είναι μέτρια, παρουσιάζουν συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας με τιμές $k = 0.065 - 0.090$ W/mK
- ✓ Έχουν ως σημαντικό πλεονέκτημα την μικρή αντίσταση στη διάχυση υδρατμών και δεν κινδυνεύουν από υγρασία ή συγκέντρωση μυκητών
- ✓ Το υλικό των καλαμιών προσφέρει επίσης ηχομονωτικές ιδιότητες και υψηλό συντελεστή πυραντίστασης [73]

Περιβαλλοντικές ιδιότητες :

- ✓ Ελάχιστη ενσωματωμένη ενέργεια (απο την παραγωγή τους)
- ✓ Ως πρώτη ύλη μονώσεων τα καλάμια είναι άφθονη και ανανεώσιμη ύλη που αναπτύσσεται πολύ γρήγορα
- ✓ Δεν περιέχουν επιβλαβείς προσμίξεις και αφομοιώνονται πλήρως απο το περιβάλλον
- ✓ Αποτελεί καθαρό υλικό που δεν επηρεάζει την υγεία των οργανισμών [73].

3.7.4.13. Πολυισοκυανουρικός αφρός (Polyisocyanurate Foam insulation)



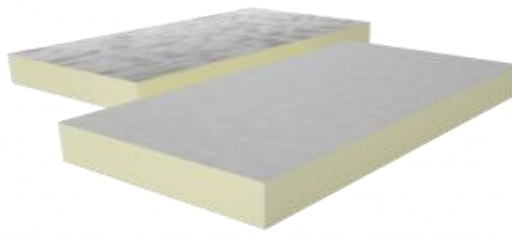
Εικόνα 3.64 Τοποθέτηση πλακών Polyiso σε οροφή για θερμομόνωση

Η θερμομόνωση Polyiso (PIR) ανήκει στην κατηγορία των οργανικών τεχνητών θερμομονωτικών υλικών «κυψελωτής» δομής και παράγεται από σκληρό, τροποποιημένο αφρό πολυουρεθάνης. Είναι μόνωση κλειστού τύπου, συνήθως επικαλυμμένη απο φύλλα οργανικών ή ανόργανων υλικών και στις δύο πλευρές. Η δομή απο κλειστές κυψέλες εμποδίζει αποτελεσματικά την απορρόφηση του νερού και προσδίδει στο υλικό χαμηλό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας συνήθως στη τιμή $k = 0.020 - 0.024 \text{ W/mK}$, χαμηλή πυκνότητα περίπου $30 - 50 \text{ kg/m}^3$,και ένα θερμοκρασιακό εύρος λειτουργίας μεταξύ -120°C έως 200°C [70].

Παράγεται συνήθως υπο τη μορφή :

- ✓ Πλακών
- ✓ Κογχυλίων
- ✓ Ειδικών τεμαχίων (καμπυλών κλπ)

Οι πλάκες πολυισοκυανουρικού αφρού, που είναι και η συνηθέστερη εφαρμογή και φαίνονται στην Εικόνα 3.65, παράγονται σε ένα μέσο πάχος των 5 cm και έχουν μεγαλύτερο συντελεστή θερμικής αντίστασης απο τις συμβατικές μονώσεις πολυστερίνης , αφού προσφέρουν κατά προσέγγιση 40% καλύτερο θερμομονωτικό αποτέλεσμα. Είναι ένα απο τα πιο σύγχρονα θερμομονωτικά υλικά και διαδίδεται ολοένα και περισσότερο τείνοντας να αντικαταστήσει τα συμβατικά που χρησιμοποιούνται [71],[72].

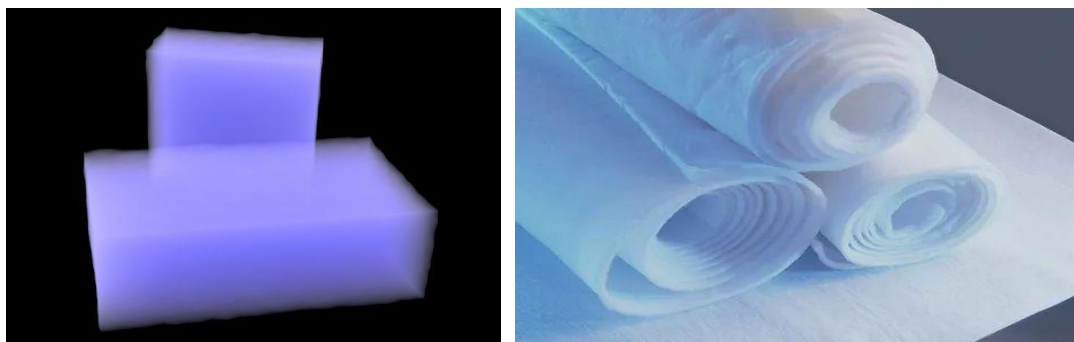


Εικόνα 3.65 Πλάκες μόνωσης PIR σε διαφορετικά πάχη (cm)

Η θερμομονωτική χρήση σε ένα μεγάλο εύρος κτιριακών και βιομηχανικών εφαρμογών αφορά την τοποθέτηση τόσο σε δομικά στοιχεία, κυρίως στέγες και οροφές (Εικόνα 3.64), αλλά και εξωτερική τοιχοποιία και δάπεδα, όσο και σε δεξαμενές ή συστήματα σωληνώσεων που ενδιαφέρει η αποκοπή μετάδοσης θερμότητας. Αν κατατάξουμε τα βασικά πλεονεκτήματα του πολυισοκυανουρικού αφρού προκύπτει :

- ✓ Υψηλή θερμομονωτική απόκριση
- ✓ Υψηλή θλιπτική αντοχή
- ✓ Σταθερότητα διαστάσεων
- ✓ Χημική αντοχή
- ✓ Μικρή απορρόφηση υγρασίας
- ✓ Διατήρηση ιδιοτήτων στο πέρασμα του χρόνου και σε εύρος θερμοκρασιών
- ✓ Διάθεση του υλικού σε διάφορα τεμάχια για κάλυψη οποιασδήποτε επιφάνειας , απλή και γρήγορη τοποθέτηση
- ✓ Φιλικό υλικό προς το περιβάλλον [71],[72].

3.7.4.14. Αεροπήκτωμα (Silica Aerogel)



Εικόνα 3.66 Όψη και φιλμ αεροτζελ, ένα υπερθερμομονωτικό -αλλά όχι διαδεδομένο- υλικό

Το Aerogel αποτελεί ένα νέου τύπου και σχετικά νέας τεχνολογίας υπερθερμομονωτικό υλικό, πολύ διαυγούς εμφάνισης με διαφάνεια 90 – 97% και με πολύ μικρή θερμική αγωγιμότητα, μικρότερης και απο του αέρα. Τόσο το όνομα, όσο και οι ιδιότητες αυτού του υλικού προκύπτουν απο τον τρόπο παραγωγής του και συγκεκριμένα τον τρόπο πήξης του. Ουσιαστικά πρόκειται για ένα τζελ με αεριούχο αφρό απο 95 – 99.9% αέρα (πορώδες), και το υπόλοιπο υλικό να είναι

αλυσίδες πυριτίου (SiO_2). Είναι ίσως το πιο ελαφρύ στερεό υλικό με πάρα πολύ χαμηλή πυκνότητα, και η παραγωγή του προκύπτει από τη χημική αντίδραση υδρόλυσης - συμπύκνωσης ενός αλκοξειδίου του πυριτίου και κατ'έπекταση σχηματισμό του ηλεκτώματος «ζελέ» (Εικόνα 3.66) που αποτελείται από δίκτυο σωματιδίων οξειδίου του Si σε κάποιο οργανικό διαλύτη [79].

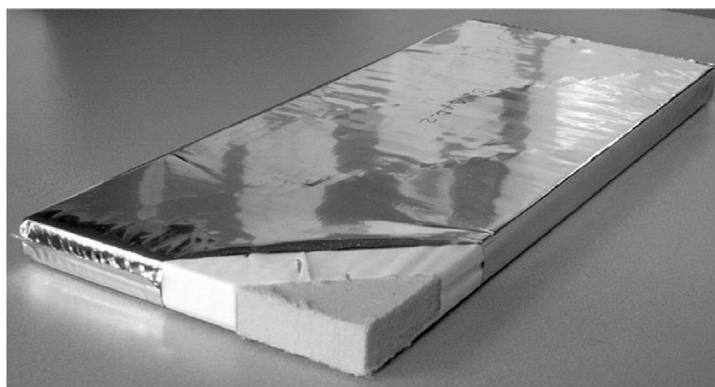
Το aerogel παράγεται συνήθως ως διαφανές ή ημιδιαφανές υλικό, ενώ οι πόροι του είναι τάξης μεγέθους νανομέτρου (τυπικό μέγεθος $20 \text{ nm} = 20 \cdot 10^{-9} \text{ m}$) και σχηματίζονται από την παγίδευση μορίων αέρα που προσδίδουν στο υλικό τις βέλτιστες θερμομονωτικές ιδιότητες. Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητάς του είναι γύρω στο 0.015 W/mK στους 25°C και σε συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης, τιμή που το καθιστά ένα από τα καλύτερα υπερ-θερμομονωτικά υλικά, που μέχρι πρότινος έβρισκε βασική εφαρμογή στην αεροδιαστημική βιομηχανία, σε συστήματα συλλογής διαστημικής σκόνης της NASA, και σαν θερμική μόνωση στο εξωτερικό περίβλημα των διαστημοπλοίων. Στην Εικόνα 3.67 φαίνεται η εφαρμογή του εσωτερικά στο κέλυφος κτιρίου, για επίτευξη υψηλής απόδοσης θερμοπροστασίας [80].



Εικόνα 3.67 Στρώμα aerogel για θερμομόνωση τοίχου κτιρίου

Σαν υλικό επίσης εμποδίζει την διάδοση της υγρασίας και η ημιδιαφανής επιφάνειά –όψη του ευνοεί την καλή κατανομή του φωτός μέσα στο κτίριο, πχ. για χρήση σε παράθυρα και γυάλινες όψεις. Στο θερμομονωτικό κομμάτι των κτιρίων η χρήση του εστιάζει και στην πλήρωση διαφόρων τύπων κενών (πχ.υαλοπινάκων), αλλά δεδομένου οτι πλέον μειώνεται το κόστος παραγωγής του μπορεί να ενταχθεί περαιτέρω στη μόνωση των δομικών στοιχείων [80].

3.7.4.15. Θερμομονωτικά πάνελ κενού – VIP's (Vacuum Insulation Panels)



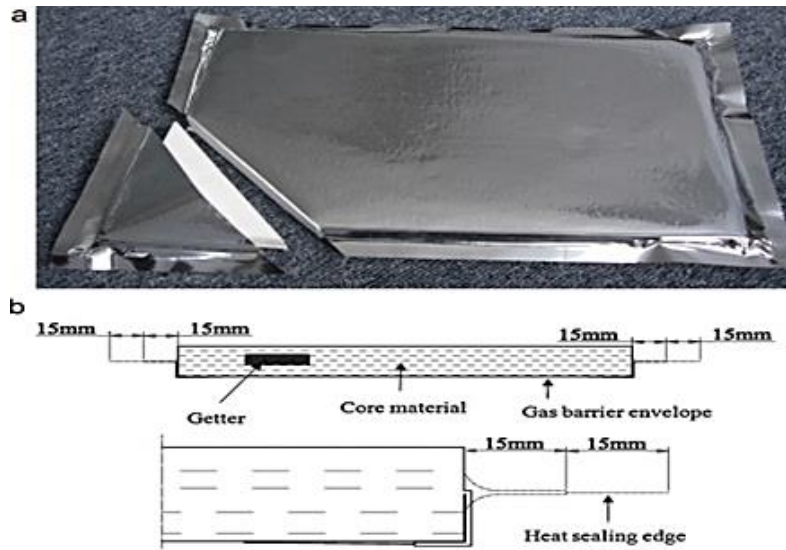
Εικόνα 3.68 πάνελ VIP για θερμομόνωση κτιρίου

Τα θερμομονωτικά πάνελ κενού αποτελούν ένα από τα πιο σημαντικά, πλην νέας, υλικά θερμομόνωσης, που συνιστώνται από ένα αεροστεγές περίβλημα άκαμπτου πυρήνα από τον οποίο έχει εκκενωθεί ο αέρας (Εικόνα 3.68). Η χρήση των πάνελ κενού γίνεται κυρίως σε ψυκτικές μονάδες και στη μόνωση κοντέινερ πλοίων, και πλέον βρήκαν εφαρμογή και στη θερμική προστασία των κτιρίων, για επίτευξη καλύτερων αποτελεσμάτων από τα συμβατικά συστήματα μόνωσης. Από άποψη θερμικής αγωγιμότητας περιγράφονται από ένα συντελεστή μεταξύ 0.004 – 0.008 W/mK, οπότε η θερμική προστασία που παρέχουν στα δομικά στοιχεία όπως τοιχοποιίες, στέγη ή δάπεδο, είναι αδιαμφισβήτητη συγκριτικά με άλλα υλικά [81].

Τα πάνελ κενού αποτελούνται εξωτερικά από πολυστρωματικό περίβλημα που σφραγίζεται αεροστεγώς και δημιουργεί συνθήκες κενού στο εσωτερικό τμήμα του. Για να διατηρηθεί αυτή η ιδιότητα πρέπει μακροπρόθεσμα να αποκλείονται τόσο ο αέρας, όσο και οι υδρατμοί από το να εισέλθουν στο εσωτερικό. Ένα πάνελ αποτελείται από :

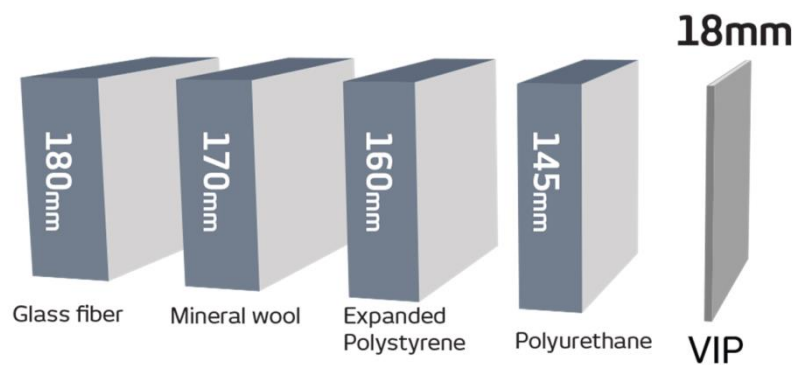
- Το αεροστεγές περίβλημα εξωτερικά
- Το πορώδες υλικό στον πυρήνα (πεπιεσμένος πυρήνας πυριτίου συνήθως)
- Το κάλυμμα του πυρήνα (απορροφητικά και ξηραντικά μέσα για πιθανή εισχώρηση αέρα και υδρατμών)

Ο πολύ χαμηλός συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας επιτυγχάνεται ουσιαστικά με την εκμηδένιση μετάδοσης θερμότητας με συναγωγή, λόγω της δημιουργίας συνθηκών κενού μέσα στο υλικό. Το υλικό πλήρωσης πρέπει να έχει πορώδη μορφή, είτε υπο μορφή αφρού ή σκόνης ή ινών, για να έχει αντίσταση στην πίεση και να μπορεί να εκκενωθεί από αέρα. Η κατασκευή των θερμομονωτικών πάνελ κενού έχει ιδιαιτερότητες αφού πρέπει οι διαστάσεις τους να διατηρούνται πάντα σταθερές, το περίβλημα να μην έχει τρύπες και δεν υπάρχει δυνατότητα κοπής και μεταβολής του μεγέθους. Επίσης μεγάλης σημασίας είναι η κατατάλληλη τοποθέτηση των πάνελ για την αποφυγή δημιουργίας κενών που θα λειτουργήσουν σαν θερμογέφυρες στη κατασκευή. Στην Εικόνα 3.69 φαίνεται η δομή και οι εσωτερικές διαστάσεις του Vacuum Insulation Panel [82].



Εικόνα 3.69 Δομή V.I.P.

Τα θερμομονωτικά πάνελ κενού χρησιμοποιούνται σε διάφορες εφαρμογές εδώ και πολλές δεκαετίες, όμως το μεγάλο κόστος παραγωγής περιορίσει τη διαδεδομένη χρήση στις κατασκευές. Η σημερινή τεχνολογία και η χρήση νέων υλικών έχουν μειώσει κατά πολύ σήμερα το κόστος και το χρόνο παραγωγής και παράλληλα έχουν βελτιώσει σημαντικά την αντοχή και τη διάρκεια ζωής τους. Πρόκειται για ίσως το πιο σύγχρονο και ενεργειακά αποδοτικό σύστημα θερμομόνωσης, και κατά αυτήν την προσέγγιση η περαιτέρω εξέλιξη και διάδοσή του θα προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα στις στρατηγικές εξοικονόμησης των κατασκευών στο προσεχές μέλλον. Στην Εικόνα 3.70 φαίνεται η σύγκριση πάχους μεταξύ του VIP και άλλων υλικών για πρόσδοση ίδιου θερμομονωτικού αποτελέσματος [82].



Εικόνα 3.70 Σύγκριση πάχους θερμομονωτικών υλικών με το V.I.P.

3.7.5. Σύγκριση θερμομονωτικών υλικών στο Climate Studio

Στον Πίνακα 3.13 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των παραπάνω θερμομονωτικών υλικών στο λογισμικό ClimateStudio [92], με τιμές όπως υπάρχουν στις βιβλιοθήκες των ASHRAE και ICE, όπως θα χρησιμοποιηθούν και στο παρακάτω υπολογιστικό μέρος.

Πίνακας 3.13 Χαρακτηριστικά θερμομονωτικών υλικών και σύγκριση θερμικής αγωγιμότητας – Climate Studio

Είδος θερμικής μόνωσης	Insulation material	Συντ.Θερμικής Αγωγιμότητας k (W/mK)	Πυκνότητα ρ (kg/m ³)	Ειδική θερμοχωρητικότητα C_p (J/kgK)
Διογκωμένη πολυστερίνη	Expanded Polystyrene (EPS)	0.033	32	1210
Εξηλασμένη πολυστερίνη	Styrofoam (XPS)	0.034	35	1400
Πετροβάμβακας	Mineral wool	0.041	155	1130
Υαλοβάμβακας	Fiberglass	0.035	20	1030
Διογκωμένος περλίτης	Expanded Perlite	0.052	16	1260
Αφρώδες γυαλί	Cellular foam glass	0.056	130	750
Αφρός πολυουρεθάνης	PUR Foam	0.028	30	1400
Πλάκες καλαμιού	Reed insulation	0.065	225	1200
Κυτταρίνη	Cellulose ecowool	0.042	42	1380
Ξυλόμαλλο	Wood fiber	0.042	160	2100
Φελλός	Cork insulation	0.050	160	1800
Πολυισοκυανουρικός αφρός	Poly-iso	0.024	32	920
Φαινολικός αφρός	Phenolic foam	0.022	35	920
Αεροτζελ	Silica Aerogel	0.013	20	1010
Πάνελ κενού	Vacuum panels (VIPs)	0.007	190	1050

3.8 ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΕΣ

3.8.1. Εισαγωγή – ο ρόλος των υαλοπινάκων στα κτίρια

Ως υαλοπίνακες ορίζονται τα κύρια μέρη απο τζάμι της συνολικής επιφάνειας ενός ανοίγματος πάνω σε ένα δομικό στοιχείο κτιριακής κατασκευής. Ουσιαστικά πρόκειται για λεπτές διαφανείς ή ημιδιαφανείς πλάκες απο γυαλί που τοποθετούνται συνήθως σε πλαίσια αλουμινίου και επιτελούν συγκεκριμένο σκοπό στις τοιχοποιίες του κτιριακού κελύφους όπως εισόδους φυσικού φωτισμού, ηχομόνωση, ασφάλεια και με κατάλληλη εκμετάλλευση ενεργειακή απόδοση. Οι υαλοπίνακες ανάλογα την εταιρία παραγωγής, το είδος εφαρμογής και τις επιθυμητές ιδιότητες διατίθενται σε ποίκιλους τύπους, πάχη, σχέδια και μορφές, ενώ το τζάμι ως υλικό επιλέγεται για λόγους ασφαλείας, εμφάνισης και ελέγχου του εσωτερικού περιβάλλοντος του κτιρίου [83].

Αποτελούν ένα απο τα βασικότερα υπο μελέτη υλικά στις αρχιτεκτονικές κτιριακές εφαρμογές διότι επιδρούν σημαντικά στη διαχείριση του φωτός και στις ροές θερμότητας απο σκοπιά ενεργειακής απόδοσης. Οι γυάλινες επιφάνειες ενός κτιριακού κελύφους και η προσεκτική επιλογή τους αποτελούν προτεραιότητα στη σύγχρονη βιοκλιματική δόμηση, τόσο για λόγους εκμετάλλευσης της ηλιακής ακτινοβολίας και πρόσδοσης συγκεκριμένης ενεργειακής συμπεριφοράς στο κτίριο, όσο και για λόγους οπτικής και αισθητικής άνεσης (Εικόνα 3.71).



Εικόνα 3.71 Υαλοπίνακες ευνοούν τον φυσικό φωτισμό κτιρίου και τη μείωση καταναλωσης

Όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή οι υαλοπίνακες αποτελούν βασικό μέσο εκμετάλλευσης των θερμικών ροών απο το εξωτερικό περιβάλλον προς τον εσωτερικό χώρο. Όταν η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει στον υαλοπίνακα ενός κτιρίου τότε ένα ποσοστό αυτής της ενέργειας ανακλάται προς το εξωτερικό περιβάλλον, και ένα άλλο ποσοστό απορροφάται απο το γυαλί και διοχετεύεται προς το εσωτερικό τμήμα [83].

Η ηλιακή ενέργεια που τελικά εισέρχεται στο χώρο απορροφάται από τον εσωτερικό αέρα, τα διάφορα υλικά και τη θερμική μάζα του κελύφους, και αυξάνει τη θερμοκρασία τους, και με τη σειρά τους έπειτα αυτά τα υλικά εκπέμπουν ακτινοβολία προς τους χρήστες. Γίνεται λοιπόν σαφές ότι οι μεγάλες ποσότητες ενέργειας που δύναται να μεταφερθούν δια μέσω των υαλοπινάκων (αφορά κυρίως τη θέρμανση του χώρου κατά τους χειμερινούς μήνες) τους καθιστούν σημαντικό παράγοντα ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου και μείωσης ενεργειακών καταναλώσεων –εξοικονόμηση θέρμανσης.

Η μετάδοση θερμότητας από τη μια πλευρά του ανοίγματος προς την άλλη γίνεται μέσω του στερεού πλαισίου (αγωγή), μέσω της κυκλοφορίας του χρησιμοποιούμενου αερίου ενδιάμεσα των υάλινων επιφανειών (συναγωγή) και με απευθείας εκπομπή δια μέσου του (ακτινοβολία). Συνήθως οι υάλινες επιφάνειες αποτελούν το 90% της συνολικής επιφάνειας ενός ανοίγματος, επομένως είναι άμεση συνάρτηση και με τις προκύπτουσες θερμικές απώλειες, για αυτό απαιτείται η χρήση κατάλληλα κατασκευασμένων και ενεργειακά αποδοτικών συστημάτων.



Εικόνα 3.72 Μονοί, διπλοί και τριπλοί υαλοπίνακες

Η βασική αρχή όπως γίνεται αντιληπτό είναι η εκμετάλλευση ποσοτήτων ηλιακής ενέργειας και η διατήρηση της θερμότητας στο εσωτερικό κατά τους χειμερινούς μήνες, και η υποδοχή μόνο του φυσικού φωτισμού και η ανάκλαση της ακτινοβολίας κατά τους θερινούς. Η διαρροή της θερμότητας από το ζεστό εσωτερικό περιβάλλον προς το ψυχρό εξωτερικό κατά το χειμώνα αποτελεί πάγιο πρόβλημα που απαιτεί τοποθέτηση ειδικών τύπων υαλοπινάκων, με διπλή ή τριπλή υάλινη επιφάνεια όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.72, και άλλες εφαρμογές όπως αναφέρονται παρακάτω. Προϊόντα υψηλής τεχνολογίας αποτελούν τα λεγόμενα τζάμια ηλιακού ελέγχου που κατορθώνουν να επιτρέπουν τη διέλευση ηλιακού φωτός από ένα άνοιγμα σε μια πρόσοψη και ταυτόχρονα να διαχέουν-αντανακλούν ένα μεγάλο μέρος της θερμότητας [83].

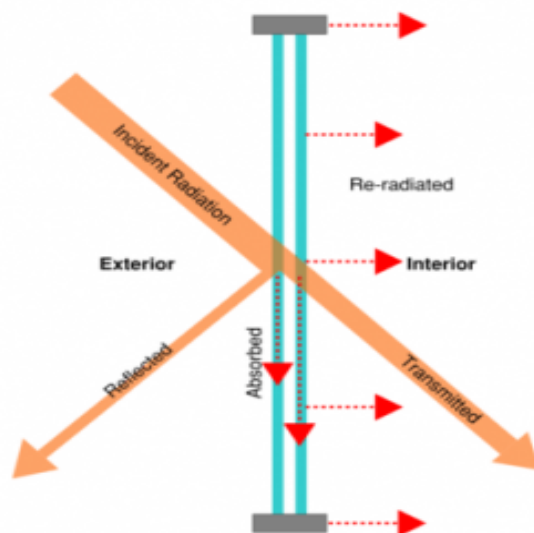
Αξιοσημείωτος παράγοντας για την διαλογή κατάλληλου υαλοπίνακα είναι η θερμομόνωση που προσφέρει, η οποία εξαρτάται διαδοχικά απο τη θερμική μόνωση του πλαισίου, τη θερμική μόνωση του υαλοστασίου και τους αποστάτες θερμοδιακοπής. Για τη διαμόρφωση του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας είναι σημαντικά τόσο οι υάλινες επιφάνειες (απλός,διπλός ή τριπλός υαλοπίνακας) , η διάσταση-πάχος του τζαμιού, το διάκενο αερίου ανάμεσα στις υάλινες επιφάνειες και το είδος του χρησιμοποιούμενου αερίου (αέρας, αργόν, κρύπτον κλπ) [38].

Ένα συμβατικό απλό μονό τζάμι διαθέτει συντελεστή θερμικής διαπερατότητας της τάξεως των $5.8 \text{ W/m}^2\text{K}$ σύμφωνα με το Κ.Α.Π.Ε. , ενώ ένα διπλό θερμομονωτικό τζάμι με διάκενο στα 12 mm θα έχει αντίστοιχο συντελεστή $U = 2.8 \text{ W/m}^2\text{K}$, που ερμηνεύεται σε βελτίωση απωλειών θερμότητας κάτω απο το μισό. Στον Πίνακα 3.14 γίνεται σύγκριση συντελεστή θερμικής διαπερατότητας U ($\text{W/m}^2\text{K}$) μεταξύ απλών κοινών υαλοπινάκων με αναγραφόμενα πάχη υάλινων επιφανειών και των αντίστοιχων διπλών υαλοπινάκων τυπικού διακένου 12mm, ΚΑΠΕ [83].

Πίνακας 3.14 Το διάκενο μεταξύ υάλινων επιφανειών οδηγεί σε μείωση του U υαλοπίνακα

Τύπος	U ($\text{W/m}^2\text{K}$)
Απλός 4mm	5.8
Απλός 6mm	5.7
Απλός 10mm	5.6
Απλός 12mm	5.5
Διπλός 4-12-4 mm	2.9
Διπλός 6-12-6 mm	2.8
Διπλός 10-12-6 mm	2.7

Εκτός απο το συντελεστή θερμικής διαπερατότητας , είναι ιδιαίτερης σημασίας για την επιλογή και τον ενεργειακό χαρακτηρισμό των υαλοπινάκων ο λεγόμενος συντελεστής ηλιακού θερμικού κέρδους (SHGC : Solar Heat Gain Coefficient). Αναφέρεται και ως «g», και εκφράζει τη μέση τιμή του λόγου της ηλιακής ακτινοβολίας που διαπερνά από την επιφάνεια ενός ανοίγματος προς την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε αυτό. Η τιμή του εξαρτάται από το είδος του υαλοπίνακα και το ποσοστό του πλαισίου επί του συνολικού κουφώματος. Η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που απορροφάται από το πλαίσιο και μεταδίδεται με τη μορφή θερμότητας στο εσωτερικό είναι πολύ μικρή σε σχέση με αυτήν που διέρχεται από το διαφανές τμήμα του κουφώματος και γι' αυτό αγνοείται. Στην Εικόνα 3.73 φαίνεται σχηματικά το κομμάτι της ακτινοβολίας που ανακλάται ή απορροφάται απο τον υαλοπίνακα. Στα κλιματικά δεδομένα της Ελλάδας και τους σύνηθεις θερμοούς θερινούς μήνες, όσο μικρότερος είναι αυτός ο συντελεστής τόσο μικρότερη είναι και η απαίτηση ψυκτικού φορτίου [86].



Εικόνα 3.73 Προσπίπτουσα, ανακλώμενη και διερχόμενη προς το εσωτερικό ακτινοβολία, SHGC

Επομένως η εκλογή και τοποθέτηση κατάλληλου συστήματος υαλοπίνακα για μια κτιριακή κατασκευή εξαρτάται από την ποσότητα της θερμότητας που θέλουμε να «κερδίσουμε» ή να «μπλοκάρουμε» προς τον εσωτερικό χώρο. Σε ψυχρά κλίματα ένας υψηλός συντελεστής SHGC θα επιτρέψει τη διέλευση περισσότερης ηλιακής ακτινοβολίας διαμέσου των ανοιγμάτων και θα ενισχύσει τη λειτουργία της θέρμανσης, ενώ σε θερμότερα κλίματα θα προτιμηθεί χαμηλή τιμή του SHGC για να εμποδιστεί η ακτινοβολία και η θερμική ροή προς το εσωτερικό και να διατηρηθεί ο χώρος πιο δροσερός [86].

Η οπτική διαπερατότητα LT ή T_{vis} (Visible Light Transmission) είναι ένας ακόμη σημαντικός παράγοντας για τους υαλοπίνακες και εκφράζει το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας στο φάσμα του ορατού φωτός η οποία διαπερνά την επιφάνεια του υαλοπίνακα και εισέρχεται στον εσωτερικό χώρο. Όσο αυξάνει ο συγκεκριμένος δείκτης τόσο περισσότερο φως περνάει στον εσωτερικό χώρο. Ένας χαμηλός συντελεστής φωτοπερατότητας επιβαρύνει την κατανάλωση στο σύστημα τεχνητού φωτισμού, ενώ οι ιδανικές τιμές κυμαίνονται μεταξύ 60% - 80% (ποσοστιαία) [83].

Οι παράγοντες που θα πρέπει να υπολογιστούν κατά την μελέτη συστημάτων υαλοπινάκων για ένα κτίριο θα είναι οπωσδήποτε :

- Οι κλιματικές συνθήκες της περιοχής – ηλιακά δεδομένα
- Προσανατολισμός του κτιρίου και θέση
- Διαστάσεις και προσανατολισμός των ανοιγμάτων
- Ύπαρξη και τύπος συστημάτων σκίασης
- Δομικά υλικά του κτιρίου και συνεργασία με τους υαλοπίνακες [83].

Απο άποψη ασφάλειας οι υαλοπίνακες υπόκεινται σε μηχανικά φορτία με τη μορφή ανεμοπιέσεων και κρούσεων, ίσως ακόμη και σε επιφανειακές τάσεις λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών και άλλων περιβαλλοντικών συνθηκών. Η ανθεκτικότητα και η αντοχή ενός τζαμιού παίζει σημαντικό ρόλο και εξαρτάται απο το είδος, το πάχος, τη θερμική κατεργασία και το συνδυασμό ή όχι με άλλα υλικά , ενώ πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και ο κίνδυνος πρόκλησης ατυχήματος απο πιθανή θραύση.

3.8.2. Τύποι και χαρακτηριστικά υαλοπινάκων

Οι υαλοπίνακες κατηγοριοποιούνται ανάλογα το είδος, τις ιδιότητες και τα θερμοφυσικά τους χαρακτηριστικά σε συμβατικούς υαλοπίνακες, υαλοπίνακες ειδικών λειτουργιών και υαλοπίνακες σύνθετων λειτουργιών [38]. Πιο αναλυτικά :

α) Συμβατικοί υαλοπίνακες [85] :

- Απλός υαλοπίνακας – μονό τζάμι

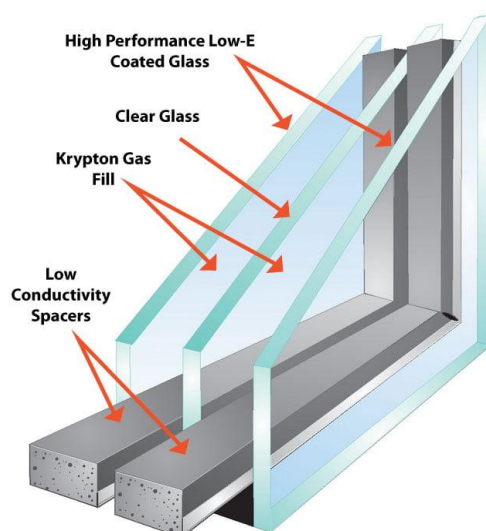
Η απλούστερη και παλαιότερη μορφή υαλοπινάκων. Υπάρχει ένα και μόνο κρύσταλλο σε διάφορα πάχη, συνήθως 3-12mm, προσδίδει περιορισμένες δυνατότητες θερμομόνωσης, ηχομόνωσης και ασφάλειας. Λόγω χαμηλού κόστους προτιμούνται σε δευτερεύουσες μη απαιτητικές εφαρμογές όπως γκαράζ , αποθήκες και γενικά μη θερμαινόμενα βοηθητικά κτίρια.

- Διπλός υαλοπίνακας – διπλό τζάμι

Αποτελείται απο δύο τζάμια-υάλινες επιφάνειες ,οι οποίες ενώνονται συνήθως με ένα πηγάκι υάλωσης απο αλουμίνιο ή πολυαμίδιο, δημιουργούν μεταξύ τους ένα διάκενο και είναι σφραγισμένες περιμετρικά με ειδική κόλλα. Προσδίδουν σαφώς σημαντικά υψηλότερη θερμομόνωση και ηχομόνωση σε σχέση με τους μονούς, έχουν αυξημένο αντίστοιχα κόστος.

- Τριπλός υαλοπίνακας – τριπλό τζάμι

Οι τριπλοί υαλοπίνακες ενσωματώνουν τρεις στρώσεις υάλινης επιφάνειας , διασφαλίζουν υψηλή θερμική και ηχητική προστασία και βελτιώνουν δραστικά την ενεργειακή απόδοση ενός κτιρίου κατοικίας. Επιτρέπουν τη διέλευση ελάχιστης θερμικής ροής λόγω ηλιακής ακτινοβολίας προς το εσωτερικό του κτιρίου και ευνοούν-διατηρούν τις συνθήκες θερμικής άνεσης στο χώρο [84]. Στην Εικόνα 3.74 φαίνεται το σχήμα τριπλού υαλοπίνακα και το χρησιμοποιούμενο αέριο διακένου.



Εικόνα 3.74 Δομή τριπλού υαλοπίνακα με αέριο Κρύπτον

β) Υαλοπίνακες ειδικών και σύνθετων λειτουργιών [83] :

- Θερμομονωτικοί υαλοπίνακες

Είναι ίδιοι με τους σύνηθες διπλούς και τριπλούς υαλοπίνακες, μόνο που στο διάκενο μεταξύ των υάλινων επιφανειών τους δεν περιέχουν αέρα αλλά κάποιο άλλο πιο ενεργειακά ευνοϊκό αέριο όπως αργόν ή κρύπτον ή ξένο και άλλα, με αποτέλεσμα καλύτερη θερμική προστασία και βελτιωμένο συντελεστή θερμικής διαπερατότητας.

- Ανακλαστικοί υαλοπίνακες

Μπορούν και ανακλούν σημαντικό μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας (έως και 50%) και συντελούν στη μείωση θερμικών κερδών κατά τους θερινούς μήνες. Χαρακτηρίζονται από ελαφρές χρωματικές αποχρώσεις και ίσως μειώνουν σε μικρό βαθμό το φυσικό φωτισμό των εσωτερικών χώρων. Πιθανώς να προκαλέσουν θάμβωση στον περιβάλλοντα χώρο ή τα γύρω κτίρια.

- Απορροφητικοί υαλοπίνακες

Περιορίζουν τη μετάδοση κυρίως της υπέρυθρης ακτινοβολίας στους εσωτερικούς χώρους, ενώ μειώνουν κατ' ελάχιστον την ορατή. Κατορθώνουν και απορροφούν μεγάλο κομμάτι της ηλιακής ακτινοβολίας μειώνοντας αντίστοιχα τα ηλιακά κέρδη στον εσωτερικό χώρο, πλεονέκτημα συγκριτικά με τους ανακλαστικούς ότι δεν προκαλούν θάμβωση στον περιβάλλοντα χώρο. Η υπερθέρμανση που προκαλεί η απορρόφηση της ακτινοβολίας μπορεί να οδηγήσει σε θερμικές εντάσεις για αυτό πρέπει να εφαρμόζονται κατάλληλες κατασκευαστικές λύσεις.

- Έγχρωμοι υαλοπίνακες

Μέσω κατάλληλης χημικής επεξεργασίας κατά την παραγωγή έχουν προστεθεί στη μάζα τους ειδικές χρωστικές ύλες που αυξάνουν την απορροφητικότητα της ηλιακής ακτινοβολίας, παρουσιάζουν χαμηλή θερμοπερατότητα και φωτοδιαπερατότητα

- Ηλεκτροχρωμικοί υαλοπίνακες

Αποτελούν υαλοπίνακες των οποίων ιδιότητες όπως οπτικά χαρακτηριστικά και θερμοδιαπερατότητα μεταβάλλονται κατάλληλα με τη διοχέτευση ηλεκτρικού ρεύματος χαμηλής τάσης. Το ρεύμα μεταδίδεται με μικροσκοπικούς λεπτούς αγωγούς σε μία ηλεκτροχρωμική επίστρωση που ενεργοποιείται και αλλάζει το χρωματισμό της από ανοικτό σε σκούρο ή αντίστροφα και κατ'επέκταση ελαττώνει ή αυξάνει ανάλογα τις ποσότητες της ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται.

- Φωτοχρωμικοί υαλοπίνακες

Οι οπτικές τους ιδιότητες αλλάζουν ανάλογα τη ποσότητα της προσπίπτουσας σε αυτούς ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ η φωτοδιαπερατότητά τους μειώνεται με την αύξηση της έντασης της φωτεινής ακτινοβολίας.

- Θερμοχρωμικοί υαλοπίνακες

Μεταβάλλουν τη διαπερατότητά τους στο ηλιακό φως με αλλαγή του χρωματισμού τους από ανοικτό σε σκούρο, με παθητικό τρόπο. Σε αυτό το είδος υαλοπινάκων οι οπτικές ιδιότητες μεταβάλλονται ανάλογα με την εξωτερική θερμοκρασία δηλαδή με την αύξηση της θερμοκρασίας μεταβάλλονται από διαφανείς σε γαλακτόχρωμοι με αντίστοιχες θερμικές ιδιότητες. Αυτό επιτυγχάνεται με τη εφαρμογή ελαφρά χρωματισμένων θερμοχρωμικών μεμβρανών, που καθώς θερμαίνονται από την άμεση ηλιακή ακτινοβολία μειώνουν τη διαπερατότητά τους και απορροφούν σημαντικό μέρος της ακτινοβολίας που κατευθύνεται προς το εσωτερικό περιβάλλον των κτιρίων.

- Επιλεκτικοί υαλοπίνακες χαμηλού συντελεστή εκπομπής (Low-e)

Εμποδίζουν σημαντικό κομμάτι της θερμικής ακτινοβολίας είτε να εισέρχεται προς το κτίριο, είτε να εκπέμπεται προς το εξωτερικό περιβάλλον (ανάλογα με τον τρόπο τοποθέτησης). Συνιστώνται κυρίως για τη μείωση των θερμικών απωλειών στη περίπτωση χειμώνα ή θερμικών κερδών σε περίπτωση θέρους, ανάλογα και με τις θερμικές απαιτήσεις και τα κλιματικά δεδομένα του υπο μελέτη κτιρίου.

- Υαλοπίνακες υγρών κρυστάλλων

Με την εφαρμογή κατάλληλης τάσης μετατρέπονται απο γαλακτόχρωμοι σε διαφανείς αλλάζοντας και τις ιδιότητές τους [83].

Άλλες κατηγορίες τζαμιών υαλοπινάκων [85] :

- ✓ Extra clear glass (αποτελούν μονά τζάμια που προσφέρουν μεγαλύτερη διαύγεια και καθαρότητα από τα συνηθισμένα τζάμια. Κατασκευάζονται σε διάφορες διατομές και πάχη (3-12mm) και μπορούν να κατασκευαστούν είτε απλά διπλά τζάμια, είτε με επιστρώσεις και να γίνουν ενεργειακά, είτε να κολληθούν και να τροποποιηθούν σε κατηγορία triplex
- ✓ Μονά αρμέ τζάμια ή οπλισμένοι υαλοπίνακες (μονοί υαλοπίνακες συνήθως πάχους 6 mm, στους οποίους έχει εφαρμοστεί ειδικό μεταλλικό πλέγμα για αύξηση την αντοχής σε θέματα ασφάλειας και κρούσης. Έχουν μεγαλύτερη ανθεκτικότητα απο άλλα ίδιας διατομής και συγκρατούν το τζάμι στη θέση του σε περίπτωση θραύσης
- ✓ Τζάμια ασφαλείας Triplex ή Laminated (αποτελούνται από 2 μονά τζάμια, τα οποία είναι κολλημένα μεταξύ τους με συγκολλητική μεμβράνη και τα οποία γίνονται ένα σώμα σαν μονή υάλινη επιφάνεια. Δεν υπάρχει κενό μεταξύ των δύο τζαμιών και η μεμβράνη λειτουργεί σαν ασπίδα αφού αποτρέπει την κατάρρευση σε συμβάν θραύσης. Ακόμη και μετά τη θραύση προσφέρουν ασφάλεια διότι παραμένουν στην θέση τους ενώ οι μεμβράνες PVB που τοποθετούνται στα Triplex προστατεύουν από την υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία. Υπάρχουν και ηχομονωτικά τζάμια Triplex που χρησιμοποιούν περισσότερες μεμβράνες και έχουν την ιδιότητα να απορροφούν τον ήχο)
- ✓ Securit ή tempered τζάμια (έχουν υποστεί θερμική επεξεργασία με συνέπεια μεγάλη αύξηση μηχανικής αντοχής σε θέματα κρούσης)
- ✓ Πυράντοχα τζάμια (είναι συνήθως Triplex τζάμια και έχουν ειδικές μεμβράνες που διαστέλλονται σε περίπτωση πυρκαγιάς για προστασία)
- ✓ Τζάμια αμμοβολής (επιτρέπουν τη διέλευση του ηλιακού φωτός χωρίς όμως να υπάρχει διαύγεια-διαφάνεια απο έξω προς τα μέσα, σύνηθες πάχος 5 mm και πάνω)

Τα στοιχεία των πιο σύνηθων χρησιμοποιούμενων αερίων στο εσωτερικό διακένων των υαλοπινάκων περιγράφονται ως εξής [87] :

- Αέρας

Αποτελείται κατ'όγκο απο 78% άζωτο , 21% οξυγόνο και 1% CO₂ και άλλα αέρια, με πυκνότητα περίπου 1.2 kg/m³ η οποία όσο μεταβάλλεται μεταβάλλονται και οι θερμομονωτικές ιδιότητες.

- Αργόν

Είναι το 3ο πιο σύνηθες αέριο στην ατμόσφαιρα , έχει χαμηλό κόστος διότι είναι εύκολα διαθέσιμο και με πυκνότητα περίπου 1.78 kg/m^3 , υψηλότερη του αέρα, έχει βελτιωμένες θερμομονωτικές ιδιότητες. Ένας διπλός ενεργειακός υαλοπίνακας με αργόν θα προσέδιδε συντελεστή θερμικής διαπερατότητας τύπου $U = 1.65 \text{ W/m}^2\text{K}$, μείωση της τάξεως του 15% σε σχέση με τη χρήση αέρα.

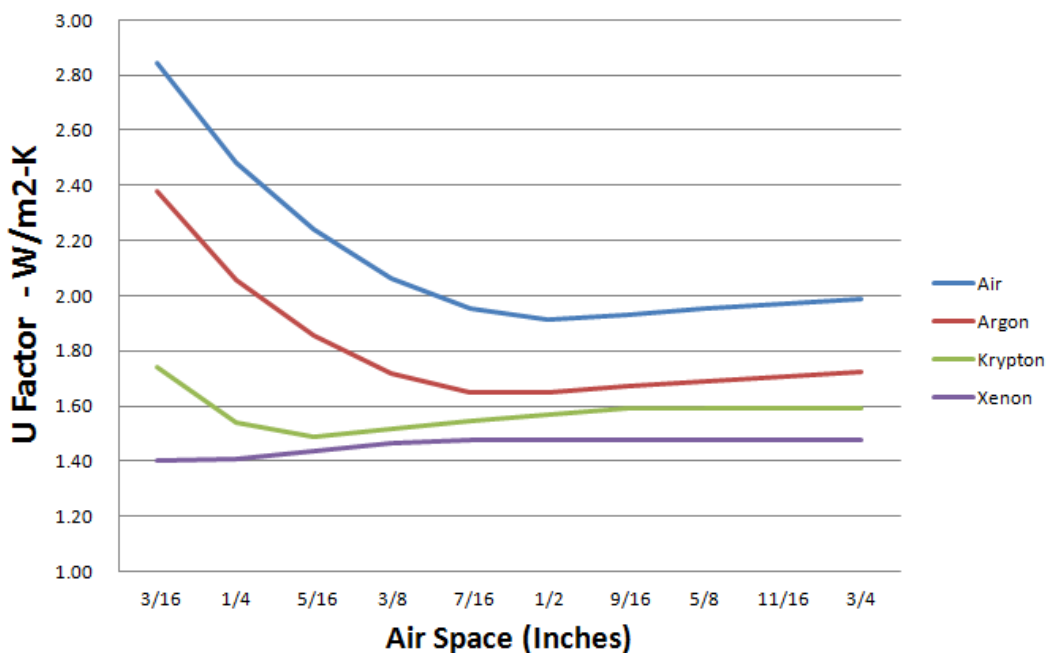
- Κρύπτον

Είναι νεότερη προσθήκη στη τεχνολογία των υαλοπινάκων και αποτελεί πιο σπάνιο και κατ'επέκταση ακριβό αέριο, με συγκεντρώσεις στην ατμόσφαιρα της τάξεως του 1 ppm. Ένας διπλός ενεργειακός υαλοπίνακας με κρύπτον θα προσέδιδε συντελεστή θερμικής διαπερατότητας τύπου $U = 1.57 \text{ W/m}^2\text{K}$, βελτίωση της τάξεως του 5% σε σχέση με το αργόν και 22% σε σχέση με τον αέρα.

- Ξένον

Δεν εφαρμόζεται συχνά ακόμη , αποτελεί αέριο 11.5 φορές πιο σπάνιο στην ατμόσφαιρα απο το κρύπτον, με πυκνότητα περίπου 5.89 kg/m^3 [87].

Στην Εικόνα 3.75 παρουσιάζεται διάγραμμα σύγκρισης του συντελεστή θερμοπερατότητας $U(\text{W/m}^2\text{K})$ υαλοπίνακα συναρτήσεως του χρησιμοποιούμενου αερίου στο διάκενο.

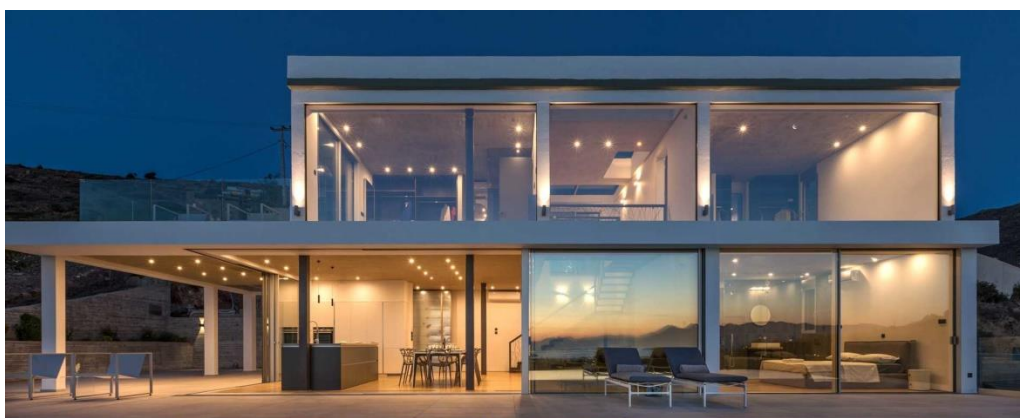


Εικόνα 3.75 Σύγκριση συντελεστή θερμοδιαπερατότητας υαλοπίνακα μεταξύ αερίων

Στον Πίνακα 3.15 παρακάτω γίνεται σύγκριση των χαρακτηριστικών μεταξύ ενεργειακά αποδοτικών υαλοπινάκων από το IGDB (International Glazing Database) των βιβλιοθηκών του Climate Studio [92]. Αυτοί έχουν διαφορετικό πλήθος υάλινων επιφανειών και χρησιμοποιούμενο αέριο, και γίνεται σύγκριση της εξοικονόμησης ενέργειας για ψύξη, με δεδομένα δομικά υλικά στο υπόλοιπο κέλυφος ως παραδοχή.

Πίνακας 3.15 Σύγκριση συντελεστών υαλοπινάκων και ενεργειακή απόδοση, IGDB ClimateStudio

Υαλοπίνακας	Είδος	Αέριο	U (W/m ² K)	SHGC	Tvis	Cooling energy saved (%)
Solarban60 on Atlantica – Clear glass	Διπλός	Αέρας	1.65	0.243	0.4604	reference
Solarcool on solarblue – sungate400	Διπλός	Αέρας	1.8	0.214	0.148	12.08%
Solarban67 on Pacifica – clear glass	Διπλός	Αργόν	1.36	0.172	0.251	13.98%
Solarban90 – solarban90 – clear glass	Τριπλός	Αέρας	0.88	0.164	0.291	16.84%
Solarban90 – solarban90 – clear glass	Τριπλός	Αργόν	0.66	0.16	0.291	17.10%
Solarban90 – solarban90 – clear glass	Τριπλός	Κρύπτον	0.58	0.163	0.291	17.32%
Solarcool on Pacifica – sungate400	Διπλός	Κρύπτον	1.44	0.144	0.137	23.83%
Graylite – solarban60	Διπλός	Κρύπτον	1.26	0.106	0.071	27.48%



Εικόνα 3.76 Υαλοπίνακες καλύπτουν σχεδόν ολόκληρη την όψη κτιρίου

3.8.3. Ενεργειακοί υαλοπίνακες – στοιχεία

Η χρήση των βελτιωμένων ενεργειακά υαλοπινάκων (energy efficient glazing materials) μπορεί να επιδράσει αποτελεσματικά στην εξοικονόμηση ενέργειας για τη θέρμανση, την ψύξη και το φωτισμό των κτιρίων, αλλά και στη βελτίωση των συνθηκών τόσο θερμικής όσο και οπτικής άνεσης που διαμορφώνονται στους εσωτερικούς χώρους των κτιρίων. Πρόκειται για υαλοπίνακες που διαθέτουν

χαρακτηριστικά που δεν ευνοούν την μετάδοση της θερμότητας από την μία πλευρά στην άλλη, ενισχύοντας έτσι την εξοικονόμηση ενέργειας για τους χρήστες. Οι λεγόμενοι ενεργειακοί υαλοπίνακες λειτουργούν ανεξάρτητα των καιρικών συνθηκών (περίπτωση νέφωσης ή ηλιοφάνειας), όλες τις ώρες της ημέρας, σε όλη τη διάρκεια του χρόνου (χειμερινούς και θερινούς μήνες), και χωρίς να εμποδίζουν τη διέλευση του φυσικού φωτός στον χώρο (αποφυγή άσκοπων δαπανών για τεχνητό φωτισμό). Ανάλογα με τις συγκεκριμένες εκάστοτε απαιτήσεις κάθε περίπτωσης κτιρίου υπάρχουν ποικίλοι τύποι ενεργειακών υαλοπινάκων, όπως αναφέρθηκαν και παραπάνω, προσμετρώντας τον ηλιακό προσανατολισμό, την κλίση της υάλωσης, το επιθυμητό ποσοστό της ακτινοβολίας που θα διαπερνάει κλπ, ενώ κάθε χρήση απαιτεί συγκεκριμένα χαρακτηριστικά για την επίτευξη του βέλτιστου ενεργειακά αποτελέσματος [88].

Τα πλεονεκτήματα των ενεργειακών υαλοπινάκων συνοψίζονται ως εξής :

- Μείωση ετήσιου κόστους θέρμανσης και ψύξης έως και 35%
- Μικρή διαφορά κόστους απο συμβατικά συστήματα υαλοπινάκων
- Μείωση δημιουργίας θερμικών ζωνών – θερμοκρασιακών διαφορών μέσα στο χώρο και διέπονται απο αεροστεγανότητα
- Δεν ευνοούν το σχηματισμό υγρασίας στο εσωτερικό τους
- Παρέχουν σημαντική θερμική μόνωση τους χειμερινούς μήνες σε σχέση με τα κοινά διπλά τζάμια

Η δημιουργία ειδικών διπλών υαλοπινάκων χαμηλής εκπομπής low-e (low-emissivity glazing systems) έχουν πολύ σημαντικά οφέλη ενεργειακής εξοικονόμησης. Υπάρχει μια ειδική επίστρωση μεταλλικών οξειδίων η οποία εμφανίζει υψηλή ανακλαστικότητα στο υπέρυθρο τμήμα της ηλιακής ακτινοβολίας με αποτέλεσμα να επιτρέπεται στο φως η διέλευση μέσα από αυτά παρέχοντας ταυτόχρονα θερμική μόνωση. Μειώνεται παράλληλα η μεταφορά θερμότητας από τον εσωτερικό χώρο προς το περιβάλλον και αντίστροφα. Κατ'επέκταση το χειμώνα δεν υπάρχει σημαντική διαφυγή της εσωτερικής θερμότητας προς τα έξω και το καλοκαίρι εμποδίζεται η είσοδος της ανεπιθύμητης θερμότητας του ήλιου προς τον εσωτερικό χώρο [88].

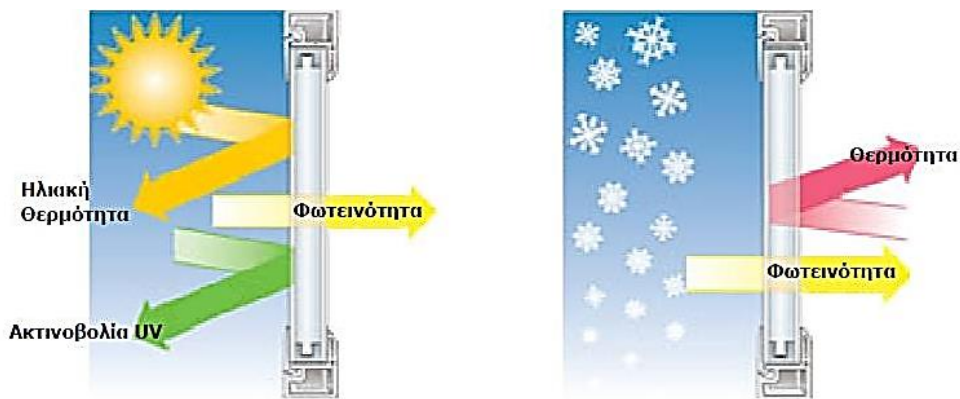
Σε θερμά κλίματα :

- αντανακλούν το υπέρυθρο φως του ήλιου
- δρουν σαν ασπίδα στην εισαγωγή θερμότητας από το εξωτερικό περιβάλλον
- μειώνουν το κόστος ψύξης

Σε ψυχρά κλίματα :

- μεγιστοποιούν την ευεργετική ενέργεια του ήλιου
- δρουν σαν ασπίδα στη θερμότητα που προσπαθεί να διαφύγει από τον εσωτερικό χώρο προς το εξωτερικό περιβάλλον
- μειώνουν το κόστος θέρμανσης

Στην Εικόνα 3.77 σχεδιαγράφεται η συμπεριφορά και λειτουργία ενεργειακού υαλοπίνακα ανάλογα τις εποχικές συνθήκες που επικρατούν.



Εικόνα 3.77 Υαλοπίνακας low-e , καλοκαίρι & χειμώνας

3.9. ΣΥΜΒΑΤΙΚΗ –ΣΥΝΗΘΗΣ ΔΟΜΗΣΗ ΣΕ ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΚΤΙΡΙΑ

Ως συμβατική κατασκευή εννοείται ο σύνηθες και οικείος τρόπος ή μέθοδος δόμησης και κατηγορίας υλικών χρήσης με τον οποίο κατασκευάζονται τα κτίρια στην Ελλάδα τουλάχιστον τα τελευταία 70 χρόνια. Αυτά αποτελούνται από πλαισιωτό φέροντα οργανισμό από σκυρόδεμα, με βασικά στοιχεία τη θεμελίωση, τα τοιχεία, τα υποστηλώματα ή κολόνες, τα δοκάρια και τις πλάκες. Ο σκελετός αποτελείται από οπλισμένο σκυρόδεμα (χρήση δομικού χάλυβα) που παρασκευάζεται μέσα σε ειδικά καλούπια (ξυλότυποι) και δημιουργεί τα στοιχεία του φέροντος οργανισμού, πάντα μετά από κατάλληλους υπολογισμούς στατικής επάρκειας σύμφωνα με τον ισχύοντα αντισεισμικό κανονισμό και τη νομοθεσία. Στη συμβατική δόμηση των ελληνικών κτιρίων οι τοιχοποιίες πλήρωσης αποτελούνται ως επί των πλείστων από κεραμικά τούβλα διαφόρων διαστάσεων και τρόπων εφαρμογής (οπτοπλινθοδομές) και επιχρίσματα - σοβάδες με βάση το τσιμέντο ή τον γύψο, εσωτερικά και εξωτερικά. Στην Εικόνα 3.78 φαίνονται τέτοιες συμβατικές κατασκευές κτιρίων κατοικιών που υπάρχουν στη χώρα [89].

Ανάλογα την χρονολογία δόμησης και την εκάστοτε νομοθεσία υφίσταται ή όχι η περιμετρική θερμομόνωση του κελύφους, που στη συνήθη δόμηση των νεότερων ελληνικών κτιρίων βρίσκεται είτε παράλληλα δίπλα στη στρώση τούβλου, είτε ανάμεσα από δύο στρώματα τούβλων, με ποικίλα πάχη και αντίστοιχες θερμομονωτικές ιδιότητες. Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο των μονώσεων, κτίρια κατασκευασμένα παλαιότερες χρονικές περιόδους διαθέτουν ελλιπή έως μηδενική θερμική προστασία, και αποτελούν την πλειοψηφία των κτιριακών κατασκευών στη χώρα. Από πλευράς υαλοπινάκων η πλειοψηφία των συμβατικών ελληνικών κτιριακών κατασκευών κατοικίας διαθέτουν μονούς ή το πολύ διπλούς υαλοπίνακες, με σχετικά περιορισμένες δυνατότητες θερμομόνωσης, αεροστεγανότητας και παθητικού σχεδιασμού-εξοικονόμησης ενέργειας.

Η χρήση ενεργειακών υαλοπινάκων και η γενικότερη προσέγγιση βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής υφίσταται μόνο σε ελάχιστα νέα κατασκευασθέντα ή ριζικά ανακαινισμένα κτίρια, που δεν αποτελούν τον «κανόνα» στην ελληνική δόμηση. Αυτό οφείλεται σε λόγους παύσης των δραστηριοτήτων οικοδομής την τελευταία δεκαετία ή δεκαπενταετία, όσο και απο πλευράς κόστους για τους ιδιοκτήτες – οικονομική κρίση [89].



Εικόνα 3.78 Οικοδομικές κατασκευές - συμβατική δόμηση , Ελλάδα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ

4.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, στη μεθοδολογία της παρούσας διπλωματικής έγινε χρήση λογισμικών, που με το συνδυασμό τους έδωσαν τα ζητούμενα αποτελέσματα στο παρακάτω κεφάλαιο. Σε αρχικό στάδιο, η σχεδίαση του κτιριακού μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε σαν μελέτη περίπτωσης έγινε με τη βοήθεια του σχεδιαστικού λογισμικού *Rhinoceros 7*. Σε αυτό εμπεριέχεται και το περιβάλλον προγραμματισμού *Grasshoper*, μέσω του οποίου κατασκευάστηκαν οι διαστρωματώσεις υλικών των δομικών στοιχείων και προστέθηκαν στη βιβλιοθήκη υλικών του προγράμματος. Για την ενεργειακή μοντελοποίηση και των υπολογισμών των ψυκτικών φορτίων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό *ClimateStudio* με την υποκατηγορία του «Thermal Analysis». Περισσότερες πληροφορίες για κάθε λογισμικό περιγράφονται παρακάτω.

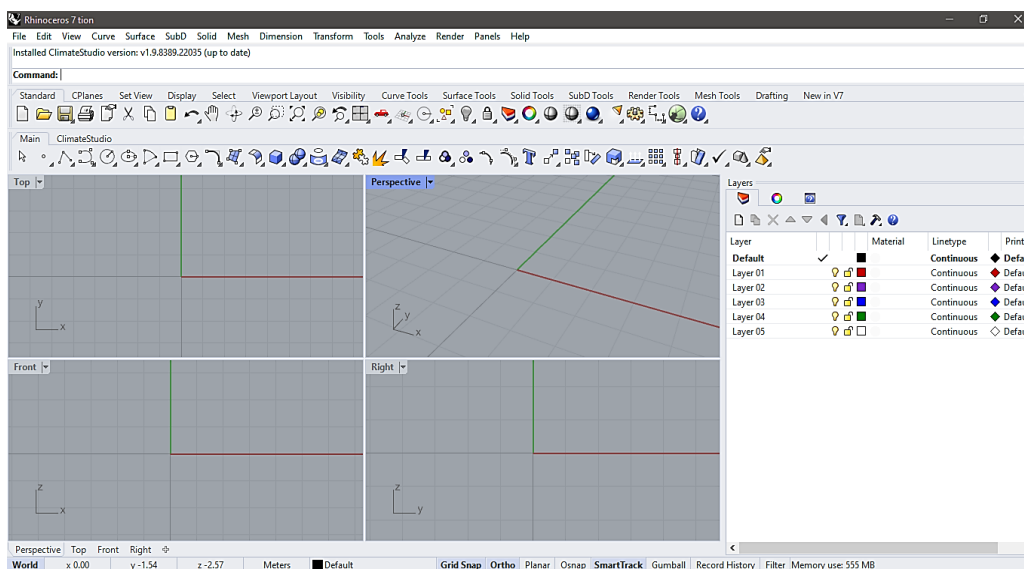
4.2. RHINOCEROS 7 - ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ



Εικόνα 4.1 Λογότυπο Rhinoceros

Το λογισμικό Rhinoceros, ή γνωστό και ως Rhino, είναι μια σχεδιαστική εφαρμογή μοντελοποίησης τρισδιάστατων (3D) επιφανειών. Χρησιμοποιείται από διάφορους τομείς και σε πολλές ειδικότητες όπως η αρχιτεκτονική, η μηχανολογία, η ναυπηγική, το βιομηχανικό σχέδιο CAD/CAM, η διακόσμηση, η σκηνογραφία, το σχεδιασμό αντικειμένων 3D εκτύπωσης, και περισσότερα. Έχει ήδη κερδίσει μεγάλη δημοφιλία στους τομείς που εργάζονται στο σχεδιασμό, και βασίζεται στην NURBS (non-uniform rational B-spline) mathematics, που επιτρέπει την δημιουργία ελεύθερης μορφής επιφανειών και σχημάτων, συμβατών με τα περισσότερα μοντέλα υπολογιστών που έχουν χρησιμοποιηθεί στη βιομηχανία.

Για να συμβαδίσει με την ταχεία ανάπτυξη εφαρμογών animation και οπτικοποίησης που χρησιμοποιούν καινούριες προσεγγίσεις στην αναπαράσταση τρισδιάστατων αντικειμένων ελεύθερης μορφής, το Rhinoceros παρέχει σετ εργαλείων πλέγματος πολυγώνων και σύνολο εργαλείων καμπυλών. Για να επιτρέψει την τροποποίηση και βελτιστοποίηση των σχεδίων μοντέλων και επιφανειών, το Rhino ενσωματώνει ένα ολοκληρωμένο σύνολο επεξεργασίας, μετατροπής και εργαλείων ανάλυσης (Εικόνα 4.2). Επιπλέον από αυτά, διαθέτει και εργαλεία για παραγωγή δισδιάστατων (2D) μηχανικών σχεδίων, αποδιδόμενες εικόνες υψηλού φωτορεαλισμού και κινουμένων σχεδίων [90].



Εικόνα 4.2 Περιβάλλον εργασίας Rhinoceros-7

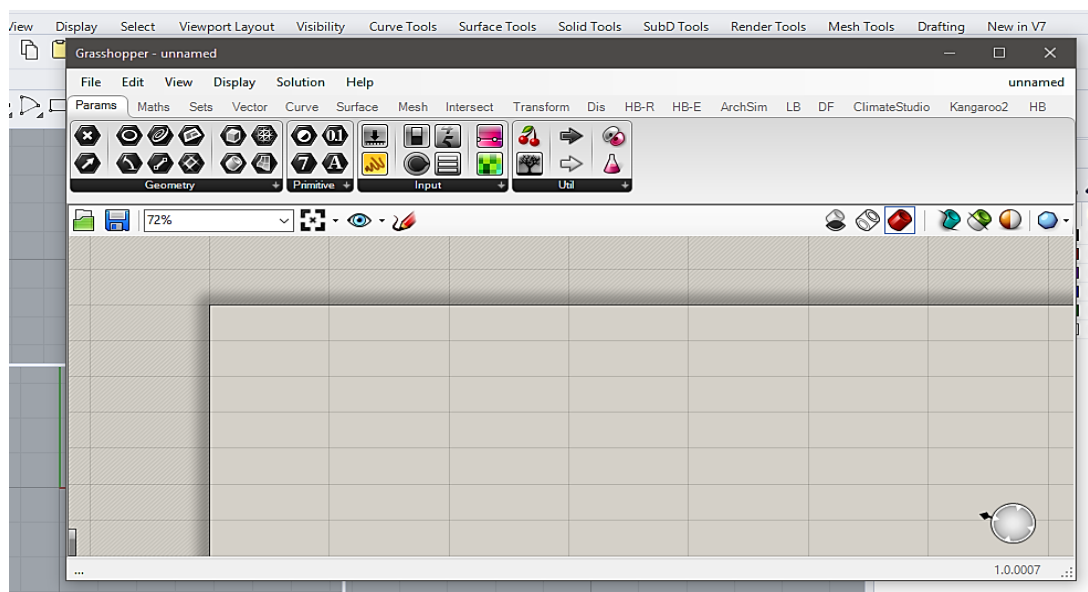
4.3. GRASSHOPPER - ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ



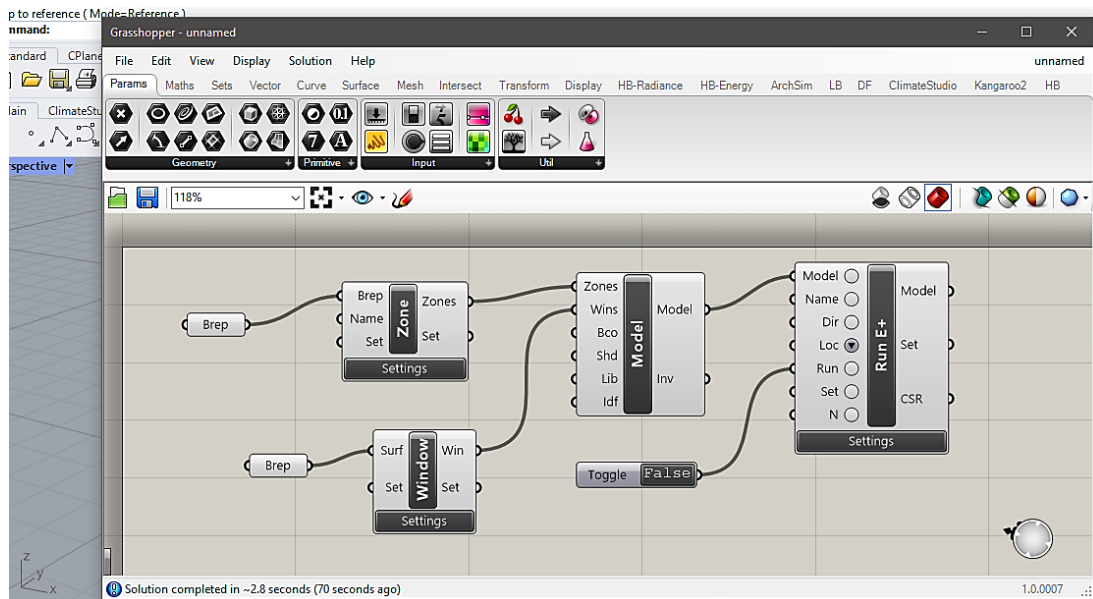
Εικόνα 4.3 Λογότυπο Grasshopper

Το Grasshopper αποτελεί ένα περιβάλλον δημιουργίας γραφικών αλγορίθμων, σαν πλατφόρμα οπτικής δημιουργίας και είναι ενσωματωμένο στα εργαλεία του Rhinoceros. Επιτρέπει στον χρήστη να φτιάξει προγράμματα-αλγορίθμους που θα προσαρμοστούν στα σχέδια-αντικείμενα του Rhino, χωρίς ιδιαίτερη γνώση προγραμματισμού αφού η λειτουργία του είναι απλή και βασίζεται στη τοποθέτηση και σύνδεση «κουτιών-εντολών» πάνω σε έναν καμβά με οπτικό-διαδραστικό τρόπο. Κάθε έξοδος στοιχείου συνδέεται με την είσοδο του επόμενου τοποθετημένου στοιχείου και δημιουργείται διαδοχικά η ροή του προγράμματος με συγκεκριμένο σκοπό.

Το περιβάλλον Grasshopper ευνοεί τους σχεδιαστές στη δημιουργία από πολύ απλές έως πολύ σύνθετες γραφικές δημιουργίες προγραμματισμού. Εμπεριέχει ένα σύνολο από καρτέλες εργαλείων για παραμετρικό σχεδιασμό, όπως μαθηματικές εντολές, σχεδιαστικές εντολές επιφανειών και καμπυλών, γεωμετρικής ανάλυσης αντικειμένων, αριθμητικά δεδομένα, λειτουργίες απεικόνισης κλπ. Παράλληλα επιτρέπει την προσθήκη plug-ins για μοντελοποιήσεις συστημάτων, ενεργειακές αναλύσεις και άλλα. Στην Εικόνα 4.4 φαίνεται το περιβάλλον εργασίας στο Grasshopper και οι καρτέλες των plugins, και στην Εικόνα 4.5 ένα παράδειγμα δημιουργίας γραφικού αλγορίθμου μέσα από διασύνδεση στοιχείων [91].



Εικόνα 4.4 Περιβάλλον εργασίας Grasshopper



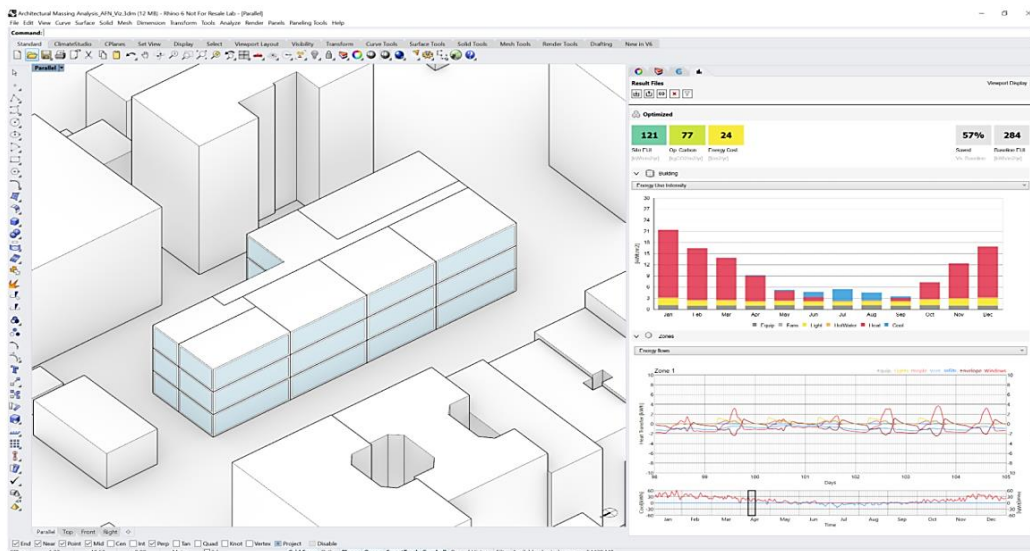
Εικόνα 4.5 Δημιουργία και σύνδεση στοιχείων στο Grasshopper

4.4. CLIMATE STUDIO - ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ



Εικόνα 4.6 Λογότυπο Climate Studio

Το ClimateStudio αποτελεί λογισμικό ανάλυσης περιβαλλοντικής και ενεργειακής συμπεριφοράς και είναι πρόσθετο εργαλείο για τα παραπάνω λογισμικά Rhinoceros και Grasshoper. Θεωρείται από τα πιο «γρήγορα» λογισμικά για την Αρχιτεκτονική, τη Μηχανολογία και τις Κατασκευές, με αποτελέσματα μεγάλης ακρίβειας. Είναι πολύ χρήσιμη η λειτουργία του για σχεδιαστές και μηχανικούς διότι εξάγει αποτελέσματα για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων, το φυσικό και ηλεκτρικό φωτισμό, παράγει θερμικές αναλύσεις για κτιριακές κατασκευές, στοιχεία για οπτική και θερμική άνεση και άλλα. Η ενεργειακή μοντελοποίηση κτιρίων στο ClimateStudio επιτυγχάνεται με την ενσωματωμένη λειτουργία του γνωστού προγράμματος EnergyPlus. Η χρήση της θερμικής ανάλυσης παράγει αποτελέσματα για τα φορτία και τις ενεργειακές καταναλώσεις, και ενισχύει τη διαδικασία βελτιστοποίησης μιας κατασκευής από τον σχεδιαστή. Στην Εικόνα 4.7 φαίνεται η ενεργειακή-θερμική ανάλυση παραδείγματος κτιρίου και τα αποτελέσματα όπως καταναλώσεις και θερμοκρασιακά στοιχεία θερμικής ζώνης [92].



Εικόνα 4.7 Περιβάλλον αποτελεσμάτων θερμικής ανάλυσης κτιρίου στο Climate Studio

Το ClimateStudio ενσωματώνει πολλές βιβλιοθήκες δομικών υλικών, προτύπων κατασκευών δομικών στοιχείων από πραγματικά στοιχεία και έγκυρες πηγές, όπως Department of Energy (DOE US), Ashrae standards (American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers), IGDB (International Glazing Database), ICE database (Inventory of Carbon and Energy). Επίσης περιέχει βάσεις δεδομένων από παγκόσμια κλιματολογικά δεδομένα καιρού, με πληροφορίες θερμοκρασίας, υγρασίας, ανέμου, ηλιακής ακτινοβολίας κλπ.

Οι λειτουργίες του Climate Studio αφορούν τις μοντελοποιήσεις κτιρίων περί :

- Ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας
- Σκίασης
- Δυνατότητας φυσικού φωτισμού – οπτική άνεση
- Φορτία ηλεκτρικού φωτισμού
- Ενεργειακή ανάλυση (θερμικά-ψυκτικά φορτία)
- Θερμοκρασιακά επίπεδα – θερμική άνεση
- Φυσικού αερισμού
- Ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (φωτοβολταϊκά) [92].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ - ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ

5.1 ΚΤΙΡΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ RHINO

5.1.1. Σχεδίαση μοντέλου

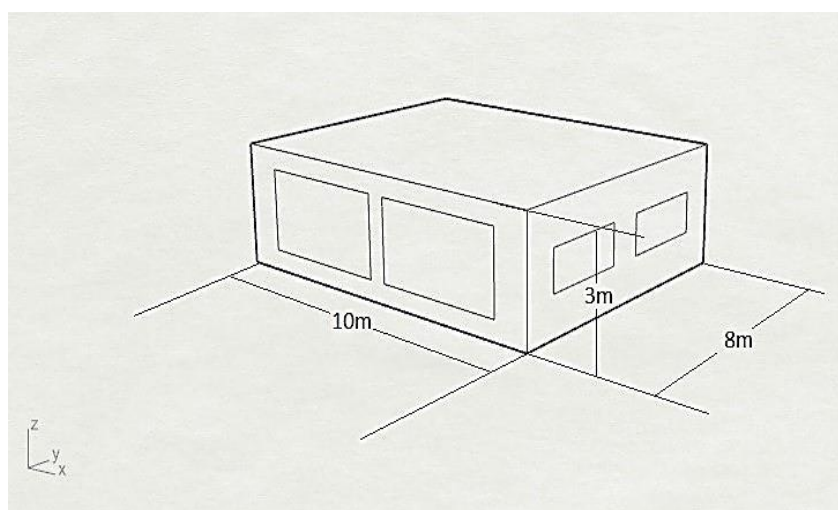
Η μελέτη περίπτωσης της διπλωματικής εργασίας αφορά το σχεδιασμό, την παραμετρική δομική ανάλυση και την ενεργειακή μοντελοποίηση ενός κτιρίου, από τη σύγκριση της ενεργειακής του απόδοσης μέσω των απαιτούμενων ψυκτικών φορτίων. Το κτιριακό μοντέλο που σχεδιάστηκε στο Rhinoceros3D αποτελεί μια μονοκατοικία, τύπου «κουτί», μιας ενιαίας θερμικής ζώνης. Στον Πίνακα 5.1 & 5.2 αναφέρονται τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και στοιχεία των επιφανειών του μοντέλου, όπως αυτό αναπαρίσταται στην Εικόνα 5.1.

Πίνακας 5.1 Γεωμετρικές διαστάσεις μοντέλου Rhino

No	Μέγεθος	Διάσταση (m)
1	μήκος	10
2	πλάτος	8
3	ύψος	3

Πίνακας 5.2 Στοιχεία μοντέλου Rhino

Προσανατολισμός :	Άξονας νότος->βορράς
Όγκος Κτιρίου :	240 m ³
Επιφάνεια δαπέδου :	80 m ²
Επιφάνεια αδιαφανούς κελύφους :	237 m ²
Επιφάνεια υαλοπινάκων :	31 m ²



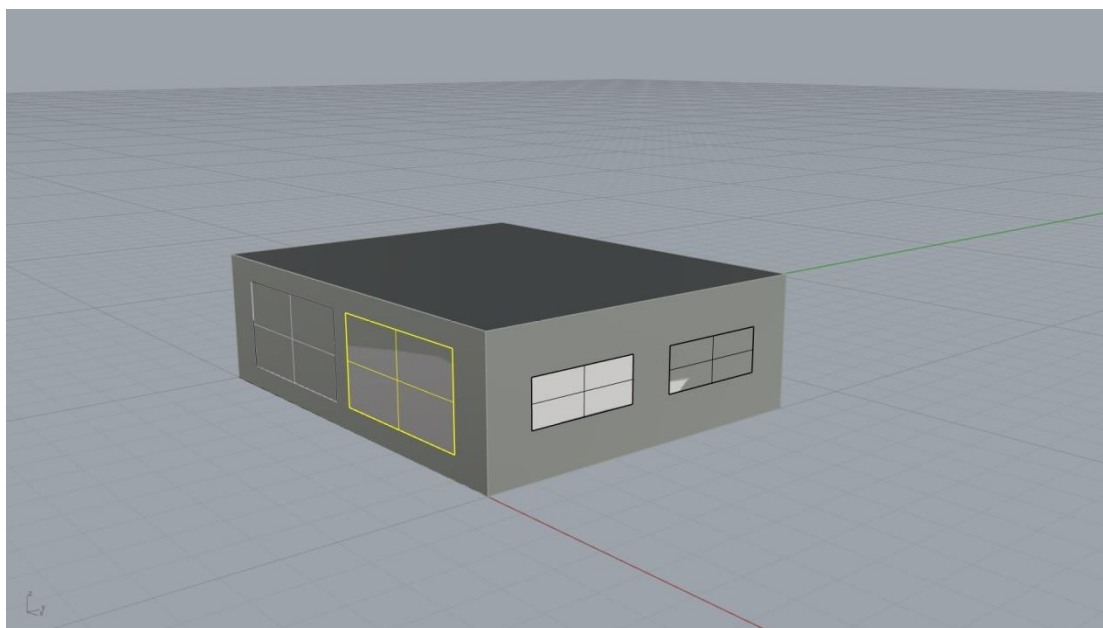
Εικόνα 5.1 Τρισδιάστατη αναπαράσταση γεωμετρίας μοντέλου

Κάθε όψη της παράπλευρης επιφάνειας είναι σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα του περιβάλλοντος, ενώ μόνο το δάπεδο συνορεύει με το έδαφος. Τα γεωμετρικά μεγέθη εξωτερικών τοίχων, δαπέδου, οροφής και υαλοπινάκων παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.3.

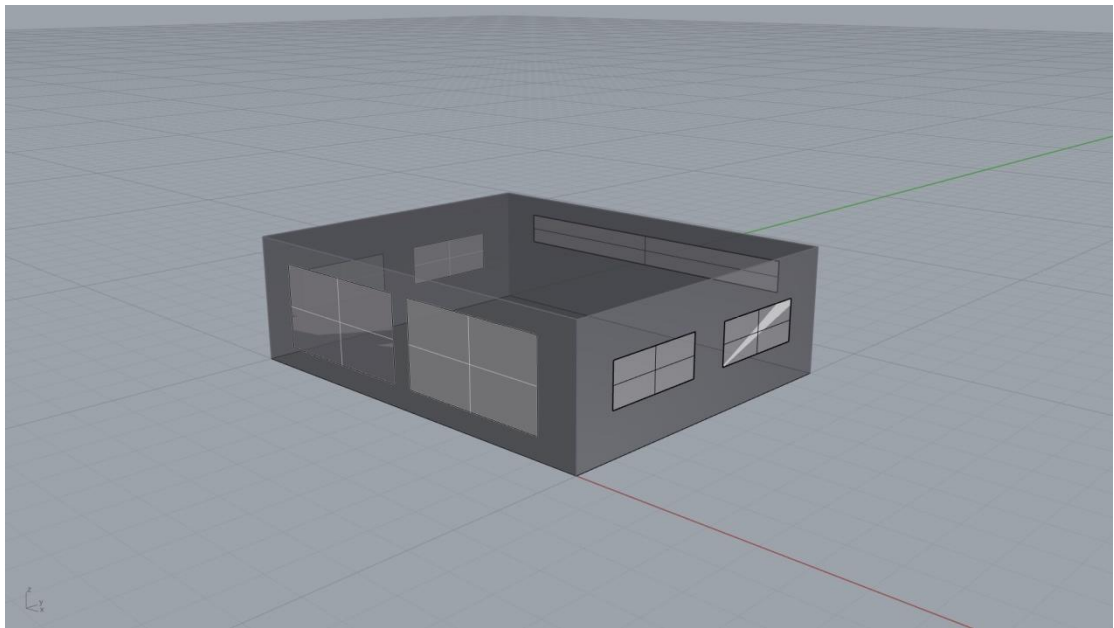
Πίνακας 5.3 Διατομές επιφανειών κελύφους και υαλοπινάκων μοντέλου Rhino

Επιφάνειες	A(m)xB(m)	(m ²)
Νότια όψη [m ²] :		30
Νότιος τοίχος net[m ²] :	-	15
Υαλοπίνακας 1 [m ²] :	3.75*2	7.5
Υαλοπίνακας 2 [m ²] :	3.75*2	7.5
Δυτική όψη [m ²] :		24
Δυτικός τοίχος net [m ²]:	-	19
Υαλοπίνακας 3 [m ²] :	2.5*1	2.5
Υαλοπίνακας 4 [m ²] :	2.5*1	2.5
Ανατολική όψη [m ²] :		24
Ανατολικός τοίχος net [m ²] :	-	19
Υαλοπίνακας 5[m ²]:	2.5*1	2.5
Υαλοπίνακας 6[m ²]:	2.5*1	2.5
Βόρεια όψη [m ²] :		30
Βόρειος τοίχος net[m ²] :	-	24
Υαλοπίνακας 7 [m ²] :	8*0.75	6
Οροφή [m ²] :		80
Δάπεδο [m ²] :		80

Στις Εικόνες 5.2 έως και 5.8 παρουσιάζονται οι όψεις του 3D-κτιριακού μοντέλου στο λογισμικό Rhino.

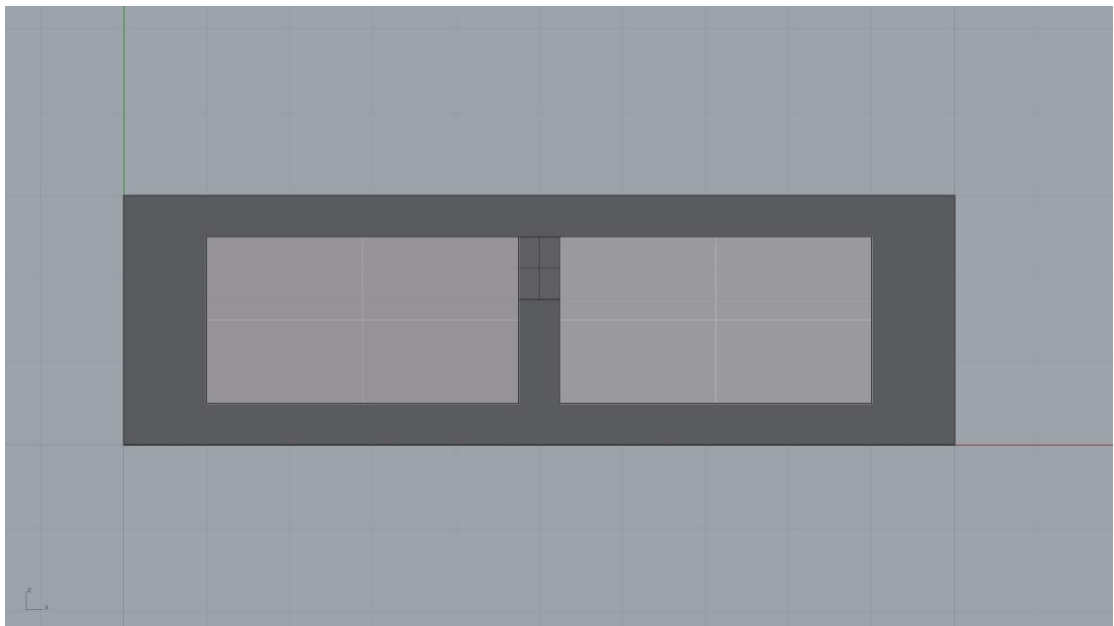


Εικόνα 5.2 3D Opaque perspective view



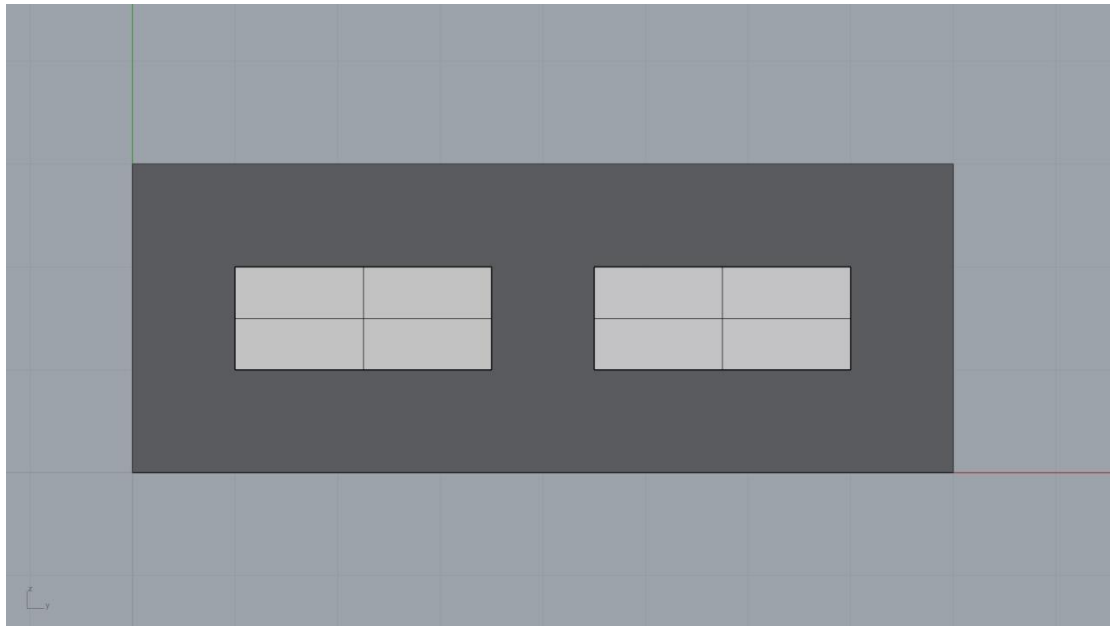
Εικόνα 5.3 3D Transparent perspective view

Νότια όψη:



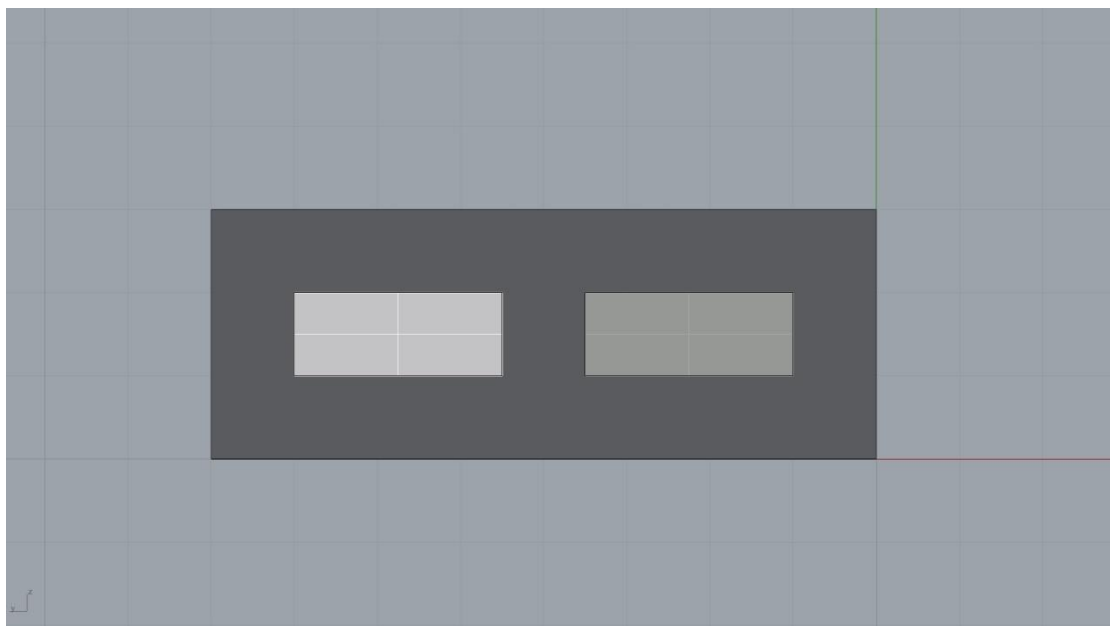
Εικόνα 5.4 2D Front view – south side

Ανατολική όψη:



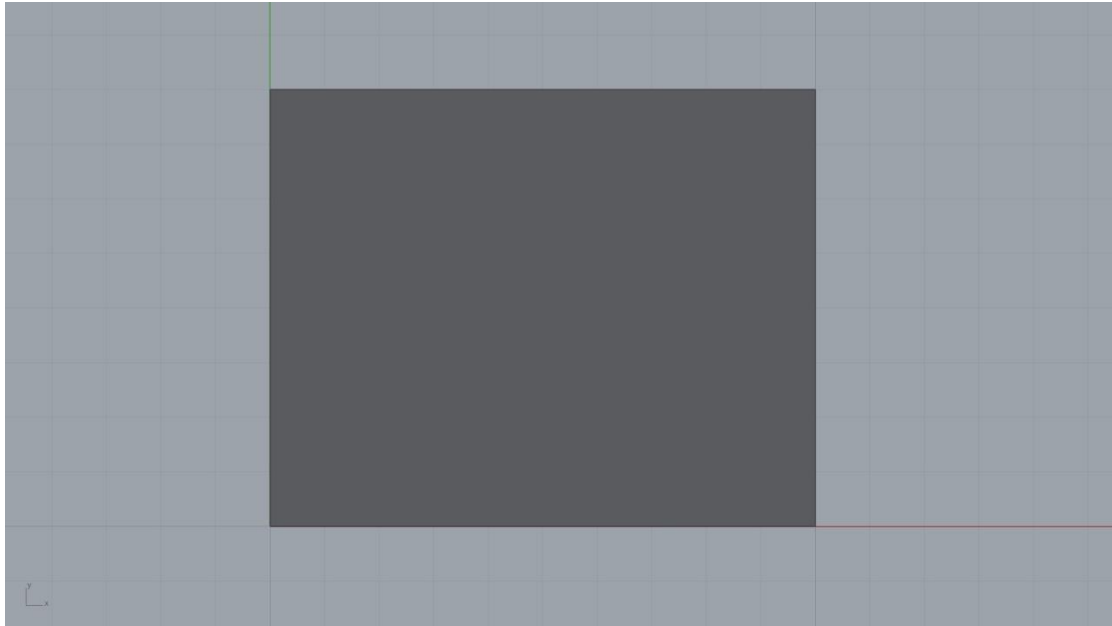
Εικόνα 5.5 2D Right view - East side

Δυτική όψη:



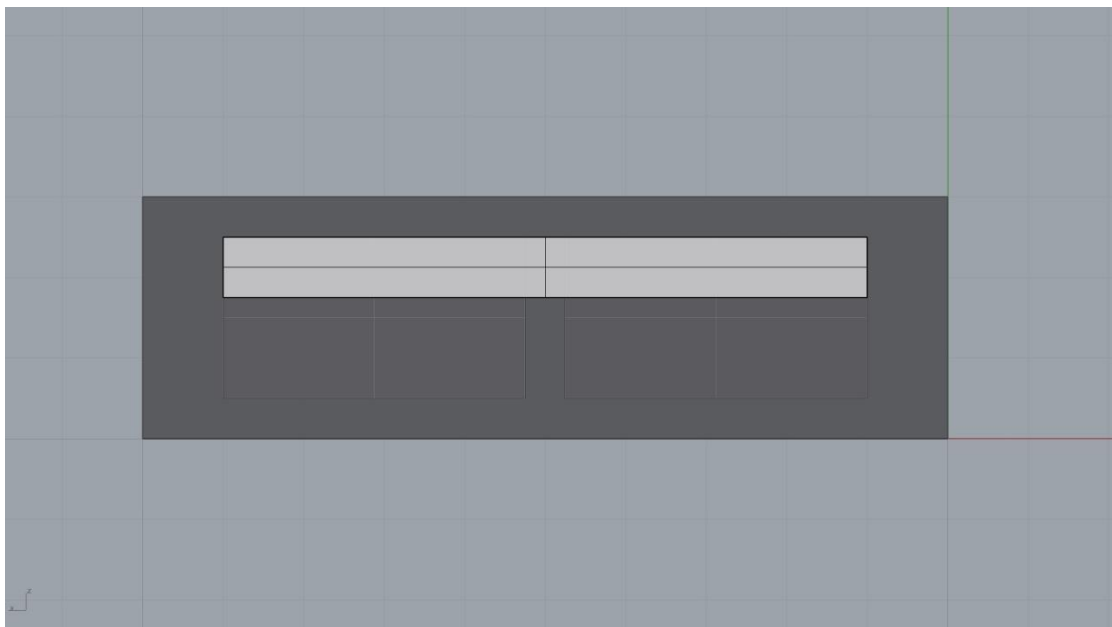
Εικόνα 5.6 2D Left view - West side

Κάτοψη:



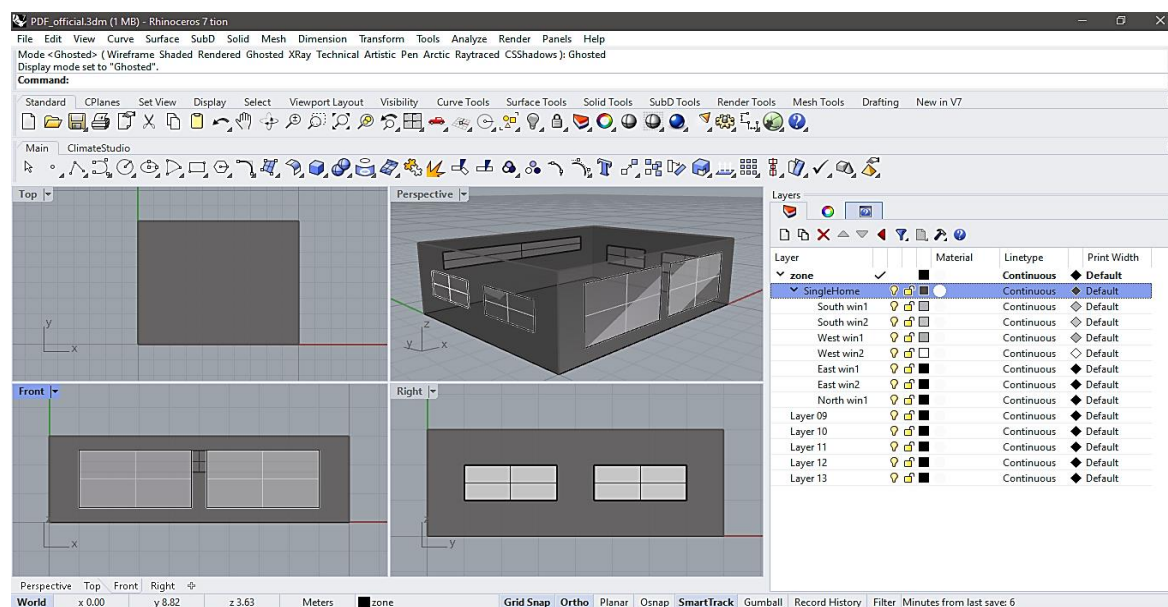
Εικόνα 5.7 2D Top view

Πίσω όψη:



Εικόνα 5.8 2D Back view - North side

Στην Εικόνα 5.9 φαίνεται το υπο σχεδίαση μοντέλο στο σχεδιαστικό περιβάλλον Rhinoceros 7. Έγινε κατάλληλη αντιστοίχιση κάθε επιφάνειας και ανοίγματος σε layers, για την μετέπειτα ανάγνωση του σχεδίου απο το Climate Studio.



Εικόνα 5.9 Περιβάλλον σχεδιαστικού λογισμικού Rhinoceros & κτιριακό μοντέλο

5.1.2. Συνθήκες λειτουργίας θερμικής ζώνης – ρυθμίσεις μοντελοποίησης

Η υπο έλεγχο θερμική ζώνη του κτιριακού μοντέλου στην συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης θα έχει σταθερές συνθήκες και ρυθμίσεις λειτουργίας. Αυτό ισχύει ώστε το παρακάτω υπολογιστικό μέρος να πραγματοποιείται στην ίδια βάση λειτουργικών χαρακτηριστικών, και να επιτευχθεί όσο πιο ρεαλιστική σύγκριση στα σενάρια ενεργειακής μοντελοποίησης.

Οι εσωτερικές συνθήκες λειτουργίας της ζώνης ενός κτιρίου αφορούν τα στοιχεία :

- Τύπος χρήσης κτιρίου (κατοικία, επαγγελματικός χώρος, βιομηχανικός χώρος, χώρος συνάθροισης κοινού κλπ)
- Ώρες λειτουργίας κτιρίου και προσεγγιστικός αριθμός χρηστών
- Εσωτερικά φορτία κτιρίου, όπως :
 - ✓ εξοπλισμός-μηχανές (equipment W/m^2)
 - ✓ φωτισμός (lighting W/m^2)
 - ✓ χρήστες-άνθρωποι (people p/m^2)
- Επιθυμητή εσωτερική θερμοκρασία και υγρασία στις λειτουργίες θέρμανσης-ψύξης, διαθεσιμότητα-ώρες λειτουργίας και βαθμοί απόδοσης ενεργειακών συστημάτων
- Απαίτηση αερισμού (φυσικός ή μηχανικός) και διείσδυση ή αλλαγές αέρα ανά ώρα (ach)

Στο υπο μελέτη κτιριακό μοντέλο και με εφαρμογή στο λογισμικό Climate Studio έχουν καθοριστεί οι παρακάτω ρυθμίσεις θερμικής ζώνης (Zone settings), όπως φαίνονται και στην Εικόνα 5.10.

The screenshot shows the 'Zone Settings' window in Climate Studio. It has a tabbed interface with 'Conditioning' selected. The settings are organized into three expandable sections:

- People:** Includes a 'People' toggle (On), 'People Density [P/m²]' (0.05), 'Metabolic Rate [met]' (1.2), 'Occupancy Schedule' (MidriseApartment-1A_APT_OCC_SCH_Year), 'Airspeed Schedule [m/s]' (MidriseApartment-1A_AIR_VELO_SCH_Year), and 'Clothing [clo]' (Dynamic Clothing Model ASHRAE55).
- Equipment:** Includes an 'Equipment' toggle (On), 'Equipment Power Density [W/m²]' (4), and 'Equipment Availability Schedule' (equipResidential).
- Lighting:** Includes a 'Lighting' toggle (On), 'Lighting Power Density [W/m²]' (5.6), 'Lights Availability Schedule' (MidriseApartment-1A_APT_LIGHT_SCH_Year), 'Illuminance Target [Lux]' (200), and 'Dimming Type' (Off).

Εικόνα 5.10 Συνθήκες λειτουργίας θερμικής ζώνης - Climate Studio

Χρήση Κτιρίου

Παραδοχή χρήσης του χώρου ως συμβατική κατοικία

Zone Template Use Type : Single Residential Home Detached (μονοκατοικία)

Αριθμός χρηστών

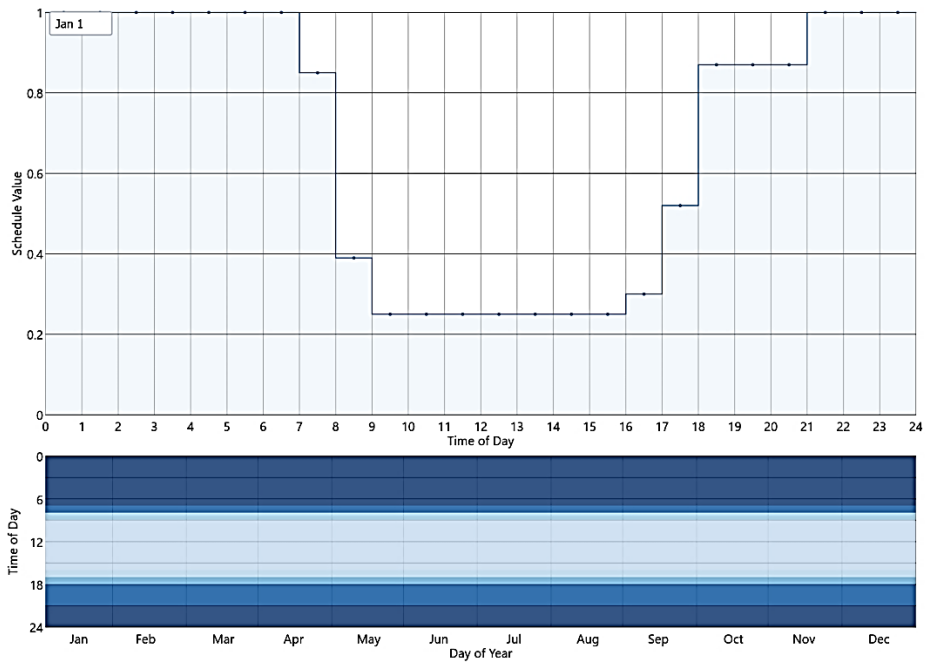
Παραδοχή ύπαρξης 4 ατόμων για χρήση κτιρίου μονοκατοικίας με εμβαδον δαπέδου 80m²

Επομένως, πυκνότητα ατόμων ανά m² =>

People density (ρ/m^2) = 4 / 80 = 0.05 ρ/m^2

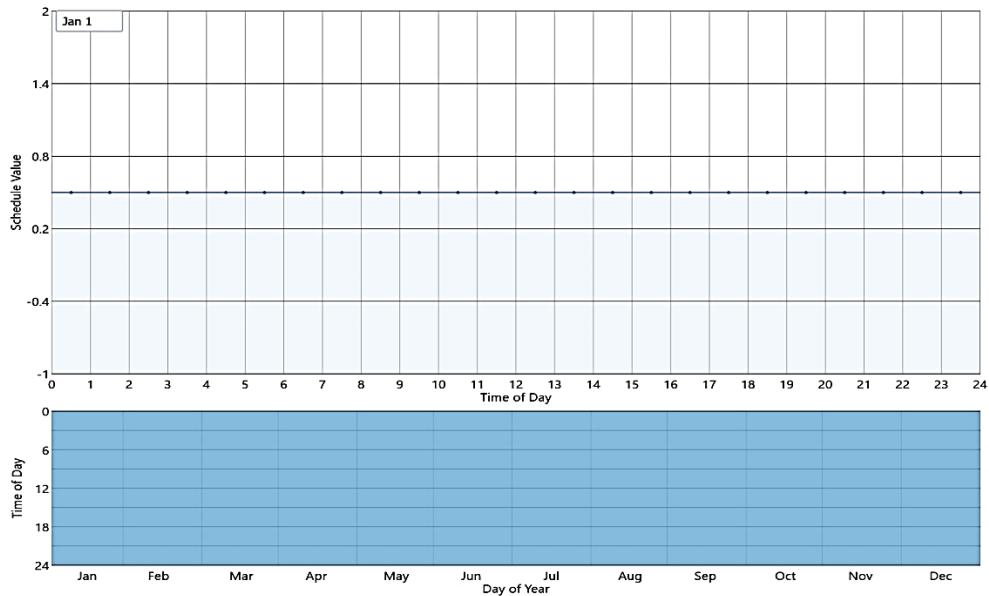
Ποιότητα ρουχισμού ατόμων σύμφωνα με το : Dynamic Clothing Model ASHRAE_55

Στην Εικόνα 5.11 φαίνεται το χρονοδιάγραμμα παρουσίας και χρήσης του χώρου Occupancy schedule (ετήσιο).



Εικόνα 5.11 Χρόνος χρήσης-παρουσίας ατόμων στη θερμική ζώνη – Climate Studio

Στην Εικόνα 5.12 φαίνεται η ταχύτητα αέρα στον εσωτερικό χώρο AirSpeed schedule : 0.2 m/sec

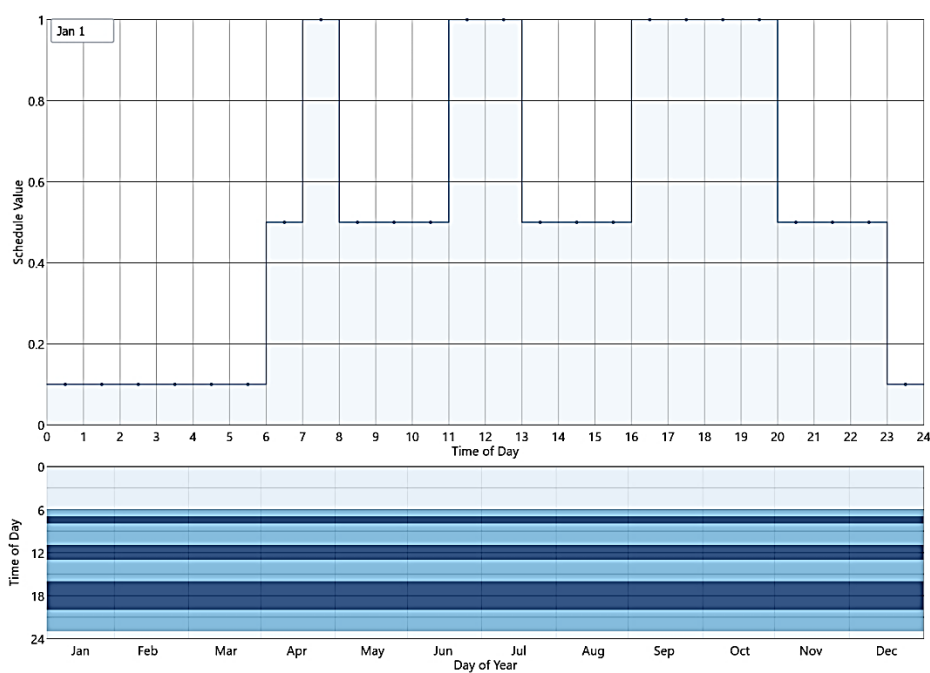


Εικόνα 5.12 Ταχύτητα κίνησης αέρα στη θερμική ζώνη – Climate Studio

Εσωτερικά φορτία

Παραδοχή πυκνότητας ισχύος εξοπλισμού
Equipment power density : 4 W/m²

Η διαθεσιμότητα λειτουργίας εξοπλισμού είναι σταθερή ετήσια (Equipment availability schedule), όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.13.



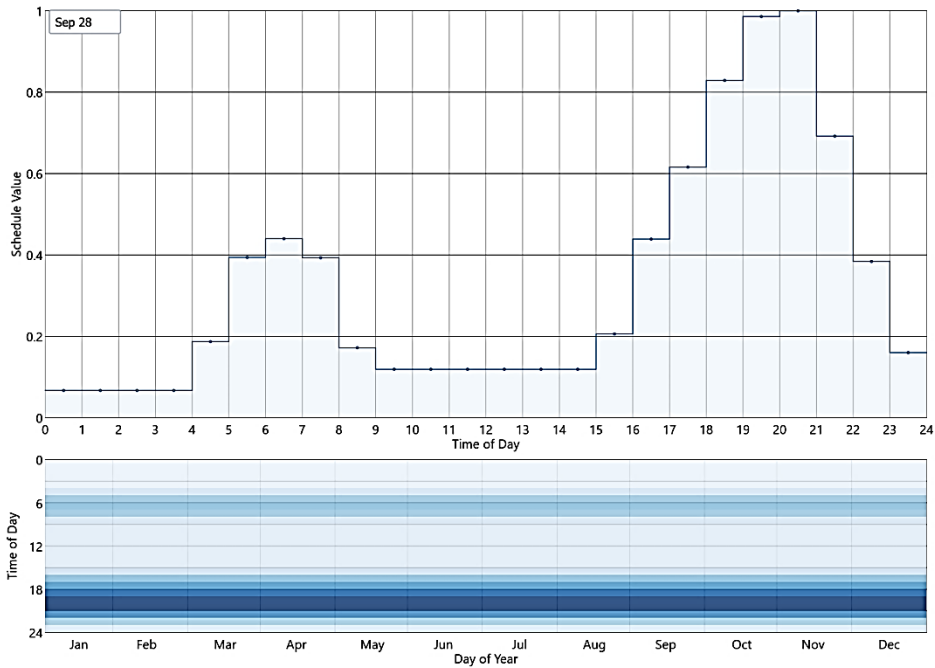
Εικόνα 5.13 Ωράριο λειτουργίας εξοπλισμού θερμικής ζώνης - Climate Studio

Φωτισμός

Παραδοχή πυκνότητας ισχύος φωτισμού
Lighting power density : 5.6 W/m²

Φωτεινότητα
Illuminance target : 200 lux

Το πρόγραμμα λειτουργίας φωτισμού (Lights availability schedule) φαίνεται στην Εικόνα 5.14 κατά τη διάρκεια της ημέρας.



Εικόνα 5.14 Ώρες λειτουργίας φωτισμού θερμικής ζώνης - Climate Studio

Θέρμανση

Επιθυμητή θερμοκρασία εσωτερικού χώρου
στη λειτουργία της θέρμανσης : Heating SetPoint 20 °C

Πρόγραμμα θέρμανσης συνεχές, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.15
Heating Schedule : AllOn

Συντελεστής Συμπεριφοράς ιδεατού συστήματος
Heating COP : 3

Zone Settings

Loads

Conditioning

Envelope

Settings

▼
🔥 Heating

On

20	Constant	HeatingSetpoint [°C]
AllOn		HeatingSchedule [Schedule name]
30		Max Heat Supply Air Temp [°C]
NoLimit	▼	HeatingLimitType [enum]
100		MaxHeatingCapacity [W/m ²]
100		MaxHeatFlow [m ³ /s/m ²]
3		HeatingCOP

Εικόνα 5.15 Ρύθμιση επιθυμητής θερμοκρασίας στη λειτουργία θέρμανσης - Climate Studio

Ψύξη

Επιθυμητή θερμοκρασία εσωτερικού χώρου
στη λειτουργία της ψύξης : Cooling SetPoint 26 °C

Πρόγραμμα ψύξης συνεχές, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 5.16
Cooling Schedule : AllOn

Συντελεστής Συμπεριφοράς ιδεατού συστήματος
Cooling COP (EER) : 3

26	Constant	CoolingSetpoint [°C]
AllOn		CoolingSchedule [Schedule name]
18		Min Cool Supply Air Temp [°C]
NoLimit		CoolingLimitType [enum]
100		MaxCoolingCapacity [W/m ²]
100		MaxCoolFlow [m ³ /s/m ²]
3		CoolingCOP

Εικόνα 5.16 Ρύθμιση επιθυμητής θερμοκρασίας στη λειτουργία ψύξης - Climate Studio

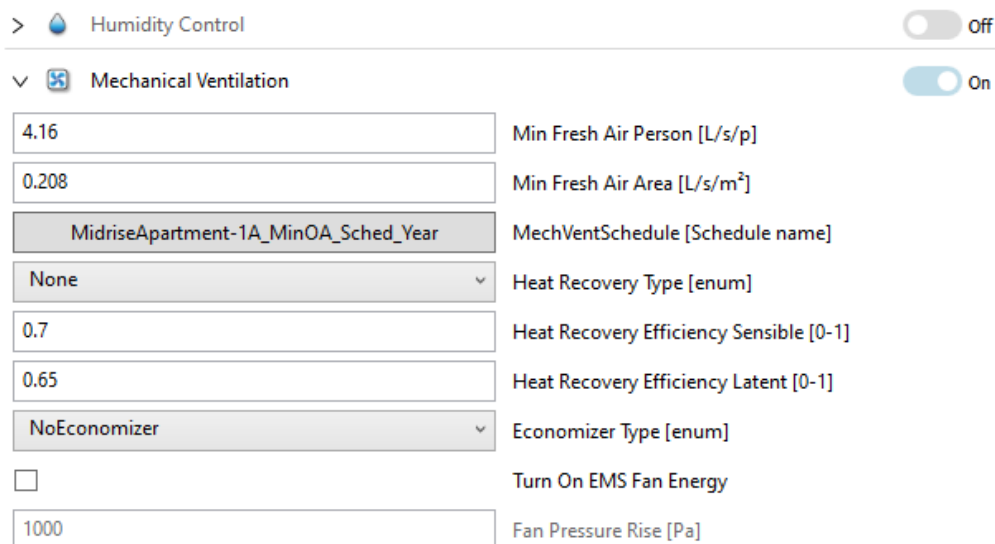
Μηχανικός Αερισμός & Διείσδυση αέρα

Παραδοχή ανανέωσης αέρος με σύστημα μηχανικού αερισμού, με ρυθμίσεις όπως φαίνονται στην Εικόνα 5.17.

Παροχή αέρα ανά άτομο (με βάση οδηγίες TOTEE)
ως εξής : $15 \text{ m}^3 / \text{hr} \cdot \text{άτομο} = 4.16 \text{ L} / \text{sec} \cdot \text{άτομο}$
Min Fresh Air per Person : 4.16 L / s·person

Παροχή αέρα ανά m² χώρου
ως εξής : $0.75 \text{ m}^3 / \text{hr} \cdot \text{m}^2 = 0.208 \text{ L} / \text{s} \cdot \text{m}^2$
Min Fresh Air per m² area : 0.208 L / s·m²

Διείσδυση αέρα μέσω χαραμάδων κελύφους και κουφωμάτων
Infiltration : 0.35 ach (air changes per hour)

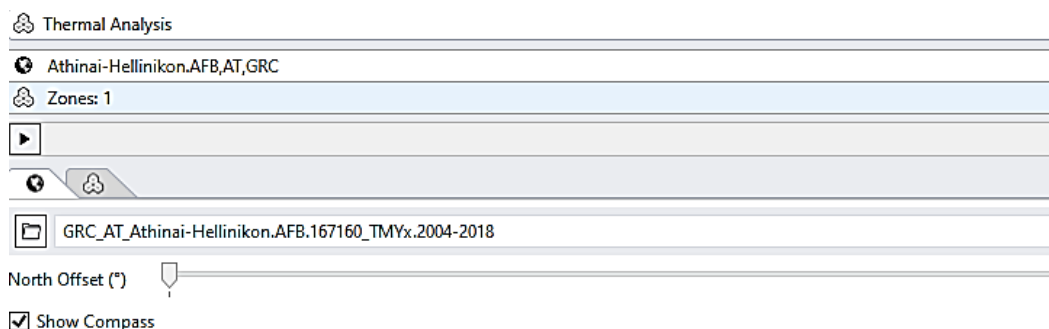


Εικόνα 5.17 Ρύθμιση μηχανικού αερισμού θερμικής ζώνης - Climate Studio

Αρχείο καιρού

Παραδοχή τοποθεσίας-γεωγραφικής θέσης και κλιματικών δεδομένων ελληνικής κατοικίας στην περιοχή Αθήνα-Ελληνικό, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.18 & 5.19.

ASHRAE Weather Data Center
International weather files for Energy Calculations :
GRC_AT_Athinai-Hellinikon.AFB.167160_TMYx2004-2018



GRC_AT_Athinai-Hellinikon.AFB.167160_TMYx.2004-2018

Climate Zone

Koppen climate zone:	Temperate, Dry Hot Summer (Csa)
ASHRAE climate zone:	Warm (3)
Average annual temperature:	18 °C
Annual total solar radiation:	1.893 kWh/m ²
Average annual wind speed:	2 m/s

Εικόνα 5.18 Επιλογή κλιματικών δεδομένων τοποθεσίας για την ενεργειακή ανάλυση - Climate Studio

Heating Design Conditions

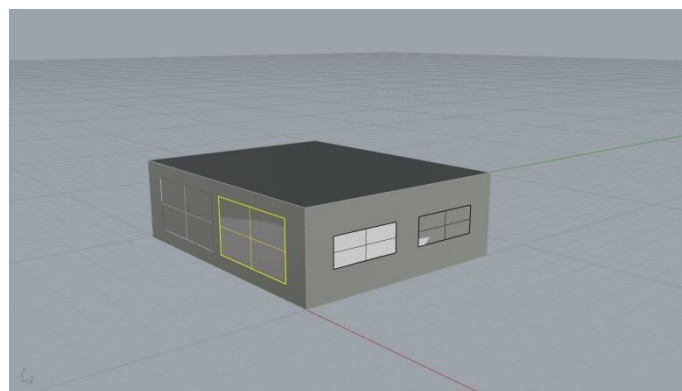
Coldest month:	February
Coldest week:	2/10 - 2/16
Typical winter week:	12/22 - 12/28
Annual HDD for 18 °C is:	1.050
Design temperature 0.04 %:	1,7 °C

Cooling Design Conditions

Hottest month:	August
Hottest week:	6/22 - 6/28
Typical summer week:	8/17 - 8/23
Annual CDD for 10 °C is:	3.224
Design temperature 99.6 %:	37,4 °C

Εικόνα 5.19 Πρόσθετα δεδομένα αρχείου καιρού Ashrae - Climate Studio

5.1.3. Δομικά στοιχεία σεναρίων μοντέλου



Εικόνα 5.20 Μοντέλο Rhinoceros7

Στον Πίνακα 5.4 αναφέρονται συνοπτικά οι συνδυασμοί των βασικών δομικών υλικών τοιχοποιίας και της αντίστοιχης επιλογής θερμικής μόνωσης για κάθε σενάριο της μελέτης του μοντέλου (Εικόνα 5.20), με διαδοχική βελτίωση απο το συμβατικό παράδειγμα αναφοράς, όπως θα παρουσιαστεί παρακάτω.

Πίνακας 5.4 Συνδυασμοί δομικών υλικών τοιχοποιίας των σεναρίων μελέτης

Περιπτώσεις	Τοιχοποιία
Σενάριο αναφοράς	Διπλό τούβλο και μόνωση XPS-εξηλασμένη πολυστερίνη
Σενάριο 1	Insulated Concrete Forms (ICF's) και μόνωση EPS-διογκωμένη πολυστερίνη
Σενάριο 2	Structural Insulated Panels (SIP's) και μόνωση PUR-πολυουρεθάνη
Σενάριο 3	Cross Laminated Timber (CLT) και μόνωση Polyiso (PIR)-πολυσκουανουρικό
Σενάριο 4	Τούβλο Poroton ορθομπλοκ και μόνωση Aerogel
Σενάριο 5	Τούβλο πορομπετόν (AAC blocks) και μόνωση VIP's-πάνελ κενού

Οι τιμές των συντελεστών θερμικής διαπερατότητας U (W/m^2K) από τις δομικές κατασκευές στο Grasshopper και για κάθε επιφάνεια κελύφους του κτιρίου για κάθε διαφορετικό σενάριο, όπως θα αναλυθούν παρακάτω, προέκυψαν όπως φαίνονται στον Πίνακα 5.5.

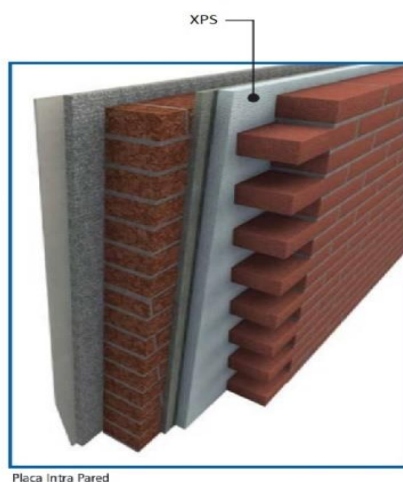
Πίνακας 5.5 Πίνακας τιμών συντελεστών θερμικής διαπερατότητας $U(W/m^2K)$ επιφανειών κελύφους

Weather Data (epw) : GRC_AT_Athinai-Hellinikon.AFB.167160_TMYx.2004-2018						
	σενάρια					
U (W/m^2K)	αναφοράς	1	2	3	4	5
τοιχοποιίες	0.334	0.276	0.211	0.196	0.153	0.138
οροφές	0.345	0.304	0.254	0.238	0.202	0.157
δάπεδα	0.37	0.359	0.311	0.246	0.193	0.16

Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά τα σενάρια εφαρμογής δομικών υλικών στο κέλυφος του υπο μελέτη μοντέλου Rhino, με σταθερές τις παραπάνω ρυθμίσεις για την θερμική ζώνη και τις εξής παραδοχές :

1. Σταθερή επιλογή χρήσης πλάκας οπλισμένου σκυροδέματος σε κάθε δάπεδο και οροφή ως βασικό συστατικό στοιχείο του φέροντος οργανισμού (στατικότητα)
2. Η επιλογή βελτιωμένης κάθε φορά θερμομόνωσης αφορά εφαρμογή σε όλα τα στοιχεία του κελύφους
3. Η αύξηση του πάχους (cm) σε τοιχοποιίες ή άλλες επιφάνειες δομικών στοιχείων κελύφους δεν επηρεάζει τις διαστάσεις των ανοιγμάτων, ούτε εξετάζονται θέματα συναρμογής, παρά μόνο η θερμική συμπεριφορά
4. Γίνεται κατά το δυνατόν ρεαλιστική «συνεργασία» δομικών υλικών

5.2. ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (ΣΥΜΒΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ)

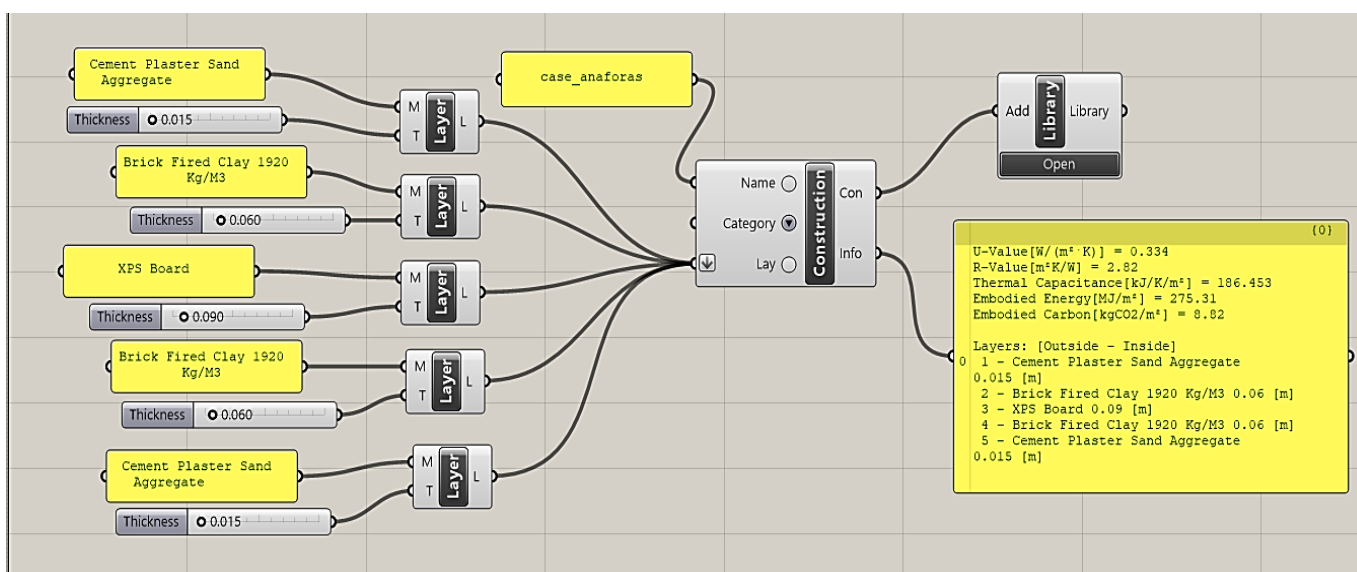


Εικόνα 5.21 Δομή συμβατικής τοιχοποιίας - σενάριο αναφοράς

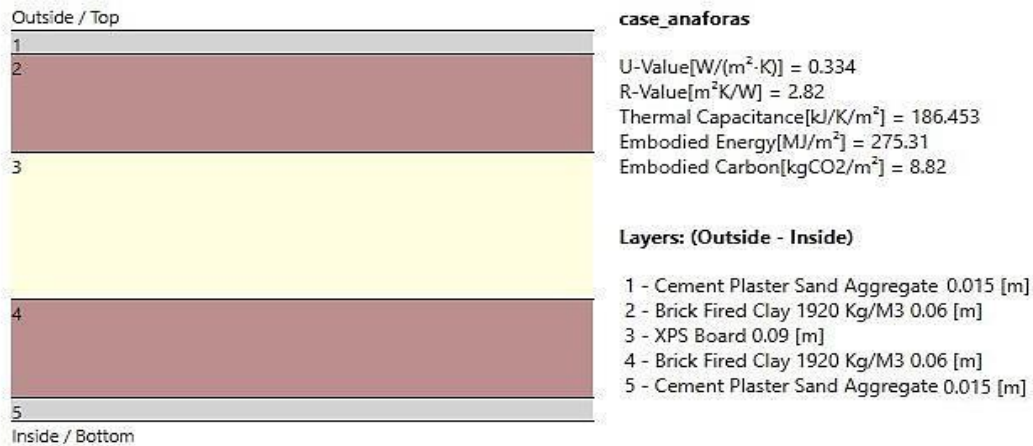
5.2.1. Διαμόρφωση τοίχου

Πίνακας 5.6 Διαδοχικές στρώσεις υλικών τοίχου, πάχος και θερμική αγωγιμότητα

facade-wall	τοιχοποιία	thickness (cm)	k (W/mK)
Cement plaster	σοβάς - επίχρισμα	1.5	0.769
Brick fired clay	κεραμικό τούβλο	6	0.895
XPS board	εξηλ.πολυστερίνη	9	0.034
Brick fired clay	κεραμικό τούβλο	6	0.895
Cement plaster	σοβάς - επίχρισμα	1.5	0.769



Εικόνα 5.22 Δημιουργία στρωμάτων υλικών τοιχοποιίας σενάριο αναφοράς- περιβάλλον Grasshopper

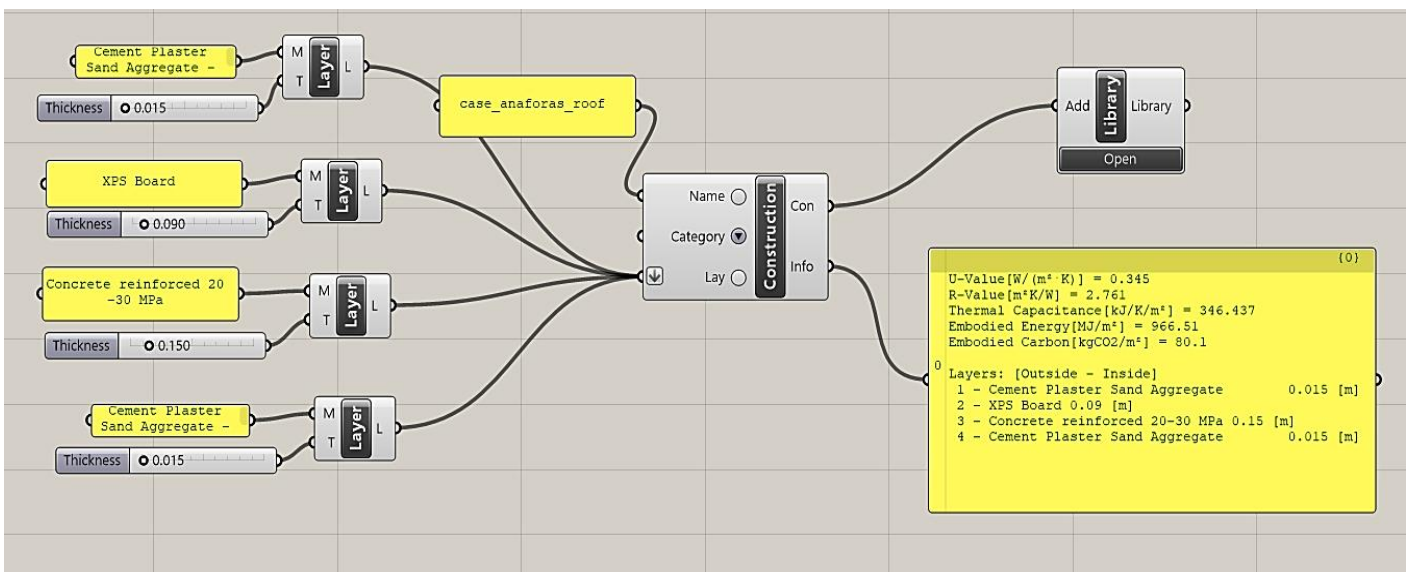


Εικόνα 5.23 Δομή τοιχοποιίας σενάριο αναφοράς- Climate Studio

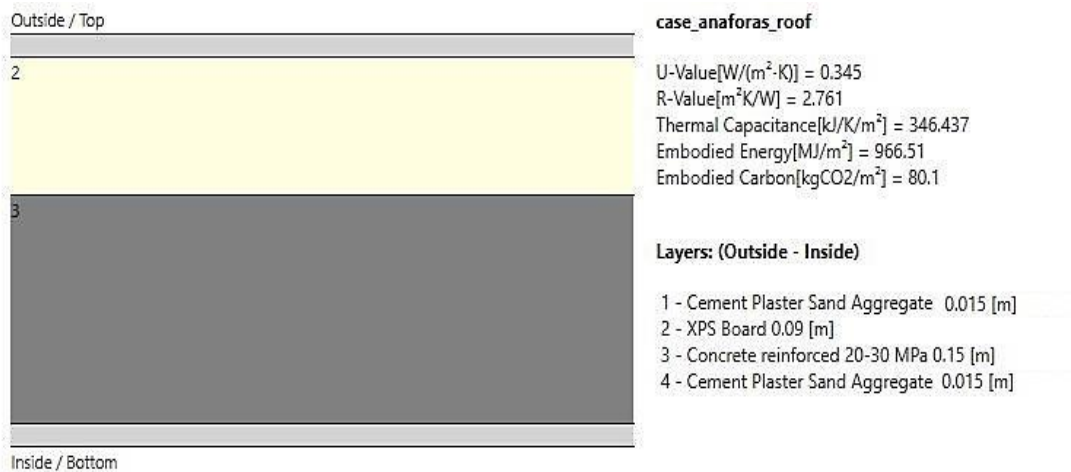
5.2.2. Διαμόρφωση οροφής

Πίνακας 5.7 Διαδοχικές στρώσεις υλικών οροφής, πάχος και θερμική αγωγιμότητα

Roof-ceiling	οροφή	thickness (cm)	k (W/mK)
Cement plaster	επίχρισμα	1.5	0.769
XPS board	εξηλ.πολυστερίνη	9	0.034
Reinforced concrete slab	πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος	15	2
Cement plaster	επίχρισμα	1.5	0.769



Εικόνα 5.24 Δημιουργία στρωμάτων υλικών οροφής σενάριο αναφοράς- περιβάλλον Grasshopper

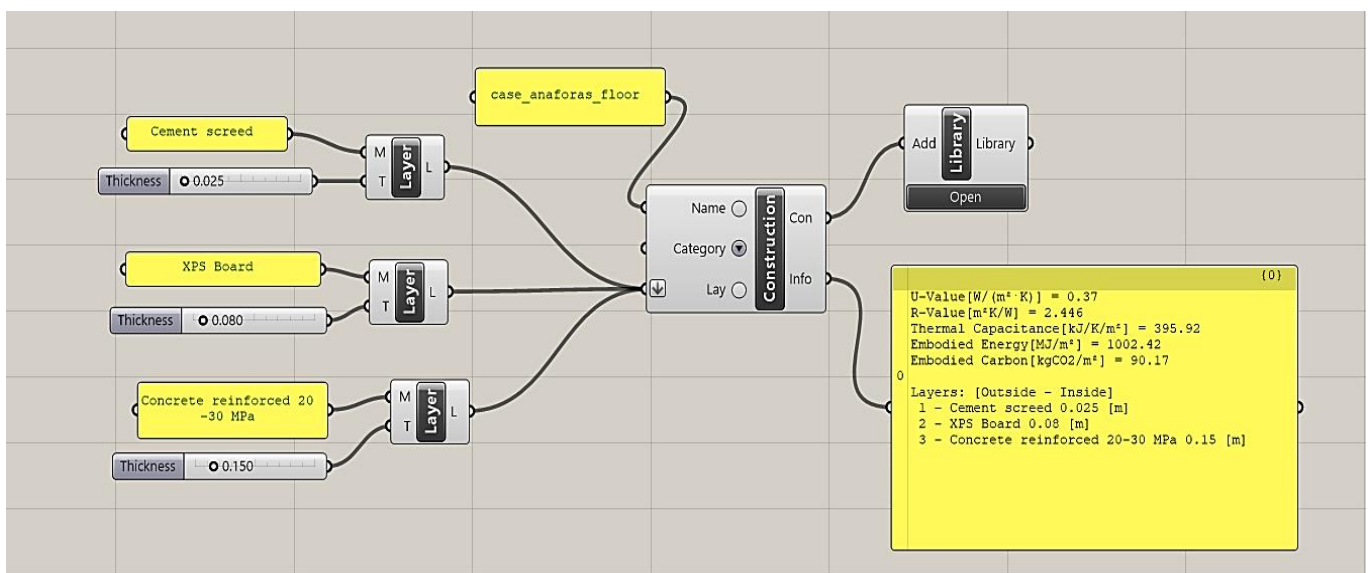


Εικόνα 5.25 Δομή οροφής σενάριο αναφοράς - Climate Studio

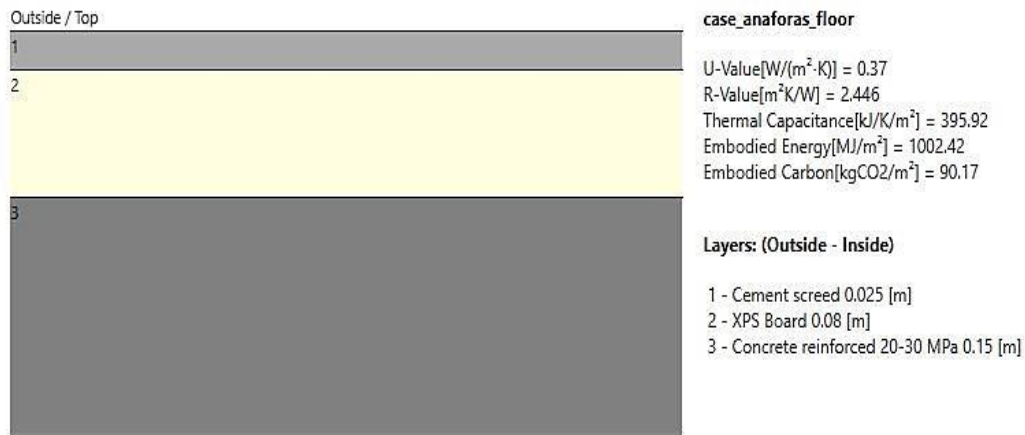
5.2.3. Διαμόρφωση δαπέδου

Πίνακας 5.8 Διαδοχικές στρώσεις υλικών δαπέδου, πάχος και θερμική αγωγιμότητα

floor	δάπεδο	thickness (cm)	k (W/mK)
Cement screed	τσιμεντοκονία	2.5	1.4
XPS board	εξηλ.πολυστερίνη	8	0.034
Reinforced concrete slab	πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος	15	2



Εικόνα 5.26 Δημιουργία στρωμάτων υλικών δαπέδου σενάριο αναφοράς - περιβάλλον Grasshopper



Εικόνα 5.27 Δομή δαπέδου σενάριο αναφοράς - Climate Studio

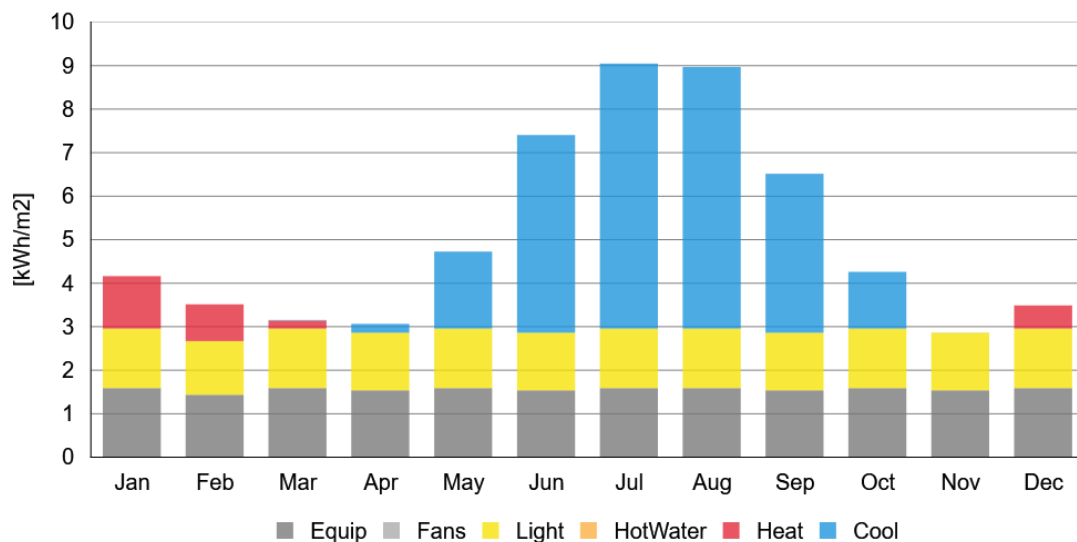
5.2.4. Υαλοπίνακας – σενάριο αναφοράς

Πίνακας 5.9 Τύπος και χαρακτηριστικά υαλοπίνακα

Υαλοπίνακας	Είδος	Αέριο	U (W/m ² K)	SHGC	Tvis
Solarban60 on Atlantica – clear glass	Διπλός	Αέρας	1.65	0.243	0.4604

5.2.5. Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου

Στην Εικόνα 5.28 φαίνεται το διάγραμμα EUI (Energy Use Intensity) σε kWh /m² ανά μήνα για διάφορες καταναλώσεις της θερμικής ζώνης.



Εικόνα 5.28 Energy Use Intensity (kWh/m²) - Climate Studio

Στον Πίνακα 5.10 αναγράφεται το ψυκτικό φορτίο κάθε μήνα για την θερμική ζώνη, και στις Εικόνες 5.29 & 5.30 τα αντίστοιχα διαγράμματα.

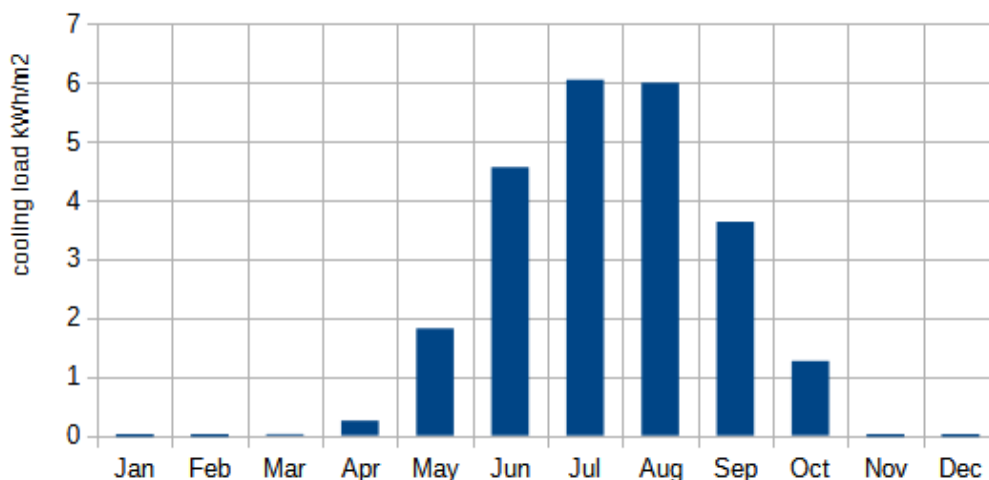
Πίνακας 5.10 Μηνιαίο ψυκτικό φορτίο σεναρίου αναφοράς

μήνας	Ψυκτικό φορτίο kWh	kWh / m ²
January	0	0
February	0	0
March	2	0,025
April	20,16	0,252
May	145,6	1,82
June	364,8	4,56
July	484	6,05
August	480	6
September	290,24	3,628
October	101,2	1,265
November	0	0
December	0	0
Σύνολο :	1888	23.6



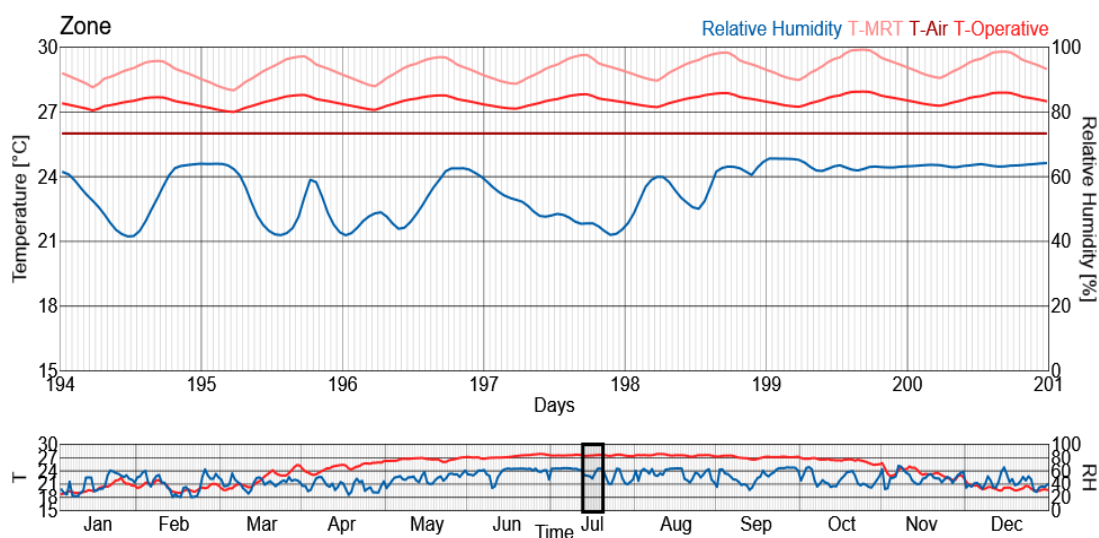
Εικόνα 5.29 Μηνιαίο ψυκτικό φορτίο (kWh / μήνα) - σενάριο αναφοράς

σενάριο αναφοράς



Εικόνα 5.30 Μηνιαίο ψυκτικό φορτίο ανά m² δαπέδου - σενάριο αναφοράς

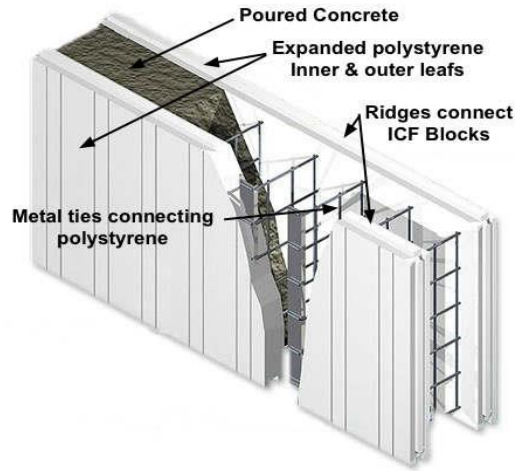
Στην Εικόνα 5.31 φαίνεται η θερμοκρασιακή κατανομή κτιρίου τυπικής εβδομάδας του μήνα με τα μεγαλύτερα ψυκτικά φορτία (Ιούλιος).



Εικόνα 5.31 Θερμοκρασίες ζώνης εβδομάδας Ιουλίου , σενάριο αναφοράς , Climate Studio

- T-air : Θερμοκρασία ρύθμισης (set point)
- T-Operative : Θερμοκρασία λειτουργίας χώρου
- T-MRT : Θερμοκρασία ακτινοβολίας επιφανειών χώρου (Mean Radiant Temperature)

5.3. ΣΕΝΑΡΙΟ 1 – INSULATED CONCRETE FORMS (ICF's) +EPS INSULATION

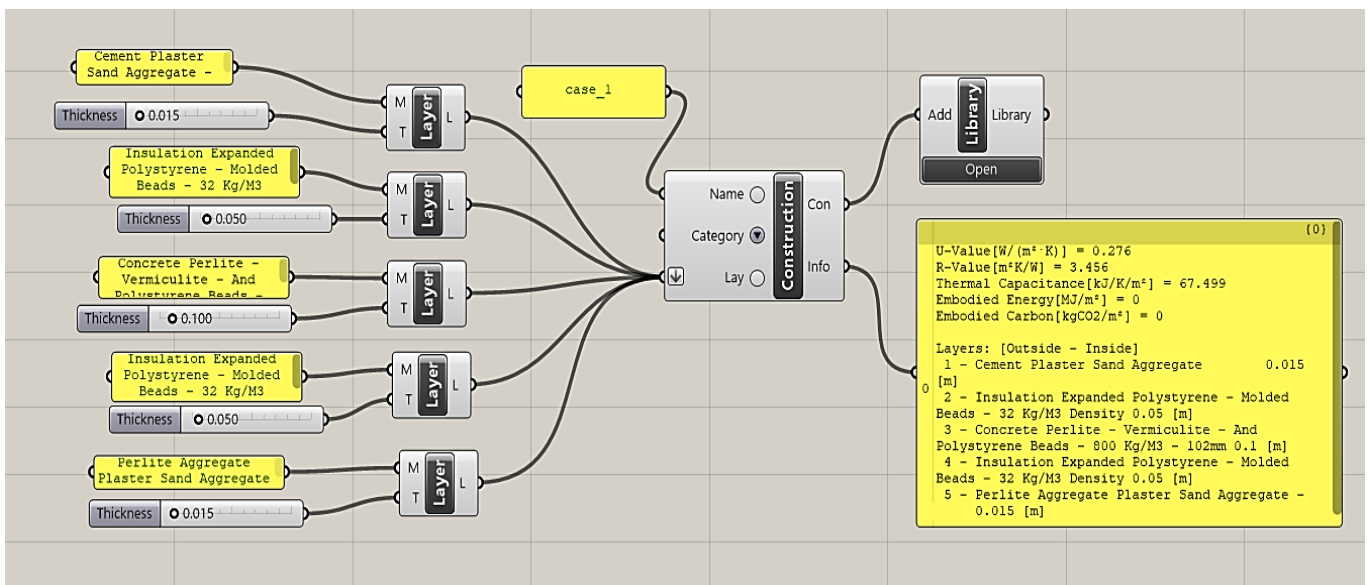


Εικόνα 5.32 Δομή ICF's - σενάριο 1

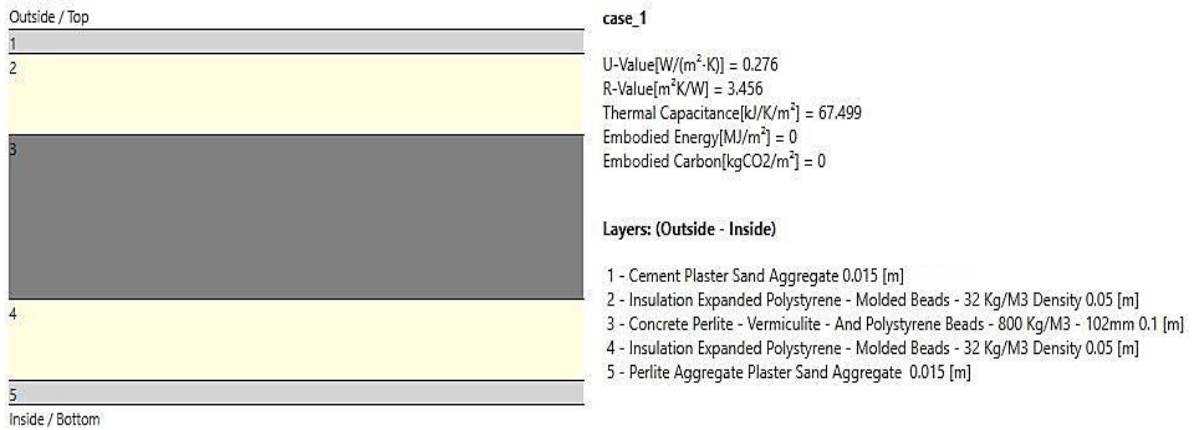
5.3.1. Διαμόρφωση τοίχου - σενάριο 1

Πίνακας 5.11 Διαδοχικές στρώσεις υλικών τοίχου, πάχος και θερμική αγωγιμότητα

facade-wall	τοιχοποιία	thickness (cm)	k (W/mK)
Cement plaster	επίχρισμα	1.5	0.769
EPS	διογκ.πολυστερίνη	5	0.033
Concrete with perlite	σκυρόδεμα με περλίτη	10	0.265
EPS	διογκ.πολυστερίνη	5	0.033
Perlite plaster	σοβάς με περλίτη	1.5	0.526



Εικόνα 5.33 Δημιουργία στρωμάτων υλικών τοιχοποιίας σεναρίου 1 - περιβάλλον Grasshopper

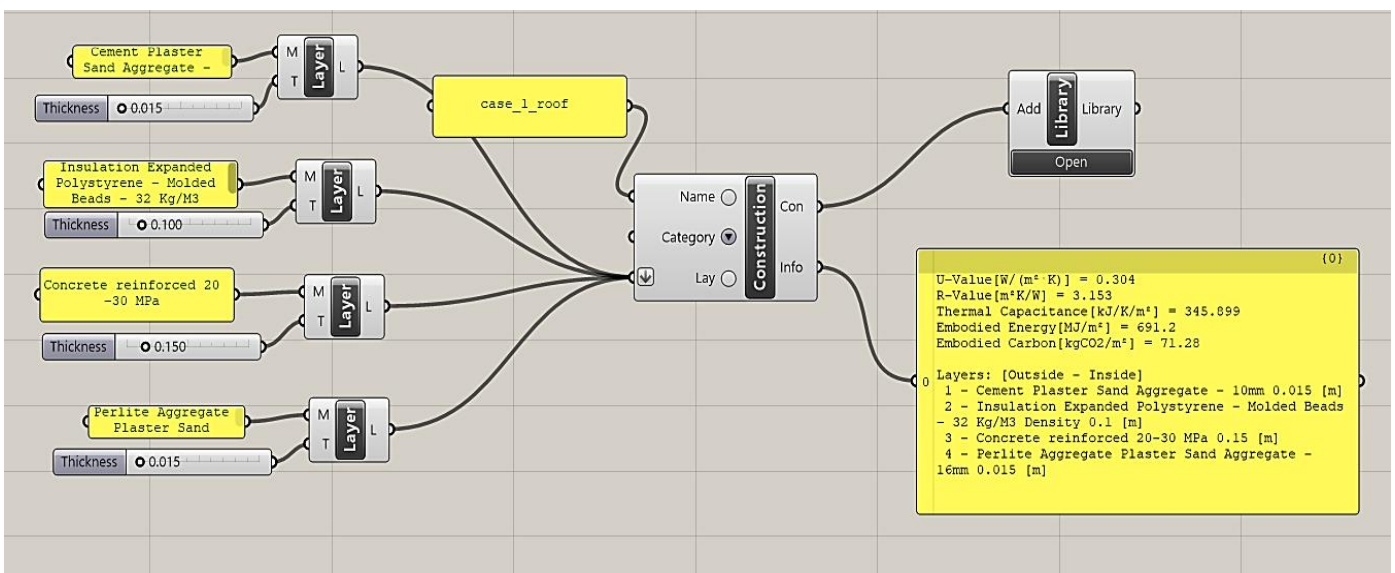


Εικόνα 5.34 Δομή τοιχοποιίας σενάριο 1- Climate Studio

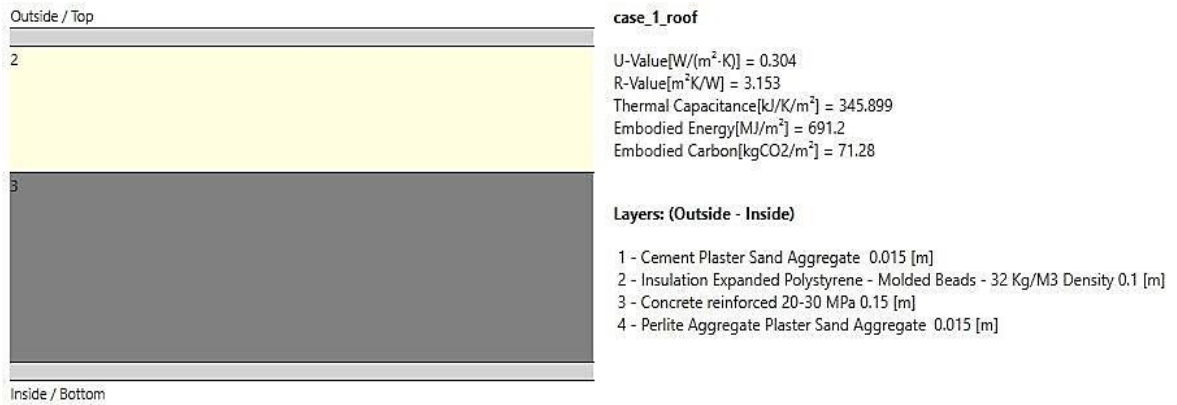
5.3.2. Διαμόρφωση οροφής – σενάριο 1

Πίνακας 5.12 Διαδοχικές στρώσεις υλικών οροφής, πάχος και θερμική αγωγιμότητα

Roof-ceiling	οροφή	thickness (cm)	k (W/mK)
Cement plaster	επίχρισμα	1.5	0.769
EPS	διογκ. πολυστερίνη	10	0.033
Reinforced concrete slab	πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος	15	2
Perlite plaster	σοβάς με περλίτη	1.5	0.526



Εικόνα 5.35 Δημιουργία στρωμάτων υλικών οροφής σενάριο 1 - περιβάλλον Grasshopper

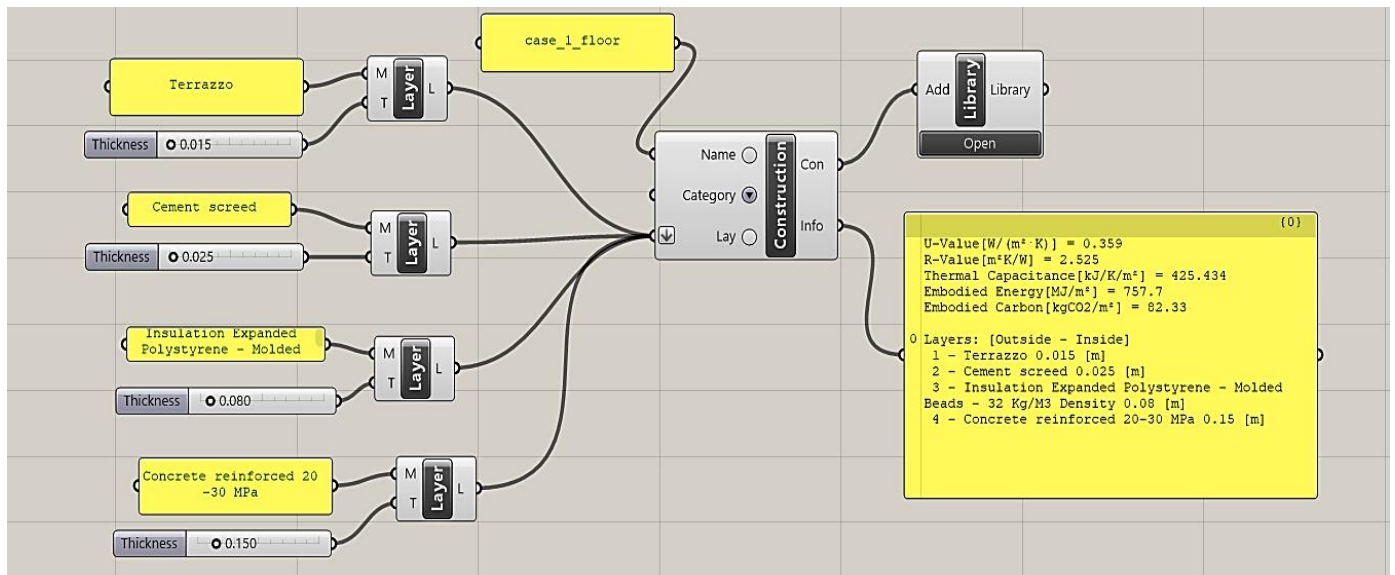


Εικόνα 5.36 Δομή οροφής σενάριο 1 - Climate Studio

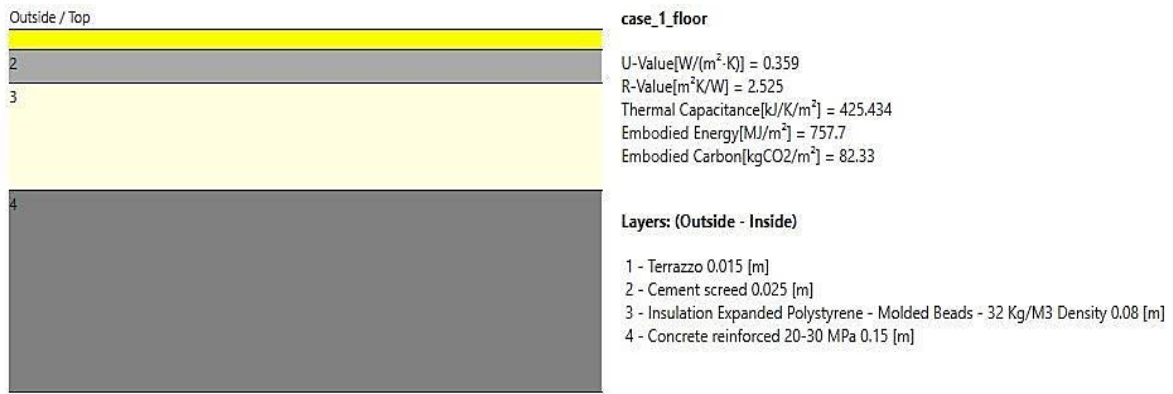
5.3.3. Διαμόρφωση δαπέδου – σενάριο 1

Πίνακας 5.13 Διαδοχικές στρώσεις υλικών δαπέδου, πάχος και θερμική αγωγιμότητα

floor	δάπεδο	thickness (cm)	k (W/mK)
Terrazzo floor	μωσaiκό δάπεδο	1.5	1.8
Cement screed	τσιμεντοκονία	2.5	1.4
EPS	διογκ. πολυστερίνη	8	0.033
Reinforced concrete slab	πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος	15	2



Εικόνα 5.37 Δημιουργία στρωμάτων υλικών δαπέδου σενάριο 1 - περιβάλλον Grasshopper



Εικόνα 5.38 Δομή δαπέδου σενάριο 1 - Climate Studio

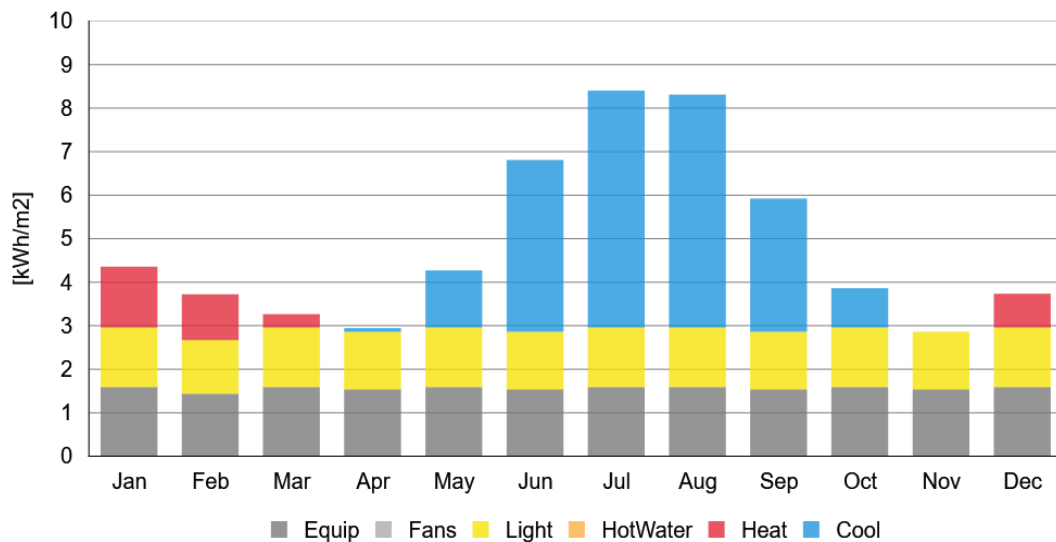
5.3.4. Υαλοπίνακας σεναρίου 1

Πίνακας 5.14 Τύπος και χαρακτηριστικά υαλοπίνακα

Υαλοπίνακας	Είδος	Αέριο	U (W/m ² K)	SHGC	Tvis
Solarcool on Solarblue – sungate400	Διπλός	Αέρας	1.80	0.214	0.148

5.3.5. Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου σεναρίου 1

Στην Εικόνα 5.39 φαίνεται το διάγραμμα EUI (Energy Use Intensity) σε kWh / m² ανά μήνα για διάφορες καταναλώσεις της θερμικής ζώνης.



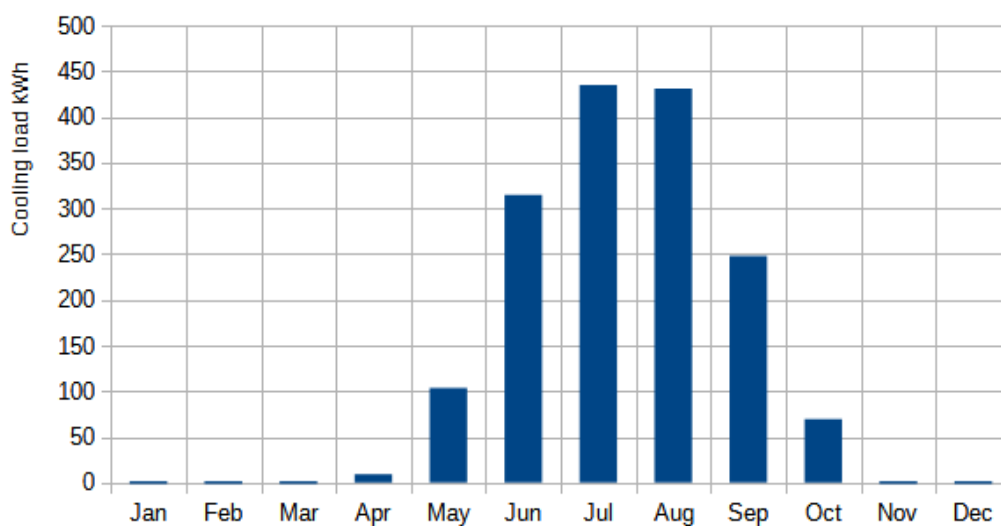
Εικόνα 5.39 Energy Use Intensity (kWh/m²) σενάριο 1 - Climate Studio

Στον Πίνακα 5.15 αναγράφεται το μηνιαίο ψυκτικό φορτίο για τη θερμική ζώνη, και στις Εικόνες 5.40 & 5.41 τα αντίστοιχα διαγράμματα.

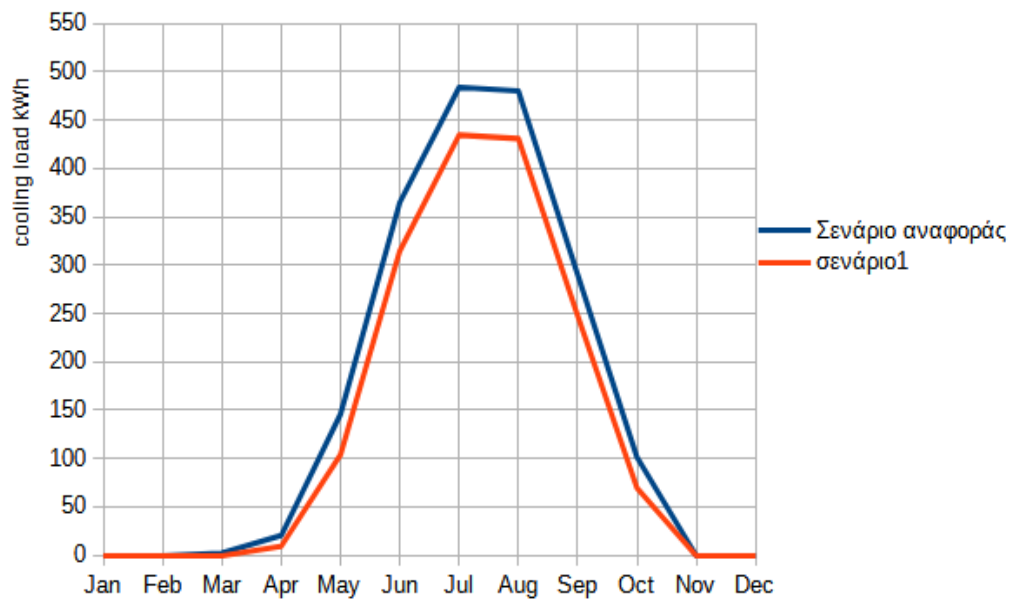
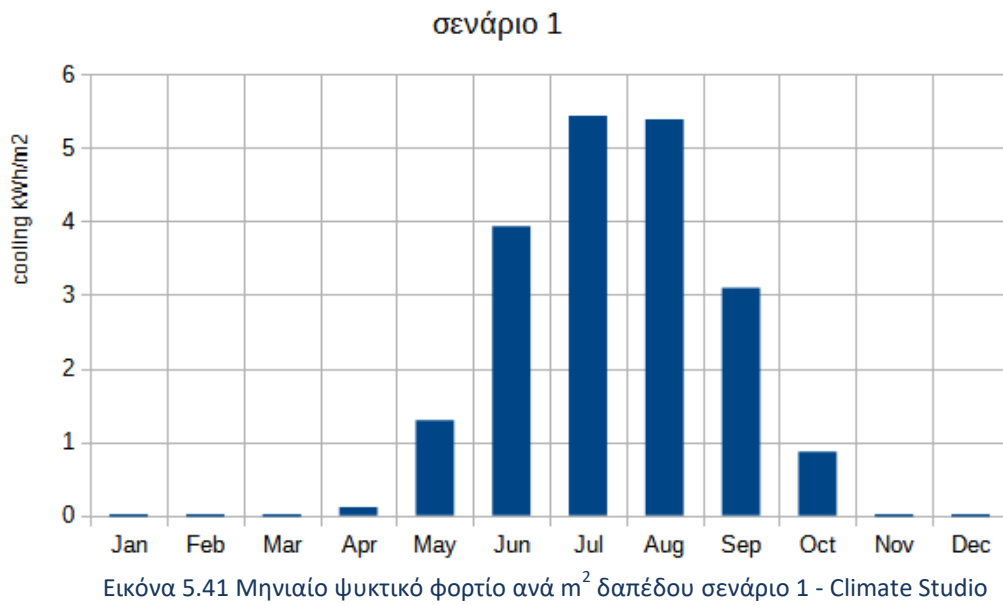
Πίνακας 5.15 Μηνιαίο ψυκτικό φορτίο σενάριο 1 σε kWh και kWh / m²

μήνας	Ψυκτικό φορτίο kWh	kWh / m ²
January	0	0
February	0	0
March	0	0
April	9,04	0,113
May	103,6	1,295
June	314,64	3,933
July	434,56	5,432
August	430,8	5,385
September	247,6	3,095
October	69,36	0,867
November	0	0
December	0	0
Σύνολο :	1609,6	20,12

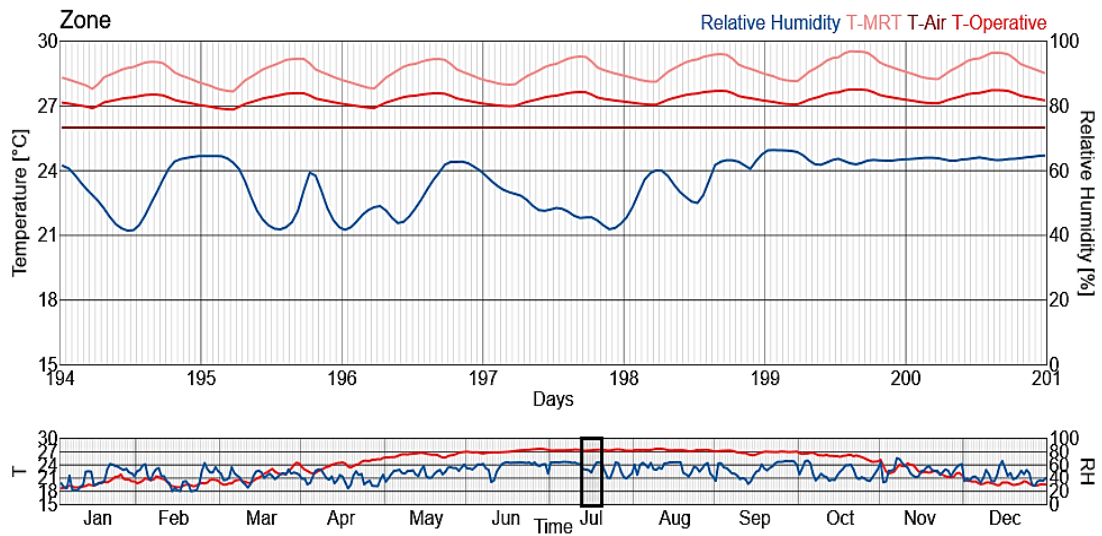
σενάριο 1



Εικόνα 5.40 Μηνιαίο ψυκτικό φορτίο (kWh/μήνα) σενάριο 1 - Climate Studio

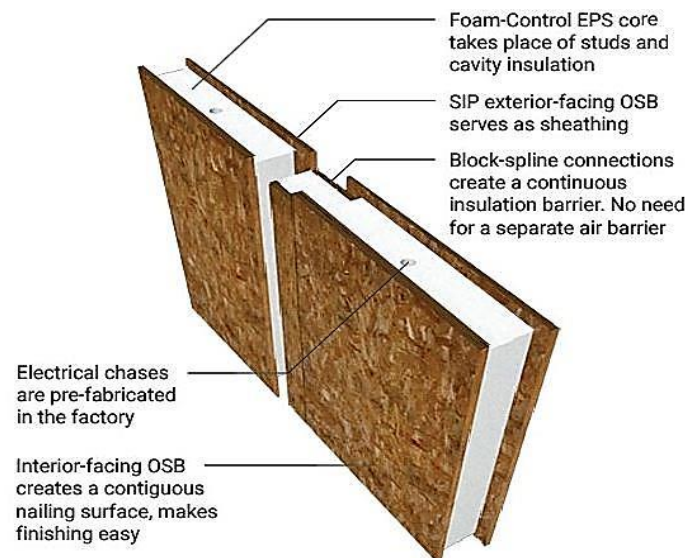


Στην Εικόνα 5.43 φαίνεται η θερμοκρασιακή κατανομή στο εσωτερικό κτιρίου τυπικής εβδομάδας του μήνα με τα μεγαλύτερα ψυκτικά φορτία (Ιούλιος).



Εικόνα 5.43 Θερμοκρασίες ζώνης εβδομάδας Ιουλίου σενάριο 1 - Climate Studio

5.4. ΣΕΝΑΠΙΟ 2 – STRUCTURAL INSULATED PANELS (SIP's) + PUR FOAM

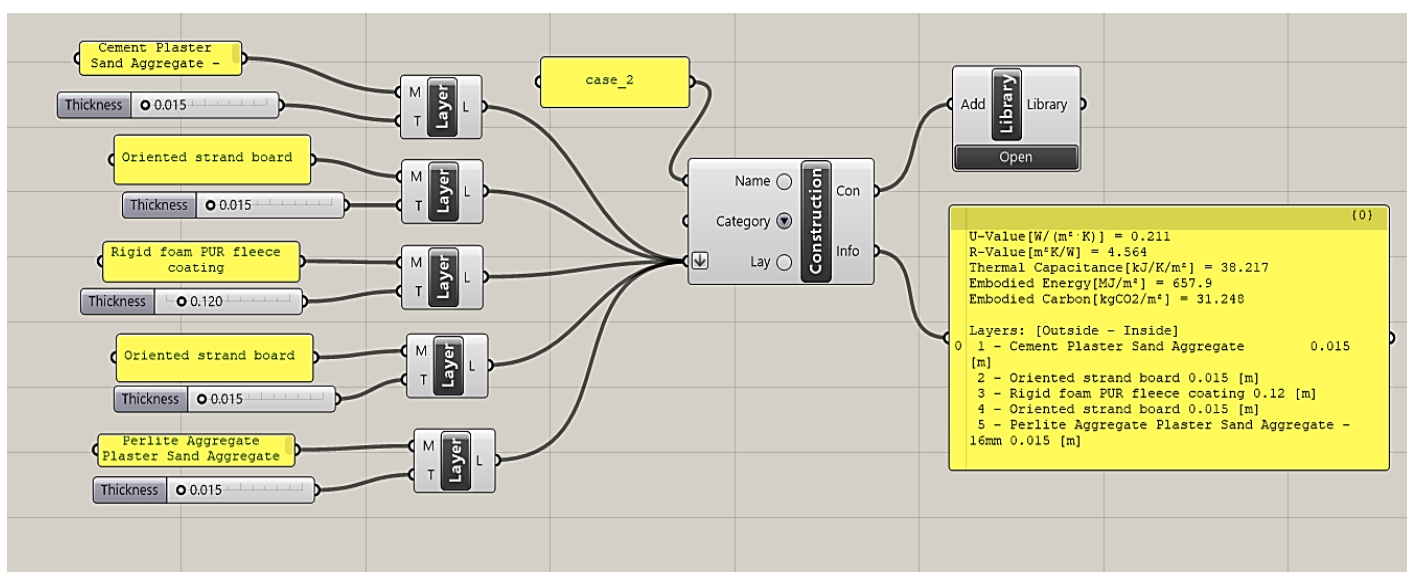


Εικόνα 5.44 Δομή SIP's - σενάριο 2

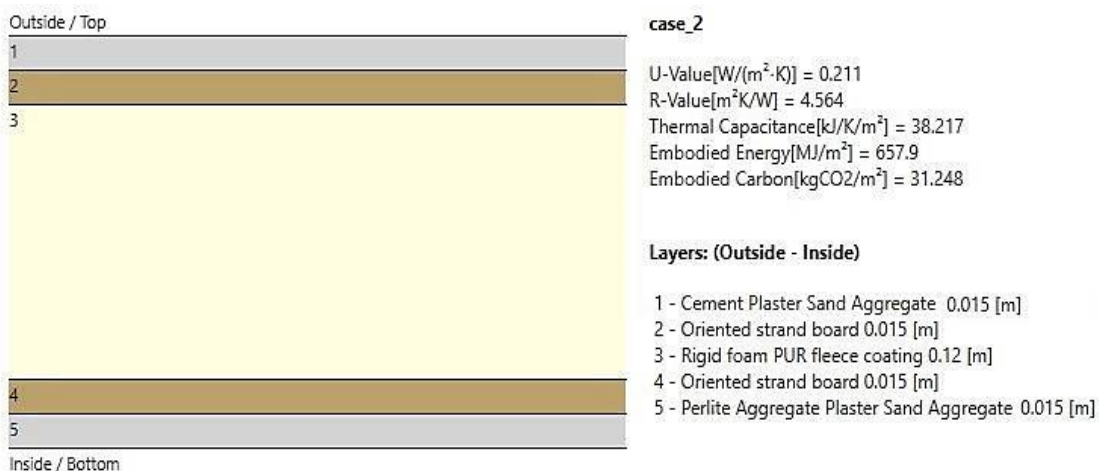
5.4.1. Διαμόρφωση τοίχου – σενάριο 2

Πίνακας 5.16 Διαδοχικές στρώσεις υλικών τοίχου, πάχος και θερμική αγωγιμότητα

facade-wall	τοιχοποιία	thickness (cm)	k (W/mK)
Cement plaster	επίχρισμα	1.5	0.769
Ξύλο OSB	oriented strand board	1.5	0.13
PUR foam	αφρός πολυουρεθάνης	12	0.028
Ξύλο OSB	oriented strand board	1.5	0.13
Perlite plaster	σοβάς με περλίτη	1.5	0.526



Εικόνα 5.45 Διαμόρφωση στρωμάτων υλικών τοιχοποιίας σενάριο 2 – περιβάλλον Grasshopper

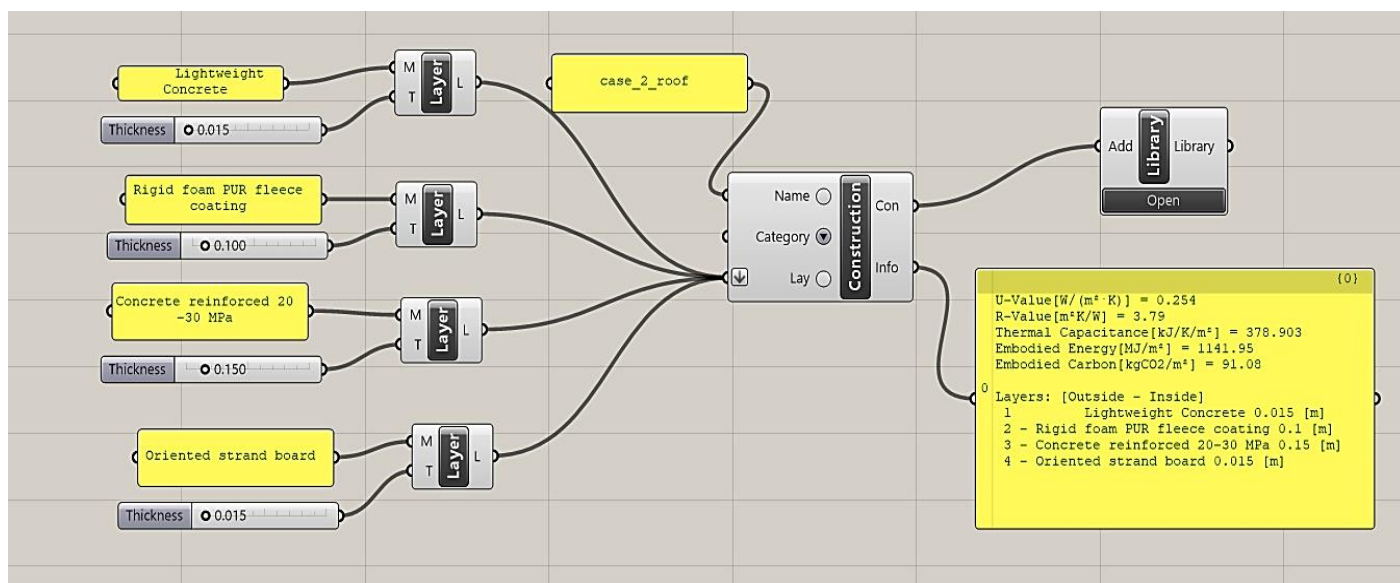


Εικόνα 5.46 Δομή τοιχοποιίας σενάριο 2 – Climate Studio

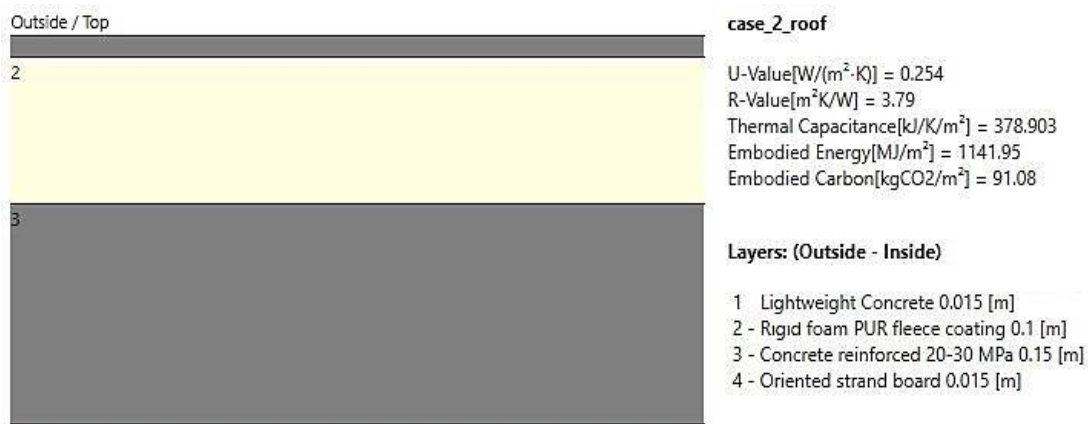
5.4.2. Διαμόρφωση οροφής – σενάριο 2

Πίνακας 5.17 Διαδοχικές στρώσεις υλικών οροφής, πάχος και θερμική αγωγιμότητα

Roof-ceiling	οροφή	thickness (cm)	k (W/mK)
Lightweight concrete	ελαφρομετόν	1.5	0.53
PUR foam	αφρός πολυουρεθάνης	10	0.028
Reinforced concrete slab	πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος	15	2
OSB board ceiling	επένδυση ξύλου OSB	1.5	0.13



Εικόνα 5.47 Δημιουργία στρωμάτων υλικών οροφής σενάριο 2 - περιβάλλον Grasshopper

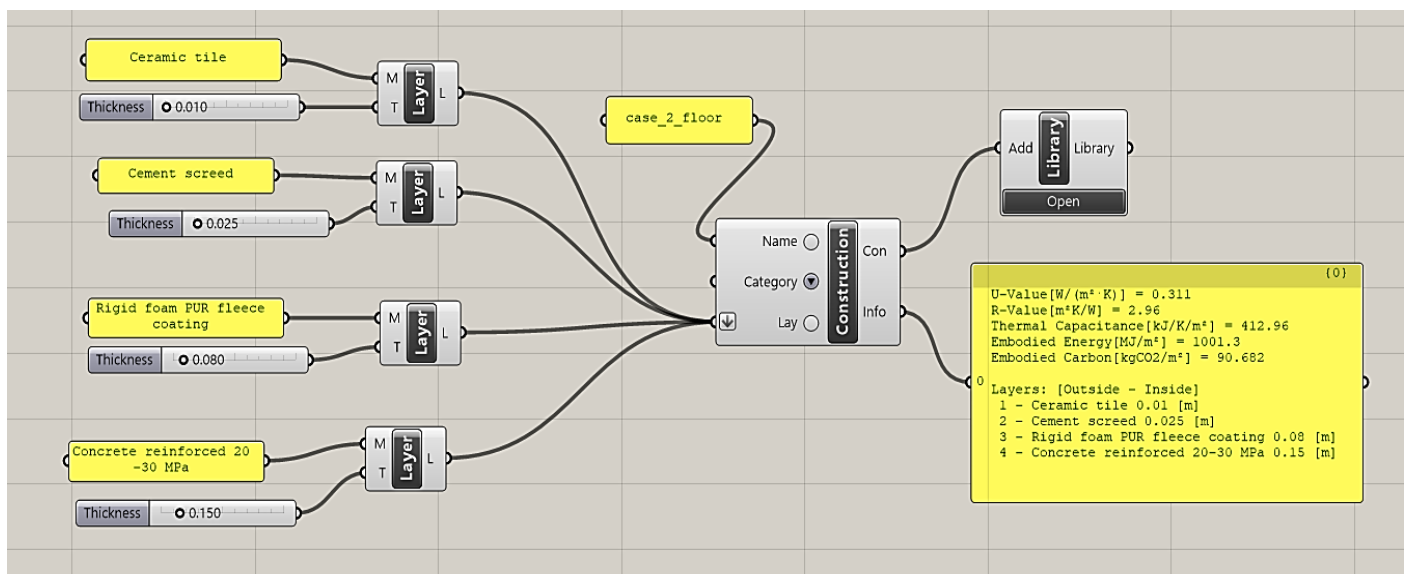


Εικόνα 5.48 Δομή οροφής σενάριο 2 – Climate Studio

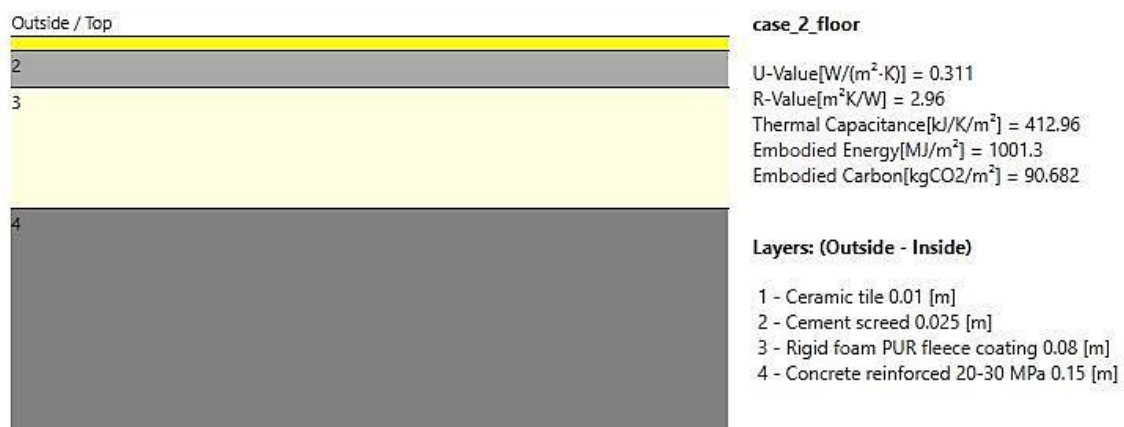
5.4.3. Διαμόρφωση δαπέδου – σενάριο 2

Πίνακας 5.18 Διαδοχικές στρώσεις υλικών δαπέδου, πάχος και θερμική αγωγιμότητα

floor	δάπεδο	thickness (cm)	k (W/mK)
Ceramic tile	Κεραμικό πλακάκι	1	1.05
Cement screed	τσιμεντοκονία	2.5	1.4
PUR foam	Αφρός πολυουρεθάνης	8	0.028
Reinforced concrete slab	πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος	15	2



Εικόνα 5.49 Δημιουργία στρωμάτων υλικών δαπέδου σενάριο 2 - περιβάλλον Grasshopper



Εικόνα 5.50 Δομή δαπέδου σενάριο 2 – Climate Studio

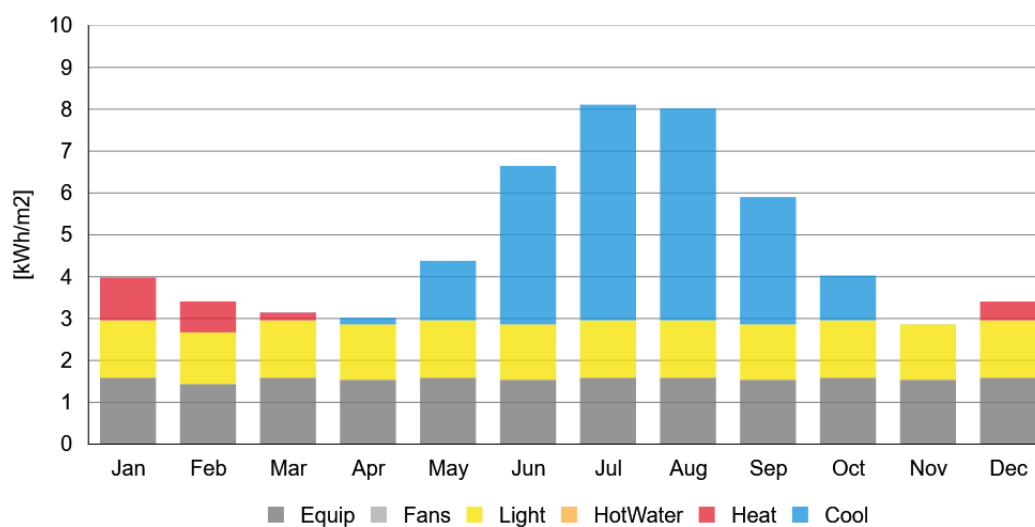
5.4.4. Υαλοπίνακας σεναρίου 2

Πίνακας 5.19 Τύπος και χαρακτηριστικά υαλοπίνακα

Υαλοπίνακας	Είδος	Αέριο	U (W/m ² K)	SHGC	Tvis
Solarban67 on Pacifica – clear glass	Διπλός	Αργόν	1.36	0.172	0.251

5.4.5. Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου σεναρίου 2

Στην Εικόνα 5.51 φαίνεται το διάγραμμα EUI (Energy Use Intensity) σε kWh / m² ανά μήνα για διάφορες καταναλώσεις της θερμικής ζώνης.

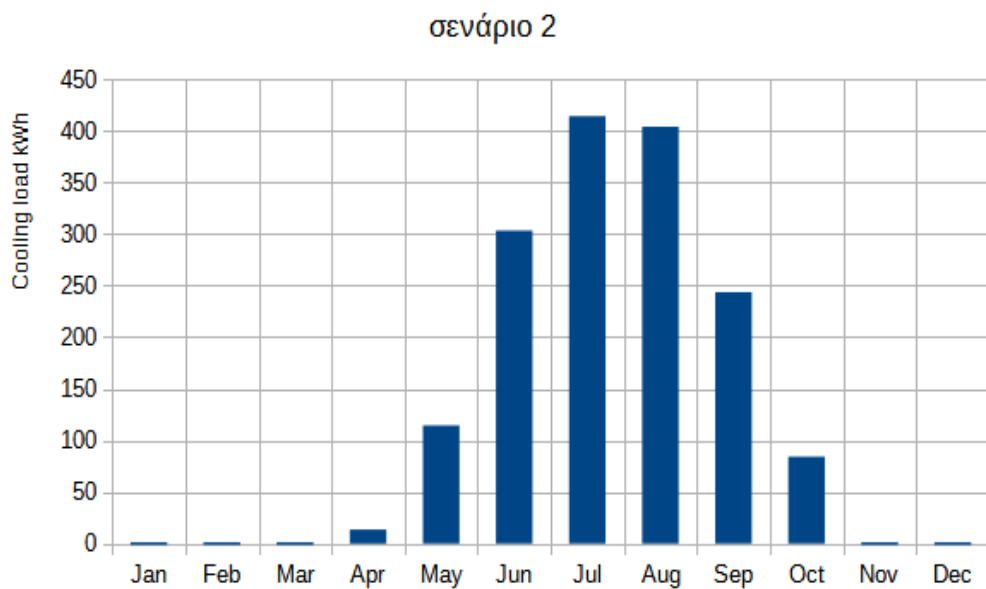


Εικόνα 5.51 Energy Use Intensity (kWh/m²) σενάριο 2 - Climate Studio

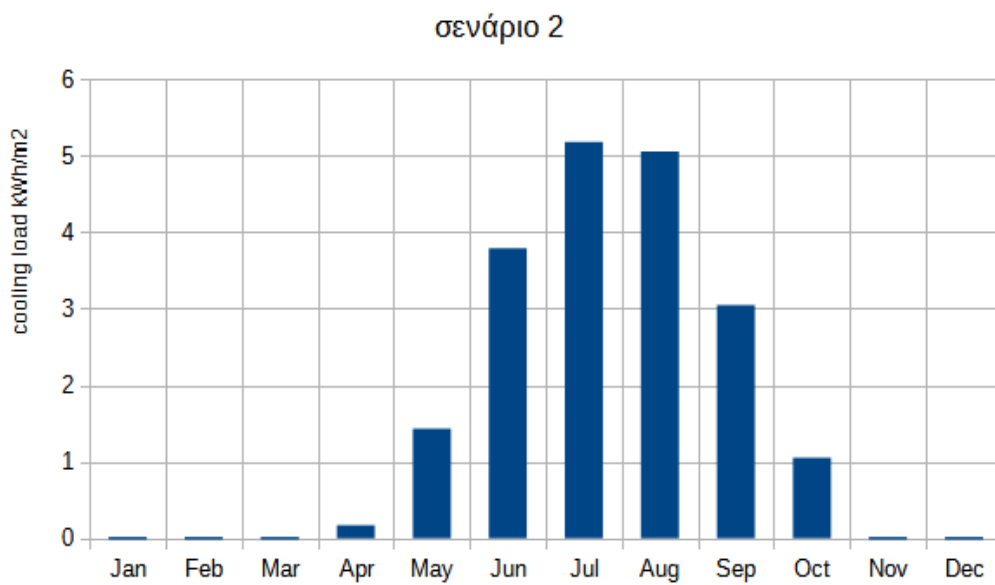
Πίνακας 5.20 Μηνιαίο ψυκτικό φορτίο σενάριο 2 σε kWh και σε kWh / m²

μήνας	Ψυκτικό φορτίο kWh	kWh / m ²
January	0	0
February	0	0
March	0	0
April	13,6	0,17
May	114,56	1,432
June	303,04	3,788
July	414,16	5,177
August	404	5,05
September	243,6	3,045
October	84	1,05
November	0	0
December	0	0
Σύνολο :	1576,96	19,71

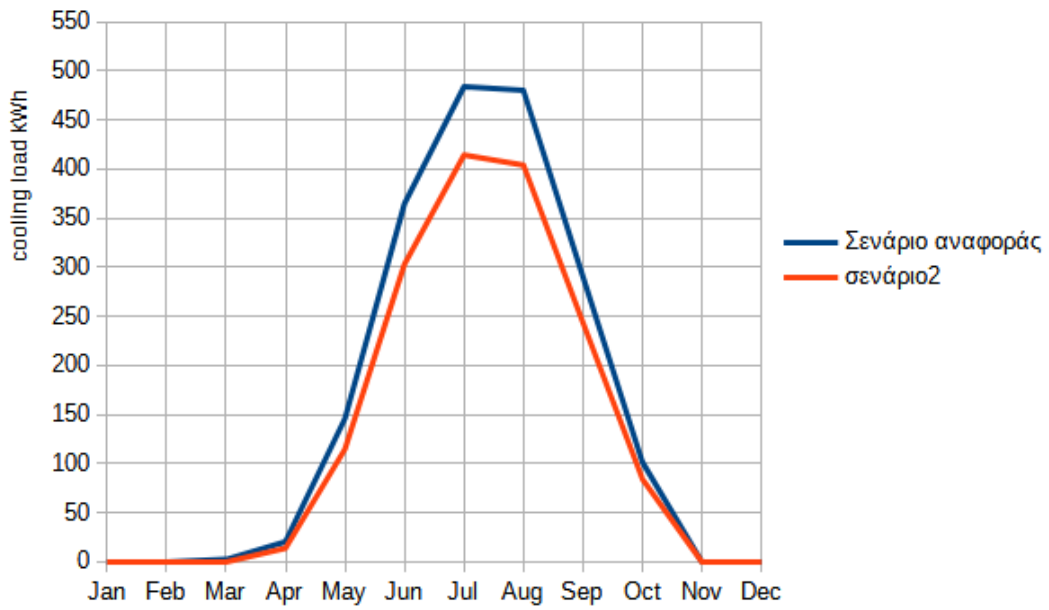
Στον Πίνακα 5.20 αναγράφεται το μηνιαίο ψυκτικό φορτίο για τη θερμική ζώνη, και στις Εικόνες 5.52 & 5.53 τα αντίστοιχα διαγράμματα.



Εικόνα 5.52 Μηνιαίο ψυκτικό φορτίο (kWh / μήνα) σενάριο 2 – Climate Studio

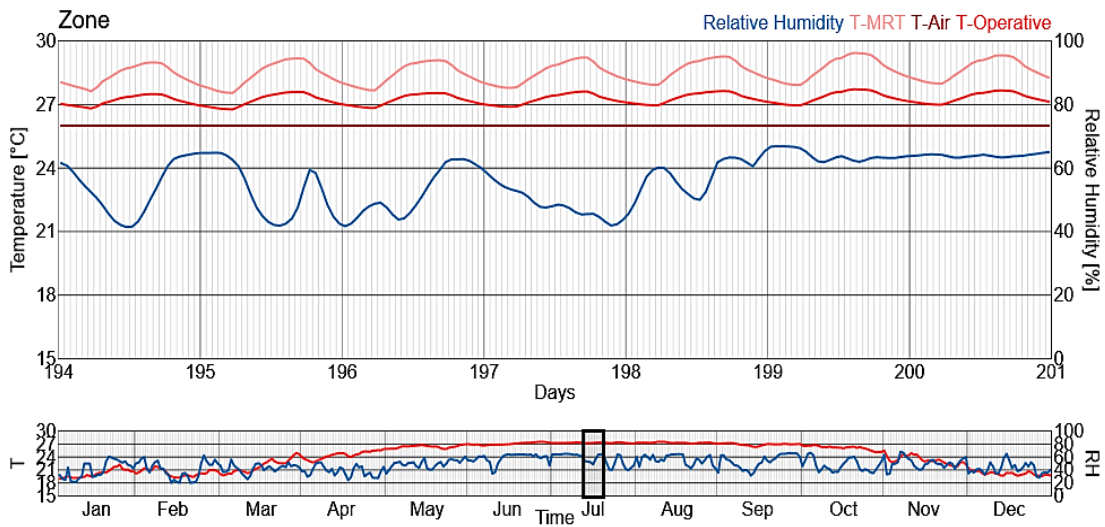


Εικόνα 5.53 Μηνιαίο ψυκτικό φορτίο ανά m² δαπέδου σενάριο 2 – Climate Studio



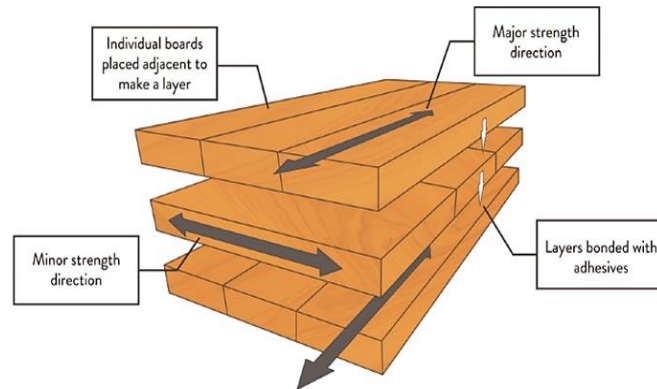
Εικόνα 5.54 Σύγκριση ψυκτικού φορτίου (kWh / μήνα) με σενάριο αναφοράς – Climate Studio

Στην Εικόνα 5.55 φαίνεται η θερμοκρασιακή κατανομή στο εσωτερικό κτιρίου τυπικής εβδομάδας του μήνα με τα μεγαλύτερα ψυκτικά φορτία (Ιούλιος).



Εικόνα 5.55 Θερμοκρασίες ζώνης εβδομάδας Ιουλίου ,σενάριο 2 , Climate Studio

5.5 ΣΕΝΑΡΙΟ 3 – CROSS LAMINATED TIMBER + POLYISO(PIR) INSULATION

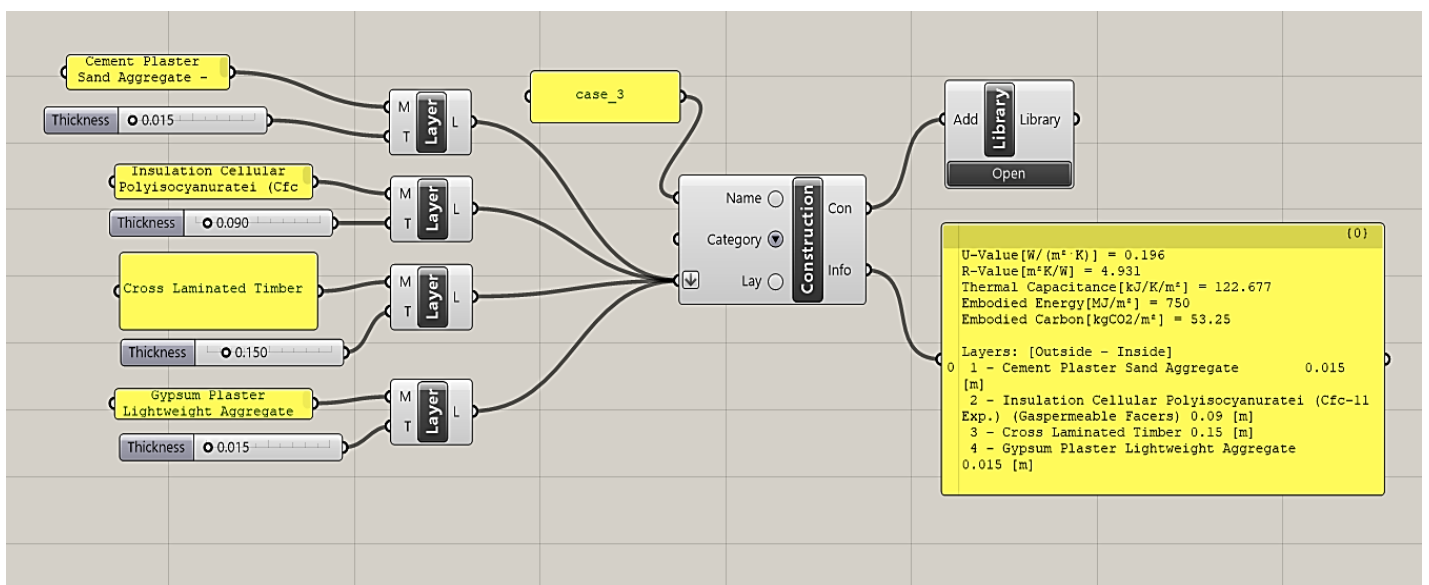


Εικόνα 5.56 Δομή Cross Laminated Timber - σενάριο 3

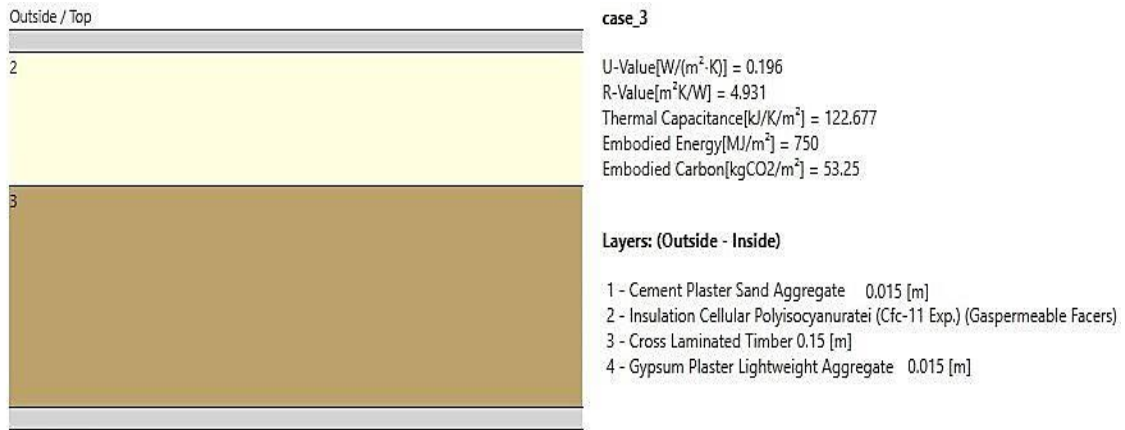
5.5.1 Διαμόρφωση τοίχου – σενάριο 3

Πίνακας 5.21 Διαδοχικές στρώσεις υλικών τοίχου, πάχος και θερμική αγωγιμότητα

facade-wall	τοιχοποιία	thickness (cm)	k (W/mK)
Cement plaster	επίχρισμα	1.5	0.769
Polyiso – PIR insulation	πολυισοκυανουρικός αφρός	9	0.024
Cross Laminated Timber - CLT	ξυλεία CLT	15	0.13
Gypsum plaster	σοβάς με γύψο	1.5	0.179



Εικόνα 5.57 Δημιουργία στρωμάτων υλικών τοιχοποιίας σενάριο 3 – περιβάλλον Grasshopper

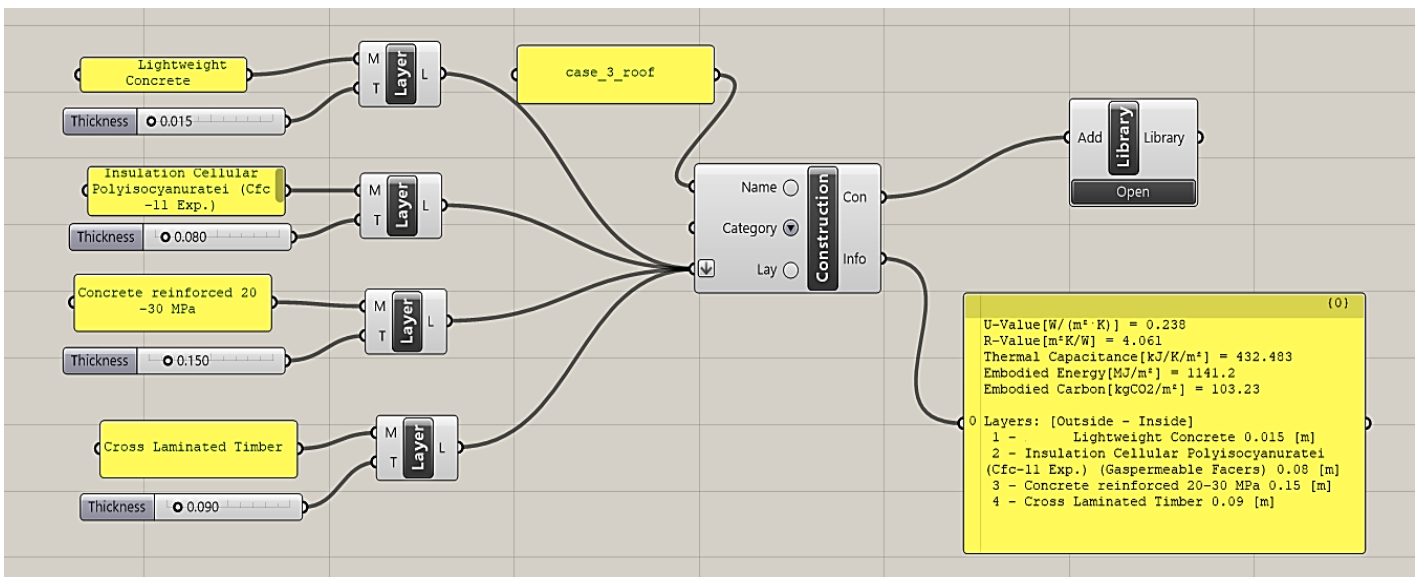


Εικόνα 5.58 Δομή τοιχοποιίας σενάριο 3 – Climate Studio

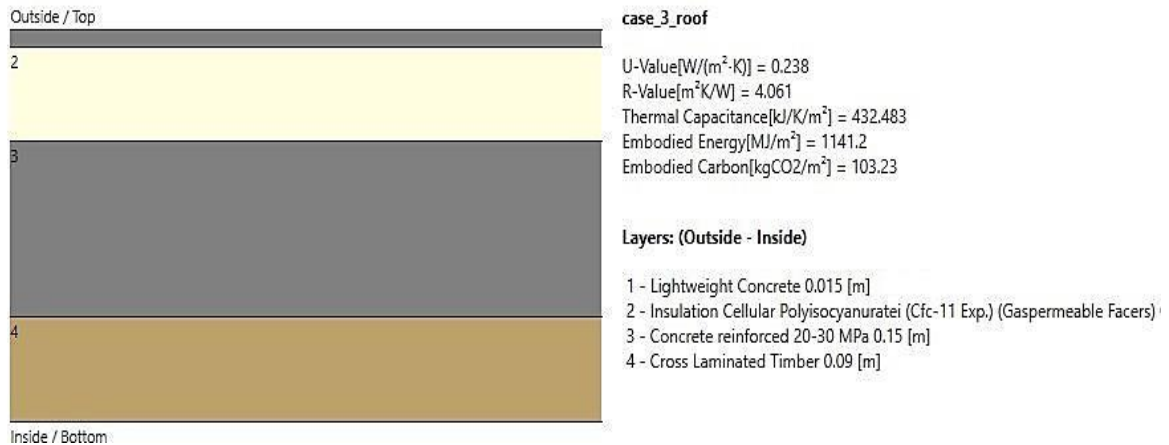
5.5.2. Διαμόρφωση οροφής – σενάριο 3

Πίνακας 5.22 Διαδοχικές στρώσεις υλικών οροφής, πάχος και θερμική αγωγιμότητα

Roof-ceiling	οροφή	thickness (cm)	k (W/mK)
Lightweight concrete	Ελαφρομετόν	1.5	0.53
Polyiso – PIR insulation	Πολυισοκυανουρικός αφρός	8	0.024
Reinforced concrete slab	πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος	15	2
CLT ceiling	Ξυλεία CLT	9	0.13



Εικόνα 5.59 Δημιουργία στρωμάτων υλικών οροφής σενάριο 3 – περιβάλλον Grasshopper

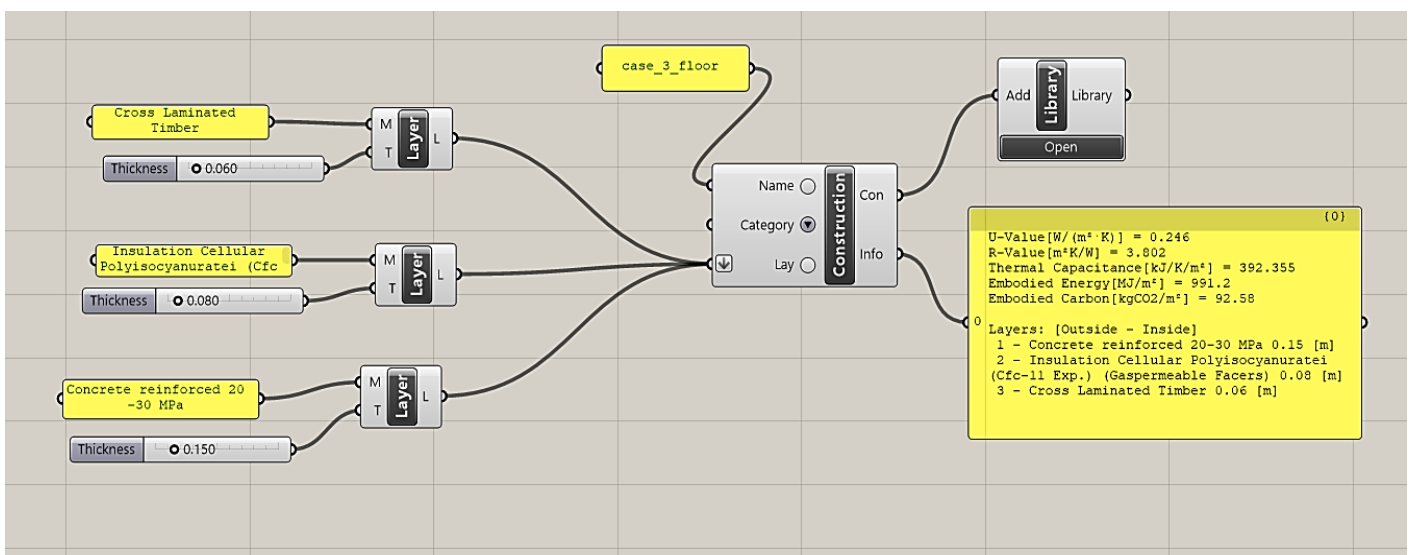


Εικόνα 5.60 Δομή οροφής σενάριο 3 – Climate Studio

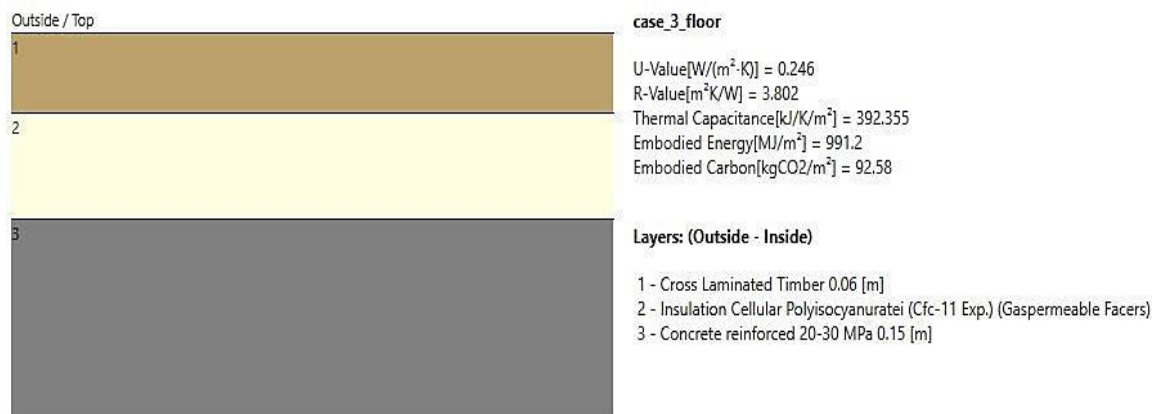
5.5.3. Διαμόρφωση δαπέδου σενάριο 3

Πίνακας 5.23 Διαδοχικές στρώσεις υλικών δαπέδου, πάχος και θερμική αγωγιμότητα

floor	δάπεδο	thickness (cm)	k (W/mK)
Cross laminated timber	Ξυλεία CLT	6	0.13
Polyiso – PIR insulation	Πολυισοκυανουρικός αφρός	8	0.024
Reinforced concrete slab	πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος	15	2



Εικόνα 5.61 Δημιουργία στρωμάτων υλικών δαπέδου σενάριο 3 – περιβάλλον Grasshopper



Εικόνα 5.62 Δομή δαπέδου σενάριο 3 – Climate Studio

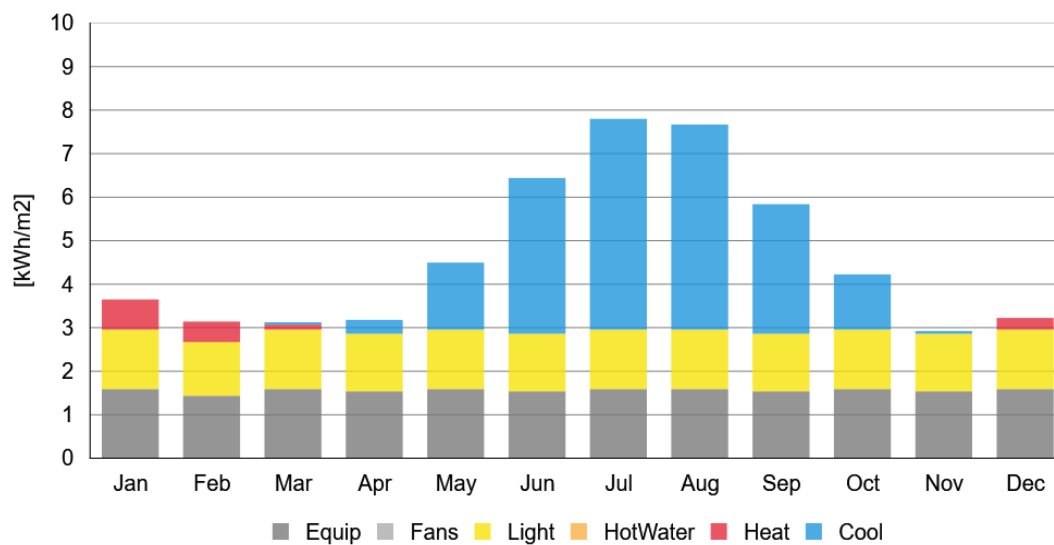
5.5.4. Υαλοπίνακας σεναρίου 3

Πίνακας 5.24 Τύπος και χαρακτηριστικά υαλοπίνακα

Υαλοπίνακας	Είδος	Αέριο	U (W/m ² K)	SHGC	Tvis
Solarban90 – solarban90 – clear glass	Τριπλός	Αργόν	0.66	0.16	0.291

5.5.5. Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου σεναρίου 3

Στην Εικόνα 5.63 φαίνεται το διάγραμμα EUI (Energy Use Intensity) σε kWh / m² ανά μήνα για διάφορες καταναλώσεις της θερμικής ζώνης.



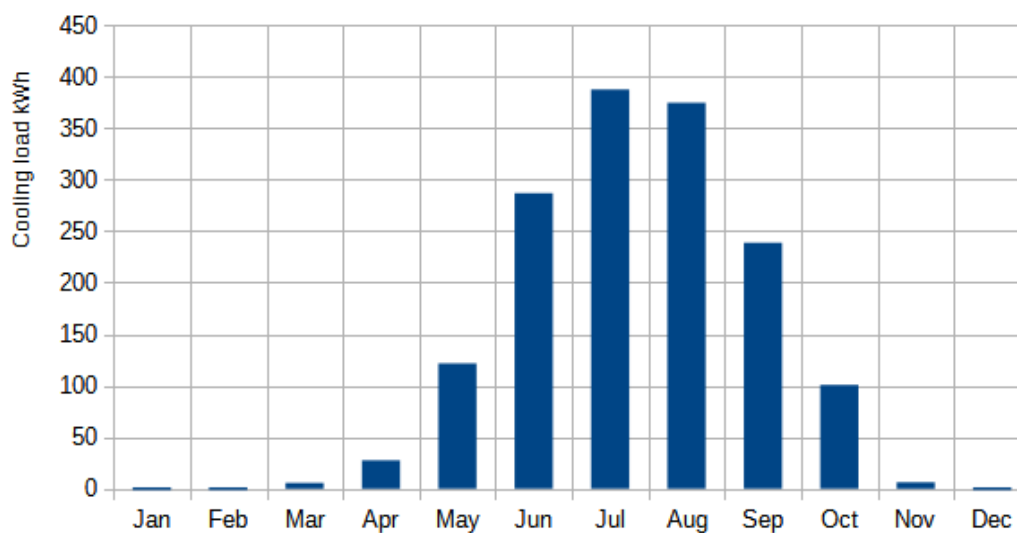
Εικόνα 5.63 Energy Use Intensity (kWh / m² μήνα) σενάριο 3 – Climate Studio

Στον Πίνακα 5.25 αναγράφεται το μηνιαίο ψυκτικό φορτίο για τη θερμική ζώνη, και στις Εικόνες 5.64 & 5.65 τα αντίστοιχα διαγράμματα.

Πίνακας 5.25 Μηνιαίο ψυκτικό φορτίο σενάριο 3 σε kWh και σε kWh / m²

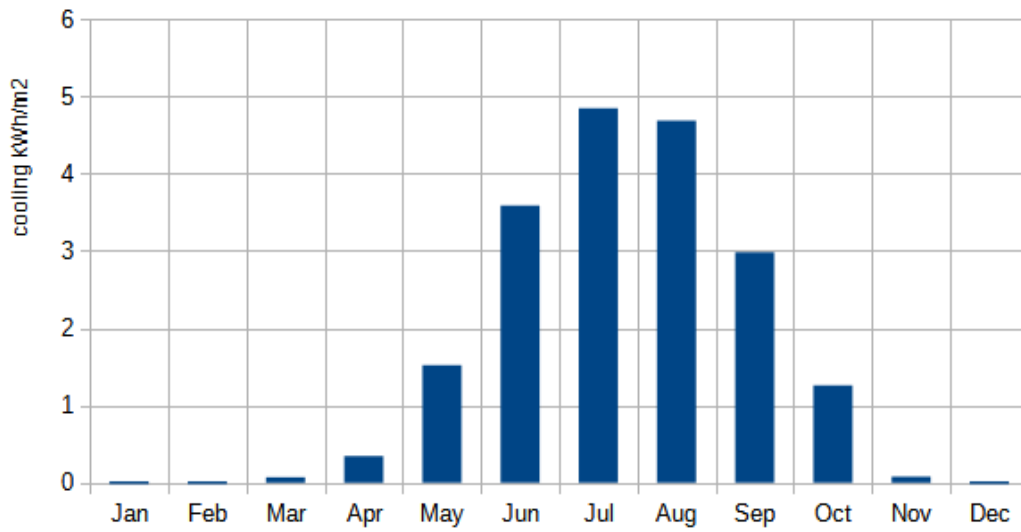
μήνας	Ψυκτικό φορτίο kWh	kWh / m ²
January	0	0
February	0	0
March	5,6	0,07
April	27,52	0,344
May	121,6	1,52
June	286,88	3,586
July	387,52	4,844
August	374,56	4,682
September	238,56	2,982
October	100,8	1,26
November	6,24	0,078
December	0	0
Σύνολο :	1549,28	19,36

σενάριο 3

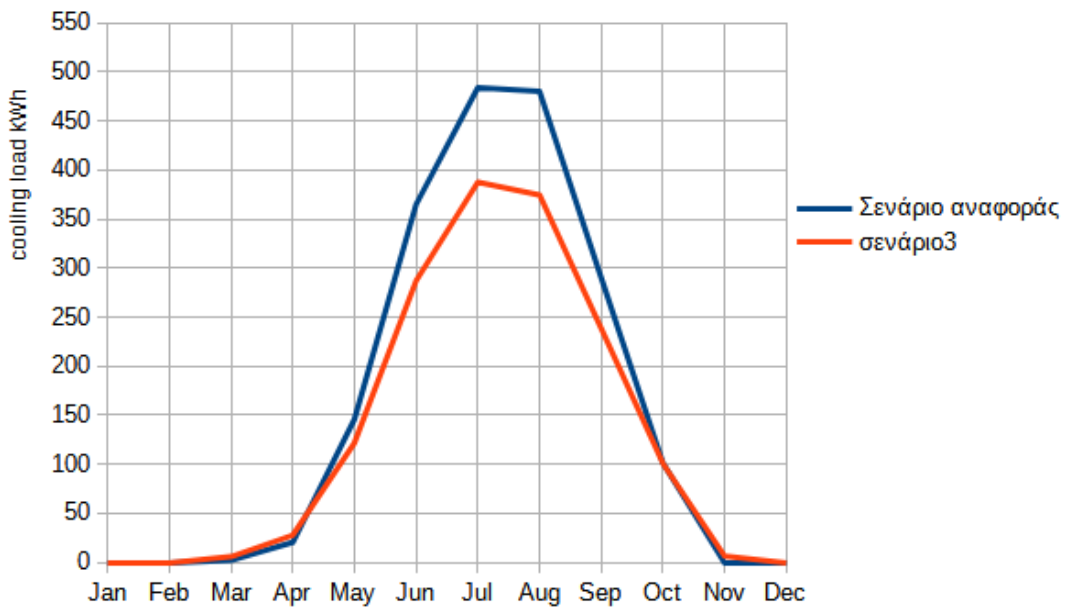


Εικόνα 5.64 Μηνιαίο ψυκτικό φορτίο (kWh / μήνα) σενάριο 3 – Climate Studio

σενάριο 3

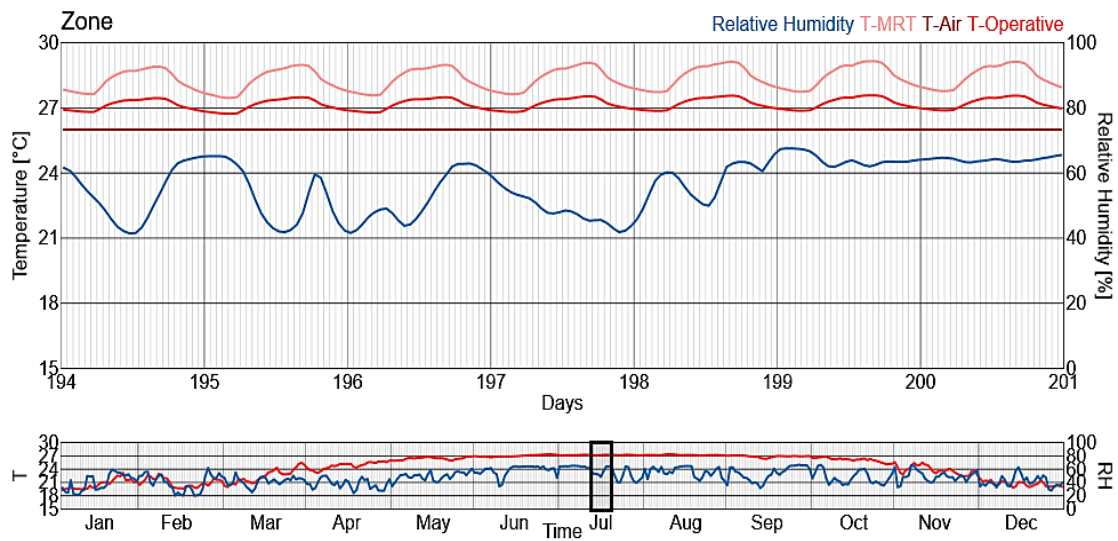


Εικόνα 5.65 Μηνιαίο ψυκτικό φορτίο ανά m² δαπέδου σενάριο 3 – Climate Studio



Εικόνα 5.66 Σύγκριση ψυκτικού φορτίου (kWh / μήνα) με σενάριο αναφοράς – Climate Studio

Στην Εικόνα 5.67 φαίνεται η θερμοκρασιακή κατανομή στο εσωτερικό κτιρίου τυπικής εβδομάδας του μήνα με τα μεγαλύτερα ψυκτικά φορτία (Ιούλιος).



Εικόνα 5.67 Θερμοκρασίες ζώνης εβδομάδας Ιουλίου ,σενάριο 3 , Climate Studio

5.6. ΣΕΝΑΡΙΟ 4 – POROTON BLOCKS + AEROGEL INSULATION

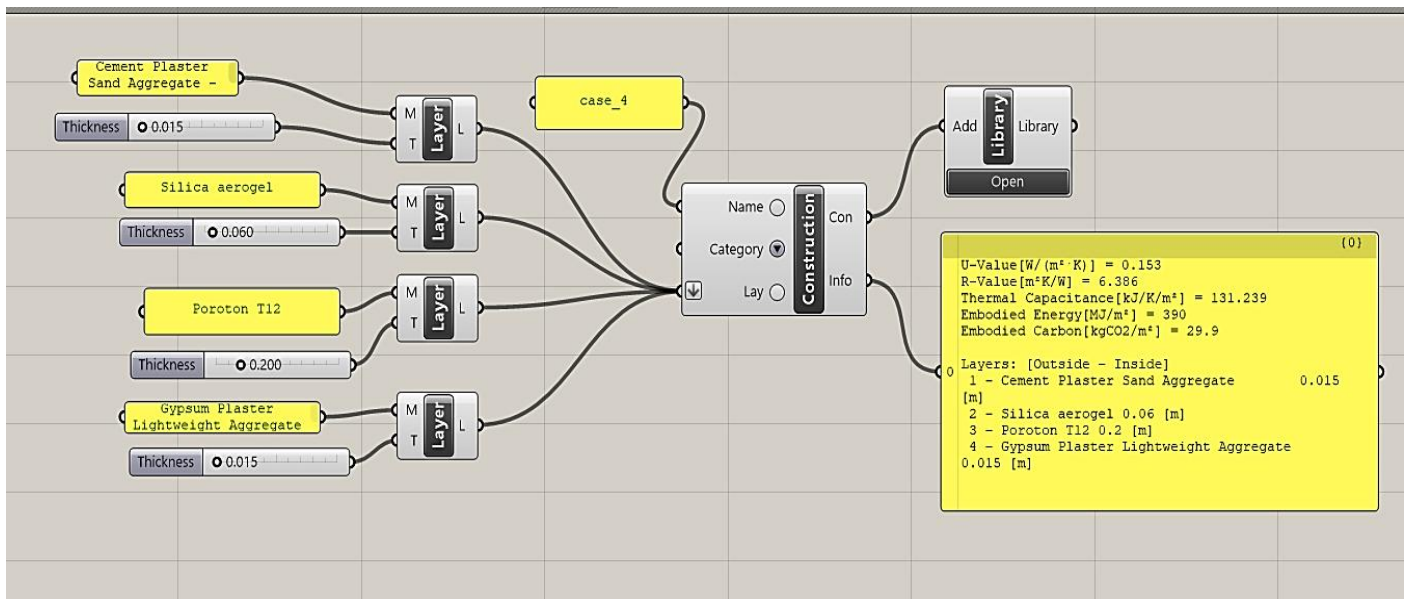


Εικόνα 5.68 Θερμομονωτικά τούβλα Poroton ορθομπλοκ - σενάριο 4

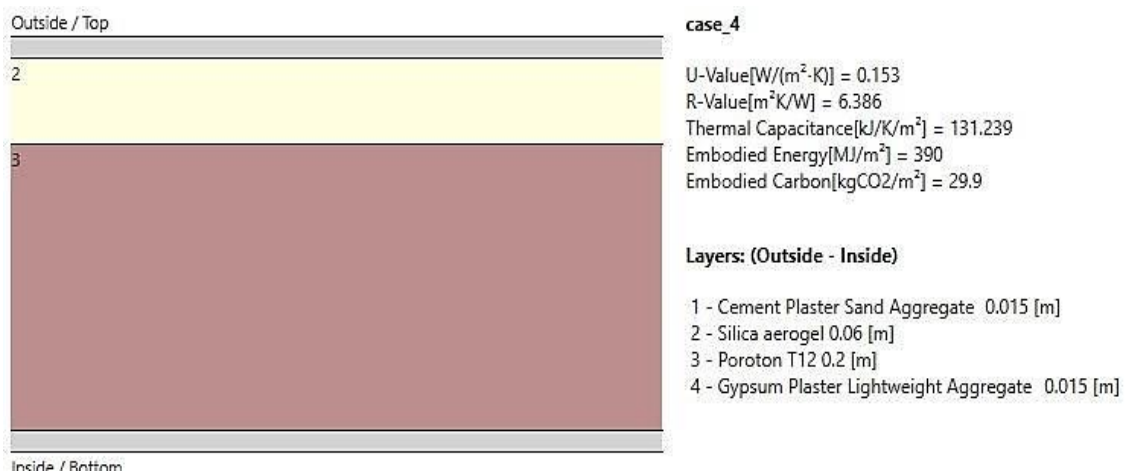
5.6.1. Διαμόρφωση τοίχου σενάριο 4

Πίνακας 5.26 Διαδοχικές στρώσεις υλικών τοίχου, πάχος και θερμική αγωγιμότητα

facade-wall	τοιχοποιία	thickness (cm)	k (W/mK)
Cement plaster	επίχρισμα	1.5	0.769
Silica Aerogel	αεροτζελ	6	0.013
Poroton T12 blocks	τούβλα ορθομπλοκ	20	0.12
Gypsum plaster	σοβάς με γύψο	1.5	0.179



Εικόνα 5.69 Δημιουργία στρωμάτων υλικών τοιχοποιίας σενάριο 4 – περιβάλλον Grasshopper

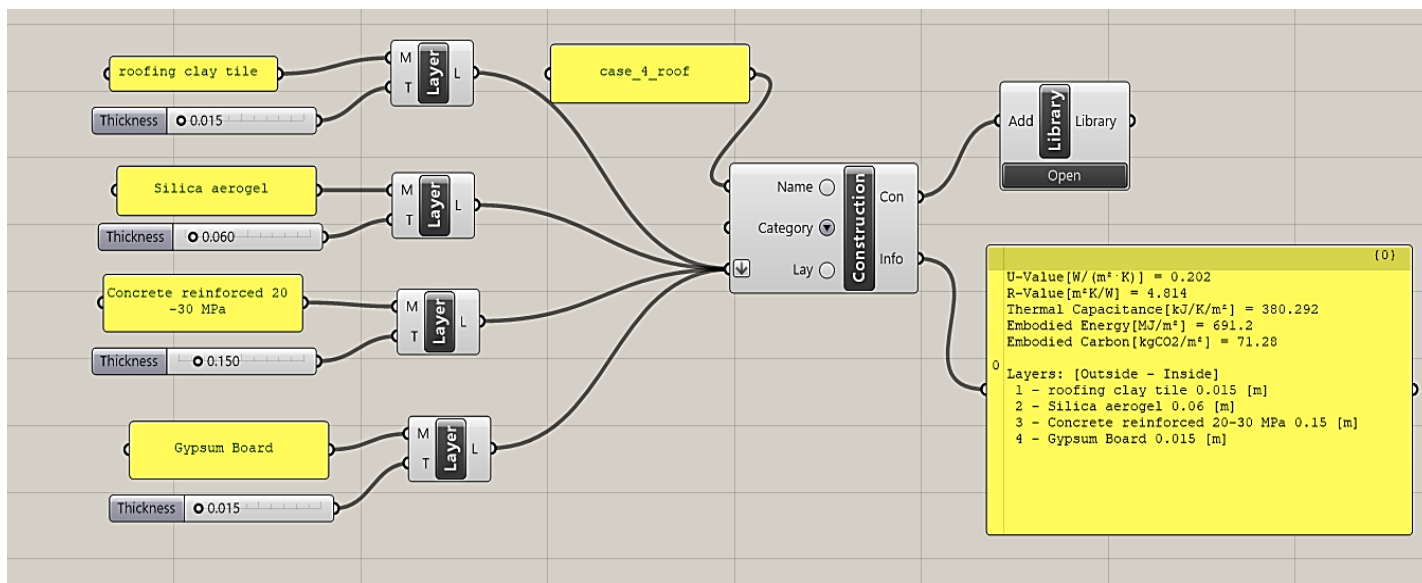


Εικόνα 5.70 Δομή τοιχοποιίας σενάριο 4 – Climate Studio

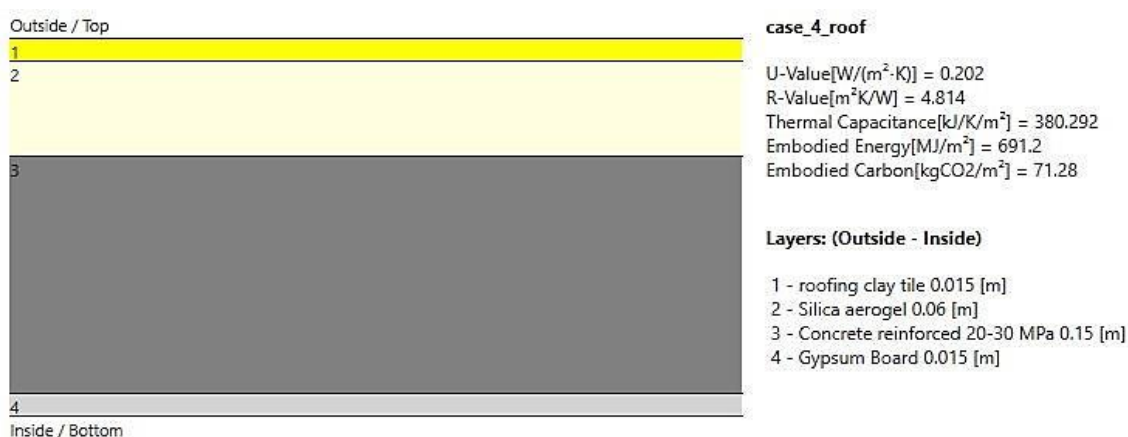
5.6.2. Διαμόρφωση οροφής σεναρίου 4

Πίνακας 5.27 Διαδοχικές στρώσεις υλικών οροφής, πάχος και θερμική αγωγιμότητα

Roof-ceiling	οροφή	thickness (cm)	k (W/mK)
Clay tiles roof	Κεραμίδι αργιλικό	1.5	0.5
Silica aerogel	αεροτζελ	6	0.013
Reinforced concrete slab	πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος	15	2
Gypsum board	γυψοσανίδα	1.5	0.16



Εικόνα 5.71 Δημιουργία στρωμάτων υλικών οροφής σενάριο 4 – περιβάλλον Grasshopper

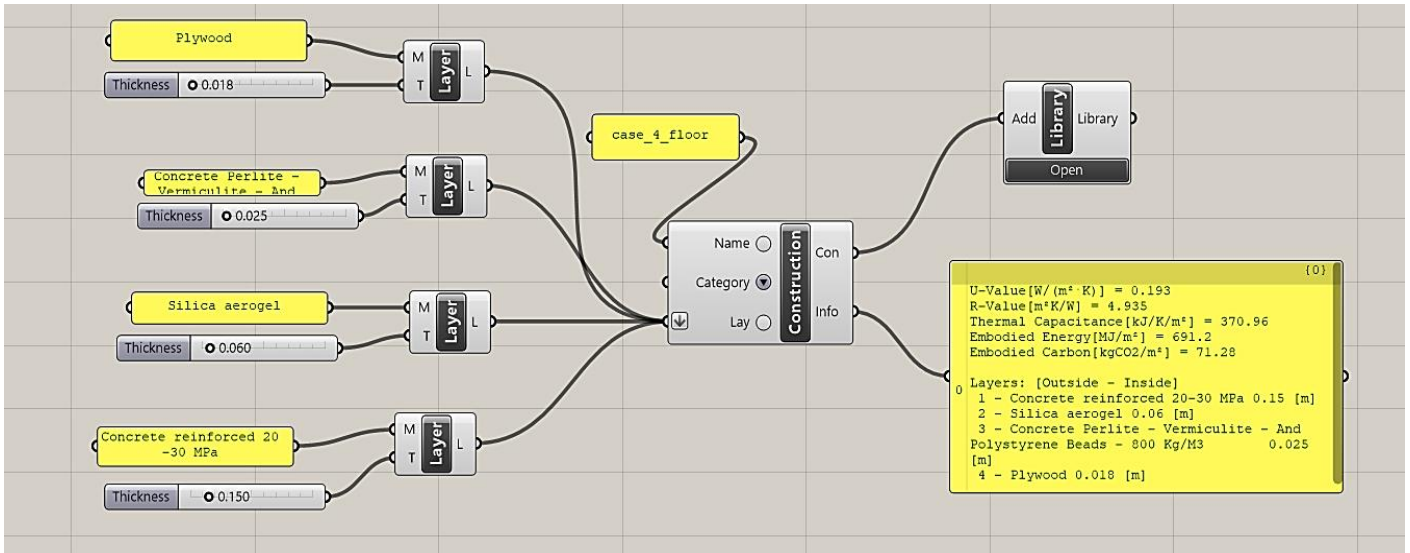


Εικόνα 5.72 Δομή οροφής σενάριο 4 – Climate Studio

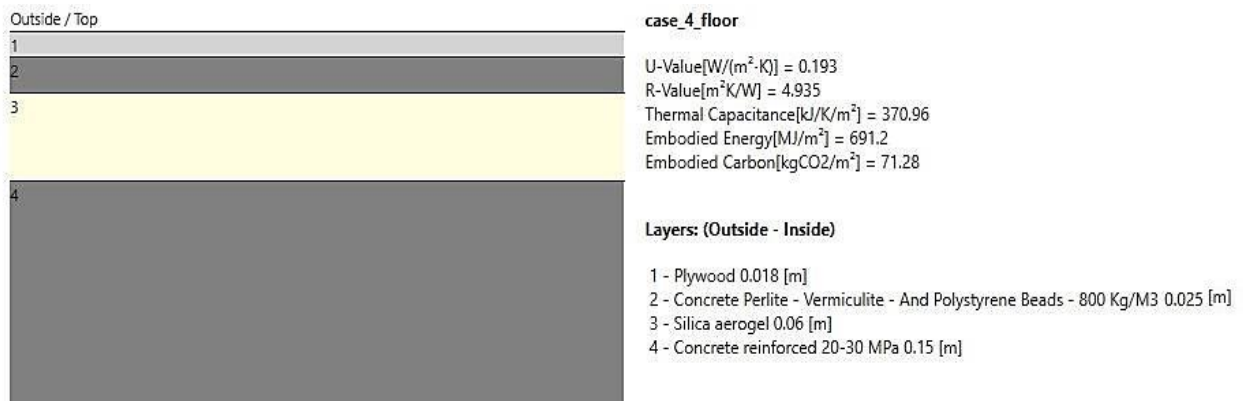
5.6.3. Διαμόρφωση δαπέδου σεναρίου 4

Πίνακας 5.28 Διαδοχικές στρώσεις υλικών δαπέδου, πάχος και θερμική αγωγιμότητα

floor	δάπεδο	thickness (cm)	k (W/mK)
Plywood	ξύλο κόντρα-πλακέ	1.8	0.12
Perlite concrete screed	περλομπετον δαπέδου	2.5	0.265
Silica aerogel	αεροτζελ	6	0.013
Reinforced concrete slab	πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος	15	2



Εικόνα 5.73 Δημιουργία στρωμάτων υλικών δαπέδου σεναρίου 4 – περιβάλλον Grasshopper



Εικόνα 5.74 Δομή δαπέδου σεναρίου 4 – Climate Studio

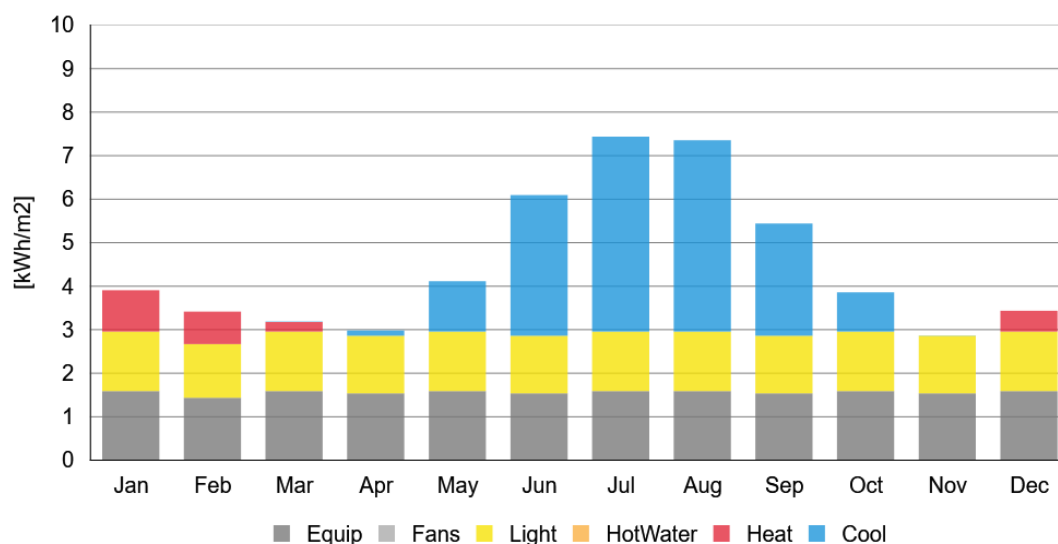
5.6.4. Γαλοπίνακας σεναρίου 4

Πίνακας 5.29 Τύπος και χαρακτηριστικά υαλοπίνακα

Γαλοπίνακας	Είδος	Αέριο	U (W/m ² K)	SHGC	Tvis
Solarcool on Pacifica – sungate400	Διπλός	Κρύπτον	1.44	0.144	0.137

5.6.5. Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου σεναρίου 4

Στην Εικόνα 5.75 φαίνεται το διάγραμμα EUI (Energy Use Intensity) σε kWh / m² ανά μήνα για διάφορες καταναλώσεις της θερμικής ζώνης.



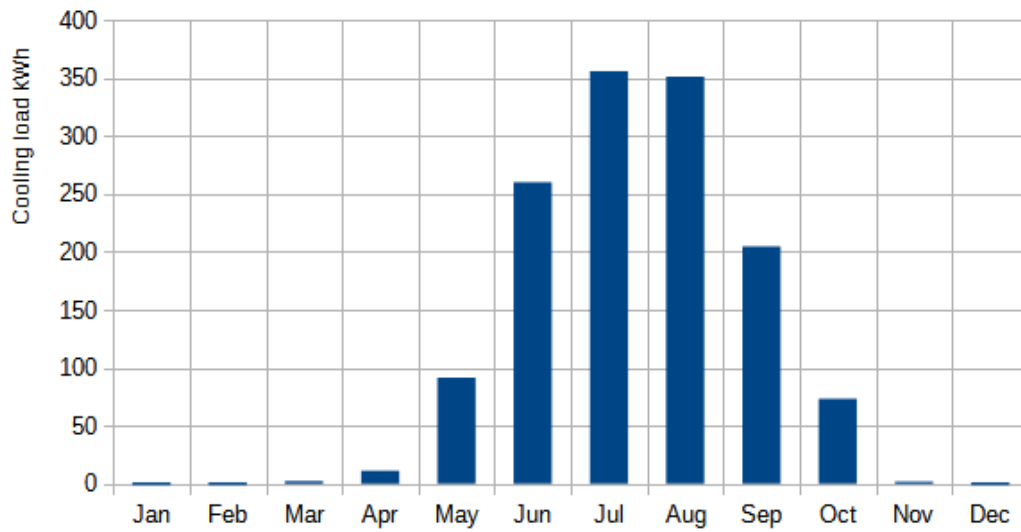
Εικόνα 5.75 Energy Use Intensity (kWh / m² μήνα) σενάριο 4 – Climate Studio

Στον Πίνακα 5.30 αναγράφεται το μηνιαίο ψυκτικό φορτίο για τη θερμική ζώνη, και στις Εικόνες 5.76 & 5.77 τα αντίστοιχα διαγράμματα.

Πίνακας 5.30 Μηνιαίο ψυκτικό φορτίο σενάριο 4 σε kWh και σε kWh / m²

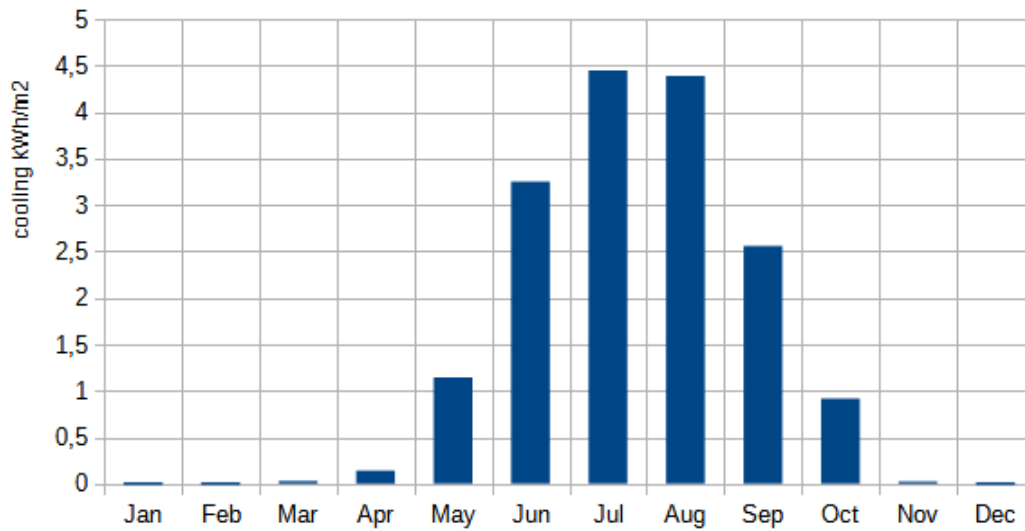
μήνας	Ψυκτικό φορτίο kWh	kWh / m ²
January	0	0
February	0	0
March	2,24	0,028
April	11,2	0,14
May	91,6	1,145
June	260	3,25
July	355,68	4,446
August	351,2	4,39
September	204,64	2,558
October	73,44	0,918
November	1,84	0,023
December	0	0
Σύνολο :	1351,84	16,898

σενάριο 4

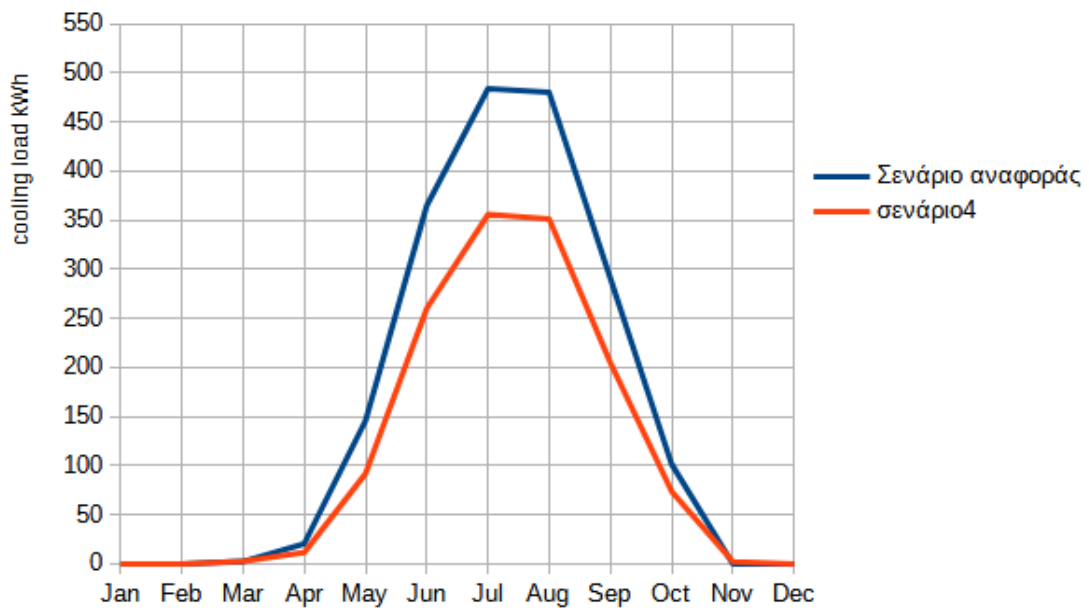


Εικόνα 5.76 Μηνιαίο ψυκτικό φορτίο (kWh / μήνα) σενάριο 4 – Climate Studio

σενάριο 4

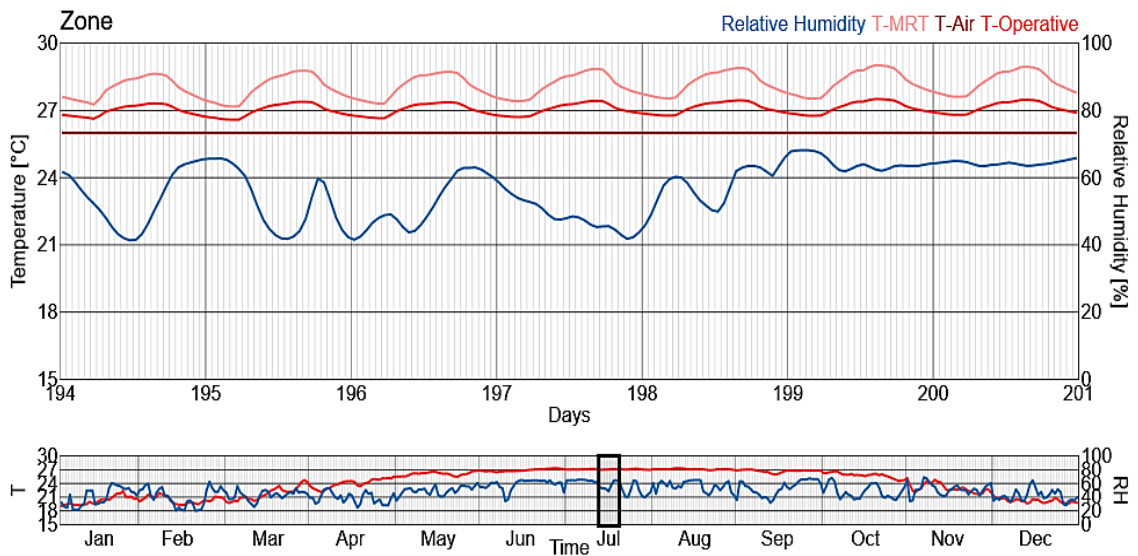


Εικόνα 5.77 Μηνιαίο ψυκτικό φορτίο ανά m² δαπέδου σενάριο 4 – Climate Studio



Εικόνα 5.78 Σύγκριση ψυκτικού φορτίου (kWh / μήνα) με σενάριο αναφοράς – Climate Studio

Στην Εικόνα 5.79 φαίνεται η θερμοκρασιακή κατανομή στο εσωτερικό κτιρίου τυπικής εβδομάδας του μήνα με τα μεγαλύτερα ψυκτικά φορτία (Ιούλιος).



Εικόνα 5.79 Θερμοκρασίες ζώνης εβδομάδας Ιουλίου, σενάριο 4, Climate Studio

5.7. ΣΕΝΑΡΙΟ 5 – AAC BLOCKS (ΤΟΥΒΛΑ ΠΟΡΟΜΠΕΤΟΝ) + VIP'S INSULATION

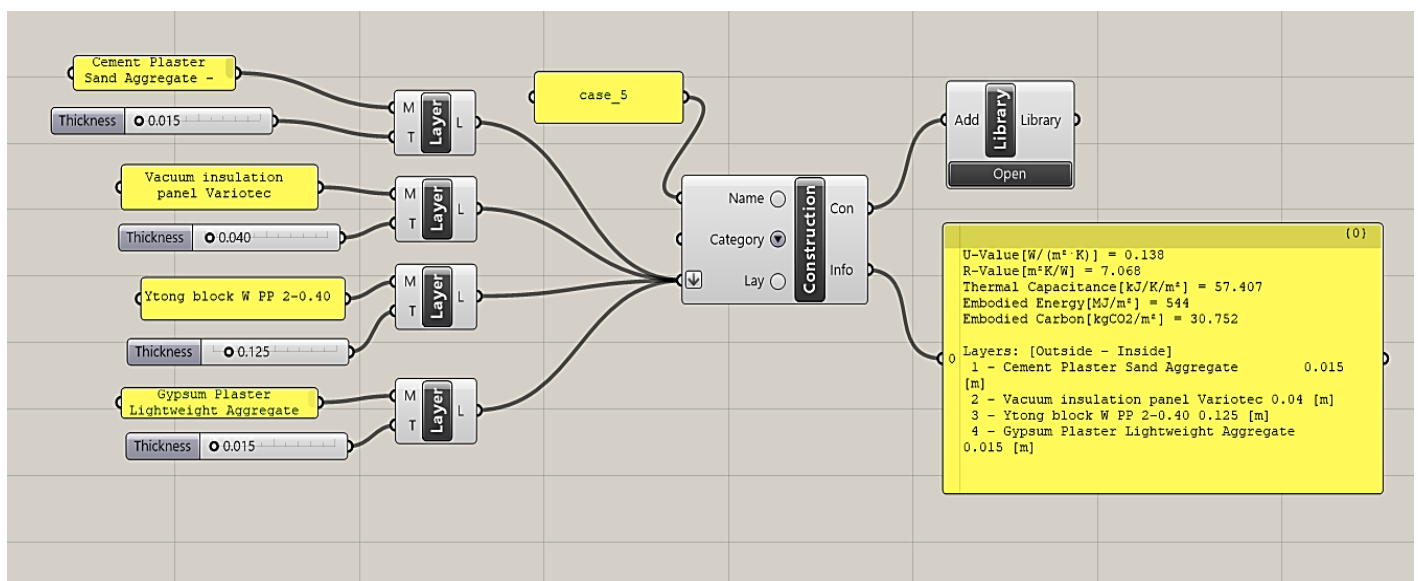


Εικόνα 5.80 Δομή AAC blocks - σενάριο 5

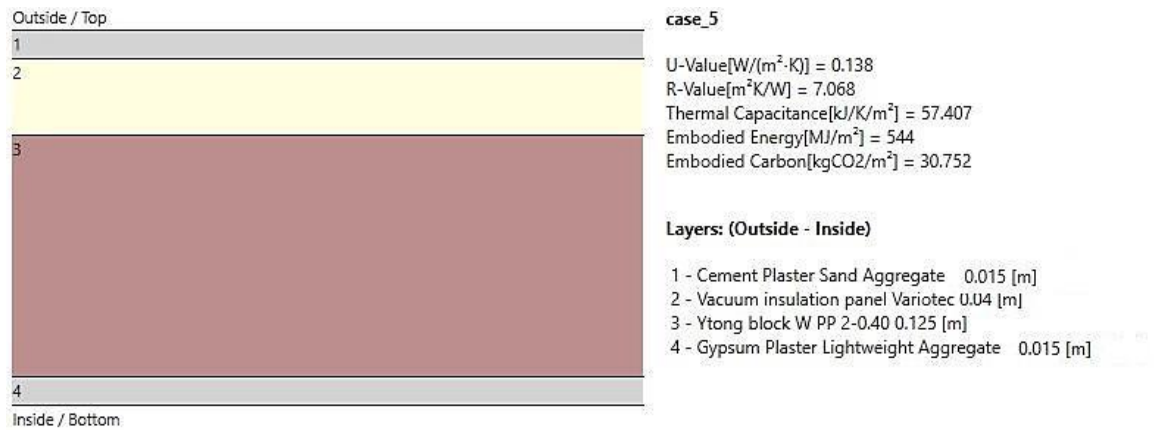
5.7.1. Διαμόρφωση τοίχου σεναρίου 5

Πίνακας 5.31 Διαδοχικές στρώσεις υλικών τοίχου, πάχος και θερμική αγωγιμότητα

facade-wall	τοιχοποιία	thickness (cm)	k (W/mK)
Cement plaster	επίχρισμα	1.5	0.769
Vacuum insulation (VIP's)	Μονωτικά πάνελ κενού	4	0.007
AAC blocks	τούβλα AAC - πορομπετόν	12.5	0.1
Gypsum plaster	σοβάς με γύψο	1.5	0.179



Εικόνα 5.81 Δημιουργία στρωμάτων υλικών τοιχοποιίας σενάριο 5 – περιβάλλον Grasshopper

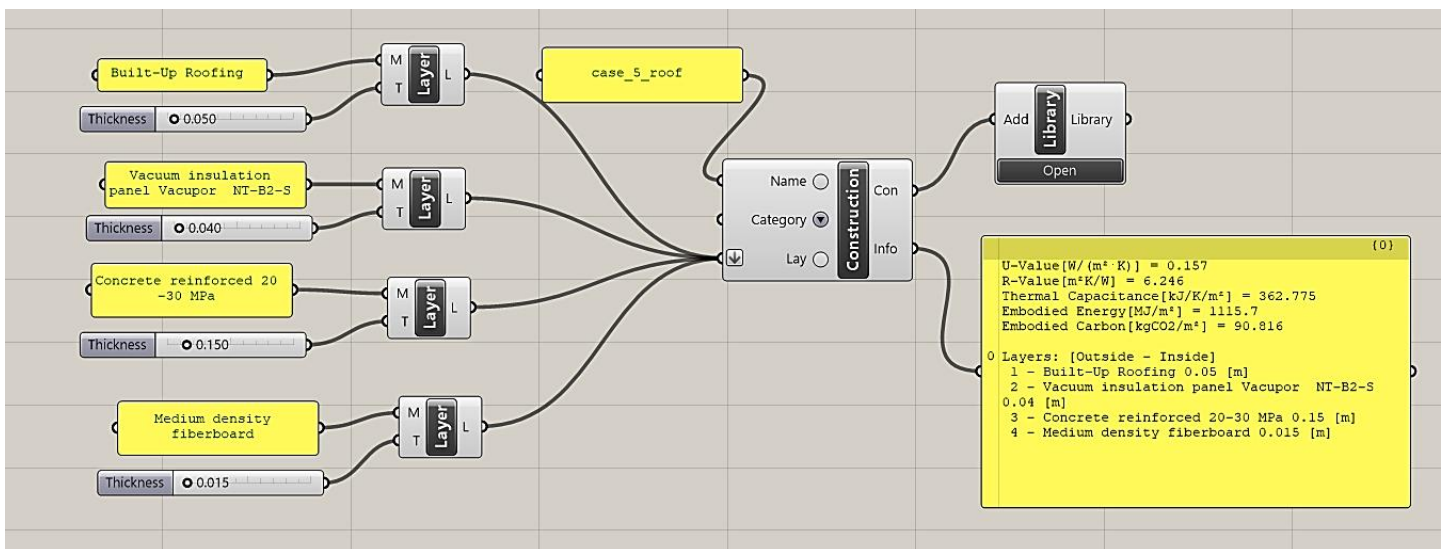


Εικόνα 5.82 Δομή τοιχοποιίας σενάριο 5 – Climate Studio

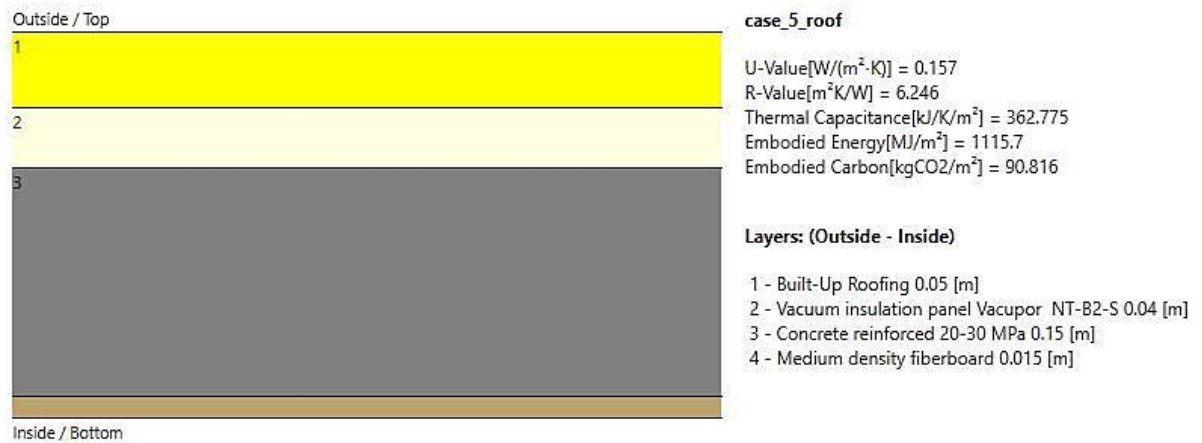
5.7.2. Διαμόρφωση οροφής σεναρίου 5

Πίνακας 5.32 Διαδοχικές στρώσεις υλικών οροφής , πάχος και θερμική αγωγιμότητα

Roof-ceiling	οροφή	thickness (cm)	k (W/mK)
Built-up roofing	επικάλυψη ασφαλτικών φύλλων με ξύλο	5	0.172
Vacuum insulation (VIP's)	Μονωτικά πάνελ κενού	4	0.007
Reinforced concrete slab	πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος	15	2
Medium Density Fiberboard (MDF panel)	ινοσανίδα ξυλου MDF	1.5	0.09



Εικόνα 5.83 Δημιουργία στρωμάτων υλικών οροφής σενάριο 5 – περιβάλλον Grasshopper

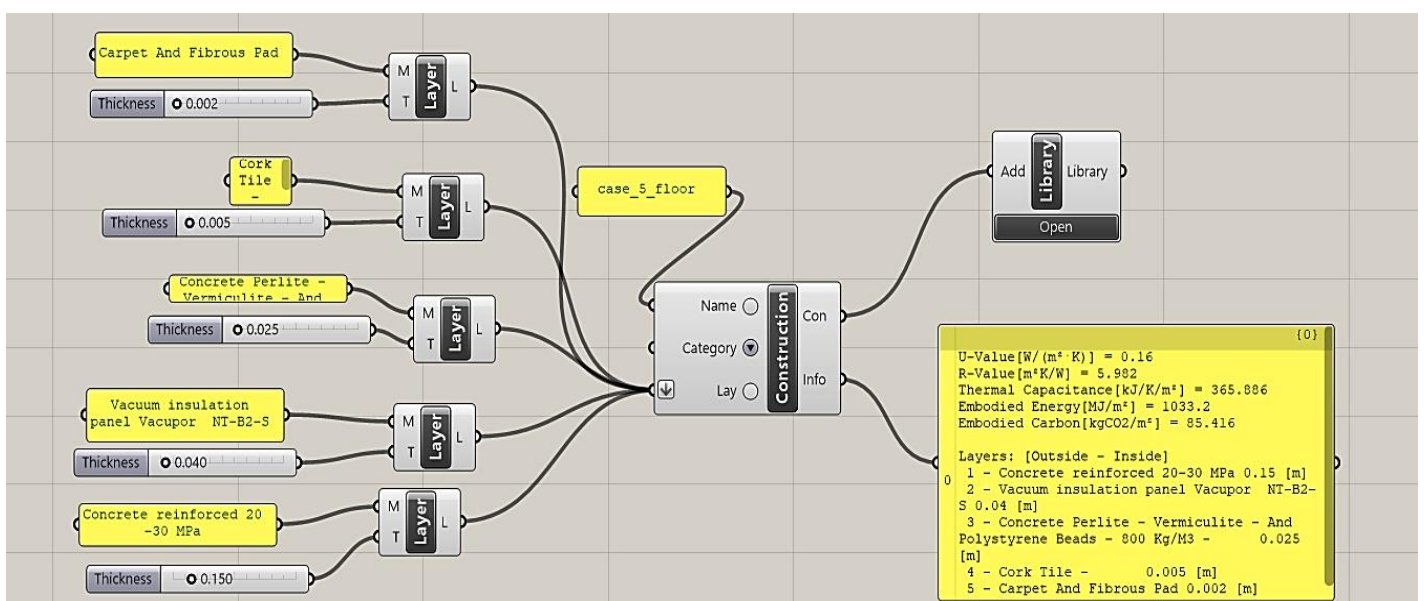


Εικόνα 5.84 Δομή οροφής σενάριο 5 – Climate Studio

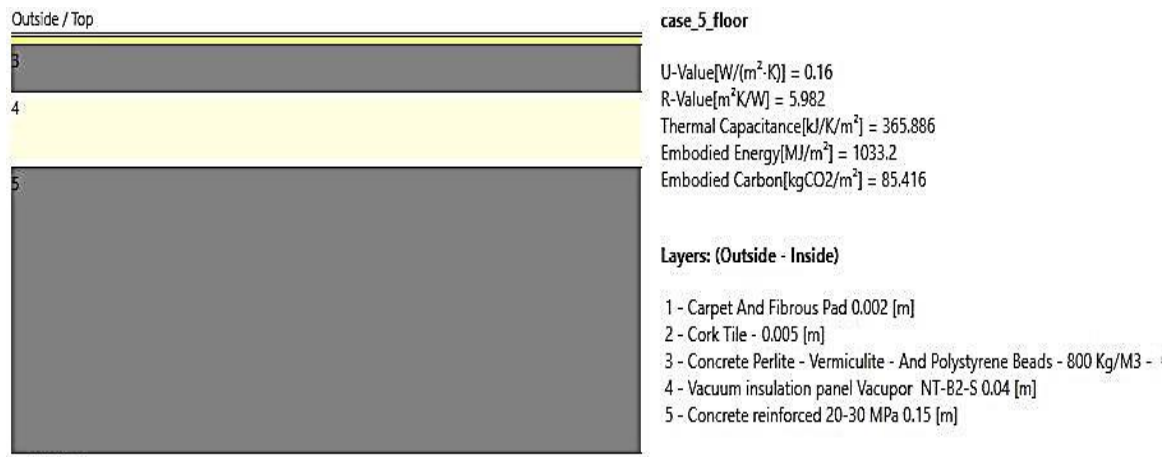
5.7.3. Διαμόρφωση δαπέδου σεναρίου 5

Πίνακας 5.33 Διαδοχικές στρώσεις υλικών δαπέδου , πάχος και θερμική αγωγιμότητα

floor	δάπεδο	thickness (cm)	k (W/mK)
Carpeting wall-to-wall-floor	μόνιμη επικάλυψη τύπου μοκέτας	0.2	0.027
Cork tile	πλακίδια φελλού	0.5	0.204
Perlite concrete screed	περλομπετον δαπέδου	2.5	0.265
Vacuum insulation (VIP's)	Μονωτικά πάνελ κενού	4	0.007
Reinforced concrete slab	πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος	15	2



Εικόνα 5.85 Δημιουργία στρωμάτων υλικών δαπέδου σενάριο 5 – περιβάλλον Grasshopper



Εικόνα 5.86 Δομή δαπέδου σενάριο 5 – Climate Studio

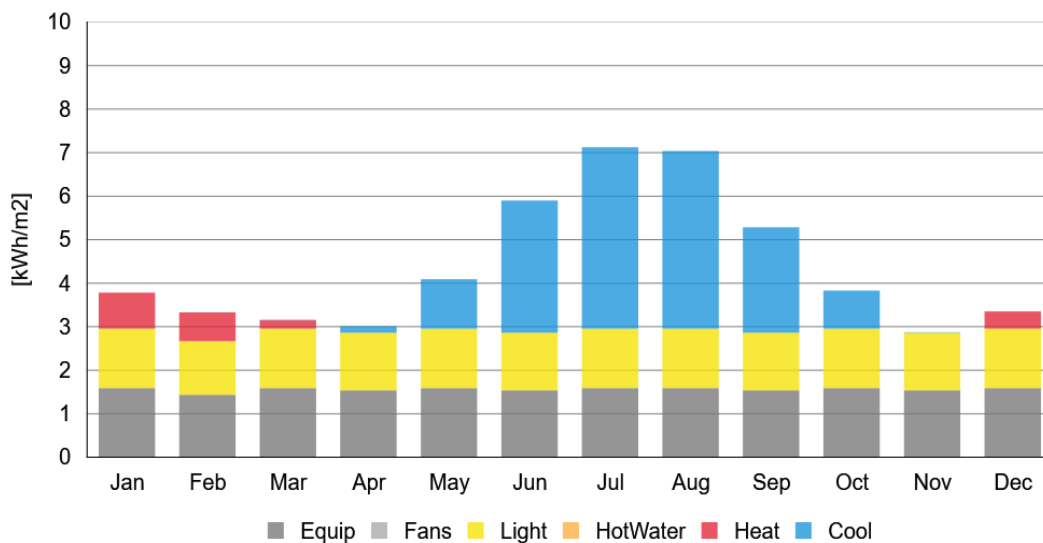
5.7.4. Υαλοπίνακας σεναρίου 5

Πίνακας 5.34 Τύπος και χαρακτηριστικά υαλοπίνακα

Υαλοπίνακας	Είδος	Αέριο	U (W/m ² K)	SHGC	Tvis
Graylite – solarban 60	Διπλός	Κρύπτον	1.26	0.106	0.071

5.7.5. Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου σεναρίου 5

Στην Εικόνα 5.87 φαίνεται το διάγραμμα EUI (Energy Use Intensity) σε kWh / m² ανά μήνα για διάφορες καταναλώσεις της θερμικής ζώνης.

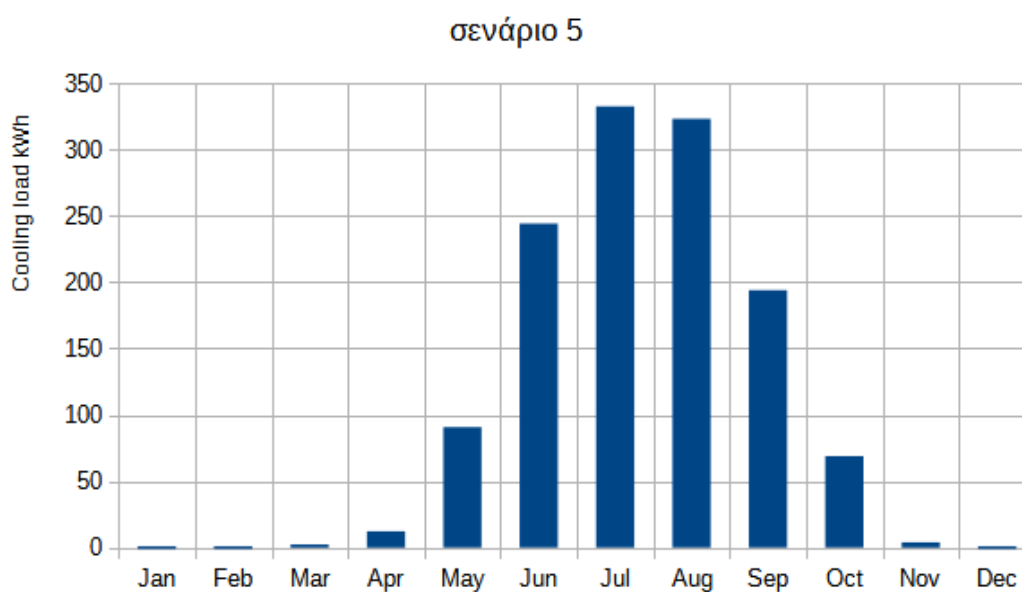


Εικόνα 5.87 Energy Use Intensity (kWh / m² μήνα) σενάριο 5 – Climate Studio

Στον Πίνακα 5.35 αναγράφεται το μηνιαίο ψυκτικό φορτίο για τη θερμική ζώνη, και στις Εικόνες 5.88 & 5.89 τα αντίστοιχα διαγράμματα.

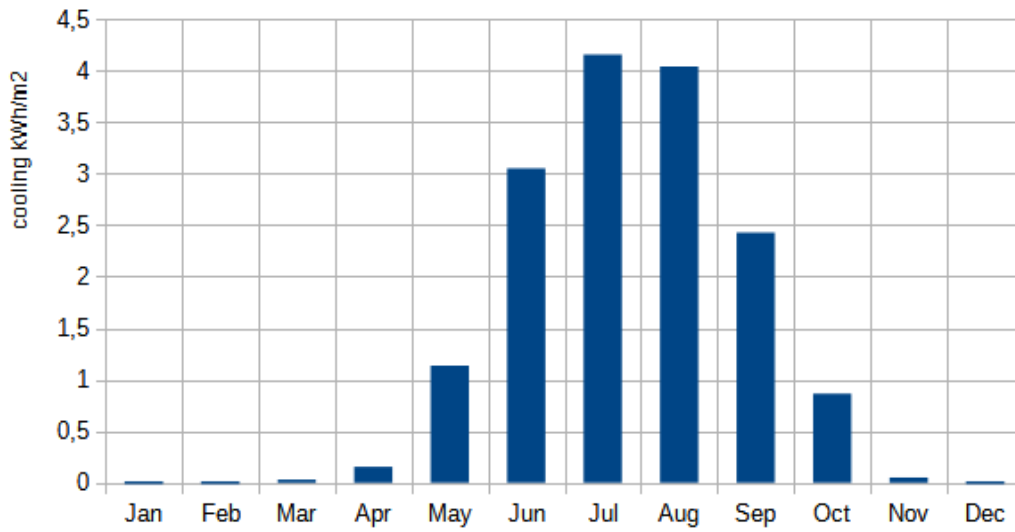
Πίνακας 5.35 Μηνιαίο ψυκτικό φορτίο σενάριο 5 σε kWh και σε kWh / m²

μήνας	Ψυκτικό φορτίο kWh	kWh / m ²
January	0	0
February	0	0
March	2,4	0,03
April	12,32	0,154
May	90,8	1,135
June	244,16	3,052
July	332,48	4,156
August	323,04	4,038
September	194,08	2,426
October	69,12	0,864
November	4	0,05
December	0	0
Σύνολο :	1272,4	15,905

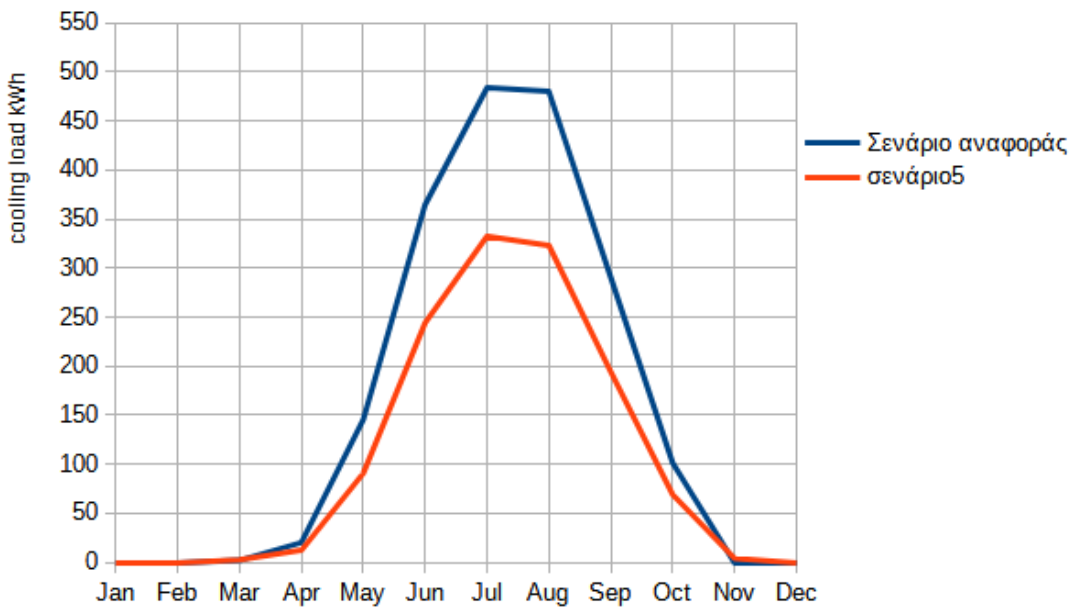


Εικόνα 5.88 Μηνιαίο ψυκτικό φορτίο (kWh / μήνα) σενάριο 5 – Climate Studio

σενάριο 5

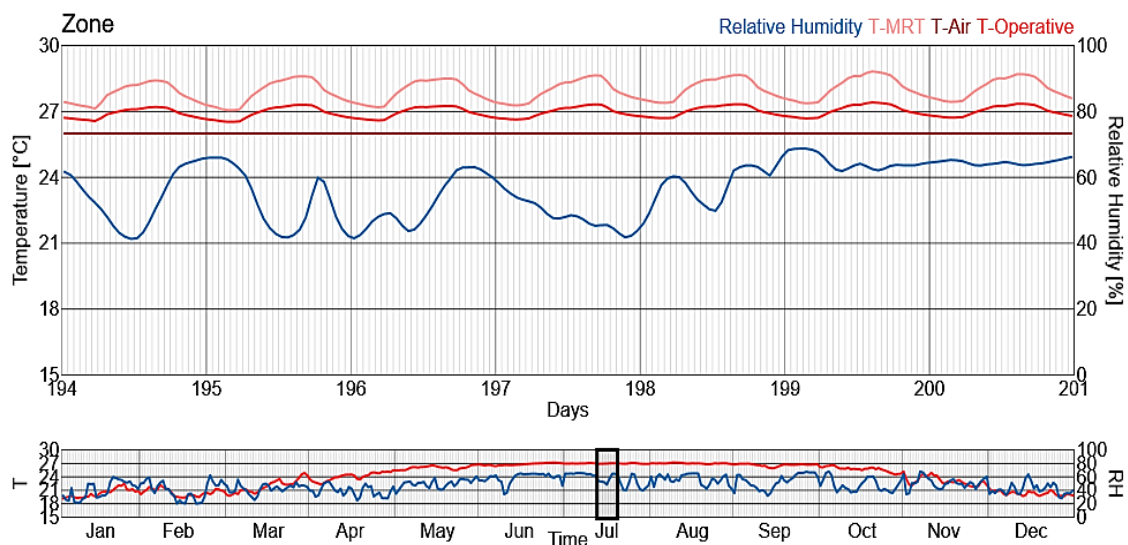


Εικόνα 5.89 Μηνιαίο ψυκτικό φορτίο ανά m² δαπέδου σενάριο 5 – Climate Studio



Εικόνα 5.90 Σύγκριση ψυκτικού φορτίου (kWh / μήνα) με σενάριο αναφοράς – Climate Studio

Στην Εικόνα 5.91 φαίνεται η θερμοκρασιακή κατανομή στο εσωτερικό κτιρίου τυπικής εβδομάδας του μήνα με τα μεγαλύτερα ψυκτικά φορτία (Ιούλιος).



Εικόνα 5.91 Θερμοκρασίες ζώνης εβδομάδας Ιουλίου ,σενάριο 5 , Climate Studio

5.8 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΨΥΚΤΙΚΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ

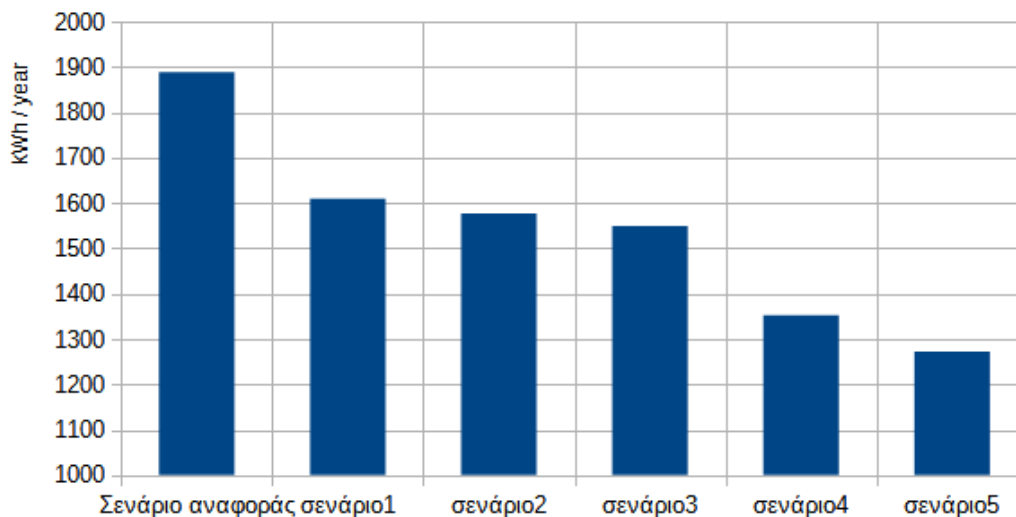
Στον Πίνακα 5.36 παρουσιάζονται τα ψυκτικά φορτία ανά επιφάνεια δαπέδου (kWh / m²) όπως προέκυψαν για κάθε σενάριο, και η σύγκριση στην ενεργειακή εξοικονόμηση με βάση την αρχική περίπτωση αναφοράς.

Πίνακας 5.36 Σύγκριση ψυκτικών φορτίων (kWh / m²) μεταξύ σεναρίων μελέτης

μήνας	Σενάριο αναφοράς	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3	Σενάριο 4	Σενάριο 5
Jan	0	0	0	0	0	0
Feb	0	0	0	0	0	0
Mar	0,025	0	0	0,07	0,028	0,03
Apr	0,252	0,113	0,17	0,344	0,14	0,154
May	1,82	1,295	1,432	1,52	1,145	1,135
June	4,56	3,933	3,788	3,586	3,25	3,052
July	6,05	5,432	5,177	4,844	4,446	4,156
Aug	6	5,385	5,05	4,682	4,39	4,038
Sep	3,628	3,095	3,045	2,982	2,558	2,426
Oct	1,265	0,867	1,05	1,26	0,918	0,864
Nov	0	0	0	0,078	0,023	0,05
Dec	0	0	0	0	0	0
Σύνολο:	23,6	20,12	19,71	19,36	16,89	15,905
Εξοικονόμηση Ενέργειας(%)	reference	14.74	16.47	17.94	28.39	32.605

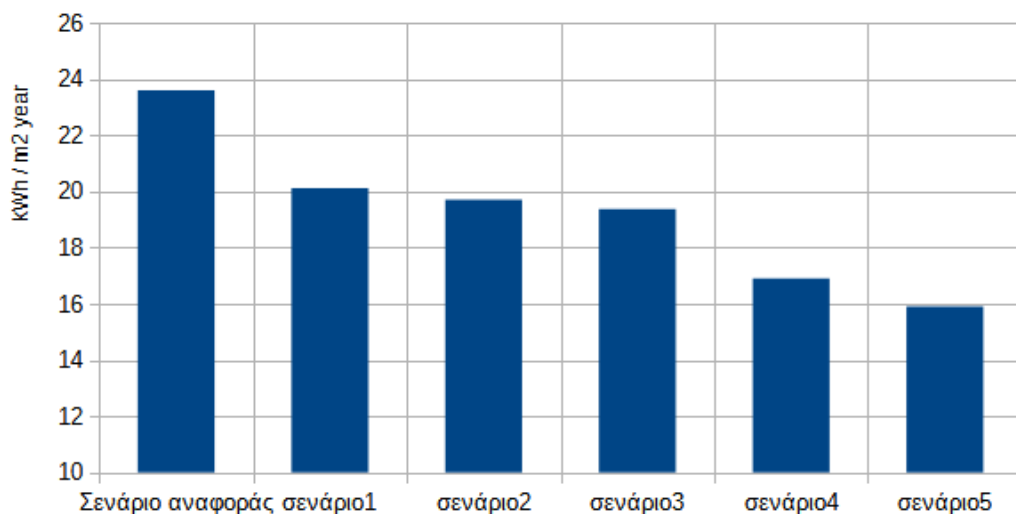
Όπως προέκυψε κατά την ζητούμενη σύγκριση, το τελευταίο σενάριο απαιτεί το χαμηλότερο ψυκτικό φορτίο για τη μελέτη περίπτωσης, ενώ σε σύγκριση με το αρχικό σενάριο αναφοράς η ενεργειακή εξοικονόμηση έχει αξιοσημείωτη διαφορά. Είναι φανερό ότι ο Ιούλιος προέκυψε ως μήνας του έτους με τη μεγαλύτερη ενεργειακή απαίτηση ψύξης για κάθε περίπτωση που εξετάστηκε, γεγονός που οφείλεται ουσιαστικά στα κλιματικά δεδομένα καιρού της μελέτης περίπτωσης. Αντίστοιχα, σε χειμερινούς μήνες καταγράφηκε έως και μηδενική ανάγκη για ψυκτικό φορτίο, κάτι αναμενόμενο λόγω εποχής ή επίτευξης θερμοκρασιακής άνεσης στους εσωτερικούς χώρους. Στις Εικόνες 5.92 & 5.93 τα διαγράμματα σχηματίζουν τα ετήσια ψυκτικά φορτία για κάθε σενάριο, όπως υπολογίστηκαν στην παραπάνω διαδικασία, απεικονίζοντας την κατά σειρά διαδοχική μείωση-βελτίωση.

Annual cooling load - Comparison



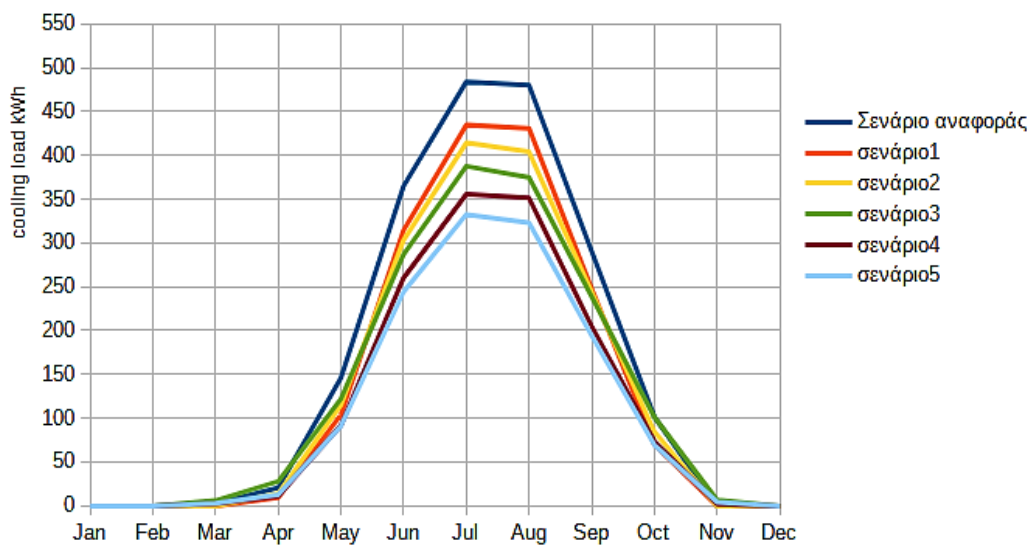
Εικόνα 5.92 Σύγκριση ετήσιου ψυκτικού φορτίου σεναρίων μελέτης (kWh/year)

annual cooling load per m2 area - Comparison

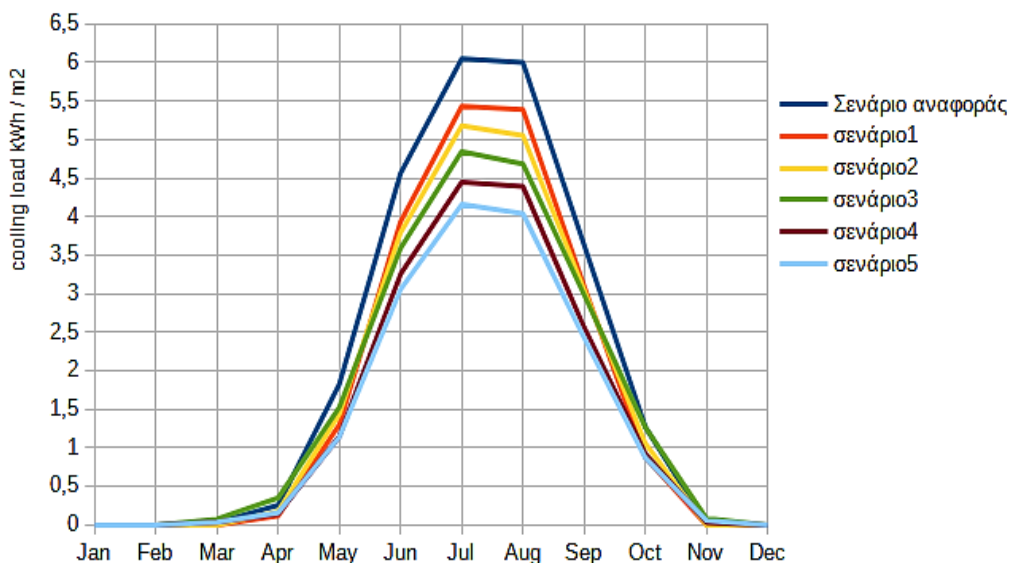


Εικόνα 5.93 Ετήσιο ψυκτικό φορτίο σεναρίων ανά επιφάνεια δαπέδου (kWh/m²/year)

Στις Εικόνες 5.94 & 5.95 σχηματίζονται τα διαγράμματα των μηνιαίων τιμών ψυκτικών φορτίων για κάθε σενάριο και φαίνονται σχηματικά οι αντίστοιχες μεταβολές. Όπως αναφέρθηκε και είναι λογικό, οι μέγιστες τιμές προέκυψαν τους θερινούς μήνες, με σημαντική αύξηση στις ψυκτικές ανάγκες απο τον Μάιο και μετά σε κάθε διαφορετική περίπτωση. Συγκριτικά στο κομμάτι αλλαγής των δομικών υλικών, η διαδοχική ενίσχυση της θερμικής μάζας και η παράλληλη μείωση της θερμοδιαπερατότητας όπως φαίνεται οδήγησε σε μειωμένες ενεργειακές απαιτήσεις απο σενάριο σε σενάριο διαδοχικά. Αν τεθεί υπο σύγκριση το αρχικό σενάριο αναφοράς με την τελικώς βέλτιστη επιλογή δομικών υλικών του σεναρίου 5, τότε γίνεται εμφανές οτι στη δεύτερη περίπτωση η διαφορά στην απαίτηση ψυκτικού φορτίου είναι πάνω απο το 1/3 της τιμής της πρώτης. Αυτό το γεγονός μεταφράζεται τόσο ως σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας για την επίτευξη θερμικής άνεσης, όσο και ως μείωση οικονομικού κόστους για τους χρήστες.



Εικόνα 5.94 Σύγκριση ψυκτικού φορτίου ανά μήνα (kWh / μήνα)



Εικόνα 5.95 Σύγκριση ψυκτικού φορτίου ανα m² δαπέδου ανά μήνα (kWh / m² μήνα)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΕΡΕΥΝΑ

6.1. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία μελέτησε το κομμάτι της επιλογής δομικών υλικών, των οποίων η χρήση στις κτιριακές κατασκευές επηρεάζει σημαντικά την θερμική συμπεριφορά τους. Τα υλικά δόμησης του κελύφους και των τελικών επιφανειών σε ένα σύγχρονο κτίριο αποτελούν τη βάση για τον «χαρακτήρα» που θα αποκτήσει πάνω στην ενεργειακή απόδοση. Η δημιουργία και συντήρηση των συνθηκών θερμικής άνεσης σε έναν εσωτερικό χώρο χρήσης επηρεάζονται σε ισχυρό βαθμό από τη θερμική μάζα του κελύφους και το δομικό περιεχόμενο της, η οποία άλλοτε μπορεί να λειτουργεί ευνοικά στις θερμικές ροές και άλλοτε σαν «ασπίδα». Από σκοπιάς ψυκτικού φορτίου, ο συνδυασμός δομικών υλικών που θα ελαχιστοποιήσει τις ροές θερμότητας από το εξωτερικό περιβάλλον και τα θερμικά κέρδη, αποτέλεσαν τον αντικειμενικό στόχο για την ελλάττωσή του.

Η αρχική θεωρητική περιγραφή και τα στατιστικά στοιχεία αποτέλεσαν το υπόβαθρο για την μετέπειτα πορεία της εργασίας. Για να κατανοηθούν οι βασικές αρχές και η «σύγχρονη» σημασία της εξοικονόμησης ενέργειας στα κτίρια, όσο και οι τρόποι επιτυχίας της μέσα από τη δόμηση, ήταν αναγκαία η αναφορά στα υπάρχον προβλήματα της κλιματικής αλλαγής, της αλόγιστης ενεργειακής κατανάλωσης για ψύξη-θέρμανση, και άλλα επιβεβαιωμένα επιστημονικά δεδομένα στα θέματα αυτά. Έχοντας επομένως ως βάση, πρωτίστως, την αναγνώριση του προβλήματος, και σε συνέχεια την ανάγκη εύρεσης σύγχρονων λύσεων, σε αυτή τη διπλωματική εργασία έγινε προσπάθεια περιγραφής των υπάρχουσων και ενεργειακά ευνοικών τρόπων δόμησης, τόσο σαν γενική περιγραφή όσο και σε συγκεκριμένες κατασκευές. Μετά τα στατιστικά στοιχεία κατανάλωσης ενέργειας, με ιδιαίτερη αναφορά στην ελληνική πραγματικότητα, ακολούθησε η θεωρητική ανάλυση των πιο βασικών χρησιμοποιούμενων δομικών υλικών, αλλά και νέων υλικών ή κατασκευών που προσεγγίζουν την λογική του NZEB-Nearly Zero Energy Building (Κτίρια σχεδόν Μηδενικής Κατανάλωσης Ενέργειας), δηλαδή κτιρίων υψηλής ενεργειακής απόδοσης.

Το πειραματικό μέρος βασίστηκε στο σχεδιασμό ενός απλού κτιριακού μοντέλου με σταθερές ρυθμίσεις θερμικής ζώνης, που με κατάλληλα σενάρια και συνδυασμούς δομικών υλικών, θερμομονώσεων και επικαλύψεων, διαμόρφωνε διαφορετικές κάθε φορά απαιτήσεις για το ψυκτικό φορτίο. Για την ελαχιστοποίηση τις τιμές του, κάθε σενάριο βελτιωνόταν διαδοχικά με αλλαγή του δομικού υλικού στο κέλυφος, χρήση κάθε φορά καλύτερης θερμομόνωσης παντού, επιχρισμάτων και υαλοπίνακα αντίστοιχα. Αντίστοιχα προέκυπτε μείωση των συντελεστών θερμικής διαπερατότητας σε κάθε σενάριο για όλα τα στοιχεία του κελύφους (τοιχοποιίες, οροφές, δάπεδα και υαλοπίνακες) από την υψηλότερη τιμή τους στο σενάριο αναφοράς, έως τη χαμηλότερη τιμή στο τελευταίο.

Το αρχικό σενάριο αναφοράς με τη χρήση διπλής πλινθοδομής, συμβατικής θερμομόνωσης εξηλασμένης πολυστερίνης και συμβατικού τύπου επιχρισμάτων και υαλοπίνακα, μοντελοποίησε τον συνήθη τρόπο δόμησης των ελληνικών κτιρίων της τελευταίας εικοσαετίας και αποτέλεσε σημείο αναφοράς για τη σύγκριση με τα παρακάτω σενάρια. Στο 1^ο σενάριο αντικαταστάθηκε η χρήση τούβλου από την ενεργειακά αποδοτική κατασκευή των Insulated Concrete Forms (ICF's), άλλαξε η θερμομόνωση σε διογκωμένη πολυστερίνη, προστέθηκε εσωτερικός σοβάς με περλίτη και επίστρωση μωσαικού δαπέδου, και βελτιώθηκαν τα χαρακτηριστικά για τον ίδιο τύπο υαλοπίνακα.

Στο 2^ο σενάριο εισήχθη το νέο δομικό υλικό τοιχοποιίας των Structural Insulated Panels (SIP's) με ξύλο OSB, με βελτίωση της θερμομόνωσης σε πολυουρεθάνη, επίστρωση ελαφρομετόν στην οροφή και πλακιδίων στο δάπεδο, ενώ επιλέχθηκε υαλοπίνακας με αέριο αργόν αντί του αέρα με αντίστοιχες βελτιωμένες ιδιότητες. Η θερμική διαπερατότητα και τα θερμικά κέρδη μέσω κελύφους και ανοιγμάτων μειώθηκαν ακόμα περισσότερο, μειώνοντας αντίστοιχα και τη ζήτηση ψυκτικού φορτίου για το υπο μελέτη μοντέλο. Στο 3^ο σενάριο εφαρμόστηκε στο κέλυφος το Cross Laminated Timber (CLT) , μια σύγχρονη ενεργειακά αποδοτική διάταξη ξύλου , τόσο στην τοιχοποιία όσο και στην τελική εσωτερική επιφάνεια οροφής και δαπέδου, με αναβάθμιση της θερμομόνωσης σε αφρό Polyiso, προσθήκη γύψου στο επίχρισμα και χρήση τριπλού υαλοπίνακα στα ανοίγματα με αέριο αργόν.

Το 4^ο σενάριο επανέφερε τη χρήση του τούβλου ως δομικό υλικό, αυτή τη φορά υπό τη μορφή των θερμομονωτικών Poroton ορθομπλοκ με μεγαλύτερες διαστάσεις και καλύτερες ιδιότητες για την ενεργειακή απόδοση του κελύφους. Η θερμική μόνωση βελτιώθηκε ακόμα πιο ριζικά με την εφαρμογή του σύγχρονου υπερ-θερμομονωτικού υλικού αεροτζελ, η οροφή ενισχύθηκε με κεραμικά εξωτερικά και γυψοσανίδα εσωτερικά, στο δάπεδο η απλήτσιμεντοκονία αντικαταστάθηκε από περλομπετόν με τελική επίστρωση ξύλο plywood, ενώ ο υαλοπίνακας αναβαθμίστηκε με αέριο κρύπτον μειώνοντας συγκεντρωτικά περαιτέρω τις ψυκτικές απαιτήσεις.

Ο τελικός βέλτιστος συνδυασμός προέκυψε στο 5^ο σενάριο με την εγκατάσταση των θερμομονωτικών τούβλων από πορομπετόν (AAC blocks) σαν βασικό δομικό υλικό στους τοίχους , και με περαιτέρω αναβάθμιση του υπερθερμομονωτικού αεροτζελ στα σύγχρονα πάνελ κενού VIP's για θερμική προστασία σε όλο το κέλυφος. Η οροφή ενισχύθηκε με ασφαλικές δομές εξωτερικά και επενδύσεις ξύλου MDF εσωτερικά , στο δάπεδο το υπάρχον περλομπετόν επιστρώθηκε με πλακίδια φελλού και κάλυψη τύπου μοκέτας, ενώ επιλέχθηκε ο βέλτιστων ιδιοτήτων υαλοπίνακας με αέριο κρύπτον που ελαχιστοποιεί τα θερμικά κέρδη.

Η σταδιακή βελτίωση των δομικών υλικών σε κάθε σενάριο και η μείωση της θερμικής διαπερατότητας μέσω του κελύφους του σχεδιασθέντος μοντέλου, μείωσε διαδοχικά τις τιμές του ψυκτικού φορτίου, το οποίο ερχόταν κάθε φορά σε σύγκριση με το σενάριο αναφοράς. Η ελάχιστη τιμή, υπολογιζόμενη σε kWh και σε kWh/m² θερμικής ενέργειας, προέκυψε στο 5^ο και τελευταίο σενάριο σε 15.91 kWh/m², σε σύγκριση με την απαίτηση των 23.6 kWh / m² του σεναρίου αναφοράς, σε μια ενεργειακή βελτίωση της τάξεως του 32.61%. Στο τέλος του πειραματικού μέρους παρουσιάστηκαν και διαγράμματα σύγκρισης μεταξύ των σεναρίων για να γίνει η κατάλληλη αξιολόγηση, τόσο μεταξύ συνολικών ψυκτικών φορτίων όσο και σε μηνιαία απαίτηση.

6.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Η μελέτη σύγχρονων δομικών υλικών ή συστημάτων υποστήριξης και αναβάθμισης της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων θα αποτελεί και τα επόμενα χρόνια βασικό τομέα ενασχόλησης. Η συνεχιζόμενη διερεύνηση για μείωση των θερμικών και ψυκτικών απαιτήσεων στα κτίρια και η αντίστοιχη εξοικονόμηση ενέργειας θα ευνοήσει και στο προσεχές μέλλον την ανάπτυξη τέτοιων μοντέλων δόμησης.

Σε αυτή τη προσέγγιση, κάποιες προτάσεις για μελέτη που αφορούν την ενεργειακή αναβάθμιση των κτιριακών κατασκευών και κυρίως τη μείωση των ψυκτικών φορτίων είναι αναφορικά οι εξής :

→ B.I.PV. Systems

Building Integrated Photovoltaics – Ενσωμάτωση Φ/Β στοιχείων σε όλη την επιφάνεια του κελύφους αντικαθιστώντας τα συμβατικά υλικά. Εκτός από την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος , οδηγεί σε μείωση θερμικών κερδών και ψυκτικού φορτίου.

→ Dynamic facades

Οι «δυναμικές» προσόψεις-επιφάνειες του κελύφους προσαρμόζονται με ευελιξία στις συνθήκες του περιβάλλοντος και μεταβάλλουν τη μορφή , το χρώμα και την υφή τους ανάλογα τη θέση του ήλιου , τον άνεμο και τις εξωτερικές συνθήκες για να ρυθμίσουν το εσωτερικό κλίμα.

→ Cool roofs & radiant barriers

Τα συστήματα «cool roof» αντανακλούν την ηλιακή ακτινοβολία πίσω στο περιβάλλον λόγω χρώματος και απορρίπτουν σημαντικό μέρος της απορροφούμενης θερμότητας , ψύχοντας τη δομική επιφάνεια. Το radiant barrier ή «φράγμα» ακτινοβολίας αποτελεί δομικό στοιχείο που επίσης ανακλά την ακτινοβολία και μειώνει τα κόστη ψύξης, κάνοντας χρήση ειδικών επιφανειών αλουμινοχαρτου με κατάλληλη επένδυση και μόνωση που εμποδίζει τη ροή της θερμότητας με όλους τους τρόπους προς το εσωτερικό.

- Green roofs
 Το «φυτεμένο δώμα» αποτελεί σύγχρονη στρατηγική μείωσης των θερμικών κερδών απο τις οροφές των κτιρίων, και προσφέρει σημαντικά στην εξοικονόμηση ψυκτικών φορτίων. Χρίζει προσεκτικής μελέτης τόσο το είδος, οι ιδιότητες και το μέγεθος της «πράσινης» οροφής, όσο και η ανταπόκριση του συστήματος τους χειμερινούς μήνες.

- Hydroceramic materials
 Αποτελούν καινοτόμα λύση στην κατασκευή «έξυπνου» τοίχου με συνδυασμό των υλικών clay-hydrogel. Διαμορφώνουν το κέλυφος να αλληλεπιδρά με την εξωτερική θερμοκρασία, να απορροφά ποσότητες υδρατμών και να ψύχει τον εσωτερικό χώρο.

- P.C.M.'s
 Τα Phase-Change-Materials ή υλικά «αλλαγής φάσης» εκμεταλλεύονται τα ποσά θερμότητας που διαπερνούν το κέλυφος και τα αποθηκεύουν αλλάζοντας φάση, αποδίδοντάς τα πίσω στον εσωτερικό χώρο ετεροχρονισμένα όταν απαιτηθεί.

- Daylighting Multiwall systems
 Αφορούν την διαμόρφωση ημι-διαφανών επιφανειών στο κέλυφος που θα ενισχύσουν την ενεργειακή απόδοση και το φυσικό φωτισμό. Οι ημιδιαφανείς τοίχοι και οροφές ενισχύονται με πολυανθρακικά φύλλα με μονωτικό nanopgel, που εξοικονομούν διπλάσια ενέργεια σε σύγκριση με συμβατικές επιφάνειες τζαμιού.

- Natural Ventilation Systems
 Ενσωμάτωση «έξυπνων» ανοιγμάτων, αεραγωγών και θυρίδων αερισμού για απομάκρυνση ποσών θερμότητας απο την υπο μελέτη θερμική ζώνη.

- Intelligent Shading Systems
 Η αυτόματη λειτουργία σκίασης μπορεί να μειώσει τις ψυκτικές απαιτήσεις με χρήση αισθητήρων εξωτερικών συνθηκών που θα προσαρμόζουν τα συστήματα σκίασης, περσίδων κλπ, θα μειώνουν τα ηλιακά θερμικά κέρδη και θα βελτιστοποιούν το φυσικό φωτισμό.

- 3D Printing facade materials
 Νέας τεχνολογίας –υπο μελέτη- καινοτόμα υλικά απο εκτύπωση, όπως το Srong3D, που μπορούν να ενσωματωθούν στις εξωτερικές επιφάνειες του κελύφους και να βελτιστοποιήσουν τη θερμική συμπεριφορά αναλόγως των εξωτερικών συνθηκών. Εμπεριέχουν κοιλότητες αέρα για θερμική μόνωση, και κανάλια ρευστού υλικού για αποθήκευση θερμότητας, ενώ μπορούν να τοποθετηθούν είτε εσωτερικά είτε εξωτερικά ανάλογα τις απαιτήσεις.

6.3. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Κλιματισμός, Κίμων. Αντωνόπουλος, μάθημα 9^{ου} εξαμήνου τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ
2. Θερμική συμπεριφορά κτιρίων , Χρήστος Τζιβανίδης , μάθημα 9^{ου} εξαμήνου τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ
3. Διαχείριση Ενέργειας, Σ. Καρέλλας, μάθημα 7^{ου} εξαμήνου τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ
4. Βασικές αρχές ψύξης, Χρήστος Τζιβανίδης. , μάθημα 8^{ου} εξαμήνου τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ
5. Κλιματική αλλαγή, βικιπαιδεία
https://el.wikipedia.org/wiki/Κλιματική_αλλαγή
6. Υπουργείο Ενέργειας – Κλιματική αλλαγή, εκθέσεις και υφιστάμενη κατάσταση <https://ypen.gov.gr/perivallon/klimatiki-allagi/ektheseis-kai-yfistameni-katastasi/>
7. Κλιματική αλλαγή: στατιστικές και επιστημονική συναίνεση , βικιπαιδεία
https://el.wikipedia.org/wiki/Επιστημονική_συναίνεση_για_την_κλιματική_αλλαγή
8. Επιπτώσεις κλιματικής αλλαγής, βικιπαιδεία
https://el.wikipedia.org/wiki/Επιπτώσεις_της_κλιματικής_αλλαγής
9. Κλιματική αλλαγή στην Ελλάδα, βικιπαιδεία
https://el.wikipedia.org/wiki/Κλιματική_αλλαγή_στην_Ελλάδα
10. Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου στην ΕΕ,
<https://www.europarl.europa.eu/news/el/headlines/society/20180301STO98928/ekpompes-aerion-tou-thermokiopiou-ana-chora-kai-tomea-grafima>
11. Ιστότοπος Ευρωπαϊκής Ένωσης – σύμφωνο για το κλίμα και την κλιματική αλλαγή https://climate-pact.europa.eu/about/climate-change_el
12. Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος
<https://www.eea.europa.eu/el/themes/climate/intro>
13. Κέντρο Ανανεώσιμων πηγών και εξοικονόμησης ενέργειας : Κτιριακό απόθεμα <http://www.cres.gr/energyhubforall/2.1.html>
14. Κέντρο Ανανεώσιμων πηγών και εξοικονόμησης ενέργειας : Ενεργειακή κατανάλωση κτιρίων <http://www.cres.gr/energyhubforall/2.2.html>

15. Κέντρο Ανανεώσιμων πηγών και εξοικονόμησης ενέργειας : Δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας <http://www.cres.gr/energyhubforall/2.3.html>
16. Κέντρο Ανανεώσιμων πηγών και εξοικονόμησης ενέργειας : Ενεργειακή απόδοση κτιρίων, ΠΕΑ και στατιστικά σε κατοικίες (Ελλάδα) <http://www.cres.gr/energyhubforall/4.1.html>
17. mononews.gr : Κτίρια μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης <https://www.mononews.gr/esg-today/eiropaiki-enosi-apo-to-2028-ola-ta-kenouria-ktiria-tha-prepi-na-echoun-midenikes-ekpompes-aerion>
18. Κέντρο Ανανεώσιμων πηγών και εξοικονόμησης ενέργειας : Βιοκλιματικός σχεδιασμός κτιρίων http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/bioklimatikos_sxediasmos.html
19. Μετάβαση στην καθαρή ενέργεια, Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2019. https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/energy-and-green-deal_el
20. Ενεργειακή απόδοση στην ΕΕ, <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/el/sheet/69/ενεργειακη-αποδοση>
21. Μακροπρόθεσμη στρατηγική ανακαίνισης του δημόσιου και ιδιωτικού κτιριακού αποθέματος, Υπουργείο Ενέργειας, άρθρο 2Α ν.4122/2013
22. Βιοκλιματικός σχεδιασμός κτιρίων , βικιπαιδεία
23. greencom.gr : βιοκλιματικός σχεδιασμός κατοικίας , <http://www.greencom.gr/βιοκλιματική-κατοικία/βιοκλιματικός-σχεδιασμός-κατοικίας/>
24. charmeg.gr : Θερμική άνεση σε εσωτερικούς χώρους https://www.charmeg.gr/media/docs/AN012_1.pdf
25. Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017 : Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό ενεργειακής απόδοσης κτιρίων και έκδοση ΠΕΑ
26. Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2/2017 : Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος θερμομονωτικής επάρκειας κτιρίων
27. Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3/2017 : Κλιματικά δεδομένα ελληνικών περιοχών
28. Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος (Τ.Ε.Ε.) : Δομικά Υλικά και Εξοικονόμηση Ενέργειας http://portal.tee.gr/portal/page/portal/teetkm/DRASTHRIOTHTES/EKDHLVSEIS/EKDHLWSEIS_2010_2013/ENV_2012/Tab1/aslanis.pdf

29. Ετήσια έκθεση στατιστικών αποτελεσμάτων για την ενεργειακή απόδοση κτιρίων, Υπουργείο Ενέργειας <https://bpes.ypeka.gr/wp-content/uploads>
30. Κατανάλωση ενέργειας σε κτίρια ανά βαθμό αστικότητας, ΕΛΣΤΑΤ <https://www.statistics.gr/documents/20181/e74d6134-8c02-404e-a02b-aa6d959219e3>
31. ΤΕΕ : Εισαγωγή στον τομέα της ενέργειας , θεματική ενότητα ΔΕ1 , Μέτρα Εξοικονόμησης Ενέργειας
32. Κανονισμός ενεργειακής απόδοσης κτιρίων (ΚΕΝΑΚ) , <https://web.tee.gr/kenak/> , <https://www.kenak.gr/pea.htm>
33. Βιοκλιματικός σχεδιασμός, ΚΑΠΕ http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/bioklimatikos_sxediasmos.htm
34. Δομικά Υλικά , Α. Μοροπούλου , μάθημα 9^{ου} εξαμήνου τμήμα Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ
35. Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος (Τ.Ε.Ε.) : Οδηγοί Δομικών Υλικών http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/
36. Θερμική προστασία και ενεργειακή αναβάθμιση κτιριακών κελύφων , μάθημα Οικοδομική Ι , τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών ΕΜΠ
37. Δομική Φυσική , μάθημα Οικοδομική Ι , τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών ΕΜΠ
38. Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. Θερμομονωτική επάρκεια κτιριακού κελύφους – Κατάρτιση Ενεργειακών Επιθεωρητών
39. Οικοδομική , βιβλίο ΕΠΑΛ τομέα Δομικών Έργων : Τοιχοποιίες , πλινθοδομές, σκυρόδεμα , οροφές , δάπεδα κ.α.
40. Παν. Πατρών e-class : Δομικοί λίθοι <https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php/MSCI602>
41. Φυσική δόμηση : Το ξύλο σαν δομικό υλικό http://fysiki-domisi.blogspot.com/p/blog-page_13.html
42. E-wood.gr : Cross Laminated Timber , <https://ewood.gr/clt-ένα-νέο-προϊόν-ξύλου/>
43. E-wood.gr : Κατασκευή σύγχρονων οικολογικών κτιρίων απο ξύλο (CLT) , <https://ewood.gr/oi-αρχιτέκτονες-χτίζουν-με-ξύλο/>
44. Structural Insulated Panels , <https://www.sips.org/>

45. SIP's , βικιπαιδεία , https://en.wikipedia.org/wiki/Structural_insulated_panel
46. Medium Density Fiberboard , βικιπαιδεία
https://en.wikipedia.org/wiki/Medium-density_fibreboard
47. Ξύλο MDF , <https://www.supereverything.gr/2017/06/odigos-mdf.html>
48. Oriented Strand Board (OSB) ,
<https://www.supereverything.gr/2016/11/plaka-osb.html>
49. Φύλλα ξύλου OSB , https://www.ksilines-kataskeues.com/blog/518691_tinai-ta-filla-osb
50. Plywood – κόντρα πλακέ , <https://en.wikipedia.org/wiki/Plywood>
51. Decorexpro.com : Τούβλο , τύποι , ιδιότητες , εφαρμογές , <https://el-decorexpro.com/kirpich/vidy/svojtva-i-primenenie/>
52. Dapedotexniki.gr : Είδη τοιχοποιίας ,πλινθοδομές,
<http://dapedotexniki.gr/blog/dapeda/topothesisi-ependusi/toiχοποιία-είδη-διαστάσεις/>
53. Τούβλα Poroton : <http://porothermuk.co.uk/products/porotherm-blocks/> ,
<https://www.clayblock.ie/product/porotherm-365-t10-uninsulated-60-pallet-shop/>
54. Timesproperty.com : Τούβλα Πορομπετον AAC ,
<https://timesproperty.com/news/post/aac-blocks-autoclaved-aerated-concrete-blocks-blid2597>
55. Cement.org : Autoclaved Aerated Concrete ,
<https://www.cement.org/cement-concrete/paving/buildings-structures/concrete-homes/building-systems-for-every-need/autoclaved-aerated-concrete>
56. Housing.com : AAC blocks <https://housing.com/news/aac-blocks-autoclaved-aerated-concrete-blocks/>
57. Απλό και οπλισμένο σκυρόδεμα , βικιπαιδεία
<https://el.wikipedia.org/wiki/Σκυρόδεμα> ,
https://el.wikipedia.org/wiki/Οπλισμένο_σκυρόδεμα
58. Theconstructor.org : Ελαφροσκυρόδεμα – Lightweight Concrete
<https://theconstructor.org/concrete/lightweight-concrete/1670/>

59. Kentromonoseon.gr : Περλομπετόν , τι είναι , πλεονεκτήματα & προβλήματα
<https://www.kentromonoseon.gr/perlobeton/>
60. Cement.org : Insulated Concrete Forms (ICF's) ,
[https://www.cement.org/cement-concrete/paving/buildings-structures/concrete-homes/building-systems-for-every-need/insulating-concrete-forms-\(ICFs\)](https://www.cement.org/cement-concrete/paving/buildings-structures/concrete-homes/building-systems-for-every-need/insulating-concrete-forms-(ICFs))
61. Insulated Concrete Form , Wikipedia ,
https://en.wikipedia.org/wiki/Insulating_concrete_form
62. Constrofacilitator.com : Insulated Concrete Forms – advantage & types ,
<https://constrofacilitator.com/insulated-concrete-forms-icf-advantages-types/>
63. Decobook.gr : Επιχρίσματα , τύποι , σύσταση και συμβουλές ,
<https://www.decobook.gr/tecnica-arthra/vafes-epixrismata/epixrismata-sovades-systasi-typoi-symvoules>
64. Smartbuilding.gr : Επιχρίσματα κτιρίων , <https://smartbuilding.gr/πως-χτιζεται-ενα-σπιτι/επιχρισματα/>
65. Ktirio.gr : Η νέα τεχνολογία στα επιχρίσματα κτιρίων ,
<https://www.ktirio.gr/el/arthra/epixrismata/h-nea-τεχνολογια-στα-επιχρισματα-κτιριων-ετοιμα-επιχρισματα/>
66. Spitiexperts.gr : Δάπεδα κατοικίας , <https://www.spitiexperts.gr/blog/64>
67. Koligas.gr : Επιλογή δαπέδου , κριτήρια , συμβουλές
<https://www.koligas.gr/epilogi-dapedou-kritiria-simvoules/>
68. Chromadecor.gr : Διογκωμένη πολυστερίνη EPS vs Εξηλασμένη πολυστερίνη XPS , <https://www.chromadecor.gr>
69. Fragoulakis.gr : Εξηλασμένη ή διογκωμένη πολυστερίνη ,
<https://fragoulakis.gr/ekselasmeni-diogomeni-polisteroli/>
70. Material.gr : Πολυουρεθάνη PUR και Πολυισοκυανουρικό PIR ,
<https://materia.gr/proionta/thermal-insulation/πολυουρεθάνη-pur-και-pir/>
71. Em4c.gr : Θερμομονωτικά πανελ Polyiso (PIR),
<https://em4c.gr/product/termpir/>
72. Atlasrwi.com : Polyisocyanurate insulation ,
<https://www.atlasrwi.com/polyiso-insulation/>

73. Anelixi2020.org : Μονώσεις καλαμιών , <https://anelixi2020.org/kathara-ylika-kai-technologies/kathara-ulika-kai-texnologies-oikodomika-proionta-monoseis-futikes-monoseis-monoseis-kalamion/>
74. Greenbuilding.gr : Υαλοβάμβακας , ένα υλικό για άριστη Θερμομόνωση & Ηχομόνωση, <https://greenbuilding.gr/thermomonose/υαλοβάμβακας/>
75. Knaufinsulation.gr : Πετροβάμβακας , τι είναι & πως παράγεται , <https://www.knaufinsulation.gr/τι-είναι-ο-πετροβαμβακας-και-πως-παραγεται/>
76. Lets-rebuild.com : Κυτταρίνη , ισχυρή , φθηνή και φιλική προς το περιβάλλον, <https://el.lets-rebuild.com/cellulose-powerful-convenient-eco-friendly-7752>
77. Διογκωμένος περλίτης ως θερμομονωτικό υλικό , <https://erkos.gr/product/διογκωμένος-περλίτης-vioryp/> , <https://anelixi2020.org/kathara-ylika-kai-technologies/kathara-ulika-kai-texnologies-oikodomika-proionta-monoseis-oriktes-monoseis-monoseis-perliti/>
78. Φαινολικός αφρός ως θερμομονωτικό , <http://www.diatec.gr/gr/materials/thermalinsulation/xs022.html>
79. Αεροτζελ , βικιπαιδεία , <https://el.wikipedia.org/wiki/Αεροπήκτωμα/>
80. Gore.com : Aerogel Insulation for better thermal protection , <https://www.gore.com/products/thermal-aerogel>
81. Μονωτικά πάνελ κενού , Vacuum insulation panels , βικιπαιδεία , https://en.wikipedia.org/wiki/Vacuum_insulated_panel
82. Recticelinsulation.com : What is a Vacuum Insulation Panel (VIP) , <https://www.recticelinsulation.com/en-gb/what-vacuum-insulation-panel-or-vip>
83. Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας : Ο ρόλος των Υαλοπινάκων , http://ktm.cres.gr/bibliothiki/Yalopinakes/Rolos_yalopinakon.php , <http://www.cres.gr/energyhubforall/2.3.6.html>
84. Alumil.com : Τύποι υαλοπινάκων , <https://www.alumil.com/greece/homeowners/service-support/plan-your-project/customization-options/glass-options>
85. Fenestral.gr : Είδη & κατηγορίες υαλοπινάκων και τζαμιών , <https://fenestral.gr/είδη-και-κατηγορίες-υαλοπινάκων-και-τζα/>

86. Ultimatewindows.com : Solar Heat Gain Coefficient (SHGC) ,
<https://ultimatewindows.com.au/what-is-shgc/>
87. Windowguru.wordpress.com : Air , Argon , Krypton , Xenon , Does it really matter? , <https://windowguru.wordpress.com/2014/08/29/air-vs-argon-vs-krypton-vs-xenon/>
88. Tsokani.gr : Τι είναι οι ενεργειακοί υαλοπίνακες , <https://www.tsokani.gr/ti-einai-oi-energeiakoi-yalopinakes/>
89. Smartbuilding.gr : Συμβατική δόμηση (Ελλάδα) ,
<https://www.smartbuilding.gr/συστήματα-δόμησης/συμβατική-κατασκευή/>
90. Inside Rhinoceros 5 , Ron K.C. Cheng
91. Grasshopper : Visual scripting for Rhinoceros 3D , David Bachman
92. Climate Studio , Solemma LLC <https://www.solemma.com/climatestudio>

