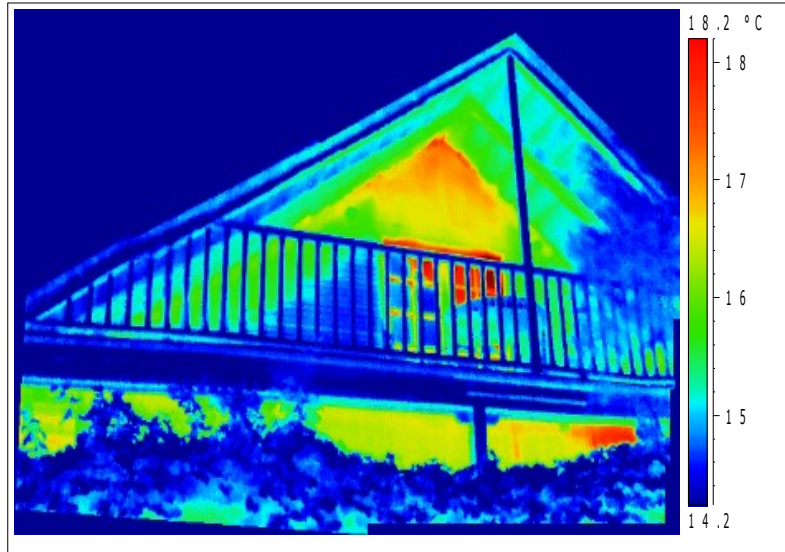




**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ**

**ΘΕΜΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ:**  
**ΠΑΘΗΤΙΚΗ ΚΤΗΡΙΑΚΗ ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ**  
**ΣΕ ΚΤΗΡΙΟ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ**



**ΣΥΝΤΑΚΤΗΣ: ΦΛΩΡΟΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΤΖΟΥΒΑΔΑΚΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ, ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ**

**Αθήνα, Νοέμβριος 2010**

.....  
Φλώρος Παναγιώτης  
Φοιτητής Πολιτικός Μηχανικός Ε.Μ.Π. , Δομοστατικός

Copyright © Φλώρος Παναγιώτης 2010

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσης εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης καθώς και η παρούσα βιβλιογραφία 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.

**ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Ευχαριστώ τον επιβλέποντα της Διπλωματικής μου εργασίας, επίκουρο καθηγητή Ε.Μ.Π. κ. Τζουβαδάκη Ιωάννη για την καθοδήγηση και τη στήριξή του, τον κ. Νικόλαο Αβδελίδη, Δρ Μηχανολόγο Μηχανικό Ε.Μ.Π., και τον κ. Παναγιώτη Θεοδωρακέα, υποψήφιο διδάκτορα Ε.Μ.Π. για το χρόνο που διέθεσαν. Επίσης, την κα. Μώρου Χρύσα, υποψήφια διδάκτορα Ε.Μ.Π. για τη διάθεσή της να βοηθήσει, την κα. Τριάντη Φρόσω, αρχιτέκτονα μηχανικό στην τεχνική υπηρεσία του Ε.Μ.Π. στο γραφείο ενεργειακής διαχείρισης, τον κ. Γιάννη Σκεντέρη για την παραχώρηση της οικίας του για τη διεξαγωγή της θερμογραφικής μελέτης. Τέλος, ευχαριστώ την εταιρία Transam Trading Co. για τη θερμοκάμερα που μας χορήγησε για την πειραματική διαδικασία και κυρίως τον κ. Μιχάλη Περάκη, μηχανολόγο και αεροναυπηγό μηχανικό του πανεπιστημίου Πατρών, για τις γνώσεις και τις συμβουλές που μοιράστηκε μαζί μου.

Αφιερωμένο στον  
πνευματικό μου πατέρα

### **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

**Στην παρούσα διπλωματική αναπτύσσεται η μέθοδος της παθητικής κτηριακής θερμογραφίας, καθώς και εφαρμογές της μεθόδου στον κτηριακό-κατασκευαστικό τομέα.**

### **ABSTRACT**

**The aim of the thesis is to assess the usefulness of passive infrared thermography, as a technique for the detection of the thermal performance of buildings.**

## ΕΥΡΕΙΑ ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη σημερινή εποχή που η ενέργεια έχει αποδειχτεί ότι δεν είναι ανεξάντλητη, η αξιολόγηση και ο έλεγχος της απόδοσης των κτηριακών υλικών που χρησιμοποιούνται ευρέως και αδιακρίτως στην κτηριακή βιομηχανία, έχουν καταστεί απαραίτητα. Οι περισσότερες "παθολογίες" στα υλικά συσχετίζονται και με τη θερμική τους συμπεριφορά. Συνεπώς, η δυνατότητα μέτρησης των επιφανειακών θερμοκρασιών του κτηρίου δύναται να βοηθήσει στην εξαγωγή συμπερασμάτων ως προς την ποιοτική κατασκευή του. Η φροντίδα και η υποστήριξη των παλαιών κτηριακών κατασκευών εκ σκυροδέματος ή λιθοσωμάτων είναι μια ενέργεια απαραίτητη στην εποχή μας καθότι αποτελούν το 89% των συνολικών κατασκευών (πηγή ΕΣΥΕ 2004). Οι παλαιές αυτές κατασκευές είτε είναι απαρχαιωμένες είτε είναι λειτουργικά ανεπαρκείς, είτε σε κάποιες άλλες περιπτώσεις έχουν υποστεί βλάβες, οπότε υπάρχει ανάγκη αντικατάστασης ή αποκατάστασης τους. Καθώς η αντικατάσταση παλαιών κτηρίων, είναι ακριβή υπόθεση, τίθεται θέμα αποκατάστασης της ήδη υπάρχουσας κατασκευής και σε πολλές περιπτώσεις επιβάλλεται πρόγραμμα ενίσχυσής της.

Η χρήση μη καταστροφικών τεχνικών (ΜΚΤ) γι' αυτό το σκοπό είναι πολύ χρήσιμη, καθώς αξιολογούνται τα κτηριακά υλικά, χωρίς να επηρεάζεται η δομή του κτηρίου. Μία από τις Μ.Κ.Τ. είναι και η παθητική υπέρυθη κτηριακή θερμογραφία. Με αυτήν την τεχνική λαμβάνοντας υπόψη μας τα ειδικά χαρακτηριστικά των προς μέτρηση υλικών, τις θερμοκρασίες, τις περιβαλλοντικές συνθήκες, αλλά και άλλες παραμέτρους που θα αναλυθούν στη συνέχεια μπορούμε να υπολογίσουμε τις επιφανειακές θερμοκρασίες οι οποίες αναπτύσσονται πάνω στην κατασκευή και κυριότερα να τις κάνουμε ορατές στο ανθρώπινο μάτι. Συγκεκριμένα οι θερμογραφικές κάμερες συλλέγουν υπέρυθη ακτινοβολία που εκπέμπεται από την επιφάνεια, την μετατρέπουν σε ηλεκτρικά σήματα και δημιουργούν μια θερμική εικόνα που δείχνει την κατανομή της εκπεμπόμενης επιφανειακής θερμότητας και της επιφανειακής θερμοκρασίας.

Η τεχνική της παθητικής κτηριακής θερμογραφίας εφαρμόζεται στα κτήρια, εδώ και μερικές δεκαετίες και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό προβλημάτων στη μόνωση, διαρροών αέρα, απωλειών θερμότητας, υγρασίας, διαφορετικών υλικών, διαρροών υδραυλικών σωληνώσεων και σε μερικές περιπτώσεις ακόμα και επιφανειακών ρωγμών. Με τη χρήση της τεχνικής αυτής μπορούμε, λοιπόν, να βρούμε σε ποια σημεία "πονάει" το κτήριο και να προτείνουμε τρόπους θωράκισής του σ' εκείνα τα σημεία εξοικονομώντας με αυτόν τον τρόπο ένα σεβαστό ποσό χρημάτων.

Ως μέθοδος βρίσκεται ακόμα στα "παιδικά" της χρόνια. Η εφαρμογή της στα κτηριακά υλικά θα πρέπει να γίνεται με πολλή προσοχή και κριτική ικανότητα. Η παθητική θερμογραφία δεν είναι κάποιο μαγικό εργαλείο και δεν αποτελεί πανάκεια για τον εντοπισμό των προβλημάτων στα κτήρια. Πολλές φορές απαιτείται ο συνδυασμός Μ.Κ.Τ. για την διατύπωση ασφαλέστερων συμπερασμάτων. Ακόμα και τότε όμως ο θερμογράφος οφείλει να βλέπει, να ακούει και να διαισθάνεται. Η εμπειρία καθώς και το θεωρητικό υπόβαθρο της φυσικής των κτηρίων είναι απαραίτητα στοιχεία για την διατύπωση σωστών συμπερασμάτων.

## ABSTRACT

Nowadays, energy is precious which is why it is of the utmost importance, not to waste it. Therefore we must assess whether or not a building has insulation, energy efficiency, air leakage etc.etc. . The majority of problems are related to thermal behaviour. Therefore, the surface temperature of the building can help us come to the conclusion, of the quality of the construction of the building. 89% of existing buildings, in Greece, are old construction, meaning that care was not taken during construction or it has deteriorated with age, with insulation or whatever insulation was put in wrong way or bad quality. Which is why they should be assessed and the necessary alterations be made to make them energy efficient.

Non-Destructive Testing (NDT) for this is useful, as we are able to evaluate the building materials without affecting the structure itself. One of the NDT is passive building thermography. With this technique, taking into consideration various aspects of the building materials and the surrounding area, such as temperature, reflected temperature, emissivity of the building materials etc.etc. we can calculate surface temperatures and make them visible to the human eye. More specifically, the thermographic cameras collect infrared rays emitted from the surface and are converted into electrical signals, which create a thermal image. This shows how the surface temperature is distributed.

The technique of passive building thermography has only been put into use over recent years and it can be used in order to locate insulation problems, air leakage, heat loss, damp and pipe leakage. One further use of passive building thermography, is to recognize different building materials and in some situations surface cracks. Having found the problem areas, it is then possible to target only those specific areas and consequently save money.

As a technique it is still in its infant stage and as a consequence must be used with care and consideration. The passive building thermography, is not a magic wand and there is the possibility of its missing the problem, therefore it is necessary to combine it with other NDTs in order to ensure a correct conclusion be reached. It must be added that the thermographer plays a vital role, as he is the one who sees, hears and senses the problem.





## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΡΕΙΑ ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	10
ABSTRACT.....	11
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	13
ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΤΟΜΟΥ.....	17

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΥΠΕΡΥΘΡΗ ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΙΑ.....	21
1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΤΗΣ ΥΠΕΡΥΘΡΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ.....	21

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΘΕΩΡΙΑ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΙΑΣ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	27
2.2 ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ.....	27
2.2.1 Μετάδοση με αγωγή.....	28
2.2.2 Μετάδοση με μεταφορά ή συναγωγή.....	28
2.2.3 Μετάδοση με ακτινοβολία.....	30
2.3 Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα.....	31
2.4 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΥΠΕΡΥΘΡΗΣ ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΙΑΣ.....	32
2.4.1 Ακτινοβολία μέλανος σώματος & νόμος του Kirchoff.....	33
2.4.2 Νόμος του Planck.....	35
2.4.3 Νόμος της μετατόπισης του Wien.....	36
2.4.4 Νόμος των Stefan-Boltzmann.....	37
2.5 ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΗΤΕΣ ΠΟΥ ΔΕΝ ΕΙΝΑΙ ΜΕΛΑΝΑ ΣΩΜΑΤΑ.....	38
2.6 ΥΛΙΚΑ ΗΜΙΔΙΑΦΑΝΗ ΣΤΙΣ ΥΠΕΡΥΘΡΕΣ.....	41

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

3.1 ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΤΗΣ ΥΠΕΡΥΘΡΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ.....	43
3.1.1 Ανιχνευτές Υπέρυθρης Ακτινοβολίας.....	43
3.1.2 Ανίχνευσης και Καταγραφής της Υπέρυθρης Ακτινοβολίας.....	43
3.1.3 Μήκος Κύματος Θερμογραφικών Συστημάτων.....	44
3.1.4 Διακριτική Ικανότητα Θερμογραφικών Συστημάτων.....	44
3.2 ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ.....	44
3.2.1 Παθητική Προσέγγιση.....	45
3.2.2 Ενεργητική Προσέγγιση.....	46
3.2.2.1 Θέση εξωτερικής πηγής θερμότητας.....	48
3.2.2.2 Θέση ανιχνευτή θερμότητας (θερμοκάμερα).....	49
3.3 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΗΣΗ.....	50
3.3.1 Συντελεστής εκπομπής $\epsilon$ ή $\epsilon_l$ ή $\epsilon_a$ .....	50
3.3.2 Φαινόμενη θερμοκρασία ανάκλασης.....	53
3.3.3 Απόσταση αντικειμένου από θερμοκάμερα.....	53
3.3.4 Σχετική και απόλυτη υγρασία.....	53
3.3.4.1 Ορισμός του σημείου δρόσου.....	54
3.3.5 Λοιπές παράμετροι.....	54
3.4 ΕΥΡΕΣΗ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΕΝΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ.....	54
3.4.1 Προσδιορισμός της φαινόμενης θερμοκρασίας ανάκλασης.....	54
3.4.1.1 Μέθοδος 1: Άμεση μέθοδος.....	55
3.4.1.2 Μέθοδος 2 : Μέθοδος κατόπτρου ή μέθοδος του ανακλαστήρα.....	56
3.4.2 Προσδιορισμός του συντελεστή εκπομπής $\epsilon$ .....	57

3.4.2.1 Μέθοδος με emissivity αναφοράς ή Μέθοδος του Συντελεστή Εκπομπής Πρότυπου Αναφοράς.....	57
3.4.2.2 Μέθοδος Με επαφή ή μέθοδος θερμοζυγού.....	58
3.5 ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΩΝ ΚΡΙΣΙΜΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ.....	59
3.6 ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΕ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ.....	60
3.7 ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΕΠΙΤΡΕΠΤΗΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ...	61
3.8 ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ.....	61
3.9 ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ.....	61

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΙΑ ΚΤΗΡΙΩΝ**

4.1 ΘΕΩΡΙΑ ΤΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΤΩΝ ΚΤΗΡΙΩΝ.....	63
4.1.1 Εισαγωγικά .....	63
4.1.2 Κτηριακή θερμογραφία και εξοικονόμηση ενέργειας .....	64
4.1.3 Πηγές διαταραχών στη θερμογραφία .....	66
4.1.4 Επιφανειακή θερμοκρασία και διαρροές αέρα.....	67
4.1.5 Συνθήκες πίεσης σε ένα κτίριο.....	68
4.1.6 Συνθήκες για έρευνες πεδίου ( <i>in situ</i> ) γενικές πληροφορίες.....	69
4.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΣΤΟΝ ΚΤΗΡΙΑΚΟ ΤΟΜΕΑ.....	72
4.2.1 Ατέλειες στο κτιριακό κέλυφος.....	72
4.2.1.1 Θερμικές γέφυρες.....	72
4.2.1.2 Ρωγμές.....	74
4.2.2 Ανίχνευση υγρασίας, μούχλας και ζημιών λόγω νερού.....	77
4.2.2.1 Υγρασία σε επίπεδες στέγες και ταράτσες.....	78
4.2.2.2 Συμπύκνωση υδρατμών σε τοίχους.....	79
4.2.2.3 Εσωτερικές διαρροές και εντοπισμός αγωγών.....	80
4.2.3 Εντοπισμός διείσδυσης αέρα.....	81
4.2.4 Εντοπισμός διαφορετικών οικοδομικών υλικών.....	82
4.2.5 Ανίχνευση κρυμμένων κατασκευαστικών στοιχείων.....	83
4.3 ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΥΠΕΡΥΘΡΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	84
4.4 ΣΥΝΤΑΞΗ ΕΚΘΕΣΕΩΝ.....	85

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ**

5.1 ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ.....	87
5.1.1 Επαγγελματικές οροφές μικρής κλίσης.....	87
5.1.2 Προσόψεις επαγγελματικών κτηρίων και κατοικιών.....	92
5.1.3 Ψευδόστεγα και μπαλκόνια.....	94
5.1.4 Σπασίματα και διαρροές υδραυλικών εγκαταστάσεων.....	97
5.2 ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ ΑΕΡΑ.....	100
5.2.1 Διείσδυση αέρα λόγω εσφαλμένης τοποθέτησης μόνωσης.....	101
5.2.2 Διείσδυση αέρα λόγω ρωγμών.....	102
5.3 ΑΤΕΛΕΙΕΣ ΣΤΗ ΜΟΝΩΣΗ.....	103
5.3.1 Θερμική αντίσταση κτηριακού κελύφους, θερμικές γέφυρες.....	103
5.4 ΓΙΑ ΤΟΝ ΑΝΑΓΝΩΣΤΗ.....	106

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΜΕΖΟΝΕΤΑΣ**

6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	111
6.2 ΣΚΟΠΟΣ.....	111
6.3 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ.....	112
6.4 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ.....	113
6.5 ΟΡΓΑΝΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ.....	114
6.5.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά της θερμοκάμερας Flir T400.....	114

6.5.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά του θερμοκρασιο-υγρόμετρου Skywatch Atmos....	115
6.6 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ.....	115
6.7 ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ.....	116
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	133
ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ – ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	137
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΠΗΓΕΣ.....	139
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....	143

## ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΤΟΜΟΥ

Η κατανάλωση ενέργειας στον κτηριακό τομέα παρουσιάζει τα τελευταία χρόνια μια σημαντική αύξηση. Η ενέργεια που καταναλώνουν τα κτήρια χρησιμοποιείται για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης, ψύξης, φωτισμού, λειτουργίας οικιακών συσκευών, καθώς και για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης, με στόχο την επίτευξη θερμικής και οπτικής άνεσης για τους ενοίκους. Η αυξημένη τα τελευταία χρόνια κατανάλωση ενέργειας έχει ως συνέπεια την ατμοσφαιρική ρύπανση σε μεγάλη κλίμακα, κυρίως μέσω των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα CO<sub>2</sub>. Στην Ελλάδα, στον κτηριακό τομέα η συντριπτική πλειοψηφία των κτηρίων δεν τηρούν τις ελάχιστες προϋποθέσεις θερμομόνωσης και γενικότερα το κέλυφος των κτηρίων στις ελληνικές κατασκευές είναι ανεπαρκές με το 70 % των υπάρχουσών κτηρίων να μην έχει προβλεφθεί θερμική μόνωση και μόνο το 10% να έχει επαρκή μόνωση. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας.

Ο σκοπός της παρούσης διπλωματικής είναι να δημιουργηθεί ένας οδηγός για αρχάριους για την παθητική κτηριακή θερμογραφία. Στην ελληνική βιβλιογραφία πέρα από τη μετάφραση του οδηγού της θερμοκάμερας της εταιρίας Flir, δεν υπάρχει κάτι σχετικό που να απευθύνεται σε φοιτητές οι οποίοι ενδιαφέρονται να έχουν μια πρώτη επαφή με την κτηριακή θερμογραφία. Αυτό που παρατηρήθηκε κατά τη διάρκεια σύνταξης της εργασίας ήταν η πολυγνωμία απόψεων πάνω στο ίδιο θέμα

γεγονός που δυσκόλεψε σημαντικά την προσπάθεια συγγραφής της παρούσης εργασίας. Έγινε, όμως, μια προσπάθεια συγκέντρωσης σε ένα ενιαίο κείμενο, της βασικής ιδέας της κτηριακής θερμογραφίας, με κριτική αντιμετώπιση της γνώσης που συλλέχθηκε. Απώτερος στόχος της διπλωματικής αυτής είναι ο συντάκτης να ασχοληθεί στο άμεσο μέλλον με τις μη καταστροφικές τεχνικές στον κτηριακό τομέα. Για το λόγο αυτό ο συντάκτης της παρούσης εργασίας παρακολούθησε το **7<sup>ο</sup> Εθνικό Συνέδριο Μη Καταστροφικών Ελέγχων** που οργανώθηκε στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο στις 15-17/10/2010 από την Ελληνική Εταιρία Μη Καταστροφικών Ελέγχων καθώς και το σεμινάριο της εταιρίας Infrared Training Center με τίτλο **Εφαρμογή της Θερμογραφίας στις κτηριακές εγκαταστάσεις** στις 2-4/7/10. Και από τα δύο σεμινάρια αποκομίστηκαν σημαντικές γνώσεις. Στην παρούσα διπλωματική αναπτύσσεται η μέθοδος της παθητικής κτηριακής θερμογραφίας και οι εφαρμογές στον κτηριακό κατασκευαστικό τομέα και έχει την ακόλουθη δομή.

Στο πρώτο κεφάλαιο της διπλωματικής κρίθηκε σκόπιμο να γίνει η αναφορά σε ανθρώπους που χωρίς τις έρευνές τους η θερμογραφία θα ήταν σενάριο επιστημονικής φαντασίας. Είναι ένας φόρος τιμής, σε επιστήμονες που πολλές φορές ξεχνάμε να αναφέρουμε και να ευχαριστήσουμε.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναπτύσσεται η θεωρία πάνω στην οποία στηρίζεται η θερμογραφία. Ο θερμογράφος οφείλει να γνωρίζει τη θεωρία που κρύβεται πίσω από αυτά που παρατηρεί. Με αυτόν τον τρόπο θα αποφύγει κακές πρακτικές και λάθη που μερικές φορές κοστίζουν πολύ ακριβά.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύονται έννοιες, όπως ο συντελεστής εκπομπής και η φαινόμενη θερμοκρασία ανάκλασης καθώς και οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την μέτρηση τους. Επίσης, αναλύονται οι παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμογραφική απεικόνιση με κυριότερο αυτό της ατμόσφαιρας. Όμως, στον ποιοτικό έλεγχο, με τον οποίο θα ασχοληθούμε, δεν χρειάζεται μεγάλη ακρίβεια στην αριθμητική επεξεργασία των παραμέτρων αυτών.

Στο τέταρτο κεφάλαιο έχουμε συγκεντρώσει, τα βασικά θέματα που πρέπει να προσέξει ένας κτηριακός θερμογράφος καθώς και τα προβλήματα που μπορούν να εντοπιστούν με αυτή την τεχνική.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται ψηφιακές εικόνες, σχέδια και θερμογραφήματα, ώστε να μπορεί ο μελετητής της παρούσης εργασίας να πάρει μια πρώτη εικόνα του τι πρέπει να περιμένει από τη χρήση αυτής της μη καταστρεπτικής τεχνικής. Στο τέλος του κεφαλαίου, τοποθετήθηκαν και μερικές θερμογραφικές εικόνες, χωρίς επεξήγηση, για να μπορέσει ο αναγνώστης να δει, αν μπορεί να τις ερμηνεύσει ποιοτικά, με αυτά που διάβασε στα προηγούμενα κεφάλαια.

Στο έκτο κεφάλαιο έγινε μια εφαρμογή ελέγχου κτηρίου μέσω της παθητικής κτηριακής θερμογραφίας, που πραγματοποιήθηκε στις 16/10/10 σε κτήριο κατοικίας στην θέση Αγ.Νικόλαου Κάντζας, στην Παλλήνη Αττικής. Μέσω αυτής της μελέτης, αναδεικνύουμε τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της συγκεκριμένης μη καταστροφικής τεχνικής.

Στα παραρτήματα υπάρχουν οι πίνακες του συντελεστή εκπομπής  $\epsilon$  για διάφορα υλικά που τοποθετήθηκαν για την διευκόλυνση των φοιτητών που θα θελήσουν να ασχοληθούν με την θερμογραφία.





## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> : Εισαγωγή

### 1.1 Υπέρυθρη Θερμογραφία

Η υπέρυθρη θερμογραφία είναι ένας μη καταστρεπτικός έλεγχος, κατά τον οποίο μετράται 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, μια “θερμική” εικόνα (σε έγχρωμη ή σε αποχρώσεις του γκριζού μορφή) της εξεταζόμενης επιφάνειας. Η τεχνική της υπέρυθρης θερμογραφίας για την εξέταση υλικών χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό: υγρασίας, προβληματικής μόνωσης φθοράς και ζημιών, ρωγμών εισόδου αέρα, συμβατότητας των εξεταζόμενων υλικών πχ ασυμβατότητα τσιμεντοκονιάματος με παραδοσιακά υλικά κατασκευής κτλ.

### 1.2 Ιστορικό της υπέρυθρης τεχνολογίας

Η πρώτη καταγεγραμμένη “θερμογραφική” διάγνωση εντοπίζεται στα γραπτά του Ιπποκράτη περίπου το 480 π.Χ. όπου, όπως περιγράφεται, εφάρμοζε υγρή λάσπη στο σώμα του ασθενή και τα σημεία που στέγνωσε πρώτα η λάσπη ήταν πιθανά σημεία οργανικών δυσλειτουργιών. Ίσως ήταν τα πρώτα “θερμά” σημεία (hot spots). Αυτά τα σημεία στην κτηριακή θερμογραφία είναι εκείνα στα οποία οι υποεπιφανειακές ανωμαλίες στο υλικό δημιουργούν τοπικές διαφορές στην επιφανειακή θερμοκρασία προκαλούμενες από τους διαφορετικούς βαθμούς θερμικής μεταφοράς στις ζώνες που υπάρχουν ατέλειες. Για την παθητική θερμογραφία συγκεκριμένα θα μπορούσαμε να πούμε, ίσως, ότι το κτήριο προσομοιάζεται με τον ασθενή και αναζητάμε εκείνες τις θερμοκρασίες που μας δείχνουν ότι υπάρχει ο αντίστοιχος “πυρετός”. (1)

Πριν από το 1800, κανείς δεν μπορούσε ούτε καν να φανταστεί την ύπαρξη του υπέρυθρου



τμήματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Η αρχική σημασία του υπέρυθρου φάσματος, ή απλώς των ‘υπερύθρων’ όπως συχνά ονομάζεται αυτό, ως μια μορφή ακτινοβολίας θερμότητας είναι σήμερα ίσως λιγότερο προφανής από ό,τι κατά την εποχή της ανακάλυψής του από τον Herschel το 1800.

Η ανακάλυψη έγινε συμπτωματικά κατά τη διάρκεια έρευνας πάνω σε ένα καινούργιο οπτικό υλικό. Ο Sir William Herschel – βασιλικός αστρονόμος του βασιλιά Γεωργίου του III της Αγγλίας και ήδη διάσημος για την ανακάλυψη του πλανήτη Ουρανού αναζητούσε ένα υλικό



οπτικού φίλτρου που θα μείωνε τη φωτεινότητα της εικόνας του ήλιου στα τηλεσκόπια κατά τις παρατηρήσεις της ηλιακής επιφάνειας.

**Εικ.1.1:** *Ιπποκράτης (460-357 BC)*  
*ο πατέρας της ιατρικής (1)*

Καθώς δοκίμαζε διάφορα δείγματα έγχρωμου γυαλιού τα οποία έδιναν παρόμοιες μειώσεις της φωτεινότητας, εντυπωσιάστηκε, όταν ανακάλυψε ότι μερικά από τα δείγματα άφηναν να περάσει ελάχιστη από τη θερμότητα του ήλιου, ενώ άλλα άφηναν να περάσει τόσο πολλή ακτινοβολία που κινδύνευε το μάτι του μετά από ελάχιστα λεπτά παρατήρησης.



Ο Herschel σύντομα πείστηκε για την ανάγκη διεξαγωγής ενός συστηματικού πειράματος, με στόχο την εύρεση ενός υλικού που θα επιτύγχανε την επιθυμητή μείωση φωτεινότητας, καθώς και τη μέγιστη μείωση της διάδοσης θερμότητας. Άρχισε το πείραμα επαναλαμβάνοντας ουσιαστικά το πείραμα με το πρίσμα του Νεύτωνα, αναζητώντας, όμως, το φαινόμενο θέρμανσης αντί της οπτικής κατανομής της έντασης στο φάσμα. Αρχικά, μαύρισε με μελάνη τη σφαίρα ενός ευαίσθητου, γυάλινου θερμομέτρου υδραργύρου και, χρησιμοποιώντας αυτό ως ανιχνευτή ακτινοβολίας, συνέχισε δοκιμάζοντας τις θερμαντικές επιπτώσεις των διαφόρων χρωμάτων του φάσματος που σχηματιζόταν στην επιφάνεια ενός τραπεζιού, καθώς περνούσε το φως του ήλιου μέσα από ένα γυάλινο πρίσμα.

**Εικ.1.2:** *Sir William Herschel (1738–1822) (1)*

Άλλα θερμομέτρα, που ήταν τοποθετημένα μακριά από τις ακτίνες του ήλιου, εξυπηρετούσαν ως στοιχεία ελέγχου. Καθώς το μαυρισμένο θερμομέτρο μετακινείτε αργά κατά μήκος των διαφόρων χρωμάτων του φάσματος, η μετρούμενη θερμοκρασία έδειχνε μια σταθερή αύξηση από το ιώδες άκρο προς το ερυθρό άκρο. Αυτό ήταν εν μέρει αναμενόμενο, καθώς ο Ιταλός ερευνητής, Landriani, σε παρόμοιο πείραμα το 1777 είχε παρατηρήσει περίπου το ίδιο φαινόμενο. Ωστόσο, ο Herschel ήταν ο πρώτος που αναγνώρισε ότι θα πρέπει να υπάρχει ένα σημείο όπου το φαινόμενο θέρμανσης φτάνει στο μέγιστο όριό του, καθώς και ότι οι μετρήσεις που περιορίζονταν στο ορατό τμήμα του φάσματος δεν είχαν καταφέρει να εντοπίσουν αυτό το σημείο.



Μετακινώντας το θερμομέτρο στη σκοτεινή περιοχή πέρα από το ερυθρό άκρο του φάσματος, ο Herschel επιβεβαίωσε ότι η θέρμανση συνέχιζε να αυξάνεται. Όταν εντόπισε το σημείο μεγιστοποίησης, διαπίστωσε ότι αυτό βρισκόταν αρκετά πέρα από το ερυθρό άκρο του φάσματος –στην περιοχή που σήμερα είναι γνωστή ως ‘υπέρυθρα μήκη κύματος’. Όταν ο Herschel

αποκάλυψε την ανακάλυψή του, ονόμασε το νέο αυτό τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος ‘θερμομετρικό φάσμα’.

**Εικ.1.3:** *Marsilio Landriani*  
(1746–1815) (1)

Την ίδια την ακτινοβολία συχνά την ονόμαζε ‘σκοτεινή θερμότητα’ ή απλώς ‘αόρατες ακτίνες’.

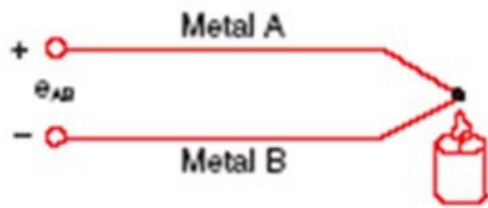
Παραδόξως και αντίθετα από αυτό που νομίζουν πολλοί, η επινόηση του όρου ‘υπέρυθρες’ δεν αποδίδεται στον Herschel. Ο όρος αυτός άρχισε να εμφανίζεται σε έντυπες εκδόσεις σχεδόν 75 χρόνια αργότερα και εξακολουθεί ακόμη και σήμερα να αγνοείται το όνομα εκείνου που πρώτος τον χρησιμοποίησε. Η χρήση γυαλιού από τον Herschel στο πρίσμα του αρχικού του πειράματος προκάλεσε αρχικά κάποιες διενέξεις με τους σύγχρονους του σχετικά με την ίδια την ύπαρξη των υπέρυθρων μηκών κύματος. Διάφοροι ερευνητές, που επιχείρησαν να επιβεβαιώσουν την εργασία του, χρησιμοποίησαν αδιακρίτως διάφορους τύπους γυαλιού, οι οποίοι παρουσίαζαν διαφορετική διαπερατότητα στις υπέρυθρες. Με μεταγενέστερα πειράματα, ο Herschel αντιλήφθηκε την περιορισμένη περατότητα του γυαλιού στη νέο-ανακαλυφθείσα θερμική ακτινοβολία και αναγκάστηκε να συμπεράνει ότι ο οπτικός εξοπλισμός για υπέρυθρες ίσως ήταν καταδικασμένος να χρησιμοποιεί μόνο ανακλαστικά στοιχεία (δηλ. επίπεδα και κοίλα κάτοπτρα).



Ευτυχώς, αυτό αποδείχθηκε αληθές μόνο μέχρι το 1830, όταν ο Ιταλός ερευνητής, Macedonio Melloni, έκανε τη σημαντικότερη ανακάλυψη ότι το ορυκτό αλάτι (NaCl) – το οποίο υπήρχε σε αρκετά μεγάλους φυσικούς κρυστάλλους για να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υλικό κατασκευής φακών και πρισμάτων – είναι αξιοσημείωτα διαπερατό στις υπέρυθρες. Το αποτέλεσμα ήταν ότι το ορυκτό αλάτι αποτέλεσε το κύριο οπτικό υλικό υπέρυθρων και παρέμεινε τέτοιο για τα επόμενα εκατό χρόνια, ώσπου τελειοποιήθηκε η τέχνη των συνθετικών κρυστάλλων στη δεκαετία του 1930.

**Εικ.1.4 :** *Macedonio Melloni*  
(1798–1854) (1)

Τα θερμομέτρα, ως ανιχνευτές ακτινοβολίας, παρέμειναν χωρίς ουσιαστικό αντίπαλο μέχρι το 1829, τη χρονιά που ο Leopoldo Nobili (ιταλός φυσικός) εφηύρε το θερμοζεύγος. Το θερμοζεύγος, ένα όργανο μέτρησης της θερμοκρασίας, αποτελείται από δυο ανόμοιους μεταλλικούς αγωγούς που είναι συνδεδεμένοι (συντηγμένοι) σ’ ένα άκρο. Όταν θερμάνουμε αυτό το κοινό άκρο, τότε εμφανίζεται διαφορά δυναμικού  $E$  (Seebeck) ανάμεσα στους δύο μεταλλικούς αγωγούς που εξαρτάται από την θερμοκρασία  $T$  και το είδος των μετάλλων.  $C$ . Για μικρές μεταβολές της θερμοκρασίας  $\Delta T$  ισχύει ο τύπος  $E = \alpha \Delta T$ , όπου  $\alpha$  ο συντελεστής Seebeck σε  $\mu V/o$ . Μέτρηση της θερμοκρασίας με το θερμοζεύγος γίνεται βάζοντάς το στην περιοχή ή το σώμα που θέλουμε και μετράμε την τάση στα άκρα του.



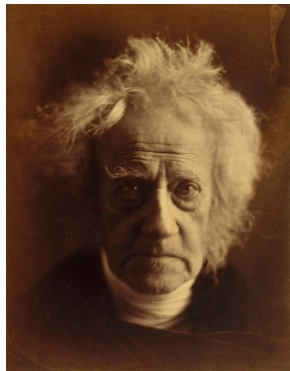
Εικ.1.5 : Θερμοζεύγος



Εικ. 1.6 : *Leopoldo Nobili*  
(1784 - 1835) (1)

Το θερμομέτρο του Herschel είχε ακρίβεια 0,2 °C, ενώ τα μεταγενέστερα μοντέλα είχαν ακρίβεια 0,05 °C. Τότε, έγινε μια εντυπωσιακή ανακάλυψη: ο Melloni συνέδεσε πολλά θερμοζεύγη εν σειρά και σχημάτισε την πρώτη θερμοηλεκτρική στήλη. Η νέα συσκευή ήταν τουλάχιστον 40 φορές πιο

ευαίσθητη από το καλύτερο θερμομέτρο εκείνης της εποχής στην ανίχνευση ακτινοβολίας

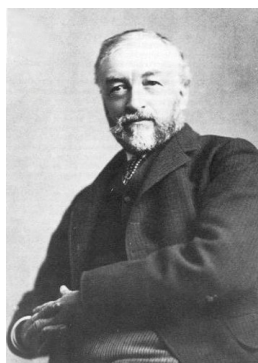


Εικ.1.7 : *Sir John Herschel*  
(1792-1871) (2)

θερμότητας — με δυνατότητα ανίχνευσης της θερμότητας ενός ανθρώπου σε απόσταση τριών μέτρων. Η πρώτη λεγόμενη ‘θερμική φωτογραφία’ κατέστη εφικτή το 1840, ως αποτέλεσμα της εργασίας του Sir John Herschel, γιου του επιστήμονα που ανακάλυψε τις υπέρυθρες και διάσημου αστρονόμου χάρη στις δικές του εργασίες. Σύμφωνα με το φαινόμενο της διαφορικής εξάτμισης ενός λεπτού φιλμ ελαίου, όταν αυτό εκτίθεται σε θερμότητα που εστιάζεται πάνω του, η θερμική φωτογραφία καθίσταται ορατή μέσω ανακλώμενου φωτός, και τα φαινόμενα συμβολής του φιλμ ελαίου καθιστούσαν την εικόνα ορατή στο ανθρώπινο μάτι. Με αυτόν τον τρόπο

ο sir John Herschel κατάφερε, να πραγματοποιήσει μια πρωτόγονη καταγραφή της θερμικής φωτογραφίας σε χαρτί, που την ονόμασε “θερμογράφημα”.

Η αρχή είχε γίνει...



Η βελτίωση της ευαισθησίας των ανιχνευτών υπέρυθρων εξελίχθηκε αργά. Μια άλλη επαναστατική ανακάλυψη, αυτήν τη φορά από τον Langley το 1880, ήταν η εφεύρεση του βολόμετρου. Αυτό αποτελείτο από μια λεπτή, μαυρισμένη λωρίδα λευκόχρυσου συνδεδεμένη στον ένα βραχίονα ενός κυκλώματος γέφυρας Wheatstone, πάνω στην οποία εστιαζόταν η υπέρυθρη ακτινοβολία και στην οποία αποκρινόταν ένα ευαίσθητο γαλβανόμετρο. Το όργανο αυτό λέγεται ότι μπορούσε να ανιχνεύσει τη θερμότητα μιας αγελάδας σε απόσταση 400 μέτρων.



Εικ.1.8 : *Samuel P. Langley*  
(1834-1906) (2)

Ο Άγγλος επιστήμονας, Sir James Dewar, εισήγαγε πρώτος τη χρήση υγροποιημένων αερίων ως παραγόντων ψύξης (όπως το υγρό άζωτο με θερμοκρασία -196 °C) στην έρευνα χαμηλών θερμοκρασιών. Το 1892, εφηύρε ένα μοναδικό μονωτικό δοχείο κενού, στο οποίο ήταν δυνατή η φύλαξη υγροποιημένων αερίων για ολόκληρες ημέρες γεγονός που έκανε εφικτή την εξέταση των οπτικών τους ιδιοτήτων. Το γνωστό σε όλους μας σήμερα ‘θερμός’, που χρησιμοποιείται για τη φύλαξη θερμών και ψυχρών ποτών, βασίζεται στην εφεύρεσή του αυτή.

**Εικ.1.9:** *Sir James Dewar*  
(1842-1923) (2)

Στην περίοδο από το 1900 μέχρι το 1920, οι εφευρέτες σε ολόκληρο τον κόσμο ‘ανακάλυπταν’ τις υπέρυθρες. Κατοχυρώθηκαν πολλά διπλώματα ευρεσιτεχνίας για διατάξεις ανίχνευσης προσωπικού, πυροβόλων όπλων, αεροσκαφών, πλοίων – ακόμη και παγόβουνων. Όσο και αν είναι θλιβερό τα πρώτα λειτουργούντα συστήματα, με τη σύγχρονη έννοια του όρου, άρχισαν να αναπτύσσονται κατά τον Α' Παγκόσμιο Πόλεμο του 1914–18, όταν και οι δύο αντίπαλες πλευρές διατηρούσαν ερευνητικά προγράμματα αφιερωμένα στην αξιοποίηση των υπέρυθρων για στρατιωτικούς σκοπούς. Στα προγράμματα αυτά περιλαμβάνονταν πειραματικά συστήματα για εχθρική παρείσδυση, ανίχνευση θερμοκρασίας από απόσταση, ασφαλείς επικοινωνίες και καθοδήγηση ‘ιπτάμενων τορπιλών’. Ένα από τα ερευνητικά συστήματα υπέρυθρων που δοκιμάστηκαν κατά την περίοδο αυτή είχε τη δυνατότητα να ανιχνεύει αεροσκάφος σε πορεία προσέγγισης σε απόσταση 1,5 χιλιομέτρου ή άνθρωπο σε απόσταση μεγαλύτερη των 300 μέτρων!!

Τα πλέον ευαίσθητα συστήματα εκείνης της εποχής βασίζονταν όλα σε διάφορες παραλλαγές της αρχής του βολόμετρου. Αλλά, κατά την περίοδο ανάμεσα στους δύο Παγκόσμιους Πολέμους, σημειώθηκε η ανάπτυξη δύο επαναστατικών νέων ανιχνευτών υπέρυθρων: του μετατροπέα εικόνας και του ανιχνευτή φωτονίων. Αρχικά, ο μετατροπέας εικόνας αποτέλεσε το επίκεντρο της προσοχής των ενόπλων δυνάμεων, διότι επέτρεπε σε έναν παρατηρητή για πρώτη φορά στην ιστορία κυριολεκτικά να ‘βλέπει στο σκοτάδι’. Ωστόσο, η ευαισθησία του μετατροπέα εικόνας ήταν περιορισμένη στα μήκη κύματος κοντά στο φάσμα των υπέρυθρων, οπότε οι σημαντικότεροι στρατιωτικοί στόχοι (δηλ. οι στρατιώτες του εχθρού) έπρεπε να φωτίζονται με δέσμες υπέρυθρων. Επειδή, αυτό αύξανε τον κίνδυνο αποκάλυψης της θέσης του παρατηρητή σε κάποιον αντίστοιχο παρατηρητή του εχθρού, είναι απόλυτα κατανοητός ο λόγος που τελικά χάθηκε το ενδιαφέρον των ενόπλων δυνάμεων για το μετατροπέα εικόνας.

Τα τακτικά στρατιωτικά μειονεκτήματα των λεγόμενων ‘ενεργητικών’ συστημάτων θερμικής απεικόνισης (δηλ. εκείνων που απαιτούσαν τη χρήση δέσμης υπέρυθρων) αποτέλεσαν μετά το Β' Παγκόσμιο Πόλεμο του 1939–45 το έναυσμα για εκτεταμένα μυστικά στρατιωτικά ερευνητικά προγράμματα πάνω στις υπέρυθρες, αναφορικά με τη δυνατότητα ανάπτυξης ‘παθητικών’ συστημάτων (δηλ. χωρίς τη χρήση δέσμης υπέρυθρων) με επίκεντρο τον εξαιρετικά ευαίσθητο ανιχνευτή φωτονίων. Κατά την περίοδο αυτή, οι στρατιωτικοί κανονισμοί περί απορρήτου απέκλεισαν τελειώς τη δημοσίευση της κατάστασης της τεχνολογίας απεικόνισης με υπέρυθρες. Το απόρρητο αυτό άρχισε να αίρεται στα μέσα της δεκαετίας του '50 και από εκείνη τη στιγμή αρκετές συσκευές θερμικής απεικόνισης άρχισαν να καθίστανται διαθέσιμες στη μη στρατιωτική επιστήμη και βιομηχανία.

Η ιατρική χρήση της υπέρυθρης θερμογραφίας άρχισε αμέσως μετά το 1950 στην Γερμανία αν και η πρώτη θερμική εικόνα του ανθρώπινου σώματος είχε πραγματοποιηθεί το 1928. Ο R. Lawson το 1957 διαπίστωσε ότι η θερμοκρασία ενός καρκινικού κυττάρου στο στήθος

εκπέμπει περισσότερη θερμότητα από εκείνο ενός φυσιολογικού ιστού. Η ανάπτυξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών τόσο σε επίπεδο hardware όσο και σε επίπεδο software οδήγησε σε καλύτερης ανάλυσης θερμικές εικόνες και σε χαμηλότερες τιμές του αντίστοιχου εξοπλισμού. Από το 1988 οι θερμοκάμερες είναι διαθέσιμες για το ευρύ κοινό και προσφέρουν μια πληθώρα εφαρμογών. Παρακάτω θα αναλύσουμε την κτηριακή θερμογραφία σαν εφαρμογή, εφόσον ξεκαθαρίσουμε κάποια βασικά θεωρητικά στοιχεία της υπέρυθρης ακτινοβολίας. (2), (1)

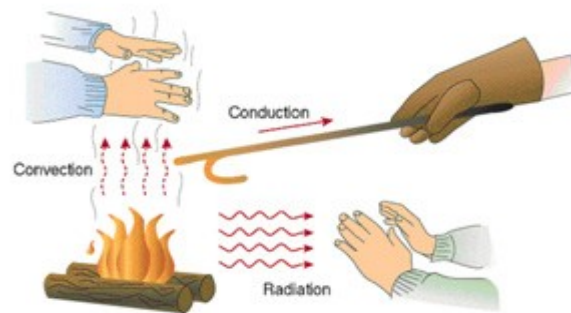
## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> : Θεωρία της θερμογραφίας**

### **2.1 Εισαγωγή**

Το αντικείμενο της ακτινοβολίας υπέρυθρων και της σχετικής τεχνικής της θερμογραφίας εξακολουθεί να αποτελεί "terra incognita" σε πολλούς χρήστες κάμερας υπέρυθρων. Η άγνοια της θεωρίας πίσω από την πρακτική εφαρμογή οδηγεί πολλές φορές σε εσφαλμένες εκτιμήσεις και γι' αυτόν το λόγο είναι σημαντική η γνώση της. Στην ενότητα αυτή, περιγράφεται συνοπτικά, η θεωρία της θερμογραφίας.

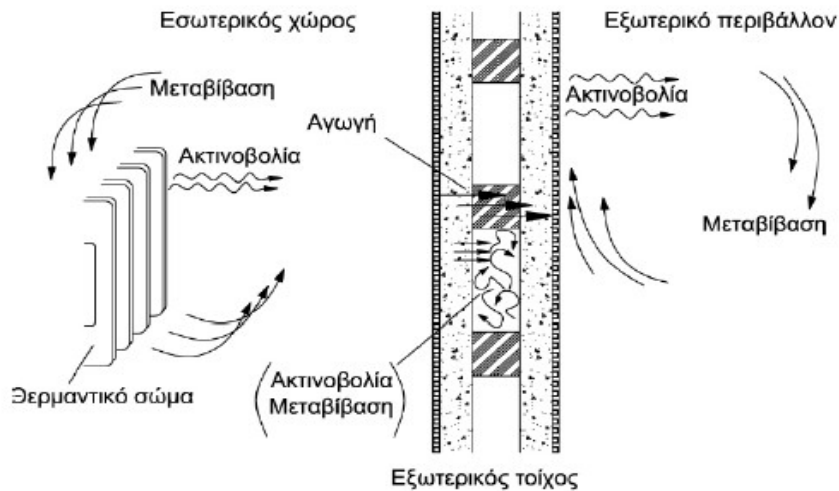
## 2.2 Μετάδοση θερμότητας

Η κατανόηση της μετάδοσης της θερμότητας διευκολύνει τη σωστή ανάλυση του θερμογραφήματος. Η θερμική πληροφορία που παίρνουμε από το θερμογράφημα οδηγεί στη σωστή διάγνωση του εκάστοτε προβλήματος. Η μετάδοση της θερμότητας γίνεται με τρεις τρόπους: με αγωγή (conduction), με μεταφορά ή συναγωγή (convection) και με ακτινοβολία (radiation). (βλ.εικ 2.1 , 2.2)



Εικ. 2.1 : Μεταφορά θερμότητας (1)

ή μεταφορά ή συναγωγή



Εικ. 2.2 : Μεταφορά θερμότητας στον κτηριακό χώρο (3)

### 2.2.1 Μετάδοση με αγωγή

Κατά τη μετάδοση της θερμότητας με **αγωγή** η ενέργεια μεταφέρεται από μια περιοχή σε μια άλλη λόγω διαφοράς θερμοκρασίας. Συγκεκριμένα, τα μόρια υψηλότερης θερμοκρασίας μεταδίδουν θερμότητα στα μόρια χαμηλότερης θερμοκρασίας μέσω συγκρούσεων. Στα στερεά η αγωγιμότητα ενοείται από τη μικρή απόσταση των μορίων. Στα υγρά βοηθάνε οι ελαστικές κρούσεις των μορίων. Ενώ στα μέταλλα ειδικότερα βοηθάει η διάχυση ηλεκτρονίων. 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. Η μεταφορά με αγωγή έχει ως συνέπεια, απώλειες θερμότητας από ένα κτήριο. Οι απώλειες αυτές μπορούν να μειωθούν με τη χρήση μονωτικών υλικών. Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda$  [W/m\*K] των υλικών είναι δείκτης της ικανότητας μεταφοράς θερμότητας των υλικών διαμέσου της μάζας τους.

Το ποσό της θερμότητας που μεταφέρεται από πέτασμα με συγκεκριμένη επιφάνεια για δεδομένο πάχος διατυπώνεται ως εξής.

$$Q = (\lambda/d) * F * (t_1 - t_2) * z \quad (\text{βλ.εικ 2.3})$$

Όπου:

Q Η ποσότητα της θερμότητας η οποία διέρχεται σε μία ώρα από την μία πλευρά στην άλλη  
 $\lambda$  ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του υλικού

F το εμβαδόν της επιφάνειας

$t_1$  η θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειας της κατασκευής

$t_2$  η θερμοκρασία της εξωτερικής επιφάνειας της κατασκευής

d το πάχος του υλικού

z ο χρόνος ροής της θερμότητας



Η εξίσωση αυτή είναι γνωστή ως νόμος μεταφοράς του Fourier (4)

## 2.2.2 Μετάδοση με μεταφορά ή μεταβίβαση ή συναγωγή

Στη **συναγωγή** η μεταφορά θερμότητας οφείλεται στη μεταφορική κίνηση των μορίων ( διαφορές πιέσεων η θερμοκρασιών) Παρατηρείται στα ρευστά και στα αέρια. Διακρίνεται σε φυσική και εξαναγκασμένη συναγωγή. Η πρώτη λαμβάνει χώρα, όταν ένα ρευστό κερδίζει θερμική ενέργεια, η πυκνότητά του μικραίνει με αποτέλεσμα να κινείται προς τα πάνω αφήνοντας χώρο για ένα πυκνότερο και ψυχρότερο ρευστό. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται μια συνεχής κίνηση. Η δεύτερη συμβαίνει, όταν το ρευστό επηρεάζεται από κάποιον εξωγενή παράγοντα πχ άνεμος, ανεμιστήρας, αντλία.

Μεταφορά με θερμική μεταβίβαση

παρατηρείται και μεταξύ ρευστού με στερεό σώμα. Έτσι παρατηρείται μεταφορά με θερμική μεταβίβαση από ένα αέριο στην τοιχοποιία, όπως φαίνεται στο σχήμα.

Το ποσό της μεταφερόμενης θερμότητας υπολογίζεται ως εξής

$$Q = (\lambda_{\text{αέρα}}/x) * F * (t_{Li} - t_1) \quad (\text{βλ. εικ.2.4})$$

Επειδή δεν μπορεί να προσδιοριστεί το πάχος του στρώματος στο οποίο γίνεται η διάχυση της θερμότητας, ο παράγοντας  $\lambda/x$  αντικαθίσταται με έναν διορθωτικό συντελεστή  $\alpha$  [ $W/m^2 \cdot K$ ] που ονομάζεται συντελεστής θερμικής μεταβίβασης και εξαρτάται από την κινητική κατάσταση του

**Εικ.2.4** : Μεταφορά θερμότητας με διάχυση(μεταβίβαση) (4)

αέρα. Τα μεγέθη που εμφανίζονται στον τύπο αναγράφονται παρακάτω καθότι παρουσιάζονται και στον επόμενο τύπο.

Η μεταφορά της θερμότητας από τον εσωτερικό χώρο προς το περιβάλλον διατυπώνεται ως εξής:

$$\begin{aligned} Q &= K * F * (t_{Li} - t_{La}) * Z = \\ &= \alpha_i * F * (t_{Li} - t_1) * Z = \\ &= (\lambda/d) * F * (t_1 - t_2) * Z = \\ &= \alpha_a * F * (t_2 - t_{La}) * Z \quad (\text{βλ. εικ.2.5}) \end{aligned}$$

Όπου:

Q Το ποσόν θερμότητας που διέρχεται σε μία ώρα από τον εσωτερικό χώρο στο περιβάλλον

K ο συντελεστής θερμοπερατότητας του απλού μέλους κατασκευής

$\lambda$  ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του υλικού

F το εμβαδόν της επιφάνειας

$\alpha$  συντελεστής θερμικής μεταβίβασης ( $i$  εσωτερικού χώρου,  $a$  εξωτερικού χώρου)

$t_{Li}$  η θερμοκρασία στο εσωτερικό του χώρου

$t_{La}$  η θερμοκρασία περιβάλλοντος



- $t_1$  η θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειας της κατασκευής
- $t_2$  η θερμοκρασία της εξωτερικής επιφάνειας της κατασκευής
- $d$  το πάχος του υλικού
- $z$  ο χρόνος ροής του θερμότητας (4)

### 2.2.3 Μετάδοση με ακτινοβολία

Όλα τα σώματα με θερμοκρασία πάνω από το απόλυτο μηδέν ( $0^\circ\text{K}$ ), εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία η οποία εξαρτάται από την θερμοκρασία που βρίσκονται, το συντελεστή εκπομπής τους, και διάφορες άλλες παραμέτρους που θα εξετάσουμε στα επόμενα κεφάλαια. Η ηλιακή ενέργεια φτάνει στη γη αποκλειστικά με αυτόν τον τρόπο μεταφοράς. Η μεταφορά θερμότητας με ακτινοβολία μεταδίδεται με ηλεκτρομαγνητικά κύματα και δεν απαιτείται η παρουσία ενός ενδιάμεσου μέσου. Όταν η ακτινοβολία προσπέσει σε ένα άλλο σώμα, ή θα απορροφηθεί ή θα ανακλαστεί ή θα μεταφερθεί. Η θερμότητα που απορροφάται εμφανίζεται ως αύξηση θερμοκρασίας ενός σώματος. Η θερμοκάμερα εντοπίζει και μετρά το σύνολο της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που αντανακλάται ( $\rho$ ), διαπερνά ( $\tau$ ), ή επανεκπέμπεται ( $\epsilon$ ) από το προς θερμογράφηση αντικείμενο. Όπως θα δούμε και παρακάτω (βλ.2.5) στον κτηριακό τομέα συνήθως η διαπερατότητα  $\tau = 0$ . άρα:

η συνολική ενέργεια που βλέπει η θερμοκάμερα εκφράζεται ως εξής:

$$W_{ολ} = \epsilon * \sigma * T_{επ.}^4 + \rho * \sigma * T_{reflective}^4$$

όπου

$\epsilon * \sigma * T_{επ.}^4$  η ενέργεια που εκπέμπεται από το σώμα λόγω της απορροφώμενης προσπίπτουσας ακτινοβολίας [ $\text{w}/\text{m}^2$ ]

$\rho * \sigma * T_{reflective}^4$  η ενέργεια που ανακλάται πάνω στο σώμα [ $\text{w}/\text{m}^2$ ]

$\epsilon$  ο συντελεστής εκπομπής υλικού

$\sigma$  η σταθερά Stefan – Boltzmann

$\rho = 1 - \epsilon$  ο συντελεστής ανάκλασης επιφανείας (για  $\tau = 0$ )

$T_{επ.}$  η επιφανειακή θερμοκρασία του υπό εξέταση αντικειμένου

$T_{refl.}$  η φαινόμενη θερμοκρασία ανάκλασης (βλ. 3.3.2)

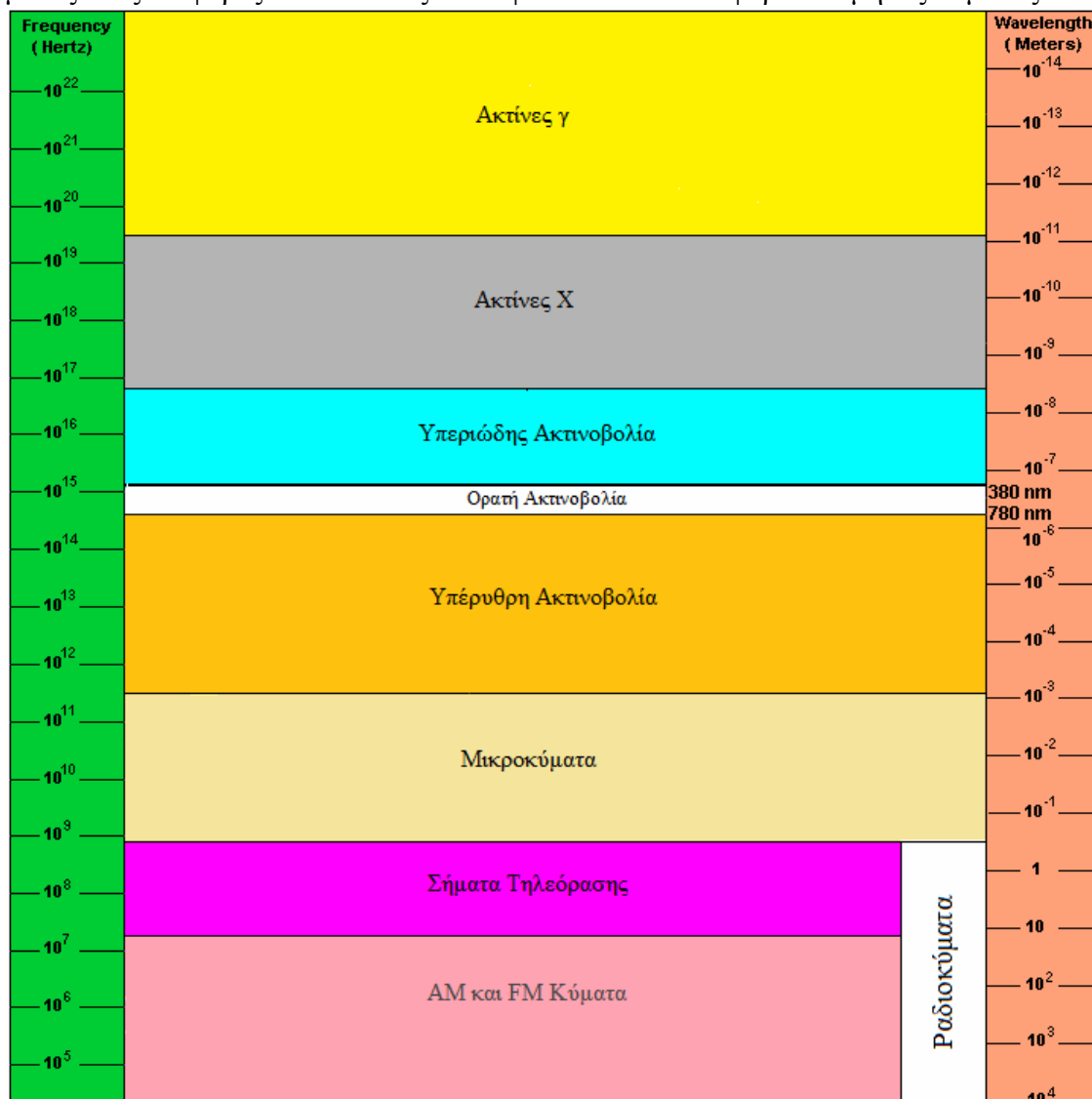
Η εξίσωση αυτή είναι απόρροια του νόμου των Stefan – Boltzmann.

Οι ιδιότητες αυτές αξιοποιούνται από τη θερμογραφία έτσι ώστε να προκύπτουν τα θερμογραφήματα. Συγκεκριμένα, η κάμερα μετράει το  $W_{ολ}$  και εμείς ζητάμε την  $T_{επιφανειακή}$ . Προφανώς από την εξίσωση βλέπουμε ότι πρέπει να υπολογίσουμε το  $\epsilon$  και την  $T_{refl}$  ώστε να μείνει ένας άγνωστος μόνο στην εξίσωση. Θα πρέπει ο αναγνώστης της παρούσης διπλωματικής να κατανοήσει πλήρως τον τύπο αυτό, ώστε κατά την διάρκεια της παθητικής θερμογραφικής μελέτης να καταλαβαίνει τι μετράει, πού το μετράει και πώς πρέπει να το μετράει. Κάτι πολύ σημαντικό που πρέπει να αναφέρουμε σ' αυτόν τον τύπο και που θα το αναφέρουμε ξανά στο τρίτο κεφάλαιο στον υπολογισμό του  $\epsilon$ , αν  $T_{επιφ.} = T_{refl}$  τότε μια μικρή μεταβολή του  $\epsilon$  ειδικά σε χαμηλές τιμές του  $\epsilon$  οδηγεί σε σημαντικά σφάλματα καθώς η θερμοκρασία είναι υψωμένη στην τέταρτη δύναμη. Για αυτόν το λόγο στην κτηριακή θερμογραφία επιζητούμε υλικά με υψηλό  $\epsilon$  και να ισχύει  $T_{επιφ} \gg T_{refl}$  έτσι ώστε  $\epsilon * \sigma * T_{επ.}^4 \gg \rho * \sigma * T_{reflective}^4$  Αυτό "μεταφράζεται" σε μια θερμοκρασιακή διαφορά της

τάξης των 20°C στο εσωτερικό με το εξωτερικό του κτηρίου. Αυτός είναι ένας εμπειρικός κανόνας και δεν αποτελεί σε καμία περίπτωση αποτέλεσμα εργαστηριακών δοκιμών. (11)

### 2.3 Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

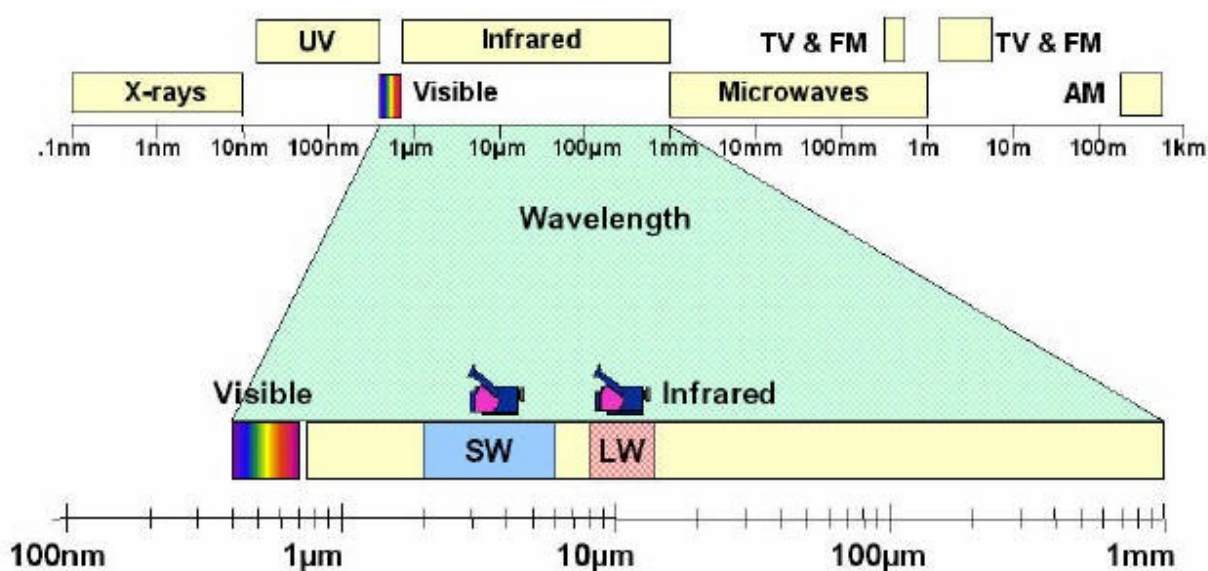
Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα διαιρείται με αυθαίρετο τρόπο σε διάφορες περιοχές μήκους κύματος, που ονομάζονται ζώνες (ή περιοχές ή μπάντες), οι οποίες διακρίνονται μεταξύ τους βάσει των μεθόδων που εφαρμόζονται για την παραγωγή και ανίχνευση της ακτινοβολίας. Δεν υπάρχει θεμελιώδης διαφορά ανάμεσα στις ακτινοβολίες που αντιστοιχούν στις διάφορες ζώνες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Όλες τους διέπονται από τους ίδιους νόμους και οι μόνες τους διαφορές είναι εκείνες που οφείλονται στο διαφορετικό μήκος κύματος.



Εικ.2.6 : Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα (1)

Η θερμογραφία αξιοποιεί τη ζώνη υπερύθρων του φάσματος. Στην πλευρά των μικρότερων μηκών κύματος, το σύνορο της ζώνης υπερύθρων βρίσκεται στο όριο του ορατού φάσματος, στο βαθύ κόκκινο. Στην πλευρά των μεγαλύτερων μηκών κύματος, η ζώνη υπερύθρων συγχωνεύεται με τα μήκη κύματος της ζώνης μικροκυμάτων, της τάξης του χιλιοστόμετρου. Η ζώνη υπερύθρων συχνά υποδιαιρείται σε τέσσερις μικρότερες ζώνες, τα σύνορα των οποίων επίσης έχουν επιλεγεί με αυθαίρετο τρόπο. Αυτές είναι: η ζώνη εγγύς υπερύθρων (0,75–3 μm), η ζώνη μέσων υπερύθρων (3–6 μm), η ζώνη άπω υπερύθρων (6–15 μm) και η ζώνη απωτάτων υπερύθρων (15–100 μm). Παρ' όλο που τα μήκη κύματος εκφράζονται σε μm (μικρόμετρα), εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται κι άλλες μονάδες μέτρησης του μήκους κύματος σε αυτήν την περιοχή του φάσματος, π.χ. nm (νανόμετρα) και Å (Ångström). Η σχέση που συνδέει τις διάφορες μονάδες μέτρησης του μήκους κύματος είναι:

$$10\ 000\ \text{Å} = 1\ 000\ \text{nm} = 1\ \mu = 1\ \mu\text{m}$$



Εικ.2.7 : φάσμα λειτουργίας θερμοκαμερών (1)

Στην υπέρυθρη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος διακρίνονται δύο περιοχές μήκους κύματος, οι οποίες είναι διαπερατές από την ατμόσφαιρα και που χρησιμοποιούνται από τα θερμογραφικά συστήματα. Αυτές συνήθως είναι οι εξής: 2-5.6 μm (χαμηλού - μεσαίου μήκους κύματος SW short wave) και 8-14 μm (υψηλού μήκους κύματος LW long wave)(βλ.εικ2.7 & βλ. 3.1.3)

## 2.4 Βασικές αρχές της Υπέρυθρης θερμογραφίας

Τέσσερις είναι οι βασικές αρχές της υπέρυθρης ακτινοβολίας. Ο νόμος του Kirchoff, ο νόμος του Planck, ο νόμος μετατόπισης του Wienn και ο νόμος των Stefan-Boltzmann

#### 2.4.1 Ακτινοβολία μέλανος σώματος & νόμος του Kirchoff

Το 1859 δύο γερμανοί επιστήμονες ο Robert Bunsen (χημικός) και ο and Gustav Kirchhoff (φυσικός) χάραξαν το δρόμο της φασματοσκοπίας βασιζόμενη στην ανακάλυψη του Herschel. Το 1854 ο Μπούνσεν εργαζόταν στο πανεπιστήμιο της Χαϊδελβέργης (Heidelberg) και κάλεσε τον Κίρκοφ να μετακομίσει εκεί, αφού μεσολάβησε έτσι ώστε να του προσφερθεί μια θέση καθηγητή της φυσικής την οποία αποδέχτηκε. Στη Χαϊδελβέργη ένωσαν τις δυνάμεις τους και εργάστηκαν μαζί θεμελιώνοντας τη φασματική ανάλυση. Ήδη, ο Μπούνσεν δούλευε στον τομέα αυτό. Η μέθοδος που ακολουθούσε ήταν να θερμαίνει τις διάφορες ουσίες ως τη θερμοκρασία στην οποία ακτινοβολούσαν ορατό φως, και στη συνέχεια διαχώριζε τα χρώματα χρησιμοποιώντας χρωματιστά γυαλιά ή έγχρωμα διαλύματα. Ο Κίρκοφ εισηγήθηκε τη χρήση πρίσματος για την ανάλυση του φωτός, πράγμα που έκανε τις παρατηρήσεις πολύ πιο ακριβείς. Αυτό τους οδήγησε στην επινόηση του φασματοσκοπίου, μιας συσκευής που με τη βοήθεια ενός γυάλινου πρίσματος διαχωρίζει το φως που εκπέμπεται από μια θερμή ουσία στις χρωματικές του συνιστώσες, οι οποίες αποτελούν αυτό που ονομάζουμε «οπτικό φάσμα» μιας ουσίας. Ανακάλυψαν έτσι ότι το κάθε υλικό έχει το δικό του μοτίβο φασματικών γραμμών, παρατήρηση που αποτέλεσε την αρχή της φασματικής ανάλυσης. Η τελευταία αποδείχτηκε πολύτιμο εργαλείο στη χημεία, ιδιαίτερα στον εντοπισμό καινούριων χημικών στοιχείων και στον προσδιορισμό της χημικής σύστασης των χημικών ενώσεων. Ήδη, την άνοιξη του 1860 οι Κίρκοφ και Μπούνσεν παρατήρησαν μέσα στο φάσμα που παρήγαγαν σταγόνες μεταλλικού νερού που έριχναν στη φλόγα του φασματοσκοπίου, δύο γραμμές έντονου μπλε χρώματος, που η μια βρισκόταν πολύ κοντά στην άλλη και που δεν αντιστοιχούσαν σε κανένα γνωστό στοιχείο. Έτσι, απέδωσαν τις γραμμές σε ένα καινούριο μέταλλο το οποίο ονομάστηκε καίσιο, από τη λατινική λέξη «caesius» που αναφέρεται στο μπλε χρώμα. Στη συνέχεια, συγκέντρωσαν άλατα καισίου εξατμίζοντας τεράστιους όγκους νερού και διαχωρίζοντάς τα από τα υπόλοιπα. Δεν πέτυχαν όμως να παρασκευάσουν καθαρό μεταλλικό καίσιο. Ένα χρόνο αργότερα, μελετώντας με το φασματοσκόπιο το ορυκτό λεπιδολίτης, ανακάλυψαν δύο καινούριες γραμμές σκούρου κόκκινου χρώματος, αναγνωρίζοντας, έτσι, ακόμα ένα στοιχείο. Το ονόμασαν ρουβίδιο, από την λατινική λέξη «roubidus» που αναφέρεται στο βαθύ κόκκινο. (2)

Ακολούθησαν ανακαλύψεις στοιχείων από άλλους ερευνητές, με τη χρήση της ίδιας μεθόδου.



Η πείρα που απέκτησε ο Κίρκοφ στην πορεία του με τη θερμική ακτινοβολία των διαφόρων σωμάτων, αξιοποιήθηκε στην αναζήτηση των γενικότερων νόμων που διέπουν την εκπομπή θερμικής ακτινοβολίας. Έτσι, στα τέλη του 1859, σε εργασία που κατέθεσε στην πρωσική Ακαδημία, διαπίστωνε μεταξύ άλλων ότι ο λόγος της ισχύος της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας ( $\epsilon$ ) προς την ισχύ της απορροφημένης ( $\alpha$ ),

Εικ. 2.8 : Robert Bunsen  
(1811-1899) (2)

$\epsilon/\alpha$ , είναι ο ίδιος για όλα τα σώματα για κάθε συγκεκριμένο μήκος κύματος και εφόσον αυτά βρίσκονται στην ίδια θερμοκρασία. Λίγο αργότερα μελέτησε με μεγαλύτερη λεπτομέρεια τη σχέση μεταξύ εκπομπής και απορρόφησης, και σε άρθρο του στο Annalen der Physik (1860)

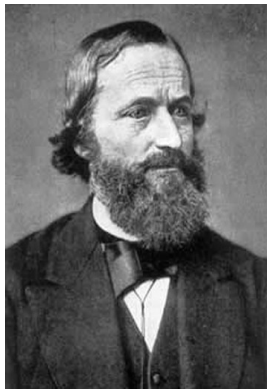
εισήγαγε τον όρο "απολύτως μέλαν σώμα" ή απλώς "μέλαν σώμα", ως το σώμα εκείνο που απορροφά όλη την ακτινοβολία που πέφτει πάνω του με οποιοδήποτε μήκος κύματος. Σε ένα τέτοιο σώμα, ο λόγος της εκπεμπόμενης προς την απορροφώμενη ακτινοβολία ( $e/a$ ) πρέπει να είναι μια συνάρτηση του μήκους κύματος  $\lambda$  της ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας  $T$  του σώματος. Το μέλαν σώμα είναι ένα εξιδανικευμένο σώμα ως προς την εκπομπή ακτινοβολίας γιατί, σύμφωνα και με τις προηγούμενες παρατηρήσεις, αφού είναι τέλειος απορροφητής του φωτός πρέπει να είναι και τέλειος εκπομπός. Καθώς η απορροφητικότητα μιας επιφάνειας δεν μπορεί να ξεπεράσει την τιμή της μονάδας, η εκπεμπόμενη ισχύς είναι η μέγιστη για ένα ιδανικό απορροφητικό μέσο. Για λιγότερο απορροφητικά υλικά, η εκπομπή είναι αντίστοιχα χαμηλότερη και μπορεί να εκφραστεί από το νόμο του Kirchoff, σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$a=e$$

όπου

a: απορροφητικότητα

e: συντελεστής εκπομπής (ε στην ελληνική βιβλιογραφία), παίρνει τιμές από 0 έως 1 και εκφράζει τη χαρακτηριστική εκπομπή κάθε επιφάνειας. Ο νόμος αυτός ισχύει για κάθε υλικό, και μπορεί να εφαρμοστεί για κάθε μήκος κύματος, όπως προαναφέραμε .

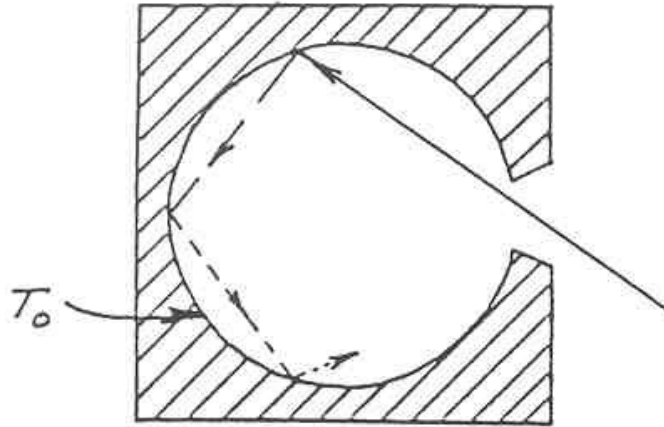


Η κατασκευή μιας πηγής μέλανος σώματος είναι κατ' αρχήν πολύ απλή. Τα χαρακτηριστικά ακτινοβολίας ενός ανοίγματος σε μια ισόθερμη κοιλότητα κατασκευασμένη από αδιαφανές και απορροφητικό υλικό ταυτίζονται σχεδόν απόλυτα με τις ιδιότητες ενός μέλανος σώματος. Μια πρακτική εφαρμογή της αρχής αυτής στην κατασκευή ενός αντικειμένου που θα απορροφά όλες τις προσπίπτουσες σε αυτό ακτινοβολίες είναι ένα κουτί απόλυτα κλειστό από όλες τις έδρες του με εξαίρεση ένα μικρό άνοιγμα σε μια από αυτές. Κάθε ακτινοβολία που εισέρχεται μέσω του ανοίγματος αυτού στο κουτί σκεδάζεται και απορροφάται μετά από επανειλημμένες ανακλάσεις, συνεπώς ένα απειροελάχιστο μέρος της θα μπορούσε δυνητικά να διαφύγει. Οι ιδιότητες μέλανος σώματος

που

παρατηρούνται στο άνοιγμα αυτό ταυτίζονται σχεδόν απόλυτα με εκείνες του μέλανος σώματος και είναι σχεδόν τέλειες σε κάθε μήκος κύματος

**Εικ.2.9 :** *Gustav Robert Kirchoff*  
(1824–1887) (2)



Εικ. 2.10 : Μέλαν σώμα (6)

Εάν κατασκευάσουμε μια τέτοια ισόθερμη κοιλότητα με κατάλληλο θερμαντήρα, προκύπτει ο λεγόμενος ακτινοβολητής κοιλότητας. Μια ισόθερμη κοιλότητα που θερμαίνεται ομοιόμορφα σε μια θερμοκρασία παράγει ακτινοβολία μέλανος σώματος, τα χαρακτηριστικά της οποίας καθορίζονται αποκλειστικά από τη θερμοκρασία της κοιλότητας (6). Τέτοιοι ακτινοβολητές κοιλότητας χρησιμοποιούνται συχνά ως πηγές ακτινοβολίας σε πρότυπα αναφοράς θερμοκρασίας στο εργαστήριο για τη βαθμονόμηση θερμογραφικών οργάνων. Εάν η θερμοκρασία της ακτινοβολίας μέλανος σώματος αυξηθεί πάνω από τους  $525^{\circ}\text{C}$ , τότε η πηγή αρχίζει να γίνεται ορατή και δεν δείχνει πλέον μαύρη στο ανθρώπινο μάτι. Πρόκειται για την αρχική θερμοκρασία κόκκινης θερμότητας, η οποία στη συνέχεια γίνεται πορτοκαλί ή κίτρινη καθώς αυξάνεται περαιτέρω η θερμοκρασία. Στην πραγματικότητα, η λεγόμενη θερμοκρασία χρώματος ενός αντικειμένου ορίζεται ως η θερμοκρασία στην οποία θα έπρεπε να φτάσει θερμαινόμενο ένα μέλαν σώμα για να έχει την ίδια εμφάνιση.



Μάξγουελ: «Αυτές τις εξισώσεις μόνο ένας Θεός μπορεί να τις έγραψε».

Το 1865 ο James C. Maxwell (σκωτσέζος φυσικός) έφτασε στην υπόθεση ότι το φως αποτελείται από ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Για να καταλάβουμε εκείνη την εποχή τη δυσκολία διατύπωσης των εξισώσεων που διέπουν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα ο Λούντβιχ Μπόλτζμαν λέγεται ότι αναφώνησε, όταν μελέτησε τις πολυπλοκότερες μαθηματικές παραστάσεις της θεωρίας του

Εικ.2.11 : James C. Maxwell  
(1831-1879) (2)

A



υτή η θεωρία το 1884 επιβεβαιώθηκε πειραματικά από τον Heinrich Rudolf Hertz (γερμανός φυσικός) με το Hertz ταλαντωτή. η μονάδα της συχνότητας, το *Hertz*, ονομάστηκε έτσι προς τιμή του. Πέθανε σε ηλικία μόλις 37 ετών..

Εικ.2.12 : Heinrich Rudolf Hertz  
(1857-1899) (1)

Ας εξετάσουμε τώρα τις παρακάτω τρεις εκφράσεις που περιγράφουν την ακτινοβολία που εκπέμπεται από ένα μέλαν σώμα.

## 2.4.2 Νόμος του Planck



Οι προηγούμενες παρατηρήσεις ήταν εξαιρετικά σημαντικές, καθώς η ακτινοβολία του μέλανος σώματος ήταν το αντικείμενο εκείνο που ώθησε τον Μαξ Πλανκ να διατυπώσει τις πρώτες βασικές αρχές της κβαντικής θεωρίας, μιας από τις επαναστάσεις στο χώρο της φυσικής τον εικοστό αιώνα.

Ο *Max Planck* (1858–1947) κατάφερε να περιγράψει τη φασματική κατανομή της ακτινοβολίας ενός μέλανος σώματος με τον παρακάτω μαθηματικό τύπο:

Εικ.2.13 : *Max Planck*

$$W_{\lambda b} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 (e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1)} \times 10^{-6}$$

{Watt/m<sup>2</sup>, μm}

όπου:

$W_{\lambda b}$  ο φασματικός συντελεστής εκπομπής μέσω ακτινοβολίας του μέλανος σώματος σε μήκος κύματος  $\lambda$

$c$  η ταχύτητα του φωτός =  $3 \times 10^8$  m/s

$h$  η σταθερά Planck =  $6,6 \times 10^{-34}$  Joule sec.

$k$  η σταθερά Boltzmann =  $1,4 \times 10^{-23}$  Joule/K.

$T$  η απόλυτη θερμοκρασία (K) ενός μέλανος σώματος

$\lambda$  το μήκος κύματος (μm)

Χρησιμοποιείται ο παράγοντας  $10^{-6}$ , επειδή ο φασματικός συντελεστής εκπομπής στις καμπύλες εκφράζεται σε W/m<sup>2</sup>, μm. (2)

Ο νόμος του Planck αποτελεί ένα κομβικό σημείο στην ιστορία της φυσικής, εισάγοντας την επαναστατική ιδέα ότι η ενέργεια εκπέμπεται και απορροφάται υπό μορφή κβάντων, δηλαδή ποσοτήτων ενέργειας και εκφράζει την ακτινοβολούμενη ενέργεια ενός μελανού σώματος θερμοκρασίας  $T$ , κάθετα προς τη διεύθυνση διαδόσεως της ακτινοβολίας, ανά μονάδα μήκους και ανά μονάδα στερεάς γωνίας. Ο μαθηματικός τύπος του Planck, εάν απεικονιστεί σε μορφή διαγράμματος για διάφορες θερμοκρασίες, παράγει μια οικογένεια καμπυλών. Κατά μήκος οποιαδήποτε καμπύλης Planck, ο φασματικός συντελεστής εκπομπής είναι μηδέν στο σημείο  $\lambda = 0$ , στη συνέχεια αυξάνεται μέχρι μια μέγιστη τιμή σε μήκος κύματος  $\lambda_{max}$  και τέλος προσεγγίζει ξανά το μηδέν σε πολύ μεγάλα μήκη κύματος. Όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία, τόσο πιο μικρό είναι το μήκος κύματος στο οποίο εμφανίζεται η μέγιστη τιμή φασματικής ισχύος εκπομπής.

**Εικ.2.14 :** Ο φασματικός συντελεστής εκπομπής μέσω ακτινοβολίας του μέλανος σώματος σύμφωνα με το νόμο του Planck, για διάφορες απόλυτες θερμοκρασίες. 1: Φασματικός συντελεστής εκπομπής μέσω ακτινοβολίας ( $W/cm^2 \times 10^3(\mu m)$ ). 2: Μήκος κύματος ( $\mu m$ )

### 2.4.3 Νόμος της μετατόπισης του Wien

Διαφορίζοντας το μαθηματικό τύπο του Planck ως προς  $\lambda$  και βρίσκοντας το μέγιστο,

$$\lambda_{\max} = \frac{2898}{T}$$

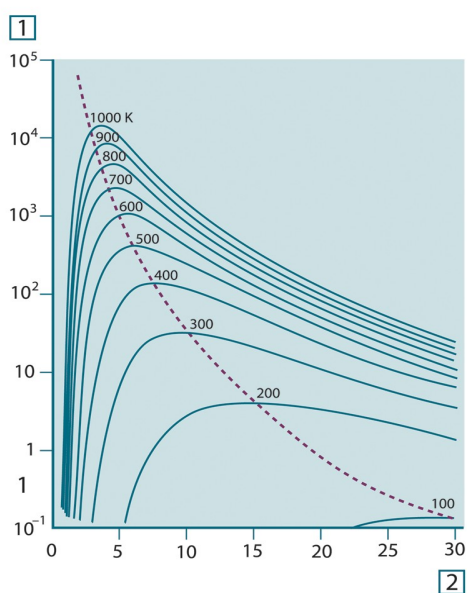
[ $\mu m$ ]

Αυτός είναι ο μαθηματικός τύπος του Wien, ο οποίος εκφράζει με μαθηματικό τρόπο την κοινή παρατήρηση ότι τα χρώματα μεταβάλλονται από το κόκκινο προς το πορτοκαλί ή το κίτρινο, καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία ενός ακτινοβολητή θερμότητας. Το μήκος κύματος του χρώματος ταυτίζεται με εκείνο που

**Εικ.2.15 :** Wilhelm Wien  
(1864–1928) (2)

υπολογίζεται για το  $\lambda_{\max}$ . Μια καλή προσέγγιση της τιμής του  $\lambda_{\max}$  για μια δεδομένη θερμοκρασία μέλανος σώματος λαμβάνεται με εφαρμογή του πρακτικού κανόνα  $3.000/T \mu m$ . Συνεπώς, ένα πολύ θερμό άστρο όπως π.χ. ο Σείριος (11.000 K), που εκπέμπει γαλαζωπό λευκό φως, ακτινοβολεί με τη μέγιστη τιμή του φασματικού συντελεστή εκπομπής μέσω ακτινοβολίας να βρίσκεται εντός του αόρατου φάσματος υπεριώδους, σε μήκος κύματος 0,27  $\mu m$ .

Ο Ήλιος (στα 6.000 K περίπου) εκπέμπει κίτρινο φως, με μέγιστη τιμή στα 0,5  $\mu m$  περίπου, στο μέσον του ορατού φάσματος. Σε θερμοκρασία δωματίου (300 K), η μέγιστη τιμή του συντελεστή εκπομπής μέσω ακτινοβολίας βρίσκεται στα 9,7  $\mu m$ , στη ζώνη άπω υπερούθρων, ενώ σε θερμοκρασία υγρού αζώτου (77 K) η μέγιστη τιμή της σχεδόν αμελητέας ακτινοβολίας ενέργειας βρίσκεται στα 38  $\mu m$ , στα μήκη κύματος των απωτάτων υπερούθρων.



Η διακεκομμένη γραμμή αντιπροσωπεύει το γεωμετρικό τόπο των μέγιστων τιμών συντελεστή εκπομπής μέσω ακτινοβολίας σε κάθε θερμοκρασία, όπως περιγράφεται από το νόμο μετατόπισης του Wien.

1: Φασματικός συντελεστής εκπομπής μέσω ακτινοβολίας ( $W/cm^2 (\mu m)$ ).

2: Μήκος κύματος ( $\mu m$ )



**Εικόνα 2.16 :** Καμπύλες του Planck χαραγμένες σε ημιλογαριθμικό χαρτί από 100 K μέχρι 1000 K.

#### 2.4.4 Νόμος των Stefan-Boltzmann

Μετά από ολοκλήρωση του μαθηματικού τύπου του Planck μεταξύ  $\lambda = 0$  και  $\lambda = \infty$ , λαμβάνεται ο συνολικός συντελεστής εκπομπής μέσω ακτινοβολίας ( $W_{\lambda b}$ ) ενός μέλανος σώματος:

$$W_{\lambda b} = \sigma T^4 \text{ [Watt/m}^2\text{]}$$

Αυτός είναι ο μαθηματικός τύπος των Stefan-Boltzmann (από τα ονόματα των επιστημόνων *Josef Stefan*, 1835–1893, και *Ludwig Boltzmann*, 1844–1906), σύμφωνα με τον οποίο η συνολική ισχύς εκπομπής ενός μέλανος σώματος είναι ανάλογη προς την απόλυτη θερμοκρασία του υψωμένη στην τέταρτη δύναμη. Σε γραφική μορφή, το  $W_b$  αντιπροσωπεύει το εμβαδόν της περιοχής κάτω από την καμπύλη Planck για μια συγκεκριμένη θερμοκρασία. Μπορεί να αποδειχθεί ότι ο συντελεστής εκπομπής μέσω ακτινοβολίας στο διάστημα από  $\lambda = 0$  έως  $\lambda_{\max}$  αποτελεί μόλις το 25 % της συνολικής, που αντιπροσωπεύει κατά προσέγγιση το μέρος της ακτινοβολίας του Ηλίου εντός του ορατού φάσματος.

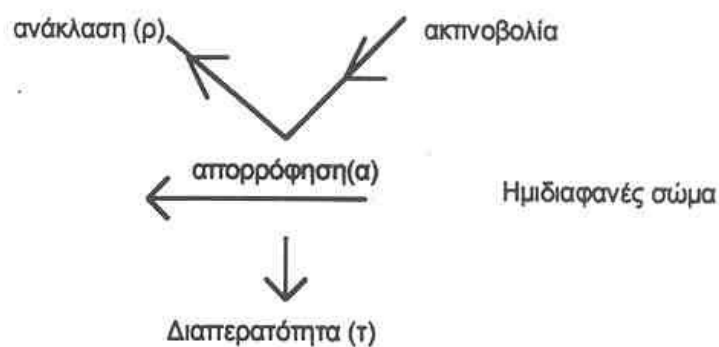


**Εικ.2.17 :** *Josef Stefan (1835–1893) και Ludwig Boltzmann (1844–1906) (2)*

Εφαρμόζοντας το μαθηματικό τύπο των Stefan-Boltzmann για τον υπολογισμό της ισχύος που ακτινοβολείται από το ανθρώπινο σώμα, σε θερμοκρασία 300 K και με εμβαδόν εξωτερικής επιφανείας 2 m<sup>2</sup> περίπου, προκύπτει εκπεμπόμενη ενέργεια 1 kW περίπου. Αυτή η απώλεια ισχύος δε θα μπορούσε να διατηρείται σταθερή, εάν δεν υπήρχε η αντισταθμιστική απορρόφηση ακτινοβολίας από τις γύρω επιφάνειες, σε θερμοκρασίες χώρου που δεν αποκλίνουν σημαντικά από τη θερμοκρασία του σώματος ή, φυσικά, την προσθήκη ρούχων. Αν δεν υπήρχε αυτή η αντισταθμιστική, το αίσθημα δυσφορίας θα ήταν έντονο, καθώς δεν θα υπήρχε ισορροπία ανάμεσα στο σώμα μας και το περιβάλλον. (2)

#### 2.5 Ακτινοβολητές που δεν είναι μέλανα σώματα

Μέχρι τώρα, περιγράφηκαν μόνον οι ακτινοβολητές που αποτελούν μέλανα σώματα και η ακτινοβολία μέλανος σώματος. Ωστόσο, στην πραγματικότητα τα αντικείμενα δεν συμμορφώνονται σχεδόν ποτέ με τους νόμους αυτούς σε μια εκτεταμένη περιοχή μηκών κύματος – αν και είναι δυνατό να προσεγγίζουν τη συμπεριφορά του μέλανος σώματος σε ορισμένες περιοχές του φάσματος. Για παράδειγμα, ένας συγκεκριμένος τύπος λευκής βαφής μπορεί να φαίνεται απόλυτα *λευκός* στην ορατή περιοχή του φάσματος, αλλά εμφανίζεται σαφώς *γκρι* στα 2 μm περίπου, ενώ πέρα από τα 3 μm εμφανίζεται σχεδόν *μαύρο*. Υπάρχουν τρεις διεργασίες που είναι δυνατό να λάβουν χώρα και να μην επιτρέψουν σε ένα πραγματικό αντικείμενο να συμπεριφερθεί ως μέλαν σώμα: ένα κλάσμα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας  $\alpha$  μπορεί να απορροφάται, ένα κλάσμα  $\rho$  μπορεί να ανακλάται και ένα κλάσμα  $\tau$  μπορεί να μεταδίδεται μέσω του αντικειμένου. (βλ.εικ.2.18)



**Εικ.2.18 :** Ανάκλαση, απορρόφηση και διαπερατότητα ακτινοβολίας σε ένα ημιδιαπερατό σώμα (6)

όπου  $\tau$ ,  $\rho$  και  $\alpha$  είναι αντίστοιχα η διαπερατότητα, η ανάκλαση και η απορρόφηση του υλικού. Αν το μεγαλύτερο μέρος της ακτινοβολίας διαπεράσει το υλικό, τότε το υλικό αυτό θα λέγεται διαφανές. Ακόμη διακρίνουμε αδιαφανή υλικά (ακτινοβολούν μόνο από την επιφάνειά τους) και ημιδιαπερατά (ακτινοβολούν από τη μάζα τους). Τέλος, υπάρχουν εξαιρετικά λιασμένα υλικά που αντανακλούν το μεγαλύτερο ποσοστό της ακτινοβολίας που προσπίπτει πάνω τους και ονομάζονται κάτοπτρα. Η απορροφητική ικανότητα των υλικών αυξάνει όταν η επιφάνειά τους είναι ανώμαλη. Προσοχή, ότι στο μάτι φαίνεται ανώμαλο και τραχύ στις υπέρυθρες μπορεί να είναι καθρέπτης, γιατί το ορατό φως είναι μικρότερου μήκους κύματος από αυτό των υπέρυθρων. Είναι σαν να έχεις έναν τοίχο με ανώμαλη επιφάνεια. Αν του πετάξεις μια μπάλα μικρών διαστάσεων ως προς τις επιφανειακές ανωμαλίες, αυτές θα επηρεάσουν τη γωνία ανάκλασης της μπάλας. Αν όμως πετάξεις με τον ίδιο τρόπο στον ίδιο τοίχο μία μεγάλη μπάλα ως προς την οποία οι επιφανειακές ανωμαλίες είναι αμελητέες η ανάκλαση δεν θα επηρεαστεί από αυτές.

Επειδή όλοι αυτοί οι παράγοντες  $\tau$ ,  $\rho$  και  $\alpha$  εξαρτώνται λίγο-πολύ από το μήκος κύματος, χρησιμοποιείται ο δείκτης  $\lambda$  προκειμένου να υποδηλώνεται η φασματική εξάρτηση των ορισμών τους.

Συνεπώς:

Φασματικός συντελεστής απορρόφησης  $\alpha_\lambda =$  λόγος της φασματικής ακτινοβολούμενης ισχύος που απορροφάται από ένα αντικείμενο προς εκείνη που προσπίπτει σε αυτό.

Φασματικός συντελεστής ανάκλασης  $\rho_\lambda =$  λόγος της φασματικής ακτινοβολούμενης ισχύος που ανακλάται από ένα αντικείμενο προς εκείνη που προσπίπτει σε αυτό.

Φασματικός συντελεστής μετάδοσης  $\tau_\lambda =$  λόγος της φασματικής ακτινοβολούμενης ισχύος που μεταδίδεται μέσα από ένα αντικείμενο προς εκείνη που προσπίπτει σε αυτό.

Το άθροισμα αυτών των τριών παραγόντων πρέπει πάντοτε να δίνει τη μονάδα σε κάθε

$$\alpha_\lambda + \rho_\lambda + \tau_\lambda = 1$$

$$\alpha_\lambda + \rho_\lambda = 1$$

Ένας άλλος σημαντικός για την κτηριακή θερμογραφία παράγοντας, που καλείται συντελεστής εκπομπής, απαιτείται για να περιγράψει το κλάσμα  $\varepsilon$  του συντελεστή εκπομπής μέσω ακτινοβολίας ενός μέλανος σώματος που παράγεται από ένα αντικείμενο σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία. Έτσι, προκύπτει ο εξής ορισμός:

Φασματικός συντελεστής εκπομπής  $\varepsilon_\lambda$  ορίζεται ως ο λόγος της φασματικής ακτινοβολούμενης ισχύος που προέρχεται από ένα αντικείμενο προς εκείνη που προέρχεται από ένα μέλαν σώμα στην ίδια θερμοκρασία και μήκος κύματος. Μαθηματικώς εκφραζόμενος, ο ανωτέρω ορισμός μπορεί να γραφεί ως ο λόγος του φασματικού συντελεστή εκπομπής του αντικειμένου προς εκείνου ενός μέλανος σώματος, ως

$$\text{εξής: } \varepsilon_\lambda = \frac{W_{\lambda a}}{W_{\lambda b}}$$

Γενικά, υπάρχουν τρία είδη πηγών ακτινοβολίας, τα οποία διακρίνονται μεταξύ τους από τον τρόπο με τον οποίο ο φασματικός συντελεστής εκπομπής μεταβάλλεται με το μήκος κύματος.

- Μέλαν σώμα, για το οποίο  $\varepsilon_\lambda = \varepsilon = 1$
- Τεφρό σώμα, για το οποίο  $\varepsilon_\lambda = \varepsilon =$  σταθερά μικρότερη του 1
- Επιλεκτικός ακτινοβολητής, στον οποίο το  $\varepsilon$  μεταβάλλεται με το μήκος κύματος

Σύμφωνα με τον νόμο του Kirchhoff, για κάθε υλικό ο φασματικός συντελεστής εκπομπής ισούται με τον φασματικό συντελεστή απορρόφησης ενός σώματος σε κάθε καθορισμένη θερμοκρασία και μήκος κύματος. Σε μορφή μαθηματικού τύπου:

$$\varepsilon_\lambda = \alpha_\lambda$$

Από τον τύπο αυτό προκύπτει ότι, για ένα αδιαφανές υλικό (επειδή  $\alpha_\lambda + \rho_\lambda = 1$ ) ισχύει:

$$\varepsilon_\lambda + \rho_\lambda = 1$$

$$\text{και άρα } \varepsilon_\lambda = 1 - \rho_\lambda$$

Η τελευταία αυτή σχέση είναι ιδιαίτερα βολική, διότι συχνά είναι ευκολότερο να μετρήσει κανείς άμεσα το συντελεστή ανάκλασης παρά το συντελεστή εκπομπής.

Για πολύ στιλβωμένα υλικά, το  $\epsilon_l$  προσεγγίζει το μηδέν, συνεπώς για ένα πλήρως ανακλαστικό υλικό (δηλ. έναν τέλειο καθρέπτη) προκύπτει:

$$\rho_\lambda = 1$$

Για αυτόν το λόγο με την θερμοκάμερα δεν μπορούμε να "δούμε" σε ανακλαστικά υλικά όπως τζάμια ή καθρέπτες.

Για έναν ακτινοβολητή που είναι τεφρό(γκρίζο) σώμα, ο μαθηματικός τύπος των Stefan-Boltzmann γίνεται ως εξής:

$$W_{\lambda 0} = \epsilon \sigma T^4 \text{ [Watt/m}^2\text{]}$$

Αυτό σημαίνει ότι η συνολική εκπεμπόμενη ισχύς ενός τεφρού σώματος είναι ίδια με εκείνη ενός μέλανος σώματος στην ίδια θερμοκρασία, μειωμένη κατ' αναλογία κατά την τιμή  $\epsilon$  του τεφρού σώματος ( $\epsilon$  ή  $\epsilon_l$ )

- 1: Φασματικός συντελεστής εκπομπής μέσω ακτινοβολίας.
- 2: Μήκος κύματος.
- 3: Μέλαν σώμα
- 4: Επιλεκτικός ακτινοβολητής.
- 5: Τεφρό σώμα.

**Εικ.2.19 :** Φασματικός συντελεστής εκπομπής μέσω ακτινοβολίας για τρεις τύπους ακτινοβολητών. (2)

## 2.6 Υλικά ημιδιαφανή στις υπέρυθρες (2)

Ας εξετάσουμε τώρα ένα μη μεταλλικό, ημιδιαφανές σώμα ας πούμε, με τη μορφή μιας επίπεδης πλάκας μεγάλου πάχους από πλαστικό υλικό. Όταν η πλάκα θερμανθεί, η ακτινοβολία που παράγεται στο εσωτερικό της θα πρέπει να μεταδοθεί προς τις επιφάνειες μέσω του υλικού, στο οποίο κατά ένα μέρος απορροφάται. Επιπλέον, μόλις φτάσει στην επιφάνεια, ένα μέρος της ανακλάται ξανά προς το εσωτερικό. Η προς τα μέσα ανακλώμενη ακτινοβολία απορροφάται κατά ένα μέρος και πάλι, αλλά ένα μέρος της φτάνει μέχρι την

άλλη επιφάνεια μέσω της οποίας το μεγαλύτερο μέρος της διαφεύγει αλλά ένα μέρος της και πάλι ανακλάται προς τα μέσα. Παρόλο που οι διαδοχικές ανακλάσεις εξασθενούν ολοένα και περισσότερο, θα πρέπει να προστεθούν προκειμένου να υπολογιστεί ο συνολικός συντελεστής εκπομπής της πλάκας. Όταν προστεθούν οι όροι της προκύπτουσας γεωμετρικής σειράς, προκύπτει ο φαινόμενος συντελεστής εκπομπής μιας ημιδιαφανούς πλάκας ως εξής:

$$\varepsilon_{\lambda} = \frac{(1 - \rho_{\lambda})(1 - \tau_{\lambda})}{1 - \rho_{\lambda}\tau_{\lambda}}$$

Ανακεφαλαιώνοντας για το νόμο των Stefan Boltzmann και λαμβάνοντας υπόψη ότι η ενέργεια που ακτινοβολείται αντιστοιχεί σε μία επιφάνεια A έχουμε τους παρακάτω τύπους: Η ενέργεια  $W_{\lambda b}$  που ακτινοβολείται από ένα μέλαν σώμα ανά δευτερόλεπτο και ανά μονάδα επιφανείας είναι το πηλίκο  $P/A$ , όπου P η ολική προσπίπτουσα ακτινοβολία στην επιφάνεια A και δίνεται από τον τύπο

$$P/A = \sigma T^4 \text{ j/m}^2\text{s} \quad \text{Stefan-Boltzmann Law}$$

όπου

$$\sigma = 5.6703 \cdot 10^{-8} \text{ watt/m}^2\text{K}^4$$

Ειδικότερα για τη σταθερά  $\sigma$  ισχύει

$$\sigma = \frac{2\pi^5 k^4}{15c^2 h^3} = 5.670400 \times 10^{-8} \text{ J s}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ K}^{-4}$$

Όπου k η σταθερά του Boltzmann, h η σταθερά του Planck και c η ταχύτητα του φωτός στο κενό.

Στη γενικότερη περίπτωση η ενέργεια  $W_{\lambda o} = P/A$  που ακτινοβολείται από ένα γκριζό σώμα (ή αλλιώς τέφρο) δίνεται από τον τύπο

$$P/A = e\sigma T^4$$

Όπου e ο συντελεστής εκπομπής του αντικειμένου ( $e = 1$  για το μέλαν σώμα).

Αν το θερμό αντικείμενο ακτινοβολεί ενέργεια στον μικρότερης θερμότητας περιβάλλοντα χώρο με θερμοκρασία  $T_c$ , ισχύει ο τύπος

$$P = e\sigma A(T^4 - T_c^4) \quad (26)$$

Υποσημείωση : το  $\varepsilon$  και  $e$  είναι ο συντελεστής εκπομπής του αντικειμένου στην ελληνική και την αγγλική βιβλιογραφία αντίστοιχα. Το  $e$  προέρχεται από την αγγλική λέξη emissivity που μεταφράζεται ως εκπεμπιμότητα στα ελληνικά. Από αυτό το σημείο και μετά στη διπλωματική θα χρησιμοποιούμε το  $\varepsilon$  για να αναφερόμαστε στο συντελεστή εκπομπής του υλικού. Προσοχή θυμίζουμε την εξίσωση της υποπαραγράφου 2.2.3.  $W_{o\lambda} = e \cdot \sigma \cdot T_{ep}^4 + \rho \cdot \sigma \cdot T_{refl}^4$ . Είναι πολύ σημαντικό να μην ξεχάσει ούτε μία στιγμή ο θερμογράφος ότι στην παθητική θερμογραφία ο δεύτερος όρος του δεύτερου μέλους της ισότητας είναι πολύ

σημαντικός για τη σωστή εύρεση της επιφανειακής θερμοκρασίας. Στο παρακάτω κεφάλαιο θα εξετάσουμε περαιτέρω τον συντελεστή εκπομπής  $\epsilon$  θα δούμε από τι επηρεάζεται και αν είναι τόσο σημαντικός ο ακριβής προσδιορισμός του στον κτηριακό τομέα και παράλληλα θα αναλύσουμε την φαινόμενη θερμοκρασία ανάκλασης  $T_{\text{refl}}$ . Οι παραπάνω πληροφορίες περιέχονται στα (2), (6)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> : Τεχνικές θερμογραφικών μετρήσεων

### 3.1 Ανίχνευση της Υπέρυθρης Ακτινοβολίας

#### 3.1.1 Ανιχνευτές Υπέρυθρης Ακτινοβολίας

Κατά την πρόσκρουση της υπέρυθρης ακτινοβολίας σε ένα σώμα ένα μέρος της ανακλάται, άλλο απορροφάται και άλλο διαπερνά το σώμα. Το ποσό της υπέρυθρης ακτινοβολίας που απορροφάται αυξάνει το ενεργειακό περιεχόμενο των στοιχειωδών σωματιδίων του, με αποτέλεσμα να μεταβάλλεται η θερμοκρασία του. Η μεταβολή αυτή μπορεί να μετρηθεί μέσω δευτερευόντων φαινομένων που αφορούν στη μέτρηση κάποιων φυσικών ιδιοτήτων (π.χ. πίεση, όγκο), κάποιων χημικών χαρακτηριστικών (όπως συμβαίνει στην υπέρυθρη φωτογραφία), είτε κάποιων ηλεκτρικών χαρακτηριστικών (π.χ. αγωγιμότητας). Ένας ανιχνευτής υπέρυθρου μετατρέπει την υπέρυθρη ακτινοβολία που απορροφά ένα υλικό συνήθως σε σήμα ηλεκτρικό. Σήμερα επικρατούν δύο τύποι ανιχνευτών: οι **θερμικοί (thermal detectors)**, και οι ανιχνευτές **φωτονίων**. Οι θερμικοί ανιχνευτές είναι κατασκευασμένοι έτσι ώστε να είναι ευαίσθητοι στις θερμοκρασιακές μεταβολές, οι οποίες παρατηρούνται πάνω στο δέκτη απορρόφησης της ακτινοβολίας. Έτσι, απορροφώντας ακτινοβολία αυξάνεται η θερμοκρασία του ανιχνευτή και παράγουν ένα ηλεκτρικό σήμα το οποίο είναι παράγωγο του επιπέδου της απορροφημένης ενέργειας. Τέτοιοι είναι τα **θερμοστοιχεία**, τα **βολτόμετρα** (μετρητές της ενέργειας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας) και οι πυροηλεκτρικοί ανιχνευτές (πυκνωτές). Ο πιο σπουδαίος θερμικός ανιχνευτής είναι ο **βολομετρικός θερμίστορας**, ο οποίος χρησιμοποιεί τη μεταβολή της αντίστασης ενός ημιαγωγίου φιλμ, όταν αυτό θερμαίνεται από μια θερμική ακτινοβολία. Οι φωτονικοί ανιχνευτές είναι ημιαγωγοί που χρησιμοποιούν την ενέργεια που περιέχεται στα φωτόνια της προσπίπτουσας υπέρυθρης ακτινοβολίας κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να απελευθερώνονται ηλεκτρόνια και να αυξάνεται έτσι η αγωγιμότητα του ημιαγωγού. Δύο τύποι ανιχνευτών φωτονίων έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον: οι **φωτοαγωγοί** και οι **φωτοβολταϊκοί**. Οι ανιχνευτές αυτοί είναι κατασκευασμένοι από ίδιο-αντιμόνιο ή από υδράργυρο-κάδμιο-τελλούριο και είναι εφοδιασμένοι με σύστημα ψύξης. Μετά τη δημιουργία του ηλεκτρικού σήματος, αυτό φιλτράρεται και ενισχύεται και φθάνει στο monitor, όπου σχηματίζεται η υπέρυθρη εικόνα (θερμογράφημα). Η εικόνα αυτή μπορεί να είναι έγχρωμη ή ασπρόμαυρη. Στις ασπρόμαυρες οι διάφορες θερμοκρασίες παριστάνονται με διαφορετικές αποχρώσεις

γκρίζου. Οι έγχρωμες εικόνες προκύπτουν με τη χρήση μιας **αυθαίρετης** χρωματικής κλίμακας που αντιστοιχεί κάποιο χρώμα σε κάθε θερμικό επίπεδο. (2)

### 3.1.2 Συστήματα Ανίχνευσης και Καταγραφής της Υπέρυθρης Ακτινοβολίας

Η ανίχνευση και η καταγραφή της υπέρυθρης ακτινοβολίας, καθώς και η δυνατότητα οπτικοποίησής της, έτσι ώστε να είναι κατανοητή από τον άνθρωπο, αποτελούν ένα σημαντικό εργαλείο στη συντήρηση έργων τέχνης και μνημείων, καθώς και σε έναν σχετικό νέο τομέα δραστηριοποίησης αυτής της τεχνικής, στον κτηριακό τομέα. Υπάρχουν τρεις τρόποι για την καταγραφή της υπέρυθρης ακτινοβολίας :

- Καταγραφή της εκπεμπόμενης υπέρυθρης ακτινοβολίας
- Καταγραφή της ανακλώμενης υπέρυθρης ακτινοβολίας μετά από εκπομπή υπέρυθρης ακτινοβολίας πάνω στο εξεταζόμενο σώμα.
- Καταγραφή ενός μίγματος ορατής και υπέρυθρης ακτινοβολίας

### 3.1.3 Μήκος Κύματος Θερμογραφικών Συστημάτων

Στην υπέρυθρη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος διακρίνονται δύο περιοχές μήκους κύματος, οι οποίες είναι διαπερατές από την ατμόσφαιρα και που χρησιμοποιούνται από τα θερμογραφικά συστήματα. Αυτές συνήθως είναι οι εξής: 2-5.6 μm (χαμηλού - μεσαίου μήκους κύματος) και 8-14 μm (υψηλού μήκους κύματος). Η επιλογή του κατάλληλου μήκους κύματος εξαρτάται συνήθως από την εφαρμογή. Γενικότερα πάντως ισχύει ότι :

- Τα θερμογραφικά συστήματα χαμηλού – μεσαίου μήκους κύματος έχουν μεγάλη ευαισθησία σε υψηλές θερμοκρασίες ( $\geq$  της θερμοκρασίας περιβάλλοντος). Συνήθως, χρησιμοποιούνται όταν μας ενδιαφέρει πιο πολύ η ευαισθησία από την αντίθεση στην εικόνα. Περιορίζονται, όμως, όσον αφορά στην απόσταση καταγραφής – ελέγχου, σε περίπτωση που θέλουμε όμως μόνο ακρίβεια στην μέτρηση της θερμοκρασίας και όχι για εντοπισμό, η οποία κυμαίνεται περίπου στα 200 μέτρα.
- Τα θερμογραφικά συστήματα υψηλού μήκους κύματος από την άλλη, έχουν μεγάλη ευαισθησία στις χαμηλές θερμοκρασίες ( $\leq$  της θερμοκρασίας περιβάλλοντος). Επίσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την καταγραφή μεγαλύτερων αποστάσεων, καθώς η ατμόσφαιρα εξασθενεί λιγότερο στα υψηλά μήκη κύματος. (10) Τα πλεονεκτήματα των θερμογραφικών συστημάτων υψηλού μήκους κύματος είναι ότι συμπεριφέρονται καλά στις θερμοκρασίες του περιβάλλοντος, είναι ικανές να ανιχνεύσουν μικρές θερμοκρασιακές διαφορές και επηρεάζονται λιγότερο από της ηλιακές ανακλάσεις. (12) Πιο επιστημονικά το ποια κάμερα χρησιμοποιούμε έχει να κάνει με το πού παρουσιάζει μέγιστο ο νόμος του Planck.  $\lambda_{\max}=2898/T$  -> LongWave = 7.5 to 13 Μέσο= 10.25 άρα στους 300°K (= 27°C ) έχω  $\lambda_{\max}=9.66$ , το οποίο είναι πολύ κοντά στο μέσο του longwave!

### 3.1.4 Διακριτική Ικανότητα Θερμογραφικών Συστημάτων

Η απόσταση μεταξύ της κάμερας και του αντικειμένου – υλικού προς εξέταση, είναι ένας σημαντικός παράγοντας που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη, κατά τη διαδικασία των μετρήσεων. Για παράδειγμα, εάν η απόσταση μεταξύ της κάμερας και ενός θερμού αντικειμένου είναι μεγάλη, τότε θα έχουμε χαμηλότερες απότι στην πραγματικότητα θερμοκρασιακές μετρήσεις. Είναι επίσης σημαντικό να γνωρίζει κανείς την αναλογία του μεγέθους του σημειακού φωτός του φακού, καθώς έτσι μπορεί να προσδιοριστεί το ελάχιστο

μέγεθος του αντικειμένου προς εξέταση. Το μέγεθος αυτό διαφοροποιείται, αφού εξαρτάται από το φακό και την κάμερα .

Για παράδειγμα:

**Ελάχιστο Μέγεθος Αντικειμένου = Απόσταση από το Αντικείμενο/ Αναλογία Μεγέθους Σημειακού Φωτός (2)**

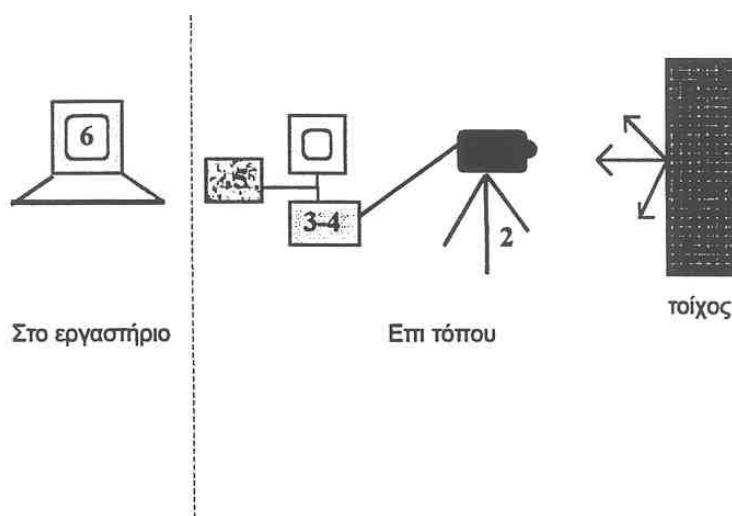
### 3.2 Θερμογραφικός Έλεγχος

Υπάρχουν δύο βασικές προσεγγίσεις - μεθοδολογίες θερμογραφικού ελέγχου:

- a) η παθητική προσέγγιση (passive)
- b) η ενεργητική προσέγγιση (active)

#### 3.2.1 Παθητική Προσέγγιση

Με τον παθητικό θερμογραφικό έλεγχο εξετάζονται υλικά και κατασκευές που βρίσκονται σε διαφορετική θερμοκρασιακή κλίμακα από το περιβάλλον (συνήθως υψηλότερη), δηλ. αφορά σε εφαρμογές που το υλικό περιέχει τη δική του πηγή θερμότητας ( π.χ. το ανθρώπινο σώμα). Κατά τη μέθοδο αυτή καταγράφεται η εκπεμπόμενη από το σώμα υπέρυθρη ακτινοβολία, χωρίς την εφαρμογή κάποιας εξωτερικής πηγής θερμότητας. Η πειραματική διάταξη ενός παθητικού θερμογραφικού ελέγχου φαίνεται στην εικόνα 3.1



**Εικ.3.1 :** Παθητικός έλεγχος (6)

Τα κυριότερα μέρη του εξοπλισμού είναι:

1. Μια κάμερα υπέρυθρου (imager) με κατάλληλους φακούς και σύστημα ψύξης
2. Ένας τρίποδας στήριξης της κάμερας
- 3-4. Επεξεργαστής και monitor
5. Καταγραφέας ( video )
6. Ηλεκτρονικός υπολογιστής για την επεξεργασία των θερμογραφημάτων.



Οι διατάξεις ένα έως πέντε στην παθητική κτηριακή θερμογραφία είναι μια σύγχρονη θερμική κάμερα. (6). Στην παρούσα διπλωματική αυτό θα είναι και το κύριο αντικείμενο μελέτης μας καθώς θα προσπαθήσουμε να εμβαθύνουμε στην παθητική κτηριακή θερμογραφία, και μάλιστα στην ποιοτική της μορφή, αναλύοντας τα πλεονεκτήματα καθώς και τα μειονεκτήματα της. Όταν λέμε "στην ποιοτική της μορφή" εννοούμε στην ανάλυση των θερμογραφημάτων ποιοτικά και όχι ποσοτικά.

### 3.2.2 Ενεργητική Προσέγγιση

Παρότι στην παρούσα εργασία ο συντάκτης επικεντρώθηκε στην κατανόηση και την εφαρμογή του παθητικού ελέγχου της κτηριακής θερμογραφίας κρίθηκε σκόπιμο να παραθέσει θεωρητικά στοιχεία και για την ενεργητική θερμογραφία καθότι παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον καθώς ποσοτικά είναι δύσκολο να υπολογίσουμε πραγματικά μεγέθη χωρίς την χρήση εξωτερικής πηγής διέγερσης. Πιο συγκεκριμένα για να βρίσκουμε τα προβληματικά σημεία στο κτήριο πρέπει να υπάρχει θερμική ροή που πολλές φορές είναι αδύνατον να επιτύχουμε στην παθητική θερμογραφία. Η παθητική θερμογραφία μπορούμε να πούμε ότι είναι περισσότερο για ποιοτική προσέγγιση του προβλήματος και όχι για ποσοτική.

Στην ενεργητική μέθοδο ελέγχου χρησιμοποιείται μια εξωτερική πηγή διέγερσης των υλικών που εξετάζονται. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται στο πλαίσιο της δομικής θερμογραφίας για την ανίχνευση ασυνχειών - ελαττωμάτων σε ένα υλικό - κατασκευή. Ποιοτικά ο μηχανισμός λειτουργίας της είναι ο εξής. Με τη βοήθεια της εξωτερικής πηγής διέγερσης το υπό εξέταση υλικό δέχεται ένα θερμικό παλμό,

ο οποίος κυμαίνεται συνήθως μεταξύ των 3.8 με 47 Btu (4 – 49.6 KJoule). Η θερμοκρασία του υλικού μεταβάλλεται απότομα μετά την εφαρμογή του θερμικού παλμού, λόγω φαινομένων διάχυσης της ακτινοβολίας κάτω από την επιφάνεια και απωλειών λόγω φαινομένων μεταφοράς με συναγωγή και ακτινοβολία. Η παρουσία ενός άλλου υλικού ή κενού μειώνει το ρυθμό διάχυσης έτσι παρατηρώντας τη θερμοκρασία στην επιφάνεια, η ανομοιογένεια του υλικού φαίνεται σαν περιοχή με διαφορετική θερμοκρασία σε σχέση με τη γύρω «υγιά» ομοιογενή περιοχή. Επιπλέον η ανομοιογένεια σε μεγαλύτερο βάθος παρατηρείται αργότερα με μειωμένο οπτικό contrast. Στην πραγματικότητα ο χρόνος παρατήρησης  $t$  είναι μια συνάρτηση (σε πρώτη προσέγγιση) του τετραγώνου του βάθους  $z$  στο οποίο βρίσκεται το ελάττωμα και η απώλεια του contrast είναι ανάλογη της τρίτης δύναμης του βάθους

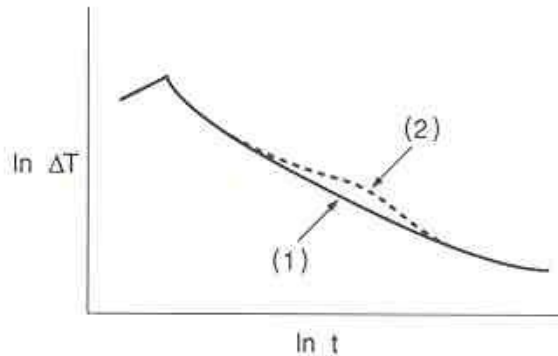
$$t = z^2/\delta \quad \text{και} \quad c = 1/z^3$$

όπου  $\delta$  ( $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ ) είναι η «θερμική» διάχυση του υλικού η οποία ισούται με:

$$\delta = K/\rho C$$

όπου  $K$  ( $\text{W m}^{-1} \text{C}^{-1}$ ) είναι η θερμική αγωγιμότητα,  $\rho$  ( $\text{kg m}^{-3}$ ) η πυκνότητα και  $C$  η ειδική θερμότητα ( $\text{J m}^{-3} \text{C}^{-1}$ ).

Ένας εμπειρικός κανόνας αναφέρει ότι η ακτίνα του μικρότερου ανιχνεύσιμου ελαττώματος ενός υλικού, πρέπει να είναι τουλάχιστον δύο φορές μεγαλύτερη από το βάθος στο οποίο βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια. (6)



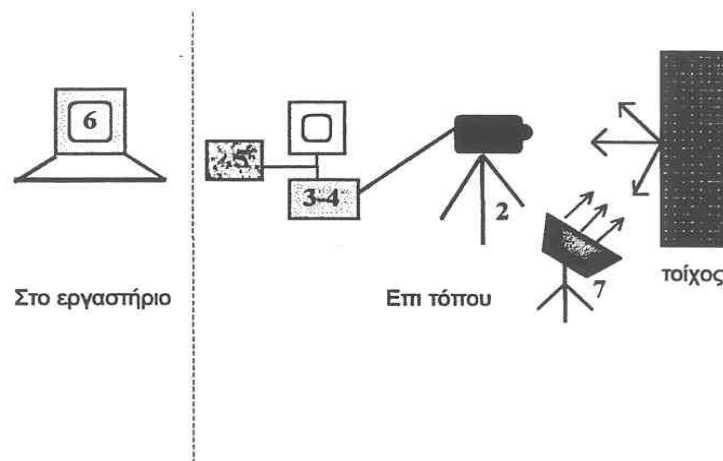
**Εικ.3.2 :** Μεταβολή της θερμοκρασίας μετά την απορρόφηση ενός εξωτερικού θερμικού φορτίου μιας ομοιογενούς και μιας ανομοιογενούς επιφάνειας (6)

Στην εικόνα 3.2 φαίνεται η μεταβολή της θερμοκρασίας δύο επιφανειών: μιας επιφάνειας από ομοιογενές υλικό (1) και μιας που περιέχει ατέλειες κάτω από το εξωτερικό στρώμα (2), μετά τη διέγερσή τους, όπου φαίνεται και η υστέρηση στη μεταβολή της θερμοκρασίας της ανομοιογενούς επιφάνειας. Η εφαρμογή του ενεργητικού θερμογραφικού ελέγχου σε ένα υλικό – κατασκευή με τη λήψη θερμογραφημάτων της θερμοκρασίας της επιφάνειας, μετά από μια διαδικασία θέρμανσης –ψύξης, μπορεί να δώσει πληροφορίες σχετικά με το εσωτερικό του υλικού - κατασκευής. Θεωρητικά γνωρίζοντας, από τη μια, τη διάρκεια και την ένταση του εφαρμοζόμενου παλμού και την ιδιότητα της διάχυσης και αγωγή θερμότητας, από την άλλη, (στο βαθμό που είναι δυνατόν να εκτιμηθούν αυτές) είναι δυνατό να υπολογιστεί ο χρόνος που μεσολαβεί μέχρι το τέλος της ψύξης και στη συνέχεια, το βάθος από το οποίο προέρχεται η θερμική πληροφορία κατά τη διάρκεια της ψύξης (13). Με τον τρόπο αυτό μπορεί να σχηματιστεί μια θερμική τομογραφία της εξεταζόμενης επιφάνειας. Προς αυτήν την κατεύθυνση έχουν γίνει πολλές εφαρμογές, οι οποίες όμως παρουσιάζουν δυσκολία στην εφαρμογή τους κυρίως στις εκτεταμένες κατασκευές για τρεις λόγους:

- Σε μια κατασκευή τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των δομικών υλικών μεταβάλλονται από σημείο σε σημείο.
- Η κατάσταση φθοράς της κατασκευής, που τροποποιεί τις φυσικές (πορώδες, θερμική αγωγιμότητα) και τις οπτικές παραμέτρους (ανάκλαση, συντελεστή εκπομπής) της επιφάνειας, θεμελιώδεις για τον καθορισμό της θερμικής συμπεριφοράς των εξεταζόμενων υλικών, είναι σε μεγάλο βαθμό ανομοιογενής.
- Οι περιβαλλοντικοί παράγοντες δεν μπορούν να παραμετροποιηθούν με ακρίβεια σε ένα θερμοδυναμικό μοντέλο του συστήματος κατασκευής -περιβάλλοντος.
- Είναι δύσκολη έως αδύνατη η ομοιογενής θέρμανση μεγάλων επιφανειών όπως οι προσόψεις μιας κατασκευής.

Δεδομένου της πολυπλοκότητας των φαινομένων και της ανομοιογένειας που παρουσιάζει πολλές φορές μια κατασκευή, κρίνεται απαραίτητο για τη μείωση της δυσκολίας και της αβεβαιότητας στην ανάγνωση των θερμογραφημάτων που αφορούν στην ανίχνευση των ασυνεχειών της κατασκευής, να προηγείται συλλογή οποιωνδήποτε πληροφοριών για την

υπό εξέταση κατασκευή, όπως κατασκευαστικές λεπτομέρειες, μετρήσεις της υγρασίας και της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος κτλ. Η πειραματική διάταξη του συστήματος του ενεργητικού ελέγχου είναι ίδια με αυτήν του παθητικού, με τη μόνη διαφορά την εφαρμογή μιας εξωτερικής πηγής θερμικής διέγερσης του προς εξέταση υλικού (Εικ.3.3).



Εικ.3.3 : Ενεργητικός έλεγχος (6)

Όπου:

1. Κάμερα υπερύθρου(imager) με κατάλληλους φακούς
2. Τρίποδας στήριξης της κάμερας
- 3-4. Επεξεργαστής και monitor
5. Καταγραφέας
6. Ηλεκτρονικός υπολογιστής για την επεξεργασία θερμογραφημάτων
7. Πηγή θερμικής διέγερσης

Η εξωτερική πηγή μπορεί να ψύξει ή να θερμάνει το εξεταζόμενο υλικό.

Για να ψυχθεί το υλικό χρησιμοποιούνται

- Συσκευές εκτόξευσης ψυχρού νερού (cool water jets)
- Συσκευές εκτόξευσης ψυχρού αέρα/αερίου (cool air/gas jets)
- Χιόνι ή πάγος (σε επαφή)
- Σάκοι με ψυχρό νερό (coolwater bags)

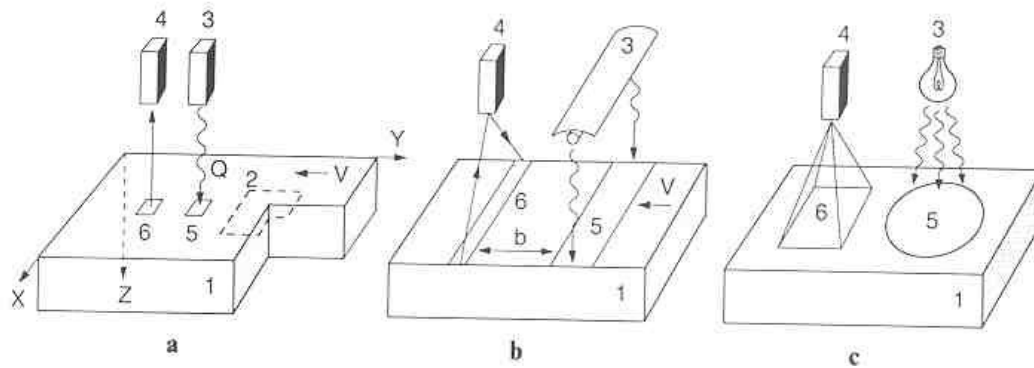
Για να θερμανθεί το υλικό χρησιμοποιούνται

- Υψηλής ισχύος κινηματογραφικές λάμπες (high power cinematographic lamps)
- Υπέρυθρες λάμπες χαλαζία (quarz line infrared lamps)
- Υψηλής ισχύος φωτογραφικά φλας (high power photographic flashes)
- Ακτίνα Laser (Laser beam)
- Συσκευές θερμότητας (heat gun), εκτοξευτές θερμού νερού/αέρα (heat water/air jets), σάκοι θερμού νερού (hot air bags)

### 3.2.2.1 Θέση εξωτερικής πηγής θερμότητας

Υπάρχουν διάφορες δυνατότητες εγκατάστασης της εξωτερικής πηγής θερμότητας. Χαρακτηριστικά αναφέρονται τρεις τρόποι (βλ.εικ.3.4):

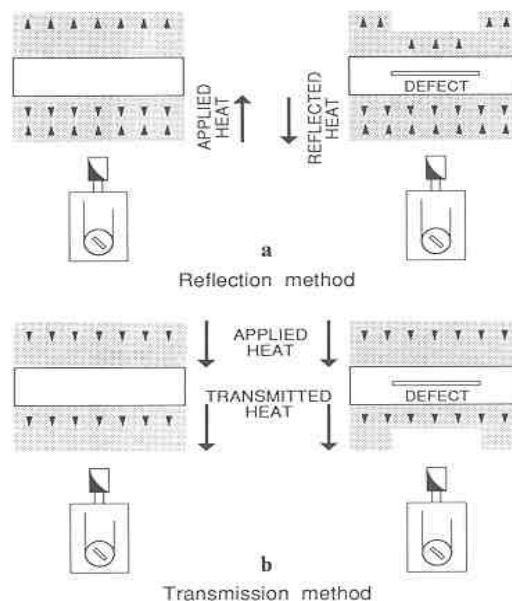
1. Σημειακή θέρμανση με την οποία επιτυγχάνεται ομοιόμορφη θέρμανση. Είναι αργή μέθοδος για την σάρωση μιας επιφάνειας. Χρησιμοποιούνται ακτίνες Laser και λάμπες εστιασμένου τόξου.
2. Γραμμική θέρμανση με την οποία επιτυγχάνεται ομοιόμορφη θέρμανση και γρήγορος ρυθμός ανίχνευσης μιας επιφάνειας. Χρησιμοποιούνται γραμμικές λάμπες υπερώθρου και θερμαινόμενο σύρμα.
3. Επιφανειακή θέρμανση με την οποία δεν επιτυγχάνεται ομοιόμορφη θέρμανση, χρησιμοποιώντας κινηματογραφικούς προβολείς, πυρακτωμένους λαμπτήρες, φλας.



Εικ.3.4 : a.σημειακή θέρμανση b.γραμμική θέρμανση c.επιφανειακή θέρμανση (6)

### 3.2.2.2 Θέση ανιχνευτή θερμότητας (θερμοκάμερας)

Η θέση του ανιχνευτή ως προς την πηγή θερμότητας είναι πολύ σημαντική. Υπάρχουν δύο δυνατότητες διάταξης: στην πρώτη περίπτωση ο ανιχνευτής και η πηγή θερμότητας βρίσκονται στην ίδια πλευρά ως προς την υπό εξέταση επιφάνεια, όπου καταγράφεται η ανακλώμενη από την επιφάνεια ακτινοβολία και στην δεύτερη περίπτωση ο ανιχνευτής και η πηγή θερμότητας βρίσκονται σε αντίθετες πλευρές της εξεταζόμενης επιφάνειας, όπου καταγράφεται η ακτινοβολία που διαπερνά την επιφάνεια. (βλ.εικ.3.5)



Εικ.3.5 : a. ανακλαστική μέθοδος b. μέθοδος μεταφοράς (6)

Με τη θέρμανση με ανάκλαση επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ανάλυση του εξεταζόμενου υλικού, αλλά το πάχος του εξεταζόμενου υλικού είναι μικρό. Από την άλλη, όταν η εκπεμπόμενη ακτινοβολία διαπερνά την επιφάνεια δίνει πληροφορίες για μεγαλύτερο πάχος υλικού αλλά σε μειωμένη ανάλυση. Επίσης η χρήση της καθίσταται δύσκολη σε σύνθετα υλικά - κατασκευές.

### 3.3 Παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμογράφηση

Οι κάμερες υπέρυθρων μετρούν και απεικονίζουν την υπέρυθρη ακτινοβολία που εκπέμπεται από ένα αντικείμενο. Το γεγονός ότι η ακτινοβολία αυτή είναι συνάρτηση της επιφανειακής θερμοκρασίας του αντικειμένου (βλ. τύπο Stefan-Boltzman) επιτρέπει στην κάμερα και υπολογίζει και να εμφανίζει την εν λόγω θερμοκρασία. Ωστόσο, η ακτινοβολία που μετράται από την κάμερα δεν εξαρτάται μόνον από τη θερμοκρασία του αντικειμένου, αλλά είναι συνάρτηση και του συντελεστή εκπομπής. Ακτινοβολία εκπέμπεται και από τον περιβάλλοντα χώρο και ανακλάται πάνω στο αντικείμενο. Η ακτινοβολία από το αντικείμενο και η ανακλώμενη ακτινοβολία επηρεάζονται επίσης και από την απορρόφηση της ατμόσφαιρας. Συνεπώς, για να μετρηθεί επακριβώς η θερμοκρασία του αντικειμένου, θα πρέπει να γίνει αντιστάθμιση των επιπτώσεων μιας σειράς από διαφορετικές πηγές ακτινοβολίας. Αυτό γίνεται αυτόματα από την κάμερα. Ωστόσο, θα πρέπει να εισαγάγετε τις ακόλουθες παραμέτρους του αντικειμένου στην κάμερα:

- Συντελεστής εκπομπής του αντικειμένου  $\epsilon$
- Φαινόμενη θερμοκρασία ανάκλασης  $T_{refl}$
- Απόσταση του αντικειμένου από την κάμερα  $L$
- Σχετική υγρασία %
- Θερμοκρασία της ατμόσφαιρας  $T_o$

#### 3.3.1 Συντελεστής εκπομπής $\epsilon$ ή $\epsilon_{\lambda}$ ή $\epsilon_{\lambda, \theta}$

Η πιο σημαντική παράμετρος του αντικειμένου, η οποία πρέπει να ρυθμιστεί σωστά, είναι ο συντελεστής εκπομπής που αποτελεί εν ολίγοις ένα μέτρο της ποσότητας ακτινοβολίας που εκπέμπεται από το αντικείμενο σε σχέση με εκείνη ενός ιδανικού μαύρου σώματος στην ίδια θερμοκρασία. Δηλαδή, ο φασματικός συντελεστής εκπομπής  $\epsilon_{\lambda}$  ισούται με το λόγο της ενέργειας που εκπέμπει ένα αντικείμενο, προς την ενέργεια που εκπέμπει το μέλαν σώμα, στην ίδια θερμοκρασία και μήκος κύματος. Κανονικά, τα υλικά κατασκευής και οι επιφανειακές κατεργασίες των αντικειμένων παρουσιάζουν ένα συντελεστή εκπομπής που κυμαίνεται κατά προσέγγιση μεταξύ 0,1 και 0,95. Μια πολύ στιλβωμένη επιφάνεια (καθρέπτης) έχει συντελεστή εκπομπής μικρότερο από 0,1, ενώ μια οξειδωμένη ή βαμμένη επιφάνεια έχει υψηλότερο συντελεστή εκπομπής της τάξης του 0,85. Οι λαδομπογιές, ανεξάρτητα από το χρώμα τους στο ορατό φάσμα, παρουσιάζουν συντελεστή εκπομπής πάνω από 0,9 στο φάσμα των υπέρυθρων. Το ανθρώπινο δέρμα παρουσιάζει συντελεστή εκπομπής μεταξύ 0,97 και 0,98. Τα μη οξειδωμένα μέταλλα αντιπροσωπεύουν μια ακραία περίπτωση τέλει αδιαφάνειας και υψηλής ανακλασιμότητας, που δεν ποικίλλει πολύ ανάλογα με το μήκος κύματος. Συνεπώς, ο συντελεστής εκπομπής των μετάλλων είναι χαμηλός και αυξάνεται μόνο με την αύξηση της θερμοκρασίας. Καθώς, όπως θα δούμε παρακάτω, ο συντελεστής εκπομπής είναι ανάλογος της θερμοκρασίας του υλικού. Στα μη μεταλλικά

υλικά, ο συντελεστής εκπομπής τείνει να είναι υψηλός και μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Ως μαθηματική έκφραση αποτελεί το λόγο της εκπομπής φάσματος του αντικειμένου προς αυτή του μέλανος σώματος.

$$e = W_{\lambda 0} / W_{\lambda b}$$

όπου :

$W_{\lambda 0}$  = η ακτινοβολία που εκπέμπεται από ένα αντικείμενο σε συγκεκριμένη περιοχή του φάσματος,

$W_{\lambda b}$  = η ακτινοβολία που εκπέμπεται από ένα μέλαν σώμα.

Γενικά, όπως είδαμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, υπάρχουν τρία είδη πηγών θερμικής ακτινοβολίας που διακρίνονται με βάση τους τρόπους με τους οποίους η εκπομπή φάσματος του καθενός μεταβάλλεται με το μήκος κύματος.

- ένα μέλαν σώμα για το οποίο  $e_{\lambda} = e = 1$ , το  $e$  ανεξάρτητο από το μήκος κύματος
- ένα μη μέλαν σώμα για το οποίο  $e_{\lambda} = e = \text{σταθερό}$  και μικρότερο του 1 και ανεξάρτητο από το μήκος κύματος
- επιλεκτικός ακτινοβολητής θερμικής ακτινοβολίας (selective radiator) όπου το  $e$  μεταβάλλεται με το μήκος κύματος.

Παρακάτω θα διατυπώσουμε κάποια σημαντικά πράγματα που πρέπει να έχουμε υπόψη μας για το emissivity.

1) Πολύ απλοϊκά διατυπωμένα όσο πιο λεία μια επιφάνεια τόσο χειρότερα, ενώ όσο πιο τραχιά τόσο καλύτερα. Αυτό συμβαίνει, διότι μια τραχιά επιφάνεια οξειδωμένη ή και σκονισμένη ακόμα στην κάμερα φαίνεται σαν μια σύνθεση από πολλαπλά μικρομελανά σώματα κάθε ένα από τα οποία έχει μεγάλο emissivity. Άρα, τόσο πιο κοντά στην πραγματικότητα βρίσκεται η τιμή του συντελεστή εκπομπής που υπολογίζουμε. Προσοχή, επαναλαμβάνουμε, ότι στο μάτι φαίνεται ανώμαλο και τραχύ, στις υπέρυθρες μπορεί να είναι καθρέπτης, γιατί το ορατό φως είναι μικρότερου μήκους κύματος από αυτό των υπέρυθρων. (βλ.Κεφ.2.5) (20)

2) Επήρεια γωνίας. Όταν η γωνία παρατήρησης είναι μεγαλύτερη από  $45 - 50^{\circ}$  η μέτρηση είναι χαμηλότερη απότι θα έπρεπε να είναι. (βλ.εικ.3.6). Γι' αυτό θα πρέπει να προσέχουμε σε στοχεύσεις απότομων κεραμοσκεπών ή ψηλών ορόφων. Σε μικρή γωνία βλέπω ανάκλαση τον εαυτό μου. (βλ.εικ 3.7)(2)

3) Κάθε θερμοκάμερα "βλέπει" είτε σε short wave είτε σε midwave είτε σε long wave . Αυτή είναι η φασματική της απόκριση . Ποτέ δεν πρέπει να χρησιμοποιούμε emissivity που δεν έχει καθοριστεί για τον τύπο εξοπλισμού που χρησιμοποιούμε. Μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικό σφάλμα. (2)

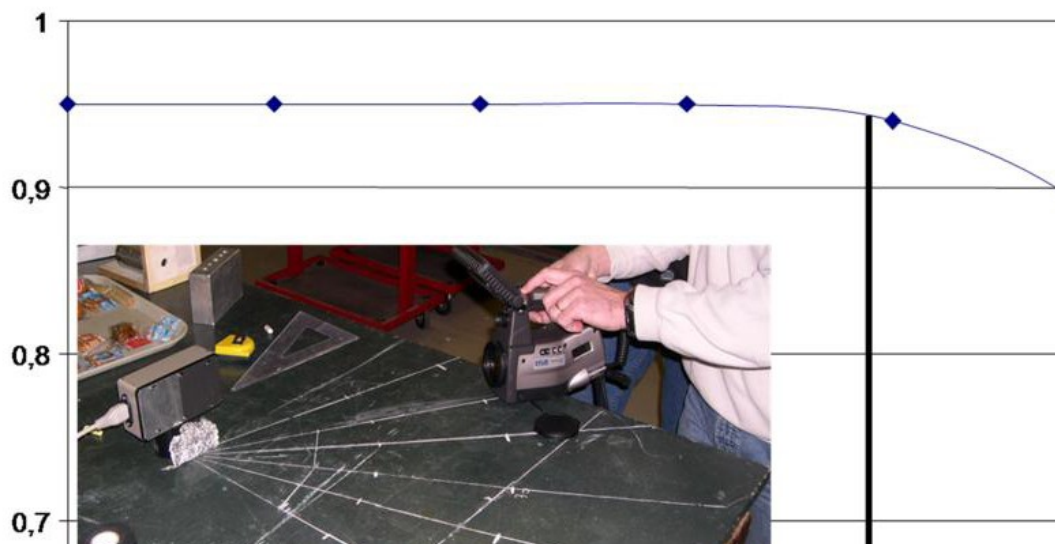
4) Επήρεια θερμοκρασίας. Στα μέταλλα όσο αυξάνεται η θερμοκρασία τόσο αυξάνεται το  $e$ . Στα άλλα υλικά όσο αυξάνεται η θερμοκρασία τόσο μειώνεται το  $e$ . (20)

5) Επήρεια χρώματος. Αν έχουμε μια επιφάνεια με το ίδιο υλικό αλλά με διαφορετικό χρώμα τότε όσο πιο σκουρόχρωμο το υλικό τόσο πιο θερμό θα φανεί στο θερμογράφημα. Αυτό δεν σημαίνει ότι έχουν διαφορετικό συντελεστή εκπομπής!(9).Είναι σημαντικό να καταλάβουμε ότι η θερμογράφιση είναι επιφανειακή, δεν είναι σαν τις ακτίνες  $\chi$ , οπότε, αν ο τοίχος είναι από το ίδιο υλικό αλλά έχει διαφορετικές διαβαθμίσεις του ίδιου χρώματος, θα έχουν απορροφήσει διαφορετικές ποσότητες ενέργειας ,στο ορατό φάσμα, επιφανειακά. (9)

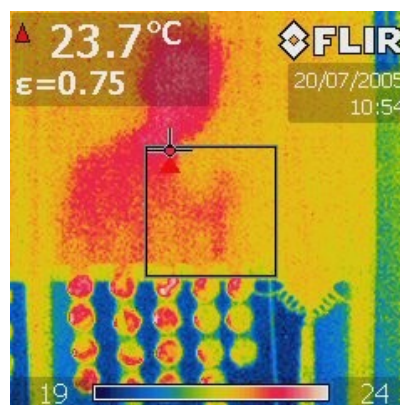
6) Αποφεύγουμε να μετράμε το emissivity σε μεταβατική (transient) κατάσταση στην παθητική θερμογραφία. (βλ.3.4.2.1) (11)

7) το  $\epsilon$  εξαρτάται κυρίως από το υλικό. γενικά τα μη μέταλλα έχουν μεγαλύτερο  $\epsilon$  από τα μέταλλα. στον κτηριακό τομέα συνήθως το  $\epsilon$  είναι περίπου 0,95. υπάρχουν πίνακες (βλ. παραρτήματα) με το  $\epsilon$  διαφόρων υλικών, όμως, πρέπει να τους χρησιμοποιούμε με προσοχή. αν μούμε στη διαδικασία να το υπολογίσουμε τότε βλ. 3.4.2.1.(2)

Προτού προχωρήσουμε στον ορισμό της φαινόμενης θερμοκρασίας ανάκλασης πρέπει να παρατηρήσουμε και όχι να υποδείξουμε ότι στην παθητική κτηριακή θερμογραφία η ποιοτική παρατήρηση υπερτερεί της ποσοτικής. Δηλαδή, αν επιλέξουμε ένα λανθασμένο emissivity προφανώς θα πάρουμε λάθος νούμερα για την επιφανειακή θερμοκρασία αλλά η θερμική εικόνα θα είναι η ίδια σε επίπεδο αντιθέσεων χρωμάτων. Συνεπώς, για την εξαγωγή συμπερασμάτων που μας ενδιαφέρουν στο επίπεδο του κτηρίου δεν μας ενδιαφέρουν τα νούμερα αλλά η εικόνα. Βέβαια όσο πιο κοντά στην πραγματική τιμή του  $\epsilon$  είμαστε τόσο πιο ευκρινής θα είναι η εικόνα που θα πάρουμε. (9)



Εικ.3.6 : επίρεια γωνίας στο  $\epsilon$  (11)



Εικ.3.7 αντανάκλαση σώματος θερμογράφου

### 3.3.2 Φαινόμενη θερμοκρασία ανάκλασης

Η παράμετρος αυτή χρησιμοποιείται ως μέσο αντιστάθμισης της ακτινοβολίας που ανακλάται πάνω στο αντικείμενο. Εάν ο συντελεστής εκπομπής είναι χαμηλός και η θερμοκρασία του αντικειμένου σχετικά μακριά από τη θερμοκρασία ανάκλασης, τότε είναι σημαντικό να ρυθμίσετε και να αντισταθμίσετε σωστά τη φαινόμενη θερμοκρασία ανάκλασης. Πρέπει να προσέχουμε ότι, όσο περνάει η ώρα, μπορεί το περιβάλλον να αλλάξει. Συνεπώς, όταν συμβαίνει αυτό, θα πρέπει να παίρνουμε εκ νέου μέτρηση του Trefl. Όπως είδαμε και προηγουμένως το σύνολο της ενέργειας που εκπέμπεται από ένα σώμα είναι το άθροισμα δύο παραγόντων. Ο πρώτος οφείλεται στην εκπεμπιμότητα του υλικού, δηλαδή, στην ενέργεια που αποθηκεύει από την προσπίπτουσα ακτινοβολία και την επανεκπέμπει και ο δεύτερος η ανακλαστικότητα του, δηλαδή, η ενέργεια που ανακλάται πάνω στο αντικείμενο. Στην ανακλαστικότητά εισέρχεται το Trefl και αν δεν ρυθμιστεί σωστά θα βρούμε ψευδείς επιφανειακές θερμοκρασίες στον πρώτο όρο. Ο θερμογράφος οφείλει να λάβει υπόψη του μέσω του Trefl τις εκάστοτε πηγές θερμότητας που μπορούν να ανακλώνται πάνω στο στόχο. Οι παρασιτικές αυτές πηγές ονομάζονται ενεργητικά σώματα και μπορεί να είναι κάποια ηλεκτρική συσκευή, λάμπες ακόμα και το ίδιο το σώμα του θερμογράφου! Στην περίπτωση που θεωρήσει ότι όλα τα στοιχεία στον χώρο έχουν την ίδια θερμοκρασία μπορεί προσεγγιστικά να πάρει  $T_{refl} = T_{περ}$ . όπου  $T_{περ}$  η θερμοκρασία του περιβάλλοντα χώρου. Προσοχή, όμως, αν υπάρχουν ενεργητικά σώματα οφείλει να μετρήσει τη φαινόμενη θερμοκρασία ανάκλασης. (βλ.3.4.1) (2)

### 3.3.3 Απόσταση αντικειμένου από θερμοκάμερα

Πρόκειται για την απόσταση του αντικειμένου από τον μπροστινό φακό της κάμερας. Η παράμετρος αυτή χρησιμοποιείται ως μέσο αντιστάθμισης των εξής δύο γεγονότων:

- Ότι η ακτινοβολία που προέρχεται από το στόχο, απορροφάται από την ατμόσφαιρα που βρίσκεται ανάμεσα στο αντικείμενο και την κάμερα.
- Ότι η κάμερα μετρά και ακτινοβολία που προέρχεται από την ίδια την ατμόσφαιρα.

Στο υποκεφάλαιο 3.1.4 εξηγήσαμε αναλυτικότερα το ίδιο θέμα. (2)

### 3.3.4 Σχετική και απόλυτη υγρασία

Η υγρασία εκφράζεται με δύο διαφορετικούς τρόπους — είτε ως **σχετική υγρασία** είτε ως **απόλυτη υγρασία**. Η σχετική υγρασία εκφράζεται ως ποσοστό επί τοις εκατό της ποσότητας νερού που μπορεί να συγκρατήσει ένας ορισμένος όγκος αέρα σε ορισμένη θερμοκρασία, ενώ η απόλυτη υγρασία εκφράζεται ως ποσοστό επί τοις εκατό κατά βάρος περιεκτικότητας υλικού σε νερό. Ο δεύτερος τρόπος έκφρασης της υγρασίας χρησιμοποιείται συνήθως, όταν μετράται η υγρασία στο ξύλο και άλλα δομικά υλικά. Όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία του αέρα, τόσο μεγαλύτερη είναι η ποσότητα του νερού που μπορεί να συγκρατήσει ένας ορισμένος όγκος αέρα. Ο πίνακας που ακολουθεί δείχνει τις μέγιστες ποσότητες νερού στον αέρα, σε διάφορες θερμοκρασίες.

**Παράδειγμα:**



Η σχετική υγρασία ενός ορισμένου όγκου αέρα σε θερμοκρασία +30 °C είναι 40%. Η ποσότητα νερού που περιέχεται σε 1 m<sup>3</sup> αέρα στους +30 °C = 30,44 × Σχετική υγρασία = 30,44 × 0,40 = 12,18 g.

Η κάμερα μπορεί επίσης να αντισταθμίσει το γεγονός ότι η διαπερατότητα εξαρτάται επίσης και από τη σχετική υγρασία της ατμόσφαιρας. Για το σκοπό αυτό, θα πρέπει να ρυθμίσετε τη σχετική υγρασία στη σωστή τιμή. Για μικρές αποστάσεις και κανονική υγρασία, η σχετική υγρασία μπορεί να αφηθεί στην προεπιλεγμένη τιμή 50%. (2)

### 3.3.4.1 Ορισμός του σημείου δρόσου

Το σημείο δρόσου ορίζεται ως η θερμοκρασία στην οποία η υγρασία ενός ορισμένου όγκου αέρα συμπυκνώνεται σε μορφή υγρού νερού. Δηλαδή είναι το σημείο που η σχετική υγρασία φτάνει στο 100%. Στον αέρα υπάρχουν αχνοί νερού(υγρασία). Ο αέρας, σε υψηλότερες θερμοκρασίες, είναι δυνατό να διατηρήσει, σε αέρια μορφή(αχνούς), περισσότερο νερό, σε σχέση με αέρα χαμηλότερης θερμοκρασίας. Οι επιφάνειες των τοίχων μπορεί να είναι πιο ψυχρές, από τη θερμοκρασία του χώρου (το ίδιο και ο αέρας που είναι κοντά στους εξωτερικούς τοίχους) Το νερό, σε αέρια μορφή είναι δυνατό να συμπυκνωθεί, όταν η θερμοκρασία της επιφάνειας του εξωτερικού τοίχου είναι χαμηλότερη από το σημείο δρόσου

#### Παράδειγμα:

Η σχετική υγρασία ενός ορισμένου όγκου αέρα σε θερμοκρασία +30 °C είναι 40%. Η ποσότητα νερού που περιέχεται σε 1 m<sup>3</sup> αέρα στους +30 °C = 30,44 × Σχετική υγρασία = 30,44 × 0,40 = 12,18 g. Υπάρχουν πίνακες που βρίσκουμε τη θερμοκρασία για την οποία η ποσότητα νερού στον αέρα είναι πλησιέστερα στα 12,18 g. Αυτή θα πρέπει να είναι +14,0 °C, που αποτελεί κατά προσέγγιση το σημείο δρόσου. (2)

### 3.3.5 Λοιπές παράμετροι

- Ατμοσφαιρική θερμοκρασία Το– δηλ. θερμοκρασία της ατμόσφαιρας ανάμεσα στην κάμερα και το στόχο
- Θερμοκρασία εξωτερικών οπτικών –δηλ. θερμοκρασία τυχόν εξωτερικών φακών ή θυρίδων που υπάρχουν στο μπροστινό μέρος της κάμερας
- Διαπερατότητα εξωτερικών οπτικών – δηλ., η διαπερατότητα τυχόν εξωτερικών φακών ή θυρίδων που υπάρχουν στο μπροστινό μέρος της κάμερας

## 3.4 Εύρεση του συντελεστή εκπομπής ενός δείγματος

Παρακάτω θα προσπαθήσουμε να περιγράψουμε βήμα προς βήμα τον υπολογισμό των παραπάνω παραμέτρων και κυρίως του συντελεστή εκπομπής  $\epsilon$  και της φαινόμενης θερμοκρασίας ανάκλασης Trefl.

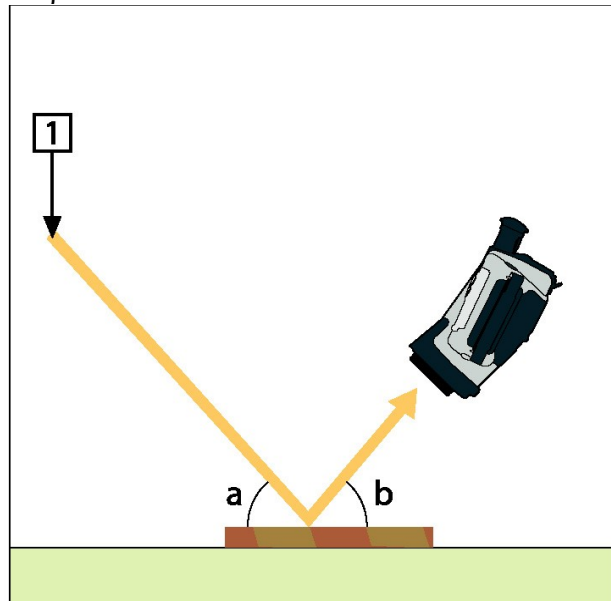
### 3.4.1 Βήμα 1: Προσδιορισμός της φαινόμενης θερμοκρασίας ανάκλασης

Εφαρμόζουμε μία από τις παρακάτω δύο μεθόδους προσδιορισμού της φαινόμενης θερμοκρασίας ανάκλασης:

#### 3.4.1.1 Μέθοδος 1: Άμεση μέθοδος

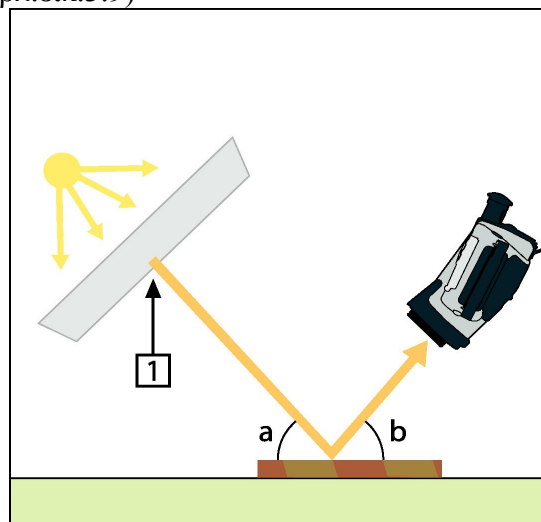
1) Βρίσκουμε τις πιθανές πηγές ανάκλασης, λαμβάνοντας υπόψη ότι:  
γωνία πρόσπτωσης = γωνία ανάκλασης ( $a = b$ ). (βλ.εικ.3.8)

Πιθανές πηγές ανάκλασης μπορεί να είναι κάποια κουζίνα που δουλεύει την στιγμή της θερμογράφησης, λαμπτήρες φωτισμού, θερμαντικά σώματα και γενικότερα κάθε σώμα που έχει θερμοκρασία μεγαλύτερη από αυτή του περιβάλλοντος με συνέπεια να διαφοροποιείται η προσπίπτουσα ακτινοβολία.



Εικ.3.8: Πηγή ανάκλασης (2)

2) Εάν η πηγή ανάκλασης είναι σημειακή, τροποποιούμε την πηγή κρύβοντάς την πίσω από ένα κομμάτι χαρτόνι. (βλ.εικ.3.9)



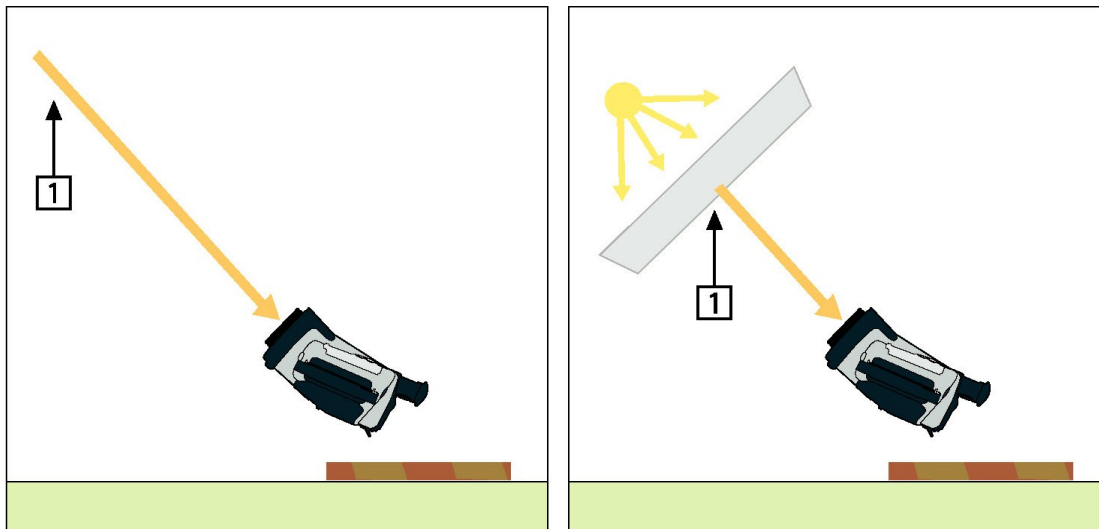
Εικ.3.9 : Σημειακή Πηγή ανάκλασης (2)

3) Μετράμε την ένταση της ακτινοβολίας (= φαινόμενη θερμοκρασία) από την πηγή ανάκλασης με τις παρακάτω ρυθμίσεις:

Συντελεστής εκπομπής: 1,0

Απόσταση αντικειμένου  $D_{obj} = 0$

Η ένταση της ακτινοβολίας υπολογίζεται με μία από τις εικονιζόμενες μεθόδους (βλ.εικ.3.10)



Εικ.3.10 (2)

**Σημείωση:** Δε συνιστάται η χρήση θερμοζεύγους (βλ.εικ.1.5) για τη μέτρηση της φαινόμενης θερμοκρασίας ανάκλασης, για δύο σημαντικούς λόγους:

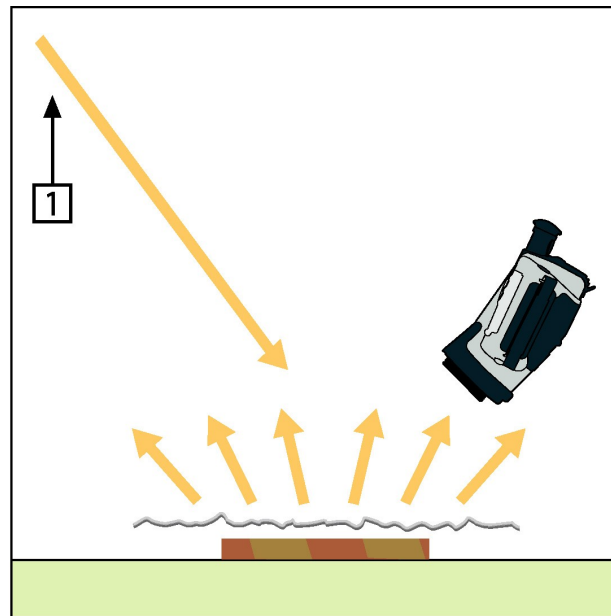
- Τα θερμοζεύγη δε μετρούν την ένταση της ακτινοβολίας
- Τα θερμοζεύγη χρειάζονται πολύ καλή θερμική επαφή με την επιφάνεια, γεγονός που επιτυγχάνεται συνήθως με συγκόλληση του αισθητήρα και κάλυψή του με θερμομονωτικό υλικό.
- Πρέπει να προσέξουμε η θερμοκρασία του αντικειμένου να μην είναι πολύ κοντά σ' αυτήν του περιβάλλοντος, γιατί αυτή η μέθοδος δεν πρόκειται τότε να λειτουργήσει σωστά

Η άμεση μέθοδος συνήθως δεν περιλαμβάνει τη θερμότητα από το σώμα του θερμογράφου ως πηγή ανακλώμενης ενέργειας γεγονός που σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικό σφάλμα. Γι' αυτόν το λόγο προτιμάται η παρακάτω μέθοδος προσδιορισμού του Tref. (2)

### 3.4.1.2) Μέθοδος 2 : Μέθοδος κατόπτρου ή μέθοδος του ανακλαστήρα (βλ.εικ.3.11)

- 1) Τσαλακώνουμε ένα μεγάλο κομμάτι αλουμινόχαρτου.
- 2) Ισιώνουμε το αλουμινόχαρτο και το κολλάμε πάνω σ' ένα κομμάτι χαρτόνι του ίδιου μεγέθους.
- 3) Τοποθετούμε το χαρτόνι αυτό μπροστά από το αντικείμενο που θέλουμε να μετρήσουμε. στο ίδιο επίπεδο όσο είναι δυνατόν. Βεβαιωνόμαστε ότι η πλευρά του χαρτονιού με το κολλημένο αλουμινόχαρτο είναι στραμμένο προς την κάμερα.
- 4) Ρυθμίζουμε το συντελεστή εκπομπής στο 1,0. Με αυτόν τον τρόπο η θερμότητα που θα καταγράψει η θερμοκάμερα θα είναι όλη η ανακλώμενη θερμότητα πάνω στο αλουμινόχαρτο!

5) Τέλος μετράμε και καταγράφουμε τη φαινόμενη θερμοκρασία ανάκλασης.



Εικ.3.11 : Μέτρηση της φαινόμενης θερμοκρασίας του αλουμινόχαρτου (2)

Μέχρι αυτό το σημείο έχουμε προσδιορίσει την φαινόμενη θερμοκρασία ανάκλασης η οποία εκφράζει όλες τις “παρασιτικές” πηγές θερμότητας που προσκρούουν στο στόχο και ανακλώνται στην κατεύθυνση της κάμερας. (2)

### 3.4.2 Βήμα 2: Προσδιορισμός του συντελεστή εκπομπής $e$

Η μέτρηση του emissivity  $e$  βασίζεται στο μηδενικό νόμο της θερμοδυναμικής, που δηλώνει την τάση των σωμάτων για εξίσωση των θερμοκρασιών τους, όταν έρχονται σε επαφή μεταξύ τους και διατυπώνονται ως εξής: αν δύο σώματα είναι ταυτόχρονα σε θερμική ισορροπία με ένα τρίτο σώμα, είναι τότε και σε θερμική ισορροπία μεταξύ τους.

Εφαρμόζουμε μία από τις παρακάτω δύο μεθόδους προσδιορισμού του συντελεστή εκπομπής:

#### 3.4.2.1: Μέθοδος με emissivity αναφοράς ή Μέθοδος του Συντελεστή Εκπομπής Πρότυπου Αναφοράς

Στην ενεργητική θερμογραφία ακολουθούμε τα εξής βήματα

- 1) Επιλέγουμε μια θέση, όπου θα τοποθετήσουμε το δείγμα.
- 2) Προσδιορίζουμε και ρυθμίζουμε τη φαινόμενη θερμοκρασία ανάκλασης, σύμφωνα με την προηγούμενη ενότητα.
- 3) Τοποθετούμε ένα κομμάτι μονωτικής ταινίας, με γνωστό υψηλό συντελεστή εκπομπής, πάνω στο δείγμα. (πχ μαύρη μονωτική ταινία με  $e=0,97$ )
- 4) Θερμαίνουμε το δείγμα σε θερμοκρασία τουλάχιστον 20 °C πάνω από τη θερμοκρασία δωματίου. Η θέρμανση θα πρέπει να γίνει όσο το δυνατόν πιο ομοιόμορφα.
- 5) Εστιάζουμε και αφήνουμε την κάμερα να εκτελέσει αυτόματη προσαρμογή της εικόνας και κατόπιν παγώνουμε την εικόνα.

6) Προσαρμόζουμε τις παραμέτρους Επίπεδο και Εύρος με τρόπο ώστε να επιτύχουμε την καλύτερη δυνατή φωτεινότητα και αντίθεση στην εικόνα.

7) Ρυθμίζουμε το συντελεστή εκπομπής στην τιμή της ταινίας (συνήθως 0,97).

8) Μετράμε τη θερμοκρασία της ταινίας με μία από τις παρακάτω λειτουργίες μέτρησης:

- Ισόθερμη (σας βοηθά να προσδιορίζετε τόσο τη θερμοκρασία όσο και το βαθμό ομοιομορφίας θέρμανσης του δείγματος)
- Σημείο (απλούστερη μέθοδος)
- Πλαίσιο Μέση (καλή μέθοδος για επιφάνειες με κυμαινόμενο συντελεστή εκπομπής).

9) Καταγράφουμε τη θερμοκρασία.

10) Μετακινούμε τη λειτουργία μέτρησης στην επιφάνεια του δείγματος.

11) Αλλάζουμε τη ρύθμιση του συντελεστή εκπομπής μέχρις ότου μετρήσουμε την ίδια θερμοκρασία

με εκείνη που καταγράψαμε προηγουμένως.

12) Καταγράφουμε το συντελεστή εκπομπής.

Στην παθητική κτηριακή θερμογραφία δεν θερμαίνουμε σημειακά ένα δείγμα. οπότε αυτό που αναζητούμε είναι μια θερμότερη περιοχή από το περιβάλλον, για παράδειγμα, ένα σημείο που έχει θερμανθεί από τον ήλιο. Αυτό που αλλάζει, λοιπόν, στη διαδικασία είναι το τέταρτο βήμα. (11)

#### **Σημείωση:**

- Αποφύγετε μεταβατικές καταστάσεις και συνθήκες εξαναγκασμένης συναγωγής
- Αναζητήστε ένα θερμικώς σταθερό περιβάλλον χωρίς σημειακές ανακλάσεις
- Χρησιμοποιήστε ταινία υψηλής ποιότητας, που γνωρίζετε ότι δεν είναι διαφανής και είστε σίγουροι ότι έχει υψηλό συντελεστή εκπομπής. Γιατί θέλουμε η διαπερατότητα  $\tau=0$  e κοντά στη μονάδα.
- Στη μέθοδο αυτή, γίνεται η παραδοχή ότι η θερμοκρασία της ταινίας ταυτίζεται με την επιφανειακή θερμοκρασία του δείγματος. Που σημαίνει ότι πρέπει για ένα χρονικό διάστημα να ομογενοποιηθεί η θερμοκρασία των δύο στοιχείων. Εάν δεν ισχύει αυτό, ο συντελεστής εκπομπής που μετρήσατε θα είναι εσφαλμένος. (2)

**3.4.2.2 Μέθοδος με επαφή ή μέθοδος θερμοζυγού (δεν προτιμάται σε σχέση με την προηγούμενη μέθοδο)**

1) Μετρήστε την επιφανειακή θερμοκρασία του υλικού μ' ένα θερμόμετρο επαφής.

2) Στοχεύστε στην επιφάνεια με το γνωστό emissivity, ώστε να μετράτε θερμοκρασία ίση με την προηγούμενη ένδειξη. Όταν το πετύχετε, η τιμή που φαίνεται στη θερμοκάμερα είναι το ζητούμενο e.

#### **Σημείωση:**

Η λήψη μιας αξιόπιστης μέτρησης μ' ένα θερμόμετρο επαφής είναι δυσκολότερη απ' όσο θα πίστευε κανείς. Εύκολα μπορούμε να μετρήσουμε θερμοκρασία χαμηλότερη της πραγματικής και να καταλήξουμε σε emissivity μεγαλύτερο του 1 πράγμα αδύνατον! (2)

ΠΡΟΤΙΜΑΜΕ ΛΟΙΠΟΝ ΤΗΝ ΠΡΩΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΜΕ ΕΜΜΙΣΙΒΙΤΥ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΟΧΙ ΤΗΝ ΔΕΥΤΕΡΗ ΜΕΘΟΔΟ ΜΕ ΕΠΑΦΗ! (11)

### 3.5 Επιλογή των κρίσιμων θερμοκρασιακών παραμέτρων

Η ενημερωτική δημοσίευση της BRE με κωδικό IP17/01 (Information Paper IP17/01, "Assessing the Effects of Thermal Bridging at Junctions and Around Openings", του Tim Ward, BRE, 2001) παρέχει χρήσιμη καθοδήγηση σχετικά με τις ελάχιστες αποδεκτές επιφανειακές θερμοκρασίες στο εσωτερικό των κτηρίων και τις κατάλληλες τιμές του λεγόμενου "συντελεστή κρίσιμης επιφανειακής θερμοκρασίας" (Critical Surface Temperature Factor, fCRsi). Η χρήση ενός συντελεστή επιφανειακής θερμοκρασίας επιτρέπει σε μελέτες που διεξάγονται σε οποιοδήποτε θερμικές συνθήκες να αποκαλύπτουν περιοχές για τις οποίες η επικινδυνότητα συμπύκνωσης της υγρασίας ή της ανάπτυξης μούχλας υπό τις συνθήκες σχεδιασμού είναι μεγάλη. Η πραγματική επιφανειακή θερμοκρασία εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις θερμοκρασίες στο εσωτερικό και το εξωτερικό κατά τη διεξαγωγή της μελέτης, γι' αυτό επινοήθηκε ο λεγόμενος 'συντελεστής επιφανειακής θερμοκρασίας' (fRsi) ο οποίος είναι ανεξάρτητος από τις απόλυτες συνθήκες. Ο συντελεστής αυτός ισούται με το λόγο της πτώσης θερμοκρασίας από τη μια πλευρά ενός δομικού στοιχείου προς τη συνολική πτώση θερμοκρασίας μεταξύ του αέρα στο εσωτερικό και στο εξωτερικό του κτηρίου.

Για μελέτες στο εσωτερικό κτηρίων:  $fRsi = (T_{si} - T_e)/(T_i - T_e)$ , όπου:

$T_{si}$  = επιφανειακή θερμοκρασία στο εσωτερικό

$T_i$  = θερμοκρασία αέρα στο εσωτερικό

$T_e$  = θερμοκρασία αέρα στο εξωτερικό

Μια τιμή του fCRsi ίση με 0,75 θεωρείται κατάλληλη για τα καινούργια κτήρια, καθώς η χρήση του άνω ορίου δεν αποτελεί παράγοντα που λαμβάνεται υπόψη στις δοκιμές 'συνέχειας της μόνωσης' ή 'ύπαρξης θερμικών γεφυρών'. Ωστόσο, σε ανακαινισμένες ή επεκτεταμένες παλαιές κατασκευές, όπως π.χ. πισίνες, οι μελέτες στο εσωτερικό κατασκευών ενδέχεται να πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τους ασυνήθιστες καταστάσεις. (2)

### 3.6 Εναλλακτική μέθοδος που χρησιμοποιεί μόνο επιφανειακές θερμοκρασίες

Υπάρχουν ισχυρά επιχειρήματα υπέρ της χρήσης αποκλειστικά των επιφανειακών θερμοκρασιών στις θερμογραφικές μελέτες, χωρίς να χρειάζεται η μέτρηση της θερμοκρασίας του αέρα.

- Η διαστρωμάτωση στο εσωτερικό των κτηρίων καθιστά πολύ δυσχερή την αναφορά στη θερμοκρασία αέρα στο εσωτερικό των κτηρίων. Ποια θερμοκρασία αέρα πρέπει

να χρησιμοποιηθεί: η μέση τιμή, το κάτω όριο, το άνω όριο ή η θερμοκρασία στο επίπεδο της ανωμαλίας; Σε ποια απόσταση από τον τοίχο πρέπει να μετριέται αυτή;

- Φαινόμενα ακτινοβολίας, όπως π.χ. η ακτινοβολία θερμότητας προς το νυκτερινό ουρανό, καθιστά δυσχερή τη χρήση της θερμοκρασίας αέρα στο εξωτερικό των κτηρίων. Δεν είναι ασυνήθες φαινόμενο η εξωτερική θερμοκρασία δομικών στοιχείων των κτηρίων να είναι χαμηλότερη από τη θερμοκρασία του αέρα λόγω ακτινοβολίας προς τον ουρανό η οποία μπορεί να φτάνει μέχρι και τους  $-50^{\circ}\text{C}$  ( $-58^{\circ}\text{F}$ ). Αυτό μπορεί να γίνει αντιληπτό και με γυμνό μάτι, λόγω του σχηματισμού συμπυκνώματος υγρασίας ή/και παγετού πάνω στις επιφάνειες του κτηρίου ακόμη κι όταν η θερμοκρασία του αέρα δεν είναι χαμηλότερη από το σημείο δρόσου.
- Θα πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι η βασική αρχή των τιμών  $U$  βασίζεται στις 'περιβαλλοντικές θερμοκρασίες' σε κάθε πλευρά της κατασκευής. Το γεγονός αυτό αμελείται από πολλούς μη έμπειρους αναλυτές.
- Οι δύο θερμοκρασίες που σχετίζονται στενά με τη μεταφορά θερμότητας μέσα από τα δομικά στοιχεία των κτηρίων (και κάθε στερεό υλικό) είναι η επιφανειακή θερμοκρασία σε κάθε πλευρά.
- Συνεπώς, εάν γίνεται αναφορά στις επιφανειακές θερμοκρασίες, βελτιώνεται η επαναληψιμότητα της μελέτης.
- Οι χρησιμοποιούμενες επιφανειακές θερμοκρασίες είναι οι μέσες τιμές των επιφανειακών θερμοκρασιών πάνω στο ίδιο υλικό σε μια περιοχή κοντά στην ανωμαλία, στο εσωτερικό και το εξωτερικό του δομικού στοιχείου. Σε συνδυασμό με τη θερμοκρασία της ίδιας της ανωμαλίας, είναι δυνατό να οριστεί ένα επίπεδο "κατωφλίου" που θα εξαρτάται από τις θερμοκρασίες αυτές, με χρήση του λεγόμενου "συντελεστή κρίσιμης επιφανειακής θερμοκρασίας".
- Τα επιχειρήματα αυτά δεν απαλλάσσουν τον τεχνικό θερμογραφίας από την ανάγκη να λαμβάνει υπόψη του τυχόν ανακλάσεις αντικειμένων που βρίσκονται σε ασυνήθεις θερμοκρασίες στο φόντο, στραμμένων προς τις επιφάνειες των δομικών στοιχείων του κτηρίου.
- Ο τεχνικός θερμογραφίας θα πρέπει, επίσης, να συγκρίνει τις εξωτερικές όψεις που είναι στραμμένες προς διαφορετικές κατευθύνσεις, προκειμένου να προσδιορίσει κατά πόσον υπάρχει υπολειμματική θερμότητα από συσσωρευμένη ηλιακή ακτινοβολία, η οποία επηρεάζει τις εξωτερικές επιφάνειες.
- Οι μελέτες στο εξωτερικό κτηρίων δεν πρέπει να διενεργούνται πάνω σε επιφάνειες όπου το  $T_{si} - T_{so}$  της συγκεκριμένης όψης είναι πάνω από 10% μεγαλύτερο από το  $T_{si} - T_{so}$  της βορινής όψης ή της όψης που βρίσκεται πλησιέστερα στο Βορρά. Για μια ατέλεια που προκαλεί αστοχία κάτω από τη συνθήκη του 0,75 κατά IP17/01, οι συντελεστές κρίσιμης επιφανειακής θερμοκρασίας είναι 0,78 στην εσωτερική επιφάνεια και 0,93 στην εξωτερική επιφάνεια.

### 3.7 Επιλογή της μέγιστης επιτρεπτής προβληματικής περιοχής

Η επιτρεπτή προβληματική περιοχή αποτελεί ζήτημα ελέγχου ποιότητας. Μπορεί να υποστηριχθεί ότι δεν πρέπει να υπάρχει καμία περιοχή πάνω στην οποία να λαμβάνει χώρα συμπύκνωση υγρασίας ή ανάπτυξη μούχλας ή της οποίας η μόνωση να είναι ελαττωματική και τυχόν παρόμοιες ανωμαλίες θα πρέπει να περιλαμβάνονται στην αναφορά. Ωστόσο, η

συνήθης τιμή του 0,1% του συνολικού εμβαδού εκτεθειμένης επιφάνειας του κτηρίου γίνεται γενικά αποδεκτή ως η μέγιστη συνδυασμένη προβληματική περιοχή που επιτρέπεται να συμμορφούται με τον ελληνικό οικοδομικό κανονισμό (Γ.Ο.Κ.). Αυτό αντιστοιχεί σε ένα τετραγωνικό μέτρο στα 1.000!

### 3.8 Μέτρηση της προβληματικής περιοχής

Η μέτρηση της προβληματικής περιοχής μπορεί να διενεργηθεί με την καταμέτρηση εικονοστοιχείων μέσα από το λογισμικό θερμικής ανάλυσης ή τα περισσότερα πακέτα υπολογιστικών φύλλων, υπό τις εξής προϋποθέσεις:

- η απόσταση της κάμερας από το αντικείμενο μετριέται με ακρίβεια, πιθανώς με τη βοήθεια ενός συστήματος μέτρησης με λέιζερ,
- η απόσταση από το στόχο θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη το στιγμιαίο οπτικό πεδίο (IFOV) του συστήματος απεικόνισης,
- τυχόν γωνιακή μεταβολή ανάμεσα στην κάμερα και την επιφάνεια του αντικειμένου από την κατακόρυφο θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη.

Τα κτήρια αποτελούνται από πολυάριθμα δομικά στοιχεία τα οποία δε συμμετέχουν σε ποσοτικές μελέτες, όπως μεταξύ άλλων παράθυρα, φωτισμός οροφής, άλλες πηγές φωτός, θερμοπομποί, εξοπλισμός ψύξης, βοηθητικοί σωλήνες και αγωγοί ρεύματος. Ωστόσο, οι αρμοί και οι συνδέσεις ανάμεσα στα στοιχεία αυτά και το κέλυφος του κτιρίου θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη ως μέρος της μελέτης. (2)

### 3.9 Μελέτη και ανάλυση

Ακολουθούν μερικές κατευθυντήριες οδηγίες σε θέματα χειρισμού, για τον τεχνικό θερμογραφίας.

Η μελέτη πρέπει να συλλέγει επαρκείς θερμογραφικές πληροφορίες προκειμένου να αποδεικνύεται ότι εξετάστηκαν όλες οι επιφάνειες και ότι όλες οι θερμικές ανωμαλίες περιλαμβάνονται στη μελέτη και έχουν αξιολογηθεί.

Στην αρχή, πρέπει να συλλεχθούν περιβαλλοντικά στοιχεία, όπως συμβαίνει με κάθε θερμογραφική μελέτη, όπως μεταξύ άλλων:

- Θερμοκρασία στο εσωτερικό του κτηρίου, στην περιοχή της ανωμαλίας.
- Θερμοκρασία στο εξωτερικό του κτηρίου, στην περιοχή της ανωμαλίας.
- Συντελεστής εκπομπής της επιφάνειας.
- Θερμοκρασία φόντου.
- Απόσταση από την επιφάνεια.

Με τη μέθοδο της παρεμβολής, θα πρέπει να προσδιοριστεί η θερμοκρασία κατωφλίου που θα χρησιμοποιηθεί.

- Για μελέτες στο εσωτερικό κτηρίων, η επιφανειακή θερμοκρασία κατωφλίου ( $T_{sia}$ ) υπολογίζεται με τον παρακάτω μαθηματικό τύπο:  $T_{sia} = fsi(T_{si} - T_{so}) + T_{so}$ . Ο τεχνικός θερμογραφίας πρέπει να ψάχνει για ενδείξεις επιφανειακής θερμοκρασίας κάτω από το κατώφλι αυτό.



- Για μελέτες στο εξωτερικό κτηρίων, η επιφανειακή θερμοκρασία κατωφλίου ( $T_{soa}$ ) υπολογίζεται με τον παρακάτω μαθηματικό τύπο:  $T_{soa} = f_{so}(T_{so} - T_{si}) + T_{si}$ . Ο τεχνικός θερμογραφίας πρέπει να ψάχνει για ενδείξεις επιφανειακής θερμοκρασίας πάνω από το κατώφλι αυτό. Οι εικόνες τυχόν ανωμαλιών πρέπει να λαμβάνονται με τέτοιο τρόπο, ώστε να είναι κατάλληλες για ανάλυση:
- Η εικόνα θα πρέπει να είναι σε ορθή γωνία προς τυχόν στοιχεία του τοίχου ή της σκεπής.
- Η οπτική γωνία πρέπει να είναι σχεδόν κάθετη προς την απεικονιζόμενη επιφάνεια.
- Τυχόν πηγές υπέρυθρης ακτινοβολίας, όπως π.χ. φωτισμός, θερμοπομποί, ηλεκτρικοί αγωγοί και ανακλαστικά στοιχεία, που προκαλούν παρεμβολές, πρέπει να έχουν ελαχιστοποιηθεί.

Η μέθοδος ανάλυσης θα εξαρτάται σε κάποιο βαθμό από το χρησιμοποιούμενο λογισμικό ανάλυσης, ωστόσο τα βασικά στάδια είναι τα εξής:

#### **Λήψη εικόνας για κάθε ανωμαλία ή σύμπλεγμα ανωμαλιών**

- Χρήση εργαλείου ανάλυσης λογισμικού για την οριοθέτηση της περιοχής της ανωμαλίας μέσα στην εικόνα, με προσοχή, ώστε να μην συμπεριληφθούν δομικά στοιχεία που πρέπει να εξαιρεθούν.
- Υπολογισμός της επιφάνειας που βρίσκεται κάτω από τη θερμοκρασία κατωφλίου, εάν πρόκειται για μελέτη στο εσωτερικό, ή πάνω από τη θερμοκρασία κατωφλίου, εάν πρόκειται για μελέτη στο εξωτερικό. Αυτή είναι η προβληματική περιοχή. Μερικές ανωμαλίες που μοιάζουν με ατέλειες κατά τη διεξαγωγή της μελέτης ενδέχεται να μην συμμετέχουν στην προβληματική περιοχή κατά το στάδιο αυτό. Προσθήκη των προβληματικών περιοχών σε όλες τις εικόνες  $\Sigma Ad$ .
- Υπολογισμός της συνολικής επιφάνειας εκτεθειμένων δομικών στοιχείων. Αυτή ισούται με το εμβαδόν επιφάνειας όλων των τοίχων και της οροφής. Συνηθίζεται η χρήση του εμβαδού της εξωτερικής επιφάνειας. Για κτήρια με απλό σχήμα, η τιμή αυτή υπολογίζεται βάσει του συνολικού πλάτους, μήκους και ύψους του κτηρίου.
- $A_t = (2h(L + w)) + (Lw)$
- Εντοπισμός της κρίσιμης προβληματικής περιοχής  $A_c$ . Κατά σύμβαση, αυτή ισούται με το ένα χιλιοστό (ή το 0,1%) του συνολικού εμβαδού επιφάνειας.
- $A_c = A_t/1000$
- Εάν  $\Sigma Ad < A_c$ , τότε το κτήριο ως ενιαία μονάδα μπορεί να θεωρηθεί ότι διαθέτει 'εύλογα συνεχή' μόνωση. (2)

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> : Εισαγωγή στη θερμογραφία κτηρίων**

Στο παρόν κεφάλαιο θα περιγράψουμε τις σωστές μεθόδους της κτηριακής θερμογραφίας. Θ' αρχίσουμε με τη θεωρία της επιστήμης των κτηρίων. Στην συνέχεια θα περιγράψουμε το σωστό τρόπο λήψης των θερμικών φωτογραφιών έχοντας καθορίσει τους παράγοντες του τρίτου κεφαλαίου και θα συνεχίσουμε με την ερμηνεία των θερμικών εικόνων. Πρέπει να έχουμε, όμως, υπόψη μας ότι η εμπειρία που αποκτάται με την πάροδο του χρόνου διαδραματίζει το σημαντικότερο ρόλο στην εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων. **Ας αποφύγει, λοιπόν, ο αναγνώστης της παρούσης διπλωματικής να θεωρήσει ότι έμαθε θερμογραφία απλά επειδή γνωρίζει την θεωρία της.**

## 4.1 Θεωρία της επιστήμης των κτηρίων

### 4.1.1 Εισαγωγικά

Στην εποχή μας, η ζήτηση κατασκευών με αποδοτική χρήση της ενέργειας έχει αυξηθεί σημαντικά. Οι εξελίξεις στον τομέα της ενέργειας, σε συνδυασμό με τη ζήτηση συνθηκών ευχάριστης διαβίωσης στο εσωτερικό των κτηρίων, είχε ως αποτέλεσμα την ακόμη μεγαλύτερη σημασία της τήρησης των καλών πρακτικών όσον αφορά τη θερμομόνωση και την αεροστεγανότητα των κτηρίων, καθώς και το βαθμό απόδοσης των συστημάτων θέρμανσης και εξαερισμού. Τυχόν ατέλειες στη μόνωση και στεγανότητα σε ιδιαίτερα θερμομονωμένες και αεροστεγανές κατασκευές μπορεί να έχει μεγάλη επίπτωση στις ενεργειακές απώλειες. Οι ατέλειες στη θερμομόνωση και την αεροστεγανότητα ενός κτηρίου δε συνεπάγονται απλώς αυξημένες δαπάνες θέρμανσης και συντήρησης, αλλά επιπλέον δημιουργούν κακές συνθήκες διαβίωσης στους εσωτερικούς χώρους. Ο βαθμός μόνωσης ενός κτηρίου συχνά εκφράζεται με τη μορφή της θερμικής αντίστασης ή ενός συντελεστή διάδοσης της θερμότητας (U VALUE) για τα διάφορα μέρη του κτηρίου. Ωστόσο, οι αναφερόμενες τιμές θερμικής αντίστασης σπάνια αποτελούν μέτρο των πραγματικών θερμικών απωλειών σ' ένα κτήριο. Οι διαρροές αέρα από τους αρμούς και τις ενώσεις που δεν είναι αεροστεγείς και επαρκώς πληρωμένες με μονωτικό υλικό συχνά προκαλούν σημαντικές αποκλίσεις από τις αναμενόμενες τιμές σχεδιασμού. Οφείλουμε να τονίσουμε ότι ακόμα και αν είναι καλά μονωμένες οι επιφάνειες του φέροντα οργανισμού, σε περίπτωση εσφαλμένης τοποθέτησης των κουφωμάτων θα δημιουργηθούν παρασιτικές εισροές αέρα που δημιουργούν στους ενοίκους αίσθημα δυσφορίας καθώς τα ρεύματα αέρα οδηγούν σε εξάτμιση το φυσικό ιδρώτα και το άτομο έχει ένα αίσθημα ψύξης. Η αίσθηση δυσφορίας αυξάνεται, όταν το σπίτι έχει υγρασία μεγαλύτερη από 50% , καθώς αντιλαμβάνεται τη θερμοκρασία του εσωτερικού χώρου υψηλότερη απότι πραγματικά είναι. Αυτό συμβαίνει, γιατί το ανθρώπινο σώμα προσπαθώντας να διατηρήσει το θερμικό ισοζύγιο το καλοκαίρι αποβάλλει νερό και, όταν η ατμόσφαιρα έχει μεγάλη περιεκτικότητα σε υδρατμούς, αυτή η διαδικασία μπλοκάρεται. Έτσι, λοιπόν, η επαλήθευση των ιδιοτήτων επιμέρους υλικών κατασκευής και δομικών στοιχείων, οι οποίες δηλώνονται από τους κατασκευαστές τους, είναι σημαντική. Τα κατασκευασμένα κτήρια πρέπει να ελέγχονται από ενεργειακούς επιθεωρητές προκειμένου να διασφαλιστεί ότι επιτυγχάνονται στην πραγματικότητα οι στόχοι θερμομόνωσης και αεροστεγανότητας που είχαν τεθεί γι' αυτά. Η θερμογραφία, στην εφαρμογή της στην τεχνική μελέτη κτηρίων, χρησιμοποιείται για τη μελέτη των θερμοκρασιακών διακυμάνσεων στις επιφάνειες μιας κατασκευής. Τυχόν διακυμάνσεις στη θερμική αντίσταση της κατασκευής είναι δυνατό, υπό ορισμένες συνθήκες, να προκαλέσουν

θερμοκρασιακές διακυμάνσεις στις επιφάνειές της. Αλλά και η διαρροή ψυχρού (ή θερμού) αέρα μέσω της κατασκευής επηρεάζει τη διακύμανση στη θερμοκρασία των επιφανειών. Αυτό σημαίνει ότι οι ατέλειες στη μόνωση, οι θερμικές γέφυρες και οι διαρροές αέρα στα δομικά στοιχεία που περιβάλλουν ένα κτήριο είναι δυνατό να εντοπιστούν και να μελετηθούν. Η ίδια η θερμογραφία δεν αποκαλύπτει άμεσα τη θερμική αντίσταση ή την αεροστεγανότητα του κτηρίου. Στις περιπτώσεις, όπου απαιτείται ποσοτικοποίηση της θερμικής αντίστασης ή της αεροστεγανότητας, πρέπει να λαμβάνονται και επιπρόσθετες μετρήσεις. Η θερμογραφική ανάλυση κτηρίων βασίζεται σε ορισμένα προαπαιτούμενα αναφορικά με τις συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης σε ολόκληρο το κτήριο. Οι λεπτομέρειες, τα σχήματα και οι αντιθέσεις στη θερμική εικόνα αλλάζουν εμφανώς, όταν τροποποιείται οποιαδήποτε από αυτές τις παραμέτρους. Συνεπώς, η σε βάθος ανάλυση και ερμηνεία των θερμικών εικόνων απαιτεί ενδελεχή γνώση ζητημάτων όπως π.χ. οι ιδιότητες υλικών και μεθόδων κατασκευής, οι επιπτώσεις των κλιματικών συνθηκών και οι πλέον εξελιγμένες τεχνικές μέτρησης. Η αξιολόγηση των μετρήσεων δεν είναι εύκολη υπόθεση και τονίζω ότι η εμπειρία είναι σημαντική στη συγκεκριμένη δουλειά. (2)

#### **4.1.2 Κτηριακή θερμογραφία και εξοικονόμηση ενέργειας**

Μπορεί να είναι δύσκολο να εκτιμήσει κανείς πόσο καλά θα αποδώσει η θερμομόνωση και η αεροστεγανότητα ενός κατασκευασμένου κτηρίου. Υπάρχουν ορισμένοι παράγοντες που λαμβάνονται υπ' όψη στη συγκέντρωση των διαφόρων μερών και δομικών στοιχείων, οι οποίοι έχουν σημαντική επίπτωση στο τελικό αποτέλεσμα. Οι επιπτώσεις της μεταφοράς, διακίνησης και αποθήκευσης στο εργοτάξιο, καθώς και του τρόπου εκτέλεσης των διαφόρων εργασιών, δεν είναι δυνατό να εκτιμηθούν εκ των προτέρων. Για να διασφαλιστεί ότι οι στόχοι απόδοσης θα επιτευχθούν στην πράξη, απαιτείται επαλήθευση μέσω δοκιμών και ελέγχων. Η σύγχρονη τεχνολογία μόνωσης έχει μειώσει τις θεωρητικές απαιτήσεις σε θερμότητα. Αυτό σημαίνει, ωστόσο, ότι τυχόν ατέλειες, ακόμη κι αν είναι σχετικά μικρές, όταν αυτές παρουσιάζονται σε σημεία μεγάλης σημασίας, όπως π.χ. αρμοί που παρουσιάζουν διαρροές ή εσφαλμένα τοποθετημένη μόνωση, μπορεί να έχουν σημαντικές συνέπειες τόσο στις απαιτήσεις θερμότητας όσο και στην άνεση. Οι δοκιμές επαλήθευσης, π.χ. με τη βοήθεια της θερμογραφίας, έχουν αποδείξει την αξία τους, τόσο από την πλευρά του σχεδιαστή και του εργολάβου όσο και από την πλευρά του υπεύθυνου ανάπτυξης, του υπεύθυνου διαχείρισης του ακινήτου και του χρήστη.

- Για το σχεδιαστή, το σημαντικό είναι να γνωρίζει τη συμπεριφορά των διαφόρων τύπων κατασκευών, προκειμένου στο σχεδιασμό τους να λαμβάνει υπόψη του τόσο τις μεθόδους εργασίας όσο και τις απαιτήσεις λειτουργίας. Ο σχεδιαστής πρέπει, επίσης, να γνωρίζει τη διαφορετική συμπεριφορά των διαφόρων υλικών και των συνδυασμών τους στην πράξη. Η διενέργεια αποτελεσματικών δοκιμών και ελέγχων, με τη σύμπραξη της εμπειρίας, είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί για την απαιτούμενη ανάπτυξη στον τομέα αυτό.
- Ο εργολάβος είναι πιο πρόθυμος για τη διενέργεια δοκιμών και επιθεώρησης προκειμένου να διασφαλίσει ότι οι κατασκευές παρουσιάζουν την αναμενόμενη συμπεριφορά, η οποία συνάδει με τις καθιερωμένες απαιτήσεις που προδιαγράφονται στους κανονισμούς οι οποίοι εκδίδονται από τις αρμόδιες αρχές, καθώς και στα συμβατικά έγγραφα. Ο εργολάβος θέλει να γνωρίζει, σε πρώιμο στάδιο της

κατασκευής, σχετικά με τυχόν αλλαγές που θα κριθούν αναγκαίες προκειμένου να αποφευχθούν οι συστηματικές ατέλειες. Θα πρέπει, λοιπόν, να διενεργείται έλεγχος κατά τη διάρκεια της κατασκευής, στα πρώτα διαμερίσματα που ολοκληρώνονται, στην περίπτωση που πρόκειται για έργο μαζικής παραγωγής. Στη συνέχεια, διενεργούνται παρόμοιοι έλεγχοι, καθώς η παραγωγή συνεχίζεται. Με τον τρόπο αυτό, είναι δυνατό να αποφευχθούν οι συστηματικές ατέλειες, οι περιττές δαπάνες και τα μελλοντικά προβλήματα. Ο έλεγχος αυτός είναι προς όφελος τόσο των κατασκευαστών όσο και των χρηστών.

- Για τον υπεύθυνο ανάπτυξης και τον υπεύθυνο διαχείρισης του ακινήτου, είναι σημαντικό τα κτήρια να ελέγχονται ως προς την εξοικονόμηση θερμότητας, τη συντήρηση (ζημιές λόγω υγρασίας ή διεύδυσης υγρασίας) και την άνεση που προσφέρεται στους ενοίκους (π.χ. ψυχόμενες επιφάνειες και ρεύματα αέρα σε κατοικημένες ζώνες).
- Για το χρήστη, το σημαντικό είναι ότι το τελικό προϊόν θα πρέπει να πληροί τις απαιτήσεις που του υποσχέθηκαν, αναφορικά με τη θερμομόνωση και την αεροστεγανότητα του κτηρίου. Για τον καθένα από μας, η αγορά ενός σπιτιού συνεπάγεται σημαντική χρηματοοικονομική δέσμευση και συνεπώς ο αγοραστής θέλει να γνωρίζει ό,τι τυχόν ατέλειες στην κατασκευή δε θα επιφέρουν στον ίδιο σοβαρές χρηματοοικονομικές συνέπειες ή προβλήματα υγιεινής. (2)

Οι επιπτώσεις στις διενέργειες δοκιμών και ελέγχων της μόνωσης και της αεροστεγανότητας ενός κτηρίου κατά ένα μέρος αφορούν την ανθρώπινη φυσιολογία και κατά το υπόλοιπο είναι χρηματοοικονομικής φύσης. Ο τρόπος με τον οποίο γίνονται αντιληπτές οι κλιματικές συνθήκες ενός εσωτερικού χώρου από την ανθρώπινη φυσιολογία είναι πολύ υποκειμενικός και ποικίλλει ανάλογα με το εκάστοτε θερμικό ισοζύγιο του ανθρώπινου σώματος και τον τρόπο που ο συγκεκριμένος άνθρωπος αντιλαμβάνεται τη θερμοκρασία. Η αίσθηση των κλιματικών συνθηκών εξαρτάται τόσο από τη θερμοκρασία του αέρα στον εσωτερικό χώρο όσο και από τη θερμοκρασία των επιφανειών που τον περιβάλλουν. Η ταχύτητα κίνησης και η περιεκτικότητα του αέρα του εσωτερικού χώρου σε υγρασία έχουν επίσης τη δική τους σημασία. Όπως είπαμε προηγουμένως, όσο μεγαλύτερη υγρασία τόσο ο άνθρωπος αντιλαμβάνεται πιο θερμή την ίδια θερμοκρασία. Από πλευράς φυσιολογίας, τα ρεύματα αέρα παράγουν ένα αίσθημα τοπικής ψύξης της επιφάνειας του δέρματος, το οποίο προκαλείται από:

- εκτεταμένες κινήσεις αέρα στην κατοικημένη ζώνη υπό συνθήκες κανονικής θερμοκρασίας αέρα,
- κανονικές κινήσεις αέρα στην κατοικημένη ζώνη, όταν όμως η θερμοκρασία του εσωτερικού χώρου είναι υπερβολικά χαμηλή,
- σημαντική εναλλαγή ακτινοβολούμενης θερμότητας με μια ψυχρή επιφάνεια.

Είναι δύσκολο να αξιολογηθούν οι ποσοτικές επιπτώσεις της διενέργειας δοκιμών και ελέγχων στη θερμομόνωση ενός κτηρίου. Έρευνες έχουν δείξει ότι οι ατέλειες που βρέθηκαν στη θερμομόνωση και την αεροστεγανότητα κτηρίων προκαλούσαν απώλειες θερμότητας οι οποίες ήταν κατά 20–30% περισσότερες από το αναμενόμενο. Το ίδιο έδειξε η παρακολούθηση της κατανάλωσης ενέργειας πριν και μετά τη λήψη μέτρων αποκατάστασης σε σχετικά μεγάλα συγκροτήματα μικρών οικιών και σε πυκνοκατοικημένα οικοδομικά

τετράγωνα. Οι αναφερόμενες τιμές μάλλον δεν είναι αντιπροσωπευτικές των κτηρίων γενικά, επειδή τα δεδομένα έρευνας δε θεωρούνται σημαντικά για όλα τα υπάρχοντα κτήρια. Ωστόσο, μια προσεκτική αξιολόγηση θα μπορούσε να δώσει το συμπέρασμα ότι η διενέργεια αποτελεσματικών δοκιμών και ελέγχων της θερμομόνωσης και της αεροστεγανότητας ενός κτηρίου μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης κατά 10% περίπου. Οι έρευνες έδειξαν επίσης ότι η αυξημένη κατανάλωση ενέργειας, η οποία σχετίζεται με ατέλειες, συχνά οφείλεται στους ίδιους τους ενοίκους που αυξάνουν τη θερμοκρασία των εσωτερικών χώρων κατά έναν ή περισσότερους βαθμούς πάνω από το κανονικό προκειμένου να αντισταθμίσουν τις επιπτώσεις της ανεπιθύμητης θερμικής ακτινοβολίας προς ψυχρές επιφάνειες ή το αίσθημα των ενοχλητικών ρευμάτων αέρα μέσα σε ένα χώρο. Επιπλέον, όταν γυρνάει μία οικογένεια στην κατοικία της μια σειρά ενεργειών όπως το μπάνιο, το πλύσιμο των πιάτων, το σιδέρωμα, το σφουγγάρισμα, μπορεί να οδηγήσει σε συνδυασμό με τον κακό αερισμό στη δημιουργία φαινομένων υγρασίας. Πάντα, λοιπόν, ο θερμογράφος πρέπει να έχει στο μυαλό του τη χρήση του προς θερμογράφιση χώρου καθώς και τους χρήστες του. (20)

#### 4.1.3 Πηγές διαταραχών στη θερμογραφία

Κατά τη διάρκεια μιας θερμογραφικής μελέτης, ο κίνδυνος να θεωρηθούν οι θερμοκρασιακές διακυμάνσεις που οφείλονται σε ελαττώματα μόνωσης ως διακυμάνσεις που σχετίζονται με τη φυσική διακύμανση των  $U$  τιμών κατά μήκος των θερμών επιφανειών μιας κατασκευής είναι σχετικά μικρός, υπό κανονικές συνθήκες. Οι θερμοκρασιακές μεταβολές που σχετίζονται με διακυμάνσεις της τιμής  $U$  είναι γενικά βαθμιαίες και συμμετρικά κατανομημένες κατά μήκος της επιφάνειας. Διακυμάνσεις αυτού του είδους φυσικά λαμβάνουν χώρα στις γωνίες που σχηματίζουν οι οροφές και τα δάπεδα, καθώς και στις γωνίες των τοίχων. Οι θερμοκρασιακές μεταβολές που σχετίζονται με διαρροές αέρα ή ατέλειες στη μόνωση είναι, στις περισσότερες περιπτώσεις, περισσότερο εμφανείς με χαρακτηριστικού σχήματος αιχμηρά περιγράμματα. Το θερμοκρασιακό μοτίβο είναι συνήθως ασύμμετρο. Κατά τη θερμογραφία και όταν ερμηνεύεται μια υπέρυθη εικόνα, οι υπέρυθρες εικόνες σύγκρισης μπορούν να παράσχουν πολύτιμες πληροφορίες προς αξιολόγηση. Οι πηγές διαταραχών στη θερμογραφία, οι οποίες λαμβάνουν χώρα συχνότερα στην πράξη, είναι:

- οι επιπτώσεις του ήλιου πάνω στη θερμογραφούμενη επιφάνεια (φως του ήλιου που λάμπει μέσα από παράθυρο)
- θερμά θερμαντικά σώματα με σωλήνες
- φώτα που είναι στραμμένα προς τη μετρούμενη επιφάνεια ή που είναι τοποθετημένα κοντά σε αυτή
- ρεύματα αέρα (π.χ. από στόμια εισαγωγής αέρα) στραμμένα προς την επιφάνεια
- οι επιπτώσεις της επικάλυψης υγρασίας πάνω στην επιφάνεια.

Επιφάνειες που φωτίζονται άμεσα από το φως του ήλιου δεν πρέπει να υποβάλλονται σε θερμογραφία. Εάν υπάρχει κίνδυνος επιπτώσεων από το φως του ήλιου, τα παράθυρα πρέπει να σκιάζονται (π.χ. κλείσιμο περσίδων). Ωστόσο, θα πρέπει να γνωρίζετε ότι υπάρχουν κατασκευαστικές ατέλειες ή προβλήματα (συνήθως, προβλήματα υγρασίας) που αποκαλύπτονται μόνον, αφού εφαρμοστεί θερμότητα στην επιφάνεια, π.χ. από τον ήλιο. Ένα

θερμό θερμαντικό σώμα απεικονίζεται ως μια επιφάνεια με λαμπρό ανοικτό χρώμα, στις υπέρυθρες εικόνες. Η θερμοκρασία επιφανείας ενός τοίχου δίπλα σ' ένα θερμαντικό σώμα είναι αυξημένη, γεγονός που ενδέχεται να αποκρύπτει τυχόν ατέλειες που ενδέχεται να υπάρχουν εκεί.

Για τη μέγιστη δυνατή αποτροπή των φαινομένων διαταραχών από θερμά θερμαντικά σώματα, αυτά είναι δυνατό να τίθενται εκτός λειτουργίας λίγο πριν τη λήψη της μέτρησης. Ωστόσο, ανάλογα με την κατασκευή του κτηρίου (μικρή ή μεγάλη μάζα), τα παραπάνω θερμαντικά ενδέχεται να χρειαστεί να τεθούν εκτός λειτουργίας αρκετές ώρες πριν τη θερμογραφική έρευνα. Η θερμοκρασία αέρα του χώρου δεν πρέπει να μειωθεί τόσο, ώστε να επηρεάσει την κατανομή της επιφανειακής θερμοκρασίας στις επιφάνειες της κατασκευής. Τα ηλεκτρικά θερμαντικά σώματα παρουσιάζουν μικρή χρονική υστέρηση, συνεπώς αυτά μπορούν να κρυώσουν σχετικά γρήγορα από τη στιγμή που θα τεθούν εκτός λειτουργίας (20–30 λεπτά). Τα φώτα που είναι τοποθετημένα πάνω σε τοίχους πρέπει να σβήνονται πριν από τη λήψη της υπέρυθρης εικόνας. Κατά τη διάρκεια μιας θερμογραφικής μελέτης, δεν πρέπει να υπάρχουν ρεύματα αέρα που προκαλούν διαταραχές (π.χ. ανοικτά παράθυρα, ανοικτές βαλβίδες, ανεμιστήρες στραμμένοι προς τη μετρούμενη επιφάνεια), τα οποία θα μπορούσαν να επηρεάσουν τις θερμογραφούμενες επιφάνειες. Τυχόν βρεγμένες επιφάνειες, π.χ. ως αποτέλεσμα συμπύκνωσης υγρασίας στην επιφάνεια, έχουν καθοριστικές επιπτώσεις στη μεταφορά θερμότητας στην επιφάνεια, καθώς και στη θερμοκρασία της επιφανείας. Εκεί, όπου υπάρχει συμπυκνωμένη υγρασία πάνω σε επιφάνεια, συνήθως λαμβάνει χώρα εξάτμιση η οποία απορροφά θερμότητα, μειώνοντας έτσι τη θερμοκρασία της επιφανείας κατά αρκετούς βαθμούς. Ο κίνδυνος συμπύκνωσης υγρασίας πάνω σε επιφάνειες εντοπίζεται στα σημεία όπου υπάρχουν μείζονες θερμικές γέφυρες και ατέλειες στη μόνωση. Σημαντικές διαταραχές του είδους που περιγράφεται εδώ είναι δυνατό να εντοπιστούν, υπό κανονικές συνθήκες, και να εξαλειφθούν πριν τη διενέργεια της μέτρησης. Εάν, κατά τη θερμογραφία, δεν καταστεί δυνατή η θωράκιση των μετρούμενων επιφανειών από παράγοντες πρόκλησης διαταραχών, οι εν λόγω παράγοντες πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την ερμηνεία και την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Οι συνθήκες στις οποίες διενεργήθηκε η θερμογραφία πρέπει να καταγράφονται λεπτομερώς κατά τη στιγμή της λήψης κάθε μέτρησης. Σε αυτό βοηθάει η λήψη ψηφιακής φωτογραφίας του προς θερμογράφιση στοιχείου για πιθανή μελλοντική σύγκριση. (2)

#### **4.1.4 Επιφανειακή θερμοκρασία και διαρροές αέρα**

Τυχόν ατέλειες στην αεροστεγανότητα ενός κτηρίου, οι οποίες οφείλονται σε μικρές ρωγμές της κατασκευής, είναι δυνατό να εντοπιστούν μέσω της μέτρησης της επιφανειακής θερμοκρασίας. Εάν υπάρχει αρνητική πίεση στο εσωτερικό του ερευνούμενου κτηρίου, ο αέρας εισρέει μέσω ρωγμών στους εσωτερικούς χώρους. Ο ψυχρός αέρα που εισρέει μέσω μικρών ρωγμών ενός τοίχου συνήθως μειώνει τη θερμοκρασία στις γειτονικές περιοχές του τοίχου. Το αποτέλεσμα είναι να αναπτύσσεται μια ψυχρή επιφανειακή περιοχή στην εσωτερική επιφάνεια του τοίχου. Η θερμογραφία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εντοπίζει τέτοιες ψυχρές επιφανειακές περιοχές. Τα ρεύματα αέρα στην επιφάνεια του τοίχου είναι δυνατό να μετρηθούν με τη βοήθεια ενός οργάνου ένδειξης ταχύτητας του αέρα. Εάν υπάρχει θετική πίεση στο εσωτερικό του ερευνούμενου κτηρίου, ο θερμός αέρας από το εσωτερικό των χώρων θα διαρρέει προς το εξωτερικό του κτηρίου μέσω ρωγμών στους τοίχους, με αποτέλεσμα να σχηματίζονται τοπικά θερμές επιφανειακές περιοχές γύρω από τα σημεία των

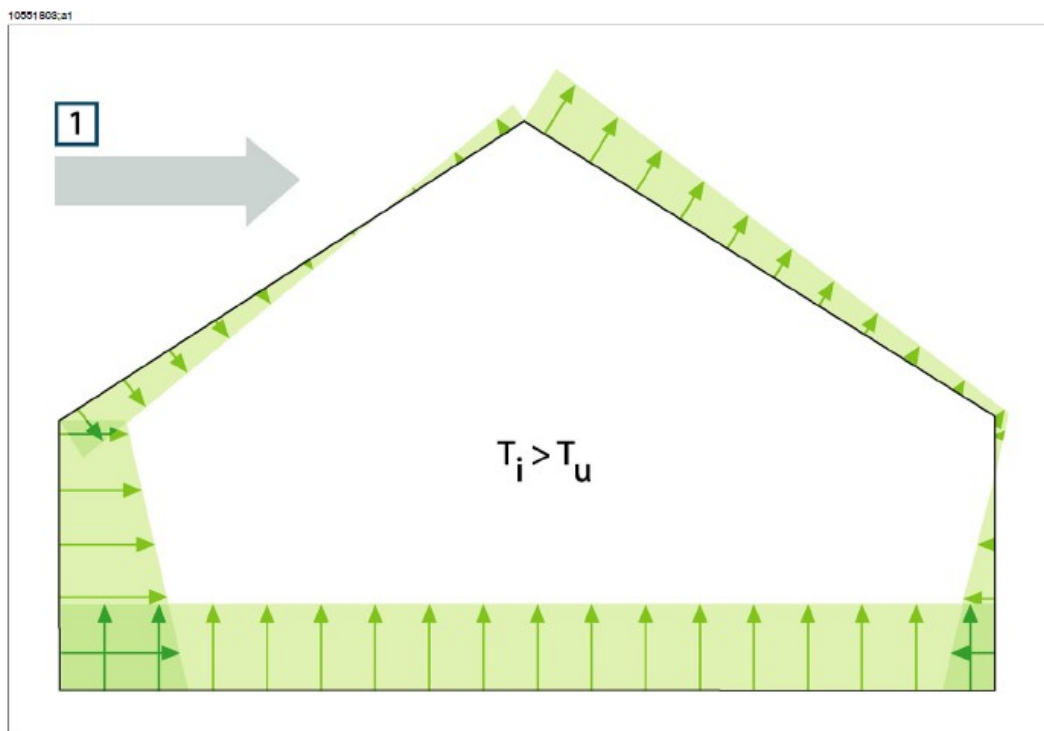
διαρροών. Το μέγεθος της διαρροής εξαρτάται κατά ένα μέρος από τις ρωγμές και κατά το υπόλοιπο από τη διαφορική πίεση εκατέρωθεν της κατασκευής. (2)

#### 4.1.5 Συνθήκες πίεσης σ' ένα κτήριο

Τα σημαντικότερα αίτια σχηματισμού διαφορικής πίεσης εκατέρωθεν ενός δομικού στοιχείου ενός κτηρίου είναι:

- συνθήκες ανέμου γύρω από το κτήριο,
- οι επιπτώσεις του συστήματος εξαερισμού,
- διαφορές θερμοκρασίας μεταξύ του εσωτερικού και του εξωτερικού (θερμική διαφορική πίεση).

Οι πραγματικές συνθήκες πίεσης στο εσωτερικό ενός κτηρίου συνήθως οφείλονται σ' ένα συνδυασμό των παραπάνω παραγόντων. Ο άνεμος δημιουργεί μια εσωτερική αρνητική πίεση πάνω στην προσήνεμη πλευρά και μια εσωτερική θετική πίεση στην υπήνεμη πλευρά. Η πίεση του αέρα στους εσωτερικούς χώρους εξαρτάται από τις συνθήκες του ανέμου, από τυχόν διαρροές στο κτήριο και από τον τρόπο που αυτές είναι κατανεμημένες ως προς την κατεύθυνση του ανέμου. Εάν οι διαρροές στο κτήριο είναι ομοιόμορφα κατανεμημένες, η εσωτερική πίεση ενδέχεται να ποικίλλει κατά  $\pm 0.2$  pstat. Εάν οι περισσότερες από τις διαρροές βρίσκονται στην προσήνεμη πλευρά, η εσωτερική πίεση αυξάνεται κάπως. Στην αντίθετη περίπτωση, όπου οι περισσότερες διαρροές βρίσκονται στην υπήνεμη πλευρά, η εσωτερική πίεση μειώνεται.



**Εικ.4.1 :** Η κατανομή προκυπτουσών πιέσεων πάνω στις επιφάνειες που περικλείουν το κτήριο εξαρτάται από τις επιπτώσεις του ανέμου, του εξαερισμού και της διαφοράς θερμοκρασιών στο εσωτερικό και στο εξωτερικό του κτηρίου. *I:* Κατεύθυνση ανέμου, *Ti:* Θερμοδυναμική θερμοκρασία αέρα στους εξωτερικούς χώρους, *σε K,* *Ti:* Θερμοδυναμική θερμοκρασία αέρα στους εσωτερικούς χώρους, *σε K.* (2)

Οι συνθήκες ανέμου είναι δυνατό να ποικίλλουν σημαντικά με το χρόνο και μεταξύ σχετικά κοντινών μεταξύ τους θέσεων. Στη θερμογραφία, τέτοιες διακυμάνσεις είναι δυνατό να έχουν σαφείς επιπτώσεις στα αποτελέσματα των μετρήσεων. Έχει αποδειχθεί πειραματικά ότι η διαφορική πίεση πάνω σε πρόσοψη, η οποία είναι εκτεθειμένη σε μέση δύναμη ανέμου 5 m/s (16,3 ft/s) περίπου, είναι 10 Pa περίπου. Ο μηχανικός εξαερισμός έχει ως αποτέλεσμα σταθερή εσωτερική αρνητική ή θετική πίεση (ανάλογα με την κατεύθυνση του εξαερισμού). Έρευνες έχουν δείξει ότι η αρνητική πίεση που οφείλεται στη μηχανική εξαγωγή αέρα (εξαεριστήρες κουζίνας) σε μικρά σπίτια κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 5 και 10 Pa. Στις περιπτώσεις, όπου υπάρχει μηχανική εξαγωγή αέρα εξαερισμού, π.χ. σε πυκνοκατοικημένα οικοδομικά τετράγωνα, η αρνητική πίεση είναι κάπως μεγαλύτερη, 10–50 Pa. Στις περιπτώσεις όπου υπάρχει ο λεγόμενος ισοσταθμισμένος εξαερισμός (μηχανικά ελεγχόμενη εισαγωγή και εξαγωγή αέρα), αυτός συνήθως ρυθμίζεται με τρόπο ώστε να παράγει μια ελαφρώς αρνητική πίεση στους εσωτερικούς χώρους (3–5 Pa). Η διαφορική πίεση που οφείλεται σε θερμοκρασιακές διαφορές, το λεγόμενο φαινόμενο της καμινάδας (διαφορές αεροστεγανότητας σε διάφορες θερμοκρασίες), σημαίνει ότι υπάρχει αρνητική πίεση στα χαμηλότερα μέρη του κτηρίου και θετική πίεση στα υψηλότερα μέρη του. Σε κάποιο συγκεκριμένο ύψος, υπάρχει μια ουδέτερη ζώνη, όπου η πίεση στο εσωτερικό ισούται με την πίεση στο εξωτερικό του κτηρίου. Η θέση της ουδέτερης ζώνης ενδέχεται να ποικίλλει, ανάλογα με τυχόν διαρροές που υπάρχουν στο κτήριο. Εάν οι διαρροές είναι ομοιόμορφα κατανομημένες κατακόρυφα, η ζώνη αυτή θα βρίσκεται περίπου στο μέσον του ύψους του κτηρίου. Εάν οι περισσότερες διαρροές βρίσκονται στο κάτω μέρος του κτηρίου, η ουδέτερη ζώνη θα βρίσκεται χαμηλότερα. Εάν οι περισσότερες διαρροές βρίσκονται στο επάνω μέρος του κτηρίου, η ουδέτερη ζώνη θα βρίσκεται υψηλότερα. Εάν υπάρχει καμινάδα που καταλήγει πάνω από την οροφή, αυτό έχει σημαντική επίπτωση στη θέση της ουδέτερης ζώνης και το αποτέλεσμα ενδέχεται να είναι η παραγωγή αρνητικής πίεσης σε ολόκληρο το κτήριο. Η κατάσταση αυτή συμβαίνει συνήθως σε μικρά κτήρια. Στα μεγαλύτερα, όπως π.χ. ψηλά βιομηχανικά κτήρια, με διαρροές σε πόρτες και τυχόν παράθυρα που βρίσκονται στο κάτω μέρος του κτηρίου, η ουδέτερη ζώνη θα βρίσκεται στο ένα τρίτο του ύψους του, μετρούμενου από το επίπεδο του εδάφους. (1)(2)

#### 4.1.6 Συνθήκες για έρευνες πεδίου (*in situ*) γενικές πληροφορίες

Η θερμογραφική απεικόνιση διενεργείται με τέτοιο τρόπο ώστε οι ενδεχόμενες διαταραχές από εξωτερικούς κλιματικούς παράγοντες να είναι όσο το δυνατόν πιο ήπιες. Συνεπώς, η διεργασία απεικόνισης διενεργείται στους εσωτερικούς χώρους, δηλ. στις περιπτώσεις που ένα κτήριο θερμαίνεται, εξετάζονται οι θερμές επιφάνειες της κατασκευής. Η υπαίθρια θερμογραφία χρησιμοποιείται μόνο για τη λήψη μετρήσεων αναφοράς μεγαλύτερων επιφανειών πρόσοψης. Σε ορισμένες περιπτώσεις, π.χ. όταν η θερμομόνωση είναι πολύ κακή ή όταν υπάρχει εσωτερική θετική πίεση, οι υπαίθριες μετρήσεις ενδέχεται να αποβούν χρήσιμες. Ακόμη και κατά τη διερεύνηση των επιπτώσεων εγκαταστάσεων που βρίσκονται εντός της κλιματικής περιβάλλουσας του κτηρίου, ενδέχεται να υπάρχουν επαρκείς λόγοι για τη διενέργεια θερμογραφικής απεικόνισης από το εξωτερικό του κτηρίου.



Η επιλογή ανάμεσα στη μελέτη στο εσωτερικό και τη μελέτη στο εξωτερικό πρέπει να βασίζεται στα

εξής (2):

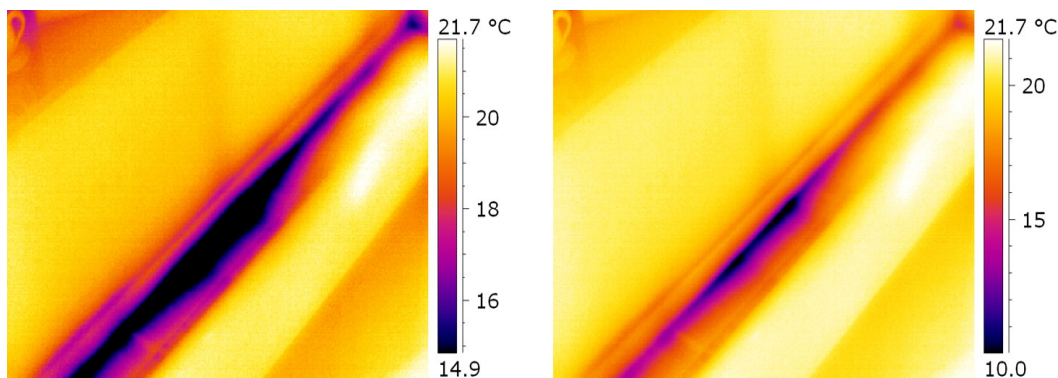
- Πρόσβαση στην επιφάνεια. Τα κτήρια, όπου τόσο οι εσωτερικές όσο και οι εξωτερικές επιφάνειες είναι κρυφές, π.χ. πίσω από ψευδοροφές ή επενδύσεις τοίχων, ενδέχεται να μην είναι επιδεκτικά σε αυτόν τον τύπο μελέτης.
- Θέση της θερμικής μόνωσης. Οι μελέτες είναι συνήθως πιο αποτελεσματικές, όταν γίνονται στην πλευρά που βρίσκεται πιο κοντά στη θερμική μόνωση.
- Θέση των βαρέων υλικών. Οι μελέτες είναι συνήθως λιγότερο αποτελεσματικές, όταν γίνονται από την πλευρά που βρίσκεται πιο κοντά στα βαρέα υλικά.
- Σκοπός της μελέτης. Εάν η μελέτη έχει σκοπό να αναδείξει την επικινδυνότητα σχηματισμού συμπυκνώματος υδρατμών και ανάπτυξης μούχλας, θα πρέπει να διενεργείται στο εσωτερικό του κτηρίου.
- Θέση κρυστάλλων, στοιχείων από γυμνό μέταλλο και άλλων υλικών, τα οποία ενδέχεται να παρουσιάζουν υψηλή ανακλασιμότητα. Οι μελέτες είναι λιγότερο αποτελεσματικές, όταν γίνονται πάνω σ' επιφάνειες υψηλής ανακλασιμότητας.
- Μια ατέλεια συνήθως προκαλεί μικρότερη θερμοκρασιακή διαφορά στο εξωτερικό ενός τοίχου που είναι εκτεθειμένος σε κίνηση του αέρα. Ωστόσο, τα τμήματα μόνωσης που λείπουν ή είναι ελαττωματικά, σε σημεία κοντά στην εξωτερική επιφάνεια, συχνά γίνονται ευκολότερα αντιληπτά από το εξωτερικό.

Συνιστώνται οι ακόλουθες συνθήκες μετρήσεων (2):

- Η διαφορά θερμοκρασιών αέρα εντός του σχετικού τμήματος του κτηρίου πρέπει να είναι τουλάχιστον  $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$  επί αρκετές ώρες πριν τη διενέργεια θερμογραφικής απεικόνισης και για όσο διάστημα διαρκεί η διαδικασία. Για την ίδια χρονική περίοδο, η διαφορά θερμοκρασιών περιβάλλοντος δεν πρέπει να ποικίλλει περισσότερο από το  $\pm 30\%$  της διαφοράς, όταν ξεκινά η θερμογραφική απεικόνιση. Κατά τη διάρκεια της θερμογραφικής απεικόνισης, η εσωτερική θερμοκρασία περιβάλλοντος δεν πρέπει να μεταβάλλεται περισσότερο από  $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- Για αρκετές ώρες πριν από την έναρξη της θερμογραφικής απεικόνισης και για όσο διάστημα συνεχίζεται αυτή, το σχετικό τμήμα του κτηρίου δεν πρέπει να φωτίζεται απ' ευθείας από τον ήλιο.
- Αρνητική πίεση στο εσωτερικό της κατασκευής  $\approx 10\text{--}50\text{ Pa}$ .
- Κατά τη διενέργεια θερμογραφικής απεικόνισης προκειμένου να εντοπιστούν μόνον διαρροές αέρα στα περιβάλλοντα τμήματα του κτιρίου, οι απαιτήσεις ως προς τις συνθήκες μέτρησης μπορεί να είναι χαμηλότερες. Μια διαφορά  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  μεταξύ της εσωτερικής και της εξωτερικής θερμοκρασίας περιβάλλοντος θα πρέπει να είναι αρκετή για τον εντοπισμό τέτοιων ατελειών. Για να μπορείτε ωστόσο να εντοπίσετε διαρροές αέρα, ορισμένες απαιτήσεις θα πρέπει να ικανοποιούνται αναφορικά με τη διαφορική πίεση: μια τιμή γύρω στα  $10\text{ Pa}$  θα πρέπει να επαρκεί.
- Οι θερμοκρασιακές διαφορές από το ένα άκρο ενός δομικού στοιχείου στο άλλο πρέπει να είναι μεγαλύτερες από  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $18\text{ }^{\circ}\text{F}$ ).
- Η διαφορά ανάμεσα στον αέρα στο εσωτερικό και τον αέρα περιβάλλοντος πρέπει να είναι μεγαλύτερη από  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $9\text{ }^{\circ}\text{F}$ ) κατά τις τελευταίες 24 ώρες πριν τη μελέτη.

- Η θερμοκρασία του αέρα στο εξωτερικό θα πρέπει να κυμαίνεται εντός  $\pm 3^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 5,4^{\circ}\text{F}$ ) κατά τη διάρκεια της μελέτης και 1 ώρα πριν από αυτή.
- Η θερμοκρασία του αέρα στο εξωτερικό πρέπει να κυμαίνεται στο διάστημα  $\pm 10^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 18^{\circ}\text{F}$ ) κατά τις τελευταίες 24 ώρες πριν τη μελέτη.
- Οι προς εξέταση επιφάνειες πρέπει να μην δέχονται ηλιακή ακτινοβολία ή να μην περιέχουν υπολειμματική θερμότητα από ηλιακή ακτινοβολία που δέχθηκαν στο παρελθόν. Αυτό μπορεί να ελεγχθεί με σύγκριση των θερμοκρασιών επιφανειών που βρίσκονται σε αντιδιαμετρικά σημεία του κτηρίου.
- Δεν λαμβάνει χώρα βροχόπτωση είτε λίγο πριν από τη μελέτη είτε κατά τη διάρκεια αυτής.
- Όλες οι υπό εξέταση επιφάνειες του κτηρίου πρέπει να είναι στεγνές.
- Η ταχύτητα του ανέμου πρέπει να είναι μικρότερη από 10 m/s, γιατί μεγαλύτερες ταχύτητες ψύχουν το κτηριακό περιβάλημα.
- Εκτός από τη θερμοκρασία, υπάρχουν κι άλλες περιβαλλοντικές συνθήκες που θα πρέπει επίσης να λαμβάνονται υπόψη κατά το σχεδιασμό μιας θερμογραφικής μελέτης ενός κτηρίου. Οι έλεγχοι των εξωτερικών επιφανειών, για παράδειγμα, μπορεί να επηρεαστούν από εκπομπές και ανακλάσεις ακτινοβολίας από γειτονικά κτήρια ή από έναν ψυχρό και καθαρό ουρανό, ενώ ακόμη πιο σημαντική είναι το φαινόμενο της θέρμανσης των επιφανειών από τον ήλιο. Επιπλέον, σε περιπτώσεις όπου οι θερμοκρασίες φόντου διαφέρουν από τη θερμοκρασία του αέρα είτε στο εσωτερικό είτε στο εξωτερικό των κτηρίων περισσότερο από 5 K, τότε οι θερμοκρασίες φόντου θα πρέπει να μετριοούνται σε όλες τις επιφάνειες που παρουσιάζουν το πρόβλημα αυτό προκειμένου η επιφανειακή θερμοκρασία να μετρηθεί με επαρκή ακρίβεια.
- Ο συντελεστής εκπομπής της πλειονότητας των οικοδομικών υλικών κυμαίνεται μεταξύ 0,85 και 0,95. Η ρύθμιση της τιμής συντελεστή εκπομπής της κάμερας στο 0,90 θεωρείται ασφαλής για αρχή.
- Μια επιθεώρηση με υπέρυθρες από μόνη της δεν πρέπει ποτέ να χρησιμοποιείται ως βάση για τη λήψη αποφάσεων σχετικά με τη λήψη περαιτέρω μέτρων. Πάντα πρέπει να επαληθεύετε τυχόν υποψίες και ευρήματα με τη βοήθεια άλλων μεθόδων, όπως π.χ. κατασκευαστικά σχέδια, μετρητές υγρασίας, καταγραφές δεδομένων θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας, δοκιμές με αέρια-δείκτες κ.λπ.
- Η μελέτη των φωτογραφιών πρέπει να γίνεται και επιτόπου σ' έναν βαθμό, γιατί μια θερμογραφική εικόνα σ' έναν υπολογιστή μπορεί να αποβεί άκρως παραπλανητική. Για παράδειγμα μπορεί να ψάχνεις για διαρροή της ενδοδαπέδιας θέρμανσης σ' ένα νεόκτιστο κτήριο και ένα τσουβάλι άμμου που μετακινήθηκε να αφήσει μια στάμπα που στη θερμοκάμερα να φανεί σα διαρροή. Επίσης, οι θερμικές κηλίδες (hot spots) μπορεί να οφείλονται σε θερμαντικά σώματα ή σε πηγές φωτισμού. Αν το σκεφτείς επιτόπου καταλαβαίνεις ότι η φωτογραφία θα σου ήταν άχρηστη και παραπληροφορητική στον ηλεκτρονικό υπολογιστή. Γενικά καλό θα είναι με κάθε θερμογράφημα να λαμβάνεται και η αντίστοιχη ψηφιακή θερμογραφία ώστε να μπορείς να κάνεις τις επιθυμητές συγκρίσεις.
- η θερμογράφιση να γίνεται, όταν ο ρυθμός μεταβολής της θέρμανσης ή της ψύξης είναι μεγάλος δηλαδή είτε νωρίς το πρωί, είτε αμέσως μετά τη δύση του ηλίου ώστε να υπάρχει θερμική ροή.
- η θερμοκρασία εδάφους να είναι πάνω από  $0^{\circ}\text{C}$
- κατά τη νυχτερινή θερμογράφιση δεν θα πρέπει να υπάρχουν σύννεφα (γιατί αντανακλούν την υπέρυθη ακτινοβολία).

- Αλλάζετε όρια και εύρος προκειμένου να επιτύχετε τη θερμική μικρορύθμιση της υπέρυθρης εικόνας και την αποκάλυψη περαιτέρω λεπτομερειών. Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνεται η διαφορά ανάμεσα σε μια μη θερμικώς μικρορυθμισμένη και μια θερμικώς μικρορυθμισμένη υπέρυθρη εικόνα.



**Εικ.4.2 :** *ΑΡΙΣΤΕΡΑ:* Μια μη θερμικώς μικρορυθμισμένη εικόνα. *ΔΕΞΙΑ:* Μια θερμικώς μικρορυθμισμένη εικόνα, μετά την τροποποίηση ορίων και εύρους. (2)

Οι θερμικές κηλίδες (hot spots) μπορεί να οφείλονται σε θερμαντικά σώματα (22)

Προσοχή, αναλόγως της μορφής αστοχίας που θέλουμε να εντοπίσουμε, αυτές οι συνθήκες μέτρησης μπορούν να μεταβάλλονται. Παρακάτω αναφέρουμε την ειδίκευση επί των μετρήσεων.

#### 4.2 Κατηγορίες προβλημάτων στον κτηριακό τομέα

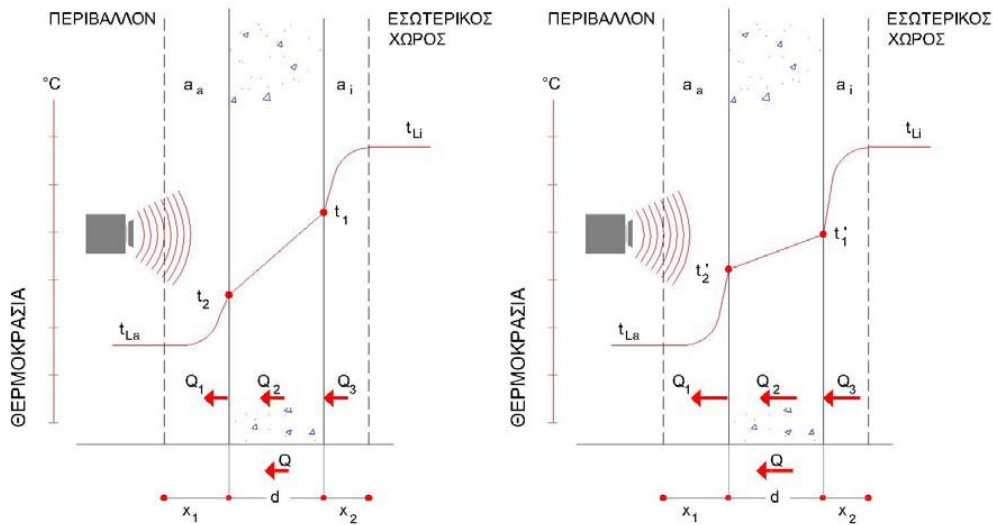
Υπάρχουν τρεις κύριες κατηγορίες προβλημάτων που μπορούν να εντοπιστούν με την θερμοκάμερα στο επίπεδο του κτηρίου. 1)υγρασία, 2)παρασιτική εισροή αέρα από ρωγμές και κουφώματα, 3)ελλιπής μόνωση και θερμογέφυρες συνθέτουν την κτηριακή θερμογραφία.

Παρακάτω θα συγκεντρώσουμε πρακτικές συμβουλές για τον εντοπισμό τους. Όπου κρίνεται απαραίτητο θα υπάρχουν θερμογραφήματα που θα οπτικοποιούν τις συμβουλές αυτές.

##### 4.2.1 Ατέλειες στο κτηριακό κέλυφος – εντοπισμός θερμικών γεφυρών, ύπαρξη εσωτερικών ανωμαλιών, κενών ή ρωγμών σε επιφάνειες

###### 4.2.1.1 Θερμικές γέφυρες : περιοχές στις οποίες έχουμε διαφορές στη μεταφορά θερμότητας από το

κέλυφος ενός κτηρίου. Στα στοιχεία αυτά γίνεται μια γρήγορη γεφύρωση της θερμοκρασίας μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος, εφόσον δεν υπάρχει θερμομονωτικό στοιχείο που να διακόπτει αυτή τη γεφύρωση.



**Εικ.4.3 :** Θερμοκρασιακό διάγραμμα ερμηνείας εντοπισμού θερμικών απωλειών με θερμογραφία  
 Όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά ( $t_2 - t_{La}$ ) για την κατασκευή τόσο μεγαλύτερη μεταφορά θερμότητας έχουμε από το εσωτερικό στο εξωτερικό της κατασκευής. (4)

1) **ταχύτητα ανέμου:** Ιδανικά δεν θέλουμε καθόλου άνεμο, γιατί ο άνεμος μπορεί να κρυώνει ή να ζεσταίνει μια περιοχή και να επηρεάζει τις μετρήσεις μας. Το μέγιστο της ταχύτητας είναι ορισμένο στα 10 km/h.

2) **θερμοκρασιακή διαφορά μέσα και έξω:** Είναι απαραίτητο να υπάρχει αυτή η θερμοκρασιακή διαφορά, ώστε να υπάρχει μετάδοση θερμότητας. Γι' αυτόν το λόγο δεν μπορούμε να επιθεωρήσουμε εσωτερικές μεσοτοιχίες. Η ελάχιστη διαφορά είναι 80C και η ιδανική 150C. Δεν υπάρχει μέγιστη. Για αυτό το χειμώνα είναι εφικτές οι σωστές θερμομετρήσεις, αφού το καλοκαίρι μέσα και έξω δεν σχηματίζεται εύκολα η ζητούμενη διαφορά θερμοκρασίας και υπάρχει εξίσωση μέσα και έξω με αποτέλεσμα να καμουφλάρονται τα προβλήματα στην εικόνα της θερμοκάμερας.

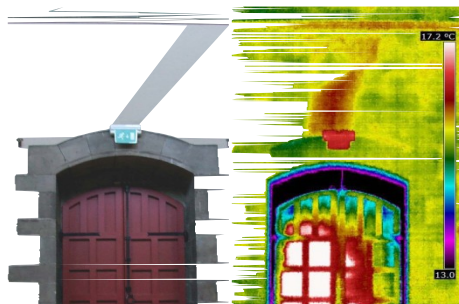
3) **διαφορά πίεσης μέσα και έξω (με μηχανικό σύστημα):** 10Pa για τουλάχιστον δύο ώρες πριν την επιθεώρηση. Αυτό επιτυγχάνεται είτε με λειτουργία του απορροφητήρα της κουζίνας για μικρά σπίτια είτε με τη χρήση blower doors που απάγουν τον αέρα από το σπίτι έχοντας κλείσει όλα τα υπόλοιπα ανοίγματα.

4) **καλύτερη χρονική στιγμή για επιθεώρηση:** 2 ώρες μετά τη δύση του ηλίου για υλικά με χαμηλή θερμική ικανότητα όπως τα παράθυρα και γενικά τα κουφώματα. 4 με 6 ώρες μετά την δύση του ηλίου για υλικά με υψηλή θερμική ικανότητα ή μεγάλη θερμική αδράνεια όπως το τσιμέντο και τα τούβλα. Όταν βγει ο ήλιος, δυσκολεύει η κτηριακή θερμογραφία, γιατί αυξάνονται οι πηγές των ανακλάσεων και εισέρχονται στις μετρήσεις. Αποφύγετε το φωτισμό του τμήματος του κτηρίου —π.χ. πρόσοψη— που προγραμματίζετε να επιθεωρήσετε από μέσα, με άμεσο ηλιακό φως. Το φως του ήλιου θα θερμάνει την πρόσοψη, γεγονός που θα ισοσταθμίσει τις θερμοκρασιακές διαφορές στο εσωτερικό και θα αποκρύψει τυχόν ατέλειες στο κτήριο. Είναι παράτολμο να διενεργούνται επιθεωρήσεις κατά την εποχή

της άνοιξης, με χαμηλές θερμοκρασίες νύχτας ( $\pm 0$  °C) και υψηλές θερμοκρασίες ημέρας (+14 °C). Για τον ίδιο λόγο οι μετρήσεις γίνονται ή την νύχτα ή πολύ νωρίς το πρωί που ο ήλιος ακόμα δεν έχει ανέβει στο ουράνιο στερέωμα και δεν έχει ρίξει τις ακτίνες του στη γη.

5) **εξοπλισμός:** ευαισθησία κάμερας NETD(noise equivalent thermal difference) καλύτερη από 0,10C στους 200C (ISO 13187) (2)Η NETD είναι η μικρότερη δυνατή ενέργεια που μπορεί να διαχωρίσει η κάμερα από τον θόρυβο που δημιουργεί ο ίδιος της ο αισθητήρας υπερύθρων.

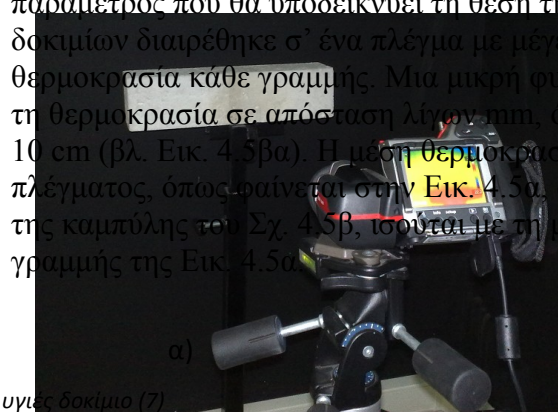
#### 4.2.1.2 Ρωγμές (προσοχή η εύρεση μη επιφανειακών ρωγμών γίνεται με ενεργητική θερμογραφία!!)



Ο εντοπισμός επιφανειακών ρωγμών είναι εφικτός με την παθητική κτηριακή θερμογραφία. (βλ.Εικ.4.4). Όμως στην περίπτωση υποεπιφανειακών ρωγμών είναι αδύνατον ο εντοπισμός τους με την συγκεκριμένη μέθοδο καθώς όπως έχουμε ήδη πει η μέθοδος αυτή είναι επιφανειακή.

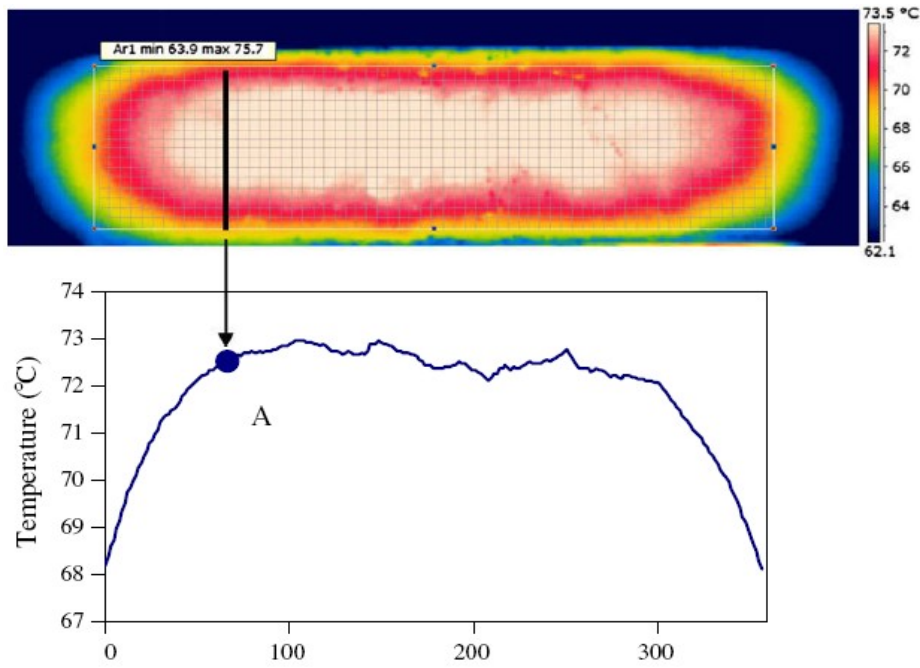
Εικ.4.4 (23)

Κρίνεται σκόπιμο να παραθέσουμε τον εντοπισμό ρωγμών με χρήση ενεργητικής θερμογραφίας (7), καθώς είναι άκρως ενδιαφέρον κεφάλαιο και αξίζει την προσοχή του αναγνώστη αυτής της διπλωματικής. Ο εντοπισμός τους που θα αναλύσουμε παρακάτω συνήθως γίνεται με συνδυασμό και άλλων μη καταστρεπτικών τεχνικών αλλά με τη θερμογράφιση λαμβάνουμε μια πρώτη εικόνα του προβλήματος. Η διάβρωση του μεταλλικού οπλισμού σε κατασκευές από σκυρόδεμα οδηγεί σε ρωγμές που διαδίδονται προς την επιφάνεια. Οι ρωγμές αυτές δεν είναι εύκολα αντιληπτές μέχρι να εμφανιστούν στην επιφάνεια, εκθέτοντας την κατασκευή σε επιταχυνόμενη υποβάθμιση μέσω της άμεσης διόδου που παρέχει η ρωγμή στο νερό. Υποεπιφανειακές ρωγμές σε κατασκευές σκυροδέματος μπορούν να συμβούν λόγω της διάβρωσης του μεταλλικού οπλισμού, όταν περιβαλλοντικοί παράγοντες διεισδύσουν στο υλικό. Αυτές οι ρωγμές επεκτείνονται με την αύξηση της διάβρωσης, καθώς και λόγω θερμικών κύκλων αλλά και εξωτερικών φορτίων. Προσοχή!! Το σκυρόδεμα συνήθως έχει κάποια εμφανή ελαττώματα στην επιφάνεια σαν φυσαλίδες αέρα, που μπορεί να λειτουργήσουν ως σημεία θερμικής απελευθέρωσης, γεγονός που θα μπορούσε να επηρεάσει τοπικά το πεδίο και να δημιουργήσει ψευδείς εντυπώσεις για σημαντική υποεπιφανειακή βλάβη. Για να προκύψει μία αντικειμενικά μετρήσιμη παράμετρος που θα υποδεικνύει τη θέση της υποεπιφανειακής ρωγμής, η επιφάνεια των δοκιμίων διαιρέθηκε σε ένα πλέγμα με μέγεθος κελιού 1.5 mm και εξετάστηκε η μέση θερμοκρασία κάθε γραμμής. Μια μικρή φυσαλίδα αέρα μπορεί να αλλάξει σε τοπικό επίπεδο τη θερμοκρασία σε απόσταση λίγων mm, όχι όμως και ολόκληρης της κάθετης γραμμής των 10 cm (βλ. Εικ. 4.5α). Η μέση θερμοκρασία των σημείων κάθε κατακόρυφης γραμμής του πλέγματος, όπως φαίνεται στην Εικ. 4.5α, απεικονίζεται στην Εικ. 4.5β. Δηλαδή, το σημείο Α της καμπύλης του Σχ. 4.5β, τούρνει με τη μέση θερμοκρασία των σημείων της κατακόρυφης γραμμής της Εικ. 4.5α.

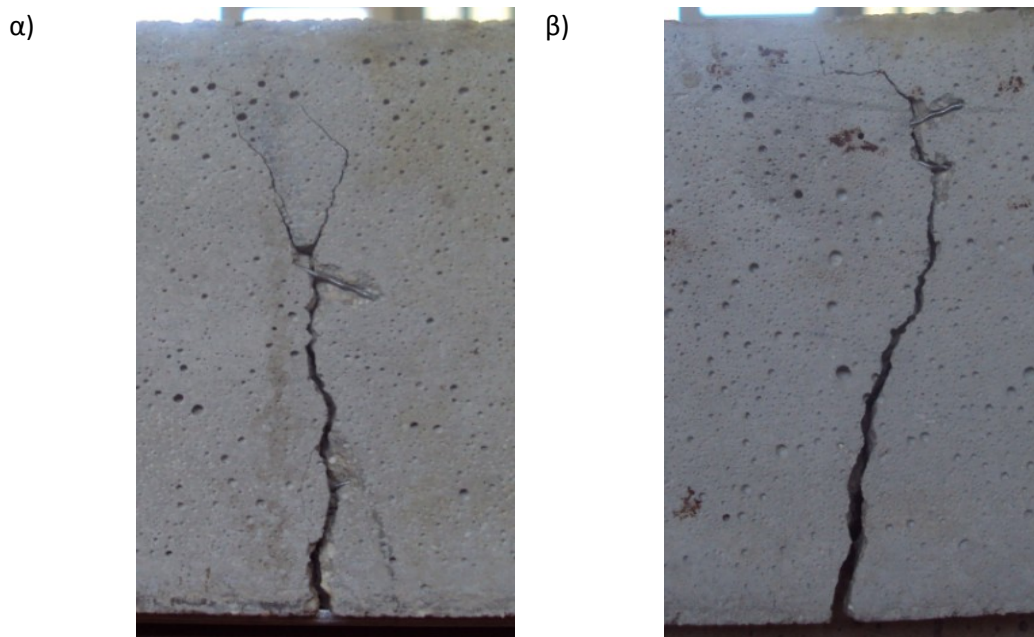


για δοκίμιο (7)





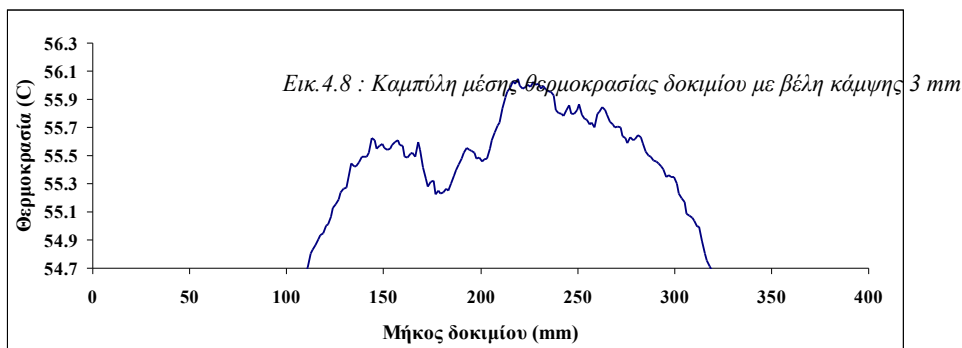
**Εικ.4.5 :** (α) Θερμοκρασιακό πεδίο υγιούς δοκιμίου, (β) καμπύλη μέσης θερμοκρασίας υγιούς δοκιμίου (7)



**Εικ.4.6 :** Πειραματική διάταξη κάμψης τεσσάρων σημείων απεικόνιση ρωγμών που αντιστοιχούν σε (α) βέλος κάμψης δοκιμίου 1.5 mm και (β) 3mm (7)

Στην Εικ.4.7 παρατίθεται θερμογράφημα ρηγματωμένου δοκιμίου (βλ.εικ.4.6β), και η καμπύλη μέσης θερμοκρασίας παρουσιάζεται στην Εικ.4.8. Στην περιοχή που υπάρχει ρωγμή (ανάμεσα σε δύο κάθετες γραμμές) η θερμοκρασία είναι μειωμένη όπως φαίνεται από το θερμογράφημα. Στην περίπτωση αυτή, η ρωγμή αντιστοιχεί σε κεντρικό βέλος κάμψης δοκιμίου 3 mm. Η καμπύλη μέσης θερμοκρασίας επιβεβαιώνει την πτώση της θερμοκρασίας σ' εκείνη την περιοχή (και την ύπαρξη της ρωγμής), αφού παρουσιάζεται σαφές τοπικό ελάχιστο, περίπου κατά 1 °C.

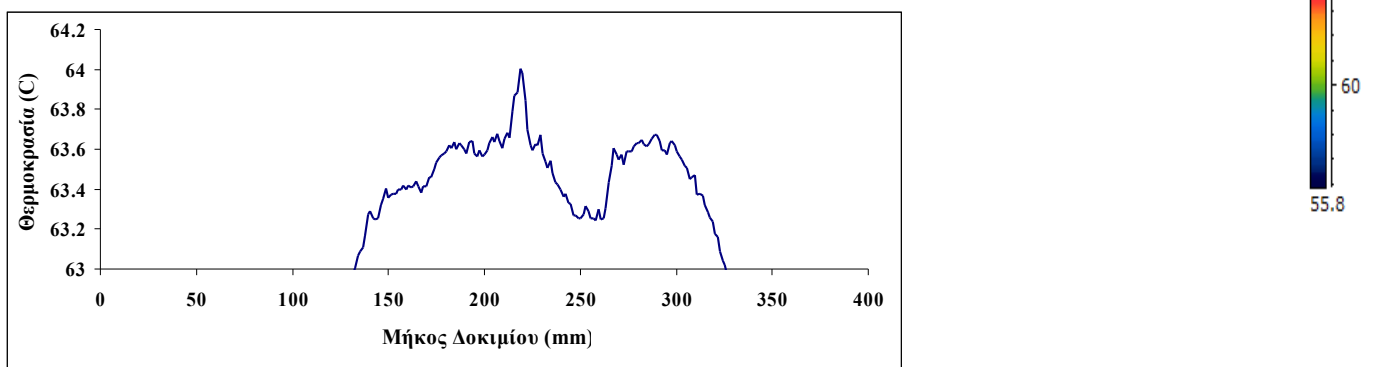
Εικ.4.7 : Θερμοκρασιακό πεδίο



Εικ.4.8 : Καμπύλη μέσης θερμοκρασίας δοκιμίου με βέλη κάμψης 3 mm (7)

Στην Εικ.4.9 παρατίθεται θερμογράφημα ρηγματωμένου δοκιμίου (βλ. Εικ.4.6α) που υποβλήθηκε σε βέλος κάμψης 1.5 mm, και η καμπύλη μέσης θερμοκρασίας του παρουσιάζεται στην Εικ.4.10.

Εικ.4.9 : Θερμοκρασιακό πεδίο

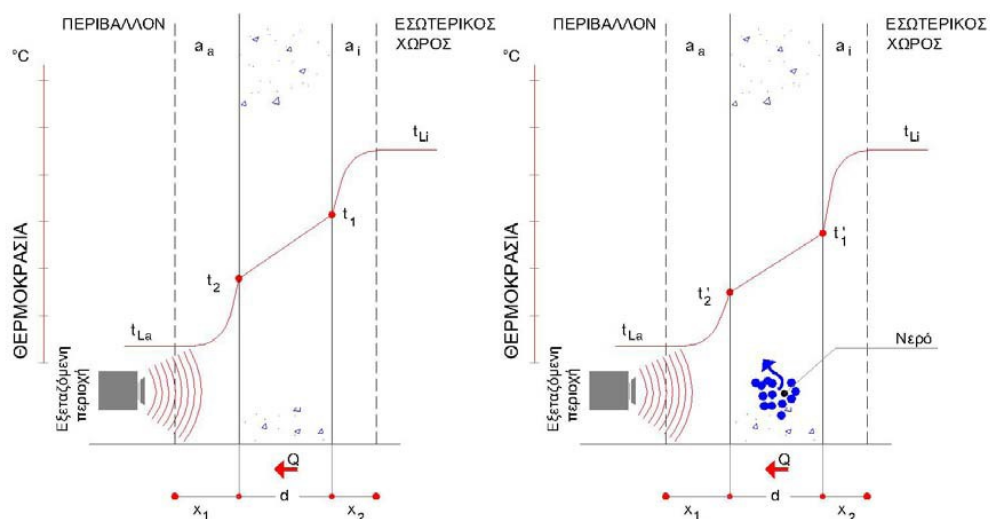


**Εικ.4.10 :** Καμπύλη μέσης θερμοκρασίας δοκιμίου με βέλος κάμψης 1.5 mm (7)

Όπως φαίνεται από τα θερμογραφήματα, όσο μειώνεται το βέλος κάμψης των δοκιμίων, (άρα μειώνεται το μήκος της ρωγμής) τόσο πιο δύσκολη είναι η ανίχνευση της ρωγμής. Σε αυτές τις περιπτώσεις η μέση θερμοκρασιακή καμπύλη αποδεικνύεται ισχυρό εργαλείο λόγω του τοπικού ελάχιστου που παρουσιάζεται σε κάθε περίπτωση. Σημειώνεται ότι σε υψηλότερες θερμοκρασίες η ανίχνευση των ρωγμών είναι ευκολότερη, λόγω του πιο έντονου ρυθμού αποθέρμανσης. Στα συγκεκριμένα θερμογραφήματα παρουσιάζονται μετρήσεις σε θερμοκρασία γύρω στους 60 °C που είναι οριακά η θερμοκρασία της επιφάνειας σκυροδέματος κάτω από έντονη ηλιοφάνεια. Στο σημείο που παρουσιάζεται το ελάχιστο της καμπύλης μπορεί να γίνει μέτρηση υπερήχων για τον πιο λεπτομερή χαρακτηρισμό της βλάβης. Δηλαδή είναι απαραίτητο πολλές φορές να συνδυάσουμε μη καταστροφικούς ελέγχους για τη διατύπωση ασφαλών συμπερασμάτων. (7)

#### 4.2.2 Ανίχνευση υγρασίας, μούχλας και ζημιών λόγω νερού

Με τη θερμογραφία μπορεί να εντοπιστεί η ύπαρξη νερού ή υγρασίας σε δομικά υλικά (π.χ. ύπαρξη νερού μέσω των τριχοειδών από το έδαφος). Η κίνηση του νερού μέσω των τριχοειδών, καθώς, επίσης και η διαφορετική θερμική του συμπεριφορά λόγω μεγάλης θερμοχωρητικότητάς του, έχει ως συνέπεια θερμοκρασιακές διαφορές στην επιφάνεια της κατασκευής.



**Εικ.4.11 :** Θερμοκρασιακό διάγραμμα εντοπισμού νερού (4)



Υγρασία σε ένα κτήριο μπορεί να προέρχεται από διάφορες πηγές, π.χ.:

- Εξωτερικές διαρροές, όπως πλημμύρες, διαρροές από πυροσβεστικούς κρουνοί κ.λπ.
- Εσωτερικές διαρροές, όπως π.χ. από σωληνώσεις ύδρευσης, αποχέτευσης κ.λπ.
- Συμπύκνωση, δηλαδή υγρασία που βρίσκεται στον αέρα πάνω σε ψυχρές επιφάνειες.
- Υγρασία των οικοδομικών υλικών, που προϋπάρχει της ανέγερσης του κτηρίου.
- Νερό που έχει παραμείνει μετά από πυρόσβεση. (2)

#### 4.2.2.1 Υγρασία σε επίπεδες στέγες και ταράτσες

1) ταχύτητα ανέμου : Το μέγιστο 10 Km/h

2) θερμοκρασιακή διαφορά μέσα και έξω: 15 °C το ελάχιστο. Σε περίπτωση, όμως, που το θερμικό φορτίο είναι αρκετό, για παράδειγμα το καλοκαίρι δεν είναι απαραίτητη προϋπόθεση αυτή η θερμοκρασιακή διαφορά καθώς μπορούμε να εκμεταλλευτούμε την μεγάλη θερμοχωρητικότητα του νερού.

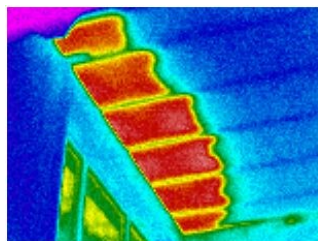
3) Όμως, το καλοκαίρι προκύπτουν άλλες καταστάσεις, όπως μέγιστο ηλιακό φορτίο στη διάρκεια της ημέρας, να μην έχει βρέξει 24 ώρες πριν την επιθεώρηση και να μην φύσαγε την προηγούμενη μέρα.

4) Διαφορά πίεσης εσωτερικά και εξωτερικά: Δεν απαιτείται

5) καλύτερη στιγμή για επιθεώρηση: 4 ώρες μετά τη δύση του ηλίου

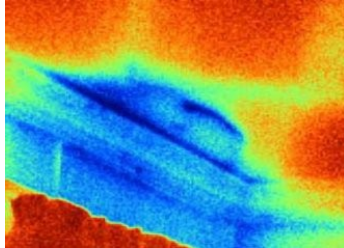
6) Οι ζημιές κτηρίων που οφείλονται στην υγρασία και στο νερό ενδέχεται να γίνονται ορατές μόνο μετά την εφαρμογή θερμότητας εκμεταλλευόμενοι τη μεγάλη θερμοχωρητικότητα του νερού, π.χ. από την ήλιο, στην επιφάνεια. Συγκεκριμένα λαμβάνοντας τη θερμογραφική εικόνα το βράδυ το υπόλοιπο κτήριο λόγω διαφορετικής θερμικής αδράνειας σε σχέση με το νερό (μικρότερης συγκεκριμένα) θα φαίνεται πιο κρύο από το σημείο που υπάρχει η διαρροή. (2), (1)

Θερμά χρώματα υποδηλώνουν πιθανή ύπαρξη μάζας νερού σε βραδινή λήψη



Εικ.4.12 (8)

Επίσης το πρωί φαίνεται σαν πιο κρύα περιοχή σε αντίθεση με μία νυχτερινή λήψη καθώς το κτηριακό κέλυφος έχει αρχίσει να αποθηκεύει θερμότητα τις πρωινές ώρες, ενώ το κρύο νερό αργεί να αποθηκεύσει θερμότητα λόγω μεγάλης θερμοχωρητικότητας.



Εικ.4.13 (8)

7) Η παρουσία νερού αλλάζει τη θερμική αγωγιμότητα, δηλαδή την ικανότητά του να άγει θερμότητα και τη θερμική μάζα του υλικού κατασκευής του κτηρίου δηλαδή την ικανότητα του να αποθηκεύει θερμότητα. Ενδέχεται επίσης ν' αλλάζει την επιφανειακή θερμοκρασία του υλικού κατασκευής του κτηρίου λόγω ψύξης που οφείλεται στην εξάτμιση. Η εξάτμιση σαν ενδόθερμο φαινόμενο καταναλώνει ενέργεια για να γίνει και συνεπώς ψύχει την περιοχή που συμβαίνει σαν φαινόμενο. Γι' αυτόν το λόγο δεν γίνονται ποτέ εξωτερικές μετρήσεις, αν δεν έχει περάσει τουλάχιστον ένα εικοσιτετράωρο χωρίς βροχή.

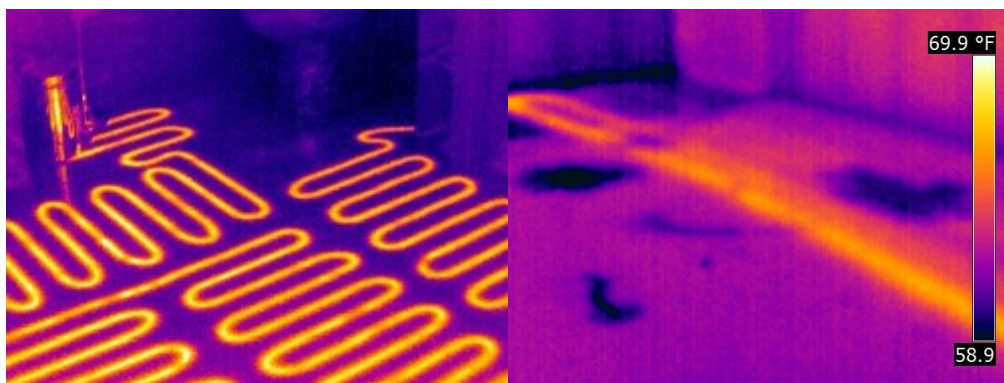
8) Εξοπλισμός : ακρίβεια NETD καλύτερη από 0.2°C οπτική ανάλυση 1 pixel για 500 mm2 πραγματικής εικόνας.

#### 4.2.2.2 Συμπύκνωση υδρατμών σε τοίχους

- 1) ταχύτητα ανέμου : Το μέγιστο 10 Km/h
- 2) θερμοκρασιακή διαφορά μέσα και έξω: 20oC το ελάχιστο (30oC σε περίπτωση χαμηλής διαφοράς πίεσης)
- 3) Διαφορά πίεσης εσωτερικά και εξωτερικά(με μηχανικό σύστημα): 25 Pa τουλάχιστον 2 ώρες πριν από την επιθεώρηση. 10 με 15 Pa είναι ικανά να μας εξασφαλίσουν ικανά αποτελέσματα αλλά μόνο σε περίπτωση υψηλής θερμοκρασιακής διαφοράς.
- 4) καλύτερη στιγμή για επιθεώρηση: 2 ώρες μετά τη δύση του ηλίου για υλικά με χαμηλή θερμική ικανότητα όπως τα παράθυρα και γενικά τα κουφώματα. 4 με 6 ώρες μετά τη δύση του ηλίου για υλικά με υψηλή θερμική ικανότητα ή μεγάλη θερμική αδράνεια όπως το τσιμέντο και τα τούβλα. Να μην έχει βρέξει πριν την επιθεώρηση
- 5) καθαρισμός της επιφάνειας από χαλαρά υλικά
- 6) Εξοπλισμός : NETD καλύτερη από 0.2oC στους 20oC (2)

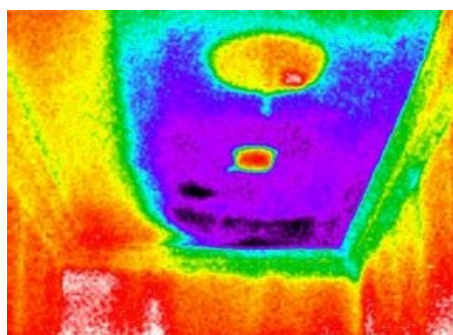
#### 4.2.2.3 Εσωτερικές διαρροές και εντοπισμός αγωγών (2)

ροή ζεστού ή ψυχρού υγρού ή αέρα μέσα στους αγωγούς

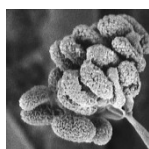


**Εικ.4.14 :** Ενδοδαπέδια θέρμανση χωρίς προβλήματα διαρροή σωλήνα (8)

Στο μυαλό μας πρέπει να θυμόμαστε ότι με την επιθεώρηση με υπέρυθρες, δεν εντοπίζεται άμεσα η παρουσία μούχλας, αντίθετα επιτρέπει τον εντοπισμό υγρασίας, όπου υπάρχει πιθανότητα ανάπτυξης μούχλας ή όπου η ανάπτυξη της μούχλας έχει ήδη συντελεστεί. Για την ανάπτυξη της μούχλας, απαιτείται θερμοκρασία μεταξύ +4 έως +38 °C, θρεπτικά συστατικά και υγρασία. Επίπεδα σχετικής υγρασίας πάνω από 50% είναι δυνατό να παρέχουν επαρκή υγρασία για την έναρξη ανάπτυξης μούχλας.



**Εικ.4.15 :** Πιθανή ανάπτυξη μούχλας (8)

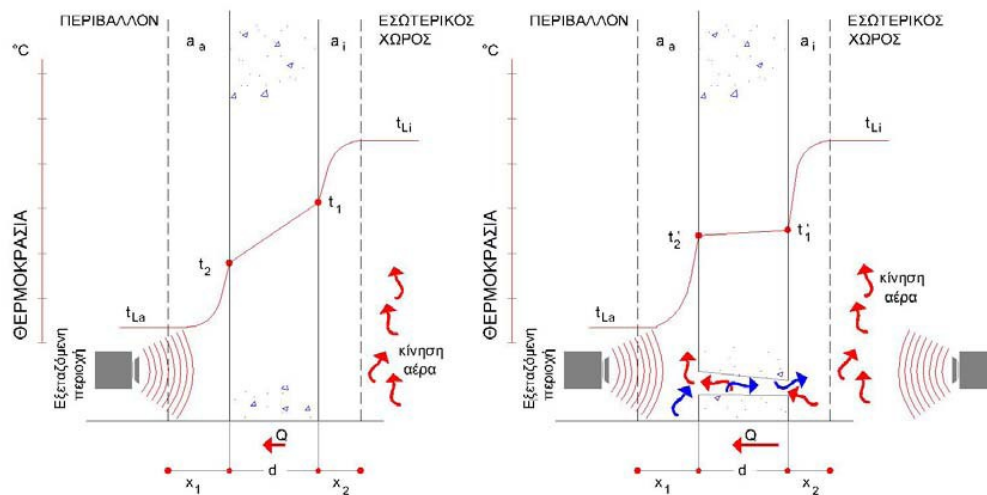


**Εικ.4.16 :** Σπόρος μούχλας στο μικροσκόπιο (1)

### 4.2.3 Εντοπισμός διείσδυσης αέρα

Στο σημείο της διαρροής αέρα, η εξωτερική παρειά του τοίχου είναι περισσότερο θερμή από την υπόλοιπη τοιχοποιία, ενώ η εσωτερική παρειά του τοίχου παρουσιάζει μικρότερη θερμοκρασία από

την υπόλοιπη τοιχοποιία.. Χαρακτηριστικά σημεία τέτοιων διαφυγών είναι οι αρμοί των κουφωμάτων των παραθύρων ή θυρών και οι αρμοί μεταξύ στέγης και τοιχοποιίας.



Εικ.4.17 : Θερμοκρασιακό διάγραμμα διαφυγής αέρα (4)

1) ταχύτητα ανέμου : Το μέγιστο 10 Km/h

2) θερμοκρασιακή διαφορά μέσα και έξω: 10oC το ελάχιστο

Για να επιτευχθεί υψηλή ακρίβεια στις μετρήσεις με την κάμερα, λαμβάνετε μετρήσεις της θερμοκρασίας και εισάγετε την τιμή αυτή στην κάμερα. Συνιστάται μια διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού ίση με 10–15 °C. Επιθεωρήσεις είναι δυνατό να διενεργηθούν και σε μικρότερη διαφορά θερμοκρασιών, αλλά αυτό θα καταστήσει ελαφρώς δυσκολότερη την ανάλυση των υπερύθρων εικόνων. Γι' αυτόν το λόγο η καλύτερη εποχή για μετρήσεις είναι ο χειμώνας και όχι το καλοκαίρι. Πρέπει να υπάρχει θερμική ροή στα υλικά που εξετάζουμε που σημαίνει διαφορά θερμοκρασίας. Διαφορετικά δεν θα αποτυπωθούν στην θερμοκάμερα τα χαρακτηριστικά μοτίβα (patterns) που φανερώνουν τις αστοχίες στο κτήριο.

3) Διαφορά πίεσης εσωτερικά και εξωτερικά (με μηχανικό σύστημα): 25 Pa τουλάχιστον 2 ώρες πριν από την επιθεώρηση. Από την EN ποim απαιτούνται 50 Pa!!! Συνιστάται να υπάρχει μια διαφορά πίεσης ανάμεσα στο εξωτερικό και στο εσωτερικό του κτηρίου. Αυτό διευκολύνει την ανάλυση υπερύθρων εικόνων και αποκαλύπτει ατέλειες που δε θα διακρίνονταν διαφορετικά. Παρ' όλο που συνιστάται μια αρνητική πίεση της τάξης των 20 έως 50 Pa, η διενέργεια της επιθεώρησης σε συνθήκες μικρότερης διαφοράς πίεσης μπορεί να είναι αποδεκτή. Για να επιτύχετε τις συνθήκες αυτές, κλείστε όλα τα παράθυρα, τις πόρτες και τους αεραγωγούς εξαερισμού και κατόπιν θέστε σε λειτουργία τον εξαεριστήρα της κουζίνας για κάποιο χρονικό διάστημα προκειμένου να επιτευχθεί αρνητική πίεση 5–10 Pa (ισχύει μόνο για οικίες). Για μεγαλύτερους χώρους υπάρχουν ειδικοί ανεμιστήρες (blower doors) που δημιουργούν το επιθυμητό αποτέλεσμα. (βλ.εικ.4.18)

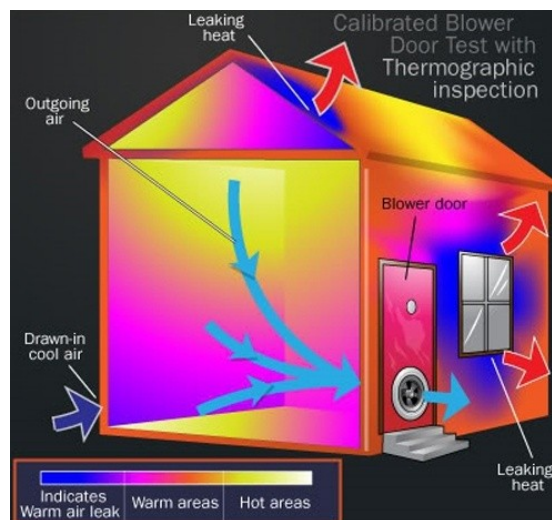
4) σε περίπτωση επιθεώρησης εσωτερικά το κτήριο πρέπει να βρίσκεται σε υποπίεση (αρνητική πίεση) ώστε να αναπτύσσεται η ροή αέρα από έξω προς τα μέσα και να φαίνεται το χαρακτηριστικό ακτινωτό μοτίβο του εισερχόμενου αέρα στην θερμοκάμερα.

5) σε περίπτωση επιθεώρησης εξωτερικά το κτήριο πρέπει να βρίσκεται σε θετική πίεση. Θα πρέπει να τονίσουμε ότι σε αυτή την περίπτωση οι αντιθέσεις είναι μικρότερες και συνήθως εξαφανίζονται γρήγορα λόγω του γεγονότος ότι το περιβάλλον είναι μια μεγάλη καταβόθρα ενέργειας που εξισορροπεί εύκολα τις μεταβολές αυτές. Πρακτικά, λοιπόν, για την εύρεση των σημείων διαρροής του αέρα η επιθεώρηση πρέπει να είναι εσωτερική.

6) καλύτερη στιγμή για επιθεώρηση: 2 ώρες μετά τη δύση του ηλίου για υλικά με χαμηλή θερμική ικανότητα όπως τα παράθυρα και γενικά τα κουφώματα. 4 με 6 ώρες μετά τη δύση του ηλίου για υλικά με υψηλή θερμική ικανότητα ή μεγάλη θερμική αδράνεια όπως το τσιμέντο και τα τούβλα.

7) Εξοπλισμός : NETD καλύτερη από 0.2oC στους 20oC (11)

Η τήρηση των παραπάνω συνθηκών συντελεί στην ανάπτυξη των χαρακτηριστικών μοτίβων (patterns) διαφυγής αέρα που θα δούμε στο κεφάλαιο 5

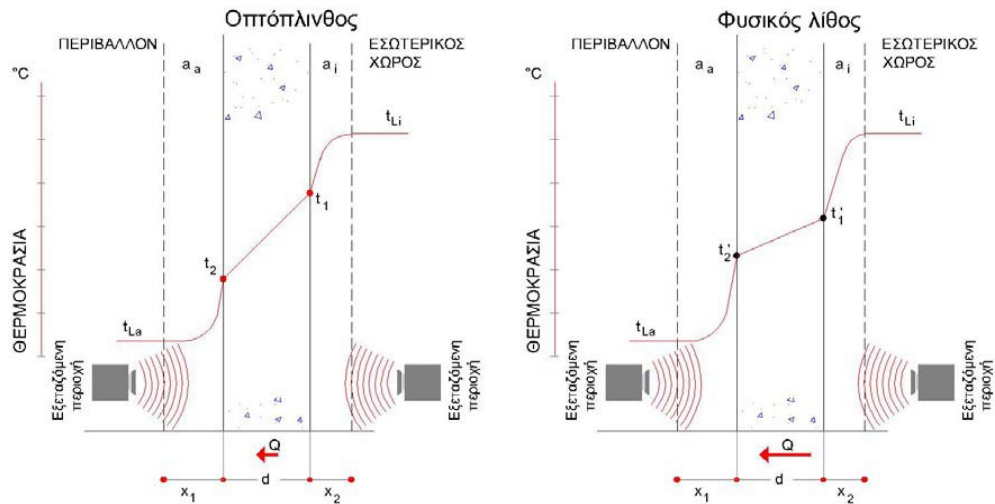


Εικ.4.18 : Blower door (1)

#### 4.2.4 Εντοπισμός διαφορετικών οικοδομικών υλικών

Μια επιπλέον χρήση της κτιριακής θερμογραφίας εκτός από τα τρία βασικά προβλήματα που αναφέρθηκαν είναι η ανακάλυψη της ύπαρξης διαφορετικών υλικών πίσω από ενιαία επιφάνεια (π.χ. ξύλο, πέτρα ή σκυρόδεμα κάτω από μία ενιαία επιχρισμένη επιφάνεια). Εύκολα αναγνωρίζουμε υλικά με διαφορετική θερμική αντίσταση που βρίσκονται στο ίδιο κατασκευαστικό μέλος λόγω της διαφορετικής ταχύτητας μεταφοράς της θερμότητας. Ο έλεγχος είναι πλέον ευχερής όταν το επίχρισμα έχει μικρό πάχος έτσι ώστε να μην εξισορροπούνται οι θερμοκρασίες. Στην εικόνα 4.20 διακρίνονται ευχερώς οι περιοχές που είναι από οπτόπλινθους (θερμές περιοχές) οι οποίες παρουσιάζουν μεγάλη θερμική αντίσταση και υψηλή θερμοκρασία (A), σε αντίθεση με τις περιοχές δομημένες με φυσικούς λίθους που παρουσιάζουν μικρή θερμική αντίσταση (χαμηλή θερμοκρασία) (B). (4)

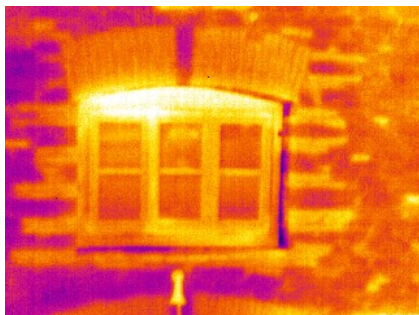




Εικ.4.19 : Θερμοκρασιακό διάγραμμα για την αναγνώριση διαφορετικών υλικών με θερμογραφία (4)

A

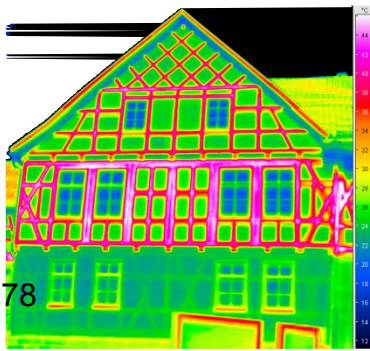
B



Εικ.4.20 : Οπτόπλινθοι μεγάλη θερμική αντίσταση και υψηλή θερμοκρασία A , φυσικοί λίθοι μικρή θερμική αντίσταση χαμηλή θερμοκρασία B (4)

#### 4.2.5 Ανίχνευση κρυμμένων κατασκευαστικών στοιχείων

Όταν, υπάρχει διαφορετική θερμική αγωγιμότητα συγκεκριμένων κατασκευαστικών στοιχείων, τότε μπορούμε να δούμε δοκάρια, σκελετούς, κολώνες που δεν φαίνονται δια



γυμνού οφθαλμού και πιθανότατα σε παλαιά κτήρια η ύπαρξη τους αγνοείται. Στην εικόνα 4.21 παρατηρούμε με το κόκκινο χρώμα τον ορατό ξύλινο σκελετό στον πρώτο όροφο και στην σοφίτα, ενώ στο ισόγειο διαγράφεται ο κρυμμένος μέσα στην κατασκευή σκελετός, με αχνά πράσινα ίχνη.

Εικ.4.21 (23)

### 4.3 Ερμηνεία υπέρυθρων εικόνων

Ο κύριος σκοπός της θερμογραφίας είναι να εντοπίζει ατέλειες και ελαττώματα στη θερμομόνωση εξωτερικών τοίχων και δαπέδων και να προσδιορίζει τη φύση και την έκτασή τους. Η εργασία διενέργειας μετρήσεων μπορεί επίσης να τυποποιηθεί με τέτοιο τρόπο, ώστε ο σκοπός της θερμογραφίας να είναι ο έλεγχος κατά πόσον ο εξεταζόμενος τοίχος έχει τα χαρακτηριστικά μόνωσης και αεροστεγανότητας που έχει υποσχεθεί ο κατασκευαστής ή όχι. Τα χαρακτηριστικά θερμομόνωσης που έχει υποσχεθεί ο κατασκευαστής' για τον τοίχο σύμφωνα με το σχεδιασμό είναι δυνατό να μετασχηματιστούν σε μια αναμενόμενη κατανομή επιφανειακής θερμοκρασίας της ερευνούμενης επιφάνειας, εάν οι συνθήκες μέτρησης κατά τη στιγμή λήψης των μετρήσεων είναι γνωστές. Στην πράξη, η μέθοδος περιλαμβάνει τα εξής:

Εργαστηριακές ή επιτόπιες δοκιμές χρησιμοποιούνται για να παραχθεί μια αναμενόμενη κατανομή θερμοκρασίας με τη μορφή τυπικών ή συγκριτικών υπέρυθρων ακτίνων για κοινές τοιχοποιίες, στις οποίες περιλαμβάνονται τόσο οι τοιχοποιίες που δεν παρουσιάζουν ατέλειες όσο και εκείνες που παρουσιάζουν εγγενείς ατέλειες. Εάν οι υπέρυθρες εικόνες τμημάτων της κατασκευής που ελήφθησαν στα πλαίσια επιτόπιων μετρήσεων προορίζονται για χρήση ως υπέρυθρες εικόνες σύγκρισης, τότε η σύνθεση της κατασκευής, ο τρόπος με τον οποίο κατασκευάστηκε και οι συνθήκες μέτρησης κατά τη στιγμή της λήψης των υπέρυθρων εικόνων πρέπει να είναι γνωστά με λεπτομέρεια και να έχουν καταγραφεί. Προκειμένου, στα πλαίσια της θερμογραφίας, να μπορείτε να σχολιάσετε τα αίτια τυχόν αποκλίσεων από τα επιθυμητά αποτελέσματα, οι φυσικές, μετρολογικές και δομικές τεχνικές προϋποθέσεις πρέπει να είναι γνωστές. Η ερμηνεία υπέρυθρων εικόνων που έχουν ληφθεί κατά τη διάρκεια επιτόπιων μετρήσεων περιγράφεται συνοπτικά κατωτέρω:

Η υπέρυθρη εικόνα σύγκρισης μιας κατασκευής χωρίς ατέλειες επιλέγεται με βάση την ερευνούμενη τοιχοποιία και τις συνθήκες υπό τις οποίες διενεργήθηκε η επιτόπια μέτρηση. Στη συνέχεια, μια υπέρυθρη εικόνα του ερευνώμενου δομικού στοιχείου συγκρίνεται με την επιλεγμένη υπέρυθρη εικόνα. Τυχόν αποκλίσεις που δεν εξηγούνται από το σχεδιασμό της κατασκευής ή τις συνθήκες μέτρησης καταγράφονται ως πιθανολογούμενες ατέλειες της μόνωσης. Η φύση και η έκταση της ατέλειας προσδιορίζονται συνήθως μετά από σύγκριση υπέρυθρων εικόνων που απεικονίζουν διάφορες ατέλειες, μεταξύ τους.

Εάν δεν υπάρχουν κατάλληλες υπέρυθρες εικόνες σύγκρισης, η αξιολόγηση και η αποτίμηση διενεργούνται με βάση την εμπειρία. Για το σκοπό αυτό, απαιτείται πιο ακριβής αιτιολόγηση κατά τη φάση της ανάλυσης. Κατά την αξιολόγηση μιας υπέρυθρης εικόνας, πρέπει να ελέγχονται τα εξής:

- Ομοιομορφία φωτεινότητας σε υπέρυθρες εικόνες επιφανειακών περιοχών, όπου δεν υπάρχουν θερμικές γέφυρες
- Κανονικότητα και συχνότητα εμφάνισης ψυχρών επιφανειακών περιοχών, π.χ. σε τεγίδες της στέγης και στις γωνίες
- Περιγράμματα και χαρακτηριστικά σχήματα των ψυχρών επιφανειακών περιοχών

- Μετρούμενες θερμοκρασιακές διαφορές μεταξύ της κανονικής επιφανειακής θερμοκρασίας της κατασκευής και της επιλεγμένης ψυχρής επιφανειακής περιοχής
- Συνέχεια και ομοιομορφία της ισόθερμης καμπύλης πάνω στην επιφάνεια της κατασκευής. Στο λογισμικό της κάμερας, η λειτουργία ισόθερμης ονομάζεται Ισόθερμη ή Έγχρωμος συναγερμός, ανάλογα με το μοντέλο της κάμερας.

Τυχόν αποκλίσεις και ανωμαλίες στην εμφάνιση της υπέρυθρης εικόνας συχνά υποδηλώνουν ατέλειες στη μόνωση. Προφανώς, ενδέχεται να υπάρχουν σημαντικές διακυμάνσεις στην απεικόνιση υπέρυθρων εικόνων κατασκευών με ατέλειες στη μόνωση. Ορισμένοι τύποι ατελειών στη μόνωση έχουν χαρακτηριστικό σχήμα στην υπέρυθρη εικόνα. Όταν λαμβάνονται υπέρυθρες εικόνες του ίδιου κτηρίου, οι υπέρυθρες εικόνες από τις διάφορες περιοχές του πρέπει να λαμβάνονται με τις ίδιες ρυθμίσεις στην κάμερα υπέρυθρων, προκειμένου να διευκολυνθεί η σύγκριση των διαφόρων επιφανειακών περιοχών. (2)

#### 4.4 Σύνταξη εκθέσεων

Οι αναφορές πρέπει να πιστοποιούν την επιτυχή ή μη επιτυχή έκβαση του ελέγχου, να συμμορφώνονται με τις απαιτήσεις των πελατών και κατ' ελάχιστο να περιλαμβάνουν τις πληροφορίες που απαιτούνται κατά το Πρότυπο BS EN 13187. Συνήθως, απαιτούνται τα παρακάτω δεδομένα προκειμένου να είναι δυνατή η επανάληψη της μελέτης μετά τη λήψη μέτρων αποκατάστασης:

- Ιστορικό ως προς το σκοπό και τις βασικές αρχές της δοκιμής.
- Θέση, προσανατολισμός, ημερομηνία και ώρα της μελέτης.
- Μια μοναδική αναφορά για λόγους αναγνώρισης.
- Ονοματεπώνυμο και τυπικά προσόντα του τεχνικού θερμογραφίας.
- Τύπος της κατασκευής, δομικά υλικά της επιφάνειας του κτηρίου και κατανομή τους στην συνολική επιφάνεια
- Καιρικές συνθήκες, ταχύτητα και κατεύθυνση ανέμου, χρόνος τελευταίας βροχόπτωσης, ηλιοφάνεια, βαθμός νέφωσης.
- Θερμοκρασίες περιβάλλοντος στο εσωτερικό και το εξωτερικό, πριν τη μελέτη, κατά την έναρξη αυτής και κατά το χρόνο λήψης κάθε εικόνας. Η θερμοκρασία του αέρα και η ακτινοβολούμενη θερμοκρασία θα πρέπει να καταγράφονται.
- Δήλωση τυχόν αποκλίσεων από τις σχετικές απαιτήσεις δοκιμής.
- Χρησιμοποιούμενος εξοπλισμός, ημερομηνία τελευταίας βαθμονόμησης, τυχόν γνωστά ελαττώματα.
- Ονοματεπώνυμο, επαγγελματική σχέση και τυπικά προσόντα του τεχνικού δοκιμής
- Τύπος, έκταση και θέση κάθε ατέλειας που παρατηρήθηκε.
- Αποτελέσματα τυχόν συμπληρωματικών μετρήσεων και διερευνήσεων.
- Οι αναφορές θα πρέπει να διαθέτουν ευρετήριο και να αρχειοθετούνται από τους τεχνικούς θερμογραφίας.
- Σχέδια κτηρίου
- Πιθανή απότομη θερμοκρασιακή διαφορά
- Όλες τις θερμικές και οπτικές εικόνες που είναι σχετικές με τους σκοπούς της επιθεώρησης
- Ηλιακές συνθήκες 12 ώρες πριν και μετά την επιθεώρηση
- Διαφορές πίεσης μεταξύ προσόψεων που δέχονται τον άνεμο και όχι αν είναι δυνατόν σε κάθε όροφο



- Χρόνος λήψης κάθε θερμικής εικόνας (2)

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup> : Παραδείγματα εφαρμογής**

Στη συνέχεια θα προσπαθήσουμε μέσω εξειδικευμένων περιπτώσεων να περιγράψουμε τα προαναφερθέντα προβλήματα που μπορούμε να εντοπίσουμε στη θερμογραφική επιθεώρηση του κτηρίου και των επιμέρους στοιχείων του (στέγες, προσόψεις κτλ)

### **5.1 Εντοπισμός υγρασίας**

#### **5.1.1 Επαγγελματικές οροφές μικρής κλίσης**

Οι επαγγελματικές οροφές μικρής κλίσης είναι ένας από τους συνηθέστερους τύπους οροφών για βιομηχανικά κτήρια, όπως π.χ. αποθήκες, βιομηχανικές μονάδες, μηχανουργεία κ.λπ. Τα κυριότερα πλεονεκτήματα έναντι των οροφών μεγάλης κλίσης είναι το μικρότερο κόστος στα υλικά και την κατασκευή. Ωστόσο, λόγω του σχεδιασμού τους που δε διευκολύνει την απόπτωση του χιονιού και του πάγου με τη βοήθεια της βαρύτητας που αποτελεί κανόνα στην πλειοψηφία των οροφών μεγάλης κλίσης πρέπει να κατασκευάζονται με αυξημένη αντοχή προκειμένου να αναλαμβάνουν τόσο το βάρος της ίδιας της κατασκευής όσο και το βάρος του χιονιού, του πάγου ή της βροχής. Παρ' όλο που είναι επιθυμητή μια βασική αντίληψη της κατασκευής επαγγελματικών οροφών μικρής κλίσης κατά τη διενέργεια μιας θερμογραφικής επιθεώρησης οροφής, δεν απαιτείται κάποια εξειδικευμένη γνώση. Υπάρχει ένα μεγάλο πλήθος διαφόρων βασικών αρχών σχεδιασμού για επαγγελματικές οροφές μικρής κλίσης — τόσο για το υλικό κατασκευής όσο και για το σχεδιασμό — και συνεπώς θα είναι αδύνατο για οποιονδήποτε τεχνικό επιθεώρησης με υπέρυθρες να τις γνωρίζει όλες. Εάν απαιτηθούν επιπρόσθετες πληροφορίες σχετικά με μια συγκεκριμένη οροφή, ο αρχιτέκτων ή ο εργολάβος του κτηρίου συνήθως είναι σε θέση να παράσχει τις σχετικές πληροφορίες.

Τα συχνότερα αίτια αστοχίας των οροφών περιγράφονται στον πίνακα 5.1 που ακολουθεί (πηγή : SPIE Thermosense Proceedings, τόμος 371 (1982), σελ. 177).

Αίτιο	%
Κακή εργασία	47,6
Κίνηση ανθρώπων πάνω στην οροφή	2,6
Κακός σχεδιασμός	16,7
Παγιδευμένη υγρασία	7,8
Υλικά κατασκευής	8,0
Γήρανση και αλλοίωση λόγω καιρικών συνθηκών	8,4

**Εικ.5.1 :** Πίνακας συχνότερων αιτιών αστοχίας οροφών (2)

Σ' αυτό το σημείο τονίζουμε ότι, το συντριπτικό ποσοστό της κακής εργασίας και του σχεδιασμού που δημιουργεί προβλήματα στους πελάτες των μηχανικών. Οφείλουμε και πρέπει να λειτουργούμε με σύνεση ελέγχοντας από την αρχή μέχρι το τέλος τα έργα που αναλαμβάνουμε και τα συνεργεία που συνεργαζόμαστε. Η ευθύνη μας δεν εξαντλείται μόνο ως προς το στατικό μέρος του κτιρίου αλλά και ως προς την ποιότητα ζωής που προσφέρεται από την κατασκευή.

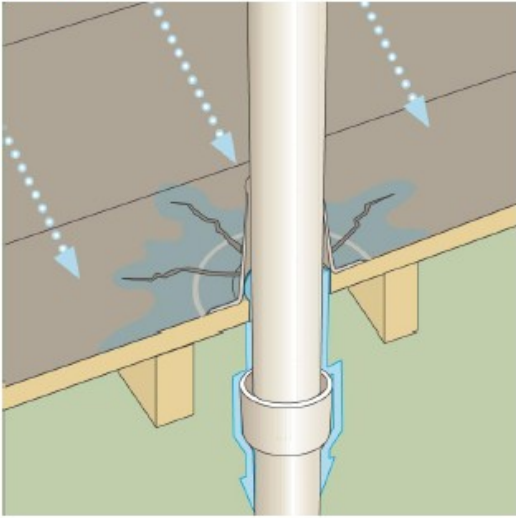
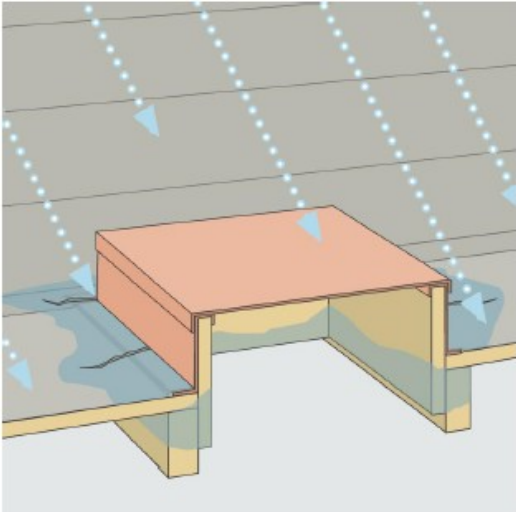
Στα πιθανά σημεία εκδήλωσης διαρροών περιλαμβάνονται τα εξής:

- Μονωτικό φύλλο προστασίας από την υγρασία
- Υδρορροές
- Ανοίγματα
- Αρμοί
- Θύλακες παγιδευμένου αέρα

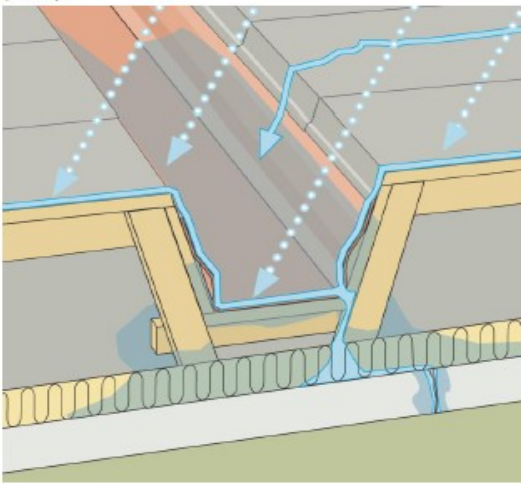
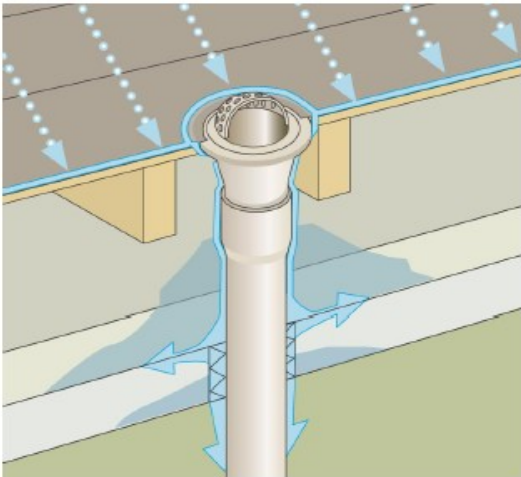
## Προφυλάξεις ασφαλείας

- Συνιστάται η παρουσία δύο και κατά προτίμηση τριών ή και περισσότερων ατόμων στην οροφή.
- Επιθεωρήστε το κάτω μέρος της οροφής ως προς τη δομική του ακεραιότητα, προτού βαδίζετε πάνω σε αυτή.
- Αποφύγετε να πατήσετε πάνω σε θύλακες παγιδευμένου αέρα, οι οποίοι απαντώνται συχνά σε οροφές στρωμένες με άσφαλτο και αμμοχάλικο.
- Να έχετε μαζί σας ένα κινητό τηλέφωνο ή ασύρματο, για την περίπτωση έκτακτης ανάγκης.
- Προτού εκτελέσετε νυκτερινή έρευνα της οροφής, ενημερώστε σχετικά το τοπικό αστυνομικό τμήμα και τους υπεύθυνους ασφαλείας του εργοστασίου.

Παρακάτω, θα δούμε μερικά τυπικά παραδείγματα προβλημάτων υγρασίας σε επαγγελματικές οροφές μικρής κλίσης, μέσω σχημάτων και φωτογραφικού υλικού, γιατί ως γνωστόν "μία εικόνα ισούται με χίλιες λέξεις". Σκοπός του παρόντος κεφαλαίου είναι μία πρώτη οπτική επαφή του αναγνώστη με το πού μπορούν να παρουσιαστούν προβλήματα αλλά και πώς φαίνονται στα θερμογραφήματα. Επαναλαμβάνουμε ότι σε καμία περίπτωση δεν θα επεκταθούμε σε ποσοτικούς υπολογισμούς καθότι ο στόχος της παρούσης διπλωματικής είναι η κατανόηση των βασικών αρχών της θερμογραφίας και της παθητικής κτηριακής θερμογραφίας. Αυτό φυσικά δεν σημαίνει ότι στην κτηριακή θερμογραφία δεν είναι σημαντική η ποσοτική προσέγγιση των ενεργειακών απωλειών. Δίπλα από κάθε φωτογραφία θα παρατίθεται και σχόλιο σχετικό με την εκάστοτε εικόνα σε μία προσπάθεια εξήγησης αυτών που βλέπουμε.

Κατασκευαστικό σχέδιο	Σχολιασμός
<p>10668603_a2</p> 	<p>Ανεπαρκής στεγανοποίηση του ασφαλτόπανου γύρω από αγωγούς ομβρίων και αεραγωγούς, με αποτέλεσμα τοπικές διαρροές γύρω από το κανάλι ή τον αεραγωγό.</p>
<p>10668703_a2</p> 	<p>Ανεπαρκής στεγανοποίηση του ασφαλτόπανου γύρω από την καταπακτή πρόσβασης στην οροφή.</p>

Εικ.5.2 (2)

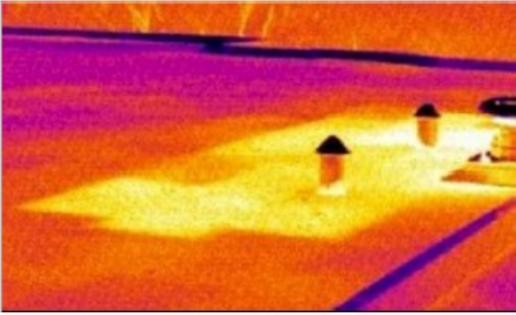
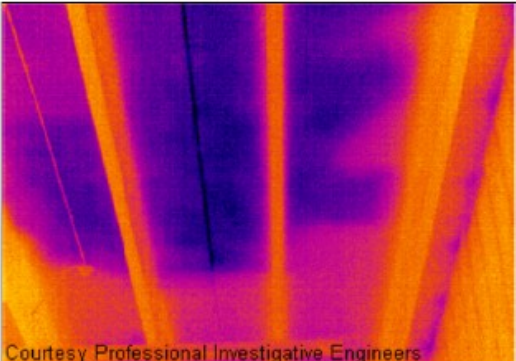
Κατασκευαστικό σχέδιο	Σχολιασμός
	<p>Τα κανάλια αποστράγγισης βρίσκονται υπερβολικά υψηλά και με υπερβολικά μικρή κλίση. Κάποια ποσότητα νερού παραμένει μέσα στο κανάλι αποστράγγισης μετά τη βροχή, γεγονός που ενδέχεται να οδηγήσει σε τοπική διαρροή γύρω από το κανάλι.</p>
	<p>Ανεπαρκής στεγανοποίηση μεταξύ ασφαλτόπανου και εξαρτημάτων αερισμού οροφής, με αποτέλεσμα τοπική διαρροή γύρω από το εξάρτημα αερισμού οροφής.</p>

Εικ.5.3(2)


### Σχολιασμός υπέρυθρων εικόνων

Πώς μπορείτε να εντοπίσετε τυχόν υγρή μόνωση κάτω από την επιφάνεια της οροφής; Όταν η ίδια η επιφάνεια είναι στεγνή, συμπεριλαμβανομένου τυχόν αμμοχάλικου ή αδρανών που ενδέχεται να υπάρχουν εκεί, σε μια ηλιόλουστη ημέρα θα θερμανθεί ολόκληρη η οροφή. Νωρίς το βράδυ εκείνης της ημέρας, εάν ο ουρανός δεν έχει σύννεφα, η οροφή θα αρχίσει να ψύχεται ακτινοβολώντας θερμότητα προς την ατμόσφαιρα. Λόγω της υψηλότερης θερμοχωρητικότητάς της, η υγρή μόνωση θα παραμείνει θερμότερη για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα απότι η στεγνή και συνεπώς θα διακρίνεται στην κάμερα υπέρυθρων (βλ. φωτογραφίες κατωτέρω). Η τεχνική αυτή είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική σε οροφές που διαθέτουν απορροφητική μόνωση όπως, π.χ., μορισανίδες, ναλοβάμβακας και περλίτης, όπου τα θερμικά μοτίβα συσχετίζονται σχεδόν τέλεια με την υγρασία. Οι επιθεωρήσεις με υπέρυθρες οροφών με μη απορροφητικές μονώσεις, που απαντώνται συχνά σε πολλά συστήματα μονού φύλλου, είναι πιο δύσκολες στη διάγνωση διότι τα μοτίβα είναι πιο

διάχτυα. Παρακάτω περιλαμβάνονται μερικά τυπικά παραδείγματα υπέρυθρων εικόνων προβλημάτων υγρασίας σε επαγγελματικές οροφές μικρής κλίσης (2):

Υπέρυθρη εικόνα	Σχολιασμός
<p>10664009.z1</p> 	<p>Εντοπισμός υγρασίας σε οροφή, καταγεγραμμένος κατά το βράδυ.</p> <p>Επειδή το υλικό κατασκευής του κτιρίου που έχει προσβληθεί από υγρασία χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερη θερμική μάζα, η θερμοκρασία του μειώνεται με μικρότερους ρυθμούς απ' ό,τι οι γύρω περιοχές.</p>
<p>10664103.z1</p>  <p>Courtesy Professional Investigative Engineers</p>	<p>Κατεστραμμένα από το νερό μέρη και μόνωση της οροφής που εντοπίζονται με σάρωση υπέρυθρων από το κάτω μέρος της κατασκευασμένης οροφής, σε μια πλάκα από σκυρόδεμα με διαμήκη δοκάρια.</p> <p>Οι προσβεβλημένες περιοχές είναι ψυχρότερες από τις γύρω υγιείς περιοχές, λόγω φαινομένων αγωγής ή/και θερμοχωρητικότητας.</p>

Εικ.5.4 :

Υπέρυθρη εικόνα	Σχολιασμός
<p>10664203.z1</p> 	<p>Έρευνα κατά τη διάρκεια της ημέρας σε κατασκευασμένη επαγγελματική οροφή μικρής κλίσης.</p> <p>Οι προσβεβλημένες περιοχές είναι ψυχρότερες από τις γύρω στεγνές περιοχές, λόγω φαινομένων αγωγής ή/και θερμοχωρητικότητας.</p>

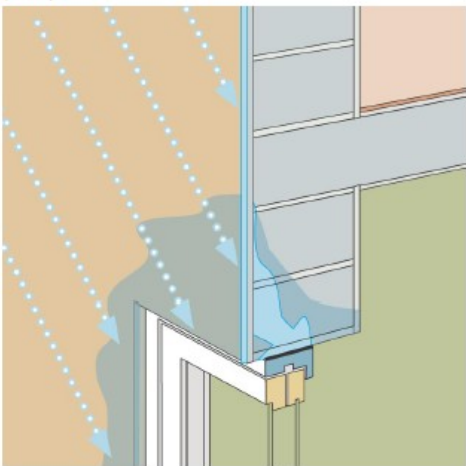
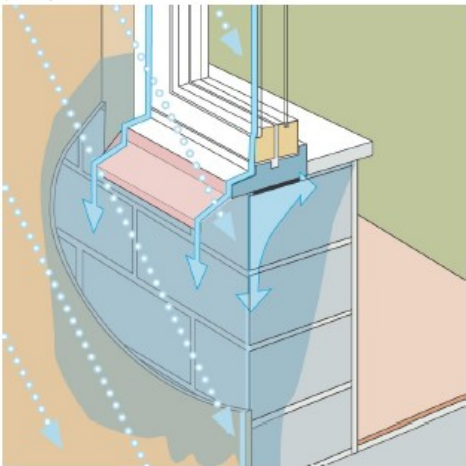
Εικ.5.5 (2)

### 5.1.2 Εντοπισμός υγρασίας : Προσόψεις επαγγελματικών κτηρίων και κατοικιών

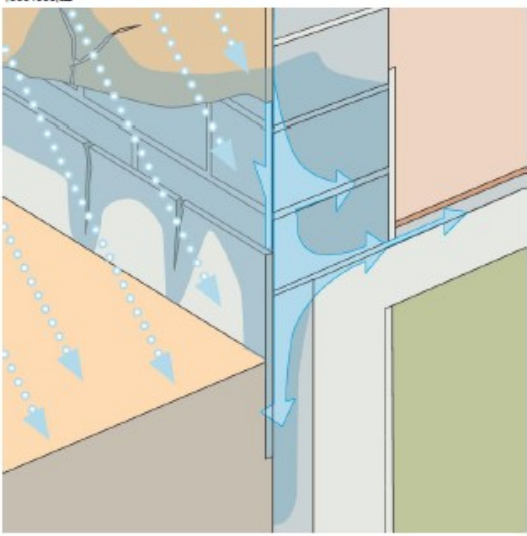
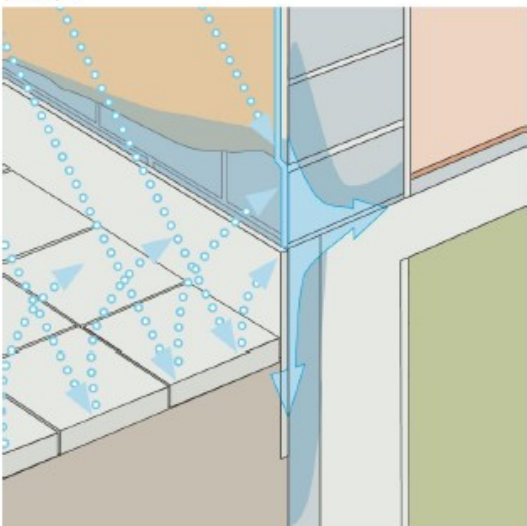


Η θερμογραφία έχει αποδειχθεί ότι αποτελεί ένα πολύτιμο εργαλείο στην αξιολόγηση της διείσδυσης υγρασίας στις προσόψεις επαγγελματικών κτηρίων και κατοικιών. Η δυνατότητα εξασφάλισης μιας φυσικής απεικόνισης των διαδρομών μετανάστευσης της υγρασίας δίνει περισσότερες πληροφορίες από την παρέκταση των σημείων μέτρησης με αισθητήρα υγρασίας και κοστίζει λιγότερο από τις τομές στα πλαίσια μεγάλων και επίπονων δοκιμασιών.

Παρακάτω θα δούμε μερικά τυπικά παραδείγματα προβλημάτων υγρασίας σε προσόψεις επαγγελματικών κτιρίων και κατοικιών μέσω σχημάτων και φωτογραφικού υλικού (2) :

Κατασκευαστικό σχέδιο	Σχολιασμός
 <p>10664308.a2</p>	<p>Η καταρακτώδης βροχή διεισδύει μέσα στην πρόσοψη λόγω κατασκευαστικών ατελειών στους αρμούς. Η υγρασία συσσωρεύεται στην τοιχοποιία πάνω από το παράθυρο.</p>
 <p>10664408.a2</p>	<p>Η καταρακτώδης βροχή χτυπά το παράθυρο υπό γωνία. Το μεγαλύτερο μέρος του νερού απομακρύνεται από το γείσο που βρίσκεται στο κάτω μέρος του παραθύρου, ωστόσο ένα μέρος του βρίσκεται δίοδο προς το εσωτερικό της τοιχοποιίας στα σημεία όπου ο σοβάς συναντά το κάτω μέρος του γείσου.</p>

Εικ.5.6(2)

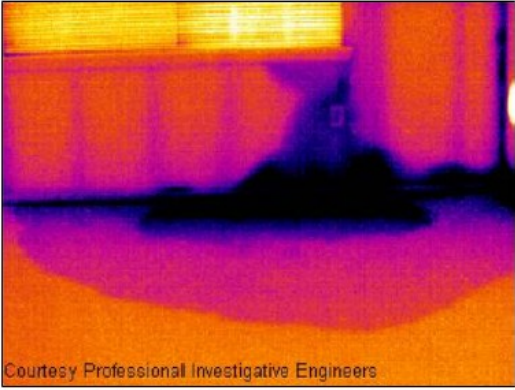

Κατασκευαστικό σχέδιο	Σχολιασμός
 <p>10664603.a2</p>	<p>Η βροχή χτυπά την πρόσοψη υπό γωνία και διαπερνά το σοβά μέσα από ρωγμές. Στη συνέχεια, το νερό εμποτίζει το σοβά και έτσι προκαλείται διάβρωση του σοβά σε συνθήκες παγετού.</p>
 <p>10664603.a2</p>	<p>Το νερό της βροχής πιτσιλίζει την πρόσοψη και διαπερνά το σοβά και την τοιχοποιία λόγω απορρόφησης, γεγονός που οδηγεί τελικά σε διάβρωση σε συνθήκες παγετού.</p>

Εικ.5.7 (2)

### Σχολιασμός υπέρυθρων εικόνων

Στην ενότητα αυτή περιλαμβάνονται μερικές τυπικές υπέρυθρες εικόνες προβλημάτων υγρασίας σε προσόψεις επαγγελματικών κτηρίων και κατοικιών



Υπέρυθρη εικόνα	Σχολιασμός
<p>10554703.a1</p>  <p>Courtesy Professional Investigative Engineers</p>	<p>Η εσφαλμένα τερματισμένη και στεγανοποιημένη επένδυση από πέτρα σε κούφωμα παραθύρου και η μη τοποθέτηση γείσου είχε ως αποτέλεσμα τη διείσδυση υγρασίας τόσο μέσα στην κοιλότητα του τοίχου όσο και στην εσωτερική επιφάνεια του κατοικήσιμου χώρου.</p>
<p>10554803.a1</p>  <p>Courtesy Professional Investigative Engineers</p>	<p>Μετανάστευση υγρασίας μέσα στο στεγνό τοίχο λόγω φαινομένων τριχοειδούς και σε εσωτερικά τελειώματα λόγω ανεπαρκούς διακένου και κλίσης βαθμίδας από πρόσοψη με πλευρική επένδυση βινυλίου σε συγκρότημα διαμερισμάτων.</p>

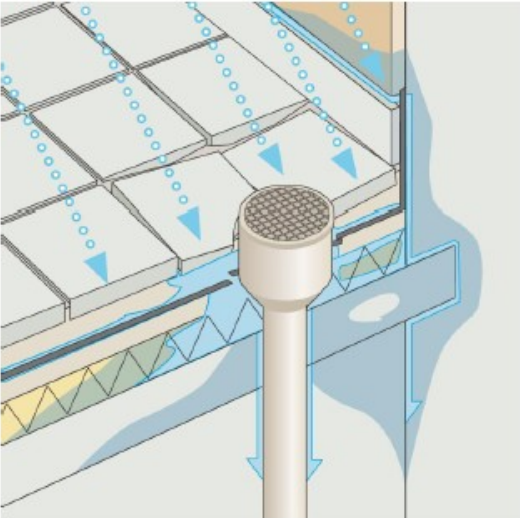
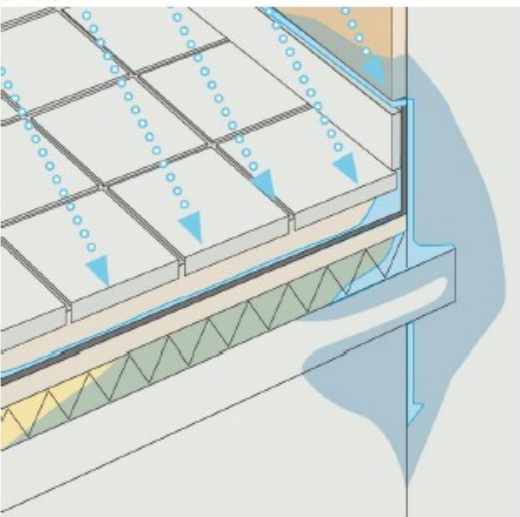
Εικ.5.8 (2)

### 5.1.3 Εντοπισμός υγρασίας: Ψευδόστεγα και μπαλκόνια

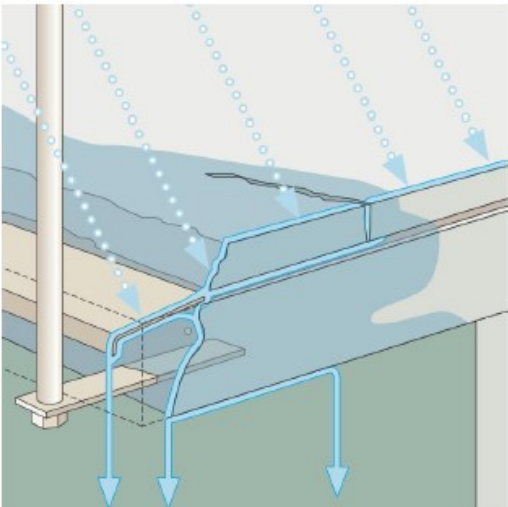

Παρ' όλο που υπάρχουν διαφορές στο σχεδιασμό, στα υλικά και στη μέθοδο κατασκευής, τα ψευδόστεγα σε σκεπαστούς χώρους στάθμευσης, αυλές κ.λπ. υποφέρουν από τα ίδια προβλήματα υγρασίας και διαρροών με τις επαγγελματικές οροφές μικρής κλίσης. Η εσφαλμένη τοποθέτηση γείσων, η ανεπαρκής στεγανοποίηση ασφαλτόπανων και η ανεπαρκής αποστράγγιση είναι δυνατό να οδηγήσουν σε σημαντικές ζημιές των κατασκευών τις οποίες στεγάζουν. Τα μπαλκόνια, παρότι μικρότερα σε μέγεθος, απαιτούν την ίδια προσοχή κατά το σχεδιασμό, την επιλογή των υλικών κατασκευής και την εργασία όπως κάθε άλλη κατασκευή. Επειδή, τα μπαλκόνια υποστηρίζονται συνήθως μόνο από τη μία τους πλευρά, η υγρασία που θα προκαλέσει διάβρωση των δοκαριών υποστήριξης και του οπλισμού του σκυροδέματος είναι δυνατό να προκαλέσει προβλήματα και να εκθέσει ανθρώπους σε κίνδυνο.

Παρακάτω περιλαμβάνονται μερικά τυπικά παραδείγματα προβλημάτων

υγρασίας σε ψευδόστεγα και μπαλκόνια.

Κατασκευαστικό σχέδιο	Σχολιασμός
<p>10666209.a2</p>  <p>The diagram shows a cross-section of a roof edge. A drainage grate is installed on top of a concrete slab. Below the slab, there is a waterproofing layer (asphalt) and a drainage channel. Blue arrows indicate the path of water from the grate, through the drainage channel, and down the side of the building. The waterproofing layer is shown to be properly sealed around the drainage system.</p>	<p>Εσφαλμένη στεγανοποίηση πλακιδίων και ασφαλτόπανου γύρω από το σιφόνι, με αποτέλεσμα την εμφάνιση διαρροής κατά τη διάρκεια της βροχής.</p>
<p>10666108.a2</p>  <p>The diagram shows a cross-section of a roof edge, similar to the one above. However, there is a gap in the waterproofing layer around the drainage system. Blue arrows indicate that water is leaking through this gap into the concrete structure below the slab, instead of being properly drained away.</p>	<p>Απουσία γείσου στο σοβατεπί, με αποτέλεσμα τη διείσδυση της βροχής στο σκυρόδεμα και τη μόνωση.</p>

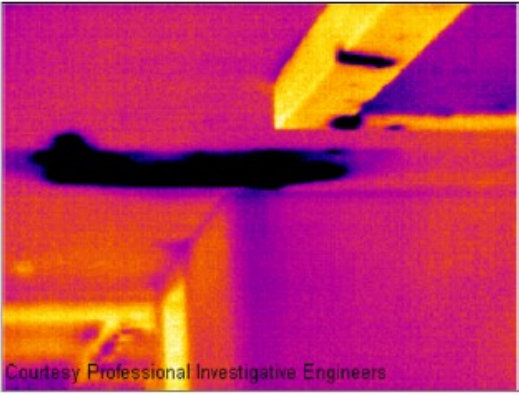
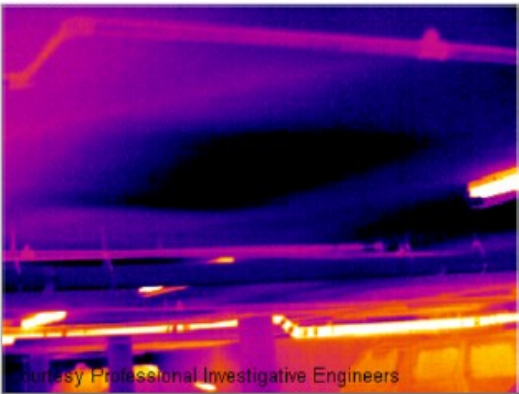
Εικ.5.9 (2)

Κατασκευαστικό σχέδιο	Σχολιασμός
<p>10666003.a2</p> 	<p>Το νερό έχει διεισδύσει στο σκυροδέμα λόγω ανεπαρκούς διαστασιολόγησης της ποδιάς απορροής, με αποτέλεσμα την αποσάθρωση του σκυροδέματος και τη διάβρωση του οπλισμού.</p> <p><b>ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΣΑΣ!</b></p>
<p>10664903.a2</p> 	<p>Το νερό έχει διαπεράσει το σοβά και την υποκεκλιμένη τοιχοποιία στο σημείο πάκτωσης του κιγκλιδώματος στον τοίχο.</p> <p><b>ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΣΑΣ!</b></p>

Εικ.5.10 (2)

### Σχολιασμός υπέρυθρων εικόνων

Παρακάτω περιλαμβάνονται μερικά τυπικές υπέρυθρες εικόνες προβλημάτων υγρασίας σε ψευδόστεγα και μπαλκόνια.

Υπέρυθρη εικόνα	Σχολιασμός
<p>10656303.a1</p>  <p>Courtesy Professional Investigative Engineers</p>	<p>Η εσφαλμένη τοποθέτηση γείσων στα σημεία σύνδεσης μπαλκονιού με τον τοίχο και η απουσία περιμετρικού συστήματος αποστράγγισης προκάλεσαν διείσδυση υγρασίας στο ξύλινο πλαίσιο υποστήριξης αυτού του εξωτερικού μπαλκονιού ενός συγκροτήματος με σοφίτες.</p>
<p>10656403.a1</p>  <p>Courtesy Professional Investigative Engineers</p>	<p>Η παράλειψη τοποθέτησης ενός φύλλου αποστράγγισης από συνθετικό υλικό στην πλάκα υπόγειου χώρου στάθμευσης είχε ως αποτέλεσμα την εμφάνιση λιμνάζοντος νερού ανάμεσα στην πλάκα σκυροδέματος και το επιφανειακό επίχρισμα του χώρου στάθμευσης.</p>

Εικ.5.11 (2)

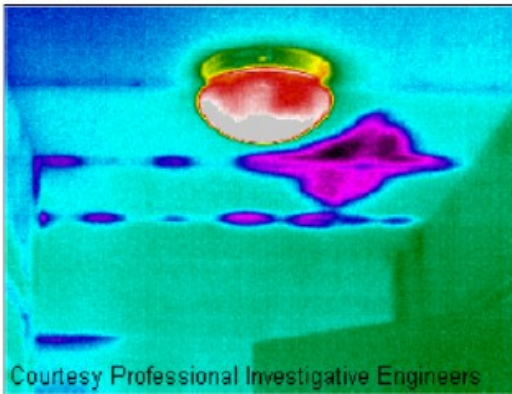
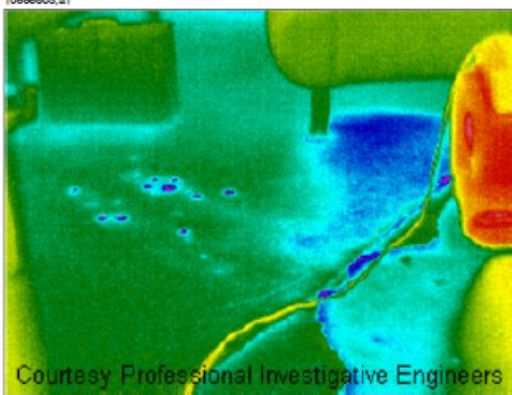
#### 5.1.4 Εντοπισμός υγρασίας : Σπασίματα και διαρροές υδραυλικών εγκαταστάσεων

Το νερό από υδραυλικές εγκαταστάσεις συχνά προκαλεί σοβαρές ζημιές στο σκελετό ενός κτηρίου. Οι μικρές διαρροές μπορεί να είναι δύσκολες στον εντοπισμό τους, αλλά με την πάροδο των ετών το νερό τους είναι δυνατό να διεισδύσει στα δομικά τοιχία και τη θεμελίωση σε τέτοιο βαθμό που ο σκελετός του κτηρίου να μην επιδέχεται καμία επισκευή. Με τη βοήθεια της θερμογραφίας κτηρίων σε πρώιμο στάδιο, όπου απλώς πιθανολογείται η ύπαρξη σπασιμάτων και διαρροών υδραυλικών εγκαταστάσεων, μπορεί να οδηγήσει σε ουσιαστικές εξοικονομήσεις σε υλικά και εργασία.

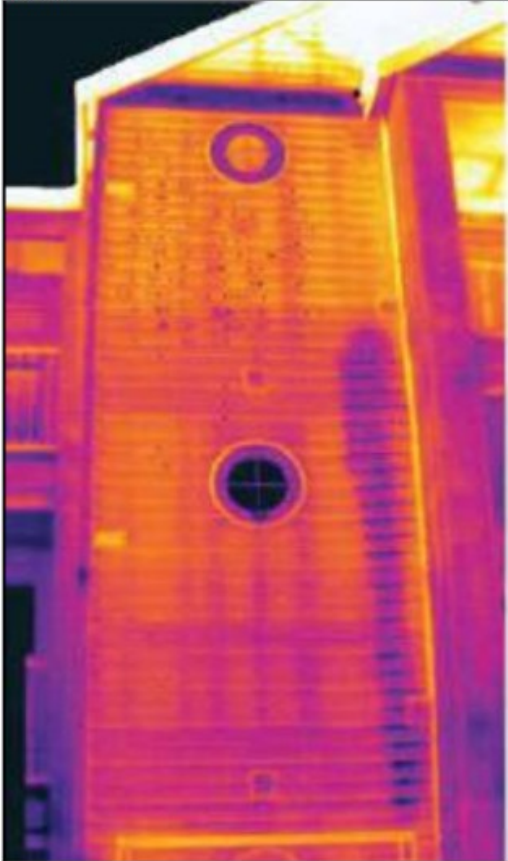
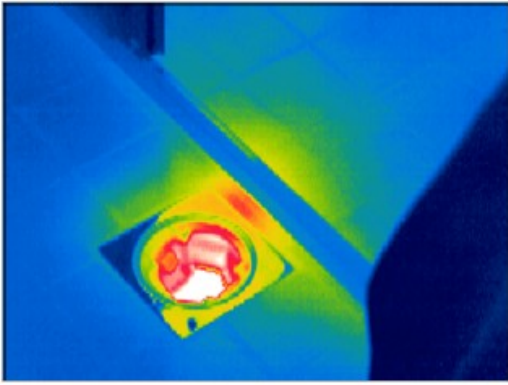
#### Σχολιασμός υπέρυθρων εικόνων



Παρακάτω περιλαμβάνονται μερικές τυπικές υπέρυθρες εικόνες σπασιμάτων και διαρροών υδραυλικών εγκαταστάσεων.

Υπέρυθρη εικόνα	Σχολιασμός
<p>10666603.a1</p>  <p>Courtesy Professional Investigative Engineers</p>	<p>Μετανάστευση υγρασίας που διατρέχει τα χαλύβδινα κανάλια των δοκαριών στήριξης του πατώματος σε μονοκατοικία, όπου έχει συμβεί ρήξη κάποιας υδραυλικής σωλήνωσης.</p>
<p>10666603.a1</p>  <p>Courtesy Professional Investigative Engineers</p>	<p>Νερό από διαρροή υδραυλικής εγκατάστασης εντοπίστηκε να έχει μεταναστεύσει σε μεγαλύτερη απόσταση απ' ό,τι είχε αρχικά εκτιμηθεί από τον εργολάβο κατά την εφαρμογή τεχνικών αποκατάστασης με αφαίρεση μοκέτας και την τοποθέτηση αφυγραντών χώρου.</p>

Εικ.5.12 (2)

Υπέρυθρη εικόνα	Σχολιασμός
<p data-bbox="225 264 295 280">10666708.zif</p> 	<p data-bbox="762 264 1278 443">Η υπέρυθρη εικόνα αυτής της τριώροφης οικίας με πλευρικές επενδύσεις βινυλίου δείχνει ξεκάθαρα τη διαδρομή μιας σοβαρής διαρροής από ένα πλυντήριο που βρίσκεται στον τρίτο όροφο, η οποία είναι τελείως κρυμμένη μέσα στην τοιχοποιία.</p>
<p data-bbox="225 1171 295 1187">10666803.zif</p> 	<p data-bbox="762 1171 1278 1261">Διαρροή νερού λόγω εσφαλμένης στεγανοποίησης ανάμεσα στο σιφόνι και τα πλακίδια του δαπέδου.</p>

Εικ.5.13 (2)

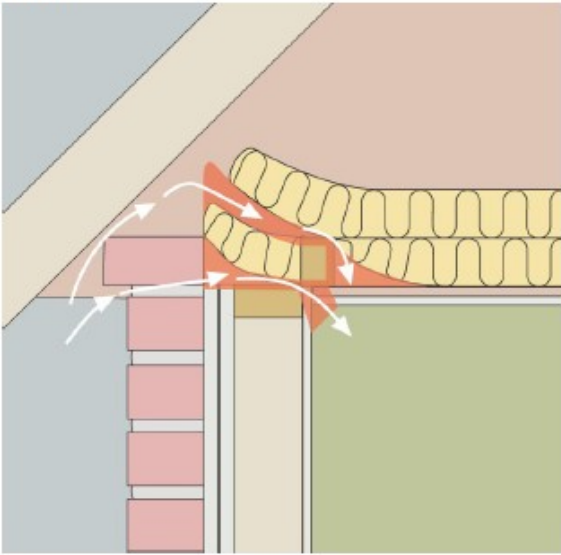
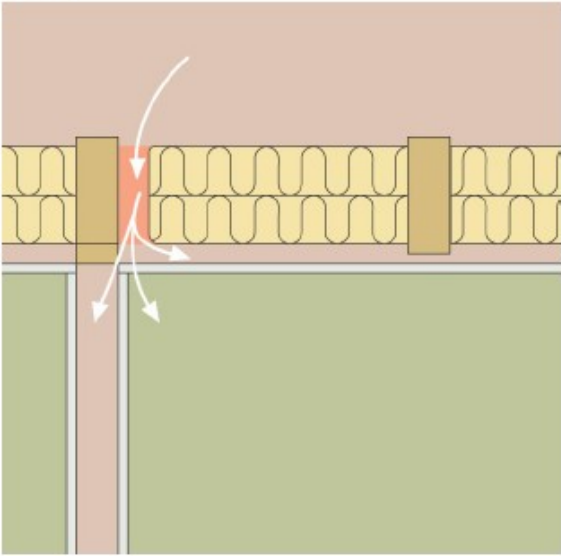
## 5.2 Διείσδυση αέρα

Στο σημείο της διαρροής αέρα, η εξωτερική παρειά του τοίχου είναι περισσότερο θερμή από την υπόλοιπη τοιχοποιία, ενώ η εσωτερική παρειά του τοίχου παρουσιάζει μικρότερη θερμοκρασία από την υπόλοιπη τοιχοποιία.. Χαρακτηριστικά σημεία τέτοιων διαφυγών είναι οι αρμοί των κουφωμάτων των παραθύρων ή θυρών και οι αρμοί μεταξύ στέγης και τοιχοποιίας. Η διαρροή θερμού αέρα παρουσιάζεται στην εξωτερική πλευρά του κελύφους στα θερμογραφήματα σε διάταξη γραμμών. Λόγω της πίεσης που εξασκεί ο άνεμος στα κτήρια, τις θερμοκρασιακές διαφορές μεταξύ του εσωτερικού και του εξωτερικού του κτηρίου, καθώς και του γεγονότος ότι στα περισσότερα κτήρια χρησιμοποιούνται εξαεριστήρες για την απομάκρυνση του χρησιμοποιημένου αέρα από το εσωτερικό τους, είναι αναμενόμενο ότι αναπτύσσεται αρνητική πίεση της τάξεως των 2–5 Pa. Όταν αυτή η αρνητική πίεση οδηγεί στην είσοδο ψυχρού αέρα στο σκελετό του κτηρίου λόγω ατελειών της μόνωσης ή/και της στεγανοποίησης του κτιρίου, τότε λαμβάνει χώρα το φαινόμενο της *διείσδυσης αέρα*. Η διείσδυση αέρα εμφανίζεται συνήθως σε αρμούς και σημεία στεγανοποίησης του κτηρίου. Εκ του γεγονότος ότι η διείσδυση αέρα προκαλεί ρεύμα ψυχρού αέρα προς π.χ. το εσωτερικό ενός δωματίου, μπορεί να οδηγήσει σε ουσιαστική επιδείνωση των κλιματικών συνθηκών στο εσωτερικό του κτιρίου. Τα ρεύματα αέρα, ακόμη κι αν είναι μικρά (δηλ. της τάξης των 0,15 m/s (0.49 ft./s)), συνήθως γίνονται αντιληπτά από τους ενοίκους, παρότι τα ρεύματα αυτά δύσκολα εντοπίζονται με κοινές συσκευές μέτρησης. Σε μια υπέρυθρη εικόνα, η διείσδυση αέρα εντοπίζεται χάρη στο τυπικό ακτινωτό της μοτίβο, το οποίο έχει ως επίκεντρο το σημείο εισόδου του αέρα στο κτήριο — π.χ. πίσω από κάποιο σοβατεπί. Επιπλέον, οι περιοχές όπου λαμβάνει χώρα διείσδυση αέρα παρουσιάζουν συνήθως χαμηλότερη θερμοκρασία από εκείνους που έχουν μόνο κάποια ατέλεια στη μόνωση. Αυτό οφείλεται στο συντελεστή ψύξης του ρεύματος αέρα.

### **Σχολιασμός περιπτώσεων κτιρίων**

Παρακάτω περιλαμβάνονται μερικά τυπικά παραδείγματα λεπτομερειών κτηρίων όπου ενδέχεται να συμβεί διείσδυση αέρα. Ο θερμογράφος θα πρέπει να έχει στο μυαλό του ότι τα παρακάτω παραδείγματα δεν περιλαμβάνουν κάθε δυνατή περίπτωση που μπορεί να αντιμετωπίσει στο μέλλον. Όμως του παρέχουν μια ιδέα για τα πιθανά σημεία που εντοπίζει το συγκεκριμένο είδος προβλήματος.

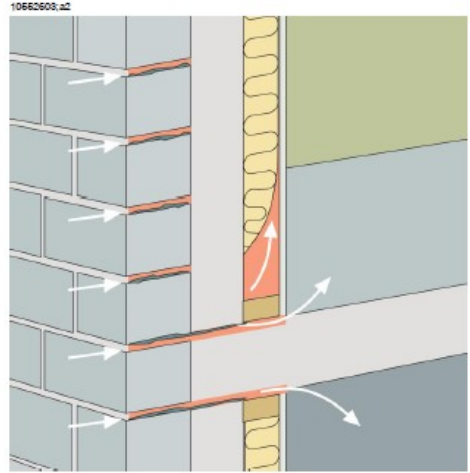
#### **5.2.1 Διείσδυση αέρα λόγω εσφαλμένης τοποθέτησης μόνωσης**

Κατασκευαστικό σχέδιο	Σχολιασμός
<p>10662903;α2</p> 	<p>Ατέλειες μόνωσης στη μαρκίζα της σκεπής οικίας από οπτόπλινθους, λόγω εσφαλμένα τοποθετημένων επενδύσεων μόνωσης από υαλοβάμβακα.</p> <p>Ο αέρας διείσδυσης εισέρχεται στο χώρο πίσω από την κορνίζα.</p>
<p>10662903;α2</p> 	<p>Ατέλειες μόνωσης σε μετζοπάτωμα, λόγω εσφαλμένα τοποθετημένων επενδύσεων μόνωσης από υαλοβάμβακα.</p> <p>Ο αέρας διείσδυσης εισέρχεται στο χώρο πίσω από την κορνίζα.</p>

Εικ.5.14 (2)



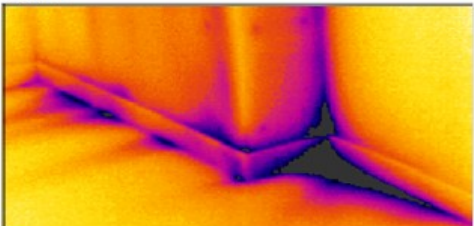
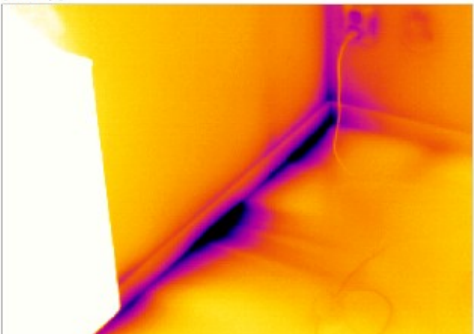
### 5.2.2 Διείσδυση αέρα λόγω ρωγμών

Κατασκευαστικό σχέδιο	Σχολιασμός
	<p>Διείσδυση αέρα στο εσωτερικό ψευδοδαπέδου πλάκας από σκυρόδεμα, λόγω ρωγμών στην πρόσοψη από οπτόπλινθους.</p> <p>Ο αέρας διείσδυσης εισέρχεται στο χώρο πίσω από το σοβατεπί.</p>

Εικ.5.15 (2)

### Σχολιασμός υπέρυθρων εικόνων

Στην ενότητα αυτή περιλαμβάνονται μερικά τυπικά παραδείγματα υπέρυθρων εικόνων κτηρίων όπου λαμβάνει χώρα διείσδυση αέρα.

Υπέρυθρη εικόνα	Σχολιασμός
	<p>Διείσδυση αέρα πίσω από σοβατεπί. Παρατηρήστε το τυπικό ακτινωτό μοτίβο.</p>
	<p>Διείσδυση αέρα πίσω από σοβατεπί. Παρατηρήστε το τυπικό ακτινωτό μοτίβο.</p> <p>Η λευκή επιφάνεια στα αριστερά είναι σώμα κεντρικής θέρμανσης (καλοριφέρ).</p>

Εικ.5.16 (2)

### 5.3 Ατέλειες στη μόνωση (θερμικές γέφυρες)

#### 5.3.1 Θερμική αντίσταση κτηριακού κελύφους, θερμικές γέφυρες

Για να εντοπίσουμε τις περιοχές στις οποίες έχουμε διαφορές στη μεταφορά θερμότητας από το κέλυφος ενός κτηρίου (θερμικές γέφυρες) προσδιορίζονται οι κατανομές θερμοκρασιών στις διάφορες περιοχές του κελύφους του κτηρίου. Γενικά, στο κέλυφος του κτηρίου υπάρχουν τμήματα ή δομικά στοιχεία, όπου η θερμική τους αντίσταση η οποία εν γένει είναι ομοιόμορφη, μεταβάλλεται κατά αισθητό τρόπο, από τις εξής αιτίες:

- Ολικής ή μερικής παρεμβολής στο ομοιογενές τμήμα του κελύφους, ενός στοιχείου με διαφορετική θερμική αγωγιμότητα.
- Αλλαγής πάχους στη δομή του τμήματος του κελύφους.
- Ύπαρξης διαφοράς εμβαδού μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής πλευράς, όπως αυτό συμβαίνει στις γωνιακές συναντήσεις διαφόρων στοιχείων.

Σε όλα αυτά τα στοιχεία, όπου η θερμική τους αντίσταση είναι μειωμένη και κατά συνέπεια αυξημένος ο συντελεστής θερμοπερατότητας, οι επιφανειακές εσωτερικές θερμοκρασίες είναι πολύ μικρότερες των αντίστοιχων ομοιογενών στοιχείων και τείνουν να πλησιάσουν, τη χειμερινή περίοδο, τη θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα. Στα στοιχεία αυτά γίνεται μια γρήγορη γεφύρωση της θερμοκρασίας μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος, εφόσον δεν υπάρχει θερμομονωτικό στοιχείο που να διακόπτει αυτή τη γεφύρωση. Στοιχεία, στα οποία παρουσιάζονται αυτές οι διαταραχές στη ροή θερμότητας, ονομάζονται θερμικές γέφυρες.

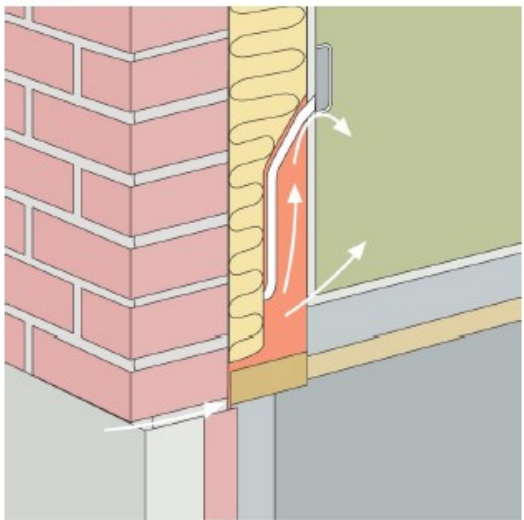
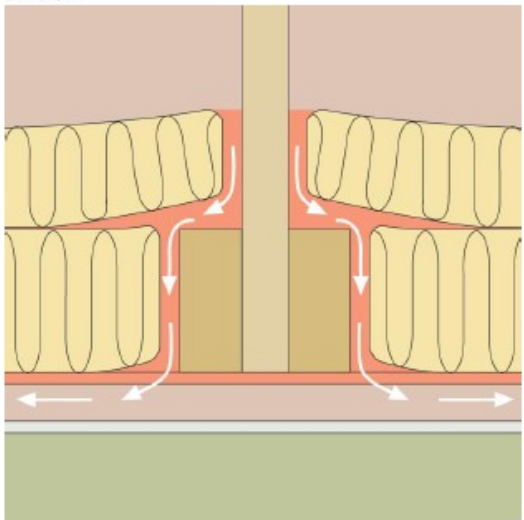
Για να εντοπίσουμε θερμικές γέφυρες με θερμογραφήματα, πρέπει το σύστημα εσωτερικό-περιβάλλον χώρος του κτηρίου να βρίσκεται σε ισορροπία. Αυτό συμβαίνει κατά τους χειμερινούς μήνες, όταν έχουμε θερμαινόμενους εσωτερικούς χώρους, χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος και ικανοποιητική διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού χώρου (τουλάχιστον 20°C). Επίσης το σύστημα πρέπει να έχει ισορροπήσει, δηλαδή, η θερμοκρασιακή διαφορά να έχει παραμείνει σταθερή για τουλάχιστον τρεις ώρες. Η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία αλλοιώνει τα αποτελέσματα των μετρήσεων. Για το λόγο αυτό προτιμώνται τα νυχτερινά θερμογραφήματα. Πάντως έχουμε αξιόπιστα αποτελέσματα και ημέρες στις οποίες έχουμε χαμηλές θερμοκρασίες και ελάχιστη έως μηδενική ηλιοφάνεια. Οι καλοκαιρινοί μήνες, λόγω της έντονης ηλιακής ακτινοβολίας κατά τις πρωινές ώρες και της αποθηκευμένης θερμότητας που εκπέμπεται από τα υλικά τις νυχτερινές ώρες δεν είναι κατάλληλοι για τη διεξαγωγή μετρήσεων.

Οι ατέλειες στη μόνωση δεν προκαλούν αναγκαστικά διείσδυση αέρα. Εάν οι επενδύσεις μόνωσης υαλοβάμβακα έχουν τοποθετηθεί εσφαλμένα, σχηματίζονται θύλακες παγιδευμένου αέρα στο σκελετό του κτηρίου. Επειδή αυτοί οι θύλακες παγιδευμένου αέρα έχουν διαφορετική θερμική αγωγιμότητα από τα σημεία όπου οι επενδύσεις μόνωσης έχουν τοποθετηθεί σωστά, οι θύλακες αέρα εντοπίζονται κατά τη θερμογραφική επιθεώρηση κτηρίου. Κατά κανόνα, οι περιοχές με ατέλειες στη μόνωση παρουσιάζουν υψηλότερες θερμοκρασίες από εκείνες όπου υπάρχει απλώς διείσδυση αέρα. Στις περιπτώσεις διενέργειας θερμογραφικών επιθεωρήσεων κτηρίων με στόχο τον εντοπισμό ατελειών στη μόνωση, θα πρέπει να γνωρίζετε τα ακόλουθα μέρη του κτηρίου τα οποία ενδέχεται να απεικονίζονται ως ατέλειες στη μόνωση σε μια υπέρυθρη εικόνα:

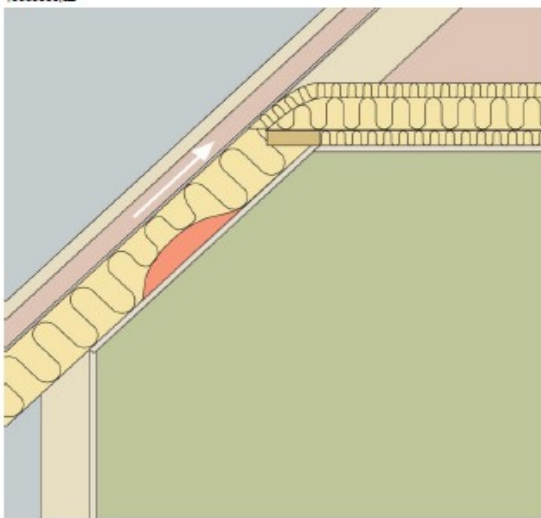
- Ξύλινα πατόξυλα, ορθοστάτες, καδρόνια οροφής, δοκάρια
- Χαλύβδινες διαδοκίδες και δοκάρια
- Σωληνώσεις ύδρευσης στο εσωτερικό τοίχων, οροφών, δαπέδων
- Ηλεκτρικές εγκαταστάσεις στο εσωτερικό τοίχων, οροφών, δαπέδων — όπως π.χ. δίκτυο καλωδίων, κανάλια κ.λπ.
- Κολώνες από σκυρόδεμα στο εσωτερικό τοίχων με ξύλινο πλαίσιο
- Αεραγωγοί και σωλήνες εξαερισμού

### Σχολιασμός περιπτώσεων κτηρίων

Παρακάτω περιλαμβάνονται μερικά τυπικά παραδείγματα λεπτομερειών κτηρίων με ατέλειες στη μόνωση:

Κατασκευαστικό σχέδιο	Σχολιασμός
 <p>10668208.a2</p>	<p>Ατέλειες στη μόνωση (μαζί με διείσδυση αέρα) λόγω εσφαλμένης τοποθέτησης επενδύσεων μόνωσης γύρω από καλώδιο κεντρικής παροχής ρεύματος.</p> <p>Αυτό το είδος ατέλειας στη μόνωση απεικονίζεται ως σκοτεινές περιοχές πάνω σε μια υπέρυθρη εικόνα.</p>
 <p>10668108.a2</p>	<p>Ατέλειες στη μόνωση λόγω εσφαλμένης τοποθέτησης επενδύσεων μόνωσης γύρω από δοκάρι δαπέδου σοφίτας. Ο ψυχρός αέρας διεισδύει στη δομή και ψύχει το εσωτερικό της οροφής.</p> <p>Αυτό το είδος ατέλειας στη μόνωση απεικονίζεται ως σκοτεινές περιοχές πάνω σε μια υπέρυθρη εικόνα.</p>

Εικ.5.17 (2)

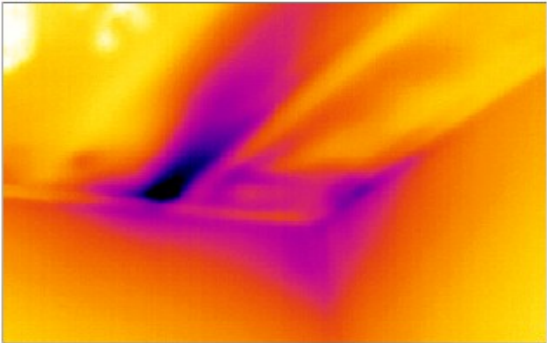
Κατασκευαστικό σχέδιο	Σχολιασμός
<p>10669008.a2</p> 	<p>Ατέλειες στη μόνωση λόγω εσφαλμένης τοποθέτησης επενδύσεων μόνωσης και το σχηματισμό θύλακα παγιδευμένου αέρα στο εξωτερικό μιας κεκλιμένης οροφής.</p> <p>Αυτό το είδος ατέλειας στη μόνωση απεικονίζεται ως σκοτεινές περιοχές πάνω σε μια υπέρυθρη εικόνα.</p>

Εικ.5.18 (2)

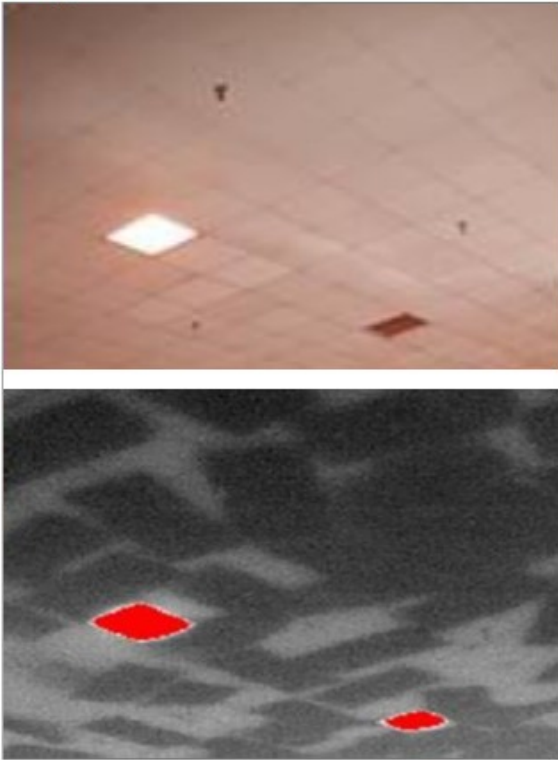
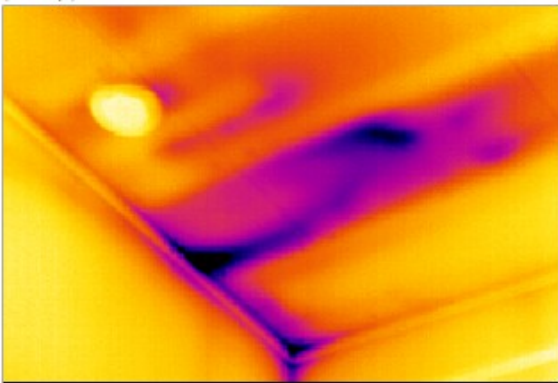
### Σχολιασμός υπέρυθρων εικόνων

Στην ενότητα αυτή περιλαμβάνονται μερικές τυπικές υπέρυθρες εικόνες ατελειών στη μόνωση.

Ατέλειες στη μόνωση στη δομή ενός μεσοπατώματος. Η ατέλεια μπορεί να είναι είτε ελλειπείς είτε εσφαλμένες τοποθετημένες επενδύσεις μόνωσης (σχηματισμός θυλάκων παγιδευμένου αέρα)

Υπέρυθρη εικόνα	Σχολιασμός
<p data-bbox="229 887 304 898">10663303.at</p> 	<p data-bbox="805 887 1353 999">Ατέλειες στη μόνωση στη δομή ενός μετσοπατώματος. Η ατέλεια μπορεί να είναι είτε ελλειπείς είτε εσφαλμένες τοποθετημένες επενδύσεις μόνωσης (σχηματισμός θυλάκων παγιδευμένου αέρα).</p>

Εικ.5.19 (2)

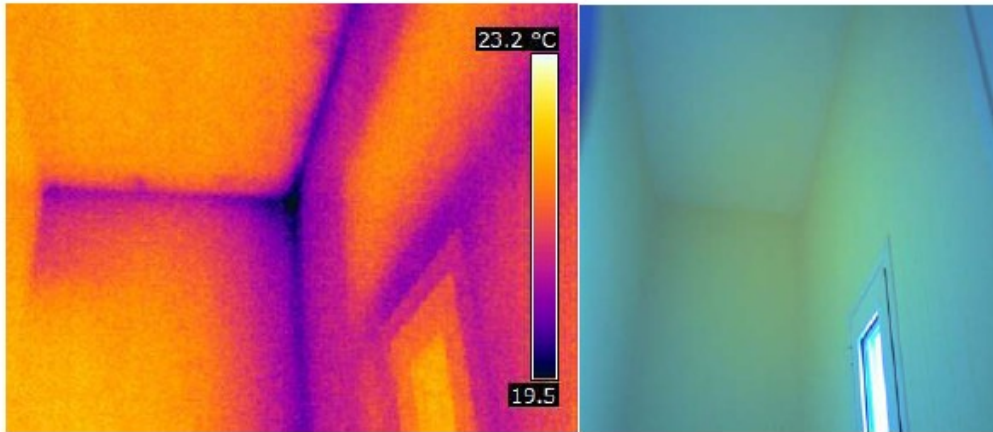
Υπέρυθρη εικόνα	Σχολιασμός
<p>10668403.a1</p> 	<p>Εσφαλμένα τοποθετημένες επενδύσεις υαλοβάμβακα σε ψευδοροφή.</p>
<p>10668503.a1</p> 	<p>Ατέλειες στη μόνωση στη δομή ενός μετζοπατώματος. Η ατέλεια μπορεί να είναι είτε ελλειπείς είτε εσφαλμένες τοποθετημένες επενδύσεις μόνωσης (σχηματισμός θυλάκων παγιδευμένου αέρα).</p>

Εικ.5.20 (2)

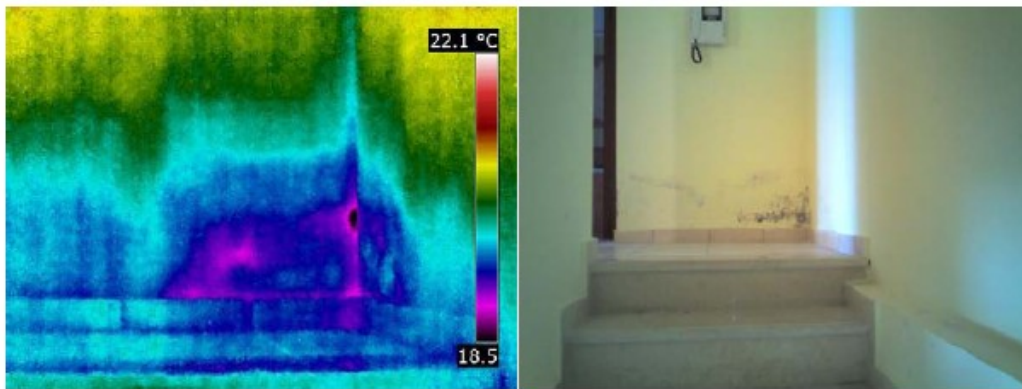
#### 5.4 Για τον αναγνώστη

Παρακάτω παρατίθενται κάποιες εικόνες μαζί με την ψηφιακή τους φωτογραφία, ώστε ο αναγνώστης της παρούσης διπλωματικής να προσπαθήσει να εντοπίσει βάσει των όσων διάβασε μέχρι εδώ το πρόβλημα που έχει αναπτυχθεί στην καθεμία περίπτωση. Αν υπήρχε ο χρόνος, θα οργανώνονταν μεγαλύτερης κλίμακας εφαρμογές και πολλαπλής επιλογής ερωτήσεις. Προτείνεται οι διπλωματικές εργασίες να είναι πιο διαδραστικές με τον αναγνώστη ώστε να ενθαρρύνεται η εμβάθυνση στο εκάστοτε αντικείμενο.

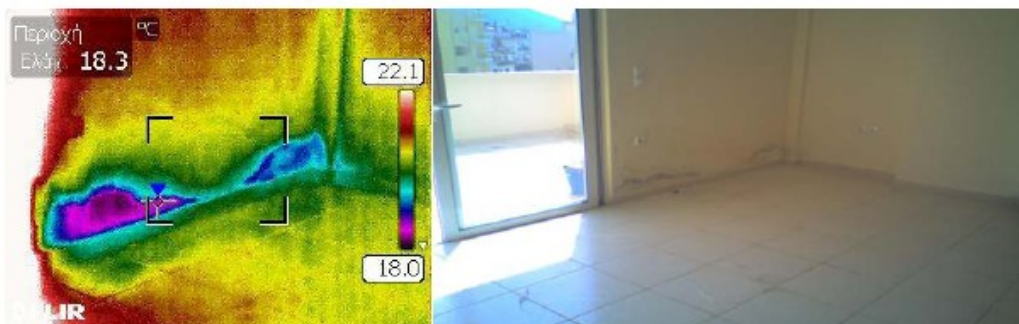




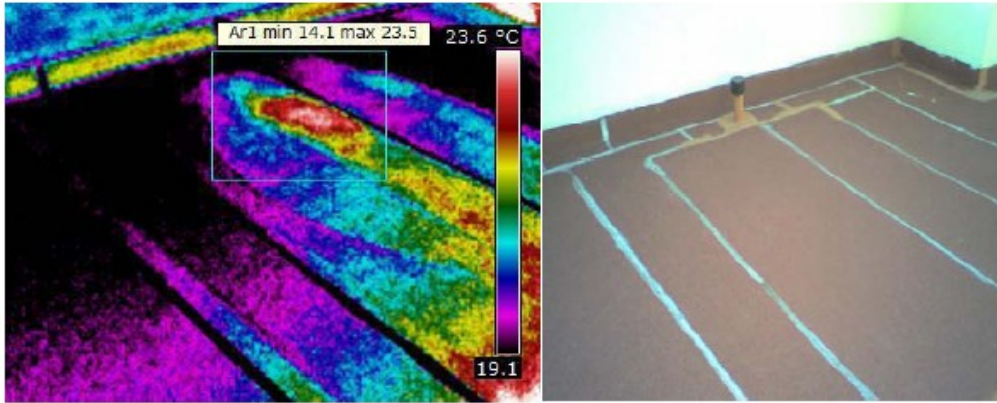
Εικ.5.21 (8)



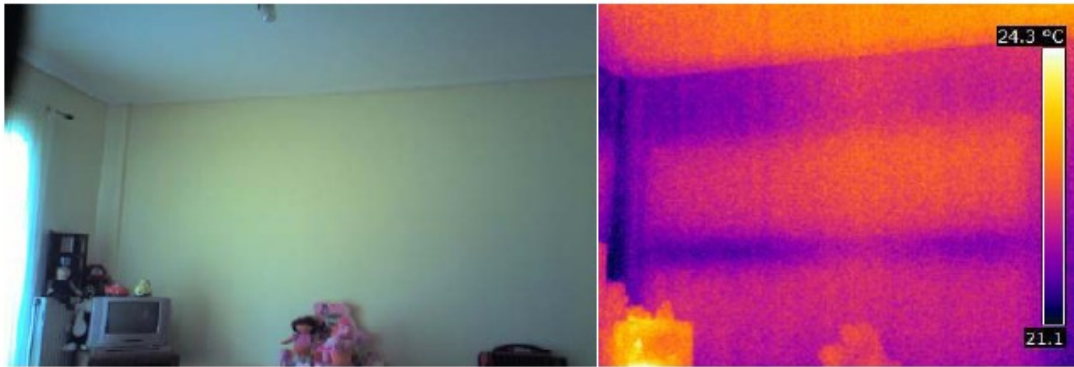
Εικ.5.22 (8)



Εικ.5.23 (8)



Етк.5.24 (8)



Етк. 5.25 (8)

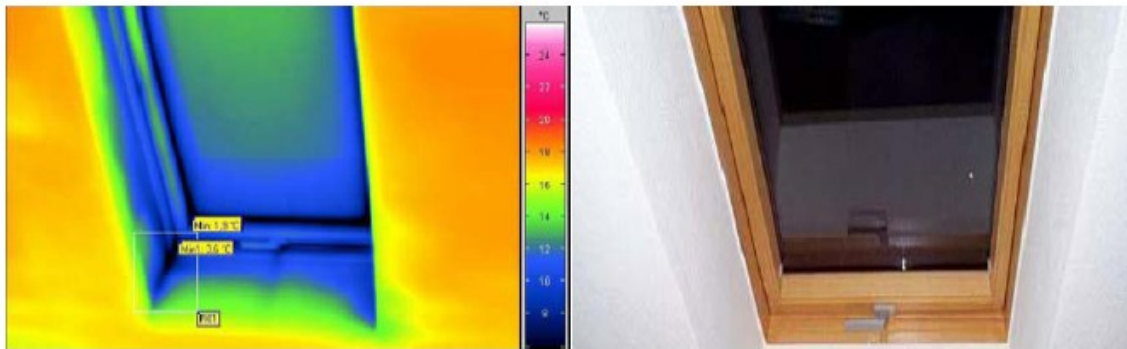


Етк.5.26 (8)





Εικ.5.27 (8)



Εικ.5.28 (8)

Παρατηρήσατε ότι για κάθε θερμική εικόνα υπάρχει και η αντίστοιχη ψηφιακή της απεικόνιση για την αποφυγή εσφαλμένων συμπερασμάτων. Ο θερμογράφος οφείλει, βέβαια, την πρώτη κρίση του θερμογραφήματος να την κάνει *in situ* γιατί και η ψηφιακή φωτογραφία μπορεί να παραλείψει κάτι σημαντικό πχ ένα θερμαντικό σώμα.

#### Λύσεις

- 5.21 θερμογέφυρα
- 5.22 υγρασία
- 5.23 υγρασία
- 5.24 εισροή νερού
- 5.25 θερμογέφυρες
- 5.26 κακώς τοποθετημένη μόνωση
- 5.27 θερμογέφυρες
- 5.28 εισροή αέρα

Σ' αυτό το σημείο πρέπει να τονίσουμε για άλλη μια φορά ότι η παθητική κτηριακή θερμογραφία είναι μια ποιοτική μέθοδος εκτίμησης των σφαλμάτων στην κατασκευή σ' ένα κτήριο. Χωρίς αυτό, βέβαια, να σημαίνει ότι η γνώση των θεωρητικών στοιχείων δεν είναι σημαντικότερη. Στο επόμενο κεφάλαιο θα δούμε την εφαρμογή που έκανε ο συντάκτης της παρούσης διπλωματικής σ' ένα κτήριο μορφής μεζονέτας τα τεχνικά χαρακτηριστικά του οποίου θα ειπωθούν στο κεφάλαιο 6.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6° : Θερμογραφική μελέτη μεζονέτας στην Ελλάδα**

### **6.1 Εισαγωγή**

Η θερμογραφία είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει ένα είδος φωτογραφίας που χρησιμοποιεί υπέρυθρου μήκους κύματος ακτινοβολία για να δημιουργήσει την εικόνα σε αντιπαραβολή με τις ψηφιακές φωτογραφίες που χρησιμοποιούν το ορατό φως. Είναι γνωστή και ως θερμική επεξεργασία ή υπέρυθρη τεχνική. Η παθητική κτηριακή θερμογραφία χρησιμοποιείται για τον καθορισμό είτε ποιοτικά είτε ποσοτικά των

απωλειών θερμότητας, της εμφάνισης υγρασίας καθώς και της παρασιτικής εισροής αέρα. Επιπρόσθετα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αναγνώριση διαφορετικών υλικών, όπως θα φανεί και στην μελέτη μας. (12), (4)

## 6.2 Σκοπός

Αυτή η μελέτη είχε σα σκοπό να συνδυάσει τις γενικές υπέρυθρες φωτογραφίες των προσώπων του κτηρίου με τις κοντινές φωτογραφίες ειδικού ενδιαφέροντος και τον προσδιορισμό προβλημάτων στο κτηριακό κέλυφος. Τελικά, λόγω της εξωτερικής βλάστησης κατέστη αδύνατη η εξωτερική θερμογραφική αποτύπωση του κτηρίου εκτός από μία φωτογραφία της βορινής πρόσοψης. Όμως, οι φωτογραφίες των επίμαχων σημείων αποκάλυψαν ορισμένα προβλήματα που κυρίως συνοψίζονται σε χρήση κακών κουφωμάτων που επιτρέπουν την παρασιτική εισροή αέρα και δημιουργούν αισθήματα δυσφορίας. Ο χρήστης της κατοικίας δεν είχε, όπως είπε, προβλήματα, αλλά ο τρόπος που αντιλαμβάνεται ο κάθε άνθρωπος τη θερμοκρασία είναι διαφορετικός. Πάντως, το ότι με υποδέχθηκε με το κοντομάνικο στον κήπο του στις 12/10/10 που έκανε κρύο και έβρεχε, καθώς και το γεγονός ότι επιδιορθώνει αναμεταδότες στα ελληνικά βουνά εξηγεί, γιατί δεν αισθάνεται τις εισροές αέρα στο σπίτι του. **Ο θερμογράφος πάντα πρέπει να προσπαθεί να μάθει τις συνήθειες των χρηστών της κάθε κατοικίας προς θερμογράφιση, γιατί πολλές φορές οι συνήθειες πρέπει να ληφθούν υπόψη στη ανάλυση των θερμικών εικόνων και στην αναζήτηση των αιτιών των προβλημάτων που αναγνωρίζουμε στις φωτογραφίες.** Παρόλο που κατεγράφησαν οι θερμοκρασίες περιβάλλοντος με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια την στιγμή της θερμογράφισης, οι απόλυτες θερμοκρασίες που αποκτήθηκαν από την θερμοκάμερα πρέπει να χρησιμοποιηθούν με επιφύλαξη. Αυτό συμβαίνει, καθώς την εποχή που έγινε η συγκεκριμένη θερμογράφιση ήταν αδύνατον να τηρηθούν σημαντικές συνθήκες κάτω από τις οποίες έπρεπε να γίνει η λήψη των θερμοφωτογραφιών. Επιπλέον, αλλαγές στη γωνία της κάμερας, απόσταση, αλλαγή υλικών μπορεί να επηρέασαν δυσμενώς τις θερμοκρασίες αυτές. Παρόλα αυτά συνδυάζοντας εικόνες με ίδιες παραμέτρους οι σχετικές αλλαγές στην θερμοκρασία κατά μήκος ενός επιλεγμένου υλικού είναι ακριβέστατες και μια ποιοτική ανάλυση είναι εφικτή. Στη μελέτη αυτή, λοιπόν, επιλέχθηκε μια ποιοτική προσέγγιση του προβλήματος (qualitative survey) στην οποία κάθε είδους ανωμαλίες θα αναγνωριστούν με μικρή περιγραφή κάτω από τις εικόνες και θα εντοπίζονται με βέλη πάνω σε αυτές. Οι εικόνες δεν είναι απλές φωτογραφίες, αλλά παρέχουν πάνω τους όλες τις επιφανειακές θερμοκρασίες γεγονός που επιτρέπει σε κάποιον τρίτο να επαναλάβει τη διαδικασία και τα ευρήματα αυτής της έρευνας αρκεί να έχει εγκατεστημένο το report8.5 της εταιρίας Flir. Επίσης, έχουν περιληφθεί σχετικές περιβαλλοντολογικές και μετεωρολογικές πληροφορίες.

## 6.3 Περιβαλλοντικές πληροφορίες

Η διαδικασία για τον προσδιορισμό της καταλληλότητας της σύνταξης μιας κτηριακής θερμογραφικής μελέτης συνήθως ξεκινά πέντε μέρες πριν την μελέτη. Οποιοσδήποτε σκέψεις αναλύονται με τον πελάτη τουλάχιστον δύο μέρες πριν προκειμένου να γίνει σωστά η έρευνα και όποιοι συμβιβασμοί να ληφθούν υπόψη στα τελικά αποτελέσματα. Μεγάλη προσοχή θα πρέπει να δοθεί στα μετεωρολογικά δεδομένα που μπορεί να οδηγήσουν σε εσφαλμένα συμπεράσματα.

Την τοποθεσία αρχικά επισκεφτήκαμε το απόγευμα της 12<sup>ης</sup> Οκτωβρίου του 2010. Ήταν σκοτεινή και βροχερή μέρα με αρκετό αέρα από τα βορειοανατολικά. Σκοπός ήταν μια πρώτη εκτίμηση των σημείων που μπορούν να θερμογραφηθούν. Ένα από τα προβλήματα

που διαπιστώθηκε ήταν η έλλειψη προσβασιμότητας στις εξωτερικές όψεις λόγω της αυξημένης βλάστησης στις τρεις πλευρές της κατοικίας και της κολλητής κατοικίας στη νότια πλευρά της. Επισημάναμε στον ιδιοκτήτη ότι η θερμογράφιση θα λάμβανε χώρο τέσσερις μέρες μετά, μόνο αν δεν είχε βρέξει τη προηγούμενη μέρα και ο άνεμος δεν ξεπερνούσε τα 10 m/s σε ταχύτητα. Σ' αυτήν την περίπτωση θα έπρεπε να ανάψει μια μέρα πριν το σύστημα θέρμανσης του κτηρίου για τουλάχιστον 24 ώρες πριν τη θερμογράφιση, ώστε να έχει σταθεροποιηθεί η θερμική ροή ανάμεσα στο εξωτερικό και το εσωτερικό. Ένα σημαντικό λάθος που έγινε ήταν ότι δεν τοποθετήθηκαν data loggers για την ακριβή καταγραφή των θερμοκρασιακών παραμέτρων. Συνίσταται σε μελλοντικές έρευνες να μην γίνει το ίδιο λάθος, καθώς είναι ωφέλιμο να ξέρεις την εξέλιξη των θερμοκρασιών βάση ενός οργάνου που είναι ανεπηρέαστο από ανθρώπινους χειρισμούς.

Οι συνθήκες που λήφθηκαν υπόψη είναι

Συνθήκες	Προτεινόμενες	Πραγματικές
Απαραίτητες επιφάνειες ελεύθερες από απευθείας ηλιακή ακτινοβολία για τουλάχιστον 3 h	Ναι	Ναι
Θερμοκρασιακή διαφορά μέσα και έξω από το κτήριο >10°C	Ναι	Όχι
Θερμοκρασιακή διαφορά μέσα και έξω από το κτήριο >5°C για το τελευταίο 24h	Ναι	Ναι
Θερμοκρασία περιβάλλοντος εντός του +/- 3°C όσο διήρκεσε η έρευνα	Ναι	Ναι
Θερμοκρασία περιβάλλοντος εντός του +/- 10°C για το τελευταίο 24h	Ναι	Ναι
Όχι κατακρημνίσματα το τελευταίο 24h	Ναι	Ναι
Στεγνές επιφάνειες προς θερμογράφιση	Ναι	Ναι
Ταχύτητα ανέμου <5 m/s (μέτρηση 2 m πάνω από το έδαφος)	Ναι	Ναι

Η θερμογράφιση έγινε τελικά τέσσερις μέρες μετά, στις 16 Οκτωβρίου του 2010 ώρα έναρξης 6:00 , ώρα λήξης 6:55 και τηρήθηκαν οι παραπάνω συνθήκες. Τη μέρα αυτή από το meteo.gr πάρθηκαν τα παρακάτω μετεωρολογικά στοιχεία. (η εσωτερική θερμοκρασία προφανώς μετρήθηκε με το όργανο χειρός που είχαμε)

	Αρχή	Λήξη
Θερμοκρασία περιβάλλοντος	19	20
Εσωτερική θερμοκρασία	25	24.5
Διεύθυνση ανέμου	Βορειοανατολική	Βορειοανατολική
Ταχύτητα ανέμου	2 m/s	2 m/s
Κατακρημνίσματα	Όχι	Όχι
Κάλυψη Νεφώσεων	60%	60%
Ανατολή	7:15	

#### 6.4 Στοιχεία Κατοικίας

Το κτήριο δεν επιλέχτηκε τυχαία. Το ισόγειο είναι κατασκευασμένο το 1978, ενώ η σοφίτα ολοκληρώθηκε το 1982. Έτσι, ήταν σχεδόν σίγουρο ότι θα εντοπιζόντουσαν αρκετά προβλήματα και θα παρουσίαζε ενδιαφέρον σαν αντικείμενο μελέτης. Δυστυχώς, στην περίπτωση της μόνωσης λίγα προβλήματα αποκαλύφθηκαν στη θερμοκάμερα καθώς δεν κατέστη δυνατή η προαπαιτούμενη θερμοκρασιακή διαφορά των 10oC παρόλη τη λειτουργία

του συστήματος θέρμανσης όλη την προηγούμενη μέρα. Αυτό καταδεικνύει το γεγονός ότι η κτηριακή θερμογραφία είναι εποχιακή μέθοδος και ο χειμώνας είναι η εποχή που ενδείκνυται η εφαρμογή της στα κτήρια. Η προσβασιμότητα εξωτερικά είναι περιορισμένη γεγονός που καταδεικνύει το μειονέκτημα της μεθόδου που πολλές φορές είναι ανεφάρμοστη. Το κτήριο είναι ένα ισόγειο και μία σοφίτα. Το πάτωμα του ισόγειου είναι με πλακάκια ενώ της σοφίτας με ξύλο. Οι εξωτερικοί τοίχοι είναι φτιαγμένοι από συνδυασμό τσιμεντόλιθων και δρομικής οπτοπλινθοδομής, ενώ εσωτερικά είναι σοβατισμένοι. Εξωτερικά έχει πεταχτό σοβά. Μόνωση στο ισόγειο δεν υπάρχει ενώ στην σοφίτα υπάρχει ασφαλτόπανο στην οροφή και εξυλασμένη πολυστερίνη πάχους πέντε πόντων στους τοίχους. Η οροφή είναι φτιαγμένη από σανίδες ξύλου τη μία δίπλα στην άλλη. Τα κουφώματα των ανοιγμάτων είναι ξύλινα και τα τζάκια είναι όλα μονά. Γενικά δεν έχει δοθεί η πρέπουσα σημασία στην τοποθέτησή τους όπως θα φανεί και στην μελέτη ενώ το μεγαλύτερο μέρος των ανοιγμάτων έχει προσανατολισμό προς τον βορρά!! που βιοκλιματικά είναι εντελώς λανθασμένο. Στο νότο το κολλητό σπίτι δεν επιτρέπει την ύπαρξη ανοιγμάτων. Η κατοικία έχει κεντρικό σύστημα θέρμανσης, ενώ το τζάκι στην σοφίτα συνεισφέρει και αυτό στη θέρμανση της σοφίτας. Παρακάτω παρατίθενται φωτογραφίες της κατοικίας.



**Εικ.6.1** Βόρεια όψη



**Εικ.6.2** Βόρειο ανατολικό προοπτικό





Εικ.6.3 Λεπτομέρεια 1  
6.5 Όργανα που χρησιμοποιήθηκαν

6.5.1 Τηλεθέρμετρο με κάμερα FLIR T400

Imaging Performance	
Field of view/min focus distance	25°x19° / 0.4 m (1.31 ft)
Thermal sensitivity (NETD)	0.05°C @ +30° (+86°F) / 50mK
Detector type	Focal Plane Array (FPA), uncooled microbolometer
IR resolution	320 x 240
Spectral range	7.5 to 13 µm
Digital zoom and pan/focus	1-8X continuous/auto & manual focus
IFOV (with 25° lens)	1.36 mRad
Image Presentation	
Image modes	Thermal, Visual, Thermal Fusion
Thermal Fusion	Merging of visible light and IR image (Interval, Above/Below)
FLIR Fusion	Picture in Picture (PIP) resizable and movable
Image annotation	Voice annotation (60 seconds) Text from touch screen soft keys Text from predefined list Sketch Image markers on IR/Visual
Display	Built-in touch-screen LCD display, 3.5 in.
Visible light camera resolution	1280 x 1024 (1.3 megapixels)
Video lamp	1000 CD
Measurement	
Object temperature ranges	-20°C to +120°C (-4°F to +248°F), 0°C to 350°C (32°F to 662°F), Optional up to +1200°C (+2192°F)
Accuracy	±2°C (±3.6°F) or ±2% of reading
Measurement modes/analysis	5 Spotmeters, 5 Box areas, Isotherm, Difference temperature function, Auto hot/cold spot
Alarms	Audible/Visual alarms (above/below) on spotmeters, area boxes and difference temperature
Set-up controls	Mode selector, color palettes (BW, BW inv, Iron, Rain, Rain HC, Bluered), configure info to be shown in image, local adaptation of units, language, date and time formats, and image gallery
Emissivity table	Emissivity list of predefined materials
Measurement corrections	Reflected ambient temperature and emissivity correction
Image Storage	
Digital storage type/capacity	Removable SD Memory Card/1000+ JPEG images
Image storage mode & formats	IR/visible light, simultaneous storage of IR and visible images, standard JPEG, MPEG4 video (non-rad. video)
Laser LocaIR™	
Classification/Type	Class 2/Semiconductor AlGaInP Diode Laser: 1mW/635 nm (red)
Power Source	
Battery type	Rechargeable Lithium-Ion battery
Battery operating time	4 hours +
Battery charging	2 bay charging system, 10-16 V input. Charging status indicated by LED's
AC operation	AC adapter, 90-260 VAC input. 12 V output to camera
Voltage	11-16 VDC
Power management	Automatic shut down and sleep mode after settable time
Environmental	
Operating temperature range	-15°C to +50°C (5°F to 122°F)
Storage temperature range	-40°C to +70°C (-40°F to +158°F)
Humidity	95% relative humidity +25°C to +40°C (+77°F to +104°F) non condensing
Water and dust resistant (encapsulation)	IP 54, IEC 529
Shock	25G, IEC 68-2-29
Vibration	2G, IEC 68-2-6
Physical Characteristics	
Weight	0.88 kg (1.94 lb.)
Size (L x W x H)	106 x 201 x 125 mm (4.2 x 7.9 x 4.9 in.), with lens pointing forward
Tripod mounting	1/4" - 20
Interfaces	
USB (cable included)	Image transfer to PC
Video output	NTSC Video
Software	
QuickReport™	Included
Reporter™ 8 (Microsoft® Word based)	Optional

Camera Includes:	
IR camera with F 1.3 25° lens, image frequency 30Hz	
Integral visible light camera with lamp	
Transport case	
Camera Lens Cap	
Battery	
2-bay battery charger	
Headset, 3.5 mm plug	
Video Cable	
USB cable Std A <-> Mini B, 2 m/6.6 ft.	
SD Memory Card	
Sun Shield	
Stylus Pen	
User documentation CD-ROM, 21 languages	
Power supply	
Getting Started guide	
Interchangeable lenses/options	
Optional Add-on optics, Telephoto lens, 15°	
Optional Add-on optics, Wide angle lens, 45°	
High temperature option (up to +1200 °C/+2192 °F)	
12 volt auto adapter	
Hip/Belt mounted camera holster	
Neckstrap	
USB-A for memory stick	



From Left to right  
voice annotation, I



Εικ. 6.4

Τα πιο σημαντικά στοιχεία της θερμοκάμερας ήταν η πρώτη κατηγορία στον πίνακα αυτό υπό τον τίτλο imaging performance (επίδοση εικόνας). καθώς και η ακρίβεια (accuracy) που δίνεται παρακάτω  $\pm 2\%$ . Το κόστος του μοντέλου T400 είναι περίπου στα 11000 ευρώ.

### 6.5.2 Τεχνικά Χαρακτηριστικά του Skywatch Atmos

Το Skywatch Atmos είναι ένα όργανο μέτρησης σχετικής υγρασίας, θερμοκρασίας και ταχύτητας ανέμου και είναι ικανό να υπολογίσει και το σημείο δρόσου. Παρακάτω παραθέτουμε τα τεχνικά του χαρακτηριστικά

#### Skywatch Atmos Wind Meter Specifications

- Wind Speed Range and Accuracy: Up to 125 mph (200 kph) +/- 5%
- Temperature Range and Accuracy: -4° to 176° F (-20° to 80° C) +/- 1° (0.5° C)
- Εύρος υγρασίας και ακρίβεια: 2% to 100% rH +/- 3.5%
- Ανάλυση: 0.1 unit
- Μονάδες μέτρησης: Knots, mph, kph, m/s, fps, % rH, Fahrenheit and Celsius
- Λειτουργίες ανεμόμετρου: Τρέχουσα ταχύτητα ανέμου
- Λειτουργίες θερμομέτρου: Τρέχουσα θερμοκρασία και σημείο ψύχους
- Μπαταρία: Replaceable CR2032 Lithium Battery (Included)

Εικ.6.5

- Διαστάσεις: 2.5" x 4.75" x 1.25" / 62 x 210 x 32 mm
- Βάρος: 4.0 ounces (115 grams)
- Τιμή: 120 ευρώ



### 6.6 Προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν

- Build IR Με την χρήση αυτού του προγράμματος δημιουργήθηκαν τα εκάστοτε πανοράματα που θα δούμε αναλυτικά παρακάτω. Προσοχή δεν είναι αυτή η κύρια λειτουργία του. Το build IR είναι ένα πακέτο λογισμικού που σχεδιάστηκε ειδικά για να αναλύει τα κτηριακά θερμογραφήματα. Χαρακτηριστικά μπορείς να εντοπίσεις προβλήματα υγρασίας, αναποτελεσματική μόνωση, να υπολογίσεις R,U Values, να υπολογίσεις ενεργειακά κόστη και εξοικονόμηση ενέργειας, να εντοπίσεις εισροές αέρα, να εργαστείς με data loggers που δεν χρησιμοποιήσαμε στην εργασία δηλαδή με συσκευές που συλλέγουν πληροφορίες αυτόματα ανά τακτά χρονικά διαστήματα και τέλος η δυνατότητα σύνταξης μελέτης. Δηλαδή προσφέρεται και για ποιοτική και για ποσοτική επεξεργασία. Στην μελέτη δεν χρησιμοποιήθηκαν τα αριθμητικά εργαλεία παρά για ιδιωτική μόρφωση διότι θα ξεφεύγαμε από τον σκοπό της εργασίας που ήταν η ποιοτική προσέγγιση της κτηριακής θερμογραφίας.
- Report 8.5 Με αυτό το πρόγραμμα εκπονήθηκε η μελέτη της μεζονέτας. Ο λόγος που χρησιμοποιήθηκε αυτό και όχι το Build IR για αυτό τον σκοπό είναι ότι το report

8.5 εγκαθίσταται πάνω στο Word 2007 και είναι πιο πρακτική η σύνταξη της εργασίας. Οι φωτογραφίες της μελέτης είναι θερμογραφήματα και όχι εικόνες JPG!

και τα δύο παραπάνω προγράμματα μπορεί ο οποιοσδήποτε ενδιαφερόμενος να τα κατεβάσει από το official site της εταιρίας FLIR.

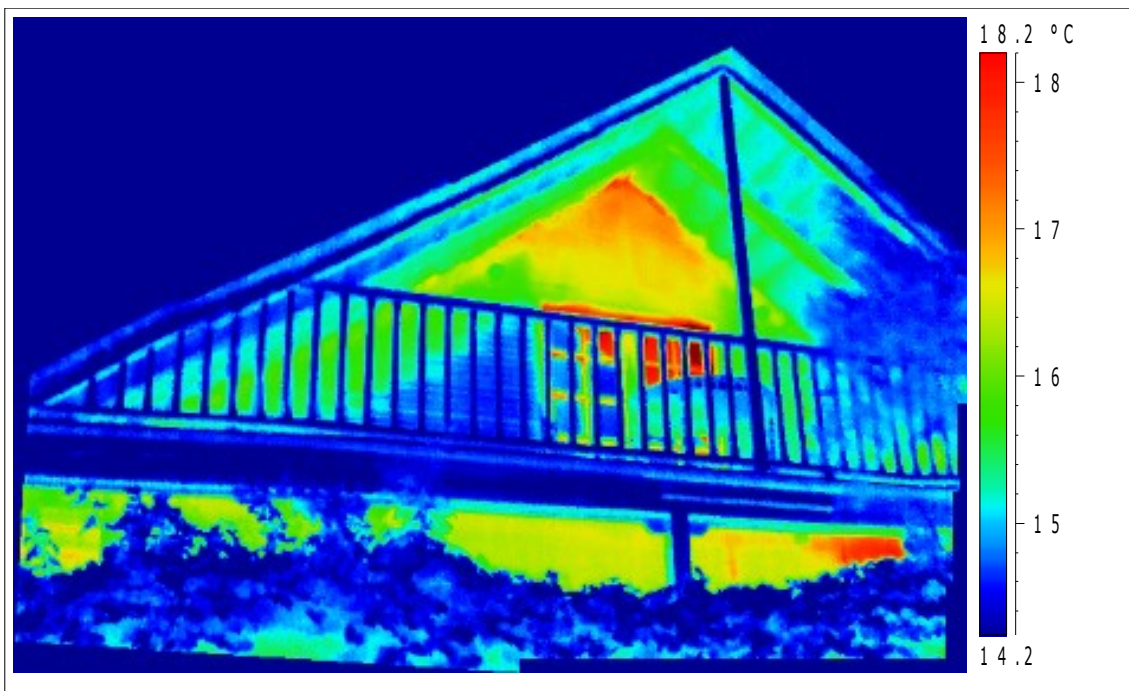
- Word 2007 Για την συγγραφή της διπλωματικής εργασίας
- Power Point 2007 για την σύνταξη της παρουσίασης της παρούσης διπλωματικής εργασίας

Παρακάτω παραθέτουμε την μελέτη με το Report 8.5

## 6.7 Θερμογραφική μελέτη μεζονέτας 90 m<sup>2</sup>

### Θερμογραφική Μελέτη

Θερμογράφος : Φλώρος Παναγιώτης  
Ημερομηνία πρώτης επίσκεψης : 12/10/10  
Ημερομηνία θερμογράφισης : 16/10/10  
Πελάτης : Ιωάννης Σκεντέρης  
Θέση : Κάντζα Παλλήνης





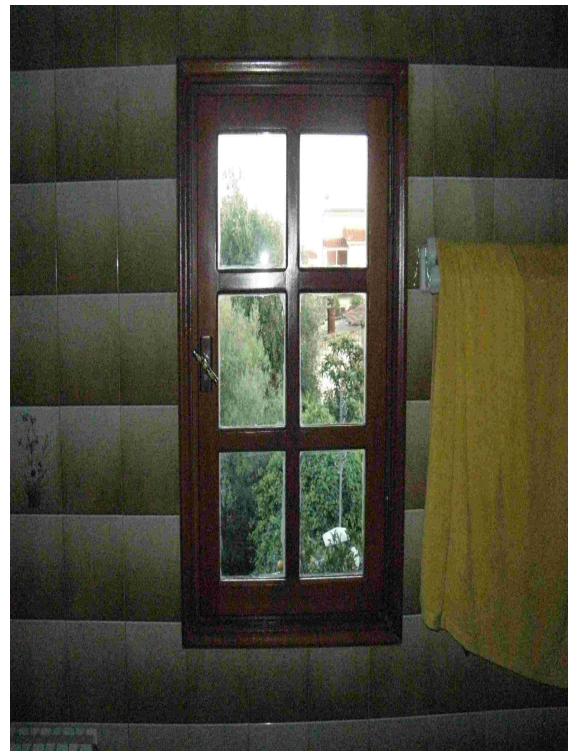
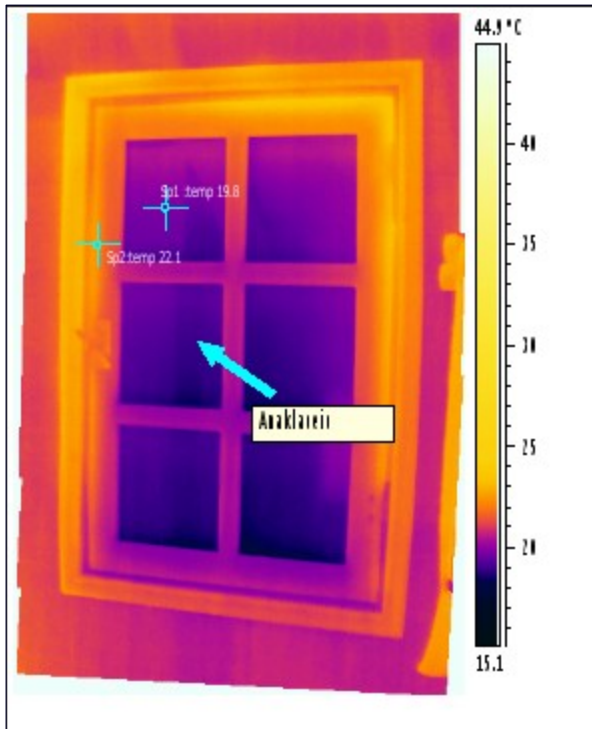
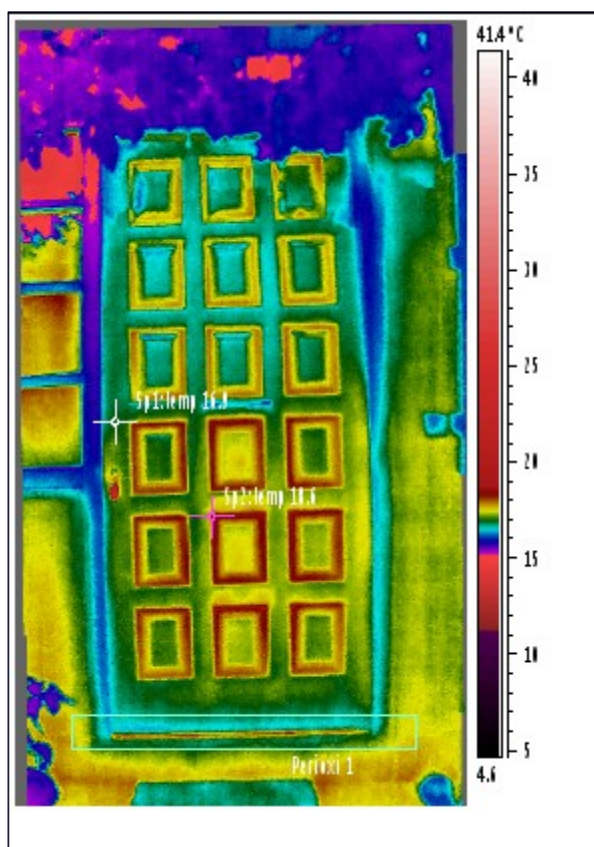


Image Time	6:05:34 μ
Image Camera Type	FLIR T400 Western
Emissivity	0.95
Object Distance	1.0 m
Reflected Apparent Temperature	26.0 °C
Atmospheric Temperature	25.0 °C
Iso1 Temperature	15.2 °C
Iso1 Temperature	15.2 °C
Sp1 Temperature	19.8 °C
Sp2 Temperature	22.1 °C

Τοποθεσία	Μπάνιο σοφίτας	



17



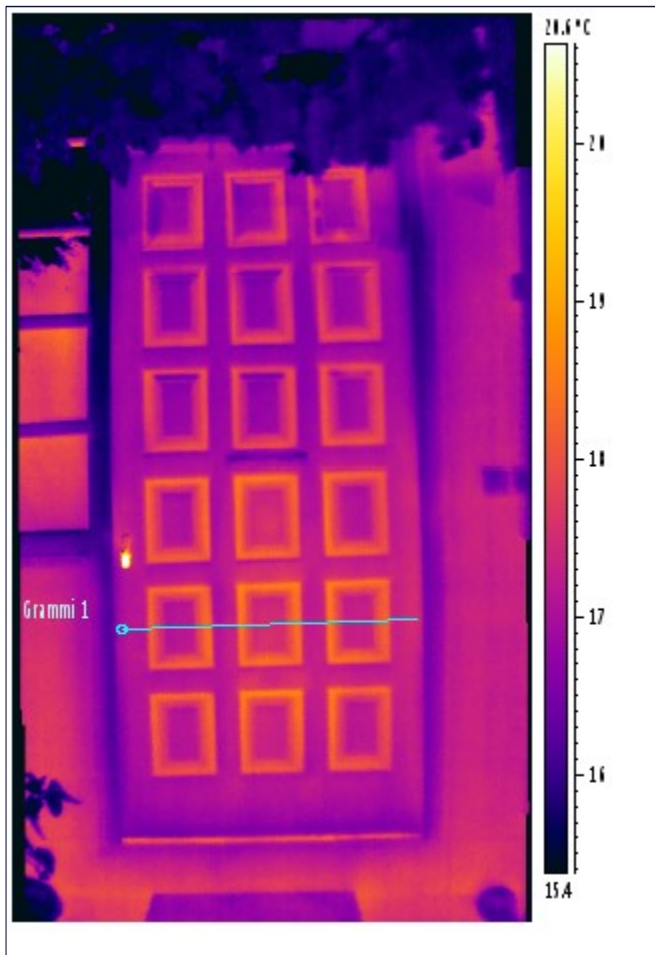
Date	16/10/2010
Image Time	6:24:34 πμ
Image Camera Type	FLIR T400 Western
Emissivity	0.95
Object Distance	1.0 m
Reflected Apparent Temperature	26.0 °C
Atmospheric Temperature	25.0 °C
Iso1 Temperature	15.2 °C
Perioxi 1 Max. Temperature	18.3 °C
Sp1 Temperature	16.9 °C
Sp2 Temperature	18.6 °C

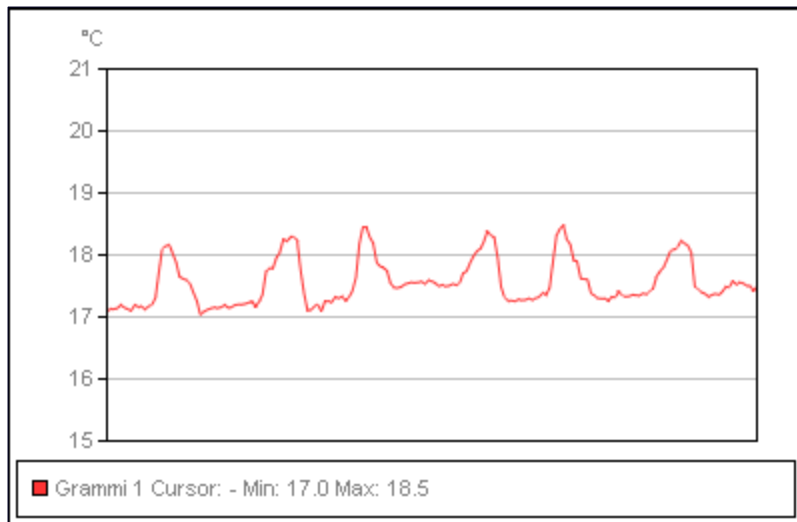
Τοποθεσία	Κεντρική Είσοδος
-----------	---------------------

**Άλλες παρατηρήσεις:** η ψηφιακή εικόνα είναι της ίδιας πόρτας αλλά από το εσωτερικό του σπιτιού! Αν είχε δημιουργηθεί τεχνητή υποπίεση και όχι μόνο λόγω διαφοράς θερμοκρασίας  $\Delta T$  το πρόβλημα θα ήταν εμφανέστερο και πιθανότατα θα είχαν φανεί και άλλες ατέλειες.

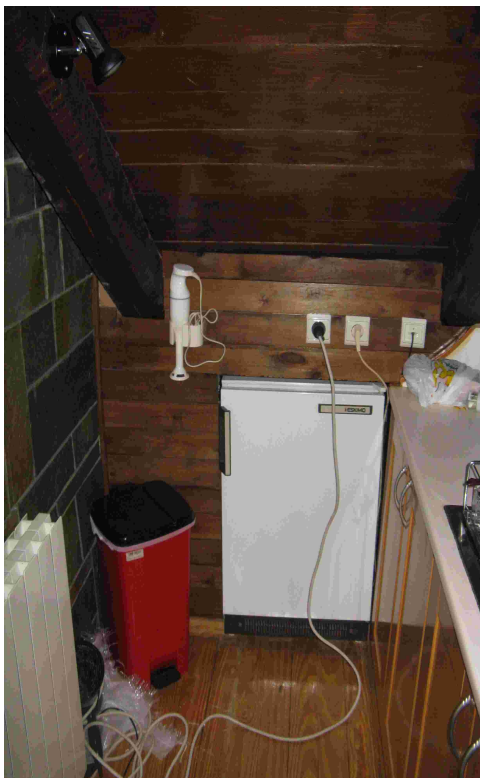
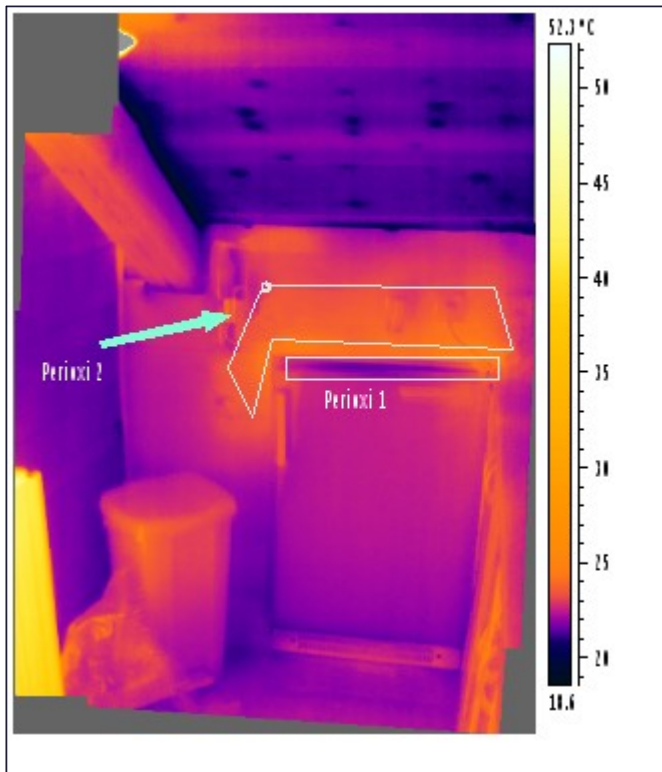
**Σχόλιο:** Η συγκεκριμένη εξώπορτα, παρουσιάζει διεισδύσεις αέρα από τα ορθογώνια διακοσμητικά τμήματα (Sp2) καθώς και από το χαμηλότερο τμήμα της (περιοχή 1).

**Προτάσεις:** Η εξώπορτα θα πρέπει να αντικατασταθεί πλήρως, το κόστος επισκευής της στην κατάσταση που βρίσκεται δεν αξίζει.





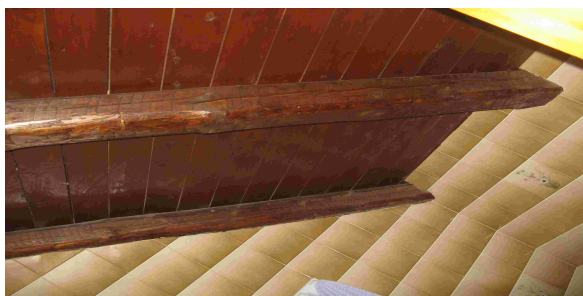
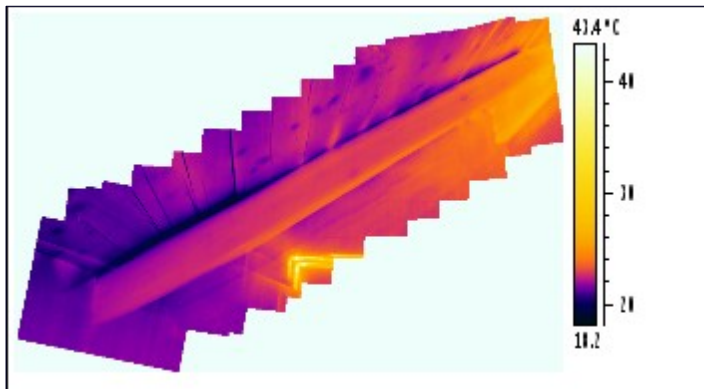
**Θερμοκρασίες κατά μήκος της γραμμής 1**



Date	16/10/2010
Image Time	6:10:27 πμ
Image Camera Type	FLIR T400

	Western
Emissivity	0.95
Object Distance	1.0 m
Reflected Apparent Temperature	26.0 °C
Atmospheric Temperature	25.0 °C
Iso1 Temperature	15.2 °C
Perioxi 1 Max. Temperature	24.7 °C

Τοποθεσία	νοτιοδυτική γωνία σοφίτας
<p><b>Άλλες Παρατηρήσεις:</b> Οι θερμοκάμερες έχουν μικρότερη ανάλυση από τις ψηφιακές. Οπότε για να παρθεί μια φωτογραφία σαν αυτή από κοντινή απόσταση πολλές φορές πρέπει να συνδυαστούν με τη βοήθεια του Build IR περισσότερες της μια φωτογραφίας. Εδώ στην θερμογραφία δεν βγήκε το φως πάνω αριστερά που όμως φαίνεται στην ψηφιακή. Πριν την φωτογραφία θέρμαινε την περιοχή 2! Αυτό υποδεικνύει την σημαντικότητα της ψηφιακής φωτογραφίας.</p> <p><b>Σχόλιο:</b> Το μόνο που παρατηρώ είναι απώλειες από το ψυγείο (περιοχή 1). Προσοχή στις ανακλάσεις από το φως που είναι αριστερά (περιοχή 2).</p>	
<p><b>Προτάσεις:</b> Δεν φαίνεται να υπάρχει κάτι προς επιμέλεια</p>	



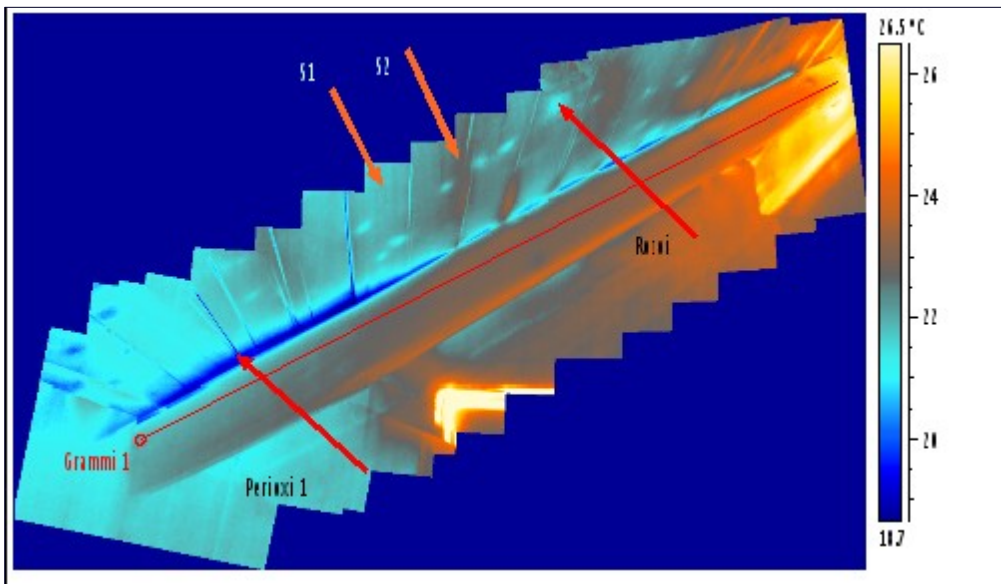
Date	16/10/2010
Image Time	6:07:57 πμ
Image Camera Type	FLIR T400



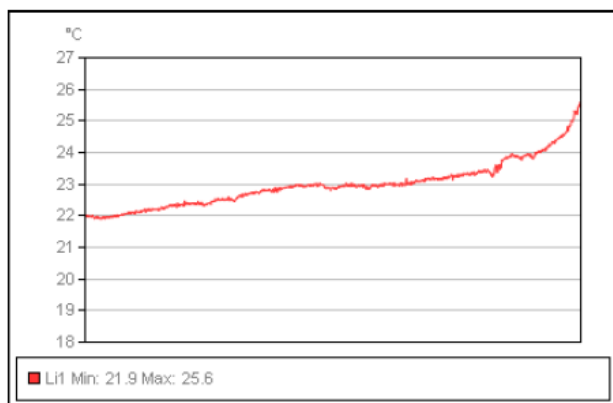
	Western
Emissivity	0.95
Object Distance	1.0 m
Reflected Apparent Temperature	26.0 °C
Atmospheric Temperature	25.0 °C
Iso1 Temperature	15.2 °C

Τοποθεσία	Δοκάρια Οροφής
-----------	----------------

**Άλλες παρατηρήσεις:** Θα αναπτύξουμε τα σχόλια στην επόμενη σελίδα για να παραθέσουμε επιπλέον την ίδια θερμική εικόνα με τρόπο που θα γίνουν εντονότερα τα σημεία παρατήρησης.







**Άνοδος θερμοκρασιών καθώς κινούμαστε προς την οροφή, γραμμή 1,  $\Delta T = 3,5 \text{ }^\circ\text{C}$**

**Σχόλιο:** Στην παραπάνω θερμική εικόνα παρατηρούμε τα εξής:

**A. Περιοχή 1** μεταξύ δοκού και οροφής: Παρουσιάζεται ψυχρότερη. Οι αιτίες μπορεί να είναι οι εξής:

- i. Στην περιοχή εκείνη, ο θερμός αέρας δυσκολεύεται να κυκλοφορήσει με συνέπεια την παρουσία χαμηλότερων πραγματικών θερμοκρασιών όπως αυτών που παρουσιάζονται ακριβώς πάνω από την οροφή.
- ii. Τοπική συγκράτηση μεγαλύτερου ποσοστού υγρασίας σε σχέση με τις παρακείμενες ανοικτές ελεύθερες επιφάνειες.

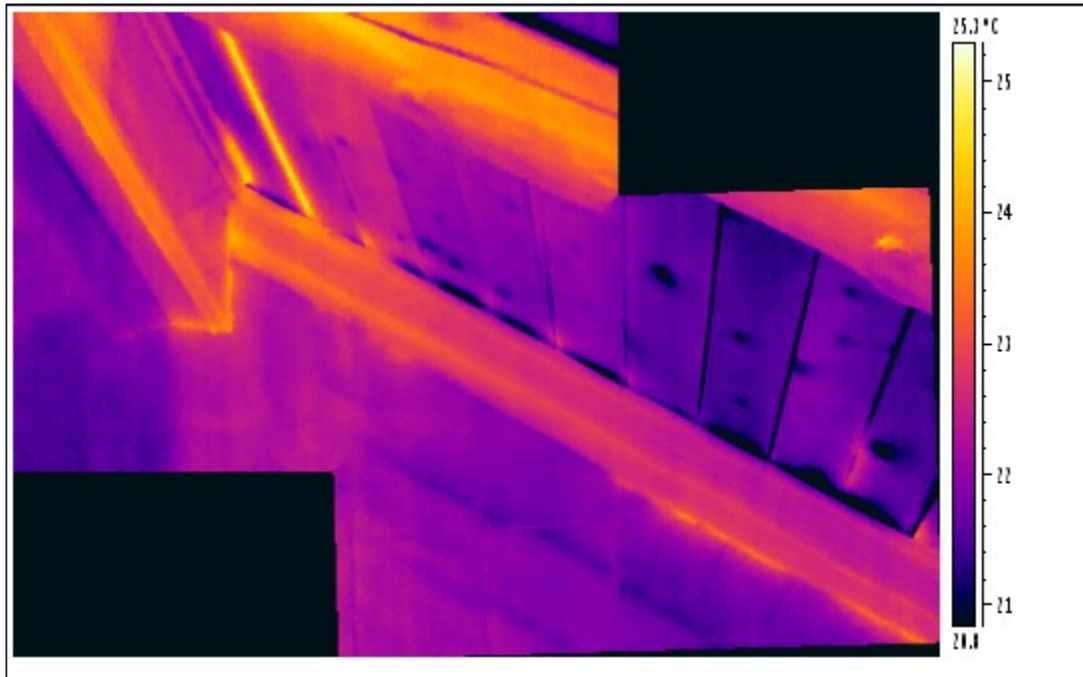
**B. Ρόζοι:** Οι ρόζοι του ξύλου όντας υλικό με μεγαλύτερη πυκνότητα σε σχέση με την υπόλοιπη σανίδα (Forestry Handbook Karl F. Wenger p.587), παρουσιάζουν υψηλότερη αγωγιμότητα συνεπώς παρουσιάζονται με χαμηλότερη πραγματική θερμοκρασία.

**Γ.** Η κατανομή θερμοκρασιών κατά μήκος της δοκού, είναι το αποτέλεσμα της συγκέντρωσης θερμότητας στα υψηλότερα στρώματα του άνω ορόφου σε σχέση με τα κατώτερα που παρουσιάζονται ψυχρότερα .

**Δ. Διακύμανση φαινόμενων θερμοκρασιών σε γειτονικές περιοχές της στέγης S1,S2.** Η αιτία για τη διακύμανση αυτή, είναι:

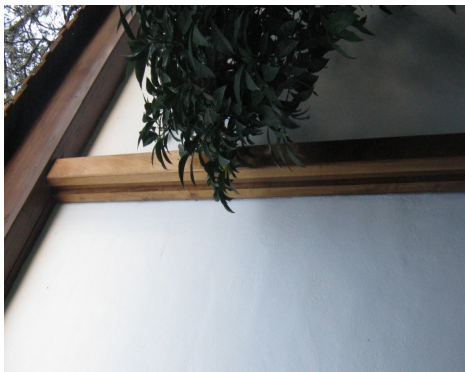
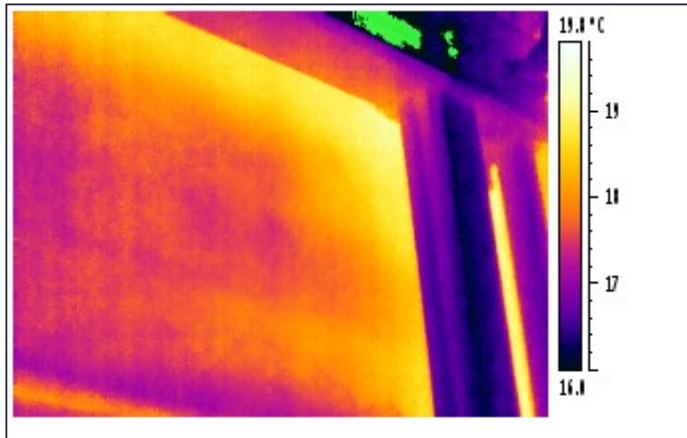
- i. Κακή κυκλοφορία αέρα στις σχισμές ένωσης των σανίδων.
- ii. Αυξημένη συγκράτηση υγρασίας στις ίδιες περιοχές.
- iii. Πιθανή ανάπτυξη θερμικής γέφυρας, λόγω ασυνέχειας του υλικού, στις ενώσεις των σανίδων.

**Προτάσεις:** Πάνω από τις σανίδες της οροφής έχει απλωθεί ασφαλτόπανο αλλά είναι πολύ πιθανό να έχει γίνει κακή τοποθέτηση. Συστήνεται έλεγχος της μόνωσης της οροφής



**Σχόλιο:** Επειδή παρατηρήθηκε το ίδιο ακριβώς φαινόμενο δηλαδή της κακής συναρμογής των σανίδων της οροφής, ρωτήσαμε τον ιδιοκτήτη της κατοικίας για τον τρόπο κατασκευής της στέγης. Όντως οι σανίδες απλά ακουμπάνε μεταξύ τους και δεν θηλυκώνουν η μία στην άλλη.

**Προτάσεις:** Ότι αναφέρθηκε και παραπάνω



123

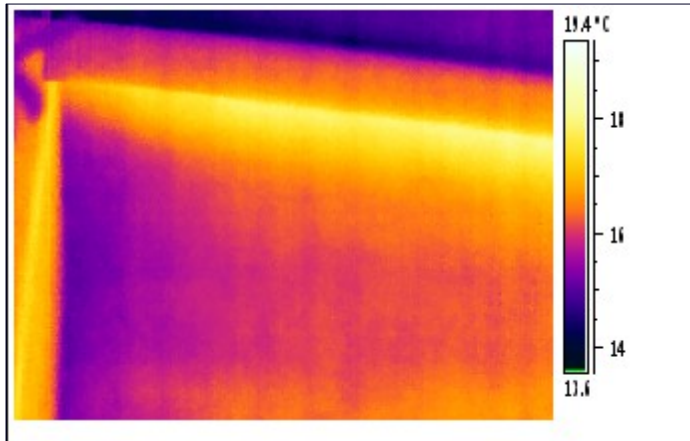
Date	16/10/2010
Image Time	6:36:59 πμ
Image Camera Type	FLIR T400 Western
Emissivity	0.95
Object Distance	1.0 m
Reflected Apparent Temperature	26.0 °C
Atmospheric Temperature	25.0 °C
1 Temperature	15.2 °C

Τοποθεσία	δυτική όψη
-----------	------------

**Άλλες παρατηρήσεις:** Ρωτήσαμε τον ιδιοκτήτη της κατοικίας για το αν έχουν μονωθεί σωστά τα δοκάρια και είπε ότι δεν θυμόταν. Η θερμική ροή παρόλο που χρησιμοποιήθηκε το σύστημα θέρμανσης την προηγούμενη μέρα ήταν μικρή και δεν μπορούμε να είμαστε σίγουροι για τα συμπεράσματα.

**Σχόλια:** Πιθανή θερμική γέφυρα στο δοκάρι.

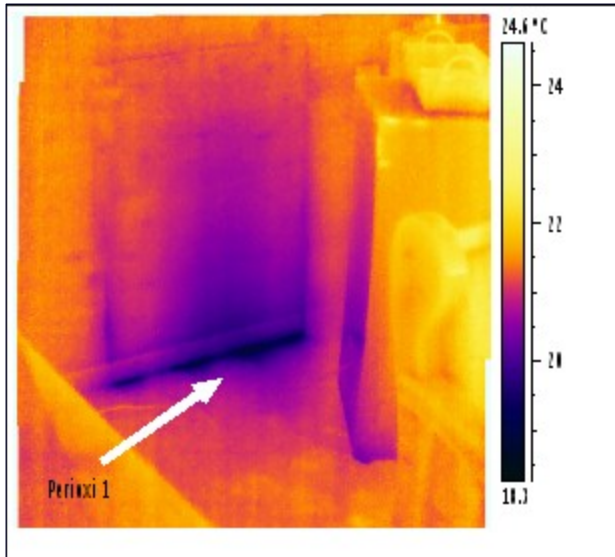
**Προτάσεις:** Χρειάζεται επανάληψη της θερμογράφησης τον χειμώνα ώστε να αναπτυχθεί η απαραίτητη θερμοκρασιακή διαφορά εντός και εκτός της κατοικίας.



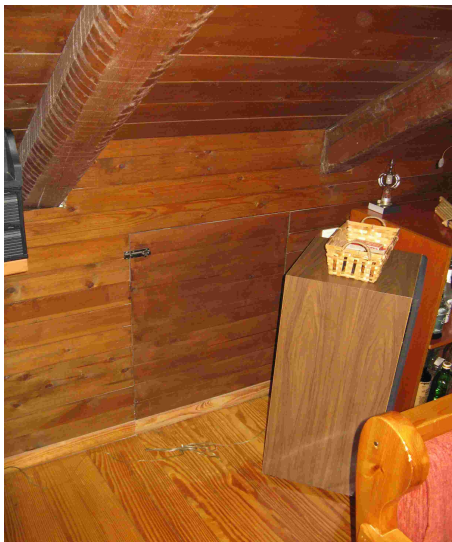
Date	16/10/2010
Image Time	6:36:02 πμ
Image Camera Type	FLIR T400 Western
Emissivity	0.95
Object Distance	1.0 m
Reflected Apparent Temperature	26.0 °C
Atmospheric Temperature	25.0 °C
1 Temperature	13.6 °C

Τοποθεσία	βορειοδυτική γωνία
<p><b>Άλλες παρατηρήσεις:</b> εσωτερικά στη συγκεκριμένη γωνία είχαμε δει στην θερμοκάμερα ότι όντως δημιουργείται θερμική γέφυρα όμως δεν μπορέσαμε να συνδυάσουμε τις επιμέρους μικρές φωτογραφίες σε πανοραμική.</p> <p><b>Σχόλια:</b> πιθανή θερμική γέφυρα στην γωνία του σπιτιού</p> <p><b>Προτάσεις:</b> Εφαρμογή εξωτερικού μονωτικού υλικού στις κολώνες</p>	





125



Date	16/10/2010
Image Time	6:18:08 πμ
Image Camera Type	FLIR T400 Western
Emissivity	0.95
Object Distance	1.0 m
Reflected Apparent Temperature	26.0 °C
Atmospheric Temperature	25.0 °C
Iso1 Temperature	15.2 °C
Iso1 Temperature	15.2 °C

Τοποθεσία	Ανατολική πορτα αποθηκευτικού
-----------	----------------------------------

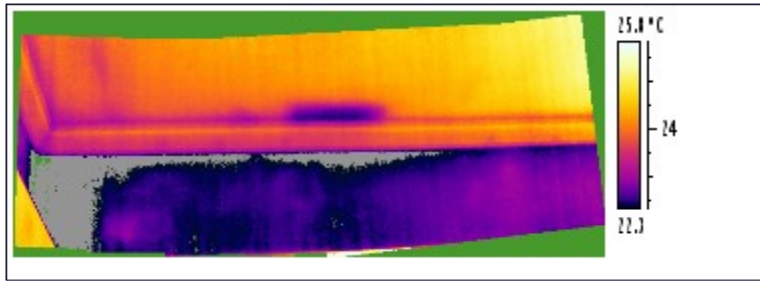
χώρου

**Άλλες παρατηρήσεις:** Η πόρτα αυτή ήταν πίσω από το μεγάφωνο της φωτογραφίας. Κατά την θερμογράφιση αποκαλύφθηκε ο χώρος αυτός χωρίς να μας το πει ο ιδιοκτήτης! Για αυτό μετακινήθηκε και το μεγάφωνο.

**Σχόλιο:** Διείσδυση αέρα κάτω από την πόρτα. Το pattern που εμφανίζεται στην περιοχή ένα, είναι χαρακτηριστικό διείσδυσης αέρα κάτω από την πόρτα. Συγκεκριμένα σχηματίζεται το ακτινωτό μοτίβο που βλέπετε.

**Recommendation:** Μόνωση των αρμών του κουφώματος καθώς και της μάζας της πόρτας.





126

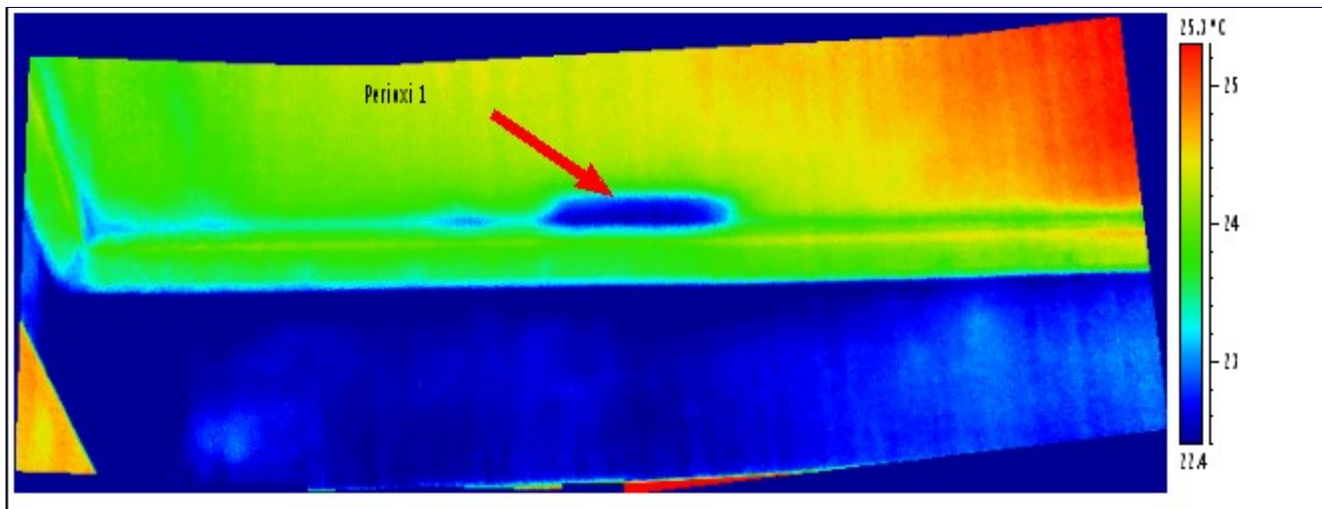
Date	16/10/2010
Image Time	6:20:42 πμ
Image Camera Type	FLIR T400 Western
Emissivity	0.95
Object Distance	1.0 m
Reflected Apparent Temperature	26.0 °C
Atmospheric Temperature	25.0 °C
Insulation 1 Temperature	22.0 °C
Insulation 1 Temperature	22.0 °C

Τοποθεσία	σαλόνι ισογείου
-----------	--------------------

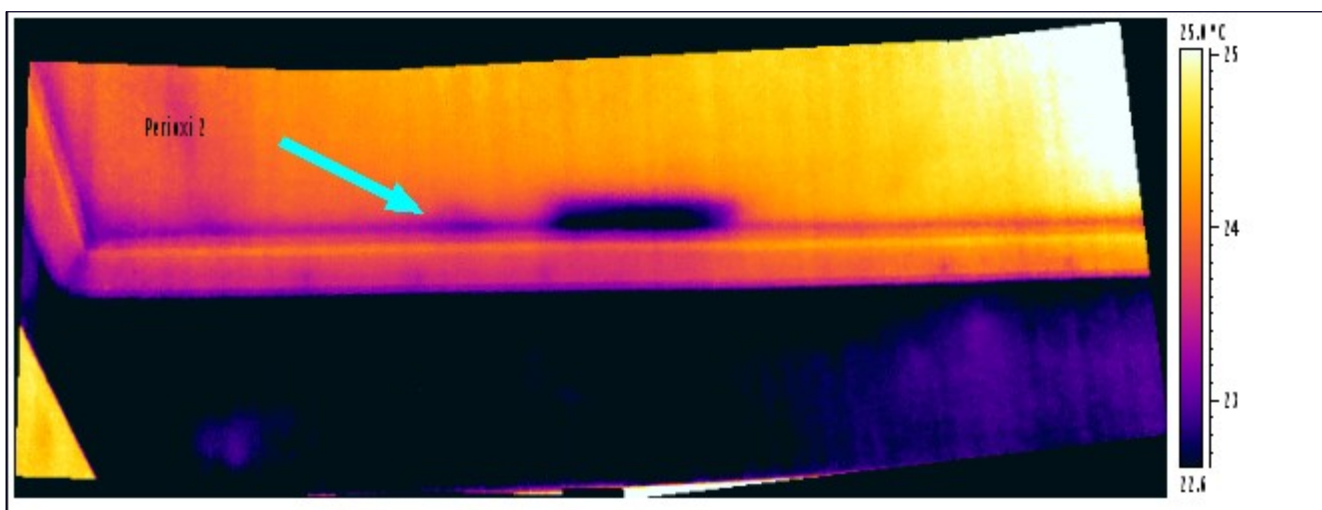
**Άλλες παρατηρήσεις: Ο ιδιοκτήτης δήλωνε ότι αποκλείεται να υπάρχει εκεί πρόβλημα. Όμως το θερμογράφημα το δείχνει καθαρά.**

**Σχόλια: Εμφάνιση υγρασίας ή πιθανή διαρροή**

**Προτάσεις:δες παρακάτω**

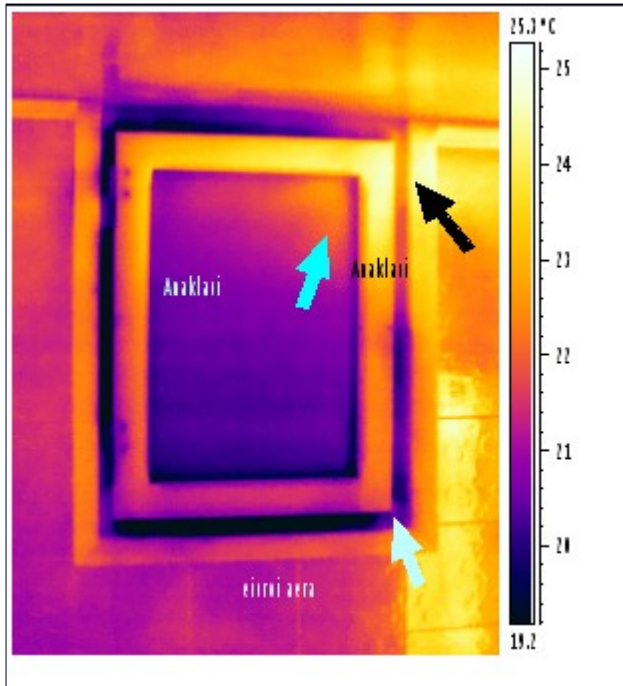


127



**Σχόλιο:** Περιοχή 1 εμφάνιση υγρασίας στο ταβάνι, που δεν είναι ορατή ακόμα. Πιθανή κακή υγραμόνωση στην εξωτερική πλευρά, έχει οδηγήσει στην εισροή υγρασίας από τον περιβάλλοντα εξωτερικό χώρο. Η υγρασία αυτή, έχει πιθανότατα διαδοθεί και δίπλα από την αρχική θέση της Περιοχή 2

**Προτάσεις:** πρώτα πρέπει να βεβαιωθούμε ότι στην περιοχή δεν έχει υδραυλικά συστήματα είτε από τα σχέδια του σπιτιού είτε κυκλοφορώντας ζεστό νερό στους σωλήνες και βλέποντας με την θερμοκάμερα αν υπάρχει σωλήνας στην περιοχή. Αν δεν έχει τότε συνίσταται η υγραμόνωση του εξωτερικού τοίχου στην προβληματική περιοχή.



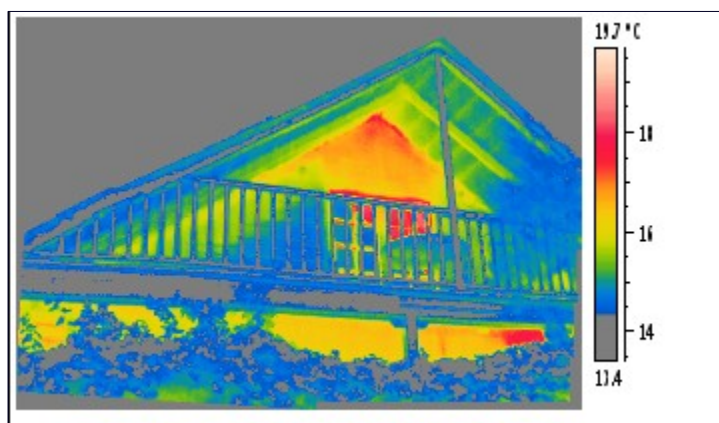
Date	16/10/2010
Image Time	6:46:09 πμ
Image Camera Type	FLIR T400 Western
Emissivity	0.95
Object Distance	1.0 m
Reflected Apparent Temperature	20.0 °C
Atmospheric Temperature	20.0 °C
Humidity 1 Temperature	14.4 °C

Τοποθεσία	Μπάνιο
-----------	--------

**Παρατηρήστε πώς η μεταβολή γωνίας, εισάγει ή απομακρύνει ανακλάσεις από το οπτικό πεδίο της κάμερας.**

**Σχόλια:** Παρατηρούμε εισροές αέρα περιφερειακά του ανοίγματος.  
 Στο άνω-δεξιό άκρο παρουσιάζονται ανακλάσεις από το καλοριφέρ που βρίσκεται στον δεξιό τοίχο. (η μικρή αλλαγή στην γωνία θερμογράφησης, απομάκρυνε τις ανακλάσεις από το οπτικό πεδίο της κάμερας όσο ήταν δυνατόν).

**Προτάσεις:** Για άλλη μια φορά τα κουφώματα της κατοικίας παρουσιάζονται ανεπαρκή. Προτείνεται πλήρης απομάκρυνση τους και τοποθέτηση νέων κουφωμάτων.

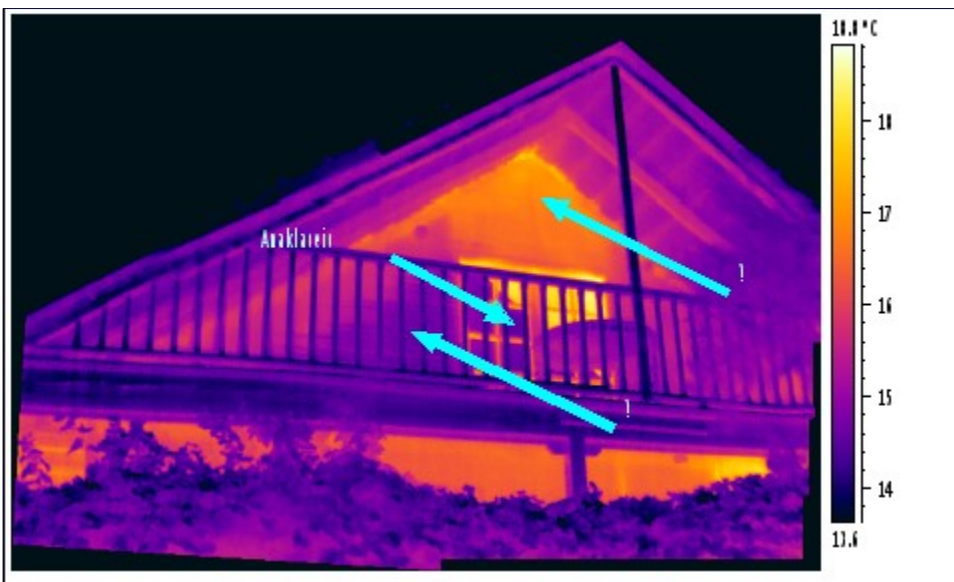


Date	16/10/2010
Image Time	6:46:09 πμ
Image Camera Type	FLIR T400 Western
Emissivity	0.95
Object Distance	1.0 m
Reflected Apparent	20.0 °C

Temperature	
Atmospheric Temperature	20.0 °C
Humidity 1 Temperature	14.4 °C
Humidity 1 Temperature	14.4 °C

Τοποθεσία	Βόρεια Όψη
-----------	------------

**Άλλες παρατηρήσεις:** η βλάστηση μας εμπόδισε να θερμογραφήσουμε ολόκληρη την όψη. Και δυστυχώς και των υπολοίπων όψεων. Η προσβασιμότητα είναι ένα από τα σοβαρά μειονεκτήματα της κτηριακής θερμογραφίας.



130

**Σχόλιο:** Παρατηρούμε ότι η περιοχή που δείχνεται με το βέλος A, παρουσιάζεται θερμότερη από την περιοχή που δείχνει το βέλος B.

Οι αιτίες αυτής της φαινόμενης διαφοράς θερμοκρασίας είναι:

**A.** Διαφορά στην ανακλώμενη θερμότητα: Στην περιοχή A ανακλάται θερμότητα από την στέγη της οικίας, ενώ στην περιοχή B από τον ουρανό, λόγω της γωνίας θέασης. Παρατηρήστε την ανάκλαση του ουρανού στα τζάμια της μπαλκονόπορτας του άνω ορόφου.

**B.** Διαφορά στην ενέργεια που διαφεύγει από την επιφάνεια: Στην περιοχή A που καλύπτεται περισσότερο από τη στέγη, όντας πιο κοντά σ' αυτή, η μετάδοση και απόρριψη θερμότητας λόγω ακτινοβολίας, είναι μικρότερη σε σχέση με την περιοχή B που απορρίπτει ενέργεια ευκολότερα καθώς 'βλέπει' περισσότερο τον ανοικτό

ουρανό και όχι ένα θερμότερο σώμα.

Γ. Στην κορυφή του κτιρίου, συγκεντρώνεται όλη η παραγόμενη θερμότητα από το λέβητα. Αυτό φαίνεται καλύτερα στην θερμική εικόνα που χρησιμοποιεί την Midgreen παλέτα στην προηγούμενη σελίδα.

**Προτάσεις: δεν παρατηρείται κάτι μη αναμενόμενο**

Inspected by : Floros Panagiotis

Signature:.....

date:.....

Dat	16/10/2010
e	

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παθητική κτηριακή θερμογραφία είναι μια μη καταστρεπτική τεχνική με πολλές δυνατότητες αλλά και αρκετές αδυναμίες. Κατά την αναζήτηση πληροφοριών πάνω στο συγκεκριμένο θέμα και κυριότερα κατά την εφαρμογή της θεωρίας στη θερμογραφική μελέτη, αναδείχθηκαν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της μεθόδου. Παρακάτω, θα προσπαθήσουμε να τα παρουσιάσουμε με όσο το δυνατόν αντικειμενικότερο τρόπο.

### Πλεονεκτήματα

- Γρήγορη μέθοδος. Είναι χαρακτηριστικό ότι ο έλεγχος διήρκεσε λιγότερο από μία ώρα για μια μεζονέτα 90 m<sup>2</sup>. (βλ.Κεφ. 6)
- Δεν απαιτεί απομάκρυνση των χρηστών. Καθόλη τη διάρκεια της θερμογράφησης ο χρήστης της οικίας δεν σταμάτησε να παίζει με το μπουζούκι του. Αυτό, αν και ακούγεται ασταίε στην πραγματικότητα δεν είναι, καθώς δεν επηρεάσαμε στο ελάχιστο τον ένοικο. Για τους ιδιοκτήτες το να μην διακόπτουν τις ασχολίες τους, όταν γίνονται εργασίες σπίτι τους είναι πολύ σημαντικό.
- Οπτική μέθοδος, σχετική ευκολία στη "μετάφραση" των αποτελεσμάτων. Προσοχή! Αυτό το πλεονέκτημα μπορεί να μετατραπεί πολύ εύκολα σε μειονέκτημα. Η εμπειρία είναι απαραίτητη για τη σωστή ερμηνεία των εικόνων. Απλά σημειώνεται το γεγονός ότι τα μοτίβα που σχηματίζονται μπορούν να αναγνωριστούν σ' ένα βαθμό ακόμα και από έναν αρχάριο στη θερμογραφία, όπως ο συντάκτης της έκθεσης.
- Μη καταστρεπτική τεχνική. Από τα βασικότερα πλεονεκτήματα της μεθόδου. Ήταν σα να μην έγινε ποτέ κάποιος έλεγχος στο χώρο.
- Μεγάλο εύρος εφαρμογών . Χαρακτηριστικά αναφέρω μερικές: εντοπισμός κακής τοποθέτησης της μόνωσης, υγρασίας και παρασιτικής εισροής αέρα. (βλ.Κεφ.4)
- Χαμηλό κόστος μετά την απόκτηση της θερμοκάμερας (μηδαμινό κόστος λειτουργίας). Προσοχή! Σε μεγαλύτερους χώρους, αν κριθεί αναγκαία η εφαρμογή blower door για τη δημιουργία διαφοράς πίεσης, το κόστος αυξάνεται.
- Επιτρέπει και ποιοτική και ποσοτική πληροφόρηση. Η ποιοτική πληροφόρηση φαίνεται στο κεφάλαιο 6, ενώ η ποσοτική από τη μελέτη της θεωρίας.
- Ασφάλεια μεθόδου καθότι δεν εμπλέκονται επιβλαβείς για το ανθρώπινο σώμα ακτινοβολίες. Η θερμοκάμερα απλά δέχεται τη θερμότητα που ήδη υπάρχει στο περιβάλλον. Ο έλεγχος από απόσταση και η μη επαφή με το αντικείμενο συμβάλλει και αυτός στην ασφάλεια της θερμογραφίας, κυρίως με το κομμάτι που ασχολείται με τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό.
- Έγκαιρος εντοπισμός και πρόγνωση των πιθανών αστοχιών. (βλ. εντοπισμός υγρασίας ή υδραυλικής βλάβης στην οροφή του σαλονιού της μεζονέτας)

Το πρόβλημα σε οποιαδήποτε μη καταστρεπτική τεχνική που ο συντάκτης εντόπισε στο συνέδριο της ΕΛ.Ε.Μ.Κ.Ε. είναι ότι ο άνθρωπος ψάχνει μια τέλεια μέθοδο εντοπισμού προβλημάτων. Αυτό οδηγεί πολλές φορές στη θεοποίηση τεχνικών που μόνο τέλειες δεν είναι. Κοινώς, παρατηρήθηκε ότι η κάθε εταιρία παίνευε το σπίτι της "για να μην πέσει και την πλακώσει".....

Διαπιστώθηκε, λοιπόν, μετά το πέρας της θερμογράφησης ότι η κτηριακή θερμογραφία είναι μια μέθοδος που έχει και αυτή τα μειονεκτημάτα της. Πολλές φορές οι διάφορες εταιρίες που πλασάρουν τα σχετικά προϊόντα τους, αν και αναφέρουν μερικά μειονεκτήματα δεν δίνουν ιδιαίτερη προσοχή σε αυτά. Μέσω μια σειράς προβλημάτων που ο συντάκτης συνάντησε κατά τη διάρκεια της παρούσης εργασίας παρουσιάζονται τα μειονεκτήματα της παθητικής κτηριακής θερμογραφίας.



## Μειονεκτήματα

- Η μέθοδος αποκαλύπτει μόνο επιφανειακές θερμοκρασιακές διαφορές. Δεν ακτινογραφεί εσωτερικά τους τοίχους, που σημαίνει ότι μπορεί να παρερμηνήσει το ανθρώπινο σφάλμα πολύ εύκολα μέσω της "μετάφρασης" των εικόνων. Ενδεικτικά, αναφέρω τις εικόνες της δυτικής όψης στη θερμογραφική μελέτη, στις οποίες τα μοτίβα που αναπτύσσονται δεν μας οδηγούν σε ασφαλή συμπεράσματα.
- Δεν εντοπίζει ζημιές κάτω από την επιφάνεια άμεσα. Ο εντοπισμός γίνεται έμμεσα λόγω των θερμοκρασιακών διαφορών. Έτσι, ανιχνεύονται **μόνο** τα ελαττώματα που επιφέρουν μετρήσιμες αλλαγές στις θερμικές ιδιότητες.
- Προσβασιμότητα. Για παράδειγμα η βλάβιση μας εμπόδισε από τη λήψη σημαντικών εικόνων που ίσως αποκάλυπταν κάποιο πρόβλημα.
- Μεγάλο κόστος θερμοκαμερών. Μία πολύ καλή θερμοκάμερα 640X480 μπορεί να φτάσει και στα 40.000 ευρώ κόστος!!! Ενώ μια απλά καλή θερμοκάμερα ανάλυσης 320X240 κυμαίνεται γύρω στα 8.000-12.000 ευρώ.
- Μια σωστή μελέτη προϋποθέτει πολλές περιβαλλοντικές συνθήκες που πρέπει να τηρούνται όπως η ταχύτητα του ανέμου, τα κατακρημνίσματα, διαφορά πίεσης κτλ. (βλ. Κεφ. 4)
- Απαιτείται να υπάρχουν μεγάλες θερμοκρασιακές διαφορές  $\Delta T$  μέσα και έξω, τις οποίες δεν έχουμε σε όλες τις περιπτώσεις. Συγκεκριμένα, παρόλη τη λειτουργία της κεντρικής θέρμανσης, δημιουργήσαμε ένα μικρό  $\Delta T$  της τάξης των 5 °C που δεν είναι ικανό για να παρέχει ικανοποιητικά αποτελέσματα.
- Απόρροια του προηγούμενου μειονεκτήματος είναι ότι αδυνατούμε να επιθεωρήσουμε μεσοτοιχίες, καθώς το  $\Delta T$  θεωρείται μηδενικό σε αυτήν την περίπτωση.

## Μειονεκτήματα που καταρρίπτονται όσον αφορά την παθητική κτηριακή θερμογραφία

- Οι περισσότερες κάμερες έχουν  $\pm 2\%$  σφάλμα. Αυτό δεν είναι πρόβλημα, όμως, γιατί στην κτηριακή θερμογραφία, ενδιαφερόμαστε κυρίως για τα θερμικά μοτίβα (pattern) και όχι για τις απόλυτες θερμοκρασίες.
- Χρειάζεται σταθερό περιβάλλον για να γίνουν οι μετρήσεις. Στην κτηριακή θερμογραφία, υπάρχουν γενικά σταθερές συνθήκες, οπότε δεν αποτελεί όντως μειονέκτημα.
- Δυσκολία στην εφαρμογή κατάλληλης θερμικής διέγερσης πάνω στους τοίχους. Το μειονέκτημα αυτό αναφέρεται στην ενεργητική κτηριακή θερμογραφία.

Στην κτηριακή θερμογραφία, η ποιοτική προσέγγιση φαίνεται να υπερτερεί της ποσοτικής όσον αφορά τον εντοπισμό των προβλημάτων. Στο κεφάλαιο τέσσερα οι περισσότερες από τις συνθήκες που πρέπει να τηρούνται κατά την θερμογράφιση, αφορούν τον υπολογισμό των πραγματικών επιφανειακών θερμοκρασιών. Για τον προσδιορισμό των προβλημάτων όμως απλά χρειαζόμαστε μια θερμοκρασιακή διαφορά της τάξης των 10 °C, να μην έχει βρέξει την προηγούμενη μέρα ώστε να αποφύγουμε προβλήματα εξάτμισης, και να έχουμε διαφορά πίεσης ανάμεσα στο εξωτερικό και στο εσωτερικό είτε φυσικά (λόγω της θερμοκρασιακής διαφοράς), είτε τεχνητά (με blower door). Ένας από τους παράγοντες που μπορεί να επηρεάσει την ανάλυση των θερμικών εικόνων και την αναζήτηση των αιτιών των προβλημάτων που αναγνωρίζουμε στις φωτογραφίες, αλλά δεν είδα πουθενά να αναφέρεται στη βιβλιογραφία, είναι οι συνθήκες των ιδιοκτητών της κατοικίας. Θυμίζω ενδεικτικά το παράδειγμα με τα προβλήματα υγρασίας που δημιουργούνται όχι λόγω προβληματικού κελύφους, αλλά λόγω πολλών δραστηριοτήτων που παράγουν υγρασία και ταυτόχρονα



κακού αερισμού της οικίας. Τέλος, για το συντελεστή εκπομπής  $e$  στον κτηριακό τομέα μπορούμε με ασφάλεια να θεωρήσουμε  $e$  ίσο με 0.95 καθώς τα περισσότερα δομικά υλικά κυμαίνονται κοντά σε αυτήν την τιμή και η ποιοτική προσέγγιση του θέματος δεν απαιτεί ακρίβεια του συντελεστή εκπομπής.

## **ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ - ΕΠΙΛΟΓΟΣ**

Συνοψίζοντας, η κτηριακή θερμογραφία στην ποιοτική της μορφή χαρακτηρίζεται παθητική, καθότι δεν χρησιμοποιούνται ενεργητικές τεχνικές θέρμανσης του κτηρίου που αναλύονται στο κεφάλαιο 3.2.2. Με τη μέθοδο αυτή καθίσταται εφικτός ο εντοπισμός προβληματικών σημείων στο κέλυφος του κτηρίου, με άμεση συνέπεια την εξοικονόμηση χρημάτων από τη στοχευόμενη διόρθωσή τους. Επειδή, όπως θα καταλάβετε από την ανάγνωση της διπλωματικής, μου αρέσουν πολύ οι παρομοιώσεις, ας μου επιτραπεί η σκέψη ότι το κτήριο είναι σαν ένα παιδάκι που πολλές φορές πέφτει και χτυπάει. Τα ορατά χτυπήματα είναι εύκολα να τα δει η οικογένεια και να τους βάλει ένα προστατευτικό αυτοκόλλητο. Όμως, αν έχει σπάσει κάτι, απαιτείται ακτινογραφία για τον εντοπισμό του προβλήματος. Φανταστείτε μετά από ένα σπάσιμο στο πόδι οι γιατροί να τοποθετούσαν γύψο

σε ολόκληρο το σώμα! Δεν υπάρχει συσχέτιση θερμογραφίας και ακτινογραφίας ως προς τον τρόπο λειτουργίας, αλλά ως προς το σκοπό που χρησιμοποιείται. Και αυτός δεν είναι άλλος παρά ο εντοπισμός προβληματικών σημείων, που δεν φαίνονται με την πρώτη παρατήρηση, χωρίς να κάνεις κακό σε ό,τι μελετάς. Φυσικά, στην περίπτωση της ακτινογραφίας οι ακτινοβολίες προκαλούν κακό σε αντίθεση με τη θερμογραφία που είναι ακίνδυνη μέθοδος, καθώς η θερμοκάμερα δεν εκπέμπει επικίνδυνες ακτινοβολίες, παρά δέχεται ενέργεια που ήδη υπάρχει.

Η εμπειρία είναι ένας παράγοντας που θα ήθελα να θίξω σ' αυτό το σημείο. Όση θεωρία και να ξέρει κάποιος ποτέ δεν πρέπει να ξεχνά ότι ελλοχεύουν κίνδυνοι στην "λίμνη" της πράξης. Και την χαρακτηρίζω "λίμνη", διότι στον πραγματικό κόσμο η εφαρμογή της θεωρίας, δυστυχώς, πρέπει να περάσει από τα χέρια του ανθρώπου. Αν λοιπόν αυτά τα χέρια είναι άπειρα, πολλά λάθη μπορούν να γίνουν και αυτό είναι κάτι που θα πρέπει να έχουμε συνέχεια στο μυαλό, ώστε η ευθύνη μας να γίνει συνείδηση. Γνωρίζω ότι αυτή τη στιγμή τα λόγια αυτά, ίσως, δεν έχουν θέση σε μια διπλωματική εργασία, όμως, κατά τη διάρκεια της έρευνας στην κτηριακή θερμογραφία, παρατηρήθηκε ουκ ολίγες φορές διάσταση απόψεων ανάμεσα σε ανθρώπους εντός και εκτός Πολυτεχνείου πάνω στα ίδια θέματα. Εφόσον η θεωρία είναι αυστηρά ορισμένη δεν θα έπρεπε να συγκλίνουν αυτές οι απόψεις?

Η θερμογραφία είναι μια πολύ καλή μη καταστρεπτική τεχνική και η επιτυχία της οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην οπτικοποίηση της ροής θερμότητας. Στα προηγούμενα κεφάλαια, έγινε προσπάθεια να βρεθεί αυτή η ισορροπία, όσο ήταν δυνατό, με την κριτική πολλές φορές παράθεση της θεωρίας καθώς και τη χρήση πολλών παραδειγμάτων με εικόνες για την οπτικοποίησή της. Αναλυτικότερα το τι περιέχει η εργασία βρίσκεται στην ανάλυση τόμου στις πρώτες σελίδες.

Τέλος, δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι, όπως κάθε πράγμα στη ζωή, η κτηριακή θερμογραφία έχει και τα μειονεκτήματά της. Δεν θα πρέπει να γίνουμε υπέρμαχοι της κτηριακής θερμογραφίας σε κάθε περίπτωση. Πολλές φορές θα πρέπει να χρησιμοποιούνται άλλες μη καταστρεπτικές τεχνικές ή να γίνεται και ο συνδυασμός τους για την ασφαλή διεξαγωγή συμπερασμάτων. Επιβάλλεται να ξέρουμε να κρίνουμε πότε πρέπει και πότε δεν πρέπει να την χρησιμοποιήσουμε έχοντας στο μυαλό μας ότι η κτηριακή θερμογραφία είναι απλά ένα ακόμα "όπλο" στο δρόμο προς την τελειότητα των κατασκευών μας. Και από όσα ο συντάκτης έχει παρατηρήσει γύρω του τουλάχιστον στον ελληνικό χώρο ο δρόμος για την τελειότητα είναι πολύ μακρύς.

## Βιβλιογραφία

- [1] Wikipedia
- [2] Flir εγχειρίδιο χρήστη
- [3] Τάσος Σταμέλλος & Ολυμπία Ζώγου, "υπολογισμός θερμομόνωσης κτηρίου" Βόλος-Λάρισα, Ιούνιος 2009 Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
- [4] Αιμ.Γ.Κορωναίος, Γ.Φοίβος Σαργέντης, "θερμογραφία" δημοσιεύσεις εργαστηρίου τεχνικών υλικών τεύχος 2, Αθήνα 2003 Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
- [5] search building thermography internet source
- [6] Νικόλαος Π.Αβδελίδης, "Εφαρμογές της υπέρυθρης θερμογραφίας για τον έλεγχο δομικών υλικών σε κατασκευές", Φεβρουάριος 2002 Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
- [7] Μ.Α. Στράντζα, Ε.Ζ. Κορδάτος, Δ.Β. Σουλιώτη, Θ.Ε. Ματίκας, Δ.Γ. Αγγέλης "Χρήση θερμογραφίας και υπερήχων για τον χαρακτηρισμό υπο-επιφανειακών ρωγμών σε σκυρόδεμα Τμήμα Μηχανικών Επιστήμης Υλικών, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων
- [8] <http://www.monoseisgoumas.gr/attachments/article/57/thermografia.pdf>  
εικόνες θερμογραφίας
- [9] Eva Barreira, Vasco P. de Freitas "Evaluation of building materials using infrared thermography" 30 November 2004 sciencedirect
- [10] C.A. Balaras, A.A. Argiriou "Infrared thermography for building diagnostics" energy and buildings 34 2002 sciencedirect
- [11] Transam Trading Co. "Building Thermography Course" Sweden 2009 Infrared Training center
- [12] Silvia Martin Ocana, Ignacio Canas Guerrero, Ignacio Gonzalez Requena "Thermographic survey of two rural buildings in Spain" energy and buildings 36 2004 sciencedirect

- [13] H. Wiggenhauser "Active IR-applications in civil engineering" Infrared Physics & Technology 43 2002 sciencedirect
- [14] Stefan Datcu, Laurent Ibos, Yves Candau, Simone Mattei, "Improvement of building wall surface temperature measurements by infrared thermography" March 2004 Infrared Physics and Technology 46 sciencedirect
- [15] N.P. Avdelidis, A. Moropoulou "emissivity considerations in building thermography" Energy and Buildings 35 August 2002 sciencedirect
- [16] E. Grinzato, V. Vavilob, T. Kauppinen "Quantitative infrared thermography in buildings" Energy and Buildings 29 1998 sciencedirect
- [17] N.P. Avdelidis, C. Ibarra Castanedo, A. Bendada, M. Kouli, K. Hrisaggis, X. Maldague "Thermography and NIR imaging tools for the characterization" of composites"
- [18] Γ. Πουλάκος, "Θερμική συμπεριφορά κτηρίων στο τεχνολογικό πολιτιστικό πάρκο Λαυρίου" Δημοσιεύσεις Εργαστηρίου Τεχνικών Υλικών τεύχος 3 Αθήνα 2003 Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
- [19] Ν.Δ. Δερμιτζάκης "Υπέρυθρη θερμογραφία ως εργαλείο μη καταστροφικού ελέγχου σε θέματα ενδιαφέροντος πολιτικού μηχανικού" Πανεπιστήμιο Πατρών Πάτρα 2006
- [20] Transam Trading Co. K.Roussis "Εισαγωγή στη θερμογραφία" Αθήνα 2009
- [21] Π.Ν.Μπότσαρης "προληπτική συντήρηση και υπέρυθρη θερμογραφία" Πολυτεχνική Σχολή ΔΠΘ
- [22] Hart JM. "A Practical guide to infrared thermography for building surveys" Garston 1991
- [23] www.iristem.com
- [24] Chown GA, Burn KN "Thermographic identification of buildings enclosure defects and deficiencies" Canadian Building Digest 1983
- [25] R.P. Madding "Emissivity Measurements and Temperature correction accuracy considerations" Proceedings of the thermosense XXI, Orlando 1999 p.393-401

[26] keywords: κτηριακή θερμογραφία, μη καταστρεπτικές τεχνικές, θερμογραφία, συντελεστής εκπομπής, υπέρυθρη τεχνολογία, θερμική μόνωση, θερμοκάμερες, υπέρυθρες, υπέρυθρη ακτινοβολία, ιστορία της θερμογραφίας, πλεονεκτήματα θερμογραφίας, μειονεκτήματα θερμογραφίας, παθητική θερμογραφία, ενεργητική θερμογραφία, εντοπισμός υγρασίας, εντοπισμός ρωγμών, θερμογέφυρες, εισροή αέρα, παρασιτική εισροή, φαινόμενη θερμοκρασία ανάκλασης, θερμογραφικός έλεγχος, υγρασία, σχετική υγρασία, σημείο δρόσου, μούγλα, ενδοδαπέδια θέρμανση, υπέρυθρες εικόνες, πρακτικός οδηγός θερμογραφίας, συμβουλές κτηριακής θερμογραφίας

Building thermography, emissivity, infrared, radiation, active-passive thermography, moisture detection, insulation problems, thermal cameras, history of infrared, building surveys, T reflected, thermosense building facades thermography, surface temperature measurement, building diagnostics, thermographic survey, blower doors, superficial temperature, air leakage, capillarity, thermal comfort and thermography, far IR, near IR, long wave, short wave cameras, emissivity considerations, *Predictive maintenance*.

Αυτές είναι μερικές μόνο από τις λέξεις κλειδιά που χρησιμοποιήθηκαν. Κατά την αναζήτηση στο διαδίκτυο η μία λέξη έφερνε την άλλη κατά συνέπεια δεν ήταν δυνατόν η καταγραφή όλων των keywords. Σημαντική σημείωση: Το διαδίκτυο είναι ατέρμονη πηγή πληροφοριών αλλά απαιτείται κριτική ικανότητα και διασταύρωση με έγκυρες πηγές κάθε τέτοιας γνώσης.



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

Παρακάτω παραθέτω πίνακες τιμών του συντελεστή εκπομπής, που σημειωτέον θα πρέπει να χρησιμοποιούνται ως ενδεικτικές και να χρησιμοποιούνται με προσοχή! Στην πρώτη στήλη αναφέρονται τα υλικά. Στην δεύτερη η κατάσταση στην οποία βρίσκεται το υλικό ή το είδος του υλικού. Στην τρίτη στήλη αναγράφεται η θερμοκρασία κάτω από την οποία έχει μετρηθεί η συγκεκριμένη τιμή του συντελεστή εκπομπής. Στην τέταρτη στήλη έχουμε το είδος του φάσματος στο οποίο έχει γίνει η μέτρηση είτε από long wave είτε από short wave είτε από long long wave. Στην πέμπτη στήλη βρίσκεται ο συντελεστής εκπομπής για τις προηγούμενες παραμέτρους και στην τελευταία η πηγή των στοιχείων. Ο συντελεστής εκπομπής λοιπόν με χρήση πινάκων υπολογίζεται για κάθε υλικό που τηρεί τις στήλες ένα έως τέσσερα.

1	2	3	4	5	6
3M τύπος 35	Ηλεκτρική ταινία βινυλίου (διάφορα χρώματα)	< 80	LW	περ. 0.96	13
3M τύπος 88	Μαύρη ηλεκτρική ταινία βινυλίου	< 105	LW	περ. 0.96	13
3M τύπος 88	Μαύρη ηλεκτρική ταινία βινυλίου	< 105	MW	< 0.96	13
3M τύπος Super 33+	Μαύρη ηλεκτρική ταινία βινυλίου	< 80	LW	περ. 0.96	13
Κρύλον εξαιρετικά επίπεδο μαύρο 1602	Επίπεδο μαύρο	Θερμοκρασία δω-ματίου έως 175	LW	περ. 0.96	12
Κρύλον εξαιρετικά επίπεδο μαύρο 1602	Επίπεδο μαύρο	Θερμοκρασία δω-ματίου έως 175	MW	περ. 0.97	12
Styrofoam	μόνωση	37	SW	0.60	7
Άμμος			T	0.60	1
Άμμος		20	T	0.90	2
Άνθρακας	αιθάλη κηρού	20	T	0.95	2
Άνθρακας	αιθάλη λυχνίας	20–400	T	0,95–0,97	1
Άνθρακας	γραφίτης, λιμαρισμένη επιφάνεια	20	T	0.98	2
Άνθρακας	σκόνη γραφίτη		T	0.97	1
Άνθρακας	σκόνη ξυλάνθρακα		T	0.96	1



1	2	3	4	5	6
Άργυρος	καθαρό, στιλβωμένο	200–600	T	0,02–0,03	1
Άργυρος	στιλβωμένο	100	T	0.03	2
Άσβεστος			T	0,3–0,4	1
Ύφασμα	μαύρο	20	T	0.98	1
Αλουμίνιο	αλλοιωμένο από καιρικά φαινόμενα, έντονα	17	SW	0,83–0,94	5
Αλουμίνιο	ανοδιωμένο, ανοιχτό γκρι, θολό	70	LW	0.97	9
Αλουμίνιο	ανοδιωμένο, ανοιχτό γκρι, θολό	70	SW	0.61	9
Αλουμίνιο	ανοδιωμένο, μαύρο, θολό	70	LW	0.95	9
Αλουμίνιο	ανοδιωμένο, μαύρο, θολό	70	SW	0.67	9
Αλουμίνιο	ανοδιωμένο, φύλλο	100	T	0.55	2
Αλουμίνιο	εμβαπτισμένο σε HNO <sub>3</sub> , πλάκα	100	T	0.05	4
Αλουμίνιο	εναποθετημένο υπό κενό	20	T	0.04	2
Αλουμίνιο	λεπτό φύλλο	27	3 μm	0.09	3
Αλουμίνιο	λεπτό φύλλο	27	10 μm	0.04	3
Αλουμίνιο	οξειδωμένο, έντονα	50–500	T	0,2–0,3	1
Αλουμίνιο	στιλβωμένο	50–100	T	0,04–0,06	1
Αλουμίνιο	στιλβωμένο, πλάκα	100	T	0.05	4
Αλουμίνιο	στιλβωμένο, φύλλο	100	T	0.05	2
Αλουμίνιο	τραχεία επιφάνεια	20–50	T	0,06–0,07	1
Αλουμίνιο	τραχυμένο	27	3 μm	0.28	3
Αλουμίνιο	τραχυμένο	27	10 μm	0.18	3

1	2	3	4	5	6
Αλουμίνιο	φύλλο, 4 δείγματα γρατζουνισμένα με διαφορετικό τρόπο	70	LW	0,03–0,06	9
Αλουμίνιο	φύλλο, 4 δείγματα γρατζουνισμένα με διαφορετικό τρόπο	70	SW	0,05–0,08	9
Αλουμίνιο	χτυπημένο, καθαρισμένο με αμμοβολή	70	LW	0.46	9
Αλουμίνιο	χτυπημένο, καθαρισμένο με αμμοβολή	70	SW	0.47	9
Αλουμίνιο	όπως παραλαμβάνεται, πλάκα	100	T	0.09	4
Αλουμίνιο	όπως παραλαμβάνεται, φύλλο	100	T	0.09	2
Αμιάντος	πλακίδιο δαπέδου	35	SW	0.94	7
Αμιάντος	πλακίδιο στέγης	20	T	0.96	1
Αμιάντος	σανίδα	20	T	0.96	1
Αμιάντος	σκόνη		T	0,40–0,60	1
Αμιάντος	χαρτί	40–400	T	0,93–0,95	1
Αμιάντος	ύφασμα		T	0.78	1
Ανοξειδωτος χάλυβας	εξελασμένο	700	T	0.45	1
Ανοξειδωτος χάλυβας	κράμα, 8% Ni, 18% Cr	500	T	0.35	1
Ανοξειδωτος χάλυβας	μετά από αμμοβολή	700	T	0.70	1
Ανοξειδωτος χάλυβας	τύπου 18-8, λειασμένο	20	T	0.16	2
Ανοξειδωτος χάλυβας	τύπου 18-8, οξειδωμένο στους 800°C	60	T	0.85	2

1	2	3	4	5	6
Ανοξειδωτος χάλυβας	φύλλο, ακατέργαστο, ελαφρά γρατσουνισμένο	70	LW	0.28	9
Ανοξειδωτος χάλυβας	φύλλο, ακατέργαστο, ελαφρά γρατσουνισμένο	70	SW	0.30	9
Ανοξειδωτος χάλυβας	φύλλο, στλβωμένο	70	LW	0.14	9
Ανοξειδωτος χάλυβας	φύλλο, στλβωμένο	70	SW	0.18	9
Ασφαλτοτάπητας		4	LLW	0.967	8
Βαφή	8 διαφορετικά χρώματα και ποιότητες	70	LW	0,92–0,94	9
Βαφή	8 διαφορετικά χρώματα και ποιότητες	70	SW	0,88–0,96	9
Βαφή	Αλουμίνιο, διάφορες ηλικίες	50–100	T	0,27–0,67	1
Βαφή	κίτρινο καδμίου		T	0,28–0,33	1
Βαφή	λάδι	17	SW	0.87	5
Βαφή	λάδι, γκρι γυαλιστερό	20	SW	0.96	6
Βαφή	λάδι, γκρι ματ	20	SW	0.97	6
Βαφή	λάδι, διάφορα χρώματα	100	T	0,92–0,96	1
Βαφή	λάδι, μαύρο γυαλιστερό	20	SW	0.92	6
Βαφή	λάδι, μαύρο ματ	20	SW	0.94	6
Βαφή	λαδομπογιά, μέση τιμή 16 χρωμάτων	100	T	0.94	2
Βαφή	μπλε κοβαλτίου		T	0,7–0,8	1
Βαφή	πλαστικό, λευκό	20	SW	0.84	6
Βαφή	πλαστικό, μαύρο	20	SW	0.95	6
Βαφή	πράσινο χρωμίου		T	0,65–0,70	1

1	2	3	4	5	6
Βελούδο nextel 811-21 μαύρο	Επίπεδο μαύρο	-60-150	LW	> 0.97	10 και 11
Βερνίκι	ματ	20	SW	0.93	6
Βερνίκι	πάνω σε δάπεδο από δρύινο παρκέ	70	LW	0,90-0,93	9
Βερνίκι	πάνω σε δάπεδο από δρύινο παρκέ	70	SW	0.90	9
Βολφράμιο		200	T	0.05	1
Βολφράμιο		600-1000	T	0,1-0,16	1
Βολφράμιο		1500-2200	T	0,24-0,31	1
Βολφράμιο	ίνα	3300	T	0.39	1
Γαλβανισμένος σίδηρος	πολύ οξειδωμένο	70	LW	0.85	9
Γαλβανισμένος σίδηρος	πολύ οξειδωμένο	70	SW	0.64	9
Γαλβανισμένος σίδηρος	φύλλο	92	T	0.07	4
Γαλβανισμένος σίδηρος	φύλλο, γυαλισμένο	30	T	0.23	1
Γαλβανισμένος σίδηρος	φύλλο, οξειδωμένο	20	T	0.28	1
Γρανίτης	στιλβωμένο	20	LLW	0.849	8
Γρανίτης	τραχύ	21	LLW	0.879	8
Γρανίτης	τραχύ, 4 διαφορετικά δείγματα	70	LW	0,77-0,87	9
Γρανίτης	τραχύ, 4 διαφορετικά δείγματα	70	SW	0,95-0,97	9
Γύψος		20	T	0,8-0,9	1
Δέρμα	ανθρώπινο	32	T	0.98	2
Δέρμα	κατεργασμένο		T	0,75-0,80	1
Διοξείδιο του χαλκού	σκόνη		T	0.84	1
Εβονίτης			T	0.89	1

1	2	3	4	5	6
Επικασπερω- μένος σίδηρος	φύλλο	24	T	0.064	4
Ινοσανίδα	μασονίτης	70	LW	0.88	9
Ινοσανίδα	μασονίτης	70	SW	0.75	9
Ινοσανίδα	μοριοσανίδα	70	LW	0.89	9
Ινοσανίδα	μοριοσανίδα	70	SW	0.77	9
Ινοσανίδα	πορώδες, ακατέρ- γαστο	20	SW	0.85	6
Ινοσανίδα	σκληρό, ακατέργα- στο	20	SW	0.85	6
Κασσίτερος	γαλισμένος	20-50	T	0,04-0,06	1
Κασσίτερος	επικασπερωμένη λαμαρίνα	100	T	0.07	2
Κονίαμα		17	SW	0.87	5
Κονίαμα	ξηρό	36	SW	0.94	7
Λάδι, λιπαντικό	λεπτή μεμβράνη 0,025 mm	20	T	0.27	2
Λάδι, λιπαντικό	λεπτή μεμβράνη 0,050 mm	20	T	0.46	2
Λάδι, λιπαντικό	λεπτή μεμβράνη 0,125 mm	20	T	0.72	2
Λάδι, λιπαντικό	λεπτή μεμβράνη πάνω σε βάση νι- κελίου: βάση νικε- λίου μόνο	20	T	0.05	2
Λάδι, λιπαντικό	παχιά επίστρωση	20	T	0.82	2
Λάκα	3 χρώματα ψεκα- σμένα πάνω σε αλουμίνιο	70	LW	0,92-0,94	9
Λάκα	3 χρώματα ψεκα- σμένα πάνω σε αλουμίνιο	70	SW	0,50-0,53	9
Λάκα	Αλουμίνιο πάνω σε τραχεία επι- φάνεια	20	T	0.4	1

1	2	3	4	5	6
Λάκα	βακελίτης	80	T	0.83	1
Λάκα	θερμάντοχο	100	T	0.92	1
Λάκα	λευκό	40–100	T	0,8–0,95	1
Λάκα	λευκό	100	T	0.92	2
Λάκα	μαύρο, γυαλιστερό, ψεκασμένο πάνω σε σίδηρο	20	T	0.87	1
Λάκα	μαύρο, θολό	40–100	T	0,96–0,98	1
Λάκα	μαύρο, ματ	100	T	0.97	2
Λάστιχο	μαλακό, γκρι, τραχύ	20	T	0.95	1
Λάστιχο	σκληρό	20	T	0.95	1
Λευκόχρυσος		17	T	0.016	4
Λευκόχρυσος		22	T	0.03	4
Λευκόχρυσος		100	T	0.05	4
Λευκόχρυσος		260	T	0.06	4
Λευκόχρυσος		538	T	0.10	4
Λευκόχρυσος		1000–1500	T	0,14–0,18	1
Λευκόχρυσος		1094	T	0.18	4
Λευκόχρυσος	καθαρό, στυλβωμένο	200–600	T	0,05–0,10	1
Λευκόχρυσος	σύρμα	50–200	T	0,06–0,07	1
Λευκόχρυσος	σύρμα	500–1000	T	0,10–0,16	1
Λευκόχρυσος	σύρμα	1400	T	0.18	1
Λευκόχρυσος	ταινία	900–1100	T	0,12–0,17	1
Μίλιο		100	T	0.93	4
Μίλιο, σκόνη		100	T	0.93	1
Μαγνήσιο		22	T	0.07	4
Μαγνήσιο		260	T	0.13	4
Μαγνήσιο		538	T	0.18	4

1	2	3	4	5	6
Μαγνήσιο	στιλβωμένο	20	T	0.07	2
Μολυβδαίνιο		600–1000	T	0,08–0,13	1
Μολυβδαίνιο		1500–2200	T	0,19–0,26	1
Μολυβδαίνιο	ίνα	700–2500	T	0,1–0,3	1
Μοριοσανίδα	ακατέργαστη	20	SW	0.90	6
Μπρούντζος	πορώδες, τραχύ	50–150	T	0.55	1
Μπρούντζος	σκόνη		T	0,76–0,80	1
Μπρούντζος	στιλβωμένο	50	T	0.1	1
Μπρούντζος	φωσφορούχο κρατέρωμα	70	LW	0.06	9
Μπρούντζος	φωσφορούχο κρατέρωμα	70	SW	0.08	9
Μόλυβδος	γυαλιστερό	250	T	0.08	1
Μόλυβδος	μη οξειδωμένο, στιλβωμένο	100	T	0.05	4
Μόλυβδος	οξειδωμένο, γκρι	20	T	0.28	1
Μόλυβδος	οξειδωμένο, γκρι	22	T	0.28	4
Μόλυβδος	οξειδωμένο στους 200°C	200	T	0.63	1
Νερό	απεσταγμένο	20	T	0.96	2
Νερό	κρύσταλλοι παγετού	–10	T	0.98	2
Νερό	πάγος, καλυμμένο έντονα με πάχνη	0	T	0.98	1
Νερό	πάγος, λείο	–10	T	0.96	2
Νερό	πάγος, λείο	0	T	0.97	1
Νερό	στρώμα πάχους >0,1 mm	0–100	T	0,95–0,98	1
Νερό	χιόνι		T	0.8	1
Νερό	χιόνι	–10	T	0.85	2
Νικέλιο	γυαλιστερό, ματ	122	T	0.041	4

1	2	3	4	5	6
Νικέλιο	εμπορικά καθαρό, στίλβωμένο	100	T	0.045	1
Νικέλιο	εμπορικά καθαρό, στίλβωμένο	200–400	T	0,07–0,09	1
Νικέλιο	ηλεκτρολυτικά αποτεθειμένο , στίλβωμένο	20	T	0.05	2
Νικέλιο	ηλεκτρολυτικά αποτεθειμένο σε σίδηρο, μη στίλβωμένο	20	T	0,11–0,40	1
Νικέλιο	ηλεκτρολυτικά αποτεθειμένο σε σίδηρο, μη στίλβωμένο	22	T	0.11	4
Νικέλιο	ηλεκτρολυτικά αποτεθειμένο σε σίδηρο, στίλβωμένο	22	T	0.045	4
Νικέλιο	ηλεκτρολυτικό	22	T	0.04	4
Νικέλιο	ηλεκτρολυτικό	38	T	0.06	4
Νικέλιο	ηλεκτρολυτικό	260	T	0.07	4
Νικέλιο	ηλεκτρολυτικό	538	T	0.10	4
Νικέλιο	οξειδωμένο	200	T	0.37	2
Νικέλιο	οξειδωμένο	227	T	0.37	4
Νικέλιο	οξειδωμένο	1227	T	0.85	4
Νικέλιο	οξειδωμένο στους 600°C	200–600	T	0,37–0,48	1
Νικέλιο	στίλβωμένο	122	T	0.045	4
Νικέλιο	σύρμα	200–1000	T	0,1–0,2	1
Ξύλο		17	SW	0.98	5
Ξύλο		19	LLW	0.962	8
Ξύλο	κόντρα πλακέ, ακατέργαστο	20	SW	0.83	6



1	2	3	4	5	6
Ξύλο	κόντρα πλακέ, λε- ίο, ξηρό	36	SW	0.82	7
Ξύλο	λειασμένο		T	0,5–0,7	1
Ξύλο	λευκό, υγρό	20	T	0,7–0,8	1
Ξύλο	πεύκο, 4 διαφορε- τικά δείγματα	70	LW	0,81–0,89	9
Ξύλο	πεύκο, 4 διαφορε- τικά δείγματα	70	SW	0,67–0,75	9
Ξύλο	πλαναρισμένη δρυς	20	T	0.90	2
Ξύλο	πλαναρισμένη δρυς	70	LW	0.88	9
Ξύλο	πλαναρισμένη δρυς	70	SW	0.77	9
Ξύλο	πλαναρισμένο	20	T	0,8–0,9	1
Οξειδίο του αργι- λίου	ενεργοποιημένο, σκόνη		T	0.46	1
Οξειδίο του αργι- λίου	καθαρό, σκόνη (alumina)		T	0.16	1
Οξειδίο του νικε- λίου		500–650	T	0,52–0,59	1
Οξειδίο του νικε- λίου		1000–1250	T	0,75–0,86	1
Οξειδίο του χαλ- κού	κόκκινο, σκόνη		T	0.70	1
Ορείχαλκος	θολό, αμαυρω- μένο	20–350	T	0.22	1
Ορείχαλκος	οξειδωμένο	70	SW	0,04–0,09	9
Ορείχαλκος	οξειδωμένο	70	LW	0,03–0,07	9
Ορείχαλκος	οξειδωμένο	100	T	0.61	2
Ορείχαλκος	οξειδωμένο στους 600°C	200–600	T	0,59–0,61	1
Ορείχαλκος	στιλβωμένο	200	T	0.03	1

1	2	3	4	5	6
Ορείχαλκος	στιλβωμένο, έντονα	100	T	0.03	2
Ορείχαλκος	τριμμένο με σμίριδα 80-grit	20	T	0.20	2
Ορείχαλκος	φύλλο, δουλεμένο με σμίριδα	20	T	0.2	1
Ορείχαλκος	φύλλο, εξελασμένο	20	T	0.06	1
Πάγος: βλ. Νερό					
Πίσσα			T	0,79–0,84	1
Πίσσα	χαρτί	20	T	0,91–0,93	1
Πηλός	ψημένο	70	T	0.91	1
Πλακίδιο	εφυσωμένο	17	SW	0.94	5
Πλαστικό	PVC, πλαστικό δάπεδο, θολό, δομημένο	70	LW	0.93	9
Πλαστικό	PVC, πλαστικό δάπεδο, θολό, δομημένο	70	SW	0.94	9
Πλαστικό	μονωτική σανίδα από πολυουρεθάνη	70	LW	0.55	9
Πλαστικό	μονωτική σανίδα από πολυουρεθάνη	70	SW	0.29	9
Πλαστικό	πολυστρωματικό υλικό με ενίσχυση από υαλοίνες (πλακέτες ηλεκτρονικών κυκλωμάτων)	70	LW	0.91	9
Πλαστικό	πολυστρωματικό υλικό με ενίσχυση από υαλοίνες (πλακέτες ηλεκτρονικών κυκλωμάτων)	70	SW	0.94	9
Πορσελάνη	εφυσωμένο	20	T	0.92	1

1	2	3	4	5	6
Πορσελάνη	λευκό, γυαλιστερό		T	0,70–0,75	1
Σίδηρος και χάλυβας	γυαλιστερό, με χημική επεξεργασία επιφανείας	150	T	0.16	1
Σίδηρος και χάλυβας	γυαλιστερό στρώμα οξειδίου, φύλλο	20	T	0.82	1
Σίδηρος και χάλυβας	εξελασμένο, πρόσφατα	20	T	0.24	1
Σίδηρος και χάλυβας	εξελασμένο εν θερμώ	20	T	0.77	1
Σίδηρος και χάλυβας	εξελασμένο εν θερμώ	130	T	0.60	1
Σίδηρος και χάλυβας	εξελασμένο εν ψυχρώ	70	LW	0.09	9
Σίδηρος και χάλυβας	εξελασμένο εν ψυχρώ	70	SW	0.20	9
Σίδηρος και χάλυβας	εξελασμένο φύλλο	50	T	0.56	1
Σίδηρος και χάλυβας	ηλεκτρολυτικό	22	T	0.05	4
Σίδηρος και χάλυβας	ηλεκτρολυτικό	100	T	0.05	4
Σίδηρος και χάλυβας	ηλεκτρολυτικό	260	T	0.07	4
Σίδηρος και χάλυβας	ηλεκτρολυτικό, προσεκτικά στίβωμένο	175–225	T	0,05–0,06	1
Σίδηρος και χάλυβας	καλυμμένο με κόκκινη σκουριά	20	T	0,61–0,85	1
Σίδηρος και χάλυβας	κατεργασμένο (διαμόρφωσης), προσεκτικά στίβωμένο	40–250	T	0.28	1
Σίδηρος και χάλυβας	λειασμένο φύλλο	950–1100	T	0,55–0,61	1

1	2	3	4	5	6
Σιδηρος και χάλυβας	οξειδωμένο	100	T	0.74	1
Σιδηρος και χάλυβας	οξειδωμένο	100	T	0.74	4
Σιδηρος και χάλυβας	οξειδωμένο	125–525	T	0,78–0,82	1
Σιδηρος και χάλυβας	οξειδωμένο	200	T	0.79	2
Σιδηρος και χάλυβας	οξειδωμένο	200–600	T	0.80	1
Σιδηρος και χάλυβας	οξειδωμένο	1227	T	0.89	4
Σιδηρος και χάλυβας	οξειδωμένο έντονα	50	T	0.88	1
Σιδηρος και χάλυβας	οξειδωμένο έντονα	500	T	0.98	1
Σιδηρος και χάλυβας	πρόσφατα δουλεμένο με σμύριδα	20	T	0.24	1
Σιδηρος και χάλυβας	σκουριασμένο, έντονα	17	SW	0.96	5
Σιδηρος και χάλυβας	σκουριασμένο, κόκκινο	20	T	0.69	1
Σιδηρος και χάλυβας	σκουριασμένο κόκκινο, φύλλο	22	T	0.69	4
Σιδηρος και χάλυβας	στιλβωμένο	100	T	0.07	2
Σιδηρος και χάλυβας	στιλβωμένο	400–1000	T	0,14–0,38	1
Σιδηρος και χάλυβας	στιλβωμένο φύλλο	750–1050	T	0,52–0,56	1
Σιδηρος και χάλυβας	τραχεία, επίπεδη επιφάνεια	50	T	0,95–0,98	1
Σιδηρος και χάλυβας	φύλλο έντονα σκουριασμένο	20	T	0.69	2
Σκυρόδεμα		20	T	0.92	2
Σκυρόδεμα	διάδρομος	5	LLW	0.974	8

1	2	3	4	5	6
Σκυρόδεμα	ξηρό	36	SW	0.95	7
Σκυρόδεμα	τραχύ	17	SW	0.97	5
Σκόνη μαγνησίου			T	0.86	1
Σμάλτο		20	T	0.9	1
Σμάλτο	λάκα	20	T	0,85–0,95	1
Σμύριδα	χονδρή	80	T	0.85	1
Σοβάς		17	SW	0.86	5
Σοβάς	γυψοσανίδα, ακατέργαστη	20	SW	0.90	6
Σοβάς	πρώτο χέρι	20	T	0.91	2
Στόκος	τραχύ, άσβεστος	10–90	T	0.91	1
Ταπετσαρία τοίχου	ελαφρό μοτίβο, ανοικτό γκρι	20	SW	0.85	6
Ταπετσαρία τοίχου	ελαφρό μοτίβο, κόκκινο	20	SW	0.90	6
Τπάνιο	οξειδωμένο στους 540°C	200	T	0.40	1
Τπάνιο	οξειδωμένο στους 540°C	500	T	0.50	1
Τπάνιο	οξειδωμένο στους 540°C	1000	T	0.60	1
Τπάνιο	στίλβωμένο	200	T	0.15	1
Τπάνιο	στίλβωμένο	500	T	0.20	1
Τπάνιο	στίλβωμένο	1000	T	0.36	1
Τούβλο	αδιάβροχο	17	SW	0.87	5
Τούβλο	κοινό	17	SW	0,86–0,81	5
Τούβλο	κόκκινο, κοινό	20	T	0.93	2
Τούβλο	κόκκινο, τραχύ	20	T	0,88–0,93	1
Τούβλο	οξείδιο πυρπίου Dīpas, εφιαλωμένο, τραχύ	1100	T	0.85	1

1	2	3	4	5	6
Τούβλο	οξείδιο πυρτίου Dinas, μη εφυσωμένο, τραχύ	1000	T	0.80	1
Τούβλο	οξείδιο πυρτίου Dinas, πυρίμαχο	1000	T	0.66	1
Τούβλο	οξείδιο του αργιλίου (alumina)	17	SW	0.68	5
Τούβλο	οξείδιο του πυρτίου (silica), 95% SiO <sub>2</sub>	1230	T	0.66	1
Τούβλο	πυρίμαχη άργιλος (πυράργιλος)	20	T	0.85	1
Τούβλο	πυρίμαχη άργιλος (πυράργιλος)	1000	T	0.75	1
Τούβλο	πυρίμαχη άργιλος (πυράργιλος)	1200	T	0.59	1
Τούβλο	πυρίμαχο, ασθενώς ακτινοβολούν	500–1000	T	0,65–0,75	1
Τούβλο	πυρίμαχο, εντόνως ακτινοβολούν	500–1000	T	0,8–0,9	1
Τούβλο	πυρίμαχο, κορούνδιο	1000	T	0.46	1
Τούβλο	πυρίμαχο, μαγνησίτης (λευκόλιθος)	1000–1300	T	0.38	1
Τούβλο	πυρότουβλο	17	SW	0.68	5
Τούβλο	σιλιμανίτης, 33% SiO <sub>2</sub> , 64% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1500	T	0.29	1
Τούβλο	τοιχοποιία	35	SW	0.94	7
Τούβλο	τοιχοποιία, σοβατισμένη	20	T	0.94	1
Υαλοβάμβακας	λέβητας	0–100	T	0,97–0,93	1
Υαλοβάμβακας	λέβητας	200–500	T	0,89–0,78	1
Υαλοβάμβακας	λέβητας	600–1200	T	0,76–0,70	1

1	2	3	4	5	6
Υαλοβάμβακας	λέβητας	1400-1800	T	0,69-0,67	1
Υδροξείδιο του αργιλίου	σκόνη		T	0.28	1
Χαλκαλουμίνιο		20	T	0.60	1
Χαλκός	αποξεσμένο	27	T	0.07	4
Χαλκός	εμπορικό, γυαλισμένο	20	T	0.07	1
Χαλκός	ηλεκτρολυτικό, προσεκτικά σπλιβωμένο	80	T	0.018	1
Χαλκός	ηλεκτρολυτικό, σπλιβωμένο	-34	T	0.006	4
Χαλκός	καθαρό, προσεκτικά προπαρασκευασμένη επιφάνεια	22	T	0.008	4
Χαλκός	λιωμένο	1100-1300	T	0,13-0,15	1
Χαλκός	οξειδωμένο	50	T	0,6-0,7	1
Χαλκός	οξειδωμένο, μαύρο	27	T	0.78	4
Χαλκός	οξειδωμένο, πολύ	20	T	0.78	2
Χαλκός	οξειδωμένο μέχρι αμαύρωσης		T	0.88	1
Χαλκός	σπλιβωμένο	50-100	T	0.02	1
Χαλκός	σπλιβωμένο	100	T	0.03	2
Χαλκός	σπλιβωμένο, εμπορικό	27	T	0.03	4
Χαλκός	σπλιβωμένο, μηχανικό	22	T	0.015	4
Χαρτί	4 διαφορετικά χρώματα	70	LW	0,92-0,94	9
Χαρτί	4 διαφορετικά χρώματα	70	SW	0,68-0,74	9
Χαρτί	επιστρωμένο με μαύρη λάκα		T	0.93	1

1	2	3	4	5	6
Χαρτί	κίτρινο		T	0.72	1
Χαρτί	κόκκινο		T	0.76	1
Χαρτί	λευκό	20	T	0,7–0,9	1
Χαρτί	λευκό, 3 διαφορετικές ποιότητες γυαλιστερού	70	LW	0,88–0,90	9
Χαρτί	λευκό, 3 διαφορετικές ποιότητες γυαλιστερού	70	SW	0,76–0,78	9
Χαρτί	λευκό, καλής ποιότητας (bond)	20	T	0.93	2
Χαρτί	μαύρο		T	0.90	1
Χαρτί	μαύρο, θολό		T	0.94	1
Χαρτί	μαύρο, θολό	70	LW	0.89	9
Χαρτί	μαύρο, θολό	70	SW	0.86	9
Χαρτί	μπλε, σκούρο		T	0.84	1
Χαρτί	πράσινο		T	0.85	1
Χιόνι: βλ. Νερό					
Χρυσός	στιλβωμένο	130	T	0.018	1
Χρυσός	στιλβωμένο, έντονα	100	T	0.02	2
Χρυσός	στιλβωμένο, προσεκτικά	200–600	T	0,02–0,03	1
Χρωμονικελίνη	εξελασμένο	700	T	0.25	1
Χρωμονικελίνη	μετά από αμμοβολή	700	T	0.70	1
Χρωμονικελίνη	σύρμα, καθαρό	50	T	0.65	1
Χρωμονικελίνη	σύρμα, καθαρό	500–1000	T	0,71–0,79	1
Χρωμονικελίνη	σύρμα, οξειδωμένο	50–500	T	0,95–0,98	1
Χρώμιο	στιλβωμένο	50	T	0.10	1
Χρώμιο	στιλβωμένο	500–1000	T	0,28–0,38	1



1	2	3	4	5	6
Χυτοσίδηρος	μη επεξεργασμένος	900–1100	T	0,87–0,95	1
Χυτοσίδηρος	μηχανικά επεξεργασμένο	800–1000	T	0,60–0,70	1
Χυτοσίδηρος	οξειδωμένο	38	T	0.63	4
Χυτοσίδηρος	οξειδωμένο	100	T	0.64	2
Χυτοσίδηρος	οξειδωμένο	260	T	0.66	4
Χυτοσίδηρος	οξειδωμένο	538	T	0.76	4
Χυτοσίδηρος	οξειδωμένο στους 600°C	200–600	T	0,64–0,78	1
Χυτοσίδηρος	πλινθώματα (χελώνες)	1000	T	0.95	1
Χυτοσίδηρος	σπλβωμένο	38	T	0.21	4
Χυτοσίδηρος	σπλβωμένο	40	T	0.21	2
Χυτοσίδηρος	σπλβωμένο	200	T	0.21	1
Χυτοσίδηρος	υγρό	1300	T	0.28	1
Χυτοσίδηρος	χύτευση	50	T	0.81	1
Χώμα	κορεσμένο με νερό	20	T	0.95	2
Χώμα	ξηρό	20	T	0.92	2
Ψαμμίτης	σπλβωμένο	19	LLW	0.909	8
Ψαμμίτης	τραχύ	19	LLW	0.935	8
Ψευδάργυρος	οξειδωμένη επιφάνεια	1000–1200	T	0,50–0,60	1
Ψευδάργυρος	οξειδωμένο στους 400°C	400	T	0.11	1
Ψευδάργυρος	σπλβωμένο	200–300	T	0,04–0,05	1
Ψευδάργυρος	φύλλο	50	T	0.20	1

**Εικόνα T:** Συνολικό φάσμα. **SW:** 2–5 μm; **LW:** 8–14 μm, **LLW:** 6.5–20 μm; **1:** Υλικό. **2:** Προδιαγραφή.

**3:** Θερμοκρασία σε °C; **4:** Φάσμα. **5:** Συντελεστής εκπομπής; **6:** Παραπομπή

## Παραπομπές

1	Mikaél A. Bramson: <i>Infrared Radiation, A Handbook for Applications</i> , Plenum press, N.Y.
2	William L. Wolfe, George J. Zissis: <i>The Infrared Handbook</i> , Office of Naval Research, Department of Navy, Washington, D.C.
3	Madding, R. P.: <i>Thermographic Instruments and systems</i> . Madison, Wisconsin: University of Wisconsin – Extension, Department of Engineering and Applied Science.
4	William L. Wolfe: <i>Handbook of Military Infrared Technology</i> , Office of Naval Research, Department of Navy, Washington, D.C.
5	Jones, Smith, Probert: <i>External thermography of buildings...</i> , Proc. of the Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, vol.110, Industrial and Civil Applications of Infrared Technology, June 1977 London.
6	Paljak, Pettersson: <i>Thermography of Buildings</i> , Swedish Building Research Institute, Stockholm 1972.
7	Vlcek, J: <i>Determination of emissivity with imaging radiometers and some emissivities at <math>\lambda = 5 \mu\text{m}</math></i> . Photogrammetric Engineering and Remote Sensing.
8	Kern: <i>Evaluation of infrared emission of clouds and ground as measured by weather satellites</i> , Defence Documentation Center, AD 617 417.
9	Öhman, Claes: <i>Emittansmätningar med AGEMA E-Box</i> . Teknisk rapport, AGEMA 1999. (Emissance measurements using AGEMA E-Box. Technical report, AGEMA 1999.)
10	Mattei, S., Tang-Kwor, E: <i>Emissivity measurements for Nextel Velvet coating 811-21 between <math>-36^{\circ}\text{C}</math> AND <math>82^{\circ}\text{C}</math></i> .
11	Lohrengel & Todtenhaupt (1996)
12	ITC Technical publication 32.
13	ITC Technical publication 29.

Επαναλαμβάνουμε ότι οι τιμές είναι ενδεικτικές καθώς στον υπολογισμό του συντελεστή εκπομπής σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν οι συνθήκες μέτρησης πχ θερμοκρασία, μήκος κύματος  $\lambda$ ,  $\lambda_w$ ,  $\lambda_w$ .

Στον πίνακα αυτό μπορούμε να υπολογίσουμε το σημείο δρόσου ανάλογα της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος και της σχετικής υγρασίας %.

Θερμοκρασία περιβάλλοντος σε °C Raumluf t °C	Θερμοκρασία Σημείο Δρόσου, σε °C															
	Σχετική Υγρασία %															
	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%		
30	10,5	12,9	14,9	16,8	18,4	20,0	21,4	22,7	23,9	25,1	26,2	27,2	28,2	29,1		
29	9,7	12,0	14,0	15,9	17,5	19,0	20,4	21,7	23,0	24,1	25,2	26,2	27,2	28,1		
28	8,8	11,1	13,1	15,0	16,6	18,1	19,5	20,8	22,0	23,2	24,2	25,2	26,2	27,1		
27	8,0	10,2	12,2	14,1	15,7	17,2	18,6	19,9	21,1	22,2	23,3	24,3	25,2	26,1		
26	7,1	9,4	11,4	13,2	14,8	16,3	17,6	18,9	20,1	21,2	22,3	23,3	24,2	25,1		
25	6,2	8,5	10,5	12,2	13,9	15,3	16,7	18,0	19,1	20,3	21,3	22,3	23,2	24,1		
24	5,4	7,6	9,6	11,3	12,9	14,4	15,8	17,0	18,2	19,3	20,3	21,3	22,3	23,1		
23	4,5	6,7	8,7	10,4	12,0	13,5	14,8	16,1	17,2	18,3	19,4	20,3	21,3	22,2		
22	3,6	5,9	7,8	9,5	11,1	12,5	13,9	15,1	16,3	17,4	18,4	19,4	20,3	21,2		
21	2,8	5,0	6,9	8,6	10,2	11,6	12,9	14,2	15,3	16,4	17,4	18,4	19,3	20,2		
20	1,9	4,1	6,0	7,7	9,3	10,7	12,0	13,2	14,4	15,4	16,4	17,4	18,3	19,2		
19	1,0	3,2	5,1	6,8	8,3	9,8	11,1	12,3	13,4	14,5	15,5	16,4	17,3	18,2		
18	0,2	2,3	4,2	5,9	7,4	8,8	10,1	11,3	12,5	13,5	14,5	16,4	16,3	17,2		
17	-0,6	1,4	3,3	5,0	6,5	7,9	9,2	10,4	11,5	12,5	13,5	15,5	15,3	16,2		
16	-1,4	-0,5	2,4	4,1	5,6	7,0	8,2	9,4	10,5	11,6	12,6	14,5	14,4	15,2		
15	-2,2	-0,3	1,5	3,2	4,7	6,1	7,3	8,5	9,6	10,6	11,6	13,5	13,4	14,2		
14	-2,9	-1,0	0,6	2,3	3,7	5,1	6,4	7,5	8,6	9,6	10,6	12,5	12,4	13,2		
13	-3,7	-1,9	0,1	1,3	2,8	4,2	5,5	6,6	7,7	8,7	9,6	10,5	11,4	12,2		
12	-4,5	-2,6	1,0	0,4	1,9	3,2	4,5	5,7	6,7	7,7	8,7	9,6	10,4	11,2		
11	-5,2	-3,4	1,8	-0,4	1,0	2,3	3,5	4,7	5,8	6,7	7,7	8,6	9,4	10,2		
10	-6,0	-4,2	2,6	-1,2	0,1	1,4	2,6	3,7	4,8	5,8	6,7	7,6	8,4	9,2		

