



**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ**

**Πτυχιακή εργασία με θέμα:**

**«ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΘΕΡΜΟΚΑΜΕΡΑΣ /  
ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ  
ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ / ΑΠΟΔΟΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ»**

**Σπουδαστής:**

**Βακάκης Ιωάννης**

**Επιβλέπων καθηγητής:**

**Μονιάκης Μύρων**

**ΗΡΑΚΛΕΙΟ, 2013**

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο κτιριακός τομέας είναι υπεύθυνος για το 40% περίπου της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας σε εθνικό και ευρωπαϊκό επίπεδο. Η κατανάλωση αυτή διακρίνεται είτε σε μορφή θερμικής (κυρίως πετρέλαιο), είτε σε μορφή ηλεκτρικής ενέργειας και ευθύνεται για τη μεγάλη επιβάρυνση της ατμόσφαιρας με ρύπους, κυρίως με διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>). Ταυτόχρονα, εξαιτίας του υψηλού κόστους των συμβατικών πηγών ενέργειας, προκαλείται και σημαντική οικονομική επιβάρυνση.

Η κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια στην Ελλάδα παρουσιάζει αυξητική τάση, κυρίως λόγω της αύξησης της χρήσης κλιματιστικών και μικροσυσκευών. Η χρήση των κλιματιστικών αποτελεί σημαντικό παράγοντα αύξησης του ηλεκτρικού φορτίου αιχμής στη χώρα, με τεράστιες οικονομικές συνέπειες και σημαντική επιβάρυνση του καταναλωτή.

Η εξοικονόμηση ενέργειας σε ένα κτίριο εξασφαλίζεται εν μέρει με τον κατάλληλο σχεδιασμό του κτιρίου και τη χρήση ενεργειακά αποδοτικών δομικών στοιχείων και συστημάτων και εν μέρει μέσω της υψηλής αποδοτικότητας των εγκατεστημένων ενεργειακών συστημάτων η οποία προϋποθέτει την άριστη ποιότητα του σχετικού εξοπλισμού και της εγκατάστασής του καθώς και των σχετικών τεχνικών μελετών που τον προδιαγράφουν.

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι ενεργειακή επιθεώρηση για την απόδοση κτιρίων με την χρήση θερμοκάμερας / θερμογραφίας καθώς και η αξιοποίηση και οι εφαρμογές τους.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	<b>Σελ.:</b>
<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	<b>2</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> :</b>	
<b>ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΙΑ</b>	<b>5</b>
1.1 Θερμογραφία	5
1.2 Θερμοκάμερα	6
1.3 Μεταφορά θερμότητα	9
1.3.1 Μεταφορά με αγωγή	9
1.3.2 Μεταφορά με θερμική μεταβίβαση	10
1.3.3 Μεταφορά με ακτινοβολία	11
1.4 Παράμετροι ακτινοβολίας σώματος	12
1.5 Βασικές αρχές υπέρυθρης θερμογραφίας	13
1.6 Κατηγορίες θερμογραφίας	14
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> :</b>	
<b>ΘΕΡΜΟΚΑΜΕΡΑ</b>	<b>18</b>
2.1 Χαρακτηριστικά - Λειτουργία θερμοκάμερας	18
2.2 Στοιχεία θερμοκάμερας	23
2.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα	29
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> :</b>	
<b>ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΘΕΡΜΟΚΑΜΕΡΑΣ</b>	<b>31</b>
3.1 Χρήσεις θερμοκάμερας	31
3.2 Συνθήκες μετρήσεως σε κτίρια	34
3.3 Παραδείγματα χρησιμοποίησης θερμοκάμερας	40
3.3.1 Θερμογέφυρες	40
3.3.1.1 Ενσωματωμένες θερμογέφυρες	41

3.3.1.2	Σημεία εμφάνισης θερμογέφυρας	41
3.3.1.3	Συνέπειες θερμογέφυρας	43
3.3.1.4	Αντιμετώπιση θερμογεφυρών	44
3.3.2	Μόνωση	48
3.3.3	Στέγες	50
3.3.4	Διαρροή νερού	55
3.3.5	Διείσδυση νερού - υγρασία και μούχλα	56
3.3.5.1	Γενικά	56
3.3.5.2	Συνηθισμένες πηγές ζημιάς	57
3.3.5.3	Χρήση θερμογραφίας σε περιπτώσεις υγρασίας, μούχλας και διείσδυσης νερού	58
3.3.6	Διείσδυση αέρα	62
3.3.6.1	Σημεία διείσδυσης αέρα	63
3.3.7	Απώλεια θερμότητας – διαρροή αέρα	66
3.3.7.1	Αίτια απωλειών θερμότητας (αγωγή και διαρροή αέρα)	66
3.3.7.2	Αντιμετώπιση προβλημάτων διαρροής αέρα	66
3.3.7.3	Περίπτωση έρευνας για ατέλειες σε κατοικία με τη χρήση Θερμοκάμερας	71
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> :</b>		
<b>Η ΘΕΡΜΟΚΑΜΕΡΑ FLUKE</b>		<b>74</b>
<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b>		<b>76</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>		<b>80</b>

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> :**

### **ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΙΑ**

#### **1.1 Θερμογραφία**

Η θερμογραφία είναι μια μέθοδος ανίχνευσης θερμοκρασιών που αναπτύσσονται στις επιφάνειες διαφόρων υλικών. Με τη μέθοδο αυτή προσδιορίζονται και ερμηνεύονται οι θερμοκρασιακές διαφορές που εμφανίζονται σε διάφορα αντικείμενα και εφαρμογές εν γένει και εξάγονται συμπεράσματα ως προς την ορθή θερμική θωράκισή τους.

Η θερμογραφία ή υπέρυθρη φωτογράφιση, ανιχνεύει την εκπομπή θερμικής ακτινοβολίας και προκύπτει οπτική απεικόνιση του θερμικού σήματος (θερμογράφημα). Με την θερμογραφία δεν μετράται απ' ευθείας η θερμοκρασία μιας επιφάνειας αλλά η εκπεμπόμενη επιφανειακή ακτινοβολία. Η θερμογραφία βασίζεται στην αρχή ότι κάθε επιφάνεια εκπέμπει ενέργεια με την μορφή της ακτινοβολίας. Το μήκος κύματος που εκπέμπεται εξαρτάται από την θερμοκρασία. Αυξανόμενης της θερμοκρασίας το μήκος κύματος γίνεται μικρότερο και στην περίπτωση πολύ μεγάλων θερμοκρασιών βρίσκεται στο ορατό φάσμα (π.χ. πυρακτωμένη άκρη βελόνας). Στην θερμοκρασία δωματίου το μήκος κύματος της ακτινοβολίας είναι της τάξεως των  $10\mu\text{m}$  (στην υπέρυθρη περιοχή του φάσματος). Η ακτινοβολία ανιχνεύεται με κατάλληλες ανιχνευτικές διατάξεις, τις θερμοκάμερες, οι οποίες παράγουν ηλεκτρικό σήμα ανάλογο της προσπίπτουσας ακτινοβολίας το οποίο με κατάλληλη βαθμονόμηση εκφράζεται σε θερμοκρασία.

Οι φυσικές παράμετροι που επηρεάζουν την υπέρυθρη ακτινοβολία που μετράται σε μια θερμογράφιση είναι η ικανότητα εκπομπής υπέρυθρης ακτινοβολίας της επιφάνειας (εκφράζεται από τον συντελεστή εκπομπής και συγκρίνεται με εκείνη του μέλανος σώματος), η επιφανειακή θερμοκρασία, η θερμική αγωγιμότητα, η θερμοχωρητικότητα, το πάχος του θερμαινόμενου στρώματος και η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Η υπέρυθρη φωτογράφιση βρίσκει εφαρμογή σε διάφορους τομείς. Από την ιατρική μέχρι τον στρατό και από τον χώρο των κατασκευών μέχρι την ηλεκτρονική. Είναι λοιπόν χρήσιμο να εξεταστεί λεπτομερώς ξεκινώντας από την θερμοκάμερα.

## 1.2 Θερμοκάμερα

Η θερμοκάμερα είναι μια ανιχνευτική διάταξη η οποία μετράει την ακτινοβολία που προσπίπτει στον φακό και με κατάλληλες βαθμονομήσεις την "μεταφράζει" σε θερμοκρασία. Πρακτικά, παρουσιάζει την επιφανειακή θερμοκρασία των σωμάτων στα οποία εστιάζει.

Σημαντικό στοιχείο μιας θερμοκάμερας είναι ο ανιχνευτής θερμότητας. Συχνά αναφέρεται και ως οπτικός δέκτης. Αποτελεί την καρδιά κάθε συστήματος που μετρά την υπέρυθρη ακτινοβολία και συνεπώς χρησιμοποιείται σε κάθε θερμογραφική εργασία. Η αγορά των ανιχνευτών ακτινοβολίας υπολογίζεται ότι πλησιάζει τα 10 δισεκατομμύρια δολάρια (μέτρηση 1999) και αυξάνει κατά 30% κάθε χρόνο. Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά τους, επιγραμματικά, είναι η εσωτερική αντίσταση του δέκτη, ο χρόνος απόκρισης του, ο λόγος ισχύος-θορύβου, ο λόγος θερμοκρασιακής διαφοράς-θορύβου, η παρατηρησιμότητα, η ελάχιστη ανιχνεύσιμη θερμοκρασιακή διαφορά (γνωστή και ως ευαισθησία), η συνάρτηση γραμμικής εξάπλωσης και η υποβάθμιση του σήματος.

Οι ανιχνευτές θερμότητας χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τους θερμικούς και τους φωτονικούς. Στους θερμικούς ανιχνευτές, η προσπίπτουσα ακτινοβολία θερμαίνει την ευαίσθητη επιφάνεια και η θέρμανση επηρεάζει κάποια ιδιότητα του υλικού όπως η θερμική αγωγιμότητα. Αυτό το γεγονός μεταφράζεται σαν μια διακύμανση στο σήμα εξόδου. Σημαντικό χαρακτηριστικό των θερμικών δεκτών είναι η ανεξαρτησία από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας. Γι' αυτό και όταν κάποιο συγκεκριμένο μήκος κύματος είναι το επιθυμητό, είναι απαραίτητο να τοποθετηθεί κάποιο φίλτρο που θα απορρίπτει τις ακτινοβολίες με διαφορετικά, από το επιθυμητό, μήκη κύματος.

Παραδείγματα θερμικών ανιχνευτών είναι τα βολόμετρα, οι θερμοσωροί, οι πυροηλεκτρικοί δέκτες και οι υγροί κρύσταλλοι. Στους φωτονικούς ανιχνευτές, το σήμα λαμβάνεται από την απευθείας μέτρηση της διέγερσης που προκαλείται από την προσπίπτουσα ακτινοβολία. Με την σειρά τους, οι φωτονικοί ανιχνευτές χωρίζονται σε δύο κατηγορίες τους φωτοεκπεμπόμενους και τους κβαντικούς.

Από την μέχρι τώρα εξέταση των ανιχνευτών ακτινοβολίας προκύπτει ότι στην έξοδό τους καταλήγει ένα σήμα εξαρτώμενο από την προσπίπτουσα ακτινοβολία στον φακό. Από το συγκεκριμένο σήμα τελικά θα προκύψει μια οπτική αναπαράσταση. Παράγεται, λοιπόν, μια σειρά σημείων (είναι ευρέως γνωστά και ως pixels) είτε σε μία, είτε σε δύο διαστάσεις. Παρόλη την ύπαρξη ειδικών φιλμ για απεικόνιση των υπέρυθρων εικόνων, στην πράξη, τα φιλμ δεν έχουν μεγάλη αξία.

Στις μη καταστρεπτικές εφαρμογές προτιμάται η απεικόνιση σε πραγματικό χρόνο. Υπάρχουν δύο βασικές διαδικασίες για τον σχηματισμό της εικόνας. Ο άμεσος σχηματισμός εικόνας (πχ με πυροηλεκτρικό δέκτη ή με φιλμ) και ο σχηματισμός εικόνας με χρήση ενός δέκτη και ενός ηλεκτρομηχανικού σαρωτή της σκηνής.

Δύο σημαντικές παράμετροι που επηρεάζουν, άμεσα, την εικόνα μιας θερμοκάμερας είναι η ευαισθησία και η ανάλυση (θερμοκρασιακή και χωρική).

Η ευαισθησία μετράται σε βαθμούς κελσίου και εκφράζει την ελάχιστη ανιχνεύσιμη ποσότητα θερμοκρασίας. Θερμοκάμερες με καλή ευαισθησία αναγνωρίζουν θερμοκρασιακές διαφορές ακόμα και  $0.025^{\circ}\text{C}$ .

Η θερμοκρασιακή ανάλυση είναι ανάλογη του αριθμού των χρωμάτων σε μια οθόνη υπολογιστή. Όσο μεγαλύτερη είναι η ανάλυση τόσο πιο ομαλά θα παρουσιάζονται οι θερμοκρασιακές μεταβολές. Αν ένα σώμα έχει ξαφνικές θερμοκρασιακές μεταβολές αυτές θα οφείλονται στο ίδιο το σώμα και όχι στην κάμερα.

Η χωρική ανάλυση της θερμοκάμερας εξαρτάται από τον αριθμό των pixels της κάμερας. Κάτι ανάλογο συμβαίνει και στη ψηφιακή φωτογραφία. Όπως μια ψηφιακή φωτογραφική μηχανή με 4 Mega-pixel βγάζει πιο ακριβείς εικόνες από μια μηχανή με 2 Mega-pixel έτσι και στην περίπτωση της θερμογραφίας, η χωρική ανάλυση αποτελεί μια παράμετρο κλειδί.

Μια ακόμα παράμετρος που πρέπει να επισημανθεί είναι το δυναμικό εύρος. Το δυναμικό εύρος εξαρτάται από την ψηφιοποίηση της θερμικής εικόνας. Όσο περισσότερα bits χρησιμοποιούνται για την περιγραφή της θερμοκρασίας-χρώματος για κάθε pixel τόσο καλύτερη θεωρείται η θερμοκάμερα. Το δυναμικό εύρος αντικατοπτρίζει, λοιπόν, την θερμοκρασιακή λεπτομέρεια που αποθηκεύεται για κάθε pixel.

Επανάσταση στην υπέρυθρη τεχνολογία αποτέλεσαν οι συστοιχίες εστιακού επιπέδου (FPA κάμερες).

Όπως αναφέρθηκε και στο ιστορικό σημείωμα, στα τέλη της δεκαετίας του 1970 και στην αρχή της επόμενης δεκαετίας, μια νέα συσκευή απεικόνισης εμφανίστηκε και έφερε την επανάσταση στην επιστημονική κοινότητα. Η χρήση συστοιχιών μεγάλων διαστάσεων απλοποίησε την κατασκευή υπέρυθρων καμερών.

Με αυτή την τεχνολογία, το μόνο που χρειάζεται για να κατασκευαστεί μια υπέρυθρη κάμερα, είναι τα οπτικά μέσα, η συστοιχία εστιακού επιπέδου, τα απαραίτητα ηλεκτρονικά εξαρτήματα και για κάποια ήδη καμερών, ένα σύστημα ψύξης. Όμοια με τα συμβατικά CCD (charge-coupled device) για βίντεο, τα chip της FPA τεχνολογίας, δεν απαιτούν μηχανισμό ηλεκτρομηχανικού σαρωτή για τον σχηματισμό εικόνας. Ακόμα, δεν είναι τόσο εύθραυστα όσο οι πυροηλεκτρικοί σωλήνες ούτε δέχονται ανάλογες επιβαρύνσεις. Η βασική δυσκολία που υπάρχει στην κατασκευή καλής ποιότητας FPA καμερών είναι τα υλικά κατασκευής των αισθητήρων (η ίδια δυσκολία συναντάται σε όλες τις κάμερες υπέρυθρης ακτινοβολίας). Η χρήση της σιλικόνης, η οποία είναι κλασσικό υλικό κατασκευής, δεν δίνει αποτελέσματα καθώς είναι ευαίσθητη μόνο στο ορατό φως. Μια λύση είναι το κράμα υδράργυρος-κάδμιο- τελούριο ενώ έχουν αναπτυχθεί και πολλές άλλες. Με την λύση του προβλήματος, μια σειρά τεχνολογιών αναπτύχθηκαν γύρω από την τεχνολογία των FPA καμερών.

Μοντέρνες κάμερες έχουν φτάσει να παράγουν εικόνες με αναλύσεις 2048x2048 pixels ενώ είναι στην παραγωγή ακόμα μεγαλύτερες αναλύσεις. Μικρότερες αναλύσεις είναι διαθέσιμες και οικονομικά προσιτές για το ευρύ κοινό.

Για την ερμηνεία των θερμικών εικόνων αναπτύσσονται ακολούθως οι αρχές της μεταφοράς θερμότητας.



## 1.3 Μεταφορά θερμότητα

### 1.3.1 Μεταφορά με αγωγή

Η θερμότητα μεταδίδεται δια μέσου της μάζας των σωμάτων. 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 σαν συνέπεια, απώλειες θερμότητας από ένα κτήριο. Οι απώλειες αυτές μπορούν να μειωθούν με την 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:*

$$Q = (\lambda/d) * F * (t_1 - t_2) * z$$

*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 και
- z ο χρόνος ροής της θερμότητας

Η εξίσωση αυτή είναι γνωστή ως νόμος μεταφοράς του Fourier.

### 1.3.2 Μεταφορά με θερμική μεταβίβαση

Η θερμότητα σε ένα ρευστό μεταφέρεται και μέσω της μάζας του με την κίνηση του. Αν η κίνηση γίνεται σε φυσικό μέσο όπου υπάρχουν θερμοκρασιακές διαφορές (ο κρύος αέρας κινείται προς τα κάτω ενώ ο ζεστός αέρας κινείται προς τα πάνω) την κίνηση αυτή ονομάζεται φυσική διάχυση ενώ αν η κίνηση γίνεται βεβιασμένα (ανεμιστήρες, ανεμοπίεση) ονομάζεται βίαιη διάχυση. Η μεταφορά θερμότητας με θερμική μεταβίβαση είναι μακροσκοπικό φαινόμενο και παρατηρείται κατά την διάχυση των ρευστών. Η διαφορά πυκνοτήτων διαφόρων ρευστών προκαλεί φυσική διάχυση. Αντίστοιχα η μηχανική ανάμειξη προκαλεί βεβιασμένη διάχυση.

Μεταφορά με θερμική μεταβίβαση παρατηρείται και μεταξύ ρευστού με στερεό σώμα

*Το ποσό της μεταφερόμενης θερμότητας υπολογίζεται ως εξής.*

$$Q = (\lambda \text{ αέρα}/x) * F * (t_{Li} - t_1)$$

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

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

$$Q = K * F * (t_{Li} - t_{La}) * z = \alpha_i * F * (t_{Li} - t_1) * z = (\lambda/d) * F * (t_1 - t_2) * z = \alpha_a * F * (t_2 - t_{La}) * z$$

*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
- $\alpha$  ο 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 και
- $z$  ο χρόνος ροής του θερμότητας

### 1.3.3 Μεταφορά με ακτινοβολία

Όλα τα σώματα εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία η οποία εξαρτάται από την θερμοκρασία που βρίσκονται, τον συντελεστή εκπομπής τους, και διάφορες άλλες παραμέτρους. Η ηλιακή ενέργεια φτάνει στην γη αποκλειστικά με αυτό τον τρόπο μεταφοράς. Η μεταφορά θερμότητας με ακτινοβολία μεταδίδεται με ηλεκτρομαγνητικά κύματα και δεν απαιτείται η παρουσία ενός ενδιάμεσου μέσου.

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 ενέργεια που εκπέμπεται από ένα σώμα εκφράζεται ως εξής.*

$$Q = \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_1^4 - T_2^4)$$

*όπου:*

- $q$  η εκπεμπόμενη ενέργεια [w/m<sup>2</sup>]
- $\varepsilon$  ο συντελεστής εκπομπής υλικού
- $\sigma$  η σταθερά Stefan – Boltzmann και
- $T$  απόλυτη θερμοκρασία °K

Η εξίσωση αυτή είναι γνωστή ως νόμος των Stefan – Boltzmann. Οι ιδιότητες αυτές αξιοποιούνται από την θερμογραφία έτσι ώστε να προκύπτουν τα θερμογραφήματα.

#### **1.4 Παράμετροι ακτινοβολίας σώματος**

*Οι παράμετροι ακτινοβολίας ενός σώματος είναι οι εξής:*

- συντελεστής εκπομπής  $\varepsilon$ : η ικανότητα εκπομπής ακτινοβολίας
- συντελεστής απορρόφησης  $\alpha$  : η ικανότητα απορρόφησης ακτινοβολίας
- συντελεστής διαπερατότητας  $\tau$ : η ικανότητα προσπέλασης της ακτινοβολίας μέσα από το σώμα
- συντελεστής ανάκλασης  $\rho$ : η ικανότητα ανάκλασης της ακτινοβολίας

Από το πρώτο θερμοδυναμικό αξίωμα ισχύει :  $\varepsilon + \rho + \tau = 1$ .

Οι πιο κρίσιμες παράμετροι ακτινοβολίας είναι ο συντελεστής εκπομπής  $\varepsilon$  και ο συντελεστής ανάκλασης  $\rho$  για αυτό και επιβάλλεται πάντα ο προσδιορισμός τους. Η

διαπερατότητα  $\tau$  συνήθως είναι μικρή ως μηδενική και δε λαμβάνεται υπόψη μιας και τα σώματα που εξετάζονται συνήθως είναι αδιαφανή. Σε αντίθετη περίπτωση όμως πρέπει να υπολογίζεται γιατί επηρεάζει σημαντικά τις μετρήσεις.

### 1.5 Βασικές αρχές υπέρυθρης θερμογραφίας

Η θερμογραφία ή η υπέρυθρη φωτογράφιση, ανιχνεύει την εκπομπή θερμικής ακτινοβολίας και έτσι προκύπτει οπτική απεικόνιση του θερμικού σήματος (θερμογράφημα). Με τη θερμογραφία δε μετράται απ' ευθείας η θερμοκρασία μιας επιφάνειας αλλά η μεταβολή της επιφανειακής ακτινοβολίας. Έτσι, οι υποεπιφανειακές ανωμαλίες στο υλικό δημιουργούν τοπικές διαφορές στην επιφανειακή θερμοκρασία προκαλούμενες από τους διαφορετικούς βαθμούς θερμικής μεταφοράς στις ζώνες που υπάρχουν ατέλειες.

Η υπέρυθρη θερμογραφία βασίζεται στην αρχή ότι κάθε σώμα με θερμοκρασία μεγαλύτερη του απόλυτου μηδενός, εκπέμπει ενέργεια υπό τη μορφή ακτινοβολίας προς όλες τις κατευθύνσεις. Το μήκος κύματος που εκπέμπεται εξαρτάται από την θερμοκρασία. Αυξανόμενης της θερμοκρασίας το μήκος κύματος γίνεται βραχύτερο και στην περίπτωση πολύ μεγάλων θερμοκρασιών βρίσκεται στο ορατό φάσμα (π.χ. πυρακτωμένη άκρη βελόνας). Στη θερμοκρασία δωματίου το μήκος κύματος της ακτινοβολίας είναι της τάξεως των 10 $\mu$ m (στην υπέρυθρη περιοχή του φάσματος).

Η ακτινοβολία ανιχνεύεται με κατάλληλες ανιχνευτικές διατάξεις (θερμοκάμερες) οι οποίες παράγουν ηλεκτρικό σήμα ανάλογο της προσπίπτουσας ακτινοβολίας το οποίο με κατάλληλη βαθμονόμηση εκφράζεται σε θερμοκρασία.

*Ο ρυθμός εκπομπής ενέργειας,  $\Phi$ , ανά μονάδα επιφανειακής περιοχής του υλικού σχετίζεται με την τέταρτη δύναμη της απόλυτης θερμοκρασίας  $T$ , με βάση το νόμο των Stefan-Boltzmann:*

$$\Phi = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4$$

ενώ σύμφωνα με το νόμο εκτοπίσματος του Wien:

$$\lambda_{\max} = b/T$$

όπου:

- $\lambda_{\max}$ : μήκος κύματος της μέγιστης έντασης ακτινοβολίας ( $\mu\text{m}$ ) και
- $b$ : σταθερά εκτοπίσματος Wien ( $2.897 \mu\text{m/K}$ ) που συσχετίζει την επιφανειακή θερμοκρασία με το μέγιστο μήκος κύματος της εκπεμφθείσας ενέργειας.

Εντός κάποιων περιορισμών, η υπέρυθη θερμογραφία είναι μια μέθοδος που εφαρμόζεται εξ αποστάσεως, έχει σχετικά χαμηλό κόστος και έχει τη δυνατότητα ποιοτικής ή ποσοτικής πληροφόρησης. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό και τον καθορισμό του μεγέθους ενός μεγάλου εύρους ατελειών, σφαλμάτων, διαρροών σε διάφορα αντικείμενα ή εφαρμογές.

## 1.6 Κατηγορίες θερμογραφίας

Υπάρχουν δύο κατηγορίες θερμογραφίας :

- η 'παθητική' και
- η 'ενεργητική'.

Η 'παθητική' θερμογραφία στηρίζεται στις ανιχνεύσιμες θερμοκρασιακές διαφορές στο εκάστοτε οικοδόμημα ως αποτέλεσμα των φυσικών περιβαλλοντικών κύκλων θέρμανσης και ψύξης. Για τη θερμογραφία σε κτίρια αυτή είναι μια ιδιαίτερα πρακτική προσέγγιση λόγω της κλίμακας και της μάζας των σχετικών κατασκευών. Η θερμοφωτογράφιση τις ώρες της δύσης του ηλίου ενδείκνυται για να παρατηρηθούν οι αλλαγές καθώς τα κτίρια τέτοια ώρα είναι δροσερά μετά τη θέρμανσή τους κατά τη διάρκειά της ημέρας. Η απουσία μιας τεχνητής πηγής θέρμανσης/ψύξης αναγκάζει

αυτήν την προσέγγιση για να θεωρηθεί ως παθητική τεχνική, αν και στην πραγματικότητα οι αρχές είναι οι ίδιες.

Κατά την παθητική μέθοδο καταγράφεται η εκπεμπόμενη από το σώμα υπέρυθρη ακτινοβολία, χωρίς την εφαρμογή κάποιας εξωτερικής πηγής θερμότητας. Οι σημαντικές εφαρμογές της παθητικής προσέγγισης είναι στην παραγωγή, προληπτική συντήρηση, ιατρική, πυρανίχνευση δασών, προγράμματα θερμικής αποδοτικότητας κτιρίων, γεωργία και βιολογία, ανίχνευση αερίου και μη καταστρεπτικές δοκιμές. Σε όλες αυτές τις εφαρμογές, μη κανονικά θερμοκρασιακά αποτελέσματα δείχνουν ένα πιθανό πρόβλημα που πρέπει να προσεχθεί. Βασικά, η παθητική θερμογραφία είναι περισσότερο ποιοτική προσέγγιση καθώς ο στόχος της είναι απλά να αναδείξει κάποια ανωμαλία και όχι να αποσπάσει περαιτέρω πληροφορίες.

Η υπέρυθρη κάμερα βρίσκεται σε κάποια απόσταση από τα υπό εξέταση αντικείμενα και αναζητά θερμοκρασιακές ανωμαλίες.

*Καθώς δεν υπάρχει εξωτερική πηγή θερμότητας, τα εξαρτήματα που χρειάζονται για μια θερμογράφιση είναι:*

- Υπέρυθρη κάμερα.
- Οπτικά εξαρτήματα (τηλεσκοπία, μηχανισμοί εστίασης και ζουμ).
- Τρίποδας στήριξης.
- Ηλεκτρονικά εξαρτήματα και εξοπλισμός ανάλυσης.
- Συσκευή μαγνητοσκόπησης (σε ορισμένες περιπτώσεις).
- Ηλεκτρονικός υπολογιστής (αν και η επεξεργασία εικόνας μπορεί να γίνει σε κάποια άλλη στιγμή).
- Γεννήτρια (σε ορισμένες περιπτώσεις).

Η 'ενεργητική' θερμογραφία στηρίζεται στην εφαρμογή μιας εξωτερικής πηγής θέρμανσης/ψύξης ώστε να επιτευχθεί προσομοίωση της ροής θερμότητας μέσα από το υλικό ενώ η επιφάνεια ελέγχεται κατά τη διάρκεια της περιόδου της επιθεώρησης για τυχόν μεταβολές θερμοκρασίας καθώς επιστρέφει σε θερμική ισορροπία.

Σε αντίθεση με την παθητική προσέγγιση, στην ενεργητική προσέγγιση απαιτείται ένα εξωτερικό ερέθισμα για να παράγει τις σχετικές διαφορές θερμοκρασίας που αλλιώς δε θα εμφανιζόταν. Γνωστά χαρακτηριστικά αυτού του εξωτερικού ερεθίσματος επιτρέπουν τον ποσοτικό χαρακτηρισμό, όπως για παράδειγμα την ανίχνευση του βάθους μιας ρωγμής. Βασιζόμενοι σε εξωτερικό ερέθισμα έχουν αναπτυχθεί διαφορετικές τεχνικές ενεργητικής θερμογραφίας, όπως Θερμογραφία παλμού (PT), Βηματικής θέρμανσης (SH), Θερμογραφία ασφαλείας (LT), Θερμογραφία ταλαντώσεων (VT). Η ενεργητική προσέγγιση βρίσκει πολυάριθμες εφαρμογές σε μη καταστρεπτικές δοκιμές. Η θερμογραφία παλμού (PT) αποτελεί μια από τις πιο συχνές μεθόδους διέγερσης που συναντάμε στην ενεργητική θερμογραφία και μαζί με την θερμογραφία ασφαλείας αποτελούν τις πλέον παραδοσιακές μεθόδους. Σ' αυτή την μέθοδο, το υπό εξέταση αντικείμενο θερμαίνεται για κάποιο μικρό χρονικό διάστημα και στην συνέχεια μελετάται η φθίνουσα θερμοκρασιακή πορεία. Συγκεκριμένα η διαδικασία που ακολουθείται είναι η ακόλουθη: η θερμοκρασία του υλικού αλλάζει απότομα μετά τον αρχικό θερμικό παλμό, λόγω των απωλειών θερμότητας με αγωγή, προς το εσωτερικό του υλικού, αλλά και με ακτινοβολία. Η παρουσία κάποιας υποεπιφανειακής ανωμαλίας επηρεάζει τον ρυθμό απωλειών. Έτσι, καθώς παρατηρούμε την επιφανειακή θερμοκρασία διαφορετική θερμοκρασία φαίνεται στην περιοχή όπου από κάτω της βρίσκεται η ανωμαλία.

Στην περίπτωση της βηματικής θέρμανσης (SH), η αύξηση της επιφανειακής θερμοκρασίας παρατηρείται παράλληλα με την βηματική θέρμανση. Αυτή η μέθοδος έχει αρκετές εφαρμογές όπως η εκτίμηση του πάχους του επιχρίσματος, των δομικών συστατικών, και των δεσμών υποστρωμάτων.

Η θερμογραφία ασφαλείας (LT) βασίζεται σε θερμικά κύματα που παράγονται μέσα στο υλικό και η ανίχνευσή γίνεται εξ αποστάσεως. Η παραγωγή των κυμάτων επιτυγχάνεται με την περιοδική απόθεση θερμότητας στην επιφάνεια του υλικού που εξετάζεται. Την ίδια ώρα καταγράφεται εξ αποστάσεως η υπέρυθρη θερμική



ακτινοβολία που εκπέμπεται από την μεταβολή της θερμοκρασίας στην επιφάνεια του υλικού. Ο όρος ασφάλεια, αναφέρεται στην ανάγκη εξέτασης της ακριβούς χρονικής εξάρτησης μεταξύ του εξερχομένου σήματος και του εισερχομένου σήματος αναφοράς (θερμικά κύματα). Αυτό επιτυγχάνεται με έναν ενισχυτή, σε σημειακή θέρμανση με laser, ή με υπολογιστή, σε ολική θέρμανση με λάμπα. Με τον τρόπο αυτό, τα διαγράμματα πλάτους και φάσης γίνονται διαθέσιμα. Τα διαγράμματα φάσης σχετίζονται με τον χρόνο διάδοσης της θερμότητας και καθώς η εξάρτησή τους με τοπικά χαρακτηριστικά της επιφάνειας (όπως αυτά που παράγονται από μια ανομοιογενή θέρμανση) είναι αμελητέα, θεωρούνται ενδιαφέροντα για μη καταστροφικές τεχνικές. Το βάθος της υποεπιφανειακής ανωμαλίας είναι αντιστρόφως ανάλογο της διαφοροποιούμενης συχνότητας. Συνεπώς, όσο μεγαλύτερη είναι η διαφοροποιούμενη συχνότητα τόσο το βάθος προσεγγίζει την επιφάνεια.

Η θερμογραφία ταλαντώσεων (VT) είναι και αυτή μια ενεργητική προσέγγιση θερμογραφίας όπου εξαιτίας μηχανικών δονήσεων, μεταδίδεται θερμότητα μέσω τριβής σε σημεία όπου έχουν εντοπιστεί ανωμαλίες, όπως ρωγμές και αποστρωματώσεις. Οι δονήσεις εφαρμόζονται εκτός υλικού.

Στην περίπτωση της ενεργητικής θερμογραφίας τα εξαρτήματα που απαιτούνται είναι περίπου τα ίδια με τα εξαρτήματα της παθητικής θερμογραφίας. Απαιτείται, επιπλέον, μια εξωτερική πηγή διέγερσης (πχ. προβολείς), και ισχυρότερα λογισμικά, για επίλυση πιο σύνθετων προβλημάτων. Έχει ήδη αναφερθεί ότι, η παθητική θερμογραφία αποσκοπεί απλά στον εντοπισμό ανωμαλιών. Στην ενεργητική θερμογραφία επιλύονται πολύ πιο σύνθετα προβλήματα.

Η ενεργητική θερμογραφία αποτελεί μια άκρως δυναμική διαδικασία και απαιτεί μεθόδους επεξεργασίας των εικόνων που καταγράφονται από την θερμοκάμερα. Στην δυναμική ενεργητική θερμογραφία χρησιμοποιούνται ευρέως μέθοδοι μετασχηματισμού όπως ο μετασχηματισμός Fourier και ο κυματικός μετασχηματισμός. Η επιστημονική κοινότητα δείχνει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την ανάπτυξη αλγορίθμων επεξεργασίας εικόνων. Με την ανάπτυξη καινοτόμων μεθόδων υπάρχει πλέον η δυνατότητα να αποκαλυφθούν, με μεγαλύτερη επιτυχία, τυχόν ανωμαλίες και τα χαρακτηριστικά τους.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> :

### ΘΕΡΜΟΚΑΜΕΡΑ

#### 2.1 Χαρακτηριστικά - Λειτουργία θερμοκάμερας

Κάθε σώμα στη φύση, με θερμοκρασία πάνω από το απόλυτο μηδέν (-273 β. Κελσίου) εκπέμπει ποσότητα υπέρυθρης ακτινοβολίας. Η θερμοκάμερα είναι μια συσκευή που σχηματίζει εικόνα χρησιμοποιώντας υπέρυθρη ακτινοβολία και είναι παρεμφερής με την κοινή κάμερα, η οποία σχηματίζει εικόνα χρησιμοποιώντας την ορατή ακτινοβολία. Αντί της περιοχής των 450-750 nm της κάμερας ορατούς ακτινοβολίας, οι υπέρυθρες κάμερες λειτουργούν σε μήκη κύματος της τάξεως των 14000nm.

Οι θερμοκάμερες (IR κάμερες) μετρούν την υπέρυθρη ακτινοβολία (την οποία εκπέμπει κάθε σώμα και η οποία αυξάνεται όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία του) και την αντιστοιχίζουν με τις σημειακές επιφανειακές θερμοκρασίες του σώματος, με την προϋπόθεση ότι λαμβάνονται υπόψη όλες οι, σχετικές με τη μέτρηση, επιπλέον παράμετροι.

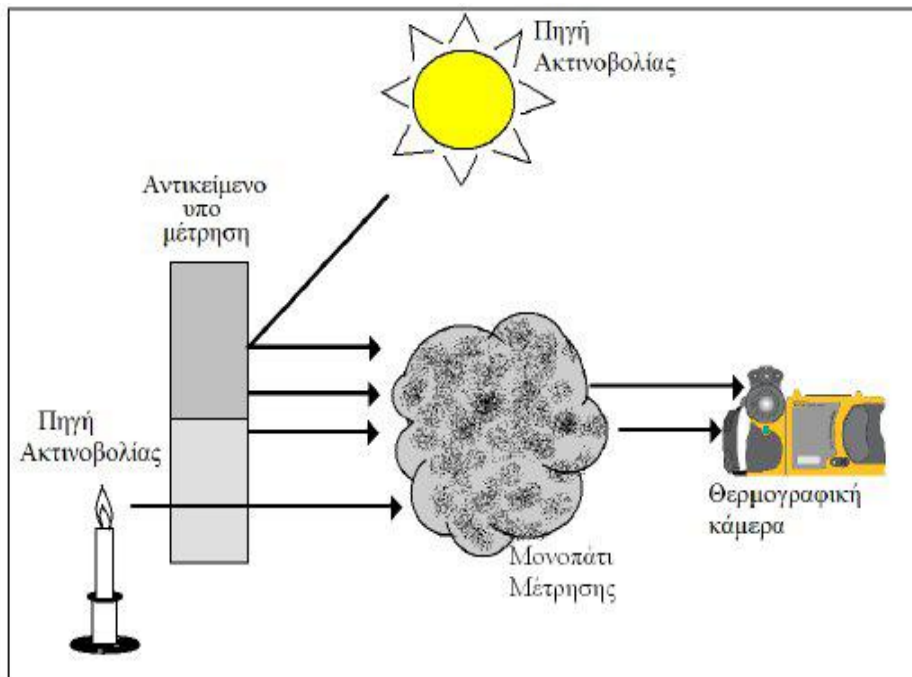
*Αυτές οι παράμετροι μπορεί να είναι:*

- ο συντελεστής εκπομπής του αντικειμένου, που εκφράζει ένα μέτρο της ποσότητας ακτινοβολίας που εκπέμπεται από ένα αντικείμενο σε σχέση με την ακτινοβολία ενός μέλανος σώματος (σώμα που δεν ανακλά απολύτως τίποτα και που όλη η ακτινοβολία του οφείλεται στη θερμοκρασία του) στην ίδια θερμοκρασία και είναι ένας αριθμός που κυμαίνεται μεταξύ 0 και 1.

*Γενικά τα δομικά υλικά έχουν μεγάλο συντελεστή εκπομπής (μεγαλύτερο από 0,8):*

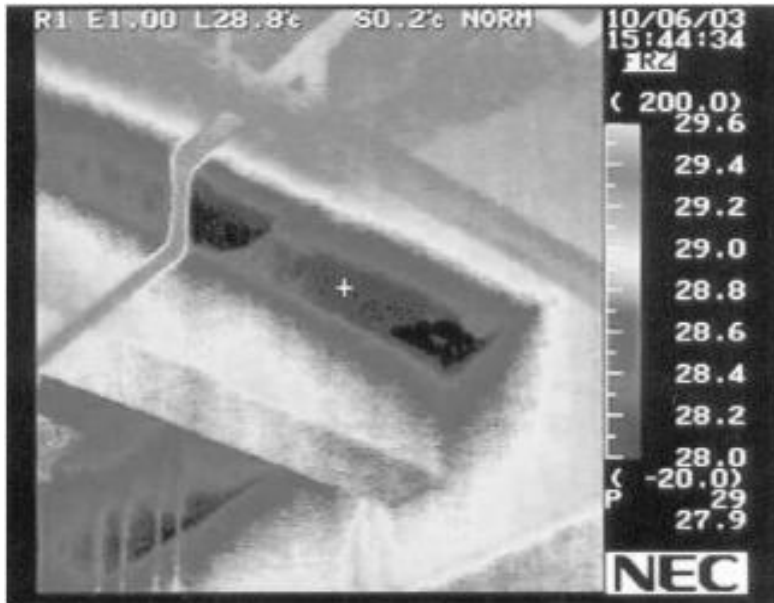
- η απόσταση του αντικειμένου από την κάμερα
- η σχετική υγρασία
- η σχετική IR διαπερατότητα (transmissivity) περιβάλλοντος
- η φαινόμενη θερμοκρασία ανάκλασης (που αντισταθμίζει τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος που ανακλάται πάνω στο αντικείμενο και καταλήγει πάνω στην κάμερα)
- η θερμοκρασία του περιβάλλοντος καθώς και άλλες που σχετίζονται με την κάθε εφαρμογή ειδικότερα.

Επιπλέον, υπάρχουν και κάποιοι άλλοι παράγοντες , πέρα από την απόσταση της θερμοκάμερας από το αντικείμενο, που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τη θερμογραφική επιθεώρηση και οι οποίοι μπορούν να αλλοιώσουν εν μέρει το αποτέλεσμα. Ένας πολύ σημαντικός παράγοντας είναι η ύπαρξη εξωτερικών θερμικών πηγών στο χώρο των μετρήσεων, όπως θερμαντικά σώματα. Έτσι μετρήσεις κάτω από πολύ δυνατή ηλιοφάνεια είναι δυσχερείς, μιας και το ποσοστό των ανακλάσεων είναι πολύ υψηλό και είναι δύσκολο να προσδιοριστεί, με αποτέλεσμα αυτό που μετράται να μην είναι αυτό που πραγματικά εκπέμπεται από το σώμα. Αντίστοιχα, μετρήσεις κάτω από ισχυρή ψύξη (ισχυροί άνεμοι, σώματα κλιματισμού) οδηγούν σε εσφαλμένη εκτίμηση της θερμοκρασιακής κατάστασης του σώματος λόγω της βεβιασμένης ψύξης του. Γι' αυτό και για ταχύτητες μέχρι 16 κόμβους (8m/s) χρησιμοποιείται ένας συντελεστής διόρθωσης ο οποίος πολλαπλασιαζόμενος με τη μετρούμενη υπερθέρμανση δίνει την υπερθέρμανση χωρίς άνεμο. Άλλοι παράγοντες είναι οι καιρικές συνθήκες, όπως έντονη ηλιοφάνεια, βροχή και χιόνι, αλλά και το μέγεθος του αντικειμένου.



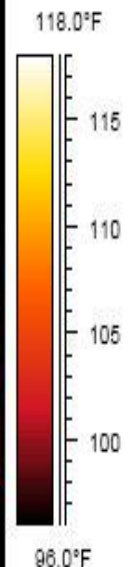
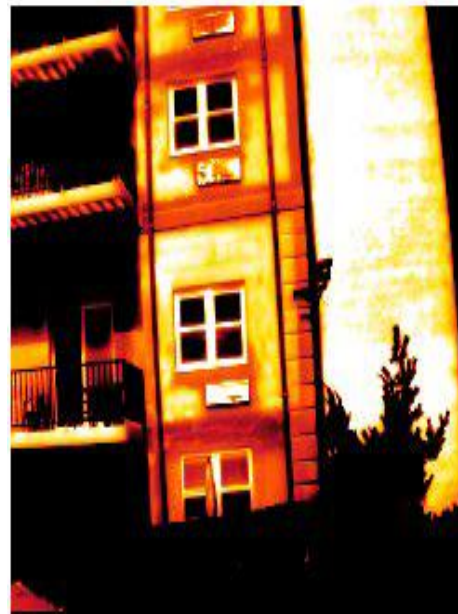
**Εικόνα 1: Διαδρομή ακτινοβολίας μέχρι τη θερμογραφική κάμερα**

Όπως φαίνεται και στο παραπάνω σχήμα, οι συνιστώσες ακτινοβολίας που καταλήγουν στο αντικείμενο προέρχονται από την εκπομπή από το αντικείμενο, από εκπομπή μέσω ανάκλασης από την πηγή του περιβάλλοντος και από εκπομπή από την ατμόσφαιρα. Έτσι στην οθόνη της θερμοκάμερας εμφανίζεται μια γραφική εικόνα που απεικονίζει την κατανομή θερμοκρασιών στις εκάστοτε επιφάνειες και μάλιστα με δυνατότητα να εντοπίζει θερμοκρασιακές διακυμάνσεις της τάξεως των 0,1 K. Οι εικόνες από τις υπέρυθρες κάμερες μπορούν να είναι μονοχρωματικές, όταν σχεδιάζονται με έναν μόνο τύπο αισθητήρα, ο οποίος ανταποκρίνεται σε μία περιοχή απλού μήκους κύματος της υπέρυθρης ακτινοβολίας. Ακολουθεί μια τυπική μονοχρωματική θερμοφωτογραφία .



**Εικόνα 2: Μονοχρωματική θερμοφωτογραφία έρευνας για τον εντοπισμό υγρασίας σε οροφή**

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



### **Εικόνα 3: Θερμοφωτογραφίες σε (α) γκρι και σε (β) ουράνιο τόξο**

Έχοντας ορίσει με ένα ευρύ φάσμα χρωμάτων τις διαβαθμίσεις της καταγραφόμενης θερμικής ακτινοβολίας που εκπέμπει το σώμα, περιγράφεται η μορφή του με διαφορετικά χρώματα, ανάλογα με την εκπεμπόμενη θερμική ακτινοβολία από το κάθε σημείο της επιφάνειάς του. Πιο συγκεκριμένα τα πιο φωτεινά (ζεστότερα) μέρη της εικόνας έχουν άσπρο χρώμα, για ενδιάμεσες θερμοκρασίες είναι κόκκινα και κίτρινα και τα πιο σκοτεινά (ψυχρότερα) κομμάτια είναι μπλε, ενώ στην οθόνη αναγράφεται και η θερμοκρασία για το κάθε σημείο μέτρησης.

Όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του εξεταζόμενου σώματος και του περιβάλλοντός του, τόσο μεγαλύτερες είναι οι εκπεμπόμενες ροές θερμότητας και άρα τόσο πιο ευκρινείς οι χρωματικές διαφοροποιήσεις στο θερμογράφημα της θερμοκάμερας. Για το λόγο αυτό οι θερμοφωτογραφήσεις είναι περισσότερο αποτελεσματικές, όταν διεξάγονται σε ψυχρή περίοδο και κατά τη διάρκεια της νύκτας.

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

Αναλυτικότερα, στο συναγερμό χρώματος, οι περιοχές με θερμοκρασίες εκτός των τρεχουσών ρυθμίσεων επιπέδου/ εύρους χρωματίζονται με τα χρώματα κορεσμού.

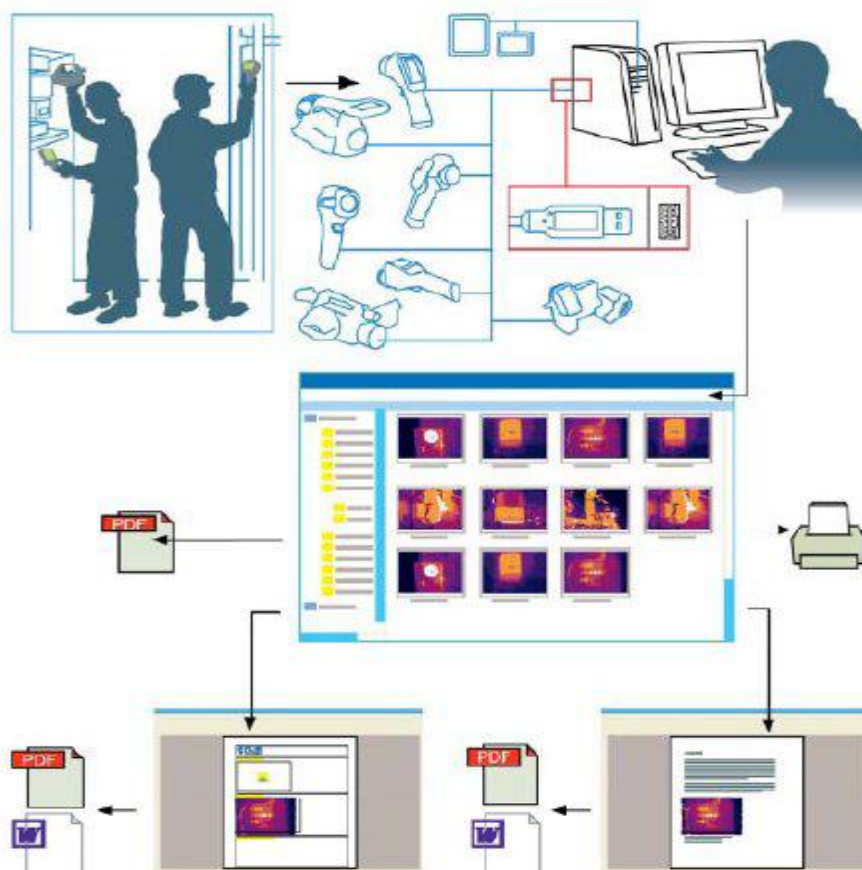
Τα χρώματα κορεσμού περιέχουν ένα χρώμα ‘υπερροής’ και ένα χρώμα ‘υπορροής’. Υπάρχει επίσης ένα τρίτο κόκκινο χρώμα κορεσμού που επισημαίνει οτιδήποτε έχει κορεστεί από τον ανιχνευτή, που υποδηλώνει ότι το εύρος θα πρέπει μάλλον να αλλάξει.

Ο συναγερμός σημείου δρόσου, για μία σειρά από περιβαλλοντικές παραμέτρους, μπορεί να εντοπίσει αυτές τις περιοχές με επικινδυνότητα σχηματισμού συμπυκνώματος υδρατμών και να προειδοποιήσει ότι εκεί μπορεί να υπάρχει ατέλεια στη δομή της κατασκευής (ρύθμιση: σχετική υγρασία, θερμοκρασία ατμόσφαιρας).

Ο συναγερμός μόνωσης μπορεί να εντοπίσει περιοχές όπου ενδέχεται να υπάρχει ανεπάρκεια στη μόνωση του κτιρίου. Ο συναγερμός αυτός πυροδοτείται όταν το επίπεδο μόνωσης πέφτει κάτω από μια προκαθορισμένη τιμή διαρροής θερμότητας μέσω ενός τοίχου (ρύθμιση: θερμοκρασία εξωτερικού τοίχου, θερμοκρασία εσωτερικού τοίχου, επίπεδο μόνωσης).

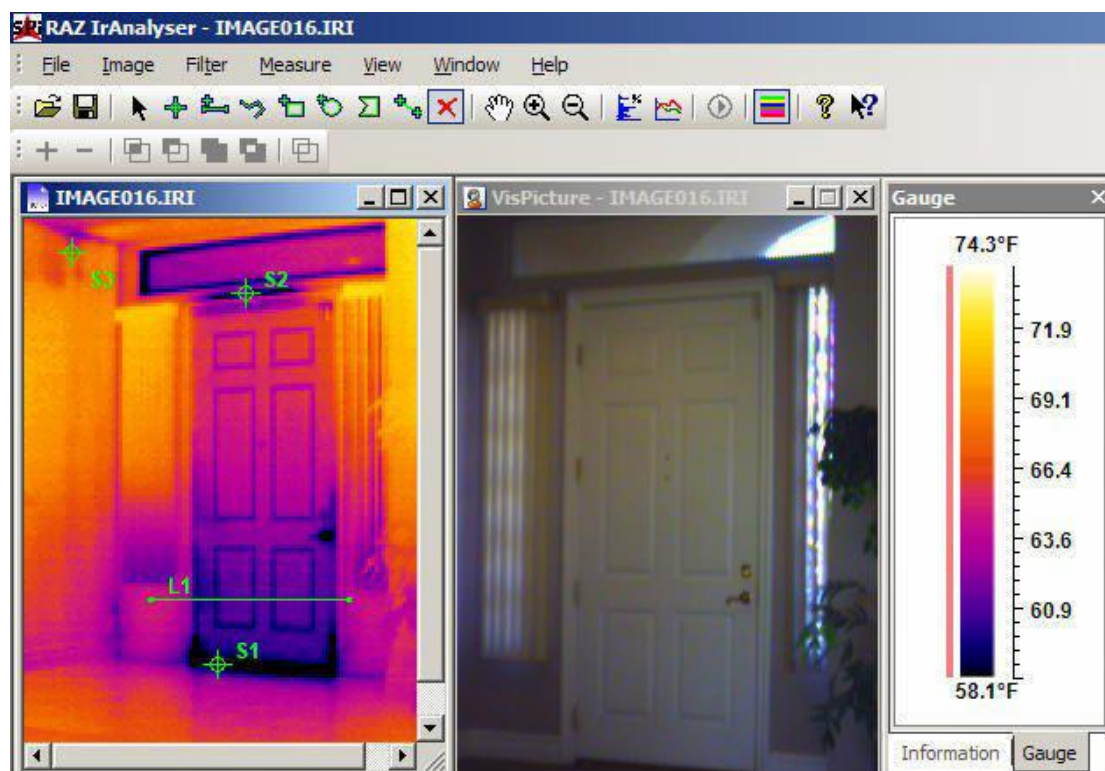
## 2.2 Στοιχεία θερμοκάμερας

Τα στοιχεία που συλλέγονται από τη θερμοκάμερα επεξεργάζονται με ειδικό λογισμικό θερμικής (θερμογραφικής) ανάλυσης, με στόχο την εξαγωγή συμπερασμάτων μηχανικής, ανάλογα με την εφαρμογή. Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται τα βήματα που πρέπει να ακολουθηθούν για την επεξεργασία της εικόνας από θερμοκάμερα.



#### Εικόνα 4: Ροή εργασίας

Τη λήψη των φωτογραφιών ακολουθεί η επεξεργασία τους με ειδικό λογισμικό μέσω υπολογιστή, οπότε και μπορούν στη συνέχεια να εκτυπωθούν ή να ενταχθούν σε μια τελική έκθεση.

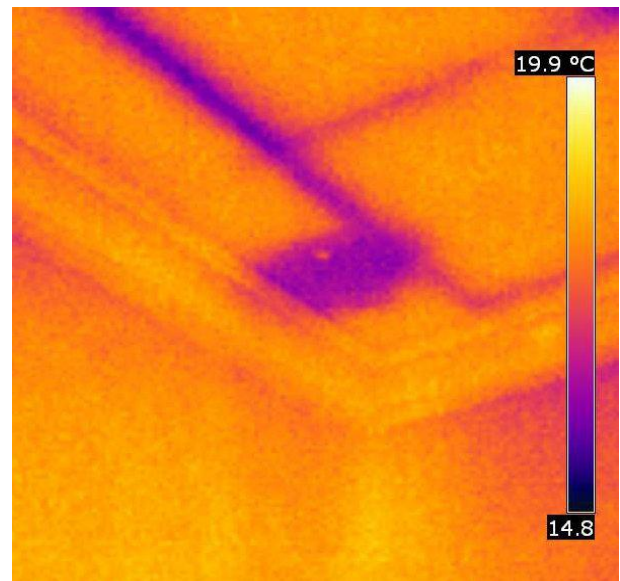
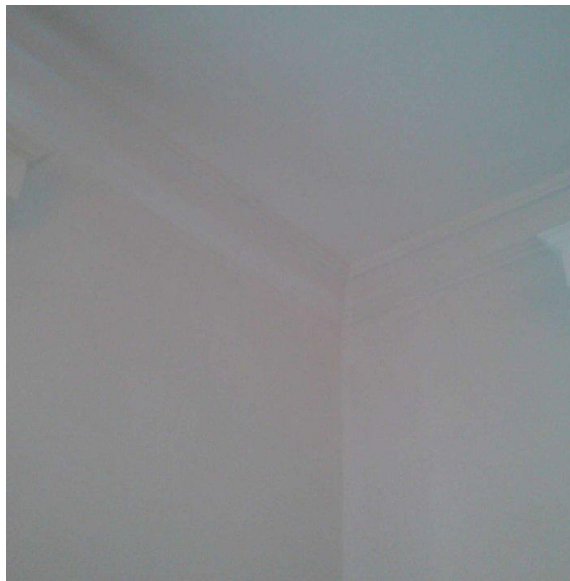


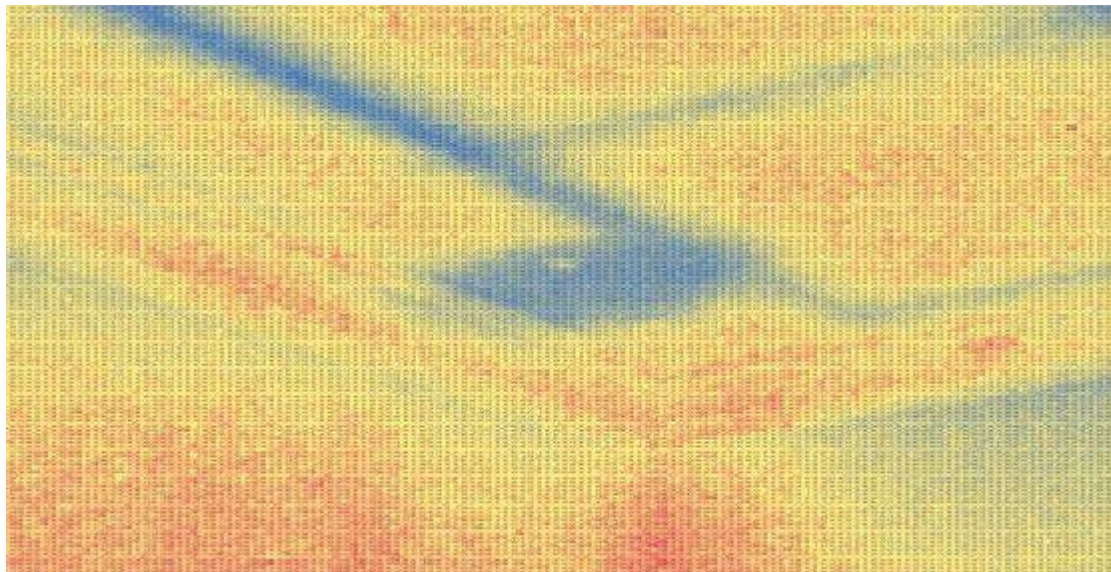
Εικόνα 5: Παράδειγμα επεξεργασίας θερμοφωτογραφίας μέσω του υπολογιστή

Στην παραπάνω περίπτωση έχει φωτογραφηθεί μια πόρτα εισόδου κατοικίας. Φαίνονται ξεκάθαρα τα σημεία διαφυγής θερμότητας στην κορυφή και το κατώτατο σημείο του κουφώματος της πόρτας.

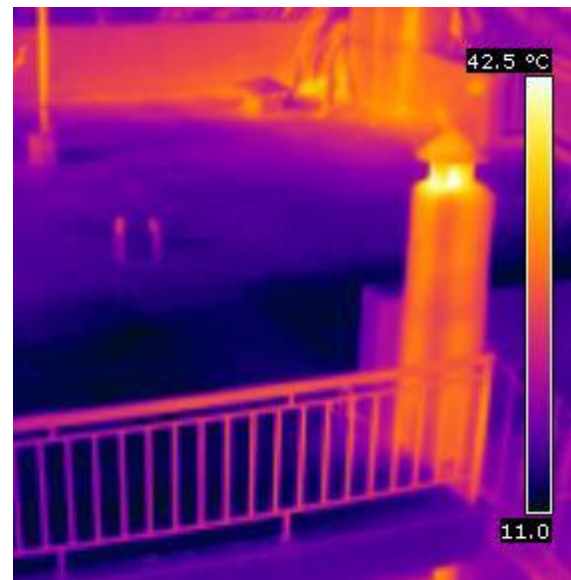


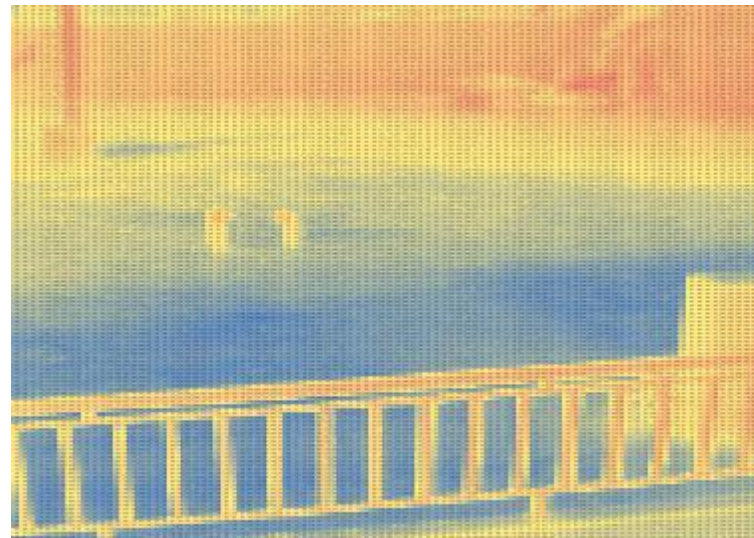
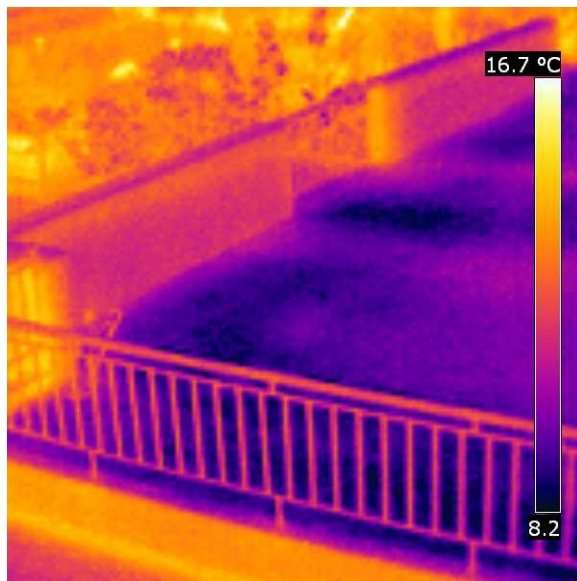
Μια επιπλέον δυνατότητα που παρέχεται είναι μέσω προγράμματος να πάρουμε τις τιμές της θερμοκρασίας σε excel το οποίο δίνει τη δυνατότητα να απεικονίσω την υπέρυθη εικόνα με τέτοιο τρόπο ώστε κάθε κουτί- pixel στο excel να αντιστοιχεί και σε μια τιμή θερμοκρασίας η οποία και αναγράφεται μέσα στο κουτί, ενώ ταυτόχρονα το κουτί χρωματίζεται με το χρώμα που αντιστοιχεί στην εκάστοτε θερμοκρασία. Ακολουθούν 2 παραδείγματα εικόνων, όπου σε κάθε παράδειγμα φαίνεται η κανονική εικόνα, η υπέρυθη και αυτή του excel.





**Εικόνα 6: Έλλειψη θερμομόνωσης δώματος**





**Εικόνα 7: Έλλειψη θερμομόνωσης οροφής**

*Τα βασικά στοιχεία μιας έκθεσης είναι:*

A' Μέρος



- ✓ Τα στοιχεία του πελάτη, όπως π.χ. η επωνυμία της εταιρείας και το ονοματεπώνυμο του υπευθύνου
- ✓ Η τοποθεσία όπου έλαβε χώρα η επιθεώρηση: διεύθυνση, πόλη κ.ο.κ. του εργοστασίου
- ✓ Η ημερομηνία της επιθεώρησης
- ✓ Η ημερομηνία σύνταξης της έκθεσης
- ✓ Το ονοματεπώνυμο του τεχνικού θερμογραφίας
- ✓ Η υπογραφή του τεχνικού θερμογραφίας
- ✓ Μια περίληψη ή ένας πίνακας περιεχομένων

B' Μέρος

Σελίδες επιθεώρησης που περιέχουν υπέρυθρες εικόνες για την τεκμηρίωση και την ανάλυση θερμικών ιδιοτήτων ή ανωμαλιών.

- ✓ Περιγραφή του επιθεωρούμενου αντικειμένου (χαρακτηρισμός, ονομασία, κωδικός κ.ο.κ., φωτογραφία)
- ✓ Υπέρυθρη εικόνα όπου θα λαμβάνονται υπόψη λεπτομέρειες όπως: οπτική εστίαση, θερμική προσαρμογή του σκηνικού ή του προβλήματος (όρια και εύρος), σύνθεση (ορθή απόσταση και οπτική εικόνα παρατήρησης), σχολιασμός (βλάβες, φαινόμενα ανάκλασης)
- ✓ Χρήση εργαλείου μέτρησης — σημείου, περιοχής ή ισόθερμης — για την ποσοτικοποίηση του προβλήματος. Είναι προτιμότερο να χρησιμοποιείται το απλούστερο δυνατό εργαλείο. Μια γραφική παράσταση προφίλ πολύ σπάνια απαιτείται σε εκθέσεις επιθεώρησης ηλεκτρικών εγκαταστάσεων.

Ακολουθεί ένα παράδειγμα φύλλου τελικής έκθεσης.

		<b>THERMOGRAPHY INSPECTION</b> for FLIR Systems AB		Date: 2005-10-10 Sign: _____ Contract: : 1708																													
<b>Photograph</b>																																	
		<table border="1"> <tr><td>Place</td><td colspan="3">Building 1</td></tr> <tr><td>Localization</td><td colspan="3">Right panel, group 2</td></tr> <tr><td>Equipment</td><td colspan="3">Fuse</td></tr> <tr><td>Model / type</td><td colspan="3">BBC LHBN 250</td></tr> <tr><td>Phase / ID</td><td colspan="3">Supply for Panel 8</td></tr> <tr><td>Room temperature °C</td><td colspan="3">15</td></tr> <tr><td>Status</td><td colspan="3">Over heated</td></tr> </table>				Place	Building 1			Localization	Right panel, group 2			Equipment	Fuse			Model / type	BBC LHBN 250			Phase / ID	Supply for Panel 8			Room temperature °C	15			Status	Over heated		
Place	Building 1																																
Localization	Right panel, group 2																																
Equipment	Fuse																																
Model / type	BBC LHBN 250																																
Phase / ID	Supply for Panel 8																																
Room temperature °C	15																																
Status	Over heated																																
<b>Thermogram</b>																																	
		<table border="1"> <tr><td>Temp. Spot 1</td><td colspan="3">34 °C</td></tr> <tr><td>Temp. Spot 2</td><td colspan="3">17 °C</td></tr> <tr><td><b>TEMPERATURE DIFF</b></td><td colspan="3"><b>17 °C</b></td></tr> <tr><td>Phase</td><td>L1</td><td>L2</td><td>L3</td></tr> <tr><td>Load ( A )</td><td>45</td><td>47</td><td>47</td></tr> <tr><td>Rated load</td><td colspan="3">250</td></tr> <tr><td><b>Fault class</b></td><td colspan="3"><b>2</b></td></tr> </table>				Temp. Spot 1	34 °C			Temp. Spot 2	17 °C			<b>TEMPERATURE DIFF</b>	<b>17 °C</b>			Phase	L1	L2	L3	Load ( A )	45	47	47	Rated load	250			<b>Fault class</b>	<b>2</b>		
Temp. Spot 1	34 °C																																
Temp. Spot 2	17 °C																																
<b>TEMPERATURE DIFF</b>	<b>17 °C</b>																																
Phase	L1	L2	L3																														
Load ( A )	45	47	47																														
Rated load	250																																
<b>Fault class</b>	<b>2</b>																																
<b>Comment</b>																																	
Disconnect cable, clean contact surfaces. Check for connectivity between cable shoe and lead. Replace any defective component. Assemble according to directions with correct torque.  Note that load is only 18%. Calculated temperature rise at 50% load would be approximately 104°C. $[ T_{50} = (T_1 - T_2) * (1.25 / 4.5)^{-1.6} + T_2 ]$																																	
<b>Corrected</b>																																	
Measure taken:			Date:																														
Sign: _____			Sign: _____																														

Side 1

## Εικόνα 8: Φύλλο τεχνικής έκθεσης

### 2.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

Κάθε μη καταστρεπτική τεχνική έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά της.

*Στην περίπτωση της υπέρυθρης θερμογραφίας, τα πλεονεκτήματα είναι τα ακόλουθα:*

- ✓ γρήγορη επιθεώρηση μεγάλων επιφανειών (μέχρι μερικά m<sup>2</sup> κάθε φορά)
- ✓ ανίχνευση μη ορατών σφαλμάτων και εντοπισμός τους με ακρίβεια
- ✓ επιθεώρηση χωρίς επαφή με το υπό εξέταση αντικείμενο
- ✓ έγκαιρος εντοπισμός αστοχίας που συντελεί στην πρόγνωση ανεπιθύμητων Καταστάσεων
- ✓ η ασφάλεια του προσωπικού (δεδομένου ότι δεν υπάρχει καμία σχετική επιβλαβής ακτινοβολία)
- ✓ αποτελεσματικότερη συντήρηση
- ✓ τα αποτελέσματα είναι σχετικά εύκολο να μελετηθούν δεδομένου ότι οι εικόνες μπορούν να υποβληθούν σε επεξεργασία για να εξαχθούν περισσότερες πληροφορίες
- ✓ ευρεία έκταση των εφαρμογών
- ✓ είναι ίσως το μοναδικό εργαλείο επιθεώρησης σε κάποιες περιπτώσεις (π.χ. όπως στην περίπτωση μερικών κεραμικών επιστρωμάτων που επιθεωρούνται μετά βίας με άλλες μη καταστρεπτικές τεχνικές ή στην περίπτωση ερευνών στη διάρκεια συντήρησης).
- ✓ Προσφέρει στον εκάστοτε πελάτη τη δυνατότητα οπτικοποίησης των προβλημάτων και όχι απλώς μιας γραπτής αναφοράς

- ✓ Καθιστά γνωστές τις πραγματικά απαραίτητες διορθωτικές ενέργειες ώστε να δοθεί προτεραιότητα στις πιο απαραίτητες εξ' αυτών
- ✓ Ανταγωνιστικό κόστος λαμβάνοντας υπόψη αυτά που προσφέρει σε σχέση με άλλες μεθόδους ενεργειακής επιθεώρησης
- ✓ Δυνατότητα ενεργειακού ελέγχου κτιρίων πριν την αγορά τους

*Από την άλλη, υπάρχουν μερικά μειονεκτήματα όπως:*

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

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> :

### ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΘΕΡΜΟΚΑΜΕΡΑΣ

#### 3.1 Χρήσεις θερμοκάμερας

Η θερμοκάμερα είναι ένα πολύτιμο εργαλείο με ποικίλες εφαρμογές. Αποτελεί την κυριότερη και αποτελεσματικότερη μέθοδο μη καταστρεπτικού ελέγχου.

*Μερικές από τις εφαρμογές της υπέρυθρης θερμογραφίας είναι:*

- στην ιατρική (ανίχνευση καρκίνου του μαστού, αναπνευστικών ασθενειών, αρθρίτιδας κ.α.)
- στο περιβάλλον και συγκεκριμένα σε περιβαλλοντικές επιθεωρήσεις όπου συντελεί στον εντοπισμό των περιοχών διάθεσης αποβλήτων ή παλαιών θαμμένων δεξαμενών
- στην αεροδιαστημική
- σε πετροχημικές εφαρμογές (δυλιστήρια)
- στον ηλεκτρονικό εξοπλισμό για την επιθεώρηση και την αξιολόγηση υβριδικών μικροκυκλωμάτων και κυρίως
- σε ηλεκτρικές εγκαταστάσεις, όπου η θερμογραφική επιθεώρηση
- εφαρμόζεται σε τρεις κύριους τομείς, στην παραγωγή , τη μεταφορά και τη
- διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας. Η θερμοκάμερα χρησιμοποιείται από
- τους τεχνικούς συντήρησης των υψηλών γραμμών για να εντοπίζονται τα
- υπέρθερμα σημεία και μέρη, ώστε να εξαλειφθούν πιθανοί κίνδυνοι.
- Ανιχνεύει την υπερθέρμανση στις κεραίες, τους οδηγούς κυμάτων, τα
- καλώδια και τις δομές πλαισίων, εντοπίζει τις διαρροές στα υδραυλικά, ενώ

- μπορεί να ελέγξει τη λειτουργία συστημάτων κλιματισμού (π.χ. μειωμένης απόδοσης).

Η θερμοκάμερα χρησιμοποιείται από τους τεχνικούς συντήρησης των υψηλών γραμμών για να εντοπίζονται τα υπέρθερμα σημεία και μέρη, ώστε να εξαλειφθούν πιθανοί κίνδυνοι.

Ανιχνεύει την υπερθέρμανση στις κεραίες, τους οδηγούς κυμάτων, τα καλώδια και τις δομές πλαισίων, εντοπίζει τις διαρροές στα υδραυλικά, ενώ μπορεί να ελέγξει τη λειτουργία συστημάτων κλιματισμού (π.χ. μειωμένης απόδοσης).

- στη θερμική επιθεώρηση κτιριακών εγκαταστάσεων προσδιορίζοντας τη θερμική κατάστασή τους, διαρροές αέρα, απώλειες θερμότητας ή ενέργειας και διείσδυση κρύου αέρα μέσα από τοίχους, οροφές, πατώματα, πόρτες και παράθυρα (αναλυτικά αναγράφονται παρακάτω).

Συχνά μάλιστα, για την ανίχνευση διαρροών αέρα η μέθοδος της θερμογραφίας συνδυάζεται με ένα εργαλείο που ονομάζεται “blower door”. Μια “blower door” είναι μια συσκευή με έναν ανεμιστήρα μεταβλητής ταχύτητας και μετρητές ροής.

Εγκαθίσταται προσωρινά σε μια εξωτερική πόρτα με τη χρήση ενός πλαισίου και ενός ειδικού τυλίγματος. Αφού όλα τα εξωτερικά ανοίγματα σφραγιστούν, οι εσωτερικές πόρτες παραμένουν ανοικτές και οι συσκευές καύσης κλειστές και τα τζάκια καλυφθούν, ο ανεμιστήρας της “blower door” αρχίζει να ελαττώνει την πίεση στην κατοικία τραβώντας τον εσωτερικό αέρα έξω από το κτίριο. Με τη διαφορά πίεσης που δημιουργείται (γύρω στα 50 Pa) σχεδόν προσομοιώνεται η επίδραση ενός αέρα με ταχύτητα 20 μίλια ανά ώρα σε όλες τις πλευρές του κτιρίου.





**Εικόνα 9: Εγκατάσταση ‘blower door’**

Ο αέρας εισέρχεται στην κατοικία μέσω των ανοιγμάτων. Με τη βοήθεια της θερμοκάμερας εντοπίζονται οι περιοχές διήθησης αέρα. Εάν ο ανεμιστήρας δεν είναι απαραίτητο να δουλέψει πολύ για να επιτύχει αυτήν την διαφορά πίεσης, αυτό συνεπάγεται ότι η κατοικία δεν έχει πολλές διαρροές. Εάν πρέπει να δουλέψει αρκετά για να επιτύχει αυτήν την διαφορά πίεσης, αυτό σημαίνει ότι υπάρχουν ουσιώδη ανοίγματα μεταξύ του εσωτερικού και του εξωτερικού του κελύφους.

Η θερμογραφία συμβάλει επιπλέον και στον άμεσο και ακριβή εντοπισμό της ελλιπούς ή κατεστραμμένης λόγω φυσικής φθοράς με την πάροδο του χρόνου ή ακόμα και υγρής μόνωσης σε μεσοπατώματα, ψευδοδάπεδα, προσόψεις και στέγες, ενώ γενικά χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της ακεραιότητας ενός ευρέος φάσματος συστημάτων στεγών για λόγους συντήρησης και αποτελεσματικότητας.

Εκτός από τον εντοπισμό προβλημάτων μόνωσης, χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό της υγρασίας, της μούχλας, της συμπύκνωσης, των διαρροών νερού (όπως π.χ. από ελαττωματικές βαλβίδες θερμαντικών σωμάτων), της διείσδυσης νερού, των ατελειών και πιθανών κοιλοτήτων στα τοιχώματα και τις οροφές των κτιρίων,

παρέχοντας τη δυνατότητα να επισκευαστεί το όποιο πρόβλημα προτού αυτό επεκταθεί. Χρησιμοποιείται ευρέως στον προσδιορισμό της ευστάθειας του σκυροδέματος, την ανίχνευση και τον εντοπισμό καλωδίων και σωληνώσεων θέρμανσης που εκπέμπουν ακτινοβολία, διαφορετικών υλικών μέσα σε μία κατασκευή και υποεπιφανειακών ανωμαλιών στα υλικά, ακόμα και την ανίχνευση στηριγμάτων ξυλείας και γενικά την ανίχνευση κατασκευαστικών ελαττωμάτων (όπως χαλασμένη τοποθέτηση διπλών υαλοπινάκων).

Αποδεικνύεται επίσης ιδιαίτερα χρήσιμη και στον εντοπισμό των θερμικών γεφυρών (θερμογεφυρών) στο κτιριακό κέλυφος. Ως θερμογέφυρα ορίζεται το τμήμα εκείνο του περιβλήματος του κτιρίου, στο οποίο η θερμική του αντίσταση εμφανίζεται μειωμένη συγκριτικά με τη θερμική αντίσταση στο υπόλοιπο κέλυφος και κατά συνέπεια στη θέση εκείνη η θερμική ροή είναι αυξημένη. Γι' αυτό το λόγο και οι θερμογέφυρες θεωρούνται ως τα "ασθενή" σημεία του κτιριακού κελύφους και λειτουργούν επιβαρυντικά στη θερμική του προστασία, ευνοώντας την εκδήλωση του φαινομένου της συμπύκνωσης των υδρατμών και την ανάπτυξη μυκήτων μούχλας και διαφόρων μικροοργανισμών στην επιφάνεια των δομικών στοιχείων. Ως συνέχεια αυτού, η θερμοκάμερα βοηθάει και στον καθορισμό της πιθανότητας εισβολής και προσβολής από παράσιτα και έντομα και άλλων μολυσματικών παραγόντων.

Τέλος, έχει εφαρμογή στην πυρόσβεση, καθώς εντοπίζει τις πυρκαγιές χαμηλής έντασης (προλαβαίνοντας τυχόν επέκτασή τους) σε δασικά εδάφη και ανθρώπους σε φλεγόμενα κτίρια συνδράμοντας σημαντικά στην έγκαιρη διάσωσή τους. Εφαρμόζεται και στην οδοποιία, καθώς εντοπίζει τις μη ομοιόμορφες πυκνότητες στην καυτή επίστρωση των διαφόρων μιγμάτων της ασφάλτου.

### **3.2 Συνθήκες μετρήσεως σε κτίρια**

Κατά την διάρκεια των μετρήσεων για την μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια πρέπει να υπάρχουν όσο το δυνατό μεγαλύτερες διαφορές θερμοκρασιών ανάμεσα στο εσωτερικό της κατασκευής και το περιβάλλον. Ο ιδανικότερος χρόνος μέτρησης είναι το χειμώνα, ημέρα με ελάχιστη ή κατά προτίμηση καθόλου ηλιοφάνεια. Η προς

μέτρηση επιφάνεια πρέπει να είναι κατά το δυνατόν κάθετη προς τον άξονα της μέτρησης.

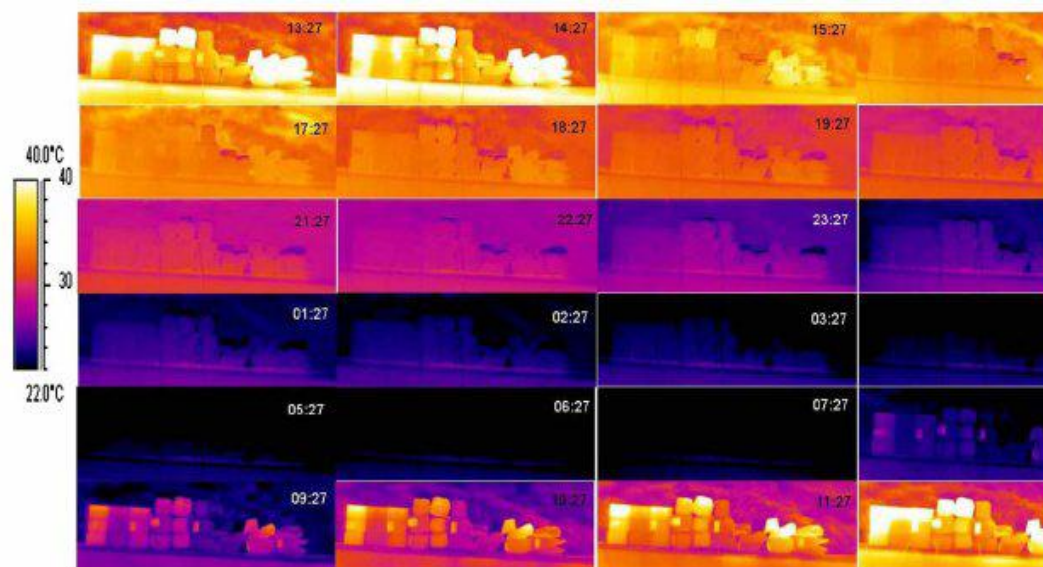
Η θερμογραφία εξυπηρετεί στην ερμηνεία της κατάστασης αλλά και μερικές φορές στον προσδιορισμό του είδους των υλικών που βρίσκονται στην κατασκευή.

Ακολουθεί ένας πίνακας στον οποίο αναγράφονται οι ιδανικές συνθήκες μετρήσεως σε κτίρια για κάθε περίπτωση εντοπισμού προβλημάτων.

**Πίνακας 1: Ιδανικές συνθήκες μετρήσεως σε κτίρια για εντοπισμό προβλημάτων μέσω θερμοκάμερας**

Στον εντοπισμό θερμικών γεφυρών (κακής μόνωσης)	<p>Ιδανικές συνθήκες:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ελάχιστη ή καθόλου ηλιακή ακτινοβολία</li> <li>• αποκατάσταση θερμικής ισορροπίας σε ένα κτίριο για αρκετό χρονικό διάστημα</li> <li>• ύπαρξη μεγάλων θερμοκρασιακών διαφορών ανάμεσα στον εσωτερικό και εξωτερικό χώρο του κτιρίου</li> </ul>
Στον εντοπισμό διαφυγών θερμού αέρα μέσα από την κατασκευή	
Στον εντοπισμό αγωγών	<p>Ιδανικές συνθήκες:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ροή ζεστού ή ψυχρού υγρού ή αέρα μέσα στους αγωγούς</li> </ul>
Στην ύπαρξη διαφορετικών υλικών πίσω από ενιαία επιφάνεια (π.χ ξύλο, πέτρα ή σκυρόδεμα κάτω από μια ενιαία επιχρισμένη επιφάνεια)	<p>Ιδανικές συνθήκες:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• καθαρός ουρανός</li> <li>• έντονη ηλιακή ακτινοβολία</li> <li>• ασθενείς άνεμοι</li> <li>• η θερμοκρασία εδάφους να είναι πάνω από 0°C</li> <li>• κατά τη νυχτερινή θερμογράφιση δε θα πρέπει να υπάρχουν σύννεφα (γιατί αντανακλούν την υπέρυθρη ακτινοβολία)</li> <li>• 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</li> </ul> <p>Κατάσταση υλικού</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• καθαρισμός της επιφάνειας από χαλαρά υλικά</li> <li>• να μη γίνεται έλεγχος σε επιφάνειες με νερό, πάγο ή χιόνι. Οι υγρές επιφάνειες να στεγνώσουν επί τουλάχιστον ένα εικοσιτετράωρο (εκτός των περιπτώσεων ανίχνευσης νερού μέσα στα υλικά)</li> </ul>
Στην ύπαρξη εσωτερικών ανωμαλιών, κενών ή ρωγμών σε επιφάνειες (π.χ σε καταστρώματα γεφυρών)	
Στον εντοπισμό υγρασίας στα υλικά	

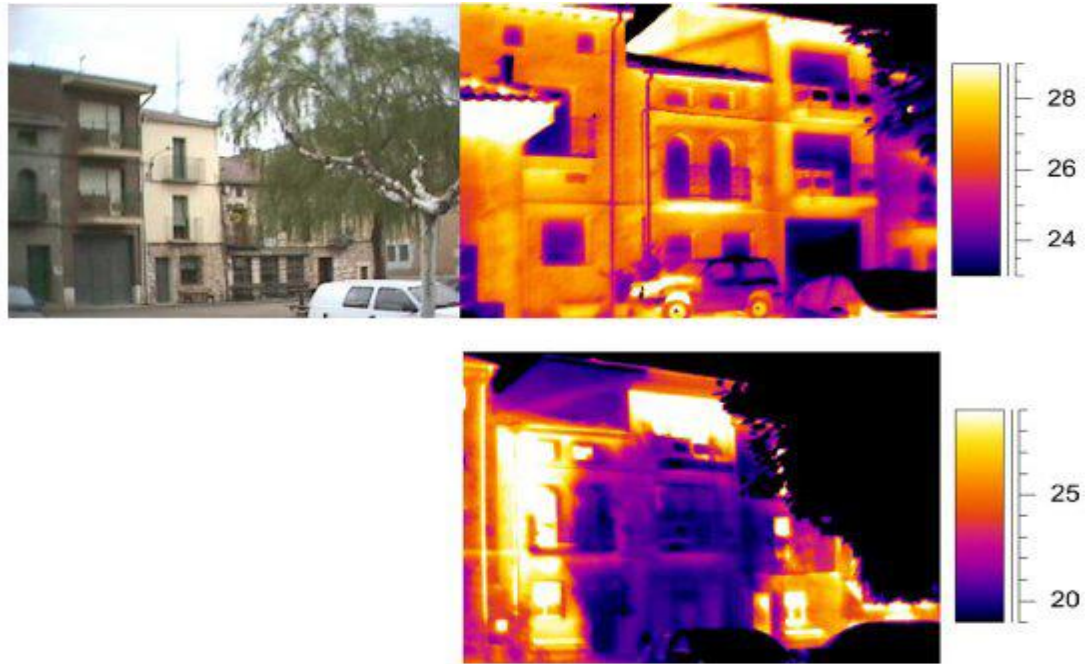
Οι επόμενες θερμοφωτογραφίες αποδεικνύουν τη σημασία της τήρησης των συνθηκών μέτρησης σε κτίρια.



**Εικόνα 10: Θερμοφωτογραφίες που τραβήχτηκαν με διαφορά μιας ώρας χρησιμοποιώντας την ίδια κλίμακα θερμοκρασιών**

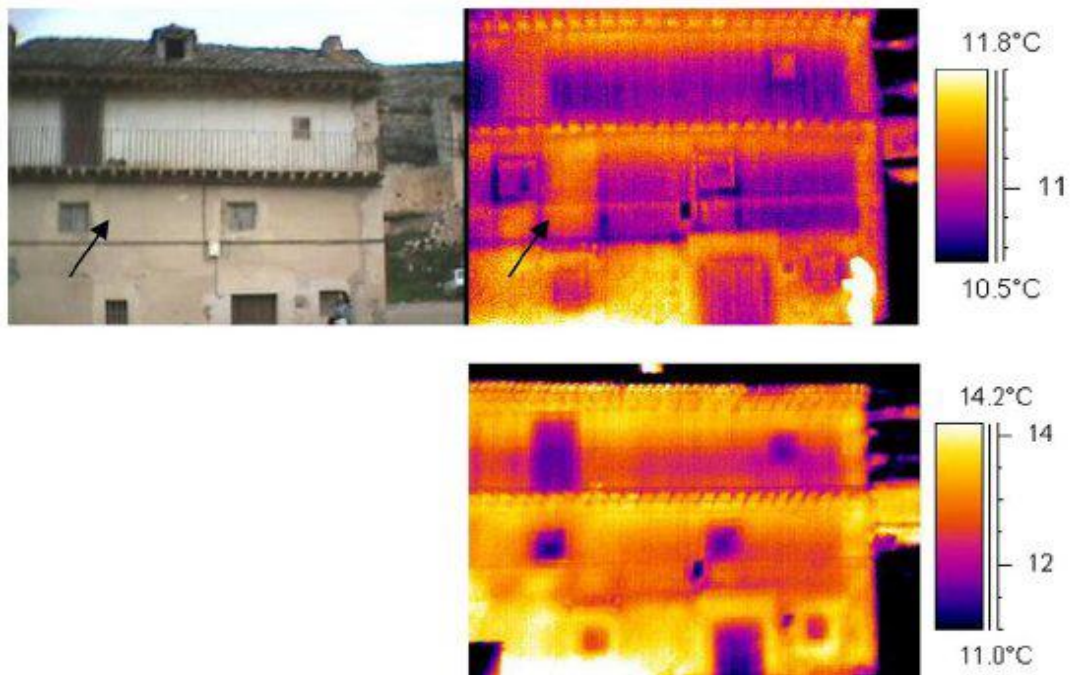
Στις παραπάνω θερμοφωτογραφίες υψηλές διαφορές μεταξύ των υλικών παρατηρήθηκαν όταν η ηλιακή ακτινοβολία έφτασε στην υψηλότερη τιμή της.

Χρησιμοποιώντας αυτήν την κλίμακα θερμοκρασιών από 15:27 μέχρι 9:27 δεν είναι δυνατή η διάκριση των διαφορετικών υλικών.



**Εικόνα 11:** Πάνω: θερμοφωτογραφία που τραβήχτηκε τη νύχτα  
Κάτω: θερμοφωτογραφία που τραβήχτηκε το πρωί

Στη δεύτερη θερμοφωτογραφία ένα μέρος φαίνεται να έχει χαμηλότερη θερμοκρασία λόγω της σκιάς ενός δέντρου. Σ' αυτήν την περίπτωση είναι προτιμότερο η έρευνα να γίνει τη νύχτα.



**Εικόνα 12: Πρόσοψη ενός αγροτικού σπιτιού**

**Πάνω :** θερμοφωτογραφία που τραβήχτηκε τη μέρα

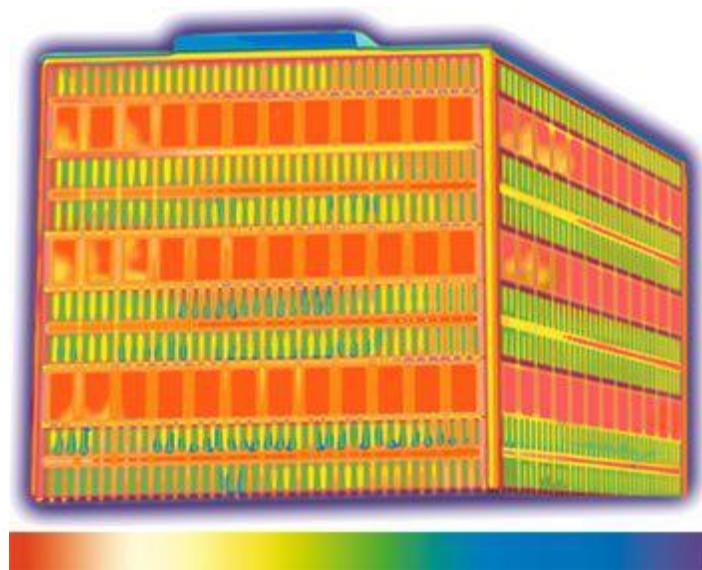
**Κάτω:** θερμοφωτογραφία που τραβήχτηκε τη νύχτα

Στην πάνω θερμοφωτογραφία τα βέλη υποδηλώνουν την ύπαρξη ενός κρυμμένου ανοίγματος, το οποίο δε γίνεται αντιληπτό στην κάτω θερμοφωτογραφία. Σ' αυτήν την περίπτωση είναι προτιμότερο η έρευνα να γίνει τη μέρα.

### 3.3 Παραδείγματα χρησιμοποίησης θερμοκάμερας

#### 3.3.1 Θερμογέφυρες

Οι θερμογέφυρες είναι συνδέσεις σε σημεία όπου η μόνωση δεν είναι συνεχής γεγονός που προκαλεί την απώλεια θερμότητας. Συγκεκριμένα, εμφανίζονται στα κτιριακά κελύφη όταν υπάρχει κενό μεταξύ των υλικών (σχετικά υψηλής θερμικής αγωγιμότητας υλικά, όπως ο χάλυβας και το σκυρόδεμα) και της επιφάνειας του κτιρίου, οπότε δημιουργείται ένα είδος ‘δρόμου’ για απώλεια θερμότητας παρά την ύπαρξη θερμομόνωσης σε κάποιες περιπτώσεις. Η θερμότητα ακολουθεί το ευκολότερο μονοπάτι από το θερμό μέρος προς τα έξω – το μονοπάτι με τη μικρότερη αντίσταση. Αυτό δεν είναι απαραίτητα το μονοπάτι που είναι κάθετο στις επιφάνειες. Πολύ συχνά, η θερμότητα θα ‘κόψει’ δρόμο μέσα από ένα στοιχείο που έχει μεγαλύτερη αγωγιμότητα από το περιβάλλον υλικό. Αυτό είναι και η λεγόμενη θερμογέφυρα, δηλαδή ένα θερμικά αγωγίμο υλικό το οποίο διαπερνά ή παρακάμπτει ένα σύστημα μόνωσης όπως ένας σύνδεσμος μετάλλων, ένα δοκάρι, μια πλάκα ή μια κολώνα. Αυτή η επίδραση είναι ιδιαίτερα σημαντική στα κρύα κλίματα κατά τη διάρκεια του χειμώνα όταν η διαφορά εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας είναι πολύ μεγάλη.



**Εικόνα 13:** Γραφική απεικόνιση θερμογέφυρας μέσα από ένα τυπικό κτιριακό κέλυφος



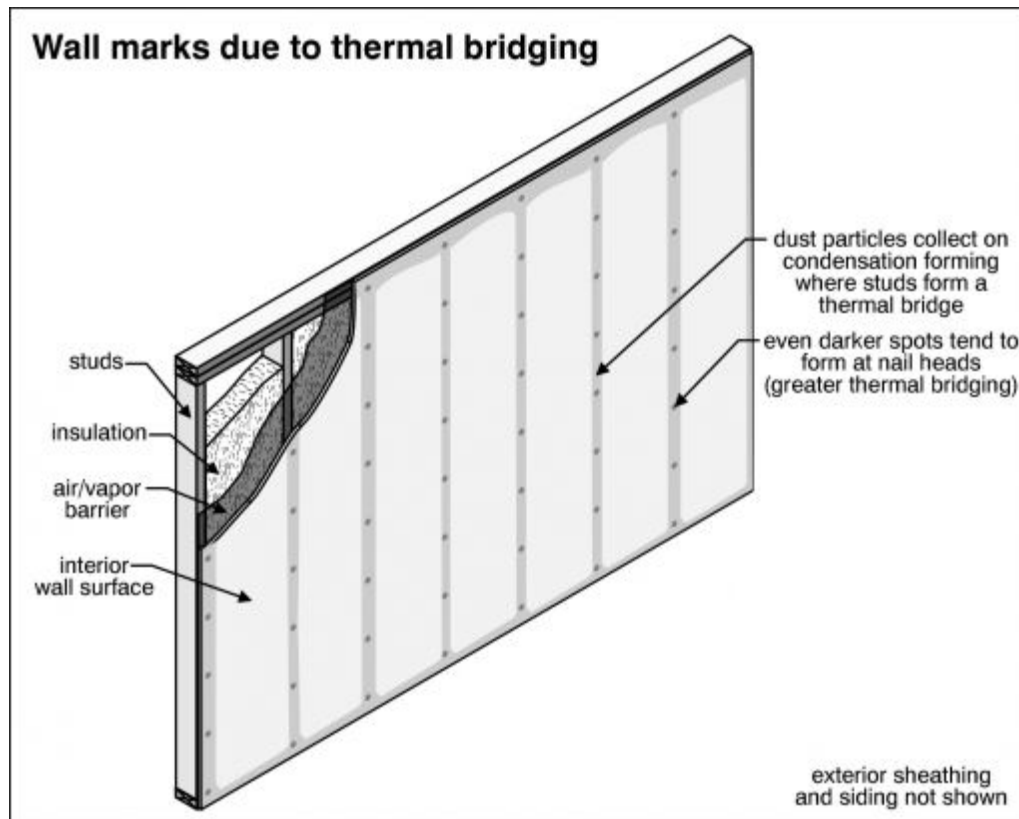
Στο ανωτέρω κέλυφος το κόκκινο χρώμα υποδεικνύει την απώλεια θερμότητας, ενώ το μωβ το αντίθετο. Οι κίτρινες περιοχές αντιστοιχούν στις πολύ υψηλές απώλειες θερμότητας μέσα από μη μονωμένα στηρίγματα χάλυβα.

### **3.3.1.1 Ενσωματωμένες θερμογέφυρες**

Ένας τοίχος ή ένα πάτωμα σχεδόν πάντα αποτελείται από διάφορα συστατικά που είναι κολλημένα μεταξύ τους, βιδωμένα ή ενωμένα με μηχανικό τρόπο. Εάν δεν είναι καλά σχεδιασμένα, αυτά τα συστήματα μπορούν να προκαλέσουν θερμογέφυρες, από όπου και προκύπτει το όνομα των ενσωματωμένων θερμογεφυρών.

### **3.3.1.2 Σημεία εμφάνισης θερμογέφυρας**

Στο ακόλουθο σχήμα φαίνονται όλα τα πιθανά σημεία σχηματισμού θερμογέφυρας σε ένα τμήμα κελύφους.



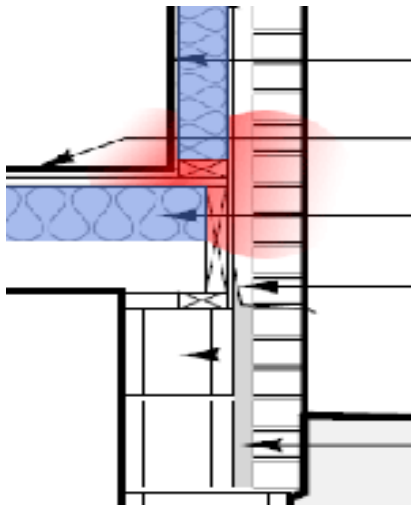
**Εικόνα 14: Σημεία σχηματισμού θερμογέφυρας**

*Γενικά, η θερμογέφυρα εμφανίζεται σε μία από τις ακόλουθες περιπτώσεις:*

- Δεν υπάρχει επαρκής μόνωση στους τοίχους ή τις οροφές και έτσι ο κρύος και ο θερμός αέρας συναντιούνται στην επιφάνεια προκαλώντας συμπύκνωση.
- Το σπίτι 'σφραγίζεται' πάρα πολύ στενά, είναι εσφαλμένα μονωμένο και η θερμογέφυρα εμφανίζεται στο φράγμα που φαίνεται στην παραπάνω εικόνα (plastic vapor barrier ) και από τις δύο πλευρές.

Η δεύτερη περίπτωση είναι πιθανότερη από τον πρώτη. Η υγρασία εμφανίζεται εκεί που είναι τα στηρίγματα καθώς εκεί προσκολλώνται τα μόρια νερού. Τα τελευταία στάζουν κάτω από το πλαστικό και, τουλάχιστον μερικώς, απορροφώνται από το ξύλο δημιουργώντας ένα σημείο υγρασίας που τελικά επεκτείνεται κατά μήκος των στηριγμάτων.

Μια κοινή θερμική γέφυρα σε κατοικημένες κατασκευές εμφανίζεται στις διασταυρώσεις τοίχου--ταβανιού και τοίχου--πατώματος, όπου οι ξύλινες συνδέσεις στηριγμάτων είναι ανεπαρκώς μονωμένες όπως φαίνεται στην επόμενη εικόνα.



**Εικόνα 15: Κοινή θερμική γέφυρα**

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

### **3.3.1.3 Συνέπειες θερμογέφυρας**

Το φαινόμενο της θερμογέφυρας μπορεί να οδηγήσει σε μια υψηλότερη ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ εσωτερικού και του εξωτερικού - απώλεια θερμότητας ή διείσδυση αέρα, ανάλογα με το κλίμα - και έτσι σε απώλεια θερμότητας και μείωση στη ενεργειακή αποδοτικότητα του κτιρίου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία κρύων σημείων στο εσωτερικό ενός κτιρίου, στα σημεία συνάντησης των τοίχων, άρα και χαμηλότερες θερμοκρασίες στις εσωτερικές επιφάνειες, γεγονός που στη χειρότερη περίπτωση μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα συμπύκνωσης, ειδικά στις γωνίες ενός κτιρίου. Εκτός από τη συμπύκνωση, τα κρύα σημεία λόγω των

θερμογεφυρών μπορούν να οδηγήσουν στην απόθεση μορίων στον τοίχο όπως φαίνεται στην κατωτέρω εικόνα.

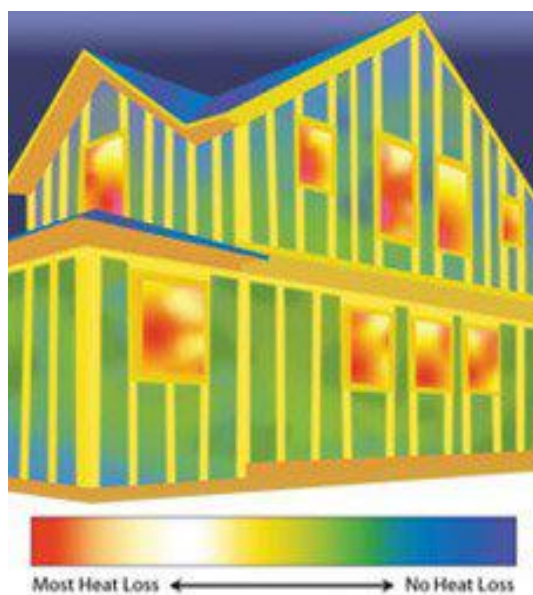
Σε ένα κτίριο που δεν είναι επαρκώς μονωμένο, οι θερμογέφυρες αντιπροσωπεύουν ένα μικρό ποσοστό απωλειών θερμότητας (συνήθως μικρότερο από 20%) , καθώς οι συνολικές απώλειες μέσω των τοίχων και των στεγών είναι πολύ περισσότερες.

Παρόλ' αυτά, όταν οι τοίχοι και οι στέγες είναι καλά μονωμένα, το ποσοστό των απωλειών που οφείλονται στις θερμογέφυρες αυξάνεται (περισσότερο από 30%), αλλά οι συνολικές απώλειες είναι πολύ χαμηλές. Γι' αυτό είναι σημαντικό σε χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης κτίρια να υπάρχουν υψηλές αντιστάσεις στους τοίχους, ενώ οι στέγες πρέπει να έχουν χαμηλές ενεργειακές απώλειες μέσω των συνδέσεων.

#### 3.3.1.4 Αντιμετώπιση θερμογεφυρών

Σε σχεδιαστικό επίπεδο, είναι απαραίτητη η επιλογή κατασκευαστικών διαδικασιών και στοιχείων που μειώνουν τις απώλειες από τις επιφάνειες όσο το δυνατό περισσότερο. Ανάλογα με τα είδη μονώσεων που χρησιμοποιούνται, υπάρχουν αντίστοιχες λύσεις είτε θερμικής είτε ακουστικής προστασίας. Γενικότερα, περίπτωση των ανεξάρτητων σπιτιών, μια καλή μόνωση στα πατώματα είναι απαραίτητη και ανάλογα με τη μόνωση στον τοίχο θα πρέπει το πάτωμα είτε να καλύπτεται από ένα επιπλέον πάτωμα είτε να έχει κάποια ενσωματωμένη μόνωση.





**Εικόνα 16:** Αντιπαράθεση παραδοσιακής μόνωσης με θερμική μόνωση σε ολόκληρη την επιφάνεια του κτιρίου

Η φωτογραφία στα αριστερά απεικονίζει μια θερμογέφυρα μέσα από τις κολώνες ενός σπιτιού όταν η παραδοσιακή μόνωση δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Σε αντιπαράθεση τίθεται η φωτογραφία στα δεξιά όπου με τη χρήση θερμικής μόνωσης σε ολόκληρη την επιφάνεια του κτιρίου, μειώνεται αισθητά η ροή ενέργειας μέσα από τις περιοχές της θερμογέφυρας.

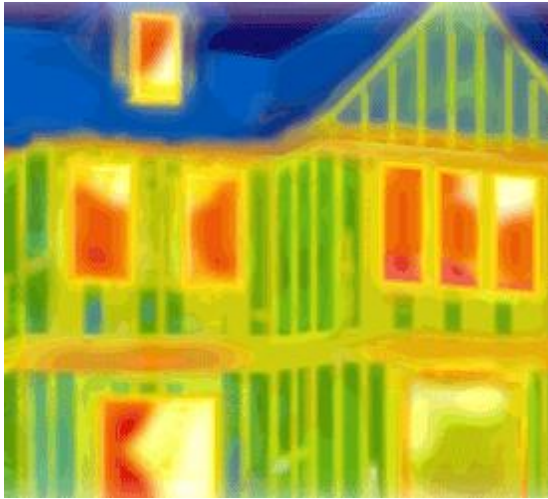
Αναλυτικότερα, η βασική προσέγγιση για την ελαχιστοποίηση του φαινομένου της θερμογέφυρας είναι η σχεδίαση ενός τοίχου με ένα θερμικό κέλυφος (στρώμα μόνωσης) που είναι συνεχές σε όλες τις συνδέσεις. Αυτό το στρώμα μόνωσης πρέπει επομένως να καλύπτει εντελώς είτε το εσωτερικό είτε το εξωτερικό του σκυροδέματος ή του χάλυβα. Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται τα συνεχή στρώματα της μόνωσης που εγκαθίσταται στο εξωτερικό του πλαισίου από χάλυβα που ελαχιστοποιεί τη θερμογέφυρα, παρά την ύπαρξη στηριγμάτων. Αυτή η μόνωση διακόπτεται από τη σανίδα σκυροδέματος και επομένως δεν προκαλεί θερμογέφυρα στην άκρη των σανίδων στα πατώματα, ενώ δεν ισχύει το ίδιο με μόνωση πετροβάμβακα πάχους μίας ίντσας, η οποία μπορεί να αφήσει να προκληθεί θερμογέφυρα.

Για τις πιο σύνθετες κατασκευές, μπορεί να χρησιμοποιηθεί το THERM, ένα λογισμικό πρόγραμμα αναπτυγμένο από το εργαστήριο του Lawrence Berkeley (LBNL) που ειδικεύεται στην αξιολόγηση της θερμικής απόδοσης των κτιρίων.

Αυτό το λογισμικό περιλαμβάνει επιπλέον μια ενσωματωμένη βιβλιοθήκη με τις θερμικές ιδιότητες πολλών κοινών υλικών οικοδόμησης.

Υπάρχουν και άλλες μέθοδοι για την αποφυγή δημιουργίας θερμογέφυρας. Ένα παράδειγμα είναι η χρήση των λεγόμενων μονωμένων πανέλων που μειώνει ή ακόμα και εξαφανίζει την ύπαρξη θερμογέφυρας, καθώς αυτά είναι που παίρνουν τη θέση των δομικών στοιχείων και δεν υπάρχουν πλέον στηρίγματα που θα μπορούσαν να εμποδίσουν τη δράση της μόνωσης. Τα πανέλα αυτά επιτρέπουν στα δομικά και μονωτικά στοιχεία να ενωθούν και να συμπεριφέρονται σαν ένα στοιχείο. Δεν υπάρχουν κρυμμένα κενά, αφού ένα στερεό στρώμα μόνωσης αφρού είναι ενσωματωμένο στο πάνελ.

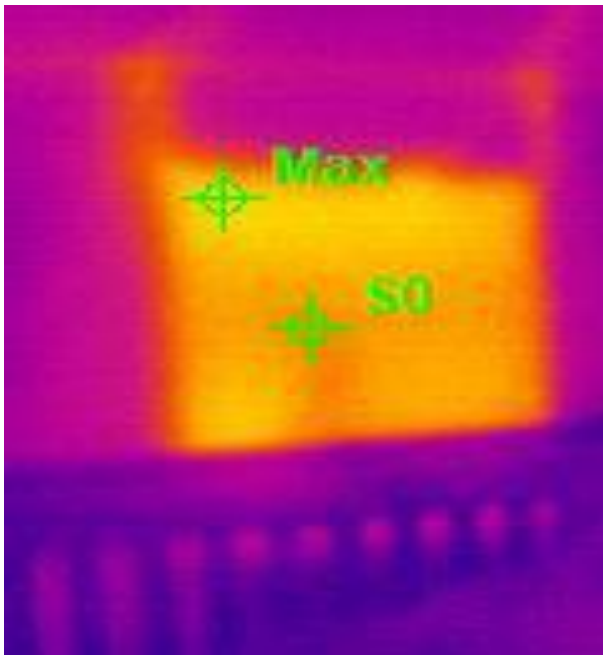
Το πλεονέκτημά της μόνωσης αφρού είναι ότι δίνει μια επιπρόσθετη θερμική αντίσταση στο κτίριο, ενώ ταυτόχρονα στο εσωτερικό του μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια λιγότερο ακριβή μόνωση. Απ' την άλλη πλευρά, αυτό το είδος μόνωσης έχει το μειονέκτημα ότι το ξύλο μέσα στον τοίχο ακουμπά ταυτόχρονα και στην εσωτερική και στην εξωτερική πλευρά του κτιρίου και με αυτόν τον τρόπο δεν προσφέρει την ίδια μονωτική αξία με άλλα υλικά. Αυτό κυρίως αφορά την περίπτωση των σπιτιών που είναι κατασκευασμένα με ξύλινο σκελετό.



**Εικόνα 17: Θερμογέφυρα σε ένα σπίτι κατασκευασμένο με ξύλινο σκελετό**

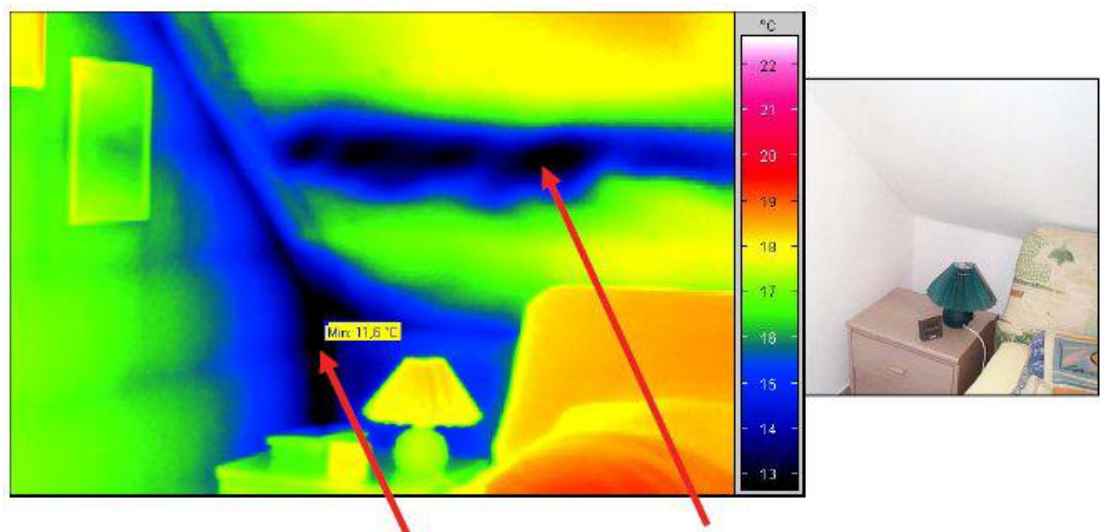
Αν για παράδειγμα το 20% του εξωτερικού τοίχου έρχεται σε επαφή με το ξύλο, δημιουργείται θερμογέφυρα ή διαρροή θερμότητας μέσα από αυτά. Αυτό συμβαίνει ακόμα και με τον ψεκαζόμενο αφρό, καθώς συνήθως τοποθετείται ανάμεσα στο ξύλο του τοίχου. Έτσι, ενώ ο αφρός από μόνος του μπορεί να έχει μια υψηλή θερμική αντίσταση, δεν καλύπτει τα ξύλινα κομμάτια του τοίχου, προκαλώντας το φαινόμενο της θερμογέφυρας με το εξωτερικό ενός κτιρίου.

### 3.3.2 Μόνωση



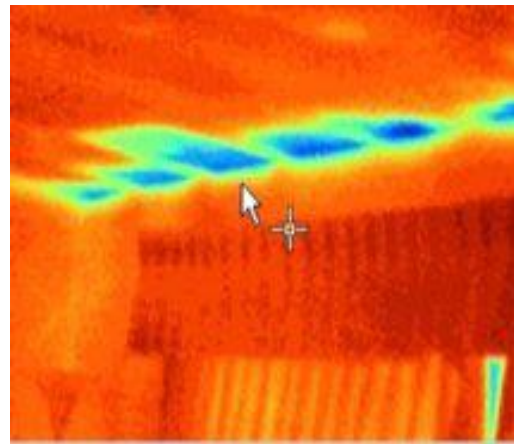
Εικόνα 18: Κομμάτι τοίχου πίσω από κρεβάτι, όπου απουσιάζει η μόνωση εξαιτίας λάθους του κατασκευαστή

Ο ιδιοκτήτης του συγκεκριμένου σπιτιού παραπονέθηκε ότι το υπνοδωμάτιο ήταν ασυνήθιστα ζεστό το καλοκαίρι και κρύο το χειμώνα.





**Εικόνα 19: Ψυχρή γωνία και προβληματική μόνωση κάτω από τη στέγη**



**Εικόνα 20: Απουσία μόνωσης (οι μπλε περιοχές υποδεικνύουν τη διείσδυση κρύου αέρα στην κατοικία)**



### 3.3.3 Στέγες

Η θερμογραφία είναι ιδιαίτερα αποδοτική στην έρευνα για ελαττώματα στις στέγες και ειδικά στην έρευνα για υγρασία στη μόνωση των στεγών σε επίπεδα συστήματα στέγασης.

Πολλές στέγες απαιτούν πρόωρη αντικατάσταση εξαιτίας της διαρροής νερού και της εισόδου υγρασίας μέσω της μεμβράνης τους, επιτρέποντας στη μόνωση της στέγης να γίνει υγρή. Οι διαρροές στις στέγες μπορούν να προκαλέσουν δαπανηρές ζημιές σε ένα κτίριο. Η θερμογραφία μπορεί να εντοπίσει γρήγορα τις προβληματικές περιοχές, όπως τις περιοχές ελλιπούς μόνωσης ή μόνωσης που έχει απορροφήσει υγρασία κάτω από τη μεμβράνη μιας επίπεδης στέγης όπου η μόνωση χρειάζεται αντικατάσταση, επιτρέποντας με αυτόν τον τρόπο την επιδιόρθωση μόνο των κατεστραμμένων περιοχών και όχι την αντικατάσταση ολόκληρης της οροφής.

Η υγρασία που συσσωρεύεται στη μόνωση είναι ο κύριος λόγος για τις διαστατικές αλλαγές, την αποσύνθεση, το “φούσκωμα” των τοίχων εξαιτίας της απομάκρυνσης των σοβάδων και τη διάβρωση, προκαλώντας την καταστροφή του υλικού κατασκευής της σκεπής. Γενικά η υγρασία είναι η βασική αιτία καταστροφής όσον αφορά τα επίπεδα συστήματα στεγών.

Η τεχνική της θερμογραφίας είναι ιδιαίτερα αποδοτική σε στέγες που έχουν μόνωση αρκετά απορροφητική, όπως μόνωση από ίνες ξύλου, υαλοβάμβακα και περλίτη όπου τα σημάδια που αφήνει η θερμότητα εμπλέκονται με αυτά της υγρασίας. Στις στέγες με μη απορροφητικές μονώσεις, η διάγνωση των προβλημάτων γίνεται ακόμα πιο δύσκολη, καθώς τα σημάδια είναι ακόμα πιο διάχυτα.

Καθώς οι επίπεδες στέγες είναι αυτές που χρησιμοποιούνται κατά κανόνα στο βιομηχανικό και εμπορικό τομέα, εκτιμάται ότι περίπου το 40% των στεγών θα επηρεάζεται από τέτοιου είδους προβλήματα μέσα στον πρώτο χρόνο εγκατάστασης της μόνωσης. Καθώς μάλιστα ο μέσος όρος ζωής μιας στέγης είναι τα 7 χρόνια, με την εφαρμογή μιας τακτικής επιθεώρησης και ενός κατάλληλου προγράμματος συντήρησης, η διάρκεια ζωής των στεγών μπορεί να αυξηθεί κατά 300%.

Οι μεμβράνες των επίπεδων στεγών είναι τα στεγανοποιητικά εμπόδια ανάμεσα στα εξωτερικά στοιχεία και στο εσωτερικό των κτιρίων. Κυκλοφορούν σε

μια ποικιλία υλικών και σχεδίων και πρέπει να έχουν τη δυνατότητα να διασταλούν και να συσταλούν, να προβάλλουν αντίσταση σε δυνατούς ανέμους και στις επιπτώσεις της ηλιακής ακτινοβολίας, ακόμα και στα ανθρώπινα βήματα.

Φυσιολογικά, υπάρχει λίγο ή και καθόλου νερό σε μια συστοιχία επίπεδης στέγης.

Όταν αναπτύσσεται μια διαρροή, το νερό εισέρχεται στη συστοιχία και, ανάλογα με τον τύπο της μόνωσης, είτε απορροφάται από τη μόνωση, είτε ακολουθεί το δρόμο ανάμεσα στη μη απορροφητική μόνωση. Αν το νερό εισέλθει στη στέγη παραμένει εκεί για μεγάλο χρονικό διάστημα, συνήθως για όλη τη διάρκεια ζωής της στέγης.

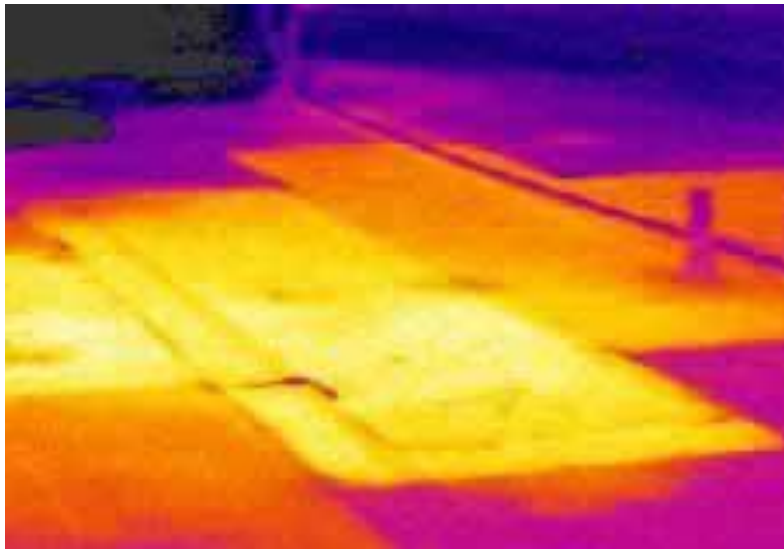
Γενικότερα, ο τύπος της μόνωσης που χρησιμοποιείται σε μια στέγη καθορίζει το πόσο αυτή η μόνωση απορροφά το νερό. Οι απορροφητικές μονώσεις συμπεριφέρονται σαν 'σφουγγάρια'. Το νερό μετακινείται υπό τη μορφή τριχοειδούς σχήματος από το κάθε δοκάρι της οροφής στο διπλανό του. Τα σημάδια στην περίπτωση μη απορροφητικής μόνωσης παίρνουν διαφορετικό σχήμα όταν αυτή γίνεται υγρή. Το νερό δεν απορροφάται και οδηγείται στην άκρη του δοκαριού. Έτσι, το νερό μαζεύεται στις άκρες των δοκαριών παίρνοντας έτσι το σχήδιο του πλαισίου ενός παραθύρου.

### ***Χρήση θερμογραφίας στις στέγες***

Η θερμοχωρητικότητα είναι η φυσική ιδιότητα ενός υλικού να αποθηκεύει θερμότητα. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στις στέγες έχουν σχετικά χαμηλή θερμοχωρητικότητα, ειδικά σε σύγκριση με το νερό. Το νερό απαιτεί μεγάλη ποσότητα ενέργειας για να αυξήσει τη θερμοκρασία του και επιπλέον πρέπει να απελευθερώνει πολλή ενέργεια για να κρυώσει.

Οι θερμογραφικές έρευνες βασίζονται στη θεωρία ότι τα υλικά από τα οποία αποτελείται μία στέγη έχουν διαφορετικές μάζες. Έτσι, η αρχή που χρησιμοποιείται για τις επιθεωρήσεις στεγών είναι ότι η ξηρή μόνωση στις στέγες ζεσταίνεται και κρύνει γρηγορότερα από ότι εκείνη που έχει απορροφήσει υγρασία.

Με βάση αυτήν την αρχή, η θερμογραφία μπορεί να εντοπίσει μια διαρροή εντοπίζοντας την έκταση της εισβολής της υγρασίας στη μόνωση. Απαραίτητη για αυτό το σκοπό είναι η ύπαρξη ηλιακής θερμότητας. Έτσι, κατά τις βραδινές ώρες, αφού δύσει ο ήλιος και η επιφάνεια της στέγης αρχίσει να κρυώνει, η ξηρή μόνωση θα κρυώσει γρηγορότερα από εκείνη που έχει συσσωρεύσει υγρασία η οποία έχει μεγαλύτερη θερμική μάζα από ότι η ξηρή και για αυτό διατηρεί τη θερμότητα για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Αυτό σημαίνει ότι περιοχές όπου η μόνωση έχει συσσωρεύσει υγρασία θα εμφανιστούν στις θερμοφωτογραφίες ως περιοχές με την υψηλότερη θερμοκρασία.



## **Εικόνα 21: Η υγρασία στη μόνωση της στέγης απεικονίζεται με πορτοκαλί Αποχρώσεις**

Γενικά, η θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ ξηρής μόνωσης και μόνωσης με υγρασία είναι σχετικά μικρή (γύρω στους 1-3K). Βάσει αυτής της λογικής, όλες οι έρευνες διεξάγονται δύο ώρες μετά τη δύση του ηλίου, ώστε να επιτραπεί στη στέγη να επανέλθει σε ισορροπία με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Η θερμογραφία μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την επιθεώρηση θερμογεφυρών σε στέγες από το εσωτερικό των κτιρίων, μια πολύ καλή προσέγγιση όσον αφορά μεταλλικά συστήματα στεγών που είναι δύσκολο να επιθεωρηθούν από πάνω. Σε αυτήν την περίπτωση, η επιθεώρηση πρέπει να διεξάγεται αμέσως μετά το ηλιοβασίλεμα, όταν οι υγρές περιοχές από το κάτω μέρος της στέγης ζεσταίνονται πιο αργά από τις στεγνές και γι' αυτό εμφανίζονται στις φωτογραφίες ως κρύα σημεία.

Γενικά, οι ενεργειακές επιθεωρήσεις σε στέγες πρέπει να διεξάγονται κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες. Απαιτείται διαφορετική θερμοκρασία μεταξύ μέρας και νύχτας.

Για καλύτερα αποτελέσματα πρέπει να ληφθούν υπόψη ορισμένες παράμετροι, όπως το αν είναι ηλιόλουστη η μέρα ή αν ο ουρανός δεν έχει σύννεφα, αν δεν υπάρχει ή αν τουλάχιστον υπάρχει λίγος αέρας, αν η επιφάνεια της στέγης είναι στεγνή και αν η στέγη δεν έχει χιόνι, ακαθαρσίες ή κομμάτια που έχουν

αποκολληθεί από αυτή.

*Ακολουθούν μερικά παραδείγματα συνθηκών που μπορεί να οδηγήσουν σε λανθασμένες ενεργειακές επιθεωρήσεις:*

- Διαφορετικές θερμοκρασίες στο εσωτερικό του κτιρίου
- Περιττό αμμοχάλικο ή άσφαλτος που έχει μείνει από την κατασκευή
- Επανακινοβόληση θερμότητας από νότιους ή δυτικούς τοίχους πρόσοψης
- Άνεμος
- Εσωτερικές πηγές θερμότητας ή κρύου όπως φωτιστικά, θερμαντικά σώματα και αγωγοί ατμού
- Ακαθαρσίες, βλάστηση και κομμάτια που έχουν πέσει από το κτίριο λόγω φθοράς
- Ζέστη ή κρύο που κατευθύνεται προς την οροφή
- Φουσκάλες
- Συγκέντρωση νερού και ψεκάσμος με νερό
- Μονοπάτια για πεζούς

Κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών πρέπει να χρησιμοποιείται η ίδια διαδικασία με τους θερινούς μήνες. Παρόλ' αυτά, οι χειμερινές έρευνες είναι πιο δύσκολες επειδή οι θερμοκρασιακές διαφορές είναι μικρότερες από ότι κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού.

*Η θερμογραφική έρευνα στην περίπτωση των στεγών πρέπει να διεξάγεται στις ακόλουθες περιπτώσεις:*

- Όταν οι διαρροές ανιχνεύονται μέσα από τα συστήματα στεγών
- Πριν την αποδοχή κατασκευής ενός νέου συστήματος στέγης
- Προτού λήξουν οι οποιεσδήποτε υπάρχουσες εγγυήσεις
- Πριν την αγορά ενός καινούριου κτιρίου

- Πριν την αντικατάσταση μιας παλιάς στέγης με μια καινούρια
- Για λόγους προγραμματισμένης συντήρησης
- Όταν χρειάζεται αναφορά για την κατασκευή πριν την αγορά του κτιρίου

### 3.3.4 Διαρροή νερού

Με τη βοήθεια της παραπάνω θερμοφωτογραφίας είναι δυνατό να προσδιοριστεί η ακριβής θέση, να διερευνηθεί όλο το δίκτυο σωλήνων και να βρεθούν τυχόν διαρροές νερού.



**Εικόνα 22: Διαρροή σε σωλήνα πίσω από πλακάκι μπάνιου**

Οι θερμοκάμερες ανιχνεύουν εύκολα διαρροές και ζημιές σε συστήματα θέρμανσης. Κατά τη διάρκεια των υπολοίπων μεθόδων ενεργειακής επιθεώρησης χρησιμοποιούνται δοκιμές ιδιαίτερα δαπανηρές. Αντιθέτως, μια θερμοκάμερα θα



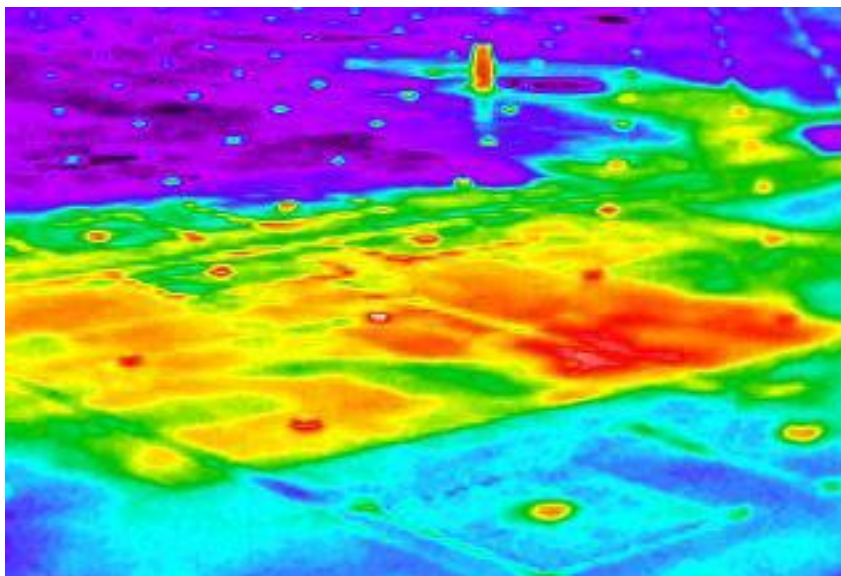
εντοπίζει τα σημεία που χρειάζονται επισκευή ή τις καταστροφές από υγρασία σε διάφορα δομικά στοιχεία.

### 3.3.5 Διείσδυση νερού - υγρασία και μούχλα

#### 3.3.5.1 Γενικά

Το πρόβλημα της μούχλας, το οποίο συνδέεται με πολλά προβλήματα υγείας τα οποία μπορούν να πάρουν τη μορφή αλλεργικών αντιδράσεων ή άσθματος, δεν περιορίζεται μόνο στις κατοικίες. Εμπορικά κτίρια με συγκέντρωση υγρασίας εξαιτίας συμπύκνωσης ή διαρροών είναι επίσης υποψήφια για ανάπτυξη μούχλας.

Η ανάπτυξη μούχλας μπορεί να ξεκινήσει σε λιγότερο από 24 ώρες. Οι διαρροές σε στέγες και σε σωλήνες νερού είναι συνηθισμένες αιτίες συγκέντρωσης νερού, προκαλώντας έτσι την ανάπτυξη μούχλας. Η μούχλα έχει οδηγήσει στο κλείσιμο πολλών σχολείων και έχει αναγκάσει πολλές εταιρίες να ξοδέψουν πολλά χρήματα σε περιβαλλοντικές δοκιμές και ελέγχους για επιδιορθώσεις.



### **Εικόνα 23: Υγρασία σε στέγη**

Δεν υπάρχει κάποιος πρακτικός τρόπος για να εξαφανιστούν τα σημεία μούχλας σε εσωτερικούς χώρους. Ο καλύτερος τρόπος για να ελέγξουμε την ανάπτυξη μούχλας είναι να ελέγξουμε την υγρασία.

Η υγρασία στη δομή των κτιρίων μπορεί να θέσει σε κίνδυνο την ακεραιότητα των κτιρίων και να δημιουργήσει ένα ιδανικό περιβάλλον για την ανάπτυξη μούχλας και την εισβολή παρασίτων.

#### **3.3.5.2 Συνηθισμένες πηγές ζημιάς**

*Μερικές από τις πιο συνηθισμένες πηγές ζημιάς από νερό σε εσωτερικούς χώρους είναι:*

- Διαρροές σε θερμαντικά σώματα
- Εισροή χιονιού μέσω στεγών
- Διαρροές σε στέγες
- Διαρροές σε υδραυλικά
- Διαρροές σε ψυκτικά σώματα

- Διαρροές σε πόρτες
- Διαρροές σε παράθυρα, φεγγίτες, τοίχους

*Μια ζημιά στην επιφάνεια της εξωτερικής μεμβράνης θα προκαλέσει απορρόφηση:*

- νερού στα στρώματα μόνωσης και μπορεί να οδηγήσει σε καταστροφή της
- κατασκευής στην περιοχή που βρίσκεται κοντά στη διαρροή.

### **3.3.5.3 Χρήση θερμογραφίας σε περιπτώσεις υγρασίας, μούχλας και διείσδυσης νερού**

Για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που προκαλούνται από τη μούχλα, είναι απαραίτητος ο εντοπισμός και η απομάκρυνση όλων των πηγών υγρασίας, όπως επίσης και των σημείων εισόδου νερού. Η υγρασία τείνει να είναι δροσερότερη ή θερμότερη ανάλογα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Αυτό σημαίνει ότι ενώ η θερμοκάμερα δεν μπορεί να ανιχνεύσει απευθείας την παρουσία μούχλας, μπορεί να ανιχνεύσει την υγρασία και έτσι και τα σημεία όπου είναι δυνατό να αναπτυχθεί μούχλα.

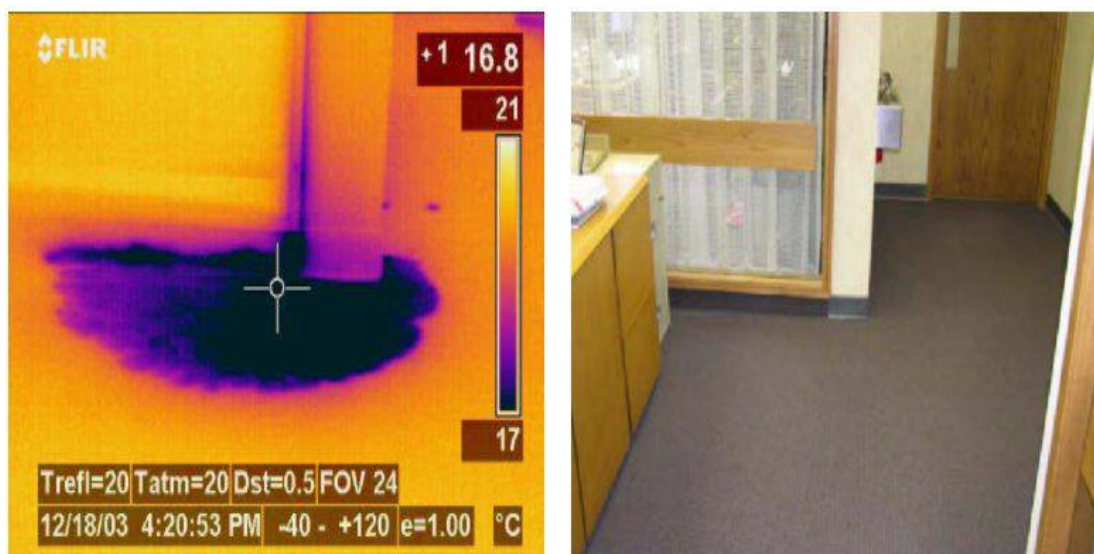
Οι θερμοκάμερες μπορούν στιγμιαία να απεικονίσουν ολόκληρα δωμάτια, να επιθεωρήσουν περιοχές που δεν μπορούν να εξερευνηθούν με υγρασιόμετρα, να αποκαλύψουν την ύπαρξη υγρών συνθηκών πίσω από επιφάνειες, όπως ταπετσαρίες και τοίχους από σμάλτο όπου δε φαίνονται οι κηλίδες από το νερό, να ακολουθήσουν τις διαρροές ως την πηγή τους, να ελέγξουν τη διαδικασία αποξήρανσης και να επιβεβαιώσουν τότε μια κατασκευή είναι πλέον υγρή.

Οι θερμοκάμερες διαφοροποιούνται μεταξύ υγρών και ξηρών υλικών, εκμεταλλευόμενες τα θερμικά χαρακτηριστικά των υγρών υλικών να αποθηκεύουν τη θερμότητα πολύ καλά και να ζεσταίνονται ή να κρυώνουν πιο αργά απ' ότι τα ξηρά υλικά. Η θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ υγρού και ξηρού τοίχου είναι πολύ μικρή. Καθώς η ακρίβεια στις υπέρυθρες φωτογραφίες σχετίζεται άμεσα με τη δυνατότητα της εξεταζόμενης επιφάνειας να εκπέμπει θερμική ενέργεια, πρέπει να χρησιμοποιούνται υπέρυθρες κάμερες υψηλής ευαισθησίας.

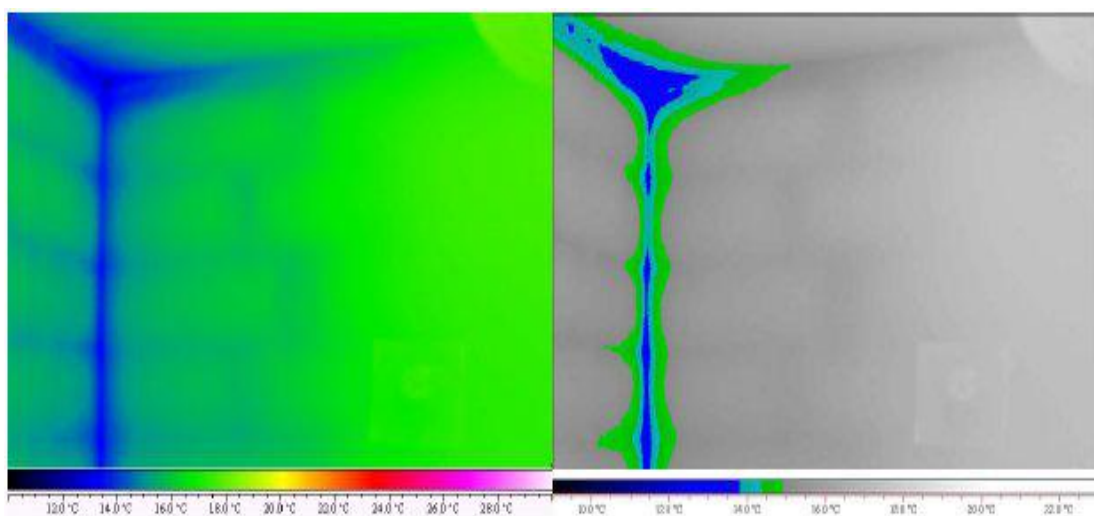
Οι διαρροές στις στέγες είναι δύσκολο να θερμογραφηθούν εξαιτίας των πολλών ημερών ηλιοφάνειας και των λίγων βροχερών ημερών, ενώ η επιθεώρησή τους πρέπει να γίνεται κάτω από τις σωστές συνθήκες. Οι διαρροές στα υδραυλικά είναι ευκολότερο να εντοπιστούν, καθώς το σύστημα μπορεί να υποβληθεί σε δοκιμή την ώρα της επιθεώρησης αφήνοντας ελεύθερη τη ροή του νερού σε συσκευές, μπανιέρες, νεροχύτες και ντους ώστε έπειτα να αξιολογηθεί μέσω της θερμογραφίας.

*Οι ιδιοκτήτες των κατοικιών θα πρέπει να χρησιμοποιούν τη θερμογραφία για ανίχνευση υγρασίας υπό τις ακόλουθες προϋποθέσεις:*

- Μετά από ένα καταστροφικό σχετικό γεγονός ή φαινόμενο, όπως μια πλημμύρα, σπασμένοι σωλήνες νερού, καταστροφή κάποιου εξοπλισμού, διαρροές σε στέγες κτλ.
- Πριν τη λήξη εγγύησης σε νέα κατασκευή
- Υποψία για ζημιά από υγρασία πριν την απόκτηση ενός σπιτιού
- Όταν έχουν συμβεί διαρροές σε υδραυλικά
- Όταν υπάρχει πιθανότητα διαρροής σε πόρτες, παράθυρα ή άλλα ανοίγματα
- Όταν διεξάγεται ενεργειακή επιθεώρηση σε ένα κτίριο για να καθοριστούν τα σημεία εισόδου και εξόδου νερού
- Για να εντοπιστούν κρυμμένες διαρροές και/ή υγρασία κάτω από ελαστικό πάτωμα
- Για να εντοπιστούν υγρές περιοχές σε απρόσβατα σημεία
- Για να ανακαλυφθεί η πηγή μιας οσμής μούχλας



**Εικόνα 24: Υγρασία πίσω από εσωτερικούς τοίχους**

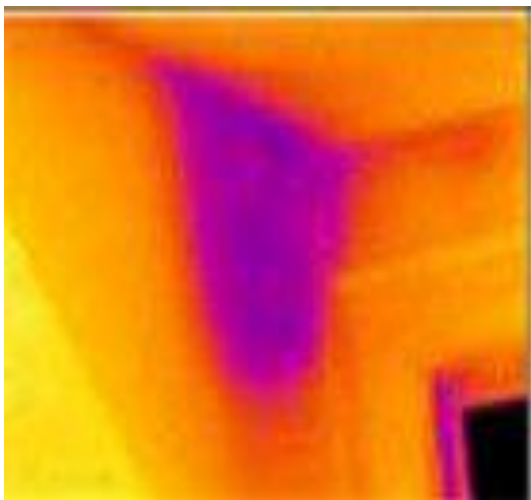


**Εικόνα 25: Εντοπισμός Περιοχών Συμπύκνωσης**

Σε χαμηλές θερμοκρασίες είναι δυνατό η εσωτερική επιφάνεια τοίχου να έχει χαμηλότερη θερμοκρασία από τη θερμοκρασία συμπύκνωσης της ποσότητας υδρατμών που βρίσκεται στο χώρο. Η συμπύκνωση σταδιακά φθείρει και αποσαθρώνει τις κρύες περιοχές. Τα όρια της περιοχής συμπύκνωσης και

αποσάθρωσης μπορούν να καθοριστούν με μετρήσεις από τη θερμογραφία και με χρήση λογισμικού προσομοίωσης. Η συμπύκνωση μπορεί να προκαλέσει πολλά προβλήματα, όπως η μείωση του μέτρου θερμικής αντίστασης της μόνωσης ή ακόμα και ολική καταστροφή της μόνωσης και φθορά των υλικών. Μπορεί να προκαλέσει διάβρωση των μετάλλων, σήψη του ξύλου, να βάψει τα τούβλα και τις επιφάνειες από τσιμέντο και σε εξαιρετικές περιπτώσεις να προκαλέσει διαχωρισμό των τούβλων ή θρυμματισμό του ασβέστη. Μπορεί ακόμα να διαβρώσει το ατσάλι, μεταλλικά υπόστεγα και σύρτες, δημιουργώντας έτσι σοβαρά θέματα ασφάλειας.

Στην περίπτωση αυτή 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.



**Εικόνα 26: Υγρασία σε τοίχο**

Στον συγκεκριμένο τοίχο η φυσική φθορά λόγω παλαιότητας απομάκρυνε τους σοβάδες και στη συνέχεια κυρίως εξαιτίας της βροχής απορροφήθηκε νερό, στο οποίο και οφείλεται η μικρότερη θερμοκρασία σε ορισμένα σημεία.

Ένα άλλο παράδειγμα διείσδυσης υγρασίας παρουσιάζεται στις επόμενες δύο φωτογραφίες οι οποίες προέρχονται από ένα στάδιο του μπέιζμπολ στη Βόρεια Καρολίνα των ΗΠΑ. Οι φωτογραφίες αυτές ήταν απαραίτητες για τον εντοπισμό του

προβλήματος και για την επίλυσή του από τον αρχιτέκτονα που προσελήφθη γι' αυτό το λόγο.

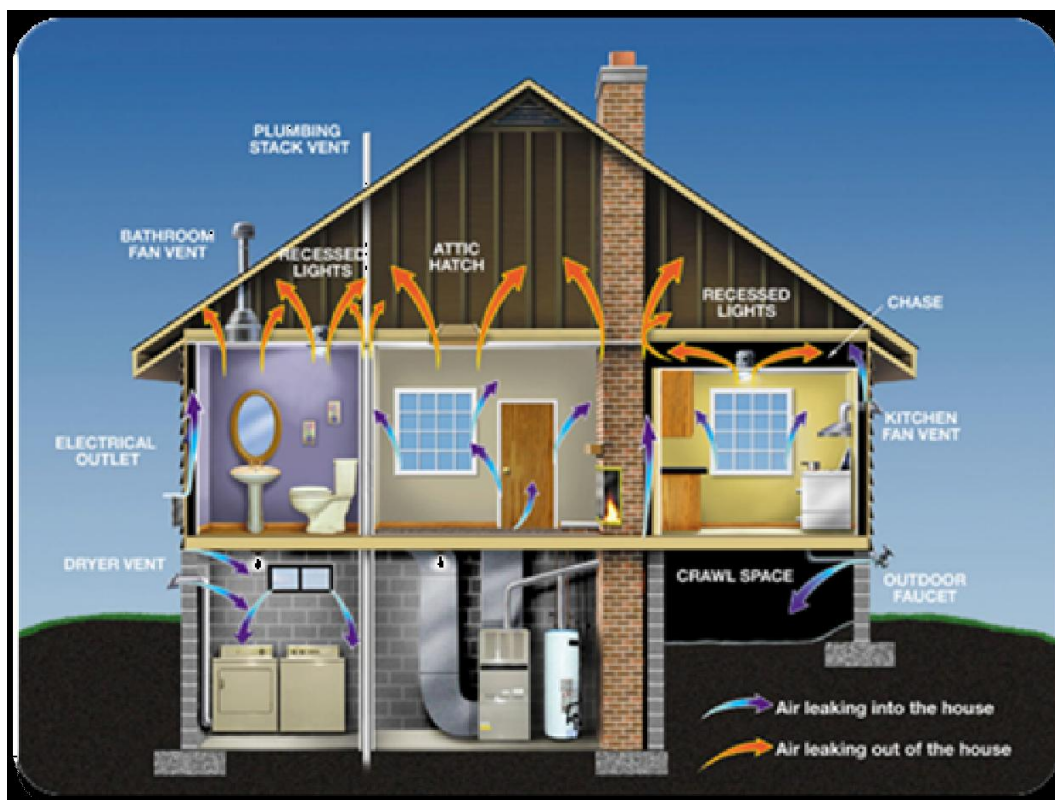


**Εικόνα 27: Διείσδυση υγρασίας**

### **3.3.6 Διείσδυση αέρα**

Στη διείσδυση αέρα μπορεί να οφείλεται το 30% ή περισσότερο των δαπανών θέρμανσης και ψύξης ενώ μπορεί να συντελέσει στα προβλήματα με την υγρασία, το θόρυβο, τη σκόνη, και την είσοδο των ρύπων, των εντόμων, και των τροφτικών. Η μείωση της διήθησης μπορεί να περιορίσει σημαντικά τις ετήσιες δαπάνες θέρμανσης και ψύξης, να βελτιώσει τη διάρκεια οικοδόμησης και να δημιουργήσει ένα υγιέστερο εσωτερικό περιβάλλον. Έτσι, χάρη στον εντοπισμό τέτοιου είδους προβλημάτων μέσω της θερμογραφίας βελτιώνεται η ενεργειακή αποδοτικότητα των κτιρίων.

### 3.3.6.1 Σημεία διείσδυσης αέρα



Εικόνα 28: Σημεία διείσδυσης αέρα

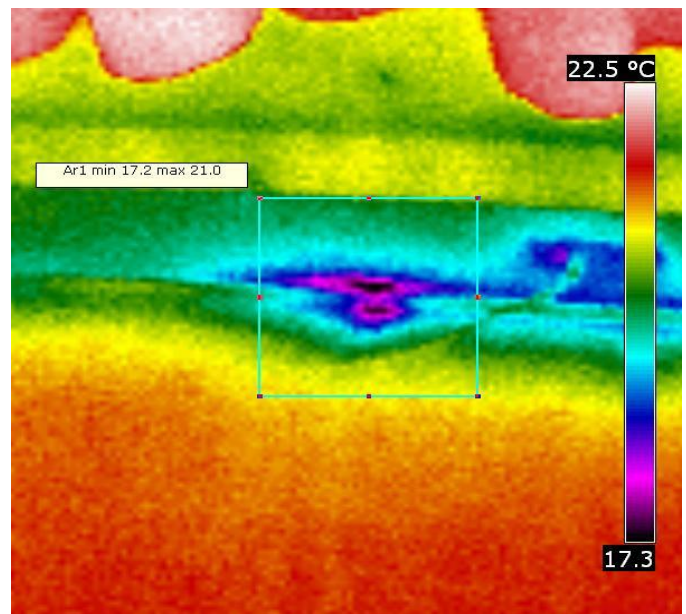
*Όπως φαίνεται και στο παραπάνω σχήμα, οι βασικές περιοχές διείσδυσης αέρα περιλαμβάνουν:*

- Πόρτες και παράθυρα
- Σημεία σύνδεσης του σπιτιού με τη σοφίτα ή το υπόγειο, τα οποία είναι ιδιαίτερα δύσκολο να εντοπιστούν
- Κεκλιμένες στέγες και φεγγίτες
- Αυλακώματα αγωγού και υδραυλικών και μανιέρες
- Σημεία εισόδου σε σοφίτες και σκαλοπάτια
- Κακώς τοποθετημένα κουφώματα
- Τρύπες στα ντουλάπια δωματίων που λειτουργούν μηχανικά

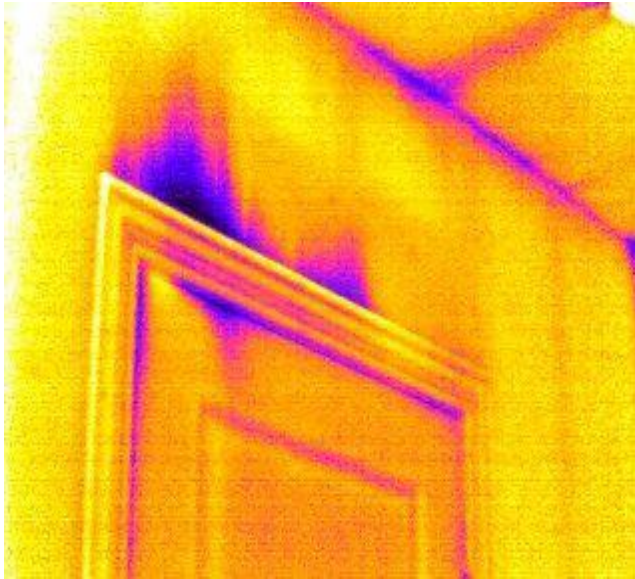


- Σημεία διέλευσης καλωδίων μέσω τοίχων και πατωμάτων
- Ενώσεις στο περίβλημα και θερμογέφυρες (π.χ στις γωνίες των τοίχων) που επιτρέπουν σε μεγάλες ποσότητες αέρα να εισέρχονται και να εξέρχονται από το σπίτι
- Σημαντικές περιοχές διαρροής στα πατώματα
- Δοκός ζωνών και δοκός πλαισίων
- Μεγάλα ανοίγματα σε πόρτες και διεισδύσεις μέσα από γυψοσανίδες
- Εξωτερικό περίβλημα

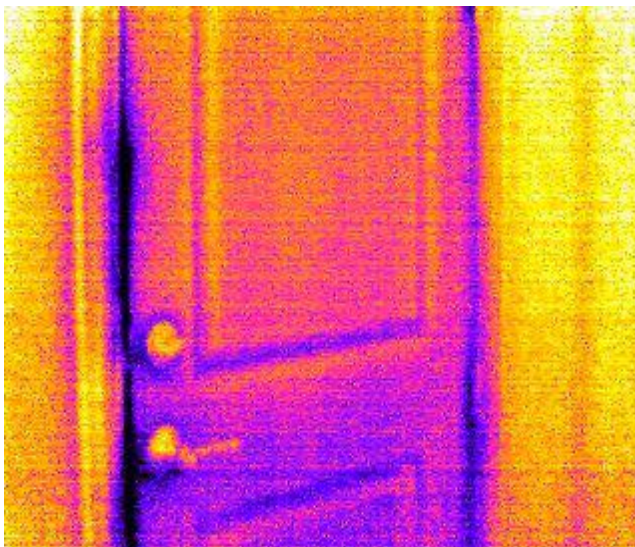
Ο ιδιοκτήτης του ανωτέρω σπιτιού αισθανόταν την ύπαρξη ενός ρεύματος, γεγονός που τον οδήγησε στο συμπέρασμα ότι υπήρχε διαρροή στο παράθυρο της κουζίνας. Η υπέρυθη φωτογραφία απέδειξε ότι το ρεύμα δεν ερχόταν από το παράθυρο αλλά από το φως που βρίσκεται πάνω απ' αυτό.



**Εικόνα 29: Διαρροή ρεύμα αέρα από το φως**



**Εικόνα 30: Υπερβολική διείσδυση αέρα στην κορυφή της πόρτας**



Date : 3/05/2008  
Emissivity : 0.95

Time : 10:34:03 AM

**Εικόνα 31: Διείσδυση αέρα στην περιοχή γύρω από το σύρτη της πόρτας.**

### **3.3.7 Απώλεια θερμότητας – διαρροή αέρα**

#### **3.3.7.1 Αίτια απωλειών θερμότητας (αγωγή και διαρροή αέρα)**

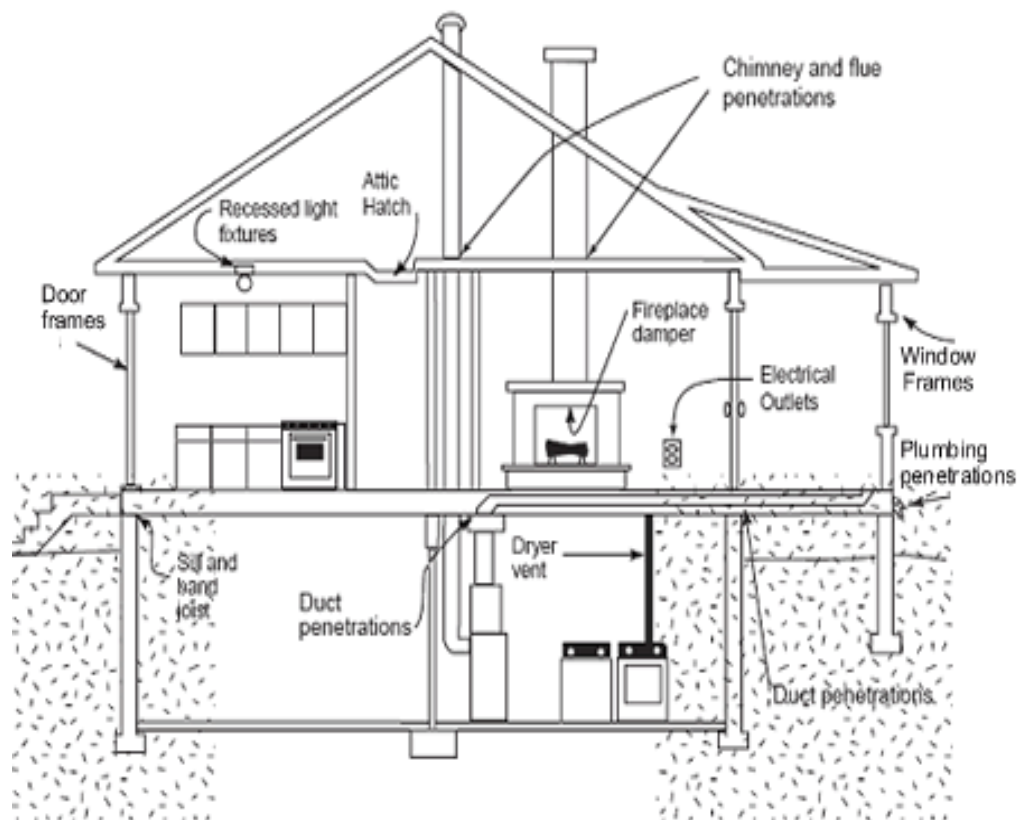
Οι βασικοί μηχανισμοί που οδηγούν σε απώλειες θερμότητας στα κτίρια είναι η μεταφορά θερμότητας με αγωγή μέσω των τοίχων και η διαρροή αέρα.

Η απώλεια θερμότητας λόγω αγωγής της οφείλεται σε ελλιπή ή λανθασμένα εγκατεστημένη μόνωση, συρρίκνωση ή κατακάθιση των μονωτικών υλικών, θερμογέφυρες σε διάφορες συνδέσεις, καταστροφή λόγω υγρασίας των μονωτικών και κατασκευαστικών υλικών, ενεργειακές απώλειες μέσα από κακώς σφραγισμένα παράθυρα, διαρροές σε σωλήνες, κατεστραμμένους αγωγούς, διαρροές σε θαμμένους σωλήνες νερού ή αέρα κ.α.

Διαρροή αέρα είναι ένα ανεξέλεγκτο πέρασμα αέρα μέσα από τα στοιχεία του κτιριακού κελύφους, όπως τα σημεία σύνδεσης τοίχων και πατωμάτων και τα πλαίσια των παραθύρων. Η υπερβολική μετακίνηση αέρα μειώνει τη θερμική ακεραιότητα του κτιρίου και απόδοση του κελύφους και έτσι αυξάνει την ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων.

#### **3.3.7.2 Αντιμετώπιση προβλημάτων διαρροής αέρα**

Μερικά από τα από τα πιο συνηθισμένα σημεία εισόδου αέρα σε ένα σπίτι φαίνονται στην εικόνα που ακολουθεί.



**Εικόνα 32: Σημεία εισόδου αέρα σε κατοικία**

Για να αποφευχθούν οι μετακινήσεις αέρα που οδηγούν σε είσοδο και έξοδο θερμότητας από ένα κτίριο χρησιμοποιείται η μόνωση. Αν όμως παρόλ' αυτά υπάρχουν προβλήματα, για τον εντοπισμό τους χρησιμοποιείται η θερμοκάμερα η οποία βρίσκει όλων των ειδών τις ελλείψεις και παραλείψεις σε ένα κτίριο, οι οποίες επιτρέποντας την είσοδο κρύου αέρα και την έξοδο ζεστού, αυξάνουν τα ενεργειακά έξοδα του κτιρίου.

Χρησιμοποιώντας θερμοκάμερα και δημιουργώντας διαφορές πίεσης ανάμεσα στο κτίριο και στο εξωτερικό περιβάλλον, μπορούμε να εντοπίσουμε τις θερμικές ανωμαλίες που υποδεικνύουν την ύπαρξη προβλημάτων μόνωσης και διαρροής αέρα.

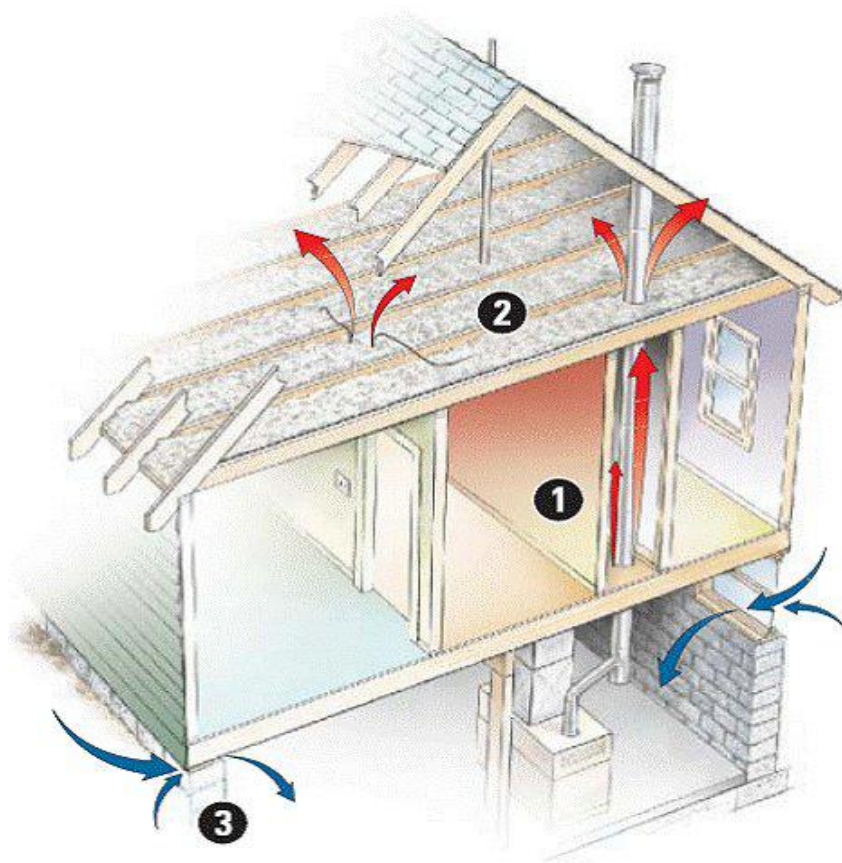
Το τεστ πίεσης χρησιμοποιεί ένα σύστημα αερισμού για να αφαιρέσει την πίεση από το κτίριο. Το σύστημα αυτό προσαρμόζεται σε ένα πλαίσιο που σφραγίζεται μέσα από ένα εξωτερικό άνοιγμα όπως το πλαίσιο μιας πόρτας. Τα ανοίγματα εξαερισμού σφραγίζονται με φύλλα πολυθενίου ή άλλα υλικά. Συστήματα

εξαερισμού για τον καπνό κλείνονται αλλά δε σφραγίζονται, ενώ άλλα εσωτερικά ανοίγματα δε σφραγίζονται. Καθώς αφαιρείται η πίεση από το κτίριο, ο πιο κρύος αέρας μπαίνει στο κτίριο μέσα από κενά, ρωγμές και τρύπες που υπάρχουν και αυτό μπορεί να φανεί με τη βοήθεια της θερμογραφίας.

Εκτός από ενεργειακές απώλειες, οι διαρροές αέρα μπορούν να προκαλέσουν συμπύκνωση (της οποίας οι συνέπειες έχουν αναφερθεί πιο πάνω), ακόμα και ηχορύπανση.

Οι ανεξέλεγκτες απώλειες αέρα έχουν σημαντικό αντίκτυπο στην άνεση των ιδιοκτητών, αλλά και στο κόστος συντήρησης ενός σπιτιού, αφού όπως έχει αναφερθεί ευθύνονται για το 30% περίπου των απωλειών θερμότητας. Οι οικονομικές συνέπειες συνίστανται στην αύξηση των εξόδων καυσίμων, αλλά και άλλων λειτουργικών εξόδων που οφείλονται στα συστήματα θέρμανσης τα οποία χρειάζεται να είναι σε λειτουργία για περισσότερο από το κανονικό διάστημα ώστε να διατηρήσουν τη θερμοκρασία του κτιρίου σε ικανοποιητικά επίπεδα. Σχετικά μικρές διαρροές αέρα μπορούν να οδηγήσουν σε ξηρασία, συμπύκνωση στους τοίχους και μειωμένη ενεργειακή αποδοτικότητα. Ο εντοπισμός του αιτίου της ξηρασίας μπορεί να γίνει δύσκολος, καθώς οι διαδρομές διαρροής αέρα είναι καλύπτονται από ηλεκτρικές κουζίνες, λεκάνες, νιπτήρες, μπανιέρες, κ.α.

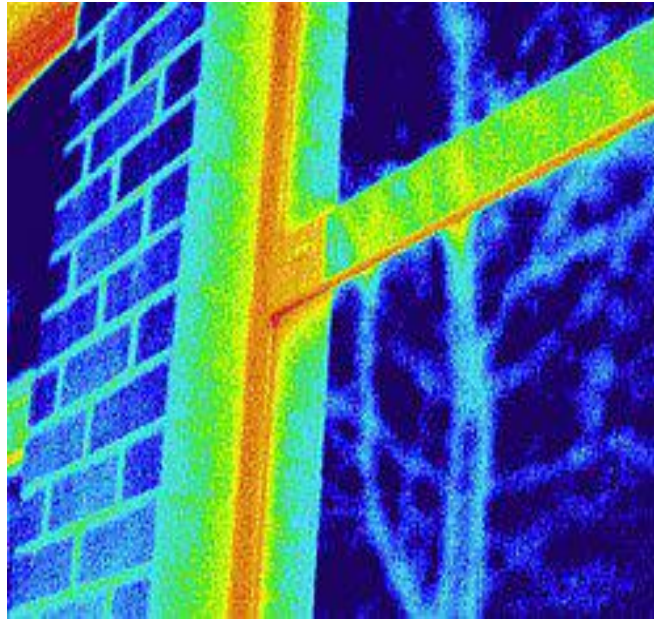
Η εισροή εξωτερικού αέρα μέσω των διαρροών στα υπόγεια επιδεινώνεται από το επονομαζόμενο ‘φαινόμενο της καμινάδας’ (‘chimney effect’) που δημιουργείται από τις διαρροές στη σοφίτα. Το ‘φαινόμενο της καμινάδας’ απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.



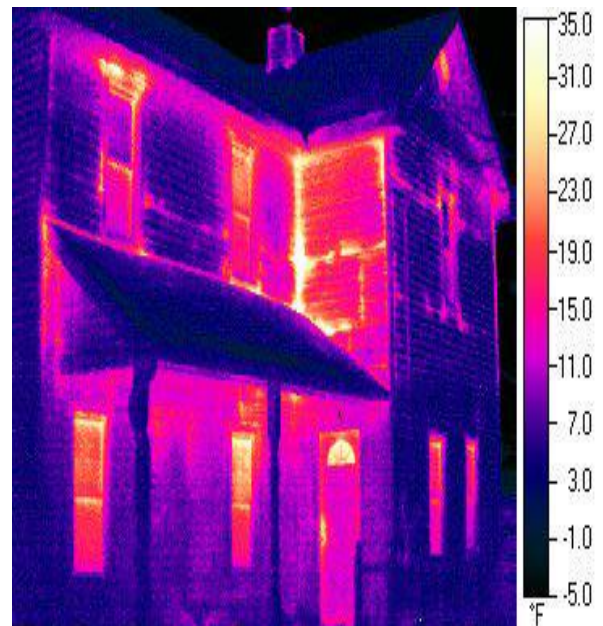
**Εικόνα 33: Φαινόμενο της καμινάδας**

Καθώς παράγεται ο ζεστός αέρας (1), ανεβαίνει μέσα από το σπίτι και στη σοφίτα μέσω των διαρροών (2). Ταυτόχρονα ο κρύος εξωτερικός αέρας εισέρχεται από τις διαρροές των υπογείων για να αντικαταστήσει το μετατοπισμένο αέρα (3). Αυτό κάνει ένα σπίτι ιδανικό περιβάλλον για ύπαρξη ρευμάτων. Αφού σφραγιστούν οι διαρροές αέρα στη σοφίτα, η εργασία αποκατάστασης συνεχίζεται με το σφράγισμα των διαρροών των υπογείων, εμποδίζοντας με αυτόν τον τρόπο το ‘φαινόμενο της καμινάδας’.

Ο αποτελεσματικότερος τρόπος αποφυγής των διαρροών αέρα είναι η σωστή κατασκευή των κτιρίων, η σημασία της οποίας φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα.

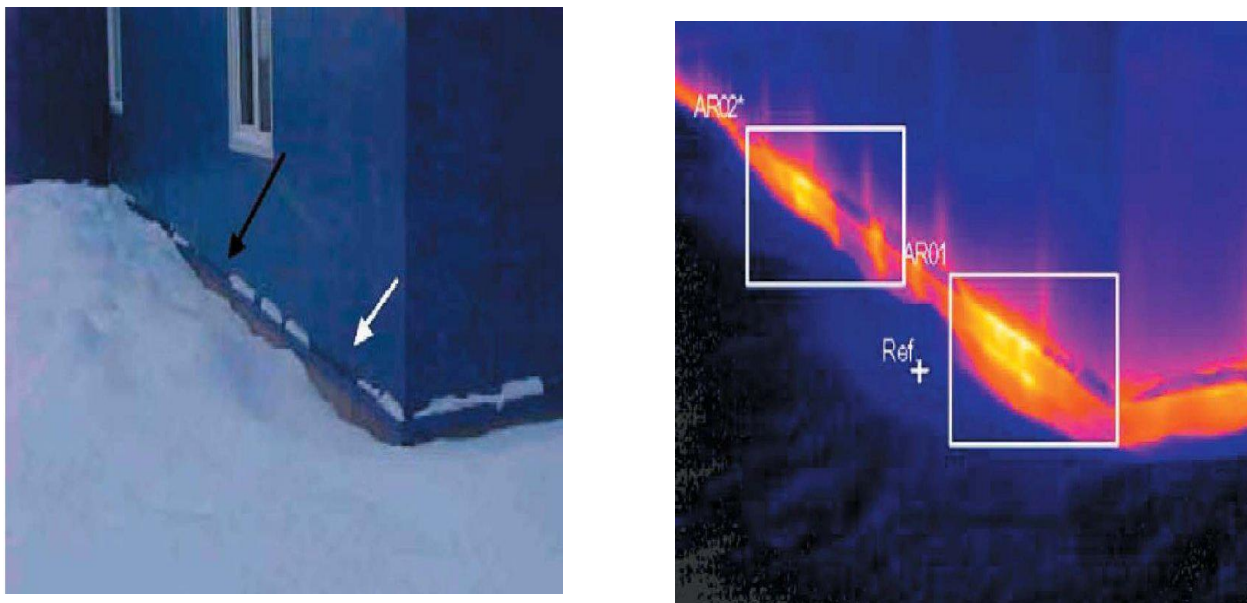


**Εικόνα 34: Διαρροή θερμότητας από παράθυρο εξαιτίας μη επαρκούς Μόνωσης**



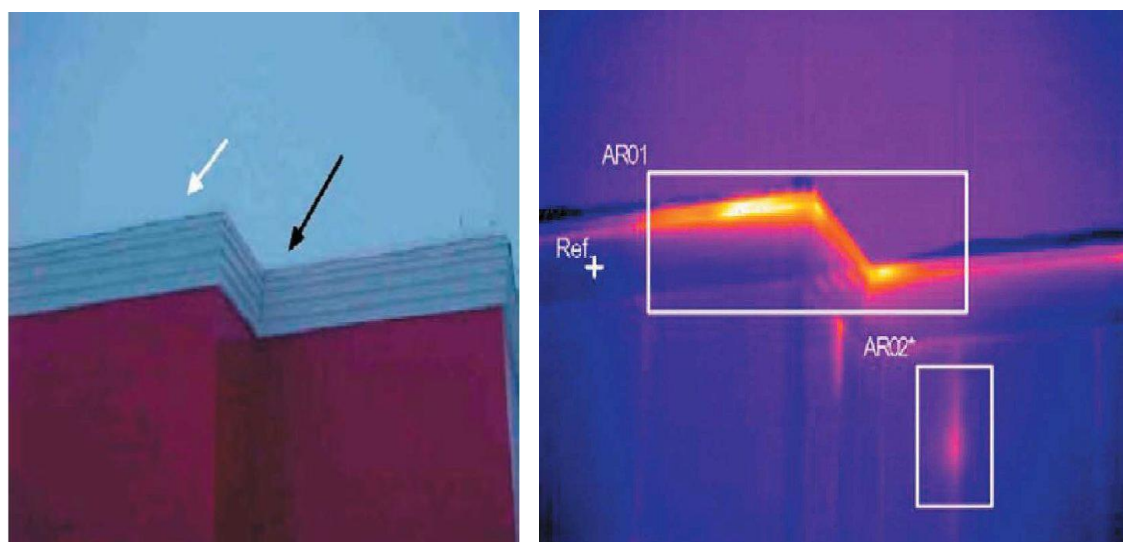
**Εικόνα 35: Θερμικές απώλειες εξαιτίας έλλειψης μόνωσης και/ή υπερβολικής ροής αέρα**

### 3.3.7.3 Περίπτωση έρευνας για ατέλειες σε κατοικία με τη χρήση Θερμοκάμερας



**Εικόνα 36: Διαρροή θερμότητας**

Αξίζει να σημειωθεί ότι στις περιοχές μέσα στα δύο πλαίσια η διαρροή είναι πιο έντονη εξαιτίας του χιονιού που έχει υγροποιηθεί σ' αυτά τα δύο σημεία, γεγονός που αιτιολογεί τα ανοιχτά χρώματα της θερμοφωτογραφίας.

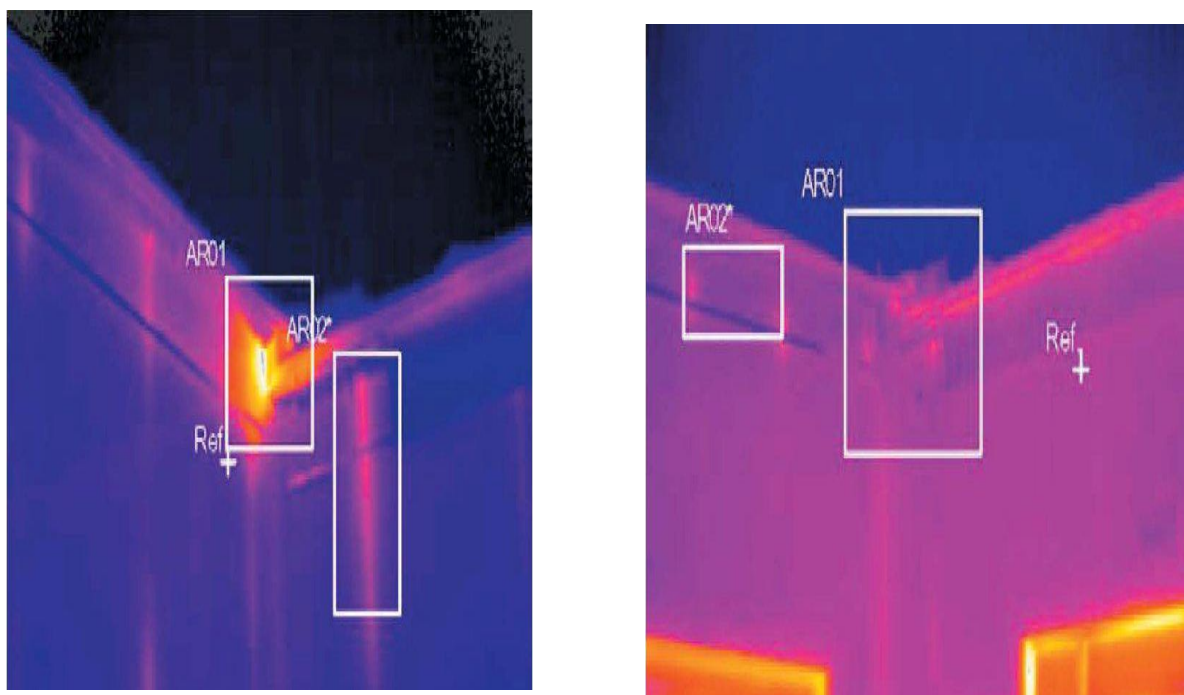


**Εικόνα 37: Σημαντικές διαρροές αέρα σε δύο θέσεις του στήθαιου. Μια μικρή διαρροή φαίνεται στη γραμμή συναρμογής των πάνελ στα δεξιά**



Το φωτεινό σημείο πάνω από τα δύο ορθογώνια όπου και λαμβάνουν χώρα οι διαρροές οφείλεται στη θερμότητα που εκπέμπεται από μία κάμερα παρακολούθησης και γι' αυτό δε θεωρείται ατέλεια).

Για να επιβεβαιωθεί ότι οι θερμικές ανωμαλίες προκλήθηκαν από διαρροή αέρα και όχι στο φαινόμενο της θερμογέφυρας, η πίεση του αέρα μέσα στο κτίριο αναστράφηκε χρησιμοποιώντας ένα μηχανικό σύστημα, έτσι ώστε ο αέρας να εισέρχεται στο κτίριο αντί να εξέρχεται. Ένα παράδειγμα εφαρμογής αυτής της διαδικασίας φαίνεται παρακάτω, όπου για να επιβεβαιωθεί ότι η θερμική ανωμαλία (αριστερά στην εικόνα) οφειλόταν σε διαρροή αέρα, η πίεση στο κτίριο αναστράφηκε από τα θετικά στα αρνητικά και η ανωμαλία διερευνήθηκε ξανά. Όπως φαίνεται από τη δεύτερη φωτογραφία, η ανωμαλία είχε εξαφανιστεί εντελώς. Το ίδιο συνέβη και σε άλλες αντίστοιχες περιπτώσεις.



**Εικόνα 38: Σημαντικές διαρροές αέρα σε δύο θέσεις**

*Τα αποτελέσματα της παραπάνω έρευνας ήταν τα ακόλουθα:*

- Οι ανωμαλίες που υπήρχαν μεταξύ στέγης και τοίχου εξαφανίστηκαν

- Η πλειοψηφία των ανωμαλιών στα σοβατεπιά είτε εξαφανίστηκαν είτε μειώθηκαν σε μέγεθος
- Οι ανωμαλίες μεταξύ οροφής και τοίχου στο επίπεδο του δεύτερου ορόφου μειώθηκαν κατά ένα μεγάλο ποσοστό
- Δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές ανωμαλίες στα παράθυρα
- Οι ανωμαλίες στις συνδέσεις μεταξύ των πάνελ εξαφανίστηκαν

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> :**

### **Η ΘΕΡΜΟΚΑΜΕΡΑ FLUKE**

Η θερμοκάμερα που χρησιμοποιήθηκε στην πειραματική διαδικασία είναι η FLUKE TiR1.

*Είναι εύκολη στον χειρισμό και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μεγάλο εύρος εφαρμογών όπως:*

#### Προληπτική συντήρηση:

- ✓ Ηλεκτρικά συστήματα. Αναγνώριση υπερφόρτωσης κυκλώματος πριν συμβεί.
- ✓ Μηχανικά συστήματα. Αποτροπή μηχανικών προβλημάτων.
- ✓ Εφαρμογές γενικής χρήσης. Παρακολούθηση υποσταθμών, γραμμών μεταφοράς κλπ.

#### Επιστήμη κατασκευών:

- ✓ Στέγαση. Αναγνώριση και απομόνωση σημείων εισόδου νερού γρήγορα και άμεσα.
- ✓ Κτηριακό κέλυφος. Πραγματοποίηση ελέγχων υπέρυθρης ενέργειας.
- ✓ Εντοπισμός υγρασίας. Εντοπισμός της πηγής της υγρασίας και του μεγέθους της μούχλας.
- ✓ Αποκατάσταση. Αξιολόγηση της αποκατάστασης ενός χώρου ώστε να είμαστε σίγουροι ότι είναι εντελώς στεγνός.

Ερευνα και ανάπτυξη:

- ✓ Οπτικοποίηση και μέτρηση της παραγόμενης θερμότητας για την βελτίωση των προϊόντων και των διαδικασιών κατασκευής τους.

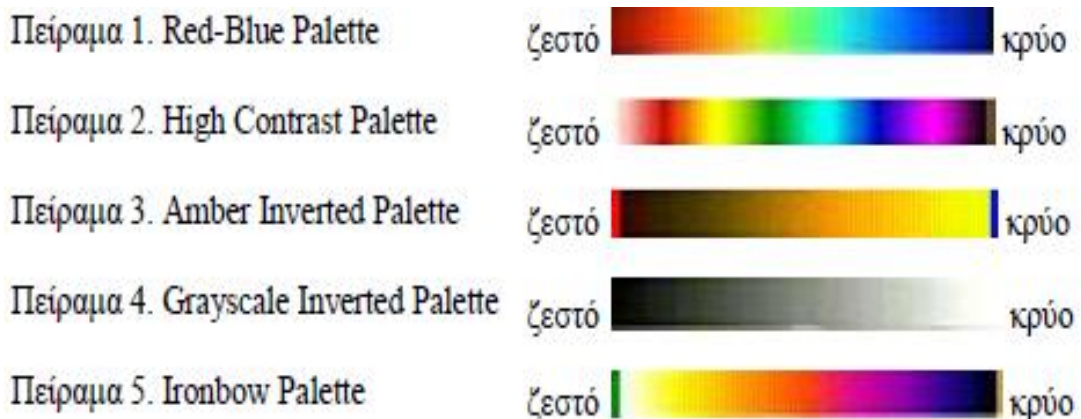
Διαδικασία ελέγχου:

- ✓ Έλεγχος και παρακολούθηση θερμοκρασιών σε πραγματικό χρόνο.

Τα κύρια χαρακτηριστικά της κάμερας είναι:

- Ανιχνευτής: 640x480 FPA από οξείδιο του βαναδίου.
- Θερμική ευαισθησία: χαμηλότερη από 0.1oC στους 30oC.
- Παλέτες: Είναι διαθέσιμες 6 χρωματικές παλέτες. Η αγγλική τους ονομασία είναι red-blue, high contrast, grayscale, ironbow, hot metal, amber.
- Πεδίο όρασης: 23ο οριζόντια x 17ο κάθετα.
- Ακρίβεια μέτρησης:  $\pm 2oC$  ή  $\pm 2\%$ .
- Ρυθμός ανανέωσης: 9Hz.
- Εύρος θερμοκρασιών: -20oC έως +100oC.
- Εύρος φάσματος: 7.5 $\mu m$  έως 14 $\mu m$ .
- Χωρική ανάλυση (IFOV): 2.5mrad.

Η χρωματική παλέτα της κάμερας είναι:



## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η διενέργεια ενεργειακής επιθεώρησης σε κάθε κτίριο είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για την κατεύθυνση σχηματισμού μιας σαφούς εικόνας για την κατάσταση στην οποία βρίσκεται το κτίριο από ενεργειακής άποψης, καθώς και στην κατεύθυνση λήψης μέτρων από την υλοποίηση των οποίων θα προκύψει σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας και αντίστοιχο οικονομικό όφελος, καθώς και βελτίωση των συνθηκών εργασίας για τους χρήστες του κτιρίου και βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος χάρη στην ορθότερη και αποδοτικότερη χρήση της παραγόμενης ενέργειας.

Πέρα των προτεινόμενων δράσεων, κρίνεται απαραίτητη η τοποθέτηση μετρητή και σε όλα τα κτίρια ώστε να είναι γνωστή στο εξής η ακριβής κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας.

Μια άλλη προοπτική για τα κτίρια είναι και η παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο της κατανάλωσης ενέργειας με σκοπό την καλύτερη διαχείρισή της, όπως επίσης και ο συνεχής έλεγχος και η συνεχής παρακολούθηση των εξελίξεων στον τομέα της ενέργειας και ειδικότερα σε θέματα που αφορούν την αποδοτική χρήση του εξοπλισμού του κτιρίου, όπως οι εξελίξεις στα συστήματα αυτομάτου ελέγχου, στα νέα υλικά, στους τρόπους μόνωσης του κτιριακού κελύφους καθώς, επίσης στα συστήματα ψύξης – θέρμανσης, φωτισμού και σε άλλες νέες τεχνολογίες.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αραβαντινός, Δ., 2009, *Οικοδομικές επεμβάσεις για την αποφυγή των θερμογεφυρών*, Παρουσίαση σε ημερίδα με τίτλο: *Ενεργειακή μελέτη. Επιθεώρηση και έκδοση ενεργειακού πιστοποιητικού κτιρίων*
2. Κορωναίος, Α. Γ., Σαργέντης, Γ. Φ., 2003. *Θερμογραφία*, Δημοσιεύσεις Εργαστηρίου Τεχνικών Υλικών, Τεύχος 2, Αθήνα.
3. Χριστοδουλίδης, Α. Χ., 2007, *Θερμογραφία Κτιρίων – Θερμική Επιθεώρηση*
4. Χριστοδουλίδης, Α. Χ., 2008, *Εφαρμοσμένη Θερμογραφία στη Διαχείριση Κτιρίων*, Παρουσίαση στην ημερίδα: *Τόνωση της συνεργασίας (clustering) στον Τομέα των Κατασκευών στην Περιφέρεια Κρήτης*, Ηράκλειο Κρήτης.

### Ξενογλωσση βιβλιογραφια

1. Thermography and Other Diagnostic Tools, Thermal Solutions Sarasota, Florida, 2007.
2. Eric, G., Amhaus, E. L., Fronapfel, 2004. *Infrared Applications for Post Construction Radiant Heating Systems*, “InfraMation Proceedings”, ITC 104 A, 27 July 2004.
3. Kleinfeld, J. M., 2004, *Infrared for Detection of Exterior Wall Moisture and Delamination: A Case Study Mary A. Finn*, *The Use of Infrared Thermal Imaging in Indoor Environmental Investigations*, “InfraMation Proceedings”, ITC 104 A, 27 July 2004.
4. Saunders, C. T., 2003, *Moisture Intrusion Inspections of Stadiums through the use of Thermal Imagery*, “InfraMation”, ITC 092 A, 15 August 2003.
5. Gonçalves, M. D., Gendron, P., Colantonio, T., 2004, *Commissioning of Exterior Building Envelopes of Large Buildings for Air Leakage and Resultant*

*Moisture Accumulation using Infrared and Comparison to FEA Predictions*, “InfraMation Proceedings”, ITC 104 A, 27 July 2004.

6. Lo, T. Y., K.T.W., Choi, 2004, *Building defects diagnosis by infrared thermography*, “Structural Survey”, 22(5) : 259–263.

### **Πηγές από το διαδίκτυο**

1. <http://energetechs.com/services/energy-audits/thermal-imaging/>
2. [http://www.atlas-inspection.com/borescope\\_rental/infrared\\_cameras.shtml](http://www.atlas-inspection.com/borescope_rental/infrared_cameras.shtml)
3. <http://www.atlas-inspection.com/flir-infrared-cameras-i-series.html>
4. <http://www.offgridcon.com>
5. [http://www.gotmoldfl.com/Certified\\_Enviromental\\_IAQ.html](http://www.gotmoldfl.com/Certified_Enviromental_IAQ.html)
6. <http://www.flirb200.com/>
7. <http://www.getacomfortablehome.com/home-energy-audit-tools.html>
8. <http://www.sprayfoam.com/npps/story.cfm?nppage=219>
9. [http://www.absoluteinspections.net/infrared\\_thermal.php](http://www.absoluteinspections.net/infrared_thermal.php)
10. <http://www.hvacprotech.com/viewtopic.php?t=12708&f=201>