



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ
ΤΩΝ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΩΝ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΔΙΑΝΟΜΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Βασίλειος, Κ. Τσόλκας
Στυλιανός, Α. Τυρέκογλου

Επιβλέπων: Περικλής Δ. Μπούρκας
Καθηγητής

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2008



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ
ΤΩΝ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΩΝ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΔΙΑΝΟΜΗΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Βασίλειος, Κ. Τσόλκας
Στυλιανός, Α. Τυρέκογλου

Επιβλέπων: Περικλής Δ. Μπούρκας
Καθηγητής

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την Σεπτεμβρίου 2008.

.....
Περικλής Μπούρκας
Καθηγητής

.....
Νικόλαος Θεοδώρου
Καθηγητής

.....
Κων/ντίνος Καραγιαννόπουλος
Καθηγητής

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2008

.....
Βασίλειος, Κ. Τσόλκας
Στυλιανός, Α. Τυρέκογλου

Διπλωματούχοι Ηλεκτρολόγοι Μηχανικοί και Μηχανικοί Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Βασίλειος Τσόλκας, 2008
Copyright © Στυλιανός Τυρέκογλου, 2008

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

Περίληψη (ABSTRACT)

Ο σκοπός της διπλωματικής εργασίας ήταν η διερεύνηση της εφαρμογής θερμομέτρου υπερύθρων και θερμοκάμερας στη μέτρηση της θερμοκρασίας Μ/Σ υποσταθμών.

Μελετήθηκε η ικανότητα μέτρησης για την επίτευξη επιθεωρήσεων σε υποσταθμούς (Υ/Σ) μέσης τάσης του δικτύου. Αρχικά έγινε βαθμονόμηση του θερμομέτρου υπερύθρων, ελέγχοντας την εγκυρότητα των μετρήσεων, με την βοήθεια της θερμοκάμερας. Συγκεκριμένα, έγινε μελέτη των σφαλμάτων συναρτήσεως της απόστασης στόχευσης του αντικειμένου.

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν εξωτερικές μετρήσεις στους Μ/Σ της περιοχής των Θρακομακεδόνων. Η επεξεργασία των μετρήσεων έδειξε πως θερμομέτρο υπερύθρων αποτελεί έναν καλό «οδηγό» για μια πρώτη αξιολόγηση (εκτίμηση) της κατάστασης των Μ/Σ (όσο αφορά την θερμοκρασιακή μεταβολή).

Λέξεις κλειδιά (KEYWORDS)

Θερμογραφία, Εκπεμπτικότητα (emissivity), Υπερυθρη ακτινοβολία, Υποσταθμοί, Μέτρηση θερμοκρασίας.

Ευχαριστίες

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε το κ. Μπούρκα Περικλή, καθηγητή της σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του ΕΜΠ, που μας εμπιστεύθηκε και μας έδωσε την δυνατότητα να εκπονήσουμε αυτή τη διπλωματική εργασία.

Ιδιαίτερα θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον Δρ. Μηχανικό Ε.Μ.Π Τσαραμπάρη Παναγιώτη, για την συνεργασία, την υπομονή και την πολύτιμη καθοδήγηση του.

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο

1.Εισαγωγή.....	9
1.1 Γενικά Περί θερμοκρασίας.....	9
1.2 Τρόποι μέτρησης θερμοκρασίας.....	10
1.2.1. Μη ηλεκτρικές μέθοδοι.....	11
1.2.1.1 Θερμόμετρα υγρού, πίεσης ατμών και αερίου.....	11
1.2.1.2 Θερμόμετρα με διμεταλλικό έλασμα.....	14
1.2.1.3 Πυρίμαχοι κώνοι, χρώματα και κραγιόν.....	16
1.2.2. Ηλεκτρικές μέθοδοι.....	17
1.2.2.1 Θερμόμετρα ηλεκτρικής αντίστασης.....	17
1.2.2.2 Θερμόμετρα θερμοστοιχείων.....	19
1.2.2.3 Πυρόμετρα.....	22
1.2.2.4 Θερμογραφικές κάμερες.....	23
1.3 Υπέρυθρη ακτινοβολία.....	23
1.3.1 Ιστορική Αναδρομή.....	23
1.3.2 Μέτρηση Θερμοκρασίας με ακτινοβολία.....	24
1.3.2.1 Ακτινοβολία Μέλανος Σώματος.....	27
1.3.2.2 Νόμος Μετατόπισης του Wien.....	28
1.3.2.3 Συντελεστής Απορρόφησης μιας Πραγματικής Επιφάνειας.....	29
1.3.2.4 Συντελεστής Εκπομπής μιας Πραγματικής Επιφάνειας.....	30
1.3.2.5 Ένταση Ακτινοβολίας.....	31
1.3.2.6 Ο Νόμος Lambert.....	32
1.4 Υπέρυθρη Θερμογραφία.....	32
1.4.1 Ορισμοί.....	32
1.4.2 Παθητική και Ενεργητική θερμογραφία.....	33
1.4.2.1 Παθητική θερμογραφία.....	33
1.4.2.2 Ενεργητική θερμογραφία.....	34
1.4.3 Υπέρυθρη θερμογραφία και εκπεμπτικότητα (emissivity) των Υλικών.....	34
1.4.3.1 Εκπεμπτικότητα-Ορισμός.....	34
1.4.3.2 Φάσμα εκπεμπτικότητας υλικών.....	34

1.4.3.3 Η επίδραση της θερμοκρασίας στην εκπεμπτικότητα των μετάλλων.....	36
1.4.3.4 Η επίδραση της γωνίας πρόσπτωσης στην εκπεμπτικότητα των υλικών.....	38
1.4.3.5 Η επίδραση της εκπεμπτικότητας στη θερμογραφία.....	40
1.4.4 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα υπέρυθρης θερμογραφίας.....	41
1.4.5 Εφαρμογές της υπέρυθρης θερμογραφίας.....	42

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο

2. Διαδικασία Μετρήσεων.....	43
2.1 Διαδικασία βαθμονόμησης του υπέρυθρου θερμομέτρου για χρήση σε μετρήσεις θερμοκρασίας Μ/Στων.....	43
2.1.1 Υπολογισμός Απόκλισης.....	46
2.1.1.1 Τρόπος εύρεσης απόκλισης.....	51
2.1.1.2 Αποτελέσματα και Πίνακες.....	54
2.2 Βαθμονόμηση του υπέρυθρου θερμομέτρου.....	58
2.2.1 Βαθμονόμηση χωρίς την ενσωμάτωση της απόκλισης.....	58
2.2.2 Βαθμονόμηση με γνωστή την απόκλιση.....	60
2.2.3 Σύγκριση με βάση τις υπάρχουσες μετρήσεις.....	62
2.2.4 Σύγκριση με νέα σειρά μετρήσεων.....	63
2.3 Η διαδικασία των μετρήσεων.....	65

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο

3. Αποτελέσματα των Μετρήσεων.....	72
3.1 Πίνακες αποτελεσμάτων των μετρήσεων.....	72

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο

4. Σχολιασμός-Συμπεράσματα.....	78
4.1 Σχολιασμός μετρήσεων.....	78

Βιβλιογραφία.....	81
--------------------------	-----------

Παραρτήματα	82
A. Σύντομες οδηγίες για τη χρήση του οργάνου Fluke 561HVACpro.....	82
B. Η λειτουργία του οργάνου Flexcam Ti45.....	90

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

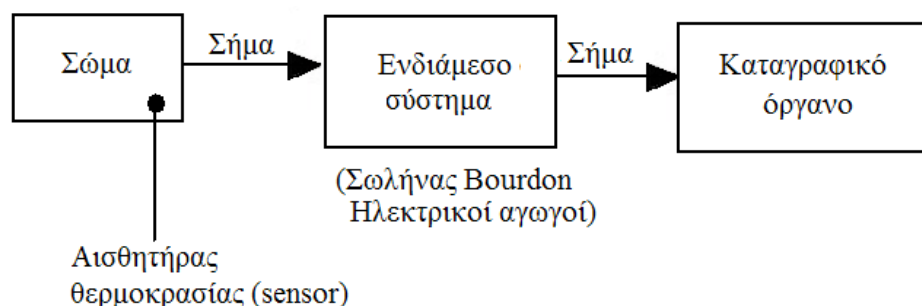
1.Εισαγωγή

1.1 Γενικά Περί θερμοκρασίας

Θερμομετρία ονομάζεται η επιστήμη που μετρά την θερμοκρασία ενός υλικού ή την ικανότητα ενός αντικειμένου να μεταφέρει θερμότητα σε ένα άλλο. Η μέτρηση της θερμοκρασίας είναι ιδιαίτερα σημαντική στη Ηλεκτρολογία, στη Μηχανολογία αλλά και σε αρκετές άλλες ειδικότητες του Μηχανικού, του Φυσικού, Μετεωρολογία, αλλά και στην Ιατρική. Τα θερμοόμετρα είναι πολύ διαδεδομένα στην καθημερινή μας ζωή.

Το πρώτο θερμοόμετρο, που ήταν γνωστό ως θερμοσκόπιο, κατασκευάστηκε από τον Γαλιλαίο στις αρχές του 17ου αιώνα, και χρησιμοποιούσε αέρα ως εργαζόμενο μέσο (επομένως ήταν επιρρεπές στις μεταβολές του καιρού). Χρειάστηκαν ακόμη περίπου 50 χρόνια για να κατασκευαστούν τα πρώτα θερμοόμετρα υγρού σε γυαλί, όπως αυτό που κατασκευάστηκε από τον Leopoldo, Cardinal dei Medici, γνωστό ως θερμοόμετρο της Φλωρεντίας.

Η θερμοκρασία είναι μια έκφραση της μέσης κινητικής ενέργειας των μορίων ενός ρευστού, ή αντίστοιχα των ατόμων που συνιστούν τους κρυστάλλους ή άλλες δομικές μονάδες ενός στερεού σώματος. Γίνεται άμεσα αντιληπτή από το ανθρώπινο νευρικό σύστημα. Παρόλο που η θερμοκρασία αποτελεί βασική ιδιότητα όπως η μάζα, το μήκος ή ο χρόνος, δεν μπορεί να μετρηθεί με άμεση σύγκριση με κάποιο βασικό πρότυπο. Μπορεί μόνο να προσδιορισθεί με τη χρήση μιας πρότυπης βαθμονομημένης συσκευής ή συστήματος [1].



Σχήμα 1.1-1. Διάγραμμα βασικής αρχής μιας συσκευής μέτρησης θερμοκρασίας.

Η μέτρηση της θερμοκρασίας ενός σώματος βασίζεται στην επίτευξη θερμοδυναμικής ισορροπίας μεταξύ του σώματος και του αισθητήρα. Η ισορροπία αυτή επιτυγχάνεται με την μετάδοση θερμότητας που προκύπτει λόγω διαφοράς θερμοκρασίας σώματος και αισθητήρα. Η μετάδοση θερμότητας μπορεί να γίνεται με τους τρεις γνωστούς τρόπους (αγωγή, συναγωγή και ακτινοβολία), και φυσικά, εφόσον επιθυμούμε γρήγορη απόκριση του αισθητήρα μας θα πρέπει να εντείνουμε τους τρόπους αυτούς μετάδοσης θερμότητας με κατάλληλο σχεδιασμό και τοποθέτηση του αισθητήρα [1].

1.2 Τρόποι μέτρησεις θερμοκρασίας

Τα θερμοόμετρα (όργανα μέτρησης θερμοκρασιών γενικότερα), χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, ανάλογα με τη χρήση ή όχι ηλεκτρικά μεταδιδόμενου σήματος ή αισθητήρα [1].

ΟΡΓΑΝΟ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΟ ΠΕΔΙΟ °C	ΑΚΡΙΒΕΙΑ (ACCURACY) (περίπου) °C	ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΕ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ	ΣΧΟΛΙΑ
A. Θερμόμετρα ύγρου a) Άλκοόλης b) Hg c) Hg με αέριο	-70 - +65 -40 - +300 -40 - +550	± 0,50 ±0,25 ±0,25	Φτωχή Φτωχή Φτωχή	Χρησιμοποιούνται σαν θερμοόμετρα χαμηλής θερμοκρασίας
Θερμόμετρα πίεσης α.ύγρου ή αερίου β. ατμού	-100 - +550 -6 - +200	± 1 ±1	Φτωχή Φτωχή	Ευρέως χρησιμοποιούνται για μετρήσεις στη βιομηχανία
Διμεταλλικά	-7 - +500	± 0,25	Φτωχή	Χρησιμοποιούνται σε συσκευές ελέγχου
Β. Ήλεκτρικής αντίστασης θερμίστορ θερμοστοιχεία	-180 - +1000 -70 - +250	±0,0025 ±0,01	Μέτρια με καλή, εξαρτωμένη από το μέγεθος του στοιχείου πολύ καλή	Η πιο ακριβής μέτρηση θερμοκρασίας
α.Cu-Constantan β.Fe-Constantan γ.Chromel-Alumel δ.Pt-pt, 10%Rd	-180 - +350 -180 - +650 -180 - +1200 -15 - +1650	± 0,25 ±0,25 ±0,25 ±0,25	καλή καλή καλή καλή	Χρήσιμο για αντιστάθμιση στα κυκλώματα Χρησιμοποιείται σε αναγωγικές ατμόσφαιρες Αντέχει σε οξειδωση σε υψηλές θερμοκρασίες Αντοχή σε οξειδωση και αρκετά καλή ακρίβεια
Όπτικά Πυρόμετρα	πάνω από 650	± 10	Φτωχή	Χρησιμεύει για την μέτρηση θερμοκρασίας στους φούρνους
Πυρόμετρα ολικής ακτινοβολίας	πάνω από -15	± 0,5	Καλή	Χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο τελευταία

Πίνακας 1.2-1.Χαρακτηριστικά στοιχεία θερμομέτρων.

1.2.1. Μη ηλεκτρικές μέθοδοι

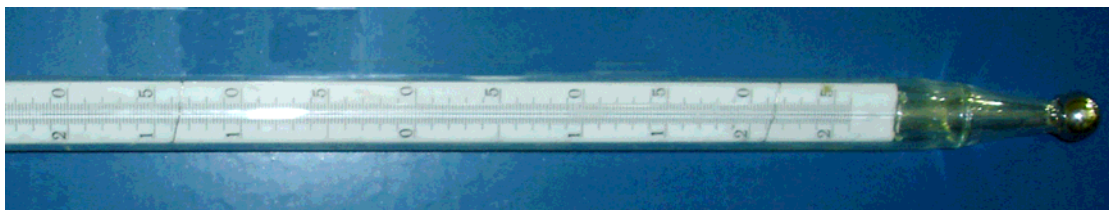
Τα πιο απλά θερμοόμετρα της κατηγορίας αυτής βασίζονται στην περίπου γραμμική διαστολή που υφίσταται ένα ρευστό με την αύξηση της θερμοκρασίας.

1. Θερμόμετρα υγρού, πίεσης ατμών, αερίου
2. Θερμόμετρα με διμεταλλικό έλασμα
3. Πυρίμαχοι κώνοι, χρώματα και κραγιόν [1].

1.2.1.1 Θερμόμετρα υγρού, πίεσης ατμών, αερίου

ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΑ ΥΓΡΟΥ ΣΕ ΓΥΑΛΙ

Ένα θερμοόμετρο γυαλιού περιέχει, ερμητικά κλεισμένη, μία ποσότητα υγρού σε ισορροπία με τους ατμούς του. Η αρχή λειτουργίας του θερμομέτρου γυαλιού βασίζεται στο ότι η πίεση στον θάλαμο που περιέχει το ρευστό και τους ατμούς του είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας και του όγκου του δοχείου. Με τα θερμοόμετρα γυαλιού μπορούμε να μετρήσουμε θερμοκρασίες μέσα στην περιοχή που συνυπάρχει το ρευστό με τους ατμούς του. Για παράδειγμα το υδραργυρικό θερμοόμετρο (Εικόνα 1.2.1.1-1), αποτελείται από το βολβό αποθήκευσης του θερμομετρικού υγρού, τον τριχοειδή σωλήνα όπου ανέρχεται το υγρό διαστελλόμενο, το θάλαμο εκτόνωσης στο άλλο άκρο, και, εξωτερικά, τη βαθμονομημένη κλίμακα.



Εικόνα 1.2.1.1-1. Θερμόμετρο υδραργύρου σε γυαλί: ένδειξη θερμοκρασίας: 21.4°C

Η αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί διαστολή του υγρού που υψώνεται μέσα στον τριχοειδή σωλήνα έως το σημείο που αντιστοιχεί στην υπό μέτρηση θερμοκρασία. Για θερμοκρασίες πάνω από το σημείο βρασμού του Hg (457°C σε πίεση 1 bar), μπορούμε να γεμίσουμε το χώρο πάνω από το υγρό με άζωτο υπό πίεση, ανυψώνοντας έτσι το σημείο βρασμού του Hg.

Τα πλεονεκτήματα των οργάνων αυτών είναι η απλότητα στην κατασκευή και το φθινό κόστος. Επίσης μεταφέρονται εύκολα και είναι εύκολα στο χειρισμό χωρίς πρόσθετα ενδεικτικά όργανα.

Τα μειονεκτήματά τους είναι ότι είναι εύθραυστα και έχουν σχετικά υψηλή θερμοχωρητικότητα, που προκαλεί καθυστέρηση απόκρισης του θερμομέτρου σε απότομες μεταβολές θερμοκρασίας.

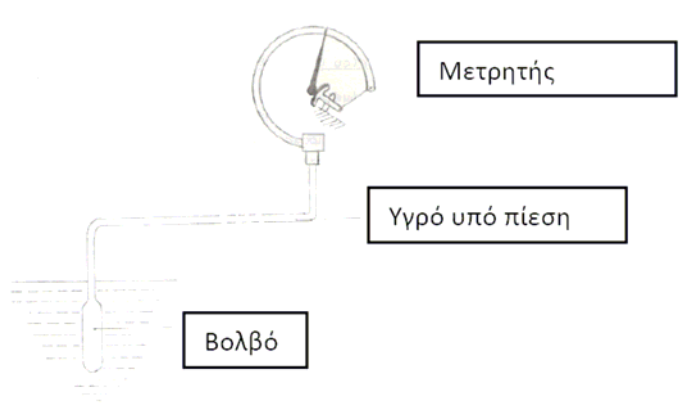
ΥΓΡΟ	ΕΥΡΟΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ °C
Υδράργυρος	-35 έως 510
Αλκοόλη	-80 έως 70
Τολουένιο	-80 έως 100
Πεντάνιο	-200 έως 30

Πίνακας 1.2.1.1-1 Τυπικά υγρά που χρησιμοποιούνται στα θερμομέτρα υγρού.

ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΑ ΥΓΡΟΥ ΣΕ ΜΕΤΑΛΛΟ

Καθώς το ρευστό διογκώνεται αυξάνεται η πίεση του. Η αύξηση της πίεσης προκαλεί το ξετύλιγμα στον ελικοειδή θάλαμο Bourdon (βλ. σχήμα 1.2.1.1.-1), ο οποίος παρασύρει μαζί και την ενδεικτική βελόνα.

Η διαστολή του βολβού και του περιεχόμενου, ασυμπίεστου υγρού λόγω της θερμοκρασιακής αύξησης, ανυψώνει σημαντικά την πίεση του συστήματος (μπορεί να φθάσει έως και 100-150 bar), ώστε να καταφέρει να παραμορφώσει αντίστοιχα το μεταλλικό περίβλημα για να χωρέσει ο επιπλέον όγκος. Έτσι τείνει να ισιώσει τον κεκαμμένος σωλήνας του μετρητή Bourdon, όσο αυξάνει η θερμοκρασία. Η μετακίνηση του ελεύθερου άκρου του σωλήνα, μεταβιβάζεται με κατάλληλο μηχανισμό σε μετακίνηση του δείκτη που κινείται σε βαθμονομημένη κλίμακα.



Σχήμα 1.2.1.1-1 Θερμόμετρο υγρού σε μέταλλο.

Τα πλεονεκτήματα των οργάνων αυτών είναι το μεγάλο εύρος μέτρησης θερμοκρασιών και το γεγονός ότι επιτρέπονται μεγάλα μήκη τριχοειδούς σωλήνα, ώστε ο βολβός (σημείο μέτρησης) να μπορεί να βρίσκεται ακόμη και αρκετά μέτρα από το όργανο ένδειξης.

Κύριο μειονέκτημα του οργάνου αυτού είναι η επίδραση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος στον τριχοειδή σωλήνα. Αντιστάθμιση γίνεται μ' έναν τυφλό τριχοειδή σωλήνα κατά μήκος του κύριου σωλήνα, ο οποίος συνδέεται με δεύτερο σωλήνα Bourdon, μηχανικά συνδεδεμένο και σε αντίθετη φορά κίνησης με τον κύριο μετρητή Bourdon.

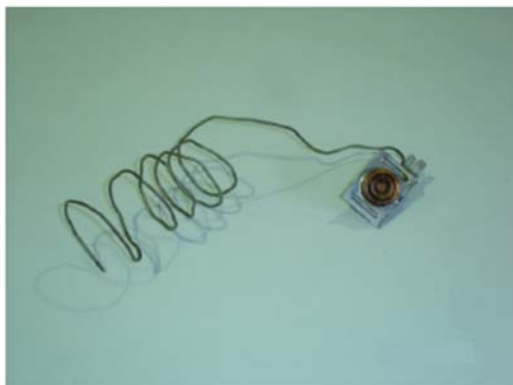
ΥΓΡΟ	ΕΥΡΟΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ °C
Υδράργυρος	-39 έως 650
Ξυλένιο	-40 έως 400
Αλκοόλη	-46 έως 150
Αιθέρας	20 έως 90

Πίνακας 1.2.1.1-2 Υγρά πού συνήθως χρησιμοποιούνται.

ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΑ ΑΕΡΙΟΥ ΥΠΟ ΣΤΑΘΕΡΟ ΟΓΚΟ

Στα θερμόμετρα αυτά χρησιμοποιείται αντί για υγρό, κάποιο αδρανές αέριο υπό πίεση. Μεταβολή της θερμοκρασίας προκαλεί μεταβολή της πίεσης που μέτρα ένας μετρητής Bourdon. Το κύριο πλεονέκτημα ενός τέτοιου οργάνου είναι η γρήγορη απόκριση σε θερμοκρασιακές μεταβολές, επειδή τα αέρια έχουν χαμηλότερη

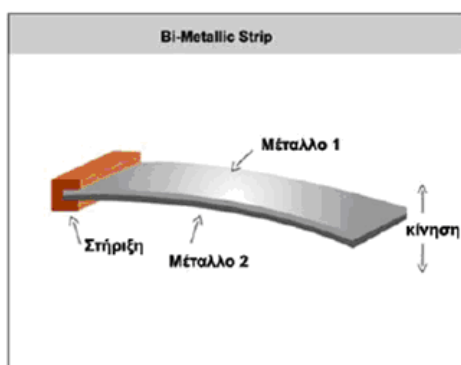
θερμοχωρητικότητα από τα υγρά και τα στερεά. Παραλλαγή της συγκεκριμένης αρχής λειτουργίας χρησιμοποιείται σήμερα σε θερμοστάτες (βλ. εικόνα).[1]



Εικόνα 1.2.1.1-2. Στοιχείο θερμομέτρου αερίου από θερμοστάτη. Η διαστολή του αερίου που βρίσκεται στον εύκαμπτο σωλήνα λόγω αύξησης της θερμοκρασίας, κινεί το άκρο της ‘φυσούνας’.

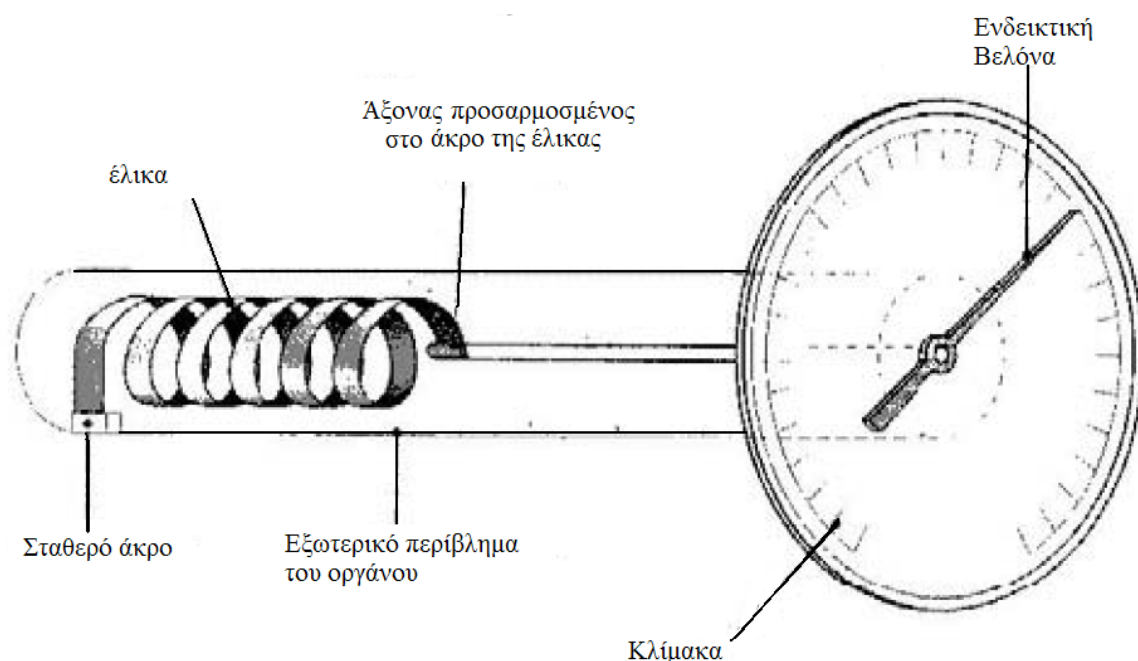
1.2.1.2 Θερμόμετρα με διμεταλλικό έλασμα

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



Εικόνα 1.2.1.2-1. Διμεταλλικό έλασμα

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



Εικόνα 1.2.1.2-2. Θερμόμετρο διμεταλλικού ελάσματος.

Το διμεταλλικό θερμομέτρο χρησιμοποιείται σε φούρνους, σωληνώσεις ζεστού νερού και θαλάμους ατμού. Τα πλεονεκτήματά του είναι ότι είναι συμπαγές, έχει ευέλικτη σχεδίαση, είναι σχετικά φθηνό και το ωφέλιμο θερμοκρασιακό εύρος είναι από 238 °K έως 873 °K με γενικά καλή ακρίβεια.

Τα μειονεκτήματά του είναι ότι το διμεταλλικό έλασμα εμφανίζει γήρανση, οπότε χάνεται η ακρίβεια της αρχικής βαθμονόμησης με το πέρασμα του χρόνου, δεν προσφέρεται για χρήση από απόσταση και αποκρίνεται αργά στις μεταβολές της θερμοκρασίας [1].

1.2.1.3 Πυρίμαχοι κώνοι, χρώματα και κραγιόν

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

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

2. Μεταβολή του χρώματος: Χρώματα (βερνίκια) και κραγιόν

Πυρομετρικοί κώνοι: Κατασκευάζονται από μίγματα διαφόρων ουσιών, όπως πορσελάνη, τάλκη, άστριο, χαλαζία κ.ά., που κατατάσσονται σε αριθμημένη σειρά που αντιστοιχεί σε θερμοκρασίες 600 - 2000°C. Τοποθετούνται τουλάχιστο τρεις κώνοι με διαφορετικά σημεία τήξης πάνω σ' ένα πυρίμαχο δίσκο και τη ζητούμενη θερμοκρασία δείχνει ο μισοτηγμένος κώνος, του οποίου η κορυφή μόλις ακουμπά στον δίσκο. Παρόμοια διαδικασία χρησιμοποιείται και στην περίπτωση των θερμοσκοπικών μπαρών και καταγραφέων θερμότητας.

Βερνίκια και κραγιόν: Είναι χρήσιμα για απεικόνιση θερμοκρασιακών πεδίων σε επιφάνειες μετάλλων κτλ (πχ ζώνη συγκολλήσεων που επηρεάζεται από τη θερμότητα, σφυρηλασία εν θερμώ και θερμική κατεργασία μετάλλων και πολυμερών). Αλλάζουν χρώμα ή εμφάνιση σε μια καθορισμένη θερμοκρασία. Σήμερα συνδυάζονται αποτελεσματικά με τις σύγχρονες τεχνικές υπέρυθρης θερμογραφίας.



Εικόνα 1.2.1.3-1. Θερμόμετρα τύπου κραγιόν, χαπιών και δεικτών σε υγρή μορφή.

Τα κραγιόν περιέχουν ένα υγρό που λειώνει σε μορφή ράβδου. Είναι κατάλληλα για την μέτρηση θερμοκρασιών διαφόρων επιφανειών ακόμη και μεγάλης τραχύτητας. Τα θερμόμετρα τύπου χαπιών χρησιμοποιούνται κυρίως για τη μέτρηση της θερμοκρασίας σε φούρνους και κλιβάνους, όπου εφαρμόζεται θέρμανση για μεγάλο χρονικό διάστημα. Τα χάπια τοποθετούνται πριν αρχίσει η θέρμανση του συστήματος και μόλις αρχίσει η τήξη του χαπιού είναι δυνατός ο προσδιορισμός της θερμοκρασίας. Οι δείκτες σε υγρή μορφή περιέχουν τα ίδια υλικά που χρησιμοποιούνται στα κραγιόν και στα χάπια, αλλά σε μορφή λάκκας (αιώρημα σε διαλυτικό υγρό). Αφού αναδευτεί καλά η λάκκα, βάφουμε με αυτήν την επιφάνεια που θέλουμε να μετρήσουμε την θερμοκρασία της. Ο διαλύτης εξατμίζεται γρήγορα και απομένει το σχετικό ίχνος στην επιφάνεια. Όταν η επιφάνεια φτάσει στην θερμοκρασία, το ίχνος τήκεται εμφανώς και αλλάζει υφή, (από μιά αδιαφανή σε γυαλιστερή διαφανή), οπότε μπορεί να ταυτοποιηθεί εύκολα εκ των υστέρων [1].

1.2.2. Ηλεκτρικές μέθοδοι

Στη κατηγορία αυτή ανήκουν οι επόμενες ομάδες θερμομέτρων. Τα θερμόμετρα ηλεκτρικής αντίστασης, τα θερμοστοιχεία, τα πυρόμετρα και οι θερμογραφικές κάμερες [1].

1.2.2.1 Θερμόμετρα Ηλεκτρικής Αντίστασης

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

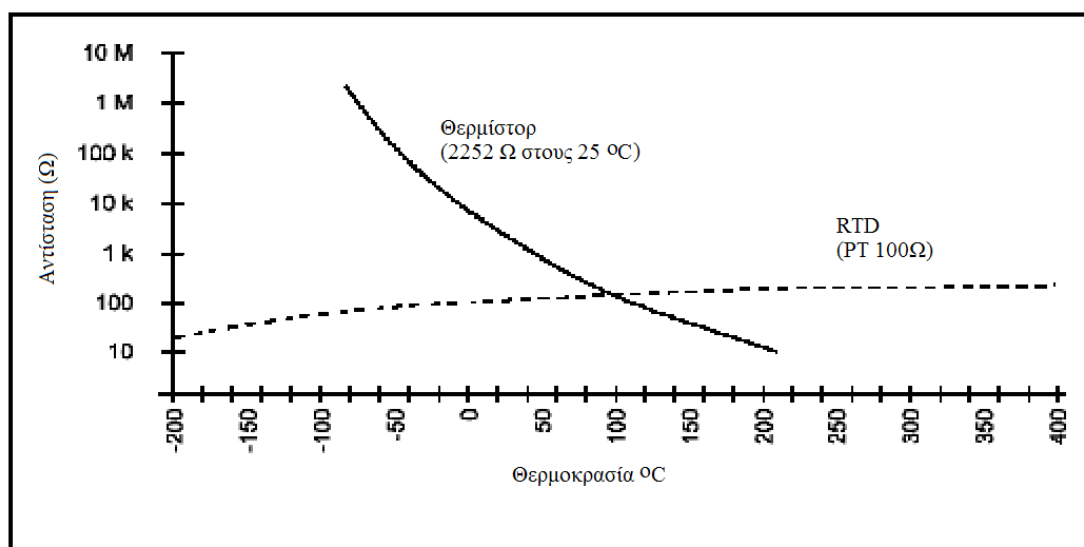


Εικόνα 1.2.2.1-1. Θερμόμετρα ηλεκτρικής αντίστασης.

Υπάρχουν δύο κατηγορίες τέτοιων θερμομέτρων:

1. Αυτά που χρησιμοποιούν μέταλλα (υψηλής καθαρότητας), όπως Cu, Ni, Pt και που έχουν θετικό θερμικό συντελεστή αντίστασης (η αντίσταση αυξάνεται με τη θερμοκρασία).
2. Αυτά που είναι κατασκευασμένα από μίγματα μεταλλικών οξειδίων (μέσω sintering), κράματα Ge (ημιαγωγά υλικά) και έχουν αρνητικό συντελεστή αντίστασης (μείωση της αντίστασης με αύξηση της θερμοκρασίας).

Τα ημιαγωγά υλικά με αρνητικό θερμικό συντελεστή αντίστασης ονομάζονται θερμίστορες. Στο σχήμα 1.2.2.1-1 παρατηρούμε ότι η αντίσταση του μεταλλικού στοιχείου είναι περίπου γραμμική συνάρτηση της θερμοκρασίας δηλαδή $R_t = R_0 (1 + \alpha t)$, όπου t η Θερμοκρασία σε $^{\circ}\text{C}$ και α ο γραμμικός συντελεστής αντίστασης.



Σχήμα 1.2.2.1-1. Σύγκριση της αντίστασης ενός μεταλλικού στοιχείου και της χαρακτηριστικής ενός Θερμίστορ.

Ένα θερμόμετρο ηλεκτρικής αντίστασης σχηματίζεται τυλίγοντας μεταλλικό σύρμα γύρω από έναν κεραμικό σωλήνα, επικαλύπτοντας με κεραμικό υλικό και τοποθετώντας το σε προστατευτικό μεταλλικό μανδύα. Τα δύο άκρα του σύρματος συνδέονται στον ένα βραχίονα μίας γέφυρας Wheatstone και στη συνέχεια το θερμόμετρο τοποθετείται στο χώρο, του οποίου θέλουμε να μετρήσουμε τη θερμοκρασία. Μετά από χρόνο απόκρισης μερικών δευτερολέπτων μπορεί να μετρηθεί η θερμοκρασία του χώρου. Τα θερμίστορες είναι πιο ευαίσθητα στοιχεία και έχουν μη γραμμικά χαρακτηριστικά [1]:

$$R_T = R_0 e^k \quad \text{όπου} \quad k = \beta \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)$$

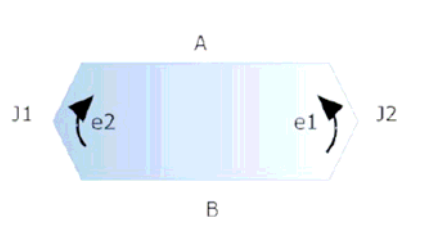
R_T, R_0 : ηλεκτρική αντίσταση αντίστοιχα στους T και T_0 βαθμούς Kelvin.

β : σταθερά.

1.2.2.2 Θερμόμετρα θερμοστοιχείων

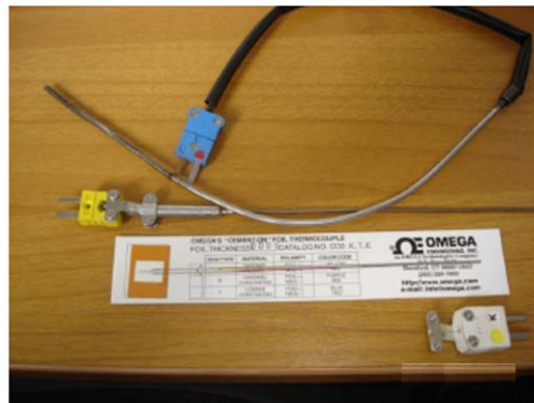
Σε ορισμένες περιπτώσεις είναι δυνατό η θερμότητα να μετατραπεί απ' ευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια ή και το αντίθετο. Θερμοηλεκτρικά φαινόμενα παρατηρούνται συνήθως εξαιτίας της διαφοράς δυναμικού που αναπτύσσεται πάντα μεταξύ δύο ανόμοιων μετάλλων σε επαφή καθώς επίσης και της κλίσης δυναμικού που αναπτύσσεται ακόμη και στο ίδιο μέταλλο, όταν υπάρχει θερμοκρασιακή διαφορά..

Έτσι αν δύο ανόμοια μέταλλα ενωθούν, ώστε να αποτελέσουν ένα κλειστό κύκλωμα (Θερμοστοιχείο) και η μια επαφή διατηρείται σε διαφορετική θερμοκρασία απ' ότι η άλλη, θα έχουμε αυτόματα ροή ηλεκτρικού ρεύματος στο κύκλωμα (φαινόμενο Seebeck).



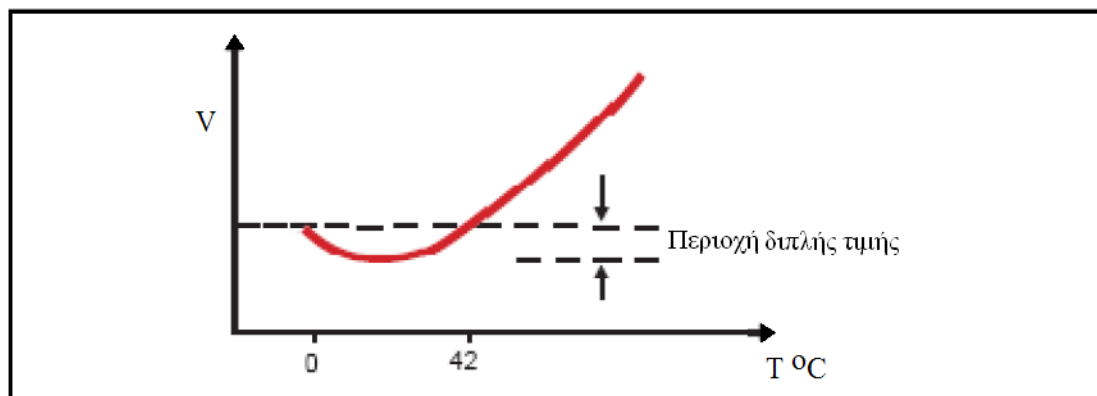
$$T_{j1} = T_{j2} \rightarrow e1 = e2$$

$$T_{j1} \neq T_{j2} \rightarrow e1 \neq e2$$



Εικόνα 1.2.2.2-1. Διάφορα είδη θερμοστοιχείων

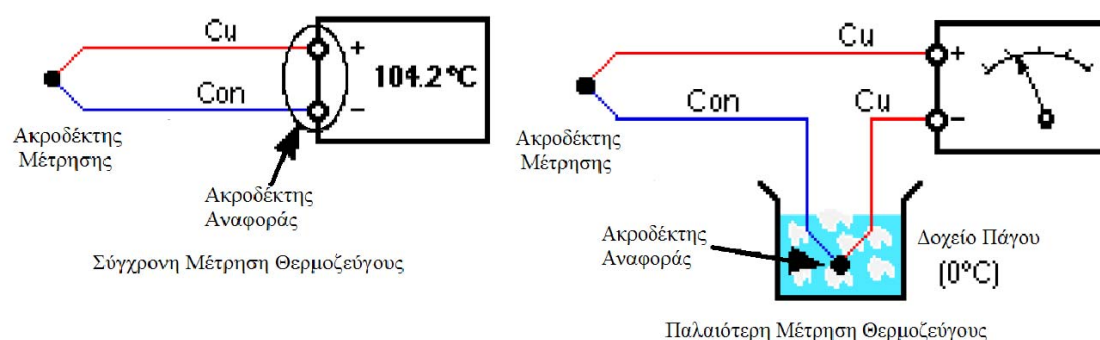
Το μέγεθος και η φορά του ρεύματος εξαρτώνται από τα θερμοηλεκτρικά χαρακτηριστικά των δύο μετάλλων και σχετίζονται με τη θερμοκρασία των επαφών.



Σχήμα 1.2.2.2-1. Μεταβολή της E.M.F με την θερμοκρασία. Εμφανής η θερμοκρασία αναστροφής.

Από το σχήμα 1.2.2.2-1 είναι φανερό ότι το εύρος θερμοκρασίας που μετρείται από ένα θερμοστοιχείο δεν θα πρέπει να περιέχει θερμοκρασίες μικρότερες από την θερμοκρασία αναστροφής.

ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΝΟΣ ΘΕΡΜΟΣΤΟΙΧΕΙΟΥ



Σχήμα 1.2.2.2-2. Διάγραμμα θερμοστοιχείων.

Οι αγωγοί σύνδεσης επιτρέπουν στο όργανο μέτρησης να βρίσκεται μακριά από το θερμοστοιχείο. Οι αγωγοί αυτοί κατασκευάζονται από υλικό φθηνότερο από εκείνο του θερμοστοιχείου.

Η αντίσταση ballast ενσωματώνεται στο καταγραφικό όργανο και η μεγάλη τιμή της αντίστασης σε σχέση με εκείνη του κυκλώματος του θερμοστοιχείου, έχει σαν αποτέλεσμα αλλαγή της θερμοκρασίας και επομένως μεταβολή της αντίστασης των αγωγών σύνδεσης, έτσι ώστε, να επηρεάζει ελάχιστα την ακρίβεια του συστήματος.

Το όργανο μέτρησης βαθμονομείται για ορισμένη θερμοκρασία ψυχρής επαφής (0°C). Γι' αυτό το λόγο, παλαιότερα, κατά τη μέτρηση έπρεπε να διατηρείται η ψυχρή επαφή στους 0°C (π.χ. με βύθιση σε δοχείο με πάγο). Στα σύγχρονα θερμοστοιχεία αυτό δεν είναι απαραίτητο. Υπάρχουν ειδικά ηλεκτρονικά κυκλώματα αντιστάθμισης. Στα κυκλώματα αυτά, η θερμοκρασία της ψυχρής επαφής (συνήθως η θερμοκρασία περιβάλλοντος του ενισχυτή θερμοστοιχείων), μετριέται με ενσωματωμένο θερμόμετρο αντίστασης. Στο σχήμα φαίνεται ενισχυτής σημάτων από 8 θερμοστοιχεία, ο οποίος μεταβιβάζει το ενισχυμένο και αντισταθμισμένο σήμα στην κάρτα του συστήματος συλλογής δεδομένων.



Εικόνα 1.2.2.2-2. Ενισχυτής σημάτων θερμοστοιχείων : φαίνονται οι κενές θέσεις σύνδεσης για οκτώ τυποποιημένες υποδοχές θερμοστοιχείων.

Θερμοστοιχεία από βασικό μέταλλο (Ni,Al,Cr) χρησιμοποιούνται όποτε είναι δυνατόν, επειδή είναι ευαίσθητα, φτηνά και έχουν περίπου γραμμικά χαρακτηριστικά. Η χρήση τους περιορίζεται σε χαμηλές σχετικά θερμοκρασίες, λόγω του χαμηλού σημείου τήξης και της τάσης τους προς οξείδωση σε μεγάλες θερμοκρασίες.

ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΘΕΡΜΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Σφάλματα στην μέτρηση προέρχονται από μεταβολή των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών των θερμοστοιχείων π.χ. μηχανικές τάσεις στους αγωγούς, δηλητηριασμός από ατμούς μετάλλων αερίων, εγκλείσματα οξειδίων στην θερμή επαφή κλπ [1].

1.2.2.3 Πυρόμετρα

Τα πυρόμετρα ολικής ακτινοβολίας χρησιμοποιούνται για μετρήσεις στην περιοχή θερμοκρασιών από 700 - 2000°C. Το προτέρημά τους είναι ότι δεν έρχονται σε άμεση επαφή με το θερμό σώμα.

Συλλαμβάνουν ολόκληρο το φάσμα της ακτινοβολίας του μετρούμενου σώματος και είναι βαθμονομημένα για συνθήκες μέλανος σώματος (ορισμένα έχουν ειδική ρύθμιση για επιφάνειες με $\epsilon < 1$). Η ακτινοβολία που εκπέμπεται για παράδειγμα από ένα φούρνο, συγκεντρώνεται πάνω στην θερμή επαφή ενός θερμοστοιχείου ή μιας θερμοστήλης ή ενός στοιχείου αντίστασης με πλατίνα, τα οποία έχουμε μαυρίσει για να απορροφούν καλύτερα την ακτινοβολία. Η θερμοκρασία που μετράει το πυρόμετρο είναι, σύμφωνα με τον νόμο των Stefan-Boltzmann, ανάλογη με την τέταρτη δύναμη της θερμοκρασίας της πηγής.

Οι κυριότερες πηγές σφαλμάτων κατά την χρήση των πυρομέτρων είναι:

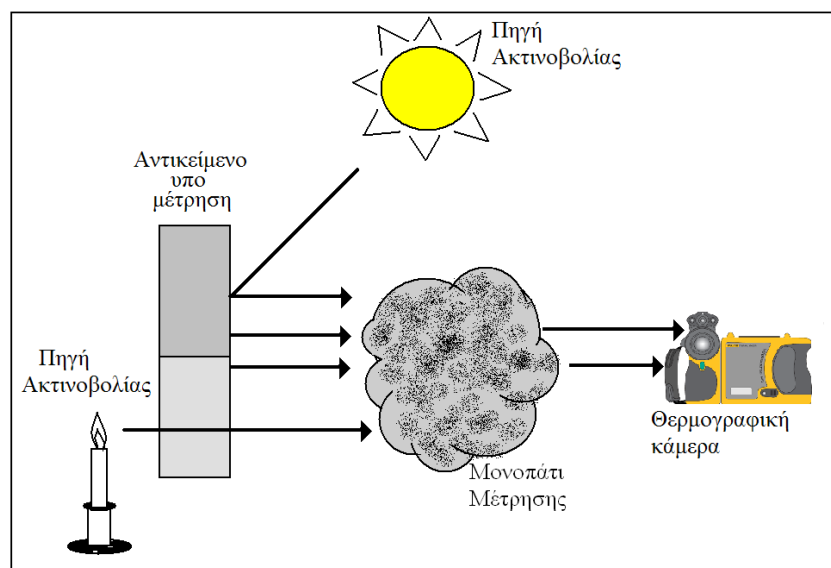
1. Η παρεμβολή αερίων, φλόγας, καπνού και ατμών μεταξύ πηγής και πυρομέτρου με αποτέλεσμα την ελαττώση της ποσότητας ακτινοβολίας που προσπίπτει στο όργανο.
2. Η απορρόφηση της ακτινοβολίας (λόγω του παρεμβαλλόμενου αέρα, σκόνης κλπ.) μεταξύ του σώματος και του οργάνου.
3. Η ελλειπής κάλυψη της πηγής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

Υπάρχουν δύο κατηγορίες πυρομέτρων τα οπτικά και τα φωτοηλεκτρικά. Τα οπτικά πυρόμετρα βασίζονται στην αρχή ότι η ένταση της ακτινοβολίας ενός μήκους κύματος (στην περίπτωση του ορατού φωτός, ενός συγκεκριμένου χρώματος του φάσματος), είναι μια συνάρτηση της θερμοκρασίας της πηγής. Ενώ τα φωτοηλεκτρικά πυρόμετρα βασίζονται στις μεταβολές που επιφέρει το φως όταν προσπίπτει σε ορισμένα υλικά [1].

1.2.2.4 Θερμογραφικές κάμερες

Τα αντικείμενα που έχουν θερμοκρασία επιφανείας υψηλότερη από 0 °K, εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Εφόσον μπορούμε να μετρήσουμε την ένταση της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας, μπορούμε να εκτιμήσουμε τη θερμοκρασία της επιφανείας. Εκτός από τα πυρόμετρα που παρουσιάστηκαν, την τελευταία δεκαετία με την ανάπτυξη κεφαλών (CCD) ευαίσθητων σε υπέρυθρη ακτινοβολία, αναπτύχθηκε ως παραλλαγή της συνηθισμένης βιντεοκάμερας, η κάμερα υπέρυθρων. Έτσι εξελίχθηκε μία νέα επιστήμη μετρήσεων θερμοκρασιών με πολύπλευρες δυνατότητες, που ονομάζεται υπέρυθρη θερμογραφία.

Η αρχή λειτουργίας της υπέρυθρης θερμογραφίας φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. [1]:



Σχήμα 1.2.2.4-1. Αρχή λειτουργίας της υπέρυθρης θερμογραφίας.

1.3 Υπέρυθρη ακτινοβολία

1.3.1 Ιστορική Αναδρομή

Η μέτρηση της θερμοκρασίας απασχολούσε την ανθρωπότητα πριν ακόμη ο Planck δημοσιεύσει τη θεωρία του περί ακτινοβολίας στις 14 Δεκεμβρίου 1900. Ο πρώτος νόμος της θερμοδυναμικής εισάγει την αρχή διατήρησης της ενέργειας και

εξηγεί ότι σε οποιαδήποτε διαδικασία (βιομηχανική) που καταναλώνει ενέργεια ένα μεγάλο μέρος αυτής μετασχηματίζεται σε θερμότητα (σύμφωνα με το νόμο της εντροπίας). Η θερμοκρασία είναι επομένως μια σημαντική παράμετρος που πρέπει να ληφθεί υπόψη. Το θερμόμετρο γυαλιού, που εφευρέθηκε από Γαλιλαίο το 1593, ήταν το πρώτο όργανο για την ποσοτική μέτρηση θερμοκρασίας (Wise 1988). Αυτό επέτρεψε στον Herschel το 1800 να ανακαλύψει το υπέρυθρο φάσμα. Στις μέρες μας η θερμοκρασιακή κλίμακα υπόκειται σε διεθνείς κανόνες όπου το σημείο ψύξης του χρυσού (επίσης γνωστό ως χρυσό σημείο) είναι το βασικό πρότυπο για τη διεθνή πρακτική κλίμακα θερμοκρασίας (IPTS).

Ο Sir William Herschel ήταν βασιλικός αστρονόμος του βασιλιά Γεωργίου του 3^{ου} της Αγγλίας και ανακάλυψε τυχαία τον Ουρανό στις 13 Μαρτίου 1793. Αυτό ήταν ένα ακόμα «ατύχημα» που τον οδήγησε στην ανακάλυψη των υπέρυθρων ακτίνων. Αρχικά θέλησε να προστατεύσει τα μάτια του κατά τη παρατήρηση του ήλιου. Για το πείραμά του χρησιμοποίησε ένα πρίσμα που χώριζε τα διάφορα χρώματα, από το μπλε έως το κόκκινο. Χρησιμοποιώντας ένα θερμόμετρο υδραργύρου, σημείωσε ότι η μέγιστη ανύψωση της θερμοκρασίας εμφανίστηκε πέρα από την κόκκινη ζώνη όπου καμία ακτινοβολία δεν ήταν ορατή (Herschel 1800a, β). Στην πραγματικότητα αυτό το πείραμα είχε ξαναγίνει αλλά ήταν ο πρώτος που παρατήρησε ότι η απόσταση στην οποία η θέρμανση είναι μέγιστη μπορεί να εντοπιστεί επακριβώς (δηλ. Εξαρτάται από το μήκος κύματος). Σήμερα ξέρουμε ότι τώρα αυτό συσχετίζεται με το νόμο των Planck-Boltzmann:

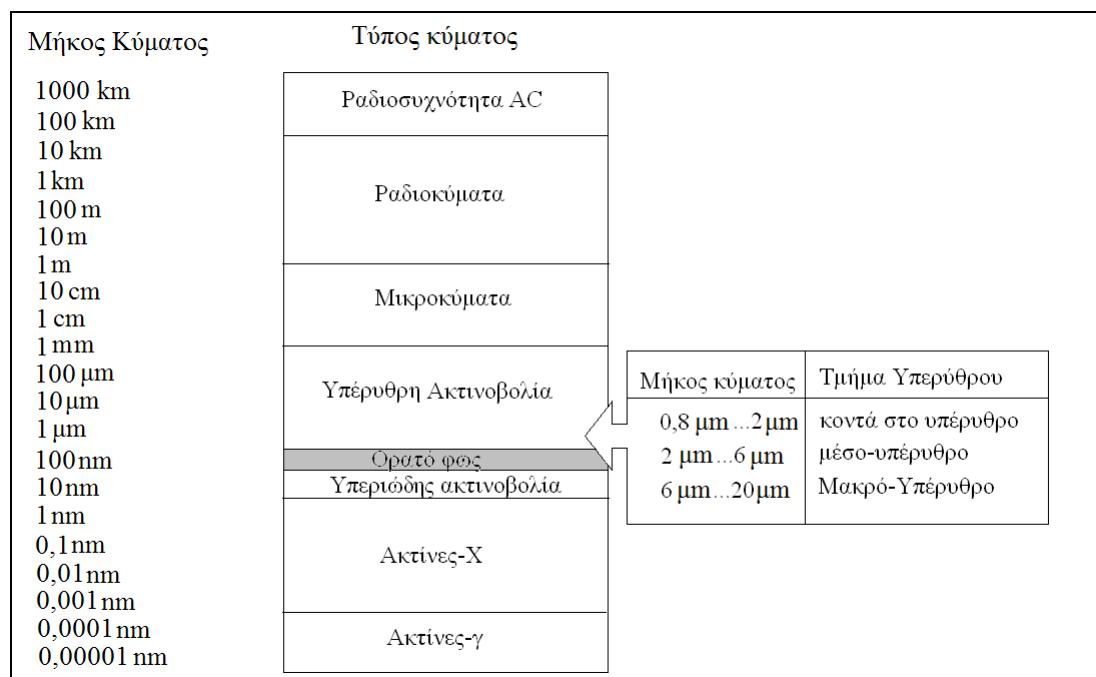
$$\lambda_m = 2898/T \quad (1.3.1-1)$$

Αυτή η σχέση δίνει το μέγιστο μήκος κύματος λ_m , (σε μm) που αντιστοιχεί στη θερμοκρασία T (σε Kelvin) για ένα σώμα που ακτινοβολεί. Παραδείγματος χάρι, παρατηρώντας ένα κόκκινο-ζεστό δίσκο χάλυβα με θερμοκρασία 1000°C ($\approx 1300\text{K}$), το μέγιστο μήκος κύματος θα ήταν περίπου $3\mu\text{m}$ [2].

1.3.2 Μέτρηση Θερμοκρασίας με Ακτινοβολία

Ακτινοβολία λέγεται η μετάδοση ενέργειας μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, αλλά και η ενέργεια που ακτινοβολείται έτσι, λέγεται πολλές φορές ακτινοβολία. Τα

ηλεκτρομαγνητικά κύματα χαρακτηρίζονται από το μήκος κύματος ή τη συχνότητα τους, όπου η συχνότητα είναι αντιστρόφως ανάλογη με το μήκος κύματος. Το μήκος κύματος είναι αυτό που χρησιμοποιείται συνήθως στην ανάλυση της μετάδοσης θερμότητας με ακτινοβολία.



Σχήμα 1.3.2-1. Φάσμα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Το σχήμα 1.3.2-1 δείχνει το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και τα ονόματα που δίνουμε στην ακτινοβολία στις διάφορες περιοχές του. Η φύση της ακτινοβολίας και της μεταφοράς της, δεν μπορούμε να πούμε ότι είναι πλήρως κατανοητές ακόμη και σήμερα, αλλά μπορούν να περιγραφούν ικανοποιητικά είτε με την κυματική, είτε με την κβαντομηχανική. Με απλά λόγια, η ακτινοβολία ταξιδεύει στο διάστημα με την ταχύτητα του φωτός (ταχύτητα διάδοσης ηλεκτρομαγνητικών διαταραχών), και δεν απαιτεί κανένα μέσον για να μπορέσει να διαδοθεί. Η ταχύτητα του φωτός c , είναι η σταθερά αναλογίας που συσχετίζει το μήκος κύματος (λ) με τη συχνότητα (ν):

$$\lambda = c/\nu \quad (1.3.2-1)$$

Η ακτινοβολία στην περιοχή μήκους κύματος 0.1 έως 100 μm (μικρά), όταν πέσει πάνω σ'ένα σώμα, το θερμαίνει, και γι' αυτό λέγεται θερμική ακτινοβολία. Και αντιστρόφως, θερμική ακτινοβολία είναι η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκπέμπεται από ένα σώμα σαν αποτέλεσμα της θερμοκρασίας του. Διαφοροποιείται από άλλους τύπους ακτινοβολίας, όπως οι ακτίνες X, τα ραδιοκύματα κλπ. που δεν εκπέμπονται σαν αποτέλεσμα της θερμοκρασίας.

Επιπρόσθετα, επειδή η ακτινοβολία στην περιοχή μήκους κύματος από 0.38μm έως 0.76 μm ερεθίζει το οπτικό νεύρο, μπορούμε να δούμε τη θερμική ακτινοβολία σ'αυτή τη ζώνη σαν φώς. Στην πράξη, αυτό σημαίνει ότι δεν μπορούμε να δούμε τη θερμική ακτινοβολία από ένα σώμα θερμοκρασίας κάτω από 500°C, αλλά μπορούμε να αισθανθούμε τη θερμότητα που μας ακτινοβολεί.

Όλα τα σώματα με θερμοκρασία μεγαλύτερη από το απόλυτο μηδέν, εκπέμπουν θερμική ακτινοβολία και συνεπώς χάνουν ενέργεια. Εάν ήταν δυνατόν να απομονώσουμε ένα σώμα εντελώς στο κενό, αυτό θα συνέχιζε να ακτινοβολεί και να χάνει ενέργεια, μέχρι να πέσει η θερμοκρασία του στο απόλυτο μηδέν. Όμως η τέλεια απομόνωση δεν είναι δυνατή, κι έτσι το σώμα θερμαίνεται από το περιβάλλον του (με αγωγή, συναγωγή και ακτινοβολία). Εάν ένα σώμα τοποθετηθεί σε περιβάλλον ίδιας θερμοκρασίας με τη δική του, η θερμοκρασία του δεν πρόκειται να μεταβληθεί, αφού θα δέχεται από το περιβάλλον του ακριβώς όση ενέργεια ακτινοβολεί (αρχή ανταλλαγής του Prevost).

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

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad (1.3.2-2)$$

Όπου α είναι ο συντελεστής απορρόφησης, ρ ο συντελεστής ανάκλασης και τ ο συντελεστής διάδοσης.

Τα περισσότερα στερεά υλικά απορροφούν πρακτικά όλη την ακτινοβολία σε ένα πολύ λεπτό εξωτερικό στρώμα τους, πάχους μικρότερου του 1mm. Γι'αυτά τα αδιαφανή υλικά είναι $\tau = 0$ και ισχύει:

$$\alpha + \rho = 1 \quad (1.3.2-3)$$

Ορισμένα στερεά και υγρά μεταδίδουν την ακτινοβολία σε συγκεκριμένα μήκη κύματος, εκτός και αν είναι πολύ μεγάλου πάχους. Τα υλικά αυτά (γυαλί, κρύσταλλοι ανόργανων ουσιών κτλ), είναι διαφανή στην ακτινοβολία της συγκεκριμένης περιοχής μήκους κύματος. Σε άλλα μήκη κύματος είναι αδιαφανή. Έτσι, το κοινό

καθαρό γυαλί είναι διαφανές στην ορατή περιοχή του φάσματος καθώς και στην υπέρυθη μέχρι τα 2.5 μm, ενώ πολύ λεπτές στρώσεις ημιαγωγών υλικών όπως το πυρίτιο και το γερμάνιο, είναι αδιαφανείς στην ορατή περιοχή αλλά διαφανείς σε τμήματα της υπέρυθρης πέρα από το 1.0 μm και 1.8 μm αντίστοιχα. Η επιφάνεια ενός στερεού που είναι πολύ λεία και ομαλή, συμπεριφέρεται σαν κάτοπτρο στη θερμική ακτινοβολία, δηλαδή η γωνία πρόσπτωσης είναι ίση με τη γωνία ανάκλασης. Στην περίπτωση αυτή, μιλάμε για κανονική ή κατοπτρική ανάκλαση. Τα περισσότερα βιομηχανικά υλικά, έχουν τραχείες επιφάνειες, δηλαδή οι επιφανειακές ανωμαλίες τους έχουν μεγάλο μέγεθος σε σχέση με το μήκος κύματος της ακτινοβολίας. Η ανάκλαση ακτινοβολίας από αυτό το είδος επιφάνειας συμβαίνει αδιακρίτως σε όλες τις διευθύνσεις και λέγεται διάχυτη [1].

1.3.2.1 Ακτινοβολία Μέλανος Σώματος

Μια μαύρη ματ επιφάνεια απορροφά όλο το φως που προσπίπτει πάνω της. Κατά αναλογία, μια επιφάνεια που απορροφά όλη τη θερμική ακτινοβολία που προσπίπτει πάνω σ'αυτήν, καλείται μαύρη επιφάνεια, και αντίστοιχα ένα σώμα που απορροφά όλη την προσπίπτουσα ακτινοβολία λέγεται μέλαν σώμα. Στην πράξη, το απολύτως μέλαν σώμα δεν υπάρχει, αλλά υπάρχουν σώματα που προσεγγίζουν τη συμπεριφορά του μέλανος σώματος. Για παράδειγμα, η επιφάνεια ενός σώματος μπορεί να βαφεί με κάρβουνο, κι έτσι να προκύψει μια μαύρη εξωτερική επιφάνεια όσον αφορά τη θερμική ακτινοβολία. Σε οποιαδήποτε περίπτωση, η έννοια του μέλανος σώματος ή επιφάνειας είναι πολύ χρήσιμη στην ανάλυση προβλημάτων μετάδοσης θερμότητας με ακτινοβολία.

Συνεπώς, μπορούμε να συσχετίσουμε τη συμπεριφορά του υλικού που εξετάζεται, με αυτήν του μέλανος σώματος σε παρόμοιες περιπτώσεις. Το μέλαν σώμα εκπέμπει τη μέγιστη δυνατή ποσότητα ακτινοβολίας που αντιστοιχεί στην απόλυτη θερμοκρασία του, ενώ αντίστοιχα απορροφά όλη την ακτινοβολία που προσπίπτει πάνω του.

Σύμφωνα με τον νόμο των Stefan-Boltzmann ο ρυθμός που ακτινοβολεί ενέργεια ένα μέλαν σώμα, είναι ανάλογος της 4^{ης} δύναμης της απόλυτης θερμοκρασίας του.

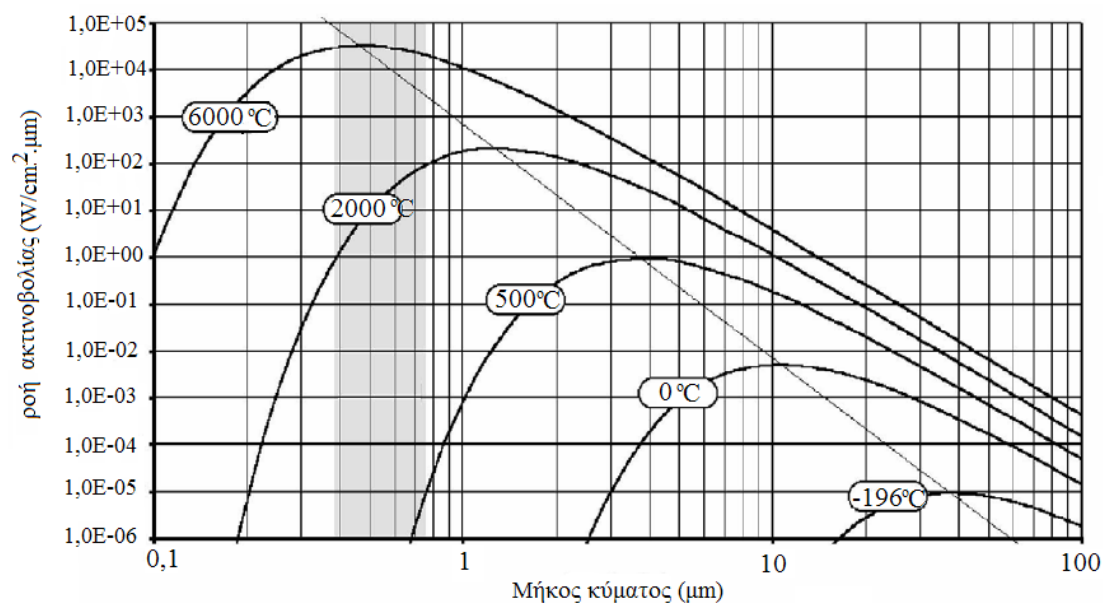
$$E_b = \sigma T^4 \quad (1.3.2.1-1)$$

όπου E_b είναι η ακτινοβολούμενη θερμορροή ανά μονάδα επιφανείας ενός μέλανος σώματος (b από το black) θερμοκρασίας T προς τον ημισφαιρικό χώρο υπεράνω αυτού, και σ η λεγόμενη σταθερά Stefan-Boltzmann ($56.7 \cdot 10^{-12} \text{ kW/m}^2\text{K}^4$). Για τους υπολογισμούς, είναι πίο βολικό να χρησιμοποιούμε την παραπάνω εξίσωση με τη μορφή [1] :

$$E_b = 56,7(T/100)^4 \quad (\text{kW/m}^2) \quad (1.3.2.1-2)$$

1.3.2.2 Νόμος Μετατόπισης του Wien

Ο νόμος μετατόπισης του Wien συνδέει την θερμοκρασία του σώματος (σε Kelvin) με το μήκος κύματος λ_{max} , στο οποίο το μέλαν σώμα εκπέμπει το περισσότερο ποσοστό της ακτινοβολουμένης ισχύος. Μάλιστα τα δύο αυτά μεγέθη είναι αντιστρόφως ανάλογα ή ότι το γινόμενο τους είναι μια σταθερά ίση με $2,90 \cdot 10^{-3} \text{ m K}$.



$$M_\lambda = \frac{C_1}{\lambda^5 \cdot [\exp(C_2 / \lambda T) - 1]} \quad \begin{aligned} C_1 &= 3,74 \cdot 10^{-16} \text{ W} \cdot \text{m}^2 \\ C_2 &= 1,44 \cdot 10^{-2} \text{ K} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

Σχήμα 1.3.2.2-1. Καμπύλη ροής ακτινοβολίας συναρτήση του μήκους κύματος.

Η καμπύλη ροής ακτινοβολίας συναρτήσει του μήκους κύματος, έχει την ίδια γενική μορφή για όλες τις θερμοκρασίες, αλλά με την αύξηση της θερμοκρασίας, αυξάνει το ύψος της καμπύλης και το μέγιστο της μετατοπίζεται προς μικρότερα μήκη κύματος (Σχ.1.3.2.2-1). Εάν η θερμοκρασία του σώματος δεν ξεπερνά τους 500 °C, το ποσοστό της ακτινοβολίας που βρίσκεται στην ορατή περιοχή, είναι πρακτικά αμελητέο. Για μεγαλύτερες θερμοκρασίες, αρχίζει να ακτινοβολεί το σώμα στο σκοτάδι, στην αρχή σε σκοτεινά κόκκινο χρώμα (700°C), στη συνέχεια σε βυσσινί (900°C), μετά πορτοκαλί (1100°C), και τέλος λευκό (1400°C και άνω, όπου η εκπεμπόμενη ενέργεια καλύπτει όλο το ορατό φάσμα). Συγχρόνως βέβαια αυξάνει ραγδαία και η ακτινοβολούμενη ισχύς. Το μήκος κύματος στο οποίο εκπέμπεται η μέγιστη θερμοροή (λ), είναι αντιστρόφως ανάλογο με την απόλυτη θερμοκρασία, σύμφωνα με το Νόμο μετατόπισης του Wien, που προκύπτει με μηδενισμό της παραγώγου στην εξίσωση του Planck [1].

$\lambda_{\max} * T = 2896 \mu\text{m} * \text{K}$		
Αντικείμενο	Θερμοκρασία	Μέγιστο μήκος κύματος
παγωμένο φαγητό	-18 °C	11,4 μm
δέρμα	32 °C	9,4 μm
νερό που βράζει	100 °C	7,8 μm
Σίδερο που κοκκινίζει	600 °C	3,3 μm
Σίδερο που λαμπιρίζει	1200 °C	2 μm

Σχήμα 1.3.2.2-2. Νόμος του Wien και συνακόλουθα μήκη κύματος μέγιστης εκπομπής θερμικής ακτινοβολίας από επιφάνειες διαφόρων θερμοκρασιών.

1.3.2.3 Συντελεστής Απορρόφησης μιας Πραγματικής Επιφάνειας

Ο συντελεστής απορρόφησης (α) μιας πραγματικής επιφάνειας, είναι γενικά συνάρτηση τριών παραμέτρων:

$$\alpha = \alpha(\lambda, \varphi, T) \quad (1.3.2.3-1)$$

Όπου λ το μήκος κύματος, φ η γωνία πρόσπτωσης και T η θερμοκρασία.

Το ίδιο ισχύει για τα ρ και τ , γι'αυτό και πολλές φορές χρησιμοποιούμε το λεγόμενο μονοχρωματικό συντελεστή απορρόφησης, που αφορά συγκεκριμένο μήκος κύματος κάθε φορά [1].

1.3.2.4 Συντελεστής Εκπομπής μιας Πραγματικής Επιφάνειας

Ο συντελεστής εκπομπής(ε) μιας πραγματικής επιφάνειας, ορίζεται σαν το πηλίκο της εκπεμπόμενης θερμορροής προς αυτήν που θα εξέπεμπε μια αντίστοιχη μαύρη επιφάνεια στην ίδια θερμοκρασία και είναι γενικά συνάρτηση τριών παραμέτρων:

$$\varepsilon = \varepsilon(\lambda, \varphi, T) \quad (1.3.2.4-1)$$

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

Στην περίπτωση θερμικής ισορροπίας, ισχύει ο Νόμος του Kirchhoff:

$$\varepsilon_\lambda = \alpha_\lambda \quad (1.3.2.3-2)$$

Δηλαδή ο συντελεστής εκπομπής ενός σώματος σε συγκεκριμένο μήκος κύματος ακτινοβολίας, είναι ίσος με το συντελεστή απορρόφησης στο ίδιο μήκος κύματος.

Ονομάζουμε φαιό σώμα εκείνο για το οποίο ο συντελεστής εκπομπής είναι σταθερός για όλα τα μήκη κύματος:

$$\varepsilon_\lambda = E / E_{b\lambda} = \varepsilon \quad (1.3.2.3-3)$$

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

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

Υλικό	Κατάσταση	Συντ. ολικής εκπομπής
Χάλυβας	τραχύς	0,97
Χάλυβας	λείος	0,08
Χυτοσίδηρος	Οξειδωμένος	0,95
Χυτοσίδηρος	λείος	0,21
Κράμα Αλουμινίου	Οξειδωμένο	0,11
Κράμα Αλουμινίου	Στιλβωμένο	0,028

Πίνακας 1.3.2.4-1. Συντελεστής εκπομπής σε μεταλλικές επιφάνειες.

Οι τιμές αυτές είναι προσεγγιστικές, αφού ο συντελεστής εκπομπής εξαρτάται πάρα πολύ από την κατάσταση της επιφάνειας. Οι πιο πολλές επιφάνειες μετάλλων έχουν υψηλό συντελεστή εκπομπής, και συνήθως θεωρούνται φαιές. Η ακτινοβολία από καλούς αγωγούς του ηλεκτρισμού, και ιδιαίτερα από στιλβωμένα μέταλλα, διαφέρει σημαντικά. Οι συντελεστές εκπομπής είναι πολύ χαμηλότεροι, και μεταβάλλονται με το μήκος κύματος. Επίσης, η ακτινοβολία που εκπέμπουν δεν είναι διάχυτη, ενώ ανακλούν σύμφωνα με τους νόμους της οπτικής. Γενικά, οι «ακαθαρσίες» και η οξείδωση πάντα αυξάνουν το συντελεστή εκπομπής μιας επιφάνειας, αφού είναι κακοί αγωγοί του ηλεκτρισμού [1].

1.3.2.5 Ένταση Ακτινοβολίας

Μέχρι στιγμής, ασχοληθήκαμε με τη συνολική ποσότητα ακτινοβολίας που εκπέμπεται από μια επιφάνεια σε όλο το χώρο υπεράνω αυτής [kW/m^2]. Είναι επίσης απαραίτητο να υπολογίζεται η λεγόμενη ένταση ακτινοβολίας (I) που εκπέμπεται μέσα από δεδομένη στερεά γωνία [$\text{kW/m}^2 \text{sterad}$]. Μπορεί να αποδειχθεί ότι η ένταση

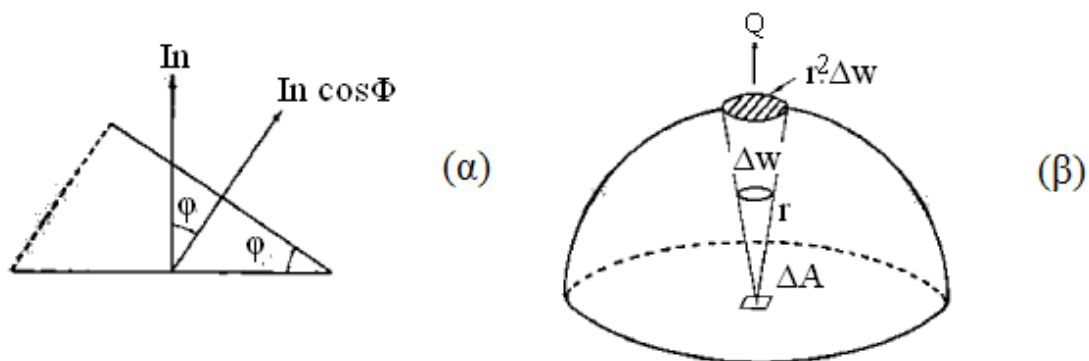
ακτινοβολίας κάθετα στην επιφάνεια, συνδέεται με απλό τρόπο με την ικανότητα εκπομπής του μέλανος σώματος [1].

1.3.2.6 Ο Νόμος Lambert

Η ένταση ακτινοβολίας από μια επιφάνεια μοναδιαίου εμβαδού για διεύθυνση εκπομπής υπό γωνία φ σε σχέση με την κάθετη στην επιφάνεια (σχήμα 1.3.2.6-1) θα δίδεται από τη σχέση:

$$I = E_b \cos(\varphi) / \pi \quad (1.3.2.6-1)$$

Η εξίσωση αυτή εκφράζει το λεγόμενο Νόμο συνημίτονου του Lambert, και οι επιφάνειες που συμπεριφέρονται με τον τρόπο αυτό λέγονται επιφάνειες Lambert, μια μαύρη επιφάνεια, είναι επίσης και επιφάνεια Lambert.[1]



Σχήμα 1.3.2.6-1. Επιφάνεια Lambert.

1.4 Υπέρυθρη Θερμογραφία

1.4.1 Ορισμοί

Θερμογραφία, ή θερμική απεικόνιση, είναι μια μέθοδος προσδιορισμού της χρονικής εξάρτησης και της χωρικής κατανομής της θερμότητας στα υπό εξέταση αντικείμενα. Το σύστημα που χρησιμοποιείται για αυτόν το σκοπό πρέπει να είναι σε θέση να μετασχηματίσει μια υπέρυθη εικόνα σε μια ορατή εικόνα. Η λειτουργία του

είναι να δημιουργεί μια ορατή εικόνα με μια κατανομή ακτινοβολίας που είναι ανάλογη με την υπέρυθη κατανομή ακτινοβολίας του αντικειμένου, δηλαδή τη χωρική κατανομή της θερμοκρασίας του $T(Y, z)$ ή την κατανομή εκπεμπτικότητάς του $\varepsilon(Y, z)$. Αυτή η μετατροπή επιτυγχάνεται συνήθως από τη γρήγορη διαδοχική ανίχνευση του αντικειμένου με ένα ραδιόμετρο [3].

Η υπέρυθη θερμογραφία είναι μία μη καταστρεπτική τεχνική κατά την οποία μετρείται και καταγράφεται η θερμική ακτινοβολία που εκπέμπεται από την επιφάνεια ενός υλικού ή ενός σώματος, στην υπέρυθη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Το αποτέλεσμα τέτοιων μετρήσεων είναι το θερμογράφημα, μία «θερμική» εικόνα (σε έγχρωμη ή ασπρόμαυρη μορφή) της εξεταζόμενης επιφάνειας.

Η αρχή των υπέρυθρων θερμογραφικών τεχνικών βασίζεται στο γεγονός ότι η ροή θερμότητας σε ένα υλικό διαφοροποιείται με την παρουσία ορισμένων τύπων ατελειών. Μεταβολές στη ροή θερμότητας προκαλούν τοπικές θερμοκρασιακές διαφορές στο εξεταζόμενο υλικό. Ουσιαστικά η θερμογραφία είναι η μελέτη και η απεικόνιση ανάλογων θερμικών δεδομένων [4].

1.4.2 Παθητική και Ενεργητική θερμογραφία

Η υπέρυθη θερμογραφία μπορεί να αναλυθεί σε δύο προσεγγίσεις, την παθητική προσέγγιση και την ενεργητική προσέγγιση. Η παθητική προσέγγιση εξετάζει υλικά και δομές που είναι από την φύση σε διαφορετική (συνήα υψηλότερη) θερμοκρασία από αυτή του περιβάλλοντος ενώ στην περίπτωση της ενεργητικής προσέγγισης, ένα εξωτερικό ερέθισμα είναι απαραίτητο για να προκαλέσει σχετικές θερμοκρασιακές διαφορές [5].

1.4.2.1 Παθητική θερμογραφία

Κατά την μέθοδο αυτή καταγράφεται η εκπεμπόμενη από το σώμα υπέρυθη ακτινοβολία, χωρίς την εφαρμογή κάποιας εξωτερικής πηγής θερμότητας. Οι σημαντικές εφαρμογές της παθητικής προσέγγισης είναι στην παραγωγή, προλυπτική συντήρηση, ιατρική, πυρανίχνευση δασών, προγράμματα θερμικής αποδοτικότητας κτιρίων, έλεγχος οδικής κυκλοφορίας, γεωργία και βιολογία, ανίχνευση αερίου και σε

μη καταστρεπτικές δοκιμές (non destructive testing, NDT). Σε όλες αυτές τις εφαρμογές, μη κανονικά θερμοκρασιακά αποτελέσματα δείχνουν ένα πιθανό πρόβλημα που πρέπει να προσεχθεί [5].

1.4.2.2 Ενεργητική θερμογραφία

Σε αντίθεση με την παθητική προσέγγιση, στην ενεργητική προσέγγιση, απαιτείται ένα εξωτερικό ερέθισμα για να παραγάγει τις σχετικές διαφορές θερμοκρασίας που αλλιώς δε θα εμφανιζόταν. Γνωστά χαρακτηριστικά αυτού του εξωτερικού ερεθίσματος επιτρέπουν τον ποσοτικό χαρακτηρισμό όπως για παράδειγμα την ανίχνευση του βάθους μιας ρωγμής. Βασιζόμενοι σε εξωτερικό ερέθισμα έχουν αναπτυχθεί διαφορετικές τεχνικές ενεργητικής θερμογραφίας, όπως Θερμογραφία παλμού (PT), Βηματικής θέρμανσης (SH), Θερμογραφία ασφαλείας (LT), Θερμογραφία ταλαντώσεων (VT). Η ενεργητική προσέγγιση βρίσκει πολυάριθμες εφαρμογές σε μη καταστρεπτικές δοκιμές [5].

1.4.3 Υπέρυθρη θερμογραφία και εκπεμπτικότητα (emissivity) των υλικών.

1.4.3.1 Εκπεμπτικότητα-Ορισμός

Εκπεμπτικότητα είναι ο λόγος της ακτινοβολίας ενός σώματος σε μια δεδομένη θερμοκρασία προς την ακτινοβολία ενός σώματος που απορροφά όλη την ακτινοβολία, στην ίδια θερμοκρασία. Ο ακριβής καθορισμός της επιφανειακής εκπεμπτικότητας είναι κλειδί για τη σωστή μέτρηση της επιφανειακής θερμοκρασίας ενός υλικού [3].

1.4.3.2 Φάσμα εκπεμπτικότητας υλικών

Η εκπεμπτικότητα $\varepsilon(\lambda)$ μιας επιφάνειας ορίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\varepsilon(\lambda) = \frac{dR(\lambda, T)}{d\lambda} / \frac{dR_{bb}(\lambda, T)}{d\lambda} \quad (1.4.3.2-1)$$

Επομένως η εκπεμπτικότητα είναι μια συνάρτηση του μήκους κύματος, της κατεύθυνση της παρατήρησης σε σχέση με την επιφάνεια και της θερμοκρασία της επιφάνειας.

Γενικά, η εκπεμπτικότητα μεταβάλλεται αργά με το μήκος κύματος στην περίπτωση των στερεών αντικειμένων, αλλά μεταβάλλεται γρήγορα στην περίπτωση των αερίων και των υγρών.

Επιπλέον, η εκπεμπτικότητα μιας επιφάνειας στο ορατό φάσμα συχνά δεν έχει καμία σχέση με την εκπεμπτικότητα στο φάσμα των υπέρυθρων. Για παράδειγμα, το χιόνι έχει πολύ χαμηλή εκπεμπτικότητα στο ορατό φάσμα, αλλά είναι άριστο μέλαν σώμα στις υπέρυθρες ακτίνες. Αυτή η ιδιότητα επιτρέπει μια αρκετά αργή επιστροφή στην υγρή κατάσταση, ακόμη και κάτω από την έκθεση στο φως του ήλιου. Στην πραγματικότητα, το μεγαλύτερο μέρος της ορατής ηλιακής ακτινοβολίας διασκορπίζεται και αντανακλάται, η υψηλότερη εκπεμπτικότητα στην περιοχή των υπέρυθρων επιτρέπει την επανεκπομπή της απορροφημένης υπέρυθρης ενέργειας.

Γενικά, τα μέταλλα έχουν μια σχετικά υψηλή εκπεμπτικότητα που αυξάνεται γρήγορα με τη θερμοκρασία έως ότου διαμορφωθεί ένα οξείδιο στην επιφάνεια του θερμού μετάλλου. Άλλα υλικά έχουν υψηλές εκπεμπτικότητες που τείνουν να μειωθούν με τη θερμοκρασία. Σε όλες τις περιπτώσεις, η εκπεμπτικότητα εξαρτάται από την επιφάνεια του υλικού.

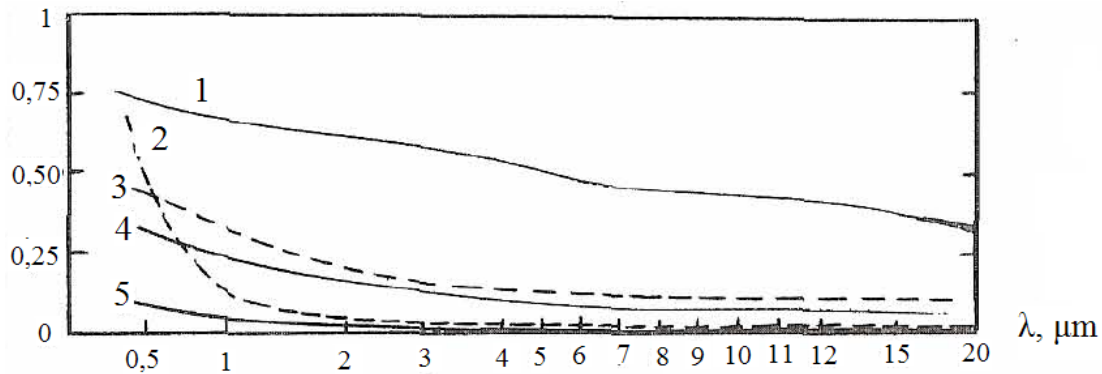
Για ένα δεδομένο υλικό, η εκπεμπτικότητα ανάγεται συχνά υπό κανονικές συνθήκες και ενσωματώνεται σε όλα τα μήκη κύματος:

$$\varepsilon = \frac{\int_0^{\infty} \varepsilon(\lambda) \frac{dR(\lambda, T)}{d\lambda} d\lambda}{\int_0^{\infty} \frac{dR(\lambda, T)}{d\lambda} d\lambda} = \frac{1}{\sigma T^4} \int_0^{\infty} \varepsilon(\lambda) \frac{dR(\lambda, T)}{d\lambda} d\lambda \quad (1.4.3.2-2)$$

Αυτό αναφέρεται έπειτα ως *ολική εκπεμπτικότητα* που είναι η αναλογία της ενέργειας που ακτινοβολείται από το υλικό σε μια θερμοκρασία T και της ενέργειας που ακτινοβολείται από ένα μέλαν σώμα στην ίδια θερμοκρασία [3].

1.4.3.3 Η επίδραση της θερμοκρασίας στην εκπεμπτικότητα των μετάλλων

Η εκπεμπτικότητα των μετάλλων στην περιοχή των υπερύθρων γενικά τείνει να αυξηθεί με τη θερμοκρασία του μετάλλου.



Σχήμα 1.4.3.3-1. Εκπεμπτικότητα σε σχέση με το φάσμα της ακτινοβολίας των μετάλλων και του γραφίτη. 1-γραφίτης, 2-χαλκός, 3-σίδηρος, 4-αλουμίνιο, 5-ασήμι .

Μπορεί να δειχθεί ότι ο συντελεστής ανάκλασης ενός μετάλλου δίνεται από το τύπο:

$$R = 1 - \sqrt{\frac{2\omega}{\gamma\mu c^2}} \quad (1.4.3.3-1)$$

όπου $\omega = 2\pi c/\lambda$ είναι η γωνιακή συχνότητα του οπτικού κύματος, το γ είναι η ηλεκτρική αγωγιμότητα του μετάλλου, το μ είναι η μαγνητική διαπερατότητα του υλικού και το c είναι η ταχύτητα του φωτός. Η εκπεμπτικότητα ενός μετάλλου δίνεται από σχέση:

$$\varepsilon(\lambda) = 1 - R = \sqrt{\frac{2\omega}{\lambda\mu c^2}} \quad (1.4.3.3-2)$$

και αυξάνεται όσο η ηλεκτρική του αγωγιμότητα γ μειώνεται.

Μια αύξηση στη θερμοκρασία αντιστοιχεί σε μια μείωση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας λόγω της θερμικής κίνησης του μοριακού πλέγματος, η οποία παράγει μια αύξηση στην εκπεμπτικότητα.

Η εκπεμπτικότητα που εξαρτάται από το φάσμα ε_λ (T) και η συνολική εκπεμπτικότητα ε (T) δίνονται από τους παρακάτω τύπους:

$$\varepsilon_{\lambda}(T) = 0,365 \sqrt{\rho[1 + \alpha(T - 293)] \frac{1}{\lambda}} - 0,0667 \rho[1 + \alpha(T - 293)] \frac{1}{\lambda} + 0,006 \sqrt{[\rho[1 + \alpha(T - 293)] \frac{1}{\lambda}]^3} \quad (1.4.3.3-3)$$

$$\varepsilon(T) = 0,5737 \sqrt{\rho[1 + \alpha(T - 293)] T} - 0,1769 \rho[1 + \alpha(T - 293)] T \quad (1.4.3.3-4)$$

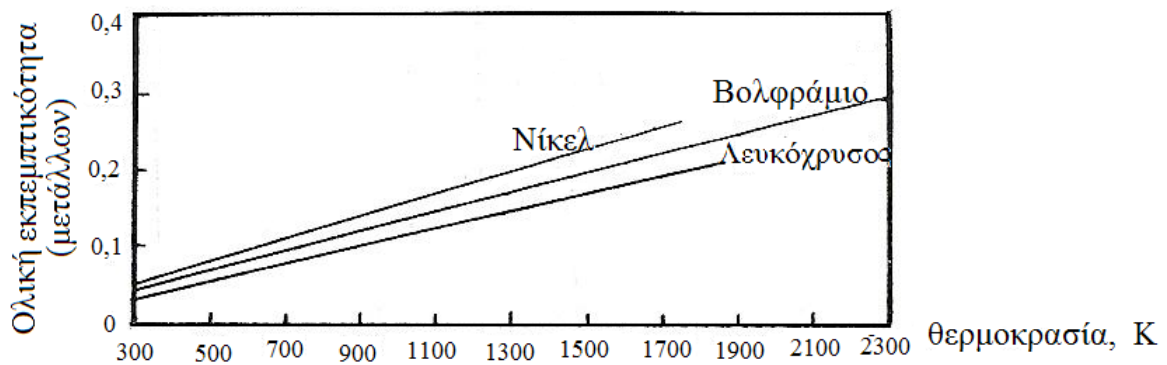
ΥΛΙΚΑ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ °C	ΟΛΙΚΗ ΚΑΝΟΝΙΚΗ ΕΚΠΕΜΠΤΙΚΟΤΗΤΑ
Γυαλισμένο αλουμίνιο	0	0,03
Γυαλισμένο αλουμίνιο	100	0,05
Γυαλισμένος χρυσός	100	0,02
Γυαλισμένος σίδηρος	40	0,21
Οξειδωμένο σίδηρος	100	0,64
Γυαλισμένος χάλυβας	100	0,07
Οξειδωμένος χάλυβας(800 °C)	100	0,79
Ασπρο χαρτί	20	0,93
Ξύλο	20	0,90
Γυαλισμένο γυαλί	20	0,94
Ανθρώπινο δέρμα	32	0,98
Νερό	1	0,92
Χιόνι	0	0,80

Πίνακας 1.4.3.3-1 Τιμές της ολικής εκπεμπτικότητας για διάφορα υλικά.

Αυτές οι σχέσεις υπόκεινται, εντούτοις, σε ορισμένους περιορισμούς. Για παράδειγμα, για το βολφράμιο, είναι απαραίτητο να έχει $\lambda > 2 \mu\text{m}$, για το χρυσό και το ασήμι $\lambda > 1.5 \mu\text{m}$ και για το νικέλιο και το σίδηρο $\lambda < 5 \mu\text{m}$. Η κατάσταση της επιφάνειας και η οξείδωση του μετάλλου μπορούν να αλλάξουν την εκπεμπτικότητα αρκετά [3].

1.4.3.4 Η επίδραση της γωνίας πρόσπτωσης στην εκπεμπτικότητα των υλικών

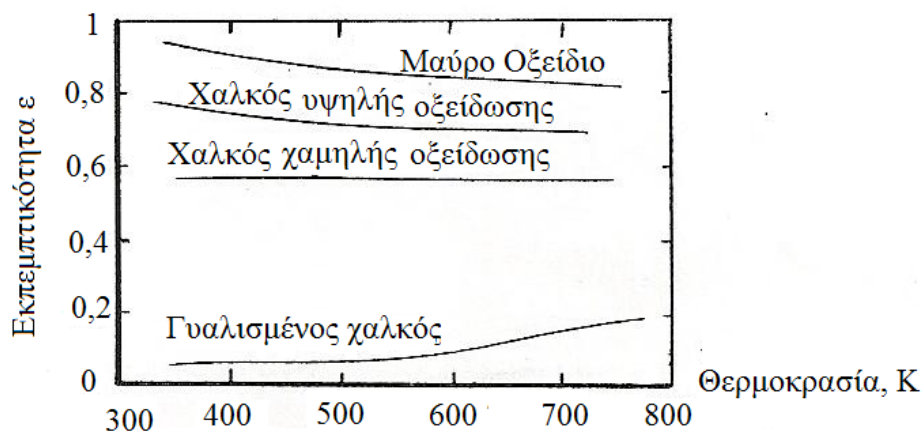
Η εκπεμπτικότητα ενός υλικού εξαρτάται, αφ' ενός, από τη γωνία της παρατήρησης και αφετέρου από την πόλωση της ακτινοβολίας που εξετάζεται. Αυτό οδηγεί στις σχέσεις Fresnel για το συντελεστή ανάκλασης της περιοχής μεταξύ δύο μέσων.



Εικόνα 1.4.3.4-1. Ολική εκπεμπτικότητα μετάλλων.

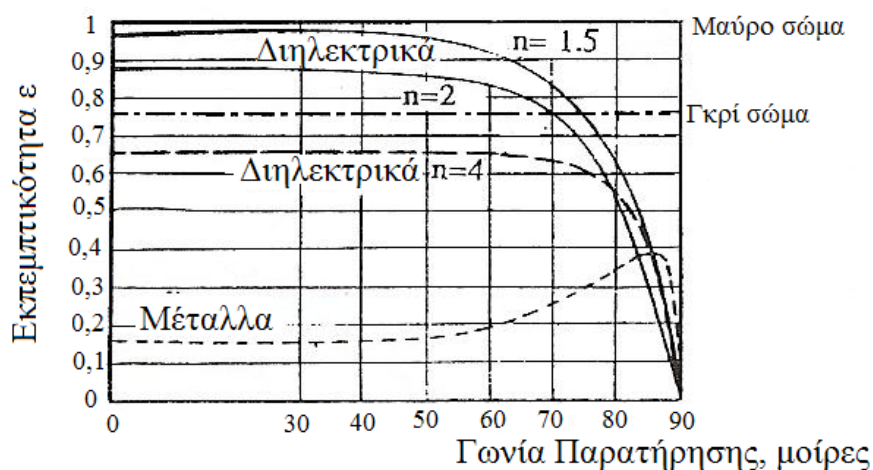
Το νερό είναι σχεδόν τέλειο μέλαν σώμα σε ένα μήκος κύματος 10μm σε κανονικές συνθήκες, και γίνεται ένας καθρέφτης ($\epsilon = 0$) σε χαμηλές συνθήκες.

Η μεταβολή της εκπεμπτικότητας μιας επιφάνειας με τη γωνία παρατήρησης συνεπάγεται ότι οι επιφάνειες που δεν είναι επίπεδες έχουν τοπικά διαφορετική εκπεμπτικότητα, ακόμη και στην περίπτωση ενός υλικού σταθερής εκπεμπτικότητας.



Εικόνα 1.4.3.4-2. Εξάρτηση της εκπεμπτικότητας από την κατάσταση της επιφάνειας του υλικού.

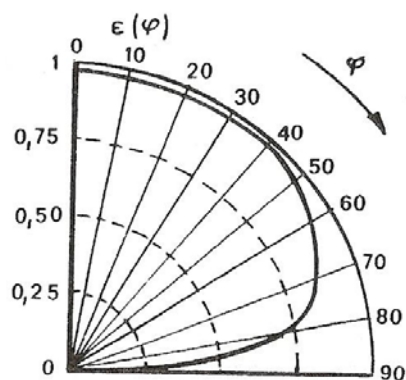
Η γεωμετρία της επιφάνειας που ακτινοβολεί χαρακτηρίζεται από την εκπεμπτικότητα της υπό γωνία. Μια διάκριση πρέπει επομένως να γίνει μεταξύ της ικανότητας ακτινοβολίας προς μια κατεύθυνση, της ικανότητας ακτινοβολίας υπό στερεά γωνία και της ικανότητας ακτινοβολίας ημιδιαστημάτων.



Εικόνα 1.4.3.4-3. Μεταβολή της εκπεμπτικότητας σε σχέση με τη γωνία παρατήρησης.

Για αντικείμενα που ακολουθούν το νόμο του Lambert ισχύει:

$$\epsilon_{\lambda\varphi} = \epsilon_{\lambda\omega} = \epsilon_{\lambda h} \quad (1.4.3.4-1)$$



Εικόνα 1.4.3.4-4. Πολικό διάγραμμα της εκπεμπτικότητας για το νερό (λ=10μm)

Τα περισσότερα αντικείμενα υπακούουν στο νόμο του Lambert για γωνίες που δεν υπερβαίνουν τις 55° [3].

1.4.3.5 Η επίδραση της εκπεμπτικότητας στη θερμογραφία

Η θερμογραφία χρησιμοποιεί κάμερες υπέρυθρου για τη μέτρηση είτε της θερμοκρασία ενός αντικειμένου είτε της εκπεμπτικότητας του. Έχουμε δει ότι η εκπομπή ενός αντικειμένου με εκπεμπτικότητα ϵ , σε θερμοκρασία T δίνεται από τον τύπο

$$\frac{dR(\lambda, T)}{d\lambda} = \epsilon_{\lambda} \frac{dR_{cn}(\lambda, T)}{d\lambda} \quad (1.4.3.5-1)$$

Ο παράγοντας $\epsilon(\lambda)$ μπορεί να μεταβάλλεται στο διάστημα 0 έως 1, ανάλογα με το αντικείμενο, και έχει εξαιρετικά ισχυρή επίδραση στην ακτινοβολία από το αντικείμενο. Οι θερμογραφικές μετρήσεις θεωρούνται ακριβείς για την ανίχνευση αυτής της ακτινοβολίας. Είναι σαφές ότι τα σχεδόν-μέλανα σώματα θα δώσουν ένα άριστο αποτέλεσμα επειδή η μετρούμενη ακτινοβολία προκύπτει πρακτικά στο σύνολο της από αυτο-εκπομπή.

Ο νόμος του Planck επιτρέπει στην περίπτωση αυτή τον υπολογισμό της αντίστοιχης θερμοκρασίας. Τα αποτελέσματα είναι πολύ χειρότερα όταν η εκπεμπτικότητα του υλικού είναι χαμηλή.

Δύο παράγοντες επηρεάζουν τέτοιες μετρήσεις. Ο πρώτος παράγοντας είναι το γεγονός ότι σε ίσες θερμοκρασίες, η ενέργεια που ακτινοβολείται από ένα αντικείμενο χαμηλής εκπεμπτικότητας είναι λιγότερη από αυτή ενός μέλανος σώματος. Αυτό το φαινόμενο δεν επιδρά σημαντικά επειδή η γνώση της ικανότητας ακτινοβολίας σε συνδυασμό με την καλή ευαισθησία ανίχνευσης, επιτρέπει τον υπολογισμό της θερμοκρασίας του αντικειμένου.

Ο δεύτερος παράγοντας ο οποίος επιδρά σημαντικά στη μέτρηση, είναι η ανάκλαση του υλικού η οποία είναι υψηλή όταν η εκπεμπτικότητα είναι χαμηλή, προσθέτοντας έτσι την παρασιτική ακτινοβολία του περιβάλλοντος. Είναι επομένως πολύ δύσκολο να διακρίνουμε μεταξύ ακτινοβολίας λόγω της αυτό-εκπομπής και ακτινοβολίας λόγω της αντανάκλασης. Παρόλα αυτά είναι δυνατό να επιτευχθούν έγκυρα αποτελέσματα όταν η θερμοκρασία του υπό μέτρηση αντικειμένου είναι

αρκετά υψηλότερη από αυτή του περιβαλλοντικού μέσου. Η παρασιτική ενέργεια είναι τότε χαμηλή, ακόμη και για ένα αντικείμενο με μέσο συντελεστή ανάκλασης. Τέλος, αξίζει να αναφέρουμε ότι καμία μέτρηση δεν είναι δυνατή για υλικά υψηλής ανάκλασης των οποίων η αυτο-εκπομπή είναι ουσιαστικά μηδέν.

Συνοψίζοντας, οι μετρήσεις πρέπει να γίνονται όποτε είναι δυνατόν επάνω σε «μαύρες» επιφάνειες ή επιφάνειες που έχουν γίνει μαύρες τεχνητά από χρώμα ή επεξεργασία ώστε να έχουν υψηλή εκπεμπτικότητα. Εντούτοις, όταν αυτό δεν είναι δυνατό, οι μετρήσεις πρέπει να γίνονται υπό ευνοϊκές συνθήκες κάτω από τις οποίες τα αντικείμενα να μπορούν να θεωρηθούν ότι είναι «γκρι», π.χ., πολυφασματικές μετρήσεις μπορούν να συνδυαστούν με σχετικά σύνθετη επεξεργασία σήματος [3].

1.4.4 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα υπέρυθρης θερμογραφίας

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

- γρήγορη επιθεώρηση μεγάλων επιφανειών(μέχρι μερικά m^2 κάθε φορά)
- επιθεώρηση χωρίς επαφή
- η ασφάλεια του προσωπικού (δεδομένου ότι δεν υπάρχει καμία σχετική επιβλαβής ακτινοβολία)
- τα αποτελέσματα είναι σχετικά εύκολο να μελετηθούν δεδομένου ότι οι εικόνες μπορούν να υποβληθούν σε επεξεργασία για να εξαχθούν περισσότερες πληροφορίες
- ευρεία έκταση των εφαρμογών
- είναι ίσως το μοναδικό εργαλείο επιθεώρησης σε κάποιες περιπτώσεις (π.χ. όπως στην περίπτωση μερικών κεραμικών επιστρωμάτων που επιθεωρούνται μετά βίας με άλλες η καταστρεπτικές τεχνικές ή στην περίπτωση ερευνών στη διάρκεια συντήρησης).

Από την άλλη, υπάρχουν μερικά μειονεκτήματα όπως :

- δυσκολία απόκτησης μιας γρήγορης, ομοιόμορφης και ιδιαίτερα ενεργητικής θερμικής διέγερσης πάνω σε μια μεγάλη επιφάνεια.
- Επίδραση των θερμικών απωλειών (εκ μεταφοράς, ακτινοβολίας) που συνήθως προκαλούν ψεύτικες μεταβολές θερμοκρασίας και έχουν επιπτώσεις στην αξιοπιστία της μέτρησης.

- Υψηλό κόστος του εξοπλισμού
- δυνατότητα επιθεώρησης ένα περιορισμένου πάχους υλικού κάτω από την επιφάνεια
- προβλήματα εκπεμπτικότητας [5].

1.4.5 Εφαρμογές της υπέρυθρης θερμογραφίας.

Η εφαρμογή της υπέρυθρης θερμογραφίας σε ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις (σε εσωτερικό ή εξωτερικό χώρο) περιλαμβάνει μεταξύ άλλων την ανίχνευση «θερμών σημείων», χαλαρών συνδέσεων, «καμένων επαφών» καθώς και τον έλεγχο της κατάστασης της μόνωσης. Στις μηχανολογικές εγκαταστάσεις η υπέρυθρη θερμογραφία χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό «θερμών περιοχών», περιοχών υψηλού βαθμού τριβών και των «ελαττωματικών» εξαρτημάτων διαφόρων μηχανημάτων. Επίσης χρησιμοποιείται στις σωληνώσεις, σε συστήματα εναλλακτών και σε δοχεία για την ανίχνευση διαροών, τη μέτρηση στάθμης και τον έλεγχο της σωστής λειτουργίας των ατμοπαγίδων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2°

2. Διαδικασία Μετρήσεων

Για τη μέτρηση της θερμοκρασίας Μ/Σ ισχύος του δικτύου μέσης τάσης χρησιμοποιήθηκε θερμόμετρο υπέρυθρων και θερμοκάμερα. Το υπέρυθρο θερμόμετρο μετρά τη θερμοκρασία της επιφάνειας ενός αδιαφανούς αντικειμένου. Ο ανιχνευτής, που περιέχει, συγκεντρώνει την υπέρυθρη ενέργεια του αντικειμένου και τα ηλεκτρονικά συστήματα του θερμομέτρου μεταφράζουν τις πληροφορίες σε μια επιδειχθείσα ανάγνωση θερμοκρασίας που εμφανίζεται στην οθόνη. Το όργανο αυτό ολοκληρώνει τις θερμοκρασίες που λαμβάνει σε μια κυκλική περιοχή η οποία εξαρτάται από την απόσταση στόχευσης. Η διάμετρος της περιοχής ως προς την μέγιστη απόσταση στόχευσης έχουν σταθερή αναλογία 1 προς 12. Το λέιζερ του οργάνου χρησιμοποιείται μόνο για την ένδειξη του σημείου μέτρησης των εξεταζόμενων αντικειμένων.(Παράρτημα Α)

Για την επαλήθευση της εγκυρότητας των μετρήσεων του υπέρυθρου θερμομέτρου από μεγάλη απόσταση προχωρήσαμε στη βαθμονόμισή του. Για τη διαδικασία αυτή χρησιμοποιήθηκε θερμοκάμερα η οποία απεικονίζει στην οθόνη της το προς επιθεώρηση αντικείμενο με διάφορες χρωματικές επιστρώσεις ανάλογα με την παλέτα χρωμάτων που έχουμε διαλέξει και ανάλογα με τη θερμοκρασία του αντικειμένου στα διάφορα σημεία.

2.1 Διαδικασία βαθμονόμισης του θερμομέτρου υπέρυθρων για χρήση σε μετρήσεις θερμοκρασίας μετασχηματιστών.

Για την αξιολόγηση της ικανότητας μέτρησης του οργάνου από μεγάλη για αυτό απόσταση ακολουθήθηκε η παρακάτω μεθοδος. Χρησιμοποιώντας μια πηγή θερμότητας με σταθερή (ή όσο το δυνατόν σταθερή) θερμοκρασία, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις από διάφορες αποστάσεις.(0,5m, 1m, 1,5m κλπ).

Η επιλογή της πηγής θερμότητας έγινε με κριτήριο την όσο τον δυνατόν πιο σταθερή και πρότυπη θερμοκρασία. Με βάση αυτή τη λογική επιλέχθηκε η χρήση δοχείου ζεστού νερού το οποίο έχει το πλεονέκτημα στο οριζόντιο επίπεδο να έχει σχεδόν σταθερή θερμοκρασία. Το δοχείο είχε τετραγωνική όψη, και διαστάσεις 25cmX25cm. Για να αποφευχθεί η ανάκλαση στην επιφάνεια του δοχείου, βάφτηκε με χρώμα τύπου ματ.

Όσον αφορά τις θέσεις στόχευσης, στοχεύουμε τόσο στο κέντρο του δοχείου όσο και στις τέσσερις γωνίες για να εξεταστούν τυχόν σφάλματα και αποκλίσεις του οργάνου. Έτσι λαμβάνονται 5 μετρήσεις για κάθε απόσταση.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί η διάμετρος της περιοχής που μετρά το υπέρυθρο θερμόμετρο ως προς την μέγιστη απόσταση στόχευσης έχουν σταθερή αναλογία 1 προς 12. Για το συγκεκριμένο δοχείο που χρησιμοποιήθηκε, διαστάσεων 25cmX 25cm, η μέγιστη απόσταση στόχευσης είναι τα 3m.(Στην απόσταση αυτή η κυκλική επιφάνεια καλύπτει όλο το δοχείο). Οι μετρήσεις που έγιναν φαίνονται στον πίνακα 2.1-1 που ακολουθεί.

	Δοχείο (Διαστάσεις)	25cmX25cm				
	Θερμοκρασία νερού	58°C				
			Θερμοκρασία °C			
A/A	Απόσταση(m)	Κέντρο	Πάνω Αριστερά	Πάνω Δεξιά	Κάτω Αριστερά	Κάτω Δεξιά
1η σειρά						
1	0,5	47,7	48,4	29,2	36,8	29
2	1	48,5	47,9	25,3	36,2	25,4
3	1,5	48,2	46,5	24,5	34,2	24
4	2	47,2	45,3	24,4	33	23,9
5	2,5	46,1	45,4	24,4	32,9	23,7
6	3	43,7	46,1	24,4	30,4	23,7
7	3,5	38,8	45,5	24,1	29,2	23,2
2η σειρά						
1	0,5	55,7	56,9	37,3	36,1	30,4
2	1	57,2	54,8	27,2	31,7	26,6
3	1,5	56,3	53,5	25,9	31,2	24,9
4	2	54,5	53	25,3	31,9	24,3
5	2,5	51,8	51,9	24,8	31,3	24
6	3	49,2	52,7	24,8	30,2	23,9
7	3,5	43,9	51,7	24,3	29,1	23,4
3η σειρά						
1	0,5	65,1	62,6	32,8	38,1	29,6
2	1	65,5	61	26,8	35,1	26,6
3	1,5	64,3	59,8	26	34,8	25,3
4	2	62,3	59,7	25,7	34,4	24,6
5	2,5	57,6	60,2	25,4	31,1	24,3
6	3	52,2	59,6	24,6	29,1	23,9
7	3,5	45,6	58,3	24,7	31,4	23,6

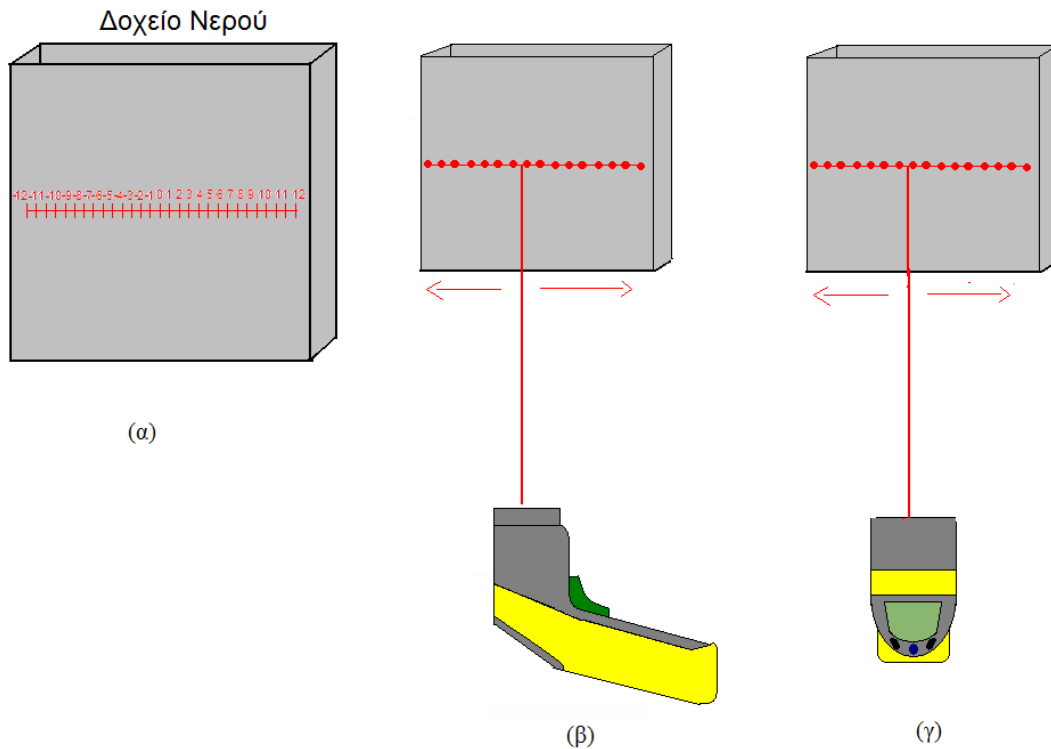
Πίνακας 2.1-1. Μετρήσεις θερμοκρασίας στοχεύοντας στα πέντε σημεία του δοχείου .
1^η, 2^η και 3^η σειρά μετρήσεων.

Παρατηρήσεις

1. Παρατηρούμε ότι όσο απομακρυνόμαστε από την πηγή θερμότητας οι ενδείξεις του οργάνου μεταβάλλονται αισθητά. Έτσι συμπεραίνουμε ότι η ακρίβεια του οργάνου μειώνεται με την απόσταση στόχευσης. Αυτό συμβαίνει και για τα πέντε σημεία στόχευσης πάνω στο δοχείο.
2. Οι μετρήσεις στο κάτω μέρος του δοχείου (κάτω αριστερά, κάτω δεξιά) διαφέρουν από αυτές στο πάνω μέρος (πάνω αριστερά, πάνω δεξιά). Στο πάνω μέρος διαπιστώνονται μεγαλύτερες τιμές της θερμοκρασίας. Κάτι τέτοιο είναι αναμενόμενο λόγω του ότι η πηγή θερμότητας είναι ένα δοχείο με νερό και είναι γνωστό πως τα ζεστά μόρια το νερού είναι πιο «ελαφριά» και επομένως ανεβαίνουν στην επιφάνεια. Η διαφορά όμως στην προκειμένη περίπτωση, δεδομένου του μεγέθους του δοχείου, δεν δικαιολογείται και χρήζει εξέτασης.
3. Θα περιμέναμε τόσο στο αριστερό κομμάτι του δοχείου όσο και στο δεξί οι θερμοκρασίες να είναι περίπου ίδιες. Δηλαδή για παράδειγμα η τιμή της θερμοκρασίας που μετρήθηκε στη πάνω δεξιά γωνία να είναι παραπλήσια αυτής στην πάνω αριστερή γωνία. Κάτι τέτοιο δεν συμβαίνει και μάλιστα οι θερμοκρασίες έχουν μεγάλη απόκλιση.
4. Βάση της πρώτης παρατήρησης καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι το όργανο παρουσιάζει ένα σφάλμα απόκλισης της δέσμης ολοκλήρωσης ή και της ακτίνας του λέιζερ στόχευσης.
5. Η πιθανή απόκλιση εκτιμάται ότι είναι δεξιά και κάτω με βάση τις τιμές των μετρήσεων. Επίσης ως προς την βαθμονόμηση του οργάνου απαιτείται νέα σειρά μετρήσεων η οποία θα εμπεριέχει την διόρθωση της απόκλισης.

2.1.1 Υπολογισμός Απόκλισης

Για τον υπολογισμό της απόκλισης έγιναν νέες μετρήσεις με χρήση πάλι του δοχείου διαστάσεων 25cmX25cm , το οποίο και βαθμονομήθηκε σε cm σε μία οριζόντια γραμμή (για να έχουμε ενιαία θερμοκρασία) στο ύψος του κέντρου , με αρίθμηση από -12cm έως 12cm, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.1.1-1 (α).



Σχήμα 2.1.1-1.(α) Δοχείο νερού, (β). Στόχευση με θέση όπλου οριζόντια,
(γ).Στόχευση με θέση όπλου όρθια

Για κάθε σημείο πάνω στην οριζόντια γραμμή λαμβάνουμε και μία μέτρηση με το όργανο από σταθερή απόσταση. Στην συνέχεια μεταβάλλουμε την απόσταση και ξαναλαμβάνουμε πάλι τις μετρήσεις όλων των σημείων.

Για τον υπολογισμό της απόκλισης στο οριζόντιο επίπεδο στοχεύουμε το δοχείο με το όργανο σε πλάγια θέση, σχήμα 2.1.1-1 (β). Ενώ για τον υπολογισμό της απόκλισης στο κατακόρυφο επίπεδο στοχεύουμε το δοχείο με το όργανο σε οριζόντια θέση σχήμα 2.1.1-1 (γ). Αυτή η διαδικασία ακολουθείται ώστε οι μετρήσεις να γίνονται πάντα στην οριζόντια βαθμονομημένη γραμμή του δοχείου όπου και η θερμοκρασία, λόγω της ιδιότητας του νερού, παραμένει περίπου σταθερή. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν για αποστάσεις από 0,5m έως 2,5m με βήμα 0,5m(βλ πίνακες 2.1.1-1 έως 2.1.1-4).

Η ταυτοποίηση της πραγματικής θερμοκρασίας έγινε με χρήση της θερμοκάμερας flexcam Ti45 με την οποία έγιναν μετρήσεις για όλα τα σημεία από απόσταση μισού μέτρου.

Απόσταση 0,5 m		Απόσταση 1m	
Σημείο στην οριζόντιο(cm)	Θερμοκρασία οC	Σημείο στην οριζόντιο(cm)	Θερμοκρασία οC
-12	52	-12	51,1
-11	52,4	-11	51,1
-10	52,7	-10	51,3
-9	52,8	-9	51,3
-8	52,7	-8	51
-7	52,8	-7	51,8
-6	52,9	-6	52
-5	53	-5	52,1
-4	53,1	-4	52,2
-3	53,1	-3	52,2
-2	53,1	-2	52,3
-1	53,1	-1	52
0	53,1	0	52,3
1	53	1	52,3
2	53,1	2	52,4
3	53	3	52,3
4	53,1	4	52,3
5	53,2	5	52,1
6	53,1	6	51,7
7	52,8	7	50,7
8	52,4	8	48,1
9	49,8	9	41,8
10	37,1	10	33,8
11	29,1	11	29,9
12	27,5	12	28,2

Πίνακας 2.1.1-1. Μετρήσεις θερμοκρασίας με το όργανο σε οριζόντια θέση σε αποστάσεις στόχευσης 0,5m, 1m..

Απόσταση 1,5m		Απόσταση 2m		Απόσταση 2,5m	
Σημείο στην οριζόντιο(cm)	Θερμοκρασία οC	Σημείο στην οριζόντιο(cm)	Θερμοκρασία οC	Σημείο στην οριζόντιο(cm)	Θερμοκρασία οC
-12	50	-12	49,4	-12	45
-11	50,2	-11	50,2	-11	45,3
-10	50,3	-10	50,4	-10	45,3
-9	50,5	-9	50,7	-9	45,6
-8	50,7	-8	50,7	-8	45,6
-7	50,9	-7	50,9	-7	46
-6	51	-6	51,3	-6	45,8
-5	51,3	-5	51,3	-5	46
-4	51,4	-4	51,5	-4	46
-3	51,5	-3	51,5	-3	46,1
-2	51,6	-2	51,6	-2	46,1
-1	51,6	-1	51,6	-1	46,2
0	51,6	0	51,6	0	46,2
1	51,6	1	51,6	1	46,2
2	51,5	2	51,4	2	45,8
3	51,4	3	51,2	3	45,2
4	51,2	4	50,5	4	44
5	50,7	5	49,2	5	42,4
6	49,2	6	46,7	6	39,8
7	47	7	44,3	7	37,3
8	42,5	8	40	8	34,1
9	37,5	9	34,7	9	31,1
10	32,7	10	30,7	10	28,6
11	29,9	11	28,6	11	27,1
12	28,5	12	27,2	12	26,2

Πίνακας 2.1.1-2. Μετρήσεις θερμοκρασίας με το όργανο σε οριζόντια θέση σε αποστάσεις στόχευσης 1,5m, 2m, 2,5m.

Απόσταση 0,5 m		Απόσταση 1 m	
Σημείο στην οριζόντιο(cm)	Θερμοκρασία οC	Σημείο στην οριζόντιο(cm)	Θερμοκρασία οC
-12	49,4	-12	47,4
-11	49,8	-11	47,6
-10	49,9	-10	47,7
-9	49,8	-9	47,4
-8	49,6	-8	47,3
-7	49,4	-7	47,4
-6	49,1	-6	47,7
-5	49,6	-5	48
-4	49,8	-4	48,4
-3	50,1	-3	48,8
-2	50,3	-2	49,1
-1	50,5	-1	49
0	50,5	0	49
1	50,5	1	48,8
2	50,4	2	49
3	50,2	3	49,1
4	50,3	4	49,3
5	50,4	5	49,2
6	50,3	6	49,2
7	50,3	7	48,9
8	50,5	8	47,5
9	50,4	9	42,9
10	48,7	10	35,5
11	40,7	11	30,3
12	30,6	12	27,8

Πίνακας 2.1.1-3. Μετρήσεις θερμοκρασίας με το όργανο σε όρθια(κατακόρυφη) θέση σε αποστάσεις στόχευσης 0,5m, 1m.

Απόσταση 1,5m		Απόσταση 2m		Απόσταση 2,5 m	
Σημείο στην οριζόντιο(cm)	Θερμοκρασία οC	Σημείο στην οριζόντιο(cm)	Θερμοκρασία οC	Σημείο στην οριζόντιο(cm)	Θερμοκρασία οC
-12	46,9	-12	48,7	-12	43,7
-11	46,8	-11	48,9	-11	43,9
-10	46,8	-10	48,9	-10	44,3
-9	46,7	-9	49	-9	44,5
-8	46,9	-8	49,2	-8	44,7
-7	47	-7	49,5	-7	45
-6	47,3	-6	49,9	-6	45,1
-5	47,6	-5	50,1	-5	45,2
-4	47,8	-4	50,3	-4	45,3
-3	48	-3	50,3	-3	45,4
-2	48,1	-2	50,3	-2	45,4
-1	48,2	-1	50,5	-1	45,3
0	47,9	0	50,5	0	45,3
1	48,1	1	50,5	1	45
2	48,2	2	50,6	2	44,5
3	48,3	3	50,4	3	43,2
4	48,3	4	49,7	4	41,5
5	48,2	5	47,2	5	39,4
6	47,3	6	43,6	6	35,5
7	45,6	7	39,8	7	33,1
8	41,6	8	35,3	8	30
9	36,4	9	31,2	9	28,3
10	31,5	10	28,1	10	26,9
11	29	11	26,9	11	26,2
12	27,6	12	26	12	25,7

Πίνακας 2.1.1-4. Μετρήσεις θερμοκρασίας με το όργανο σε όρθια(κατακόρυφη) θέση σε αποστάσεις στόχευσης 1,5m, 2m, 2,5m.

2.1.1.1 Τρόπος εύρεσης απόκλισης

Για να υπολογιστεί η μετακίνηση (απόκλιση) της δέσμης ολοκλήρωσης με την ακτίνα του λειζερ στόχευσης χρησιμοποιείται η παρακάτω μέθοδος:

Για δεδομένη απόσταση είναι γνωστό το μέγεθος του κύκλου ολοκλήρωσης (η ακτίνα του) βάση της λειτουργίας του οργάνου και τον γνωστό λόγο 12:1.

Για παράδειγμα σε απόσταση 0,5m η ακτίνα του κύκλου ολοκλήρωσης είναι **R=2,08cm**.

Ο τρόπος υπολογισμού δίδεται με ένα παράδειγμα. Θεωρούμε την μέτρηση για την κατακόρυφη απόκλιση σε απόσταση 0,5m και το ακραίο σημείο δεξιά στην οριζόντια γραμμή του δοχείου δηλαδή στα 12cm.

Η θερμοκρασία του δοχείου θεωρείται ενιαία στους **52,9 °C** (λαμβάνουμε την μέση τιμή των μετρήσεων στην οριζόντια γραμμή, από -12cm έως 12cm)

Η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι **25 °C**

Η τιμή της μέτρησης είναι **27,5 °C** (στο σημείο 12cm)

Σε όλες τις μετρήσεις ακολουθούνται τα παρακάτω τρία βήματα.

Βήμα 1° Ευρεση ποσοστού του κύκλου ολοκλήρωσης που είναι εκτός του δοχείου

Υποθέτοντας ενιαία θερμοκρασία δοχείου (λαμβάνουμε την μέση τιμή) και θεωρώντας κ% το ποσοστό ολοκλήρωσης εκτός του κύκλου.θα πρέπει να ισχύει:

$$\kappa\% \cdot \Theta_{\text{Π}} + (1-\kappa\%) \cdot \Theta_{\text{Δ}} = M \cdot \Theta \quad (2.1.1.1-1)$$

όπου $\Theta_{\text{Π}}$ η θερμοκρασία Περιβάλλοντος, $\Theta_{\text{Δ}}$ η θερμοκρασία Δοχείου και $M \cdot \Theta$ η Μετρούμενη θερμοκρασία. Λύνοντας ως προς κ βρίσκουμε το ποσοστό του κύκλου που είναι εκτός του δοχείου. Στην προκύπτουσα περίπτωση για το παράδειγμα που εξετάζουμε είναι $\kappa = 0,91$ ή 91% .

Βήμα 2° Ευρεση γωνίας Θ

Το ποσοστό κ που υπολογίσαμε ουσιαστικά καλύπτει ένα τόξο του κύκλου.(γαλάζιο κομμάτι). Υπολογίζοντας την γωνία αυτού του τόξου μπορούμε στην συνέχεια να υπολογίσουμε την μετακίνηση (απόκλιση X) του κύκλου ολοκλήρωσης.

2.1.1.2 Αποτελέσματα και Πίνακες

Ακολουθώντας την διαδικασία εύρεσης την απόκλισης για όλα τα σημεία της οριζόντιας γραμμής (σημείο -12cm έως σημείο 12cm) στην συγκεκριμένη απόσταση στόχευσης και λαμβάνοντας την μέση τιμή αυτών υπολογίζουμε την απόκλιση που υφίσταται από την συγκεκριμένη απόσταση στόχευσης. Αυτή η διαδικασία ακολουθείται τόσο για τις μετρήσεις με όρθια θέση του οργάνου (οριζόντια απόκλιση) όσο και με οριζόντια θέση οργάνου (κατακόρυφη απόκλιση).

Έτσι δημιουργούμε τον παρακάτω πίνακα με τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα:

	Δεξιά-αριστερά	Πάνω-Κάτω
Απόσταση(m)	οριζόντια απόκλιση	κατακόρυφη απόκλιση
0,5	1,37	1,78
1	2,49	2,96
1,5	4,19	3,42
2	6,59	5,78
2,5	8,41	7,33

Πίνακας 2.1.1.2-1. Αποκλίσεις σε οριζόντιο και κατακόρυφο επίπεδο για αποστάσεις στόχευσης 0,5m, 1m, 1,5m, 2m, 2,5m.

Σχόλια-Παρατηρήσεις

Η απόκλιση χωρίζεται σε μια μετακίνηση προς τα δεξιά και μία μετακίνηση προς τα κάτω. Με βάση τις δυο αυτές μετακινήσεις μπορούμε να βρούμε την γωνία απόκλισης (Φ) της στόχευσης από το οριζόντιο επίπεδο.

Η γωνία Φ δίνεται από τον τύπο:

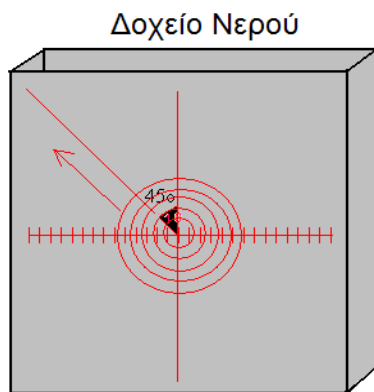
$$\Phi = \arctan\left(\frac{\text{μετακίνηση}_{\text{πάνω} - \text{κάτω}}}{\text{μετακίνηση}_{\text{δεξιά} - \text{αριστερά}}}\right) \quad (2.1.1.2-1)$$

	Δεξιά-αριστερά	Πάνω-Κάτω	
Απόσταση(m)	Οριζόντια μετακίνηση(cm)	Κατακόρυφη μετακίνηση(cm)	$\Phi = \arctan(X1/X2)$ Σε μοίρες
0,5	1,37	1,78	37,5
1	2,49	2,96	40
1,5	4,19	3,42	50,7
2	6,59	5,78	48,7
2,5	8,41	7,33	48,9

Πίνακας 2.1.1.2-2. Γωνία απόκλισης από το οριζόντιο επίπεδο (Φ) για αποστάσεις στόχευσης 0,5m, 1m, 1,5m, 2m, 2,5m.

Η γωνία από το οριζόντιο επίπεδο μεταβάλλεται αλλά επειδή η τιμή της κυμαίνεται γύρω στις 45° (πράγματι η μέση τιμή στις πέντε αποστάσεις είναι $44,7^\circ$) θεωρούμε ότι παραμένει σταθερή.

Ως αποτέλεσμα αυτού συνεπάγεται πως πρέπει να στοχεύουμε πάνω στη διαγώνιο των 45° του 2^{ου} τεταρτημόριου καθώς κινούμαστε σε μεγαλύτερες αποστάσεις στόχευσης, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 2.1.1.2-1. Απεικόνιση της μετακίνησης του σημείου στόχευσης κατά την αύξηση της απόστασης στόχευσης, ώστε η μέτρηση πάντα να αντιστοιχεί στο κέντρο του δοχείου.

Αφού ήδη έχει διαπιστωθεί πως τα σημεία στόχευσης είναι πάνω στη διαγώνιο των 45° μένει να διευκρινιστεί η μετακίνηση του σημείου που στοχεύουμε από το κέντρο για κάθε απόσταση. Στο πίνακα με τις αποκλίσεις θα θεωρήσουμε ίδιες αποκλίσεις τόσο προς τα δεξιά όσο και προς τα κάτω με τιμές ίσες με την μέση τιμή τους. Η μετακίνηση (απόσταση πάνω στη διαγώνιο) θα είναι ίση με:

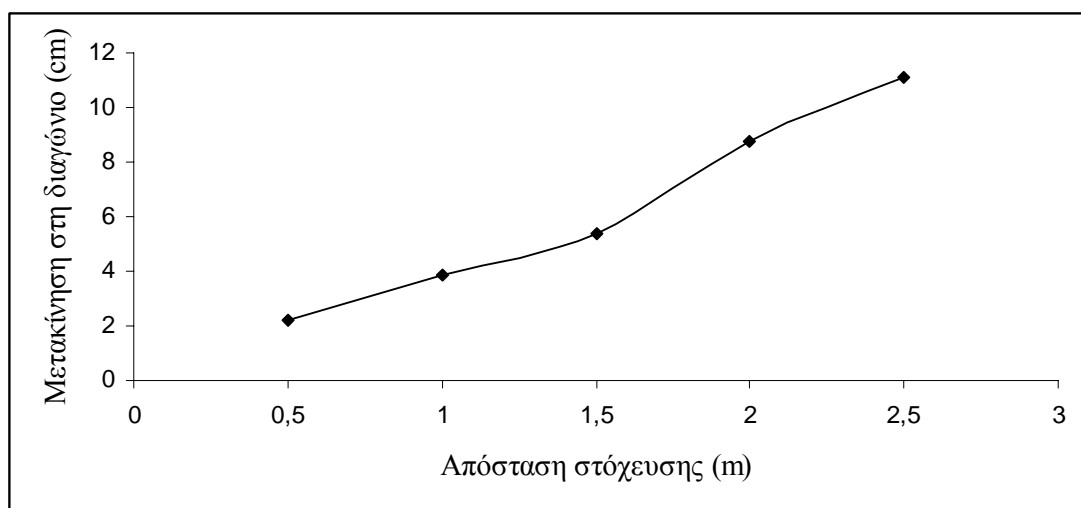
$$\text{μετακίνηση} = \sqrt{2} \cdot \text{απόκλιση} \quad (2.1.1.2-2)$$

Για παράδειγμα για το 1m η απόκλιση δεξιά είναι 2,49cm και η απόκλιση προς τα κάτω είναι 2,96cm επομένως θα θεωρήσουμε ίσες αποκλίσεις με τιμή 2,72cm που είναι η μέση τιμή. Επομένως η μετακίνηση στη διαγώνιο θα είναι:

$$\text{μετακίνηση} = \sqrt{2} \cdot 2,725 = 3,85\text{cm} \quad (2.1.1.2-2)$$

	Δεξιά-αριστερά	Πάνω-Κάτω			
Απόσταση (m)	Οριζόντια μετακίνηση (cm)	κατακόρυφη μετακίνηση (cm)	Μέση Τιμή(cm)	Γωνία Φ(μοίρες)	μετακίνηση στη διαγώνιο (cm)
0,5	1,37	1,78	1,575	45°	2,227
1	2,49	2,96	2,725	45°	3,854
1,5	4,19	3,42	3,805	45°	5,381
2	6,59	5,78	6,185	45°	8,747
2,5	8,41	7,33	7,87	45°	11,130

Πίνακας 2.1.1.2-3. Αποτελέσματα μετάκινησης στη διαγώνιο για τις αποστάσεις στόχευσης 0,5m, 1m 1,5m, 2m, 2,5m.



Διάγραμμα 2.1.1.2-1. Απόσταση από το κέντρο του δοχείου (κινούμενη πάνω στη διαγώνιο) συναρτήσει της απόστασης στόχευσης.

Παρατηρήσεις

1. Αν θέλουμε να μετρήσουμε την θερμοκρασία στο κέντρο στοχεύουμε στην διαγώνιο των 45° , και ανάλογα την απόσταση στόχευσης, στοχεύουμε σε απόσταση από το κέντρο του αντικειμένου βάση του παραπάνω πίνακα.
2. Οι μετακινήσεις πάνω στη διαγώνιο έχουν μία αναλογία με την απόσταση στόχευσης δηλ ανα μισό μέτρο απόστασης από το δοχείο μετακινούμαστε στην διαγώνιο κατά μέσο όρο 2,226cm.Βασιζόμενοι σε αυτό μπορούμε να προεκτείνουμε την γραφική παράσταση και να υπολογίσουμε την μετακίνηση για μεγαλύτερες αποστάσεις στόχευσης. Ο σχετικός πίνακας φαίνεται παρακάτω:

Απόσταση στόχευσης(m)	Μετακίνηση στη διαγώνιο(cm)
0,5	2,23
1	3,85
1,5	5,38
2	8,75
2,5	11,13
3	13,36
3,5	15,58
4	17,81
4,5	20,03
5	22,26
5,5	24,49
6	26,71
6,5	28,94
7	31,16
7,5	33,39
8	35,62
8,5	37,84
9	40,07
9,5	42,29
10	44,52

Πίνακας 2.1.1.2-4. Μετάκινηση στη διαγώνιο για διαφορες αποστάσεις στόχευσης.

2.2 Βαθμονόμηση του Οργάνου fluke 561HVACpro

Η βαθμονόμηση του οργάνου αρχικά γίνεται χωρίς την ενσωμάτωση της απόκλισης ενώ στη συνέχεια γίνεται λαμβάνοντάς την υπόψη. Αυτό θα μας βοηθήσει να εξετάσουμε κατα πόσο η απόκλιση επηρεάζει τις μετρήσεις του οργάνου.

2.2.1 Βαθμονόμηση χωρίς την ενσωμάτωση της απόκλισης

Θεωρώντας πως το όργανο δεν έχει σφάλμα απόκλισης κάνουμε μία σειρά μετρήσεων χρησιμοποιώντας το δοχείο διαστάσεων 25cmX25cm. Στοχεύουμε στο κέντρο του δοχείου από αποστάσεις 0,5m έως 3m και καταγράφουμε την μετρούμενη τιμή. Ως πραγματική τιμή της θερμοκρασίας λαμβάνεται η τιμή που δίνεται από την θερμοκάμερα Ti45 για μέτρηση από απόσταση μισού μέτρου.

Ο τύπος υπολογισμού του απόλυτου και σχετικού σφάλματος (σε όλους τους πίνακες) είναι [8]:

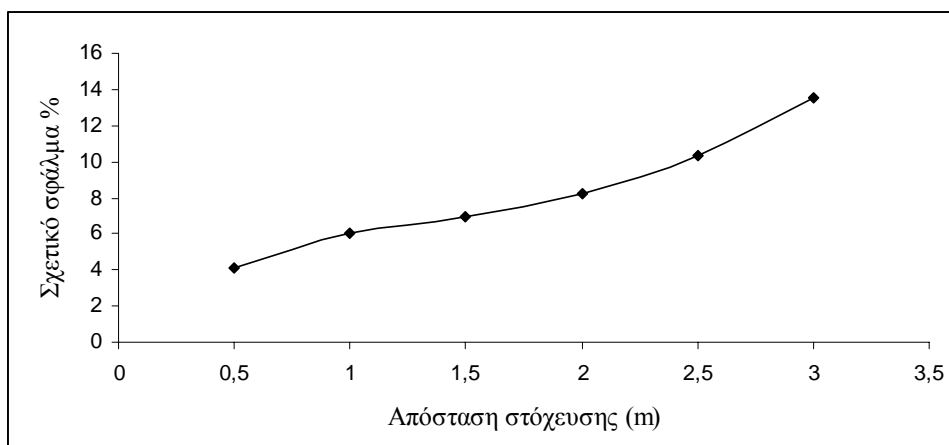
$$\text{Απόλυτο σφάλμα}(\Delta\chi): \Delta\chi = \chi - \chi_1 \quad (2.2.1 -1)$$

$$\text{Σχετικό Σφάλμα}(\sigma): \sigma = \Delta\chi / \chi \quad (2.2.1-1)$$

Όπου χ η θεωρητικά πραγματική τιμή και χ_1 η μετρούμενη τιμή.

Δοχείο 25cmX25cm					
A/A	Απόσταση στόχευσης	θερμοκρασία δοχείου °C (θερ/ρα.από μισό μετρο)	Μέτρηση Οργάνου fluke °C	Απόλυτο σφάλμα	Σχετικό σφάλμα %
1	0,5	53,30	51,1	-2,20	4,13
2	1		50,1	-3,20	6,00
3	1,5		49,6	-3,70	6,94
4	2		48,9	-4,40	8,26
5	2,5		47,8	-5,50	10,32
6	3		46,1	-7,20	13,51

Πίνακας 2.2.1-1. Αποτελέσματα των μετρήσεων και αντίστοιχοσφάλμα για κάθε απόσταση στόχευσης.



Διάγραμμα 2.2.1-1. Σχετικό σφάλμα συναρτήσει της απόστασης στόχευσης.

Παρατηρούμε πως το σχετικό σφάλμα % μεταβάλλεται 2% κατά μέσο όρο ανά μισό μέτρο απόστασης στόχευσης. Επομένως μπορούμε να ανάγουμε τον παραπάνω πίνακα για όλες τις αποστάσεις στόχευσης με την προϋπόθεση ότι ο κύκλος ολοκλήρωσης καλύπτει ολόκληρο το αντικείμενο μέτρησης (βάση του λόγου 12:1).

Απόσταση στόχευσης (m)	Σχετικό σφάλμα %	Διαστάσεις αντικειμένου, μεγαλύτερη από(cmXcm)
0,5	2	4,16X4,16
1	4	8,33X8,33
1,5	6	12,5X12,5
2	8	16,7X16,7
2,5	10	21X21
3	12	25X25
3,5	14	30X30
4	16	33X33
4,5	18	37,5X37,5
5	20	42X42
5,5	22	46X46
6	24	50X50
6,5	26	54X54
7	28	58X58
7,5	30	62,5X62,5
8	32	67X67

Πίνακας 2.2.1-2. Σχετικό σφάλμα(%) για διάφορες αποστάσεις στόχευσης και ελάχιστο εμβαδόν της υπό μέτρηση επιφάνειας.

2.2.2 Βαθμονόμηση με γνωστή την απόκλιση

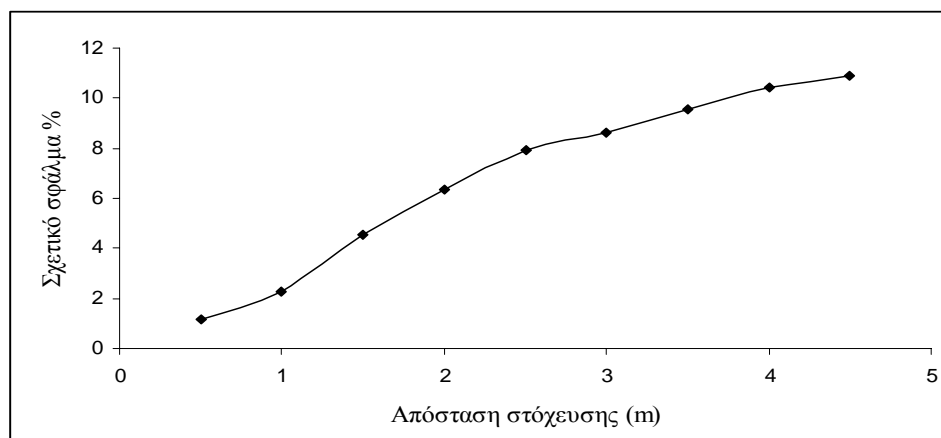
Για την βαθμονόμηση, με χρήση της διόρθωσης του σφάλματος απόκλισης του οργάνου, χρησιμοποιούμε ένα δοχείο 37,5cmX37,5cm και βάση του λόγου 12:1 παίρνουμε τιμές έως τα 4,5m. Αυτή τη φορά στοχεύουμε κάθε φορά στην διαγώνιο των 45° και σε απόσταση από το κέντρο σύμφωνα με τον πίνακα 2.1.1.2-4.

Η ταυτοποίηση της πραγματικής θερμοκρασίας έγινε με χρήση της θερμοκάμερας fluke Ti45 με την οποία έγινε μέτρηση στο κέντρο του δοχείου από απόσταση μισού μέτρου.

Πραγματοποιήθηκαν δύο σειρές μετρήσεων.

1η σειρά					
A/A	Απόσταση(m)	Μετρήσεις Θερμοκάμερας	Μετρήσεις οργάνου°C	Απόλυτο σφάλμα	Σχετικό Σφάλμα%
1	0,5		43,5	-0,5	1,14
2	1		43	-1	2,27
3	1,5		42	-2	4,55
4	2		41,2	-2,8	6,36
5	2,5	44°C	40,5	-3,5	7,95
6	3		40,2	-3,8	8,64
7	3,5		39,8	-4,2	9,55
8	4		39,4	-4,6	10,45
9	4,5		39,2	-4,8	10,91

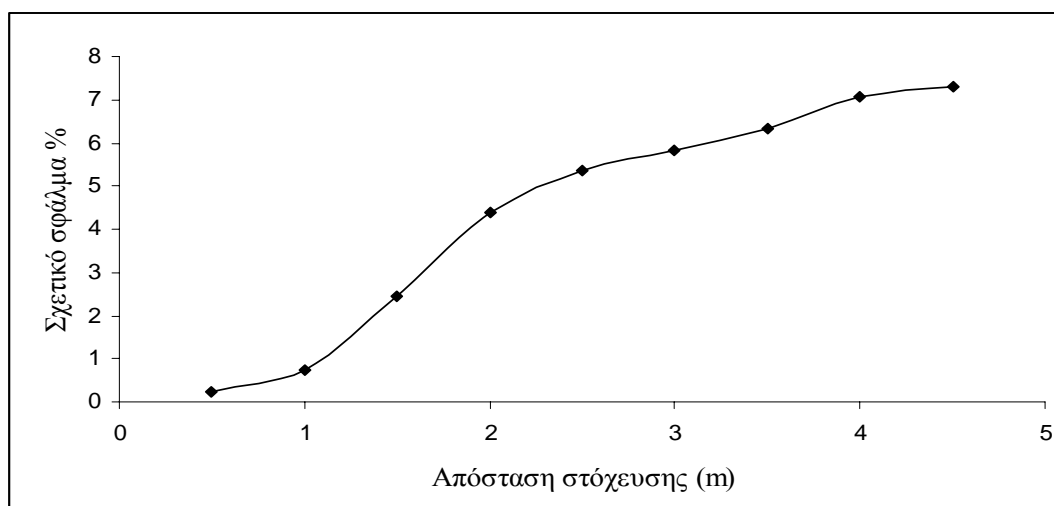
Πίνακας 2.2.2-1. Μετρήσεις για την βαθμονόμηση του οργάνου και σχετικό σφάλμα για κάθε απόσταση μέτρησης (1η σειρά)



Διάγραμμα 2.2.2-1. Σχετικό σφάλμα συναρτήσει της απόστασης στόχευσης (1η σειρά).

2η σειρά					
A/A	Απόσταση(m)	Μετρήσεις Θερμοκάμερας	μετρήσεις οργάνου (°C)	Απόλυτο σφάλμα	Σχετικό σφάλμα%
1	0,5		41,2	0,1	0,24
2	1		40,8	-0,3	0,73
3	1,5		40,1	-1	2,43
4	2		39,3	-1,8	4,38
5	2,5	41,1 °C	38,9	-2,2	5,35
6	3		38,7	-2,4	5,84
7	3,5		38,5	-2,6	6,33
8	4		38,2	-2,9	7,06
9	4,5		38,1	-3	7,30

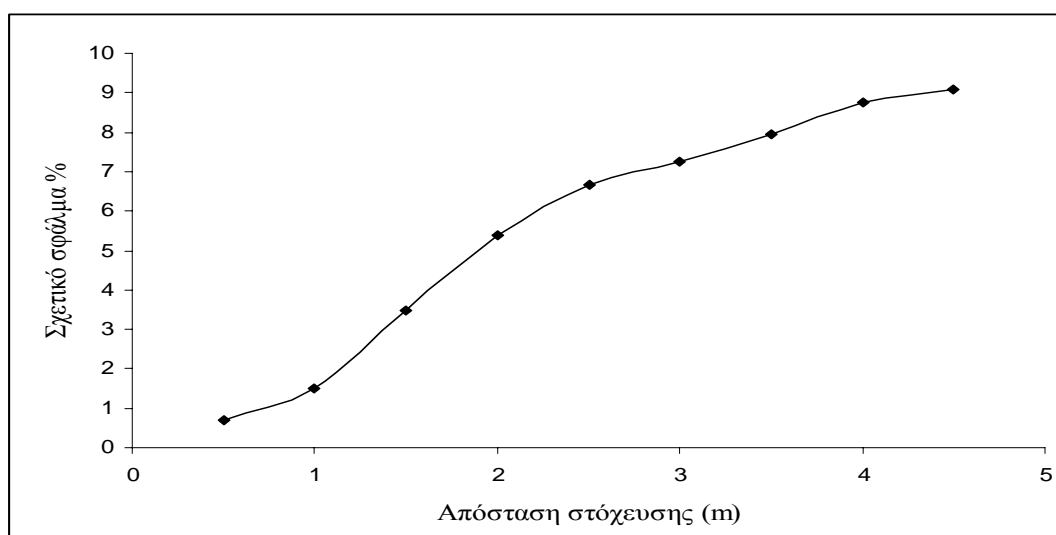
Πίνακας 2.2.2-2. Μετρήσεις για την βαθμονόμηση του οργάνου και σχετικό σφάλμα για καθε απόσταση μέτρησης (2η σειρά)



Διάγραμμα 2.2.2-2. Σχετικό σφάλμα συναρτήσει της απόστασης στόχευσης (2η σειρά)

A/A	Απόσταση(m)	1η σειρά	2η σειρά	Μέση τιμή
		Σχετικό Σφάλμα %	Σχετικό σφάλμα%	
1	0,5	1,14	0,24	0,69
2	1	2,27	0,73	1,50
3	1,5	4,55	2,43	3,49
4	2	6,36	4,38	5,37
5	2,5	7,95	5,35	6,65
6	3	8,64	5,84	7,24
7	3,5	9,55	6,33	7,94
8	4	10,45	7,06	8,76
9	4,5	10,91	7,30	9,10

Πίνακας 2.2.2-2. Μέση τιμή των δύο σειρών μετρήσεων.



Διάγραμμα 2.2.2-2. Σχετικό σφάλμα συναρτήσει της απόστασης στόχευσης

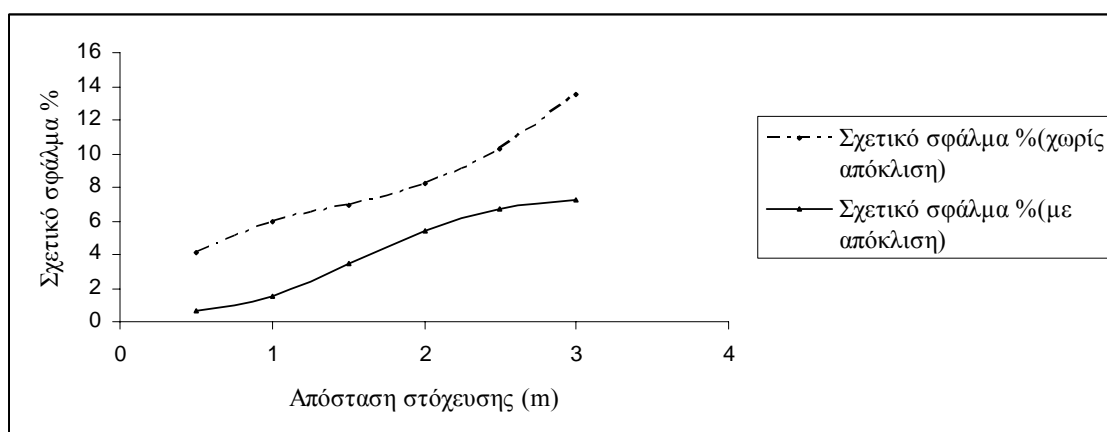
2.2.3 Σύγκριση με βάση τις υπάρχουσες μετρήσεις.

Οι τρόποι μέτρησης όπως μελετήθηκαν παραπάνω είναι δυο. Ο πρώτος με στόχευση στο κέντρο ανεξαρτήτα από την απόσταση που στόχευουμε (δηλαδή χωρίς την ενσωμάτωση της απόκλισης), και ο δεύτερος με στόχευση στην διαγώνιο των 45° και βάση του πίνακα 2.1.1.2-4 δηλαδή με ενσωμάτωση της απόκλισης) Για να συγκρίνουμε το σχετικό σφάλμα του οργάνου μεταξύ των δύο μεθόδων μέτρησης χρησιμοποιήσαμε τα αποτελέσματα που βρέθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους τα οποία δίδονται στον πίνακα 2.2.3-1 που ακολουθεί. Στην 3^η στήλη αναγράφεται το σχετικό σφάλμα που προέκυψε από την μελέτη χωρίς την ενσωμάτωση της

απόκλισης ενώ η 4^η στήλη το σχετικό σφάλμα από την μελέτη με ενσωματωμένη την απόκλιση του οργάνου.

A/A	Απόσταση στόχευσης	Σχετικό σφάλμα % (χωρίς απόκλιση)	Σχετικό σφάλμα % (με απόκλιση)
1	0,5	4,13	0,69
2	1	6,00	1,5
3	1,5	6,94	3,49
4	2	8,26	5,37
5	2,5	10,32	6,65
6	3	13,51	7,24

Πίνακας 2.2.3-1. Σύγκριση σχετικών σφαλμάτων με και χωρίς απόκλιση



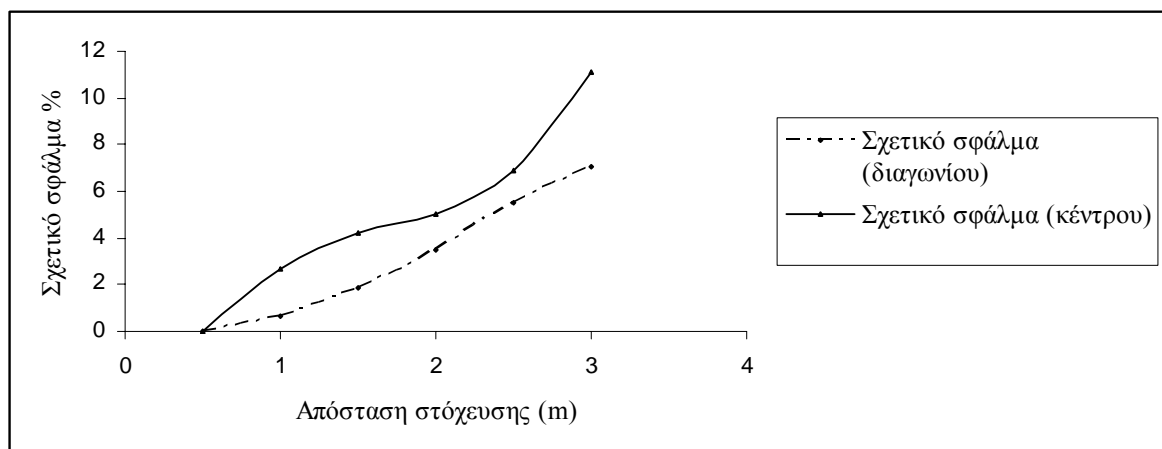
Διάγραμμα 2.2.3-1. Γραφική σύγκριση σφαλμάτων

2.2.4 Σύγκριση με νέα σειρά μετρήσεων

Στην συνέχεια πραγματοποιούμε νέα σειρά μετρήσεων στο δοχείο 25X25cm στην οποία λαμβάνουμε τιμές στοχεύοντας στο κατάλληλο σημείο της διαγωνίου για διάφορες αποστάσεις και ύστερα στοχεύοντας μόνο στο κέντρο μεταβάλλοντας την απόσταση στόχευσης. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Απόσταση (m)	Διαγώνιο	Κέντρο	Απόλυτο Σφάλμα (Διαγωνίου)	Απόλυτο Σφάλμα (κέντρου)	Σχετικό σφάλμα (διαγωνίου)	Σχετικό σφάλμα (κέντρου)
0,5	59,6	59,5	0	0	0,00	0,00
1	59,2	57,9	-0,4	-1,6	0,67	2,69
1,5	58,5	57	-1,1	-2,5	1,85	4,20
2	57,5	56,5	-2,1	-3	3,52	5,04
2,5	56,3	55,4	-3,3	-4,1	5,54	6,89
3	55,4	52,9	-4,2	-6,6	7,05	11,09

Πίνακας 2.2.4-1. Σύγκριση σφαλμάτων με νέα σειρά μετρήσεων



Διάγραμμα 2.2.4-1. Γραφική σύγκριση σφαλμάτων

Σχόλια-Παρατηρήσεις

1. Δεν χρησιμοποιήσαμε θερμοκάμερα για την πραγματική τιμή της θερμοκρασίας. Αυτό έγινε γιατί θέλουμε απλά να συγκρίνουμε τους δύο τρόπους στόχευσης και όχι να αξιολογίσουμε ποσοτικά το σφάλμα τους, κάτι που έγινε σε προηγούμενες παραγράφους. Για την εξαγωγή των σφαλμάτων πραγματική τιμή της θερμοκρασίας θεωρήθηκε η 1^η μετρηση του οργάνου, δηλ αυτή από απόσταση μισού μέτρου.
2. Το σφάλμα της στοχεύοντας στη διαγώνιο είναι σαφώς μικρότερο γεγονός που επαληθεύει την υπόθεση περί απόκλισης της δέσμης ολοκλήρωσης και του λείζερ στόχευσης.

2.3 Η διαδικασία των μετρήσεων σε μετασχηματιστές του δικτύου μέσης τάσης

Γνωρίζοντας πλέον την συμπεριφορά του υπέρυθρου θερμομέτρου οργάνου και της θερμοκάμερας πραγματοποιήθηκαν επιθεωρήσεις σε υποσταθμούς του δικτύου μέσης τάσης. Συγκεκριμένα επιλέχθηκε η περιοχή των Θρακομακεδόνων. Στην περιοχή αυτή έγινε αρχικά προσδιορισμός της θέσης και του αριθμού των υποσταθμών του δικτύου. Εντοπίστηκαν 12 υποσταθμοί φωτογραφίες των οποίων δίδονται στις εικόνες 2.3-1 έως 2.3-12 από τις οποίες παίρνουμε πληροφορίες τόσο για τη θέση τους και όπου είναι δυνατό για τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά.



Εικόνα 2.3-1.Υποσταθμός 1^{ος} , Μεγ. Αλεξάνδρου και Ολυμπίων, Ισχύς 250 KVA.



Εικόνα 2.3-2.Υποσταθμός 2^{ος} , Μεγ. Αλεξάνδρου και Πρωταγόρα, Ισχύς 250 KVA.



Εικόνα 2.3-3.Υποσταθμός 3^{ος} , Μεγ. Αλεξάνδρου και Θάσος, Ισχύς 250 KVA.



Εικόνα 2.3-4. Υποσταθμός 4^{ος}, Μακεδονίας και Ανδριανουπόλεως, Ισχύς 250 KVA.



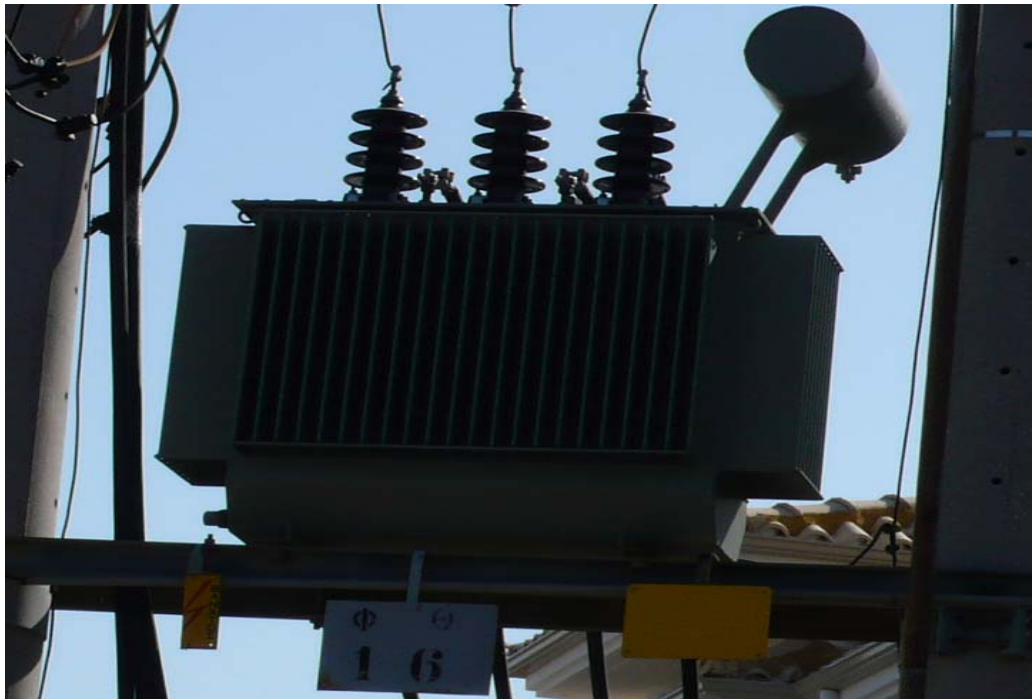
Εικόνα 2.3-5. Υποσταθμός 5^{ος}, Μακεδονίας και Καρατάσου, Ισχύς 250 KVA.



Εικόνα 2.3-6. Υποσταθμός 6^{ος} , Ορφέως και Ηφαιστίονος, Ισχύς 250 KVA.



Εικόνα 2.3-7. Υποσταθμός 7^{ος} , Κομοτηνής και Μακεδονομάχων, Ισχύς 250 KVA.



Εικόνα 2.3-8. Υποσταθμός 8^{ος} , Εμανουήλ Παππά και Φιλλίπου, Ισχύς 250 KVA.



Εικόνα 2.3-9. Υποσταθμός 9^{ος} , Φιλλίπου Β και Αμόντα, Ισχύς 250 KVA.



Εικόνα 2.3-10. Υποσταθμός 10^{ος} , Παρμενίωνος και Πρωταγόρα, Ισχύς 250 KVA.



Εικόνα 2.3-11. Υποσταθμός 11^{ος} , Πλατεία και Ορφέως, Ισχύς 250 KVA.



Εικόνα 2.3-12. Υποσταθμός 12^{ος} , Ζαφειράκη και Καρατάσου, Ισχύς 250 KVA.

Η θερμοκρασία των Μ/Σ αυξάνει με την αύξηση του φορτίου που τροφοδοτούν. Για το λόγο αυτό επιλέξαμε να επιθεωρήσουμε τους Μ/Σ ώρες που υπάρχει πιθανή αιχμή του φορτίου τους. Πιο συγκεκριμένα έγινε μία σειρά μετρήσεων στις 15:00μμ που το μεγαλύτερο ποσοστό των κατοίκων βρίσκεται στην οικία του (έχουν επιστέψει από τις δουλειές τους) και τρεις σειρές μετρήσεων στις 20:00 όπου προφανώς όλα τα καταστήματα (εστιατόρια, καφετέριες ,κτλ) λειτουργούν.

Για την μέτρηση της θερμοκρασίας χρησιμοποιήθηκαν τα όργανα fluke 561HVACpro, η θερμοκάμερα fluke Ti45 ενώ για τη μέτρηση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος και της σχετικής υγρασίας χρησιμοποιήθηκε το όργανο μέτρησης θερμοκρασίας και υγρασίας Fluke 971. Από σχετικά κοντινή απόσταση με το fluke 561HVACpro έγιναν μετρήσεις της θερμοκρασίας στο κέντρο του Μ/Σ. Επίσης με τη βοήθεια της θερμοκάμερας ελήφθησαν υπέρυθρες φωτογραφίες των Μ/Σ .

Με το Fluke 971 έγιναν οι μετρήσεις θερμοκρασίας περιβάλλοντος και σχετικής υγρασίας, αφενός για να γνωρίζουμε τις συνθήκες που βρίσκονται οι Μ/Σ και αφετέρου γιατί η θερμοκρασία περιβάλλοντος λαμβάνεται ως παράμετρος στις μετρήσεις της θερμοκάμερας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

3.1 Αποτελέσματα των Μετρήσεων

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων που έγιναν στους Μ/Σ των υποσταθμών της περιοχής των Θρακομακεδόνων δίδονται στους πίνακες 3.3-1 έως 3.1-4.

ΗΜΕΡΑ	ΔΕΥΤΕΡΑ	1η σειρά μετρήσεων			
ΩΡΑ	20:00				
Αριθμός υποσταθμού	Ταμπέλα Μ/Σ	Θερμ. (°C) θερμοκάμερας	Θερμ.Fluke κεντρο(°C)	Θερμ. (°C) περιβάλλοντος	Σχετ.(%) υγρασία
1	7	34,5	33	31,4	20,8
2	32	37,6	32,6	31,5	21,5
3	36				
4	66	43,8	38,2	30,4	22,8
5	86	41,6	38,2	29,2	21,3
6	151	38,5	32	29	22,6
7	62	39,5	34	29,1	22
8	16	42,5	37	29	23,3
9	91		32	29,3	23,3

Πίνακας 3.1-1: 1^η σειρά μετρήσεων

ΗΜΕΡΑ	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	2η σειρά μετρήσεων		
ΩΡΑ	15:00			
Αριθμός υποσταθμού	Ταμπέλα Μ/Σ	Θερμομέτρου υπερύθρων(°C)	Θερμ. (°C) περιβάλλοντος	Σχετ.(%) υγρασία
1	7	35	34,3	31,2
2	32	37	33,4	31,3
3	36	40,5	32,1	32,9
4	66	38	32	34,3
5	86	39	30,4	35,1
6	151	37	34,5	31,7
7	62	37	31,4	33
8	16	40	33	29,8
9	91	35	32,5	29
10	87	37,5	31,1	34,4
11	άνευ	38	31,5	32,6
12	άνευ	38,5	32,9	33,3

Πίνακας 3.1-2: 2^η σειρά μετρήσεων

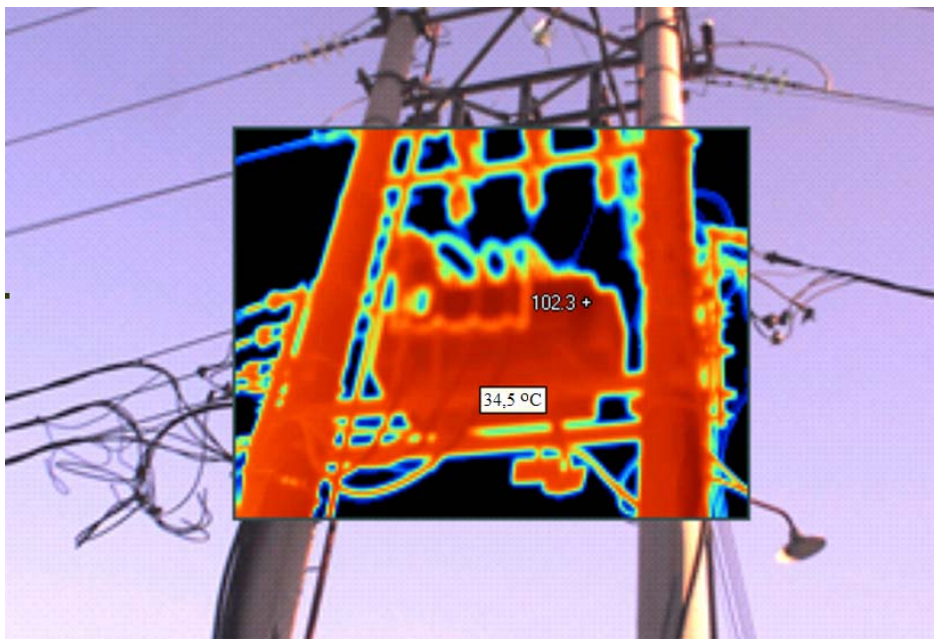
ΗΜΕΡΑ	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ			
ΩΡΑ	20:00	3η σειρά μετρήσεων		
Αριθμός υποσταθμού	Ταμπέλα Μ/Σ	Θερμομέτρου υπερύθρων(°C)	Θερμ. (°C) περιβάλλοντος	Σχετ.(%) υγρασία
1	7	36	35	29,8
2	32	40	36,6	29,6
3	36	39	37,2	25,7
4	66	39	38,1	24
5	86	39	37,6	23,6
6	151	38	38	24,1
7	62	38	36,6	23,8
8	16	39,5	36,6	25,6
9	91	36	35,9	26,2
10	87	39,5	35,8	26,7
11	άνευ	38,5	35,5	26,5
12	άνευ	38,5	36,4	26

Πίνακας 3.1-3: 3^η σειρά μετρήσεων

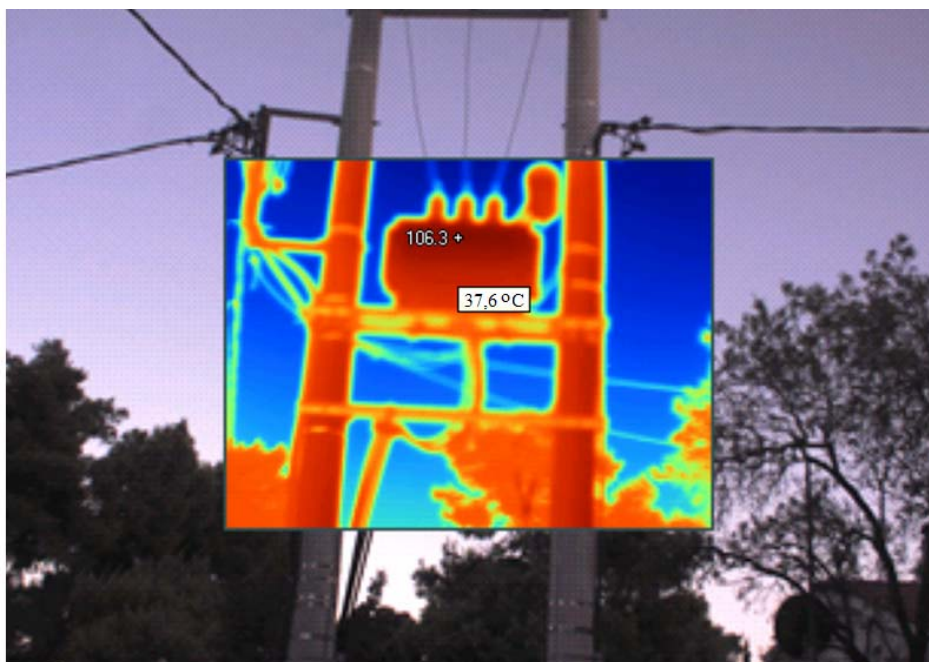
ΗΜΕΡΑ	ΤΕΤΑΡΤΗ			
ΩΡΑ	20:00	4η σειρά μετρήσεων		
Αριθμός υποσταθμού	Ταμπέλα Μ/Σ	Θερμομέτρου υπερύθρων(°C)	Θερμ. (°C) περιβάλλοντος	Σχετ.(%) υγρασία
1	7	32	33,5	19,2
2	32	33,5	31,4	21,6
3	36	34,5	30,7	23
4	66	39	30,8	24,1
5	86	39,7	30,5	24,1
6	151	31	30,2	23,1
7	62	31,2	30	24
8	16	36,4	31,4	23,7
9	91	30,5	30,5	22,2
10	87	35,5	30,8	23,5
11	άνευ	35	31,2	22,3
12	άνευ	32,5	30,6	22,1

Πίνακας 3.1.4-4: 4^η σειρά μετρήσεων.

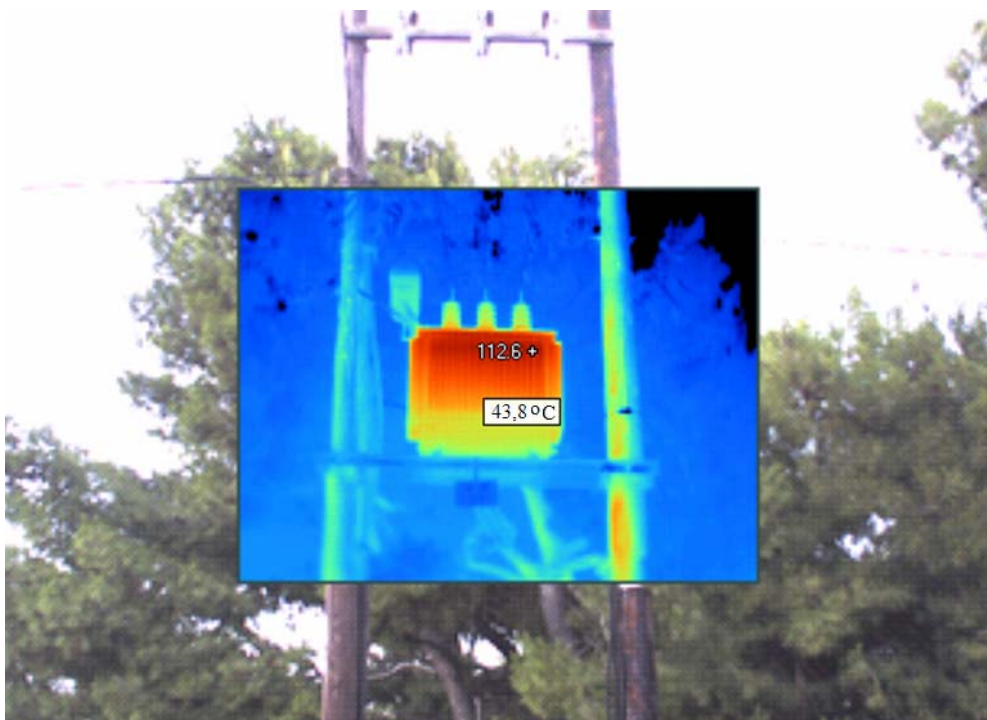
Στις εικόνες 3.1-1 έως 3.1-7 δίδονται ενδεικτικά υπέρυθρα θερμογραφήματα για κάποιους από τους υποσταθμούς των Θρακομακεδόνων.



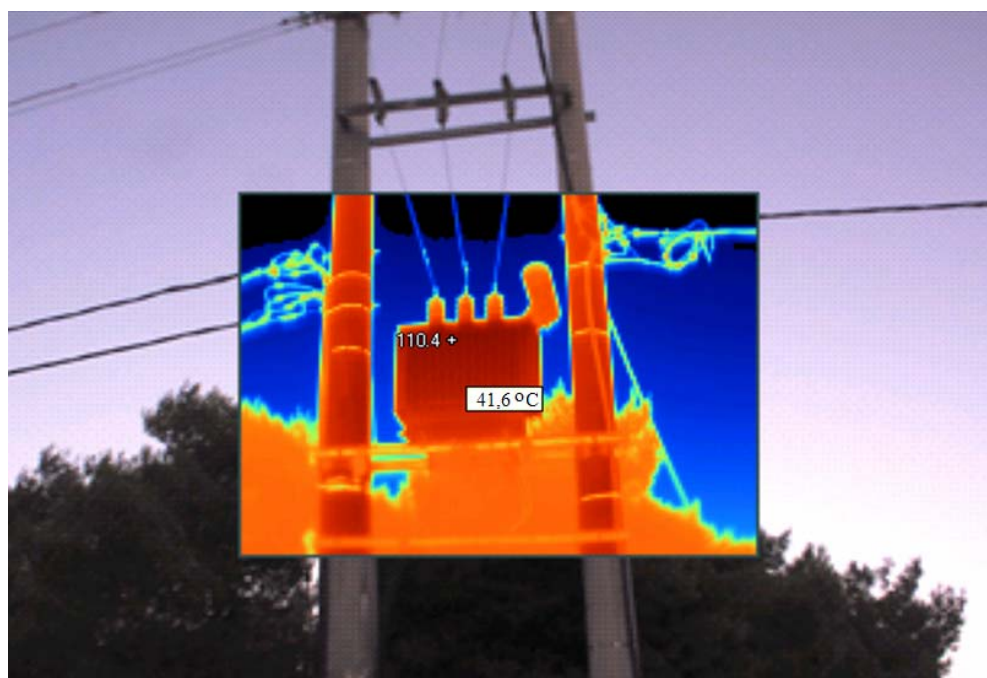
Εικόνα 3.1-1. Υποσταθμός 1^{ος}, Μεγ. Αλεξάνδρου και Ολυμπίων, Ισχύς 250 KVA, Θερμοκρασία κέντρου 34,5 °C.



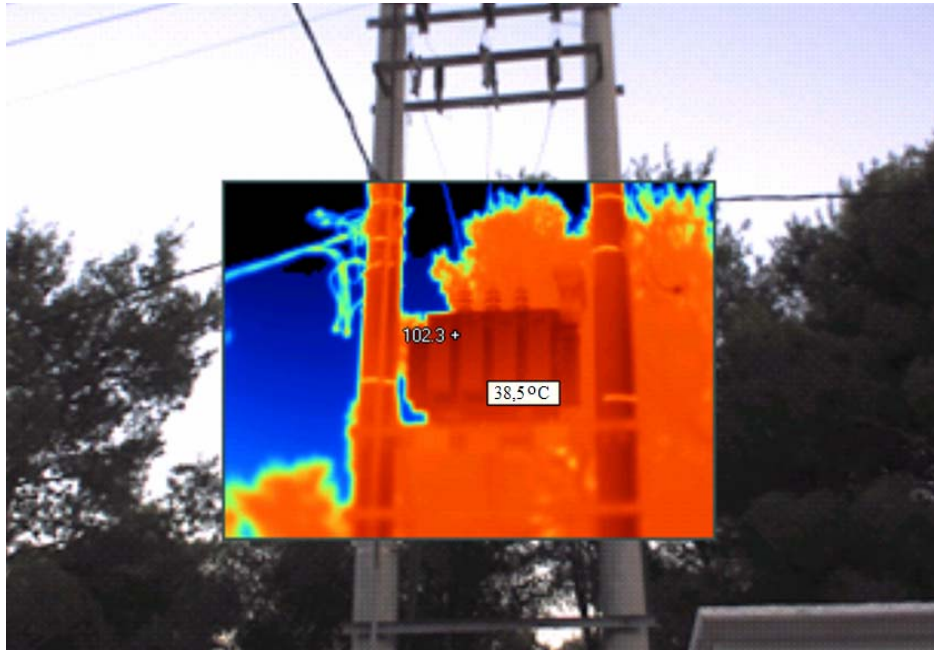
Εικόνα 3.1-2. Υποσταθμός 2^{ος}, Μεγ. Αλεξάνδρου και Προταγόρα, Ισχύς 250 KVA, Θερμοκρασία κέντρου 37,6 °C.



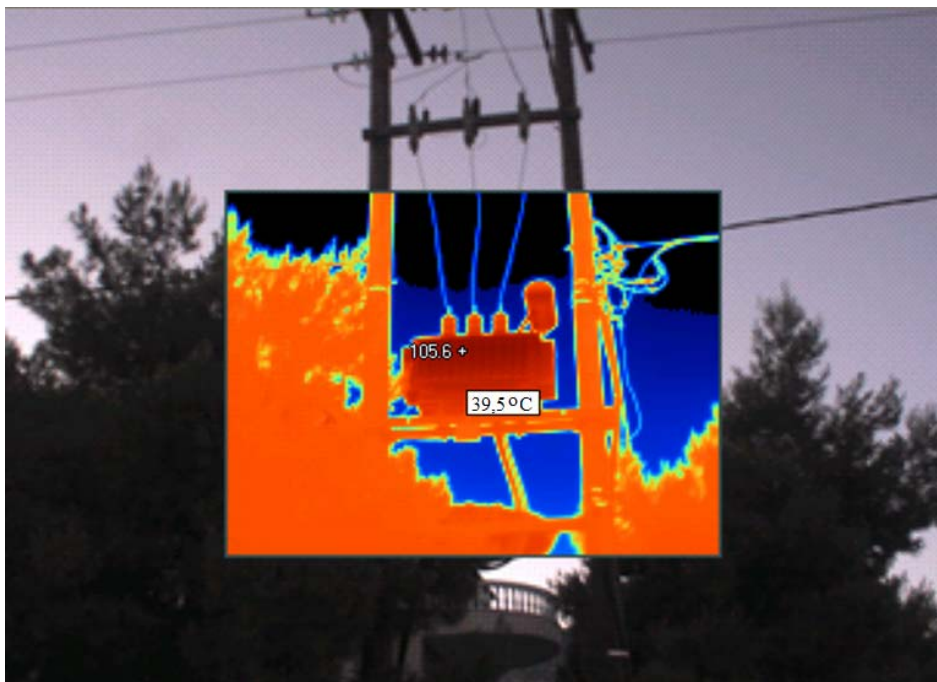
Εικόνα 3.1-3. Υποσταθμός 3^{ος}, Μεγ. Αλεξάνδρου και Θάσου, Ισχύς 250 KVA,
Θερμοκρασία κέντρου 43,8 °C.



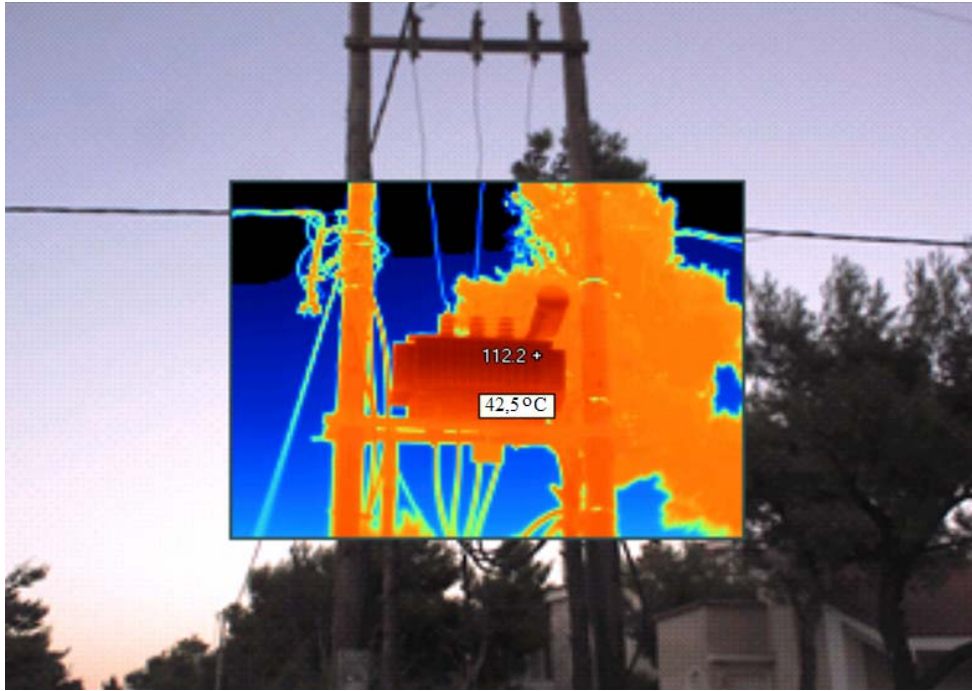
Εικόνα 3.1-4. Υποσταθμός 4^{ος}, Μακεδονίας και Ανδριανουπόλεως, Ισχύς 250 KVA,
Θερμοκρασία κέντρου 41,6 °C.



Εικόνα 3.1-5. Υποσταθμός 5^{ος} , Μακεδονίας και Καρατάσου, Ισχύς 250 KVA,
Θερμοκρασία κέντρου 38,5 °C.



Εικόνα 3.1-6. Υποσταθμός 6^{ος} , Ορφέως και Ηφαιστίωνος, Ισχύς 250 KVA,
Θερμοκρασία κέντρου 39,5 °C.



Εικόνα 3.1-7. Υποσταθμός 7^{ος} , Κομοτηνής και Μακεδονομάχων, Ισχύς 250 KVA,
Θερμοκρασία κέντρου 42,5 °C.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

4. Σχολιασμοί-Συμπεράσματα

4.1 Σχολιασμός μετρήσεων

Οι μετρήσεις με το θερμόμετρο υπερύθρων στους Μ/Σ έγιναν σε κοντινή απόσταση από αυτούς, η οποία θεωρείται περίπου 3m (4 βήματα από το δίστυλο του υποσταθμού). Βάση της μελέτης βαθμονόμησης (κεφ.2) για την απόσταση 3m το σχετικό σφάλμα του οργάνου είναι περίπου 12% επομένως οι μετρήσεις που έγιναν μπορούν να προσαρμοστούν κατάλληλα.

Για την 1^η σειρά μετρήσεων προσαρμόζουμε τις θερμοκρασίες των Μ/Σ που μετρήθηκαν με το θερμόμετρο υπερύθρων και τις συγκρίνουμε με αυτές που ελήφθησαν με τη θερμοκάμερα. Στον επόμενο πίνακα αναγράφονται αναλυτικά οι θερμοκρασίες, οι οποίες επαληθεύουν τα αποτελέσματα της βαθμονόμησης. Αυτό μας δίνει τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσουμε το όργανο HVACpro της fluke για επιθεώρηση Μ/Σ.

ΗΜΕΡΑ	ΔΕΥΤΕΡΑ	1η σειρά μετρήσεων			
ΩΡΑ	20:00				
Αριθμός υποσταθμού	Ταμπέλα Μ/Σ	Θερμ. (°C) θερμοκάμερας	Θερμόμετρο υπερύθρων (°C)	Θερμ. (°C) περιβάλλοντος	Σχετ.(%) υγρασία
1	7	34,5	36,96	31,4	20,8
2	32	37,6	36,51	31,5	21,5
3	36		0		
4	66	43,8	42,78	30,4	22,8
5	86	41,6	42,78	29,2	21,3
6	151	38,5	35,84	29	22,6
7	62	39,5	38,08	29,1	22
8	16	42,5	41,44	29	23,3
9	91		35,84	29,3	23,3

Πίνακας 4.1-1 Θερμοκρασίες των Μ/Σ αφού ελήφθησαν υπόψιν τα σχετικά σφάλματα (1^η σειρά μετρήσεων).

Συγκρίνοντας τις θερμοκρασίες που πάρθηκαν με το θερμόμετρο υπερύθρων (4^η στήλη Πίνακας 4.1-1) με τις θερμοκρασίες που ελήφθησαν με την θερμοκάμερα (3^η στήλη Πίνακας 4.1-1) παρατηρούμε ελάχιστες αποκλίσεις. Επομένως επαληθεύονται τα αποτελέσματα της βαθμονόμησης. Αυτό μας δίνει τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσουμε το θερμόμετρο υπερύθρων για επιθεώρηση Μ/Σ. Στους πίνακες 4.1-2 έως 4.1-4 που ακολουθούν παραθέτουμε τις θερμοκρασίες για όλες τις σειρές μετρήσεων αφού ληφθούν υπόψιν τα αντίστοιχα σφάλματα.

ΗΜΕΡΑ	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ			
ΩΡΑ	15:00	2η σειρά μετρήσεων		
Αριθμός υποσταθμού	Ταμπέλα Μ/Σ	Θερμ.Θερμομέτρου υπερύθρων (°C)	Θερμ. (°C) περιβάλλοντος	Σχετ.(%) υγρασία
1	7	39,2	34,3	31,2
2	32	41,44	33,4	31,3
3	36	45,36	32,1	32,9
4	66	42,56	32	34,3
5	86	43,68	30,4	35,1
6	151	41,44	34,5	31,7
7	62	41,44	31,4	33
8	16	44,8	33	29,8
9	91	39,2	32,5	29
10	87	42	31,1	34,4
11	άνευ	42,56	31,5	32,6
12	άνευ	43,12	32,9	33,3

Πίνακας 4.1-2 Θερμοκρασίες των Μ/Σ αφού ελήφθησαν υπόψιν τα σχετικά σφάλματα (2^η σειρά μετρήσεων).

ΗΜΕΡΑ	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	3η σειρά μετρήσεων		
ΩΡΑ	20:00			
Αριθμός υποσταθμού	Ταμπέλα Μ/Σ	Θερμ.Θερμομέτρου υπερύθρων (°C)	Θερμ. (°C) περιβάλλοντος	Σχετ.(%) υγρασία
1	7	40,32	35	29,8
2	32	44,8	36,6	29,6
3	36	43,68	37,2	25,7
4	66	43,68	38,1	24
5	86	43,68	37,6	23,6
6	151	42,56	38	24,1
7	62	42,56	36,6	23,8
8	16	44,24	36,6	25,6
9	91	40,32	35,9	26,2
10	87	44,24	35,8	26,7
11	άνευ	43,12	35,5	26,5
12	άνευ	43,12	36,4	26

Πίνακας 4.1-3 Θερμοκρασίες των Μ/Σ αφού ελήφθησαν υπόψιν τα σχετικά σφάλματα (3^η σειρά μετρήσεων).

ΗΜΕΡΑ	ΤΕΤΑΡΤΗ	4η σειρά μετρήσεων		
ΩΡΑ	20:00			
Αριθμός υποσταθμού	Ταμπέλα Μ/Σ	Θερμ.Θερμομέτρου υπερύθρων (°C)	Θερμ. (°C) περιβάλλοντος	Σχετ.(%) υγρασία
1	7	35,84	33,5	19,2
2	32	37,52	31,4	21,6
3	36	38,64	30,7	23
4	66	43,68	30,8	24,1
5	86	44,46	30,5	24,1
6	151	34,72	30,2	23,1
7	62	34,94	30	24
8	16	40,77	31,4	23,7
9	91	34,16	30,5	22,2
10	87	39,76	30,8	23,5
11	άνευ	39,2	31,2	22,3
12	άνευ	36,4	30,6	22,1

Πίνακας 4.1-4 Θερμοκρασίες των Μ/Σ αφού ελήφθησαν υπόψιν τα σχετικά σφάλματα (4^η σειρά μετρήσεων).

Βιβλιογραφία

- [1] Ολυμπία Ζώγου, Διπλ. Μηχανολόγος Μηχανικός, Θερμομετρία Θερμογραφία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας, Εργαστήριο Θερμοδυναμικής & Θερμικών Μηχανών, Βόλος, Νοέμβριος 2007.
- [2] Xavier P.V.Maldague , Nondestructive Evaluation of Materials By Infrared Thermography, Springer Verlag, London 1993.
- [3] G.Gaussorges, Microwave Technology Series 5, Infrared Thermography, Chapman & Hall.
- [4] Ιωάννης Μ. Γαλανάκης, Διπλωματική Εργασία, "Υπέρυθρη Θερμογραφία Ενεργητικού Ελέγχου στην Εξέταση και Αποτίμιση Υλικών Αεροσκαφών", Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Αθήνα 2001.
- [5] X. Maldague, Introduction to NDT by Active Infrared thermography, Electrical and Computing Engineering Department, Université Laval, Quebec City (Que.) Canada G1K
- [6] Περικλής Δ. Μπούρκας, Εφαρμογές Κτιριακών-Βιομηχανικών Και Μηχανολογικών Εγκαταστάσεων, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα 1992.
- [7] Περικλής Δ. Μπούρκας, Εφαρμογές Εγκαταστάσεων σε Νοσοκομεία, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα 1996
- [8] Νικόλαος Ι. Θεοδώρου, Ηλεκτρικές Μετρήσεις, Τεύχος Ι: Κλασσικές Μετρήσεις, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 2000.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Α.Σύντομες οδηγίες για τη χρήση του οργάνου Fluke 561HVACpro

Πίνακας περιεχομένων

Τίτλος	Σελίδα
Εισαγωγή	83
Πληροφορίες ασφάλειας	83
Χαρακτηριστικά.....	84
Ενδείξεις οθόνης.....	85
Κουμπιά και συνδέσεις	86
Πως λειτουργεί το θερμομέτρο.....	87
Χειρισμός του θερμομέτρου	87
Απόσταση και διαστάσεις σημείων	87
Εκπεμπτικότητα	89

Θερμόμετρο Υπερύθρων

Εισαγωγή

Το υπέρυθρο θερμόμετρο Fluke 561 μπορεί να καθορίσει τη θερμοκρασία της επιφάνειας με τη μέτρηση του ποσού υπέρυθρης ενέργειας που ακτινοβολείται από την επιφάνεια του στόχου ή από την επαφή χρησιμοποιώντας ένα καλώδιο θερμοηλεκτρικών ζευγών. Το θερμόμετρο σχεδιάστηκε συγκεκριμένα για χρήση στη θέρμανση, τον εξαερισμό, και τις εφαρμογές κλιματισμού (HVAC).

Πληροφορίες ασφάλειας

Προσοχή!!








Μια προειδοποίηση προσδιορίζει τους όρους και τις ενέργειες που δημιουργούν κινδύνους στο χρήστη. Για να αποφύγετε την ηλεκτροπληξία ή τον προσωπικό τραυματισμό, ακολουθήστε αυτές τις οδηγίες:

- Μην σημαδέψετε με το λέιζερ άμεσα στο μάτι ή έμμεσα σε ανακλαστικές επιφάνειες.
- Πριν χρησιμοποιήσετε το θερμόμετρο επιθεωρήστε την θήκη. Μην χρησιμοποιήσετε το θερμόμετρο εάν εμφανίζεται χαλασμένο. Ψάξτε για ρωγμές ή πλαστικό που λείπει.
- Αντικαταστήστε τις μπαταρίες μόλις εμφανιστεί ο δείκτης μπαταριών .
- Μην χρησιμοποιήσετε το θερμόμετρο εάν δεν λειτουργεί κανονικά. Η προστασία μπορεί να εξασθενήσει. Σε περίπτωση αμφιβολίας, κάνετε στο θερμόμετρο <service>.
- Μην χειρίζεστε το θερμόμετρο γύρω από το εκρηκτικό αέριο, τον ατμό, ή τη σκόνη.
- Μην συνδέστε το προαιρετικό εξωτερικό καλώδιο σε ενεργά ηλεκτρικά κυκλώματα.
- Για να αποφύγετε κίνδυνο εγκαυμάτων, θυμηθείτε ότι τα ιδιαίτερα ανακλαστικά αντικείμενα θα οδηγήσουν συχνά σε χαμηλότερες από τις πραγματικές μετρήσεις θερμοκρασίας.
- Μην το χρησιμοποιήσετε με έναν τρόπο που δε διευκρινίζεται από αυτό το εγχειρίδιο ή την προστασία που παρέχεται από τον εξοπλισμό που μπορεί να εξασθενήσει.

Προσοχή!!

Για να αποφύγετε να δημιουργήσετε βλάβη στο θερμόμετρο ή στον υπό δοκιμή εξοπλισμό προστατεύστε τους από τα εξής:

- EMF (ηλεκτρομαγνητικά πεδία) από οξυγονοκολλητές τόξων, θερμάστρες επαγωγής, κ.λπ.
- Στατικό ηλεκτρισμό.
- Θερμικό κλονισμό (που προκαλείται από μεγάλες ή απότομες μεταβολές θερμοκρασίας-επέτρεψε στο θερμόμετρο να σταθεροποιηθεί 30 λεπτά πριν τη χρήση.)
- Μην αφήσετε το θερμόμετρο πάνω ή κοντά στα αντικείμενα υψηλής θερμοκρασίας.

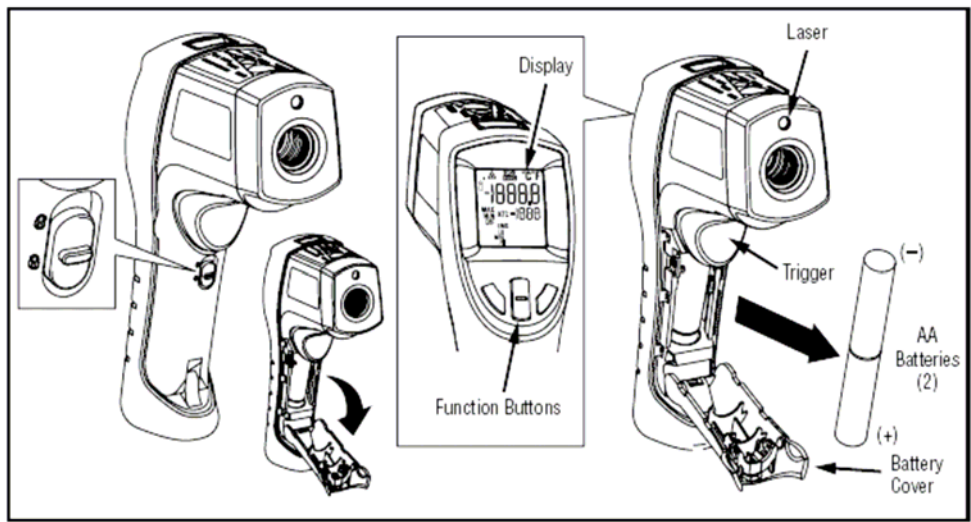
Σύμβολο	Επεξήγηση
	Ρίσκο κινδύνου. Σημαντικές πληροφορίες. Δείτε το εγχειρίδιο.
	Επικίνδυνη τάση. Κίνδυνος ηλεκτροπληξίας.
	Προειδοποίηση. Λέιζερ.
	Προσαρμόζεται στις απαιτήσεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης και της ευρωπαϊκής ελευθεροποίησης των συναλλαγών (ΕΖΕΣ).
	Μην ξεφορτωθείτε αυτό το προϊόν ως μη ταξινομημένα δημοτικά απόβλητα. Πηγαίνετε στην ιστοσελίδα της FLUKE για πληροφορίες ανακύκλωσης.
	Μπαταρία
 沪制01120009号	Κινεζικό σημάδι κατασκευής για τα προϊόντα που κατασκευάζονται στους λαούς Δημοκρατία της Κίνας (PRC).

Πίνακας Α-1. Σύμβολα

Χαρακτηριστικά γνωρίσματα

Το θερμόμετρο περιλαμβάνει:

- Single-spot αναγνώριση λέιζερ
- Αναδρομικά φωτισμένη επίδειξη
- Σκληρό περίβλημα
- Τρέχουσα θερμοκρασία συν τις ελάχιστες, ανώτατες ενδείξεις θερμοκρασίας
- Εύκολος επιλογέας εκπεμπτικότητας
- Θερμοηλεκτρικό ζεύγος τύπου-K
- Δύο μπαταρίες AA



Σχήμα Α-1. Βασικά σημεία θερμομέτρου υπερώθρων.

Ενδείξεις οθόνης

Η βασική ένδειξη θερμοκρασίας δίνει την τρέχουσα ή τελευταία ανάγνωση θερμοκρασίας για χρονικό διάστημα 7-δευτερολέπτων αφού αφήσουμε το πλήκτρο.


Η δευτερεύουσα ένδειξη θερμοκρασίας δίνει την τρέχουσα θερμοκρασία θερμοηλεκτρικών ζευγών όταν συνδέεται ένα θερμοηλεκτρικό ζεύγος τύπου-Κ. Όταν ένα θερμοηλεκτρικό ζεύγος δεν συνδέεται, η μικρή ένδειξη θερμοκρασίας δίνει μια επιλογή του μεγίστου, του ελάχιστου, ή της διαφοράς μεταξύ της μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας.

Μπορείτε να επιλέξετε μεταξύ της ελάχιστης, μέγιστης, και IR διαφοράς θερμοκρασιών οποτεδήποτε είναι ανοικτή η ένδειξη.

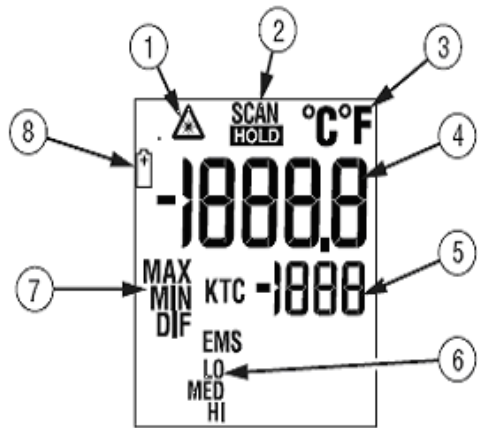
Η ελάχιστη(MIN), μέγιστη(MAX), και η διαφορά των θερμοκρασιών (DIF) υπολογίζονται συνεχώς και ενημερώνονται καθώς το κουμπί πιέζεται.

Αφότου αφήνεται το κουμπί, η ελάχιστη(MIN), μέγιστη (MAX) και η διαφορά θερμοκρασιών (DIF) παραμένουν στην οθόνη για 7 δευτερόλεπτα.

Σημείωση

Όταν η μπαταρία είναι χαμηλή, το σύμβολο  εμφανίζεται στην οθόνη.








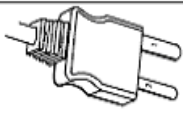
Η τελευταία επιλογή (MIN/MAX/DIF) διατηρείται στη δευτερεύουσα ένδειξη ακόμα και αφού έχει κλείσει το θερμομέτρο, υπό τον όρο ότι οι μπαταρίες επαρκούν.



①	Σύμβολο λειτουργίας Λείζερ
②	ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ Η ΛΑΒΗ
③	Σύμβολο °C/°F (Κέλσιος/Fahrenheit)
④	Αρχική επίδειξη θερμοκρασίας
⑤	Δευτεροβάθμια επίδειξη θερμοκρασίας
⑥	Εκπεμπτικότητα LO, MED, HI
⑦	Τιμές θερμοκρασίας για το ΕΛΑΧΙΣΤΟ, ΑΝΩΤΑΤΟ, DIF, ΚΤC. ΚΤC δείχνει τη θερμοκρασία θερμοηλεκτρικών ζευγών.
⑧	Σύμβολο χαμηλή μπαταριών. Εμφανίζεται όταν η ικανότητα της μπαταριών είναι < 25%.

Σχήμα Α-2. Ενδείξεις οθόνης θερμομέτρου

Κουμπιά και συνδέσεις

Κουμπιά/Συνδέσεις	Περιγραφή
	Πιέστε  και έπειτα  για εναλλαγή μεταξύ ΕΛΑΧΙΣΤΟΥ, ΜΕΓΙΣΤΟΥ και DIF επιλογών
	Το κουμπί  χρησιμοποιείται για να παρουσιάσει τον ΕΛΑΧΙΣΤΟ, ΜΕΓΙΣΤΟ και λειτουργίες DIF στη δευτεροβάθμια επίδειξη, οποιοσδήποτε πιάστηκε πρόσφατα.
	Επιλέγει την εκπεμπτικότητα. Μπορείτε να επιλέξετε μεταξύ LO (0.3), του MED (0.7), ή HI . (0.95) χρησιμοποιώντας το 
	Ελεγχος θερμοηλεκτρικών ζευγών K-τύπων που χρησιμοποιείται για να κάνει τη μέτρηση θερμοκρασίας επαφών.

Πίνακας Α-2 Κουμπιά και συνδέσεις οργάνου

Πώς λειτουργεί το θερμόμετρο

Τα θερμόμετρα υπερύθρων μετρούν τη θερμοκρασία της επιφάνειας ενός αδιαφανούς αντικειμένου. Η ενέργεια των υπερύθρων του θερμομέτρου, συλλέγεται και στρέφεται επάνω σε έναν ανιχνευτή. Τα ηλεκτρονικά συστήματα του θερμομέτρου μεταφράζουν έπειτα τις πληροφορίες σε θερμοκρασία που εμφανίζεται στην οθόνη. Το λέιζερ χρησιμοποιείται μόνο για τη στόχευση των εξεταζόμενων αντικειμένων.

Ενεργοποίηση του θερμόμετρου

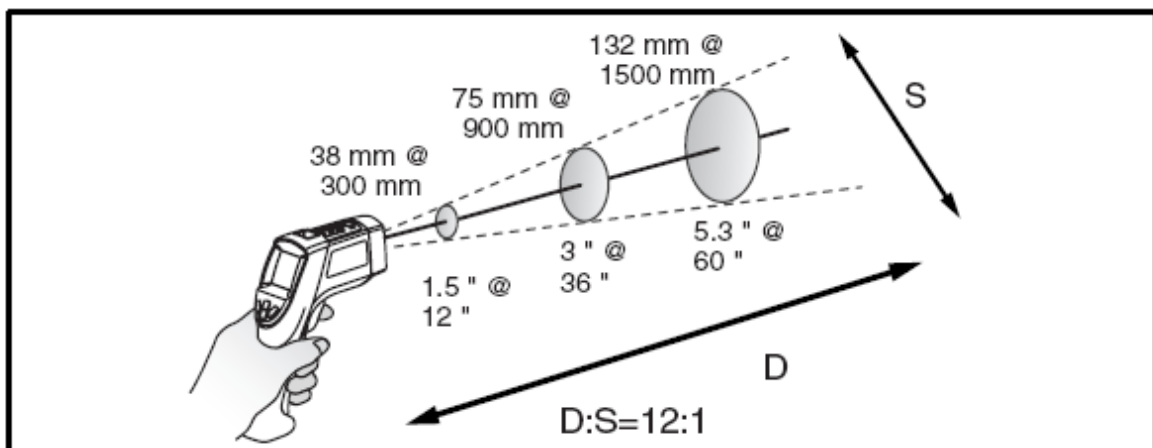
Το θερμόμετρο ενεργοποιείται μόλις πιάσετε το κουμπί της λαβής. Το θερμόμετρο απενεργοποιείται όταν δεν ανιχνεύεται καμία δραστηριότητα για 7 δευτερόλεπτα.

Για να μετρήσετε τη θερμοκρασία, στοχεύστε με το θερμόμετρο τον στόχο(αντικείμενο), πατήστε και κρατήστε το κουμπί της λαβής. Απελευθερώστε το κουμπί για να κρατήσετε την τιμή της θερμοκρασίας.

Φροντίστε να λάβετε υπόψη την αναλογία απόστασης-μεγέθους σημείων και το οπτικό πεδίο. Το λέιζερ χρησιμοποιείται για να στοχεύσει μόνο.

Απόσταση και διαστάσεις σημείων

Όσο η απόσταση μέτρησης από το στόχο (D) αυξάνεται, οι διαστάσεις των σημείων (S) της μετρούμενης περιοχής από τη μονάδα γίνονται μεγαλύτερες. Το μέγεθος των σημείων δείχνει το 90% της περικλειώμενη ενέργεια. Η μέγιστη αναλογία D:S λαμβάνεται όταν το θερμόμετρο είναι σε απόσταση 900 mm. (36 in) από το στόχο με συνέπεια ένα μέγεθος σημείων 75 mm. (3 in).



Σχήμα A-3. Απόσταση μέτρησης και μέγεθος αντικειμένου.

Εκπεμπτικότητα

Η εκπεμπτικότητα περιγράφει τα χαρακτηριστικά ενέργειας-εκπομπής των υλικών. Τα περισσότερα οργανικά υλικά και βαμμένες ή οξειδωμένες επιφάνειες έχουν μια εκπεμπτικότητα περίπου 0.95.

Εάν είναι δυνατόν, για να αντισταθμίσετε τις ανακριβείς μετρήσεις που μπορούν να προκύψουν από τη μέτρηση των λαμπρών επιφανειών μετάλλων, καλύψτε την επιφάνεια που μετριέται με ταινία ή με μαύρη μπογιά (< 148 °C/300 °F) και χρησιμοποιείτε τη ρύθμιση υψηλής εκπεμπτικότητας. Δώστε χρόνο στην ταινία ή το χρώμα να φθάσει στην ίδια θερμοκρασία με την επιφάνεια κάτω από αυτό.

Μετρήστε τη θερμοκρασία της ταινίας ή της χρωματισμένης επιφάνειας. Εάν δεν μπορείτε να χρωματίσετε ή να χρησιμοποιήσετε την ταινία, κατόπιν μπορείτε κατόπιν να βελτιώσετε την ακρίβεια των μετρήσεών σας με τον επιλογέα εκπεμπτικότητας. Ακόμη και με τον επιλογέα εκπεμπτικότητας, μπορεί να είναι δύσκολο να αποκτηθεί μια απολύτως ακριβής μέτρηση ενός στόχου με λαμπρή ή μεταλλική επιφάνεια. Ο πειραματισμός και η εμπειρία θα σας βοηθήσει να επιλέξετε την καλύτερη ρύθμιση για τις συγκεκριμένες μετρήσεις.

Το θερμόμετρο έχει τρεις θέσεις εκπεμπτικότητας: χαμηλή (0.3), μέση (0.7), και υψηλή (0.95). Η επιλογή γίνεται με βάση τον πίνακα A-3.

Οι επιλογές για την εκπεμπτικότητα στον πίνακα αναφέρονται σε χαρακτηριστικές καταστάσεις. Η ιδιαίτερη κατάστασή σας μπορεί να διαφέρει.

Μετρούμενη επιφάνεια	Θέση Διακόπτη	Μετρούμενη επιφάνεια	Θέση Διακόπτη
Αργίλιο		Σίδηρος, χυτός	
Οξειδωμένος	Low	Οξειδωμένος	High, Medium
Κράμα A3003		Μη οξειδωμένος	Low
Οξειδωμένος	Low	λειωμένος	Low
Τραχυμένος	Low	Σίδηρος, επεξεργασμένος	
Ορείχαλκος		Θαμπός	High
Γυαλισμένος	Low	Μόλυβδος	
Οξειδωμένος	Low	τραχύς	Low
Χαλκός		Οξειδωμένος	Low, Medium
Οξειδωμένος	Medium	Μολυβδαίνιο	
Electrical Terminal Blocks	Medium	Οξειδωμένος	Low, Medium
Haynes		Nickel	
κράμα	Medium	Οξειδωμένος	Low
Inconel		Λευκόχρυσος	
Οξειδωμένος	High, Medium	μαύρος	High
Sandblasted	Medium	Χάλυβα	
Electropolished	Low	Cold-Rolled	High
Σίδηρος		Ground Sheet	Medium
Οξειδωμένος	High, Medium	Γυαλισμένος Χάλυβας	Low
οξειδωμένος	Medium	Zinc	
		Οξειδωμένος	Low

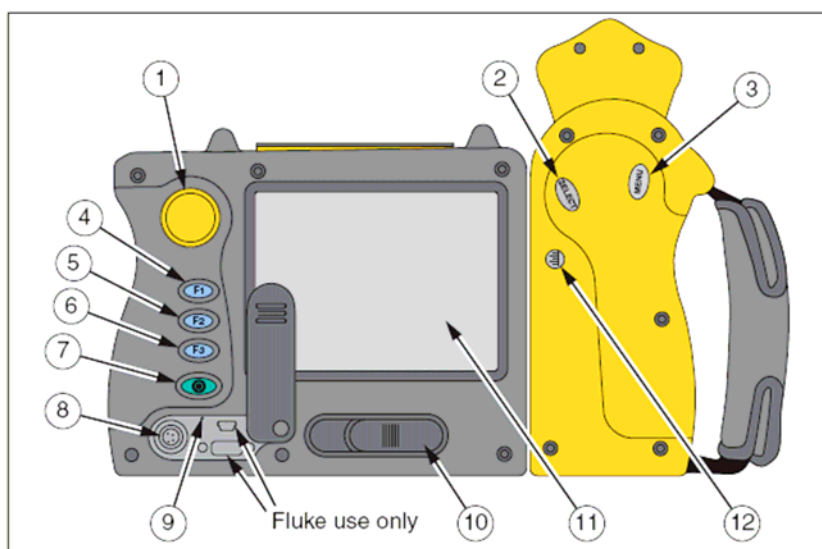
Πίνακας Α-3 Επιλογές για την εκπεμπτικότητα σε διάφορες επιφάνειες

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

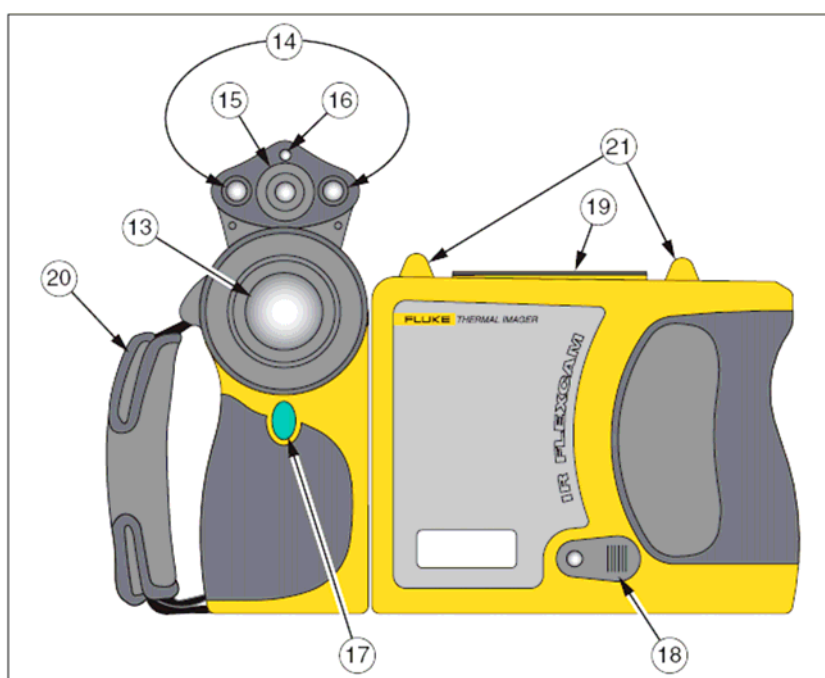
Β. Η λειτουργία του οργάνου Flexcam Ti45

Τα μέρη της Θερμοκάμερας

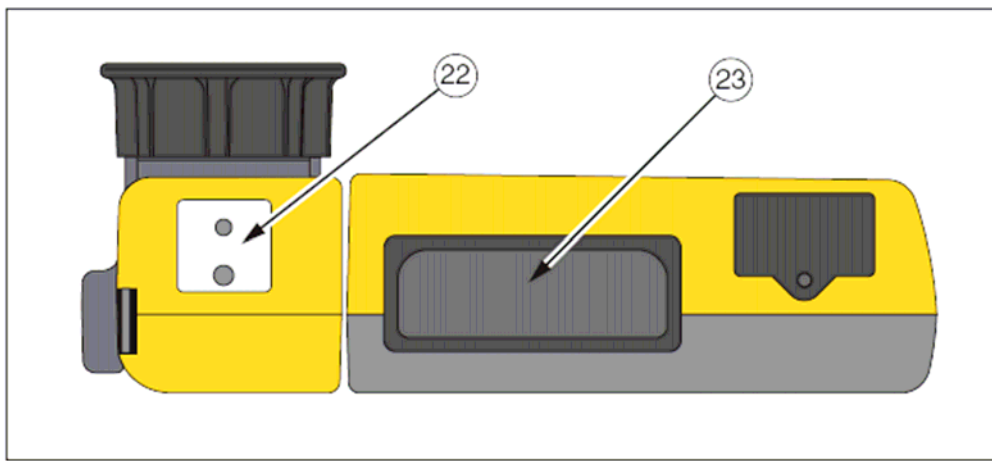
Τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα και οι λειτουργίες παρουσιάζονται στα σχήματα Β-1, Β-2, και Β-3 και περιγράφονται παρακάτω.



Σχήμα Β-1. Πίσω όψη





Σχήμα Β-2. Μπροστινή όψη



Σχήμα Β-3. Η κάμερα από την κάτω πλευρά.

Περιγραφή των τμημάτων της θερμοκάμερας.

1. Ποντίκι - Χρησιμοποιείται για να ελέγξει τη θέση του δείκτη στις εικόνες και τις επιλογές κειμένων.
2. **SELECT** - Εκτελεί το κλικ του «ποντικιού», ή «εισάγετε» στη λειτουργία, για το δείκτη.
3. **MENU** (Κουμπί επιλογών) - Χρησιμοποιείται για την πρόσβαση των επιλογών οθόνης. Σημείωση: Πιέστε μια φορά και οι επιλογές εμφανίζονται.
4. **F1** (Προγραμματιζόμενο κουμπί)- Μπορεί να προγραμματιστεί για να εκτελέσει διάφορες λειτουργίες.
5. **F2** (Προγραμματιζόμενο κουμπί) - Μπορεί να προγραμματιστεί για να εκτελέσει διάφορες λειτουργίες.
6. **F3** (Προγραμματιζόμενο κουμπί) - Μπορεί να προγραμματιστεί για να εκτελέσει διάφορες λειτουργίες.
7. **ON/OFF** (το κουμπί on /off)- Χρησιμοποιείται για να ενεργοποιήσει ή να απενεργοποιήσει την κάμερα καθώς και για να την θέσει σε λειτουργία χαμηλής ισχύος για να διατηρήσει την ισχύ των μπαταριών.
Συνεχές πράσινο = κάμερα ανοικτή. Αναβοσβήνει πράσινο = εφεδρικός τρόπος.
8. Θύρα σύνδεσης για τον φορτιστή AC/DC.
9. (RESET) Κουμπί για να επαναρυθμίσει τη κάμερα. Μπορεί λόγω της θέσης του να ενεργοποιηθεί με έναν συνδετήρα εγγράφου.

10. (Σύρτης μπαταριών) - Χρησιμοποιείται για να αφαιρέσετε την μπαταρία.
11. Οθόνη υγρών κρυστάλλων (LCD) - Για την εξέταση των εικόνων και την πρόσβαση των επιλογών της κάμερας.
12.  - Χρησιμοποιείται στην αναμόρφωση της παλέτας χρώματων στις μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασίες στην τρέχουσα εικόνα και για να ρυθμίσει το επίπεδο IR-Fusion®.
13. (Υπέρυθρος φακός) - Φακός γερμανίου με χειρωκίνητη εστίαση.
14. - Όταν λειτουργεί, ο φακός φωτίζει τις σκοτεινότερες περιοχές εργασίας. Όταν λειτουργεί, η λάμψη φωτίζει το αντικείμενο κατά τη διάρκεια λήψης της εικόνας για καλύτερη-ποιότητα στο ορατό φως. Ο φακός και το φλας μπορούν να λειτουργούν συγχρόνως.
15. Φακός ορατού φωτός - Λήψη ορατού φωτός για τον έλεγχο της εικόνας.
16. Το λείζερ χρησιμοποιείται για να επισημάνει το αντικείμενο προς το οποίο στοχεύεται.
17.  - Χρησιμοποιείται για να σταματήσει ή και να αποθηκεύσει μια εικόνα. Επίσης χρησιμοποιείται για να δεχτεί μια αλλαγή, το κλείσιμο μιας σελίδας επιλογής και για την επιστροφή σε λειτουργία ανίχνευσης στόχων.
18. Θύρα Video - RCA χρησιμοποιείται για να συνδέσει την κάμερα με μια TV ή ένα τηλεοπτικό όργανο ελέγχου.
19. - Θύρα για την κάρτα μνήμης.
20. (Λουρί χεριών) - Ρυθμιζόμενο λουρί για την προστιθέμενη σταθερότητα κατά τη σύλληψη των εικόνων.
21. (Το λουρί λαιμού) -Θέση για την τοποθέτηση του λουριού λαιμών ή/και ώμων.
22. - τυποποιημένη 1/4-20 διαμπερής τρύπα για την τοποθέτηση της κάμερας στο τρίποδο.
23. (Μπαταρία) - Λίθιου μπαταρία 7 βολτ..

Ρυθμίζοντας την εκπεμπτικότητα και τη θερμοκρασία περιβάλλοντος

Η ρύθμιση της θερμοκάμερας σας με τις σωστές τιμές εκπεμπτικότητας και θερμοκρασίας περιβάλλοντος είναι σημαντική για να έχετε ακριβείς μετρήσεις θερμοκρασίας.

Η τιμή εκπεμπτικότητας στη θερμοκάμερά και στις εικόνες που αποθηκεύονται είναι ρυθμιζόμενη μεταξύ 0.01 και 1.00. Αυτή η τιμή, μαζί με την ακτινοβολία του στόχου και την θερμοκρασία περιβάλλοντος που μετρώνται από τη θερμοκάμερα, χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας του στόχου.

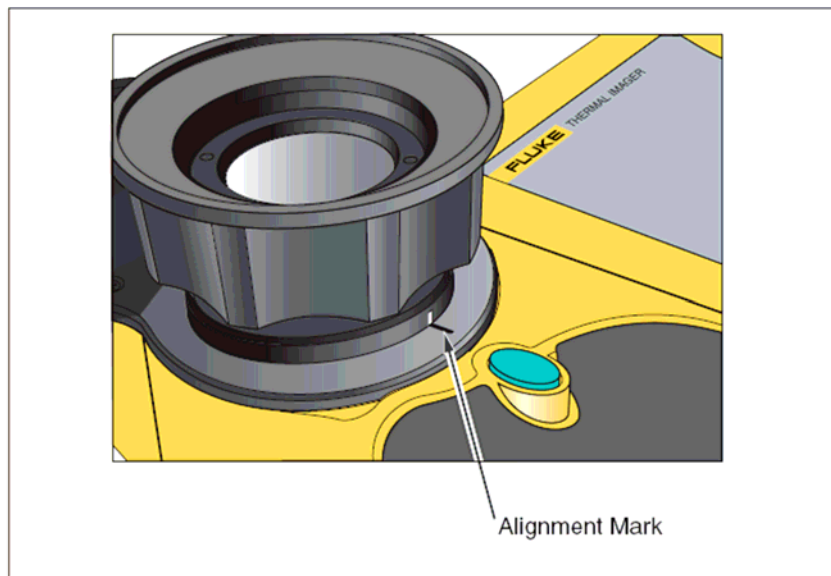
Λειτουργία σταθερά ορισμένης εικόνας

Μπορείτε επίσης να ρυθμίσετε τις τιμές της εκπεμπτικότητας και της θερμοκρασίας περιβάλλοντος με το άνοιγμα των επιλογών εικόνας και πατώντας την επιλογή της εκπεμπτικότητας. Από εδώ, μπορείτε να ενεργοποιήσετε ή απενεργοποιήσετε τη λειτουργία σταθερά ορισμένης εικόνας. Όταν αυτή η λειτουργία ενεργοποιείται, το ελάχιστο και το μέγιστο της παλέτας χρωμάτων προσαρμόζεται καθώς αλλάζετε την εκπεμπτικότητα, και η εμφάνιση της εικόνας παραμένει η ίδια. Όταν αυτή η λειτουργία απενεργοποιείται, το ελάχιστο και το μέγιστο της παλέτας χρωμάτων παραμένει σταθερό, καθώς το χρώμα που δίνει στην εικόνα αλλάζει αναλόγως.

Χρησιμοποιώντας την ευθυγράμμιση εικόνας

Η ευθυγράμμιση εικόνας είναι μια αυτόματη ρύθμιση που εμφανίζεται καθώς στρέφετε τον υπέρυθρο φακό της θερμοκάμερας. Αυτό το χαρακτηριστικό γνώρισμα είναι μόνο διαθέσιμο με το φακό 20 mm. Η εικόνα ορατού φωτός και η υπέρυθρη εικόνα παρατάσσονται βασισμένα στην απόσταση εστίασης του υπέρυθρου φακού έτσι ώστε να μπορούν να συνδυαστούν για εξέταση και ανάλυση. Η εικόνα ορατού φωτός και η υπέρυθρη εικόνα παρατάσσονται για αποστάσεις μεγαλύτερες από 50 εκατ. (περίπου 2 πόδια).

Η ευθυγράμμιση εικόνας τίθεται εκτός λειτουργίας κατά χρησιμοποίηση των προαιρετικών φακών 10 και 54 mm. Για να εξασφαλίσετε κατάλληλη ευθυγράμμιση εικόνας με τον τυποποιημένο φακό 20 mm., ο φακός πρέπει να ευθυγραμμιστεί σωστά όταν τον εγκαθιστάτε στη θερμοκάμερα. Η σωστή ευθυγράμμιση επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση του φακού έτσι ώστε το άσπρο σημάδι ευθυγράμμισης στο φακό να παραταχθεί με το αντίστοιχο σημάδι στη θερμοκάμερα όπως φαίνεται στο σχήμα B-4.



Σχήμα Β-4. Ευθυγράμμιση του φακού των 20 mm

Εστίαση

Πριν από τη στόχευση των εικόνων χρησιμοποιώντας την ιδιότητα του ορατού φωτός και της υπέρυθρης ακτινοβολίας, είναι σημαντικό να σιγουρευτείτε ότι το αντικείμενο στόχευσης έχει εστιαστεί. Καθώς περιστρέφετε τον φακό υπέρυθρων (IR) για να εστιάσει η θερμοκάμερα, εάν το υπέρυθρο μίγμα είναι λιγότερο από 50%, το επίπεδο μίγματος υπέρυθρης ενέργειας αλλάζει σε 50% υπέρυθρο και 50% ορατό φως (VL). Μόλις έχετε το αντικείμενο στόχευσης εστιασμένο και σταματάτε να περιστρέφετε τον υπέρυθρο φακό, το επίπεδο υπέρυθρης ενέργειας επιστρέφει στη ρύθμισή σας.

Για να εστιάσετε τη θερμοκάμερα, αφαιρέστε το καπάκι του υπέρυθρου φακού, στοχεύστε με το φακό το στόχο, και χειροκίνητα περιστρέψτε τον υπέρυθρο φακό με το δάχτυλό σας. Εστιάστε ευθυγραμμίζοντας τις γωνίες των ορατών και υπέρυθρων εικόνων.