

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΤΡΗΣΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ

ΔΟΜΙΚΩΝ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΘΕΡΜΗΣ ΠΛΑΚΑΣ

ΕΚΠΟΝΗΣΗ: ΜΑΤΣΑΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΤΖΙΒΑΝΙΔΗΣ ΧΡΙΣΤΟΣ

ΑΘΗΝΑ ΜΑΡΤΙΟΣ 2009

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ τον Κραβαρίτη Λευτέρη για την καθοδήγηση και το πνεύμα συνεργασίας του μέχρι να ολοκληρωθεί η εργασία, τον Αλέξη για την βοήθεια στην κατασκευή και μορφοποίηση των δειγμάτων τον κύριο Ατσαλάκη για τις ώρες που μου παραχώρησε το εργαστήριο και τον Τζιβανίδη Χρήστο για την ανάθεση της διπλωματικής εργασίας και την γενικότερη επίβλεψη

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες		
Περιεχόμενο	α3	;
Κατάλογος Δ	Διαγραμμάτωνθ	5
Κατάλογος Σ	Σχημάτωνθ	5
1.1 Εισ	σαγωγήξ	3
1.1.1	Προεσκόπιση	3
1.1.2	Μεταφορά θερμότητας και μετρητικές ιδιότητεςδ	3
1.1.3	Μεταφορά θερμότητας με αγωγή)
1.1.4	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας10)
1.2 Θε	ρμική μόνωση-Καθορισμός της θερμικής αντίστασης σε μόνιμη κατάσταση και	
σχετικές ι	διότητες-Εξοπλισμός θερμής πλάκας11	L
1.2.1	Πλαίσιο Πειράματος11	L
1.2.2	Διευκρινήσεις12	2
1.2.3	Παράγοντες που επηρεάζουν τις ιδιότητες μεταφοράς θερμότητας	2
1.2.4	Δειγματοληψία	3
1.2.5	Ακρίβεια και δυνατότητα αναπαραγωγής των αποτελεσμάτων	3
1.2.6	Περιορισμοί πειραματικής διάταξης13	3
1.2.7	Περιορισμοί λόγω του δείγματος15	5
1.3 Πε	ιραματική διάταξη και αξιολόγηση σφαλμάτων16	5
1.3.1	Θερμική μονάδα	5
1.3.2	Αξιολόγηση σφαλμάτων18	3
1.3.3	Σχεδιασμός πειραματικής διάταξης22	L
1.3.4	Έλεγχος απόδοσης	3
1.4 Πε	ιραματική διαδικασία23	3
1.4.1	Γενική αναφορά23	3
1.4.2	Δείγματα δοκιμής25	5
1.4.3	Μέθοδος δοκιμής26	5
1.4.4	Διαδικασίες που απαιτούν πολλαπλές μετρήσεις	3
1.4.5	Υπολογισμοί)
		3

1.4	.6	Αναφορά δοκιμής	31	
2. ΜΕΤΡΗΤΙΚΟ ΟΡΓΑΝΟ FOX200				
2.1	Εισ	αγωγή	33	
2.1	.1	Προδιαγραφές κατασκευής	33	
2.1	.2	Διαδικασία ξήρανσης οργάνου FOX	33	
2.2	Екк	ίνηση οργάνου	34	
2.3	Θει	υρία μεθόδου	35	
2.4	Περ	αγραφή του οργάνου	36	
2.5	Προ	ρ-εισηγμένες μετρήσεις του οργάνου	38	
2.6	Κρι	τήρια ισότητας	40	
2.7 Ko	ατασ	κευαστικά χαρακτηριστικά	42	
3. ΛΟΓΙΣ	εμικ	О ПРОГРАММА WinTherm32	43	
3.1	Екк	ίνηση Προγράμματος	43	
3.2	Λει	τουργία 'WinTherm32' και παράθυρα 'FOX Instrument-COMport'	45	
4.ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ -ΜΕΤΡΗΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ -ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ				
4.1	Περ	ριγραφή δειγμάτων	50	
4.1 4.2	Περ Επε	ριγραφή δειγμάτων ξεργασία	50 50	
4.1 4.2 4.3	Περ Επε Απο	ριγραφή δειγμάτων ξεργασία στελέσματα	50 50 51	
4.1 4.2 4.3 4.3	Περ Επε Απο	ριγραφή δειγμάτων ξεργασία οτελέσματα Διογκωμένη πολυστερίνη	50 50 51 51	
4.1 4.2 4.3 4.3 4.3 4.3	Περ Επε Απο .1	αι Διο Διο Δικτιντη ματη τη Δεποληματή τη του Επολογιατη τη του Επολογια ξεργασία οτελέσματα Διογκωμένη πολυστερίνη Εξηλασμένη πολυστερίνη	50 50 51 51 53	
4.1 4.2 4.3 4.3 4.3 4.3 4.3	Περ Επε Απο .1 .2 .3	αι Διο Διο Δικτου Εποτηρογια Εποστοριατου Εποστοριατου Εποστοριατου Εποστοριατου Εποστοριατου Εποστοριατου Εποσ διογκωμένη πολυστερίνη Εξηλασμένη πολυστερίνη Γυψοσανίδα	50 50 51 51 53 59	
4.1 4.2 4.3 4.3 4.3 4.3 4.3 4.3	Περ Επε Απο .1 .2 .3 .4	αι Δι α Δι α Δι α Δι τ τ Δ τ τ τ Δ τ τ τ Δ τ τ τ τ τ τ τ	50 50 51 51 53 59 61	
4.1 4.2 4.3 4.3 4.3 4.3 4.3 4.3 4.3 4.3	Περ Επε Απο .1 .2 .3 .4	αγραφή δειγμάτων ξεργασία οτελέσματα Διογκωμένη πολυστερίνη Εξηλασμένη πολυστερίνη Γυψοσανίδα Γυαλί Αφρώδες PVC	50 50 51 51 53 59 61 67	
4.1 4.2 4.3 4.3 4.3 4.3 4.3 4.3 4.3 4.3 4.3	Περ Επε Απα .1 .2 .3 .4 .5	αγραφή δειγμάτων ξεργασία οτελέσματα Διογκωμένη πολυστερίνη Εξηλασμένη πολυστερίνη Γυψοσανίδα Γυαλί Αφρώδες PVC Ίνες πολυεστέρα	50 50 51 51 53 59 61 67 68	
4.1 4.2 4.3 4.3 4.3 4.3 4.3 4.3 4.3 4.3 4.3 4.3	Περ Επε Απα .1 .2 .3 .4 .5 .6 .7	ιιγραφή δειγμάτων ξεργασία οτελέσματα Διογκωμένη πολυστερίνη Εξηλασμένη πολυστερίνη Γυψοσανίδα Γυαλί Αφρώδες PVC Ίνες πολυεστέρα Ψευδοτάβανο	50 50 51 51 53 59 61 67 68 74	
4.1 4.2 4.3 4.3 4.3 4.3 4.3 4.3 4.3 4.3 4.3 4.3	Περ Επε Απα .1 .2 .3 .4 .5 .6 .7 Συμ	οιγραφή δειγμάτων ξεργασία οτελέσματα Διογκωμένη πολυστερίνη Εξηλασμένη πολυστερίνη Γυψοσανίδα Γυαλί Αφρώδες PVC Ίνες πολυεστέρα Ψευδοτάβανο περάσματα και παρατηρήσεις πειράματος	50 50 51 51 53 59 61 67 68 74 75	
4.1 4.2 4.3 4.3 4.3 4.3 4.3 4.3 4.3 4.3 4.3 4.3	Περ Επε Απα .1 .2 .3 .4 .5 .6 .7 Συμ (ΕΣ Ν	αι Επ Επ το του του του του του του του του του	50 51 51 53 53 61 67 68 74 75 77	
4.1 4.2 4.3 4.3 4.3 4.3 4.3 4.3 4.3 4.3 4.3 4.3	Περ Επε Απα .1 .2 .3 .4 .5 .6 .7 Συμ ΚΕΣ Ν Διο	αι α α α α α α α α α α α α α α α α α α	50 51 51 53 59 61 67 68 74 75 77 77	
4.1 4.2 4.3 4.3 4.3 4.3 4.3 4.3 4.3 4.3 4.3 4.3	Περ Επε Απα .1 .2 .3 .4 .5 .6 .7 Συμ ΚΕΣ Ν Διο Εξη	αγραφή δειγμάτων	50 51 51 53 59 61 67 68 74 75 77 77 82	

5. 2.2 Εξ	ηλασμένη πολυστερίνη (δείγμα με εγκοπές)	88
5.3 Γυψοσ		
5.3.1	1 ^η Μέτρηση	
5.3.2	2 ^η Μέτρηση	100
5.4 Γυο	χ λί	106
5.4.1	Διπλό γυαλί	106
5.4.2	Μονό γυαλί	
5.5 Aqı	ρώδες PVC	115
5.6 Ίνεα	ς πολυεστέρα	
5.6.1	Συμπαγές δείγμα πολυεστέρα	
5.6.2	Δείγμα πολυεστέρα με εσωτερική κοιλότητα	127
5.7 Ψει	υδοτάβανο	130
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	Α Α- ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ ΚΟΙΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦ	PIA	139

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1.1.1 Συντελεστής k σε μέταλλα	11
Διάγραμμα 1.1.2 Συντελεστής k σε υγρά Διάγραμμα 1.1.3 Συντελεστής k σε αέρια	11
Διάγραμμα 4.3.1 Διογκωμένη πολυστερίνη	53
Διάγραμμα 4.3.2 Εξηλασμένη πολυστερίνη	56
Διάγραμμα 4.3.4 Σύγκριση εξηλασμένης πολυστερίνης	58
Διάγραμμα 4.3.5 Γυψοσανίδα	60
Διάγραμμα 4.3.6 Διπλό γυαλί	62
Διάγραμμα 4.3.7 Μονό γυαλί	66
Διάγραμμα 4.3.8 Αφρώδες PVC	68
Διάγραμμα 4.3.9 Πολυεστέρας	69
Διάγραμμα 4.3.10 Πολυεστέρας με κοιλότητα	71
Διάγραμμα 4.3.11 Σύγκριση πολυετέρα	72
Διάγραμμα 4.3.12 Ψευδοτάβανο	75

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχ.2.4.1 FOX200	. 37
Σχ.2.4.2 Πληκτρολόγιο βάσης	. 37
Σχ.4.3.1 Δείγμα διογκωμένης πολυστερίνης	. 52
Σχ.4.3.2 Δείγμα Εξηλασμένης πολυστερίνης	. 54
Σχ.4.3.3 Συνήθης χρήση εξηλασμένης πολυστερίνης	. 55
Σχ.4.3.4 Δείγμα Εξηλασμένης πολυστερίνης με εγκοπές	. 56
Σχ.4.3.5 Τομή δείγματος εξηλασμένης πολυστερίνης με εγκοπές	. 57
Σχ. 4.3.6 Δείγμα γυψοσανίδας	. 59
Σχ. 4.3.7 Τομή διπλού γυαλιού	.61
Σχ. 4.3.8 Δείγμα διπλού γυαλιού	.61
Σχ. 4.3.9 Ροή αέρα κατά τη διάρκεια του πειράματος Σχ. 4.3.10 Ροή αέρα σε κανονική εγκατάσταση	63ן
Σχ. 4.3.11 Μονοδιάστατη ανάλυση συστήματος διπλού γυαλιού	. 64
Σχ. 4.3.12 Δείγμα μονού γυαλιού	. 66
Σχ. 4.3.14 Μόνωση σωλήνων Σχ. 4.3.15 Μόνωση μεγάλων σωληνώσεων	. 67

Σχ. 4.3.13 Δείγμα αφρώδους PVC	67
Σχ. 4.3.16 Δείγμα ινών πολυεστέρα	69
Σχ. 4.3.17 Δείγμα πολυεστέρα με κοιλότητα	70
Σχ. 4.3.18 Διαστάσεις εσωτερικής κοιλότητας	70
Σχ. 4.3.19 Τομή δείγματος ινών πολυεστέρα με κοιλότητα	72
Σχ. 4.3.20 Μονοδιάστατη ανάλυση κοιλότητας πολυεστέρα	73
Σχ. 4.3.21 Ψευδοτάβανο	74

<u>1.ΔΙΕΘΝΗ ΠΡΟΤΥΠΑ –ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΜΟΝΙΜΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ</u> <u>ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΣΧΕΤΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ</u> <u>ΘΕΡΜΗΣ ΠΛΑΚΑΣ</u>

1.1 Εισαγωγή

1.1.1 Προεσκόπιση

Το διεθνές πρότυπο που αναφέρεται στη διάταξη θερμής πλάκας, χωρίζεται σε 3 μέρη, αντιπροσωπεύοντας μια πιο περιεκτική προσέγγιση πληροφοριών, συμπεριλαμβανομένου και της χρήσης της συσκευής. Τα μέρη αυτά είναι :

- Γενική συγκέντρωση του συμμετέχοντος στο πείραμα
- Διάταξη της πειραματικής συσκευής και εκτίμηση των σφαλμάτων
- Πειραματική διαδικασία

Η ουσιαστική συμμετοχή του χειριστή θα χρειαστεί μόνο στο τρίτο μέρος αλλά θα πρέπει να είναι εξοικειωμένος με τα δύο πρώτα ώστε να υπάρξουν ακριβή αποτελέσματα.

1.1.2 Μεταφορά θερμότητας και μετρητικές ιδιότητες

Από μεγάλο αριθμό μετρήσεων σε πορώδη υλικά με μικρή πυκνότητα , είδαμε ότι η μεταφορά θερμότητας περιλαμβάνει ένα συνδυασμό από:

- ακτινοβολία
- αγωγιμότητα σε στερεά και αέρια φάση
- μεταφορά (σε ορισμένες λειτουργικές καταστάσεις)

όπως επίσης και η αλληλεπίδραση λόγω μεταφοράς μάζας ,ειδικά στα πτητικά υλικά. Η ιδιότητα των υλικών για μεταφορά θερμότητας πολλές φορές χαρακτηρίζεται –λανθασμέναως θερμική αγωγιμότητα. Αυτή η ιδιότητα του υλικού μεταβάλλεται ανάλογα με τις συνθήκες που γίνεται η δοκιμή. Αυτός είναι και ο λόγος που η ιδιότητα αυτή, θα έπρεπε να χαρακτηρίζεται ως 'συντελεστής μεταφοράς '.Ο συντελεστής μεταφοράς μπορεί να έχει σημαντική εξάρτηση από το πάχος και την θερμοκρασιακή διαφορά στις δύο πλευρές του δείγματος.

Η μεταφορά θερμότητας από ακτινοβολία είναι η σημαντικότερη παράμετρος από την οποία επηρεάζεται ο συντελεστής μεταφοράς των δειγμάτων. Αυτό έχει ως συνέπεια να επηρεάζονται τα αποτελέσματα, όχι μόνο των ιδιοτήτων του υλικού, αλλά και των χαρακτηριστικών ιδιοτήτων της επιφάνειας του δείγματος στην ακτινοβολία. Η μεταφορά θερμότητας λόγω ακτινοβολίας συμβάλλει στην εξάρτηση του συντελεστή μεταφοράς από την θερμοκρασιακή διαφορά. Αυτή η εξάρτηση μπορεί να βρεθεί πειραματικά για κάθε υλικό ,όταν η θερμοκρασιακή διαφορά υπερβαίνει τα καθορισμένα όρια. Για αυτό τον λόγο η θερμική αντίσταση είναι αυτή που περιγράφει καλύτερα την θερμική συμπεριφορά ενός δείγματος, υπό την προϋπόθεση ότι συνοδεύεται από πληροφορίες για την συμπεριφορά της επιφάνειας στην ακτινοβολία. Εάν υπήρχε δυνατότητα να εφαρμοστεί η αρχή της μεταφοράς μέσα στο δείγμα, ο προσανατολισμός των συσκευών μέτρησης, το πάχος και η θερμοκρασιακή διαφορά θα μπορούσαν να επηρεάσουν των συντελεστή μεταφοράς και την θερμική αντίσταση. Σε μια τέτοια περίπτωση το ελάχιστο που θα απαιτείτο ,θα ήταν ο καθορισμός της γεωμετρίας και των οριακών συνθηκών του δείγματος. Επιπρόσθετα χρειάζεται ιδιαίτερη γνώση για αξιολόγηση των μετρήσεων ,ειδικά όταν αυτές εφαρμόζονται στην πράξη.

Η υγρασία επίσης ,επηρεάζει την θερμική συμπεριφορά του δείγματος καθότι επενεργεί ως επιπρόσθετη αντίσταση μέσα στο δείγμα και κάνει πολύπλοκες τις μετρήσεις. Για αυτό τον λόγο συστήνεται να εξετάζονται μόνο δείγματα που έχουν χαμηλή η καθόλου περιεκτικότητα σε υγρασία.

Η γνώση των φυσικών αρχών που διέπουν αυτή την διεργασία είναι επίσης πολύ σημαντική όταν καθοριστεί η ιδιότητα της μεταφοράς θερμότητας του δείγματος, καθώς αυτή χρησιμοποιείτε για την εκτίμηση της θερμικής συμπεριφοράς του υλικού σε μια πρακτική εφαρμογή ακόμα και αν υπεισέλθουν άλλοι παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν αυτή την συμπεριφορά.

1.1.3 Μεταφορά θερμότητας με αγωγή

Η εναλλαγή θερμότητας ή ενέργειας είναι αποτέλεσμα της μεταφοράς κινητικής ενέργειας διαμέσου των μορίων είναι γνωστή ως αγωγή και πραγματοποιείται από μια περιοχή της υψηλής ενέργειας (ή θερμοκρασίας) σε μία άλλη περιοχή χαμηλότερης ενέργειας .Η θεμελιώδης σχέση που διέπει την μεταφορά θερμότητας είναι ο νόμος του Fourie για αγωγή θερμότητας ο οποίος λέει ότι για μονοδιάστατη ροή και χωρίς την κίνηση ρευστού, ο ρυθμός ροής θερμότητας σε μια καθορισμένη κατεύθυνση είναι ανάλογη της κλίσης της θερμοκρασίας μέσα στο σώμα.

Η ενεργειακή ισορροπία σε ένα τρισδιάστατο σώμα ,χρησιμοποιώντας των νόμο του Fourie για αγωγή θερμότητας μας δίνει μια έκφραση για την παροδική διάχυση που γίνεται μέσα του.

$$\frac{\partial}{\partial x}(k\frac{\partial T}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(k\frac{\partial T}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(k\frac{\partial T}{\partial z}) + \dot{q} = \rho c_p \frac{\partial}{\partial x}(\frac{\partial T}{\partial t})$$

Η σχέση αυτή συνήθως αναφέρεται ως 'εξίσωση θερμικής διάχυσης ', και είναι μια βάση για ανάλυση της θερμικής αγωγής. Σε ειδικές περιπτώσεις όπου ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας είναι σταθερός αυτή γίνεται

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{q}{k} = \frac{\rho c_p}{k} \frac{\partial T}{\partial t}$$

9

εάν η διαφορά θερμοκρασίας είναι σταθερή με την πάροδο του χρόνου

$$\frac{\partial}{\partial x}(k\frac{\partial T}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(k\frac{\partial T}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(k\frac{\partial T}{\partial z}) + \dot{q} = 0$$

και ανάγοντας τα σε μονοδιάστατη ροή

$$\frac{\partial}{\partial x}(\frac{\partial T}{\partial x}) + \frac{q}{k} = 0$$

Γενικότερα σε ένα τρισδιάστατο σώμα ,με σταθερές θερμικές ιδιότητες χωρίς αναγέννηση θερμότητας σε μόνιμη κατάσταση .το θερμικό του πεδίο ικανοποιεί την εξίσωση

$$\nabla^2 T = 0$$

1.1.4 Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας

Η δυνατότητα ενός αντικειμένου να μεταφέρει θερμότητα με αγωγή μπορεί να αναπαρασταθεί από μια αναλογική σταθερά k που καλείται συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας. Οι πιο κάτω πίνακες δείχνουν τα χαρακτηριστικά του συντελεστή συναρτήσει της θερμοκρασίας για διάφορα υγρά στερεά και αέρια. Όπως φαίνεται ο συντελεστής αυτός είναι υψηλότερος για τα στερεά από τα υγρά και τα αέρια. Γενικά τα μέταλλα έχουν μεγαλύτερη αγωγιμότητα από τα αμέταλλα και ο συντελεστής τους μειώνεται όσο αυξάνεται η θερμοκρασία ενώ στα αμέταλλα στερεά αυτός αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας.

Γενικά ισχύει ότι η θερμική αγωγιμότητα των υγρών μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Αντιθέτως η θερμική αγωγιμότητα των αερίων και ατμών ,αυξάνεται με την άνοδο της θερμοκρασίας και μειώνεται με την αύξηση του μοριακού βάρους.



Διάγραμμα 1.1.1 Συντελεστής k σε μέταλλα









1.2 Θερμική μόνωση-Καθορισμός της θερμικής αντίστασης σε μόνιμη κατάσταση και σχετικές ιδιότητες-Εξοπλισμός θερμής πλάκας

1.2.1 Πλαίσιο Πειράματος

Τα διεθνή πρότυπα παραθέτουν την πειραματική διαδικασία που καθορίζεται από την χρήση της μεθόδου θερμής πλάκας για την μέτρηση της μόνιμης κατάστασης θερμικής αγωγής διαμέσου επίπεδων δειγμάτων και υπολογισμού των θερμικών ιδιοτήτων του. Οι αναφορές που γίνονται σε αυτά τα πρότυπα ,δεν αντιπροσωπεύουν ποτέ δείγματα με θερμική αντίσταση μικρότερη από 0,1 m²K/W διασφαλίζοντας έτσι ότι δεν υπερβαίνονται τα όρια πάχους. Το κατώτατο όριο θερμικής αντίστασης που μπορεί να μετρηθεί είναι 0,02 m²K/W αλλά η επιθυμητή ακρίβεια μπορεί να μην επιτυγχάνεται σε όλο το φάσμα του δείγματος.

1.2.2 Διευκρινήσεις

Οι παρακάτω διευκρινήσεις που αφορούν τον καθορισμό των ιδιοτήτων του δείγματος δίνονται ώστε να γίνει ευκολότερη η κατανόηση των μετρήσεων.

Θερμικά ομογενές μέσο: η θερμική αγωγιμότητα αυτού μπορεί να είναι συνάρτηση της κατεύθυνσης ,του χρόνου και της θερμοκρασίας αλλά όχι της θέσης του μέσου.

Θερμικά ισοτροπικό μέσο: η θερμική αγωγιμότητα δεν είναι συνάρτηση της κατεύθυνσης αλλά ,του χρόνου, της θερμοκρασίας και της θέσης (η μέση αγωγιμότητα $\begin{bmatrix} J \\ \lambda \end{bmatrix}$ καθορίζεται από διαφορετικό λ σε κάθε σημείο).

Θερμικά σταθερό μέσο: η θερμική αγωγιμότητα αυτού μπορεί να είναι συνάρτηση της θέσης , της θερμοκρασίας και όταν είναι εφαρμόσιμο, της κατευθύνσεις αλλά όχι του χρόνου.

Συντελεστής μεταφοράς του δείγματος: Ορίζεται ως $F = \frac{qd}{\Delta T} = \frac{d}{R} W(mK)$.Εξαρτάται από τις πειραματικές συνθήκες και χαρακτηρίζει ένα δείγμα σε σχέση με την συνδυασμένη αγωγή και ακτινοβολία.

Θερμική μεταδοτικότητα υλικού: Καθαρίζεται ως $\lambda_t = \frac{\Delta d}{\Delta R} W/(mK)$ όταν το $\frac{\Delta d}{\Delta R}$ είναι ανεξάρτητο από το πάχος d. Είναι ανεξάρτητο των πειραματικών συνθηκών και χαρακτηρίζει μονωμένα υλικά σε σχέση με την αγωγή και την ακτινοβολία τους.

1.2.3 Παράγοντες που επηρεάζουν τις ιδιότητες μεταφοράς θερμότητας

Οι ιδιότητες μετάδοσής θερμότητας ενός δείγματος υλικού μπορεί:

- Διαφέρουν λόγω της μεταβλητότητας της σύνθεσης του υλικού ή των δειγμάτων αυτού
- Επηρεάζονται από την υγρασία
- Να αλλάζουν χρονικά
- Να αλλάζουν συναρτήσει της μέσης θερμοκρασίας του δείγματος
- Να εξαρτώνται από τις θερμικές διεργασίες που έχουν γίνει σε αυτό κατά το παρελθόν

Οι πιο πάνω παράγοντες είναι ενδεικτικοί και δεν είναι πάντοτε δυνατόν να διασφαλιστούν, για αυτό και αρκούμαστε σε μια καλή προσέγγιση τους. Το πιο βασικό είναι η εξάρτηση των ιδιοτήτων, μεταφοράς θερμότητας, από μεταβλητές όπως η μέση θερμοκρασία και η θερμοκρασιακή διαφορά στις πλευρές του δείγματος. Αυτές θα πρέπει να μετρώνται ή οι δοκιμές να γίνονται σε τυπικές συνθήκες χρήσης του υλικού.

1.2.4 Δειγματοληψία

Για να καθοριστούν οι θερμικές ιδιότητες ενός δείγματος απαιτείται ένας επαρκής αριθμός μετρήσεων, ώστε τα αποτελέσματα να είναι αντιπροσωπευτικά. Για να γίνει καθορισμός των ιδιοτήτων ενός υλικού από μια μέτρηση πρέπει το δείγμα να είναι αντιπροσωπευτικό των ιδιοτήτων του υλικού.

1.2.5 Ακρίβεια και δυνατότητα αναπαραγωγής των αποτελεσμάτων

Η αξιολόγηση της ακρίβειας της μεθόδου είναι μια πολύπλοκη συνάρτηση της πειραματικής διάταξης ,των σχετιζομένων οργάνων και του είδους του δείγματος κατά την μέτρηση. Εντούτοις, η συσκευή που κατασκευάζεται ή χρησιμοποιείται σύμφωνα με αυτήν την μέθοδο ,είναι σε θέση να είναι ακριβείς ±2% στις ιδιότητες μεταφοράς θερμότητας , όταν η μέση θερμοκρασία της δοκιμής είναι κοντά στη θερμοκρασία δωματίου.

Με αρκετή προσοχή στη σχεδίαση των συσκευών, και μετά από τον εκτενή έλεγχο και σύγκριση των μετρήσεων με άλλες παρόμοιες συσκευές ή και δεδομένα, μια ακρίβεια περίπου ±5% πρέπει να είναι δυνατή οπουδήποτε στο δείγμα, όταν η συσκευή βρίσκεται σε πλήρη λειτουργία. Τέτοια ακρίβεια είναι κανονικά ευκολότερη να επιτευχθεί με τη χρησιμοποίηση χωριστών συσκευών για τα άκρα. Η δυνατότητα αναπαραγωγής των επόμενων μετρήσεων που γίνονται από τις συσκευές ,σε ένα δείγμα που διατηρείται μέσα στη συσκευή χωρίς αλλαγές στις συνθήκες δοκιμής και όταν οι μετρήσεις γίνονται στο ίδιο δείγμα αναφοράς που αφαιρείται και επανατοποθετείται έπειτα από μακροπρόθεσμα διαστήματα, η δυνατότητα αναπαραγωγής των μετρήσεων είναι κανονικά καλύτερη από ±1%.Η διαφορετικές τιμές που παίρνουμε οφείλονται σε μικρές αλλαγές στις συνθήκες δοκιμής όπως η πίεση των πλακών στο δείγμα, η σχετική υγρασία κ.α.

1.2.6 Περιορισμοί πειραματικής διάταξης

Σε συμπαγή υλικά με μεγάλη θερμική αγωγιμότητα πρέπει να υπάρχει πολύ καλή επαφή μεταξύ του δείγματος και των επιφανειών. Σε αντίθετή περίπτωση εμφανίζονται αντιστάσεις που δεν είναι αντιπροσωπεύτηκες του δείγματος λόγω της παρεμβολής αέρα.

Για δείγματα με θερμική αντίσταση μικρότερη από 0.1m²K/W χρειάζονται ειδικές τεχνικές για την μέτρηση της θερμοκρασίας στις επιφάνειες. Οι μεταλλικές επιφάνειες θα πρέπει να επεξεργαστούν στην μηχανή ή να κοπούν επίπεδες και παράλληλες μεταξύ τους ,χωρίς παραμένουσες τάσεις πάνω τους.

Τα ανώτερα όρια θερμικής αντίστασης που μπορούν να μετρηθούν, περιορίζονται από την σταθερότητα της ηλεκτρικής τάσης που είναι συνδεδεμένη με την θερμική μονάδα, την δυνατότητα του μετρητικού οργάνου στην μέτρηση τους και το φάσμα των θερμικών αυξομειώσεων κατά την διάρκεια θερμοκρασιακής αστάθειας μεταξύ του μετρητικού και προστατευτικού μέρους, του δείγματος και της θερμικής μονάδας. Προϋποθέτοντας ότι η ομοιομορφία και η σταθερότητα της θερμοκρασίας στην επιφάνεια των πλακών θέρμανσης και ψύξης, ο θόρυβος, η ανάλυση και η ακρίβεια των οργάνων και οι περιορισμοί στις μετρήσεις θερμοκρασίας μπορούν να διατηρηθούν μέσα σε προκαθορισμένα όρια, θερμοκρασίες μέχρι 5 Κ, μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις μετρήσεις, με την προϋπόθεση ότι οι απαιτήσεις που περιγράφονται πιο κάτω καλύπτονται. Εάν οι μετρήσεις θερμοκρασιών κάθε πλάκας γίνονται από θερμικά ζεύγη με ανεξάρτητες συνδέσεις αναφοράς , η ακρίβεια του κάθε ζεύγους μπορεί να είναι και περιοριστικός παράγοντας στην ακρίβεια μέτρησης των θερμοκρασιακών διαφορών όλου του δείγματος. Σε αυτή την περίπτωση συνιστάτε να έχουμε θερμοκρασιακές διαφορές 10-20 Κ ώστε να επιτυγχάνεται ελαχιστοποίηση του μετρητικού σφάλματος. Μεγαλύτερες θερμοκρασιακές διαφορές περιορίζονται μόνο από την δυνατότητα του οργάνου για απόδοση επαρκής ισχύος και την συμπεριφορά του δείγματος σε πολύ ακραίες θερμοκρασίες.

Οι περιοριστικές συνθήκες στα άκρα του δείγματος λόγω της μόνωσης των ακρών, των βοηθητικών θερμαστρών και της θερμοκρασίας περιβάλλοντος είναι αυτά που καθορίζουν το μέγιστο πάχος του δείγματος για οποιαδήποτε διαμόρφωση. Για τα ανομοιογενή, σύνθετα ή βαλμένα σε στρώσεις δείγματα, η μέση θερμική αγωγιμότητα κάθε στρώματος πρέπει να είναι λιγότερο από δύο φορές αυτή οποιουδήποτε άλλου στρώματος. Συνιστάται για αυτό δείγματα που αποτελούνται από δύο ή περισσότερα διακριτά υλικά να μελετούνται ξεχωριστά.

Αυτό θεωρείται προσεγγιστική μέθοδος και γίνεται μόνο για μια αρχική εκτίμηση από το χειριστή και δεν υπονοεί απαραιτήτως τη μέτρηση της αγωγιμότητας κάθε στρώματος. Αναμένεται ότι με αυτή τη κατάσταση η ακρίβεια θα παραμείνει κοντά στην αναμενόμενη ,για δοκιμές στα ομοιογενή δείγματα. Καμία οδηγία δεν μπορεί να παρασχεθεί για αξιολόγηση της ακρίβειας μέτρησης όταν δεν καλύπτεται αυτή η προϋπόθεση.

Από την άλλη υπάρχει επίσης περιορισμός που αφορά το ελάχιστο πάχος δείγματος και εξαρτάτε από την αντίσταση των επαφών. Όπου απαιτείται η θερμική αγωγιμότητα ή η θερμική ειδική αντίσταση ή ο θερμικός παράγοντας μεταβίβασης ή μεταφοράς, το ελάχιστο πάχος δειγμάτων περιορίζεται από την ακρίβεια της πειραματικής διάταξης για τη μέτρηση του πάχους.

Η μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας των θερμαντικών και ψυκτικών μονάδων μπορεί να περιοριστεί από τη θερμική πίεση ,την οξείδωση ή άλλους παράγοντες που επηρεάζουν την επιπεδότητα και την ομοιομορφία της πλάκας επιφανείας και από τις αλλαγές της ηλεκτρικής αντίστασης των ηλεκτρικών μονώσεων που μπορεί να έχουν επιπτώσεις στην ακρίβεια όλων των ηλεκτρικών μετρήσεων.

Το μέγεθος μιας συσκευής θερμής πλάκας εξαρτάται από τις διαστάσεις δειγμάτων που κυμαίνονται κανονικά μέσα στα όρια 0.2 m έως 1m, διαμέτρου ή πλευράς του τετραγώνου. Τα δείγματα μικρότερα από 0.3m μπορούν να μην είναι αντιπροσωπευτικά του

υλικού, ενώ δείγμα μεγαλύτερο από 0.5m μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα στη διατήρηση της λειότητας των δειγμάτων και των πλακών, της ομοιομορφίας θερμοκρασίας, του χρόνου ισορροπίας και του συνολικού κόστους μέσα σε αποδεκτά όρια. Για ενδοεργαστηριακές συγκρίσεις, συνιστάται το σχέδιο των μελλοντικών συσκευών θερμών πλακών να βασίζεται σε μια από τις ακόλουθες προτεινόμενες τυποποιημένες διαστάσεις:

- 0.3m διαμέτρου ή πλευράς του τετραγώνου
- 0.5m διαμέτρου ή πλευράς του τετραγώνου

και επιπλέον :

- 0.2m διαμέτρου ή πλευράς του τετραγώνου εάν εξετάζονται μόνο ομογενή υλικά
- 1m διαμέτρου ή πλευράς του τετραγώνου εάν τα δείγματα που πρόκειται να μετρηθούν υπερβαίνει τα όρια σε πάχος που επιτρέπονται για μια 0.5 συσκευή m.

1.2.7 Περιορισμοί λόγω του δείγματος

Όταν γίνονται μετρήσεις θερμικής αντίστασης ή θερμικής αγωγιμότητας σε ανομοιογενή δείγματα, η πυκνότητα του ρυθμού ροής θερμότητας, μέσα στο δείγμα και πέρα από τις επιφάνειες της μετρητικής περιοχής ,δεν μπορεί να είναι ούτε ομοιοκατευθυνόμενη ούτε ομοιόμορφη. Οι θερμικές διαστρεβλώσεις μέσα στο δείγμα μπορούν να είναι η αιτία για σοβαρά λάθη. Είναι δύσκολο να δώσουμε αξιόπιστες οδηγίες για τους τρόπους αντιμετώπισης ή τις εφαρμογές της μεθόδου σε τέτοιες περιπτώσεις. Το μεγαλύτερο πρόβλημα είναι ότι τα λάθη δυσαναλογίας και απωλειών θερμότητας στις άκρες, μπορεί να ποικίλουν με έναν απρόβλεπτο τρόπο όταν υπάρχει ανομοιογένεια σε διαφορετικές θέσεις μέσα στο δείγμα. Σε άλλα δείγματα ,μπορούν να υπάρξουν άμεσα θερμικά βραχυκυκλώματα μεταξύ των επιφανειών των δειγμάτων, σε επαφή με τις πλάκες των μονάδων θέρμανσης και ψύξης.

Η θερμική αντίσταση ή η θερμική αγωγιμότητα είναι συχνά μια συνάρτηση των διαφορών θερμοκρασιών του δείγματος. Στην αναφορά, το φάσμα των θερμοκρασιακών διαφορών που εφαρμόστηκαν για τις τιμές των δύο ιδιοτήτων, πρέπει να καθορίζονται ή να δηλωθεί ότι η αναφερόμενη τιμή καθορίστηκε με μια ενιαία θερμοκρασιακή διαφορά.

Για να καθορίσουμε την ειδική θερμική αγωγιμότητα θα πρέπει όλα τα πιο πάνω κριτήρια να τηρούνται. Τα ομοιογενή πορώδη δείγματα θα είναι τέτοια που οποιαδήποτε ανομοιογένεια να έχει διαστάσεις μικρότερες από το ένα δέκατο του πάχους των δειγμάτων. Επιπλέον η θερμική αντίσταση, σε οποιαδήποτε μέση θερμοκρασία, θα είναι επίσης ανεξάρτητη από τη διαφορά θερμοκρασίας που εφαρμόζεται στο δείγμα. Μερικά δείγματα, ενώ πληρούν τα κριτήρια ομοιογένειας, είναι ανισοτροπικά δεδομένου ότι η θερμική αγωγιμότητα που μετράται σε μια κατεύθυνση παράλληλη στις επιφάνειες είναι διαφορετική με αυτή που μετράτα σε μια κατεύθυνση κανονική στην επιφάνεια. Η θερμική αντίσταση ενός υλικού είναι γνωστό ότι εξαρτάται από το σχετικό μέγεθος της διαδικασίας μεταφοράς θερμότητας που συμμετέχει. Η αγωγή θερμότητας, η ακτινοβολία και η συναγωγή είναι οι κύριοι μηχανισμοί αυτής της διαδικασίας. Ωστόσο οι μηχανισμοί αυτοί μπορούν να

συνδυαστούν ή να συμμετάσχουν στην δημιουργία μη-γραμμικών φαινομένων που είναι δύσκολο να αναλυθούν ή να μετρηθούν, ακόμα και αν οι μηχανισμοί του πειράματος έχουν διερευνηθεί και κατανοηθεί πλήρως.

Για τέτοια δείγματα αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μεγαλύτερα λάθη δυσαναλογίας και απώλειας ακρών. Εάν η αναλογία μεταξύ αυτών των δύο μετρήσιμων τιμών είναι χαμηλότερη από δύο, η εξαγωγή συμπερασμάτων σύμφωνα με αυτήν την μέθοδο είναι ακόμα δυνατή εάν τα σφάλματα απωλειών λόγω , δυσαναλογίας θερμότητας και άκρων, καθορίζονται χωριστά με τα ανισότροπα δείγματα που τοποθετούνται στις συσκευές.

Η επαρκής δειγματοληψία πρέπει να γίνει για να εξασφαλιστεί ότι το υλικό είναι ομοιογενές ή ομοιογενές πορώδες, και ότι οι μετρήσεις είναι αντιπροσωπευτικές ολόκληρου του υλικού, του προϊόντος ή του συστήματος. Το πάχος των δειγμάτων πρέπει να είναι μεγαλύτερο από αυτό για το οποίο ο παράγοντας μεταφοράς δεν αλλάζει περισσότερο από 2% με την περαιτέρω αύξηση του πάχους. Όσο λεπτότερο και μικρότερης πυκνότητα είναι το υλικό, τόσο πιθανότερο είναι η αντίσταση του να εξαρτάται από τις συνθήκες διεξαγωγής του πειράματος παρά από την δυνατότητα του για μετάδοση της θερμότητας. Για όλα τα υλικά υπάρχει ένα ελάχιστο περιοριστικό πάχος, κάτω από το οποίο εμφανίζεται μία τέτοια εξάρτηση. Κάτω από αυτό το πάχος, το δείγμα μπορεί να έχει μοναδικές θερμικές ιδιότητες μεταφοράς θερμότητας αλλά όχι και το υλικό. Το ελάχιστο πάχος καθορίζεται από μετρήσεις η μεθοδολογία του οποίου θα αναλυθεί πιο κάτω.

Επιπλέον πρέπει να επιδειχθεί προσοχή στα δείγματα με μεγάλους συντελεστές θερμικής επέκτασης που στρεβλώνουν όταν υποβάλλονται σε υπερβολικές διαφορές θερμοκρασίας. Η στρέβλωση μπορεί να βλάψει την πειραματική συσκευή ή μπορεί να προκαλέσει πρόσθετη αντίσταση επαφών που οδηγεί σε σοβαρά λάθη μέτρησης. Υπάρχουν ειδικά σχεδιασμένες συσκευές που μπορούν να μετρήσουν τέτοια υλικά.

1.3 Πειραματική διάταξη και αξιολόγηση σφαλμάτων

1.3.1 Θερμική μονάδα

Η μονάδα θέρμανσης αποτελείται από ένα κεντρικό μετρητικό τμήμα και ένα προστατευτικό τμήμα. Το μετρητικό τμήμα αποτελείται από μια θερμάστρα τμημάτων και πλάκες επιφάνειας τμημάτων. Το προστατευτικό τμήμα αποτελείται από μία ή περισσότερες προστατευτικές θερμάστρες και προστατευτικές πλάκες. Οι πλάκες επιφανείας είναι συνήθως κατασκευασμένες από υλικά μεγάλης θερμικής αγωγιμότητας. Οι εργαζόμενες επιφάνειες θέρμανσης και ψύξης δεν θα πρέπει να αντιδρούν χημικά με το περιβάλλον και το δείγμα, θα πρέπει να είναι πλήρως επίπεδες και να ελέγχονται περιοδικά.

1.3.1.1 Υλικά κατασκευής πειραματικής διάταξης

Η μονάδα θέρμανσης και ψύξης είναι ιδίων διαστάσεων και πρέπει να είναι κατασκευασμένη έτσι ώστε όταν βρίσκονται σε λειτουργία ,οι αποκλίσεις από ανομοιόμορφη

θερμοκρασία σε κάθε επιφάνεια να μην υπερβαίνουν το 2% της θερμοκρασιακής διαφοράς στο δείγμα. Επίσης οι δυο επιφάνειες δεν πρέπει να στρεβλώνονται και να παραμορφώνονται στις θερμοκρασίες λειτουργίας της συσκευής.

1.3.1.2 Μόνωση άκρων και απώλειες θερμότητας

Η απόκλιση από τη μονοδιάστατη ροή θερμότητας στο δείγμα οφείλεται στην μη διαβατική κατάσταση στις άκρες της μονάδας θέρμανσης και των δειγμάτων. Επιπλέον, οι απώλειες θερμότητας από τις άκρες της μονάδας θέρμανσης και των δειγμάτων θα προκαλέσουν πλευρικές αποκλίσεις θερμοκρασίας στις πλάκες επιφάνειας του προστατευτικού τμήματος, δημιουργώντας κατά συνέπεια πρόσθετη απόκλιση από το ιδανικό μονοδιάστατο σχέδιο ροής θερμότητας.

Οι απώλειες θερμότητας από τα άκρα των δειγμάτων προκαλούν σφάλματα που μπορούν να υπολογιστούν μόνο για ομοιογενή ισοτροπικά αδιαφανή δείγματα για απλουστευμένες οριακές συνθήκες. Επομένως οι απώλειες θερμότητας από τις εξωτερικές άκρες του προστατευτικού τμήματος και του δείγματος, θα πρέπει να περιοριστούν. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη μόνωση ακρών, με τον έλεγχο της θερμοκρασίας περιβάλλοντος και από μια πρόσθετη εξωτερική προστασία ή με έναν συνδυασμό αυτών των μεθόδων. Μία πολύ σημαντική πορεία ροής θερμότητας από τις άκρες μονάδων θέρμανσης είναι κατά μήκος των καλωδίων των θερμαστρών και των αισθητήρων θερμοκρασιών. Για αυτό είναι απαραίτητο να υπάρχει μια ισόθερμη επιφάνεια κοντά στη μονάδα θέρμανσης και στην ίδια θερμοκρασία. Η θερμική δυσαναλογία πρέπει να περιοριστεί έτσι ώστε η ροή θερμότητας που ανταλλάσσεται μέσω των καλωδίων, να μην υπερβαίνει το 10% του ποσοστού ροής θερμότητας που διαρρέει τα δείγματα σε ομοιοκατευθυνόμενες ιδανικές συνθήκες.

1.3.1.3 Θερμοκρασιακές διαφορές στη συσκευή και το δείγμα

Οποιαδήποτε μέθοδος ικανή να μετρήσει τη θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ των επιφανειών ψύξης και θέρμανσης με ακρίβεια 1% μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση των θερμοκρασιών στην εγκατάσταση.

Οι θερμοκρασίες στις επιφάνειας μετριούνται με τη βοήθεια των μόνιμα τοποθετημένων αισθητήρων θερμοκρασίας όπως τα θερμοηλεκτρικά ζεύγη, που βρίσκονται στις εσοχές των πλακών επιφανείας ή τοποθετημένα ακριβώς κάτω από την επιφάνεια, σε επαφή με το δείγμα.

Λόγω της πιθανής επιρροής αντιστάσεων επαφής μεταξύ του δείγματος και της συσκευής, υπάρχουν διαφορετικές μέθοδοι για να καθοριστεί η διαφορά θερμοκρασίας στο δείγμα.

 Για τα εύκαμπτα δείγματα με επίπεδη ομοιόμορφη επιφάνεια που προσαρμόζονται καλά στις επίπεδες επιφάνειες των πλακών και με θερμική αντίσταση μεγαλύτερη από 0.5m²K/W, η διαφορά θερμοκρασίας τους λαμβάνεται κανονικά από τους αισθητήρες θερμοκρασίας που συνήθως είναι θερμοηλεκτρικά ζεύγη που τοποθετούνται μόνιμα στις επιφάνειες μονάδων θέρμανσης και ψύξης

- τα άκαμπτα δείγματα μπορούν να εγκατασταθούν σε συσκευές με λεπτά φύλλα του κατάλληλου ομοιογενούς υλικού που παρεμβάλλεται μεταξύ του δείγματος και κάθε πλάκας αντίστασης. Η αντίσταση της σύνθετης διάταξης καθορίζεται όπως και πιο πάνω και η διαφορά θερμοκρασίας στο δείγμα μπορεί να υπολογιστεί εάν η αντίσταση των φύλλων είναι γνωστή.
- μια άλλη μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για καθορισμό της θερμοκρασιακής διαφοράς
 σε ένα άκαμπτο δείγμα είναι με τη βοήθεια ξεχωριστών αισθητήρων θερμοκρασίας,
 συνήθως θερμοηλεκτρικών ζευγών που τοποθετούνται στο ίδιο επίπεδο με την
 επιφάνεια ή εσωτερικά του δείγματος

1.3.1.4 Πάχος δείγματος

Τα όργανα για τη μέτρηση του πάχους δείγματος θα πρέπει να έχουν ακρίβεια 0.5%. Λόγω των πιθανών αλλαγών του πάχους του δειγμάτων, ως αποτέλεσμα της θερμικής διαστολής ή της συμπίεσης από τις πλάκες, συνιστάται, όταν αυτό είναι δυνατό, να μετριέται το πάχος των δειγμάτων μέσα στις συσκευές και στις υπάρχοντες θερμοκρασίες και συμπίεση δοκιμής. Το ενεργό πάχος δειγμάτων καθορίζεται από τη μέση διαφορά μεταξύ των μετρήσεων, στην αρχή και το τέλος και όταν χρησιμοποιείται η ίδια δύναμη συμπίεσης μεταξύ των θερμικών πλακών.

1.3.1.5 Δύναμη συμπίεσης

Το σύστημα χρησιμοποιείται για την επιβολή μιας σταθερής δύναμης συμπίεσης στο δείγμα με σκοπό να επιτευχθεί επαρκής θερμική επαφή ή για να διατηρηθεί το ακριβές διάστημα μεταξύ των πλακών τις συσκευής και κατά συνέπεια το πάχος του δείγματος .Είναι απίθανο να απαιτηθεί μια πίεση μεγαλύτερη από 2.5 kPa για την πλειοψηφία των μονωτικών υλικών.

1.3.2 Αξιολόγηση σφαλμάτων

1.3.2.1 Σφάλματα ανισομμετρίας και θερμικών απωλειών

Η πιο κάτω αξιολόγηση σφαλμάτων προϋποθέτει δείγματα με αδιαφανή συμπεριφορά στην ακτινοβολία. Σε περίπτωση υλικών με ημιδιαφανή συμπεριφοράς στην ακτινοβολία και μικρής πυκνότητας, μερικές εκφράσεις μπορεί να γίνουν ανακριβείς.

Εάν το φ είναι ο ρυθμός μετάδοσης θερμότητας που θα διαπερνούσε το δείγμα σε ιδανική ομοιοκατευθηνόμενη κατάσταση και φ_T είναι η ακριβείς τιμή ,το σφάλμα μέτρησης στη μετάδοση θερμότητας E_φ είναι:

$$E_{\phi} = \frac{\phi_{\rm T} - \phi}{\phi}$$

Η ροή μετάδοσης της θερμότητας φ μπορεί να εκφραστεί ως

 $\phi = (FA\Delta T \, / \, d)$

Για δείγματα με διαφανή συμπεριφορά στην ακτινοβολία ,το λ αντικαθιστά το F

Υποθέτοντας ότι το μετρητικό μέρος, το προστατευτικό μέρος και οι ψυκτικές μονάδες βρίσκονται στις ομοιόμορφες θερμοκρασίες ,T₁,T₁-ΔT_g και T₂ αντίστοιχα, το ομογενές και ισοτροπικό δείγμα με αγωγιμότητα λ και ότι οι άκρες τους ανταλλάσσουν τη θερμότητα προς ένα μέσο με ομοιόμορφη θερμοκρασία T_e=T₂+e(T₁-T₂) όπου e είναι ένας αδιάστατος αριθμός , η θεωρητική ανάλυση δείχνει ότι

 $E_{\phi}=Z_1+eZ_2+(\Delta T_g/\Delta T)Z_3$

όπου Z_1, Z_2 και Z_3 εξαρτώνται από τις διαστάσεις του δείγματος ,το διάστημα μεταξύ των πλακών και το πλάτος του προστατευτικού μέρους, την αγωγιμότητα του δείγματος ,από τον επιφανειακό συντελεστή μεταφοράς θερμότητας ,από τα άκρα του δείγματος και από τις θερμικές ενώσεις διαμέσου του δείγματος.

Όταν οι ανισομερείς θερμοκρασιακές διαφορές, ΔT_g είναι μηδενικές , το ϕ_T επηρεάζεται μόνο από την ρυθμό μεταφοράς θερμότητας ϕ_e , που αντιστοιχεί στις θερμικές απώλειες των άκρων E_e . Αυτό έχει ως συνέπεια το Z_3 να είναι παράμετρος σχετιζόμενη με τα ασύμμετρα σφάλματα E_g . Η εκτίμηση των Z_1 , Z_2 και Z_3 απαιτεί πολύπλοκες εκθετικές σειρές για των υπολογισμό τους. Όταν ο επιφανειακός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας τείνει στο άπειρο ,η ακόλουθη προσεγγιστική έκφραση μπορεί να χρησιμοποιηθεί.

$$E_{e} = \frac{\phi_{\varepsilon}}{\phi} = Z_{1} + eZ_{2} = \left\{ \frac{d}{\pi l} \left[e \ln \frac{\cosh\left(\pi \frac{b+l}{d}\right) + 1}{\cosh\left(\pi \frac{b}{d}\right) + 1} + (1-e)\ln \frac{\cosh\left(\pi \frac{b+l}{d}\right) - 1}{\cosh\left(\pi \frac{b}{d}\right) - 1} \right] \right\}^{2} - 1$$

Η απλοποιημένη θεωρητική έκφραση δίνει σωστά αποτελέσματα μόνο όταν οι συνθήκες διεξαγωγής του πειράματος ταιριάζουν με το μοντέλο. Η χρήση της εξίσωσης γίνεται μόνο για να οριστούν τα όρια στο σχεδιασμό της συσκευής, για ελαχιστοποίηση του φαινομένου των παράπλευρων απωλειών και ποτέ για διόρθωση μετρητικών δεδομένων.

Η χαμηλότερες τιμές δίνονται όταν η τιμή του e είναι κοντά στο 0.5. Εντούτοις, είναι δύσκολο να διατηρηθούν τα άκρα στη μέση θερμοκρασία δοκιμής που αντιστοιχεί σε e=0.5, έτσι οι υπολογισμοί πρέπει να πραγματοποιηθούν με το e όχι μεγαλύτερο από 0.25.

Από το ανισομερές σφάλμα $E_g=(\Delta T_g/\Delta T)Z_3$, το σφάλμα ρυθμού ροής θερμότητας $\varphi_g=(\varphi_o+\lambda c)\Delta T_g$ όπου

 $\phi_o \Delta T_g$ αντιπροσωπεύουν τον ρυθμό μετάδοσης θερμότητας που ρέει λόγω αγωγιμότητας στις θερμάστρες και των αισθητήρων θερμοκρασίας, στις μηχανικές συνδέσεις.

λς ΔT_g είναι ο ρυθμός μετάδοσης θερμότητας διαμέσου του δείγματος

Από την πιο πάνω έκφραση είναι εμφανές ότι

$$Z_3 = \frac{d}{A} \left(\frac{\phi_o}{\lambda} + c \right)$$

Ο συντελεστής c δεν είναι αυστηρά μια σταθερά και μπορεί να υπολογιστεί θεωρητικά από την

$$c = \frac{16l}{\pi} \ln \frac{4}{1 - e^{-(\pi_g / d)}}$$

εξετάζοντας, κατά προσέγγιση τις οριακές συνθήκες και το ποσοστό ροής θερμότητας.

Η τιμή του $φ_o$ μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας στοιχειώδεις τύπους μεταφοράς θερμότητας για κάθε σχεδίαση θερμικής μονάδας. Οι τιμές των $φ_o$ και c μπορούν να επιβεβαιωθούν πειραματικά.

1.3.2.2 Λοιπά σφάλματα

Οι ιδιότητες που μετρώνται επηρεάζονται και από άλλες εντοπισμένες πηγές σφαλμάτων που πρέπει να εξεταστούν από το σχεδιαστή και τον χειριστή των συσκευών. Αυτά τα σφάλματα εξαρτώνται από την ακρίβεια μέτρησης των διαστάσεων και των ηλεκτρικών τάσεων σε χαμηλά επίπεδα. Τα κυριότερα είναι:

- Σφάλματα στις μετρήσεις της ηλεκτρικής ενέργειας στο μετρητικό κομμάτι Ε_Ε
- Σφάλματα στις διαστάσεις της κατάλληλης μετρητικής περιοχής , της θερμικής μονάδας και στις διαστάσεις χάσματος
- Σφάλματα στις τιμές των θερμοκρασιών και των θερμοκρασιακών διαφορών
- Σφάλματα στη μέτρηση του πάχους δείγματος.

1.3.2.3 Συνολικό σφάλμα

Η πλειονότητα των σφαλμάτων είναι συστηματικά και έτσι το συνολικό σφάλμα είναι άθροισμα των υπολοίπων. Εντούτοις, η πιθανότητα όλα τα σφάλματα να επενεργούν σε μια κατεύθυνση από την άποψη της αύξησης ή της μείωσης της μετρημένης ιδιότητας (θερμική αγωγιμότητα ή ειδική αντίσταση, θερμική αντίσταση, συντελεστής μεταφοράς ή θερμική διαγωγιμότητα) είναι περιορισμένη. Ο ακριβής καθορισμός του μέγιστου πιθανού λάθους θα απαιτήσει μια σύνθετη στατιστική ανάλυση, αλλά εάν δεν υπάρχει κανένα σφάλμα που είναι πολύ μεγαλύτερο από όλα τα υπόλοιπα, το μέγιστο πιθανό σφάλμα βρίσκεται μεταξύ 50% και 75% του συνολικού λάθους.

1.3.3 Σχεδιασμός πειραματικής διάταξης

1.3.3.1 Απαιτούμενος σχεδιασμός

Για τον σχεδιασμό μιας διάταξης θερμής πλάκας ορισμένοι παράμετροι που πρέπει να ληφθούν υπόψη είναι :

- Ελάχιστο και μέγιστο πάχος δείγματος που θα εξεταστεί
- Ελάχιστη και μέγιστη θερμική αντίσταση δείγματος
- Ελάχιστη και μέγιστη θερμοκρασιακή διαφορά κατά μήκος του δείγματος
- Ευαισθησία του συστήματος που εξισορροπεί το προστατευτικό τμήμα
- Ελάχιστη και μέγιστη θερμοκρασία των μονάδων ψύξης και θέρμανσης αντίστοιχα
- Γενική ακρίβεια συσκευών ως μέγιστο αποδεκτό σφάλμα σε μέτρηση με τις χειρότερες δυνατές συνθήκες
- Περιβάλλον διεξαγωγής πειράματος

1.3.3.2 Θερμοκρασιακή ομοιομορφία της θερμικής μονάδας

Καθορίζεται ένα δοκιμαστικό πάχος για τις μεταλλικές πλάκες της θερμικής μονάδας. Στις μεγάλες θερμοκρασίες υπάρχουν ανομοιομορφίες στα προστατευτικά τμήμα λόγω απωλειών θερμότητας στα άκρα.

Καθορίζονται οι θερμικές απώλειες από τα καλώδια $φ_w$ και αυτές των άκρων $φ_{el}$ από τις πλευρές των προστατευτικών τμημάτων και του δείγματος. Στην πρώτη περίπτωση ,όπου κανένα βοηθητικό προστατευτικό τμήμα δεν χρησιμοποιείται, υποθέτουμε περιβάλλουσα μόνωση της ομοιόμορφης θερμικής αντίστασης R_e , όπου αυτή οφείλεται είτε μόνο στη φυσική μεταφορά είτε είναι η θερμική αντίσταση μόνωσης που θεωρείται επίπεδη πλάκα. Μια πολύ πρόχειρη εκτίμηση των απωλειών θερμότητας ακρών μπορεί να γίνει από τον τύπο:

$$\phi_{el} \approx \frac{P}{R_e} \left[\frac{y}{4} \left(T_1 - T_2 \right) + \left(d + \frac{y}{2} \right) \left(T_m - T_a \right) \right]$$

όπου

d το πάχος του δείγματος δοκιμής (m)

Τ₁-Τ₂ η θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ θερμής και ψυχρής επιφάνειας (Κ)

y το πάχος της θερμικής μονάδας (m)

P η περίμετρος του προστατευτικού τμήματος (m)

Re η ελάχιστη θερμική αντίσταση της μόνωσης των άκρων (Km²/Watt)

T_m η ειδική θερμοκρασία του δείγματος (K)

 T_a η θερμοκρασία στην εξωτερική πλευρά της μόνωσης (μπορούμε να κάνουμε την παραδοχή ότι είναι η θερμοκρασία περιβάλλοντος) (K)

Αξιολογούμε την απόκλιση από τις ισόθερμες συνθήκες στις μεταλλικές πλάκες της θερμικής μονάδας ,υπολογίζοντας κατά προσέγγιση το ποσοστό ροής θερμότητας στο προστατευτικό τμήμα φ_{el}+φ_w το οποίο υπερβαίνει αυτό που θα έρεε σε ομοιοκατευθυνόμενες συνθήκες. Κατόπιν, υποθέτοντας ότι αυτό το ποσοστό ροής θερμότητας διαβιβάζεται ομοιόμορφα από τη θερμάστρα του προστατευτικού τμήματος στις μεταλλικές πλάκες των προστατευτικών τμημάτων, ως πυκνότητα του ποσοστού ροής θερμότητας και ότι ανταλλάσσεται μόνο μέσω των εξωτερικών άκρων του προστατευτικού τμήματος , υπολογίζονται οι μη-ομοιόμορφες θερμοκρασίες στις μεταλλικές πλάκες.

Στο τέλος των υπολογισμών, πρέπει να γίνεται έλεγχος εάν το πάχος των μεταλλικών πλακών της μονάδας θέρμανσης είναι ικανοποιητικό και δεν υπερβαίνει κατά πολύ το ελάχιστο πάχος που απαιτείται για να επιτύχουμε ομοιόμορφη θερμοκρασία, δεδομένου ότι παχιές πλάκες θα αυξήσουν τα σφάλματα δυσαναλογίας στα άκρα.

1.3.3.3 Σφάλματα ανισομέρειας και απώλειας θερμότητας των άκρων

Καθορίζουμε την μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή για E_g+E_e και δεχόμαστε ένα δοκιμαστικό πλάτος. Ένα μικρό πλάτος αυξάνει τα σφάλματα λόγω ανισομέρειας ενώ ένα μεγάλο πλάτος αυξάνει τις αμφιβολίες για τον καθορισμό της μετρητικής περιοχής. Υπολογίζουμε επίσης τα $φ_o$ και c όπως παρουσιάστηκε πιο πάνω.

Εάν τα σφάλματα λόγω των θερμικών απωλειών στα άκρα του δείγματος και το προστατευτικό τμήμα δεν μπορούν να εκτιμηθούν, το ποσοστό ροής θερμότητας στο προστατευτικό τμήμα πρέπει να υπολογιστεί. Το ποσοστό των απωλειών θερμότητας στα άκρα δεν πρέπει να υπερβαίνει το 20% του συνολικού ποσοστού ροής θερμότητας στο δείγμα σε ιδανικούς ομοιοκατευθυνόμενους όρους.

Τα σφάλματα δυσαναλογίας πρέπει να είναι συμβατά με την ευαισθησία του συστήματος ανίχνευσης δυσαναλογίας και δεν πρέπει να είναι πολύ μεγαλύτερη ή μικρότερη από τα σφάλματα απωλειών θερμότητας των ακρών. Σε αυτό το σημείο το βέλτιστο πλάτος προστατευτικών τμημάτων και το μέγιστο πάχος δειγμάτων πρέπει να ελεγχθούν.

1.3.4 Έλεγχος απόδοσης

Προτού θέσουμε σε λειτουργία την πειραματική διάταξη θα πρέπει να γίνει ένας έλεγχος, για την ομαλή και σωστή λειτουργία, των πιο κάτω:

- Επιπεδότητα πλακών
- Ηλεκτρικές ενώσεις και αυτόματος έλεγχος
- Μετρητές θεοκρασίας
- Σφάλματα ανισομέρειας
- Θερμικές απώλειες άκρων
- Ικανότητα ακτινοβολίας της επιφάνειας συσκευών
- Έλεγχος γραμμικότητας

Όταν γίνουν επιτυχώς όλοι οι πιο πάνω έλεγχοι ,θα πρέπει να γίνουν δόκιμες σε τουλάχιστον δυο υλικά ,γνωστής θερμικής αγωγιμότητας ,που έχουν ελεγχθεί από κρατικά αναγνωρισμένο εργαστήριο .Οι δοκιμές θα πρέπει να γίνουν για κάθε δείγμα σε δυο ειδικές θερμοκρασίες ,αντιπροσωπευτικές του εύρους λειτουργίας της συσκευής. Οποιαδήποτε διαφορά στα αποτελέσματα πρέπει να μελετηθεί προσεκτικά για να καθοριστεί γιατί προκύπτει και πώς μπορούν να απαλειφθεί. Οι αναφορές σχετικά με τα υλικά που εξετάζονται σύμφωνα με αυτήν την μέθοδο θα παρουσιαστούν μόνο μετά από τις επιτυχείς συγκρίσεις. Δεν είναι απαραίτητος κανένας περαιτέρω έλεγχος, αν και οι περιοδικοί έλεγχοι συστήνονται.

1.4 Πειραματική διαδικασία

1.4.1 Γενική αναφορά

Η μέτρηση των ιδιοτήτων μεταφοράς θερμότητας ενός δείγματος χαμηλής θερμικής αγωγιμότητας ή ενός θερμικά μονωτικού υλικού, μπορεί να πραγματοποιηθεί σύμφωνα με προδιαγραφές που βασίζονται σε διεθνή πρότυπα.

Όταν εξακριβωθεί ότι είναι δυνατών να γίνουν έγκυρες μετρήσεις με τη μέθοδο της θερμής πλάκας, πρέπει να ληφθούν διάφορες αποφάσεις οι οποίες αφορούν τη συγκεκριμένη ιδιότητα που επιδιώκεται ή που απαιτείται ως αποτέλεσμα οποιασδήποτε άμεσης μέτρησης, ή οποιουδήποτε συσχετισμού που επιδιώκεται ή που απαιτείται μεταξύ των μετρημένων ιδιοτήτων.

Οι αποφάσεις αυτές θα επηρεαστούν από:

 Το μέγεθος και η μορφή συσκευών που διατίθενται ή είναι απαραίτητες. Μια ειδική συσκευή ενός μεγέθους μπορεί να μην είναι επαρκής για να πραγματοποιήσει τις μετρήσεις για όλα τα πάχη δειγμάτων και κατά συνέπεια να μην μπορούν να ελεγχθούν όλες οι απαραίτητες ιδιότητες μεταφοράς θερμότητας ,για να καθοριστούν άμεσα ή από την παρεμβολή στις μετρήσεις.

- Το μέγεθος και ο αριθμός των δειγμάτων. Αυτό θα εξαρτηθεί από την τελευταία απαίτηση ενός συγκεκριμένου δείγματος ή υλικού .Εάν το υλικό είναι ιδιαίτερα ανισοτροπικό στη φύση, πρέπει να καθοριστεί εάν οι μετρήσεις είναι δυνατές με τη συσκευή θερμής πλάκας.
- Η ανάγκη ή επιθυμία μας να παρεμβάλουμε μεταξύ της συσκευής και του δείγματος, λεπτά φύλλα χαμηλής θερμικής αντίστασης και αισθητήρες θερμότητας ,. Για υλικά με υψηλή θερμική αγωγιμότητα ,ειδικά όταν αυτά είναι ανισοτροπικά στο περιβάλλον , τα δείγματα χαλκεύονται, είτε υπό μορφή κεντρικών και δακτυλιοειδών τμημάτων , είτε από δείγματα ιδίου μεγέθους ,ως κεντρικό τμήμα, που αντικαθιστά το χάσμα του δείγματος με ένα κατάλληλα μονωτικό υλικό.

Οι προαναφερθείσες τεχνικές δεν ενδείκνυνται προς εφαρμογή, μέχρι να είναι εφικτή μια καλή αξιολόγηση των σφαλμάτων, όμως και στις δύο περιπτώσεις η μετρητική περιοχή Α, που χρησιμοποιείται στους υπολογισμούς θα είναι:

$$A = A_m + A_g \frac{1}{2} \frac{\lambda_g}{\lambda}$$

όπου

- A_m είναι η επιφάνεια μετρητικού μέρους
- Ag απόσταση χάσματος
- λ η αγωγιμότητα του δείγματος
- λ_{g} η αγωγιμότητα του μονωτικού υλικού η αυτού που γεμίζει το χάσμα
- Η ανάγκη η επιθυμία μας να περικλείσουμε το δείγμα μέσα σε λεπτούς φακέλους υδρατμών. Αυτές οι τεχνικές εφαρμόζονται ώστε να προληφθεί η απορρόφηση υγρασίας μετά από ξήρανση ή η αλλαγή στην περιεκτικότητα υγρασίας μετά από ρύθμιση του.
- Η ανάγκη για περιορισμό του πάχους των δειγμάτων ή για εφαρμογή πίεσης στο δείγμα.

Ο χειριστής πρέπει επίσης να έχει επίγνωση της διαφοράς μεταξύ μιας μέτρησης ο στόχος της οποίας είναι να καθοριστεί μια από τις ιδιότητες ,σταθερής κατάστασης, μεταφοράς θερμότητας και μιας μέτρησης που απαιτείται από μια προδιαγραφή του υλικού.

Οι τελευταίες μπορούν να επιτευχθούν από ένα σχέδιο δειγματοληψίας για τα δείγματα που δεν προσαρμόζονται σε όλες τις ανάγκες που εκφράζονται στα διεθνή πρότυπα. Τα αριθμητικά αποτελέσματα τέτοιων δοκιμών πρέπει να θεωρηθούν μόνο ως ικανοποιητική βάση για την αποδοχή ή την απόρριψη των ιδιοτήτων υλικού, και όχι απαραιτήτως ως σημαντική ιδιότητα μεταφοράς θερμότητας του υλικού ή του δείγματος.

1.4.2 Δείγματα δοκιμής

1.4.2.1 Επιλογή και μέγεθος

Το δείγμα θα πρέπει να έχει τέτοιο μέγεθος ώστε να καλύπτει όλη την πλάκα της μονάδας θέρμανσης εκτός από συγκεκριμένες περιπτώσεις. Το δείγμα είτε θα είναι του πάχους που βρίσκει εφαρμογές το υλικό, είτε ικανοποιητικού πάχους για να δώσει μια καλή προσέγγιση των ιδιοτήτων του εξεταζομένου υλικού. Η σχέση μεταξύ του πάχους του δείγματος δοκιμής και των διαστάσεων της μονάδας θέρμανσης θα πρέπει να περιοριστεί ώστε να περιοριστεί και το ποσοστό των σφαλμάτων δυσαναλογίας και απώλειας θερμότητας των ακρών σε 0.5%.

1.4.2.2 Προετοιμασία και βελτίωση

Η επιφάνεια του δείγματος δοκιμής πρέπει να κατεργάζεται ως προς την επιπεδότητα του με κατάλληλα μέσα, ώστε να υπάρχει καλή επαφή μεταξύ του δείγματος και της συσκευής.

Όταν χρησιμοποιούνται προστατευτικά φύλλα, η θερμική αντίσταση τους θα πρέπει να είναι μικρότερη από το ένα δέκατο, αυτής του δείγματος. Η συνολική αντίσταση του συνόλου (φύλλο/ συμπαγές δείγμα /φύλλο) θα καθοριστεί από την πτώση θερμοκρασίας που υποδεικνύεται από τους αισθητήρες θερμοκρασίας στις επιφανειακές πλάκες των θερμαντικών και ψυκτικών μονάδων.

Με τη μέθοδο μέτρησης θερμοκρασίας των δειγμάτων μπορεί να υπάρξουν αμφιβολίες οι οποίες είναι δύσκολο να αξιολογηθούν ,λόγω της διαστρέβλωσης των γραμμών ροής θερμότητας που οφείλεται στην επίδραση του θερμοηλεκτρικού ζεύγους άμεσης γειτνίασης, στην επίδραση της ανακρίβειας στον υπολογισμό της ακριβούς θέσης των συνδέσεων θερμοηλεκτρικών ζευγών και στην επίδραση των τοπικών ανομοιογενειών στην επιφάνεια του δείγματος, στη σύνδεση θερμοηλεκτρικών ζευγών, όπως οι πόροι, τα κενά ή οι συνυπολογισμοί.

Ο αριθμός των ομοιόμορφα διανεμημένων θερμοηλεκτρικών ζευγών σε κάθε πλευρά του δείγματος ,στην περιοχή που είναι παρακείμενη στο μετρητικό τμήμα, πρέπει να είναι μεγαλύτερος από $N\sqrt{A}$ όπου N=10m⁻¹ και Α είναι η περιοχή σε τετραγωνικά μέτρα της μιας πλευράς του μετρητικού τμήματος.

Μετά τον καθορισμό της μάζας του δείγματος μπορούμε να ρυθμίσουμε τη θερμοκρασία του υλικού σε ένα αερισμένο φούρνο. Τα υλικά που είναι θερμικά ευαίσθητα δεν πρέπει να εκτεθούν σε θερμοκρασίες που μπορεί να αλλάξουν την τυπική συμπεριφορά του δείγματος. Εφόσον τα δείγματα θα δοκιμαστούν σε ένα συγκεκριμένο εύρος θερμοκρασιών, θα πρέπει να ρυθμίζονται στην ανώτερη θερμοκρασία του εύρους, σε ένα μη υγρό, ελεγχόμενο περιβάλλον.

Μια σχετική απώλεια μάζας υπολογίζεται από την μάζα που καθορίζεται πριν και μετά την ξήρανση του δείγματος .Όταν ο χρόνος που απαιτείται για να διεξαχθούν οι μετρήσεις των ιδιοτήτων μεταφοράς θερμότητας ,είναι μικρός, συγκριτικά με τον χρόνο που απαιτείται για να απορροφήσει υγρασία το δείγμα, συνίσταται όπως τοποθετηθεί αμέσως μετά την ξήρανση, μέσα στη συσκευή ώστε να προληφθεί η απορρόφηση υγρασίας .Σε αντίθετη περίπτωση (π.χ. ινώδη υλικά μικρής πυκνότητας) συνιστάτε όπως αφήσουμε το δοκίμιο σε συνθήκες εργαστηρίου , για να επιτύχουμε την εξισορρόπηση του με την ατμόσφαιρα του δωματίου.

1.4.3 Μέθοδος δοκιμής

1.4.3.1 Πάχος και πυκνότητα

Ως ενδεικτικό πάχος λαμβάνεται το πάχος που επιβάλλεται μετά την τοποθέτηση του δείγματος στη θερμαντική και ψυκτική μονάδα είτε το πάχος του δείγματος που μετρήθηκε στην αρχή της δοκιμής.

Μερικά υλικά συνήθως εξετάζονται με ένα επιβληθέν πάχος. Οι ιδιότητες του υλικού καθορίζουν πολλές φορές αυτό το πάχος, αλλά μερικές φορές τα αποτελέσματα των δοκίμων μπορεί να μην αντικατοπτρίζουν αξιόπιστα τις θερμικές ιδιότητες του υλικού. Για ορισμένα υλικά θα ήταν πιο ακριβές να λαμβάναμε τη πυκνότητα του υλικού μόνο στην μετρητική περιοχή παρά σε όλο το υλικό.

1.4.3.2 Επιλογή θερμοκρασιακής διαφοράς

Η επιλογή αυτή γίνεται σύμφωνα με

- Τις απαιτήσεις που έχουμε από το δείγμα η τις προδιαγραφές του συστήματος
- Τις συνθήκες χρήσης για τις οποίες αξιολογείτε το δείγμα
- Την μικρότερη δυνατή θερμοκρασιακή διάφορα, π.χ. 5Κ η 10Κ, όταν καθορίζουμε μια άγνωστη σχέση μεταξύ της θερμοκρασίας και των θερμικών ιδιοτήτων μεταφοράς
- Την μικρότερη θερμοκρασιακή διαφορά που είναι συμβατή με την ακρίβεια που απαιτείται από τις μετρήσεις

1.4.3.3 Συνθήκες περιβάλλοντος

Όταν οι ιδιότητες μεταφοράς θερμότητας είναι οι επιθυμητές ,το δείγμα εμβαπτίζεται σε αέρα (ή κάποιο αέριο) ρυθμίζοντας την υγρασία της ατμόσφαιρας που περιβάλλει την διάταξη θερμής πλάκας κατά την διάρκεια της δοκιμής , η οποία οφείλεται σε θερμοκρασία 5K έως 10K κάτω από τη θερμοκρασία της ψυκτικής μονάδας. Για συγκρίσεις μεταξύ δειγμάτων, προτείνεται να χρησιμοποιείτε η θερμοκρασία εργαστηρίου.

Όταν το δείγμα βρίσκεται σε στεγανό περιβάλλον για να αποφευχθεί μεταφορά υγρασίας από η προς το δείγμα ,η δοκιμή πρέπει να γίνεται σε συνθήκες που δεν θα υπάρξει συμπύκνωση νερού όταν αυτό έρθει σε επαφή με την ψυχρή πλευρά της συσκευής.

1.4.3.4 Μέτρηση ρυθμού ροής θερμότητας

Η μέτρηση της μέσης ηλεκτρικής ισχύος που εφαρμόζεται στο μετρητικό μέρος πρέπει να γίνεται με ακρίβεια μεγαλύτερη του 0.2% d.c. Οι τυχαίες διακυμάνσεις ή οι αλλαγές στη εφαρμοσμένη τάση πρέπει να είναι μικρότερες από αυτές που απαιτούνται, για να μεταβληθεί η θερμοκρασία στην επιφάνεια τις μονάδας θέρμανσης, περισσότερο από 0.3% της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ τις μονάδας θέρμανσης και ψύξης.

1.4.3.5 Διακανονίζοντας τον χρόνο και τα διαστήματα μεταξύ των μετρήσεων

Εφόσον η αρχή της μεθόδου προϋποθέτει συνθήκες σταθερής κατάστασης ,για να επιτευχθούν σωστά αποτελέσματα, είναι αναγκαίο να αφήσουμε επαρκή χρόνο στη συσκευή και το δείγμα ώστε να αποκατασταθεί η θερμική ισορροπία.

Σε περιπτώσεις όπου υπάρχει καλή μόνωση με χαμηλή θερμική χωρητικότητα και όπου υπάρχει απορρόφηση ή προσρόφηση με επακόλουθο να υπάρχει εναλλαγή λανθάνουσας θερμότητας, απαιτείται μεγάλος χρόνος για την θερμική ισορροπία. Ο χρόνος αυτός μπορεί να διαφέρει από λεπτά σε μέρες αναλόγως του δείγματος, της συσκευής και στις αλληλεπιδράσεις τους. Τα ακόλουθα στοιχεία πρέπει να μελετηθούν προσεκτικά για να αξιολογηθεί αυτός ο χρόνος:

• θερμική χωρητικότητα και το σύστημα ελέγχου της ψυκτικής μονάδας ,της μετρητικής θερμικής μονάδας και της προστατευτικής θερμικής μονάδας

- μόνωση της συσκευής
- την θερμική διαχυτικότητα, την διαπερατότητα σε υδρατμούς και το πάχος του δείγματος
- της θερμοκρασίες δοκιμής και περιβάλλοντος κατά την διάρκεια της δοκιμής
- περιεχόμενο θερμοκρασίας και υγρασίας του δείγματος στην αρχή της δοκιμής

Γενικότερα, τα συστήματα αυτομάτου ελέγχου μπορούν να βοηθήσουν σημαντικά στο χρόνο εξίσωσης της θερμοκρασίας αλλά δεν μπορούν εύκολα να επέμβουν για τη μείωση της περιεκτικότητας του δείγματος σε υγρασία.

Όπου δεν είναι εφικτή μια ακριβέστερη εκτίμηση του χρόνου αποκατάστασης, ή όπου δεν υπάρχει καμία εμπειρία σε δοκιμές παρόμοιου δείγματος στην ίδια συσκευή και συνθήκες, το ακόλουθο χρονικό διάστημα υπολογίζεται Δt από:

 $\Delta t = (\rho_p c_p d_p + \rho_s c_s d_s) R$

όπου

ρ η πυκνότητα

c ειδική θερμότητα

d το πάχος

R η θερμική αντίσταση του δείγματος

Οι δείκτες p και s αναφέρονται στη θερμική μονάδα της μεταλλικής πλάκας και στο δείγμα αντίστοιχα

Παίρνουμε μετρήσεις ίσων η μεγαλύτερων χρονικών διαστημάτων μέχρι οι τιμές θερμικής αντίστασης να μην διαφέρουν περισσότερο από 1%.

1.4.4 Διαδικασίες που απαιτούν πολλαπλές μετρήσεις

1.4.4.1 Διαδικασία καθορισμού ομογένειας δείγματος

Ένας τρόπος να εκτιμήσουμε το σφάλμα λόγω ανομοιογένειας είναι να συγκρίνουμε τα αποτελέσματα για δύο δοκίμια από το ίδιο δείγμα, επιλεγμένα ώστε να έχουν μεγάλη διαφορά στη δομή τους κοντά στη μετρητική περιοχή.

Όταν οι παραλλαγές στη δομή εμφανίζονται σε μικρές αποστάσεις μπορεί να είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί ένα ενιαία κομμένο δείγμα μεγαλύτερο από την συσκευή. Αυτό το μεγεθυμένο δείγμα εξετάζεται δύο φορές. Σε κάθε περίπτωση το δείγμα τοποθετείται προσεκτικά έτσι ώστε οι άκρες της μετρητικής περιοχής να εκτίθενται στα δύο τα άκρα της κατασκευής. Τα δύο αποτελέσματα συγκρίνονται και η διαφορά στις μετρήσεις πιστώνετε στη διαστρέβλωση. Τα άκρα που προεξέχουν θα πρέπει να είναι καλά μονωμένα ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες των άκρων.

Όταν υπάρχουν άμεσα θερμικά βραχυκυκλώματα μεταξύ των επιφανειών του δείγματος, η επίδραση μπορεί καλύτερα να προσδιοριστεί με το σπάσιμο των θερμικών πορειών, ειδικά όταν οι επιφάνειες μπορούν να αποσυνδεθούν από το υπόλοιπο της πορείας.

Φύλλα ,θερμικά μονωτικών υλικών, μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις επιφάνειες για να έχουμε σπάσιμο της θερμικής πορείας. Συνιστάτε η χρήση φύλλων από λεπτό φελλό ή ένα παρόμοιο υλικό με πάχος 0.002m ή μεγαλύτερο.

Είναι δύσκολο να αξιολογηθεί η ακρίβεια με αυτές τις συνθήκες δοκιμής και δεν είναι πρακτικό να αξιολογηθεί η ομοιογένεια του υλικού μέχρι ένα επίπεδο, με την ακρίβεια της μεθόδου. Οι διαφορές που ανιχνεύθηκαν, θα έχουν μια φυσική έννοια και δεν θα οφείλονται σε μετρητικά σφάλματα. Μπορεί έτσι να καθοριστεί η αλλαγή στη θερμική αντίσταση του δείγματος,. Εάν αυτή είναι μεγαλύτερη από 1% πρέπει να γίνουν επιπλέον μετρήσεις όπου θα υπάρχει παρεμβολή παχύτερων φύλλων.

1.4.4.2 Διαδικασία καθορισμού του ελάχιστου πάχους για το οποίο οι θερμικές ιδιότητες του δείγματος μπορεί να διαφέρουν

Επιλέγεται δείγμα με ομοιόμορφη πυκνότητα με πάχος d₅ που είναι ίσο με το μεγαλύτερο δυνατό πάχος που μπορεί να δοκιμαστεί στη συσκευή. Κόβουμε 5 κομμάτια με ομοιόμορφα αυξανόμενο πάχος. Το μικρότερο να είναι σε πάχος που μπορεί να βρεθεί σε πρακτικές εφαρμογές.

Μετράμε το πάχος και την θερμική αντίσταση των δειγμάτων με την ίδια μέση θερμοκρασία και με την ίδια θερμοκρασιακή διαφορά κατά μήκος του δείγματος .Κάνουμε διάγραμμα της θερμικής αντίστασης ως προς το πάχος δείγματος .Εάν αυτές οι τρεις παράμετροι διαφέρουν από μία ευθεία γραμμή λιγότερο από ±1%, η κλίση της ευθείας πρέπει να υπολογιστεί. Στην περίπτωση που διαφέρουν περισσότερο από ±1%, τότε θα γίνουν παρόμοιες μετρήσεις στα δείγματα ώστε να διαπιστωθεί εάν υπάρχει πάχος πάνω από το οποίο η θερμική αντίσταση δεν διαφέρει από την ευθεία γραμμή πάνω από 1%.

Εάν υπάρχει ένα τέτοιο πάχος , η κλίση της ευθείας πρέπει να καθοριστεί για να υπολογίσουμε την θερμική μεταβιβασιμότητα $\lambda_t = \frac{\Delta d}{\Delta R}$ ως την αναλογία μεταξύ αύξησης του πάχους Δd και αύξησης της θερμικής αντίστασης ΔR.

Το πάχος στο οποίο εμφανίζεται αυτή η εξάρτηση διαφέρει ανάλογα με την πυκνότητα, τον τύπο και την μορφή των διαφόρων υλικών και συστημάτων στις διαφορετικές μέσες θερμοκρασίες.

Η θερμοκρασιακή μεταβιβασιμότητα που χαρακτηρίζει τότε το υλικό είναι το πάχος πάνω από το οποίο ο συντελεστής μεταφοράς διαφέρει λιγότερο από 2% από το λ_t. Η ανοχή για πειραματικά σφάλματα πρέπει να γίνει στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Η συναρμολόγηση καμπυλών του R συναρτήσει του d μπορεί επίσης να βοηθήσει στην εξαγωγή συμπερασμάτων. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας μεγαλύτερος αριθμός δειγματοληψίας όπου απαιτείται για πιο μεγάλη αξιοπιστία. Η εξάρτηση του πάχους μπορεί να είναι συνάρτηση της θερμοκρασιακής διαφοράς κατά μήκος του δείγματος. Για το σκοπό αυτής της μεθόδου, οι ανωτέρω έλεγχοι, εάν εκτελούνται στις χαρακτηριστικές διαφορές θερμοκρασίας της λειτουργίας, θα είναι επαρκείς ώστε να καθοριστεί ο βαθμός εξάρτησης του πάχους.

1.4.4.3 Διαδικασία καθορισμού της εξάρτησης από την θερμοκρασιακή διαφορά

Εάν η θερμοκρασιακή διαφορά εξαρτάτε από τις ιδιότητες μεταφοράς θερμότητας που είναι άγνωστες για ένα υλικό τότε θα χρειαστούν τουλάχιστον 3 μετρήσεις. Υπάρχει περίπτωση να εξαχθεί από τις μετρήσεις και μία δευτερευούσης σημασίας εξάρτηση. Όταν είναι γνωστή η γραμμική εξάρτηση χρειάζονται μόνο δύο μετρήσεις για την εξαγωγή συμπερασμάτων. Αυτό εδραιώνει και την γραμμική εξάρτηση του συγκεκριμένου υλικού.

1.4.5 Υπολογισμοί

1.4.5.1 Πυκνότητα

Υπολογίζουμε την πυκνότητα του δείγματος πριν και μετά την επεξεργασία τους

$$\rho_d = \frac{M_2}{V}$$
$$\rho_s = \frac{M_3}{V}$$

Ο μόνος σταθερός όρος είναι το V του δείγματος μετά την επεξεργασία. Τα M_2 , M_3 είναι η μάζα του δείγματος μετά από ξήρανση και μετά από μια πολυπλοκότερη επεξεργασία. αντίστοιχα

1.4.5.2 Αλλαγή μάζας

Για τις ίδιες καταστάσεις υπολογίζουμε την σχετική αλλαγή μάζας του υλικού $m_r\,m_c.$

$$m_r = \frac{M_1 - M_2}{M_2}$$
$$m_c = \frac{M_1 - M_3}{M_3}$$

όπου M_1 είναι η μάζα του υλικού στην αρχική της κατάσταση και M_2 , M_3 όπως καθορίστηκαν πιο πάνω.

Όταν απαιτητέ από τις προδιαγραφές ή όταν θεωρείτε χρήσιμο να αξιολογήσουμε τις συνθήκες δοκιμής υπολογίζουμε και την σχετική αλλαγή μάζας λόγω της επεξεργασίας του μετά την ξήρανση

$$m_d = \frac{M_3 - M_2}{M_2}$$

30

Υπολογίζουμε την ανάκτηση σχετικής μάζας m_w, του δείγματος κατά την διάρκεια της δοκιμής σε σχέση με την μάζα ακριβώς πριν την δοκιμή με την εξίσωση

$$m_w = \frac{M_4 - M_5}{M_5}$$

όπου M_4 , M_5 είναι οι μάζες ακριβώς μετά και αμέσως πριν την δοκιμή αντίστοιχα.

1.4.5.3 Ιδιότητες μεταφοράς θερμότητας

Για να γίνουν οι υπολογισμοί χρησιμοποιούμε τις μέσες τιμές των συνθηκών σταθερής κατάστασης .Υπολογίζουμε την θερμική αντίσταση R, σε τετραγωνικά μέτρα ,κέλβιν ανά watt ως ακολούθως :

$$R = \frac{T_1 - T_2}{\phi} A$$

ή τον συντελεστή μεταφοράς F σε watt ανά μέτρο επί κέλβιν :

$$F = \frac{\phi d}{\mathbf{A}(\mathbf{T}_1 - \mathbf{T}_2)}$$

όπου

φ είναι η μέση ισχύς που εφαρμόζεται στο μετρητικό μέρος της θερμικής μονάδας
 ,σε watt

 $T_1\text{-}T_2$ η θερμοκρασιακή διαφορά ανάμεσα στις δύο επιφάνειες του δείγματος σε κέλβιν

Α η μετρητική περιοχή σε τετραγωνικά μέτρα

d είναι το μέσο πάχος δείγματος σε μέτρα

1.4.6 Αναφορά δοκιμής

Όταν πρέπει να γίνει αναφορά των αποτελεσμάτων, όλες οι απαιτήσεις που καθορίζονται για αυτήν την μέθοδο πρέπει να παρουσιαστούν. Όπου δεν ικανοποιούνται οι προαναφερθέντες όροι, πρέπει να προστεθεί μια αναφορά συμβιβασμού με διαφορετικές συνθήκες.

Κάθε αναφορά δοκιμής πρέπει να περιλαμβάνει τα ακόλουθα (οι αριθμητικές τιμές που αναφέρονται αντιπροσωπεύουν τις μέσες τιμές)

1. Όνομα και οποιονδήποτε άλλο σχετικό προσδιορισμό του υλικού, περιλαμβανομένης και της φυσικής περιγραφής που δίνεται από τον κατασκευαστή.

2. Περιγραφή του δείγματος. Προσαρμογή του υλικού σε προδιαγραφές όπου γίνεται η εφαρμογή του. Μέθοδος προετοιμασίας δειγμάτων.

3. Πάχος δείγματος σε μέτρα .Αναφέρουμε αν αυτό ήταν μετρήσιμο ή επιβαλλόμενο. Κριτήρια για καθορισμό του επιβαλλόμενου πάχους

- 4. Θερμοκρασία και μέθοδος επεξεργασίας
- 5. Πυκνότητα του επεξεργασμένου δείγματος
- 6. Αλλαγή σχετικής μάζας κατά την επεξεργασία ή την ξήρανση
- 7. Αλλαγή του σχετικού πάχους δείγματος κατά την δοκιμή
- 8. Μέση θερμοκρασία κατά μήκος του δείγματος
- 9. Πυκνότητα του ρυθμού θερμικής ροής κατά μήκος του δείγματος,(watt/m²)
- 10. Θερμική αντίσταση (m²K/watt) ή η θερμική αγωγιμότητα (watt/ mK)
- 11. Ημερομηνία ολοκλήρωσης και διάρκεια της δοκιμής

12. Για δοκιμές που έγιναν χρησιμοποιώντας φύλλα που παρεμβάλλονταν ανάμεσα στο δοκίμιο και της συσκευής ή για δοκιμές που γίνονται σε περιβάλλον υδρατμών πρέπει να δίνονται για την φύση και το πάχος των φύλλων και του περιβάλλοντος.

13. Μέθοδος για τον περιορισμό των θερμικών απωλειών στις άκρες του δείγματος.

14. Πίεση και είδος του αερίου που περιβάλει το δείγμα, εάν υπάρχει

15. Γραφική παράσταση των αποτελεσμάτων. Αυτό πρέπει να περιλαμβάνει γράφημα για κάθε τιμή θερμικής ιδιότητας ως προς την μέση θερμοκρασία της δοκιμής .Επίσης γραφήματα του συντελεστή μεταφοράς ή της θερμικής αντίστασης ως προς το πάχος μπορεί να φανούν πολύ χρήσιμα στην επεξεργασία των αποτελεσμάτων.

16. Αναφορά στο μέγιστο αναμενόμενο σφάλμα.

2. ΜΕΤΡΗΤΙΚΟ ΟΡΓΑΝΟ FOX200

2.1 Εισαγωγή

2.1.1 Προδιαγραφές κατασκευής

Το μετρητικό όργανο είναι σχεδιασμένο σύμφωνα με την πρότυπη ελεγκτική μέθοδο ASTM C518-91 για τη μέτρηση θερμικής ροής μόνιμης κατάστασης και των θερμικών ιδιοτήτων μετάδοσης των υλικών από μετρητικά όργανα θερμικής ροής

Το κάθε όργανο είναι ρυθμισμένο χρησιμοποιώντας το NIST SRM 1450b(standard reference material of national institute of standards and technology) με μεγάλη ειδική ακρίβεια (0.5%) EPS (Expanded polystyrene) NIST Standard. Οι μετρήσεις έγιναν με διαφορές θερμοκρασιών 25°C ή 20°C (45° F ή 36° F) ανοδικά με την ροή θερμότητας και αποθηκεύτηκαν στην ,μη –μεταβλητή, μνήμη του οργάνου (βλέπετε κεφάλαιο 2. 5 " Προ-Εισηγμένες μετρήσεις στο όργανο "). Οι μετρήσεις πάρθηκαν σύμφωνα με το ASTM C1132-89 "standard practice of calibration of the heat flow meter apparatus". Τα αποτελέσματα της θερμικής αγωγιμότητας υπολογίζονται σύμφωνα με το ASTM C1045-90 "standard practice for calculating thermal transmission properties from steady-state heat flux measurements".

Ο χειριστής μπορεί να εισάγει μόνο τις θερμοκρασίες (για την άνω και κάτω πλάκα) για τις οποίες θα εξαρθούν οι μετρήσεις .Υπάρχει ένα πληκτρολόγιο από 12 κουμπιά και μια οθόνη υγρών κρυστάλλων, τεσσάρων γραμμών , με το οποίο γίνεται η εισαγωγή και ανάγνωση αριθμητικών δεδομένων.

Συνήθως η θερμοκρασία της κάτω πλάκας είναι 25°C ή 20°C (45°F ή 36°F) υψηλότερη από την θερμοκρασία της άνω πλάκας. Κάθε πλάκα έχει εναλλάκτη και θερμοηλεκτρικά ζεύγη υψηλής ευαισθησίας στην ροή θερμότητας.Τα σήματα θερμικής ροής του εναλλάκτη (μερικές εκατοντάδες μικροβόλτ) είναι ανάλογα της θερμικής ροής διαμέσου του δείγματος και δίνουν αξιόπιστες πληροφορίες για την θερμική αγωγιμότητα του δείγματος.

Το όργανο είναι ικανό να λειτουργήσει ανεξάρτητα ή σε σύνδεση με ένα συμβατό υπολογιστή μέσο του σειριακού RS-232. Το λογισμικό "WinTherm32" της LaserComp κάνει εφικτή την σύνδεση μεταξύ του οργάνου και του υπολογιστή.

2.1.2 Διαδικασία ξήρανσης οργάνου FOX

Ο καλύτερος τρόπος να αφαιρέσουμε την υγρασία από τις πλάκες και τα ηλεκτρονικά είναι να θέσουμε σε λειτουργία μια "εικονική" μέτρηση τύπου NIST για παρατεταμένο χρόνο (μεγαλύτερο από μια εβδομάδα).Ρυθμίζουμε την θερμοκρασία των πλακών στους 50°C και εισάγουμε πάχος ,π.χ. 2 εκ. Εισάγουμε οποιαδήποτε δεδομένα για το βάρος και τις διαστάσεις .Ρυθμίζουμε τα κριτήρια μερικής ισορροπίας ,από το " Ρυθμιστικά Κριτήρια", στο 1 μικροβόλτ, ώστε η εικονική μέτρηση να συνεχιστεί μέχρι να τερματίσουμε την λειτουργία της .Αφήνουμε την είσοδο του οργάνου ανοικτή.

Στο τέλος της εικονικής μέτρησης (έχουμε ήδη τερματίσει την λειτουργία πατώντας το 'ESC' στο πληκτρολόγιο του οργάνου ή επιλέγοντας το 'Stop' και μετά το 'Abort' από την οθόνη του υπολογιστή) θα υπάρχει ένα μήνυμα στην οθόνη του οργάνου που θα εμφανίσει 'Save new calibration Permanently?'. Πιέζουμε το 'No', αλλιώς η εικονική μέτρηση θα αντικαταστήσει την μέτρηση NIST, που είχε αποθηκευτεί στο όργανο.

Εάν το δευτερεύων ψυκτικό νερό είναι πολύ παγωμένο θα πρέπει να το επαναφέρουμε σε θερμοκρασία δωματίου εάν είναι δυνατόν ή να το απομονώσουμε εάν το όργανο δεν είναι σε λειτουργία. Βεβαιωνόμαστε ότι το όργανο είναι εκτός λειτουργίας προτού απομονώσουμε το δευτερεύων ψυκτικό.

Η πιο πάνω διαδικασία θα πρέπει να επαναλαμβάνεται όσο το δυνατόν συχνότερα σε συνδυασμό με την εκκαθάριση αερίου. Βοηθάει στο να αποτραπούν προβλήματα που οφείλονται σε συγκεντρώσεις υδρατμών.

Άλλος ένας τρόπος για να στεγνώσουμε τις πλάκες είναι να θέσω την θερμοκρασία δοκιμής 50°C. Βεβαιωνόμαστε ότι το δείγμα μπορεί να αντέξει αυτή την θερμοκρασία πριν εφαρμόσω αυτή την μέθοδο.

Η συνεχής χρήση του οργάνου σε θερμοκρασίες κάτω από το σημείο δρόσου μπορεί να προκαλέσει προβλήματα απορρόφησης σταγονιδίων υγρού από το δείγμα και σε βάθος χρόνου ,πρόβλημα στα ηλεκτρονικά. Ιδανικά ,το όργανο θα πρέπει να λειτουργεί σε ένα ελεγχόμενα ξηρό περιβάλλον. Σε διαφορετική περίπτωση θα πρέπει να γίνεται συχνή ξήρανση κατά την διάρκεια παρατεταμένης χρονικής περιόδου, μετά από λειτουργία του σε θερμοκρασίες κάτω από το σημείο δρόσου.

2.2 Εκκίνηση οργάνου

Βεβαιωνόμαστε ότι η ροή νερού είναι συνδεδεμένη στο όργανο. Τυχών αμέλεια μπορεί να προκαλέσει σβήσιμο του οργάνου ή ακόμα σοβαρή ζημιά των συστημάτων ψύξης – θέρμανσης. Χρησιμοποιούμε άκαμπτους ή μερικώς άκαμπτους πλαστικούς σωλήνες εξωτερικής διαμέτρου ¼". Δεν συνίσταται η χρήση σωλήνων TYGON διότι δεν είναι αρκετά άκαμπτοι και δεν είναι ικανοί να στεγανοποιήσουν την ροή του νερού κατάλληλα. Η συνήθης ροή νερού στο σύστημα είναι περίπου 57-75 λίτρα την ώρα, στους 18°C (64F).Παρατηρώντας τις θερμοκρασίες των πλακών μπορούμε να καθορίσουμε κατά πόσο η ροή του νερού είναι επαρκής ή όχι. Υπό κανονικές συνθήκες, όταν φτάσουμε στο σημείο ρύθμισης, οι θερμοκρασίες των πλακών πρέπει να είναι σταθερές σε ένα εύρος +/- 0.02°C. Εάν οι θερμοκρασίες αλλάζουν περισσότερο από μερικά εκατοστά του βαθμού Κελσίου ή αν το όργανο δεν μπορεί να φτάσει το σημείο ρύθμισης ,τότε η ροή νερού δεν είναι επαρκής.

Η χαμηλή θερμοκρασία λειτουργίας του οργάνου (θερμοκρασία ψυχρής πλάκας -20°C) χρειάζεται χαμηλότερη θερμοκρασία του ψυκτικού νερού –περίπου 5°-8°C ,διότι το γραμμικό

σύστημα προστασίας του οργάνου θα πρέπει να φτάσει στην ίδια χαμηλή θερμοκρασία , όπως την πλάκα.

Πατώντας το "ESC" (προτού αρχίσουν οι μετρήσεις ή οι δοκιμές) μπορούμε να ακυρώσουμε και να διορθώσουμε τυχών λάθος στην εισαγωγή στοιχείων .Πατώντας το "ESC" πολλές φορές το όργανο θα επιστρέψει σε οποιοδήποτε βήμα του προγράμματος ακυρώνοντας τα προηγούμενα δεδομένα που εισήχθησαν.

2.3 Θεωρία μεθόδου

Η θεμελιώδης αρχή του οργάνου μέτρησης ροής θερμότητας , βασίζεται στον μονοδιάστατο νόμο Fourier-Biot

$$q = -\lambda(\frac{dT}{dx})$$

όπου q είναι η ροή θερμότητας (W/m²) δια μέσου του δείγματος , λ είναι η θερμική αγωγιμότητα (Wm⁻¹K⁻¹), dT/dx είναι η κλίση της θερμοκρασίας , στις ισοθερμικές επίπεδες επιφάνειές του δείγματος.

Εάν ένα επίπεδο δείγμα τοποθετηθεί ανάμεσα σε δύο επίπεδες ισοθερμικές πλάκες ,που διατηρούν διαφορετικές θερμοκρασίες ,και ένα ενιαίο μονοδιάστατο θερμοκρασιακό πεδίο έχει σταθεροποιηθεί, το θερμοκρασιακό πεδίο θα γίνει ομοιόμορφο σε όλο τον όγκο του δείγματος (το μέγεθος των πλακών υποτίθεται ότι είναι πολύ μεγαλύτερο από το πάχος του δείγματος). Η κλίση της θερμοκρασίας μπορεί να καθοριστεί από μετρήσεις των διαφορών ,μεταξύ των θερμοκρασιών θερμής και ψυχρής πλάκας (ΔT=T_{hot} -T_{cold}) και του πάχους δείγματος Δx, διότι σε αυτή την περίπτωση η μέση θερμοκρασιακή κλίση dT/dx είναι ίση με - ΔT/Δx.

Προτού αρχίσουμε της δοκιμές ενός δείγματος με άγνωστη θερμική αγωγιμότητα, το μετρητικό όργανο θερμικής ροής πρέπει να ρυθμιστεί χρησιμοποιώντας ένα πρότυπο δείγμα , έχοντας αξιόπιστες ενδείξεις της θερμικής του αγωγιμότητας λ_{cal}(T).

Το ηλεκτρικό σήμα από τον εναλλάκτη Q(μV) είναι ανάλογο της θερμικής ροής q:

$$q = \lambda_{cal}(T_{cal}) \left(\frac{\Delta T_{cal}}{\Delta T_{cal}}\right) = S_{cal}(T_{cal})Q$$

Επειδή οι φυσικές ιδιότητες του εναλλάκτη αλλάζουν με την θερμοκρασία, η θερμοκρασιακή ρύθμιση του οργάνου ,χρησιμοποιώντας πρότυπα υλικά , είναι πάντοτε αναγκαία ώστε να βρούμε τον ρυθμιστικό παράγοντα S_{cal}(T) που εξαρτάτε από την θερμοκρασία. Οι μονάδες μετρήσεις του ρυθμιστικού παράγοντα είναι Wm⁻²μV⁻¹ ή Wm⁻²mV⁻¹ .Κάθε ένας από τους δύο εναλλάκτες έχει την δική του θερμοκρασία , έτσι ώστε οι ρυθμιστικοί παράγοντες να αντιπροσωπεύουν τις πραγματικές θερμοκρασίες των εναλλακτών. Δύο ξεχωριστές σειρές των ρυθμιστικών παραγόντων μετρούνται κατά την διάρκεια των ρυθμίσεων.

Οι ρυθμιστικοί παράγοντες S_{cal}(T) είναι τα χαρακτηριστικά του οργάνου. Χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της θερμικής αγωγιμότητας κατά την διάρκεια των δοκιμών:

$$\lambda_{test} = \frac{S_{cal}(T_{test})Q\Delta x_{test}}{\Delta T_{test}}$$

Παρομοίως επειδή κάθε πλάκα έχει την δική του θερμοκρασία, οι ρυθμιστικοί παράγοντες πρέπει να υπολογίζονται για της πραγματικές θερμοκρασίες των πλακών. Η τελική τιμή θερμικής αγωγιμότητας της δοκιμής είναι η μέση τιμή των δύο.

Αντιπροσωπευτική τιμή της θερμικής διάχυσης a=λ/C_pρ των θερμικά μονωτικών υλικών είναι περίπου (4-7) 10^{-7} m²s⁻¹ (το C_pρ είναι ογκομετρική ειδική θερμότητα, C_p είναι ειδική θερμότητα υπό σταθερή πίεση και ρ είναι η πυκνότητα).Ο αριθμός Fourier (αδιάστατη θερμική παράμετρος ομοιότητας χρησιμοποιήθηκε στην μελέτη προβλημάτων θερμικής ροής) Fo=at/($\Delta x/2$)² είναι περίπου 9-16 ανά ώρα για ένα δείγμα πάχους 1''(25.4mm).Οπότε χρειάζεται αρκετός χρόνος (όχι λιγότερο από μισή ώρα για δείγμα μιας ίντσας) για να επιτύχουμε πλήρη θερμοκρασιακή ισορροπία για να έχουμε Fo>>1. Ένα δείγμα πάχους 4 ιντσών χρειάζεται περίπου 16 φορές περισσότερο χρόνο (περίπου 8 ώρες) για να επιτύχει την ίδια θερμοκρασιακή ισορροπία. Πειραματικοί ελέγχει έδειξαν ότι η μέση τιμή δύο μετρητικών σημάτων , θερμικών ροών επιτυγχάνουν ισορροπία πολύ γρηγορότερα από ανεξάρτητες τιμές

2.4 Περιγραφή του οργάνου

Το όργανο FOX 200 (Σχ.2.4.1) αποτελείτε από τον θάλαμο και την βάση με το πληκτρολόγιο και την οθόνη υγρού κρυστάλλου(Σχ.2.4.2). Όλα τα ηλεκτρονικά του οργάνου βρίσκονται στην βάση. Όταν ανοίξει η είσοδος του θαλάμου , το δείγμα μπορεί να τοποθετηθεί ανάμεσα στις δύο πλάκες. Η άνω πλάκα είναι σταθερή ενώ η κάτω πλάκα μπορεί να μετακινηθεί πάνω ή κάτω από τέσσερις ανεξάρτητα ελεγχόμενες βηματικές μηχανές. Τέσσερις ακριβής ψηφιακοί αισθητήρες ανάγνωσης του πάχους ελέγχουν την θέση της κάθε γωνίας τις κάτω πλάκας. Κάθε φορά που εισάγετε ένα δείγμα ,καθορίζεται το μέσο πάχος του , με ακρίβεια +/- 0.0025 mm (+/- 0.001").


Σχ.2.4.2 Πληκτρολόγιο βάσης

Οι μετρητές θερμικής ροής είναι εναλλάκτες υψηλής απόδοσης και είναι συνδεδεμένοι με τις επιφάνειες των δύο πλακών. Αποτελούνται από εκατοντάδες μικρά θερμοηλεκτρικά ζεύγη, για αυτό επιτυγχάνεται υψηλή ευαισθησία του εναλλάκτη και της ολοκλήρωσης των σημάτων. Το συνολικό πάχος του εναλλάκτη είναι περίπου 1 mm (0.04").Τα θερμοηλεκτρικά ζεύγη τύπου Ε είναι συνδεδεμένα στο κέντρο του κάθε εναλλάκτη και είναι τοποθετημένα δίπλα στο δείγμα όπου παρέχουν τις ακριβείς αναγνώσεις και των δύο θερμοκρασιών στις επιφάνειες δειγμάτων ίδια θερμοηλεκτρικά ζεύγη χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο των θερμοκρασιών στο κέντρο και την περιφέρεια των πλακών. Ο μετατροπέας Analog-to-Digital (ADC) μετατρέπει τα αναλογικά σήματα των θερμοηλεκτρικών ζευγών και των θερμοκρασιακών μετρητών μετρήσεων είναι 0.01°C(0.02°F).

Και οι δύο πλάκες είναι εξοπλισμένες με ένα ειδικό σύστημα θέρμανσης/ψύξης που ρυθμίζεται ανάλογα με τη φάση. Το κάθε σύστημα αποτελείτε από κεντρικές και περιφερειακές ομάδες θερμοηλεκτρικών στοιχείων, τα οποία ελέγχονται ανεξάρτητα για να αποβάλουν τις ακτινωτές κλίσεις θερμοκρασίας στις πλάκες .Με ψυκτικό νερό στους 18°C (64° F) ή λιγότερο, οι θερμοκρασίες των πλακών μπορούν ανεξάρτητα να διατηρηθούν σε οποιαδήποτε θερμοκρασία από -20°C (-4°F) σε 95°C(203°F) με ακρίβεια +/- 0.02°C (0.04°F). Ο εγκέφαλος του ηλεκτρονικού οργάνου είναι ένας πανίσχυρος Επεξεργαστής Ψηφιακών Σημάτων (DSP). Το DSP ελέγχει όλες τις πτυχές των λειτουργιών του οργάνου. Ένας από τους σημαντικότερους στόχους του DSP είναι να εκτελέσει έναν πολυβάθμιο αλγόριθμο PID για να ελέγξει τις θερμοκρασίες και των δύο πλακών στις θερμοκρασίες καθορισμένων σημείων με σταθερότητα +/- 0.02°C(0.04°F).Διορθωτικά σήματα έλεγχου στέλνονται περιοδικά στο Power Output Board, το όποιο προβλέπει την κατάλληλη ισχύ στο σύστημα ψύξης/θέρμανσης κάθε πλακάς.

Το σύστημα διαχείρισης DSP ,χρησιμοποιεί ένα ειδικό λογισμικό πρόγραμμα γραμμένο στην γλώσσα Assembly, που πραγματοποιεί όλες τις απαραίτητες ενέργειες:

- διάταξη οργάνου χρήστη που χρησιμοποιεί το αριθμητικό πληκτρολόγιο και την οθόνη υγρού κρυστάλλου
- έλεγχος του βήματος της πλάκας για τον ακριβή προσδιορισμό του πάχους του δείγματος
- ανάγνωση των σημάτων από τους μετρητές θερμικής ροής και των θερμοηλεκτρικών
 ζευγών ,τοποθετημένα και στις δύο πλάκες
- ακριβείς έλεγχος και σταθεροποίηση των θερμοκρασιών και στις δύο πλάκες
- προσδιορισμός εάν η θερμική ισορροπία έχει επιτευχθεί ή όχι χρησιμοποιώντας τα κριτήρια ισορροπίας, τους υπολογισμούς των αποτελεσμάτων, και την μετάβαση στο επόμενο εισηγμένο σημείο θερμοκρασίας
- υπολογίζει τον μέσο όρο των στοιχείων και τον υπολογισμό καθενός από τους παράγοντες βαθμολόγησης του οργάνου (κατά την μέτρηση) ή της θερμικής αγωγιμότητας του δείγματος
- μεταβίβαση των στοιχείων στον εκτυπωτή μέσω του σειριακού διασυνδετικού στοιχείου RS-232

2.5 Προ-εισηγμένες μετρήσεις του οργάνου

Το όργανο είναι ρυθμισμένο στην LaserComp Inc. προτού σταλεί και έχει αποθηκευμένες δύο ανεξάρτητες ρυθμίσεις στην που καλούνται ρυθμίσεις 'NIST type' και 'User type' .Τα ακόλουθα ζεύγη θερμοκρασιών στις πλάκες χρησιμοποιήθηκαν για τις ρυθμίσεις (σε βαθμούς Κελσίου):

Ρυθμίσεις "NIST type"			Ρυθμίσεις "Us	Jser type"		
T _{upper} (°C)	T _{lower} (°C)	T _{average} (^o C)	T _{upper} (°C)	T _{lower} (°C)	T _{average} (^o C)	
			U1=0	L1=25	12.5	
01=-20	L1=5	-7.5	U2=10	L2=35	22.5	
U2=-10	L2=15	2.5	U3=20	L3=45	32.5	
U3=0	L3=25	12.5	U4=30	L4=55	42.5	
U4=10	L4=35	22.5	Ρυθμίσεις "User type"(Ευρώπη)			
• • •			U1=0	L1=20	10	
U5=20	L5=45	32.5	U2=10	L2=30	20	
U6=30	L6=55	42.5	U3=20	L3=40	30	
U7=40	L7=65	52.5	U4=30	L4=50	40	
U8=50	L8=75	62.5				

Πίνακας 2.5.1

όπου U και L είναι οι θερμοκρασίες στην άνω και κάτω πλάκα αντίστοιχα T_{average} είναι η μέση θερμοκρασία των πλακών.

Κατά την διάρκεια των ρυθμίσεών ,οι ρυθμιστικοί παράγοντες S_{callU}(T) (για την άνω πλάκα) και S_{callL}(T)(για την κάτω πλάκα)καθορίζονται σε διαφορετικές θερμοκρασίες χρησιμοποιώντας αξιόπιστα πρότυπα με γνωστή θερμική αγωγιμότητα λ_{cal}(T):

 $S_{calU}(T_U) = \lambda_{cal} (T_U) (\Delta T_{cal} / \Delta x_{cal}) / Q_{hfmU}$

 $S_{calL}(T_L) = \lambda_{cal} (T_L)(\Delta T_{cal}/\Delta x_{cal})/Q_{hfmL}$

Κάθε θερμική αγωγιμότητα υπολογίζεται χρησιμοποιώντας την πιο κάτω προσεγγιστική φόρμουλα

$$\lambda(T, \rho) = A_1 + A_2 \rho + A_3 T + A_4 T^3 + A_5 \exp\left\{-\left[\left(T - 180\right)/75\right]^2\right\}$$

όπου λ είναι η θερμική αγωγιμότητα σε $Wm^{-1}K^{-1}$, Τ είναι η θερμοκρασία σε Κ, ρ είναι η πυκνότητα στο υλικό σε kg m^{-3} , A_1 =-2.228, A_2 =0.02743, A_3 =0.1063, A_4 =64.73X10⁻⁹, A_5 =1.157. Αυτή η προσέγγιση είναι σωστή για θερμοκρασίες από 100Κ μέχρι 330Κ.

Κατά την διάρκεια της ρύθμισης τύπου NIST οι τιμές του δοκιμίου NIST υπολογίζονται από το πρόγραμμα του οργάνου που χρησιμοποιεί την φόρμουλα. Η μάζα και η επιφάνεια του δοκιμίου πρέπει να εισαχθεί για να γίνει υπολογισμός της πυκνότητας.

Η δεύτερη ρύθμιση πάρθηκε χρησιμοποιώντας πολύ υψηλής ακριβείας (0.5%) δοκίμιο NIST 8".Η θερμική αγωγιμότητα της συσκευής είναι:

 $\lambda(10.0^{\circ}\text{C})=32.22 \text{ mW m}^{-1}\text{K}^{-1}$

 $\lambda(20.0^{\circ}C)=33.36 \text{ mW m}^{-1}\text{K}^{-1}$

 $\lambda(30.0^{\circ}C)=34.50 \text{ mW m}^{-1}\text{K}^{-1}$

 $\lambda(40.0^{\circ}\text{C})=35.64 \text{ mW m}^{-1}\text{K}^{-1}$

Αυτές οι τιμές είναι αποθηκευμένες στην μη-μεταβλητή μνήμη του οργάνου. Εάν κάποιο άλλο πρότυπο θα χρησιμοποιηθεί για επαναρύθμιση, αυτές οι τιμές θα πρέπει να αλλάξουν.

Κατά την διάρκεια της επαναρίθμησης και των δοκιμών θα πάρουμε νέες τιμές των ρυθμιστικών παραγόντων $S_{calU}(T)$ και $S_{calL}(T)$ στις θερμοκρασίες (U και L) χρησιμοποιώντας τιμές από τους μετρητές ροής θερμότητας Q_{hfmU} και Q_{hfmL} , την θερμοκρασιακή διαφορά ΔT, την θερμική αγωγιμότητα του δοκιμίου λ, και του πάχους Δx.

Εάν οι νέες ρυθμίσεις ισχύουν για περισσότερες από μία θερμοκρασίες ,τότε οι δοκιμές μπορούν να γίνουν για οποιαδήποτε θερμοκρασία μεταξύ της μέγιστης και της ελάχιστης ρυθμιζόμενης θερμοκρασίας. Εάν η νέα ρύθμιση ισχύει για μια μόνο θερμοκρασία ,τότε η θερμοκρασία δοκιμής της πλάκας πρέπει να είναι ίδια με αυτή της ρύθμισης.

Για να επιτύχουμε ακριβέστερα αποτελέσματα πρέπει η θερμοκρασιακή διαφορά $\Delta T=T_u-T_L$ και η κατεύθυνση ροής θερμότητας κατά την δοκιμή πρέπει να είναι ίδιες. Για υλικά θερμικής μόνωσης συνιστάτε θερμοκρασιακή διαφορά 25⁰C.

2.6 Κριτήρια ισότητας

Κατά την λειτουργία μίας μέτρησης ,512 δοκιμαστικοί κύκλοι είναι τοποθετημένοι σε ένα μπλοκ. Η διάρκεια ενός κύκλου είναι περίπου 0.5 δευτερόλεπτα οπότε η διάρκεια ενός μπλοκ είναι 4-5 λεπτά. Η βάση δεδομένων αποτελείτε από την θερμοκρασία της ανώτερης και κατώτερης θερμοκρασίας των πλακών (T_U και T_L) και των ανώτερων και κατωτέρων σημάτων από τους εναλλάκτες των πλακών(Q_U και Q_L). Όταν ολοκληρωθεί ένα μπλοκ η βάση δεδομένων F_U , T_L , Q_U και Q_L .

Αυτές οι τιμές συγκρίνονται με τις αντίστοιχες τιμές του προηγούμενου μπλοκ. Εάν αυτή η σύγκριση ικανοποιεί όλα τα κριτήρια, το δείγμα βρίσκεται σε κατάσταση θερμικής ισορροπίας και η δοκιμή τερματίζεται για την συγκεκριμένη θερμοκρασιακή ρύθμιση. Η κάθε πλάκα πρέπει να επιτυγχάνει το κάθε κριτήριο ανεξάρτητα. Τα κριτήρια με τα οποία επιτυγχάνεται η ισορροπία είναι :

1. Κριτήριο θερμοκρασιακής ισορροπίας (Τ.Ε.) Η τιμή διαφοράς είναι 0.3⁰C. Το κριτήριο αυτό αξιολογείται πριν από οποιοδήποτε άλλο. Η μέση θερμοκρασία της κάθε πλάκας πρέπει να είναι ίση με τη ρυθμιζόμενη θερμοκρασία, με διαφορά +/-0.3⁰C. Πρέπει να ισχύει: $\left|T_{Uaveg} - T_{Ustp}\right| < T.E.criterion value$ $\left|T_{Laveg} - T_{Lstp}\right| < T.E.criterion value$

2. Κριτήριο μερικής ισορροπίας (S.E.) Η τιμή διαφοράς είναι 49μV(70μV για το FOX300s).Για να επιτευχθεί αυτό το κριτήριο ,το μέσο σήμα των εναλλακτών, δύο επιτυχημένων διαδοχικών μπλοκ (n και n-1) πρέπει να είναι ίσα στα όρια του κριτηρίου S.E.

Πρέπει να ισχύει : $\frac{\left|Q_{Uaveg}(n) - Q_{Uaverg}(n-1)\right| < S.E.criterion \ value}{\left|Q_{Laveg}(n) - Q_{Laverg}(n-1)\right| < S.E.criterion \ value}$

3. Κριτήριο ποσοστιαίας ισορροπίας (P.E.) Η τιμή διαφοράς είναι 2%. Για να επιτευχθεί αυτό το κριτήριο ,το μέσο σήμα των εναλλακτών, δύο επιτυχημένων διαδοχικών μπλοκ (n και n-1) πρέπει να είναι ίσα στα όρια του κριτηρίου S.E. Πρέπει να ισχύει : $\left|Q_{Uaveg}(n) - Q_{Uaverg}(n-1)\right| / Q_{Uaverg}(n) X100\% < P.E.criterion value$ $\left|Q_{Laveg}(n) - Q_{Laverg}(n-1)\right| / Q_{Laverg}(n) X100\% < P.E.criterion value$

4. Αριθμός μπλοκ που επιτυγχάνεται ποσοστιαία ισορροπία. Η τιμή διαφοράς είναι 4 μπλοκ. Αυτός είναι ο αριθμός των επιτυχημένων μπλοκ που απαιτητέ για να ικανοποιηθεί το κριτήριο P.E. και να αρχίσει ο υπολογισμός των αποτελεσμάτων εφόσον έχει επιτευχθεί η θερμική ισορροπία.

5. Κριτήριο Inflexion. Αυτό είναι το τελευταίο κριτήριο που πρέπει να επιτευχθεί. Απαιτείται το Q_{averg} των επιτυχημένων μπλοκ που επιτυγχάνεται το κριτήριο P.E. ,να μην αλλάζει μόνο προς μια κατεύθυνση. Η διαφορά μεταξύ δύο διαδοχικών μπλοκ πρέπει να αλλάζει κάθε φορά ή να είναι ίση με μηδέν. Εάν αυτό το κριτήριο δεν επιτευχθεί τότε ακόμα και αν το κριτήριο (iv) ικανοποιείται, η δοκιμή παρατείνεται και δημιουργούνται περισσότερα μπλοκ. Μόνο τότε επιτυγχάνεται οριστική ισότητα και μπορεί να γίνει υπολογισμός των αποτελεσμάτων.

6. Αριθμός των μπλοκ του χρησιμοποιείται για υπολογισμό των αποτελεσμάτων.

Η τιμή διαφοράς είναι 3 μπλοκ. Για παράδειγμα εάν χρειάζονται 4 μπλοκ για να ικανοποιηθεί το κριτήριο Ρ.Ε. ,τα υπόλοιπα 3 μπλοκ θα χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό των αποτελεσμάτων.

2.7 Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά

Εύρος Θερμικής αγωγιμότητας	0.01-0.2 W/mK
Ακρίβεια	≈1%
Δυνατότητα επανάληψης	≈0.2%
Δυνατότητα αναπαραγωγής αποτελεσμάτων	≈0.5%
Μέγιστη θερμοκρασία θερμής πλάκας	75°C
Ελάχιστη θερμοκρασία ψυχρής πλάκας	-20°C
Σταθερότητα θερμοκρασίας πλακών	+/- 0.03 °C
Ακρίβεια μέτρησης πάχους	+/- 0.025mm
Ροή ψυκτικού νερού 18 °C	Παροχή 57-75 λίτρα ανά ώρα
Μέγεθος δείγματος :	
Μέγιστο μέγεθος δείγματος	203X203 mm
Ελάχιστο μέγεθος δείγματος	100X100 mm
Μέγιστο πάχος δείγματος	51 mm
Ακριβής μετρητική περιοχή	76X76 mm
Μέγεθος οργάνου FOX200:	
Πλάτος	315 mm
Μήκος	470 mm
Ύψος	470 mm
Βάρος (με συσκευή ψύξης)	18 kg (27 kg)

3. ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ WinTherm32

3.1 Εκκίνηση Προγράμματος

Για την εκκίνηση λειτουργίας γίνεται έλεγχος και διασφαλίζονται η συνθήκες που περιγράφηκαν κατά την εκκίνηση λειτουργίας του μετρητικού οργάνου FOX200. Κατόπιν ακολουθούμε τα εξής βήματα.

1. Γίνεται εκκίνηση του προγράμματος WinTherm στον υπολογιστή και ενώνουμε το μετρητικό όργανο με τον υπολογιστή.

2. Για την δημιουργία ενός αρχείου όπου θα γίνεται αποθήκευση ,πατάμε από το μενού που βρίσκεται στο περιθώριο 'Preferences', 'File defaults', 'Test Directory', επιλέγουμε το αρχείο χρησιμοποιώντας το 'Browse' και πατάμε ΟΚ.

Αφαιρούμε το δείγμα (εάν υπάρχει) από την υποδοχή του οργάνου, και πατάμε 'Calibrate', για να ρυθμιστεί η συσκευή σε μηδενικό πάχος.

3. Εισάγουμε το δείγμα στην υποδοχή. Εάν το δείγμα έχει μικρότερες διαστάσεις από τις πλάκες τότε το τοποθετούμε στο κέντρο και το περιβάλλουμε με μονωτικό υλικό. Το πάχος της μόνωσης πρέπει να είναι λίγο μικρότερο από αυτό του δείγματος.

4. Πιέζουμε το κουμπί 'Start' στη συσκευή.

5. Εμφανίζεται το παράθυρο 'Start Test Run'. Αφήνουμε το 'Test Mode' στο 'Normal'. Επιλέγουμε στην περιοχή 'Using' με την σειρά 'calibration type' –'1450b', 'Instrument's calibration'(αποθηκευμένες ρυθμίσεις οργάνου) και 'Auto Thickness' (για συμπαγή δείγματα). Υπάρχει στο πείραμα μόνο ένα μη συμπαγές δείγμα (αρμαφλεξ) του οποίου το πάχος μετριέται από το όργανο με επαρκή ακρίβεια χωρίς να συμπιεστεί το δείγμα.

IBA-51	Briver	CoolPack	TELLAS	Sec. 1	REFUE
		Start Test Run	? 🛛	al and	
	🔛 F200 Instrument		trument and t Test Run by		
	SetpNo:	pressing 'Run'. Test Mode:	Normal 🔻	Start	oolPack
opplica	Counter: 0	Using:		Stop	
Aux Hi	Sample: 🔀 S	etp • 1450b calibratic •	UserType calibration	Criteria	
	Upper Plate	Hiled calibration Manual thickness	Auto thickness		A
	T: 19.37 Q: -90	🗹 SPip diying	railer this les .		TAOMIEH
		Run	Cancel	13.	87
				C+1	1

Σχ. 3.1.1 Παράθυρο 'Start test run'

6. Εμφανίζεται το παράθυρο 'Sample information'.Εισάγουμε την ονομασία του αρχείου. Το όργανο θα καθορίσει μόνο του το πάχος του δείγματος .

	F2	Sample Information [1 of 1]	
Ì	Setp	Name: ΑΦΡΟΛΕΞ ΜΕ ΕΣΩΧΗ Sample No.: 1 _ OK Cancel	
a	Cou	Thickness: Ct 2015 m 🖌 🗹 Auto dX + Sample	
Hit K	Sar		
II	Upp T: Q:	Aux Info:	
4			

Σχ. 3.1.2 Παράθυρο 'Sample information'

7. Εμφανίζεται το παράθυρο 'Enter Set Points'. Εισάγουμε ζεύγη τιμών θερμοκρασίας (μέχρι 9 ζεύγη) για την άνω και κάτω πλάκα, ή την μέση θερμοκρασία και την διαφορά μεταξύ των δύο. Εκτός από την εισαγωγή από το πληκτρολόγιο μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποθηκευμένες τιμές (κατάληξη αρχείων σε '.stp'.)

		Linte	I IGSU S	erpoint	í.				
	F200 Instru		Upper	Lower	Mean	Delta	Use	пк	
		1.	20.00	60.00	40.00	40.00	× 1		
	SetpNo:	2.	20.10	60.10	40.10	40.00	1	Lancel	Start
	-	3.	20.00	60.00	40.00	40.00		Heat flow:	
d	Counter:	4.	20.10	60.10	40.10	40.00	1	Up 🗾	Stop
		5.	20.00	60.00	40.00	40.00	1	Units: °C 🔻	Critorio
	Sample:	6.	20.00	55.00	37.50	35.00	_	Dead	GIRCHA
£	Upper Plate	7.	20.00	50.00	35.00	30.00	1	Reau	
	T: 19.44	8.	20.00	45.00	32.50	25.00		Open	
	Q: -4	9.						Save	
			-						
			Lie	ar All	Zero Frac	tions			100

Σχ. 3.1.3 Παράθυρο 'Enter set points'

8. Εάν είναι αναγκαίο επιλέγουμε 'Criteria' στο παράθυρο 'Fox instrument-COM' και εισάγουμε διορθωμένες τιμές για τα κριτήρια θερμικής ισορροπίας. Τα λεπτότερα δείγματα χρειάζονται μεγαλύτερο αριθμό μπλοκ για να επιτύχουν θερμική ισορροπία.

	Experiment's Criteria		X	1
SetpNo: 📑	n Temperature Equilibrium:	0.30 °r	0K	Start
Counter:	Between Block HFM Equil.:	49 μV	Cancel	Stop
Sample:	HFM Percent Change:	2.00 %		Criteria
Upper Plate	Min Number of Blocks:	4	Open	
T: 20.06	Calculation Blocks:	3	Save	

Σχ. 3.1.4 Παράθυρο 'Experiment's criteria'

9. Με την ολοκλήρωση της δοκιμής (συνήθως η διάρκεια είναι 40-60 λεπτά για κάθε δείγμα πάχους 2.54cm), το πρόγραμμα υπολογίζει τις τιμές της θερμικής αγωγιμότητας (σε watt m⁻¹K⁻¹ ή Btu σε hr⁻¹ft⁻¹ °F⁻¹). Τα αποτελέσματα εμφανίζονται στην οθόνη του υπολογιστή αποθηκεύονται σε αρχείο '.tst'. Το 'Percent diff' δείχνει την διαφορά των τιμών που υπολογίστηκαν με την χρήση των άνω και κάτω μετρητών.

10. Για λόγους ευκολίας στην επεξεργασία των μετρήσεων και δημιουργίας των γραφικών παραστάσεων ,φέρνουμε τα αρχεία σε μορφή αρχείου του προγράμματος 'Microsoft Office Excel'.

3.2 Λειτουργία 'WinTherm32' και παράθυρα 'FOX Instrument-

COMport'

Όταν είναι ενεργό το COM-port ,εμφανίζεται το παράθυρο 'FOX Instrument-COMport'. Πιο κάτω επεξήγονται τα πεδία και οι τιμές του παραθύρου.

SetpNo: 1 of 4	Blk no:	Blks left:	Start
Counter: 55	Cal: From Instr.	Equil.: NE	Stop
Sample: 🗾 S	Select Status Setpoints: Calil	oration: dX= 37.3	mm Criteria
Upper Plate	Lower Plate	Results	
T. 100.01	T. 21.91	mean T: 25 76	

Σχ. 3.1.5 Παράθυρο 'FOX Instrument-COMport'

SetNo: το παρών σημείο ρυθμίσεων και ο συνολικός αριθμός τους **Blk No:** ο αριθμός του παρόντος μπλοκ

Biks left: μετά την επίτευξη του κριτηρίου ποσοστιαίας ισότητας, αυτό δείχνει των αριθμό ων μπλοκ που απομένουν μέχρι τον τερματισμό της μετρήσεως

Counter: Μετρητής ADC – (Ανάλογα με το μέγεθος του μπλοκ σε bit).

Test Type: Σκοπός λειτουργίας -δοκιμή ή ρύθμιση

Equil. : Δείχνει πια από τα κριτήρια ισότητας έχουν επιτευχθεί. Τα πιθανά κριτήρια που υπάρχουν είναι :

- ΝΕ -Δεν έχει επιτευχθεί κανένα κριτήριο ισότητας
- ΤΕ -Ισότητα Θερμοκρασίας
- SE -Μερική Ισότητα
- ΡΕ -Ποσοστιαία Ισότητα

FE -Τελική Ισότητα - τέλος μέτρησης.

Select Status: Εμφανίζονται 3 κόκκινα (ή πράσινα) πεδία εάν έχουν εισήχθη πληροφορίες για το δείγμα, οι ρυθμίσεις και τα εξεταζόμενα σημεία.

Start: Χρησιμοποιείτε για την εισαγωγή των πληροφοριών που χρειάζονται για την εκκίνηση της δοκιμής.

Stop/Abort: Χρησιμοποιείτε για τον τερματισμό της μέτρησης από το πρόγραμμα και το όργανο μέτρησης

Criteria:Χρησιμοποιείτε για να αλλάξουμε ή να διαβάσουμε τα κριτήρια θερμικής ισορροπίας που καθορίζουν εάν έχει επιτευχθεί σταθερή κατάσταση στο δείγμα. Πατώντας το εμφανίζεται το πιο κάτω παράθυρο 'Test options'.



Σχ. 3.1.6 Παράθυρο 'Test Options'

Γίνεται η επιλογή ώστε να λαμβάνεται από το όργανο ,ο μέσος όρος των εναλλακτών για επίτευξη των κριτηρίων ισορροπίας. Κάτι τέτοιο βοηθάει στην γρηγορότερη σύγκλιση και μειώνει τον χρόνο διεξαγωγής του πειράματος.

Μετά την εγκατάσταση του προγράμματος και την σύνδεση του με το μετρητικό όργανο ,αυτό αναγνωρίζει τον τύπο του οργάνου και στέλνει σήματα ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή θερμοκρασία και ροή θερμότητας στις πλάκες:

Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται εξαρτώνται από τον τύπο λειτουργίας

Μέση θερμοκρασία Τ:	Δείχνει την παρούσα μέση θερμοκρασία των πλακών.					
Αγωγιμότητα λ	Παρούσα τιμή που έχει μετρηθεί για την θερμική αγωγιμότητα (για έλεγχο) ή για ρυθμιστικός παράγοντας					
	(για ρύθμιση του οργάνου)					

Οποιεσδήποτε πληροφορίες υπάρχουν από εγκατεστημένο εναλλάκτη και θερμικό ζεύγος μπορούν να παρασταθούν γραφικά σε πραγματικό χρόνο πατώντας πάνω στο κουτί τους. Όταν εμφανιστεί το γράφημα μπορεί να γίνει ρύθμιση της κλίμακας του πατώντας δύο φορές πάνω σε αυτό και επιλέγοντας 'Set scale'. Οι αριθμοί που υπάρχουν στον άξονα ψ αντιπροσωπεύουν το σήμα που έχει επιλεγεί με αστερίσκο '*'. Όλα τα υπόλοιπα σήματα φαίνονται σε αυθαίρετες κλίμακες ώστε να ταιριάζουν στο γράφημα.



Σχ. 3.1.6 Παράθυρο γρφήματος σύγκλισης επιλεγμένων παραμέτρων

Επιλέγοντας στο παράθυρο 'WinTherm32' το 'Setup'-'Parameters' εμφανιζόταν το πιο κάτω παράθυρο στο οποίο γινόταν εισαγωγή επιθυμητών ρυθμιστικών παραγόντων για την ρύθμιση του πειράματος

	200 Instrument COM1	
. ТК Se	tpNo: Tof 4 Blk no: Blks left: ?	Start
Co	ounter: 179 Cal: From Instr. Equil.: NE	Stop
LE E2ΩXH - Winth32 Wind	Select Status	
p Run Preferences Aux Ho	ample: 🚾 Setpoints: 🚾 Calibration: 🚾 dX= 🕬	mm Criteria
	oper Plate Lower Plate Results	
1 5 1 10 0000	[· 20.04] T· 50.77 [] mean T· 35.40	
rsday, February 19, 2005	0: 1 1 01 0: 1 1 00: 1 00: 100 0: 100	56
est Setup		
Test Mode: Calibration	i type: 🗐 💌 Units: SI 💌 OK	1
Preferences	Run Cancel	
🔽 Auto Save on Exit	Manual Thickness (S) Auto Thickness More	
Auto Save on Exit Los filed calibration - Test Plan	Auto retry do do mm	
Auto Save on Exit Use filed colibrations' Fest Flam Use selected lambdas - SRM Calib	Manual Thickness Auto (Frickness) Auto reny 2/ 110 mm Run Minimum 1100 mm	
Auto Save on Exit Use filed collocations Test Firm Use selected lambdas - SRM Calib End on Results Screen (Stack closed)	Manual Thickness Auto Chickness More Auto retry d/ mm Minimum Minimum Use entered thickness	
Auto Save on Exit Use Interlocations Test Fish Use selected lambdas - SRM Calib End on Results Screen (Stack close Pause graph on end of run	Manual Thickness Auto Chickness More	

Σχ. 3.1.7 Παράθυρο 'Test setup'

Preferences

Auto Save on Exit- Επιλέγουμε αυτή την εντολή εάν επιθυμούμε να αποθηκευτούν όλες οι ρυθμίσεις, επιλογές και πληροφορίες για το δείγμα και το πείραμα, προτού τερματίσουμε το πρόγραμμα. Όταν επανεκκινήσουμε το πρόγραμμα οι αποθηκευμένες ρυθμίσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν.

Use filed calibration- Επιλέγουμε την εντολή εάν θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε ένα πεδίο ρύθμισης για υπολογισμούς κατά την διάρκεια μίας δοκιμής.

Use selected lambdas- Επιλέγουμε την εντολή για να χρησιμοποιήσουμε τα αρχεία θερμικής αγωγιμότητας της ρύθμισης 'User type' (μόνο για τη ρύθμιση 'User type').Εάν δεν έχει επιλεγεί αυτή η εντολή, όταν ξεκινήσει το πρόγραμμα, θα διαβαστούν από το πρόγραμμα τα αρχεία θερμικής αγωγιμότητας από το μετρητικό όργανο.

End on Results Screen- Καθορίζεται εάν στο τέλος της δοκιμής θα παραμείνουν στην οθόνη τα αποτελέσματα.

Pause graph on end of run- Επιλέγουμε την λειτουργία ώστε να σταματήσει να ανανεώνεται η γραφική παράσταση μετά τον τερματισμό της δοκιμής

Pause result file at end of run- Με αυτή την επιλογή το πρόγραμμα εκτυπώνει αυτόματα τα αποτελέσματα μόλις τερματιστεί η δοκιμή.

<u>Run</u>

Manual Thickness /Auto Thickness- Επιλέγουμε το 'Manual Thickness' εάν είναι γνωστό το πάχος του δείγματος (εάν το δοκίμιο είναι συμπιεζόμενο). Εάν θέλουμε το όργανο να καθορίσει το πάχος του δοκιμίου επιλέγουμε 'Auto Thickness' (μόνο για συμπαγή δείγματα).

Auto retries count- Εάν έχει επιλεγεί η λειτουργία 'Manual Thickness', αυτός ο αριθμός καθορίζει τις προσπάθειες που κάνει το όργανο ώστε να τοποθετήσει της πλάκες στην

επιθυμητή απόσταση και μπορεί να είναι μεταξύ 0 και 10. Σε περίπτωση που το πάχος είναι εκτός του εύρους μετά από 10 προσπάθειες θα εμφανιστεί ένα μήνυμα 'Abort- Retry- Ignore'.

dX±... cm- Εάν έχει επιλεγεί η λειτουργία 'Manual Thickness', αυτός ο αριθμός καθορίζει την απόκλιση που μπορεί να έχει το δείγμα από το προκαθορισμένο πάχος.

Minimum Thickness...cm- Βάζουμε μηδέν σε περίπτωση που έχουμε συμπαγές δείγμα και βάζουμε το ελάχιστο πάχος για να προλάβουμε της συμπίεση μαλακών δειγμάτων. Το πρόγραμμα δεν θα επιτρέψει να εισάγουμε πάχος μικρότερο από αυτό που θα βάλουμε εδώ.

Use entered thickness- Εάν επιλέξουμε αυτή τη λειτουργία (μπορεί να επιλεγεί μόνο εφόσον έχει επιλεγεί η λειτουργία 'Manual Thickness') το πρόγραμμα θα χρησιμοποιήσει το πάχος που έχει εισάγει ο χρήστης για υπολογισμούς, σε περίπτωση που δεν επιτευχθεί το πάχος μετά από τον εισαγόμενο αριθμό στο 'Auto Thickness'.

Maintain temperature between test- Επιλέγουμε αυτή την λειτουργία εάν επιθυμούμε οι πλάκες του οργάνου να παραμείνουν στην θερμοκρασία που είχαν στην τελευταία μέτρηση, μετά τη δοκιμή.

Repeat test using the same set point- Επιλέγουμε αυτή την λειτουργία εάν επιθυμούμε να επαναλάβουμε μετρήσεις με τις ίδιες θερμοκρασίες αναφοράς.

4.ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ -ΜΕΤΡΗΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ -ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1 Περιγραφή δειγμάτων

Όλα τα δείγματα που θα εξεταστούν έχουν διαστάσεις 20.3 X 20.3 cm ,όσο είναι και οι επιφάνειες των δύο πλακών του οργάνου. Το πάχος των δειγμάτων είναι προκαθορισμένο από τους κατασκευαστές και κατά συνέπεια αυτό που χρησιμοποιείτε στις εφαρμογές τους .

Τα δείγματα δεν υπόκεινται σε καμία επεξεργασία και θεωρείτε ότι η αρχική τους κατάσταση είναι αυτή του περιβάλλοντος εργαστηρίου. Η θερμοκρασία και υγρασία του εργαστηρίου μετρώνται κάθε φορά και επισυνάπτονται στην αναφορά κάθε δείγματος. Η υγρασία του χώρου δεν είναι κατ'ανάγκη και αυτή του δείγματος ,ειδικά όταν αναφερόμαστε σε συνθετικά υλικά (πολυστερίνη, πολυεστέρες κτλ.) .Το βάρος θεωρείτε σταθερό και μη μεταβαλλόμενο εφόσον δεν έχουμε απώλεια υγρασίας. Επίσης δεν εφαρμόζετε καμία δύναμη από τις πλάκες που θα επηρέαζε το πάχος τους.

4.2 Επεξεργασία

Το πείραμα θα χωριστεί σε δύο μέρη. Στο πρώτο μέρος τα υλικά θα εξεταστούν ως προς την θερμική αγωγιμότητα με θερμοκρασίες στις δύο πλευρές 20 και 60 °C.Θα γίνουν 5 μετρήσεις ώστε να διαπιστωθεί η ακρίβεια της συσκευής και η τυπική απόκλιση της.

Η μετρήσεις γίνονταν διαδοχικά χωρίς να βγει το δείγμα από τη συσκευή και αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην αλλοιώνονται κατά πολύ τα αρχικά χαρακτηριστικά του (περιεκτικότητα σε υγρασία, πάχος από φθορά κ.α.). Για λόγους επαναριθμήσεις της συσκευής , αυξάνουμε κάθε δεύτερη μέτρηση την θερμοκρασία κατά 0.1 °C σε κάθε πλάκα. . Η διαφορά θερμοκρασίας των 0.1 °C είναι μικρότερη από το επιτρεπτό σφάλμα για επίτευξη θερμικής ισορροπίας.

Η τυπική απόκλιση s του πειράματος για N αριθμό μετρήσεων δίνεται από τον τύπο:

$$s = \left[\frac{1}{N-1}\sum_{1}^{N} (x_i - \bar{x})^2\right]^{\frac{1}{2}}$$

όπου x_i είναι η εκάστοτε μέτρηση και \bar{x} ο μέσος όρος των τιμών x.

Στο δεύτερο μέρος θα γίνει έλεγχος της γραμμικής συσχέτισης μεταξύ της θερμικής αγωγιμότητας του υλικού και της μέσης θερμοκρασίας. Τα ζεύγη των θερμοκρασιών για τις οποίες θα γίνει ο έλεγχος αυτός είναι:

20-60 °C 20-55 °C 20-50 °C 20-45 °C

Ένα μέτρο του βαθμού συσχετίσεως μεταξύ των δύο μεταβλητών x και y αποτελεί ο συντελεστής συσχετίσεως που ορίζεται ως :

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sum (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum (y_i - \bar{y})^2}$$

Εάν το |r|=1 τότε όλα τα σημεία κείνται επάνω στην ευθεία αναδρομής. Εξάλλου όσο το |r|→1 τόσο υψηλότερη είναι η συσχέτιση ενώ |r|→0 τόσο χαμηλότερη. Εάν r=0 θεωρούμε ότι οι μεταβλητές δεν έχουν γραμμική εξάρτηση. Αυτό δεν σημαίνει επουδενί ότι τα μεγέθη x και y είναι στατιστικά ανεξάρτητα.

Εφόσον βρούμε μια ικανοποιητική γραμμική συσχέτιση, καθορίζουμε την μορφή της εξίσωσης. Θεωρούμε ότι η εξίσωση έχει τη μορφή: y=α₀+α₁x

όπου γ και x αντιπροσωπεύουν την θερμική αγωγιμότητα και τη μέση θερμοκρασία αντίστοιχα και α₀ και α₁ δύο σταθεροί όροι που θα υπολογιστούν με την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων. από τη μέθοδο αυτή έχουμε ότι [1] :

$$\alpha_1 = \frac{\sum (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sum (x_i - \bar{x})^2} \text{ kal } \alpha_0 = \bar{y} - a_1 \bar{x}$$

4.3 Αποτελέσματα

4.3.1 Διογκωμένη πολυστερίνη

Η διογκωμένη πολυστερίνη (Σχ.4.3.1), (περισσότερο γνωστή στην ελληνική αγορά ως φελιζόλ) ανήκει στα οργανικά τεχνητά θερμομονωτικά υλικά. Με ειδική επεξεργασία πολυμερισμού η πρώτη ύλη παίρνει τη μορφή μικρών κόκκων με σταθερή χημική σύσταση και θερμοπλαστικές ιδιότητες. Οι κόκκοι διογκώνονται και μετατρέπονται σε σφαιρίδια διαμέτρου 5-6mm. Από κει και πέρα οδηγούνται σε ειδικές πρέσες για επιπλέον διόγκωση και συγκόλληση των σφαιριδίων και υπάρχουν δύο τρόποι παραγωγής:

 Με τον πρώτο τρόπο το προϊόν βγαίνει στην τελική του μορφή από το καλούπι με τυποποιημένες διαστάσεις και διαμορφωμένη επιφάνεια (η λεγόμενη καλουπωτή ή χυτή πολυστερίνη).

Με τον δεύτερο τρόπο το προϊόν βγαίνει από την πρέσα σε μορφή μεγάλων blocks, τα οποία στη συνέχεια σε κοπτικές μηχανές ή παντογράφους κόβονται δίνοντας πλάκες ή ειδικά κομμάτια διαφόρων σχημάτων (πχ. κυλίνδρων) και διαστάσεων.
 Η πυκνότητα της πολυστερίνης κυμαίνεται από 10-40 Kgr/m³ και είναι το μέγεθος που χαρακτηρίζει το υλικό.

Η διογκωμένη πολυστερίνη ήταν από τα πρώτα θερμομονωτικά υλικά που εμφανίστηκαν και επί δεκαετίες υπήρξε ως το πλέον χρησιμοποιούμενο υλικό στις κτιριακές εφαρμογές της θερμομόνωσης. Στη συνέχεια, με την εμφάνιση της εξηλασμένης που υπερτερεί σαφώς ως υλικό σε όλες της τις ιδιότητες, αλλά και με την εξάπλωση των Συστημάτων Ξηράς Δόμησης (όπου χρησιμοποιούνται τα ινώδη υλικά) η χρήση της έχει περιοριστεί. [2]



Σχ.4.3.1 Δείγμα διογκωμένης πολυστερίνης

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

- Θερμομόνωση εξωτερικής τοιχοποιίας.
- Θερμομόνωση στοιχείων από σκυρόδεμα.
- Θερμομόνωση στεγών.
- Πλήρωση κενών πλακών Zollner.
- Πλήρωση κενών μεγάλων αρμών διαστολής.
- Καλούπια για κορνίζες ή σχήματα στις επιφάνειες σκυροδέματος.

Τα πλεονεκτήματά της:

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

Τα μειονεκτήματά της:

- Εάν χρησιμοποιηθεί χωρίς να σταθεροποιηθεί, συρρικνώνεται και επίσης κρατά την υγρασία που εισχωρεί στη μάζα της.
- Στις χαμηλές πυκνότητες δεν έχει μηχανικές αντοχές.
- Αποκλείεται η εφαρμογή της σε χώρους όπου αναπτύσσονται υψηλές θερμοκρασίες.
- Προσβάλλεται από την ηλιακή ακτινοβολία.
- Προσβάλλεται από διαλύτες, έντομα και τρωκτικά.
- Είναι εύφλεκτη (η καλουπωτή είναι αυτοσβενόμενη) και στη φωτιά εκλύει αέρια.



Διάγραμμα 4.3.1 Διογκωμένη πολυστερίνη

Τυπική απόκλιση μετρήσεων 2.16795Ε-05

Συντελεστής γραμμικής συσχέτισης 0.999792

Χαρακτηριστική Εξίσωση λ= 0.030074+ 0.000133T

Παρατηρούμε μια πολύ γραμμική συμπεριφορά του δείγματος ,κάτι που αναμενόταν ως στερεό ,μη-μεταλλικό σώμα. Οι τιμές θερμικής αγωγιμότητας που βρίσκουμε στην βιβλιογραφία για την διογκωμένη πολυστερίνη κυμαίνονται από 0.033-0.038 W/mK. Αντικαθιστώντας στην χαρακτηριστική εξίσωση θερμοκρασία 25°C για την οποία δίνονται όλες οι τιμές στην βιβλιογραφία, βρίσκουμε λ=0.033.

4.3.2 Εξηλασμένη πολυστερίνη

Η εξηλασμένη πολυστερίνη (Σχ.4.3.2) ανήκει στα οργανικά τεχνητά θερμομονωτικά υλικά "κλειστής κυψελικής δομής". Παράγεται από θερμοπλαστική πολυστερίνη, η οποία με μια διαδικασία πολυμερισμού και διαρκούς εξέλασης παίρνει τη μορφή πλακών.



Σχ.4.3.2 Δείγμα Εξηλασμένης πολυστερίνης

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

Η εξηλασμένη πολυστερίνη χρησιμοποιείται κατεξοχήν σε κτιριακά έργα, για θερμομόνωση και τοποθετείται(Σχ.4.3.3):

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



Σχ.4.3.3 Συνήθης χρήση εξηλασμένης πολυστερίνης

Τα κυριότερα πλεονεκτήματά της είναι:

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

Όπως και τα περισσότερα πολυμερή μονωτικά έχει ευαισθησία στην ηλιακή ακτινοβολία [2].



Διάγραμμα 4.3.2 Εξηλασμένη πολυστερίνη

Τυπική απόκλιση μετρήσεων 1.3Ε-05

Συντελεστής γραμμικής συσχέτισης 0.999964

Χαρακτηριστική Εξίσωση λ
= 0.031068 + 0.000162 T



Σχ.4.3.4 Δείγμα Εξηλασμένης πολυστερίνης με εγκοπές

Το δεύτερο δοκίμιο εξηλασμένης πολυστερίνης (Σχ.4.3.4) προέρχεται από διαφορετικό δείγμα. Και στις δύο επιφάνειες του δείγματος, έχει εγκοπές οι οποίες γίνονται στο εργοστάσιο κατασκευής και η επιφάνεια του μπορεί να χαρακτηριστεί τραχιά. Το συγκεκριμένο δείγμα χρησιμοποιείτε κυρίως όπου απαιτείται πρόσφυση της μόνωσης. Οι εγκοπές στην επιφάνεια έχουν την μορφή του σχήματος και καταλαμβάνουν όλη την επιφάνεια. Για το μήκος του δεδομένου δείγματος είχαμε 3 σειρές εγκοπών.



Σχ.4.3.5 Τομή δείγματος εξηλασμένης πολυστερίνης με εγκοπές



Διάγραμμα 4.3.3 Εξηλασμένη πολυστερίνη με εγκοπές

Τυπική απόκλιση μετρήσεων 2.77Ε-05

Συντελεστής γραμμικής συσχέτισης 0.999911

Χαρακτηριστική Εξίσωση λ= 0.030607 + 0.000193T

Συνολικά ο όγκος του αφαιρουμένου υλικού από ένα συμπαγές δείγμα είναι 3.045X 10^{-5} m³ ενώ αυτός του υποτιθέμενου συμπαγούς είναι 2.14X 10^{-3} m³. Η ποσοστιαία διαφορά των δύο δειγμάτων είναι 1.4%.





Τα δύο δοκίμια δεν προέρχονται από διαφορετικά δείγματα εξηλασμένης πολυστερίνης και ως εκ'τουτου δεν μπορούν να γίνουν συγκρίσεις. Παρόλα αυτά φαίνεται και στα διαγράμματα ότι παρουσιάζουν υψηλή γραμμική συμπεριφορά με παρόμοια κλίση. Το δείγμα με τις εγκοπές (2° δείγμα) φαίνεται να υστερεί έναντι του συμπαγούς κατά 2% σε όλο το φάσμα θερμοκρασιών. Αυτό είναι αντίθετο από αυτό που θα αναμέναμε, εάν δεχόμασταν ότι τα δύο δείγματα είχαν παραπλήσιους συντελεστές θερμικής αγωγιμότητας ,καθώς το 2° δείγμα λόγω εγκοπών εγκλωβίζει αέρα που είναι άριστο μονωτικό υλικό. Οι εγκοπές είναι

πολύ στενές και χαμηλές για να αποδώσουμε αυτή την συμπεριφορά σε φαινόμενα συναγωγής που δημιουργούνται εντός τους.

Οι εξηγήσεις που μπορούν να δοθούν ώστε να δικαιολογηθούν τα αποτελέσματα που πήραμε είναι ότι το δεύτερο δείγμα έχει μεγαλύτερο συντελεστή από το πρώτο, τόσο ώστε να αντισταθμίζει και το όποιο πλεονέκτημα αποκομίζουμε από τις εγκοπές. Επίσης εξετάζεται και η περίπτωση τα τμήματα της εξηλασμένης πολυστερίνης μέχρι το ύψος που φτάνουν οι εγκοπές, να λειτουργούν σαν πτερύγια, τα οποία απάγουν θερμότητα και διαταράσσουν την γραμμικότητα της θερμικής ροής

Στην περίπτωση της εξηλασμένης πολυστερίνης οι τιμές που βρέθηκαν από κατασκευαστές είναι μεταξύ 0.033-0.036 W/mK. Τα αποτελέσματα μας αποκλίνουν ελαφρώς από τα δεδομένα όρια. Αυτό μπορεί να δικαιολογηθεί από το γεγονός ότι όλα τα δεδομένα όρια αντιπροσωπεύουν μέση θερμοκρασία δειγμάτων τους 25°C. Αν δεχτούμε την γραμμική συμπεριφορά του συντελεστή αγωγιμότητας βάση της χαρακτηριστικής εξίσωσης που έχουμε βρει, τότε οι τιμές που παίρνουμε για το 1° και 2° δείγμα είναι 0.03511 W/mK και 0.03543W/mK αντίστοιχα, τιμές που εμπίπτουν μέσα στα όρια που δίνονται.

4.3.3 Γυψοσανίδα

Η γυψοσανίδα (Σχ. 4.3.6) είναι ένα συνηθισμένο οικοδομικό υλικό που χρησιμοποιείται για την οικοδόμηση των εσωτερικών τοίχων και οροφών. Αποτελείται από ένα φύλλο χαρτονιού που τυλίγεται γύρω από τον εσωτερικό πυρήνα που είναι ασβεστοκονίαμα γύψου, η ημιένυδρη μορφή θειικού άλατος ασβεστίου (CaSO4. ½ H2O). Ο ακατέργαστος γύψος, CaSO4.2 H2O, (που εξάγεται ή που λαμβάνεται από την αποθείωση αερίου σωλήνων (FGD)) πρέπει να ασβεστοποιηθεί πριν τη χρήση.



Σχ. 4.3.6 Δείγμα γυψοσανίδας

Στην Ευρώπη, τα συνηθέστερα χρησιμοποιημένα πάχη της γυψοσανίδας διαθέσιμα είναι 12.5 mm που χρησιμοποιείται για τους τοίχους, και 9.5mm που χρησιμοποιείτε για ταβάνια.

Άλλη μία ευρεία χρήση της γυψοσανίδας είναι ως παθητικό στοιχείο πυροπροστασίας που βρίσκει εφαρμογές στις καμινάδες και τα τζάκια των σπιτιών. Στη φυσική του κατάσταση, ο γύψος περιέχει νερό από την κρυστάλλωση του, που δεσμεύεται υπό μορφή ένυδρων ουσιών.



Όταν εκτίθεται στη θερμότητα ή την πυρκαγιά, το νερό αυτό καθυστερεί τη μεταφορά θερμότητας [3].

Διάγραμμα 4.3.5 Γυψοσανίδα

Στην περίπτωση της γυψοσανίδας είχαμε περίεργη συμπεριφορά καθώς ήταν το μόνο υλικό που παρουσίασε στιγμιαία αύξηση της θερμικής αγωγιμότητας με την μείωση της μέσης θερμοκρασίας. Είναι φανερό από το διάγραμμα ότι δεν τίθεται καμία προσέγγιση γραμμικής συμπεριφοράς, και αυτό λόγο της απότομης αύξησης από τους 40°C μέχρι τους 37.5°C και κατόπιν σταδιακής μείωσης όπως συμβαίνει και στα υπόλοιπα δείγματα. Η συμπεριφορά αυτή οφείλεται σε μεγάλο μέρος της στον υγροσκοπικό χαρακτήρα της . Η μεγάλη συγκράτηση υγρασίας πιθανόν να είναι υπεύθυνη για αυτή τη συμπεριφορά. Είναι πολύ πιθανό βέβαια ο συντελεστής αγωγιμότητας του δείγματος να ξεφεύγει από τα όρια μετρητικής ικανότητας του οργάνου και για αυτό να παρουσιάζει αυτή την απρόβλεπτη συμπεριφορά. Οι τιμές που βρέθηκαν για τη γυψοσανίδα κυμαίνονται από 0.17-0.22 W/mK. Αυτό που δεν μπορέσαμε να διευκρινίσουμε για της δεδομένες τιμές είναι εάν αυτές αντιπροσωπεύουν ξηρό δείγμα (μηδενική περιεκτικότητα σε υγρασία) ή σε ποιές συνθήκες υγρασίας ισχύουν ,κάτι που παίζει πολύ σημαντικό ρόλο για υγροσκοπικά υλικά σαν τον γύψο.

Ακόμα κάτι που προξενεί εντύπωση είναι η μηδενική απόκλιση που είχαμε και στις δύο δοκιμές, παρόλο που οι αρχικές τιμές ήταν διαφορετικές. Επίσης η απότομη άνοδος της θερμικής αγωγιμότητας σταμάτησε και στις δύο περιπτώσεις στην τιμή 0.1788 W/mK παρόλο που παρουσίασαν ελαφρώς διαφορετική συμπεριφορά στη συνέχεια.

Υποθέτοντας ότι δεν υπάρχουν άλλες διακυμάνσεις στη συμπεριφορά της θερμικής αγωγιμότητας της, μπορούμε να συμπεράνουμε και την ευρεία χρήση της ως μέσω πυροπροστασίας καθώς η μονωτικές της ικανότητες αυξάνονται δραματικά με την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας.

4.3.4 Γυαλί

Το διπλό γυαλί (Σχ. 4.3.7) που θα εξετάσουμε αποτελείτε από δύο επιμέρους πλάκες γυαλιού πάχους περίπου 5mm ,οι οποίες έχουν διάκενο αέρα μεταξύ τους πάχους 13mm. Στην περίμετρο τους οι δύο πλάκες έχουν βέργες αλουμινίου οι οποίες περιέχουν σίλικα που βοηθά στην κατακράτηση της υγρασίας που βρίσκεται μέσα στον εγκλωβισμένο αέρα. Για να διατηρήσουμε την στεγανότητα στο εσωτερικό των πλακών και να διασφαλίσουμε ότι δεν θα εισέλθει άλλη υγρασία, στερεώνουμε της βέργες αλουμινίου με σιλικόνη.



Σχ. 4.3.7 Τομή διπλού γυαλιού



Σχ. 4.3.8 Δείγμα διπλού γυαλιού



Διάγραμμα 4.3.6 Διπλό γυαλί

Τυπική απόκλιση μετρήσεων 0.000536

Συντελεστής γραμμικής συσχέτισης 0.995803

Χαρακτηριστική Εξίσωση λ= 0.08666 + 0.001913T

Αυτό που παρατηρήσαμε στο διπλό γυαλί είναι ότι είναι το υλικό με την μεγαλύτερη τυπική απόκλιση ,τον μεγαλύτερο χρόνο σύγκλισης των μετρήσεων και την μικρότερη γραμμική συσχέτιση. Σε μεγάλο μέρος αυτό οφείλεται στα φαινόμενα μεταφοράς που εμφανίζονται μέσα σε αυτό. Τα θερμά μόρια του αέρα που είναι εγκλωβισμένος μέσα σε αυτό , τείνουν να μεταφερθούν στα ανώτερα στρώματα όπου εκεί ψύχονται (οι χαμηλές θερμοκρασίες βρίσκονται στην άνω πλάκα) και μεταφέρονται πάλι στα χαμηλά στρώματα. Έτσι έχουμε μια συνεχής ανακύκλωση του αέρα μέσα σε αυτό (Σχ. 4.3.9).



Σχ. 4.3.9 Ροή αέρα κατά τη διάρκεια του πειράματος Σχ. 4.3.10 Ροή αέρα σε κανονική εγκατάσταση

Κάτι τέτοιο βέβαια ,δεν είναι απολύτως αντιπροσωπευτικό αυτού που συμβαίνει στη πραγματικότητα και αυτό διότι η καθημερινή χρήση του διπλού γυαλιού γίνεται σε κάθετη θέση και όχι σε οριζόντια όπως το πείραμα (Σχ. 4.3.10). Στην περίπτωση αυτή για μικρές θερμοκρασιακές διαφορές των δύο επιφανειών η θερμότητα μεταφέρεται με αγωγή και ισχύει ότι

$$Nu_{\delta} \equiv \frac{h\delta}{k} = 1$$

ενώ σε μεγαλύτερες θερμοκρασιακές διαφορές υπάρχει κάποια κίνηση του ρευστού. Περαιτέρω αύξηση της θερμοκρασιακής διαφοράς προκαλεί εντονότερη ανοδική κίνηση του ρευστού στη θερμή επιφάνεια και καθοδική στην ψυχρή, ενώ τα στρώματα του ρευστού στο κέντρο του χώρου παραμένουν στάσιμα λόγω της ισορροπίας μεταξύ των δυνάμεων τριβής. Εάν οι δύο επιφάνειες βρίσκονται πολύ κοντά τότε η εσωτερική κίνηση των μορίων γίνεται πολύ μικρή και η μεταφορά θερμότητας με συναγωγή σχεδόν μηδενίζεται [4].

Γενικότερα η μέγιστη μονωτική αποδοτικότητα ενός διπλού γυαλιού, καθορίζεται από την απόσταση του διαστήματος που περιέχει το αέριο. Πολύ μικρό διάστημα μεταξύ των υαλοπινάκων έχει ως αποτέλεσμα την απώλεια θερμότητας με ακτινοβολία μεταξύ τους (η εσωτερική επιφάνεια του ενός δροσίζει την επιφάνεια του άλλου) ενώ ένα μεγάλο χάσμα οδηγεί σε απώλειες μεταφοράς (το αέριο αρχίζει να κυκλοφορεί λόγω των διαφορών θερμοκρασίας και μεταφέρει τη θερμότητα μεταξύ των πλακακιών). Χαρακτηριστικά, οι περισσότερες σφραγισμένες μονάδες επιτυγχάνουν τις μέγιστες τιμές μόνωσης χρησιμοποιώντας ένα διάστημα αερίου μεταξύ 10-19 mm αναλόγως του περιεχόμενου αερίου. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε ένα γενικό πάχος μεταξύ 16-29 mm ανάλογα με το πάχος του γυαλιού και το επιλεγμένο διάστημα. Το επιλεγμένο πάχος είναι ένας συμβιβασμός μεταξύ της μεγιστοποίησης της μονωτικής ικανότητας και της δυνατότητας του συστήματος που πλαισιώνει τους υαλοπίνακες . Τα ζητήματα προκύπτουν με τη χρήση της τριπλής τοποθέτησης υαλοπινάκων για να μειώσουν περαιτέρω την απώλεια θερμότητας σε ένα. Σε ορισμένες περιπτώσεις αφαιρείται μεγάλο μέρος του αέρα, αφήνοντας ένα μερικό κενό, το οποίο μειώνει δραστικά τη μεταφορά θερμότητας λόγω συναγωγής. Στην πράξη, εντούτοις, αυτοί οι τύποι συστημάτων δεν χρησιμοποιούνται εμπορικά λόγω της ανάγκης για ενίσχυση του συστήματος, ώστε να αντέξει στην υποπίεση που θα δημιουργηθεί εντός τους. Η εναλλακτική λύση είναι να αντικατασταθεί ο αέρας στο διάστημα με τα αδρανή αέρια όπως το αργό (θερμική αγωγιμότητα 67% αυτή του αέρα), κρυπτό (μισή αγωγιμότητα του αργού) ή xenon για να αυξήσει την απόδοση μόνωσης λόγω της υψηλότερης μάζας (πυκνότητα) αυτών των αερίων συγκρινόμενα με τον αέρα, αλλά και με σημαντικά αυξανόμενο κόστος, ανάλογα με τον τύπο του χρησιμοποιούμενο αερίου [5].

Για να κάνουμε σύγκριση των μετρήσεων, κάνουμε μονοδιάστατη ανάλυση του συστήματος γυαλί- αέρας –γυαλί (Σχ. 4.3.11) και βρίσκουμε τον συντελεστή συναγωγιμότητας που διέπει το σύστημα μας. Θεωρητικά ο συντελεστής της μέσης θερμικής συναγωγιμότητας σε παρόμοιες περιπτώσεις όπου υπάρχει κλειστός χώρος και η θερμή επιφάνεια βρίσκεται κάτω βρίσκεται από τον προσεγγιστικό τύπο

$$h_m = 0.59 \left[\frac{\Delta T}{L}\right]^{\frac{1}{4}}$$

όπου ΔΤ είναι η διαφορά θερμοκρασίας των δύο επιφανειών και L είναι η απόσταση τους. Οι δύο επιφάνειες αφορούν τις εσωτερικές επιφάνειες των δύο γυαλιών με θερμοκρασίες T_{i1} και T_{i2} .



Σχ. 4.3.11 Μονοδιάστατη ανάλυση συστήματος διπλού γυαλιού

Η ροή θερμότητας που μας δίνεται είναι ανοιγμένη στην επιφάνεια και ισχύει ότι

$$Q = h_c(T_{i1} - T_{i2}) = k \frac{T_h - T_{i1}}{L} = k \frac{T_{i2} - T_c}{L} \qquad \left(\frac{W}{m^2}\right)$$

Από την τιμή ροής θερμότητας Q που έχουμε για κάθε μέση θερμοκρασία θα βρούμε τις τιμές Τ_{i1} και Τ_{i2} και κατόπιν την πειραματική μέση θερμική συναγωγιμότητα. Για να κάνουμε αυτόν τον υπολογισμό θα πρέπει να κάνουμε παραδοχή για τον συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας του γυαλιού καθώς δεν τον έχουμε καθορίσει πειραματικά. Θα δεχτούμε ότι ο συντελεστής αυτός είναι k_{γυαλιού}=0.9W/mK που είναι μια μέση τιμή που βρίσκουμε στη βιβλιογραφία.

$$T_{i1} = T_h - \frac{Q \times L}{k}$$
$$T_{i2} = \frac{Q \times L}{k} + T_c \Rightarrow h_c = \frac{Q}{T_{i1} - T_{i2}}$$

Μέση	Ti ₁ (K)	Ti ₂ (K)	h (W/mK)	h θεωρητικό	U
θερμοκρασία(Κ)				(W/mK)	(W/m²K)
40	58.415	21.585	7.746402	4.304439	7.1325
37.5	53.66472	21.33528	7.434399	4.166446	6.867143
35	48.89194	21.10806	7.178621	4.011571	6.648333
32.5	44.10028	20.89972	6.980436	3.834783	6.478

Πίνακας 4.3.1

Η προσέγγιση του θεωρητικού συντελεστή δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ικανοποιητική καθώς η τιμές είναι σχεδόν διπλάσιες. Εδώ βλέπουμε ότι παρόλο που το σύστημα του διπλού γυαλιού πιθανόν να έχει συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας μικρότερο από 0.2 W/mK ,που είναι και η μέγιστη τιμή που μπορεί να μετρήσει το όργανο, τα αποτελέσματα αποκλίνουν πολύ από τα πραγματικά επειδή αποτελείτε από υλικά με μεγαλύτερη τιμή από την επιτρεπτή. Τα σφάλματα που έχουμε μπορούν να αποδοθούν επίσης ως ένα βαθμό στην ακτινοβολία ,που λόγω της διαφάνειας του δείγματος επηρεάζει την θερμότητα που ρέει σε κάθε πλάκα. Αυτό μπορεί να φανεί και από το γεγονός ότι όσο ελαττώνεται η θερμοκρασία της άνω πλάκας τόσο προσεγγίζουμε την θεωρητική τιμή.

Ακόμα όμως και με μία καλή ,θεωρητικά, προσέγγιση όμως του συντελεστή συναγωγιμότητας, και ανάγοντας τα αποτελέσματα μας για να βρούμε την ειδική θερμική διαπερατότητα U ,μέγεθος για το οποίο δίδεται η μονωτική ικανότητα του διπλού γυαλιού βρίσκουμε τιμές απαράδεκτες με αυτές που προτείνει η βιβλιογραφία και οι κατασκευαστές καθώς το εύρος τους κυμαίνεται από 0.65-1.6 W/m²K. Οι δικές μας τιμές υπερβαίνουν και αυτές ενός μονού γυαλιού κάτι που προφανώς είναι αδύνατον.

Έγινε και μέτρηση μίας πλάκας γυαλιού (Σχ. 4.3.12) για να συγκριθούν οι μετρήσεις με αυτές του διπλού γυαλιού. Δεν έγιναν πολλαπλές μετρήσεις για την εύρεση της τυπικής απόκλισης αλλά μόνο μετρήσεις στις ίδιες μέσες θερμοκρασίες όπως και τα υπόλοιπα μονωτικά .Η προσπάθεια που έγινε να γίνουν οι μετρήσεις με τις ίδιες οριακές συνθήκες όπως και στα υπόλοιπα δείγματα ήταν ανεπιτυχείς καθότι το πάχος και η θερμική αντίσταση του δείγματος δεν επέτρεπαν στις πλάκες να επιτύχουν τις επιθυμητές θερμοκρασίες. Έτσι θέσαμε το δείγμα στην ίδια μέση θερμοκρασία αλλά με διαφορετικές θερμοκρασίες στις δύο πλευρές του. Τα ζεύγη αυτών των θερμοκρασιών είναι:



Σχ. 4.3.12 Δείγμα μονού γυαλιού





Οι τιμές που βρήκαμε για το μονό γυαλί φαίνεται να είναι 10 φορές πιο μονωτικό από τις τιμές που βρίσκουμε στη βιβλιογραφία. Για τον λόγο αυτό δεν κρίθηκε σκόπιμο η εύρεση χαρακτηριστικής εξίσωσης και τυπικής απόκλισης. Το μεγάλο αυτό σφάλμα οφείλεται όπως και στο διπλό γυαλί στο ότι το συγκεκριμένο δείγμα είναι εντελώς εκτός προδιαγραφών όσον αφορά, πρωτίστως την πραγματική του θερμική αγωγιμότητα ,η οποία είναι μεταξύ 0.8-1.1 W/mK. Στις προδιαγραφές του οργάνου η μέγιστη θερμική αγωγιμότητα που μπορεί να μετρηθεί είναι 0.2 W/mK. Σε μικρότερη κλίμακα το σφάλμα μέτρησης γίνεται λόγω του πάχους του δείγματος που είναι μικρότερο κατά 3 mm από το ελάχιστο προτεινόμενο.

4.3.5 Αφρώδες ΡVC

Το αρμαφλέξ (Σχ. 4.3.13) είναι ένα μίγμα αφρώδους PVC και πολυαιθυλενίου το οποίο βρίσκει εφαρμογές σε πολλά από τα προϊόντα που χρησιμοποιούμε σήμερα. Στην μηχανική χρησιμοποιείτε κυρίως στη μόνωση σωλήνων σε κλιματιστικές συσκευές και σωλήνων ζεστού νερού(Σχ. 4.3.14) και σε μορφή φύλλων για την κάλυψη μεγάλων βιομηχανικών σωληνώσεων (Σχ. 4.3.15).





Σχ. 4.3.14 Μόνωση σωλήνων

Σχ. 4.3.15 Μόνωση μεγάλων σωληνώσεων



Σχ. 4.3.13 Δείγμα αφρώδους ΡVC



Διάγραμμα 4.3.8 Αφρώδες PVC

Τυπική απόκλιση μετρήσεων 1.58Ε-05

Συντελεστής γραμμικής συσχέτισης 0.999935

Χαρακτηριστική Εξίσωση λ= 0.03509+ 0.00013T

4.3.6 Ίνες πολυεστέρα

Οι ίνες πολυεστέρα (Σχ. 4.3.16) έχουν υψηλή ηχοαπορροφητική και θερμομονωτική ικανότητα και διακοσμητική όψη και για αυτό εφαρμόζονται στις κατασκευές που απαιτείται υψηλή ηχομόνωση σε συνδυασμό με αποδεκτή θερμομόνωση όπως θέατρα ,χώροι ψυχαγωγίας κτλ . Κατασκευάζεται από θερμοσυγκολλητές ίνες πολυεστέρα, χωρίς τη χρήση ρητινών ή συγκολλητικών ουσιών. Παράγεται σε διάφορες πυκνότητες και πάχη για την επίτευξη των επιθυμητών ακουστικών χαρακτηριστικών, είναι δυνατόν να συνδυαστεί με συνθετική, αντικραδασμική -ηχομονωτική μεμβράνη και διατίθεται και σε αυτοκόλλητη παραλλαγή [6].

Αν και η θερμική τους αντίσταση, δεν είναι τόσο υψηλή όσο αυτή των εποξέων, είναι γενικά φτηνότερα. Η εκπομπή του στυρόλιου μπορεί να θέσει κίνδυνο στην υγείας, αν και

υπάρχουνε δείγματα με χαμηλούς βαθμούς εκπομπής. Οι ρητίνες πολυεστέρα παρέχονται ως υγρά που μετατρέπονται σε υλικό στερεάς κατάστασης με την προσθήκη ενός καταλύτη



Σχ. 4.3.16 Δείγμα ινών πολυεστέρα

Τα πλεονεκτήματα τους είναι:

- 1. Έχει εξαιρετική μηχανική αντοχή.
- 2. Δεν είναι τοξικό
- 3. Δεν παράγει πυκνό καπνό κατά την καύση του.
- 4. Έχει ιδιαίτερη αντοχή στη φωτιά, στις υψηλές θερμοκρασίες και την υπέρυθρη

ακτινοβολία.

5. Είναι αυτοσβενούμενο



Διάγραμμα 4.3.9 Πολυεστέρας

Τυπική απόκλιση μετρήσεων 1.3Ε-05

Συντελεστής γραμμικής συσχέτισης 0.999941

Χαρακτηριστική Εξίσωση λ = 0.044177 + 0.00042T

Στην περίπτωση του πολυεστέρα έγινε πειραματισμός για να διαπιστωθεί η επίδραση του κενού αέρος στην θερμική αγωγιμότητα του δείγματος. Πήραμε ένα δείγμα (Σχ. 4.3.17) με εσωτερική κοιλότητα διαστάσεων 22mm X 130mm X 130mm (Σχ. 4.3.18).Ο όγκος της αφαιρούμενης μάζας υλικού είναι 3.71X 10^{-4} m³ ενώ ο θεωρητικός όγκος του θα έπρεπε να είναι 1.53X 10^{-3} m³.



Σχ. 4.3.17 Δείγμα πολυεστέρα με κοιλότητα



Σχ. 4.3.18 Διαστάσεις εσωτερικής κοιλότητας

Όπως και στη περίπτωση του μονού γυαλιού οι μετρήσεις έγιναν για σύγκριση με δείγμα ιδίου υλικού οπότε οι μετρήσεις περιορίστηκαν σε αυτές των διάφορων μέσων θερμοκρασιών και όχι σε πολλαπλές μετρήσεις με σταθερή διαφορά θερμοκρασίας για εύρεση τυπικής απόκλισης.



Διάγραμμα 4.3.10 Πολυεστέρας με κοιλότητα

Συντελεστής γραμμικής συσχέτισης 0.999443

Χαρακτηριστική Εξίσωση λ= 0.068787 + 0.000959 T

Στη σύγκριση των δύο δειγμάτων βλέπουμε την μεγάλη πτώση μονωτικής συμπεριφοράς, σχεδόν υποδιπλασιασμός της , που έχει το δείγμα με την κοιλότητα παρόλο που η κατ'όγκο μείωση του υλικού είναι μόλις 24.3%. Μπορούμε να παρατηρήσουμε επίσης μια ελαφρώς πιο 'καμπύλη' συμπεριφορά σε αυτό έναντι του συμπαγούς ,κάτι που αποδίδουμε αποκλειστικά στα φαινόμενα συναγωγής που έχουμε μέσα στη κοιλότητα (Σχ. 4.3.19).



Σχ. 4.3.19 Τομή δείγματος ινών πολυεστέρα με κοιλότητα





Ο θεωρητικός συντελεστής της μέσης θερμικής συναγωγιμότητας βρίσκεται όπως και στο διπλό γυαλί από τον τύπο:

$$h_m = 0.59 \left[\frac{\Delta T}{L} \right]^{\frac{1}{4}}$$
όπου ΔΤ είναι η διαφορά θερμοκρασίας των δύο επιφανειών και L είναι η απόσταση τους. Η μία επιφάνεια αφορά την θερμή κάτω πλάκα με θερμοκρασία T_h και η άλλη την εσωτερική επιφάνεια της κοιλότητας με θερμοκρασία T_i. Θα κάνουμε υπολογισμό της θερμοκρασίας στην εσωτερική επιφάνεια της κοιλότητας βάση του συντελεστή αγωγιμότητας που βρήκαμε προηγουμένως και θα βρούμε ένα θεωρητικό συντελεστή. Κατόπιν βάση μονοδιάστατης ανάλυσης θα βρούμε τον συντελεστή συναγωγιμότητας που εξάγεται από το πείραμα [4].



Σχ. 4.3.20 Μονοδιάστατη ανάλυση κοιλότητας πολυεστέρα

Η ροή θερμότητας που μας δίνεται είναι ανοιγμένη στην επιφάνεια και ισχύει ότι

$$Q = h_c (T_h - T_i) = k \frac{T_i - T_c}{L} \qquad \left(\frac{W}{m^2}\right)$$

$$\Rightarrow h_c = \frac{Q}{T_h - T_i}$$

0				
θερμοκρασια				
40	48.82859	11.17141	10.27175	2.800744
37.5	45.12911	9.870887	9.955539	3.008365
35 4	41.43262	8.56738	9.613207	3.18005
32.5	37.72466	7.275337	9.198199	3.328146

Πίνακας 4.3.2

Βλέπουμε στον πίνακα ότι υπάρχει σταθερά μια μεγάλη διαφορά μεταξύ του πειραματικού και του θεωρητικού συντελεστή. Αυτό οφείλεται κυρίως στο ότι η μεταφορά θερμότητας γίνεται και με ακτινοβολία από την κάτω θερμή πλάκα και όχι μόνο από συναγωγή. Επίσης δεν πρέπει να παραβλέπετε το γεγονός ότι η μετρητική περιοχή του οργάνου είναι 76X76 mm κάτι που σημαίνει ότι τα όποια αποτελέσματα δίδονται από τους αισθητήρες του οργάνου αφορούν την κοιλότητα και μόνο εφόσον εκεί εμπίπτει η μετρητική περιοχή. Για το συγκεκριμένο δείγμα η συσκευή φέρεται να μετράει κινούμενο αέρα στην μία επιφάνεια της, κάτι που προφανώς δίνει και λάθος αποτελέσματα.

4.3.7 Ψευδοτάβανο

Το ψευδοτάβανο (Σχ.4.3.21) είναι ένα δομικό υλικό που κατασκευάζεται από συμπιεσμένο χαρτόνι και χρησιμοποιείται ως τεχνητό επίπεδο για να καλύψει μεγάλους σωλήνες εξαερισμού οι οποίοι περνάνε πάνω από το κάθε αίθουσα. Το συγκεκριμένο υλικό συχνά αντικαθιστά την γυψοσανίδα σε παρόμοιες της εκτός της πυροπροστασίας. Είναι φτηνότερο και ελαφρύτερο από την γυψοσανίδα αλλά λιγότερο ανθεκτικό , πολύ πιο εύφλεκτο και καταστρέφεται εύκολα από την υγρασία.



Σχ. 4.3.21 Ψευδοτάβανο



Διάγραμμα 4.3.12 Ψευδοτάβανο

Τυπική απόκλιση μετρήσεων 2.24Ε-05

Συντελεστής γραμμικής συσχέτισης 0.999067

Χαρακτηριστική Εξίσωση λ=0.053685+0.000203 Τ

Κάνοντας μία σύγκριση του διαγράμματος του ψευδοτάβανου με το αντίστοιχο της γυψοσανίδας βλέπουμε ότι είναι ακόμα και 300% πιο μονωτικό. Παρατηρούμε της την γραμμική συμπεριφορά που χαρακτηρίζει τα περισσότερα δείγματα που μετρήσαμε. Δεν βρέθηκαν ενδεικτικές τιμές της θερμικής του αγωγιμότητας στην βιβλιογραφία.

4.4 Συμπεράσματα και παρατηρήσεις πειράματος

Ολοκληρώνοντας τα πειράματα και βλέποντας συνοπτικά τα αποτελέσματα που πήραμε από τα δείγματα κάναμε κάποιες παρατηρήσεις όσον αφορά τα δείγματα και τις μετρητικές δυνατότητες της συσκευής. Τα αποτελέσματα που πήραμε σε δείγματα συμπαγή με επίπεδη επιφάνεια μπορούν να κριθούν αξιόπιστα και αντιπροσωπευτικά των δειγμάτων. Όλα τα δείγματα με αυτά τα χαρακτηριστικά έδωσαν συντελεστή αγωγιμότητας εντός τον πλαισίων που καθορίζονται από την βιβλιογραφία. Το μόνο υλικό με αυτά τα χαρακτηριστικά που δεν παρουσίασε γραμμική συμπεριφορά, μειώνοντας τον συντελεστή αγωγιμότητας ανάλογα με την μέση θερμοκρασία, ήταν η γυψοσανίδα, κάτι που αποδώσαμε πρώτιστος στον υγροσκοπικό της χαρακτήρα.

Η συσκευή φάνηκε να παρουσιάζει αδυναμία να δώσει ακριβή αποτελέσματα σε δείγματα τα οποία δεν ήταν συμπαγή και επίπεδα σε όλη την επιφάνεια τους. Αυτό βέβαια είναι υποθετικό διότι εκτός του δείγματος διογκωμένης πολυστερίνης με εγκοπές, όλα τα άλλα αποτελέσματα τον δειγμάτων δεν εξαρτιόταν αποκλειστικά από την συνοχή τις επιφάνειας. Η υπόθεση που έγινε για κατώτερης μονωτικής ικανότητας πολυστερίνη από την πρώτη είναι αρκετή για να αναιρέσει αυτή την υπόθεση.

Αποτελέσματα τα οποία αποκλίνουν από εκείνα που θα περιμέναμε παρατηρήθηκαν και στα δείγματα όπου υπήρχαν φαινόμενα συναγωγής όπως ο πολυεστέρας με κοιλότητα και το διπλό γυαλί. Η θεωρητική ανάλυση των συστημάτων τους έδειξε ότι η συσκευή δεν μπορεί να δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα για δείγματα που παρεμβάλλεται ρευστό (αέρας). Για το δεύτερο δείγμα υπάρχει και η υποψία ότι βρίσκεται εκτός προδιαγραφών λόγο της μεγάλης του θερμικής αγωγιμότητας. Αυτά τα δείγματα είχαν και τους πιο μεγάλους χρόνους σύγκλισης από όλα τα υπόλοιπα, πράγμα δικαιολογημένο αν αναλογιστούμε τον χρόνο που χρειάζεται το ρευστό μέχρι να σταθεροποιηθεί.

Η χρησιμοποίηση της συσκευής όπως και του προγράμματος κρίνεται αρκετά εύκολη χωρίς να αντιμετωπίσουμε ιδιαίτερη δυσκολία στη χρήση τους .Η συσκευή δίνει την δυνατότητα στο πρόγραμμα να επαναφέρει τα αποτελέσματα του τρέχοντος πειράματος εάν σταματήσουμε την λειτουργία του. Επίσης η συσκευή τερματίζει μόνη της πειράματα όπου ο χειριστής έχει ξεχάσει να θέσει σε λειτουργία την παροχή ψυκτικού νερού ώστε να προλάβει υπερθέρμανση των πλακών και πιθανή καταστροφή ή αλλοίωση των μερών της. Χρειάστηκε μόνο η τροποποίηση των αποτελεσμάτων σε αρχεία 'Excel' για να έχουμε την ευχέρεια να τα επεξεργαστούμε σε προγράμματα της 'Microsoft Office'.

Θα ήταν ενδιαφέρων να γίνουν μελλοντικές μετρήσεις στη συσκευή διαφόρων δειγμάτων με διαφορετικά χαρακτηριστικά από αυτά που εμείς χρησιμοποιήσαμε. Θα μπορούσαν να μετρηθούν δείγματα τα οποία αποτελούνται από συνδυασμό υλικών σε σειρά και κατά πόσο κάποια από αυτά επηρεάζουν την θερμική ροή και αποτελέσματα του συστήματος ,έστω και αν είναι υλικά με συντελεστή θερμικής αγωγής πολύ μεγαλύτερο από τον επιτρεπόμενο. Τα περισσότερα υλικά που εξετάσαμε ήταν μονωτικά πολυμερή, με πολύ μικρή απορρόφηση υγρασίας .Η μέτρηση του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας συναρτήσει της υγρασίας αλλά και μέτρηση διαφορετικής σύστασης δειγμάτων όπως κοκκώδη και πορώδη , μπορεί να γίνει θέμα για περεταίρω διερεύνηση με την χρήση της συσκευής.

5.ΠΙΝΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

5.1 Διογκωμένη πολυστερίνη

Sunday, January 18, 2009, Time 09:21 Θερμοκρασία: 25 °C Υγρασία: 31%

WinTherm32 Version 2.30.07 Instrument Program Version 72 Instrument Serial Number: 746

Sample Name: Διογκωμένη πολυστερίνη Thickness: 24.848mm Thickness obtained : from instrument

TEST RUN

Calibration used : 1450b Calibration read from instrument

Number of transdusers per plate: 1 Number of transdusers used per plate: 1

Number of Setpoints: 8

Block Averages for setpoint 1 in SI units

	Tupper		Tlower		Qupper	Qlower	Lambda
	[°C]	[°C]	[µV]	[µV]	[W/mK]		
-te-	22.66		57.54		-5029	5350	0.09347
-te-	20.04		60.02		-2211	2294	0.03548
-pe-	20.00		60.01		-2213	2299	0.03551
-pe-	20.00		60.01		-2205	2303	0.03547
-pe-	20.00		60.02		-2198	2305	0.03544
-pe-	20.01		60.02		-2197	2305	0.03543

Sunday, January 18, 2009, Time 09:52

Setpoint No. 1 Setpoint Upper: 20.00 °C Setpoint Lower: 60.00 °C Temperature Upper: 20.00 °C CalibFactor Upper: 0.025744 Results Upper: 0.03517 W/mK HeatFlux Upper: 56.64 W/m² Temperature Lower: 60.02 °C CalibFactor Lower: 0.024961 Results Lower: 0.03572 W/mK Percent Difference: 1.55% HeatFlux Lower: 57.52 W/m²

Thermal Equilibrium Criteria:

Temperature Equilibrium: 0.20 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2.00 Min Number of Blocks: 4 Calculation Blocks: 3 Upper & Lower Plate averages used for equilibrium check Block Averages for setpoint 2 in SI units Tlower Olower Lambda Tupper Qupper [°C] [°C] [µV] [µV] [W/mK] -te-20.14 60.11 -2174 2326 0.03543 20.14 60.13 -2199 2302 0.03543 -pe-60.11 0.03545 20.11 -2198 2305 -pe-60.12 20.11 -2197 2306 0.03543 -pe-60.12 -2197 2304 0.03542 -pe-20.12 Sunday, January 18, 2009, Time 10:18 Setpoint No. 2 Setpoint Upper: 20.10 °C Setpoint Lower: 60.10 °C Temperature Upper: 20.11 °C CalibFactor Upper: 0.025738 Results Upper: 0.03513 W/mK HeatFlux Upper: 56.55 W/m² Temperature Lower: 60.11 °C CalibFactor Lower: 0.024960 Results Lower: 0.03574 W/mK 1.72% Percent Difference: 57.53 W/m² HeatFlux Lower: Thermal Equilibrium Criteria: Temperature Equilibrium: 0.20 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2.00 Min Number of Blocks: 4 Calculation Blocks: 3 Upper & Lower Plate averages used for equilibrium check Block Averages for setpoint 3 in SI units Qlower Tupper Tlower Qupper Lambda [°C] [°C] [µV] [µV] [W/mK] 20.03 60.02 -2213 2278 0.03536 -te-20.01 60.02 -2195 2303 0.03540 -pe-60.02 2303 0.03541 -pe-20.01 -2197 20.01 60.02 -2195 2303 0.03540 -pe-20.01 60.02 -2195 2303 0.03540 -pe-Sunday, January 18, 2009, Time 10:44 Setpoint No. 3 Setpoint Upper: 20.00 °C Setpoint Lower: 60.00 °C

Temperature Upper: 20.01 °C CalibFactor Upper: 0.025744 Results Upper: 0.03511 W/mK HeatFlux Upper: 56.53 W/m² Temperature Lower: 60.02 °C CalibFactor Lower: 0.024961 0.03570 W/mK Results Lower: Percent Difference: 1.69% HeatFlux Lower: 57.49 W/m² Thermal Equilibrium Criteria: Temperature Equilibrium: 0.30 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2.00 Min Number of Blocks: 4 Calculation Blocks: 3 Upper & Lower Plate averages used for equilibrium check Block Averages for setpoint 4 in SI units Tupper Tlower Qupper Qlower Lambda [°C] [°C] [µV] [µV] [W/mK] -te-20.14 60.11 -2167 2326 0.03538 20.10 60.11 -2206 2301 0.03547 -pe-20.10 60.11 -2199 2304 0.03543 -pe-60.12 -2195 2304 0.03540 -pe-20.11 20.11 60.12 -2195 2303 0.03540 -pe-Sunday, January 18, 2009, Time 11:09 Setpoint No. 4 Setpoint Upper: 20.10 °C Setpoint Lower: 60.10 °C Temperature Upper: 20.11 °C CalibFactor Upper: 0.025738 Results Upper: 0.03511 W/mK 56.53 W/m² HeatFlux Upper: Temperature Lower: 60.11 °C CalibFactor Lower: 0.024960 Results Lower: 0.03571 W/mK Percent Difference: 1.69% 57.50 W/m² HeatFlux Lower: Thermal Equilibrium Criteria: Temperature Equilibrium: 0.30 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2.00 Min Number of Blocks: 4 Calculation Blocks: 3 Upper & Lower Plate averages used for equilibrium check Block Averages for setpoint 5 in SI units Tupper Tlower Qupper Qlower Lambda

79

 $[^{\circ}C] \quad [^{\circ}C] \quad [\mu V] \quad [\mu V] \quad [W/mK]$ 20.03 60.02 -2211 2278 0.03535 -te-60.01 -pe-20.02 -2196 2302 0.03541 20.01 -pe-60.02 -2196 2302 0.03540 -pe-20.01 60.02 -2195 2302 0.03539 2302 20.02 60.02 -2196 0.03540 -pe-Sunday, January 18, 2009, Time 11:35 Setpoint No. 5 Setpoint Upper: 20.00 °C Setpoint Lower: 60.00 °C Temperature Upper: 20.01 °C CalibFactor Upper: 0.025744 Results Upper: 0.03511 W/mK 56.53 W/m² HeatFlux Upper: Temperature Lower: 60.02 °C CalibFactor Lower: 0.024961 Results Lower: 0.03569 W/mK 1.64% Percent Difference: HeatFlux Lower: 57.46 W/m² Thermal Equilibrium Criteria: Temperature Equilibrium: 0.30 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2.00 Min Number of Blocks: 4 Calculation Blocks: 3 Upper & Lower Plate averages used for equilibrium check Block Averages for setpoint 6 in SI units Tupper Tlower Qupper Qlower Lambda [°C] [°C] [µV] [µV] [W/mK] 20.04 55.25 -2069 909 0.02682 -te-20.07 55.02 1969 -te--1916 0.03505 -pe-20.01 55.01 -1907 1987 0.03508 55.02 1987 0.03506 -pe-20.01 -1906 1985 -pe-20.01 55.02 -1906 0.03506 20.01 55.02 -1906 1986 0.03506 -pe-Sunday, January 18, 2009, Time 12:06 Setpoint No. 6 Setpoint Upper: 20.00 °C Setpoint Lower: 55.00 °C Temperature Upper: 20.01 °C CalibFactor Upper: 0.025744 Results Upper: 0.03483 W/mK HeatFlux Upper: 49.07 W/m² Temperature Lower: 55.02 °C CalibFactor Lower: 0.025033 Results Lower: 0.03529 W/mK Percent Difference: 1.31% 49.72 W/m² HeatFlux Lower:

Thermal Equilibrium Criteria: Temperature Equilibrium: 0.30 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2.00 Min Number of Blocks: 4 Calculation Blocks: 3 Upper & Lower Plate averages used for equilibrium check

Block Averages for setpoint 7 in SI units

	Tupper	Tlower	Qupper	Qlower	Lambda
	[°C] [°C]	[µV] [µV	7] [W/mK]		
-te-	20.04	50.26	-1777	627	0.02527
-te-	19.99	50.01	-1635	1667	0.03474
-pe-	20.01	50.01	-1622	1678	0.03472
-pe-	20.01	50.02	-1621	1679	0.03474
-pe-	20.01	50.02	-1621	1680	0.03474
-pe-	20.02	50.02	-1622	1680	0.03474

Sunday, January 18, 2009, Time 12:36

Setpoint No. 7	
Setpoint Upper: 20.00 °C	
Setpoint Lower:50.00 °C	
Temperature Upper: 20.01	°C
CalibFactor Upper:	0.025744
Results Upper:	0.03457 W/mK
HeatFlux Upper:	41.74 W/m²
Temperature Lower: 50.02	°C
CalibFactor Lower:	0.025097
Results Lower:	0.03491 W/mK
Percent Difference:	1.00%
HeatFlux Lower:	42.16 W/m²

Thermal Equilibrium Criteria: Temperature Equilibrium: 0.30 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2.00 Min Number of Blocks: 4 Calculation Blocks: 3 Upper & Lower Plate averages used for equilibrium check

Block Averages for setpoint 8 in SI units

	Tupper		Tlower		Qupper	Qlower	Lambda
	[°C]	[°C]	[µV]	[µV]	[W/mK]		
-te-	20.03		45.27		-1493	349	0.02324
-te-	19.97		44.96		-1358	1369	0.03451
-pe-	20.01		45.01		-1343	1376	0.03438
-pe-	20.01		45.01		-1341	1379	0.03439
-pe-	20.01		45.02		-1341	1380	0.03441
-pe-	20.02		45.02		-1342	1380	0.03442

Sunday, January 18, 2009, Time 13:07 Setpoint No. 8 Setpoint Upper: 20.00 °C Setpoint Lower: 45.00 °C Temperature Upper: 20.01 °C CalibFactor Upper: 0.025744 Results Upper: 0.03431 W/mK HeatFlux Upper: 34.53 W/m² Temperature Lower: 45.02 °C CalibFactor Lower: 0.025155 Results Lower: 0.03450 W/mK Percent Difference: 0.54% 34.72 W/m² HeatFlux Lower: Thermal Equilibrium Criteria: Temperature Equilibrium: 0.30 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2.00 Min Number of Blocks: 4 Calculation Blocks: 3 Upper & Lower Plate averages used for equilibrium check Results Table -- SI Units Mean Temp Unper Cond Lower Cond Average Cond

Mean Temp	Upper Cond	Lower Cond Average	Cond
40.01	0.03517	0.03572	0.03545
40.11	0.03513	0.03574	0.03543
40.02	0.03511	0.03570	0.03540
40.11	0.03511	0.03571	0.03541
40.02	0.03511	0.03569	0.03540
37.52	0.03483	0.03529	0.03506
35.02	0.03457	0.03491	0.03474
32.52	0.03431	0.03450	0.03441

5.2 Εξηλασμένη πολυστερίνη

5.2.1 Εξηλασμένη πολυστερίνη (επίπεδο δείγμα)

```
Friday, January 23, 2009, Time 11:30
Θερμοκρασία: 23 °C
Υγρασία: 33%
```

WinTherm32 Version 2.30.07 Instrument Program Version 72 Instrument Serial Number: 746

Sample Name: Επίπεδο δείγμα εξηλασμένης πολυστερίνης Thickness: 49.936mm Thickness obtained : from instrument

TEST RUN

Calibration used : 1450b Calibration read from instrument Number of transdusers per plate: 1 Number of transdusers used per plate: 1 Number of Setpoints: 8

Block Averages for setpoint 1 in SI units

	Tupper	Tlower	Qupper	Qlower	Lambda
	[°C]	[°C] [µV]	[µV] [W/mK]		
-ne-	20.20	52.84	-750	8481	0.1774
-te-	20.04	60.02	-688	1793	0.03899
-se-	20.03	60.03	-1010	1406	0.03813
-pe-	20.01	60.03	-1109	1281	0.03777
-pe-	20.01	60.03	-1142	1241	0.03768
-pe-	20.03	60.04	-1148	1234	0.03767
-pe-	20.03	60.05	-1157	1223	0.03762
-pe-	20.02	60.04	-1160	1216	0.03758
-pe-	20.02	60.03	-1160	1215	0.03757
-pe-	20.01	60.02	-1160	1216	0.03757

Friday, January 23, 2009, Time 12:21

Setpoint No. 1	
Setpoint Upper:20.00 °C	
Setpoint Lower:60.00 °C	
Temperature Upper: 20.02	°C
CalibFactor Upper:	0.025744
Results Upper:	0.03728 W/mK
HeatFlux Upper:	29.87 W/m²
Temperature Lower: 60.03	°C
CalibFactor Lower:	0.024961
Results Lower:	0.03787 W/mK
Percent Difference:	1.58%
HeatFlux Lower:	30.34 W/m²

Thermal Equilibrium Criteria: Temperature Equilibrium: 0.30 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2.00 Min Number of Blocks: 4 Calculation Blocks: 3 Upper & Lower Plate averages used for equilibrium check

Block Averages for setpoint 2 in SI units

	Tupper		Tlower		Qupper	Qlower	Lambda
	[°C]	[°C]	[µV]	[µV]	[W/mK]		
-te-	20.14		60.11		-1126	1241	0.03744
-pe-	20.05		60.08		-1170	1220	0.03778
-pe-	20.10		60.13		-1162	1216	0.03759
-pe-	20.11		60.12		-1158	1215	0.03751
-pe-	20.12		60.12		-1158	1214	0.03753

Friday, January 23, 2009, Time 12:47
Setpoint No. 2
Setpoint Upper: 20.10 °C
Temperature Upper: 20.11 °C
CalibFactor Upper: 0.025738
Results Upper: 0.03723 W/mK
HeatFlux Upper: 29.84 W/m²
Temperature Lower: 60.12 °C
CalibFactor Lower: 0.024960
Results Lower: 0.03785 W/mK
Percent Difference: 1.63%
HeatFlux Lower: 30.33 W/m²
Thermal Equilibrium Criteria:

Temperature Equilibrium: 0.30 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2.00 Min Number of Blocks: 4 Calculation Blocks: 3 Upper & Lower Plate averages used for equilibrium check

Block Averages for setpoint 3 in SI units

	Tupper		Tlower		Qupper	Qlower	Lambda
	[°C]	[°C]	[µV]	[µV]	[W/mK]		
-te-	20.04		60.02		-1180	1188	0.03750
-pe-	20.08		60.04		-1159	1210	0.03752
-pe-	20.01		60.00		-1160	1208	0.03748
-pe-	20.02		60.01		-1161	1217	0.03762
-pe-	20.01		60.02		-1160	1216	0.03758

Friday, January 23, 2009, Time 13:12

Setpoint No. 3 Setpoint Upper: 20.00 °C Setpoint Lower:60.00 °C Temperature Upper: 20.01 °C CalibFactor Upper: 0.025744 Results Upper: 0.03730 W/mK HeatFlux Upper: 0.03/30 W/ 29.87 W/m² Temperature Lower: 60.01 °C CalibFactor Lower: 0.024962 Results Lower: 0.03782 W/mK Percent Difference: 1.38% HeatFlux Lower: 30.29 W/m²

> Thermal Equilibrium Criteria: Temperature Equilibrium: 0.30 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2.00 Min Number of Blocks: 4

Calculation Blocks: 3 Upper & Lower Plate averages used for equilibrium check

Block Averages for setpoint 4 in SI units

	Tupper [°C]	[°C]	Tlower [uV]	[uV]	Qupper [W/mK]	Qlower	Lambda
-te-	20.14		60.11	-, -	-1129	1235	0.03740
-pe-	20.05		60.09		-1171	1217	0.03773
-pe-	20.10		60.12		-1162	1215	0.03759
-pe-	20.10		60.12		-1158	1215	0.03751
-pe-	20.12		60.12		-1158	1214	0.03752

Friday, January 23, 2009, Time 13:38

Setpoint No. 4 Setpoint Upper: 20.10 °C Setpoint Lower: 60.10 °C Temperature Upper: 20.11 °C CalibFactor Upper: 0.025738 Results Upper:0.03725 W/HeatFlux Upper:29.84 W/m² 0.03725 W/mK Temperature Lower: 60.12 °C CalibFactor Lower: 0.024960 Results Lower: 0.03783 W/mK Percent Difference: 1.57% HeatFlux Lower: 30.32 W/m²

> Thermal Equilibrium Criteria: Temperature Equilibrium: 0.30 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2.00 Min Number of Blocks: 4 Calculation Blocks: 3 Upper & Lower Plate averages used for equilibrium check

Block Averages for setpoint 5 in SI units

	Tupper		Tlower		Qupper	Qlower	Lambda
	[°C]	[°C]	[µV]	[µV]	[W/mK]		
-te-	20.04		60.02		-1174	1190	0.03741
-pe-	20.09		60.03		-1160	1210	0.03755
-pe-	20.02		60.03		-1161	1215	0.03757
-pe-	20.02		60.03		-1162	1212	0.03755
-pe-	20.01		60.02		-1162	1211	0.03753

Friday, January 23, 2009, Time 14:04

Setpoint No.	5	
Setpoint Upper:	20.00 °C	
Setpoint Lower:	60.00 °C	
Temperature U	pper: 20.02	°C
CalibFactor	Upper:	0.025744
Results Upper	•:	0.03733 W/mK
HeatFlux Uppe	r:	29.91 W/m²

Temperature Lower: 60.03 °C CalibFactor Lower: 0.024961 Percent Difference: 1.19% HeatFlux Lower: 20.0778 Thermal Equilibrium Criteria: Temperature Equilibrium: 0.30 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2.00 Min Number of Blocks: 4 Calculation Blocks: 3 Upper & Lower Plate averages used for equilibrium check Block Averages for setpoint 6 in SI units Qupper Tlower Qlower Lambda Tupper $[^{\circ}C] [^{\circ}C] [\mu V] [\mu V] [W/mK]$ -510.021779730.0370110230.0371810390.0371510420.03715 20.04 55.26 -1144 55.04 -1066 20.09 -te--1030 -1013 20.01 55.01 -pe-55.01 -pe-20.01 -pe- 20.01 55.01 -1010 1042 0.03715 1045 -pe- 20.01 55.01 -1007 0.03715 Friday, January 23, 2009, Time 14:35 Setpoint No. 6 Setpoint Upper:20.00 °C Setpoint Lower: 55.00 °C Temperature Upper: 20.01 °C CalibFactor Upper: 0.025744 Results Upper: HeatFlux Upper: 0.03709 W/mK 26.00 W/m² Temperature Lower: 55.01 °C CalibFactor Lower: 0.025033 Results Lower: 0.03721 W/mK Percent Difference: 0.32%

-te-

Thermal Equilibrium Criteria: Temperature Equilibrium: 0.30 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2.00 Min Number of Blocks: 4 Calculation Blocks: 3 Upper & Lower Plate averages used for equilibrium check

26.08 W/m²

Block Averages for setpoint 7 in SI units

HeatFlux Lower:

	Tupper		Tlower		Qupper	Qlower	Lambda
	[°C]	[°C]	[µV]	[µV]	[W/mK]		
-te-	20.03		50.35		-987	-186	0.02476
-te-	20.10		50.02		-913	812	0.03661

-pe-20.01 50.01 -877 862 0.03678 -pe-20.01 50.01 -862 873 0.03671 50.01 -859 878 -pe-20.01 0.03674 -856 -pe-20.01 50.01 881 0.03676 Friday, January 23, 2009, Time 15:06 7 Setpoint No. Setpoint Upper: 20.00 °C Setpoint Lower: 50.00 °C Temperature Upper: 20.01 °C CalibFactor Upper: 0.025744 Results Upper: 0.03681 W/mK HeatFlux Upper: 22.12 W/m² Temperature Lower: 50.01 °C CalibFactor Lower: 0.025097 Results Lower: 0.03666 W/mK 0.42% Percent Difference: HeatFlux Lower: 22.03 W/m² Thermal Equilibrium Criteria: Temperature Equilibrium: 0.30 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2.00 Min Number of Blocks: 4 3 Calculation Blocks: Upper & Lower Plate averages used for equilibrium check Block Averages for setpoint 8 in SI units Tupper Tlower Qupper Qlower Lambda [°C] [°C] [μ V] [μ V] [W/mK] -te-20.03 45.35 -836 -320 0.02916 -765 -te-20.08 45.10 662 0.03627 -728 20.01 45.02 702 0.03633 -pe-45.00 712 -pe-20.00 -718 0.03633 -708 19.99 45.00 722 0.03632 -pe-45.01 -703 727 -pe-20.01 0.03633 Friday, January 23, 2009, Time 15:36 Setpoint No. 8 Setpoint Upper: 20.00 °C Setpoint Lower: 45.00 °C Temperature Upper: 20.00 °C CalibFactor Upper: 0.025745 0.03648 W/mK Results Upper: HeatFlux Upper: 18.27 W/m² Temperature Lower: 45.00 °C 0.025155 CalibFactor Lower: Results Lower: 0.03618 W/mK 0.83% Percent Difference: 18.12 W/m² HeatFlux Lower:

Thermal Equilibrium Criteria: Temperature Equilibrium: 0.30 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2.00 Min Number of Blocks: 4 Calculation Blocks: 3 Upper & Lower Plate averages used for equilibrium check

Results Table -- SI Units

Mean Temp	Upper Cond	Lower Cond Average	Cond
40.02	0.03728	0.03787	0.03757
40.11	0.03723	0.03785	0.03754
40.01	0.03730	0.03782	0.03756
40.11	0.03725	0.03783	0.03754
40.02	0.03733	0.03778	0.03755
37.51	0.03709	0.03721	0.03715
35.01	0.03681	0.03666	0.03674
32.50	0.03648	0.03618	0.03633

5.2.2 Εξηλασμένη πολυστερίνη (δείγμα με εγκοπές)

Tuesday, January 27, 2009, Time 09:27 Θερμοκρασία: 22 °C Υγρασία: 33%

WinTherm32 Version 2.30.07 Instrument Program Version 72 Instrument Serial Number: 746

Sample Name: Δείγμα εξηλασμένης πολυστερίνης με εγκοπές Thickness: 51.924mm Thickness obtained : from instrument

TEST RUN

Calibration used : 1450b Calibration read from instrument

Number of transdusers per plate: 1 Number of transdusers used per plate: 1

Number of Setpoints: 8

Block Averages for setpoint 1 in SI units

	Tupper		Tlower		Qupper	Qlower	Lambda
	[°C]	[°C]	[µV]	[µV]	[W/mK]		
-te-	20.04		60.02		-605	1842	0.03998
-se-	20.00		60.03		-948	1428	0.03894
-pe-	20.01		60.03		-1067	1281	0.03857
-pe-	20.01		60.03		-1113	1228	0.03849
-pe-	20.01		60.02		-1130	1211	0.03849
-pe-	20.02		60.03		-1133	1204	0.03844

-pe-20.02 60.03 -1138 1199 0.03844 -pe-20.02 60.03 -1141 1196 0.03842 60.03 -pe-20.01 -1140 1193 0.03838 -pe-20.01 60.02 -1140 1193 0.03836 Tuesday, January 27, 2009, Time 10:23 Setpoint No. 1 Setpoint Upper: 20.00 °C Setpoint Lower: 60.00 °C Temperature Upper: 20.02 °C CalibFactor Upper: 0.025744 Results Upper: 0.03809 W/mK HeatFlux Upper: 29.35 W/m² Temperature Lower: 60.03 °C CalibFactor Lower: 0.024961 Results Lower: 0.03868 W/mK 1.53% Percent Difference: HeatFlux Lower: 29.81 W/m² Thermal Equilibrium Criteria: Temperature Equilibrium: 0.30 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2.00 Min Number of Blocks: 4 3 Calculation Blocks: Upper & Lower Plate averages used for equilibrium check Block Averages for setpoint 2 in SI units Tupper Tlower Qupper Qlower Lambda [°C] [°C] [μ V] [μ V] [W/mK] -te-20.15 60.11 -1110 1217 0.03829 -pe-20.12 60.11 -1153 1196 0.03864 20.10 60.12 -1141 1195 0.03841 -pe-1193 -pe-20.11 60.12 -1139 0.03833 -1139 20.12 60.12 1191 0.03833 -pe-Tuesday, January 27, 2009, Time 10:49 Setpoint No. 2 Setpoint Upper: 20.10 °C Setpoint Lower: 60.10 °C Temperature Upper: 20.11 °C CalibFactor Upper: 0.025738 Results Upper: 0.03806 W/mK HeatFlux Upper: 29.33 W/m² Temperature Lower: 60.12 °C 0.024960 CalibFactor Lower: Results Lower: 0.03865 W/mK 1.55% Percent Difference: HeatFlux Lower: 29.78 W/m²

Thermal Equilibrium Criteria:

Temperature Equilibrium: 0.30 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2.00 Min Number of Blocks: 4 Calculation Blocks: 3 Upper & Lower Plate averages used for equilibrium check Block Averages for setpoint 3 in SI units Tlower Olower Lambda Tupper Qupper [°C] [°C] [µV] [µV] [W/mK] -te-20.04 60.02 -1152 1167 0.03818 20.09 60.03 -1142 1187 0.03836 -pe-60.01 0.03834 20.01 -1140 1190 -pe-20.02 60.02 -1141 1191 0.03836 -pe-60.02 1190 0.03833 -pe-20.01 -1140 Tuesday, January 27, 2009, Time 11:15 Setpoint No. 3 Setpoint Upper: 20.00 °C Setpoint Lower:60.00 °C Temperature Upper: 20.01 °C CalibFactor Upper: 0.025744 Results Upper: 0.03810 W/mK HeatFlux Upper: 29.35 W/m² Temperature Lower: 60.02 °C CalibFactor Lower: 0.024961 Results Lower: 0.03858 W/mK 1.24% Percent Difference: 29.72 W/m² HeatFlux Lower: Thermal Equilibrium Criteria: Temperature Equilibrium: 0.30 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2.00 Min Number of Blocks: 4 Calculation Blocks: 3 Upper & Lower Plate averages used for equilibrium check Block Averages for setpoint 4 in SI units Qlower Tupper Tlower Qupper Lambda [°C] [°C] [µV] [µV] [W/mK] 20.15 60.11 -1109 1213 0.03821 -te-20.10 60.11 -1148 1192 0.03848 -pe-20.10 60.11 1193 0.03839 -pe--1142 20.11 60.10 -1137 1190 0.03830 -pe-20.12 60.11 -1138 1192 0.03832 -pe-Tuesday, January 27, 2009, Time 11:40 Setpoint No. 4 Setpoint Upper: 20.10 °C Setpoint Lower: 60.10 °C

Temperature Upper: 20.11 °C CalibFactor Upper: 0.025738 0.03805 W/mK Results Upper: HeatFlux Upper: 29.31 W/m² Temperature Lower: 60.11 °C CalibFactor Lower: 0.024960 Results Lower: 0.03862 W/mK 1.49% Percent Difference: HeatFlux Lower: 29.75 W/m² Thermal Equilibrium Criteria: Temperature Equilibrium: 0.30 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2.00 Min Number of Blocks: 4 Calculation Blocks: 3 Upper & Lower Plate averages used for equilibrium check Block Averages for setpoint 5 in SI units Tupper Tlower Qupper Qlower Lambda [°C] [°C] [µV] [µV] [W/mK] -te-20.04 60.02 -1151 1168 0.03816 20.09 60.03 -1142 1184 0.03832 -pe-20.01 60.01 -1140 1190 0.03833 -pe-60.02 -1140 1191 0.03833 -pe-20.01 20.01 60.02 -1139 1189 0.03829 -pe-Tuesday, January 27, 2009, Time 12:06 5 Setpoint No. Setpoint Upper: 20.00 °C Setpoint Lower: 60.00 °C Temperature Upper: 20.01 °C CalibFactor Upper: 0.025744 Results Upper: 0.03809 W/mK HeatFlux Upper: 29.34 W/m² Temperature Lower: 60.02 °C CalibFactor Lower: 0.024961 Results Lower: 0.03856 W/mK Percent Difference: 1.23% 29.71 W/m² HeatFlux Lower: Thermal Equilibrium Criteria: Temperature Equilibrium: 0.30 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2.00 Min Number of Blocks: 4 Calculation Blocks: 3 Upper & Lower Plate averages used for equilibrium check Block Averages for setpoint 6 in SI units Tupper Tlower Qupper Qlower Lambda

91

	[°C] [°C]	[µV] [µV]	[W/mK]		
-te-	20.03	55.26	-1126	-103	0.02326
-te-	20.13	55.03	-1056	940	0.03773
-pe-	20.01	55.01	-1014	997	0.03787
-pe-	20.01	55.01	-996	1012	0.03780
-pe-	20.01	55.01	-993	1017	0.03785
-pe-	20.00	55.01	-988	1023	0.03786

Tuesday, January 27, 2009, Time 12:37

Setpoint No. 6 Setpoint Upper: 20.00 °C Setpoint Lower: 55.00 °C Temperature Upper: 20.01 °C CalibFactor Upper: 0.025744 0.03790 W/mK Results Upper: HeatFlux Upper: 25.55 W/m² Temperature Lower: 55.01 °C CalibFactor Lower: 0.025033 Results Lower: 0.03777 W/mK 0.33% Percent Difference: HeatFlux Lower: 25.46 W/m²

> Thermal Equilibrium Criteria: Temperature Equilibrium: 0.30 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2.00 Min Number of Blocks: 4 Calculation Blocks: 3 Upper & Lower Plate averages used for equilibrium check

Block Averages for setpoint 7 in SI units

	Tupper	[00]	Tlower	[1177]	Qupper	Qlower	Lambda
			[μv]	ιμvյ			
-te-	20.03		50.34		-971	-236	0.02648
-te-	20.06		50.04		-905	781	0.03716
-pe-	20.01		50.02		-864	837	0.03741
-pe-	20.01		50.02		-848	853	0.03742
-pe-	20.00		50.01		-842	856	0.03733
-pe-	20.01		50.01		-837	861	0.03734

Tuesday, January 27, 2009, Time 13:08

Setpoint No. 7 Setpoint Upper:20.00 °C Setpoint Lower:50.00 °C Temperature Upper: 20.01 °C CalibFactor Upper: 0.025744 Results Upper: 0.03753 W/mK HeatFlux Upper: 21.69 W/m² Temperature Lower: 50.01 °C CalibFactor Lower: 0.025097 Results Lower: 0.03720 W/mK Percent Difference: 0.88% Thermal Equilibrium Criteria: Temperature Equilibrium: 0.30 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2.00 Min Number of Blocks: 4 Calculation Blocks: 3 Upper & Lower Plate averages used for equilibrium check

Block Averages for setpoint 8 in SI units

	Tupper	Tlower	Qupper	Qlower	Lambda
	[°C]	[ºC] [µV]	[µV] [W/mK]		
-te-	20.04	45.35	-816	-366	0.03098
-te-	20.06	45.00	-760	626	0.03677
-pe-	20.01	45.02	-717	678	0.03688
-pe-	20.01	45.02	-699	697	0.03689
-pe-	20.01	45.01	-695	701	0.03688
-pe-	20.01	45.01	-691	705	0.03689

Tuesday, January 27, 2009, Time 13:39

Setpoint No. 8	
Setpoint Upper:20.00 °C	
Setpoint Lower:45.00 °C	
Temperature Upper: 20.01	°C
CalibFactor Upper:	0.025744
Results Upper:	0.03716 W/mK
HeatFlux Upper:	17.90 W/m²
Temperature Lower: 45.01	°C
CalibFactor Lower:	0.025155
Results Lower:	0.03661 W/mK
Percent Difference:	1.48%
HeatFlux Lower:	17.63 W/m²

Thermal Equilibrium Criteria: Temperature Equilibrium: 0.30 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2.00 Min Number of Blocks: 4 Calculation Blocks: 3 Upper & Lower Plate averages used for equilibrium check

Results Table -- SI Units

Mean Temp	Upper Cond	Lower Cond Average	Cond
40.02	0.03809	0.03868	0.03839
40.12	0.03806	0.03865	0.03836
40.02	0.03810	0.03858	0.03834
40.11	0.03805	0.03862	0.03833
40.02	0.03809	0.03856	0.03832
37.51	0.03790	0.03777	0.03784
35.01	0.03753	0.03720	0.03736

93

32.51	0.03716	0.03661	0.03689

5.3 Γυψοσανίδα

5.3.1 1^η Μέτρηση "Wednesday, January 21, 2009, Time 10:35" Θερμοκρασία: 23 °C Υγρασία: 31% WinTherm32 Version 2.30.07 Instrument Program Version 72 Instrument Serial Number: 746 Sample Name:Γυψοσανίδα Thickness: 12.954mm Thickness obtained : from instrument TEST RUN Calibration used : 1450b Calibration read from instrument Number of transdusers per plate: 1 Number of transdusers used per plate: 1 Number of Setpoints: 8 Block Averages for setpoint 1 in SI units Tlower Qupper Qlower Lambda Tupper [°C] [°C] [µV] [µV] [W/mK] -ne- 20.07 50.92 -8436 19572 0.1487 19999 0.1637 -te- 20.01 60.02 -19880 19999 0.164 -te- 20.02 60.06 -20000 -pe- 20.01 60.04 -20000 19999 0.1641 -pe- 20.01 60.03 -20000 19999 0.1642 -pe- 20.01 60.03 -20000 19999 0.1641 -pe- 20.01 60.02 -20000 19999 0.1642 "Wednesday, January 21, 2009, Time 11:11" Setpoint No. 1 Setpoint Upper: 20.00 °C Setpoint Lower: 60.00 °C Temperature Upper: 20.01 °C CalibFactor Upper: 0.025744 Results Upper: 0.1667 W/mK HeatFlux Upper: 514.9 W/m² Temperature Lower: 60.03 °C

CalibFactor Lower: 0.024961 Results Lower: 0.1616 W/mK 3.09% Percent Difference: HeatFlux Lower: 499.2 W/m² Thermal Equilibrium Criteria: Temperature Equilibrium: 0.3 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2 Min Number of Blocks: 4 Calculation Blocks: 3 Upper & Lower Plate averages used for equilibrium check Block Averages for setpoint 2 in SI units Qupper Tupper Tlower Qlower Lambda [°C] [°C] [µV] [µV] [W/mK] -te- 20.11 60.11 -20000 19999 0.1642 -pe- 20.12 60.12 -20000 19999 0.1642 19999 0.1642 -pe- 20.11 60.12 -20000 -pe- 20.11 60.11 -20000 19999 0.1642 -pe- 20.11 60.11 -20000 19999 0.1642 "Wednesday, January 21, 2009, Time 11:37" Setpoint No. 2 Setpoint Upper: 20.10 °C Setpoint Lower:60.10 °C Temperature Upper: 20.11 °C CalibFactor Upper: 0.025738 Results Upper: 0.1667 W/mK HeatFlux Upper: 514.8 W/m² Temperature Lower: 60.11 °C CalibFactor Lower: 0.02496 Results Lower: 0.1617 W/mK Percent Difference: 3.07% HeatFlux Lower: 499.2 W/m² Thermal Equilibrium Criteria: Temperature Equilibrium: 0.3 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2 Min Number of Blocks: 4 Calculation Blocks: 3 Upper & Lower Plate averages used for equilibrium check Block Averages for setpoint 3 in SI units Tupper Tlower Qupper Qlower Lambda

[°C] [°C] [µV] [µV] [W/mK] -te- 20.01 60.02 -20000 19999 0.1642 -pe- 20.02 60.04 -20000 -pe- 20.01 60.02 -20000 -pe- 20.01 60.02 -20000 19999 0.1641 19999 0.1642 19999 0.1642 19999 0.1642 -pe- 20.01 60.02 -20000 "Wednesday, January 21, 2009, Time 12:02" Setpoint No. 3 Setpoint Upper: 20.00 °C Setpoint Lower: 60.00 °C Temperature Upper: 20.01 °C CalibFactor Upper: 0.025744 0.1667 W/mK Results Upper: HeatFlux Upper: 514.9 W/m^2 Temperature Lower: 60.02 °C CalibFactor Lower: 0.024961 Results Lower: 0.1616 W/mK Percent Difference: 3.09% HeatFlux Lower: 499.2 W/m² Thermal Equilibrium Criteria: Temperature Equilibrium: 0.3 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2 Min Number of Blocks: 4 3 Calculation Blocks: Upper & Lower Plate averages used for equilibrium check Block Averages for setpoint 4 in SI units Tupper Tlower Qupper Qlower Lambda [°C] [°C] [µV] [µV] [W/mK] -te- 20.11 60.11 -20000 19999 0.1642 -pe- 20.11 60.06 -20000 19999 0.1644 -pe- 20.11 60.12 -20000 19999 0.1642 -pe- 20.11 60.11 -20000 19999 0.1642 -pe- 20.11 60.11 -20000 19999 0.1642 "Wednesday, January 21, 2009, Time 12:28" Setpoint No. 4 Setpoint Upper: 20.10 °C Setpoint Lower: 60.10 °C Temperature Upper: 20.11 °C CalibFactor Upper: 0.025738 0.1667 W/mK Results Upper: HeatFlux Upper: 514.8 W/m² Temperature Lower: 60.11 °C CalibFactor Lower: 0.02496

Results Lower:	0.1616 W/mK
Percent Difference:	3.07%
HeatFlux Lower:	499.2 W/m²

Thermal Equilibrium Criteria: Temperature Equilibrium: 0.3 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2 Min Number of Blocks: 4 Calculation Blocks: 3 Upper & Lower Plate averages used for equilibrium check

Block Averages for setpoint 5 in SI units

-te- -pe- -pe- -pe- -pe-	TupperTlowerQupper[°C][°C][µV][µV]20.0160.02-20000199992060-200001999920.0160.03-200001999920.0160.02-200001999920.0160.02-2000019999"Wednesday, January 21, 2009	r Qlower K] 0.1642 0.1642 0.1642 0.1641 0.1642 0.1642 , Time 12:54"	Lambda
	Setpoint No. 5 Setpoint Upper:20.00 °C Setpoint Lower:60.00 °C Temperature Upper: 20.01 CalibFactor Upper: Results Upper: HeatFlux Upper: Temperature Lower: 60.02 CalibFactor Lower: Results Lower: Percent Difference: HeatFlux Lower:	°C 0.025744 0.1667 W/mK 514.9 W/m ² °C 0.024961 0.1616 W/mK 3.09% 499.2 W/m ²	
	Thermal Equilibrium Cr Temperature Equilibriu Between Block HFM Equi HFM Percent Change: Min Number of Blocks: Calculation Blocks: Upper & Lower Plate av	iteria: m: 0.3 l.: 49 2 4 3 erages used for e	equilibrium check

Block Averages for setpoint 6 in SI units

Tupper Tlower Qupper Qlower Lambda [°C] [°C] [μ V] [μ V] [W/mK]

-te- 20.01 55.22 -19509 -te- 20.01 55.02 -18545 17064 0.171 19411 0.1782 -pe- 20.01 55.02 -18475 -pe- 20.01 55.01 -18492 -pe- 20.01 55 -18491 19552 0.1786 19545 0.1786 19553 0.1787 -pe- 20.01 55 -18491 19564 0.1788 -pe- 20.02 55.01 -18492 19569 0.1788 "Wednesday, January 21, 2009, Time 13:29" Setpoint No. 6 Setpoint Upper: 20.00 °C Setpoint Lower: 55.00 °C Temperature Upper: 20.01 °C CalibFactor Upper: 0.025744 Results Upper:0.1762 W/mHeatFlux Upper:476.0 W/m² 0.1762 W/mK Temperature Lower: 55.00 °C CalibFactor Lower: 0.025033 Results Lower: 0.1813 W/mK Percent Difference: 2.83% HeatFlux Lower: 489.7 W/m² Thermal Equilibrium Criteria: Temperature Equilibrium: 0.3 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2 Min Number of Blocks: 4 Calculation Blocks: 3 Upper & Lower Plate averages used for equilibrium check

Block Averages for setpoint 7 in SI units

	Tupper	Tlower	Qupper	Qlower	Lambda
	[°C] [°C]	[µV] [µ	V] [W/mK]		
-te-	20.01 50.23	-17218	14206 0.1	.714	
-te-	20.01 50.03	-15876	16496 0.1	775	
-pe-	20.01 50.01	-15816	16612 0.1	779	
-pe-	20.01 50.02	-15832	16634 0.1	781	
-pe-	20.01 50.01	-15833	16637 0.1	782	
-pe-	20.02 50.01	-15834	16641 0.1	782	
-pe-	20.02 50.01	-15837	16643 0.1	782	
-pe-	20.02 50.02	-15839	16646 0.1	782	
-pe-	20.02 50.02	-15843	16646 0.1	783	

"Wednesday, January 21, 2009, Time 14:16"

Setpoint No. 7 Setpoint Upper:20.00 °C Setpoint Lower:50.00 °C Temperature Upper: 20.02 °C

CalibFactor	Upper:	0.0257	43
Results Upper	<u>c</u> :	0.1761	W/mK
HeatFlux Uppe	er:	407.8	W/m²
Temperature I	Lower: 50.02	°C	
CalibFactor	Lower:	0.0250	97
Results Lower	<u>c</u> :	0.1804	W/mK
Percent Diffe	erence:	2.42%	
HeatFlux Lowe	er:	417.7	W/m²

Thermal Equilibrium Criteria: Temperature Equilibrium: 0.3 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2 Min Number of Blocks: 4 Calculation Blocks: 3 Upper & Lower Plate averages used for equilibrium check

Block Averages for setpoint 8 in SI units

	Tupper	Tlower	Qupper	Qlower	Lambda
		[μν] [μν]			
-te-	20.01 45.26	-14569	11427 0.16	99	
-te-	20.01 45.01	-13226	13625 0.17	7	
-pe-	20.01 45.02	-13164	13747 0.17	74	
-pe-	20.01 45.02	-13183	13760 0.17	75	
-pe-	20.01 45.01	-13182	13764 0.17	76	
-pe-	20.02 45.01	-13184	13767 0.17	77	
-pe-	20.02 45.02	-13185	13770 0.17	77	
-pe-	20.02 45.02	-13188	13773 0.17	77	
-pe-	20.02 45.02	-13190	13774 0.17	77	
-pe-	20.02 45.02	-13192	13773 0.17	77	

"Wednesday, January 21, 2009, Time 15:07"

Setpoint No. 8 Setpoint Upper: 20.00 °C Setpoint Lower: 45.00 °C Temperature Upper: 20.02 °C CalibFactor Upper: 0.025743 Results Upper: 0.1759 W/mK 339.6 W/m² HeatFlux Upper: Temperature Lower: 45.02 °C CalibFactor Lower: 0.025155 Results Lower: 0.1795 W/mK Percent Difference: 2.02% HeatFlux Lower: 346.5 W/m²

> Thermal Equilibrium Criteria: Temperature Equilibrium: 0.3 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2

Min Number of Blocks: 4 Calculation Blocks: 3 Upper & Lower Plate averages used for equilibrium check

Results Table -- SI Units

Upper Cond	Lower Cond Average	Cond
0.1667	0.1616	0.1642
0.1667	0.1617	0.1642
0.1667	0.1616	0.1642
0.1667	0.1616	0.1642
0.1667	0.1616	0.1642
0.1762	0.1813	0.1788
0.1761	0.1804	0.1782
0.1759	0.1795	0.1777
	Upper Cond 0.1667 0.1667 0.1667 0.1667 0.1667 0.1762 0.1761 0.1759	Upper Cond Lower Cond Average0.16670.16160.16670.16170.16670.16160.16670.16160.16670.16160.17620.18130.17610.18040.17590.1795

5.3.2 2^η Μέτρηση

Tuesday, January 27, 2009, Time 13:43 Θερμοκρασία: 23 °C Υγρασία: 33%

WinTherm32 Version 2.30.07 Instrument Program Version 72 Instrument Serial Number: 746

Sample Name:Γυψοσανίδα 2^η μέτρηση Thickness: 12.852mm [Έλενχος αποτελεσμάτων] Thickness obtained : from instrument

TEST RUN

Calibration used : 1450b Calibration read from instrument

Number of transdusers per plate: 1 Number of transdusers used per plate: 1

Number of Setpoints: 8

Block Averages for setpoint 1 in SI units

	Tupper	Tlower	Qupper	Qlower	Lambda
	[°C]	[ºC] [µV]	[µV] [W/mK]		
-ne-	20.21	54.75	-13742	19756	0.1578
-te-	20.01	60.02	-19993	19999	0.1629
-pe-	20.02	60.04	-20000	19999	0.1628
-pe-	20.01	60.03	-20000	19999	0.1629
-pe-	20.01	60.02	-20000	19999	0.1629
-pe-	20.01	60.02	-20000	19999	0.1629

Tuesday, January 27, 2009, Time 14:13 Setpoint No. 1 Setpoint Upper: 20.00 °C Setpoint Lower: 60.00 °C Temperature Upper: 20.01 °C CalibFactor Upper: 0.025744 Results Upper: 0.1654 W/mK HeatFlux Upper: 514.9 W/m² Temperature Lower: 60.03 °C CalibFactor Lower: 0.024961 Results Lower: 0.1603 W/mK 3.09% Percent Difference: HeatFlux Lower: 499.2 W/m² Thermal Equilibrium Criteria: Temperature Equilibrium: 0.30 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2.00 Min Number of Blocks: 4 Calculation Blocks: 3 Upper & Lower Plate averages used for equilibrium check Block Averages for setpoint 2 in SI units

	Tupper		Tlower		Qupper	Qlower	Lambda
	[°C]	[°C]	[µV]	[µV]	[W/mK]		
-te-	20.11		60.11		-20000	19999	0.1629
-pe-	20.11		60.11		-20000	19999	0.1629
-pe-	20.11		60.11		-20000	19999	0.1629
-pe-	20.11		60.11		-20000	19999	0.1629
-pe-	20.11		60.11		-20000	19999	0.1629

Tuesday, January 27, 2009, Time 14:39

Setpoint No. 2	
Setpoint Upper:20.10 °C	
Setpoint Lower:60.10 °C	
Temperature Upper: 20.11	°C
CalibFactor Upper:	0.025738
Results Upper:	0.1654 W/mK
HeatFlux Upper:	514.8 W/m²
Temperature Lower: 60.11	°C
CalibFactor Lower:	0.024960
Results Lower:	0.1604 W/mK
Percent Difference:	3.07%
HeatFlux Lower:	499.2 W/m²

Thermal Equilibrium Cri	lteria	:
Temperature Equilibrium	n:	0.30
Between Block HFM Equil	L.:	49
HFM Percent Change:	2.00	
Min Number of Blocks:	4	
Calculation Blocks:		3

Upper & Lower Plate averages used for equilibrium check

Block Averages for setpoint 3 in SI units

	Tupper [°C]	[°C]	Tlower [uV]	[uV]	Qupper [W/mK]	Qlower	Lambda
-te-	20.01		60.02		-20000	19999	0.1629
-pe-	20.00		60.00		-20000	19999	0.1629
-pe-	20.01		60.02		-20000	19999	0.1629
-pe-	20.01		60.02		-20000	19999	0.1629
-pe-	20.01		60.02		-20000	19999	0.1629

Tuesday, January 27, 2009, Time 15:05

Setpoint No. 3	
Setpoint Upper:20.00 °C	
Setpoint Lower:60.00 °C	
Temperature Upper: 20.01	°C
CalibFactor Upper:	0.025744
Results Upper:	0.1654 W/mK
HeatFlux Upper:	514.9 W/m²
Temperature Lower: 60.02	°C
CalibFactor Lower:	0.024961
Results Lower:	0.1604 W/mK
Percent Difference:	3.09%
HeatFlux Lower:	499.2 W/m²

Thermal Equilibrium Criteria: Temperature Equilibrium: 0.30 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2.00 Min Number of Blocks: 4 Calculation Blocks: 3 Upper & Lower Plate averages used for equilibrium check

Block Averages for setpoint 4 in SI units

	Tupper		Tlower		Qupper	Qlower	Lambda
	[°C]	[°C]	[µV]	[µV]	[W/mK]		
-te-	20.11		60.11		-20000	19999	0.1629
-pe-	20.11		60.11		-20000	19999	0.1629
-pe-	20.11		60.11		-20000	19999	0.1629
-pe-	20.11		60.11		-20000	19999	0.1629
-pe-	20.11		60.11		-20000	19999	0.1629

Tuesday, January 27, 2009, Time 15:30

Setpoint No. 4 Setpoint Upper:20.10 °C Setpoint Lower:60.10 °C Temperature Upper: 20.11 °C CalibFactor Upper: 0.025738 Results Upper: 0.1654 W/mK HeatFlux Upper: 514.8 W/m² Temperature Lower: 60.11 °C

CalibFactor Lower:	0.024960
Results Lower:	0.1604 W/mK
Percent Difference:	3.07%
HeatFlux Lower:	499.2 W/m²

Thermal Equilibrium Criteria: Temperature Equilibrium: 0.30 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2.00 Min Number of Blocks: 4 Calculation Blocks: 3 Upper & Lower Plate averages used for equilibrium check

Block Averages for setpoint 5 in SI units

	Tupper	Tlower	Qupper	Qlower	Lambda
	[°C]	[ºC] [µV]	[µV] [W/mK]		
-te-	20.01	60.02	-20000	19999	0.1629
-pe-	20.01	60.03	-20000	19999	0.1628
-pe-	20.01	60.05	-20000	19999	0.1628
-pe-	20.01	60.01	-20000	19999	0.1629
-pe-	20.01	60.02	-20000	19999	0.1629

Tuesday, January 27, 2009, Time 15:56

°C
0.025744
0.1654 W/mK
514.9 W/m²
°C
0.024961
0.1603 W/mK
3.09%
499.2 W/m²

Thermal Equilibrium Criteria: Temperature Equilibrium: 0.30 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2.00 Min Number of Blocks: 4 Calculation Blocks: 3 Upper & Lower Plate averages used for equilibrium check

Block Averages for setpoint 6 in SI units

	Tupper		Tlower		Qupper	Qlower	Lambda
	[°C]	[°C]	[µV]	[µV]	[W/mK]		
-te-	20.01		55.01		-18483	19839	0.1785
-pe-	20.01		55.02		-18494	19858	0.1787
-pe-	20.02		55.01		-18495	19861	0.1787
-pe-	20.02		55.01		-18497	19865	0.1788

-pe-20.02 55.01 -18498 19868 0.1788 -pe-20.02 55.01 -18500 19871 0.1788 -pe-20.02 55.01 -18501 19874 0.1788 -pe-20.01 55.01 -18499 19877 0.1788 -pe-20.01 55.02 -18498 19878 0.1788 55.02 -18497 20.01 19878 0.1787 -pe-Tuesday, January 27, 2009, Time 16:58 Setpoint No. 6 Setpoint Upper: 20.00 °C Setpoint Lower: 55.00 °C Temperature Upper: 20.01 °C CalibFactor Upper: 0.025744 0.1748 W/mK Results Upper: 476.2 W/m² HeatFlux Upper: Temperature Lower: 55.02 °C 0.025033 CalibFactor Lower: Results Lower: 0.1827 W/mK 4.39% Percent Difference: HeatFlux Lower: 497.6 W/m² Thermal Equilibrium Criteria: Temperature Equilibrium: 0.30 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2.00 Min Number of Blocks: 4 Calculation Blocks: 3 Upper & Lower Plate averages used for equilibrium check Block Averages for setpoint 7 in SI units Tupper Tlower Qupper Qlower Lambda [°C] [°C] [μ V] [μ V] [W/mK] -17199 20.01 50.23 13940 0.1685 -te--te-20.00 50.01 -15903 16800 0.1780 -pe-20.01 50.01 -15851 16920 0.1784 50.02 16941 -pe-20.01 -15864 0.1785 -pe-20.01 50.01 -15864 16943 0.1786 20.02 50.02 -15865 16946 0.1786 -pe-20.02 50.02 -15869 16945 0.1786 -pe-Tuesday, January 27, 2009, Time 17:34 Setpoint No. 7 Setpoint Upper:20.00 °C Setpoint Lower: 50.00 °C Temperature Upper: 20.02 °C CalibFactor Upper: 0.025743 Results Upper: 0.1750 W/mK 408.4 W/m² HeatFlux Upper: Temperature Lower: 50.02 °C CalibFactor Lower: 0.025097 0.1822 W/mK Results Lower: Percent Difference: 4.04%

Thermal Equilibrium Criteria: Temperature Equilibrium: 0.30 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2.00 Min Number of Blocks: 4 Calculation Blocks: 3 Upper & Lower Plate averages used for equilibrium check

Block Averages for setpoint 8 in SI units

	Tupper [°C]	[°C]	Tlower [µV]	[uV]	Qupper [W/mK]	Qlower	Lambda
-te-	20.01		45.27		-14604	11156	0.1670
-te-	20.01		45.02		-13292	13926	0.1779
-pe-	20.01		45.01		-13232	14034	0.1783
-pe-	20.01		45.02		-13242	14046	0.1784
-pe-	20.01		45.02		-13243	14047	0.1784
-pe-	20.02		45.02		-13244	14049	0.1785
-pe-	20.02		45.02		-13246	14049	0.1785

Tuesday, January 27, 2009, Time 18:09

Setpoint No. 8	
Setpoint Upper:20.00 °C	
Setpoint Lower:45.00 °C	
Temperature Upper: 20.02	°C
CalibFactor Upper:	0.025744
Results Upper:	0.1753 W/mK
HeatFlux Upper:	340.9 W/m²
Temperature Lower: 45.02	°C
CalibFactor Lower:	0.025155
Results Lower:	0.1816 W/mK
Percent Difference:	3.58%
HeatFlux Lower:	353.4 W/m²

Thermal Equilibrium Criteria: Temperature Equilibrium: 0.30 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2.00 Min Number of Blocks: 4 Calculation Blocks: 3 Upper & Lower Plate averages used for equilibrium check

Results Table -- SI Units

Mean Temp	Upper Cond	Lower Cond Average	Cond
40.02	0.1654	0.1603	0.1629
40.11	0.1654	0.1604	0.1629
40.01	0.1654	0.1604	0.1629
40.11	0.1654	0.1604	0.1629
40.02	0.1654	0.1603	0.1629
37.52	0.1748	0.1827	0.1788

35.02	0.1750	0.1822	0.1786
32.52	0.1753	0.1816	0.1784

5.4 Γυαλί

5.4.1 Διπλό γυαλί

Thursday, January 29, 2009, Time 10:17 Θερμοκρασία: 22°C Υγρασία: 43%

WinTherm32 Version 2.30.07 Instrument Program Version 72 Instrument Serial Number: 746

Sample Name: Διπλό γυαλί Thickness: 23.025mm Thickness obtained : from instrument

TEST RUN

Calibration used : 1450b Calibration read from instrument

Number of transdusers per plate: 1 Number of transdusers used per plate: 1

Number of Setpoints: 8

Block Averages for setpoint 1 in SI units

	Tupper		Tlower		Qupper	Ç	Qlower	Lambda
	[°C]	[°C]	[µV]	[µV]	[W/mK]			
-te-	20.01		60.01		-10672		11779	0.1637
-pe-	20.01		60.02		-10739		11650	0.1632
-te-	20.01		60.02		-10769		11726	0.1640
-pe-	20.01		60.01		-10756		11671	0.1635
-pe-	20.01		60.03		-10751		11674	0.1635
-pe-	19.99		60.05		-10737		11657	0.1630
-pe-	19.98		60.06		-10723		11634	0.1627
-pe-	19.97		60.05		-10701		11626	0.1625
-pe-	20.01		59.98		-10699		11653	0.1631
-pe-	20.02		59.92		-10702		11700	0.1637

Thursday, January 29, 2009, Time 12:10

Setpoint No.	1			
Setpoint Upper	:20.00 9	°C		
Setpoint Lower	:60.00 °	°C		
Temperature	Upper: 2	0.00	°C	
CalibFactor	Upper:		0.0257	45
Results Uppe	er:		0.1586	₩/mK
HeatFlux Upp	per:		275.5	W/m²

Temperature Lower: 59.98	°C
CalibFactor Lower:	0.024962
Results Lower:	0.1676 W/mK
Percent Difference:	5.50%
HeatFlux Lower:	291.0 W/m²

Thermal Equilibrium Criteria: Temperature Equilibrium: 0.30 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2.00 Min Number of Blocks: 4 Calculation Blocks: 3 Upper & Lower Plate averages used for equilibrium check

Block Averages for setpoint 2 in SI units

	Tupper	Tlowe	r	Qupper	Qlower	Lambda
	[°C]	[°C] [µV]	[µV]	[W/mK]		
-te-	20.10	60.1	1	-10781	11725	0.1641
-te-	20.11	60.1	2	-10756	11633	0.1632
-pe-	20.11	60.1	0	-10683	11609	0.1626
-te-	20.11	60.1	2	-10720	11764	0.1639
-pe-	20.11	60.1	1	-10740	11704	0.1636
-pe-	20.11	60.1	0	-10724	11742	0.1638
-pe-	20.11	60.0	9	-10720	11762	0.1640
-pe-	20.11	60.0	б	-10717	11785	0.1642
-pe-	20.10	60.0	7	-10711	11801	0.1643
-pe-	20.12	60.1	8	-10712	11773	0.1637

Thursday, January 29, 2009, Time 13:06

Setpoint No. 2	
Setpoint Upper:20.10 °C	
Setpoint Lower:60.10 °C	
Temperature Upper: 20.11	°C
CalibFactor Upper:	0.025738
Results Upper:	0.1587 W/mK
HeatFlux Upper:	275.7 W/m²
Temperature Lower: 60.10	°C
CalibFactor Lower:	0.024960
Results Lower:	0.1694 W/mK
Percent Difference:	6.47%
HeatFlux Lower:	294.2 W/m²

Thermal Equilibrium Criteria: Temperature Equilibrium: 0.30 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2.00 Min Number of Blocks: 4 Calculation Blocks: 3 Upper & Lower Plate averages used for equilibrium check

Block Averages for setpoint 3 in SI units

	Tupper	Tlower	Qupper	Qlower	Lambda
	[°C]	[°C] [µV]	[µV] [W/mK]		
-te-	20.01	60.02	-10816	11376	0.1618
-te-	20.01	60.00	-10718	11652	0.1632
-te-	20.01	60.03	-10741	11750	0.1639
-pe-	20.01	60.02	-10756	11734	0.1640
-pe-	19.97	60.04	-10734	11725	0.1635
-pe-	19.99	60.08	-10724	11695	0.1631
-pe-	20.02	60.07	-10727	11676	0.1631

Thursday, January 29, 2009, Time 13:42

Setpoint No. 3 Setpoint Upper: 20.00 °C Setpoint Lower:60.00 °C Temperature Upper: 19.99 °C CalibFactor Upper: 0.025745 Results Upper: 0.1587 W/mK HeatFlux Upper: 0.158/ W/m 276.2 W/m² Temperature Lower: 60.06 °C CalibFactor Lower: 0.024961 Results Lower: 0.1678 W/mK Percent Difference: 5.56% HeatFlux Lower: 292.0 W/m²

> Thermal Equilibrium Criteria: Temperature Equilibrium: 0.30 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2.00 Min Number of Blocks: 4 Calculation Blocks: 3 Upper & Lower Plate averages used for equilibrium check

Block Averages for setpoint 4 in SI units

	Tupper		Tlower		Qupper	Qlower	Lambda
	[°C]	[°C]	[µV]	[µV]	[W/mK]		
-te-	20.11		60.11		-10701	11828	0.1642
-pe-	20.12		60.11		-10756	11717	0.1639
-pe-	20.11		60.13		-10747	11723	0.1638
-pe-	20.09		60.10		-10738	11723	0.1637
-pe-	20.13		60.05		-10747	11750	0.1644
-pe-	20.16		60.09		-10769	11760	0.1645

Thursday, January 29, 2009, Time 14:13

Setpoint No. 4	
Setpoint Upper:20.10 °C	
Setpoint Lower:60.10 °C	
Temperature Upper: 20.13	°C
CalibFactor Upper:	0.025737
Results Upper:	0.1595 W/mK
HeatFlux Upper:	276.7 W/m²
Temperature Lower: 60.08	°C
CalibFactor Lower:	0.024960
Results Lower:	0.1689 W/mK
---------------------	-------------
Percent Difference:	5.77%
HeatFlux Lower:	293.1 W/m²

Block Averages for setpoint 5 in SI units

	Tupper	Tlower	Qupper	Qlower	Lambda
	[°C]	[°C] [µV]	[µV] [W/mK]		
-te-	20.01	60.02	-10681	11566	0.1622
-te-	20.01	60.01	-10704	11768	0.1639
-te-	20.01	60.03	-10733	11437	0.1616
-te-	20.01	60.01	-10754	11834	0.1647
-te-	20.01	60.02	-10765	11644	0.1634
-te-	20.01	60.02	-10762	11746	0.1641
-pe-	20.01	60.02	-10747	11753	0.1640
-pe-	20.04	60.02	-10763	11775	0.1644
-pe-	20.03	60.03	-10768	11767	0.1643
-pe-	19.98	60.06	-10754	11744	0.1637

Thursday, January 29, 2009, Time 15:30

Setpoint No. 5	
Setpoint Upper:20.00 °C	
Setpoint Lower:60.00 °C	
Temperature Upper: 20.02	°C
CalibFactor Upper:	0.025743
Results Upper:	0.1594 W/mK
HeatFlux Upper:	277.0 W/m²
Temperature Lower: 60.04	°C
CalibFactor Lower:	0.024961
Results Lower:	0.1689 W/mK
Percent Difference:	5.80%
HeatFlux Lower:	293.6 W/m²

Thermal Equilibrium Criteria: Temperature Equilibrium: 0.30 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2.00 Min Number of Blocks: 4 Calculation Blocks: 3 Upper & Lower Plate averages used for equilibrium check

Block Averages for setpoint 6 in SI units

Tupper Tlower Qupper Qlower Lambda [°C] [°C] [μ V] [μ V] [W/mK]

-te-	20.01	55.01	-9123	10049	0.1600
-pe-	20.01	55.01	-9134	10011	0.1598
-pe-	20.05	55.06	-9151	9991	0.1597
-pe-	20.07	55.12	-9176	9942	0.1593
-pe-	20.04	55.10	-9191	9899	0.1591
-pe-	20.02	55.10	-9193	9860	0.1587
-pe-	20.00	55.10	-9187	9816	0.1581
-pe-	19.99	55.07	-9175	9793	0.1580
-pe-	19.95	55.04	-9143	9786	0.1576
-pe-	19.96	54.97	-9118	9806	0.1579

Thursday, January 29, 2009, Time 16:42

Setpoint No. 6	
Setpoint Upper:20.00 °C	
Setpoint Lower:55.00 °C	
Temperature Upper: 19.97	°C
CalibFactor Upper:	0.025746
Results Upper:	0.1546 W/mK
HeatFlux Upper:	235.5 W/m²
Temperature Lower: 55.03	°C
CalibFactor Lower:	0.025033
Results Lower:	0.1610 W/mK
Percent Difference:	4.05%
HeatFlux Lower:	245.2 W/m²

Thermal Equilibrium Criteria: Temperature Equilibrium: 0.30 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2.00 Min Number of Blocks: 4 Calculation Blocks: 3 Upper & Lower Plate averages used for equilibrium check

Block Averages for setpoint 7 in SI units

	Tupper		Tlower		Qupper	Qlower	Lambda
	[°C]	[°C]	[µV]	[µV]	[W/mK]		
-te-	20.01		50.25		-8683	1012	0.09479
-te-	20.00		50.00		-7987	8131	0.1572
-te-	20.01		50.01		-7701	8232	0.1554
-te-	20.01		50.02		-7636	8134	0.1537
-te-	20.01		50.01		-7652	8286	0.1554
-te-	20.01		50.02		-7605	8115	0.1532
-pe-	20.01		50.01		-7590	8099	0.1530
-pe-	20.00		50.04		-7582	8095	0.1527
-pe-	20.01		49.98		-7578	8114	0.1531
-pe-	20.02		49.94		-7581	8154	0.1538

Thursday, January 29, 2009, Time 17:33

Setpoint No. 7 Setpoint Upper:20.00 °C Setpoint Lower:50.00 °C Temperature Upper: 20.01 °C

CalibFactor Upper:	0.025744
Results Upper:	0.1499 W/mK
HeatFlux Upper:	195.1 W/m²
Temperature Lower: 49.99	°C
CalibFactor Lower:	0.025098
Results Lower:	0.1565 W/mK
Percent Difference:	4.35%
HeatFlux Lower:	203.8 W/m²

Block Averages for setpoint 8 in SI units

	Tupper	Tlower	Q	upper	Qlower	Lambda
	[°C]	[ºC] [µV]	[µV]	[W/mK]		
-te-	20.01	45.26		-7223	-114	0.08611
-te-	19.99	45.01		-6482	6464	0.1516
-te-	20.01	45.02		-6231	6591	0.1502
-te-	20.01	45.01		-6160	6559	0.1490
-pe-	20.01	45.02		-6159	6530	0.1486
-pe-	20.03	44.99		-6166	6545	0.1491
-pe-	20.02	44.99		-6170	6561	0.1493
-pe-	20.02	44.99		-6170	6577	0.1495

Thursday, January 29, 2009, Time 18:14

Setpoint No. 8	
Setpoint Upper:20.00 °C	
Setpoint Lower:45.00 °C	
Temperature Upper: 20.02	°C
CalibFactor Upper:	0.025743
Results Upper:	0.1464 W/mK
HeatFlux Upper:	158.8 W/m²
Temperature Lower: 44.99	°C
CalibFactor Lower:	0.025156
Results Lower:	0.1522 W/mK
Percent Difference:	3.86%
HeatFlux Lower:	165.1 W/m²

Thermal Equilibrium Criteria: Temperature Equilibrium: 0.30 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2.00 Min Number of Blocks: 4 Calculation Blocks: 3 Upper & Lower Plate averages used for equilibrium check

Results Table -- SI Units

Mean Temp	Upper Cond	Lower (Cond	Average	Cond
39.99	0.1586	(0.167	6	0.1631
40.11	0.1587	().169	4	0.1641
40.03	0.1587	(0.167	8	0.1633
40.11	0.1595	(0.168	9	0.1642
40.03	0.1594	(0.168	9	0.1642
37.50	0.1546	(0.161	0	0.1578
35.00	0.1499	(0.156	5	0.1532
32.51	0.1464	C).152	2	0.1493

5.4.2 Μονό γυαλί

Tuesday, February 17, 2009, Time 10:36 Θερμοκρασία: 23 °C Υγρασία: 33%

WinTherm32 Version 2.30.07 Instrument Program Version 72 Instrument Serial Number: 746

Sample Name: Μονό γυαλί Thickness: 4.813mm Thickness obtained : from instrument

TEST RUN

Calibration used : 1450b Calibration read from instrument

Number of transdusers per plate: 1 Number of transdusers used per plate: 1

Number of Setpoints: 4

Block Averages for setpoint 1 in SI units

	Tupper	Tlower	Qupper	Qlower	Lambda
	[°C]	[ºC] [µV]	[µV] [W/mK]		
-ne-	24.93	43.75	-11691	19645	0.1012
-ne-	25.03	55.03	-20000	19999	0.08098
-te-	25.05	55.07	-20000	19999	0.08091
-pe-	25.03	55.09	-20000	19999	0.08084
-pe-	25.03	55.07	-20000	19999	0.08089
-pe-	25.02	55.05	-20000	19999	0.08092

Tuesday, February 17, 2009, Time 11:07

Setpoint No. 1 Setpoint Upper:25.00 °C Setpoint Lower:55.00 °C Temperature Upper: 25.03 °C CalibFactor Upper: 0.025444 Results Upper: 0.08154 W/mK HeatFlux Upper: 508.9 W/m²

Temperature Lower: 55.07	°C
CalibFactor Lower:	0.025032
Results Lower:	0.08022 W/mK
Percent Difference:	1.63%
HeatFlux Lower:	500.6 W/m²

Thermal Equilibrium Criteria: Temperature Equilibrium: 0.20 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2.00 Min Number of Blocks: 4 Calculation Blocks: 3

Block Averages for setpoint 2 in SI units

	Tupper	Tlower	Qupper	Qlower	Lambda
	[°C]	[ºC] [µV]	[µV] [W/mK]		
-ne-	25.01	50.18	-20000	19999	0.09665
-te-	25.01	50.01	-20000	19999	0.09730
-pe-	25.02	50.01	-20000	19999	0.09733
-pe-	25.02	50.02	-20000	19999	0.09731
-pe-	25.02	50.02	-20000	19999	0.09729

Tuesday, February 17, 2009, Time 11:33

Setpoint No. 2	
Setpoint Upper:25.00 °C	
Setpoint Lower:50.00 °C	
Temperature Upper: 25.02	°C
CalibFactor Upper:	0.025444
Results Upper:	0.09798 W/mK
HeatFlux Upper:	508.9 W/m²
Temperature Lower: 50.02	°C
CalibFactor Lower:	0.025097
Results Lower:	0.09664 W/mK
Percent Difference:	1.37%
HeatFlux Lower:	501.9 W/m²

Thermal Equilibrium Criteria: Temperature Equilibrium: 0.20 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2.00 Min Number of Blocks: 4 Calculation Blocks: 3

Block Averages for setpoint 3 in SI units

	Tupper		Tlower		Qupper	Qlower	Lambda
	[°C]	[°C]	[µV]	[µV]	[W/mK]		
-ne-	25.00		45.20		-20000	19999	0.1206
-te-	25.01		45.00		-20000	19999	0.1218
-pe-	25.02		45.01		-20000	19999	0.1218
-pe-	25.02		45.01		-20000	19999	0.1218
-pe-	25.02		45.01		-20000	19999	0.1218

Tuesday, February 17, 2009, Time 11:58 Setpoint No. 3 Setpoint Upper:25.00 °C Setpoint Lower:45.00 °C Temperature Upper: 25.02 °C CalibFactor Upper: 0.1225 W/mK HeatFlux Upper: 508.9 W/m² Temperature Lower: 45.01 °C CalibFactor Lower: 0.025155 Results Lower: 0.1211 W/mK Percent Difference: 1.14% HeatFlux Lower: 503.1 W/m²

> Thermal Equilibrium Criteria: Temperature Equilibrium: 0.20 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2.00 Min Number of Blocks: 4 Calculation Blocks: 3

Block Averages for setpoint 4 in SI units

	Tupper	Tlower	Qupper	Qlower	Lambda
	[°C]	[°C] [µV]	[µV] [W/mK]		
-ne-	25.00	40.24	-20000	19999	0.1600
-ne-	25.02	40.02	-20000	19999	0.1625
-pe-	25.01	40.01	-20000	19999	0.1626
-pe-	25.02	40.01	-20000	19999	0.1626
-pe-	25.02	40.02	-20000	19999	0.1625

Tuesday, February 17, 2009, Time 12:24

Setpoint No. 4	
Setpoint Upper:25.00 °C	
Setpoint Lower:40.00 °C	
Temperature Upper: 25.02	°C
CalibFactor Upper:	0.025444
Results Upper:	0.1633 W/mK
HeatFlux Upper:	508.9 W/m²
Temperature Lower: 40.01	°C
CalibFactor Lower:	0.025207
Results Lower:	0.1618 W/mK
Percent Difference:	0.94%
HeatFlux Lower:	504.1 W/m²

Thermal Equilibrium Criteria	:			
Temperature Equilibrium:	0.20			
Between Block HFM Equil.:	49			
HFM Percent Change: 2.00				
Min Number of Blocks: 4				
Calculation Blocks:				

Results Table -- SI Units

Mean Temp	Upper Cond	Lower Cond Average	Cond
40.05	0.08154	0.08022	0.08088
37.52	0.09798	0.09664	0.09731
35.01	0.1225	0.1211	0.1218
32.51	0.1633	0.1618	0.1626

5.5 Αφρώδες PVC

Thursday, January 22, 2009, Time 10:51 Θερμοκρασία: 22°C Υγρασία: 43%

WinTherm32 Version 2.30.07 Instrument Program Version 72 Instrument Serial Number: 746

Sample Name:Αφρώδες PVC Thickness: 11.106mm Thickness obtained : user entered

TEST RUN

Calibration used : 1450b Calibration read from instrument

Number of transdusers per plate: 1 Number of transdusers used per plate: 1

Number of Setpoints: 8

Block Averages for setpoint 1 in SI units

	Tupper		Tlower		Qupper	Qlower	Lambda
	[°C]	[°C]	[µV]	[µV]	[W/mK]		
-ne-	20.20		52.54		-4099	11505	0.06763
-ne-	20.03		60.02		-5548	5924	0.04037
-pe-	19.94		60.02		-5575	5931	0.04040
-pe-	20.00		60.05		-5564	5921	0.04035
-pe-	20.00		60.04		-5556	5914	0.04031
-pe-	20.01		60.03		-5552	5911	0.04030

Thursday, January 22, 2009, Time 11:22

Setpoint No. 1 Setpoint Upper:20.00 °C Setpoint Lower:60.00 °C Temperature Upper: 20.00 °C CalibFactor Upper: 0.025745 Results Upper: 0.03968 W/mK HeatFlux Upper: 143.1 W/m²

Temperature Lower: 60.04 °C CalibFactor Lower: 0.024961 0.04095 W/mK Results Lower: 3.15% Percent Difference: HeatFlux Lower: 147.7 W/m² Thermal Equilibrium Criteria: Temperature Equilibrium: 0.30 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2.00 Min Number of Blocks: 4 Calculation Blocks: 3 Upper & Lower Plate averages used for equilibrium check Block Averages for setpoint 2 in SI units Tlower Lambda Tupper Qupper Qlower [°C] [°C] [μ V] [μ V] [W/mK] 20.12 60.11 -5536 5926 0.04032 -te-20.16 60.14 -5548 5905 0.04030 -pe-20.12 60.11 -5547 5911 0.04031 -pe-0.04031 -5550 5910 -pe-20.12 60.12 -pe-20.12 60.12 -5552 5909 0.04031 -pe- 20.11 60.12 -5551 5907 0.04030 Thursday, January 22, 2009, Time 11:53 Setpoint No. 2 Setpoint Upper: 20.10 °C Setpoint Lower: 60.10 °C Temperature Upper: 20.12 °C CalibFactor Upper: 0.025737 Results Upper: 0.03967 W/mK HeatFlux Upper: 142.9 W/m² Temperature Lower: 60.12 °C CalibFactor Lower: 0.024960 Results Lower: 0.04095 W/mK 3.18% Percent Difference: HeatFlux Lower: 147.5 W/m² Thermal Equilibrium Criteria: Temperature Equilibrium: 0.30 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2.00 Min Number of Blocks: 4 Calculation Blocks: 3 Upper & Lower Plate averages used for equilibrium check Block Averages for setpoint 3 in SI units Tupper Tlower Qupper Qlower Lambda [°C] [°C] [µV] [µV] [W/mK] 20.01 60.02 -5567 5884 0.04028 -te-

19.97

-pe-

60.00

-5549

5912

0.04029

-pe-20.01 60.03 -5550 5906 0.04028 20.01 60.02 -5549 5905 0.04029 -pe-60.02 -5547 5908 -pe-20.01 0.04029 Thursday, January 22, 2009, Time 12:18 Setpoint No. 3 Setpoint Upper: 20.00 °C Setpoint Lower: 60.00 °C Temperature Upper: 20.01 °C CalibFactor Upper: 0.025744 Results Upper: 0.03965 W/mK 142.8 W/m² HeatFlux Upper: Temperature Lower: 60.02 °C CalibFactor Lower: 0.024961 Results Lower: 0.04092 W/mK 3.16% Percent Difference: HeatFlux Lower: 147.4 W/m² Thermal Equilibrium Criteria: Temperature Equilibrium: 0.30 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2.00 Min Number of Blocks: 4 Calculation Blocks: 3 Upper & Lower Plate averages used for equilibrium check Block Averages for setpoint 4 in SI units Tlower Qlower Lambda Tupper Qupper [°C] [°C] [µV] [µV] [W/mK] -te-20.11 60.11 -5527 5928 0.04029 -pe-20.16 60.13 -5544 5902 0.04028 -pe-20.12 60.11 -5545 5906 0.04029 20.12 60.12 -5549 5907 0.04030 -pe-5907 -pe-20.12 60.12 -5550 0.04030 20.11 60.12 -5550 5906 0.04029 -pe-Thursday, January 22, 2009, Time 12:49 Setpoint No. 4 Setpoint Upper: 20.10 °C Setpoint Lower: 60.10 °C Temperature Upper: 20.12 °C CalibFactor Upper: 0.025737 Results Upper: 0.03966 W/mK HeatFlux Upper: 142.8 W/m² Temperature Lower: 60.12 °C 0.024960 CalibFactor Lower: Results Lower: 0.04094 W/mK 3.17% Percent Difference: HeatFlux Lower: 147.4 W/m²

Thermal Equilibrium Criteria:

Temperature Equilibrium: 0.30 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2.00 Min Number of Blocks: 4 Calculation Blocks: 3 Upper & Lower Plate averages used for equilibrium check Block Averages for setpoint 5 in SI units Tlower Tupper Qupper Olower Lambda [°C] [°C] [µV] [µV] [W/mK] -te-20.01 60.02 -5567 5882 0.04027 19.99 60.02 -5549 5909 0.04028 -pe-60.02 5909 0.04029 20.01 -5547 -pe-60.03 -5546 5908 0.04028 -pe-20.01 60.03 -5547 5905 0.04028 -pe-20.02 Thursday, January 22, 2009, Time 13:15 5 Setpoint No. Setpoint Upper: 20.00 °C Setpoint Lower: 60.00 °C Temperature Upper: 20.01 °C CalibFactor Upper: 0.025744 Results Upper: 0.03963 W/mK HeatFlux Upper: 142.8 W/m² Temperature Lower: 60.03 °C CalibFactor Lower: 0.024961 0.04093 W/mK Results Lower: 3.21% Percent Difference: 147.4 W/m² HeatFlux Lower: Thermal Equilibrium Criteria: Temperature Equilibrium: 0.30 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2.00 Min Number of Blocks: 4 Calculation Blocks: 3 Upper & Lower Plate averages used for equilibrium check Block Averages for setpoint 6 in SI units Qlower Tupper Tlower Qupper Lambda [°C] [°C] [µV] [µV] [W/mK] 55.25 20.01 -4985 4181 0.03671 -te-20.04 55.03 -4819 5102 0.03996 -te-55.01 5108 0.03999 -pe-20.01 -4825 20.01 55.02 -4824 5108 0.03998 -pe-20.02 55.02 -4824 5107 0.03998 -pe-20.02 55.02 -4825 5107 0.03998 -pe-Thursday, January 22, 2009, Time 13:46 Setpoint No. 6 Setpoint Upper: 20.00 °C

Setpoint Lower: 55.00 °C Temperature Upper: 20.01 °C CalibFactor Upper: 0.025744 Results Upper: 0.03940 W/mK HeatFlux Upper: 124.2 W/m² Temperature Lower: 55.02 °C CalibFactor Lower: 0.025033 Results Lower: 0.04056 W/mK Percent Difference: 2.90% 127.8 W/m² HeatFlux Lower: Thermal Equilibrium Criteria: Temperature Equilibrium: 0.30 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2.00 Min Number of Blocks: 4 Calculation Blocks: 3 Upper & Lower Plate averages used for equilibrium check Block Averages for setpoint 7 in SI units Tupper Tlower Qupper Qlower Lambda [°C] [°C] [µV] [µV] [W/mK] 20.01 50.26 -4266 3411 0.03588 -te-19.99 50.00 -4107 4324 0.03965 -te-20.01 50.01 -4108 4320 0.03964 -pe-20.01 50.02 -4107 4322 0.03965 -pe-50.02 -4108 4323 0.03965 -pe-20.01 50.02 -4108 4323 0.03965 -pe-20.01 Thursday, January 22, 2009, Time 14:16 Setpoint No. 7 Setpoint Upper: 20.00 °C Setpoint Lower: 50.00 °C Temperature Upper: 20.01 °C CalibFactor Upper: 0.025744 0.03914 W/mK Results Upper: HeatFlux Upper: 105.7 W/m² Temperature Lower: 50.02 °C CalibFactor Lower: 0.025097 Results Lower: 0.04016 W/mK Percent Difference: 2.56% HeatFlux Lower: 108.5 W/m² Thermal Equilibrium Criteria: Temperature Equilibrium: 0.30 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2.00 Min Number of Blocks: 4 Calculation Blocks: 3 Upper & Lower Plate averages used for equilibrium check Block Averages for setpoint 8 in SI units

	Tupper		Tlower		Qupper	Qlower	Lambda
	[°C]	[°C]	[µV]	[µV]	[W/mK]		
-te-	20.01		45.28		-3556	2666	0.03486
-te-	19.95		44.99		-3406	3563	0.03932
-pe-	20.01		45.02		-3402	3557	0.03932
-pe-	20.01		45.02		-3401	3558	0.03932
-pe-	20.02		45.02		-3402	3558	0.03932
-pe-	20.01		45.02		-3401	3559	0.03932

Setpoint No. 8 Setpoint Upper: 20.00 °C Setpoint Lower: 45.00 °C Temperature Upper: 20.01 °C CalibFactor Upper: 0.025744 Results Upper: 0.03889 W/mK
 Results opper:
 0.03889 W/

 HeatFlux Upper:
 87.57 W/m²
 Temperature Lower: 45.02 °C CalibFactor Lower: 0.025155 Results Lower: 0.03975 W/mK Percent Difference: 2.19% HeatFlux Lower: 89.51 W/m²

Thursday, January 22, 2009, Time 14:47

Thermal Equilibrium Criteria: Temperature Equilibrium: 0.30 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2.00 Min Number of Blocks: 4 Calculation Blocks: 3 Upper & Lower Plate averages used for equilibrium check

Results Table -- SI Units

Mean Temp	Upper Cond	Lower Cond Average	Cond
40.02	0.03968	0.04095	0.04032
40.12	0.03967	0.04095	0.04031
40.02	0.03965	0.04092	0.04029
40.12	0.03966	0.04094	0.04030
40.02	0.03963	0.04093	0.04028
37.52	0.03940	0.04056	0.03998
35.02	0.03914	0.04016	0.03965
32.52	0.03889	0.03975	0.03932

5.6 Ίνες πολυεστέρα

```
5.6.1 Συμπαγές δείγμα πολυεστέρα
     Monday, January 26, 2009, Time 14:25
                       23 °C
     Θερμοκρασία:
     Υγρασία:
                 30%
     WinTherm32 Version 2.30.07
     Instrument Program Version 72
     Instrument Serial Number: 746
     Sample Name: Πολυεστέρας
     Thickness: 31.477mm
     Thickness obtained
                           : from instrument
     TEST RUN
     Calibration used
                        : 1450b
     Calibration read from instrument
     Number of transdusers per plate:
                                        1
     Number of transdusers used per plate:
                                               1
     Number of Setpoints: 8
     Block Averages for setpoint 1 in SI units
      Tupper
                 Tlower
                             Qupper
                                         Qlower
       [°C] [°C] [\muV] [\muV] [W/mK]
-ne-
      20.51
                  58.15
                              -2709
                                           7580
-te-
      20.01
                  60.02
                              -2755
                                           3410
-pe-
      20.06
                  60.02
                              -2929
                                           3191
-pe-
      20.01
                  60.01
                              -2960
                                           3164
      20.02
                  60.03
                              -2962
                                           3161
-pe-
      20.02
                  60.04
                                           3153
                              -2967
-pe-
     Monday, January 26, 2009, Time 14:56
     Setpoint No.
                       1
        Setpoint Upper: 20.00 °C
        Setpoint Lower: 60.00 °C
          Temperature Upper: 20.02 °C
          CalibFactor Upper:
                                 0.025743
                                   0.06001 W/mK
         Results Upper:
          HeatFlux Upper:
                                   76.28 W/m<sup>2</sup>
          Temperature Lower: 60.03 °C
                              0.024961
          CalibFactor Lower:
         Results Lower:
                                  0.06204 W/mK
          Percent Difference:
                                 3.33%
```

Lambda

0.1083

0.06139

0.06106

0.06105

0.06103

0.06100

HeatFlux Lower: 78.86 W/m²

Thermal Equilibrium Criteria: Temperature Equilibrium: 0.30 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2.00 Min Number of Blocks: 4 Calculation Blocks: 3 Upper & Lower Plate averages used for equilibrium check

Block Averages for setpoint 2 in SI units

	Tupper		Tlower		Qupper	Qlower	Lambda
	[°C]	[°C]	[µV]	[µV]	[W/mK]		
-te-	20.13		60.11		-2940	3179	0.06101
-pe-	20.13		60.11		-2970	3151	0.06105
-pe-	20.12		60.11		-2968	3154	0.06103
-pe-	20.12		60.12		-2971	3153	0.06105
-pe-	20.12		60.12		-2972	3151	0.06104

Monday, January 26, 2009, Time 15:22

Setpoint No. 2	
Setpoint Upper:20.10 °C	
Setpoint Lower:60.10 °C	
Temperature Upper: 20.12	°C
CalibFactor Upper:	0.025737
Results Upper:	0.06016 W/mK
HeatFlux Upper:	76.45 W/m²
Temperature Lower: 60.12	°C
CalibFactor Lower:	0.024960
Results Lower:	0.06193 W/mK
Percent Difference:	2.89%
HeatFlux Lower:	78.69 W/m²

Thermal Equilibrium Criteria: Temperature Equilibrium: 0.30 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2.00 Min Number of Blocks: 4 Calculation Blocks: 3 Upper & Lower Plate averages used for equilibrium check

Block Averages for setpoint 3 in SI units

	Tupper		Tlower		Qupper	Qlower	Lambda
	[°C]	[°C]	[µV]	[µV]	[W/mK]		
-te-	20.02		60.02		-3001	3118	0.06101
-pe-	20.01		60.03		-2980	3142	0.06101
-pe-	20.01		60.00		-2970	3151	0.06104
-pe-	20.01		60.02		-2968	3153	0.06102
-pe-	20.02		60.03		-2969	3153	0.06102

Monday, January 26, 2009, Time 15:47

Setpoint No. 3	
Setpoint Upper:20.00 °C	
Setpoint Lower:60.00 °C	
Temperature Upper: 20.01	°C
CalibFactor Upper:	0.025744
Results Upper:	0.06014 W/mK
HeatFlux Upper:	76.44 W/m²
Temperature Lower: 60.02	°C
CalibFactor Lower:	0.024961
Results Lower:	0.06191 W/mK
Percent Difference:	2.90%
HeatFlux Lower:	78.69 W/m²

Block Averages for setpoint 4 in SI units

	Tupper		Tlower		Qupper	Qlower	Lambda
	[°C]	[°C]	[µV]	[µV]	[W/mK]		
-te-	20.13		60.11		-2942	3177	0.06103
-pe-	20.08		60.09		-2980	3148	0.06108
-pe-	20.11		60.11		-2973	3150	0.06105
-pe-	20.11		60.11		-2970	3154	0.06105
-pe-	20.12		60.12		-2972	3153	0.06106

Monday, January 26, 2009, Time 16:13

Setpoint No. 4	
Setpoint Upper:20.10 °C	
Setpoint Lower:60.10 °C	
Temperature Upper: 20.11	°C
CalibFactor Upper:	0.025738
Results Upper:	0.06019 W/mK
HeatFlux Upper:	76.49 W/m²
Temperature Lower: 60.11	°C
CalibFactor Lower:	0.024960
Results Lower:	0.06192 W/mK
Percent Difference:	2.84%
HeatFlux Lower:	78.69 W/m²
Thermal Equilibrium Cr	iteria:
Temperature Equilibrium	n: 0.30
Detucer Dleel UEM Devi	

Temperature Equilibrium:0.30Between Block HFM Equil.:49HFM Percent Change:2.00Min Number of Blocks:4Calculation Blocks:3Upper & Lower Plate averages used for equilibrium check

Block Averages for setpoint 5 in SI units

	Tupper		Tlower		Qupper	Qlower	Lambda
	[°C]	[°C]	[µV]	[µV]	[W/mK]		
-te-	20.03		60.02		-2996	3119	0.06100
-pe-	20.05		60.03		-2970	3144	0.06098
-pe-	20.02		60.01		-2971	3149	0.06102
-pe-	20.01		60.02		-2971	3151	0.06103
-pe-	20.01		60.02		-2970	3151	0.06102

Monday, January 26, 2009, Time 16:39

Setpoint No. 5	
Setpoint Upper:20.00 °C	
Setpoint Lower:60.00 °C	
Temperature Upper: 20.01	°C
CalibFactor Upper:	0.025744
Results Upper:	0.06017 W/mK
HeatFlux Upper:	76.47 W/m²
Temperature Lower: 60.02	°C
CalibFactor Lower:	0.024961
Results Lower:	0.06188 W/mK
Percent Difference:	2.79%
HeatFlux Lower:	78.63 W/m²

Thermal Equilibrium Criteria: Temperature Equilibrium: 0.30 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2.00 Min Number of Blocks: 4 Calculation Blocks: 3 Upper & Lower Plate averages used for equilibrium check

Block Averages for setpoint 6 in SI units

	Tupper		Tlower		Qupper	Qlower	Lambda
	[°C]	[°C]	[µV]	[µV]	[W/mK]		
-te-	20.02		55.34		-2827	1487	0.04900
-te-	19.95		54.99		-2604	2652	0.05992
-pe-	20.01		55.02		-2562	2687	0.05988
-pe-	20.01		55.01		-2560	2692	0.05993
-pe-	20.01		55.01		-2557	2695	0.05994
-pe-	20.02		55.02		-2558	2695	0.05994

Monday, January 26, 2009, Time 17:10

Setpoint No. 6 Setpoint Upper:20.00 °C Setpoint Lower:55.00 °C Temperature Upper: 20.01 °C CalibFactor Upper: 0.025744 Results Upper: 0.05923 W/mK HeatFlux Upper: 65.86 W/m² Temperature Lower: 55.01 °C

CalibFactor	Lower:	0.025033	3
Results Lowe	r:	0.06064	W/mK
Percent Diff	erence:	2.37%	
HeatFlux Low	er:	67.44 W/	/ m 2

Block Averages for setpoint 7 in SI units

	Tupper		Tlower		Qupper	Qlower	Lambda
	[°C]	[°C]	[µV]	[µV]	[W/mK]		
-te-	20.03		50.26		-2403	1080	0.04631
-te-	20.04		50.01		-2197	2212	0.05884
-pe-	20.01		50.01		-2165	2254	0.05890
-pe-	20.01		50.01		-2161	2256	0.05888
-pe-	20.01		50.02		-2159	2259	0.05888
-pe-	20.01		50.02		-2158	2259	0.05889

Monday, January 26, 2009, Time 17:40

Setpoint No. 7 Setpoint Upper: 20.00 °C Setpoint Lower: 50.00 °C Temperature Upper: 20.01 °C CalibFactor Upper: 0.025744 Results Upper: 0.05832 W/mK HeatFlux Upper: 55.60 W/m² Temperature Lower: 50.02 °C CalibFactor Lower: 0.025097 0.05945 W/mK Results Lower: Percent Difference: 1.91% HeatFlux Lower: 56.67 W/m²

> Thermal Equilibrium Criteria: Temperature Equilibrium: 0.30 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2.00 Min Number of Blocks: 4 Calculation Blocks: 3 Upper & Lower Plate averages used for equilibrium check

Block Averages for setpoint 8 in SI units

	Tupper		Tlower		Qupper	Qlower	Lambda
	[°C]	[°C]	[µV]	[µV]	[W/mK]		
-te-	20.03		45.35		-2021	696	0.04322
-te-	20.05		45.09		-1809	1806	0.05783
-pe-	20.01		45.02		-1777	1837	0.05787

0.05785 0.05783 0.05785 0.05786 0.05785 -pe-20.01 45.02 -1773 1840 0.05785 -1771 20.01 45.02 1841 -pe-1842 -pe-20.01 45.02 -1771 20.01 1843 -pe-45.02 -1770 20.01 -pe-45.02 -1770 1843 Monday, January 26, 2009, Time 18:21 Setpoint No. 8 Setpoint Upper: 20.00 °C Setpoint Lower: 45.00 °C Temperature Upper: 20.01 °C CalibFactor Upper: 0.025744 0.05737 W/mK Results Upper:
 Results opper:
 0.05/37 W/1

 HeatFlux Upper:
 45.57 W/m²
 Temperature Lower: 45.02 °C CalibFactor Lower: 0.025155 Results Lower: 0.05835 W/mK Percent Difference: 1.70% HeatFlux Lower: 46.36 46.36 W/m² Thermal Equilibrium Criteria: Temperature Equilibrium: 0.30 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2.00 Min Number of Blocks: 4 Calculation Blocks: 3 Upper & Lower Plate averages used for equilibrium check Results Table -- SI Units Mean Temp Upper Cond Lower Cond Average Cond 40.02 0.06001 0.06204 0.06102 0.06016 40.12 0.06193 0.06104 0.06014 40.01 0.06103 0.06191 40.11 0.06019 0.06192 0.06105 0.06017 0.05923 40.02 0.06188 0.06102 37.51 0.06064 0.05993 0.05832 0.05889 35.01 0.05945 32.52 0.05737 0.05835 0.05786

5.6.2 Δείγμα πολυεστέρα με εσωτερική κοιλότητα

Thursday, February 19, 2009, Time 09:54 Θερμοκρασία: 22 °C Υγρασία: 31% WinTherm32 Version 2.30.07 Instrument Program Version 72 Instrument Serial Number: 746 Sample Name: Πολυεστέρας με κοιλότητα Thickness: 37.325mm Thickness obtained : from instrument TEST RUN Calibration used : 1450b Calibration read from instrument Number of transdusers per plate: 1 Number of transdusers used per plate: 1 Number of Setpoints: 4 Block Averages for setpoint 1 in SI units Qlower Tupper Tlower Qupper [°C] [°C] [µV] [µV] [W/mK] -4264 20.01 60.02 4913 -te-20.02 60.02 -4326 4783 -pe--4342 20.01 60.03 4734 -pe-20.01 60.02 -4345 4721 -pe--pe-20.02 60.03 -4345 4719 20.02 60.03 -4347 4715 -pe-20.02 60.03 -4348 4714 -pe-20.02 60.02 -4349 -pe-4712 20.01 59.99 -4346 4707 -pe--4346 20.01 60.02 4712 -pe-Thursday, February 19, 2009, Time 10:51 Setpoint No. 1 Setpoint Upper: 20.00 °C Setpoint Lower: 60.00 °C Temperature Upper: 20.01 °C CalibFactor Upper: 0.025744 Results Upper: 0.1044 W/mK 111.9 W/m² HeatFlux Upper: Temperature Lower: 60.01 °C CalibFactor Lower: 0.024962 Results Lower: 0.1097 W/mK Percent Difference: 4.93% HeatFlux Lower: 117.6 W/m²

Lambda

0.1084

0.1077

0.1072

0.1071

0.1071

0.1071

0.1071

0.1071

0.1071

0.1071

Block Averages for setpoint 2 in SI units

	Tupper		Tlower		Qupper	Qlower	Lambda
	[°C]	[°C]	[µV]	[µV]	[W/mK]		
-te-	20.02		55.23		-3904	3126	0.09474
-te-	19.99		54.99		-3736	4002	0.1047
-pe-	20.01		55.02		-3729	4012	0.1047
-pe-	20.01		55.02		-3727	4016	0.1047
-pe-	20.01		55.02		-3727	4018	0.1048
-pe-	20.02		55.02		-3728	4016	0.1048

Thursday, February 19, 2009, Time 11:21

Setpoint No. 2	
Setpoint Upper:20.00 °C	
Setpoint Lower:55.00 °C	
Temperature Upper: 20.01	°C
CalibFactor Upper:	0.025744
Results Upper:	0.1023 W/mK
HeatFlux Upper:	95.95 W/m²
Temperature Lower: 55.02	°C
CalibFactor Lower:	0.025033
Results Lower:	0.1072 W/mK
Percent Difference:	4.68%
HeatFlux Lower:	100.6 W/m²

Thermal Equilibrium Criteria: Temperature Equilibrium: 0.30 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2.00 Min Number of Blocks: 4 Calculation Blocks: 3 Upper & Lower Plate averages used for equilibrium check

Block Averages for setpoint 3 in SI units

	Tupper	Tlower	Qupper	Qlower	Lambda
	[°C]	[°C] [µV]	[µV] [W/mK]		
-te-	20.02	50.25	-3302	2486	0.09099
-te-	19.98	49.99	-3141	3339	0.1024
-pe-	20.01	50.01	-3132	3350	0.1024
-pe-	20.01	50.01	-3130	3351	0.1024
-pe-	20.01	50.02	-3130	3353	0.1025
-pe-	20.01	50.02	-3130	3354	0.1025

Thursday, February 19, 2009, Time 11:52

Setpoint No. 3	
Setpoint Upper:20.00 °C	
Setpoint Lower:50.00 °C	
Temperature Upper: 20.01	°C
CalibFactor Upper:	0.025744
Results Upper:	0.1003 W/mK
HeatFlux Upper:	80.59 W/m²
Temperature Lower: 50.02	°C
CalibFactor Lower:	0.025097
Results Lower:	0.1047 W/mK
Percent Difference:	4.31%
HeatFlux Lower:	84.14 W/m²

Block Averages for setpoint 4 in SI units

	Tupper		Tlower		Qupper	Qlower	Lambda
	[°C]	[°C]	[µV]	[µV]	[W/mK]		
-te-	20.02		45.26		-2724	1874	0.08669
-te-	20.00		45.01		-2556	2700	0.09978
-pe-	20.01		45.01		-2552	2706	0.09983
-pe-	20.01		45.02		-2550	2709	0.09984
-pe-	20.02		45.02		-2551	2710	0.09989
-pe-	20.01		45.02		-2550	2711	0.09989
-pe-	20.02		45.02		-2550	2710	0.09987

Thursday, February 19, 2009, Time 12:28

Setpoint No. 4	
Setpoint Upper:20.00 °C	
Setpoint Lower:45.00 °C	
Temperature Upper: 20.02	°C
CalibFactor Upper:	0.025744
Results Upper:	0.09800 W/mK
HeatFlux Upper:	65.66 W/m²
Temperature Lower: 45.02	°C
CalibFactor Lower:	0.025155
Results Lower:	0.1018 W/mK
Percent Difference:	3.77%
HeatFlux Lower:	68.18 W/m²

Thermal Equilibrium Criteria: Temperature Equilibrium: 0.30 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2.00 Min Number of Blocks: 4 Calculation Blocks: 3 Upper & Lower Plate averages used for equilibrium check

Results Table -- SI Units

Mean Temp	Upper Cond	Lower Cond Average	Cond
40.01	0.1044	0.1097	0.1071
37.52	0.1023	0.1072	0.1048
35.01	0.1003	0.1047	0.1025
32.52	0.09800	0.1018	0.09988

5.7 Ψευδοτάβανο

Monday, January 26, 2009, Time 09:26 Θερμοκρασία: 23 °C Υγρασία: 31%

WinTherm32 Version 2.30.07 Instrument Program Version 72 Instrument Serial Number: 746

Sample Name: Ψευδοτάβανο Thickness: 13.367mm Thickness obtained : from instrument

TEST RUN

Calibration used : 1450b Calibration read from instrument

Number of transdusers per plate: 1 Number of transdusers used per plate: 1

Number of Setpoints: 8

Block Averages for setpoint 1 in SI units

	Tupper	Tlower	Qupper	Qlower	Lambda
	[°C]	[ºC] [µV]	[µV] [W/mK]		
-te-	20.01	60.03	-7110	7618	0.06233
-te-	20.01	60.02	-7089	7583	0.06211
-pe-	20.01	60.04	-7084	7580	0.06204
-pe-	20.00	60.05	-7077	7569	0.06194
-pe-	20.01	60.04	-7073	7558	0.06189
-pe-	20.01	60.04	-7069	7552	0.06185
-pe-	20.01	60.01	-7064	7542	0.06183
-pe-	20.01	60.02	-7060	7544	0.06182
-pe-	20.01	60.02	-7059	7546	0.06182
-pe-	20.01	60.02	-7058	7545	0.06181

Monday, January 26, 2009, Time 10:38

Setpoint No. 1	
Setpoint Upper:20.00 °C	
Setpoint Lower:60.00 °C	
Temperature Upper: 20.01	°C
CalibFactor Upper:	0.025744
Results Upper:	0.06072 W/mK
HeatFlux Upper:	181.7 W/m²
Temperature Lower: 60.02	°C
CalibFactor Lower:	0.024961
Results Lower:	0.06292 W/mK
Percent Difference:	3.57%
HeatFlux Lower:	188.3 W/m²

Block Averages for setpoint 2 in SI units

	Tupper		Tlower		Qupper	Qlower	Lambda
	[°C]	[°C]	[µV]	[µV]	[W/mK]		
-te-	20.11		60.11		-7024	7581	0.06183
-pe-	20.12		60.12		-7063	7546	0.06183
-pe-	20.11		60.10		-7060	7548	0.06185
-pe-	20.11		60.12		-7060	7550	0.06184
-pe-	20.12		60.12		-7061	7547	0.06183

Monday, January 26, 2009, Time 11:03

Setpoint No. 2	
Setpoint Upper:20.10 °C	
Setpoint Lower:60.10 °C	
Temperature Upper: 20.11	°C
CalibFactor Upper:	0.025738
Results Upper:	0.06072 W/mK
HeatFlux Upper:	181.7 W/m²
Temperature Lower: 60.11	°C
CalibFactor Lower:	0.024960
Results Lower:	0.06296 W/mK
Percent Difference:	3.61%
HeatFlux Lower:	188.4 W/m²
Thermal Equilibrium Cr:	iteria:

Thermal Equilibrium Criteria: Temperature Equilibrium: 0.30 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2.00 Min Number of Blocks: 4 Calculation Blocks: 3 Upper & Lower Plate averages used for equilibrium check Block Averages for setpoint 3 in SI units

	Tupper		Tlower		Qupper	Qlower	Lambda
	[°C]	[°C]	[µV]	[µV]	[W/mK]		
-te-	20.01		60.02		-7106	7497	0.06182
-pe-	20.01		60.01		-7053	7543	0.06181
-pe-	20.01		60.02		-7059	7542	0.06180
-pe-	20.01		60.02		-7057	7543	0.06180
-pe-	20.01		60.02		-7056	7545	0.06180

Monday, January 26, 2009, Time 11:29

Setpoint No. 3	
Setpoint Upper:20.00 °C	
Setpoint Lower:60.00 °C	
Temperature Upper: 20.01	°C
CalibFactor Upper:	0.025744
Results Upper:	0.06070 W/mK
HeatFlux Upper:	181.7 W/m²
Temperature Lower: 60.02	°C
CalibFactor Lower:	0.024961
Results Lower:	0.06291 W/mK
Percent Difference:	3.58%
HeatFlux Lower:	188.3 W/m²

Thermal Equilibrium Criteria: Temperature Equilibrium: 0.30 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2.00 Min Number of Blocks: 4 Calculation Blocks: 3 Upper & Lower Plate averages used for equilibrium check

Block Averages for setpoint 4 in SI units

	Tupper		Tlower		Qupper	Qlower	Lambda
	[°C]	[°C]	[µV]	[µV]	[W/mK]		
-te-	20.11		60.11		-7018	7583	0.06181
-pe-	20.11		60.12		-7060	7550	0.06183
-pe-	20.11		60.12		-7058	7550	0.06183
-pe-	20.11		60.12		-7057	7548	0.06181
-pe-	20.12		60.12		-7057	7544	0.06180

Monday, January 26, 2009, Time 11:55

Setpoint No. 4	
Setpoint Upper:20.10 °C	
Setpoint Lower:60.10 °C	
Temperature Upper: 20.11	°C
CalibFactor Upper:	0.025738
Results Upper:	0.06069 W/mK
HeatFlux Upper:	181.6 W/m²
Temperature Lower: 60.12	°C
CalibFactor Lower:	0.024960

132

Results Lower:	0.06294 W/mK
Percent Difference:	3.65%
HeatFlux Lower:	188.4 W/m²

Block Averages for setpoint 5 in SI units

	Tupper	Т	lower	Qupper		Q	lower	Lambda
	[°C]	[°C]	[µV]	[µV]	[W/mK]			
-te-	20.01		60.02		-7091		7507	0.06180
-pe-	20.00		60.00		-7052		7542	0.06179
-pe-	20.01		60.02		-7051		7541	0.06177
-pe-	20.02		60.02		-7052		7542	0.06179
-pe-	20.02		60.02		-7054		7543	0.06180

Monday, January 26, 2009, Time 12:20

Setpoint No. 5	
Setpoint Upper:20.00 °C	
Setpoint Lower:60.00 °C	
Temperature Upper: 20.02	°C
CalibFactor Upper:	0.025744
Results Upper:	0.06066 W/mK
HeatFlux Upper:	181.6 W/m²
Temperature Lower: 60.02	°C
CalibFactor Lower:	0.024961
Results Lower:	0.06290 W/mK
Percent Difference:	3.63%
HeatFlux Lower:	188.3 W/m²

Thermal Equilibrium Criteria: Temperature Equilibrium: 0.30 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2.00 Min Number of Blocks: 4 Calculation Blocks: 3 Upper & Lower Plate averages used for equilibrium check

Block Averages for setpoint 6 in SI units

	Tupper		Tlower	Qupper		Qlower	Lambda
	[°C]	[°C]	[µV]	[µV]	[W/mK]		
-te-	20.01		55.23		-6444	4883	0.05466
-te-	19.99		55.00		-6118	6445	0.06087
-pe-	20.01		55.01		-6126	6505	0.06120
-pe-	20.01		55.02		-6133	6523	0.06132
-pe-	20.01		55.01		-6131	6528	0.06134

-pe-20.02 55.02 -6132 6530 0.06136 20.02 55.02 -6133 6530 0.06136 -pe-Monday, January 26, 2009, Time 12:56 Setpoint No. 6 Setpoint Upper: 20.00 °C Setpoint Lower: 55.00 °C Temperature Upper: 20.01 °C CalibFactor Upper: 0.025744 Results Upper: 0.06029 W/mK HeatFlux Upper: 157.9 W/m² Temperature Lower: 55.02 °C CalibFactor Lower: 0.025033 Results Lower: 0.06242 W/mK 3.48% Percent Difference: HeatFlux Lower: 163.4 W/m² Thermal Equilibrium Criteria: Temperature Equilibrium: 0.30 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2.00 Min Number of Blocks: 4 Calculation Blocks: 3 Upper & Lower Plate averages used for equilibrium check Block Averages for setpoint 7 in SI units Lambda Tupper Tlower Qupper Qlower [°C] [°C] [µV] [µV] [W/mK] 20.01 50.26 3919 0.05316 -te--5527 -te-20.02 50.01 -5195 5445 0.06025 -pe-20.01 50.01 -5211 5506 0.06066 -pe-20.01 50.02 -5220 5520 0.06079 -5216 20.01 50.01 5526 0.06080 -pe--pe-20.01 50.01 -5215 5529 0.06082 -pe- 20.02 50.02 -5216 5530 0.06083 50.03 -pe-20.02 -5220 5528 0.06083 Monday, January 26, 2009, Time 13:37 Setpoint No. 7 Setpoint Upper: 20.00 °C Setpoint Lower: 50.00 °C Temperature Upper: 20.02 °C CalibFactor Upper: 0.025743 0.05983 W/mK Results Upper: HeatFlux Upper: 134.3 W/m² Temperature Lower: 50.02 °C CalibFactor Lower: 0.025097 Results Lower: 0.06182 W/mK Percent Difference: 3.27% 138.8 W/m² HeatFlux Lower:

Block Averages for setpoint 8 in SI units

	Tupper		Tlower		Qupper	Qlower	Lambda
	[°C]	[°C]	[µV]	[µV]	[W/mK]		
-te-	20.01		45.28		-4638	2979	0.05140
-te-	20.04		45.04		-4296	4478	0.05968
-pe-	20.01		45.02		-4307	4539	0.06014
-pe-	20.01		45.03		-4317	4547	0.06025
-pe-	20.01		45.02		-4316	4548	0.06027
-pe-	20.02		45.02		-4318	4549	0.06031

Monday, January 26, 2009, Time 14:08

Setpoint No. 8 Setpoint Upper: 20.00 °C Setpoint Lower: 45.00 °C Temperature Upper: 20.01 °C CalibFactor Upper: 0.025744 Results Upper: 0.05940 W/mK HeatFlux Upper: 111.1 W/m² Temperature Lower: 45.02 °C CalibFactor Lower: 0.025155 Results Lower: 0.06116 W/mK Percent Difference: 2.91% 114.4 W/m² HeatFlux Lower:

> Thermal Equilibrium Criteria: Temperature Equilibrium: 0.30 Between Block HFM Equil.: 49 HFM Percent Change: 2.00 Min Number of Blocks: 4 Calculation Blocks: 3 Upper & Lower Plate averages used for equilibrium check

Results Table -- SI Units

Mean Temp	Upper Cond	Lower Cond Average	Cond
40.02	0.06072	0.06292	0.06182
40.11	0.06072	0.06296	0.06184
40.01	0.06070	0.06291	0.06180
40.12	0.06069	0.06294	0.06181
40.02	0.06066	0.06290	0.06178
37.52	0.06029	0.06242	0.06135
35.02	0.05983	0.06182	0.06083
32.52	0.05940	0.06116	0.06028

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α- ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ ΚΟΙΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Material 📕	Thermal conductivity (W·m ⁻¹ ·K ⁻¹)	Temperature (К) 📕	Electrical conductivity @ 293 K $(\Omega^{-1} \cdot m^{-1})$	Notes 📕
Acrylic Glass (Plexiglas V045i)	0.2 ⁿ			
Air	0.024 ^d - 0.025 ^e - 0.0262 ^a	273 ^d - 293 ^e - 300 ^a	3.333 × 10 ^{-6[1]}	(N+21%O+0.93%Ar+0.04%CO ₂)
Alcohols OR Oils	0.1 ^e - 0.21 ^e	293 ^e		(1 atm)
Aluminium, pure	205 ^d - 220 ^f - 237 ^{egi}	293 ^{egi}	$37.45^{g} - 37.74^{i} \times 10^{6}$	
Aluminium nitride	170 ^m			
Alumina, pure	40 ¹²¹	293		
Beryllium oxide	218 ^m			
Brass Cu63%	125 ^g	296 ^g	$12.82^{g} - 21.74^{g} \times 10^{6}$	(Cu63%,Zn37%)
Brass Cu70%	109 ~ 121 ^g	296 ^g	$12.82^{g} - 21.74^{g} \times 10^{6}$	(Cu70%,Zn30%)
Bronze	26 ^f 42 ~ 50 ^g	296 ^g	5.882 ^g - 7.143 ^g × 10 ⁶	Sn25% (Cu89%,Sn11%) ^f
Cast iron	55 ^f			(Fe+(2-4)%C+(1-3)%Si)
Carbon steel	36 ^f - 50.2 ^d - 54 ^f			(Fe+(1.5-0.5)%C)
Concrete	0.8 ^d - 1.28 ^e	293 ^e		~61-67%CaO
Copper, pure	386.0 ² 368.7 353.1	279 ^z 559 859	59.17 ^g - 59.59 ⁱ × 10 ⁶	IACS pure =1.7×10 ⁻⁸ Ω∙m =58.82×10 ⁶ Ω ⁻¹ ∙m ⁻¹
Cork	0.04 ^d - 0.07 ^e	293 ^e		
Diamond, pure synthetic	2000 ⁱ -2500 ⁱ	293 ⁱ	(Lateral)10 ^{-16 i} - (Ballistic)10 ^{8+ i}	(>99.9% ¹² C)
Diamond, impure	1000 ^{ad}	273 ^ª ~ 293 ^d	~10 ^{-16 i}	Type I (98.1% of Gem Diamonds)
				(C+0.1%N)

Expanded polystyrene	0.033 ^{ad} - ((PS Only)0.1 - 0.13 ^g)	98 ^a -298 ^a -296 ^g	<10 ^{-14 g} - 10 ^{0 g}	(PS+Air+CO ₂ +C _n H _{2n+x})
Fiberglass OR Foam OR Wool	0.03 ^e - 0.04 ^d - 0.045 ^e	293 ^e		
Glass	0.8 ^d -0.93 ^e ((96%SiO ₂)1.2-1.4 ^g)	293 ^{eg}	10 ⁻¹⁴ - 10 ⁻¹² g - 10 ⁻¹⁰	<1% Iron oxides
Glycerol	0.29 ^e	293 ^e		
Gold, pure	314 ^d - 318 ^{fgi}	300 ^{gi}	45.17 ⁱ - 45.45 ^g × 10 ⁶	
Granite	1.73 ^b - 3.98 ^b			(72%SiO ₂ +14%Al ₂ O ₃ +4%K ₂ O etc.)
lce	1.6 ^d - 2.1 ^e - 2.2 ^a	293 ^e - 273 ^a		
Iron, pure	71.8 ^f - 79.5 ^d - 80.2 ^a - 80.4 ^{gi}	300 ^{agi}	9.901 ^g - 10.41 ⁱ × 10 ⁶	
Marble	2.07 ^b - 2.94 ^b			Mostly CaCO ₃
Limestone	1.26 ^b - 1.33 ^b			Mostly CaCO ₃
Lead, pure	34.7 ^d 35.0 ^f 35.3 ^{gi}	293 ^d f 300 ^{gi}	4.808 ⁱ - 4.854 ^g × 10 ⁶	
Nitrogen, pure	0.0234 ^d - 0.02583 ⁱ - 0.026 ^a	293 ^d - 300 ^{ai}		(N ₂) (1 atm)
Oxygen, pure	0.0238 ^d - 0.02658 ⁱ	293 ^d - 300 ⁱ		(O ₂) (1 atm)
Plastic, fiber- reinforced	0.23 ^g - 0.7 ^g - 1.06 ^e	296 ^g - 293 ^e	10 ^{-15 g} - 10 ^{0 g}	10-40%GF or CF
Polymer, High- Density	0.33 ^g - 0.52 ^g	296 ^g	10 ^{-16 g} - 10 ^{2 g}	
Polymer, Low- density	0.04 ^g - 0.16 ^e - 0.25 ^e - 0.33 ^g	296 ^g - 293 ^e	10 ^{-17 g} - 10 ^{0 g}	
Rice hulls (whole)	5.19 ¹			
Rubber (92%)	0.16 ^a	303 ^a	~10 ⁻¹³	
Sandstone	1.83 ^b - 2.90 ^b			~95-71%SiO ₂
Snow, dry	0.11 ^d			

Silica Aerogel	0.003 ^a -0.004 ⁱ -0.008 ^k -0.017 ^k - 0.03 ⁱ	98 ^ª - 298 ^ª		Foamed Glass
Silicon dioxide, pure	1 ^m			
Silver, pure	406 ^d - 418 ^f - 429 ^{agi}	300 ^{agi}	61.35 ^g - 63.01 ⁱ × 10 ⁶	Highest <i>electrical</i> conductivity of any metal
Soil	0.17 ^c - 1.13 ^c			composition may vary
Stainless steel	16.3 ^g	296 ^g	1.389 ^g - 1.429 ^g × 10 ⁶	AISI 302(Fe,Cr18%,Ni8%)
Steel(normal)	50.2 ^d	293 ^d		
Titanium, pure	15.6 ^f - 21.9 ^{gi}	300 ^{gi}	1.852 ^g - 2.381 ⁱ × 10 ⁶	
Titanium Alloy	5.8 ^g	296 ^g	0.595 ^g × 10 ⁶	(Ti+6%Al+4%V)
Thermal grease, silver-based	2 ⁱ - 3 ⁱ			
Water	0.6 ^{de}	293 ^{de}	5×(Pure)10 ^{-6 i} - (Sweet)10 ^{-3±1 i} - (Sea)1 ⁱ	<3%(NaCl+MgCl ₂ +CaCl ₂)
Wood, +>=12% water	0.09091 ^h - 0.16 ^a - 0.21 ^h - 0.4 ^e	298 ^ª - 293 ^e		Species-Variable ^h
Wood, oven-dry	0.04 ^d - 0.07692 ^h - 0.12 ^d - 0.17 ^h			Cedar ^h - Hickory ^h
Zinc oxide	21 ^m			

<u>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</u>

1° Μέρος

- 1. International Standard, ISO 8302 , 'Thermal insulation –Determination of steady-state thermal resistance and related properties –Guarded hot plate apparatus '
- 2. Handbook for engineers

2° Μέρος

1. LaserComp, 'FOX200 and FOX300 Series Instruments Manual'

3[°] Μέρος

1. LaserComp, 'WinTherm32 Software Manual'

4° Μέρος

- 1. Σ.Ε.Σιμόπουλος , 'Μετρήσεις Τεχνικών Μεγεθών'
- 2. <u>http://www.altoscm.eu/gr/products.asp?id=01.01.03&lv=003</u>
- 3. <u>http://en.wikipedia.org/wiki/Drywall</u>
- 4. Ξενοφών Κ. Κακάτσιος , Μετάδοση Θερμότητας
- 5. <u>http://en.wikipedia.org/wiki/Double_glazing</u>
- 6. <u>http://www.iselco.gr/details</u>
- 7. Waterman and Ashby, 'The materials selesctor', Second edition