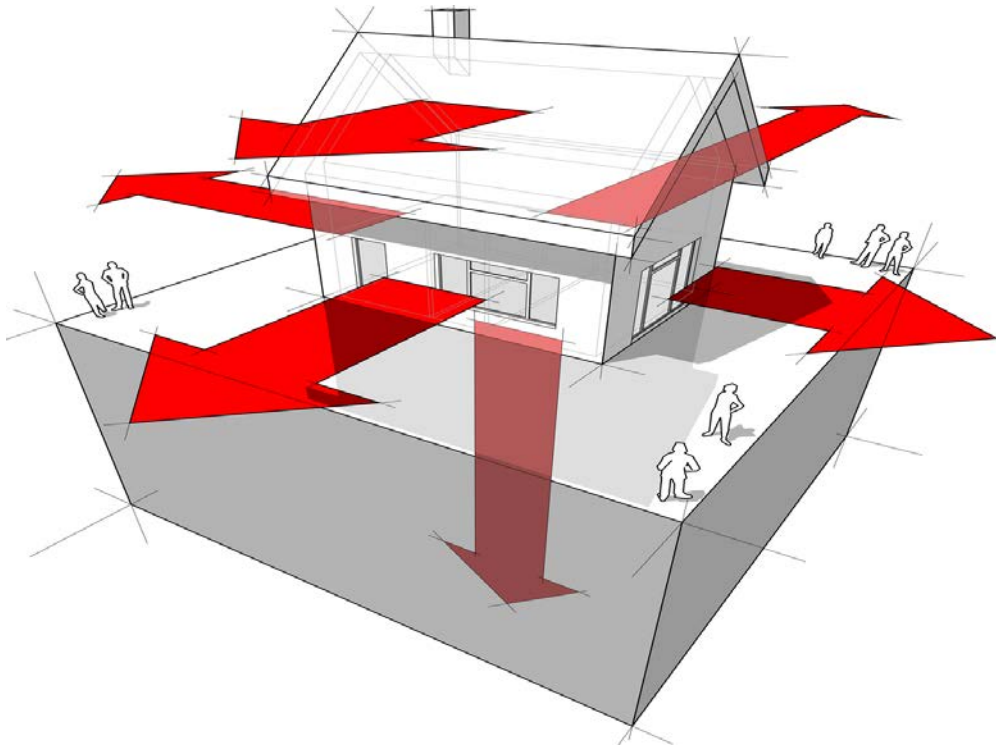




Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών
Τομέας Συνθέσεων Τεχνολογικής Αιχμής

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Χρήση θερμομονωτικών υλικών για θερμομόνωση των
κτιρίων στην Ελλάδα»**



ΠΑΝΑΓΟΥΛΙΑ ΓΕΩΡΓΙΑ - ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ

Επιβλέπων Καθηγητής: **ΠΟΥΛΑΚΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**

Αθήνα, Μάρτιος 2013

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Περίληψη	5
Abstract.....	6
Ευχαριστίες.....	7
Κατάλογος Πινάκων	8
Κατάλογος Διαγραμμάτων	9
Κατάλογος Εικόνων.....	10
Κεφάλαιο 1^ο: Η αναγκαιότητα της θερμομόνωσης.....	13
1.1 Ενεργειακή κατανάλωση κτιρίων	13
1.2 Μέθοδοι βελτίωσης ενεργειακής απόδοσης	17
1.3 Η συμβολή της θερμομόνωσης στην ενεργειακή απόδοση.....	21
1.4 Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (KENAK)	24
Κεφάλαιο 2^ο: Θερμομονωτική προστασία κτιριακού κελύφους	26
2.1 Θερμομόνωση εξωτερικής τοιχοποιίας	26
2.1.1 Εσωτερική θερμική προστασία	27
2.1.2 Εξωτερική θερμική προστασία	29
2.1.4 Θερμική προστασία με θερμομονωτικά τούβλα	33
2.1.5 Θερμική προστασία με διάκενο αερισμού	34
2.2 Θερμομόνωση δώματος.....	35
2.3 Θερμομόνωση φυτεμένου δώματος.....	38
2.4 Θερμομόνωση στέγης.....	41
2.4.1 Θερμομόνωση οροφής κάτω από μη θερμομονωμένη στέγη	42
2.4.2 Θερμομόνωση ξύλινης στέγης	42
2.4.3 Θερμομόνωση στέγης σε υπό κλίση πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος	44
2.5 Θερμομόνωση πυλωτής	44
2.6 Θερμογέφυρες.....	47
Κεφάλαιο 3^ο: Θερμομονωτικά υλικά	53
3.1 Ιδιότητες θερμομονωτικών υλικών.....	53
3.1.1 Πυκνότητα.....	53

3.1.2 Συντελεστής θερμοπερατότητας (k).....	54
3.1.3 Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας (λ).....	54
3.1.4 Συντελεστής θερμοδιαφυγής (Λ)	54
3.1.5 Συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών	54
3.1.6 Επίδραση θερμοκρασίας	55
3.1.7 Επίδραση της υγρασίας	55
3.1.8 Επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας.....	56
3.1.9 Μεταβολή των διαστάσεων.....	56
3.1.10 Χημική συμπεριφορά	57
3.1.11 Αντίσταση στη φωτιά.....	57
3.1.12 Μηχανική αντοχή.....	57
3.2 Ταξινόμηση και επιλογή θερμομονωτικών υλικών	58
3.3 Θερμομονωτικά υλικά στην Ελλάδα	59
3.3.1 Υαλοβάμβακας.....	59
3.3.2 Πετροβάμβακας.....	65
3.3.3 Διογκωμένη πολυστερίνη.....	69
3.3.4 Αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη.....	73
3.3.5 Πολυουρεθάνη	77
3.3.6 Ξυλόμαλλο	82
3.3.7 Αφρώδες γυαλί.....	86
3.3.8 Θερμομονωτικά τούβλα	90
3.3.9 Περλίτης.....	94
3.3.10 Αφρώδης διογκωμένος φελλός	96
3.4 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση θερμομονωτικών υλικών.....	99
Κεφάλαιο 4^ο: Συγκριτική αξιολόγηση θερμομονωτικών υλικών	102
4.1 Σύγκριση πετροβάμβακα και εξηλασμένης πολυστερίνης.....	102
4.2 Συγκριτική μελέτη υλικών πολυουρεθάνης.....	106
4.3 Συγκριτική μελέτη θερμομονωτικής πλάκας από εξηλασμένη πολυστερίνη	109
4.4 Συγκριτική μελέτη συστήματος εξωτερικής θερμομόνωσης.....	110

Κεφάλαιο 5^ο: Συμπεράσματα	112
Βιβλιογραφία	114

Περίληψη

Η ενεργειακή κρίση του 1973 και η σημαντική από τότε αύξηση του κόστους της ενέργειας οδήγησε όλες τις χώρες σε έντονη προσπάθεια μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας και των απωλειών της. Για την επιτυχία του στόχου αυτού η θερμομόνωση στα κτίρια είναι μέτρο πρωταρχικής σημασίας. Η θερμομόνωση έχει σκοπό να περιορίσει στο ελάχιστο τις ανταλλαγές θερμότητας μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος και να επιτύχει τη δημιουργία ενός ευχάριστου εσωκλίματος με τη μικρότερη δυνατή κατανάλωση ενέργειας και συνεπώς με το μικρότερο δυνατό κόστος.

Έχει εκτιμηθεί ότι με τη θερμική προστασία ενός συνηθισμένου κτιρίου μπορεί να εξοικονομηθεί μέχρι 45% της ενέργειας που απαιτείται για τη λειτουργία του. Σε ορισμένες μάλιστα ακραίες περιπτώσεις το ποσοστό αυτό μπορεί να φτάσει και το 60%. Από την άλλη, έχει υπολογισθεί ότι η αγορά και τοποθέτηση των θερμομονωτικών υλικών σε ένα νεοαναγειρόμενο κτίριο σπανίως υπερβαίνει το 2% με 4% του αρχικού συνολικού κόστους κατασκευής.

Στην παρούσα εργασία γίνεται παρουσίαση των κυριότερων θερμομονωτικών υλικών που κυκλοφορούν στην ελληνική αγορά. Για κάθε θερμομονωτικό υλικό παρουσιάζεται η διαδικασία παραγωγής του, οι ιδιότητές του, οι οποίες του προσδίδουν τον τίτλο του μονωτικού υλικού καθώς και σε ποια σημεία της κατασκευής είναι προτιμότερο να τοποθετηθεί, για να έχει το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα. Εκτός από την ανάλυση των ιδιοτήτων και των τρόπων εφαρμογής των θερμομονωτικών υλικών πραγματοποιείται ανάλυση του περιβαλλοντικού αντίκτυπου από τη στιγμή της κατασκευής τους μέχρι το τέλος της ζωής τους και την ανακύκλωση. Τέλος, παρουσιάζεται συγκριτική μελέτη των ιδιοτήτων μεταξύ του πετροβάμβακα και της εξηλασμένης πολυστερίνης καθώς και μελετών που σκοπό έχουν να παρουσιάσουν το ποσοστό μείωσης κατανάλωσης ενέργειας που μπορεί να επιφέρει η τοποθέτηση θερμομονωτικής στρώσης σε μία κατασκευή.

Λέξεις κλειδιά:

Θερμομόνωση, θερμομονωτικά υλικά, εξοικονόμηση ενέργειας, κατανάλωση ενέργειας, KENAK

Abstract

The energy crisis of 1973 and a significant increase of the energy cost led all countries in intense efforts to reduce energy consumption and losses. For the success of this goal insulation in buildings is paramount measure. The insulation is designed to minimize heat exchange between internal and external environment and succeed in creating a good indoor climate with the lowest possible energy consumption and thus the lowest possible cost.

It is estimated that the thermal protection of a conventional building can save up to 45% of the energy needed for its operation. In some extreme cases, this figure may reach 60%. On the other hand, has calculated that the purchase and installation of thermal insulation materials in a new building rarely exceeds 2% to 4% of the original total cost of construction.

This study presents the main insulation materials that are available in Greek market. For each insulation material presented its production process, its properties, which gives it the title of the insulation material and which parts of the structure is better placed to have the best possible result. Except from the analysis of the properties and methods of application of thermal insulation materials analyzed the environmental impacts from the time of manufacture until the end of life and recycling. Finally, presented a comparative study between the properties of wool and extruded polystyrene and studies which want to show the percentage reduction in energy consumption can lead placement insulating layer in a structure.

Keywords:

Insulation, thermal insulation materials, energy conservation, energy consumption, KENAK

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του 10ου εξαμήνου σπουδών της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ. Με την ολοκλήρωση της εργασίας αυτής θα ήθελα να ευχαριστήσω μέσα από την καρδιά μου τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Πουλάκο Γεώργιο για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε στην ανάθεση της εργασίας αυτής καθώς και για την αδιάκοπη βοήθειά του κατά τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας. Η συμβολή του μέσω των γνώσεών του, της εμπειρίας του και της μεταδοτικότητας του ήταν καθοριστική. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Μελισσειδή Αντώνη, Υπεύθυνο Ποιότητας της εταιρείας Dow Hellas για τη βοήθειά του στην έρευνά μου σχετικά με τις θερμομονωτικές πλάκες εξηλασμένης πολυστερίνης. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την αμέριστη συμπαράσταση που μου προσέφερε.

Κατάλογος Πινάκων

Πίν. 3.1: Τεχνικά χαρακτηριστικά υαλοβάμβακα.....	65
Πίν. 3.2: Τεχνικά χαρακτηριστικά πετροβάμβακα.....	68
Πίν. 3.3: Τεχνικά χαρακτηριστικά διογκωμένης πολυστερίνης.....	73
Πίν. 3.4: Τεχνικά χαρακτηριστικά αφρώδους εξηλασμένης πολυστερίνης.....	77
Πίν. 3.5: Τεχνικά χαρακτηριστικά αφρώδους πολυουρεθάνης.....	82
Πίν. 3.6: Τεχνικά χαρακτηριστικά ξυλόμαλλου.....	86
Πίν. 3.7: Τεχνικά χαρακτηριστικά αφρώδους γυαλιού.....	89
Πίν. 3.8: Τεχνικά χαρακτηριστικά θερμομονωτικών τούβλων.....	93
Πίν. 3.9: Τεχνικά χαρακτηριστικά περλίτη.....	96
Πίν. 3.10: Τεχνικά χαρακτηριστικά αφρώδους διογκωμένου φελλού.....	98
Πίν. 4.1: Ποσότητες ρύπων που εκπέμπονται για τον πετροβάμβακα και την εξηλασμένη πολυστερίνη.....	106
Πίν. 4.2: Συγκριτική μελέτη συντελεστή θερμοαγωγιμότητας μονωτικών υλικών...	107
Πίν. 4.3: Συσχέτιση θερμομονωτικής κατάστασης με τιμή θερμοδιαφυγής.....	108
Πίν. 4.4: Αποτελέσματα ενεργειακής μελέτης για θερμομόνωση ταράτσας μονοκατοικίας.....	109
Πίν. 4.5: Ετήσιο κόστος θέρμανσης – δροσισμού και ετήσιο όφελος από την εφαρμογή του συστήματος THERMOPROSOPSIS.....	111

Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1.1: Η αυξητική πορεία της ηλεκτρικής κατανάλωσης στην Ευρώπη.....	14
Διάγραμμα 1.2: Τομείς κατανάλωσης ενέργειας στην Ευρώπη.....	15
Διάγραμμα 1.3: Κατανομή της κατανάλωσης ενέργειας στον οικιακό τομέα στην Ελλάδα.....	16
Διάγραμμα 1.4: Διαχρονική εξέλιξη των ρύπων CO ₂ στην Ελλάδα.....	17
Διάγραμμα 1.5: Ποσοστά μορφών θερμομόνωσης σε υφιστάμενες κατοικίες.....	23
Διάγραμμα 4.1: Προτίμηση θερμομονωτικών υλικών στην ευρωπαϊκή και ελληνική αγορά.....	103
Διάγραμμα 4.2: Σύγκριση τιμών συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας πετροβάμβακα και εξηλασμένης πολυστερίνης.....	103
Διάγραμμα 4.3: Σύγκριση τιμών θερμοκρασιών χρήσης πετροβάμβακα και εξηλασμένης πολυστερίνης.....	104
Διάγραμμα 4.4: Σύγκριση τιμών πυραντοχής πετροβάμβακα και εξηλασμένης πολυστερίνης.....	104
Διάγραμμα 4.5: Σύγκριση τιμών συντελεστή αντίστασης στη διάχυση υδρατμών πετροβάμβακα και εξηλασμένης πολυστερίνης.....	105
Διάγραμμα 4.6: Ενέργεια παραγωγής πετροβάμβακα και εξηλασμένης πολυστερίνης.....	106
Διάγραμμα 4.7: Εξοικονόμηση ενέργειας στη λειτουργία της κατοικίας.....	108

Κατάλογος Εικόνων

Εικ. 1.1: Βιοκλιματικό κέλυφος που αξιοποιεί τα ευνοϊκά κλιματικά δεδομένα.....	19
Εικ. 1.2: Κατανομή ηλιακών κερδών κατά τη διάρκεια του έτους.....	20
Εικ. 1.3: επίδραση καιρικών συνθηκών στο κτιριακό κέλυφος.....	21
Εικ. 2.1: Εσωτερική τοποθέτηση θερμομόνωσης.....	27
Εικ. 2.2: Τοποθέτηση εξωτερικής μόνωσης με επικάλυψη διακοσμητικά τούβλα (αριστερά) και επίχρισμα (δεξιά).....	30
Εικ. 2.3: Διάταξη θερμομόνωσης στον πυρήνα της τοιχοποιίας.....	32
Εικ. 2.4: Τοιχοποιία με θερμομονωτικό τούβλο.....	33
Εικ. 2.5: Διάταξη δικέλυφης κατασκευής με διάκενο αερισμού.....	34
Εικ. 2.6: Τομή συμβατικού δώματος.....	37
Εικ. 2.7: Τομή αντεστραμμένου δώματος.....	37
Εικ. 2.8: Τομή αεριζόμενου δώματος.....	38
Εικ. 2.9: Τομή εντατικού τύπου φυτεμένου δώματος.....	39
Εικ. 2.10: Τομή εκτατικού τύπου φυτεμένου δώματος.....	40
Εικ. 2.11: Τομή ημιεντατικού τύπου φυτεμένου δώματος.....	40
Εικ. 2.12: Θερμομόνωση οριζόντιας οροφής κάτω από μη θερμομονωμένη ξύλινη στέγη.....	42
Εικ. 2.13: Θερμομόνωση ξύλινης στέγης από την εσωτερική πλευρά.....	43
Εικ. 2.14: Θερμομόνωση πυλωτής από την εξωτερική πλευρά.....	46
Εικ. 2.15: Θερμομόνωση πυλωτής από την εσωτερική πλευρά.....	47
Εικ. 2.16: Θερμογέφυρα λόγω απουσίας θερμομόνωσης σε στοιχείο του φέροντος οργανισμού.....	50
Εικ. 2.17: Θερμογέφυρα στον πρόβολο ως προέκταση της φέρουσας πλάκας.....	50
Εικ. 2.18: Θερμογέφυρα στα περιμετρικά και ενδιάμεσα δοκάρια του υπογείου και της πυλωτής.....	51
Εικ. 2.19: Θερμομόνωση στο σημείο σύνδεσης φέροντος οργανισμού και τοιχοποιία	

πλήρωσης.....	51
Εικ. 2.20: Θερμογέφυρα στον περίδεσμο ενίσχυσης (σενάζ).....	52
Εικ. 3.1: Παραγωγική διαδικασία υαλοβάμβακα.....	60
Εικ. 3.2: Πάπλωμα υαλοβάμβακα σε ρολό.....	62
Εικ. 3.3: Πάπλωμα υαλοβάμβακα προστατευμένο από τη μία του όψη με φύλλο αλουμινίου.....	62
Εικ. 3.4: Πάπλωμα υαλοβάμβακα με μεταλλικό πλέγμα.....	63
Εικ. 3.5: Απλές πλάκες υαλοβάμβακα.....	63
Εικ. 3.6: Ενισχυμένες πλάκες με υαλούφασμα.....	64
Εικ. 3.7: Κοχύλια υαλοβάμβακα.....	64
Εικ. 3.8: Παραγωγική διαδικασία πετροβάμβακα.....	66
Εικ. 3.9: Πάπλωμα υαλοβάμβακα ενισχυμένο με μεταλλικό πλέγμα.....	67
Εικ. 3.10: Ενισχυμένες πλάκες πετροβάμβακα.....	67
Εικ. 3.11: Κοχύλια πετροβάμβακα.....	68
Εικ. 3.12: Χύμα πετροβάμβακα.....	69
Εικ. 3.13: Παραγωγική διαδικασία διογκωμένης πολυστερίνης.....	69
Εικ. 3.14: Σφαιρίδια διογκωμένης πολυστερίνης διαμέτρου περίπου 2 χιλιοστών...70	
Εικ. 3.15: Πλάκες διογκωμένης πολυστερίνης διαφόρων παχών.....	72
Εικ. 3.16: Πλάκες αφρώδους εξηλασμένης πολυστερίνης με και χωρίς πατούρα...74	
Εικ. 3.17: Τοποθέτηση πλακών αφρώδους εξηλασμένης πολυστερίνης εξωτερικά των δομικών στοιχείων και στον πυρήνα της τοιχοποιίας.....	75
Εικ. 3.18: Τοποθέτηση πλακών αφρώδους εξηλασμένης πολυστερίνης σε αντεστραμμένο δώμα και σε ψευδοροφή.....	76
Εικ. 3.19: Πλάκες αφρώδους εξηλασμένης πολυστερίνης με επικάλυψη γυψοσάνιδα.....	76
Εικ. 3.20: Πλάκες αφρώδους εξηλασμένης πολυστερίνης με επικάλυψη χυτό κονίαμα.....	77

Εικ. 3.21: Δομή πολυουρεθάνης.....	78
Εικ. 3.22: Διαδικασία εκτόξευσης πολυουρεθάνης.....	79
Εικ. 3.23: Προκατασκευασμένες πλάκες πολυουρεθάνης με μεταλλικά φύλλα κυματοειδούς μορφής.....	80
Εικ. 3.24: Χαλύβδινος προκατασκευασμένος οικίσκος με θερμομονωτικό πανό πολυουρεθάνης.....	81
Εικ. 3.25: Εφαρμογή αφρού πολυουρεθάνης σε μεταλλική στέγη και βιομηχανική εγκατάσταση.....	81
Εικ. 3.26: Απλές πλάκες ξυλόμαλλου, τύπου σάντουιτς με προσθήκη διογκωμένης πολυστερίνης και πετροβάμβακα.....	84
Εικ. 3.27: Εξωτερική και εσωτερική θερμική προστασία με ξυλόμαλλο.....	85
Εικ. 3.28: Δομή αφρώδους γυαλιού.....	87
Εικ. 3.29: Πλάκες αφρώδους γυαλιού.....	87
Εικ. 3.30: Τοποθέτηση πλακών αφρώδους γυαλιού σε δώμα.....	88
Εικ. 3.31: Απλό θερμομονωτικό τούβλο και θερμομονωτικό τούβλο με γέμιση πολυουρεθάνης.....	90
Εικ. 3.32: Κατασκευή από θερμομονωτικά τούβλα.....	92
Εικ. 3.33: Κόκκοι περλίτη και περλίτης σε σάκους.....	94
Εικ. 3.34: Αφρώδης διογκωμένος φελλός.....	97
Εικ. 3.35: Χρήση διογκωμένου φελλού σε εσωτερικό χώρο και στον πυρήνα της τοιχοποιίας.....	98
Εικ. 4.1: Διαχωρισμός ελληνικής επικράτειας σε κλιματικές ζώνες.....	110

Κεφάλαιο 1^ο

Η αναγκαιότητα της θερμομόνωσης

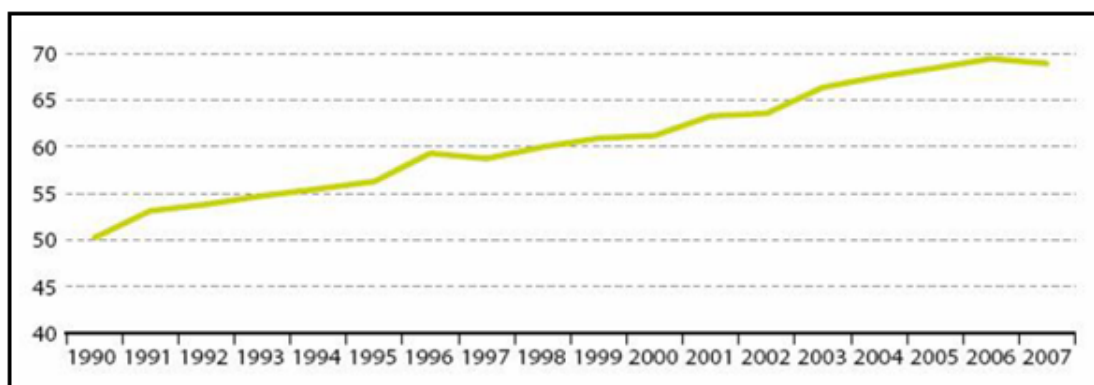
1.1 Ενεργειακή κατανάλωση κτιρίων

Οι πόλεις διαρκώς επεκτείνουν τα όρια και τον πληθυσμό τους. Η αυξημένη βιομηχανοποίηση και αστικοποίηση των τελευταίων χρόνων έχει επηρεάσει δραματικά τον αριθμό των αστικών κτιρίων με σημαντική επιβάρυνση στην ενεργειακή κατανάλωση του τομέα αυτού. Αναμένεται ότι περίπου 700 εκατομμύρια άνθρωποι θα μετακινηθούν προς τις αστικές περιοχές κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας αυτού του αιώνα. Ο αριθμός των κατοίκων στα αστικά κέντρα αυξήθηκε από 600 εκατομμύρια το 1890 σε 2 εκατομμύρια το 1986 και αν αυτή η ανάπτυξη συνεχιστεί, περισσότερος από τον μισό πληθυσμό του κόσμου, μέχρι το τέλος του αιώνα θα κατοικεί σε πόλεις. Αναφέρεται ότι πριν 100 χρόνια, μόνο το 14% του παγκόσμιου πληθυσμού ζούσε σε πόλεις ενώ το 1950, λιγότερο από το 30% του παγκόσμιου πληθυσμού ήταν αστικό. Όπως εκτιμάται, στις Ηνωμένες Πολιτείες, το 90% του πληθυσμού κατοικεί εντός ή γύρω από αστικά κέντρα, ενώ αναμένεται ο αστικός πληθυσμός να αποτελεί το 80% του συνολικού πληθυσμού της γης το 2100. Παραπλήσιες συνθήκες εμφανίζονται και στην Ευρώπη. Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1970, τα αστικά κτίρια στην Ελλάδα αντιπροσώπευαν περίπου το 14% των κτιρίων της χώρας. Λόγω της αστικοποίησης, το ποσοστό των αστικών κατασκευών του τριτογενή τομέα, κατά τη δεκαετία 1980, έχει αυξηθεί σε 55%. [Κοσμόπουλος, 2008]

Είναι σαφές ότι αστικές περιοχές χωρίς υψηλή κλιματική ποιότητα, εμφανίζουν αυξημένη ζήτηση για κατανάλωση ενέργειας καθώς και αύξηση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου και κυρίως διοξειδίου του άνθρακα. Επομένως, γίνεται ολοένα και πιο σημαντική η ορθολογική χρήση και η εξοικονόμηση ενέργειας κυρίως στον κτιριακό τομέα, όπου και εμφανίζεται η μεγαλύτερη κατανάλωση.

Τα νοικοκυριά και ο τριτογενής τομέας αποτελούν τον κτιριακό τομέα μιας χώρας. Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στις ευρωπαϊκές χώρες εμφανίζει αυξητική τάση από το 2000 έως το 2007, όπου η κατανάλωση στον κτιριακό τομέα

ανερχόταν σε 69 εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου πετρελαίου. Την δεκαετία 1990 – 2000 η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας είχε αυξητική πορεία σε ποσοστό 2% ανά έτος. Η αυξητική αυτή πορεία συνεχίστηκε μέχρι το 2007 με πτωτικούς ρυθμούς της τάξης του 1.7%. Σύμφωνα με μελέτες οι χώρες με μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας είναι αυτές που συγκεντρώνουν το μεγαλύτερο ποσοστό του πληθυσμού. Έτσι, η Γερμανία, η Γαλλία, η Μ. Βρετανία, η Ιταλία, η Ισπανία και η Πολωνία καταναλώνουν το 80% της ενέργειας. [Eurostat]

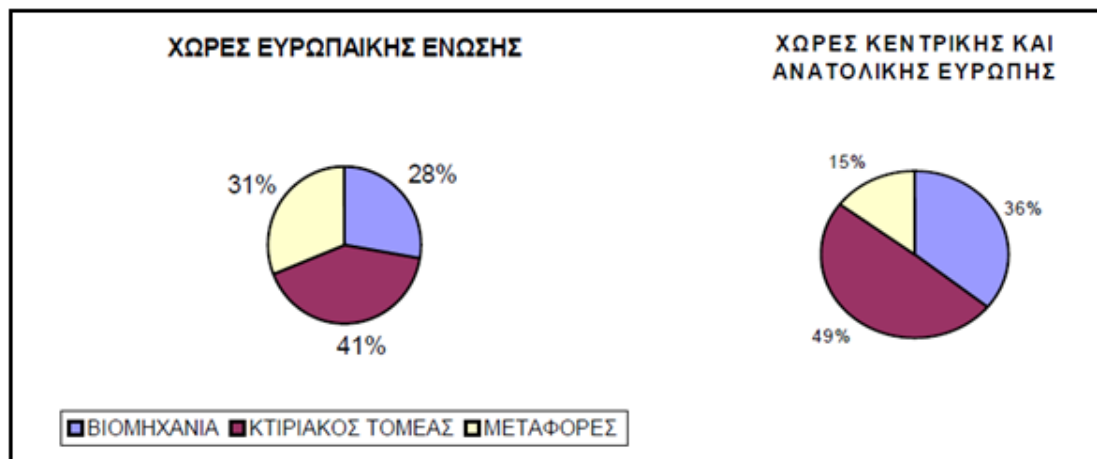


Διάγραμμα 1.1: Η αυξητική πορεία της ηλεκτρικής κατανάλωσης στην Ευρώπη.

Πηγή: Eurostat

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, ο κτιριακός τομέας καταναλώνει περίπου το 40% της παραγόμενης ενέργειας, ενώ στις πρώην ανατολικές χώρες και στις χώρες της κεντρικής Ευρώπης ανέρχεται σε 49%. Από το σύνολο των ενεργειακών καταναλώσεων, το 69% χρησιμοποιείται για τη θέρμανση των κτιρίων, 15% για τη παραγωγή ζεστού νερού, ενώ το 11% χρησιμοποιείται για το φωτισμό και τη χρήση των ηλεκτρικών συσκευών. [www.cres.gr]

Η πηγή για την παραγωγή της πρωτογενούς ενέργειας ποικίλλει ανάλογα με τους φυσικούς πόρους που είναι διαθέσιμοι στην κάθε ευρωπαϊκή χώρα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η Γαλλία, στην οποία το μεγαλύτερο μέρος της παραγόμενης ενέργειάς της οφείλεται στην πυρηνική ενέργεια. Αντίθετα η Δανία κάνει χρήση τις ΑΠΕ ενώ η Κύπρος, η Λετονία, η Φιλανδία και η Σουηδία κάνουν εντατική χρήση της βιομάζας. [Eurostat]



Διάγραμμα 1.2: Τομείς κατανάλωσης ενέργειας στην Ευρώπη.

Πηγή: http://portal.tee.gr/portal/page/portal/teetkm/DRASTHRIOTHTES/EKDHLVSEIS/PROSEXEIS_EKDHLWSEIS/ENERGEIAKO_PISTOPOIHTIKO_KTIRIWN/Tab1/axarlh.pdf

Η Ελλάδα θεωρείται ως η πιο ενεργοβόρα χώρα που υπάρχει αυτή τη στιγμή στην Ευρώπη. Τα κτίρια της ανά τετραγωνικό μέτρο έχουν τη μεγαλύτερη ενεργειακή κατανάλωση από οποιαδήποτε άλλη χώρα. Η Ελλάδα καταναλώνει αυτή τη στιγμή για θέρμανση περίπου διπλάσια ενέργεια για μια κατοικία από μια κατοικία στην Σουηδία. Η μέση κατανάλωση μιας κατοικίας στην Αθήνα είναι της τάξης των 140KWh/m² το χρόνο, όταν σήμερα κατασκευάζονται στη Σουηδία κτίρια τα οποία έχουν 20 και 30 και 10 KWh/m² το χρόνο. [Σανταμούρης, 2008, περιοδ. Energy Point]

Στην Ελλάδα, όπου εξαιτίας της μεγάλης ηλιοφάνειας κατά τους χειμερινούς μήνες και επομένως υπάρχουν μικρότερες απαιτήσεις σε θέρμανση, καταναλώνεται περίπου το 70% της ενέργειας, ενώ για τη χρήση οικιακών συσκευών, φωτισμού και κλιματισμού καταναλώνεται το 18% του συνολικού ενεργειακού ισοζυγίου με τον κλιματισμό να απορροφά το 2%, με συνεχώς αυξανόμενη τάση. Αντίθετα, ο τριτογενής τομέας απορροφά το 52% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας προκειμένου να θερμανθεί και το 17% για τον θερινό κλιματισμό. Αυτό σημαίνει ότι το 20% του ενεργειακού ισοζυγίου καταναλώνεται για τη θέρμανση και τον κλιματισμό του κτιριακού τομέα της χώρας έχοντας αυξητική τάση. [ΚΑΠΕ 2006]



Διάγραμμα 1.3: Κατανομή της κατανάλωσης ενέργειας στον οικιακό τομέα στην Ελλάδα.

Πηγή: ΚΑΠΕ, 2006

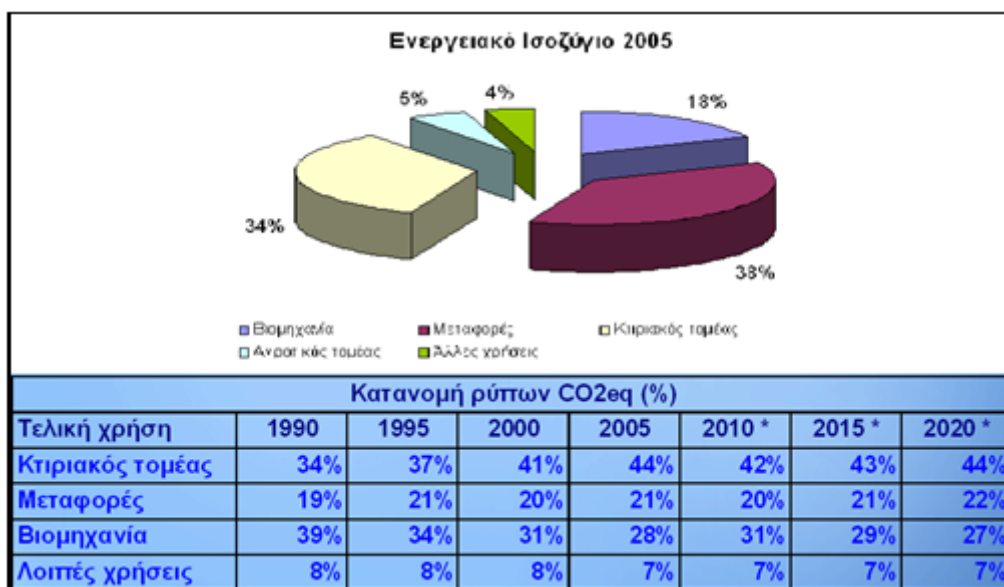
Κύρια πηγή της παραπάνω παραγόμενης ενέργειας είναι η καύση ορυκτών καυσίμων. Για την παραγωγή του ηλεκτρικού ρεύματος, ο λιγνίτης παραμένει το κατεξοχήν καύσιμο συμμετέχοντας κατά 69%, ενώ με την κατανάλωση πετρελαίου παράγεται περίπου το 20% του απαιτούμενου ηλεκτρικού φορτίου (ποσοστά του 1996). Το υπόλοιπο 11% του ηλεκτρικού φορτίου καλύπτεται με τις υδατοπτώσεις και παράγεται από υδροηλεκτρικά εργοστάσια. [Αξαρή, 2009]

Η αυξημένη ενεργειακή κατανάλωση του κτιριακού τομέα έχει ως αποτέλεσμα την εντεινόμενη περιβαλλοντική υποβάθμιση, συμβάλλοντας στο 14% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και στο 45% των εκπομπών CO₂. Στον ευρωπαϊκό χώρο, τα κτίρια εκπέμπουν 6 δισεκατομμύρια τόνους ενώσεων του άνθρακα, από τους οποίους οι 4.5 δις τόνοι προέρχονται από τις εκβιομηχανισμένες χώρες, όπου το 50% προέρχεται από τα κτίρια.

Παρόλο που η εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου της Ελλάδας αναλογικά με τις συνολικές εκπομπές από την Ευρωπαϊκή Ένωση είναι μικρή, η χώρα δεν βρίσκεται σε ευχάριστη θέση, διότι συνολικά παρουσιάστηκε αύξηση κατά 27,5% σε αντίθεση από την τάση μείωσης της μέσης τιμής στην Ε.Ε. Το 1998 οι συνολικές ετήσιες εκπομπές CO₂ ανέρχονταν σε 100,5 Mtn, από τους οποίους η παραγωγή ενέργειας και ο οικιακός εμπορικός τομέας συμμετείχαν με ποσοστά 51% και 12%

αντίστοιχα. Την περίοδο 1990-1998 τη μεγαλύτερη επίπτωση στις εκπομπές του CO₂ είχε η καύση των ορυκτών καυσίμων με μια αύξηση περίπου 19%. [ΚΑΠΕ, 2006]

Στην Ελλάδα το ενεργειακό ισοζύγιο και η αντιστοιχία σε ρύπους διαμορφώνεται σύμφωνα με το παρακάτω γράφημα.



Διάγραμμα 1.4: Διαχρονική εξέλιξη των ρύπων CO₂ στην Ελλάδα.

Πηγή: www.teelamia.tee.gr/EPIKAIROTHTA/Gaglia.pps

1.2 Μέθοδοι βελτίωσης ενεργειακής απόδοσης

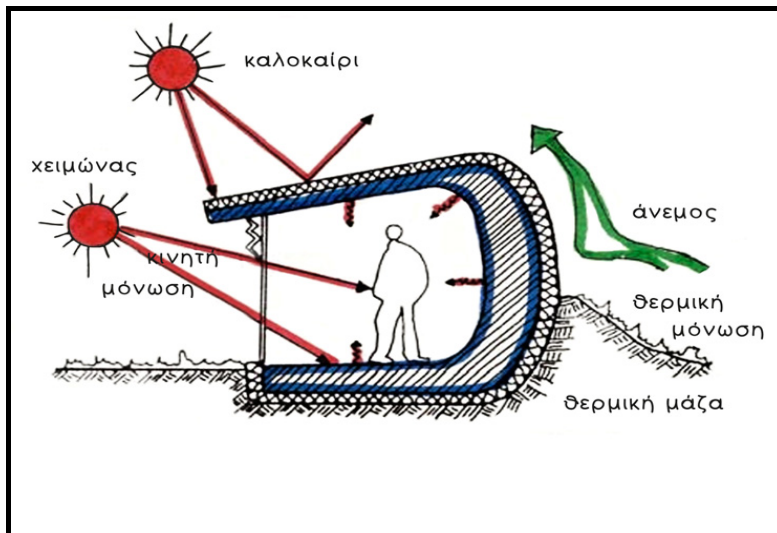
Ο ενεργειακός σχεδιασμός κτιρίων, και η ορθολογική χρήση της ενέργειας έχουν ένα και μοναδικό στόχο. Να διασφαλίσουν αποδεκτές εσωκλιματικές συνθήκες με τη σωστή θερμική συμπεριφορά του κτιρίου – χειμώνα καλοκαίρι – και συνεπώς να περιορίσουν την κατανάλωση ενέργειας, με όλα τα οφέλη που αυτό συνεπάγεται, οικονομικά, περιβαλλοντικά με τη μείωση των εκπομπών CO₂, ποιότητα ζωής κ.λπ. Ο παραπάνω στόχος στην περίπτωση του βιοκλιματικού σχεδιασμού επιτυγχάνεται με καθαρά σχεδιαστικούς χειρισμούς, ή με διάφορες τεχνικές στην κατασκευή του κτιρίου, περιορίζοντας με αυτόν τον τρόπο την εξάρτηση από το μηχανολογικό εξοπλισμό για τη θέρμανση ή ψύξη των κτιρίων. [Παπαδόπουλος, Αξαρχή, 1995] Έτσι, λειτουργώντας κτίρια καλύπτοντας τις ανάγκες τους με ηλιακή ενέργεια και άλλες ατμοσφαιρικές πηγές, μειώνεται η ενεργειακή συμπεριφορά της κατασκευής, καταναλώνοντας κατά πολύ λιγότερη ενέργεια από ότι οι αντίστοιχες συμβατικές κατασκευές.

Εξοικονόμηση ενέργειας στις κατασκευές προκύπτει από το σωστό και ορθολογικό σχεδιασμό, ο οποίος επιτυγχάνεται μέσω της σωστής χωροθέτησης του κτιρίου στο περιβάλλον και τον προσανατολισμό του, του μεγέθους, τον προσανατολισμό και τη θέση των ανοιγμάτων του, την προστασία του κελύφους από τις ατμοσφαιρικές εναλλαγές αλλά και από τη σωστή λειτουργία των συστημάτων θέρμανσης και δροσισμού.

Για να επιτύχει κανείς την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας την χειμερινή περίοδο, είναι αυτονόητο ότι θα πρέπει από τη μία πλευρά, να περιορίσει τις θερμικές απώλειες του κτιρίου, δηλαδή απώλειες με αγωγιμότητα και απώλειες αερισμού και από την άλλη πλευρά να μεγιστοποιήσει κυρίως τα θερμικά ηλιακά κέρδη. Αντίθετα κατά την θερινή περίοδο θα πρέπει να επιδιώκεται ο φυσικός δροσισμός του κτιρίου με την ελαχιστοποίηση των θερμικών κερδών και την θερμική αποφόρτιση του κτιρίου μέσω του αερισμού και άλλων σχετικών μέτρων.

Στα μεγάλα αστικά κέντρα και σε πυκνοδομημένες περιοχές το μεγαλύτερο πρόβλημα εμφανίζεται στη χωροθέτηση των κτιρίων στο οικόπεδο, τον προσανατολισμό και τον σκιασμό τους από τις απέναντι κατασκευές. Συνέπεια αυτού είναι η δυσκολία εκμετάλλευσης των θερμικών ηλιακών κερδών στην πλειοψηφία των κτιρίων, την υπερθέρμανση των εσωτερικών χώρων, κυρίως στα δυτικά, αλλά και ανατολικά προσανατολισμένα κτίρια την θερινή περίοδο, αλλά βέβαια και την αναγκαστική απομόνωση των βόρεια προσανατολισμένων κτιρίων από τον ήλιο. Πολλές φορές πάλι ακόμη και όταν διασφαλίζεται ο νότος, το πλεονέκτημα αυτό καταργείται, λόγω σκιασμού των όψεων από τα απέναντι κτίρια. Επομένως η σωστή τοποθέτηση και προσανατολισμός του κτιρίου εξασφαλίζεται ο ηλιασμός και ο φωτισμός της κατασκευής με φυσικό τρόπο. [Τσίππρας, 2000]

Στην εύκρατη ζώνη, βάσει των κλιματικών συνθηκών, καταλληλότερος προσανατολισμός θεωρείται ο νότιος, γιατί δέχεται τριπλάσια ηλιακή ακτινοβολία το χειμώνα σε σχέση με τον ανατολικό ή δυτικό, ενώ το καλοκαίρι μειώνεται στο μισό για τις νότια προσανατολισμένες επιφάνειες.



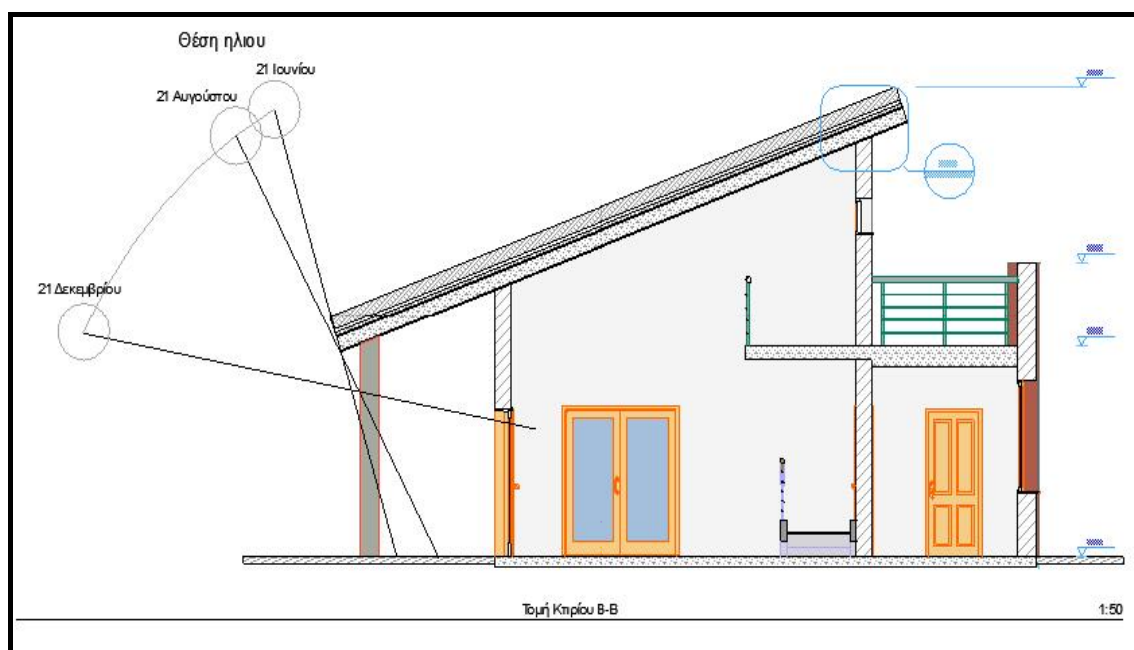
Εικ. 1.1: Βιοκλιματικό κέλυφος που αξιοποιεί τα ευνοικά κλιματικά δεδομένα.

Πηγή: <http://buildinggreen.gr/articles/%CE%AC%CF%81%CE%B8%CF%81%CE%B1/%CE%BF%CE%B9-%CE%B2%CE%B1%CF%83%CE%B9%CE%BA%CE%AD%CF%82-%CE%B1%CF%81%CF%87%CE%AD%CF%82-%CF%84%CE%BF%CF%85-%CE%B2%CE%B9%CE%BF%CE%BA%CE%BB%CE%B9%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CF%8D-%CF%83%CF%87-2/>

Η διασφάλιση της ιδιωτικότητας, της ασφάλειας και της ηχοπροστασίας καθιστά συχνά απαραίτητη τη μείωση της επιφάνειας των ανοιγμάτων, οπότε το άμεσο ηλιακό κέρδος από τα προβλεπόμενα νότια ανοίγματα είναι απαραίτητο να συνδυαστεί με άλλα παθητικά ηλιακά συστήματα. Επίσης, η ανάγκη οπτικής πρόσβασης του κτιρίου προς τη θέα ενός φυσικού τοπίου, οδηγεί συχνά στην παρέκκλιση του κτιρίου από το νότιο προσανατολισμό. Στην περίπτωση αυτή εφαρμόζονται συνήθως τεχνικές που εισάγουν το νότιο φως στο εσωτερικό μέσω ανοιγμάτων στην οροφή, ενώ καθίσταται ιδιαίτερα κρίσιμη η συμβολή της θερμομόνωσης του περιβλήματος για την επίτευξη των συνθηκών θερμικής άνεσης.

Στην περίπτωση βόρειου προσανατολισμού του κτιρίου, γεγονός που πρέπει να αποφεύγεται, θα πρέπει τα προβλεπόμενα ανοίγματα να διαστασιολογούνται βάσει των απαιτήσεων φυσικού φωτισμού και αερισμού των χώρων, γιατί διαφορετικά προκαλούν υψηλές θερμικές απώλειες κατά την περίοδο του χειμώνα. Η θέση των ανοιγμάτων αυτών προσφέρουν καλύτερη ποιότητα φωτισμού, χάρις στο διάχυτο φως που δέχονται και ταυτόχρονα συμβάλλουν στον δροσισμό του κτιρίου κατά τους καλοκαιρινούς μήνες.

Ο ανατολικός και δυτικός προσανατολισμός του κτιρίου και τα αντίστοιχα ανοίγματα εμφανίζουν ελάχιστα πλεονεκτήματα καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Για το λόγο αυτό η επιφάνειά τους συνιστάται να είναι περιορισμένη σε βαθμό που να καλύπτει τις απαραίτητες λειτουργίες σε φυσικό φωτισμό και θέα. Ειδικά τα δυτικά ανοίγματα συντελούν στην υπερθέρμανση του κτιρίου κατά τους θερινούς μήνες, καθώς επιτρέπουν την άμεση ακτινοβολία τις μεσημεριανές ώρες. Επομένως, ο νότιος προσανατολισμός είναι ο ιδεώδης για τη διάταξη των ανοιγμάτων σε ένα κτίριο. [Τσίππρας, 2000]



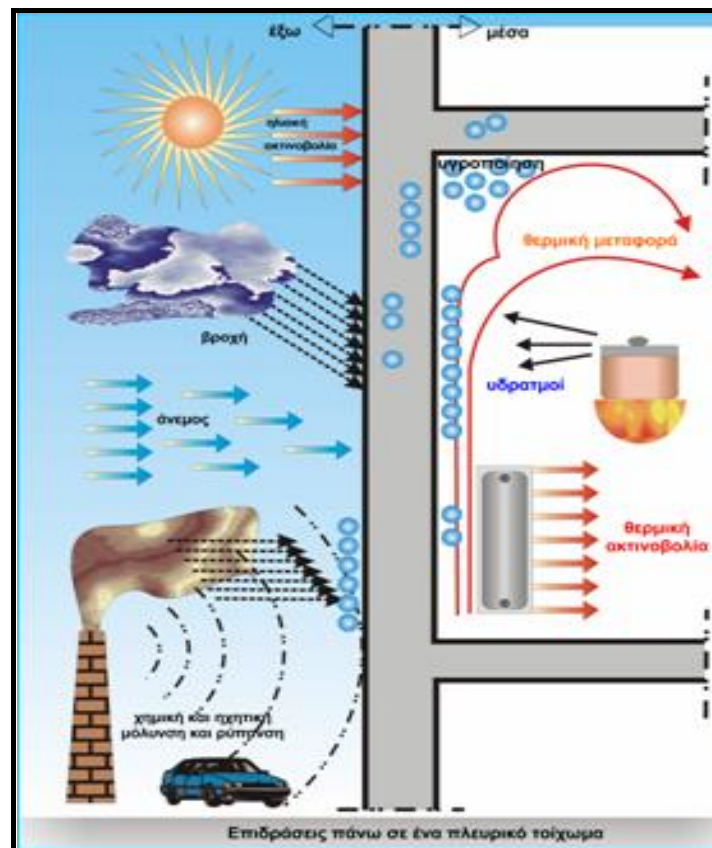
Εικ. 1.2: Κατανομή ηλιακών κερδών κατά τη διάρκεια του έτους.

Πηγή: <http://glkcivil.gr/services/meletes/arch>

Με βάση τα κριτήρια του ενεργειακού σχεδιασμού, το κέλυφος ενός κτιρίου έχει τριπλό ρόλο:

- Λειτουργεί ως επιλεκτικός ηλιακός συλλέκτης, αφού δεσμεύει την ηλιακή ακτινοβολία, η οποία είναι απαραίτητη κατά τη διάρκεια του χειμώνα και την κρατά μακριά κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Τα παραπάνω επιτυγχάνονται με τη βοήθεια των σωστά προσανατολισμένων ανοιγμάτων εξοπλισμένα με κατάλληλα σκίαστρα.

- Λειτουργεί ως φράγμα θερμικών απωλειών, αφού εμποδίζει τη θερμότητα να διαφύγει στο εξωτερικό περιβάλλον. Αυτό επιτυγχάνεται με τη προσθήκη θερμομόνωσης στο κτίριο καθώς και κινητών ρολών στα ανοίγματα.
- Λειτουργεί ως θερμική αποθήκη, αφού αποθηκεύει την ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται την ημέρα και την αποδίδει τις νυχτερινές ώρες. Αυτό συμβαίνει λόγω της θερμότητας που απορροφούν τα δομικά υλικά και στοιχεία του κτιρίου. Το μέγεθος αυτό της θερμότητας εξαρτάται από την θερμοχωρητικότητα των υλικών. [Αξαρχλή, 2009]



Εικ. 1.3: επίδραση καιρικών συνθηκών στο κτιριακό κέλυφος.

Πηγή: http://www.cres.gr/energy-saving/enimerosi_thermomonomosi.htm

1.3 Η συμβολή της θερμομόνωσης στην ενεργειακή απόδοση

Μία από τις βασικότερες παραμέτρους του ενεργειακού σχεδιασμού και κατασκευή των κτιρίων είναι η θερμομόνωση. Η μελέτη, ο σχεδιασμός και η τελική κατασκευή θερμομόνωσης στις κτιριακές κατασκευές αποσκοπεί στο να παρεμποδίζεται η διαφυγή της θερμικής ενέργειας από ένα χώρο εσωτερικό προς την

ατμόσφαιρα ή προς ένα άλλο, ψυχρότερο γειτονικό χώρο - ή αντίστροφα - και συγχρόνως δημιουργείται αίσθημα θερμικής άνεσης για τους χρήστες του κτιρίου καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

Σε παλαιότερες εποχές, η ανάγκη για μια τέτοια πρόβλεψη δεν ήταν επιβεβλημένη, αφού οι βαριές κατασκευές του περιβλήματος, η διάταξη των χώρων καθώς και η σύνθεση των όγκων των παραδοσιακών κτισμάτων, ήταν καθοριστικοί παράγοντες ρύθμισης της θερμομονωτικής ικανότητας, αλλά και της ροής της θερμότητας. Με τα χρόνια οι κατασκευές έγιναν πιο ελαφριές με αποτέλεσμα να είναι περισσότερο ευάλωτες στις καιρικές συνθήκες. Η προστασία των κατασκευών από τις θερμικές μεταβολές έγινε μέσω της εγκατάστασης τεχνητών συστημάτων, όπως είναι η κεντρική θέρμανση και ο κλιματισμός. Η τοποθέτηση αυτών των συστημάτων όμως είχε ως αποτέλεσμα την κατακόρυφη αύξηση στην κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας. [Οδηγός θερμομόνωσης, 2010]

Στην έννοια της θερμομόνωσης περιλαμβάνονται όλα εκείνα τα κατασκευαστικά μέτρα που σκοπό έχουν τη μείωση των θερμικών απωλειών και επομένως των δαπανών θέρμανσης όπως και την εξασφάλιση ενός άνετου εσωκλίματος στους χώρους διανομής και εργασίας. Τα μέτρα έχουν ως σκοπό:

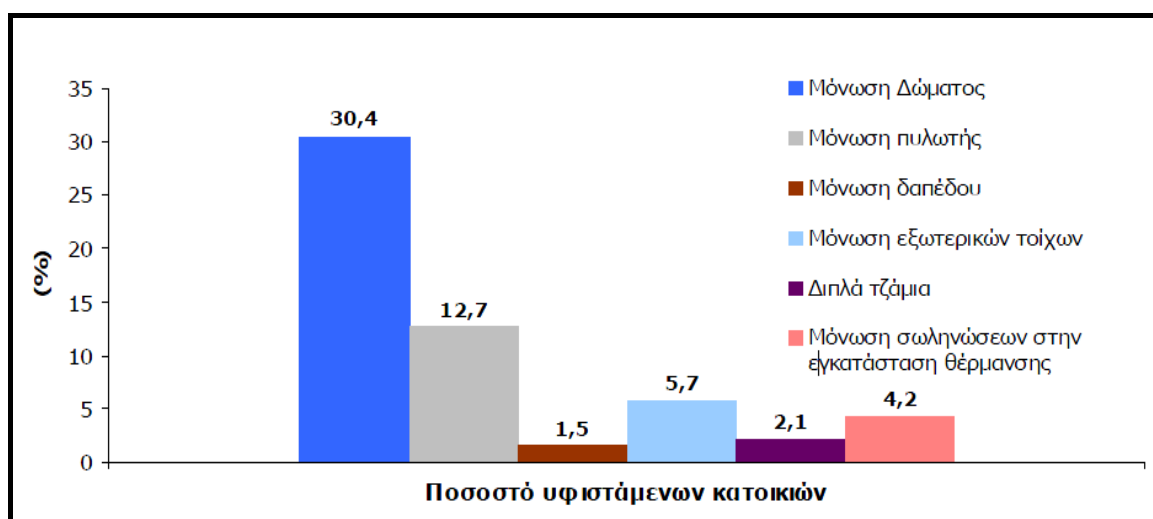
- Στην μείωση της μετάδοσης της θερμότητας μεταξύ χώρων με διαφορετική θερμοκρασία
- Στην αποφυγή υγραποίησης υδρατμών είτε στην επιφάνεια είτε στο εσωτερικό των δομικών στοιχείων
- Στη μείωση της ψύξης το χειμώνα και της υπερθέρμανσης το καλοκαίρι στα δομικά στοιχεία που αποτελούν το περίβλημα του κτιρίου
- Στη μείωση του χρόνου που απαιτείται για τη θέρμανση του χώρου στην αρχική φάση, σε χώρους που δε θερμαίνονται συνέχεια.

Τα παραπάνω μέτρα έχουν σαν επακόλουθο να αποφεύγονται βλάβες στα δομικά στοιχεία εξαιτίας δρόσου πάνω ή υγρασίας μέσα σε αυτά, τη μείωση του μεγέθους και κατ' επέκταση του κόστους εγκατάστασης της θέρμανσης, τη μείωση της εξωτερικής τοιχοποιίας εξασφαλίζοντας μεγαλύτερο ωφέλιμο χώρο και την ταυτόχρονη ηχοπροστασία της κατασκευής. Ακόμα τα παραπάνω μέτρα συμβάλλουν στην προστασία του περιβάλλοντος, εξαιτίας της μικρότερης ποσότητας πετρελαίου που απαιτείται για τη θέρμανση των χώρων, μειώνοντας ταυτόχρονα την εκπομπή

ρύπων, τα οποία ευθύνονται για το φαινόμενο του θερμοκηπίου. [Παπαδόπουλος, 1979]

Συμπερασματικά, η εξασφάλιση άνετης διαμονής, η οικονομία στη λειτουργία και στην αρχική εγκατάσταση θέρμανσης, η αποφυγή βλαβών και επομένως τα μικρότερα έξοδα συντήρησης καθώς και η αύξηση του χρόνου ζωής των κτιρίων που επιτυγχάνονται με τη θερμομόνωση κάνουν απαραίτητη και αποδοτική την δαπάνη της θερμομόνωσης. Δαπάνη που σε λίγο χρόνο αποσβένεται και στα υπόλοιπα χρόνια ζωής των κτιρίων συμβάλλει στην εξοικονόμηση ενέργειας.

Το 1979 θεσπίστηκε ο Ελληνικός Κανονισμός Θερμομόνωσης, καθορίζοντας τα μέγιστα όρια για την θερμοπερατότητα των διαφόρων στοιχείων και του κελύφους του κτιρίου. Έτσι, τα κτίρια τα οποία κατασκευάστηκαν πριν τον Κανονισμό δεν διαθέτουν θερμομόνωση, αλλά και κατά την πρώτη δεκαετία της εφαρμογής του τα κτίρια εμφανίζουν ελλιπή θερμομόνωση. Έτσι, από το σύνολο του κτιριακού αποθέματος της χώρας μόνο το 18% παρουσιάζει πλήρη ή μερική θερμομόνωση ενώ το 82% δεν έχει καθόλου. [http://www.cres.gr/energy-saving/enimerosi_thermomonsi.htm]



Διάγραμμα 1.5: Ποσοστά μορφών θερμομόνωσης σε υφιστάμενες κατοικίες.

Πηγή: (Ενέργεια 2001)

Σύμφωνα με μελέτες που έγιναν, από το ποσοστό των κτισμάτων που διαθέτουν θερμομόνωση το 30,4% έχουν μόνωση δώματος, το 12,7% μόνωση πυλωτής, το 1,5% μόνωση δαπέδου, το 5,1% μόνωση εξωτερικών τοίχων, το 2,1% διπλά τζάμια και το 4,2% μόνωση σωληνώσεων στην εγκατάσταση θέρμανσης.

[Ενέργεια, 2001] Επομένως από τα παραπάνω στατιστικά στοιχεία μπορεί να συμπεράνει κανείς ότι οι δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας είναι τεράστιες.

1.4 Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (ΚΕΝΑΚ)

Η ελληνική νομοθεσία που ρυθμίζει την ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων καθορίζει ουσιαστικά τις απώλειες από το κτιριακό κέλυφος προς το εξωτερικό περιβάλλον χωρίς να λαμβάνει πρόνοια για όλες τις υπόλοιπες συνιστώσες του ενεργειακού ισοζυγίου. Ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Μόνωσης πραγματοποίησε έρευνα σε όλη την Ευρώπη για τα απαιτούμενα επίπεδα θερμομόνωσης, όπου έδειξε οι απαιτήσεις στην Ελλάδα είναι εξαιρετικά χαλαρές και τα σχετικά όρια απωλειών είναι από τα μεγαλύτερα στην Ευρώπη. [Eurima, 2008]

Πολλές Ευρωπαϊκές χώρες έχουν ήδη εφαρμόσει εδώ και χρόνια, διάφορα νομικά και οικονομικά εργαλεία που εξυπηρετούν την εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια, από στενά νομικά πλαίσια και έλεγχο, μέχρι συστήματα επιδότησης, φοροαπαλλαγής κλπ. Τα μέτρα έχουν αποφέρει κέρδη μέσω της εξοικονόμησης ενέργειας των νέων κτιρίων έως 60% σε σχέση με τα κτίρια που κατασκευάστηκαν πριν το 1970 και έως 28% σε σχέση με τα κτίρια που κατασκευάστηκαν το 1985.

Στον ελληνικό χώρο, τον Απρίλιο του 2010, εκδόθηκε ο Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων – ΚΕΝΑΚ (Φ.Ε.Κ.407/9.4.2010), όπως προέβλεπε ο νόμος 3661/2008, που εναρμόνισε τη νομοθεσία της χώρας προς την κοινοτική οδηγία 91/2000 περί ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων.

Σκοπός του Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων είναι η διαμόρφωση του πλαισίου αρχών και ο καθορισμός των όρων και των προϋποθέσεων βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων. Πιο συγκεκριμένα, σκοπός του είναι η μείωση της κατανάλωσης συμβατικής ενέργειας για θέρμανση, ψύξη, κλιματισμό, φωτισμό και παραγωγή ζεστού νερού χρήσης με την ταυτόχρονη διασφάλιση συνθηκών άνεσης στους εσωτερικούς χώρους των κτιρίων. Ο σκοπός αυτός επιτυγχάνεται μέσω του ενεργειακά αποδοτικού σχεδιασμού του κελύφους, της χρήσης ενεργειακά αποδοτικών δομικών υλικών και ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων, ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας. [Φ.Ε.Κ. Β' 407/9.4.2010]

Οι βασικότερες ρυθμίσεις του Κ.Ε.Ν.Α.Κ. είναι:

- ορίζεται η μεθοδολογία υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης και ενεργειακής κατάταξης των κτιρίων,
- καθορίζονται οι ελάχιστες απαιτήσεις (kWh/m²) για την ενεργειακή απόδοση και ενεργειακή κατάταξη των νέων και ριζικώς ανακαινιζόμενων κτιρίων μέσω της μεθοδολογίας του κτιρίου αναφοράς,
- καθορίζονται οι ελάχιστες προδιαγραφές για τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό, τα θερμοφυσικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του κτιριακού κελύφους και οι τεχνικές προδιαγραφές των Η/Μ εγκαταστάσεων των υπό μελέτη κτιρίων, καθώς και των ριζικώς ανακαινιζόμενων,
- ορίζεται το περιεχόμενο της μελέτης ενεργειακής απόδοσης (Μ.Ε.Α.) των κτιρίων,
- καθορίζεται η μορφή του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης (Π.Ε.Α.) κτιρίου, καθώς και τα στοιχεία που αυτό θα περιλαμβάνει, και
- καθορίζεται ο τρόπος εκπόνησης των ενεργειακών επιθεωρήσεων του κτιρίου, των λεβητών και των κλιματιστικών. [Φ.Ε.Κ. Β' 407/9.4.2010]

Τα οφέλη από τον ΚΕΝΑΚ είναι οικονομικά, κοινωνικά και περιβαλλοντικά. Τα οικονομικά αφορούν στην μείωση των λειτουργικών δαπανών και δαπανών συντήρησης των κτιρίων, αλλά και στην γενικότερη ανάπτυξη της οικοδομικής δραστηριότητας. Τα οφέλη κοινωνικού χαρακτήρα αφορούν τη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας και τη βελτίωση της ποιότητας ζωής, ενώ τα περιβαλλοντικά οφέλη αφορούν στη μείωση των ρύπων που εκπέμπονται, κυρίως διοξειδίου του άνθρακα, συμβάλλοντας στην εξοικονόμηση ενέργειας και της κλιματικής αλλαγής.
[\[http://www.ypeka.gr/\]](http://www.ypeka.gr/)

Κεφάλαιο 2^ο

Θερμομονωτική προστασία κτιριακού κελύφους

2.1 Θερμομόνωση εξωτερικής τοιχοποιίας

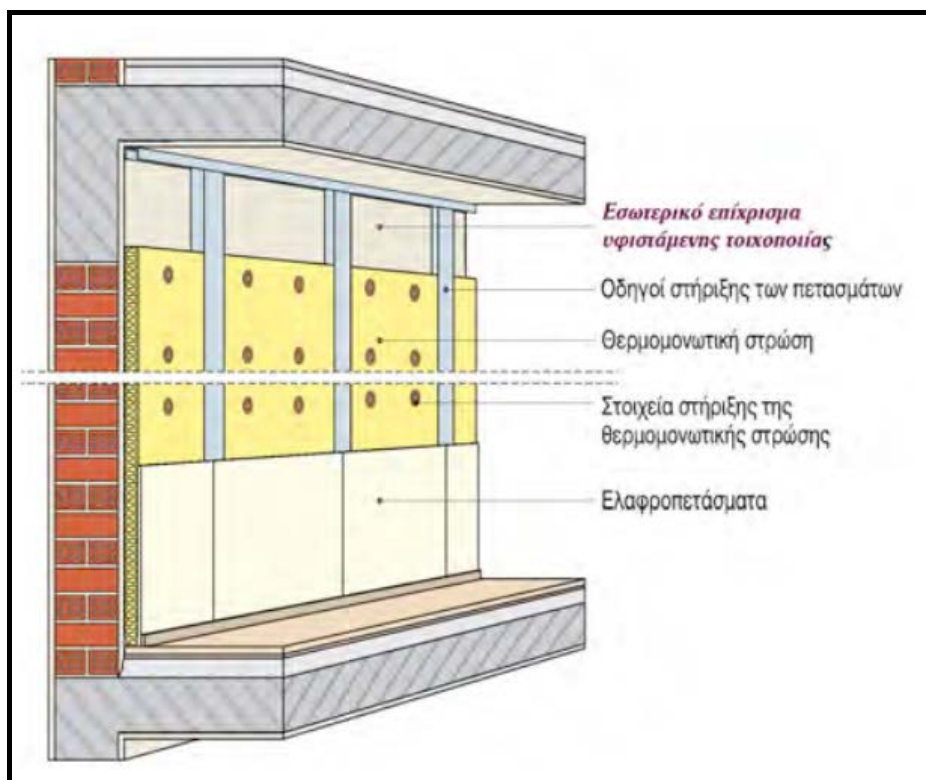
Η θερμική μόνωση της εξωτερικής τοιχοποιίας μπορεί να επιτευχθεί με τέσσερις (4) εναλλακτικούς τρόπους: [Παπαιωάννου, 2005]

- Με τοποθέτηση της θερμομονωτικής στρώσης στην εσωτερική πλευρά της τοιχοποιίας. Πρόκειται για μονοκέλυφη κατασκευή, στην οποία η θερμομονωτική στρώση έχει εξωτερικά το σύνολο της μάζας της τοιχοποιίας και καλύπτεται εσωτερικά από κάποιο επίχρισμα, όπως είναι η γυψοσάνιδα, η μοριοσανίδα ή άλλο ελαφρό πέτασμα.
- Με τοποθέτηση της θερμομονωτικής στρώσης στην εξωτερική πλευρά της τοιχοποιίας. Πρόκειται και πάλι για μονοκέλυφη κατασκευή, στην οποία το σύνολο της μάζας της τοιχοποιίας βρίσκεται εσωτερικά της θερμομονωτικής στρώσης και αυτή καλύπτεται εξωτερικά από επίχρισμα, όπως είναι το μεταλλικό φύλλο, το αδιάβροχο ελαφρό πέτασμα, η ορθομαρμάρωση ή άλλου τύπου πλάκες.
- Με τοποθέτηση της θερμομονωτικής στρώσης στον πυρήνα της τοιχοποιίας. Είναι δικέλυφη κατασκευή που έχει ένα κέλυφος εσωτερικά και ένα εξωτερικά και στο ενδιάμεσο τη θερμομονωτική στρώση.
- Με τη χρήση θερμομονωτικών τούβλων, τσιμεντότουβλων ή άλλων θερμομονωτικά αυτοδύναμων μονάδων. Η κατασκευή είναι μονοκέλυφη και τα ίδια τα δομικά υλικά παίζουν το ρόλο της θερμομονωτικής στρώσης.

Ο κανονισμός θερμομόνωσης δεν επιβάλλει την εφαρμογή κάποιου συγκεκριμένου από τους παραπάνω τρόπους. Απαιτεί μόνο την τήρηση του ορίου του συντελεστή θερμοπερατότητας k για την τοιχοποιία. [Οδηγός θερμομόνωσης κτιρίων, 2010] Έτσι, το είδος και η θέση της θερμομόνωσης είναι αποκλειστική επιλογή του κατασκευαστή. Ομοίως, η θέση της θερμομονωτικής στρώσης στους τρεις πρώτους τρόπους (εσωτερικά, εξωτερικά ή στον πυρήνα) δεν επηρεάζει το αποτέλεσμα του υπολογισμού στη μελέτη θερμομόνωσης, επειδή ο κανονισμός αντιμετωπίζει το πρόβλημα με τη στατική και όχι με τη δυναμική του μορφή. [Αραβαντινός, 2000]

2.1.1 Εσωτερική θερμική προστασία

Η τοποθέτηση του θερμομονωτικού υλικού στη εσωτερική πλευρά του εξωτερικού τοίχου απαιτεί απλή επιφανειακή κάλυψη ανεξάρτητα των εξωτερικών καιρικών συνθηκών. Αυτό σημαίνει ότι δεν είναι απαραίτητο τα θερμομονωτικά υλικά να εμφανίζουν αντοχή στις εξωτερικές καιρικές μεταβολές και να προστατεύονται από αυτές. [Φούντας, 1980]



Εικ. 2.1: Εσωτερική τοποθέτηση θερμομόνωσης.

Πηγή: http://portal.tee.gr/portal/page/portal/teetkm/DRASTHRIOTHTES/SEMINARIA/PALAIOTERA_SEMINARIA/H_KYKLOS_S_M_D_IAN_FEB_09/ENERGEIAKOS_SXEDIASMOΣ_NEWN_KAI_YFISTAMENWN_KTHRIWN/aravantinos%2709-1.pdf

Σε αυτή την περίπτωση, η θερμομονωτική στρώση τοποθετείται εσωτερικά. Έτσι, η θερμοχωρητικότητα δεν αξιοποιείται, επειδή η μάζα των βαρέων υλικών βρίσκεται προς την εξωτερική πλευρά και δεν προστατεύεται θερμομονωτικά. Αντιθέτως, η ροή θερμότητας προς αυτήν παρεμποδίζεται από τη θερμομονωτική στρώση. Ο χώρος, όπου έχει τοποθετηθεί η εσωτερική μόνωση, με την έναρξη λειτουργίας της θέρμανσης θερμαίνεται πιο σύντομα και με τη διακοπή της θέρμανσης ψύχεται ομοίως πιο σύντομα. [Παπαδόπουλος, 1979]

Για τον παραπάνω λόγο, το είδος αυτό της μόνωσης προτιμάται να τοποθετείται σε κτίρια διακοπτόμενης χρήσης, στα οποία απαιτείται άμεση θέρμανση ή ψύξη του χώρου, χωρίς να ενδιαφέρει η θερμοκρασιακή διακύμανση μετά το τέλος της λειτουργίας του κτιρίου. Είναι επίσης κατάλληλη για εξοχικές κατοικίες, όπου το χειμώνα χρησιμοποιούνται συνήθως μόνο τα Σαββατοκύριακα. Για το μικρό διάστημα παραμονής των ενοίκων δεν χρειάζεται να απορροφήσει θερμότητα ο τοίχος, αλλά να θερμανθεί γρήγορα ο χώρος. Εφαρμόζεται ακόμη σε υφιστάμενες κατασκευές, λόγω της ευκολότερης τοποθέτησής της καθώς και σε κτίρια με παραδοσιακό χαρακτήρα, όπου σκοπός είναι να διατηρηθούν τα εξωτερικά αρχιτεκτονικά μορφολογικά στοιχεία. [Παπαιωάννου, 2005]

Στην εσωτερική θερμική προστασία μπορούν να χρησιμοποιηθούν σχεδόν όλα τα θερμομονωτικά υλικά, αρκεί να στερεωθούν καλά επάνω στην τοιχοποιία και να μπορούν να δεχτούν την εφαρμογή του επιχρίσματος. Συνήθως είναι σκληρά υλικά και μεταξύ αυτών και του επιχρίσματος παρεμβάλλεται ένα μεταλλικό ή πλαστικό πλέγμα, που λειτουργεί ως οπλισμός στο επίχρισμα. Το πλέγμα βοηθά το επίχρισμα να αναπτύξει καλύτερη συνάφεια με το θερμομονωτικό υλικό και αποτρέπει το σχηματισμό ρωγμών στην επιφάνειά του λόγω συστολοδιαστολών, ιδίως στα σημεία επαφής ανομοιογενών υλικών. [Αραβαντινός, 2000]

Τα πλεονεκτήματα της εσωτερικής μόνωσης είναι ότι:

- ευνοεί τη σύντομη θέρμανση του χώρου,
- δεν απαιτεί ιδιαίτερη προστασία των θερμομονωτικών υλικών αλλά μόνο την κάλυψή τους,
- επιτρέπει την εκτέλεση οικοδομικών εργασιών υπό οποιεσδήποτε καιρικές συνθήκες,
- παρέχει πλήρη ελευθερία στην αρχιτεκτονική διαμόρφωση των όψεων.

Αντίθετα, τα μειονεκτήματά της είναι ότι:

- σχηματίζει, στα σημεία όπου οι εξωτερικοί τοίχοι συνδέονται με τους ενδιάμεσους, ανεπιθύμητες θερμογέφυρες που αυξάνουν τις απώλειες και τις θερμικές τάσεις στο κτίριο,

- δεν αξιοποιεί την θερμοχωρητικότητα των εξωτερικών τοίχων που δεν πρέπει όμως να υπερεκτιμηθεί, αν υπολογιστεί η δυνατότητα αποταμίευσης θερμότητας της οροφής και των λοιπών εσωτερικών τοίχων,
- δημιουργεί περισσότερες πιθανότητες σχηματισμού επιφανειακής δρόσου. [Αθανασόπουλος, 2003]

2.1.2 Εξωτερική θερμική προστασία

Η τοιχοποιία του περιβλήματος βελτιώνεται θερμομονωτικά με εξωτερική επένδυση από μονωτικά στρώματα που απαιτούν όμως προστασία από τις καιρικές μεταβολές. Κατασκευαστικά η προστασία αυτή πραγματοποιείται επενδύοντας τη θερμομόνωση με φύλλα αλουμινίου, ασβεστοτσιμέντου, πλακών από προκατασκευασμένο σκυρόδεμα ή πιο απλά με μικρού πάχους οπτοκλινοδομή. [Παπαδόπουλος, 1979]

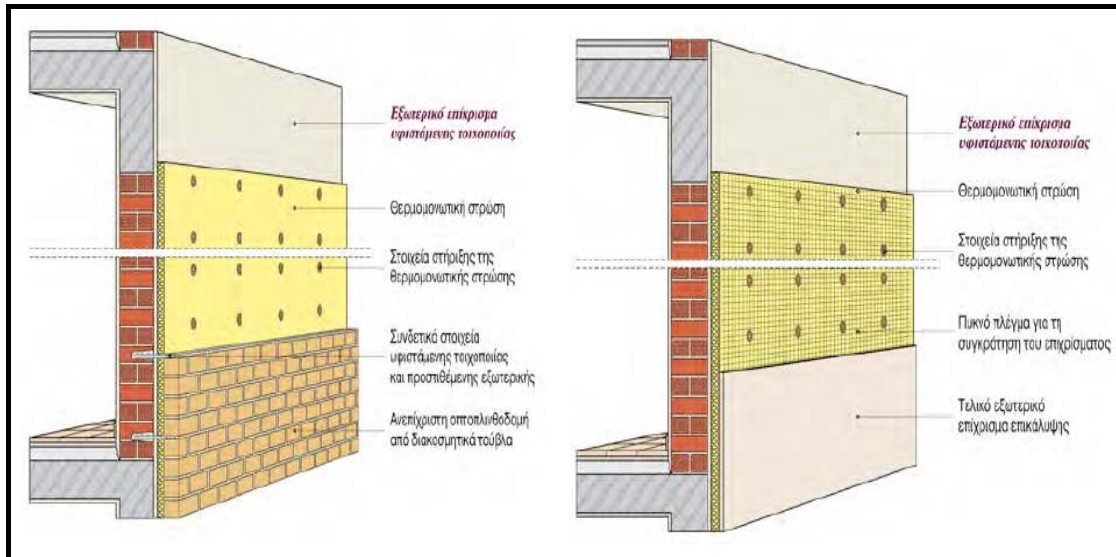
Τα πλεονεκτήματα της εξωτερικής μόνωσης είναι ότι:

- Τα φέροντα στοιχεία προστατεύονται από τις μεταβολές μορφής, που προκαλούνται από τις θερμοκρασιακές μεταβολές
- Ορισμένα ευαίσθητα δομικά στοιχεία και υλικά κατασκευής προστατεύονται και παρουσιάζουν ομοιόμορφη θερμοπερατότητα με αποτέλεσμα να αποφεύγονται οι θερμογέφυρες
- Η διαπερατότητα σε διάχυση υδρατμών, που αυξάνει προς τα έξω, κάνει περιττή συχνά την τοποθέτηση φράγματος υδρατμών.
- Σε περίπτωση επισκευής της μόνωσης δεν παρεμποδίζεται η ζωή στην κατοικία
- Επιτυγχάνεται ορθή εκμετάλλευση της θερμοχωρητικότητας του τοίχου
- Αποφεύγονται ζημιές από υγρασία και παγωνιά σε σωληνώσεις ύδρευσης και αποχέτευσης

Τα μειονεκτήματα αυτού του είδους της μόνωσης είναι ότι:

- Καθυστερεί την αρχική θέρμανση του χώρου

- Ενέχει τον κίνδυνο ρηγματώσεων, αν μεταξύ θερμομονωτικής στρώσης και επιχρίσματος δεν παρεμβληθεί μεταλλικό ή πλαστικό πλέγμα ως οπλισμός ενίσχυσης του επιχρίσματος
- Εμποδίζει τη διαμόρφωση έντονων αρχιτεκτονικών στοιχείων στο κτίριο.



Εικ. 2.2: Τοποθέτηση εξωτερικής μόνωσης με επικάλυψη διακοσμητικά τούβλα (αριστερά) και επίχρισμα (δεξιά).

Πηγή: http://portal.tee.gr/portal/page/portal/teetkm/DRASTHRIOTHTES/SEMINARIA/PALAIOTERA_SEMINARIA/H_KYKLOS_S_M_D_IAN_FEB_09/ENERGEIAKOS_SXEDIASMOΣ_NEWN_KAI_YFISTAMENWN_KTHRIWN/aravantinos%2709-1.pdf

Η χρήση μονωτικών υλικών στην κατασκευή σύνθετης τοιχοποιίας απαιτεί τη γνώση των υλικών μεμονωμένα και στη σύνθεσή τους. Σε αντίθετη περίπτωση είναι συχνές οι βλάβες στα κτίρια, εξαιτίας του ότι κατασκευάζονται τα δομικά στοιχεία με παλιές μεθόδους χρησιμοποιώντας και συνδυάζοντας εντελώς νέα υλικά χωρίς να λαμβάνονται υπόψη προσεκτικά, οι διαφορετικές τους ιδιότητες σε διαστολή, θερμική αγωγιμότητα και σε διαπερατότητα υδρατμών. Εκτός από προβλήματα, που προκύπτουν από λανθασμένη τοποθέτηση στην αλληλοδιαδοχή των υλικών, παρουσιάζονται σε πολλές κατασκευές σχισμές από διαστολή επειδή δεν προστατεύτηκε η πρόσοψη. [Παπαιωάννου, 2005] Από την ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να ανέβει η θερμοκρασία ενός λεπτού κελύφους πρόσοψης ανοιχτού χρώματος σε 60 °C και σκούρου πάνω από 70 °C. Αντίθετα σε εξαιρετικά κρύες μέρες η θερμοκρασία των προσόψεων μπορεί να πέσει στους -20 °C. Παρουσιάζονται, δηλαδή, σε αυτά τα λεπτά κελύφη σημαντικές θερμοκρασιακές διαφορές με τις αντίστοιχες τάσεις. [Παπαδόπουλος, 1979] Επειδή δεν είναι δυνατή μια

εξισορρόπηση των θερμοκρασιών με διοχέτευση της θερμότητας στη τοιχοποιία που βρίσκεται πίσω, δημιουργείται στην πρόσοψη συγκέντρωση θερμότητας που οδηγεί αναπόφευκτα σε ισχυρή διαστολή. Για αυτό το λόγο πρέπει οπωσδήποτε στις κατασκευές αυτές να προβλέπονται κατακόρυφοι και οριζόντιοι αρμοί διαστολής. Πρέπει ακόμα οι εξωτερικές μονώσεις να μελετιούνται και από την άποψη της διάχυσης των υδρατμών και του σχηματισμού δρόσου. [Καρέκος, 2001]

Η λύση της εξωτερικής θερμικής προστασίας εφαρμόζεται κυρίως σε κτίρια, τα οποία η χρήση τους είναι συνεχής και απαιτείται σταθερή θερμοκρασία και διατήρηση της θερμότητας μετά το τέλος λειτουργίας της θέρμανσης.

2.1.3 Θερμική προστασία στον πυρήνα της τοιχοποιίας

Σε αυτή την περίπτωση το μονωτικό στρώμα βρίσκεται ανάμεσα σε δύο τοίχους. Πριν από την κατασκευή, ένας υπολογισμός του συνόλου της τοιχοποιίας σε διαπερατότητα υδρατμών είναι απαραίτητος, για να αποφευχθεί η συμπύκνωση υδρατμών στη μάζα της τοιχοποιίας. Τα δύο κελύφη της τοιχοποιίας θα πρέπει μεταξύ τους να συνδέονται με περιόδους ενίσχυσης (σενάζ) ανά ένα μέτρο ύψους τουλάχιστον. Οι περιόδους ενίσχυσης οφείλουν να είναι θερμομονωμένοι για την αποφυγή θερμογεφυρών. [Αθανασόπουλος, 2003]

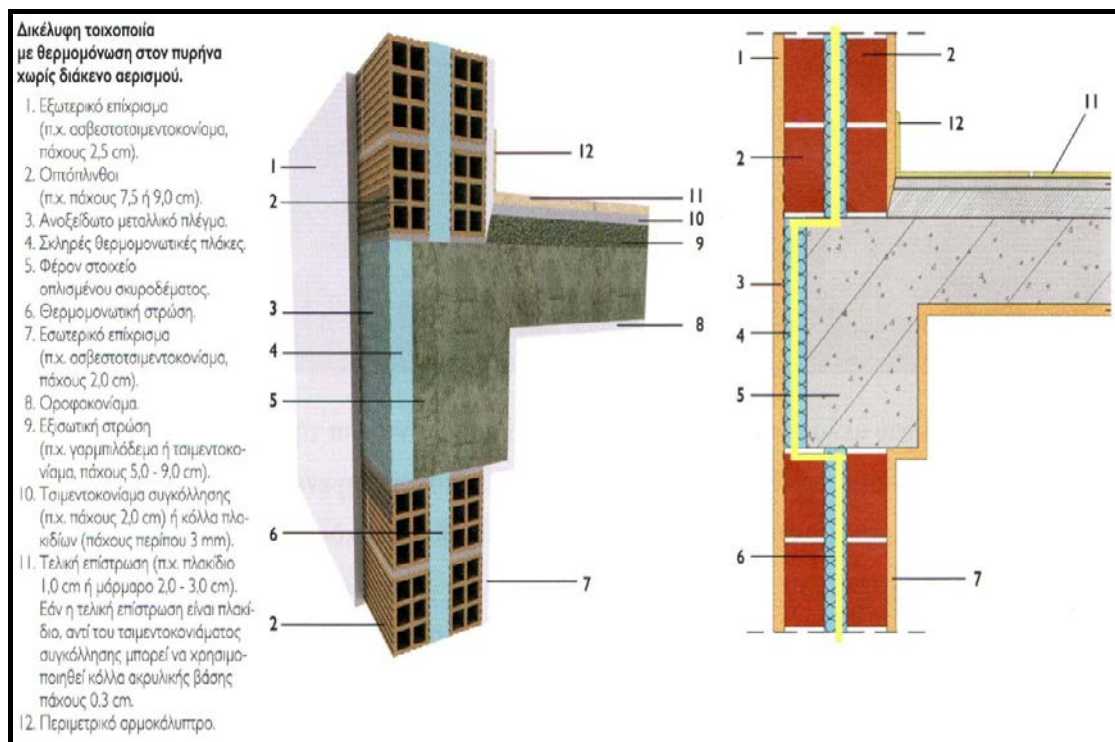
Η μέθοδος αυτή μπορεί να εφαρμοστεί σε όλες τις κατασκευές και κυρίως σε αυτές που ενδιαφέρει περισσότερο η διατήρηση της θερμότητας μετά τη διακοπή λειτουργίας της θέρμανσης. [Καρέκος, 2001] Μπορούν, ακόμα να χρησιμοποιηθούν όλα τα θερμομονωτικά υλικά. Κατά την τοποθέτησή τους θα πρέπει να στερεώνονται καλά επάνω στην τοιχοποιία και να εφάπτονται και στα δύο κελύφη της. [Παπαιωάννου, 2005]

Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου συγκεντρώνονται στο ότι:

- Είναι ευκολότερος ο τρόπος τοποθέτησης των θερμομονωτικών υλικών
- Δεν επηρεάζεται η θερμομονωτική προστασία του τοίχου από την επίδραση της βροχής
- Αποτελεί την πιο ισόρροπη μορφή θερμικής προστασίας έναντι του ψύχους το χειμώνα και της ζέστης το καλοκαίρι
- Συνδυάζει την εκμετάλλευση της θερμοχωρητικότητας του τοίχου, έστω και σε μικρό βαθμό, και την ελευθερία αρχιτεκτονικής διαμόρφωσης των όψεων

Αντίθετα τα μειονεκτήματα της μεθόδου συγκεντρώνονται στα παρακάτω:

- Δεν έχει καλή αντισεισμική συμπεριφορά. Είναι σύνηθες το φαινόμενο σε τοιχοποιίες με πλημμελή σύνδεση των δύο κελυφών, το εξωτερικό κέλυφος να αποσυνδέεται και να πέφτει μετά από μια ισχυρή σεισμική δόνηση.
- Δεν εκμεταλλεύεται πλήρως, παρά μόνο μερικώς τη θερμοχωρητικότητα της τοιχοποιίας. Ωστόσο, αυτή είναι δυνατόν να αυξηθεί αναλόγως με το πάχος του τοίχου του εσωτερικού του κελύφους.
- Δεν επιτρέπει την εύκολη απομάκρυνση της υγρασίας, αν το θερμομονωτικό υλικό είναι ευπρόσβλητο από αυτήν, είτε το αίτιο είναι το νερό της βροχής είτε συμπύκνωση λόγω διάχυσης των υδρατμών. [Αθανασόπουλος, 2003]



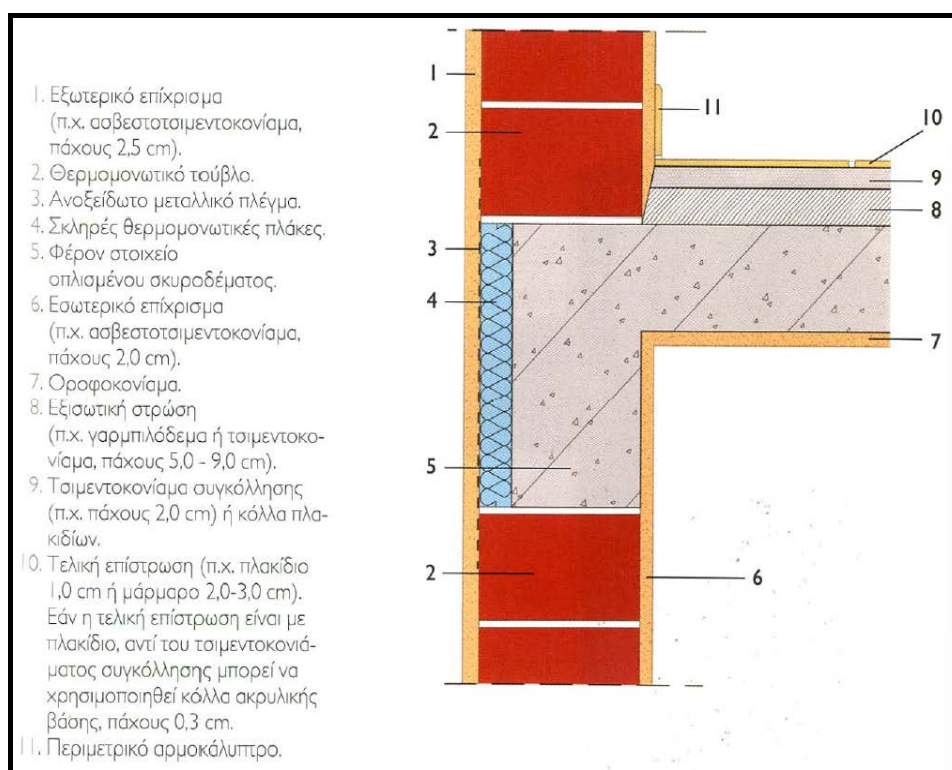
Εικ. 2.3: Διάταξη θερμομόνωσης στον πυρήνα της τοιχοποιίας.

Πηγή: http://www.arch.auth.gr/uploads/media/02_apolies_monosi.pdf

2.1.4 Θερμική προστασία με θερμομονωτικά τούβλα

Τα υλικά που έχουν αυτές τις ικανότητες (θερμομονωτικά τούβλα) παρουσιάζουν μειωμένη αντοχή σε θλίψη προς όφελος της θερμομόνωσης, γι' αυτό χρησιμοποιούνται συνήθως σε περιπτώσεις που δεν υπάρχουν μεμονωμένα φορτία. [Καρέκος, 2001]

Για μια ικανοποιητική αντίσταση θερμοδιαφυγής, πρέπει η τοιχοποιία που θα κατασκευαστεί με αυτά τα υλικά, να έχει πάχος περίπου 30 cm. Τα θερμομονωτικά αποτελέσματα της μεθόδου αυτής βελτιώνονται σημαντικά, όταν τα υλικά χρησιμοποιηθούν σε μορφή πλίνθων με πολλές οπές. [Παπαιωάννου, 2005] Αυτού του είδους η τοιχοποιία παρουσιάζει μικρή αντίσταση σε διάχυση υδρατμών, μικρότερες διαστολές, συντομότερο στέγνωμα των υλικών των τοίχων. Αντίθετα εμφανίζει μικρή θερμοχωρητικότητα με συνέπεια τον μικρό χρόνο ψύξης μετά τη διακοπή της θέρμανσης, αναπτύσσει χαμηλότερες εσωτερικές επιφανειακές θερμοκρασίες και προσβάλλεται πιο εύκολα από την υγρασία της βροχής, με αποτέλεσμα όσο είναι βρεγμένη να παρέχει μειωμένη θερμική προστασία. [Παπαδόπουλος, 1979]



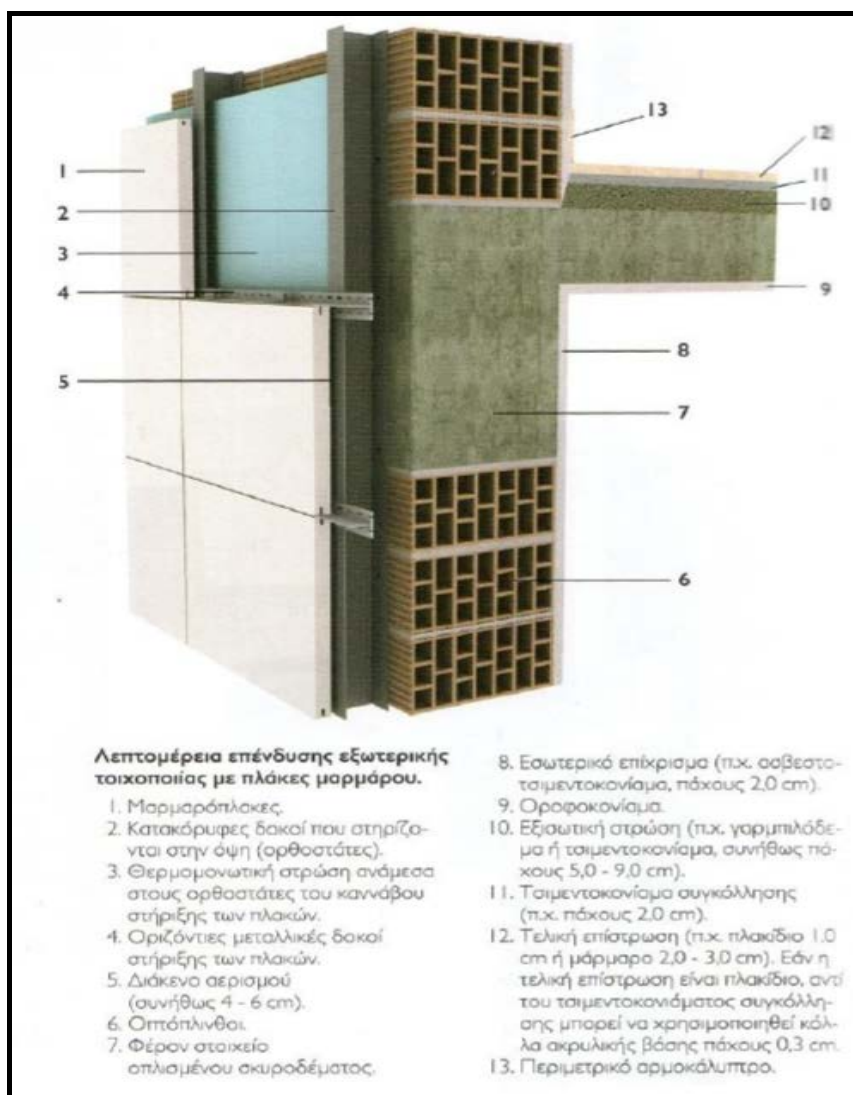
Εικ. 2.4: Τοιχοποιία με θερμομονωτικό τούβλο.

Πηγή: http://www.arch.auth.gr/uploads/media/02_apolies_monosi.pdf

2.1.5 Θερμική προστασία με διάκενο αερισμού

Αποτελεί παραλλαγή της δικέλυφης κατασκευής με θερμομονωτική στρώση στον πυρήνα. Το διάκενο αφήνεται μεταξύ της θερμομονωτικής στρώσης και του εξωτερικού κελύφους και επικοινωνεί με τον εξωτερικό αέρα με οπές ή σχισμές που βρίσκονται στο άνω και κάτω μέρος του εξωτερικού κελύφους.

Χάρη στο ρεύμα αέρος που κυκλοφορεί πίσω από το προστατευτικό κέλυφος και μπροστά από τη μόνωση, η υπερθέρμανση του κελύφους το καλοκαίρι είναι μικρότερη και στη χειμερινή περίοδο οι υδρατμοί που με διάχυση φτάνουν στον αεριζόμενο χώρο συμπαρασύρονται και δεν λαμβάνουν χώρα οι συμπυκνώσεις. [Καρέκος, 2001]



Εικ. 2.5: Διάταξη δικέλυφης κατασκευής με διάκενο αερισμού.

Πηγή: http://www.arch.auth.gr/uploads/media/02_apolies_monosi.pdf

Η ύπαρξη του διακένου επιτελεί διπλό σκοπό: [Φούντας, 1980]

- αφενός παρεμποδίζει το νερό της βροχής, που ενδεχομένως προσβάλλει το εξωτερικό κέλυφος, να φτάσει μέχρι τη θερμομονωτική στρώση και
- αφετέρου απομακρύνει τους διαχεόμενους υδρατμούς από το εσωτερικό του κτίσματος και παρεμποδίζει το σχηματισμό υγρασίας συμπύκνωσης.

Το εξωτερικό κέλυφος μπορεί να αποτελείται από οπτοπλινθοδομή όπως και το εσωτερικό, μπορεί όμως ακόμη να αποτελείται από αναρτημένα πετάσματα, μαρμαρόπλακες και άλλα ανάλογα δομικά στοιχεία. [Παπαιωάννου, 2005]

Ωστόσο, σε μια τέτοια κατασκευή πρέπει να λαμβάνονται πάντοτε ιδιαίτερη μέριμνα για την καλή και ασφαλή στερέωση του εξωτερικού κελύφους της κατασκευής. Επίσης, προκειμένου να παρεμποδιστεί η είσοδος στο διάκενο πουλιών, εντόμων και τρωκτικών που θα μπορούσαν να το χρησιμοποιήσουν ως φωλιά και να καταστρέψουν το θερμομονωτικό υλικό, θα πρέπει να τοποθετείται στην είσοδο των οπών στο άνω και κάτω μέρος του τοίχου πυκνό προστατευτικό πλέγμα. [Αραβαντινός, 2000]

2.2 Θερμομόνωση δώματος

Τα δώματα είναι τα στοιχεία του εξωτερικού κελύφους που δέχονται εντονότερα από όλα τα άλλα τις επιδράσεις του περιβάλλοντος. Η ηλιακή ακτινοβολία, οι θερμοκρασιακές διακυμάνσεις, ο άνεμος, η βροχή, το χιόνι καταπονούν συνεχώς την επιφάνειά τους και είναι πρόξενοι των περισσότερων φθορών. Αποκολλήσεις υλικών, φουσκώματα στις στρώσεις, πρόωρη γήρανση των στεγανωτικών και θερμομονωτικών υλικών, θραύσεις και ρηγματώσεις, σχηματισμός εξανθημάτων και κηλίδων στην εσωτερική επιφάνεια είναι μερικές μόνο από τις φθορές που υφίστανται τα δώματα.

Από θερμοτεχνική άποψη τα δώματα μπορούν να διακριθούν σε τρεις βασικούς τύπους: [Αθανασόπουλος, 2003]

- Συμβατικά δώματα. Είναι ο πλέον συνήθης τύπος στη χώρα. Πρόκειται για μονοκέλυφη κατασκευή, με κύριο χαρακτηριστικό την τοποθέτηση της στεγανωτικής στρώσης σε υπερκείμενη θέση της θερμομονωτικής, ώστε να την προστατεύει από τα νερά της βροχής.

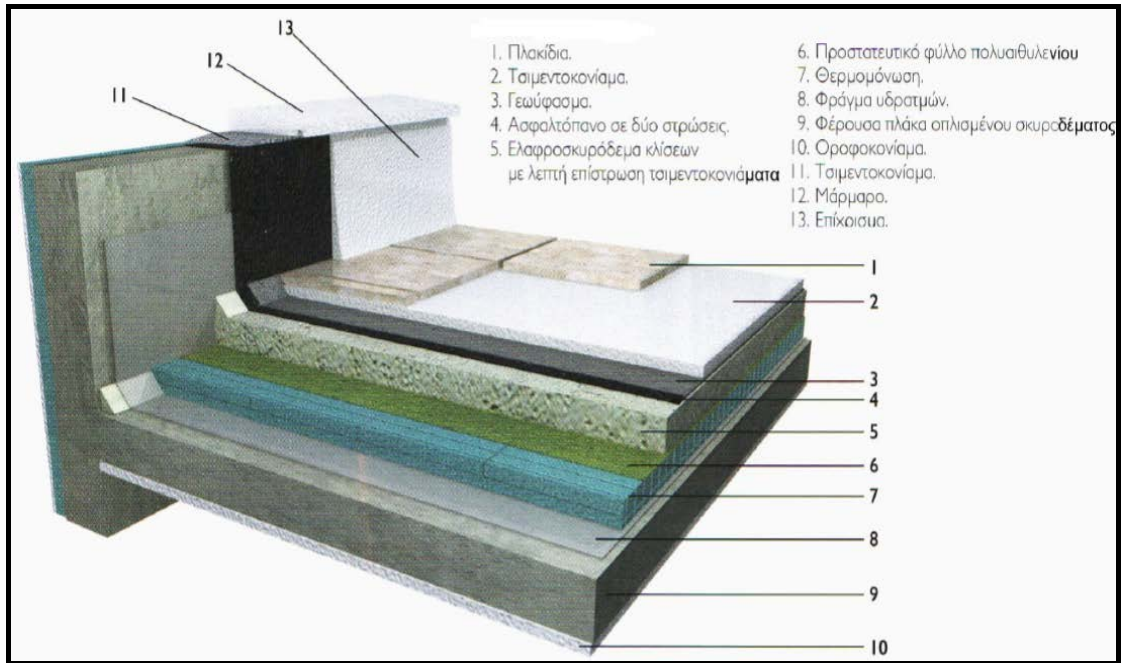
- Αντεστραμμένα δώματα. Λιγότερη συνηθισμένη κατασκευή, αλλά με αρκετές κατασκευές. Η θερμομονωτική στρώση βρίσκεται σε υπερκείμενη στρώση της στεγάνωσης και την προστατεύει από τις έντονες θερμικές καταπονήσεις.
- Αεριζόμενα δώματα. Αποτελείται από δύο κελύφη ανεξάρτητα μεταξύ τους, στο ενδιάμεσο διάστημα των οποίων κυκλοφορεί ελεύθερα ατμοσφαιρικός αέρας. Το άνω κέλυφος αποσκοπεί κυρίως στη στεγανωτική προστασία του κτιρίου, ενώ το κάτω κέλυφος στη θερμομονωτική του προστασία. Ο αέρας στο ενδιάμεσο διάκενο επικοινωνεί μέσω οπών ή σχισμών με το εξωτερικό περιβάλλον και βοηθά στην απομάκρυνση των διαχεόμενων υδρατμών από τους εσωτερικούς χώρους του κτιρίου.

Στο δώμα η θερμομονωτική στρώση στόχο έχει να παρέχει στο κέλυφος θερμική προστασία και να προφυλάσσει τη φέρουσα πλάκα και τους εσωτερικούς χώρους από τις μεγάλες θερμοκρασιακές διακυμάνσεις του περιβάλλοντος. Η επιλογή του κατάλληλου υλικού εξαρτάται από τον τύπο του δώματος που πρόκειται να κατασκευασθεί. [Φούντας, 1980] Μόνη παράμετρος που πρέπει να προσέξει κανείς είναι να εξασφαλιστεί ότι η θερμομονωτική στρώση μπορεί να φέρει το βάρος των υπερκείμενων στρώσεων. [Παπαιωάννου, 2005]

Πιο αναλυτικά, στο συμβατικό και στο αεριζόμενο δώμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν όλα τα θερμομονωτικά υλικά, αρκεί στη πρώτη περίπτωση να προστατευθούν από τα νερά της κατασκευής. Αντίθετα, στο αντεστραμμένο δώμα μπορούν να εφαρμοστούν μόνο όσα θερμομονωτικά υλικά είναι απρόσβλητα από την υγρασία. [Αραβαντινός, 2000]

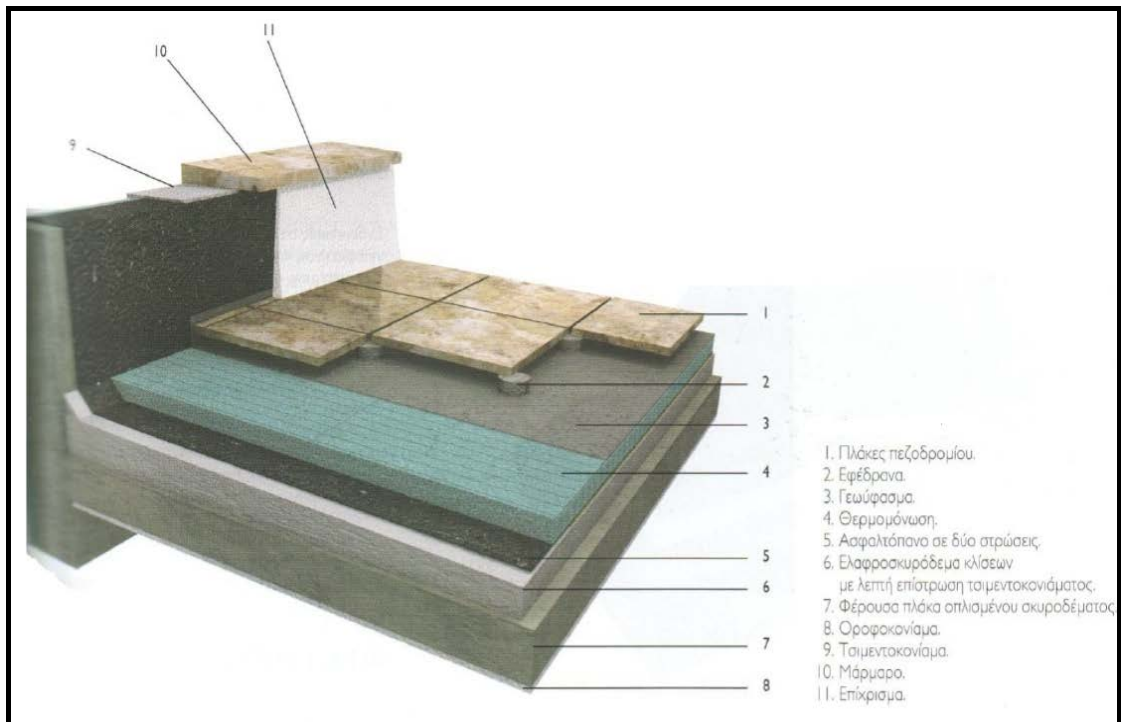
Το πάχος της θερμομονωτικής στρώσης προκύπτει από υπολογισμό, σύμφωνα με τον κανονισμό θερμομόνωσης, ενώ η θέση του στη σειρά των στρώσεων καθορίζεται από τον τύπο του δώματος που θα επιλεγεί. [Φούντας, 1980]

- Στο συμβατικό δώμα τοποθετείται συνήθως επάνω από τη φέρουσα πλάκα ή επάνω από τη στρώση των κλίσεων
- Στο αντεστραμμένο δώμα επάνω από τη στεγανωτική στρώση
- Στο αεριζόμενο δώμα στον κάτω φλοιό, επάνω από τη φέρουσα πλάκα.



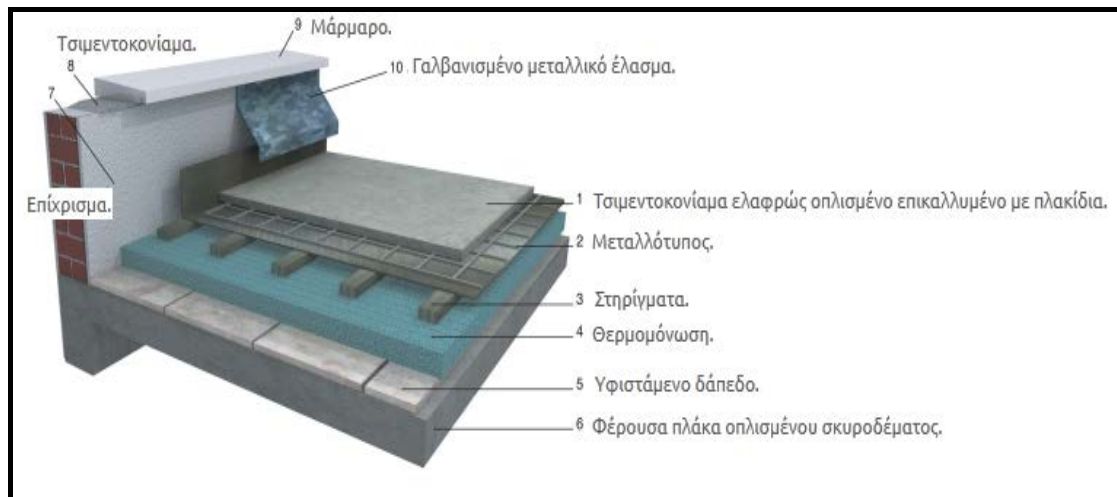
Εικ. 2.6: Τομή συμβατικού δώματος.

Πηγή: http://www.arch.auth.gr/uploads/media/02_apolies_monosi.pdf



Εικ. 2.7: Τομή αντεστραμμένου δώματος.

Πηγή: http://www.arch.auth.gr/uploads/media/02_apolies_monosi.pdf



Εικ. 2.8: Τομή αεριζόμενου δώματος.

Πηγή: <http://www.qbgreece.com/default.aspx?section=detail&id=5039>

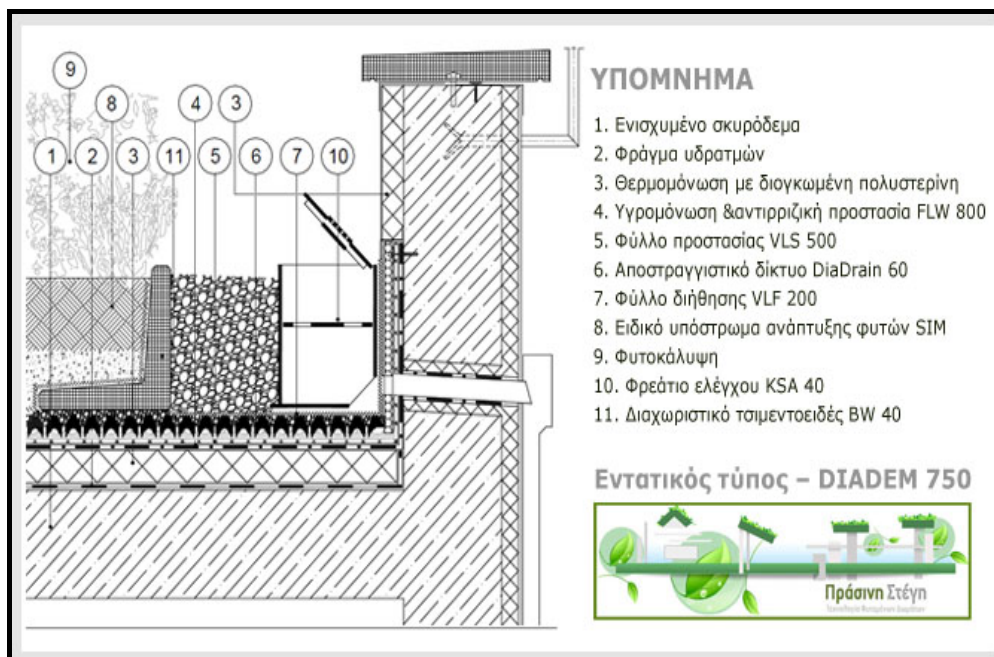
2.3 Θερμομόνωση φυτεμένου δώματος

Το φυτεμένο δώμα αποτελεί θερμικό σύστημα που αυξάνει τις θερμομονωτικές ιδιότητες του κτιρίου, καθώς το χειμώνα περιορίζει τις θερμικές απώλειες από την τελευταία πλάκα του κτιρίου, και το καλοκαίρι αποτελεί φράγμα για την ηλιακή ακτινοβολία αντανακλώντας το 20-30% και απορροφώντας το υπόλοιπο. [Αθανασόπουλος, 2003] Η φύτευση εκτός από τη θερμική και ακουστική μόνωση του δώματος, επιμηκύνει τη διάρκεια ζωής της επικάλυψης περιορίζοντας την ανάπτυξη των υψηλών θερμοκρασιών της επιφάνειας του δώματος, που το καλοκαίρι μπορεί να φτάσει τους 90 °C, με τη χρήση των συνηθισμένων δομικών υλικών.

Τα φυτεμένα δώματα διαχωρίζονται στις εξής κατηγορίες:

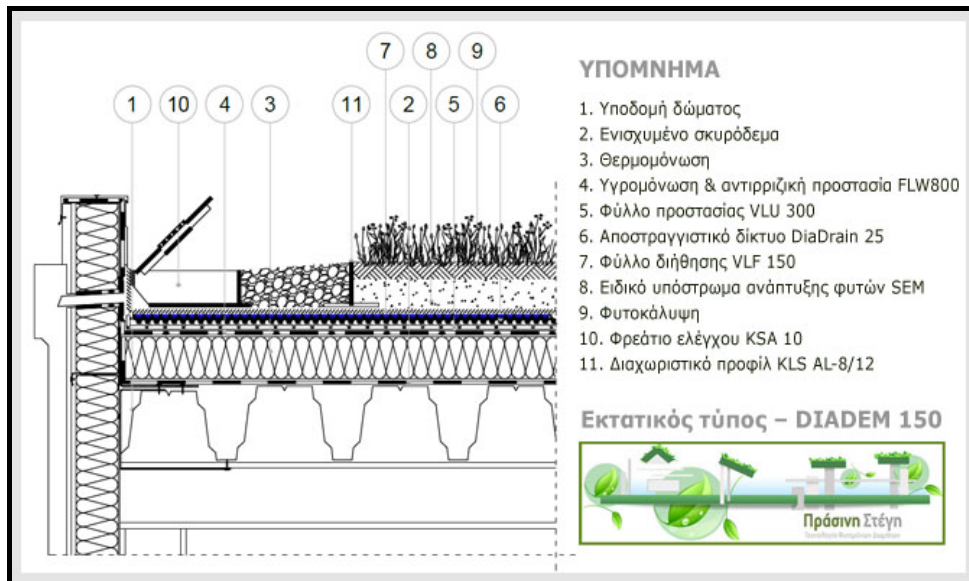
- Εντατικοί τύποι, είναι προσβάσιμοι και έχουν στοιχεία πάρκου όπως δέντρα και θάμνους. Σχεδιάζονται για τους ενοίκους του κτιρίου ή για δημόσια χρήση. Τα βάθη των υποστρωμάτων ανέρχονται στα 60 cm ή και παραπάνω στις περιοχές που θα πρέπει να υποστηριχτούν δέντρα. Συνήθως αυτοί οι κήποι χρειάζονται άρδευση και συντήρηση. Οι κήποι αυτοί έχουν μεγαλύτερο αρχικό κόστος και μεγάλη ποικιλότητα φυτών και το βάρος τους ανέρχεται στα 290-980 Kg/m² [Peck, 2003].

- Εκτατικοί τύποι δεν είναι προσβάσιμοι και έχουν λεπτό στρώμα μέσου ανάπτυξης των φυτών (5-15 cm πάχος) [Peck, 2003] τα οποία επιλέγονται για την ικανότητα αντοχής τους στις ακραίες καιρικές συνθήκες της οροφής, όπως πολύ υψηλές ή πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, σφοδροί άνεμοι και σχεδόν καθόλου άρδευση. Έχουν πιο ευρεία εφαρμογή, αφού δεν ζυγίζουν πολύ περισσότερο από ένα συμβατικό δώμα (72 – 170 Kgr/m²) [Peck, 2003] και κατασκευάζονται κυρίως για περιβαλλοντικούς σκοπούς [Oberlander, 2002]. Επίσης έχουν χαμηλό κόστος και μικρή ποικιλότητα φυτών, είναι κατάλληλοι για μεγάλες περιοχές, για σκεπές με κλίσεις έως 30° και φαίνονται πιο φυσικοί [Peck, 2003].
- Ημιεντατικοί τύποι φυτεμένων δωμαίων βρίσκονται μεταξύ των δύο προηγούμενων. Το πάχος του υποστρώματος είναι ενδιάμεσο των προηγούμενων, περίπου 10-25 cm. Τα είδη του φυτικού υλικού που μπορεί να φυτευθούν σε αυτόν τον τύπο είναι χλοοτάπητας, φυτά ποώδη, εδαφοκάλυψης και θάμνοι. Χρειάζεται περιοδική συντήρηση και άρδευση.



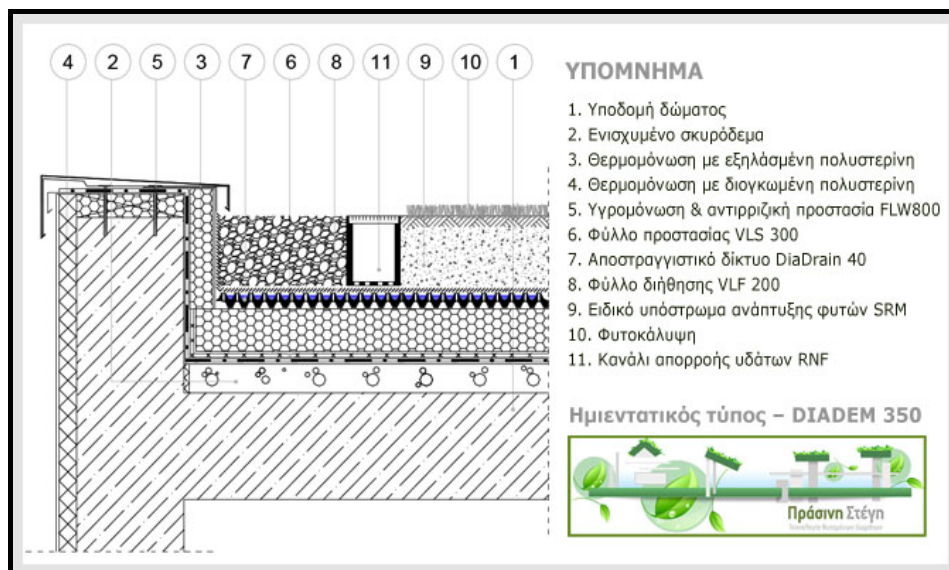
Εικ. 2.9: Τομή εντατικού τύπου φυτεμένου δώματος.

Πηγή: <http://diademroof.com/junction?csid=22>



Εικ. 2.10: Τομή εκτατικού τύπου φυτεμένου δώματος.

Πηγή: <http://diademroof.com/junction?csid=10>



Εικ. 2.11: Τομή ημιεντατικού τύπου φυτεμένου δώματος.

Πηγή: <http://diademroof.com/junction?csid=15>

Τα φυτεμένα δώματα προσφέρουν μια σειρά από πλεονεκτήματα τόσο στο άμεσο περιβάλλον όσο και στην ευρύτερη ζώνη τους. Τα σημαντικότερα από αυτά είναι:

- μείωση της επιφανειακής θερμοκρασίας κατά 10-15 °C

- προφύλαξη από υπεριώδεις ακτίνες
- μείωση της θερμοκρασίας του αέρα
- μείωση της ταχύτητας του ανέμου στην επιφάνεια
- συγκράτηση της υγρασίας και του νερού της βροχής
- ελάττωση της σκόνης του αέρα
- αύξηση του οξυγόνου
- θερμική μόνωση χειμώνα και καλοκαίρι στα κτίρια
- εξοικονόμηση ενέργειας
- μείωση των εξωτερικών θορύβων.

2.4 Θερμομόνωση στέγης

Αν και η στέγη ως επικάλυψη ενός κτιρίου είναι από τις κατασκευές που δεν πολυσυναντώνται στη σύγχρονη ελληνική πραγματικότητα των πυκνοδομημένων αστικών κέντρων, παραμένει δημοφιλής όταν πρόκειται για μια περιαστική, εξοχική ή αγροτική κατοικία.

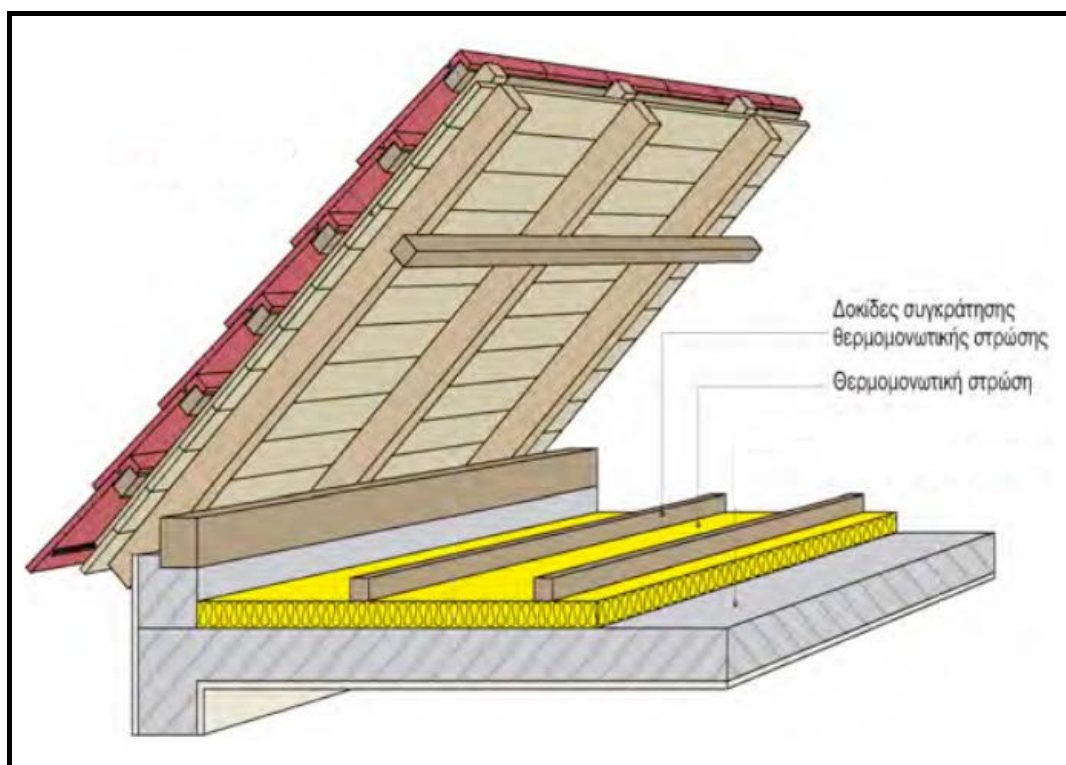
Αναλόγως του τύπου της στέγης, θα πρέπει να επιλεγεί και ο τρόπος θερμομονωτικής προστασίας. Επομένως θα μπορούσε κανείς να διακρίνει δύο βασικές κατηγορίες: [Αραβαντινός, 2000]

- Τη στέγη που διαμορφώνει και την οροφή του εσωτερικού χώρου. Μεταξύ εσωτερικού λειτουργικού χώρου και στέγης δεν μεσολαβεί άλλο επίπεδο και η στέγη είναι ορατή από τον εσωτερικό χώρο. Η θερμική προστασία αναπτύσσεται στο κεκλιμένο επίπεδο της στέγης.
- Τη στέγη που δεν λειτουργεί ως οροφή εσωτερικού χώρου. Πρόκειται συνήθως για χαμηλές στέγες που πατούν επάνω σε οριζόντια πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος και παρέχουν προστασία στην κατασκευή έναντι των καιρικών συνθηκών, όπου η θερμική προστασία αναπτύσσεται στο επίπεδο της οριζόντιας πλάκας σκυροδέματος.

Η στέγη μπορεί να είναι ξύλινη ή να αποτελείται από υπό κλίση πλάκες οπλισμένου σκυροδέματος.

2.4.1 Θερμομόνωση οροφής κάτω από μη θερμομονωμένη στέγη

Στην περίπτωση αυτή θερμομονώνεται η οριζόντια πλάκα σκυροδέματος που βρίσκεται κάτω από τη στέγη και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σχεδόν όλα τα θερμομονωτικά υλικά. [Αραβαντινός, 2000] Είναι απλούστατη κατασκευή, όπου η θερμομονωτική στρώση απλώς τοποθετείται επάνω στην πλάκα του σκυροδέματος που προηγουμένως έχει εξομαλυνθεί και καθαρισθεί. Η θερμομονωτική στρώση πρέπει να παραμείνει ελεύθερη και να μην επικαλυφθεί με φύλλα πολυαιθυλενίου ή άλλα αδιαπέρατα από τους υδρατμούς υλικά, διότι μπορεί να προκληθεί συμπύκνωση των διαχεόμενων υδρατμών από τον εσωτερικό χώρο. [Αθανασόπουλος, 2003]



Εικ. 2.9: Θερμομόνωση οριζόντιας οροφής κάτω από μη θερμομονωμένη ξύλινη στέγη.

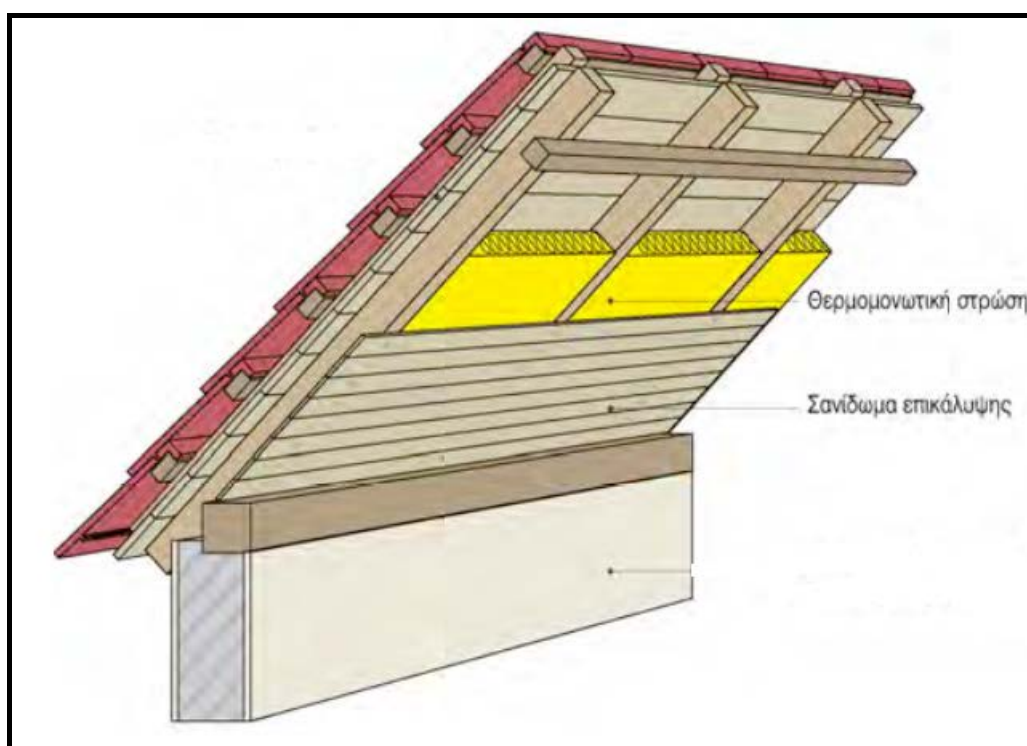
Πηγή: http://portal.tee.gr/portal/page/portal/teetkm/DRASTHRIOTHTES/SEMINARIA/PALAIOTER_A_SEMINARIA/H_KYKLOS_S_M_D_IAN_FEB_09/ENERGEIAKOS_SXEDIASMOS_NEWN_K_AI_YFISTAMENWN_KTHRIWN/aravantinos%2709-1.pdf

2.4.2 Θερμομόνωση ξύλινης στέγης

Η θερμομόνωση μπορεί να τοποθετηθεί είτε εσωτερικά είτε εξωτερικά. Στην εσωτερική θερμομόνωση οι θερμομονωτικές πλάκες καρφώνονται ή στερεώνονται με αγκύρια ανάμεσα στους αμείβοντες ή κάτω από αυτούς. [Φούντας, 1980] Αναλόγως του επιθυμητού αισθητικού αποτελέσματος καλύπτονται με γυψοσάνιδες,

αντικολλητικές πλάκες ξύλου ή με άλλα πετάσματα. Είναι σκόπιμο οι επικαλυπτικές πλάκες από τη μη εμφανή τους πλευρά να έχουν ένα αδιαπέρατο από τους υδρατμούς υλικό που θα λειτουργεί ως φράγμα υδρατμών και θα παρεμποδίζει ενδεχόμενη συμπίκνωση των διαχεόμενων υδρατμών στο εσωτερικό της στέγης. [Καρέκος, 2001]

Τα θερμομονωτικά υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι τα ανόργανα υλικά, όπως ο υαλοβάμβακας, ο πετροβάμβακας, ξυλόμαλλο, σάντουιτς ξυλόμαλλου – διογκωμένης πολυστερίνης και τα αφρώδη υλικά, όπως η διογκωμένη πολυστερίνη και η αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη. [Αραβαντινός, 2000]



Εικ. 2.10: Θερμομόνωση ξύλινης στέγης από την εσωτερική πλευρά.

Πηγή: http://portal.tee.gr/portal/page/portal/teetkm/DRASTHRIOTHTES/SEMINARIA/PALAIOTERA_SEMINARIA/H_KYKLOS_S_M_D_IAN_FEB_09/ENERGEIAKOS_SXEDIASMOΣ_NEWN_KAI_YFISTAMENWN_KTHRIWN/aravantinos%2709-1.pdf

Στην εξωτερική θερμομόνωση, το θερμομονωτικό στρώμα μπορεί να τοποθετηθεί είτε κάτω από τη στεγάνωση της στέγης (συμβατικού τύπου) είτε επάνω από αυτήν (αντεστραμμένου τύπου). [Αθανασόπουλος, 2003] Τα θερμομονωτικά υλικά που προτιμούνται σε αυτή την περίπτωση είναι τα αφρώδη υλικά που δεν προσβάλλονται από την υγρασία, όπως η αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη και η

πολυουρεθάνη. Μπορεί όμως να τοποθετηθεί και κάθε άλλο υλικό εφόσον ληφθεί μέριμνα για προστασία από τα νερά της βροχής. [Καρέκος, 2001]

2.4.3 Θερμομόνωση στέγης σε υπό κλίση πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος

Στην περίπτωση της εσωτερικής θερμομόνωσης προτιμώνται συνήθως ανόργανα υλικά ή αφρώδη υλικά. Εάν ως θερμομονωτική στρώση τοποθετηθεί διογκωμένη πολυστερίνη ή αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη μπορεί να τοποθετηθεί εξαρχής στον ξυλότυπο και με την έγχυση και σκλήρυνση του σκυροδέματος να γίνει ένα σώμα με αυτό. [Φούντας, 1980] Αν όμως ως θερμομονωτικό υλικό επιλεγεί το ξυλόμαλλο μπορεί να αποτελέσει τον ξυλότυπο της κατασκευής και στη συνέχεια να παραμείνει και να μην αποκολληθεί.

Στην περίπτωση της εξωτερικής θερμομόνωσης συμβατικού τύπου στέγης θα πρέπει να προβλεφθεί η προστασία της στέγης από πιθανή συμπύκνωση των διαχεόμενων υδρατμών που προέρχονται από το εσωτερικό του χώρου. [Παπαδόπουλος, 1979] Για το λόγο αυτό επάνω στην πλάκα του σκυροδέματος και κάτω από το θερμομονωτικό υλικό θα πρέπει να τοποθετηθεί ένα φράγμα υδρατμών. Μπορεί να αποτελείται από πλαστική ή ασφαλτική μεμβράνη, η οποία οφείλει να έχει συντελεστή αντίστασης στη διάχυση των υδρατμών μεγαλύτερο ή τουλάχιστον ίσο αυτού της στεγανωτικής μεμβράνης που τοποθετείται ως στεγανωτική στρώση. [Καρέκος, 2001]

Στην περίπτωση εξωτερικής θερμομόνωσης αντεστραμμένου τύπου στέγης η στεγανωτική στρώση παίζει ταυτόχρονα και το ρόλο του φράγματος των υδρατμών. Η θερμομονωτική στρώση, η οποία οφείλει να αποτελείται από υλικά που δεν προσβάλλονται από την υγρασία, τοποθετείται ανάμεσα στα ξύλινα καδρόνια. Εναλλακτικά μπορεί να καλυφθεί με ξύλινο υπόστρωμα ή να μείνει ελεύθερη. [Παπαδόπουλος, 1979]

2.5 Θερμομόνωση πυλωτής

Η διαμόρφωση της πυλωτής στη θέση του ισογείου είναι για τα ελληνικά δεδομένα μία συνηθισμένη επιλογή στις σύγχρονες πολυκατοικίες. Δυστυχώς, στις περισσότερες περιπτώσεις η οροφή της πυλωτής δεν θερμομονώνεται και τότε ο

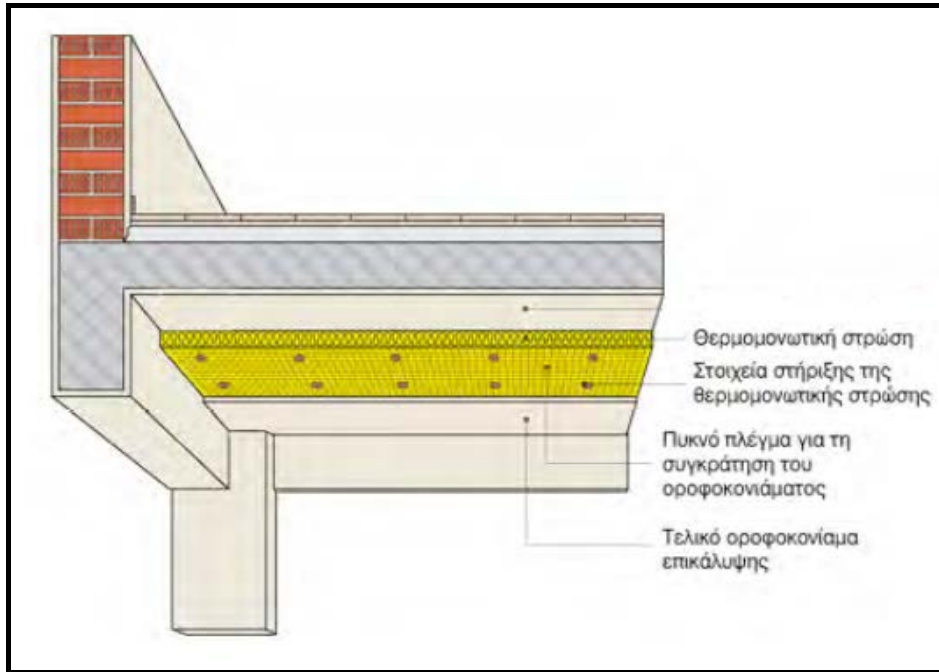
πρώτος όροφος είναι αυτός που καταπονείται ιδιαίτερα, λόγω των μεγάλων θερμικών απωλειών από το δάπεδο. Η θερμομόνωση μπορεί να τοποθετηθεί εξωτερικά ή εσωτερικά. Στην πρώτη περίπτωση γίνεται εκμετάλλευση της θερμοχωρητικότητας της πλάκας του οπλισμένου σκυροδέματος, ενώ στη δεύτερη δεν γίνεται εκμετάλλευση.

Η κατασκευή της εξωτερικής θερμομόνωσης μπορεί να γίνει με δύο τρόπους: [Αθανασόπουλος, 2003]

- Με την καλή στερέωση του θερμομονωτικού υλικού στην οροφή της πυλωτής και την επικάλυψή του με κάποιο επίχρισμα, συνήθως ασβεστοτσιμεντοκονίαμα. Απαιτείται επίσης η παρεμβολή μεταλλικού πλέγματος για την ισχυρότερη πρόσφυση του επιχρίσματος επί του θερμομονωτικού υλικού. Το καλύτερο αποτέλεσμα επιτυγχάνεται όταν το θερμομονωτικό υλικό τοποθετηθεί στον ξυλότυπο και με την πήξη του σκυροδέματος γίνει ένα σώμα με αυτό.
- Με την ανάρτηση μη αεριζόμενης ψευδοροφής, επί της οποίας θα πατήσουν οι θερμομονωτικές πλάκες.

Ός θερμομονωτική στρώση μπορούν να χρησιμοποιηθούν σχεδόν όλα τα θερμομονωτικά υλικά, επειδή δεν κινδυνεύουν να προσβληθούν από την υγρασία. [Παπαδόπουλος, 1979] Συνήθως χρησιμοποιείται διογκωμένη πολυστερίνη ή αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη. Όμως ως πλέον κατάλληλο υλικό θεωρείται το ξυλόμαλλο σε απλές πλάκες ή σε τύπου σάντουιτς με ενδιάμεση στρώση διογκωμένης πολυστερίνης ή υλικών από ορυκτές, ζωικές ή φυτικές ίνες, λόγω της καλής πρόσφυσης που έχει το επίχρισμα πάνω σε αυτό. [Αθανασόπουλος, 2003]

Στη θερμομόνωση της πυλωτής πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στα δοκάρια της πυλωτής, τα οποία εάν δεν θερμομονωθούν θα αποτελέσουν θερμογέφυρες. [Αραβαντινός, 2009] Αυτό αντιμετωπίζεται με την περιμετρική θερμομόνωσή τους και το πλέον κατάλληλο υλικό σε αυτή την περίπτωση είναι το ξυλόμαλλο στην απλή μορφή ή τύπου σάντουιτς, όταν τοποθετείται εξ αρχής στον ξυλότυπο της πλάκας σκυροδέματος. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί το ίδιο ως ξυλότυπος και στη συνέχεια να παραμείνει. [Αραβαντινός, 2000]

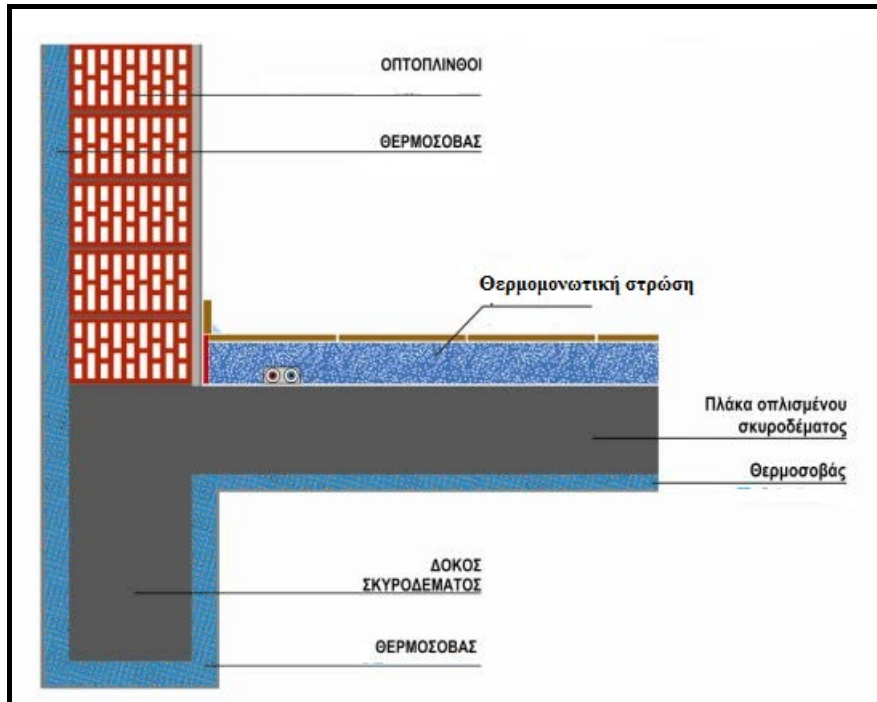


Εικ. 2.11: Θερμομόνωση πυλωτής από την εξωτερική πλευρά.

Πηγή: http://portal.tee.gr/portal/page/portal/teetkm/DRASTHRIOTHTES/SEMINARIA/PALAIOTER A_SEMINARIA/H_KYKLOS_S_M_D_IAN_FEB_09/ENERGEIAKOS_SXEDIASMOS_NEWN_KAI_YFISTAMENWN_KTHRIWN/aravantinos%2709-1.pdf

Στην εσωτερική θερμομόνωση, η θερμομόνωση τοποθετείται επάνω από την πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος και επικαλύπτεται με κάποια προστατευτική στρώση. Ως θερμομονωτική στρώση μπορούν να χρησιμοποιηθούν όλα σχεδόν τα θερμομονωτικά υλικά, αρκεί να μην παραμορφώνονται όταν δέχονται ισχυρά φορτία. [Αθανασόπουλος, 2003] Για το λόγο αυτό η επιλογή του υλικού εξαρτάται από τον τύπο του δαπέδου και τη χρήση του.

- Σε μωσαϊκά, μαρμάρινα ή πέτρινα δάπεδα προτιμώνται τα αφρώδη σκληρά θερμομονωτικά υλικά και κυρίως η αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη.
- Σε ξύλινα δάπεδα προτιμώνται τα ινώδη θερμομονωτικά υλικά σε μαλακές πλάκες ή παπλώματα και τοποθετούνται ανάμεσα στις δοκούς κάτω από το ψευδοδάπεδο.



Εικ. 2.12: Θερμομόνωση πυλωτής από την εσωτερική πλευρά.

Πηγή: http://www.tekto.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=656&Itemid=363

2.6 Θερμογέφυρες

Ένα σημαντικό πρόβλημα στη θερμομόνωση των κτιρίων αποτελούν οι θερμογέφυρες. Με τον όρο αυτό χαρακτηρίζονται εκείνα τα τμήματα του εξωτερικού περιβλήματος του κτιρίου, των οποίων η θερμομονωτική προστασία υπολείπεται σημαντικά αυτής του υπολοίπου περιβλήματος. [Καρέκος, 2001] Αυτό μπορεί να οφείλεται σε κακοτεχνία, σε κατασκευαστική αστοχία, σε αμέλεια, σε άγνοια ή ακόμη σε φθορά με το χρόνο. Στα τμήματα αυτά η ροή θερμότητας είναι μεγαλύτερη από ότι στα υπόλοιπα δομικά στοιχεία και ο κίνδυνος πρόκλησης φθορών είναι πιο έντονος.

Οι συνέπειες από τη δημιουργία θερμογεφυρών σε ένα κτίριο είναι οι εξής: [Αραβαντινός, 2009]

- Απώλειες θερμότητας. Στα δομικά στοιχεία, τα οποία δεν έχουν θερμομονωτική στρώση, οι απώλειες θερμότητας μπορεί να φτάσουν να είναι διπλάσιες, ακόμη και τριπλάσιες έναντι των υπολοίπων δομικών στοιχείων του κελύφους που είναι μονωμένα.

- Εμφάνιση χαμηλών επιφανειακών θερμοκρασιών. Η επιφανειακή θερμοκρασία στα σημεία αυτά είναι χαμηλότερη κατά 3 – 5 °C σε επίπεδες επιφάνειες και κατά 3 – 7 °C σε γωνίες του κτιρίου.
- Περιορισμός του αισθήματος θερμικής άνωσης. Στις περιοχές αυτές δεν διατηρούνται οι συνθήκες θερμικής άνεσης των υπόλοιπων χώρων του κτιρίου, επειδή λόγω της χαμηλότερης θερμοκρασίας τους, η εκπομπή θερμότητας από το ανθρώπινο σώμα είναι μεγαλύτερη. Η αίσθηση ψύχους είναι τόσο πιο έντονη, όσο μεγαλύτερη είναι η επιφάνεια που αποτελεί η θερμογέφυρα..
- Συμπύκνωση υδρατμών. Αν η επιφανειακή θερμοκρασία στο σημείο αυτό είναι χαμηλότερη από τη θερμοκρασία δρόσου, οι υδρατμοί του αέρα θα συμπυκνωθούν και θα εμποτίσουν το δομικό στοιχείο.
- Ανάπτυξη μούχλας. Είναι απόρροια του σχηματισμού δρόσου. Η υγρή επιφάνεια διευκολύνει τη συσσώρευση σκόνης, σχηματίζοντας σκουρόχρωμα στίγματα. Μάλιστα η ύπαρξη κατάλληλου περιβάλλοντος, έλλειψη αερισμού, υψηλή υγρασία και παρουσία μικροοργανισμών, οδηγεί πολύ συχνά στην ανάπτυξη μυκήτων.
- Επιφανειακές φθορές. Η συνεχής προσβολή του δομικού στοιχείου από υγρασία συμπύκνωσης καθώς και εναλλασσόμενες διυγράνσεις και εξατμίσεις μπορούν να προκαλέσουν αποφλοιώσεις και σχισμές στην επιφάνεια του επιχρίσματος.

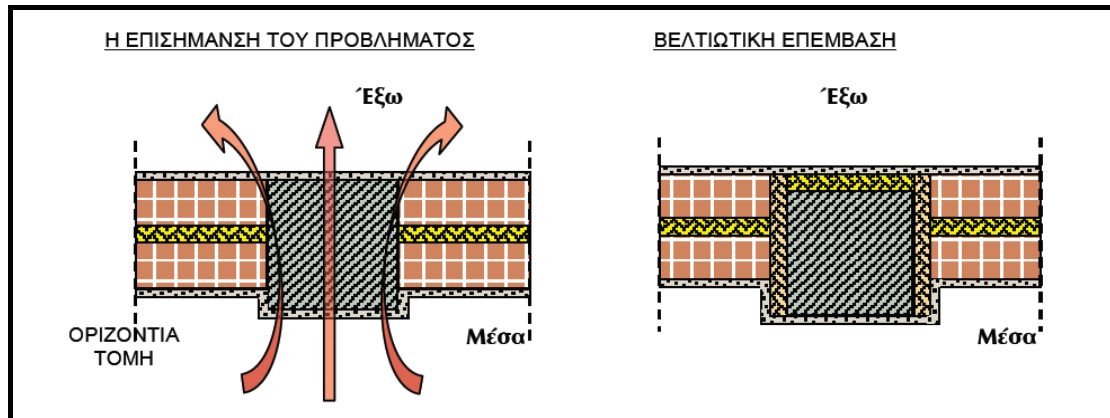
Οι θερμογέφυρες πρέπει να εντοπίζονται εγκαίρως και να λαμβάνονται μέτρα εξάλειψής τους. Βεβαίως ο καλύτερος τρόπος αντιμετώπισης των θερμογεφυρών είναι ο εκ των προτέρων καλός σχεδιασμός της θερμικής προστασίας της κατασκευής, ώστε αυτές να μειωθούν στο ελάχιστο. Ωστόσο, πρέπει να καταστεί σαφές ότι πλήρης εξάλειψή τους δεν είναι δυνατόν να επιτευχθεί. [Καρέκος, 2001] Δεν υπάρχει συμβατική κατασκευή που να μην παρουσιάζει σε κάποια σημεία της θερμογέφυρες. Ο στόχος όμως είναι τα σημεία αυτά να είναι μικρής έκτασης και όσο το δυνατόν λιγότερα.

Τις πιο συνηθισμένες θέσεις εμφάνισης θερμογεφυρών αποτελούν οι δοκοί και τα υποστυλώματα όταν δεν θερμομονώνονται, όπως και τα διαζώματα ενίσχυσης

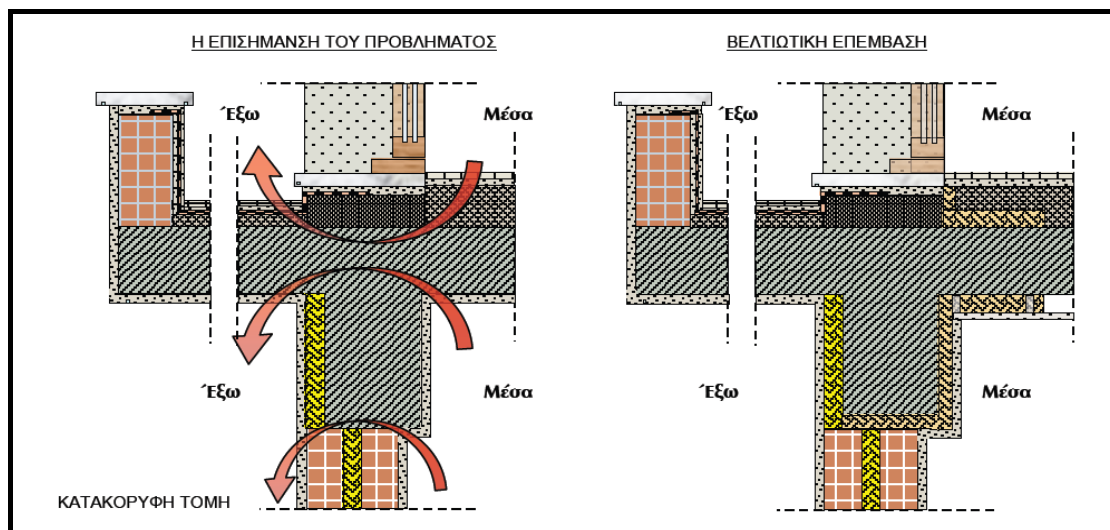
(σενάζ), προεξοχές σκυροδέματος από τον κύριο όγκο του κτιρίου. Ειδικότερα, τα πλέον συνήθη σημεία που λειτουργούν ως θερμογέφυρες είναι: [Αραβαντινός, 2009]

- Οι δοκοί και τα υποστυλώματα όταν δεν θερμομονώνονται. Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται είτε εκ κατασκευής με την εφαρμογή της θερμομονωτικής στρώσης σε αυτά, είτε εκ των υστέρων με τη θερμομόνωση των στοιχείων αυτών.
- Οι προεκτάσεις της πλάκας των ορόφων που αποτελούν εξώστες του κτιρίου. Το πρόβλημα εμφανίζεται στην εσωτερική γωνία της δοκού με την οροφή. Είναι δυνατόν να αντιμετωπιστεί είτε εκ κατασκευής με την ενσωμάτωση χωρίς υπολογισμό μιας λωρίδας θερμομονωτικού υλικού πλάτους 40 – 60 cm στον ξυλότυπο της πλάκας της οροφής και κατά μήκος της δοκού για όσο τμήμα αναπτύσσεται ο πρόβολος, είτε εκ των υστέρων με την ανάπτυξη θερμομονωμένης ψευδοροφής.
- Οι γωνίες συνάντησης των δαπέδων με τους περιμετρικούς τοίχους, όταν βρίσκονται επάνω από πυλωτή, ημιυπόγειο ή υπόγειο μη θερμαινόμενο. Αντιμετωπίζονται με τη θερμομόνωση του κάτω τμήματος της πλάκας και των δοκών της.
- Στα σημεία όπου συναντώνται τα στοιχεία του φέροντος οργανισμού με την τοιχοποιία, όπου παρατηρείται διακοπή της συνέχειας της θερμομονωτικής στρώσης είτε απουσία αυτής. Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με τη θερμομόνωση της κύριας αλλά και της πλευρικής όψης του στοιχείου, έτσι ώστε να υπάρχει συνέχεια ανάμεσα στη θερμομονωτική στρώση της τοιχοποιίας και του στοιχείου.
- Στη θέση των περιδέσεων ενίσχυσης (σενάζ). Τα σημεία αυτά συνήθως δεν θερμομονώνονται, είτε η θερμομονωτική στρώση δεν αποτελεί συνέχεια του θερμομονωτικού της τοιχοποιίας. Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με την επέκταση της θερμομονωτικής στρώσης κατά 20 cm περίπου εκατέρωθεν αυτής προς το μέρος της τοιχοποιίας. [Αθανασόπουλος, 2003]
- Τα κουτιά για τα ρολά των κουφωμάτων, επάνω από τα πρέκια, όταν δεν είναι θερμομονωμένα ή είναι κακώς θερμομονωμένα. Το πρόβλημα διορθώνεται με τη θερμομόνωση αυτών των κουτιών από την εσωτερική τους πλευρά.

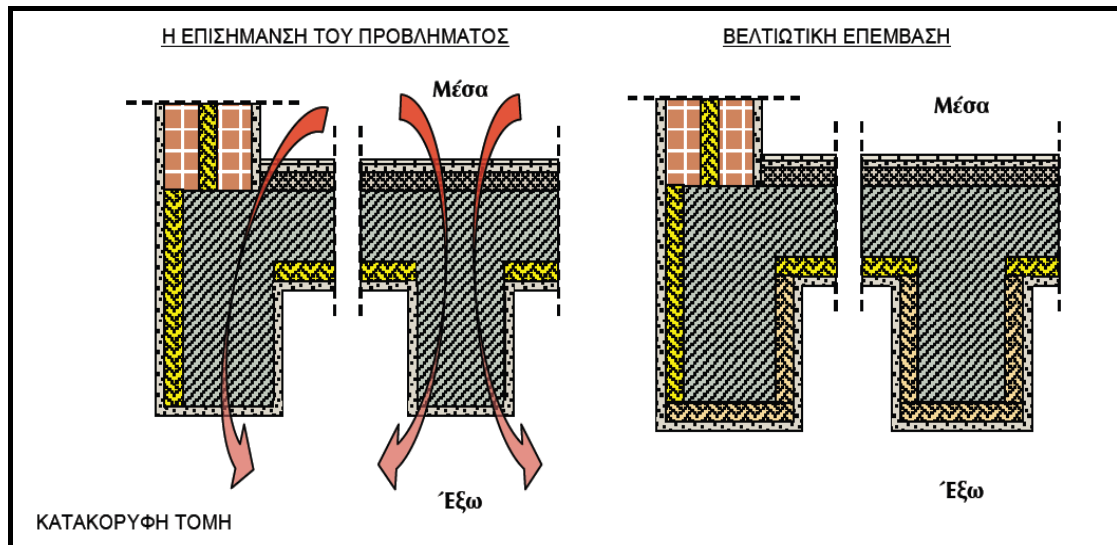
- Τα σημεία συναρμογής των κουφωμάτων με τις παράπλευρες τοιχοποιίες. Αντιμετωπίζεται είτε εκ των προτέρων, είτε εκ των υστέρων με τη θερμομονωτική προστασία των αρμών. Συνήθως προτιμάται ο αφρός πολυουρεθάνης, αφενός επειδή προσφέρει καλή προστασία τόσο θερμομονωτική, όσο και στεγανωτική και αφετέρου επειδή με τη διόγκωσή του σφηνώνει καλύτερα το κούφωμα στην προεπιλεγμένη θέση.



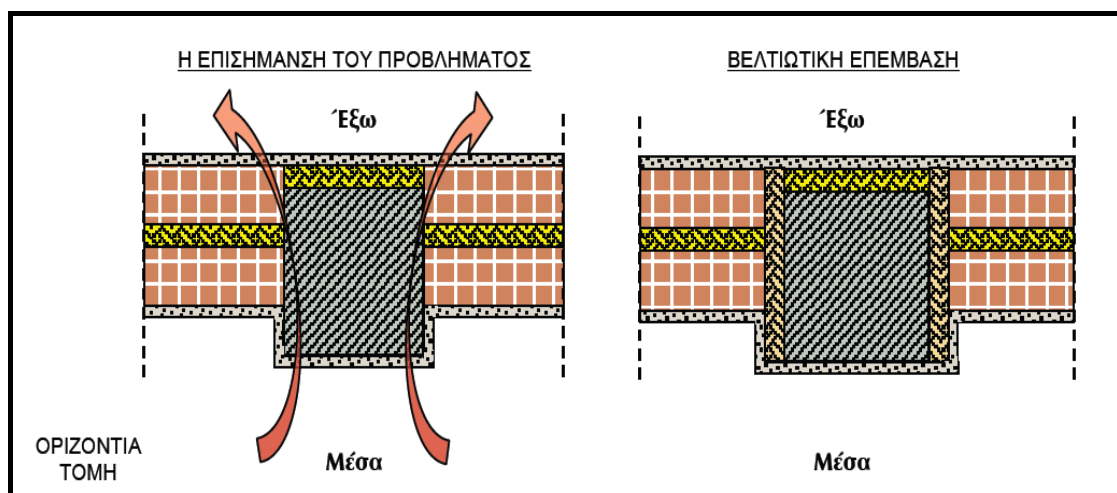
Εικ. 2.13: Θερμογέφυρα λόγω απουσίας θερμομόνωσης σε στοιχείο του φέροντος οργανισμού.
 Πηγή: http://portal.tee.gr/portal/page/portal/teetkm/DRASTHRIOTHTES/SEMINARIA/PALAIOTER_A_SEMINARIA/H_KYKLOS_S_M_D_IAN_FEB_09/ENERGEIAKOS_SXEDIASMOΣ_NEWN_KAI_YFISTAMENWN_KTHRIWN/thermogefyres.pdf



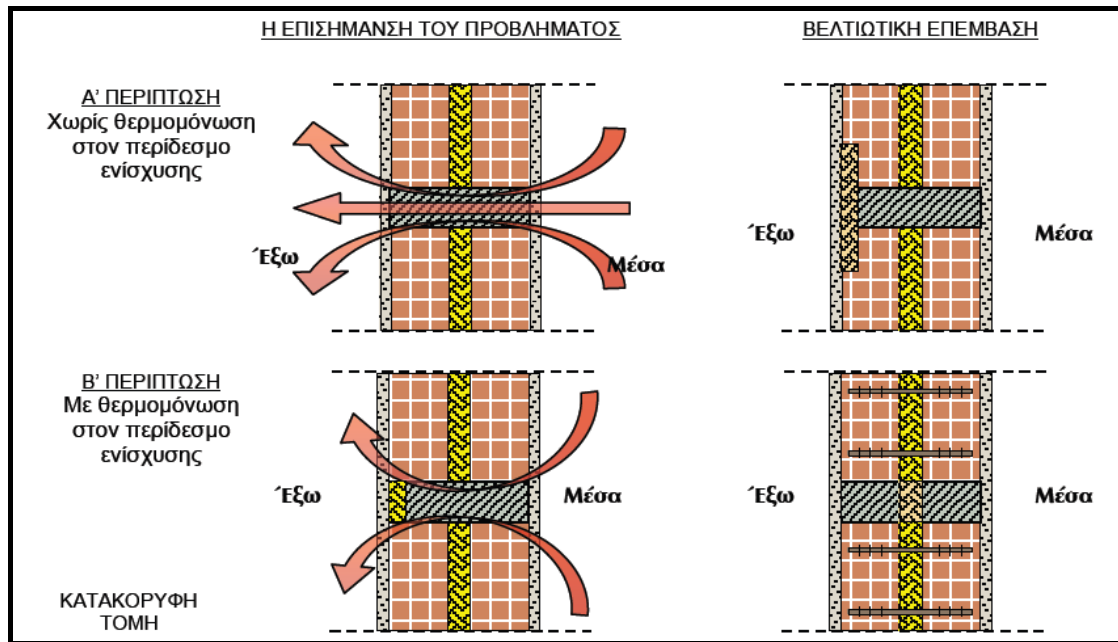
Εικ. 2.14: Θερμογέφυρα στον πρόβολο ως προέκταση της φέρουσας πλάκας.
 Πηγή: http://portal.tee.gr/portal/page/portal/teetkm/DRASTHRIOTHTES/SEMINARIA/PALAIOTER_A_SEMINARIA/H_KYKLOS_S_M_D_IAN_FEB_09/ENERGEIAKOS_SXEDIASMOΣ_NEWN_KAI_YFISTAMENWN_KTHRIWN/thermogefyres.pdf



Εικ. 2.15: Θερμογέφυρα στα περιμετρικά και ενδιάμεσα δοκάρια του υπογείου και της πλωτής.
 Πηγή: http://portal.tee.gr/portal/page/portal/teetkm/DRASTHRIOTHTES/SEMINARIA/PALAIOTER_A_SEMINARIA/H_KYKLOS_S_M_D_IAN_FEB_09/ENERGEIAKOS_SXEDIASMOΣ_NEWN_KAI_YFISTAMENWN_KTHRIWN/thermogefyres.pdf



Εικ. 2.16: Θερμομόνωση στο σημείο σύνδεσης φέροντος οργανισμού και τοιχοποιία πλήρωσης.
 Πηγή: http://portal.tee.gr/portal/page/portal/teetkm/DRASTHRIOTHTES/SEMINARIA/PALAIOTER_A_SEMINARIA/H_KYKLOS_S_M_D_IAN_FEB_09/ENERGEIAKOS_SXEDIASMOΣ_NEWN_KAI_YFISTAMENWN_KTHRIWN/thermogefyres.pdf



Εικ. 2.17: Θερμογέφυρα στον περίδεσμο ενίσχυσης (σενάζ).

Πηγή: http://portal.tee.gr/portal/page/portal/teetkm/DRASTHRIOTHTES/SEMINARIA/PALAIOTER_A_SEMINARIA/H_KYKLOS_S_M_D_IAN_FEB_09/ENERGΕΙΑΚΟΣ_SXEDIASMOS_NEWN_KAI_YFISTAMENWN_KTHRIWN/thermogefyres.pdf

Κεφάλαιο 3^ο

Θερμομονωτικά υλικά

3.1 Ιδιότητες θερμομονωτικών υλικών

Το κάθε θερμομονωτικό υλικό έχει τις δικές του ιδιότητες που το καθιστούν περισσότερο ή λιγότερο κατάλληλο για τη μία ή άλλη χρήση. Η γνώση των ιδιοτήτων αυτών είναι πολύτιμη για την επιλογή του υλικού, το οποίο θα μπορεί να ανταποκριθεί καλύτερα στις απαιτήσεις της κάθε εφαρμογής του.

Αυτό που κατά κάποιο τρόπο είναι κοινό σε όλα, τα κάνει να ξεχωρίζουν από τα υπόλοιπα υλικά και τα επιτρέπει να φέρουν το χαρακτηρισμό θερμομονωτικά, είναι η δομή της μάζας τους. Πρόκειται κατά κανόνα για υλικά, τα οποία αποτελούνται από ένα πλήθος ινών, των οποίων περιέχεται αέρας, ή σπανιότερα κάποιο άλλο αέριο, που θεωρείται πρακτικά ακίνητος. Ο ακίνητος αέρας, παρουσιάζει πολύ μικρή αγωγιμότητα, επιτρέπει δηλαδή πολύ δύσκολα τη μετάδοση της θερμότητας μέσω αυτού. Η στερεή φάση των υλικών αυτών αναλόγως της πυκνότητάς τους κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 3% και 15% του όγκου τους, γι' αυτό και στην συντριπτική τους πλειοψηφία τα θερμομονωτικά υλικά είναι πολύ ελαφριά. [Παπαδόπουλος, 1979]

Συνήθως ως θερμομονωτικά υλικά εννοούνται τα υλικά που παρουσιάζουν θερμική αγωγιμότητα μικρότερη των 0.20 W/mK. [Φούντας, 1980] Οι κυριότερες ιδιότητες που θα πρέπει κάποιος να λάβει υπόψη του πριν την επιλογή του υλικού είναι η επίδραση των κλιματικών συνθηκών, η μηχανική, η φυσική και η χημική του συμπεριφορά, η αλλοίωσή του στο χρόνο κτλ.

3.1.1 Πυκνότητα

Ανάλογα με τη χρήση για την οποία προορίζεται ένα θερμομονωτικό υλικό παράγεται ένα εύρος πυκνοτήτων. Πρέπει να αναφερθεί ότι το μέγεθος της πυκνότητας του θερμομονωτικού υλικού επηρεάζει τον συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας.

3.1.2 Συντελεστής θερμοπερατότητας (k)

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας καθορίζει την θερμομονωτική ικανότητα ενός δομικού στοιχείου ή τμήματός του. Εκφράζει την ποσότητα θερμότητας που μεταδίδεται, υπό σταθερή θερμική κατάσταση και μέσα σε χρονικό διάστημα μιας ώρας, από τμήμα επιφάνειας ενός m^2 του στοιχείου αυτού, όταν η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος είναι $1^\circ C$. [Αθανασόπουλος, 2005]

3.1.3 Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας (λ)

Η θερμική αγωγιμότητα εκφράζει την ιδιότητα ενός υλικού να ελέγχει την ποσότητα της θερμότητας που διαρρέει από την επιφάνειά του, κάτω από σταθερή θερμική κατάσταση, υπό την επίδραση της κάθετης, προς αυτή την επιφάνεια, θερμοκρασιακής πτώσης.

Επομένως ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας, έχοντας μονάδες $Kcal/mh^\circ C$, καθορίζει τη θερμομονωτική ικανότητα ενός υλικού και εκφράζει την ποσότητα θερμότητας που διαρρέει, κάτω από σταθερή θερμική κατάσταση και σε χρονικό διάστημα μιας ώρας, από τμήμα επιφάνειας ενός m^2 , όταν η θερμοκρασιακή πτώση, κατά τη διεύθυνση της ροής της θερμότητας είναι $1^\circ C$. [Αθανασόπουλος, 2005]

3.1.4 Συντελεστής θερμοδιαφυγής (Λ)

Η θερμοδιαφυγή χαρακτηρίζει τη μετάδοση θερμότητας διά μέσου του συνόλου των φλοιών ή της μάζας των διαφόρων υλικών που συγκροτούν ένα δομικό στοιχείο.

Επομένως, ο συντελεστής θερμοδιαφυγής, έχοντας μονάδες W/m^2K , εκφράζει την ποσότητα θερμότητας που διαρρέει, κάτω από σταθερή θερμική κατάσταση και σε χρονικό διάστημα μιας ώρας, από τμήμα επιφάνειας ενός m^2 του δομικού στοιχείου, υπό την επίδραση της κάθετης προς το στοιχείο θερμοκρασιακής πτώσης, όταν μεταξύ των δύο επιφανειών υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας $1^\circ C$. [Καρέκος, 2001]

3.1.5 Συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών

Ο συντελεστής εκφράζει την αντίσταση του θερμομονωτικού υλικού στη διάχυση υδρατμών σε σχέση με ένα στρώμα αέρα ίδιου πάχους και στις ίδιες

περιβαλλοντικές συνθήκες. Η τιμή του συντελεστή είναι ανεξάρτητη από τη θερμοκρασία και την πίεση και όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή αυτού του συντελεστή, τόσο πιο δύσκολο είναι να περάσουν οι υδρατμοί μέσα από τη μάζα του θερμομονωτικού υλικού. [Αθανασόπουλος, 2005]

3.1.6 Επίδραση θερμοκρασίας

Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας είναι ένα χαρακτηριστικό μέγεθος για κάθε υλικό. Στην πραγματικότητα όμως οι τιμές αυτές δεν είναι σταθερές αλλά μεταβλητές και εξαρτώνται άμεσα από τη θερμοκρασία. Η τιμή του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, που δίνει για κάθε υλικό ο κανονισμός, είναι αυτή που έχει υπολογιστεί στο εργαστήριο σε θερμοκρασία 10°C και σε ξηρή κατάσταση. [Καρέκος, 2001]

Έτσι, στην πραγματικότητα με την αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνεται η τιμή του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας του θερμομονωτικού υλικού και μειώνεται η θερμομονωτική του ικανότητα. Μάλιστα, η επί μακρόν έκθεση ορισμένων θερμομονωτικών υλικών σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες, όπως αυτές που αναπτύσσονται σε λέβητες, σε δίκτυα θέρμανσης, σε τοιχοποιίες πίσω από θερμαντικά σώματα προκαλούν αλλοίωση της υφής τους και επιφέρουν θραύση των κυψελών τους και συρρίκνωση της μάζας τους. Γι' αυτό σε ανάλογες περιπτώσεις πρέπει να γίνεται προσεκτικά η επιλογή του κατάλληλου υλικού, όπως είναι τα ανόργανα ινώδη θερμομονωτικά υλικά.

3.1.7 Επίδραση της υγρασίας

Ομοίως, η τιμή του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας επηρεάζεται άμεσα και από την υγρασία. Υλικά που έχουν εμποτισθεί με υγρασία μειώνουν ή ακόμα και χάνουν τις θερμομονωτικές τους ιδιότητες και αυξάνουν αντιστοίχως τη θερμική τους αγωγιμότητα.

Στα θερμομονωτικά υλικά, η δομή των οποίων αποτελείται από ανοικτές κυψελίδες, ο αέρας εκτοπίζεται από το νερό που εγκλωβίζεται στις κυψελίδες, αναπτύσσοντας δυνάμεις συνάφειας με τα τοιχώματά τους. Το νερό έχοντας συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας $\lambda=0.57$ W/mK, δηλαδή περίπου 24 φορές μεγαλύτερο του αέρα, αυξάνει κατά πολύ τη θερμική αγωγιμότητα του εμποτισμένου υλικού. Αντιθέτως, στα θερμομονωτικά υλικά με δομή κλειστών κυψελίδων αυτός ο κίνδυνος είναι σχεδόν ανύπαρκτος, επειδή ο αέρας παραμένει εγκλωβισμένος στις

κυβελίδες και δεν εκτοπίζεται από το νερό. Έτσι, αυτά τα θερμομονωτικά υλικά θεωρούνται απρόσβλητα από την υγρασία.

Ακόμη ο παγετός μπορεί να έχει πολύ αρνητικές συνέπειες στα θερμομονωτικά υλικά. Όταν η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι χαμηλότερη του μηδενός το νερό μετατρέπεται σε πάγο, με αποτέλεσμα ο όγκος του να αυξάνεται κατά το 1/10 του αρχικού. Η μεταβολή αυτή των συνθηκών προκαλεί διαρραγή του ιστού των θερμομονωτικών υλικών και σταδιακή αποσάθρωση της δομής τους. [Αραβαντινός, 2005]

3.1.8 Επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας

Η επί μακρόν έκθεση των αφρώδη οργανικών θερμομονωτικών υλικών στην ηλιακή ακτινοβολία επιφέρει αρνητικές συνέπειες σε αυτά. Οι ακτίνες του ηλίου αλλοιώνουν σταδιακά το υλικό, μειώνοντας την αντοχή του και καθιστώντας το πιο εύθραυστο. Τα συμπτώματα εμφανίζονται με ελαφρό κιτρινισμό της επιφάνειάς του και κατόπιν με θρυμματισμό του. [Χρυσομαλλίδου, 2003] Όταν το υλικό βρεθεί σε μια τέτοια κατάσταση, χάνει τις θερμομονωτικές του ιδιότητες και σταδιακά καταστρέφεται.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, όλα τα θερμομονωτικά υλικά αυτών των κατηγοριών παραμένουν μέχρι τη χρήση τους προφυλαγμένα σε υπόγειους χώρους ή τουλάχιστον σε χώρους σκιασμένους και μέσα σε συσκευασία σκουρόχρωμων ναυλονθηκών.

3.1.9 Μεταβολή των διαστάσεων

Όπως όλα σχεδόν τα υλικά, έτσι και τα θερμομονωτικά μεταβάλλουν τις διαστάσεις τους με την άνοδο της θερμοκρασίας. Ορισμένα μάλιστα έχουν μεγάλους συντελεστές θερμοδιαστολής, αυξάνοντας σημαντικά την επιφάνειά τους. Για το λόγο αυτό κατά την τοποθέτηση πρέπει να προβλέπεται η πιθανή επιμήκυνσή τους λόγω αύξησης της θερμοκρασίας και να λαμβάνονται μέτρα ώστε να μην αναπτύσσονται τάσεις που θα προκαλέσουν ανασήκωσή τους.

Στα θερμομονωτικά υλικά όμως που κατασκευάζονται με θερμικές διεργασίες, μετά τη ψύξη τους παρατηρείται μια μικρή συρρίκνωση των αρχικών τους διαστάσεων και μια ελάττωση του όγκου τους της τάξης του 20 – 40%. [Αραβαντινός, 2000] Αυτή η συρρίκνωση του υλικού κατά κανόνα οφείλεται στην απομάκρυνση της υγρασίας, που απέκτησε κατά τη διαδικασία παραγωγής του και

είναι μεγαλύτερη στα μικρής πυκνότητας θερμομονωτικά υλικά και μικρότερη στα μεγάλης πυκνότητας. Αυτό μπορεί να αποφευχθεί με τεχνητή γήρανση του υλικού κατά το στάδιο παραγωγής, ώστε αυτό να αποκτήσει σταθερές διαστάσεις. Οι συνεχείς, απότομες και μεγάλες θερμοκρασιακές διακυμάνσεις επιφέρουν κόπωση σε ορισμένα οργανικά υλικά και πρόωρη γήρανσή τους. [Χρυσομαλλίδου, 2003]

3.1.10 Χημική συμπεριφορά

Χημικοί διαλύτες μπορούν να προκαλέσουν σοβαρή ζημιά σε ορισμένα οργανικά θερμομονωτικά υλικά. Το ίδιο επηρεάζονται τα περισσότερα αφρώδη οργανικά υλικά από την επαφή τους με την πίσσα και την ρευστή άσφαλτο. Έτσι, κατά τις κατασκευές των δωματίων οι ασφαλικές μεμβράνες δεν πρέπει να επικολλώνται επάνω σε πολυστερινικής προέλευσης υλικά, διότι υπάρχει κίνδυνος καταστροφής τους. Ομοίως, ορισμένες κόλλες και χημικοί διαλύτες μπορούν να καταστρέψουν θερμομονωτικά υλικά που έχουν ως πρώτη ύλη το ξύλο. [Καλύβας, 1991]

3.1.11 Αντίσταση στη φωτιά

Όλα σχεδόν τα θερμομονωτικά υλικά ανόργανης προέλευσης παρουσιάζουν πολύ καλή συμπεριφορά απέναντι στη φωτιά. Τα περισσότερα από αυτά δεν αναφλέγονται και δεν συντηρούν τη φωτιά. Τέτοια είναι ο υαλοβάμβακας, ο πετροβάμβακας, το αφρώδες γυαλί, ο περλίτης. Αντιθέτως, τα περισσότερα θερμομονωτικά υλικά οργανικής προέλευσης, φυσικά ή τεχνητά, έχουν κακή συμπεριφορά στη φωτιά και κατατάσσονται στην κατηγορία των καυστών υλικών. [Αθανασόπουλος, 2003]

3.1.12 Μηχανική αντοχή

Το θέμα της αντοχής των υλικών σε θλιπτικά και εφελκυστικά φορτία άλλοτε είναι πολύ σημαντικό και άλλοτε όχι. Για παράδειγμα μικρή σημασία έχει η μηχανική αντοχή της θερμομονωτικής στρώσης στον πυρήνα μιας τοιχοποιίας πλήρωσης. Είναι όμως πρώτης σημασίας αν η τοιχοποιία είναι φέρουσα και το θερμομονωτικό υλικό ανήκει στα φέροντα στοιχεία της κατασκευής, όπως είναι τα θερμομονωτικά τούβλα. [Μπόζης, 1995]

Κατά ανάλογο τρόπο αξιολογείται η μηχανική αντοχή των θερμομονωτικών υλικών, όταν πρόκειται να τοποθετηθούν σε δώμα ή σε δάπεδο και πρόκειται να ασκηθούν σε αυτό ισχυρά φορτία. Κάποια υλικά, όπως είναι το ξυλόμαλλο,

παρουσιάζουν πολύ υψηλές αντοχές και ορισμένα εξ αυτών μπορούν να χρησιμεύσουν ταυτοχρόνως και ως ξυλότυποι κατά την κατασκευή. Άλλα θερμομονωτικά υλικά, όπως το πάπλωμα υαλοβάμβακα, δεν προσφέρονται για καταπονήσεις, ενώ άλλα όπως η διογκωμένη πολυστερίνη μπορούν να δεχτούν γραμμικά φορτία όχι όμως μοναχικά.

Επίσης η γνώση της αντοχής των θερμομονωτικών υλικών σε εφελκυσμό είναι χρήσιμη όταν πρόκειται να χρησιμοποιηθούν ως αυτοφερόμενες κατασκευές ή να τοποθετηθούν σε ψευδοροφές που παρουσιάζουν μεγάλα ανοίγματα. [Παπαδόπουλος, 1984]

Πρέπει να σημειωθεί ότι τα θερμομονωτικά υλικά εμφανίζουν και άλλες ιδιότητες όπως είναι η φθορά με το χρόνο, η προσβολή του από έντομα και τρωκτικά, η συνεργασιμότητα του με άλλα υλικά. [Παπαδόπουλος, 1979] Επιπλέον, σημαντικό ρόλο παίζει το κόστος του υλικού, η διακίνησή του στην αγορά, η δυνατότητα μεταφοράς και τοποθέτησής του και άλλοι παράγοντες που σχετίζονται με τη ιδιαιτερότητα της κάθε κατασκευής.

3.2 Ταξινόμηση και επιλογή θερμομονωτικών υλικών

Η κατάταξη των θερμομονωτικών υλικών σε ομάδες δίνει διαφορετικά αποτελέσματα ανάλογα με τα κριτήρια που παίρνονται υπόψη για την ταξινόμησή τους. Με κριτήριο τη δομή τους θα μπορούσαν να διαχωριστούν σε ινώδη, κυψελώδη και κοκκώδη θερμομονωτικά υλικά. Παίρνοντας υπόψη την προέλευσή τους θα μπορούσαν να ταξινομηθούν σε ανόργανα και οργανικά. Με κριτήριο την παρασκευή τους διαχωρίζονται σε φυσικά και τεχνητά. [Χρυσομαλλίδου, 2003]

Ακόμη, θα μπορούσε κανείς να κατατάξει τα θερμομονωτικά σε ελαφριά και βαριά με κριτήριο το βάρος τους. Τα ελαφριά θερμομονωτικά υλικά χρησιμοποιούνται ως συμπληρωματικά στοιχεία σε μια κατασκευή και ο ρόλος τους αποσκοπεί στη θερμική προστασία του κελύφους. Αντίθετα, τα βαριά θερμομονωτικά υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως κύρια δομικά υλικά και ενίοτε να συμμετέχουν στο φέροντα οργανισμό της κατασκευής παραλαμβάνοντας μέρος των φορτίων. [Αραβαντινός, 2005]

Τα ελαφριά θερμομονωτικά υλικά μπορούν να διακριθούν ανάλογα με τη σύστασή τους σε:

- Ανόργανα ινώδη (υαλοβάμβακας, πετροβάμβακας)
- Οργανικά ινώδη (ξυλόμαλλο, υλικά ζωικών ή φυτικών ινών)
- Κυψελώδη (διογκωμένη πολυστερίνη, αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη, πολυουρεθάνη, φελλός)
- Κοκκώδη (περλίτης, βερμικουλίτης, κίσηρη)

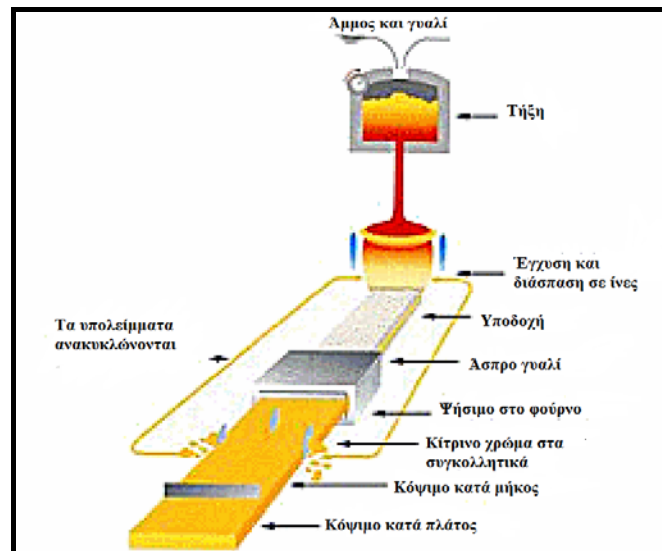
Στα βαριά θερμομονωτικά υλικά μπορούν να συμπεριληφθούν τα θερμομονωτικά τούβλα, τα θερμομονωτικά τσιμεντότουβλα, τα ελαφροσκυροδέματα και τα κυψελωτά σκυροδέματα.

Η εκλογή και χρήση ενός θερμομονωτικού υλικού που εκπληρώνει τις προδιαγραφές είναι από τη μια συνάρτηση των ιδιοτήτων και του κόστους του και από την άλλη συνάρτηση των καταπονήσεων που θα υποστεί στο δομικό στοιχείο που θα χρησιμοποιηθεί. Έτσι, σε ορισμένες περιπτώσεις απαιτείται από το μονωτικό υλικό μεγάλη ακαμψία ενώ σε άλλες μεγάλη ελαστικότητα. Τέλος, οικονομικά κριτήρια των θερμομονωτικών υλικών αποτελούν το κόστος αγοράς και τοποθέτησης, η διάρκεια ζωής τους, οι πρόσθετες προστατευτικές στρώσεις που απαιτούνται για την κάλυψή τους και η εξοικονόμηση ενέργειας που εξασφαλίζουν. [Παπαδόπουλος, 1979]

3.3 Θερμομονωτικά υλικά στην Ελλάδα

3.3.1 Υαλοβάμβακας

Ο υαλοβάμβακας είναι ινώδες υλικό ορυκτής προέλευσης με κύρια συστατικά το διοξείδιο του πυριτίου, την ανθρακική σόδα και το δολομίτη. Παρασκευάζεται σε θερμοκρασία τήξης με φυγοκέντρωση ρευστής μάζας γυαλιού, το οποίο εκσφενδονίζεται υπό μορφή λεπτών ινών πάχους 3 έως 20 μm . Οι ίνες συσσωματώνονται παγιδεύοντας αέρα και δημιουργούν τον υαλοβάμβακα σε πυκνότητες που κυμαίνονται από 13 έως 100 Kg/m^3 . [Μπόζης, 1995]



Εικ. 3.1: Παραγωγική διαδικασία υαλοβάμβακα.

Πηγή: http://dspace.lib.ntua.gr/bitstream/123456789/3114/3/kountourisa_composite.pdf, σελ. 21

Όσο μικρότερο είναι το πάχος των ινών του υαλοβάμβακα και όσο μεγαλύτερο το μήκος τους τόσο καλύτερη θερμική προστασία προσφέρει, αυξάνοντας παράλληλα την τιμή κόστους. Γι' αυτό και ο καθαρός υαλοβάμβακας χωρίς προσμίξεις και με επιμήκεις και μικρής διαμέτρου ίνες, το οποίο ονομάζεται υαλόμαλλο, θεωρείται ένα υλικό υψηλών θερμομονωτικών απαιτήσεων.

Ο υαλοβάμβακας εκτός από θερμομονωτικό υλικό θεωρείται και καλό ηχομονωτικό υλικό. [Αθανασόπουλος, 2005] Έχει χρώμα κίτρινο ή λευκό. Παρουσιάζει σταθερότητα όγκου, δεν προσβάλλεται από έντομα και τρωκτικά και δεν καταστρέφεται από χημικές ενώσεις με εξαίρεση το υδροχλωρικό οξύ. Ακόμα, δεν φθείρεται και δεν αποσυντίθεται με την πάροδο του χρόνου. [Καλύβας, 1991]

Είναι άκαυστο υλικό και αντέχει σε υψηλές θερμοκρασίες. Σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά που δίνουν οι κατασκευάστριες εταιρείες, ο υαλοβάμβακας, αναλόγως του τύπου του μπορεί να αντέξει σε θερμοκρασίες χρήσης που φτάνουν τους 250 – 400 °C. Εμφανίζει καλή συμπεριφορά στην αντοχή πυρκαγιάς. Όμως τα υλικά συνοχής και τα υδατοαποθητικά έλαια που προστίθενται για την βελτίωση του υλικού υποβαθμίζουν την πυραντοχή του. Η αντοχή του υλικού στη συμπίεση είναι μικρή και για το λόγο αυτό αποφεύγεται η χρήση του σε δάπεδα και δώματα τα οποία δέχονται μεγάλες καταπονήσεις. [Καλύβας, 1991] Έχει σύμφωνα με το κανονισμό θερμομόνωσης συντελεστή θερμικής αγωγιμότητα λ 0.041 W/mk, 0.058 W/mK,

0.077 W/mK για θερμοκρασία περιβάλλοντος 10 °C, 100 °C και 200 °C, ενώ ο συντελεστής αντίστασης στη διάχυση των υδρατμών (μ) κυμαίνεται από 1.1 έως 2.0. [Αθανασόπουλος, 2005]

Ο υαλοβάμβακας εξαιτίας της δομής του σε ελεύθερη κατάσταση δεν συγκρατεί την υγρασία. Όταν όμως βρίσκεται κλεισμένος μέσα στα άλλα δομικά υλικά επιτρέπει την υγρασία που εγκλωβίζεται στο δομικό στοιχείο να τον προσβάλλει και να εξαπλωθεί σε όλη του την έκταση. Για το λόγο αυτό πρέπει να προστατεύεται από κάθε είδους υγρασία ως εξής: [Χρυσομαλλίδου, 2003]

- Να μην τοποθετείται στην εξωτερική όψη κατακόρυφων δομικών στοιχείων που προσβάλλονται από τη βροχή.
- Να τοποθετείται σε δομικά στοιχεία που επιτρέπουν τη διάχυση των υδρατμών και αν για κάποιο λόγο αυτό δεν είναι εφικτό, να προστατεύεται από φράγμα υδρατμών.
- Να προστατεύεται καλά από κάποια ανώτερη στεγανωτική στρώση όταν τοποθετείται σε δώμα και από κάποια κατώτερη στεγανωτική στρώση όταν τοποθετείται σε δάπεδο.

Ωστόσο, σήμερα ορισμένες εταιρείες παράγουν προϊόντα υαλοβάμβακα που λόγω της επεξεργασίας τους θεωρούν ότι έχουν υδροαπωθητικές ιδιότητες και δεν προσβάλλονται τόσο εύκολα από την υγρασία. [Αραβαντινός, 2000]

Στο εμπόριο κυκλοφορεί υαλοβάμβακας σε διάφορες μορφές, ανάλογα με τη χρήση του:

- Πάπλωμα σε ρολά. Η μορφή αυτή είναι περισσότερο κατάλληλη για τη θερμομόνωση του πυρήνα δικέλυφων εξωτερικών τοιχοποιιών, ξύλινων πατωμάτων, πλακών κάτω από στέγη και ψευδοροφών καθώς και ηλιακών θερμοσιφώνων και κλιβάνων.



Εικ. 3.2: Πάπλωμα υαλοβάμβακα σε ρολό.

Πηγή: <http://www.ua.all.biz/img/ua/catalog/1057357.jpeg>

- Πάπλωμα προστατευμένο από τη μία του όψη με φύλλο αλουμινίου. Χρησιμεύει για τις μονώσεις δεξαμενών, δοχείων, αεραγωγών, σωληνώσεων, στοιχείων που χρειάζεται να προστατευθούν από την υγρασία και δομικών στοιχείων που απαιτούν την ύπαρξη φράγματος υδρατμών.



Εικ. 3.3: Πάπλωμα υαλοβάμβακα προστατευμένο από τη μία του όψη με φύλλο αλουμινίου.

Πηγή: http://www.tsakiroglou.gr/wp-content/uploads/2011/10/ualovamvakas_rola_big.jpg

- Πάπλωμα ενισχυμένο με μεταλλικό πλέγμα. Προσφέρεται για θερμομόνωση των καμινάδων εστιών και τζακιών καθώς και μηχανολογικών εγκαταστάσεων με υψηλές θερμοκρασίες.



Εικ. 3.4: Πάπλωμα υαλοβάμβακα με μεταλλικό πλέγμα.

Πηγή: http://www.alto.gr/files/Image/resized/01.01.01.01.04_264_200.jpg

- Απλές ή ενισχυμένες πλάκες. Τοποθετείται στον πυρήνα δικέλυφων εξωτερικών τοιχοποιιών, σε δοκούς και υποστυλώματα από την εσωτερική τους πλευρά, σε εσωτερικές διαχωριστικές τοιχοποιίες για ηχοπροστασία, σε ξύλινα πατώματα, σε συρόμενα κουφώματα καθώς και σε πέτρινα δάπεδα με την προϋπόθεση ότι δεν ασκούνται στην επιφάνεια ισχυρά φορτία ή τουλάχιστον έχει ληφθεί μέριμνα για την παραλαβή αυτών των φορτίων από άλλα δομικά υλικά. [Μπόζης, 1995]



Εικ. 3.5: Απλές πλάκες υαλοβάμβακα.

Πηγή: http://www.tsakiroglou.gr/wp-content/uploads/2011/10/ualovamvakas_plaka_big.jpg

- Ενισχυμένες πλάκες με υαλούφασμα. Προσφέρεται για θερμομονώσεις αεραγωγών εσωτερικών χώρων, για ηχομονώσεις λεβητοστασίων και άλλων ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων.



Εικ. 3.6: Ενισχυμένες πλάκες με υαλούφασμα.

Πηγή: http://www.alto.gr/?pname=products_category&la=1&cat_id=684

- Κοχύλια. Είναι κατάλληλο για θερμομονώσεις και ηχομονώσεις σωληνώσεων.



Εικ. 3.7: Κοχύλια υαλοβάμβακα.

Πηγή: http://www.oiko.net/images/products/110329102757_1.jpg

Ιδιότητες	Μονάδες	Τεχνικά χαρακτηριστικά		
		Ελάχιστη τιμή	Μέση τιμή	Μέγιστη τιμή
Μηχανικές ιδιότητες				
Πάχος υλικού	cm	1	3/4/5/8/10/12/14/15	18
Πυκνότητα	kg/m ³	13	18/23/60/65/80	100
Αντογή στον εφελκυσμό	N/mm ²		0,005	
Όριο θραύσης	N/mm ²	0,005		0,015
Θλιπτική τάση σε 10% βράχυνση	N/mm ²		0,1	
Ιδιότητες θερμικής προστασίας				
Θερμική αγωγιμότητα λ _R στους 10°C ¹	W/(mK)	0,030	0,0338	0,045
Εύρος χρήσεως min/max	°C	-100	-	400
Ιδιότητες υγροπροστασίας				
Συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών	-	1,1		2
Ποσότητα υγρασίας εξομοίωσης στους 23 °C και 80% σχ. 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
στα 250Hz	-	0,26		0,79
στα 1000Hz	-	0,71		0,97
στα 4000Hz	-	0,96		0,95
Αντίσταση ροής κατά μήκος	kPa s/m ²	5	8/12/18	>35
Δυναμική ακαμψία	MN/m ³	>25	17/13/10	<5
Αντογή στη χρήση				
Αναμενόμενη διάρκεια χρήσης	έτος	30		
Υλικά προστασίας από βιολογικούς παράγοντες	-		όχι	
Οικονομικά στοιχεία				
Ποσό πρωτογενούς ενέργειας	kWh/m ³	90	110	430

Πίν. 3.1: Τεχνικά χαρακτηριστικά υαλοβάμβακα.

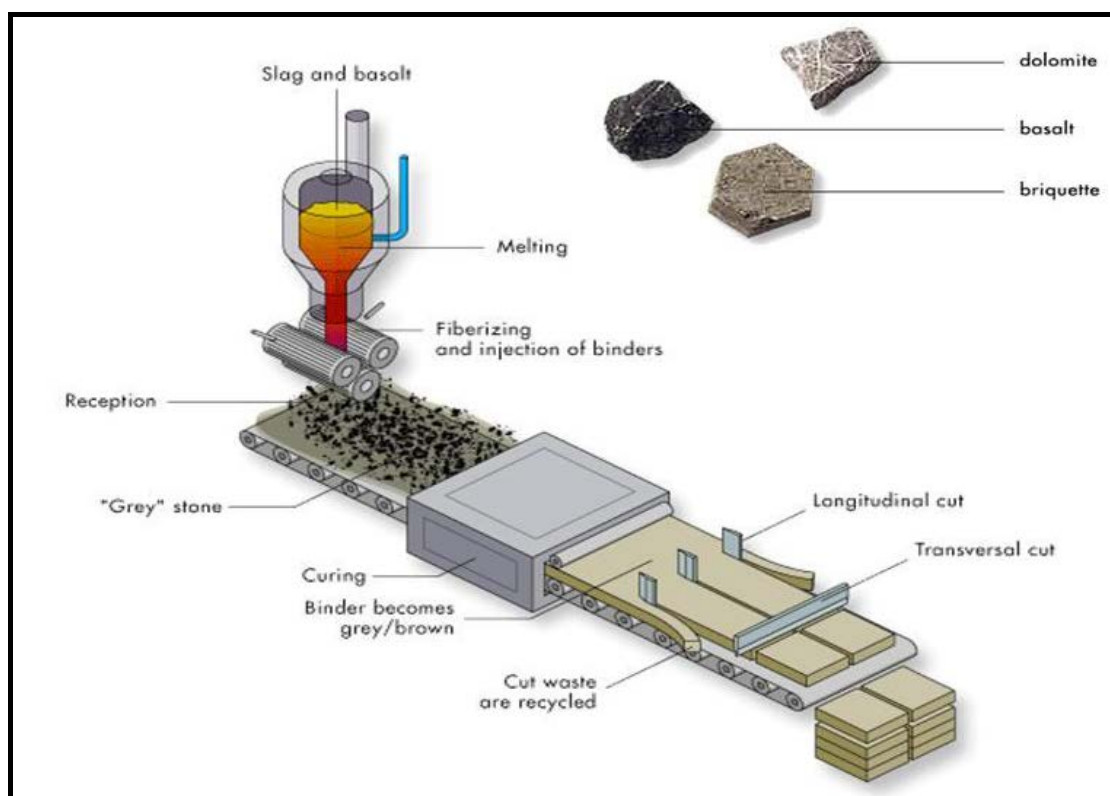
Πηγή: http://www.fibran.gr/sappek/docs/deliverables/deliverable_4.pdf

3.3.2 Πετροβάμβακας

Πρόκειται για ινώδες υλικό, που ως πρώτη ύλη έχει ορυκτά ασβεστολιθικής προέλευσης, όπως είναι ο ασβεστόλιθος, ο δολομίτης και ο βωξίτης. Ο πετροβάμβακας παρασκευάζεται μέσω εκσφενδόνιση, ύστερα από τη θέρμανση και την τήξη των ορυκτών. Το τελικό προϊόν διαμορφώνεται με την προσθήκη συνδετικών υλικών και η πυκνότητά του κυμαίνεται από 50 έως 180 Kg/m³. [Δρακόπουλος, 2002]

Έχει φαιοκίτρινο χρώμα και παρουσιάζει ιδιότητες παρόμοιες με εκείνες του υαλοβάμβακα. Αυτό σημαίνει ότι έχει σταθερό όγκο, δεν προσβάλλεται από έντομα

και τρωκτικά και δεν αλλοιώνεται από χημικές ουσίες. Είναι άκαυστο υλικό και μπορεί να αντέξει σε θερμοκρασίες χρήσης που φτάνουν τους 250 – 600 °C. [παπαδόπουλος, 1984] Έτσι μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις για τη μόνωση λεβητών, δεξαμενών και σωληνώσεων. Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ είναι 0.041 W/mk, 0.048 W/mK, 0.066 W/mK για θερμοκρασία περιβάλλοντος 10 °C, 100 °C και 200 °C, ενώ ο συντελεστής αντίστασης στη διάχυση των υδρατμών (μ) κυμαίνεται από 1.1 έως 2.0. [Αθανασόπουλος, 2005]



Εικ. 3.8: Παραγωγική διαδικασία πετροβάμβακα.

Πηγή: [http://www.mcit.gov.cy/mcit/mcit.nsf/All/B62543CD3AFF148EC22575AD002CBC82/\\$file/%CE%A5%CE%BB%CE%B9%CE%BA%CE%AC%202010.pdf](http://www.mcit.gov.cy/mcit/mcit.nsf/All/B62543CD3AFF148EC22575AD002CBC82/$file/%CE%A5%CE%BB%CE%B9%CE%BA%CE%AC%202010.pdf)

Ο πετροβάμβακας προσβάλλεται από την υγρασία κατά τρόπο παρόμοιο με τον υαλοβάμβακα με αποτέλεσμα να κρίνεται αναγκαία η προστασία του από αυτήν. Η προστασία του επιτυγχάνεται με την επικάλυψη του υλικού με φύλλα αλουμινίου ή γύψου. [Αθανασόπουλος, 2003] Επίσης, εμφανίζει υψηλή αντοχή στη φωτιά, ενώ έχει μικρή αντοχή στον εφελκυσμό και στη θραύση. Ως ηχομονωτικό υλικό ανταποκρίνεται μέτρια στις χαμηλές συχνότητες και άριστα στις υψηλές.

Στο εμπόριο ο πετροβάμβακας κυκλοφορεί υπό μορφή παπλώματος ενισχυμένου με μεταλλικό πλέγμα, σκληρών πλακών, κοχυλίων και χύμα υπό κοκκώδη μορφή επεξεργασμένος με θερμοσκληρυντικές ρητίνες. Το πεδίο εφαρμογής του είναι ανάλογο με αυτό του υαλοβάμβακα.



Εικ. 3.9: Πάπλωμα υαλοβάμβακα ενισχυμένο με μεταλλικό πλέγμα.

Πηγή: http://www.isoren.gr/myfiles/image/pvizm_paploma_viomixanias_proion.jpg



Εικ. 3.10: Ενισχυμένες πλάκες πετροβάμβακα.

Πηγή: http://www.isoren.gr/myfiles/image/pvizm_plakes_plektis_inas_proion.jpg



Εικ. 3.11: Κοχύλια πετροβάμβακα.

Πηγή: http://www.isoren.gr/myfiles/image/pvizm_koxilia_proion.jpg

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	50	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% βράγυνση				
Ιδιότητες θερμικής προστασίας				
Θερμική αγωγιμότητα λ _R στους 10°C	W/(mK)	0,033	0,0375	0,041
Εύρος χρήσεως min/max	°C	-100		600
Ιδιότητες υγροπροστασίας				
Συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών	-	1,1		2
Ποσότητα υγρασίας εξομοίωσης στους 23 °C και 80% σχ. 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
στα 250Hz	-	0,34	0,37/0,55	0,88
στα 1000Hz	-	0,92	0,93/0,96	0,99
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

Πίν. 3.2: Τεχνικά χαρακτηριστικά πετροβάμβακα.

Πηγή: http://www.fibran.gr/sappek/docs/deliverables/deliverable_4.pdf

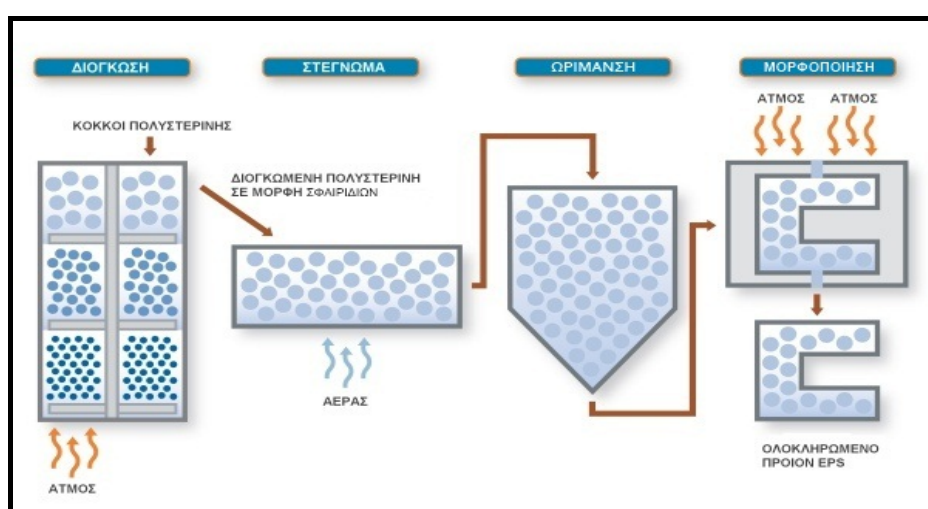


Εικ. 3.12: Χύμα πετροβάμβακας.

Πηγή: http://www.alto.gr/files/Image/resized/01.01.02.05_264_200.jpg

3.3.3 Διογκωμένη πολυστερίνη

Η διογκωμένη πολυστερίνη είναι ένα από τα πλέον διαδεδομένα θερμομονωτικά υλικά στην ελληνική αγορά. Προέρχεται από την πετροχημική βιομηχανία και ανήκει στην κατηγορία των αφρωδών πλαστικών. Παράγεται με πολυμερισμό από μονομερές στυρένιο. Μετά την επεξεργασία με ατμό προκύπτει το προϊόν που αποτελείται από διογκωμένους συγκολλημένους κόκκους στυρολίου. Έχει δομή κλειστών κυψελίδων και στην τελική της μορφή μόνο το 2% έως 5% του όγκου αποτελεί τη στερεά ύλη. Τον υπόλοιπο όγκο καλύπτει ο αέρας που αποτελεί και το μέσο διόγκωσης. [Καλύβας, 1991]

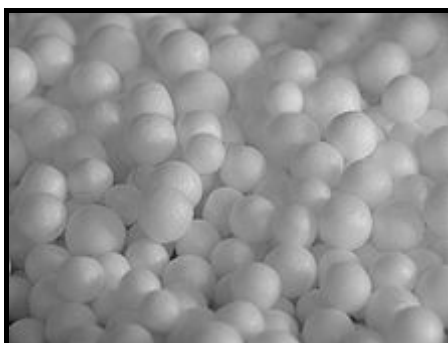


Εικ. 3.13: Παραγωγική διαδικασία διογκωμένης πολυστερίνης.

Πηγή: <http://www.unisol.gr/TechnicalSolutions/TechnicalSolutions.aspx>

Είναι φθηνό, εύκολα παραγόμενο και εύχρηστο υλικό και γι' αυτό βρίσκει πολλές εφαρμογές. Για τον ίδιο λόγο όμως παρασκευάζεται και από πολλούς μικρούς παραγωγούς, ορισμένοι των οποίων δεν διαθέτουν τον κατάλληλο βιομηχανικό εξοπλισμό, με αποτέλεσμα την παραγωγή προϊόντων κακής ποιότητας, που όμως εξ όψεως είναι δύσκολο να ελεγχθεί. [Χρυσομαλλίδου, 2003]

Η διογκωμένη πολυστερίνη έχει χρώμα λευκό και είναι άοσμο υλικό. Η πυκνότητά της κυμαίνεται από 8 έως 30 Kg/m³. Ο κανονισμός θερμομόνωσης επιβάλλει τη χρήση του υλικού με ειδικό βάρος ίσο ή μεγαλύτερο των 20 Kg/m³. Πάντως πολύ εύκολα η διογκωμένη πολυστερίνη μπορεί να νοθευτεί με ανάμιξη γύψου προσδίδοντάς την μεγαλύτερο βάρος και να δώσει τη ψευδαίσθηση ότι πρόκειται για υλικό μεγάλης πυκνότητας.



Εικ. 3.14: Σφαιρίδια διογκωμένης πολυστερίνης διαμέτρου περίπου 2 χιλιοστών.

Πηγή: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/6/66/Styropian.jpg/220px-Styropian.jpg>

Το υλικό αυτό δεν παρουσιάζει σταθερότητα όγκου. Σε διάρκεια 3 εβδομάδων από την παραγωγή της ο όγκος της ελαττώνεται σε ποσοστό περίπου 0.2% έως 0.3%, λόγω απομάκρυνσης της υγρασίας που συγκράτησε κατά την παραγωγική διαδικασία. Ομοίως, παρατηρείται μικρή συρρίκνωση μετά από μακρύ χρονικό διάστημα. Αυτές οι μεταβολές του όγκου είναι μεγαλύτερες στην πολυστερίνη με μικρό ειδικό βάρος και μικρότερες σε αυτή με μεγάλο ειδικό βάρος. Το πρόβλημα που δημιουργείται από τη συρρίκνωση, έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση κενών μεταξύ των πλακών με τη πάροδο του χρόνου. Αυτό μπορεί να αντιμετωπισθεί:

- Με τη χρήση πλακών μετά από μακρόχρονη αποθήκευση, περίπου 2-3 μήνες μετά την παραγωγή
- Με τη χρήση πλακών με αναβαθμίδα στις άκρες τους, ώστε να υπάρχει επικάλυψη στη θέση των αρμών.

Η διογκωμένη πολυστερίνη προσβάλλεται από έντομα και τρωκτικά, τα οποία χρησιμοποιούν το υλικό ως τροφή ή φωλιά, καθώς και από ορισμένους χημικούς διαλύτες, όπως το ασετόν, ο αιθέρας, οι βενζίνες. Καταστρέφεται από τη ρευστή άσφαλτο και από υλικά που περιέχουν πίσσα. Φθείρεται όταν μένει επί μακρόν εκτεθειμένη στην ηλιακή ακτινοβολία. Αρχικά αποκτά ένα ελαφρώς κιτρινωπό χρώμα και στη συνέχεια σκληραίνει και θρυμματίζεται. Έτσι κρίνεται απαραίτητη η αποθήκευσή της σε υπόγειους και σκοτεινούς χώρους μέχρι τη χρήση της. [Φούντας, 1980]

Κατατάσσεται στην κατηγορία των καυστών υλικών, αν και με την προσθήκη ορισμένων υλικών μπορεί να καταστεί δύσκολα αναφλέξιμη. Η έκθεσή της σε πολύ

υψηλές θερμοκρασίες είναι απαγορευτική. Σύμφωνα με τους κατασκευαστές αντέχει σε θερμοκρασίες από -70 έως +90 °C. Σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες μαλακώνει και αποσυντίθεται. Η περιορισμένη αυτή αντοχή της στις υψηλές θερμοκρασίες μπορεί να δημιουργήσει πολλές φορές προβλήματα, όταν τοποθετείται ως θερμομονωτικό υλικό σε δώματα, στα οποία η θερμοκρασία των υλικών στις πολύ θερμές ημέρες του καλοκαιριού φτάνει τις οριακές θερμοκρασίες αντοχής της.

Παρουσιάζει ικανοποιητική αντοχή στη συμπίεση. Μπορεί να παραλάβει τάσεις από 5 N/cm² έως 20 N/cm², ανάλογα με την πυκνότητά της. Πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή όταν σε μια θερμομονωμένη επιφάνεια με διογκωμένη πολυστερίνη πρόκειται να ασκηθούν πολύ ισχυρά μοναχικά φορτία. Σε αυτή την περίπτωση υπάρχει κίνδυνος παραμόρφωσης και θραύσης των υπερκείμενων υλικών. Τρόπος αντιμετώπισης αυτού του προβλήματος είναι η τοποθέτηση στρώσεων από ισχυρά υλικά πάνω από το θερμομονωτικό υλικό, προκειμένου να παραλάβουν τα μοναχικά φορτία και να τα μετατρέψουν σε γραμμικά.

Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας ισούται με 0.041 W/mK στους 10 °C, ενώ ο συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών είναι $\mu = 25-40$ για πυκνότητα 13-20 Kg/m³ και $\mu = 40-70$ για πυκνότητα 20-30 Kg/m³. Λόγω των κλειστών κυψελίδων της δεν συγκρατεί παρά μικρές μόνο ποσότητες νερού, που εγκλωβίζονται στα μεταξύ τους κενά ή σε κυψέλες που παρουσιάζουν διακοπές στην επιδερμίδα τους. Η διογκωμένη πολυστερίνη όταν είναι βυθισμένη σε νερό για 24 ώρες παρουσιάζει μια απορρόφηση της τάξης του 0.2% - 0.5% του όγκου της, ενώ σε μακροχρόνια έκθεση η απορροφητικότητα μπορεί να φτάσει το 4%. Ωστόσο, εξαιτίας αυτής της συγκράτησης νερού συνιστάται να αποφεύγεται η χρήση της σε δομικά στοιχεία εκτεθειμένα στην υγρασία. [Αραβαντινός, 2005]



Εικ. 3.15: Πλάκες διογκωμένης πολυστερίνης διαφόρων παχών.

Πηγή: http://www.monopan.gr/view_cat.php?cat_id=37

Η διογκωμένη πολυστερίνη κυκλοφορεί στο εμπόριο υπό μορφή πλακών διαφόρων παχών. Προσφέρεται για θερμική προστασία και όχι για ηχομονωτική εξαιτίας της απουσίας ηχομονωτικών ιδιοτήτων στα εξής σημεία του κτιρίου: [Αθανασόπουλος, 2005]

- Τοιχοποιία με μόνωση στον πυρήνα
- Δοκό, υποστύλωμα και τοίχειο με προτιμότερη την τοποθέτησή της στην εσωτερική πλευρά του δομικού στοιχείου
- Δάπεδο και δώμα, τα οποία προστατεύονται στεγανωτικά
- Ψευδοροφή
- Πλάκα οροφής κάτω από στέγη

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	4,0
Πυκνότητα ¹	kg/m ³	8	13/15/20/30	30
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 _R στους 10°C ²	W/(mK)	0,029		0,041
Εύρος χρήσεως min/max	°C	-70		90
Ιδιότητες υγραπροστασίας				
Συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών	-	25	30/40/50/60/70	200
Ποσότητα υγρασίας εξομοίωσης στους 23 °C και 80% σγ. υγρασία			5	
Ιδιότητες πυρασφάλειας				
Κατηγορία πυραντοχής	-	B2		B1
Ακουστικές ιδιότητες				
Βαθμός απορρόφησης στα 125Hz	-			
στα 250Hz	-			
στα 1000Hz	-			
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

Πιν. 3.3: Τεχνικά χαρακτηριστικά διογκωμένης πολυστερίνης.

Πηγή: http://www.fibran.gr/sappek/docs/deliverables/deliverable_4.pdf

3.3.4 Αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη

Η αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη είναι αφρώδες πλαστικό υλικό, η οποία ανήκει στην ίδια οικογένεια με την διογκωμένη πολυστερίνη και έχοντας πολύ καλύτερες ιδιότητες από αυτήν. Έχει την ίδια χημική σύσταση αλλά διαφορετική μέθοδο επεξεργασίας. Η μέθοδος επεξεργασίας του υλικού πραγματοποιείται με εξέλαση, όπου πολυμερίζεται η πολυστερίνη. Η δομή της αποτελείται από πυκνές μικρές κλειστές πολυεδρικές κυψελίδες διαμέτρου 0.05 – 0.5 mm. Το τελικό προϊόν αποτελείται από στερεά ύλη σε ποσοστό 3 -4% του όγκου και το υπόλοιπο 96 – 97% από αέρα. [Πασχίδης]

Η αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη είναι άοσμο υλικό και το χρώμα του, αναλόγως της εταιρείας που το παράγει, είναι γαλάζιο ή ανοικτό πράσινο. Η πυκνότητά του αναλόγως τη χρήση του κυμαίνεται από 20 έως 80 Kg/m³, παρουσιάζοντας σταθερότητα όγκου με μικρές συστολές της τάξης του 0.08%. [Μπόζης, 1995] Προσβάλλεται από έντομα, τροφικά και χημικούς διαλύτες, με αποτέλεσμα να αποφεύγεται η επαφή με υλικά που έχουν διαλυτική επίδραση. Ακόμα πρέπει να αποφεύγεται η έκθεσή της στην ηλιακή ακτινοβολία για μεγάλα χρονικά διαστήματα, διότι αποχρωματίζεται και καθιστά τη δομή της εύθραυστες. Έτσι, πρέπει να αποθηκεύεται σε σκιερούς χώρους και να καλύπτεται με μεμβράνες συνθετικού υλικού ανοιχτού χρώματος, ενώ μετά τη χρήση της πρέπει να επικαλύπτεται με τις υπόλοιπες στρώσεις του δομικού στοιχείου σε σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα. [Δρακόπουλος, 2002]



Εικ. 3.16: Πλάκες αφρώδους εξηλασμένης πολυστερίνης με και χωρίς πατούρα.

Πηγή:http://www.gevohome.com/Product-DOW_SHAPEMATE_GRECA,191,0,GR

http://www.palagkas.gr/product_detail.jsp;jsessionid=98F4520E93A5DBB7900FC5068CAF3C41?prdId=012&extLang=

Ανήκει στην κατηγορία των εύφλεκτων υλικών. Παρόλα αυτά έχει την ικανότητα να σβήνει μόνο του και να καίγεται χωρίς τη δημιουργία επιβλαβών καπνών. Η έκθεσή του σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες είναι απαγορευτική, αφού το θερμοκρασιακό εύρος χρήσης του κυμαίνεται από -60 έως +70 °C. Αντίθετα, παρουσιάζει αρκετά καλή αντοχή σε συμπίεση. Μπορεί να παραλάβει τάσεις από 20 N/cm² έως 50 N/cm², ανάλογα με την πυκνοτήτά της. Ωστόσο, η εφαρμογή μεγάλων συγκεντρωτικών φορτίων είναι απαγορευτική, επειδή υπάρχει ο κίνδυνος παραμόρφωσης. [Πασχίδης] Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας κυμαίνεται από 0.028 W/mK έως 0.035 W/mK στους 10° C, ενώ ο συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών κυμαίνεται από 80 έως 200. [Αθανασόπουλος, 2005]

Η αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη δεν επηρεάζεται από τη βροχή, το χιόνι και την παγωνιά, εξαιτίας της κλειστής δομής των κυψελίδων της με αποτέλεσμα να μην απορροφά υγρασία. Σύμφωνα με τους κατασκευαστές η μέγιστη απορροφητικότητα φθάνει το 0.1% - 0.2% του όγκου του υλικού.



Εικ. 3.17: Τοποθέτηση πλακών αφρώδους εξηλασμένης πολυστερίνης εξωτερικά των δομικών στοιχείων και στον πυρήνα της τοιχοποιίας.

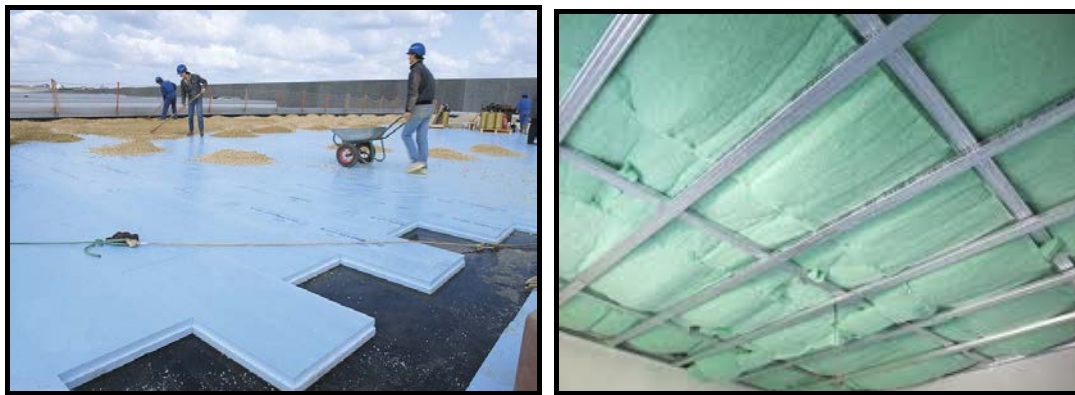
Πηγή: http://www.gevohome.com/Product-DOW_STYROFOAM_IB_SLA,192,95,GR

http://www.isoren.gr/index.php?main_page=product_info&cPath=22_23_42_201&products_id=115

Το θερμομονωτικό αυτό υλικό κυκλοφορεί στο εμπόριο υπό μορφή πλακών με ή χωρίς πατούρα σε πλάτη από 1.0 έως 1.2 m και πάχη από 20 έως 80 mm. Το πεδίο εφαρμογής του είναι ευρύ και η χρήση του αφορά αποκλειστικά τη θερμική προστασία της κατασκευής. Έτσι η αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη χρησιμοποιείται σε:

- Εξωτερικές τοιχοποιίες με μόνωση στον πυρήνα

- Δοκάρια, τοιχία και υποστυλώματα με τοποθέτηση είτε εσωτερικά είτε εξωτερικά
- Δάπεδα σε ευπρόσβλητες από την υγρασία κατασκευές
- Δώματα συμβατικού ή αντεστραμμένου τύπου
- Ψευδοροφές
- Πλάκες οροφής κάτω από στέγη και κεκλιμένες στέγες
- Ψυκτικούς θαλάμους

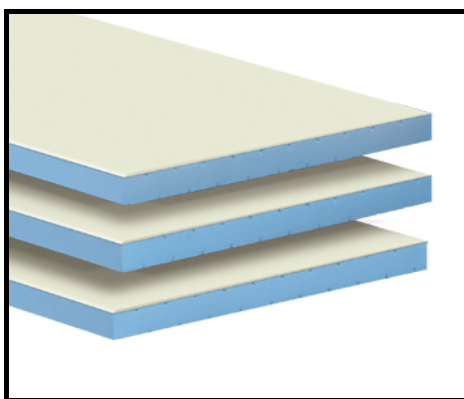


Εικ. 3.18: Τοποθέτηση πλακών αφρώδους εξηλασμένης πολυστερίνης σε αντεστραμμένο δώμα και σε ψευδοροφή.

Πηγή: http://www.gevohome.com/Product-DOW_ROOFMATE_SLA.190.95.GR

http://ktec.gr/index.php?module=products&product_cat=10&parent=4&menu_id=159

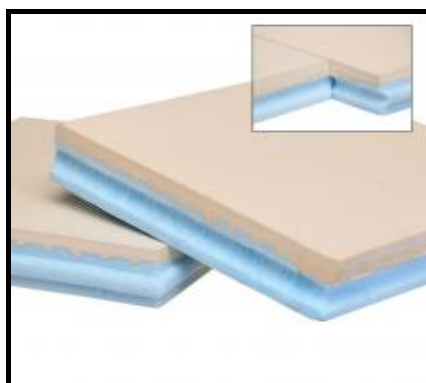
Στο εμπόριο κυκλοφορούν επίσης πλάκες αφρώδους εξηλασμένης πολυστερίνης με επικολλημένη στη μία τους όψη γυψοσάνιδα. Ο τύπος αυτός προσφέρεται για θερμομόνωση, όταν πρόκειται να τοποθετηθεί από την εσωτερική πλευρά του τοίχου, ιδίως σε υφιστάμενες κατασκευές.



Εικ. 3.19: Πλάκες αφρώδους εξηλασμένης πολυστερίνης με επικάλυψη γυψοσάνιδα

Πηγή: http://www.fibrotermica.gr/gr/special.php?cat_id=3&id=38

Ανάλογες είναι και οι πλάκες εξηλασμένης πολυστερίνης με την μία τους όψη επικαλυμμένη με προστατευτικό χυτό κονίαμα πάχους 1 έως 2 cm. Οι πλάκες αυτές είναι κατάλληλες για τη θερμομόνωση αντεστραμμένου δώματος.



Εικ. 3.20: Πλάκες αφρώδους εξηλασμένης πολυστερίνης με επικάλυψη χυτό κονίαμα.

Πηγή: <http://www.lazarakis-constructions.gr/products.php?cid=163>

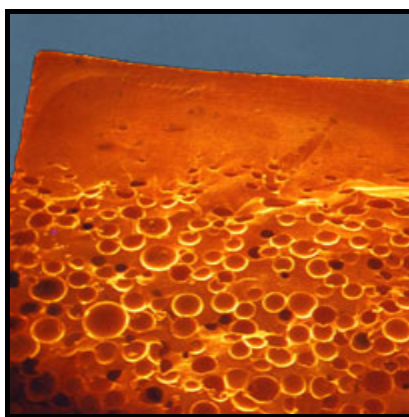
Ιδιότητες	Μονάδες	Τεχνικά χαρακτηριστικά		
		Ελάχιστη τιμή	Μέση τιμή	Μέγιστη τιμή
Μηχανικές ιδιότητες				
Πάχος υλικού	cm	2	2,5/3/4/5	12
Πυκνότητα	kg/m ³	20	30/35/40/60	80
Αντοχή στον εφελκυσμό	N/mm ²	0,30	0,33/0,34	0,35
Όριο θραύσης	N/mm ²			
Θλιπτική τάση σε 10% βράχυνση	N/mm ²	0,15	0,20/0,25/0,30/0,5	0,70
Ιδιότητες θερμικής προστασίας				
Θερμική αγωγιμότητα λ _R στους 10°C	W/(mK)	0,025	0,032/0,33	0,035
Εύρος χρήσεως min/max	°C	-60		75
Ιδιότητες υγροπροστασίας				
Συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών	-	80	100/160/200	200
Ποσότητα υγρασίας εξομοίωσης στους 23 °C και 80% σγ. υγρασία			<1	
Ιδιότητες πυρασφάλειας				
Κατηγορία πυραντοχής	-	B2		B1
Ακουστικές ιδιότητες				
Βαθμός απορρόφησης στα 125Hz	-			
στα 250Hz	-			
στα 1000Hz	-			
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	23	28	32

Πιν. 3.4: Τεχνικά χαρακτηριστικά αφρώδους εξηλασμένης πολυστερίνης.

Πηγή: http://www.fibran.gr/sappek/docs/deliverables/deliverable_4.pdf

3.3.5 Πολυουρεθάνη

Η πολυουρεθάνη ανήκει στην κατηγορία των σκληρών αφρωδών μονωτικών υλικών. Παράγεται με την ανάμιξη δισοκυανικού και πολυόλης με την παρουσία καταλύτη. Ως μέσο διόγκωσης χρησιμοποιείται ο φθορισμένος υδρογονάνθρακας, ο οποίος σε αέρια φάση παρουσιάζει πολύ μικρό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας. Έχει δομή κλειστών κυψελών και η στερά ύλη καταλαμβάνει το 92% - 97% του όγκου του. Το υπόλοιπο ποσοστό καταλαμβάνει το διογκωμένο αέριο και ο αέρας. [Καχραμάνογλου, 2008]



Εικ. 3.21: Δομή πολυουρεθάνης.

Πηγή: <http://www.urethane-hellas.gr/gr/polyurethane.asp>

Η πολυουρεθάνη έχει χρώμα κίτρινο και είναι άοσμο υλικό. Το ειδικό της βάρος κυμαίνεται από 30 έως 80 Kg/m³. Δεν προσβάλλεται από έντομα, τρωκτικά και χημικές ουσίες, βενζίνη, πετρελαιοειδή, οξέα και βάσεις, δεν σαπίζει και δεν αναπτύσσει μούχλα και μικροοργανισμούς. Παρουσιάζει υψηλή αντοχή στη θερμή άσφαλτο μέχρι 110 °C για επί μακρόν έκθεση. Όπως όλα τα αφρώδη υλικά επηρεάζονται από την ηλιακή ακτινοβολία, με αποτέλεσμα όταν παραμένει εκτεθειμένη σε αυτή να αποκτά ένα βαθύτερο κίτρινο προς καφεκίτρινο χρώμα, οι κυψέλες στην επιφάνεια του υλικού συρρικνώνονται, θραύονται και με το πέρασμα του χρόνου όσο η φθορά προχωρά σε βάθος, το υλικό θρυμματίζεται.

Το μονωτικό αυτό υλικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε θερμοκρασίες από -50 °C έως 120 °C. Θεωρείται υλικό το οποίο σβήνει μόνο του και δεν εξαπλώνει τη φωτιά. Σε περίπτωση πυρκαγιάς όμως και σε θερμοκρασιακές καταστάσεις μεγαλύτερες των 200 °C εκλύει σε μικρές ποσότητες επικίνδυνα τοξικά αέρια. Η αντοχή του κρίνεται ικανοποιητική και αναπτύσσει τάσεις από 20 έως 30 N/cm². Πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην εφαρμογή μοναχικών φορτίων, διότι υπάρχει κίνδυνος παραμόρφωσης.

Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας ισούται με 0.022 W/mK στους 10 °C. Όμως, επειδή με την πάροδο του χρόνου το εγκλωβισμένο στις κλειστές κυψελίδες αέριο διαχέεται και αντικαθίσταται με αέρα, η τιμή αυτή αυξάνεται και μπορεί να φθάσει μέχρι 0.027 W/mK. Το φαινόμενο μπορεί να επιβραδυνθεί, αν το υλικό τοποθετηθεί ανάμεσα σε στεγανά τοιχώματα. [Καχραμάνογλου, 2008] Ομοίως σε

πολύ χαμηλές θερμοκρασίες ο συντελεστής λ αυξάνεται λόγω υγροποίησης του αερίου στις κυψέλες. Ο συντελεστής αντίστασης στη διάχυση των υδρατμών κυμαίνεται από 50 έως 100, ενώ ορισμένοι κατασκευαστές δίνουν μέγιστη τιμή 150. Η πολυουρεθάνη δεν εμφανίζει καμιά ηχομονωτική ιδιότητα, και ως εκ τούτου δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ηχομόνωση. [Αραβαντινός, 2000] Τέλος, είναι αδιάβροχο υλικό, εξαιτίας των κλειστών κυψελών της, με αποτέλεσμα να μην επηρεάζεται από βροχή, χιόνι ή παγωνιά και η απορροφούμενη υγρασία να θεωρείται μηδενική.



Εικ. 3.22: Διαδικασία εκτόξευσης πολυουρεθάνης.

Πηγή: <http://www.sprayfoam.gr/item.php?itid=47>

Μπορεί επίσης να παρασκευαστεί επί τόπου στο έργο με εκτόξευση διά ψεκασμού. Στην περίπτωση αυτή η διαδικασία πρέπει να γίνει από έμπειρο και ειδικευμένο προσωπικό. Κατά την παρασκευή χρησιμοποιείται ένα σύστημα έγχυσης που αναμειγνύει σε θάλαμο ανάμειξης υπό σταθερές αναλογίες τα δύο βασικά συστατικά που βρίσκονται υπό υγρή μορφή. Το μίγμα εκτοξεύεται με μεγάλη πίεση και προσκολλάται επάνω στην επιφάνεια που πρόκειται να θερμομονωθεί. Το εκτοξευόμενο υλικό διογκώνεται μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα και από μαλακή και κολλώδη μάζα μετατρέπεται σε αδιάβροχο στερεό, σκληρό και ελαφρό υλικό. Παρουσιάζει εξαιρετικές συγκολλητικές ιδιότητες και προσκολλάται στα περισσότερα οικοδομικά υλικά. [Καχραμάνογλου, 2003]

Η πολυουρεθάνη κυκλοφορεί στο εμπόριο υπό μορφή πλακών ή προκατασκευασμένων πανό αποτελούμενων από πλάκες πολυουρεθάνης με εκατέρωθεν λεπτά μεταλλικά φύλλα επίπεδης ή κυματοειδούς μορφής.



Εικ. 3.23: Προκατασκευασμένες πλάκες πολυουρεθάνης με μεταλλικά φύλλα κυματοειδούς μορφής.

Πηγή: <http://ksilokosmos.blogspot.gr/2010/07/blog-post.html>

Οι πλάκες πολυουρεθάνης χρησιμοποιούνται ως θερμομονωτικό υλικό σε:

- Εξωτερικές τοιχοποιίες με μόνωση στον πυρήνα
- Δοκάρια, τοιχία και υποστυλώματα με τοποθέτηση είτε εσωτερικά είτε εξωτερικά
- Δάπεδα σε ευπρόσβλητες από την υγρασία κατασκευές
- Δώματα συμβατικού ή αντεστραμμένου τύπου
- Ψευδοροφές
- Πλάκες οροφής κάτω από στέγη και κεκλιμένες στέγες
- Ψυκτικούς θαλάμους

Τα προκατασκευασμένα πανό πολυουρεθάνης έχουν περισσότερο εφαρμογή σε βιομηχανικά κτίρια, περίπτερα εκθέσεων, λυόμενες κατασκευές στα οποία συνήθως χρησιμοποιούνται ως στοιχεία πλήρωσης.



Εικ. 3.24: Χαλύβδινος προκατασκευασμένος οικίσκος με θερμομονωτικό πανό πολυουρεθάνης.

Πηγή: http://www.isobox.gr/isobox_classic.htm

Ο αφρός πολυουρεθάνης βρίσκει εφαρμογές στις ίδιες κατηγορίες δομικών στοιχείων με τις πλάκες πολυουρεθάνης, προτιμάται όμως ιδιαίτερα στις περιπτώσεις εκείνες που είναι ανέφικτη ή δύσκολη η εφαρμογή πλακών θερμομονωτικού υλικού, όπως για παράδειγμα σε κυλινδρικές ή σφαιρικές επιφάνειες ή επιφάνειες ακανόνιστου σχήματος.



Εικ. 3.25: Εφαρμογή αφρού πολυουρεθάνης σε μεταλλική στέγη και βιομηχανική εγκατάσταση.

Πηγή: <http://www.sprayfoam.gr/item.php?itid=11> και <http://www.sprayfoam.gr/item.php?itid=6>

Επιπλέον, η πολυουρεθάνη μπορεί να εφαρμοστεί σε εξωτερικές επιφάνειες προσόψεων, στη σφράγιση αρμών μεταξύ τοιχοποιίας και κουφωμάτων, στη μόνωση βιομηχανικών εγκαταστάσεων, στην προστασία σωληνώσεων, στις μονώσεις ψυγείων αυτοκινήτων.

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 _R στους 10°C	W/(mK)	0,022		0,027
Εύρος χρήσεως min/max	°C	-50	-50/-40/100	120
Ιδιότητες υγραπροστασίας				
Συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών	-	50	65	>100
Ποσότητα υγρασίας εξομοίωσης στους 23 °C και 80% σχ. υγρασία			5	
Ιδιότητες πυρασφάλειας				
Κατηγορία πυραντοχής	-	B2		B1
Ακουστικές ιδιότητες				
Βαθμός απορρόφησης στα 125Hz	-			
στα 250Hz	-			
στα 1000Hz	-			
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

Εικ. 3.5: Τεχνικά χαρακτηριστικά αφρώδους πολυουρεθάνης.

Πηγή: http://www.fibran.gr/sappek/docs/deliverables/deliverable_4.pdf

3.3.6 Ξυλόμαλλο

Το ξυλόμαλλο αποτελείται από ξυλώδεις ίνες, που έχουν αναμιχθεί και ορυκτοποιηθεί με τσιμέντο υψηλής αντοχής και έχουν συμπιεσθεί σε πλάκες κάτω από υψηλή θερμοκρασία. Ως πρώτη ύλη χρησιμοποιείται το ξύλο και σε συγγενή προϊόντα χρησιμοποιούνται ροκανίδια, λεπτά κλαδιά, καλάμια, άχυρα και άλλα φυτικά προϊόντα υπό μορφή ινών. Οι ίνες αυτές αναμειγνύονται με προκαθορισμένες αναλογίες τσιμέντου, που προστατεύουν το τελικό προϊόν από τη σήψη, τους μύκητες και τους μικροοργανισμούς. [Καλύβας, 1991]

Το ξυλόμαλλο εκτός από θερμομονωτικό υλικό είναι και πολύ καλό ηχομονωτικό υλικό. [Αθανασοπουλος, 2005] Έχει χρώμα φαιό και είναι άοσμο. Είναι βαρύ υλικό, όπου η πυκνότητά του για πλάκες πάχους 25 έως 35 mm είναι 460 – 415 Kgr/m³, ενώ για πλάκες πάχους μεγαλύτερου των 50 mm η πυκνότητα είναι μικρότερη των 380 Kgr/m³. παρουσιάζει σταθερότητα διαστάσεων και θεωρείται υλικό ανθεκτικό στο χρόνο. Η μεταφορά και τοποθέτησή τους όμως πρέπει να γίνεται με προσοχή, διότι οι απότομες κρούσεις προκαλούν μικρές απώλειες υλικού από τις ακμές και κυρίως από τις γωνίες του.

Το ξυλόμαλλο προσβάλλεται από τρωκτικά και έντομα που το χρησιμοποιούν ως φωλιά. Παρουσιάζει αντίσταση στους χημικούς διαλύτες και στα ασφαλτικά υλικά, ενώ πρέπει να αποφεύγεται η εν θερμώ διάσθρωση ασφαλτικών υλικών στην επιφάνειά του. Επιπρόσθετα, δεν επηρεάζεται από την ηλιακή ακτινοβολία. Η ορυκτοποίηση των ινών του ξύλου με το τσιμέντο προσδίδει στο ξυλόμαλλο αντίσταση κατά της φωτιάς και το προστατεύει. Ωστόσο, θεωρείται ότι καθίσταται πρακτικά άφλεκτο μόνον με την επίχρισή του. Απορροφά την υγρασία την οποία όμως μπορεί να την επαναποδώσει στο περιβάλλον, όταν εκλείψουν οι συνθήκες προσβολής του. [Παπαδόπουλος, 1979, 1984]

Έχει υψηλή αντοχή σε θλίψη και κάμψη, που αναλόγως του πάχους της πλάκας φθάνει από 100 έως 180 N/cm², με αποτέλεσμα να μπορεί να παραλάβει μοναχικά φορτία, χωρίς κίνδυνο παραμόρφωσης. Σύμφωνα με τον κανονισμό έχει συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας στους 10 °C:

- $\lambda = 0.093 \text{ W/mK}$ για πλάκες πάχους από 25 – 35 mm
- $\lambda = 0.081 \text{ W/mK}$ για πλάκες πάχους μεγαλύτερου των 50 mm

Οι κατασκευάστριες εταιρείες δίνουν συντελεστή $\lambda = 0.061 \text{ W/mK}$, ενώ ο συντελεστής αντίστασης στη διάχυση των υδρατμών κυμαίνεται από 5 έως 10.

Το ξυλόμαλλο κυκλοφορεί στο εμπόριο σε δύο βασικούς τύπους:

- Απλές συμπαγείς πλάκες
- Πλάκες τύπου σάντουιτς με εκατέρωθεν εξωτερικές στρώσεις ξυλόμαλλου και ενδιάμεση στρώση διογκωμένης πολυστερίνης ή πετροβάμβακα

Στις πλάκες τύπου σάντουιτς οι δύο λεπτές στρώσεις ξυλόμαλλου έχουν η καθεμία πάχος 5mm και η ενδιάμεση στρώση διάφορα τυποποιημένα πάχη. Είναι

προφανώς ελαφρύτερες των συμπαγών πλακών και συνδυάζουν τις ιδιότητες του ξυλόμαλλου και της διογκωμένης πολυστερίνης. Έτσι, ο πρώτος τύπος υπερτερεί του δεύτερου στην παραλαβή ισχυρών φορτίων, ενώ ο δεύτερος υπερτερεί του πρώτου στη θερμική προστασία. [Χρυσομαλλίδου, 2003]



Εικ. 3.26: Απλές πλάκες ξυλόμαλλου, τύπου σάντουιτς με προσθήκη διογκωμένης πολυστερίνης και πετροβάμβακα.

Πηγή: <http://www.tsakiroglou.gr/%CF%80%CF%81%CE%BF%CE%B9%CE%BF%CE%BD%CF%84%CE%B1%CE%B7%CF%87%CE%BF%CE%BC%CE%BF%CE%BD%CF%89%CF%83%CE%B7%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%BC%CE%BF%CE%BD%CF%89%CF%83%CE%B7%CF%80%CE%BB%CE%B1%CE%BA%CE%B5%CF%83-%CE%BE%CF%85%CE%BB%CE%BF%CE%BC%CE%B1%CE%BB%CE%BB%CE%BF%CF%85-heraklith/>

Η χρήση του ξυλόμαλλου προτιμάται κυρίως:

- Στη θερμομόνωση στοιχείων του φέροντα οργανισμού, στα οποία χρησιμεύει και ως παραμένων ξυλότυπος
- Στην εσωτερική θερμομόνωση ορόφων μεγάλων χώρων, στους οποίους παραμένει ως εμφανές στοιχείο
- Σε πλάκες οροφής κάτω από στέγη και σε κεκλιμένες στέγες
- Στην εσωτερική θερμομόνωση δαπέδων που πρόκειται να παραληφθούν υψηλά φορτία
- Στην εξωτερική θερμομόνωση υπόστυλων χώρων και ανοικτών διαβάσεων
- Στη θερμομόνωση μεγάλων οριζόντιων και κατακόρυφων επιφανειών, που πρέπει να επιχρισθούν, λόγω της καλής πρόσφυσης των επιχρισμάτων στο ξυλόμαλλο
- Σε βιομηχανικούς και βιοτεχνικούς χώρους

- Σε χώρους στους οποίους εκτός από θερμομονωτική απαιτείται και ηχητική προστασία



Εικ. 3.27: Εξωτερική και εσωτερική θερμική προστασία με ξυλόμαλλο.

Πηγή: <http://www.materia.gr/catalog/%CE%B7eraklith/>

http://www.domomarket.gr/full_product.php?prod_id=1330181624

<http://www.tsonas-solutions.4ty.gr/index.php?l=el&selCard=photogallery#>

Ιδιότητες	Μονάδες	Τεχνικά στοιχεία		
		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	< 380		460
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 _R στους 10°C ¹	W/(mK)	0,061		0,093
Εύρος χρήσεως Min/Max	°C			250
Ιδιότητες υγραπροστασίας				
Συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών		5		10
Ποσότητα υγρασίας εξομοίωσης στους 23 °C και 80% σχ. υγρασία			6	
Ιδιότητες πυρασφάλειας				
Κατηγορία πυραντοχής			B1	
Ακουστικές ιδιότητες				
Βαθμός απορρόφησης στα 125Hz			0,17	
στα 250Hz			0,22	
στα 1000Hz			0,78	
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/kg		65	

Εικ. 3.6: Τεχνικά χαρακτηριστικά ξυλόμαλλου.

Πηγή: http://www.fibran.gr/sappek/docs/deliverables/deliverable_4.pdf

3.3.7 Αφρώδες γυαλί

Το αφρώδες γυαλί είναι γνωστό και ως κυψελωτό γυαλί. Πρόκειται για υλικό ορυκτής προέλευσης με κυψελωτή δομή. Αποτελείται από πλήθος πολύ μικρών κυψελών ερμητικά κλειστών και ανεξάρτητων μεταξύ τους. Έχει ως βασικό υλικό την καθαρή άμμο και παρασκευάζεται με θερμική διεργασία αλεσμένου γυαλιού που έχει αναμιχθεί με άνθρακα. Το μίγμα θερμαίνεται σε θερμοκρασία 1000 °C, στην οποία με την οξείδωση του άνθρακα δημιουργούνται φυσαλίδες, που διογκώνουν το υλικό στο δεκαπλάσιο με δεκαπενταπλάσιο του αρχικού όγκου. Με την ψύξη του το

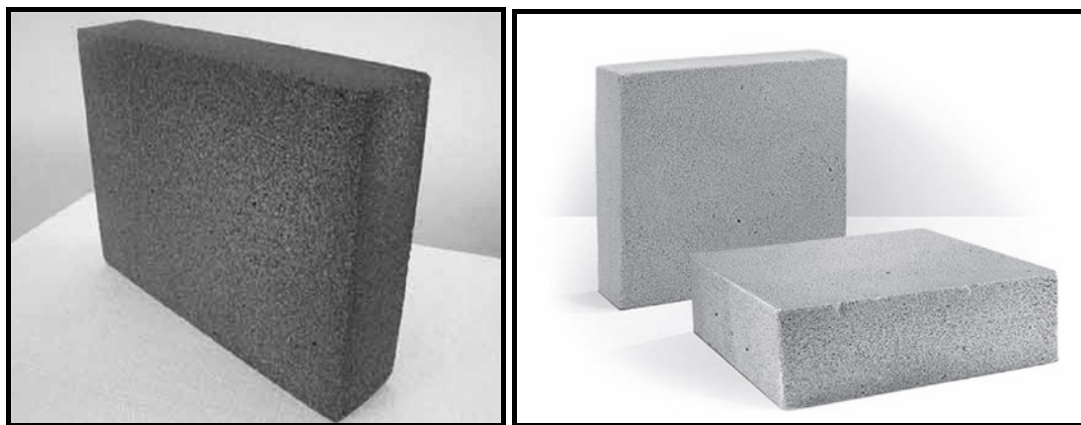
υλικό στερεοποιείται, εγκλωβίζοντας μάλιστα στις κυψελίδες μέρος του παραγόμενου διοξειδίου του άνθρακα. [Αραβαντινός, 2000]



Εικ. 3.28: Δομή αφρώδους γυαλιού.

Πηγή: <http://www.all.biz/el/afrdhes-ghyal-se-kkkoys-bgg1048435>

Το αφρώδες γυαλί είναι ελαφρύ υλικό, αλλά βαρύ υλικό για την κατηγορία των θερμομονωτικών υλικών. Η πυκνότητά του, ανάλογα με τον τύπο του προϊόντος, κυμαίνεται από 100 έως 180 Kg/m³. Έχει χαμηλό συντελεστή διαστολής και παρουσιάζει μεγάλη σταθερότητα στις διαστάσεις του. Δεν προσβάλλεται από έντομα και τρωκτικά, δε σαπίζει, δεν σχηματίζει μούχλα και μικροοργανισμούς, δεν καταστρέφεται από χημικές ενώσεις, με εξαίρεση το υδροφθορικό οξύ, δεν φθείρεται και δεν αποσυντίθεται με την πάροδο του χρόνου. Είναι άκαυστο υλικό εμποδίζοντας τη μετάδοση της φωτιάς και αντέχει σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες με όρια από -260 έως 430 °C.



Εικ. 3.29: Πλάκες αφρώδους γυαλιού.

Πηγή: <http://www.ua.all.biz/el/thermomplok-ap-afrdhes-ghyal-g1584572>

<http://www.ua.all.biz/el/thermomplok-ap-afrdhes-ghyal-g1630041>

Εμφανίζει μεγάλη αντοχή στη συμπίεση και στη κάμψη. Εξαιτίας αυτής της ιδιότητας χρησιμοποιείται στη θερμομόνωση δαπέδων και άλλων επιφανειών στα

οποία ασκούνται υψηλά φορτία. Μόνη ιδιαιτερότητα είναι η ευαισθησία στα κρουστικά φορτία. Κόβεται εύκολα με συνηθισμένα εργαλεία και προσαρμόζεται στις διαστάσεις εφαρμογής του. [Μπόζης, 1995] Έχει συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, ο οποίος κυμαίνεται από 0,038 έως 0,063 W/mK στους 10 °C.

Ο συντελεστής αντίστασης στη διάχυση των υδρατμών είναι άπειρος. Είναι το μόνο θερμομονωτικό υλικό που πρακτικά δεν απορροφά καθόλου υγρασία λόγω της ίδιας της δομής, αλλά και δεν επιτρέπει τη διάχυση των υδρατμών. Παρουσιάζει δηλαδή μηδενική απορροφητικότητα και μηδενική υδρατμοπερατότητα. Έτσι, το ίδιο το υλικό μπορεί να θεωρηθεί στην κατασκευή ως φράγμα υδρατμών. Ωστόσο, κατά την εφαρμογή του πρέπει να λαμβάνονται μέτρα για την καλή σφράγιση των αρμών μεταξύ των πλακών του, από όπου και είναι εύκολη η διείσδυση της υγρασίας. [Χρυσομαλλίδου, 2003]



Εικ. 3.30: Τοποθέτηση πλακών αφρώδους γυαλιού σε δώμα.

Πηγή: http://penosteklo.all.biz/el/goods_mplik-ap-afrdhes-ghyal_1571148#!prettyPhoto

Το αφρώδες γυαλί δεν είναι ευρέως διαδεδομένο στη χώρα μας, αν και παρουσιάζει πολύ καλές ιδιότητες. Αυτό ίσως οφείλεται στο πολύ υψηλό του κόστος που είναι και το βασικό του μειονέκτημα. [Αθανασόπουλος, 2003] Στο εμπόριο κυκλοφορεί σε πλάκες μικρών διαστάσεων με ενιαίο πάχος ή με μεταβλητό πάχος για θερμομόνωση δωματίων. Επομένως το αφρώδες γυαλί είναι κατάλληλο για τη θερμική προστασία:

- Τοιχοποιίας με θερμομόνωση εξωτερικά ή στον πυρήνα
- Συνολικών όψεων εξωτερικά

- Τοιχίων υπόγειων χώρων
- Δωματίων
- Πλακών οροφής κάτω από στέγη και κεκλιμένης στέγης με τοποθέτηση ανάμεσα στους αμείβοντες.
- Διαπέδων σε επαφή ή όχι με το έδαφος
- Υπέργειων ή υπόγειων δεξαμενών και χώρων μηχανολογικών εγκαταστάσεων

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 _R στους 10°C	W/(mK)	0,050		0,063
Εύρος χρήσεως min/max	°C	-260		430
Ιδιότητες υγραπροστασίας				
Συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών	-		∞	
Ποσότητα υγρασίας εξομοίωσης στους 23 °C και 80% σχ. υγρασία			0	
Ιδιότητες πυρασφάλειας				
Κατηγορία πυραντοχής	-		A1	
Ακουστικές ιδιότητες				
Βαθμός απορρόφησης στα 125Hz	-			
στα 250Hz	-			
στα 1000Hz	-			
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	MJ/kg	25		50

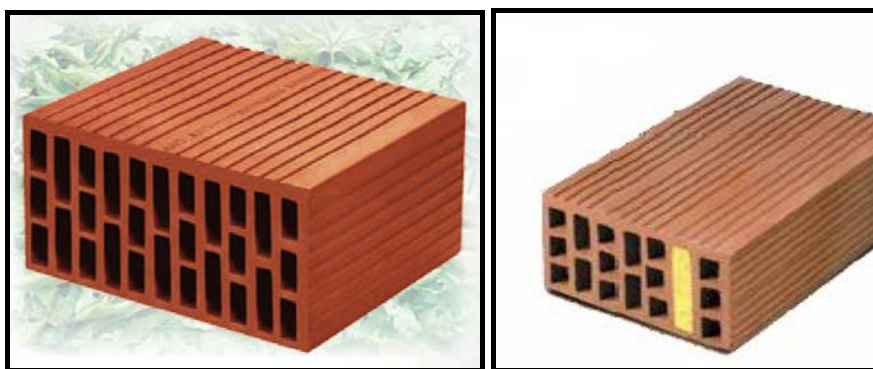
Εικ. 3.7: Τεχνικά χαρακτηριστικά αφρώδους γυαλιού.

Πηγή: http://www.fibran.gr/sappek/docs/deliverables/deliverable_4.pdf

3.3.8 Θερμομονωτικά τούβλα

Τα θερμομονωτικά τούβλα είναι τούβλα στη μάζα των οποίων έχουν δημιουργηθεί πολλές μικρές σφαιρικές κοιλότητες με αέρα. Αυτό επιτυγχάνεται με την πρόσμιξη στην άργιλο, πριν ακόμη ψηθεί, κόκκων διογκωτικού υλικού, συνήθως διογκωμένης πολυστερίνης. Με το ψήσιμο των τούβλων το διογκωτικό υλικό καίγεται και αφήνει στη μάζα της αργίλου κυψέλες με αέρα. [Παπαδόπουλος, 1981] Τα θερμομονωτικά τούβλα διαφέρουν από τα λοιπά θερμομονωτικά υλικά στο γεγονός ότι δεν χρησιμοποιούνται ως συμπληρωματικά υλικά για να προσδώσουν στην κατασκευή θερμική προστασία, αλλά ως κύρια δομικά υλικά που παρέχουν ταυτόχρονα και τη θερμική προστασία.

Τα θερμομονωτικά τούβλα έχουν το χρώμα και τη μορφή των κοινών τούβλων. Είναι κατά 25% με 40% ελαφρύτερα από τα κοινά διάτρητα τούβλα, με πυκνότητα που εξαρτάται από το πλήθος και το μέγεθος των οπών τους και κυμαίνεται μεταξύ 700 και 850 Kg/m³. Έχουν σταθερό όγκο, δεν προσβάλλονται από έντομα και τρωκτικά και αντιδρούν στις χημικές ενώσεις όπως όλα τα υπόλοιπα τούβλα. Δεν φθείρονται με την πάροδο του χρόνου και δεν καταστρέφονται. [Χρυσομαλλίδου, 2003]



Εικ. 3.31: Απλό θερμομονωτικό τούβλο και θερμομονωτικό τούβλο με γέμιση πολυουρεθάνης.

Πηγή: <http://www.tsakiroglou.gr/2011/04/oikoblok/>

<http://www.buildings.gr/kothali/therko.htm>

Τα τούβλα αυτής της κατηγορίας δεν καίγονται και δεν διαδίδουν τη φωτιά. Αντέχουν σε έντονες θερμοκρασιακές καταπονήσεις, στον παγετό και στις πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Μπορούν να παραλάβουν υψηλά φορτία, γραμμικά και μοναχικά. Η αντοχή τους σε θλίψη φτάνει μέχρι 500 N/cm².

Για τον προσδιορισμό της θερμομονωτικής ικανότητας των τούβλων είναι προτιμότερο λόγω των οπών τους να λαμβάνεται υπόψη ο συντελεστής θερμοδιαφυγής $\Lambda = \lambda/d$ και όχι ένας θεωρητικός συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας. [Παπαδόπουλος, 1981] Έτσι, ο συντελεστής θερμοδιαφυγής Λ για τα διάφορα τυποποιημένα πάχη των θερμομονωτικών τούβλων είναι σύμφωνα με τα στοιχεία που δίνουν οι κατασκευάστριες εταιρείες:

$$d = 7.5cm \rightarrow \Lambda = 2.25W/m^2K$$

$$d = 10cm \rightarrow \Lambda = 1.71W/m^2K$$

$$d = 12cm \rightarrow \Lambda = 1.50 - 1.60W/m^2K$$

$$d = 18cm \rightarrow \Lambda = 0.98W/m^2K$$

$$d = 20cm \rightarrow \Lambda = 0.65 - 0.70W/m^2K$$

$$d = 22.5cm \rightarrow \Lambda = 0.63 - 0.69W/m^2K$$

Τα θερμομονωτικά τούβλα παρουσιάζουν συντελεστή αντίστασης στη διάχυση των υδρατμών που κυμαίνεται από 8 έως 12. [Αθανασόπουλος, 2005]

Λόγω της δομής τους απορροφούν την υγρασία, έχουν όμως τη δυνατότητα πολύ εύκολα να την επαναποδίδουν στην ατμόσφαιρα και να στεγνώνουν. Ο πολύ μικρός συντελεστής αντίστασης στη διάχυση των υδρατμών ευνοεί τη διάχυση των υδρατμών, επιτρέπει την αναπνοή των τοίχων και διαμορφώνει πιο ευχάριστο και υγιεινό περιβάλλον. Επίσης λόγω της ομοιογένειας της τοιχοποιίας η καμπύλη πιέσεων των υδρατμών είναι ομαλή και δυσχεραίνεται η εσωτερική συμπύκνωση των υδρατμών.

Στο εμπόριο τα θερμομονωτικά τούβλα κυκλοφορούν σε πολλές διαστάσεις, σύμφωνα με τις προδιαγραφές των διαφόρων εταιρειών. Χρησιμοποιούνται στην κατασκευή εξωτερικών τοιχοποιιών πλήρωσης, χωρίς τη χρήση κάποιου άλλου θερμομονωτικού υλικού. Εσωτερικά και εξωτερικά επιχρίονται με όλα τα επιχρίσματα που εφαρμόζονται και στα κοινά τούβλα. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν και για την κατασκευή φερουσών εξωτερικών τοιχοποιιών μικρών κτισμάτων, εφόσον μπορούν να παραλάβουν τα φορτία και να καλύψουν τις απαιτήσεις του αντισεισμικού κανονισμού.



Εικ. 3.32: Κατασκευή από θερμομονωτικά τούβλα.

Πηγή: <http://www.buildnet.gr/default.asp?pid=194&catid=169&artid=1907>

Οι κατασκευές με θερμομονωτικά τούβλα πλεονεκτούν έναντι των υπολοίπων με τα συνήθη θερμομονωτικά υλικά ως εξής: [Αραβαντινός, 2000]

- Προσδίδουν μεγαλύτερη ανθεκτικότητα και ευστάθεια στην τοιχοποιία και βελτιώνουν την αντισεισμική της συμπεριφορά
- Σχηματίζουν μονοκέλυφη κατασκευή και συνεπώς δεν απαιτούν τη διαμόρφωση σενάζ
- Αξιοποιούν στο μέγιστο τη θερμοχωρητικότητα των τοίχων, αποδίδοντας τη συκρατούμενη θερμότητα με χρονική υστέρηση που φτάνει μέχρι 8 ώρες, συμβάλλοντας στη διατήρηση της θερμοκρασίας του χώρου σε υψηλά επίπεδα αρκετές ώρες μετά τη διακοπή της θέρμανσης.
- Ευνοούν την αναπνοή των τοίχων και συμβάλλουν στη διαμόρφωση πιο υγιεινού και άνετου εσωκλίματος.
- Εξοικονομούν χρόνο και χρήμα κατά την κατασκευή, αφενός λόγω της ευκολίας με την οποία δουλεύονται τα μεγάλων διαστάσεων τούβλα και αφετέρου λόγω της δημιουργίας μονοκέλυφης τοιχοποιίας.

Αντίθετα, μειονεκτούν στα εξής:

- Παρέχουν χαμηλότερη θερμική προστασία. Τα πάχη των θερμομονωτικών τούβλων σχεδόν οριακά καλύπτουν τις απαιτήσεις του κανονισμού

θερμομόνωσης. Μεγαλύτερα πάχη των τούβλων αποβαίνουν σε βάρος του ωφέλιμου χώρου του κτιρίου.

- Επιτρέπουν πιο εύκολα το σχηματισμό επιφανειακής συμπύκνωσης των υδρατμών, λόγω χαμηλότερης εσωτερικής επιφανειακής θερμοκρασίας.
- Απορροφούν την υγρασία και για όσο χρόνο είναι εμποτισμένα έχουν μειωμένη θερμομονωτική ικανότητα.
- Είναι ακριβότερα από τα κοινά τούβλα.

Ιδιότητες	Μονάδες	Τεχνικά χαρακτηριστικά		
		Ελάχιστη τιμή	Μέση τιμή	Μέγιστη τιμή
Μηχανικές ιδιότητες				
Πάχος υλικού	cm	7,5		22,5
Πυκνότητα	Kg/m ³	700		850
Αντοχή στον εφελκυσμό	N/mm ²			
Όριο θραύσης	N/mm ²			
Θλιπτική τάση σε 10% βράχυνση	N/mm ²			
Ιδιότητες θερμικής προστασίας				
Συντελεστής θερμοδιαφυγής Λ	W/m2K	0,63		2,25
Εύρος χρήσεως min/max	°C			
Ιδιότητες υγραπροστασίας				
Συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών	-	8		12
Ποσότητα υγρασίας εξομοίωσης στους 23 °C και 80% σχ. υγρασία			0	
Ιδιότητες πυρασφάλειας				
Κατηγορία πυραντοχής	-		A1	
Ακουστικές ιδιότητες				
Βαθμός απορρόφησης στα 125Hz	-			
στα 250Hz	-			
στα 1000Hz	-			
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	MJ/kg			

Εικ. 3.8: Τεχνικά χαρακτηριστικά θερμομονωτικών τούβλων.

Πηγή: http://www.fibran.gr/sappek/docs/deliverables/deliverable_4.pdf

3.3.9 Περλίτης

Πρόκειται για υαλώδες ορυκτό υλικό ηφαιστειακής προέλευσης, το οποίο αποτελεί την πρώτη ύλη για ποικιλία οικοδομικών εφαρμογών. Κύρια συστατικά του είναι το διοξείδιο του πυριτίου και το οξείδιο του αργιλίου, ενώ περιέχει ακόμα οξείδια του σιδήρου, του ασβεστίου, του νατρίου και του καλίου. Από το φυσικό περλίτη προκύπτει ο διογκωμένος περλίτης. [Μπόζης, 1995] Με την αφυδάτωσή του σε υψηλές θερμοκρασίες, που φτάνουν τους 900 °C, το υλικό διογκώνεται κατά 10 έως 20 φορές και θραύεται σε μικρούς κόκκους διαμέτρου 0.5 – 5 mm. Δημιουργείται έτσι ένα κοκκώδες υλικό με πολλές κλειστές κυψέλες γεμάτες αέρα που του προσδίδουν μικρό βάρος και θερμομονωτικές ιδιότητες. [Καρέκος, 2001]



Εικ. 3.33: Κόκκοι περλίτη και περλίτης σε σάκους.

Πηγή: <http://www.ua.all.biz/el/mmos-perliti-g1388067>

Οι κόκκοι του περλίτη έχουν λευκό χρώμα με ελαφρά απόχρωση προς το φαιό. Είναι άοσμο υλικό και η πυκνότητά του κυμαίνεται από 50 – 140 Kg/m³ αναλόγως τον τύπο του. Σε μορφή περλιτοδέματος, η πυκνότητά του ανέρχεται στα 300 – 800 Kg/m³, αναλόγως της αναλογίας τσιμέντου. Δεν προσβάλλεται από έντομα και τρωκτικά, δεν σαπίζει και δεν αναπτύσσει μύκητες. Παρουσιάζει σταθερότητα όγκου και πρακτικά έχει απεριόριστη διάρκεια ζωής. Ακόμη, δεν επηρεάζεται από την ηλιακή ακτινοβολία, δεν προσβάλλεται από μέταλλα και παρουσιάζει αδράνεια έναντι χημικών ουσιών. Ο περλίτης θεωρητικά δεν προσβάλλεται εύκολα από την υγρασία και επιτρέπει τη διάχυση των υδρατμών. Ωστόσο, σε περίπτωση

συμπύκνωσης των υδρατμών η υγρασία δύσκολα απομακρύνεται. [Αθανασόπουλος, 2003]

Ο διογκωμένος περλίτης δεν έχει υψηλή μηχανική αντοχή, γι' αυτό καλό είναι να αποφεύγεται η άσκηση υψηλών μοναχικών φορτίων. Αντίθετα, τα περλιτοδέματα παρουσιάζουν υψηλότερη αντοχή αναλόγως της περιεκτικότητας σε τσιμέντο. Ανήκει στην κατηγορία των άκαυστων υλικών, το οποίο δεν μεταδίδει τη φωτιά. Ο φυσικός περλίτης δεν πρέπει να εκτίθεται σε θερμοκρασίες υψηλότερες των 750 °C, επειδή διογκώνεται και θραύεται. Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του διογκωμένου περλίτη κυμαίνεται στους 10 °C από 0.040 έως 0.065 W/mK. Αντίθετα στο περλιτόδεμα, ο συντελεστής εξαρτάται από την αναλογία τσιμέντου – περλίτη με εύρος 0.081 έως 0.198 W/mK.

Ο περλίτης χρησιμοποιείται σε ξηρή μορφή ως θερμομονωτικό και ως ηχομονωτικό υλικό πλήρωσης οριζόντιων και κατακόρυφων δομικών στοιχείων ή ως περλιτόδεμα. Χρησιμοποιείται επίσης για την κατασκευή θερμομονωτικών κονιαμάτων.

Στην ξηρή του μορφή εφαρμόζεται χύμα στα διάκενα μεταξύ διπλών τοίχων, σε πατώματα, σε κανάλια θερμοαγωγών, σωληνώσεις και σε ψυκτικούς θαλάμους. Το υλικό με μικρή πυκνότητα, δηλαδή 50-60 Kg/m³, είναι κατάλληλο ως θερμομονωτικό για χαμηλές θερμοκρασίες, όπως για παράδειγμα στην αποθήκευση και στη μεταφορά υγραερίου. Χρησιμεύει επίσης στην κατασκευή θερμομονωτικών τούβλων και ελαφρών προκατασκευασμένων στοιχείων. [Παπαδόπουλος, 1979]

Ως περλιτόδεμα χρησιμοποιείται σε δώματα, σε δάπεδα, σε οροφές κάτω από στέγες, σε κεκλιμένες στέγες, επάνω από άλλα θερμομονωτικά υλικά για τη διαμόρφωση κλίσεων και για εξομαλύνσεις της επιφάνειας. Η χρήση περλιτοδέματος ως αποκλειστικού θερμομονωτικού υλικού δεν συνιστάται, διότι λόγω του σχετικά υψηλού συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας απαιτεί μεγάλα πάχη για να καλύψει τις απαιτήσεις του κανονισμού. [Αθανασόπουλος, 2003] Καλό είναι το περλιτόδεμα να συνοδεύει κάποιο άλλο θερμομονωτικό υλικό. Τα πολύ ελαφρά μίγματα περλιτοδέματος προσφέρονται για θερμομόνωση μόνο των επισκέψιμων και όχι των βατών δωματίων.

Ως θερμομονωτικό επίχρισμα χρησιμοποιείται εξωτερικά ή εσωτερικά, καθώς και σε χώρους που απαιτούν υψηλή πυροπροστασία. Συμβάλλει στην αποφυγή

θερμογεφυρών, ιδίως στις θέσεις των αρμών. Λόγω της μικρής θερμοχωρητικότητας αποκτά σύντομα τη θερμοκρασία του αέρα του χώρου. Πρέπει να σημειωθεί ότι τα επιχρίσματα περλίτη, περλιτοσοβάδες, δεν επαρκούν από μόνα τους για να προσδώσουν στην τοιχοποιία την απαιτούμενη από τον κανονισμό θερμική προστασία. [Χρυσομαλλίδου, 2003]

Ιδιότητες	Μονάδες	Τεχνικά στοιχεία		
		Ελάχιστη τιμή	Μέση τιμή	Μέγιστη τιμή
Μηχανικές ιδιότητες				
Πάχος υλικού	cm			
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 _R στους 10°C ¹	W/(mK)	0,040	0,042	0,065
Εύρος χρήσεως Min/Max	°C	-273		750
Ιδιότητες υγραπροστασίας				
Συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών	-	3		4
Ποσότητα υγρασίας εξομοίωσης στους 23 °C και 80% σχ. υγρασία				
Ιδιότητες πυρασφάλειας				
Κατηγορία πυραντοχής	-		A1	
Ακουστικές ιδιότητες				
Βαθμός απορρόφησης στα 125Hz	-	0		0,2
στα 250Hz	-	0,1		0,25
στα 1000Hz	-	0,25		0,6
στα 4000Hz	-			
Αντίσταση ροής κατά μήκος	kPa 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

Πιν. 3.9: Τεχνικά χαρακτηριστικά περλίτη.

Πηγή: http://www.fibran.gr/sappek/docs/deliverables/deliverable_4.pdf

3.3.10 Αφρώδης διογκωμένος φελλός

Ο αφρώδης διογκωμένος φελλός είναι αφρώδες οργανικό υλικό, ο οποίος προέρχεται από το κορμό ποικιλίας βελανιδιάς. Το τελικό προϊόν προέρχεται από το συνδυασμό θερμότητας, εγκλωβισμένου νερού και ρητίνης. Αποτέλεσμα της

παραγωγικής διαδικασίας είναι το τελικό προϊόν να δημιουργείται από αεροστεγείς κυψέλες, ανάμεσα στις οποίες δεν παρεμβάλλεται κανένα κενό. Εξαιτίας αυτής της δομής ο φελλός αποτελεί ένα άριστο θερμομονωτικό υλικό.



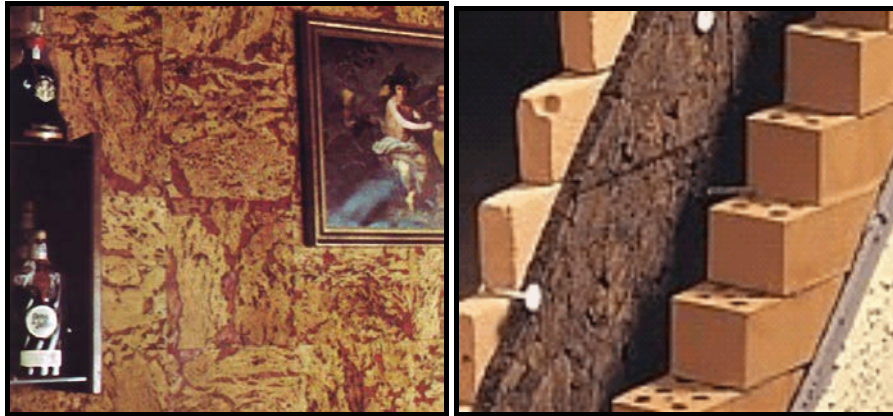
Εικ. 3.34: Αφρώδης διογκωμένος φελλός.

Πηγή: http://www.felizol.gr/catalog/extra_info_pages.php?pages_id=9

http://www.monopan.gr/full_product.php?prod_id=05.01.000

Ο διογκωμένος φελλός είναι σκληρός και παρουσιάζει σταθερότητα όγκου, με αποτέλεσμα να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ακραίες συνθήκες. Αποτελεί ένα από τα ελαφρότερα μονωτικά υλικά με πυκνότητα που κυμαίνεται από 100 έως 130 Kg/m³. Το χαμηλό του βάρος οφείλεται στο γεγονός ότι το 50% του όγκου του αποτελείται από αέρα. [Παπαδόπουλος, 1984] Εμφανίζει υψηλή αντοχή στη συμπίεση, απορροφητικότητα κραδασμών και αντίσταση στην τριβή. Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας κυμαίνεται από 0.040 έως 0.065 W/mK. Παράλληλα εμφανίζει πολύ καλές ηχομονωτικές ιδιότητες. [Αθανασόπουλος, 2005] Εξαιτίας της κυτταρικής του δομής δεν προσβάλλεται εύκολα από την υγρασία, ενώ με την προσθήκη κατάλληλων ουσιών η υδατοαποθητικότητα μπορεί να μεγιστοποιηθεί.

Ο διογκωμένος φελλός εμφανίζεται στο εμπόριο σε μορφή πλακών, οι οποίοι είναι αποτέλεσμα της συμπίεσης των κόκκων φελλού σε υψηλές θερμοκρασίες. Εφαρμόζονται για τη θερμική προστασία εξωτερικής τοιχοποιίας, δικέλυφης τοιχοποιίας, δαπέδων, δωματίων, μόνωση πορτών, ψυκτικών θαλάμων και σωληνώσεων καθώς και ως διακοσμητικό στοιχείο εσωτερικών χώρων.



Εικ. 3.35: Χρήση διογκωμένου φελλού σε εσωτερικό χώρο και στον πυρήνα της τοιχοποιίας.

Πηγή: http://www.felizol.gr/catalog/extra_info_pages.php?pages_id=9

http://www.monopan.gr/full_product.php?prod_id=05.01.000

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 _R στους 10°C	W/(mK)	0,040	0,05	0,065
Εύρος χρήσεως min/max	°C	-100		120
Ιδιότητες υγραπροστασίας				
Συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών	-	10		30
Ποσότητα υγρασίας εξομοίωσης στους 23 °C και 80% σγ. υγρασία			10	
Ιδιότητες πυρασφάλειας				
Κατηγορία πυραντοχής	-		B2	
Ακουστικές ιδιότητες				
Βαθμός απορρόφησης στα 125Hz	-			
στα 250Hz	-			
στα 1000Hz	-			
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	

Πιν. 3.10: Τεχνικά χαρακτηριστικά αφρώδους διογκωμένου φελλού.

Πηγή: http://www.fibran.gr/sappek/docs/deliverables/deliverable_4.pdf

3.4 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση θερμομονωτικών υλικών

Αν και ο παράγοντας κόστος είναι κατά κανόνα σταθμικός για την επιλογή μιας λύσης, ωστόσο πολλές φορές είναι εσφαλμένος ο τρόπος που αυτός αποτιμάται. Συνήθως δίδεται βαρύτητα στο ύψος της αρχικής δαπάνης κατά την κατασκευή του κτιρίου, παραβλέποντας τις λειτουργικές δαπάνες που θα βαρύνουν τους χρήστες στο χρόνο της ζωής του. Επιπλέον, οι έμμεσες συνέπειες, όπως το κόστος με το οποίο μακροπρόθεσμα βαρύνεται το περιβάλλον δεν λαμβάνονται υπόψη.

Όμως η διαρκής υποβάθμιση του περιβάλλοντος, λόγω της αλματώδους ανάπτυξης της τεχνολογίας, έθεσε υπό σοβαρή δοκιμασία και αμφισβήτηση απόψεις και αντιλήψεις. Έτσι, δεν αρκεί πλέον μόνο η προστασία των κατασκευών για τη μείωση των θερμικών τους απωλειών, πρέπει και ο τρόπος που αυτό επιτυγχάνεται να είναι αποδεκτός. Τα υλικά δόμησης δεν θα πρέπει να προστατεύουν μόνο την κατασκευή αλλά και το περιβάλλον. Θα πρέπει δηλαδή να είναι κατά το δυνατόν ανακυκλώσιμα και μετά την ολοκλήρωση του κύκλου ζωής της κατασκευής, να μη ρυπαίνουν προκαλώντας καταστροφή του οικοσυστήματος, αλλά να συμβάλλουν στην ανάπτυξη μιας σχέσης αρμονίας μεταξύ φυσικού και δομημένου περιβάλλοντος.[Αραβαντινός, 2000] Σήμερα, η τάση στη σύγχρονη αρχιτεκτονική είναι ο συνδυασμός ενός ορθού βιοκλιματικού σχεδιασμού του κτιρίου με ταυτόχρονη επιλογή υλικών και τεχνικών δόμησης φιλικών προς το περιβάλλον.

Προκειμένου λοιπόν να προσδιοριστούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των διάφορων κατηγοριών των θερμομονωτικών υλικών, κατηγοριοποιήθηκε η διάρκεια ζωής τους σε τρεις φάσεις. Οι φάσεις αφορούν την παραγωγή του υλικού, τη χρήση του σε μία κατασκευή αλλά και σε περίπτωση πυρκαγιάς καθώς και την απόρριψή του στο τέλος της χρήσης του. Στη συνέχεια θα αναλυθεί το περιβαλλοντικό αντίκτυπο που έχουν δύο κατηγορίες μονωτικών υλικών, των αφρωδών και των ινωδών. [http://www.fibran.gr/sappek/docs/publications/article_2.pdf]

Κατά τη παραγωγική διαδικασία των αφρωδών θερμομονωτικών υλικών, όπως είναι η διογκωμένη και η εξηλασμένη πολυστερίνη, δεν παρατηρείται εκπομπή επικίνδυνων ουσιών. Οι μόνες οι οποίες μπορεί να θεωρηθούν επικίνδυνες είναι το πεντάνιο, το βενζόλιο και το στυρόλιο και οι βελτιωτικές ουσίες για την αύξηση της πυραντοχής. Το πεντάνιο εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα σε ποσοστό 50% κατά τη

διάρκεια της παραγωγής και το υπόλοιπο μετά από μικρό χρονικό διάστημα. Το βενζόλιο, το οποίο αποτελεί ένα δηλητηριώδες αέριο καθώς και το στυρόλιο, το οποίο είναι ένα τοξικό αέριο, εκπέμπονται και αυτά κατά τη διάρκεια της παραγωγής σε μικρά ποσοστά. [http://www.buildings.gr/greek/eksoplismos/oikologika_ilika/thermomonomosi.htm] Τα βελτιωτικά μέσα, τα οποία χρησιμοποιούνται προκειμένου να αυξηθεί η αντοχή των υλικών στη φωτιά, είναι τοξικά αλλά λαμβάνοντας κατάλληλα μέτρα για την απομάκρυνση των υπολειμμάτων τους δεν προκαλούν αντιδράσεις και αρνητικές συνέπειες στους εργαζομένους. Όσον αφορά τα ινώδη μονωτικά υλικά, όπως είναι ο υαλοβάμβακας και ο πετροβάμβακας, παρατηρούνται εκπομπές ουσιών καθ' όλη τη διάρκεια παραγωγής, από την προετοιμασία έως την αποθήκευση και τη μεταφορά. [http://www.ekke.gr/estia/Cooper/Synedrio_PSM/mavridoub.pdf] Συνοψίζοντας, κατά την παραγωγική διαδικασία, τόσο των αφρωδών όσο και των ινωδών θερμομονωτικών υλικών, εκπέμπονται επικίνδυνες ουσίες σε τέτοιες ποσότητες που δεν μπορούν να επιβαρύνουν και να ενισχύσουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Κατά τη χρήση των αφρωδών υλικών σε μία κατασκευή δεν έχουν παρατηρηθεί εκπομπές επικίνδυνων και τοξικών ουσιών. Εξαιρέση αποτελεί η περίπτωση πυρκαγιάς, όπου διοχετεύονται στην ατμόσφαιρα μονοξειδίο και διοξειδίο του άνθρακα και άλλα τοξικά αέρια. [http://www.ekke.gr/estia/Cooper/Synedrio_PSM/mavridoub.pdf] Αντίθετα τα ινώδη θερμομονωτικά υλικά όταν παραμένουν εκτεθειμένα στην κατασκευή δεν θεωρούνται φιλικά για τον άνθρωπο, επειδή η εισπνοή των ινών τους, που έχουν διασπαρεί στην ατμόσφαιρα έστω και σε μικρή ποσότητα, μπορεί να αποτελέσει αίτιο διαφόρων παθήσεων. Στην περίπτωση που παραμένουν εγκλωβισμένα μέσα στο δομικό στοιχείο θεωρούνται ακίνδυνα. Τέλος, τα ινώδη παρουσιάζουν πλεονέκτημα έναντι των αφρωδών σε περίπτωση φωτιάς, αφού είναι υλικά άκαυστα, με συνέπεια να μην εκλύονται βλαβερές ουσίες. [http://www.fibran.gr/sappek/docs/publications/article_2.pdf]

Μετά το πέρας της ωφέλιμης ζωής της κατασκευής η εξηλασμένη πολυστερίνη μπορεί να ανακυκλωθεί ή να καταστραφεί. Στην πρώτη περίπτωση απαραίτητη προϋπόθεση είναι η καλή κατάσταση του υλικού. [Μουσιόπουλος, 2008] Η καταστροφή του υλικού γίνεται μέσω της καύσης σε ειδικές μονάδες, όπου η εκλύουσα ενέργεια χρησιμοποιείται για άλλο σκοπό. Σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να γίνεται απόθεση του υλικού σε χυτά, εξαιτίας της χημικής της σύστασης και του μεγάλου χρόνου αποσύνθεσής της. Αντίθετα, η διογκωμένη πολυστερίνη μπορεί να

ανακυκλωθεί σε πολύ μεγάλο βαθμό, προστατεύοντας το περιβάλλον. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της δημιουργίας νέων πλακών διογκωμένης πολυστερίνης καθώς και μια πληθώρα άλλων αντικειμένων, όπως οι γλάστρες, τα υλικά συσκευασιών, τα πλαστικά φυτά και οι ταμπέλες κτλ. [Μουσιόπουλος, 2008]

Η επαναχρησιμοποίηση των ινώδων θερμομονωτικών υλικών είναι αρκετά δύσκολη αφού προϋποθέτει την καλή κατάσταση του υλικού. Λόγω της δομής των υλικών αυτών, η αφαίρεση από την κατασκευή καθίσταται δύσκολη σε μεγάλο βαθμό, με συνέπεια την καταστροφή του. Το ίδιο όμως δε ισχύει για τα τμήματα εκείνα του υλικού που αποκόπτονται κατά την παραγωγική διαδικασία. Αυτά περισυλλέγονται και χρησιμοποιούνται για την παραγωγή νέου υλικού. [<http://www.hydroponics.gr/anakiklosi/>] Σε αντίθεση με τα αφρώδη υλικά, τα ινώδη έχουν τη δυνατότητα να θάβονται σε χυτά χωρίς να προκαλούν επιβαρύνσεις στο περιβάλλον, κάτω βέβαια από ελεγχόμενες συνθήκες. Αυτό συμβαίνει διότι το ποσοστό του οργανικού άνθρακα είναι αρκετά μικρότερο του επιτρεπτού ορίου.

Κεφάλαιο 4^ο

Συγκριτική αξιολόγηση θερμομονωτικών υλικών

4.1 Σύγκριση πετροβάμβακα και εξηλασμένης πολυστερίνης¹

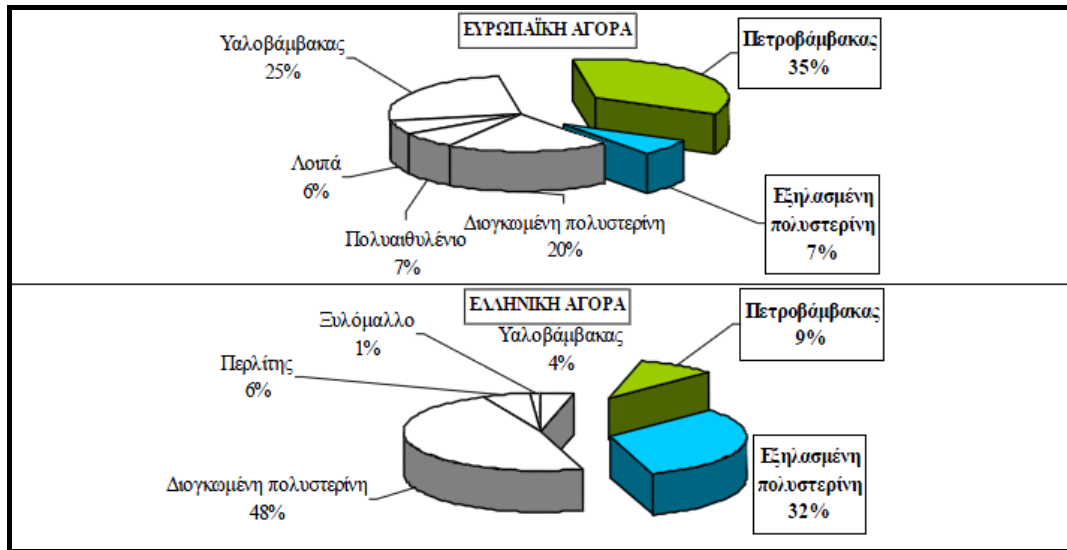
Σήμερα υπάρχει πληθώρα θερμομονωτικών υλικών στην αγορά, που στόχος τους είναι η θερμική και σε κάποιες περιπτώσεις ηχητική μόνωση του περιβλήματος μιας κατασκευής. Κοινό χαρακτηριστικό όλων των θερμομονωτικών υλικών είναι ο χαμηλός συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας. Η σωστή όμως επιλογή ενός μονωτικού υλικού δεν εξαρτάται αποκλειστικά από αυτόν τον συντελεστή. Η διαδικασία επιλογής είναι πολύπλευρη και αφορά μια σειρά παραμέτρων όπως, οι απαιτήσεις για θερμομόνωση, οι περιβαλλοντικές συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας, η αισθητική και το κόστος.

Ακολουθεί συγκριτική αξιολόγηση δύο θερμομονωτικών υλικών, του πετροβάμβακα και της εξηλασμένης πολυστερίνης, τα οποία εμφανίζουν τη συχνότερη χρήση στην ελληνική αγορά. Η σύγκριση δεν γίνεται με μόνο κριτήριο το συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας αλλά αφορά και άλλα τεχνικά και περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά.

Το πρώτο κριτήριο σύγκρισης αφορά ποιό θερμομονωτικό υλικό χρησιμοποιείται συχνότερα στις κατασκευές. Στην Ευρώπη, τα ινώδη μονωτικά υλικά απαντώνται συχνότερα σε μία κατασκευή, με τον πετροβάμβακα και τον υαλοβάμβακα να καταλαμβάνουν τα μεγαλύτερα ποσοστά, 35% και 25% αντίστοιχα. Αυτό συμβαίνει λόγω της μεγαλύτερης θερμομονωτικής στρώσης που επιβάλλουν οι ευρωπαϊκοί κανονισμοί καθώς και οι αυστηροί κανονισμοί πυροπροστασίας. Αντίθετα στον ελληνικό χώρο, προτιμάται η τοποθέτηση των αφρώδων θερμομονωτικών υλικών και ιδιαίτερα της διογκωμένης και της εξηλασμένης πολυστερίνης, σε ποσοστά 48% και 32 % αντίστοιχα. Η προτίμηση του πετροβάμβακα φτάνει μόλις σε ποσοστό 9%. Οι λόγοι που το ελληνικό αγοραστικό κοινό συγκλίνει στα αφρώδη είναι ότι αυτού του είδους τα μονωτικά υλικά παράγονται σε πλάκες, γεγονός που κάνει πιο εύκολη την τοποθέτησή τους και

¹ http://library.tee.gr/digital/m2045/m2045_karamanos.pdf.

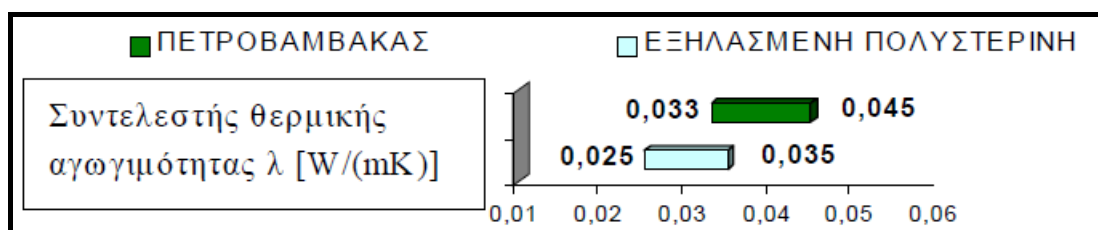
παράλληλα δεν απαιτούν ιδιαίτερα μέτρα προστασίας των ατόμων που τα χρησιμοποιεί.



Διάγραμμα 4.1: Προτίμηση θερμομονωτικών υλικών στην ευρωπαϊκή και ελληνική αγορά.

Πηγή: http://library.tee.gr/digital/m2045/m2045_karamanos.pdf

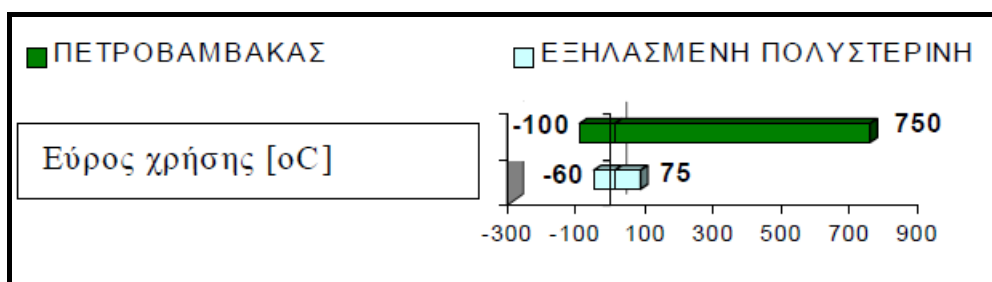
Τόσο ο πετροβάμβακας όσο και η εξηλασμένη πολυστερίνη εμφανίζουν αξιόλογη θερμομονωτική ικανότητα, εξαιτίας του αέρα που είναι παγιδευμένος στη μάζα του. Το εύρος τιμών του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας είναι παρόμοιο, με την εξηλασμένη πολυστερίνη να υπερέχει ελαφρά. Παρόλα αυτά η θερμική προστασία που προσδίδουν σε μια κατασκευή είναι ίδια. Η διαφορά του εύρους τιμών του συντελεστή αγωγιμότητας οφείλεται στη δομή των δύο υλικών. Ο αέρας που βρίσκεται παγιδευμένος μέσα στις ίνες του πετροβάμβακα έχει άμεση επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον, ενώ στην εξηλασμένη πολυστερίνη ο αέρας βρίσκεται μέσα σε κλειστές φυσαλίδες, με αποτέλεσμα η επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον να είναι ελάχιστη.



Διάγραμμα 4.2: Σύγκριση τιμών συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας πετροβάμβακα και εξηλασμένης πολυστερίνης.

Πηγή: http://library.tee.gr/digital/m2045/m2045_karamanos.pdf

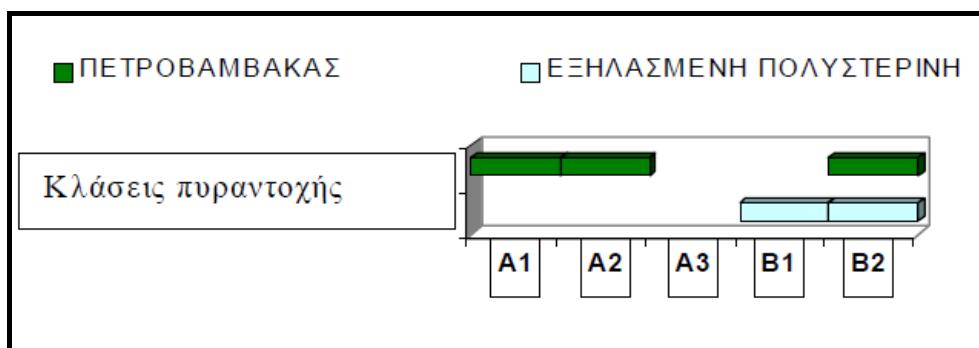
Η εξηλασμένη πολυστερίνη αποτελεί ένα πλαστικό υλικό γεγονός που την καθιστά ευάλωτη σε υψηλές θερμοκρασίες. Για το λόγο αυτό η χρήση της προτιμάται κυρίως σε κτιριακές εφαρμογές αλλά και σε βιομηχανικές με χαμηλές θερμοκρασίες λειτουργίας που φτάνουν τους 75 °C. Αντίθετα, ο πετροβάμβακας λόγω της ηφαιστειακής του προέλευσης παρουσιάζει αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες, οι μπορούν να φτάσουν τους 750 °C. Έτσι, η χρήση του προτιμάται σε βιομηχανικές εφαρμογές υψηλών θερμοκρασιακών απαιτήσεων, όπως είναι τα χυτήρια και οι διαστημικές εφαρμογές.



Διάγραμμα 4.3: Σύγκριση τιμών θερμοκρασιών χρήσης πετροβάμβακα και εξηλασμένης πολυστερίνης.

Πηγή: http://library.tee.gr/digital/m2045/m2045_karamanos.pdf

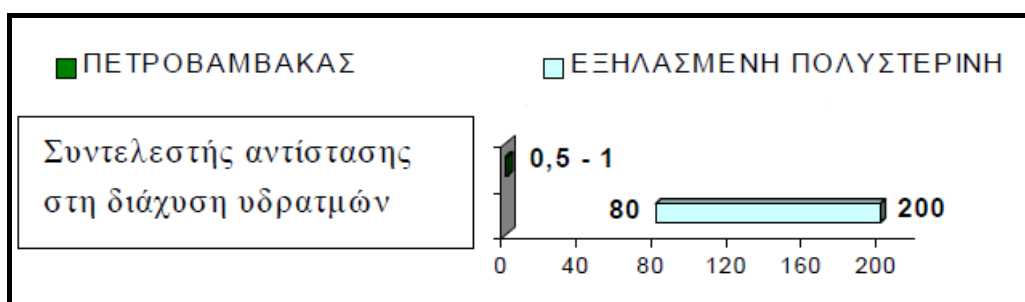
Ο πετροβάμβακας είναι άκαυστο υλικό, το οποίο παρουσιάζει μεγάλη αντίσταση σε περίπτωση φωτιάς, με αποτέλεσμα ορισμένοι τύποι να ανήκουν στην κλάση A1 της πυραντοχής. Από την άλλη η εξηλασμένη πολυστερίνη είναι ένα εύφλεκτο υλικό και είναι επικίνδυνη σε περίπτωση φωτιάς, αφενός λόγω της καύσης της, αφετέρου λόγω της εκπομπής τοξικών αερίων.



Διάγραμμα 4.4: Σύγκριση τιμών πυραντοχής πετροβάμβακα και εξηλασμένης πολυστερίνης.

Πηγή: http://library.tee.gr/digital/m2045/m2045_karamanos.pdf

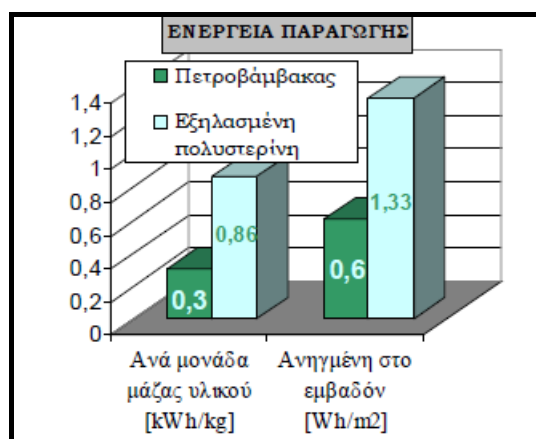
Ο πετροβάμβακας εμφανίζει μικρή αντίσταση στη διάχυση υδρατμών εξαιτίας των ανοιχτών κυψελών αέρα που διαθέτει. Όταν το θερμομονωτικό υλικό τοποθετείται στην τοιχοποιία, το φαινόμενο της διάχυσης δεν αποτελεί πρόβλημα, αφού ο συντελεστής αγωγιμότητας των υδρατμών ισούται με αυτόν του αέρα, η υγρασία διαπερνά τη τοιχοποιία και δεν παρατηρείται συμπύκνωση υδρατμών. Όταν όμως το θερμομονωτικό υλικό τοποθετηθεί σε δομικό στοιχείο, η υγρασία δεν μπορεί να διαπεράσει όλη τη διατομή, με αποτέλεσμα να παρατηρούνται συμπυκνωμένοι υδρατμοί ανάμεσα στο μονωτικό υλικό και το δομικό στοιχείο. Η καταστροφή του σκυροδέματος είναι αναπόφευκτη. Αντίθετα, η εξηλασμένη πολυστερίνη εμφανίζει μεγάλη αντίσταση στη διάχυση των υδρατμών, με αποτέλεσμα να μην παρατηρούνται τα παραπάνω προβλήματα.



Διάγραμμα 4.5: Σύγκριση τιμών συντελεστή αντίστασης στη διάχυση υδρατμών πετροβάμβακα και εξηλασμένης πολυστερίνης.

Πηγή: http://library.tee.gr/digital/m2045/m2045_karamanos.pdf

Όσον αφορά το περιβαλλοντικό αντίκτυπο των δύο θερμομονωτικών υλικών, ο πετροβάμβακας έχει μικρότερο αντίκτυπο τόσο στην ενέργεια που απαιτείται κατά την παραγωγή του όσο και στους ρύπους που εκπέμπονται. Τα ποσοστά CO και CO₂, ρύποι οι οποίοι ευθύνονται για το φαινόμενο του θερμοκηπίου, εμφανίζονται στον πετροβάμβακα σε ποσότητα 0.7 και 0.07 Kg/Kg θερμομονωτικού υλικού αντίστοιχα, έναντι 0.9 και 0.08 Kg/Kg θερμομονωτικού υλικού που εμφανίζονται στην εξηλασμένη πολυστερίνη. Επομένως η χρήση του πετροβάμβακα είναι φιλικότερη προς το περιβάλλον.



Διάγραμμα 4.6: Ενέργεια παραγωγής πετροβάμβακα και εξηλασμένης πολυστερίνης.

Πηγή: http://library.tee.gr/digital/m2045/m2045_karamanos.pdf

Ρύποι (kg ρύπου/kg υλικού)	Πετροβάμβακας	Εξηλασμένη πολυστερίνη
CO ₂	0,700	0,900
CO	0,070	0,080
SO ₂	0,010	0,002
Υγρά απόβλητα	0,100	0,001
Τέφρα	0,040	0,040
Λοιπά στερεά απόβλητα	0,050	0,040

Πίν. 4.1: Ποσότητες ρύπων που εκπέμπονται για τον πετροβάμβακα και την εξηλασμένη πολυστερίνη.

Πηγή: http://library.tee.gr/digital/m2045/m2045_karamanos.pdf

4.2 Συγκριτική μελέτη υλικών πολυουρεθάνης²

Η πολυουρεθάνη είναι ένα υλικό το οποίο χρησιμοποιείται ευρύτατα στην καθημερινή ζωή του ανθρώπου, προκειμένου να καλύψει πολλές του ανάγκες. Η πολυουρεθάνη συναντάται σε προϊόντα όπως οι καρέκλες, οι σόλες παπουτσιών και ως θερμομονωτικό υλικό στο περίβλημα μιας κατασκευής, για να επιτευχθεί εξοικονόμηση ενέργειας. Στην αγορά, υπάρχουν πολλά υλικά πολυουρεθάνης, όπως είναι το υλικό σκληρού αφρού πολυουρεθάνης ψεκασμού, το υλικό σκληρού αφρού

² http://library.tee.gr/digital/m2316/m2316_kahramanoglou.pdf

πολυουρεθάνης έγχυσης, τα μη διογκούμενα υλικά πολυουρεθάνης και τα υλικά ελαστικού αφρού.

Το υλικό σκληρού αφρού πολυουρεθάνης ψεκασμού είναι ένα θερμομονωτικό υλικό, το οποίο αρχικά βρίσκεται σε μορφή υγρού, αλλά κατά την εφαρμογή του στην επιφάνεια εφαρμογής το υλικό διογκώνεται δημιουργώντας μια στεγανωτική μάζα αποτελούμενη από κλειστές κυψελίδες γεμάτες από αδρανές μονωτικό αέριο. Εκτός των άλλων πολύ σημαντικών ιδιοτήτων που εμφανίζουν τα συστήματα αυτά, έχουν το μικρότερο συντελεστή θερμοαγωγιμότητας λ σε σχέση με τα υπόλοιπα θερμομονωτικά υλικά που χρησιμοποιούνται στα συστήματα θερμομόνωσης. Έτσι, ένα πολυουρεθανικό σύστημα ψεκασμού παρουσιάζει 50% μικρότερο συντελεστή θερμοαγωγιμότητας σε σχέση με ένα πολυχρησιμοποιούμενο θερμομονωτικό υλικό, την πολυστερίνη.



Πιν. 4.2: Συγκριτική μελέτη συντελεστή θερμοαγωγιμότητας μονωτικών υλικών.

Πηγή: http://library.tee.gr/digital/m2316/m2316_kahramanoglou.pdf

Προκειμένου να διαπιστωθεί η ενεργειακή αποδοτικότητα του πολυουρεθανικού συστήματος ψεκασμού, πραγματοποιήθηκε εφαρμογή του σε οροφή κτιρίου. Πιο αναλυτικά, το κτίριο αναφοράς τοποθετείται στον ελληνικό χώρο, έχοντας εμβαδόν 120 m². οι περιπτώσεις μελέτης του κτηρίου αφορούν:

- την μη μονωμένη κατάσταση με 0 πάχος θερμομονωτικής στρώσης,
- την μεσαία θερμομονωμένη κατάσταση με 4 cm πάχος θερμομονωτικής στρώσης

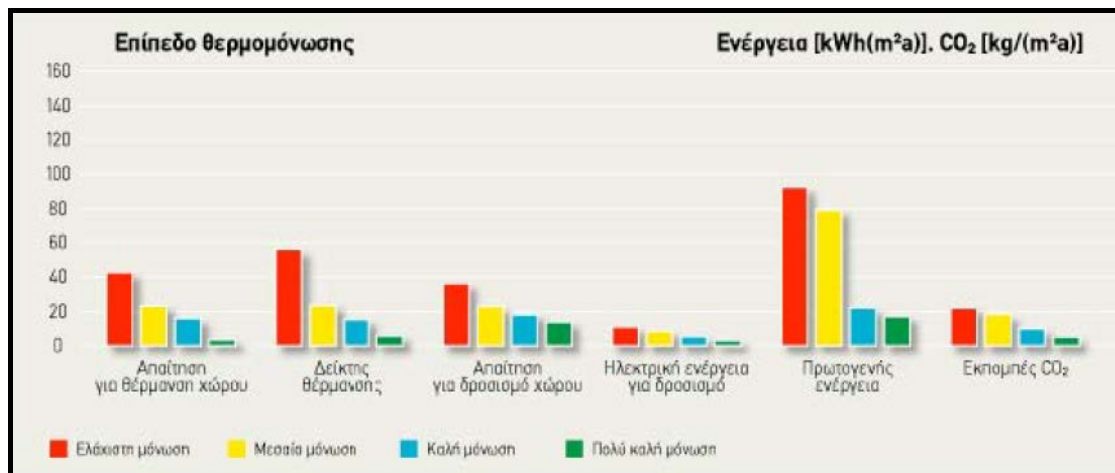
- την καλή θερμομονωμένη κατάσταση με 8 cm πάχος θερμομονωτικής στρώσης
- την πολύ καλή θερμομονωμένη κατάσταση με 15 cm πάχος θερμομονωτικής στρώσης

	Πάχος θερμομόνωσης οροφής σε cm	Τιμές U(Λ) οροφής W/(m ² K)
Ελάχιστη θερμομόνωση	-	1,019
Μεσαία θερμομόνωση	4	0,368
Καλή θερμομόνωση	8	0,224
Πολύ καλή θερμομόνωση	15	0,133

Πιν. 4.3: Συσχέτιση θερμομονωτικής κατάστασης με τιμή θερμοδιαφυγής.

Πηγή: http://library.tee.gr/digital/m2316/m2316_kahramanoglou.pdf

Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι η τοποθέτηση υλικών πολυουρεθάνης προσφέρει εξαιρετικές αποδόσεις τόσο για την εξοικονομούμενη ενέργεια, αφού η πρωτογενής ενέργεια εμφανίζει μείωση 80% όσο και τη μείωση των εκπεμπόμενων αερίων, με μείωση εκπομπών CO₂ κατά 80%.



Διάγραμμα 4.7: Εξοικονόμηση ενέργειας στη λειτουργία της κατοικίας.

Πηγή: http://library.tee.gr/digital/m2316/m2316_kahramanoglou.pdf

4.3 Συγκριτική μελέτη θερμομονωτικής πλάκας από εξηλασμένη πολυστερίνη³

Το θερμομονωτικό πλακίδιο Polytile είναι μια σύνθετη θερμομονωτική πλάκα, η οποία αποτελείται από μία στρώση αφρώδους εξηλασμένης πολυστερίνης πάχους 5 cm και μία στρώση χυτό κονίαμα πάχους 2 cm. Το συγκεκριμένο θερμομονωτικό υλικό αποτελεί μια προκατασκευασμένη επιλογή για τη θερμομόνωση της οροφής του κτιρίου.

Το 2006 το ΚΑΠΕ διενήργησε μια ενεργειακή μελέτη σχετικά με την ενεργειακή απόδοση του θερμομονωτικού πλακιδίου Polytile. Η μελέτη αφορούσε τη σύγκριση μονωμένης ταράτσας μονοκατοικίας σε σχέση με το μη θερμομονωμένο δώμα του κτιρίου. Το κτίριο αναφοράς τοποθετήθηκε και στις 4 κλιματικές ζώνες, βάση των οποίων είναι χωρισμένη η χώρα.

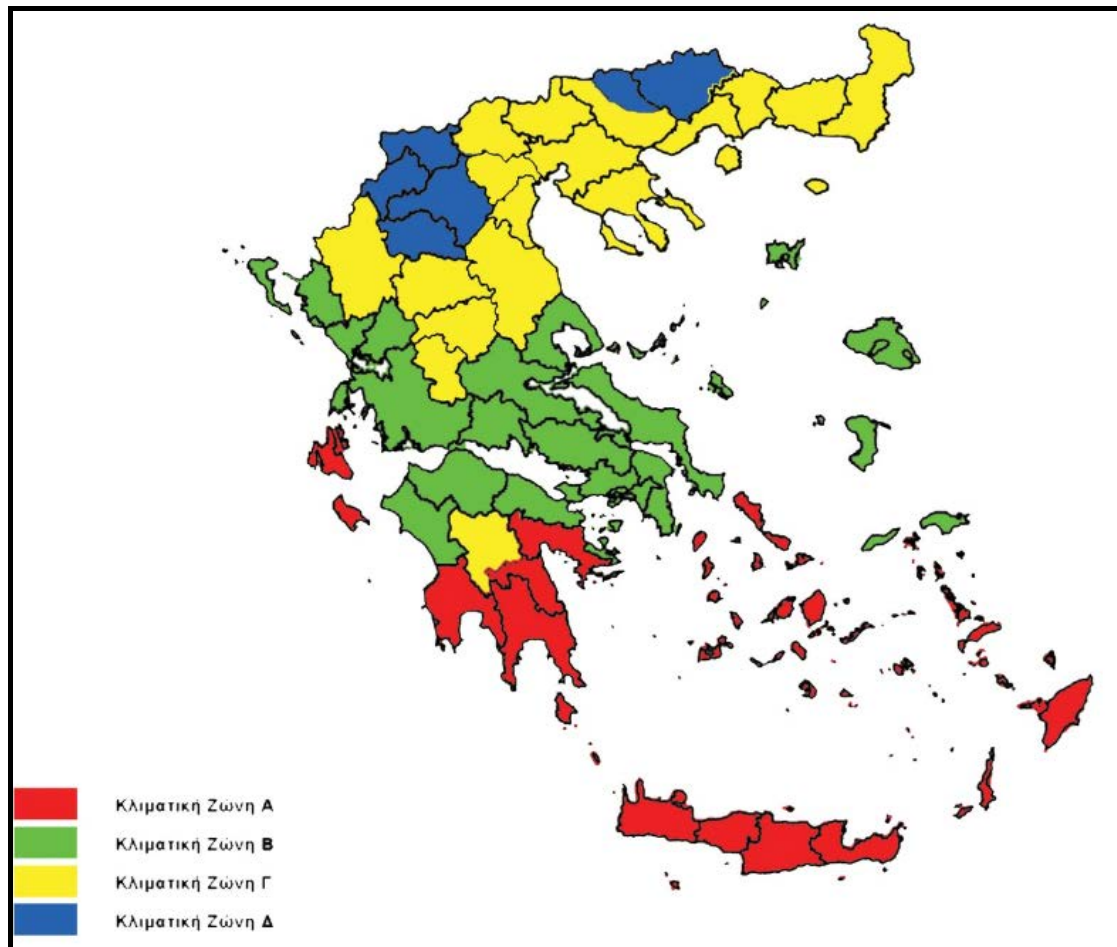
Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η ενέργεια που εξοικονομείται στην κατασκευή, τόσο από ηλεκτρικό ρεύμα όσο και από καύσιμη ύλη για τη θέρμανση του κτιρίου, ξεπερνά το 33% στην περίπτωση που το κτίριο βρίσκεται στη ζώνη Γ, δηλαδή σε περιοχές όπως η Ξάνθη, η Θεσσαλονίκη, η Λάρισα και τα Ιωάννινα. Οι εκπομπές επικίνδυνων αερίων (CO και CO₂) μειώνονται περίπου στο 39%, ενώ το οικονομικό όφελος για τον ιδιοκτήτη ανέρχεται περίπου στα 1600 ευρώ ετησίως. Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει την εξοικονόμηση ενέργειας, τη μείωση εκπεμπόμενων ρύπων και το οικονομικό όφελος του κτιρίου για κάθε κλιματική ζώνη.

Τυπική 2όροφη κατασκευή	Συνολική εξοικονόμηση ενέργειας	Μέση μείωση εκπομπών CO CO ₂ , SO ₂	Χρόνος απόσβεσης κόστους	Μέσο ετήσιο οικονομικό ωφέλος μετά την απόσβεση (Ευρώ)
A ζώνη	28,90%	39,70%	7-9 χρόνια	744
B ζώνη	31,83%	38,23%	5-7 χρόνια	1133,5
Γ ζώνη	33,53%	38,82%	3-5 χρόνια	1596,8
Δ ζώνη		34,29%	2-4 χρόνια	2310,4

Πιν. 4.4: Αποτελέσματα ενεργειακής μελέτης για θερμομόνωση ταράτσας μονοκατοικίας.

Πηγή: http://library.tee.gr/digital/m2316/m2316_leptokaridis.pdf

³ http://library.tee.gr/digital/m2316/m2316_leptokaridis.pdf



Εικ. 4.1: Διαχωρισμός ελληνικής επικράτειας σε κλιματικές ζώνες.

Πηγή: <http://rizosdimitris.blogspot.gr/2012/01/4.html>

4.4 Συγκριτική μελέτη συστήματος εξωτερικής θερμομόνωσης⁴

Το εξωτερικό μονωτικό σύστημα THERMOPROSOPSIS αποτελείται από διογκωμένη πολυστερίνη, η οποία επικαλύπτεται ενός επιχρίσματος. Προκειμένου να διαπιστωθεί η εξοικονόμηση ενέργειας που προσφέρει το σύστημα αυτό σε μία κατασκευή, έγινε εφαρμογή του σε μία διώροφη μονοκατοικία εμβαδού 144 m², η οποία δεν παρουσιάζει κάποιου είδους θερμικής προστασίας, αποτελείται από 25% ποσοστό ανοιγμάτων και διαθέτει διπλούς υαλοπίνακες. Το κτίριο αναφοράς τοποθετήθηκε στις περιοχές Κρήτη (Α κλιματική ζώνη), Αθήνα (Β κλιματική ζώνη) και Θεσσαλονίκη (Γ κλιματική ζώνη) και οι περιπτώσεις μελέτης αφορούσαν την

⁴ http://library.tee.gr/digital/m2316/m2316_politopoulos.pdf

απουσία μόνωσης, και τη μόνωση του κτιρίου με σύστημα THERMOPROSOPSIS πάχους 5 και 10 cm.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι στην περίπτωση τοποθέτησης θερμομονωτικής στρώσης 5 cm, η εξοικονόμηση ενέργειας είναι 29% για όλες τις κλιματικές ζώνες, ενώ στην τοποθέτηση θερμομονωτικής στρώσης 10 cm η εξοικονόμηση φτάνει το 33%. Το ετήσιο όφελος από την τοποθέτηση εξωτερικού συστήματος THERMOPROSOPSIS ποικίλλει ανάλογα με το πάχος της θερμομόνωσης και την κλιματική ζώνη ξεκινώντας από τα 680 ευρώ περίπου για τη κλιματική ζώνη περίπου και φτάνοντας τα 1700 ευρώ περίπου για την κλιματική ζώνη.

Ζώνη	Μόνωση cm	Ετήσιο κόστος θέρμανσης	Ετήσιο κόστος δροσισμού	Ετήσιο όφελος
Α	0	1117	1204	
	5	792	853	677
	10	744	802	776
Β	0	1609	1656	
	5	1140	1173	952
	10	1071	1102	1091
Γ	0	3523	1580	
	5	2496	1119	1488
	10	2346	1052	1705

Πιν. 4.5: Ετήσιο κόστος θέρμανσης – δροσισμού και ετήσιο όφελος από την εφαρμογή του συστήματος THERMOPROSOPSIS.

Πηγή: http://library.tee.gr/digital/m2316/m2316_politopoulos.pdf

Κεφάλαιο 5^ο

Συμπεράσματα

Τα γνωστά ενεργειακά αποθέματα ελαττώνονται, ενώ το κόστος καθώς και η κατανάλωση της ενέργειας αυξάνονται με δραματικούς ρυθμούς. Ιδιαίτερα αυξημένη κατανάλωση ενέργειας εμφανίζει ο κτιριακός τομέας, ο οποίος απορροφά περίπου το 40% της συνολικής καταναλισκόμενης ενέργειας, η οποία χρησιμοποιείται για θέρμανση και ψύξη των χρηστών. Οι χρήστες των κτιρίων επιδιώκουν να εξασφαλίζουν το αίσθημα θερμικής άνεσης στο χώρο τους, αυξάνοντας το ποσοστό ενέργειας που χρειάζεται ένα κτίριο για να λειτουργήσει. Αυτό συμβαίνει λόγω της ελλιπούς και πολλές φορές ανύπαρκτης θερμικής προστασίας που διαθέτουν τα κτίρια.

Η θερμική προστασία του κελύφους ενός κτιρίου, έχει ως σκοπό την ελαχιστοποίηση των ανταλλαγών θερμότητας μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος, με αποτέλεσμα τη μείωση των θερμικών απωλειών του. Η θερμική προστασία επιβάλλεται μέσω συστημάτων που αφορούν τη θερμομόνωση δομικών στοιχείων, τοίχων, δαπέδων και οροφών. Μπορεί να γίνει εσωτερικά, εξωτερικά ή στον πυρήνα του περιβλήματος του κτιρίου, ανάλογα με τις απαιτήσεις της κατασκευής. Τα θερμομονωτικά συστήματα, για να μειώσουν τις απώλειες μιας κατασκευής, αποτελούνται από στρώσεις, η σημαντικότερη των οποίων είναι η μονωτική στρώση.

Η μονωτική στρώση αποτελείται από ένα θερμομονωτικό υλικό, που ως κύριο χαρακτηριστικό του είναι ο χαμηλός συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας. Αυτό σημαίνει ότι ένα μονωτικό υλικό δύσκολα διαδίδει τη θερμότητα σε σχέση με ένα απλό υλικό. Στην ελληνική αγορά υπάρχει πληθώρα θερμομονωτικών υλικών, που σκοπό έχουν να προσδώσουν θερμική προστασία στο περίβλημα της κατασκευής. Τα θερμομονωτικά υλικά που κυριαρχούν στην ελληνική αγορά είναι ο υαλοβάβακας, ο πετροβάμβακας, το ξυλόμαλλο, τα οποία ανήκουν στην κατηγορία των ινωδών θερμομονωτικών υλικών. Η διογκωμένη πολυστερίνη, η αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη, η πολυουρεθάνη, το αφρώδες γυαλί και ο αφρώδης εξηλασμένος

φελλός, τα οποία ανήκουν στην κατηγορία των αφρώδων θερμομονωτικών υλικών. Η πρώτη κατηγορία καλύπτει το περίπου το 20% της ζήτησης της ελληνικής αγοράς ενώ τη δεύτερη κατηγορία το 80%.

Οι δύο κυριότερες κατηγορίες θερμομονωτικών υλικών διαφέρουν μεταξύ τους ως προς τις ιδιότητες και τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους. Τα αφρώδη υλικά εμφανίζουν χαμηλότερους συντελεστές θερμικής αγωγιμότητας, έχουν μικρότερο ειδικό βάρος και εμφανίζουν μεγαλύτερη αντοχή σε θλίψη. Αντίθετα τα ινώδη θερμομονωτικά υλικά εμποδίζουν τη μετάδοση πυρκαγιάς, αφού είναι άκαυστα και εμφανίζουν ικανοποιητικές ηχομονωτικές ιδιότητες, με αποτέλεσμα να μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ταυτόχρονη θερμομονωτική και ηχομονωτική προστασία. Η διαφοροποίηση αυτή των ιδιοτήτων των μονωτικών υλικών επηρεάζει το εύρος εφαρμογής τους καθώς και σε ποια σημεία είναι καταλληλότερη η τοποθέτησή τους.

Σε κατασκευές όπου οι απαιτήσεις πυρασφάλειας είναι αυξημένες, ενδείκνυται η τοποθέτηση θερμομονωτικών υλικών που εμποδίζουν την εξάπλωση της φωτιάς, όπως είναι ο υαλοβάμβακας και ο πετροβάμβακας. Κατασκευές ή σημεία τα οποία πλήττονται από την υγρασία, όπως είναι τα περιμετρικά τοιχία του υπογείου, το δώμα και η στέγη επιβάλλεται η τοποθέτηση θερμομονωτικών υλικών που απωθούν την υγρασία. Τέτοια είναι η διογκωμένη και εξηλασμένη πολυστερίνη, το αφρώδες γυαλί, η πολυουρεθάνη και ο αφρώδης διογκωμένος φελλός. Τέλος από περιβαλλοντικής άποψης τα αφρώδη θερμομονωτικά υλικά έχουν μεγαλύτερη εμπεριεχόμενη ενέργεια και μεγαλύτερο ποσοστό εκπεμπόμενων ρύπων CO και CO₂, σε σχέση με τα ινώδη θερμομονωτικά υλικά.

Στην προσπάθειά του ο μηχανικός να αποφασίσει ποιο θερμομονωτικό υλικό είναι καταλληλότερο για το σημείο που θέλει να θερμομονώσει, κριτήριο δεν αποτελεί μόνο ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας, αλλά ένα σύνολο παραγόντων τόσο τεχνικών όσο και κατασκευαστικών. Έτσι ο μηχανικός θα πρέπει να λάβει υπόψη του τις απαιτήσεις της κατασκευής, τις περιβαλλοντικές συνθήκες τις οποίες πρέπει να αντιμετωπίσει η κατασκευή, την εύκολη ή δύσκολη τοποθέτηση του υλικού στην κατασκευή, το κόστος και τη φιλικότητα προς το περιβάλλον. Έτσι, συνδυάζοντας τις ιδιότητες των θερμομονωτικών υλικών με τους παραπάνω παράγοντες επιλέγεται το θερμομονωτικό υλικό που θα έχει τη μέγιστη απόδοση για το σημείο που θα εφαρμοστεί.

Βιβλιογραφία

Ελληνόγλωσσες Αναφορές

1. Π., Κοσμόπουλος, (2008), Κτίρια, ενέργεια και περιβάλλον, University studio press, Θεσσαλονίκη
2. Μ., Σανταμούρης, 2008, Βιοκλιματικές κατασκευές: Ο αδιάβατος μονόδρομος της εξοικονόμησης ενέργειας, περιοδικό Energy Point, τεύχος 03, Αύγουστος 2008, σελ. 20.
3. Κ.Α.Π.Ε., (2006), Ενσωμάτωση Τεχνολογιών Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και Εξοικονόμηση Ενέργειας στον Οικιακό Τομέα,
4. Κ., ΑΞαρλή, (2009), Γενικές αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού, Σημειώσεις από μικρής διάρκειας σεμινάριο του ΤΕΕ/ΤΚΜ με γενικό τίτλο Ενεργειακός σχεδιασμός νέων και υφιστάμενων κτιρίων, Θεσσαλονίκη
5. Μ., Παπαδόπουλος, (1979), Θερμομόνωση κτιρίων, Τεχνικές εκδόσεις ΜΟΝΥΑΛ ΑΒΕ
6. Μ. Παπαδόπουλος, (1981), Εξωτερικές τοιχοποιίες από θερμομονωτικά τούβλα μεγάλου μεγέθους, απόσπασμα από περιοδικό Τεχνικά Χρονικά, τόμος 1, τεύχος 3, σελ. 151-176
7. Μ. Παπαδόπουλος, (1984), Θερμομόνωση των από σκυρόδεμα εξωτερικών στοιχείων του φέροντα οργανισμού στα κτίρια, απόσπασμα από περιοδικό Τεχνικά Χρονικά, τόμος 4, τεύχος 3, σελ. 215-239
8. Μ., Παπαδόπουλος, Κ., ΑΞαρλή, (1995), Ενεργειακός σχεδιασμός και παθητικά ηλιακά συστήματα κτιρίων, Εκδόσεις Κυριακίδη, Θεσσαλονίκη
9. Οδηγός θερμομόνωσης κτιρίων, (2010), 2η έκδοση, Υπηρεσία Ενέργειας, Υπουργείο Εμπορίου, Βιομηχανίας και Τουρισμού
10. Κ. Τσίππρας, (2000), Βιοκλιματικός Σχεδιασμός Κτιρίων», Εκδόσεις Psystems, Αθήνα
11. Ενέργεια 2001, Εξοικονόμηση Ενέργειας και Χρήση ΑΠΕ στον Οικιστικό Τομέα, Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων
12. Φ.Ε.Κ. Β' 407/9.4.2010, απόφαση Δ6/Β/οικ.5825, Έγκριση Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων

13. Eurima, 2008, Europe's Biggest Strategic Energy Reserve – Its Buildings
14. S. Peck, M. Kuhn, (2003), Design guidelines for green roofs, Ontario association of Architects
15. C., Oberlander, Whitelaw H., Matsuzaki, E. (2002), Introductory manual for greening roofs, Technology directorate, Public Works and Government Services, Version 1.1
16. Δ. Αραβαντινός, (2000), Η θερμομόνωση των κτιρίων και τα θερμομονωτικά υλικά, Σημειώσεις για τις απαιτήσεις του μαθήματος Οικοδομική ΙΙ, Θεσσαλονίκη
17. Δ. Αραβαντινός, (2005), Θερμομόνωση και στεγανοποίηση των κτιρίων: διάγνωση, ευαίσθητα σημεία, επιλογή λύσης, υλικά εφαρμογή, Κτίριο, Θεσσαλονίκη
18. Δ. Αραβαντινός, (2009), Ενεργειακός σχεδιασμός νέων και υφιστάμενων κτιρίων, Επίδραση των θερμογεφυρών στην ενεργειακή απόδοση των κτιρίων: Προβλήματα και τρόποι αντιμετώπισής τους, Σημειώσεις για το μικρής διάρκειας σεμινάριο του τμήματος Κεντρικής Μακεδονίας του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας, Θεσσαλονίκη
19. Χ. Αθανασόπουλος, (2003), Κατασκευή κτιρίων, σύνθεση και τεχνολογία, στ' έκδοση, Αθήνα
20. Χ. Αθανασόπουλος, (2005), Προστασία κτιρίων: θερμομόνωση, ηχομόνωση – ηχοπροστασία, γ' έκδοση, Αθήνα
21. Γ. Φούντας, (1980), Θερμομόνωση κτιρίων, Εκδόσεις Πλαίσιο, Αθήνα
22. Κ. Παπαιωάννου, (2005), Η τεχνολογία της τοιχοποιίας, Εκδόσεις University studio press, 2^η έκδοση, Θεσσαλονίκη
23. Σ. Καρέκος, (2001), Μετάδοση θερμότητας, θερμομόνωση, Τεχνικό επιμελητήριο Ελλάδας, Αθήνα
24. Ν. Πασχίδης, (2010), Αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη: Ιδιότητες – εφαρμογές
25. Δ. Μπόζης, (1995), Μετάδοση θερμότητας σε στοιχεία κελύφους κτιρίων, θερμομονωτικά υλικά και τρόποι θερμομόνωσης, κώδικες θερμομόνωσης,

- Πρόγραμμα κατάρτισης μηχανικών με τίτλο: Σύγχρονες ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις κτιρίων, ΤΕΕ
26. Π. Δρακόπουλος, (2002), Η κατασκευή, οι λεπτομέρειες και τα κρίσιμα σημεία ενός συστήματος εξωτερικής θερμομόνωσης, κύκλος διαλέξεων Παθολογία των κατασκευών, ΤΕΕ
27. Γ. Καλύβας, (1991), Ιδιότητες θερμομονωτικών υλικών, Α. Υλικά με βάση πολυστερίνη, Β. Ινώδη υλικά:υαλοβάμβακας – πετροβάμβακας, Σεμινάριο Μονώσεις: θερμομονώσεις, ηχομονώσεις, στεγανοποιήσεις, ΤΕΕ
28. Γ. Καλύβας, (1991), Θερμομονώσεις εξωτερικών τοίχων, Σεμινάριο Μονώσεις: θερμομονώσεις, ηχομονώσεις, στεγανοποιήσεις, ΤΕΕ
29. Δ. Καχραμανόγλου, (2008), Κατασκευαστικές λύσεις και εξοικονόμηση ενέργειας με συστήματα πολυουρεθάνης, Πανελλήνιο συνέδριο δομικών υλικών και στοιχείων, Αθήνα
30. Ν. Χρυσομαλλίδου, (2003), Κατασκευαστικές λεπτομέρειες εξωτερικών δομικών στοιχείων, θερμομόνωση κελύφους, σημειώσεις για τις απαιτήσεις του μαθήματος Οικοδομική ΙΙ, Θεσσαλονίκη
31. Ν. Μουσιόπουλος, (2008), Εφαρμογές επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης δομικών υλικών στο τέλος της ζωής τους, Πανελλήνιο συνέδριο δομικών υλικών και στοιχείων, ΤΕΕ

Διαδικτυακές Αναφορές

32. www.ypeka.gr
33. <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/eurostat/home>
34. www.cres.gr
35. http://www.cres.gr/energy-saving/enimerosi_thermomonomosi.htm
36. http://www.fibran.gr/sappek/docs/publications/article_2.pdf
37. <http://www.hydroponics.gr/anakiklosi/>
38. http://www.buildings.gr/greek/eksoplismos/oikologika_ilika/thermomonomosi.htm

39. http://www.ekke.gr/estia/Cooper/Synedrio_PSM/mavridoub.pdf
40. http://library.tee.gr/digital/m2045/m2045_karamanos.pdf
41. http://library.tee.gr/digital/m2316/m2316_kahramanoglou.pdf
42. http://library.tee.gr/digital/m2316/m2316_leptokaridis.pdf
43. http://library.tee.gr/digital/m2316/m2316_politopoulos.pdf