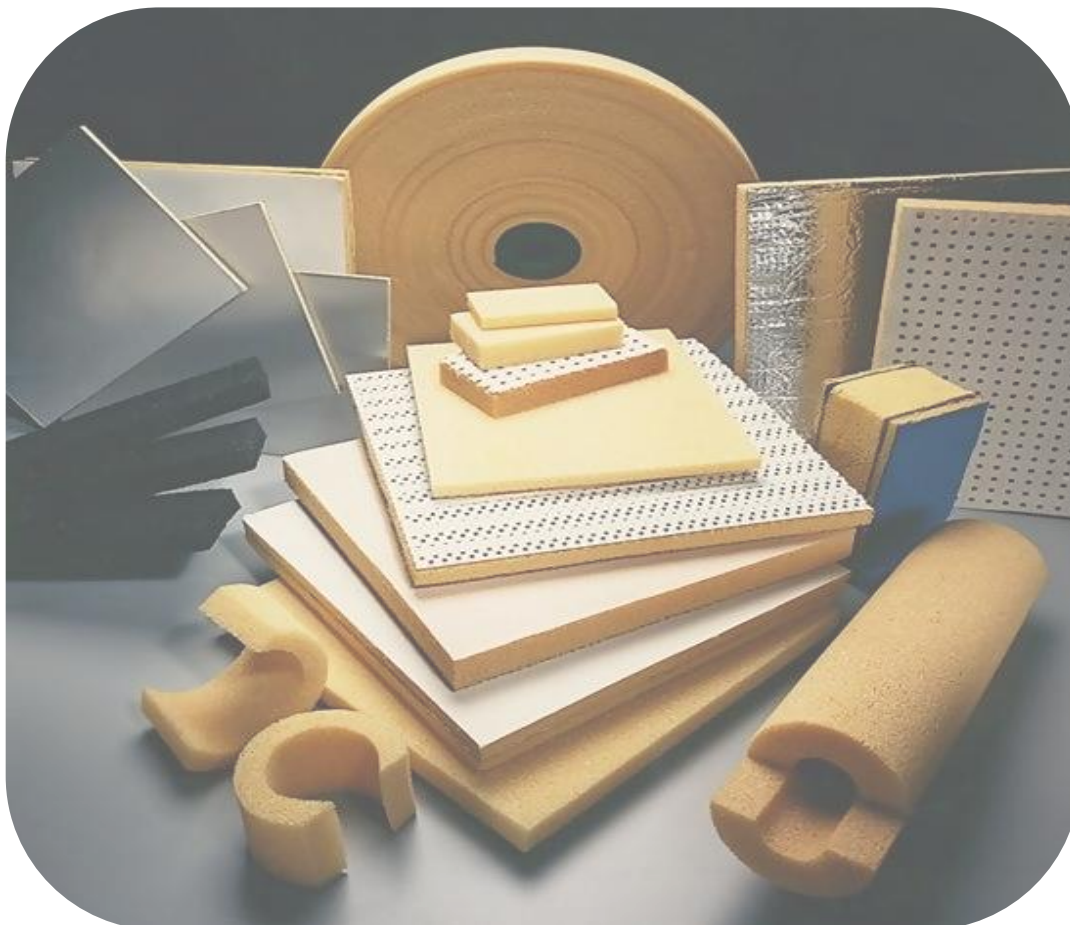




ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ.



Πτυχιακή Εργασία

ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ ΥΛΙΚΑ

Φοιτητής: **ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ ΣΤΕΝΟΣ**

Επιβλέπων Καθηγητής: Κωνσταντίνος Σαββάκης

Ηράκλειο, 2020

Ευχαριστίες

Πρώτα απ' όλα, θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας μου, Καθηγητή κ. Κώστα Σαββάκη, για την δυνατότητα που μου έδωσε να ασχοληθώ με το αντικείμενο των θερμομονωτικών υλικών, να αναζητήσω πληροφορία και να λάβω γνώση από τη διαδικασία αυτή. Επίσης, είμαι ευγνώμων στα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής της διπλωματικής εργασίας μου, για τον χρόνο που αφιέρωσαν στη διαδικασία.

Ευχαριστώ επίσης, τους καθηγητές του Τμήματος, αλλά και όλους εκείνους που με την παρουσία τους και με τη δική τους συνεισφορά, βοήθησαν, ώστε σήμερα, χρόνια μετά την εισαγωγή μου στη σχολή, να είμαι σε θέση να παρουσιάζω την Διπλωματική μου Εργασία.

Ευχαριστώ τους φίλους μου για την ηθική υποστήριξή τους και πάνω απ' όλα, τους γονείς μου για την ολόψυχη αγάπη και υποστήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια. Αφιερώνω αυτή την εργασία στην μητέρα μου και στον πατέρα μου.

Εμμανουήλ Στενός

Περίληψη

Στην εργασία αυτή γίνεται βιβλιογραφική ανασκόπηση των θερμομονωτικών πολυμερών, των φυσικών νόμων στους οποίους αυτά βασίζονται τη λειτουργία τους, ενώ καταληκτικά, δίνονται αριθμητικά παραδείγματα χρήσης τους σε πραγματικές εφαρμογές.

Ξεκινώντας με το πρώτο κεφάλαιο, στον αναγνώστη γίνεται γνωστό το ενεργειακό-οικονομικό υπόβαθρο το οποίο οδήγησε στην ανάγκη ανάπτυξης και εφαρμογής των θερμομονωτικών υλικών εν γένει. Αναγνωρίζεται λοιπόν έντονα, το κίνητρο που οδηγεί στην εξέλιξη των υλικών αυτών και στη μεταφορά τους στην παραγωγική διαδικασία και έπειτα στην εφαρμογή.

Ακολουθεί μια σύντομη, αλλά περιεκτική αναφορά στα είδη των υλικών, και κυρίως στις ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά τους, προκειμένου να τεθούν οι απαραίτητες βάσεις αξιολόγησης και σύγκρισης μεταξύ τους. Στο κεφάλαιο, αναφέρονται πέρα από τις φυσικές ιδιότητες των υλικών, οι αντίστοιχες μηχανικές αλλά και χημικές.

Στη συνέχεια της εργασίας, η προσοχή εστιάζεται στα θερμομονωτικά υλικά, τα οποία συγκεντρώνουν και το ενδιαφέρον της παρούσας. Αναφέρονται βασικές ιδιότητες τους, και περιγράφεται η περαιτέρω κατηγοριοποίησή τους. Σημειώνονται σε αυτό το σημείο, με αριθμητικά στοιχεία σύγκρισης, τα πλέον διαδεδομένα θερμομονωτικά υλικά, πολυμερή κατά πλειοψηφία, και δίδονται πληροφορίες γι' αυτά.

Με γνωστά πια τα χαρακτηριστικά και τις ιδιότητες των υλικών, παρουσιάζονται στη συνέχεια, με περιεκτικό τρόπο, οι φυσικοί νόμοι που διέπουν τη μετάδοση της θερμότητας. Τη διαδικασία όπου τα θερμομονωτικά υλικά καλούνται να επηρεάσουν προς όφελος της εκάστοτε εφαρμογής.

Έχοντας συγκεντρώσει επομένως τις απαραίτητες γνώσεις, ο αναγνώστης είναι πια σε θέση να αξιολογήσει τα παραδείγματα των εφαρμογών που περιγράφονται σε αυτό το σημείο της εργασίας, και να αντιληφθεί την ανάγκη χρήσης των θερμομονωτικών υλικών.

Η εργασία ολοκληρώνεται με μια σύνοψη, με παράθεση συμπερασμάτων που αφορούν στα πολυμερή θερμομονωτικά υλικά, και με μνεία στην επερχόμενη ανάπτυξη και εξέλιξη αυτών των θαυμαστών υλικών.

Abstract

This paper is a bibliographic review of Thermal Insulation Polymers. The laws of physics on which their operation is based are mentioned, and numerical examples of their use in real applications are given.

In the first chapter, the reader becomes aware of the energy-economic background that led to the need of developing and applying thermal insulation materials in general. The motive behind the evolution of these materials and their passage to the production and afterwards implementation, is strongly recognized.

In the following chapter, a brief but comprehensive reference to the types of materials, and especially their properties and characteristics is taking place, in order to lay the necessary bases for evaluation and comparison between them. Apart from the material's Physical properties, their Mechanical and Chemical ones are reported.

Next, attention is given specifically on Thermal Insulation Materials, which are of interest on the present work. Their basic properties are mentioned, and further categorization of them is described. At this point, the most widespread Thermal Insulation Materials, in majority Polymers, are listed, and further information on them is given.

Following material's characteristics and properties description, Heat Transfer laws are mentioned in detail. Insulating materials are called to manipulate this energy transfer, in favor of each application.

Having acquired the necessary knowledge, the reader is now able to evaluate examples of applications, described at this point on the paper, and be able to understand the need of use of Thermal Insulation Materials.

Ending the paper, the reader is given a brief summary, a conclusion on the necessity of Polymeric Insulation Materials, and a reference to the forthcoming development and evolution of these amazing materials.

Πίνακας Περιεχομένων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - Εισαγωγή	1
1.1 Γενικά εισαγωγικά στοιχεία.....	1
1.2 Οργάνωση Διπλωματικής Εργασίας.....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - Θερμικές Ιδιότητες των Υλικών	8
2.1 Διάκριση Υλικών.....	8
2.2 Ιδιότητες - Χαρακτηριστικά.....	13
2.3 Θερμικές Ιδιότητες των Υλικών.....	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3- Δομή των Πολυμερών Υλικών	28
3.1 Θερμοπλαστικά.....	29
3.2 Θερμοσκληραινόμενα.....	37
3.3 Συνθετικά υλικά πολυμερούς μήτρας.....	42
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4- Θερμομονωτικά Υλικά	44
4.1 Βασικές Ιδιότητες.....	46
4.2 Περιβαλλοντικές Ιδιότητες.....	50
4.3 Κατηγορίες Θερμομονωτικών Υλικών.....	53
4.4 Σημαντικότερα Θερμομονωτικά Υλικά.....	54
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5- Μηχανισμοί Μετάδοσης Θερμότητας	71
5.1 Θερμική Αγωγή.....	73
5.2 Θερμική Μεταβίβαση.....	77
5.3 Θερμική Ακτινοβολία.....	78
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- Εφαρμογές στις Δομικές Κατασκευές	81
6.1 Μεθοδολογία υπολογισμού θερμομόνωσης.....	81
6.2 Αριθμητικό Παράδειγμα 1: Φέρων οργανισμός απουσία μόνωσης.....	85
6.3 Αριθμητικό Παράδειγμα 2: Φέρων οργανισμός παρουσία μόνωσης.....	87

6.4	Αριθμητικό Παράδειγμα 3: Τοιχοποιία παρουσία μόνωσης.....	89
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7- Εφαρμογές στις Μηχανολογικές Κατασκευές.....		91
7.1	Μόνωση Αγωγού μεταφοράς ρευστού	91
7.2	Δοχείο αποθήκευσης ζεστού νερού (Boiler)	94
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8- Συμπεράσματα Πτυχιακής Εργασίας.....		97
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....		99

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Βασικές θερμικές ιδιότητες πλήθους υλικών.....	18
Πίνακας 2: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των θερμοπλαστικών υλικών.....	36
Πίνακας 3: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των θερμοσκληραινόμενων υλικών	41
Πίνακας 4: Βασικές φυσικές και περιβαλλοντικές ιδιότητες των κυριότερων θερμομονωτικών υλικών.....	52
Πίνακας 5: Τεχνικά χαρακτηριστικά υαλοβάμβακα [FMI F, 1994]	57
Πίνακας 6: Τεχνικά χαρακτηριστικά πετροβάμβακα [FMI F, 1994] και [Rockwool F, 1994].....	60
Πίνακας 7: Τεχνικά χαρακτηριστικά διογκωμένης πολυστερίνης.....	63
Πίνακας 8: Τεχνικά χαρακτηριστικά εξηλασμένης πολυστερίνης [Ceuterick, 1993], Heraklith F, 1994], [BASF F, 1994] και [G+H, 1994].....	66
Πίνακας 9: Τεχνικά χαρακτηριστικά αφρού πολυουρεθάνης [IVPU F, 1994].....	68
Πίνακας 11: Τυπικές χαρακτηριστικές τιμές k υλικών	76

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Κατανάλωση ενέργειας και Οικονομική ανάπτυξη.....	2
Εικόνα 2: Απώλειες Ενέργειας.....	3
Εικόνα 3: Καμπύλη κατανάλωσης ενέργειας	4
Εικόνα 4: Αποτελεσματικότητα θερμομόνωσης.....	5
Εικόνα 5: Οι βάσεις στις οποίες στηρίζεται η επίδοση των υλικών.....	8
Εικόνα 6: Ποικιλία μεταλλικών υλικών.	9
Εικόνα 7: Οι κατηγορίες των υλικών.	10
Εικόνα 8: Κεραμικά υλικά.	11
Εικόνα 9: Δομή μονομερών και πολυμερών.....	12
Εικόνα 10: Μηχανικές ιδιότητες υλικών.	15
Εικόνα 11: Σχηματική παράσταση της μεταφοράς θερμότητας	19
Εικόνα 12:Θερμική αγωγιμότητα συνήθων υλικών	20
Εικόνα 13: Σχηματική παράσταση του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας	22
Εικόνα 14: Όριο θερμοκρασίας Υαλώδους μετάβασης.....	25
Εικόνα 15: Αστοχία λόγω θερμικού σοκ.....	27
Εικόνα 16: Θερμοπλαστικά και θερμοσκληραινόμενα	29
Εικόνα 17: Γραμμικά και διακλαδωμένα θερμοπλαστικά.....	30
Εικόνα 18: Καμπύλη τάσης – παραμόρφωσης θερμοπλαστικών	31

Εικόνα 19: Συνήθη θερμοπλαστικά.....	32
Εικόνα 20: Ανακυκλώσιμα αντικείμενα.....	33
Εικόνα 21: Ο κύκλος ζωής των θερμοπλαστικών.....	35
Εικόνα 22: Συνήθη θερμοσκληραινόμενα.....	37
Εικόνα 23: Καμπύλη Τάσης – Παραμόρφωσης θερμοσκληραινόμενων.....	38
Εικόνα 24: Ανθεκτικές εφαρμογές θερμοσκληραινόμενων.....	39
Εικόνα 25: Θερμοπλαστικά VS θερμοσκληραινόμενα. Δυνατότητα ανακύκλωσης.....	41
Εικόνα 26: Συνήθη αντικείμενα συνθετικών υλικών πολυμερούς μήτρας.....	42
Εικόνα 27: Εφαρμογή ρητίνης σε καλούπι.....	43
Εικόνα 28: Τιμές συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ, για διάφορα στοιχεία.....	44
Εικόνα 29: Θυλάκια αέρα σε υλικό.....	45
Εικόνα 30: Συγκριτική αξιολόγηση ιδιοτήτων πετροβάμβακα και εξ. πολυστερίνης.....	48
Εικόνα 31: Συνοπτική αναπαράσταση κατηγοριοποίησης των θερμομονωτικών υλικών.....	54
Εικόνα 32: Εμπορικές μορφές υαλοβάμβακα.....	55
Εικόνα 33: Εμπορικές μορφές πετροβάμβακα.....	58
Εικόνα 34: Εμπορικές μορφές διογκωμένης πολυστερίνης.....	61
Εικόνα 35: Εμπορικές μορφές εξηλασμένης πολυστερίνης.....	64
Εικόνα 36: Εφαρμογή μόνωσης σε πρόσοψη κτηρίου.....	65
Εικόνα 37: Μετάδοση θερμότητας.....	71

Εικόνα 38: Μέθοδοι μετάδοσης θερμότητας	72
Εικόνα 39: Μετάδοση θερμότητας σε αγωγούς και μονωτές	74
Εικόνα 40: Ροή θερμότητας σε τοίχωμα.....	75
Εικόνα 41: Χαρακτηριστικό παράδειγμα συναγωγής	77
Εικόνα 42: Μετάδοση θερμότητας μέσω ακτινοβολίας	79
Εικόνα 43: Ακτινοβολία Μέλανος Σώματος	80

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

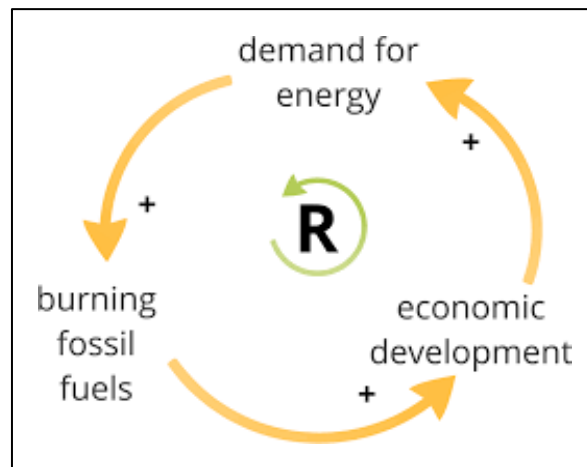
Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο, παρουσιάζονται πληροφορίες εισαγωγικού χαρακτήρα που δίνουν το κίνητρο και το υπόβαθρο αυτής της πτυχιακής εργασίας, και περιγράφονται συνοπτικά τις βασικές ενότητες αυτής.

1.1 Γενικά εισαγωγικά στοιχεία

Ο σύγχρονος τρόπος ζωής που έχει υιοθετηθεί τα τελευταία χρόνια, σε συνδυασμό με την υπερβολική αύξηση του πληθυσμού οδήγησε στην ταχεία αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης. Η παραγωγή πετρελαίου έχει πολλαπλασιαστεί την τελευταία δεκαετία, ενώ η ζήτηση σε ηλεκτρική ενέργεια δεκαπλασιάζεται ανά δέκα χρόνια. Η παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση προβλέπεται να αυξηθεί κατά 53% κατά την επόμενη δεκαετία μετά από την πρόβλεψη της Διεθνούς Υπηρεσίας Ενέργειας (IEA), αποτέλεσμα της σημαντικής αύξησης των βιομηχανικών και αστικών δραστηριοτήτων λόγω της εντατικής ανάπτυξης των χωρών και της δραματικής αύξησης του πληθυσμού στην πάροδο των τελευταίων χρόνων . Η αυξανόμενη ενεργειακή ζήτηση αναμένεται να είναι πιο σοβαρή, ιδίως στις αναπτυσσόμενες χώρες, λόγω της ταχείας ανοικοδόμησης νέων κτιρίων, ενώ η χρήση τεχνολογιών υψηλής ενεργειακής απόδοσης συχνά δεν ευδοκιμεί .Οι συνέπειες, όπως είναι αναμενόμενο, είναι επιβαρυντικές, τόσο για τον άνθρωπο, όσο και για τον πλανήτη. Ως συνέπεια της συνεχούς αυξανόμενης ενεργειακής ζήτησης, τα περιβαλλοντικά ζητήματα τα οποία προκύπτουν είναι πολύ σημαντικά.

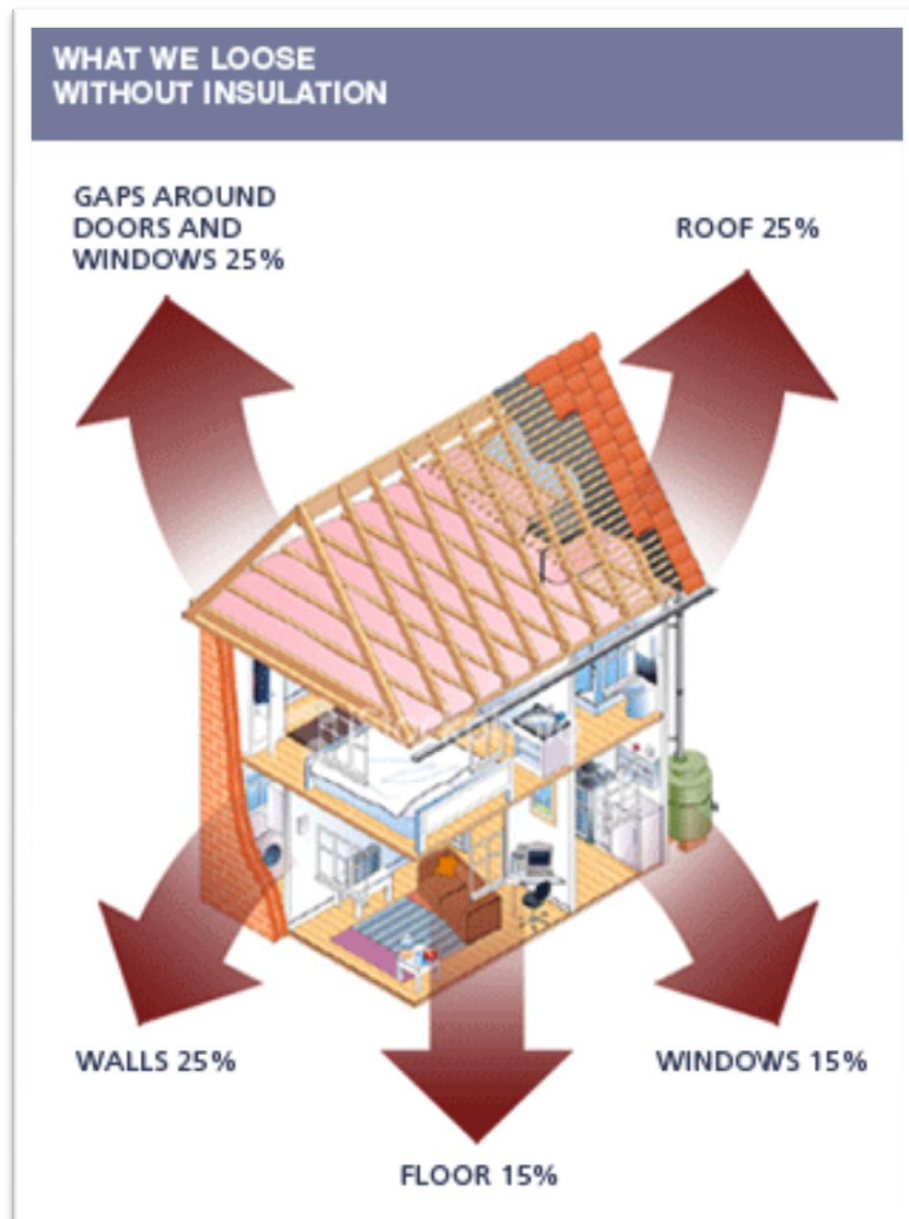
Η συνεχώς αυξανόμενη ενεργειακή κατανάλωση, η οποία σε πολλές περιπτώσεις μπορεί να χαρακτηριστεί και αλόγιστη, απαιτεί προφανώς την ανάλογη παραγωγή ενέργειας. Η παραγωγή ενέργειας αποτελεί ένα από τους κύριους παράγοντες εμφάνισης αέριων εκπομπών στην ατμόσφαιρα. Οι αέριες εκπομπές προκαλούν ποικίλες επιβλαβείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις, με σημαντικότερες το φαινόμενο του θερμοκηπίου, την όξινη βροχή και τον ευτροφισμό. Το διοξείδιο του άνθρακα παίζει πολύ μεγάλη ρόλο στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Εάν δεν ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα για τη μείωση των εκπομπών CO₂ και των άλλων αερίων θερμοκηπίου, η μέση θερμοκρασία επιφάνειας της Γης αναμένεται να αυξηθεί περίπου στους 1,1-6,4 ° C μέχρι τα τέλη του 2100. Μια αύξηση της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας κατά 2 ° C θα προκαλέσει μη αναστρέψιμες επιπτώσεις στο περιβάλλον, σοβαρό ζήτημα για την ανθρώπινη υγεία, τεράστια ζημιά στα φυσικά οικοσυστήματα, καθώς και στη βιωσιμότητα της παγκόσμιας γεωργίας.



Εικόνα 1: Κατανάλωση ενέργειας και Οικονομική ανάπτυξη

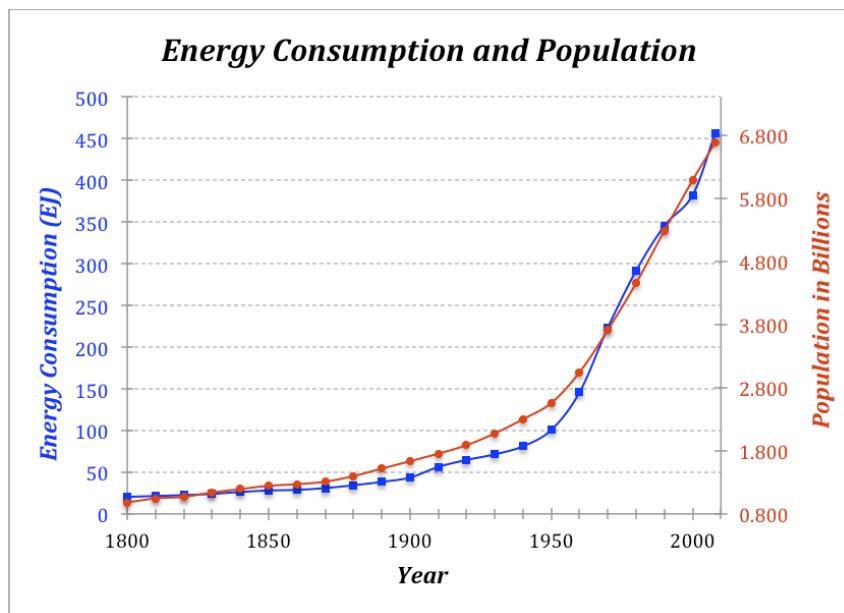
Δεδομένου ότι ένας τομέας ο οποίος καταναλώνει τεράστια ποσότητα ενέργειας είναι ο κατασκευαστικός (οικιστικά, βιομηχανικά και εμπορικά κτίρια), θα μπορούσε με κατάλληλο σχεδιασμό, μελέτη και κατασκευή να συμβάλει στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης

μέσω κατάλληλων και αποτελεσματικών στρατηγικών θερμομόνωσης. Μία κατάλληλα μελετημένη και κατασκευασμένη μόνιμη θερμομόνωση εξοικονομεί ενέργεια και επομένως απαιτεί λιγότερη ενέργεια για την ψύξη του χώρου το καλοκαίρι και λιγότερη θερμότητα για να κρατήσει το σπίτι ζεστό το χειμώνα .



Εικόνα 2: Απώλειες Ενέργειας

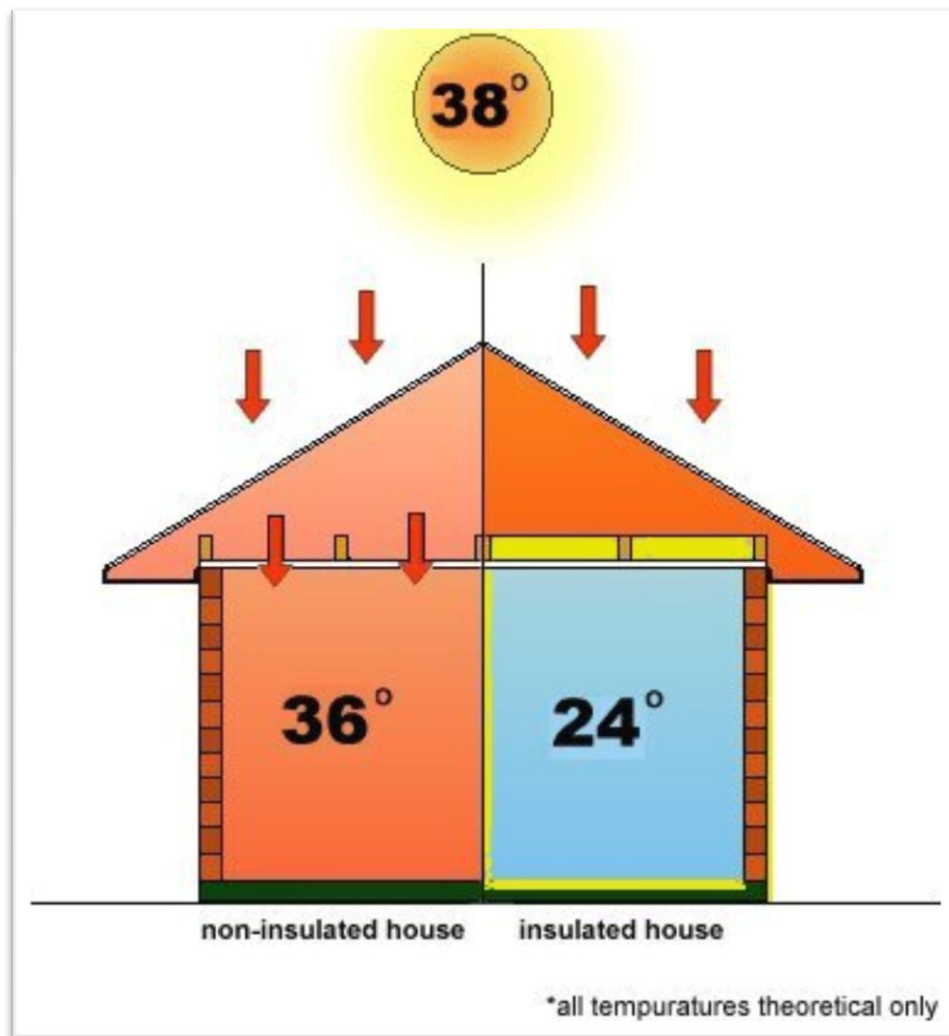
Πολλές τεχνικές και πολλά σύγχρονα υλικά μπορεί να χρησιμοποιηθούν προκειμένου να μειωθεί αυτή η κατανάλωση ενέργειας, με κυριότερη τη θερμομόνωση. Η εφαρμογή θερμομόνωσης συμβάλλει στη μείωση των απωλειών ενέργειας, με αποτέλεσμα την μικρότερη κατανάλωση και παράλληλα την εξασφάλιση συνθηκών θερμικής άνεσης στους χώρους διαβίωσης και εργασίας.



Εικόνα 3: Καμπύλη κατανάλωσης ενέργειας

Η σημαντική μείωση στην κατανάλωση ενέργειας οφείλεται στην εξέλιξη του ενεργειακού σχεδιασμού, και στην παράλληλη εξέλιξη υλικών και δομικών στοιχείων που επιτρέπουν στο σημερινό μελετητή να πετύχει τους στόχους του αρχικού σχεδιασμού. Τα θερμομονωτικά, όπως ονομάζονται, υλικά αποτελούν απαραίτητο τμήμα των κτιριακών εφαρμογών, γεγονός που επιβάλλεται και από τη νομοθεσία θερμομόνωσης. Επιπλέον, η γενικότερη ανάγκη για εξοικονόμηση ενέργειας και ο περιορισμός της εξάρτησης από το πετρέλαιο έχει οδηγήσει στη χρήση θερμομονωτικών υλικών και σε βιομηχανικές εφαρμογές αλλά και σε εφαρμογές με ιδιαίτερες απαιτήσεις.

Επι του παρόντος, ο μηχανικός έχει διαθέσιμο μεγάλο εύρος υλικών γεγονός που του δίνει τη δυνατότητα να επιλέξει το καταλληλότερο λαμβάνοντας υπ' όψη μια σειρά παραμέτρων όπως: θερμομονωτικές απαιτήσεις, θερμοκρασίες λειτουργίας, επίπεδα υγρασίας, κόστος και αισθητική. Για να χαρακτηριστεί επομένως κάποιο υλικό κρίνεται απαραίτητη η πολύπλευρη εξέταση του και όχι η επικέντρωση του ενδιαφέροντος σε ένα μόνο χαρακτηριστικό του. Η αντίληψη, πως ένα θερμομονωτικό υλικό είναι «καλό» επειδή μόνο και μόνο επειδή έχει χαμηλό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, είναι λανθασμένη.



Εικόνα 4: Αποτελεσματικότητα θερμομόνωσης

Στα πρώτα χρόνια εφαρμογής της θερμομόνωσης, δινόταν βάση στις φυσικές ιδιότητες καθώς και στις δυνατότητες εγκατάστασης του υλικού. Στη συνέχεια προστέθηκε μία νέα ομάδα χαρακτηριστικών, που σχετίζονται με την ασφάλεια και την υγεία των εργαζομένων και των χρηστών της, καθώς και με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του υλικού. Ενδεικτικό παράδειγμα αποτελεί ο αμιάντος. Είχε άριστες θερμομονωτικές ιδιότητες και μεγάλο εύρος εφαρμογών, απαγορεύτηκε όμως όταν αποδείχτηκε πως η χρήση του σχετίζεται με καρκινογένεση.

Όσον αφορά στις περιβαλλοντικές ιδιότητες το ενδιαφέρον αρχικά εστιαζόταν στη διαχείριση του υλικού κατόπιν της εφαρμογής του, και “οικολογικό” χαρακτηριζόταν το αυτοδιασπόμενο ή το ανακυκλώσιμο.

Η έρευνα για την ανάπτυξη των θερμομονωτικών υλικών, ήρθε ως αποτέλεσμα της αύξησης της τιμής του πετρελαίου και της προσπάθειας για μειωμένη κατανάλωση αυτού. Κατά την έρευνα, δεν λαμβάνεται μονάχα υπ’ όψη η ενέργεια που εξοικονομείται με τη χρήση, αλλά και εκείνη που απαιτείται για την παραγωγή, τη μεταφορά και την εφαρμογή του στο χώρο, γνωστή και ως περιεχόμενη ενέργεια. Σε περιπτώσεις μάλιστα, όπου η διάρκεια ζωής του υλικού είναι περιορισμένη, συνεκτιμάται και η απαιτούμενη ενέργεια για τη διαχείριση του ως απόβλητο.



Στην παρούσα εργασία γίνεται μια σύντομη περιγραφή των ιδιοτήτων των υλικών εν γένει, και έπειτα, περαιτέρω εστίαση στα θερμομονωτικά υλικά με αναφορά στις κατηγορίες και

τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους. Ακόμη, στο πλαίσιο της κάλυψης του φαινομένου της μετάδοσης θερμότητας, περιγράφονται συνοπτικά οι τρεις κύριοι μηχανισμοί, και η μαθηματική τους διατύπωση. Τέλος, παρουσιάζονται πρακτικές εφαρμογές των πολυμερών θερμομονωτικών υλικών.

1.2 Οργάνωση Διπλωματικής Εργασίας

Το υπόλοιπο αυτής της διπλωματικής εργασίας χωρίζεται σε επτά ενότητες που καταλαμβάνουν τα Κεφάλαια 2 - 8, αντίστοιχα. Συγκεκριμένα:

Στα Κεφάλαια 2 και 3, γίνεται μια γενικού περιεχομένου αναφορά στα είδη των υλικών, θερμομονωτικά και μη, και επιγραμματική αλλά πολύπλευρη ανάπτυξη των φυσικών, χημικών, μηχανικών και θερμικών ιδιοτήτων, αλλά και της δομής αυτών.

Λόγω της σημαντικότητας των θερμομονωτικών υλικών στην ανάπτυξη της εργασίας, στο Κεφάλαιο 4 δίνεται έμφαση σε αυτά. Αναφέρονται οι ιδιαιτερότητες που τα ξεχωρίζουν από τα υπόλοιπα υλικά, και οι κύριες κατηγορίες, βάσει δομής, στις οποίες διαχωρίζονται.

Στο Κεφάλαιο 5 γίνεται μια ανασκόπηση στους μηχανισμούς μεταφοράς θερμότητας, στους οποίους εμπλέκονται κατά την εφαρμογή τα θερμομονωτικά υλικά.

Στο Κεφάλαιο 6 παρουσιάζουμε αριθμητικά αποτελέσματα πραγματικών εφαρμογών, θερμομονωτικών υλικών σε δομικές κατασκευές, ενώ αντίστοιχα στο Κεφάλαιο 7 εφαρμογές μηχανολογικών κατασκευών.

Τα τελικά συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας και κατευθύνσεις για περαιτέρω έρευνα παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 8.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Θερμικές Ιδιότητες των Υλικών

2.1 Διάκριση Υλικών

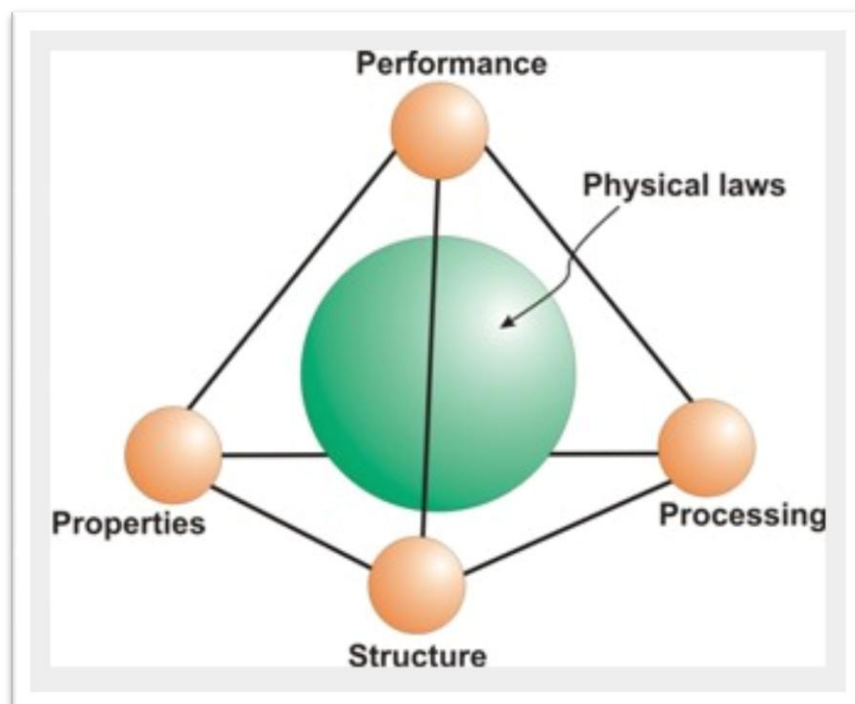
Τα υλικά ανάλογα με τη μικροσκοπική δομή τους διακρίνονται σε :

(α) Μεταλλικά υλικά (Metallic materials)

(β) Κεραμικά υλικά (Ceramic materials)

(γ) Πολυμερή υλικά (Polymeric materials)

(δ) Σύνθετα υλικά (Composites materials)



Εικόνα 5: Οι βάσεις στις οποίες στηρίζεται η επίδοση των υλικών

Η μικροσκοπική δομή των υλικών οι δεσμοί μεταξύ των δομικών τους μονάδων , η χημική τους σύσταση και η κατεργασία παραγωγής και μορφοποίησης τους καθορίζουν τις ιδιότητες τους και τις εφαρμογές τους.

- **Μεταλλικά υλικά**

Τα μεταλλικά υλικά τα οποία συνήθως είναι αλλά και χρησιμοποιούνται υπό μορφή κραμάτων έχουν δομή πολυκρυσταλλική και έχουν δεσμούς μεταλλικούς ή/και μεταλλικούς - ομοιοπολικούς. Λόγω των μεταλλικών δεσμών έχουν δημιουργείται νέφος ελευθέρων ηλεκτρονίων τα οποία κινούνται εντός του κρυσταλλικού πλέγματος .Λόγω του ηλεκτρονικού αυτού νέφους είναι καλοί αγωγοί της θερμότητας και του ηλεκτρισμού. Στο κεφάλαιο 5 παρουσιάζεται ο μηχανισμός θερμικής αγωγιμότητας των μεταλλικών υλικών.



Εικόνα 6: Ποικιλία μεταλλικών υλικών.



Εικόνα 7: Οι κατηγορίες των υλικών.

- **Κεραμικά**

Τα παραδοσιακά κεραμικά (τούβλα, πορσελάνες, τσιμέντο, κλπ τα οποία έχουν δομή ετερογενή δηλαδή κρυσταλλική συγκρατούμενη σε άμορφη μάζα και έχουν δεσμούς ομοιοπολικούς και ιοντικούς.

Στα νεότερα βιομηχανικά κεραμικά (advance ceramics) τα οποία οξείδια, καρβίδια και νιτρίδια των μετάλλων. Διακρίνονται ανάλογα με τη χρήση τους σε μηχανολογικά κεραμικά (engineering materials) σε ηλεκτρονικά κεραμικά (electronics materials) βιοκεραμικά (bioceramics). Έχουν δομή κρυσταλλική-πολυκρυσταλλική όπως τα μέταλλα και δεσμούς ιοντικούς και ομοιοπολικούς.

Τα κεραμικά λόγω των δεσμών που έχουν στη δομή τους δεν έχουν ελεύθερα ηλεκτρόνια (ηλεκτρονικό νέφος) και δεν είναι καλοί αγωγοί της θερμότητας και του ηλεκτρισμού.



Εικόνα 8: Κεραμικά υλικά.

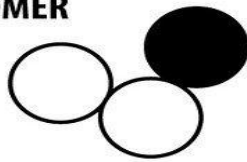
- **Πολυμερή**

Τα πολυμερή έχουν δομή η οποία αποτελείται από μακρομόρια τα οποία συγκρατούνται μεταξύ τους στη δομή με δευτερεύοντες δεσμούς vanderwaals ή υδρογόνου. Στα μακρομόρια έχουμε δεσμούς ομοιοπολικού μεταξύ των ατόμων άνθρακα και των άλλων ομάδων και ατόμων που συνδέονται με τον άνθρακα.

Στο Κεφάλαιο 3 γίνεται αναλυτική παρουσίαση της δομής των πολυμερών. Τα πολυμερή δεν είναι καλοί αγωγοί της θερμότητας και του ηλεκτρισμού. Υπάρχει όμως μια ειδική κατηγορία πολυμερών τα οποία λόγω της ειδικής δομής που έχουν εμφανίζουν αγώγιμη συμπεριφορά (Conductive polymers) τα οποία έχουν ειδικές και εξειδικευμένες εφαρμογές.

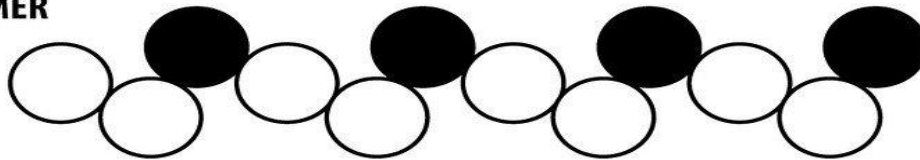
Structure of Monomers and Polymers

MONOMER



A monomer is a small molecule.

POLYMER

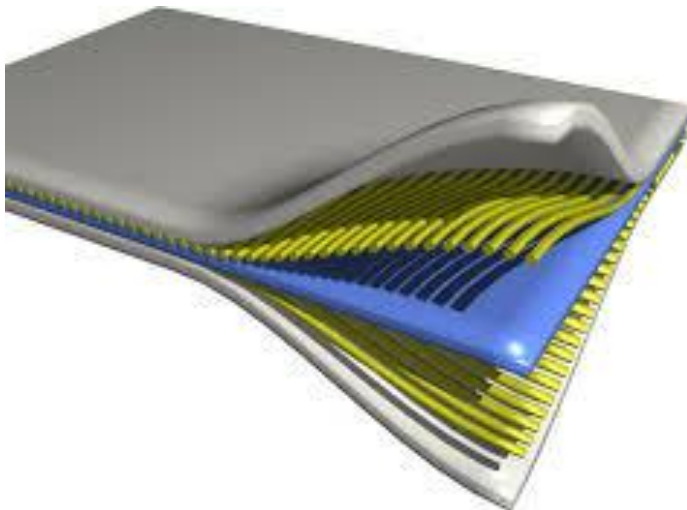


A polymer is a long-chain molecule made up of a repeated pattern of monomers.

Εικόνα 9: Δομή μονομερών και πολυμερών.

- **Σύνθετα υλικά**

Τα σύνθετα υλικά αποτελούν μίγμα δύο ή περισσότερων υλικών των κατηγοριών που προαναφέρθηκαν. Τα σύνθετα υλικά αποτελούνται συνήθως από τη “μήτρα” όπως ονομάζεται,



ως επι των πλείστον ένα πολυμερές υλικό, μέσα στην οποία προστίθεται ένα πληρωτικό, ενισχυτικό υλικό, που επιλέγεται κατάλληλα ανα εφαρμογή, ώστε να επιτυγχάνονται τα επιθυμητά χαρακτηριστικά και οι ιδιότητες. Συνήθως τα ανωτέρω

υλικά είναι μη αναμίξιμα και συναντώνται σε διαφορετική φάση. Τα σύνθετα υλικά είναι διάφορων τύπων αναλόγως τη φάση της μήτρας και του πληρωτικού υλικού. Οι επικρατέστεροι

τύποι είναι εκείνοι στους οποίους το πληρωτικό υλικό απαρτίζεται από ίνες και εκείνοι στους οποίους απαρτίζεται από σωματίδια (εγκλείσματα). Ενδεικτικά παραδείγματα σύνθετων υλικών, που συναντώνται σε πολλές εφαρμογές, είναι τα πολυμερικά υλικά (όπως πολυεστέρας ή εποξειδικές ρητίνες) που ενισχύονται με ίνες γυαλιού και ίνες άνθρακα. Τα σύνθετα υλικά έχουν το σημαντικό πλεονέκτημα πως συνδυάζουν τις ιδιότητες των υλικών από τα οποία συντίθενται. Τα σύνθετα υλικά με ίνες γυαλιού για παράδειγμα, συνδυάζουν την αντοχή του γυαλιού και την ελαστικότητα του πολυμερούς. Στις μέρες μας τα σύνθετα υλικά χρησιμοποιούνται σε μεγάλη έκταση σε εφαρμογές.

2.2 Ιδιότητες - Χαρακτηριστικά

Τα υλικά, για να ξεχωρίζουν το ένα από το άλλο έχουν κάποιες ιδιότητες, που καθορίζονται από το πως αντιδρά το κάθε υλικού σε μία δοκιμασία . Από τις ιδιότητες του κάθε υλικού εξαρτάται η χρησιμότητα του υλικού άλλα και το που αυτό μπορεί να εφαρμοστεί. Το πως ορίζονται οι ιδιότητες των υλικών είναι εντελώς ανεξάρτητο από το σχήμα και το μέγεθος τους.

Οι σημαντικές ιδιότητες των υλικών μπορούν να ομαδοποιηθούν, δυστυχώς όμως βάσει της βιβλιογραφίας, όχι ρητά, στις εξής κατηγορίες:

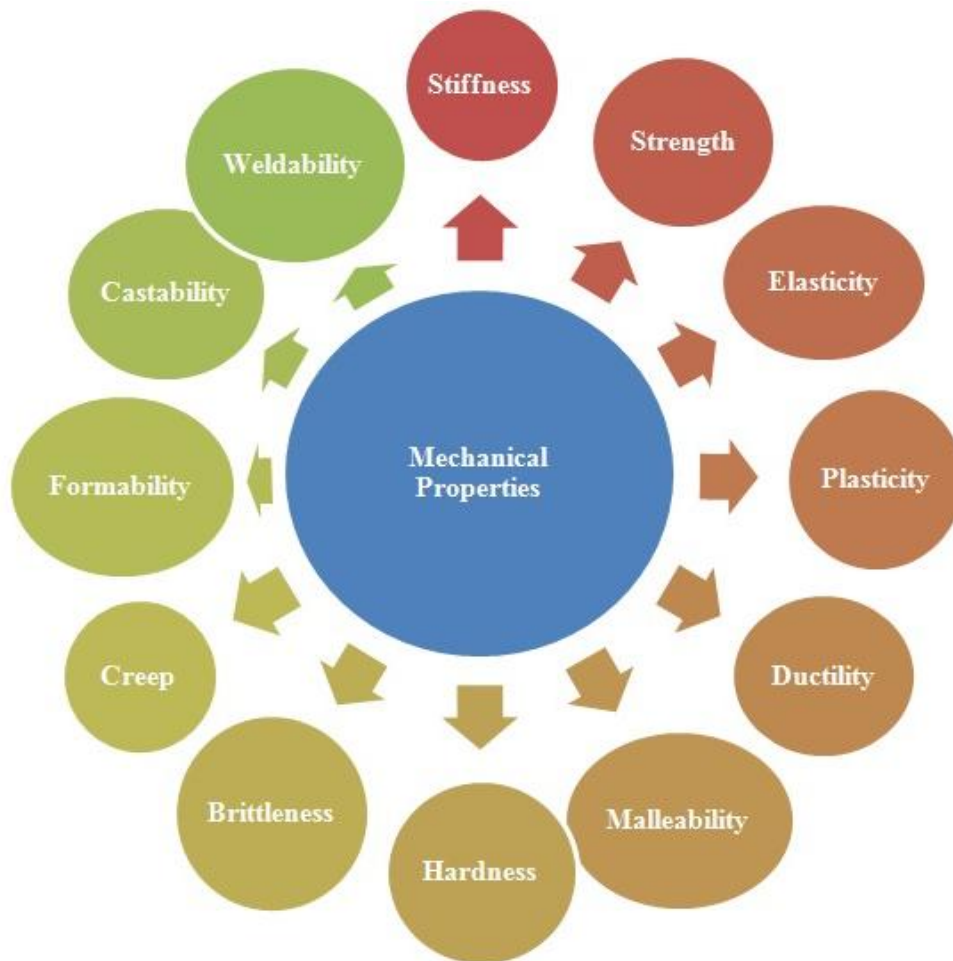
i. Φυσικές Ιδιότητες

Περιλαμβάνουν τα φυσικά χαρακτηριστικά των υλικών, που περιγράφουν τη συμπεριφορά τους στις εξωτερικές επιδράσεις, και που κατά κανόνα δεν μεταβάλλουν τη χημική τους σύσταση. Σε αυτές, επιγραμματικά, ανήκουν:

- Πυκνότητα (ο λόγος της μάζας ενός υλικού προς τον φαινόμενο όγκο V που καταλαμβάνει – σε Kg/m^3)
- Πορώδες (ο λόγος του όγκου των κενών V_k προς τον συνολικό όγκο του σώματος V – αδιάστατο)
- Απορροφητικότητα (η ιδιότητα των δομικών υλικών να απορροφούν κάποιο ρευστό χωρίς εξωτερική πίεση – αδιάστατο)
- Διαπερατότητα (η αντίσταση που προβάλλει ένα υλικό στη διόδo ενός ρευστού από τη μάζα του υπό ορισμένη πίεση)
- Υγροσκοπικότητα (η ιδιότητα των δομικών υλικών να απορροφούν υγρασία από την ατμόσφαιρα, όταν η σχετική υγρασία της είναι δεδομένη)
- Θερμική διαστολή και συστολή (η μεταβολή των διαστάσεων ως αποτέλεσμα της διαφοροποίησης της θερμοκρασίας – μονάδα μήκους)
- Θερμική αγωγιμότητα (Είναι η ιδιότητα των υλικών να επιτρέπουν τη διέλευση θερμότητας μέσω της μάζας τους και περιγράφεται από το συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ (W/mK ή kcal/mhoC). Ο συντελεστής λ εκφράζει το ποσό της θερμότητας Q που διαφεύγει στη μονάδα του χρόνου μέσω επιφάνειας 1m^2 υλικού πάχους 1m , όταν η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των δύο επιφανειών του εν λόγω υλικού είναι 1°C .) Λόγο της σπουδαιότητας της ιδιότητας αυτής στην παρούσα εργασία, αφιερώνεται ξεχωριστή παράγραφος στη συνέχεια του κεφαλαίου.
- Αντοχή στη γήρανση (Η ικανότητα των υλικών να αντιστέκονται στην αλλοίωση των χαρακτηριστικών τους υπό την επίδραση κλιματικών συνθηκών και περιβαλλοντικών επιδράσεων).

ii. Μηχανικές ιδιότητες

Μηχανικές ιδιότητες είναι εκείνες που με ποσοτικό τρόπο αποτυπώνουν την συμπεριφορά, την αντίδραση, αντίσταση του υλικού, σε εφαρμογή ενός φορτίου ή πίεσης που τείνει να το παραμορφώσει. Με λίγα λόγια να αλλάξουν το αρχικό σχήμα και τις διαστάσεις τους.



Εικόνα 10: Μηχανικές ιδιότητες υλικών.

Σε αυτές ανήκουν:

- Αντοχή σε Εφελκυσμό/Θλίψη/Διάτμηση/Κάμψη/Στρέψη (Αντοχή ενός υλικού είναι η ικανότητά του να αντέχει σε φορτία, δυνάμεις που δέχεται. Το υλικό αστοχεί, όταν οι δυνάμεις που του ασκούνται ξεπεράσουν μια κρίσιμη τιμή, χαρακτηριστική για κάθε είδος φόρτισης.)
- Ερπυσμός (Η ιδιότητα των υλικών να εμφανίζουν παραμορφώσεις με τον χρόνο, για σταθερή όμως εφαρμογή τάσης. Το φαινόμενο παρατηρείται σε κατασκευές που καταπονούνται με σταθερό φορτίο, αλλά μακροχρόνια)
- Χαλάρωση (Η αντίθετη ιδιότητα του ερπυσμού. Εδώ τα υλικά εμφανίζουν με τον χρόνο μείωση των τάσεων, ενώ οι αντίστοιχες παραμορφώσεις παραμένουν σταθερές)
- Κόπωση(αφορά την επαναλαμβανόμενη δυναμική φόρτιση, που δεν ξεπερνά όμως τα κρίσιμα όρια αστοχίας)
- Δυσθραυστότητα(η ικανότητα ενός υλικού να απορροφά ενέργεια κατά την παραμόρφωσή του μέχρι τη θραύση)

iii. Χημικές ιδιότητες

Οι χημικές ιδιότητες μας δείχνουν τη συμπεριφορά του υλικού σε συνθήκες οι οποίες αλλοιώνουν τη χημική σύσταση και δομή του υλικού και αλλάζουν τα φυσικά του χαρακτηριστικά. Σε αυτές ανήκουν:



- Χημική αντοχή (η ιδιότητα των υλικών να αντέχουν όταν έρχονται σε επαφή με καταστροφικούς χημικούς παράγοντες) όπως π.χ. οξέων, αλκαλίων, διαβρωτικών αλάτων και αερίων κλπ.)

- Χημική διάβρωση (Αυτή υπολογίζεται βάσει της ελάττωσης του βάρους και του πάχους του υλικού σε δεδομένο χρόνο)

iv. Τεχνικές ή τεχνολογικές ιδιότητες

Οι Τεχνικές ή τεχνολογικές είναι οι ιδιότητες που μελετούν κατά πόσο ένα υλικό δέχεται μηχανικές καταπονήσεις και κατεργασίες, χωρίς όμως αυτό να παρουσιάζει αλλαγή στις αρχικές του ιδιότητες. Έχουν επίσης σημαντικό ρόλο στην κατανόηση της συμπεριφοράς του υλικού στην εκάστοτε κατεργασία. Οι σπουδαιότερες τεχνολογικές ιδιότητες είναι:

- η κεταργασιμότητα
- η ολκιμότητα
- η ελατότητα
- η δυνατότητα χύτευσης
- η δυνατότητα συγκόλλησης

2.3 Θερμικές Ιδιότητες των Υλικών

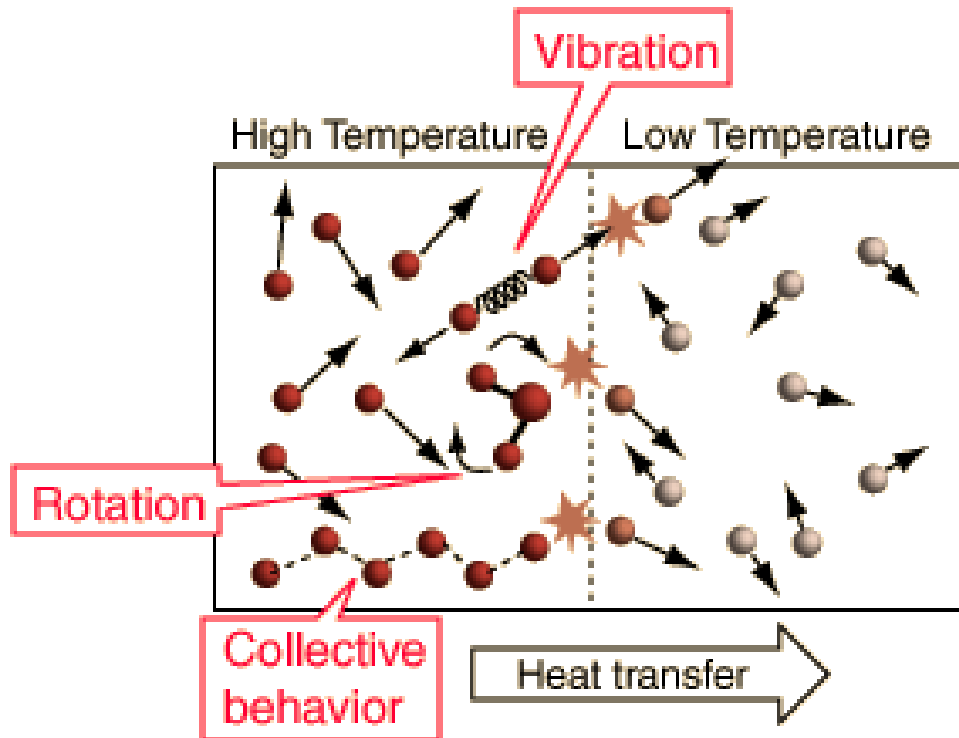
Συντελεστής Θερμικής Αγωγιμότητας (λ)

Είναι η ποσότητα θερμότητας ανα sec που περνά μέσα από παράλληλες επιφάνειες ομοιογενούς υλικού πάχους 1m, όταν η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ αυτών των επιφανειών είναι ίση με 1 $^{\circ}\text{K}$. (W/mK). Η κατανόηση του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας έχει ιδιαίτερη σημασία στην παρούσα εργασία.

Πίνακας 1: Βασικές θερμικές ιδιότητες πλήθους υλικών

<i>Material</i>	c_p (J/kg-K) ^a	α_l [(°C) ⁻¹ × 10 ⁻⁶] ^b	k (W/m-K) ^c	L [Ω-W/(K) ² × 10 ⁻⁸]
<i>Metals</i>				
Aluminum	900	23.6	247	2.20
Copper	386	17.0	398	2.25
Gold	128	14.2	315	2.50
Iron	448	11.8	80	2.71
Nickel	443	13.3	90	2.08
Silver	235	19.7	428	2.13
Tungsten	138	4.5	178	3.20
1025 Steel	486	12.0	51.9	—
316 Stainless steel	502	16.0	15.9	—
Brass (70Cu-30Zn)	375	20.0	120	—
Kovar (54Fe-29Ni-17Co)	460	5.1	17	2.80
Invar (64Fe-36Ni)	500	1.6	10	2.75
Super Invar (63Fe-32Ni-5Co)	500	0.72	10	2.68
<i>Ceramics</i>				
Alumina (Al ₂ O ₃)	775	7.6	39	—
Magnesia (MgO)	940	13.5 ^d	37.7	—
Spinel (MgAl ₂ O ₄)	790	7.6 ^d	15.0 ^e	—
Fused silica (SiO ₂)	740	0.4	1.4	—
Soda-lime glass	840	9.0	1.7	—
Borosilicate (Pyrex) glass	850	3.3	1.4	—
<i>Polymers</i>				
Polyethylene (high density)	1850	106–198	0.46–0.50	—
Polypropylene	1925	145–180	0.12	—
Polystyrene	1170	90–150	0.13	—
Polytetrafluoroethylene (Teflon)	1050	126–216	0.25	—
Phenol-formaldehyde, phenolic (Bakelite)	1590–1760	122	0.15	—
Nylon 6,6	1670	144	0.24	—
Polyisoprene	—	220	0.14	—

Η θερμότητα μεταφέρεται στα στερεά, τόσο μέσω των δονήσεων του πλέγματος του στερεού (φωνόνια), όσο και με τη μεταφορά των ελεύθερων ηλεκτρονίων. Η αγωγιμότητα του υλικού προκύπτει από τον συνδυασμό των παραπάνω.



Εικόνα 11: Σχηματική παράσταση της μεταφοράς θερμότητας

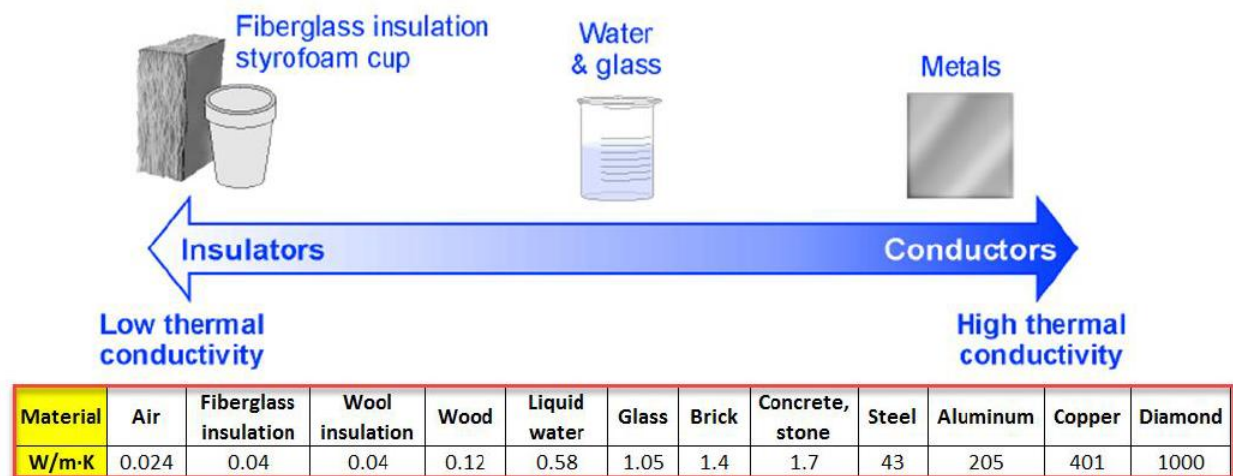
Στα μέταλλα υψηλής καθαρότητας, ο μηχανισμός της μεταφοράς θερμότητας μέσω ελεύθερων ηλεκτρονίων είναι πολύ πιο κυρίαρχος από τον αντίστοιχο των φωνονίων, λόγω του ότι υπάρχουν πολλά ελεύθερα ηλεκτρόνια στον όγκο τους. Οι θερμικές αγωγιμότητες αρκετών κοινών μετάλλων δίδονται στον Πίνακα 1. Οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 20 και 400 W / m-K.

Στα μεταλλικά κράματα, παρατηρείται μείωση της θερμικής αγωγιμότητας για τον ίδιο λόγο που παρατηρείται και μείωση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Οι προσμείξεις, λειτουργούν ως κέντρα σκέδασης, μειώνοντας την αποτελεσματικότητα της κίνησης των ηλεκτρονίων.

Τα μη μεταλλικά υλικά είναι θερμοκοιμονωτές, καθώς δεν διαθέτουν μεγάλο πλήθος ελεύθερων ηλεκτρονίων. Έτσι τα φωνόνια είναι αυτά που ευθύνονται κυρίως για τη θερμική αγωγιμότητα αυτών των υλικών. Το γυαλί, όπως και άλλα άμορφα κεραμικά έχουν χαμηλότερες

αγωγιμότητες από τα κρυσταλλικά κεραμικά, καθώς η κίνηση των φωνονίων είναι πολύ πιο αποτελεσματική όταν η ατομική δομή είναι ακανόνιστη.

Το πορώδες στα κεραμικά υλικά μπορεί να έχει δραματική επίδραση στη θερμική αγωγιμότητα. Η αύξηση του όγκου των πόρων θα οδηγήσει, στις περισσότερες περιπτώσεις, σε μείωση της θερμικής αγωγιμότητας. Στην πραγματικότητα, πολλά κεραμικά που χρησιμοποιούνται για θερμική μόνωση είναι πορώδη. Η μεταφορά θερμότητας ανάμεσα στους πόρους είναι συνήθως αργή και αναποτελεσματική. Ο λόγος είναι πως οι εσωτερικοί πόροι, ή εγκλείσματα, συνήθως περιέχουν αέρα, ο οποίος έχει χαμηλό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, περίπου στα $0,02 \text{ W / m-K}$.



Εικόνα 12:Θερμική αγωγιμότητα συνήθων υλικών

Όπως σημειώνεται στον Πίνακα 1, οι θερμικές αγωγιμότητες για τα περισσότερα πολυμερή είναι της τάξης των $0,3 \text{ W / m-K}$. Για αυτά τα υλικά, η μεταφορά ενέργειας επιτυγχάνεται μέσω ατομικών δονήσεων και περιστροφών των μορίων αλυσίδας. Τα πολυμερή χρησιμοποιούνται συχνά ως θερμικοί μονωτές, γι' αυτό ακριβώς τον λόγο. Όπως συμβαίνει και

με τα κεραμικά, οι μονωτικές τους ιδιότητες ενισχύονται περαιτέρω με την εισαγωγή μικρών πόρων στον όγκο τους, οι οποίοι συνήθως εισάγονται κατά τη διαδικασία του πολυμερισμού τους.

Συντελεστής Θερμοπερατότητας (U-Value)

Είναι η ποσότητα θερμότητας ανα sec που περνά μέσα από 1m^2 στοιχείου κατασκευής με πάχος d (m) όταν η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των επιφανειών αυτών είναι ίση με $1\text{ }^\circ\text{K}$. ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$) . Μετρά δηλαδή με πόση ευκολία διαπερνά η θερμότητα ένα υλικό ή σύστημα μέσα στα πλαίσια που αναφέρθηκαν. Όσο μικρότερος είναι ο συγκεκριμένος συντελεστής ενός δομικού στοιχείου, υλικού ή στρώσεων υλικών, τόσο καλύτερη θερμομόνωση έχουμε.

Ο συγκεκριμένος θερμοπερατότητας(U-Value) επηρεάζεται από το πάχος σε συνδυασμό με το συντελεστή (λ) των υλικών ενός συστήματος.

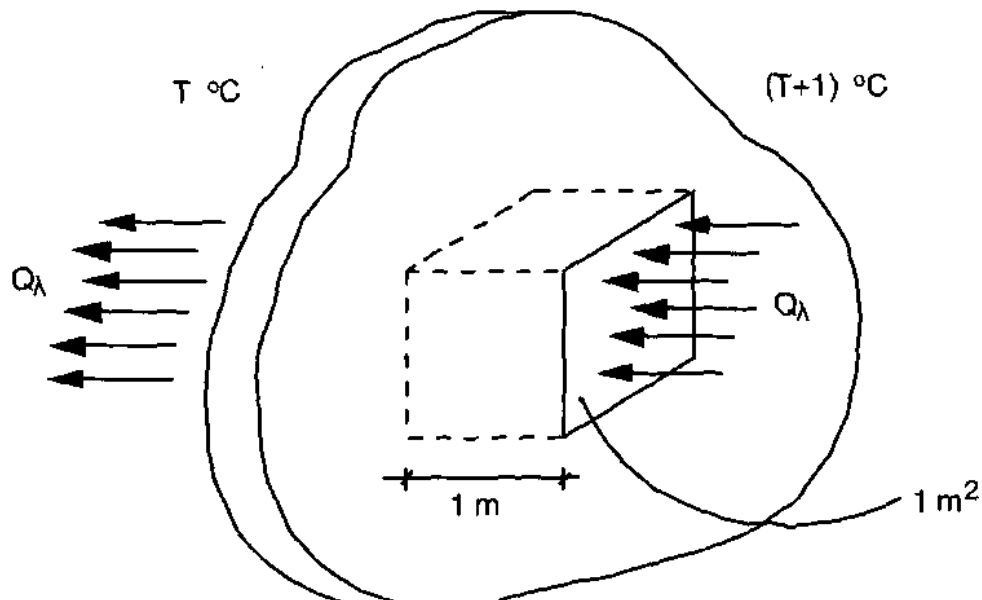
Θερμική αντίσταση

Η θερμική αντίσταση, που αναφέρεται ως τιμή «R» ενός υλικού, είναι το αντίστροφο του συντελεστή Θερμοπερατότητας Μετρά δηλαδή με πόση δυσκολία περνά η θερμότητα, διαμέσου ενός υλικού ή στρώσεων υλικών με διαφορά θερμοκρασίας στις δύο πλευρές του ίση με 1K . εξαρτάται από τη θερμική αγωγιμότητα (λ) και το πάχος του(d). Υπολογίζεται από το το λόγο του πάχους προς τη θερμική του αγωγιμότητα, και εκφράζεται σε μονάδες $\text{m}^2\text{K} / \text{W}$. Όσο μεγαλύτερο το πάχος του υλικού, τόσο μεγαλύτερη και η θερμική του αντίσταση.

Θερμική Αγωγιμότητα

Είναι η ιδιότητα που περιγράφει την ευκολία μεταφοράς της ενέργειας, υπο μορφή θερμότητας, διαμέσου της μάζας του υλικού. Ποσοτικοποιείται μαθηματικά μέσω του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας (λ) (μονάδες: W/mK στο σύστημα S.I.). Ο συντελεστής,

όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, εκφράζει το ποσό θερμότητας Q_λ που διαρρέει μέσω επιφάνειας 1 m^2 υλικού πάχους 1 m , στη μονάδα του χρόνου, όταν η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των δύο παράλληλων επιφανειών είναι 1°C .



Εικόνα 13: Σχηματική παράσταση του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας

Η συνολική θερμότητα Q που διέρχεται μέσω σώματος επιφάνειας A και πάχους d σε χρόνο t , όταν η θερμοκρασιακή διαφορά των δύο παράλληλων επιφανειών του είναι ΔT , προκύπτει από την γενική εξίσωση Fourier για την μεταφορά θερμότητας με αγωγή

$$q'' = -\lambda \nabla T \Leftrightarrow q'' = -\lambda \left(\frac{\partial T}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial T}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial T}{\partial z} \vec{k} \right)$$

η οποία για μονοδιάστατη αγωγή θερμότητας καταλήγει στην

$$Q = \lambda \frac{\Delta T}{d} A t$$

Ο συντελεστής (λ) εξαρτάται από το πορώδες του υλικού, άλλα και από τα επίπεδα υγρασίας του. Μειώνεται κατά την αύξηση του πορώδους, ενώ αυξάνεται με το ποσοστό υγρασίας. Ο συντελεστής (λ) επίσης αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας (λόγω διαστολής των πόρων) και συνήθως με την αύξηση των διαστάσεων του υλικού. Επίσης παρατηρείται πως υλικά με κλειστούς και μικρούς πόρους εμφανίζουν μικρότερο (λ) από αντίστοιχα με ανοικτούς και μεγάλους πόρους.

Το αντίστροφο του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, που συχνά περιγράφεται ως συντελεστής k ,

$$k = \frac{1}{\lambda}$$

ονομάζεται συντελεστής θερμικής αντίστασης. Η θερμική αντίσταση (ή διαφορετικά αντίσταση θερμοδιαφυγής) υλικού πάχους d είναι ίση με

$$R = kd = \frac{d}{\lambda}$$

Αντοπρος μελέτη στοιχείο αποτελείται από n διαδοχικές επιφάνειες υλικών (π.χ. τοιχοποιίες με θερμομόνωση, όπως θα παρουσιαστούν σε επόμενο κεφάλαιο) με συντελεστές λ_i ($i=1, 2, \dots, n$) και πάχη d_i , αντίστοιχα, η θερμική αντίσταση θα είναι

$$R = \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\lambda_i}$$

Στην αντίσταση αυτή θα πρέπει να προστεθούν οι αντιστάσεις εισόδου, $1/a_1$, και εξόδου, $1/a_2$, δηλαδή οι αντιστάσεις των στρωμάτων αέρα στις δύο εξωτερικές επιφάνειες του σώματος με το οποίο είναι σε επαφή. Έτσι, η συνολική θερμική αντίσταση δίνεται από τη σχέση

$$R = \frac{1}{a_1} + \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\lambda_i} + \frac{1}{a_2}$$

Θερμική διάχυση

Η θερμική διάχυση είναι μέγεθος ποσοτικοποίησης της ροής θερμότητας μέσω ενός υλικού.

Θερμοχωρητικότητα C

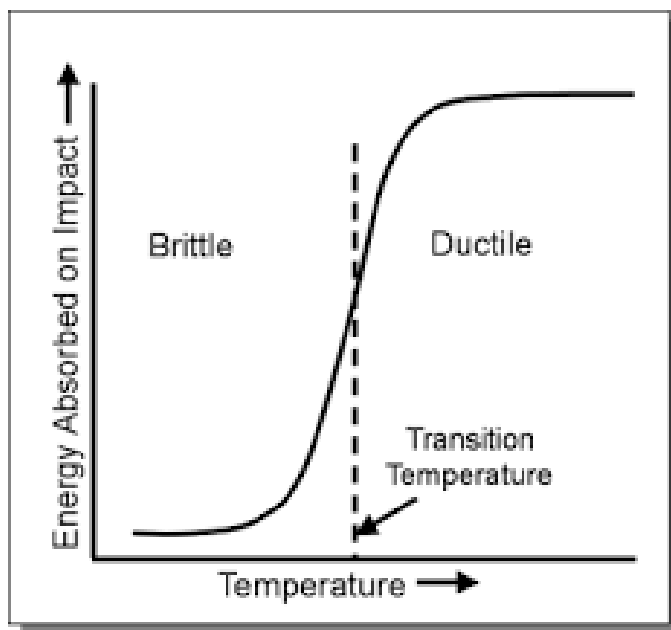
Είναι η ποσότητα ενέργειας (θερμότητας) που πρέπει να δοθεί για να αυξηθεί η θερμοκρασία ενός σώματος κατά ένα θερμοκρασιακό βαθμό. Μετράται σε μονάδες ενέργειας ανά βαθμό Kelvin (J/K). Επομένως, η θερμοχωρητικότητα είναι ένα μέγεθος το οποίο, εξαρτάται από τη μάζα του συστήματος. Μια ακόμα χρήσιμη ποσότητα για συγκρίσεις μεταξύ υλικών, είναι η ειδική θερμότητα (διαφορετικά, ειδική θερμική ισχύς ή ειδική θερμοχωρητικότητα).

Ειδική θερμότητα

Είναι η ποσότητα ενέργειας (θερμότητας) που χρειάζεται για να αλλάξει η θερμοκρασία μίας δεδομένης μάζας υλικού κατά ένα θερμοκρασιακό βαθμό. Η ειδική θερμότητα μετράται με τεχνικές θερμιδομετρίας και αναφέρεται συνήθως ως C_V , όταν μετράται υπο σταθερό όγκο ή C_P , όταν μετράται υπό σταθερή πίεση. Πρόκειται επομένως για εντατικό μέγεθος.

Θερμοκρασία υαλώδους μετάβασης

Η θερμοκρασία υαλώδους μετάβασης ή η T_g , περιγράφεται, και είναι ιδιαίτερα σημαντική στα πολυμερή, καθώς μας δίδει την αλλαγή στη δομή και τις μηχανικές ιδιότητες του υλικού. Σε θερμοκρασίες υψηλότερες της T_g , ένα πολυμερές έχει συμπεριφορά όλκιμου στερεού ή ως υγρού μεγάλου ιξώδους. Αντιθέτως, σε θερμοκρασίες χαμηλότερες της T_g , το υλικό θα συμπεριφέρεται ως στερεό, με ψαθυρή συμπεριφορά. Τα υλικά, ανάλογα με την εφαρμογή, μπορεί να χρησιμοποιηθούν σε θερμοκρασίες είτε υψηλότερες είτε χαμηλότερες της θερμοκρασίας υαλώδους μετάβασης.



Εικόνα 14: Όριο θερμοκρασίας Υαλώδους μετάβασης

Σημείο τήξης

Είναι η θερμοκρασία στην οποία ένα υλικό περνάει από τη στερεά στην υγρή φάση υπο πίεση μίας ατμόσφαιρας. Ουσιαστικά μιλάμε για τη θερμοκρασία εκείνη στην οποία βρίσκονται σε ισορροπία τόσο η στερεά όσο και η υγρή μορφή ενός υλικού.

Θερμική Διαστολή και Συστολή

Θερμική διαστολή παρουσιάζεται σε ένα υλικό όταν αυξάνεται η θερμοκρασία του, έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των διαστάσεων του. Θερμική συστολή παρουσιάζεται όταν στο υλικό μειωθεί η θερμοκρασία του με αποτέλεσμα την μείωση των διαστάσεων του.

Με βάση το νόμο της γραμμικής θερμικής διαστολής

$$\Delta \ell = \alpha \cdot \ell_0 \cdot \Delta T$$



όπου $\Delta \ell$ η μεταβολή της κύριας διάστασης, ℓ_0 η αρχική διάσταση του στοιχείου και α ο συντελεστής γραμμικής θερμικής διαστολής. Ο συντελεστής α είναι χαρακτηριστικός του στοιχείου, και της αρχικής του θερμοκρασίας. Σε πολλές όμως περιπτώσεις θεωρείται σταθερός.

Συντελεστής θερμικής διαστολής

Ο συντελεστής θερμικής διαστολής (α), καθορίζει το πόσο εύκολα η δύσκολα αλλάζουν οι διαστάσεις ενός υλικού με την αλλαγή θερμοκρασίας. Δείχνει την παραμόρφωση λόγω θερμικής διαστολής ανά βαθμό Kelvin, εκφρασμένη σε μονάδες K^{-1} . Για ισότροπα υλικά είναι κοινός προς όλες τις κατευθύνσεις.

Αντοχή σε θερμικό σοκ

Η αντοχή σε θερμικό σοκ μετράει κατά πόσο ένα υλικό μπορεί να αντέξει έντονη θερμοκρασιακή μεταβολή χωρίς αυτό να υποστεί καταστροφική αστοχία. Η αντοχή σε θερμικό σοκ είναι πολύ σημαντική ιδιότητα, ιδιαίτερα σε εφαρμογές που απαιτούν μεγάλες θερμοκρασιακές διαφορές σε μικρή χρονική διάρκεια.



Εικόνα 15: Αστοχία λόγω θερμικού σοκ

Οι μετρήσεις της είναι υποκειμενικές, διότι εξαρτώνται έντονα από τη μετρητική διαδικασία, τη γεωμετρία και το είδος του υλικού. Οι δοκιμές συνεπώς πρέπει να σχεδιάζονται προσεκτικά ώστε να μιμούνται τις αναμενόμενες συνθήκες λειτουργίας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Δομή των Πολυμερών Υλικών

Υπάρχουν πολλά διαφορετικά είδη πολυμερών που τα συναντάμε καθημερινά τα οποία εφαρμόζονται σε μεγάλο εύρος . Ορισμένα από αυτά είναι τα πλαστικά, τα ελαστομερή , οι ίνες, τα επιχρίσματα, τα συγκολλητικά, τα αφρώδη υλικά , και τα φιλμ. Ανάλογα με τις ιδιότητές του , ένα συγκεκριμένο πολυμερές μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε δύο ή και περισσότερες κατηγορίες εφαρμογών . Για παράδειγμα, ένα πλαστικό, εάν χρησιμοποιείται επάνω απο την θερμοκρασία υαλώδους μετάβασής του, μπορεί να αποτελεί ένα ικανοποιητικό ελαστομερές. Η ένα ινώδες υλικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν πλαστικό όταν δεν ελκυστεί σε νήματα.

Τα θερμοπλαστικά και θερμοσκληραινόμενα πλαστικά είναι δύο ξεχωριστές κατηγορίες πολυμερών, τα οποία διαφοροποιούνται ανάλογα με τη συμπεριφορά τους παρουσία θερμότητας. Τα θερμοπλαστικά μπορούν με την θέρμανση τους να αλλάζουν μορφή και χωρίς θέρμανση να στερεοποιηθούν, ενώ τα θερμοσκληραινόμενα πλαστικά παίρνουν την τελική τους μορφή στην πρώτη έκθεση σε θερμότητα, και παραμένουν στην ίδια στερεή κατάσταση από εκεί και έπειτα. Ως αποτέλεσμα αυτών των φυσικών ιδιοτήτων, τα θερμοπλαστικά υλικά έχουν χαμηλά σημεία τήξης, ενώ τα θερμοσκληραινόμενα πλαστικά μπορούν να αντέξουν σε υψηλές θερμοκρασίες.

THERMOPLASTICS



(Can be melted repeatedly)

THERMOSETS



(Once shaped, cannot be melted)

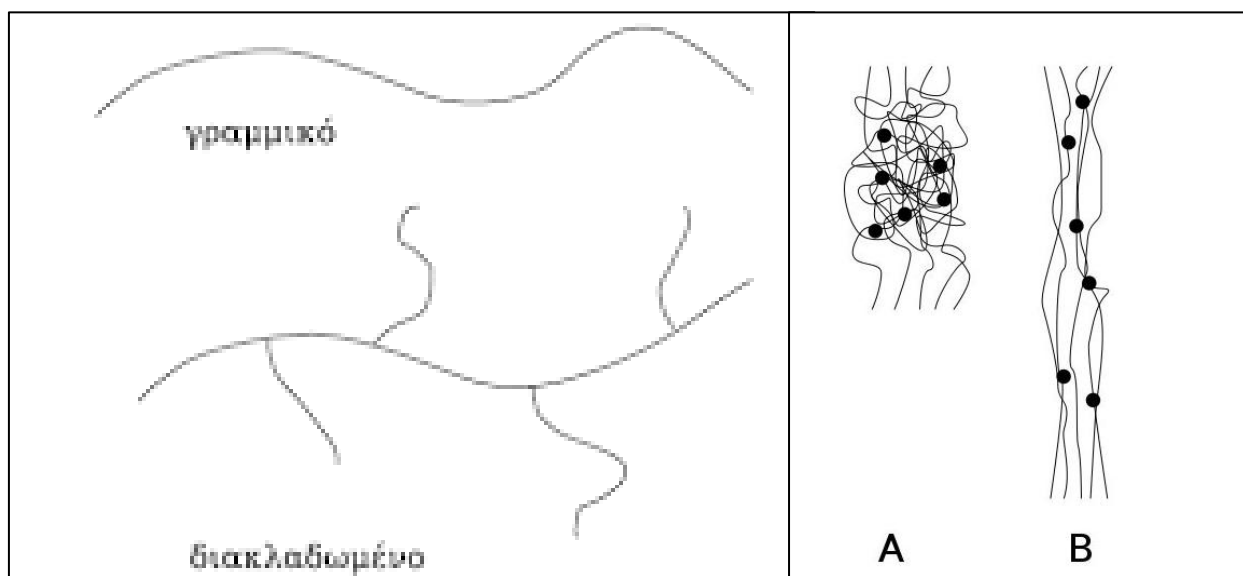
Εικόνα 16: Θερμοπλαστικά και θερμοσκληραινόμενα

3.1 Θερμοπλαστικά

Από τα πλαστικά δοχεία, τα μπουκάλια και τα ιατροτεχνολογικά βοηθήματα, στα αεροδιαστημικά εξαρτήματα, τα πλαστικά είναι ένα υλικό που χρησιμοποιείται σε εφαρμογές γύρω μας. Τα θερμοπλαστικά πολυμερή είναι ένας τέτοιος τύπος πλαστικού ο οποίος είναι γνωστός για την ευελιξία και την ανακυκλωσιμότητά του. Τα θερμοπλαστικά πολυμερή σχηματίζονται όταν επαναλαμβανόμενες μονάδες, που ονομάζονται όπως είπαμε μονομερή, συνδέονται σε αλυσίδες ή κλάδους.

Τα θερμοπλαστικά, διαχωρίζονται σε Γραμμικά, Διακλαδωμένα και Ελαστομερή. Στα γραμμικά πολυμερή, τα μακρομόρια απαρτίζονται από πολλαπλές μονομερείς μονάδες

διατεταγμένες ή μια μετά την άλλη. Αντίθετα, στα διακλαδωμένα ένα μακρομόριο παράγεται από τον πολυμερισμό μονομερών με διακλαδισμένη δομή, αντικαθιστώντας μερικά άτομα από την αλυσίδα του πολυμερούς με υποκατάστατες.



Εικόνα 17: Γραμμικά και διακλαδωμένα θερμοπλαστικά

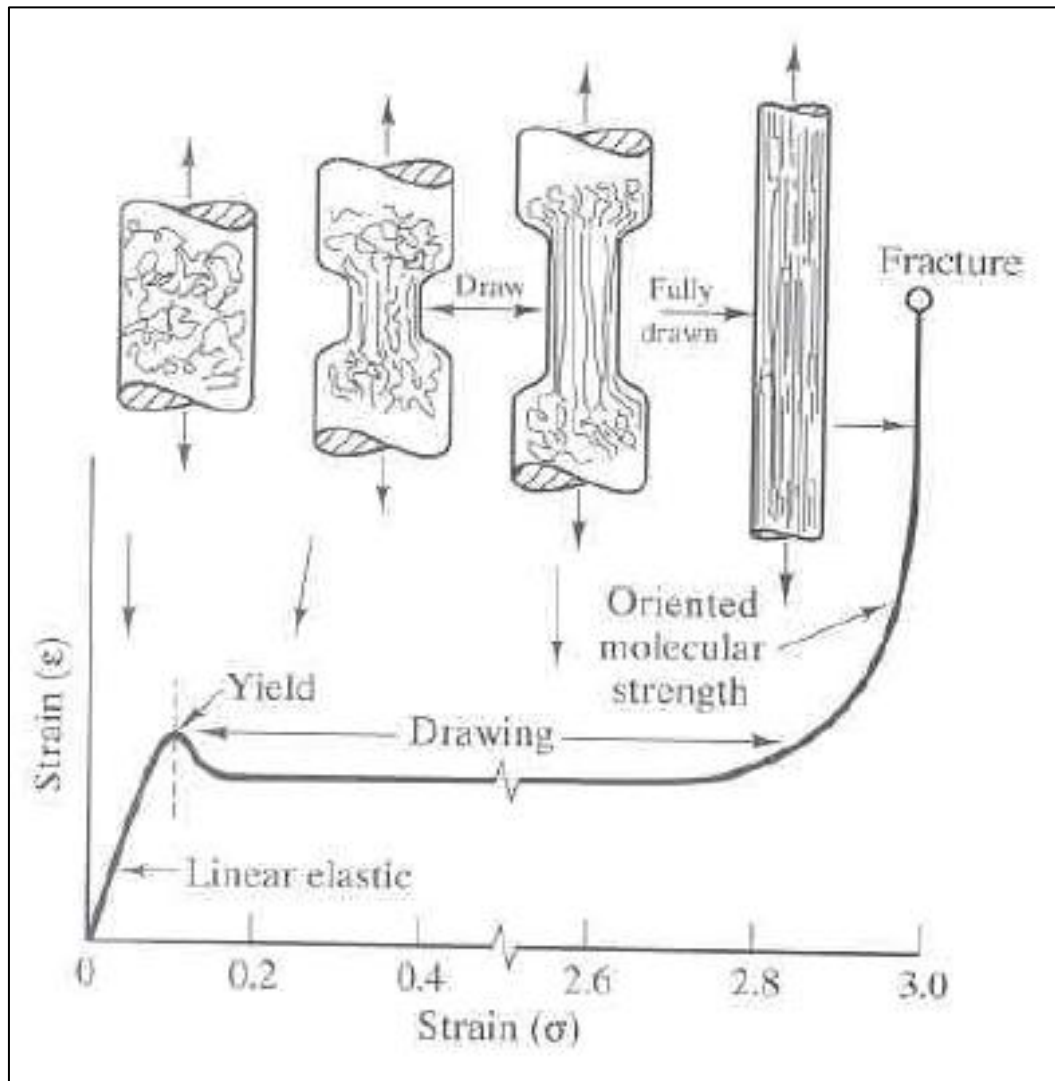
Τα ελαστομερή, ελαφρά διακλαδωμένα πολυμερή, έχουν την ικανότητα να υφίστανται μεγάλες παραμορφώσεις (B) και κατόπιν να επιστρέφουν ελαστικά στην αρχικής τους μορφή (A).

Τα θερμοπλαστικά επιπλέον χαρακτηρίζονται από τη θερμοκρασία υάλου (T_g), τη θερμοκρασία μετάπτωσης από την ελαστική και πλαστική περιοχή στην υαλώδη κατάσταση.

Εάν η θερμοκρασία T μεγαλύτερη από την T_g , βρισκόμαστε στην ελαστική/πλαστική περιοχή όπου συντελείται ελεύθερη δόνηση και περιστροφή των μακρομορίων.

Εάν η θερμοκρασία T μικρότερη από την T_g , τότε η δόνηση και η περιστροφή των μακρομορίων είναι ενεργειακά απαγορευμένη και βρισκόμαστε στην υαλώδη κατάσταση.

Όσο αφορά την αντοχή των θερμοπλαστικών σε τάση, η εικόνα της καμπύλης Τάση – Παραμόρφωση διαφέρει αισθητά στα υψηλά φορτία συγκριτικά με τη γνώριμη των μεταλλικών υλικών. Χαρακτηριστική καμπύλη Τάσης-Παραμόρφωσης παρουσιάζεται παρακάτω.



Εικόνα 18: Καμπύλη τάσης – παραμόρφωσης θερμοπλαστικών

Όπως παρατηρείται, μετά από το ‘πλατό’ που παρουσιάζεται σε αυξανόμενες τάσεις, και εκεί που τα μεταλλικά υλικά αστοχούν ακαριαία, τα θερμοπλαστικά εμφανίζουν μια ραγδαία παραμόρφωση, κάνοντας ‘λαιμό’, προτού τελικά αστοχήσουν.

Τα θερμοπλαστικά μαλακώνουν όταν θερμαίνονται και σκληραίνουν όταν ψύχονται, κατά περιπτώσεις γίνονται ακόμα ρευστά καθώς τους χορηγείται περισσότερη θερμότητα. Αυτές οι διαδικασίες είναι εντελώς αντιστρεπτές και μπορούν να επαναληφθούν. Αυτά τα υλικά πολλές φορές μπορούν να κατεργάζονται σε ταυτόχρονη εφαρμογή θερμότητας και πίεσης. Σε μοριακό επίπεδο, καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία, οι δευτερογενείς διαμοριακές δυνάμεις μειώνονται (λόγο αυξημένης διαμοριακής κίνησης) έτσι ώστε η σχετική κίνηση μεταξύ γειτονικών αλυσίδων να μειώνεται όταν εφαρμόζεται μια τάση. Μη αντιστρεπτή υποβάθμιση συμβαίνει όταν η θερμοκρασία ενός τμήματος αυξηθεί σε τέτοιο βαθμό ώστε οι μοριακές κινήσεις να είναι αρκετά βίαιες και να σπάσουν οι πρωτεύοντες ομοιοπολικοί δεσμοί.



Εικόνα 19: Συνήθη θερμοπλαστικά

Τα θερμοπλαστικά είναι σχετικώς μαλακά και όλκιμα. Αυτά τα χαρακτηριστικά επιτρέπουν στα θερμοπλαστικά να αναδιαμορφώνονται και να ανακυκλώνονται χωρίς να επηρεάζουν αρνητικά τις φυσικές ιδιότητες του υλικού. Υπάρχει μια ποικιλία από θερμοπλαστικά με διάφορες ιδιότητες, η πλειοψηφία όμως των υλικών προσφέρει συνήθως υψηλή αντοχή, αντοχή στη συρρίκνωση και εύκολη επεξεργασία. Ανάλογα με το υλικό, τα θερμοπλαστικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές χαμηλής τάσης, όπως πλαστικές σακούλες, ή σε μηχανικές εφαρμογές υψηλής πίεσης. Παραδείγματα θερμοπλαστικών πολυμερών περιλαμβάνουν πολυαιθυλένιο, PVC και νάilon.

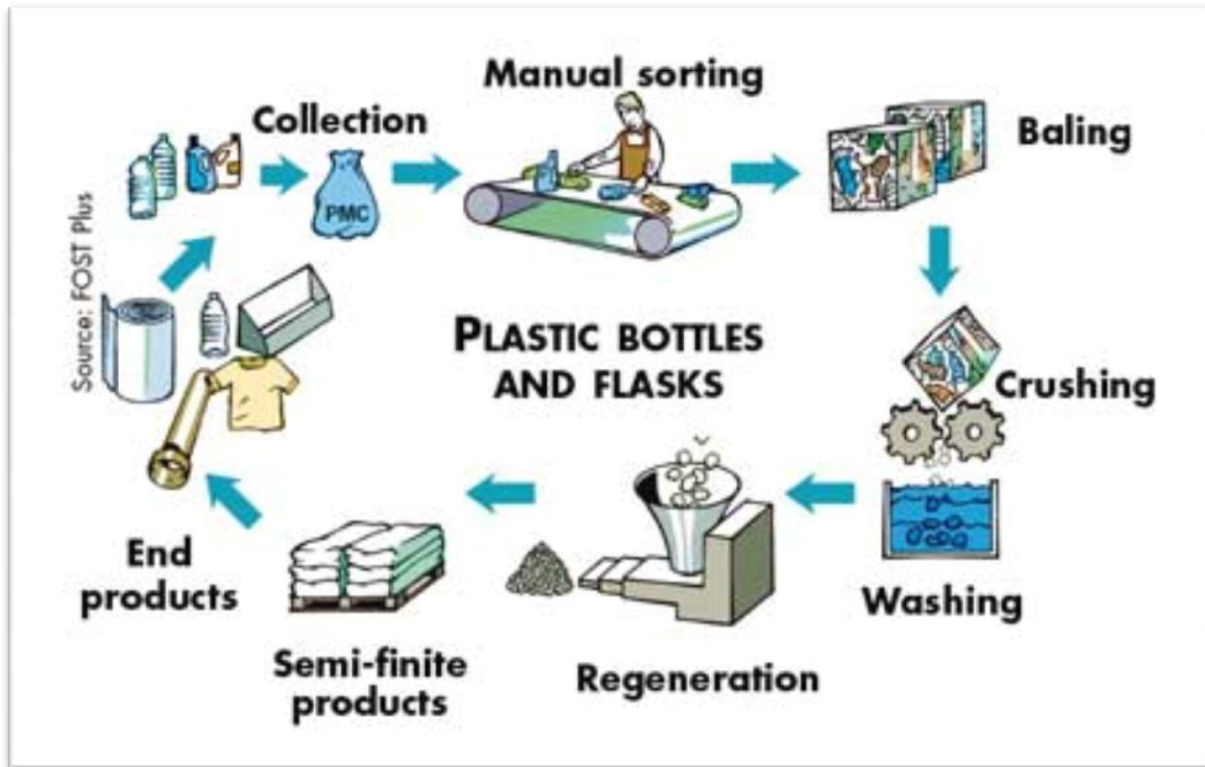


Εικόνα 20: Ανακυκλώσιμα αντικείμενα

Οι τύποι θερμοπλαστικών που χρησιμοποιούνται συνήθως στις κατασκευές περιλαμβάνουν πολυαιθυλένιο (PE), πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC) και πολυστυρένιο (PS), το οποίο χρησιμοποιείται συχνά για συσκευασία. Άλλες ομάδες θερμοπλαστικών είναι ακρυλικά, φθοροπολυμερή, πολυεστέρες, πολυϊμίδια και νάυλον. Όλοι αυτοί οι τύποι μπορούν να λειώσουν επανειλημμένα και να επαναδιαμορφωθούν σε διάφορες μορφές.

Μερικά από τα πιο κοινά θερμοπλαστικά υλικά που χρησιμοποιούνται περιλαμβάνουν :

- Πολυανθρακικό
- Συμπολυμερές ακετάλης Πολυοξυμεθυλένιο
- Ομοπολυμερές ακετάλης Πολυοξυμεθυλένιο
- Ακρυλικό
- Νάυλον
- Πολυαιθυλένιο
- Πολυπροπυλένιο
- Πολυστυρένιο
- Πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC)
- Teflon



Εικόνα 21: Ο κύκλος ζωής των θερμοπλαστικών

Το κύριο πλεονέκτημα των θερμοπλαστικών είναι το ευρύ φάσμα εφαρμογών τους. Τα θερμοπλαστικά είναι υψηλής αντοχής, ελαφριά υλικά και έχουν σχετικά χαμηλό κόστος επεξεργασίας. Επιπλέον, είναι σχετικά εύκολο να κατασκευαστούν με μεγάλο όγκο και ακρίβεια.

Το κύριο μειονέκτημα της χρήσης θερμοπλαστικών αντί για υλικά όπως το μέταλλο είναι το σχετικά χαμηλό σημείο τήξης τους. Ορισμένοι τύποι θερμοπλαστικών χαμηλής ποιότητας μπορούν να λιώσουν όταν εκτίθενται στον ήλιο για παρατεταμένες περιόδους. Επιπλέον, τα θερμοπλαστικά μπορεί να έχουν μικρή αντίσταση σε οργανικούς διαλύτες, υδρογονάνθρακες και διαλύτες.

Πίνακας 2: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των θερμοπλαστικών υλικών

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Εξαιρετικά κολλητική ικανότητα	Μπορεί να μαλακώσουν όταν θερμανθούν ξανά.
Ανακυκλώσιμα	
Με εξαιρετική αντίσταση στην κρούση	
Μπορεί να αναμορφωθεί	
Εξαιρετική αντοχή στη διάβρωση	
Βελτιώνουν την ολίσθηση	
Χημική αντοχή	Είναι ακριβότερα από τα θερμοσκληραινόμενα
Ηλεκτρικά μόνωτικά	
Αισθητικά ευχάριστα	

3.2 Θερμοσκληραινόμενα

Τα θερμοσκληρυνόμενα πολυμερή γίνονται μονίμως σκληρά όταν εφαρμόζεται σε αυτά μια τάση και δεν μαλακώνουν εάν επακολουθήσει θέρμανση. Κατά την αρχική θερμική επεξεργασία, δημιουργούνται ομοιοπολικοί δεσμοί διασταυρώσεων μεταξύ γειτονικών μοριακών αλυσίδων. Αυτοί οι δεσμοί προσδένουν τις αλυσίδες μεταξύ τους ώστε να αντιστέκονται στις δονητικές και περιστροφικές κινήσεις των αλυσίδων σε υψηλές θερμοκρασίες. Η δημιουργία διασταυρώσεων πραγματοποιείται συνήθως σε υψηλές θερμοκρασίες. Η δημιουργία διασταυρώσεων πραγματοποιείται συνήθως σε μεγάλη έκταση, ώστε να διασταυρώνεται το 10 έως 50% των ομάδων μονομερών. Μόνο η θέρμανση σε εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες θα προκαλέσει καταπόνηση αυτών των δεσμών διασταυρώσεων, και υποβάθμιση του πολυμερούς.



Εικόνα 22: Συνήθη θερμοσκληραινόμενα

Τα θερμοσκληραινόμενα πολυμερή είναι γενικώς σκληρότερα, ισχυρότερα και γενικά πιο εύθραυστα από τα θερμοπλαστικά και έχουν καλύτερη σταθερότητα στις διαστάσεις τους. Τα περισσότερα διασταυρωμένα και δικτυωμένα πολυμερή, στα οποία περιλαμβάνεται το βουλκανισμένο καουτσούκ, τα εποξειδικά, τα φαινολικά και κάποιες πολυεστερικές ρητίνες, είναι θερμοσκληραινόμενα.

Τα θερμοσκληραινόμενα πλαστικά προσφέρουν συνδυασμό υψηλής απόδοσης θερμικής σταθερότητας, χημικής αντοχής και δομικής ακεραιότητας. Χρησιμοποιούνται σε ένα ευρύ φάσμα βιομηχανιών λόγω της εξαιρετικής χημικής και θερμικής σταθερότητας, σε συνδυασμό με την εξαιρετική αντοχή, τη σκληρότητα και τη δυνατότητα χύτευσης.

Όσο αφορά την συμπεριφορά τους υπο τάση, παρουσιάζουν ανάλογα με το βαθμό δικτύωσης την εξής εικόνα:



Εικόνα 23: Καμπύλη Τάσης – Παραμόρφωσης θερμοσκληραινόμενων

Τα θερμοσκληραινόμενα πλαστικά είναι σε θέση να πληρούν τις προδιαγραφές μιας ευρείας γκάμας υλικών με πολύ χαμηλό κόστος παραγωγής. Η χρήση τους επιτρέπει να κατασκευαστεί ένα σύνολο, μικρών και μεγάλων εξαρτημάτων, με υψηλό παραγωγικό όγκο, διατηρώντας ταυτόχρονα την επαναληψιμότητα από παρτίδα σε παρτίδα. Τα θερμοσκληραινόμενα παρέχουν μια εναλλακτική διαδικασία παραγωγής όταν σύνθετα και γεωμετρικά σχήματα δεν μπορούν να επιτευχθούν με μεταλλική κατασκευή ή χρήση θερμοπλαστικών αλλά μπορούν να κατασκευαστούν σε ένα καλούπι. Τα θερμοσκληραινόμενα πλαστικά διατηρούν τη σταθερότητά τους σε όλα τα περιβάλλοντα και τις θερμοκρασίες.



Εικόνα 24: Ανθεκτικές εφαρμογές θερμοσκληραινόμενων

Η χρήση θερμοσκληραινόμενων πλαστικών έχει πολλά πλεονεκτήματα. Σε αντίθεση με τα θερμοπλαστικά, διατηρούν τη δομή και το σχήμα τους ακόμα και όταν θερμαίνονται. Αυτό κάνει τα θερμοσκληραινόμενα πλαστικά κατάλληλα για την παραγωγή μόνιμων εξαρτημάτων

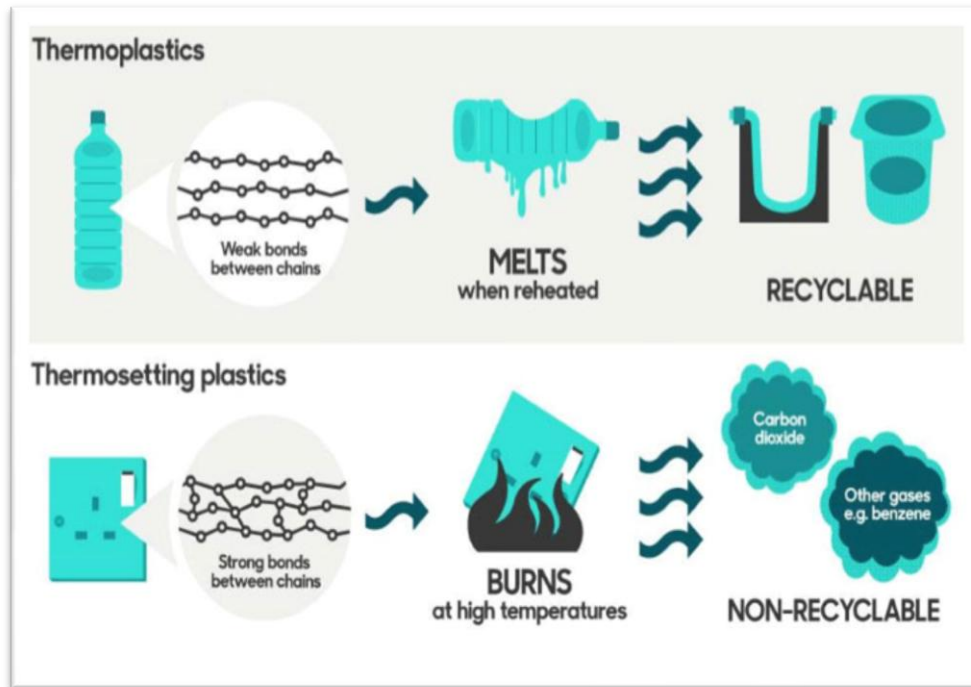
και μεγάλων, συμπαγών σχηματισμών. Επιπλέον, αυτά τα εξαρτήματα έχουν εξαιρετικά χαρακτηριστικά αντοχής (αν και είναι εύθραυστα) και διατηρούν την αντοχή τους όταν εκτίθενται σε υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας.

Τα θερμοσκληραινόμενα πλαστικά έχουν κερδίσει τη θέση τους στη βιομηχανία μεταξύ των κατασκευαστών, καθώς με χαμηλό κόστος, αντικαθιστούν μεταλλικά εξαρτήματα.

Τα πλεονεκτήματα που μπορούν να προσφέρουν τα θερμοσκληραινόμενα πλαστικά πάνω από τα μεταλλικά τους αντίστοιχα περιλαμβάνουν:

- Διαθέσιμες ανοχές μορφοποίησης
- Επιλογή χρώματος και επιφανειών
- Υψηλός λόγος αντοχής προς βάρος και απόδοση
- Εξαιρετική διηλεκτρική ισχύς
- Χαμηλή θερμική αγωγιμότητα
- Αντοχή σε διάβρωση
- Χαμηλότερο κόστος εργαλείων / εγκατάστασης
- Μειωμένο κόστος παραγωγής σε σχέση με την κατασκευή με μέταλλα

Υπάρχουν ορισμένα μειονεκτήματα στη χρήση θερμοσκληραινόμενων πλαστικών. Το χαμηλό αρχικό ιξώδες, η χαμηλή αντοχή σε εφελκυσμό και η ολκιμότητα τείνουν να έχουν σαν αποτέλεσμα αντικείμενα με χοντρά τοιχώματα. Οι ίδιες οι ενώσεις που χρησιμοποιούνται στα θερμοσκληραινόμενα πλαστικά μπορούν να επηρεάσουν την ωφέλιμη διάρκεια ζωής του υλικού.



Εικόνα 25: Θερμοπλαστικά VSθερμοσκληραινόμενα. Δυνατότητα ανακύκλωσης

Κατά την παραγωγή, από παρτίδα σε παρτίδα ενδέχεται να παρουσιάζουν μεγαλύτερες διακυμάνσεις και λιγότερη συνέπεια. Η ποιότητα του τελικού προϊόντος εξαρτάται από το βαθμό εσωτερική ομοιογένειας που δημιουργείται κατά τη διάρκεια του κύκλου χύτευσης τους.

Πίνακας 3: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των θερμοσκληραινόμενων υλικών

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Ανθεκτικά σε υψηλή θερμοκρασία	Μη ανακυκλώσιμα
Σκληρά και άκαμπτα	Δύσκολη διαδικασία φινιρίσματος.
Ικανοποιητικά φινιρίσματα	Δεν αναπλάθονται ή αναμορφώνονται
Καλές μηχανικές ιδιότητες	Κακή θερμική αγωγιμότητα
Οικονομικά αποδοτικά	Η ακαμψία του υλικού μπορεί να οδηγήσει σε βλάβη του προϊόντος όταν χρησιμοποιείται σε εφαρμογές με υψηλή δόνηση.
Εξαιρετική σταθερότητα διαστάσεων	

3.3 Συνθετικά υλικά πολυμερούς μήτρας

Τα συνθετικά υλικά πολυμερούς μήτρας (ΣΥΠΜ) ή(PMC) αποτελούνται από μία πολυμερή ρητίνη ως μήτρα και ίνες ως το μέσον ενίσχυσης. Αυτά τα υλικά χρησιμοποιούνται σε ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών. Τα PMCs είναι σχεδιασμένα να μεταφέρουν τα φορτία στις ίνες της μήτρας. Ορισμένα από τα πλεονεκτήματα με τα (ΣΥΠΜ) περιλαμβάνουν την υψηλή ακαμψία τους και την υψηλή αντοχή τους κατά την κατεύθυνση των ενισχύσεων τους. Άλλα πλεονεκτήματα είναι η καλή αντοχή στην τριβή και η καλή αντοχή στη διάβρωση.



Εικόνα 26: Συνήθη αντικείμενα συνθετικών υλικών πολυμερούς μήτρας

Τα(ΣΥΠΜ) ή PMC περιέχουν περίπου 60% ενισχυτικές ίνες κατά όγκο. Οι ίνες που βρίσκονται συνήθως και χρησιμοποιούνται μέσα στα (ΣΥΠΜ)απαρτίζονται απο ίνες υάλου, γραφίτη και αραμίδια. Ο υαλοβάμβακας, για παράδειγμα, εμφανίζει σχετικά χαμηλή ακαμψία και ταυτόχρονα παρουσιάζει υψηλή αντοχή εφελκυσμού. Το κόστος είναι επίσης εντυπωσιακά

χαμηλότερο από άλλα υλικά αντίστοιχων ιδιοτήτων, γι' αυτό είναι ένα από τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα σύνθετα πολυμερή.

Οι ενισχυτικές ίνες έχουν τις υψηλότερες μηχανικές τους ιδιότητες κατά την κατεύθυνση του μήκους παρά του πλάτους τους. Έτσι, οι ενισχυτικές ίνες μπορούν να διευθετηθούν και να προσανατολιστούν σε διάφορες μορφές και κατευθύνσεις για να παρέχουν διαφορετικές φυσικές ιδιότητες και πλεονεκτήματα με βάση την εφαρμογή.



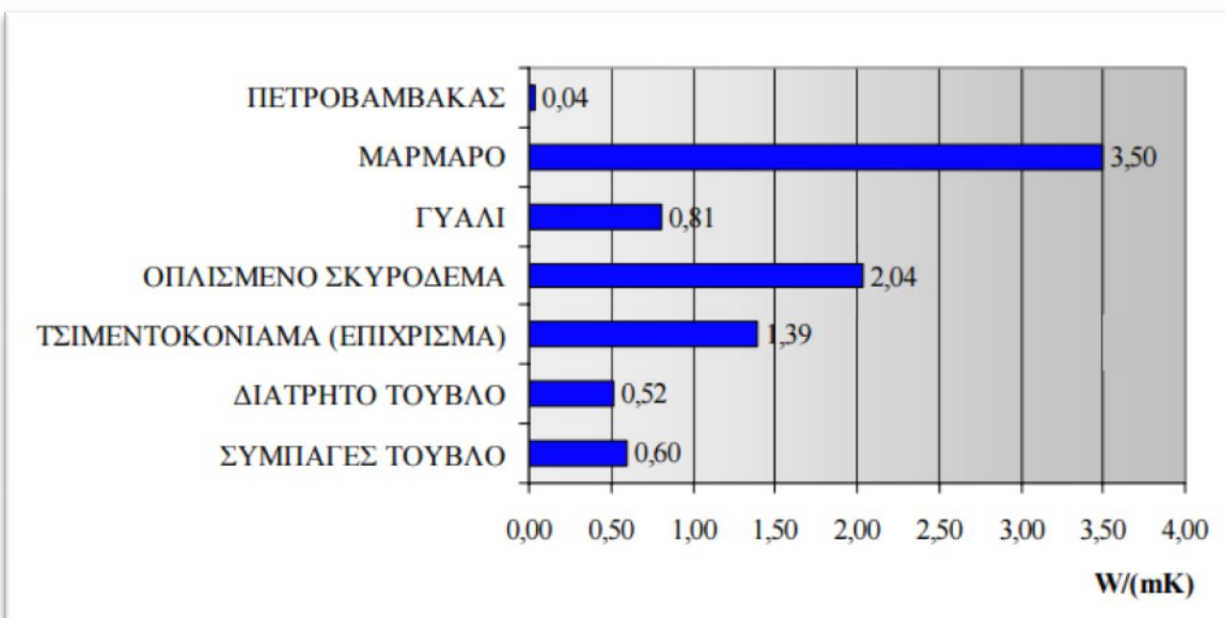
Εικόνα 27: Εφαρμογή ρητίνης σε καλούπι

Την αντίσταση του (ΣΥΠΜ) σε διαδικασίες που περιλαμβάνουν βλάβες από κρούση, απορρόφηση νερού, χημική προσβολή και ερπυσμό σε υψηλές θερμοκρασίες την καθορίζει η ίδια η μήτρα, και οι φυσικές της ιδιότητες. Η μήτρα των (ΣΥΠΜ) αποτελείται από ρητίνες που είναι συνήθως κάποιο θερμοσκληραινόμενο ή θερμοπλαστικό πολυμερές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Θερμομονωτικά Υλικά

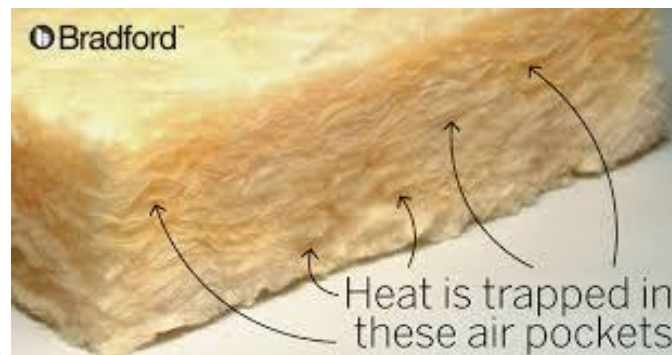
Πολύ σημαντικό στάδιο κατά την πραγματοποίηση εργασιών σε μονώσεις κτιρίων ή σε εφαρμογή θερμοπρόσοψης, είναι η κατάλληλη επιλογή των θερμομονωτικών υλικών. Τα υλικά αυτά εξασφαλίζουν την απαραίτητη θερμική μόνωση του χώρου στον οποίο εφαρμόζονται, δίνοντάς του τη δυνατότητα να διατηρεί (σε μεγάλο βαθμό) τη θερμοκρασία του. Η διατήρηση της επιθυμητής θερμοκρασίας στο εσωτερικό του χώρου επιτυγχάνεται μέσω της μείωσης των θερμικών απωλειών.



Εικόνα 28: Τιμές συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ, για διάφορα στοιχεία

Ο βασικός ρόλος των θερμομονωτικών υλικών, είναι να μειώσουν τον συντελεστή θερμοπερατότητας (U) των στοιχείων στα οποία εφαρμόζονται. Αυτό αποτρέπει την ακούσια μεταφορά θερμότητας, από το εκάστοτε στοιχείο στο περιβάλλον, αλλά και το αντίθετο. Η μετάδοση της θερμότητας στο εσωτερικό των αδιαφανών υλικών, όπως θα παρουσιαστεί αναλυτικότερα σε επόμενο κεφάλαιο, επιτυγχάνεται κυρίως μέσω αγωγής, η οποία ποσοτικοποιείται, στα ομοιογενή υλικά, με χρήση του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ . Στα σύνθετα, αυτά που απαρτίζονται από άνω του ενός στοιχεία η αγωγιμότητα ποσοτικοποιείται μέσω του συντελεστή θερμοπερατότητας.

Τα θερμομονωτικά υλικά οφείλουν τις θερμικές ιδιότητές τους στη ίδια τους τη δομή, καθώς τα εγκλείσματα αέρα είναι αυτά που μειώνουν τον συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ . Ο αέρας έχει χαμηλό συντελεστή λ , θεωρητικά βέβαια, η θερμική αγωγιμότητα ελαχιστοποιείται σε συνθήκες κενού, μιας και δεν υπάρχει μέσο διάδοσης. Στην πραγματικότητα όμως, φαίνεται πως η ελάχιστη δυνατή θερμική αγωγιμότητα επιτυγχάνεται υπο την ύπαρξη ακίνητου, ξηρού αέρα.



Εικόνα 29: Θυλάκια αέρα σε υλικό

Όπως αναφέρθηκε, τα θερμομονωτικά υλικά επιτυγχάνουν το σκοπό τους, ακριβώς επειδή διαθέτουν εγκλωβισμένους, πολλούς θύλακες ακίνητου ξηρού αέρα, μέσα σε κυψέλες ή

πλέγμα ινών. Αυτό τους εξασφαλίζει παράλληλα και μικρό φαινόμενο βάρος. Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ ενός πορώδους υλικού είναι επομένως, μικρότερος εξ ορισμού, σε σχέση με το συντελεστή του αντίστοιχου συμπαγούς υλικού. Το επιθυμητό πορώδες των μονωτικών υλικών επιτυγχάνεται είτε με τη με την παραγωγή εγκλεισμάτων αέρα είτε με την εισαγωγή λεπτών ακανόνιστων ινών. Η θερμική τους αγωγιμότητα καθορίζεται πρωταρχικά από το πλήθος και το μέγεθος των κυψελών αέρα που υπάρχουν στον όγκο τους, από τα ποσοστά υγρασίας τους, και σε μικρότερο βαθμό, από τη χημική τους σύσταση και τη θερμοκρασία τους.

Γενικά, η αύξηση της υγρασίας αυξάνει τον συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, καθώς αντικαθιστά τα εγκλείσματα αέρα. Αξίζει να σημειωθεί, πως το νερό έχει 24 φορές μεγαλύτερο συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ από τον αέρα, και ο πάγος έχει αντίστοιχα 92. Γι' αυτό το λόγο, η υγρασία αποτελεί ένα από τους σημαντικότερους παράγοντες καλής λειτουργίας μιας μόνωσης.

4.1 Βασικές Ιδιότητες

Οι βασικές ιδιότητες που χαρακτηρίζουν ένα υλικό και λαμβάνονται υπ' όψη πριν την εφαρμογή του είναι:

- i. Η θερμομονωτική του ικανότητα
- ii. Το εύρος των θερμοκρασιών στο οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί
- iii. Η αντοχή του στην υγρασία
- iv. Η αντοχή του στη φωτιά
- v. Η ηχομονωτική του ικανότητα

Κάθε ένα από τα παραπάνω χαρακτηριστικά των υλικών, εκφράζεται με τα κατάλληλα φυσικά μεγέθη, που μετρώνται βάσει συγκεκριμένων κανονισμούς, προτύπων που έχουν ορισθεί

από αναγνωρισμένους οργανισμούς, όπως D.I.N και A.S.T.M. Τα μεγέθη που σχετίζονται με τα παραπάνω χαρακτηριστικά είναι αντίστοιχα:

i. Ο **συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ** , ο οποίος περιγράφει τη δυσκολία μεταφοράς θερμότητας μέσα από το υλικό. Όσο χαμηλότερος, τόσο καλύτερη η θερμομονωτική συμπεριφορά του υλικού. Μετράται σε μονάδες $W/(mK)$ και περιγράφει το ροή ενέργειας ανα χρόνο (Watt) που διαπερνά υλικό πάχους 1m, όταν η θερμοκρασιακή διαφορά είναι 1K.

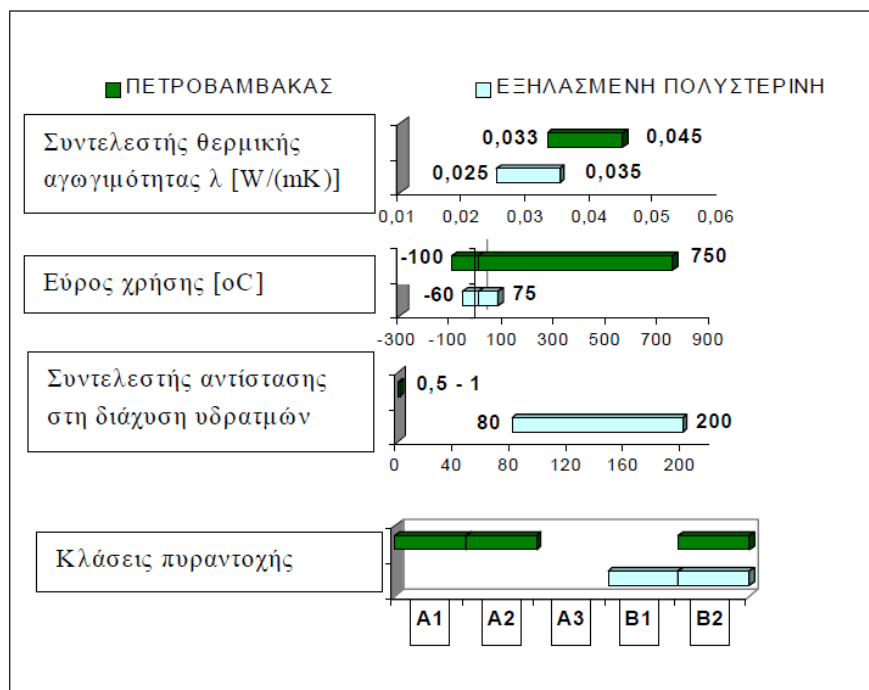
ii. Η **μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία λειτουργίας** περιγράφουν τα θερμοκρασιακά όρια στα οποία το θερμομονωτικό υλικό διατηρεί τα χαρακτηριστικά του.

iii. Ο **συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών**, περιγράφει τη δυσκολία διάχυσης των υδρατμών στον όγκο του μονωτικού υλικού. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του, τόσο δυσκολότερα οι υδρατμοί διέρχονται στη μάζα του, συνεπώς διατηρεί τις θερμομονωτικές του ιδιότητες. Πρόκειται για αδιάστατο μέγεθος.

iv. Η **πυραντοχή** του υλικού περιγράφεται και προσδιορίζεται βάση του προτύπου DIN 4102, μέσω του οποίου, τα υλικά κατατάσσονται σε κλάσεις πυραντοχής. Οι κλάσεις αυτές, από την ανθεκτικότερη στη πυρκαγιά, είναι A1, A2, A3, B1, B2, B3, C1, C2 και C3. Πιο συγκεκριμένα, τα υλικά των κατηγοριών A1 και A2 δεν αναφλέγονται, τα υλικά των κατηγοριών A3 και B1 αντιστέκονται στη φωτιά ενώ αυτά των κατηγοριών B2 και έπειτα, είτε δεν αντιστέκονται στη φωτιά, είτε είναι εύφλεκτα.

v. Ο **βαθμός απορρόφησης ήχου** περιγράφει την απορροφητικότητα του υλικού ανα συχνότητα ήχου. Όσο μεγαλύτερος, τόσο καλύτερη η ηχοαπορροφητικότητα του υλικού.

Ως παράδειγμα, παρουσιάζεται παρακάτω ένας πίνακας με τις τιμές των βασικών χαρακτηριστικών του πετροβάμβακα και της εξηλασμένης πολυστερίνης συγκριτικά. Πρέπει, να σημειώσει κανείς, πως οι τιμές διαφοροποιούνται αναλόγως τον τρόπο παραγωγής, τον τύπο και την πυκνότητα του εκάστοτε προϊόντος. Γι' αυτό το λόγο, δίνεται μέγιστη και ελάχιστη τιμή σε κάθε ιδιότητα.



Εικόνα 30: Συγκριτική αξιολόγηση ιδιοτήτων πετροβάμβακα και εξ. πολυστερίνης

Καθώς η θερμομονωτική ικανότητα των υλικών οφείλεται στον εγκλωβισμένο αέρα που περιέχεται σε αυτά, και καθώς και τα δύο υλικά περιέχουν αέρα μέσα στη μάζα τους, η θερμομονωτική τους ικανότητα μοιάζει να είναι το ίδιο καλή. Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας έχει χαμηλή τιμή και στα δύο υλικά, καθιστώντας τα καλούς μονωτές. Οι διαφορές που παρατηρούνται ανάμεσα στα δύο υλικά, οφείλονται στον τρόπο με τον οποίο ο αέρας έχει παγιδευτεί στη μάζα τους. Όπως θα καταγραφεί στη συνέχεια της εργασίας, ο

πετροβάμβακας ανήκει στα ανόργανα ινώδη, αποτελείται δηλαδή από ίνες μέσης διαμέτρου 15μm, που σταθεροποιούνται στον όγκο του υλικού με τη χρήση ρητινών. Η εξηλασμένη πολυστερίνη αντίθετα, ανήκει στα οργανικά αφρώδη υλικά, και συναντάται συχνά στη μορφή ελαφριάς πλάκας. Στην πρώτη περίπτωση ο αέρας είναι εγκλωβισμένος ανάμεσα στις ίνες και έχει άμεση επαφή με το περιβάλλον. Στη δεύτερη, βρίσκεται με τη μορφή μικρών φυσαλίδων μέσα στη μάζα του υλικού και δεν έρχεται σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα. Αυτή η διαφοροποίηση παίζει μεγάλο ρόλο στη γενικότερη συμπεριφορά των υλικών και στις εν δυνάμει εφαρμογές τους.

Ερμηνεύοντας το θερμοκρασιακό εύρος χρήσης, εύκολα κανείς αντιλαμβάνεται τους θερμοκρασιακούς περιορισμούς ενός οργανικού υλικού όπως είναι η εξηλασμένη πολυστερίνη, σε αντίθεση με τις ανόργανες ίνες του πετροβάμβακα, που προέρχονται από στοιχεία ηφαιστειακών πετρωμάτων, μεγάλης θερμοκρασιακής αντοχής. Έτσι, ενώ η πολυστερίνη περιορίζεται σε εφαρμογές μικρότερων θερμοκρασιακά απαιτήσεων, σε κτιριακές εφαρμογές, σε δίκτυα θερμού νερού (ανθεκτική ως τους 75°C), ο πετροβάμβακας μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε υψηλά θερμοκρασιακές βιομηχανικές εφαρμογές. Επιπλέον, η εύκαμπτη μορφή του του επιτρέπει να χρησιμοποιείται σε πιο απαιτητικές συνθήκες εφαρμογής.

Εξετάζοντας την πυραντοχή, παρατηρείται πως η ανόργανη φύση του πετροβάμβακα τον καθιστά πρακτικά άφλεκτο, κατατάσσοντάς τον στις δύο πρώτες κλάσεις πυραντοχής. Σε αντίθεση, η εξηλασμένη πολυστερίνη τήκεται και αναφλέγεται πολύ εύκολα, με αποτέλεσμα να χαρακτηρίζεται ιδιαίτερα επικίνδυνη σε περιπτώσεις πυρκαγιάς.

Μεγάλη διαφορά συναντάται και στην αντίσταση στη διάχυση των υδρατμών. Οι ανοιχτές κυψέλες αέρα στον πετροβάμβακα, δεν τον ευνοούν. Εύκολα οι υδρατμοί εισχωρούν στη μάζα του, παραμένουν, και μιας και ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του νερού είναι

υψηλός, ($\lambda_{\text{νερού}} = 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$), μεγαλύτερος από αυτόν του αέρα, ελαχιστοποιείται η θερμομονωτική ικανότητα του υλικού. Αντίθετα, η εξηλασμένη πολυστερίνη παρουσιάζει εξαιρετική αντίσταση στη διάχυση υδρατμών. Σε βιομηχανικές εφαρμογές, όπου απαιτείται η χρήση πετροβάμβακα αλλά ταυτόχρονα και η διασφάλιση χαμηλής διάχυσης υδρατμών, χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με κατάλληλη στεγνωτική μεμβράνη.

4.2 Περιβαλλοντικές Ιδιότητες

Ο πρωταρχικός ρόλος των θερμομονωτικών υλικών, σε κάθε εφαρμογή, είναι η μείωση των θερμικών απωλειών, κατά συνέπεια η μειωμένη ενεργειακή κατανάλωση, η οποία με τη σειρά της οδηγεί σε μειωμένες εκπομπές και μειωμένη ρύπανση. Παρόλα αυτά, τα θερμομονωτικά υλικά δεν παύουν να επιβαρύνουν το περιβάλλον, κατά την παραγωγή τους, κατά τη διάρκεια της ζωής τους αλλά και κατά την τελική τους απόρριψη. Περιβαλλοντική επιβάρυνση συντελείται συνεπώς, τόσο άμεσα όσο και έμμεσα. Η έμμεση περιβαλλοντική επιβάρυνση, προέρχεται από εγκλωβισμένη ενέργεια των θερμομονωτικών υλικών, που οφείλεται αθροιστικά, στην ίδια την εσωτερική ενέργεια τους αλλά και της ενέργειας που δαπανήθηκε κατά την παραγωγή τους. Η εγκλωβισμένη αυτή ενέργεια των θερμομονωτικών υλικών μετατρέπεται κατά την απόρριψη τους σε ισοδύναμη ενέργεια αερίων θερμοκηπίου και όξινης βροχής (CO_2 και SO_2 αντίστοιχα).



την

Οι περιβαλλοντικές ιδιότητες μπορεί να αξιολογηθούν ποσοτικά και ποιοτικά με τη χρήση των παρακάτω μεγεθών.

- Περιεχόμενη πρωτογενής ενέργεια:

Ως περιεχόμενη πρωτογενής ενέργεια ορίζεται το απαιτούμενο ποσό ενέργειας προκειμένου να παραχθεί μια μονάδα όγκου θερμομονωτικού υλικού. Μετράται, βάσει ορισμού, συνήθως σε μονάδες kWh/m³ ή kWh/kg. Τα τελευταία χρόνια υπάρχει η τάση να χρησιμοποιούνται υλικά φιλικά προς το περιβάλλον, με μικρή κατά το δυνατόν περιεχόμενη ενέργεια.

- Οι εκπομπές ρύπων στη διάρκεια ζωής του θερμομονωτικού υλικού.

Αφορά στους ρύπους που απελευθερώνονται τόσο κατά την παραγωγή του υλικού, όσο και στη διάρκεια της ζωής του, κατά την εφαρμογή του. Κυριότεροι θεωρούνται το CO, που είναι τοξικό και το CO₂, που αποτελεί το βασικότερο αέριο του θερμοκηπίου.

- Η αντοχή σε προσβολές από μικροοργανισμούς και έντομα:

Τα θερμομονωτικά υλικά, ιδιαίτερα τα οργανικά, είναι ευάλωτα σε βιολογικούς παράγοντες. Μικροοργανισμοί, έντομα και τρωκτικά είναι συνήθεις εχθροί. Για το λόγο αυτό, στα θερμομονωτικά υλικά προστίθενται αποθητικές χημικές ουσίες, που στόχο έχουν την προστασία τους από τους παράγοντες που προαναφέρθηκαν. Οι ουσίες αυτές, με τη σειρά τους,

επιβαρύνουν το περιβάλλον και αναζητούνται άλλοι τρόποι αντιμετώπισης επιθέσεων από μικροοργανισμούς. Η αντοχή σε προσβολές από μικροοργανισμούς και έντομα είναι μέγεθος που εκφράζεται ποιοτικά, με το αν ένα υλικό είναι ευπρόσβλητο ή όχι.

Πίνακας 4: Βασικές φυσικές και περιβαλλοντικές ιδιότητες των κυριότερων θερμομονωτικών υλικών

ΥΛΙΚΟ		ΥΛΛΟΒΑΜΒΑΚΑΣ	ΠΕΤΡΟΒΑΜΒΑΚΑΣ	ΕΞΗΛΑΣΜΕΝΗ ΠΟΛΥΣΤΕΡΙΝΗ	ΔΙΟΙΚΟΜΕΝΗ ΠΟΛΥΣΤΕΡΙΝΗ	ΑΦΡΟΣ ΠΟΛΥΥΡΕΘΑΝΗΣ	
Φυσικές ιδιότητες	Πυκνότητα [kg/m ³]	min	13	30	20	8	30
		max	100	180	80	50	80
	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότηταςλ [W/mK]	min	0,030	0,033	0,025	0,029	0,020
		max	0,045	0,045	0,035	0,041	0,027
	Εύρος χρήσης (°C)	min	-100	-100	-60	-80	-50
		max	500	750	75	80	120
	Συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών	min	<1	<1	80	25	50
		max	1	1	200	200	>100
	Ποσότητα υγρασίας εξομοίωσης στους 23 °C/80%RH	min	<0,1	<0,1	<1*	5*	5*
		max	1	1,5			
	Κατηγορία πυραντοχής		A1 A2 B1	A1 A2 B2	B1 B2	B1 B2	B1 B2
	Αντοχή στον οφέλκυσμό [N/mm ²]	min	0,005*		0,30	0,15	
max		0,35			0,52		
Όριο θραύσης [N/mm ²]	min	0,00500	0,00012		0,09000		
	max	0,01500	0,00750		0,22000		
Βαθμός απορρόφησης στα 125 Hz	min	0,10	0,05				
	max	0,79	0,19				
Βαθμός απορρόφησης στα 1000 Hz	min	0,71	0,92				
	max	0,97	0,99				
Περιβαλλοντικές	Πρόσθετα για προστασία από βιολογικούς παράγοντες		OXI	OXI	OXI	OXI	NAI
	Περιεχόμενη πρωτογενής ενέργεια [kWh/m ³]	min	90	110	85	151	15,8
max		430	660	114	269	36,1	

4.3 Κατηγορίες Θερμομονωτικών Υλικών

Ένας τρόπος ταξινόμησης των θερμομονωτικών υλικών είναι **βάση της χημικής τους σύστασης**. Έτσι, μπορούν να ταξινομηθούν σε οργανικά, ανόργανα ή σύνθετα, που περιέχουν τόσο οργανικές όσο και ανόργανες ενώσεις.

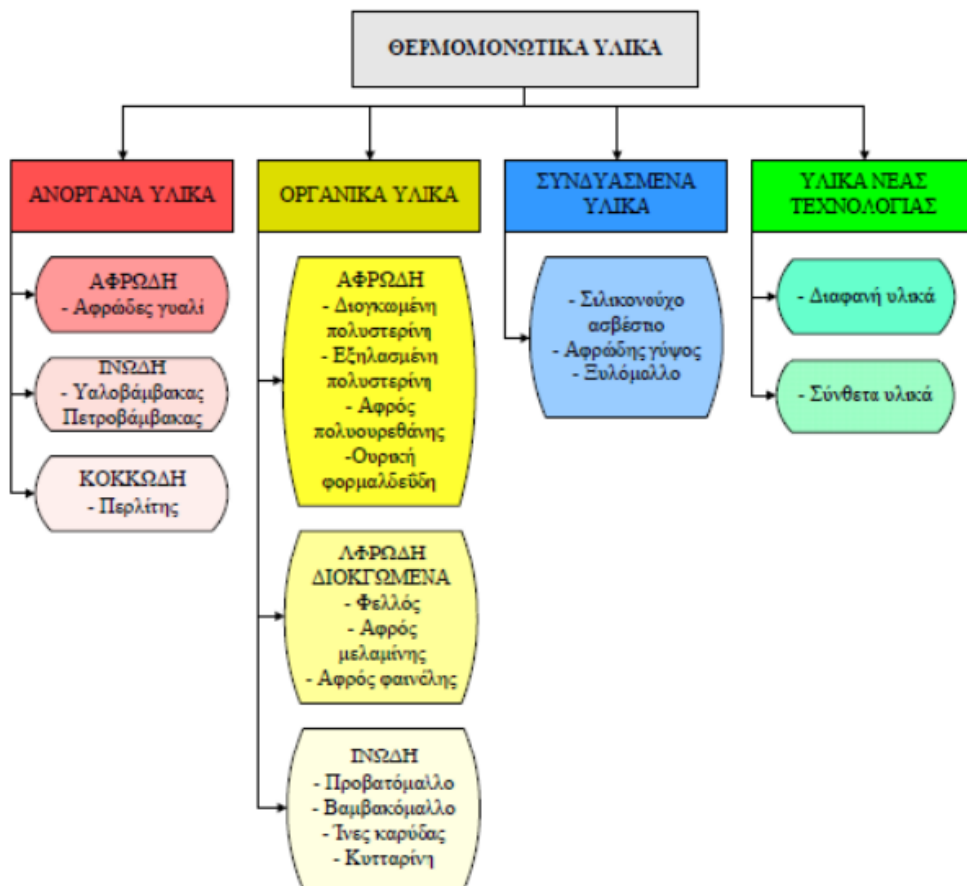
Με βάση την πρώτη ύλη των χρησιμοποιούμενων υλικών για την παραγωγή μονωτικών υλικών τα θερμομονωτικά υλικά μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρεις μεγάλες κατηγορίες, και βέβαια και συνδυασμούς αυτών:

1. Ορυκτά υλικά, όπως η άμμος, ο βασάλτης, ο βωξίτης, ο δολομίτης και το γυαλί (καινούριο ή ανακυκλωμένο).
2. Πετροχημικές πρώτες ύλες για αφρώδες πλαστικό, όπως το στυρόλιο, η ουρεθάνη και η φορμαλδεΐδη.
3. Οργανικά φυσικά υλικά, όπως ο φελλός, το ξύλο, οι φυτικές ίνες, η κυτταρίνη, το μαλλί.

Άλλος τρόπος ταξινόμησης μπορεί να γίνει **με βάση τη δομή τους**. Δυο κατηγορίες υπάρχουν:

1. τα αφρώδη, στα οποία ο αέρας υπάρχει μέσα τους με μορφή φυσαλίδων και
2. τα ινώδη, στα οποία ο αέρας περιέχεται ανάμεσα στις ίνες τους, όπως ακριβώς συμβαίνει σε ένα μάλλινο ύφασμα.

Στην παραγωγή των θερμομονωτικών υλικών, συμμετέχουν, πέραν των βασικών πρώτων υλών, μία σειρά από βοηθητικές ύλες, που δρουν ως συνδετικά ή ενισχυτικά μέσα. Ο σκοπός είναι να επιτευχθούν όλες οι επιθυμητές ιδιότητες, πέραν της θερμομονωτικής ικανότητας.



Εικόνα 31: Συνοπτική αναπαράσταση κατηγοριοποίησης των θερμομονωτικών υλικών

4.4 Σημαντικότερα Θερμομονωτικά Υλικά

Α) Υαλοβάμβακας

Ο υαλοβάμβακας προέρχεται από ορυκτές πρώτες ύλες. Ανήκει στα ανόργανα ινώδη υλικά και συντίθεται από διοξείδιο του πυριτίου, δολομίτη, και ασβεστόλιθο. Παρασκευάζεται

σε κλίβανο, υψηλής θερμοκρασίας με διαδικασία φυγοκεντρικής. Τον υαλοβάμβακα τον συναντάμε στις εξής εμπορικές μορφές:

- σε μορφή παπλώματος, σε ρολά χωρίς επένδυση και σε ρολά με επένδυση αλουμινίου
- σε μορφή επίπεδων πλακών
- σε ειδική μορφή για χρήση ως μόνωση σωληνώσεων.



Εικόνα 32: Εμπορικές μορφές υαλοβάμβακα

Ο υαλοβάμβακας αποτελεί μία καλή θερμομονωτική λύση. Απαιτεί προσοχή στην εφαρμογή του καθώς είναι ευαίσθητος στη υγρασία. Είναι επομένως αναγκαίο να προστατεύεται από αυτή. Η προσβολή από την υγρασία έχει ως αποτέλεσμα τη σημαντική ελάττωση του συντελεστή λ. Για αυτό το λόγο, κρίνεται απαραίτητο, όταν χρησιμοποιείται ως μονωτικό υλικό στα κτίρια να προστατεύεται με φράγμα υδρατμών στη θερμή του όψη. Παρότι σε ελεύθερη κατάσταση δεν απορροφά υγρασία, όταν εγκλωβίζεται στα δομικά στοιχεία, η υγρασία τον προσβάλλει και εξαπλώνεται σε όλη την έκτασή του.

Όσον αφορά την πυραντοχή του υαλοβάμβακα, προσοχή απαιτείται στα συνδετικά υλικά (ρητίνες), καθώς και στα υδατοαπωθητικά έλαια (σιλικόνες ή ορυκτέλαια), διότι αυτά τα υλικά

αυτά επηρεάζουν αρνητικά την αντοχή του στην πυρκαγιά. Ο υαλοβάμβακας διαθέτει επίσης ανθεκτικότητα στη θερμοκρασία για ένα μεγάλο εύρος θερμοκρασιών από -100°C έως 500°C . Εμφανίζει μικρή αντοχή σε συμπίεση, για τον λόγο αυτό δεν προσφέρεται η χρήση του για δάπεδα και δώματα με ισχυρές φορτίσεις. Η απόδοσή του ως ηχομονωτικό υλικό θεωρείται ιδιαίτερα καλή σε σύγκριση με άλλα ως προς αυτήν την ιδιότητα υλικά. Ο υαλοβάμβακας δεν προσβάλλεται από έντομα και τρωκτικά ούτε από χημικές ενώσεις με εξαίρεση το υδροχλωρικό οξύ.

Ο Πίνακας 5 παρουσιάζει συγκεντρωτικά τις ιδιότητες του υαλοβάμβακα με τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές να οφείλονται σε διαφοροποιήσεις που παρουσιάζονται από τεχνολογικής πλευράς κατά την διαδικασία παραγωγής.

Πίνακας 5: Τεχνικά χαρακτηριστικά υαλοβάμβακα [FMI F, 1994]

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
Αντοχή 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	-	500
Ιδιότητες υγραπροστασίας				
Συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών	-	<1		1
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
Αντοχή στη χρήση				
Αναμενόμενη διάρκεια χρήσης	έτος	30		
Υλικά προστασίας από βιολογικούς παράγοντες	-		όχι	
Οικονομικά στοιχεία				
Ποσό πρωτογενούς ενέργειας	kWh/m ³	90	110	430

B) Πετροβάμβακας

Ο πετροβάμβακας είναι ένα μονωτικό υλικό ανόργανης προελεύσεως. Χρησιμοποιείται σε εφαρμογές θερμικής και ακουστικής μόνωσης, καθώς και για εφαρμογές πυροπροστασίας. Έχει ινώδη μορφή, καθώς αποτελείται από ένα μίγμα λεπτών ινών (με διάμετρο < 4 ή 5 μm) και παρασκευάζεται από ενώσεις ορυκτογενών πετρωμάτων, όπως βασάλτη, μεταβασάλτη, ασβεστόλιθο, δολομίτη και βωξίτη.

Στα παραπάνω ορυκτογενή πετρώματα, οι κύριες χημικές ενώσεις που είναι σε αφθονία είναι τα οξείδια του πυρίτιου, αλουμίνιο, άλλα και στοιχεία όπως ασβέστιο, μαγνήσιο και σίδηρος. Το μίγμα των υλικών αυτών τοποθετείται σε κλίβανο όπου μετά από διαδικασία τήξης στους 1300°C, και έπειτα απο φυγοκέντριση, διαμορφώνεται τελικά η ινώδης μορφή που προαναφέρθηκε. Η συμπαγής δομή δημιουργείται μετα από προσθήκη ρητίνης και σιλικονέλαιου.

Στο εμπόριο συναντάται σε μορφή παπλώματος, με ή χωρίς επένδυση μεταλλικής επίστρωσης, σε μορφή σκληρών πλακών, καθώς και σε μορφή κοχυλιών.



Εικόνα 33: Εμπορικές μορφές πετροβάμβακα

Ο πετροβάμβακας παρουσιάζει υψηλή πυκνότητα (30 kg/m^3) και εμφανίζει ιδιαίτερα καλό συντελεστή (λ) που κυμαίνεται από 0,033 ως 0,045 W/(mK) . Η υψηλή θερμομονωτική ικανότητά του όμως, επηρεάζεται δραστικά από της περιεχόμενη υγρασία στον όγκο του. Κρίνεται λοιπόν ανα εφαρμογή, απαραίτητη η προφύλαξη του από ενδεχόμενη υγρασία των υδρατμών. Είτε με επικάλυψη γύψου, είτε με επίστρωση φύλλου αλουμινίου.

Ο πετροβάμβακας παρουσιάζει επίσης ιδιαίτερα μεγάλη αντοχή στη θερμοκρασία, καθώς από τη φύση του, παρασκευάζεται με τήξη ορυκτών σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Η ανώτερη θερμοκρασία εφαρμογής (750 °C), δηλώνει το μέγιστο όριο στο οποίο το μονωτικό διατηρεί τις ιδιότητες του. Γι' αυτό το λόγο, ο πετροβάμβακας εφαρμόζεται σε απαιτητικές περιπτώσεις, στη βιομηχανία, στη μόνωση λεβήτων, σε πόρτες πυρασφαλείας, σε κατασκευές που αφορούν στην πυρασφάλεια, και άλλες αντίστοιχες.

Ο πετροβάμβακας διαθέτει πολύ καλή συμπεριφορά στην πυρκαγιά, καθώς ανήκει στις A1, A2 και B1 κατηγορίες πυραντοχής. Αντίθετα, εμφανίζει μικρή αντοχή στον εφελκυσμό (0,005 N/mm²) και χαμηλό όριο θραύσης από 0,00012 έως 0,0075 N/mm³ . Όσον αφορά στις ακουστικές ιδιότητές του παρουσιάζει χαμηλό βαθμό απορρόφησης του ήχου σε σχέση με τον υαλοβάμβακα στις χαμηλές συχνότητες, αλλά στις υψηλές συχνότητες εμφανίζει πολύ καλές. Δεν προσβάλλεται από έντομα και τρωκτικά ούτε και από χημικές ενώσεις.

Ο Πίνακας 6 παρουσιάζει συγκεντρωτικά τις ιδιότητες (μηχανικές, θερμικής προστασίας , υγροπροστασίας, πυρασφάλειας, ακουστικές και αντοχής στη χρήση) του πετροβάμβακα.

Πίνακας 6: Τεχνικά χαρακτηριστικά πετροβάμβακα [FMI F, 1994] και [Rockwool F,1994]

Ιδιότητες	Μονάδες	Τεχνικά χαρακτηριστικά		
		Ελάχιστη τιμή	Μέση τιμή	Μέγιστη τιμή
Μηχανικές ιδιότητες				
Πάχος υλικού	cm	2	3-6/8/10/11/16	18
Πυκνότητα	kg/m ³	30	30-40/55/90/100/130	180
Αντοχή στον εφελκυσμό	N/mm ²	0,00012	0,0003/0,002	0,0075
Όριο θραύσης	N/mm ²	0,005	0,02	0,05
Θλιπτική τάση σε 10% βράχυνση				
Ιδιότητες θερμικής προστασίας				
Θερμική αγωγιμότητα λ _κ στους 10°C	W/(mK)	0,033	0,0375	0,045
Εύρος χρήσεως min/max	°C	-100		750
Ιδιότητες υγραπροστασίας				
Συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών	-	<1		1
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

Γ) Διογκωμένη Πολυστερίνη

Ο αφρός πολυστερίνης προκύπτει από διόγκωση πολυμερισμένου στυρολίου και αποτελείται (βάσει του προτύπου DIN 18164) από 1,5 έως 2% πολυστερίνη και 98 με 98,5% αέρα, ανάλογα με την επιθυμητή πυκνότητα. Ο αέρας βρίσκεται εγκλωβισμένος στον όγκο του υλικού, σε μορφή κυψελίδων.

Η διογκωμένη πολυστερίνη εμφανίζει καλή θερμομονωτική ικανότητα (0,029-0,041 W/mK). Κατά την παραγωγή της, απαιτεί προσοχή καθώς αν σχηματιστούν κενά που δε διαμορφώνουν κλειστούς πόρους, είναι δυνατόν να προσβληθούν από υγρασία και να αυξήσουν τον συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας. Επιπρόσθετα, διαθέτει καλές ιδιότητες όσον αφορά στην αντοχή στον εφελκυσμό και στη συμπίεση.



Εικόνα 34: Εμπορικές μορφές διογκωμένης πολυστερίνης

Το θερμοκρασιακό εύρος χρήσης είναι μικρότερο από αυτό των δύο ορυκτογενών υλικών, του υαλοβάμβακα και του πετροβάμβακα. Κυμαίνεται από -70°C ως 90°C . Η διογκωμένη πολυστερίνη ανήκει στα εύφλεκτα υλικά. Προσπάθειες γίνονται προκειμένου να αυξηθεί η πυραντοχή της, με την προσθήκη βρωμιούχων αλειφατικών κυκλικών υδρογονανθράκων

(κυρίως Hexanbromocyclododecan), σε ποσοστό 5 ως 7%. Παρόλα αυτά, κατατάσσεται στις κατηγορίες πυραντοχής B1 και B2. Η διογκωμένη πολυστερίνη προσβάλλεται επίσης από έντομα, τρωκτικά και ποικιλία χημικών διαλυτών (κετόνες, βενζόλιο, βενζίνη κ.ά.). Είναι ευαίσθητη στην ηλιακή ακτινοβολία, καθώς μετά από εκτεταμένη έκθεση στον ήλιο, επέρχεται αλλαγή του χρώματός της σε ελαφρώς κιτρινωπό, σκληραίνει και θρυμματίζεται.

Σημαντικό πλεονέκτημά της διογκωμένης πολυστερίνης αποτελεί η ευκολία τοποθέτησής της. Στο εμπόριο συναντάται ευρέως σε μορφή πλακών, για εφαρμογή σε τοίχους, τοιχία, και πλάκες σκυροδέματος. Το μεγαλύτερο μέρος της παραγωγής διογκωμένης πολυστερίνης χρησιμοποιείται σε εφαρμογές στα κτίρια ως θερμομόνωση δωματίων, τοίχων και πατωμάτων.

Όσο αφορά τις ηχομονωτικές ιδιότητες της διογκωμένης πολυστερίνης, δεν παρουσιάζει ηχοαπορροφητικό χαρακτήρα και επομένως δεν χρησιμοποιείται για ηχομόνωση.

Ο Πίνακας 7 παρουσιάζει συγκεντρωτικά τις ιδιότητες (μηχανικές, θερμικής προστασίας, υγροπροστασίας, πυρασφάλειας, ακουστικές και αντοχής στη χρήση) της διογκωμένης πολυστερίνης.

Πίνακας 7: Τεχνικά χαρακτηριστικά διογκωμένης πολυστερίνης

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	50
Αντοχή στον εφελκυσμό	N/mm ²	0,15		0,52
Όριο θραύσης	N/mm ²	0,09		0,22
Θλιπτική τάση σε 10% βράχυνση	N/mm ²	0,07		0,26
Ιδιότητες θερμικής προστασίας				
Θερμική αγωγιμότητα λ _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% 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	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

Δ) Αφρώδης Εξηλασμένη Πολυστερίνη

Η αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη, είναι συγγενές θερμομονωτικό υλικό με την προαναφερθείσα διογκωμένη πολυστερίνη. Έχει παρόμοια σύσταση αλλά παράγεται με διαφορετική μέθοδο. Προκειμένου να παραχθεί χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη, κατά βάση η πολυστερίνη, το CO₂ ως προωθητικό αέριο σε ποσοστό από 3 ως 7%, χημικά στοιχεία προς

αύξησης της πυραντοχής της, και τέλος ως ταλκ και διάφορες χρωστικές ουσίες, που δίνουν στο τελικό προϊόν το χρώμα που επιλέγει η κάθε εμπορική εταιρία.

Στο εμπόριο μπορεί να βρεθεί σε μορφή πλακών, διαφορετικής πυκνότητας, με επίπεδη ή ανάγλυφη επιφάνεια, για καλύτερη εφαρμογή των κονιαμάτων. Ακόμη, δίνεται και η επιλογή αγοράς πλάκας με επικάλυψη τσιμεντοκονίας στη μια επιφάνεια για πιο άμεσες εφαρμογές.



Εικόνα 35: Εμπορικές μορφές εξηλασμένης πολυστερίνης

Η αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη διαθέτει καλές θερμομονωτικές ιδιότητες. Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του υλικού κυμαίνεται από 0,025 έως 0,035 W/(mK), και κατά βάση οφείλεται στο μείγμα αερίων που κατέχουν περίπου το 95% του όγκου του υλικού. Πρέπει ωστόσο να σημειωθεί πως οι παραπάνω τιμές του συντελεστή παρατηρούνται με την παραγωγή του θερμομονωτικού υλικού. Με το πέρασ του χρόνου, ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας σταδιακά αυξάνεται, γεγονός το οποίο οφείλεται στη διαδικασία εξισορρόπησης του αρχικού αέριου μείγματος με τον εξωτερικό αέρα.

Το θερμοκρασιακό εύρος χρήσης της είναι σχετικά περιορισμένο. Το κατώτερο υπολογίζεται στους -600C και το ανώτερο όριο ανέρχεται σε 750C. Η μεγάλη αντοχή που

παρουσιάζει στον εφελκυσμό (0,30 ως 0,35N/mm²) και στη συμπίεση, η αυξημένη αντίσταση στη διάχυση υδρατμών (80 ως 200) και η απορροφητικότητα της, οφείλεται κατά βάσει στη διαδικασία εξέλασης κατά την παραγωγή της.



Εικόνα 36: Εφαρμογή μόνωσης σε πρόσοψη κτηρίου

Η εξηλασμένη πολυστερίνη όπως και η διογκωμένη πολυστερίνη, αντιμετωπίζει τα ίδια προβλήματα σε ότι αφορά την προσβολή της από έντομα και τρωκτικά και την ευαισθησία της σε διαλύτες και στην υπεριώδη ακτινοβολία, η οποία αποχρωματίζει την επιφάνειά της και καθιστά τις κυψέλες της εύθραυστες. Τεχνικά, ο σκόπελος αυτός μπορεί να ξεπεραστεί, με τον εγκλωβισμό του μονωτικού υλικού στην τοιχοποιία, την εφαρμογή επιχρίσματος στην επιφάνεια του, ή την προστασία του από άλλα υλικά όπως γυψοσανίδες.

Παρά τη χρήση επιβραδυντών καύσης, η εξηλασμένη πολυστερίνη παραμένει εύφλεκτο υλικό και κατατάσσεται στις B1 και B2 κατηγορίες πυραντοχής.

Τέλος, η χρήση της ως μονωτικό υλικό, δεν ενδείκνυται, καθώς δεν διαθέτει ικανοποιητικές ιδιότητες ηχοαπορρόφησης. Ο παρακάτω πίνακας (Πίνακας 8) παρουσιάζει συνοπτικά και συγκεντρωτικά τις ιδιότητες της εξηλασμένης πολυστερίνης.

Πίνακας 8: Τεχνικά χαρακτηριστικά εξηλασμένης πολυστερίνης [Ceuterick, 1993], Heraklith F, 1994], [BASF F, 1994] και [G+H, 1994]

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% βράγυνση	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 υδροπροστασίας				
Συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών	-	80	100/160/200	200
Ποσότητα υγρασίας εξομοίωσης στους 23 °C και 80% σχ. 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

Ε) Αφρός Πολυουρεθάνης

Ο αφρός πολυουρεθάνης αφρός που έχει υποστεί σκλήρυνση με τη χρήση καταλυτών. Η διόγκωση του επιτυγχάνεται με διάφορα προωθητικά μέσα. Παλιότερα, ως προωθητικό μέσο,

χρησιμοποιούταν το FCKW (R11), αλλά τώρα έχει αντικατασταθεί με υδρογονάνθρακες όπως το πεντάνιο, CO₂ ή HFCKW.

Στο εμπόριο, είναι διαθέσιμος σε μορφή αφρού, αποθηκευμένο σε μικρά σωληνάκια υποπίεση, ή σε μεγαλύτερα φορητά δοχεία που προορίζονται για εφαρμογή σε μεγαλύτερες επιφάνειες με ψεκασμό. Μπορεί επίσης να βρεθεί σε μορφή σκληρών πλακών και μορφοποιημένων κομματιών από αφρό, πλακών με επιφανειακή επίστρωση αδιαβροχοποιημένου χαρτιού, πολλαπλών στρωμάτων ή φύλλων αλουμινίου. Μία ακόμα εμπορική μορφή του αφρού πολουρεθάνης είναι τα ειδικά μορφοποιημένα «κοχύλια» που χρησιμοποιούνται στη μόνωση σωληνώσεων.

Ο αφρός πολουρεθάνης παρουσιάζει πολύ μικρό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας $\lambda=0,02 \text{ W/(mK)}$, και είναι πολύ διαδεδομένος γι' αυτό το λόγο. Όσον αφορά στην αντοχή σε εφελκυσμό, αντέχει σε αναπτυσσόμενες τάσεις στο εύρος των 20 έως 30 N/cm². Επίσης, παρουσιάζει εξαιρετικά μικρή απορρόφηση υγρασίας λόγω της κλειστής δομής των κυψελίδων του.

Το θερμοκρασιακό εύρος χρήσης είναι σχετικά περιορισμένο, με κατώτερο όριο τους -50 °C και ανώτερο τους 120 °C. Ο αφρός πολουρεθάνης δεν παρέχει ικανοποιητική προστασία αν και κατά την παραγωγή του προστίθενται μέσα αύξησης της πυραντοχής και κατατάσσεται στις B1 και B2 κατηγορίες πυραντοχής. Πρέπει να σημειωθεί πως κατά την καύση του παράγονται τοξικά αέρια.

Ο αφρός πολουρεθάνης επηρεάζεται από την ηλιακή ακτινοβολία, οι επιφανειακές κυψέλες εξασθενούν και το υλικό γίνεται ψαθυρό. Προσκολλάται έντονα στα σταθερά υλικά, τοποθετείται με ψεκασμό όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, και τέλος, δεν παρέχει προστασία ηχομόνωσης.

Στον Πίνακα 9 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι βασικές ιδιότητες, ποσοτικοποιημένες, του αφρού πολυουρεθάνης.

Πίνακας 9: Τεχνικά χαρακτηριστικά αφρού πολυουρεθάνης [IVPU F, 1994]

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)	0,02		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

ΣΤ) Λοιπά θερμομονωτικά υλικά

Τα προαναφερθέντα θερμομονωτικά υλικά, είναι τα συνηθέστερα, τα πλέον διαδεδομένα στην Ελληνική και Ευρωπαϊκή αγορά. Ωστόσο, δεν είναι τα μόνα. Παρακάτω αναφέρονται συνοπτικά, θερμομονωτικά υλικά που μπορεί να μην κυριαρχούν στην αγορά, μπορεί όμως για κάποιες εφαρμογές η χρήση τους να είναι μονόδρομος.

- **Αφρώδης διογκωμένος φελλός**

Ο διογκωμένος φελλός ανήκει στα οργανικά αφρώδη θερμομονωτικά υλικά. Συναντάται στο εμπόριο με τη μορφή πλακών και κογχυλιών.

Παράγεται από κυψελίδες φελλού, με ρητίνη και ασφατικά πρόσθετα, υπό θερμότητα.

Παρουσιάζει συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας μεταξύ 0,040 και 0,065 W/(mK),

είναι κατάλληλος και για εφαρμογές ηχομόνωσης διότι παρουσιάζει καλές ηχομονωτικές ιδιότητες.



- **Προβατόμαλλο**

Το προβατόμαλλο ανήκει στα οργανικά ινώδη θερμομονωτικά υλικά. Παράγεται με χρήση μαλλιού προβάτου, και είναι διαθέσιμο στην αγορά σε μορφή πλακών, για εφαρμογές θερμομόνωσης αλλά και ηχομόνωσης.

- **Βαμβακόμαλλο**

Το βαμβακόμαλλο ανήκει στην κατηγορία των ινωδών μονωτικών υλικών από φυτικές ίνες, οι οποίες είναι βιοδιασπώμενες και απαιτείται προσθήκη ουσιών για να αυξηθεί η πυραντοχή τους. Έτσι, η σύσταση του μονωτικού υλικού είναι 97% ακατέργαστο βαμβακόμαλλο και 3% βορικό άλας ως μέσο αύξησης της πυραντοχής. Οι εμπορικές μορφές στις οποίες συναντάται είναι οι πλάκες διάφορων παχών, αλλά και σε «μαλλί» για την μόνωση σωλήνων. Το βαμβακόμαλλο χρησιμοποιείται για θερμομονωτικό και ηχομονωτικό σκοπό σε οικιακές συσκευές και στην αυτοκινητοβιομηχανία

- **Περλίτης**

Ο περλίτης ανήκει στην πραγματικότητα σε μία ευρύτερη οικογένεια διογκωμένων ανόργανων πορωδών υλικών. Τα υλικά

αυτά αποτελούνται από περλίτη, από οξείδιο του πυριτίου και από διογκωμένο φυσικό γυαλί. Χρησιμοποιούνται κυρίως στη θερμομόνωση κτιρίων, στη θερμομόνωση δωματίων, ενώ ακόμα εφαρμόζονται και για ηχομονωτικούς λόγους αλλά και για μείωση βάρους στα επιχρίσματα των οικοδομών.

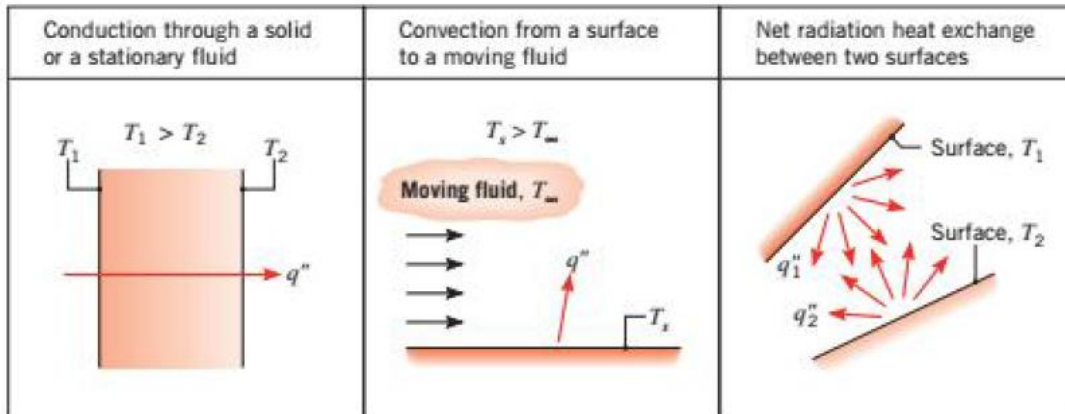


ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Μηχανισμοί Μετάδοσης Θερμότητας

Κατά τη θερμοδυναμική θεωρία είναι γνωστό πως η ενέργεια μεταξύ δυο συστημάτων συναλλάσσεται μέσω έργου και θερμότητας. Από τη θεωρία όμως, δεν δίνονται πληροφορίες όσον αφορά στους μηχανισμούς, μέσω των οποίων γίνεται η μετάδοση της θερμότητας, ούτε για τους ρυθμούς με τους οποίους πραγματοποιείται η συναλλαγή αυτή της ενέργειας.

Η θερμότητα, ως γνωστόν, είναι μορφή ενέργειας που μεταδίδεται μέσω δυο συστημάτων, από εκείνο με την υψηλή προς εκείνο με τη χαμηλή θερμοκρασία.

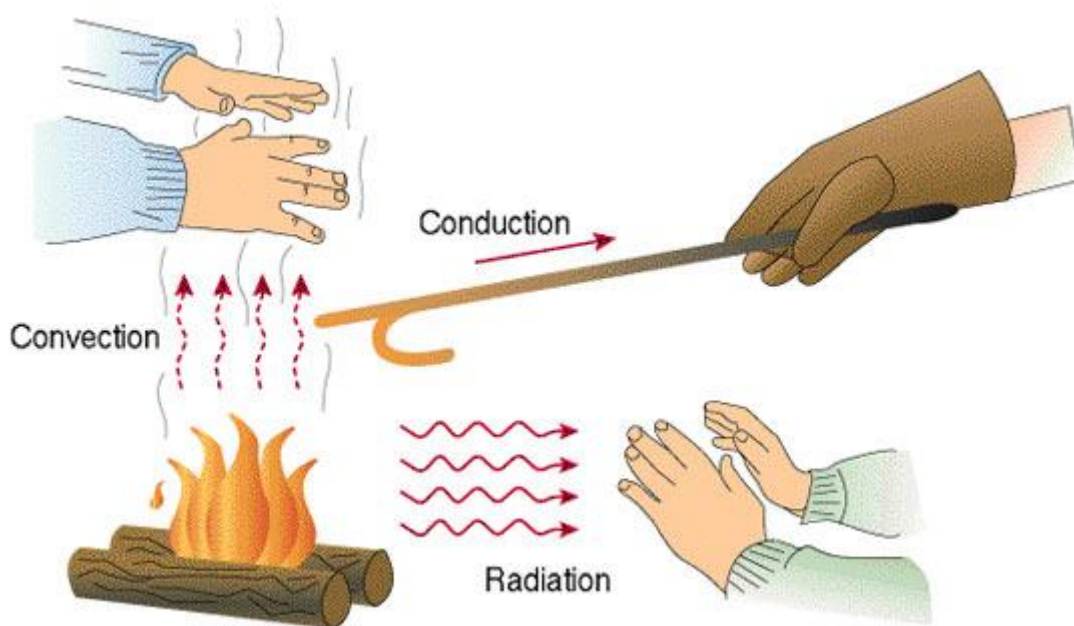


Εικόνα 37: Μετάδοση θερμότητας

Η θερμότητα μεταδίδεται πάντα από σύστημα υψηλότερης προς σύστημα χαμηλότερης θερμοκρασίας. Η μοναδική αιτία αυτής της μεταφοράς ενέργειας είναι η διαφορά θερμοκρασίας. Πρέπει να σημειωθεί ότι το ίδιο το σύστημα δεν περιέχει θερμότητα. Η θερμότητα μπορεί να οριστεί μόνο στα όρια του συστήματος, κατά τη διαδικασία της μεταφοράς της από ένα σύστημα

σε ένα άλλο και για όσο χρόνο διαρκεί η μεταφορά. Η θερμότητα εμφανίζεται (στα όρια των συστημάτων)μέχρι να επέλθει θερμοκρασιακή ισορροπία στα δύο συστήματα.

Το αντικείμενο της Μετάδοσης Θερμότητας είναι η διερεύνηση των μηχανισμών με τους οποίους η θερμότητα μεταδίδεται μεταξύ των σωμάτων και η ποσοτικοποίηση αυτής της συναλλαγής. Μετάδοση θερμότητας συνεπώς, είναι η μεταφορά ενέργειας λόγω θερμοκρασιακής διαφοράς.



Εικόνα 38: Μέθοδοι μετάδοσης θερμότητας

Υπάρχουν τρεις διαφορετικοί μηχανισμοί με τους οποίους πραγματοποιείται αυτή η μεταφορά ενέργειας. Ο πρώτος μηχανισμός αναφέρεται σε ακίνητο μέσο (στερεό, υγρό ή αέριο) και ονομάζεται **αγωγή (conduction)**. Ο δεύτερος μηχανισμός αναφέρεται σε μετάδοση θερμότητας μεταξύ μιας στερεής επιφάνειας και ενός κινούμενου ρευστού και ονομάζεται **συναγωγή (convection)** ή **θερμική μεταβίβαση**. Ο τρίτος μηχανισμός στηρίζεται στο γεγονός

ότι κάθε σώμα πεπερασμένης θερμοκρασίας εκπέμπει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Έτσι μεταξύ δύο σωμάτων διαφορετικής θερμοκρασίας θα υπάρχει μετάδοση θερμότητας, χωρίς την ανάγκη παρουσίας κάποιου ενδιάμεσου σώματος, με την εφαρμογή του τρίτου μηχανισμού, της **θερμικής ακτινοβολίας (thermal radiation)**.

Κατά την εξέταση των φαινομένων στα οποία υπόκειται μία δεδομένη μάζα, εμφανίζονται αλληλεπιδράσεις με τον υπόλοιπο εξωτερικό κόσμο. Για να λαμβάνονται σωστά υπ' όψιν οι αλληλεπιδράσεις αυτές και για την ορθή εξέταση του εν λόγω αντικειμένου, εισάγεται η έννοια του συστήματος. Σύστημα είναι μία διάταξη ή συνδυασμός διατάξεων, που περιέχουν την υπό μελέτη ποσότητα μάζας. Ουσιαστικά είναι ένα υλικό τμήμα του σύμπαντος, το οποίο μπορεί να εξεταστεί χωριστά από το περιβάλλον του. Ένα σύστημα μπορεί να χαρακτηριστεί ως:

Κλειστό σύστημα, στο οποίο δεν είναι δυνατή οποιαδήποτε συναλλαγή μάζας μέσω των ορίων του με το περιβάλλον. **Ανοικτό σύστημα**, αντίθετα, είναι αυτό που επιτρέπει τη συναλλαγή μάζας με το περιβάλλον μέσω των ορίων του. **Μονωμένο σύστημα**, στο οποίο δε γίνεται συναλλαγή μάζας μηχανικού έργου ή θερμότητας με το περιβάλλον.

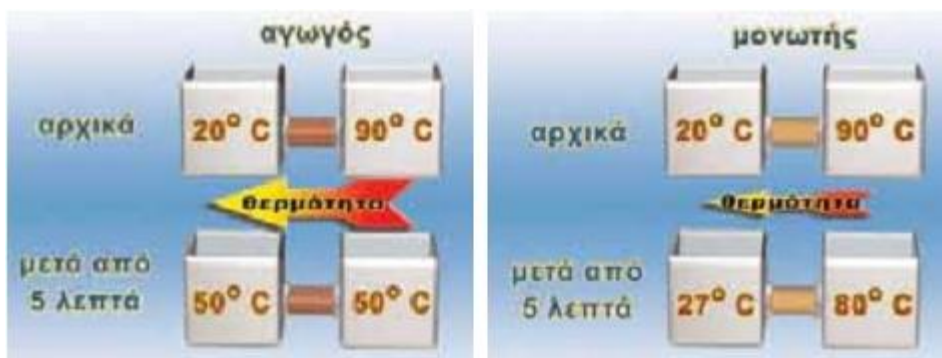
Στο κεφάλαιο αυτό, αναφέρονται οι βασικές αρχές των μηχανισμών μετάδοσης θερμότητας, η μικροσκοπική ερμηνεία των φαινομένων αλλά και η απαραίτητη μαθηματική ανάλυση.

5.1 Θερμική Αγωγή

Ο πρώτος μηχανισμός μετάδοσης θερμότητας είναι αυτός της αγωγής. Η αγωγή θερμότητας αναφέρεται σε μακροσκοπικώς ακίνητα σώματα (στερεά ή ρευστά σε ακινησία) και συνδέεται με τη συναλλαγή ενέργειας σε μοριακό επίπεδο. Πρόκειται για τη μετάδοση ενέργειας

από στοιχειώδη σωματίδια υψηλότερης προς σωματίδια χαμηλότερης ενέργειας, δια της μεταξύ τους αλληλεπίδρασης.

Ας θεωρήσουμε ένα ρευστό το οποίο μακροσκοπικά βρίσκεται σε ακινησία. Έστω ότι το ρευστό βρίσκεται μεταξύ δύο επιφανειών διαφορετικής θερμοκρασίας. Η υψηλότερη θερμοκρασία σε κάποιο σημείο του ρευστού συνδέεται με υψηλότερη ενέργεια των σωματιδίων του λόγω τυχαίας κίνησης, λόγω εσωτερικής περιστροφής και λόγω ταλάντωσης των ατόμων του κάθε μορίου του. Τα σωματίδια σε επαφή με τη πιο θερμή επιφάνεια διαθέτουν υψηλότερη ενέργεια, την οποία μεταδίδουν στα γειτονικά τους σωματίδια χαμηλότερης ενέργειας μέσω των μεταξύ τους συγκρούσεων. Έτσι στην περίπτωση παρουσίας θερμοκρασιακής κλίσης στο εσωτερικό του ρευστού υπάρχει μετάδοση ενέργειας από την περιοχή της υψηλότερης θερμοκρασίας προς την περιοχή της χαμηλότερης θερμοκρασίας, μέσω ακριβώς των συγκρούσεων των μορίων. Η μετάδοση αυτή της ενέργειας μέσω των τυχαίων συγκρούσεων των μορίων καλείται διάχυση ενέργειας (diffusion).

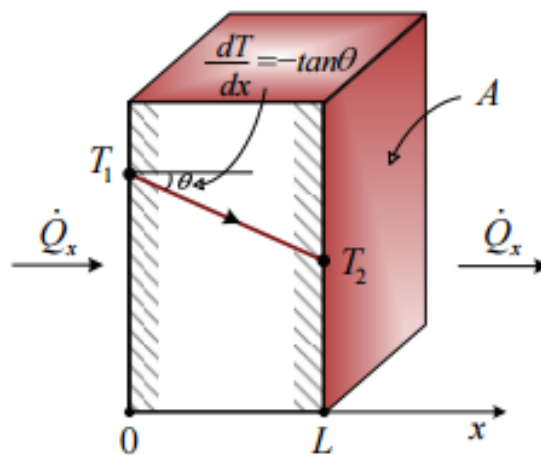


Εικόνα 39: Μετάδοση θερμότητας σε αγωγούς και μονωτές

Παρόμοιος μηχανισμός εμφανίζεται και στην περίπτωση των ακίνητων υγρών. Στην περίπτωση όμως των υγρών οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των μορίων είναι πολύ πιο ισχυρές (παρουσία ισχυρών διαμοριακών δυνάμεων εκτός των συγκρούσεων). Στην περίπτωση των

στερεών η διάδοση της ενέργειας πραγματοποιείται μέσω δύο μηχανισμών. Στην περίπτωση των μονωτών, η ενέργεια διαδίδεται με μορφή πλεγματικών κυμάτων εντός της δομής του στερεού. Τα κύματα αυτά επάγονται από την ταλαντωτική κίνηση των ατόμων. Στην περίπτωση των αγωγών, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια συμμετέχουν, μέσω της κίνησής τους, στη διάχυση της θερμικής ενέργειας στον όγκο του στερεού, μαζί με τα πλεγματικά κύματα.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα μετάδοσης θερμότητας με αγωγιμότητα είναι το φαινόμενο απώλειας θερμότητας, που παρατηρείται σε κλειστούς θερμαινόμενους χώρους κατά τη διάρκεια της ψυχρής περιόδου, το οποίο οφείλεται, κυρίως, στην αγωγιμότητα των τοίχων, των παραθύρων, της οροφής κλπ.



Εικόνα 40: Ροή θερμότητας σε τοίχωμα

Ο ρυθμός μεταβολής της θερμικής αγωγιμότητας, μέσω ενός μέσου, εξαρτάται από τη γεωμετρία του μέσου, το πάχος του, το υλικό του και από τη θερμοκρασιακή διαφορά ανάμεσα στα όριά του. Πειράματα, που έλαβαν μέρος στο παρελθόν, έδειξαν, ότι η ροή θερμότητας, μέσω ενός τοιχώματος, όπως στην Εικόνα 40, είναι ανάλογη της θερμοκρασιακής διαφοράς, ΔT , των

ορίων του μέσου και της κάθετης επιφάνειας, A , στην κατεύθυνση της μεταφοράς θερμότητας, ενώ είναι αντιστρόφως ανάλογη του πάχους του μέσου, Δx . Επομένως, προκύπτει, ότι:

$$\dot{Q}_{cond} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

όπου, η σταθερή ποσότητα, k , είναι ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του μέσου και είναι η χαρακτηριστική φυσική ιδιότητα του υλικού, υποδηλώνοντας την ικανότητά του να μεταφέρει θερμότητα. Τυπικές τιμές του, k , δίνονται στον Πίνακα 7. Στην οριακή περίπτωση, όπου το πάχος του μέσου τείνει στο 0 ($\Delta x \rightarrow 0$), η παραπάνω εξίσωση μπορεί να γραφεί σε διαφορική μορφή:

$$Q = -kA \frac{dT}{dx}$$

η οποία καλείται και Νόμος του Fourier. Ο όρος, dT/dx , είναι η πρώτη παράγωγος της θερμοκρασίας ως προς τη χωρική μεταβολή x , ή αλλιώς η θερμοκρασιακή κλίση. Το αρνητικό πρόσημο είναι η συνέπεια του δεύτερου θερμοδυναμικού νόμου, όπου εξασφαλίζει, ότι η θερμότητα μεταφέρεται, κατά αντίθετη κατεύθυνση, με τη θερμοκρασιακή κλίση.

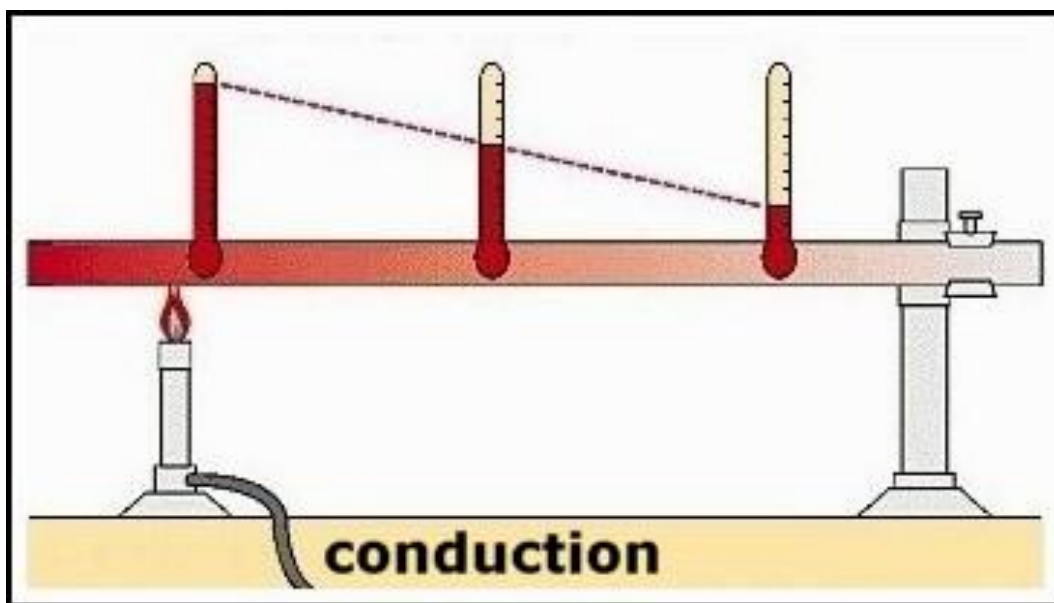
Πίνακας 10: Τυπικές χαρακτηριστικές τιμές k υλικών

Υλικό	k
Υγρά μέταλλα	0.004 – 0.03
Αέρια	0.7 – 1.0
Νερό	1.7 – 13.7
Μέταλλα	3 – 450
Μονωτικά υλικά	0.001 – 0.07
Δομικά υλικά	0.2 – 1.1

5.2 Θερμική Μεταβίβαση

Η θερμική μεταβίβαση ή συναγωγή αναφέρεται στη μετάδοση θερμότητας σε κινούμενα ρευστά. Στην περίπτωση αυτή συνυπάρχουν δύο μηχανισμοί μετάδοσης ενέργειας. Ο πρώτος είναι η διάχυση ενέργειας μέσω των σωματιδιακών αλληλεπιδράσεων (όπως και στην περίπτωση της αγωγής), ενώ ο δεύτερος μηχανισμός συνδέεται με τη μακροσκοπική κίνηση του ρευστού. Κατά τη μακροσκοπική κίνηση του ρευστού τα στοιχειώδη σωματίδια, που απαρτίζουν τα στοιχεία του ρευστού, μεταφέρουν μαζί με τη μάζα τους και την θερμική ενέργεια που σχετίζεται με την τυχαία μεταφορική κίνησή τους, την εσωτερική περιστροφή τους και την ταλάντωσή τους. Έτσι η συνολική μετάδοση θερμικής ενέργειας είναι το άθροισμα της μετάδοσης λόγω συγκρούσεων (διάχυση) και της μετάδοσης λόγω της μεταφοράς της θερμικής ενέργειας των σωματιδίων μέσω της μακροσκοπικής κίνησης του ρευστού.

Η κύρια περιοχή εφαρμογής της μετάδοσης θερμότητας με συναγωγή είναι η μετάδοση από στερεή επιφάνεια προς κινούμενο ρευστό σε επαφή με την επιφάνεια, ή το αντίθετο.



Εικόνα 41: Χαρακτηριστικό παράδειγμα συναγωγής

Το φαινόμενο της συναγωγής εξαρτάται από την ροή του ρευστού (και τα χαρακτηριστικά της) και από τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του ρευστού και της στερεής επιφάνειας. Μια γενική σχέση που περιγράφει τη μετάδοση θερμότητας με συναγωγή είναι ο νόμος του Newton για τη συναγωγή, ο οποίος δίνει την πυκνότητα ροής θερμότητας:

$$\dot{Q}_{conv} = hA(T_w - T_\infty)$$

όπου:

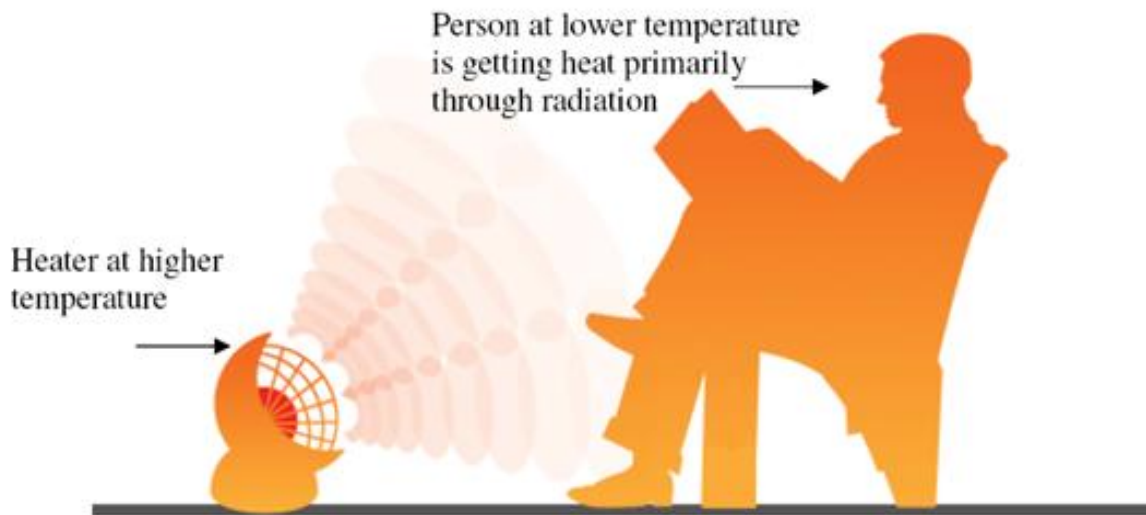
- $h(\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K})$, ο συντελεστής θερμικής συναγωγής του ρευστού, εξαρτώμενος από τις εκάστοτε συνθήκες ροής και την επιφάνεια. Δεν αποτελεί χαρακτηριστική φυσική ιδιότητα του ρευστού
- $A(\text{m}^2)$, η επιφάνεια, συναλλαγής θερμότητας
- T_w, T_∞ , οι θερμοκρασίες της στερεής επιφάνειας και του ρευστού, αντίστοιχα

Η συναγωγή διακρίνεται σε ελεύθερη ή φυσική και εξαναγκασμένη. Φυσική (Natural) ή Ελεύθερη (Free) συναγωγή συντελείται, όταν η κίνηση του ρευστού οφείλεται σε δυνάμεις άνωσης, που προκαλούνται από τις διαφορετικές τιμές πυκνότητας, λόγω θερμοκρασιακής διανομής του ρευστού. Εξαναγκασμένη (Forced) συναγωγή υφίσταται στις περιπτώσεις, όπου το ρευστό κινείται επί μιας επιφάνειας, λόγω εξωτερικών παραγόντων, όπως υπό την επίδραση ενός ανεμιστήρα, μιας αντλίας ή και του εξωτερικού ανέμου.

5.3 Θερμική Ακτινοβολία

Κάθε σώμα (στερεό, υγρό ή αέριο), το οποίο βρίσκεται σε θερμοκρασία διαφορετική από 0 K, εκπέμπει θερμική ακτινοβολία. Η ακτινοβολία (σε μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων –

φωτονίων) δημιουργείται με αλλαγές στην ενεργειακή κατάσταση των ηλεκτρονίων των ατόμων του σώματος. Σε αντίθεση με τους άλλους δύο μηχανισμούς μετάδοσης θερμότητας (αγωγή και συναγωγή), η μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία δεν απαιτεί την ύπαρξη ύλης, αλλά μπορεί να πραγματοποιείται και εν κενώ (στην πραγματικότητα η μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία πραγματοποιείται πιο αποδοτικά εν κενώ).

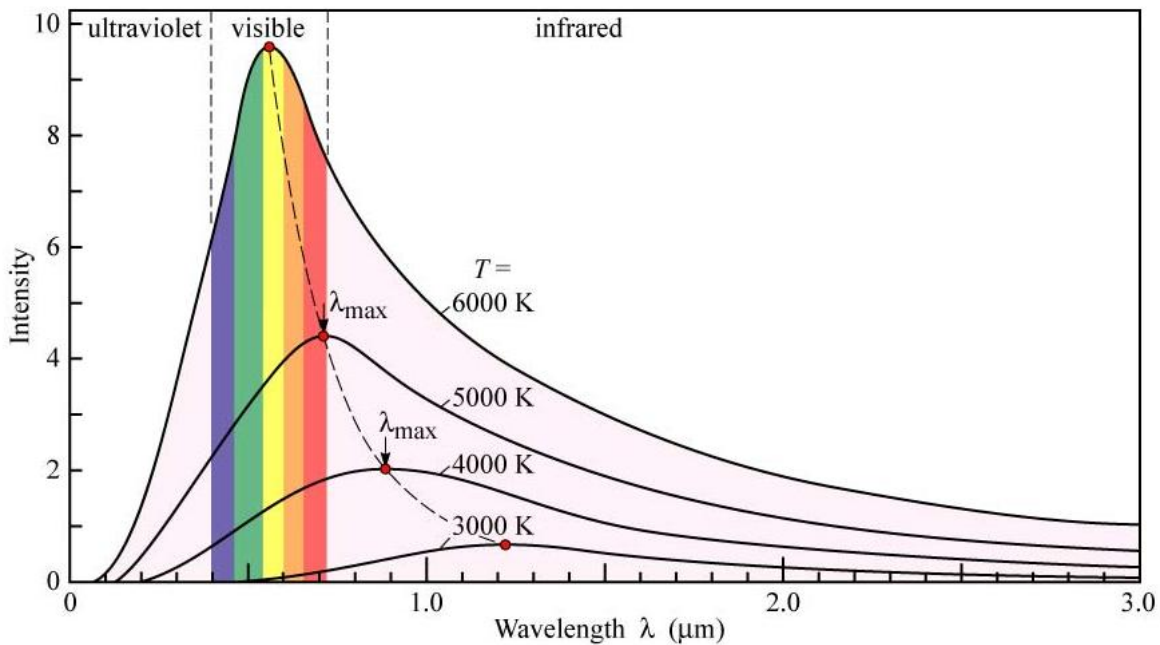


Εικόνα 42: Μετάδοση θερμότητας μέσω ακτινοβολίας

Σε στερεό σώμα υπό θερμοκρασία, η ακτινοβολία που εκπέμπεται από το μοναδιαίο εμβαδόν της επιφάνειας καλείται πυκνότητα εκπεμπόμενης ακτινοβολίας E , ενώ η μέγιστη τιμή της E_b δίδεται από τον νόμο Stefan – Boltzman ως:

$$E_b = \sigma T_s^4$$

όπου T_s η απόλυτη θερμοκρασία της επιφάνειας (σε K) και σ η σταθερά των Stefan – Boltzmann ($\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$). Η επιφάνεια που εκλύει τη μέγιστη αυτή ισχύ ακτινοβολίας ονομάζεται μέλαν σώμα (blackbody).



Εικόνα 43: Ακτινοβολία Μέλανος Σώματος

Σε μία πραγματική επιφάνεια η ακτινοβολούσα ισχύς είναι προφανώς μικρότερη για την ίδια θερμοκρασία και δίδεται:

$$E = \varepsilon \sigma T_s^4$$

όπου ε η **ικανότητα εκπομπής (emissivity)** της επιφάνειας, με τιμές μεταξύ 0 και 1. Η τιμή της εξαρτάται από το υλικό και τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας και δείχνει πόσο προσεγγίζει η συγκεκριμένη επιφάνεια το μέλαν σώμα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Εφαρμογές στις Δομικές Κατασκευές

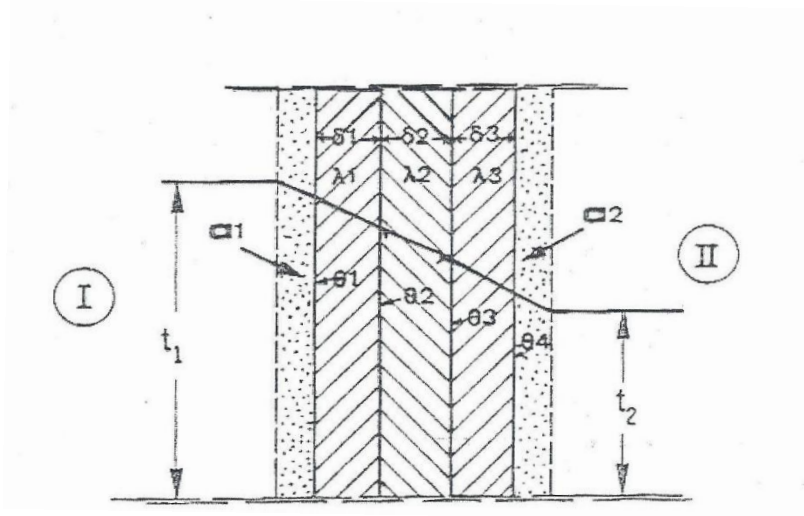
Έχοντας στα προηγούμενα κεφάλαια αναφέρει τους μηχανισμούς μετάδοσης θερμότητας και έχοντας κάνει εκτενή αναφορά στις ιδιότητες και τα είδη των θερμομονωτικών υλικών, το κεφάλαιο που ακολουθεί, αναφέρεται συγκεκριμένα στις εφαρμογές των πολυμερών θερμομονωτικών υλικών στις δομικές κατασκευές.

Στην πρώτη παράγραφο περιγράφεται η μαθηματική μέθοδος υπολογισμού του συντελεστή θερμοπερατότητας και αναφέρονται οι μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του για τις τέσσερις κλιματικές ζώνες στην Ελλάδα, διαδικασία απαραίτητη για τον υπολογισμό της θερμομόνωσης. Στις επόμενες παραγράφους ακολουθούν μαθηματικά παραδείγματα υπολογισμού για διάφορες περιπτώσεις δομικών στοιχείων.

6.1 Μεθοδολογία υπολογισμού θερμομόνωσης

Προκειμένου να υπολογιστεί ο συντελεστής θερμοπερατότητας ενός δομικού στοιχείου, και κατά συνέπεια το πάχος του μονωτικού υλικού θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν ορισμένες παράμετροι. Κρίσιμης σημασίας είναι τα είδη των υλικών που απαρτίζουν το δομικό στοιχείο, το πάχος του, η επιθυμητή εσωτερική θερμοκρασία, η υπάρχουσα εξωτερική θερμοκρασία αλλά και η γεωγραφική τοποθεσία στην οποία εφαρμόζεται τη μόνωση.

Θέτοντας (Q) την ανά ώρα διερχόμενη θερμότητα μέσω μιας επιφάνειας του τοιχώματος από τον χώρο (I) υψηλής θερμοκρασίας (t_1) προς τον χώρο (II) χαμηλής θερμοκρασίας (t_2), η θερμοροή παρουσιάζεται σχηματικά στην παρακάτω εικόνα.



Έχει θεωρηθεί πως επίπεδο τοίχωμα αποτελείται από διαφορετικά υλικά με συντελεστές αγωγιμότητας (λ_i) και πάχη (δ_i). Η επιφάνεια του υλικού εσωτερικά και εξωτερικά έρχεται σε επαφή με τον αέρα. Εκεί θεωρείται (α_i) ο συντελεστής μετάβασης θερμότητας. Με γνώσεις των παραπάνω στοιχείων προκύπτει η έκφραση του συντελεστή θερμοπερατότητας:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

Η σχέση αυτή είναι γενική και ισχύει για οποιοδήποτε υλικά με πάχη δ και συντελεστές θερμικής αγωγιμότητας λ .

Σε πίνακα που αναφέρεται στη βιβλιογραφία, αναφέρονται οι συντελεστές αγωγιμότητας των διαφόρων υλικών όπως περιέχονται στον ψηφισθέντα Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (Κ.ΕΝ.Α.Κ.) και τις σχετικές Τεχνικές Οδηγίες του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε.).

Επίσης, σε αντίστοιχους πίνακες αναφέρονται για τις διάφορες περιπτώσεις οι συντελεστές θερμικής μετάβασης του αέρα εσωτερικού χώρου και εξωτερικού χώρου όπως και οι αντιστάσεις θερμικής μετάβασης

$$R_i = \frac{1}{a_i}$$

Ο Κ.ΕΝ.Α.Κ. προβλέπει τη διαίρεση της χώρας σε τέσσερις (4) βασικές ζώνες θερμαντικών απαιτήσεων Α , Β , Γ και Δ με κριτήριο τόσο τη θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα κατά την διάρκεια του χειμώνα όσο και την διάρκεια της περιόδου θέρμανσης.

ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ	ΝΟΜΟΙ
ΖΩΝΗ Α	Ηράκλειο, Χανιά, Ρέθυμνο, Λασιθί, Κυκλάδες, Δωδεκάνησα, Σάμος, Μεσσηνία, Λακωνία, Αργολίδα, Ζάκυνθος, Κεφαλονιά, Ιθάκη
ΖΩΝΗ Β	Κορινθία, Ηλεία, Αχαΐα, Αιτωλοακαρνανία, Φθιώπδα, Φωκίδα, Βοιωτία, Αττική, Εύβοια, Μαγνησία, Σποράδες, Λέσβος, Χίος, Κέρκυρα, Λευκάδα, Θεσπρωτία, Πρέβεζα, Άρτα
ΖΩΝΗ Γ	Αρκαδία, Ευρυτανία, Ιωάννινα, Λάρισα, Καρδίτσα, Τρίκαλα, Πιερία, Ημαθία, Πέλλα, Θεσσαλονίκη, Κιλκίς, Χαλκιδική, Σέρρες, Καβάλα, Δράμα, Θάσος, Σαμοθράκη, Ξάνθη, Ροδόπη, Έβρος
ΖΩΝΗ Δ	Γρεβενά, Κοζάνη, Καστοριά, Φλώρινα

Καθορίζει ακόμη, τον μέγιστο επιτρεπόμενο συντελεστή θερμοπερατότητας για τις διάφορες επιφάνειες (τοίχοι , δάπεδα , οροφές κ.λπ.) σε συνάρτηση με την αντίστοιχη ζώνη θερμομόνωσης που εντάσσεται ο τόπος στον οποίο γίνεται ο υπολογισμός

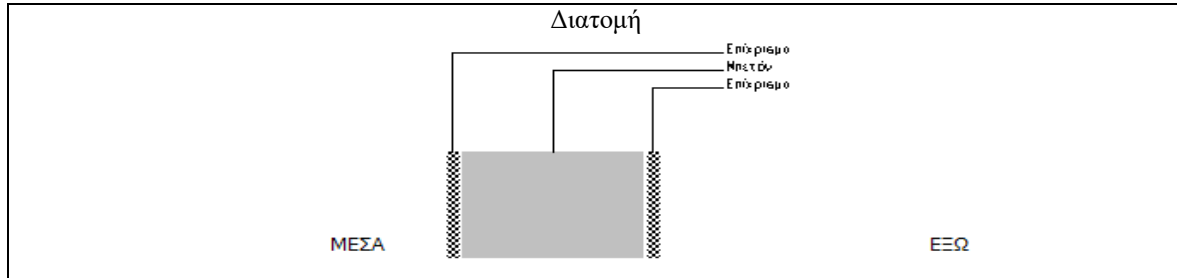
Πίνακας 3.3α. της ΤΟΤΕΕ 20701)1. Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας δομικών στοιχείων για τις τέσσερις κλιματικές ζώνες στην Ελλάδα.

Δομικό στοιχείο	Σύμβολο	Συντελεστής θερμοπερατότητας [W/(m ² .K)]			
		Κλιματική ζώνη			
		A	B	Γ	Δ
Εξωτερική οριζόντια ή κεκλιμένη επιφάνεια σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (οροφές).	U _{v_d}	0,50	0,45	0,40	0,35
Εξωτερικοί τοίχοι σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα.	U _{v-w}	0,60	0,50	0,45	0,40
Δάπεδα σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (πυλωτή).	U _{v_dI}	0,50	0,45	0,40	0,35
Δάπεδα σε επαφή με το έδαφος ή με κλειστούς μη θερμαινόμενους χώρους.	U _{v_g}	1,20	0,90	0,75	0,70
Τοίχοι σε επαφή με το έδαφος ή με μη θερμαινόμενους χώρους.	U _{v_WE}	1,50	1,00	0,80	0,70
Ανοίγματα (παράθυρα, μπαλκονόπορτες κ.ά.)	U_{v-f}	3,20	3,00	2,80	2,60
Γυάλινες προσόψεις κτηρίων μη ανοιγόμενες και μερικώς ανοιγόμενες.	U _{v_gf}	2,20	2,00	1,80	1,80

Οι παραπάνω τιμές είναι οι μέγιστες επιτρεπόμενες ανά κλιματική ζώνη. Έτσι λοιπόν θα πρέπει η θερμομόνωση να υπολογιστεί κατάλληλα ώστε ο συνολικός συντελεστής θερμοπερατότητας του δομικού στοιχείου, με τη μόνωση, να μην υπερβαίνει αυτή τη μέγιστη τιμή.

6.2 Αριθμητικό Παράδειγμα 1: Φέρων οργανισμός απουσία μόνωσης

1. ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ: Φέρων οργανισμός (μπετόν, αμόνωτο) «σε επαφή με εξωτερικό αέρα»



2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΘΕΡΜΟΔΙΑΦΥΓΗΣ (R_{Λ})

a/a	Στρώσεις δομικού στοιχείου	Πυκνότητα ρ	Πάχος στρ. d	Συντ. θερμ. αγωγιμ. λ	Θερμ. αντίστ. d/λ
		kg/m^3	m	$\text{W}/(\text{mK})$	$(\text{m}^2\text{K})/\text{W}$
1	Ασβεστοτσιμεντοκονίαμα (1800 Kg/m^3)	1.800	0,02	0,870	0,02
2	Οπλισμένο Σκυρόδεμα (> 2% σίδηρο)	2.400	0,30	2,500	0,12
3	Ασβεστοτσιμεντοκονίαμα (1800 Kg/m^3)	1.800	0,02	0,870	0,02
4					
5					
Sum			0,34		0,17

3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ (U)

ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΜΕΤΑΒΑΣΗΣ	R_i (εσωτ.)	R_a (εξωτ.)
Εξωτερικοί τοίχοι και παράθυρα (προς εξωτ. αέρα)	0.130	0.040
Τοίχος που συνορεύει με μη θερμαινόμενο χώρο	0.130	0.130
Τοίχος σε επαφή με το έδαφος	0.130	0.000
Οροφή που συνορεύει με μη θερμαινόμενο χώρο	0.100	0.100
Δάπεδο επάνω από ανοικτή διάβαση (pilotis)	0.170	0.040

1	Αντίσταση θερμικής μετάβασης (εσωτερικά)	R_i	$(\text{m}^2\text{K})/\text{W}$	0,13
2	Αντίσταση θερμοδιαφυγής	R_{Λ}	$(\text{m}^2\text{K})/\text{W}$	0,17
3	Αντίσταση θερμικής μετάβασης (εξωτερικά)	R_a	$(\text{m}^2\text{K})/\text{W}$	0,04
4	Αντίσταση θερμοπερατότητας	$R_{o\lambda}$	$(\text{m}^2\text{K})/\text{W}$	0,34

Συντελεστής θερμοπερατότητας	$U=1/ R_{o\lambda}$	$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$	2,98
------------------------------	---------------------	---------------------------------	------

Μέγιστος επιτρ. συντελεστής θερμοπερατότητας (Ζώνη Α)	U_{max}	W/(m²K)	0,60
--	------------------------	---------------------------	------

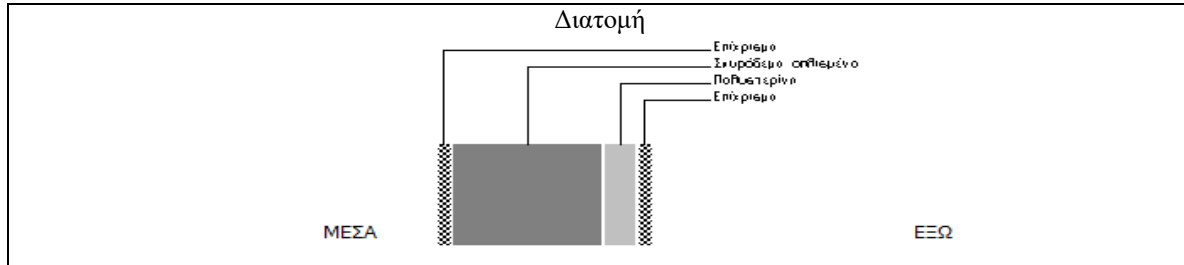
Το πρώτο αριθμητικό παράδειγμα αναφέρεται σε φέρων οργανισμό απουσία μονωτικού υλικού. Αποτελείται από τυπικές τιμές πάχους ασβεστοκονιάματος και οπλισμένου σκυροδέματος, και όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το παράδειγμα λαμβάνει υπόψιν κτίριο κατασκευασμένο στην πρώτη κλιματική ζώνη, σε επαφή με εξωτερικό αέρα.

Λαμβάνοντας λοιπόν υπόψιν τους συντελεστές θερμικής αγωγιμότητας των υλικών και τα δεδομένα πάχη στρώματος, προκύπτει ότι ο συντελεστής θερμοπερατότητας αποκτά τιμή υψηλότερη της μέγιστης επιτρεπόμενης από τον κανονισμό για την ζώνη Α.

Συντελεστής θερμοπερατότητας	U=1/ R_{oλ}	W/(m²K)	2,98
Μέγιστος επιτρ. συντελεστής θερμοπερατότητας (Ζώνη Α)	U_{max}	W/(m²K)	0,60

6.3 Αριθμητικό Παράδειγμα 2: Φέρων οργανισμός παρουσία μόνωσης

1. ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ: Φέρων οργανισμός (μπετόν) «σε επαφή με εξωτερικό αέρα»



2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΘΕΡΜΟΔΙΑΦΥΓΗΣ (R_L)

a/a	Στρώσεις δομικού στοιχείου	Πυκνότητα ρ	Πάχος στρ. d	Συντ. θερμ. αγωγιμ. λ	Θερμ. αντίστ. d/λ
		kg/m^3	m	$\text{W}/(\text{mK})$	$(\text{m}^2\text{K})/\text{W}$
1	Ασβεστοτσιμεντοκονίαμα (1800 Kg/m^3)	1.800	0,02	0,870	0,02
2	Οπλισμένο Σκυρόδεμα (> 2% σίδηρο)	2.400	0,25	2,500	0,10
3	Αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη σε πλάκες	1.450	0,05	0,035	1,43
4	Ασβεστοτσιμεντοκονίαμα (1800 Kg/m^3)	1.800	0,02	0,870	0,02
5					
Sum			0,34		1,57

3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ (U)

ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΜΕΤΑΒΑΣΗΣ	R_i (εσωτ.)	R_a (εξωτ.)
Εξωτερικοί τοίχοι και παράθυρα (προς εξωτ. αέρα)	0.130	0.040
Τοίχος που συνορεύει με μη θερμαινόμενο χώρο	0.130	0.130
Τοίχος σε επαφή με το έδαφος	0.130	0.000
Οροφή που συνορεύει με μη θερμαινόμενο χώρο	0.100	0.100
Δάπεδο επάνω από ανοικτή διάβαση (plotis)	0.170	0.040

1	Αντίσταση θερμικής μετάβασης (εσωτερικά)	R_i	$(\text{m}^2\text{K})/\text{W}$	0,13
2	Αντίσταση θερμοδιαφυγής	R_L	$(\text{m}^2\text{K})/\text{W}$	1,57
3	Αντίσταση θερμικής μετάβασης (εξωτερικά)	R_a	$(\text{m}^2\text{K})/\text{W}$	0,04
4	Αντίσταση θερμοπερατότητας	R_{oL}	$(\text{m}^2\text{K})/\text{W}$	1,74

Συντελεστής θερμοπερατότητας	$U=1/ R_{oL}$	$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$	0,57
------------------------------	---------------	---------------------------------	------

Μέγιστος επιτρ. συντελεστής θερμοπερατότητας (Ζώνη Α)	U_{max}	W/(m²K)	0,60
--	------------------------	---------------------------	------

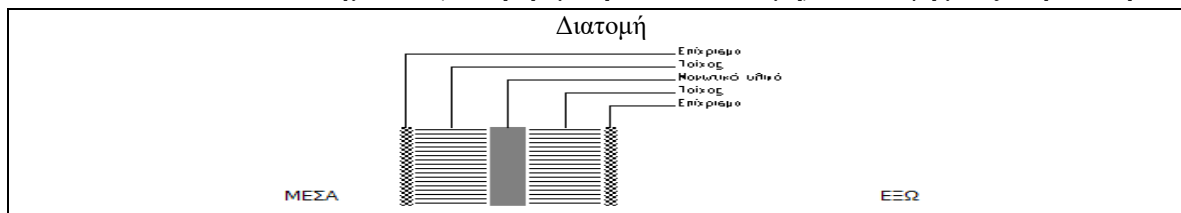
Το δεύτερο αριθμητικό παράδειγμα αναφέρεται σε φέρων οργανισμό παρουσία μονωτικού υλικού, αφρώδους εξηλασμένης πολυστερίνης, πάχους 5cm. Αποτελείται από τυπικές τιμές πάχους ασβεστοκονιάματος και οπλισμένου σκυροδέματος, και όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το παράδειγμα λαμβάνει υπόψιν κτίριο κατασκευασμένο στην πρώτη κλιματική ζώνη, σε επαφή με εξωτερικό αέρα.

Λαμβάνοντας υπόψιν τους συντελεστές θερμικής αγωγιμότητας των κονιαμάτων και του μονωτικού υλικού, προκύπτει ότι ο συντελεστής θερμοπερατότητας αποκτά τιμή χαμηλότερη της μέγιστης επιτρεπόμενης από τον κανονισμό για την ζώνη Α, όπως είναι επιθυμητό για μονωμένη κατασκευή.

Συντελεστής θερμοπερατότητας	U=1/ R_{ολ}	W/(m²K)	0,57
Μέγιστος επιτρ. συντελεστής θερμοπερατότητας (Ζώνη Α)	U_{max}	W/(m²K)	0,60

6.4 Αριθμητικό Παράδειγμα 3: Τοιχοποιία παρουσία μόνωσης

1. ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ: Τοιχοποιία (διπλή δρομική οπτοπλινθοδομή) «σε επαφή με εξωτερικό αέρα»



2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΘΕΡΜΟΔΙΑΦΥΓΗΣ (R_A)

a/a	Στρώσεις δομικού στοιχείου	Πυκνότητα ρ	Πάχος στρ. d	Συντ. θερμ. αγωγιμ. λ	Θερμ. αντίστ. d/λ
		kg/m^3	m	$\text{W}/(\text{mK})$	$(\text{m}^2\text{K})/\text{W}$
1	Ασβεστοτσιμεντοκονίαμα πυκνότητας 1.800 Kg/m^3	1.800	0,02	0,870	0,02
2	Οπτοπλινθοδομή με διάτρητες οπτοπλίνθους πυκνότητας 1.500 Kg/m^3	1.500	0,09	0,510	0,18
3	Αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη σε πλάκες	1.450	0,05	0,035	1,43
4	Οπτοπλινθοδομή με διάτρητες οπτοπλίνθους πυκνότητας 1.500 Kg/m^3	1.500	0,09	0,510	0,18
5	Ασβεστοτσιμεντοκονίαμα πυκνότητας 1800 Kg/m^3	1.800	0,02	0,870	0,02
Sum			0,27		1,83

3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ (U)

ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΜΕΤΑΒΑΣΗΣ	R_i (εσωτ.)	R_a (εξωτ.)
Εξωτερικοί τοίχοι και παράθυρα (προς εξωτ. αέρα)	0.130	0.040
Τοίχος που συνορεύει με μη θερμαινόμενο χώρο	0.130	0.130
Τοίχος σε επαφή με το έδαφος	0.130	0.000
Οροφή που συνορεύει με μη θερμαινόμενο χώρο	0.100	0.100
Δάπεδο επάνω από ανοικτή διάβαση (pilotis)	0.170	0.040

1	Αντίσταση θερμικής μετάβασης (εσωτερικά)	R_i	$(\text{m}^2\text{K})/\text{W}$	0,13
2	Αντίσταση θερμοδιαφυγής	R_A	$(\text{m}^2\text{K})/\text{W}$	1,83
3	Αντίσταση θερμικής μετάβασης (εξωτερικά)	R_a	$(\text{m}^2\text{K})/\text{W}$	0,04
4	Αντίσταση θερμοπερατότητας	$R_{0\lambda}$	$(\text{m}^2\text{K})/\text{W}$	2,00

Συντελεστής θερμοπερατότητας	$U=1/ R_{0\lambda}$	$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$	0,50
Μέγιστος επιτρ. συντελεστής	U_{\max}	$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$	0,60

θερμοπερατότητας (Ζώνη Α)			
----------------------------------	--	--	--

Το τελευταίο αριθμητικό παράδειγμα αναφέρεται σε στοιχείο τοιχοποιίας παρουσία μονωτικού υλικού, αφρώδους εξηλασμένης πολυστερίνης σε πλάκες, πάχους 5cm. Αποτελείται από τυπικές τιμές πάχους ασβεστοκονιάματος, από πρότυπες τιμές οπτοπλινθοδομής, και όπως προηγουμένως, το παράδειγμα λαμβάνει υπόψιν κτίριο κατασκευασμένο στην πρώτη κλιματική ζώνη, σε επαφή με εξωτερικό αέρα.

Λαμβάνοντας υπόψιν τους συντελεστές θερμικής αγωγιμότητας των κονιαμάτων, της οπτοπλινθοδομής και του μονωτικού υλικού, προκύπτει ότι ο συντελεστής θερμοπερατότητας αποκτά τιμή χαμηλότερη της μέγιστης επιτρεπόμενης από τον κανονισμό για την ζώνη Α, όπως είναι επιθυμητό για μονωμένη κατασκευή.

Συντελεστής θερμοπερατότητας	$U=1/ R_{0λ}$	W/(m²K)	0,50
Μέγιστος επιτρ. συντελεστής θερμοπερατότητας (Ζώνη Α)	U_{max}	W/(m²K)	0,60

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Εφαρμογές στις Μηχανολογικές Κατασκευές

Έχοντας αναφέρει σε προηγούμενο κεφάλαιο το απαραίτητο θεωρητικό υπόβαθρο προκειμένου να γίνουν κατανοητοί οι μηχανισμοί μετάδοσης θερμότητας και οι μαθηματικές τους διατυπώσεις, και έχοντας περιγράψει τα πλέον συνήθη θερμομονωτικά υλικά και τις ιδιότητές τους, το κεφάλαιο αυτό, αφιερώνεται στην εφαρμογή τους στις μηχανολογικές κατασκευές και τον ρόλο που φέρουν σε αυτές.

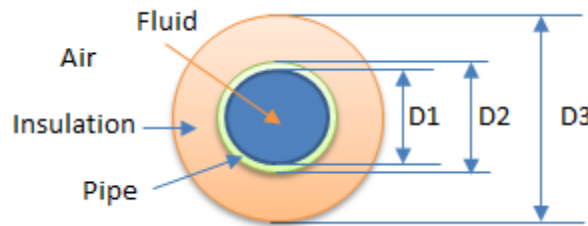
Στις επόμενες παραγράφους περιγράφονται αριθμητικά παραδείγματα εφαρμογών των θερμομονωτικών πολυμερών υλικών, σε καθημερινής χρήσης αντικείμενα, και αντιπαραβάλλονται σε κάθε περίπτωση θεωρητικά αποτελέσματα σε συνθήκες χρήσης και μη, των υλικών αυτών.

7.1 Μόνωση Αγωγού μεταφοράς ρευστού

Η πρώτη παράγραφος αφιερώνεται στο πολύ διαδεδομένο πρόβλημα της μόνωσης αγωγού μεταφοράς ρευστού, θερμοκρασίας διαφορετικής από εκείνη του περιβάλλοντος, συνεπώς βρίσκει εφαρμογή σε δίκτυα σωληνώσεων εγκαταστάσεων ψύξης θέρμανσης όπως ηλιακοί θερμοσίφωνες και air condition.

Η θερμομόνωση αυτού του τύπου επιτυγχάνεται συχνά με εύκαμπτο αφρώδες υλικό από συνθετικό καουτσούκ τύπου BUNA-N (NBRήEPDM), το οποίο εξασφαλίζει υψηλή αντίσταση στην διάχυση των υδρατμών, αντίσταση στη διάδοση της φλόγας, μεγάλη διάρκεια ζωής, και όπως αναμένεται πολύ χαμηλή θερμική αγωγιμότητα. Η θερμική αγωγιμότητα εμπορικών προϊόντων αυτής της κατηγορίας κυμαίνεται σε τιμές κοντά στα 0,03 - 0,04 W/mK.

Το αριθμητικό παράδειγμα που ακολουθεί αφορά μία τυπική περίπτωση μεταφοράς νερού υψηλής θερμοκρασίας 70°C σε μεταλλικό αγωγό εσωτερικής διαμέτρου 16mm, πάχους 2mm, υπο θερμοκρασία περιβάλλοντος 20°C με πάχος θερμομόνωσης 10mm, μια οικονομική λύση χαμηλής απόδοσης, με εμφανή παρόλα αυτά αποτελέσματα.



Προκειμένου να υπολογιστεί η μεταφορά θερμότητας από τον μεταλλικό αγωγό στο περιβάλλον, στις περιπτώσεις με ή χωρίς θερμομόνωση, απαραίτητο είναι να υπολογιστούν πρώτα οι θερμικές αντιστάσεις των υλικών.

Η θερμική αντίσταση όπως έχει ήδη αναφερθεί εξαρτάται από το πάχος του θερμομονωτικού υλικού, τη θερμική του αγωγιμότητα, και υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση

$$R_{υλικού} = \frac{\ln(r_e/r_i)}{2\pi \cdot \lambda_{υλικού}}$$

Όπου, r_e η εξωτερική ακτίνα (σε m)

r_i η εσωτερική ακτίνα (σε m)

$\lambda_{υλικού}$ η θερμική αγωγιμότητα (σε W/mK)

Η ολική θερμική αντίσταση του αγωγού, με ή χωρίς θερμομόνωση, λαμβάνοντας υπόψη και την θερμική αντίσταση του αέρα, υπολογίζεται με την ακόλουθη εξίσωση:

$$R_{ολική} = \frac{R_t}{2\pi \cdot r_i} + \sum \frac{\ln(r_e/r_i)}{2\pi \cdot \lambda_{υλικού}} + \frac{R_e}{2\pi \cdot r_e}$$

Όπου, R_i η θερμική αντίσταση μεταξύ ρευστου και αγωγού (σε m^2K/W)

R_e η θερμική αντίσταση μεταξύ αγωγού και αέρα (σε m^2K/W)

Έστω ότι η θερμική αγωγιμότητα του μεταλλικού αγωγού είναι $52 W/mK$, και το πάχους $10mm$ θερμομονωτικό υλικό έχει αντίστοιχα $0,03 W/mK$. Η εσωτερική ακτίνα του θερμομονωτικού είναι $0,016m$ και η εξωτερική του $0,026m$. Για θερμικές αντιστάσεις $R_i=1/2000 m^2K/W$ και $R_e=1/8 m^2K/W$, η τιμή της ολικής αντίστασης γίνεται:

$$R_{ολική} = \frac{1/2000}{2\pi \cdot 0,016} + \frac{\ln(0,018/0,016)}{2\pi \cdot 52} + \frac{1/8}{2\pi \cdot 0.018} = 1,11mK/W$$

στην περίπτωση του εκτεθειμένου, δίχως μόνωση αγωγού, ενώ αντίστοιχα:

$$R_{ολική} = \frac{1/2000}{2\pi \cdot 0,016} + \frac{\ln(0,018/0,016)}{2\pi \cdot 52} + \frac{\ln(0,028/0,018)}{2\pi \cdot 0.03} + \frac{1/8}{2\pi \cdot 0.028} = 3.06mK/W$$

στην περίπτωση του μονωμένου αγωγού.

Η ροή θερμότητας υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\Phi_{ολική} = \frac{\theta_i - \theta_e}{R_{ολική}} \cdot L$$

Συνεπώς, στις δύο περιπτώσεις δίχως και με, μόνωση η θερμότητα που εκλύεται ανα μήκος είναι:

$$\Phi_{ολική}/\mu\eta\kappa\omicron\varsigma = \frac{70-20}{1,11} = 45,04 W/m \quad (\text{χωρίς μόνωση})$$

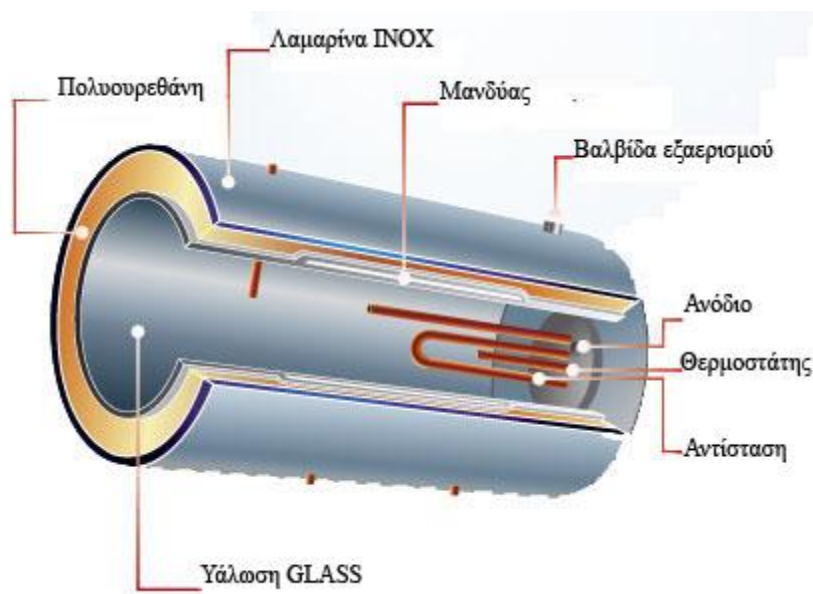
$$\Phi_{ολική}/\mu\eta\kappa\omicron\varsigma = \frac{70-20}{3,06} = 16,34 W/m \quad (\text{με μόνωση})$$

Παρατηρείται, πως ακόμη και αυτή η υποτυπώδης μονωτική λύση είναι ικανή να μειώσει τις θερμικές απώλειες κατά περίπου 64%.

7.2 Δοχείο αποθήκευσης ζεστού νερού (Boiler)

Στην παράγραφο αυτή εξετάζεται το παράδειγμα της θερμομόνωσης του δοχείου ζεστού νερού, ηλιακού θερμοσίφωνα γνωστό ως boiler. Γίνονται συγκριτικοί υπολογισμοί μεταξύ των δύο επικρατέστερων θερμομονωτικών υλικών που χρησιμοποιούνται στα συνήθη εμπορικά προϊόντα .

Το απαιτούμενο θεωρητικό υπόβαθρο αναφέρεται στην προηγούμενη παράγραφο, ενώ οι τυπικές τιμές των γεωμετρικών διαστάσεων και λοιπών χαρακτηριστικών του boiler αναφέρονται στη συνέχεια.



Το παράδειγμα αφορά σε boiler όγκου 150Lt, με μήκος καζανιού 1m (εσωτερικό μήκος κυλίνδρου) και διάμετρο καζανιού 40cm. Το πάχος της μόνωσης επιλέγεται στα 5cm, και εξετάζονται δυο κυρίαρχα είδη, ο αφρός πολυουρεθάνης και ο υαλοβάμβακας. Το πάχος του μεταλλικού εξωτερικού περιβλήματος, αλλά και η εσωτερική επίστρωση υάλου είναι πολύ μικρά

συγκριτικά με τα μεγέθη που εξετάζονται, και έτσι η επιρροή τους θεωρείται αμελητέα και δεν συνυπολογίζεται.

Η εσωτερική θερμοκρασία θεωρείται στους 80°C και η θερμοκρασία περιβάλλοντος 20°C. Τα μονωτικά που χρησιμοποιούνται έχουν θερμική αγωγιμότητα:

$$\lambda_{\text{πολυουρεθανη}} = 0,020 \text{ W/(mK)} \quad \lambda_{\text{υαλοβαμβακα}} = 0,034 \text{ W/(mK)}$$

Όπως προηγουμένως, υπολογίζεται η θερμική αντίσταση από την παρακάτω σχέση

$$R_{\text{υλικού}} = \frac{\ln(r_e/r_i)}{2\pi \cdot \lambda_{\text{υλικού}}}$$

Όπου, $r_e = 0,26\text{m}$ η εξωτερική ακτίνα (σε m)

$r_i = 0,20\text{m}$ η εσωτερική ακτίνα (σε m)

$\lambda_{\text{υλικού}}$ η θερμική αγωγιμότητα (σε W/mK)

Έτσι λοιπόν για τις δύο περιπτώσεις ισχύει

$$R_{\text{πολυουρεθανη}} = \frac{\ln(0,26/0,20)}{2\pi \cdot 0,020} = 2,1\text{mK/W}$$

Και

$$R_{\text{υαλοβάμβακα}} = \frac{\ln(0,26/0,20)}{2\pi \cdot 0,034} = 1,2\text{mK/W}$$

Η ροή θερμότητας, όπως προηγουμένως υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\Phi_{\text{ολική}} = \frac{\theta_i - \theta_e}{R_{\text{ολική}}} \cdot L$$

Συνεπώς, στις δύο περιπτώσεις μόνωσης, η θερμότητα που εκλύεται ανα μήκος είναι:

$$\Phi_{\text{πολυουρεθανη}} / \text{μηκος} = \frac{80-20}{2,1} = 33,3\text{W/m (με μόνωση πολυουρεθάνης)}$$

$$\Phi_{\text{υαλοβάμβακα}}/\mu\eta\kappa\omicron\varsigma = \frac{80-20}{1,2} = 58,3 \text{ W/m} \quad (\mu\epsilon \mu\omicron\lambda\omega\sigma\eta \text{ υαλοβάμβακα})$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

Συμπεράσματα Πτυχιακής Εργασίας

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία, αναφέρθηκαν οι απαραίτητες πληροφορίες ώστε ο αναγνώστης μελετώντας την, να οδηγηθεί από την αναγκαιότητα χρήσης των θερμομονωτικών υλικών, στην κατανόηση των κατηγοριών τους, των φυσικών νόμων που τα διέπουν, και τελικά, των πραγματικών εφαρμογών που αυτά χρησιμοποιούνται και στον ουσιαστικό τους ρόλο.

Η αναγκαιότητα ανάπτυξης και χρήσης υλικών τα οποία θα ανθίστανται στην μεταφορά θερμικής ενέργειας στον όγκο τους, θα μειώνουν επομένως τις απώλειες ενέργειας, συνεπώς το κόστος παραγωγής, είναι τα τελευταία χρόνια ολοένα και πιο προφανής. Στις πρώτες δεκαετίες της κοινωνικοοικονομικής ανάπτυξης, οποιοσδήποτε περιορισμός προκειμένου να διασωθούν πόροι, και να μειωθούν οι αλόγιστες ενεργειακές σπατάλες ήταν εντελώς εκτός τόπου. Στη σημερινή κοινωνία όμως, αυτή η λάθος κουλτούρα αρχίζει να αλλάζει.

Για τον λόγο αυτό, η χρήση των κατάλληλων για κάθε εφαρμογή υλικών, λαμβάνεται πια υπ' όψη. Σήμερα υπάρχουν διαθέσιμα πολύ περισσότερα υλικά, απ' όσα μπορεί κάποιος επαγγελματίας να γνωρίζει και να έχει ο ίδιος χειριστεί. Σήμερα ο στόχος είναι, από όλο αυτό το σύνολο των υλικών, ο επαγγελματίας, να είναι σε θέση να επιλέξει, αξιολογώντας μαζί με τις ιδιότητες του υλικού, τις συνθήκες εφαρμογής, το κόστος, το ενεργειακό αποτύπωμα τη διάρκεια στο χρόνο, και άλλες παραμέτρους, ώστε να εκτιμήσει την ακαταλληλότητά του.

Τα στοιχεία που παρουσιάστηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια, έχουν αυτό το στόχο. Να συγκεντρώσουν και να συγκρίνουν χαρακτηριστικά των θερμομονωτικών υλικών, ώστε να γίνει ευκολότερη η επιλογή ανάμεσα τους.

Μελετώντας τα, εύκολα συμπεραίνει κανείς, πως για κάθε πρόβλημα θερμομόνωσης, υπάρχουν πολλές πιθανές λύσεις. Η επιλογή γίνεται προσμετρώντας και άλλες παραμέτρους, πέρα από το ζεύγος ‘συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας’ και ‘κόστος’, όπως θα περίμενε κανείς. Η συμπεριφορά του υλικού σε πυρκαγιά, η ευκολία εφαρμογής του, η ανθεκτικότητα στα φορτία και στο χρόνο, αλλά και η ακουστική του συμπεριφορά, η απορροφητικότητα του, και η ανοχή του σε προσβολές μικρών και μεγαλύτερων οργανισμών, είναι εξίσου σημαντικές.

Η μάχη όμως για την εξέλιξη ολοένα και πιο αποδοτικών, ολοένα και πιο εξωτικών θερμομονωτικών υλικών συνεχίζεται. Στα πλαίσια της ανάπτυξης πιο αποτελεσματικών

θερμομονωτικών υλικών, συνεπώς, της μείωσης των θερμικών καταναλώσεων, πάρα πολλά ιδρύματα και εταιρίες ανά τον κόσμο, ίσως με διαφορετική



στόχευση, αγωνίζονται να αναπτύξουν την νέα αυτή τεχνολογία, που θα μπορεί με μικρό ενεργειακό κόστος παραγωγής και εφαρμογής, να επιφέρει μεγάλο ενεργειακό κέρδος κατά τη διάρκεια χρήσης της. Η πρόοδος είναι προδιαγεγραμμένη, είναι μονάχα θέμα χρόνου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Α. Γ. Κορωναίος, Γ. Ι. Πουλάκος “Τεχνικά Υλικά” , ΕΜΠ, Αθήνα, 2006
- Α. Τριανταφύλλου, “Δομικά Υλικά”, Πάτρα 2005, 7η Έκδοση.
- ‘Φυσικές και Μηχανικές Ιδιότητες των Υλικών’, ΑΤΕΙ Λάρισας /ΣΤΕΦ/ΓΤΘΕ/
Εργαστήριο Τεχνολογίας Δομικών Υλικών
- [Αντωνιάδης Α. ‘Τεχνολογία Υλικών’ Εργαστήριο Μικροκοπής & Κατασκευαστικής Προσομοίωσης, Χανιά 2010](#)
- Κολοβός Κ., ‘ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΥΛΙΚΑ Ι’, «Αθηνά» Κέντρο Ελέγχου όπλων, Βάρη 2012
- Παπάζογλου Δημήτρης, ‘Υλικά Ι’, Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Υλικών,
Πανεπιστήμιο Κρήτης,
- [‘Υλικά - Σημειώσεις’, www.m3.tuc.gr](#)
- Καραμάνος Α.Κ., Γιαμά Ε., Χαδιαράκου Σ., Παπαδόπουλος Αγίς Μ., ‘ Συγκριτική αξιολόγηση πετροβάμβακα και εξηλασμένης πολυστερίνης’, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
- Κουντούρης Α. , ‘Πειραματική μελέτη των μηχανικών ιδιοτήτων και των μορφών αστοχίας συνθέτων δομικών πάνελ (τύπου sandwich) υπό συνθέτη καταπόνηση’, ΕΜΠ, Αθήνα, 2009
- Οικονόμου Ν., Στεφανίδου Μ., Μαυρίδου Σ. , ‘Ειδικά θέματα δομικών υλικών’, Α.Π.Θ, 2012
- www.fibran.gr

- Αραβάνης Β., Ψωμαδάκης Ν. ‘Πειραματική μελέτη και ανάλυση εναλλάκτη θερμότητας διασταυρούμενης ροής’, Α.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ, 2016
- Νικολός Ι. , ‘Σημειώσεις Μαθήματος Μετάδοσης Θερμότητας’ ,Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά 2007
- John Wiley & Sons, Inc, ‘Mechanical Engineers Handbook - Materials and Mechanical Design’ , USA 2006
- Μονιάκης Ε. Μ., ‘Μηχανολογικές Εγκαταστάσεις 1’ , ΣΤΕΦ - Τμήμα Μηχανολογίας,
- Γ. Καλκάνη, Ι. Χατήρη, Τεχνολογία Υλικών, 3η Έκδοση, Εκδ. Ίων, Αθήνα 2005
- <https://www.modorplastics.com/plastics-learning-center/thermoset-vs-thermoplastics/>
- <https://www.thomasnet.com/articles/plastics-rubber/thermoset-vs-thermoplastics/>
- <https://www.osborneindustries.com/news/difference-between-thermoplastic-thermosetting-plastic/>
- https://en.wikipedia.org/wiki/Polymer_matrix_composite
- <https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/polymer-composite>
- <https://sciencestruck.com/difference-between-thermoplastics-thermosets>
- Διαλέξεις πλαστικών στη Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ
- Balasubramanian, A.. (2017). CLASSIFICATION OF MATERIALS. 10.13140/RG.2.2.12792.34567
- William D. Callister , R Balasubramaniam, (2015) Callister’s Materials Science And Engineering 2nd Edition, ISBN-13: 9788126541607
- Ong HC, Mahlia TMI, Masjuki HH. A review on energy scenario and sustainable energy in Malaysia. Renew Sustain Energy Rev 2011;15:639–47.

- Hui SCM. Building energy efficiency standards in Hong Kong and mainland China. Department of Architecture, The University of Hong Kong; 2000.
- Intergovernmental Panel on Climate Change I. Climate Change 2007: Synthesis Report. (<http://www.ipcc.ch/S>); 2007
- Xu X, Zhang Y, Lin K, Di H, Yang R. Modeling and simulation on the thermal performance of shape-stabilized phase change material floor used in passive solar buildings. Energy Build 2005;37:1084–91–13651363
- J. Hroudova, J. Zach, R. Hela, A. Korjenic, "Advanced, Thermal Insulation Materials Suitable for Insulation and Repair of Buildings," Advanced Materials Research, vol. 688, 2013, pp. 54–59.
- CIV-E1010 Building Materials Technology (5 cr), Aalto University, School of engineering