



Τ.Ε.Ι. ΑΘΗΝΑΣ / Σ.Τ.Ε.Φ.

ΤΜΗΜΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΟΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΟΣ

Οδός Αγ.Σπυρίδωνος, 12210 Αιγάλεω, Αθήνα

## ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΠΑΡΑΔΟΧΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΜΕΝΗΣ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΜΗ ΜΟΝΙΜΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

### 1.Σκοπός της άσκησης και διαθέσιμος εξοπλισμός

Προορισμός της εργαστηριακής άσκησης είναι ο προσδιορισμός του συντελεστή συναγωγής κατά την διάρκεια μεταβατικής ψύξης μίας μεταλλικής πλάκας σε περιβάλλον ατμοσφαιρικού αέρα. Η άσκηση επιτρέπει τόσο την μέτρηση του συντελεστή φυσικής συναγωγής όσο και βεβαιωμένης συναγωγής. Με την βοήθεια του διαθέσιμου εξοπλισμού είναι επίσης δυνατή η μελέτη της επίδρασης ενός σημαντικού αριθμού παραμέτρων που επιδρούν στην διαμόρφωση του συντελεστή συναγωγής, όπως ο προσδιορισμός της επίδρασης της ταχύτητας του περιρρέοντος αέρος για την περίπτωση βεβαιωμένης συναγωγής και της επίδρασης της κλίσης της επίπεδης πλάκας ως προς την διεύθυνση του πεδίου βαρύτητας για την περίπτωση φυσικής συναγωγής. Για τις ανάγκες της άσκησης διατίθεται η βασική συσκευή μέτρησης, που περιλαμβάνει την συμπαγή μεταλλική θερμαινόμενη πλάκα και χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του συντελεστή συναγωγής, με τους θερμοαντήρες, αξονικό ανεμιστήρα, θερμοζεύγη τύπου “Κ” ( κραματα Νικελίου χρωμίου – Νικελίου Αργιλίου) μέτρησης της θερμοκρασίας της πλάκας και του αέρα περιβάλλοντος κλπ. Εκτός του λοιπού βοηθητικού εξοπλισμού διατίθενται επίσης μετατροπείς θερμοζευγών και εργαστηριακό καταγραφικό όργανο δύο διαύλων.

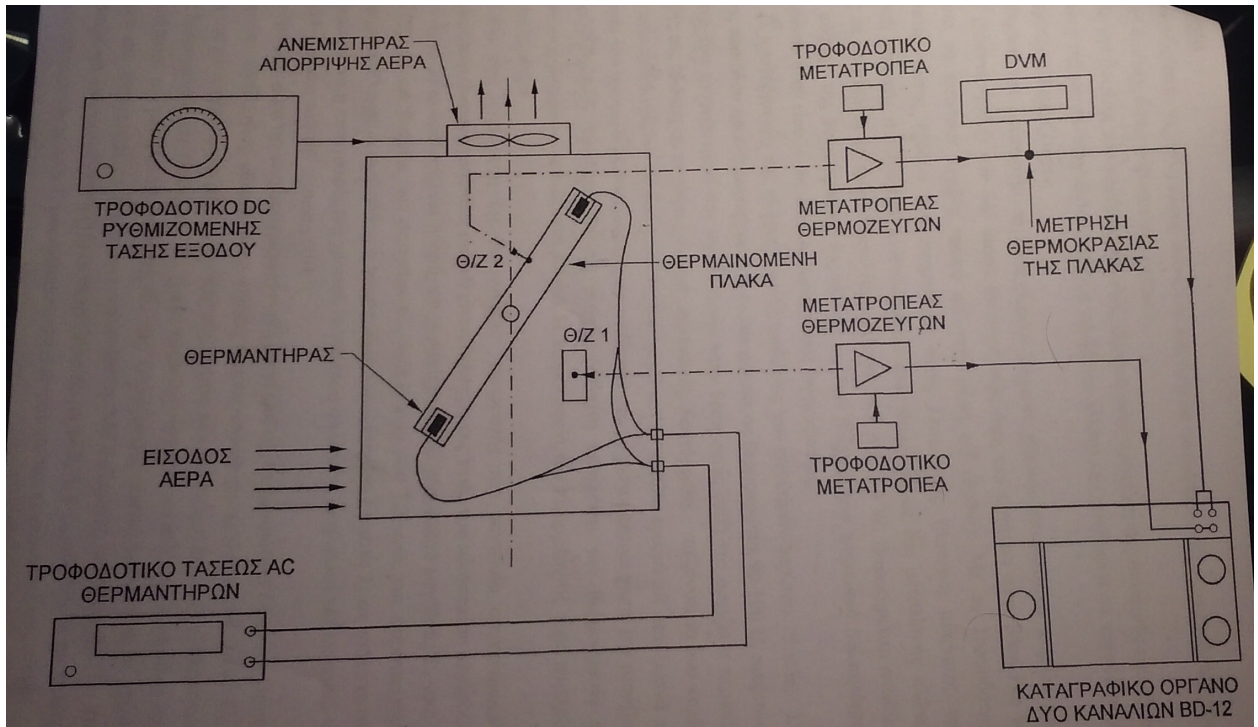
### 2.Περιγραφή του εξοπλισμού και πειραματική διάταξη

#### 2.1 Ο διαθέσιμος βασικός εργαστηριακός εξοπλισμός

Στο σχήμα 1 φαίνεται η βασική συσκευή μέτρησης. Είναι κατασκευασμένη από διαφανή φύλλα plexiglass και συγκροτεί το σύστημα ανάρτησης μιας συμπαγούς οριζόντιας πλάκας αργιλίου με  $k_{Al}=200 \text{ W/m.K}$ , που είναι δυνατόν να περιστραφεί περί οριζόντιο άξονα λαμβάνοντας κλίσεις μεταξύ  $0$  κατά  $90^\circ$ .

Η ειδική θερμοχωρητικότητα και η πυκνότητα του υλικού λαμβάνονται ίσες με  $c_p=890 \text{ J/kg.K}$  και  $\rho=2700 \text{ kg/m}^3$  αντιστοίχως. Η πλάκα διαθέτει δύο διατρήσεις εντός των οποίων εγκαθίστανται ισάριθμοι ηλεκτρικοί θερμοαντήρες (δύο θερμοαντήρες πυρακτώσεως αλογόνου

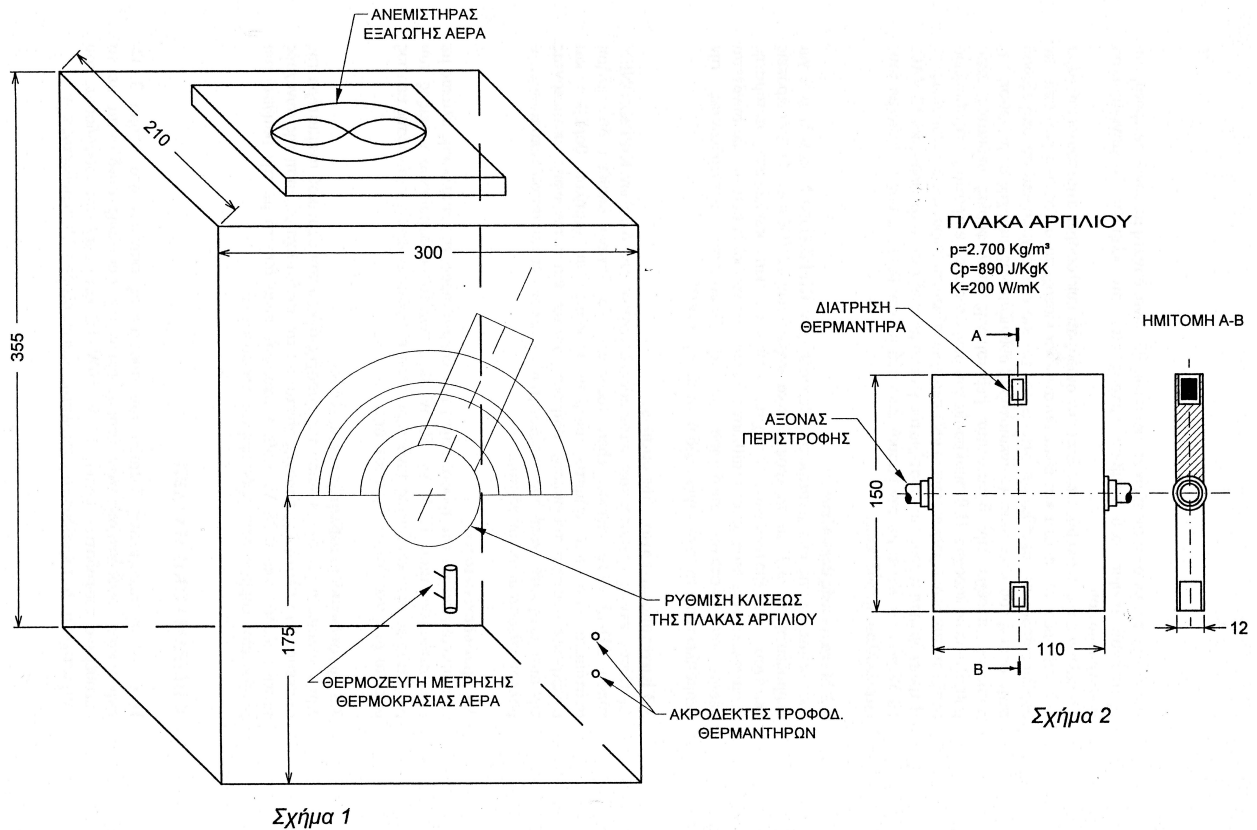
12V, 20W ), ενώ η θερμοκρασία της πλάκας μετράται με την βοήθεια θερμοζεύγους τύπου “K” τοποθετημένου μέσα σε λεπτή διάτρηση μικρού βάθους στην επιφάνεια της πλάκας, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.



Σχήμα 1: Σκαρίφημα της πειραματικής διάταξης

## ΣΥΣΚΕΥΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ

29



Σχήμα 2: Συσκευή μέτρησης του συντελεστή συναγωγής. Λεπτομέρειες ρύθμισης της θέσης της πλάκας αργίλου.

Η ανάρτηση και περιστροφή της πλάκας γίνεται με την βοήθεια άξονα από βακελίτη μικρής θερμικής αγωγιμότητας ( $k \approx 0.2 \text{ W/m.K}$ ) με σκοπό την ελαχιστοποίηση των θερμικών απωλειών αγωγής από την θερμή πλάκα. Η ρύθμιση της κλίσης της μεταλλικής πλάκας από  $0$  έως  $90^\circ$  είναι δυνατή με την περιστροφή του εξωτερικού ρυθμιστικού κομβίου εμπρός από την κλίμακα βαθμονομημένου μοιρογνωμονίου.

Το κέλυφος της συσκευής επιτρέπει την είσοδο και κυκλοφορία ατμοσφαιρικού αέρα που περιρρέει την πλάκα και είναι δυνατόν να εισέρχεται από την θυρίδα εισόδου στο οπίσθιο και κάτω μέρος του και να εξέρχεται από την οπή εξόδου στην οροφή του κελύφους. Η λειτουργία του ανεμιστήρα ρυθμιζόμενης παροχής στην οροφή της συσκευής παρέχει την δυνατότητα βεβιασμένης κυκλοφορίας ρεύματος αέρα ρυθμιζόμενης παροχής. Η θερμοκρασία του ρεύματος αέρα μετράται με την βοήθεια ανεξάρτητου θερμοζεύγους τύπου «K» μέσα σε κατάλληλο θωράκιο ακτινοβολίας. Η τροφοδότηση ισχύος του συστήματος γίνεται με ανεξάρτητο τροφοδοτικό 12 VAC, 50 W που συνδέεται με την βασική συσκευή με την βοήθεια των αγωγών με τους κατάλληλους ακροδέκτες.

Διατίθενται επίσης δύο μετατροπείς θερμοζευγών KIPP&ZONEN για θερμοζεύγη τύπου K με τα τροφοδοτικά ισχύος των 12VDCmax. Οι μετατροπείς περιέχουν ενσωματωμένους ενισχυτές σήματος και κυκλώματα αυτόματης θερμοηλεκτρικής επαφής αντιστάθμισης. Η είσοδος του κάθε μετατροπέα συνδέεται μέσω του πιεστικού συνδετήρα με το θερμοζεύγος, μετατρέποντας την μετρούμενη θερμοηλεκτρική τάση σε σήμα εξόδου στάθμης 1mV/°C.

Διατίθεται ακόμα εργαστηριακό καταγραφικό όργανο δύο διαύλων KIPP&ZONEN τύπου BD-12. Το όργανο διαθέτει δύο πλήρη συστήματα ενισχυτών σήματος υψηλού κέρδους και χαμηλού θορύβου και ανεξάρτητο σύστημα προώθησης, οδήγησης χάρτου και καταγραφής, επιτρέποντας την αυτόματη καταγραφή δύο ανεξάρτητων σημάτων στην ίδια επιφάνεια χιλιοστομετρικού χαρτιού.

## 2.2 Πειραματική διάταξη

Η συνολική πειραματική διάταξη της άσκησης φαίνεται στο σχήμα 3. Οι ακροδέκτες τροφοδότησης των θερμαντήρων της συσκευής συνδέονται με το διατιθέμενο τροφοδοτικό ισχύος 12 V, 50W AC και οι αγωγοί τροφοδοσίας του ανεμιστήρα με το τροφοδοτικό μεταβλητής τάσεως εξόδου. Οι ακροδέκτες των θερμοζευγών συνδέονται με τους μετατροπείς θερμοζευγων, η έξοδος των οποίων συνδέεται με τις αντίστοιχες εισόδους των δυο δίαυλων του καταγραφικού οργάνου. Ρυθμίζεται το κέρδος των ενισχυτών των δυο καναλιων στα 100 mV f.s. με την βοήθεια των δυο ρυθμιστικών κομβίων στην δεξιά πρόσοψη του οργάνου και η ταχύτητα προώθησης του χιλιοστομετρικού χαρτιού στα 5 mm/min με τον ρυθμιστικό διακόπτη ταχύτητας αριστερά. Με τις ρυθμίσεις αυτές **το συνολικό οριζόντιο εύρος του χιλιοστομετρικού χαρτιού αντιστοιχεί σε 100 C ενώ η προώθηση κατά 10 cm αντιστοιχεί σε χρόνο 20 min.**

### 3.Θεωρητικό υπόβαθρο

#### 3.1 Προϋπόθεσης εφαρμογής του μοντέλου συγκεντρωμένης χωρητικότητας

Όπως είναι γνωστό από την θεωρία, η θερμοκρασία κάθε υλικού σημείου ενός θερμαινόμενου (ή ψυχόμενου) στερεού σώματος είναι γενικά συνάρτηση του χρόνου και των τριών συντεταγμένων στον χώρο  $T(x,y,z,t)$ . Σε ορισμένες όμως περιπτώσεις (πχ πολύ μεγάλος συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του υλικού) είναι δυνατόν η θερμοκρασία κάθε χρονική στιγμή να διαφέρει ελάχιστα από θέση σε θέση σε όλη την έκταση της μάζας του υλικού, σε τρόπο ώστε να είναι σχεδόν ανεξάρτητη των συντεταγμένων.

Αυτό σημαίνει ότι οι διαφορές θερμοκρασίας εντός του σώματος κάθε χρονική στιγμή κατά την εξέλιξη του μεταβατικού φαινομένου είναι αμελητέες σε τρόπο ώστε να είναι δυνατόν να παραδεχθούμε με πολύ καλή προσέγγιση ότι η θερμοκρασία του σώματος κάθε χρονική στιγμή είναι ομοιόμορφη σε όλη την έκτασή του. Σύμφωνα με την θεωρία, προϋπόθεση της ισχύος της παραδοχής αυτής είναι να ικανοποιείται η ακόλουθη σχέση,

$$Bi = \frac{h \cdot L_c}{k} \ll 0.1$$

Που σημαίνει ότι ο αδιάστατος αριθμός Biot που δίδεται από την ανωτέρω σχέση, πρέπει να έχει πολύ μικρή αριθμητική τιμή όπου,

$h$  η τάξη μεγέθους του συντελεστή συναγωγής μεταξύ σώματος και περιρρέοντος ρευστού (W/m<sup>2</sup>K)

$k$  συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας υλικού (W/mK)

$L_c$  χαρακτηριστικό γραμμικό μέγεθος (m)

Η τιμή του χαρακτηριστικού γραμμικού μεγέθους  $L_c$  δίδεται από τη σχέση,

$$L_c = \frac{V}{A}$$

όπου  $V$  ο όγκος του υλικού σώματος (m<sup>3</sup>)

$A$  η επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας του σώματος (m<sup>2</sup>)

Η παραδοχή της σχεδόν ομοιόμορφης θερμοκρασίας στο εσωτερικό της μάζας του σώματος για κάθε χρονική στιγμή  $t$  οδηγεί σε σημαντική απλοποίηση τού μαθηματικού προβλήματος περιγραφής του φαινομένου της μεταβατικής ψύξης του σώματος και είναι γνωστή σαν μοντέλο συγκεντρωμένης χωρητικότητας (lumped parameter model).

### 3.2 Αναλυτικός υπολογισμός του ρυθμού ψύξης

Ας υποθέσουμε υλικό σώμα τυχαίας γεωμετρίας με μάζα  $m$ , πυκνότητα  $\rho$ , εμβαδόν εξωτερικής επιφάνειας συναλλαγής θερμότητας  $A$  και ειδικής θερμότητας  $c_p$ , που ευρίσκεται σε χρόνο  $t=0$  στην αρχική θερμοκρασία  $T_i$  και ψύχεται σε περιβάλλον ατμοσφαιρικού αέρα σταθερής θερμοκρασίας  $T_\infty$  με σταθερό συντελεστή συναγωγής  $h$ .

Όπως είναι γνωστό η εξίσωση θερμικού ισοζυγίου προβλέπει,

$$\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out} + \dot{E}_g = \dot{E}_{st} \quad (1)$$

Κατά την ψύξη όμως

$$\dot{E}_{in} = \dot{E}_g = 0 \quad (2)$$

και συνεπώς η εφαρμογή της προηγούμενης κατά τη διάρκεια του Μ.Φ. γίνεται,

$$-\dot{E}_{out} = \dot{E}_{st} \Rightarrow -\dot{Q}_{out} = \dot{Q}_{st} \Rightarrow \dot{Q}_L + \dot{Q}_{st} = 0 \Rightarrow d\dot{Q}_L + d\dot{Q}_{st} = 0 \quad (3)$$

Αναφερόμενοι σε απειροστά ποσά θερμικής ισχύος που συναλλάσσονται σε απειροστό χρόνο, η ισχύς θερμικών απωλειών όταν η θερμοκρασία του σώματος είναι  $T(t)$ , σταθερή στον απειροστό χρόνο  $dt$  είναι,

$$dQ_L = \bar{h} \cdot A \cdot [T(t) - T_\infty] \quad (4)$$

Αντιστοίχως η μείωση της αποθηκευμένης ενέργειας σε χρόνο  $dt$  είναι,

$$dQ_{st} = m \cdot c_p \cdot \frac{dT(t)}{dt} \quad (5)$$

Από τις σχέσεις (4) και (5) προκύπτει,

$$\bar{h}.A.[T(t)-T_{\infty}] = m.c_p \frac{dT(t)}{dt} \Rightarrow \frac{dT(t)}{T(t)-T_{\infty}} + \frac{\bar{h}.A}{m.c_p}.dt = 0 \quad (6)$$

Επειδή όμως ισχύει  $m = \rho.V$  και  $dT = d(T - T_{\infty})$ , με αντικατάσταση στην (6) προκύπτει

$$\frac{d[T(t)-T_{\infty}]}{T(t)-T_{\infty}} = -\frac{\bar{h}.A}{\rho.V.c_p}.dt \quad (7)$$

Από την ολοκλήρωση της (7) με οριακές συνθήκες τη θερμοκρασία σε χρόνο  $t=0$  του σώματος να είναι ομοιόμορφη και ίση με  $T(t=0) = T_i$  λαμβάνεται η σχέση,

$$\int_{t=0}^t \frac{d[T(t)-T_{\infty}]}{T(t)-T_{\infty}} = -\int_{t=0}^t \frac{\bar{h}.A}{\rho.V.c_p}.dt \quad (8)$$

$$\ln[T(t)-T_{\infty}] - \ln[T_i - T_{\infty}] = -bt \quad (9)$$

$$\frac{T(t)-T_{\infty}}{T_i - T_{\infty}} = e^{-bt} \quad (10)$$

$$T(t) = T_{\infty} + (T_i - T_{\infty}).e^{-bt} \quad (11)$$

$$b = \frac{\bar{h}.A}{\rho.V.c_p}$$

#### **4. Διαδικασία**

1. Αναγνωρίσατε τις επί μέρους συσκευές και όργανα μετρήσεων και συγκροτήσατε την πειραματική διάταξη όπως φαίνεται στο σχήμα 2.

2. Με την βοήθεια του κομβίου ρύθμισης κλίσεως στην πρόσοψη της συσκευής επιλέξατε αρχικά κλίση της μεταλλικής πλάκας  $0^\circ$  (λ.χ. οριζόντια κλίση) και συνδέσατε τα τροφοδοτικά των μετατροπέων θερμοζευγων.

3. Θέσατε σε λειτουργία το καταγραφικό όργανο. Θέσατε τα πιεστικά κομβία των γραφίδων (κόκκινο-μπλε) των δυο καναλιών στην δεξιά όψη του οργάνου στην θέση Pen up (όρθιο) και το

πιεστικό κομβία record off στην θέση off (όρθιο). Με το τροφοδοτικό ρυθμιζόμενης τάσης εξόδου του ανεμιστήρα εκτός λειτουργίας (άσκηση μέτρησης του συντελεστή φυσικής συναγωγής) τροφοδοτήσατε τους θερμαντήρες της μεταλλικής πλάκας θέτοντας σε λειτουργία το τροφοδοτικό θερμαντήρων 12V A.C. 50 W. Παρατηρείται σταθερή χρονική αύξηση της θερμοκρασίας της πλάκας με την βοήθεια του ψηφιακού βολτομέτρου συνδεδεμένου στην είσοδο του διαύλου καταγραφής θερμοκρασίας.

4. Η προθέρμανση της πλάκας διαρκεί αναλόγως των συνθηκών περίπου 15 min. Στο τέλος της περιόδου προθέρμανσης όταν η πλάκα φθάσει σε θερμοκρασία 90-100 C, πιέζεται ο διακόπτης του τροφοδοτικού των θερμαντήρων στην θέση εκτός (**off**) και αρχίζει η περίοδος απόψυξης της πλάκας σε συνθήκες φυσικής συναγωγής. Ταυτόχρονα πιέζονται τα δυο κομβία pen up που προσεγγίζουν τις δυο γραφίδες στο χαρτί και το κομβίο record off που ξεκινά την προώθηση του χαρτιού. Οι δυο γραφίδες καταγράφουν στο χιλιοστομετρικό χαρτί την μεταβολή της (ομοιόμορφης) θερμοκρασίας της πλάκας (κόκκινη πένα) και την θερμοκρασία του περιρρέοντος ρεύματος αέρα (κυανή πένα). Η θερμοκρασία του περιρρέοντος αέρα παραμένει πρακτικά σταθερή.

5. Για την διαπίστωση της δυνατότητας εφαρμογής του μοντέλου συγκεντρωμένης χωρητικότητας (lumped parameter model) γίνεται έλεγχος της τιμής του αδιάστατου αριθμού Bi. Για τον λόγο αυτό υπολογίζεται η τιμή του χαρακτηριστικού γραμμικού μεγέθους  $L_c$  από την σχέση (2), με την βοήθεια των στοιχείων και διαστάσεων που δίδονται στα επισυναπτόμενα σκαριφήματα. Ελέγχεται ακολούθως η ικανοποίηση του κριτηρίου (σχέση 1) σε τρόπο ώστε να επιβεβαιωθεί ότι η καταγραφόμενη χρονική συνάρτηση απόψυξης ακολουθεί τον εκθετικό νόμο που περιγράφεται από την εξίσωση (10).

6. Στο διάγραμμα με την καταγραφείσα χρονική μεταβολή της θερμοκρασίας (κόκκινη καμπύλη) χαράσσεται κατάλληλος κατακόρυφος άξονας θερμοκρασιών με κλίμακα από 0-100 C, που τέμνει την καταγεγραμμένη καμπύλη ψύξης στο σημείο που θεωρούμε σαν αρχική θερμοκρασία  $T_i$ . Η θερμοκρασία περιβάλλοντος  $T_\infty$  (μπλε καμπύλη) όπως διαπιστώνεται παραμένει σχεδόν σταθερή κατά την μεταβατική ψύξη της πλάκας. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί σε χρόνο, με κλίμακα που αντιστοιχεί σε 2 min ανά υποδιαίρεση. Με δεδομένες τις τιμές  $b_1$ ,  $T_i$  και  $T_\infty$  υπολογίζονται από την εξίσωση (10) οι θερμοκρασίες για  $t = 2, 4, 6 \dots \text{min}$  και τα αποτελέσματα καταχωρούνται στον πίνακα 1, μεταφέρονται στο διάγραμμα σαν πειραματικά σημεία και



**ΠΙΝΑΚΑΣ 1**

ΒΗΜΑΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΟΥ  $h$  ΜΕ ΤΗΝ ΒΟΗΘΕΙΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΔΙΑΔΟΧΙΚΩΝ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΩΝ

|   |   |   |   |   |    |    |  |
|---|---|---|---|---|----|----|--|
| $h_1=10 \text{ w/m}^2.\text{K}, \quad b_1=\dots\dots\dots$              |   |   |   |   |    |    |  |
| t (min)   | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 |  |
| T (°C)  |   |   |   |   |    |    |  |
| → αύξηση ή ελάττωση $h$ → επιλογή νέας τιμής $b_2$                      |   |   |   |   |    |    |  |
| $h_2=\dots\dots\dots \text{ w/m}^2.\text{K}, \quad b_2=\dots\dots\dots$ |   |   |   |   |    |    |  |
| t (min)   | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 |  |
| T (°C)  |   |   |   |   |    |    |  |
| → αύξηση ή ελάττωση $h$ → επιλογή νέας τιμής $b_3$                      |   |   |   |   |    |    |  |
| $h_3=\dots\dots\dots \text{ w/m}^2.\text{K}, \quad b_3=\dots\dots\dots$ |   |   |   |   |    |    |  |
| t (min)   | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 |  |
| T (°C)  |   |   |   |   |    |    |  |
| → αύξηση ή ελάττωση $h$ → επιλογή νέας τιμής $b_4$                      |   |   |   |   |    |    |  |

χαράσσεται η βέλτιστη καμπύλη που περνά από αυτά. Αν η κλίση της είναι μεγαλύτερη της καμπύλης ψύξης, επιλέγουμε δεύτερη μικρότερη δοκιμαστική τιμή έστω,  $h_2=6 \text{ w/m}^2.\text{K}$ , υπολογίζουμε τον αντίστοιχο  $b_2$  και καταχωρούμε τις υπολογισμένες με τον ίδιο τρόπο θερμοκρασίες για  $t= 2, 4, 6, \dots \text{ min}$ . Επαναλαμβάνοντας την διαδικασία χαράσσουμε την νέα πειραματική καμπύλη που αν συμπίπτει με την μετρημένη τότε η δεύτερη δοκιμαστική τιμή,  $h_2=6 \text{ w/m}^2.\text{K}$ , είναι η ζητούμενη, ενώ αν έχει μικρότερη κλίση σημαίνει ότι η προηγούμενη δοκιμαστική τιμή πρέπει να αντικατασταθεί με μία τρίτη ελαφρώς υψηλότερη δοκιμαστική τιμή, έστω  $\lambda\chi \ h_3=8 \text{ w/m}^2.\text{K}$  που να οδηγήσει σε σύμπτωση της μετρηθείσας και την υπολογισμένης καμπύλης ψύξης.

Στον πίνακα 1 φαίνεται η πορεία των υπολογισμών ξεκινώντας από την επιλογή της πρώτης δοκιμαστικής τιμής του  $h_1$  που σε συνδυασμό με την αντίστοιχη τιμή  $b_1$  μας οδηγεί στην χάραξη της πρώτης καμπύλης που η θέση της ως προς την καταγραφείσα καμπύλη ψύξης μας οδηγεί σε επιλογή ανάλογων δοκιμαστικών τιμών μέχρι την σύμπτωση των δυο καμπυλών.

7. Για την περίπτωση βεβαιωμένης συναγωγής τίθεται σε λειτουργία το τροφοδοτικό του ανεμιστήρα της συσκευής και επιλέγεται μια χαμηλή τάση ( περίπου  $6 \text{ V.D.C.}$ ) ώστε ο ανεμιστήρας να λειτουργεί σε χαμηλή παροχή. Επαναλαμβάνεται η διαδικασία που προβλέπεται στην παράγραφο 6 σε τρόπο ώστε να προσδιορισθεί η νέα τιμή του συντελεστή βεβαιωμένης

συναγωγής με την μέθοδο των διαδοχικών δοκιμών. Συγκρίνατε και σχολιάσετε τα αποτελέσματα.

8. Στην συνέχεια ρυθμίζεται το τροφοδοτικό του ανεμιστήρα σε μια υψηλότερη τάση (περίπου 16 V.D.C.) ώστε ο ανεμιστήρας να λειτουργεί σε υψηλότερη παροχή. Επαναλαμβάνεται η προβλεπόμενη διαδικασία στην παράγραφο 6, σε τρόπο ώστε να προσδιορισθεί η επίδραση της παροχής (ταχύτητας) της βεβιασμένης ροής στην διαμόρφωση της τιμής του συντελεστή συναγωγής με την μέθοδο των διαδοχικών δοκιμών. Συγκρίνατε και σχολιάσετε τα αποτελέσματα.

9. Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία, είναι δυνατόν να αξιολογηθεί η παραμετρική επίδραση της κλίσης της ψυχόμενης πλάκας στην διαμόρφωση του μέσου συνολικού συντελεστή φυσικής και βεβιασμένης συναγωγής ( σχολιασμός αποτελεσμάτων).