



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ  
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**

**«ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ»**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ  
ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΘΕΡΜΟΚΑΜΕΡΑΣ»**

**Τσίβου Μαρία**

Ηλεκτρολόγος Μηχανικός &

Μηχανικός Υπολογιστών

Επιβλέπων: **Αναπληρωτής Καθηγητής, Ευάγγελος Χριστοφόρου**

*ΑΘΗΝΑ*

*ΑΚΑΔΗΜΑΙΚΟ ΕΤΟΣ 2010-2011*

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ «ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ  
ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΘΕΡΜΟΚΑΜΕΡΑΣ»

Τσίβου Μαρία  
Ηλεκτρολόγος Μηχανικός &  
Μηχανικός Υπολογιστών

Επιβλέπων: Αναπληρωτής Καθηγητής, Ευάγγελος Χριστοφόρου

.....  
Ε.Χριστοφόρου  
Αν.Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Οκτώβριος 2011

.....  
Τσίβου Μαρία

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός & Μηχανικός Υπολογιστών

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

*Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως αντικείμενο τη μελέτη και αξιολόγηση της θερμικής συμπεριφοράς διαφόρων δομικών υλικών καθώς και την ανάλυσή της με τη χρήση κατάλληλου καταγραφικού εξοπλισμού(θερμοκάμερα).*

*Για την επιτυχή ολοκλήρωση της διπλωματικής αυτής εργασίας συνέβαλλε καθοριστικά ο Αναπληρωτής καθηγητής της σχολής Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών, κ.Χριστοφόρου Ευάγγελος, τον οποίο και ευχαριστώ θερμά για την επιστημονική καθοδήγηση, τις πολύτιμες συμβουλές του και την ευκαιρία που μου έδωσε να εμπλουτίσω το γνωστικό μου πεδίο μέσω της ενασχόλησης με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα.*

*Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Λέκτορα της σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, κ.Τσαραμπάρη Παναγιώτη, για την αμέριστη βοήθειά του, την υποστήριξή του και την συνεργασία του η οποία ήταν καταλυτική για την διεκπεραίωση της διπλωματικής αυτής εργασίας.*

*Τέλος θα ήταν παράλειψη να μην γίνει αναφορά στην κα. Μαραγγέλη Παρασκευή, ιδιοκτήτρια των διαμερισμάτων όπου διεξήχθησαν οι μετρήσεις, χωρίς την ευγενική συγκατάθεση και τη φιλοξενία της οποίας η εκπόνηση της εργασίας αυτής θα ήταν αδύνατη.*

Αθήνα, Οκτώβριος 2011

Τσίβου Μαρία

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η κατανάλωση ενέργειας παρουσιάζει σήμερα μια συνεχώς αυξανόμενη πορεία με σημαντικές επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον. Η μοναδική λύση σε αυτό το πρόβλημα είναι η εξοικονόμηση ενέργειας με ποικίλους τρόπους. Μοναδική ευκαιρία για να εξοικονομηθεί ενέργεια αποτελεί ο κτιριακός τομέας ο οποίος παρουσιάζει από τα μεγαλύτερα ποσοστά κατανάλωσης ενέργειας παγκοσμίως, αλλά είναι και ο τομέας που είναι αρκετά ευέλικτος ώστε να επιδέχεται σημαντικές αλλαγές προς την εξοικονόμηση ενέργειας.

Σκοπό της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η θερμοκρασιακή κατανομή καθώς και η ενεργειακή θωράκιση και απόδοση διαφορετικών δομικών υλικών που χρησιμοποιούνται ευρύτατα στον κτιριακό τομέα.

Αρχικά γίνεται περιγραφή των μηχανισμών μεταφοράς θερμότητας και δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στη μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία που χρησιμοποιήθηκε κυρίως στην διεξαγωγή των μετρήσεων και στην κατανόηση των αποτελεσμάτων.

Ακολουθεί μια αναφορά στα σημαντικότερα δομικά υλικά που κυριαρχούν στον κτιριακό τομέα, περιγράφονται διάφορες ιδιότητες και χαρακτηριστικά τους, ο ρόλος τους και η εφαρμογή τους στον κατασκευαστικό κλάδο.

Στη συνέχεια παρατίθενται διάφορες μέθοδοι μέτρησης της θερμοκρασίας τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της καθεμιάς, καθώς και τα όργανα που χρησιμοποιούνται σε κάθε περίπτωση. Έμφαση δίνεται στη θερμογραφία που αποτελεί σημαντική σύγχρονη μη καταστρεπτική μέθοδο με μεγάλο πεδίο εφαρμογών.

Στη μέθοδο της θερμογραφίας απαραίτητη είναι η χρήση της θερμοκάμερας. Περιγράφονται έτσι διεξοδικά τα στοιχεία που την αποτελούν, η αρχή λειτουργίας και διάφορες χαρακτηριστικές παράμετροι.

Το κύριο μέρος της παρούσας εργασίας περιλαμβάνει τη διαδικασία διεξαγωγής των μετρήσεων, τις θερμοφωτογραφίες που λήφθηκαν καθώς και συγκεντρωτικά αποτελέσματα με τις τιμές των θερμοκρασιών.

Τέλος γίνεται αποτίμηση των αποτελεσμάτων και προκύπτουν συμπεράσματα για το συντελεστή ποιότητας του δομικού στοιχείου που έχει μετρηθεί.

## ABSTRACT

Energy consumption is now a growing trend with significant impact on the environment. The solution to this problem is saving energy in various ways. The building sector has high rates of energy consumption, but is also flexible enough to be modified for energy savings.

The aim of this thesis is the temperature distribution, the energy shielding and performance of building materials which are widely used in the building sector.

Firstly, the mechanisms of heat transfer are described, pointing heat transfer by radiation which is used primarily in completing the measurements and understanding the results.

Then, follows a presentation of the most important building materials, their qualities and characteristics, as well as, their application in construction.

Several methods of temperature measurement are analyzed and the advantages and disadvantages of each method as well as the equipment used in each one of them are pointed below. Also, the thesis emphasizes thermography which is a modern method of non-destructive testing, with a large range of applications.

The method of thermography requires the use of a thermal camera. Thus, the elements, the function and characteristic parameters of the camera are described in detail.

The main part includes the process of the measurements, the thermal photos taken and the values of temperature.

Finally after processing the measurements, conclusions are drawn about the quality factor of the building material measured.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1. ΑΡΧΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ.....	10
1.1 Μεταφορά με αγωγή.....	10
1.2 Μεταφορά με συναγωγή.....	12
1.3 Μεταφορά με ακτινοβολία.....	13
1.3.1 Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα.....	14
1.3.2 Μέλαν σώμα.....	17
1.3.3 Κατανομή του Planck.....	19
1.3.4 Νόμος Μετατόπισης του Wien.....	21
1.3.5 Ακτινοβολία σώματος.....	22
1.3.6 Συντελεστής Απορρόφησης μιας Πραγματικής Επιφάνειας.....	22
1.3.7 Συντελεστής Εκπομπής μιας Πραγματικής Επιφάνειας.....	22
1.3.8 Ένταση Ακτινοβολίας.....	24
1.3.9 Ο νόμος Lambert.....	24
2. ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ.....	26
2.1 Ξύλο.....	26
2.1.1 Φυσικά χαρακτηριστικά.....	26
2.2 Κονιάματα και επιχρίσματα.....	27
2.3 Λίθοι.....	30
2.3.1 Φυσικοί δομικοί λίθοι.....	30
2.3.2 Κατηγορίες πετρωμάτων.....	30
2.3.2.1 Εκρηξιγενή πετρώματα.....	30
2.3.2.2 Ιζηματογενή πετρώματα.....	30
2.3.2.3 Μεταμορφωσιγενή πετρώματα.....	31
2.3.3 Γενικές ιδιότητες των φυσικών δομικών λίθων.....	32
2.3.4 Χρήσεις των φυσικών δομικών λίθων.....	32
2.3.5 Τεχνητοί δομικοί λίθοι.....	33
2.3.5.1 Φυσικές ιδιότητες.....	33
2.3.5.2 Μηχανικές ιδιότητες.....	34
2.3.5.3 Αργιλικά ή κεραμικά δομικά στοιχεία.....	34

2.3.5.4	Οπτόπλινθοι ή τούβλα.....	35
2.3.5.5	Ιδιότητες των τούβλων.....	35
2.3.5.6	Ελαφρά ή πορώδη τούβλα.....	36
2.3.5.7	Πυρίμαχα τούβλα ή πυρότουβλα.....	36
2.4	Σκυρόδεμα.....	36
2.4.1	Είδη των τσιμεντών.....	39
2.5	Μέταλλα.....	40
2.5.1	Χάλυβας.....	40
2.5.2	Χαλκός.....	41
2.5.3	Αλουμίνιο.....	42
2.5.4	Μόλυβδος.....	43
2.6	Γυαλί.....	44
2.6.1	μονό άθραυστο γυαλί.....	44
2.6.2	διπλό γυαλί ασφάλειας .....	45
2.7	Θερμομονωτικά υλικά συμβατικά και μη.....	45
2.7.1	Χρησιμότητα της θερμομόνωσης στις κατασκευές.....	45
2.7.2	Παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν το συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, λ.....	46
2.7.3	Διογκωμένη πολυστερίνη.....	48
2.7.4	Εξηλασμένη πολυστερίνη.....	49
2.7.5	Γυψοσανίδα.....	50
2.7.6	Αφρώδες PVC.....	50
2.7.7	Ίνες πολυεστέρα.....	51
2.7.8	Αμίαντος.....	51
2.7.9	Σκυρόδεματα μικρής φαινόμενης πυκνότητας.....	52
2.7.10	Αφρώδες γυαλί.....	52
2.7.11	Υαλοβάμβακας.....	52
2.7.12	Πετροβάμβακας.....	53
2.7.13	Περλίτης.....	54
2.7.14	Ξυλόμαλλο (απλές και σύνθετες πλάκες).....	54
2.7.15	Νέα υλικά.....	55



3.ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ.....	56
3.1 Μη ηλεκτρικές μέθοδοι.....	56
3.1.1 Θερμόμετρα υγρού σε γυαλί.....	56
3.1.2 Θερμόμετρα υγρού σε μέταλλο.....	56
3.1.3 Θερμόμετρα αερίου υπό σταθερό όγκο.....	57
3.1.4 Θερμόμετρα με διμεταλλικό έλασμα.....	57
3.1.5 Πυρίμαχοι κώνοι, χρώματα και κραγιόν.....	58
3.2 Ηλεκτρικές μέθοδοι.....	58
3.2.1 Θερμόμετρα ηλεκτρικής αντίστασης.....	58
3.2.2 Θερμόμετρα θερμοστοιχείων.....	59
3.2.3 Πυρόμετρα.....	60
3.3 Θερμογραφία.....	60
3.3.1 Κατηγορίες θερμογραφίας.....	61
3.3.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της θερμογραφίας.....	62
3.3.3 Εφαρμογές υπέρυθρης θερμογραφίας.....	63
3.3.3.1 Ιατρική.....	63
3.3.3.2 Περιβάλλον.....	63
3.3.3.3 Αεροδιαστημική.....	63
3.3.3.4 Πετροχημικές εφαρμογές.....	63
3.3.3.5 Ηλεκτρονικός εξοπλισμός.....	64
3.3.3.6 Ποικίλες εφαρμογές.....	64
3.3.3.7 Κτιριακές εγκαταστάσεις.....	64
3.3.3.7.1 Θερμογέφυρες.....	64
3.3.3.7.2 Διαρροή αέρα.....	67
3.3.3.7.3 Εντοπισμός νερού.....	68
4.ΘΕΡΜΟΚΑΜΕΡΑ.....	69
4.1 Ακτινοβολίες στη θερμοκάμερα.....	70
4.2 Μονοχρωματική και έγχρωμη εικόνα.....	71
4.3 Pixel.....	73
4.4 Ανιχνευτής θερμότητας.....	73
4.5 Ψυχόμενοι υπέρυθροι ανιχνευτές.....	74

4.6 Μη ψυχόμενοι ανιχνευτές.....	75
4.7 Λειτουργία αισθητήρα.....	76
4.7.1 Αισθητήρες διάταξης.....	76
4.7.2 Γραμμικοί αισθητήρες.....	76
4.8 Χρώματα αντίληψης του αισθητήρα.....	77
4.9 Φακοί.....	77
4.10 Παράμετροι θερμοκάμερας.....	77
4.11 Γεωμετρική ανάλυση.....	78
4.12 Ελάχιστη διαχωρίσιμη διαφορά θερμοκρασίας.....	78
4.13 Ελάχιστη ανιχνεύσιμη θερμοκρασία.....	79
4.14 Δυναμικό εύρος.....	79
4.15 Θόρυβος.....	80
4.16 Βαθμονόμηση.....	80
4.17 Συναγερμοί.....	81
4.18 Χαρακτηριστικά της θερμοκάμερας FLUKE Ti45.....	81
4.19 Παράμετροι ακριβούς μέτρησης.....	81
5. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	82
6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	84
7. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	98
8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	106

# ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1. ΑΡΧΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Η μεταφορά θερμότητας και η διατύπωση των μαθηματικών σχέσεων οι οποίες την περιγράφουν αποτελούν έναν ξεχωριστό κλάδο στις τεχνολογικές επιστήμες. Με τον όρο μετάδοση θερμότητας εννοούμε την ενέργεια που μεταφέρεται λόγω θερμοκρασιακής διαφοράς. Τα σημαντικότερα αντικείμενα της μετάδοσης θερμότητας αφορούν στους μηχανισμούς με τους οποίους μεταφέρεται η θερμότητα και τους ρυθμούς με τους οποίους πραγματοποιείται η μεταφορά αυτή. Συμπληρώνει δηλαδή τη θερμοδυναμική η οποία, όπως είναι γνωστό, ασχολείται με τις οριακές καταστάσεις των διαδικασιών κατά τις οποίες έχουμε αλληλεπίδραση ενός συστήματος με το περιβάλλον. Κατά την αλληλεπίδραση αυτή πραγματοποιείται η μεταφορά ενέργειας, χωρίς όμως να μας δίνεται καμία επιπλέον πληροφορία τόσο για τον τρόπο της αλληλεπίδρασης όσο και για τους ρυθμούς μεταφοράς της ενέργειας. Το κενό αυτό της θερμοδυναμικής συμπληρώνει η μετάδοση θερμότητας. Η μετάδοση θερμότητας, λοιπόν, είναι η επιστήμη η οποία επιτρέπει τον προσδιορισμό της κατανομής της θερμοκρασίας σ' ένα σώμα σε συνάρτηση των συντεταγμένων του χώρου και του χρόνου, και τον υπολογισμό της ροής θερμότητας. Οι μηχανισμοί με τους οποίους μεταδίδεται η θερμότητα είναι τρεις:

### 1.1 Μεταφορά με αγωγή

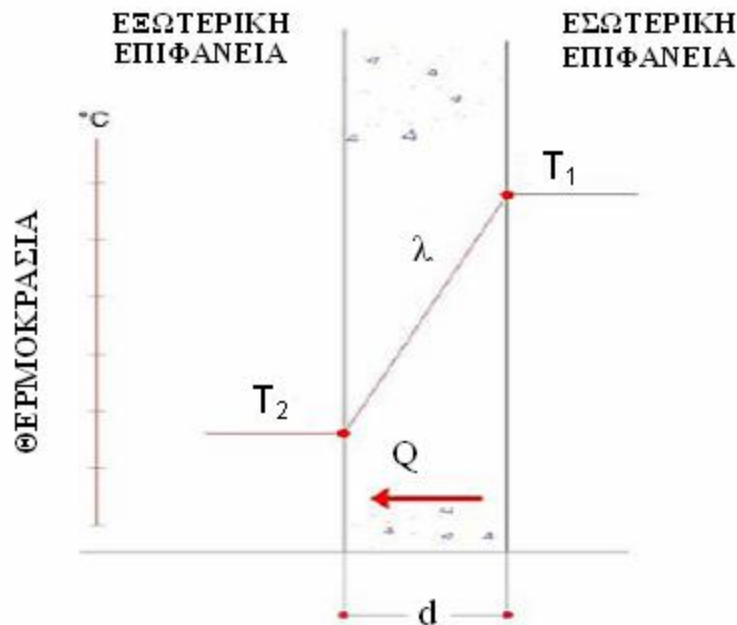
Είναι ο μηχανισμός με τον οποίο η θερμότητα διαχέεται σε ένα στερεό ή σε ακίνητο ρευστό, όταν στο μέσο υπάρχει θερμοκρασιακή κλίση. Η θερμότητα μεταδίδεται δια μέσου της μάζας των σωμάτων. Όταν δυο σώματα με διαφορετικές θερμοκρασίες έλθουν σε άμεση επαφή, η θερμότητα μεταδίδεται από το θερμότερο προς το ψυχρότερο. Στην αγωγή έχουμε μεταφορά ενέργειας από σωματίδια μεγαλύτερης ενέργειας σε σωματίδια χαμηλότερης ενέργειας ενός υλικού, λόγω των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των σωματιδίων.

Η δυσκολία της μεταφοράς της θερμότητας δια μέσου των σωμάτων, εξαρτάται από την αγωγιμότητα του σώματος. Παράδειγμα καλών αγωγών είναι τα μέταλλα, ενώ αντίστοιχα παράδειγμα κακών αγωγών είναι τα πλαστικά, το ξύλο και ο αέρας. Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda$  [ $W/m \cdot K$ ] των υλικών είναι δείκτης της ικανότητας μεταφοράς θερμότητας των υλικών διαμέσου της μάζας τους. Είναι ιδιότητα του υλικού που εξαρτάται από τη φυσική του δομή, την πίεση και τη θερμοκρασία. Επειδή τα περισσότερα υλικά είναι ομογενή και θεωρούνται ισότροπα, συνήθως δεν λαμβάνεται υπόψη η εξάρτηση του  $\lambda$  από τη θέση και τη διεύθυνση. Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας μεταβάλλεται σχεδόν πάντα με τη θερμοκρασία. Αυξάνεται πάντα με την αύξηση της θερμοκρασίας στα αέρια σε χαμηλές πιέσεις αλλά μπορεί να αυξάνεται ή να μειώνεται στα στερεά και στα υγρά. Συνήθως υπάρχει γραμμική εξάρτηση του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας από τη θερμοκρασία (σχέση 1.1-1):

$$\lambda = \lambda_0(1 + b\Delta T) \quad (1.1-1)$$

όπου  $\lambda_0$  : συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας στη θερμοκρασία αναφοράς  $T_0$  ( $0^\circ\text{C}$  ή  $20^\circ\text{C}$ ),  $b$ : σταθερά η οποία προσδιορίζεται πειραματικά και  $\Delta T$ : η διαφορά θερμοκρασίας  $T-T_0$ .

Το πρόβλημα συνήθως είναι αν μπορεί ο  $\lambda$  να θεωρηθεί σταθερός στο εύρος της θερμοκρασιακής μεταβολής στο οποίο πραγματοποιείται κάποια διαδικασία. Αν αυτό δεν είναι μεγάλο, τότε ο  $\lambda$  θεωρείται σταθερός, πρακτικά δηλαδή ανεξάρτητος της θερμοκρασίας. Στα υγρά και τα αέρια η θερμική ενέργεια μεταφέρεται δυσκολότερα σε σχέση με τα στερεά. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι σε αυτά η απόσταση μεταξύ των μορίων είναι πολύ μεγαλύτερη και η κίνηση των μορίων γίνεται με μεγαλύτερη τυχειότητα. Γενικά λοιπόν η θερμική αγωγιμότητα των αερίων και των υγρών είναι μικρότερη από αυτή των στερεών. Στα υγρά η θερμική αγωγιμότητα γενικά μειώνεται όταν αυξάνεται η θερμοκρασία. Οι σημαντικές εξαιρέσεις του κανόνα αυτού είναι το νερό και η γλυκερίνη. Στα αέρια η αύξηση της θερμοκρασίας οδηγεί σε αύξηση της θερμικής αγωγιμότητας.



Σχήμα 1.1-1 Μηχανισμός μετάδοσης θερμότητας με αγωγή.

Το ποσό της θερμότητας που μεταφέρεται από πέτασμα, με συγκεκριμένη επιφάνεια για δεδομένο πάχος διατυπώνεται ως εξής(σχέση 1.1-2 και σχήμα 1.1-1):

$$Q = \frac{\lambda}{d} * A * (T_1 - T_2) \quad (1.1-2)$$

όπου  $Q$  : η ποσότητα της θερμότητας, η οποία διέρχεται σε χρονικό διάστημα  $t$  από την μία πλευρά (μεγαλύτερης θερμοκρασίας) στην άλλη (μικρότερης θερμοκρασίας),

$\lambda$  : ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του υλικού,  $A$  : το εμβαδόν της επιφάνειας  
 $T_1$  : θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειας της κατασκευής,  $T_2$  : θερμοκρασία της εξωτερικής επιφάνειας της κατασκευής και  $d$  : το πάχος του υλικού

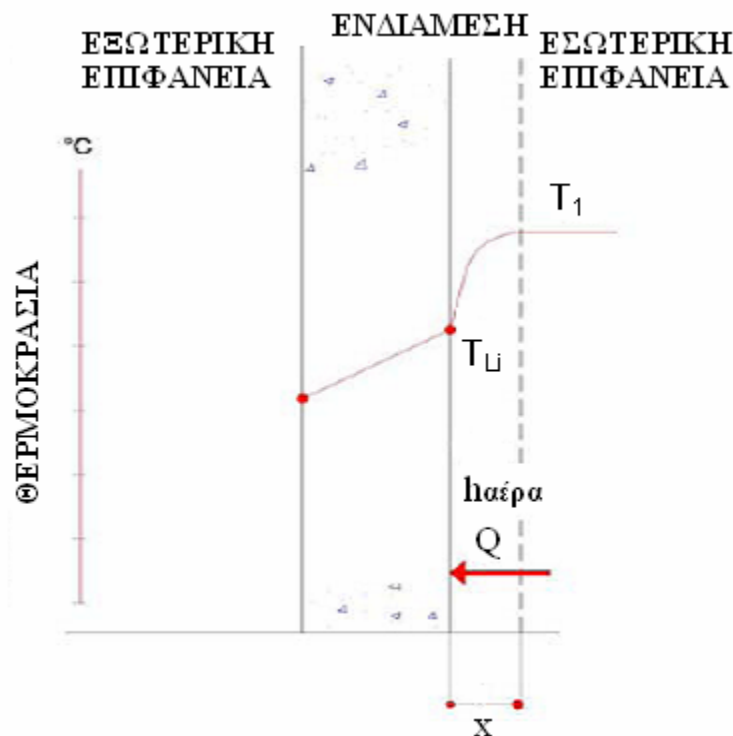
## 1.2 Μεταφορά με συναγωγή

Είναι η μετάδοση θερμότητας που πραγματοποιείται μεταξύ μιας επιφάνειας και ενός κινούμενου ρευστού σε επαφή με την επιφάνεια, όταν αυτά βρίσκονται σε διαφορετική θερμοκρασία. Η συναγωγή είναι ένας σύνθετος μηχανισμός μετάδοσης θερμότητας. Η συνολική μεταφορά θερμότητας οφείλεται αφ' ενός στην ενέργεια που μεταφέρεται λόγω της κίνησης των μορίων και αφ' ετέρου στην ενέργεια που μεταφέρεται από την μακροσκοπική κίνηση του ρευστού.

Ανάλογα με την ροή του ρευστού η συναγωγή διακρίνεται σε :

- *Ελεύθερη (φυσική) συναγωγή*: η ροή είναι αποτέλεσμα των δυνάμεων άνωσης που οφείλονται στις διαφορές πυκνότητας λόγω των θερμοκρασιακών διαφορών στο ρευστό.
- *Εξαναγκασμένη συναγωγή*: η ροή προκαλείται από εξωτερικά μέσα (ανεμιστήρες, αντλίες).
- *Συνδυασμένη συναγωγή*: όπου συνυπάρχουν η ελεύθερη και εξαναγκασμένη. Αντιστοιχεί στις περιπτώσεις που η ταχύτητα του ρευστού είναι μικρή, λόγω της εξαναγκασμένης κυκλοφορίας, ενώ οι δυνάμεις της άνωσης είναι μεγάλες.

Ο συντελεστής συναγωγής  $h$  [ $W/m^2 * K$ ] εμπεριέχει όλες τις παραμέτρους που επηρεάζουν τη συναγωγή. Εξαρτάται από τις διάφορες ιδιότητες του ρευστού όπως πυκνότητα, ιξώδες, θερμική αγωγιμότητα και ειδική θερμότητα, καθώς επίσης και από την γεωμετρία της επιφάνειας και τις συνθήκες της ροής.



Σχήμα 1.2-1 Μηχανισμός μετάδοσης θερμότητας με συναγωγή.

Το ποσό της μεταφερόμενης θερμότητας υπολογίζεται ως εξής(σχέση 1.2-1 και σχήμα 1.2-1) :

$$Q = \frac{h_{\alpha\epsilon\rho\alpha}}{x} * A * (T_1 - T_{Li}) \quad (1.2-1)$$

όπου Q: το ποσό θερμότητας που διέρχεται από την εσωτερική επιφάνεια στην ενδιάμεση ,h: ο συντελεστής συναγωγής ,A: το εμβαδόν της επιφάνειας, T<sub>1</sub>:η θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειας της κατασκευής ,T<sub>Li</sub>: η θερμοκρασία της ενδιάμεσης επιφάνειας της κατασκευής και x : το πάχος του διακένου

### 1.3 Μεταφορά με ακτινοβολία

Όλα τα σώματα εκπέμπουν ενέργεια υπό μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, η οποία εξαρτάται από την θερμοκρασία που βρίσκονται, τον συντελεστή εκπομπής τους, τη φύση της επιφάνειας και διάφορες άλλες παραμέτρους. Η ηλιακή ενέργεια φτάνει στην γη αποκλειστικά με αυτό τον τρόπο μεταφοράς. Η μεταφορά θερμότητας με ακτινοβολία μεταδίδεται με ηλεκτρομαγνητικά κύματα και δεν απαιτείται η παρουσία ενός ενδιάμεσου μέσου. Στο κενό μάλιστα η ακτινοβολία μεταφέρεται πιο αποτελεσματικά.

Όταν η ακτινοβολία προσπέσει σε ένα άλλο σώμα ή θα απορροφηθεί ή θα ανακλασθεί ή θα μεταφερθεί. Αυτό σημαίνει ότι παράλληλα με την εκπομπή, όλα τα σώματα απορροφούν ακτινοβολία από το περιβάλλον τους. Αν ένα σώμα είναι θερμότερο από το περιβάλλον του τότε εκπέμπει περισσότερη ακτινοβολία απ' ότι απορροφά και ψύχεται. Στην αντίθετη περίπτωση απορροφά περισσότερη ακτινοβολία από ότι εκπέμπει και το σώμα αυτό θερμαίνεται. Τελικά θα έρθει σε θερμική ισορροπία με το περιβάλλον του, μία κατάσταση όπου οι ρυθμοί εκπομπής και απορρόφησης ακτινοβολίας είναι ίσοι.

Το φάσμα συχνοτήτων της εκπεμπόμενης θερμικής ακτινοβολίας ενός στερεού σώματος είναι συνεχές. Το ποσό της ακτινοβολίας που εκπέμπεται διαφέρει για κάθε συχνότητα και εξαρτάται τόσο από την δομή του σώματος όσο και από το υλικό του. Οι συχνότητες αυτές αναφέρονται ως φάσμα του σώματος και συχνά συγκεντρώνει το ενδιαφέρον όχι μόνο το εύρος τους αλλά και η ένταση της ακτινοβολίας που εκπέμπεται από ένα υποσύνολο του φάσματος. Συγκεκριμένα, έχει ενδιαφέρον να βρεθεί η συχνότητα εκείνη στην οποία εκπέμπεται η περισσότερη ακτινοβολία από το σώμα, δηλαδή το κυρίαρχο σημείο του φάσματος συχνοτήτων. Είναι λογικό ότι το αποτέλεσμα της προηγούμενης αναζήτησης θα εξαρτάται από το υλικό και την θερμοκρασία του σώματος. Τα περισσότερα σώματα με τα οποία έρχεται σε επαφή ο άνθρωπος έχουν κυρίαρχη συχνότητα εκπεμπόμενης ακτινοβολίας στο υπέρυθρο φως και επομένως η ακτινοβολία τους δεν είναι ορατή. Παρ' όλα αυτά, όσο η θερμοκρασία του σώματος αυξάνεται τόσο περισσότερη ακτινοβολία εκπέμπεται. Επίσης η κυρίαρχη συχνότητα μεταφέρεται προς το ορατό φως και άρα γίνεται ορατή από τους ανθρώπους. Συνήθως, όταν το σώμα θερμαίνεται, η κυρίαρχη συχνότητα μεταφέρεται από το βαθύ κόκκινο στο φωτεινό κίτρινο και τελικά στο λευκό φως. Η ακτινοβολία όμως εξαρτάται από την θερμοκρασία αλλά και την σύσταση του σώματος. Σε κάθε περίπτωση ο ρυθμός αυξάνεται όταν οι επιφάνειες δεν είναι γυαλισμένες αλλά τραχιές. Η εξάρτηση από το υλικό των σωμάτων κάνει το πρόβλημα ακόμα πιο πολύπλοκο.

Σήμερα ξέρουμε ότι αυτό συσχετίζεται με το νόμο των Planck-Boltzmann(σχέση 1.3-1):

$$\lambda_m = \frac{2898}{T} \quad (1.3-1)$$

όπου  $\lambda_m$  :το μέγιστο μήκος κύματος (σε  $\mu\text{m}$ ) και T: θερμοκρασία (σε Kelvin) για ένα σώμα που ακτινοβολεί. Παραδείγματος χάριν, παρατηρώντας ένα κόκκινο-ζεστό δίσκο χάλυβα με θερμοκρασία  $1000^\circ\text{C}$  ( $\approx 1300\text{K}$ ), το μέγιστο μήκος κύματος θα ήταν περίπου  $3\mu\text{m}$ .

### 1.3.1 Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα χαρακτηρίζονται από το μήκος κύματος ή τη συχνότητά τους, όπου η συχνότητα είναι αντιστρόφως ανάλογη με το μήκος κύματος. Το μήκος κύματος παίζει κυρίαρχο ρόλο όταν αναλύεται η μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία.

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι μορφή ενέργειας και διαδίδεται στο χώρο μέσω των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Είναι γνωστό ότι τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα αντιπροσωπεύουν την ενέργεια που εκπέμπει η ύλη, λόγω των αλλαγών στη διάταξη των ηλεκτρονίων των ατόμων ή των μορίων. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα μπορούν να διαδοθούν ακόμη και στο κενό, αποτελούνται από ένα ηλεκτρικό και ένα μαγνητικό πεδίο, και τα δύο ταλαντούμενα και μάλιστα κάθετα μεταξύ τους.

Διαδίδονται με την ταχύτητα του φωτός και χαρακτηρίζονται από την συχνότητά τους  $f$  και το μήκος κύματός τους  $\lambda$ (σχέση 1.3.1-1):

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1.3.1-1)$$

όπου  $c$  :ταχύτητα διάδοσης του φωτός στο μέσο(για το κενό είναι  $c_0 = 2.998 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ )

Η ενέργεια που μεταφέρουν τα κύματα αυτά αυξάνεται όσο μειώνεται το μήκος κύματός τους. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τα υπέρυθρα ηλεκτρομαγνητικά κύματα (υπεριώδης ακτινοβολία, ακτίνες X και  $\gamma$ ) να μεταφέρουν μεγάλη ενέργεια, γεγονός που έχει σημαντικές επιπτώσεις στην αλληλεπίδραση των κυμάτων αυτών με τα υλικά σώματα.

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία πρέπει να επισημάνουμε ότι επεκτείνεται σε ένα ευρύ φάσμα ενεργειών και μηκών κύματος. Η διανομή όλων των ακτινοβόλων ενεργειών μπορεί να σχεδιαστεί σε ένα διάγραμμα, γνωστό ως ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα καλύπτει ένα μεγάλο εύρος μηκών κύματος: από λιγότερο των  $10^{-10}\mu\text{m}$  για την κοσμική ακτινοβολία μέχρι  $10^{10}\mu\text{m}$  (και περισσότερο) για τα κύματα ηλεκτρικής ισχύος. Περιλαμβάνει επίσης τις ακτίνες  $\gamma$ , τις ακτίνες X, την υπεριώδη ακτινοβολία, το ορατό φως, την υπέρυθη ακτινοβολία, τα μικροκύματα και τα ραδιοκύματα (σχήμα 1.3.1-1).

#### α)Ραδιοκύματα(radiowaves)

Το εύρος του μήκους κύματός τους κυμαίνεται από 106-1010 μm. Τα ραδιοκύματα εκπέμπονται από τη Γη, τα κτίρια, τα αυτοκίνητα κι άλλα μεγάλα σε μέγεθος αντικείμενα. Πάνω στα ραδιοκύματα έχει βασιστεί η λειτουργία των ραντάρ, τα οποία ανιχνεύουν την παρουσία και την κίνηση σωμάτων που εκπέμπουν αυτού του τύπου την ακτινοβολία. Τα ραδιοκύματα, επίσης, είναι ευρέως γνωστά για την ικανότητά τους να μεταφέρουν ραδιοφωνικά σήματα και σήματα τηλεόρασης. Τα ραδιοφωνικά κύματα αποτελούνται από δύο ειδών εκπομπές, την AM (amplitude modulated waves) και την FM (frequency modulated waves). Τα FM κύματα έχουν μικρότερο μήκος κύματος από τα AM και μπορούν να εντοπιστούν από μεγάλα σώματα, όπως σπίτια, κτίρια και τούνελ. Αντίθετα, τα AM μπορούν να "αποφύγουν" τέτοια σώματα και να ταξιδέψουν σε πιο μεγάλες αποστάσεις. Ραδιοκύματα εκπέμπονται, επίσης, και από άλλα σώματα, όπως αστέρες και αέρια στο διάστημα (όπου και χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της σύστασης των αντικειμένων αυτών).

#### β)Μικροκύματα(microwaves)

Αποτελούν ηλεκτρομαγνητικά κύματα μεγάλου μήκους κύματος και χαμηλής ενέργειας. Το μήκος κύματός τους κυμαίνεται από 103-106 μm. Χρησιμοποιούνται από τους αστρονόμους για τον προσδιορισμό της δομής των γειτονικών γαλαξιών, καθώς και του δικού μας. Ο άνθρωπος εκμεταλλεύτηκε αυτήν την ακτινοβολία στην κατασκευή φούρνων μικροκυμάτων, οι οποίοι μπορούν να θερμάνουν φαγητά, καθώς η ακτινοβολία αυτή απορροφάται από τις τροφές και τις θερμαίνει.

#### γ)Υπέρυθρη ακτινοβολία(infrared radiation)

Αυτού του τύπου η ακτινοβολία αποτελεί το μεγαλύτερο κομμάτι της θερμικής ακτινοβολίας. Το μήκος κύματός της κυμαίνεται από 0.76 μm – 103 μm. Το εύρος της υπέρυθρης ακτινοβολίας διαχωρίζεται, επίσης, σε near-infrared (0,76 μm ... 1.5 μm), σε shortwave infrared (1.5 μm...3μm), σε middle infrared (3 μm...5.5 μm) και thermal infrared (5.5μm...103 μm).Οι υπέρυθρες μηχανές απεικόνισης συλλαμβάνουν τις υπέρυθρες ακτίνες που εκπέμπει το σώμα και δημιουργούν τα διαγράμματα θερμοκρασιακών διαφορών, που εμφανίζονται στην επιφάνεια του σώματος(θερμογράφημα).Οι υπέρυθρες φωτογραφικές μηχανές δίνουν εικόνες από τις αόρατες υπέρυθρες ακτίνες και παρέχουν ακριβή ικανότητα εξ αποστάσεως μέτρησης θερμοκρασίας.

#### δ)Ορατή ακτινοβολία(visible light)

Το φως είναι η ορατή περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και εκτείνεται από 0.40 μm έως 0.76 μm.Το εύρος μήκους κύματος αλλάζει για τα διάφορα χρώματα. Το χρώμα μιας επιφάνειας εξαρτάται από την ικανότητα της επιφάνειας να ανακλά διάφορα μήκη κύματος. Για παράδειγμα μια επιφάνεια θα φαίνεται στο ανθρώπινο μάτι πορτοκαλί, όταν ανακλά τις ακτινοβολίες με μήκη κύματος από 0.60 – 0.63 μm και απορροφά τις υπόλοιπες. Η ηλιακή ακτινοβολία καταλαμβάνει τη ζώνη του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος από 0.30 μm έως 3 μm.Το μισό δηλαδή της ηλιακής ακτινοβολίας είναι φως ενώ το υπόλοιπο είναι υπεριώδης και υπέρυθρη ακτινοβολία.



Το ανθρώπινο μάτι βλέπει μόνο σε μία μικρή περιοχή της εκπεμπόμενης θερμικής ακτινοβολίας, την περιοχή του ορατού φωτός. Όπως βλέπουμε στο «φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας» η θερμική ακτινοβολία αρχίζει από το τέλος της υπεριώδους, περνά στο ορατό και περιέχει όλο το υπέρυθρο.

#### ε)Υπεριώδης ακτινοβολία(ultraviolet radiation)

Αποτελεί την περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος με μήκος κύματος από  $10^{-2}$   $\mu\text{m}$  –  $0.40 \mu\text{m}$ . Έχει συχνότητα λίγο παραπάνω από αυτή του ορατού φωτός. Ωστόσο, η έντασή της είναι τέτοια που μπορεί να καταστρέψει ιστούς και κύτταρα. Ο ήλιος είναι μια πηγή υπεριώδους ακτινοβολίας και μικρές δόσεις αυτής της ακτινοβολίας βοηθούν στην παραγωγή της βιταμίνης D και προκαλούν το μαύρισμα του ανθρώπινου δέρματος. Η πολύωρη έκθεση, όμως, του ανθρώπου σε ακτινοβολία πλούσια σε υπεριώδεις ακτινοβολίες προκαλεί εγκαύματα, ηλιακές δερματίτιδες και σοβαρές βλάβες στα μάτια. Το στρώμα του όζοντος στην ατμόσφαιρα απορροφά το μεγαλύτερο μέρος της υπεριώδους ακτινοβολίας, αλλά η ατμοσφαιρική ρύπανση έχει προκαλέσει εξασθένηση του στρώματος του όζοντος, με αποτέλεσμα να αυξάνονται επικίνδυνα οι δόσεις της υπεριώδους ακτινοβολίας που βομβαρδίζει τη Γη και λαμβάνουν οι ζώντες οργανισμοί. Η υπεριώδης ακτινοβολία παράγεται και από τους λαμπτήρες φθορισμού. Χρησιμοποιείται ευρέως στην ιατρική για αποστειρώσεις και για διάφορες θεραπείες, καθώς και από τους αστρονόμους για την παρατήρηση του ηλιακού συστήματος, του γαλαξία μας και άλλων περιοχών του σύμπαντος.

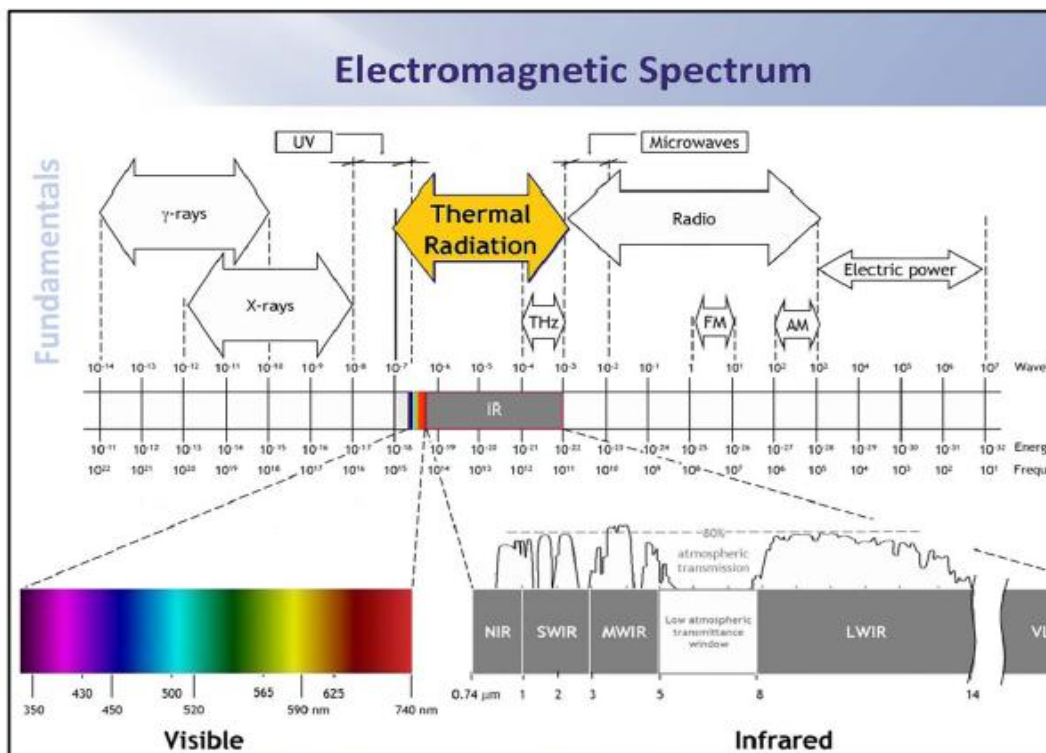
#### στ)Ακτίνες X

Το μήκος κύματος τους κυμαίνεται από  $10^{-5}\mu\text{m}$ – $10^{-2}$   $\mu\text{m}$ . Αποτελεί ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μεγάλης συχνότητας. Έχουν τέτοια διατρητική ικανότητα, ώστε να διαπερνούν εύκολα αρκετά υλικά και να καταστρέφουν ιστούς δέρματος πολλών ζώων. Αυτό μας έχει οδηγήσει στο να χρησιμοποιούμε τις ακτίνες X (με αρκετή φειδώ) ώστε να παρατηρούμε το ανθρώπινο σώμα. Βρίσκουν ευρεία εφαρμογή στην ιατρική (ακτινογραφίες). Είναι επικίνδυνες σε μεγάλες δόσεις, αλλά η ελεγχόμενη χρήση τους βοηθάει στην αναχαίτιση σοβαρών ασθενειών όπως του καρκίνου.

#### ζ)Ακτίνες $\gamma$

Τα μήκη κύματος αυτής της ακτινοβολίας εκτείνονται από  $10^{-8}$ – $10^{-5}$   $\mu\text{m}$ . Οι ακτίνες  $\gamma$ , που έχουν τη μεγαλύτερη συχνότητα και τα μικρότερα μήκη κύματος εκπέμπονται από ραδιενεργά υλικά, φυσικά ή τεχνητά. Επίσης, μεγάλοι επιταχυντές που χρησιμοποιούν οι επιστήμονες για την κατανόηση της δομής της ύλης μπορούν να δώσουν ακτινοβολία  $\gamma$ . Αλλά η μεγαλύτερη πηγή ακτινών  $\gamma$  είναι το σύμπαν. Παράγει ακτινοβολία  $\gamma$  με όλους τους δυνατούς τρόπους. Οι ακτίνες αυτές έχουν μια εκπληκτική διατρητική ικανότητα. Αξίζει να σημειωθεί ότι μπορούν να διατηρήσουν μια επιφάνεια τσιμέντου με πάχος 3 m.

Το σχήμα δείχνει το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και τα ονόματα που δίνουμε στην ακτινοβολία στις διάφορες περιοχές του και αναφέρθηκαν παραπάνω:



Σχήμα 1.3.1-1 Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα.

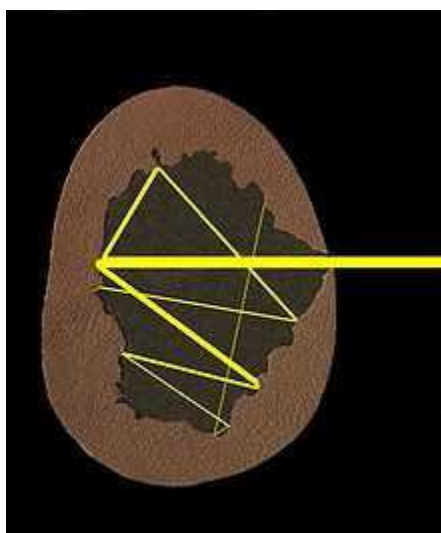
### 1.3.2 Μέλαν σώμα

Μια μαύρη ματ επιφάνεια απορροφά όλο το φως που προσπίπτει πάνω της. Κατά αναλογία, μια επιφάνεια που απορροφά όλη τη θερμική ακτινοβολία που προσπίπτει πάνω σε αυτή, καλείται μαύρη επιφάνεια, και αντίστοιχα ένα σώμα που απορροφά όλη την προσπίπτουσα ακτινοβολία λέγεται μέλαν σώμα. Στην πράξη, το απολύτως μέλαν σώμα δεν υπάρχει, αλλά υπάρχουν σώματα που προσεγγίζουν τη συμπεριφορά του μέλανος σώματος. Σε οποιαδήποτε περίπτωση, η έννοια του μέλανος σώματος ή επιφάνειας είναι πολύ χρήσιμη στην ανάλυση προβλημάτων μετάδοσης θερμότητας με ακτινοβολία.

Η μεθοδολογία με την οποία προσδιορίζεται το μέλαν σώμα είναι η εξής: μια μικρή τρύπα ανοίγεται σε μια κοιλότητα σταθερής θερμοκρασίας. Η προσπίπτουσα ακτινοβολία που πέφτει μέσα στην τρύπα τελικά απορροφάται ολοκληρωτικά. Αυτό συμβαίνει γιατί σε κάθε ανάκλαση της ακτινοβολίας ένα μέρος απορροφάται με αποτέλεσμα μετά από μερικές ανακλάσεις όλη η εισερχόμενη ακτινοβολία να έχει απορροφηθεί και να μην υπάρχει επιστροφή μέσα από την τρύπα. Η τρύπα συμπεριφέρεται σαν μελανό σώμα απορροφώντας όλη την ακτινοβολία που προσπίπτει σε αυτή. Ισοδύναμα το υλικό που βρίσκεται μέσα στην κοιλότητα θα ακτινοβολεί. Η ακτινοβολία που εξέρχεται από την τρύπα εξαρτάται από την θερμοκρασία αλλά όχι από το υλικό από το οποίο αποτελείται η κοιλότητα. Αυτό το γεγονός είναι μη αναμενόμενο γιατί κανείς θα περίμενε περισσότερη ακτινοβολία αν η κοιλότητα είναι καλυμμένη από μαύρο βερνίκι από ότι αν αποτελείται από ένα καλογουαλισμένο μέταλλο. Η εξήγηση είναι ότι ναι μεν το βερνίκι ακτινοβολεί περισσότερο αλλά επίσης απορροφά περισσότερο (μικρή ανάκλαση) με αποτέλεσμα

η ακτινοβολία που βγαίνει από την τρύπα να είναι η ίδια και στις δύο περιπτώσεις(σχήμα 1.3.2-1).

Η ανεξαρτησία της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας από την τρύπα, από το υλικό της κοιλότητας, επιβάλλεται από τον δεύτερο νόμο της θερμοδυναμικής. Αν ο ρυθμός εκπομπής ενέργειας με ακτινοβολία είναι μεγαλύτερος για το σώμα που έχει την μαύρη επιφάνεια από αυτό που αποτελείται από μέταλλο (και δεδομένου ότι οι δύο τρύπες απορροφούν όλη την ακτινοβολία που προσπίπτει σε αυτές) τότε θα έχουμε καθαρή μετάδοση θερμότητας ανάμεσα σε δύο σώματα που βρίσκονται στην ίδια θερμοκρασία πράγμα που αντιβαίνει τον δεύτερο νόμο της θερμοδυναμικής. Το συμπέρασμα από τα παραπάνω είναι ότι πρέπει να υπάρχει κάποια σχέση μεταξύ της ικανότητας ενός υλικού να εκπέμπει και να ανακλά ακτινοβολία. Οι περισσότερες σκουρόχρωμες επιφάνειες συμπεριφέρονται σαν μελανά σώματα. Αλλά και μη σκουρόχρωμες επιφάνειες μπορούν σε πρώτη προσέγγιση να θεωρηθούν σαν μελανά σώματα αρκεί να μην είναι μεταλλικές. Συνεπώς, μπορούμε να συσχετίσουμε τη συμπεριφορά του υλικού που εξετάζεται, με αυτήν του μέλανος σώματος σε παρόμοιες περιπτώσεις. Το μέλαν σώμα εκπέμπει τη μέγιστη δυνατή ποσότητα ακτινοβολίας που αντιστοιχεί στην απόλυτη θερμοκρασία του, ενώ αντίστοιχα απορροφά όλη την ακτινοβολία που προσπίπτει πάνω του.



Σχήμα 1.3.2-1 Προσομοίωση μέλανος σώματος.

Σύμφωνα με τον νόμο των Stefan-Boltzmann ο ρυθμός που ακτινοβολεί ενέργεια ένα μέλαν σώμα, είναι ανάλογος της 4ης δύναμης της απόλυτης θερμοκρασίας του(σχέση 1.3.2-1):

$$W = \sigma T^4 \quad (1.3.2-1)$$

όπου W: ακτινοβολούμενη θερμοροή ανά μονάδα επιφανείας ενός μέλανος σώματος θερμοκρασίας T προς τον ημισφαιρικό χώρο υπεράνω αυτού και  $\sigma$  :η λεγόμενη σταθερά Stefan-Boltzmann ( $56.7 * 10^{-12} \text{ kW/m}^2 \text{ K}^4$ )

Οι πραγματικές επιφάνειες παρουσιάζουν κάποια χαρακτηριστικά που δεν τα βρίσκουμε στην ιδεατή μελανή επιφάνεια Η παραδοχή της μελανής επιφάνειας δεν είναι και τόσο κακή αν εξαιρέσουμε μεταλλικές επιφάνειες σε υψηλή θερμοκρασία

αλλά είναι δυνατό να βελτιώσουμε περαιτέρω την προσέγγιση των πραγματικών επιφανειών χρησιμοποιώντας τον συντελεστή  $\varepsilon$  ( $<1$ ) όπου  $\varepsilon$  η ικανότητα εκπομπής της επιφάνειας με τιμές μεταξύ 0 και 1. Σε μια πραγματική επιφάνεια η ακτινοβολούσα ισχύς είναι προφανώς μικρότερη για την ίδια θερμοκρασία. Η τιμή της εξαρτάται από το υλικό και τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας και δείχνει πόσο προσεγγίζει η συγκεκριμένη επιφάνεια το μέλαν σώμα. Η απορροφητικότητα της επιφάνειας δεν εξαρτάται μόνο από την επιφάνεια αλλά και από το είδος της ακτινοβολίας.

Η ίδια επιφάνεια μπορεί να έχει διαφορετική απορροφητικότητα σε ακτινοβολίες διαφορετικού μήκους κύματος. Μόνο η απορροφώμενη ακτινοβολία μεταβάλλει την εσωτερική ενέργεια του σώματος, ενώ η ανακλώμενη και η ακτινοβολία που διαπερνά το σώμα δεν έχουν προφανώς καμία επίδραση σε αυτή. Όταν δύο πραγματικές επιφάνειες βρίσκονται απέναντι η μία στην άλλη τότε συμβαίνουν πολλαπλές ανακλάσεις και ο υπολογισμός της καθαρής ροής ενέργειας γίνεται περίπλοκος.

### 1.3.3 Κατανομή του Planck

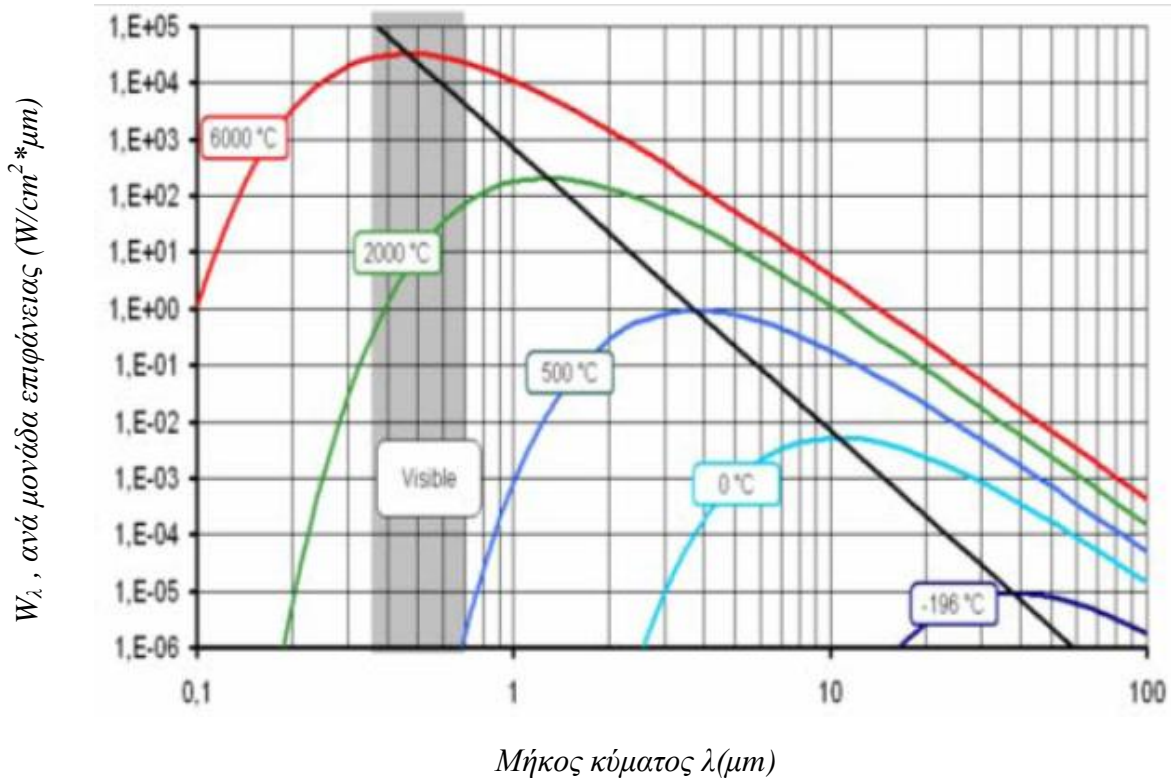
Κάθε σώμα με θερμοκρασία μεγαλύτερη από αυτή του απόλυτου μηδενός (273.15 K ή 0°C), εκπέμπει ακτινοβολία προς όλες τις κατευθύνσεις σ' ένα μεγάλο εύρος κύματος. Η ιδεατή επιφάνεια που μπορεί να εκπέμψει το μεγαλύτερο ποσό ενέργειας σε μια δεδομένη θερμοκρασία είναι το μέλαν σώμα.

Λόγω των ιδιοτήτων που έχουν αναφερθεί, το μέλαν σώμα χρησιμοποιείται σαν επιφάνεια αναφοράς με την οποία συγκρίνονται οι ιδιότητες ακτινοβολίας των πραγματικών επιφανειών.

Ο νόμος του Planck μας δίνει την φασματική ισχύ της ακτινοβολίας (ενέργεια) που εκπέμπεται από ένα σώμα συγκεκριμένης απόλυτης θερμοκρασίας  $T$  και συγκεκριμένου μήκους κύματος  $\lambda$  ανά μονάδα επιφάνειας(σχέση 1.3.3-1):

$$W_{\lambda} = \varepsilon_{\lambda} * W_{\lambda_0} = \varepsilon_{\lambda} * \frac{2*\pi*h*c^2}{\lambda^5 \left( e^{\frac{h*c}{\lambda*k*T}} - 1 \right)} * 10^{-6} \quad (1.3.3-1)$$

όπου  $W_{\lambda}$  : ακτινοβολία σώματος για μήκος κύματος  $\lambda$  ( $W/m^2$ ),  $W_{\lambda_0}$ : ακτινοβολία μέλανος σώματος για μήκος κύματος  $\lambda$  ( $W/m^2$ ),  $c$  : ταχύτητα του φωτός στο κενό ( $2.998*10^8$  m/s),  $h$ : σταθερά Planck ( $6.626 * 10^{-34} J*s$ ),  $k$  : σταθερά Boltzmann ( $1.381 * 10^{-23}$  J/K),  $T$ : απόλυτη θερμοκρασία μέλανος σώματος (K) και  $\lambda$ : μήκος κύματος (m)



Σχήμα 1.3.3-1 Κατανομή του Planck

Το σχήμα 1.3.3-1 παρουσιάζει τις καμπύλες κατανομής της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας ανά θερμοκρασία μέλανος σώματος.

Από το διάγραμμα του Planck μπορούμε να εξάγουμε κάποια συμπεράσματα :

- Η ακτινοβολία που εκπέμπεται είναι συνεχής συνάρτηση του μήκους κύματος. Αυξάνεται με το μήκος κύματος, φθάνει μια μέγιστη τιμή, και ενώ το μήκος κύματος συνεχίζει να αυξάνεται η ακτινοβολία μειώνεται, για κάθε τιμή της θερμοκρασίας.
- Μεγαλύτερο ποσοστό της ακτινοβολίας εκπέμπεται σε μικρότερα μήκη κύματος, καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται.
- Για κάθε μήκος κύματος η ενέργεια που ακτινοβολείται αυξάνεται με τη θερμοκρασία.

Ο νόμος των Stefan-Boltzmann προκύπτει από την ολοκλήρωση του νόμου του Planck σε ολόκληρο το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα και μας δίνει την ολική ισχύ που ακτινοβολείται από μια επιφάνεια σε μια θερμοκρασία  $T$ .

Για την ιδεατή περίπτωση του μέλανος σώματος όπως αναφέρθηκε πιο πάνω ο νόμος των Stefan-Boltzmann είναι(σχέση 1.3.3-2):

$$W = \sigma T^4 \quad (1.3.3-2)$$

Ενώ για την περίπτωση ενός κανονικού σώματος ο νόμος των Stefan-Boltzmann γίνεται(σχέση 1.3.3-3):

$$W = \varepsilon\sigma T^4 \quad (1.3.3-3)$$

όπου  $\varepsilon$  : εκπεμπτικότητα του σώματος, η οποία κυμαίνεται από 0 – 1,  $\sigma$  : σταθερά Stefan-Boltzmann ( $5.67 \times 10^{-8} \text{ W / m}^2 * \text{K}^{-4}$ ) και  $T$  : η απόλυτη θερμοκρασία της επιφάνειας (K)

Ο νόμος των Stefan-Boltzmann, επί της ουσίας, εκφράζει την συσχέτιση της επιφανειακής θερμοκρασίας με την ενέργεια που εκπέμπει η επιφάνεια αυτή.

### 1.3.4 Νόμος Μετατόπισης του Wien

Ένας άλλος σημαντικός νόμος που διέπει την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι ο νόμος μετατόπισης του Wien. Ο συγκεκριμένος νόμος προκύπτει αν παραγωγίσουμε την εξίσωση του Planck ως προς  $\lambda$ , ενώ η θερμοκρασία  $T$  παραμένει σταθερή και στη συνέχεια εξισώσουμε το αποτέλεσμα με το μηδέν.

Ο νόμος μετατόπισης του Wien δίνεται από τη σχέση 1.3.4-1 :

$$\lambda_{max} * T = b \quad (1.3.4-1)$$

όπου  $\lambda_{max}$  : μήκος κύματος της μέγιστης έντασης ακτινοβολίας ( $\mu\text{m}$ ) , $T$  : θερμοκρασία της επιφάνειας (K) και  $b$  : σταθερά εκτοπίσματος Wien ( $2.897 \mu\text{m / K}$ )

Ο νόμος μετατόπισης του Wien συσχετίζει άμεσα την επιφανειακή θερμοκρασία με το μέγιστο μήκος κύματος της εκπεμφθείσας ενέργειας. Ο γεωμετρικός τόπος των σημείων που προκύπτουν από τον νόμο του Wien απεικονίζεται στο παραπάνω διάγραμμα κατανομής του Planck με την ευθεία γραμμή, η οποία ονομάζεται γραμμή μέγιστης ισχύος.

Από την τομή της ευθείας με τις καμπύλες των διάφορων θερμοκρασιών οδηγούμαστε σε ορισμένα χρήσιμα συμπεράσματα :

- Γνωρίζοντας ότι η θερμοκρασία της επιφάνειας του ήλιου είναι  $T = 5762 \text{ K}$  , το μέγιστο της ηλιακής ακτινοβολίας θα είναι σε μήκος κύματος  $\lambda_{max} = 0.50 \mu\text{m}$ , το οποίο είναι κοντά στο μέσον της ορατής περιοχής του φάσματος.
- Επιφάνεια σε θερμοκρασία περιβάλλοντος ( $T = 298 \text{ K}$ ) το μέγιστο ακτινοβολίας που εκπέμπει είναι σε μήκος κύματος  $9.72 \mu\text{m}$  που είναι στην υπέρυθη περιοχή του φάσματος.
- Όσο αυξάνεται η θερμοκρασία τόσο πιο σημαντικά γίνονται τα μικρά μήκη κύματος, μέχρι που ένα σημαντικό μέρος της εκπεμφθείσας ακτινοβολίας να είναι στην ορατή περιοχή του φάσματος.

Η καμπύλη ροής ακτινοβολίας συναρτήσει του μήκους κύματος, έχει την ίδια γενική μορφή για όλες τις θερμοκρασίες, αλλά με την αύξηση της θερμοκρασίας, αυξάνει το ύψος της καμπύλης και το μέγιστο της μετατοπίζεται προς μικρότερα μήκη κύματος. Εάν η θερμοκρασία του σώματος δεν ξεπερνά τους  $500^\circ\text{C}$ , το ποσοστό της ακτινοβολίας που βρίσκεται στην ορατή περιοχή, είναι πρακτικά αμελητέο. Για μεγαλύτερες θερμοκρασίες, αρχίζει να ακτινοβολεί το σώμα στο σκοτάδι, στην αρχή σε σκοτεινά κόκκινο χρώμα ( $700^\circ\text{C}$ ), στη συνέχεια σε βυσσινί ( $900^\circ\text{C}$ ), μετά πορτοκαλί ( $1100^\circ\text{C}$ ), και τέλος λευκό ( $1400^\circ\text{C}$  και άνω, όπου η εκπεμπόμενη

ενέργεια καλύπτει όλο το ορατό φάσμα). Συγχρόνως βέβαια αυξάνει ραγδαία και η ακτινοβολούμενη ισχύς. Το μήκος κύματος στο οποίο εκπέμπεται η μέγιστη θερμοροή ( $\lambda$ ), είναι αντιστρόφως ανάλογο με την απόλυτη θερμοκρασία, σύμφωνα με το Νόμο μετατόπισης του Wien, που προκύπτει με μηδενισμό της παραγώγου στην εξίσωση του Planck .

### 1.3.5 Ακτινοβολία σώματος

Όταν προσπίπτει ακτινοβολία πάνω σ'ένα σώμα, (στερεό, υγρό ή αέριο), ένα κλάσμα της απορροφάται, ένα άλλο κλάσμα της ανακλάται, και το υπόλοιπο διαπερνά το σώμα(σχέση 1.3.5-1):

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad (1.3.5-1)$$

όπου  $\alpha$ : συντελεστής απορρόφησης,  $\rho$ :συντελεστής ανάκλασης και  $\tau$ :συντελεστής διάδοσης.

Τα περισσότερα στερεά υλικά απορροφούν πρακτικά όλη την ακτινοβολία σε ένα πολύ λεπτό εξωτερικό στρώμα τους, πάχους μικρότερου του 1mm. Γι'αυτό στα αδιαφανή υλικά είναι  $\tau = 0$  (σχέση 1.3.5-2):

$$\alpha + \rho = 1 \quad (1.3.5-2)$$

Ορισμένα στερεά και υγρά μεταδίδουν την ακτινοβολία σε συγκεκριμένα μήκη κύματος, εκτός και αν είναι πολύ μεγάλου πάχους. Τα υλικά αυτά (γυαλί, κρύσταλλοι ανόργανων ουσιών κτλ), είναι διαφανή στην ακτινοβολία της συγκεκριμένης περιοχής μήκους κύματος. Σε άλλα μήκη κύματος είναι αδιαφανή. Η επιφάνεια ενός στερεού που είναι πολύ λεία και ομαλή, συμπεριφέρεται σαν κάτοπτρο στη θερμική ακτινοβολία, δηλαδή η γωνία πρόσπτωσης είναι ίση με τη γωνία ανάκλασης. Στην περίπτωση αυτή, μιλάμε για κανονική ή κατοπτρική ανάκλαση. Τα περισσότερα βιομηχανικά υλικά, έχουν τραχείες επιφάνειες, δηλαδή οι επιφανειακές ανωμαλίες τους έχουν μεγάλο μέγεθος σε σχέση με το μήκος κύματος της ακτινοβολίας. Η ανάκλαση ακτινοβολίας από αυτό το είδος επιφάνειας συμβαίνει αδιακρίτως σε όλες τις διευθύνσεις και λέγεται διάχυτη.

### 1.3.6 Συντελεστής Απορρόφησης μιας Πραγματικής Επιφάνειας

Ο συντελεστής απορρόφησης ( $\alpha$ ) μιας πραγματικής επιφάνειας, είναι γενικά συνάρτηση τριών παραμέτρων(σχέση 1.3.6-1):

$$\alpha = \alpha(\lambda, \varphi, T) \quad (1.3.6-1)$$

όπου  $\lambda$ : το μήκος κύματος,  $\varphi$ : η γωνία πρόσπτωσης και  $T$ : η θερμοκρασία

Το ίδιο ισχύει για τα  $\rho$  και  $\tau$ , γι'αυτό και πολλές φορές χρησιμοποιούμε το λεγόμενο μονοχρωματικό συντελεστή απορρόφησης, που αφορά συγκεκριμένο μήκος κύματος κάθε φορά.

### 1.3.7 Συντελεστής Εκπομπής μιας Πραγματικής Επιφάνειας

Ο συντελεστής εκπομπής( $\epsilon$ ) μιας πραγματικής επιφάνειας, ορίζεται σαν το πηλίκο της εκπεμπόμενης θερμοροής προς αυτήν που θα εξέπεμπε μια αντίστοιχη μαύρη

επιφάνεια στην ίδια θερμοκρασία και είναι γενικά συνάρτηση τριών παραμέτρων (σχέση 1.3.7-1):

$$\varepsilon = \varepsilon(\lambda, \varphi, T) \quad (1.3.7-1)$$

Οι συντελεστές εκπομπής μπορούν να ορίζονται σε συγκεκριμένα μήκη κύματος (μονοχρωματικοί συντελεστές εκπομπής), και, για επιφάνειες που δεν υπακούουν στο νόμο του Lambert, θα πρέπει να ορίζονται για συγκεκριμένες γωνίες εκπομπής.

Στην περίπτωση θερμικής ισορροπίας, ισχύει ο Νόμος του Kirchhoff (σχέση 1.3.7-2):

$$\varepsilon_{\lambda} = \alpha_{\lambda} \quad (1.3.7-2)$$

Δηλαδή ο συντελεστής εκπομπής ενός σώματος σε συγκεκριμένο μήκος κύματος ακτινοβολίας, είναι ίσος με το συντελεστή απορρόφησης στο ίδιο μήκος κύματος. Ονομάζουμε φαιό σώμα εκείνο για το οποίο ο συντελεστής εκπομπής είναι σταθερός για όλα τα μήκη κύματος (σχέση 1.3.7-3):

$$\varepsilon_{\lambda} = E / E_{b\lambda} = \varepsilon \quad (1.3.7-3)$$

Μια πραγματική επιφάνεια, πρακτικά προσεγγίζεται από ένα φαιό σώμα, του οποίου ο συντελεστής εκπομπής είναι ίσος με τον μέσο συντελεστή εκπομπής της πραγματικής επιφάνειας. Οι μεταλλικές επιφάνειες που απορροφούν θερμική ακτινοβολία έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

1. *Χρώμα*: όσο πιο μαύρο είναι το χρώμα της επιφάνειας, τόσο καλύτερα απορροφά την ακτινοβολία.
2. *Επιφανειακή τραχύτητα*: μια ματ ή τραχειά επιφάνεια απορροφά την ακτινοβολία καλύτερα από μια γυαλιστερή επιφάνεια, ανεξάρτητα από το χρώμα τους, όπως φαίνεται στον πίνακα 1.3.7-1.

*Πίνακας 1.3.7-1 Συντελεστής εκπομπής διάφορων υλικών σε σχέση με την κατάστασή τους.*

Υλικό	Κατάσταση	Συντελεστής εκπομπής
Χάλυβας	τραχύς	0,97
Χάλυβας	λείος	0,08
Χυτοσίδηρος	οξειδωμένος	0,95
Χυτοσίδηρος	λείος	0,21
Κράμα αλουμινίου	οξειδωμένο	0,11
Κράμα αλουμινίου	στιλβωμένο	0,028



Οι τιμές αυτές είναι προσεγγιστικές, αφού ο συντελεστής εκπομπής εξαρτάται πάρα πολύ από την κατάσταση της επιφάνειας. Οι πιο πολλές επιφάνειες μετάλλων έχουν υψηλό συντελεστή εκπομπής, και συνήθως θεωρούνται φαιές. Η ακτινοβολία από καλούς αγωγούς του ηλεκτρισμού, και ιδιαίτερα από στιλβωμένα μέταλλα, διαφέρει σημαντικά. Οι συντελεστές εκπομπής είναι πολύ χαμηλότεροι, και μεταβάλλονται με το μήκος κύματος. Επίσης, η ακτινοβολία που εκπέμπουν δεν είναι διάχυτη, ενώ ανακλούν σύμφωνα με τους νόμους της οπτικής. Γενικά, οι «ακαθαρσίες» και η οξείδωση πάντα αυξάνουν το συντελεστή εκπομπής μιας επιφάνειας, αφού είναι κακοί αγωγοί του ηλεκτρισμού .

### 1.3.8 Ένταση Ακτινοβολίας

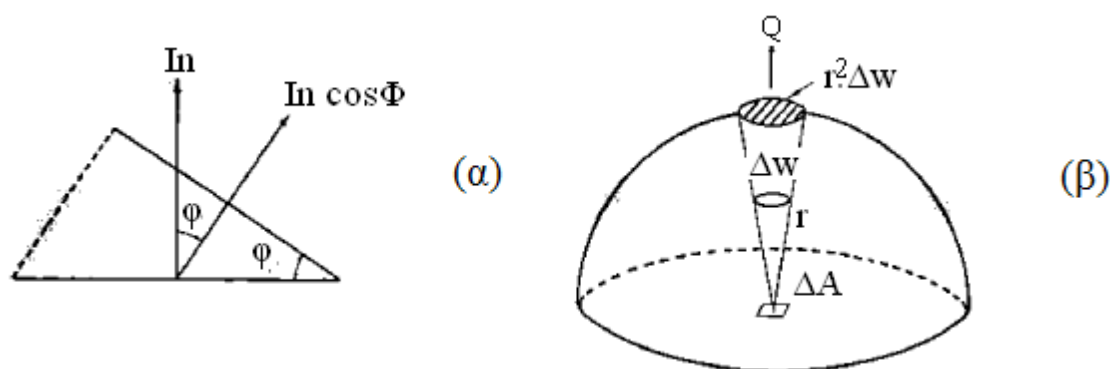
Μέχρι στιγμής, ασχοληθήκαμε με τη συνολική ποσότητα ακτινοβολίας που εκπέμπεται από μια επιφάνεια σε όλο το χώρο υπεράνω αυτής [ $\text{kW}/\text{m}^2$ ]. Είναι επίσης απαραίτητο να υπολογίζεται η λεγόμενη ένταση ακτινοβολίας που εκπέμπεται μέσα από δεδομένη στερεά γωνία [ $\text{kW}/\text{m}^2 \text{ sterad}$ ]. Μπορεί να αποδειχθεί ότι η ένταση ακτινοβολίας κάθετα στην επιφάνεια, συνδέεται με απλό τρόπο με την ικανότητα εκπομπής του μέλανος σώματος.

### 1.3.9 Ο νόμος Lambert

Η ένταση ακτινοβολίας από μια επιφάνεια μοναδιαίου εμβαδού για διεύθυνση εκπομπής υπό γωνία  $\phi$  σε σχέση με την κάθετη στην επιφάνεια θα δίδεται από τη σχέση 1.3.9-1:

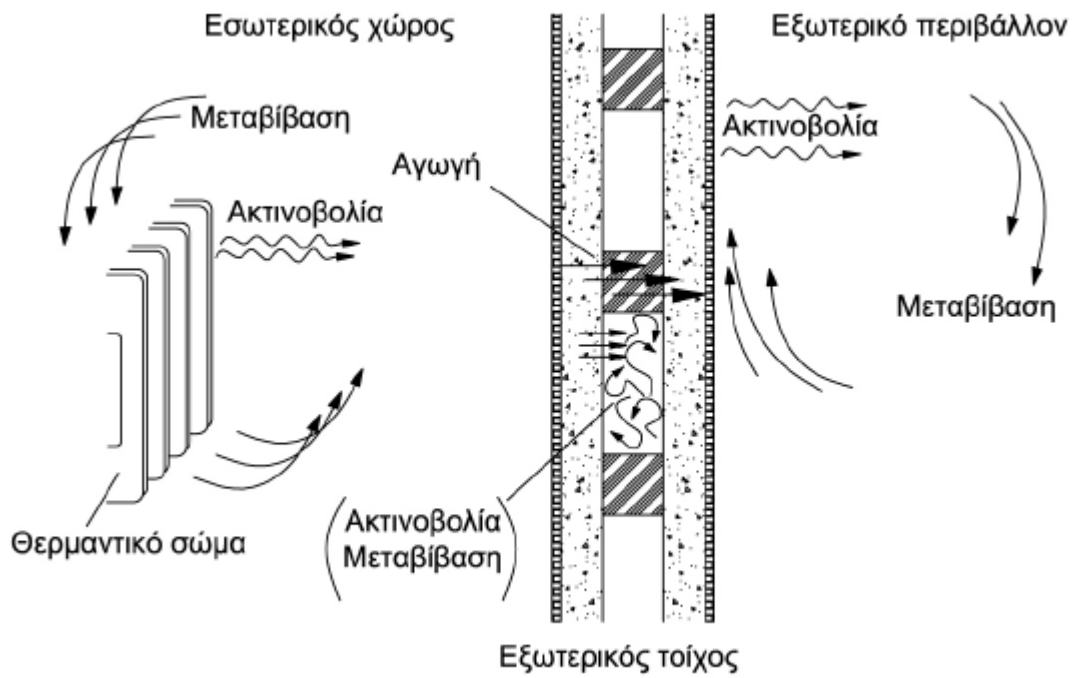
$$I = E_b \cos \phi / \pi \quad (1.3.9-1)$$

Η εξίσωση αυτή εκφράζει το λεγόμενο νόμο συνημίτονου του Lambert, και οι επιφάνειες που συμπεριφέρονται με τον τρόπο αυτό λέγονται επιφάνειες Lambert, μια μαύρη επιφάνεια, είναι επίσης και επιφάνεια Lambert(σχήμα 1.3.9-1)



Σχήμα 1.3.9-1 Επιφάνειες Lambert.

Στο σχήμα 1-1 παρουσιάζονται τα φαινόμενα μεταφοράς θερμότητας που λαμβάνουν χώρα μέσω ενός δομικού τοίχου. Όπως παρατηρείται παρουσιάζονται και οι τρεις μέθοδοι μετάδοσης της θερμότητας, αγωγή, συναγωγή και ακτινοβολία.



Σχήμα 1-1 Φαινόμενα μεταφοράς θερμότητας μέσα σε δομικό τοίχο

## 2.ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

### 2.1 Ξύλο

Το ξύλο είναι βιολογικό υλικό με πολλές ιδιαιτερότητες σε σύγκριση με άλλα βιομηχανικά προϊόντα. Υπάρχουν πολλά εναλλακτικά συστήματα δόμησης με ξύλο.

#### 2.1.1 Φυσικά χαρακτηριστικά

Το ξύλο έχει χαμηλή πυκνότητα περίπου  $500 \text{ kg /m}^3$ . Λόγω αυτής της χαμηλής πυκνότητας και της υψηλής του αντοχής, κατασκευές από ξύλο είναι περίπου οχτώ φορές ελαφρότερες από τις κατασκευές σκυροδέματος και πλινθοδομής. Συνέπεια αυτής της χαμηλής πυκνότητας, προκύπτει υπεροχή της ξύλινης κατασκευής, λόγω απλουστεύσεως του έργου της θεμελιώσεως, της μεταφοράς κλπ. Όσον αφορά τη χημική του αντίσταση δεν οξειδώνεται, όπως ο χάλυβας και αντέχει περισσότερο από το σκυρόδεμα σε αλκαλικές ουσίες. Καταπονείται ελάχιστα σε κρούσεις και κραδασμούς και, μόνο στην επιφάνειά του, και δεν αλλοιώνεται εσωτερικά από αυτούς, αφού είναι ικανό να απορροφήσει την κρουστική ενέργεια. Το ξύλο ανθίσταται αποτελεσματικά στις μετατοπίσεις, εκεί που άλλα δομικά υλικά ρηγματώνονται. Η υπεροχή της ξύλινης κατασκευής στη σεισμική καταπόνηση είναι καταφανής. Οι κατασκευές από ξύλο, με σωστή μεθόδευση στον τρόπο κατασκευής, παρέχουν ασφάλεια σε μεγάλες σεισμικές καταπονήσεις. Το ξύλο με υγρασία (άνω 24%) έχει σταθερές διαστάσεις. Κάτω από το σημείο κορεσμού των ιών οι μεταβολές στην υγρασία επιφέρουν διόγκωση ή συρρίκνωση αντίστοιχα, στα κυτταρικά τοιχώματα του ξύλου.

Η ξυλεία είναι ανισοτροπικό υλικό. Η μέγιστη διαστολή συμβαίνει στην κατεύθυνση των ετήσιων δακτυλίων (εφαπτομενικά), κατά το ήμισυ όταν διασχίζει τους κύκλους (ακτινικά) και ελάχιστα στην κατεύθυνση των ιών (διαμήκη). Κατά την κατεύθυνση των ιών η θερμική διαστολή είναι ανεξάρτητη του είδους. Στην άλλη κατεύθυνση, δηλαδή ακτινικά, η διαστολή είναι πιο σημαντική περίπου 5 έως 10 φορές μεγαλύτερη από τη διαμήκη διαστολή. Όταν ένα ξύλο με 8%-20% υγρασία θερμαίνεται, αρχικά διαστέλλεται λόγω αύξησης θερμοκρασίας, αλλά με την επαρκή πάροδο χρόνου συστέλλεται λόγω αποξήρανσης με αποτέλεσμα να εμφανίζεται συρρίκνωση. Το ξύλο θεωρείται παραδοσιακό θερμομονωτικό υλικό. Υπάρχουν βέβαια σύγχρονα υλικά που έχουν πολύ καλύτερη θερμομονωτική ικανότητα, αλλά ο συνδυασμός αυτών των υλικών με το ξύλο σαν φέρουσα κατασκευή αποδίδει άριστα αποτελέσματα.

Η ξυλεία αποτελείται από πολλά είδη, διακρίνεται όμως σε δύο μεγάλες κατηγορίες, την μαλακή και τη σκληρή ξυλεία. Η σκληρή ξυλεία στην εσωτερική της περιοχή παρουσιάζει σκούρο χρώμα ενώ η μαλακή ξυλεία παρουσιάζει ανοιχτό χρώμα. Η μαλακή ξυλεία αποτελείται από την ξυλεία των περισσότερων κωνοφόρων δένδρων, ενώ η σκληρή ξυλεία των πλατύφυλλων δένδρων. Στη μαλακή ξυλεία ανήκουν η σημύδα, το έλατο, η ερυθρότατη, η οξιά, η ψευδοτσούγκα κ.α. Αντίθετα στην σκληρή το πεύκο, η λεύκα κ.α. Το ξύλο που χρησιμοποιείται σήμερα στις κατασκευές είναι στη φυσική του μορφή, δηλαδή στρογγυλή ξυλεία, ελαφρώς επεξεργασμένη, δηλαδή πελεκητή ξυλεία και πριονιστή ή πρηστώ ξυλεία, η οποία αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο μέρος των τυποποιημένων διατομών. Η στρογγυλή ξυλεία αποτελείται από κορμούς δένδρων που τους έχει αφαιρεθεί ο φλοιός και έχουν καθαριστεί με

τσεκούρι. Χρησιμοποιείται για την υποστήριξη ξυλότυπων και σε υπόγειες δομικές κατασκευές για υποστηλώσεις αποφράξεων καθώς και εμπηγμένων δοκών(πίνακας 2.1.1-1):

*Πίνακας 2.1.1-1 Χρήση του ξύλου σε δομικές κατασκευές*

Είδος έργου	Ξύλο
Στέγες	Ελάτη
Κουφώματα	Ελάτη, πεύκη, δρυς
Δάπεδα	Πεύκη, δρυς, καστανιά, οξυά
Σκάλες	Πεύκη
Πάσσαλοι θεμελίων	Λάρτζινο, οξυά, δρυς, καστανιά
Βοηθητικά ικριώματα	Ελάτη, πεύκη

Το μείζον πρόβλημα που προκύπτει κατά τη συλλογή του ξύλου είναι ότι η διαχείριση των δασών με κριτήριο τη μεγιστοποίηση του όγκου του ξύλου που είναι δυνατόν να λαμβάνεται σε σταθερή βάση έχει αλλοιώσει τα δασικά οικοσυστήματα. Ιδιαίτερα καταστροφικά είναι τα αποτελέσματα της μεγιστοποίησης της παραγωγής στα τροπικά δάση, όπου τεράστιες εκτάσεις αποψιλώνονται κάθε χρόνο για να ικανοποιηθεί η ζήτηση τροπικής ξυλείας στις βιομηχανικές χώρες. Τις τελευταίες δεκαετίες λόγω της πίεσης των οικολογικών οργανώσεων και του κοινού γίνεται αντιστροφή των τάσεων αυτών και εφαρμόζονται διαχειριστικές μέθοδοι συμβατές με την κοινά αποδεκτή αρχή της αειφορείας.

*Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda=0.14$  έως  $0.21$  W/m\*K  
Συντελεστής εκπομπής  $\varepsilon=0.90-0.94$*

## **2.2 Κονιάματα και επιχρίσματα**

Το κονίαμα είναι μίγμα άμμου ,νερού και μιας συνδετικής ύλης. Ενώ στο σκυρόδεμα οι συνδετικές ύλες είναι κυρίως τσιμέντα, στα κονιάματα χρησιμοποιούνται διαφορετικές ύλες. Αυτές είναι συνδετικές ύλες που σκληραίνουν μόνο σε επαφή με τον αέρα(αερικές κονίες) ,ή συνδετικές ύλες που σκληραίνουν και παραμένουν σκληρές χωρίς την παρουσία αέρα, ακόμα και κάτω από το νερό(υδραυλικές κονίες).Το κονίαμα είναι κατάλληλο για να γεμίζει τους οριζόντιους και κάθετους αρμούς των λίθων και πλίνθων και μετά το πήξιμό τους εξασφαλίζει την άκαμπτη σύνδεσή τους σε ένα συμπαγές σώμα. Επίσης χρησιμοποιούνται για την εξομάλυνση επιφανειών τοίχων και ορόφων αλλά και για την προστασία της οικοδομής από τις καιρικές συνθήκες. Στο πρώτο στάδιο παρασκευής το κονίαμα βρίσκεται σε πλαστική κατάσταση και μπορεί να πάρει οποιοδήποτε σχήμα ή μορφή και γενικά μπορεί να υποστεί οποιαδήποτε επεξεργασία χωρίς καμία αλλοίωση των χαρακτηριστικών του.Όταν περάσει όμως ορισμένος χρόνος, ο οποίος εξαρτάται κυρίως από το είδος της κονιάς που χρησιμοποιήθηκε, το κονίαμα αρχίζει να στερεοποιείται, επειδή πήζει η κονία και μετατρέπεται σε ένα σώμα σκληρό και ανθεκτικό.

Τα κονιάματα χρησιμοποιούνται με τρεις διαφορετικούς τρόπους:

α)Συνδετικά υλικά

Στο κτίσιμο τοίχων από φυσικούς ή τεχνητούς λίθους παρεμβάλλονται μεταξύ των οριζοντίων και κατακόρυφων αρμών και γεμίζουν έτσι τα κενά που υπάρχουν ανάμεσα στις πέτρες και τα τούβλα. Τα κονιάματα συνδέουν τους τεχνητούς ή φυσικούς λίθους μεταξύ τους και κάνουν συμπαγέστερο και στερεότερο τον τοίχο. Επίσης δημιουργούν οριζόντιες επίπεδες επιφάνειες που βοηθούν έτσι την τοποθέτηση των κάτω σειρών των λίθων και κατανέμουν καλύτερα τα υπερκείμενα φορτία. Με τη χρήση των κονιαμάτων έγινε δυνατή η χρησιμοποίηση αλάξευτων λίθων ή ελαφρών τεχνητών λίθων και έτσι επιτεύχθηκε σημαντική οικονομία στην κατασκευή τοίχων.

β)Καλυπτικά και μονωτικά υλικά

Για την εξομάλυνση και την καλύτερη εμφάνιση των ορατών επιφανειών τοίχων, στύλων, ορόφων χρησιμοποιείται λεπτό στρώμα κονιάματος πάχους 2,5 cm έως 3,5 cm. Όταν οι επιφάνειες αυτές είναι εξωτερικές και επηρεάζονται από τους ατμοσφαιρικούς παράγοντες, τότε το στρώμα αυτό εκτελεί και προστατευτικό έργο. Το είδος του κονιάματος που θα χρησιμοποιηθεί σε κάθε περίπτωση εξαρτάται από τη θέση του στοιχείου που θα καλυφθεί και από την εμφάνιση που επιθυμούμε να δώσουμε στην ορατή επιφάνεια. Επίσης ορισμένα είδη ισχυρών κονιαμάτων χρησιμοποιούνται για τη στεγανοποίηση ειδικών έργων. Οι αρμοί μεταξύ των πλακών, που καλύπτουν διάφορες επιφάνειες καλύπτονται με κονίαμα για να παρεμποδιστεί η διόδος του νερού ή των υγρών. Τέλος όπου απαιτείται χρησιμοποιούνται ειδικά κονιάματα για ακουστικές και θερμικές μονώσεις καθώς και για μονώσεις κατά της φωτιάς.

Τα είδη των κονιαμάτων χαρακτηρίζονται συνήθως από την κονία που χρησιμοποιείται για την παρασκευή τους. Έτσι έχουμε:

- Πηλοκονιάματα
- Ασβεστοκονιάματα
- Γυψοκονιάματα
- Τσιμεντοκονιάματα κ.α.

Σπάνια χαρακτηρίζονται από το αδρανές υλικό ή από τη μηχανική αντοχή τους. Στις περιπτώσεις αυτές συγκολλητική ύλη μπορεί να είναι οποιαδήποτε από τις γνωστές κονίες. Αν ληφθεί ως χαρακτηριστικό στοιχείο το αδρανές υλικό έχουμε αμμοκονιάματα, μαρμαροκονιάματα κλπ Το πιο σημαντικό από τα παραπάνω υλικά θεωρείται το ασβεστοκονίαμα που χρησιμοποιείται για το κτίσιμο ή για επίχρισμα τοίχων και το τσιμεντοκονίαμα που χρησιμοποιείται σε τοίχους με ιδιαίτερες στατικές απαιτήσεις και σε σημεία με υψηλή υγρασία.

Τα κονιάματα ως προς τη μηχανική αντοχή τους χωρίζονται σε δυο ομάδες:

α)κονιάματα χαμηλής αντοχής(πυλοκονιάματα ,ασβεστοκονιάματα)

β)κονιάματα μέτριας αντοχής(ασβεστοτσιμεντοκονιάματα)

Στις αερικές κονίες ανήκουν οι δομικοί γύψοι που χρησιμοποιούνται στις κατασκευές σαν συνδετικές ύλες. Είναι σκόνες συνήθως λευκές, κιτρινωπές ή κόκκινες. Ο γύψος και η άμμος κάνουν το κονίαμα ισχυρότερο και οικονομικότερο. Χρησιμοποιούνται κυρίως για εργασίες στόκου, σε κονιάματα επίχρισμάτων, για την κατασκευή πλακών και σωμάτων καθώς και για την κατασκευή δαπέδων. Ακόμη στις αερικές κονίες

ανήκουν οι δομικές άσβεστοι που παράγονται από ασβεστόλιθους. Χρησιμοποιούνται για την κατασκευή κονιαμάτων τοιχοδομών και επιχρισμάτων καθώς επίσης και ελαφρομετόν. Τα επιχρίσματα είναι η κάλυψη τοίχων, οροφών και άλλων στοιχείων από ένα ή περισσότερα στρώματα κονιάματος. Με τα επιχρίσματα επιτυγχάνεται ο σχηματισμός κανονικών επιφανειών στους τοίχους, τόσο για λόγους εμφάνισης όσο και για λόγους εξασφάλισης από φθορές, από ατμοσφαιρικές αλλαγές και για μόνωση του εσωτερικού χώρου.

Το κονίαμα χαρακτηρίζεται από τις πιο κάτω ιδιότητες :

- Είναι εργάσιμο ώστε κατά τους διάφορους χειρισμούς που απαιτείται η χρήση του, να μη διασπάται η μάζα του. Για το λόγο αυτό πρέπει να αναμιγνύονται τα υλικά πολύ καλά και να μην παραμένουν σβόλοι στη μάζα του.
- Είναι αρκετά πλαστικό ώστε να καλύπτει καλά όλες τις ανωμαλίες των λίθων και των επιφανειών και συγχρόνως έχει αρκετή αντοχή ώστε να κρατιέται και να μην διαφεύγει από τους αρμούς της τοιχοποιίας κατά την τοποθέτηση των υπερκείμενων λίθων πάνω του.
- Η ξήρανση και η πήξη του γίνονται σε κανονικό χρόνο, ώστε να μπορεί να αντέξει τα φορτία κατά τη δόμηση.
- Παρουσιάζει ογκοσταθερότητα για να μην προκαλούνται ρωγμές ή συρρικνώσεις
- Παρουσιάζει υψηλή αντοχή σε θλίψη.

Υπάρχουν τριών ειδών επιχρίσματα :

#### 1) εξωτερικά επιχρίσματα

Κατασκευάζονται σε δύο στρώσεις και το πάχος πρέπει να είναι 2 cm για να παρέχει προστασία από τις βροχοπτώσεις γιατί ένα λεπτό επίχρισμα θα οδηγούσε στη δημιουργία ρωγμών. Καλύπτουν την εξωτερική επιφάνεια του τοίχου και δίνουν μια συγκεκριμένη αισθητική εντύπωση, επίσης καλύπτουν τις κακοτεχνίες της κατασκευής, αυξάνουν την αντοχή και ταυτόχρονα μειώνουν την ανάγκη για συντή

#### 2) εσωτερικά επιχρίσματα τοίχων

Πρέπει να έχουν επίπεδες επιφάνειες. Το πάχος είναι περίπου 15 mm κατά μέσο όρο. Πρέπει να είναι επαρκώς απορροφητικά, ώστε να μπορούν να παραλαμβάνουν και να αποδίδουν τη φυσική υγρασία που δημιουργείται σε κατοικημένους χώρους.

#### 3) εσωτερικά επιχρίσματα ορόφων

Φορείς αυτών των επιχρισμάτων είναι τμήματα κατασκευών από χάλυβα, ξύλο ή άλλα υλικά τα οποία δεν είναι δυνατόν να επιχριστούν και καλύπτονται από φέροντες σκελετούς επιχρισμάτων.

*Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας ασβεστοκονιάματος  $\lambda=0.87W/m*K$*

*Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας τσιμεντοκονιάματος  $\lambda=1.40 W/m*K$*

*Συντελεστής εκπομπής  $\epsilon=0.93$*

## 2.3 Λίθοι

### 2.3.1 Φυσικοί δομικοί λίθοι

Οι φυσικοί λίθοι προέρχονται από τα πετρώματα των επιφανειακών στρωμάτων του στερεού φλοιού της γης και λαμβάνονται στα λατομεία με εξόρυξη. Οι φυσικοί λίθοι χρησιμοποιούνται κυρίως στη δόμηση τοιχοποιίας. Η χρήση τους, όμως, είναι περιορισμένη επειδή έχουν μεγάλο ειδικό βάρος και παρουσιάζουν σχετικά υψηλή θερμοαγωγιμότητα. Χρησιμοποιούνται ευρύτατα στην ανωδομή ως επένδυση διάφορων στοιχείων των κατασκευών, όπως και στην κατασκευή μνημείων, αφού υποστούν κατάλληλη κατεργασία. Στην Ελλάδα υπάρχει αφθονία φυσικών δομικών λίθων, τόσο από μάρμαρα, όσο και από πορόλιθους και πλάκες. Ιδιαίτερα στην κατηγορία των μαρμάρων υπάρχουν περισσότερες από ογδόντα παραλλαγές, οι οποίες διαφέρουν μεταξύ τους ως προς τον ιστό και το χρωματισμό.

Ανάλογα με τον τρόπο σχηματισμού τους τα πετρώματα από τα οποία δημιουργούνται οι λίθοι διακρίνονται σε εκρηξιγενή, ιζηματογενή και μεταμορφωσιγενή.

### 2.3.2 Κατηγορίες πετρωμάτων

Ανάλογα με τον τρόπο δημιουργίας τους τα πετρώματα διακρίνονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες:

- Εκρηξιγενή
- Ιζηματογενή
- Μεταμορφωσιγενή

#### 2.3.2.1 Εκρηξιγενή πετρώματα

Τα εκρηξιγενή ή πυριγενή πετρώματα σχηματίστηκαν από τη στερεοποίηση μαγματικής ύλης, η οποία ανέρχεται με διάφορους τρόπους στην επιφάνεια ή κοντά σε αυτή. Τα κυριότερα εκρηξιγενή πετρώματα, από τα οποία προέρχονται φυσικοί δομικοί λίθοι, είναι ο γρανίτης και η κίσσηρη ή ελαφρόπετρα.

α. Γρανίτης: Αποτελείται κυρίως από άστριο και χαλαζία με χρώμα τεφρό μέχρι μαύρο. Είναι πέτρωμα όξινο, κρυσταλλικό, κοκκώδες, πολύ σκληρό, αδιαπέραστο από την υγρασία, δύσκολο στην κατεργασία και καλής στίλβωσης. Ο γρανίτης είναι ανθεκτικός στις καιρικές επιδράσεις και έχει μεγάλη διάρκεια ζωής ( $\lambda=3.49 \text{ W/m}^*\text{K}$ )

β. Κίσσηρη ή ελαφρόπετρα: Αποτελείται κυρίως από άστριο με χρώμα φαιόλευκο. Είναι πέτρωμα όξινο, πορώδες, πιο ελαφρύ από το νερό και εύθραυστο. Η κίσσηρη είναι εξαιρετικά λειαντικό μέσο, καθώς και θερμομονωτικό υλικό ( $\lambda=0.19 \text{ W/m}^*\text{K}$ )

#### 2.3.2.2 Ιζηματογενή πετρώματα

Τα ιζηματογενή ή στρωσιγενή πετρώματα σχηματίστηκαν από την καθίζηση διαλυμένου υλικού και συνήθως εμφανίζονται διατεταγμένα σε στρώσεις διάφορου πάχους. Τα κυριότερα ιζηματογενή πετρώματα, από τα οποία προέρχονται φυσικοί δομικοί λίθοι, είναι ο ασβεστόλιθος, ο δολομίτης, ο τραβερτίνης και οι ψαμμίτες.

α. Ασβεστόλιθος. Αποτελείται κυρίως από ασβεστίτη με ποικίλο χρώμα και σύσταση. Είναι πέτρωμα συμπαγές μέχρι πορώδες με καλή λείανση και κατεργάζεται εύκολα. Ο ασβεστόλιθος παρουσιάζει μικρή ανθεκτικότητα στη φωτιά, στα οξέα και στις καιρικές επιδράσεις. ( $\lambda=3.49 \text{ W/m}^*\text{K}$ )

β. Δολομίτης. Είναι πέτρωμα όμοιο με τον ασβεστόλιθο. Ο δολομίτης, όμως, είναι βαρύτερος, σκληρότερος και περισσότερο εύθρυπτος από τον ασβεστόλιθο. ( $\lambda=3.49 \text{ W/m}^*\text{K}$ )

γ. Τραβερίτης. Αποτελείται από ασβεσίτη, ο οποίος περιέχει φυτικά απολιθώματα, με χρώμα κίτρινο μέχρι καστανό. Είναι πέτρωμα πορώδες και εύκολο στην κατεργασία. Ο τραβερίτης παρουσιάζει μικρή ανθεκτικότητα στις καιρικές επιδράσεις.

δ. Ψαμμίτες. Είναι πετρώματα, τα οποία προέρχονται από τη συγκόλληση αμμωδών ιζημάτων ασβεστολιθικών, αργιλικών ή πυριτικών με ποικίλο χρώμα. Οι ψαμμίτες παρουσιάζουν μεγάλη σκληρότητα και ανθεκτικότητα στις καιρικές επιδράσεις, ανάλογα με τη σύστασή τους. ( $\lambda=2.33 \text{ W/m}^*\text{K}$ )

### 2.3.2.3 Μεταμορφωσιγενή πετρώματα

Τα μεταμορφωσιγενή ή κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα σχηματίστηκαν από τη μερική ή ολική μεταμόρφωση εκριξιγενών ή ιζηματογενών πετρωμάτων υπό την επίδραση διάφορων εξωτερικών παραγόντων, όπως η θερμότητα, η πίεση, το νερό κ.ά. Τα πετρώματα αυτά εμφανίζουν στρωματογραφία ανάλογη των ιζηματογενών και μεταλλοφορία ανάλογη των εκρηξιγενών πετρωμάτων.

Τα κυριότερα μεταμορφωσιγενή πετρώματα, από τα οποία προέρχονται φυσικοί δομικοί λίθοι, είναι το μάρμαρο, ο σερπεντίνης ή οφίτης και οι κρυσταλλικοί σχιστόλιθοι.

α. Μάρμαρο. Σχηματίστηκε από τη μεταμόρφωση ασβεστόλιθου και δολομίτη και έχει χρώμα, το οποίο ποικίλει από λευκό μέχρι μαύρο. Είναι πέτρωμα κρυσταλλοκοκκώδες, με καλή λείανση και λαξεύεται εύκολα. Το μάρμαρο δεν είναι ανθεκτικό στη φωτιά, ενώ η ανθεκτικότητά του στις καιρικές επιδράσεις ποικίλει ανάλογα με τη σύστασή του. ( $\lambda=3.49 \text{ W/m}^*\text{K}$ )

β. Σερπεντίνης ή οφίτης. Είναι πέτρωμα όμοιο με το μάρμαρο, το οποίο αποτελείται από ασβεσίτη και μαγνησίτη με χρώμα πράσινο. Είναι λεπτόκοκκο, μαλακό, με καλή λείανση και παρουσιάζει στη μάζα του πολλούς αρμούς. Ο σερπεντίνης είναι ανθεκτικός στη φωτιά, αλλά παρουσιάζει μικρή ανθεκτικότητα στις καιρικές επιδράσεις.

γ. Σχιστόλιθοι κρυσταλλικοί. Είναι κρυσταλλικά πετρώματα, τα οποία προέρχονται από τη μεταμόρφωση αργιλικών σχιστολίθων και αποτελούνται από χαλαζία μαρμαρυγία, γλωρίτη κ.ά. Έχουν ποικίλο χρώμα και είναι ανθεκτικοί στη φωτιά και στις καιρικές επιδράσεις.

Οι παράγοντες οι οποίοι καθορίζουν το είδος και την ένταση της μεταμόρφωσης είναι κυρίως

- Η πίεση (P),
- Η θερμοκρασία (T)
- Τα θερμά διαλύματα και αέρια

Με σκοπό να έχουμε ακριβέστερο προσδιορισμό του βαθμού μεταμόρφωσης και συστηματική ταξινόμηση της μεγάλης ποικιλίας των μεταμορφωμένων πετρωμάτων γίνεται κατάταξή τους στις λεγόμενες μεταμορφικές φάσεις ή φάσεις μεταμόρφωσης. Μία μεταμορφική φάση αποτελείται από όλα εκείνα τα μεταμορφωμένα πετρώματα με διάφορες χημικές και ορυκτολογικές συστάσεις που σχηματίστηκαν κάτω από ορισμένες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας. Διάφορα μεταμορφωμένα πετρώματα που μπορούν να αναφερθούν είναι ο φυλλίτης, ο χαλαζίτης, ο κερατίτης, η σμυρίδα, ο αμφιβολιτικός σχιστόλιθος κα



### 2.3.3 Γενικές ιδιότητες των φυσικών δομικών λίθων

Οι φυσικοί δομικοί λίθοι παρουσιάζουν μεγάλη πυκνότητα, μικρό πορώδες και υδροαπορρόφηση, μεγάλο συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας και μικρή διαπύδωση υδρατμών. Επίσης, έχουν μεγάλες μηχανικές αντοχές και παρουσιάζουν μεγάλη αντοχή στον παγετό, στην υψηλή θερμοκρασία και στα διαβρωτικά αέρια, καθώς και υψηλές τιμές σκληρότητας και δυναμικών ελαστικών σταθερών. Οι περισσότεροι, εκτός από τους πορώδεις, είναι δυνατόν να κοπούν, να λαξευτούν και να λειανθούν εύκολα. Η πυκνότητα και το πορώδες των φυσικών λίθων επηρεάζουν τις μηχανικές ιδιότητές τους. Ειδικότερα, η αντοχή σε θλίψη αυξάνεται με την αύξηση της πυκνότητάς τους, ενώ μειώνεται με την αύξηση του πορώδους τους.

### 2.3.4 Χρήσεις των φυσικών δομικών λίθων

Οι φυσικοί δομικοί λίθοι χρησιμοποιούνται :

- α) Στην κατασκευή τοίχων. Χρησιμοποιούνται αργοί συμπαγείς λίθοι για τη δόμηση εξωτερικών τοίχων.
- β) Στην επένδυση τοίχων. Χρησιμοποιούνται μάρμαρα, σερπεντίνης και φυσικές πλάκες. Οι πλάκες επένδυσης, οι οποίες χρησιμοποιούνται συνήθως, έχουν πάχος 3÷4 cm και επιφάνεια μικρότερη από 1 m<sup>2</sup>. Η στερέωσή τους πρέπει να είναι σταθερή και μόνιμη χωρίς κενά από πίσω, γιατί η πιθανή πλήρωση των κενών μεταξύ πλακών και τοίχου με νερό είναι δυνατόν να προκαλέσει αποκόλληση των πλακών επένδυσης. Το κονίαμα στερέωσης πρέπει να φέρει κατακόρυφες νευρώσεις για να μη συγκρατείται νερό. Καλύτερη λύση αποτελεί η ανάρτηση πετασμάτων. Η ανάρτηση και η αγκύρωση γίνεται με ανοξειδωτά μεταλλικά στηρίγματα. Για την πάκτωση χρησιμοποιείται τσιμεντοκονίαμα με αναλογία κατ' όγκο 1:3 τσιμέντο : άμμος. Όλη η επιφάνεια χωρίζεται σε τμήματα με αρμούς διαστολής, οι οποίοι πληρούνται με πλαστικό υλικό αρμών, υδατοστεγές, με καλή πρόσφυση και ανθεκτικό στη θερμότητα και στο ψύχος.
- γ) Στην επικάλυψη στεγών. Χρησιμοποιούνται φυσικές πλάκες.
- δ) Στην κατασκευή ή επένδυση κλιμάκων. Χρησιμοποιούνται γρανίτης, πορφυρίτης κ.λ.π., καθώς και μάρμαρα, σερπεντίνης και φυσικές πλάκες.
- ε) Στη διακόσμηση. Χρησιμοποιούνται γρανίτης, διορίτης, σερπεντίνης κ.ά.

Οι λίθοι έχουν πολλές και διαφορετικές εφαρμογές στην κατασκευή και χρησιμοποιούνται σαν φέροντες οργανισμοί αλλά και ως δάπεδα ή διακοσμητικά στοιχεία, όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Οι λίθοι συνδέονται στενά με την έννοια της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής εφ' όσον και λόγω της μεγάλης τους θερμικής μάζας συμπεριφέρονται σαν θερμική αποθήκη στο κτίριο. Το χαρακτηριστικό αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για κτίρια που βρίσκονται σε ακραίες καιρικές συνθήκες καθώς η θερμική μάζα του κτιρίου ισορροπεί τις ακραίες εναλλαγές της θερμοκρασίας του εξωτερικού περιβάλλοντος.

Η οικολογική επιβάρυνση που προκύπτει κατά τη χρήση των λίθων είναι η μεγάλη ενεργειακή απαίτηση της μεταφορά τους, καθώς επίσης και η ανεπανόρθωτη καταστροφή του τοπίου στο τόπο εξόρυξής τους. Η εντατική εκμετάλλευση ενός τοπίου για εξόρυξη λίθων, αφήνει συνήθως ένα τοπίο γυμνό χωρίς καμία δυνατότητα να επανενταχθεί στην αρχική του κατάσταση.

### 2.3.5 Τεχνητοί δομικοί λίθοι

Οι τεχνητοί λίθοι, λόγω των πλεονεκτημάτων που παρουσιάζουν σε σχέση με τους φυσικούς λίθους, χρησιμοποιούνται ευρέως στις κατασκευές. Μερικά από τα πλεονεκτήματά τους είναι η δυνατότητα στην επιλογή πρώτων υλών, η παραγωγή δομικών στοιχείων με προκαθορισμένες διαστάσεις και ιδιότητες, η ομοιομορφία της δομής τους, όπως και η οικονομική κατασκευή τους λόγω της δυνατότητας κατασκευής τους κοντά στο εργοτάξιο. Οι πλίνθοι ή τούβλα οπτοί και άνοπτοι, τα κεραμίδια και τα κεραμικά πλακίδια επένδυσης τοίχων και επίστρωσης δαπέδων, ήταν γνωστά από αρχαιοτάτων χρόνων και εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται ως βασικά υλικά δόμησης και στις σύγχρονες κατασκευές. Στις νεότερες, όμως, ελαφρές κατασκευές χρησιμοποιούνται διάτρητοι αντί των συμπαγών οπτόπλινθων και ασβεστοπυριτικών πλίνθων, με κατακόρυφες ή οριζόντιες οπές, καθώς και πορώδεις πλίνθοι, οι οποίοι συμβάλλουν στη θερμομόνωση των κατασκευών.

Άλλοι τεχνητοί δομικοί λίθοι είναι τα εμφανή τούβλα, οι πυρίμαχοι πλίνθοι, οι πλίνθοι πατωμάτων και οροφής, οι πλίνθοι καπνοδόχων και επένδυσης σηράγγων, τα υπέρθυρα τούβλα και οι πλάκες πεζοδρομίων και δρόμων. Στην ίδια κατηγορία περιλαμβάνονται και οι πηλοσωλήνες, τα κεραμικά πλακίδια, τα προϊόντα πορσελάνης, τα κεραμικά προηγμένης τεχνολογίας και τα κεραμικά σύνθετα. Περιλαμβάνονται ακόμα οι τσιμεντόλιθοι, οι οποίοι χρησιμοποιούνται στην τοιχοποιία. Επίσης, χρησιμοποιούνται σε διάφορα έργα υλικά από σκυρόδεμα, όπως πλίνθοι και πλάκες πεζοδρομίου, πλάκες δαπέδου, κρασπεδόρειθρα, σωλήνες και άοπλα και οπλισμένα προκατασκευασμένα δομικά στοιχεία τοίχου και οροφής. Στους τεχνητούς δομικούς λίθους περιλαμβάνονται τα υαλότουβλα, διάφορα προϊόντα γύψου, όπως γυψότουβλα, πλάκες τοίχου και γυψοσανίδες καθώς και προϊόντα αμιαντοτσιμέντου και ελαφροσκυροδέματος.

Οι τεχνητοί δομικοί πλίνθοι έχουν γενικά σχήμα πρισματικό και διακρίνονται σε συμπαγείς και σε διάτρητους, οι οποίοι φέρουν οπές κατακόρυφες ή οριζόντιες.

Τυπικές μορφές τεχνητών δομικών πλίνθων είναι οι παρακάτω:

- Οριζόντιες όψεις : Είναι οι επάνω και οι κάτω όψεις του πλίνθου, όπως τοποθετείται στην τοιχοποιία.
- Κενό: Είναι οι οπές του πλίνθου, οι οποίες είναι δυνατόν να είναι διαμπερείς ή τυφλές.
- Εγκοπή: Είναι η εσοχή του πλίνθου.
- Τοίχωμα : Ονομάζεται το υλικό μεταξύ δύο κενών του πλίνθου.
- Κέλυφος : Ονομάζεται το περιμετρικό υλικό του πλίνθου.
- Μικτή διατομή : Είναι η επιφάνεια της διατομής χωρίς την αφαίρεση των κενών και των εσοχών του πλίνθου.

#### 2.3.5.1 Φυσικές ιδιότητες

Για τη σωστή χρήση των τεχνητών δομικών λίθων πρέπει να είναι γνωστές οι χαρακτηριστικές ιδιότητές τους, όπως είναι η φαινόμενη πυκνότητά τους. Αυτή υπολογίζεται από το βάρος τους, το οποίο προσδιορίζεται σε ξηρά κατάσταση και από τον όγκο τους, ο οποίος προσδιορίζεται με τη μέθοδο της εμβάπτισης στο νερό σύμφωνα με τον αντίστοιχο κανονισμό. Η υδροαπορρόφηση προσδιορίζεται από τη διαφορά του βάρους του πλίνθου μετά τον κορεσμό του και του βάρους του σε ξηρά

κατάσταση και δίνεται σε ποσοστό % κατά βάρος. Σημαντικός παράγοντας για τους πλίνθους, οι οποίοι χρησιμοποιούνται στην κατασκευή τοιχοποιίας, είναι και η ταχύτητα απορρόφησης της υγρασίας. Η μικρή ταχύτητα απορρόφησης της υγρασίας συνεπάγεται μικρή συνάφεια μεταξύ του πλίνθου και του νωπού κονιάματος, ενώ η μεγάλη ταχύτητα συνεπάγεται γρήγορη ξήρανση του νωπού κονιάματος, οπότε απαιτείται η διαβροχή των πλίνθων. Επίσης, είναι απαραίτητο να προσδιορίζονται το πορώδες, η θερμική αγωγιμότητα, η θερμική διαστολή, η αντοχή στη φωτιά και στον παγετό, η ηχομονωτική ικανότητα και η ανθεκτικότητα στο χρόνο και στις καταπονήσεις των τεχνητών δομικών πλίνθων.

### **2.3.5.2 Μηχανικές ιδιότητες**

Η αντοχή σε θλίψη των τεχνητών δομικών πλίνθων είναι βασική ιδιότητά τους και χαρακτηρίζει την ποιότητά τους. Προσδιορίζεται σύμφωνα με τον αντίστοιχο κανονισμό και στη συνέχεια ανάγεται σε αντοχή σε θλίψη ξηρού πλίνθου με πλάτος 100 mm και με ύψος 100 mm και πολλαπλασιάζεται επί το συντελεστή δ. Η τιμή η οποία προκύπτει ονομάζεται ανηγμένη αντοχή σε θλίψη,  $f_b$ , σύμφωνα με τον αντίστοιχο κανονισμό. Η αντοχή σε θλίψη των πλίνθων εξαρτάται από τη διεύθυνση φόρτισης. Για φόρτιση παράλληλη προς τα κενά η αντοχή σε θλίψη είναι αντιστρόφως ανάλογη του ποσοστού των κενών και για φόρτιση κάθετη προκύπτει μείωση της αντοχής σε θλίψη λόγω ανάπτυξης πρόσθετων τάσεων από την κάμψη των τοιχωμάτων. Η αντοχή σε εφελκυσμό θεωρείται απαραίτητη για τον προσδιορισμό της αντοχής σε κάμψη της τοιχοποιίας. Ο έλεγχος της αντοχής σε εφελκυσμό γίνεται, είτε με τον προσδιορισμό καθαρού εφελκυσμού, είτε με τον προσδιορισμό της αντοχής σε εφελκυσμό από κάμψη ή διάρρηξη, σύμφωνα με τους αντίστοιχους κανονισμούς. Επίσης, αναφέρεται ότι οι πλίνθοι από άργιλο παρουσιάζουν γραμμική ελαστική συμπεριφορά μέχρι του σημείου θραύσης τους.

### **2.3.5.3 Αργιλικά ή κεραμικά δομικά στοιχεία**

Τα αργιλικά δομικά στοιχεία παράγονται από τον πηλό μετά από προεργασία, μόρφωση με τα χέρια ή με μηχανικά μέσα, σε κατάλληλα καλούπια, ξήρανση του υλικού στον αέρα ή σε ρεύματα θερμού αέρα, όπτηση σε δακτυλοειδή καμίνια ή καμίνια συνεχούς καύσης και ψύξη. Η μόρφωση των προϊόντων, ώστε να αποκτήσουν το επιθυμητό σχήμα, γίνεται με την εφαρμογή πίεσης χειρωνακτικά ή με κατάλληλες συσκευές. Υπάρχουν δύο μέθοδοι μόρφωσης, η υγρή και η ξηρή. Η επιλογή της μεθόδου που θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από την ποιότητα του πηλού και από το προϊόν που θα κατασκευαστεί. Η ξήρανση γίνεται με φυσικό ή τεχνητό τρόπο. Η φυσική ξήρανση πλεονεκτεί της τεχνητής ως προς την ομοιομορφία και την ομαλότητα ξήρανσης. Παρουσιάζει, όμως, τα μειονεκτήματα ότι χρειάζεται μεγάλους χώρους και σημαντικό χρόνο για την ολοκλήρωσή της. Η τελευταία φάση της παραγωγής είναι η ψύξη του προϊόντος που πρέπει να γίνεται με βραδύ ρυθμό, ώστε να αποφευχθούν μικρορηγματώσεις. Έχουν μικρό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, διαπερατότητα από τον αέρα και ικανοποιούν τους όρους υγιεινής. Επίσης, έχουν ωραίους χρωματισμούς, επιθυμητές διαστάσεις και είναι εύχρηστα σε κάθε έργο.

### 2.3.5.4 Οπτόπλινθοι ή τούβλα

Τα τούβλα είναι μικρά τεχνητά δομικά στοιχεία με κανονικό πρισματικό σχήμα, τα οποία χρησιμοποιούνται εύκολα στη δόμηση τοιχοποιίας ή επιφάνειας. Τα τούβλα διακρίνονται σε συμπαγή και σε διάτρητα. Οι βασικές αιτίες για την παραγωγή διάτρητων τούβλων, ήταν το μεγάλο βάρος, η μεγάλη χρονική διάρκεια ξήρανσης και η κοπιαστική και χρονοβόρα εργασία δόμησης των συμπαγών τούβλων. Τα συμπαγή τούβλα διακρίνονται σε συμπαγή πλήρη και σε συμπαγή διάτρητα με κατακόρυφες οπές, με συνολικό όγκο μικρότερο ή ίσο του 25% του τούβλου και με πάχος τοιχωμάτων μεγαλύτερο από 20 mm ή με συνολική επιφάνεια οπών μικρότερη ή ίση με το 15% της επιφάνειας των τούβλων έδρασης. Τα διάτρητα τούβλα διακρίνονται σε διάτρητα με οπές κατά τη διεύθυνση του μήκους του τούβλου, δηλαδή οριζόντιες και σε διάτρητα με οπές κατά τη διεύθυνση του ύψους, τα οποία ονομάζονται ορθότρυπα. Οι οπές έχουν συνολικό όγκο μεγαλύτερο από 25% και μικρότερο από 55% του όγκου του τούβλου και η συνολική επιφάνειά τους είναι μεγαλύτερη από το 15% της επιφάνειας έδρασης του τούβλου. Οι οπές πρέπει να είναι κατά το δυνατόν ομοιόμορφα κατανομημένες. Σχετικά με το σχήμα και το πλήθος των οπών δεν υπάρχει κανένας περιορισμός. Η επιλογή του σχήματος και των διαστάσεων των τούβλων αποβλέπει στη σωστή, εύκολη και γρήγορη δόμηση των τοίχων. Αποδείχτηκε ότι προσφορότερο σχήμα είναι το ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο με πλάτος ίσο με το άνοιγμα της παλάμης ανθρώπου. ( $\lambda=0.45 \text{ W/m}^*\text{K}$ )

### 2.3.5.5 Ιδιότητες των τούβλων

Τα τούβλα, ως δομικά στοιχεία τοιχοποιίας, πρέπει να ικανοποιούν μια σειρά από επιθυμητές ιδιότητες και λειτουργικές απαιτήσεις, όπως υψηλές μηχανικές αντοχές, μικρή υδροαπορρόφηση και υδατοπερατότητα, καλή θερμομονωτική και ηχομονωτική συμπεριφορά, μικρές μεταβολές όγκου λόγω μεταβολής της υγρασίας και θερμοκρασίας, αντοχή στον παγετό και στη διάβρωση, ικανή αντίσταση στη φωτιά και ανθεκτικότητα στη χρήση και στο χρόνο. Το ειδικό βάρος των τούβλων κυμαίνεται από  $19000 \div 26000 \text{ N/m}^3$ , η φαινόμενη πυκνότητά τους από  $750 \div 2300 \text{ Kg/m}^3$  και το ολικό πορώδες τους από  $10 \div 50 \%$  κ.ο. Η αντοχή σε θλίψη των τούβλων είναι γενικά υψηλή και αρκετά υψηλότερη από την απαιτούμενη σε τοιχοποιία. Εξαρτάται από το ποσοστό των κενών, την ποιότητα του αργιλικού υλικού, και τη διεύθυνση φόρτισης σε σχέση με τη διεύθυνση των κενών. Στα συμπαγή τούβλα κυμαίνεται από  $15 \div 50 \text{ MPa}$  και στα διάτρητα και στα μπλόκια από  $1,5 \div 5 \text{ MPa}$ . Η αντοχή σε θλίψη μειώνεται με το πορώδες και την υδροαπορρόφηση, ενώ αυξάνεται με τη φαινόμενη πυκνότητα. Σε σχέση με την αντοχή σε θλίψη τα τούβλα διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες. Η κατηγορία Α είναι για τούβλα υψηλής αντοχής, η Β για μέσης αντοχής και η Γ για μικρής αντοχής, τα οποία ονομάζονται και τούβλα πλήρωσης. Οι αντοχές σε εφελκυσμό και διάτμηση σπάνια προδιαγράφονται, επειδή η πιθανότητα των τούβλων να υποβληθούν σε εφελκυστικές και διατμητικές τάσεις είναι πολύ μικρή. Γενικά η αντοχή σε εφελκυσμό κυμαίνεται από  $10 \div 30\%$  της αντοχής σε θλίψη. Η διαστολή λόγω υγρασίας είναι μικρή και δεν ξεπερνά το  $0,025 \%$  του μήκους του τούβλου, ενώ η διαστολή της οπτοπλινθοδομής είναι δυνατόν να φτάσει τα 2 mm ανά τρέχον μέτρο. Η θερμομονωτική ικανότητα των τούβλων είναι καλή επειδή έχουν υψηλό πορώδες. Στα διάτρητα τούβλα και στα μπλόκια είναι μεγαλύτερη λόγω των κενών. Τα τούβλα λόγω της όπτησης που υποβάλλονται κατά την παραγωγή τους είναι ανθεκτικά στις υψηλές θερμοκρασίες.

### 2.3.5.6 Ελαφρά ή πορώδη τούβλα

Ως ελαφρά τούβλα χαρακτηρίζονται τα τούβλα με φαινόμενη πυκνότητα από  $400 \div 800 \text{ Kg/m}^3$ . Παράγονται με την ανάμιξη του πηλού με υλικά, τα οποία είναι δυνατόν να καούν, όπως πριονίδια, σκόνη ξυλάνθρακα, λιγνίτη ή γαιάνθρακα, διογκωμένη πολυστερίνη, κ.ά. Κατά τη διάρκεια της όπτησης καίγονται οι πρόσθετες ουσίες, οπότε δημιουργούνται κενά μέσα στην αργιλόμαζα. Άλλος τρόπος παρασκευής πορώδων τούβλων είναι η προσθήκη στο κονίαμα αφρώδους υλικού, όπως χλωριούχο ασβέστιο, σκόνη αλουμινίου, κ.λ.π., το οποίο προκαλεί φυσαλίδες και τελικά δημιουργούνται πόροι. Είναι ελαφρότερα και προσφέρουν καλύτερη θερμομόνωση από τα κοινά τούβλα. Η αντοχή τους σε θλίψη κυμαίνεται από  $2,5 \div 35 \text{ MPa}$ , κόβονται εύκολα με πριόνι και καρφώνονται. Παρουσιάζουν πολύ καλή πρόσφυση με το επίχρισμα λόγω της πορώδους επιφάνειάς τους. Παράγονται σε τύπους συμπαγών μπλοκίων και πετασμάτων και χρησιμοποιούνται σε φέρουσες και μη φέρουσες τοιχοποιίες.

### 2.3.5.7 Πυρίμαχα τούβλα ή πυρότουβλα

Τα πυρίμαχα τούβλα κατασκευάζονται από ειδικά μίγματα πλούσια σε οξειδία του αργιλίου και του πυριτίου, στα οποία οφείλεται η μεγάλη αντοχή τους σε θερμοκρασίες πάνω από  $1600 \text{ }^\circ\text{C}$  και η αντοχή τους, σε απότομες και μεγάλης διάρκειας μεταβολές θερμοκρασίας, χωρίς επίτηξη ή αλλοίωση υλικού. Η διαδικασία παραγωγής των πυρότουβλων είναι ίδια με την αντίστοιχη για τα κοινά τούβλα. Τοποθετούνται σε κλιβάνους με θερμοκρασία  $1300 \text{ }^\circ\text{C}$  για 2 ή 3 μέρες και μετά αφήνονται να κρυσώσουν με αργό ρυθμό. Χρησιμοποιούνται για την εσωτερική επένδυση καμίνων, κλιβάνων, εστιών, καπνοδόχων κ.λ.π. και ανάλογα με τη σύστασή τους διακρίνονται σε αργιλικά, χαλαζιακά και μαγνησιακά πυρότουβλα. Η παραγωγή κεραμικών τούβλων, από τα οποία συνήθως γίνεται η τοιχοποιία είναι μία διαδικασία που απορροφά αρκετή ενέργεια αφού χρειάζεται το υλικό να θερμανθεί στους  $1000\text{-}1500 \text{ }^\circ\text{C}$  για αρκετές ώρες. Η παραγωγή των τούβλων απαιτεί ενέργεια της τάξης των  $2\text{MJ/Kg}$  εκ των οποίων το κύριο μέρος καταναλώνεται στην όπτηση των υλικών. Το περιβαλλοντολογικό κόστος της κατασκευής δεν είναι ανώδυνο καθότι με την όπτηση απελευθερώνονται οργανικά υπολείμματα και θεικές ενώσεις που περιέχονται στην άργιλο, όπως το διοξείδιο του θείου και το διοξείδιο του άνθρακα, στην ατμόσφαιρα. Η ανάμειξη της αργίλου με άσβεστο πριν την όπτηση μειώνει τις εκπομπές αυτές. Τα κεραμικά τούβλα αντικαθίστανται συνήθως με αερικά σκυροδέματα τα οποία όμως χρησιμοποιούν διάφορα πρόσθετα για να επιτύχουν τις επιδιωκόμενες ιδιότητές τους. Επειδή η εφαρμογή των υλικών αυτών είναι πρόσφατη δεν έχουν πιστοποιηθεί ακόμη για την τοξικότητά τους.

*Συντελεστής εκπομπής  $\varepsilon=0.75\text{-}0.96$*

## 2.4 Σκυρόδεμα

Είναι για περισσότερο από έναν αιώνα τώρα το πλέον διαδεδομένο υλικό κατασκευής στατικών φορέων, για την κατασκευή κτιρίων, γεφυρών, σηράγγων, δεξαμενών κλπ.. Πριν την εμφάνιση του εκτεταμένη χρήση είχαν οι ξύλινες καθώς και οι πετρόκτιστες κατασκευές, ενώ τα τελευταία χρόνια και ιδιαίτερα στο εξωτερικό μεγάλη ανάπτυξη παρουσιάζουν οι σύμμικτες κατασκευές, που συνδυάζουν σκυρόδεμα και δομικό χάλυβα προσφέροντας ταχύτητα στην κατασκευή και οικονομία κόστους και χώρου. Παρά τις εκτεταμένες εφαρμογές του όμως, λίγοι γνωρίζουν λεπτομέρειες για τον

τεχνητό αυτό λίθο, που έχει τη μοναδική ιδιότητα να περνάει σε μικρό χρονικό διάστημα από τη ρευστή κατάσταση (νωπό) στη στερεά (σκληρυμμένο), παρέχοντας τη δυνατότητα να μορφωθεί σε καλούπια κάθε σχήματος πριν στερεοποιηθεί και αποκτήσει τις τελικές αντοχές του.

Η κλασική χρήση του σκυροδέματος είναι το οπλισμένο σκυρόδεμα (reinforced concrete), όπου η μάζα του σκυροδέματος ενισχύεται με σιδηρό οπλισμό (χάλυβα), που του προσδίδει τη θλιπτική και διατμητική αντοχή που του λείπει ενώ συνεισφέρει και στην παραλαβή των θλιπτικών τάσεων. Τα δύο υλικά συνεργάζονται άριστα (καλή αμοιβαία πρόσφυση, ίδιες θερμοκρασιακές διαστολές, προστασία του οπλισμού από το σκυρόδεμα έναντι σκουριάς). Μια ειδική μορφή οπλισμένου σκυροδέματος είναι το προεντεταμένο σκυρόδεμα (prestressed concrete), όπου ο οπλισμός εντείνεται προκαταβολικά (πριν ακόμα την εφαρμογή των ωφέλιμων, εξωτερικών φορτίων), δημιουργώντας μόνιμες εφελκυστικές τάσεις σ' αυτόν και θλιπτικές στο σκυρόδεμα που παραμένουν με τη μορφή αυτή ακόμα και μετά την εφαρμογή των εξωτερικών φορτίων, προσφέροντας οικονομία και στα δύο υλικά και αισθητικά καλύτερο αποτέλεσμα.

Μια άλλη διάκριση των σκυροδέτων φορέων είναι σε έγχυτους (cast-in-place) και πρόχυτους (precast). Η πρώτη είναι η κλασική, συνηθισμένη περίπτωση όπου η σκυροδέτηση του φορέα γίνεται στην τελική του θέση, ενώ η δεύτερη (όπου η σκυροδέτηση γίνεται αλλού πριν ο φορέας μεταφερθεί, μετά τη σκλήρυνση του σκυροδέματος, στην τελική του θέση) εφαρμόζεται σε περιπτώσεις δυσπρόσιτων περιοχών όπως π.χ. στη θάλασσα, σε απόκρημνες περιοχές (π.χ. γέφυρες) ή κάτω από νερό. Εκτός από το κλασικό σκυρόδεμα (του οποίου το ειδικό βάρος είναι γύρω στα  $2,3\text{t/m}^3$  για το άοπλο και  $2,4\text{t/m}^3$  για το οπλισμένο), παραλλαγές αποτελούν το γαρμπιλόδεμα (με γαρμπίλι αντί για σκύρα, για λεπτότοιχες κατασκευές) και το αφρομπετόν (που έχει ειδικό βάρος μεταξύ  $1,12-1,84\text{t/m}^3$  λόγω της αντικατάστασης των σκύρων με ελαφρόπετρα, και το οποίο προορίζεται για χρήσεις όπως μονωτικό υλικό ή προστασία θερμομόνωσης σε δώμα κλπ.). Μια τρίτη μορφή είναι το βαρέως τύπου σκυρόδεμα, για προστασία από ακτινοβολία -X ή -γ σε πυρηνικούς αντιδραστήρες κλπ. Το σκυρόδεμα παρασκευάζεται με μίξη σε κατάλληλες αναλογίες τσιμέντου, αδρανών (χαλίκων), άμμου και νερού, ενώ τακτικά χρησιμοποιούνται και πρόσμικτα (admixtures) που βελτιώνουν τις παραμέτρους του. Όσον αφορά το ρυθμό σκλήρυνσης του σκυροδέματος : Σε γενικές γραμμές, σε 1 εβδομάδα αυτό έχει αποκτήσει περί το 70% της τελικής αντοχής του και σε 28 μέρες περί το 90%. Το 100% το αποκτά μετά παρέλευση πολλών ετών. Υπό καλές συνθήκες περιβάλλοντος, το όριο ηλικίας του σκυροδέματος μπορεί να ξεπεράσει κατά πολύ τα 100 χρόνια χωρίς σημαντικές αλλοιώσεις στη μάζα του και στον οπλισμό.

*Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας σκυροδέματος  $\lambda=0.93\text{W/m}\cdot\text{K}$*

*Συντελεστής εκπομπής  $\varepsilon=0.88-0.94$*

Τα συστατικά που αποτελούν τις πρώτες ύλες παρασκευής του σκυροδέματος είναι :

**Το τσιμέντο**, παρασκευάζεται βασικά από διοξείδιο του πυριτίου και ασβεστόλιθο, τα οποία αλέθονται, αναμιγνύονται, τήκονται και τέλος κονιορτοποιούνται για να δώσουν τη γνωστή τσιμεντοκονία. Το τσιμέντο αποτελεί το συνδετικό υλικό των αδρανών, που έχει την ιδιότητα να σκληρύνεται υπό την παρουσία νερού.

**Τα αδρανή** , καταλαμβάνουν το 75% του όγκου του σκυροδέματος. Λόγω του μικρού του κόστους σε σχέση με το τσιμέντο, είναι λογικό να επιδιώκεται να καταλάβουν αυτά τον κατά το δυνατόν μεγαλύτερο όγκο στη μάζα του

σκυροδέματος. Γι αυτό και επιβάλλεται να είναι καλά διαβαθμισμένα. Οσον αφορά τις διαστάσεις και φύση τους, αυτά μπορεί να είναι σκύρα (stones, για σκυρόδεμα), γαρμπίλι (gravel, για γαρμπιλόδεμα) ή ελαφρόπετρα (για αφρομπετόν) κλπ. . Το κλάσμα των αδρανών που περνάει (σε ποσοστό μεγαλύτερο του 95%) από το κόσκινο αποτελεί την άμμο. Κατάλληλο για σκυρόδεμα μπορεί να είναι κάθε πετρώδες υλικό που παρουσιάζει ικανοποιητικές σχετικές παραμέτρους, αντοχή σε αποσάθρωση (υγεία), υδατοαπορροφητικότητα, απουσία οργανικών προσμίξεων. Ακόμα και ανακυκλωμένο σκυρόδεμα μπορεί να αποτελέσει μια αξιόπιστη πηγή αδρανών.

**Το νερό** , η αναλογία του στο μίγμα είναι καθοριστικός παράγοντας επίτευξης των επιθυμητών αντοχών στο σκυρόδεμα, και πρέπει να διατηρείται αυστηρά στα όρια που καθορίζονται. Εν γένει, λιγότερο νερό συνεπάγεται μεγαλύτερες αντοχές και περισσότερο νερό σημαίνει υψηλότερη εργασιμότητα (ρευσιμότητα). Θαλασσινό νερό είναι εν γένει ακατάλληλο, ενώ στις προεντεταμένες κατασκευές απαγορεύεται ρητά.

Συνήθη πρόσμικτα (admixtures) που προστίθενται στο σκυρόδεμα είναι :

**Υπερρευστοποιητές** για την αύξηση της εργασιμότητας του σκυροδέματος χωρίς προσθήκη νερού ή τη διατήρηση της εργασιμότητας με μείωση του νερού, που συνεπάγεται αυξημένες αντοχές.

**Επιταχυντές** , για την αύξηση του ρυθμού σκλήρυνσης του σκυροδέματος και την επίσπευση της εμφάνισης των αντοχών του

**Επιβραδυντές**, για την επιβράδυνση της σκλήρυνσης και τον περιορισμό έτσι της έκλυσης θερμότητας

**Αερακτικά πρόσθετα**, που προσθέτουν αέρα στη μάζα του σκυροδέματος, αντιμετωπίζοντας έτσι τον κίνδυνο παγετού και αυξάνοντας ταυτόχρονα την αντοχή του στα θειικά.

Η αναλογία ανάμιξης των υλικών για την παρασκευή του σκυροδέματος, πρέπει να εξασφαλίζει σε κάθε περίπτωση την ομοιογένεια του μίγματος, το κατάλληλο εργάσιμο για ικανοποιητική διάστρωση και συμπύκνωση του σκυροδέματος, καθώς και πρόσθετες ιδιότητές του, όπως είναι η αντλησιμότητα, η στεγανότητα, η ανθεκτικότητα, κ.τ.λ. Η μέση αντοχή του σκυροδέματος,  $f_m$  ,πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με την απαιτούμενη αντοχή,  $f_a$ . Η αναλογία ανάμιξης των υλικών για την παρασκευή του σκυροδέματος δίνεται σε τσιμέντο : αδρανή : νερό κατά βάρος, δηλαδή,  $Z : K : W$ . Η αναλογία ανάμιξης επηρεάζει σημαντικά τις ιδιότητες του σκυροδέματος. Πολύ μεγάλη σημασία έχει η περιεκτικότητα σε τσιμέντο.

Τα παραπάνω συστατικά αναμιγνύονται τελικά σε αναλογίες σύνθεσης που καθορίζονται από την εκάστοτε Μελέτη Σύνθεσης. Η Μελέτη σύνθεσης αποτελεί το σχεδιασμό του μίγματος για την παρασκευή του σκυροδέματος και μπορεί να γίνει σε εξειδικευμένα εργαστήρια όπως τα Περιφερειακά Εργαστήρια Δ.Ε του Υ.Π.Ε.Χ.Ω.Δ.Ε. ή αναγνωρισμένα ιδιωτικά. Κατά την εκπόνηση της μελέτης παρασκευάζονται κυβικά ή κυλινδρικά δοκίμια με διάφορες αναλογίες των συστατικών του σκυροδέματος, τα οποία στη συνέχεια και θραύονται για να διαπιστωθεί ποιά από τις δοκιμαζόμενες αναλογίες εμφανίζει τη μέγιστη τάση θραύσης. Αυτές είναι οι αναλογίες που θα υιοθετηθούν τελικά. Σαν γενικός κανόνας, ισχυρότερο σκυρόδεμα παράγεται από μεγαλύτερη ποσότητα τσιμέντου και

μικρότερο λόγο νερού προς τσιμέντο. Κάθε φορά που αλλάζει καθ' οιονδήποτε τρόπο κάποιον από τα συστατικά του σκυροδέματος (συνήθως τα αδρανή), απαιτείται και νέα μελέτη σύνθεσης. Γι αυτό και τα συγκροτήματα παραγωγής ετοιμού σκυροδέματος, που χρησιμοποιούν σταθερές πηγές για τα υλικά τους λειτουργώντας έτσι υπό εντελώς ελεγχόμενες συνθήκες, μόνο σποραδικά μπορεί να απαιτηθεί να τροποποιήσουν την αρχική μελέτη σύνθεσης για κάθε κατηγορία σκυροδέματος.

#### 2.4.1 Είδη των τσιμέντων

- αλουμινίου

Παρασκευάζονται σε ειδικούς φούρνους με ανάμιξη οξειδίου του ασβεστίου και βωξίτη που περιλαμβάνει τριοξείδιο του αλουμινίου (αλουμίνα). Η τελική περιεκτικότητα σε αλουμίνα είναι 40 ως 45%, στοιχείο που δίνει στο τσιμέντο χαρακτηριστικές ιδιότητες. Τα τσιμέντα αλουμινίου έχουν μαύρο χρώμα και μικρό χρόνο σκλήρυνσης (τρεισήμισι με τέσσερις ώρες). Χαρακτηριστική είναι η αντοχή του τσιμέντου αλουμινίου στη φωτιά, που οφείλεται στην παρουσία του αλουμινίου. Το τσιμέντο αλουμινίου χρησιμοποιείται για επιδιορθώσεις στις οποίες απαιτείται σύντομη αποκατάσταση, βιομηχανικά δάπεδα, εσωτερική προστασία μεταλλικών σωλήνων, ως διασυνδετικό σε επισκευαστικά και συγκολλητικά κονιάματα, σκυροδέτηση σε ψυχρές περιοχές, πυροπροστατευτικά κονιάματα και σκυροδέματα, χυτά ή εκτοξευόμενα που χρησιμοποιούνται πολύ στη μεταλλουργία και άλλες κατασκευές που λειτουργούν σε υψηλές θερμοκρασίες.

- λευκά

Παρασκευάζονται από λευκά ασβεστολιθικά υλικά χωρίς μεταλλικές προσμίξεις και λευκή άργιλο ή από καθαρά μίγματα οξειδίων αλουμινίου και πυριτίου. Η ειδική διαδικασία παρασκευής, σε φούρνους με αυξημένη θερμοκρασία, κάνει το υλικό πολύ ακριβότερο από τα κοινά τσιμέντα. Η χρήση του λευκού τσιμέντου παρέχει πολλές αρχιτεκτονικές δυνατότητες, γι αυτό τα σκυροδέματα που παρασκευάζονται από λευκό τσιμέντο λέγονται συχνά αρχιτεκτονικά. Το λευκό τσιμέντο μπορεί να χρωματιστεί μέσα στη μάζα του με ειδικές χρωστικές ή να παραμείνει ως λευκό φόντο πάνω στο οποίο αναδεικνύονται τα χρώματα των αδρανών. Χρησιμοποιείται για: χυτά σκυροδέματα, ταυτόχρονα φέροντα και διακοσμητικά, μωσαϊκά και πλάκες επένδυσης δαπέδων, υλικά ανακαίνισης και επιδιόρθωσης, διασυνδετικό υλικό σε τσιμεντόκολλες, οδική και αστική σήμανση, υπαίθρια έπιπλα, γλυπτική, διακόσμηση και εξοπλισμό υπαίθριων χώρων.

- ταχύπηκτα

Τα ταχύπηκτα τσιμέντα είναι πολύ λεπτόκοκκα υλικά, ανθεκτικά σε διαβρωτικό περιβάλλον και έχουν καστανοκίτρινο χρώμα. Τα ταχύπηκτα τσιμέντα χρησιμοποιούνται στην κατασκευή καναλιών για υδρορροές, βιομηχανικές καπνοδόχους, ειδικές θεμελιώσεις, σφραγίσματα σωληνώσεων, κονιάματα για επιδιορθώσεις, δομικές μονάδες κ.ά. Σήμερα η χρήση τους έχει επεκταθεί στην κατασκευή κονιαμάτων και σκυροδεμάτων για στερεώσεις και ειδικά σημεία θεμελιώσεων, επιδιορθώσεις στις οποίες απαιτείται σύντομη αποκατάσταση, προκαταρκτικές ή συμπληρωματικές εργασίες, απόφραξη οπών, ρωγμών, διαρροών,



εκτοξευόμενα και βιομηχανικά σκυροδέματα και κονιάματα. Όταν αναμιχτούν με υλικά που επιβραδύνουν την πήξη σε προκαθορισμένο χρόνο.

- για τσιμεντενέσεις

Πρόκειται για τσιμέντα που χρησιμοποιούνται σε επισκευές και επιδιορθώσεις με τσιμεντενέσεις. Παρασκευάζονται από ειδικό μίγμα με την προσθήκη εποξεικών ρητινών ή σκληρυντών που ανεβάζουν αρκετά το κόστος. Προσκολλώνται ικανοποιητικά σε παλιό σκυρόδεμα και έχουν σχετικά βραδεία πήξη που επιτρέπει μεγάλη διάρκεια της διαδικασίας της τσιμεντένεσης. Επειδή δεν περιέχουν θειούχες ή χλωριούχες προσμίξεις προστατεύουν αποτελεσματικά τον οπλισμό του σκυροδέματος και στεγανώνουν τις ρωγμές του.

- πουζολανικά

Παρασκευάζονται από κλίνκερ, γύψο και ηφαιστειακή στάχτη. Δίνουν σκυροδέματα πολύ εργάσιμα, εύπλαστα και ανθεκτικά στην έκπλυση, με ιδιαίτερη αντοχή σε φυσικούς και χημικούς διαβρωτικούς παράγοντες. Είναι τσιμέντα φθηνότερα από τις τσιμεντενέσεις και περιέχουν βελτιωτικά πρόσθετα.

## 2.5 Μέταλλα

Προσπάθεια γίνεται να ενσωματωθούν τα μέταλλα στις διάφορες κατασκευές κυρίως αντικαθιστώντας το ξύλο για τους εξής λόγους:

- Είναι μακροσκοπικά ισότροπα σε αντίθεση με το ξύλο
- Έχουν μεγαλύτερες μηχανικές αντοχές από το ξύλο.
- Διαμορφώνονται σε οποιαδήποτε διατομή
- Ανακυκλώνονται

Το όριο κόπωσης του μετάλλου είναι δυνατόν να παρουσιάσει σημαντική πτώση με φαινόμενα διαβρώσεως, γεγονός που πρέπει να προϋπολογίζεται για την περίπτωση κυκλικών (επαναλαμβανόμενων) φορτίσεων σε έντονα διαβρωτικά περιβάλλοντα.

Ορισμένα μέταλλα που χρησιμοποιούνται ευρέως σαν δομικά υλικά είναι ο χάλυβας, το αλουμίνιο, ο μολυβδος και ο χαλκός.

### 2.5.1 Χάλυβας

Είναι κάθε είδος σιδήρου που είναι δυνατόν να σφυρηλατηθεί χωρίς προηγούμενη επεξεργασία. Είναι κράμα σιδήρου με άνθρακα κάτω από 1,7% και λέγεται ατσάλι. Έχει ιδιαίτερη χρήση στις οικοδομικές κατασκευές διότι αποτελεί τον οπλισμό του σκυροδέματος και με αυτό τον τρόπο προκύπτει το γνωστό "μπετόν-αρμέ". Επίσης ειδικός χάλυβας χρησιμοποιείται για το προεντεταμένο σκυρόδεμα. Μπορεί με κατάλληλη επεξεργασία να γίνει σκληρό και ανθεκτικό. Η παραγωγή του από μεταλλεύματα σιδήρου δημιουργεί σημαντική ρύπανση. Διακρίνεται σε δύο κατηγορίες: τον χάλυβα αναδεύσεως και τον ρευστοπαγή χάλυβα. Ο πλέον χρησιμοποιημένος τύπος είναι ο ρευστοπαγής. Είναι ιδιαίτερα ανθεκτικός και παράγεται από ακατέργαστο σίδηρο. Ο χάλυβας λαμβάνεται από τον χυτοσίδηρο με απομάκρυνση του άνθρακα που περιέχει αυτός, του θείου, φωσφόρου και ταυτόχρονα τροποποιείται η περιεκτικότητά του σε άλλα στοιχεία. Μπορεί να έχει πολλές κατεργασίες τόσο θερμικές όσο και φυσικοχημικές. Έτσι μπορεί να αποκτήσει

ένα σύνολο ιδιοτήτων όπως σκληρότητα και ελαστικότητα. Η παραγωγή του σε όλο τον κόσμο είναι πολύ μεγάλη και στην Ελλάδα καλύπτονται άνετα οι εσωτερικές ανάγκες της χώρας.

Ο χάλυβας σκυροδέματος είναι ραβδόμορφος σε κυκλική διατομή και χρησιμοποιείται σαν οπλισμός του σκυροδέματος όπως αναφέρθηκε. Οι ράβδοι από χάλυβα που έχουν επικρατήσει και χρησιμοποιούνται στο σκυρόδεμα, διακρίνονται σε κατηγορίες:

ακατέργαστος χάλυβας φυσικής σκληρότητας, χάλυβας ψυχρής κατεργασίας, λείος κυκλικός χάλυβας, νευροχάλυβας με εγκάρσιες νευρώσεις και χάλυβας τυποποιημένης διατομής. Στο προεντεταμένο σκυρόδεμα χρησιμοποιούνται ράβδοι, ή σύρματα με μεγαλύτερη αντοχή. Οι φυσικοί ανθεκτικοί χάλυβες έχουν όρια αντοχής  $10500 \text{ kp/cm}^2$ , οι βιομηχανικοί και κατεργασμένοι εν ψυχρώ  $15.000 \text{ kp/cm}^2$  και οι βελτιωμένοι θερμικά  $20.000 \text{ kp/cm}^2$ . Ένα ιδιαίτερο δομικό στοιχείο αποτελούν οι σκελετοί από χάλυβα, που είναι ένα σύστημα συναρμολογούμενων στοιχείων και έχει τα εξής πλεονεκτήματα.

α) Τα κτίρια με σκελετό από χαλύβδινα φέρονται στοιχεία, έχουν πολύ μικρό χρόνο ανέγερσης καθώς η κατασκευή τους είναι ανεξάρτητη από τις καιρικές συνθήκες.

β) Οι χαλύβδινοι σκελετοί επιτρέπουν ανά πάσα στιγμή πρόσθετες ενισχύσεις των φερόντων στοιχείων που μπορεί να απαιτηθούν.

γ) Σε περίπτωση καθίζησης των θεμελίων οι σκελετοί από χάλυβα επιτρέπουν την ανύψωση και επισκευή ολόκληρων των δομικών στοιχείων.

*Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda = 58.15 \text{ W/m} \cdot \text{K}$*

*Συντελεστής εκπομπής  $\varepsilon = 0.08 - 0.81$*

## 2.5.2 Χαλκός

Ο χαλκός έχει συγκριτική υπεροχή σε σχέση με τα υπόλοιπα υλικά ως προς την αεροστεγανότητα, την πυρανεκτικότητα, τη συμβατότητα με τα υπάρχοντα συστήματα ύδρευσης και θέρμανσης, την αντοχή του στην ηλιακή ακτινοβολία. Επίσης αξίζει να σημειωθεί ο μικρός συντελεστής γραμμικής διαστολής, η πλαστικότητα, η ελεφρότητα της κατασκευής και η μεγάλη διάρκεια ζωής. Ο χαλκός χρησιμοποιείται στις επικαλύψεις κτιρίων από τους μηχανικούς ως λύση που συμφέρει οικονομικά αλλά κυρίως δίνει αποτελεσματική απάντηση στα σημαντικά οικοδομικά προβλήματα. Σήμερα, έχουν αναπτυχθεί πολυάριθμες εφαρμογές και χρήσεις του χαλκού και των κραμάτων του. Η χρήση του είναι επιστημονικά ελεγμένη και πλήρως αποδεκτή. Συναντάμε το χαλκό στις οικοδομές και τα κτίρια, όπου κυριαρχεί στα θερμοϋδραυλικά δίκτυα. Παρέχει ασφάλεια στις εγκαταστάσεις φυσικού αερίου και μεγάλη διάρκεια ζωής στις υδρορροές. Ακόμα χάλκινες στέγες χρησιμοποιούνται σε κτίρια και εκκλησίες. Στις ευρωπαϊκές χώρες όπου η χρήση του είναι ευρύτατη, υπάρχουν κτίσματα τεσσάρων και πλέον αιώνων με χάλκινες στέγες, οι οποίες παραμένουν αναλλοίωτες μέχρι σήμερα.

*Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda = 283.79 \text{ W/m} \cdot \text{K}$*

*Συντελεστής εκπομπής  $\varepsilon = 0.02 - 0.78$*

### 2.5.3 Αλουμίνιο

Το αλουμίνιο δεν ανήκει στα βαρέα μέταλλα και έχει ως πρώτη ύλη τον βωξίτη. Η παραγωγή του είναι αρκετά ενεργοβόρα και ελευθερώνει μεγάλες ποσότητες μονοξειδίου του άνθρακα, διοξειδίου του θείου και φθόριο υψηλής τοξικότητας. Το αλουμίνιο είναι μέταλλο αργυρόλευκο, στιλπνό και ανθεκτικό στις επιδράσεις των καιρικών συνθηκών και καλός αγωγός της θερμότητας και του ηλεκτρισμού. Έχει πολύπλευρες ιδιότητες δομικών εφαρμογών, τόσο σαν καθαρό αλουμίνιο όσο και με τη μορφή κραμάτων. Το αλουμίνιο και τα κράματά του μπορούν να υποστούν κατεργασία με αφαίρεση υλικού πολύ ευκολότερα από άλλα μέταλλα.

Παρουσιάζει πολλές ιδιότητες:

- Είναι ελαφρύ. Η πυκνότητά του είναι  $2,7 \text{ gr/cm}^3$  περίπου το 1/3 της πυκνότητας του χάλυβα. Στη χειρωνακτική κατεργασία απαιτείται ελαφρότερος χειρισμός και οι πόρτες και τα παράθυρα είναι ελαφρώς βαρύτερα από τα ξύλινα.
- Έχει αντοχή. Σε εφελκυσμό η αντοχή του χυτού αλουμινίου είναι περίπου  $100 \text{ N/mm}^2$ , του σκληρού ελασμένου  $125$  έως  $190 \text{ N/mm}^2$ . Με προσμίξεις η αντοχή του μπορεί να αυξηθεί αισθητά. Τα σκληρά κομμάτια αλουμινίου έχουν αντοχή στον εφελκυσμό μέχρι  $600 \text{ N/mm}^2$ , φτάνει δηλαδή την αντοχή του καθαρού χάλυβα κατασκευών.
- Είναι ανθεκτικό στη διάβρωση.
- Διαμορφώνεται εύκολα και παρουσιάζει πολύπλευρη κατεργασία.
- Είναι καλός αγωγός της θερμότητας και του ηλεκτρισμού.
- Δεν είναι ανθεκτικό στη θερμότητα. Έχει σημείο τήξης τους  $658 \text{ }^\circ\text{C}$  και μπορεί να χρησιμοποιηθεί, χωρίς μεγάλη απώλεια της αντοχής του έως τους  $150 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- Η χαμηλή πυκνότητά του σε συσχέτισμό με τη μεγάλη αντοχή του και την ανθεκτικότητα στη διάβρωση το καθιστούν εξαιρετικό υλικό για ελαφρές κατασκευές.
- Έχει μεγάλη διάρκεια ζωής, είναι ανακυκλώσιμο αλλά η διεργασία είναι ενεργοβόρα.

Η μεγάλη ποικιλία των δομικών τεμαχίων που κατασκευάζονται σήμερα από αλουμίνιο, μας περιορίζει στην παρουσίαση μόνο των σημαντικότερων. Για επικαλύψεις στεγών και επενδύσεων τοίχων χρησιμοποιείται αλουμίνιο μόνο σε ταινίες ή φύλλα. Τα φύλλα χρησιμοποιούνται και για διακοσμητικούς λόγους. Το κράμα του χρησιμοποιείται συνήθως για την κατασκευή τυποποιημένων ελασμάτων. Ακόμη κυκλοφορούν φύλλα και ταινίες αλουμινίου με επικαλύψεις. Η πιο διαδεδομένη χρήση του είναι τα κουφώματα αλουμινίου και κυρίως τα εξωτερικά τα οποία έχουν μεγάλη αντοχή στις καταπονήσεις, μπορούν να καλύψουν μεγάλα ανοίγματα, μικρό βάρος και καλή λειτουργία. Για αυτούς τους λόγους θεωρούνται και πιο αποτελεσματικά από τα ξύλινα κουφώματα.

*Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda=203.52 \text{ W/m}\cdot\text{K}$*

*Συντελεστής εκπομπής  $\varepsilon=0.04-0.8$*

## 2.5.4 Μόλυβδος

Ο μόλυβδος είναι μέταλλο βαρύ. Σε σημεία πρόσφατων χαραγών και σε επιφάνειες τομής έχει στιλπνή επιφάνεια. Σε επαφή όμως με τον αέρα η επιφάνειά του καλύπτεται από ένα λεπτό στρώμα οξειδίου, χάνει την στιλπνότητά του και αποκτά ένα χρώμα γκριζογάλανο. Ο καθαρός μόλυβδος παρουσιάζει εξαιρετική αντοχή σε διάβρωση, αλλά σε χαμηλές θερμοκρασίες, έχει την τάση να αποκρυσταλλώνεται. Για την αντιμετώπιση αυτού του φαινομένου προστίθεται στο κράμα μικρή ποσότητα χαλκού. Η προσθήκη αυτή καθώς και των άλλων υλικών συνηθίζεται στα κράματα για να προσδοθούν στο υλικό ορισμένες επιθυμητές ιδιότητες. Ο μόλυβδος είναι το μαλακότερο βαρύ μέταλλο και η επεξεργασία του είναι εύκολη. Λόγω της μαλακότητας αυτής, καθώς και της χαμηλής θερμοκρασίας ανακρυσταλλώσεως η κρίσιμη θερμοκρασία στην οποία αρχίζει ο ερπυσμός βρίσκεται πολύ κάτω από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Ο ερπυσμός σταματάει μόνο στους 180 °C. Η δομική δίνει μεγάλη σημασία στην ανθεκτικότητα σε διάβρωση, χάρη στην οποία ο μόλυβδος και τα προϊόντα του βρήκαν πολλές εφαρμογές. Η ανθεκτικότητά του σε διάβρωση οφείλεται στη γρήγορη δημιουργία λεπτών επιφανειακών στρωμάτων που η χημική τους σύσταση ποικίλει ανάλογα με το είδος της προσβολής. Ο μόλυβδος είναι ανθεκτικός στα διάφορα οξέα, καθώς επίσης και σε αλκάλια, στο χλώριο, στο νιτρικό οξύ κ.α.

Μόνο απέναντι σε λίγες ουσίες δεν παρουσιάζει την ίδια ανθεκτικότητα. Έτσι προσβάλλεται από το πόσιμο νερό όταν αυτό είναι μαλακό και περιέχει οξυγόνο και διοξείδιο του άνθρακα σε υψηλό ποσοστό. Σε τέτοιες περιπτώσεις είναι αναγκαία η χρήση μολύβδινων σωλήνων επενδυμένων εσωτερικά με κασσίτερο. Ο μόλυβδος είναι πολύ ανθεκτικός στην ατμόσφαιρα λόγω του προστατευτικού στρώματος του οξειδίου. Η ανθεκτικότητά του σε διάβρωση επηρεάζεται από τα υπόλοιπα στοιχεία του κράματος: περιεκτικότητα σε βισμούθιο πάνω από 0,05% ελαττώνει την ανθεκτικότητα σε διάβρωση.

Η επαφή του μολύβδου με σκυρόδεμα ή κονίαμα μπορεί να οδηγήσει σε διάβρωση. Για το λόγο αυτό οι υπόγειες σωληνώσεις μονώνονται, ενώ τα φύλλα μολύβδου με τα οποία γίνονται εσωτερικές επενδύσεις δεξαμενών από σκυρόδεμα, μονώνονται πριν από την τοποθέτηση, κατά προτίμηση με ασφαλτικά υλικά.

Προϊόντα του μολύβδου είναι :

- Τα ελάσματα που κυκλοφορούν σε λαρίδες, σε ρόλους ή σε πλάκες. Χρησιμοποιούνται σε ενώσεις ξύλινων στεγών, για επικαλύψεις παραθύρων κ.α
- Οι σωλήνες. Τα πλεονεκτήματα των μολύβδινων σωλήνων είναι η εύκολη επεξεργασία τους στο εργοτάξιο και κυρίως η εύκολη κάμψη τους.
- Ο μολυβδοβάμβακας. Κατασκευάζεται από μεγάλο αριθμό λεπτών και μακριών ινών από μολύβι που πλέκονται μεταξύ τους. Χρησιμοποιείται για στεγανοποίηση σωληνώσεων.

Συντελεστής εκπομπής  $\epsilon=0.06-0.63$

## 2.6 Γυαλί

Παραδοσιακά το γυαλί χρησιμοποιείται στις οικοδομές εδώ και αιώνες λόγω τις διαύγειας και της σκληράδας του που εμποδίζουν τον άνεμο και την σκόνη, επιτρέπονται όμως στο φως να εισέρχεται στο εσωτερικό και να προσφέρει μια καθαρή εικόνα του εξωτερικού χώρου. Με την πάροδο του χρόνου η επιθυμία για ικανοποίηση μοντέρνων αναγκών οδήγησε σε ανακαλύψεις που μπόρεσαν να μετατρέψουν το γυαλί σε ένα ισχυρό βιομηχανικό προϊόν με επιπρόσθετες δυνατότητες και χαρακτηριστικά.

Το καμπύλο γυαλί, αρχικά το χρησιμοποιούσαν για επιβλητικούς χώρους και για βιτρίνες καταστημάτων δημιουργώντας μια διαφορετική αίσθηση. Το ποσοστό γυαλιού που χρησιμοποιείται στα σημερινά κτήρια αυξάνεται συνεχώς.

Πολλά κτίρια σήμερα έχουν ολόκληρο σκελετό καλυμμένο με γυαλί. Μαζί με αυτό αυξάνονται και οι απαιτήσεις για καλύτερη ποιότητα, διαφορετικά γυάλινα προϊόντα και για γυάλινες κατασκευές που θα εντυπωσιάζουν. Στο μέλλον προβλέπεται η χρήση του γυαλιού σε κτίρια να αυξηθεί ακόμα περισσότερο. Τεχνικές και αισθητικές απαιτήσεις που γίνονται όλο και πιο σημαντικές πληρούνται όλο και πιο εύκολα με καινούριες τεχνολογίες στην επεξεργασία του γυαλιού. Καμπύλες γυάλινες επιφάνειες δίνουν στα κτίρια μια διαφορετική όψη και εκθέτουν τις τεχνικές δυνατότητες κατασκευής. Ανάλογα με τις απαιτήσεις το γυαλί μπορεί να γίνει άθραυστο ή διπλό γυαλί ασφάλειας.

*Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda=0.58$  έως  $1.05$  W/m\*K*

*Συντελεστής εκπομπής  $\varepsilon=0.82-0.95$*

### 2.6.1 Μονό άθραυστο γυαλί

Το μονό (άθραυστο) γυαλί ασφάλειας είναι γυαλί που πέρασε από μια διαδικασία σκλήρυνσης. Σπάει πολύ πιο δύσκολα από το συνηθισμένο τζάμι. Αν σπάσει, σπάει σε μικρά κομμάτια και για αυτό τον λόγο θεωρείται γυαλί ασφαλείας. Είναι κατάλληλο για χρήση όπου αυτό το χαρακτηριστικό μειώνει τις πιθανότητες τραυματισμού. Επίσης μπορούμε να εκμεταλλευτούμε την δύναμη του γυαλιού για περιπτώσεις όπου χρειάζεται σκληρό ανθεκτικό υλικό για χρήση στις οικοδομές, βιομηχανία κ.α..

Το μονό γυαλί προσφέρει:

- *ψηλή αντοχή πρόσκρουσης (shock resistance):* το μονό γυαλί ασφαλείας σπάει μέχρι και πέντε φορές πιο δύσκολα από συνηθισμένο τζάμι ίδιου πάχους.
- *ψηλή αντοχή σε πίεση (uniform compression resistance):* το μονό γυαλί έχει ψηλή αντοχή σε ομοιόμορφη πίεση και έτσι μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ψηλά σημεία όπου πρέπει να λάβουμε υπόψη την πίεση δυνατού αέρα κτλ.
- *ψηλή αντοχή σε απότομες αλλαγές θερμοκρασίας:* το μονό γυαλί αντέχει δραματικές και ξαφνικές αλλαγές θερμοκρασίας μέχρι 200 °C σε σύγκριση με συνηθισμένο τζάμι που αντέχει μόνο μέχρι 70 °C απότομης διαφοράς.
- *μικρά, αμβλεία κομμάτια:* στις ελάχιστες περιπτώσεις που το γυαλί σπάει γίνεται θρύψαλα και τα μικρά και αμβλεία κομμάτια μειώνουν των κίνδυνο τραυματισμού από το γυαλί.
- *διαύγεια:* η διαδικασία σκλήρυνσης του γυαλιού δεν επηρεάζει την διαύγεια του γυαλιού.

## 2.6.2 Διπλό γυαλί ασφάλειας

Το διπλό γυαλί ασφάλειας είναι το ιδανικό γυαλί ευρείας χρήσης που συνδυάζει διαύγεια και ασφάλεια. Το διπλό γυαλί ασφάλειας αποτελείται από δύο ή παραπάνω φύλλα τζαμιού κολλημένα με διαφανές και δυνατή πλαστική μεμβράνη (polyvinylbutyral PVB). Η μεμβράνη λειτουργεί σαν συγκολλητικό υλικό και κρατάει το γυαλί στην θέση του αν σπάσει. Έτσι αν η δύναμη του χτυπήματος υπερβαίνει την αντοχή του γυαλιού, το γυαλί σπάει, αλλά κομμάτια γυαλιού μένουν κολλημένα στην πλαστική μεμβράνη και δεν είναι επικίνδυνα.



Σχήμα 2.6.2-1 Δομή διπλού γυαλιού ασφάλειας

Άλλα γνωστά είδη γυαλιού που μπορούν να αναφερθούν είναι:

- αλεξίσφαιρο γυαλί
- ανάγλυφο γυαλί
- γυαλί ασφαλείας
- γυαλί float
- γυαλί θερμικής αντοχής
- γυαλί συρμάτινου πλέγματος
- πυράντοχο γυαλί
- τρίπλεξ(ελασματοποιημένο) γυαλί

## 2.7 Θερμομονωτικά υλικά συμβατικά και μη

### 2.7.1 Χρησιμότητα της θερμομόνωσης στις κατασκευές

Ο όρος θερμομόνωση περιλαμβάνει όλα τα κατασκευαστικά μέτρα που λαμβάνονται ώστε να μειωθεί η ταχύτητα μετάδοσης της θερμότητας μέσα από διαχωριστικά πετάσματα, τα οποία χωρίζουν χώρους με διαφορετικές θερμοκρασίες. Η χρησιμότητα της θερμομόνωσης συνίσταται στην αντιμετώπιση θεμάτων υγιεινής και ποιότητας των κατασκευών. Η ικανοποιητική θερμομόνωση εξασφαλίζει άνετη, ευχάριστη και υγιεινή διαβίωση στους ενοίκους. Μειώνει το κόστος για την κατασκευή της εγκατάστασης θέρμανσης, καθώς και τη δαπάνη λειτουργίας της επειδή ελαττώνονται οι απαιτήσεις για κατανάλωση ενέργειας. Με τη σωστή θερμομόνωση αποφεύγονται διάφορες βλάβες π.χ. στους σωλήνες νερού από τον

παγετό, όπως και οι δυσάρεστες συνέπειες από τη συμπύκνωση υδρατμών. Επίσης, επιτυγχάνεται μείωση των παραγόμενων καυσαερίων και περιορίζεται η μόλυνση του περιβάλλοντος. Η θερμομονωτική ικανότητα των διαφόρων υλικών επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από το περιεχόμενο ποσοστό υγρασίας. Συνεπώς, υπάρχει άμεση εξάρτηση μεταξύ της θερμομόνωσης και της υγρασίας των κατασκευών.

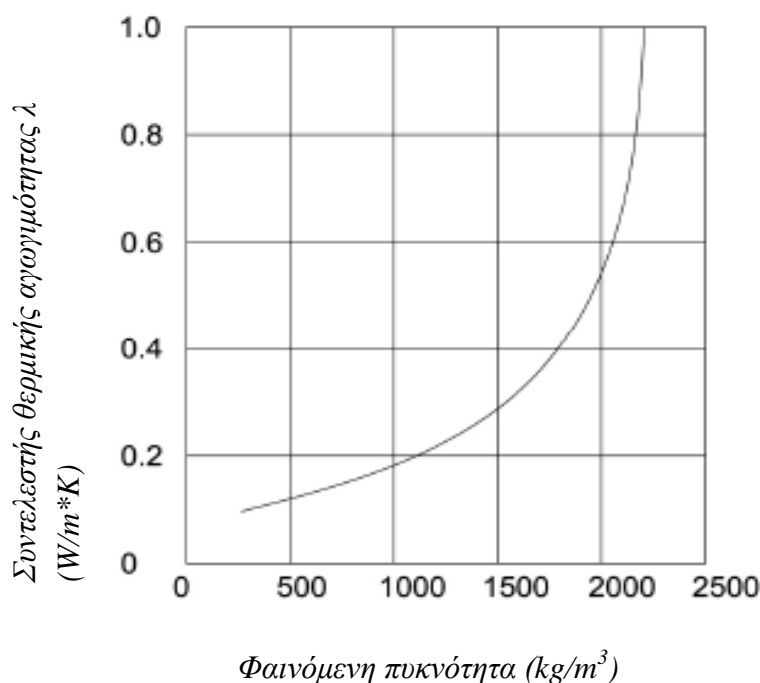
### 2.7.2 Παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν το συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, $\lambda$

Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας,  $\lambda$ , είναι χαρακτηριστικό μέγεθος του υλικού, το οποίο καθορίζει τη θερμομονωτική ικανότητά του και αναφέρεται σε ομοιογενή υλικά. Όσο μικρότερη είναι η τιμή του  $\lambda$ , τόσο περισσότερο αποτελεσματικό είναι το υλικό ως θερμομονωτικό. Τα υλικά αυτά χαρακτηρίζονται από την πορώδη ή ινώδη δομή τους και για το λόγο αυτό δεν μπορούν να θεωρηθούν συνεχή μέσα. Η μετάδοση θερμότητας σε αυτά τα υλικά μπορεί να γίνεται με διάφορους μηχανισμούς :αγωγή στο στερεό μέρος, αγωγή και συναγωγή στον αέρα που πληροί τους πόρους και αν η θερμοκρασία είναι αρκετά υψηλή και ακτινοβολία μεταξύ των τοιχωμάτων των πόρων.

Τα δομικά υλικά ανάλογα με την τιμή του  $\lambda$  διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες :

- α)Φυσικοί λίθοι  $\lambda = 2,7$  μέχρι  $4,1$  ( $W/m^*K$ ),
- β)Κάθε φύσης δομικό υλικό  $\lambda = 0,1$  μέχρι  $2,7$  ( $W/m^*K$ ),
- γ)Θερμομονωτικό υλικό  $\lambda = 0,04$  μέχρι  $0,1$  ( $W/m^*K$ ).

Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας εξαρτάται από τη φαινόμενη πυκνότητα του υλικού, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.7.2-1.



Σχήμα 2.7.2-1 Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας σε συνάρτηση με τη φαινόμενη πυκνότητα

Η θερμομονωτική ικανότητα του υλικού εξαρτάται από το πορώδες του και είναι τόσο μεγαλύτερη, όσο περισσότεροι είναι οι πόροι του και έχουν μικρότερο μέγεθος. Όταν οι πόροι των υλικών γεμίσουν με νερό μειώνεται η θερμομονωτική ικανότητά τους, γιατί η θερμοαγωγιμότητα του νερού είναι 23 φορές μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του αέρα.

Η ικανότητα των υλικών να προσλαμβάνουν νερό με τη μορφή υγρασίας, εξαρτάται από τις παρακάτω ιδιότητές τους :

- α) την υγροσκοπικότητα του υλικού,
- β) την ατμοπερατότητα του υλικού,
- γ) την ύπαρξη τριχοειδών σωλήνων και
- δ) την υδροαπορροφητικότητα του υλικού

Στην αγορά κυκλοφορούν τα εξής θερμομονωτικά υλικά (συμβατικά και οικολογικά):

- *Πολυστερίνη*: Πρόκειται για υλικό που διατίθεται στην αγορά. Είναι υλικό μη ανακυκλώσιμο, προέρχεται από μη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας (υδρογονάνθρακες), η παραγωγή του είναι ενεργοβόρος και είναι υπεύθυνο για τη διαφυγή πτητικών ουσιών αερίων στο περιβάλλον, όπως χλωροφθορανθράκων και πεντανίου. Συμβάλλει έτσι στην καταστροφή της στοιβάδας του όζοντος και στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Σε περίπτωση πυρκαγιάς απελευθερώνονται επικίνδυνα, τοξικά βρωμιούχα αέρια.
- *Πολυουρεθάνη*: Υλικό μη ανακυκλώσιμο που προέρχεται από μη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Δεν επιτρέπει στο κτήριο να διαπνέει, ενώ έχει επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου. Είναι δυνατόν να απελευθερώνονται αμίνες, που είναι ουσίες επικίνδυνες, ενώ σε εκδήλωση φωτιάς παράγεται κυάνιο που είναι ιδιαίτερα τοξικό.
- *Υαλοβάμβακας και πετροβάμβακας*: Η παραγωγή τους συνδέεται με εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, είναι μη ανανεώσιμα (εκτός της υάλου), προέρχονται όμως από υλικά σε αφθονία. Έχουν αρνητικές επιδράσεις στην υγεία, για αυτό κατατάσσονται από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας στα εν δυνάμει καρκινογόνα υλικά που επιδρούν στον άνθρωπο μέσω της αναπνευστικής οδού.
- *Περλίτης*: Πρόκειται για μη ανανεώσιμο υλικό, που βρίσκεται ωστόσο σε αφθονία στη φύση. Ανακυκλώνεται μερικώς και δεν απελευθερώνει τοξικές ουσίες
- *Heraklith*: Είναι ένα αποδεκτό υλικό, που αποτελείται κυρίως από ξυλόμαλλο-ίνες ξύλου και τσιμέντο, που απαιτεί μεν αρκετή ενέργεια για την παραγωγή του, αλλά μικρότερη δε σε σχέση με τα άλλα υλικά. Παρέχει υγιεινή θερμομόνωση, ηχομόνωση και ηχοαπορρόφηση, καθώς επίσης και πυροπροστασία λόγω της ορυκτοποίησης του ξύλου με το τσιμέντο. Επίσης παρουσιάζει εξαιρετική πρόσφυση στο μπετόν και στα επιχρίσματα. Δεν επηρεάζεται από την υγρασία, έχει μεγάλη διάρκεια ζωής, είναι απρόσβλητος από τους μικροοργανισμούς. Δεν συνδέεται με προβλήματα υγείας των ενοίκων και δεν απελευθερώνονται τοξικές ουσίες σε περίπτωση πυρκαγιάς.
- *Διογκωμένος φελλός*: Είναι ανακυκλώσιμο υλικό κατά 100%, προέρχεται από ανανεώσιμη πηγή (φελλόδεντρα) και η παραγωγή του απαιτεί χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Δεν έχει επιπτώσεις στην υγεία, είναι απόλυτα φιλικό, αρκεί η τοποθέτηση του να μη συνδυάζεται με χρήση συνθετικών κολλών. Μειονέκτημα του είναι το σχετικά αυξημένο κόστος του, συγκριτικά με τα άλλα θερμομονωτικά υλικά



Παρακάτω αναφέρονται οι ιδιότητες των κυριότερων θερμομονωτικών υλικών:

### 2.7.3 Διογκωμένη πολυστερίνη

Η διογκωμένη πολυστερίνη, (περισσότερο γνωστή στην ελληνική αγορά ως φελιζόλ) ανήκει στα οργανικά τεχνητά θερμομονωτικά υλικά. Με ειδική επεξεργασία πολυμερισμού η πρώτη ύλη παίρνει τη μορφή μικρών κόκκων με σταθερή χημική σύσταση και θερμοπλαστικές ιδιότητες. Οι κόκκοι διογκώνονται και μετατρέπονται σε σφαιρίδια διαμέτρου 5-6mm. Από κει και πέρα οδηγούνται σε ειδικές πρέσες για επιπλέον διόγκωση και συγκόλληση των σφαιριδίων και υπάρχουν δύο τρόποι παραγωγής:

- Με τον πρώτο τρόπο το προϊόν βγαίνει στην τελική του μορφή από το καλούπι με τυποποιημένες διαστάσεις και διαμορφωμένη επιφάνεια (η λεγόμενη καλουπωτή ή χυτή πολυστερίνη).
- Με τον δεύτερο τρόπο το προϊόν βγαίνει από την πρέσα σε μορφή μεγάλων blocks, τα οποία στη συνέχεια σε κοπτικές μηχανές ή παντογράφους κόβονται δίνοντας πλάκες ή ειδικά κομμάτια διαφόρων σχημάτων (πχ. κυλίνδρων) και διαστάσεων.

Η πυκνότητα της πολυστερίνης κυμαίνεται από 10-40 Kgr/m<sup>3</sup> και είναι το μέγεθος που χαρακτηρίζει το υλικό. Η διογκωμένη πολυστερίνη ήταν από τα πρώτα θερμομονωτικά υλικά που εμφανίστηκαν και επί δεκαετίες υπήρξε ως το πλέον χρησιμοποιούμενο υλικό στις κτιριακές εφαρμογές της θερμομόνωσης. Στη συνέχεια, με την εμφάνιση της εξηλασμένης που υπερτερεί σαφώς ως υλικό σε όλες της τις ιδιότητες, αλλά και με την εξάπλωση των συστημάτων ξηράς δόμησης (όπου χρησιμοποιούνται τα ινώδη υλικά) η χρήση της έχει περιοριστεί.

Εξακολουθεί όμως και έχει ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών στις κατασκευές, όπως στη:

- α) Θερμομόνωση εξωτερικής τοιχοποιίας.
- β) Θερμομόνωση στοιχείων από σκυρόδεμα.
- γ) Θερμομόνωση στεγών.
- δ) Πλήρωση κενών πλακών Zollner.
- ε) Πλήρωση κενών μεγάλων αρμών διαστολής.
- στ) Καλούπια για κορνίζες ή σχήματα στις επιφάνειες σκυροδέματος.

Τα πλεονεκτήματά της:

- Εύχρηστο υλικό (μεταφέρεται, κόβεται και τοποθετείται πολύ εύκολα).
- Έχει χαμηλό κόστος, με αποδεκτές θερμομονωτικές ιδιότητες.
- Καλή 'συνεργασία' με όλα τα οικοδομικά υλικά.
- Δίνει λύσεις -ίσως και μοναδικές- σε εφαρμογές όπου απαιτούνται ειδικές διαστάσεις (αρμοί-πλάκες Zollner) και ειδικά σχήματα (κορνίζες).

Τα μειονεκτήματά της:

- Εάν χρησιμοποιηθεί χωρίς να σταθεροποιηθεί, συρρικνώνεται και επίσης κρατά την υγρασία που εισχωρεί στη μάζα της.
- Στις χαμηλές πυκνότητες δεν έχει μηχανικές αντοχές.
- Αποκλείεται η εφαρμογή της σε χώρους όπου αναπτύσσονται υψηλές θερμοκρασίες.
- Προσβάλλεται από την ηλιακή ακτινοβολία.

- Προσβάλλεται από διαλύτες, έντομα και τρωκτικά.
- Είναι εύφλεκτη (η καλουπωτή είναι αυτοσβενόμενη).

Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda=0.029$  έως  $0.041$  W/m\*K

#### 2.7.4 Εξηλασμένη πολυστερίνη

Η εξηλασμένη πολυστερίνη ανήκει στα οργανικά τεχνητά θερμομονωτικά υλικά "κλειστής κυψελικής δομής"(2.7.4-1). Παράγεται από θερμοπλαστική πολυστερίνη, η οποία με μια διαδικασία πολυμερισμού και διαρκούς εξέλασης παίρνει τη μορφή πλακών.

Αποτελείται από 88 έως 93% κατά βάρος από κρυσταλλική πολυστερίνη, ένα πολυμερές που αποτελείται από άνθρακα και υδρογόνο. Σε μικρότερα ποσοστά περιέχει βοηθητικές ύλες, χρωστικές ουσίες και επιβραδυντικά φωτιάς και προωθητικά αέρια σε ποσοστό 12% κατά βάρος. Τα προωθητικά αέρια θα πρέπει να είναι απαλλαγμένα από χλωροφθοράνθρακες που ευθύνονται ιδιαίτερα για τη μείωση της ατμοσφαιρικής στρώσης του όζοντος. Από τη διαδικασία της εξέλασης παράγεται ένα ομοιογενές προϊόν, με κλειστές πολυεδρικές κυψέλες αφρώδους δομής με διάμετρο από 0,05 έως 0,5 mm, με πάχος τοιχώματος των κυψελών 1μm. Έτσι μια πλάκα εξηλασμένης πολυστερίνης αποτελείται κατά 3% του όγκου της από τα τοιχώματα των κυψελών και 97% από τους χώρους των κυψελών με το αδρανές αέριο. Το τελικό προϊόν διατίθεται αποκλειστικά σε μορφή πλακών, που διαφέρουν μεταξύ τους σε διαστάσεις, πυκνότητα και κατά συνέπεια σε φυσικές και μηχανικές ιδιότητες.

Η εξηλασμένη πολυστερίνη χρησιμοποιείται κατεξοχήν σε κτιριακά έργα, για θερμομόνωση και τοποθετείται:

- Σε εξωτερική τοιχοποιία και στοιχεία από σκυρόδεμα
- Σε δώματα και στέγες
- Σε τοιχία υπόγειων χώρων
- Σε δάπεδα
- Σε ψυκτικούς θαλάμους



Εικόνα 2.7.4-1 Πλάκα εξηλασμένης πολυστερίνης με εγκοπές

Τα κυριότερα πλεονεκτήματά της είναι:

- Οι υψηλές θερμομονωτικές ιδιότητες.
- Η αντοχή στην υγρασία και σχεδόν μηδενική υδατοαπορρόφηση
- Η υψηλή αντοχή σε συμπίεση
- Ότι δεν προσβάλλεται από μύκητες και βακτηρίδια
- Ότι μεταφέρεται και τοποθετείται πολύ εύκολα.
- Αυτοσβενούμενο υλικό
- Έχει ομοιομορφία μάζας και σταθερότητα διαστάσεων
- Οι ειδικές πλάκες με εγκοπές προσφέρουν άριστη πρόσφυση σε σκυρόδεμα και επιχρίσματα

Όπως και τα περισσότερα πολυμερή μονωτικά έχει ευαισθησία στην ηλιακή ακτινοβολία.

*Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda=0.025$  έως  $0.035$  W/m\*K*

### **2.7.5 Γυψοσανίδα**

Η γυψοσανίδα είναι ένα συνηθισμένο οικοδομικό υλικό που χρησιμοποιείται για την οικοδόμηση των εσωτερικών τοίχων και οροφών. Αποτελείται από ένα φύλλο χαρτονιού που τυλίγεται γύρω από τον εσωτερικό πυρήνα που είναι ασβεστοκονίαμα γύψου, η ημι-ένυδρη μορφή θειικού άλατος ασβεστίου ( $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ ). Ο ακατέργαστος γύψος,  $\text{CaSOH}_2\text{O}$  πρέπει να ασβεστοποιηθεί πριν τη χρήση.

Στην Ευρώπη, τα συνηθέστερα χρησιμοποιημένα πάχη της γυψοσανίδας διαθέσιμα είναι 12.5 mm που χρησιμοποιείται για τους τοίχους, και 9.5mm που χρησιμοποιείται για ταβάνια. Άλλη μία ευρεία χρήση της γυψοσανίδας είναι ως παθητικό στοιχείο πυροπροστασίας που βρίσκει εφαρμογές στις καμινάδες και τα τζάκια των σπιτιών. Στη φυσική του κατάσταση, ο γύψος περιέχει νερό από την κρυστάλλωση του, που δεσμεύεται υπό μορφή ένυδρων ουσιών. Όταν εκτίθεται στη θερμότητα ή την πυρκαγιά, το νερό αυτό καθυστερεί τη μεταφορά θερμότητας.

Στην περίπτωση της γυψοσανίδας υπάρχει περίεργη συμπεριφορά καθώς ήταν το μόνο υλικό που παρουσιάζει στιγμιαία αύξηση της θερμικής αγωγιμότητας με την μείωση της μέσης θερμοκρασίας. Δεν τίθεται καμία προσέγγιση γραμμικής συμπεριφοράς. Η συμπεριφορά αυτή οφείλεται σε μεγάλο μέρος της στον υγροσκοπικό χαρακτήρα της. Η μεγάλη συγκράτηση υγρασίας πιθανόν να είναι υπεύθυνη για αυτή τη συμπεριφορά. Γνωστή είναι η ευρεία χρήση της ως μέσο πυροπροστασίας καθώς οι μονωτικές της ικανότητες αυξάνονται δραματικά με την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας.

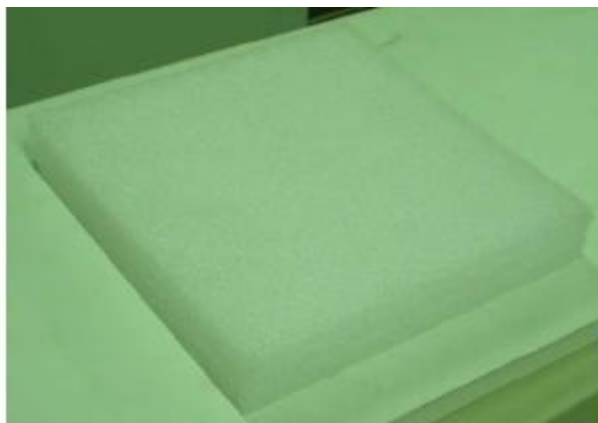
*Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda=0.58$ W/m\*K*

### **2.7.6 Αφρώδες PVC**

Το αρμαφλέξ είναι ένα μίγμα αφρώδους PVC και πολυαιθυλενίου το οποίο βρίσκει εφαρμογές σε πολλά από τα προϊόντα που χρησιμοποιούμε σήμερα. Στην μηχανική χρησιμοποιείται κυρίως στη μόνωση σωλήνων σε κλιματιστικές συσκευές και σωλήνων ζεστού νερού και σε μορφή φύλλων για την κάλυψη μεγάλων βιομηχανικών σωληνώσεων.

### 2.7.7 Ίνες πολυεστέρα

Οι ίνες πολυεστέρα έχουν υψηλή ηχοαπορροφητική και θερμομονωτική ικανότητα και διακοσμητική όψη και για αυτό εφαρμόζονται στις κατασκευές που απαιτείται υψηλή ηχομόνωση σε συνδυασμό με αποδεκτή θερμομόνωση όπως θέατρα ,χώροι ψυχαγωγίας κτλ . Κατασκευάζεται από θερμοσυγκολλητές ίνες πολυεστέρα, χωρίς τη χρήση ρητινών ή συγκολλητικών ουσιών(εικόνα 2.7.7-1). Παράγεται σε διάφορες πυκνότητες και πάχη για την επίτευξη των επιθυμητών ακουστικών χαρακτηριστικών, είναι δυνατόν να συνδυαστεί με συνθετική, αντικραδασμική -ηχομονωτική μεμβράνη και διατίθεται και σε αυτοκόλλητη παραλλαγή.



Εικόνα 2.7.7-1 Πλάκα πολυεστέρα

Αν και η θερμική τους αντίσταση, δεν είναι τόσο υψηλή όσο αυτή των εποξέων, είναι γενικά φτηνότερα. Η εκπομπή του στυρόλιου μπορεί να θέσει κίνδυνο στην υγεία, αν και υπάρχουν δείγματα με χαμηλούς βαθμούς εκπομπής. Οι ρητίνες πολυεστέρα παρέχονται ως υγρά που μετατρέπονται σε υλικό στερεάς κατάστασης με την προσθήκη ενός καταλύτη.

Τα πλεονεκτήματά τους είναι:

- Έχει εξαιρετική μηχανική αντοχή.
- Δεν είναι τοξικό
- Δεν παράγει πυκνό καπνό κατά την καύση του.
- Έχει ιδιαίτερη αντοχή στη φωτιά, στις υψηλές θερμοκρασίες και την υπέρυθη ακτινοβολία.
- Είναι αυτοσβενούμενο

Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda=0.338 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$

### 2.7.8 Αμιάντος

Παρουσιάζει μεγάλη ελαστικότητα και αντοχή σε εφελκυσμό. Είναι ανθεκτικός στη φωτιά και στην επίδραση των οξέων. Χρησιμοποιείται για άφλεκτες επενδύσεις με τη μορφή εύκαμπτων παπλωμάτων. Επίσης, χρησιμοποιείται στις επενδύσεις σωλήνων και σιδερένιων κατασκευών. Η χρήση του, όμως, έχει περιοριστεί σημαντικά γιατί είναι υλικό επικίνδυνο για την υγεία.

Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda=0.35 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$

### 2.7.9 Σκυροδέματα μικρής φαινόμενης πυκνότητας

Είναι σκυροδέματα με μεγάλη περιεκτικότητα σε αέρα ή σκυροδέματα με αδρανή από αφρώδη πολυστυρόλη, τα οποία έχουν σφαιρική μορφή και διαβάθμιση 1/6 mm. Στην πρώτη περίπτωση με τη χρήση ειδικών χημικών μέσων δημιουργούνται φυσαλίδες μέσα στη μάζα του σκυροδέματος, ενώ στη δεύτερη περίπτωση η περιεκτικότητα σε αδρανή είναι 60 %÷80 % κ.ό.

### 2.7.10 Αφρώδες γυαλί

Πρόκειται για ένα υλικό ορυκτής προέλευσης με κυψελωτή δομή και υψηλών προδιαγραφών για εξειδικευμένες εφαρμογές. Τα βασικά συστατικά του αφρώδους γυαλιού είναι φυσικά, όπως άμμος, δολομίτης και ανθρακικό νάτριο. Με θερμική επεξεργασία και με προσθήκη μικρών ποσοτήτων άνθρακα το αφρώδες γυαλί τελικά στερεοποιείται σε μπλοκ. Επίσης συνυπάρχουν μικρές ποσότητες  $H_2S$ . Κατά τη διαδικασία δημιουργίας αφρού το μονωτικό υλικό αποκτάει κλειστή κυψελοειδή μορφή με την σύνθεση των εγκλωβισμένων αερίων (με πίεση 0,25 bar) στις κυψελίδες να είναι 99%  $CO_2$  και 0,5%  $H_2S$ . Η βασική εφαρμογή του αφρώδους γυαλιού είναι η θερμομόνωση, αλλά χρησιμοποιείται και σε βιομηχανικές και τεχνικές εφαρμογές, όπως υψηλής θερμοκρασίας μόνωση και μόνωση σωλήνων.

*Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda=0.038$  έως  $0.063$  W/m\*K*

### 2.7.11 Υαλοβάμβακας

Ο υαλοβάμβακας προέρχεται από ορυκτές πρώτες ύλες, ανήκει στα ανόργανα ινώδη υλικά και τα βασικά συστατικά του είναι το διοξείδιο του πυριτίου, ο δολομίτης, ο ασβεστόλιθος, η ανθρακική σόδα και αλουμίνα. Ο υαλοβάμβακας παρασκευάζεται σε κλίβανο μέσω μιας διαδικασίας φυγοκέντρισης, κατά την οποία τα υλικά εξαιτίας της φυγόκεντρης δύναμης υπό τη μορφή ινών παγιδεύουν τον αέρα. Ο υαλοβάμβακας συναντάται στις εξής εμπορικές μορφές: σε μορφή παπλώματος είτε σε ρολά χωρίς επένδυση είτε με επένδυση αλουμινίου είτε με ενισχυμένο μεταλλικό πλέγμα, σε μορφή πλακών και σε μορφή ειδικά μορφοποιημένα κογχυλιών για χρήση ως μόνωση σωληνώσεων. Ο υαλοβάμβακας αποτελεί μία καλή θερμομονωτική λύση υπό την προϋπόθεση ότι προστατεύεται από τη διείσδυση της υγρασίας. Όσο μικρότερο είναι το πάχος των ινών και όσο μεγαλύτερο το μήκος τους τόσο υψηλότερη θερμική προστασία προσφέρει αλλά και μεγαλύτερο κόστος αποκτά. Η προσβολή από την υγρασία έχει ως αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda$ . Για αυτό το λόγο, όταν χρησιμοποιείται ως μονωτικό υλικό στα κτίρια, κρίνεται απαραίτητη η προστασία του με φράγμα υδρατμών στη θερμή όψη. Αξίζει να σημειωθεί πως λόγω της ινώδους μορφής του, ο υαλοβάμβακας σε ελεύθερη κατάσταση δεν απορροφά υγρασία. Επειδή όμως συχνά βρίσκεται κλεισμένος στα άλλα δομικά υλικά, η υγρασία που εγκλωβίζεται στα τελευταία τον προσβάλλει και εξαπλώνεται σε όλη την έκτασή του. Όσον αφορά στις ιδιότητες πυραντοχής του υαλοβάμβακα, προσοχή απαιτείται στα υλικά που προστίθενται για την βελτίωση της συνοχής (υδρίδιο του πυριτίου), στα συνδετικά υλικά (ρητίνες φαινοφορμαλδεϋδης), καθώς και στα υδατοαποθητικά έλαια (σιλικονόνες ή ορυκτέλαια), διότι αυτά τα υλικά δύναται να υποβαθμίσουν την αντοχή του υαλοβάμβακα σε περίπτωση πυρκαγιάς. Γενικότερα, πάντως, ο υαλοβάμβακας παρουσιάζει καλή συμπεριφορά στην πυρκαγιά καθώς ανήκει στις A1, A2 και B1 κατηγορίες πυραντοχής. Ο υαλοβάμβακας διαθέτει επίσης ανθεκτικότητα στη

θερμοκρασία για ένα μεγάλο εύρος θερμοκρασιών από  $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$  έως  $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Η αντοχή στον εφελκυσμό ( $0,005\text{ N/mm}^2$ ) και το όριο θραύσης ( $0,005\text{--}0,015\text{ N/mm}^2$ ) κρίνονται ικανοποιητικές. Ωστόσο, εμφανίζει μικρή αντοχή σε συμπίεση και ως εκ τούτου 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. *Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda=0.030$  έως  $0.045\text{ W/m}\cdot\text{K}$*

### 2.7.12 Πετροβάμβακας

Ο πετροβάμβακας είναι ινώδους μορφής, καθώς αποτελείται από μια μάζα εξαιρετικά λεπτών ινών (διάμετρος  $< 4$  ή  $5\text{ }\mu\text{m}$ ) και παρασκευάζεται από μίγμα ορυκτογενών πετρωμάτων, που αφθονούν στη φύση, όπως βασάλτη, μεταβασάλτη, διαβάση, αμφιβολίτη, ασβεστόλιθο, δολομίτη και βωξίτη(εικόνα 2.7.12-1). Για την παραγωγή του πετροβάμβακα, το μίγμα των ορυκτογενών πετρωμάτων θερμαίνεται και λιώνει είτε μέσα σε υψικάμινο είτε σε ηλεκτρικό φούρνο (πιο σύγχρονη μέθοδος, καθώς επιτυγχάνει διαστασιακή ομοιομορφία στις παραγόμενες ίνες μέσω της σταθερά ελεγχόμενης θερμοκρασίας του τήγματος, καθώς και μηδαμινή μόλυνση του περιβάλλοντος). Στη συνέχεια και με τη βοήθεια της φυγοκέντρισης διαμορφώνεται στην τελική ινώδη μορφή. Η συγκόλληση των ινών μεταξύ τους επιτυγχάνεται με την προσθήκη συνθετικής φαινολικής ρητίνης και σιλικονέλαιου. Στο εμπόριο συναντάται σε πάπλωμα χωρίς επένδυση ή με επένδυση μεταλλικού πλέγματος ή σκληρών πλακών, καθώς και σε μορφή κοχυλιών. Η υψηλή θερμομονωτική ικανότητά του όμως επηρεάζεται σημαντικά στην περίπτωση προσβολής του από την υγρασία, έτσι ώστε να κρίνεται αναγκαία η λήψη μέτρων προστασίας από την υγρασία είτε με την προσθήκη οργανικών ενώσεων του πυριτίου (σιλάνια) είτε με την τοποθέτηση επικάλυψης φύλλων αλουμινίου ή γύψου. Η θερμομονωτική ικανότητα του πετροβάμβακα επηρεάζεται αρνητικά επίσης και από την αυξημένη παρουσία συμπαγών σφαιριδίων τήξης, χρώματος καφέ ή μαύρου, που δημιουργούνται παράλληλα με τις επιθυμητές ίνες στη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας. Ο πετροβάμβακας διαθέτει ιδιαίτερα υψηλή αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες, κάτι που οφείλεται στο γεγονός ότι οι πρώτες ύλες και τα πρόσθετα στον πετροβάμβακα κατά την παραγωγή λιώνουν σε μεγάλες θερμοκρασίες. Η ανώτερη θερμοκρασία εφαρμογής ( $750\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) καθορίζει μέχρι ποια θερμοκρασία διατηρεί το μονωτικό υλικό τις ιδιότητές του. Για αυτό και ο πετροβάμβακας βρίσκει εφαρμογή σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις, στη μόνωση λεβήτων, σε πόρτες πυρασφαλείας, σε κατασκευές που αφορούν στην πυρασφάλεια σε πλοία, καθώς και στην περιοχή της τεχνολογίας του εξαερισμού (αγωγοί εξαερισμού). Ο πετροβάμβακας διαθέτει πολύ καλή συμπεριφορά στην πυρκαγιά, καθώς ανήκει στις A1, A2 και B1 κατηγορίες πυραντοχής. Αντίθετα, εμφανίζει μικρή αντοχή στον εφελκυσμό ( $0,005\text{ N/mm}^2$ ) και χαμηλό όριο θραύσης από  $0,00012$  έως  $0,0075\text{ N/mm}^2$ . 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.

*Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda=0.0375\text{ W/m}\cdot\text{K}$*



Εικόνα 2.7.12-1 Πλάκες πετροβάμβακα

### 2.7.13 Περλίτης

Πρόκειται στην πραγματικότητα για μία ευρύτερη οικογένεια διογκωμένων ανόργανων πορώδων υλικών, γνωστότερο των οποίων είναι ο περλίτης. Τα διογκωμένα πορώδη υλικά αποτελούνται από τον περλίτη, το οξείδιο του πυριτίου και το διογκωμένο φυσικό γυαλί (ηφαιστειακής προέλευσης) ή από διογκωμένο γυαλί, το οποίο προέρχεται από καθαρό, χωρίς άλλες προσθήκες, γυαλί. Τα διογκωμένα πορώδη υλικά χρησιμοποιούνται κυρίως στη θερμομόνωση κτιρίων, στη θερμομόνωση δωματίων και στην εξασφάλιση των κλίσεων τους, στην ηχοπροστασία από κτυπογενείς ήχους δαπέδων και σε περιπτώσεις θερμομόνωσης και εξοικονόμησης βάρους στα επιχρίσματα των οικοδομών. Για το πάχος δεν μπορεί να δοθεί μια τυπική τιμή, αφού πρόκειται για χύδη υλικό και αντίστοιχα, η πυκνότητα παρουσιάζει μια διακύμανση από  $80 \text{ kg/m}^3$  έως  $800 \text{ kg/m}^3$ , η οποία οφείλεται στην διαφορετική σύνθεση του βασικού υλικού γυαλί ή ηφαιστειακό πέτρωμα.

*Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda=0.033$  έως  $0.045 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$*

### 2.7.14 Ξυλόμαλλο (απλές και σύνθετες πλάκες)

Το ξυλόμαλλο ανήκει στην κατηγορία των σύνθετων θερμομονωτικών υλικών και αποτελείται από ξυλώδεις ίνες ή ακόμη και καλάμια, φύκια και άλλα λεπτά οργανικά υλικά και συγκολλητική ύλη τσιμέντο ή καυστική μαγνησία. Τρεις ομάδες προϊόντων κυκλοφορούν στο εμπόριο:

-Ελαφρές πλάκες από ξυλόμαλλο: Ως πρώτη ύλη χρησιμοποιούνται μεγάλες ίνες ξυλόμαλλου από μη επεξεργασμένο ξύλο και τσιμέντο ή αντί του τσιμέντου καυστικό οξείδιο του μαγνησίου. Όταν χρησιμοποιείται το τσιμέντο ως συνδετικό υλικό, μπορεί να προστεθεί χλώριο μέχρι 0,35%.

-Σύνθετες πλάκες από ξυλόμαλλο και διογκωμένη πολυστερίνη: Οι ελαφρές προκατασκευασμένες πολυστρωματικές πλάκες από πολυστερίνη αποτελούνται από ένα μονωτικό στρώμα πολυστερίνης. Διατίθενται επίσης με επένδυση από τη μια ή και από τις δύο πλευρές με λεπτές πλάκες ξυλόμαλλου

-Σύνθετες πλάκες από ξυλόμαλλο και πετροβάμβακα. Οι ελαφριές προκατασκευασμένες πολυστρωματικές πλάκες από ορυκτές ίνες, αποτελούνται από ένα στρώμα μονωτικού ορυκτοβάμβακα ή οι δύο επιφάνειες αποτελούνται από ορυκτό συνδετικό ξυλόμαλλο, που περιβάλλουν τον ορυκτοβάμβακα.

*Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda=0.055$  έως  $0.065 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$*

### 2.7.15 Νέα υλικά

Σήμερα αναπτύσσεται πλήθος νέων υλικών με ιδιαίτερα ενδιαφέρουσες ιδιότητες. Τα υλικά αυτά συμβάλουν με διαφορετικό τρόπο στις λειτουργίες του κτιρίου. Σαν παράδειγμα αναφέρονται:

- Νέο είδος επιχρίσματος τοιχοποιίας που λειτουργεί ως «κλιματιστικό» σύστημα. Το επίχρισμα, περιέχει πλαστικά σφαιρίδια γεμάτα με μίγμα ρητίνης παραφίνης. Οι ρητίνες αυτές λιώνουν όταν η θερμοκρασία ξεπερνά τους 24 °C έτσι ώστε η μετάβαση από την στερεά στην υγρή κατάσταση να απορροφά θερμότητα και να ψύχει με αυτό τον τρόπο τον εσωτερικό αέρα του κτιρίου. Η ενσωμάτωση τέτοιων μικροσφαιριδίων κατά 10-25% σε ένα κοινό επίχρισμα αρκεί για να δροσίσει μία κατοικία στις μεγάλες θερμοκρασίες του θέρους. Σύμφωνα με πρόσφατες έρευνες, η επίστρωση με ένα τέτοιο υλικό, εξασφαλίζει δροσιά ανάλογη με εκείνη που θα είχε ένα κτίριο αν τα τούβλα στους τοίχους είχαν πολλαπλάσια μεγαλύτερο πάχος.
- Νέες βαφές αναπτύσσονται για τα εξωτερικά κελύφη των κτηρίων. Οι νέες βαφές απορροφούν τα καυσαέρια λειτουργώντας κατασταλτικά στην ανάπτυξη νέφους και ρύπανσης της ατμόσφαιρας. Η βαφές αυτές περιέχουν πολυμερές πυριτίου, σφαιρικά νανοσωματίδια διοξειδίου του τιτανίου καθώς και ανθρακικό ασβέστιο με διάμετρο 30 νανόμετρα. Η βάση της βαφής είναι αρκετά πορώδης για να επιτρέπει την διάχυση των οξειδίων του αζώτου (που προκαλούν αναπνευστικά προβλήματα και συμμετέχουν στην ανάπτυξη νέφους) μέσα στην βαφή και την συνένωσή τους με τα σωματίδια του τιτανίου. Τα σωματίδια αυτά απορροφούν την ηλιακή υπεριώδη ακτινοβολία και τη χρησιμοποιούν για να μετατρέψουν τα οξείδια του αζώτου σε νιτρικό οξύ. Το οξύ στην συνέχεια θα αποβληθεί από την βροχή είτε θα αδρανοποιηθεί από τα σωματίδια αλκαλικού ασβεστίου παράγοντας ποσότητες «ακίνδυνου» διοξειδίου του άνθρακα, νερού και νιτρικού οξέως, που επίσης θα απομακρυνθούν από την βροχή. Κατ' εκτίμηση, μετά από πέντε χρόνια, οι ποσότητες του ανθρακικού άλατος θα έχουν εξαντληθεί. Όταν οι ποσότητες του ανθρακικού άλατος έχουν εξαντληθεί το διοξείδιο τιτανίου θα συνεχίσει να διαλύει τα οξείδια του αζώτου με αποτέλεσμα όμως επιπτώσεις στο χρώμα της βαφής από το οξύ που θα παράγεται από την όλη χημική διαδικασία.

Υπάρχουν πολλές παράμετροι για να ελεγχθεί ένα νέο υλικό και να πιστοποιηθεί η οικολογική συμπεριφορά του. Στα υλικά που αναφέρθηκαν διαπιστώθηκαν ιδιότητες που συμβάλουν στην οικολογική συμπεριφορά της κατασκευής όμως οι έρευνες δεν αναφέρονται σε άλλες ιδιότητες όπως η τοξικότητά τους, ο χρόνος ζωής τους, ή η ικανότητα βιοδιάσπασής τους κ.λ.π.



## 3.ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

Τα θερμόμετρα (όργανα μέτρησης θερμοκρασιών γενικότερα), χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, ανάλογα με τη χρήση ή όχι ηλεκτρικά μεταδιδόμενου σήματος ή αισθητήρα.

### 3.1 Μη ηλεκτρικές μέθοδοι

Βασίζονται στην περίπου γραμμική διαστολή που υφίσταται ένα ρευστό με την αύξηση της θερμοκρασίας. Υπάρχουν τριών ειδών θερμόμετρα τέτοιου τύπου:

- Θερμόμετρα υγρού, πίεσης ατμών, αερίου
- Θερμόμετρα με διμεταλλικό έλασμα
- Πυρίμαχοι κώνοι, χρώματα και κραγιόν

#### 3.1.1 Θερμόμετρα υγρού σε γυαλί

Ένα θερμόμετρο γυαλιού περιέχει, ερμητικά κλεισμένη, μία ποσότητα υγρού σε ισορροπία με τους ατμούς του. Η αρχή λειτουργίας του θερμομέτρου γυαλιού βασίζεται στο ότι η πίεση στον θάλαμο που περιέχει το ρευστό και τους ατμούς του είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας και του όγκου του δοχείου. Με τα θερμόμετρα γυαλιού μπορούμε να μετρήσουμε θερμοκρασίες μέσα στην περιοχή που συνυπάρχει το ρευστό με τους ατμούς του.

Για παράδειγμα το υδραργυρικό θερμόμετρο αποτελείται από το βολβό αποθήκευσης του θερμομετρικού υγρού, τον τριχοειδή σωλήνα όπου ανέρχεται το υγρό διαστελλόμενο, το θάλαμο εκτόνωσης στο άλλο άκρο, και, εξωτερικά, τη βαθμονομημένη κλίμακα. Η αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί διαστολή του υγρού που υψώνεται μέσα στον τριχοειδή σωλήνα έως το σημείο που αντιστοιχεί στην υπό μέτρηση θερμοκρασία. Για θερμοκρασίες πάνω από το σημείο βρασμού του Hg (457°C σε πίεση 1 bar), μπορούμε να γεμίσουμε το χώρο πάνω από το υγρό με άζωτο υπό πίεση, ανυψώνοντας έτσι το σημείο βρασμού του Hg. Τα πλεονεκτήματα των οργάνων αυτών είναι η απλότητα στην κατασκευή και το φθινό κόστος. Επίσης μεταφέρονται εύκολα και είναι εύκολα στο χειρισμό χωρίς πρόσθετα ενδεικτικά όργανα. Τα μειονεκτήματά τους είναι ότι είναι εύθραυστα και έχουν σχετικά υψηλή θερμοχωρητικότητα.

#### 3.1.2 Θερμόμετρα υγρού σε μέταλλο

Καθώς το ρευστό διογκώνεται αυξάνεται η πίεση του. Η αύξηση της πίεσης προκαλεί το ξετύλιγμα στον ελικοειδή θάλαμο Bourdon, ο οποίος παρασύρει μαζί και την ενδεικτική βελόνα. Η διαστολή του βολβού και του περιεχόμενου, ασυμπιέστου υγρού λόγω της θερμοκρασιακής αύξησης, ανυψώνει σημαντικά την πίεση του συστήματος (μπορεί να φθάσει έως και 100-150 bar), ώστε να καταφέρει να παραμορφώσει αντίστοιχα το μεταλλικό περίβλημα για να χωρέσει ο επιπλέον όγκος. Έτσι τείνει να ισιώσει τον κεκαμμένο σωλήνα του μετρητή Bourdon, όσο αυξάνει η θερμοκρασία. Η μετακίνηση του ελεύθερου άκρου του σωλήνα, μεταβιβάζεται με κατάλληλο μηχανισμό σε μετακίνηση του δείκτη που κινείται σε βαθμονομημένη κλίμακα.

Τα πλεονεκτήματα των οργάνων αυτών είναι το μεγάλο εύρος μέτρησης θερμοκρασιών και το γεγονός ότι επιτρέπονται μεγάλα μήκη τριχοειδούς σωλήνα, ώστε ο βολβός (σημείο μέτρησης) να μπορεί να βρίσκεται ακόμη και αρκετά μέτρα από το όργανο ένδειξης. Κύριο μειονέκτημα του οργάνου αυτού είναι η επίδραση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος στον τριχοειδή σωλήνα. Αντιστάθμιση γίνεται μ' έναν τυφλό τριχοειδή σωλήνα κατά μήκος του κύριου σωλήνα, ο οποίος συνδέεται με δεύτερο σωλήνα Bourdon, μηχανικά συνδεδεμένο και σε αντίθετη φορά κίνησης με τον κύριο μετρητή Bourdon.

### **3.1.3 Θερμόμετρα αερίου υπό σταθερό όγκο**

Στα θερμόμετρα αυτά χρησιμοποιείται αντί για υγρό, κάποιο αδρανές αέριο υπό πίεση. Μεταβολή της θερμοκρασίας προκαλεί μεταβολή της πίεσης που μέτρα ένας μετρητής Bourdon. Το κύριο πλεονέκτημα ενός τέτοιου οργάνου είναι η γρήγορη απόκριση σε θερμοκρασιακές μεταβολές, επειδή τα αέρια έχουν χαμηλότερη θερμοχωρητικότητα από τα υγρά και τα στερεά. Παραλλαγή της συγκεκριμένης αρχής λειτουργίας χρησιμοποιείται σήμερα σε θερμοστάτες.

### **3.1.4 Θερμόμετρα με διμεταλλικό έλασμα**

Ένα διμεταλλικό έλασμα (bimetallic strip) αποτελείται από δύο ελάσματα ίδιου μήκους, από διαφορετικά υλικά, στερεωμένα ακλόνητα το ένα με το άλλο με τη βοήθεια καρφώματος ή κάποιας μορφής συγκόλλησης. Το ένα άκρο του ελάσματος είναι στερεωμένο και ακίνητο και όταν υπάρχει αύξηση της θερμοκρασίας το ευθύγραμμο αρχικά έλασμα κάμπεται και λαμβάνει καμπύλο σχήμα. Αυτό οφείλεται στο διαφορετικό συντελεστή διαστολής των δύο μετάλλων. Το μέταλλο με το μεγαλύτερο συντελεστή διαστέλλεται περισσότερο ώστε να έχει μεγαλύτερο μήκος από το άλλο έλασμα. Η μετατόπιση του εξαρτάται από την μεταβολή της θερμοκρασίας.

Το διμεταλλικό έλασμα μπορεί να τοποθετηθεί με τέτοιο τρόπο, ώστε τις στιγμές που θερμαίνεται, και επομένως κάμπεται, ή τις στιγμές που ψύχεται, και επομένως ευθυγραμμίζεται, να ανοίγει ή να κλείνει τις επαφές ενός ηλεκτρικού κυκλώματος. Σ' αυτή την αρχή, καθώς και στην αρχή λειτουργίας του θερμομέτρου αερίου, στηρίζονται οι θερμοστάτες (thermostats), που ελέγχουν έτσι με απλό τρόπο το άνοιγμα κλείσιμο της λειτουργίας πολλών συσκευών θέρμανσης ή ψύξης (ψυγεία, αερόθερμα κτλ). Πολλές φορές τα διμεταλλικά ελάσματα τυλίγονται σε σπειροειδή μορφή. Το μεγάλο μήκος παρέχει έτσι επαρκή κίνηση του δείκτη. Το διμεταλλικό θερμόμετρο χρησιμοποιείται σε φούρνους, σωληνώσεις ζεστού νερού και θαλάμους ατμού.

Τα πλεονεκτήματά του είναι ότι είναι συμπαγές, έχει ευέλικτη σχεδίαση, είναι σχετικά φθηνό και το ωφέλιμο θερμοκρασιακό εύρος είναι από 238 K έως 873 K με γενικά καλή ακρίβεια. Τα μειονεκτήματά του είναι ότι το διμεταλλικό έλασμα εμφανίζει γήρανση, οπότε χάνεται η ακρίβεια της αρχικής βαθμονόμησης με το πέρασμα του χρόνου, δεν προσφέρεται για χρήση από απόσταση και αποκρίνεται αργά στις μεταβολές της θερμοκρασίας

### 3.1.5 Πυρίμαχοι κώνοι, χρώματα και κραγιόν

Η μέτρηση θερμοκρασίας με βάση τη μεταβολή της φυσικής κατάστασης των στερεών γίνεται με δύο τρόπους:

α) Μεταβολή του σχήματος ή του μεγέθους: Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει πυρομετρικούς κώνους, θερμοσκοπικές μπάρες, καταγραφείς θερμότητας και δαχτυλίδια.

β) Μεταβολή του χρώματος: Χρώματα (βερνίκια) και κραγιόν

- Πυρομετρικοί κώνοι: Κατασκευάζονται από μίγματα διαφόρων ουσιών, όπως πορσελάνη, τάλκη, άστριο, χαλαζία κ.ά., που κατατάσσονται σε αριθμημένη σειρά που αντιστοιχεί σε θερμοκρασίες 600 - 2000°C. Τοποθετούνται τουλάχιστο τρεις κώνοι με διαφορετικά σημεία τήξης πάνω σ' ένα πυρίμαχο δίσκο και τη ζητούμενη θερμοκρασία δείχνει ο μισοτηγμένος κώνος, του οποίου ή κορυφή μόλις ακουμπά στον δίσκο. Παρόμοια διαδικασία χρησιμοποιείται και στην περίπτωση των θερμοσκοπικών μπαρών και καταγραφών θερμότητας.
- Βερνίκια και κραγιόν: Είναι χρήσιμα για απεικόνιση θερμοκρασιακών πεδίων σε επιφάνειες μετάλλων κτλ (πχ ζώνη συγκολλήσεων που επηρεάζεται από τη θερμότητα, σφυρηλασία εν θερμώ και θερμική κατεργασία μετάλλων και πολυμερών). Αλλάζουν χρώμα ή εμφάνιση σε μια καθορισμένη θερμοκρασία. Σήμερα συνδυάζονται αποτελεσματικά με τις σύγχρονες τεχνικές υπέρυθρης θερμογραφίας. Τα κραγιόν περιέχουν ένα υγρό που λιώνει σε μορφή ράβδου. Είναι κατάλληλα για την μέτρηση θερμοκρασιών διαφόρων επιφανειών ακόμη και μεγάλης τραχύτητας. Τα θερμομέτρα τύπου χαπιών χρησιμοποιούνται κυρίως για τη μέτρηση της θερμοκρασίας σε φούρνους και κλιβάνους, όπου εφαρμόζεται θέρμανση για μεγάλο χρονικό διάστημα. Τα χάπια τοποθετούνται πριν αρχίσει η θέρμανση του συστήματος και μόλις αρχίσει η τήξη του χαπιού είναι δυνατός ο προσδιορισμός της θερμοκρασίας. Οι δείκτες σε υγρή μορφή περιέχουν τα ίδια υλικά που χρησιμοποιούνται στα κραγιόν και στα χάπια, αλλά σε μορφή λάκκας (αιώρημα σε διαλυτικό υγρό). Αφού αναδευτεί καλά η λάκκα, βάφουμε με αυτήν την επιφάνεια που θέλουμε να μετρήσουμε την θερμοκρασία της. Ο διαλύτης εξατμίζεται γρήγορα και απομένει το σχετικό ίχνος στην επιφάνεια. Όταν η επιφάνεια φτάσει στην θερμοκρασία, το ίχνος τήκεται εμφανώς και αλλάζει υφή, (από μιά αδιαφανή σε γυαλιστερή διαφανή), οπότε μπορεί να ταυτοποιηθεί εύκολα εκ των υστέρων.

### 3.2 Ηλεκτρικές μέθοδοι

Στη κατηγορία αυτή ανήκουν οι επόμενες ομάδες θερμομέτρων. Τα θερμομέτρα ηλεκτρικής αντίστασης, τα θερμοστοιχεία, τα πυρόμετρα και οι θερμογραφικές κάμερες.

#### 3.2.1 Θερμόμετρα ηλεκτρικής αντίστασης

Η αρχή λειτουργίας των θερμομέτρων αντιστάσεως βασίζεται στο γεγονός ότι η ηλεκτρική αντίσταση ενός αγωγού είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας. Υπάρχουν δύο κατηγορίες τέτοιων θερμομέτρων:

α) Αυτά που χρησιμοποιούν μέταλλα (υψηλής καθαρότητας), όπως Cu, Ni, Pt και που έχουν θετικό θερμικό συντελεστή αντίστασης (η αντίσταση αυξάνεται με τη θερμοκρασία).

β) Αυτά που είναι κατασκευασμένα από μίγματα μεταλλικών οξειδίων (μέσω sintering), κράματα Ge (ημιαγωγά υλικά) και έχουν αρνητικό συντελεστή αντίστασης (μείωση της αντίστασης με αύξηση της θερμοκρασίας).

Τα ημιαγωγά υλικά με αρνητικό θερμικό συντελεστή αντίστασης ονομάζονται θερμίστορες. Η αντίσταση του μεταλλικού στοιχείου είναι περίπου γραμμική συνάρτηση της θερμοκρασίας.

Ένα θερμόμετρο ηλεκτρικής αντίστασης σχηματίζεται τυλίγοντας μεταλλικό σύρμα γύρω από έναν κεραμικό σωλήνα, επικαλύπτοντας με κεραμικό υλικό και τοποθετώντας το σε προστατευτικό μεταλλικό μανδύα. Τα δύο άκρα του σύρματος συνδέονται στον ένα βραχίονα μίας γέφυρας Wheatstone και στη συνέχεια το θερμόμετρο τοποθετείται στο χώρο, του οποίου θέλουμε να μετρήσουμε τη θερμοκρασία. Μετά από χρόνο απόκρισης μερικών δευτερολέπτων μπορεί να μετρηθεί η θερμοκρασία του χώρου. Τα θερμίστορες είναι πιο ευαίσθητα στοιχεία και έχουν μη γραμμικά χαρακτηριστικά.

### 3.2.2 Θερμόμετρα θερμοστοιχείων

Σε ορισμένες περιπτώσεις είναι δυνατό η θερμότητα να μετατραπεί απ' ευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια ή και το αντίθετο. Θερμοηλεκτρικά φαινόμενα παρατηρούνται συνήθως εξαιτίας της διαφοράς δυναμικού που αναπτύσσεται πάντα μεταξύ δύο ανόμοιων μετάλλων σε επαφή καθώς επίσης και της κλίσης δυναμικού που αναπτύσσεται ακόμη και στο ίδιο μέταλλο, όταν υπάρχει θερμοκρασιακή διαφορά.. Έτσι αν δύο ανόμοια μέταλλα ενωθούν, ώστε να αποτελέσουν ένα κλειστό κύκλωμα (θερμοστοιχείο) και η μια επαφή διατηρείται σε διαφορετική θερμοκρασία απ' ό,τι η άλλη, θα έχουμε αυτόματα ροή ηλεκτρικού ρεύματος στο κύκλωμα (φαινόμενο Seebeck). Το μέγεθος και η φορά του ρεύματος εξαρτώνται από τα θερμοηλεκτρικά χαρακτηριστικά των δύο μετάλλων και σχετίζονται με τη θερμοκρασία των επαφών. Το εύρος θερμοκρασίας που μετρείται από ένα θερμοστοιχείο δεν θα πρέπει να περιέχει θερμοκρασίες μικρότερες από την θερμοκρασία αναστροφής.

Οι αγωγοί σύνδεσης επιτρέπουν στο όργανο μέτρησης να βρίσκεται μακριά από το θερμοστοιχείο. Οι αγωγοί αυτοί κατασκευάζονται από υλικό φθηνότερο από εκείνο του θερμοστοιχείου. Η αντίσταση ballast ενσωματώνεται στο καταγραφικό όργανο και η μεγάλη τιμή της αντίστασης σε σχέση με εκείνη του κυκλώματος του θερμοστοιχείου, έχει σαν αποτέλεσμα αλλαγή της θερμοκρασίας και επομένως μεταβολή της αντίστασης των αγωγών σύνδεσης, έτσι ώστε, να επηρεάζει ελάχιστα την ακρίβεια του συστήματος. Το όργανο μέτρησης βαθμονομείται για ορισμένη θερμοκρασία ψυχρής επαφής (0°C). Γι' αυτό το λόγο, παλαιότερα, κατά τη μέτρηση έπρεπε να διατηρείται η ψυχρή επαφή στους 0°C (π.χ. με βύθιση σε δοχείο με πάγο). Στα σύγχρονα θερμοστοιχεία αυτό δεν είναι απαραίτητο. Υπάρχουν ειδικά ηλεκτρονικά κυκλώματα αντιστάθμισης. Στα κυκλώματα αυτά, η θερμοκρασία της ψυχρής επαφής μετρείται με ενσωματωμένο θερμόμετρο αντίστασης.

Θερμοστοιχεία από βασικό μέταλλο ( Ni, Al, Cr ) χρησιμοποιούνται όποτε είναι δυνατόν, επειδή είναι ευαίσθητα, φθηνά και έχουν περίπου γραμμικά χαρακτηριστικά.

Η χρήση τους περιορίζεται σε χαμηλές σχετικά θερμοκρασίες, λόγω του χαμηλού σημείου τήξης και της τάσης τους προς οξείδωση σε μεγάλες θερμοκρασίες.

### 3.2.3 Πυρόμετρα

Τα πυρόμετρα ολικής ακτινοβολίας χρησιμοποιούνται για μετρήσεις στην περιοχή θερμοκρασιών από 700 - 2000°C. Το προτέρημά τους είναι ότι δεν έρχονται σε άμεση επαφή με το θερμό σώμα. Συλλαμβάνουν ολόκληρο το φάσμα της ακτινοβολίας του μετρούμενου σώματος και είναι βαθμονομημένα για συνθήκες μέλανος σώματος (ορισμένα έχουν ειδική ρύθμιση για επιφάνειες με  $\epsilon < 1$ ). Η ακτινοβολία που εκπέμπεται για παράδειγμα από ένα φούρνο, συγκεντρώνεται πάνω στην θερμή επαφή ενός θερμοστοιχείου ή μιας θερμοστήλης ή ενός στοιχείου αντίστασης με πλατίνα, τα οποία έχουμε μαυρίσει για να απορροφούν καλύτερα την ακτινοβολία. Οι κυριότερες πηγές σφαλμάτων κατά την χρήση των πυρομέτρων είναι:

- Η παρεμβολή αερίων, φλόγας, καπνού και ατμών μεταξύ πηγής και πυρομέτρου με αποτέλεσμα την ελαττώση της ποσότητας ακτινοβολίας που προσπίπτει στο όργανο.
- Η απορρόφηση της ακτινοβολίας (λόγω του παρεμβαλλόμενου αέρα, σκόνης κλπ.) μεταξύ του σώματος και του οργάνου.
- Η ελλιπής κάλυψη της πηγής από το οπτικό πεδίο του οργάνου
- Υπερθέρμανση του πυρομέτρου.

Υπάρχουν δύο κατηγορίες πυρομέτρων τα οπτικά και τα φωτοηλεκτρικά. Τα οπτικά πυρόμετρα βασίζονται στην αρχή ότι η ένταση της ακτινοβολίας ενός μήκους κύματος (στην περίπτωση του ορατού φωτός, ενός συγκεκριμένου χρώματος του φάσματος), είναι μια συνάρτηση της θερμοκρασίας της πηγής. Ενώ τα φωτοηλεκτρικά πυρόμετρα βασίζονται στις μεταβολές που επιφέρει το φως όταν προσπίπτει σε ορισμένα υλικά.

### 3.3 Θερμογραφία

Η θερμογραφία είναι μία μέθοδος με την οποία ανιχνεύουμε τις θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στις επιφάνειες διαφόρων υλικών. Με την μέθοδο αυτή προσδιορίζουμε και ερμηνεύουμε τις θερμοκρασιακές διαφορές που εμφανίζονται σε υλικά και εφαρμογές, εν γένει, και εξάγουμε συμπεράσματα ως προς την ορθή θερμική θωράκισή τους. Η υπέρυθρη θερμογραφία είναι μια μέθοδος που σκοπό έχει την πρόληψη και την έγκυρη επιδιόρθωση ενός προβλήματος. Οι υπέρυθρες (infrared -IR) τεχνικές χρησιμοποιούνται κοινώς σε ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών στην καθημερινή μας ζωή.

Η υπέρυθρη θερμογραφία βασίζεται στην αρχή ότι κάθε σώμα με θερμοκρασία μεγαλύτερη του απόλυτου μηδενός, εκπέμπει ενέργεια υπό τη μορφή ακτινοβολίας προς όλες τις κατευθύνσεις. Η θερμογραφία ή η υπέρυθρη φωτογράφιση, ανιχνεύει την εκπομπή θερμικής ακτινοβολίας και προκύπτει οπτική απεικόνιση του θερμικού σήματος (θερμογράφημα). Με την θερμογραφία δεν μετράται απευθείας η θερμοκρασία μιας επιφάνειας, αλλά η μεταβολή της επιφανειακής ακτινοβολίας. Έτσι οι υποεπιφανειακές ανωμαλίες στο υλικό δημιουργούν τοπικές διαφορές στην επιφανειακή θερμοκρασία προκαλούμενες από τους διαφορετικούς βαθμούς θερμικής μεταφοράς στις ζώνες που υπάρχουν ατέλειες.

Η υπέρυθρη θερμογραφία είναι μία μη καταστρεπτική τεχνική κατά την οποία μετριέται και καταγράφεται η θερμική ακτινοβολία που εκπέμπεται από την επιφάνεια ενός υλικού ή ενός σώματος, στην υπέρυθρη περιοχή του

ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Το αποτέλεσμα τέτοιων μετρήσεων είναι το θερμογράφημα, μία «θερμική» εικόνα (σε έγχρωμη ή ασπρόμαυρη μορφή) της εξεταζόμενης επιφάνειας.

Το μήκος κύματος που εκπέμπεται εξαρτάται από την θερμοκρασία. Αυξανόμενης της θερμοκρασίας το μήκος κύματος γίνεται βραχύτερο και στην περίπτωση πολύ μεγάλων θερμοκρασιών βρίσκεται στο ορατό φάσμα (π.χ. πυρακτωμένη άκρη βελόνας). Στην θερμοκρασία δωματίου το μήκος κύματος της ακτινοβολίας είναι της τάξεως των 10μm (στην υπέρυθρη περιοχή του φάσματος). Η ακτινοβολία ανιχνεύεται με κατάλληλες ανιχνευτικές διατάξεις (θερμοκάμερες), οι οποίες παράγουν ηλεκτρικό σήμα ανάλογο της προσπίπτουσας ακτινοβολίας, το οποίο με κατάλληλη βαθμονόμηση εκφράζεται σε θερμοκρασία.

Ένας πολύ σημαντικός παράγοντας που πρέπει να λαμβάνουμε υπόψη κατά τη θερμογράφιση είναι η ύπαρξη εξωτερικών θερμικών πηγών στο χώρο των μετρήσεων, όπως θερμαντικά σώματα. Έτσι μετρήσεις κάτω από πολύ δυνατή ηλιοφάνεια είναι δυσχερείς, μιας και το ποσοστό των ανακλάσεων είναι πολύ υψηλό και είναι δύσκολο να προσδιοριστεί, με αποτέλεσμα αυτό που μετράμε να μην είναι αυτό που πραγματικά εκπέμπει το σώμα. Αν και πολλές φορές, η χρήση εξωτερικών θερμικών πηγών μας βοηθάει στη λήψη καλύτερων αποτελεσμάτων. Αντίστοιχα, μετρήσεις κάτω από ισχυρή ψύξη (ισχυροί άνεμοι, σώματα κλιματισμού) μας οδηγούν σε εσφαλμένη εκτίμηση της θερμοκρασιακής κατάστασης του σώματος λόγω της βεβιασμένης ψύξης του.

### 3.3.1 Κατηγορίες θερμογραφίας

Η υπέρυθρη θερμογραφία διαιρείται σε δύο τεχνικές, την *ενεργητική* και την *παθητική* θερμογραφία.

Η παθητική θερμογραφία εξετάζει τα υλικά και τις δομές που σε φυσιολογικές συνθήκες παρουσιάζουν διαφορετική θερμοκρασία από το περιβάλλον, ενώ στην περίπτωση της ενεργητικής θερμογραφίας είναι απαραίτητο ένα εξωτερικό ερέθισμα για να προκαλέσει τις σχετικές θερμοκρασιακές διαφορές που σε φυσιολογικές συνθήκες δεν υπάρχουν.

Η παθητική θερμογραφία είναι ευρέως χρησιμοποιούμενη σε πλήθος εφαρμογών της βιομηχανίας, της προληπτικής συντήρησης, ιατρικής, δασικής πυρανίχνευσης, γεωργίας, βιολογίας, ανίχνευσης αερίων και στη μη καταστρεπτική δοκιμή. Σε όλες αυτές τις εφαρμογές, εντοπίζονται ασυνήθιστες θερμοκρασίες σε σχέση με το περιβάλλον και υποδεικνύουν σημεία που πιθανόν χρήζουν προσοχής.

Αντίθετα στην ενεργητική θερμογραφία, ένα εξωτερικό ερέθισμα απαιτείται για να παράγει τις σχετικές διαφορές θερμοκρασίας που σε φυσιολογικές συνθήκες δεν υπάρχουν. Η γνώση των χαρακτηριστικών αυτού του εξωτερικού ερεθίσματος επιτρέπει ποσοτικούς χαρακτηρισμούς, όπως παραδείγματος χάριν το βάθος της ανιχνευμένης ατέλειας. Ανάλογα με το είδος του εξωτερικού ερεθίσματος έχουν αναπτυχθεί τα εξής είδη ενεργητικής θερμογραφίας:

- *θερμογραφία παλμού*, όπου το ερέθισμα είναι ένας παλμός (κυρίως για λεπτά υλικά-πρόσκαιρη θερμογράφιση)
- *θερμογραφία βήματος*, όπου το ερέθισμα είναι ένα τετραγωνικό κύμα είτε σε μορφή βήματος είτε σε περιοδική διαδικασία.

- *Lockin θερμογραφία*, όπου ένα κύμα χαμηλής συχνότητας παράγεται στην επιφάνεια του δείγματος χρησιμοποιώντας μια προσαρμοσμένη λάμπα, ώστε αυτό το κύμα να πολλαπλασιάζεται και να διαχέεται μέσα σε όλο το υλικό.
- *Viobrothermography*, όπου το ερέθισμα είναι μηχανικές δονήσεις που εφαρμόζονται πάνω στο σώμα σε σταθερές συχνότητες.

Γενικά η παθητική θερμογραφία είναι απλούστερη και πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη, από την άλλη όμως, η ενεργητική θερμογραφία επεμβαίνει σε περιπτώσεις όπου η παθητική θερμογράφηση είναι αδύνατη, ενώ επίσης μας παρέχει τη δυνατότητα για ποσοτικούς προσδιορισμούς του σφάλματος.

### 3.3.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της θερμογραφίας

Κάθε μη καταστρεπτική τεχνική έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά της. Στην περίπτωση της υπέρυθρης θερμογραφίας, τα πλεονεκτήματα είναι τα ακόλουθα:

- γρήγορη επιθεώρηση μεγάλων επιφανειών (μέχρι μερικά  $m^2$  κάθε φορά)
- ανίχνευση μη ορατών σφαλμάτων και εντοπισμός τους με ακρίβεια
- επιθεώρηση χωρίς επαφή με το υπό εξέταση αντικείμενο
- έγκαιρος εντοπισμός αστοχίας που συντελεί στην πρόγνωση ανεπιθύμητων καταστάσεων
- η ασφάλεια του προσωπικού (δεδομένου ότι δεν υπάρχει καμία σχετικά επιβλαβής ακτινοβολία)
- αποτελεσματικότερη συντήρηση
- τα αποτελέσματα είναι σχετικά εύκολο να μελετηθούν δεδομένου ότι οι εικόνες μπορούν να υποβληθούν σε επεξεργασία για να εξαχθούν περισσότερες πληροφορίες
- ευρεία έκταση των εφαρμογών
- είναι ίσως το μοναδικό εργαλείο επιθεώρησης σε κάποιες περιπτώσεις.
- προσφέρει στον εκάστοτε πελάτη τη δυνατότητα οπτικοποίησης των προβλημάτων και όχι απλώς μιας γραπτής αναφοράς
- καθιστά γνωστές τις πραγματικά απαραίτητες διορθωτικές ενέργειες ώστε να δοθεί προτεραιότητα στις πιο απαραίτητες εξ' αυτών
- ανταγωνιστικό κόστος λαμβάνοντας υπόψη αυτά που προσφέρει σε σχέση με άλλες μεθόδους ενεργειακής επιθεώρησης
- δυνατότητα ενεργειακού ελέγχου κτιρίων πριν την αγορά τους

Από την άλλη, υπάρχουν μερικά μειονεκτήματα όπως:

- δυσκολία απόκτησης μιας γρήγορης, ομοιόμορφης και ιδιαίτερα ενεργητικής θερμικής διέγερσης πάνω σε μια μεγάλη επιφάνεια.
- επίδραση των θερμικών απωλειών (εκ μεταφοράς, ακτινοβολίας) που συνήθως προκαλούν ψεύτικες μεταβολές θερμοκρασίας και έχουν επιπτώσεις στην αξιοπιστία της μέτρησης.
- δυνατότητα επιθεώρησης ενός περιορισμένου πάχους υλικού κάτω από την επιφάνεια

### **3.3.3 Εφαρμογές υπέρυθρης θερμογραφίας**

Η υπέρυθρη θερμογραφία είναι ένα πολύτιμο εργαλείο με πολλαπλές εφαρμογές. Αποτελεί την κυριότερη και αποτελεσματικότερη μέθοδο μη καταστρεπτικού ελέγχου (Non-Destructive Inspection). Καθημερινά νέοι και πρωτοποριακοί τρόποι χρήσης και εφαρμογής της αναπτύσσονται. Η θερμογραφία μπορεί να εφαρμοστεί σε κάθε περίπτωση, όπου ένα πρόβλημα ή κατάσταση γίνεται αντιληπτό δια μέσου της θερμοκρασιακής διαφοράς στην επιφάνεια ενός σώματος. Αποτελεί μια τεχνική στην οποία το αόρατο γίνεται πλέον ορατό. Η μέτρηση της επιφανειακής θερμοκρασίας των σωμάτων μας δίνει την δυνατότητα να αποκτήσουμε πληροφορίες τόσο για την επιφάνεια όσο και για υλικά κάτω απ' αυτήν. Η υπέρυθρη θερμογραφία αποτελεί μια τεχνική με ξεχωριστά πλεονεκτήματα και εφαρμογές. Επιγραμματικά οι σημαντικότερες χρήσεις της υπέρυθρης θερμογραφίας σήμερα είναι οι παρακάτω:

#### **3.3.3.1 Ιατρική**

Χρησιμοποιείται για την ανίχνευση του καρκίνου του μαστού, αναπνευστικών ασθενειών και της αρθρίτιδας. Εφαρμόζεται, επίσης, για τον εντοπισμό και την εκτίμηση τραυματισμών αθλητών καθώς και για την αποθεραπεία τους. Είναι επιπλέον χρήσιμη στην οδοντιατρική για τον έλεγχο της σωστής δομής και λειτουργίας των σαγονιών, στη θερμική αγγειογραφία της στεφανιαίας αρτηρίας, στη διάγνωση αλλεργικών αντιδράσεων και στον εντοπισμό όγκων.

#### **3.3.3.2 Περιβάλλον**

Η χρήση υπέρυθρης θερμοκάμερας σε περιβαλλοντικές επιθεωρήσεις συντελεί στον εντοπισμό των περιοχών διάθεσης αποβλήτων καθώς και των παλαιών θαμμένων δεξαμενών στις βιομηχανικές περιοχές. Χρησιμεύει στην θερμική καταγραφή των υγρών αποβλήτων και την καταγραφή ρύπανσης σε βιομηχανικές και αστικές περιοχές. Εντοπίζει και ελέγχει τις διαρροές πετρελαίου σε εργοστάσια και πλοία.

#### **3.3.3.3 Αεροδιαστημική**

Χρησιμεύει στην ανίχνευση και τον εντοπισμό σημείων εισροής νερού ή αέρα στην καμπίνα του αεροσκάφους καθώς και πιθανών ρωγμών και διαβρώσεων στην εσωτερική και εξωτερική επιφάνειά του. Χρησιμοποιείται, επίσης, στην επιθεώρηση της μηχανής, των φρένων και των άλλων μηχανολογικών και ηλεκτρονικών του αεροσκάφους.

#### **3.3.3.4 Πετροχημικές εφαρμογές**

Η υπέρυθρη θερμογραφία βρίσκει εφαρμογές και στα διυλιστήρια. Συγκεκριμένα εφαρμόζεται για την αξιολόγηση των εγκαταστάσεων, της μόνωσης των καυστήρων και την ανίχνευση διαρροών. Επίσης, μας προσφέρει την δυνατότητα να επιθεωρήσουμε γρήγορα και με μεγάλη ακρίβεια τις σωληνώσεις, να αναλύσουμε και να αξιολογήσουμε την καύση, καθώς και την ποιότητα και την αποτελεσματικότητα των εναλλακτών θερμότητας.



### **3.3.3.5 Ηλεκτρονικός εξοπλισμός**

Η υπέρυθη θερμογράφηση σε συνδυασμό με την σωστή ερμηνεία των θερμογραφήματων αποτελεί ένα ιδιαίτερα σημαντικό όπλο στα χέρια έμπειρων θερμογράφων για την επιθεώρηση και την αξιολόγηση υβριδικών μικροκυκλωμάτων. Μας δίνει την δυνατότητα για την ηλεκτρική και θερμική επιθεώρηση των συγκολλήσεων και των ενώσεων των διάφορων στοιχείων πάνω σε ένα κύκλωμα, την αξιολόγησή τους και την ανίχνευση πιθανών σφαλμάτων. Χρησιμοποιείται για τη θερμική χαρτογράφηση των ημιαγωγών.

### **3.3.3.6 Ποικίλες εφαρμογές**

Ανιχνεύει την υπερθέρμανση στις κεραίες, τους οδηγούς κυμάτων, τα καλώδια και τις δομές πλαισίων. Χρησιμοποιείται από τις αρχές για τον εντοπισμό αγνοουμένων ενώ έχει εφαρμογή στην πυρόσβεση, καθώς εντοπίζει τις πυρκαγιές χαμηλής έντασης (προλαβαίνοντας τυχόν επέκτασή τους) σε δασικά εδάφη και ανθρώπους σε φλεγόμενα κτίρια συνδράμοντας σημαντικά στην έγκαιρη διάσωσή τους. Εφαρμόζεται και στην οδοποιία, καθώς εντοπίζει τις μη ομοιόμορφες πυκνότητες στην καυτή επίστρωση των διαφόρων μιγμάτων της ασφάλτου.

### **3.3.3.7 Κτιριακές εγκαταστάσεις**

Βρίσκει εφαρμογή στην θερμική επιθεώρηση των κτιριακών εγκαταστάσεων προσδιορίζοντας την θερμική κατάσταση τους, τις διαρροές αέρα, τις απώλειες θερμότητας και ενέργειας. Επιπλέον, συμβάλει στον άμεσο και ακριβή εντοπισμό της ελλιπούς ή κατεστραμμένης μόνωσης, της υγρασίας, των διαρροών νερού, των ατελειών και πιθανών κοιλοτήτων στα τοιχώματα και τις οροφές των κτιρίων, παρέχοντάς μας την δυνατότητα να επισκευάσουμε το όποιο πρόβλημα προτού αυτό επεκταθεί.

Χρησιμοποιείται επίσης ευρέως στον προσδιορισμό της ευστάθειας του σκυροδέματος, την ανίχνευση και τον εντοπισμό καλωδίων και σωληνώσεων θέρμανσης που εκπέμπουν ακτινοβολία, διαφορετικών υλικών μέσα σε μία κατασκευή και επιφανειακών ανωμαλιών στα υλικά, ακόμα και την ανίχνευση στηριγμάτων ξυλείας και γενικά την ανίχνευση κατασκευαστικών ελαττωμάτων.

Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά τρεις ιδιαίτερα χρήσιμες εφαρμογές της θερμογραφίας στις κτιριακές εγκαταστάσεις:

#### **3.3.3.7.1 Θερμογέφυρες**

Οι θερμογέφυρες είναι συνδέσεις σε σημεία όπου η μόνωση δεν είναι συνεχής γεγονός που προκαλεί την απώλεια θερμότητας. Συγκεκριμένα, εμφανίζονται στα κτιριακά κελύφη όταν υπάρχει κενό μεταξύ των υλικών (σχετικά υψηλής θερμικής αγωγιμότητας υλικά, όπως ο χάλυβας και το σκυρόδεμα) και της επιφάνειας του κτιρίου, οπότε δημιουργείται ένα είδος 'δρόμου' για απώλεια θερμότητας παρά την ύπαρξη θερμομόνωσης σε κάποιες περιπτώσεις. Η θερμότητα ακολουθεί το ευκολότερο μονοπάτι από το θερμό μέρος προς τα έξω – το μονοπάτι με τη μικρότερη αντίσταση. Αυτό είναι και η λεγόμενη θερμογέφυρα, δηλαδή ένα θερμικά αγωγίμο υλικό το οποίο διαπερνά ή παρακάμπει ένα σύστημα μόνωσης όπως ένας σύνδεσμος μετάλλων, μια δοκάμια πλάκα ή μια κολώνα. Αυτή η επίδραση είναι ιδιαίτερα

σημαντική στα κρύα κλίματα κατά τη διάρκεια του χειμώνα όταν η διαφορά εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας είναι πολύ μεγάλη.

Για τον εντοπισμό τους προσδιορίζονται οι κατανομές των θερμοκρασιών στις επιφάνειες του κελύφους του κτιρίου. Στο κέλυφος του κτιρίου υπάρχουν τμήματα ή δομικά στοιχεία, όπου ο συντελεστής θερμοπερατότητας, ο οποίος γενικά είναι ομοιόμορφος, μεταβάλλεται κατά αισθητό τρόπο, από τις παρακάτω αιτίες :

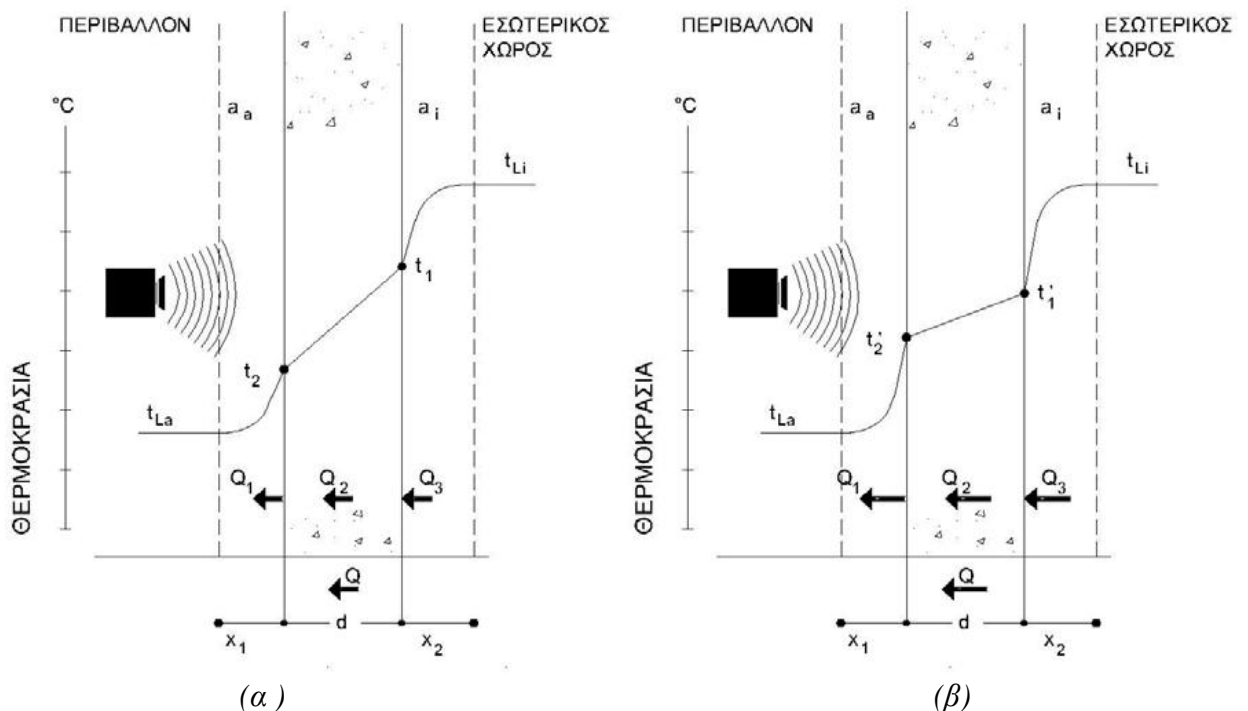
- α. Ολική ή μερική παρεμβολή στο ομοιογενές τμήμα του κελύφους ενός στοιχείου με διαφορετική θερμική αγωγιμότητα.
- β. Αλλαγή πάχους σε κάποιο χαρακτηριστικό τμήμα του κελύφους.
- γ. Ύπαρξη διαφοράς όγκων μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής πλευράς, όπως αυτό συμβαίνει σε γωνιακές συναντήσεις διάφορων στοιχείων.

Σε μέρη του κτιριακού κελύφους, όπου ο συντελεστής θερμοπερατότητας είναι αυξημένος, οι εξωτερικές επιφανειακές θερμοκρασίες είναι πολύ μεγαλύτερες από τις θερμοκρασίες αντίστοιχων στοιχείων και τείνουν να πλησιάσουν, τη χειμερινή περίοδο, τη θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα.

Στα στοιχεία αυτά γίνεται μια γρήγορη γεφύρωση της ροής θερμότητας μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος, εφόσον δεν υπάρχει θερμομονωτικό στοιχείο να την διακόπτει. Έχει επικρατήσει τα στοιχεία, στα οποία παρουσιάζονται αυτές οι διαταραχές στη ροή θερμότητας να ονομάζονται θερμικές γέφυρες. Η ολική ποσότητα της θερμότητας, η οποία μεταδίδεται από τον εσωτερικό χώρο μέσα από τα μέλη κατασκευής στο εξωτερικό περιβάλλον είναι(σχέση 3.1.3.7.1-1) :

$$Q_{ολ} = Q_1 = Q_2 = Q_3 = h * A * (t_2 - t_{La}) \quad (3.1.3.7.1-1)$$

όπου  $h$  :συντελεστής θερμικής μεταβίβασης στην εξωτερική πλευρά ,  $t_2$ :θερμοκρασία της εξωτερικής επιφάνειας και  $t_{La}$ :θερμοκρασία περιβάλλοντος

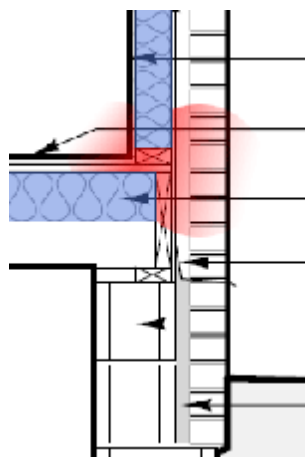


Σχήμα 3.3.3.7.1-1 Μετάδοση θερμότητας μέσω ενός δομικού στοιχείου  
 α)σε κανονικές συνθήκες β)στην περίπτωση της θερμογέφυρας

Στο σχήμα 3.3.3.7.1-1(α) αποδίδεται η θερμοκρασιακή κατανομή σε σημείο του κτιριακού κελύφους με την κατάλληλη θερμομόνωση. Στο σχήμα 3.3.3.7.1-1(β) αποδίδεται η θερμοκρασιακή κατανομή σε άλλο σημείο, όπου υπάρχει θερμική γέφυρα. Η ύπαρξη της θερμικής γέφυρας διαπιστώνεται από το γεγονός ότι η θερμοκρασιακή διαφορά  $t'_2 - t_{La}$  είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη  $t_2 - t_{La}$ , όπως φαίνεται από τη σύγκριση των διαγραμμάτων στα σχήματα 3.3.3.7.1-1(β) και 3.3.3.7.1-1(α) αντιστοίχως.

Η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια αλλοιώνει τα αποτελέσματα των μετρήσεων. Για το λόγο αυτό προτιμώνται τα νυχτερινά θερμογραφήματα. Όμως, τις ημέρες τις οποίες έχουμε χαμηλές θερμοκρασίες και μικρή ηλιοφάνεια λαμβάνονται αξιόπιστα αποτελέσματα. Οι καλοκαιρινοί μήνες δεν είναι κατάλληλοι για τη διεξαγωγή μετρήσεων λόγω της έντονης ηλιακής ακτινοβολίας κατά τις πρωινές ώρες και της αποθηκευμένης θερμότητας, η οποία εκπέμπεται από τα υλικά κατά τις νυχτερινές ώρες. Τους καλοκαιρινούς μήνες είναι δύσκολο να ληφθούν μετρήσεις, οι οποίες να οδηγήσουν στην εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων σχετικά με τις θερμικές γέφυρες μιας κατασκευής. Αύξηση της θερμοκρασίας στην εξωτερική πλευρά σε ομοιογενή τοίχο, κατά τους χειμερινούς μήνες, προκύπτει και όταν έχει αποκολληθεί ή διαβραχεί η μόνωση, με αποτέλεσμα να μειώνεται η θερμομονωτική ικανότητα του μονωτικού στρώματος

Μια κοινή θερμική γέφυρα σε κατοικημένες κατασκευές εμφανίζεται στις διασταυρώσεις τοίχου-ταβανιού και τοίχου-πατώματος, όπου οι ξύλινες συνδέσεις στηριγμάτων είναι ανεπαρκώς μονωμένες όπως φαίνεται στο σχήμα 3.1.3.7.1-2.



Σχήμα 3.3.3.7.1-2 Φαινόμενο θερμογέφυρας στις συνδέσεις κτιρίου

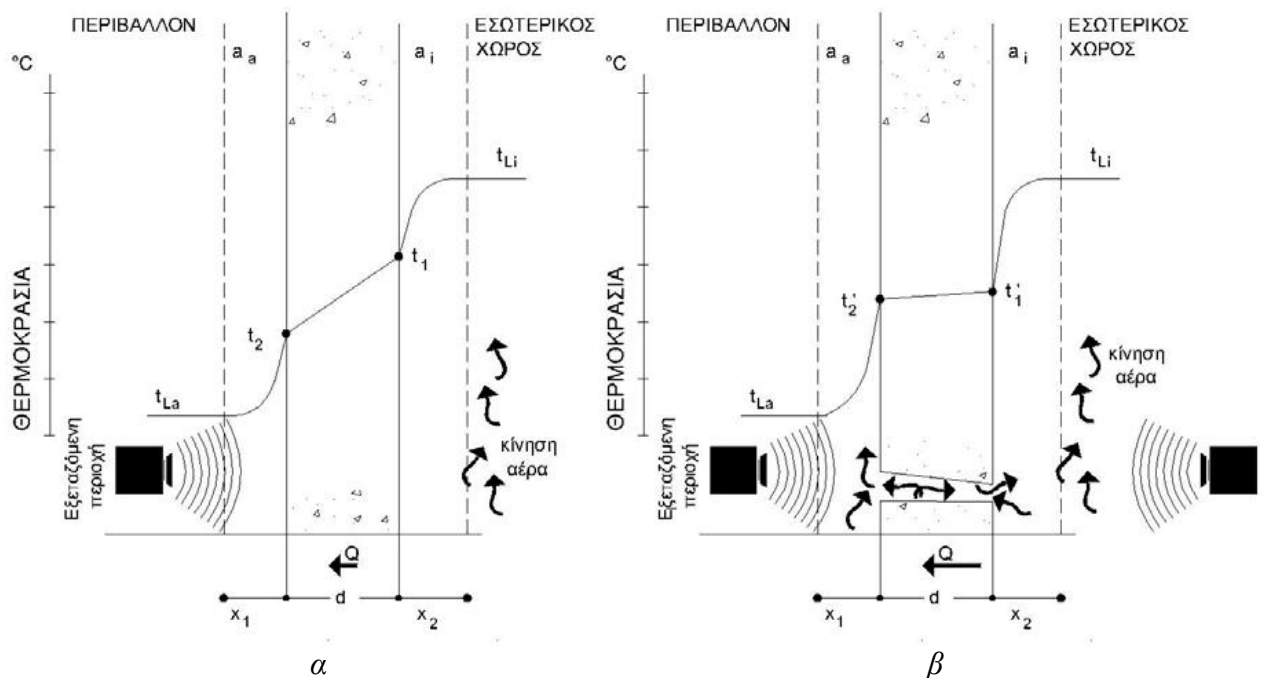
Επίσης, η θερμογέφυρα μπορεί να δημιουργηθεί σε όλων των ειδών τις συνδέσεις που μπορεί να υπάρχουν σε ένα κτίριο: συνδέσεις όψεων και πατωμάτων, κάθετων τοίχων σε αυτές, στεγών και χαμηλότερων ορόφων. Επίσης, εμφανίζονται κάθε φορά που υπάρχει κάποια τρύπα (πόρτες, παράθυρα), αλλά και σε όλα τα κτίρια από μέταλλο. Αυτού του είδους οι θερμογέφυρες ποικίλουν σε σημασία ανάλογα με τον τύπο του τοίχου ή της στέγης (μονωμένων ή μη).

Το φαινόμενο της θερμογέφυρας μπορεί να οδηγήσει σε μια υψηλότερη ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ εσωτερικού και του εξωτερικού - απώλεια θερμότητας ή διείσδυση αέρα, ανάλογα με το κλίμα και έτσι σε απώλεια θερμότητας και μείωση στη ενεργειακή αποδοτικότητα του κτιρίου. Γι' αυτό είναι σημαντικό σε χαμηλής

ενεργειακής κατανάλωσης κτίρια να υπάρχουν υψηλές αντιστάσεις στους τοίχους, ενώ οι στέγες πρέπει να έχουν χαμηλές ενεργειακές απώλειες μέσω των συνδέσεων.

### 3.3.3.7.2 Διαρροή αέρα

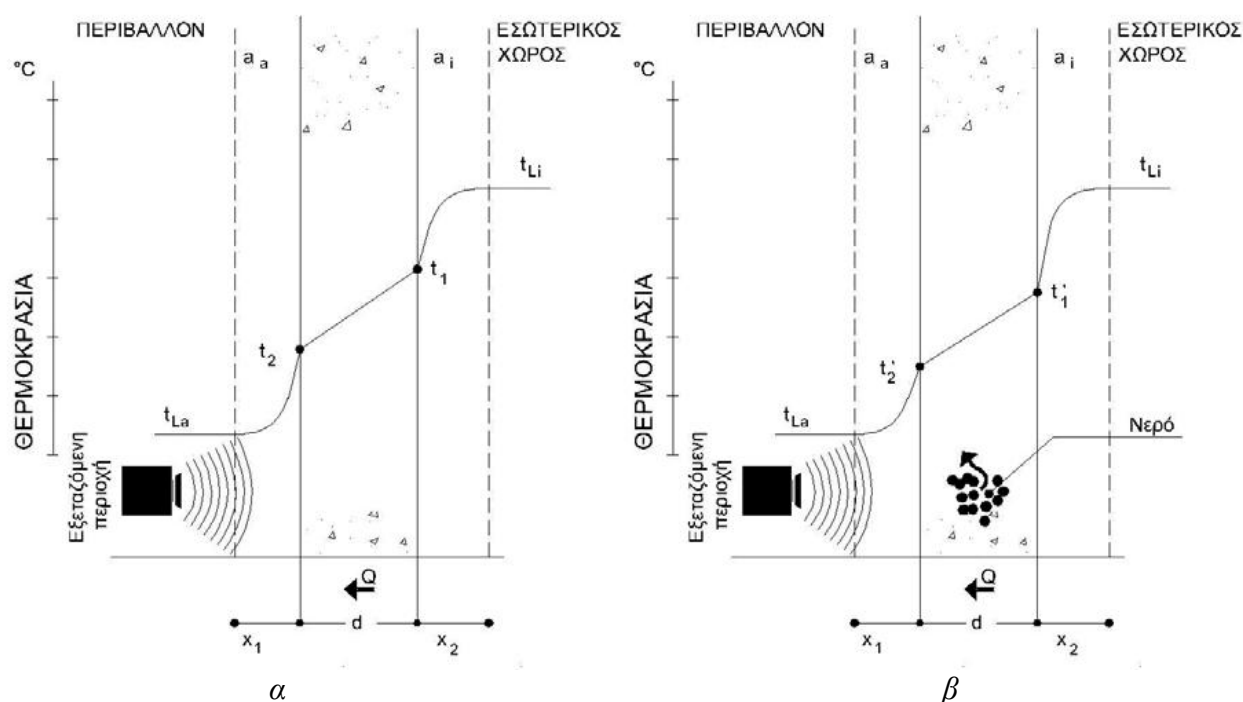
Μια συνηθισμένη εφαρμογή της θερμογραφίας είναι ο εντοπισμός ενδεχόμενης διαρροής αέρα από την κατασκευή. Ανάλογα με τις σχετικές πιέσεις του αέρα, οι οποίες επικρατούν στο εσωτερικό και στο εξωτερικό του κτιριακού κελύφους, υπάρχει μετακίνηση του αέρα από χαραμάδες ή οπές. Η μετακίνηση του αέρα από το εσωτερικό προς το εξωτερικό μέρος του κελύφους μεταφέρει θερμότητα από το εσωτερικό του κτιρίου προς το εξωτερικό περιβάλλον. Η θερμότητα αυτή εμφανίζεται ως θερμοκρασιακή ανομοιομορφία κοντά σε χαραμάδες ή οπές του κελύφους, αφού τα τμήματα των υλικών, όπου κοντά τους παρατηρείται η διαρροή αέρα, θερμαίνονται λόγω της μεταφοράς θερμότητας. Δηλαδή, στο σημείο της διαρροής αέρα το εξωτερικό τμήμα του τοίχου είναι περισσότερο θερμό από την υπόλοιπη τοιχοποιία, ενώ το αντίστοιχο εσωτερικό τμήμα του τοίχου, δηλαδή η εσωτερική πλευρά του τοίχου, παρουσιάζει μικρότερη θερμοκρασία από την υπόλοιπη τοιχοποιία. Χαρακτηριστικά σημεία τέτοιας διαφυγής αέρα είναι οι αρμοί των κουφωμάτων των παραθύρων και οι αρμοί μεταξύ στέγης και τοιχοποιίας. Οι διαρροές θερμού αέρα παρουσιάζονται στα θερμογραφήματα συνήθως σε διάταξη γραμμής στην εξωτερική πλευρά του κελύφους. Στο σχήμα 3.3.3.7.2-1(α) αποδίδεται η θερμοκρασιακή κατανομή σε σημείο του κτιριακού κελύφους με την κατάλληλη θερμομόνωση. Στο σχήμα 3.3.3.7.2-1(β) αποδίδεται η θερμοκρασιακή κατανομή σε άλλο σημείο, όπου υπάρχει διαρροή αέρα. Η διαρροή διαπιστώνεται από το γεγονός ότι στο σημείο αυτό οι θερμοκρασίες  $t_1'$  και  $t_2'$  της εσωτερικής και της εξωτερικής επιφάνειας του κελύφους, στο σχήμα 3.3.3.7.2-1(β), είναι σχεδόν ίσες.



Σχήμα 3.3.3.7.2-1 Μετάδοση θερμότητας μέσω ενός δομικού στοιχείου  
α)σε κανονικές συνθήκες β)στην περίπτωση διαρροής αέρα

### 3.3.3.7.3 Εντοπισμός νερού

Με την θερμογραφία είναι δυνατόν να εντοπιστεί η ύπαρξη νερού ή υγρασίας σε δομικά υλικά. Συνήθως, το νερό βρίσκεται στο περιβάλλον σε διαφορετική θερμοκρασία από τα συνήθη υλικά, επειδή έχει μεγάλη θερμοχωρητικότητα. Η κίνηση του νερού στους πόρους των υλικών προκαλεί θερμοκρασιακές διαφορές στην επιφάνειά τους, επειδή κατά τις πρωινές ώρες ή κατά τις πρώτες βραδινές, το νερό βρίσκεται σε διαφορετική θερμοκρασία από τη θερμοκρασία του υλικού. Αυτό συμβαίνει γιατί το νερό λόγω της μεγάλης θερμοχωρητικότητάς του καθυστερεί να προσαρμόσει την θερμοκρασία του στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, στο οποίο βρίσκεται, στην συγκεκριμένη περίπτωση μέσα στο υλικό. Εξαιτίας αυτού ανιχνεύεται η ύπαρξη του νερού μέσα στα υλικά με θερμογραφήματα.

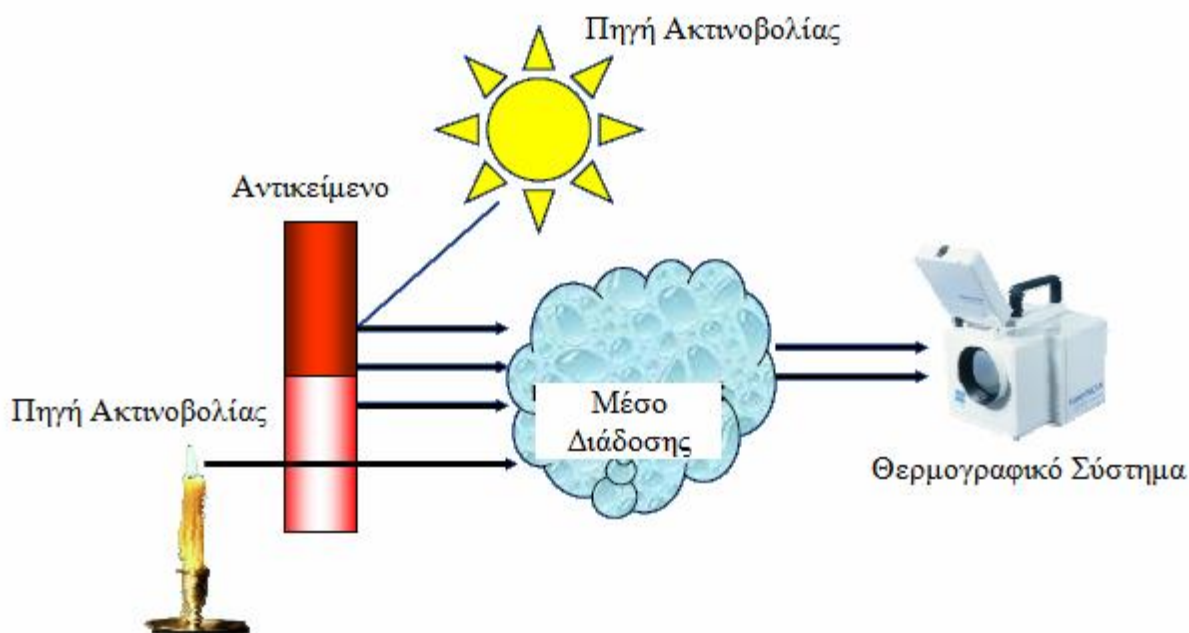


Σχήμα 3.3.3.7.3-1 Μετάδοση θερμότητας μέσω ενός δομικού στοιχείου  
α)σε κανονικές συνθήκες β)στην περίπτωση εντοπισμού νερού

Στο σχήμα 3.3.3.7.3-1(α) αποδίδεται η θερμοκρασιακή κατανομή σε σημείο του κτιριακού κελύφους με την κατάλληλη θερμοκρασία. Στο σχήμα 3.3.3.7.3-1(β) αποδίδεται η θερμοκρασιακή κατανομή σε άλλο σημείο, όπου υπάρχει νερό. Η ύπαρξη του νερού μέσα στο υλικό διαπιστώνεται από το γεγονός ότι κατά τις πρωινές ώρες η θερμοκρασιακή διαφορά  $t'_2 - t_{La}$  είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη  $t_2 - t_{La}$ , όπως φαίνεται από τη σύγκριση των διαγραμμάτων στα σχήματα 3.3.3.7.3-1(β) και 3.3.3.7.3-1(α) αντιστοίχως, ενώ μετά την εξισορρόπηση θερμοκρασίας οι δύο αυτές θερμοκρασιακές διαφορές είναι ίσες.

## 4.ΘΕΡΜΟΚΑΜΕΡΑ

Ένα θερμογραφικό σύστημα (σχήμα 4-1) ανιχνεύει τα φωτόνια που διαφεύγουν από το υπό εξέταση αντικείμενο. Φωτόνια γεννώνται σε όλο τον όγκο του σώματος, αλλά η πιθανότητα να διαφύγουν του σώματος αυξάνεται όσο πιο κοντά στην επιφάνεια γεννώνται, γι' αυτό και συχνά η θερμογραφία αναφέρεται ως επιφανειακό φαινόμενο αν και στη πραγματικότητα είναι ογκομετρικό.



Σχήμα 4-1 Θερμογραφικό απεικονιστικό σύστημα

Ένας υπέρυθρος θερμικός απεικονιστής είναι μια φωτογραφική μηχανή που ανιχνεύει την ηλεκτρομαγνητική ενέργεια που ακτινοβολείται στην υπέρυθρη (IR) φασματική ζώνη από ένα αντικείμενο (του οποίου η θερμοκρασία πρέπει να μετρηθεί) και την μετατρέπει σε ένα ηλεκτρονικό σήμα. Συγκεκριμένα η ενέργεια ακτινοβολείται από το αντικείμενο μέσω ενός μέσου (συνήθως τον αέρα) και εν συνεχεία προσλαμβάνεται από το αισθητήριο σύστημα, όπου περνά πρώτα απ' τον φακό, το φίλτρο και τελικά καταλήγει σ' έναν υπέρυθρο ανιχνευτή ή σ' έναν εστιακό αισθητήρα σειράς (Focal Plane Array -FPA), ο οποίος μετατρέπει την ακτινοβολία σε ηλεκτρονικό σήμα. Τα υπέρυθρα συστήματα πρώτης γενιάς, που είναι εξοπλισμένα με έναν απλό ενιαίο ανιχνευτή, χρησιμοποιούν επίσης έναν επιπλέον μηχανισμό scanning και για αυτόν τον λόγο καλούνται συμβατικά υπέρυθρα ραδιόμετρα ανίχνευσης (IR Scanning Radiometer-IRSR). Αντίθετα οι υπέρυθρες φωτογραφικές μηχανές με αισθητήρια στοιχεία FPA, αν και δεν περιλαμβάνουν μηχανισμό σκαναρίσματος, εντούτοις μας παρέχουν εικόνες αντίστοιχες με αυτές από ηλεκτρονικό σκανάρισμα, γι' αυτό και αναφέρονται συνήθως ως IRSR.

Στην πραγματικότητα, οι υπέρυθροι ανιχνευτές εκτελούν μετρήσεις σε δύο διαφορετικές περιοχές της υπέρυθρης ζώνης: στην περιοχή μικροκύματος (short wave-SW) και σ' αυτήν των μακρών κυμάτων (long wave-LW). Η επιλογή της κατάλληλης φασματικής ζώνης (SW ή LW) εξαρτάται από διαφορετικούς παράγοντες. Μερικές επιφάνειες έχουν υψηλότερη ικανότητα ακτινοβολίας στην

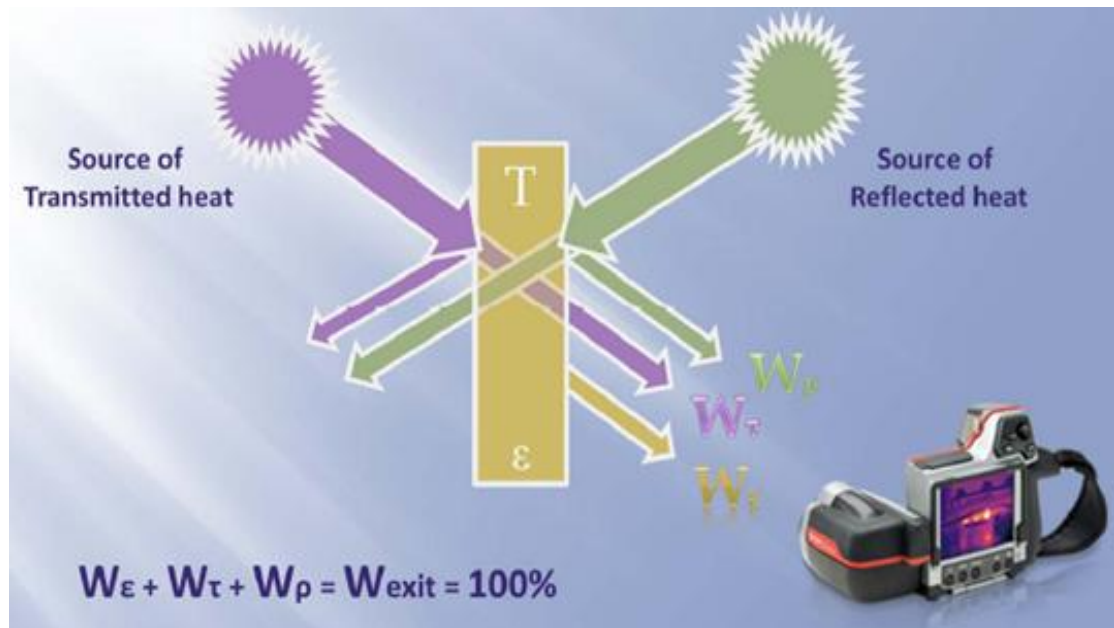
περιοχή SW.Εντούτοις, παρά το σχετικά υψηλό ατμοσφαιρικό συντελεστή μετάδοσης, συνήθως η περιοχή SW μας παρέχει μετρήσεις υψηλότερης ακριβείας για αποστάσεις μεγαλύτερες του ενός μέτρου. Από την άλλη στην περιοχή των μικροκυμάτων (LW) λόγω των υψηλών θερμικών διαφορών που παρουσιάζονται επιτυγχάνονται καλύτερες αποδόσεις των θερμογραφικών συστημάτων.

Οι περισσότερες εφαρμογές της υπέρυθρης θερμογραφίας χρησιμοποιούν μια υπέρυθρη κάμερα συνδεδεμένη με ένα υπέρυθρο ανιχνευτή που απεικονίζει τις διαφορές θερμικής ακτινοβολίας.Σύγχρονα θερμικά συστήματα χρησιμοποιούν αλγορίθμους για να παρέχουν ακριβή χαρακτηρισμό των ατελειών.

#### **4.1 Ακτινοβολίες στη θερμοκάμερα**

Η θερμοκάμερα είναι μια συσκευή που σχηματίζει εικόνα χρησιμοποιώντας υπέρυθρη ακτινοβολία και είναι παρεμφερής με την κοινή κάμερα, η οποία σχηματίζει εικόνα χρησιμοποιώντας την ορατή ακτινοβολία. Αντί της περιοχής των 450-750 nm της κάμερας ορατούς ακτινοβολίας, οι υπέρυθρες κάμερες λειτουργούν σε μήκη κύματος της τάξεως των 14000nm. Η ανίχνευση της εκπομπής της θερμικής ακτινοβολίας των σωμάτων οδηγεί στην οπτική απεικόνιση του θερμικού σήματος (θερμογράφημα).

Οι θερμογραφικές κάμερες (ή θερμοκάμερες) μετρούν την υπέρυθρη ακτινοβολία, την οποία εκπέμπει κάθε σώμα και η οποία εξαρτάται από το συντελεστή εκπομπής του και από τη θερμοκρασία του (συγκεκριμένα αυξάνεται όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία του), και την αντιστοιχίζουν με τις σημειακές επιφανειακές θερμοκρασίες του σώματος. Έτσι, η εκπεμπόμενη ή ανακλώμενη από την επιφάνεια ενός σώματος ακτινοβολία συλλαμβάνεται από την κάμερα υπέρυθρης ακτινοβολίας και μετατρέπεται σε ορατή έγχρωμη εικόνα σε μια οθόνη, όπου σε κάθε χρώμα αντιστοιχεί ένα καθορισμένο πεδίο θερμοκρασιών, επιτρέποντας έτσι την απευθείας διάγνωσή τους. Η ένδειξη της θερμοκρασίας του σώματος εξαρτάται από ορισμένους συντελεστές της κάμερας, αλλά και από το συντελεστή εκπομπής της επιφάνειας του σώματος και το χρωματισμό του.



Σχήμα 4.1-1 Ακτινοβολίες που προσπίπτουν στο φακό της θερμοκάμερας  
,  $W_{\epsilon}$  : ακτινοβολία του σώματος λόγω θερμοκρασίας,  $W_{\tau}$  : ακτινοβολία που ανακλάται  
από το σώμα,  $W_{\rho}$  : ακτινοβολία που διαπερνά το σώμα

Οι θερμοκάμερες αθροίζουν το σύνολο των ηλεκτρομαγνητικών ακτινοβολιών που φτάνουν στο φακό και με μια μαθηματική παραμετροποίηση μας αποδίδουν την θερμική απεικόνιση της (σχήμα 4.1-1).

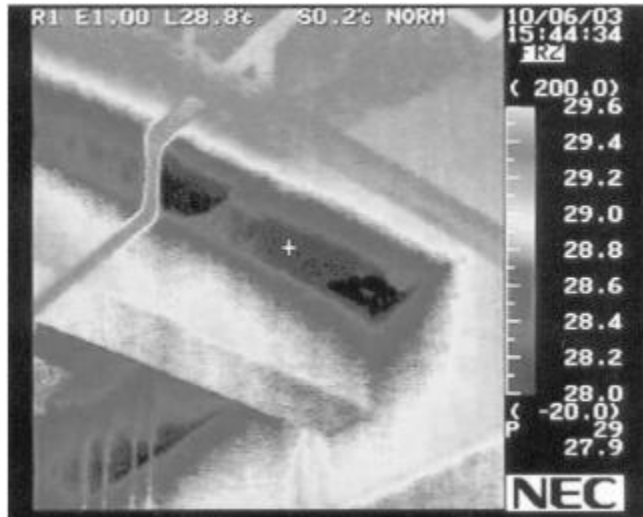
Οι ακτινοβολίες αυτές προέρχονται:

- Από μια πηγή που βρίσκεται πίσω από το σώμα και δύναται να διαπεράσει το σώμα, εάν αυτό έχει την ιδιότητα αυτή,  $W_{\tau}$  (ένα μέρος της ακτινοβολίας διαπερνά και το υπόλοιπο ανακλάται).
- Από μια πηγή που βρίσκεται απέναντι από το σώμα και ανακλάται προς τη κάμερα  $W_{\rho}$  (ενώ ένα μέρος της ακτινοβολίας διαπερνά το σώμα).
- Την ακτινοβολία που εκπέμπει το ίδιο το σώμα λόγω της ενεργειακής κατάστασης στην οποία βρίσκεται  $W_{\epsilon}$ .

## 4.2 Μονοχρωματική και έγχρωμη εικόνα

Στην οθόνη της θερμοκάμερας εμφανίζεται μια γραφική εικόνα που απεικονίζει την κατανομή θερμοκρασιών στις εκάστοτε επιφάνειες και μάλιστα με δυνατότητα να εντοπίζει θερμοκρασιακές διακυμάνσεις της τάξεως των 0,1 K. Οι εικόνες από τις υπέρυθρες κάμερες μπορούν να είναι μονοχρωματικές, όταν σχεδιάζονται με έναν μόνο τύπο αισθητήρα, ο οποίος ανταποκρίνεται σε μία περιοχή απλού μήκους κύματος της υπέρυθρης ακτινοβολίας. Μια τυπική μονοχρωματική θερμοφωτογραφία φαίνεται στην εικόνα 4-1:

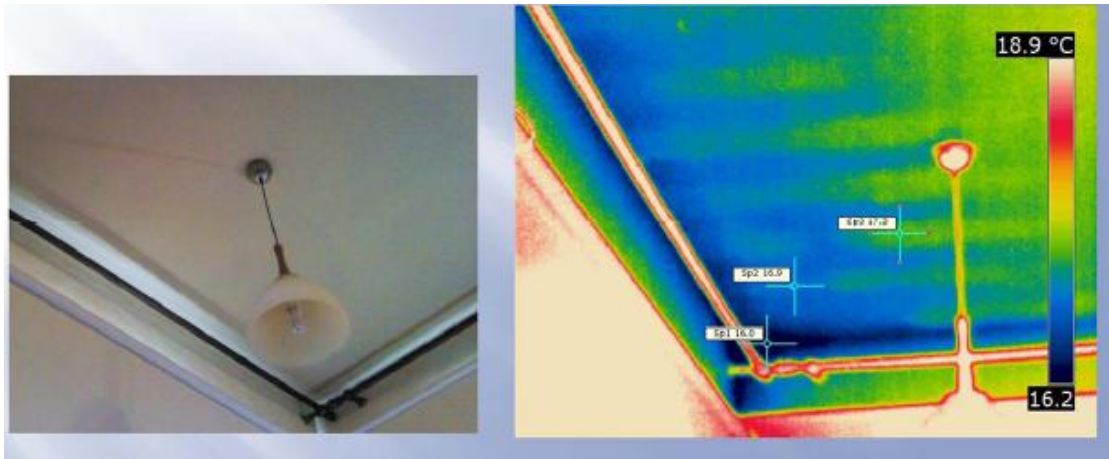




*Εικόνα 4-1 Μονοχρωματική θερμοφωτογραφία*

Υπάρχουν όμως και έγχρωμες κάμερες οι οποίες απαιτούν πιο πολύπλοκη κατασκευή, ώστε να διαφοροποιηθεί το μήκος κύματος και το χρώμα έχει λιγότερη σημασία έξω από το κανονικό φάσμα ορατότητας, επειδή τα διαφορετικά μήκη κύματος δεν λειτουργούν σταθερά στο σύστημα του χρωματικού πεδίου, που χρησιμοποιείται από τους ανθρώπους. Η έγχρωμη κάμερα διαθέτει χρωματική παλέτα η οποία προσφέρει τη δυνατότητα τροποποίησης των χρωμάτων για την απεικόνιση των διαφόρων θερμοκρασιών (γκρι, σίδηρο, ουράνιο τόξο).

Έχοντας ορίσει με ένα ευρύ φάσμα χρωμάτων τις διαβαθμίσεις της καταγραφόμενης θερμικής ακτινοβολίας που εκπέμπει το σώμα, περιγράφεται η μορφή του με διαφορετικά χρώματα, ανάλογα με την εκπεμπόμενη θερμική ακτινοβολία από το κάθε σημείο της επιφάνειάς του. Πιο συγκεκριμένα (εικόνα 4-2) τα πιο φωτεινά (ζεστότερα) μέρη της εικόνας έχουν άσπρο χρώμα, για ενδιάμεσες θερμοκρασίες είναι κόκκινα και κίτρινα και τα πιο σκοτεινά (ψυχρότερα) κομμάτια είναι μπλε, ενώ στην οθόνη αναγράφεται και η θερμοκρασία για το κάθε σημείο μέτρησης. Όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του εξεταζόμενου σώματος πιο ευκρινείς οι χρωματικές διαφοροποιήσεις στο θερμογράφημα της θερμοκάμερας



(α)

(β)

*Εικόνα 4-2 Έγχρωμη θερμοφωτογραφία οροφής  
α)στην ορατή ακτινοβολία β)στην υπέρυθρη ακτινοβολία*

### 4.3 Pixel

Στην ψηφιακή απεικόνιση, ένα pixel είναι ένα μοναδικό σημείο σε μια εικόνα ράστερ, ή το μικρότερο στοιχείο με διεύθυνση σε μια συσκευή απεικόνισης. Είναι η μικρότερη μονάδα της εικόνας που μπορεί να παρουσιασθεί ή να ελεγχθεί. Κάθε pixel έχει τη δική του διεύθυνση. Η διεύθυνση ενός pixel αντιστοιχεί στις συντεταγμένες του. Τα pixel είναι συνήθως τοποθετημένα σε ένα δισδιάστατο πλέγμα, και συχνά εκπροσωπούνται με κουκκίδες ή τετράγωνα. Κάθε εικονοστοιχείο είναι ένα δείγμα της αρχικής εικόνας. Περισσότερα δείγματα παρέχουν προφανώς πιο ακριβείς απεικονίσεις του πρωτοτύπου. Η ένταση του κάθε pixel είναι μεταβλητή. Στα συστήματα με έγχρωμη εικόνα, ένα χρώμα συνήθως εκπροσωπείται από τρία ή τέσσερα συστατικά με διαφορετική ένταση όπως το κόκκινο, πράσινο και μπλε, ή κυανό, ματζέντα, κίτρινο και μαύρο. Σε συστήματα που χρησιμοποιούν δειγματοληψία χρώματος, η έννοια πολλαπλών συνιστωσών ενός pixel μπορεί να είναι δύσκολο να εφαρμοστεί, δεδομένου ότι η ένταση των μετρήσεων για τις διάφορες συνιστώσες χρώματος αντιστοιχούν σε διαφορετικές χωρικές περιοχές σε μια τέτοια αναπαράσταση.

### 4.4 Ανιχνευτής θερμότητας

Σημαντικό στοιχείο μιας θερμοκάμερας είναι ο ανιχνευτής θερμότητας. Συχνά αναφέρεται και ως οπτικός δέκτης. Αποτελεί την καρδιά κάθε συστήματος που μετρά την υπέρυθρη ακτινοβολία και συνεπώς χρησιμοποιείται σε κάθε θερμογραφική εργασία. Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά τους, επιγραμματικά, είναι η εσωτερική αντίσταση του δέκτη, ο χρόνος απόκρισης του, ο λόγος ισχύος-θορύβου, ο λόγος θερμοκρασιακής διαφοράς-θορύβου, η παρατηρησιμότητα, η ελάχιστη ανιχνεύσιμη θερμοκρασιακή διαφορά (γνωστή και ως ευαισθησία), η συνάρτηση γραμμικής εξάπλωσης και η υποβάθμιση του σήματος.

Οι ανιχνευτές θερμότητας χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τους θερμικούς και τους φωτονικούς.

- Στους θερμικούς ανιχνευτές, η προσπίπτουσα ακτινοβολία θερμαίνει την ευαίσθητη επιφάνεια και η θέρμανση επηρεάζει κάποια ιδιότητα του υλικού όπως η θερμική αγωγιμότητα. Αυτό το γεγονός μεταφράζεται σαν μια διακύμανση στο σήμα εξόδου. Σημαντικό χαρακτηριστικό των θερμικών δεκτών είναι η ανεξαρτησία από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας. Γι' αυτό και όταν κάποιο συγκεκριμένο μήκος κύματος είναι το επιθυμητό, είναι απαραίτητο να τοποθετηθεί κάποιο φίλτρο που θα απορρίπτει τις ακτινοβολίες με διαφορετικά, από το επιθυμητό, μήκη κύματος. Παραδείγματα θερμικών ανιχνευτών είναι τα βολόμετρα, οι θερμοσωροί, οι πυροηλεκτρικοί δέκτες και οι υγροί κρύσταλλοι.
- Στους φωτονικούς ανιχνευτές, το σήμα λαμβάνεται από την απευθείας μέτρηση της διέγερσης που προκαλείται από την προσπίπτουσα ακτινοβολία. Με την σειρά τους, οι φωτονικοί ανιχνευτές χωρίζονται σε δύο κατηγορίες τους φωτοεκπεμπόμενους και τους κβαντικούς.

Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενοι ανιχνευτές είναι οι αποκαλούμενοι ανιχνευτές φωτονίων, στους οποίους η δημιουργία ή η μεταφορά των ηλεκτρονίων συνδέεται άμεσα με την απορρόφηση φωτονίων. Το βασικό χαρακτηριστικό των ανιχνευτών φωτονίων είναι ότι έχουν πολύ μικρό χρόνο απόκρισης (της τάξης των μικροδευτερολέπτων) αλλά απαιτούν ψύξη αρκετά κάτω από την περιβαλλοντική θερμοκρασία, ώστε να έχουν υψηλή ευαισθησία και γρήγορη αντίχρευση (εάν είναι απαραίτητο). Η ψύξη των αισθητήρων γίνεται συνήθως με υγρό άζωτο.

Ένας απλός ανιχνευτής ή ανιχνευτής σημείου, προκειμένου να λάβει την ενέργεια από διαφορετικά μέρη του οπτικού πεδίου (δηλαδή για να ανιχνεύσει το αντικείμενο), ένας κατάλληλος ηλεκτρομηχανικός μηχανισμός αντίχρευσης πρέπει να χρησιμοποιηθεί. Αυτός ο μηχανισμός αντίχρευσης μπορεί να αποτελείται από μετακινούμενους καθρέφτες ή από διαθλαστικά στοιχεία (όπως πρίσματα) ή από ένα συνδυασμό και των δύο. Για τη δισδιάστατη απεικόνιση, ένας τέτοιος μηχανισμός επιτρέπει την αντίχρευση του αντικειμένου και στις κάθετες και στις οριζόντιες κατευθύνσεις. Τα υπέρυθρα ραδιόμετρα αντίχρευσης που ανιχνεύουν το αντικείμενο μόνο σε μια κατεύθυνση (μονοδιάστατο IRSR) είναι κατάλληλα είτε κατά τη μέτρηση των θερμοκρασιών αντικειμένων που κινούνται σε μία κάθετη κατεύθυνση ως προς την αντίχρευση, είτε λόγω της πολύ υψηλής ταχύτητας αντίχρευσης που παρουσιάζουν στη μελέτη των γρήγορων παροδικών φαινομένων.

#### 4.5 Ψυχόμενοι υπέρυθροι ανιχνευτές

Οι ψυχόμενοι ανιχνευτές συνήθως αποθηκεύονται σε ένα αεροστεγώς κλεισμένο κέλυφος. Η ψύξη είναι απαραίτητη για τη λειτουργία των χρησιμοποιούμενων υλικών ημιαγωγών. Τυπικές θερμοκρασίες λειτουργίας κυμαίνονται από 4 K μόλις κάτω από τη θερμοκρασία δωματίου, ανάλογα με την τεχνολογία ανιχνευτή. Οι περισσότεροι σύγχρονοι ψυχόμενοι ανιχνευτές λειτουργούν στη ζώνη 60 K έως 100K, ανάλογα με το είδος και το επίπεδο απόδοσης. Για την ψύξη προτείνεται η χρήση αερίων εμφιαλωμένων σε υψηλή πίεση, το άζωτο για παράδειγμα σε αυτή την περίπτωση είναι μια κοινή επιλογή. Το συμπιεσμένο αέριο επεκτείνεται μέσω ενός μικροσκοπικού στομίου και περνάει πάνω από ένα πολύ μικρό εναλλάκτη θερμότητας με αποτέλεσμα την αναγεννητική ψύξη.

Χωρίς ψύξη, αυτοί οι αισθητήρες (οι οποίοι ανιχνεύουν και μετατρέπουν το φως με τον ίδιο τρόπο όπως και κοινές ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές, αλλά είναι κατασκευασμένοι από διαφορετικά υλικά) μπορούν να «τυφλωθούν» από τη δική τους ακτινοβολία.

Τα μειονεκτήματα της ψυχόμενης υπέρυθρης κάμερας είναι ότι είναι ακριβές τόσο για την παραγωγή όσο και για τη λειτουργία. Η ψύξη είναι ενεργοβόρα αλλά και χρονοβόρα. Η κάμερα μπορεί να χρειαστεί αρκετά λεπτά για να κρυώσει πριν αρχίσει να εργάζεται. Αν και η συσκευή ψύξης είναι σχετικά ογκώδης και ακριβή, οι ψυχόμενες υπέρυθρες κάμερες παρέχουν ανώτερη ποιότητα εικόνας σε σύγκριση με τις μη ψυχόμενες. Επιπλέον, η μεγαλύτερη ευαισθησία των ψυχόμενων καμερών επιτρέπει επίσης τη χρήση F-αριθμό φακών, με αποτέλεσμα να κάνει τους φακούς με μεγάλο εστιακό μήκος τόσο μικρότερους και φθηνότερους για τους ψυχόμενους ανιχνευτές

Οι υπέρυθροι φωτοανιχνευτές μπορούν να δημιουργηθούν με μια μεγάλη ποικιλία ημιαγωγών. Βασικά ως φωτοανιχνευτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν και υπεραγώγιμα υλικά αλλά η ευρεία χρήση τους είναι δύσκολη επειδή η υψηλή ευαισθησία τους απαιτεί προστασία από την ακτινοβολία περιβάλλοντος

#### **4.6 Μη ψυχόμενοι ανιχνευτές**

Οι μη ψυχόμενες θερμικές κάμερες χρησιμοποιούν ένα αισθητήρα που λειτουργεί στη θερμοκρασία περιβάλλοντος, ή έναν αισθητήρα σταθεροποιημένο σε θερμοκρασία κοντά σε αυτή του περιβάλλοντος χρησιμοποιώντας μικρά στοιχεία ελέγχου της θερμοκρασίας. Όλοι οι σύγχρονοι μη ψυχόμενοι ανιχνευτές χρησιμοποιούν αισθητήρες που λειτουργούν με τη μεταβολή της αντίστασης, της τάσης ή του ρεύματος όταν θερμαίνονται από υπέρυθρη ακτινοβολία. Οι μεταβολές αυτές στη συνέχεια μετριοούνται και συγκρίνονται με τις τιμές στην θερμοκρασία λειτουργίας του αισθητήρα. Οι μη ψυχόμενοι υπέρυθροι αισθητήρες μπορούν να σταθεροποιηθούν σε μια θερμοκρασία λειτουργίας για τη μείωση του θορύβου της εικόνας, αλλά δεν ψύχονται σε χαμηλές θερμοκρασίες και δεν απαιτούν ογκώδεις και ακριβούς κρυογονικούς ψύκτες. Το γεγονός αυτό καθιστά τις υπέρυθρες κάμερες μικρότερες και λιγότερο δαπανηρές. Ωστόσο, η ανάλυση τους και η ποιότητα της εικόνας τείνουν να είναι χαμηλότερα από ό, τι στους ψυχόμενους ανιχνευτές. Αυτό οφείλεται στις διαφορές στις διαδικασίες κατασκευής τους που καθορίζονται από τη σημερινή διαθέσιμη τεχνολογία

Οι μη ψυχόμενοι ανιχνευτές βασίζονται κυρίως σε πυροηλεκτρικά και φερροηλεκτρικά υλικά ή στην τεχνολογία των μικροβολομέτρων. Το υλικά αυτά χρησιμοποιούνται για να σχηματίσουν pixel με ιδιότητες άμεσα εξαρτώμενες από τη θερμοκρασία τα οποία είναι θερμικά μονωμένα από το περιβάλλον και διαβάζονται ηλεκτρονικά. Οι φερροηλεκτρικοί ανιχνευτές λειτουργούν κοντά στην θερμοκρασία αλλαγής φάσης του υλικού του αισθητήρα. Η επιτευχθείσα NETD Noise Equivalent Temperature Difference (NETD) στους φερροηλεκτρικούς ανιχνευτές με  $f/1$  οπτική και 320x240 αισθητήρες είναι 70-80 mK. Μια πιθανή συναρμολόγηση αισθητήρα αποτελείται από τιτανικό στρόντιο με ενσωματωμένο πολυαμίδιο που προκαλεί μια θερμικά απομονωμένη διάταξη. Τα μικροβολόμετρα σιλικόνης μπορούν να φτάσουν ένα NETD κάτω των 20 mK. Αποτελούνται από ένα πολύ λεπτό στρώμα αισθητηρίου με οξείδιο του βαναδίου.

Κάποια από τα υλικά που χρησιμοποιούνται για τις συστοιχίες αισθητήρων είναι : βανάδιο (V) του αζώτου, άμορφο πυρίτιο, τιτανικό άλας μολύβδου, τιτανικό άλας μολύβδου λανθανίου (PLT), τιτανικό άλας μολύβδου (PT), οδηγούμενο τιτανικό στρόντιο (PSrT), τιτανικό στρόντιο βάριο (BST) και τιτανικό βάριο (BT).

## 4.7 Λειτουργία αισθητήρα

Ένας αισθητήρας αποτελείται από σειρές εικονοστοιχείων (pixels που προέρχεται από το picture elements) τα οποία με τη σειρά τους έχουν ως βασικό συστατικό το πυρίτιο. Τα εικονοστοιχεία είναι μικρότερες μονάδες του αισθητήρα που μπορούν να καταγράψουν πληροφορίες για την ένταση του φωτός και το χρώμα σε μια εικόνα. Κάθε τέτοιο εικονοστοιχείο είναι ευαίσθητο στο φως, έτσι όταν αυτό πέσει επάνω του παράγει ηλεκτρική τάση. Η ηλεκτρική τάση είναι ανάλογη με την ποσότητα του φωτός που πέφτει στο εικονοστοιχείο. Όσο περισσότερο το φως, τόσο μεγαλύτερη τάση παράγεται. Έτσι, κάθε pixel στη ραδιομετρική εικόνα είναι στην πραγματικότητα μια μέτρηση της θερμοκρασίας. Για να γίνει αυτό, πολύπλοκοι αλγόριθμοι έχουν ενσωματωθεί στην κάμερα θερμικής απεικόνισης. Αυτό καθιστά την κάμερα θερμικής απεικόνισης ένα τέλειο εργαλείο για βιομηχανικές εφαρμογές. Με ένα υπέρυθρο θερμόμετρο μπορούμε να μετρήσουμε τη θερμοκρασία σε ένα μόνο σημείο. Οι κάμερες θερμικής απεικόνισης μπορούν να μετρήσουν θερμοκρασίες σε ολόκληρη την εικόνα. Για παράδειγμα αν μια κάμερα θερμικής απεικόνισης έχει ανάλυση εικόνας 60 x 60 pixels, σημαίνει ότι ισοδυναμεί με τη χρήση 3600 υπέρυθρων θερμομέτρων την ίδια στιγμή.

Υπάρχουν δυο βασικές κατηγορίες αισθητήρων. Οι αισθητήρες διάταξης και οι γραμμικοί.

### 4.7.1 Αισθητήρες διάταξης

Στους αισθητήρες διάταξης τα εικονοστοιχεία χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

- σε αυτά που αντιδρούν μόνο στο κόκκινο φως,
- σε αυτά που αντιδρούν μόνο στο πράσινο,
- σε αυτά που αντιδρούν μόνο στο μπλε.

Ως γνωστόν όλα τα χρώματα σχηματίζονται από το συνδυασμό αυτών των τριών χρωμάτων: κόκκινου, πράσινου και μπλε. Έτσι λοιπόν, ένα εικονοστοιχείο που αντιδρά στο κόκκινο φως παράγει ηλεκτρική τάση μόνο όταν πέσει πάνω του κόκκινο φως, ενώ μένει ανεπηρέαστο από τα άλλα δύο χρώματα. Αντίστοιχα αντιδρούν και τα άλλα δύο. Για παράδειγμα το πορτοκαλί: είναι ο συνδυασμός κόκκινου και μπλε. Έτσι, το εικονοστοιχείο που αντιδρά στο κόκκινο θα παράγει μια μικρή τάση και το εικονοστοιχείο που αντιδρά στο μπλε θα παράγει επίσης μια μικρή τάση. Η μονάδα της κάμερας που κάνει τη μετατροπή θα διαβάσει τις δυο αυτές μικρές τάσεις σαν πορτοκαλί. Χρειάζονται επομένως τρία διαφορετικά εικονοστοιχεία για να αναπαραχθεί ένα χρώμα.

### 4.7.2 Γραμμικοί αισθητήρες

Η δεύτερη κατηγορία, δηλαδή οι γραμμικοί αισθητήρες κάνουν τρεις λήψεις του ίδιου θέματος, όπου στην κάθε λήψη χρησιμοποιεί ένα κόκκινο, πράσινο και μπλε φίλτρο. Έτσι η τελική εικόνα προέρχεται από τον συνδυασμό των τριών χρωμάτων (Red Green Blue-RGB).

#### 4.8 Χρώματα αντίληψης του αισθητήρα

Όσο περισσότερο φως προσπίπτει πάνω σε ένα εικονοστοιχείο, τόσο μεγαλύτερη ηλεκτρική τάση παράγεται. Έτσι κάθε εικονοστοιχείο δίνει ένα byte ψηφιακής πληροφορίας. Κάθε byte όμως περιέχει οκτώ bits και κάθε bit έχει τιμή 1 ή 0, που αντιστοιχεί στο on και στο off. Όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί των οκτώ bits δίνουν 256 συνδυασμούς. Τελικά το κάθε εικονοστοιχείο μπορεί να αντιδράσει στην ένταση του φωτός που προσπίπτει πάνω του με 256 διαφορετικές τιμές, που ποικίλουν από το μηδέν (καθόλου φως) μέχρι το 256 (μέγιστη ένταση φωτός). Με άλλα λόγια, κάθε εικονοστοιχείο μπορεί να διαβάσει 256 διαφορετικά επίπεδα φωτός. Αυτό σημαίνει ότι ένας αισθητήρα RGB μπορεί να διαβάσει 16.777.216 διαφορετικά χρώματα. Μάλλον πρόκειται για ένα πολύ ικανοποιητικό αριθμό, που μπορεί να αποτυπώσει με ακρίβεια οποιοδήποτε χρώμα στη φύση

#### 4.9 Φακοί

Πριν φθάσει στον ανιχνευτή, η υπέρυθη ακτινοβολία περνά μέσω των ειδικά σχεδιασμένων φακών. Τα υλικά των φακών που χρησιμοποιούνται έχουν υψηλή διαπερατότητα στην υπέρυθη ακτινοβολία όπως το γερμάνιο, το πυρίτιο, ή ο σάφειρος. Επιπλέον, οι φακοί πρέπει να επικαλυφθούν με ένα κατάλληλο υλικό για να επιτρέψουν τη μέγιστη δυνατή μετάδοση IR. Η χρήση φίλτρων μας επιτρέπει, επίσης, να βλέπουμε μέσω ειδικών συνθηκών ή να μετράμε τη θερμοκρασία επιφάνειας αντικειμένων όπως το γυαλί, το πλαστικό, ή ακόμα και των φλογών. Τα φίλτρα που χρησιμοποιούνται μπορεί να είναι ανάλογα την περίπτωση είτε χαμηλοπερατά είτε υψηλοπερατά.

#### 4.10 Παράμετροι θερμοκάμερας

- *Παρατηρησιμότητα* :πρέπει να είναι υψηλή ώστε να έχουμε ένα αξιόλογο λόγο σήματος προς θόρυβο (signal-to-noise ratio -SNR).Από την μέχρι τώρα εξέταση των ανιχνευτών ακτινοβολίας προκύπτει ότι στην έξοδό τους καταλήγει ένα σήμα εξαρτώμενο από την προσπίπτουσα ακτινοβολία στον φακό. Από το συγκεκριμένο σήμα τελικά θα προκύψει μια οπτική αναπαράσταση. Παράγεται, λοιπόν, μια σειρά σημείων (είναι ευρέως γνωστά και ως pixels) είτε σε μία, είτε σε δύο διαστάσεις.
- *Εναισθησία* :μετράται σε βαθμούς κελσίου και εκφράζει την ελάχιστη ανιχνεύσιμη ποσότητα θερμοκρασίας. Θερμοκάμερες με καλή εναισθησία αναγνωρίζουν θερμοκρασιακές διαφορές ακόμα και 0.025°C.
- *Θερμοκρασιακή ανάλυση* :είναι ανάλογη του αριθμού των χρωμάτων σε μια οθόνη υπολογιστή. Όσο μεγαλύτερη είναι η ανάλυση τόσο πιο ομαλά θα παρουσιάζονται οι θερμοκρασιακές μεταβολές. Αν ένα σώμα έχει ξαφνικές θερμοκρασιακές μεταβολές αυτές θα οφείλονται στο ίδιο το σώμα και όχι στην κάμερα.
- *Χωρική ανάλυση* :εξαρτάται από τον αριθμό των pixels της κάμερας. Κάτι ανάλογο συμβαίνει και στη ψηφιακή φωτογραφία. Όπως μια ψηφιακή φωτογραφική μηχανή με 4 Mega-pixel βγάζει πιο ακριβείς εικόνες από μια μηχανή με 2 Mega-pixel έτσι και στην περίπτωση της θερμογραφίας, η χωρική ανάλυση αποτελεί μια παράμετρο κλειδί.

- *Δυναμικό εύρος* : εξαρτάται από την ψηφιοποίηση της θερμικής εικόνας. Όσο περισσότερα bits χρησιμοποιούνται για την περιγραφή της θερμοκρασίας-χρώματος για κάθε pixel τόσο καλύτερη θεωρείται η θερμοκάμερα. Το δυναμικό εύρος αντικατοπτρίζει, λοιπόν, την θερμοκρασιακή λεπτομέρεια που αποθηκεύεται για κάθε pixel.

#### 4.11 Γεωμετρική ανάλυση

Ένα πολύ σημαντικό στοιχείο κάθε απεικονιστικού συστήματος είναι η ανάλυση εικόνας. Η γεωμετρική ανάλυση εικόνας είναι η ικανότητα ενός συστήματος θερμικής απεικόνισης που ανιχνεύει και που μετρά ακριβώς τη θερμοκρασία, να απεικονίζει μικρά κομμάτια της επιφάνειας του αντικειμένου (ψεγάδια). Η ανάλυση καθορίζεται γενικά από χαρακτηριστικά του ανιχνευτή, όπως το μέγεθος του και για τα συστήματα ανίχνευσης από το χρόνο απόκρισης.

Παρακάτω δίνονται οι ορισμοί δύο σημαντικών παραμέτρων της γεωμετρικής ανάλυσης ενός συστήματος του στιγμιαίου οπτικού πεδίου (instantaneous field of view-IFOV) και του οπτικού πεδίου(field of view-FOV).

Το IFOV σε ένα θερμομόμετρο ακτινοβολίας καθορίζει το μέγεθος των σημείων-στόχων σε μία σάρωση γραμμής και αντιπροσωπεύει ένα pixel σε μια γραμμή ανίχνευσης ή θερμογράμματος και είναι μέτρο της χωρικής ανάλυσης. Το IFOV ορίζεται από τη διάσταση των ανιχνευτών δια το εστιακό μήκος των φακών.

Το FOV εκφράζει το οπτικό πεδίο μέσα στο οποίο, το όργανο μας θα μετρήσει όλη την εισερχόμενη ενέργεια ακτινοβολίας. Το FOV σ' έναν υπέρυθρο ανιχνευτή καθορίζει τη γωνία σάρωσης και το μέγεθος του συνολικού πεδίου μιας εικόνας.

Όσο μεγαλύτερη είναι η γεωμετρική ανάλυση ενός συστήματος τόσο πιο ακριβή είναι τα θερμογράμματα. Αυξάνοντας την απόσταση από το αντικείμενο, αυξάνει και η συνολική επιφάνεια (FOV) που «βλέπει» η θερμοκάμερα, αλλά ταυτόχρονα αυξάνει και η επιφάνεια που αντιστοιχεί στο κάθε pixel του αισθητηρίου, δηλαδή μειώνεται αναλογικά η δυνατότητα της θερμοκάμερας να «δει» λεπτομέρειες. Γενικά για ακρίβεια στις μετρήσεις μας πρέπει το IFOV να είναι πάντα μικρότερο (ή το πολύ ίσο) από το μέγεθος του αντικείμενου. Σε διαφορετική περίπτωση, επειδή η θερμοκάμερα μετράει το μέσο όρο των θερμοκρασιών που αντιστοιχούν στο IFOV, οδηγούμαστε σε εσφαλμένες μετρήσεις.

#### 4.12 Ελάχιστη διαχωρίσιμη διαφορά θερμοκρασίας

Η ελάχιστη διαχωρίσιμη διαφορά θερμοκρασίας(minimum resolvable temperature difference-MRTD) είναι ένα μέτρο για την αξιολόγηση της απόδοσης των υπέρυθρων καμερών, και είναι αντιστρόφως ανάλογη με την συνάρτηση μεταφοράς διαμόρφωσης. Η καμπύλη του mrtD κατά χωρική συχνότητα χαρακτηρίζει την απόδοση του συστήματος απεικόνισης. Σύγχρονα συστήματα υπέρυθρης απεικόνισης μπορεί να έχουν χαμηλή χωρική συχνότητα MRTD της τάξης των δεκάδων millikelvins .Το πείραμα που εφαρμόζεται για τον προσδιορισμό του MRTD είναι το εξής: Ο χειριστής χρησιμοποιεί τέσσερα δοκίμια διαφόρων χωρικών συχνοτήτων. Για κάθε δοκίμιο ρυθμίζει τη θερμοκρασία μέλανος σώματος, (πηγή υπέρυθρης ακτινοβολίας), πάνω και κάτω μέχρι το μοτίβο να είναι «ακριβώς επιλύσιμο». Οι θετικές και αρνητικές διαφορές θερμοκρασίας αποθηκεύονται σε ένα διδιάστατο πίνακα. Οι αντίστοιχες χωρικές συχνότητες που χρησιμοποιούνται σε κάθε δοκιμή αποθηκεύονται επίσης σε έναν πίνακα. Η καμπύλη του MRTD είναι ένας συνδυασμός αυτών των πινάκων. Από τα πειραματικά δεδομένα του MRTD, υπολογίζεται ένα

βέλτιστο πολυώνυμο και το αποτέλεσμα είναι η καμπύλη του MRTD που δίνει άμεση εικόνα για την ποιότητα της εικόνας, δηλαδή την ικανότητα της υπέρυθρης κάμερας να αναλύει τη λεπτομέρεια, σε αυτή την περίπτωση θερμοκρασίας.

*Υπολογισμοί*

$$F(x) = \frac{\Delta t(i)}{f_s(i)} \quad , \text{η καμπύλη MRTD} \quad (4.9-1)$$

όπου  $\Delta t(i)$ : σειρά των διαφορών θερμοκρασίας που αναλύονται και  $f_s(i)$  : σειρά χωρικών συχνοτήτων

#### **4.13 Ελάχιστη ανιχνεύσιμη θερμοκρασία**

Ελάχιστη ανιχνεύσιμη θερμοκρασία (minimum detective temperature-MDT), που επίσης ονομάζεται ελάχιστη ανιχνεύσιμη διαφορά θερμοκρασίας (MDTD), δεν είναι το ίδιο φαινόμενο, όπως το MRTD αλλά μόνο ελάχιστο. Όπως και το MRTD, είναι ένα μέτρο της απόδοσης των υπέρυθρων καμερών. Ωστόσο, το MDT είναι ένα μέτρο της ορατότητας, όχι της ανάλυσης. Το πείραμα για το MDT είναι παρόμοιο με εκείνο για το MRTD. Ένας χειριστής ελέγχει μια σειρά από διάτρητα δοκίμια σε διαφορετικές χωρικές συχνότητες. Για κάθε σειρά διάτρητων δοκιμίων ο χειριστής μετακινεί το μέλαν σώμα (πηγή ακτινοβολίας IR) πάνω-κάτω έως ότου τα δοκίμια είναι «μόλις ορατά». Τα δεδομένα κατά τα οποία τα διάτρητα δοκίμια είναι «μόλις ορατά» αποθηκεύονται σε έναν πίνακα και συναρτήσει της χωρικής συχνότητας δημιουργείται μια καμπύλη προσαρμοσμένη στα δεδομένα. Η καμπύλη MDT έτσι ορίζεται ως η διαφορά θερμοκρασίας σε σχέση με τη χωρική συχνότητα.

#### **4.14 Δυναμικό εύρος**

Δυναμικό εύρος, (dynamic range -DR) είναι η σχέση μεταξύ της μεγαλύτερης και της μικρότερης πιθανής τιμής μιας μεταβαλλόμενης ποσότητας, όπως στον ήχο και το φως. Μετράται ως ποσοστό, ή ως βάση του 10 (ντεσιμπέλ) ή βάση του 2. Οι ανθρώπινες αισθήσεις της όρασης και της ακοής έχουν ένα πολύ υψηλό δυναμικό εύρος.

Ένας άνθρωπος δεν μπορεί να εκτελέσει αυτά τα κατορθώματα της αντίληψης και στα δύο άκρα της κλίμακας την ίδια στιγμή. Τα μάτια χρειάζονται χρόνο για να προσαρμοστούν σε διαφορετικά επίπεδα φωτός και το δυναμικό εύρος του ανθρώπινου ματιού σε μια συγκεκριμένη σκηνή είναι πραγματικά αρκετά περιορισμένο, λόγω της οπτικής λάμψης. Το στιγμιαίο δυναμικό εύρος της ανθρώπινης αντίληψης του ήχου είναι παρόμοιο με τη συγκάλυψη. Ένα καλής ποιότητας οπτικό σύστημα θα πρέπει να είναι σε θέση να συλλάβει και σκιές στη διάρκεια της νύχτας καθώς και φωτεινές περιοχές στις ηλιόλουστες μέρες.

Στην πράξη, είναι δύσκολο να επιτευχθεί το πλήρες δυναμικό εύρος που βιώνουν οι άνθρωποι με ηλεκτρονικό εξοπλισμό. Η ηλεκτρονική αναπαραγωγή ήχου και βίντεο χρησιμοποιεί συχνά κάποια κόλπα για να ταιριάξει το αρχικό υλικό με ένα ευρύ δυναμικό εύρος σε ένα στενότερο καταγεγραμμένο εύρος δυναμικής που μπορεί πιο εύκολα να αποθηκευτεί και να αναπαραχθεί. Οι τεχνικές αυτές ονομάζονται συμπίεση δυναμικού εύρους.



#### 4.15 Θόρυβος

Αποτελεί κανόνα ότι σε κάθε εξεταζόμενο σύστημα συναντάται κάποια μορφή θορύβου. Η μελέτη του θορύβου είναι μια δύσκολη αποστολή και η αναφορά του αποσκοπεί στην απλούστευση της εικόνας του. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στον ηλεκτρονικό θόρυβο ο οποίος είναι πολύ πιθανόν να εμφανιστεί σε κάθε σύστημα θερμικής απεικόνισης ή ανίχνευσης θερμότητας. Θόρυβος είναι κάθε ανεπιθύμητο σήμα το οποίο παράγεται σαν υποπροϊόν μιας διαδικασίας και συμβάλλει στην αλλοίωση του εξεταζόμενου σήματος. Πέρα από τον ηλεκτρονικό θόρυβο, ο οπτικός θόρυβος (τυχαίες διακυμάνσεις της προσπίπτουσας ακτινοβολίας), ο θερμικός θόρυβος (ο θόρυβος που παρουσιάζεται στις συσκευές διέγερσης στην ενεργή θερμογραφία) και ο περιβαλλοντικός θόρυβος (ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές στον δέκτη) συμβάλλουν στην υποβάθμιση της υπό εξέταση ακτινοβολίας. Οι πιο σημαντικές κατηγορίες ηλεκτρονικού θορύβου παρουσιάζονται παρακάτω:

α) Θόρυβος shot. Δημιουργείται από την άφιξη τυχαίων και διακριτών φωτονίων μαζί με την προσπίπτουσα ακτινοβολία.

β) Θόρυβος Johnson ή θερμικός θόρυβος. Παράγεται από την τυχαία κίνηση των ηλεκτρονίων σε υλικά με αντίσταση. Ο θερμικός θόρυβος μπορεί να μειωθεί με την ψύξη του δέκτη. Η ψύξη του δέκτη είναι συχνό φαινόμενο για την σωστή λειτουργία του συστήματος.

γ) Θόρυβος τρεμοσβήματος ή 1/f θόρυβος. Είναι διαφορετικός από τους δύο παραπάνω θορύβους (ονομάζονται και λευκοί θόρυβοι γιατί είναι ανεξάρτητοι με την συχνότητα παρατήρησης) με την έννοια ότι εξαρτάται από την συχνότητα παρατήρησης. Η συχνότητα του θορύβου ισούται με  $1/f^n$  όπου  $f$  είναι η συχνότητα της ακτινοβολίας και  $n$  είναι συνήθως μια τιμή ανάμεσα στο 0.9 και στο 1.35. Παράγεται λόγω φορτισμένων σωματιδίων που παγιδεύονται κοντά στην αισθητήρια επιφάνεια του ανιχνευτή.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί, ότι στην ενεργητική θερμογραφία συναντιέται και ο δομικός θόρυβος. Ο δομικός θόρυβος, παράγεται από τις τυχαίες διαφοροποιήσεις των θερμοφυσικών ιδιοτήτων του υπό εξέταση υλικού. Αυτές έχουν σαν αποτέλεσμα αντιδράσεις μετά την θερμική διέγερση του υλικού. Οι παρεμβολές, εξαιτίας των διαφοροποιήσεων, μπορούν να δώσουν την εντύπωση για ύπαρξη μιας υποεπιφανειακής ανωμαλίας σε σημείο που δεν υπάρχει.

#### 4.16 Βαθμονόμηση

Το εύρος των τιμών θερμοκρασίας που μετράει ένα τυπικό θερμογραφικό σύστημα κυμαίνεται περίπου από -20 ως 800 °C, και μπορεί να επεκταθεί μέχρι 1500-2000 °C με τη χρησιμοποίηση ειδικών φίλτρων. Κάθε θερμοκάμερα προτού φτάσει στον αγοραστή πρέπει να τίθεται σε διαδικασία βαθμονόμησης (calibration) από τον κατασκευαστή. Το calibration είναι μια ειδική διαδικασία που γίνεται από τον κατασκευαστή με τη χρήση μελάνων σωμάτων αναφοράς και προσδιορίζει μέχρι ποια τιμή θερμοκρασίας μπορεί να μετρήσει με ακρίβεια η θερμοκάμερα. Πέρα από τη θερμοκρασία του calibration η θερμοκάμερα συνεχίζει να καταγράφει τιμές αλλά με μειωμένη ακρίβεια.

#### 4.17 Συναγερμοί

Μια θερμοκάμερα λειτουργεί ακόμα και στο απόλυτο σκοτάδι, αφού το επίπεδο του υπάρχοντος φωτός δεν παίζει κανένα ρόλο. Επίσης διαθέτει τρία είδη συναγερμών: το συναγερμό χρώματος, το συναγερμό σημείου δρόσου και το συναγερμό μόνωσης.

- Στο συναγερμό χρώματος, οι περιοχές με θερμοκρασίες εκτός των τρεχουσών ρυθμίσεων επιπέδου/ εύρους χρωματίζονται με τα χρώματα κορεσμού. Τα χρώματα κορεσμού περιέχουν ένα χρώμα 'υπερροής' και ένα χρώμα 'υπορροής'. Υπάρχει επίσης ένα τρίτο χρώμα κορεσμού που επισημαίνει οτιδήποτε έχει κορεστεί από τον ανιχνευτή, που υποδηλώνει ότι το εύρος θα πρέπει μάλλον να αλλάξει.
- Ο συναγερμός σημείου δρόσου, για μία σειρά από περιβαλλοντικές παραμέτρους, μπορεί να εντοπίσει αυτές τις περιοχές με επικινδυνότητα σχηματισμού συμπυκνώματος υδρατμών και να προειδοποιήσει ότι εκεί μπορεί να υπάρχει ατέλεια στη δομή της κατασκευής(ρύθμιση: σχετική υγρασία, θερμοκρασία ατμόσφαιρας).
- Ο συναγερμός μόνωσης μπορεί να εντοπίσει περιοχές όπου ενδέχεται να υπάρχει ανεπάρκεια στη μόνωση του κτιρίου. Ο συναγερμός αυτός πυροδοτείται όταν το επίπεδο μόνωσης πέφτει κάτω από μια προκαθορισμένη τιμή διαρροής θερμότητας μέσω ενός τοίχου (ρύθμιση: θερμοκρασία εξωτερικού τοίχου, θερμοκρασία)

#### 4.18 Χαρακτηριστικά της θερμοκάμερας FLUKE Ti45

- Οπτικό πεδίο FOV 42° οριζόντια x 32° κάθετα
- Χωρική ανάλυση IFOV 4.9
- Ελάχιστη απόσταση εστίασης 0.15 m
- Θερμική ευαισθησία 0.08°C (στους 30°C)
- Ρυθμός ανανέωσης 30 Hz
- Υπέρυθρο ζουμ 2x
- Τύπος αισθητήρα 160 x 120 FPA οξειδίου του βαναδίου
- Εύρος φάσματος 8-14 μm
- Εύρος θερμοκρασίας -20°C -600°C
- Ακρίβεια μέτρησης 2%
- Διαθέσιμες παλέτες grayscale, inverted, blue red, high contrast, hot metal, iron bow, amber, amber inverted.

#### 4.19 Παράμετροι ακριβούς μέτρησης

Οι παράμετροι που πρέπει να ληφθούν υπόψη και να οριστούν κατάλληλα κατά την επεξεργασία των θερμογραφημάτων ώστε να επιτευχθούν όσο το δυνατό πιο ακριβείς μετρήσεις είναι:

- Συντελεστής εκπομπής του αντικειμένου
- Φαινόμενη θερμοκρασία ανάκλασης
- Απόσταση του αντικειμένου
- Σχετική υγρασία
- Θερμοκρασία της ατμόσφαιρας

Επιπλέον, υπάρχουν και κάποιοι άλλοι παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τη θερμογραφική επιθεώρηση και οι οποίοι μπορούν να αλλοιώσουν εν μέρει το αποτέλεσμα. Ένας πολύ σημαντικός παράγοντας είναι η ύπαρξη εξωτερικών θερμικών πηγών στο χώρο των μετρήσεων, όπως θερμαντικά σώματα. Έτσι μετρήσεις κάτω από πολύ δυνατή ηλιοφάνεια είναι δυσχερείς, μιας και το ποσοστό των ανακλάσεων είναι πολύ υψηλό και είναι δύσκολο να προσδιοριστεί, με αποτέλεσμα αυτό που μετράται να μην είναι αυτό που πραγματικά εκπέμπεται από το σώμα. Αντίστοιχα, μετρήσεις κάτω από ισχυρή ψύξη (ισχυροί άνεμοι, σώματα κλιματισμού) οδηγούν σε εσφαλμένη εκτίμηση της θερμοκρασιακής κατάστασης του σώματος λόγω της βεβιασμένης ψύξης του. Γι' αυτό και για ταχύτητες μέχρι 8 m/s χρησιμοποιείται ένας συντελεστής διόρθωσης ο οποίος πολλαπλασιάζεται με τη μετρούμενη υπερθέρμανση δίνει την υπερθέρμανση χωρίς άνεμο. Άλλοι παράγοντες είναι οι καιρικές συνθήκες, όπως έντονη ηλιοφάνεια, βροχή και χιόνι, αλλά και το μέγεθος του αντικειμένου.

## 5.ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

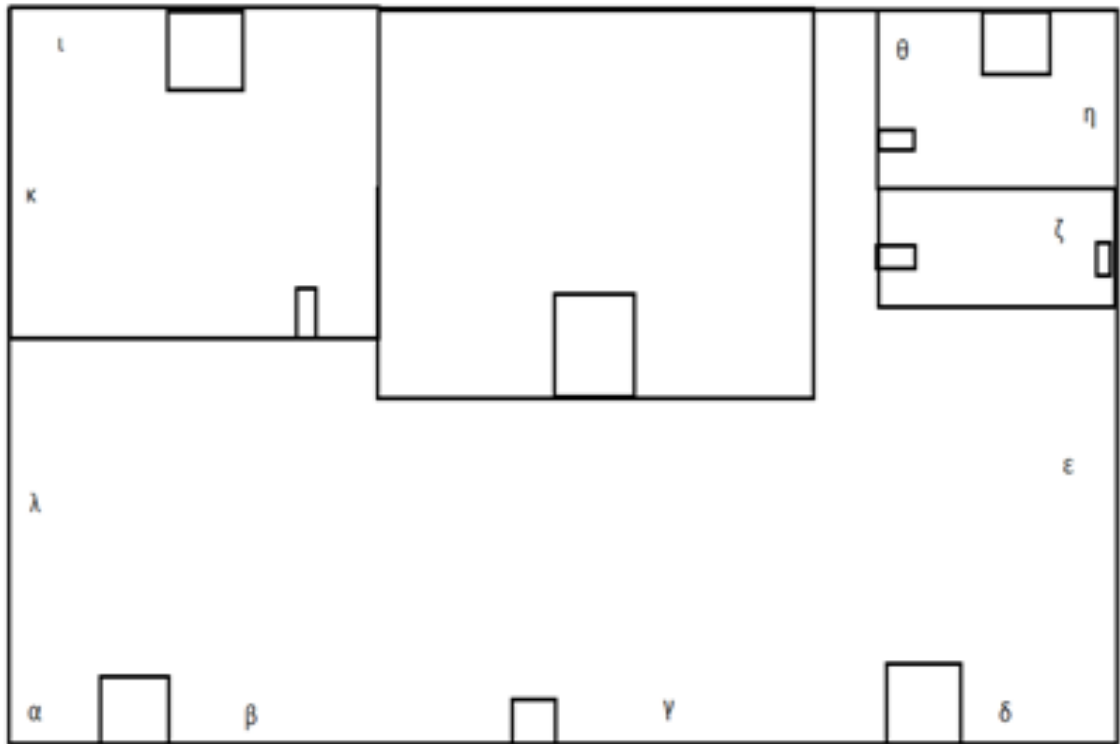
Κατά τη διεξαγωγή των μετρήσεων επιλέγονται δύο διαμερίσματα στην ίδια περιοχή, διαφορετικής χρονολογίας κατασκευής. Λαμβάνονται στη συνέχεια με τον κατάλληλο καταγραφικό εξοπλισμό (θερμοκάμερα), φωτογραφίες από την εσωτερική και την εξωτερική πλευρά των επιμέρους δομικών στοιχείων(τοιχών) για διαφορετικές χρονικές στιγμές της ημέρας.Αφού πραγματοποιηθεί σύγκριση των φωτογραφιών προκύπτουν συμπεράσματα για τη θερμοκρασιακή διαφορά, την κατεύθυνση ροής της θερμότητας και συνεπώς για την ποιότητα της κατασκευής.

Συγκεκριμένα οι μετρήσεις έλαβαν χώρα σε δύο διαμερίσματα του τελευταίου ορόφου(ρετιρέ), διπλανών πολυκατοικιών στην περιοχή της Κυψέλης. Το εμβαδό των διαμερισμάτων υπολογίζεται περίπου στα 80 τμ. Οι δύο πολυκατοικίες διαφέρουν αρκετά στη χρονολογία κατασκευής τους, καθώς η μία υπολογίζεται ότι κατασκευάστηκε περίπου το 1970 και η άλλη το 2000.

Τα δύο διαμερίσματα έχουν ίδιο προσανατολισμό (βόρειο) και προφανώς ανταποκρίνονται στις ίδιες κλιματικές συνθήκες, αλλά τα υλικά δόμησης έχουν διαφορετικό χαρακτήρα και υποδομή στην κάθε περίπτωση.Πρέπει να αναφερθεί ότι στις δύο πλαϊνές πλευρές των διαμερισμάτων (ανατολική και δυτική) δεν υπήρχε πρόσβαση ώστε να ληφθούν θερμοφωτογραφίες από την εξωτερική πλευρά. Έτσι η εξωτερική θερμοκρασία αυτών των τοίχων λαμβάνεται προσεγγιστικά ως το μέσο όρο της καταγραφόμενης θερμοκρασίας των πλησιέστερων τοίχων. Επίσης σημειώνεται ότι μας ενδιαφέρουν τα δομικά στοιχεία που έρχονται σε επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον και όχι τα εσωτερικά διαχωριστικά.

Τα κουφώματα στο διαμέρισμα του 1970 είναι ξύλινα ανοιγόμενα και στο διαμέρισμα του 2000 είναι συρόμενα αλουμινίου. Οι οροφές των διαμερισμάτων δεν καλύπτονται με κάποιο είδος σκιάστρου και υπάρχει άμεση επαφή με την ηλιακή ακτινοβολία. Στην μπροστινή πλευρά υπάρχει ένα είδος σκιάστρου το οποίο δεν καλύπτει όμως ολόκληρη την πλευρά. Κατα τη διαδικασία των μετρήσεων έγινε ρύθμιση του συντελεστή εκπομπής στην θερμοκάμερα στην τιμή  $\varepsilon=0,93$  που αποτελεί το συντελεστή εκπομπής του επιφανειακού επιχρίσματος και στις δύο περιπτώσεις.

Στα σχήματα 5-1 και 5-2 παρατίθενται ενδεικτικά οι κατόψεις των δύο διαμερισμάτων καθώς και οι ονομασίες των δομικών στοιχείων στα οποία πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις



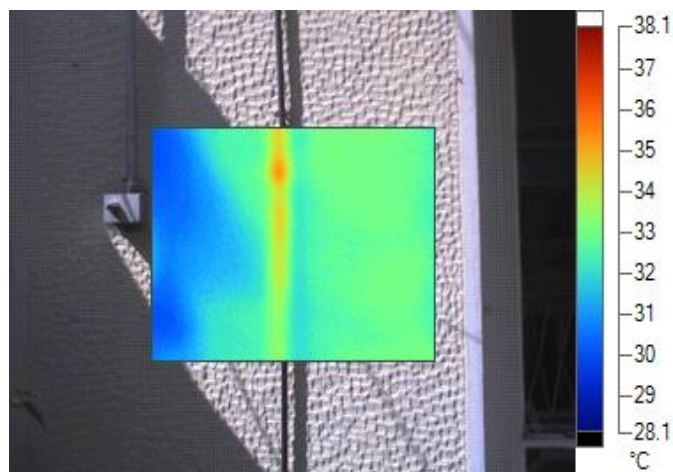
Σχήμα 5-1 Κάτοψη διαμερίσματος κατασκευής 1970



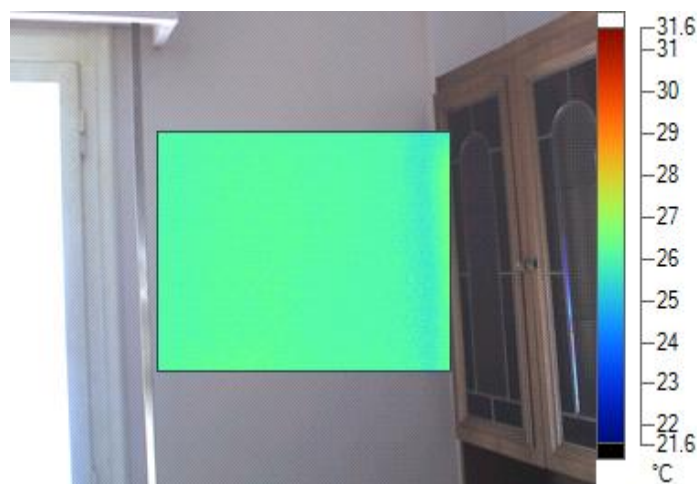
Σχήμα 5-2 Κάτοψη διαμερίσματος κατασκευής 2000

## 6.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Αφού ακολουθήθηκε η παραπάνω διαδικασία μετρήσεων προέκυψαν οι θερμοφωτογραφίες που παρατίθενται οι οποίες είναι ενδεικτικές του συνόλου λόγω του μεγάλου πλήθους που λήφθηκε. Οι θερμοφωτογραφίες υπέστησαν επεξεργασία μέσω του ειδικού προγράμματος που συνοδεύει τη θερμοκάμερα. Το πρόγραμμα ονομάζεται SmartView 1.9 και ήταν ιδιαίτερα χρήσιμο στην ανάλυση των αποτελεσμάτων καθώς δίνει τη δυνατότητα ρύθμισης και μεταβολής παραμέτρων, εντοπισμού σφαλμάτων και καταγραφής λεπτομερειών.

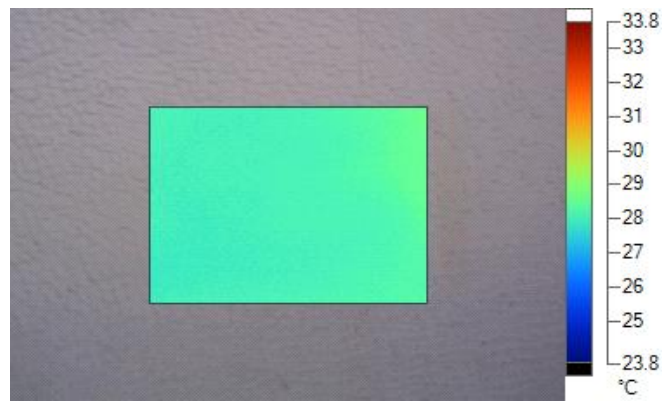


(α)

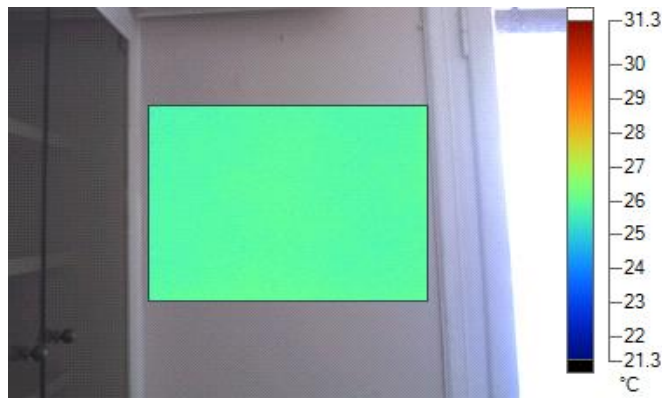


(β)

Εικόνα 6-1 Θερμοφωτογραφίες τοίχου α, ώρα 12:00μμ διαμερίσματος κατασκευής 1970  
α) εξωτερική όψη  $T_{avg} = 29,9^{\circ} C$  β) εσωτερική όψη  $T_{avg} = 26,2^{\circ} C$

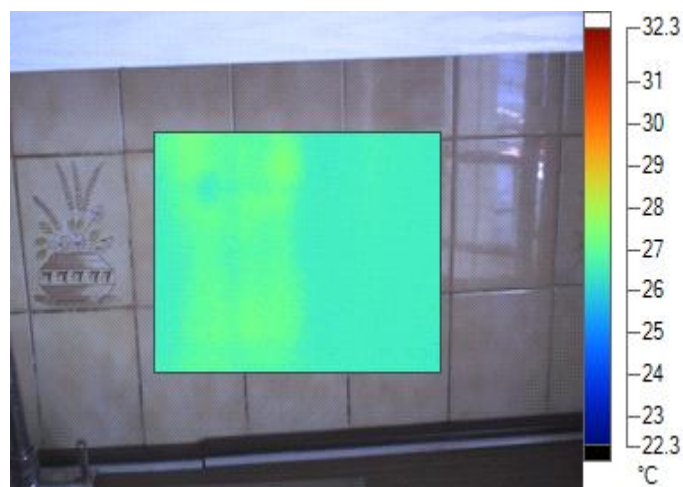


(α)

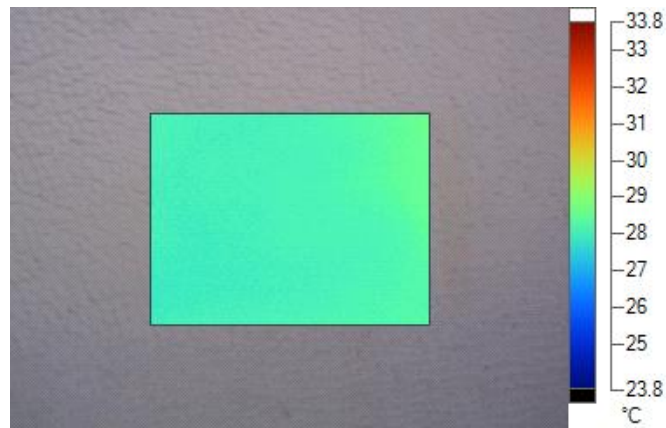


(β)

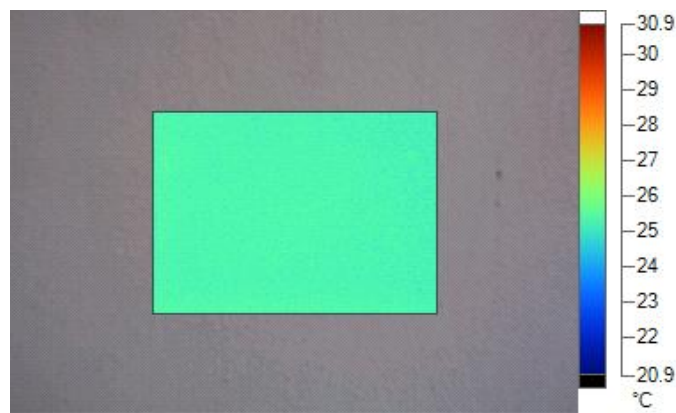
Εικόνα 6-2 Θερμοφωτογραφίες τοίχου γ, ώρα 12:00μμ διαμερίσματος κατασκευής 1970  
 α) εξωτερική όψη  $T_{avg} = 27,9^{\circ} C$  β) εσωτερική όψη  $T_{avg} = 25,9^{\circ} C$



Εικόνα 6-3 Θερμοφωτογραφία τοίχου ε, ώρα 12:00μμ διαμερίσματος κατασκευής 1970  
 εσωτερική όψη  $T_{avg} = 26,1^{\circ} C$  (εξωτερική όψη  $T_{avg} = 26,2^{\circ}$ )



(α)

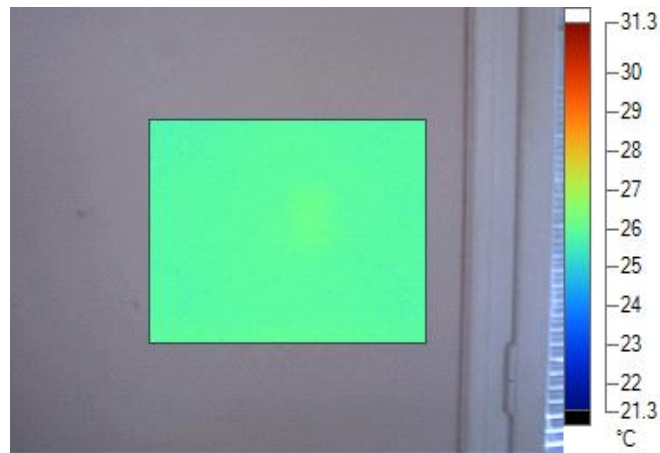


(β)

Εικόνα 6-4 Θερμοφωτογραφίες τοίχου ι, ώρα 12:45μ διαμερίσματος κατασκευής 1970  
 α) εξωτερική όψη  $T_{avg} = 26^{\circ} C$  β) εσωτερική όψη  $T_{avg} = 25,5^{\circ} C$

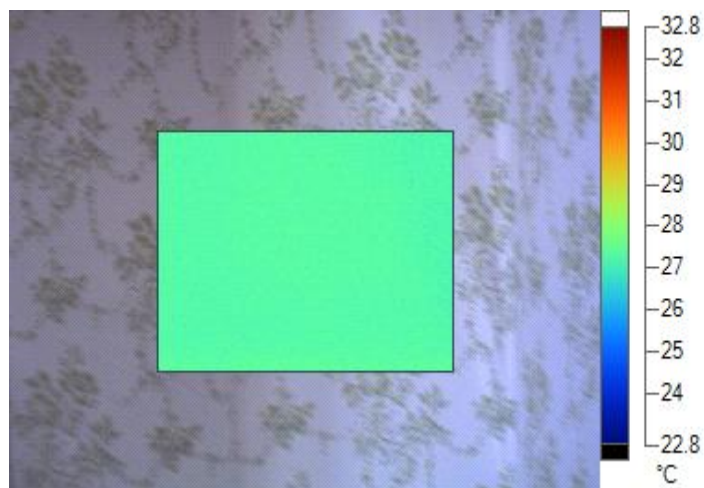


(α)

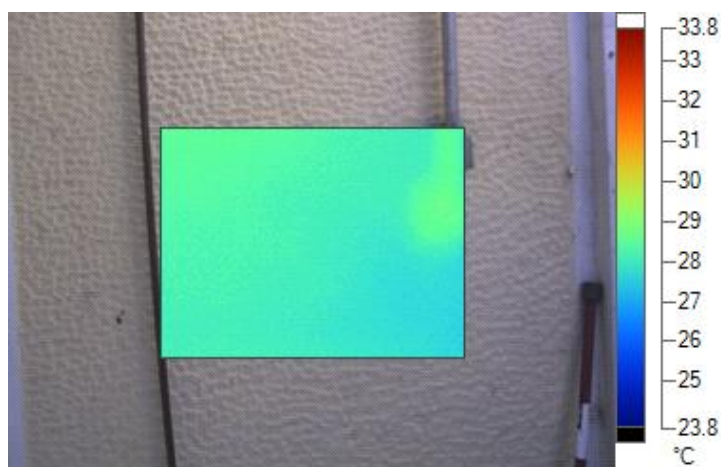


(β)

Εικόνα 6-5 Θερμοφωτογραφίες τοίχου β ,ώρα 12:45μμ διαμερίσματος κατασκευής1970  
α)εξωτερική όψη  $T_{avg} = 28,5^{\circ} C$  β) εσωτερική όψη  $T_{avg} = 26,8^{\circ} C$

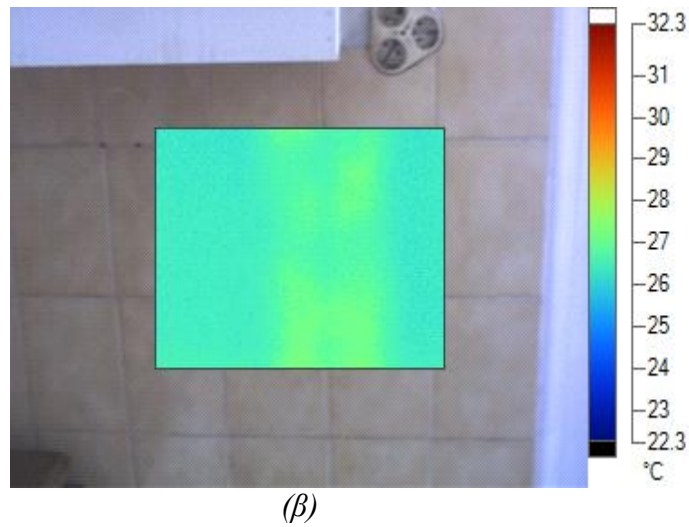


Εικόνα 6-6 Θερμοφωτογραφία τοίχου η ,ώρα 12:45μμ διαμερίσματος κατασκευής1970  
εσωτερική όψη  $T_{avg} = 27,2^{\circ} C$  (εξωτερική όψη  $T_{avg} = 27,3^{\circ}$ )

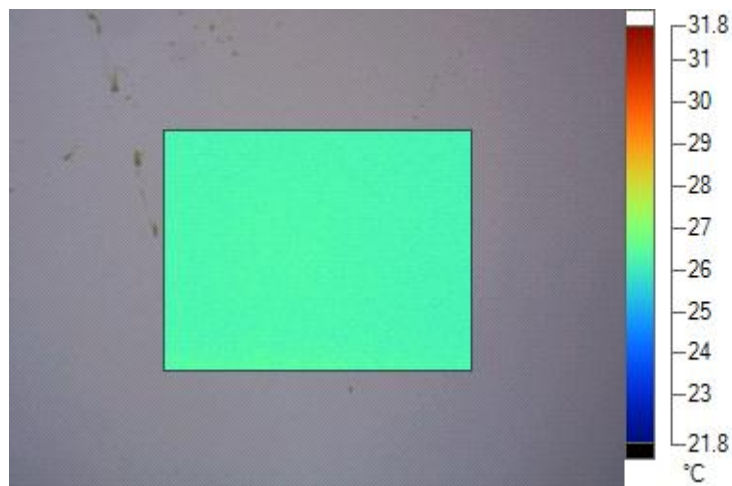


(α)

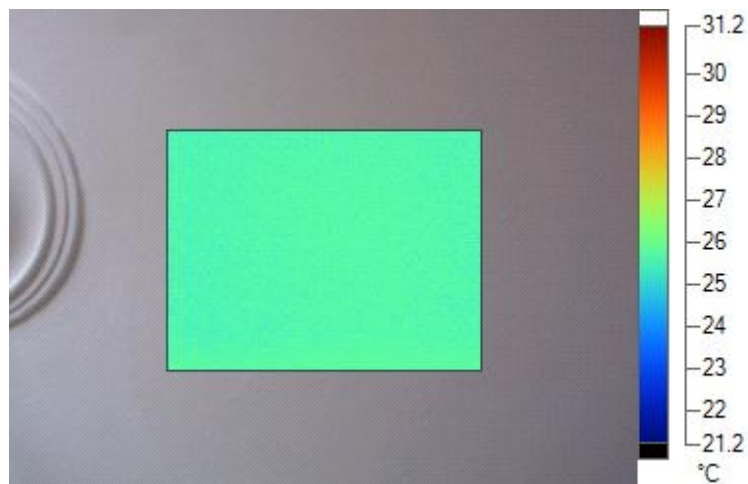




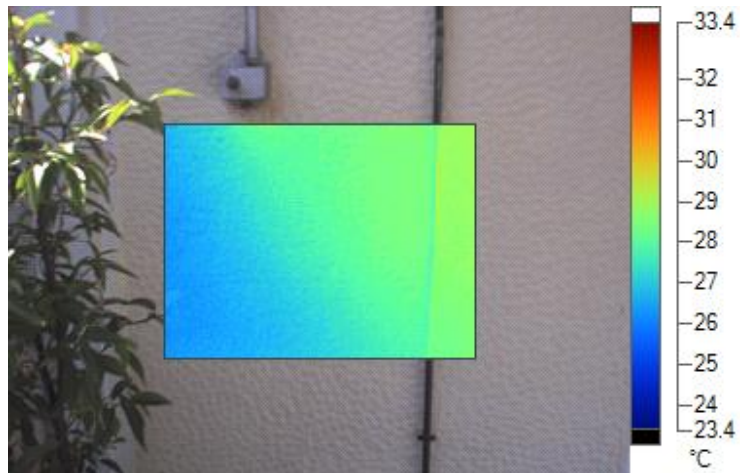
Εικόνα 6-7 Θερμοφωτογραφίες τοίχου δ ,ώρα 13:15μμ διαμερίσματος κατασκευής1970  
 α)εξωτερική όψη  $T_{avg} = 28,1^{\circ} C$  β) εσωτερική όψη  $T_{avg} = 26,6^{\circ} C$



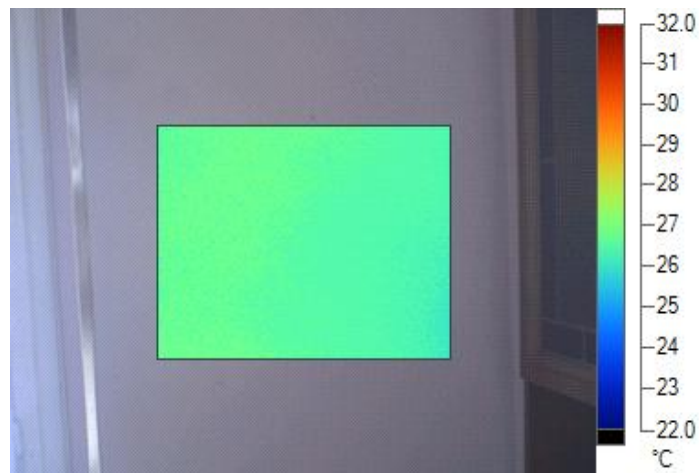
Εικόνα 6-8 Θερμοφωτογραφία τοίχου κ ,ώρα 13:15μμ διαμερίσματος κατασκευής1970  
 εσωτερική όψη  $T_{avg} = 26,5^{\circ} C$  (εξωτερική όψη  $T_{avg} = 27,1^{\circ}$ )



Εικόνα 6-9 Θερμοφωτογραφία οροφής ,ώρα 13:15μμ διαμερίσματος κατασκευής1970  
εσωτερική όψη  $T_{avg} = 26^{\circ} C$  (εξωτερική όψη  $T_{avg} = 30^{\circ}$ )



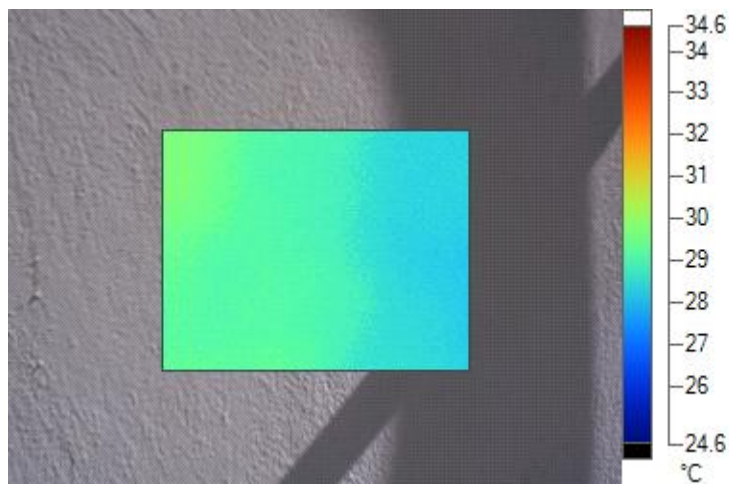
(α)

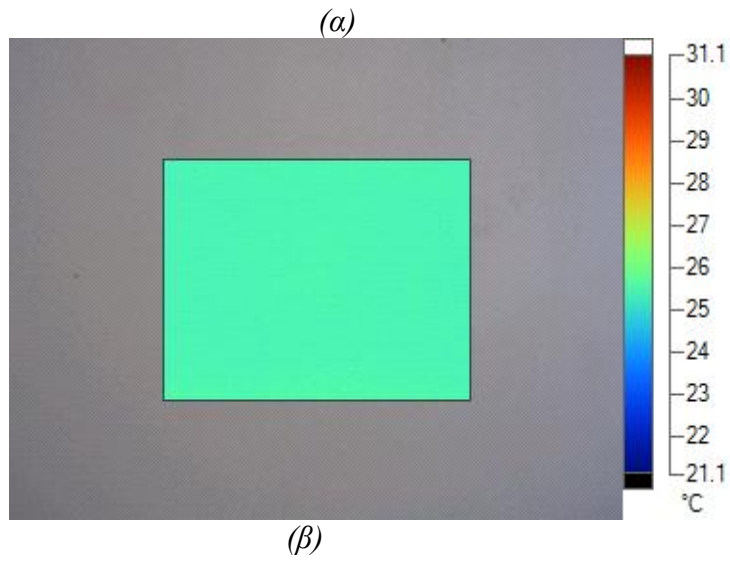


(β)

Εικόνα 6-10 Θερμοφωτογραφίες τοίχου α ,ώρα 13:45μμ διαμερίσματος  
κατασκευής1970

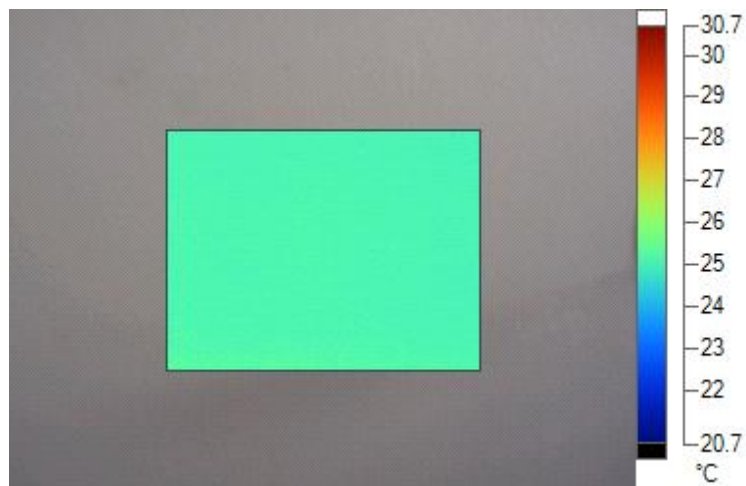
α)εξωτερική όψη  $T_{avg} = 27,5^{\circ} C$  β) εσωτερική όψη  $T_{avg} = 26,8^{\circ} C$



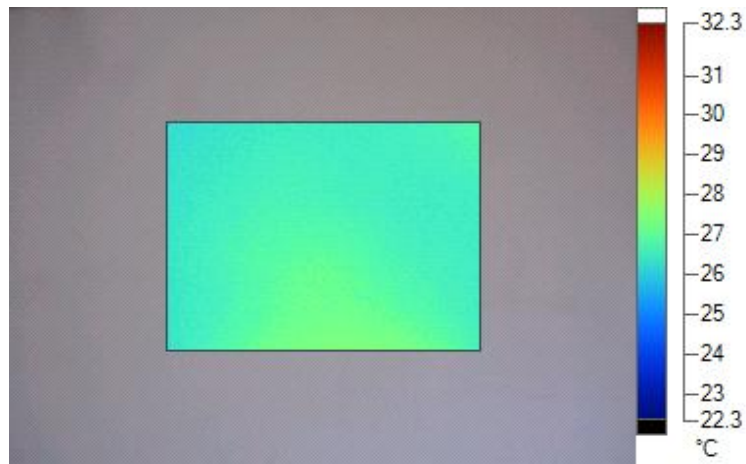


Εικόνα 6-11 Θερμοφωτογραφίες τοίχου θ ,ώρα 13:45μμ διαμερίσματος κατασκευής1970

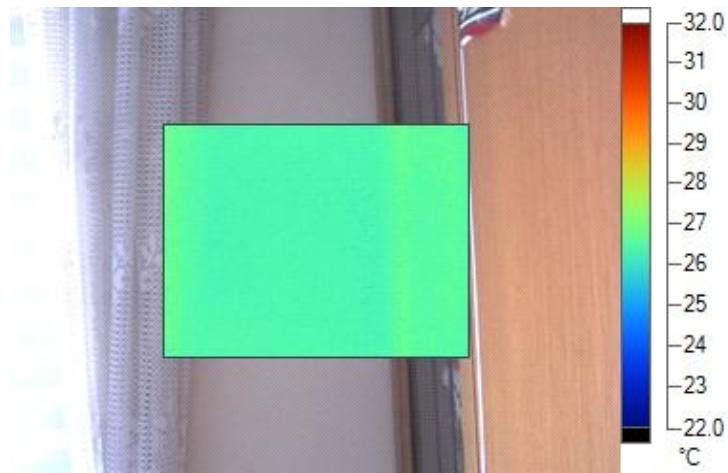
α)εξωτερική όψη  $T_{avg} = 28,3^{\circ} C$  β) εσωτερική όψη  $T_{avg} = 25,8^{\circ} C$



Εικόνα 6-12 Θερμοφωτογραφία οροφής ,ώρα 13:45μμ διαμερίσματος κατασκευής1970 ,εσωτερική όψη  $T_{avg} = 26^{\circ} C$  (εξωτερική όψη  $T_{avg} = 30^{\circ}$ )

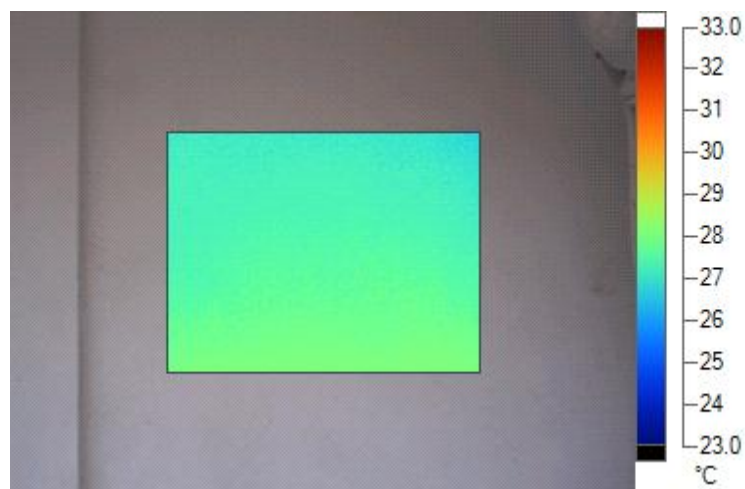


(α)

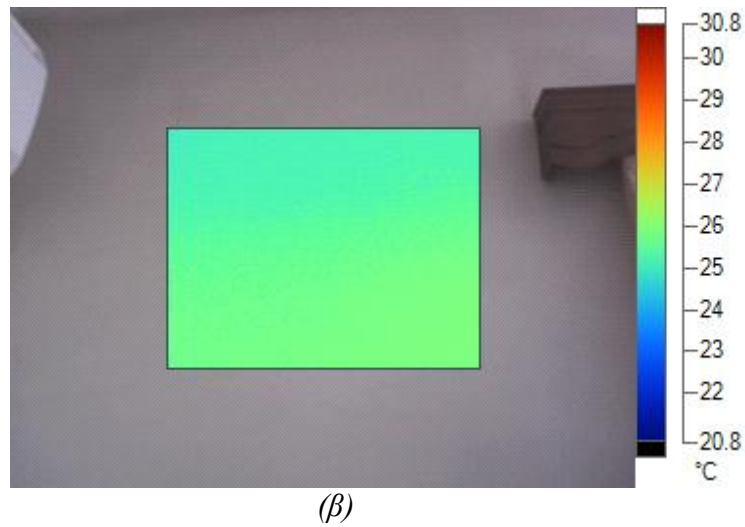


(β)

Εικόνα 6-13 Θερμοφωτογραφίες τοίχου α, ώρα 11:15μμ διαμερίσματος κατασκευής 2000  
 α) εξωτερική όψη  $T_{avg} = 27^{\circ} C$  β) εσωτερική όψη  $T_{avg} = 26,4^{\circ} C$



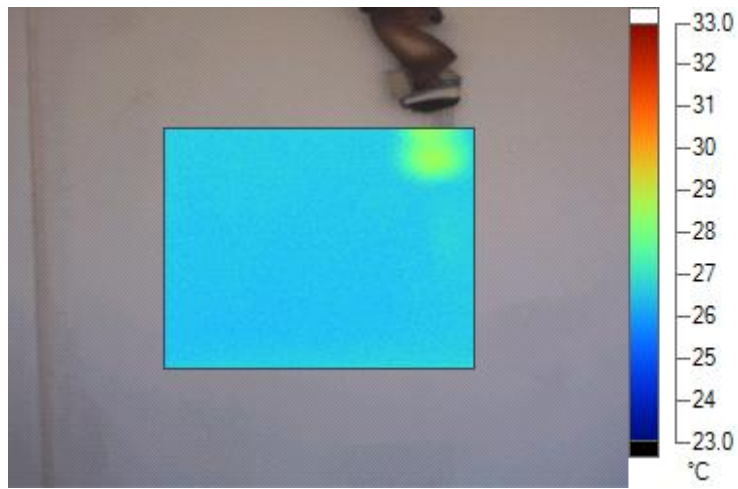
(α)



Εικόνα 6-14 Θερμοφωτογραφίες τοίχου ε, ώρα 11:15μμ διαμερίσματος κατασκευής2000  
 α)εξωτερική όψη  $T_{avg} = 27,1^{\circ} C$  β) εσωτερική όψη  $T_{avg} = 25,3^{\circ} C$



Εικόνα 6-15 Θερμοφωτογραφία τοίχου κ, ώρα 11:15μμ διαμερίσματος κατασκευής2000  
 ,εσωτερική όψη  $T_{avg} = 24,9^{\circ} C$  (εξωτερική όψη  $T_{avg} = 25^{\circ}$ )



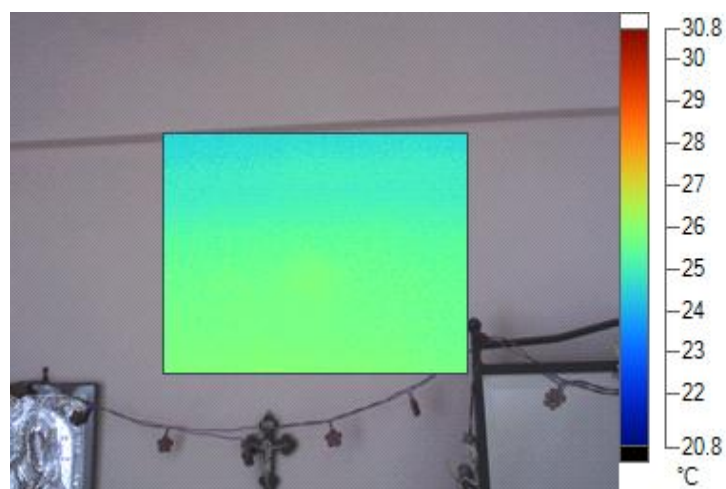
(α)



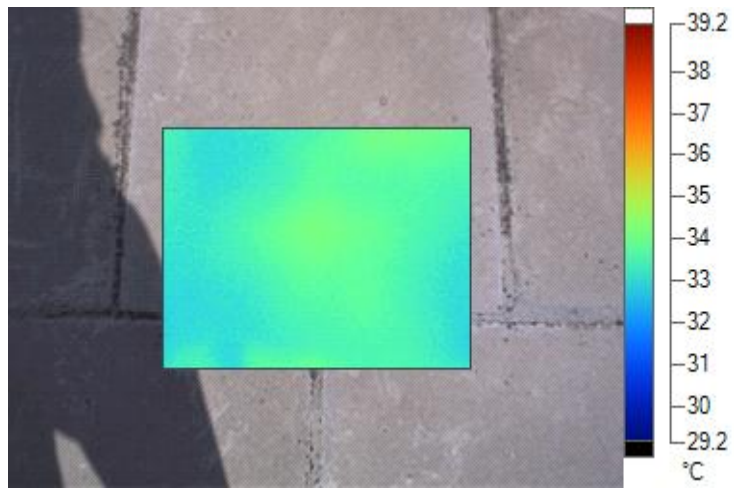
(β)

Εικόνα 6-16 Θερμοφωτογραφίες τοίχου δ, ώρα 12:15μμ διαμερίσματος κατασκευής 2000

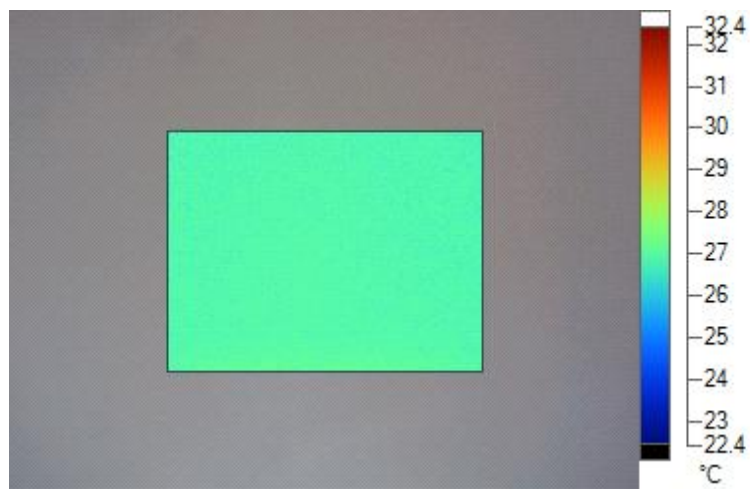
α) εξωτερική όψη  $T_{avg} = 26,9^{\circ} C$  β) εσωτερική όψη  $T_{avg} = 26,4^{\circ} C$



Εικόνα 6-17 Θερμοφωτογραφία τοίχου, ώρα 12:15μμ διαμερίσματος κατασκευής 2000, εσωτερική όψη  $T_{avg} = 24,8^{\circ} C$  (εξωτερική όψη  $T_{avg} = 26,8^{\circ}$ )



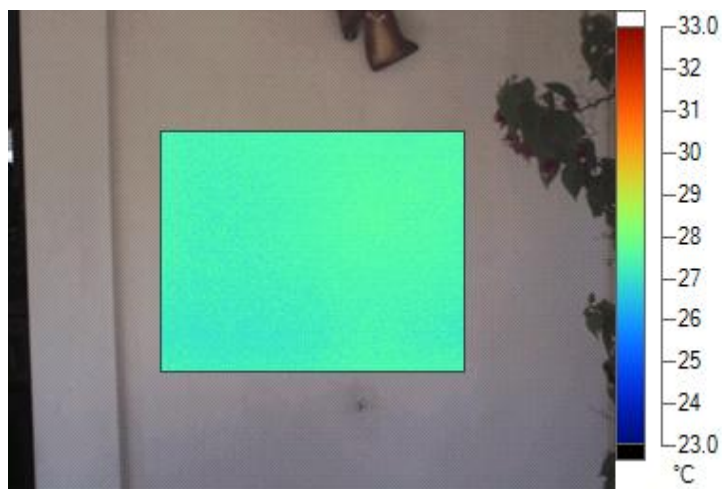
(α)



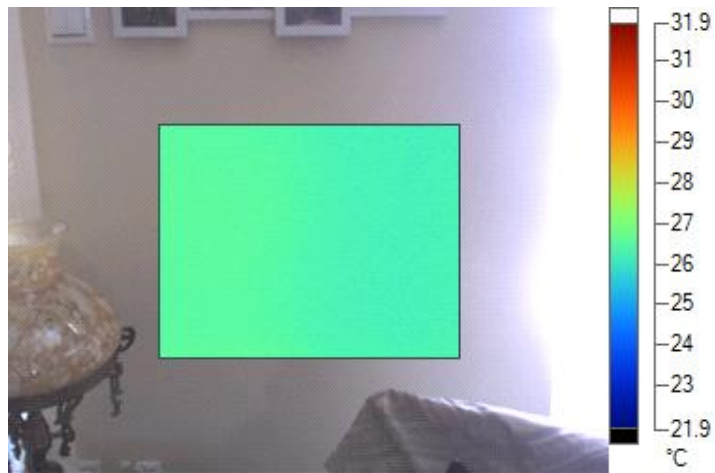
(β)

Εικόνα 6-18 Θερμοφωτογραφίες οροφής, ώρα 12:15μμ διαμερίσματος κατασκευής 2000

α) εξωτερική όψη  $T_{avg} = 33,5^{\circ} C$  β) εσωτερική όψη  $T_{avg} = 26,8^{\circ} C$



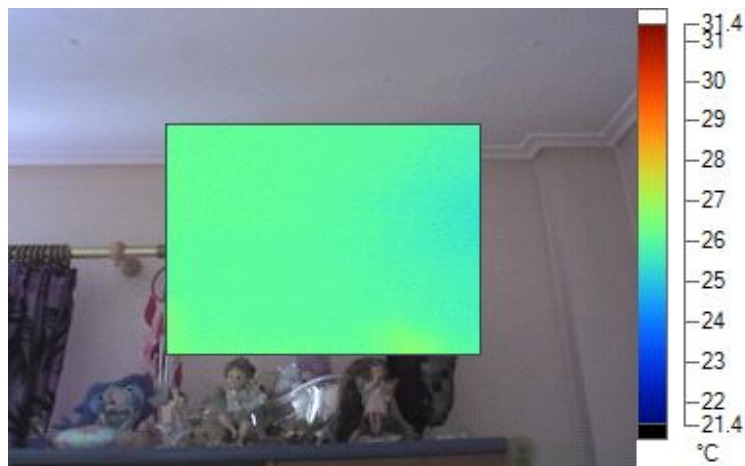
(α)



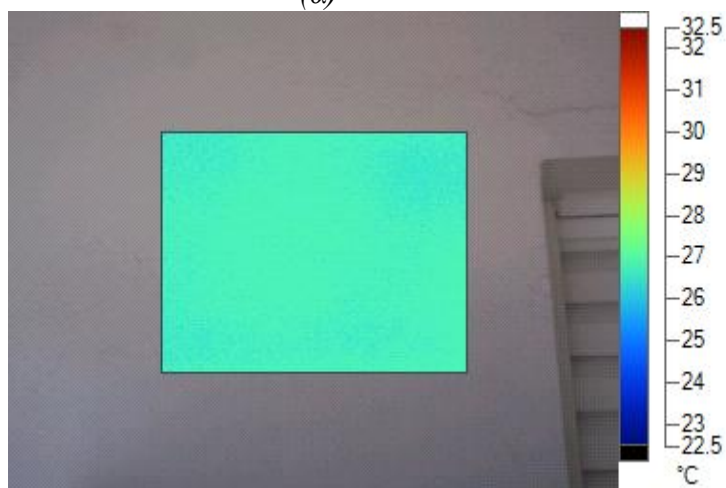
(β)

Εικόνα 6-19 Θερμοφωτογραφίες τοίχου γ, ώρα 12:45μμ διαμερίσματος κατασκευής 2000

α) εξωτερική όψη  $T_{avg} = 27,7^{\circ} C$  β) εσωτερική όψη  $T_{avg} = 26,5^{\circ} C$



(α)

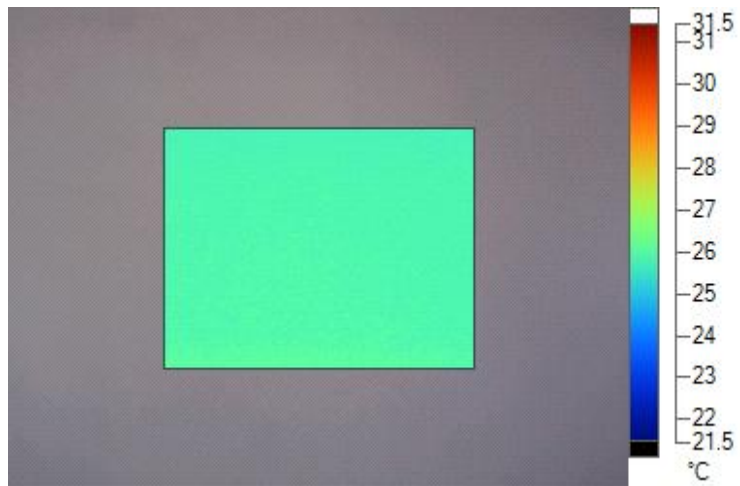


(β)

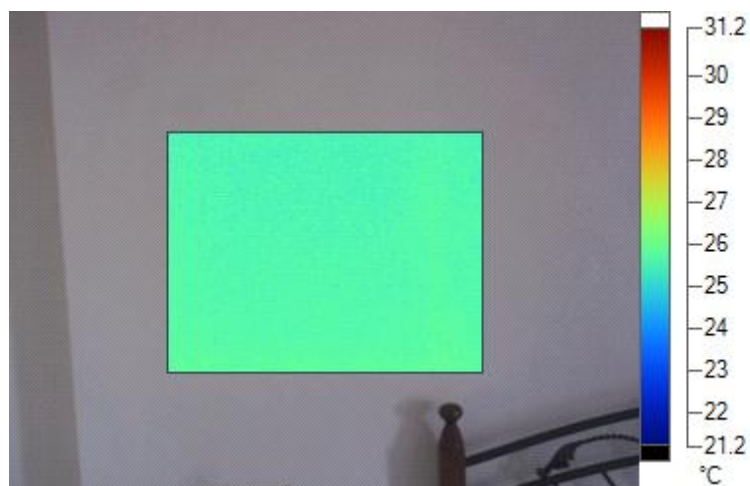
Εικόνα 6-20 Θερμοφωτογραφίες τοίχου θ, ώρα 12:45μμ διαμερίσματος κατασκευής 2000

α) εξωτερική όψη  $T_{avg} = 26,8^{\circ} C$  β) εσωτερική όψη  $T_{avg} = 25,8^{\circ} C$

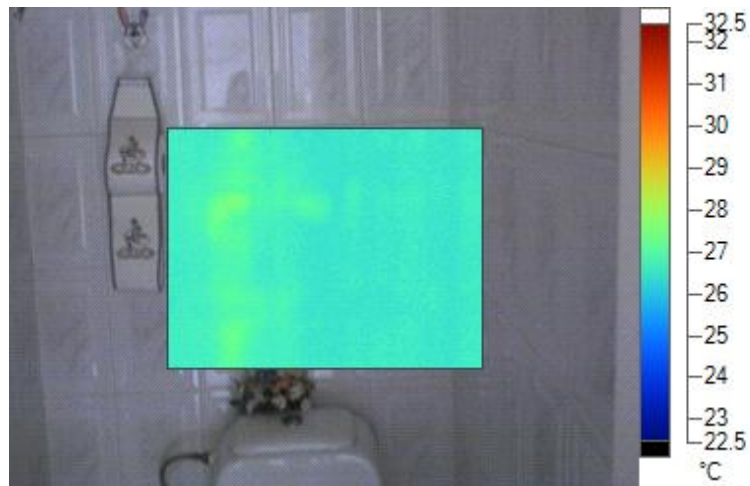




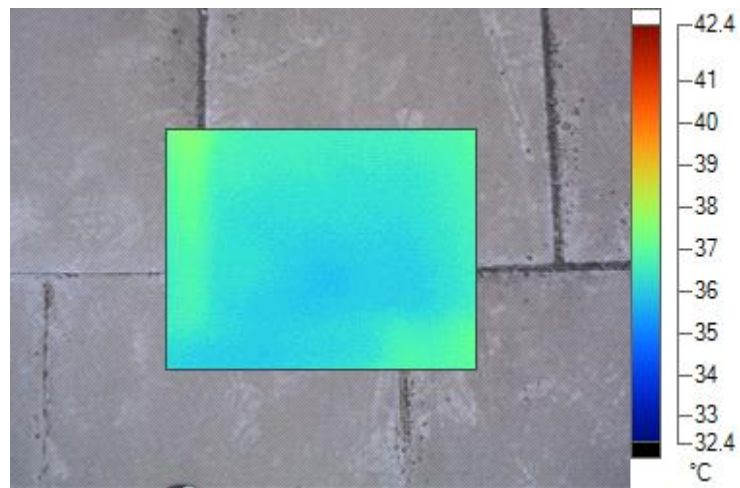
Εικόνα 6-21 Θερμοφωτογραφία τοίχου λ, ώρα 12:45μμ διαμερίσματος κατασκευής 2000, εσωτερική όψη  $T_{avg} = 27,5^{\circ} C$  (εξωτερική όψη  $T_{avg} = 25,9^{\circ}$ )



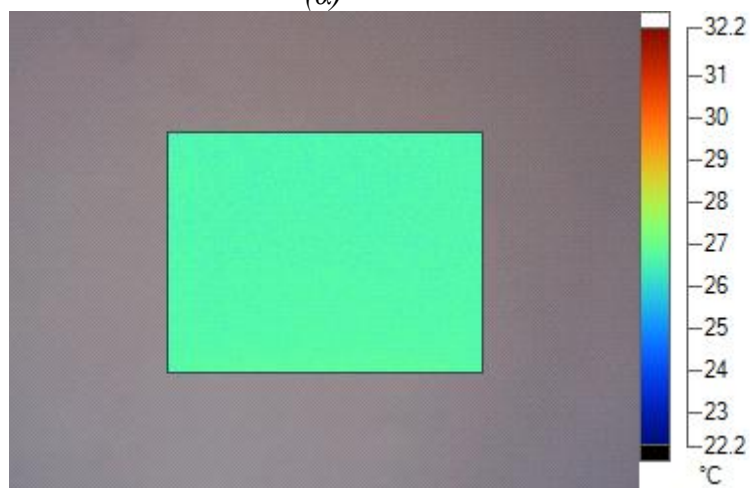
Εικόνα 6-22 Θερμοφωτογραφία τοίχου ζ, ώρα 14:45μμ διαμερίσματος κατασκευής 2000, εσωτερική όψη  $T_{avg} = 25,6^{\circ} C$  (εξωτερική όψη  $T_{avg} = 27,5^{\circ}$ )



Εικόνα 6-23 Θερμοφωτογραφία τοίχου μ, ώρα 14:45μμ διαμερίσματος κατασκευής 2000, εσωτερική όψη  $T_{avg} = 26,4^{\circ} C$  (εξωτερική όψη  $T_{avg} = 27,5^{\circ}$ )



(α)



(β)

Εικόνα 6-24 Θερμοφωτογραφίες οροφής , ώρα 14:45μμ διαμερίσματος κατασκευής 2000

α) εξωτερική όψη  $T_{avg} = 36,5^{\circ} C$  β) εσωτερική όψη  $T_{avg} = 26,8^{\circ} C$

## 7.ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Παρακάτω δίνονται πίνακες (πίνακας 7-1 έως πίνακας 7-8) στους οποίους καταγράφονται αριθμητικά οι θερμοκρασίες που προέκυψαν μέσω των μετρήσεων. Έτσι φαίνονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα για το κάθε διαμέρισμα, την κάθε χρονική στιγμή και κάθε δομικό στοιχείο, καθώς και η θερμοκρασιακή διαφορά που προκύπτει μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής πλευράς στην κάθε περίπτωση.

*Πίνακας 7-1 Εσωτερική θερμοκρασία, εξωτερική θερμοκρασία και θερμοκρασιακή διαφορά δομικών στοιχείων διαμερίσματος κατασκευής 1970, ώρα 12:00 μμ*

ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ	ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ °C	ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ °C	ΔΙΑΦΟΡΑ
A	26,2	29,9	3,7
B	26	27,9	1,9
Γ	25,9	27,9	2
Δ	26	27,4	1,4
Θ	25	25,1	0,1
I	24,7	24,9	0,2
E	26,1	26,2	0,1
Z	26,1	26,2	0,1
H	26,1	26,2	0,1
K	25,6	26,4	0,8
Λ	25,8	26,4	0,6
ΟΡΟΦΗ	25,6	28	2,4

Πίνακας 7-2 Εσωτερική θερμοκρασία, εξωτερική θερμοκρασία και θερμοκρασιακή διαφορά δομικών στοιχείων διαμερίσματος κατασκευής 1970, ώρα 12:45 μμ

ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ	ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ °C	ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ °C	ΔΙΑΦΟΡΑ
A	27,3	28	0,7
B	26,8	28,5	1,7
Γ	26,6	28,3	1,7
Δ	26,7	28,4	1,7
Θ	26,2	26,3	0,1
I	25,5	26	0,5
E	27	27,3	0,3
Z	27	27,3	0,3
H	27,2	27,3	0,1
K	26,6	27	0,4
Λ	26,6	27	0,4
ΟΡΟΦΗ	25,9	29	2,9

Πίνακας 7-3 Εσωτερική θερμοκρασία, εξωτερική θερμοκρασία και θερμοκρασιακή διαφορά δομικών στοιχείων διαμερίσματος κατασκευής 1970, ώρα 13:15 μμ

ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ	ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ °C	ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ °C	ΔΙΑΦΟΡΑ
A	27,2	28	0,5
B	26,6	28,3	1,7
Γ	26,5	28,3	1,8
Δ	26,6	28,1	1,5
Θ	26	27,4	1,4
I	25,5	26,2	0,7
E	26,8	27,7	0,9
Z	27	27,7	0,7
H	27,3	27,7	0,4
K	26,5	27,1	0,6
Λ	26,5	27,1	0,6
ΟΡΟΦΗ	26	30	4

Πίνακας 7-4 Εσωτερική θερμοκρασία, εξωτερική θερμοκρασία και θερμοκρασιακή διαφορά δομικών στοιχείων διαμερίσματος κατασκευής 1970, ώρα 13:45 μμ

ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ	ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ °C	ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ °C	ΔΙΑΦΟΡΑ
A	26,8	27,5	0,7
B	26,5	28	1,5
Γ	26,1	28	1,9
Δ	26,3	27,8	1,5
Θ	25,8	28,3	2,5
I	25,1	26	0,9
E	27	28	1
Z	26,8	28	1,2
H	27	28	1
K	25,9	26,7	0,8
Λ	26	26,7	0,7
ΟΡΟΦΗ	26	30	4

Πίνακας 7-5 Εσωτερική θερμοκρασία, εξωτερική θερμοκρασία και θερμοκρασιακή διαφορά δομικών στοιχείων διαμερίσματος κατασκευής 2000, ώρα 11:15 μμ

ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ	ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ °C	ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ °C	ΔΙΑΦΟΡΑ
A	26,4	27	0,6
B	26,1	27,1	1
Γ	25,9	26,9	1
Δ	26	26,5	0,5
E	25,3	27,1	1,8
Θ	24,8	25	0,2
I	25,2	25,3	0,1
Z	24,4	26,2	1,8
H	24,3	26,2	1,9
K	24,9	25	0,1
Λ	25,2	26	0,8
M	25,9	26	0,1
N	25,9	26	0,1
ΟΡΟΦΗ	26,3	29	2,7

Πίνακας 7-6 Εσωτερική θερμοκρασία, εξωτερική θερμοκρασία και θερμοκρασιακή διαφορά δομικών στοιχείων διαμερίσματος κατασκευής 2000, ώρα 12:15 μμ

ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ	ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ °C	ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ °C	ΔΙΑΦΟΡΑ
A	27	27,5	0,5
B	26,8	27,6	0,8
Γ	26,5	27,2	0,7
Δ	26,4	26,9	0,5
E	26,3	27,7	1,4
Θ	25,4	26	0,6
I	25,8	26,1	0,3
Z	25,3	26,8	1,5
H	24,8	26,8	2
K	25,4	26	0,6
Λ	25,8	26,7	0,9
M	26,6	26,7	0,1
N	26,3	26,7	0,4
ΟΡΟΦΗ	26,8	33,5	6,7

Πίνακας 7-7 Εσωτερική θερμοκρασία εξωτερική θερμοκρασία και θερμοκρασιακή διαφορά δομικών στοιχείων διαμερίσματος κατασκευής 2000, ώρα 12:45 μμ

ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ	ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ °C	ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ °C	ΔΙΑΦΟΡΑ
A	27,1	28,2	1,1
B	26,9	28,3	1,4
Γ	26,5	27,7	1,2
Δ	26,5	27,2	0,7
E	26,3	28,4	2,1
Θ	25,8	26,8	1
I	26,1	26,8	0,7
Z	25,4	27,6	2,2
H	25,4	27,6	2,2
K	25,6	26,8	1,2
Λ	25,9	27,5	1,6
M	26,7	27,5	0,8
N	26,7	27,5	0,8
ΟΡΟΦΗ	26,8	35	8,2

Πίνακας 7-8 Εσωτερική θερμοκρασία, εξωτερική θερμοκρασία και θερμοκρασιακή διαφορά δομικών στοιχείων διαμερίσματος κατασκευής 2000, ώρα 14:45 μμ

ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ	ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ °C	ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ °C	ΔΙΑΦΟΡΑ
A	27,1	27,5	0,4
B	27,3	27,7	0,4
Γ	26,9	27,5	0,6
Δ	26,6	27,1	0,5
E	26,3	27,5	1,2
Θ	25,5	27,6	2,1
I	25,8	27,6	1,8
Z	25,6	27,5	1,9
H	25,4	27,5	2,1
K	25,5	27,6	2,1
Λ	25,9	27,5	1,6
M	26,4	27,5	1,1
N	26,5	27,5	1
ΟΡΟΦΗ	26,8	36,5	9,7

Από τα παραπάνω αποτελέσματα εξάγονται οι εξής γενικές παρατηρήσεις :

- Οι εσωτερικές θερμοκρασίες των δομικών στοιχείων που συγκροτούν τον ίδιο χώρο κυμαίνονται στις ίδιες τιμές.
- Τα δομικά στοιχεία που βρίσκονται στον ίδιο χώρο και παρουσιάζουν μεγάλες θερμοκρασιακές διαφορές για την ίδια χρονική στιγμή πιθανότατα έχουν διαφορετικό συντελεστή εκπομπής (π.χ. λόγω διαφορετικού χρώματος τοίχου, διαφορετικού υλικού επικάλυψης, ακαθαρσίες κτλ).
- Οι εξωτερικές θερμοκρασίες των δομικών στοιχείων που έχουν ίδιο προσανατολισμό παρουσιάζουν περίπου τις ίδιες τιμές εκτός από τις περιπτώσεις όπου υπάρχει επίδραση σκιάστρου ή άμεση πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Πιο συγκεκριμένα για το διαμέρισμα κατασκευής 1970 παρατηρείται ότι :

- Παρουσιάζεται μεγάλη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των τοίχων  $\theta$  και  $\eta$  σε όλες τις μετρήσεις παρόλο που βρίσκονται στο ίδιο δωμάτιο. Αυτή η διαφορά οφείλεται στο διαφορετικό συντελεστή εκπομπής του τοίχου  $\eta$  αφού αποτελεί το πίσω μέρος μιας μεγάλης ντουλάπας που βρίσκεται στο χώρο.

- Επίσης στο δωμάτιο που περιλαμβάνει τους τοίχους  $\iota$  και  $\kappa$  παρουσιάζονται μεγάλες διαφορές θερμοκρασίας στις επιμέρους μετρήσεις μεταξύ των δύο τοίχων. Διαπιστώνεται δηλαδή πάλι μια διαφορά στο συντελεστή εκπομπής, λόγω φθορών που παρουσιάζει ο τοίχος  $\kappa$ , ικανών να μεταβάλλουν το συντελεστή εκπομπής.

Για το διαμέρισμα κατασκευής 2000 σημειώνονται τα παρακάτω:

- Ο τοίχος  $\delta$  παρουσιάζει αρκετά χαμηλότερη θερμοκρασία σε σχέση με τους γειτονικούς του  $\alpha, \beta, \gamma, \epsilon$  που ανήκουν στην ίδια πλευρά του διαμερίσματος. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι κατά τη διάρκεια των μετρήσεων ο συγκεκριμένος τοίχος ήταν πλήρως σκιασμένος.
- Οι τοίχοι  $\epsilon$  και  $\zeta$  ανήκουν στον ίδιο χώρο. Παρόλα αυτά παρατηρείται διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ τους. Ο τοίχος  $\zeta$  που δεν έχει δεχτεί ακόμη ηλιακή ακτινοβολία έχει μικρότερη θερμοκρασία για όλες τις μετρήσεις σε σχέση με τον τοίχο  $\epsilon$ .

Στη συνέχεια υπολογίζεται ένα ενδεικτικό ποσοστό της θερμοκρασιακής διαφοράς του κάθε δομικού στοιχείου προς την εξωτερική του θερμοκρασία (σχέση 7-1):

$$\frac{\Delta T}{T_{\epsilon\xi}} * 100\% = \frac{T_{\epsilon\xi} - T_{\epsilon\sigma}}{T_{\epsilon\xi}} * 100\% \quad (7-1)$$

Το ποσοστό αυτό είναι επιθυμητό σε μια κατασκευή να είναι υψηλό, καθώς η μεγάλη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος δηλώνει θερμική απομόνωση. Συνακόλουθα κάτι τέτοιο σημαίνει ότι υπάρχει μικρός ρυθμός ροής θερμότητας μέσω του δομικού στοιχείου, δηλαδή μικρός συντελεστής θερμοπερατότητας  $k$ . Ο συνδυασμός κατάλληλων δομικών υλικών, με το κατάλληλο πάχος και τοποθετημένων στη σωστή σειρά παρέχουν τον επιθυμητό μικρό συντελεστή  $k$ . Η σχέση 7-1 θα μπορούσε να ονομαστεί <<συντελεστής ποιότητας>> του εκάστοτε δομικού στοιχείου και μας δίνει πληροφορίες για τη θερμική απόδοση και θωράκιση του καθενός.



Πίνακας 7-9 Ποσοστά θερμοκρασιακής διαφοράς προς την εξωτερική θερμοκρασία για το διαμέρισμα κατασκευής 1970

ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ	12:00	12:45	13:15	13:45
A	12.3%	2.5%	1.7%	2.5%
B	6.8%	5.9%	6%	5.3%
Γ	7.1%	6%	6.3%	6.7%
Δ	5.1%	5.9%	5.3%	5.3%
Θ	0.3%	0.3%	5.1%	8.8%
I	0.8%	1.9%	2.6%	3.5%
E	0.3%	1%	3.2%	3.5%
Z	0.3%	1%	2.5%	4.2%
H	0.3%	0.3%	1.4%	3.5%
K	3%	1.4%	2.2%	2.9%
Λ	2.3%	1.4%	2.2%	2.6%
ΟΡΟΦΗ	8.5%	10%	13.3%	13.3%

Πίνακας 7-10 Ποσοστά θερμοκρασιακής διαφοράς προς την εξωτερική θερμοκρασία για το διαμέρισμα κατασκευής 2000

ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ	11:15	12:15	12:45	14:45
A	2.2%	1.8%	3.9%	1.4%
B	3.6%	2.8%	4.9%	1.4%
Γ	3.7%	2.5%	4.3%	2.1%
Δ	1.8%	1.8%	2.6%	1.8%
E	6.6%	5%	7.3%	4.3%
Θ	0.4%	2.3%	3.7%	7.6%
I	0.3%	1.1%	2.6%	6.5%
Z	4.5%	5.5%	7.9%	6.9%
H	4.2%	7.4%	7.9%	7.6%
K	1.5%	2.3%	4.4%	7.6%
Λ	1.5%	3.3%	5.8%	5.8%
M	0.4%	0.4%	2.9%	4%
N	0%	1.4%	2.9%	3.6%
ΟΡΟΦΗ	9.5%	20%	23.4%	26.5%

Στο γενικό σύνολο από τους πίνακες 7-9 και 7-10 συμπεραίνεται ότι τα ποσοστά για το διαμέρισμα κατασκευής 2000 είναι μεγαλύτερα σε σχέση με τα ποσοστά του διαμερίσματος κατασκευής 1970. Βέβαια οι διαφορές που παρατηρούνται είναι σχετικά μικρές αφού η εποχή που έλαβαν χώρα οι μετρήσεις δεν ήταν ευνοϊκή για μεγάλες θερμοκρασιακές διαφορές μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος. Για να εξαχθούν πιο αξιόπιστα αποτελέσματα με θερμογραφήματα, πρέπει το σύστημα εσωτερικός χώρος του κτιρίου και εξωτερικό περιβάλλον να βρίσκεται σε ισορροπία. Αυτό συμβαίνει κατά τους χειμερινούς μήνες, όταν οι εσωτερικοί χώροι θερμαίνονται και οι θερμοκρασίες περιβάλλοντος είναι χαμηλές, οπότε η διαφορά θερμοκρασίας είναι ικανοποιητική, τουλάχιστον 20 °C. Επίσης, το σύστημα πρέπει να έχει ισορροπήσει, δηλαδή η θερμοκρασιακή διαφορά να έχει παραμείνει σταθερή τουλάχιστον για τρεις ώρες. Η ιδανική χρονική περίοδος είναι το χειμώνα, τις ημέρες με ελάχιστη ή κατά προτίμηση καθόλου ηλιοφάνεια. Επίσης η επιφάνεια, η οποία ελέγχεται, είναι προτιμότερο να είναι κάθετη προς τον άξονα της μέτρησης.

Τα ποσοστά κυμαίνονται περίπου στα ίδια επίπεδα για κάθε τοίχο(σε όλες τις χρονικές στιγμές) και παρατηρείται ανοδική τάση με την πάροδο του χρόνου των μετρήσεων ,εκτός από ορισμένες περιπτώσεις στις οποίες εμφανίζονται ποσοστά που δεν συνάδουν με τα υπόλοιπα ,τα οποία οφείλονται στην επίδραση διάφορων εξωτερικών παραγόντων(απευθείας ακτινοβολία ήλιου, σκίαστρο κτλ).

Συγκεκριμένα για το διαμέρισμα κατασκευής 1970:

- Παρατηρείται αυξημένο ποσοστό στις μετρήσεις τοίχος  $\alpha$  (12:00), τοίχος  $\alpha$  (13:45) και τοίχος  $\theta$  (13:15). Τα ποσοστά αυτά οφείλονται στην απευθείας πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας στους παραπάνω τοίχους για τις χρονικές αυτές στιγμές.
- Αυξημένο σχετικά ποσοστό εμφανίζεται επίσης για τους τοίχους  $\kappa$  και  $\lambda$  (12:00), λόγω του αυξημένου ποσοστού του τοίχου  $\beta$ , η εξωτερική θερμοκρασία του οποίου χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί η εξωτερική θερμοκρασία των παραπάνω τοίχων.
- Υπάρχει μια αξιόλογη διαφορά ποσοστών όταν συγκριθούν οι τοίχοι που ανήκουν στην πίσω πλευρά του διαμερίσματος ( $\theta, \iota$ ) και στην μπροστινή ( $\alpha, \beta, \gamma$ ). Αυτό ίσως υποδεικνύει διαφορετικά υλικά δόμησης για τα δύο είδη τοίχων.
- Οι τοίχοι  $\epsilon$  και  $\zeta$  εμφανίζουν περίπου ίδια ποσοστά αφού και οι δύο καλύπτονται με πλακάκια, καθώς ο  $\epsilon$  ανήκει στο χώρο της κουζίνας και ο  $\zeta$  στο χώρο του μπάνιου. Ίσως εμφανίζουν παρόμοιο συντελεστή εκπομπής.
- Η οροφή παρουσιάζει αρκετά ικανοποιητικά ποσοστά που δηλώνουν ίσως την εφαρμογή πρόσθετης μόνωσης, καθώς πρόκειται για διαμέρισμα του τελευταίου ορόφου.

Για το διαμέρισμα κατασκευής 2000:

- Παρατηρούνται επίσης αυξημένα ποσοστά λόγω πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας. Το φαινόμενο αυτό εμφανίζεται στον τοίχο  $\epsilon$  (12:45), στον τοίχο  $\theta$  (12:45) και στον τοίχο  $\iota$  (12:45).
- Η οροφή παρουσιάζει αρκετά υψηλά ποσοστά που οφείλονται στην εφαρμογή πολύ καλής ποιότητας θερμομονωτικού υλικού κάτι που προφανώς εξυμνήθηκε κατά την κατασκευή ενός διαμερίσματος που ανήκει στον τελευταίο όροφο.

## 8.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Β. Χατζηαθανασίου, «Μετάδοση Θερμότητας», εκδόσεις ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη 2005
- [2] Cengel Y., Boles M., «Θερμοδυναμική για Μηχανικούς», εκδόσεις Τζιόλα, 3<sup>η</sup> έκδοση
- [3] Αιμ.Γ.Κορωναίος Καθηγητής ΕΜΠ- Γ.Ι.Πουλάκος Αναπλ.Καθηγητής ΕΜΠ, «Τεχνικά Υλικά», τόμοι 1,2,3,4 ,Αθήνα 2006
- [4] Αιμ.Γ.Κορωναίος Καθηγητής ΕΜΠ- Φοίβος Σαργέντης Υπ.Δρ.ΕΜΠ, «Θερμογραφία», Αθήνα 2003
- [5] Άγις Μ.Παπαδόπουλος Αναπλ Καθηγητής ΑΠΘ «Προδιαγραφές ιδιοτήτων θερμομονωτικών υλικών», Θεσσαλονίκη 2004
- [6] Adrian Bejan – Allan D.Kraus, «Heat Transfer Handbook»
- [7] Giovanni Maria Carlomagno and Luigi de Luca, «Infrared Thermography for Flow Visualization and Heat Transfer»
- [8] Ρογκότης Σάββας ,«Επεξεργασία εικόνας από θερμοκάμερα», Διπλωματική Εργασία τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών ΑΠΘ,2010
- [9] Καβαλιώτης Παναγιώτης και Θεοφράστου Δημήτριος, ,«Εφαρμογές θερμογραφίας σε σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας», Διπλωματική εργασία τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών ΑΠΘ,2008
- [10] Τοπαλή Φαίδρα, «Ενεργειακή επιθεώρηση στο κτίριο Χημικών Μηχανικών της πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου(πτέρυγα Η)»,Διπλωματική εργασία του τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών ΕΜΠ, 2010
- [11] Τσόλκας Βασίλειος και Τυρέκογλου Στυλιανός, «Μετρήσεις της θερμοκρασίας λειτουργίας των μετασχηματιστών του δικτύου διανομής», Διπλωματική εργασία του τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών ΕΜΠ,2008
- [12] [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com)
- [13] [www.kape.gr](http://www.kape.gr)
- [14] [www.fluke.com](http://www.fluke.com)
- [15] [www.ecomat.gr](http://www.ecomat.gr)
- [16] [www.dow.com](http://www.dow.com)