



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ
ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

ΠΙΤΑΡΑΚΗ ΝΙΚΟΛΕΤΑ, 1202

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Δρ. ΙΩΑΝΝΗΣ ΜΠΑΡΤΖΗΣ
ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΣ ΣΥΝΕΡΓΑΤΗΣ: Δρ. ΕΛΕΝΑ ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΥ

ΚΟΖΑΝΗ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2015

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία μελετά την θερμική συμπεριφορά τεσσάρων θερμομονωτικών υλικών σε σχέση με τον προσανατολισμό τους. Επιπλέον εξετάζει την εξοικονόμηση ενέργειας και την μείωση των εκπομπών CO_2 από την εφαρμογή θερμομονωτικής στρώσης στα κτήρια. Η συμπεριφορά των υλικών ελέγχθηκε με πειραματική διαδικασία. Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν η διογκωμένη πολυστερίνη, η γραφιτούχα διογκωμένη πολυστερίνη, η αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη και ο πετροβάμβακας. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του πειράματος, τα τέσσερα αυτά υλικά έχουν παρόμοια συμπεριφορά με ελάχιστα καλύτερη αυτήν της αφρώδους εξηλασμένης πολυστερίνης. Την μικρότερη ευαισθησία στην μεταβολή του προσανατολισμού εμφανίζει η αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη ενώ την μεγαλύτερη η διογκωμένη πολυστερίνη. Έπειτα από την εξέταση τους ως προς τον προσανατολισμό τα υλικά του πειράματος ελέγχθηκαν και ως προς την εφαρμογή τους σε κτηριακή κατασκευή με χρήση του λογισμικού Thermocad TiSoft. Η εξοικονόμηση ενέργειας από την θερμομόνωση στα κτήρια ανέρχεται στο 47% . Κατά το ίδιο ποσοστό μειώνεται και η εκπομπή του CO_2 από τα κτήρια.

Abstract

This thesis investigates the thermal behavior of four insulation materials in relation to their orientation. In addition it calculates the energy saving and reduction of CO_2 emissions by applying insulation materials in buildings. The behavior of the materials was tested with an experimental procedure. The materials used were expanded polystyrene, graphite enhanced expanded polystyrene, extruded polystyrene and mineral wool. According to the results of the experiment, the tested materials have similar behavior with that of extruded polystyrene being slightly better than the rest. Extruded polystyrene has the lowest sensitivity to orientational shift, while expanded polystyrene has the greatest. After the orientation study, the materials were tested according to their application in building structures using the Thermocad TiSoft software. Energy saving in buildings is about 47% with the use of insulation materials. CO_2 emissions are reduced by the same rate.

Ευχαριστίες

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κ.Ιωάννη Μπάρτζη, ο οποίος συνέβαλε ουσιαστικά στην ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας. Την κ. Έλενα Παπαδοπούλου η οποία με βοήθησε και με στήριξε καθ'όλη την διάρκεια σύνταξης της διπλωματικής μου εργασίας και συνέβαλε στην αντιμετώπιση όλων των δυσκολιών που προέκυψαν κατά την περάτωση της. Ακόμη θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη του εργαστηρίου τεχνολογίας περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας για την υποστήριξη και την βοήθειά τους κατά την διάρκεια σύνταξης της εργασίας μου.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω τις εταιρίες E.K.A.T Beton και Multigas οι οποίες προμήθευσαν αφιλοκερδώς τον εξοπλισμό για την δημιουργία του δοκιμίου που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα της συγκεκριμένης εργασίας. Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να δώσω στον κ. Τσολπίδη Σωτήρη, ο οποίος παρείχε με μεγάλη του χαρά τις γνώσεις και την τεχνική υποστήριξη για την τοποθέτηση του συστήματος θέρμανσης στο δοκίμιο.

Θέλω να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένειά μου η οποία με στηρίζει διαρκώς σε κάθε μου προσπάθεια.

Τέλος ευχαριστώ όλους μου τους φίλους οι οποίοι μου συμπαραστάθηκαν και μου πρόσφεραν υπέροχες στιγμές καθ'όλη την διάρκεια των φοιτητικών μου χρόνων.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1: Η ενεργειακή απόδοση των κτηρίων	10
1.1 Το παγκόσμιο πρόβλημα.	10
1.1.1 Η κατανάλωση ενέργειας από τα κτήρια	10
1.1.2 Η κοινοτική οδηγία.....	10
1.1.3 Η ρύπανση από τα κτήρια.....	11
1.1.4 Η ενεργειακή κατάσταση στην Ελλάδα.....	12
1.2 Παράγοντες βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης του κτηρίου	12
1.2.1 Το κλίμα της Ελλάδας	13
1.2.2 Οι απαιτήσεις του κτηρίου ανάλογα με την εποχή.....	13
1.2.3 Η ηλιακή ακτινοβολία ως πηγή θερμότητας	13
1.2.4 Η θερμική μάζα των υλικών	14
1.2.5 Ο προσανατολισμός του κτηρίου	15
1.2.6 Η χωροθέτηση και το σχήμα του κτηρίου	16
Κεφάλαιο 2: Βασικοί όροι στη θερμομόνωση.....	19
2.1 Μετάδοση θερμότητας	19
2.1.1 Ο μηχανισμός της αγωγής	19
2.1.2 Ο μηχανισμός της συναγωγής.....	21
2.1.3 Ο μηχανισμός της ακτινοβολίας	22
2.1.4 Συνδυασμός μηχανισμών μεταφοράς θερμότητας.....	25
2.2 Η θερμική άνεση	25
2.3 Οι θερμικές απώλειες.....	27
2.4 Θερμογέφυρες.....	28
Κεφάλαιο 3: Η θερμομόνωση	30
3.1 Η ιστορία της θερμομόνωσης	31
3.2 Η θερμομόνωση στην Ελλάδα.....	31
3.3 Τα πλεονεκτήματα της θερμομόνωσης	32
3.4 Η θέση της θερμομονωτικής στρώσης.....	33
3.4.1 Η θερμομόνωση στην εσωτερική επιφάνεια.....	33
3.4.2 Η θερμομόνωση στην εξωτερική επιφάνεια	35
3.4.3 Η θερμομόνωση στον πυρήνα της τοιχοποιίας.....	36
3.4.4 Θερμομόνωση με θερμομονωτικά τούβλα.....	37
3.5 Θερμομόνωση οροφής	38
3.5.1 Η θερμομόνωση κάτω από την πλάκα.....	38

3.5.2	Η θερμομόνωση πάνω από την πλάκα.....	39
3.6	Θερμομόνωση στέγης.....	40
3.7	Θερμομόνωση δαπέδων εκτεθειμένων στο εξωτερικό περιβάλλον.....	42
3.7.1	Θερμομόνωση στην κάτω πλευρά της πλάκας.....	42
3.7.2	Θερμομόνωση στην πάνω πλευρά της πλάκας.....	42
Κεφάλαιο 4: Θερμομονωτικά υλικά.....		44
4.1	Βασικές ιδιότητες θερμομονωτικών υλικών.....	45
4.1.1	Ο συντελεστής θερμοπερατότητας U.....	45
4.1.2	Ο συντελεστής αντίστασης R.....	46
4.1.3	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ	46
4.1.4	Η θερμοχωρητικότητα των υλικών.....	48
4.1.5	Συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών μ	48
4.1.6	Πυραντοχή ή πυραντίσταση.....	49
4.1.7	Η μηχανική αντοχή.....	50
4.1.8	Η ηχομονωτική ικανότητα.....	51
4.2	Παράγοντες που επηρεάζουν την συμπεριφορά των θερμομονωτικών υλικών.....	52
4.2.1	Η επίδραση της θερμοκρασίας.....	52
4.2.2	Η επίδραση της υγρασίας.....	52
4.2.3	Η επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας.....	53
4.2.4	Η χημική συμπεριφορά.....	53
4.3	Τα κυριότερα θερμομονωτικά υλικά.....	53
4.3.1	Η διογκωμένη πολυστερίνη.....	54
4.3.2	Η αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη.....	57
4.3.3	Η πολυουρεθάνη.....	59
4.3.4	Ο υαλοβάμβακας.....	62
4.3.5	Ο πετροβάμβακας.....	65
4.3.6	Το αφρώδες γυαλί.....	68
4.3.7	Το ξυλόμαλλο.....	70
4.3.8	Ο φελλός.....	72
4.3.9	Ο περλίτης.....	74
4.3.10	Τα πορώδη θερμομονωτικά τούβλα.....	76
4.4	Οι επιπτώσεις των θερμομονωτικών υλικών στο περιβάλλον.....	77
4.4.1	Οι επιπτώσεις κατά την παραγωγή την κατασκευή και τη λειτουργία.....	77
4.4.2	Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των θερμομονωτικών υλικών ως απορρίμματα.....	78

Κεφάλαιο 5: Νέες τεχνολογίες θερμομονωτικών υλικών	80
5.1 Θερμομονωτικά πάνελ κενού (Vacuum insulation panels-VIP).....	80
5.2 Πάνελ πλήρωσης αερίου(Gas filled panels).....	82
5.3 Αεροτζέλ.....	83
5.4 Υλικά αλλαγής φάσης (Phase Change Materials PCM)	84
Κεφάλαιο 6: Πειραματική μελέτη θερμομονωτικών ιδιοτήτων διαφόρων θερμομονωτικών υλικών.....	85
6.1 Περιγραφή πειράματος	85
6.2 Κατασκευή δοκιμίου	85
6.3 Εξοπλισμός πειράματος	89
6.3.1 Το θερμόμετρο	89
6.3.2 Το θερμόμετρο χώρου	91
6.4 Διαδικασία πειράματος	93
6.5 Αποτελέσματα μετρήσεων	96
6.5.1 Σφάλματα μετρήσεων	96
6.5.2 Μελέτη θερμικής συμπεριφοράς των υλικών	97
6.5.3 Μελέτη συμπεριφοράς των υλικών στη μεταβολή του προσανατολισμού τους.	101
Κεφάλαιο 7: Μελέτη θερμομόνωσης ήδη υπάρχοντος κτηρίου	105
7.1 Παρουσίαση του λογισμικού.	105
7.2 Παρουσίαση του χώρου και των επεμβάσεων που θα γίνουν.	105
7.3 Προϋποθέσεις που πρέπει να καλύπτονται για την θερμομονωτική επάρκεια του κτηριακού κελύφους.	106
7.4 Υπολογισμός των απωλειών του κτηριακού κελύφους με χρήση του λογισμικού Thermocad.....	108
7.4.1 Επιλογή εισαγωγικών στοιχείων	108
7.4.2 Επιλογή δομικών στοιχείων	110
7.4.3 Επιλογή κουφωμάτων.....	113
7.4.4 Μοντελοποίηση του κτηρίου	115
7.4.5 Υπολογισμός θερμικών απωλειών.	117
7.5 Υπολογισμός θερμικών απωλειών μονωμένου κτηρίου.....	127
7.5.1 Εφαρμογή διογκωμένης πολυστερίνης	127
7.5.2 Εφαρμογή γραφιτούχας διογκωμένης πολυστερίνης.....	131
7.5.3 Εφαρμογή αφρώδους εξηλασμένης πολυστερίνης	136
7.5.4 Εφαρμογή πετροβάμβακα.....	138
7.6 Αποτελέσματα-Συμπεράσματα.....	142

Βιβλιογραφία	146
Παράρτημα Α: Μετρήσεις θερμοκρασίας εσωτερικής και εξωτερικής επιφάνειας των θερμομονωτικών υλικών που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα	148
Παράρτημα Β: Σχέδια κτηρίου με χρήση Autocad 2012 Educational Version	161

Εισαγωγή

Η χρήση της θερμομόνωσης στα κτήρια είχε κάνει την εμφάνιση της από την προϊστορική εποχή όπου οι άνθρωποι ενίσχυαν τους τοίχους των οικημάτων τους με λάσπη και δέρματα ζώων. Με την πάροδο των χρόνων και την ανάπτυξη της τεχνολογίας οι άνθρωποι άρχισαν να χρησιμοποιούν άλλες μορφές πηγών θερμότητας πιο αποδοτικές. Η αλόγιστη χρήση των ενεργοβόρων αυτών πηγών οδήγησε στην εξάντληση των κοιτασμάτων μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας καθώς και στην επιβάρυνση του περιβάλλοντος και την κλιματική αλλαγή.

Η κατάσταση αυτή οδήγησε στην εμφάνιση ποικίλλων εναλλακτικών λύσεων για την ανατροπή της δυσμενούς αυτής κατάστασης. Μερικές από τις λύσεις που εμφανίστηκαν ήταν η παραγωγή ενέργειας με εναλλακτικούς τρόπους και χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η χρήση εναλλακτικών μορφών καυσίμων τα οποία δεν επηρεάζουν την ατμόσφαιρα, η ενίσχυση των κτηριακών κελυφών με υλικά τα οποία διατηρούν τις εσωτερικές συνθήκες του χώρου για μεγάλο χρονικό διάστημα, τα υλικά αυτά είναι τα θερμομονωτικά. Η εφαρμογή των θερμομονωτικών στρώσεων στα κτήρια εμφανίζεται το 1980. Ο κλάδος των θερμομονωτικών υλικών αναπτύσσεται ραγδαία μέχρι σήμερα με την εμφάνιση νέων θερμομονωτικών υλικών εύκολων στην χρήση και με βελτιωμένες θερμομονωτικές ιδιότητες σε σχέση με αυτές των προηγούμενων.

Στην παρούσα διπλωματική μελετήθηκε η συμπεριφορά των θερμομονωτικών υλικών και η εφαρμογή τους στα κτήρια πιο συγκεκριμένα:

Στο 1^ο κεφάλαιο, έγινε μια αναφορά στην ενεργειακή κατάσταση της Ελλάδας και τους τρόπους βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων.

Στο 2^ο κεφάλαιο, παρουσιάστηκαν οι βασικοί μηχανισμοί που λαμβάνουν χώρα κατά την μετάδοση θερμότητας καθώς και οι παράγοντες που μελετώνται για να επιτευχθούν οι επιθυμητές συνθήκες ενός κτηρίου

Στο 3^ο κεφάλαιο, αναφέρεται η θερμομόνωση στα κτήρια και μελετάται η θέση της θερμομονωτικής στρώσης ανάλογα με την χρήση του κτηρίου

Στο 4^ο κεφάλαιο εμφανίζονται οι ιδιότητες των θερμομονωτικών υλικών, οι παράγοντες που επηρεάζουν την ικανότητά τους ως θερμομονωτικά καθώς και τα κύρια θερμομονωτικά υλικά στην αγορά.

Στο 5^ο κεφάλαιο αναφέρονται οι νέες τεχνολογίες θερμομονωτικών υλικών.

Στο 6^ο κεφάλαιο αναλύεται το πείραμα που διεξήχθη στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής για την μελέτη της συμπεριφοράς των υλικών στη μεταβολή του

προσανατολισμού τους καθώς την μεταξύ τους σύγκριση μέσω της μελέτης της θερμικής τους αντίστασης.

Στο 7^ο και τελευταίο κεφάλαιο γίνεται μια ενεργειακή μελέτη τη εφαρμογής θερμομονωτικής στρώσης στα κτήρια υπολογίζεται η εξοικονόμηση ενέργειας και η συμβολή της θερμομόνωσης στην μείωση της κλιματικής αλλαγής.

Κεφάλαιο 1: Η ενεργειακή απόδοση των κτηρίων

1.1 Το παγκόσμιο πρόβλημα.

1.1.1 Η κατανάλωση ενέργειας από τα κτήρια

Η παγκόσμια απαίτηση για ενεργειακή κατανάλωση αυξάνεται σε όλους τους τομείς με την πάροδο των χρόνων. Δεδομένης της αλόγιστης κατανάλωσης ενέργειας που γινόταν τα προηγούμενα χρόνια και της επέκτασης του φαινομένου της περιβαλλοντικής ρύπανσης που καθημερινά λαμβάνει όλο και μεγαλύτερες διαστάσεις, έγιναν προσπάθειες για ανατροπή της υπάρχουσας ενεργειακής κατάστασης.

Το 40% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης στην Ευρώπη οφείλεται στον κτηριακό τομέα. Ο οικιακός τομέας με τη σειρά του ευθύνεται για το 63% της ενεργειακής κατανάλωσης του κτηριακού τομέα. Η αύξηση στην ενεργειακή απόδοση των κτηρίων, μπορεί να αποτελέσει ένα σημαντικό εργαλείο στις προσπάθειες των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης για ανεξαρτητοποίηση τους από την προμήθεια ενέργειας των διεθνών αγορών η οποία σήμερα κυμαίνεται στο 48% και την συμμόρφωση τους με το πρωτόκολλο του Κιότο για την μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα.

Έπειτα από την αξιολόγηση διαφορετικών σεναρίων στην εξοικονόμηση ενέργειας και την μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα προέκυψε ότι οι πιο αποδοτικοί τρόποι είναι: η μόνωση των εξωτερικών τοίχων που παρέχει εξοικονόμηση 33-60% της ενέργειας, η στεγανοποίηση των ανοιγμάτων με ποσοστό 16-21%, η εγκατάσταση διπλών τζαμιών στα παράθυρα με 14-20% εξοικονόμηση, η τακτική συντήρηση των λεβήτων κεντρικής θέρμανσης οι οποίοι εξοικονομούν 10-12% και τέλος η εγκατάσταση ηλιακών συλλεκτών για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης που εξοικονομεί 50-80% της ενέργειας. [4]

1.1.2 Η κοινοτική οδηγία

Το 2002 εκδόθηκε η ευρωπαϊκή κοινοτική οδηγία 91 για την ενεργειακή απόδοση των κτηρίων, η οποία έδινε τις γενικές κατευθύνσεις στα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής ένωσης προκειμένου να περιοριστεί η κατανάλωση ενέργειας στον κτηριακό τομέα.[13] Η κοινοτική οδηγία 2002/91/EC αναθεωρήθηκε με την οδηγία 2010/31/EU η οποία προωθεί την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων εντός της Ευρωπαϊκής ένωσης, λαμβάνοντας υπόψη τις εξωτερικές κλιματολογικές και τις τοπικές συνθήκες, καθώς και τις κλιματικές απαιτήσεις των εσωτερικών χώρων και τη σχέση κόστους/οφέλους.[16,17]

Σύμφωνα με την οδηγία αυτή προβλέπεται η υποχρέωση της δημιουργίας κτηρίων σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης από τις 31 Δεκεμβρίου 2020 για τον οικιακό τομέα και από τις 31 Δεκεμβρίου 2018 για τα δημόσια κτήρια. Η οδηγία αυτή επιβάλλει την σύνταξη πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης για όλα τα κτήρια και τέθηκε σε λειτουργία για όλα τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης.^[8]

Τα μέτρα τα οποία θα ληφθούν ποικίλουν ανάλογα με τον τύπο του κτηρίου. Όσον αφορά τα καινούρια κτήρια κρίνεται απαραίτητο να υποβάλλουν πριν την κατασκευή μια τεχνικοοικονομική μελέτη η οποία θα προβάλει τον οικολογικό χαρακτήρα του κτηρίου με χρήση εναλλακτικών μεθόδων παραγωγής ενέργειας. Είναι σημαντικό να ληφθούν υπόψη τα διάφορα συστήματα που βασίζονται στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως τα συστήματα συμπαραγωγής, τηλεθέρμανσης και τηλεψύξης .

Η ευρωπαϊκή ένωση προτάσσει τα κράτη μέλη της να θεσπίσουν τους δικούς τους κανονισμούς ανάλογα με τις κλιματολογικές, οικονομικές και κοινωνικές συνθήκες που επικρατούν. Η Ελλάδα ως κράτος μέλος της ευρωπαϊκής ένωσης συμμετέχει στην ενεργειακή αναβάθμιση του κτηριακού τομέα έχοντας συντάξει τους παρακάτω κανονισμούς:

- Το 1979 εμφανίζεται ο Κανονισμός Θερμομόνωσης κτηρίων (Κ.Θ.Κ) που αποτελεί τον πρώτο κανονισμό που αφορά την εξοικονόμηση ενέργειας στην Ελλάδα .
- Έπειτα ακολουθεί ο Κανονισμός Ορθολογικής Χρήσης και Εξοικονόμησης Ενέργειας (Κ.Ο.Χ.Ε.Ε)
- Τελευταίος συντάχθηκε ο Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων (ΚΕνΑΚ)^[20]

Με βάση των ΚΕνΑΚ η μελέτη θερμομόνωσης του κτηρίου αντικαθίσταται από την μελέτη η ενεργειακής απόδοσης του κτηρίου μέρος της οποίας αποτελεί και η θερμομονωτική επάρκεια του κελύφους.

1.1.3 Η ρύπανση από τα κτήρια

Ένα μεγάλο ποσοστό της αέριας ρύπανσης προέρχεται από τα κτήρια. Ο σημαντικότερος ρύπος από τα αέρια του θερμοκηπίου είναι το διοξείδιο του άνθρακα. Περίπου το 39% των συνολικών εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα, στην Ευρωπαϊκή Ένωση, προέρχεται από τον ηλεκτρισμό και την παραγωγή θερμότητας. Επιπλέον οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από τον οικιακό τομέα είναι η τέταρτη σε κατάταξη μεγαλύτερη πηγή και ευθύνεται για το 10% των συνολικών εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου σύμφωνα με μετρήσεις το 2002. Παράλληλα οι εκπομπές από τα εμπορικά κτήρια έρχονται πέμπτες στην κατάταξη με ποσοστό 3,7% της συνολικής κατανάλωσης. ^[4]

1.1.4 Η ενεργειακή κατάσταση στην Ελλάδα

Κατά την διάρκεια της προηγούμενης δεκαετίας στην Ελλάδα η μεγαλύτερη αύξηση της ενεργειακής απαίτησης οφειλόταν στα κτήρια τα οποία χρησιμοποιούσαν κατά κόρον τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό για την δημιουργία συνθηκών θερμικής άνεσης. Τα κτήρια ευθύνονται για το 25% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης και καταναλώνουν το 32,7% της συνολικής ηλεκτρικής παραγωγής στη χώρα και το 21,5% της συνολικής θερμικής ενέργειας. Η ενεργειακή κατανάλωση στον οικιακό τομέα αντιπροσωπεύει το 73,6% της συνολικής ενέργειας που καταναλώνει ο ελληνικός κτηριακός τομέας. [4]

1.2 Παράγοντες βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης του κτηρίου

Η κύρια απαίτηση από ένα κτήριο είναι η επίτευξη συνθηκών θερμικής άνεσης με ελαχιστοποίηση της χρήσης του μηχανολογικού εξοπλισμού του κτηρίου για μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης και της εκπομπής αέριων ρύπων. Ο στόχος αυτός μπορεί να επιτευχθεί με τον συνδυασμό αρκετών παραγόντων ενδεικτικά αναφέρονται: η εκμετάλλευση των κλιματολογικών συνθηκών της περιοχής, η επιλογή βέλτιστου προσανατολισμού και σχήματος του κτηρίου καθώς και η επιλογή κατάλληλης μόνωσης του κελύφους του. [14]

Παράμετροι που καθορίζουν τις ενεργειακές απαιτήσεις του κτηρίου είναι:

Φυσικές και περιβαλλοντικές παράμετροι:

- Θερμοκρασία εξωτερικού αέρα
- Ηλιακή ακτινοβολία
- Διεύθυνση και ταχύτητα του ανέμου
- Υγρασία

Σχεδιαστικές παράμετροι:

- Αρχιτεκτονική κτηρίου
- Προσανατολισμός και χωροθέτηση κτηρίου
- Θερμοφυσικές ιδιότητες των υλικών
- Απόσταση μεταξύ κτηρίων
- Ανοίγματα [6]

1.2.1 Το κλίμα της Ελλάδας

Το κλίμα της Ελλάδας χαρακτηρίζεται ως μεσογειακό, αντιπροσωπευτικά χαρακτηριστικά αυτού του κλίματος είναι τα ζεστά ξηρά καλοκαίρια και οι κρύοι υγροί χειμώνες. Η Ελλάδα λόγω της ποικιλομορφίας της και του ιδιαίτερου ανάγλυφού της εμφανίζει διακριτές διαφορές στο κλίμα μεταξύ των περιοχών της. Πιο συγκεκριμένα οι παραθαλάσσιες περιοχές με χαμηλό υψόμετρο χαρακτηρίζονται από ήπιους χειμώνες και αισθητά πιο ζεστά καλοκαίρια, αντιθέτως οι ορεινές περιοχές με υψηλό υψόμετρο χαρακτηρίζονται από κρύους χειμώνες και έντονες κατακρημνίσεις βροχή, χιόνι, χαλάζι κατά την περίοδο τους. Τα ορεινά τους χειμερινούς μήνες είναι ως επί το πλείστον καλυμμένα από χιόνι. Με βάση τις κλιματικές αλλαγές στην Ελλάδα μπορούμε να διακρίνουμε δύο περιόδους την χειμερινή η οποία διαρκεί 6 μήνες από τον Οκτώβριο μέχρι τον Μάρτιο και έχει χαμηλές θερμοκρασίες και συχνές βροχοπτώσεις και την θερινή η οποία διαρκεί από τον Απρίλιο μέχρι τον Οκτώβριο και εμφανίζονται ήπιες κλιματολογικές συνθήκες υψηλές θερμοκρασίες και σπάνιες καταιγίδες μικρής διάρκειας. [14]

1.2.2 Οι απαιτήσεις του κτηρίου ανάλογα με την εποχή

Τους χειμερινούς μήνες, η ηλιακή ακτινοβολία χρησιμοποιείται ως πηγή θερμότητας καθώς και ως πηγή φωτισμού. Για την επίτευξη συνθηκών θερμικής άνεσης απαιτείται η πρόσδοδος μεγάλων ποσών της ηλιακής ακτινοβολίας στο εσωτερικό του κτηρίου τόσο για την πρόσδοση θερμότητας όσο και για τον φυσικό φωτισμό του κτηρίου. Σημαντική θεωρείται η διατήρηση των ποσών θερμότητας στο εσωτερικό του για μεγάλο χρονικό διάστημα μέσω του επαρκώς θερμομονωμένου κελύφους έτσι ώστε να μειωθεί η χρήση τεχνικού εξοπλισμού για θέρμανση.

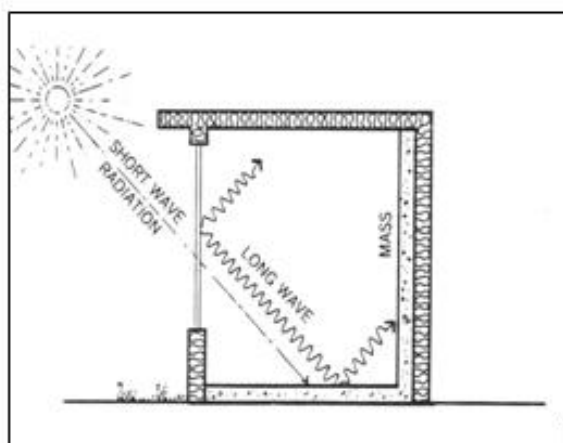
Αντίθετα την θερινή περίοδο είναι επιθυμητή η αποτροπή της εισόδου της ηλιακής ακτινοβολίας, καθώς το θερμό κλίμα που επικρατεί στην ατμόσφαιρα δημιουργεί την ανάγκη δροσισμού του κτηρίου. Αναζητούνται λοιπόν πηγές φυσικού δροσισμού καθώς και χρήση εξωτερικών σκιάστρων τα οποία αποτρέπουν την ηλιακή πρόσοδο και μειώνουν την ανάγκη του κτηρίου για ψύξη από μηχανολογικό εξοπλισμό όπως για παράδειγμα κλιματιστικών μονάδων. [14]

1.2.3 Η ηλιακή ακτινοβολία ως πηγή θερμότητας

Η ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να εισέλθει στο εσωτερικό του κτηρίου μόνο από τα διαφανή δομικά στοιχεία καθώς τα αδιαφανή είναι θερμικά μονωμένα και την κρατούν στο

εξωτερικό του κελύφους. Η νότια όψη του κτηρίου, η οποία εκτίθεται στην ηλιακή ακτινοβολία μεγαλύτερο χρονικό διάστημα κατά την διάρκεια της ημέρας από τις υπόλοιπες όψεις, θα πρέπει να απαρτίζεται από μεγάλα ανοίγματα προκειμένου να εισέρχεται η ηλιακή ακτινοβολία στο εσωτερικό του κτηρίου και να χρησιμοποιείται ως πηγή θερμότητας.

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που εκπέμπεται από τον ήλιο είναι μικρού μήκους κύματος ανάλογα με την διαπερατότητα των διαφανών δομικών υλικών. Ένα ποσό της εισέρχεται στο κτήριο, απορροφάται από τα στοιχεία του εσωτερικού του κτηρίου και επανεκπέμπεται ως θερμική ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος. Τα διαφανή υλικά είναι αδιαπέραστα από την ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος, έτσι αυτή εγκλωβίζεται στο εσωτερικό του κτηρίου. Όλη αυτή η διαδικασία είναι όμοια με το “φαινόμενο του θερμοκηπίου”. Η θερμότητα που υπάρχει πλέον στον χώρο απορροφάται από τα υπόλοιπα δομικά στοιχεία και μεταδίδεται στον εσωτερικό αέρα με αγωγή, συναγωγή και ακτινοβολία συμβάλλοντας έτσι στην δημιουργία ενός θερμικά άνετου κλίματος. [14]



Σχήμα 1.1: Είσοδος της ηλιακής ακτινοβολίας στο εσωτερικό του κτηρίου, μετατροπή της σε θερμική ακτινοβολία και αποθήκευσή της στα δομικά στοιχεία [14]

1.2.4 Η θερμική μάζα των υλικών

Όπως προαναφέρθηκε η ηλιακή ακτινοβολία που εισέρχεται στο εσωτερικό του κτηρίου απορροφάται από τα δομικά στοιχεία του κτηρίου και αποθηκεύεται στη θερμική μάζα των υλικών. Η ικανότητα του κάθε δομικού στοιχείου να απορροφήσει ένα ποσό θερμότητας εξαρτάται από την θερμοχωρητικότητα του κάθε υλικού. Κύρια προϋπόθεση για την αποθήκευση της θερμότητας στην μάζα των υλικών είναι η τοποθέτηση της θερμικής μόνωσης στο εξωτερικό του κελύφους. Στην αντίθετη περίπτωση δηλαδή όταν η μόνωση

τοποθετείται εσωτερικά λειτουργεί σαν “ασπίδα” στα δομικά υλικά και έτσι δεν είναι δυνατή η αποθήκευση της θερμότητας.

Η θερμότητα μπορεί να αποθηκευθεί σε ένα δομικό στοιχείο είτε με άμεση απορρόφηση της ακτινοβολίας (ο τρόπος αυτός χαρακτηρίζεται και ως ο πιο αποδοτικός), είτε με απορρόφηση της θερμότητας που ακτινοβολείται από ένα άλλο σώμα το οποίο έχει προσλάβει την αρχική ακτινοβολία, είτε και με μεταφορά της θερμότητας μέσω του εσωτερικού αέρα ο οποίος την έχει παραλάβει από τα σώματα (ο τρόπος αυτός θεωρείται ο λιγότερο αποδοτικός).

Η ύπαρξη της θερμικής μάζας στο κτήριο δημιουργεί το πλεονέκτημα απόδοσης θερμότητας με χρονική υστέρηση. Τα ποσά θερμότητας που έχει απορροφήσει το κέλυφος του κτηρίου κατά την διάρκεια της ημέρας μπορούν να αποδοθούν τις ώρες όπου εσωτερική θερμοκρασία μειώνεται. Η λειτουργία αυτή των υλικών είναι πολύ σημαντική και την θερινή περίοδο όπου με αυτό τον τρόπο μπορεί να αποφευχθεί το φαινόμενο υπερθέρμανσης στο κτήριο και να αποδοθεί η θερμότητα το βράδυ όπου η θερμοκρασία είναι χαμηλή. [14]

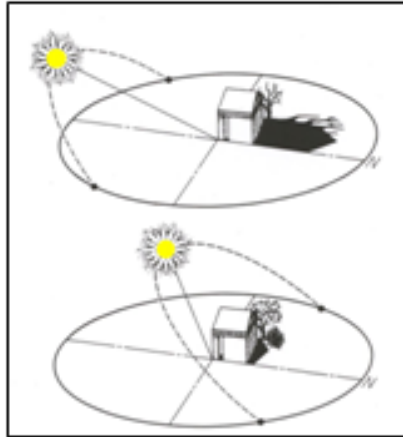
1.2.5 Ο προσανατολισμός του κτηρίου

Ο προσανατολισμός της όψης του κτηρίου επηρεάζει την σκίαση καθώς και την ενεργειακή απόδοση του κελύφους του κτηρίου. Τα οφέλη που προκύπτουν από την επιλογή του βέλτιστου προσανατολισμού του κτηρίου παρατίθενται ακολούθως:

- Είναι ένα μέτρο χαμηλού κόστους το οποίο εφαρμόζεται στα αρχικά στάδια του σχεδιασμού του κτηρίου
- Μειώνει τις ενεργειακές απαιτήσεις του κτηρίου
- Μειώνει την χρήση των πιο εξελιγμένων παθητικών συστημάτων
- Αυξάνει τις επιδόσεις των παθητικών συστημάτων
- Αυξάνει τις ποσότητες της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στο κτήριο και μειώνει τις ενεργειακές απαιτήσεις για τεχνητό φωτισμό και θέρμανση
- Βελτιώνει την απόδοση των ηλιακών συλλεκτών [6]

Έπειτα από μελέτες που έχουν διεξαχθεί για το βόρειο ημισφαίριο, έχει προκύψει το συμπέρασμα ότι ο ευνοϊκότερος από ενεργειακή άποψη προσανατολισμός του κτηρίου είναι ο νότιος καθώς την χειμερινή περίοδο σύμφωνα με την τροχιά του ήλιου, ο ηλιασμός της νότιας πλευράς του κτηρίου διαρκεί περισσότερες ώρες από ότι αυτός της δυτικής και ανατολικής οι οποίοι δέχονται την ακτινοβολία τις απογευματινές και πρωινές ώρες αντίστοιχα. Αντίθετα η ανατολική και δυτική όψη του κτηρίου δέχεται μεγάλα ποσά

ακτινοβολίας και για μεγάλη διάρκεια κατά την θερινή περίοδο ενώ η νότια όψη ηλιάζεται για μικρό χρονικό διάστημα. Οι εικόνες που ακολουθούν βοηθούν στην κατανόηση της παραπάνω περιγραφής. [14]



Σχήμα 1.2: Οι τροχιές του ήλιου το χειμώνα και το καλοκαίρι. Είναι εμφανής η διάρκεια ηλιασμού των διαφόρων πλευρών. [14]



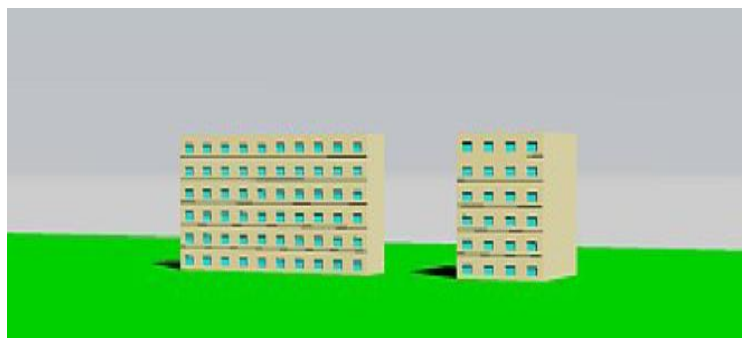
Σχήμα 1.3: Ηλιασμός ανατολικής και δυτικής όψης κτηρίου σε κάτοψη τον χειμώνα και το καλοκαίρι αντίστοιχα [http://diana-skordas.gr]

1.2.6 Η χωροθέτηση και το σχήμα του κτηρίου

Το σχήμα του κτηρίου καθορίζει την ηλιακή ενέργεια που δέχεται και τις συνολικές απαιτήσεις για ενεργειακή κατανάλωση. Η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε ένα κτήριο μπορεί να αυξήσει τις ενεργειακές απαιτήσεις του σε ψύξη πάνω από 25%. Κατά συνέπεια το σχήμα δεν επηρεάζει μόνο την συνολική επιφάνεια πρόσοψης και της οροφής που δέχονται την ηλιακή ακτινοβολία αλλά και τις ενεργειακές απώλειες από την εξωτερική επιφάνεια του κτηρίου.

Κατά τον σχεδιασμό ενός κτηρίου, ο λόγος μεταξύ της εξωτερικής επιφάνειας και του όγκου του, πρέπει να είναι ο μικρότερος δυνατός, το ιδανικό σχήμα για την περίπτωση

αυτή είναι το ημισφαιρικό. Ωστόσο από κατασκευαστική και σχεδιαστική άποψη, το σχήμα αυτό είναι ανέφικτο στις περισσότερες περιπτώσεις. Για τον λόγο αυτό μελετήθηκε η απόδοση του παραλληλεπίπεδου σχήματος καθώς και μιας ποικιλίας σχημάτων προκειμένου να βρεθεί το καταλληλότερο μοντέλο. Έπειτα από έρευνες έχει διεξαχθεί το συμπέρασμα ότι το καταλληλότερο σχήμα των κτηρίων σε περιοχές με πιο ψυχρό κλίμα είναι το κυβικό καθώς τα συμπαγή κτήρια εμφανίζουν λιγότερες απώλειες, ενώ σε περιοχές με εύκρατο κλίμα όπως η Ελλάδα τα κτήρια είναι πιο αποδοτικά όταν το σχήμα τους είναι παραλληλόγραμμο με επιμηκυμένο άξονα αυτόν της ανατολής και δύσης. [6]

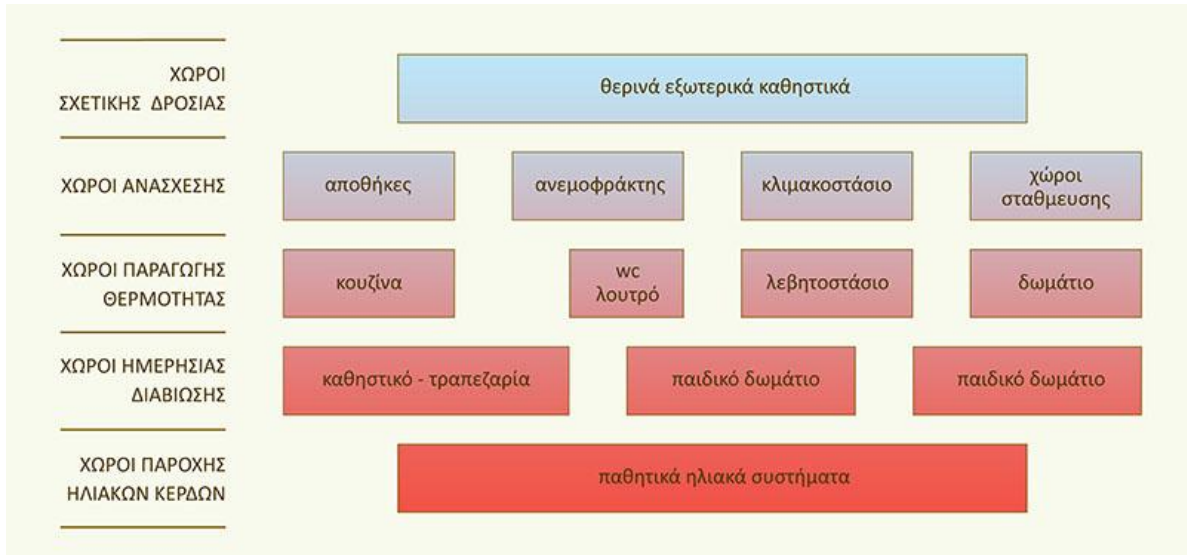


Σχήμα 1.4: Κτήρια με διαφορετικό σχήμα [6]

Το κτήριο πρέπει να τοποθετείται στην βορινή πλευρά του οικοπέδου όταν φυσικά δίνεται η δυνατότητα αυτής της επιλογής έτσι ώστε να αφήνεται ακάλυπτη η νότια πλευρά για να γίνεται καλύτερη εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας. Σημαντικός παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι τα γειτονικά κτήρια τα οποία πιθανώς να σκιάζουν το κτήριο και να παρεμποδίζουν την ηλιακή ακτινοβολία. Επειδή οι περισσότερες αστικές περιοχές είναι πυκνοκατοικημένες δεν υπάρχει η δυνατότητα νότιου προσανατολισμού του κτηρίου. Μια μικρή απόκλιση στον προσανατολισμό μέχρι 30° προς την ανατολική ή δυτική πλευρά δεν έχει μεγάλη επιρροή στα πλεονεκτήματα του νότιου προσανατολισμού. Παρόλα αυτά η κύρια όψη του κτηρίου πρέπει να τοποθετείται προς την νότια πλευρά.

Η χωροθέτηση των δωματίων στο κτήριο πρέπει να γίνεται με τρόπο ώστε να υφίσταται άμεση εκμετάλλευση της θερμικής ενέργειας. Έτσι προτείνεται οι χώροι στους οποίους ο χρήστης καταναλώνει τις περισσότερες ώρες όπως το σαλόνι και τα δωμάτια να τοποθετούνται στο μπροστινό νότιο τμήμα του κτηρίου. Οι βοηθητικοί χώροι όπως η αποθήκη το λεβητοστάσιο και οι χώροι στάθμευσης τοποθετούνται στην βορινή πλευρά του κτηρίου, η οποία είναι πιο ψυχρή αφού δεν δέχεται άμεση ακτινοβολία και λόγω του ότι δεν χρειάζονται μεγάλα ποσά θερμότητας καθώς ο χρήστης ξοδεύει μόνο μερικά λεπτά στους χώρους αυτούς. Αυτή η τεχνική χωροθέτησης των βοηθητικών χώρων προάγεται από αρχαιοτάτων χρόνων όπου οι στάβλοι και οι αποθήκες σιτηρών στην αγροτική κατοικία τοποθετούνταν στο πίσω μέρος του κτηρίου. Παρόλα αυτά ο ρόλος τους είναι καίριας σημασίας καθώς προστατεύουν την θερμότητα και διευκολύνουν την θέρμανση

των ενδιάμεσων χώρων. Στην ενδιάμεση ζώνη του κτηρίου τοποθετούνται οι χώροι που χρησιμοποιούνται λίγες ώρες της ημέρας όπως λουτρά και κουζίνες το σχήμα που ακολουθεί απεικονίζει την διάταξη των χώρων, για την καλύτερη εκμετάλλευση της θερμότητας σε μια κατοικία.



Σχήμα 1.5: Διάταξη χώρων μια ενεργειακά σωστής κατοικίας [<http://diana-skordas.gr>]

Συνοψίζοντας τα παραπάνω σε ένα κτήριο το οποίο σχεδιάζεται με βάση της αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού η εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι καίριας σημασίας και επιτυγχάνεται με τους τρόπους που προαναφέρθηκαν αλλά σημαντική προϋπόθεση αποτελεί και η αποθήκευση αυτής της θερμότητας μέσω της θερμικής μάζας των δομικών υλικών και του επαρκώς θερμομονωμένου κελύφους για την ελαχιστοποίηση των θερμικών απωλειών προς το εξωτερικό περιβάλλον. [14]

Κεφάλαιο 2: Βασικοί όροι στη θερμομόνωση

2.1 Μετάδοση θερμότητας

Με τον όρο μετάδοση θερμότητας εννοείται η μεταφορά ενέργειας από ένα σώμα σε ένα άλλο λόγω της μεταξύ τους διαφοράς θερμοκρασίας. Η θερμότητα μεταφέρεται πάντα από το θερμότερο στο ψυχρότερο σώμα. Η μεταφορά αυτή είναι διαρκής μέχρι να επέλθει θερμική ισορροπία μεταξύ των σωμάτων. Η θερμότητα μεταφέρεται με τρεις τρόπους: με αγωγή, με συναγωγή και με ακτινοβολία. Τις περισσότερες φορές η θερμότητα μεταφέρεται με συνδυασμό των παραπάνω τρόπων. Οι αρχές μετάδοσης θερμότητας αποτελούν σημαντικό εργαλείο για την εκτίμηση των θερμικών και ψυκτικών αναγκών ενός κτηρίου.

2.1.1 Ο μηχανισμός της αγωγής

Ως αγωγή ορίζεται η μεταφορά ενέργειας από τα πιο ενεργά σωματίδια μιας ουσίας προς τα λιγότερο ενεργά λόγω των μεταξύ τους αλληλεπιδράσεων και συμβαίνει μόνο όταν τα δύο σώματα βρίσκονται σε άμεση επαφή μεταξύ τους. Η μεταφορά θερμότητας με αγωγή λαμβάνει χώρα τόσο στα στερεά σώματα όσο στα υγρά και στα αέρια. Τα μόρια των στερεών σωμάτων είναι διατεταγμένα σε πλέγματα και συνδέονται μεταξύ τους μέσω ισχυρών δεσμών, τα μόρια αυτά ταλαντώνονται γύρω από συγκεκριμένες θέσεις. Η μεταφορά θερμότητας στα στερεά σώματα οφείλεται στις ταλαντώσεις των μορίων τους καθώς και στα ελεύθερα ηλεκτρόνια τους. Στα υγρά και τα αέρια, τα μόρια δεν έχουν συγκεκριμένη δομή και κινούνται σε τυχαίες θέσεις, οι μεταξύ τους δεσμοί είναι ασθενείς, λιγότερο στα υγρά και ακόμη περισσότερο στα αέρια. Η μεταφορά θερμότητας με τον μηχανισμό της αγωγής στα υγρά και στα αέρια οφείλεται στις έντονες συγκρούσεις των μορίων τους και στην διάχυση μεταξύ αυτών, κατά την τυχαία κίνηση τους.

Ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας με αγωγή μέσα από ένα μέσο εξαρτάται από τη γεωμετρία, το πάχος, το υλικό καθώς και την διαφορά θερμοκρασίας στις δύο πλευρές του μέσου.

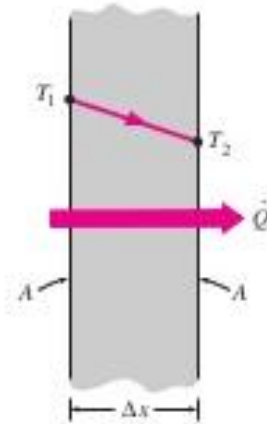
Πειράματα έδειξαν ότι ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας με αγωγή διαμέσου ενός επίπεδου στρώματος είναι ανάλογος προς τη διαφορά θερμοκρασίας στις δύο πλευρές του στρώματος και προς την επιφάνεια που είναι κάθετη προς την διεύθυνση μεταφοράς θερμότητας, ενώ είναι αντιστρόφως ανάλογος με το πάχος του στρώματος. Η μαθηματική σχέση που περιγράφει την παραπάνω έκφραση είναι:

$$\dot{Q}_{cond} = -\lambda \cdot A \cdot \frac{dT}{dx} \quad [2.1]$$

Όπου:

- \dot{Q}_{cond} : η ροή θερμότητας με τον μηχανισμό της αγωγής [W]
- λ : η θερμική αγωγιμότητα του υλικού [W/(m · K)]
- A : η κάθετη επιφάνεια προς την διεύθυνση μεταφοράς θερμότητας. [m²]
- $\frac{dT}{dx}$: η θερμοκρασιακή βαθμίδα η οποία αποτελεί την κλίση της καμπύλης θερμοκρασίας σε ένα διάγραμμα $T - x$ στη θέση x [K/m]

Η σχέση αυτή αποτελεί τον νόμο του Fourier για την αγωγή θερμότητας, πήρε το όνομα της από τον J. Fourier, ο οποίος τον εξέφρασε πρώτος στο σύγγραμμά του σχετικά με την μεταφορά θερμότητας το 1822. [3]



Σχήμα 2.1: Αγωγή θερμότητας διαμέσου ενός μεγάλου επίπεδου τοίχου πάχους Δx και επιφάνειας A [3]

Σε ένα ομογενές επίπεδο υλικό, η μεταφορά θερμότητας με αγωγή, γίνεται με βάση τα παραπάνω. Όταν όμως υπάρχει η ανάγκη μελέτης ενός σύνθετου υλικού, το οποίο αποτελείται από περισσότερες στρώσεις, τότε ο νόμος του Fourier εφαρμόζεται ξεχωριστά για την κάθε στρώση και η συνολική ροή θερμότητας διαμέσου του υλικού προκύπτει από συνδυασμό των επιμέρους σχέσεων. Δηλαδή:

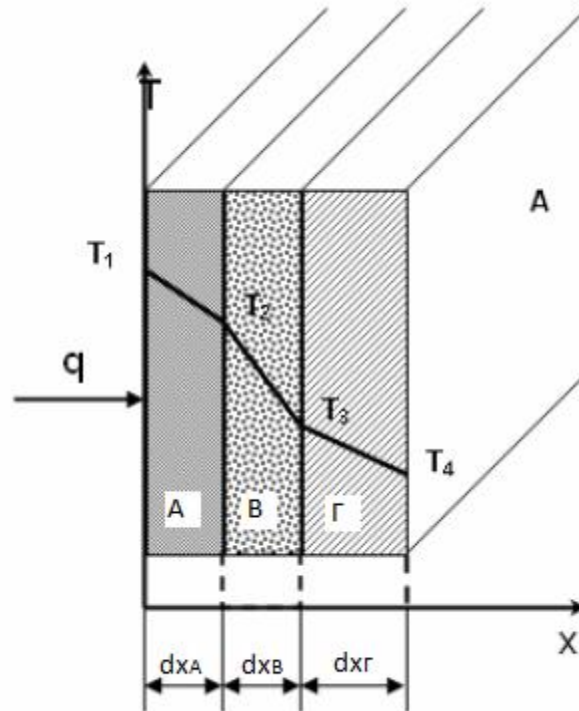
$$\dot{Q}_{cond} = -\lambda_A \cdot A \cdot \frac{T_1 - T_2}{dx_A} \quad [2.1.1]$$

$$\dot{Q}_{cond} = -\lambda_B \cdot A \cdot \frac{T_2 - T_3}{dx_B} \quad [2.1.2]$$

$$\dot{Q}_{cond} = -\lambda_\Gamma \cdot A \cdot \frac{T_3 - T_4}{dx_\Gamma} \quad [2.1.3]$$

Αθροίζοντας τις παραπάνω σχέσεις προκύπτει η συνολική ροή θερμότητας διαμέσου του υλικού:

$$\dot{Q}_{cond} = -A \cdot \frac{T_1 - T_4}{\frac{dx_A}{\lambda_A} + \frac{dx_B}{\lambda_B} + \frac{dx_\Gamma}{\lambda_\Gamma}} \quad [2.1.4]$$



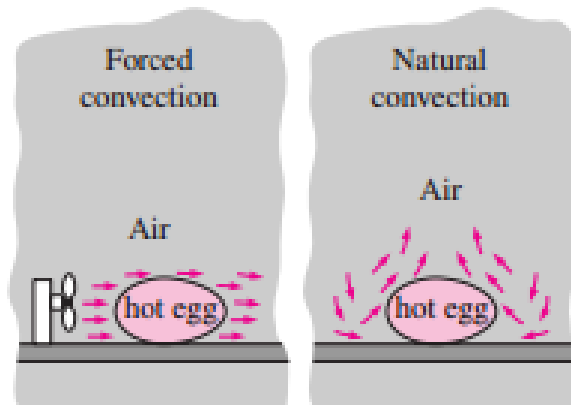
Σχήμα 2.2: Μεταφορά θερμότητας με αγωγή σε σύνθετο επίπεδο στοιχείο. [12]

2.1.2 Ο μηχανισμός της συναγωγής

Η μετάδοση θερμότητας με συναγωγή είναι ο τρόπος μεταφοράς ενέργειας μεταξύ μιας στερεάς επιφάνειας και του γειτονικού υγρού ή αερίου που βρίσκεται σε κίνηση, και περιλαμβάνει την συνδυασμένη επίδραση της αγωγής και της κίνησης του ρευστού. Η ειδοποιός διαφορά του μηχανισμού της συναγωγής από τον μηχανισμό της αγωγής έγκειται στην κίνηση του ρευστού.

Υπάρχουν δύο είδη συναγωγής η φυσική και η εξαναγκασμένη. Με τον όρο φυσική συναγωγή ορίζεται η συναγωγή κατά την οποία η κίνηση του ρευστού οφείλεται στις ανυψωτικές δυνάμεις που επάγονται από τις διαφορές στην πυκνότητα του ρευστού λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας. Εξαναγκασμένη συναγωγή θεωρείται αυτή, στην οποία

υπάρχει μια εξωτερική πηγή, όπως ένας ανεμιστήρας ή μια αντλία, η οποία προκαλεί την κίνηση του ρευστού που περιβάλλει το σώμα. [3]



Σχήμα 2.3: Η ψύξη ενός βρασμένου αβγού με εξαναγκασμένη και φυσική συναγωγή. [3]

Ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας με τον μηχανισμό της συναγωγής είναι ανάλογος της διαφοράς θερμοκρασίας και εκφράζεται από τον νόμο της ψύξης του Newton. Η μαθηματική έκφραση του οποίου είναι:

$$\dot{Q}_{convection} = h \cdot A \cdot (T_s - T_{\infty}) \quad [2.2]$$

Όπου:

- $\dot{Q}_{convection}$: ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας με τον μηχανισμό της συναγωγής [W]
- h : ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας με συναγωγή [$W/(m^2 \cdot K)$]
- A : το εμβαδόν της επιφάνειας μέσω της οποίας πραγματοποιείται η μεταφορά θερμότητας [m^2]
- T_s : η θερμοκρασία της επιφάνειας [K]
- T_{∞} : η θερμοκρασία του ρευστού που βρίσκεται μακριά από την επιφάνεια. [K]

2.1.3 Ο μηχανισμός της ακτινοβολίας

Ως ακτινοβολία ορίζεται η ενέργεια που εκπέμπει η ύλη με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων ή φωτονίων λόγω των μεταβολών στην ηλεκτρονική διαμόρφωση των ατόμων ή των μορίων. Η μεταφορά ενέργειας με ακτινοβολία δεν απαιτεί την ύπαρξη υλικού μέσου. Συγκεκριμένα η μεταφορά αυτή στο κενό, η οποία είναι και ο μηχανισμός με τον οποίο φτάνει η ηλιακή ενέργεια στη γη, είναι ταχύτερη από ότι στην περίπτωση ύπαρξης υλικού μέσου και δεν εμφανίζονται απώλειες.

Η μορφή της ακτινοβολίας η οποία μελετάται στην μετάδοση θερμότητας είναι η θερμική ακτινοβολία, η οποία αποτελεί την μορφή ενέργειας που εκπέμπουν τα σώματα λόγω της θερμοκρασίας τους. Όλα τα σώματα με θερμοκρασία μεγαλύτερη από το απόλυτο μηδέν εκπέμπουν θερμική ακτινοβολία.

Ο νόμος Stefan-Boltzmann δίνει την μαθηματική έκφραση του μέγιστου ρυθμού ακτινοβολίας που μπορεί να εκπέμπει μια επιφάνεια σε απόλυτη θερμοκρασία T_s και έχει ως εξής:

$$\dot{Q}_{emit,max} = \sigma \cdot A \cdot T_s^4 \quad [2.3]$$

Όπου :

- $\dot{Q}_{emit,max}$: ο μέγιστος ρυθμός ακτινοβολίας που μπορεί να εκπέμπει μια επιφάνεια [W]
- $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ η σταθερά Stefan-Boltzmann
- A : το εμβαδόν της επιφάνειας όπου προσπίπτει η ακτινοβολία [m^2]
- T_s : η απόλυτη θερμοκρασία της επιφάνειας [K]

Η ιδανική επιφάνεια που εκπέμπει ακτινοβολία με τον μέγιστο αυτό ρυθμό ονομάζεται μέλαν σώμα. Στην πραγματικότητα δεν υπάρχει μέλαν σώμα το οποίο να υπακούει στον παραπάνω νόμο για τον λόγο αυτό εισήχθη ο συντελεστής ε ο οποίος προσδιορίζει την ικανότητα εκπομπής μιας επιφάνειας και η τιμή του κυμαίνεται μεταξύ $0 \leq \varepsilon \leq 1$. Η ακτινοβολία που εκπέμπουν όλες οι πραγματικές επιφάνειες δίνεται από τον τύπο:

$$\dot{Q}_{emit} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T_s^4 \quad [2.4]$$

Όπου :

- \dot{Q}_{emit} : ο ρυθμός ακτινοβολίας που μπορεί να εκπέμπει μια επιφάνεια [W]
- ε : ο συντελεστής εκπομπής της επιφάνειας
- $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ η σταθερά Stefan-Boltzmann
- A : το εμβαδόν της επιφάνειας όπου προσπίπτει η ακτινοβολία [m^2]
- T_s : η απόλυτη θερμοκρασία της επιφάνειας [K]

Οι επιφάνειες έχουν την ιδιότητα να απορροφούν την ακτινοβολία. Αυτή η ιδιότητα εκφράζεται με τον συντελεστή απορρόφησης α , ο οποίος αποτελεί το κλάσμα της προσπίπτουσας σε μια επιφάνεια ακτινοβολίας, που απορροφάται από αυτήν και η τιμή του κυμαίνεται μεταξύ $0 \leq \alpha \leq 1$.

Οι συντελεστές ε και α μιας επιφάνειας εξαρτώνται από τη θερμοκρασία και το μήκος κύματος της ακτινοβολίας. Ο νόμος του Kirchhoff για την ακτινοβολία δηλώνει ότι οι συντελεστές α και ε για μια επιφάνεια είναι ίσοι μεταξύ τους στην ίδια θερμοκρασία και στο

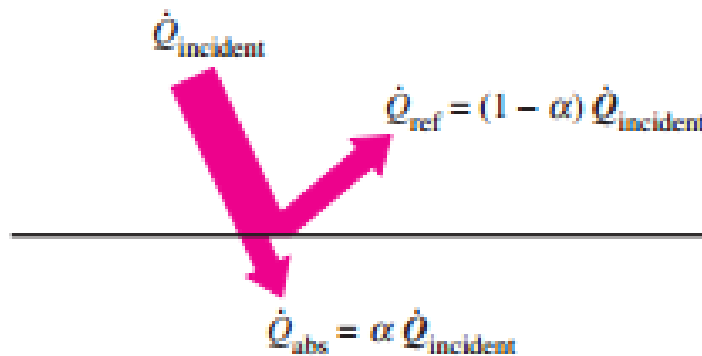
ίδιο μήκος κύματος. Στις πιο πρακτικές εφαρμογές όμως ο μέσος συντελεστής ε λαμβάνεται ίσος με τον μέσο συντελεστή α μιας επιφάνειας και αγνοείται η εξάρτησή τους από την θερμοκρασία και το μήκος κύματος. [3]

Ο ρυθμός με τον οποίο μια επιφάνεια απορροφά ακτινοβολία δίνεται από τον τύπο:

$$\dot{Q}_{absorbed} = \alpha \cdot \dot{Q}_{incident} \quad [2.5]$$

Όπου:

- $\dot{Q}_{absorbed}$: ο ρυθμός με τον οποίο μια επιφάνεια απορροφά ακτινοβολία [W].
- α : ο συντελεστής απορροφητικότητας της επιφάνειας
- $\dot{Q}_{incident}$: ο ρυθμός με τον οποίο η ακτινοβολία προσπίπτει πάνω στην επιφάνεια [W].



Σχήμα 2.4: Η απορρόφηση της ακτινοβολίας που προσπίπτει σε μια αδιαφανή επιφάνεια με ικανότητα απορρόφησης α . [3]

Στην περίπτωση των κτηρίων μελετάται ο καθαρός ρυθμός μεταφοράς θερμότητας με ακτινοβολία μεταξύ μιας επιφάνειας και των τριγύρω επιφανειών ο οποίος δίνεται από την μαθηματική έκφραση:

$$\dot{Q}_{rad} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_s^4 - T_{surr}^4) \quad [2.6]$$

Όπου:

- \dot{Q}_{rad} : ο καθαρός ρυθμός μεταφοράς θερμότητας με ακτινοβολία μεταξύ των δύο επιφανειών [W].
- ε : ο συντελεστής εκπομπής της μιας επιφάνειας
- $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ η σταθερά Stefan-Boltzmann
- A : το εμβαδόν της άλλης επιφάνειας όπου προσπίπτει η ακτινοβολία [m^2]
- T_s : η απόλυτη θερμοκρασία της άλλης επιφάνειας [K]
- T_{surr} : η θερμοκρασία του περιβάλλοντος αερίου [K].

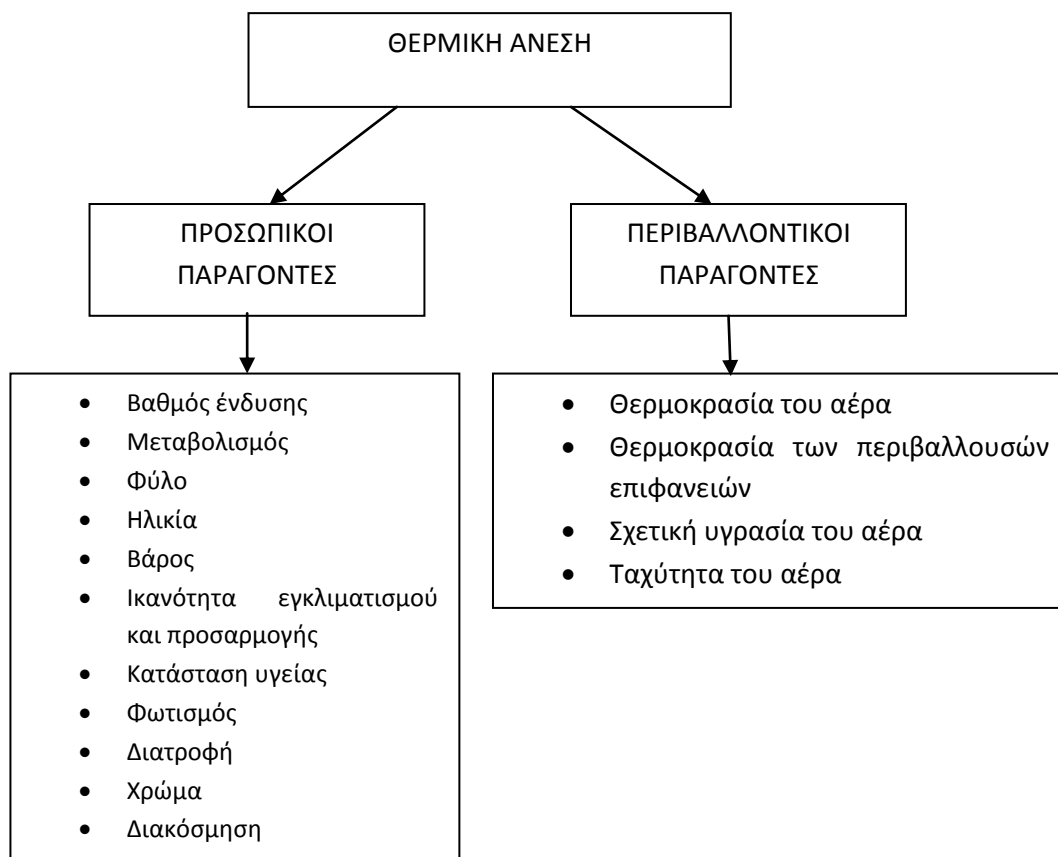
2.1.4 Συνδυασμός μηχανισμών μεταφοράς θερμότητας

Η μεταφορά θερμότητας όπως αναφέρθηκε παραπάνω στις περισσότερες εφαρμογές γίνεται με συνδυασμό των μηχανισμών που προαναφέρθηκαν. Πιο συγκεκριμένα στον τοίχο ενός κτηρίου η μεταφορά θερμότητας λαμβάνει χώρα με τους τρόπους που παρατίθενται ακολούθως:

1. Μεταφορά θερμότητας με φυσική συναγωγή από τον εσωτερικό αέρα στην εσωτερική επιφάνεια του τοίχου.
2. Μεταφορά θερμότητας με αγωγή στο εσωτερικό του τοίχου.
3. Μεταφορά θερμότητας με εξαναγκασμένη συναγωγή από την εξωτερική επιφάνεια προς το περιβάλλον.
4. Μεταφορά θερμότητας με ακτινοβολία της εσωτερικής επιφάνειας του τοίχου προς τους υπόλοιπους τοίχους και τα υπόλοιπα στοιχεία. ^[15]

2.2 Η θερμική άνεση

Ως θερμική άνεση ορίζεται η κατάσταση εκείνη, στην οποία ο ανθρώπινος οργανισμός καταναλώνει την ελάχιστη απαιτούμενη ενέργεια προκειμένου να διατηρείται η θερμική του ισορροπία. Η θερμική άνεση είναι ένας όρος που εξαρτάται από πολλούς περιβαλλοντικούς και προσωπικούς παράγοντες. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την θερμική άνεση των ενοίκων σε ένα κτήριο εμφανίζονται στο δενδρικό διάγραμμα που ακολουθεί. ^[14]



Σχήμα 2.5: Παράγοντες που επηρεάζουν την θερμική άνεση

Η θερμική άνεση είναι υποκειμενικός παράγοντας και εξαρτάται κάθε φορά από τον χρήστη. Λόγω της δυσκολίας του ελέγχου ενός υποκειμενικού παράγοντα, έχουν τεθεί διαστήματα μέσα στα οποία πρέπει να κυμαίνεται η τιμή των συντελεστών που καθορίζουν το εσωκλίμα του κτηρίου έτσι ώστε να δίνεται στους εκάστοτε χρήστες η αίσθηση θερμικής άνεσης, με την ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας.

Από τις κυριότερες παραμέτρους της θερμικής άνεσης αποτελεί η εσωτερική θερμοκρασία ενός χώρου, η οποία προκύπτει από τον συνδυασμό της θερμοκρασίας του αέρα με την θερμοκρασία περιβαλλουσών επιφανειών. Η θερμοκρασία αυτή, δεν αποτελεί φυσικό μέγεθος και δεν είναι μετρήσιμη πειραματικά ποικίλλει ανάλογα με τον χρήστη και είναι η αισθητή θερμοκρασία την οποία αυτός αντιλαμβάνεται. Ωστόσο σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 15251:2007 εκτιμήθηκαν τα όρια της θερμοκρασίας των εσωτερικών χώρων ανάλογα με την χρήση των κτηρίων για την χειμερινή και θερινή περίοδο. Για κατοικίες οι οποίες θα εξετασθούν στην παρούσα εργασία αναφέρεται ότι την χειμερινή περίοδο η θερμοκρασία πρέπει να είναι 20°C ενώ την θερινή να ανέρχεται στους 26°C. Οι τιμές της θερμοκρασίας για τους υπόλοιπους τύπους κτηρίων βρίσκονται στον πίνακα 2.2 της ΤΟΤΕΕ20701-1/2010 .

Η σχετική υγρασία αποτελεί μια παράμετρο που επηρεάζει την θερμική άνεση διότι, επιδρά στην ικανότητα του ατόμου να αποβάλλει την θερμότητα με την διαδικασία της εξάτμισης. Υψηλή θερμοκρασία σε συνδυασμό με υψηλά ποσοστά υγρασίας προκαλούν την αίσθηση δυσφορίας. Αντίθετα χαμηλά ποσοστά υγρασίας δημιουργούν μια αίσθηση δροσισμού και διευκολύνουν την αποβολή θερμότητας μέσω του ιδρώτα από τον ανθρώπινο οργανισμό. Σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 15251:2007 και για κατοικίες το ποσοστό της υγρασίας κατά την χειμερινή περίοδο πρέπει να είναι 40% ενώ την θερινή 45%. Οι τιμές της υγρασίας για τους υπόλοιπους τύπους κτηρίων βρίσκονται στον πίνακα 2.2 της ΤΟΤΕΕ20701-1/2010.

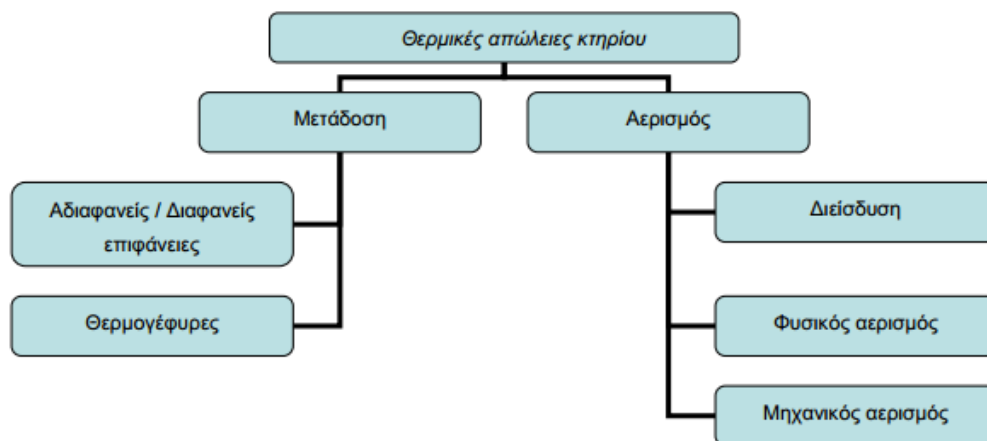
Η τελευταία παράμετρος που αναφέρθηκε ήταν η ταχύτητα του αέρα, η οποία είναι πολύ σημαντική καθώς επηρεάζει τον βαθμό μεταφοράς θερμότητας και εξάτμισης από το ανθρώπινο σώμα. Πιο συγκεκριμένα όταν η θερμοκρασία του αέρα είναι χαμηλότερη από την θερμοκρασία του σώματος η αύξηση της ταχύτητας του αέρα δημιουργεί την αίσθηση ψύχους. Αντιθέτως όταν η θερμοκρασία του αέρα είναι υψηλότερη από την θερμοκρασία του σώματος τότε η αύξηση της ταχύτητας του αέρα προκαλεί την αίσθηση ζέστης και δροσισμού ταυτόχρονα.

Απαιτούμενος στόχος του μελετητή, είναι να μπορεί ο χρήστης του κτηρίου να αισθάνεται θερμικά άνετα χωρίς υπερβολική χρήση του μηχανολογικού εξοπλισμού όπως για παράδειγμα κλιματιστικών. Το κέλυφος του κτηρίου αποτελεί πρωταρχικό στοιχείο μελέτης για την επίτευξη του παραπάνω στόχου, καθώς τα δομικά στοιχεία του, τα ανοίγματα και τα μονωτικά υλικά επαφίενται στην επιλογή του μελετητή και είναι τα στοιχεία που καθορίζουν τις συνθήκες που επικρατούν στο εσωτερικό του όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 1. ^[14]

2.3 Οι θερμικές απώλειες

Σε ένα κτήριο υπάρχει συνεχής ροή θερμότητας από το θερμότερο προς το ψυχρότερο περιβάλλον λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ του κτηρίου και του περιβάλλοντος του. Με τον όρο θερμικές απώλειες εκφράζονται τα ποσά θερμότητας που μεταφέρονται από και προς το κτήριο, το χειμώνα και το καλοκαίρι αντίστοιχα.

Οι θερμικές απώλειες του κτηρίου περιλαμβάνουν τις απώλειες μεταφοράς μέσω των δομικών στοιχείων του κτηριακού κελύφους και τις απώλειες αερισμού μέσω των χαραμάδων των ανοιγμάτων και του συστήματος μηχανικού αερισμού όπως εμφανίζεται στο παρακάτω δένδρικό διάγραμμα. ^[13]



Σχήμα 2.6: Οι θερμικές απώλειες ενός κτηρίου. [13]

Είναι αδύνατο να επιτευχθεί πλήρης παρεμπόδιση της μεταφοράς θερμότητας το μόνο που μπορεί να γίνει είναι μείωση των θερμικών απωλειών, μέσω της επαρκούς θερμομόνωσης του κελύφους του κτηρίου. Η μείωση των θερμικών απωλειών έχει ως συνέπεια την μείωση κατανάλωσης καυσίμων για θέρμανση ή ψύξη. Η μείωση αυτή είναι σημαντική όταν η θερμομόνωση εφαρμόζεται με βάση μια σωστή μελέτη και τις ακριβείς προδιαγραφές των κανονισμών που ισχύουν. [11]

2.4 Θερμογέφυρες

Ως θερμογέφυρες χαρακτηρίζονται τα επιμέρους τμήματα του εξωτερικού κελύφους ενός κτηρίου, στα οποία η θερμική αντίσταση υπολείπεται σημαντικά αυτής στα υπόλοιπα δομικά στοιχεία του περιβλήματος.

Στις θέσεις των θερμογεφυρών οι ροές θερμότητας παρουσιάζονται δυσανάλογα αυξημένες σε σύγκριση με τις ροές θερμότητας στο υπόλοιπο κέλυφος. Για τον λόγο αυτό οι θερμογέφυρες αποτελούν τα ασθενή σημεία του κτηρίου και λειτουργούν επιβαρυντικά στη θερμική του προστασία. Επηρεάζουν την ενεργειακή συμπεριφορά του κτηρίου και επιφέρουν μείωση της αίσθησης της θερμικής άνεσης στο εσωτερικό του χώρου, ενώ ευνοούν την εκδήλωση του φαινομένου της συμπύκνωσης των υδρατμών και την ανάπτυξη μυκήτων, μούχλας και διαφόρων μικροοργανισμών στην επιφάνεια των δομικών στοιχείων.

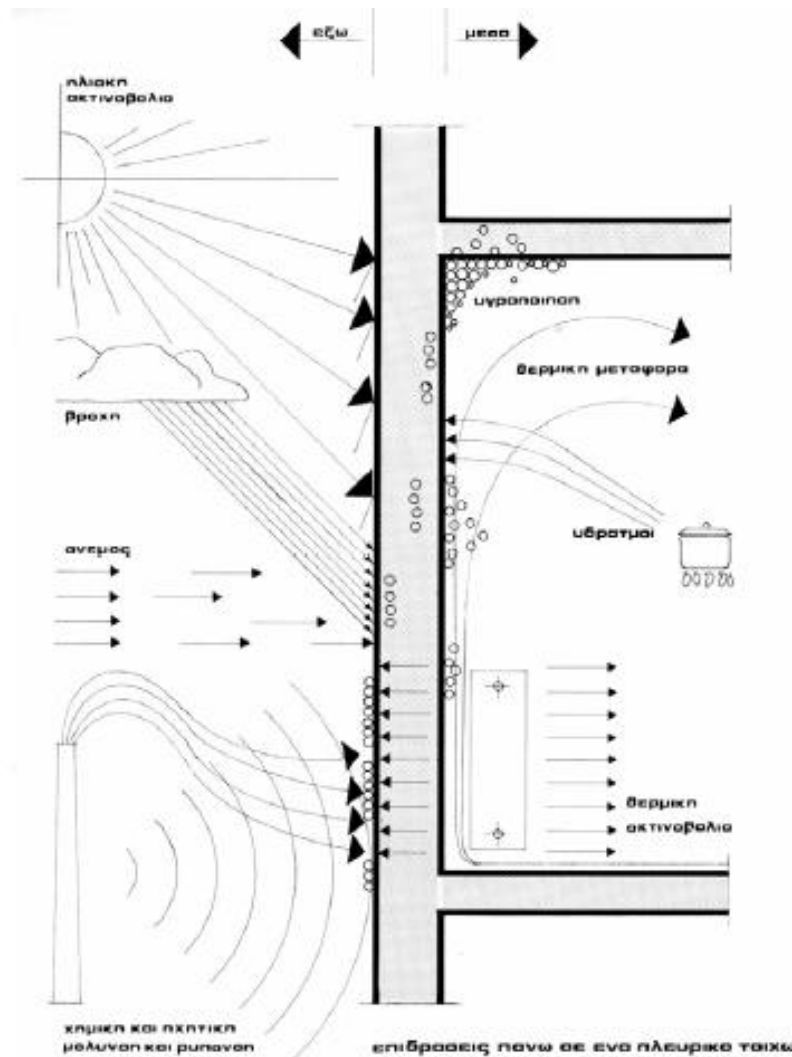
Συγκεκριμένα η δημιουργία μιας θερμογέφυρας μπορεί να οφείλεται στους εξής παράγοντες:

- Σε κατασκευαστικούς λόγους που καθιστούν δυσχερή ή πρακτικά αδύνατη την πλήρη θερμομονωτική προστασία της κατασκευής.

- Στην αλλαγή της σύνθεσης των υλικών ή της διαδοχής των στρώσεων ενός φαινομενικά ενιαίου δομικού στοιχείου
- Στην ασυνέχεια της θερμομονωτικής στρώσης σε κάποια θέση του εξωτερικού περιβλήματος.
- Στο σημείο τομής δυο κάθετων μεταξύ τους δομικών στοιχείων, των οποίων η πλήρης θερμομονωτική προστασία είναι δυσχερής ή πρακτικά ανέφικτη
- Στην απουσία θερμομονωτικής στρώσης ή στην μείωση του πάχους της
- Σε δίεδρες ή τριέδρες εξωτερικές γωνίες, στο εμβαδό της εξωτερικής επιφάνειας των οποίων αντιστοιχεί πολύ μικρότερο εμβαδό εσωτερικής επιφάνειας. [10]

Κεφάλαιο 3: Η θερμομόνωση

Η θερμομόνωση αποτελεί έναν κύριο παράγοντα και ένα πρώτο βήμα στην βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του κελύφους του κτηρίου. Η συμβολή της είναι μεγάλη ιδιαίτερα στα κτήρια που βρίσκονται σε περιοχές με ακραίες κλιματολογικές συνθήκες. Η θερμομόνωση δημιουργεί ένα προστατευτικό περίβλημα στο κτήριο το οποίο επιβραδύνει την μετάδοση θερμότητας από το εσωτερικό στο εξωτερικό την χειμερινή περίοδο και από το εξωτερικό στο εσωτερικό την θερμή περίοδο, δημιουργώντας παράλληλα το αίσθημα θερμικής άνεσης στους ενοίκους του κτηρίου. Με τη μείωση της θερμοδιαφυγής που επιτυγχάνεται, εξοικονομούνται μεγάλα ποσά ενέργειας από την χρήση του μηχανολογικού εξοπλισμού του κτηρίου, όταν η θερμομόνωση τοποθετείται σωστά και σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς που αναφέρθηκαν στο πρώτο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας.^[18]



Σχήμα 3.1: Οι επιδράσεις που δέχεται ένα πλευρικό τοίχωμα εσωτερικά και εξωτερικά ^[11]

3.1 Η ιστορία της θερμομόνωσης

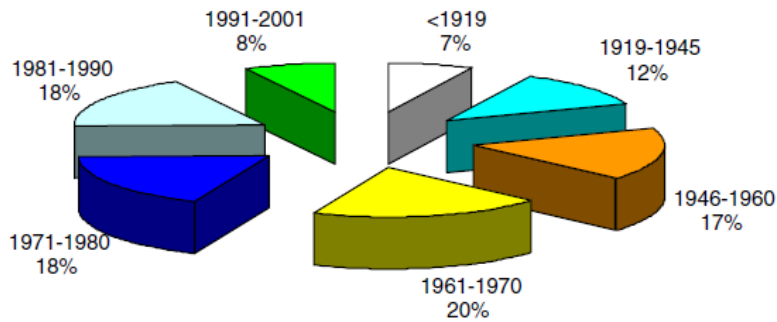
Από την προϊστορική εποχή, οι άνθρωποι έψαχναν τρόπους για την προστασία τους από τα καιρικά φαινόμενα. Οι ίδιοι έφτιαχναν ρούχα από δέρματα ζώων καθώς και σπηλιές, για την προστασία τους από το κρύο τον χειμώνα και την ζέστη το καλοκαίρι. Στο οίκημα τους άναβαν μια φωτιά για να ζεσταίνονται τον χειμώνα και κοιμόταν όλοι γύρω από αυτή.

Στην συνέχεια και με την πάροδο των ετών άρχισαν να δημιουργούν σπίτια και να εκμεταλλεύονται το κλίμα της περιοχής για την επίτευξη των επιθυμητών συνθηκών. Εμφανίζονται λοιπόν βαριές κατασκευές με μεγάλο πάχος τοιχωμάτων, επιλογή σωστού προσανατολισμού, υλικών και διαμόρφωσης χώρων η οποία καθιστούσε επιτρεπτό τον επιθυμητό φωτισμό και ηλιασμό και παρείχε την δυνατότητα φυσικού δροσισμού.

Οι σύγχρονες αρχιτεκτονικές τάσεις που υιοθετήθηκαν στη χώρα μας τα προηγούμενα χρόνια αντικατέστησαν τις προηγούμενες κατασκευές με άλλες ελαφριές, οι οποίες δεν άντεχαν στην μεταβολή των καιρικών συνθηκών. Οι νέες τάσεις δεν λάμβαναν υπόψη τους τις αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού με αποτέλεσμα τα κτήρια αυτά να είναι ακατάλληλα για το κλίμα της χώρας και να απαιτούν μεγάλα ποσά ενέργειας για την θέρμανση και την ψύξη των χώρων. Η κατανάλωση ενέργειας δεν αποτελούσε πρόβλημα, μέχρι τη στιγμή που τα διαθέσιμα αποθέματα των συμβατικών καυσίμων μειώθηκαν και έπαψαν να είναι φτηνά. Επακόλουθο αυτού ήταν μια παγκόσμια προσπάθεια διαφύλαξης και ορθολογικής εκμετάλλευσης των αποθεμάτων ενέργειας, και η αναζήτηση νέων τρόπων για εξοικονόμηση ενέργειας στα κτήρια, έτσι φανερώθηκε η μεγάλη σημασία της θερμομόνωσης στα κτήρια. [18]

3.2 Η θερμομόνωση στην Ελλάδα

Ο κανονισμός θερμομόνωσης κτηρίων μπήκε σε ισχύ το 1980 και έθεσε τις ελάχιστες απαιτήσεις στη θερμομόνωση του κελύφους του κτηρίου για κάθε κλιματική ζώνη. Σύμφωνα με δεδομένα από το 1990 για τα ελληνικά κτήρια, το 95% των εξωτερικών τοίχων, το 99% των δαπέδων, το 87% των δαπέδων τύπου pilotis και το 70% των οροφών δεν ήταν θερμικά μονωμένα. Επιπλέον το 98% των παραθύρων δεν είχαν διπλά τζάμια και το 96% των σωληνώσεων δεν ήταν θερμικά μονωμένα. Με μεταγενέστερες επιμετρήσεις το 1996 υπήρξε μια περιορισμένη βελτίωση όπου σύμφωνα με τα δεδομένα το 12% των νοικοκυριών είχε μόνωση στον πυρήνα του τοιχώματος και το 8% των υαλοστασίων είχε διπλά τζάμια. [4]



Σχήμα 3.2: Η κατανομή των κτηρίων της Ελλάδας ανάλογα με το έτος κατασκευής τους. [4]

Τα κτήρια χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα το έτος κατασκευής τους. Στην πρώτη κατηγορία κατατάσσονται τα κτήρια που κτιστήκαν μέχρι το 1980 και δεν είναι θερμομονωμένα, εμφανίζουν χαμηλή ενεργειακή απόδοση καθώς επίσης έχουν εξοπλιστεί με παλιό ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό. Στην δεύτερη κατηγορία ανήκουν τα κτήρια με έτος κατασκευής 1980-2001 τα οποία αν και κτίστηκαν μετά την εφαρμογή του ΚΘΚ χαρακτηρίζονται ως μη επαρκώς θερμομονωμένα καθώς η θερμομόνωση των κτηρίων την πρώτη δεκαετία εφαρμογής του κανονισμού δεν τοποθετούταν με τον σωστό τρόπο και αυτό είχε ως αποτέλεσμα την δημιουργία θερμογεφυρών και την αύξηση των απωλειών. Στην τρίτη κατηγορία υπάρχουν τα κτήρια των τελευταίων ετών μετά το 2010.[4]

3.3 Τα πλεονεκτήματα της θερμομόνωσης

Η χρήση της θερμομόνωσης παρέχει μια πληθώρα πλεονεκτημάτων, τα οποία συνοψίζονται ακολούθως:

- Η χρήση θερμομόνωσης στο κέλυφος του κτηρίου βοηθάει στη μείωση της εξάρτησης του κτηρίου από τον μηχανολογικό εξοπλισμό και επιπλέον εξοικονομεί ενέργεια και φυσικούς πόρους.
- Τα οικονομικά οφέλη είναι σημαντικά καθώς η τοποθέτηση θερμομόνωσης απαιτεί μικρό κεφάλαιο περίπου το 5% του συνολικού κόστους της κατασκευής. Επιπλέον η επένδυση αυτή μειώνει και το κόστος αγοράς του μηχανολογικού εξοπλισμού για θέρμανση και ψύξη, καθώς λόγω της εξοικονόμησης που γίνεται οι θερμικές και ψυκτικές ανάγκες του χώρου μειώνονται. Άμεσο αποτέλεσμα των παραπάνω είναι η χρήση εξοπλισμού μικρότερου μεγέθους.
- Με την ελάττωση της χρήσης του μηχανολογικού εξοπλισμού για θέρμανση και ψύξη, προκαλείται μείωση των εκπομπών των αέριων ρύπων από τον κτηριακό τομέα.

- Η εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται με την χρήση θερμομόνωσης προάγει το κοινωνικό καλό: καθώς συμβάλλει στην παράταση ζωής των μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, στη διατήρηση των πόρων για τις επόμενες γενιές.
- Η χρήση της θερμομόνωσης παρέχει προστασία από τον θόρυβο καθώς όπως θα αναφερθεί παρακάτω τα περισσότερα θερμομονωτικά υλικά έχουν και ηχομονωτικές ιδιότητες.
- Με την χρήση κατάλληλων θερμομονωτικών υλικών, οι θερμοκρασιακές διακυμάνσεις στο κέλυφος του κτηρίου διατηρούνται σε χαμηλά επίπεδα, το οποίο είναι σημαντικό για την ακεραιότητα του κτηρίου και των υλικών του. Οι απότομες και μεγάλες θερμοκρασιακές αλλαγές μπορεί να προκαλέσουν ανεπιθύμητα θερμικά φαινόμενα, τα οποία βλάπτουν το κτήριο και τα υλικά του. Έτσι επιτυγχάνεται η αύξηση της ζωής του κτηρίου.
- Ο κατάλληλος σχεδιασμός και η τοποθέτηση της θερμικής μόνωσης βοηθάει στην προστασία από την συμπύκνωση υδρατμών στις επιφάνειες του κτηρίου. Οι επιβραδυντές ατμού χρησιμοποιούνται συνήθως για να προστατέψουν την διείσδυση υγρασίας στη μόνωση σε χαμηλές θερμοκρασίες.
- Τα περισσότερα θερμομονωτικά υλικά παρουσιάζουν ανθεκτικότητα στην φωτιά έτσι η επιλογή του κατάλληλου υλικού και η κατάλληλη τοποθέτηση, συμβάλλει στη επιβράδυνση της μετάδοσης της φλόγας σε περίπτωση πυρκαγιάς στο κτήριο. [2]

3.4 Η θέση της θερμομονωτικής στρώσης

Οι βασικοί τύποι θερμομόνωσης του κελύφους του κτηρίου είναι οι ακόλουθοι:

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

Η επιλογή της θέσης της θερμομόνωσης ποικίλλει ανάλογα με την εκάστοτε εφαρμογή. [18]

3.4.1 Η θερμομόνωση στην εσωτερική επιφάνεια

Η στρώση της θερμομόνωσης τοποθετείται στο εσωτερικό του κελύφους, όταν ο απώτερος σκοπός είναι η άμεση απόδοση του συστήματος θέρμανσης ή ψύξης και δεν έχει σημασία η απόδοση της θερμότητας των δομικών υλικών και η διατήρηση της για

μεγάλη χρονική διάρκεια μετά από τη διακοπή λειτουργίας του συστήματος. Σε κτήρια διακοπτόμενης λειτουργίας όπως σχολεία, παραθεριστικές κατοικίες και κτήρια γραφείων συνηθίζεται η χρήση εσωτερικής θερμομονωτικής στρώσης.

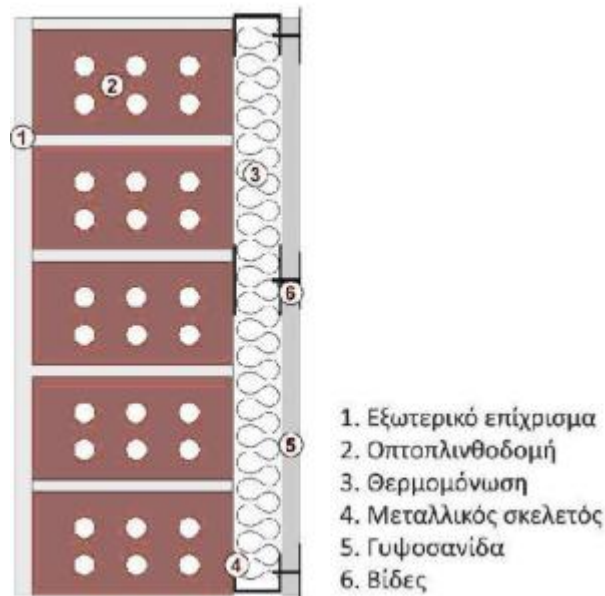
Η εσωτερική θερμομόνωση καλύπτεται με συνδυασμό πλέγματος και επιχρίσματος.

Τα πλεονεκτήματα της εσωτερικής θερμομόνωσης είναι:

- Απλή και γρήγορη κατασκευή
- Πιο οικονομική κατασκευή σε σχέση με την εξωτερική θερμομόνωση
- Άμεση απόδοση του μηχανολογικού εξοπλισμού (σύστημα θέρμανσης/ψύξης)
- Τα μονωτικά υλικά δεν χρειάζονται προστασία από τους εξωτερικούς κλιματολογικούς παράγοντες (υγρασία, ηλιακή ακτινοβολία, άνεμοι)

Τα μειονεκτήματα της εξωτερικής θερμομόνωσης είναι:

- Δημιουργία θερμογεφυρών στα σημεία που υπάρχουν συναρμογές εσωτερικών και εξωτερικών τοίχων
- Ταχύτερη απώλεια θερμότητας μετά την διακοπή θέρμανσης
- Αδυναμία προστασίας δομικών στοιχείων από συστολές και διαστολές λόγω της θερμοκρασιακής διαφοράς εσωτερικού με εξωτερικού περιβάλλοντος
- Πιθανότητα δημιουργίας επιφανειακής υγρασίας από συμπύκνωση υδρατμών. Για την αποφυγή του εν λόγω προβλήματος συνίσταται η τοποθέτηση φράγματος υδρατμών μπροστά από το θερμομονωτικό υλικό και προς την κλιματιζόμενη πλευρά του χώρου.
- Δυσκολία στην τοποθέτηση ηλεκτρολογικής εγκατάστασης, διακοσμητικών και ραφιών μεγάλου βάρους
- Σε περίπτωση εφαρμογής σε ήδη υπάρχον κτήριο υπάρχει μείωση του ωφέλιμου εμβαδού
- Μείωση των θερμικών κερδών από την θερμική μάζα του κτηρίου^[18]



Σχήμα 3.3: Εσωτερική θερμομόνωση τοίχου με μονωτικό υλικό [www.epshellas.com]

3.4.2 Η θερμομόνωση στην εξωτερική επιφάνεια

Η τοποθέτηση της θερμομονωτικής στρώσης στο εξωτερικό του κελύφους γίνεται στις περιπτώσεις όπου η εκμετάλλευση της θερμικής μάζας των δομικών στοιχείων είναι επιθυμητή. Επιπλέον στόχος είναι η διατήρηση της θερμότητας στο εσωτερικό του κτηρίου μετά την διακοπή του συστήματος θέρμανσης και για μεγάλο χρονικό διάστημα. Αυτός ο τύπος θερμομονωτικής στρώσης τοποθετείται σε κατασκευές όπως μόνιμες κατοικίες και νοσοκομεία

Τα πλεονεκτήματα εξωτερικής θερμομόνωσης είναι:

- Διατήρηση της θερμότητας στο χώρο και μετά την διακοπή της θέρμανσης λόγω της θερμοχωρητικότητας των δομικών στοιχείων.
- Εξοικονόμηση μεγαλύτερων ποσών ενέργειας, από την χρήση του μηχανολογικού εξοπλισμού για μικρότερα χρονικά διαστήματα, λόγω της αποθήκευσης θερμικής ενέργειας από την ηλιακή ακτινοβολία, στην θερμική μάζα των δομικών υλικών.
- Προστασία εξωτερικών επιφανειών από συστολές και διαστολές λόγω των εξωτερικών μεταβολών της θερμοκρασίας
- Ελαχιστοποίηση ή και μηδενισμός των θερμογεφυρών
- Προστασία από καιρικές συνθήκες
- Σε περίπτωση εφαρμογής σε υφιστάμενο κτήριο δεν μειώνει το ωφέλιμο εμβαδόν του.

Τα μειονεκτήματα της εξωτερικής θερμομόνωσης είναι:

- Αυξημένο κόστος κατασκευής
- Προσοχή στην δημιουργία της κατασκευής για αποφυγή ρωγμών στην όψη
- Δυσκολία εφαρμογής σε κτήρια με έντονες εξωτερικές μορφολογικές όψεις. [18]



Σχήμα 3.4: Εξωτερική θερμομόνωση τοίχου με μονωτικό υλικό [www.epshellas.com]

3.4.3 Η θερμομόνωση στον πυρήνα της τοιχοποιίας

Η εξωτερική τοιχοποιία με διάκενο συνήθως αποτελείται από δύο επιμέρους τοίχους οι οποίοι ενώνονται μεταξύ τους. Ο εξωτερικός τοίχος είναι συνήθως από τούβλο ο εσωτερικός μπορεί να είναι από τούβλο ή μπλοκ. Υπάρχουν επίσης τοιχοποιίες οι οποίες αποτελούνται από μπλοκ και στους δύο τοίχους όπως αυτή που φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί. Για την ικανοποίηση των απαιτήσεων με βάση τους ισχύοντες κανονισμούς θα πρέπει το διάκενο να πληρωθεί με μονωτικό υλικό. [18]

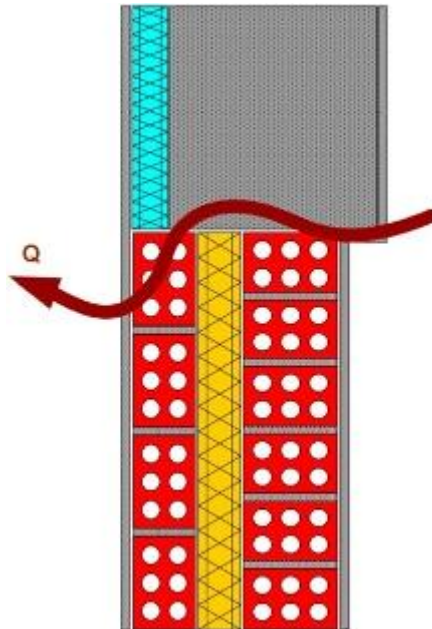


Σχήμα 3.5: Δομικό μπλοκ εξωτερικού τοίχου [www.sparailias.gr]

Η διαδικασία αποθήκευσης της θερμότητας έχει ως εξής, ο εσωτερικός τοίχος θα απορροφήσει και θα αποθηκεύσει την θερμότητα στην θερμική του μάζα και θα την αποδώσει στο κτήριο όταν η θέρμανση διακοπεί, διατηρώντας έτσι μια ομοιόμορφη εσωτερική θερμοκρασία.

Η τοιχοποιία από τούβλα είναι πορώδης, σε περιόδους ισχυρών βροχοπτώσεων υπάρχει κίνδυνος διείσδυσης της υγρασίας από την εξωτερική στην εσωτερική επιφάνεια του εξωτερικού τοίχου της κατασκευής και εν συνεχεία στο θερμομονωτικό υλικό.

Αρκετά θερμομονωτικά υλικά προσβάλλονται από την υγρασία και χάνουν τις θερμομονωτικές τους ιδιότητες. Για τον λόγο αυτό δημιουργείται ένα διάκενο μεταξύ του εξωτερικού τοίχου και των θερμομονωτικών υλικών το οποίο προτείνεται από τους κατασκευαστές να έχει πάχος από 2,5 – 5cm για να αποτρέψει την είσοδο της υγρασίας.



Σχήμα 3.6: Θερμομόνωση τοιχοποιίας στο διάκενο μεταξύ δυο τοίχων. [www.epshellas.com]

3.4.4 Θερμομόνωση με θερμομονωτικά τούβλα

Στην περίπτωση αυτήν δεν τοποθετούνται θερμομονωτικά υλικά άλλα ως δομικά υλικά χρησιμοποιούνται τούβλα τα οποία διαθέτουν θερμομονωτικές ιδιότητες ή τούβλα που περιλαμβάνουν στην εργοστασιακή κατασκευή τους θερμομονωτικά υλικά. Τα θερμομονωτικά τούβλα θα αναλυθούν εκτενέστερα στο επόμενο κεφάλαιο που αφορά τα θερμομονωτικά υλικά.

Τα πλεονεκτήματα των θερμομονωτικών τούβλων είναι:

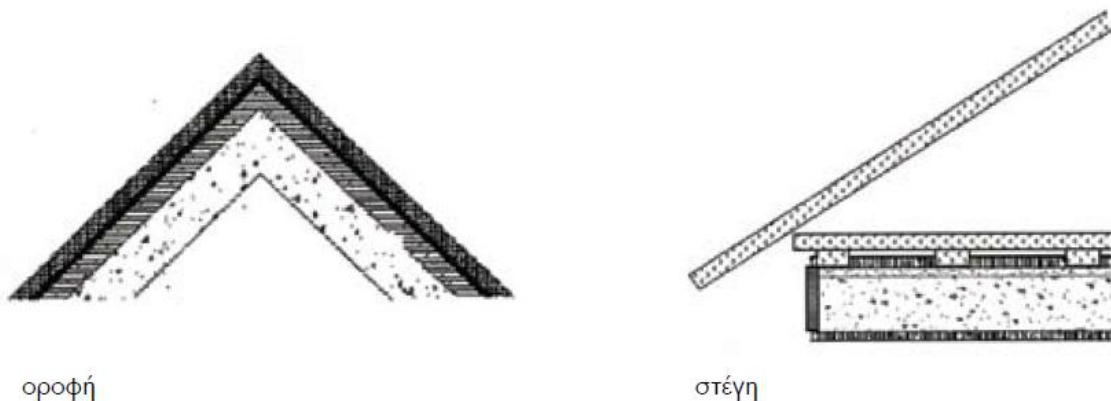
- Ευκολία κατασκευής
- Εξοικονόμηση ωφέλιμου εσωτερικού χώρου
- Ταυτόχρονη εξασφάλιση επιπέδου ακουστικής άνεσης

Τα μειονεκτήματα των θερμομονωτικών τούβλων είναι:

- Δυσκολία στην τοποθέτηση διακοσμητικών και ραφιών στους τοίχους με κυψελωτό σκυρόδεμα
- Χρήση σε ελαφριές κατασκευές
- Μη ικανοποιητική απόδοση σε εφαρμογές με απαιτήσεις υψηλής θερμοχωρητικότητας [18]

3.5 Θερμομόνωση οροφής

Στο σημείο αυτό κρίνεται σκόπιμο να αποσαφηνιστεί ότι η οροφή και η στέγη αποτελούν δύο διαφορετικές έννοιες, το παρακάτω σχήμα βοηθά τον αναγνώστη να τις ξεχωρίσει.



Σχήμα 3.7: Διάκριση μεταξύ οροφής και στέγης [18]

Η οροφή ενός κτηρίου μπορεί να είναι κεκλιμένη ή οριζόντια. Ενώ στέγη ονομάζεται η κατασκευή η οποία συνδυάζει κεκλιμένη και οριζόντια οροφή.

Η τοποθέτηση της θερμομονωτικής στρώσης στην οροφή του κτηρίου μπορεί να γίνει κάτω ή πάνω από την πλάκα.[18]

3.5.1 Η θερμομόνωση κάτω από την πλάκα

Στα κτήρια, τα οποία ο μηχανολογικός εξοπλισμός θέρμανσης ή ψύξης πρέπει να αποδίδει άμεσα όπως εξοχικές κατοικίες, γραφεία, καταστήματα επιλέγεται αυτού του

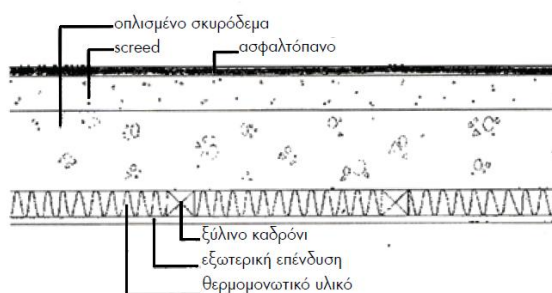
είδους η θερμομόνωση. Το μονωτικό υλικό μπορεί να τοποθετηθεί είτε πριν την σκυροδέτηση είτε μετά. Η θερμομονωτική στρώση καλύπτεται με συνδυασμό πλέγματος και επιχρίσματος ή με γυψοσανίδα ή με κάποιο τύπο ψευδοροφής, ανάλογα με το ύψος του χώρου.

Τα πλεονεκτήματα της θερμομόνωσης κάτω από την πλάκα είναι:

- Άμεση απόδοση του μηχανολογικού εξοπλισμού
- Αυτόματη προστασία των μονωτικών υλικών από τις καιρικές συνθήκες (άνεμοι, υγρασία, ηλιακή ακτινοβολία).

Τα μειονεκτήματα της θερμομόνωσης κάτω από την πλάκα είναι:

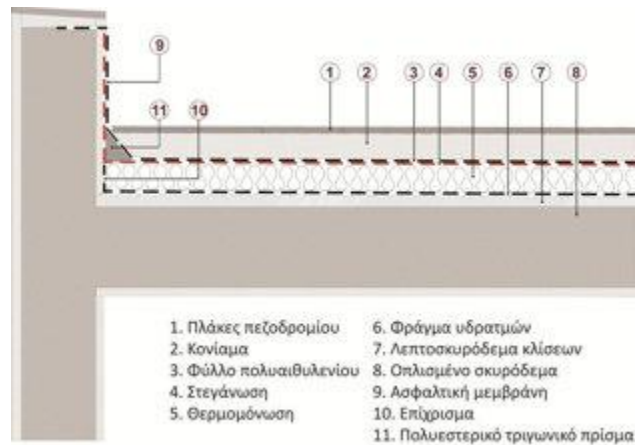
- Άμεση ψύξη του χώρου μετά την διακοπή λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης/ψύξης.
- Πιθανότητα δημιουργίας μούχλας στις γωνίες λόγω συμπύκνωσης υδρατμών από αυξημένη υγρασία. [18]



Σχήμα 3.8: Θερμομόνωση επίπεδης οροφής κάτω από την πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος. [18]

3.5.2 Η θερμομόνωση πάνω από την πλάκα

Σε αντίθεση με την προηγούμενη, η θερμομόνωση αυτού του τύπου τοποθετείται σε κτήρια τα οποία πρωταρχικός στόχος είναι η διατήρηση των συνθηκών θερμικής άνεσης και μετά την διακοπή λειτουργίας του μηχανολογικού εξοπλισμού και η απόδοση της θερμικής μάζας των δομικών υλικών. Το θερμομονωτικό υλικό ανάλογα με την συμπεριφορά του στην υγρασία τοποθετείται κάτω από την στεγανωτική στρώση ή πάνω από αυτή. Στην πρώτη περίπτωση όποιο στεγανωτικό και αν χρησιμοποιηθεί απαιτείται φράγμα υδρατμών πάνω από την πλάκα, σε αυτή την περίπτωση η δομή είναι αυτή που φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί:



Σχήμα 3.9: Θερμομόνωση επίπεδης οροφής πάνω από την πλάκα. [www.ktizontastomellon.gr]

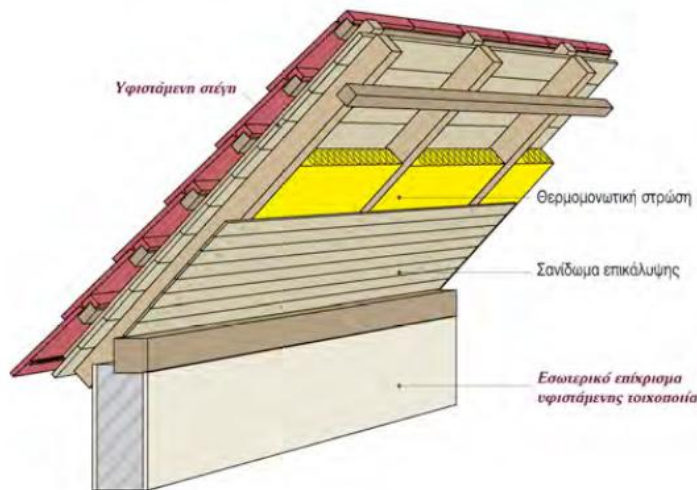
Τα πλεονεκτήματα της θερμομόνωσης πάνω από την πλάκα συνοψίζονται ως εξής:

- Διατήρηση της θερμότητας στο χώρο και μετά την διακοπή λειτουργίας του συστήματος κλιματισμού λόγω της θερμοχωρητικότητας της πλάκας.
- Μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας λόγω χρήσης του μηχανολογικού εξοπλισμού για μικρότερο χρονικό διάστημα επειδή η πλάκα αποθηκεύει ενέργεια στην θερμική μάζα της
- Προστασία της εξωτερικής επιφάνειας της πλάκας από συστολές και διαστολές λόγω των εξωτερικών μεταβολών της θερμοκρασίας
- Σε περίπτωση εφαρμογής σε υφιστάμενη κατασκευή δεν εμποδίζει την λειτουργία του εσωτερικού χώρου κατά την διάρκεια της κατασκευής και δεν μειώνει το ωφέλιμο ύψος του χώρου.

Το μειονέκτημα στην στρώση της θερμομόνωσης πάνω από την πλάκα είναι ότι απαιτείται μεγάλη προσοχή στην κατασκευή σε συνδυασμό με τη στεγάνωση [18]

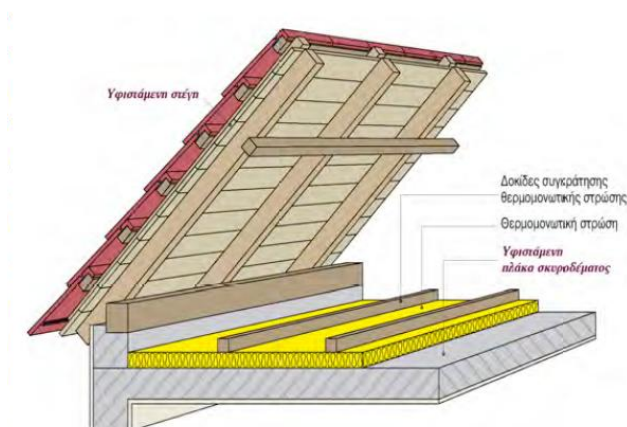
3.6 Θερμομόνωση στέγης

Πολλές φορές ο χώρος ανάμεσα στην οριζόντια και την κεκλιμένη επιφάνεια της στέγης χρησιμοποιείται για κατοικία ή εργασία και θεωρείται θερμή στέγη, σε αυτές τις εφαρμογές η θερμομόνωση τοποθετείται στην κεκλιμένη επιφάνεια είτε εσωτερικά είτε εξωτερικά. Στο εσωτερικό της κεκλιμένης επιφάνειας τοποθετείται κυρίως σε περιπτώσεις επισκευής της στέγης, ενώ στο εξωτερικό από την κατασκευή της, μεγάλη προσοχή πρέπει να δίνεται στην εξασφάλιση επαρκούς αερισμού για την αποφυγή συμπύκνωσης υδρατμών και στις δύο περιπτώσεις. [18]



Σχήμα 3.10: Εφαρμογή θερμομόνωσης σε θερμή στέγη στο εσωτερικό της κεκλιμένης επιφάνειας [9]

Στην αντίθετη περίπτωση όπου δηλαδή ο χώρος μεταξύ της κεκλιμένης και της οριζόντιας οροφής δεν χρησιμοποιείται τότε η στέγη χαρακτηρίζεται ως ψυχρή και η θερμομόνωση τοποθετείται στην οριζόντια πλάκα. [18]



Σχήμα 3.11: Εφαρμογή θερμομόνωσης σε ψυχρή στέγη [9]

Τα υλικά που προορίζονται για την θερμομόνωση στεγών πρέπει να διαθέτουν τα εξής χαρακτηριστικά:

- Χαμηλό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας για να επιτυγχάνεται επαρκής θερμομόνωση χωρίς την απαίτηση μεγάλου πάχους του υλικού.
- Αντίσταση στη διαπερατότητα των υδρατμών για μείωση του κινδύνου συμπύκνωσης υδρατμών στην περιοχή επαφής του μονωτικού υλικού με το σκυρόδεμα σε εφαρμογές εσωτερικής τοποθέτησης της μονωτικής στρώσης
- Ευκολία κοπής και διαμόρφωσης στα σχήματα των στοιχείων της στέγης

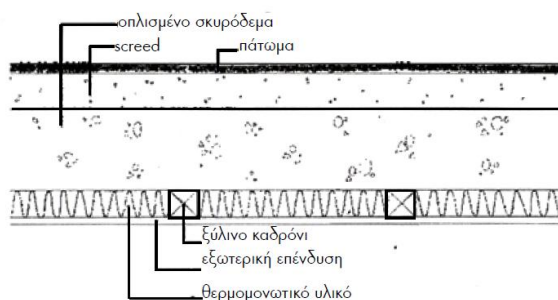
- Ευκολία χειρισμού του βάρους και των διαστάσεων στις μηχανικές αντοχές και στον τρόπο στερέωσης του υλικού.
- Δυνατότητα καλής συναρμογής των τεμαχίων του μονωτικού υλικού για την αποφυγή θερμογεφυρών και γραμμών συμπίκνωσης των υδρατμών στους αρμούς τους. [18]

3.7 Θερμομόνωση δαπέδων εκτεθειμένων στο εξωτερικό περιβάλλον

Η θερμομόνωση δαπέδου εκτεθειμένου στο εξωτερικό περιβάλλον μπορεί να τοποθετηθεί στην κάτω ή στην πάνω πλευρά της πλάκας [18]

3.7.1 Θερμομόνωση στην κάτω πλευρά της πλάκας

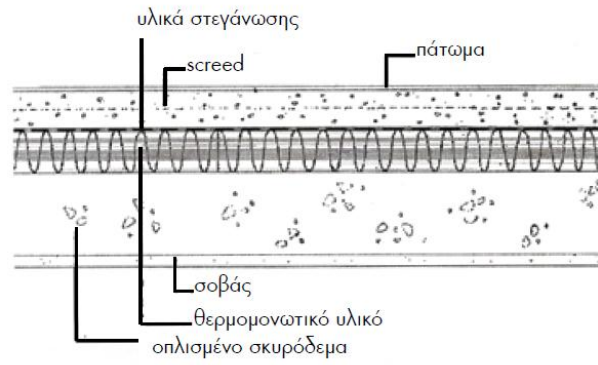
Η θερμομόνωση αυτού του είδους τοποθετείται σε εφαρμογές όμοιες με αυτές της θερμομόνωσης οροφής πάνω από την πλάκα, οι οποίες αναφέρθηκαν στην ενότητα 3.5.2 της παρούσας εργασίας. Το μονωτικό υλικό τοποθετείται είτε πριν την σκυροδέτηση είτε μετά και καλύπτεται ως επί το πλείστον με συνδυασμό πλέγματος και επιχρίσματος. Όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί:



Σχήμα 3.12: Θερμομόνωση δαπέδου εκτεθειμένου στο εξωτερικό περιβάλλον στην πάνω πλευρά της πλάκας [18]

3.7.2 Θερμομόνωση στην πάνω πλευρά της πλάκας

Η θερμομόνωση αυτού του είδους τοποθετείται σε εφαρμογές όμοιες με αυτές της θερμομόνωσης οροφής κάτω από την πλάκα, οι οποίες αναφέρθηκαν στην ενότητα 3.5.1 της παρούσας εργασίας. [18]



Σχήμα 3.13: Θερμομόνωση δαπέδου εκτεθειμένου στο εξωτερικό περιβάλλον στην πάνω πλευρά της πλάκας [18]

Κεφάλαιο 4: Θερμομονωτικά υλικά

Ως θερμομονωτικό χαρακτηρίζεται το υλικό το οποίο όταν τοποθετείται σε ένα κτήριο συντελεί στην επιβράδυνση της ροής θερμότητας διαμέσου των δομικών στοιχείων του, βελτιώνοντας την θερμική συμπεριφορά του. Η ιδιότητα αυτή που παρουσιάζουν τα θερμομονωτικά υλικά οφείλεται στον αέρα που είναι εγκλωβισμένος στο εσωτερικό της μάζας τους. Ο αέρας εγκλωβίζεται και μένει ακίνητος στις κυψελίδες ή ανάμεσα στις ίνες των θερμομονωτικών υλικών, έτσι αναστέλλει την μετάδοση θερμότητας, χάρη στην μικρή θερμική αγωγιμότητα που παρουσιάζει. Τα περισσότερα θερμομονωτικά υλικά έχουν μεγάλα ποσά αέρα εγκλωβισμένα στην μάζα τους για τον λόγο αυτό είναι αρκετά ελαφριά, σε σπάνιες περιπτώσεις ο αέρας μπορεί να καταλαμβάνει και το 96% του όγκου των υλικών.

Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του υλικού λ καθορίζει την καταλληλότητα του υλικού για τις εφαρμογές θερμομόνωσης. Κατά κύριο λόγο, ένα υλικό χαρακτηρίζεται ως θερμομονωτικό όταν ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητάς του βρίσκεται εντός των ορίων $0,06 W/(m \cdot K) - 0,1 W/(m \cdot K)$, υπάρχουν όμως και υλικά τα οποία υπερβαίνουν αυτά τα όρια άλλα παρέχουν θερμική προστασία. ^[12]

Τα θερμομονωτικά υλικά χωρίζονται σε διαφορετικές κατηγορίες ανάλογα με διαφορετικά κριτήρια. Τα κριτήρια και οι κατηγορίες αναφέρονται ακολούθως :

Με βάση την πρώτη ύλη παραγωγής τους χωρίζονται σε:

- Οργανικά
- Ανόργανα

Με βάση την δομή τους σε:

- Ινώδη
- Κυψελώδη
- Κοκκώδη

Με βάση την μορφή τους σε:

- Πλάκες
- Παπλώματα, ρολά
- Χύδην
- Αφρούς
- Κοχύλια

Με βάση τις ιδιότητες τους σε:

- Προσβαλλόμενα από την υγρασία
- Μη προσβαλλόμενα από την υγρασία
- Ανθεκτικά σε υψηλές θερμοκρασίες
- Μη ανθεκτικά σε υψηλές θερμοκρασίες
- Άκαμπτα
- Εύκαμπτα

Με βάση τον τρόπο παραγωγής του σε:

- Φυσικά
- Τεχνητά

Με βάση το βάρος τους σε :

- Βαριά
- Ελαφρά

4.1 Βασικές ιδιότητες θερμομονωτικών υλικών

4.1.1 Ο συντελεστής θερμοπερατότητας U

Οι θερμικές απώλειες μέσω ενός κτηρίου ορίζονται από τον συντελεστή θερμοπερατότητας U. Ο συντελεστής αυτός, δίνει την ποσότητα της θερμότητας που μεταφέρεται στη μονάδα του χρόνου σε σταθερό θερμοκρασιακό πεδίο μέσω της μοναδιαίας επιφάνειας ενός δομικού στοιχείου, όταν η διαφορά θερμοκρασίας του αέρα στις δύο όψεις του δομικού στοιχείου ισούται με την μονάδα.

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας ενός δομικού στοιχείου δίνεται από την σχέση :

$$U = \frac{1}{R_{ολ.}} \quad [4.1]$$

Όπου:

- U: ο συντελεστής θερμοπερατότητας [$W/m^2 \cdot K$].
- $R_{ολ.}$: η συνολική αντίσταση που προβάλλει στη ροή θερμότητας το δομικό στοιχείο. [$K \cdot m^2/W$].

Η αλλαγή στο πάχος μιας στρώσης του υλικού επηρεάζει το συντελεστή θερμοπερατότητας του δομικού στοιχείου, καθώς αυτός εξαρτάται από τα πάχη των στρώσεων του δομικού στοιχείου και από την μεταφορά θερμότητας με συναγωγή που εμφανίζεται μεταξύ του δομικού στοιχείου και των στρωμάτων αέρα εκατέρωθεν των

όψεων του. Μια πιο αναλυτική μορφή του υπολογισμού της θερμοπερατότητας του δομικού στοιχείου δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\frac{1}{U} = R_i + \sum_{j=1}^n R_j + R_a \quad [W/m^2 \cdot K] \quad [4.1.1]$$

Όπου:

- n : το πλήθος των στρώσεων του δομικού στοιχείου
- R_i : η αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στη μετάδοση θερμότητας από τον εσωτερικό χώρο προς το δομικό στοιχείο
- R_a : η αντίσταση της θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στη μετάδοση θερμότητας από το δομικό στοιχείο προς το εξωτερικό περιβάλλον.^[21]

4.1.2 Ο συντελεστής αντίστασης R

Ως συντελεστής αντίστασης ορίζεται η αντίσταση που προβάλλει ένα υλικό στη ροή θερμότητας. Ο συντελεστής θερμικής αντίστασης ενός υλικού, εξαρτάται από το πάχος του υλικού και τον συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας και δίνεται από τον τύπο:

$$R = \frac{d}{\lambda A} \quad [K/W]. \quad [4.2]$$

Όπου :

- λ : ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του υλικού $[W/(m \cdot K)]$.
- d : το πάχος του υλικού $[m]$
- A : η κάθετη επιφάνεια προς την διεύθυνση μεταφοράς θερμότητας. $[m^2]$

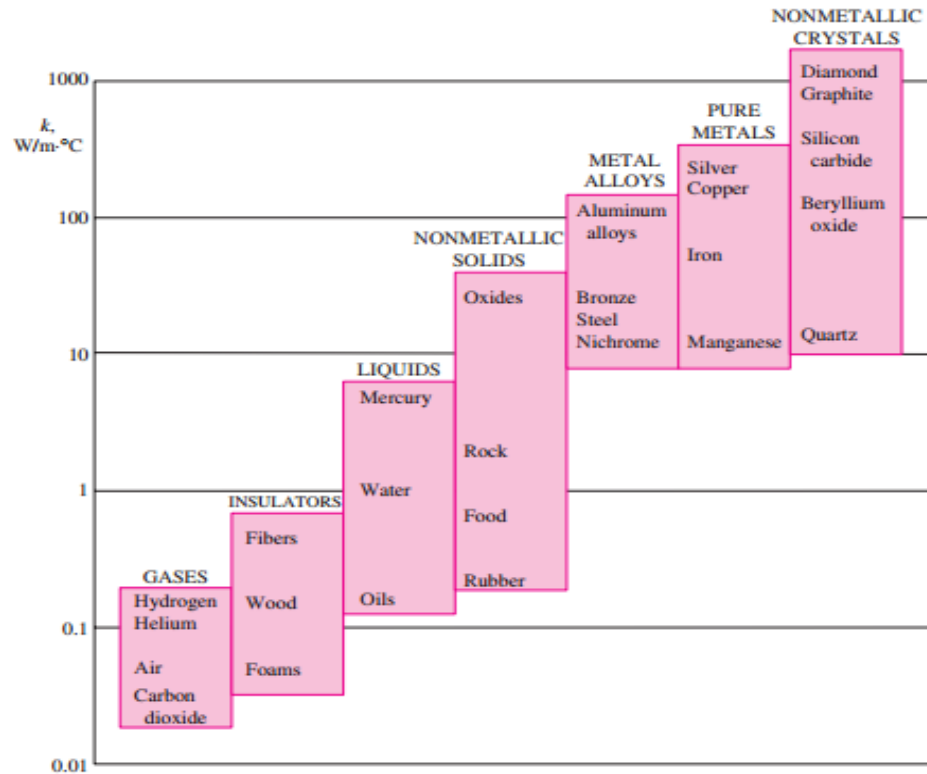
Στις δομικές κατασκευές η θερμική αντίσταση δίνεται βάση της επιφάνειας του υλικού άρα ισχύει ο τύπος : ^[12]

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad [K \cdot m^2/W]. \quad [4.2.1]$$

4.1.3 Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ .

Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας, λ , ορίζει την ποσότητα της θερμικής ροής η οποία διαπερνά σε 1 ώρα ένα σώμα επιφάνειας $1m^2$ και πάχους $1m$, το οποίο έχει σταθερή διαφορά θερμοκρασίας επιφανειών στη διεύθυνση της ροής θερμότητας της τάξεως $1K$.^[12] Οι μονάδες μέτρησης του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας στο SI είναι $[W/(m \cdot$

Κ)]. Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας όπως γίνεται αντιληπτό από την ονομασία του δείχνει την ικανότητα ενός υλικού να άγει την θερμότητα και αποτελεί μέτρο του ρυθμού με τον οποίο μεταφέρεται η θερμότητα μέσα σε ένα υλικό. Η τιμή του συντελεστή λ ενός υλικού δείχνει την ικανότητά του να χρησιμοποιηθεί σε συγκεκριμένες κατασκευές. Μεγάλη τιμή του συντελεστή λ δηλώνει ότι το υλικό είναι καλός αγωγός της θερμότητας, ενώ μικρή τιμή δηλώνει ότι το υλικό είναι μονωτής.^[3] Ο συντελεστής αυτός εξαρτάται από την πυκνότητα, την πίεση, την θερμοκρασία, την υγρασία και την δομή του υλικού. ^[12]



Σχήμα 4.1: Οι τιμές του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας διαφόρων υλικών σε θερμοκρασία δωματίου. ^[3]

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι τιμές διακύμανσης του συντελεστή λ για διάφορα υλικά και για διαφορετικές φάσεις των σωμάτων.

Πίνακας 4.1: Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας για διάφορα υλικά

Αέρια σώματα	0,006 – 0,58 [$W/(m \cdot K)$].
Υγρά	0,09 – 0,7 [$W/(m \cdot K)$].
Δομικά υλικά	0,023 – 3,5 [$W/(m \cdot K)$].
Μέταλλα	2,3 – 400 [$W/(m \cdot K)$].

4.1.4 Η θερμοχωρητικότητα των υλικών

Ως θερμοχωρητικότητα ενός υλικού ορίζεται η ποσότητα θερμότητας που απαιτείται για να αυξηθεί η θερμοκρασία του κατά $1K$. Η θερμοχωρητικότητα δείχνει την ικανότητα του υλικού να αποθηκεύει θερμότητα και δίνεται από την σχέση:

$$C = \frac{dQ}{dT} \quad [J/K] \quad [4.3]$$

Όπου:

- dQ : η αποθηκευμένη θερμότητα $[J]$
- dT : η διαφορά θερμοκρασίας $[K]$

Η θερμότητα που απαιτείται για την αύξηση μιας μονάδας μάζας ενός υλικού κατά $1K$ καλείται ειδική θερμοχωρητικότητα και η μονάδα μέτρησης της στο SI είναι $[J/kg \cdot K]$.

Η θερμοχωρητικότητα ενός δομικού υλικού που βρίσκεται σε επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον επηρεάζει τις θερμικές ανάγκες του χώρου και την θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειάς του, όταν η θέρμανση του χώρου δεν είναι σταθερή και υπάρχει διακύμανση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος. Υψηλή τιμή της θερμοχωρητικότητας σημαίνει χαμηλό ρυθμό ροής θερμότητας ή ψύξης στο χώρο και μείωση των αναγκών θέρμανσης του. [12]

4.1.5 Συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών μ

Ο συντελεστής αντίστασης στην διάχυση υδρατμών μ , εκφράζει την αντίσταση που παρουσιάζει ένα υλικό δεδομένου πάχους στη δίοδο των υδρατμών, σε σύγκριση με αντίστοιχη αντίσταση που παρουσιάζει μια στρώση ακίνητου αέρα του ίδιου πάχους. Ο συντελεστής μ είναι αδιάστατος αριθμός και προκύπτει από τον λόγο της διαπερατότητας του αέρα προς την διαπερατότητα του υλικού. Οπότε:

$$\mu = \frac{0,09}{\pi} \quad [4.4]$$

Όπου:

- για θερμοκρασίες και συνθήκες πίεσης που επικρατούν στις κατασκευές η διαπερατότητα του αέρα λαμβάνεται ίση με $0,09 \text{ gr}/m \cdot h \cdot \text{mmHg}$
- π : η διαπερατότητα του υλικού $[\text{gr}/m \cdot h \cdot \text{mmHg}]$

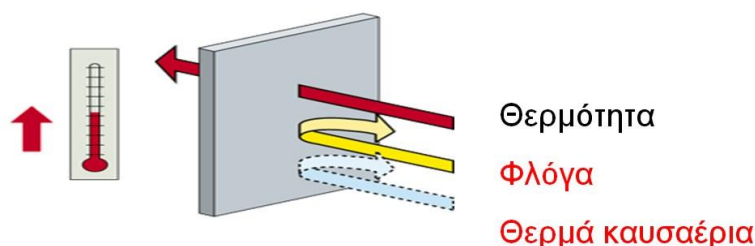
Τα οικοδομικά υλικά κατασκευής τα οποία είναι διαπερατά από τους υδρατμούς αλλά παρουσιάζουν κάποιο φραγμό έχουν συντελεστή μ μεγαλύτερο της μονάδας. Τα υλικά τα

οποία είναι διαπερατά από τους υδρατμούς παρουσιάζουν μ περίπου ίσο με 1. Ενώ τα υλικά τα οποία είναι πολύ στεγανά στους υδρατμούς χαρακτηρίζονται από $\mu = \infty$. Προκύπτει λοιπόν το συμπέρασμα ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο συντελεστής μ τόσο αυξάνεται η αντίσταση του υλικού στην διάχυση των υδρατμών.^[27]

4.1.6 Πυραντοχή ή πυραντίσταση

Ως πυραντίσταση ορίζεται η ικανότητα μιας κατασκευής ή ενός δομικού υλικού να αντιστέκεται για ένα χρονικό διάστημα, που ονομάζεται δείκτης πυραντίστασης, στα θερμικά αποτελέσματα μιας φωτιάς, χωρίς απώλεια της ευστάθειας, της ακεραιότητας και της αντίστασης στην δίοδο της θερμότητας .

Ως ακεραιότητα στην φωτιά ορίζεται η ικανότητα ενός δομικού στοιχείου να εμποδίζει το πέρασμα της φλόγας και των θερμών καυσαερίων στη μη εκτεθειμένη πλευρά του σε περίπτωση προσβολής φωτιάς από την άλλη πλευρά.



Σχήμα 4.2: Σχηματική αναπαράσταση ακεραιότητας ενός δομικού στοιχείου στην φωτιά. ^[30]

Τα υλικά χωρίζονται κατά DIN 4102 σε τέσσερις κύριες κατηγορίες ανάλογα με την αντοχή τους σε περίπτωση πυρκαγιάς αυτές είναι: άφλεκτα υλικά (A), δύσκολα αναφλεγόμενα υλικά (B1), κανονικά αναφλεγόμενα υλικά (B2), εύκολα αναφλεγόμενα υλικά (B3). Η συμπεριφορά των υλικών στην πυρκαγιά εξαρτάται από την πυκνότητα και την χημική τους σύσταση.

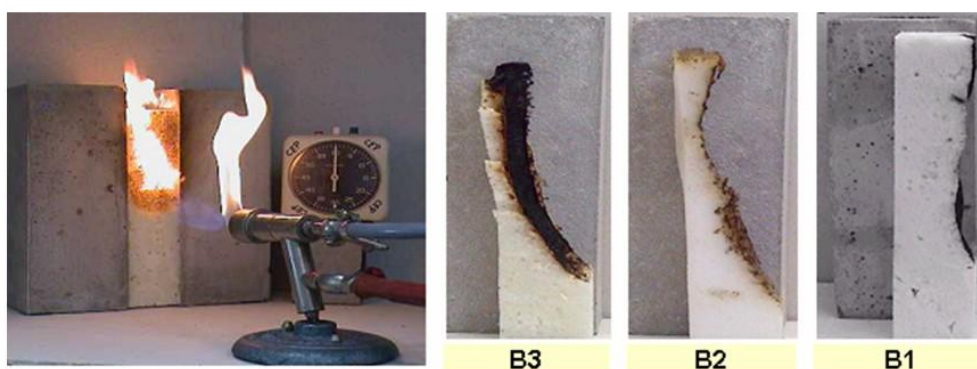
Ως άφλεκτα υλικά (A) θεωρούνται όλα τα δομικά υλικά από μέταλλο ή καθαρά συστατικά χωρίς οργανικές προσμίξεις. Τα υλικά αυτά μπορούν να χρησιμοποιούνται σε όλα τα σημεία της κατασκευής εκτός από τις καμινάδες.

Ως δύσκολα αναφλεγόμενα υλικά (B1) θεωρούνται αυτά που πρέπει να αναφλέγονται δύσκολα ανεξάρτητα από το πάχος τους. Η σύνθεση των υλικών παίζει σημαντικό ρόλο στην κατηγορία αυτή. Πολλές είναι οι πολεοδομικές διατάξεις που απαιτούν την χρήση των υλικών αυτής της κατηγορίας σε συγκεκριμένες κατασκευές ανάλογα με την

λειτουργία τους όπως για παράδειγμα σε σχολεία, νοσοκομεία, ξενοδοχεία, εστιατόρια και γενικότερα χώρους συνάθροισης κοινού.

Η κατηγορία κανονικά αναφλεγόμενων υλικών (B2) επικεντρώνεται στο πάχος τους. Εάν το πάχος των υλικών είναι μικρότερο από κάποια συγκεκριμένα όρια όπως για παράδειγμα 2mm για προϊόντα ξυλείας και 0,6 – 1 mm για συνθετικά υλικά χωρίς προστατευτική ενίσχυση τότε τα υλικά κατατάσσονται στα εύφλεκτα υλικά (B3).

Οι περισσότερες κοινοτικές οδηγίες έχουν απαγορέψει την χρήση εύκολα αναφλεγόμενων υλικών. Παρόλα αυτά η παραγωγή τέτοιου είδους υλικών δεν έχει σταματήσει διότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε περιπτώσεις όπου συνδυάζονται με άλλα υλικά και δεν λειτουργούν πλέον ως εύκολα αναφλέξιμα. [30]



Σχήμα 4.3: Ενδεικτική κατάσταση των κατηγοριών των υλικών B1,B2,B3 μετά από δοκιμή σε φωτιά [30]

Τα θερμομονωτικά υλικά ανόργανης προέλευσης όπως ο πετροβάμβακας, ο υαλοβάμβακας, ο περλίτης και το αφρώδες γυαλί δεν αναφλέγονται εύκολα και δεν διατηρούν την φωτιά. Αντιθέτως τα θερμομονωτικά υλικά οργανικής προέλευσης όπως η πολυστερίνη και η πολυουρεθάνη καθώς και τα υλικά που έχουν ως πρώτη ύλη το ξύλο ή άλλα φυτά όπως ο φελλός και το ξυλόμαλλο αναφλέγονται εύκολα αν εκτεθούν απευθείας σε φλόγα. [12]

4.1.7 Η μηχανική αντοχή

Ως μηχανική αντοχή των υλικών αναφέρεται η ανθεκτικότητά τους σε καταπονήσεις που δέχονται ή πρόκειται να δεχτούν. Τα φορτία που πρόκειται να εφαρμοστούν στα υλικά της κατασκευής πρέπει να μελετώνται προκειμένου να αποφευχθούν προβλήματα αστοχίας των υλικών κατά την χρήση της κατασκευής. Τα υλικά καταπονούνται ακόμη και κατά την τοποθέτηση, την μεταφορά και την επεξεργασία τους.

Η αντοχή των θερμομονωτικών υλικών σε εφελκυστικά ή θλιπτικά φορτία δεν είναι πάντοτε σημαντική. Όταν το θερμομονωτικό υλικό ανήκει στα φέροντα στοιχεία της κατασκευής, όπως για παράδειγμα τα θερμομονωτικά τούβλα η αντοχή του είναι πρωτεύουσας σημασίας. Ενώ μικρής σημασίας είναι όταν αποτελεί τμήμα της θερμομονωτικής στρώσης στον πυρήνα μιας τοιχοποιίας πλήρωσης .

Η μηχανική αντοχή των θερμομονωτικών υλικών πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στις εφαρμογές δαπέδων ή δωματίων τα οποία πρόκειται να φέρουν ισχυρά φορτία. Θερμομονωτικά υλικά που εμφανίζουν υψηλή αντοχή είναι το ξυλόμαλλο και το αφρώδες γυαλί, υλικά όπως το πάπλωμα υαλοβάμβακα δεν προσφέρονται για ισχυρές καταπονήσεις, ενώ άλλα όπως η διογκωμένη πολυστερίνη μπορούν να δεχτούν γραμμικά φορτία όχι όμως μοναχικά.

Σημαντική θεωρείται η γνώση αντοχής των θερμομονωτικών υλικών σε εφελκυστικά φορτία, όταν αυτά πρόκειται να χρησιμοποιηθούν σε αυτοφερόμενες κατασκευές ή να τοποθετηθούν σε ψευδοροφές που παρουσιάζουν μεγάλα ανοίγματα. [12]

Η εφαρμογή φορτίων στην επιφάνεια των υλικών μπορεί να επηρεάζει το πάχος τους, για τον λόγο αυτό πρέπει να μελετάται η συμπιεστότητα τους. Επίσης οι καμπτικές και διατμητικές καταπονήσεις κατά την τοποθέτηση των υλικών μπορεί να προκαλέσουν αστοχία του υλικού. [27]

4.1.8 Η ηχομονωτική ικανότητα

Πολλά θερμομονωτικά υλικά έχουν την ικανότητα να απορροφούν τον ήχο περιορίζοντας την επίδρασή του. Τέτοια υλικά είναι ανόργανα ινώδη υλικά ή οργανικά ινώδη ή πορώδη. [12]

Υπάρχουν και άλλες ιδιότητες των θερμομονωτικών υλικών οι οποίες πρέπει να μελετώνται όπως η προσβολή τους από τρωκτικά, η φθορά που εμφανίζουν με την πάροδο του χρόνου, και η συμπεριφορά τους όταν αυτά συνδυάζονται με άλλα υλικά.

4.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την συμπεριφορά των θερμομονωτικών υλικών

4.2.1 Η επίδραση της θερμοκρασίας

Η μεταβολή της θερμοκρασίας επηρεάζει την τιμή του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ , στην πραγματικότητα αυτή δεν είναι σταθερή. Στην ΤΟΤΕΕ20701-2/2010 δίνεται ο συντελεστής λ διαφόρων υλικών ο οποίος έχει υπολογιστεί σε θερμοκρασία 10°C και ξηρή ατμόσφαιρα στο εργαστήριο. Πιο συγκεκριμένα αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί αύξηση του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας των υλικών με αποτέλεσμα την αλλοίωση της θερμομονωτικής τους ικανότητας. Οι θερμοκρασιακές διακυμάνσεις μικρής κλίμακας όπως ημερήσιες, μηνιαίες ή εποχιακές δεν προκαλούν μεταβολή του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ .

Επιπλέον κάποια υλικά είναι ευαίσθητα σε πολύ υψηλές ή χαμηλές θερμοκρασίες με αποτέλεσμα την αλλοίωση της υφής τους και το σπάσιμο των κυψελών τους. Η ιδιαιτερότητα αυτών των υλικών πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά την επιλογή των θερμομονωτικών υλικών σε εφαρμογές όπου αναπτύσσονται ακραίες θερμοκρασίες.

Η μεταβολή της θερμοκρασίας μεταβάλλει τις διαστάσεις των υλικών με αποτέλεσμα, αν δεν ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα, να προκληθούν βλάβες στην στρώση της θερμομόνωσης. Πιο συγκεκριμένα αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί επιμήκυνση των διαστάσεων των υλικών, που χρησιμοποιούνται υπό μορφή σκληρών πλακών, με αποτέλεσμα την ανασήκωση τους και δημιουργία θερμογεφυρών στις ακμές συναρμογής τους. Για την αποφυγή του προβλήματος, δημιουργούνται κατάλληλες αυλακώσεις στις θερμομονωτικές πλάκες των υλικών έτσι ώστε να αφήνεται ο απαραίτητος αρμός, ο οποίος θα πληρωθεί κατά την διαστολή των υλικών, και ταυτόχρονα να αποφεύγεται η δημιουργία θερμογεφυρών. [12]

4.2.2 Η επίδραση της υγρασίας

Σημαντικό παράγοντα στην μεταβολή του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας των υλικών αποτελεί και η υγρασία. Η υγρασία η οποία εισχωρεί στην μάζα των υλικών προκαλεί μείωση ή απώλεια των θερμομονωτικών τους ιδιοτήτων και αύξηση του συντελεστή θερμικής τους αγωγιμότητας. Ο συντελεστής λ του νερού είναι περίπου 24 φορές μεγαλύτερος από αυτόν του αέρα, αυτό οδηγεί στην μεταβολή των αρχικών ιδιοτήτων των υλικών όταν το νερό εισχωρεί ανάμεσα στις ίνες και στις ανοιχτές κυψελίδες τους. Αντίθετα τα υλικά με δομή κλειστών κυψελίδων, ως επί το πλείστον είναι απρόσβλητα από την

υγρασία, καθώς δεν επιτρέπουν στην υγρασία να εισχωρήσει στην μάζα τους στην οποία βρίσκεται εγκλωβισμένος ο αέρας. [12]

4.2.3 Η επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας

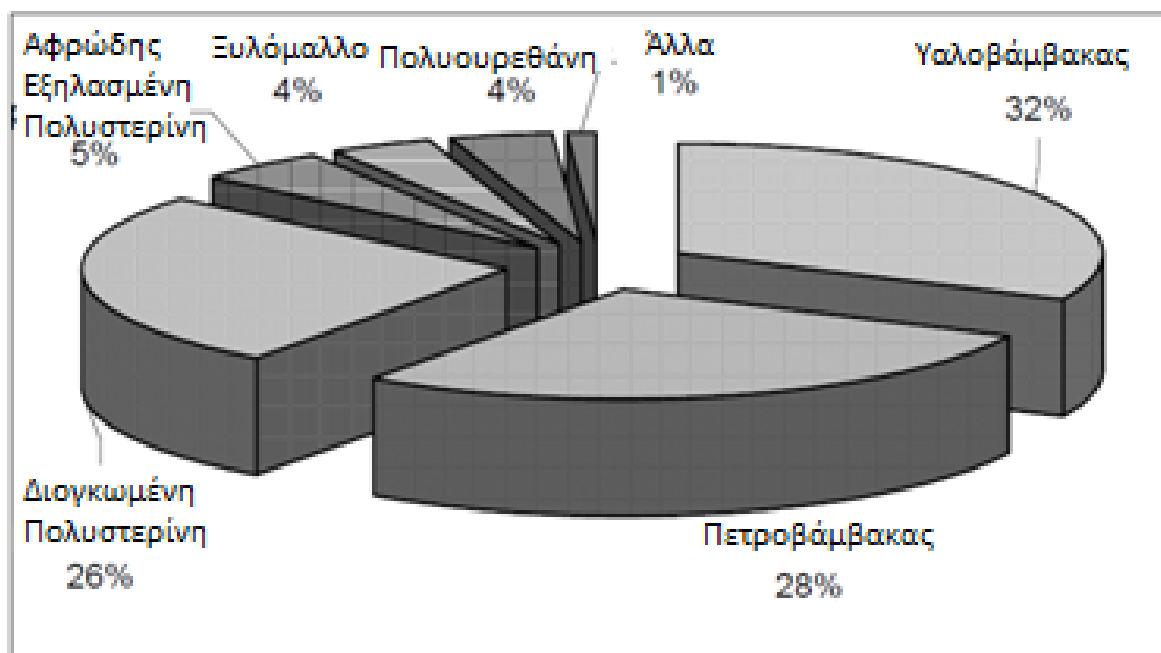
Η έκθεση των θερμομονωτικών υλικών, στην ηλιακή ακτινοβολία, για μεγάλο χρονικό διάστημα, τα φθείρει. Αρχικά εμφανίζεται αλλοίωση στο χρώμα τους και στην συνέχεια στις μηχανικές και θερμομονωτικές ιδιότητές του. Σε πρώτο στάδιο παρατηρείται ένας ελαφρύς κιτρινισμός στην επιφάνειά τους, και έπειτα θρυμματισμός του υλικού. Η μεγαλύτερη επίδραση εμφανίζεται στα αφρώδη υλικά όπως η εξηλασμένη πολυστερίνη και η πολυουρεθάνη. Για την αποφυγή της καταστροφής των υλικών πριν την χρήση τους κρίνεται σκόπιμο να τοποθετούνται σε υπόγειους χώρους ή τουλάχιστον σε σκιερό μέρος ή σε αποθήκες, προστατευμένα με κατάλληλα καλύμματα. Εξίσου σημαντική είναι η κάλυψη των υλικών με την επόμενη επίστρωση, σε σύντομο χρονικό διάστημα μετά την τοποθέτηση τους. [12]

4.2.4 Η χημική συμπεριφορά

Τα θερμομονωτικά υλικά προσβάλλονται από διάφορους χημικούς διαλύτες όπως η πίσσα, το ασετόν και το βενζόλιο, για τον λόγο αυτό, πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στον συνδυασμό των υλικών που γίνεται κατά την επίστρωση της μόνωσης. Πιο συγκεκριμένα, ορισμένες κόλλες και χημικοί διαλύτες μπορούν να καταστρέψουν θερμομονωτικά υλικά που έχουν ως πρώτη ύλη το ξύλο ή διάφορα άλλα είδη φυτών. Επίσης τα περισσότερα αφρώδη οργανικά υλικά επηρεάζονται από την πίσσα και την ρευστή ασφαλτό. Έτσι κατά την κατασκευή των κτηρίων οι ασφατικές μεμβράνες δεν πρέπει να επικολλώνται πάνω σε πολυστερινικής προέλευσης υλικά διότι υπάρχει κίνδυνος καταστροφής τους. [12]

4.3 Τα κυριότερα θερμομονωτικά υλικά

Στο σχήμα που ακολουθεί εμφανίζονται τα κυριότερα θερμομονωτικά υλικά που χρησιμοποιούνται στην Ευρώπη. Στις ενότητες που θα ακολουθήσουν θα γίνει ανάλυση των κυριότερων θερμομονωτικών υλικών.



Σχήμα 4.4: Η κατανομή των θερμομονωτικών υλικών στην Ευρωπαϊκή αγορά (με βάση στατιστικά στοιχεία του 2000) [1]

4.3.1 Η διογκωμένη πολυστερίνη

Η διογκωμένη πολυστερίνη είναι ένα προϊόν της πετροχημικής βιομηχανίας το οποίο παράγεται με τον πολυμερισμό μονομερούς στυρενίου. Με βάση την πρώτη ύλη παραγωγής της κατατάσσεται στα οργανικά υλικά ενώ με βάση την δομή της ανήκει στην κατηγορία των αφρωδών υλικών. Το μεγαλύτερο ποσοστό της μάζας της καλύπτεται από αέρα ο οποίος βρίσκεται εγκλωβισμένος μέσα σε κυψελίδες. Η σύσταση αέρα-πολυστερίνης αλλάζει ανάλογα με την πυκνότητα και μπορεί να φτάσει σε ποσοστό 2% πολυστερίνη και 98% αέρα. Σύμφωνα με τον ΚΘΚ η πυκνότητα του υλικού είναι απαραίτητο να είναι μεγαλύτερη ή ίση των $20 \text{ kg}/\text{m}^3$.

Η διογκωμένη πολυστερίνη κυκλοφορεί στο εμπόριο σε μορφή πλάκων με διάφορα πάχη, για εφαρμογές θερμομόνωσης δωματίων, τοίχων και πατωμάτων, και σε χύμα κοκκώδη μορφή η οποία χρησιμοποιείται κυρίως για πλήρωση κενών. Οι πλάκες μπορεί να είναι απόλυτα ορθογωνισμένες ή να έχουν περιμετρικό αναβαθμό προκειμένου να αποφεύγονται οι αρμοί που λειτουργούν ως θερμογέφυρες, κατά την συναρμογή τους.



Σχήμα 4.5: Διογκωμένη πολυστερίνη σε χύμα κοκκώδη μορφή [www.bon-fzc.com]



Σχήμα 4.6: Πλάκες διογκωμένης πολυστερίνης σε διάφορα πάχη [www.natsis.gr]

Η διογκωμένη πολυστερίνη είναι ένα άοσμο υλικό το οποίο ως επί το πλείστον συναντάται σε λευκό χρώμα, έχει χαμηλό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ σύμφωνα με τον ΚΘΚ σε θερμοκρασία 10°C ισχύει $\lambda = 0,029 - 0,041 W/(m \cdot K)$. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται κατά την διαδικασία παραγωγής της, για την αποφυγή δημιουργίας ανοιχτών κυψελίδων, όπως αναφέρθηκε και στην ενότητα 3.2.2 της παρούσας εργασίας, υπάρχει κίνδυνος απορρόφησης υγρασίας από τις ανοιχτές κυψελίδες και μείωσης των θερμομονωτικών ιδιοτήτων της. Παρόλα αυτά λόγω της δομής κλειστών κυψελίδων που διαθέτει είναι ανθεκτική στην υγρασία. Επιπλέον είναι αρκετά ανθεκτική στη συμπίεση και σε εφελκυστικά φορτία.

Όσον αφορά την πυραντοχή της κατατάσσεται στα εύφλεκτα υλικά και βάση DIN 4102 στις κατηγορίες B1 και B2. Η διογκωμένη πολυστερίνη προσβάλλεται από έντομα και τρωκτικά καθώς και από χημικούς διαλύτες συγκεκριμένα από: ακετόνη, αιθέρα, βενζόλιο, βενζίνη, κετόνες, ρευστή ασφαλτο και πισσούχα υλικά, οπότε η κάλυψή της με ασφαλικές μεμβράνες, για αποφυγή της υγρασίας δεν συνίσταται. Η ηλιακή ακτινοβολία είναι ένας παράγοντας που επηρεάζει την διογκωμένη πολυστερίνη καθώς η εκτεταμένη

έκθεσή της σε αυτήν αλλοιώνει το χρώμα και την ανθεκτικότητά της, οπότε πρέπει να λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα. [12][19]

Πίνακας 4.2: Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της διογκωμένης πολυστερίνης [19]

Ιδιότητες	Μονάδες	Τεχνικά χαρακτηριστικά		
		Ελάχιστη τιμή	Μέση τιμή	Μέγιστη τιμή
Μηχανικές Ιδιότητες				
Πάχος υλικού	cm	1,4	1,6/2/2,5/3/3,5	4
Πυκνότητα	kg/m ³	8	13/15/20/30	50
Αντοχή στον εφελκυσμό	N/mm ²	0,15		0,52
Όριο θραύσης	N/mm ²	0,09		0,22
Θλιπτική τάση σε 10% βράχυνση	N/mm ²	0,07		0,26
Ιδιότητες θερμικής προστασίας				
Θερμική αγωγιμότητα λ στους 10°C	W/(m · K)	0,029		0,041
Εύρος χρήσεως	°C	-70		90
Ιδιότητες υγροπροστασίας				
Συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών	-	25	30/40/50/60/70	200
Ποσότητα υγρασίας εξομοίωσης στους 23°C και 80% σχετική υγρασία			5	
Ιδιότητες πυρασφάλειας				
Κατηγορία πυραντοχής	-	B2		B1
Ακουστικές ιδιότητες				
Βαθμός απορρόφησης στα 125Hz	-			
Βαθμός απορρόφησης στα 250Hz	-			
Βαθμός απορρόφησης στα 1000Hz	-			
Βαθμός απορρόφησης στα 4000Hz	-			
Αντίσταση ροής κατά μήκος	kPa · s/m ²			
Δυναμική ακαμψία	MN/m ³	60		100
Αντοχή στη χρήση				
Αναμενόμενη διάρκεια χρήσης	Έτος	50		
Υλικά προστασίας από βιολογικούς παράγοντες	-		Όχι	
Οικονομικά στοιχεία				
Ποσό πρωτογενούς ενέργειας	kWh/m ³	151	190	269

Η διογκωμένη πολυστερίνη κυκλοφορεί στο εμπόριο και με γραφίτη στην μάζα της, σε γκριζο χρώμα. Οι ιδιότητές τους έχουν αρκετές ομοιότητες. Η διαφορά έγκειται στο ότι η διογκωμένη πολυστερίνη με γραφίτη έχει χαμηλότερο συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας από αυτόν της απλής άρα καλύτερες θερμομονωτικές ιδιότητες.



Σχήμα 4.7: Πλάκες διογκωμένης πολυστερίνης με γραφίτη στη μάζα της [www.monotikaylika.gr]

4.3.2 Η αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη

Η αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη είναι συγγενικό υλικό της διογκωμένης πολυστερίνης, προέρχεται και αυτή από την πετροχημική βιομηχανία με διαφορετική όμως μέθοδο επεξεργασίας. Η αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη περιέχει συνδυασμό αέρα και αερίων τα οποία καλύπτουν το 95% του όγκου της.

Στο εμπόριο κυκλοφορεί σε μορφή πλακών, πλήρως ορθογωνισμένων ή με αναβαθμό όπως η διογκωμένη πολυστερίνη, με διάφορα πάχη και διαφορετική πυκνότητα ανάλογα την εφαρμογή, επιπλέον η επιφάνεια μπορεί να είναι λεία ή τραχιά για βελτίωση της πρόσφυσης του κονιάματος του επιχρίσματος. Είναι ένα άοσμο υλικό συνήθως έχει χρώμα γαλάζιο ή πράσινο, αλλά μπορεί να παραχθεί σε διάφορα χρώματα ανάλογα με την εταιρία παραγωγής. Έχει πολύ καλές θερμομονωτικές ιδιότητες λόγω του μεγάλου ποσοστού αέρα και αερίων που περιέχει, σύμφωνα με τον ΚΘΚ ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητάς της σε θερμοκρασία 10°C κυμαίνεται από $\lambda = 0,025 - 0,035 W/(m \cdot K)$. Η δομή κλειστών κυψελίδων που διαθέτει την καθιστά ανθεκτική στην υγρασία. Επιπλέον εμφανίζει μεγάλη αντοχή στον εφελκυσμό και την συμπίεση, η ιδιότητα αυτή οφείλεται στην διαδικασία της εξέλασης, δηλαδή στον τρόπο παραγωγής της.



Σχήμα 4.8: Αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη σε πλάκες [www.sweethomeeu.com]

Σχετικά με την προσβολή από τρωκτικά και έντομα, την ηλιακή ακτινοβολία και την προσβολή από χημικούς διαλύτες η συμπεριφορά της είναι ίδια με αυτήν της διογκωμένης πολυστερίνης. Για την αποφυγή της προσβολής της από τρωκτικά συνίσταται η κάλυψη της με επίχρισμα ή η τοποθέτηση της ανάμεσα στο δομικό στοιχείο. Κατά την διαδικασία παραγωγής της εμπλουτίζεται με επιβραδυντές καύσης για αύξηση της πυραντοχής της και βάση DIN 4102 κατατάσσεται στις κατηγορίες B1 και B2. [12][19]

Πίνακας 4.3: Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της αφρώδους εξηλασμένης πολυστερίνης [19]

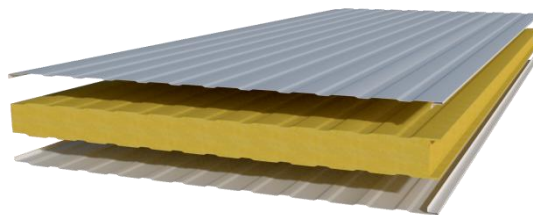
Ιδιότητες	Μονάδες	Τεχνικά χαρακτηριστικά		
		Ελάχιστη τιμή	Μέση τιμή	Μέγιστη τιμή
Μηχανικές Ιδιότητες				
Πάχος υλικού	<i>cm</i>	2	2,5/3/4/5	12
Πυκνότητα	<i>kg/m³</i>	20	30/35/40/60	80
Αντοχή στον εφελκυσμό	<i>N/mm²</i>	0,30	0,33/0,34	0,35
Όριο θραύσης	<i>N/mm²</i>			
Θλιπτική τάση σε 10% βράχυνση	<i>N/mm²</i>	0,15	0,20/0,25/0,30/0,5	0,70
Ιδιότητες θερμικής προστασίας				
Θερμική αγωγιμότητα λ στους 10°C	<i>W/(m · K)</i>	0,025	0,032/0,033	0,035
Εύρος χρήσεως	°C	-60		75
Ιδιότητες υγροπροστασίας				
Συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών	-	80	100/160/200	200
Ποσότητα υγρασίας εξομοίωσης στους 23°C και 80% σχετική υγρασία			< 1	
Ιδιότητες πυρασφάλειας				
Κατηγορία πυραντοχής	-	B2		B1
Ακουστικές ιδιότητες				
Βαθμός απορρόφησης στα 125Hz	-			
Βαθμός απορρόφησης στα 250Hz	-			
Βαθμός απορρόφησης στα 1000Hz	-			
Βαθμός απορρόφησης στα 4000Hz	-			
Αντίσταση ροής κατά μήκος	<i>kPa · s/m²</i>			
Δυναμική ακαμψία	<i>MN/m³</i>			
Αντοχή στη χρήση				
Αναμενόμενη διάρκεια χρήσης	Έτος		50	
Υλικά προστασίας από βιολογικούς παράγοντες	-		Όχι	
Οικονομικά στοιχεία				
Ποσό πρωτογενούς ενέργειας	<i>kWh/m³</i>	23	28	32

4.3.3 Η πολυουρεθάνη

Η πολυουρεθάνη κατατάσσεται στα σκληρά αφρώδη θερμομονωτικά υλικά με κλειστή κυψελωτή δομή. Το χρώμα της πολυουρεθάνης είναι το ανοιχτό κίτρινο και η μορφή της ποικίλλει ανάλογα την χρήση. Συναντάται σε μορφή πλακών για την κάλυψη τοιχοποιιών και δαπέδων, σε μορφή αφρού για την πλήρωση κενών καθώς και για την πλήρωση καμπύλων επιφανειών όπου οι πλάκες δεν έχουν καλή εφαρμογή, σε μορφή πετασμάτων τύπου σάντουιτς με εκατέρωθεν επικαλύψεις μεταλλικών φύλλων κυρίως για απευθείας χρήση σε προκατασκευασμένα σπίτια και βιομηχανικά κτήρια καθώς και σε πλάκες με επικάλυψη λεπτού φύλλου αλουμινίου, ακόμη παράγεται και σε μορφή κοχυλιών για την μόνωση σωλήνων.



Σχήμα 4.9: Πλάκες πολυουρεθάνης σε διάφορα πάχη [<http://zhilint.com>]



Σχήμα 4.10: Πλάκα πολυουρεθάνης με εκατέρωθεν επικάλυψη μεταλλικών φύλλων [www.qsv.gr]

Μέχρι το 1995 η πολυουρεθάνη αποτελούσε το υλικό με τον χαμηλότερο συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας $\lambda = 0,02W/(m \cdot K)$. Έπειτα όμως απαγορεύτηκε η χρήση του FCKW(R11) το οποίο χρησιμοποιούταν ως προωθητικό μέσο και αυτό αντικαταστάθηκε από πεντάνιο οπότε ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας της αυξήθηκε.

Η αντοχή της στον εφελκυσμό και την συμπίεση είναι ικανοποιητική. Επιπλέον παρουσιάζει εξαιρετικά μικρή απορρόφηση υγρασίας, η οποία οφείλεται στην δομή κλειστών κυψελίδων που διαθέτει. Μετά την προσθήκη μέσω αυξησης πυραντοχής η πολυουρεθάνη κατατάσσεται στις κατηγορίες B1 και B2 κατά DIN4102.

Ο αφρός πολυουρεθάνης στερεοποιείται πολύ γρήγορα όταν έρχεται σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα. Έχει πολύ καλή εφαρμογή σε πετρώδη υλικά ενώ δεν εφαρμόζει ικανοποιητικά σε ρυπαρές και πλαστικές επιφάνειες. Προσβάλλεται από έντομα πουλιά και τρωκτικά καθώς και από χημικούς διαλύτες όπως την ακετόνη και άλλους ισχυρούς διαλύτες. Επιπροσθέτως μετά από διαρκή έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία το υλικό ασθενεί και θρυμματίζεται. [12] [19]



Σχήμα 4.11: Τοποθέτηση αφρού πολυουρεθάνης [www.polyurethane.myewebsite.com]

Πίνακας 4.4: Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της πολυουρεθάνης [19]

Ιδιότητες	Μονάδες	Τεχνικά χαρακτηριστικά		
		Ελάχιστη τιμή	Μέση τιμή	Μέγιστη τιμή
Μηχανικές Ιδιότητες				
Πάχος υλικού	cm		2 – 20	
Πυκνότητα	kg/m ³	30	31 – 35	80
Αντοχή στον εφελκυσμό	N/mm ²			
Όριο θραύσης	N/mm ²			
Θλιπτική τάση σε 10% βράχυνση	N/mm ²	10		> 15
Ιδιότητες θερμικής προστασίας				
Θερμική αγωγιμότητα λ στους 10°C	W/(m · K)	0,02		0,027
Εύρος χρήσεως	°C	–50	–50/–40/100	120
Ιδιότητες υγραπροστασίας				
Συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών	-	50	65	> 100
Ποσότητα υγρασίας εξομοίωσης στους 23°C και 80% σχετική υγρασία			5	
Ιδιότητες πυρασφάλειας				
Κατηγορία πυραντοχής	-	B2		B1
Ακουστικές ιδιότητες				
Βαθμός απορρόφησης στα 125Hz	-			
Βαθμός απορρόφησης στα 250Hz	-			
Βαθμός απορρόφησης στα 1000Hz	-			
Βαθμός απορρόφησης στα 4000Hz	-			
Αντίσταση ροής κατά μήκος	kPa · s/m ²			
Δυναμική ακαμψία	MN/m ³			
Αντοχή στη χρήση				
Αναμενόμενη διάρκεια χρήσης	Έτος	30	50	50
Υλικά προστασίας από βιολογικούς παράγοντες	-		Ναι	
Οικονομικά στοιχεία				
Ποσό πρωτογενούς ενέργειας	kWh/m ³	16	28/33	36

4.3.4 Ο υαλοβάμβακας

Ο υαλοβάμβακας με βάση την πρώτη ύλη παραγωγής του κατατάσσεται στα ανόργανα υλικά, ενώ με βάση την δομή του στα ινώδη. Το υλικό αυτό, παράγεται μέσα σε κλίβανο μέσω της διαδικασίας φυγοκέντρισης, κατά την οποία ο αέρας εγκλωβίζεται ανάμεσα στις ίνες των υλικών λόγω των μεγάλων φυγοκεντρικών δυνάμεων που αναπτύσσονται. Οι μορφές παραγωγής του υαλοβάμβακα ποικίλλουν ανάλογα με την εφαρμογή. Ο υαλοβάμβακας παράγεται σε πλάκες σε ρολά χωρίς ενίσχυση ή ενισχυμένα με μεταλλικό πλέγμα ή με επικάλυψη αλουμινίου καθώς και σε μορφή κογχυλιών, η εφαρμογή της κάθε μορφής αναλύθηκε σε προηγούμενη ενότητα. Το χρώμα του συνήθως είναι κίτρινο απαλό, πιο σπάνια άσπρο.



Σχήμα 4.12: Πλάκες υαλοβάμβακα [www.natsis.gr]



Σχήμα 4.13: Ρολά υαλοβάμβακα με και χωρίς επικάλυψη αλουμινίου [www.tsakiroglou.gr/]

Ο υαλοβάμβακας παρουσιάζει πολύ καλές θερμομονωτικές ιδιότητες ($\lambda = 0,041W/(m \cdot K)$) στους $10^{\circ}C$ σύμφωνα με τον ΚΘΚ), με την προϋπόθεση ότι προστατεύεται από την υγρασία. Σε περίπτωση προσβολής από υγρασία ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του αυξάνει κατακόρυφα, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα την μείωση των θερμομονωτικών του ιδιοτήτων. Ο υαλοβάμβακας όταν τοποθετείται στο εσωτερικό των δομικών στοιχείων απορροφά υγρασία από αυτά, η οποία με την πάροδο του χρόνου εξαπλώνεται στην επιφάνεια του και έτσι παύει να λειτουργεί ως θερμομονωτικό υλικό για τον λόγο αυτό κατά την τοποθέτησή του προτείνεται η χρήση φράγματος υδρατμών στη θερμή όψη. Η αύξηση των θερμικών ιδιοτήτων του υαλοβάμβακα επιτυγχάνεται με μείωση του πάχους των ινών του και αύξηση του μήκους του. Η βελτίωση αυτή του υλικού όπως είναι αναμενόμενο επιφέρει και αύξηση του κόστους του.



Σχήμα 4.14: Κοχύλια υαλοβάμβακα [www.isoren.gr]

Ο υαλοβάμβακας ως προς την πυραντοχή του κατατάσσεται στις κατηγορίες A1, A2 και B1 κατά DIN4102, μεγάλη προσοχή πρέπει να δίνεται στις προσθήκες που γίνονται για την βελτίωση των ιδιοτήτων του διότι τα υλικά αυτά υπάρχει πιθανότητα να υποβαθμίσουν την πυραντίσταση του. Η αντοχή του σε εφελκυστικά φόρτια κρίνεται ικανοποιητική ενώ δεν είναι αρκετά ανθεκτικός στην συμπίεση. Για το λόγο αυτό δεν τοποθετείται σε εφαρμογές θερμομόνωσης δαπέδων. Επιπλέον, εμφανίζει αρκετά καλές ηχομονωτικές ιδιότητες και δεν προσβάλλεται από τρωκτικά έντομα και χημικούς διαλύτες πέραν του υδροχλωρικού οξέως. [12] [19]

Πίνακας 4.5: Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του υαλοβάμβακα. [19]

Ιδιότητες	Μονάδες	Τεχνικά χαρακτηριστικά		
		Ελάχιστη τιμή	Μέση τιμή	Μέγιστη τιμή
Μηχανικές Ιδιότητες				
Πάχος υλικού	<i>cm</i>	1	3/4/5/8/10/12/14/15	18
Πυκνότητα	<i>kg/m³</i>	13	18/23/60/65/80	100
Αντοχή στον εφελκυσμό	<i>N/mm²</i>		0,005	
Όριο θραύσης	<i>N/mm²</i>	0,005		0,015
Θλιπτική τάση σε 10% βράχυνση	<i>N/mm²</i>		0,1	
Ιδιότητες θερμικής προστασίας				
Θερμική αγωγιμότητα λ στους 10°C	<i>W/(m · K)</i>	0,030	0,0338	0,045
Εύρος χρήσεως	°C	-100	-	500
Ιδιότητες υγροπροστασίας				
Συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών	-	< 1		1
Ποσότητα υγρασίας εξομοίωσης στους 23°C και 80% σχετική υγρασία		< 0,1	0,2/0,5 ... 1	1
Ιδιότητες πυρασφάλειας				
Κατηγορία πυραντοχής	-	B1	A2	A1
Ακουστικές ιδιότητες				
Βαθμός απορρόφησης στα 125Hz	-	0,1		0,79
Βαθμός απορρόφησης στα 250Hz	-	0,26		0,79
Βαθμός απορρόφησης στα 1000Hz	-	0,71		0,97
Βαθμός απορρόφησης στα 4000Hz	-	0,95		0,96
Αντίσταση ροής κατά μήκος	<i>kPa · s/m²</i>	5	8/12/18	> 35
Δυναμική ακαμψία	<i>MN/m³</i>	> 25	17/13/10	< 5
Αντοχή στη χρήση				
Αναμενόμενη διάρκεια χρήσης	Έτος	30		
Υλικά προστασίας από βιολογικούς παράγοντες	-		Όχι	
Οικονομικά στοιχεία				
Ποσό πρωτογενούς ενέργειας	<i>kWh/m³</i>	90	110	430

4.3.5 Ο πετροβάμβακας

Ο πετροβάμβακας κατατάσσεται και αυτός σύμφωνα με την πρώτη ύλη παραγωγής και την δομή του στα ανόργανα ινώδη υλικά όπως ο υαλοβάμβακας. Ο τρόπος παραγωγής των δύο υλικών είναι ο ίδιος, η διαφορά έγκειται στις πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται κατά την παραγωγή. Το χρώμα στο οποίο συναντάται είναι το σκούρο κιτρινοπράσινο όπως φαίνεται στις εικόνες που ακολουθούν.



Σχήμα 4.15: Πλάκες πετροβάμβακα με διάφορες επικαλύψεις [maconwaterproofing.blogspot.gr]

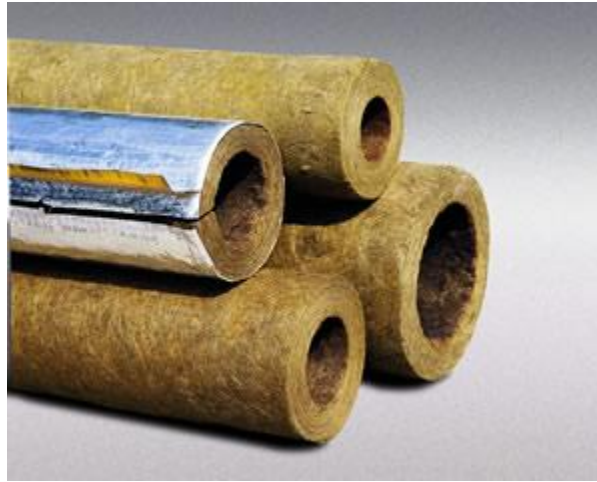
Στο εμπόριο συναντάται σε διάφορες μορφές όπως σε παπλώματα απλά ή ενισχυμένα με μεταλλικό πλέγμα ή και με επίστρωση αλουμινίου, σε πλάκες με διάφορες επικαλύψεις όπως για παράδειγμα με υαλοϋφασμα, με φύλλο αλουμινίου με ασφαλοποιημένο υαλοπίλημα, σε χύμα μορφή και σε μορφή κοχυλιών.



Σχήμα 4.16: Πάπλωμα πετροβάμβακα [www.tsakiroglou.gr]

Ο πετροβάμβακας έχει καλές θερμομονωτικές ιδιότητες, συγκεκριμένα ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητάς του κυμαίνεται από $\lambda = 0,033 - 0,045 \text{ W}/(m \cdot K)$, η θερμομονωτική του ικανότητα όμως επηρεάζεται από την υγρασία όπως και στην περίπτωση του υαλοβάμβακα που αναλύθηκε στην προηγούμενη ενότητα. Ιδιαίτερα

σημαντική είναι η ανθεκτικότητα του πετροβάμβακα στις υψηλές θερμοκρασίες. Η ιδιότητα αυτή οφείλεται στο ότι οι πρώτες ύλες και τα πρόσθετα που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή του πετροβάμβακα λιώνουν σε μεγάλες θερμοκρασίες κατά την παραγωγή.



Σχήμα 4.17: Κοχύλια πετροβάμβακα [www.isoren.gr]



Σχήμα 4.18: Πετροβάμβακας σε χύμα μορφή [www.palagkas.gr]

Ο πετροβάμβακας όπως και ο υαλοβάμβακας έχουν κοινές εφαρμογές χρήσης με την διαφορά ότι ο πετροβάμβακας χρησιμοποιείται σε χώρους όπου αναπτύσσονται υψηλότερες θερμοκρασίες λόγω της υψηλότερης θερμικής αντοχής που διαθέτει. Η τοποθέτηση των δύο αυτών υλικών, πρέπει να γίνεται με χρήση γαντιών λόγω των μικρών τριμάτων που μπορεί να αφήσουν οι ίνες τους.

Η αντίσταση του πετροβάμβακα στην πυρκαγιά είναι ιδιαίτερα ικανοποιητική και κατατάσσεται στις κατηγορίες A1, A2, B1, μειονεκτεί όμως στην αντοχή του στα εφελκυστικά φορτία και στην θραύση. Σε σχέση με τον υαλοβάμβακα υστερεί στην απορρόφηση ήχου χαμηλής συχνότητας αλλά υπερτερεί στις υψηλές συχνότητες. [12][19]

Πίνακας 4.6: Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του πετροβάμβακα. [19]

Ιδιότητες	Μονάδες	Τεχνικά χαρακτηριστικά		
		Ελάχιστη τιμή	Μέση τιμή	Μέγιστη τιμή
Μηχανικές Ιδιότητες				
Πάχος υλικού	cm	2	3 – 6/8/10/11/16	18
Πυκνότητα	kg/m ³	30	30 – 40/55/90/100/130	180
Αντοχή στον εφελκυσμό	N/mm ²	0,00012	0,0003/0,002	0,0075
Όριο θραύσης	N/mm ²	0,005	0,02	0,05
Θλιπτική τάση σε 10% βράχυνση	N/mm ²			
Ιδιότητες θερμικής προστασίας				
Θερμική αγωγιμότητα λ στους 10°C	W/(m·K)	0,033	0,0375	0,045
Εύρος χρήσεως	°C	-100		750
Ιδιότητες υγροπροστασίας				
Συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών	-	< 1		1
Ποσότητα υγρασίας εξομοίωσης στους 23°C και 80% σχετική υγρασία		< 0,1	0,2	1,5
Ιδιότητες πυρασφάλειας				
Κατηγορία πυραντοχής	-	B2	A2	A1
Ακουστικές ιδιότητες				
Βαθμός απορρόφησης στα 125Hz	-	0,05	0,14	0,19
Βαθμός απορρόφησης στα 250Hz	-	0,34	0,37/0,55	0,88
Βαθμός απορρόφησης στα 1000Hz	-	0,92	0,93/0,96	0,99
Βαθμός απορρόφησης στα 4000Hz	-	0,92	0,93	1,06
Αντίσταση ροής κατά μήκος	kPa·s/m ²	5	11/12/15/30	70
Δυναμική ακαμψία	MN/m ³			
Αντοχή στη χρήση				
Αναμενόμενη διάρκεια χρήσης	Έτος	30		
Υλικά προστασίας από βιολογικούς παράγοντες	-		Όχι	
Οικονομικά στοιχεία				
Ποσό πρωτογενούς ενέργειας	kWh/m ³	110	250/450/540/600	660

4.3.6 Το αφρώδες γυαλί

Το αφρώδες γυαλί είναι ένα υλικό ορυκτής προέλευσης με κυψελώδη δομή. Αποτελείται από πλήθος πολύ μικρών κυψελών ερμητικά κλειστών και ανεξάρτητων μεταξύ τους. Έχει ως βασικό υλικό παραγωγής την άμμο και προκύπτει από θερμική επεξεργασία αλεσμένου γυαλιού το οποίο έχει αναμειχθεί με άνθρακα.



Σχήμα 4.19: Αφρώδες γυαλί σε χυτή μορφή [www.anelixi.org]

Στο εμπόριο παράγεται σε πλάκες μικρών διαστάσεων με ενιαίο πάχος ή με μεταβλητό πάχος, για την θερμομόνωση δώματος. Κατόπιν θερμικής επεξεργασίας και προσθήκης άνθρακα, το αφρώδες γυαλί στερεοποιείται σε μπλοκ. Στην Ελλάδα, δεν είναι ευρέως διαδεδομένο θερμομονωτικό υλικό.



Σχήμα 4.20: Πλάκες αφρώδους γυαλιού [www.anelixi.org]

Το αφρώδες γυαλί παρουσιάζει μεγάλη αντοχή στην συμπίεση και στα θλιπτικά φορτία. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιείται για την θερμομόνωση δαπέδων ή άλλων επιφανειών. Αντίθετα παρουσιάζει μεγάλη ευαισθησία στα κρουστικά φορτία. Δεν προσβάλλεται από τρωκτικά και πουλιά, ούτε από χημικούς διαλύτες εκτός του υδροφθωρικού οξέως. Η ηλιακή ακτινοβολία δεν επηρεάζει τις ιδιότητες του, εμφανίζει μεγάλη αντίσταση στην υγρασία καθώς δεν απορροφά νερό. Παρουσιάζει μεγάλη αντοχή στη θερμότητα και ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ κυμαίνεται $\lambda = 0,038 - 0,063 \text{ W}/(m \cdot K)$. Με βάση την πυραντίσταση του κατατάσσεται στα άκαυστα υλικά και κατά DIN4102 στην κατηγορία A1. [12][19]

Πίνακας 4.7: Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του αφρώδους γυαλιού. [19]

Ιδιότητες	Μονάδες	Τεχνικά χαρακτηριστικά		
		Ελάχιστη τιμή	Μέση τιμή	Μέγιστη τιμή
Μηχανικές Ιδιότητες				
Πάχος υλικού	cm	2,5	3/7/14/15	18
Πυκνότητα	kg/m ³	100	106/120/165	180
Αντοχή στον εφελκυσμό	N/mm ²	0,24		0,28
Όριο θραύσης	N/mm ²	0,3		0,5
Θλιπτική τάση σε 10% βράχυνση	N/mm ²			
Ιδιότητες θερμικής προστασίας				
Θερμική αγωγιμότητα λ στους 10°C	W/(m · K)	0,038		0,063
Εύρος χρήσεως	°C	-260		430
Ιδιότητες υγραπροστασίας				
Συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών	-		∞	
Ποσότητα υγρασίας εξομοίωσης στους 23°C και 80% σχετική υγρασία			0	
Ιδιότητες πυρασφάλειας				
Κατηγορία πυραντοχής	-		A1	
Ακουστικές ιδιότητες				
Βαθμός απορρόφησης στα 125Hz	-			
Βαθμός απορρόφησης στα 250Hz	-			
Βαθμός απορρόφησης στα 1000Hz	-			
Βαθμός απορρόφησης στα 4000Hz	-			
Αντίσταση ροής κατά μήκος	kPa · s/m ²			
Δυναμική ακαμψία	MN/m ³			
Αντοχή στη χρήση				
Αναμενόμενη διάρκεια χρήσης	Έτος		50	
Υλικά προστασίας από βιολογικούς παράγοντες	-		Όχι	
Οικονομικά στοιχεία				
Ποσό πρωτογενούς ενέργειας	kWh/m ³	25		50

4.3.7 Το ξυλόμαλλο

Το ξυλόμαλλο αποτελείται από ξυλώδεις ίνες αναμειγμένες με τσιμέντο υψηλής αντοχής. Ως πρώτη ύλη για την παραγωγή του χρησιμοποιείται το ξύλο ή άλλα συγγενικά προϊόντα σε ινώδη μορφή όπως άχυρο και ροκανίδια.

Είναι άοσμο υλικό παράγεται κυρίως σε δύο μορφές: σε συμπαγείς πλάκες και σε τύπο σάντουιτς το οποίο περιέχει δύο επιφάνειες από ξυλόμαλλο και πυρήνα πετροβάμβακα ή διογκωμένης πολυστερίνης, οι πλάκες αυτές συνδυάζουν τις ιδιότητες του ξυλόμαλλου και του πετροβάμβακα ή της διογκωμένης πολυστερίνης αντίστοιχα.

Το χρώμα του είναι φαιό όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί. Το ξυλόμαλλο προσβάλλεται από τρωκτικά και έντομα, άλλα δεν επηρεάζεται από χημικούς διαλύτες και την ηλιακή ακτινοβολία. Αποτελεί ένα από τα θερμομονωτικά υλικά με την μεγαλύτερη αντοχή στην συμπίεση καθώς και σε θλιπτικά φορτία.



Σχήμα 4.21: Πλάκες ξυλόμαλλου απλή και με πυρήνα πετροβάμβακα [www.karamitsosf.gr]

Το ξυλόμαλλο παρουσιάζει ικανοποιητική συμπεριφορά στην θερμότητα. Σύμφωνα με τον ΚΘΚ στους 10°C ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητάς του είναι $\lambda = 0,093 W/(m \cdot K)$, για πλάκες πάχους 25 – 35 mm, για πλάκες με πάχος μεγαλύτερο των 50mm ο συντελεστής είναι $\lambda = 0,081 W/(m \cdot K)$. Όσον αφορά την συμπεριφορά του στη φωτιά θεωρείται πυράντοχο μόνο μετά την επίχρισή του και κατατάσσεται στην κατηγορία B1 σύμφωνα με το DIN4102. Το ξυλόμαλλο προσφέρεται για την θερμομονωτική προστασία όλων σχεδόν των δομικών στοιχείων, αρκεί να μην προσβάλλονται από την υγρασία, διότι την απορρόφα. Το ξυλόμαλλο πέρα από πολύ καλό θερμομονωτικό υλικό εμφανίζει και ικανοποιητικές ηχομονωτικές ιδιότητες. [12] [19]

Πίνακας 4.8: Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του ξυλόμαλλου. [19]

Ιδιότητες	Μονάδες	Τεχνικά χαρακτηριστικά		
		Ελάχιστη τιμή	Μέση τιμή	Μέγιστη τιμή
Μηχανικές Ιδιότητες				
Πάχος υλικού	cm	1,5	3/3,5/4/4,5/5	10
Πυκνότητα	kg/m ³	360		570
Αντοχή στον εφελκυσμό	N/mm ²			
Όριο θραύσης	N/mm ²			
Θλιπτική τάση σε 10% βράχυνση	N/mm ²	0,15		0,2
Ιδιότητες θερμικής προστασίας				
Θερμική αγωγιμότητα λ στους 10°C	W/(m · K)	0,055		0,065
Εύρος χρήσεως	°C			250
Ιδιότητες υγραπροστασίας				
Συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών	-	5		10
Ποσότητα υγρασίας εξομοίωσης στους 23°C και 80% σχετική υγρασία			6	
Ιδιότητες πυρασφάλειας				
Κατηγορία πυραντοχής	-		B1	
Ακουστικές ιδιότητες				
Βαθμός απορρόφησης στα 125Hz	-		0,17	
Βαθμός απορρόφησης στα 250Hz	-		0,22	
Βαθμός απορρόφησης στα 1000Hz	-		0,78	
Βαθμός απορρόφησης στα 4000Hz	-		0,65	
Αντίσταση ροής κατά μήκος	kPa · s/m ²			
Δυναμική ακαμψία	MN/m ³			
Αντοχή στη χρήση				
Αναμενόμενη διάρκεια χρήσης	Έτος		> 75	
Υλικά προστασίας από βιολογικούς παράγοντες	-		Ναι	
Οικονομικά στοιχεία				
Ποσό πρωτογενούς ενέργειας	kWh/m ³		65	

4.3.8 Ο φελλός

Ο φελλός προέρχεται από την απόξεση και την επεξεργασία του φλοιού των δέντρων και κατατάσσεται στα φυσικά θερμομονωτικά υλικά. Είναι ένα από τα παλαιότερα μονωτικά υλικά, το οποίο χρησιμοποιείται στις κατασκευές τόσο για τις θερμομονωτικές όσο και για τις ηχομονωτικές του ιδιότητες. Στην Ελλάδα δεν χρησιμοποιείται ευρέως ως θερμομονωτικό υλικό, λόγω του υψηλού κόστους του. Παρόλα αυτά χρησιμοποιείται ως ηχομονωτικό υλικό στις κατασκευές όπου προσδίδει και τις θερμομονωτικές του ιδιότητες.

Στο εμπόριο συναντάται σε κοκκώδη μορφή, σε μορφή πλακών, οι οποίες προέρχονται από την διόγκωση του κοκκώδους φελλού, σε ρολά και πιο σπάνια σε μορφή κοχυλιών. Το χρώμα του συνήθως είναι το φυσικό άλλα μπορεί πολύ εύκολα να βαφεί με ειδικές βαφές.



Σχήμα 4.22: Πλάκες φελλού [www.monoran.gr]

Ο φελλός προσβάλλεται από χημικούς διαλύτες καθώς και από ορισμένες μόνο κατηγορίες εντόμων, επιπλέον είναι ανθεκτικός στην υγρασία. Η αντοχή του στην συμπίεση είναι ικανοποιητική καθώς μετά την άρση του φορτίου αποκτά ξανά τις αρχικές του διαστάσεις.

Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητάς του κυμαίνεται μεταξύ $\lambda = 0,04 - 0,065 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ και η κατηγορία πυραντίστασής του κατά DIN4102 είναι η B2. [12] [19]



Σχήμα 4.23: Φελλός σε μορφή ρολού [www.bookstars.gr]

Πίνακας 4.9: Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του φελλού [19]

Ιδιότητες	Μονάδες	Τεχνικά χαρακτηριστικά		
		Ελάχιστη τιμή	Μέση τιμή	Μέγιστη τιμή
Μηχανικές Ιδιότητες				
Πάχος υλικού	cm	2	2,5/3/4/5/6/7	10
Πυκνότητα	kg/m ³	100	110/120	130
Αντοχή στον εφελκυσμό	N/mm ²		> 0,03	
Όριο θραύσης	N/mm ²			
Θλιπτική τάση σε 10% βράχυνση	N/mm ²		> 0,1	
Ιδιότητες θερμικής προστασίας				
Θερμική αγωγιμότητα λ στους 10°C	W/(m · K)	0,04	0,05	0,065
Εύρος χρήσεως	°C	-100		120
Ιδιότητες υγροπροστασίας				
Συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών	-	10		30
Ποσότητα υγρασίας εξομοίωσης στους 23°C και 80% σχετική υγρασία			10	
Ιδιότητες πυρασφάλειας				
Κατηγορία πυραντοχής	-		B2	
Ακουστικές ιδιότητες				
Βαθμός απορρόφησης στα 125Hz	-			
Βαθμός απορρόφησης στα 250Hz	-			
Βαθμός απορρόφησης στα 1000Hz	-			
Βαθμός απορρόφησης στα 4000Hz	-			
Αντίσταση ροής κατά μήκος	kPa · s/m ²			
Δυναμική ακαμψία	MN/m ³			
Αντοχή στη χρήση				
Αναμενόμενη διάρκεια χρήσης	Έτος			
Υλικά προστασίας από βιολογικούς παράγοντες	-		Όχι	
Οικονομικά στοιχεία				
Ποσό πρωτογενούς ενέργειας	kWh/m ³		16	

4.3.9 Ο περλίτης

Ο περλίτης είναι ένα άμορφο ηφαιστειακό γυαλί με σχετικά υψηλή περιεκτικότητα σε νερό. Ο περλίτης σχηματίζεται από την ενυδάτωση ενός ηφαιστειακού πετρώματος του οψιανού. Παράγεται με φυσικό τρόπο και έχει την ιδιότητα να διογκώνεται σημαντικά όταν θερμαίνεται. Το χρώμα του υλικού όταν διογκώνεται, εξαιτίας της ανακλαστικότητας των εγκλωβισμένων φυσαλίδων αέρα, είναι γυαλιστερό λευκό.



Σχήμα 4.24: Περλίτης [31]

Ο διογκωμένος περλίτης χρησιμοποιείται σε διάφορες εφαρμογές όπως στη γεωργία, στη βιομηχανία και στις κατασκευές. Στις κατασκευές χρησιμοποιείται σε σοβάδες, κονιάματα, κεραμίδια οροφής, επενδύσεις καπνοδόχων, γυψοσανίδες, ψευδοροφές, μονωτικές πλάκες οροφής και αποτελεί ένα πολύ αποτελεσματικό μονωτικό υλικό με εξαιρετικά χαμηλό συντελεστή θερμοπερατότητας.

Ο διογκωμένος περλίτης δεν προσβάλλεται από τα έντομα και τρωκτικά, εμφανίζει μεγάλη αντοχή στην πυρκαγιά και ικανοποιητικές ηχομονωτικές ιδιότητες. [31]

Πίνακας 4. 10: Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του περλίτη [19]

Ιδιότητες	Μονάδες	Τεχνικά χαρακτηριστικά		
		Ελάχιστη τιμή	Μέση τιμή	Μέγιστη τιμή
Μηχανικές Ιδιότητες				
Πάχος υλικού	<i>cm</i>			
Πυκνότητα	kg/m^3	50	80/90/100/170	800
Αντοχή στον εφελκυσμό	N/mm^2		-	
Όριο θραύσης	N/mm^2		-	
Θλιπτική τάση σε 10% βράχυνση	N/mm^2			
Ιδιότητες θερμικής προστασίας				
Θερμική αγωγιμότητα λ στους 10°C	$W/(m \cdot K)$	0,04	0,042	0,065
Εύρος χρήσεως	°C	-273		750
Ιδιότητες υγροπροστασίας				
Συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών	-	3		4
Ποσότητα υγρασίας εξομοίωσης στους 23°C και 80% σχετική υγρασία				
Ιδιότητες πυρασφάλειας				
Κατηγορία πυραντοχής	-		A1	
Ακουστικές ιδιότητες				
Βαθμός απορρόφησης στα 125Hz	-	0		0,2
Βαθμός απορρόφησης στα 250Hz	-	0,1		0,25
Βαθμός απορρόφησης στα 1000Hz	-	0,25		0,6
Βαθμός απορρόφησης στα 4000Hz	-			
Αντίσταση ροής κατά μήκος	$kPa \cdot s/m^2$	1,5		110
Δυναμική ακαμψία	MN/m^3			
Αντοχή στη χρήση				
Αναμενόμενη διάρκεια χρήσης	Έτος			
Υλικά προστασίας από βιολογικούς παράγοντες	-		Όχι	
Οικονομικά στοιχεία				
Ποσό πρωτογενούς ενέργειας	kWh/m^3	90		140

4.3.10 Τα πορώδη θερμομονωτικά τούβλα

Τα πορώδη θερμομονωτικά τούβλα είναι τούβλα στη μάζα των οποίων έχουν δημιουργηθεί πολλές μικρές κυψελίδες αέρα. Η κύρια διαφορά τους από τα υπόλοιπα θερμομονωτικά υλικά έγκειται στο γεγονός ότι δεν χρησιμοποιούνται ως συμπληρωματικά υλικά για να προσδώσουν στην κατασκευή θερμική προστασία, αλλά ως κύρια δομικά υλικά τα οποία παρέχουν ταυτόχρονα και θερμική προστασία. Παράγονται με την πρόσμειξη κόκκων διογκωτικού υλικού στη μάζα της αργίλου πριν ακόμη αυτή ψηθεί. Με το ψήσιμο των τούβλων σε υψηλές θερμοκρασίες το διογκωτικό υλικό καίγεται και αφήνει στην μάζα της αργίλου κυψέλες αέρα.

Δεν υπάρχουν κοινώς αποδεκτές προδιαγραφές για τις διαστάσεις των θερμομονωτικών τούβλων, στο εμπόριο κυκλοφορούν σε πολλές διαστάσεις ανάλογα με τις προδιαγραφές που ορίζει η κάθε εταιρία παραγωγής.

Τα θερμομονωτικά τούβλα είναι κατά 25-40% ελαφρύτερα από τα κοινά διάτρητα τούβλα. Δεν προσβάλλονται ούτε από έντομα, πουλιά, τρωκτικά, ούτε από χημικούς διαλύτες άλλα ούτε και από την ηλιακή ακτινοβολία. Εμφανίζουν μεγάλη αντοχή σε παγετό και σε υψηλές θερμοκρασίες και η θερμική τους αγωγιμότητα για πυκνότητα $\rho = 940 \text{ kg/m}^3$ ανέρχεται

στα $\lambda = 0,260 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ σύμφωνα με την ΤΟΤΕΕ20701-2/2010. Εμφανίζουν μεγάλη αντοχή στην συμπίεση καθώς και στα θλιπτικά φορτία. Τα θερμομονωτικά τούβλα είναι άκαυστα.

Χρησιμοποιούνται κυρίως για την κατασκευή εξωτερικών τοιχοποιιών πλήρωσης, χωρίς την χρήση κάποιου πρόσθετου θερμομονωτικού υλικού. Ωστόσο δεν συνιστάται η χρήση τους ως φερόντων δομικών στοιχείων. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στη επιλογή του συνδετικού κονιάματος, αυτό θα πρέπει να παρουσιάζει χαμηλό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, ανάλογο με εκείνον των θερμικών τούβλων για την αποφυγή δημιουργίας θερμογεφυρών. ^[12]



Σχήμα 4.25: Τα θερμομονωτικά τούβλα [<http://1296.gr.all.biz>] [www.buildings.gr]

Πίνακας 4.11: Οι φυσικές, θερμικές και μηχανικές ιδιότητες των πορωδών θερμομονωτικών τούβλων

Απορρόφηση νερού	Ναι
Αντίσταση στη διάχυση των υδρατμών	$\mu = 10$
Αντοχή στη συμπίεση	Ναι
Μεταβολή διαστάσεων	Σταθερότητα
Συμπεριφορά σε φωτιά	Άκαυστα
<p>* Οι διάφορες εταιρείες παραγωγής πορωδών θερμομονωτικών οπτόπλινθων δίνουν καλύτερες τιμές για τα προϊόντα τους. Πάντως για τον προσδιορισμό της θερμομονωτικής ικανότητας των τούβλων είναι προτιμότερο να λαμβάνεται υπόψη ο συντελεστής θερμοδιαφυγής $U_L = \lambda/d$ (όπου d το πάχος του τούβλου) και όχι ένας θεωρητικός συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ του συμπαγούς τμήματος. Έτσι, ο συντελεστής θερμοδιαφυγής U_L για τους διάφορους τύπους που δίνουν οι κατασκευάστριες εταιρείες:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Για $d = 7,5 \text{ cm}$ $U_L = 2,25 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ • Για $d = 10,0 \text{ cm}$ $U_L = 1,71 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ • Για $d = 12,0 \text{ cm}$ $U_L = 1,50 - 1,60 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ • Για $d = 18,0 \text{ cm}$ $U_L = 0,98 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ • Για $d = 20,0 \text{ cm}$ $U_L = 0,65 - 0,70 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ • Για $d = 22,5 \text{ cm}$ $U_L = 0,63 - 0,69 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ 	

Συμπεραίνεται λοιπόν ότι η μελέτη και η σωστή εφαρμογή της θερμομόνωσης βασίζεται στον βέλτιστο συνδυασμό των μεθόδων και των υλικών κατασκευής, τα οποία προσδίδουν συγκεκριμένες χαρακτηριστικές ιδιότητες στα δομικά στοιχεία του κτηρίου.

4.4 Οι επιπτώσεις των θερμομονωτικών υλικών στο περιβάλλον

Τα θερμομονωτικά υλικά παρόλο που αποτελούν ένα πολύ ισχυρό εργαλείο για την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων έχουν επιπτώσεις στο περιβάλλον από την ημέρα της παραγωγής τους μέχρι και το τέλος της ωφέλιμης ζωής τους, δηλαδή την αναδόμηση ή την κατεδάφιση του κτηρίου.

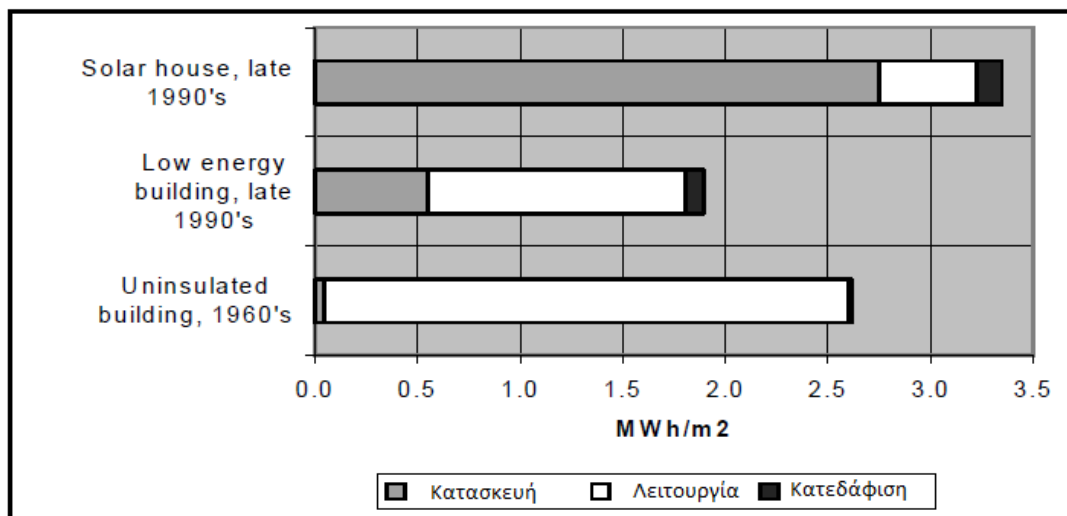
Όπως αναφέρθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια τα θερμομονωτικά υλικά συμβάλλουν στην μείωση των εκπομπών αερίων ρύπων που εκλύονται από τα κτήρια για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης και ψύξης. Πέρα από αυτό όμως θα πρέπει να εξετασθεί και η μόλυνση του περιβάλλοντος που προκαλείται κατά την παραγωγή ή την αποικοδόμηση των υλικών και οι δυνατότητες ανακύκλωσης ή επαναχρησιμοποίησης τους. [1]

4.4.1 Οι επιπτώσεις κατά την παραγωγή την κατασκευή και τη λειτουργία

Τα θερμομονωτικά υλικά κατά την διαδικασία παραγωγής τους επηρεάζουν τον άνθρωπο και το περιβάλλον.

Τα ανόργανα ινώδη υλικά όπως ο πετροβάμβακας και ο υαλοβάμβακας κατά την παραγωγή τους δεν επιβαρύνουν το περιβάλλον εκλύοντας βλαβερές ουσίες, αλλά μπορούν να προκαλέσουν επιπλοκές στην υγεία του κατασκευαστή τους διότι, υπάρχει κίνδυνος εισπνοής των ινών τους. Η συγκέντρωση των ινών στον χώρο παραγωγής πρέπει να βρίσκεται κάτω από συγκεκριμένα όρια συγκεκριμένα $500.000 \text{ ίνες}/\text{m}^3$ και αυτό επιτυγχάνεται με επαρκή αερισμό του χώρου.

Τα οργανικά αφρώδη υλικά και συγκεκριμένα η αφρώδης εξηλασμένη και η διογκωμένη πολυστερίνη δεν προκαλούν κινδύνους κατά την παραγωγή τους. Τα αέρια που εκλύονται είναι κυρίως στυρόλιο, πεντάνιο, βενζόλιο και υδρογονάνθρακες σε μικρές όμως ποσότητες. Παρόλα αυτά πρέπει να λαμβάνονται επαρκή μέτρα αερισμού κατά την διαδικασία παραγωγής τους. Μετά την παραγωγή των υλικών δεν υπάρχουν εκπομπές αέριων κατά την διάρκεια της κατασκευής και της λειτουργίας. Το πιο επικίνδυνο σημείο κατά την διαδικασία παραγωγής είναι η διαρροή στυρολίου σε υγρή μορφή στο περιβάλλον λόγω της τοξικότητάς του. Επιπροσθέτως σημαντικό πρόβλημα παρουσιάζεται σε περίπτωση φωτιάς όταν παράγονται CO και CO_2 ,μαζί με μικροποσότητες στυρολίου και υδροβρωμίου. Κατά την παραγωγή της πολυουρεθάνης παράγονται κυανικά οξείδια τα οποία χαρακτηρίζονται ως πολύ τοξικά. [1]



Σχήμα 4.26: Ενεργειακή ανάλυση του κύκλου ζωής ενός κτηρίου [1]

4.4.2 Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των θερμομονωτικών υλικών ως απορρίμματα

Τα ανόργανα ινώδη υλικά όπως ο πετροβάμβακας και ο υαλοβάμβακας μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν ως πρώτη ύλη για την κατασκευή νέων υλικών, η δυσκολία στην επαναχρησιμοποίηση τους έγκειται στην αποκόλλησή τους από την κατασκευή στην

οποία προϋπήρχαν. Ως επί το πλείστον τα υλικά αυτά απορρίπτονται στο περιβάλλον, λόγω της χαμηλής περιεκτικότητας τους σε οργανικό άνθρακα και την μεγάλη συμπιεστότητά τους η οποία μειώνει αισθητά τον όγκο τους .

Τα αφρώδη οργανικά υλικά όπως η αφρώδης εξηλασμένη και η διογκωμένη πολυστερίνη μπορούν άμεσα να επαναχρησιμοποιηθούν εάν βρίσκονται σε καλή κατάστασή ή αλλιώς να χρησιμοποιηθούν ως πρώτη ύλη για την δημιουργία ελαφροσκυροδέματος υψηλής ποιότητας ή ακόμη και για χρήση σε συσκευασίες. Μια άλλη χρήση μπορεί να είναι η καύση τους σε ειδικούς αποτεφρωτές για την παραγωγή ενέργειας χωρίς περιβαλλοντικές επιπτώσεις αξιοποιώντας τα μεγάλα ποσά ενέργειας που ενσωματώνονται. Δεν θα πρέπει να αντιμετωπίζονται ως απορρίμματα λόγω του υψηλού περιεχομένου τους σε οργανικές ουσίες και την μεγάλη διάρκεια ζωής τους.

Φυσικά υλικά όπως το ξυλόμαλλο μπορούν να θεωρηθούν ως απορρίμματα επειδή αποσυντίθενται πολύ γρήγορα. [1]

Κεφάλαιο 5: Νέες τεχνολογίες θερμομονωτικών υλικών

Κατά την δεκαετία του 1990 ο κλάδος της θερμομόνωσης επικεντρώθηκε στην βελτίωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των ήδη υπαρχόντων υλικών και στον περιορισμό της επίδρασης τους στην ανθρώπινη υγεία. Η ανάπτυξη του κλάδου σχετικά με την έρευνα νέων υλικών ή τη βελτίωση των θερμομονωτικών ιδιοτήτων των ήδη υπαρχόντων δεν ήταν σημαντική. [19]

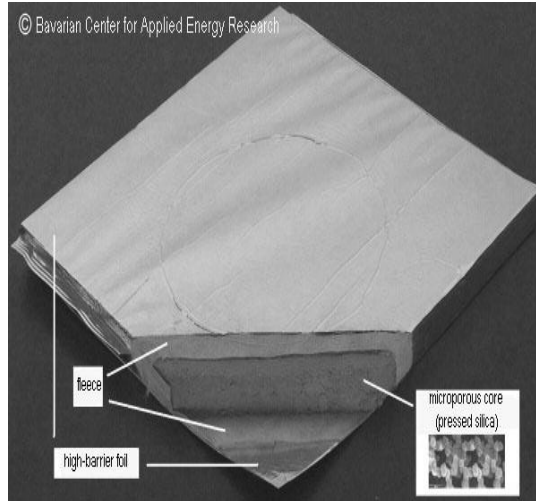
Παρόλα αυτά μετά την έκδοση των κοινοτικών οδηγιών δημιουργήθηκε η ανάγκη βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων καθώς και της δημιουργίας κτηρίων μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης. Για την επίτευξη των παραπάνω στόχων και επειδή η θερμομόνωση του κτηριακού κελύφους είναι μείζονος σημασίας στην εξοικονόμηση ενέργειας των κτηρίων έγιναν και γίνονται προσπάθειες ανάπτυξης νέων θερμομονωτικών υλικών με βελτιωμένες θερμομονωτικές ιδιότητες σε σχέση με τις ήδη υπάρχουσες.

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του υλικού είναι αυτός ο οποίος καθορίζει την καταλληλότητα ενός υλικού ως θερμομονωτικό. Τα υλικά που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζουν χαμηλό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας ο οποίος τα καθιστά κατάλληλα για χρήση σε πληθώρα θερμομονωτικών εφαρμογών. Στις περιοχές με ψυχρό κλίμα χρησιμοποιούνται θερμομονωτικά υλικά με μεγάλο πάχος για την κάλυψη των απαιτήσεων των εφαρμογών. Στις ενότητες που ακολουθούν γίνεται μια μικρή περιγραφή των θερμομονωτικών υλικών προηγμένης τεχνολογίας που αναπτύσσονται στις μέρες μας και έχουν μικρότερο συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας από αυτόν των ήδη υπαρχόντων. [5]

5.1 Θερμομονωτικά πάνελ κενού (Vacuum insulation panels-VIP)

Τα θερμομονωτικά πάνελ κενού αποτελούνται από ένα πυρήνα πορώδους υλικού ανοικτής κυψελώδους δομής, ο οποίος περικλείεται αεροστεγώς με ένα περίβλημα. Το υλικό του πυρήνα προσδίδει στο τελικό προϊόν μηχανική αντοχή θερμική αγωγιμότητα εμποδίζοντας την ελεύθερη ροή του αέρα μέσω της μάζας του και μειώνοντας έτσι την μετάδοση της θερμότητας μέσω του μηχανισμού της αγωγής. Τα ιδανικά υλικά για τον πυρήνα των πάνελ θα πρέπει να έχουν δομή ανοιχτών κυψελίδων, πόρους μικρής διαμέτρου, ανθεκτικότητα στην συμπίεση λόγω του κενού αέρος που δημιουργείται στο εσωτερικό των πάνελ και πολύ υψηλή αντίσταση στην υπεριώδη ακτινοβολία. Υλικά όπως

το πυρογενές πυρίτιο και ο διογκωμένος περλίτης μεμονωμένα ή σε συνδυασμό χρησιμοποιούνται σήμερα ως επί το πλείστον στον πυρήνα των πάνελ. Το περίβλημα παρέχει μια αεροστεγή προστασία στον πυρήνα και συνήθως αποτελείται από επιμεταλλωμένα φύλλα πολυμερών υλικών.



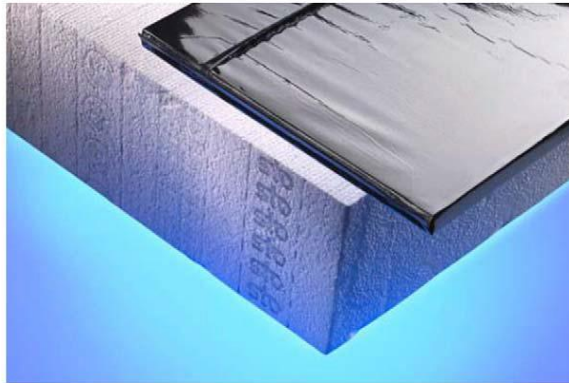
Σχήμα 5.1: Θερμομονωτικό πάνελ κενού [www.vip-bau.de]

Οι θερμομονωτικές πλάκες κενού αποτελούν θερμομονωτικά υλικά προηγμένης τεχνολογίας με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ ο οποίος κυμαίνεται μεταξύ $0,003 - 0,004 W/m \cdot K$ σε καινούρια κατάσταση, ενώ λαμβάνοντας υπόψη την γήρανση του υλικού, λόγω της διάχυσης υδρατμών στον πυρήνα του (ο οποίος έχει δομή ανοιχτών κυψελίδων οι οποίες διευκολύνουν την διάχυση) μετά από 25 χρόνια ο συντελεστής αυξάνεται στα $0,008 W/m \cdot K$. Όπως είναι αναμενόμενο μετά την πάροδο 50 ή 100 ετών ο συντελεστής αυξάνεται ακόμη περισσότερο και αυτή η αύξηση αποτελεί ένα μεγάλο μειονέκτημα των VIPs. Ένα ακόμη μειονέκτημα είναι η αύξηση του συντελεστή λ των VIPs στο $0,02 W/m \cdot K$ όταν η επιφάνεια του περιβλήματος τους σχιστεί από κάποιο αιχμηρό αντικείμενο, αυτό συνεπάγεται ότι τα πάνελ δεν μπορούν να κοπούν και να μορφοποιηθούν σε συγκεκριμένο σχήμα για την κάλυψη της όψης ενός κτηρίου χωρίς να έχουν επιπτώσεις στις θερμομονωτικές τους ιδιότητες.

Αρκετοί μελετητές ερευνούν διάφορα χαρακτηριστικά των VIPs τα οποία ποικίλουν από την δημιουργία θερμογεφυρών, την θερμική τους αγωγιμότητα, την διείσδυση της υγρασίας, την διάρκεια ζωής τους έως την ενσωμάτωση των υλικών αυτών στην κατασκευή των κτηρίων.

Παρά τα μειονεκτήματά τους στα οποία μπορεί να προστεθεί και το υψηλό τους κόστος, τα VIPs αποτελούν ένα μεγάλο βήμα στις εφαρμογές θερμομόνωσης κτηρίων. Η θερμική αγωγιμότητά τους η οποία είναι 5 έως και 10 φορές μικρότερη, ανάλογα με την γήρανση του υλικού, από αυτή των ήδη υπαρχόντων υλικών είναι εξαιρετικά σημαντική όταν

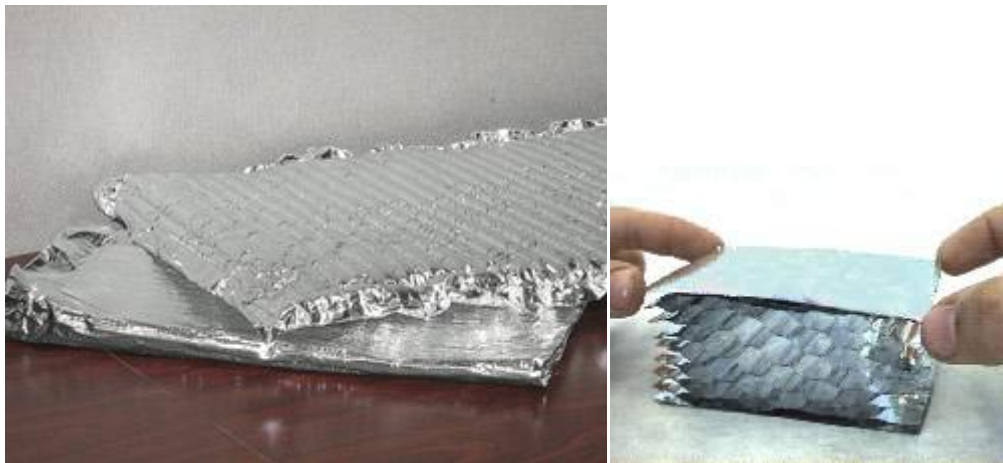
πρέπει να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις ενός κτηρίου μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης. Επιπρόσθετα η θερμομόνωση μεγάλου πάχους σε πολλές περιπτώσεις είναι μη εφικτή λύση. [5]



Σχήμα 5.2: Σύγκριση πάχους VIPs με παραδοσιακά μονωτικά υλικά [Zwenger and Klein, 2005]

5.2 Πάνελ πλήρωσης αερίου(Gas filled panels)

Τα πάνελ πλήρωσης κενού είναι όμοιας τεχνολογίας με τα θερμομονωτικά πάνελ κενού. Η διαφορά έγκειται στο ότι τα πάνελ πλήρωσης αερίου έχουν ως πυρήνα, ένα αέριο με χαμηλότερη θερμική αγωγιμότητα από αυτή του αέρα όπως για παράδειγμα Αργό, κρυπτόν, ξένο αντί των υλικών που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη ενότητα. Το πάνελ καθώς και η δομή του εσωτερικού τους φαίνονται στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 5.3: Πάνελ πλήρωσης κενού και πάνελ πλήρωσης κενού σε τομή [greensource.construction.com] [gfp.lbl.gov]

Η διατήρηση της χαμηλής θερμικής αγωγιμότητας του αερίου στο εσωτερικό του πάνελ και η αποφυγή της διάχυσης των υδρατμών στο εσωτερικό του είναι ο κυριότερος παράγοντας που καθορίζει την θερμομονωτική ικανότητα του υλικού.

Το κενό αέρος θεωρείται ως καλύτερο θερμομονωτικό από τα περισσότερα αέρια που χρησιμοποιούνται στα GFPs. Από την άλλη η δομή του πλέγματος του GFP δεν είναι αναγκαίο να έχει υψηλή αντοχή στην συμπίεση, λόγω του κενού αέρος που δημιουργείται όπως στα VIPs. Ο χαμηλός συντελεστής εκπομπής στις εσωτερικές επιφάνειες των GFPs μειώνει την μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία,

Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας των πρώτων GFPs είναι σχετικά υψηλός και υπολογίζεται στο $0,04 W/m \cdot K$ παρόλα αυτά σε θεωρητικό επίπεδο υπολογίστηκαν πολύ χαμηλότερες τιμές για το μέλλον.

Αν και τα GFPs έχουν πολλά πλεονεκτήματα αλλά και μειονεκτήματα σχετικά με τα VIPs, τα δεύτερα φαίνεται ότι θα αποτελέσουν μια καλύτερη επιλογή για την θερμομόνωση του κτηριακού κελύφους σε μελλοντικές εφαρμογές. [5]

5.3 Αεροτζέλ

Τα αεροτζέλ αποτελούν θερμομονωτική λύση προηγμένης τεχνολογίας, και μπορεί να είναι η πιο υποσχόμενη λύση με το μεγαλύτερο δυναμικό αυτή την στιγμή η οποία μελετάται από πληθώρα ερευνητών. Στα αεροτζέλ χρησιμοποιείται μαύρος άνθρακας για να καταστείλει την μεταφορά θερμότητας μέσω ακτινοβολίας. Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας είναι πολύ χαμηλός σε πίεση $50 mbar$ μπορεί να επιτευχθεί και $\lambda = 0,04 W/m \cdot K$. Τα αεροτζέλ που κυκλοφορούν στο εμπόριο έχουν τιμή του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας μεταξύ $0,013 W/m \cdot K$ και $0,014 W/m \cdot K$ σε ατμοσφαιρική πίεση.



Σχήμα 5.4: Θερμομονωτικά ρολά αεροτζέλ [www.jetsongreen.com]

Το κόστος παραγωγής τους είναι ακόμη αρκετά υψηλό. Τα αεροτζέλ έχουν μια αρκετά υψηλή αντοχή στην συμπίεση άλλα είναι αρκετά εύθραυστα λόγω της μικρής αντοχής τους σε εφελκυστικά φορτία. Η αντοχή τους σε εφελκυσμό μπορεί να αυξηθεί με την ενίσχυσή τους με ανθρακόνημα. Τα αεροτζέλ μπορούν να παραχθούν είτε ως διαφανή είτε ως ημιδιαφανή είτε ως αδιαφανή υλικά, η ιδιότητα αυτή τους δίνει την δυνατότητα τοποθέτησης σε ένα ευρύ φάσμα κτηριακών εφαρμογών. [5]

5.4 Υλικά αλλαγής φάσης (Phase Change Materials PCM)

Τα υλικά αλλαγής φάσης όταν θερμαίνονται αλλάζουν φάση από την στερεή στην υγρή, απορροφώντας ενέργεια μέσω μιας ενδόθερμης διεργασίας. Στην αντίθετη περίπτωση όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος πέσει, τα υγρά υλικά μετατρέπονται σε στερεά εκλύοντας την θερμότητα που απορρόφησαν μέσω εξώθερμης διεργασίας. Ο κύκλος αλλαγής φάσης σταθεροποιεί την εσωτερική θερμοκρασία του κτηρίου μειώνοντας τα φορτία για θέρμανση και ψύξη. Οι παραφίνες αποτελούν τυπικά παραδείγματα PCM αλλά η χαμηλή θερμική τους αγωγιμότητα και η μεγάλη μεταβολή του όγκου τους κατά την μεταβατική φάση τις καθιστά δύσχρηστες σε κτηριακές εφαρμογές.

Η επιλογή του κατάλληλου PCM για την κάθε κτηριακή εφαρμογή, γίνεται με βάση το θερμοκρασιακό εύρος το οποίο είναι κατάλληλο για την αλλαγή φάσης, το οποίο εξαρτάται από τις κλιματολογικές συνθήκες και την ικανότητα του υλικού να απορροφά και να εκλύει μεγάλα ποσά θερμότητας. [5]

Κεφάλαιο 6: Πειραματική μελέτη θερμομονωτικών ιδιοτήτων διαφόρων θερμομονωτικών υλικών

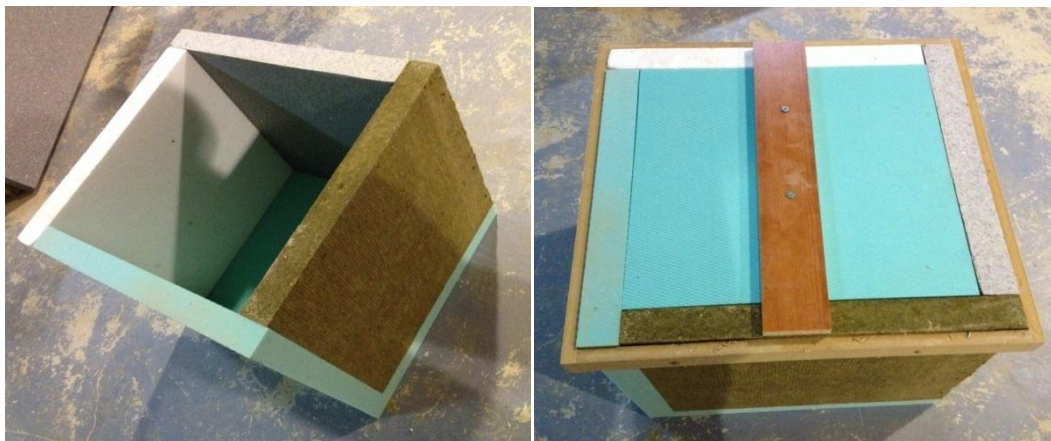
Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει ανάλυση του πειράματος που διεξήχθη στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

6.1 Περιγραφή πειράματος

Για τις ανάγκες της διεξαγωγής του πειράματος, κατασκευάστηκε ένας κύβος, ο οποίος σε κάθε πλευρά του είχε ένα διαφορετικό θερμομονωτικό υλικό. Τοποθετήθηκε μια πηγή θερμότητας, η οποία παρείχε θερμότητα στο εσωτερικό του κύβου. Στο εσωτερικό περιβάλλον επιτυγχάνονταν θερμοκρασίες εύρους 19 – 23°C με τη βοήθεια ενός θερμοστάτη. Ο σκοπός του πειράματος ήταν η μελέτη της συμπεριφοράς των υλικών στη μεταβολή του προσανατολισμού τους καθώς και η μελέτη της θερμικής τους αντίστασης.

6.2 Κατασκευή δοκιμίου

Η εταιρία δομικών υλικών EKAT beton προμήθευσε τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα. Τα υλικά αυτά ήταν διογκωμένη πολυστερίνη, αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη, διογκωμένη πολυστερίνη με γραφίτη στη μάζα της και πετροβάμβακας, τα οποία αποτελούν τα θερμομονωτικά υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται κατά κόρον σε θερμομονωτικές εφαρμογές στην Ελλάδα. Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν σε μορφή ορθογωνισμένων πλακών διαστάσεων 1 × 0,5 m. Οι πλάκες κόπηκαν με την βοήθεια πριονοκορδέλας σε διαστάσεις 0,5 × 0,5 m, και τα υλικά ενώθηκαν μεταξύ τους για την δημιουργία ενός κύβου.

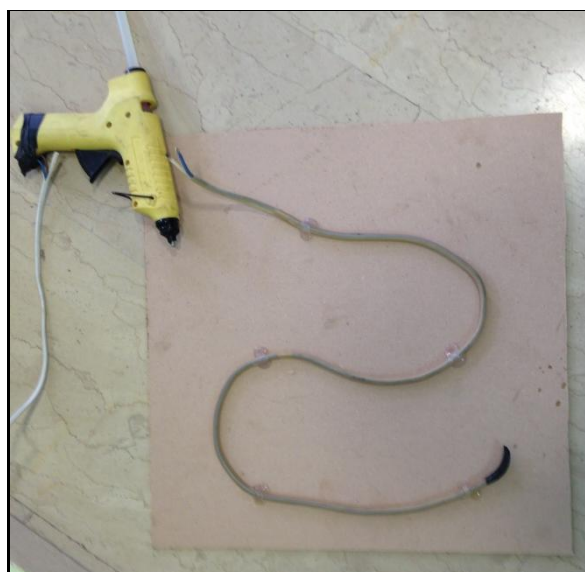


Σχήμα 6.1: Το δοκίμιο που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα

Στην συνέχεια έγινε τοποθέτηση της πηγής θερμότητας. Ως πηγή θερμότητας του δοκιμίου, χρησιμοποιήθηκε αντίσταση η οποία βρισκόταν στο εσωτερικό ενός καλωδίου σιλικόνης το οποίο θερμαινόταν με την παροχή ρεύματος. Επιπλέον τοποθετήθηκε ένας θερμοστάτης, ένα θερμόμετρο και ένας αισθητήρας θερμοκρασίας. Ο θερμοστάτης διατηρούσε την θερμοκρασία του δοκιμίου στο διάστημα 19 – 23°C. Ο αισθητήρας τοποθετήθηκε στο εσωτερικό του δοκιμίου για να παίρνει μετρήσεις και το θερμόμετρο έδειχνε τις ενδείξεις θερμοκρασίας του εσωτερικού χώρου στην οθόνη του. Στο συγκεκριμένο στάδιο του πειράματος η συμβολή της εταιρείας Multigas και συγκεκριμένα του κ. Τσολπίδη Σωτήρη ήταν πολύτιμη καθώς μας παρείχε το σύστημα θέρμανσης αλλά και την απαραίτητη τεχνική υποστήριξη για την εγκατάστασή του. Στις εικόνες που ακολουθούν φαίνεται βήμα-βήμα η διαδικασία τοποθέτησης της πηγής θερμότητας.



Σχήμα 6.2: Επικόλληση της πηγής θερμότητας με τη βοήθεια πιστολιού σιλικόνης.



Σχήμα 6.3: Τελική μορφή πηγής θερμότητας



Σχήμα 6.4: Τοποθέτηση πηγής θερμότητας στο δοκίμιο



Σχήμα 6.5: Σύνδεση της πηγής θερμότητας με το θερμόμετρο



Σχήμα 6.6: Άνοιγμα οπής και τοποθέτηση του αισθητήρα της θερμοκρασίας



Σχήμα 6.7: Σύνδεση του θερμομέτρου και τροφοδότηση του με ρεύμα

6.3 Εξοπλισμός πειράματος

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε ήταν ένα θερμόμετρο με υπέρυθρες ακτίνες, συγκεκριμένα το Ray Temp 38 και ένα θερμόμετρο χώρου, συγκεκριμένα το TROTEC BC15.

6.3.1 Το θερμόμετρο

Το Ray Temp 38 είναι ένα επαγγελματικό θερμόμετρο με υπέρυθρες ακτίνες, το οποίο έχει σχήμα πιστολιού όπως φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί. Το θερμόμετρο λαμβάνει μετρήσεις εξ αποστάσεως μέσω των ακτινών του οι οποίες εμφανίζονται ως δύο ευθυγραμμισμένες κουκίδες λέιζερ πάνω στο στόχο.

Η αναλογία οπτικού πεδίου του θερμομέτρου είναι 50:1 (απόσταση στόχου/ διάμετρος). Η διαδικασία μέτρησης έχει ως εξής: ο χρήστης από μία ασφαλή απόσταση από τον στόχο, στοχεύει με το θερμόμετρο στην επιφάνεια, τραβάει την σκανδάλη και αυτόματα διαβάζει την ένδειξη στην οθόνη του θερμομέτρου. Αυτό διευκολύνει τον χρήστη να μετρήσει τις περισσότερες επιφάνειες γρήγορα και με ακρίβεια.



Σχήμα 6.8: Ray temp 38 [pauleyequipment.co.uk/infrared-thermometers/]

Τα πλεονεκτήματα του θερμομέτρου υπέρυθρων ακτινών έναντι των συμβατικών θερμομέτρων είναι ότι εξάγει ταχύτερα τα αποτελέσματα των μετρήσεων και το γεγονός ότι λαμβάνει μετρήσεις εξ αποστάσεως, σε περιοχές οι οποίες δεν είναι προσβάσιμες με το συμβατό θερμόμετρο επιπρόσθετα είναι αρκετά εύχρηστο. Το θερμόμετρο υπέρυθρων ακτινών μετράει την θερμοκρασία της επιφάνειας των σωμάτων.

Η υπέρυθρη ακτινοβολία εκπέμπεται από την επιφάνεια όλων των σωμάτων, αυτή η ενέργεια είναι μέρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Η υπέρυθρη ακτινοβολία έχει μήκος κύματος από ένα μικρόμετρο έως μερικές εκατοντάδες μικρόμετρα. Τα θερμομέτρα αυτού του τύπου μετρούν υπέρυθρη ακτινοβολία μήκους κύματος μεταξύ 4 και 14 μικρόμετρα.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του θερμομέτρου όπως αυτά δίνονται από την κατασκευαστική εταιρία παρατίθενται στον πίνακα που ακολουθεί:

Πίνακας 6.1: Τεχνικά χαρακτηριστικά Ray temp 38 [thermometer.co.uk/infrared-thermometers/528-raytemp-38-infrared-thermometer.html]

Εύρος μετρήσεων	-59,9°C έως 999,9°C
Ανάλυση	0,1°C
Ακρίβεια μετρήσεων	±2% ή ± 2°C (όποιο είναι μεγαλύτερο)
Οπτικό πεδίο	Λόγος απόσταση στόχος 50: 1
Συντελεστής εκπομπής	Προεπιλογή 0,95, Εύρος 0,1 – 1
Μπαταρίες	2 · AAA αλκαλικές
Χρόνος ζωής μπαταρίας	180 ώρες συνεχούς λειτουργίας
Οθόνη	Οθόνη LCD με φωτισμό
Διαστάσεις	47 × 170 × 240 mm
Βάρος	395gr

Για την σωστή λειτουργία του θερμομέτρου ανάλογα με το υλικό το οποίο μετράται πρέπει να καθοριστεί και ο συντελεστής εκπομπής του ε , το θερμομέτρο λαμβάνει υπόψη και τον συντελεστή εκπομπής των υλικών ο οποίος μπορεί να λάβει τιμές από 0,1 – 1.

Ο συντελεστής εκπομπής είναι το μέτρο της ικανότητας μιας επιφάνειας να εκπέμπει θερμική ενέργεια. Έχει οριστεί ως ο λόγος της ενέργειας που εκπέμπεται από ένα σώμα προς την ενέργεια που εκπέμπεται από ένα μέλαν σώμα. Το μέλαν σώμα είναι ένα υλικό το οποίο εκπέμπει πλήρως την θερμική ενέργεια και έχει συντελεστή εκπομπής 1.

Σύμφωνα με τις προδιαγραφές του θερμομέτρου για αφρώδη υλικά, όπως η διογκωμένη πολυστερίνη, η διογκωμένη πολυστερίνη με γραφίτη καθώς και η αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη, ο συντελεστής εκπομπής ε έπρεπε να επιλεγεί ίσος με 0,6 ενώ για ινώδη υλικά όπως ο πετροβάμβακας επιλέχθηκε $\varepsilon = 0,85$.^[29] Οι συντελεστές εκπομπής διαφόρων υλικών όπως αυτοί δίνονται από την κατασκευαστική εταιρία του θερμομέτρου εμφανίζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 6.2: Συντελεστής εκπομπής διαφόρων υλικών [<http://thermometer.co.uk/content/19-infrared-thermometer-guide>]

aluminium (anodised)	0.77	plastic (black)	0.95
brass (oxidised)	0.61	porcelain (glazed)	0.92
brick (red)	0.90	rubber	0.95
cement	0.54	skin (human)	0.98
copper (oxidised)	0.65	soil (dry)	0.92
glass	0.92	stainless steel	0.59
paper (white)	0.68	water	0.95
perspex	0.86	water (ice)	0.96
pipe (galvanized)	0.46	water (frost)	0.98
plastic (white)	0.84	wood (planed)	0.90

Μεγάλη προσοχή πρέπει επίσης να δίνεται στους φακούς του θερμομέτρου έτσι ώστε να είναι καθαροί και να μην έχουν χτυπηθεί για να παρέχει το όργανο ακριβέστερες μετρήσεις.

6.3.2 Το θερμομέτρο χώρου

Το TROTEC BC15 είναι ψηφιακό μετρητικό όργανο το οποίο μετράει υγρασία και θερμοκρασία σε μονάδες %RH (ποσοστό σχετικής υγρασίας) και °C/°F (βαθμούς Κελσίου/ βαθμούς Fahrenheit) αντίστοιχα. Τα μετρούμενα μεγέθη ανιχνεύονται από το όργανο και οι τιμές τους εμφανίζονται στην οθόνη του.

Οι μετρήσεις δεν πρέπει να διεξάγονται κάτω από δυσμενείς περιβαλλοντικές συνθήκες στις οποίες περιλαμβάνονται τα ακόλουθα: σκόνη, εύφλεκτα αέρια, ατμός ή διαλύτες, καταιγίδες ή θυελλώδεις συνθήκες όπως ισχυρά ηλεκτροστατικά πεδία.

Το θερμομέτρο είναι ένα υψηλής ποιότητας μετρητικό όργανο. Το όργανο είναι αρκετά εύχρηστο έχει υψηλή ακρίβεια και άμεση απόκριση χάρη στον αισθητήρα που διαθέτει στο επάνω μέρος του, ο οποίος είναι κατασκευασμένος από ημι-αγώγιμα υλικά.



Σχήμα 6.9: Trotec BC15 [www.instrumentacion-metrologia.es/Termo-Higrometro-Trotec-BC15]

Το BC15 χρησιμοποιήθηκε στο παρόν πείραμα για την μέτρηση της θερμοκρασίας στο εξωτερικό του δοκιμίου. Το κύριο πλεονέκτημα του είναι ότι εξαγει μετρήσεις σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του οργάνου όπως αυτά δίνονται από την κατασκευαστική εταιρία παρατίθενται στον πίνακα που ακολουθεί:

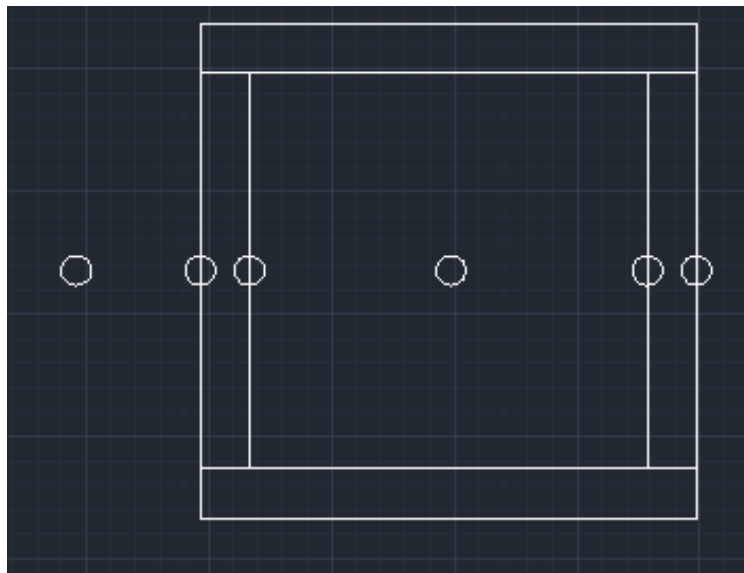
Πίνακας 6.3: Τεχνικά χαρακτηριστικά Trotec BC15

[de.trotec.com/fileadmin/downloads/Multifunktion/TRO-TR-BA-BC15-01-10-INT.pdf]

Εύρος μετρήσεων υγρασίας	0% RH έως 100% RH (εξειδικευμένο 5% – 95%)
Εύρος μετρήσεων	–20°C έως 60°C
Ανάλυση	0,1% RH, 0,1°C/°F
Ακρίβεια μετρήσεων υγρασίας	±3,5% RH (σε θερμοκρασία 25°C και σε υγρασία 5% RH – 95% RH)
Ακρίβεια μετρήσεων	±2,5°C
Συνθήκες περιβάλλοντος	0°C έως 50°C
Αυτόματο σβήσιμο οθόνης	Περίπου μετά από 15 λεπτά
Συχνότητα μετρήσεων	2,5 μετρήσεις/s
Μπαταρίες	1 · 9V πλακέ
Χρόνος απόκρισης	10s (90%RH, 25°C)
Οθόνη	3,5 ψηφιακή LCD με φωτισμό
Διαστάσεις	45 × 34 × 225 mm
Βάρος	200gr

6.4 Διαδικασία πειράματος

Για την διεξαγωγή του πειράματος το δοκίμιο τοποθετήθηκε σε εξωτερικό περιβάλλον στην πόλη της Δράμας. Οι μετρούμενες θερμοκρασίες ελήφθησαν από το εσωτερικό και το εξωτερικό τοίχωμα του κάθε υλικού, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 6.10: Κάθετη τομή στο κέντρο του δοκιμίου σημεία λήψης μετρήσεων

Μετρήσεις λαμβάνονταν ημερησίως, ανά 6 ώρες και για ένα μήνα. Επειδή όπως αναλύθηκε στην ενότητα 1.2.5 ο προσανατολισμός του κτηρίου επηρεάζει το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται το κτήριο, για την μελέτη της συμπεριφοράς των υλικών στη μεταβολή του προσανατολισμού, ο προσανατολισμός του δοκιμίου άλλαζε ανά 7 ημέρες.

Σε κάθε μέτρηση άνοιγε το πάνω μέρος του δοκιμίου για να λαμβάνονται οι θερμοκρασίες των εσωτερικών επιφανειών των υλικών και επιτυγχανόταν συγχρόνως ο φυσικός αερισμός του δοκιμίου. Λόγω του μικρού όγκου του δοκιμίου $0,125m^3$ η εναλλαγή του αέρα γινόταν αμέσως με το άνοιγμα του πάνω μέρους του, για την λήψη των μετρήσεων στο εσωτερικό του.

Πιο αναλυτικά η διαδικασία των μετρήσεων έχει ως εξής: το θερμόμετρο Ray Temp 38 ήταν τοποθετημένο στο εξωτερικό περιβάλλον, έτσι ώστε να σταθεροποιηθεί στο περιβάλλον εργασίας του. Ο ελάχιστος απαιτούμενος χρόνος δίνεται από τον κατασκευαστή ίσος με $30mins$. Από την οθόνη του θερμομέτρου, σημειωνόταν η θερμοκρασία του εσωτερικού χώρου του δοκιμίου. Στην συνέχεια για την λήψη των θερμοκρασιών της εξωτερικής επιφάνειας του κάθε υλικού, έπρεπε το θερμόμετρο Ray Temp 38 να στοχεύει σε κάθε μέτρηση το ίδιο σημείο και από απόσταση $50cm$. Η βέλτιστη απόσταση για την διεξαγωγή των μετρήσεων στο εσωτερικό του δοκιμίου, έχοντας τις

ελάχιστες απώλειες, ήταν αυτή κατά την οποία το επάνω μέρος του δοκιμίου άνοιγε όσο το δυνατόν λιγότερο, δηλαδή η απόσταση 50cm. Για τον λόγο αυτό η απόσταση λήψης των μετρήσεων επιλέχθηκε η ίδια και για τις μετρήσεις στην εξωτερική επιφάνεια των τοιχωμάτων. Στις εικόνες που ακολουθούν φαίνονται οι τιμές των μετρήσεων καθώς και ο συντελεστής εκπομπής ϵ που ήταν διαφορετικός για τον πετροβάμβακα και τα αφρώδη υλικά.



Σχήμα 6.11: Μέτρηση θερμοκρασίας εξωτερικής επιφάνειας της αφρώδους εξηλασμένης πολυστερίνης κατά την διεξαγωγή του πειράματος

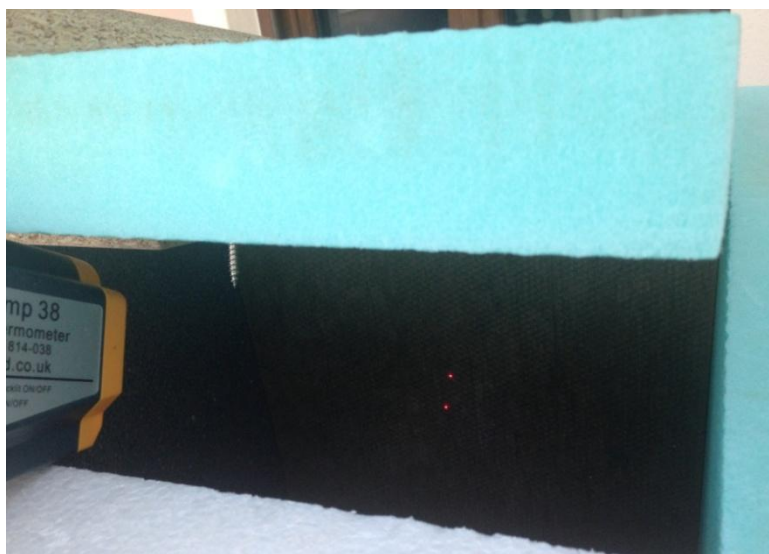


Σχήμα 6.12: Μέτρηση θερμοκρασίας εξωτερικής επιφάνειας του πετροβάμβακα κατά την διεξαγωγή του πειράματος

Στην συνέχεια με παρόμοιο τρόπο λαμβάνονταν οι μετρήσεις από τις εσωτερικές επιφάνειες του δοκιμίου. Παρόλο που η θερμοκρασία στο εσωτερικό επηρεαζόταν άμεσα με το άνοιγμα του επάνω μέρους του δοκιμίου, λόγω του μικρού του όγκου $0,125m^3$. Η θερμοκρασία στα εσωτερικά τοιχώματα των υλικών, θεωρήθηκε ότι δεν επηρεαζόταν μέσα στο διάστημα μερικών δευτερολέπτων, οπότε οι μετρήσεις σε όλες τις επιφάνειες γινόταν με ένα άνοιγμα και όσο το δυνατόν γρηγορότερα. Εικόνες για την καλύτερη κατανόηση της διεξαγωγής των μετρήσεων εμφανίζονται ακολούθως .



Σχήμα 6.13: Μέτρηση θερμοκρασίας εσωτερικής επιφάνειας της διογκωμένης πολυστερίνης κατά την διεξαγωγή του πειράματος



Σχήμα 6.14: Μέτρηση θερμοκρασίας εσωτερικής επιφάνειας του πετροβάμβακα κατά την διεξαγωγή του πειράματος

Η μέτρηση της εξωτερικής θερμοκρασίας επιτυγχανόταν με χρήση του θερμομέτρου χώρου TROTEC BC15 . Σύμφωνα με τις οδηγίες της κατασκευαστικής εταιρίας, πριν την έναρξη των μετρήσεων το όργανο έμενε τοποθετημένο στο εξωτερικό περιβάλλον και παρέμενε εκεί για μισή ώρα, έτσι ώστε να προσαρμοστεί με τις συνθήκες του περιβάλλοντος εργασίας.

6.5 Αποτελέσματα μετρήσεων

Οι μετρήσεις διεξήχθησαν τον μήνα Δεκέμβριο και συγκεκριμένα την περίοδο 30/11-29/12 για 28 ημέρες (το κάθε υλικό τοποθετήθηκε με νότιο προσανατολισμό για μία εβδομάδα). Τα μετρούμενα μεγέθη που ελήφθησαν από το κάθε υλικό συνοψίζονται στους πίνακες του παραρτήματος Α.

Στις πρώτες στήλες των πινάκων εμφανίζονται τα στοιχεία της ώρας και της μέρας, έπειτα εμφανίζονται οι καιρικές συνθήκες που επικρατούσαν κατά την διάρκεια της μέτρησης, οι θερμοκρασίες του εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος καθώς και οι θερμοκρασίες της εσωτερικής και εξωτερικής επιφάνειας του κάθε υλικού.

Σημαντικό θα ήταν να σημειωθεί στο σημείο αυτό ότι το σύστημα τέθηκε σε λειτουργία μερικές ώρες πριν την έναρξη των μετρήσεων, για τον λόγο αυτό οι μετρήσεις της εσωτερικής επιφάνειας των υλικών στις 30/11 είναι αρκετά χαμηλότερες από το αναμενόμενο.

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα των μετρήσεων εύλογα προκύπτει, ότι ενώ ο θερμοστάτης ρυθμίστηκε στους 23°C, σε αρκετές μετρήσεις η θερμοκρασία του εσωτερικού περιβάλλοντος ανέρχεται στους 30°C. Ο όγκος του δοκιμίου ήταν μικρός, το δοκίμιο είχε σχεδόν μηδενικές απώλειες και περιβαλλόταν από θερμομονωτικά υλικά. Το σύστημα θέρμανσης ως επί το πλείστον ήταν αδρανές. Λόγω συνεχούς αδράνειας, το σύστημα τεθόταν αυτόματα σε λειτουργία και λόγω του μικρού όγκου του δοκιμίου η θερμοκρασία στο εσωτερικό του εμφανιζόταν αρκετά υψηλή.

6.5.1 Σφάλματα μετρήσεων

Σε κάθε μέτρηση, η μετρούμενη τιμή διαφέρει από την πραγματική τιμή του μετρούμενου μεγέθους και η διαφορά αυτή ονομάζεται σφάλμα της μέτρησης. Τα σφάλματα των μετρήσεων μπορεί να οφείλονται σε διαφορετικούς παράγοντες.

Μερικοί από τους οποίους θεωρούνται οι εξής :

- Όργανο μέτρησης
- Μετρητική διαδικασία
- Χρήστης
- Περιβάλλον μέτρησης

Ως αβεβαιότητα της μέτρησης ορίζεται το διάστημα μέσα στο οποίο μπορεί να θεωρηθεί ότι βρίσκεται η πραγματική τιμή του μετρούμενου μεγέθους με συγκεκριμένη πιθανότητα.

Τα όργανα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στο παρόν πείραμα έχουν κάποια ακρίβεια η οποία δίνεται από την εταιρία κατασκευής των οργάνων και αναφέρθηκε στους πίνακες των τεχνικών χαρακτηριστικών τους. Συγκεκριμένα το θερμόμετρο Ray Temp 38 εμφανίζει ακρίβεια $\pm 2\%$ ή $\pm 2^\circ\text{C}$ (όποιο είναι μεγαλύτερο). Το υγρασιόμετρο-θερμόμετρο TROTEC BC15 παρουσιάζει στις μετρήσεις θερμοκρασίας $\pm 2,5^\circ\text{C}$. Το θερμόμετρο Ray Temp 38 μπορεί επίσης να λαμβάνει εσφαλμένες μετρήσεις οι οποίες οφείλονται σε φθορά λόγω χρήσης.

Κατά την μετρητική διαδικασία με το θερμόμετρο Ray Temp 38, ο χρήστης έπρεπε να είναι πολύ προσεκτικός έτσι ώστε σε κάθε μέτρηση να στοχεύει το ίδιο σημείο της μετρούμενης επιφάνειας να κρατάει το όργανο όσο γίνεται πιο κάθετα στην μετρούμενη επιφάνεια και να λαμβάνει την μέτρηση από την ίδια απόσταση κάθε φορά. Επειδή όμως παρεμβάλλεται ο ανθρώπινος παράγοντας και η μετρητική διαδικασία δεν είναι μηχανοποιημένη υπάρχει η πιθανότητα σφάλματος που οφείλεται στον χρήστη.

6.5.2 Μελέτη θερμικής συμπεριφοράς των υλικών

Για την μελέτη της θερμικής συμπεριφοράς των υλικών υπολογίστηκε ο λόγος της θερμικής αντίστασης του καθενός προς την συνολική θερμική αντίσταση του συστήματος “εσωτερικό περιβάλλον-υλικό-εξωτερικό περιβάλλον”.

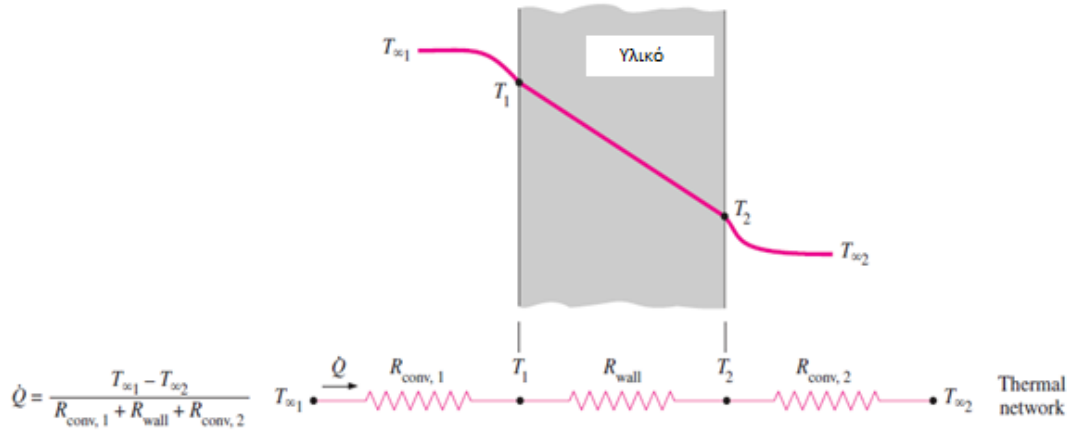
Στη διάταξη του πειράματος κάθε υλικό είναι εκτεθειμένο σε συναγωγή και στις δύο πλευρές του σε θερμοκρασίες $T_{\infty 1}$ και $T_{\infty 2}$ και με συντελεστές μεταφοράς θερμότητας με συναγωγή h_1 και h_2 , όπου ο δείκτης 1 αφορά το εσωτερικό περιβάλλον ενώ ο δείκτης 2 το εξωτερικό.

Όσα αναφέρθηκαν στην ενότητα 2.1.4. για τους μηχανισμούς μεταφοράς θερμότητας που λαμβάνουν χώρα στον τοίχο ενός κτηρίου, ισχύουν και στην περίπτωση του δοκιμίου συγκεκριμένα γίνεται συνδυασμός μεταφοράς θερμότητας:

1. Μεταφορά θερμότητας με φυσική συναγωγή από τον εσωτερικό αέρα στην εσωτερική επιφάνεια του τοίχου.
2. Μεταφορά θερμότητας με αγωγή στο εσωτερικό του τοίχου.

3. Μεταφορά θερμότητας με εξαναγκασμένη συναγωγή από την εξωτερική επιφάνεια προς το περιβάλλον.

Η μετάδοση ροής θερμότητας στο υλικό εμφανίζεται παραστατικά στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 6.14: Μετάδοση ροής θερμότητας στο υλικό.

Οι θερμοκρασίες στο εσωτερικό περιβάλλον λόγω του θερμοστάτη θεωρούνται σταθερές αντίστοιχα και στο εξωτερικό επειδή δεν έχουμε μεγάλες μεταβολές στη διάρκεια ενός μήνα. Έτσι οι συνθήκες θεωρούνται μόνιμες.

Για μόνιμες συνθήκες ο ρυθμός ροής θερμότητας στο υλικό δίνεται από τον τύπο:

$$\dot{Q} = h_1 \cdot A \cdot (T_{\infty 1} - T_1) = \lambda A \frac{T_1 - T_2}{d} = h_2 \cdot A \cdot (T_{\infty 2} - T_2) \quad [6.1]$$

Όπου:

- \dot{Q} : ο ρυθμός ροής θερμότητας [W]
- h : ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας με συναγωγή [$W/(m^2 \cdot K)$]
- A : το εμβαδόν της επιφάνειας μέσω της οποίας πραγματοποιείται η μεταφορά θερμότητας [m^2]
- T : η θερμοκρασία της επιφάνειας [K]
- T_{∞} : η θερμοκρασία του ρευστού που βρίσκεται μακριά από την επιφάνεια. [K]
- λ : ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του υλικού [$W/(m \cdot K)$].
- d : το πάχος του υλικού [m]

Ο τύπος 6.1 μπορεί να αναδιαταχθεί:

$$\dot{Q} = \frac{(T_{\infty 1} - T_1)}{1/h_1 \cdot A} = \frac{T_1 - T_2}{d/\lambda A} = \frac{(T_{\infty 2} - T_2)}{1/h_2 \cdot A} \quad [6.2]$$

Οι παρονομαστές της σχέσης 6.2 αποτελούν τις θερμικές αντιστάσεις των επιμέρους στοιχείων του θερμικού δικτύου.

Οπότε ισχύει:

$$\dot{Q} = \frac{(T_{\infty 1} - T_1)}{R_{conv,1}} = \frac{T_1 - T_2}{R_{υλικο\ υ}} = \frac{(T_{\infty 2} - T_2)}{R_{conv,2}} \quad [6.3]$$

Με χρήση της ταυτότητας :

$$\frac{\alpha_1}{\beta_1} = \frac{\alpha_2}{\beta_2} = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{\beta_1 + \beta_2}$$

Και αθροίζοντας τους αριθμητές και παρονομαστές της σχέσης 6.3 προκύπτει:

$$\dot{Q} = \frac{(T_{\infty 1} - T_{\infty 2})}{R_{ολ}} \quad [6.4]$$

Όπου:

$$R_{ολ} = R_{conv,1} + R_{υλικο\ υ} + R_{conv,2} = 1/h_1 \cdot A + d/\lambda A + 1/h_2 \cdot A \quad [6.5]$$

Με :

- R : ο συντελεστής θερμικής αντίστασης [K/W].

Εξισώνοντας τις σχέσεις 6.2 και 6.3 έχουμε:

$$\frac{(T_{\infty 1} - T_{\infty 2})}{R_{ολ}} = \frac{(T_{\infty 1} - T_1)}{R_{conv,1}} = \frac{T_1 - T_2}{R_{υλικο\ υ}} = \frac{(T_{\infty 2} - T_2)}{R_{conv,2}} \quad [6.6]$$

Από την σχέση [6.6] προκύπτει το ποσοστό της θερμικής αντίστασης του υλικού προς την συνολική θερμική αντίσταση του συστήματος “εσωτερικό περιβάλλον-υλικό-εξωτερικό περιβάλλον”:

$$\frac{R_{υλικο\ υ}}{R_{ολ}} = \frac{(T_1 - T_2)}{(T_{\infty 1} - T_{\infty 2})} \quad [6.7]$$

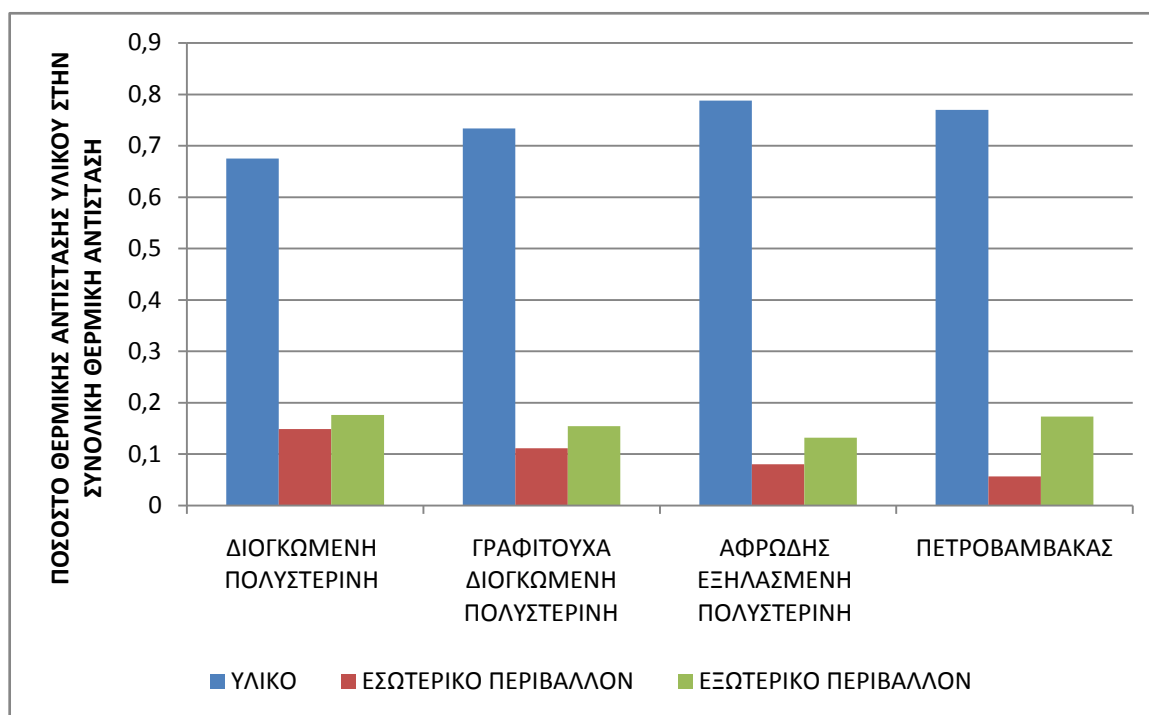
Αντίστοιχα και για το εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον:

$$\frac{R_{conv,1}}{R_{ολ}} = \frac{(T_{\infty 1} - T_1)}{(T_{\infty 1} - T_{\infty 2})} \quad [6.8]$$

$$\frac{R_{conv,2}}{R_{ολ}} = \frac{(T_{\infty 2} - T_2)}{(T_{\infty 1} - T_{\infty 2})} \quad [6.9]$$

Σύμφωνα με τις σχέσεις 6.7,6.8 και 6.9 από τις θερμοκρασίες που μετρήθηκαν στα πλαίσια του πειράματος υπολογίζεται το ποσοστό της θερμικής αντίστασης του υλικού, του εσωτερικού και του εξωτερικού περιβάλλοντος ως προς την συνολική αντίσταση του θερμικού δικτύου.

Στην συνέχεια υπολογίστηκε η μέση τιμή του λόγου για όλη την διάρκεια των μετρήσεων και τα αποτελέσματα εμφανίζονται στο ραβδόγραμμα που ακολουθεί όπου ο οριζόντιος άξονας αναφέρεται στα υλικά ενώ ο κατακόρυφος το ποσοστό της θερμικής αντίστασης του υλικού, του εσωτερικού και του εξωτερικού περιβάλλοντος ως προς την συνολική αντίσταση του θερμικού δικτύου.



Σχήμα 6.15: Σύγκριση θερμομονωτικών υλικών του πειράματος μέσω του υπολογισμού του ποσοστού της εσωτερικής τους αντίστασης στην συνολική αντίσταση του συστήματος

Είναι φανερό ότι τα τέσσερα υλικά έχουν παρόμοιες θερμομονωτικές ιδιότητες διότι τα ποσοστά θερμικής αντίστασης των υλικών έχουν ελάχιστη διαφορά και συγκεκριμένα κυμαίνονται από 0,67 – 0,78.

Επιπλέον τα υπό εξέταση υλικά εμφανίζουν αρκετά καλή συμπεριφορά ως θερμομονωτικά, αφού το ποσοστό της θερμικής τους αντίστασης προς την συνολική θερμική αντίσταση του συστήματος είναι αρκετά υψηλό.

Σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα κατά την διάρκεια των μετρήσεων τον μήνα Δεκέμβριο και για τις καιρικές συνθήκες που επικρατούσαν στην πόλη της Δράμας, τις καλύτερες ιδιότητες εμφανίζει η αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη, έπειτα ο πετροβάμβακας, η γραφιτούχα διογκωμένη πολυστερίνη και τελευταία η διογκωμένη πολυστερίνη.

Από τα τεχνικά χαρακτηριστικά του κατασκευαστή για τα τέσσερα υλικά ως καλύτερο θερμομονωτικό υλικό εμφανίζεται η γραφιτούχα διογκωμένη πολυστερίνη και έπειτα έρχεται η αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη.

Στο παρόν πείραμα τα αποτελέσματα είναι διαφορετικά διότι τα υλικά είναι πλήρως εκτεθειμένα στις καιρικές συνθήκες. Άμεσο συμπέρασμα είναι ότι η υγρασία και η ηλιοφάνεια επηρεάζουν τις ιδιότητές τους.

6.5.3 Μελέτη συμπεριφοράς των υλικών στη μεταβολή του προσανατολισμού τους.

Για την μελέτη της συμπεριφοράς των υλικών με την αλλαγή του προσανατολισμού τους υπολογίστηκε ο ρυθμός ροής θερμότητας που μεταδίδεται με αγωγή διαμέσου της μάζας των υλικών.

Η κινητήρια δύναμη για την μεταφορά θερμότητας διαμέσου ενός υλικού είναι η διαφορά θερμοκρασίας. Όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά θερμοκρασίας τόσο μεγαλύτερη είναι η ροή θερμότητας αφού μεταφέρεται περισσότερη ενέργεια προκειμένου τα δύο σώματα με διαφορετικές θερμοκρασίες να έρθουν σε θερμική ισορροπία. Η θερμότητα μεταφέρεται με τον μηχανισμό της αγωγής μέσα από την μάζα των σωμάτων. Όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 2.1.1 ο ρυθμός ροής θερμότητας διαμέσου ενός υλικού με τον μηχανισμό της αγωγής δίνεται από τον τύπο 2.1.

$$\dot{Q}_{cond} = -\lambda \cdot A \cdot \frac{dT}{dx} \quad [2.1]$$

Για να παρεμποδιστεί η ροή θερμότητας σε έναν τοίχο από το θερμότερο στο ψυχρότερο περιβάλλον, τοποθετούνται στις τοιχοποιίες θερμομονωτικά υλικά τα οποία λειτουργούν ως επιβραδυντικά μέσα. Όσο μικρότερη είναι λοιπόν η ροή θερμότητας η οποία διέρχεται από την μάζα ενός θερμομονωτικού υλικού τόσο καλύτερο θεωρείται το υλικό.

Τα χαρακτηριστικά των υλικών, που χρησιμοποιήθηκαν στο παρόν πείραμα για τον υπολογισμό του ρυθμού ροής θερμότητας, ελήφθησαν από τα πιστοποιητικά τους και συνοψίζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 6.4: Τεχνικά χαρακτηριστικά υλικών του πειράματος

ΔΙΟΓΚΩΜΕΝΗ ΠΟΛΥΣΤΕΡΙΝΗ	
λ [W/(m · K)]	0,036
A [m ²]	0,25
dx [m]	0,05
ΔΙΟΓΚΩΜΕΝΗ ΠΟΛΥΣΤΕΡΙΝΗ ΜΕ ΓΡΑΦΙΤΗ	
λ [W/(m · K)]	0,03
A [m ²]	0,25
dx [m]	0,05
ΑΦΡΩΔΗΣ ΕΞΗΛΑΣΜΕΝΗ ΠΟΛΥΣΤΕΡΙΝΗ	
λ [W/(m · K)]	0,033

$A [m^2]$	0,25
$dx [m]$	0,05
ΠΕΤΡΟΒΑΜΒΑΚΑΣ	
$\lambda [W/(m \cdot K)]$	0,036
$A [m^2]$	0,25
$dx [m]$	0,05

Στη συνέχεια υπολογίστηκε η μέση τιμή του ρυθμού ροής θερμότητας με αγωγή μέσα από την μάζα των τεσσάρων υλικών που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα για κάθε προσανατολισμό. Έτσι ώστε να συγκριθούν μεταξύ τους και να προκύψει το καλύτερο σε κάθε προσανατολισμό για τον μήνα Δεκέμβριο και την πόλη της Δράμας. Η σύγκριση αυτή είναι εφικτή διότι στην διάρκεια ενός μήνα η θερμοκρασία δεν έχει αρκετά μεγάλη διακύμανση.

Πίνακας 6.5: Μέσος εβδομαδιαίος ρυθμός ροής θερμότητας για την διογκωμένη πολυστερίνη

ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ	$q_{av.} [W]$
ΒΟΡΑΣ	1,092921
ΑΝΑΤΟΛΗ	1,2879
ΝΟΤΟΣ	1,5924
ΔΥΣΗ	2,157493

Πίνακας 6.6: Μέσος εβδομαδιαίος ρυθμός ροής θερμότητας για την γραφитоύχα διογκωμένη πολυστερίνη

ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ	$q_{av.} [W]$
ΒΟΡΑΣ	1,752107143
ΑΝΑΤΟΛΗ	0,927145161
ΝΟΤΟΣ	1,4499
ΔΥΣΗ	1,61

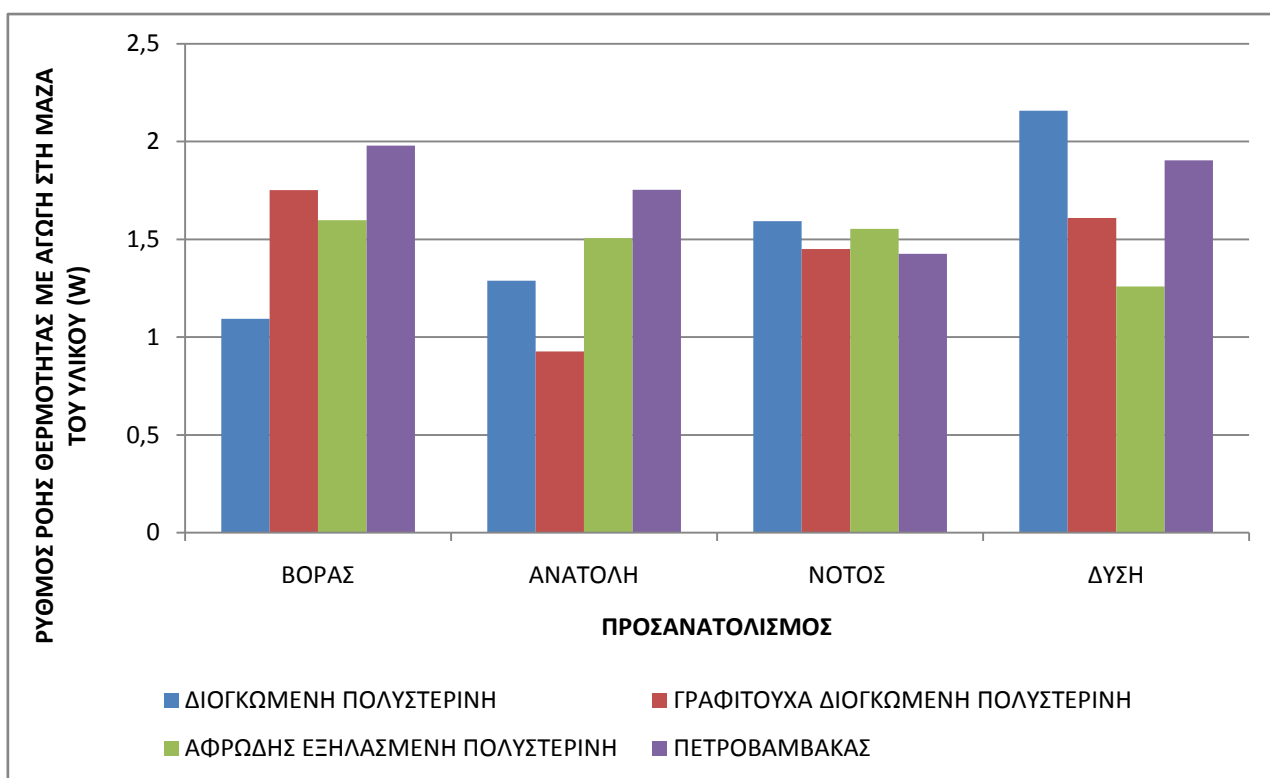
Πίνακας 6.7: Μέσος εβδομαδιαίος ρυθμός ροής θερμότητας για την αφρώδη εξηλασμένη πολυστερίνη

ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ	$q_{av.} [W]$
ΒΟΡΑΣ	1,597435714
ΑΝΑΤΟΛΗ	1,50645
ΝΟΤΟΣ	1,553946429
ΔΥΣΗ	1,2585375

Πίνακας 6.8: Μέσος εβδομαδιαίος ρυθμός ροής θερμότητας για τον πετροβάμβακα

ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ	$q_{av.} [W]$
ΒΟΡΑΣ	1,9794
ΑΝΑΤΟΛΗ	1,753071
ΝΟΤΟΣ	1,4256
ΔΥΣΗ	1,904657

Οι παραπάνω πίνακες συνοψίζονται στο διάγραμμα που ακολουθεί. Ο προσανατολισμός του κάθε υλικού εμφανίζεται στον οριζόντιο άξονα τιμών. Στον κάθετο άξονα εμφανίζεται ο ρυθμός ροής θερμότητας με αγωγή.

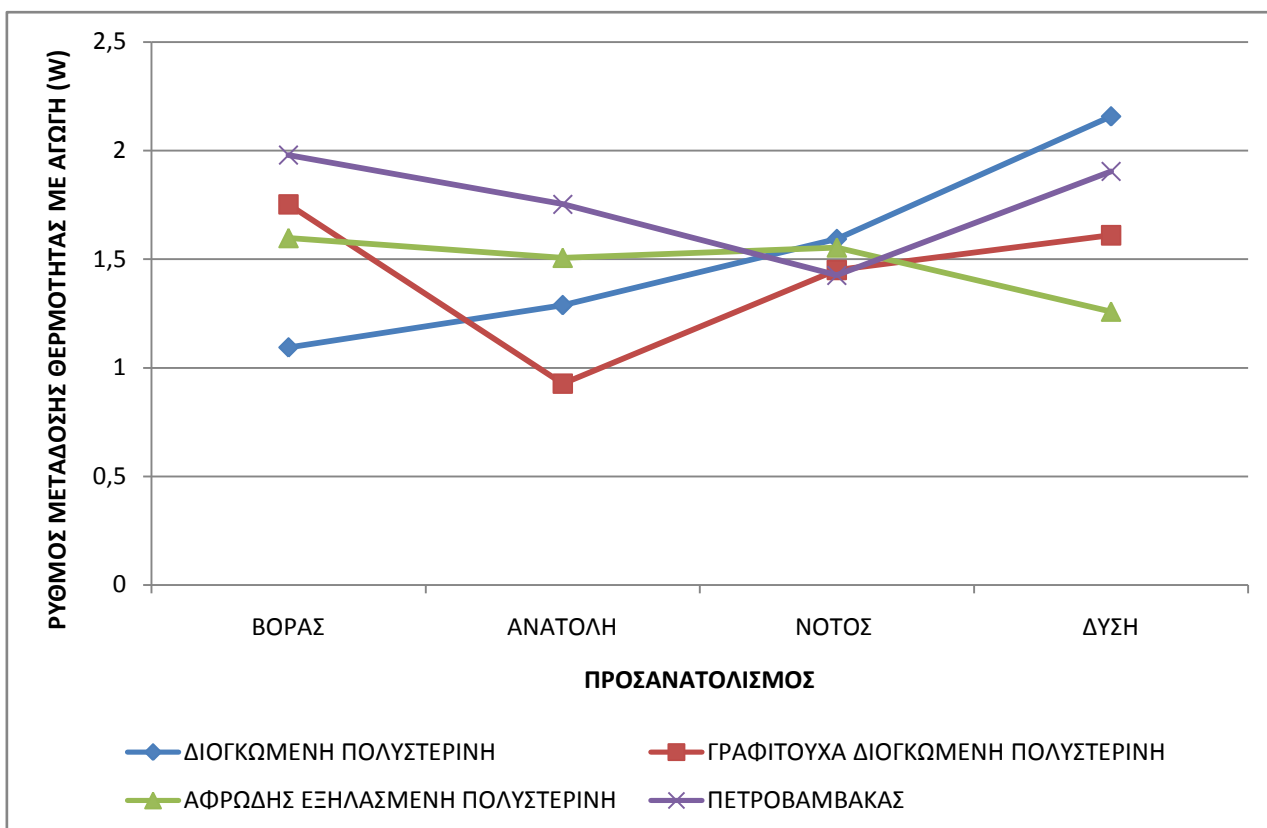


Σχήμα 6.16: Μέσος εβδομαδιαίος ρυθμός ροής θερμότητας με αγωγή μέσα από την μάζα των θερμομονωτικών υλικών για κάθε προσανατολισμό.

Από το παραπάνω διάγραμμα εξάγονται τα εξής συμπεράσματα:

- Στον βορά την καλύτερη συμπεριφορά εμφανίζει η διογκωμένη πολυστερίνη.
- Στην ανατολή η γραφίτουχα διογκωμένη πολυστερίνη είναι το βέλτιστο υλικό.
- Στον νότο την καλύτερη συμπεριφορά εμφανίζει ο πετροβάμβακας έχοντας μικρή διαφορά από την γραφίτουχα διογκωμένη πολυστερίνη.
- Στην δύση ως καταλληλότερο υλικό προκύπτει η αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη.

Έπειτα με βάση το παραπάνω διάγραμμα υπολογίστηκε η ευαισθησία που εμφανίζουν τα θερμομονωτικά υλικά σε σχέση με την μεταβολή του προσανατολισμού. Τα αποτελέσματα εμφανίζονται στο διάγραμμα που ακολουθεί.



Σχήμα 6.17: Σύγκριση ευαισθησίας των θερμομονωτικών υλικών στην μεταβολή του προσανατολισμού τους.

Από το παραπάνω διάγραμμα εξάγεται το συμπέρασμα ότι την μικρότερη ευαισθησία στην μεταβολή του προσανατολισμού εμφανίζει η αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη ενώ την μεγαλύτερη η διογκωμένη πολυστερίνη.

Συνοψίζοντας τα υπό μελέτη θερμομονωτικά υλικά έχουν όμοια θερμομονωτική συμπεριφορά μεταξύ τους. Η αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη για τον μήνα Δεκέμβριο και την περιοχή της Δράμας παρουσιάζει λίγο καλύτερες ιδιότητες, αφού έχει ελαφρώς μεγαλύτερο ποσοστό εσωτερικής αντίστασης στην συνολική αντίσταση του συστήματος “εσωτερικό περιβάλλον-υλικό-εξωτερικό περιβάλλον”.

Όσον αφορά τον προσανατολισμό, η αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη εμφανίζει την μικρότερη ευαισθησία στην μεταβολή του ενώ η διογκωμένη πολυστερίνη την μεγαλύτερη. Τέλος το υλικό που εμφανίζει την καλύτερη συμπεριφορά σε κάθε προσανατολισμό προκύπτει διαφορετικό.

Κεφάλαιο 7: Μελέτη θερμομόνωσης ήδη υπάρχοντος κτηρίου

Στο παρόν κεφάλαιο θα υπολογιστούν οι θερμικές απώλειες του κελύφους μιας κατασκευής και στην συνέχεια θα γίνει μια ενεργειακή μελέτη για την εξοικονόμηση ενέργειας μέσω της προσθήκης θερμομονωτικής στρώσης.

Για την διεξαγωγή της μελέτης θερμομόνωσης επιλέχθηκε ένα κτήριο στην πόλη της Δράμας. Το κτήριο αυτό αυτή έχει κτιστεί το 1977 οπότε όπως είναι αναμενόμενο δεν είναι θερμομονωμένο.

7.1 Παρουσίαση του λογισμικού.

Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό των απωλειών του κελύφους του κτηρίου είναι το λογισμικό Thermocad της εταιρίας TiSoft. Το λογισμικό χρησιμοποιείται για την διεξαγωγή μελετών κεντρικής θέρμανσης. Στην παρούσα διπλωματική χρησιμοποιήθηκε μόνο για τον υπολογισμό των απωλειών το οποίο αποτελεί αρχικό βήμα των μελετών θέρμανσης.

Το λογισμικό μοντελοποιεί το κτήριο ανάλογα με τις θερμικές ζώνες, τους ορόφους και τις διαστάσεις των δωματίων. Έπειτα επιλέγονται τα δομικά στοιχεία που απαρτίζουν το κέλυφος της κατασκευής και υπολογίζονται οι απώλειες του κελύφους.

Τα πρότυπα που χρησιμοποιούνται από το λογισμικό είναι:

- TOTEE (Εθνικά πρότυπα)
- DIN4701
- EN 12831
- EN 1264
- ISO 13384-1, ISO 13384-2.

Στην παρούσα εργασία επιλέχθηκε η έκδοση Thermocad 14.1.2 Trial.

7.2 Παρουσίαση του χώρου και των επεμβάσεων που θα γίνουν.

Το κτήριο το οποίο επιλέχθηκε απαρτίζεται από 2 ορόφους, ο καθένας από τους οποίους αποτελείται από ένα διαμέρισμα. Τα διαμερίσματα είναι όμοια μεταξύ τους. Το κτήριο έχει οροφή, το δάπεδό του είναι τύπου PILOTIS. Παρόλο που το κτήριο είναι παλιά κατασκευή

και αμόνωτη, τα κουφώματά του είναι καινούρια λόγω μεταγενέστερης επέμβασης. Τα σχέδια των ορόφων του κτηρίου εμφανίζονται στο παράρτημα Δ.

Ο χώρος που μελετήθηκε χρησιμοποιείται ως μόνιμη κατοικία, η θερμομονωτική στρώση στην τοιχοποιία θα τοποθετηθεί στην εξωτερική επιφάνεια για την εκμετάλλευση της θερμικής μάζας των δομικών στοιχείων, και για την διατήρηση της θερμότητας στο εσωτερικό του κτηρίου για μεγάλο χρονικό διάστημα μετά την διακοπή λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης. Για τους ίδιους λόγους η θερμομόνωση της οροφής θα γίνει πάνω από την πλάκα και η θερμομόνωση του δαπέδου από την κάτω πλευρά της πλάκας.

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν στην μελέτη των απωλειών του κτηρίου είναι τα ίδια με αυτά που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα που αναλύθηκε στο Κεφάλαιο 6. Δηλαδή είναι η διογκωμένη πολυστερίνη, η διογκωμένη πολυστερίνη με γραφίτη στην μάζα της, η αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη και ο πετροβάμβακας.

7.3 Προϋποθέσεις που πρέπει να καλύπτονται για την θερμομονωτική επάρκεια του κτηριακού κελύφους.

Στην ΤΟΤΕΕ 20701-2/2010 και σύμφωνα με όσα αναφέρει ο ΚΕνΑΚ για τον έλεγχο της θερμομονωτικής επάρκειας του κελύφους, γίνεται έλεγχος του συντελεστή θερμοπερατότητας σε δύο στάδια:

Σε πρώτο στάδιο ελέγχεται η θερμική επάρκεια ενός εκάστου των επιμέρους δομικών στοιχείων του κτηρίου. Για να ικανοποιεί ένα δομικό στοιχείο τις απαιτήσεις της θερμομονωτικής προστασίας του κανονισμού, θα πρέπει η τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητας $U_{εξεταζ}$ αυτού του δομικού στοιχείου να μην υπερβαίνει την τιμή του μέγιστου επιτρεπόμενου συντελεστή θερμοπερατότητας U_{max} , που ορίζει ο κανονισμός, ανά κλιματική ζώνη για κάθε κατηγορία δομικών στοιχείων. Πρέπει πάντα να ικανοποιείται η σχέση:

$$U_{εξεταζ} \leq U_{max} \quad \left[\frac{W}{m^2} \cdot K \right] \quad [7.1]$$

Κατά το δεύτερο στάδιο ελέγχεται η θερμική επάρκεια του συνόλου του κτηρίου. Για να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις του κανονισμού πρέπει η μέση τιμή θερμοπερατότητας του εξεταζόμενου κτηρίου U_m να μην υπερβαίνει τα όρια που θέτει ο κανονισμός για κάθε κτήριο $U_{m,max}$, αυτού εντασσόμενου σε μια από τις κλιματικές ζώνες του ελλαδικού χώρου. Η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητας $U_{m,max}$, υπολογίζεται λαμβανόμενου υπόψη του λόγου του συνόλου των κατακόρυφων

εξωτερικών επιφανειών του κτηρίου (κατακόρυφων και οριζόντιων) προς τον όγκο του (A/V) :

$$U_m \leq U_{m,max} \cdot \left[\frac{W}{m^2} \cdot K \right] \quad [7.2]$$

Στα σχήματα που ακολουθούν φαίνονται οι επιτρεπόμενες τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας ανά κλιματική ζώνη για κάθε στάδιο.

Πίνακας 7.1: Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας διαφόρων δομικών στοιχείων ανά κλιματική ζώνη (ΚΕνΑΚ).

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

Πίνακας 7.2: Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας ενός κτηρίου ανά κλιματική ζώνη συναρτήσει του λόγου της περιβάλλουσας επιφάνειας του κτηρίου προς τον όγκο του. (ΚΕνΑΚ).

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

Το κτήριο βρίσκεται στην πόλη της Δράμας σύμφωνα με την TOTEE 20701-1/2010 και όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα ανήκει στην κλιματική ζώνη Δ.

Πίνακας 7.3: Διαχωρισμός της ελληνικής επικράτειας σε κλιματικές ζώνες κατά νομούς.

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, Πέλλας, Θεσσαλονίκης, Κιλκίς, Χαλκιδικής, Σερρών (εκτός ΒΑ τμήματος), Καβάλας, Ξάνθης, Ροδόπης, Έβρου.
ΖΩΝΗ Δ	Γρεβενών, Κοζάνης, Καστοριάς, Φλώρινας, Σερρών (ΒΑ τμήμα), Δράμας.

7.4 Υπολογισμός των απωλειών του κτηριακού κελύφους με χρήση του λογισμικού Thermocad

Αρχικά υπολογίστηκαν οι απώλειες του ήδη υπάρχοντος (αμόνωτου) κτηρίου και στην συνέχεια ακολουθώντας την ίδια ακριβώς διαδικασία υπολογίστηκαν οι απώλειες του μονωμένου κελύφους χρησιμοποιώντας κάθε φορά διαφορετικό υλικό. Παρακάτω παρατίθεται η διαδικασία υπολογισμού των απωλειών μέσω του προγράμματος.

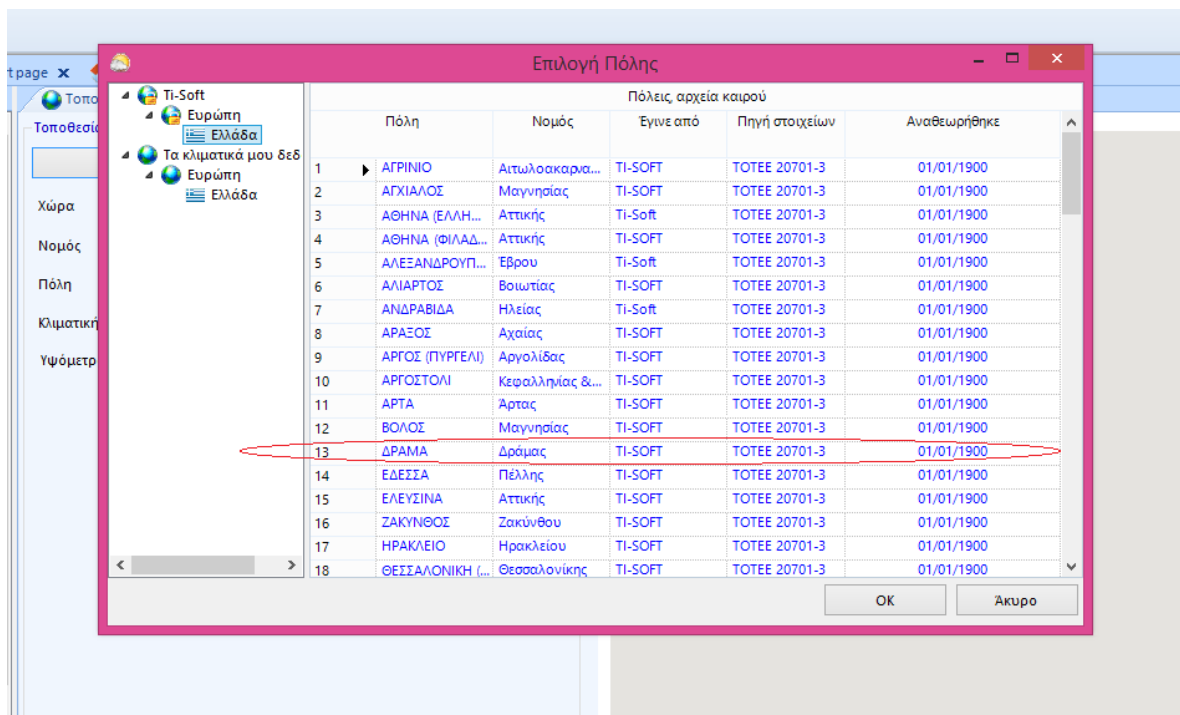
7.4.1 Επιλογή εισαγωγικών στοιχείων

Αρχικά επιλέχθηκαν το μετρητικό σύστημα και το διεθνές πρότυπο σύμφωνα με τα οποία έγιναν οι υπολογισμοί . Οι επιλογές αυτές εμφανίζονται στα σχήματα 7.4 και 7.5

The screenshot shows the 'Σύστημα μονάδων' (Unit System) section with three radio button options: 'Μετρικό (SI)' (selected), 'Αγγλικό (PI)', and 'Από το χρήστη'. To the right, there are two dropdown menus: 'Ισχύς' (Power) set to 'W' and 'Ενέργεια' (Energy) set to 'Kcal'. Below this, the 'Πρότυπα που χρησιμοποιούνται' (Standards used) section shows a dropdown menu for 'Θερμικές απώλειες σύμφωνα με το:' (Thermal losses according to:) set to 'EN12831'.

Σχήμα 7.1: Επιλογή συστήματος μονάδων/ προτύπου.

Στην συνέχεια από την καρτέλα “κλιματικά δεδομένα” η οποία εμφανίζεται στο σχήμα που ακολουθεί από την επιλογή “Επιλογή τοποθεσίας” επιλέχθηκε ως πόλη η Δράμα στην οποία βρίσκεται το κτήριο.



Τοποθεσία

Επιλογή τοποθεσίας

Χώρα: Ελλάδα

Νομός: 0

Πόλη: DRAMA

Κλιματική ζώνη: Δ

Υψόμετρο Οικοδομής: 104,0 m

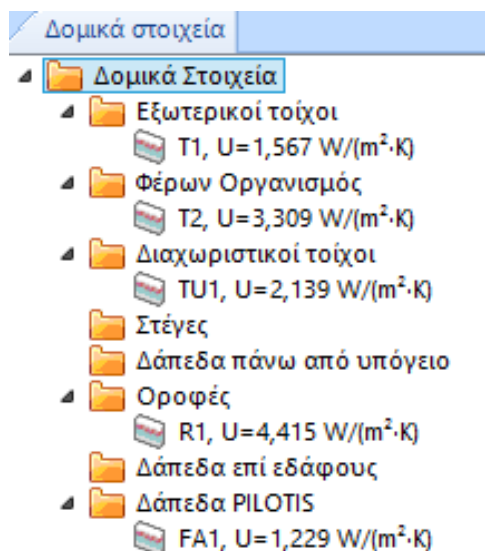
Σχήμα 7.2: Επιλογή τοποθεσίας.

Τα κλιματολογικά δεδομένα της περιοχής εισήχθησαν αυτόματα από τις βιβλιοθήκες του λογισμικού σύμφωνα με την TOTEE 20701/3-2010 και δεν μπορούν να τροποποιηθούν.

7.4.2 Επιλογή δομικών στοιχείων

Στην συνέχεια από την καρτέλα “Δομικά στοιχεία” επιλέχθηκαν τα δομικά στοιχεία της κατασκευής.

Στην καρτέλα αυτή δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να επιλέξει μέσα από μια πληθώρα δομικών στοιχείων τα οποία υπάρχουν καταχωρημένα στις βιβλιοθήκες του λογισμικού και να τα επεξεργαστεί.



Σχήμα 7.3: Δομικά στοιχεία που απαρτίζουν την κατασκευή.

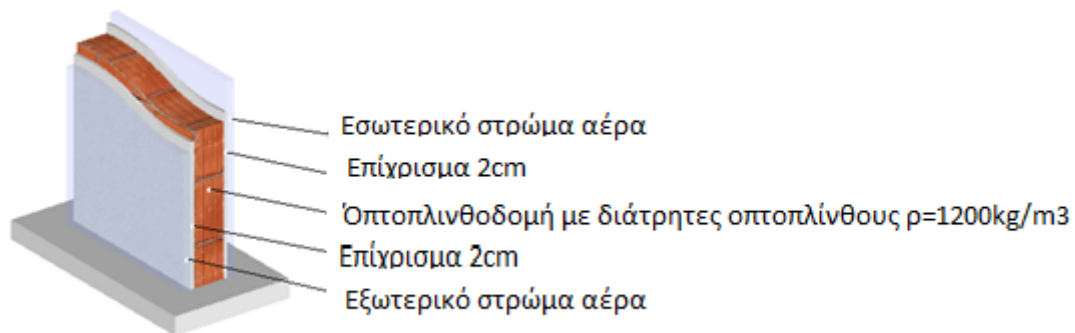
Από το παραπάνω δενδρικό διάγραμμα και όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 7.2 το κτήριο έχει οροφή και όχι στέγη οπότε η επιλογή της στέγης μένει κενή. Ακριβώς το ίδιο συμβαίνει και στο δάπεδο καθώς το δάπεδο του κτηρίου είναι τύπου PILOTIS. Σε κάθε δομικό στοιχείο δόθηκε ένα συμβολικό όνομα και υπολογίστηκε και ο συντελεστής θερμοπερατότητας του U .

Για κάθε δομικό στοιχείο εμφανίζονται κατά σειρά οι στρώσεις του από έξω προς τα μέσα. Για την κάθε στρώση ανάλογα με το υλικό εμφανίζεται μια σειρά από τις θερμικές ιδιότητες όπως: η θερμοχωρητικότητα, η πυκνότητα, το πάχος, η αγωγιμότητα και η θερμική αντίσταση. Αφού επιλεγούν οι στρώσεις των δομικών στοιχείων υπολογίζεται στο κάτω μέρος του πίνακα το συνολικό πάχος, ο συντελεστής θερμοπερατότητας και το βάρος ανά μονάδα επιφάνειας του δομικού στοιχείου. Όταν ο συντελεστής θερμοπερατότητας δεν ικανοποιεί την σχέση [7.2] εμφανίζεται το σύμβολο με το θαυμαστικό και σημαίνει ότι δεν καλύπτεται η θερμική επάρκεια του εξεταζόμενου δομικού στοιχείου.

Στα σχήματα που ακολουθούν εμφανίζονται αναλυτικά τα δομικά στοιχεία που επιλέχθηκαν καθώς υπάρχει και σχηματική απεικόνιση τους.

Στρώσεις δομικού στοιχείου (από έξω προς τα μέσα)							
A/A	Κωδικός	Περιγραφή	Θερμοχωρητικότητα (cp) (kJ/(kg·K))	Πυκνότητα (ρ) (kg/m ³)	Πάχος L (m)	Αγωγιμότητα (λ) (W/(m·K))	Θερμική αντίσταση R=L/λ ((m ² ·K)/W)
1	A001	Εξωτερικό στρώμα αέρα			0,000		0,040
2	A301-20	Επίχρισμα 2cm		1.800,0	0,020	0,870	0,023
3	1.7.2.2.A	Όπτοπλινθοδομή με διάτρητες σ...	1,000	1.200,0	0,190	0,450	0,422
4	A301-20	Επίχρισμα 2cm		1.800,0	0,020	0,870	0,023
5	A002	Εσωτερικό στρώμα αέρα			0,000		0,130

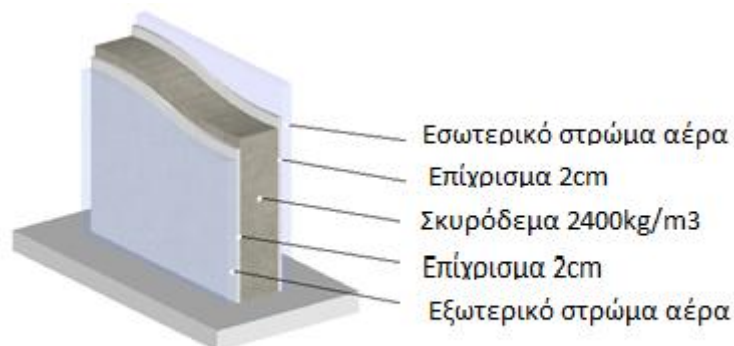
U=1,567 W/(m²·K) T=0,230 m W=300 kg/m²



Σχήμα 7.4: Επιλογή εξωτερικής τοιχοποιίας (ανάλυση: διαστάσεις, συντελεστής θερμοπερατότητας/ σχηματική απεικόνιση)

Στρώσεις δομικού στοιχείου (από έξω προς τα μέσα)							
A/A	Κωδικός	Περιγραφή	Θερμοχωρητικότητα (cp) (kJ/(kg·K))	Πυκνότητα (ρ) (kg/m ³)	Πάχος L (m)	Αγωγιμότητα (λ) (W/(m·K))	Θερμική αντίσταση R=L/λ ((m ² ·K)/W)
1	A001	Εξωτερικό στρώμα αέρα			0,000		0,040
2	A301-20	Επίχρισμα 2cm		1.800,0	0,020	0,870	0,023
3	C102	Σκυρόδεμα 2400 kg/m3		2.400,0	0,190	2,204	0,086
4	A301-20	Επίχρισμα 2cm		1.800,0	0,020	0,870	0,023
5	A002	Εσωτερικό στρώμα αέρα			0,000		0,130

U=3,309 W/(m²·K) T=0,230 m W=528 kg/m²



Σχήμα 7.5: Επιλογή φέροντος οργανισμού (ανάλυση: διαστάσεις, συντελεστής θερμοπερατότητας/ σχηματική απεικόνιση)

Στρώσεις δομικού στοιχείου (από έξω προς τα μέσα)							
A/A	Κωδικός	Περιγραφή	Θερμοχωρητικότητα (cp) (kJ/kg·K)	Πυκνότητα (ρ) (kg/m ³)	Πάχος L (m)	Αγωγιμότητα (λ) (W/m·K)	Θερμική αντίσταση R=L/λ ((m ² ·K)/W)
1	A002	Εσωτερικό στρώμα αέρα			0,000		0,130
2	A301-20	Επίχρισμα 2cm		1.800,0	0,020	0,870	0,023
3	A101	Τούβλο δρομικό διασ. 6x9x19 cm		1.200,0	0,090	0,557	0,162
4	A301-20	Επίχρισμα 2cm		1.800,0	0,020	0,870	0,023
5	A002	Εσωτερικό στρώμα αέρα			0,000		0,130

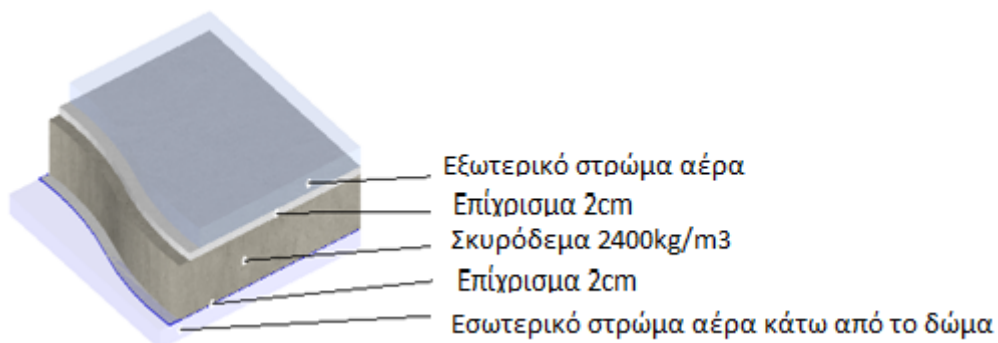
U=2,139 W/(m²·K) T=0,130 m W=180 kg/m²



Σχήμα 7.6: Επιλογή εσωτερικής τοιχοποιίας (ανάλυση: διαστάσεις, συντελεστής θερμοπερατότητας/ σχηματική απεικόνιση)

Στρώσεις δομικού στοιχείου (από έξω προς τα μέσα)							
A/A	Κωδικός	Περιγραφή	Θερμοχωρητικότητα (cp) (kJ/kg·K)	Πυκνότητα (ρ) (kg/m ³)	Πάχος L (m)	Αγωγιμότητα (λ) (W/m·K)	Θερμική αντίσταση R=L/λ ((m ² ·K)/W)
1	A001	Εξωτερικό στρώμα αέρα			0,000		0,040
2	A301-20	Επίχρισμα 2cm		1.800,0	0,020	0,870	0,023
3	C102	Σκυρόδεμα 2400 kg/m ³		2.400,0	0,140	2,204	0,064
4	A301-20	Επίχρισμα 2cm		1.800,0	0,000	0,870	0,000
5	E0	Εσωτερικό στρώμα αέρα κάτω...			0,000		0,100

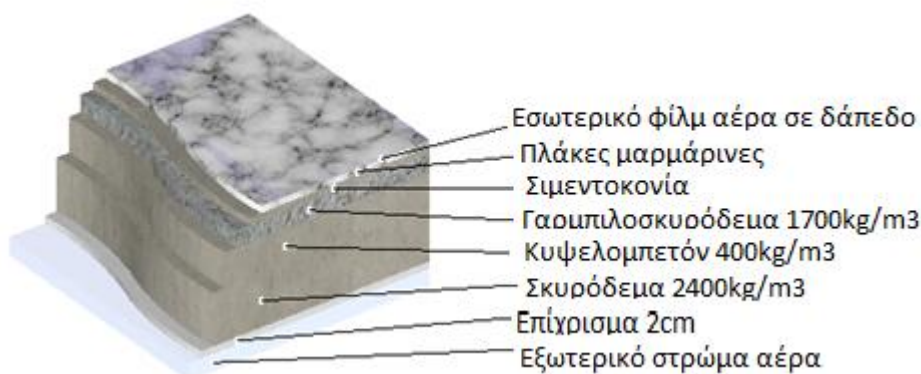
U=4,415 W/(m²·K) T=0,160 m W=372 kg/m²



Σχήμα 7.7: Επιλογή οροφής (ανάλυση: διαστάσεις, συντελεστής θερμοπερατότητας/ σχηματική απεικόνιση)

Στρώσεις δομικού στοιχείου (από μέσα προς τα έξω)							
A/A	Κωδικός	Περιγραφή	Θερμχωρητικότητα (cp) (kJ/(kg·K))	Πυκνότητα (ρ) (kg/m ³)	Πάχος L (m)	Αγωγιμότητα (λ) (W/(m·K))	Θερμική αντίσταση R=L/λ ((m ² ·K)/W)
1	A004	Εσωτερικό Φίλμ Αέρα σε δάπεδο				0,000	0,170
2	E101	Πλάκες Μαρμάρινες		3,000,0	0,020	3,480	0,006
3	A302	Σιμεντοκονία		1,800,0	0,020	1,392	0,014
4	C302	Γαυμπλοσκυρόδεμα 1700 kg/m ³		1,700,0	0,050	0,810	0,062
5	C131	Κυψελομεπετόν 400 Kg/m ³		400,0	0,100	0,232	0,431
6	C102	Σκυρόδεμα 2400 kg/m ³		2,400,0	0,150	2,204	0,068
7	A301-20	Επίχρισμα 2cm		1,800,0	0,020	0,670	0,023
8	A001	Εξωτερικό στρώμα αέρα				0,000	0,040

U=1,229 W/(m²·K) T=0,360 m W=617 kg/m²

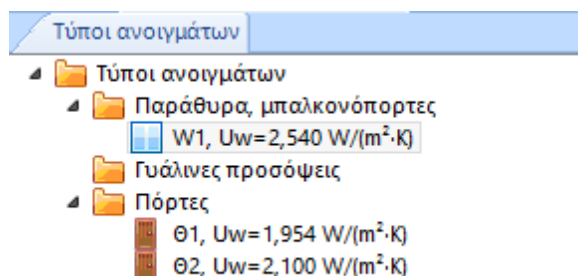


Σχήμα 7.8: Επιλογή δαπέδου τύπου PILOTIS (ανάλυση: διαστάσεις, συντελεστής θερμοπερατότητας/ σχηματική απεικόνιση)

7.4.3 Επιλογή κουφωμάτων

Η ενότητα αυτή δεν θα αναλυθεί εκτενώς καθώς το αντικείμενο της βρίσκεται έξω από τα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας αναφέρεται μόνο επιγραμματικά γιατί αποτελεί προαπαιτούμενο για τον υπολογισμό των απωλειών οι τύποι των κουφωμάτων επιλέχθηκαν έτοιμοι από τις βιβλιοθήκες του λογισμικού.

Από την καρτέλα “Τύποι κουφωμάτων” επιλέχθηκε ο τύπος των κουφωμάτων του κτηρίου.



Σχήμα 7.9: Ανοίγματα που απαρτίζουν την κατασκευή.

Για τα παράθυρα και τις μπαλκονόπορτες δεν δόθηκαν διαστάσεις σε αυτήν την ενότητα άλλα παρακάτω. Στο σημείο αυτό επιλέχθηκε μόνο ο τύπος τους.

Γενικά στοιχεία

Κωδικός: W1

Όνομα: ΧΑΜΗΛΗΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ, ΔΙΠΛΟ 3-12-3 mm, ΔΙΑΚΕΝΟ ΑΡΓΟ

Θερμικές Ιδιότητες

Από βιβλιοθήκη
 Από το χρήστη
 $U_w = f(U_f, U_g)$

Θερμικές ιδιότητες από βιβλιοθήκη

$U = 2,540 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

Συντελεστής πλαισίου

F, f: 0,30



Σχήμα 7.10: Επιλογή κουφωμάτων (ανάλυση/ σχηματική απεικόνιση)

Γενικά στοιχεία

Κωδικός: Θ1

Όνομα: Πόρτα ξύλινη 45 mm

Θερμικές Ιδιότητες

Από βιβλιοθήκη
 Από το χρήστη
 $U_w = f(U_f, U_g)$

Θερμικές ιδιότητες από βιβλιοθήκη

$U = 1,954 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

Σχήμα 7.11: Επιλογή εσωτερικής πόρτας

Γενικά στοιχεία

Κωδικός: Θ2

Όνομα: Μεταλλική ανοιγόμενη διπλή συμπαγής θύρα με μεταλλικό πλαίσιο

Θερμικές Ιδιότητες

Από βιβλιοθήκη
 Από το χρήστη
 $U_w = f(U_f, U_g)$

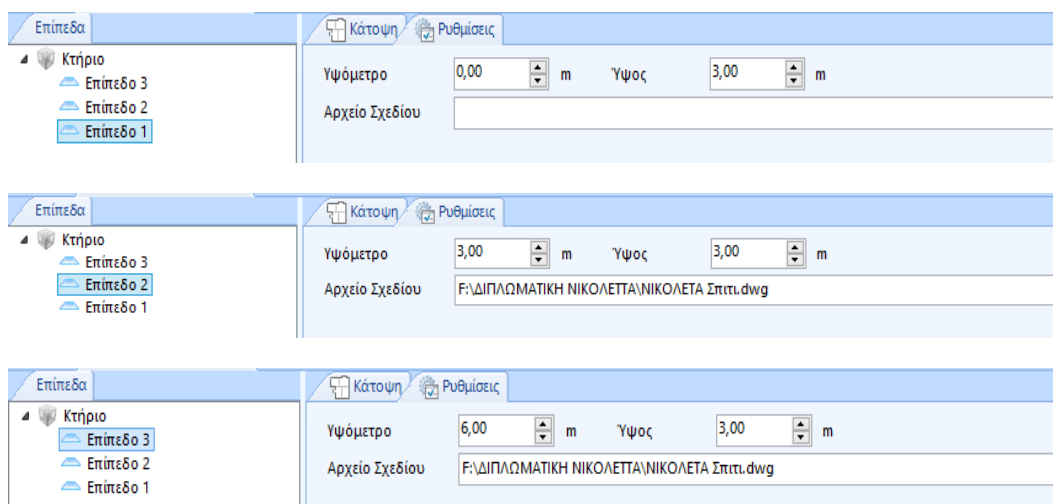
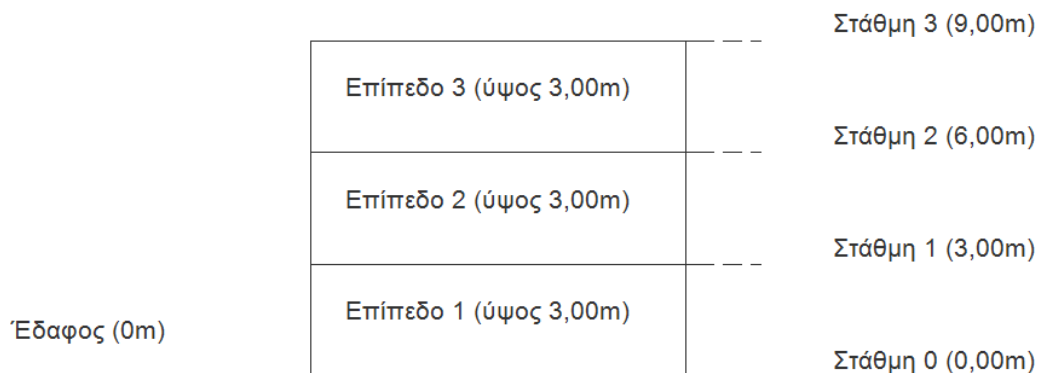
Θερμικές ιδιότητες από βιβλιοθήκη

$U = 2,100 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

Σχήμα 7.12: Επιλογή εξωτερικής πόρτας

7.4.4 Μοντελοποίηση του κτηρίου

Στην καρτέλα “Επίπεδα” καταχωρούνται τα επίπεδα τα οποία απαρτίζουν το κτήριο και το ύψος του κάθε ενός. Το υπό εξέταση κτήριο απαρτίζεται από τρία επίπεδα ύψους 3m το καθένα όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 7.13: Επίπεδα κτηρίου

Το επίπεδο 1 είναι η πιλοτή του κτηρίου οπότε δεν λαμβάνεται υπόψη στους υπολογισμούς, τα επίπεδα 2 και 3 αποτελούνται από ένα διαμέρισμα το καθένα.

Στην συνέχεια από την καρτέλα “Μοντέλο κτηρίου” εισάγονται τα διαμερίσματα του κτηρίου καθώς και τα επίπεδα στα οποία εκτείνεται το κάθε ένα. Στην καρτέλα αυτή η στήλη θερμικές απώλειες αρχικά είναι 0 και στην συνέχεια με την συμπλήρωση της επόμενης καρτέλας συμπληρώνεται αυτόματα και η στήλη. Στα σχήματα που ακολουθούν οι θερμικές απώλειες έχουν τιμές επειδή οι φωτογραφίες ελήφθησαν μετά την ολοκλήρωση των υπολογισμών.

Μοντέλο κτηρίου		Διαμερίσματα (2)	
A/A	Επιφάνεια Ai (m ²)	Θερμικές απώλειες Q (W)	
Δ 1	100,00	14.554	
Δ 2	100,00	19.237	
Σύνολα	200,00	33.791	

Σχήμα 7.14: Σύνδεση διαμερισμάτων σε κάθε επίπεδο

Έπειτα σε κάθε διαμέρισμα τοποθετούνται: οι χώροι του, οι διαστάσεις των χώρων, ο προσανατολισμός επιλέγεται η θερμοκρασία σχεδιασμού του εσωτερικού αέρα ανάλογα με το είδος του χώρου έτσι ώστε να ικανοποιούνται οι συνθήκες θερμικής άνεσης των ενοίκων και σύμφωνα με τα όσα ορίζονται στον πίνακα 2.2 της TOTEE 20701-1/2010

Δ 1, Επίπεδο 2, Δωμάτια (8)											
A/A	Όνομα	Μήκος L (m)	Πλάτος W (m)	Ύψος H (m)	Επιφάνεια Af (m ²)	Όγκος Vi (m ³)	Προσανατολισμός	Θερμοκρασία θηπι (°C)	Απώλειες QN (W)	Zoom στην κάτοψη Σημείο 1	Zoom στην κάτοψη Σημείο 2
1	Δωμάτιο 1	3,40	3,16	2,80	10,74	30,08	N	20,0	1,769	(0,00,0,00)	(0,00,0,00)
2	Δωμάτιο 2	3,40	3,05	2,80	10,37	29,04	NΔ	20,0	2,178	(0,00,0,00)	(0,00,0,00)
3	WC	2,80	1,80	2,80	5,04	14,11	ΒΔ	22,0	1,379	(0,00,0,00)	(0,00,0,00)
4	Αποθήκη	1,46	2,20	2,80	3,21	8,99	-	15,0	461	(0,00,0,00)	(0,00,0,00)
5	Χωλ	0,92	2,35	2,80	2,16	6,05	-	20,0	334	(0,00,0,00)	(0,00,0,00)
6	Εισόδος	2,42	2,27	2,80	5,49	15,38	-	20,0	862	(0,00,0,00)	(0,00,0,00)
7	Σαλόνι	6,01	5,30	2,80	31,85	89,19	A	20,0	5,795	(0,00,0,00)	(0,00,0,00)
8	Κλιμακοστάσιο	2,20	5,91	2,80	13,00	36,41	B	10,0	1,776	(0,00,0,00)	(0,00,0,00)
*											
Σύνολα					81,88	229,25			14,554		

Δ 2, Επίπεδο 3, Δωμάτια (8)											
A/A	Όνομα	Μήκος L (m)	Πλάτος W (m)	Ύψος H (m)	Επιφάνεια Af (m ²)	Όγκος Vi (m ³)	Προσανατολισμός	Θερμοκρασία θηπι (°C)	Απώλειες QN (W)	Zoom στην κάτοψη Σημείο 1	Zoom στην κάτοψη Σημείο 2
1	Δωμάτιο 1	3,40	3,16	2,80	10,74	30,08	N	20,0	2,454	(0,00,0,00)	(0,00,0,00)
2	Δωμάτιο 2	3,40	3,05	2,80	10,37	29,04	NΔ	20,0	2,839	(0,00,0,00)	(0,00,0,00)
3	WC	2,80	1,80	2,80	5,04	14,11	ΒΔ	22,0	1,732	(0,00,0,00)	(0,00,0,00)
4	Αποθήκη	1,46	2,20	2,80	3,21	8,99	-	15,0	564	(0,00,0,00)	(0,00,0,00)
5	Χωλ	0,92	2,35	2,80	2,16	6,05	-	20,0	472	(0,00,0,00)	(0,00,0,00)
6	Εισόδος	2,42	2,27	2,80	5,49	15,38	-	20,0	1,162	(0,00,0,00)	(0,00,0,00)
7	Σαλόνι	6,01	5,30	2,80	31,85	89,19	A	20,0	7,825	(0,00,0,00)	(0,00,0,00)
8	Κλιμακοστάσιο	2,20	5,91	2,80	13,00	36,41	B	10,0	2,190	(0,00,0,00)	(0,00,0,00)
*											
Σύνολα					81,88	229,25			19,237		

Σχήμα 7.15: Προσθήκη στοιχείων των χώρων των διαμερισμάτων (Δ1 και Δ2 αντίστοιχα).

Επιλέξτε μία αριθμητική τιμή

Θερμοκρασία σχεδιασμού εσωτερικού αέρα

Κατηγορία κτηρίου	Χρήση Χώρου	Θερμοκρασία σχεδιασμού
1. ΚΑΤΟΙΚΙΕΣ	Υπνοδωμάτια, κουζίνες, σαλόνια	20,00
	Λουτρά	22,00
	Προθάλαμοι	15,00
2. ΣΧΟΛΕΙΑ	Κλιμακοστάσια	10,00
	Αίθουσες	20,00
	Ντους αποδυτήρια	20,00
	Τραπεζαρίες, αμφιθέατρα	20,00
	Γυμναστήρια, Εργαστήρια	20,00
	Ιατρεία	24,00
	Κλιμακοστάσια, WC, διάδρομοι	10,00
3. ΚΑΤΑΣΤΗΜΑΤΑ - ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΑ	Αίθουσες γραφεία	20,00
	Διάδρομοι, κλιμακοστάσια	14,00
	Αίθουσες μηχανών	16,00
	Αποθήκες	12,00
4. ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΑ	Θάλαμοι ασθενών (παθολογικό)	22,00
	Θάλαμοι ασθενών (χειρουργικό)	25,00
	Λουτρά	22,00
	Αίθουσες, δωμάτια	20,00
5. ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΑ	Χειρουργεία	30,00
	Κλιμακοστάσια	18,00
	Δωμάτια	20,00
	Λουτρά	22,00
	Διάδρομοι, σκάλες, κουζίνες	18,00
	Σάλες, τραπεζαρίες	18,00
	Βασθηκεί κτίριο	14,00

OK Ακύρο

Σχήμα 7.16: Επιλογή της θερμοκρασίας του κάθε χώρου.

7.4.5 Υπολογισμός θερμικών απωλειών.

Στην καρτέλα “Θερμικές απώλειες” υπολογίζονται οι θερμικές απώλειες του κάθε χώρου ξεχωριστά αλλά και συνολικά στο κάθε διαμέρισμα όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.

Θερμικές απώλειες EN 12831

Εργο

- ▲ Κτήριο, QN=38,86 kW
 - ▲ Δ 1, QN=15.993 W
 - ▲ Επίπεδο 2, QN=15.993 W
 - ☾ Δωμάτιο 1, QN=1.655 W
 - ☾ Δωμάτιο 2, QN=2.130 W
 - ☾ WC, QN=1.739 W
 - ☾ Αποθήκη, QN=1.028 W
 - ☾ Χωλ, QN=487 W
 - ☾ Είσοδος, QN=1.043 W
 - ☾ Σαλόνι, QN=5.609 W
 - ☾ Κλιμακοστάσιο, QN=2.301 W
 - ▲ Δ2, QN=22.864 W
 - ▲ Επίπεδο 3, QN=22.864 W
 - ☾ Δωμάτιο 1, QN=2.613 W
 - ☾ Δωμάτιο 2, QN=3.055 W
 - ☾ WC, QN=2.221 W
 - ☾ Αποθήκη, QN=1.263 W
 - ☾ Χωλ, QN=680 W
 - ☾ Είσοδος, QN=1.533 W
 - ☾ Σαλόνι, QN=8.451 W
 - ☾ Κλιμακοστάσιο, QN=3.047 W

Σχήμα 7.17: Συνολικές απώλειες δωματίων και διαμερισμάτων.

Στην ενότητα αυτή αρχικά ο χρήστης καθορίζει κάποια στοιχεία για το κτήριο τα οποία θα χρησιμοποιηθούν για την επιλογή των συντελεστών που αναλύονται στην συνέχεια.

Επιλέγοντας λοιπόν το “Κτήριο” εμφανίζεται μια σειρά από καρτέλες.

Όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα αρχικά στην καρτέλα “Διαμερίσματα” τοποθετούνται τα διαμερίσματα του κτηρίου αυτόματα από το πρόγραμμα σύμφωνα με τα δεδομένα που εισήχθησαν στην καρτέλα “Μοντέλο κτηρίου”

Διαμέρισμα	Επιφάνεια Ai (m ²)	Θερμικές Απώλειες Q (W)
Δ1	100,00	15.993
Δ2	100,00	22.864
Σύνολα	200,00	38.856

Σχήμα 7.18: Διαμερίσματα κτηρίου

Έπειτα επιλέγονται οι θερμοκρασίες σχεδιασμού στην ομώνυμη καρτέλα, όπου η εσωτερική θερμοκρασία σχεδιασμού καθορίστηκε στην καρτέλα “Μοντέλο κτηρίου” και η εξωτερική θερμοκρασία σχεδιασμού λαμβάνεται από τα παραρτήματα του λογισμικού ίση με -8°C για την πόλη της Δράμας και προκύπτει από στατιστική επεξεργασία των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών.

Η θερμοκρασία εδάφους χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της θερμοκρασιακής διαφοράς όταν στο κτήριο υπάρχει δάπεδο επί εδάφους και στην συγκεκριμένη περίπτωση δεν λαμβάνεται υπόψη. Επίσης λόγω του δαπέδου τύπου PILOTIS το οποίο υπάρχει στο υπό εξέταση κτήριο δεν λαμβάνονται υπόψη οι θερμικές απώλειες μεταφοράς από το έδαφος που υπάρχουν στο δεξί μέλος της καρτέλας

Θερμοκρασίες σχεδιασμού

Εσωτερική θερμοκρασία $\theta_{int,i}$ 20,0 Εφαρμογή σε όλα

Εξωτερική θερμοκρασία θ_e -8,0

Εδάφους θ_g 15,0

Τυπικό καθαρό ύψος χώρων (από δάπεδο μέχρι οροφή) 3,00 m

Θερμικές απώλειες μεταφοράς από το έδαφος (EN 12831 παρ.7.1.3)

Μέση ετήσια εξωτερική θερμοκρασία $\theta_{m,e}$ 15,0 °C

Συντελεστής διόρθωσης εξωτερικής θερμοκρασίας 1 $fg1=1,45$

Συντελεστής διόρθωσης μέσης εξωτερικής θερμοκρασίας $fg2=0,18$

Υπόγεια νερά σε βάθος μικρότερο από 1 m από την πλάκα του υπογείου

Συντελεστής διόρθωσης υπόγειων νερών $Gw=1,00$

Σχήμα 7.19: Θερμοκρασίες σχεδιασμού

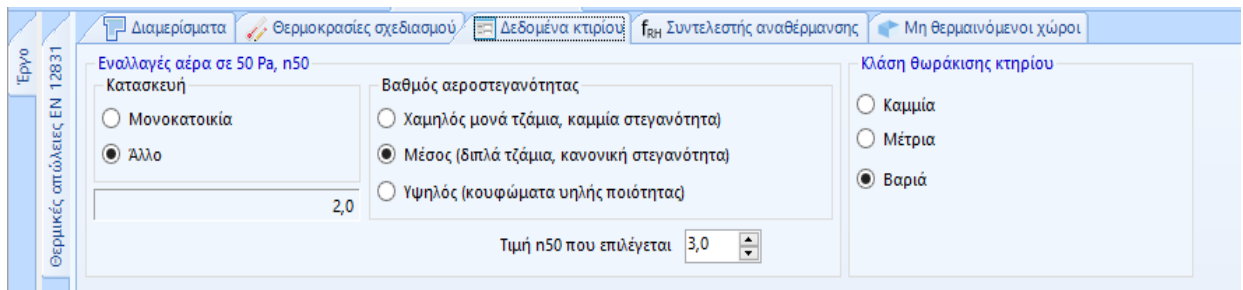
Έπειτα στην καρτέλα δεδομένα κτηρίου καθορίζονται από τον χρήστη:

- Το είδος της κατασκευής, το υπό εξέταση κτήριο είναι πολυκατοικία.
- Ο βαθμός αεροστεγανότητας επιλέχθηκε μέσος διπλά τζάμια, κανονική στεγανότητα καθώς και η κλάση θωράκισης του κτηρίου βαριά επειδή το κτήριο τοποθετείται στο κέντρο της πόλης.
- Εναλλαγές εξωτερικού αέρα n_{50} , για το σύνολο του κτηρίου που οφείλονται σε διαφορά πίεσης 50Pa, εμφανίζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 7.4: Εναλλαγές εξωτερικού αέρα.

Πίνακας D.7 - Εναλλαγές εξωτερικού αέρα			
Κατασκευή	n50 1/h		
	Βαθμός αεροστεγανότητας (Ποιότητα κουφωμάτων)		
	Υψηλή (υψηλής ποιότητας στεγανά παράθυρα και πόρτες)	Μέση (διπλά τζάμια, κανονική στεγανότητα)	Χαμηλή (μονά παράθυρα, χωρίς στεγανότητα)
	High (high quality sealed windows and doors)	Medium (double glazed windows, normal seal)	Low (single glaze windows, no sealant)
Μονοκατοικίες single family dwellings	<4	4-10	>10
Άλλες κατοικίες ή κτίρια Other dwellings or buildings	<2	2-5	>5

Στο υπό μελέτη κτήριο είναι $n_{50} = 3$ [1/h] και οφείλεται στην ποιότητα των κουφωμάτων και το είδος της κατασκευής.



Σχήμα 7.20: Δεδομένα κτηρίου

Η επόμενη επιλογή είναι η καρτέλα συντελεστής αναθέρμανσης αλλά δεν θα εξετασθεί γιατί αφορά το κομμάτι της μελέτης θέρμανσης και την διακοπτόμενη λειτουργία θέρμανσης οι τιμές που επιλέχθηκαν στο κομμάτι αυτό ήταν οι προεπιλεγμένες του λογισμικού.

Ο τελευταίος παράγοντας που πρέπει να καθοριστεί για το σύνολο του κτηρίου είναι οι μη θερμαινόμενοι χώροι και ο συντελεστής b_u . Ο συντελεστής αυτός ονομάζεται διορθωτικός συντελεστής θερμοκρασίας και χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό θερμικών απωλειών από μεταφορά και η τιμή του λαμβάνεται από τον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 7.5: Διορθωτικός συντελεστής θερμοκρασίας

Unheated space	b_u
Room	
with only 1 external wall	0,4
with at least 2 external walls without outer doors	0,5
with at least 2 external walls with outer doors (e.g. halls, garages)	0,6
with 3 external walls (e.g. external staircase)	0,8
Basement	
without windows/external doors	0,5
with windows/external doors	0,8
Roof space	
high ventilation rate of the roof space (e.g. roofs clad in tiles or other materials giving a discontinuous cover) without sarking felts or sarking boards	1,0
other non-insulated roof	0,9
insulated roof	0,7
Internal circulation areas (without external walls, air exchange rate less than $0,5 \text{ h}^{-1}$)	0
Freely ventilated circulation areas (area of openings/volume of space $> 0,005 \text{ m}^2/\text{m}^3$)	1,0
Suspended floor (floor above crawl space)	0,8

Ένα δωμάτιο μπορεί να θεωρηθεί ως δάπεδο για την επιλογή της τιμής από τον παραπάνω πίνακα εάν τουλάχιστον το 70% των εξωτερικών τοίχων είναι σε επαφή με το έδαφος.

Στο παρόν πρόβλημα υπάρχουν δύο μη θερμαινόμενοι χώροι το κλιμακοστάσιο το οποίο έχει 3 εξωτερικούς τοίχους οπότε επιλέγεται $b_u = 0,8$ και η αποθήκη.

Σύμφωνα με την ΤΟΤΕΕ 20701-1/2010 και επειδή ο όγκος της αποθήκης είναι κάτω από το 10% του συνολικού όγκου του κτηρίου δεν λαμβάνεται ως ξεχωριστή θερμική ζώνη αλλά εξετάζεται ενταγμένη σε άλλη θερμική ζώνη δηλαδή αυτή του κτηρίου. Οπότε δεν συμπεριλαμβάνεται στους μη θερμαινόμενους χώρους του κτηρίου.

A/A	Όνομα	b_u [-]
1	Κλιμακοστάσιο	0,80
*		

Σχήμα 7.21: Μη θερμαινόμενοι χώροι

Στην παρούσα ενότητα θα γίνει ανάλυση του υπολογισμού των απωλειών για ένα μόνο δωμάτιο και η διαδικασία είναι η ίδια για τα υπόλοιπα δωμάτια.

Για κάθε δωμάτιο στην καρτέλα δεδομένα δωματίου συμπληρώνονται οι εσωτερικές διαστάσεις του δωματίου η θερμοκρασία σχεδιασμού και οι εναλλαγές αέρα. Οι εναλλαγές αέρα επιλέχθηκαν $0,5 [1/h]$ σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα και αλλάζουν ανάλογα με τον τύπο του κάθε χώρου.

Το WC του κτηρίου δεν έχει παράθυρο άλλα μηχανικό εξαερισμό και θεωρείται ότι ο αερισμός του χώρου είναι επαρκής για τον λόγο αυτό, οι εναλλαγές αέρα επιλέχθηκαν 1,5 [1/h] . Για την αποθήκη και το κλιμακοστάσιο ίσες με 0 [1/h] επειδή δεν υπάρχουν παράθυρα και θεωρείται σχεδόν μηδενικός αερισμός.

Πίνακας 7.6: Επιλογή ελάχιστων εναλλαγών εξωτερικού αέρα

Πίνακα D.6 - Ελάχιστες εναλλαγές εξωτερικού αέρα	
Είδος δωματίου	n _{min}
Room type	1/h
Δωμάτιο κατοικίας	0,5
Habitable room	
Κουζίνα ή μπάνιο με παράθυρο	1,5
Kitchen or bathroom with window	
Γραφείο	1,0
Office room	
Δωμάτιο συγκέντρωσης, αίθουσα διδασκαλίας	2,0
Meeting room, classroom	

Η θερμοκρασία σχεδιασμού επιλέχθηκε 20°C για να καλύπτονται οι συνθήκες θερμικής άνεσης των ενοίκων σύμφωνα με τα όσα ορίζονται στον πίνακα 2.2 της ΤΟΤΕΕ20701-1/2010.

Για το WC η θερμοκρασία σχεδιασμού επιλέχθηκε 22°C, για την αποθήκη που είναι μη θερμαινόμενος χώρος 15°C ενώ για το κλιμακοστάσιο 10°C. Οι εσωτερικές διαστάσεις ελήφθησαν από το σχέδιο του κτηρίου (παράρτημα Β) και με βάση αυτές υπολογίστηκε η επιφάνεια και ο όγκος του κάθε δωματίου.



Σχήμα 7.22: Δεδομένα Δωματίου 1

Στην καρτέλα επιφάνειες δωματίου συμπληρώνονται τα δομικά στοιχεία του κάθε δωματίου, οι διαστάσεις τους, το είδος του γειτονικού χώρου (θερμαινόμενος, κλιμακοστάσιο κ.α.).

Πολύ σημαντικό είναι ο φέρον οργανισμός (δοκάρια, τοιχία) και τα ανοίγματα να αφαιρούνται κατά τον υπολογισμό των απωλειών. Όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί οι επιφάνειες που είναι κάτω από το δομικό στοιχείο με A/A 2 είναι ανοίγματα και δοκάρια και αφαιρούνται από αυτό.

Το πρόγραμμα με βάση τις επιφάνειες των δομικών στοιχείων που αφαιρούνται υπολογίζει την μικτή, την αφαιρούμενη και την καθαρή επιφάνεια αντίστοιχα.

Ακόμη εμφανίζεται ο συντελεστής θερμοπερατότητας $U \left[\frac{W}{m^2} \cdot K \right]$ των στοιχείων όπως υπολογίστηκε στην ενότητα των δομικών στοιχείων.

Επιφάνειες δωματίου														Απώλειες μεταφοράς			
A/A	Δομικό στοιχείο	Περιγραφή	Προσανατολισμός	Μήκος (m)	Πλάτος/Ύψος (m)	Αρ. Ομ.	Σε επαφή με	Συντ. bu e/bu/f	Μικτή Επιφάνεια (m ²)	Αραια Επιφάνεια (m ²)	Καθαρή (A _k) (m ²)	Τιμή U U _k (W/(m ² ·K))	Γραμμικές ΘΓ Ψ _l	H _{T,k} U _k · A _k · e _k (W/K)	H _{T,l} Ψ _l · L _l · e _l (W/K)	Θ _{T,k} (θ _i - θ _e) (W)	Θ _{T,l} (θ _i - θ _e) (W)
1	FA1	Δάπεδο σε ΡΙ.Ο...	-	3,40	3,16	1	e - Εξωτερικός αέρας	1,00	10,74	0,00	10,74	1,229		13,200		369,61	
2	T1	Δρομικός τοίχο...	N	3,16	2,80	1	e - Εξωτερικός αέρας	1,00	8,85	5,58	3,27	1,567		5,124		143,47	
1	W1	ΧΑΜΗΛΗΣ ΕΚΠ...		1,60	2,20	1		1,00			3,52	2,540	0,55/0,55/0,20	8,941	2,640	250,34	73,92
2	T2	Δοκός 12 cm χ...		0,34	2,80	1		1,00			0,95	3,309		3,150	0,000	88,21	0,00
3	T2	Δοκός 12 cm χ...		3,16	0,35	1		1,00			1,11	3,309		3,660	0,000	102,48	0,00

Σχήμα 7.23: Επιφάνειες Δωματίου 1

Οι θερμικές απώλειες υπολογίζονται από το πρόγραμμα σύμφωνα με τον τύπο:

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta\theta \quad [W] \quad [7.3]$$

Τις επιφάνειες οι οποίες έρχονται σε επαφή με γειτονικό χώρο, ο οποίος έχει την ίδια θερμοκρασία δεν τις λαμβάνουμε υπόψη στους υπολογισμούς των απωλειών γιατί $\Delta\theta = 0^\circ C$

Πιο συγκεκριμένα σύμφωνα με το πρότυπο EN12831 ο συντελεστής θερμικών απωλειών του κάθε δομικού στοιχείου k από το εξωτερικό συμβολίζεται με HT_k και υπολογίζεται ως εξής:

$$HT_k = A_k \cdot U_k \cdot e_k \quad [W/K] \quad [7.4]$$

Όπου :

- U_k : ο συντελεστής θερμοπερατότητας του δομικού στοιχείου $[W/(m^2 \cdot K)]$.
- A_k : η επιφάνεια του δομικού στοιχείου. $[m^2]$
- e_k : ένας συντελεστής διόρθωσης

Με τον όρο HT_l συμβολίζεται ο συντελεστής θερμικών απωλειών της γραμμικής θερμικής γέφυρας l ο οποίος προκύπτει αντίστοιχα ως εξής:

$$HT_l = \Psi_l \cdot L_l \cdot e_l \quad [W/K] \quad [7.5]$$

Όπου :

- Ψ_l : ο συντελεστής γραμμικής θερμοπερατότητας της γραμμικής θερμικής γέφυρας $[W/(m^2 \cdot K)]$.
- L_l : το μήκος της γραμμικής θερμικής γέφυρας. $[m^2]$

- e_l : ένας συντελεστής διόρθωσης

Επιπλέον οι θερμικές απώλειες του κάθε δομικού στοιχείου k από το εξωτερικό συμβολίζεται με ΦT_k και υπολογίζεται ως εξής:

$$\Phi T_k = HT_k \cdot (\theta_i - \theta_e) \quad [W] \quad [7.6]$$

Όπου :

- HT_k : ο συντελεστής θερμικών απωλειών του κάθε δομικού στοιχείου k [W/K].
- θ_i : εσωτερική θερμοκρασία σχεδιασμού του θερμαινόμενου χώρου [K].
- θ_e : εξωτερική θερμοκρασία σχεδιασμού [K].

Με τον όρο ΦT_l συμβολίζονται οι θερμικές απώλειες της γραμμικής θερμικής γέφυρας l ο οποίος προκύπτει αντίστοιχα ως εξής:

$$\Phi T_l = HT_l \cdot (\theta_i - \theta_e) \quad [W/K] \quad [7.7]$$

Όπου :

- HT_l : ο συντελεστής θερμικών απωλειών της γραμμικής θερμικής γέφυρας l [W/K].
- θ_i : εσωτερική θερμοκρασία σχεδιασμού του θερμαινόμενου χώρου [K].
- θ_e : εξωτερική θερμοκρασία σχεδιασμού [K].

Στην καρτέλα “Αερισμός” επιλέγονται οι τιμές κάποιων συντελεστών από το πρόγραμμα ανάλογα με τα στοιχεία που έχει καταχωρήσει ο χρήστης συγκεκριμένα και υπολογίζεται ο αερισμός του χώρου. Οι παράμετροι που μελετώνται είναι:

Ο συντελεστής κάλυψης e δίνεται στον πίνακα που ακολουθεί και στο υπό μελέτη κτήριο επιλέγεται 0,01 διότι εξετάζεται, θερμαινόμενος χώρος με ένα εκτεθειμένο άνοιγμα και βαριά κάλυψη γιατί το κτήριο βρίσκεται στο κέντρο της πόλης.

Πίνακας 7.7: Συντελεστής κάλυψης e .

Πίνακας D.8 - Συντελεστής κάλυψης, e			
Κατηγορία κάλυψης	e		
Shielding class	Θερμνόμενος χώρος χωρίς εκτεθειμένα ανοίγματα	Θερμνόμενος χώρος με ένα εκτεθειμένο άνοιγμα	Θερμνόμενος χώρος με περισσότερα από ένα εκτεθειμένα ανοίγματα
	Heated space without exposed openings	Heated space with one exposed opening	Heated space with more than one exposed opening
καμμία κάλυψη (κτίρια σε περιοχές με ανέμους, ψηλά κτίρια στο κέντρο της πόλης)	0	0,03	0,05
No shielding (buildings in windy areas, high rise building in city centres)			
Μεσαία κάλυψη (κτίρια στην εξοχή με δέντρα ή άλλα κτίρια τριγύρω, προάστια)	0	0,02	0,03
Moderate shielding (buildings in the country with trees or other buildings around them, suburbs)			
Βαριά κάλυψη (κτίρια μέσου ύψους στο κέντρο της πόλης, κτίρια στο δάσος)	0	0,01	0,02
Heavy shielding (average height buildings in city centres, buildings in forests)			

Επιπλέον εμφανίζεται και ο συντελεστής διόρθωσης λόγω ύψους ϵ ο οποίος λαμβάνεται ίσος με 1 από τον παρακάτω πίνακα διότι το ύψος της κατασκευής είναι 9m.

Πίνακας 7.8: Συντελεστής διόρθωσης λόγω ύψους ϵ .

Πίνακα D.6 - Συντελεστής διόρθωσης λόγω ύψους, ϵ	
Ύψος θερμαινόμενου χώρου από επίπεδο εδάφους	ϵ
Heigh of heated space above ground-level	
0-10 m	1,0
>10-30 m	1,2
>30 m	1,5

Με βάση τους συντελεστές αυτούς υπολογίζεται ο αερισμός από χαραμάδες του κτηριακού κελύφους στον θερμαινόμενο χώρο από τον παρακάτω τύπο:

$$V_{inf,i} = 2 \cdot V_i \cdot n50 \cdot e \cdot \epsilon \quad \left[\frac{m^3}{h} \right] \quad [7.8]$$

Παρακάτω εμφανίζεται η καρτέλα “Αερισμός”. Στην αριστερή πλευρά της καρτέλας εμφανίζονται οι συντελεστές που αναλύθηκαν προηγουμένως και στα δεξιά υπολογίζεται ο ελάχιστος αερισμός για λόγους υγιεινής.

The screenshot shows a software window titled "Αερισμός" (Ventilation) with the following data:

Αερισμός από χαραμάδες του κτηριακού κελύφους, V'_{inf}	
Air exchange rate at 50 pa	$n50$ = 3,0 1/h
Shielding coefficient	e = 0,01
Height correction factor	ϵ = 1,00
Όγκος δωματίου	V_i = 30,08 m ³
Παροχή αέρα	$V'_{inf} = 2$ = 1,8 m ³ /h

Ελάχιστος αερισμός για λόγους υγιεινής, V'_{min}	
Όγκος δωματίου	V_i = 30,08 m ³
Εναλλαγές αέρα για λόγους υγιεινής	n_{min} = 0,50 1/h
Παροχή αέρα	V'_{min} = 15,04 m ³ /h

Παροχή αέρα δωματίου, V'_i	
$V'_i = \text{Max}(V'_{inf,i}, V'_{min,i})$	15,0 m ³ /h

Συντελεστής σχεδιασμού θερμικών απωλειών	
$H,V = \rho_a \cdot c_p \cdot V'_i = 0.34 \cdot V'_i$	5,1 W/K

Σχήμα 7.24: Υπολογισμοί αερισμών.

Η παροχή αέρα για λόγους υγιεινής υπολογίζεται από τον τύπο :

$$V_{min,i} = V_i \cdot n_{min} \quad \left[\frac{m^3}{h} \right] \quad [7.9]$$

Επειδή δεν έχει εισαχθεί σύστημα αερισμού στο χώρο θεωρείται ότι ο προσαγόμενος αέρας έχει τα θερμικά χαρακτηριστικά του εξωτερικού αέρα. Έτσι οι θερμικές απώλειες είναι ανάλογες της διαφοράς μεταξύ της εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας σχεδιασμού.

Ως παροχή του προσαγόμενου αέρα στον χώρο i για τον υπολογισμό των θερμικών απωλειών επιλέγεται η μέγιστη τιμή μεταξύ της παροχής από χαραμάδες ($V_{inf,i}$) και της ελάχιστης παροχής που απαιτείται για λόγους υγιεινής ($V_{min,i}$)

Δηλαδή ισχύει:

$$V_i = \max(V_{inf,i}, V_{min,i}) \quad [m^3/h] \quad [7.10]$$

Ο συντελεστής σχεδιασμού θερμικών απωλειών H, V_i δίνεται από τον παρακάτω τύπο

$$H, V_i = V_i \cdot \rho \cdot C_p \quad [W/K] \quad [7.11]$$

Όπου :

- V_i : η παροχή του προσαγόμενου αέρα στον χώρο i [m^3/h]
- ρ : η πυκνότητα του αέρα σε θερμοκρασία θ_i [kg/m^3].
- C_p : η ειδική θερμοχωρητικότητα του αέρα σε θερμοκρασία θ_i [$kJ/kg \cdot K$].

Στην τελευταία καρτέλα για το κάθε δωμάτιο παρουσιάζονται οι συνολικές θερμικές απώλειες οι οποίες προκύπτουν από το άθροισμα των επιμέρους απωλειών.

Πιο συγκεκριμένα ο συντελεστής θερμικών απωλειών από τον θερμαινόμενο χώρο προς εξωτερικό δια του περιβλήματος δίνονται από τον τύπο:

$$HT_{ie} = \sum A_k \cdot U_k \cdot e_k + \sum \Psi_l \cdot L_l \cdot e_l \quad [W/K] \quad [7.12]$$

Είναι προφανές ότι οι απώλειες αυτές οφείλονται σε όλα τα δομικά στοιχεία και τις γραμμικές θερμογέφυρες που διαχωρίζουν τον θερμαινόμενο χώρο με το εξωτερικό περιβάλλον.

Ο συντελεστής θερμικών απωλειών διαμέσου μη θερμαινόμενου χώρου HT_{iue} υπολογίζεται αν υπάρχει ένας μη θερμαινόμενος χώρος u μεταξύ του θερμαινόμενου i και του εξωτερικού e από τον εξής τύπο:

$$HT_{iue} = \sum A_k \cdot U_k \cdot bu + \sum \Psi_l \cdot L_l \cdot bu \quad [W/K] \quad [7.13]$$

Ο συντελεστής αυτός οφείλεται σε όλα τα δομικά στοιχεία και τις θερμογέφυρες που διαχωρίζουν το θερμαινόμενο χώρο από τον μη θερμαινόμενο.

Ο επόμενος συντελεστής αφορά της θερμικές απώλειες διαμέσου του εδάφους HT_{ig} και αφορά μόνο κτήρια που έχουν επαφή με το έδαφος οπότε δεν θα αναλυθεί εφόσον είναι 0.

Τελευταίος αναφέρεται ο συντελεστής θερμικών απωλειών προς ή από χώρους που θερμαίνονται σε διαφορετική θερμοκρασία HT_{ij} ο συντελεστής αυτός υπολογίζεται από τον τύπο:

$$HT_{ij} = \sum f_{ij} \cdot A_k \cdot U_k \quad [W/K] \quad [7.14]$$

Όπου :

- f_{ij} : συντελεστής ελάττωσης της θερμοκρασίας.
- U_k : ο συντελεστής θερμοπερατότητας του δομικού στοιχείου $[W/(m^2 \cdot K)]$.
- A_k : η επιφάνεια του δομικού στοιχείου. $[m^2]$

Ο συντελεστής f_{ij} λαμβάνει υπόψη τη διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας του διπλανού χώρου και της εξωτερικής θερμοκρασίας σχεδιασμού και δίνεται απ την σχέση:

$$f_{ij} = \frac{\theta_i - \theta_{adjacent}}{\theta_i - \theta_e} \quad [7.15]$$

Όπου :

- $\theta_{adjacent}$: η θερμοκρασία του γειτονικού χώρου $[K]$.
- θ_i : εσωτερική θερμοκρασία σχεδιασμού του θερμαινόμενου χώρου $[K]$.
- θ_e : εξωτερική θερμοκρασία σχεδιασμού $[K]$.

Ο συντελεστής αυτός εκφράζει την θερμική ροή από το θερμαινόμενο χώρο i προς το γειτονικό θερμαινόμενο χώρο j που θερμαίνεται σε μία διαφορετική θερμοκρασία. Ο γειτονικός χώρος μπορεί να είναι :

- Ένα διπλανό δωμάτιο στο ίδιο κτήριο (μπάνιο ή αποθήκη)
- Ένα δωμάτιο που ανήκει σε διπλανό διαμέρισμα
- Ένα δωμάτιο που ανήκει σε ένα διπλανό κτήριο που μπορεί να μην θερμαίνεται

Αθροίζοντας τους 4 παραπάνω συντελεστές προκύπτει ο συντελεστής θερμικών απωλειών από μεταφορά.

Στη συνέχεια με βάση τον συντελεστή θερμικών απωλειών από μεταφορά, από αερισμό και αναθέρμανση και πολλαπλασιάζοντας τον καθένα με την διαφορά θερμοκρασίας προκύπτουν οι θερμικές απώλειες για τις τρεις περιπτώσεις. Αθροίζοντας τις επιμέρους απώλειες προκύπτουν οι συνολικές απώλειες του χώρου οι τύποι που περιγράφηκαν για τα παραπάνω μεγέθη φαίνονται στην καρτέλα των συνολικών απωλειών στο σχήμα που ακολουθεί.

Συντελεστής θερμικών απωλειών από μεταφορά		Θερμικές απώλειες δωματίου	
Στο εξωτερικό (e) διά του περιβλήματος	$HT,ie=36,715 \text{ W/K}$	Μεταφοράς	$\Phi, T, i=H, T, i \cdot (\theta_{int, i} - \theta_e) = 1.028,0 \text{ W}$
Στο εξωτερικό (e) μέσω μη θερμαινόμενου χώρου (u)	$HT,iue=0,000 \text{ W/K}$	Αερισμού	$\Phi, V, i=H, V, i \cdot (\theta_{int, i} - \theta_e) = 143,2 \text{ W}$
Στο έδαφος (g)	$HT,ig=0,000 \text{ W/K}$	Αναθέρμανσης	$\Phi, RH, i=f, RH, Ai=483,5 \text{ W}$ +
Στο θερμαινόμενο γειτονικό χώρο (j)	$HT,ij=0,000 \text{ W/K}$ +	Σύνολο	$\Phi, H, i=\Phi, T, i+\Phi, V, i+\Phi, RH, i=1.654,7 \text{ W}$
Συντελεστής θερμικών απωλειών από μεταφορά	$HT=36,715 \text{ W/K}$		

Σχήμα 7.25: Συνολικές θερμικές απώλειες.

Οι απώλειες υπολογίζονται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο και για τα υπόλοιπα δωμάτια του Διαμερίσματος 1.

Όπως είναι αναμενόμενο και για το Διαμέρισμα 2 ισχύουν ακριβώς τα ίδια η μόνη διαφορά είναι ότι η οροφή είναι σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα καθώς βρίσκεται στο 3^ο επίπεδο.

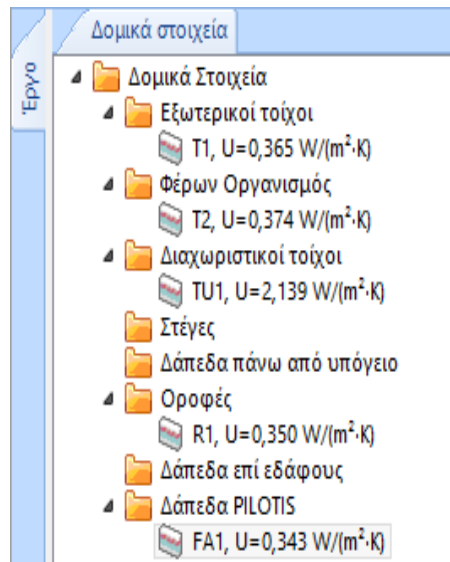
7.5 Υπολογισμός θερμικών απωλειών μονωμένου κτηρίου

Αντίστοιχα με την προηγούμενη ενότητα γίνεται ο υπολογισμός των απωλειών για τα τέσσερα θερμομονωτικά υλικά. Για τον λόγο αυτό δεν θα αναφερθεί η πλήρης διαδικασία άλλα μόνο τα δομικά στοιχεία του χώρου και τα τελικά αποτελέσματα των υπολογισμών.

Στην ενότητα 7.4.2 παρουσιάστηκαν τα δομικά υλικά του αμόνωτου κτηρίου, ο συντελεστής θερμοπερατότητας τους δεν ικανοποιούσε την συνθήκη για την θερμομονωτική επάρκεια κελύφους η οποία δίνεται από την σχέση [7.1]. Στην ενότητα αυτή λόγω της εφαρμογής θερμομονωτικής στρώσης στο κτήριο, δίνεται ιδιαίτερη σημασία στο απαιτούμενο πάχος της μόνωσης έτσι ώστε να ικανοποιείται η συνθήκη.

7.5.1 Εφαρμογή διογκωμένης πολυστερίνης

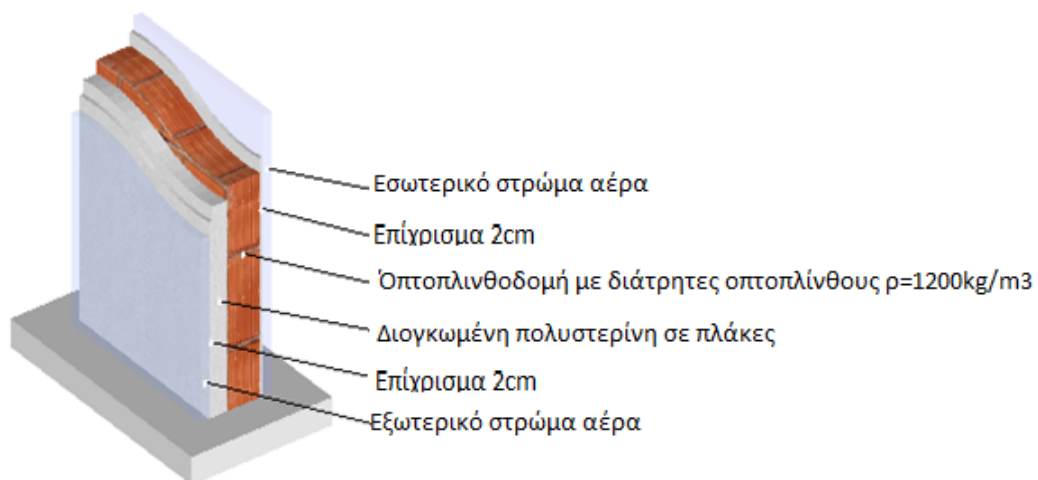
Τα δεδομένα που υπάρχουν στις βιβλιοθήκες υλικών του λογισμικού λαμβάνονται από την ΤΟΤΕΕ 20701-2/2010. Συγκεκριμένα για την διογκωμένη πολυστερίνη από τον Πίνακα 2 και την ενότητα 6 που αφορά τα θερμομονωτικά υλικά ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητάς της δίνεται ίσος με $\lambda = 0,033 - 0,038 \frac{W}{m} \cdot K$. Το λογισμικό λαμβάνει αυτόματα την μεγαλύτερη τιμή δηλαδή $0,038 \frac{W}{m} \cdot K$ έτσι ώστε ο υπολογισμός των απωλειών να καλύπτει κάθε υλικό που κυκλοφορεί στο εμπόριο. Στα παρακάτω σχήματα φαίνονται οι ιδιότητες των υλικών, το απαιτούμενο πάχος της θερμομονωτικής στρώσης για κάθε δομικό στοιχείο καθώς και η τομή τους.



Σχήμα 7.26: Δομικά στοιχεία που απαρτίζουν την κατασκευή με διογκωμένη πολυστερίνη.

Για τους εξωτερικούς τοίχους το απαιτούμενο πάχος της θερμομονωτικής στρώσης είναι $L = 0,08 \text{ m}$.

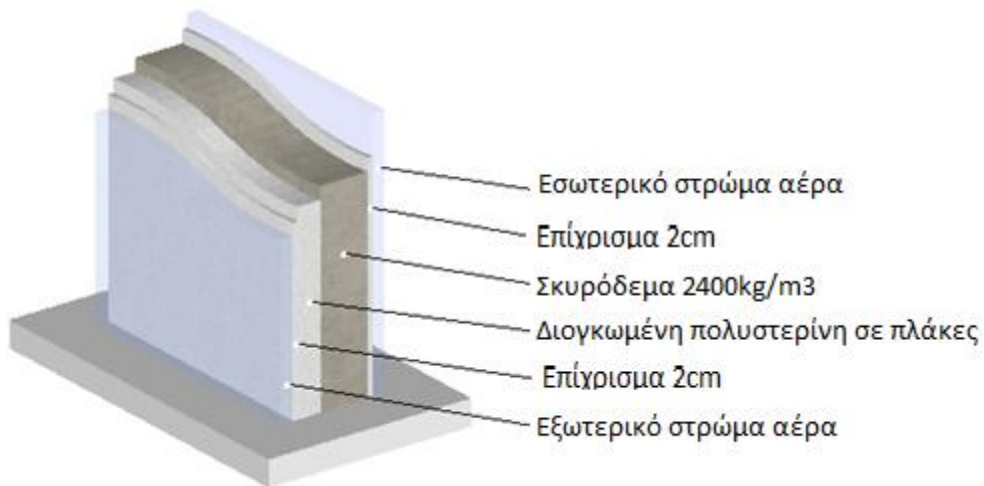
Στρώσεις δομικού στοιχείου (από έξω προς τα μέσα)							
A/A	Κωδικός	Περιγραφή	Θερμοχωρητικότητα (cp) (kJ/(kg·K))	Πυκνότητα (ρ) (kg/m³)	Πάχος L (m)	Αγωγιμότητα (λ) (W/(m·K))	Θερμική αντίσταση R=L/λ ((m²·K)/W)
1	A001	Εξωτερικό στρώμα αέρα			0,000		0,040
2	A301-20	Επίχρισμα 2cm		1.800,0	0,020	0,870	0,023
3	6.3.3.2	Διογκωμένη πολυστερίνη σε πλάκες	1,500	35,0	0,080	0,038	2,105
4	1.7.2.2.A	Όπτοπλινθοδομή με διάτρητες οπτοπλίνθους	1,000	1.200,0	0,190	0,450	0,422
5	A301-20	Επίχρισμα 2cm		1.800,0	0,020	0,870	0,023
6	A002	Εσωτερικό στρώμα αέρα			0,000		0,130
*							
U=0,365 W/(m²·K)			T=0,310 m		W=302,8 kg/m³		



Σχήμα 7.27: Επιλογή εξωτερικής τοιχοποιίας με διογκωμένη πολυστερίνη (ανάλυση: διαστάσεις, συντελεστής θερμοπερατότητας/ σχηματική απεικόνιση)

Για τον φέρον οργανισμό το απαιτούμενο πάχος της θερμομονωτικής στρώσης είναι $L = 0,09 \text{ m}$.

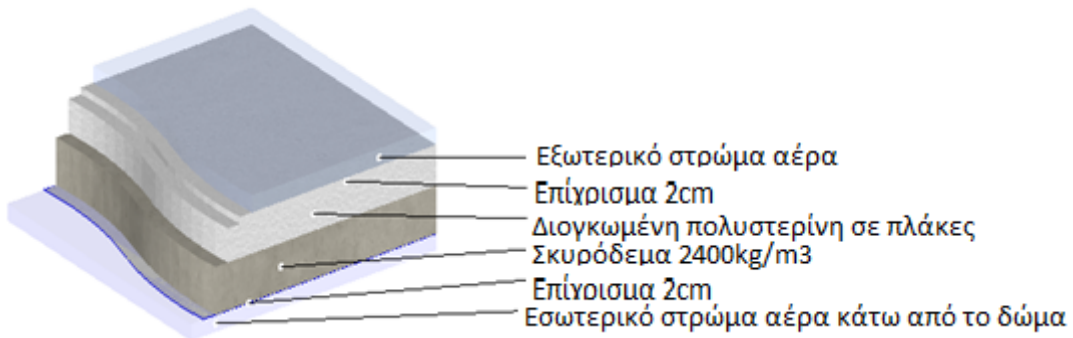
Στρώσεις δομικού στοιχείου (από έξω προς τα μέσα)								
A/A	Κωδικός	Περιγραφή	Θερμοχωρητικότητα (cp) (kJ/(kg·K))	Πυκνότητα (ρ) (kg/m³)	Πάχος L (m)	Αγωγιμότητα (λ) (W/(m·K))	Θερμική αντίσταση R=L/λ ((m²·K)/W)	
1	A001	Εξωτερικό στρώμα αέρα			0,000		0,040	
2	A301-20	Επίχρισμα 2cm		1.800,0	0,020	0,870	0,023	
3	6.3.3.2	Διογκωμένη πολυστερίνη σε πλ...	1,500	35,0	0,090	0,038	2,368	
4	C102	Σκυρόδεμα 2400 kg/m³		2.400,0	0,190	2,204	0,086	
5	A301-20	Επίχρισμα 2cm		1.800,0	0,020	0,870	0,023	
6	A002	Εσωτερικό στρώμα αέρα			0,000		0,130	
U=0,374 W/(m²·K)			T=0,320 m			W=531,15 kg/m²		



Σχήμα 7.28: Επιλογή φέροντος οργανισμού με διογκωμένη πολυστερίνη. (ανάλυση: διαστάσεις, συντελεστής θερμοπερατότητας/ σχηματική απεικόνιση)

Οι εσωτερικοί τοίχοι δεν αναφέρονται στην ενότητα αυτή διότι παραμένουν αμόνωτοι. Το απαιτούμενο πάχος της θερμομονωτικής στρώσης της οροφής υπολογίστηκε σε $L = 0,08 \text{ m}$.

Στρώσεις δομικού στοιχείου (από μέσα προς τα έξω)								
A/A	Κωδικός	Περιγραφή	Θερμοχωρητικότητα (cp) (kJ/(kg·K))	Πυκνότητα (ρ) (kg/m³)	Πάχος L (m)	Αγωγιμότητα (λ) (W/(m·K))	Θερμική αντίσταση R=L/λ ((m²·K)/W)	
1	A004	Εσωτερικό Φίλμ Αέρα σε δάπεδο			0,000		0,170	
2	E101	Πλάκες Μαρμάρινες		3.000,0	0,020	3,480	0,006	
3	A302	Σιμεντοκονία		1.800,0	0,020	1,392	0,014	
4	C302	Γαρμπλοσκυρόδεμα 1700 kg/m³		1.700,0	0,050	0,810	0,062	
5	C131	Κυμελομπετόν 400 Kg/m³		400,0	0,100	0,232	0,431	
6	C102	Σκυρόδεμα 2400 kg/m³		2.400,0	0,150	2,204	0,068	
7	6.3.3.2	Διογκωμένη πολυστερίνη σε πλ...	1,500	35,0	0,080	0,038	2,105	
8	A301-20	Επίχρισμα 2cm		1.800,0	0,020	0,870	0,023	
9	A0	Εξωτερικό στρώμα αέρα			0,000		0,040	
U=0,343 W/(m²·K)			T=0,440 m			W=619,8 kg/m²		



Σχήμα 7.29: Επιλογή οροφής με διογκωμένη πολυστερίνη. (ανάλυση: διαστάσεις, συντελεστής θερμοπερατότητας/ σχηματική απεικόνιση)

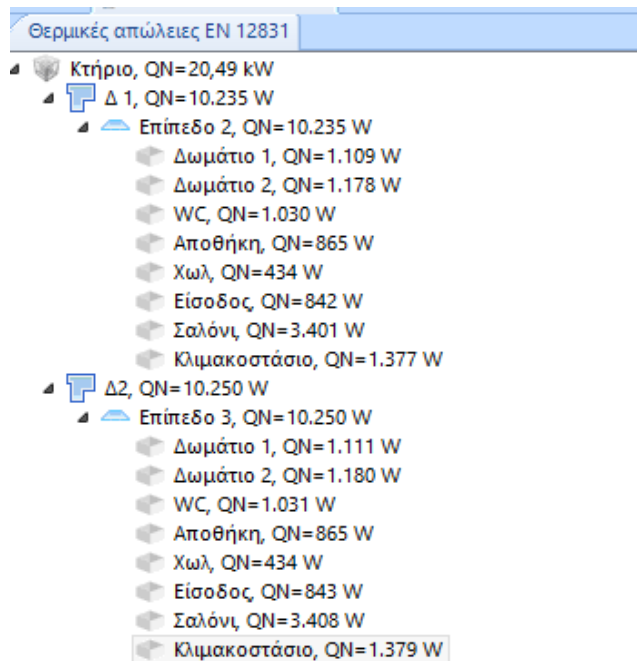
Ομοίως για την θερμομονωτική στρώση του δαπέδου ισχύει $L = 0,10 \text{ m}$.

Στρώσεις δομικού στοιχείου (από μέσα προς τα έξω)								
A/A	Κωδικός	Περιγραφή	Θερμχωρητικότητα (cp) (kJ/(kg·K))	Πυκνότητα (ρ) (kg/m³)	Πάχος L (m)	Αγωγιμότητα (λ) (W/(m·K))		Θερμική αντίσταση R=L/λ (m²·K/W)
1	A004	Εσωτερικό Φίλμ Αέρα σε δάπεδο			0,000			0,170
2	E101	Πλάκες Μαρμάρινες		3,000,0	0,020	3,480		0,006
3	A302	Σιμεντοκονία		1,800,0	0,020	1,392		0,014
4	C302	Γαρμπιλοσκυρόδεμα 1700 kg/m³		1,700,0	0,050	0,810		0,062
5	C131	Κυψελομετετόν 400 Kg/m³		400,0	0,100	0,232		0,431
6	C102	Σκυρόδεμα 2400 kg/m³		2,400,0	0,150	2,204		0,068
7	6.3.3.2	Διογκωμένη πολυστερίνη σε πλ...	1,500	35,0	0,080	0,038		2,105
8	A301-20	Επίχρισμα 2cm		1,800,0	0,020	0,870		0,023
9	A0	Εξωτερικό στρώμα αέρα			0,000			0,040
U=0,343 W/(m²·K)			T=0,440 m			W=619,8 kg/m²		



Σχήμα 7.30: Επιλογή δαπέδου τύπου PILOTIS με διογκωμένη πολυστερίνη. (ανάλυση: διαστάσεις, συντελεστής θερμοπερατότητας/ σχηματική απεικόνιση)

Με χρήση των δομικών στοιχείων που αναφέρθηκαν και ορίζοντας τους ίδιους συντελεστές για όλη την κατασκευή σύμφωνα με όσα αναλύθηκαν στην ενότητα 7.4 υπολογίζονται οι συνολικές απώλειες της κατασκευής με εφαρμογή θερμομονωτικής στρώσης διογκωμένης πολυστερίνης. Οι συνολικές απώλειες ανέρχονται στα $Q = 20,49 \text{ KW}$. Είναι προφανές ότι με την εφαρμογή αυτήν οι απώλειες μειώνονται αισθητά στο 47,28% σε σχέση με το αμόνωτο κτήριο.



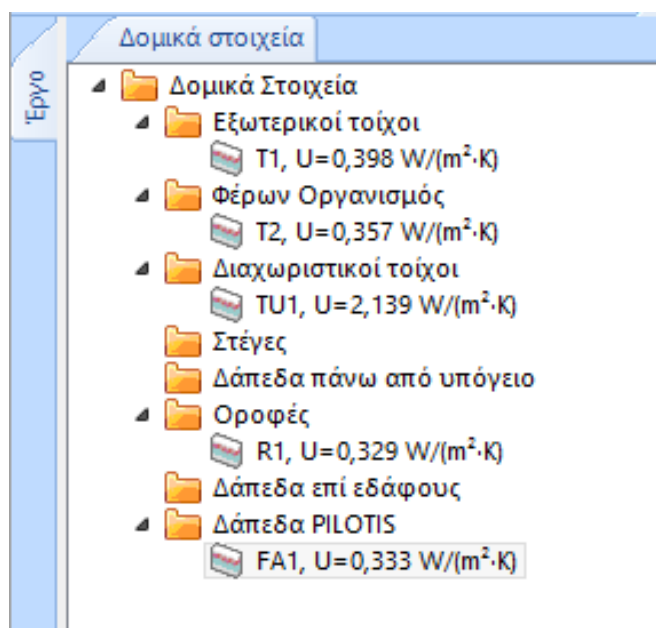
Σχήμα 7.31: Υπολογισμός συνολικών απωλειών μετά την εφαρμογή διογκωμένης πολυστερίνης στο κτήριο

7.5.2 Εφαρμογή γραφιτούχας διογκωμένης πολυστερίνης

Με τον ίδιο ακριβώς τρόπο για την γραφιτούχα διογκωμένη πολυστερίνη λαμβάνεται $\lambda = 0,030 - 0,032 \frac{W}{m} \cdot K$ από τον Πίνακα 2 της ΤΟΤΕΕ20701-2/2010. Τα απαιτούμενα πάχη θερμομονωτικής στρώσης για την ικανοποίηση της συνθήκης είναι :

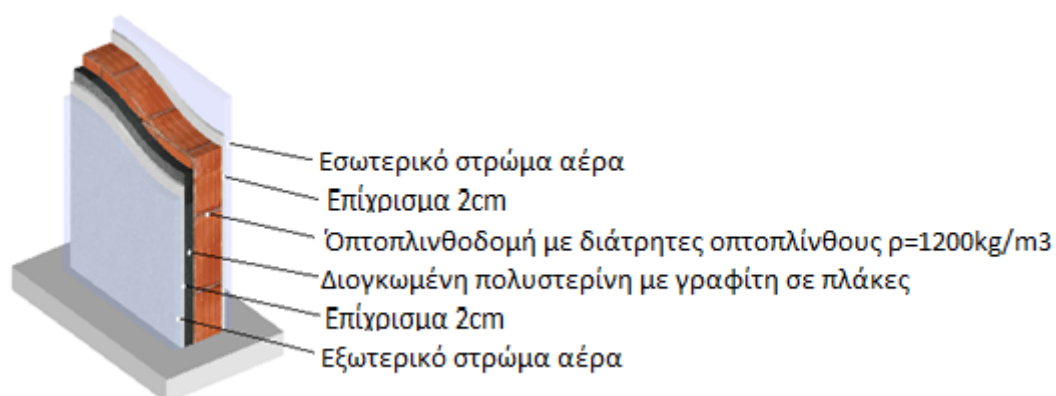
- $L = 0,06 \text{ m}$ για την εξωτερική τοιχοποιία
- $L = 0,08 \text{ m}$ για τον φέρον οργανισμό
- $L = 0,09 \text{ m}$ για την οροφή
- $L = 0,07 \text{ m}$ για το δάπεδο

Όλα τα παραπάνω μαζί με την σχηματική απεικόνιση των δομικών στοιχείων αναλύονται στα σχήματα που ακολουθούν.



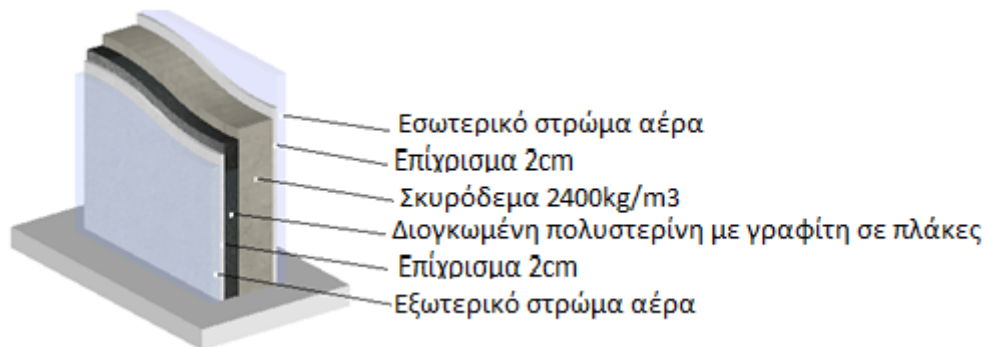
Σχήμα 7.32: Δομικά στοιχεία που απαρτίζουν την κατασκευή με γραφιτούχα διογκωμένη πολυστερίνη.

A/A		Κωδικός	Περιγραφή	Θερμοχωρητικότητα (cp) (kJ/kg·K)	Πυκνότητα (ρ) (kg/m³)	Πάχος L (m)	Αγωγιμότητα (λ) (W/m·K)	Θερμική αντίσταση R=L/λ ((m²·K)/W)
1	A001		Εξωτερικό στρώμα αέρα			0,000		0,040
2	A301-20		Επίχρισμα 2cm		1.800,0	0,020	0.870	0,023
3	6.3.3.3		Διογκωμένη πολυστερίνη με γρα...	1.550	35,0	0,060	0,032	1,875
4	1.7.2.2.A		Όπτοπλινθοδομή με διάτρητες...	1.000	1.200,0	0,190	0.450	0,422
5	A301-20		Επίχρισμα 2cm		1.800,0	0,020	0.870	0,023
6	A002		Εσωτερικό στρώμα αέρα			0,000		0,130
*								
		U=0,398 W/(m²·K)	T=0,290 m	W=302,1 kg/m²				



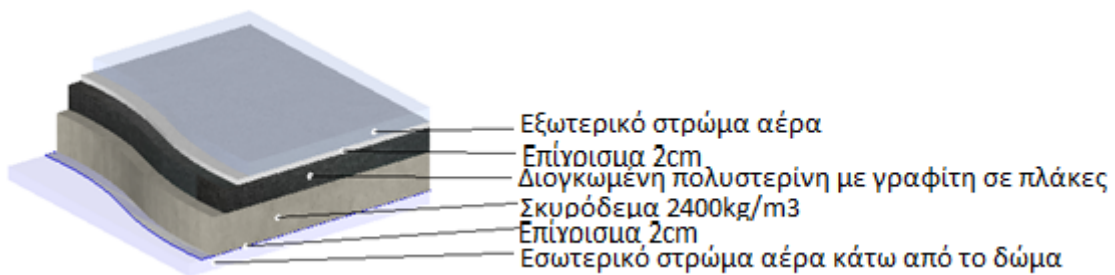
Σχήμα 7.33: Επιλογή εξωτερικής τοιχοποιίας με γραφιτούχα διογκωμένη πολυστερίνη. (ανάλυση: διαστάσεις, συντελεστής θερμοπερατότητας/ σχηματική απεικόνιση)

Στρώσεις δομικού στοιχείου (από έξω προς τα μέσα)								
A/A	Κωδικός	Περιγραφή	Θερμοχωρητικότητα (cp) (kJ/(kg·K))	Πυκνότητα (ρ) (kg/m³)	Πάχος L (m)	Αγωγιμότητα (λ) (W/(m·K))	Θερμική αντίσταση R=L/λ ((m²·K)/W)	
1	A001	Εξωτερικό στρώμα αέρα				0,000		0,040
2	A301-20	Επίχρισμα 2cm		1,800,0	0,020	0,870		0,023
3	6.3.3.3	Διογκωμένη πολυστερίνη με γρα...	1,550	35,0	0,080	0,032		2,500
4	C102	Σκυρόδεμα 2400 kg/m³		2,400,0	0,190	2,204		0,086
5	A301-20	Επίχρισμα 2cm		1,800,0	0,020	0,870		0,023
6	A002	Εσωτερικό στρώμα αέρα				0,000		0,130
U=0,357 W/(m²·K)			T=0,310 m			W=530,8 kg/m²		



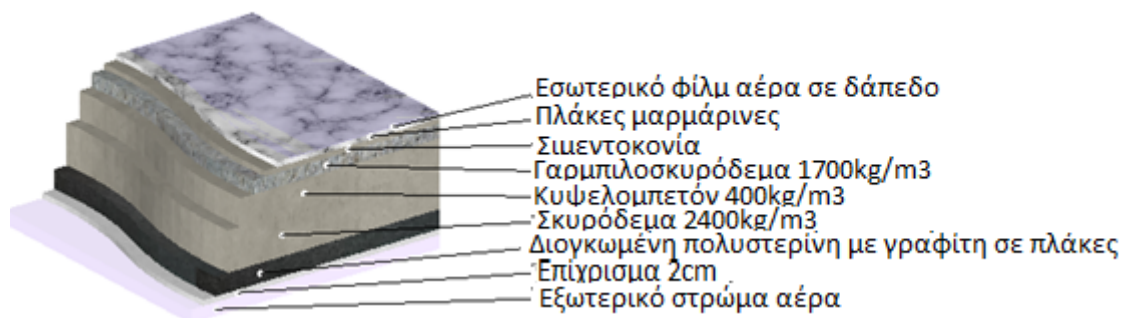
Σχήμα 7.34: Επιλογή φέροντος οργανισμού με γραφιτούχα διογκωμένη πολυστερίνη. (ανάλυση: διαστάσεις, συντελεστής θερμοπερατότητας/ σχηματική απεικόνιση)

Στρώσεις δομικού στοιχείου (από έξω προς τα μέσα)								
A/A	Κωδικός	Περιγραφή	Θερμοχωρητικότητα (cp) (kJ/(kg·K))	Πυκνότητα (ρ) (kg/m³)	Πάχος L (m)	Αγωγιμότητα (λ) (W/(m·K))	Θερμική αντίσταση R=L/λ ((m²·K)/W)	
1	A001	Εξωτερικό στρώμα αέρα				0,000		0,040
2	A301-20	Επίχρισμα 2cm		1,800,0	0,020	0,870		0,023
3	6.3.3.3	Διογκωμένη πολυστερίνη με γρα...	1,550	35,0	0,090	0,032		2,813
4	C102	Σκυρόδεμα 2400 kg/m³		2,400,0	0,140	2,204		0,064
5	A301-20	Επίχρισμα 2cm		1,800,0	0,000	0,870		0,000
6	E0	Εσωτερικό στρώμα αέρα κάτω...				0,000		0,100
U=0,329 W/(m²·K)			T=0,250 m			W=375,15 kg/m²		



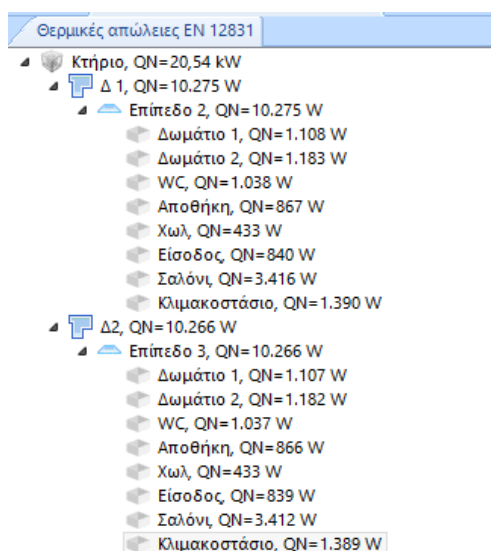
Σχήμα 7.35: Επιλογή οροφής με γραφιτούχα διογκωμένη πολυστερίνη. (ανάλυση: διαστάσεις, συντελεστής θερμοπερατότητας/ σχηματική απεικόνιση)

Στρώσεις δομικού στοιχείου (από μέσα προς τα έξω)								
A/A	Κωδικός	Περιγραφή	Θερμοχωρητικότητα (cp) (kJ/(kg·K))	Πυκνότητα (ρ) (kg/m ³)	Πάχος L (m)	Αγωγιμότητα (λ) (W/(m·K))	Θερμική αντίσταση R=L/λ (m ² ·K/W)	
1	A004	Εσωτερικό Φίλμ Αέρα σε δάπεδο			0,000			0,170
2	E101	Πλάκες Μαρμάρινες		3.000,0	0,020	3.480		0,006
3	A302	Σιμεντοκονία		1.800,0	0,020	1.392		0,014
4	C302	Γαυμπλοσκυρόδεμα 1700 kg/m ³		1.700,0	0,050	0.810		0,062
5	C131	Κυψελομετόν 400 Kg/m ³		400,0	0,100	0.232		0,431
6	C102	Σκυρόδεμα 2400 kg/m ³		2.400,0	0,150	2.204		0,068
7	6.3.3.3	Διογκωμένη πολυστερίνη με γρα...	1.550	35,0	0,070	0.032		2,188
8	A301-20	Επίχρισμα 2cm		1.800,0	0,020	0.870		0,023
9	A0	Εξωτερικό στρώμα αέρα			0,000			0,040
*			U=0,333 W/(m ² ·K)			T=0,430 m		W=619,45 kg/m ²



Σχήμα 7.36: Επιλογή δαπέδου τύπου PILOTIS με γραφитоύχα διογκωμένη πολυστερίνη. (ανάλυση: διαστάσεις, συντελεστής θερμοπερατότητας/ σχηματική απεικόνιση)

Οι συνολικές απώλειες του κτηρίου υπολογίστηκαν ίσες με $Q = 20,54KW$, η τιμή αυτή έχει αμελητέα διαφορά από τις απώλειες ($Q = 20,49KW$) που προκύπτουν με την εφαρμογή της στρώσης από διογκωμένη πολυστερίνη στο κτήριο και ίση με $Q = 0,05KW$. Η μικρή διαφορά είναι αναμενόμενη λόγω της ελάχιστης διαφοράς που έχουν στον συντελεστή θερμικής αγωγιμότητάς τους $\lambda = 0,032 \frac{W}{m} \cdot K$ για την γραφитоύχα και $\lambda = 0,038 \frac{W}{m} \cdot K$ για την απλή. Ενδιαφέρον προκαλεί το γεγονός ότι η γραφитоύχα διογκωμένη πολυστερίνη παρά του μικρότερου συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας που έχει που σημαίνει καλύτερο θερμομονωτικό υλικό εμφανίζει περισσότερες απώλειες από την απλή. Αυτό οφείλεται γεγονός ότι για τον υπολογισμό των απωλειών λαμβάνεται υπόψη ο συντελεστής U των υλικών (σύμφωνα με τις σχέσεις που παρουσιάστηκαν στην ενότητα 7.4.5) και όχι ο συντελεστής λ .



Σχήμα 7.37: Υπολογισμός συνολικών απωλειών μετά την εφαρμογή της γραφитоύχας διογκωμένης πολυστερίνης στο κτήριο

Παρατηρώντας τα U των δομικών υλικών των δύο κατασκευών διαπιστώνεται ότι μόνο για την εξωτερική τοιχοποιία το U της γραφитоύχας διογκωμένης πολυστερίνης είναι μεγαλύτερο από αυτό της απλής.

Αυτό συμβαίνει διότι, για τον υπολογισμό του U λαμβάνεται υπόψη το $R_{o\lambda}$ το οποίο είναι το άθροισμα των επιμέρους θερμικών αντιστάσεων των υλικών. Ισχύει:

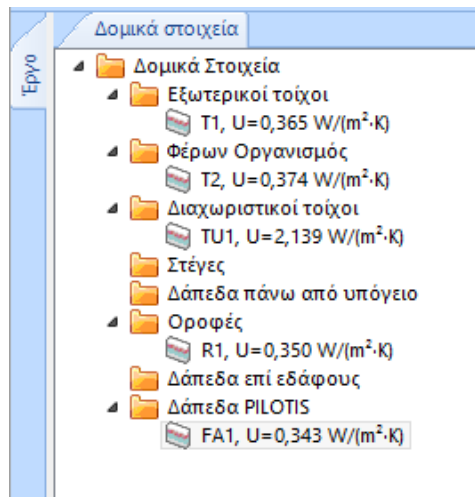
$$U = \frac{1}{R_{o\lambda}} \left[\frac{W}{m^2} \cdot K \right] \quad [4.1]$$

Για την θερμομονωτική στρώση το R προκύπτει από το πηλίκο του λ με το πάχος του υλικού. Η γραφитоύχα διογκωμένη πολυστερίνη έχει μικρότερο λ και μικρότερο d από την απλή άρα και μικρότερο R . Αθροίζοντας τα επιμέρους R η γραφитоύχα διογκωμένη πολυστερίνη έχει μικρότερο R επειδή όμως ο συντελεστής θερμοπερατότητας είναι το αντίστροφο της θερμικής αντίστασης το U της εξωτερικής τοιχοποιίας για την γραφитоύχα διογκωμένη πολυστερίνη προκύπτει μεγαλύτερο.

Η μεταβολή αυτή παρατηρείται μόνο για τους εξωτερικούς τοίχους λόγο του μικρότερου πάχους της θερμομονωτικής στρώσης. Έτσι στα δωμάτια που απαρτίζονται από εξωτερικούς τοίχους με μεγάλη καθαρή επιφάνεια οι απώλειες είναι απειροελάχιστα μεγαλύτερες.

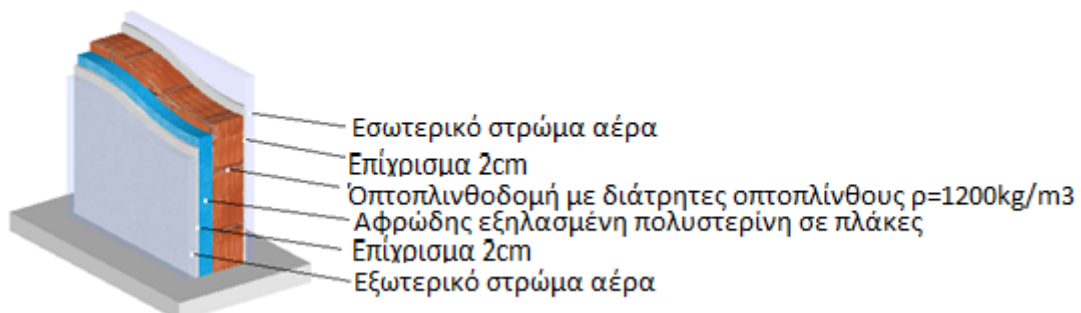
7.5.3 Εφαρμογή αφρώδους εξηλασμένης πολυστερίνης

Για την αφρώδη εξηλασμένη πολυστερίνη από τον Πίνακα 2 ενότητα 6 της ΤΟΤΕΕ20701-2/2010 παρατηρείται ότι ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητάς της λ λαμβάνεται ίδιος με αυτόν της διογκωμένης πολυστερίνης δηλαδή $\lambda = 0,038 \frac{W}{m} \cdot K$. Άμεσο συμπέρασμα είναι ότι τόσο τα πάχη όσο και οι απώλειες θα πρέπει να είναι ακριβώς ίδιες με αυτές της διογκωμένης πολυστερίνης το οποίο παρατηρώντας τα σχήματα που ακολουθούν διαπιστώνεται ότι αληθεύει.



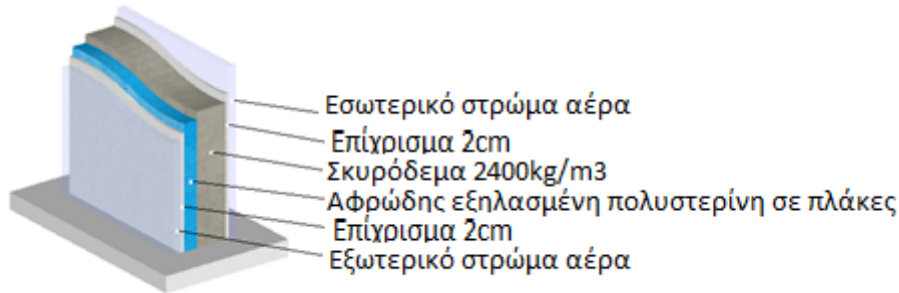
Σχήμα 7.38: Δομικά στοιχεία που απαρτίζουν την κατασκευή με αφρώδη εξηλασμένη πολυστερίνη

A/A		Κωδικός	Περιγραφή	Θερμχωρητικότητα (cp) (kJ/(kg·K))	Πυκνότητα (ρ) (kg/m³)	Πάχος L (m)	Αγωγιμότητα (λ) (W/(m·K))	Θερμική αντίσταση R=λ·L (m²·K/W)
1	A001		Εξωτερικό στρώμα αέρα			0,000		0,040
2	A301-20		Επίχρισμα 2cm		1.800,0	0,020	0,870	0,023
3	6.3.4.1		Αφρώδης εξηλασμένη πολυστε...	1.450	40,0	0,080	0,036	2,105
4	1.7.2.2.A		Όπτοπλινθοδομή με διάτρητες ο...	1.000	1.200,0	0,190	0,450	0,422
5	A301-20		Επίχρισμα 2cm		1.800,0	0,020	0,870	0,023
6	A002		Εσωτερικό στρώμα αέρα			0,000		0,130
U=0,365 W/(m²·K)				T=0,310 m		W=303,2 kg/m²		



Σχήμα 7.39: Επιλογή εξωτερικής τοιχοποιίας με αφρώδη εξηλασμένη πολυστερίνη. (ανάλυση: διαστάσεις, συντελεστής θερμοπερατότητας/ σχηματική απεικόνιση)

A/A	Κωδικός	Περιγραφή	Θερμοχωρητικότητα (cp) (kJ/(kg·K))	Πυκνότητα (ρ) (kg/m ³)	Πάχος L (m)	Αγωγιμότητα (λ) (W/(m·K))	Θερμική αντίσταση R=L/λ ((m ² ·K)/W)
1	A001	Εξωτερικό στρώμα αέρα			0,000		0,040
2	A301-20	Επίχρισμα 2cm		1,800,0	0,020	0,870	0,023
3	6.3.4.1	Αφρώδης εξηλασμένη πολυστε...	1,450	40,0	0,090	0,038	2,368
4	C102	Σκυρόδεμα 2400 kg/m ³		2,400,0	0,190	2,204	0,086
5	A301-20	Επίχρισμα 2cm		1,800,0	0,020	0,870	0,023
6	A002	Εσωτερικό στρώμα αέρα			0,000		0,130
U=0,374 W/(m ² ·K)			T=0,320 m			W=531,6 kg/m ²	



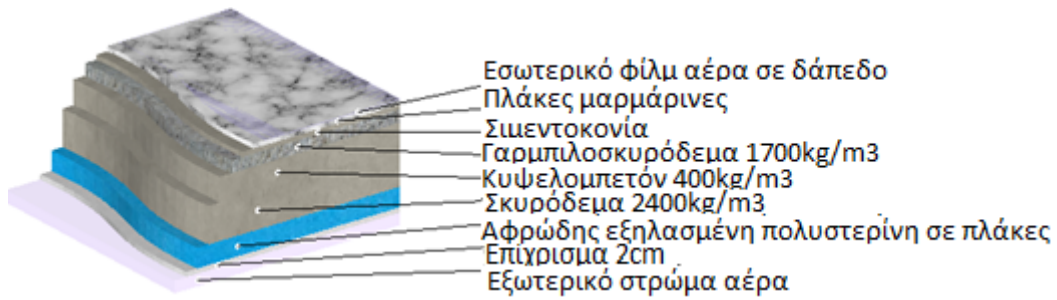
Σχήμα 7.40: Επιλογή φέροντος οργανισμού με αφρώδη εξηλασμένη πολυστερίνη. (ανάλυση: διαστάσεις, συντελεστής θερμοπερατότητας/ σχηματική απεικόνιση)

A/A	Κωδικός	Περιγραφή	Θερμοχωρητικότητα (cp) (kJ/(kg·K))	Πυκνότητα (ρ) (kg/m ³)	Πάχος L (m)	Αγωγιμότητα (λ) (W/(m·K))	Θερμική αντίσταση R=L/λ ((m ² ·K)/W)
1	A001	Εξωτερικό στρώμα αέρα			0,000		0,040
2	A301-20	Επίχρισμα 2cm		1,800,0	0,020	0,870	0,023
3	6.3.4.1	Αφρώδης εξηλασμένη πολυστε...	1,450	40,0	0,100	0,038	2,632
4	C102	Σκυρόδεμα 2400 kg/m ³		2,400,0	0,140	2,204	0,064
5	A301-20	Επίχρισμα 2cm		1,800,0	0,000	0,870	0,000
6	E0	Εσωτερικό στρώμα αέρα κάτω...			0,000		0,100
U=0,350 W/(m ² ·K)			T=0,260 m			W=376 kg/m ²	

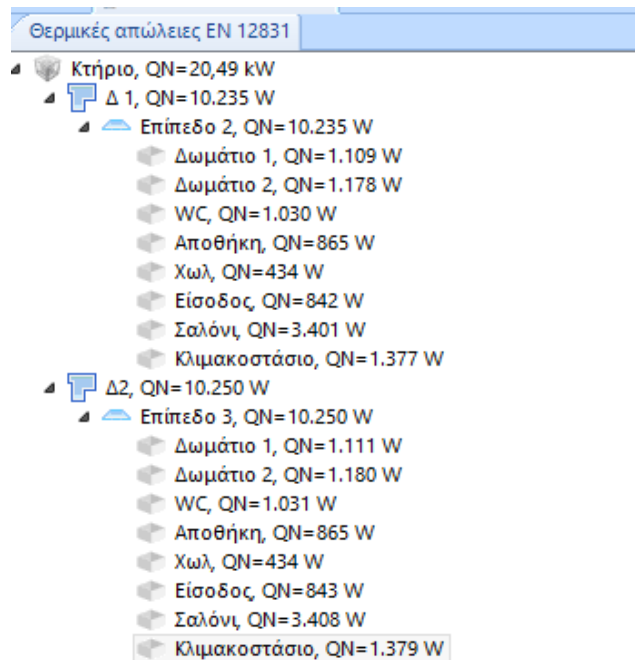


Σχήμα 7.41: Επιλογή οροφής με αφρώδη εξηλασμένη πολυστερίνη. (ανάλυση: διαστάσεις, συντελεστής θερμοπερατότητας/ σχηματική απεικόνιση)

A/A	Κωδικός	Περιγραφή	Θερμοχωρητικότητα (cp) (kJ/(kg·K))	Πυκνότητα (ρ) (kg/m ³)	Πάχος L (m)	Αγωγιμότητα (λ) (W/(m·K))	Θερμική αντίσταση R=L/λ ((m ² ·K)/W)
1	A004	Εσωτερικό Φύλλο Αέρα σε δάπεδο			0,000		0,170
2	E101	Πλάκες Μαρμάρινες		3,000,0	0,020	3,480	0,006
3	A302	Σιμεντοκονία		1,800,0	0,020	1,392	0,014
4	C302	Γαρμυλοσκυρόδεμα 1700 kg/m ³		1,700,0	0,050	0,810	0,062
5	C131	Κυμειομετρώ 400 Kg/m ³		400,0	0,100	0,232	0,431
6	C102	Σκυρόδεμα 2400 kg/m ³		2,400,0	0,150	2,204	0,068
7	6.3.4.1	Αφρώδης εξηλασμένη πολυστε...	1,450	40,0	0,080	0,038	2,105
8	A301-20	Επίχρισμα 2cm		1,800,0	0,020	0,870	0,023
9	A0	Εξωτερικό στρώμα αέρα			0,000		0,040
U=0,343 W/(m ² ·K)			T=0,440 m			W=620,2 kg/m ²	



Σχήμα 7.42: Επιλογή δαπέδου τύπου PILOTIS με αφρώδη εξηλασμένη πολυστερίνη. (ανάλυση: διαστάσεις, συντελεστής θερμοπερατότητας/ σχηματική απεικόνιση)



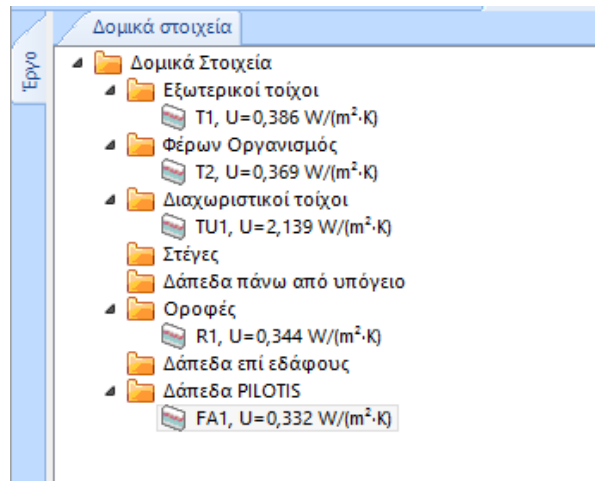
Σχήμα 7.43: Υπολογισμός συνολικών απωλειών μετά την εφαρμογή της αφρώδους εξηλασμένης πολυστερίνης στο κτήριο

7.5.4 Εφαρμογή πετροβάμβακα

Για τον πετροβάμβακα λαμβάνεται $\lambda = 0,041 \frac{W}{m} \cdot K$. Τα απαιτούμενα πάχη θερμομονωτικής στρώσης υπολογίστηκαν ίσα με:

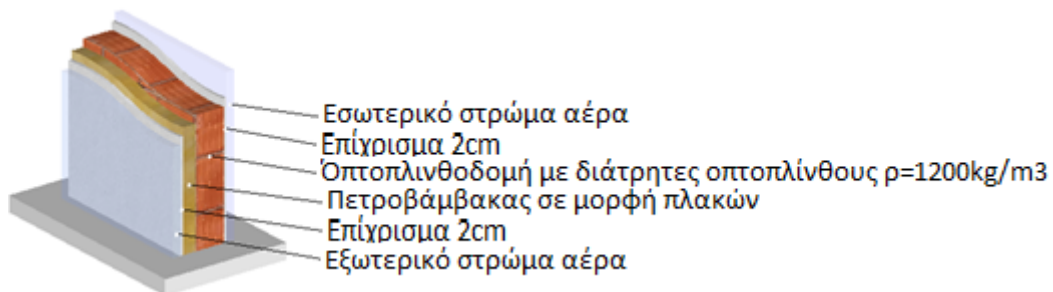
- $L = 0,08 \text{ m}$ για την εξωτερική τοιχοποιία
- $L = 0,1 \text{ m}$ για τον φέρον οργανισμό
- $L = 0,11 \text{ m}$ για την οροφή
- $L = 0,09 \text{ m}$ για το δάπεδο

Όλα τα παραπάνω μαζί με την σχηματική απεικόνιση των δομικών στοιχείων αναλύονται στα σχήματα που ακολουθούν.



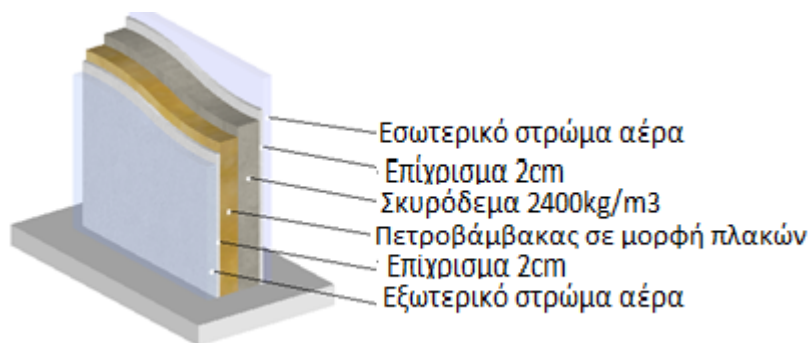
Σχήμα 7.44: Δομικά στοιχεία που απαρτίζουν την κατασκευή με πετροβάμβακα.

Εργο		Στρώσεις δομικού στοιχείου (από έξω προς τα μέσα)						
A/A	Κωδικός	Περιγραφή	Θερμοχωρητικότητα (cp) (kJ/(kg·K))	Πυκνότητα (ρ) (kg/m³)	Πάχος L (m)	Αγωγιμότητα (λ) (W/(m·K))	Θερμική αντίσταση R=L/λ ((m²·K)/W)	
1	A001	Εξωτερικό στρώμα αέρα				0,000	0,040	
2	A301-20	Επίχρισμα 2cm		1.800,0	0,020	0,870	0,023	
3	6.1.2.2	Πετροβάμβακας σε μορφή πλα...	0,840	180,0	0,080	0,041	1,951	
4	1.7.2.2.A	Όπτοπλινθοδομή με διάτρητες ρ...	1,000	1.200,0	0,190	0,450	0,422	
5	A301-20	Επίχρισμα 2cm		1.800,0	0,020	0,870	0,023	
6	A002	Εσωτερικό στρώμα αέρα				0,000	0,130	
Σύνολο								
U=0,386 W/(m²·K)			T=0,310 m		W=314,4 kg/m²			



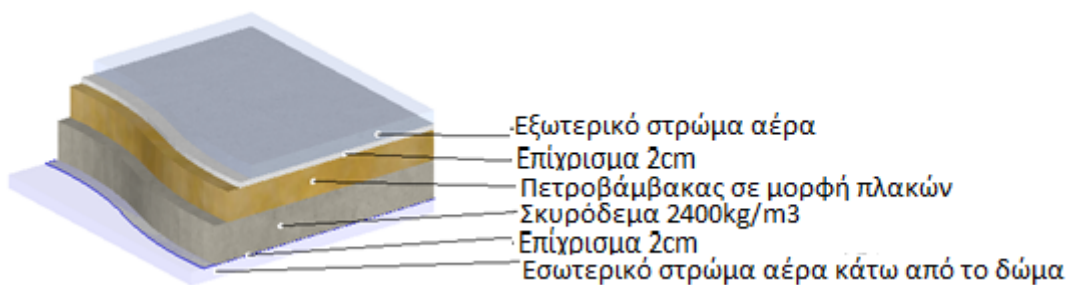
Σχήμα 7.45: Επιλογή εξωτερικής τοιχοποιίας με πετροβάμβακα. (ανάλυση: διαστάσεις, συντελεστής θερμοπερατότητας/ σχηματική απεικόνιση)

Εργο		Στρώσεις δομικού στοιχείου (από έξω προς τα μέσα)						
A/A	Κωδικός	Περιγραφή	Θερμοχωρητικότητα (cp) (kJ/(kg·K))	Πυκνότητα (ρ) (kg/m³)	Πάχος L (m)	Αγωγιμότητα (λ) (W/(m·K))	Θερμική αντίσταση R=L/λ ((m²·K)/W)	
1	A001	Εξωτερικό στρώμα αέρα				0,000	0,040	
2	A301-20	Επίχρισμα 2cm		1.800,0	0,020	0,870	0,023	
3	6.1.2.2	Πετροβάμβακας σε μορφή πλα...	0,840	180,0	0,100	0,041	2,439	
4	C102	Σκυρόδεμα 2400 kg/m³		2.400,0	0,120	2,204	0,054	
5	A301-20	Επίχρισμα 2cm		1.800,0	0,020	0,870	0,023	
6	A002	Εσωτερικό στρώμα αέρα				0,000	0,130	
Σύνολο								
U=0,369 W/(m²·K)			T=0,260 m		W=378 kg/m²			



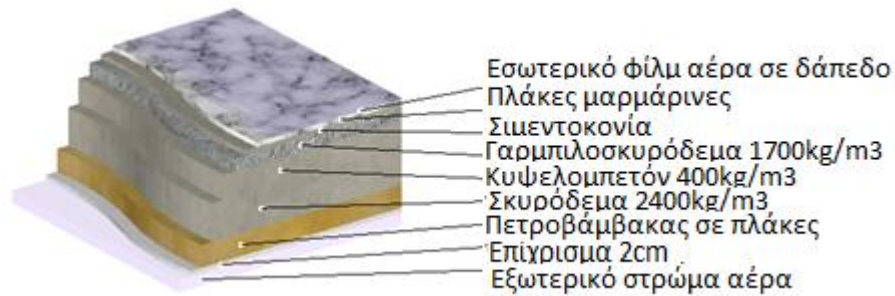
Σχήμα 7.46: Επιλογή φέροντος οργανισμού με πετροβάμβακα. (ανάλυση: διαστάσεις, συντελεστής θερμοπερατότητας/ σχηματική απεικόνιση)

Εργό		Στρώσεις δομικού στοιχείου (από έξω προς τα μέσα)						
A/A	Κωδικός	Περιγραφή	Θερμοχωρητικότητα (cp) (kJ/(kg·K))	Πυκνότητα (ρ) (kg/m ³)	Πάχος L (m)	Αγωγιμότητα (λ) (W/(m·K))	Θερμική αντίσταση R=L/λ (m ² ·K/W)	
1	A001	Εξωτερικό στρώμα αέρα			0,000		0,040	
2	A301-20	Επίχρισμα 2cm		1.800,0	0,020	0,870	0,023	
3	6.1.2.2	Πετροβάμβακας σε μορφή πλα...	0,840	180,0	0,110	0,041	2,683	
4	C102	Σκυρόδεμα 2400 kg/m ³		2.400,0	0,140	2,204	0,064	
5	A301-20	Επίχρισμα 2cm		1.800,0	0,000	0,870	0,000	
6	E0	Εσωτερικό στρώμα αέρα κάτω...			0,000		0,100	
* U=0,344 W/(m ² ·K)			T=0,270 m		W=391,8 kg/m ²			



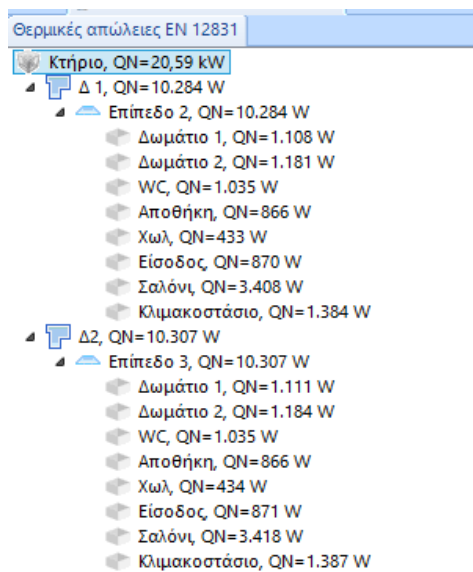
Σχήμα 7.47: Επιλογή οροφής με πετροβάμβακα. (ανάλυση: διαστάσεις, συντελεστής θερμοπερατότητας/ σχηματική απεικόνιση)

Εργό		Στρώσεις δομικού στοιχείου (από μέσα προς τα έξω)						
A/A	Κωδικός	Περιγραφή	Θερμοχωρητικότητα (cp) (kJ/(kg·K))	Πυκνότητα (ρ) (kg/m ³)	Πάχος L (m)	Αγωγιμότητα (λ) (W/(m·K))	Θερμική αντίσταση R=L/λ (m ² ·K/W)	
1	A004	Εσωτερικό Φύλο Αέρα σε δάπεδο			0,000		0,170	
2	E101	Πλάκες Μαρμάρινες		3.000,0	0,020	3,480	0,006	
3	A302	Σιμεντοκονία		1.800,0	0,020	1,392	0,014	
4	C302	Γαρμυλοσκυρόδεμα 1700 kg/m ³		1.700,0	0,050	0,810	0,062	
5	C131	Κυμειομπετόν 400 Kg/m ³		400,0	0,100	0,232	0,431	
6	C102	Σκυρόδεμα 2400 kg/m ³		2.400,0	0,150	2,204	0,068	
7	6.1.2.2	Πετροβάμβακας σε μορφή πλα...	0,840	180,0	0,090	0,041	2,195	
8	A301-20	Επίχρισμα 2cm		1.800,0	0,020	0,870	0,023	
9	A0	Εξωτερικό στρώμα αέρα			0,000		0,040	
U=0,332 W/(m ² ·K)			T=0,450 m		W=633,2 kg/m ²			



Σχήμα 7.48: Επιλογή δαπέδου τύπου PILOTIS με πετροβάμβακα. (ανάλυση: διαστάσεις, συντελεστής θερμοπερατότητας/ σχηματική απεικόνιση)

Οι απώλειες μετά την εφαρμογή του πετροβάμβακα ανέρχονται στα $Q = 20,59KW$. Η τιμή αυτή είναι αναμενόμενη καθότι ο πετροβάμβακας εμφανίζει τον υψηλότερο συντελεστή λ, άρα και τις περισσότερες απώλειες από τα υπόλοιπα υλικά. Η διαφορά σε σχέση με τα υπόλοιπα θερμομονωτικά υλικά είναι επίσης αμελητέα συγκεκριμένα $Q = 0,05KW$ με την γραφιτούχα διογκωμένη πολυστερίνη και $Q = 0,1KW$ με την διογκωμένη και την αφρώδη εξηλασμένη πολυστερίνη.



Σχήμα 7.49: Υπολογισμός συνολικών απωλειών μετά την εφαρμογή του πετροβάμβακα στο κτήριο

7.6 Αποτελέσματα-Συμπεράσματα

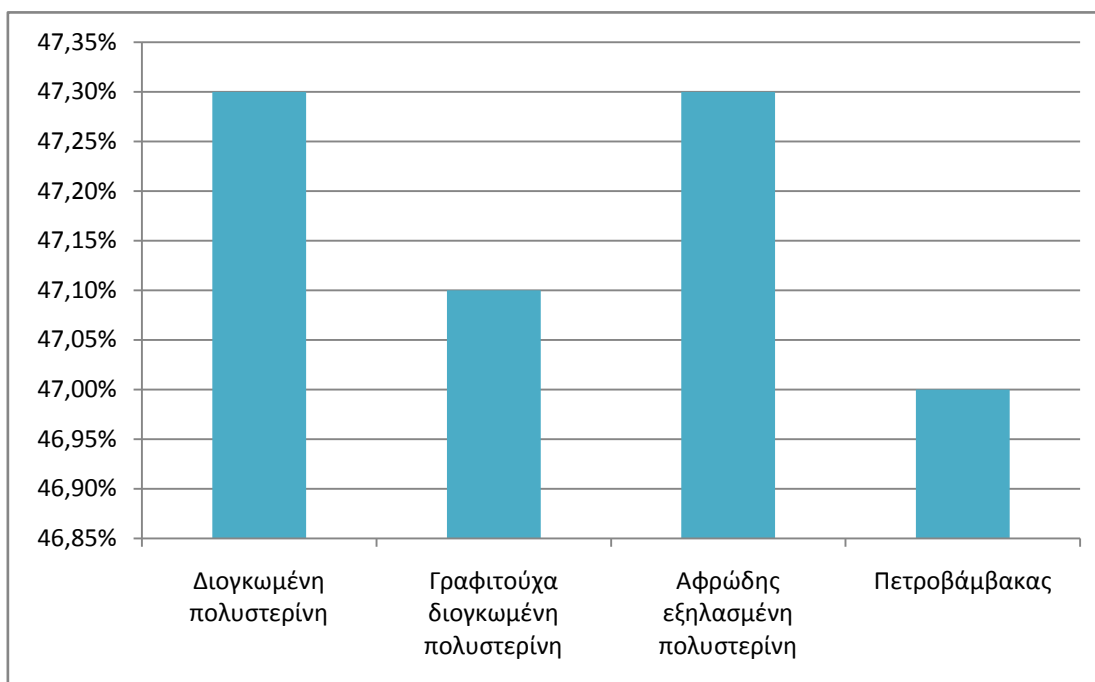
Παρατηρείται ότι τα υλικά που προσδίδουν τις λιγότερες απώλειες είναι η διογκωμένη πολυστερίνη και η αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη, βέβαια οι διαφορές με τα υπόλοιπα υλικά είναι απειροελάχιστες. Σε περίπτωση εφαρμογής θερμομονωτικής στρώσης σε κτήριο η επιλογή θα πρέπει να γίνει με βάση οικονομικούς παράγοντες αφού ενεργειακά τα τέσσερα υλικά δίνουν τα ίδια αποτελέσματα.

Από τις υπολογισμένες απώλειες κάθε δομικού στοιχείου από κάθε δωμάτιο συμπεραίνεται ότι οι περισσότερες οφείλονται στην οροφή των δωματίων του διαμερίσματος Δ2 η οποία είναι εκτεθειμένη στον εξωτερικό αέρα και αντίστοιχα στο δάπεδο τύπου PILOTIS στα δωμάτια του διαμερίσματος Δ1. Παρατηρώντας τις επιμέρους απώλειες των δωματίων και των διαμερισμάτων διαπιστώνεται ότι το διαμέρισμα Δ2 εμφανίζει περισσότερες απώλειες από το Δ1, αυτό οφείλεται στην πλήρως εκτεθειμένη οροφή. Σε περίπτωση εφαρμογής της μόνωσης τμηματικά στο κτήριο και όχι εξολοκλήρου θα πρέπει αρχικά να μονωθεί η οροφή ύστερα το δάπεδο (μόνο αν είναι τύπου pilotis) και στην συνέχεια πρώτα οι βορινοί τοίχοι και έπειτα οι υπόλοιποι. Όπως φαίνεται στον συγκεντρωτικό πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 7.9: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα απωλειών από το κτηριακό κέλυφος για κάθε υλικό

	Διογκωμένη πολυστερίνη (KW)	Γραφитоύχα διογκωμένη πολυστερίνη (KW)	Αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη(KW)	Πετροβάμβακας (KW)	Αμόνωτο (KW)
Δ1	10,236	10,275	10,236	10,285	15,992
Δωμάτιο 1	1,109	1,108	1,109	1,108	1,655
Δωμάτιο 2	1,178	1,183	1,178	1,181	2,13
WC	1,03	1,038	1,03	1,035	1,739
Αποθήκη	0,865	0,867	0,865	0,866	1,028
Χωλ	0,434	0,433	0,434	0,433	0,487
Είσοδος	0,842	0,84	0,842	0,87	1,043
Σαλόνι	3,401	3,416	3,401	3,408	5,609
Κλιμακοστάσιο	1,377	1,39	1,377	1,384	2,301
Δ2	10,251	10,265	10,251	10,306	22,863
Δωμάτιο 1	1,111	1,107	1,111	1,111	2,613
Δωμάτιο 2	1,18	1,182	1,18	1,184	3,055
WC	1,031	1,037	1,031	1,035	2,221
Αποθήκη	0,865	0,866	0,865	0,866	1,263
Χωλ	0,434	0,433	0,434	0,434	0,68
Είσοδος	0,843	0,839	0,843	0,871	1,533
Σαλόνι	3,408	3,412	3,408	3,418	8,451
Κλιμακοστάσιο	1,379	1,389	1,379	1,387	3,047
Σύνολο	20,49	20,54	20,49	20,59	38,86

Τα ποσοστά εξοικονόμησης ενέργειας από την εφαρμογή θερμομονωτικής στρώσης για κάθε υλικό φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα.



Σχήμα 7.50: Ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας από εφαρμογή θερμομονωτικής στρώσης

Στο σημείο αυτό έγινε αναγωγή σε κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας έτσι ώστε να μελετηθεί η συμβολή της θερμομόνωσης στην μείωση της κλιματικής αλλαγής η οποία προκαλείται από τις εκπομπές του CO_2

Στην ζώνη Δ, στην οποία ανήκει το κτήριο μας, οι θερμικές ανάγκες του κτηρίου είναι μεγάλες, λόγω των πολύ χαμηλών θερμοκρασιών που εμφανίζονται κατά την χειμερινή περίοδο, ενώ οι ψυκτικές σχεδόν αμελητέες. Για τον λόγο αυτό θα εξετασθεί μόνο η περίπτωση της θέρμανσης της υπάρχουσας οικίας.

Για την ζώνη Δ η περίοδος θέρμανσης είναι από τις 15/10-30/4, δηλαδή 6,5 μήνες. Υπολογίστηκε ότι το σύστημα θέρμανσης πρέπει να λειτουργεί $6h/d$ για να καλύπτει το θερμικό φορτίο του κτηρίου. Για το μονωμένο κτήριο οι ώρες αυτές θα είναι πολύ λιγότερες, λόγω της διατήρησης της θερμοκρασίας του χώρου μετά την απενεργοποίηση του συστήματος λειτουργίας. Στην συγκεκριμένη περίπτωση όμως, θεωρείται ότι το σύστημα θέρμανσης και του μονωμένου κτηρίου λειτουργεί τις ίδιες ώρες έτσι ώστε να είναι εφικτή η σύγκριση.

Στο υπό μελέτη κτήριο ως σύστημα θέρμανσης υπάρχει λέβητας πετρελαίου. Από τον πίνακα που ακολουθεί επιλέγεται ως πηγή ενέργειας το πετρέλαιο θέρμανσης.

Πίνακας 7.10: Συντελεστής αναγωγής της κατανάλωσης ενέργειας του κτηρίου σε πρωτογενή ενέργεια

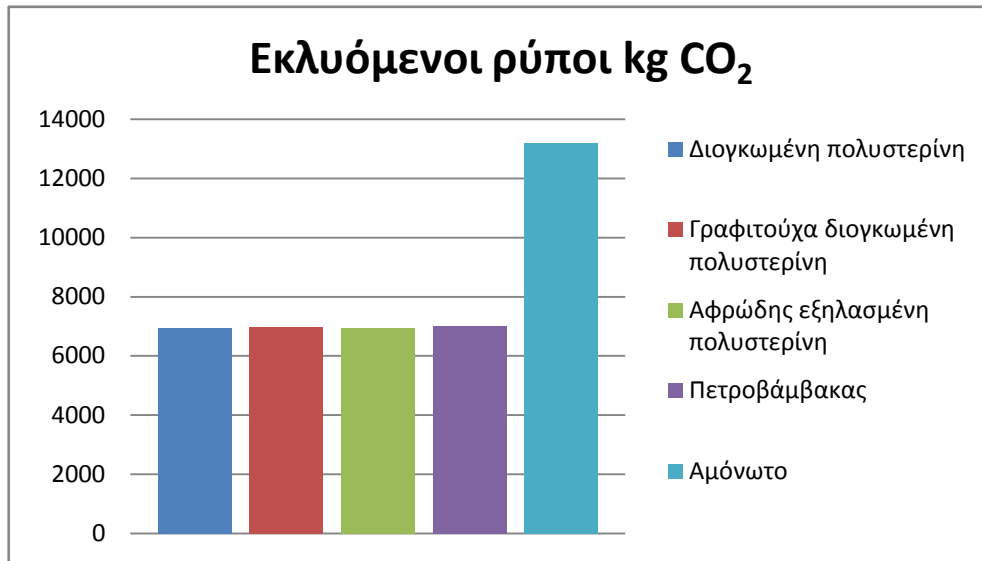
Πηγή ενέργειας	Συντελεστής μετατροπής σε πρωτογενή ενέργεια	Εκλυόμενοι ρύποι ανά μονάδα ενέργειας ($kgCO_2/kWh$)
Φυσικό αέριο	1,05	0,196
Πετρέλαιο θέρμανσης	1,10	0,264
Ηλεκτρική ενέργεια	2,90	0,989
Βιομάζα	1,00	---

Παρακάτω υπολογίζονται οι KWh που καταναλώνονται κατά την εποχιακή λειτουργία του συστήματος θέρμανσης για να καλυφθεί το θερμικό φορτίο, γίνεται μετατροπή τους σε πρωτογενή ενέργεια και υπολογίζονται οι συνολικοί εκλυόμενοι ρύποι.

Πίνακας 7.11: Μείωση εκλυόμενων ρύπων από την εφαρμογή θερμομονωτικής στρώσης

	Διογκωμένη πολυστερίνη	Γραφιτούχα διογκωμένη πολυστερίνη	Αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη	Πετροβάμβακας	Αμόνωτο
KWh εποχιακής λειτουργίας	23973,3	24031,8	23973,3	24090,3	45466,2
Μετατροπή σε πρωτογενή ενέργεια	26370,63	26434,98	26370,63	26499,33	50012,82
Εκλυόμενοι ρύποι $kg CO_2$	6961,85	6978,83	6961,85	6995,82	13203,38

Όλα τα παραπάνω συνοψίζονται και στο ραβδόγραμμα που ακολουθεί.



Σχήμα 7.51: Μείωση εκλυόμενων ρύπων με εφαρμογή θερμομονωτικής στρώσης

Από το παραπάνω σχήμα συμπεραίνεται ότι με την εφαρμογή της θερμομονωτικής στρώσης οι παραγόμενοι ρύποι από το σύστημα θέρμανσης μειώνονται στο 47,27% για την διογκωμένη πολυστερίνη 47,14% για την γραφιτούχα διογκωμένη πολυστερίνη, 47,27% για την αφρώδη εξηλασμένη πολυστερίνη και στο 47% για τον πετροβάμβακα.

Συνοψίζοντας η συμβολή της θερμομόνωσης είναι πολύ σημαντική στην εξοικονόμηση ενέργειας και στην μείωση εκπομπών CO₂ από τα κτήρια (συμβάλει περίπου στο 50%), το οποίο οφείλεται για την κλιματική αλλαγή. Τα τέσσερα υλικά που μελετήθηκαν έχουν όμοιες θερμομονωτικές ιδιότητες καθώς οι διαφορές μεταξύ τους σε ενεργειακό επίπεδο είναι αμελητέες. Σε περίπτωση επιλογής ενός από τα τέσσερα αυτά θερμομονωτικά υλικά για την επένδυση θα πρέπει να εξετασθούν οικονομικοί παράγοντες.

Βιβλιογραφία

1. A. M. Papadopoulos, A. K. Environmental impact of insulating materials at the end of their useful lifetime.
2. Al-Homoud, D. M. (2004). Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials. Στο *Building and environment*. Elsevier.
3. Cengel, Y. A. Heat transfer A practical Approach Second edition.
4. Constantinos A. Balaras, A. G. (2005). European residential buildings and empirical assessment of the Hellenic building stock, energy consumption, emissions and potential energy savings. Στο *Building and Environment*. Elsevier.
5. Jelle, B. P. (2011). Traditional, state-of-the-art and future thermal building insulation materials and solutions – Properties, requirements and possibilities. Στο *Energy and Buildings*. Elsevier.
6. R. Pacheco, J. O. (2012). Energy efficient design of building: A review. Στο *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier.
7. TROTEC Operating manual.
8. Umberto Desideri, L. A. (2013). Design of a multipurpose “zero energy consumption” building according to European Directive 2010/31/EU: Architectural and technical plants solutions. Elsevier.
9. Αραβατινός, Δ. (2009, Ιανουάριος). Ενεργειακός σχεδιασμός νέων και υφιστάμενων κτηρίων. *Οικοδομικές επεμβάσεις νέων και υφιστάμενων κτηρίων για την βελτίωση της θερμικής τους συμπεριφοράς*. Θεσσαλονίκη.
10. Δημήτρης Αραβατινός, Ν. Τ. (2008, Μάϊος). Μετρητικοί έλεγχοι της θερμικής συμπεριφοράς δομικών στοιχείων σε θέσεις θερμογεφυρών και προτάσεις βελτιοτικών επεμβάσεων. Αθήνα: 1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Δομικών Υλικών και Στοιχείων.
11. Ευρωπαϊκή Επιτροπή Ενέργειας, Κ. Κ. (1999). Εξοικονόμηση ενέργειας μέσω θερμομόνωσης. Γενική Διεύθυνση Ευρωπαϊκό κοινωνικό ταμείο Υπουργείο Εργασίας Διεύθυνση κοινοτικών πρωτοβουλιών.
12. Θερμομονωτική επάρκεια κτηριακού κελύφους. (2011, Ιούνιος). Αθήνα: Τεχνικό επιμελητήριο Ελλάδας.
13. Θεσμικό πλαίσιο-Μεθοδολογία ενεργειακής απόδοσης κτηρίων. (2011, Ιούνιος). Αθήνα: Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας.
14. Κλίμα και εσωτερικό περιβάλλον. Βιοκλιματικός σχεδιασμός κτηρίων. (2011, Ιούνιος). Αθήνα: Τεχνικό επιμελητήριο Ελλάδας.

15. Μπούρης, Δ. Βασικές αρχές ρύθμισης φυσικού περιβάλλοντος Σημειώσεις για το μάθημα θερμοανση-ψύξη-κλιματισμός.
16. Οδηγία 2002/91/ΕΚ του Ευρωπαϊκού κοινοβουλίου και του συμβουλίου. (2002). *Επίσημη εφημερίδα Ευρωπαϊκών κοινοτήτων* .
17. Οδηγία 2010/31/ΕΕ του Ευρωπαϊκού κοινοβουλίου και του Συμβουλίου . (2010). *Επίσημη εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης* .
18. Οδηγός Θερμομόνωσης Κτηρίων Δεύτερη Έκδοση. (2010, Σεπτέμβριος). Υπηρεσία ενέργειας υπουργείο Εμπορίου, Βιομηχανίας και Τουρισμού.
19. Παπαδόπουλος, Α. (2004, Μάρτιος). Προδιαγραφές ιδιοτήτων θερμομονωτικών υλικών. Θεσσαλονίκη.
20. Ε.ΒΜ.Παπαδοπούλου, *Πράσινα και αειφόρα κτήρια*.
21. *Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, (Ιούλιος 2010). Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2/2010 ΘΕΡΜΟΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΗΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΤΩΝ ΚΤΗΡΙΩΝ* .
22. *Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας. (Απρίλιος 2012). Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010 ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΕΘΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΤΗΡΙΩΝ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΚΔΟΣΗ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΤΙΚΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ. Αθήνα.*
23. *Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας. (Απρίλιος 2012). Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3/2010 ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ. Αθήνα.*

Ιστοσελίδες

24. <http://australien.um.dk/>
25. <http://diana-skordas.gr>
26. www.zeroenergybuildings.org
27. http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/ST_THERM_ILIKA/st2_1_2t.htm]
28. www.anelixi.org
29. thermometer.co.uk/img/documents/emissivity_table.pdf
30. http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/PIRANT_YLIKA
31. www.masterbuilder.co.in/category/articles/bulding-materials/insulation/
32. www.tisoft.com

Παράρτημα Α: Μετρήσεις θερμοκρασίας εσωτερικής και εξωτερικής επιφάνειας των θερμομονωτικών υλικών που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα

ΔΙΟΓΚΩΜΕΝΗ ΠΟΛΥΣΤΕΡΙΝΗ								
α/α	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΩΡΑ	ΚΑΙΡΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ			
					ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ		ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ	
					ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ	ΥΛΙΚΟΥ	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ	ΥΛΙΚΟΥ
1	30-Νοε	0:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΒΟΡΑΣ	17,9	17,2	8,8	5,8
2	30-Νοε	6:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΒΟΡΑΣ	17,5	11,7	7,5	5,8
3	30-Νοε	12:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΒΟΡΑΣ	17,6	12,9	9,5	9,2
4	30-Νοε	18:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΒΟΡΑΣ	18,9	13,4	10,8	9,4
5	1-Δεκ	0:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΒΟΡΑΣ	23,2	19,1	8,2	10,5
6	1-Δεκ	6:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΒΟΡΑΣ	18,8	18,2	9,6	10,8
7	1-Δεκ	12:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΒΟΡΑΣ	19,9	19,9	8,4	10,1
8	1-Δεκ	18:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΒΟΡΑΣ	21,3	18	7,1	10,6
9	2-Δεκ	0:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΒΟΡΑΣ	30,6	21,8	6,4	10,1
10	2-Δεκ	6:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΒΟΡΑΣ	18,5	16,6	6,4	8,8
11	2-Δεκ	12:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΒΟΡΑΣ	18,5	17,8	10	11,5
12	2-Δεκ	18:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΒΟΡΑΣ	20,2	17,5	8,9	11,8
13	3-Δεκ	0:00	ΒΡΟΧΗ	ΒΟΡΑΣ	19,1	16,7	8,2	10,9
14	3-Δεκ	6:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΒΟΡΑΣ	20,2	18,1	8,2	11,3
15	3-Δεκ	12:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΒΟΡΑΣ	20,5	17,6	10,3	11,8
16	3-Δεκ	18:00	ΒΡΟΧΗ	ΒΟΡΑΣ	18,9	17,3	9,8	12,3
17	4-Δεκ	0:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΒΟΡΑΣ	30,5	28,4	9,7	12,8
18	4-Δεκ	6:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΒΟΡΑΣ	19,6	17,6	9,4	11,9
19	4-Δεκ	12:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΒΟΡΑΣ	19,4	18,2	16,5	15,9
20	4-Δεκ	18:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΒΟΡΑΣ	22,1	20,3	10,8	13,9
21	5-Δεκ	0:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΒΟΡΑΣ	19	17,7	9,6	12,6
22	5-Δεκ	6:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΒΟΡΑΣ	19	18	8,9	11,3
23	5-Δεκ	12:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΒΟΡΑΣ	19,3	17	14,4	12,9
24	5-Δεκ	18:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΒΟΡΑΣ	19,3	18,2	11,5	14,3
25	6-Δεκ	0:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΒΟΡΑΣ	19,6	17,3	9,3	11,3
26	6-Δεκ	6:00	ΒΡΟΧΗ	ΒΟΡΑΣ	20,1	17,4	7,9	10,6
27	6-Δεκ	12:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΒΟΡΑΣ	19	19,4	10,6	12,3
28	6-Δεκ	18:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΒΟΡΑΣ	19	17,4	8,8	11,3
29	7-Δεκ	0:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΑΝΑΤΟΛΗ	20,8	20,5	9,8	12,8
30	7-Δεκ	6:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΑΝΑΤΟΛΗ	20,7	19,1	10,1	13,9
31	7-Δεκ	12:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΑΝΑΤΟΛΗ	21	21	13,1	15,1
32	7-Δεκ	18:00	ΑΡΑΙΗ	ΑΝΑΤΟΛΗ	23,4	21,3	12	15,6

			ΣΥΝΝΕΦΙΑ					
33	8-ΔΕΚ	0:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΑΝΑΤΟΛΗ	20,3	18,9	10,7	14,8
34	8-ΔΕΚ	6:00	ΒΡΟΧΗ	ΑΝΑΤΟΛΗ	31,9	29,8	10	14,4
35	8-ΔΕΚ	12:00	ΒΡΟΧΗ	ΑΝΑΤΟΛΗ	22,6	19,7	10,4	13
36	8-ΔΕΚ	18:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΑΝΑΤΟΛΗ	23,1	19,9	11,1	14,3
37	9-ΔΕΚ	0:00	ΒΡΟΧΗ	ΑΝΑΤΟΛΗ	21,3	19,7	10,5	13,6
38	9-ΔΕΚ	6:00	ΒΡΟΧΗ	ΑΝΑΤΟΛΗ	28,5	26,2	9,1	13,8
39	9-ΔΕΚ	12:00	ΒΡΟΧΗ	ΑΝΑΤΟΛΗ	24,5	22,05	8,9	13,35
40	9-ΔΕΚ	18:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΑΝΑΤΟΛΗ	20,5	17,9	8,7	12,9
41	10-ΔΕΚ	0:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΑΝΑΤΟΛΗ	21,8	17,1	7,1	10,6
42	10-ΔΕΚ	6:00	ΒΡΟΧΗ	ΑΝΑΤΟΛΗ	21,3	20,3	6,1	10,4
43	10-ΔΕΚ	12:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΑΝΑΤΟΛΗ	27,5	24,4	7,2	12,1
44	10-ΔΕΚ	18:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΑΝΑΤΟΛΗ	21,4	18,1	6,9	11,8
45	11-ΔΕΚ	0:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΑΝΑΤΟΛΗ	21,6	19,7	7	12,1
46	11-ΔΕΚ	6:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΑΝΑΤΟΛΗ	20,4	17,9	7,1	11,8
47	11-ΔΕΚ	12:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΑΝΑΤΟΛΗ	31,8	27,6	9,3	12,9
48	11-ΔΕΚ	18:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΑΝΑΤΟΛΗ	19,8	20	8,6	12,1
49	12-ΔΕΚ	0:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΑΝΑΤΟΛΗ	21,9	19,2	8,1	12,8
50	12-ΔΕΚ	6:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΑΝΑΤΟΛΗ	22,8	19,8	7,2	11,7
51	12-ΔΕΚ	12:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΑΝΑΤΟΛΗ	27,1	23,4	12,7	13,8
52	12-ΔΕΚ	18:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΑΝΑΤΟΛΗ	22,9	19,8	9,2	13,8
53	13-ΔΕΚ	0:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΑΝΑΤΟΛΗ	22,7	19,5	5,8	10,3
54	13-ΔΕΚ	6:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΑΝΑΤΟΛΗ	20,5	19,3	3,6	9,2
55	13-ΔΕΚ	12:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΑΝΑΤΟΛΗ	20,6	18,5	10,4	12,5
56	13-ΔΕΚ	18:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΑΝΑΤΟΛΗ	19,8	20	8,4	12,6
57	14-ΔΕΚ	0:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΝΟΤΟΣ	27,8	21,2	4,2	8,8
58	14-ΔΕΚ	6:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΝΟΤΟΣ	20,4	17,9	3,4	7,6
59	14-ΔΕΚ	12:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΝΟΤΟΣ	22,1	19,1	9,8	12,4
60	14-ΔΕΚ	18:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΝΟΤΟΣ	22,8	19,7	7,5	10,3
61	15-ΔΕΚ	0:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΝΟΤΟΣ	22,6	18,1	4,5	7,6
62	15-ΔΕΚ	6:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΝΟΤΟΣ	20,4	15,8	2,4	7,2
63	15-ΔΕΚ	12:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΝΟΤΟΣ	21,1	17,6	10,7	11,3
64	15-ΔΕΚ	18:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΝΟΤΟΣ	19,7	18,1	6,6	10,4
65	16-ΔΕΚ	0:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΝΟΤΟΣ	22,6	19,5	4,2	9,6
66	16-ΔΕΚ	6:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΝΟΤΟΣ	19,7	17,9	3,3	6,4
67	16-ΔΕΚ	12:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΝΟΤΟΣ	20,7	18,8	11,4	12,4
68	16-ΔΕΚ	18:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΝΟΤΟΣ	22	19,8	8,1	12,1
69	17-ΔΕΚ	0:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΝΟΤΟΣ	22,3	20,1	7,9	11,9
70	17-ΔΕΚ	6:00	ΒΡΟΧΗ	ΝΟΤΟΣ	20	19,7	7,8	10,4
71	17-ΔΕΚ	12:00	ΒΡΟΧΗ	ΝΟΤΟΣ	21,4	19,9	8,2	10,9

72	17-ΔΕΚ	18:00	ΟΜΙΧΛΗ	ΝΟΤΟΣ	22,9	20,1	8,6	11,5
73	18-ΔΕΚ	0:00	ΟΜΙΧΛΗ	ΝΟΤΟΣ	20,2	18,7	8,3	11,6
74	18-ΔΕΚ	6:00	ΟΜΙΧΛΗ	ΝΟΤΟΣ	22,7	19,1	7,9	11,7
75	18-ΔΕΚ	12:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΝΟΤΟΣ	22,6	20,3	11,6	13,6
76	18-ΔΕΚ	18:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΝΟΤΟΣ	19,9	20,3	9,9	12,9
77	21-ΔΕΚ	0:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΝΟΤΟΣ	20	19,3	4,3	9,2
78	21-ΔΕΚ	6:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΝΟΤΟΣ	21,1	20,3	3,2	8,2
79	21-ΔΕΚ	12:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΝΟΤΟΣ	22,9	21,9	7,9	10,9
80	21-ΔΕΚ	18:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΝΟΤΟΣ	26,2	25,8	8,4	11,2
81	22-ΔΕΚ	0:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΝΟΤΟΣ	29,3	27,6	5,5	8,5
82	22-ΔΕΚ	6:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΝΟΤΟΣ	20,2	19,8	0,6	6,1
83	22-ΔΕΚ	12:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΝΟΤΟΣ	25,2	25	7,6	12,8
84	22-ΔΕΚ	18:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΝΟΤΟΣ	19,7	19,3	4,9	8,8
85	23-ΔΕΚ	0:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΔΥΣΗ	19,6	19,1	2,2	4,8
86	23-ΔΕΚ	6:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΔΥΣΗ	22,1	21,3	1,4	3,8
87	23-ΔΕΚ	12:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΔΥΣΗ	21,6	21,4	16,8	14,1
88	23-ΔΕΚ	18:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΔΥΣΗ	22,2	20,9	7	8,3
89	24-ΔΕΚ	0:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΔΥΣΗ	28	26,7	3,6	6,5
90	24-ΔΕΚ	6:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΔΥΣΗ	22,5	20,6	1,3	4
91	24-ΔΕΚ	12:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΔΥΣΗ	21,1	23,6	15	14,8
92	24-ΔΕΚ	18:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΔΥΣΗ	22,7	21,2	9	9,2
93	25-ΔΕΚ	0:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΔΥΣΗ	19,8	20,6	4,1	6,3
94	25-ΔΕΚ	6:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΔΥΣΗ	21,9	20,4	0,9	4,4
95	25-ΔΕΚ	12:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΔΥΣΗ	22,5	23,7	8,9	11,1
96	25-ΔΕΚ	18:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΔΥΣΗ	21	18,3	7,6	9,2
97	26-ΔΕΚ	0:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΔΥΣΗ	25,6	24,1	5	7,6
98	26-ΔΕΚ	6:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΔΥΣΗ	20,7	19,1	4,5	6,8
99	26-ΔΕΚ	12:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΔΥΣΗ	19,9	18,6	9,9	8,8
100	26-ΔΕΚ	18:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΔΥΣΗ	20,8	19	8,8	11
101	27-ΔΕΚ	0:00	ΒΡΟΧΗ	ΔΥΣΗ	27,2	24,1	6,7	8,5
102	27-ΔΕΚ	6:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΔΥΣΗ	21	19,4	3,4	4,3
103	27-ΔΕΚ	12:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΔΥΣΗ	22,1	19,8	8,1	7,6
104	27-ΔΕΚ	18:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΔΥΣΗ	21,9	19,8	1,9	3,5
105	28-ΔΕΚ	0:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΔΥΣΗ	21	18,6	-0,4	1,8
106	28-ΔΕΚ	6:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΔΥΣΗ	22,6	20,4	0	4,6
107	28-ΔΕΚ	12:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΔΥΣΗ	20,4	19,1	8,5	7,6
108	28-ΔΕΚ	18:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΔΥΣΗ	22,2	20,2	5,9	9,4
109	29-ΔΕΚ	0:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΔΥΣΗ	22,2	20,4	8,1	11,1
110	29-ΔΕΚ	6:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΔΥΣΗ	22,8	21,3	7,5	10,3
111	29-ΔΕΚ	12:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΔΥΣΗ	20,4	19,3	7,1	4,8
112	29-ΔΕΚ	18:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΔΥΣΗ	22,3	19,6	2,8	3,5

ΔΙΟΓΚΩΜΕΝΗ ΠΟΛΥΣΤΕΡΙΝΗ ΜΕ ΓΡΑΦΙΤΗ								
a/a	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΩΡΑ	ΚΑΙΡΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ			
					ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ		ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ	
					ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ	ΥΛΙΚΟΥ	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ	ΥΛΙΚΟΥ
1	30-Νοε	0:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΑΝΑΤΟΛΗ	17,9	16,6	8,8	7,3
2	30-Νοε	6:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΑΝΑΤΟΛΗ	17,5	11,5	7,5	5,2
3	30-Νοε	12:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΑΝΑΤΟΛΗ	17,6	13,1	9,5	9,4
4	30-Νοε	18:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΑΝΑΤΟΛΗ	18,9	13,2	10,8	9,5
5	1-Δεκ	0:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΑΝΑΤΟΛΗ	23,2	20	8,2	10,6
6	1-Δεκ	6:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΑΝΑΤΟΛΗ	18,8	18,1	9,6	10,8
7	1-Δεκ	12:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΑΝΑΤΟΛΗ	19,9	18,3	8,4	10,3
8	1-Δεκ	18:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΑΝΑΤΟΛΗ	21,3	19,7	7,1	11,3
9	2-Δεκ	0:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΑΝΑΤΟΛΗ	30,6	25,2	6,4	10,1
10	2-Δεκ	6:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΑΝΑΤΟΛΗ	18,5	16,6	6,4	8,9
11	2-Δεκ	12:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΑΝΑΤΟΛΗ	18,5	17,6	10	12,1
12	2-Δεκ	18:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΑΝΑΤΟΛΗ	20,2	18,5	8,9	11,1
13	3-Δεκ	0:00	ΒΡΟΧΗ	ΑΝΑΤΟΛΗ	19,1	17,8	8,2	10,9
14	3-Δεκ	6:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΑΝΑΤΟΛΗ	20,2	17,3	8,2	11,3
15	3-Δεκ	12:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΑΝΑΤΟΛΗ	20,5	17,5	10,3	11,8
16	3-Δεκ	18:00	ΒΡΟΧΗ	ΑΝΑΤΟΛΗ	18,9	17,6	9,8	12,2
17	4-Δεκ	0:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΑΝΑΤΟΛΗ	30,5	26,1	9,7	12,9
18	4-Δεκ	6:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΑΝΑΤΟΛΗ	19,6	18,4	9,4	12,2
19	4-Δεκ	12:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΑΝΑΤΟΛΗ	19,4	18,2	16,5	16,7
20	4-Δεκ	18:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΑΝΑΤΟΛΗ	22,1	20,9	10,8	13,9
21	5-Δεκ	0:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΑΝΑΤΟΛΗ	19	17,8	9,6	12,8
22	5-Δεκ	6:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΑΝΑΤΟΛΗ	19	17,3	8,9	11,3
23	5-Δεκ	12:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΑΝΑΤΟΛΗ	19,3	17,1	14,4	13,1
24	5-Δεκ	18:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΑΝΑΤΟΛΗ	19,3	18,4	11,5	14,3
25	6-Δεκ	0:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΑΝΑΤΟΛΗ	19,6	17,1	9,3	11,9
26	6-Δεκ	6:00	ΒΡΟΧΗ	ΑΝΑΤΟΛΗ	20,1	18	7,9	10,4
27	6-Δεκ	12:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΑΝΑΤΟΛΗ	19	19,3	10,6	12,3
28	6-Δεκ	18:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΑΝΑΤΟΛΗ	19	18,8	8,8	12,4
29	7-Δεκ	0:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΑΝΑΤΟΛΗ	20,8	20,8	9,8	11,8
30	7-Δεκ	6:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΑΝΑΤΟΛΗ	20,7	19,1	10,1	12,2
31	7-Δεκ	12:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΑΝΑΤΟΛΗ	21	23,1	13,1	15,1
32	7-Δεκ	18:00	ΑΡΑΙΗ	ΝΟΤΟΣ	23,4	21,8	12	14,5

			ΣΥΝΝΕΦΙΑ					
33	8-Δεκ	0:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΝΟΤΟΣ	20,3	19,3	10,7	13,1
34	8-Δεκ	6:00	ΒΡΟΧΗ	ΝΟΤΟΣ	31,9	31,8	10	13,3
35	8-Δεκ	12:00	ΒΡΟΧΗ	ΝΟΤΟΣ	22,6	20,6	10,4	12,6
36	8-Δεκ	18:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΝΟΤΟΣ	23,1	20,6	11,1	13,3
37	9-Δεκ	0:00	ΒΡΟΧΗ	ΝΟΤΟΣ	21,3	19,7	10,5	12,2
38	9-Δεκ	6:00	ΒΡΟΧΗ	ΝΟΤΟΣ	28,5	27,1	9,1	12,1
39	9-Δεκ	12:00	ΒΡΟΧΗ	ΝΟΤΟΣ	24,5	22,5	8,9	11,5
40	9-Δεκ	18:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΝΟΤΟΣ	20,5	18,7	8,7	10,9
41	10-Δεκ	0:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΝΟΤΟΣ	21,8	18,1	7,1	9,1
42	10-Δεκ	6:00	ΒΡΟΧΗ	ΝΟΤΟΣ	21,3	20,7	6,1	8,9
43	10-Δεκ	12:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΝΟΤΟΣ	27,5	25,6	7,2	10,4
44	10-Δεκ	18:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΝΟΤΟΣ	21,4	19,5	6,9	9,6
45	11-Δεκ	0:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΝΟΤΟΣ	21,6	19,7	7	9,6
46	11-Δεκ	6:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΝΟΤΟΣ	20,4	19,3	7,1	9,8
47	11-Δεκ	12:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΝΟΤΟΣ	31,8	30,1	9,3	11,6
48	11-Δεκ	18:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΝΟΤΟΣ	19,8	20,5	8,6	10,4
49	12-Δεκ	0:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΝΟΤΟΣ	21,9	20	8,1	10,6
50	12-Δεκ	6:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΝΟΤΟΣ	22,8	21,4	7,2	10
51	12-Δεκ	12:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΝΟΤΟΣ	27,1	26,4	12,7	13,6
52	12-Δεκ	18:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΝΟΤΟΣ	22,9	21,5	9,2	11,5
53	13-Δεκ	0:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΝΟΤΟΣ	22,7	20,9	5,8	9,5
54	13-Δεκ	6:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΝΟΤΟΣ	20,5	20,8	3,6	6,9
55	13-Δεκ	12:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΝΟΤΟΣ	20,6	19,1	10,4	11,8
56	13-Δεκ	18:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΝΟΤΟΣ	19,8	20,3	8,4	10,7
57	14-Δεκ	0:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΔΥΣΗ	27,8	22,5	4,2	6,3
58	14-Δεκ	6:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΔΥΣΗ	20,4	19,4	3,4	5,3
59	14-Δεκ	12:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΔΥΣΗ	22,1	20,2	9,8	11
60	14-Δεκ	18:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΔΥΣΗ	22,8	21,3	7,5	7,8
61	15-Δεκ	0:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΔΥΣΗ	22,6	18,8	4,5	6,2
62	15-Δεκ	6:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΔΥΣΗ	20,4	17,8	2,4	3,4
63	15-Δεκ	12:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΔΥΣΗ	21,1	18,1	10,7	12,5
64	15-Δεκ	18:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΔΥΣΗ	19,7	18,4	6,6	7,6
65	16-Δεκ	0:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΔΥΣΗ	22,6	20,7	4,2	5,8
66	16-Δεκ	6:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΔΥΣΗ	19,7	19	3,3	5,3
67	16-Δεκ	12:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΔΥΣΗ	20,7	19,4	11,4	15,3
68	16-Δεκ	18:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΔΥΣΗ	22	19,9	8,1	10,6
69	17-Δεκ	0:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΔΥΣΗ	22,3	20,8	7,9	12,1
70	17-Δεκ	6:00	ΒΡΟΧΗ	ΔΥΣΗ	20	19,7	7,8	9,6
71	17-Δεκ	12:00	ΒΡΟΧΗ	ΔΥΣΗ	21,4	20,5	8,2	10,5

72	17-Δεκ	18:00	ΟΜΙΧΛΗ	ΔΥΣΗ	22,9	21,4	8,6	11,4
73	18-Δεκ	0:00	ΟΜΙΧΛΗ	ΔΥΣΗ	20,2	18,9	8,3	11,3
74	18-Δεκ	6:00	ΟΜΙΧΛΗ	ΔΥΣΗ	22,7	21	7,9	10,9
75	18-Δεκ	12:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΔΥΣΗ	22,6	20,9	11,6	15
76	18-Δεκ	18:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΔΥΣΗ	19,9	20,1	9,9	12,1
77	21-Δεκ	0:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΔΥΣΗ	20	19,5	4,3	6,3
78	21-Δεκ	6:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΔΥΣΗ	21,1	20,8	3,2	6,1
79	21-Δεκ	12:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΔΥΣΗ	22,9	22,2	7,9	10,4
80	21-Δεκ	18:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΔΥΣΗ	26,2	25,9	8,4	8,6
81	22-Δεκ	0:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΔΥΣΗ	29,3	27,8	5,5	5,8
82	22-Δεκ	6:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΔΥΣΗ	20,2	20,1	0,6	2,3
83	22-Δεκ	12:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΔΥΣΗ	25,2	24,6	7,6	12,2
84	22-Δεκ	18:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΔΥΣΗ	19,7	19,3	4,9	5,3
85	23-Δεκ	0:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΒΟΡΑΣ	19,6	19,2	2,2	3,7
86	23-Δεκ	6:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΒΟΡΑΣ	22,1	22,1	1,4	3,3
87	23-Δεκ	12:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΒΟΡΑΣ	21,6	22,3	16,8	17,9
88	23-Δεκ	18:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΒΟΡΑΣ	22,2	21,4	7	8,5
89	24-Δεκ	0:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΒΟΡΑΣ	28	26,3	3,6	6,7
90	24-Δεκ	6:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΒΟΡΑΣ	22,5	20,8	1,3	4,6
91	24-Δεκ	12:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΒΟΡΑΣ	21,1	23,8	15	16,5
92	24-Δεκ	18:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΒΟΡΑΣ	22,7	21,2	9	9,5
93	25-Δεκ	0:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΒΟΡΑΣ	19,8	19,3	4,1	6,4
94	25-Δεκ	6:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΒΟΡΑΣ	21,9	20,9	0,9	3,7
95	25-Δεκ	12:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΒΟΡΑΣ	22,5	21,9	8,9	14,7
96	25-Δεκ	18:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΒΟΡΑΣ	21	19,8	7,6	9,4
97	26-Δεκ	0:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΒΟΡΑΣ	25,6	23,3	5	7,5
98	26-Δεκ	6:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΒΟΡΑΣ	20,7	19,4	4,5	7,2
99	26-Δεκ	12:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΒΟΡΑΣ	19,9	19,1	9,9	11,6
100	26-Δεκ	18:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΒΟΡΑΣ	20,8	19,4	8,8	10,7
101	27-Δεκ	0:00	ΒΡΟΧΗ	ΒΟΡΑΣ	27,2	25,7	6,7	9,1
102	27-Δεκ	6:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΒΟΡΑΣ	21	19,8	3,4	5,3
103	27-Δεκ	12:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΒΟΡΑΣ	22,1	21,4	8,1	10,9
104	27-Δεκ	18:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΒΟΡΑΣ	21,9	20,3	1,9	3,4
105	28-Δεκ	0:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΒΟΡΑΣ	21	19,1	-0,4	1,3
106	28-Δεκ	6:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΒΟΡΑΣ	22,6	20,9	0	3,4
107	28-Δεκ	12:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΒΟΡΑΣ	20,4	20,4	8,5	10,9
108	28-Δεκ	18:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΒΟΡΑΣ	22,2	20,4	5,9	8,5
109	29-Δεκ	0:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΒΟΡΑΣ	22,2	20,4	8,1	10,8
110	29-Δεκ	6:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΒΟΡΑΣ	22,8	21,4	7,5	9,5
111	29-Δεκ	12:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΒΟΡΑΣ	20,4	18	7,1	5,5
112	29-Δεκ	18:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΒΟΡΑΣ	22,3	19,6	2,8	3,7

ΑΦΡΩΔΗΣ ΕΞΗΛΑΣΜΕΝΗ ΠΟΛΥΣΤΕΡΙΝΗ

a/a	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΩΡΑ	ΚΑΙΡΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ			
					ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ		ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ	
					ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ	ΥΛΙΚΟΥ	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ	ΥΛΙΚΟΥ
1	30-Νοε	0:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΔΥΣΗ	17,9	19,1	8,8	6,4
2	30-Νοε	6:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΔΥΣΗ	17,5	12,4	7,5	5,4
3	30-Νοε	12:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΔΥΣΗ	17,6	14,1	9,5	8
4	30-Νοε	18:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΔΥΣΗ	18,9	13,3	10,8	10,3
5	1-Δεκ	0:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΔΥΣΗ	23,2	20,3	8,2	9,4
6	1-Δεκ	6:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΔΥΣΗ	18,8	18,8	9,6	9,6
7	1-Δεκ	12:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΔΥΣΗ	19,9	19,3	8,4	9,6
8	1-Δεκ	18:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΔΥΣΗ	21,3	18,9	7,1	9,2
9	2-Δεκ	0:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΔΥΣΗ	30,6	26,3	6,4	9,2
10	2-Δεκ	6:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΔΥΣΗ	18,5	17,1	6,4	8,2
11	2-Δεκ	12:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΔΥΣΗ	18,5	18,6	10	12,1
12	2-Δεκ	18:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΔΥΣΗ	20,2	18,3	8,9	10,4
13	3-Δεκ	0:00	ΒΡΟΧΗ	ΔΥΣΗ	19,1	17,7	8,2	9,8
14	3-Δεκ	6:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΔΥΣΗ	20,2	18,9	8,2	10
15	3-Δεκ	12:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΔΥΣΗ	20,5	18,5	10,3	11,1
16	3-Δεκ	18:00	ΒΡΟΧΗ	ΔΥΣΗ	18,9	17,6	9,8	11,3
17	4-Δεκ	0:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΔΥΣΗ	30,5	29,4	9,7	11,8
18	4-Δεκ	6:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΔΥΣΗ	19,6	19,1	9,4	11,1
19	4-Δεκ	12:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΔΥΣΗ	19,4	18,3	16,5	16,5
20	4-Δεκ	18:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΔΥΣΗ	22,1	20,8	10,8	12
21	5-Δεκ	0:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΔΥΣΗ	19	18,4	9,6	11,1
22	5-Δεκ	6:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΔΥΣΗ	19	18	8,9	10,2
23	5-Δεκ	12:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΔΥΣΗ	19,3	17,1	14,4	12,9
24	5-Δεκ	18:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΔΥΣΗ	19,3	19	11,5	12,3
25	6-Δεκ	0:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΔΥΣΗ	19,6	18,4	9,3	10,6
26	6-Δεκ	6:00	ΒΡΟΧΗ	ΔΥΣΗ	20,1	19,2	7,9	9,5
27	6-Δεκ	12:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΔΥΣΗ	19	20,3	10,6	11,7
28	6-Δεκ	18:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΔΥΣΗ	19	19,4	8,8	9,6
29	7-Δεκ	0:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΒΟΡΑΣ	20,8	21,4	9,8	11,8
30	7-Δεκ	6:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΒΟΡΑΣ	20,7	19,6	10,1	12,7
31	7-Δεκ	12:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΒΟΡΑΣ	21	21,8	13,1	15,3
32	7-Δεκ	18:00	ΑΡΑΙΗ	ΒΟΡΑΣ	23,4	21,6	12	13,6

			ΣΥΝΝΕΦΙΑ					
33	8-Δεκ	0:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΒΟΡΑΣ	20,3	18,3	10,7	11,9
34	8-Δεκ	6:00	ΒΡΟΧΗ	ΒΟΡΑΣ	31,9	29,7	10	12,7
35	8-Δεκ	12:00	ΒΡΟΧΗ	ΒΟΡΑΣ	22,6	21,1	10,4	12,1
36	8-Δεκ	18:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΒΟΡΑΣ	23,1	21,6	11,1	13,1
37	9-Δεκ	0:00	ΒΡΟΧΗ	ΒΟΡΑΣ	21,3	21,4	10,5	12,1
38	9-Δεκ	6:00	ΒΡΟΧΗ	ΒΟΡΑΣ	28,5	27,1	9,1	11,4
39	9-Δεκ	12:00	ΒΡΟΧΗ	ΒΟΡΑΣ	24,5	22,9	8,9	11
40	9-Δεκ	18:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΒΟΡΑΣ	20,5	18,7	8,7	10,6
41	10-Δεκ	0:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΒΟΡΑΣ	21,8	19,8	7,1	8,9
42	10-Δεκ	6:00	ΒΡΟΧΗ	ΒΟΡΑΣ	21,3	21,6	6,1	8,8
43	10-Δεκ	12:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΒΟΡΑΣ	27,5	23,5	7,2	10,4
44	10-Δεκ	18:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΒΟΡΑΣ	21,4	18,9	6,9	9,3
45	11-Δεκ	0:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΒΟΡΑΣ	21,6	18,8	7	9,3
46	11-Δεκ	6:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΒΟΡΑΣ	20,4	18,1	7,1	9,5
47	11-Δεκ	12:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΒΟΡΑΣ	31,8	29,4	9,3	11,6
48	11-Δεκ	18:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΒΟΡΑΣ	19,8	19,8	8,6	10,3
49	12-Δεκ	0:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΒΟΡΑΣ	21,9	19,8	8,1	10
50	12-Δεκ	6:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΒΟΡΑΣ	22,8	20	7,2	9,1
51	12-Δεκ	12:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΒΟΡΑΣ	27,1	24,4	12,7	12,2
52	12-Δεκ	18:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΒΟΡΑΣ	22,9	20,6	9,2	9,5
53	13-Δεκ	0:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΒΟΡΑΣ	22,7	20,5	5,8	6,9
54	13-Δεκ	6:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΒΟΡΑΣ	20,5	18,5	3,6	4,4
55	13-Δεκ	12:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΒΟΡΑΣ	20,6	18,6	10,4	9,8
56	13-Δεκ	18:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΒΟΡΑΣ	19,8	20,4	8,4	8,4
57	14-Δεκ	0:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΑΝΑΤΟΛΗ	27,8	25,9	4,2	9,1
58	14-Δεκ	6:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΑΝΑΤΟΛΗ	20,4	20,1	3,4	8,6
59	14-Δεκ	12:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΑΝΑΤΟΛΗ	22,1	20,8	9,8	11,8
60	14-Δεκ	18:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΑΝΑΤΟΛΗ	22,8	20,6	7,5	11,7
61	15-Δεκ	0:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΑΝΑΤΟΛΗ	22,6	20,8	4,5	10,2
62	15-Δεκ	6:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΑΝΑΤΟΛΗ	20,4	18,7	2,4	7,6
63	15-Δεκ	12:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΑΝΑΤΟΛΗ	21,1	18,6	10,7	12,6
64	15-Δεκ	18:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΑΝΑΤΟΛΗ	19,7	19,3	6,6	10
65	16-Δεκ	0:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΑΝΑΤΟΛΗ	22,6	21,3	4,2	9,3
66	16-Δεκ	6:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΑΝΑΤΟΛΗ	19,7	17,5	3,3	7,4
67	16-Δεκ	12:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΑΝΑΤΟΛΗ	20,7	19,4	11,4	13,5
68	16-Δεκ	18:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΑΝΑΤΟΛΗ	22	20,5	8,1	11,8
69	17-Δεκ	0:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΑΝΑΤΟΛΗ	22,3	21,3	7,9	11,9
70	17-Δεκ	6:00	ΒΡΟΧΗ	ΑΝΑΤΟΛΗ	20	19,8	7,8	11,1
71	17-Δεκ	12:00	ΒΡΟΧΗ	ΑΝΑΤΟΛΗ	21,4	20,8	8,2	11,4

72	17-Δεκ	18:00	ΟΜΙΧΛΗ	ΑΝΑΤΟΛΗ	22,9	21,8	8,6	11,7
73	18-Δεκ	0:00	ΟΜΙΧΛΗ	ΑΝΑΤΟΛΗ	20,2	18,9	8,3	11,4
74	18-Δεκ	6:00	ΟΜΙΧΛΗ	ΑΝΑΤΟΛΗ	22,7	19,5	7,9	11,2
75	18-Δεκ	12:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΑΝΑΤΟΛΗ	22,6	21,6	11,6	14,8
76	18-Δεκ	18:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΑΝΑΤΟΛΗ	19,9	20,4	9,9	12,8
77	21-Δεκ	0:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΑΝΑΤΟΛΗ	20	18,9	4,3	9,5
78	21-Δεκ	6:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΑΝΑΤΟΛΗ	21,1	19	3,2	7,8
79	21-Δεκ	12:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΑΝΑΤΟΛΗ	22,9	21,6	7,9	10
80	21-Δεκ	18:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΑΝΑΤΟΛΗ	26,2	25	8,4	11
81	22-Δεκ	0:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΑΝΑΤΟΛΗ	29,3	25,7	5,5	9,5
82	22-Δεκ	6:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΑΝΑΤΟΛΗ	20,2	19,3	0,6	5,8
83	22-Δεκ	12:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΑΝΑΤΟΛΗ	25,2	21,4	7,6	11,7
84	22-Δεκ	18:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΑΝΑΤΟΛΗ	19,7	19,1	4,9	9,1
85	23-Δεκ	0:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΝΟΤΟΣ	19,6	18,7	2,2	6,2
86	23-Δεκ	6:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΝΟΤΟΣ	22,1	20,6	1,4	5,4
87	23-Δεκ	12:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΝΟΤΟΣ	21,6	22	16,8	19,4
88	23-Δεκ	18:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΝΟΤΟΣ	22,2	20,2	7	11,1
89	24-Δεκ	0:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΝΟΤΟΣ	28	26,3	3,6	8,9
90	24-Δεκ	6:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΝΟΤΟΣ	22,5	18,7	1,3	6,4
91	24-Δεκ	12:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΝΟΤΟΣ	21,1	23,8	15	20,7
92	24-Δεκ	18:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΝΟΤΟΣ	22,7	20,9	9	12,2
93	25-Δεκ	0:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΝΟΤΟΣ	19,8	20,1	4,1	8,9
94	25-Δεκ	6:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΝΟΤΟΣ	21,9	20,1	0,9	6,1
95	25-Δεκ	12:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΝΟΤΟΣ	22,5	24,4	8,9	21,7
96	25-Δεκ	18:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΝΟΤΟΣ	21	18,8	7,6	11,4
97	26-Δεκ	0:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΝΟΤΟΣ	25,6	23,4	5	9,3
98	26-Δεκ	6:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΝΟΤΟΣ	20,7	18,8	4,5	8,8
99	26-Δεκ	12:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΝΟΤΟΣ	19,9	19,3	9,9	12,9
100	26-Δεκ	18:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΝΟΤΟΣ	20,8	19,3	8,8	12,1
101	27-Δεκ	0:00	ΒΡΟΧΗ	ΝΟΤΟΣ	27,2	25	6,7	9,1
102	27-Δεκ	6:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΝΟΤΟΣ	21	18,8	3,4	6,8
103	27-Δεκ	12:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΝΟΤΟΣ	22,1	20,6	8,1	15
104	27-Δεκ	18:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΝΟΤΟΣ	21,9	19,1	1,9	6,4
105	28-Δεκ	0:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΝΟΤΟΣ	21	18,2	-0,4	3,9
106	28-Δεκ	6:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΝΟΤΟΣ	22,6	20,5	0	5,3
107	28-Δεκ	12:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΝΟΤΟΣ	20,4	19,6	8,5	10,6
108	28-Δεκ	18:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΝΟΤΟΣ	22,2	19,6	5,9	8,8
109	29-Δεκ	0:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΝΟΤΟΣ	22,2	20,3	8,1	10,8
110	29-Δεκ	6:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΝΟΤΟΣ	22,8	20,5	7,5	10,1
111	29-Δεκ	12:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΝΟΤΟΣ	20,4	18,9	7,1	7,7
112	29-Δεκ	18:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΝΟΤΟΣ	22,3	19,3	2,8	6,8

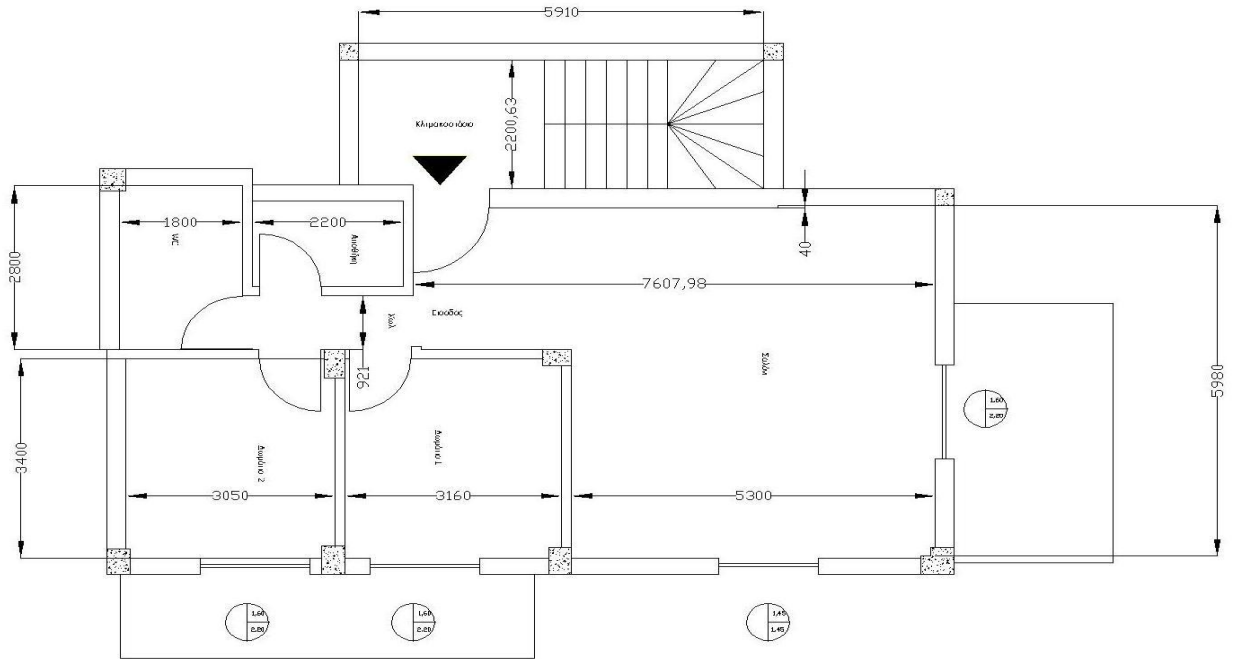
ΠΕΤΡΟΒΑΜΒΑΚΑΣ								
a/a	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΩΡΑ	ΚΑΙΡΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ			
					ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ		ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ	
					ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ	ΥΛΙΚΟΥ	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ	ΥΛΙΚΟΥ
1	30-Νοε	0:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΝΟΤΟΣ	17,9	18,4	8,8	6,3
2	30-Νοε	6:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΝΟΤΟΣ	17,5	16,6	7,5	5,3
3	30-Νοε	12:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΝΟΤΟΣ	17,6	15,4	9,5	8,2
4	30-Νοε	18:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΝΟΤΟΣ	18,9	14,2	10,8	9,9
5	1-Δεκ	0:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΝΟΤΟΣ	23,2	21,9	8,2	9,8
6	1-Δεκ	6:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΝΟΤΟΣ	18,8	19,8	9,6	10,1
7	1-Δεκ	12:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΝΟΤΟΣ	19,9	19,3	8,4	9,8
8	1-Δεκ	18:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΝΟΤΟΣ	21,3	20,6	7,1	9,6
9	2-Δεκ	0:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΝΟΤΟΣ	30,6	28,6	6,4	9,2
10	2-Δεκ	6:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΝΟΤΟΣ	18,5	17,8	6,4	8,6
11	2-Δεκ	12:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΝΟΤΟΣ	18,5	18,5	10	12,7
12	2-Δεκ	18:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΝΟΤΟΣ	20,2	18,9	8,9	10,6
13	3-Δεκ	0:00	ΒΡΟΧΗ	ΝΟΤΟΣ	19,1	18,6	8,2	10,1
14	3-Δεκ	6:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΝΟΤΟΣ	20,2	19,5	8,2	10,4
15	3-Δεκ	12:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΝΟΤΟΣ	20,5	19,4	10,3	11,4
16	3-Δεκ	18:00	ΒΡΟΧΗ	ΝΟΤΟΣ	18,9	18	9,8	11,3
17	4-Δεκ	0:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΝΟΤΟΣ	30,5	30,3	9,7	11,8
18	4-Δεκ	6:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΝΟΤΟΣ	19,6	19,6	9,4	11,8
19	4-Δεκ	12:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΝΟΤΟΣ	19,4	18,9	16,5	19,6
20	4-Δεκ	18:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΝΟΤΟΣ	22,1	22	10,8	13,1
21	5-Δεκ	0:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΝΟΤΟΣ	19	18,7	9,6	11,8
22	5-Δεκ	6:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΝΟΤΟΣ	19	18,1	8,9	10,8
23	5-Δεκ	12:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΝΟΤΟΣ	19,3	17,6	14,4	13,3
24	5-Δεκ	18:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΝΟΤΟΣ	19,3	19,3	11,5	13,2
25	6-Δεκ	0:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΝΟΤΟΣ	19,6	18,9	9,3	11,1
26	6-Δεκ	6:00	ΒΡΟΧΗ	ΝΟΤΟΣ	20,1	20,1	7,9	10,1
27	6-Δεκ	12:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΝΟΤΟΣ	19	20	10,6	12,6
28	6-Δεκ	18:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΝΟΤΟΣ	19	20,8	8,8	10,9
29	7-Δεκ	0:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΔΥΣΗ	20,8	21,9	9,8	11,5
30	7-Δεκ	6:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΔΥΣΗ	20,7	20,6	10,1	12,1
31	7-Δεκ	12:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΔΥΣΗ	21	22,6	13,1	18
32	7-Δεκ	18:00	ΑΡΑΙΗ	ΔΥΣΗ	23,4	22,4	12	13,6

			ΣΥΝΝΕΦΙΑ					
33	8-Δεκ	0:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΔΥΣΗ	20,3	19,4	10,7	11,5
34	8-Δεκ	6:00	ΒΡΟΧΗ	ΔΥΣΗ	31,9	31,3	10	11,9
35	8-Δεκ	12:00	ΒΡΟΧΗ	ΔΥΣΗ	22,6	22	10,4	12,6
36	8-Δεκ	18:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΔΥΣΗ	23,1	22,2	11,1	12,6
37	9-Δεκ	0:00	ΒΡΟΧΗ	ΔΥΣΗ	21,3	21,3	10,5	11,4
38	9-Δεκ	6:00	ΒΡΟΧΗ	ΔΥΣΗ	28,5	28,5	9,1	10,9
39	9-Δεκ	12:00	ΒΡΟΧΗ	ΔΥΣΗ	24,5	24,1	8,9	10,7
40	9-Δεκ	18:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΔΥΣΗ	20,5	19,8	8,7	10,5
41	10-Δεκ	0:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΔΥΣΗ	21,8	20,4	7,1	8,4
42	10-Δεκ	6:00	ΒΡΟΧΗ	ΔΥΣΗ	21,3	21,7	6,1	8,3
43	10-Δεκ	12:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΔΥΣΗ	27,5	25,3	7,2	10,4
44	10-Δεκ	18:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΔΥΣΗ	21,4	19,8	6,9	9,3
45	11-Δεκ	0:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΔΥΣΗ	21,6	19,6	7	9,1
46	11-Δεκ	6:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΔΥΣΗ	20,4	19,4	7,1	8,9
47	11-Δεκ	12:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΔΥΣΗ	31,8	31	9,3	11,9
48	11-Δεκ	18:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΔΥΣΗ	19,8	20,6	8,6	10,3
49	12-Δεκ	0:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΔΥΣΗ	21,9	20,8	8,1	10
50	12-Δεκ	6:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΔΥΣΗ	22,8	21,4	7,2	8,6
51	12-Δεκ	12:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΔΥΣΗ	27,1	26,1	12,7	14,9
52	12-Δεκ	18:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΔΥΣΗ	22,9	21,9	9,2	9,8
53	13-Δεκ	0:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΔΥΣΗ	22,7	22,3	5,8	6,9
54	13-Δεκ	6:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΔΥΣΗ	20,5	20,3	3,6	4,6
55	13-Δεκ	12:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΔΥΣΗ	20,6	19,9	10,4	11
56	13-Δεκ	18:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΔΥΣΗ	19,8	20,7	8,4	8,4
57	14-Δεκ	0:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΒΟΡΑΣ	27,8	24,4	4,2	6
58	14-Δεκ	6:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΒΟΡΑΣ	20,4	20,4	3,4	5,8
59	14-Δεκ	12:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΒΟΡΑΣ	22,1	20,1	9,8	11,6
60	14-Δεκ	18:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΒΟΡΑΣ	22,8	21,8	7,5	8,2
61	15-Δεκ	0:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΒΟΡΑΣ	22,6	21,2	4,5	5,8
62	15-Δεκ	6:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΒΟΡΑΣ	20,4	19,8	2,4	3,8
63	15-Δεκ	12:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΒΟΡΑΣ	21,1	19,1	10,7	14
64	15-Δεκ	18:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΒΟΡΑΣ	19,7	19,4	6,6	8,1
65	16-Δεκ	0:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΒΟΡΑΣ	22,6	21,4	4,2	5,9
66	16-Δεκ	6:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΒΟΡΑΣ	19,7	18,7	3,3	5,4
67	16-Δεκ	12:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΒΟΡΑΣ	20,7	19,9	11,4	13,9
68	16-Δεκ	18:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΒΟΡΑΣ	22	21	8,1	10,3
69	17-Δεκ	0:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΒΟΡΑΣ	22,3	21,4	7,9	10,1
70	17-Δεκ	6:00	ΒΡΟΧΗ	ΒΟΡΑΣ	20	19,8	7,8	9,8
71	17-Δεκ	12:00	ΒΡΟΧΗ	ΒΟΡΑΣ	21,4	20,8	8,2	10,2

72	17-ΔΕΚ	18:00	ΟΜΙΧΛΗ	ΒΟΡΑΣ	22,9	21,8	8,6	10,6
73	18-ΔΕΚ	0:00	ΟΜΙΧΛΗ	ΒΟΡΑΣ	20,2	19,6	8,3	10,8
74	18-ΔΕΚ	6:00	ΟΜΙΧΛΗ	ΒΟΡΑΣ	22,7	21,2	7,9	10,2
75	18-ΔΕΚ	12:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΒΟΡΑΣ	22,6	21,8	11,6	15
76	18-ΔΕΚ	18:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΒΟΡΑΣ	19,9	20,4	9,9	11,5
77	21-ΔΕΚ	0:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΒΟΡΑΣ	20	19,1	4,3	6,5
78	21-ΔΕΚ	6:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΒΟΡΑΣ	21,1	19,2	3,2	5,9
79	21-ΔΕΚ	12:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΒΟΡΑΣ	22,9	22,5	7,9	12,3
80	21-ΔΕΚ	18:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΒΟΡΑΣ	26,2	25,2	8,4	9,2
81	22-ΔΕΚ	0:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΒΟΡΑΣ	29,3	27,1	5,5	6,6
82	22-ΔΕΚ	6:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΒΟΡΑΣ	20,2	19,3	0,6	1,6
83	22-ΔΕΚ	12:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΒΟΡΑΣ	25,2	22,3	7,6	12
84	22-ΔΕΚ	18:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΒΟΡΑΣ	19,7	18,9	4,9	6
85	23-ΔΕΚ	0:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΑΝΑΤΟΛΗ	19,6	18,9	2,2	7,2
86	23-ΔΕΚ	6:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΑΝΑΤΟΛΗ	22,1	21,3	1,4	7,1
87	23-ΔΕΚ	12:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΑΝΑΤΟΛΗ	21,6	22,2	16,8	18,9
88	23-ΔΕΚ	18:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΑΝΑΤΟΛΗ	22,2	21	7	11,2
89	24-ΔΕΚ	0:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΑΝΑΤΟΛΗ	28	27,6	3,6	9,2
90	24-ΔΕΚ	6:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΑΝΑΤΟΛΗ	22,5	19,6	1,3	8,3
91	24-ΔΕΚ	12:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΑΝΑΤΟΛΗ	21,1	23,4	15	18,1
92	24-ΔΕΚ	18:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΑΝΑΤΟΛΗ	22,7	21,1	9	12,3
93	25-ΔΕΚ	0:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΑΝΑΤΟΛΗ	19,8	20,5	4,1	9,3
94	25-ΔΕΚ	6:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΑΝΑΤΟΛΗ	21,9	20,3	0,9	7,1
95	25-ΔΕΚ	12:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΑΝΑΤΟΛΗ	22,5	21,9	8,9	14,4
96	25-ΔΕΚ	18:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΑΝΑΤΟΛΗ	21	19,9	7,6	11,4
97	26-ΔΕΚ	0:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΑΝΑΤΟΛΗ	25,6	24,3	5	9,4
98	26-ΔΕΚ	6:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΑΝΑΤΟΛΗ	20,7	19,7	4,5	10,6
99	26-ΔΕΚ	12:00	ΑΡΑΙΗ ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΑΝΑΤΟΛΗ	19,9	19,3	9,9	13
100	26-ΔΕΚ	18:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΑΝΑΤΟΛΗ	20,8	19,6	8,8	12,2
101	27-ΔΕΚ	0:00	ΒΡΟΧΗ	ΑΝΑΤΟΛΗ	27,2	24,4	6,7	9,5
102	27-ΔΕΚ	6:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΑΝΑΤΟΛΗ	21	20,4	3,4	8,3
103	27-ΔΕΚ	12:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΑΝΑΤΟΛΗ	22,1	20,8	8,1	11,1
104	27-ΔΕΚ	18:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΑΝΑΤΟΛΗ	21,9	20,3	1,9	7,3
105	28-ΔΕΚ	0:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΑΝΑΤΟΛΗ	21	19,3	-0,4	4,8
106	28-ΔΕΚ	6:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΑΝΑΤΟΛΗ	22,6	21,3	0	5,2
107	28-ΔΕΚ	12:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΑΝΑΤΟΛΗ	20,4	19,8	8,5	10,8
108	28-ΔΕΚ	18:00	ΣΥΝΝΕΦΙΑ	ΑΝΑΤΟΛΗ	22,2	19,5	5,9	9,7
109	29-ΔΕΚ	0:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΑΝΑΤΟΛΗ	22,2	20,3	8,1	11,5
110	29-ΔΕΚ	6:00	ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ	ΑΝΑΤΟΛΗ	22,8	20,9	7,5	10,5
111	29-ΔΕΚ	12:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΑΝΑΤΟΛΗ	20,4	19,9	7,1	7,6
112	29-ΔΕΚ	18:00	ΚΑΘΑΡΟΣ	ΑΝΑΤΟΛΗ	22,3	19,3	2,8	7,8

**Παράρτημα Β: Σχέδια κτηρίου με χρήση Autocad 2012
Educational Version**

Κάτοψη 1^{ου} ορόφου



Κάτοψη 2^{ου} ορόφου

