



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΥΛΙΚΩΝ



**«Μη καταστροφική αποτίμηση της ενεργειακής
αποτελεσματικότητας κτιρίων και της μηχανικής
συμπεριφοράς δομικών στοιχείων»**

Ευάγγελος Κορδάτος
Μηχανικός Επιστήμης Υλικών

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Διατμηματικό Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών
«Χημεία & Τεχνολογία Υλικών»

ΙΩΑΝΝΙΝΑ 2013

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΧΗΜΕΙΑ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΛΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΥΛΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ, ΕΥΦΥΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΚΑΙ ΜΗ-
ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΗΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ

**«Μη καταστροφική αποτίμηση της ενεργειακής αποτελεσματικότητας
κτιρίων και της μηχανικής συμπεριφοράς δομικών στοιχείων»**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Ευάγγελος Κορδάτος

Επιβλέπων:

Καθηγητής κ. Θεόδωρος Ματίκας

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

Καθηγητής κ. Θεόδωρος Ματίκας

Καθηγητής κ. Κωνσταντίνος Μπέλτσιος

Λέκτορας κ. Κωνσταντίνος Δάσιος

Ευχαριστίες

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της μεταπτυχιακής μου διατριβής και Καθηγητή του ΤΜΕΥ κ. Θεόδωρο Ματίκα , ο οποίος με εμπιστεύθηκε και μου ανέθεσε το συγκεκριμένο θέμα. Επιπλέον, με τις γνώσεις του και την καθοδήγηση του συνείσφερε καθοριστικά στην ολοκλήρωση της συγκεκριμένης έρευνας.

Στη συνέχεια, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή του ΤΜΕΥ κ Κωνσταντίνο Μπέλτσιο για τη γενικότερη καθοδήγηση κατά τη διάρκεια των προπτυχιακών μου αλλά και μεταπτυχιακών μου σπουδών.

Ευχαριστώ επιπλέον, τον λέκτορα του ΤΜΕΥ κ. Κωνσταντίνο Δάσιο για την σημαντική συνεισφορά γνώσεων και για την άψογη συνεργασία που έλαβε χώρα κατά τη διάρκεια υλοποίησης της ερευνητικής εργασίας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την υποψήφια διδάκτορα του ΤΜΕΥ Δήμητρα Σουλιώτη που με ανέχθηκε κατά τη διεξαγωγή των πειραμάτων και κατά τη συγγραφή, αλλά και για την καθημερινή ψυχολογική και ερευνητική της υποστήριξη.

Αξίζει ένα μεγάλο ευχαριστώ στον υποψήφιο διδάκτορα και φίλο Δημήτρη Έξαρχο για την πολύτιμη βοήθεια του στην πραγματοποίηση των πειραμάτων και την αντοχή του στις αντίξοες συνθήκες που αντιμετωπίσαμε κατά τις μετρήσεις στο Μύτικα.

Επιπρόσθετα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Θεμιστοκλή Ιωαννίδη Επίκουρο Καθηγητή βάσει του Π.Δ. 407/80 του ΤΜΕΥ για την παροχή του μετεωρολογικού σταθμού που χρησιμοποιήθηκε στις μετρήσεις της έρευνας αυτής.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την εταιρία «New Discovery Bricks Hellas Γ. Κραμποκούκης Μον. Ε.Π.Ε.» για τα δοκίμια τύπου «σάντουιτς» που εξετάστηκαν καθώς και για την υφιστάμενη μη συμβατική κατασκευή στην τοποθεσία Μύτικα Αιτωλοακαρνανίας.

Επιπλέον, ευχαριστώ πολύ τον Γεώργιο Έξαρχο, Πολιτικό Μηχανικό, για τη χρήση του λογισμικού MonaKENAK της RUNET software ΕΠΕ, καθώς και τον Κωνσταντίνο Θεοφίλου – Μακρή για την παραχώρηση ελέγχου της υφιστάμενης κατασκευής στις νέες Παγασές Βόλου.

Τέλος, ένα πολύ μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια μου που με την κατανόηση και την υποστήριξη τους σε ηθικό αλλά και υλικό επίπεδο κατάφερα να ολοκληρώσω την παρούσα έρευνα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	13
1.1	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ.....	13
1.2	ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	14
1.3	ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	15
2.	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ.....	19
2.1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ.....	19
2.2.	ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ	20
2.2.1.	Άνεμος.....	21
2.2.2.	Υγρασία	23
2.2.3.	Ηλιακή ακτινοβολία	23
2.2.3.1.	Περίοδος θέρμανσης	23
2.2.3.2.	Περίοδος ψύξης.....	24
2.2.4.	Συντελεστής θερμοπερατότητας (Τιμή U)	24
2.2.5.	Θερμικές γέφυρες	25
2.2.6.	Εξαερισμός και ποιότητα εσωτερικού αέρα.....	25
2.2.7.	Θερμική μάζα - θερμοχωρητικότητα.....	27
3.	ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΟΙ ΕΛΕΓΧΟΙ.....	31
3.1.	ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΙΕΣΗΣ ΑΕΡΑ	31
3.2.	ΕΝΔΟΣΚΟΠΗΣΗ Η ΟΠΤΙΚΗ ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ ΑΠΟ ΑΠΟΣΤΑΣΗ.....	32
3.3.	ΜΕΤΡΗΣΗ ΥΓΡΑΣΙΑΣ	32
3.4.	ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΙΜΗΣ U.....	33
3.5.	ΡΑΝΤΑΡ.....	33
3.6.	ΥΠΕΡΗΧΟΙ	33
3.7.	ΥΠΕΡΥΘΡΗ ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΙΑ.....	34
4.	ΥΠΕΡΥΘΡΗ ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΙΑ.....	37
4.1.	ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΤΗΣ ΥΠΕΡΥΘΡΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ.....	37
4.2.	ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΦΑΣΜΑ	38
4.3.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΙΑ.....	39
4.4.	ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΙΑΣ.....	40
4.4.1.	Βασικές αρχές θερμογραφίας	40
4.4.2.	Μηχανισμοί διάδοσης της θερμότητας.....	41
4.4.2.1.	Μεταφορά με αγωγή.....	41
4.4.2.2.	Μεταφορά θερμότητας με θερμική μεταβίβαση	42
4.4.2.3.	Μεταφορά θερμότητας με ακτινοβολία	43
4.4.3.	Θεωρία θερμικών κυμάτων	44
4.4.4.	Χαρακτηριστικά των υλικών	46

4.4.4.1.	Συντελεστής εκπομπής, ϵ	47
4.4.4.2.	Λύσεις προβλημάτων του συντελεστή εκπομπής ϵ	49
4.5.	Υπέρυθρη θερμική κάμερα.....	50
4.5.1.	Εισαγωγή.....	50
4.5.2.	Υπέρυθρη συστοιχία εστιακού επιπέδου (FPA).....	51
4.5.3.	Εφαρμογές θερμογραφίας – Παραδείγματα προβλημάτων σε κτίρια.	52
5.	ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ.....	59
5.1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	59
5.2.	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ – ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ.....	60
5.2.1.	Πειραματική διάταξη - διαδικασία θλίψης.....	60
5.2.2.	Πειραματική διάταξη - διαδικασία κάμψης	61
5.3.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ.....	63
5.3.1.	Αποτελέσματα δοκιμής θλίψης - Σύγκριση	63
5.3.2.	Αποτελέσματα δοκιμής κάμψης - Σύγκριση.....	65
6.	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ	71
6.1.	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ.....	71
6.1.1.	Εισαγωγή.....	71
6.1.2.	Υπολογισμός τιμής U	73
6.2.	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ – ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΣΕ ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΜΗ ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ	76
6.2.1.	Εισαγωγή.....	76
6.2.2.	Πειραματική διάταξη - διαδικασία	76
6.2.3.	Αποτελέσματα μετρήσεων θερμοκρασίας.....	77
6.2.4.	Αποτελέσματα μετρήσεων υγρασίας	79
6.3.	ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΑΤΕΛΕΙΩΝ ΣΕ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ.....	80
6.3.1.	Εισαγωγή.....	80
6.3.2.	Πειραματική διάταξη.....	81
6.3.3.	Αποτελέσματα.....	83
6.3.3.1.	Αποτελέσματα θερμογραφικού ελέγχου σε συμβατική κατασκευή.....	83
6.3.3.2.	Αποτελέσματα θερμογραφικού ελέγχου σε μη συμβατική κατασκευή	95
6.4.	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΚΕΝΑΚ.....	105
7.	ΣΥΝΟΨΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	111
8.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	113

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Εκτροπή ψυχρού ανέμου α) συμπαγείς φράκτες, β) ζώνη επίδρασης ανεμοφράκτη, γ) τύποι ανεμοφρακτών [7]	21
Εικόνα 2. Κατεύθυνση ανέμου λόγω θέσης δέντρων. [7].....	22
Εικόνα 3. Απώλεια θερμότητας στο κτίριο	26
Εικόνα 4. Όργανο μέτρησης πίεσης του αέρα	31
Εικόνα 5. Ενδοσκόπια	32
Εικόνα 6. Μετρητής υγρασίας	33
Εικόνα 7. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. 1: Ακτίνες Χ. 2: Υπεριώδεις (UV). 3: Ορατό. 4: Υπέρυθρες (IR). 5: Μικροκύματα. 6: Ραδιοκύματα	38
Εικόνα 8. Αρχή της Θερμογραφίας [13]	40
Εικόνα 9. Μεταφορά με αγωγή [15]	41
Εικόνα 10. Μεταφορά με θερμική μεταβίβαση [15].....	43
Εικόνα 11. Μεταφορά θερμότητας με ακτινοβολία [15]	43
Εικόνα 12. Διάγραμμα μέλαν σώματος και πραγματικής επιφάνειας όπου φαίνεται η σύγκριση των συντελεστών εκπομπής. [16]	48
Εικόνα 13. Υπέρυθρη θερμική κάμερα	50
Εικόνα 14. Προβλήματα υγρασίας σε στέγες	53
Εικόνα 15. Προβλήματα υγρασίας σε προσόψεις κτιρίων.....	54
Εικόνα 16. Προβλήματα υγρασίας σε ψευδόστεγα και μπαλκόνια	54
Εικόνα 17. Προβλήματα μόνωσης σε κτίρια	55
Εικόνα 18. Παραδείγματα θυλάκων παγιδευμένου αέρα.....	56
Εικόνα 19. Δομικό υλικό τύπου «σάντουιτς»	59
Εικόνα 20. Υδραυλική μηχανή θραύσης δοκιμίων	60
Εικόνα 21. Δοκιμή θλίψης	60
Εικόνα 22. Σερβο-υδραυλική μηχανή	61
Εικόνα 23. Δοκίμιο υπό καταπόνηση σε κάμψη 3 σημείων	62
Εικόνα 24. Δοκίμιο που έχει υποστεί θραύση.....	62
Εικόνα 25. Θλιπτική αντοχή διαφόρων υλικών οπτοπλινθοδομής	64
Εικόνα 26. Καμπτική αντοχή διαφόρων υλικών οπτοπλινθοδομής.....	66
Εικόνα 27. Τυπική καμπύλη Φορτίου - Μετατόπισης κάμψης τριών σημείων	67
Εικόνα 28. Σκαρίφημα δομής συμβατικού δομικού στοιχείου [46]	73
Εικόνα 29. Σκαρίφημα δομής δομικού στοιχείου τύπου σάντουιτς [46]	74
Εικόνα 30. Μετεωρολογικός σταθμός	77
Εικόνα 31. Διάγραμμα θερμοκρασίας συμβατικής κατοικίας	78
Εικόνα 32. Διάγραμμα θερμοκρασίας μη συμβατικής κατοικίας	78
Εικόνα 33. Διάγραμμα σχετικής υγρασίας συμβατικής κατοικίας	79
Εικόνα 34. Διάγραμμα σχετικής υγρασίας μη συμβατικής κατοικίας	80
Εικόνα 35. Πειραματική διάταξη θερμογραφικού ελέγχου	81
Εικόνα 36. Συμβατική κατασκευή	82
Εικόνα 37. Μη συμβατική κατασκευή	82

Εικόνα 38. Έλεγχος τοιχοποιίας Α	83
Εικόνα 39. Έλεγχος τοιχοποιίας Β	84
Εικόνα 40. Έλεγχος τοιχοποιίας Γ	85
Εικόνα 41. Έλεγχος κουφωμάτων Α	86
Εικόνα 42. Έλεγχος κουφωμάτων Β	87
Εικόνα 43. Έλεγχος κουφωμάτων Γ	88
Εικόνα 44. Έλεγχος κουφωμάτων Δ	89
Εικόνα 45. Έλεγχος παραδοσιακού τζακιού	90
Εικόνα 46. Έλεγχος γυψοσανίδας	91
Εικόνα 47. Έλεγχος κλιμακοστάσιου	92
Εικόνα 48. Ανίχνευση σωληνώσεων	93
Εικόνα 49. Έλεγχος κουφωμάτων Α	95
Εικόνα 50. Έλεγχος κουφωμάτων Β	96
Εικόνα 51. Έλεγχος κουφωμάτων Γ	97
Εικόνα 52. Έλεγχος κουφωμάτων Δ	98
Εικόνα 53. Έλεγχος κουφωμάτων Ε.....	99
Εικόνα 54. Έλεγχος κουφωμάτων ΣΤ	100
Εικόνα 55. Έλεγχος κουφωμάτων Ζ.....	101
Εικόνα 56. Έλεγχος οροφής Α	102
Εικόνα 57. Έλεγχος οροφής Β.....	103
Εικόνα 58. Έλεγχος στέγης	104
Εικόνα 59. Κλιματικές ζώνες	105
Εικόνα 60. Αρχιτεκτονικό σχέδιο.....	106
Εικόνα 61. Υπολογισμός U_{in} για συμβατικό κτίριο	107
Εικόνα 62. Υπολογισμός U_{in} για μη συμβατικό κτίριο	108

Κεφάλαιο 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ

Τα τελευταία χρόνια, πολιτική όλων των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Ε.Ε.) είναι η μείωση της χρήσης ενέργειας και η μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα λόγω χρήσης ορυκτών καυσίμων. Ως εκ τούτου, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή θέσπισε μια οδηγία (2002/91/EC) [1] σχετικά με την «Ενεργειακή Απόδοση των κτιρίων», η οποία έχει ως θέμα τις ενεργειακές απαιτήσεις των νέων ή υφιστάμενων κατοικήσιμων ή μη κτιρίων. Προκειμένου να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις αυτής της οδηγίας και να αντιμετωπισθεί το γεγονός ότι τα κτίρια συμβάλλουν σημαντικά στην κατανάλωση των πηγών ενέργειας κάθε χώρας, τα πρότυπα που απαιτούνται κατά την κατασκευή νέων κτιρίων για τη διατήρηση της ενέργειας έχουν αυξηθεί σημαντικά. Ο τελικός στόχος για κάθε κράτος μέλος της Ε.Ε. είναι ότι με τη συνεχόμενη αύξηση των προτύπων για ενεργειακή απόδοση των κτιρίων, το 2016 τα νέα κτήρια να είναι κυρίως «παθητικά». Με τον όρο «παθητικά» νοείται ότι με τον κατάλληλο σχεδιασμό και κατασκευή, τα νέα κτίρια θα καταναλώνουν λίγη ή και καθόλου ενέργεια.

Ωστόσο, μεγάλη πρόκληση αποτελεί η αναβάθμιση της ενεργειακής αποτελεσματικότητας των υφιστάμενων κτιρίων κυρίως αν αυτά είναι κατασκευασμένα από παραδοσιακά υλικά ή παραδοσιακούς τρόπους κατασκευής με μεγάλη αρχιτεκτονική ή και ιστορική σημασία [2]. Για το λόγο αυτό, ο έλεγχος της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων και ιδιαίτερα με μεθόδους μη καταστροφικής αξιολόγησης είναι αναγκαίος [3, 4]. Τα τελευταία χρόνια η χρήση των Μη Καταστροφικών Ελέγχων (Μ.Κ.Ε.) αυξάνεται ραγδαία λόγω του ότι δεν παρεμβαίνουν στη δομική ακεραιότητα ή στην αισθητική ενός κτιρίου.

Παρόλο που υπάρχουν αρκετές διαθέσιμες τεχνικές για την αξιολόγηση μεμονωμένων στοιχείων ενός κτιρίου, η υπέρυθη θερμογραφία (Infrared Thermography) αποτελεί τη μοναδική μέθοδο ικανή για τον έλεγχο της «πλήρους εικόνας» μιας κατασκευής.

1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας είναι η μη καταστροφική αποτίμηση της ενεργειακής αποτελεσματικότητας κτιρίων, συμβατικών και μη, καθώς και η μελέτη της μηχανικής συμπεριφοράς δομικών στοιχείων. Για τη διεξαγωγή της έρευνας, χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικοί τύποι κτιρίων. Ένα συμβατικό κτίριο κατασκευασμένο από σκυρόδεμα και οπτοπλινθοδομή και ένα νέο είδος κτιρίων για την Ελλάδα δομημένο με φέρουσα τοιχοποιία που βασίζεται στην τεχνολογία ξύλου.

Καθώς οι μηχανικές ιδιότητες των δομικών υλικών μιας συμβατικής κατοικίας έχουν μελετηθεί εκτενώς στη βιβλιογραφία, κρίθηκε σκόπιμο στην παρούσα εργασία να μελετηθούν δύο από τις πιο σημαντικές μηχανικές ιδιότητες των υλικών η καμπτική και η θλιπτική αντοχή του δομικού στοιχείου τύπου «σάντουιτς». Επιπρόσθετα, τα αποτελέσματα των μηχανικών δοκιμών για το δομικό στοιχείο τύπου «σάντουιτς» συγκρίθηκαν με τιμές από τη βιβλιογραφία και συγκεκριμένα από των Ευρωκώδικα 6 «Σχεδιασμός κατασκευών από Τοιχοποιία» ώστε να αξιολογηθεί η αποτελεσματικότητα των υλικών αυτών ως δομικά στοιχεία.

Επίσης, στην εργασία αυτή αποτιμήθηκε μη καταστροφικά και συγκεκριμένα με τη χρήση της υπέρυθρης θερμογραφίας, η ενεργειακή αποτελεσματικότητα δύο υφιστάμενων κατασκευών. Για να επιτευχθεί ο παραπάνω σκοπός πραγματοποιήθηκε μια σειρά πειραμάτων και υπολογισμών σχετικά με τις ιδιότητες των επιμέρους υλικών που απαρτίζουν των τοιχοποιία ενός κτιρίου. Υπολογίστηκε η τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητας και για τα δύο είδη τοιχοποιίας, εξετάστηκε η επιρροή των περιβαλλοντικών συνθηκών στην ενεργειακή αποτελεσματικότητα των δύο κτιρίων, μελετήθηκαν με τη μέθοδο της θερμογραφίας, κατασκευαστικά ελαττώματα και ατέλειες των κτιρίων και τέλος πραγματοποιήθηκε μια μελέτη «Ενεργειακής επιθεώρησης» σύμφωνα με το πρότυπα και τη νομοθεσία που ισχύει στην Ελλάδα.

1.3 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η εργασία αποτελείται από συνολικά 7 κεφάλαια.

Στο πρώτο κεφάλαιο περιγράφεται το αντικείμενο της εργασίας. Αναφέρεται συνοπτικά η ανάγκη που ώθησε την Ευρωπαϊκή Ένωση να θεσπίσει κανόνες αλλά και τους μηχανικούς να εφαρμόσουν και να αναπτύξουν μεθοδολογίες ικανές και χρήσιμες για την ενεργειακή αποτελεσματικότητα των κτιρίων. Επίσης, αναπτύσσεται ο σκοπός της εργασίας και τα ειδικά θέματα με τα οποία ασχολείται η συγκεκριμένη έρευνα.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται εκτενής λόγος περί ενεργειακής αποτελεσματικότητας των κτιρίων. Αρχικά, παρουσιάζεται μια σύντομη περιγραφή των προβλημάτων που προκύπτουν λόγω των μη ενεργειακών κατασκευών, των κανόνων και των προτύπων για την κατασκευή ενεργειακών κτιρίων. Στη συνέχεια, αναλύονται εκτενώς οι περιβαλλοντικοί παράγοντες που συντελούν θετικά ή αρνητικά στην ενεργειακή απόδοση μίας κατασκευής και τέλος οι παράγοντες που συνεισφέρουν στην απώλεια ενέργειας σε ένα κτίριο.

Το τρίτο κεφάλαιο αναφέρεται στους μη καταστροφικούς ελέγχους που χρησιμοποιούνται για την αποτίμηση της ενεργειακής αποτελεσματικότητας ενός υφιστάμενου κτιρίου.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναπτύσσεται διεξοδικά η μέθοδος της υπέρυθρης θερμογραφίας. Αρχικά, γίνεται μία αναφορά σε ιστορικά στοιχεία σχετικά με την υπέρυθρη ακτινοβολία. Στη συνέχεια, αναλύονται οι βασικές αρχές της θερμογραφίας, οι μηχανισμοί διάδοσης της θερμότητας και οι ιδιότητες των υλικών που επηρεάζουν τις μετρήσεις των υπέρυθρων καμερών. Επίσης, περιγράφεται η λειτουργία της υπέρυθρης κάμερας και τα χαρακτηριστικά της. Τέλος, γίνεται αναφορά στις εφαρμογές της υπέρυθρης θερμογραφίας και παρουσιάζονται λεπτομερώς κατασκευαστικά αλλά και αρχιτεκτονικά σφάλματα και ελαττώματα που έχει τη δυνατότητα να αποκαλύψει η υπέρυθρη θερμογραφία.

Το πέμπτο κεφάλαιο περιλαμβάνει τις δοκιμές θλίψης και κάμψης του δομικού στοιχείου τύπου «σάντουιτς». Συγκεκριμένα, περιγράφονται οι πειραματικές διαδικασίες των δοκιμών και τα υλικά που απαρτίζουν αυτό το δομικό στοιχείο. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δοκιμών και η σύγκριση τους με τιμές μηχανικών ιδιοτήτων συμβατικών υλικών από τη βιβλιογραφία.

Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι πειραματικές μετρήσεις και οι υπολογισμοί που πραγματοποιήθηκαν για την ενεργειακή αποτίμηση των κτιρίων. Αρχικά, αναλύονται οι μετρήσεις θερμοκρασίας – υγρασίας από μετεωρολογικό σταθμό σε συμβατικές και μη συμβατικές κατασκευές, με σκοπό τη μελέτη της θερμομονωτικής επάρκειας υφιστάμενων κατασκευών. Στη συνέχεια, παρατίθενται οι υπολογισμοί των τιμών των συντελεστών θερμοπερατότητας των δύο διαφορετικών τύπων τοιχοποιίας και οι μετρήσεις θερμογραφίας που πραγματοποιήθηκαν με σκοπό την παρατήρηση της εισροής αλλά και της απώλειας ενέργειας σε μία υφιστάμενη τοιχοποιία. Επίσης, παρουσιάζονται και σχολιάζονται τα αποτελέσματα της υπέρυθρης θερμογραφίας σχετικά με κατασκευαστικές αλλά και αρχιτεκτονικές ατέλειες που ανιχνεύθηκαν στα δύο διαφορετικά κτίρια. Τέλος, στο κεφάλαιο αυτό εμφανίζονται τα αποτελέσματα της «Ενεργειακής Επιθεώρησης» σύμφωνα με τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης των Κτιρίων (KENAK) για το κτίριο που είναι κατασκευασμένο με το υλικό τύπου «σάντουιτς».

Τέλος, στο έβδομο κεφάλαιο γίνεται η σύνοψη της εργασίας και παρατίθενται συνολικά τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την παρούσα έρευνα.

Κεφάλαιο 2

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ

2. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ

2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ

Η κλιματική αλλαγή και το αυξανόμενο κόστος των ενεργειακών πηγών συνέβαλαν ώστε να ληφθεί σοβαρά υπόψη η ενεργειακή απόδοση και αποτελεσματικότητα των κτιρίων. Τα κτίρια καταναλώνουν 40-50% της συνολικής ενέργειας που παράγεται [5]. Η αυξανόμενη κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια ευθύνεται για την εκπομπή επικίνδυνων ποσοτήτων διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, επηρεάζοντας ταυτόχρονα μακροοικονομικά και μικροοικονομικά φαινόμενα όπως η ενεργειακή και η οικονομική εξάρτηση των κρατών, το υψηλό λειτουργικό κόστος των κτιρίων κ.ά.

Προς την κατεύθυνση της εξοικονόμησης ενέργειας στα κτίρια, διεθνείς αλλά και ευρωπαϊκοί φορείς (ISO, IEA, CEN κ.ά.) έχουν πρόσφατα εντείνει τις προσπάθειες τους προωθώντας κατευθυντήριες γραμμές σε επίπεδο στρατηγικής, μια σειρά προτύπων και εργαλείων σε επιχειρησιακό επίπεδο, καθώς και δράσεις πληροφόρησης σε επίπεδο ευαισθητοποίησης. Μερικές ενδεικτικές δράσεις περιλαμβάνουν τη θέσπιση της οδηγίας 2002/91/EC [1] περί ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, τη δημιουργία σειράς προτύπων για την ενεργειακή διαχείριση στα κτίρια, την αύξηση της χρηματοδότησης για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των υφιστάμενων κτιρίων και την παροχή οικονομικών διευκολύνσεων για την χρήση εναλλακτικών πηγών ενέργειας φιλικές για τον άνθρωπο και το περιβάλλον.

Τα μέτρα που λαμβάνονται για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε: α) μέτρα που αφορούν στο σχεδιασμό, την κατασκευή ή παρεμβάσεις επί υφιστάμενου κτιριακού κελύφους όπως π.χ. ο προσανατολισμός, η σκίαση, ο φυσικός αερισμός, η τοποθέτηση μόνωσης κ.ά. και β) μέτρα που αφορούν στο σχεδιασμό και υλοποίηση, ρύθμιση και συντήρηση των ενεργειακών εγκαταστάσεων του κτιρίου όπως τα συστήματα για θέρμανση, ψύξη, φωτισμό κ.ά. Πέραν των μέτρων αυτών, μέσω της επιστημονικής έρευνας και της τεχνολογικής εξέλιξης, αναδεικνύονται συνεχώς νέες δυνατότητες όπως τα Συστήματα Ενεργειακής Διαχείρισης Κτιρίων (Σ.Ε.Δ.Κ.), η παραγωγή ενέργειας από συστήματα Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε.) και υβριδικά συστήματα [6].

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 κτιρίων, είχε ως αποτέλεσμα την ακόμη μεγαλύτερη σημασία της τήρησης των σωστών πρακτικών όσον αφορά τη θερμομόνωση και την αεροστεγανότητα των κτιρίων, καθώς και το βαθμό απόδοσης των συστημάτων θέρμανσης και εξαερισμού.

Τυχόν ατέλειες στη μόνωση και στεγανότητα σε ιδιαίτερα θερμομονωμένες και αεροστεγανές κατασκευές μπορεί να έχουν μεγάλη επίπτωση στις ενεργειακές απώλειες. Οι ατέλειες στη θερμομόνωση και την αεροστεγανότητα ενός κτιρίου δε συνεπάγονται απλώς αυξημένες δαπάνες θέρμανσης και συντήρησης, αλλά επιπλέον δημιουργούν κακές συνθήκες διαβίωσης στους εσωτερικούς χώρους.

Ο βαθμός μόνωσης ενός κτιρίου συχνά εκφράζεται με τη μορφή της θερμικής αντίστασης ή του συντελεστή θερμοπερατότητας (τιμή U) για τα διάφορα μέρη του κτιρίου. Ωστόσο, οι αναφερόμενες τιμές θερμικής αντίστασης σπάνια αποτελούν μέτρο των πραγματικών θερμικών απωλειών σε ένα κτίριο. Οι διαρροές αέρα από τους αρμούς και τις ενώσεις που δεν είναι αεροστεγανές και επαρκώς πληρωμένες με μονωτικό υλικό συχνά προκαλούν σημαντικές αποκλίσεις από τις αναμενόμενες τιμές σχεδιασμού.

Η επαλήθευση των ιδιοτήτων επιμέρους υλικών κατασκευής και δομικών στοιχείων, οι οποίες δηλώνονται από τους κατασκευαστές τους, διενεργείται με τη βοήθεια εργαστηριακών δοκιμών. Τα κατασκευασμένα κτίρια πρέπει να ελέγχονται και να επιθεωρούνται προκειμένου να διασφαλιστεί η επίτευξη στην πραγματικότητα των στόχων θερμομόνωσης και αεροστεγανότητας που είχαν τεθεί γι' αυτά.

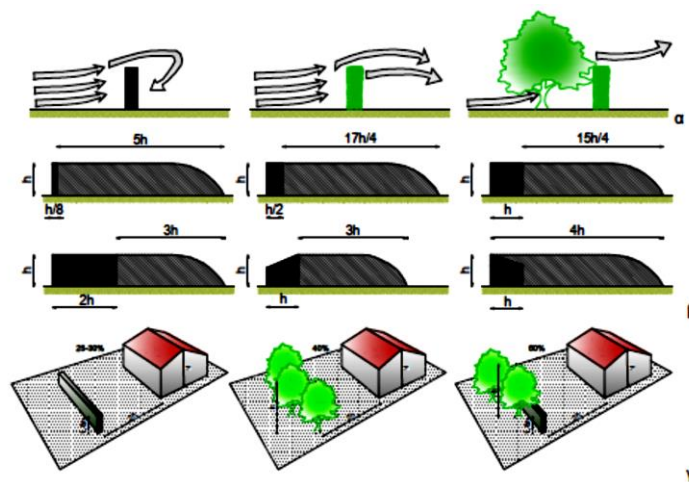
2.2. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ

Στα παρακάτω υποκεφάλαια θα αναπτυχθούν οι σημαντικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν θετικά ή αρνητικά την ενεργειακή απόδοση ενός κτιρίου. Η θερμότητα χάνεται από το εσωτερικό ενός κτιρίου με δύο τρόπους: α) λόγω της μεταφοράς θερμότητας μεταξύ των υλικών που συνθέτουν το εξωτερικό κέλυφος του και β) λόγω της ανταλλαγής αέρα μεταξύ του εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος. Έχει υπολογιστεί πως οι ενεργειακές απώλειες ενός κτιρίου οφείλονται στους παρακάτω παράγοντες: [2]

- Τοιχοποιία → 35%
- Σκεπή → 25%
- Δάπεδα → 15%
- Ρεύματα αέρα → 15%
- Παράθυρα → 10%

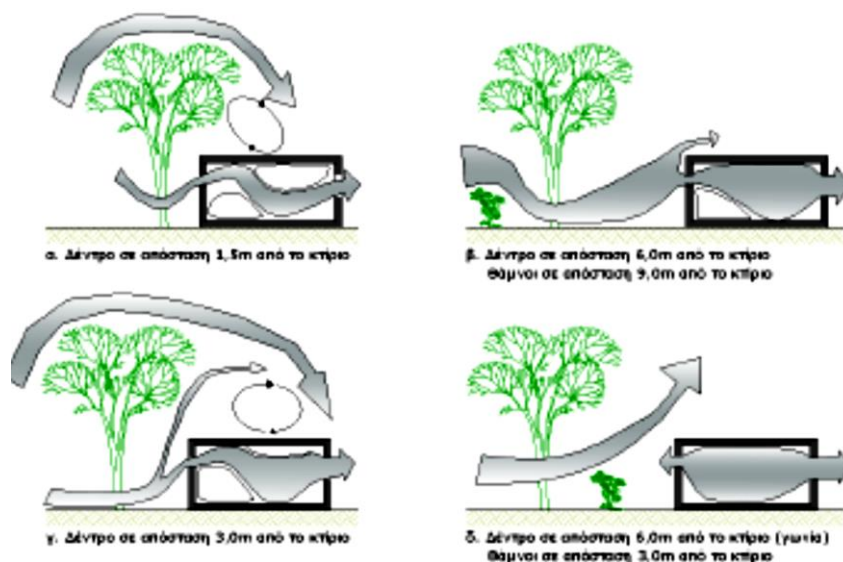
2.2.1. Άνεμος

Οι ανεμολογικές συνθήκες ποικίλουν από τόπο σε τόπο και εμφανίζουν έντονες διακυμάνσεις σε παράκτιες και ορεινές περιοχές. Οι άνεμοι επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από την τοπική τοπογραφία (βλέπε Εικόνα 1). Για παράδειγμα, το ανώμαλο έδαφος μειώνει την ταχύτητα του ανέμου. Ομοίως τα δένδρα, η βλάστηση, οι λόφοι, και οι κοιλάδες επηρεάζουν την ταχύτητα του ανέμου και κατά συνέπεια την ποσότητα της θερμότητας που χάνεται από παρακείμενα κτίρια. Όταν το εξωτερικό κέλυφος ενός κτιρίου είναι εκτεθειμένο σε άνεμο, ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας από ή προς τις επιφάνειες του αυξάνεται. Ο άνεμος μπορεί να επηρεάσει τη θερμική απόδοση ή απώλεια μίας κατασκευής από διείσδυση ρευμάτων λόγω της αυξημένης πίεσης ή μέσω των κατασκευαστικών ατελειών. Η σημασία της προστασίας από τον κρύο και υγρό άνεμο είναι γενικά κατανοητή. Η δημιουργία φυσικής προστασίας μπορεί να μειώσει την απώλεια θερμότητας μέχρι και 15% και να μειώσει την αίσθηση ψύχους για τον άνθρωπο.



Εικόνα 1. Εκτροπή ψυχρού ανέμου α) συμπαγείς φράκτες, β) ζώνη επίδρασης ανεμοφράκτη, γ) τύποι ανεμοφρακτών [7]

Ένα διαπερατό φυσικό φράγμα, όπως μια συστοιχία δένδρων είναι αποτελεσματικό στη μείωση της ταχύτητας του ανέμου. Η προστασία από μια συστοιχία δέντρων με 40-50 % διαπερατότητα παρέχει προστασία μέχρι και επτά με οκτώ φορές το ύψος τους. Οι ζώνες προστασίας με χαμηλή βλάστηση που είναι τοποθετημένες κάθετα στη διεύθυνση του ανέμου, μπορούν να προσφέρουν προστασία μέχρι και εικοσιπέντε φορές το ύψος των δέντρων, δεδομένου ότι το μήκος τους είναι τουλάχιστον δεκαπέντε φορές το ύψος τους.



Εικόνα 2. Κατεύθυνση ανέμου λόγω θέσης δέντρων. [7]

Είναι ενδιαφέρον ότι η προστασία από μια τέτοια ζώνη εκτείνεται ανοδικά για κάποια απόσταση, καθώς ο άνεμος ανυψώνεται εκ των προτέρων για να υπερπηδήσει το εμπόδιο αυτό (βλέπε Εικόνα 2). Εν αντιθέσει, ένας συμπαγής τοίχος είναι μόνο αποτελεσματικός για μια απόσταση 4 με 5 φορές το ύψος του. Συμπαγή εμπόδια ανέμου μπορούν να δημιουργήσουν ανεπιθύμητους στροβιλισμούς ενώ αντίθετα διαπερατά φράγματα επιτρέπουν τη διέλευση αέρα διαμέσου τους με αποτέλεσμα να δημιουργούν πιο ήπια ροή αέρα. Προσκείμενα κτίσματα μπορούν να παρέχουν προστασία στο κύριο κτίσμα καθώς και στους εξωτερικούς τους χώρους. Όλα τα παραπάνω αποτελούν προσεγγίσεις για τη μετατροπή του μικροκλίματος της περιοχής μίας κατασκευής προς όφελος των χρηστών της.

2.2.2. Υγρασία

Υπάρχουν ελάχιστες εμπειρικές πληροφορίες διαθέσιμες σχετικά με τον αντίκτυπο της υγρασίας στην ολική απώλεια θερμότητας, αλλά είναι ευρέως κατανοητό ότι δαπανάται ενέργεια για να μειωθούν τα υψηλά επίπεδα υγρασίας καθώς και ότι η απώλεια θερμότητας είναι μεγαλύτερη όταν η θερμότητα διαπερνά υγρά υλικά. Όταν η σχετική υγρασία είναι υψηλή, καλύτερο επίπεδο άνεσης μπορεί να επιτευχθεί κατά τους χειμερινούς μήνες με την αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα και κατά τους καλοκαιρινούς μήνες με την αύξηση του εξαερισμού. Η υγρασία μπορεί να μειωθεί μηχανικά αλλά οι αφυγραντήρες είναι ενεργοβόροι και πρέπει να χρησιμοποιούνται σπάνια. Τα τελευταία χρόνια έχει ενισχυθεί ιδιαίτερα η χρήση ασβεστοκονίας και ξύλου για τα παραδοσιακά κατασκευαστικά φινιρίσματα. Οι δραστηριότητες εντός μίας οικίας όπως η μαγειρική, η χρήση ντους, το πλύσιμο πιάτων και ρούχων αυξάνουν τα επίπεδα υγρασίας. Ακόμη και η αναπνοή των κατοίκων απελευθερώνει υγρασία στην ατμόσφαιρα. Είναι δυνατό να περιοριστεί η επίδραση των υπερβολικών υδρατμών σε ένα κτίριο με πολύ απλούς τρόπους. Λύσεις όπως η χρήση καλά εφαρμοσμένων καπακιών στις καταρόλες όχι μόνο εξοικονομούν ενέργεια στη μαγειρική αλλά αποτρέπουν επιπλέον τη διαφυγή υδρατμών. Ο εξαερισμός κοντά στην πηγή των υδρατμών όπως στο ντους, πάνω στην εστία της κουζίνας ή στον νεροχύτη είναι η καλύτερη λύση.

2.2.3. Ηλιακή ακτινοβολία

Η πορεία του ήλιου είναι προβλέψιμη για κάθε μέρα του χρόνου, γεγονός που επιτρέπει την πλήρη κατανόηση του αντίκτυπου του ήλιου σε ένα κτίριο. Η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας προσφέρει υψηλές δυνατότητες και μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά για ενεργητική και παθητική θέρμανση καθώς και για φωτισμό.

2.2.3.1. Περίοδος θέρμανσης

Η περίοδος θέρμανσης είναι η περίοδος κατά την οποία η εξωτερική θερμοκρασία μειώνεται σημαντικά κάτω από την εσωτερική θερμοκρασία, απαιτώντας κάποια μορφή θέρμανσης μέσα στα κτίρια. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, η θέρμανση ενός

κτιρίου μπορεί να προέλθει από μια ποικιλία πηγών. Ενώ συσκευές θέρμανσης όπως σόμπες, κεντρική θέρμανση και τζάκια είναι οι κύριες πηγές, μία συγκεκριμένη ποσότητα θερμότητας αποκτάται και από ηλεκτρικές συσκευές, τηλεοράσεις, ηλεκτρονικούς υπολογιστές, πλυντήρια, λάμπες φωτισμού και ακόμη και από τους χρήστες του κτιρίου. Το κέρδος από την ηλιακή ενέργεια, δηλαδή της θερμότητας που απορροφάται από ένα κτίριο όταν οι ακτίνες του ήλιου προσπίπτουν σε αυτό, αν χρησιμοποιηθεί σωστά μπορεί να έχει ένα θετικό αντίκτυπο στις θέρμανση ενός χώρου. Κατά την περίοδο αυτή ενώ κερδίζεται θερμότητα από τον ήλιο ταυτόχρονα χάνεται μέσω του ιστού του κτιρίου και της διείσδυσης του αέρα. Παρόλα αυτά, το κέρδος από την ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να είναι αρκετά υψηλό κατά τους εαρινούς και φθινοπωρινούς μήνες.

2.2.3.2. Περίοδος ψύξης

Η περίοδος ψύξης είναι η περίοδος κατά την οποία η εξωτερική θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη από το επίπεδο της θερμικής άνεσης. Η σωστή λειτουργία ενός κτιρίου και η εξασφάλιση συνθηκών θερμικής άνεσης τη θερινή περίοδο επιτυγχάνεται με την ηλιοπροστασία και μηχανικά με τη χρήση κλιματιστικών. Η χρήση των κλιματιστικών δεν ενδείκνυται λόγω του ότι είναι ενεργοβόρα με αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Η ηλιοπροστασία στην Ελλάδα επιτυγχάνεται τόσο με τα δομικά στοιχεία του κτιρίου (π.χ. προβόλους), όσο και με σκίαστρα. Συνήθως υπάρχουν εξωτερικά σκίαστρα σταθερά ή κινητά. Αν και τα κινητά συχνά συνιστώνται από τους μελετητές, κατά την κατασκευή σε πολλές περιπτώσεις τοποθετούνται σταθερές περσίδες σκιασμού. Επίσης χρησιμοποιούνται εξωτερικά ρολά και παντζούρια, αλλά και εσωτερικές κουρτίνες, συνήθως σε συνδυασμό με εξωτερική σκίαση [8].

2.2.4. Συντελεστής θερμοπερατότητας (Τιμή U)

Ο ρυθμός κατά τον οποίο η θερμότητα μεταφέρεται μέσω του εξωτερικού κελύφους ενός κτιρίου εκφράζεται ως η τιμή «U». Η θερμότητα διαχέεται πάντα από μία θερμή σε μία ψυχρή περιοχή και κάθε υλικό που απαρτίζει το εξωτερικό κέλυφος μεταφέρει θερμότητα με διαφορετικό ρυθμό. Όσο πιο αργά διαδίδεται η θερμότητα σε ένα υλικό τόσο πιο καλός μονωτής είναι. Χαμηλές τιμές U έχουν τα υλικά στα οποία η θερμότητα

μεταφέρεται αργά, συνεπώς για τη σωστή θερμομόνωση η τιμή U των υλικών που χρησιμοποιούνται πρέπει να είναι μικρή. Σε όλες τις κατασκευές ανεξαρτήτως της τιμής U η απώλεια θερμότητας σχετίζεται άμεσα με τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του εξωτερικού και του εσωτερικού τους και σε λιγότερο βαθμό από το χρώμα και την υφή των εξωτερικών τοίχων. Η υγρασία μειώνει την ικανότητα μόνωσης ενός υλικού. Ακόμη και μέτριες αλλαγές στην υγρασία μπορούν να αυξήσουν σημαντικά την τιμή U ενός υλικού μειώνοντας τις θερμομονωτικές του ικανότητες. Συχνές αιτίες πιθανής εισχώρησης υγρασίας περιλαμβάνουν τη διείσδυση υγρού στους τοίχους λόγω ελαττωματικού επιχρίσματος, διαρροή υδρορροών και κακής συναρμογής των κουφωμάτων. Είναι λοιπόν σημαντικό να διασφαλιστεί ότι τα κτίρια είναι καλά διατηρημένα και προστατευμένα από τις καιρικές συνθήκες για να επιτευχθούν χαμηλές τιμές U .

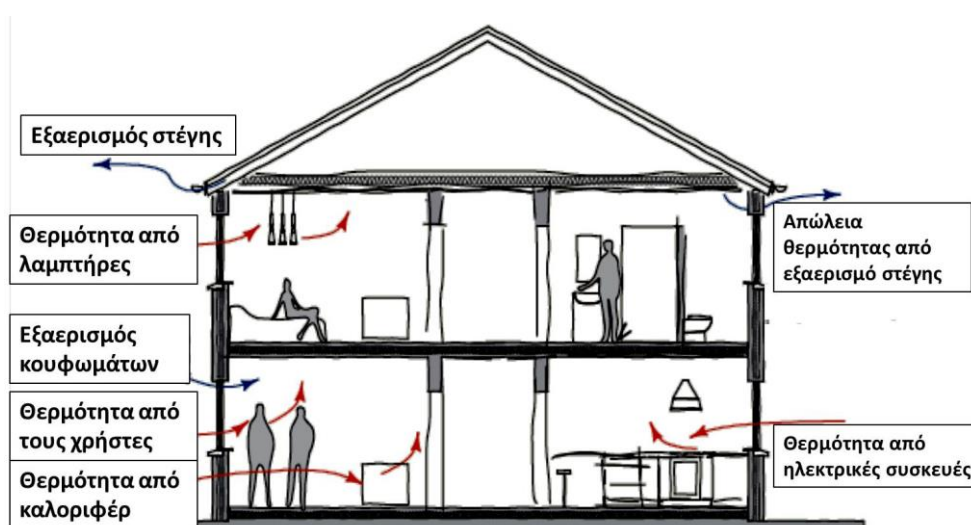
2.2.5. Θερμικές γέφυρες

Οι θερμικές γέφυρες εμφανίζονται σε περιοχές όπου μέρος του εξωτερικού τοίχου, πατώματος ή στέγης μεταφέρει θερμότητα εξωτερικά σε ταχύτερο ρυθμό από τα γειτονικά του υλικά. Στο εσωτερικό οι θερμές αυτές γέφυρες είναι ψυχρότερες από τα γειτονικά κατασκευαστικά υλικά και άρα δημιουργείτε στα σημεία αυτά υγρασία που οδηγεί στην ανάπτυξη μούχλας. Συνεπώς, θα πρέπει όλα τα μέρη ενός δωματίου να μονώνονται σωστά για να αποφευχθεί ο σχηματισμός θερμικών γεφυρών. Θα πρέπει να τονιστεί ότι μεγαλύτερα επίπεδα μόνωσης μπορεί να επιδεινώσουν τα προβλήματα που σχετίζονται με τις θερμικές γέφυρες αφού η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των μονωμένων περιοχών και των οποιοδήποτε παραμενουσών θερμικών γεφυρών θα είναι μεγαλύτερες επιτρέποντας τη συγκέντρωση υγρασίας σε αυτές.

2.2.6. Εξαερισμός και ποιότητα εσωτερικού αέρα

Όλα τα κτίρια απαιτούν εξαερισμό αλλά τα παραδοσιακά οικήματα έχουν λίγο υψηλότερες απαιτήσεις εξαερισμού σε σχέση με τα μοντέρνα. Ο εξαερισμός επιτρέπει στην υγρασία του αέρα που παράγεται από τους χρήστες μέσω της εκπνοής, του μαγειρέματος, του μπάνιου, του ντους και του οικιακού πλυσίματος, να διαφεύγουν πριν

προκαλέσουν ζημιά στη επίπλωση και τον ιστό μίας κατασκευής. Ο εξαερισμός επίσης, είναι πολύ σημαντικός σχετικά με την υγεία των χρηστών. Απαλλάσσει τον εσωτερικό χώρο από την μόλυνση του αέρα η οποία σχετίζεται με προβλήματα υγείας όπως αλλεργίες, άσθμα, μολυσματικές ασθένειες και το «Σύνδρομο του Άρρωστου Κτιρίου». Τα δωμάτια με ανοιχτές εστίες π.χ. τζάκια πρέπει να έχουν επαρκή παροχή καθαρού αέρα για την αποφυγή της επικίνδυνης συγκέντρωσης μονοξειδίου του άνθρακα. Στις μοντέρνες κατασκευές ο εξαερισμός σε γενικές γραμμές ελέγχεται σε κάποιο βαθμό (βλέπε Εικόνα 3).



Εικόνα 3. Απώλεια θερμότητας στο κτίριο

Οι αποροφητήρες στις κουζίνες και ο εξαερισμός στις τουαλέτες απομακρύνουν την υγρασία στην πηγή της παραγωγής της. Παρόλο που όλα τα κτίρια απαιτούν κάποιο επίπεδο εξαερισμού, στα παραδοσιακά είναι απαραίτητος για έναν επιπλέον και σημαντικό λόγο. Οι συμπαγείς τοίχοι γενικά κατασκευάζονταν χρησιμοποιώντας μαλακά, πορώδη υλικά που ανέπνεαν, τα οποία απορροφούν και απελευθερώνουν υγρασία σε κυκλική βάση.

2.2.7. Θερμική μάζα - θερμοχωρητικότητα

Ο πιο αποτελεσματικός «αποθηκευτής» της ηλιακής θερμότητας είναι η ίδια η κατασκευή του κτιρίου, δηλαδή τα δάπεδα, οι τοιχοποιίες και οι οροφές. Τα βαριά υλικά, σκυρόδεμα, πέτρα, τούβλα, άργιλος έχουν μεγάλη πυκνότητα και ειδική θερμοχωρητικότητα, συνεπώς μεγάλη θερμοχωρητικότητα, άρα και ικανότητα αποθήκευσης της θερμότητας. Η απορρόφηση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας γίνεται άμεσα από το δάπεδο και τους παρακείμενους τοίχους και έμμεσα από την οροφή με την κίνηση του θερμού αέρα προς τα πάνω (όντας ελαφρύτερος). Όσο περισσότερη μάζα διαθέτει το κτίριο στο εσωτερικό του, τόσο μεγαλύτερη ποσότητα θερμότητας αποθηκεύει, διατηρώντας τη θερμοκρασία του χώρου σταθερή, σε επίπεδα θερμικής άνεσης για πολλές ώρες, ενώ παράλληλα περιορίζεται η λειτουργία της βοηθητικής θέρμανσης το χειμώνα, αλλά και της ψύξης το καλοκαίρι. Επισημαίνεται ότι οι συνήθεις κατασκευές με σκελετό από οπλισμένο σκυρόδεμα και τοιχοποιίες από τούβλα παρέχουν την αναγκαία θερμική μάζα και την αντίστοιχη θερμοχωρητικότητα για την αποθήκευση των ηλιακών απολαβών, υπό την προϋπόθεση ότι η θερμομόνωση βρίσκεται στην εξωτερική παρειά των φερόντων στοιχείων. Οι τοίχοι πλήρωσης από διπλή οπτοπλινθοδομή με θερμομόνωση στον πυρήνα εξασφαλίζουν επίσης επαρκή θερμική μάζα, υπό τον όρο ότι η εσωτερική παρειά της οπτοπλινθοδομής έχει πάχος 9 εκ [9].

Κεφάλαιο 3

ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΟΙ ΕΛΕΓΧΟΙ

3. ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΟΙ ΕΛΕΓΧΟΙ

Υπάρχει ένα πλήθος από μη καταστροφικές μεθόδους ικανές για την αξιολόγηση της ενεργειακής αποδοτικότητας υφιστάμενων κτιρίων. Αυτές μπορούν να πραγματοποιηθούν με τη χρήση απλών φορητών συσκευών όπως υγρασιόμετρα, μετρητές ρωγμών αλλά και πιο σύνθετων και ακριβών μεθόδων όπως η θερμογραφία. Για την σωστή επιλογή της κατάλληλης μεθόδου, της υλοποίησης της μεθόδου και την ανάλυση των αποτελεσμάτων απαιτείται εξειδικευμένο και έμπειρο ειδικό προσωπικό.

3.1. ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΙΕΣΗΣ ΑΕΡΑ

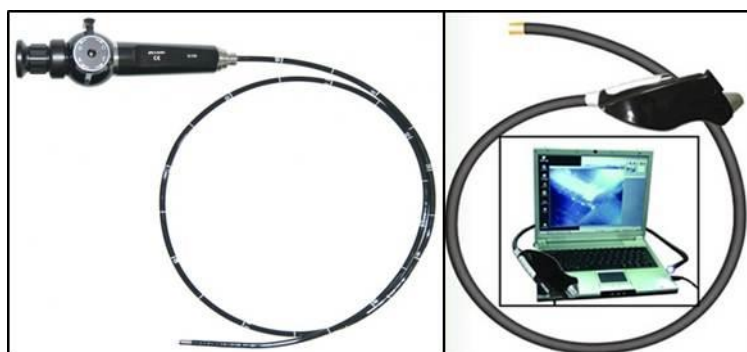
Η μέθοδος μέτρησης πίεσης του αέρα αναφέρεται στην αποτίμηση της αεροστεγανότητας ενός κτιρίου και του ρυθμού διαρροής του αέρα μέσω του ιστού του. Ένα τυπικό όργανο μέτρησης της πίεσης του αέρα φαίνεται στην Εικόνα 4. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, οι παραδοσιακές κατασκευές απαιτούν μεγαλύτερα επίπεδα φυσικού αερισμού για να διατηρήσουν τον κατασκευαστικό ιστό σε καλή κατάσταση σε σχέση με τις σημερινές κατασκευές. Παρόλα αυτά, η αξιολόγηση της αεροστεγανότητας ενός κτιρίου μπορεί να επισημάνει σημεία ή περιοχές με μεγάλη διαρροή αέρα τα οποία μπορεί να διορθωθούν χωρίς να τεθεί σε κίνδυνο η δομική ακεραιότητα της κατασκευής. [2]



Εικόνα 4. Όργανο μέτρησης πίεσης του αέρα

3.2. ΕΝΔΟΣΚΟΠΗΣΗ Η ΟΠΤΙΚΗ ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ ΑΠΟ ΑΠΟΣΤΑΣΗ

Επιθεωρήσεις σε σημεία χωρίς πρόσβαση μπορούν να πραγματοποιηθούν με τη χρήση ενδοσκοπίων (fiberscope, borescope) (βλέπε Εικόνες 5 και 6), γενικά με ελάχιστη παρέμβαση στην κατασκευή. Αυτός ο τύπος επιθεώρησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο της τοιχοποιίας, των στεγών και των δαπέδων για την ανίχνευση εσωτερικών ελαττωμάτων με την εισαγωγή ενδοσκοπίων σε μια μικρή οπή. Η οπή αυτή πρέπει να δημιουργηθεί με προσοχή και σε σημείο όπου δεν θα προξενηθεί ανεπανόρθωτη βλάβη. Η συγκεκριμένη μέθοδος μπορεί να συνδυαστεί με τη θερμογραφία (Κεφάλαιο 4) για τη διερεύνηση της ακριβούς αιτίας απώλειας θερμότητας. Τα αποτελέσματα της μεθόδου μπορούν να φωτογραφηθούν ή να βιντεοσκοπηθούν με τη βοήθεια ενσωματωμένης κάμερας στο ενδοσκόπιο.



Εικόνα 5. Ενδοσκόπια

3.3. ΜΕΤΡΗΣΗ ΥΓΡΑΣΙΑΣ

Οι ηλεκτρονικοί μετρητές υγρασίας (βλέπε Εικόνα 6) μπορούν να αποδειχθούν χρήσιμοι για την ανίχνευση της υγρασίας σε μια κατασκευή. Οι απλοί ηλεκτρικοί μετρητές αντίστασης είναι σχετικά οικονομικοί, εύκολοι στη χρήση και ευρέως διαθέσιμοι. Όμως τα αποτελέσματα μπορεί να είναι ανακριβή και παραπλανητικά. Η χρήση των μετρητών αυτών μπορεί να παρέχει εσφαλμένες υψηλές μετρήσεις όπου για παράδειγμα υπάρχει συγκέντρωση αλάτων στην επιφάνεια ενός τοίχου, υγραποίηση κ.ά. Οι μετρητές υγρασίας είναι πιο χρήσιμοι και αξιόπιστοι όταν χρησιμοποιούνται σε ξύλο. Παρόλο που τα

αποτελέσματά τους απαιτούν προσοχή μπορούν να εξαχθούν χρήσιμες πληροφορίες από τη χρήση τους.



Εικόνα 6. Μετρητής υγρασίας

3.4. ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΙΜΗΣ U

Η μέτρηση της τιμής U (ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας διαμέσου ενός υλικού) μπορεί να πραγματοποιηθεί με το συνδυασμό των μετρήσεων της θερμογραφίας και του μετρητή θερμικής ροής [10]. Υπάρχουν διεθνή πρότυπα για την μέτρηση της τιμής αυτής. Η μέθοδος αυτή είναι πολύπλοκη, δαπανηρή και απαιτεί εξειδικευμένο προσωπικό για την συλλογή και την ανάλυση των αποτελεσμάτων.

3.5. ΡΑΝΤΑΡ

Η εξέταση ενός κτιρίου με ραντάρ απαιτεί χαμηλής έντασης ραδιοπαλμούς για τον προσδιορισμό της σύνθεσης και της κατάστασης του. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί επιτυχώς στα περισσότερα κατασκευαστικά υλικά για τον εντοπισμό και την μέτρηση κενών, ρωγμών, διαβρωμένων περιοχών και ασυνεχειών σε τοίχους ή δάπεδα. Όπως και στην επιτόπου μέτρηση της τιμής U η μέθοδος αξιολόγησης με χρήση ραντάρ είναι πολύπλοκη και σχετικά δαπανηρή και απαιτεί εξειδικευμένο προσωπικό.

3.6. ΥΠΕΡΗΧΟΙ

Η σάρωση με υπέρηχους περιλαμβάνει τη χρήση υψηλών συχνοτήτων ακουστικών κυμάτων για να επιτευχθεί εγκάρσια τομή σε ένα υλικό. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολύ εύθραυστες επιφάνειες χωρίς να προκαλέσει βλάβη, γεγονός που την καθιστά κατάλληλη για τον έλεγχο ευαίσθητων ιστορικών κτιρίων. Η συγκεκριμένη μη

καταστροφική μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί στην επιθεώρηση ξύλινων στοιχείων για τον εντοπισμό αποσύνθεσης. Επίσης μπορεί να αξιολογηθεί η δομική ακεραιότητα ξύλινων αρμών και η παρουσία εξασθενημένων περιοχών μέσα στην τοιχοποιία.

3.7. ΥΠΕΡΥΘΡΗ ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΙΑ

Η θερμογραφία ή θερμική απεικόνιση είναι η μέθοδος που αποτυπώνει την υπέρυθρη ακτινοβολία. Οι υπέρυθρες κάμερες καταγράφουν την ποσότητα της υπέρυθρης ακτινοβολίας που εκπέμπεται από ένα αντικείμενο και τη μετατρέπουν σε θερμοκρασία. Η συγκεκριμένη μέθοδος έχει ποικίλες εφαρμογές σε διαφορετικά πεδία και μπορεί να αποτελέσει ένα χρήσιμο εργαλείο για την αξιολόγηση της κατάστασης ενός κτιρίου. Έχει συγκεκριμένα πλεονεκτήματα για την επιθεώρηση ιστορικών κτιρίων λόγω του ότι είναι μία μη-επεμβατική μη-καταστροφική μέθοδος. Η μέθοδος της θερμογραφίας θα αναλυθεί εκτενώς στο Κεφάλαιο 4.

Κεφάλαιο 4

ΥΠΕΡΥΘΡΗ ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΙΑ

4. ΥΠΕΡΥΘΡΗ ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΙΑ

4.1. ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΤΗΣ ΥΠΕΡΥΘΡΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

Πριν από 200 χρόνια, κανείς δεν μπορούσε να φανταστεί την ύπαρξη του υπέρυθρου τμήματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Η αρχική σημασία του υπέρυθρου φάσματος, ή των «υπερύθρων» όπως συχνά ονομάζεται αυτό, ως μια μορφή ακτινοβολίας θερμότητας είναι σήμερα ίσως προφανής από ό,τι κατά την εποχή της ανακάλυψής του από τον Herschel το 1800.

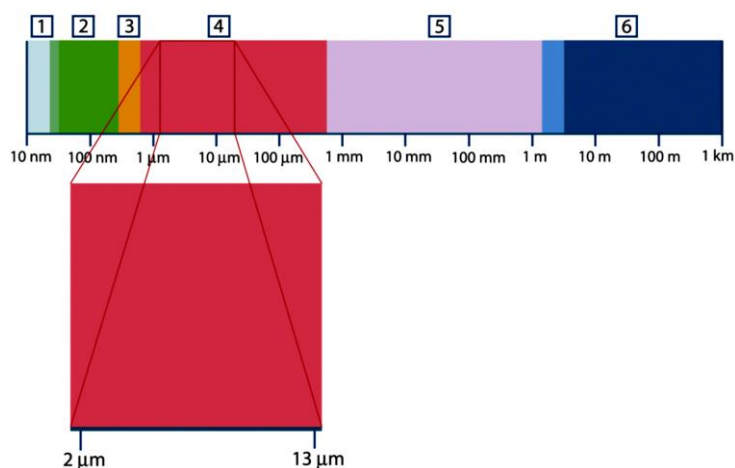
Η ανακάλυψη έγινε συμπτωματικά κατά τη διάρκεια έρευνας πάνω σε ένα καινούργιο οπτικό υλικό. Ο Sir William Herschel—Βασιλικός Αστρονόμος του Βασιλιά Γεωργίου του III της Αγγλίας και ήδη διάσημος για την ανακάλυψη του πλανήτη Ουρανού - αναζητούσε ένα υλικό οπτικού φίλτρου που θα μείωνε τη φωτεινότητα της εικόνας του ήλιου στα τηλεσκόπια κατά τις παρατηρήσεις της ηλιακής επιφάνειας. 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 θερμότητα που κινδύνευε το μάτι του μετά από ελάχιστα λεπτά παρατήρησης.

Ωστόσο, ο Herschel ήταν ο πρώτος που αναγνώρισε ότι θα πρέπει να υπάρχει ένα σημείο όπου το φαινόμενο θέρμανσης φτάνει στο μέγιστό του, καθώς και ότι οι μετρήσεις που περιορίζονταν στο ορατό τμήμα του φάσματος δεν είχαν καταφέρει να εντοπίσουν αυτό το σημείο. Μετακινώντας το θερμόμετρο στη σκοτεινή περιοχή πέρα από το ερυθρό άκρο του φάσματος, ο Herschel επιβεβαίωσε ότι η θέρμανση συνέχιζε να αυξάνεται. Το σημείο μεγιστοποίησης, όταν επιτέλους το εντόπισε, 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». 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 τον καθιέρωσε.

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 μοτίβο θερμότητας που εστιάζεται πάνω του, η θερμική φωτογραφία καθίσταται ορατή μέσω ανακλώμενου φωτός, όπου τα φαινόμενα συμβολής του φιλμ ελαίου καθιστούσαν την εικόνα ορατή στο ανθρώπινο μάτι. Ο Sir John κατάφερε επίσης να πάρει μια πρωτόγονη καταγραφή της θερμικής φωτογραφίας σε χαρτί, που την ονόμασε «θερμογράφημα» [11].

4.2. ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΦΑΣΜΑ

Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα διαιρείται σε διάφορες περιοχές μήκους κύματος (βλέπε Εικόνα 7), 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.



Εικόνα 7. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. 1: Ακτίνες Χ. 2: Υπεριώδεις (UV). 3: Ορατό. 4: Υπέρυθρες (IR). 5: Μικροκύματα. 6: Ραδιοκύματα

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).

4.3. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΙΑ

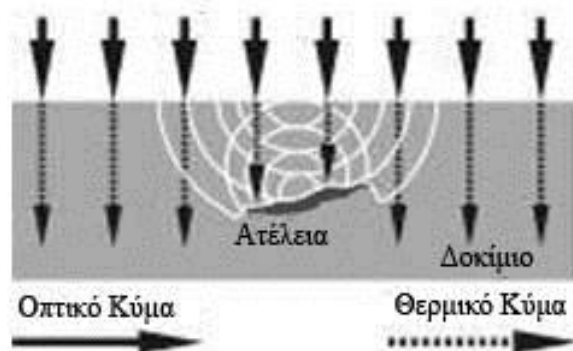
Τα τελευταία χρόνια, η υπέρυθη θερμογραφία έχει προκύψει ως η ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος για μη καταστροφικό έλεγχο. Η θερμογραφία προσφέρει ανίχνευση σε μεγάλο εύρος περιοχές των υποεπιφανειακών ατελειών και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εναλλακτική λύση ή να συμπληρώσει τις συμβατικές τεχνολογίες επιθεώρησης. Η υπέρυθη θερμογραφία μπορεί να διαιρεθεί σε δύο κατηγορίες, **την παθητική** και την **ενεργητική**. Η παθητική θερμογραφία αναφέρεται στον έλεγχο των υλικών και των κατασκευών τα οποία βρίσκονται «φυσικά» σε διαφορετική θερμοκρασία από αυτή του περιβάλλοντος, ενώ στην περίπτωση της ενεργητικής θερμογραφίας απαιτείται η ύπαρξη εξωτερικής πηγής θέρμανσης ώστε να προκύψουν σχετικές θερμικές διακυμάνσεις. Η παθητική θερμογραφία εφαρμόζεται κυρίως σε πολλές βιομηχανικές διεργασίες όπου η θερμοκρασία αποτελεί έναν πολύ σημαντικό παράγοντα για την αξιολόγηση της σωστή λειτουργίας. Μερικές σημαντικές εφαρμογές της παθητικής θερμογραφίας είναι η χρήση της στην προληπτική συντήρηση, στη φαρμακευτική, στην ανίχνευση πυρκαγιών, στην ενεργειακή επιθεώρηση κτιρίων κ.ά. Σε όλες τις παραπάνω εφαρμογές οι ασυνήθιστες, μη-φυσιολογικές θερμοκρασιακές διαφορές αποτελούν ένδειξη για ύπαρξη κάποιου προβλήματος. Αντίθετα, στην ενεργητική θερμογραφία οι σχετικές θερμικές αντιθέσεις που θα επιβεβαιώσουν την ύπαρξη υποεπιφανειακών ατελειών προκαλούνται από ένα εξωτερικό ερέθισμα. Ανάλογα λοιπόν με το ερέθισμα που προκαλεί αυτές τις θερμικές αντιθέσεις υπάρχουν τα παρακάτω είδη θερμογραφίας : α)

Θερμογραφία με παλμό (PT), β) Θερμογραφία με βαθμιαία θέρμανση (SH), γ) Θερμογραφία με δονήσεις (VT), δ) Θερμογραφία Lock-in (LT). [12]

4.4. ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΙΑΣ

4.4.1. Βασικές αρχές θερμογραφίας

Η υπέρυθρη θερμογραφία βασίζεται στην αρχή ότι οι υποεπιφανειακές ανωμαλίες σε ένα υλικό οδηγούν στην δημιουργία τοπικών διαφορών στην επιφανειακή θερμοκρασία ενός δοκιμίου. Οι διαφορές αυτές προκαλούνται από τους διαφορετικούς βαθμούς θερμικής μεταφοράς στις ζώνες που υπάρχουν ατέλειες (Εικόνα 8). Η θερμογραφία ανιχνεύει αυτομάτως την εκπομπή της θερμικής ακτινοβολίας από την επιφάνεια του υλικού και παράγει μια οπτική εικόνα από το θερμικό σήμα η οποία μπορεί να συσχετιστεί με το μέγεθος της εσωτερικής ατέλειας. Το μήκος κύματος που εκπέμπεται εξαρτάται από την θερμοκρασία. Αυξανόμενης της θερμοκρασίας το μήκος κύματος γίνεται βραχύτερο και στην περίπτωση πολύ μεγάλων θερμοκρασιών βρίσκεται στο ορατό φάσμα (π.χ. πυρακτωμένη άκρη βελόνας). Στην θερμοκρασία δωματίου το μήκος κύματος της ακτινοβολίας είναι της τάξεως των 10 μ m (στην υπέρυθρη περιοχή του φάσματος).



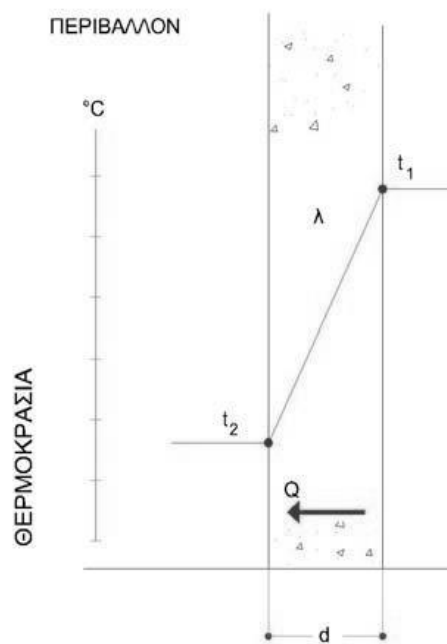
Εικόνα 8. Αρχή της Θερμογραφίας [13]

4.4.2. Μηχανισμοί διάδοσης της θερμότητας

Για να κατανοηθεί η μέθοδος της θερμογραφίας πρέπει να αναφερθούν οι μηχανισμοί διάδοσης της θερμότητας. Η θερμότητα μπορεί να διαδοθεί από ένα θερμό σε ένα ψυχρό αντικείμενο με αγωγή, με θερμική μεταβίβαση και με ακτινοβολία [14].

4.4.2.1. 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 αγωγιμότητά τους. Παράδειγμα καλών αγωγών θερμότητας 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 δοκίμιο (Εικόνα 9). Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας των υλικών είναι δείκτης της ικανότητας μεταφοράς θερμότητας των υλικών διαμέσου της μάζας τους.



Εικόνα 9. Μεταφορά με αγωγή [15]

Το ποσό της θερμότητας που μεταφέρεται διατυπώνεται ως εξής (σχέση 1):

$$Q = \frac{k}{d} * F * (t_1 - t_2) * a \quad \text{Σχέση 1}$$

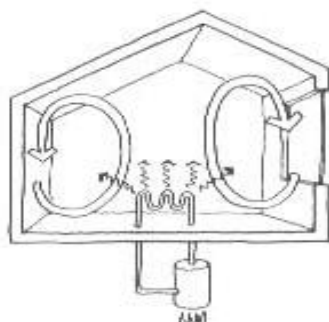
Όπου :

- Q Η ποσότητα της θερμότητας που μεταφέρεται με αγωγή
- k Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του υλικού
- F Το εμβαδόν της επιφάνειας του δοκιμίου
- t_1 Η θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειας του δοκιμίου
- t_2 Η θερμοκρασία της εξωτερικής επιφάνειας του δοκιμίου
- d Το πάχος του υλικού
- a Ο χρόνος ροής της θερμότητας

Η Σχέση 1 είναι γνωστή ως νόμος του Fourier

4.4.2.2. Μεταφορά θερμότητας με θερμική μεταβίβαση

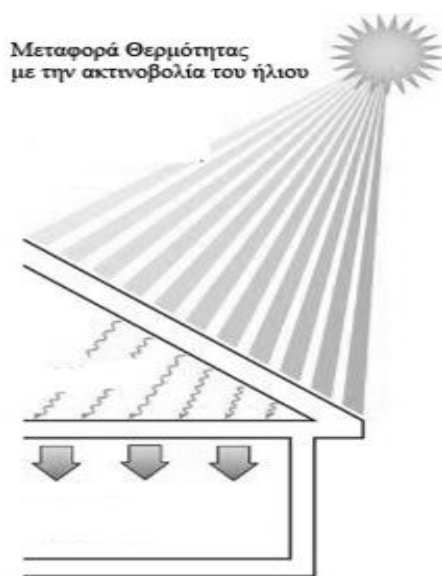
Η θερμότητα σε ένα ρευστό μεταφέρεται μέσω της μάζας του με την κίνηση της (βλέπε Εικόνα 10). Αν η κίνηση γίνεται σε φυσικό μέσο όπου υπάρχουν θερμοκρασιακές διαφορές (ο κρύος αέρας κινείται προς τα κάτω ενώ ο ζεστός αέρας κινείται προς τα πάνω) την κίνηση αυτή την ονομάζουμε φυσική διάχυση ενώ αν η κίνηση γίνεται βεβιασμένα (ανεμιστήρες, ανεμοπίεση) την ονομάζουμε βίαιη διάχυση. Η μεταφορά θερμότητας με θερμική μεταβίβαση είναι ένα 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.



Εικόνα 10. Μεταφορά με θερμική μεταβίβαση [15]

4.4.2.3. Μεταφορά θερμότητας με ακτινοβολία

Όλα τα σώματα εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, το μέγεθος της οποίας 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 (Εικόνα 11). Η μεταφορά θερμότητας με ακτινοβολία πραγματοποιείται με την βοήθεια ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων 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.



Εικόνα 11. Μεταφορά θερμότητας με ακτινοβολία [15]

Η ενέργεια που εκπέμπεται από ένα σώμα όταν σε αυτό προσπίπτει ακτινοβολία, εκφράζεται ως εξής :

$$q = \varepsilon * \sigma (T_1^4 - T_2^4) \quad \text{Σχέση 2}$$

Όπου:

- q Εκπεμπόμενη ενέργεια [w/m^2]
- ε Συντελεστής εκπομπής υλικού
- σ Σταθερά Stefan - Boltzmann
- T Απόλυτη θερμοκρασία $^{\circ}\text{C}$

Η Σχέση 2 είναι γνωστή ως νόμος των Stefan – Boltzmann

4.4.3. Θεωρία θερμικών κυμάτων

Όταν μια επιφάνεια θερμαίνεται τότε συναντώνται εξασθενημένα κύματα διασποράς πολύ κοντά σε αυτή. Τα κύματα αυτά ονομάζονται θερμικά κύματα και ανακαλύφθηκαν από τους J.Fourier και A.J. Angstrom. Το ενδιαφέρον σε αυτά τα κύματα για το Μη Καταστροφικό Έλεγχο είναι ότι μπορούν να δημιουργηθούν και να παρατηρηθούν «από μακριά». Χρήσιμο είναι να αναπτυχθεί η συμπεριφορά και τα χαρακτηριστικά αυτών των κυμάτων [16].

Στην περίπτωση που σε ένα δοκίμιο εναποτίθεται θερμότητα από μια ομοιόμορφη περιοδική πηγή είτε με διαμορφωμένη είτε με γωνιακή συχνότητα « ω », η μαθηματική προσέγγιση γίνεται μονοδιάστατη, και η θερμοκρασία T εκφράζεται ως συνάρτηση του βάθους « z » και του χρόνου « t » που διαρκεί αυτή η διέγερση και αποτυπώνεται ως εξής [17]:

$$T(x, t) = T_o e^{\frac{-z}{\mu}} \cos\left(\frac{2\pi z}{\lambda} - \omega t\right) = T_o e^{\frac{-z}{\mu}} \cos\left(\omega t - \frac{2\pi z}{\lambda}\right) \quad \text{Σχέση 3}$$

Όπου μ είναι το μήκος θερμικής διάχυσης και εκφράζεται :

$$\mu = \sqrt{\frac{2k}{\omega\rho C}} = \sqrt{\frac{2a}{\omega}} \quad \text{Σχέση 4}$$

Όπου

- k είναι η θερμική αγωγιμότητα,
- ρ είναι η πυκνότητα,
- C η θερμοκρασία,
- $\omega = 2\pi f$ ($\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$)
- a είναι η θερμική διάχυση
- λ το μήκος του θερμικού κύματος $\lambda = 2\pi\mu$

Η ταχύτητα διάδοσης αυτών των κυμάτων εκφράζεται ως εξής :

$$u = \lambda \frac{\omega}{2\pi} = \sqrt{2\omega a} \quad \text{Σχέση 5}$$

Από τη Σχέση 3 έχουμε τη φάση « φ » του θερμικού κύματος η οποία συνδέεται άμεσα με το βάθος z και μπορεί να εκφραστεί ως εξής :

$$\varphi(z) = \frac{2\pi z}{\lambda} = \frac{z}{\mu} \quad \text{Σχέση 6}$$

Όπως φαίνεται από τη Σχέση 4 το μήκος της θερμικής διάχυσης είναι αντιστρόφως ανάλογο προς τη συχνότητα, και αυτό δείχνει πως αυξάνοντας την συχνότητα μειώνεται η ανάλυση στις υποεπιφανειακές περιοχές ενώ μειώνοντας τη συχνότητα των θερμικών κυμάτων υπάρχει βαθύτερη ανάλυση του δοκιμίου αλλά πιο αργή. Για παράδειγμα, κατά την εξέταση μιας χρωματικής επίστρωσης με θέρμανση στα 36 Hz το βάθος παίρνει τιμές μέχρι 40 μm και μεγαλύτερο από 80 μm με θέρμανση στα 2.25 Hz [18]. Ενδιαφέρον έχει

ότι η ηλιακή ακτινοβολία δημιουργεί θερμικά κύματα στο έδαφος της Γής . Όταν ο ήλιος προσδίδει θερμότητα για 24 ώρες η διάδοση φτάνει σε βάθος από 5-15 cm για υλικά με μικρή θερμική αγωγιμότητα, ενώ για 365 ημέρες θέρμανσης η διάδοση μικρής συχνότητας κυμάτων είναι μεγαλύτερη, περίπου 1 m μέσα στο έδαφος [19]. Όπως και τα άλλα κύματα, για παράδειγμα κύματα υπερήχων , έτσι και τα θερμικά κύματα ανακλώνται από κάποια υποεπιφανειακά χαρακτηριστικά, όπως οι ατέλειες. Τα ανακλώμενα θερμικά κύματα επιστρέφουν στην επιφάνεια του δοκιμίου όπου η θερμοκρασιακή διαφορά μπορεί να ανιχνευθεί από μακριά εξαιτίας της θερμικής υπέρυθρης εκπομπής (υπέρυθρη θερμική κάμερα).

4.4.4. Χαρακτηριστικά των υλικών

Οι μηχανισμοί διάδοσης της θερμότητας εξαρτώνται από κάποια χαρακτηριστικά των υλικών. Κάποια από αυτά τα χαρακτηριστικά είναι:

- η ειδική θερμότητα, c , που είναι το ποσό θερμότητας το οποίο απορροφάται από την μάζα του υλικού για ένα δεδομένο εύρος θερμοκρασίας.
- η πυκνότητα, ρ , που είναι η μάζα του υλικού ανά μονάδα όγκου.
- η θερμική αγωγιμότητα, k , που είναι το ποσό θερμότητας που μεταφέρεται σε μια δεδομένη κατεύθυνση όταν υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας στο υλικό σε εκείνη την κατεύθυνση.
- η θερμική διάχυση, α , που είναι η ταχύτητα με την οποία μεταφέρεται η θερμότητα από μια περιοχή υψηλής θερμοκρασίας στο περιβάλλον υλικό.
- ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας, h , είναι ένα μέτρο για το πόσο αποτελεσματικά η θερμότητα ανταλλάσσεται μεταξύ μιας επιφάνειας και μιας ροής αέριου ή υγρού.
- η θερμοκρασία, T , είναι το μέτρο της θερμικής ενέργειας που περιέχεται σε οποιοδήποτε σημείο του δοκιμίου.
- ο συντελεστής εκπομπής, ε , δείχνει την αποδοτικότητα μιας επιφάνειας ως θερμαντικό σώμα όταν σε αυτό προσπίπτει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.

Η θερμογραφία εξαρτάται από τις διαφορές σε αυτά τα χαρακτηριστικά των υλικών για να καθιερώσει ένα μετρήσιμο, και συνήθως εντοπισμένο, διαφορικό θερμοκρασίας. Για παράδειγμα όταν ένα δοκίμιο που η πυκνότητα του δεν είναι ίδια στο σύνολο του, θερμαίνεται ή ψύχεται, τότε η αλλαγή στη θερμοκρασία θα παρατηρηθεί πιο αργά στις περιοχές εκείνες με υψηλότερη πυκνότητα. Αυτή η διαφορά στον τρόπο μετάδοσης της θερμότητας μπορεί να μετρηθεί και να αξιολογηθεί με τη θερμογραφία.

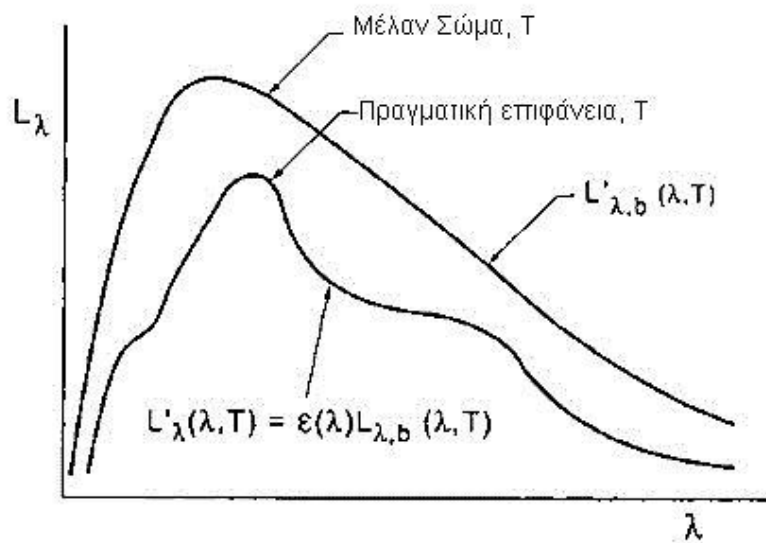
4.4.4.1. Συντελεστής εκπομπής, ϵ

Μια πολύ σημαντική παράμετρος που επηρεάζει τη διάδοση της θερμότητας και είναι ένα χαρακτηριστικό των υλικών, είναι ο συντελεστής εκπομπής, ϵ , του δοκιμίου. Ο συντελεστής εκπομπής δείχνει την αποδοτικότητα μιας επιφάνειας ως θερμαντικό σώμα όταν σε αυτό προσπίπτει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Το μέλαν σώμα ως το πιο αποδοτικό θερμαντικό σώμα έχει συντελεστή εκπομπής ίσο με 1.0 ενώ όλα τα υπόλοιπα έχουν κάτω από 1.0 έως 0. Ενδεικτικά παραδείγματα του συντελεστή εκπομπής κάποιων γνωστών υλικών φαίνονται στον Πίνακα 1. Ο συντελεστής εκπομπής εξαρτάται από πολλές μεταβλητές όπως, το χρώμα και την τραχύτητα των δοκιμίων [17].

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι γενικά ο συντελεστής εκπομπής δεν είναι μία σταθερά αφού εξαρτάται από πολλές παραμέτρους. Ο ϵ μιας πραγματικής επιφάνειας διαφέρει από αυτόν του μέλανος σώματος όπως φαίνεται στην Εικόνα 12. Ο φασματικός συντελεστής εκπομπής μιας επιφάνειας σε θερμοκρασία T με εκπομπή μήκους κύματος λ στην κατεύθυνση (θ', ϕ') ορίζεται ως :

$$\epsilon(\lambda, T, \theta', \phi') = \frac{L'_{\lambda}(\lambda, T, \theta', \phi')}{L'_{\lambda,b}(\lambda, T)} \quad \text{Σχέση 7}$$

Για τα μέταλλα, ο συντελεστής εκπομπής αυξάνεται με τη θερμοκρασία και μένει σταθερός πάνω από μια τιμή θ , ενώ για τα μη μεταλλικά υλικά αυτό δεν ισχύει.



Εικόνα 12. Διάγραμμα μέλαν σώματος και πραγματικής επιφάνειας όπου φαίνεται η σύγκριση των συντελεστών εκπομπής. [16]

Για πρακτικούς λόγους δεν είναι πάντα αναγκαίο να χρησιμοποιούνται όλοι οι παράγοντες του ϵ . Για παράδειγμα, αντικείμενα που ο συντελεστής εκπομπής τους δεν εξαρτάται από το μήκος κύματος ονομάζονται «γκρι σώματα», ενώ για τα «χρωματιστά σώματα» ο ϵ εξαρτάται από όλους τους παράγοντες $\epsilon(\lambda, T, \theta', \varphi')$. Για οπτικά ομοιογενή υλικά με λεία επιφάνεια ο ϵ είναι ιστροπικός $\epsilon(\lambda, T, \theta')$. Τελικά, ο φασματικός συντελεστής εκπομπής $\epsilon(\lambda, 2\pi)$ (με χρήση ημισφαιρικού κατόπτρου) αναφέρεται σε ένα μέσο ϵ όλων των κατευθύνσεων ($\theta: (0-\pi/2)$ $\varphi: (0-2\pi)$) μέσα στον ημισφαιρικό χώρο της επιφάνειας αλλά και ο συνολικός ημισφαιρικός $\epsilon(t, 2\pi)$ αναφέρεται σε ένα μέσο ϵ όλων των κατευθύνσεων και για όλα τα πιθανά μήκη κύματος :

$$\epsilon(t, 2\pi) = \frac{M(T)}{M_b(T)} = \frac{\int_0^\infty \epsilon(\lambda, 2\pi) M_b(\lambda, T) d\lambda}{M_b(T)} \quad \text{Σχέση 8}$$

Πίνακας 1 : Τιμές συντελεστή εκπομπής ϵ για γνωστά υλικά.

Υλικά	Συντελεστής εκπομπής ϵ
Αλουμίνιο	0.05
Χαλκός	0.03
Σίδηρος	0.81
Χάλυβας (λείανση)	0.07
Χάλυβας (οξειδωμένος)	0.79
Σκυρόδεμα	0.92
Πλεξιγκλάς	0.75
Γυαλί	0.92
Πάγος	0.97
P.V.C.	0.93
Ανθρώπινο δέρμα	0.98

4.4.4.2. Λύσεις προβλημάτων του συντελεστή εκπομπής ϵ

Η χρήση μη καταστροφικών ελέγχων είναι δύσκολη έως αδύνατη για υλικά με μικρό συντελεστή εκπομπής. Είναι αδύνατον να μετρηθεί η ακτινοβολία που εκπέμπεται από ένα υλικό όταν ο ϵ είναι μικρότερος κατά 20% από τον ϵ του μέλανος σώματος.

Γυαλισμένες μεταλλικές επιφάνειες έχουν μικρή απορροφητικότητα και έτσι έχουν μικρό συντελεστή εκπομπής περίπου 5% του ϵ του μέλανος σώματος. Συνεπώς η ακτινοβολία που εκπέμπεται από τέτοιες μεταλλικές επιφάνειες είναι αδύναμη και παρέχει ασαφείς υπέρυθρες εικόνες. Επίσης, η παρουσία λιπαντικών κηλίδων μπορεί να αλλάξει το συντελεστή ϵ κατά 5,10 ή 20% του ϵ του μέλανος σώματος. Εξαιτίας των παραπάνω λόγων, στις εικόνες θερμικής απεικόνισης εμφανίζονται ζεστά σημεία που δίνουν εσφαλμένα αποτελέσματα για την παρουσία ατελειών σε ένα δοκίμιο.

Επίσης μια άλλη ανησυχία είναι ότι ο συντελεστής ϵ ποικίλει ανάλογα με τη γωνία εξέτασης. Για ομαλές μεταλλικές επιφάνειες ο ϵ τείνει να είναι μικρότερος για κανονική πρόσπτωση από ότι στην μηδενική πρόσπτωση.

Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την επίλυση των προβλημάτων που προκαλούνται από τον συντελεστή εκπομπής ϵ είναι οι εξής :

- ✓ Καθαρισμός επιφάνειας. Για να αποφευχθεί η μείωση του ϵ από λιπαντικές κηλίδες ή από κατεστραμμένες επιστρώσεις απαιτείται ο καθαρισμός της επιφάνειας των δοκιμίων.
- ✓ Μαύρη βαφή. Μια κοινή προσέγγιση για την επίλυση των προβλημάτων του ϵ είναι η κάλυψη μεταλλικών επιφανειών με χρώμα υψηλού συντελεστή εκπομπής ϵ πριν τη λήψη αποτελεσμάτων. Τέτοιο χρώμα είναι το μαύρο με υψηλό ϵ από 0,90 έως 0,98 το οποίο έχει πολύ χαμηλή ανάκλαση.

4.5. Υπέρυθρη θερμική κάμερα

4.5.1. Εισαγωγή

Οι περισσότερες εφαρμογές της υπέρυθρης θερμογραφίας χρησιμοποιούν μια υπέρυθρη κάμερα (Εικόνα 13) συνδεδεμένη με ένα υπέρυθρο ανιχνευτή που απεικονίζει τις διαφορές θερμικής ακτινοβολίας. Οι κάμερες αυτού του τύπου χρησιμοποιούν αισθητήρες που δεν αντιλαμβάνονται το πλάνο επιτήρησης όπως παρουσιάζεται με τη βοήθεια του φωτός στο οπτικό φάσμα και άρα όπως παρουσιάζεται στο ανθρώπινο μάτι. Αντίθετα, λαμβάνουν την εκπομπή της υπέρυθρης ακτινοβολίας στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα της υπέρυθρης ακτινοβολίας.



Εικόνα 13. Υπέρυθρη θερμική κάμερα

4.5.2. Υπέρυθρη συστοιχία εστιακού επιπέδου (FPA)

Το 1970 ένα νέο είδος συσκευών απεικόνισης εμφανίστηκε και έφερε επανάσταση στον τομέα των υπερέθρων. Χρησιμοποιώντας αυτή την τεχνολογία, αυτά που χρειάζονται για την κατασκευή μιας θερμικής κάμερας είναι τα οπτικά, μια συστοιχία εστιακού επιπέδου, τα απαραίτητα ηλεκτρονικά και μια μονάδα ψύξης. Κάποιες συστοιχίες εστιακού επιπέδου αποτελούνται από [16]:

- ανιχνευτές φράγματος Schottky,
- ανιχνευτές υπερπλέγματος,
- ενδογενείς ανιχνευτές,
- ανιχνευτές Z-επιπέδου και
- ανιχνευτές συστοιχίας μικροβολομέτρων.

Οι ανιχνευτές φράγματος Schottky έχουν διαστάσεις 512X512 (pixels) και είναι κατασκευασμένοι από υλικό PtSi και το φάσμα που ανιχνεύουν είναι από 3 μm έως 5 μm. Επίσης είναι κατασκευασμένοι από GaSi και το φάσμα που ανιχνεύουν είναι από 8 μm έως 14 μm και 8 μm έως 16 μm. Για την κατασκευή θερμικής κάμερας με αυτούς τους ανιχνευτές απαιτείται σύστημα ψύξης ώστε η θερμοκρασία να είναι σταθερή στους 77 K.

Οι ανιχνευτές υπερπλέγματος είναι κατασκευασμένοι από ημιαγωγούς όπως : GaAs/GaAlAs και το φάσμα που ανιχνεύουν είναι από 0,8 μm έως 2,6 μm. Για τη σωστή λειτουργία τους απαιτείται σύστημα ψύξης ώστε να επιτευχθούν θερμοκρασίες από 50K έως 70 K.

Οι ενδογενείς ανιχνευτές έχουν διαστάσεις 128X128, ανιχνεύουν φάσμα από 8 μm έως 12 μm και είναι κατασκευασμένοι από HgSdTe. Επίσης κάποιοι ανιχνευτές είναι κατασκευασμένοι από InGaAs και λειτουργούν σε θερμοκρασία δωματίου.

Ανιχνευτές Z-επιπέδου. Κυκλώματα πυριτίου είναι κατεργασμένα πάνω σε μια μικροσκοπική επιφάνεια μαζί με έναν εγκατεστημένο ανιχνευτή στη μία άκρη της. Αυτές οι επιφάνειες ενωμένες συνθέτουν τον τελικό ανιχνευτή. Οι ανιχνευτές αυτοί χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση σταγόνων μέσα σε δοκίμια.

Οι ανιχνευτές συστοιχίας μικροβολομέτρων έχουν διαστάσεις 320X240 (pixels), λειτουργούν σε θερμοκρασία δωματίου, αλλά η απόδοσή τους δεν είναι τόσο καλή όσο των ανιχνευτών που αναφέρθηκαν πιο πάνω.

Ανάλογα με τον τύπο του αισθητήρα που χρησιμοποιούν, οι θερμικές κάμερες δρουν στις αντίστοιχες ζώνες του υπέρυθρου φάσματος ακτινοβολίας (μήκος κύματος).

Αυτές κατανέμονται ως εξής [20]:

- SWIR (Short-Wave Infra Red), από 1.0 μm έως 3.0 μm . Με αισθητήρες που χρησιμοποιούν υλικό InGaAs.
- MWIR (Mid-Wave Infra Red), από 3.0 μm έως 5.0 μm . Με αισθητήρες υλικού InSb, HgCdTe και σπανιότερα PbSe.
- LWIR (Long-Wave Infra Red), από 8.0 μm έως 12.0 μm ή από 7.0 μm έως 14.0 μm . Με αισθητήρες υλικού HgCdTe

4.5.3. Εφαρμογές θερμογραφίας – Παραδείγματα προβλημάτων σε κτίρια.

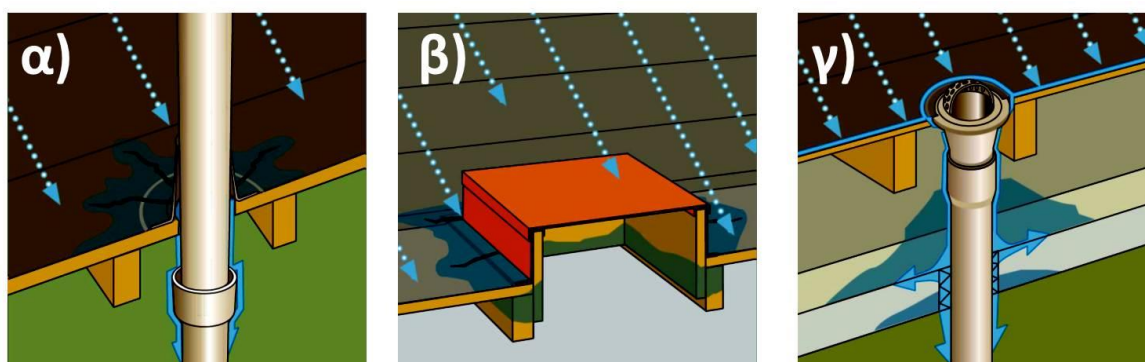
Η υπέρυθη ακτινοβολία εκπέμπεται από κάθε αντικείμενο – ζωντανό ή μη, σε μεγέθη αντίστοιχα της απόλυτης θερμοκρασίας που παρουσιάζει. Έτσι, το συγκεκριμένο είδος καμερών καταγράφει τη θερμοκρασία του αντικειμένου – στόχου και σε συσχετισμό με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος χώρου, σχηματίζει τη μορφή του με απόλυτη καθαρότητα. Για τις κάμερες αυτού του τύπου δεν παίζει κανένα ρόλο η παρουσία φωτισμού ή όχι στο χώρο επιτήρησης. Ως μια μη καταστροφική μέθοδος ανίχνευσης, η υπέρυθη θερμογραφία έχει ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών.

Η θερμογραφία έχει εφαρμοστεί επιτυχώς για την αποτίμηση βλάβης σε κατασκευές ιστορικής σημασίας [21, 22] λόγω του ότι είναι ένα μη επεμβατικό μέσο διερεύνησης. Επίσης, ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι πως μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση υγρασίας σε κτίρια αλλά και σε κατασκευές με φέρουσα τοιχοποιία [22-30]. Επιπλέον, η θερμογραφία αποτελεί ένα ισχυρό εργαλείο για το χαρακτηρισμό διαφόρων βλαβών όπως τα σχεδιαστικά και κατασκευαστικά

προβλήματα σε μια κατασκευή [31], προβλήματα στις στέγες κτιρίων [32], εντοπισμό υπο-επιφανειακών ρωγμών [33-37] και προβλήματα σε μονώσεις [27, 38].

Η θερμογραφία έχει αποδειχθεί ότι αποτελεί ένα πολύτιμο εργαλείο στην αξιολόγηση της διείσδυσης υγρασίας σε κτίρια και κατοικίες. 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.

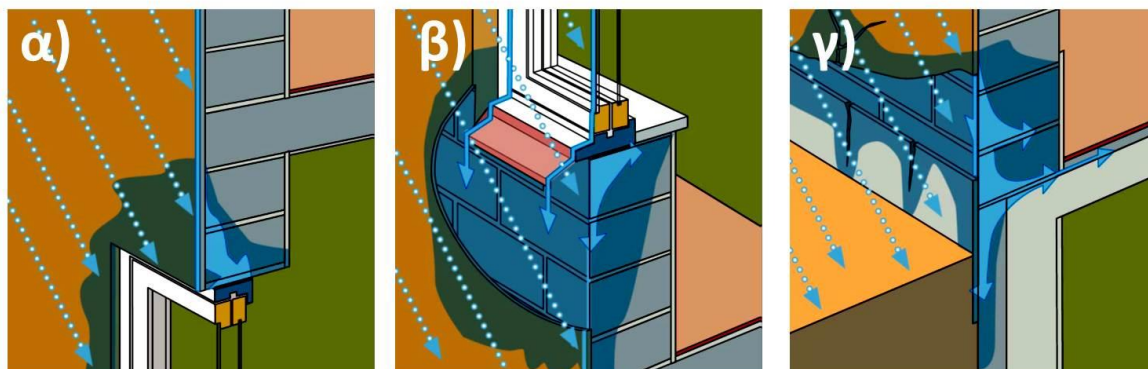
Στις Εικόνες 14 α-γ απεικονίζονται προβλήματα υγρασίας σε στέγες. Συγκεκριμένα, στις Εικόνες 14α και 14β φαίνεται η ανεπαρκής στεγανοποίηση του ασφαλτόπανου γύρω από αγωγούς όμβριων και αεραγωγούς και γύρω από την καταπακτή πρόσβασης στην οροφή αντίστοιχα, με αποτέλεσμα τοπικές διαρροές. Επίσης στην Εικόνα 14γ παρατηρούνται προβλήματα τοπικής διαρροής λόγω κακής στεγανοποίησης ασφαλτόπανου και εξαρτημάτων αερισμού της στέγης.



Εικόνα 14. Προβλήματα υγρασίας σε στέγες

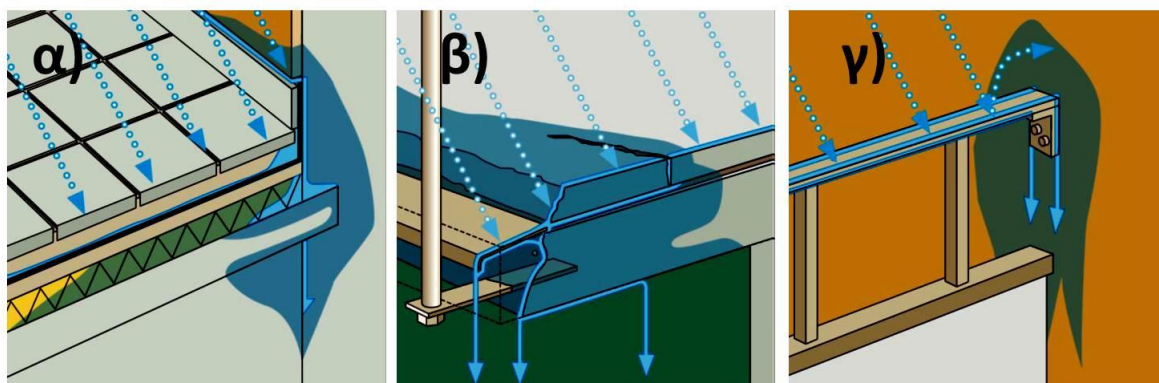
Οι Εικόνες 15 α-γ απεικονίζουν προβλήματα υγρασίας σε προσόψεις κτιρίων. Η καταρρακτώδης βροχή διεισδύει μέσα στην πρόσοψη λόγω κατασκευαστικών ατελειών στους αρμούς (βλέπε Εικόνα 15α), με αποτέλεσμα η υγρασία να συσσωρεύεται στην τοιχοποιία πάνω από το παράθυρο. Επίσης, όταν η βροχή χτυπά το παράθυρο υπό γωνία το μεγαλύτερο μέρος του νερού απομακρύνεται από το γείσο που βρίσκεται στο κάτω μέρος του παραθύρου, ωστόσο ένα μέρος του βρίσκει δίοδο προς το εσωτερικό της τοιχοποιίας στα σημεία όπου ο σοβάς συναντά το κάτω μέρος του γείσου (βλέπε Εικόνα 15β). Όταν η βροχή χτυπά την πρόσοψη υπό γωνία και διαπερνά το σοβά μέσα από ρωγμές, το νερό

εμποτίζει το σοβά και έτσι προκαλείται διάβρωση του σοβά σε συνθήκες παγετού (βλέπε Εικόνα 15γ).



Εικόνα 15. Προβλήματα υγρασίας σε προσόψεις κτιρίων

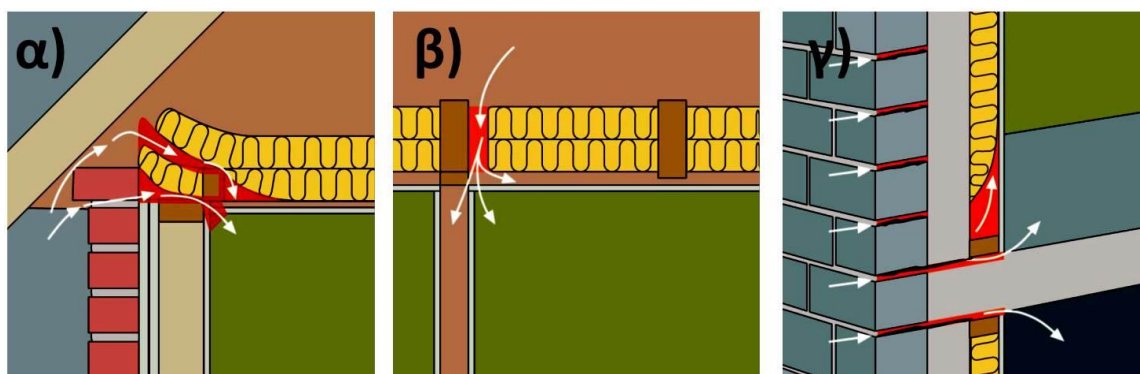
Στα παρακάτω παραδείγματα (Εικόνες 16 α-γ) απεικονίζονται προβλήματα υγρασίας σε ψευδόστεγα και μπαλκόνια. Τις περισσότερες φορές η απουσία γείσου στο σοβατεπί του μπαλκονιού έχει ως αποτέλεσμα τη διείσδυση της βροχής στο σκυρόδεμα και τη μόνωση (Εικόνα 16α). Επίσης η ανεπαρκής διαστασιολόγηση της ποδιάς απορροής όπως φαίνεται στην Εικόνα 16β έχει ως συνέπεια την διείσδυση του νερού στο σκυρόδεμα με αποτέλεσμα την αποσάθρωση του σκυροδέματος και τη διάβρωση του οπλισμού. Ένα ακόμη παράδειγμα προβλημάτων υγρασίας φαίνεται στην Εικόνα 16γ όπου το νερό έχει διαπεράσει το σοβά και την υποκείμενη τοιχοποιία στο σημείο πάκτωσης του κιγκλιδώματος στον τοίχο με αποτέλεσμα να αποτελεί κίνδυνο για την ασφάλεια του χρήστη.



Εικόνα 16. Προβλήματα υγρασίας σε ψευδόστεγα και μπαλκόνια

Λόγω της πίεσης που εξασκεί ο άνεμος στα κτίρια, τις θερμοκρασιακές διαφορές μεταξύ του εσωτερικού και του εξωτερικού του κτιρίου, καθώς και του γεγονότος ότι στα περισσότερα κτίρια 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 κτιρίου 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 κτιρίου. 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), συνήθως γίνονται αντιληπτά από τους ενοίκους, παρ' ότι τα ρεύματα αυτά δύσκολα εντοπίζονται με κοινές συσκευές μέτρησης.

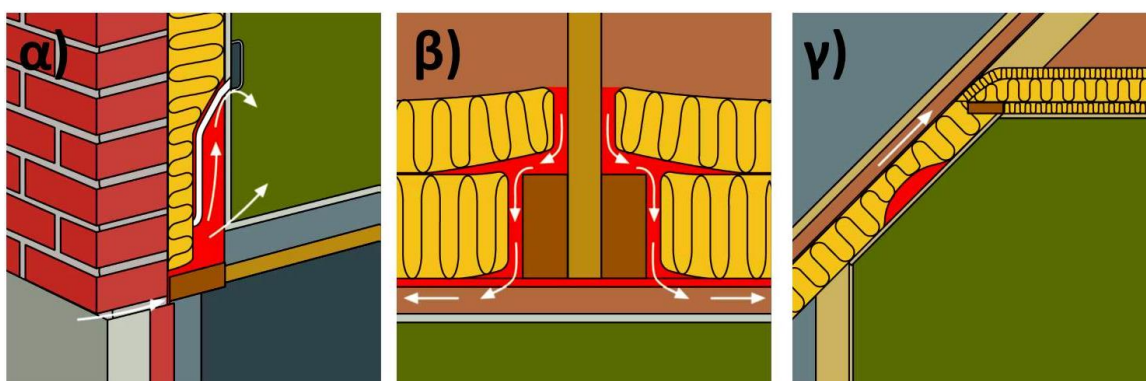
Οι Εικόνες 17 α-γ απεικονίζουν ατέλειες στη μόνωση κτιρίων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι ατέλειες μόνωσης στη μαρκίζα της σκεπής οικίας από οπτόπλινθους, λόγω εσφαλμένα τοποθετημένων επενδύσεων μόνωσης από υαλοβάμβακα με αποτέλεσμα ο εξωτερικός αέρας να εισέρχεται στο χώρο πίσω από την κορνίζα (βλέπε Εικόνα 17α). Επίσης διείσδυση αέρα σε ένα κτίριο προκαλείτε από ατέλειες μόνωσης σε μετζοπάτωμα, λόγω εσφαλμένα τοποθετημένων επενδύσεων μόνωσης από υαλοβάμβακα (Εικόνα 17β). Στην εικόνα 17γ απεικονίζεται διείσδυση αέρα στο εσωτερικό ψευδοδαπέδου πλάκας από σκυρόδεμα, λόγω ρωγμών στην πρόσοψη από οπτόπλινθους.



Εικόνα 17. Προβλήματα μόνωσης σε κτίρια

Οι ατέλειες στη μόνωση δεν προκαλούν αναγκαστικά διείσδυση αέρα. Εάν οι επενδύσεις μόνωσης υαλοβάμβακα έχουν τοποθετηθεί εσφαλμένα, σχηματίζονται θύλακες παγιδευμένου αέρα στο σκελετό του κτιρίου. 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 κτιρίου.

Χαρακτηριστικά παραδείγματα θυλάκων παγιδευμένου αέρα παρουσιάζονται στις Εικόνες 18 α-γ. Στην Εικόνα 18α παρουσιάζονται ατέλειες στη μόνωση (μαζί με διείσδυση αέρα) λόγω εσφαλμένης τοποθέτησης επενδύσεων μόνωσης γύρω από καλώδιο κεντρικής παροχής ρεύματος. Επίσης ατέλειες στη μόνωση λόγω εσφαλμένης τοποθέτησης επενδύσεων μόνωσης γύρω από δοκάρη δαπέδου σοφίτας μπορούν να προκαλέσουν τη διείσδυση ψυχρού αέρα στη δομή και ψύξη του εσωτερικού της οροφής (βλέπε Εικόνα 18β). Τέλος στην Εικόνα 18γ φαίνονται ατέλειες στη μόνωση λόγω εσφαλμένης τοποθέτησης επενδύσεων μόνωσης με αποτέλεσμα το σχηματισμό θύλακα παγιδευμένου αέρα στο εξωτερικό μιας κεκλιμένης οροφής.



Εικόνα 18. Παραδείγματα θυλάκων παγιδευμένου αέρα

Κεφάλαιο 5

**ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ
ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ**

5. ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

5.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 1, σκοπός της παρούσας εργασίας είναι επίσης και η μελέτη της μηχανικής συμπεριφοράς δομικών στοιχείων. Συγκεκριμένα, τα υλικά που εξετάστηκαν αποτελούν δομικά στοιχεία προκατασκευασμένων ξύλινων κατοικιών τύπου «σάντουιτς» (sandwich structures) (βλέπε Εικόνα 19). Τα υλικά αυτά χρησιμοποιούνται συνήθως ως φέρουσα τοιχοποιία και η στατική τους μελέτη είναι όμοια με αυτή των κατασκευών από φέρουσα τοιχοποιία. Τα συγκεκριμένα «τούβλα» αποτελούνται από εξωτερικά στρώματα πλακών προσανατολισμένων σωματιδίων (Oriented Structure Boards, OSB) κλάσεως 3, με δυο εξωτερικά στρώματα επικάλυψης οικολογικής και αυτοσβενούμενης εξηλασμένης πολυστερίνης με πάχος 30mm και δύο στρώματα άνθυγρης ινοσανίδας μέσης πυκνότητας (Medium – Density Fibreboard, MDF) 16mm πάνω σε πυρήνα άνθυγρου MDF 30mm νέας γενιάς.



Εικόνα 19. Δομικό υλικό τύπου «σάντουιτς»

Τα πρότυπα και οι κανόνες δόμησης για τέτοιου είδους κατασκευές από υλικά τύπου «σάντουιτς» εναρμονίζονται με τις διατάξεις του «EN 1996, ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 6, Σχεδιασμός κατασκευών από Τοιχοποιία» [39]. Ο κανονισμός αυτός δεν περιλαμβάνει το συγκεκριμένο τύπο τοιχοποιίας και για αυτό το λόγο θεωρήθηκε σκόπιμο να μελετηθούν οι μηχανικές ιδιότητες αυτού του δομικού στοιχείου όταν αυτό υποβάλλεται σε θλιπτικά αλλά και καμπτικά φορτία.

Από τις πιο σημαντικές μηχανικές ιδιότητες ενός δομικού στοιχείου είναι η θλιπτική και η καμπτική αντοχή. Στη ενότητα αυτή θα παρουσιαστούν οι πειραματικές διατάξεις και διαδικασίες, τα αποτελέσματα των δοκιμών καθώς και η σύγκριση τους με αντίστοιχες άλλων δομικών υλικών.

5.2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ – ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

5.2.1. Πειραματική διάταξη - διαδικασία θλίψης

Η διεξαγωγή των πειραμάτων θλίψης (Compression Tests), πραγματοποιήθηκε σε υδραυλική μηχανή TONI TECHNIK με μέγιστο φορτίο 3000kN (Εικόνα 20).



Εικόνα 20. Υδραυλική μηχανή θραύσης δοκιμίων

Η πειραματική διάταξη αποτελείται από το πλαίσιο φόρτισης (load frame), την υδραυλική μονάδα ισχύος (Hydraulic Power Unit) και μία μονάδα επεξεργασίας πειραματικών δεδομένων. Η ταχύτητα φόρτισης που επιλέχθηκε στις θλιπτικές δοκιμές (βλέπε Εικόνα 21) ήταν 1 kN/sec.



Εικόνα 21. Δοκιμή θλίψης

Ο υπολογισμός της θλιπτικής αντοχής πραγματοποιήθηκε από τον παρακάτω τύπο:

$$\sigma = P / A \quad [40]$$

Σχέση 9

Όπου:

σ : θλιπτική αντοχή (MPa)

A: το εμβαδό της επιφάνειας των δοκιμίων (mm^2)

5.2.2. Πειραματική διάταξη - διαδικασία κάμψης

Το σύστημα μηχανικών δοκιμών που διεξήχθησαν οι πειραματικές δοκιμές κάμψης τριών σημείων (3 Point Bending Tests), είναι ένα ολοκληρωμένο σερβο-υδραυλικό σύστημα δοκιμών μηχανικής καταπόνησης INSTRON 8801. Η μέγιστη στατική και δυναμική φόρτιση είναι 100 kN. Το συγκεκριμένα σύστημα έχει τη δυνατότητα πραγματοποίησης δοκιμών κάμψης τριών σημείων (3 Point Bending Tests) και τεσσάρων σημείων (4 Point Bending Tests).

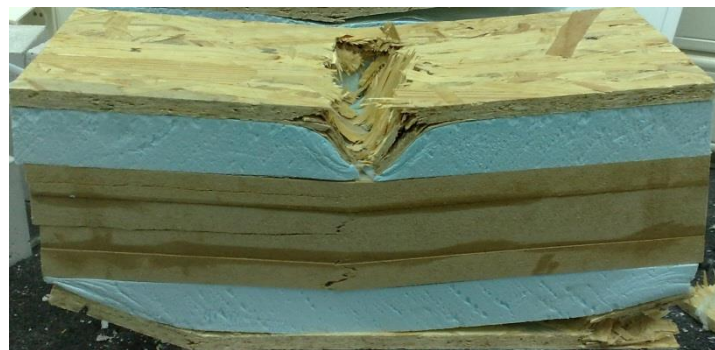


Εικόνα 22. Σερβο-υδραυλική μηχανή

Η πειραματική διάταξη αποτελείται από το πλαίσιο φόρτισης (load frame), την υδραυλική μονάδα ισχύος Instron 3520 (Hydraulic Power Unit), ένα ρυθμιστή (controller) INSTRON 8800 και μία μονάδα επεξεργασίας πειραματικών δεδομένων. Το σύστημα φόρτισης και υποστήριξης του δοκιμίου, σχεδιάστηκε σύμφωνα με τις προδιαγραφές για να παράγει φόρτιση τριών ή τεσσάρων σημείων χωρίς εκκεντρότητα ή στρέψη. Το άνοιγμα των σημείων υποστήριξης είναι 300mm (Εικόνα 23). Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε με ταχύτητα μετατόπισης του εμβόλου 4 mm/min.



Εικόνα 23. Δοκίμιο υπό καταπόνηση σε κάμψη 3 σημείων



Εικόνα 24. Δοκίμιο που έχει υποστεί θραύση

Η καμπτική αντοχή υπολογίστηκε από το πρότυπο EN 12390-5 [41] ως εξής:

$$R = 3PL / 2bd^2$$

Σχέση 10

Όπου:

R: μέγιστη καμπτική αντοχή (MPa)

L: το άνοιγμα μεταξύ των στηρίξεων (300mm για τις συγκεκριμένες δοκιμές) (mm)

b: το μέσο πλάτος των δοκιμίων (mm)

d: το πάχος των δοκιμίων (mm)

5.3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

5.3.1. Αποτελέσματα δοκιμής θλίψης - Σύγκριση

Ο Πίνακας 2 παρουσιάζει τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα των μετρήσεων θλιπτικής αντοχής. Ο Πίνακας 3 απεικονίζει συγκριτικές τιμές θλιπτικής αντοχής διαφόρων υλικών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή οπτοπλινθοδομής (τούβλων). Οι συγκεκριμένες τιμές αντιστοιχούν για ποσοστό 8% αργίλου, τέφρας ξύλου, τσιμέντου και ιπτάμενης τέφρας [42].

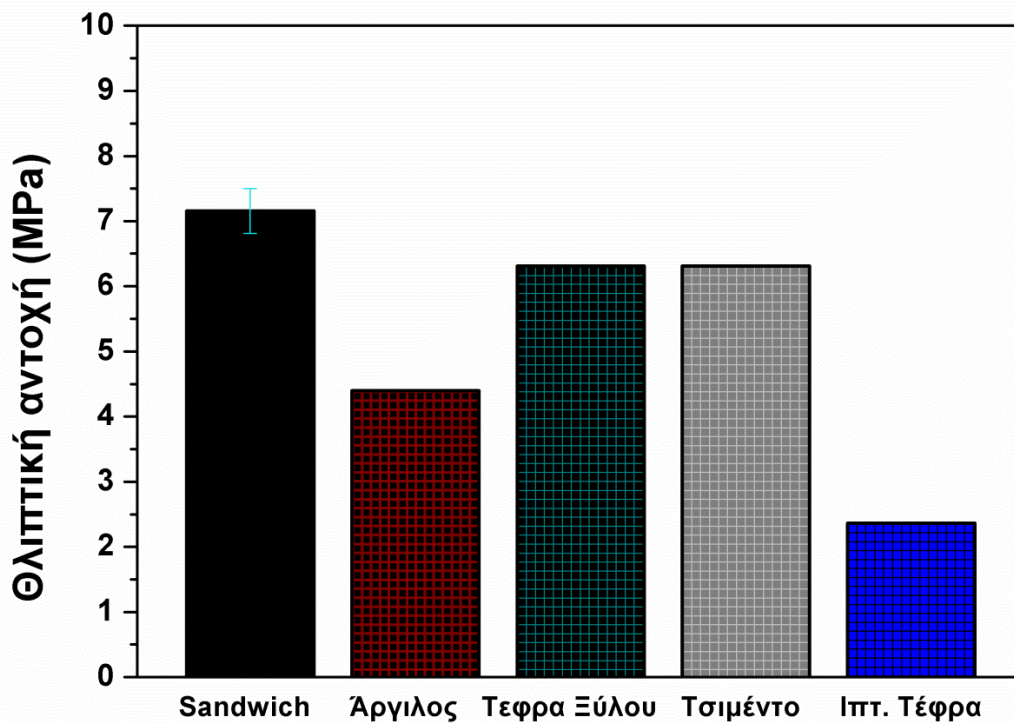
ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Τιμές θλιπτικής αντοχής δομικού στοιχείου τύπου «σάντουιτς»

Τύπος «σάντουιτς»	Φορτίο (kN)	Θλιπτική Αντοχή (MPa)	d (mm)	b (mm)	A (mm ²)
1	132,142	6,839	139	139	19321
2	147,448	7,523	140	140	19600
3	138,378	7,111	139	140	19460
Μέσος όρος	139,323	7,158			
Τυπική Απόκλιση	6,284	0,344			

ΠΙΝΑΚΑΣ 3. Τιμές θλιπτικής αντοχής διαφόρων υλικών οπτοπλινθοδομής

	Τύπος «σάντουιτς»	Άργιλος * (8%)	Τέφρα Ξύλου* (8%)	Τσιμέντο* (8%)	Ιπτάμενη Τέφρα* (8%)
Θλιπτική Αντοχή (MPa)	7,158	4,4	6,31	6,31	2,36
<i>* Βιβλιογραφικές τιμές [42]</i>					

Στην Εικόνα 25 απεικονίζονται γραφικά οι τιμές του Πίνακα 3. Όπως είναι εμφανές, η θλιπτική αντοχή του τύπου «σάντουιτς» είναι η υψηλότερη από όλα τα υπόλοιπα υλικά. Οι τιμές θλιπτικής αντοχής των υλικών από τέφρα ξύλου και τσιμέντο είναι επίσης αρκετά υψηλές, ενώ τη χαμηλότερη τιμή παρουσιάζει η οπτοπλινθοδομή από ιπτάμενη τέφρα. Τα τούβλα από άργιλο που είναι τα πιο ευρέως διαδεδομένα σε ποσοστό αργίλου 8% εμφανίζουν πολύ χαμηλότερες τιμές από το δομικό υλικό τύπου «σάντουιτς».



Εικόνα 25. Θλιπτική αντοχή διαφόρων υλικών οπτοπλινθοδομής

5.3.2. Αποτελέσματα δοκιμής κάμψης - Σύγκριση

Στον Πίνακα 4 εμφανίζονται οι τιμές της καμπτικής αντοχής των τριών δοκιμίων που εξετάστηκαν, καθώς και ο μέσος όρος τους για το δομικό στοιχείο τύπου «σάντουιτς».

ΠΙΝΑΚΑΣ 4. Τιμές καμπτικής αντοχής δομικού στοιχείου τύπου «σάντουιτς»

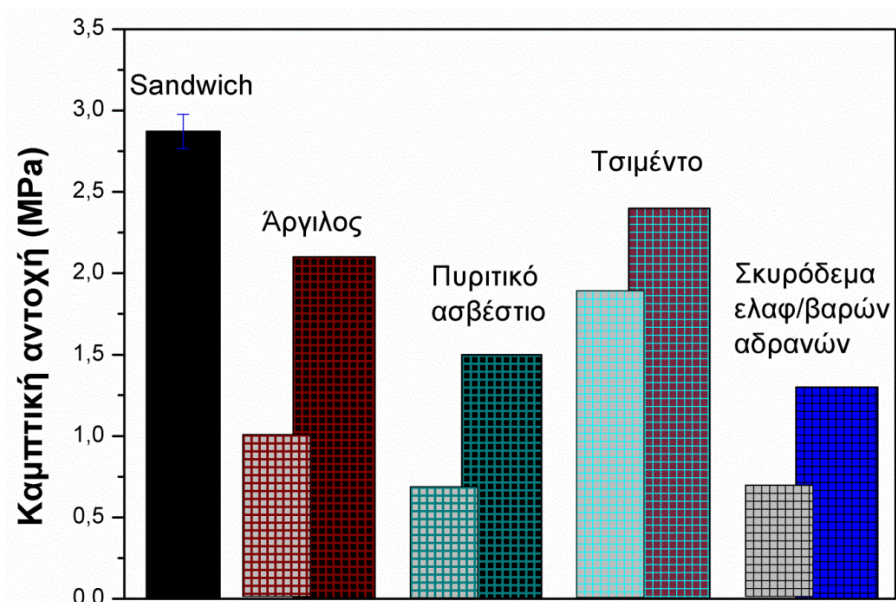
A/A	Φορτίο (N)	Μέγιστη Καμπτική Αντοχή (MPa)	d (mm)	b (mm)	L (mm)
1	16834,22	2,781	140	139	300
2	17112,73	2,847	139	140	300
3	18092,13	2,988	140	139	300
Μέσος όρος	17346,36	2,872			
<i>Τυπική Απόκλιση</i>	<i>660,698</i>	<i>0,106</i>			

Ο Πίνακας 5 απεικονίζει συγκριτικές τιμές καμπτικής αντοχής διαφόρων υλικών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή οπτοπλινθοδομής (τούβλων). Οι συγκεκριμένες τιμές αντιστοιχούν για την περίπτωση του αργίλου σε τούβλα με >12% υδαταπορρόφηση και για την περίπτωση του σκυροδέματος ελαφροβαρών αδρανών σε ποσοστό 8%.

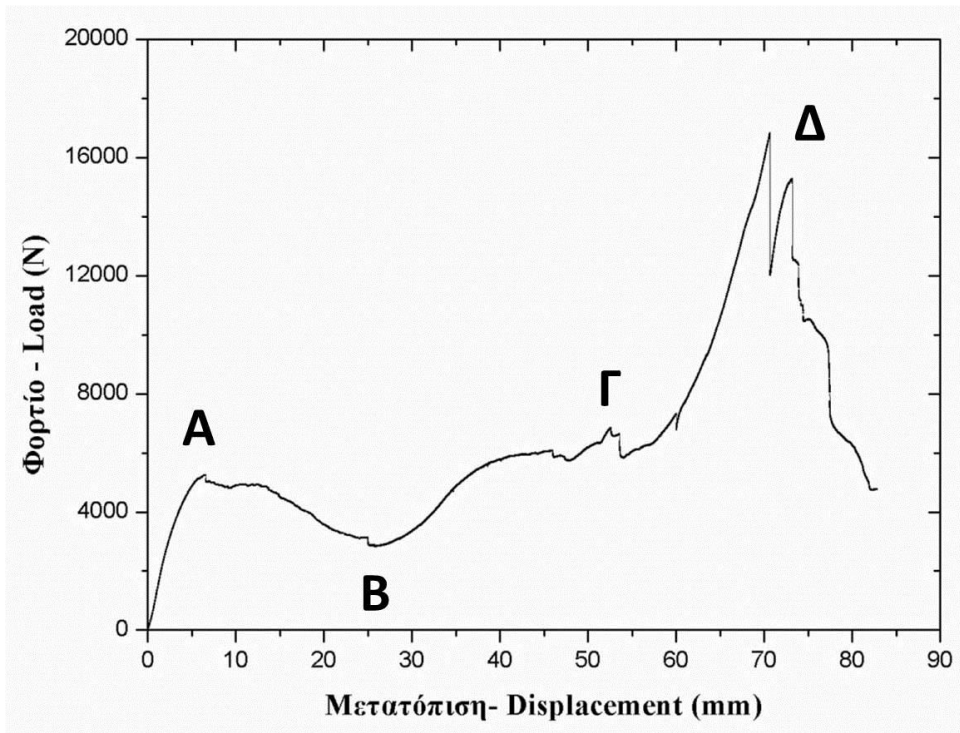
ΠΙΝΑΚΑΣ 5. Τιμές καμπτικής αντοχής διαφόρων υλικών οπτοπλινθοδομής

Υλικά	Τύπος «σάντουιτς»	Αργίλος * (>12% υδατα-πορρόφηση)	Πυριτικό ασβέστιο*	Τσιμέντο*	Σκυρόδεμα ελαφροβαρών αδρανών * (8%)
Καμπτική Αντοχή (MPa)	2,872	1,0 - 2,1	0,7 – 1,5	1,9 – 2,4	0,7 – 1,3
* Βιβλιογραφικές τιμές [43]					

Στην Εικόνα 26 παρουσιάζονται γραφικά οι τιμές του Πίνακα 5. Οι διπλές στήλες στη γραφική παράσταση των υλικών της αργίλου, του πυριτικού ασβεστίου, του τσιμέντου και του σκυροδέματος ελαφροβαρών αδρανών αντιστοιχούν στις ελάχιστες και μέγιστες τιμές της καμπτικής τους αντοχής σύμφωνα με τη βιβλιογραφία [43]. Όπως είναι ορατό το δομικό στοιχείο τύπου «σάντουιτς» παρουσιάζει τη μεγαλύτερη καμπτική αντοχή σε σχέση με τα υπόλοιπα. Τη μικρότερη τιμή παρουσιάζουν τα τούβλα με σκυρόδεμα ελαφροβαρών αδρανών.



Εικόνα 26. Καμπτική αντοχή διαφόρων υλικών οπτοπλινθοδομής



Εικόνα 27. Τυπική καμπύλη Φορτίου - Μετατόπισης κάμψης τριών σημείων

Στην Εικόνα 27 απεικονίζεται μία τυπική καμπύλη φορτίου – μετατόπισης για τη δοκιμή κάμψης τριών σημείων επαφής. Το δομικό στοιχείο είναι σύνθετο και απαρτίζεται από τριών ειδών υλικά με διαφορετικές μηχανικές ιδιότητες. Η καμπύλη, λοιπόν, εμφανίζει διαφορετική συμπεριφορά για τον κάθε τύπο θραύσης των επί μέρους υλικών και μπορεί να χωριστεί σε διακριτές περιοχές. Η περιοχή μέχρι το σημείο A δείχνει την αστοχία σε καμπτικά φορτία για την πρώτη στρώση του στοιχείου δηλαδή το OSB. Η περιοχή από το B σημείο ως το Γ αντιστοιχεί στην αστοχία και της άλλης πλάκας του OSB. Τέλος, το σημείο Δ αντιστοιχεί στην τελική αστοχία του δομικού στοιχείου και συγκεκριμένα της εσωτερικής πλάκας MDF με τη μεγαλύτερη αντοχή.

Κεφάλαιο 6

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ

6. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ

6.1. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ

6.1.1. Εισαγωγή

Ο υπολογισμός του συντελεστή θερμοπερατότητας πραγματοποιείται αναλυτικά με βάση τη διαδικασία που ακολουθεί [7]:

Η θερμική αντίσταση των υλικών υπολογίζεται από τη Σχέση 11

$$R = \frac{1}{k} * d \quad \text{Σχέση 11}$$

Όπου:

k είναι η θερμική αγωγιμότητα,

d το πάχος του υλικού

Το σύνολο των θερμικών αντιστάσεων όλων των στρώσεων ενός πολυστρωματικού δομικού στοιχείου, που αποτελείται από ομογενείς στρώσεις υλικών, ορίζει την αντίσταση θερμοδιαφυγής (R_{ss}) σύμφωνα με τη Σχέση 12 και προκύπτει από το άθροισμα των επί μέρους αντιστάσεων της κάθε στρώσης κατά τη γενικευμένη σχέση :

$$R_{ss} = \sum_{i=1}^n R_i \quad \text{Σχέση 12}$$

Η σειρά τοποθέτησης των στρώσεων ενός δομικού στοιχείου πρακτικά δεν επηρεάζει τη ροή θερμότητας μέσω αυτού, επηρεάζει όμως την αξιοποίηση της θερμοχωρητικότητάς τους. Η τοποθέτηση της θερμομονωτικής στρώσης σε θέση πλησιέστερη προς την εσωτερική ή την εξωτερική επιφάνεια της τοιχοποιίας επηρεάζει τη θερμοχωρητικότητα του δομικού στοιχείου, δηλαδή την ικανότητά του να αποθηκεύει θερμότητα στη μάζα του. Συγκεκριμένα, η τοποθέτηση της θερμομονωτικής στρώσης στην εξωτερική επιφάνεια της τοιχοποιίας αυξάνει τη θερμοχωρητικότητά της κατά τους χειμερινούς μήνες και τη μειώνει κατά τους καλοκαιρινούς. Το αντίστροφο συμβαίνει

κατά την τοποθέτηση της θερμομονωτικής στρώσης στην εσωτερική επιφάνεια της τοιχοποιίας. Η συνολική θερμική αντίσταση που προβάλλει ένα πολυστρωματικό δομικό στοιχείο, που αποτελείται από ομογενείς στρώσεις υλικών, ορίζεται από το άθροισμα των αντιστάσεων των επί μέρους στρώσεων και των αντιστάσεων του στρώματος αέρα εκατέρωθεν των όψεών του κατά τη Σχέση 13

$$R_T = R_{si} + R_{ss} + R_{se} \quad \text{Σχέση 13}$$

όπου:

R_T [W/(m²·K)] η συνολική αντίσταση που προβάλλει στη ροή θερμότητας το δομικό στοιχείο,

R_{si} [W/(m²·K)] η αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στη μετάδοση της θερμότητας από και προς τον εσωτερικό χώρο σε σχέση με το δομικό στοιχείο,

R_{se} [W/(m²·K)] η αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στη μετάδοση της θερμότητας από και προς το δομικό στοιχείο σε σχέση με το εξωτερικό περιβάλλον.

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας ενός δομικού στοιχείου ορίζεται από τη Σχέση 14 [7]:

$$U = \frac{1}{R_T} \quad \text{Σχέση 14}$$

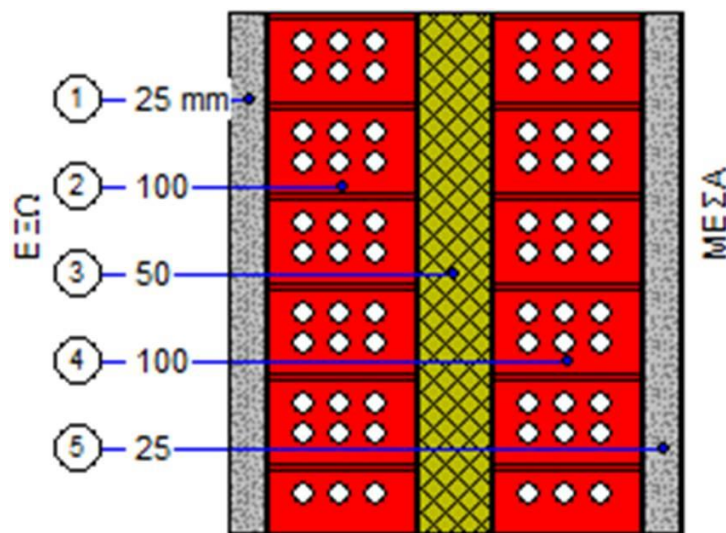
όπου:

U [W/(m²·K)] ο συντελεστής θερμοπερατότητας του δομικού στοιχείου

6.1.2. Υπολογισμός τιμής U

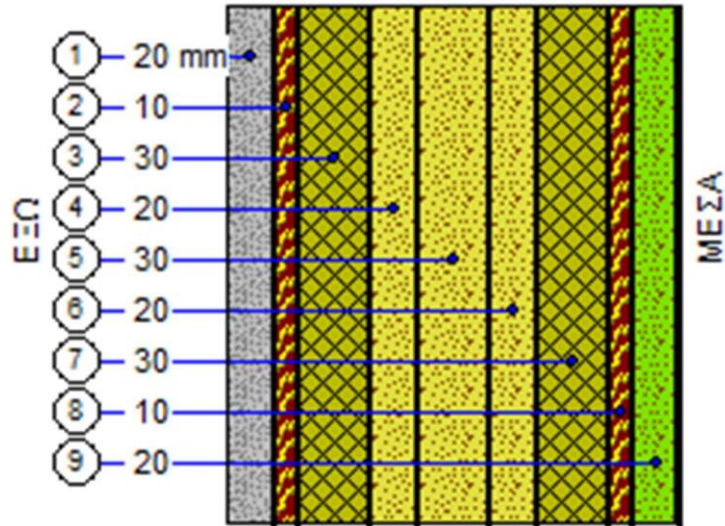
Οι συντελεστές θερμοπερατότητας ενός συμβατικού δομικού στοιχείου και του στοιχείου τύπου «σάντουιτς» υπολογίστηκαν σύμφωνα με τις Σχέσεις 12 – 14. Ο υπολογισμός της τιμής U του δομικού στοιχείου τύπου «σάντουιτς» πραγματοποιήθηκε από τις τιμές θερμικής αγωγιμότητας των επί μέρους υλικών [44, 45] και για το συμβατικό δομικό στοιχείο από τις τιμές που ορίζει ο ΚΕΝΑΚ.

Στην Εικόνα 28 απεικονίζεται με σκαρίφημα η δομή συμβατικού δομικού στοιχείου. Η δομή αυτή αποτελείται από ασβεστοκονίαμα πάχους 25 μμ (υλικό 1 και 5), οπτοπλινθοδομή πάχους 100 μμ (υλικό 2 και 4) και μονωτικό υλικό πάχους 50 μμ (υλικό 3).



Εικόνα 28. Σκαρίφημα δομής συμβατικού δομικού στοιχείου [46]

Στην Εικόνα 29 απεικονίζεται με σκαρίφημα η δομή μη συμβατικού δομικού στοιχείου τύπου «σάντουιτς» με βάση το ξύλο. Η δομή αυτή αποτελείται από ασβεστοκονίαμα πάχους 20 mm (υλικό 1), στρώμα πλάκας προσανατολισμένων σωματιδίων πάχους 10 mm (Oriented Structure Boards, OSB, υλικό 2 και 8), αυτοσβενούμενη εξηλασμένη πολυστερίνη πάχους 30 mm (υλικό 3 και 7), άνθυγρη ινοσανίδα μέσης πυκνότητας (Medium – Density Fibreboard, MDF) πάχους 20 mm (υλικό 4 και 6), πυρήνα άνθυγρου MDF πάχους 30 mm νέας γενιάς (υλικό 5) και ένα στρώμα γυψοσανίδας πάχους 10 mm (υλικό 9)



Εικόνα 29. Σκαρίφημα δομής δομικού στοιχείου τύπου σάντουιτς [46]

Στον πίνακα 6 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των επιμέρους υλικών του συμβατικού δομικού στοιχείου, οι τιμές της θερμικής τους αγωγιμότητας και ο συνολικός συντελεστής θερμοπερατότητας.

Πίνακας 6. Χαρακτηριστικά των επιμέρους υλικών του συμβατικού δομικού στοιχείου

Συμβατική τοιχοποιία	Περιγραφή	d (mm)	k (W/mK)	R (m ² *K/W)	U (W/m ² *K)
1	Ασβεστοκονίαμα	25	0,870	0,029	
2	Οπτοπλινθοδομή	100	0,450	0,222	
3	Μόνωση	50	0,033	1,515	
4	Οπτοπλινθοδομή	100	0,450	0,222	
5	Ασβεστοκονίαμα	25	0,870	0,029	
Εξωτ. επιφ. αντίσταση				0,040	
Εσωτ. επιφ. αντίσταση				0,130	
Ολικό πάχος και U		300		2,187	0,457

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 6 η συνολική θερμική αντίσταση που προβάλλει στη ροή θερμότητας το δομικό στοιχείο είναι **2,187 m²*K/W** και η τιμή του συνολικού συντελεστή θερμοπερατότητας **0,457 W/m²*K**. Η τιμή του U είναι μικρότερη από την τιμή που ορίζει ο KENAK (**0.730 W/m²*K**) άρα η χρήση του συγκεκριμένου δομικού στοιχείου είναι αποδεκτή σύμφωνα με την Ελληνική νομοθεσία.

Στον πίνακα 7 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των επιμέρους υλικών του μη συμβατικού δομικού στοιχείου τύπου «σάντουιτς», οι τιμές της θερμικής τους αγωγιμότητας και ο συνολικός συντελεστής θερμοπερατότητας.

Πίνακας 7. Χαρακτηριστικά των επιμέρους υλικών του μη συμβατικού δομικού στοιχείου τύπου «σάντουιτς»

Συμβατική τοιχοποιία	Περιγραφή	d (mm)	k (W/mK)	R (m ² *K/W)	U (W/m ² *K)	
1	Ασβεστο-τσιμεντοκονίαμα	20	1,000	0,020		
2	OSB	10	0,130	0,077		
3	Μόνωση	30	0,033	0,909		
4	MDF	20	0,090	0,222		
5	MDF	30	0,090	0,333		
6	MDF	20	0,090	0,222		
7	Μόνωση	30	0,033	0,909		
8	OSB	10	0,130	0,077		
9	Γυψοσανίδα	20	0,500	0,040		
Εξωτ. επιφ. αντίσταση				0,040		
Εσωτ. επιφ. αντίσταση				0,130		
Ολικό πάχος και U		190		2,979		0,336

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 7 η συνολική θερμική αντίσταση που προβάλλει στη ροή θερμότητας το δομικό στοιχείο είναι $2,979 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ και η τιμή του συνολικού συντελεστή θερμοπερατότητας $0,336 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$. Η τιμή του U είναι μικρότερη από την τιμή που ορίζει ο ΚΕΝΑΚ ($0.730 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$) άρα η χρήση του συγκεκριμένου δομικού στοιχείου είναι αποδεκτή σύμφωνα με την Ελληνική νομοθεσία.

Από τη σύγκριση των Πινάκων 6 και 7 προκύπτει πως ακόμη και με μικρότερο πάχος, το δομικό στοιχείο τύπου «σάντουιτς» παρουσιάζει μεγαλύτερη θερμική αντίσταση στη ροή της θερμότητας γεγονός που το καθιστά πιο θερμομονωτικό. Επίσης, ο συντελεστής θερμοπερατότητας για το συμβατικό δομικό στοιχείο είναι αρκετά μεγαλύτερος από αυτόν του τύπου «σάντουιτς» με αποτέλεσμα το μη συμβατικό δομικό στοιχείο να αποτελεί καλύτερη επιλογή όσον αφορά την ενεργειακή αποτελεσματικότητα ενός κτιρίου.

6.2. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ – ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΣΕ ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΜΗ ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

6.2.1. Εισαγωγή

Ένα από τα πιο σημαντικά στοιχεία που θα πρέπει να εξετάζεται όταν γίνεται αναφορά στην ενεργειακή αποτελεσματικότητα ενός κτιρίου είναι η «συμπεριφορά» μιας οικίας σε σχέση με τις περιβαλλοντικές αλλαγές. Είναι πολύ σημαντικό για το χρήστη να γνωρίζει πως συμπεριφέρεται το σπίτι του ενεργειακά, δηλαδή πόσο επηρεάζεται η εσωτερική θερμοκρασία αλλά και σχετική υγρασία σε σχέση με τις εξωτερικές περιβαλλοντικές συνθήκες. Με αφορμή λοιπόν τα παραπάνω κρίθηκε σκόπιμο να μελετηθούν η θερμοκρασία αλλά και η σχετική υγρασία σε συμβατικές και μη συμβατικές υφιστάμενες κατοικίες.

6.2.2. Πειραματική διάταξη - διαδικασία

Η πειραματική διάταξη που χρησιμοποιήθηκε για τη μελέτη της υγρασίας και της θερμοκρασίας εσωτερικά αλλά και εξωτερικά και στους δύο τύπους κατοικιών

περιλαμβάνει ένα μετεωρολογικό σταθμό (Εικόνα 30) με ακρίβεια μέτρησης θερμοκρασίας 0,1 °C και υγρασίας 0,1 % και μια μονάδα καταγραφής δεδομένων. Η παρακολούθηση των επιπέδων της θερμοκρασίας και της υγρασίας πραγματοποιήθηκε για διάρκεια μίας ολόκληρης ημέρας και η καταγραφή γινόταν ανά μισή ώρα. Η εξωτερική μονάδα του μετεωρολογικού σταθμού τοποθετήθηκε σε κατάλληλο μέρος εξωτερικά της οικίας ώστε να υπάρχει αντιπροσωπευτική μέτρηση της θερμοκρασίας και της υγρασίας. Η εσωτερική μονάδα επιλέχθηκε να τοποθετηθεί στο κέντρο της οικίας ώστε να μην επηρεάζεται απευθείας από θερμομονωτικές ατέλειες (τοιχοποιία, κουφώματα κ.ά.)

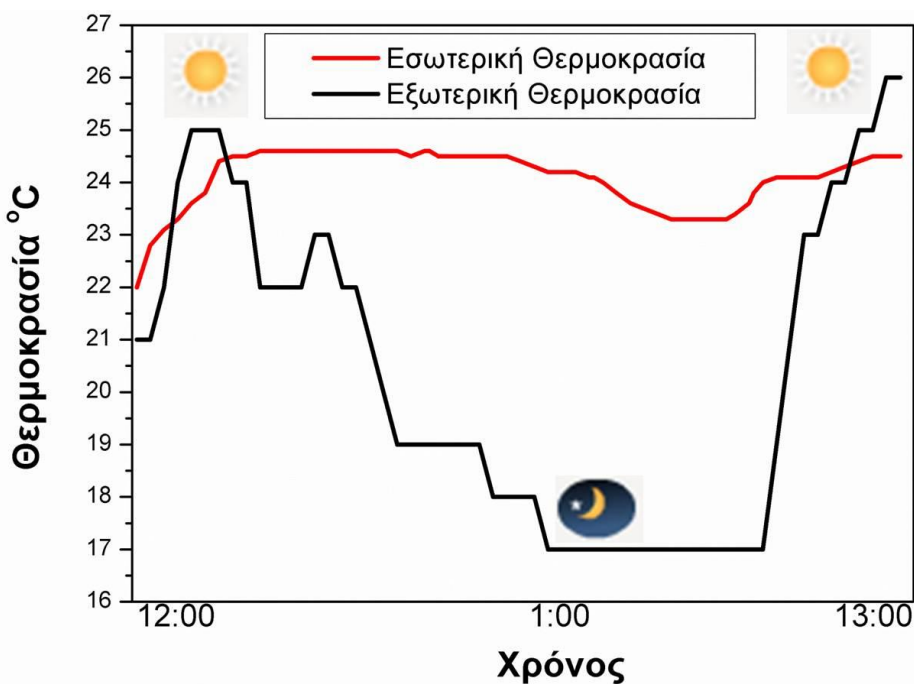


Εικόνα 30. Μετεωρολογικός σταθμός

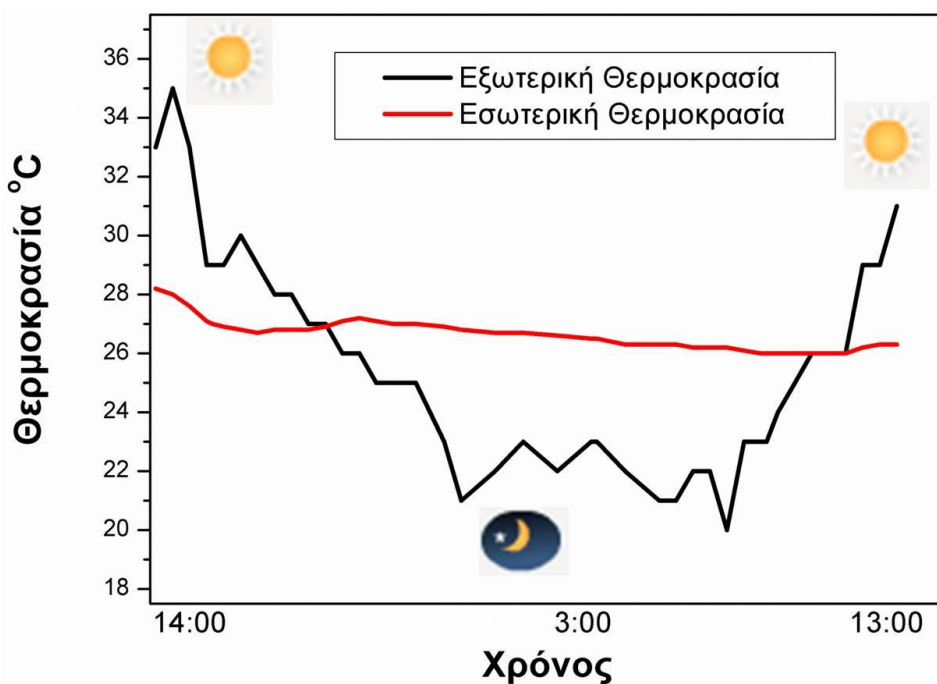
6.2.3. Αποτελέσματα μετρήσεων θερμοκρασίας

Στις Εικόνες 31 και 32 παρουσιάζονται καμπύλες εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας σε σχέση με το χρόνο για μία συμβατική κατοικία και μία μη συμβατική με δομικά στοιχεία τύπου «σάντουιτς». Στην Εικόνα 31 παρατηρείται αύξηση της εσωτερικής θερμοκρασίας 2,5 °C με την άνοδο 4,0 °C της εξωτερικής θερμοκρασίας. Στη συνέχεια η εσωτερική θερμοκρασία παραμένει σταθερή για περίπου 10 ώρες ενώ η εξωτερική θερμοκρασία μειώνεται σταδιακά. Τις πρώτες πρωινές ώρες που η εξωτερική θερμοκρασία είναι η ελάχιστη, η εσωτερική παρουσιάζει πτώση της τάξης του 1 °C και μετέπειτα αρχίζει να αυξάνει με την άνοδο της εξωτερικής θερμοκρασίας. Η εξωτερική θερμοκρασία

καθ' όλη τη διάρκεια της μέτρησης κυμαίνεται από 17 °C έως 26 °C. Στην Εικόνα 32 η εσωτερική θερμοκρασία της οικίας με δομικό στοιχείο τύπου «σάντουιτς» παραμένει σχεδόν σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια της μέτρησης (24 ώρες) και κυμαίνεται μεταξύ 26 °C και 28 °C. Η εξωτερική θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 20 °C και 35 °C.



Εικόνα 31. Διάγραμμα θερμοκρασίας συμβατικής κατοικίας

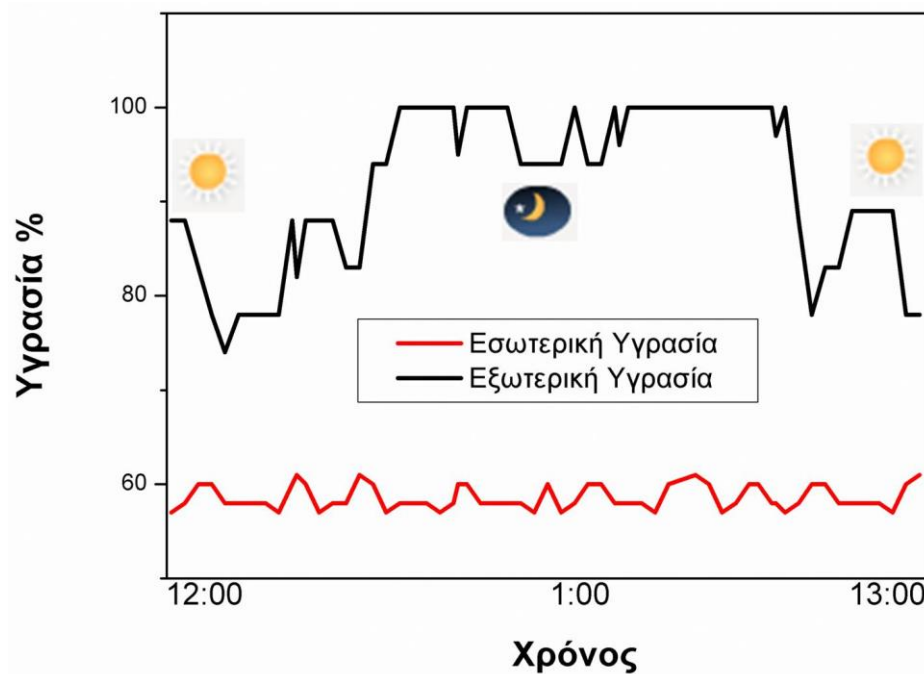


Εικόνα 32. Διάγραμμα θερμοκρασίας μη συμβατικής κατοικίας

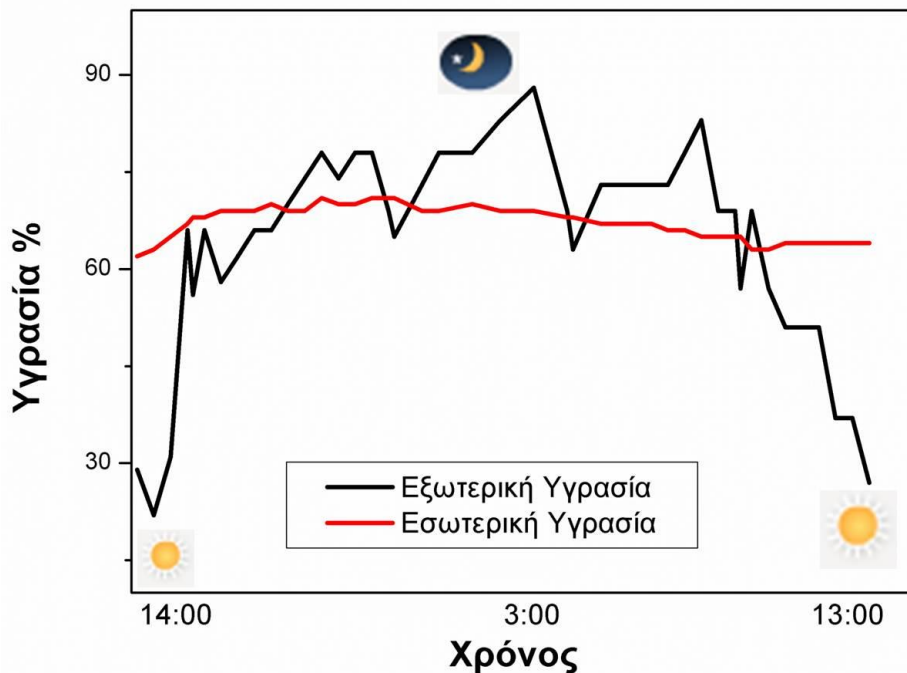
Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των μετρήσεων της θερμοκρασίας και για τους δύο τύπους κατοικιών προκύπτει ότι η μη συμβατική κατοικία διατηρεί το επίπεδο της εσωτερικής θερμοκρασίας σχεδόν σταθερό παρότι την τεράστια διακύμανση της εξωτερικής θερμοκρασίας ($\Delta T = 15 \text{ }^\circ\text{C}$). Αντίθετα στην συμβατική κατασκευή η διακυμάνσεις της εσωτερικής θερμοκρασίας είναι πιο έντονες και ειδικά της μεσημβρινές ώρες ($2,5 \text{ }^\circ\text{C}$) παρόλο που η μεταβολή της εξωτερικής θερμοκρασίας είναι μόλις $9 \text{ }^\circ\text{C}$ καθ' όλη τη διάρκεια της μέτρησης.

6.2.4. Αποτελέσματα μετρήσεων υγρασίας

Στις Εικόνες 33 και 34 αποτυπώνονται οι μετρήσεις της εσωτερική και εξωτερική υγρασίας σε σχέση με το χρόνο και για τους δύο τύπους κατοικιών. Στο διάγραμμα αναφορικά με τη συμβατική κατασκευή, η υγρασία παραμένει σχετικά σταθερή σε όλη τη διάρκεια της μέτρησης σε ποσοστό περίπου 60 %. Η εξωτερική υγρασία κυμαίνεται μεταξύ 74 % με 100 %. Στη μη συμβατική κατασκευή η εσωτερική υγρασία παραμένει επίσης σχεδόν σταθερή σε ποσοστό 68 %. Η εξωτερική υγρασία κατά τη διάρκεια της μέτρησης μεταβάλλεται από 22 % τις μεσημβρινές ώρες έως 90 % τις νυχτερινές.



Εικόνα 33. Διάγραμμα σχετικής υγρασίας συμβατικής κατοικίας



Εικόνα 34. Διάγραμμα σχετικής υγρασίας μη συμβατικής κατοικίας

Παρόλο που και οι δύο κατοικίες εμφανίζουν σχετικά σταθερή εσωτερική υγρασία, η μη συμβατική κατοικία υπόκειται σε πιο δυσμενείς εξωτερικές συνθήκες υγρασίας. Συγκεκριμένα, η μεταβολή της εξωτερικής υγρασίας σε αυτήν την περίπτωση είναι της τάξης του 68 %, ενώ στην περίπτωση της συμβατικής είναι της τάξης του 26 % μόλις. Είναι, λοιπόν, προφανές ότι η κατασκευή με δομικά στοιχεία τύπου «σάντουιτς» είναι σε πολύ ικανοποιητικό επίπεδο μονωμένη από τις εξωτερικές συνθήκες περιβάλλοντος.

6.3. ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΑΤΕΛΕΙΩΝ ΣΕ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

6.3.1. Εισαγωγή

Στο Κεφάλαιο 6.3 παρατίθενται τα αποτελέσματα ανίχνευσης θερμομονωτικών ατελειών σε υφιστάμενες κατασκευές (συμβατική – μη συμβατική). Η ανίχνευση πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο της υπέρυθρης θερμογραφίας σε ποικίλα δομικά και μη δομικά στοιχεία. Παρόλο που η ελληνική νομοθεσία δεν περιλαμβάνει την υπέρυθρη θερμογραφία για τη ενεργειακή επιθεώρηση κτιρίων σε αντίθεση με άλλες χώρες, η

μέθοδος αυτή αποτελεί ένα χρήσιμο και πολύτιμο εργαλείο για την επίτευξη του σκοπού αυτού.

6.3.2. Πειραματική διάταξη

Η πειραματική διάταξη που χρησιμοποιήθηκε για το θερμογραφικό έλεγχο των κτιρίων περιλαμβάνει μία υπέρυθρη κάμερα (Flir T360) με εύρος ανίχνευσης υπέρυθρου φάσματος από 7,5 – 13 μm , μη ψυχόμενο αισθητήρα με μεγεθος 320 x 240 pixels και ακρίβεια μέτρησης 0,1 $^{\circ}\text{C}$. Ο οπτικός φακός της έχει μέγεθος 18mm και το πεδίο εστίασης είναι 25 $^{\circ}$ x 19 $^{\circ}$. Επίσης η διάταξη περιλαμβάνει και μια μονάδα επεξεργασίας δεδομένων όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 35.



Εικόνα 35. Πειραματική διάταξη θερμογραφικού ελέγχου

Οι υφιστάμενες κατασκευές που ελέγχθηκαν παρουσιάζονται στις Εικόνες 36 και 37. Στην Εικόνα 36 απεικονίζεται η συμβατική κατασκευή που βρίσκεται στις νέες Παγασές Βόλου σε υψόμετρο 15μ. Ο σκελετός του κτιρίου είναι από οπλισμένο σκυρόδεμα ενώ οι τοίχοι είναι κατασκευασμένοι από τούβλα. Τα εξωτερικά κουφώματα είναι αλουμινίου με θερμοδιακοπή και όλοι οι υαλοπίνακες διπλοί θερμομονωτικοί.



Εικόνα 36. Συμβατική κατασκευή

Στην Εικόνα 37 απεικονίζεται η μη συμβατική κατασκευή που βρίσκεται στο Μύτικα Αιτωλοακαρνανίας σε υψόμετρο 0μ. Ο σκελετός και η τοιχοποιία του κτιρίου είναι κατασκευασμένα από το δομικό στοιχείο τύπου «σάντουιτς». Τα εξωτερικά κουφώματα είναι αλουμινίου και όλοι οι υαλοπίνακες είναι διπλοί θερμομονωτικοί.

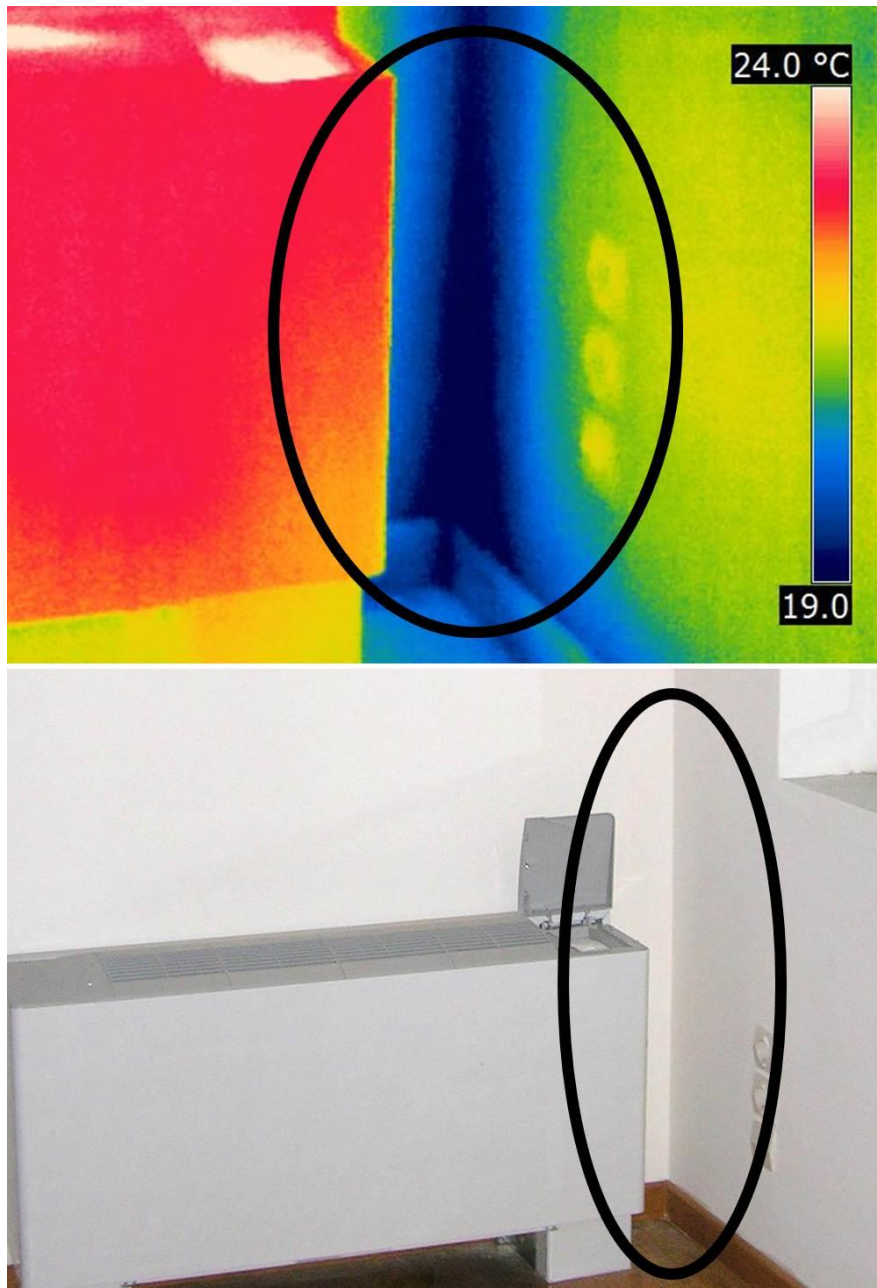


Εικόνα 37. Μη συμβατική κατασκευή

6.3.3. Αποτελέσματα

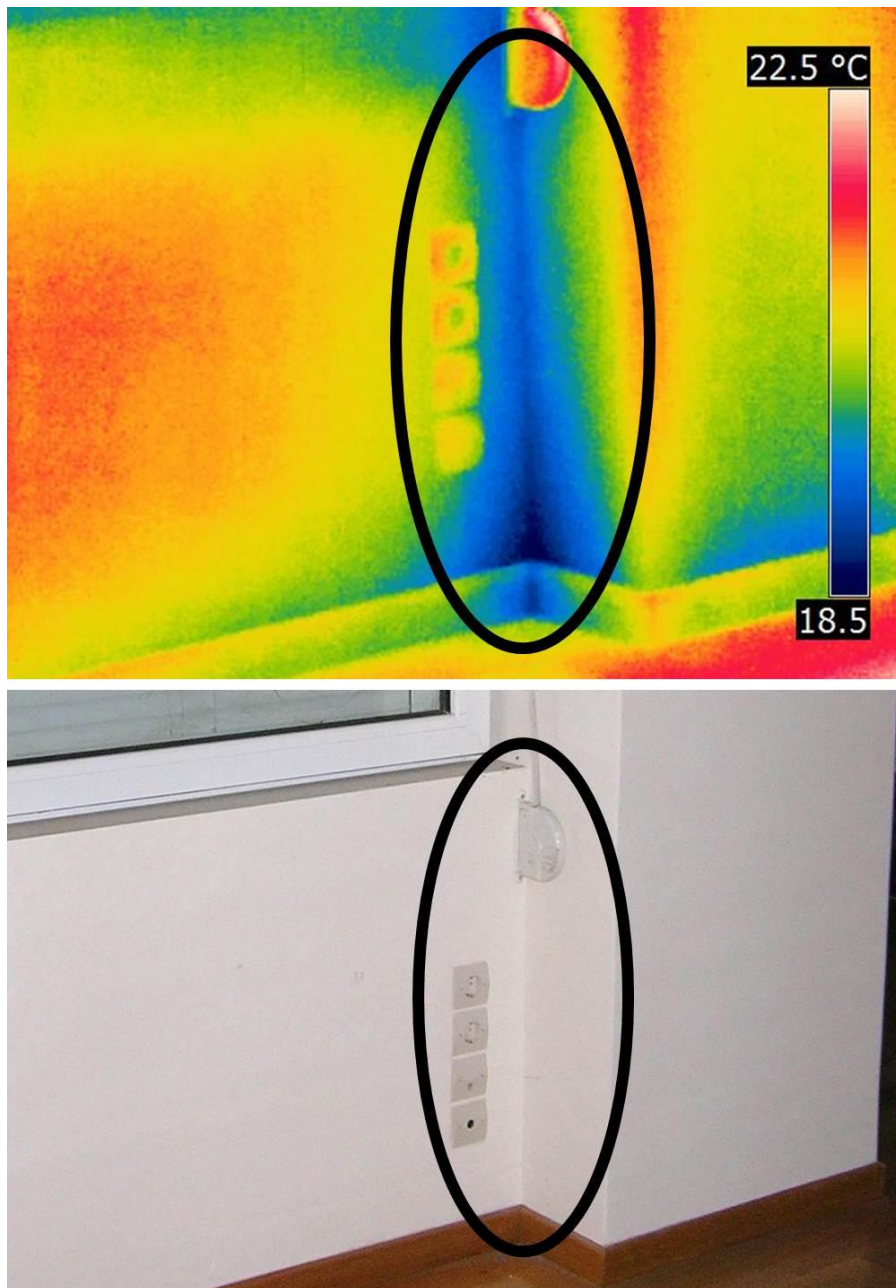
6.3.3.1. Αποτελέσματα θερμογραφικού ελέγχου σε συμβατική κατασκευή

Στις Εικόνες 38 – 48 παρουσιάζονται τα θερμογραφήματα ανίχνευσης κατασκευαστικών και θερμομονωτικών ατελειών. Για την καλύτερη κατανόηση της κατάστασης, παρατίθενται και οι πραγματικές εικόνες κάτω από κάθε θερμογράφημα.



Εικόνα 38. Έλεγχος τοιχοποιίας Α

Στην Εικόνα 38 παρουσιάζεται ο έλεγχος της τοιχοποιίας Α. Στο θερμογράφημα εμφανίζεται μία περιοχή με μειωμένη θερμοκρασία σε σχέση με την υπόλοιπη τοιχοποιία. Η μεγάλη αυτή θερμοκρασιακή διαφορά οφείλεται πιθανότατα σε ύπαρξη υγρασίας στο σημείο ένωσης του σκυροδέματος με την τοιχοποιία λόγω ελλιπούς μόνωσης ή κακής κατασκευής.



Εικόνα 39. Έλεγχος τοιχοποιίας Β

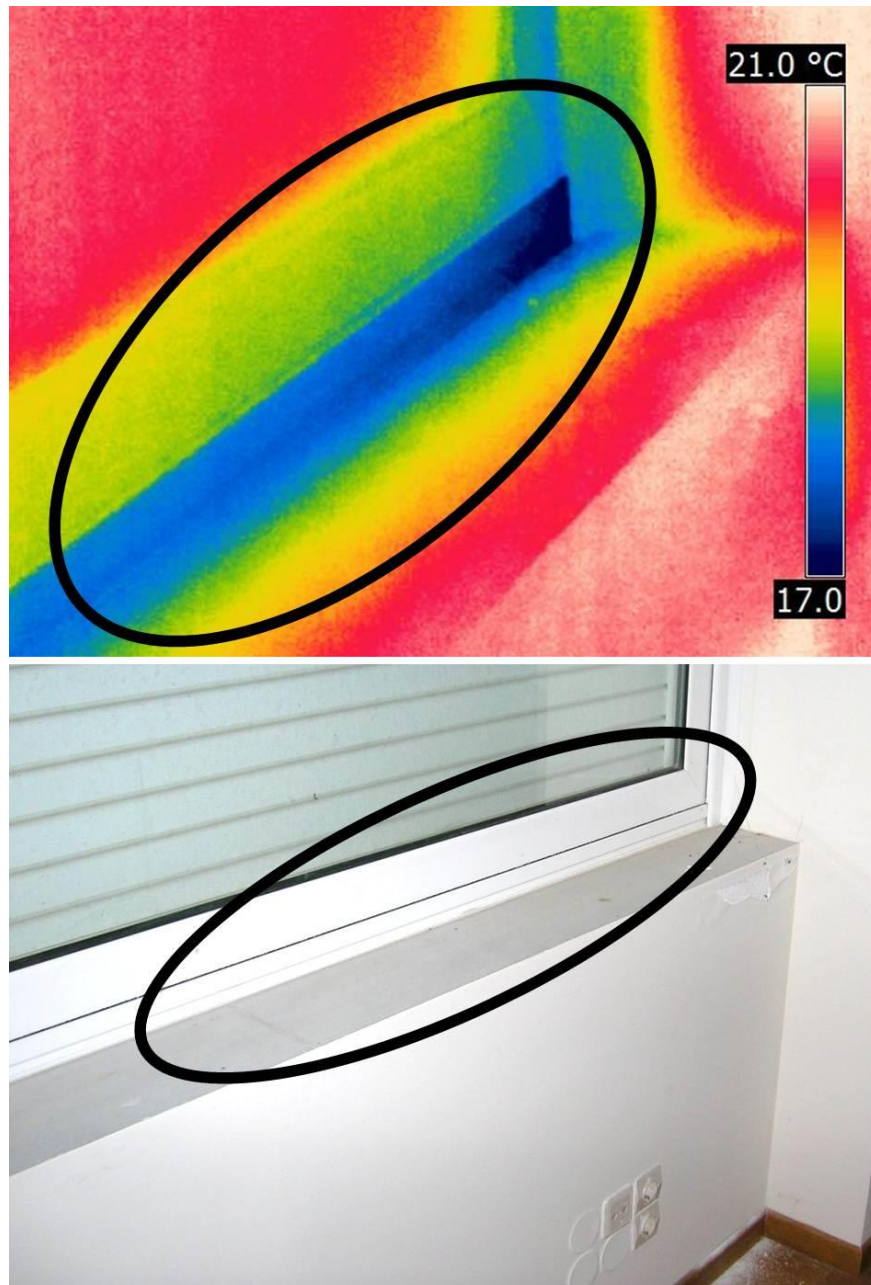
Ένα ακόμη σημαντικό πρόβλημα που μπορεί να εντοπιστεί στις συμβατικές κατοικίες είναι η εμφάνιση ανερχόμενης υγρασίας όπως φαίνεται στο θερμογράφημα της Εικόνας 39. Πιθανότατα λόγω κακής εξωτερικής μόνωσης η εξωτερική υγρασία εισέρχεται στο εσωτερικό δημιουργώντας μεγάλες διαφορές θερμοκρασίας στην επιφάνεια της τοιχοποιίας και τελικά σε πολλές περιπτώσεις σε υγροποίηση και εμφάνιση μούχλας.



Εικόνα 40. Έλεγχος τοιχοποιίας Γ

Η υπέρυθη θερμογραφία μπορεί να εφαρμοστεί και για την ανίχνευση ελλειπών ή ελαττωματικής θερμομόνωσης. Όπως απεικονίζεται στο θερμογράφημα της Εικόνας 40

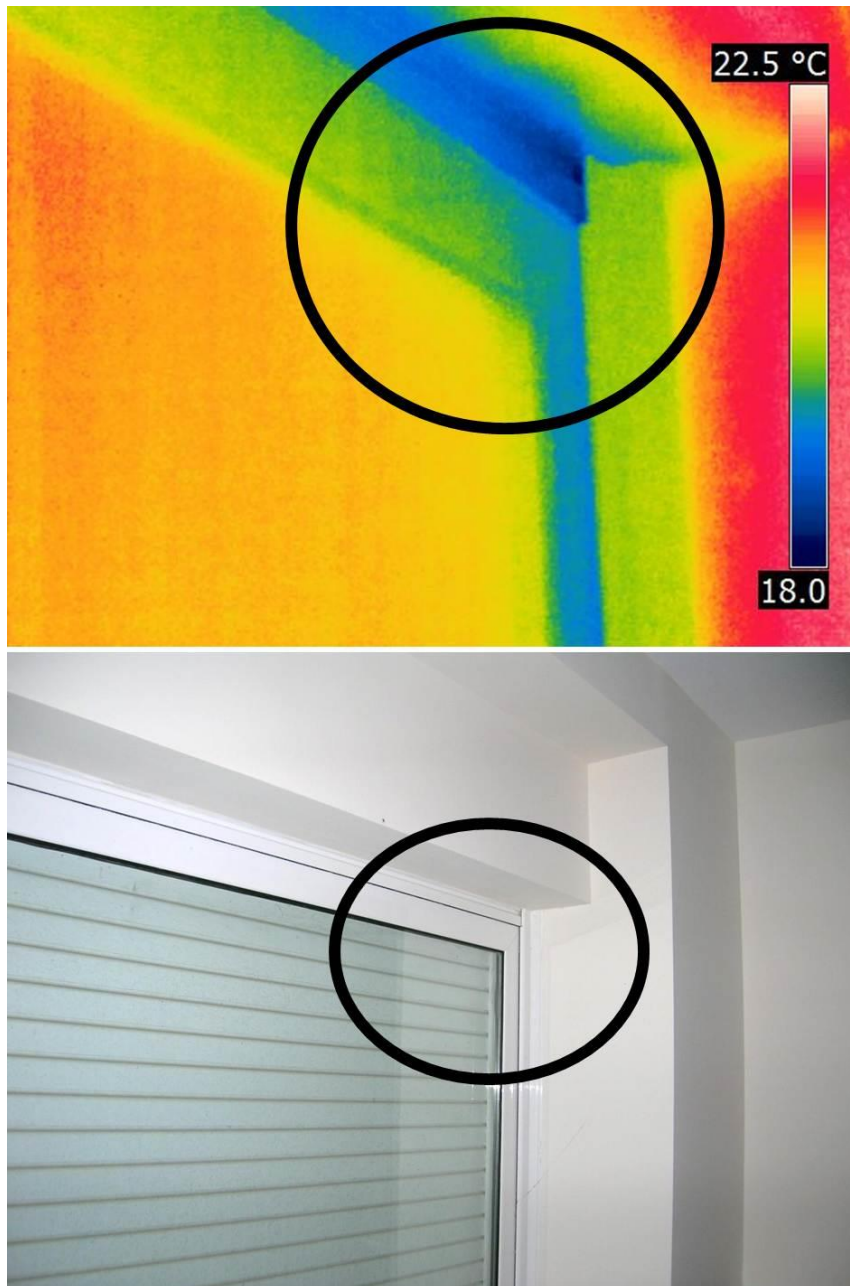
εμφανίζονται τοπικές διαφορές θερμοκρασίας στην συγκεκριμένη τοιχοποιία. Αρχικά εμφανίζεται ένα θερμό τμήμα, μετά ένα ψυχρό τμήμα, στη συνέχεια ένα θερμό πάλι και τέλος ένα ψυχρό. Αυτή η ανομοιομορφία στην κατανομή της επιφανειακής θερμοκρασίας υποδεικνύει την έλλειψη ή την ελαττωματική θερμομόνωση της τοιχοποιίας.



Εικόνα 41. Έλεγχος κουφωμάτων Α

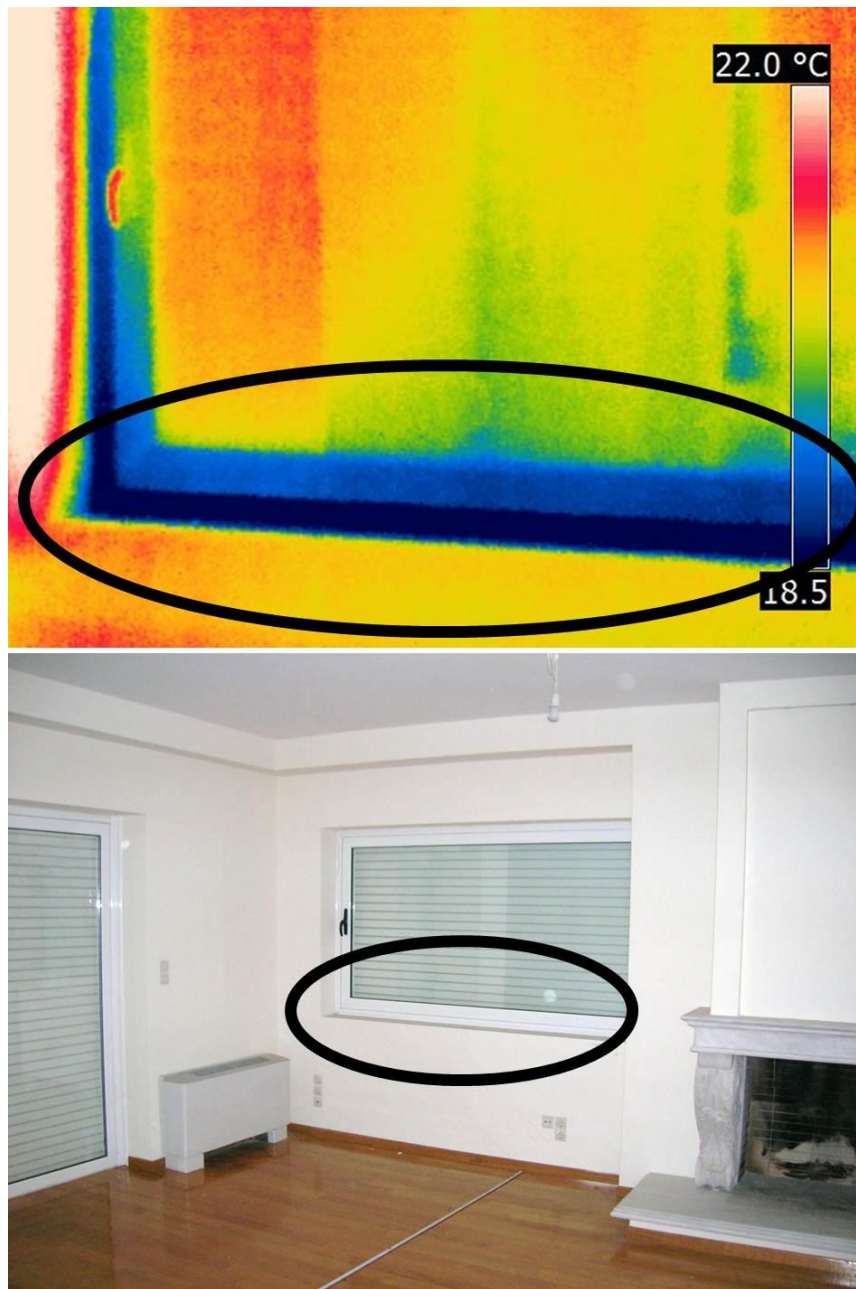
Με τη μέθοδο της θερμογραφίας εξετάστηκαν επίσης για την ενεργειακή τους αποτελεσματικότητα και τα κουφώματα της κατοικίας. Στην Εικόνα 41 απεικονίζεται με

μπλε χρώμα (ψυχρότερη περιοχή) η διείσδυση ψυχρού αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον λόγω της κακής εφαρμογής του κουφώματος στην κάτω του πλευρά. Επιπλέον, στην Εικόνα 42 για το ίδιο κούφωμα παρατηρείται πάλι ψυχρή περιοχή και στην πάνω πλευρά εφαρμογής του, με αποτέλεσμα η διείσδυση του ψυχρού αέρα να επηρεάζει τη θερμοκρασία της κατοικίας.

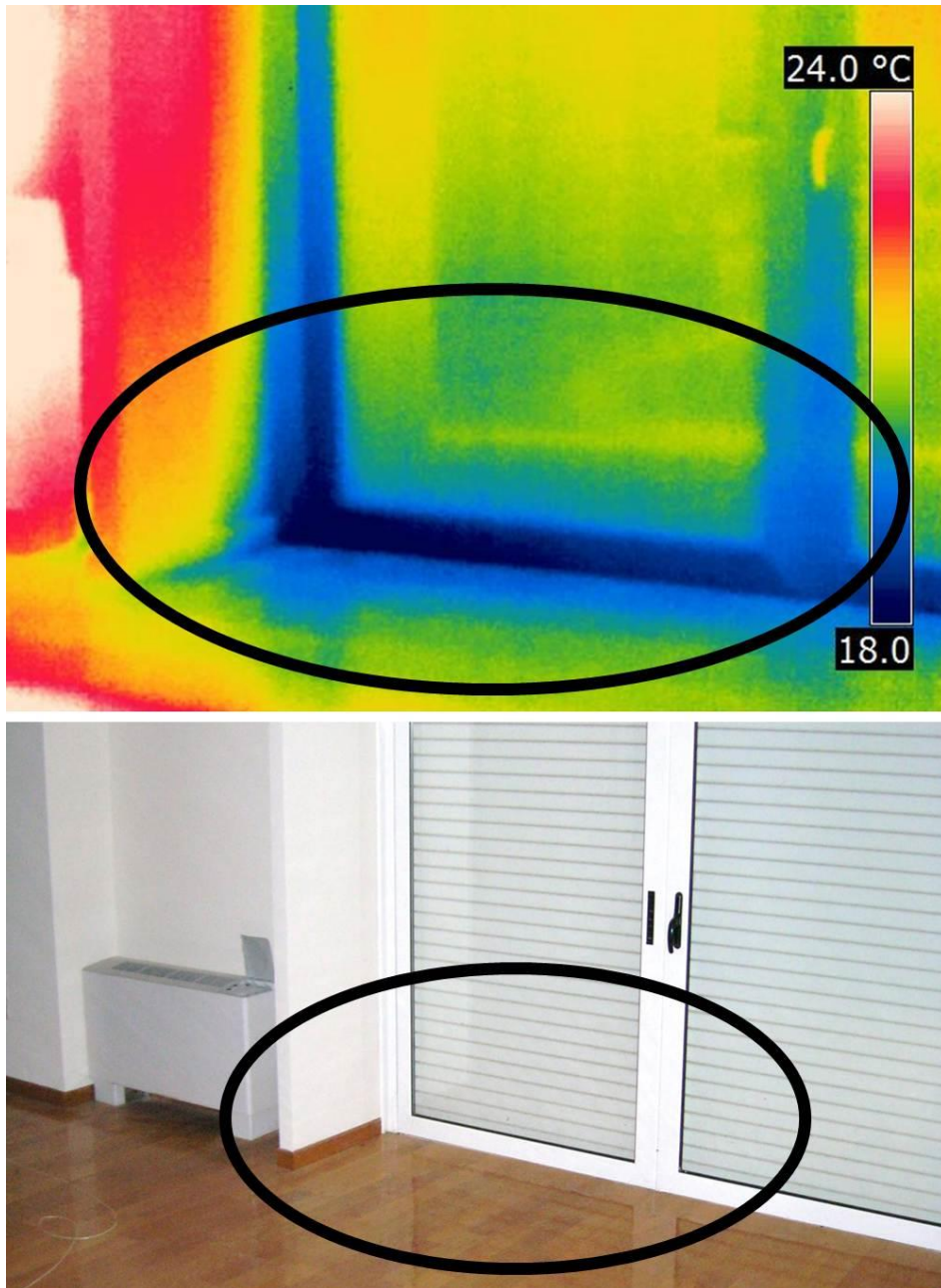


Εικόνα 42. Έλεγχος κουφωμάτων Β

Στην συνέχεια, κατά τον έλεγχο των κουφωμάτων (Εικόνα 43) παρατηρήθηκε ότι στα σημεία εκείνα όπου ασφαλίζουν τα παράθυρα εμφανίζονται και τα μεγαλύτερα προβλήματα αεροστεγανότητας.



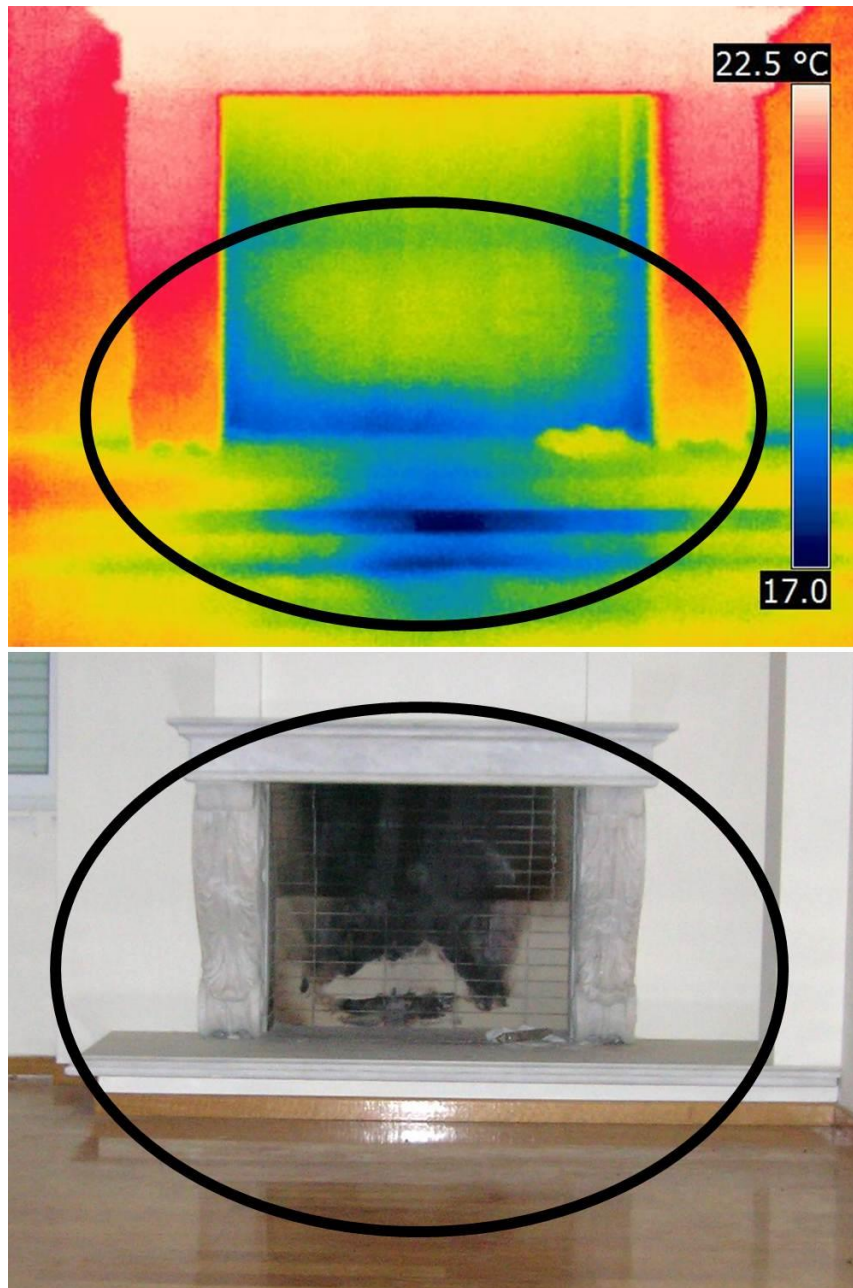
Εικόνα 43. Έλεγχος κουφωμάτων Γ



Εικόνα 44. Έλεγχος κουφωμάτων Δ

Στην Εικόνα 44 έγινε θερμογραφικός έλεγχος και σε μπαλκονόπορτες. Από τον έλεγχο αυτό προέκυψε πως μία σημαντική πηγή απώλειας θερμότητας, είναι και οι ατέλειες, κυρίως κατασκευαστικές, που μπορεί να υπάρχουν στα κατωκάσια των κουφωμάτων. Στο θερμογράφημα της παραπάνω εικόνας φαίνεται καθαρά πως ψυχρός αέρας διεισδύει στην κατασκευή προκαλώντας μεγάλα ενεργειακά προβλήματα. Η

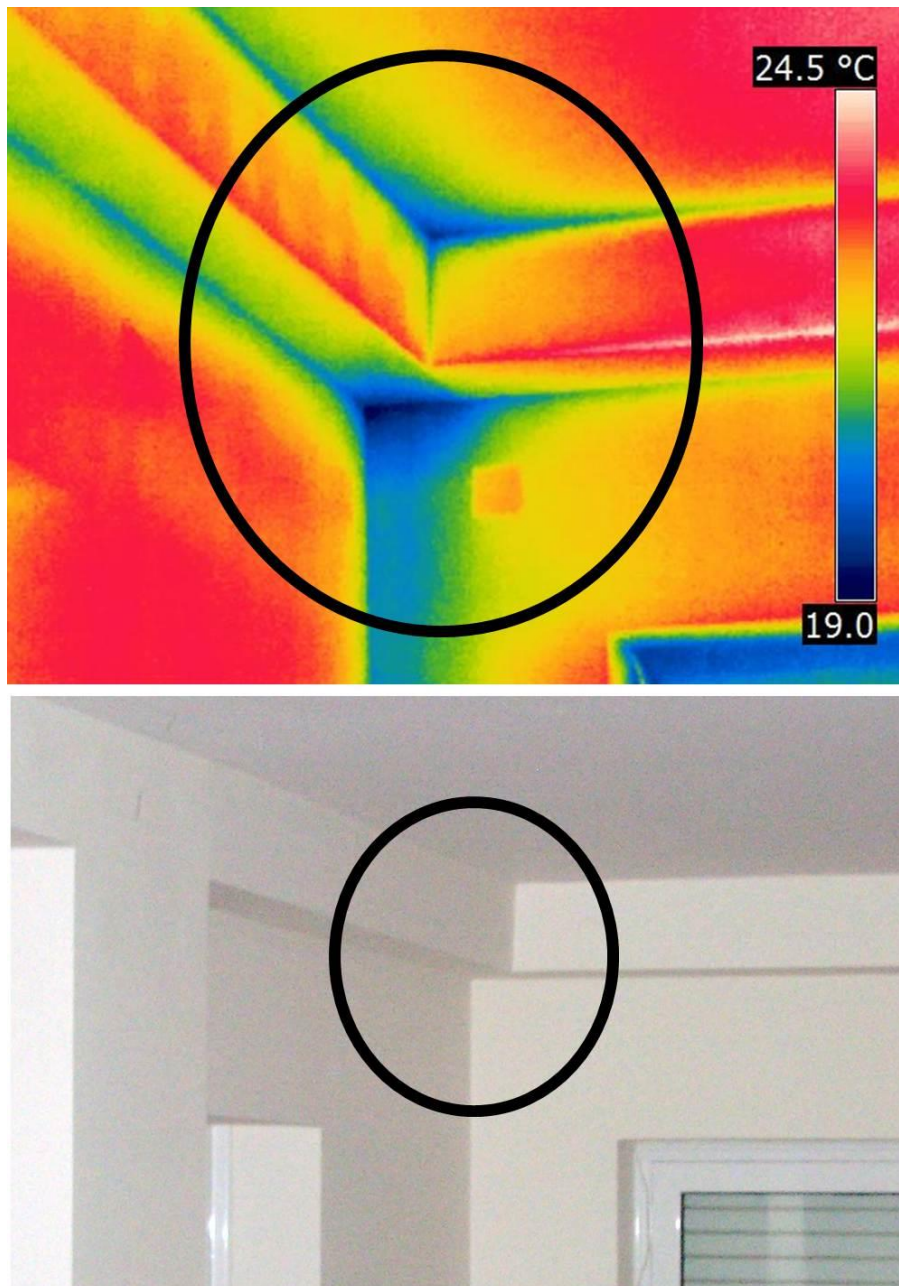
διείσδυση αυτή του αέρα διαπιστώνεται από την εκτεταμένη ψυχρή περιοχή που εμφανίζεται με μπλε χρώμα μπροστά από την μπαλκονόπορτα.



Εικόνα 45. Έλεγχος παραδοσιακού τζακιού

Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει ο έλεγχος που πραγματοποιήθηκε στην εστία του παραδοσιακού τζακιού της κατοικίας. Από το θερμογράφημα (Εικόνα 45) φαίνεται

ξεκάθαρα η διείσδυση κυμάτων αέρα έως και 5 °C ψυχρότερα από την εσωτερική θερμοκρασία της οικίας. Η τεράστια αυτή διαφορά επηρεάζει αναμφισβήτητα την ενεργειακή ισορροπία ενός κτιρίου.



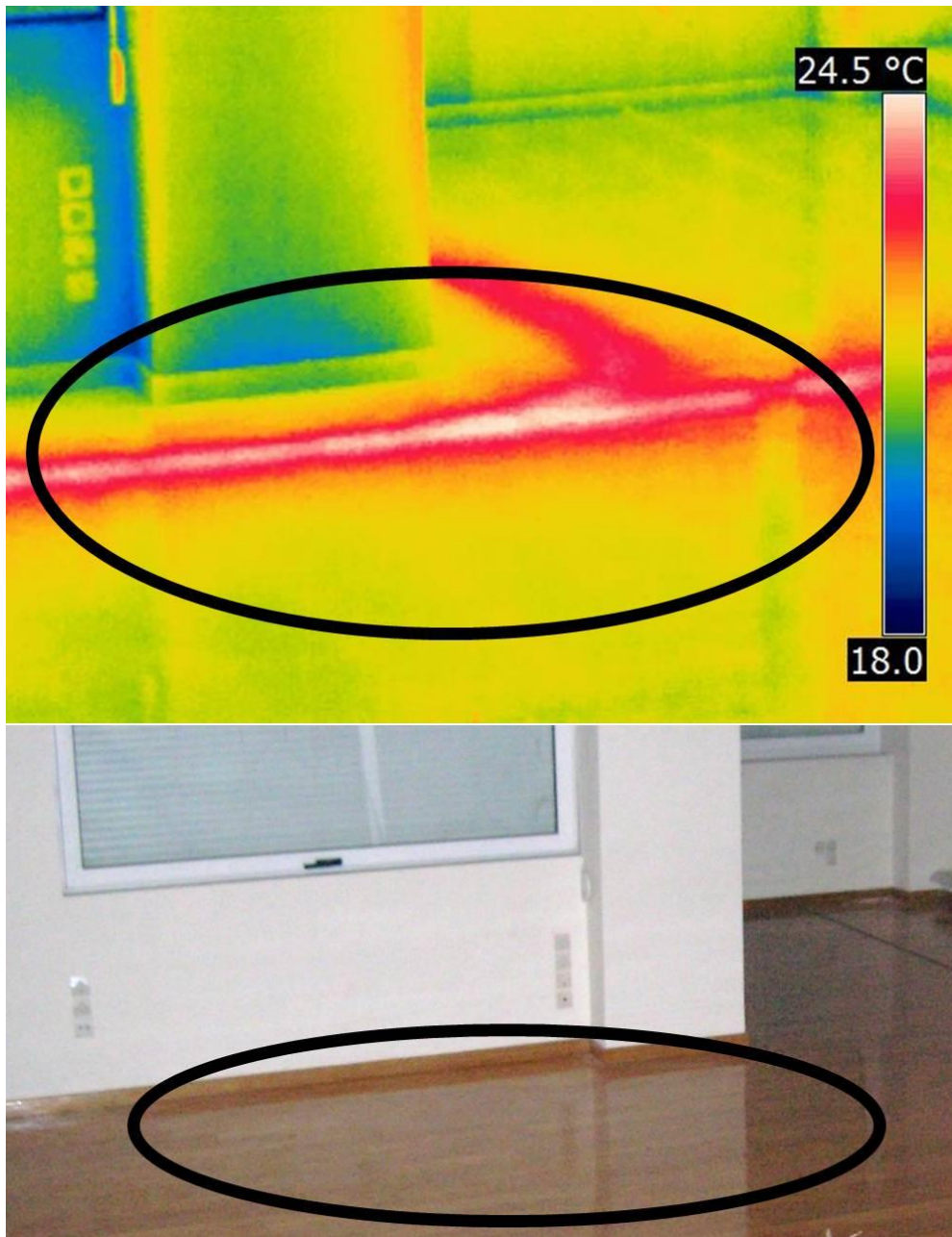
Εικόνα 46. Έλεγχος γυφoσανίδας

Αξίζει επίσης να παρουσιαστούν προβλήματα υγρασίας που μπορούν να προκύψουν λόγω χρήσης γυψοσανίδας για διακοσμητικούς σκοπούς. Στο παραπάνω θερμογράφημα (Εικόνα 46) φαίνονται με μπλε χρώμα τα σημεία εκείνα όπου υπάρχει υγρασία. Η τεχνητή δοκός κατασκευασμένη με γυψοσανίδα πιθανότατα λόγω μη σωστού εξαερισμού εγκλωβίζει την υγρασία και τη μεταφέρει στην τοιχοποιία της κατασκευής.



Εικόνα 47. Έλεγχος κλιμακοστάσιου

Επιπρόσθετα, σε κατοικίες με εσωτερικό κλιμακοστάσιο εμφανίζονται μεγάλα προβλήματα σχετικά με την απώλεια ενέργειας. Λόγω της μεταφοράς θερμότητας, θερμά κύματα αέρα ανυψώνονται στους επάνω ορόφους με αποτέλεσμα να δημιουργείται διαφορά πίεσης και δημιουργία ψυχρών κυμάτων αέρα άλλοτε αισθητά στον χρήστη και άλλοτε όχι. Στην Εικόνα 47 παρουσιάζεται ακριβώς, η κίνηση ψυχρών ρευμάτων αέρα (μπλε χρωματισμοί) από το μη θερμαινόμενο υπόγειο στην κυρίως οικία.



Εικόνα 48. Ανίχνευση σωληνώσεων

Τέλος, ένα ακόμη πλεονέκτημα του θερμογραφικού ελέγχου είναι ανίχνευση σωληνώσεων θέρμανσης (Εικόνα 48). Η σημαντικότητα του ελέγχου αυτού, έγκειται στην άμεση ανίχνευση και χωρίς καμία καταστροφική επέμβαση στον ιστό, προβλημάτων και δυσλειτουργιών των σωληνώσεων θέρμανσης. Καμία άλλη μέθοδος δεν θα μπορούσε να ανιχνεύσει τέτοιου είδους προβλήματα χωρίς να παρέμβει καταστροφικά στη δομή της κατοικίας.

6.3.3.2. Αποτελέσματα θερμογραφικού ελέγχου σε μη συμβατική κατασκευή

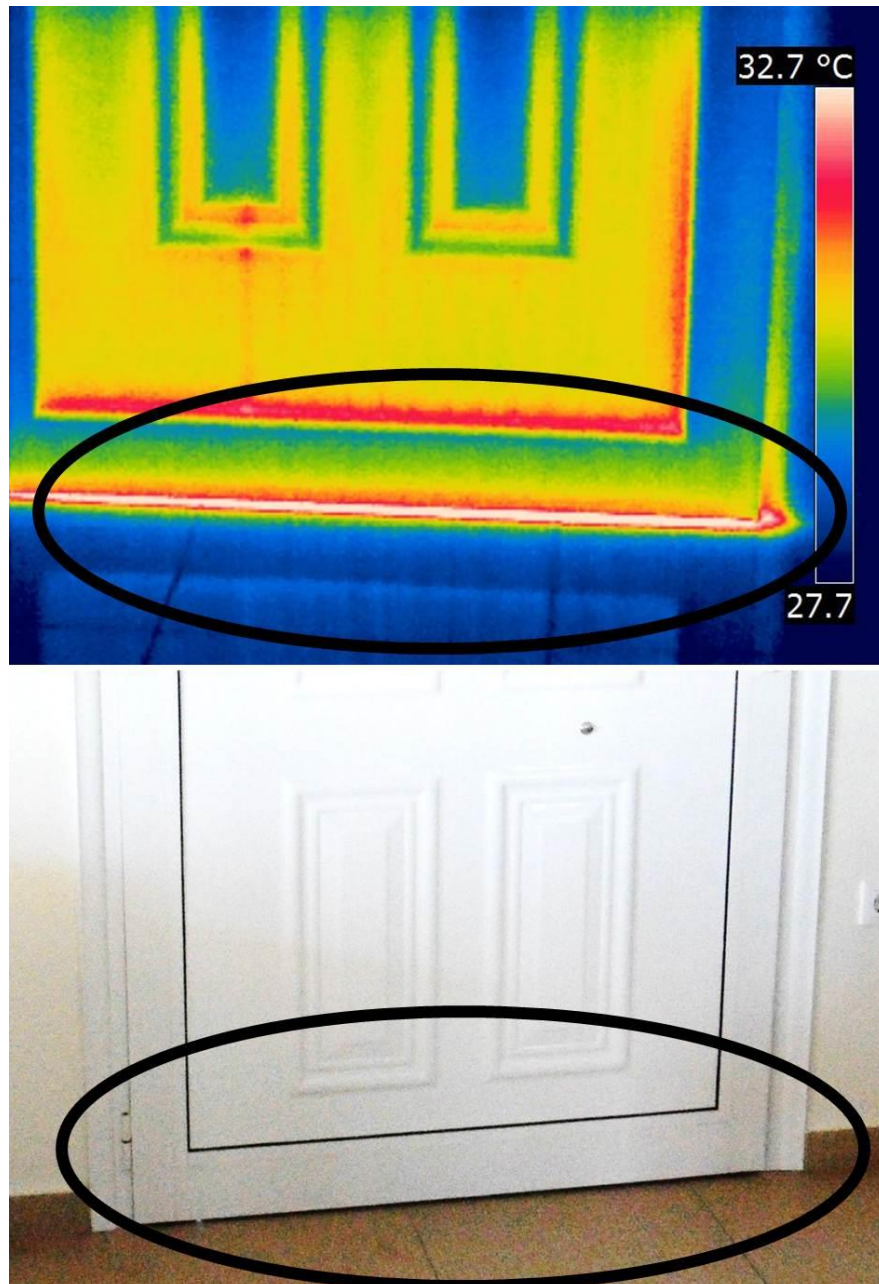
Στις Εικόνες 49 – 58 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του θερμογραφικού ελέγχου στη μη συμβατική κατοικία με δομικό στοιχείο τύπου «σάντουιτς». Εξετάστηκαν τα κουφώματα, η στέγη καθώς και η οροφή και παρακάτω παραθέτονται τα σημεία εκείνα με προβλήματα σχετικά με την ενεργειακή κατάσταση της οικίας.



Εικόνα 49. Έλεγχος κουφωμάτων Α

Αρχικά, μελετήθηκαν τα κουφώματα της οικίας με σκοπό να βρεθούν ατέλειες που επηρεάζουν την εσωτερική της θερμοκρασία. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 49 η δεξιά

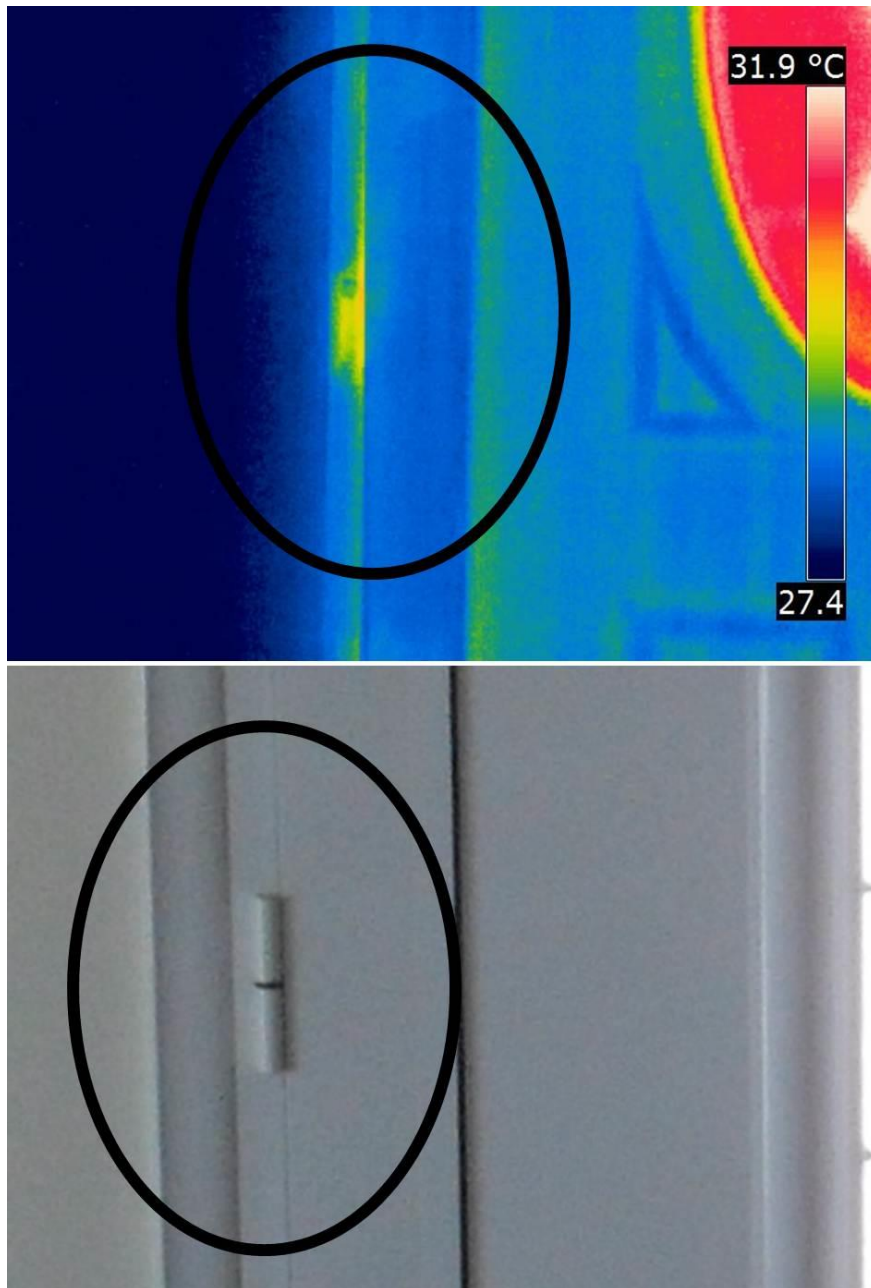
πλευρά του παραθύρου εμφανίζει υψηλή θερμοκρασία σε σχέση με το υπόλοιπο παράθυρο. Σε αντίθεση με το θερμογραφικό έλεγχο της συμβατικής κατοικίας ο έλεγχος αυτός πραγματοποιήθηκε σε θερινή περίοδο με αποτέλεσμα η εξωτερική θερμοκρασία περιβάλλοντος να είναι υψηλότερη της εσωτερικής.



Εικόνα 50. Έλεγχος κουφωμάτων Β

Μία ακόμη πηγή απώλειας ενέργειας είναι η εξωτερική πόρτα μίας κατοικίας και κυρίως στην περίπτωση μονοκατοικίας. Στην Εικόνα 50 παρουσιάζεται με κόκκινο χρώμα ο θερμός αέρας που εισέρχεται λόγω της κακής κατασκευής στο κατωκάσι του

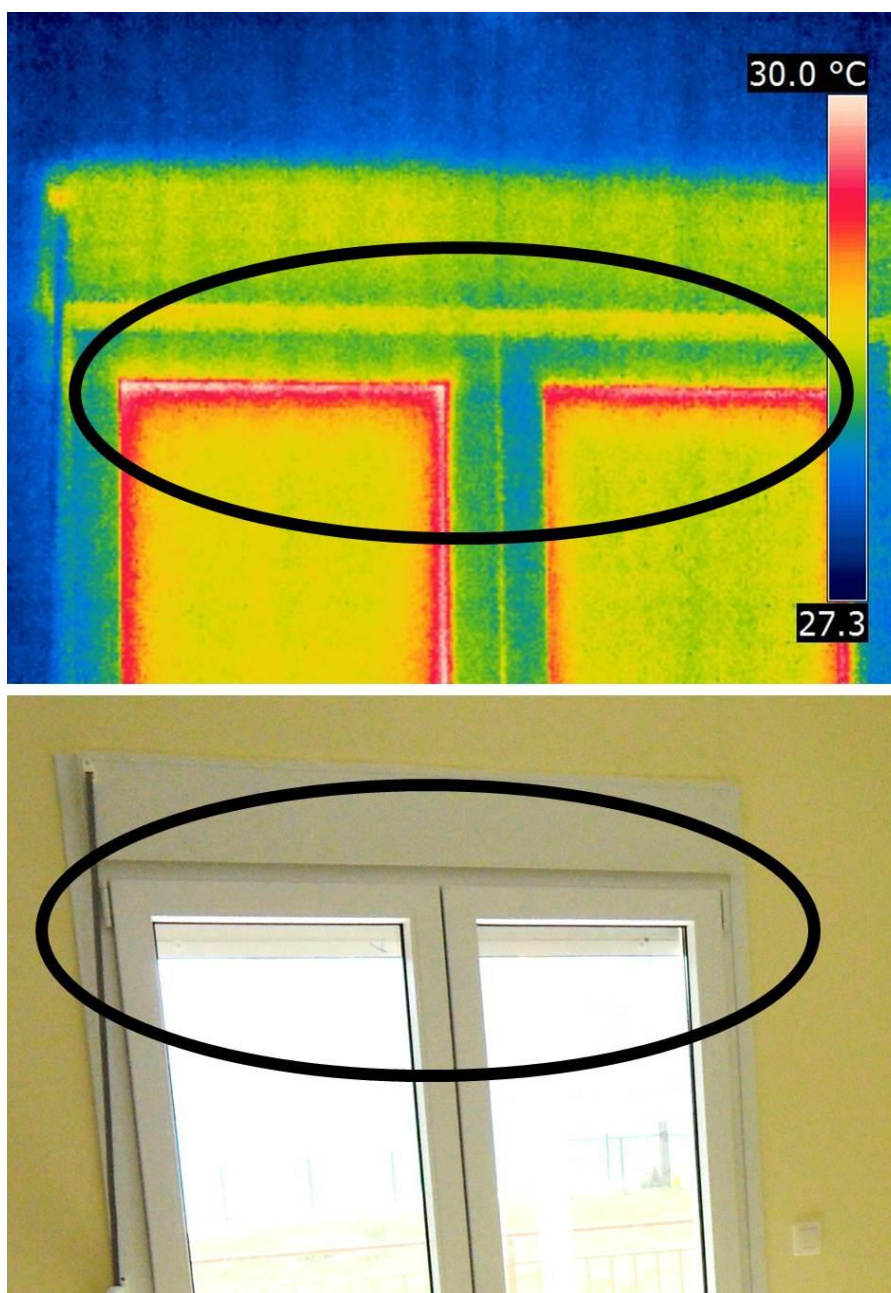
κουφώματος. Στην επόμενη εικόνα, που ο έλεγχος αφορά πάλι εξωτερικά κουφώματα, μπορεί κανείς να παρατηρήσει την κατασκευαστική ατέλεια του μεντεσέ της πόρτας καθώς παρουσιάζεται πιο θερμός σε σχέση με την υπόλοιπη πόρτα.



Εικόνα 51. Έλεγχος κουφωμάτων Γ

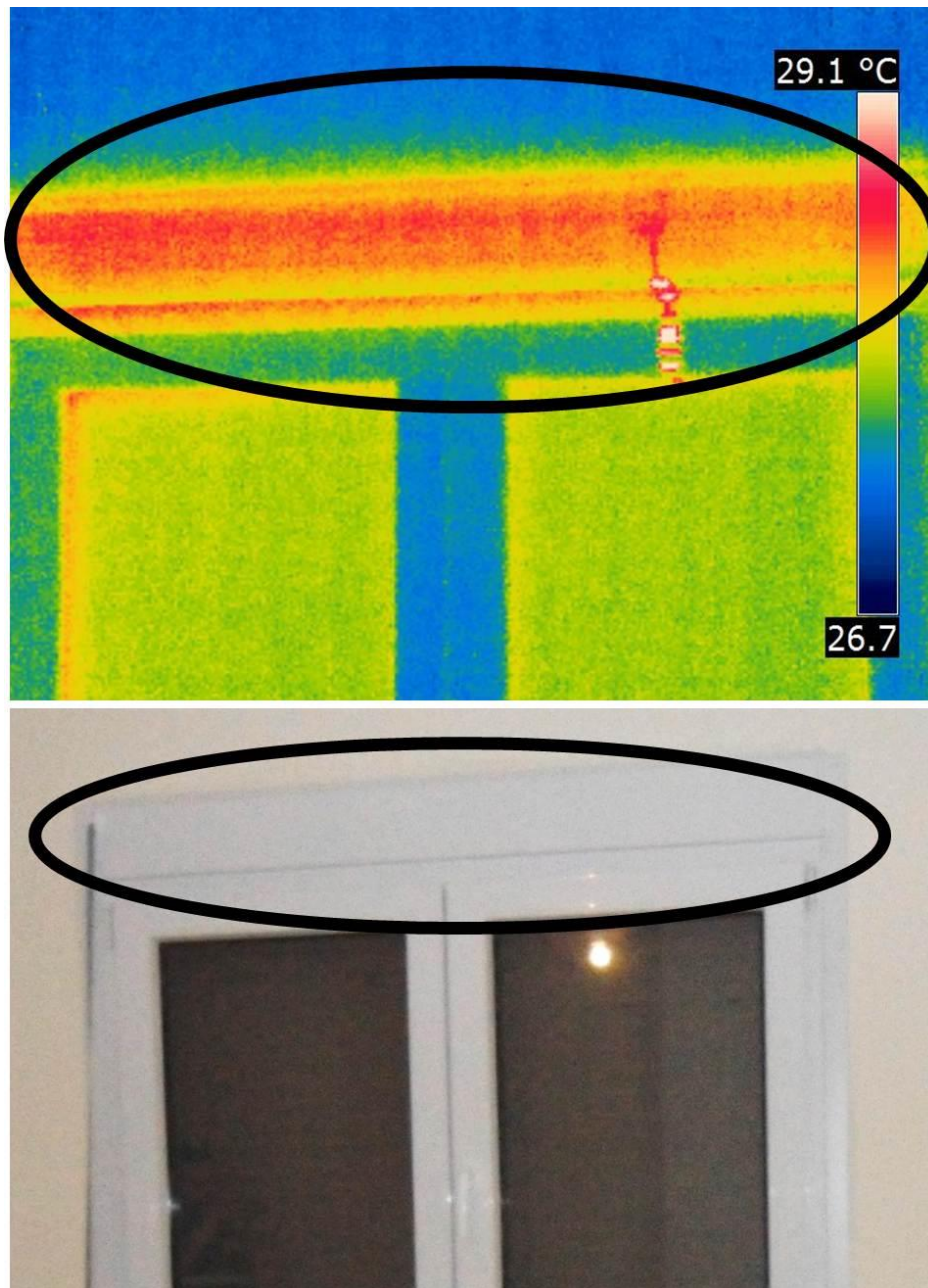
Στη συνέχεια, στην Εικόνα 52 απεικονίζονται οι ατέλειες στα «λάστιχα» των διπλών υαλοπινάκων που έχουν τα κουφώματα. Η κακή συναρμογή των ελαστικών που

χρησιμοποιούνται για την στερεοποίηση και στεγανοποίηση των υαλοπινάκων εμφανίζεται στο θερμογράφημα πιο θερμή κατά 3 °C.



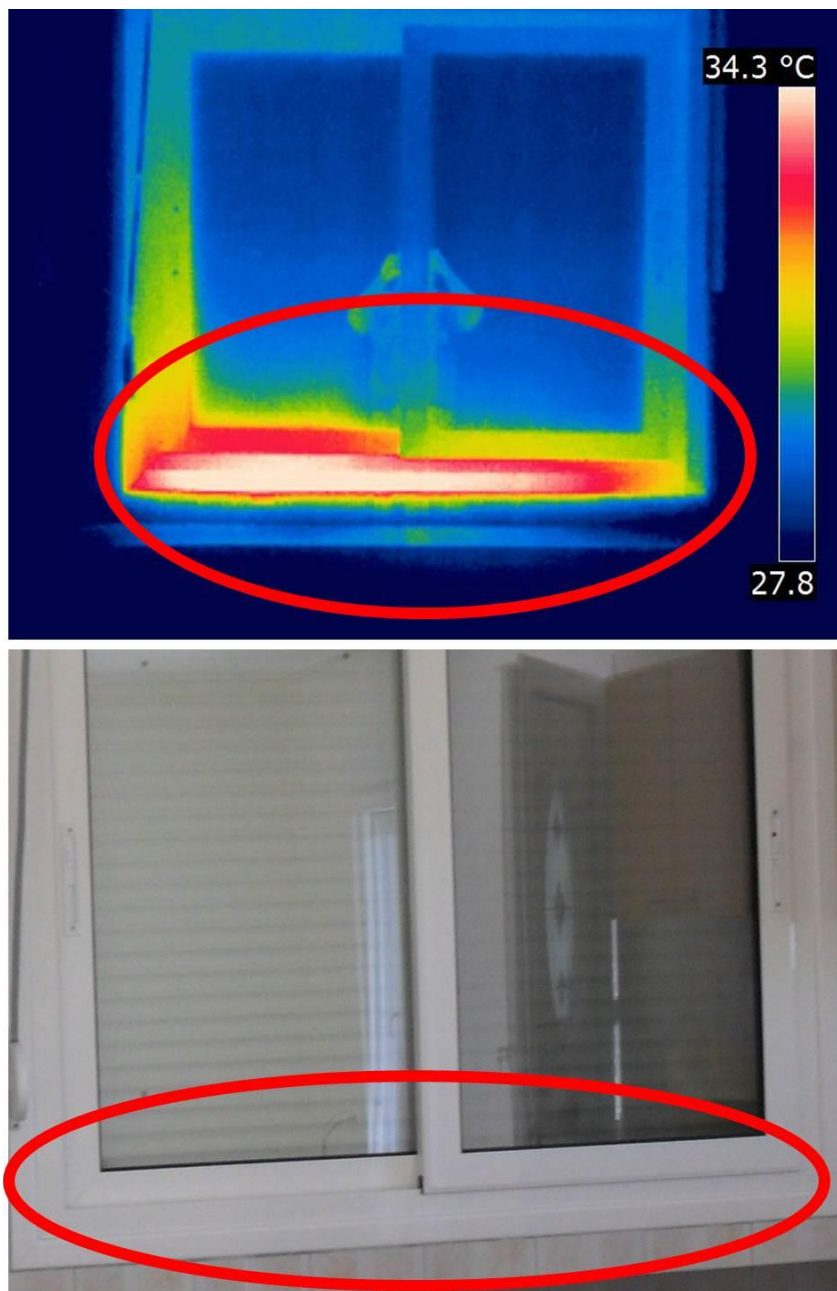
Εικόνα 52. Έλεγχος κουφωμάτων Δ

Επίσης, μία ακόμη σημαντική πηγή απώλειας θερμότητας αποτελούν τα κασώματα που εμπεριέχουν τα παντζούρια και βρίσκονται στο άνω μέρος του κουφώματος. Συγκεκριμένα, λόγω των κενών που αφήνει εξωτερικά ο μηχανισμός ανύψωσης των παντζουριών, θερμός αέρας εισέρχεται στο εσωτερικό της οικίας και για αυτό εμφανίζεται αυτή η περιοχή πιο θερμή στο θερμογράφημα της Εικόνας 53.

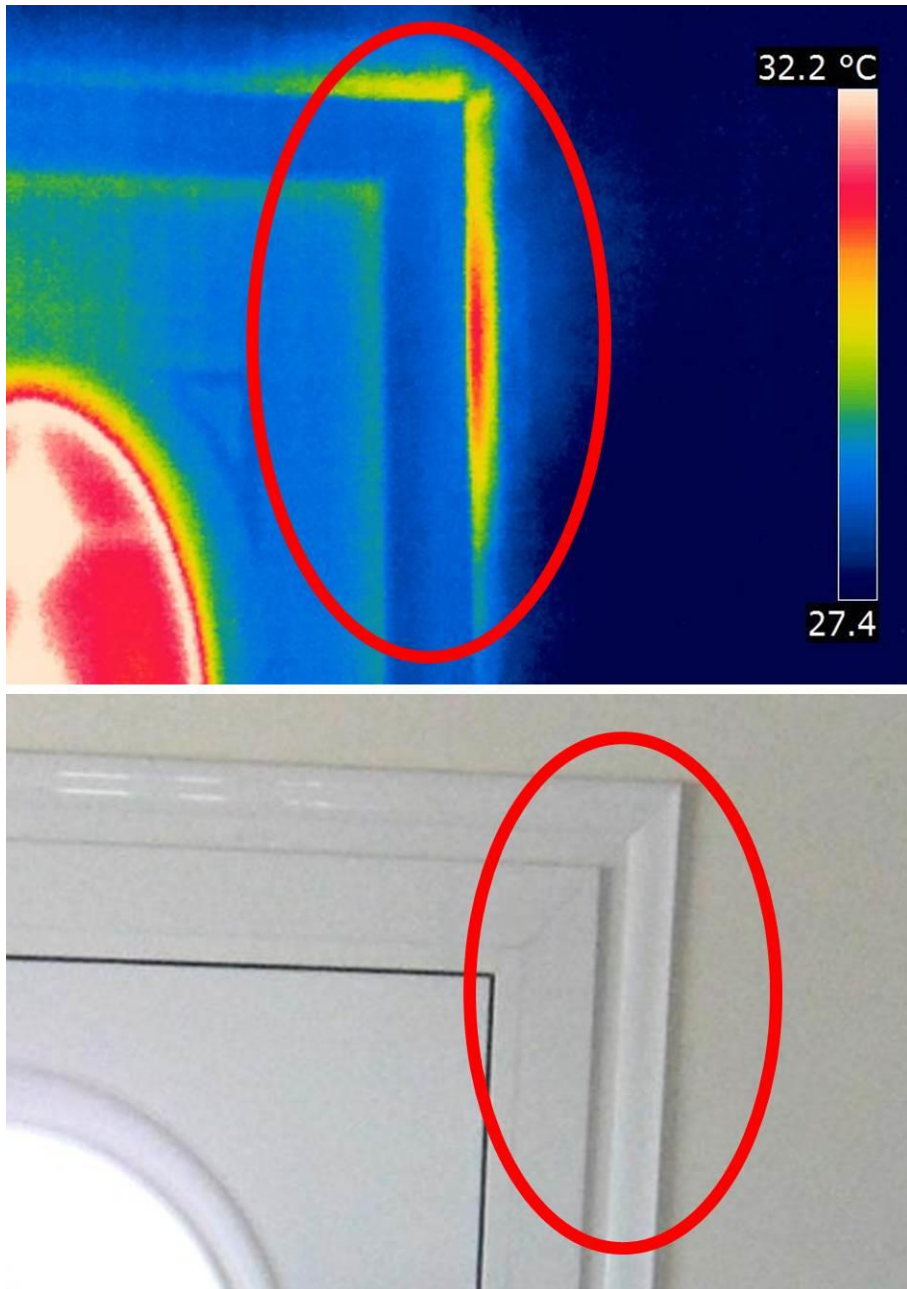


Εικόνα 53. Έλεγχος κουφωμάτων Ε

Στη συγκεκριμένη κατοικία ήταν τοποθετημένα δύο είδη παραθύρων. Το πρώτο είναι αυτό που απεικονίζουν οι παραπάνω εικόνες και το δεύτερο είναι τύπου «συρταρωτό» (βλέπε Εικόνα 54). Ο έλεγχος λοιπόν, αυτού του είδους αποκάλυψε πολύ σημαντικά προβλήματα καθώς το σημείο εκείνο που εφαρμόζουν τα δύο παραθυρόφυλλα απεικονίζεται στο θερμογράφημα ως μια κόκκινη περιοχή περίπου 6 °C θερμότερη από το υπόλοιπο κούφωμα. Η εισροή τέτοιας ποσότητας θερμού αέρα αδιαμφισβήτητα επηρεάζει την εσωτερική θερμοκρασία της κατασκευής.



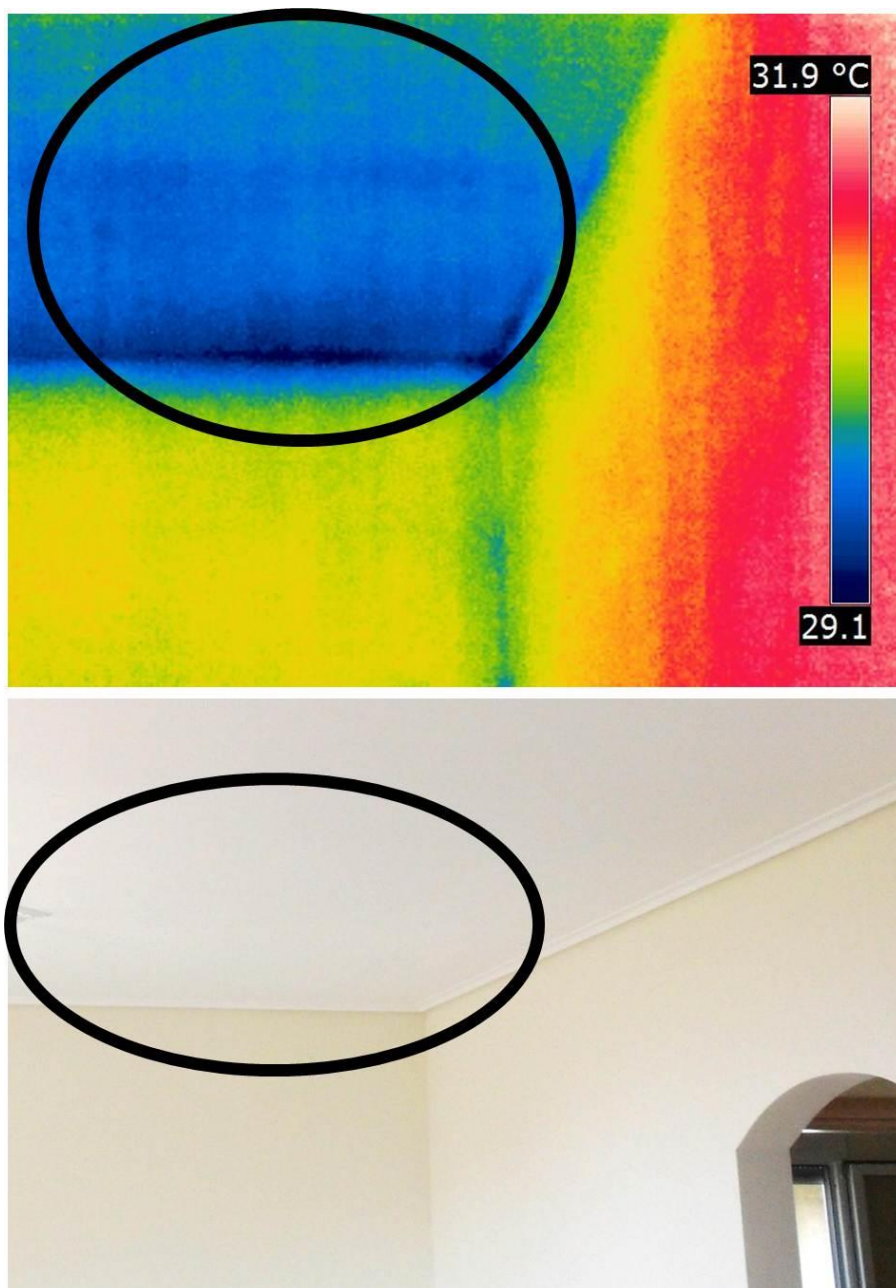
Εικόνα 54. Έλεγχος κουφομάτων ΣΤ



Εικόνα 55. Έλεγχος κουφωμάτων Z

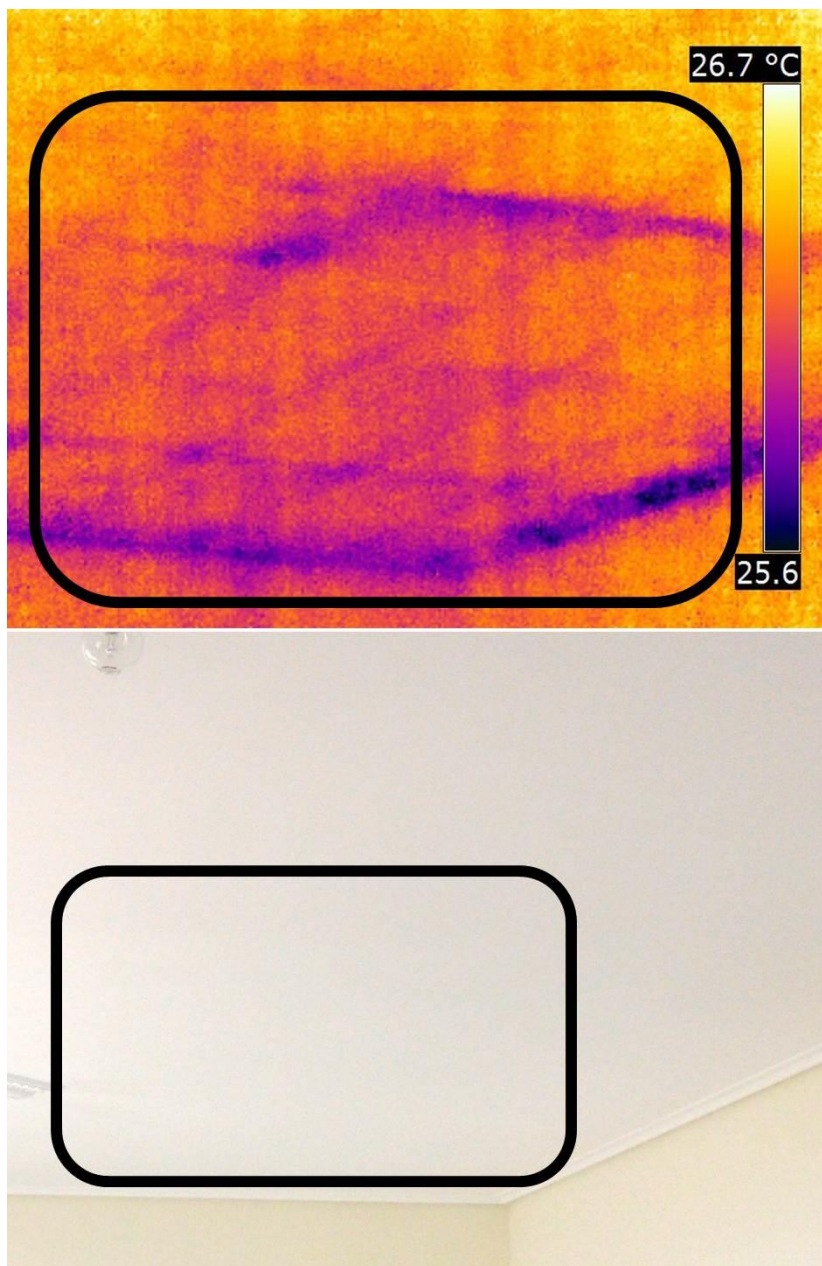
Στην Εικόνα 55 επισημαίνεται ένα ακόμη πρόβλημα κακής συναρμογής κουφωμάτων που χρήζει άμεση επιδιόρθωση. Η κακή συναρμογή εμφανίζεται στο θερμογράφημα με αύξηση 5 °C σε σχέση με τη θερμοκρασία της εξώπορτας.

Για την ενεργειακή αποτίμηση της κατασκευής αυτής μελετήθηκε επίσης και η οροφή του κτιρίου η οποία είναι κατασκευασμένη από γυψοσανίδα. Η μελέτη αυτή έδειξε σημεία εκτεταμένης υγρασίας τα οποία στο θερμογράφημα εμφανίζονται ως ψυχρές περιοχές (Εικόνα 56).



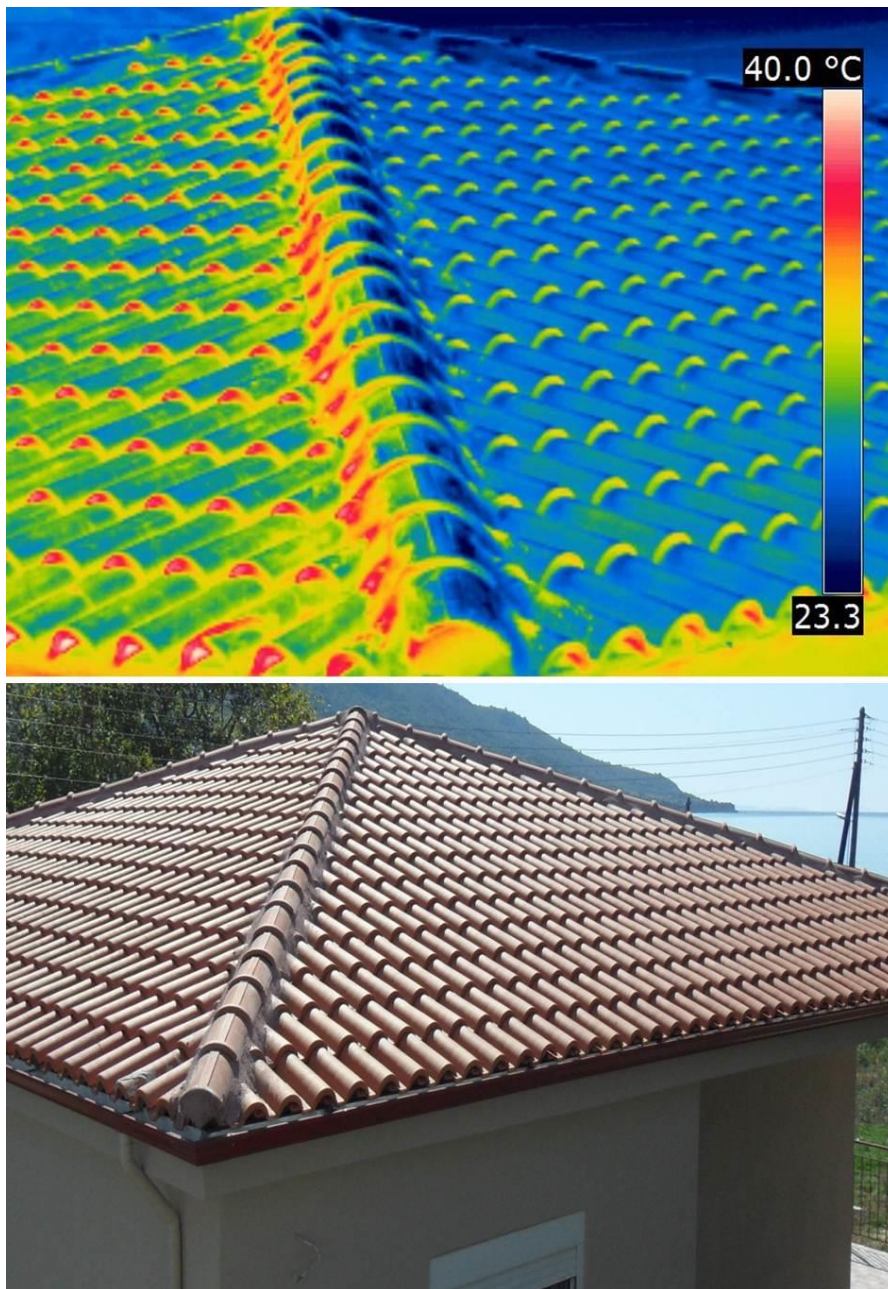
Εικόνα 56. Έλεγχος οροφής Α

Επίσης ένα ακόμη σημαντικό εύρημα της μελέτης της οροφής είναι η εσφαλμένη θερμομόνωση της γυψοσανίδας με το πλαίσιο στήριξης της. Η θερμομόνωση μεταξύ γυψοσανίδας και πλαισίου στήριξης αποτελεί μια πρόκληση για τους κατασκευαστές καθώς τα σημεία αυτά είναι πολύ δύσκολο να μονωθούν αποτελεσματικά. Παρόλα αυτά είναι πολύ σημαντική για την ενεργειακή αποτελεσματικότητα των κτιρίων καθώς μπορεί να δημιουργήσουν θερμικές γέφυρες. Στο παρακάτω θερμογράφημα (Εικόνα 57) επισημαίνεται με μωβ, στο μαύρο τετράγωνο, το πλαίσιο στήριξης της γυψοσανίδας χωρίς μόνωση λόγω της διαφορετικής τους θερμοκρασίας.



Εικόνα 57. Έλεγχος οροφής Β

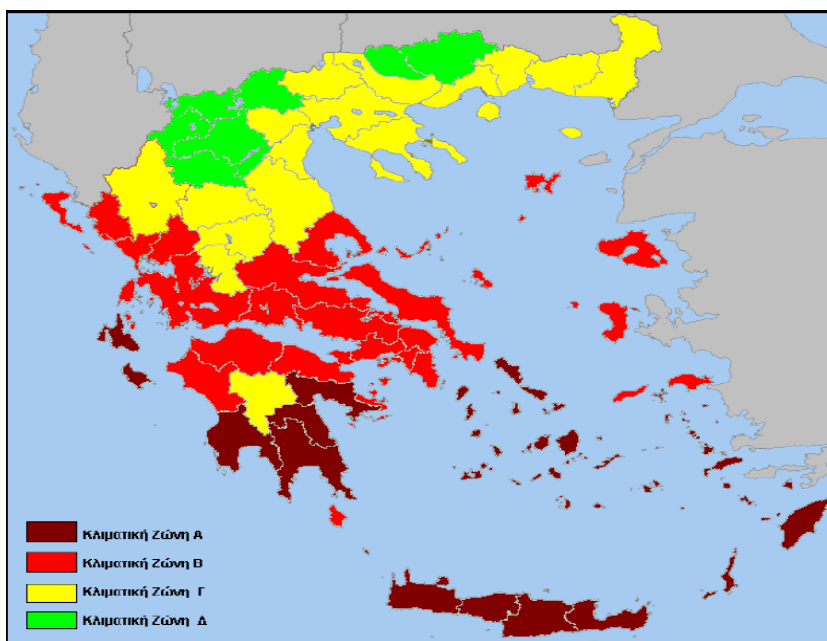
Τέλος, μία ακόμη εφαρμογή της υπέρυθρης θερμογραφίας είναι και έλεγχος της στέγης κτιρίων [47]. Με τον έλεγχο αυτό μπορεί να εντοπιστούν ατέλειες στη μόνωση, κατασκευαστικά ελαττώματα αλλά και προβλήματα που μπορεί να προκλήθηκαν λόγω περιβαλλοντικών συνθηκών (π.χ. φθορά από πάγο, χαλάζι, κ.ά.). Στην παρακάτω εικόνα όπως φαίνεται από το θερμογράφημα (Εικόνα 58) δεν προκύπτουν κάποια από τα παραπάνω προβλήματα αλλά η συγκεκριμένη εικόνα παρουσιάζεται για να δείξει την ευκολία και την ταχύτητα του ελέγχου αυτού.



Εικόνα 58. Έλεγχος στέγης

6.4. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΚΕΝΑΚ

Στην ενότητα 6.4 παρουσιάζονται συνοπτικά δύο μελέτες ενεργειακής απόδοσης κτιρίων σύμφωνα με τον ΚΕΝΑΚ. Η μελέτη θερμομονωτικής επάρκειας κτιριακού κελύφους πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό MonaΚΕΝΑΚ της RUNET software ΕΠΕ [46]. Οι κανονισμοί που βασίστηκε η μελέτη αυτή είναι α) Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (Κ.ΕΝ.Α.Κ.) ΦΕΚ. 407/09/04/2010 [48], β) ΤΟΤΕΕ 207011/2020 Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης [49], γ) ΤΟΤΕΕ 207012/ 2020 Θερμοφυσικές ιδιότητες υλικών και έλεγχος θερμομονωτικής επάρκειας κτιρίων [50], δ) ΤΟΤΕΕ 207013/ 2020 Κλιματικά Δεδομένα Ελληνικών Περιοχών [51], ε) ΤΟΤΕΕ 207014/2020 Οδηγίες και έντυπα ενεργειακών επιθεωρήσεων κτιρίων, λεβήτων και εγκαταστάσεων θέρμανσης και εγκαταστάσεων κλιματισμού [52] και στ) EN 12831/2004 «Heating systems in buildings. Method for calculating of the design heat load» [53].

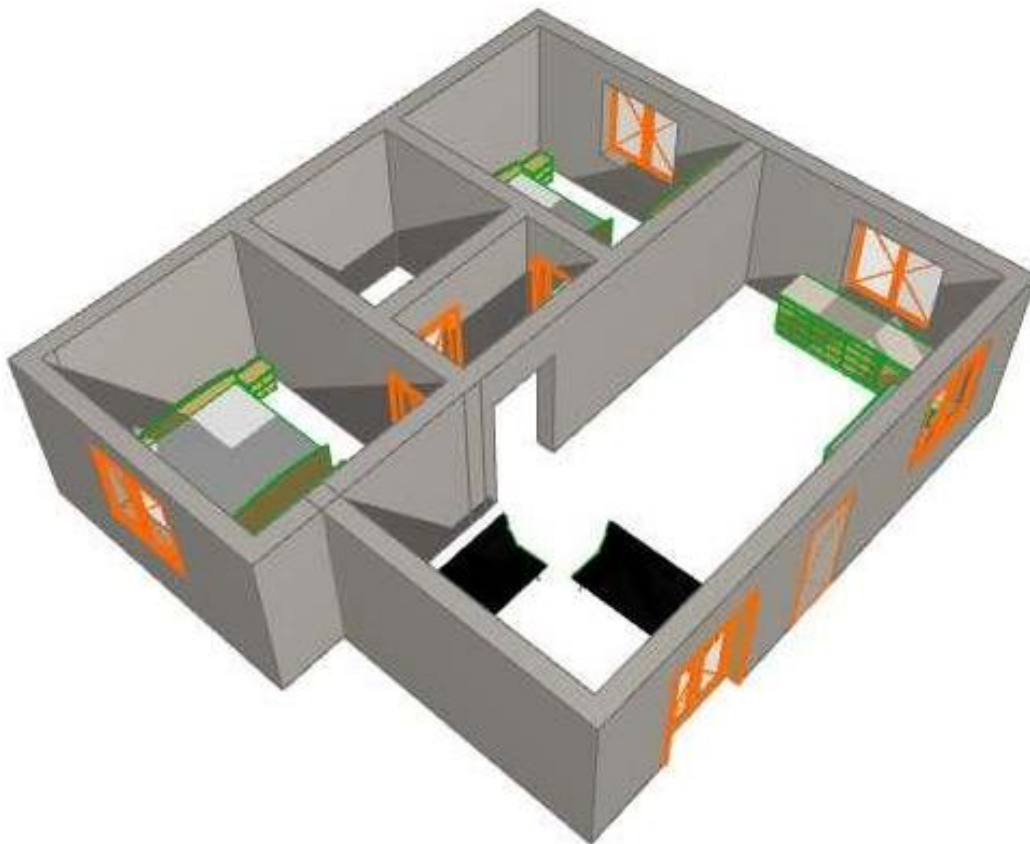


Εικόνα 59. Κλιματικές ζώνες

Το κτίριο με δομικό στοιχείο τύπου «σάντουιτς» που εξετάστηκε βρίσκεται στην κλιματική ζώνη Β (Εικόνα 59), και το αρχιτεκτονικό του σχέδιο φαίνεται στην Εικόνα 60.

Η δεύτερη μελέτη που αφορά το κτίριο με συμβατικό δομικό στοιχείο, για λόγους σύγκρισης των δύο τύπων τοιχοποιίας, επιλέχθηκε να πραγματοποιηθεί με τα ίδια χαρακτηριστικά του κτιρίου (γεωγραφικά, αρχιτεκτονικό σχέδιο, κουφώματα και περιβαλλοντικές συνθήκες) εκτός του δομικού στοιχείου. Η μελέτη των συντελεστών θερμοπερατότητας των δύο δομικών στοιχείων που παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 6.1 αποτέλεσε τον κορμό για αυτή τη μελέτη.

Ο σκοπός της μελέτης αυτής είναι ο υπολογισμός του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας όλου του κτιρίου και όχι μόνο του δομικού στοιχείου. Για τη συγκεκριμένη μελέτη υπολογίστηκαν και λήφθηκαν υπόψη τα εμβαδά και όγκοι των ορόφων, τα κτιριακά στοιχεία όψεων του κτιρίου, η χωροθέτηση του κτιρίου στο οικόπεδο, τα διαφανή δομικά στοιχεία, το ηλιακό κέρδος και οι συντελεστές σκίασης, οι θερμικές ζώνες κτιρίου, τα δομικά υλικά και οι συντελεστές θερμικής αγωγιμότητας, οι αντιστάσεις θερμικής μεταβίβασης επιφανειακού στρώματος αέρα, οι αντιστάσεις θερμικής μεταβίβασης δομικών στοιχείων και τα αδιαφανή δομικά στοιχεία και οι συντελεστές θερμοπερατότητας τους.



Εικόνα 60. Αρχιτεκτονικό σχέδιο

Στην Εικόνα 61 συνοψίζονται οι υπολογισμοί του λογισμικού ΜοναΚΕΝΑΚ για τον προσδιορισμό του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας όλου του συμβατικού κτιρίου.

Θερμαινόμενος όγκος κτιρίου					
	Όροφος	Εμβαδο m ²	Υψος m	Όγκος m ³	
1	Ισόγειο	72.00	3.00	216.00	
Συνολικός θερμαινόμενος όγκος κτιρίου [m ³]				216.00	
Θερμικές απώλειες εξωτερικών επιφανειών					
	Κτιριακή επιφάνεια	Σκ Ακ m ²	Σκ Ακ·Uκ·εκ W/K	Σκ Lκ·Ψκ·εκ W/K	Hτ,i W/K
1	Ισόγειο Όψεις	102.00	66.353	6.920	73.273
2	Ανω επιφάνεια (οροφές)	72.00	62.352	-10.200	52.152
3	Κάτω επιφάνεια (δάπεδα)	72.00	25.142	20.400	45.542
Συνολικές Θερμικές απώλειες		246.00	153.847	17.120	170.967
Μέγιστος επιτρεπόμενος μέσος Συντ. Θερμοπερατότητας (ΦΕΚ407 Πιν.Γ.2)					
Κλιματική ζώνη: ΖΩΝΗ Β					
ΣΑ/V [1/m]	Um [W/m ² ·K]				
<=0.20	1.14				
0.30	1.09				
0.40	1.03				
0.50	0.98				
0.60	0.93				
0.70	0.88				
0.80	0.83				
0.90	0.78				
>=1.00	0.73				
ΣΑ/V=246.00/216.00 = 1.14 επιτρεπτό Um,max= 0.730[W/m²·K]					
πραγματοποιούμενο Um=170.967/246.00= 0.695[W/m²·K] <= 0.730[W/m²·K]=Um,max					

Εικόνα 61. Υπολογισμός Um για συμβατικό κτίριο

Όπως φαίνεται από τους παραπάνω υπολογισμούς ο μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας κτιρίου με συμβατικό δομικό στοιχείο (Εικόνα 28) είναι **0,695 W/m²·K** με μέγιστο επιτρεπτό **0,730 W/m²·K** όπως ορίζεται από την ελληνική νομοθεσία.

Στην Εικόνα 62 συνοψίζονται οι υπολογισμοί του λογισμικού MonaKENAK για τον προσδιορισμό του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας όλου του μη συμβατικού κτιρίου.

Θερμαινόμενος όγκος κτιρίου					
	Όροφος	Εμβαδο m ²	Υψος m	Όγκος m ³	
1	Ισόγειο	72.00	3.00	216.00	
Συνολικός θερμαινόμενος όγκος κτιρίου [m ³]				216.00	
Θερμικές απώλειες εξωτερικών επιφανειών					
	Κτιριακή επιφάνεια	Σκ Ακ m ²	Σκ Ακ·Uκ·εκ W/K	Σκ Lκ·Ψκ·εκ W/K	Hτ,i W/K
1	Ισόγειο Όψεις	102.00	55.368	6.920	62.288
2	Ανω επιφάνεια (οροφές)	72.00	62.352	-10.200	52.152
3	Κάτω επιφάνεια (δάπεδα)	72.00	25.142	20.400	45.542
Συνολικές Θερμικές απώλειες		246.00	142.862	17.120	159.982
<u>Μέγιστος επιτρεπόμενος μέσος Συντ. Θερμοπερατότητας (ΦΕΚ407 Πιν.Γ.2)</u>					
<u>Κλιματική ζώνη: ΖΩΝΗ Β</u>					
ΣΑ/V [1/m]	Um [W/m ² ·K]				
<=0.20	1.14				
0.30	1.09				
0.40	1.03				
0.50	0.98				
0.60	0.93				
0.70	0.88				
0.80	0.83				
0.90	0.78				
>=1.00	0.73				
ΣΑ/V=246.00/216.00 = 1.14 επιτρεπτό Um,max= 0.730[W/m²·K]					
πραγματοποιούμενο Um=159.982/246.00= 0.650[W/m²·K] <= 0.730[W/m²·K]=Um,max					

Εικόνα 62. Υπολογισμός Um για μη συμβατικό κτίριο

Όπως φαίνεται από τους παραπάνω υπολογισμούς ο μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας κτιρίου με συμβατικό δομικό στοιχείο (Εικόνα 29) είναι **0,650 W/m²·K** με μέγιστο επιτρεπτό **0,730 W/m²·K** όπως ορίζεται από την ελληνική νομοθεσία. Συγκρίνοντας τους υπολογισμούς της ενεργειακής μελέτης των δύο κτιρίων, εξάγεται το συμπέρασμα πως το κτίριο με το μη συμβατικό δομικό στοιχείο έχει μικρότερη τιμή μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας και λιγότερες θερμικές απώλειες σε σχέση με το κτίριο του συμβατικού δομικού στοιχείου.

Κεφάλαιο 7

ΣΥΝΟΨΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

7. ΣΥΝΟΨΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα εργασία παρουσιάζει τα αποτελέσματα της έρευνας για τη μη καταστροφική αποτίμηση της ενεργειακής αποτελεσματικότητας κτιρίων, συμβατικών και μη, καθώς και τη μελέτη της μηχανικής συμπεριφοράς δομικών στοιχείων. Εφαρμόστηκαν, διαφορετικές μέθοδοι καταστροφικοί και μη για τους σκοπούς αυτής της μελέτης.

Σχετικά με τις μηχανικές ιδιότητες, η καμπτική και η θλιπτική αντοχή του δομικού στοιχείου τύπου «σάντουιτς» βρέθηκαν να είναι πολύ υψηλές συγκριτικά με αντίστοιχες άλλων δομικών υλικών της βιβλιογραφίας. Το γεγονός αυτό, καθιστά το συγκεκριμένο δομικό στοιχείο ικανό να χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή κτιρίων φέρουσας τοιχοποιίας.

Επιπλέον, το δομικό στοιχείο τύπου «σάντουιτς» παρουσίασε μεγαλύτερη ικανότητα θερμομόνωσης σε σχέση με το συμβατικό στοιχείο αφού η θερμική του αντίσταση στη ροή της θερμότητας είναι υψηλότερη. Για τον λόγο αυτό, αποτελεί καλύτερη επιλογή όσον αφορά στην ενεργειακή αποτελεσματικότητα ενός κτιρίου, δεδομένου ότι ο συντελεστής θερμοπερατότητας του είναι αρκετά μικρότερος από τον αντίστοιχο της συμβατικής οπτοπλινθοδομής.

Αντίστοιχο συμπέρασμα εξάγεται και από τον έλεγχο της μέσης τιμής του συντελεστή θερμοπερατότητας συμβατικού και μη συμβατικού κτιρίου, όπως προέκυψε από την ενεργειακή μελέτη κτιρίων σύμφωνα με τον ΚΕΝΑΚ. Το κτίριο με το μη συμβατικό δομικό στοιχείο έχει μικρότερη τιμή μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας και λιγότερες θερμικές απώλειες σε σχέση με το κτίριο του συμβατικού δομικού στοιχείου.

Από τις μετρήσεις θερμοκρασίας και υγρασίας σε υφιστάμενες κατασκευές είναι προφανές ότι η κατασκευή με δομικά στοιχεία τύπου «σάντουιτς» είναι σε πολύ ικανοποιητικό επίπεδο μονωμένη από τις εξωτερικές συνθήκες περιβάλλοντος.

Όπως προκύπτει από το μη καταστροφικό έλεγχο της ενεργειακής αποτελεσματικότητας των κτιρίων, η υπέρυθη θερμογραφία αποτελεί ένα πολύτιμο εργαλείο για την ενεργειακή επιθεώρηση κτιριακών κατασκευών. Έχει την ικανότητα να εντοπίσει και να υποδείξει πιθανά κατασκευαστικά προβλήματα που επηρεάζουν αρνητικά την ενεργειακή θωράκιση τους. Η υπέρυθη θερμογραφία είναι μία μη επεμβατική, ευρέως πεδίου και εύκολα εφαρμόσιμη στο πεδίο μέθοδος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί

για τον έλεγχο όλων των δομικών στοιχείων (διαφανών και μη διαφανών) μιας κατασκευής με εξαιρετικά αποτελέσματα για την ενεργειακή επιθεώρηση των κτιρίων.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. *Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the energy performance of buildings.* 2002.
2. The Department of the Environment, H.a.L.G., *Energy Efficiency in Traditional Buildings* 2010: Government of Ireland 2010.
3. Shen, X. and J. Xu, *Research on method of building energy conservation based on infrared imaging measurement*, 2012: Hohhot. p. 2899-2903.
4. Kauppinen, T., *The use of thermography in energy performance of buildings-directive (EPBD)-applications.* 2009: p. 729908-729908.
5. Ljunberg, S.-A., *Infrared Techniques in Buildings and Structures: Operation and Maintenance. Infrared Methodology and Technology, Non-destructive Testing Monographs and Tracts.* Vol. 7. 1994, New York: Gordon and Breach.
6. Καμπέλης, Ν., *Ανάπτυξη συστήματος υποστήριξης αποφάσεων για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων*, in *Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης* 2011, Πολυτεχνείο Κρήτης: Χανιά.
7. Υ.Π.Ε.Κ.Α., Υ.Π.Ε.Κ.Κ.Α., *ΤΕΧΝΙΚΗ ΟΔΗΓΙΑ ΤΕΧΝΙΚΟΥ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟΥ ΕΛΛΑΔΑΣ, Τ.Ο.ΤΕΕ 20702-5/2010, ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΤΗΡΙΩΝ.* 2010.
8. Λάζαρη, Ε.Α., *Βιοκλιματικός Σχεδιασμός στην Ελλάδα: Ενεργειακή απόδοση και κατευθύνσεις εφαρμογής* Σεπτέμβριος, 2002, ΚΑΠΕ, Πικέρμι: ΚΑΠΕ.
9. Υ.Π.Ε.Κ.Α., Υ.Π.Ε.Κ.Κ.Α., *ΤΕΧΝΙΚΗ ΟΔΗΓΙΑ ΤΕΧΝΙΚΟΥ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟΥ ΕΛΛΑΔΑΣ, Τ.Ο.ΤΕΕ 20701-5/2012, ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ, ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ & ΨΥΞΗΣ: ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ.* 2012.
10. Albatici, R. and A.M. Tonelli. *On site evaluation of U-value of opaque building elements: A new methodology.* 2008. Dublin.
11. FLIR Systems, I., *Manual of Flir T series.* 2008.
12. Maldague, X.P.V., *Introduction to NDT by active infrared thermography.* Materials Evaluation, 2002. **60**(9): p. 1060-1073.
13. Zweschper, T., et al., *Lockin thermography methods for the NDT of CFRP aircraft components.* 8th ECNDT, 2002.
14. *Nondestructive Evaluation and Quality Control.* 9th ed. Vol. 17. 1992: ASM International 1989.
15. ΔΕΡΜΙΤΖΑΚΗΣ, Ν.Δ., *ΥΠΕΡΥΘΡΗ ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΙΑ ΩΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟ ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΕ ΘΕΜΑΤΑ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ ΠΟΛΙΤΙΚΟΥ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ*, in *ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ* 2006, ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ: ΠΑΤΡΑ.
16. Maldague, X., *Theory and practice of infrared technology for nondestructive testing.* Wiley series in microwave and optical engineering 2001: Wiley.
17. Favro, L.D. and X. Han.
18. Busse, G., *Nondestructive evaluation of polymer materials.* NDT and E International, 1994. **27**(5): p. 253-262.
19. Del Grande, N.K., et al. *Buried object remote detection technology for law enforcement.* 1991. Orlando, FL, USA: Publ by Int Soc for Optical Engineering.
20. Brémond, P., *AltairLI User Manual.* CEDIP.
21. Kandemir-Yucel, A., A. Tavukcuoglu, and E.N. Caner-Saltik, *In situ assessment of structural timber elements of a historic building by infrared thermography and ultrasonic velocity.* Infrared Physics & Technology, 2007. **49**(3): p. 243-248.
22. Moropoulou, A., N.P. Avdelidis, and P. Theoulakis. *Outdoor thermographic survey of historic structures.* 2003. Orlando, FL, USA: SPIE.

23. Kordatos, E.Z., et al. *Application of IR thermography to damage characterization of structures and the diagnosis of historic monuments*. 2012. Ioannina.
24. Moropoulou, A., et al. *Infrared thermographic assessment of materials and techniques for the protection of cultural heritage*. 2001. Wuhan, China: SPIE.
25. Kordatos, E.Z., et al., *Infrared thermographic inspection of murals and characterization of degradation in historic monuments*. *Construction and Building Materials*, (0).
26. Gayo, E. and J. de Frutos, *Interference filters as an enhancement tool for infrared thermography in humidity studies of building elements*. *Infrared Physics & Technology*, 1997. **38**(4): p. 251-258.
27. Ludwig, N., et al., *Moisture detection in wood and plaster by IR thermography*. *Infrared Physics & Technology*, 2004. **46**(1-2): p. 161-166.
28. Grinzato, E., P.G. Bison, and S. Marinetti, *Monitoring of ancient buildings by the thermal method*. *Journal of Cultural Heritage*, 2002. **3**(1): p. 21-29.
29. Grinzato, E., V. Vavilov, and T. Kauppinen, *Quantitative infrared thermography in buildings*. *Energy and Buildings*, 1998. **29**(1): p. 1-9.
30. Colantonio, A., *Thermal Performance Patterns on Solid Masonry Exterior Walls of Historic Buildings*. *Journal of Building Physics*, 1997. **21**(2): p. 185-201.
31. Seeber, S.A. *USE OF INFRARED THERMOGRAPHY FOR THE IDENTIFICATION OF DESIGN AND CONSTRUCTION FAULTS IN BUILDINGS*. 1984. Oak Brook, IL, USA: SPIE.
32. Ferreira, G., et al., *Experimental analysis of the infrared thermography for the thermal characterization of a building envelope*, 2012: Algarve. p. 318-323.
33. Aggelis, D.G., et al., *Combined use of thermography and ultrasound for the characterization of subsurface cracks in concrete*. *Construction and Building Materials*, 2010. **24**(10): p. 1888.
34. Grinzato, E., et al., *Monitoring of the Scrovegni Chapel by IR thermography: Giotto at infrared*. *Infrared Physics & Technology*, 2002. **43**(3-5): p. 165-169.
35. Aggelis, D.G., et al., *NDT approach for characterization of subsurface cracks in concrete*. *Construction and Building Materials*, 2011. **25**(7): p. 3089-3097.
36. Theodorakeas, P., et al., *NDT inspection of plastered mosaics by means of transient thermography and holographic interferometry*. *NDT & E International*, 2012. **47**(0): p. 150-156.
37. Tavukçuoğlu, A., et al., *Use of IR thermography for the assessment of surface-water drainage problems in a historical building, Ağzıkarahan (Aksaray), Turkey*. *NDT & E International*, 2005. **38**(5): p. 402-410.
38. Haralambopoulos, D.A. and G.F. Paparsenos, *Assessing the thermal insulation of old buildings - The need for in situ spot measurements of thermal resistance and planar infrared thermography*. *Energy Conversion and Management*, 1998. **39**(1-2): p. 65-79.
39. EN 1996, *ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 6, Σχεδιασμός κατασκευών από Τοιχοποιία*.
40. *BS EN 12390 Testing Hardened Concrete - Part 3: Compressive Strength of Test Specimens*, 2009, BRITISH STANDARDS INSTITUTION: London.
41. *EN 12390 Testing Hardened Concrete—Part 5: Flexural Strength of Test Specimens*, 2000, European Committee for Standardization: Brussels, Belgium.
42. Ashish Kumar Parashar and Rinku Parashar, *Comparative Study of Compressive Strength of Bricks Made With Various Materials to Clay Bricks*. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 2012. **2**(7).
43. Illston, J.M. and P.L.J. Domone, *Construction Materials: Their Nature and Behaviour*. 3rd ed, ed. D.P. Illston JM2010, United Kingdom: T&F Books.
44. Group, S.K., *Technical Specifications OSB 3*. 2011.
45. Group, S.K., *Technical Specifications MDF*. 2010.
46. RUNET, *ΜοναΚΕΝΑΚ "Άδεια Χρήσης: Έξαρχος Γεωργιος Πολ. Μηχ"*, 2013.

47. *ASTM C1060-11a: 2011 Standard Practice for Thermographic Inspection of Insulation Installations in Envelope Cavities of Frame Buildings.*
48. *Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (Κ.ΕΝ.Α.Κ.) ΦΕΚ. 407/09/04/2010.*
49. *Υ.Π.Ε.Κ.Α., Υ.Π.Ε.Κ.Κ.Α., ΤΕΧΝΙΚΗ ΟΔΗΓΙΑ ΤΕΧΝΙΚΟΥ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟΥ ΕΛΛΑΔΑΣ, Τ.Ο.ΤΕΕ 20701-5/2010, Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτηρίων και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης. 2012.*
50. *Υ.Π.Ε.Κ.Α., Υ.Π.Ε.Κ.Κ.Α., ΤΕΧΝΙΚΗ ΟΔΗΓΙΑ ΤΕΧΝΙΚΟΥ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟΥ ΕΛΛΑΔΑΣ, Τ.Ο.ΤΕΕ 20701-2/2010, Θερμοφυσικές ιδιότητες υλικών και έλεγχος θερμομονωτικής επάρκειας κτιρίων. 2010.*
51. *Υ.Π.Ε.Κ.Α., Υ.Π.Ε.Κ.Κ.Α., ΤΕΧΝΙΚΗ ΟΔΗΓΙΑ ΤΕΧΝΙΚΟΥ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟΥ ΕΛΛΑΔΑΣ, Τ.Ο.ΤΕΕ 20701-3/2010, Κλιματικά Δεδομένα Ελληνικών Περιοχών. 2010.*
52. *Υ.Π.Ε.Κ.Α., Υ.Π.Ε.Κ.Κ.Α., ΤΕΧΝΙΚΗ ΟΔΗΓΙΑ ΤΕΧΝΙΚΟΥ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟΥ ΕΛΛΑΔΑΣ, Τ.Ο.ΤΕΕ 20701-4/2010, Οδηγίες και έντυπα ενεργειακών επιθεωρήσεων κτιρίων, λεβήτων και εγκαταστάσεων θέρμανσης και εγκαταστάσεων κλιματισμού 2010.*
53. *EN 12831/2004 Heating systems in buildings. Method for calculating of the design heat load.*