

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας
Τομέας Ενέργειας, Βιομηχανικών Διεργασιών &
Τεχνολογίας Περιβάλλοντος
Εργαστήριο Ρευστομηχανικής & Στροβιλομηχανών

Εκπόνηση Διπλωματικής Εργασίας
του φοιτητή

Αλεξανδρόγλου Γ. Εμμανουήλ

Θέμα : « *Μελέτη Θερμοκρασιακού Πεδίου Πτερυγίου σε
Κλίση και Μεταβαλλόμενο Φορτίο* »

Επιβλέπων Καθηγητής : Σταπουντζής Ερρίκος

Επιτροπή Εξέτασης : Σταπουντζής Ερρίκος
Μποντόζογλου Βασίλης
Πελεκάσης Νικόλαος

Βόλος 2004



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗΣ & ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 4048/1
Ημερ. Εισ.: 26-10-2004
Δωρεά: Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ – ΜΜΒ
2004
ΑΛΕ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία αφορά την μελέτη του θερμοκρασιακού πεδίου που αναπτύσσεται γύρω από ένα περύγιο ψύξης και τους παράγοντες που το επηρεάζουν .

Για την διεκπεραίωση της θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Ερρίκο Σταπουνιζή, για την καθοδήγησή του και για τις γνώσεις που μου προσέφερε σε θεωρητικό και πειραματικό υπόβαθρο καθώς και την υπομονή που έδειξε προς το άτομό μου από την αρχή μέχρι το πέρας αυτής της εργασίας. Ακόμη ευχαριστώ τους καθηγητές της επιτροπής εξέτασης, κ. Βασίλη Μποντόζογλου και κ. Νικόλαο Πελεκάση για την βοήθειά τους σε ορισμένα θεωρητικά προβλήματα που αντιμετώπισα.

Θέλω να ευχαριστήσω τον συμφοιτητή μου, Δωρόθεο Φλαμουρίδη, για την βοήθειά του στην διαδικασία κατασκευής της πειραματικής διάταξης καθώς και την προσφορά των γνώσεων του προς το άτομό μου.

Ευχαριστίες απευθύνω επίσης στους φίλους μου, Πάνο, Κωνσταντίνο, Δήμο και Γιώργο που μου συμπαραστάθηκαν σε όλη την διάρκεια της εργασίας αυτής καθώς και την φίλη μου Μαρία που με στήριξε ψυχολογικά και πνευματικά στην προσπάθειά μου για την ολοκλήρωση του τελευταίου σταδίου των σπουδών μου και την απόκτηση του πτυχίου μου.

Τέλος θέλω να ευχαριστήσω τους γονείς μου, Γιώργο και Αναστασία, για την κατανόηση και την υπομονή που έδειξαν προς το άτομό μου καθώς και για την πνευματική και οικονομική τους υποστήριξη σε όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο Εισαγωγή

- 1.1 Εισαγωγή
- 1.2. Οργάνωση Διπλωματικής

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο Κατασκευή Πειραματικής Διάταξης

- 3.1. Κατεργασία Αλουμινίου
 - 3.1.1. Πλάκες Αντιστάσεων
 - 3.1.2. Πλάκα Πτερυγίου
 - 3.1.3. Πτερύγιο Ψύξης
- 3.2. Συγκόλληση Πλάκας Πτερυγίου και Πτερυγίου
- 3.3. Τοποθέτηση Αντιστάσεων
- 3.4. Συναρμολόγηση Διάταξης
- 3.5. Κατασκευή Πάνελ Διακοπών και Συνδεσμολογία Αντιστάσεων
- 3.6. Variac Τροφοδοσίας Αντιστάσεων
- 3.7. Κατασκευή Θερμοστοιχείων Πτερυγίου και Τοποθέτηση αυτών
- 3.8. Κατασκευή Θερμοστοιχείου Μέτρησης του Θ.Ο.Σ.
- 3.9. Κατασκευή Συστήματος Υ-Z Κίνησης του Θερμοστοιχείου Θ.Ο.Σ.
- 3.10. Θερμική Μόνωση
- 3.11. Κατασκευή Επιπέδου Στήριξης με Μεταβαλλόμενη Γωνία
- 3.12. Όργανα Μέτρησης Θερμοκρασίας
- 3.13. Υπολογιστής Καταγραφής Μετρήσεων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο Πειραματική Μεθοδολογία

- 4.1. Πάχος Θερμικού Οριακού Στρώματος (Θ.Ο.Σ.)
- 4.2. Χρόνοι Θέρμανσης και Ψύξης
- 4.3. Πραγματική Θερμοκρασία Πτερυγίου

Κεφάλαιο 5^ο Παρουσίαση Αποτελεσμάτων – Συγκρίσεις

- 5.1. Πάχος Θερμικού Οριακού Στρώματος
- 5.2. Πτώση Θερμοκρασίας κατά τον άξονα Z
- 5.3. Πτώση Θερμοκρασίας κατά τον άξονα Y
- 5.4. Διακύμανση του αριθμού Nusselt κατά τον άξονα Z
- 5.5. Διάρκεια Θέρμανσης και Ψύξης του πτερυγίου
- 5.6. Επίδραση Προσανατολισμού Πτερυγίου στον ρυθμό ψύξης του

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο Συμπεράσματα – Προτάσεις

- 6.1. Συμπεράσματα
- 6.2. Προτάσεις

Πίνακας Αδιάστατων Αριθμών

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο Εισαγωγή

1.1 Εισαγωγή

Σε πολλές ηλεκτρονικές και θερμοηλεκτρικές συσκευές εμφανίζεται το φαινόμενο της ανάπτυξης υπερβολικών θερμοκρασιών. Η σωστή λειτουργία τους αλλά και μακροζωία τους στηρίζεται στην αποβολή θερμότητας με οικονομικούς και αξιόπιστους τρόπους. Σε μερικές περιπτώσεις αυτή η ανάγκη οδηγεί στην τοποθέτηση μιας ψήκτρας η οποία να μην αποτελείται από κινούμενα μέρη. Χάρη στην επέμβαση αυτή παρατηρείται η αύξηση του φαινομένου της αποβολής θερμότητας από ελεύθερη συναγωγή και από ακτινοβολία. Για αυτές τις εφαρμογές η καλύτερη εκμετάλλευση της ελεύθερης επιφάνειας από την οποία θα απάγεται η θερμότητα είναι η προσθήκη πτερυγίων. Σημαντικό ρόλο στην απόδοση αυτών των πτερυγίων αποτελούν οι διαστάσεις τους καθώς και η σωστή τοποθέτησή τους πάνω στην ελεύθερη επιφάνεια.

Για τους παραπάνω παράγοντες υπάρχουν αρκετές μελέτες κατά τις οποίες προσεγγίζονται κάποιες βέλτιστες τιμές οι οποίες δίνουν μέγιστη απόδοση στην μεταφορά θερμότητας. Ωστόσο μία λεπτομερειακή ανάλυση των φαινομένων που αναπτύσσονται γύρω από ένα πτερύγιο ψύξης είναι απαραίτητη. Έτσι στην παρούσα μελέτη θα ερευνηθεί πειραματικά το θερμοκρασιακό πεδίο καθώς και η επίδρασή της έντασης θέρμανσης στην μεταφορά θερμότητας από το πτερύγιο για διάφορες κλίσεις και με διαφορετική μόνωση στην βάση του. Για την παραπάνω μελέτη ήταν απαραίτητη η κατασκευή μιας πειραματικής διάταξης που θα αναπαριστά το φαινόμενο που προαναφέρθηκε και θα μπορέσουν να πραγματοποιηθούν σε αυτήν όλες οι απαραίτητες μετρήσεις οδηγώντας μας σε ορισμένα συμπεράσματα.

1.2. Οργάνωση Διπλωματικής

Η εργασία αυτή αποτελείται λοιπόν από δύο κύρια μέρη εκ των οποίων το πρώτο είναι η κατασκευή της πειραματικής διάταξης και το δεύτερο η λήψη των μετρήσεων και η ανάλυσή τους. Για την ακρίβεια το υπόλοιπο μέρος της διπλωματικής αυτής χωρίζεται σε πέντε κεφάλαια, τα οποία είναι τα εξής:

Κεφάλαιο 2^ο : Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Κεφάλαιο 3^ο : Πειραματική Διάταξη

Κεφάλαιο 4^ο : Πειραματική Μεθοδολογία

Κεφάλαιο 5^ο : Παρουσίαση Αποτελεσμάτων-Συγκρίσεις

Κεφάλαιο 6^ο : Συμπεράσματα

Τέλος υπάρχει το έβδομο κεφάλαιο το οποίο είναι η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε για το θεωρητικό υπόβαθρο του φαινομένου.

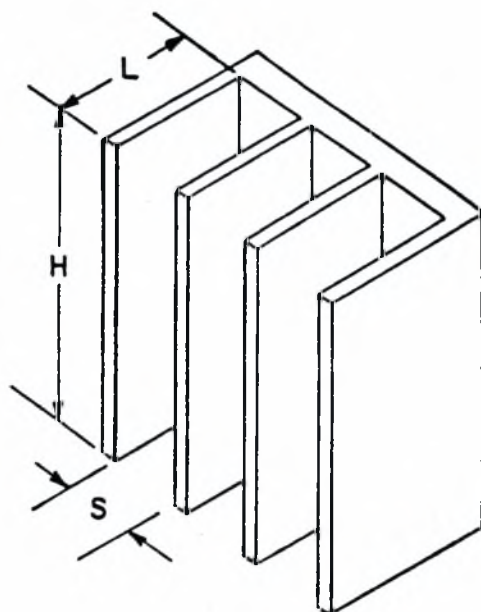
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Στην βιβλιογραφική ανασκόπηση που ακολουθεί, θα πραγματοποιηθεί μία πλήρης αναφορά όσον αφορά τις μελέτες που έχουν δημοσιευτεί για τα πτερύγια ψύξης και την βελτιστοποίησή τους στο πέρασμα των τελευταίων 60 χρόνων.

Πρώτα όμως πρέπει να επισημανθεί η θεωρία για την λειτουργία του πτερυγίου. Τα πτερύγια χρησιμοποιούνται σε εκείνες τις περιπτώσεις όπου είναι απαραίτητη η αύξηση του ρυθμού Μετάδοσης Θερμότητας σε μία επιφάνεια που ψύχεται με συναγωγή από ένα ρευστό. Έτσι όταν είναι αδύνατο να αυξηθεί ο συντελεστής συναγωγής της επιφάνειας που ζητούμε να ψυχθεί αυξάνουμε την επιφάνεια εναλλαγής θερμότητας. Την λύση στο πρόβλημά της αύξησης της επιφάνειας δίνει η προσθήκη πτερυγίου-ων. Το πτερύγιο είναι η περίπτωση σύζευξης αγωγής και συναγωγής: Η θερμότητα μεταφέρεται από το βασικό σώμα (πλάκα κ.λ.π.) με αγωγή στο πτερύγιο και αποδίδεται με συναγωγή στο ρευστό. Το πτερύγιο πρέπει να έχει όσον το δυνατόν μεγαλύτερη θερμική αγωγιμότητα ούτως ώστε να ελαχιστοποιηθεί η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ βάσης και αιχμής του. Στην ιδανική περίπτωση της άπειρης θερμικής αγωγιμότητας, ολόκληρο το πτερύγιο θα είχε την ίδια θερμοκρασία με την βάση του προσφέροντας την μέγιστη δυνατή μετάδοση θερμότητας.

Γνωρίζοντας πλέον τι σημαίνει πτερύγιο και ποια είναι η λειτουργία του μπορεί να πραγματοποιηθεί η παραπάνω αναφορά.

Ο Elenbaas (1942) ασχολήθηκε εκτεταμένα με κανάλια και παράλληλες πλάκες σε πειραματικό και ημιεμπειρικό στάδιο. Τα πειραματικά του αποτελέσματα για τετράγωνες,κάθετες πλάκες διάχυσης θερμότητας στο περιβάλλον χρησιμοποιήθηκαν ως βάση για την σύγκριση νεότερων μελετών που είχαν ως αντικείμενο τις συστοιχίες κάθετων πτερυγίων.

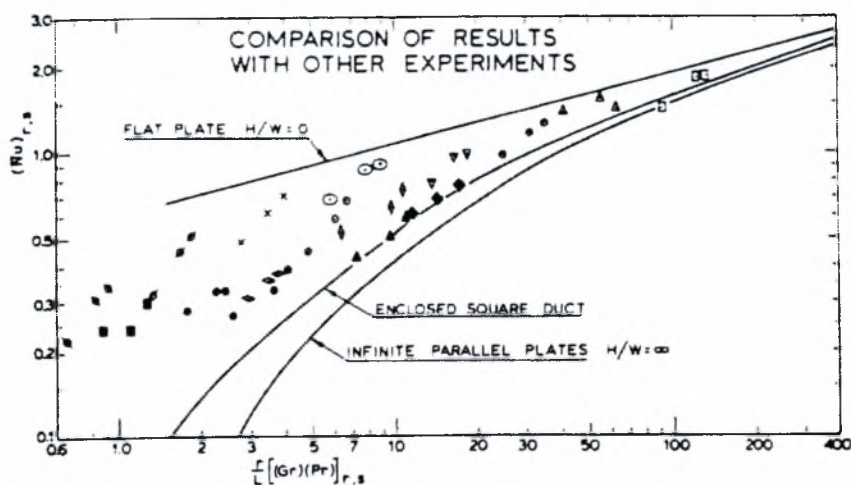


Σχήμα 2.1.

Η πλήρως ανεπτυγμένη ροή του ρευστού σε ελεύθερη συναγωγή μεταξύ κάθετων πλακών, δηλαδή η ροή που αναπτύσσεται σε ολόκληρο το ύψος των πλακών μετά την πάροδο ενός μεγάλου χρονικού διαστήματος και δεν μεταβάλλεται πλέον, μελετήθηκε θεωρητικά από τον Ostrach (1952). Στην μελέτη αυτή παρατηρήθηκε πως η παράλληλη διάσταση στη ροή δεν επηρεάζεται καθώς η ροή δεν αλλάζει στην κατεύθυνση αυτή.

Μία θεωρητική ανάλυση της μετάδοσης θερμότητας και ανάπτυξης ροής, σε ελεύθερη συναγωγή, μεταξύ θερμαινόμενων πλακών αποτέλεσε το αντικείμενο μελέτης για τους Bodoia και Osterle (1962). Το αποτέλεσμα της μελέτης ήταν πως είναι πρακτικά αδύνατο να αναπτυχθεί πλήρως η ροή σε ρευστά με πολύ μεγάλο ιξώδες.

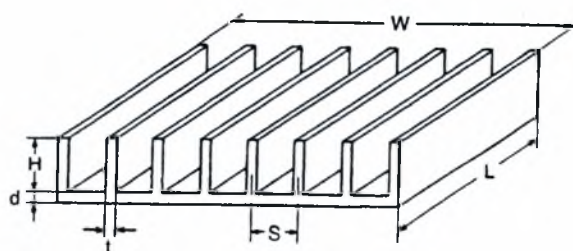
Μέθοδοι για την εκτίμηση της μετάδοσης θερμότητας από πτερύγια αποτέλεσαν κατά κανόνα οι συσχετίσεις από επίπεδες κάθετες πλάκες ή από κλειστούς αγωγούς. Ο λόγος ήταν ότι οι επίπεδες κάθετες πλάκες είχαν μεγαλύτερους συντελεστές ελεύθερης συναγωγής από τα πτερύγια ενώ οι αγωγοί μικρότερους από αυτά. Ο Welling (1965) ύστερα από μελέτες κατέληξε στο συμπέρασμα πως ένα κάθετο παραλληλόγραμμο πτερύγιο και μία κάθετη πλάκα με ίδια χαρακτηριστικά κάθετου μήκους και επιφάνειας δεν θα έχει τόσο μεγάλους συντελεστές ελεύθερης συναγωγής όσο η επίπεδη πλάκα. Έτσι οι αριθμοί Nusselt, αδιάστατη θερμοκρασιακή κλίση στην επιφάνεια [1], που προκύπτουν για τα πτερύγια είναι μικρότεροι από αυτούς των κάθετων πλακών (flat plate) αλλά μεγαλύτεροι από τους αντίστοιχους των παράλληλων πλακών (infinite parallel plates) ή των τετράγωνων αγωγών (enclosed square duct).



Σχήμα 2.2.

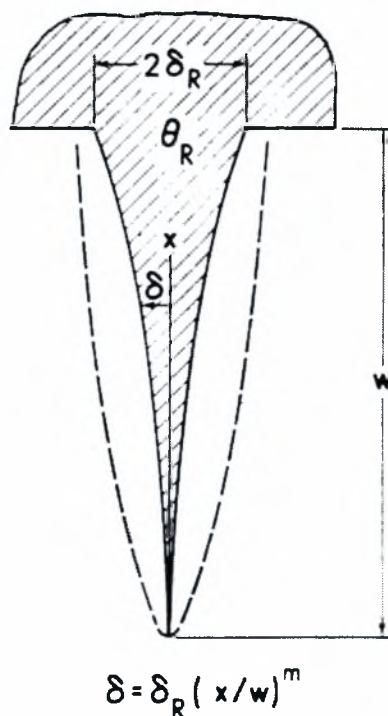
Ένα πολύ σημαντικό συμπέρασμα στο οποίο επίσης κατέληξε είναι ότι υπάρχει ένα βέλτιστο ύψος πτερυγίου για κάθε κανάλι πτερυγίων και ότι οποιαδήποτε τιμή μικρότερη ή μεγαλύτερη αποτελεί μείωση στην μετάδοση θερμότητας από ελεύθερη συναγωγή. Τέλος παρατηρήθηκε πως η αγωγιμότητα του πτερυγίου αυξάνει σχεδόν αναλογικά με την αύξηση του λόγου του ύψους του πτερυγίου προς το πλάτος του καναλιού των πτερυγίων.

Οι Harahap και McManus (1967) βασισμένοι στις μελέτες των Welling και Wooldridge ασχολήθηκαν με πτερύγια τοποθετημένα οριζόντια. Έτσι συγκρίνοντας δύο σειρές πτερυγίων με ίδια χαρακτηριστικά ύψους και διάκενου πτερυγίων αλλά με διαφορετικό μήκος, παρατήρησαν πως εκείνα που είχαν το μισό μήκος από τα άλλα απέκτησαν μεγαλύτερο μέσο όρο συντελεστών συναγωγής. Όμως το περιορισμένο εύρος πειραματικών στοιχείων αποτέλεσε τροχοπέδη για την εύρεση ενός κριτηρίου για την βελτιστοποίηση των πτερυγίων.

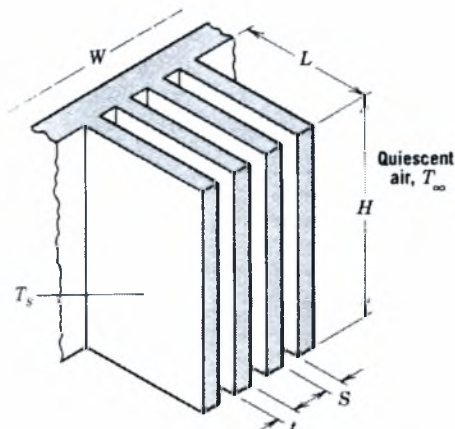


Σχήμα 2.3.

Ένα χρόνο αργότερα οι Lock και Gunn ,γνωρίζοντας ότι ο ρυθμός μετάδοσης θερμότητας από μια επιφάνεια βυθισμένη σε ένα ήρεμο ρευστό αυξάνεται αν τοποθετηθούν πτερύγια. Η μελέτη τους αναφέρεται στην αγωγή και ελεύθερη συναγωγή από ένα λεπταίνον πτερύγιο τοποθετημένο κάθετα με φορά προς τα κάτω. Το προφίλ του ακολουθεί υπερβολικό χαρακτήρα και ο λόγος λεπτότητας (ύψος προς πάχος) διατηρείται μεγάλος. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων τους έδειξαν πως τα χαρακτηριστικά της μετάδοσης θερμότητας του προβλήματος επηρεάζονται από μια αδιάστατη μεταβλητή που περιλαμβάνει τους λόγους αγωγιμότητας και λεπτότητας καθώς και έναν μεταβαλλόμενο Prandtl-Grashof, ο λόγος του κινηματικού ιξώδους προς τον συντελεστή θερμικής διαχυτότητας και ο λόγος των δυνάμεων άνωσης προς τις δυνάμεις τριβής [1], αριθμό. Διαπιστώθηκε επίσης πως η μεταβολή του αριθμού Prandtl επηρέασε ελάχιστα το φαινόμενο.

**Σχήμα 2.4.**

Ένα θέμα που απασχόλησε τους Jones και Smith (1970) ήταν η βέλτιστη τοποθέτηση (διάκενο) των πτερυγίων σε οριζόντια επιφάνεια, σταθερού εμβαδού, για μετάδοση θερμότητας από ελεύθερη συναγωγή. Παρατηρήθηκε πως όσο μικραίνει η μεταξύ απόσταση των πτερυγίων τόσο αυξάνει ο αριθμός τους και ανάλογα αυξάνει και η μετάδοση θερμότητας. Βεβαίως μετά από ένα σημείο το πολύ μικρό διάκενο εμποδίζει την ροή του ρευστού ανάμεσα στα πτερύγια τα οποία αρχίζουν να δυσλειτουργούν. Το συμπέρασμα της μελέτης τους ήταν πως για την μέγιστη μετάδοση θερμότητας ανά μονάδα επιφάνειας, η απόσταση μεταξύ των πτερυγίων είναι η πρωταρχική γεωμετρική μεταβλητή.

**Σχήμα 2.5.**

Σε μία επόμενη έρευνα, οι Van de Pol και Tierney (1973) ανέπτυξαν μία μαθηματική σχέση για λεπτή ροή μετάδοσης θερμότητας από κανάλια σχήματος U, και συνεχούς θερμοκρασίας η οποία παρουσιάζει την ορθή συμπεριφορά και για πολύ βαθιά και για πολύ ρηκά κανάλια. Αυτή η σχέση έχει την παρακάτω μορφή:

$$Nu_r = \frac{Ra^*}{24} \left\{ 1 - \exp \left[-24 \left(\frac{0.5}{Ra^*} \right)^{3/4} \right] \right\}$$

Όπου Ra^* = ο τροποποιημένος αριθμός Rayleigh, ο αριθμός Ra είναι το γινόμενο των Gr επί Pr ενώ ο τροποποιημένος είναι το παραπάνω γινόμενο επί r/H , όπου r το χαρακτηριστικό μήκος και H το ύψος του πτερυγίου [1].

Το συμπέρασμα στο οποίο κατέληξαν ήταν πως ο παραπάνω αριθμός μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της μετάδοσης θερμότητας από ελεύθερη συναγωγή σε σειρές κάθετων πτερυγίων.

Οι Levy και Shaw (1975) ασχολήθηκαν με την βελτιστοποίηση όσον αφορά το διάκενο μεταξύ των πτερυγίων. Η συγκεκριμένη όμως μελέτη διαφέρει από τις προηγούμενες καθότι περιορίστηκαν μόνο σε δύο πτερύγια τα οποία θα χρησιμοποιούνταν για καθορισμένο ρυθμό μετάδοσης θερμότητας από συναγωγή. Στην περίπτωση αυτή υπάρχει μόνο μια θέση των πτερυγίων κατά την οποία οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται πάνω σε αυτήν ελαχιστοποιούνται. Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης έδειξαν πως η βέλτιστη τιμή είναι :

$$400 < \frac{b}{L} Gr Pr < 800$$

,όπου b =διάκενο πτερυγίων και L =ύψος πτερυγίου

Τα αποτελέσματα αυτά είναι για τον αέρα και δεν μπορούν να εφαρμοστούν ποιοτικά για υγρά μέταλλα.

Ένα θέμα το οποίο μελετήθηκε ήταν το πάχος πτερυγίου για την βέλτιστη ελεύθερη συναγωγή. Ο Bar-Cohen (1979) πραγματοποίησε μια μελέτη με θέμα το βέλτιστο πάχος ενός πτερυγίου με δεδομένη και σταθερή διάχυση θερμότητας. Η ικανότητα αποβολής θερμότητας από ένα μονό, παραλληλόγραμμο, ελαχίστου υλικού πτερύγιο το οποίο υποβάλλεται σε έναν σταθερό συντελεστή μετάδοσης θερμότητας εκφράζεται ως:

$$\frac{q_{lm}}{L} = 1.258(hk)^{1/2} \delta^{1/2} \theta_0 \quad (1)$$

όπου : q_{lm} =αποβολή θερμότητας μονού πτερυγίου ελαχίστου υλικού,

L =μήκος πτερυγίου,

h =συντελεστής συναγωγής μετάδοσης θερμότητας,

k = θερμική αγωγή υλικού του πτερυγίου,

δ =πάχος πτερυγίου,

θ_0 =διαφορά θερμοκρασίας βάσης πτερυγίου και περιβάλλοντος.

Η παραπάνω σχέση δεν καλύπτει τις ανάγκες της παρούσης εργασίας για τον λόγο αυτό δεν χρησιμοποιείται.

Ο ρυθμός μετάδοσης θερμότητας επιτυγχάνεται σε μία σχέση του πλάτους του πτερυγίου συναρτηθεί του πάχους του. Η σχέση αυτή είναι :

$$b_{lm} = 1.4192 \left(\frac{k}{2h} \right)^{1/2} \delta^{1/2} \quad (2)$$

όπου : b_{lm} =πλάτος πτερυγίου ελαχίστου υλικού

h =συντελεστής συναγωγής μετάδοσης θερμότητας,

k = θερμική αγωγή υλικού του πτερυγίου,

δ =πάχος πτερυγίου,

Από τον παραπάνω τύπο προκύπτει και ο τύπος για το βέλτιστο πλάτος :

$$b_{opt} = 1.7 \left(\frac{kP}{k_a} \right)^{1/2} \delta^{1/2} \quad (3)$$

Όπου : P =παράμετρος σειράς πτερυγίων

k_a =θερμική αγωγιμότητα του περιβάλλοντος αέρα

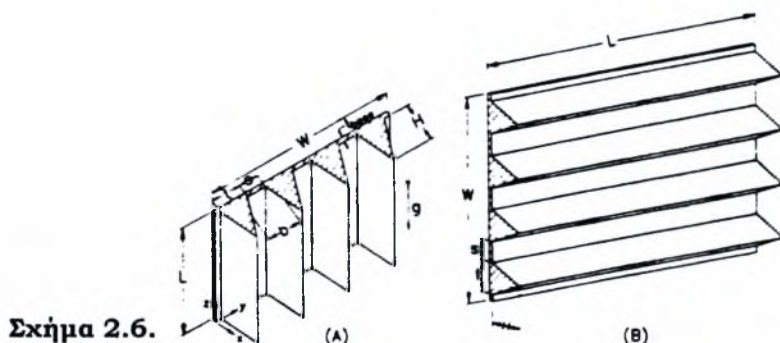
k = θερμική αγωγή υλικού του πτερυγίου,

δ =πάχος πτερυγίου,

Τα αποτελέσματα της μελέτης ήταν πως η θερμική απόδοση πτερυγίου ελαχίστου υλικού αυξάνει όταν αυξάνεται το πάχος του πτερυγίου. Πιο συγκεκριμένα για περιπτώσεις όπου το ψυκτικό μέσο είναι ο αέρας και δημιουργηθούν σειρές από πτερύγια ελαχίστου υλικού, η τιμή αυτή πλησιάζει την τιμή του βέλτιστου διάκενου μεταξύ αυτών.

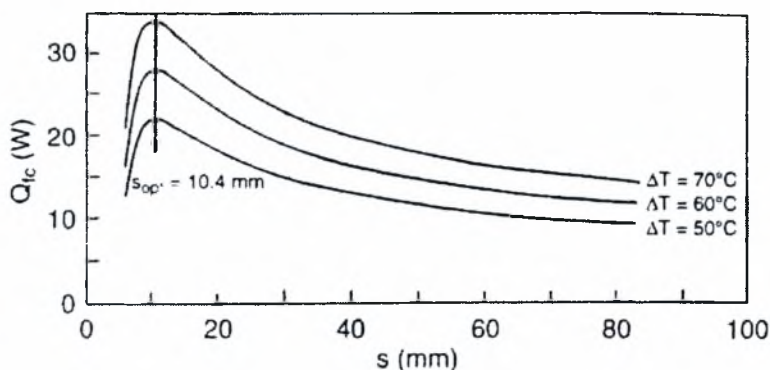
Ένα σημαντικό θέμα που μελετήθηκε αργότερα από τους Raithby και Hollands (1994) ήταν η χρησιμοποίηση πτερυγίων τριγωνικής διατομής και όχι παραλληλόγραμμης. Στα πειράματά τους ασχολήθηκαν με πτερύγια τοποθετημένα οριζόντια σε θερμαινόμενη πλάκα κάθετη. Οι περιπτώσεις που εξέτασαν αφορούσαν την πυκνή, μέτρια και αραιή τοποθέτηση των πτερυγίων σε πλάκα προκαθορισμένων διαστάσεων. Στα αποτελέσματά τους φάνηκε πως οι τιμές του αριθμού Nu που μέτρησαν σχεδόν συμπίπτει με την θεωρητική τιμή για αριθμό $Ra \geq 4000$, καθώς ο αριθμός $Ra \rightarrow 0$ ο αριθμός $Nu \rightarrow Nu_{cond}$ όπου Nu_{cond} είναι η οριακή τιμή για απώλεια θερμότητας από αγωγή στον περιβάλλοντα αέρα και τέλος ότι ο

αριθμός Nusselt για πτερύγια τοποθετημένα οριζόντια ήταν αρκετά μικρότερος από την περίπτωση που τα πτερύγια ήταν τοποθετημένα κάθετα στην ίδια κάθετη πλάκα.

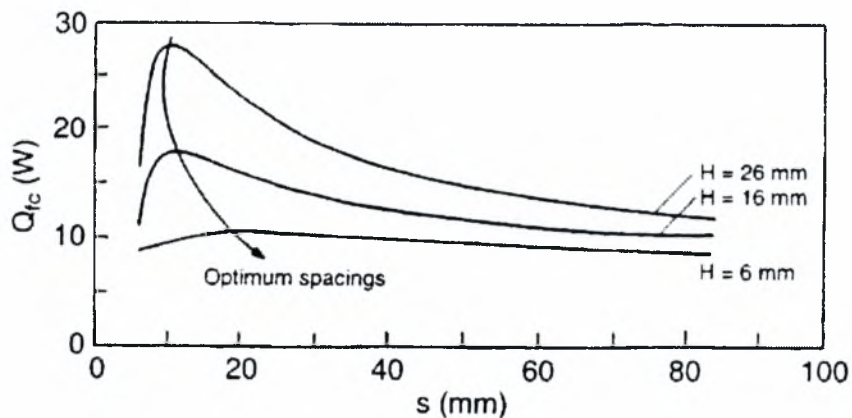


Μία μελέτη όσον αφορά τη βελτιστοποίηση για το διάκενο μεταξύ των πτερυγίων πραγματοποίησαν οι Yuncu και Anbar (1998). Ο κύριος σκοπός της μελέτης τους ήταν η πρόβλεψη του βέλτιστου διακένου για μέγιστη μεταφορά θερμότητας συναρτήσει του ύψους του πτερυγίου και της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ βάσης και περιβάλλοντος. Τα πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν πως η μετάδοση θερμότητας από ελεύθερη συναγωγή εξαρτάται από το διάκενο των πτερυγίων, το ύψος τους και την διαφορά θερμοκρασίας με το περιβάλλον. Η μετάδοση θερμότητας αυξάνει ανάλογα με την διαφορά θερμοκρασίας. Τέλος υπάρχει μία βέλτιστη τιμή του διακένου για κάθε διαφορετικό ύψος πτερυγίου και κατά την αύξηση ή την μείωση της τιμής αυτής υπάρχει μείωση της μετάδοσης θερμότητας.

Στα παρακάτω διαγράμματα φαίνονται τα αποτελέσματα των πειραμάτων τους.



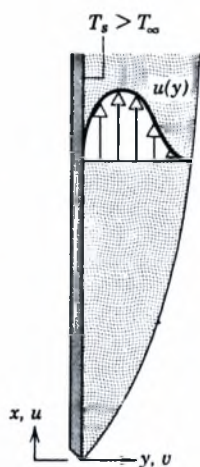
Διάγραμμα 2.6. Μεταβολή του ρυθμού μετάδοσης θερμότητας συναρτήσει του διακένου των πτερυγίων σε τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες.



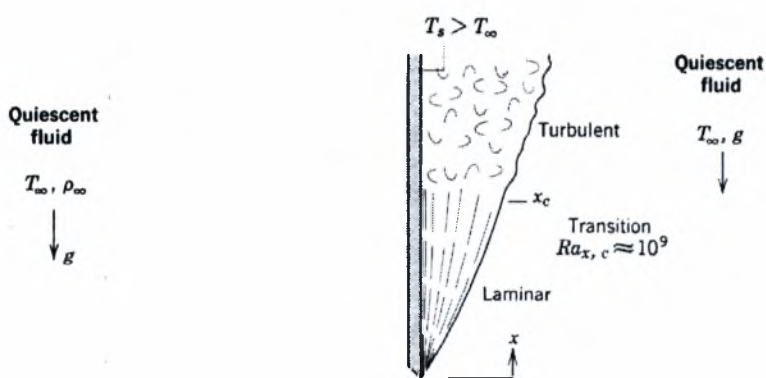
Διάγραμμα 2.7. Μεταβολή του ρυθμού μετάδοσης θερμότητας συναρτήσει του διάκενου των πτερυγίων σε τρία διαφορετικά ύψη.

Η συνεισφορά της παρούσας διπλωματικής εργασίας στην ανάπτυξη των πτερυγίων ψύξης είναι η αναλυτικότερη πειραματική μελέτη του θερμοκρασιακού πεδίου που αναπτύσσεται γύρω από ένα πτερύγιο παραλληλόγραμμης διατομής του οποίου αλλάζει το φορτίο και η θέση του.

Στο σημείο αυτό θα παρουσιαστούν κάποια στοιχεία που περιγράφουν από θεωρητική πλευρά την ανάπτυξη του θερμικού οριακού στρώματος γύρω από το πτερύγιο. Τα στοιχεία αυτά αφορούν περιπτώσεις που θα μελετήσουμε.



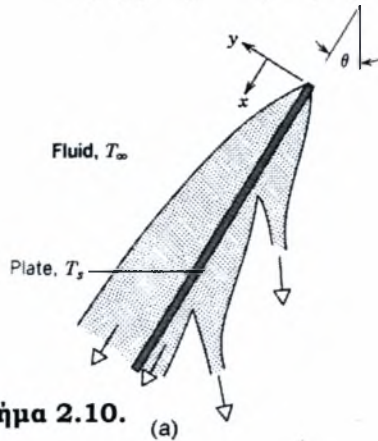
Σχήμα 2.8.



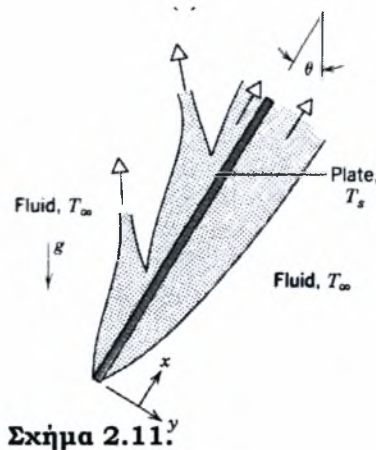
Σχήμα 2.9.

Στο σχήμα 2.8. παρατηρούμε την ανάπτυξη της ταχύτητας στο θερμικό οριακό στρώμα. Στο σχήμα 2.9. φαίνεται πως η ροή

μετατρέπεται από στρωτή σε τυρβώδη. Στο σημείο εκείνο που αλλάζει κατάσταση η ροή, ο αριθμός $Ra \approx 10^9$.



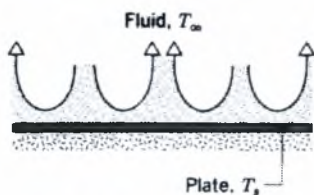
Σχήμα 2.10. (a)



Σχήμα 2.11.

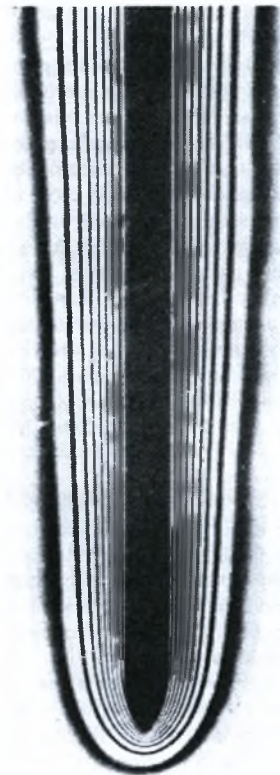
Στα σχήματα 2.10. και 2.11. όπου το πτερύγιο βρίσκεται υπό κλίση, Heat Transfer Incropera F. και De Witt D.1990, το θερμικό οριακό στρώμα είναι διαφορετικό από πλευρά σε πλευρά. Ο λόγος είναι ότι υπάρχει αποκόλληση του στρώματος εξαιτίας θερμοκρασίας του περιβάλλοντος. Έτσι, όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι μεγαλύτερη του πτερυγίου η αποκόλληση εμφανίζεται στην κάτω πλευρά του ενώ όταν η θερμοκρασία είναι μικρότερη εμφανίζεται στην άνω πλευρά του.

Κατά την αποκόλληση, τμήματα του ψυχρού ή του θερμού ρευστού εκχέονται από την επιφάνεια και αντικαθίστανται από θερμό ή ψυχρό περιβάλλον ρευστό.



Σχήμα 2.12.

Στο σχήμα 2.12. φαίνεται το θερμοκρασιακό πεδίο που αναπτύσσεται πάνω από επίπεδη θερμαινόμενη επιφάνεια Heat Transfer Incropera F. και De Witt D.1990.

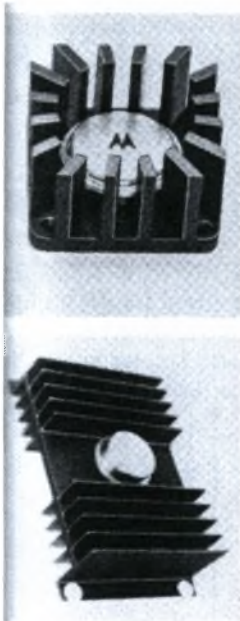


Σχήμα 2.13.

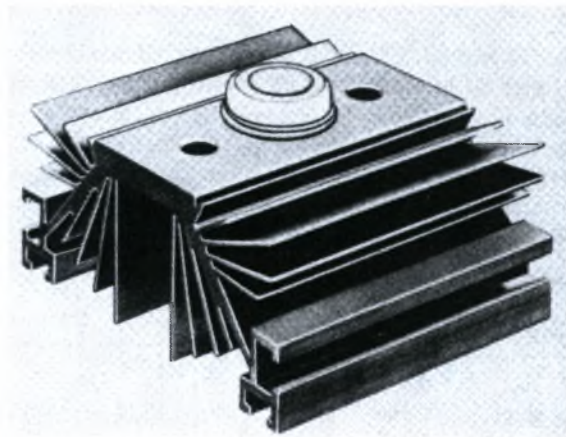
Στην περίπτωση αυτή δεν υπάρχει κάποιο σταθερό οριακό στρώμα καθώς η συναγωγή είναι ελεύθερη και τα θερμά τμήματα εκκένονται προς τα άνω στην κάθετη διεύθυνση. Η απεικόνιση του θερμοκρασιακού πεδίου παριστάνεται σχηματικά κατά αυτόν τον τρόπο για την πληρέστερη κατανόηση του φαινομένου. Στην πραγματικότητα η το θερμοκρασιακό πεδίο είναι πιο ταραχώδες.

Στο σχήμα 2.13. έχει φωτογραφηθεί το ανεπτυγμένο θερμικό οριακό στρώμα γύρω από ένα πτερύγιο ψύξης. Παρατηρούνται οι ισοϋψής καμπύλες των θερμοκρασιών καθώς και η αύξηση του πάχους του οριακού στρώματος κατά την κίνηση προς τα άνω.

Παρακάτω φαίνεται η εξέλιξη των επίπεδων πλακών και των πτερυγίων σε ολοκληρωμένα συστήματα ψύξης.



Σχήμα 2.14.



Σχήμα 2.15.

Οι διατάξεις στα σχήματα 2.14. και 2.15. αυτές ονομάζονται ψήκτρες και τοποθετούνται κυρίως σε επεξεργαστές και άλλες ηλεκτρονικές συσκευές που εμφανίζουν υψηλές θερμοκρασίες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο Κατασκευή Πειραματικής Διάταξης

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστεί λεπτομερώς η κατασκευή της πειραματικής διάταξης από την αρχή μέχρι το πέρας της.

Η κατασκευή της πειραματικής διάταξης πραγματοποιήθηκε κατά το μέγιστο μέρος από τον γράφοντα. Η ολοκλήρωσή της επήλθε σε ορισμένα στάδια. Πρόκειται περί ενός συστήματος θέρμανσης μίας πλάκας στην οποία είναι τοποθετημένο ένα πτερύγιο αποβολής θερμότητας. Επίσης μέρος της κατασκευής αποτελεί και το μετρητικό σύστημα το οποίο μας παρέχει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για την περαιτέρω μελέτη μας.

Για την κατασκευή της ήταν απαραίτητη η αγορά των πλακών αλουμινίου, των καλωδίων των θερμοστοιχείων, της θερμικής μόνωσης και του τροφοδοτικού τύπου Variac. Επίσης κατά την διάρκεια κατασκευής πραγματοποιήθηκαν αγορές διαφόρων μικροαντικειμένων που συνετέλεσαν στη ολοκλήρωση της διάταξης και αναφέρονται ειδικότερα παρακάτω.

Για να ολοκληρωθεί η κατασκευή της πειραματικής διάταξης πραγματοποιήθηκαν οι παρακάτω ενέργειες και εκτελέστηκαν με την σειρά που αναφέρονται.

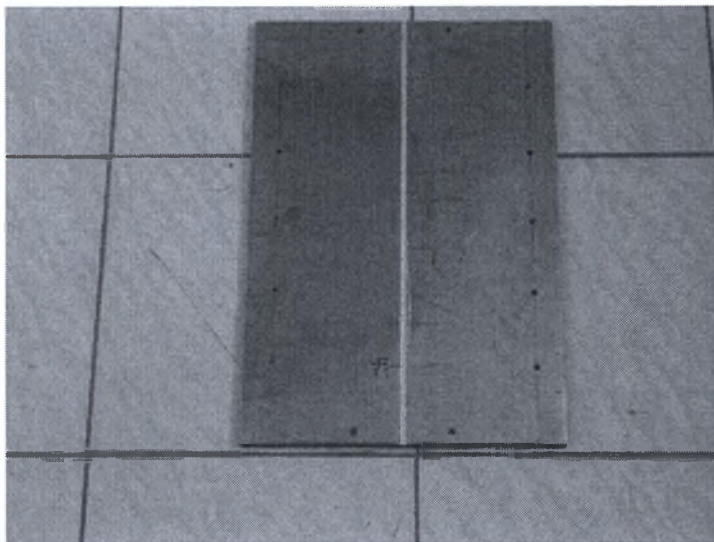
3.1. Κατεργασία Αλουμινίου

Η αγορά των δύο πλακών αλουμινίου έγινε από την εταιρεία Arenal s.a., Ανώνυμος Εμπορική Εταιρεία Αλουμινίου και Προϊόντων Αυτού, στον Πειραιά. Το ένα τεμάχιο ήταν διαστάσεων 1000*510*10 χιλιοστών και το άλλο τεμάχιο διαστάσεων 2000*1000*5 χιλιοστών. Στην συγκεκριμένη εταιρεία πραγματοποιήθηκε και η κατεργασία κοπής των πλακών. Η πλάκα διαστάσεων 1000*510*10 χωρίστηκε σε

τρία ίσα κομμάτια των 333*510*10 χιλιοστών και η πλάκα διαστάσεων 2000*1000*5 σε κομμάτια των 200*510*5 χιλιοστών και των 333*510*5 χιλιοστών. Οι διαστασιολόγηση πραγματοποιήθηκε με την βάση τις οδηγίες του κ. Ρίζου Κρίκκη και την διευκόλυνση της πραγματοποίησης των μετρήσεων. Το μεγάλο μέγεθος του πτερυγίου εξυπηρετεί στην καλύτερη προσέγγιση και απεικόνιση του θερμοκρασιακού πεδίου. Η κοπή των παραπάνω τεμαχίων έγινε με υδραυλικό « ψαλίδι ». Συνέπεια του τρόπου κοπής ήταν δημιουργία αιχμών στις ακμές των τεμαχίων με αποτέλεσμα την ανάγκη για την εκκαθάριση τους. Η εκκαθάριση τους έγινε με τριβείο χειρός (σφυριδόπανο).

3.1.1. Πλάκες Αντιστάσεων

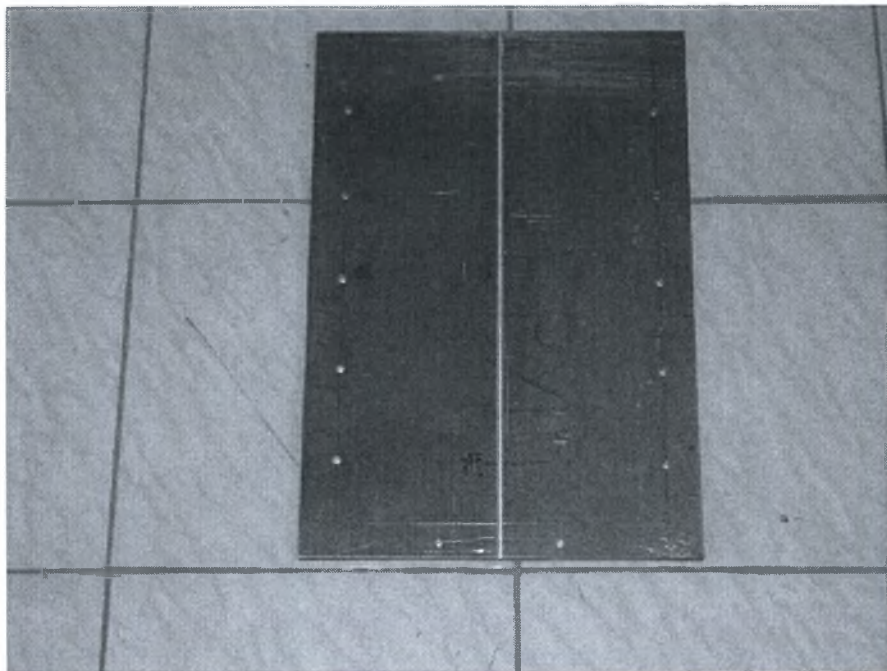
Δύο από τις τρεις πλάκες αλουμινίου πάχους 10 χιλιοστών χρησιμοποιήθηκαν για την συγκράτηση των αντιστάσεων θέρμανσης. Στις πλάκες αυτές δημιουργήθηκαν κατ'αρχήν 4 οπές διαμέτρου 6.5 χιλιοστών για την μεταξύ τους συγκράτηση και κατά συνέπεια την συγκράτηση των αντιστάσεων. Εν συνεχεία δημιουργήθηκαν 18 οπές διαμέτρου επίσης 6.5 χιλιοστών για την περαιτέρω συναρμολόγηση της διάταξης. Οι θέσεις όλων των οπών που δημιουργήθηκαν στις δύο συγκεκριμένες πλάκες φαίνονται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 3.1.

3.1.2. Πλάκα Πτερυγίου

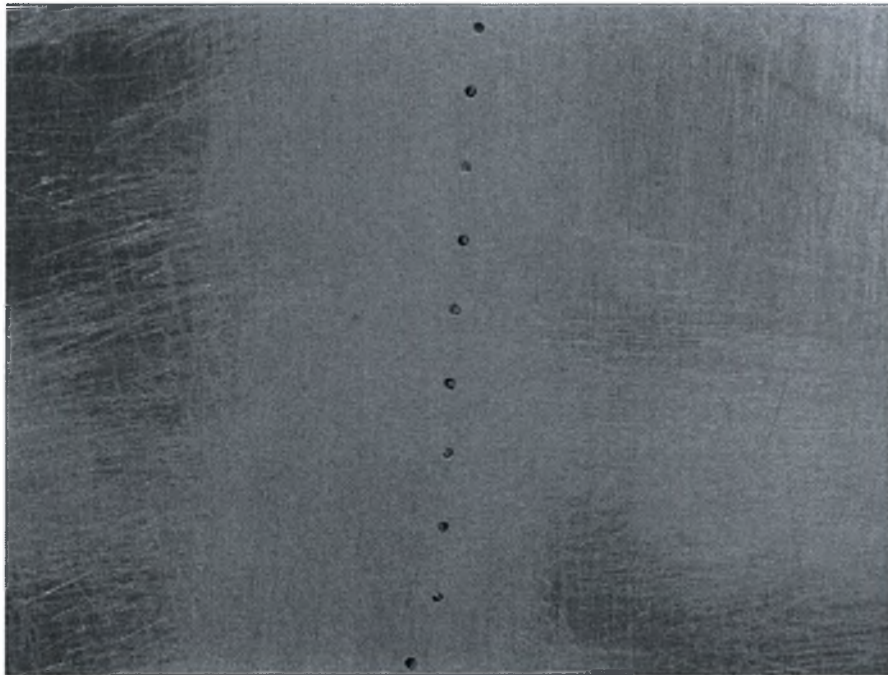
Η τρίτη πλάκα πάχους 10 χιλιοστών χρησιμοποιήθηκε για την στήριξη του πτερυγίου, εξού και το όνομά της. Στην συγκεκριμένη πλάκα δημιουργήθηκαν 18 οπές ίδιας διαμέτρου και θέσης με τις πλάκες αντιστάσεων με μια μικρή διαφοροποίηση, το ένα μέρος των οπών διευρύνθηκε στα 12 χιλιοστά για την υποδοχή κοχλιών με φρεζάτη κεφαλή. Επίσης για την στερέωση του πτερυγίου δημιουργήθηκε σε εργαλειομηχανή , φρέζα , κανάλι πλάτους 5 χιλιοστών και βάθους 2.5 χιλιοστών. Η θέση του είναι στη μέση της πλάκας κατά τον διαμήκη άξονα αυτής. Οι οπές και το κανάλι φαίνονται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 3.2.

3.1.3. Πτερύγιο Ψύξης

Από τις πλάκες αλουμινίου διαστάσεων 200*510*5 χιλιοστών χρησιμοποιείται μόνο μια, η οποία αποτελεί το πτερύγιο ψύξης. Στην συγκεκριμένη πλάκα δημιουργήθηκαν 63 οπές διαμέτρου 0.8 χιλιοστών για την τοποθέτηση των θερμοστοιχείων. Οι θέσεις των οπών φαίνονται στο παρακάτω σχήμα.



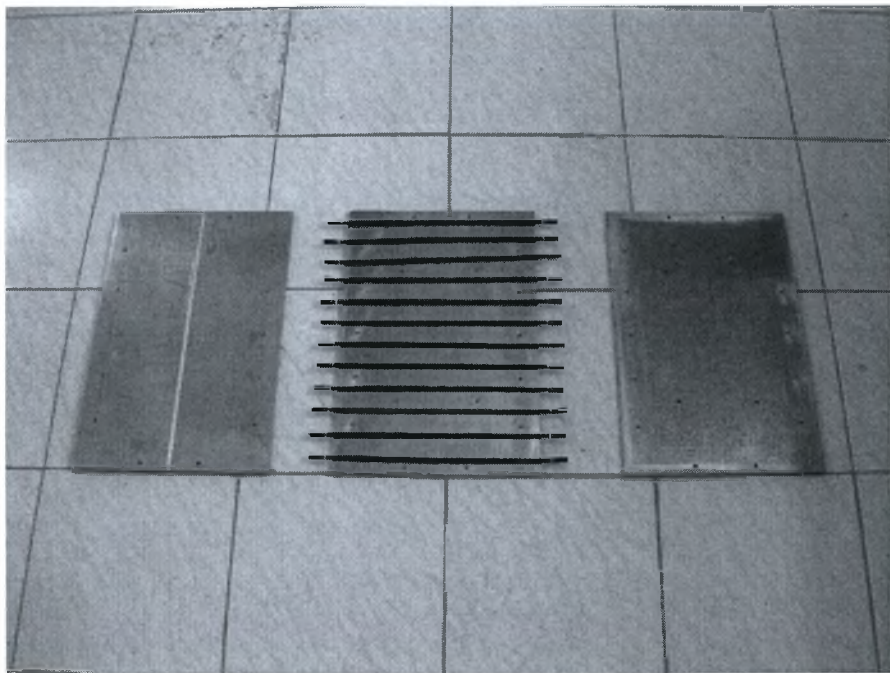
Σχήμα 3.3.

3.2. Συγκόλληση Πλάκας Πτερυγίου και Πτερυγίου

Η πλάκα πτερυγίου συγκολλήθηκε με το πτερύγιο με κόλληση τύπου Argon. Το πτερύγιο τοποθετήθηκε στο κανάλι της πλάκας για να σταθεροποιηθεί και να καθοριστεί επ'ακριβώς η θέση του πάνω σε αυτήν. Εν συνεχεία η συγκόλληση πραγματοποιήθηκε στην εταιρεία Καρατσιδης Α.Ε. Μεταλλικές Κατασκευές, Βόλος.

3.3. Τοποθέτηση Αντιστάσεων

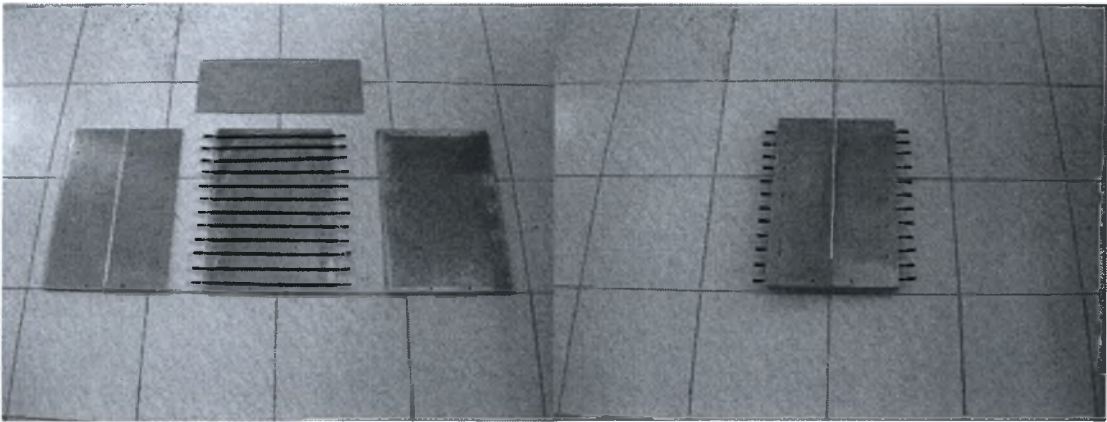
Ο αριθμός των αντιστάσεων που χρησιμοποιήθηκαν είναι 12, η ωμική τους αντίσταση κυμαίνεται από 36 – 37 Ohm και επειδή συνδέθηκαν παράλληλα η συνολική ωμική αντίσταση είναι 3 Ohm. Η τοποθέτηση αυτών πραγματοποιείται σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο στερεώνονται οι αντιστάσεις με την μέθοδο της θερμοκόλλησης ούτως ώστε να βρεθεί με ακρίβεια η θέση τους πάνω στη πλάκα. Στη συνέχεια προσαρμόζεται η δεύτερη πλάκα ακριβώς από πάνω από τις αντιστάσεις και γίνεται σύσφιξη των τεσσάρων κοκλιών που συνδέουν τις δύο πλάκες μεταξύ τους. Κατά το στάδιο αυτό έχει πλέον δημιουργηθεί μια νέα πλάκα , η πλάκα θέρμανσης, η οποία έχει την δυνατότητα να δεχθεί οποιοδήποτε σύστημα ψύξης.



Σχήμα 3.4.

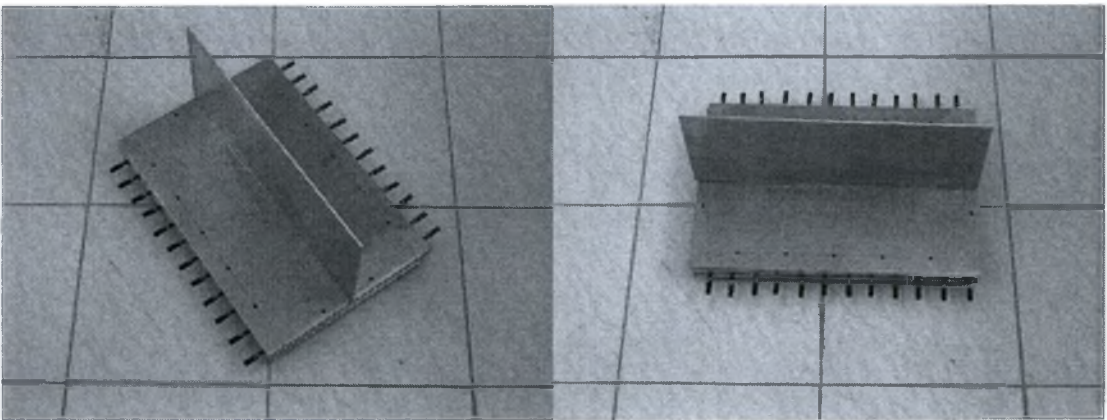
3.4. Συναρμολόγηση Διάταξης

Στο συγκεκριμένο στάδιο συναρμολογείται η πλάκα θέρμανσης με την πλάκα πτερυγίου. Η συναρμολόγηση των δύο μερών γίνεται με την σύσφιξη των 18 κοχλιών, οι οποίοι συνδέουν τις δύο πλάκες ακλόνητα. Το νέο συναρμολογημένο κομμάτι αποτελεί πλέον το κύριο μέρος της διάταξης.



Σχήμα 3.5.

Σχήμα 3.6.

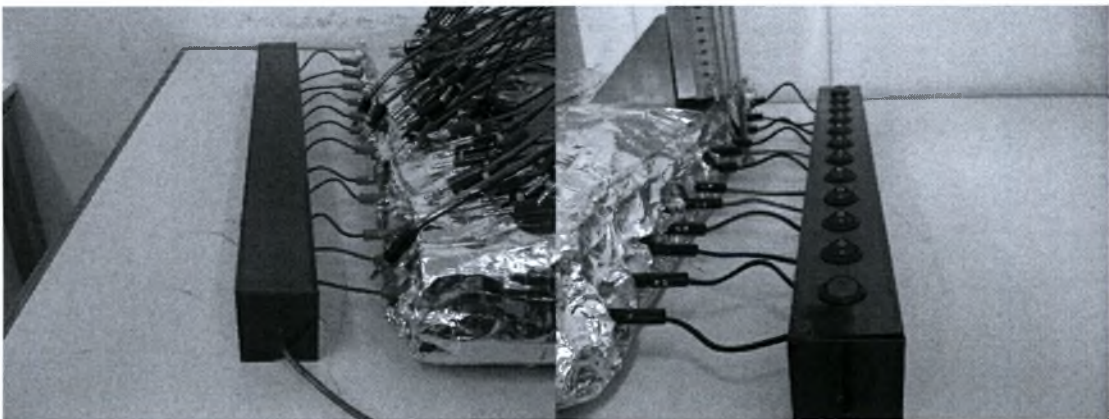


Σχήμα 3.7.

Σχήμα 3.8.

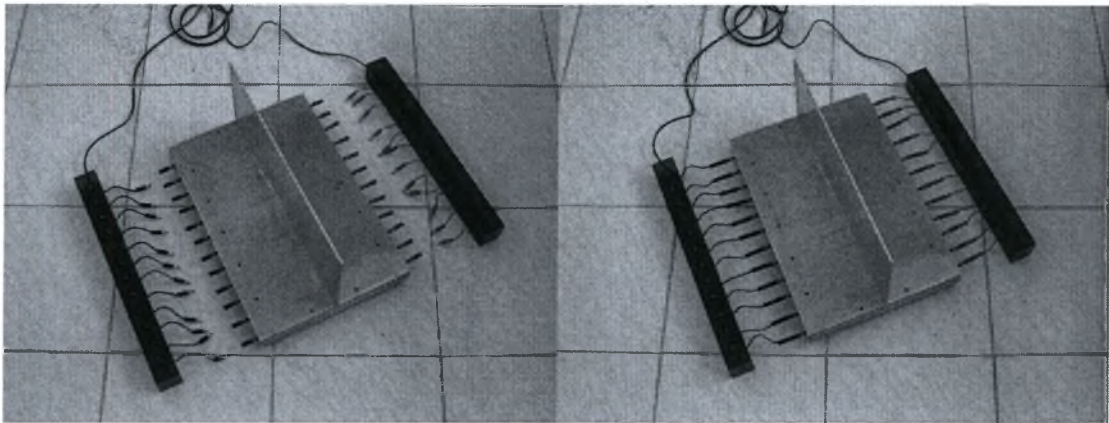
3.5. Κατασκευή Πάνελ Διακοπών και Συνδεσμολογία Αντιστάσεων

Για την ασφάλεια και την ομαλή λειτουργία του συστήματος θέρμανσης τοποθετήθηκαν μία σειρά από 12 διακόπτες που θέτουν τις αντιστάσεις σε λειτουργία. Η σύνδεση των αντιστάσεων είναι σε σειρά και η συνολική τους ωμική αντίσταση είναι 3 Ohm. Για την αποφυγή οποιουδήποτε ατυχήματος, όλες οι συνδέσεις (κολλήσεις) και οι διακόπτες τοποθετήθηκαν σε δύο πάνελ κατασκευασμένα από Plexiglas. Τα πάνελ αποτελούνται από έξι έδρες, οι οποίες κολλήθηκαν με διάλυμα χλωροφορμίου και οι συνολικές τους διαστάσεις είναι 50*50*500 χιλιοστά. Στο ένα εκ των δύο πάνελ δημιουργήθηκαν οπές διαμέτρου 21 χιλιοστών για να φιλοξενηθούν οι διακόπτες. Όλα τα καλώδια που χρησιμοποιήθηκαν για τις συνδεσμολογίες είναι 2*1.5 καθώς θα διαρρέονται από υψηλής εντάσεως ηλεκτρικό ρεύμα. Τέλος, τα πάνελ συνδεθήκαν με τις αντιστάσεις με βύσματα για την εύκολη σύνδεση και αποσύνδεσή τους όποτε κρίνεται αυτό απαραίτητο. Λεπτομέρειες φαίνονται στα παρακάτω σχήματα.



Σχήμα 3.9.

Σχήμα 3.10.

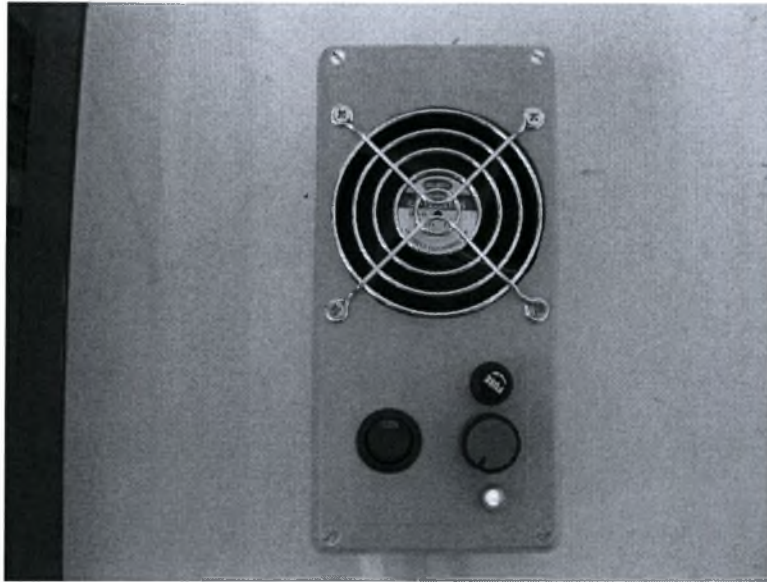


Σχήμα 3.11.

Σχήμα 3.12.

3.6. Variac Τροφοδοσίας Αντιστάσεων

Το σύστημα θέρμανσης τροφοδοτείται ηλεκτρικά από ένα Variac (τροφοδοτικό). Το Variac είναι μία ηλεκτρονική συσκευή παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος υψηλής ισχύος που χρησιμοποιείται κυρίως σε εφαρμογές με απαίτηση σε ρεύμα με μεταβαλλόμενη τάση και υψηλή ισχύ. Στην συγκεκριμένη περίπτωση η συνολική ωμική αντίσταση είναι πολύ μικρή (3 Ohm) , με αποτέλεσμα η τάση του ρεύματος να κυμαίνεται από 15 μέχρι 40 Volts. Αυτό έχει ως συνέπεια την αυξημένη ένταση του ρεύματος από 5 μέχρι 13 Amperes ανάλογα. Το Variac δέχτηκε κάποιες ηλεκτρονικές τροποποιήσεις , από τον ηλεκτρονικό του τμήματος κ. Τάσο Δαφερέρα , έτσι ώστε η τάση να μην μπορεί να υπερβεί την τιμή των 65 Volts. Αυτό κρίθηκε απαραίτητο καθώς σε μεγαλύτερες τιμές από 80 Volts , η ένταση του ρεύματος ξεπερνάει τα 26 Amperes , υπήρχε το ενδεχόμενο να υπερθερμανθεί και να προκληθεί βλάβη στο τροφοδοτικό. Όσον αφορά το θέμα ψύξης της ηλεκτρονικής πλακέτας , επανατοποθετήθηκε σε ένα νέο κουτί το οποίο περιείχε δύο fans , όπου το μεν πρώτο διοχέτευε αέρα στις ψήκτρες της πλακέτας και το δε δεύτερο απορροφούσε αυτόν τον αέρα διώχνοντάς τον προς το περιβάλλον. Επίσης τοποθετήθηκε στο κύκλωμα και μια ασφάλεια των 25 Amperes για την προστασία του κυκλώματος από βραχυκύκλωμα.



Σχήμα 3.13.

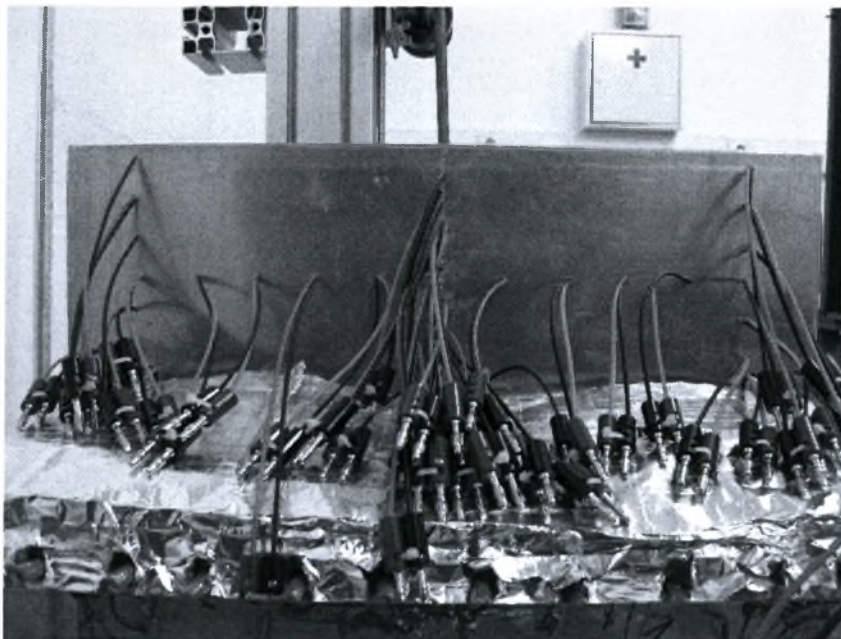
3.7. Κατασκευή Θερμοστοιχείων Πτερυγίου και Τοποθέτηση αυτών

Όλες οι μετρήσεις που πάρθηκαν στο πτερύγιο οφείλονται στα θερμοστοιχεία που κατασκευάστηκαν και κολλήθηκαν σε αυτό. Τα θερμοστοιχεία που κατασκευάστηκαν είναι τύπου K , δηλαδή πρόκειται για ένα ζεύγος καλωδίων από διαφορετικό υλικό των οποίων οι δύο άκρες είναι κολλημένες μεταξύ τους και οι άλλες ελεύθερες συνδέονται με το κατάλληλο όργανο μέτρησης. Η θερμοκρασία που θέλουμε να μετρήσουμε , τοποθετώντας την άκρη του ζεύγους στο σημείο της μέτρησης , μετατρέπεται σε ηλεκτρικό σήμα ,λόγω της διαφορετικότητας των υλικών, που αναγνωρίζεται από το μετρητικό όργανο και ισοδυναμεί στην αντίστοιχη θερμοκρασία. Στη συγκεκριμένη περίπτωση το ζεύγος καλωδίων που επιλέξαμε ήταν Chromel–Alumel. Η προμήθεια των καλωδίων πραγματοποιήθηκε από τον καθηγητή κ. Ρίζο Κρίκκη όπου και μας τα παρέδωσε. Τα δύο καλώδια ήταν σε συσκευασίες των 15 μέτρων και χωρίστηκε το καθένα

εξ'αυτών σε 45 ίσα τμήματα ώστε να δημιουργηθούν τα θερμοστοιχεία. Η συγκόλληση των άκρων έγινε με την μέθοδο της ηλεκτρικής εκκένωσης (ηλεκτροπόντα). Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει επτά στάδια. Πρώτο στάδιο, οι δύο άκρες πλέκονται μεταξύ τους για περίπου 5 χιλιοστά , δεύτερο στάδιο, συνδέεται σε τροφοδοτικό συνεχούς ρεύματος ειδική λαβίδα (μυτοσίμπιδο) στον ένα εκ των δύο πόλων , τρίτο στάδιο , στον άλλον συνδέεται μία ψήκτρα (καρβουνάκι) , τέταρτο στάδιο , θέτουμε σε λειτουργία το τροφοδοτικό , πέμπτο στάδιο , ρυθμίζουμε την τάση του ρεύματος στους πόλους στα 20 Volts , έκτο στάδιο , συγκρατούμε με την ειδική λαβίδα την πλεξούδα όσο πιο κοντά στην άκρη της γίνεται και έβδομο στάδιο , κρατώντας την ψήκτρα στο ένα χέρι και την λαβίδα στο άλλο φέρνουμε σε επαφή την άκρη της πλεξούδας και την ψήκτρα για απειροελάχιστο χρονικό διάστημα. Αποτέλεσμα αυτού είναι να δημιουργηθεί ηλεκτρική εκκένωση κατά την οποία τα δύο υλικά τοπικά βρίσκονται στην κατάσταση της τήξης για τον ίδιο απειροελάχιστο χρονικό διάστημα. Έτσι πλέον τα δύο υλικά στο σημείο αυτό έχουν συγκολληθεί και έχουν γίνει ένα σώμα.

Εν συνεχεία τα ελεύθερα καλώδια των θερμοστοιχείων μονώθηκαν για την αποφυγή βραχυκυκλώματος μεταξύ του ιδίου θερμοστοιχείου αλλά και με τα υπόλοιπα. Η μόνωσή τους πραγματοποιήθηκε καθώς περιβάλλαμε τα γυμνά καλώδια με ειδικά θερμοσυστελόμενα σωληνάκια. Τέλος στις ελεύθερες άκρες τους τοποθετήθηκαν ακροδέκτες για την σύνδεσή τους με το μετρητικό όργανο. Κατά αυτόν τον τρόπο κατασκευάστηκαν 45 θερμοστοιχεία που τοποθετήθηκαν στο πτερύγιο. Η τοποθέτησή τους έγινε με τέτοιο τρόπο ώστε να ενσωματωθούν στο πτερύγιο για να επιτευχθεί η καλύτερη δυνατή μετάδοση θερμότητας από το πτερύγιο σε αυτά. Ο τρόπος ενσωμάτωσης τους ήταν η κόλληση τους με κυανοκρυλική κόλλα. Η συγκεκριμένη κόλλα είναι σχετικά λεπτόρρευστη και έχει ιδιαίτερα μεγάλη αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες. Κατά την στερεοποίηση της τα θερμοστοιχεία θεωρούνται πλέον ως ένα σώμα με το πτερύγιο. Οι θέσεις που τοποθετήθηκαν τα θερμοστοιχεία φαίνονται στο παρακάτω

σχήμα και η χρησιμότητά τους είναι να μας παρέχουν πληροφορίες για την κατανομή της θερμοκρασίας σε όλο το πτερύγιο.



Σχήμα 3.14.

3.8. Κατασκευή Θερμοστοιχείου Μέτρησης του $\Theta.O.S.$

Το θερμοστοιχείο μέτρησης του $\Theta.O.S.$ δεν διαφέρει ουσιαστικά σε κάτι από τα υπόλοιπα θερμοστοιχεία. Η μόνη διαφοροποίησή του είναι ότι κατασκευάστηκε μία ειδική βάση για την στήριξή του και την μόνωσή του. Έτσι το θερμοστοιχείο αφού κατασκευάστηκε τοποθετήθηκε μέσα σε έναν ειδικά μονωμένο μεταλλικό σωλήνα μικρής διατομής , 1.5 χιλιοστών ,και μήκους 55 χιλιοστών , εν συνεχεία ο ήδη υπάρχον σωλήνας τοποθετήθηκε μέσα σε έναν μεγαλύτερο πλαστικό διαμέτρου 4 χιλιοστών και μήκους 30 χιλιοστών. Η συναρμογή των δύο σωλήνων δεν παρουσίαζε κάποια χαλαρότητα οπότε δεν υπήρξε ανάγκη για την κόλληση αυτών, καθώς δεν ασκούνταν δυνάμεις πάνω στο θερμοστοιχείο. Οι δύο σωλήνες καλύφθηκαν με μονωτική ταινία για την προστασία τους από το περιβάλλον αλλά και για την μεταξύ τους στερέωση. Τέλος, το ενιαίο πλέον κομμάτι στερεώθηκε μέσα σε έναν εύκαμπτο χαλκοσωλήνα

διαμέτρου 10 χιλιοστών και μήκους 280 χιλιοστών , ο οποίος είχε διαμορφωθεί σε σχήμα Γ για την εύκολη προσαρμογή του στο σύστημα μετακίνησης Y-Z του θερμοστοιχείου. Το σημείο της ένωσης καλύφθηκε και αυτό με μονωτική ταινία για την ισχυρότερη συγκράτηση των δύο μερών. Η τελική εικόνα του θερμοστοιχείου φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 3.15.

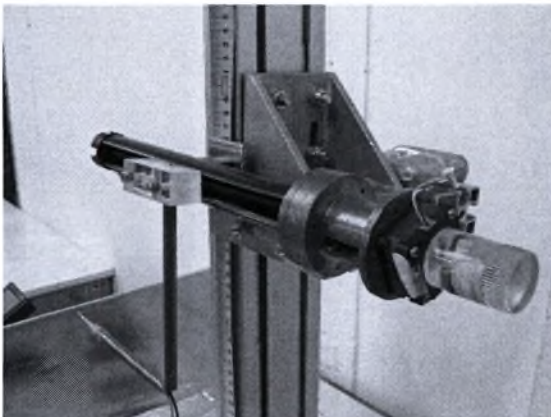
3.9. Κατασκευή Συστήματος Y-Z Κίνησης του Θερμοστοιχείου Θ.Ο.Σ.

Για την μετακίνηση του θερμοστοιχείου στην σωστή κάθε φορά θέση για την μέτρηση που επρόκειτο να κάνουμε , χρειάστηκε να κατασκευάσουμε ένα σύστημα κίνησης για τους άξονες Y-Z όπου θα κινείτο το θερμοστοιχείο. Η κίνηση σε κάθε άξονα έπρεπε να έχει ακρίβεια δεκάτου του χιλιοστού , με αποτέλεσμα οι δύο κοχλιοφόροι δρομείς που θα φρόντιζαν για την κίνηση αυτή να ήταν υψηλής ακριβείας. Ο ένας κοχλιοφόρος δρομέας που θα αναλάμβανε την κίνηση στον Y άξονα προϋπήρχε, αντιθέτως για τον άξονα Z έπρεπε να κατασκευαστεί. Για την κατασκευή του χρειάστηκαν τα εξής : ένα αλουμινένιο πλαίσιο 500 χιλιοστών μήκους και ειδικής διατομής που φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, μία ντίζα M6 μήκους 600 χιλιοστών , δύο απλούς μονόσφαιρους ένοσφαιρους τριβείς (ρουλεμάν), δύο

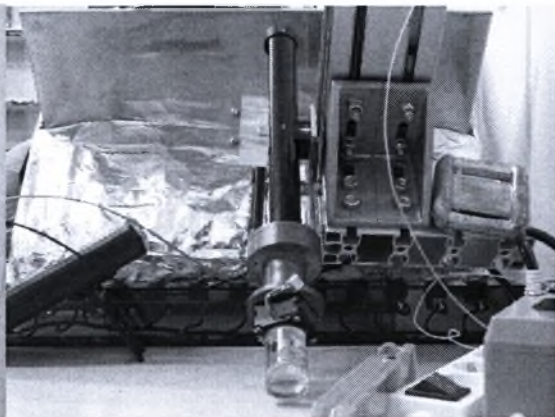
περικόχλια ασφαλείας για την ντιζα M6, δύο ροδέλες εσωτερικής διατομής 12 χιλιοστών και εξωτερικής 20 χιλιοστών, δύο ειδικά περικόχλια για την ντιζα M6 με μήκος 18 χιλιοστών, 4 κοχλίες M8 , 8 ροδέλες για κοχλίες M8, 4 περικόχλια για κοχλίες M8, δύο πλαστικούς οδηγούς ειδικά διαμορφωμένους, έναν ανοξείδωτο άξονα-οδηγό διαμέτρου 12 χιλιοστών και μήκους 120 χιλιοστών, δύο ειδικές γωνιές στήριξης αλουμινίου, μία αλουμινένια βάση σύνδεσης των δύο κοχλιοφόρων δρομέων και μία χειρολαβή για την περιστροφή της ντιζας.

Η κατασκευή του κοχλιοφόρου δρομέα ολοκληρώθηκε σε επτά στάδια. Πρώτο στάδιο, αφαιρέθηκε το επάνω μέρος των 4 κοχλίων M8 και συγκολλήθηκαν οι μεν 2 με τα 2 ειδικά περικόχλια μήκους 18 χιλιοστών στη μέση αυτών και οι άλλοι 2 πάνω στο ανοξείδωτο άξονα-οδηγό 12 χιλιοστών κοντά στις δύο άκρες του. Στα παρακάτω σχήματα φαίνονται λεπτομερώς οι συγκολλήσεις. Δεύτερο στάδιο, τα ειδικά περικόχλια με τους συγκολλημένους κοχλίες περνιούνται στη ντιζα με μεταξύ τους απόσταση 100 χιλιοστών. Τρίτο στάδιο, τοποθετείται η ντιζα μέσα στο ειδικά σχηματισμένο κανάλι του αλουμινένιου πλαισίου και τοποθετούνται στις άκρες του οι δύο πλαστικοί οδηγοί. Τέταρτο στάδιο, σε κάθε μία άκρη της ντιζας τοποθετούνται η ροδέλα 12-20 χιλιοστά, ο ένοφαιρος τριβέας και το περικόχλιο ασφαλείας και συσφίγγονται μέχρις ότου περιοριστεί τελείως η μεταφορική κίνηση της ντιζας αλλά ταυτόχρονα να μην περιορίζεται η περιστροφική της κίνηση. Πέμπτο στάδιο, στο γειτονικό ειδικά σχηματισμένο κανάλι τοποθετείται ο ανοξείδωτος άξονας-οδηγός όπου και ολισθαίνει ελεύθερα. Έκτο στάδιο, οι δύο κοχλίες της ντιζας με τους δύο κοχλίες του άξονα-οδηγού παραλληλίζονται και τοποθετούνται σε αυτούς 4 ροδέλες για M8 και εν συνεχεία τοποθετείται μια εκ των δύο ειδικών γωνιών αλουμινίου στήριξης η οποία και συσφίγγεται. Η σύσφιξη γίνεται μέχρις ότου η ειδική γωνία μπορεί μόνο να ολισθαίνει πάνω στο αλουμινένιο πλαίσιο και δεν εκτελεί οποιαδήποτε άλλη κίνηση. Έβδομο στάδιο, στην άνω άκρη της ντιζας τοποθετείται η χειρολαβή περιστροφής. Σε αυτό το στάδιο ολοκληρώνεται η κατασκευή του

κοχλιοφόρου δρομέα για τον άξονα Z. Εν συνεχεία κατασκευάζουμε το υπόλοιπο μέρος του συστήματος κίνησης. Στον δρομέα του κοχλιοφόρου Z, στερεώνεται έκκεντρα η αλουμινένια βάση στήριξης με 4 κοχλίες M8. Στην πλησιέστερη προς το κέντρο άκρη της αλουμινένιας βάσης στερεώνεται ο δεύτερος κοχλιοφόρος δρομέας αξόνος Y κάθετα προς τον πρώτο. Στην άλλη άκρη της αλουμινένιας βάσης στερεώνεται αντίβαρο ενός κιλού, καθώς ο κοχλιοφόρος δρομέας Y προκαλεί δυσλειτουργία στον κοχλιοφόρο δρομέα Z λόγω αυξημένου βάρους. Τέλος στον κοχλιοφόρο δρομέα Y στερεώνεται το θερμοστοιχείο μέτρησης του Θ.Ο.Σ. Η στερέωση γίνεται από το άκρο του χαλκοσωλήνα του θερμοστοιχείου στον δρομέα κίνησης. Το σύστημα κίνησης του θερμοστοιχείου μέτρησης του Θ.Ο.Σ. είναι έτοιμο να στερεωθεί στο κύριο μέρος της διάταξης. Η στερέωση γίνεται με 4 κοχλίες M8 που διαπερνούν τις πλάκες αντιστάσεων και την πλάκα περυγίου συγκρατώντας την δεύτερη ειδική γωνία στήριξης αλουμινίου. Στην ειδική αυτή γωνία προσαρμόζεται το αλουμινένιο πλαίσιο του κοχλιοφόρου δρομέα Z. Το σύστημα κίνησης είναι έτοιμο προς χρήση, η πρόωση και στις δύο κατευθύνσεις αντιστοιχεί σε ένα χιλιοστό ανά περιστροφή. Στα παρακάτω σχήματα φαίνονται όλες οι λεπτομέρειες του συστήματος.



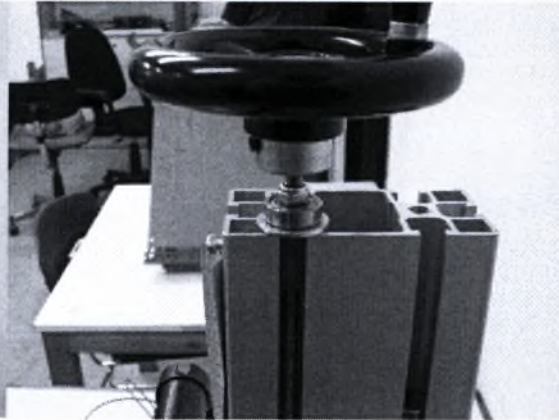
Σχήμα 3.16.



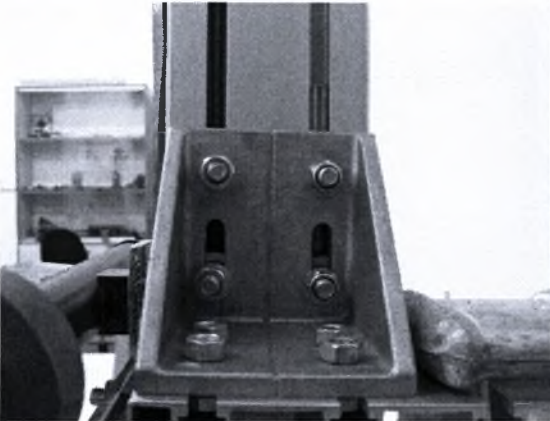
Σχήμα 3.17.



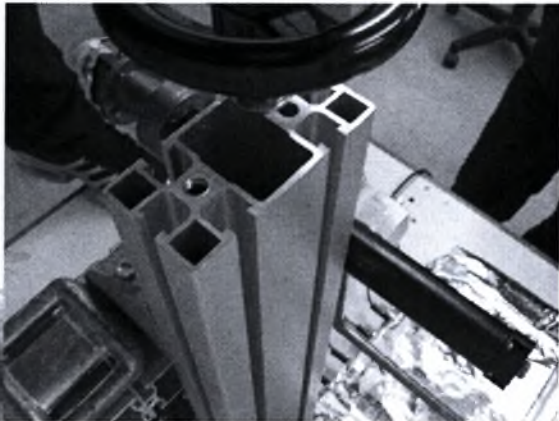
Σχήμα 3.18.



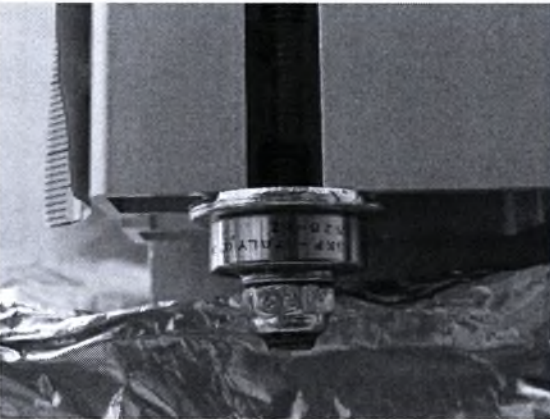
Σχήμα 3.19.



Σχήμα 3.20.



Σχήμα 3.21.



Σχήμα 3.22.



Σχήμα 3.23.

3.10. Θερμική Μόνωση

Καθότι το περιεχόμενο της εργασίας αυτής αναφέρεται στην μέτρηση του Θ.Ο.Σ. και η πειραματική διάταξη που κατασκευάζεται πρέπει να παραστήσει ένα πτερύγιο ψύξης οφείλουμε να τροποποιήσουμε τους παράγοντες που το επηρεάζουν ώστε να προσεγγίσουμε μια πραγματική περίπτωση και όχι κάποια ιδεατή. Ένας παράγοντας είναι η μόνωση της διάταξης έτσι ώστε η προσδιδόμενη θερμότητα να απάγεται μόνο από το πτερύγιο. Για τον λόγο αυτό μονώσαμε την διάταξη περιμετρικά καθώς και τις ελεύθερες επιφάνειες των πλακών αντιστάσεων και πτερυγίου, άνω και κάτω. Η μόνωση δημιουργήθηκε από το μονωτικό υλικό, υαλοβάμβακα, ο οποίος διατίθεται σε μορφή φύλλου διαστάσεων 1500*2000 χιλιοστά. Το πάχος που επελέγη για την συγκεκριμένη περίπτωση είναι τα 50 χιλιοστά. Όλα τα ανοίγματα και οι ακμές που δημιουργήθηκαν κατά το στάδιο της μόνωσης καλύφθηκαν με αλουμινοταινία. Στη βάση του πτερυγίου και καθ'όλο το μήκος του δεν καλύφθηκε ένα τμήμα πλάτους 40 χιλιοστών. Ο λόγος είναι ότι οι μετρήσεις έγιναν υπό δύο διαφορετικές συνθήκες. Στην πρώτη περίπτωση το τμήμα στη βάση του πτερυγίου ήταν ακάλυπτο ενώ στη δεύτερη το τμήμα αυτό καλύφθηκε. Λεπτομέρειες φαίνονται στα παρακάτω σχήματα.

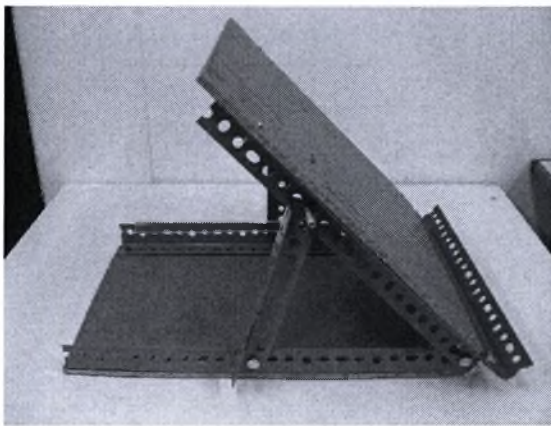


Σχήμα 3.24.

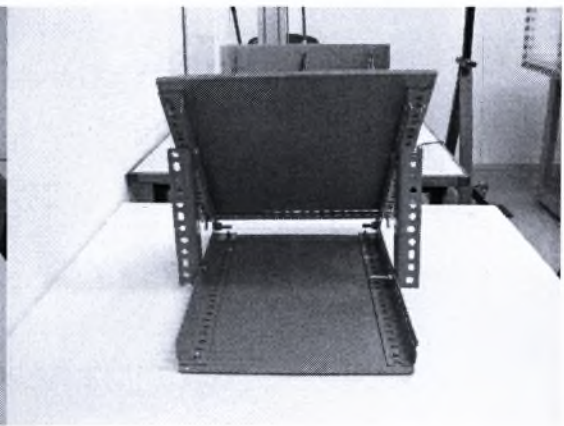
Σχήμα 3.25.

3.11. Κατασκευή Επιπέδου Στήριξης με Μεταβαλλόμενη Γωνία

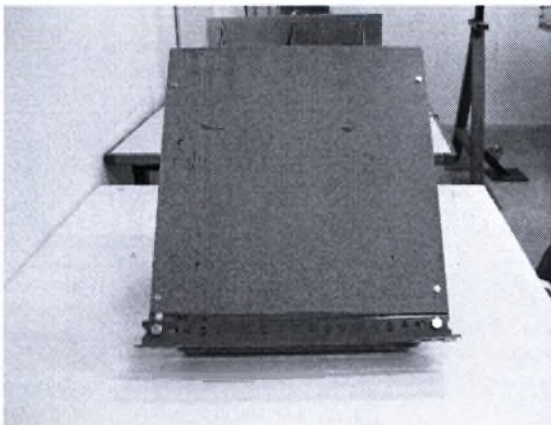
Για την ανάγκη των μετρήσεων χρειάστηκε να κατασκευαστεί ένα επίπεδο στήριξης με μεταβαλλόμενη γωνία. Πιο συγκεκριμένα, έπρεπε να μπορεί να τεθεί η διάταξη υπό γωνία 30 έως 60 μοιρών. Έτσι κατασκευάστηκε ένας μηχανισμός δύο πλαισίων συνδεδεμένα μεταξύ τους με τρόπο τέτοιο ώστε το άνω πλαίσιο να μπορεί να περιστραφεί γύρω από έναν σταθερό άξονα. Η κατασκευή τους έγινε από ειδικά διαμορφωμένη βέργα μετάλλου (ντέξιον) και από δύο ξύλινες επιφάνειες. Οι διαστάσεις της κατασκευής 350 χιλιοστά πλάτος και 400 χιλιοστά μήκος, ικανό να φιλοξενήσει άνετα την πειραματική διάταξη. Οι λεπτομέρειες της κατασκευής φαίνονται στα παρακάτω σχήματα.



Σχήμα 3.26.



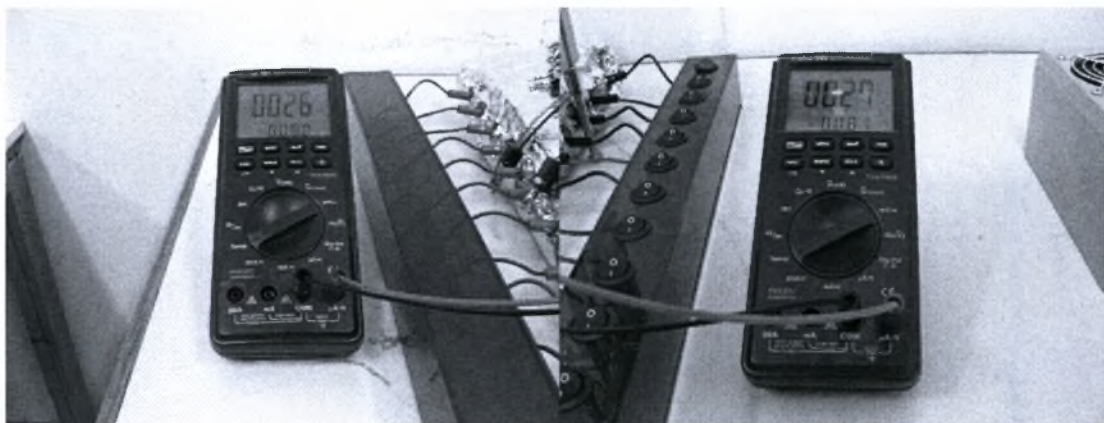
Σχήμα 3.27.



Σχήμα 3.28.

3.12. Όργανα Μέτρησης Θερμοκρασίας

Οι μετρήσεις όλες έγιναν με την βοήθεια δύο όμοιων πολυμέτρων της εταιρείας Protek. Το μοντέλο είναι Protek 506 Multimeter το οποίο έχει την δυνατότητα μέτρησης θερμοκρασίας χρησιμοποιώντας θερμοστοιχεία τύπου K. Το ένα εκ των δύο τοποθετήθηκε στη βάση του πτερυγίου δείχνοντας κατά την διάρκεια των μετρήσεων την θερμοκρασία λειτουργίας. Το δεύτερο ήταν τοποθετημένο στο θερμοστοιχείο μέτρησης του Θ.Ο.Σ.. Στην οθόνη ενδείξεων του πολυμέτρου εμφανίζονταν δύο τιμές μετρήσεων , η μία σε μονάδες Κελσίου και η άλλη σε μονάδες Φαρενάιτ. Η πλέον χρησιμοποιούμενη ήταν η δεύτερη καθώς είχε μεγαλύτερη ακρίβεια. Τα δύο όργανα φαίνονται στα παρακάτω σχήματα.



Σχήμα 3.29.

Σχήμα 3.30.

3.13. Υπολογιστής Καταγραφής Μετρήσεων

Η καταγραφή των δεδομένων των μετρήσεων έγινε σε φορητό υπολογιστή, σε πρόγραμμα των Windows , Excel. Ταυτόχρονα οι μετρήσεις καταγράφονταν και σε πίνακες χειρόγραφους ως δικλίδα ασφαλείας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο Πειραματική Μεθοδολογία

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναπτυχθεί η διαδικασία λήψης μετρήσεων.

Οι λόγοι που μας οδήγησαν στη λήψη των συγκεκριμένων μετρήσεων ήταν τα καθεαυτά θέματα της μελέτης αυτής. Έπρεπε να μετρηθεί λοιπόν το πάχος του θερμικού οριακού στρώματος, οι χρόνοι θέρμανσης και ψύξης του πτερυγίου καθώς και η πραγματική (εσωτερική) θερμοκρασία του.

4.1. Πάχος Θερμικού Οριακού Στρώματος (Θ.Ο.Σ.)

Η διαδικασία που ακολουθήσαμε για την μέτρηση αυτή αποτελείται από τα παρακάτω βήματα.

Βήμα πρώτο, εκκίνηση των ηλεκτρονικών πολυμέτρων Protek 506. Το ένα εκ των δύο είναι μόνιμα συνδεδεμένο στο πρώτο θερμοστοιχείο της κεντρικής στήλης των θερμοστοιχείων (στην βάση του πτερυγίου) και η ένδειξή του αποτελεί την θερμοκρασία αναφοράς για τα πειράματά που ακολουθούν. Το δεύτερο είναι συνδεδεμένο με το θερμοστοιχείο μέτρησης του Θ.Ο.Σ. και οι ενδείξεις του αποτελούν τις μετρήσεις για το πάχος του Θ.Ο.Σ.. Στο βήμα αυτό οι δύο ενδείξεις των πολυμέτρων συμπίπταν και η πλέον κοινή ένδειξη αποτελούσε την αρχική θερμοκρασία του πτερυγίου πριν την εκκίνηση του πειράματος.

Βήμα δεύτερο, εκκίνηση του ηλεκτρονικού υπολογιστή και δημιουργία προγράμματος Excel για την καταγραφή των μετρήσεων.

Βήμα τρίτο, ενεργοποίηση των αντιστάσεων μέσω των διακοπών ασφαλείας στο δεξί πάνελ.

Βήμα τέταρτο, σύνδεση του τροφοδοτικού (Variac) με το γενικό δίκτυο παροχής ηλεκτρικού ρεύματος και ρύθμιση της εντάσεως του τροφοδοτικού στα 30 Volt. Στην συγκεκριμένη τάση η ισχύς που παρέχουμε στο σύστημα θέρμανσης είναι 300 Watt ώστε να θερμανθεί γρήγορα η συσκευή. Μόλις η θερμοκρασία αναφοράς επέλθει στην επιθυμητή τιμή για την εκάστοτε περίπτωση, χαμηλώνουμε την ισχύ του τροφοδοτικού και την ρυθμίζουμε σε μία συγκεκριμένη θέση ισχύος (θέση συντήρησης) όπου η θερμοκρασία αναφοράς δεν μεταβάλλεται πλέον. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι θερμοκρασίες λειτουργίας και η προσοδιδόμενη ισχύς.

Θ _{αναφοράς} (βάσεως)	Θ _{μέσο 1}	Θ _{μέσο 2}	Θ _{μέσο 3}	Θ _{μέσο 4}	Watt _{συντήρησης} (μέση τιμή)	Volt	Amperes
100	93,89	93,83	93,71	92,49	133,33	20	6,67
90	85,15	84,3	-	-	108	18	6
80	76,29	77,72	-	-	85,33	16	5,33
70	67,13	67,22	67,05	67,16	65,33	14	4,67
60	56,61	57,89	-	-	48	12	4

Θ _{μέσο 1}	χωρίς πλήρη μόνωση
Θ _{μέσο 2}	με πλήρη μόνωση
Θ _{μέσο 3}	με πλήρη μόνωση και 45°
Θ _{μέσο 4}	με πλήρη μόνωση και 315°

Πίνακας 4.1.

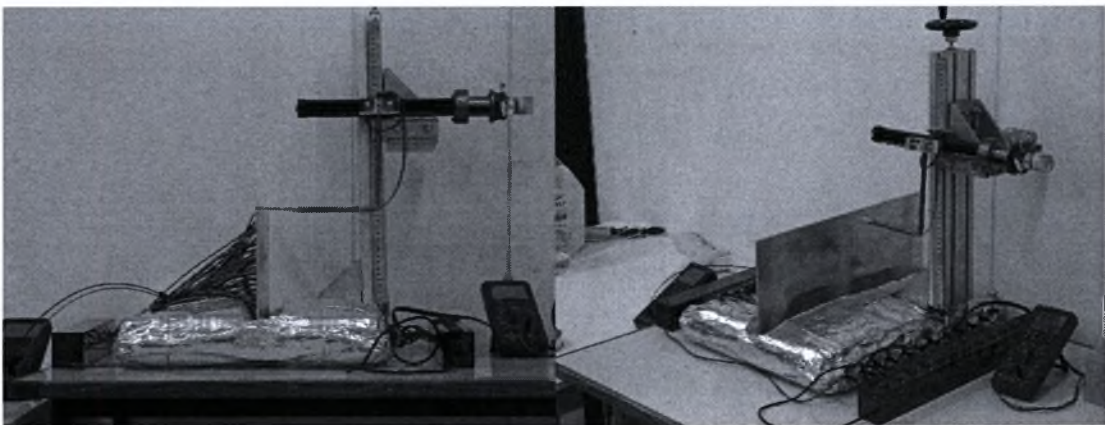
Στο συγκεκριμένο σημείο πρέπει να αποσαφηνιστεί ότι η θέση συντήρησης δεν ήταν εντελώς σταθερή. Ο λόγος εντοπίζεται κυρίως στον τρόπο λειτουργίας του τροφοδοτικού κατά τον οποίον η παραγόμενη τάση είναι ελαφρά μεταβαλλόμενη εξαιτίας πρώτον της αστάθειας του γενικού δικτύου ηλεκτρικού ρεύματος και δεύτερον της αλληλεπίδρασης των αντιστάσεων στο τροφοδοτικό. Η δεύτερη αιτία οφείλεται στην αλλαγή των ωμικών τους αντιστάσεων λόγω αύξησης της θερμοκρασίας.

Βήμα πέμπτο, ρυθμίζουμε την θέση του θερμοστοιχείου μέτρησης του Θ.Ο.Σ. Η επιλογή των θέσεων μέτρησης έγινε με βάση την θεωρεία. Έτσι επιλέξαμε το θερμοστοιχείου στον Υ άξονα να

μετακινείται ανά ένα χιλιοστό και στον Z άξονα ανά 10 χιλιοστά. Ο λόγος για την επιλογή αυτή έγκειται στο ότι το πάχος του Θ.Ο.Σ. είναι τουλάχιστον κατά δύο τάξεις μεγέθους μικρότερο από το ύψος του επιλεγμένου πτερυγίου. Μεταβολές λοιπόν στον άξονα Z εμφανίζονται από μία θέση στην επόμενη όταν η μεταξύ τους απόσταση είναι της τάξης των 10 χιλιοστών ενώ στον άξονα Y όταν η μεταξύ τους απόσταση είναι της τάξης του 1 χιλιοστού. Η πρώτη θέση στην οποία μετακινούμε το θερμοστοιχείο απέχει 15 χιλιοστά από την επιφάνεια της πλάκας του πτερυγίου και είναι σε «έντονη» επαφή με το πτερύγιο. Ο λόγος για την ύπαρξη της συγκεκριμένης θέσης οφείλεται στο μετρούμενο μέγεθος που ονομάζεται « θερμοκρασία επαφής ». Η θέση αυτή ονομάζεται ως « -1 » Εν συνεχεία μετακινούμε το θερμοστοιχείο μόνο στον άξονα Y απομακρύνοντάς το από το πτερύγιο σε θέση τέτοια που μόλις να έχει χάσει την επαφή με αυτό. Η θέση αυτή ονομάζεται ως « 0 ». Από εδώ και στο εξής το θερμοστοιχείο θα απομακρύνεται από το πτερύγιο κατά 1 χιλιοστό και κάθε θέση θα ονομάζεται αντίστοιχα ως «1,2,3,4,5,.....17». Η μέγιστη απομάκρυνση θα είναι στα 17 χιλιοστά καθότι από το σημείο αυτό και μετά δεν παρατηρείται καμία ουσιαστική μεταβολή στην θερμοκρασία. Ο χρόνος που διαρκεί η κάθε μέτρηση ισούται με 30 - 45 δευτερόλεπτα. Αιτία αυτής της διάρκειας είναι η απόκριση του θερμοστοιχείου στην μεταβολή της θερμοκρασίας από θέση σε θέση. Έτσι αφού μετρηθεί η θερμοκρασία σε κάθε μία από τις προαναφερθέντες θέσεις, το θερμοστοιχείο μετακινείται στον άξονα Z κατά 10 χιλιοστά προς τα άνω και στον άξονα Y επαναφέρεται στην θέση « -1 » (δηλαδή έντονα πιεσμένο στο πτερύγιο). Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρις ότου το θερμοστοιχείο μετακινηθεί κατά τον άξονα Z στην ανώτατη θέση των 195 χιλιοστών. Στην κατάσταση αυτή έχει ολοκληρωθεί μία πλήρης μέτρηση του Θ.Ο.Σ. και συνολικός αριθμός των μετρήσεων για την ολοκλήρωση αυτή είναι 361 μετρήσεις ή αλλιώς 3-5 ώρες .

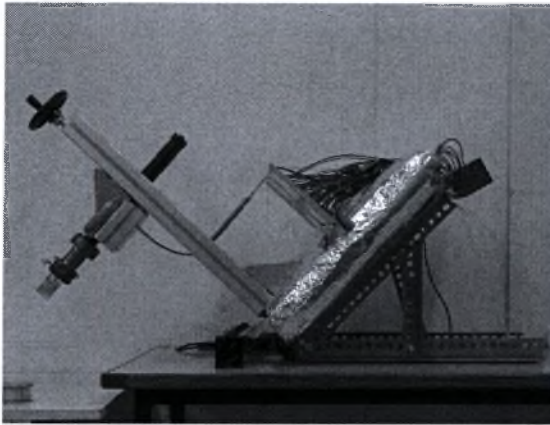
Οι ολοκληρωμένες μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν ήταν δεκατέσσερεις και χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες. Πρώτη κατηγορία αφορά την περίπτωση όπου στην βάση του πτερυγίου λείπει η λωρίδα

των 40 χιλιοστών της μόνωσης. Στην κατηγορία αυτή υπήρξαν πέντε περιπτώσεις όπου σε κάθε μία άλλαξε η θερμοκρασία αναφοράς (λειτουργίας) του πτερυγίου. Οι θερμοκρασίες αυτές ήταν των 60°C, 70°C, 80°C, 90°C και 100°C. Δεύτερη κατηγορία αφορά την περίπτωση όπου στην βάση του πτερυγίου τοποθετείται η επιπλέον μόνωση και διακρίνονται επίσης πέντε περιπτώσεις όπου στην κάθε μία υπάρχει αλλαγή στην θερμοκρασία. Οι θερμοκρασίες αναφοράς που εξελίσσονται τα πειράματα είναι 60°C, 70°C, 80°C, 90°C και 100°C. Τρίτη κατηγορία αφορά την περίπτωση όπου υπάρχει η επιπλέον μόνωση στη βάση του πτερυγίου με την διαφορά ότι όλη η διάταξη βρίσκεται υπό κλίση 45° με την βοήθεια του επιπέδου στήριξης μεταβαλλόμενης γωνίας. Στην κατηγορία αυτή το πτερύγιο βρισκόταν μεν σε γωνία 45° αλλά το μετρητικό μας όργανο ήταν τοποθετημένο στην δεξιά πλευρά του πτερυγίου, οπότε μπορούσαμε να μετρήσουμε το Θ.Ο.Σ. σε μόνο μία εκ των δύο πλευρών. Από την θεωρία γνωρίζουμε πως το θερμικό οριακό στρώμα διαφέρει από πλευρά σε πλευρά όταν το πτερύγιο βρίσκεται υπό γωνία. Για τον λόγο αυτό στην Τρίτη κατηγορία μειρήσεων τοποθετήσαμε το πτερύγιο και σε γωνία 315° ,δηλαδή ουσιαστικά αναστρέψαμε την θέση του μετρητικού οργάνου χωρίς να αλλάξει και η θέση του πτερυγίου. Και στις δύο αυτές υποκατηγορίες διακρίνονται δύο περιπτώσεις όπου άλλαξε η θερμοκρασία λειτουργίας. Οι θερμοκρασίες αυτές ήταν των 70°C και 100°C. Στα επόμενα σχήματα φαίνονται πιο αναλυτικά όλες οι κατηγορίες.

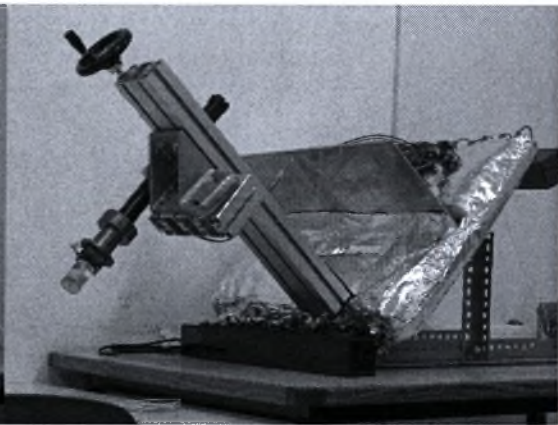


Σχήμα 4.1.

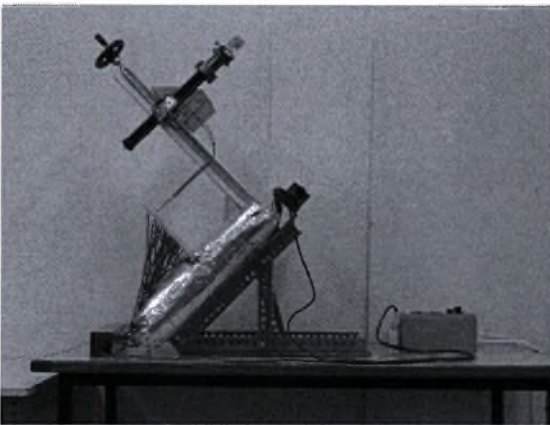
Σχήμα 4.2.



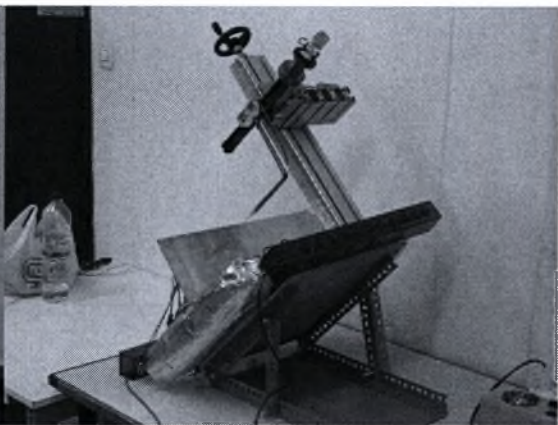
Σχήμα 4.3.



Σχήμα 4.4.



Σχήμα 4.5.



Σχήμα 4.6.

4.2. Χρόνοι Θέρμανσης και Ψύξης

Στις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του χρόνου θέρμανσης και ψύξης η διαδικασία ήταν πολύ πιο απλή από την παραπάνω.

Στις τρεις κατηγορίες πειραμάτων ο υπολογισμός του χρόνου θέρμανσης έγινε ως εξής: ενώ το πτερύγιο βρίσκεται στην αρχική θερμοκρασία περιβάλλοντος θέτουμε σε λειτουργία το τροφοδοτικό (Variack) στην σταθερή τιμή των 30 Volt που ισοδυναμεί με 300 Watt, η στιγμή αυτή θεωρείται ως χρόνος μηδέν και αποτελεί την έναρξη της συνολικής διάρκειας θέρμανσης του πτερυγίου ως στους 100°C. Όταν το θερμοστοιχείο αναφοράς αγγίζει την προαναφερθείσα θερμοκρασία

τότε σταματάμε την λειτουργία του χρονομέτρου. Η ένδειξη του χρονομέτρου εκείνη την στιγμή αποτελεί και τον χρόνο θέρμανσης.

4.3. Πραγματική Θερμοκρασία Πτερυγίου

Για την μέτρηση της πραγματικής θερμοκρασίας του πτερυγίου η διαδικασία είναι επίσης απλή. Στις συνθήκες κάτω από τις οποίες μερήσαμε το Θ.Ο.Σ. βρισκόμαστε και στην περίπτωση αυτή. Ειδικότερα, ρυθμίζουμε το τροφοδοτικό έτσι ώστε να διατηρεί την θερμοκρασία της πλάκας σταθερή στην θερμοκρασία που επιθυμούμε. Εν συνεχεία απομονώνουμε το ηλεκτρονικό πολύμετρο από το θερμοστοιχείο που δίνει τις μετρήσεις για το Θ.Ο.Σ. και το συνδέουμε σε κάθε ένα από τα γειτονικά θερμοστοιχεία του θερμοστοιχείου αναφοράς. Έτσι ξεκινάμε συνδέοντάς το στο αμέσως επάνω του θερμοστοιχείου αναφοράς και ούτω καθεξής μέχρις ότου το συνδέσουμε σε όλα τα θερμοστοιχεία. Ο χρόνος κάθε μέτρησης διαρκεί περίπου 15 – 20 δευτερόλεπτα, δηλαδή 12 -15 λεπτά για κάθε περίπτωση.

Όλες οι παραπάνω μετρήσεις καθώς και τα αποτελέσματα που προκύπτουν από αυτές παρατίθενται στο επόμενο κεφάλαιο.

Κεφάλαιο 5^ο Παρουσίαση Αποτελεσμάτων – Συγκρίσεις

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί θα πραγματοποιηθεί μία παράθεση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τις μετρήσεις του 4^{ου} κεφαλαίου καθώς και οι μεταξύ αυτών συγκρίσεις. Τα αποτελέσματα χωρίζονται σε πέντε κατηγορίες :

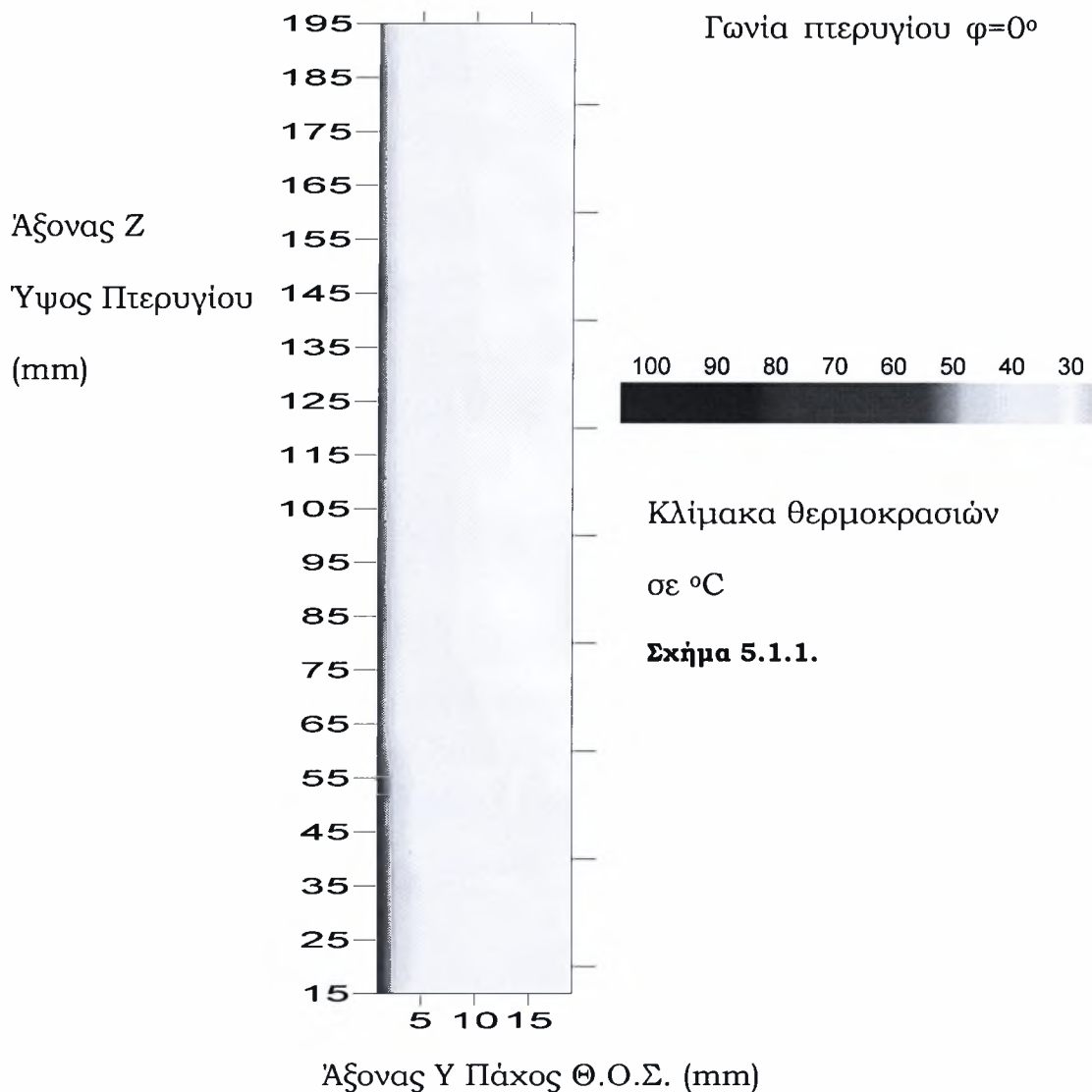
- 5.1. Πάχος Θερμικού Οριακού Στρώματος
- 5.2. Πτώση Θερμοκρασίας κατά τον άξονα Z
- 5.3. Πτώση Θερμοκρασίας κατά τον άξονα Y
- 5.4. Διακύμανση του αριθμού Nusselt κατά τον άξονα Z
- 5.5. Διάρκεια Θέρμανσης και Ψύξης του πτερυγίου
- 5.6. Επίδραση Προσανατολισμού Πτερυγίου στον Ρυθμό Ψύξης του

5.1. Πάχος Θερμικού Οριακού Στρώματος (Θ.Ο.Σ.)

Το πάχος του Θ.Ο.Σ. υπολογίστηκε πειραματικά και θα παρουσιαστεί στα παρακάτω διαγράμματα. Η δημιουργία αυτών των σχημάτων έγινε με την βοήθεια του προγράμματος λογισμικού ισοϋψών. Πρέπει να αναφέρουμε πως η παρουσία της μόνωσης επηρέαζε τις μετρήσεις μας καθώς από την επιφάνειά της υπήρχε μία μικρή αποβολή θερμότητας η οποία αύξανε μερικώς την θερμοκρασία του αέρα κοντά στο πτερύγιο. Έτσι σε κανένα σημείο της μετρούμενης περιοχής η θερμοκρασία των μετρήσεων δεν εξομοιώθηκε με την θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Για τις τρεις κατηγορίες πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν και για τις περιπτώσεις που αντιστοιχούν σε κάθε κατηγορία παρουσιάζονται τα παρακάτω διαγράμματα:

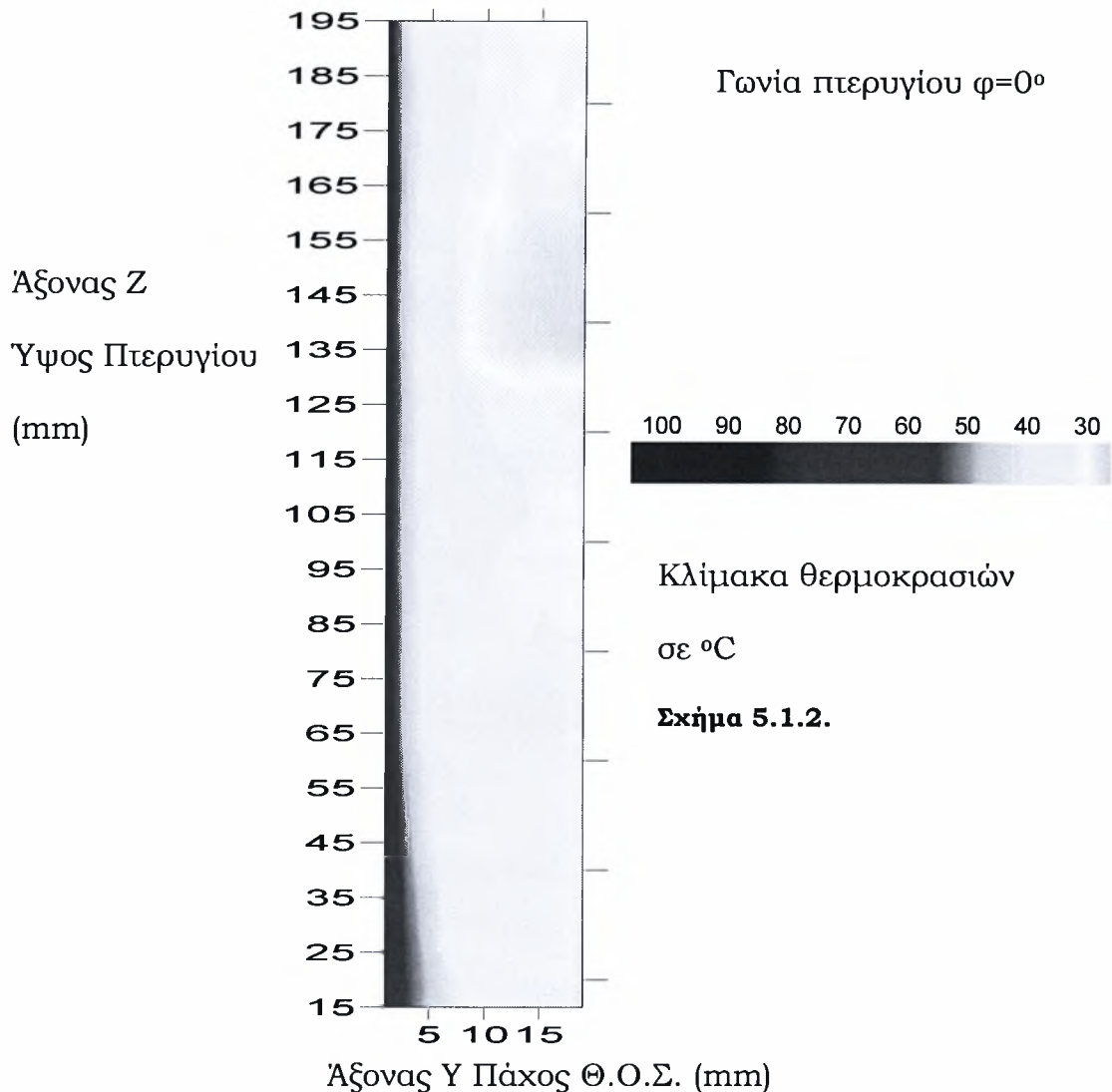
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ 1^η Δίχως πλήρη μόνωση

1^η Περίπτωση 60° C & 48 Watt



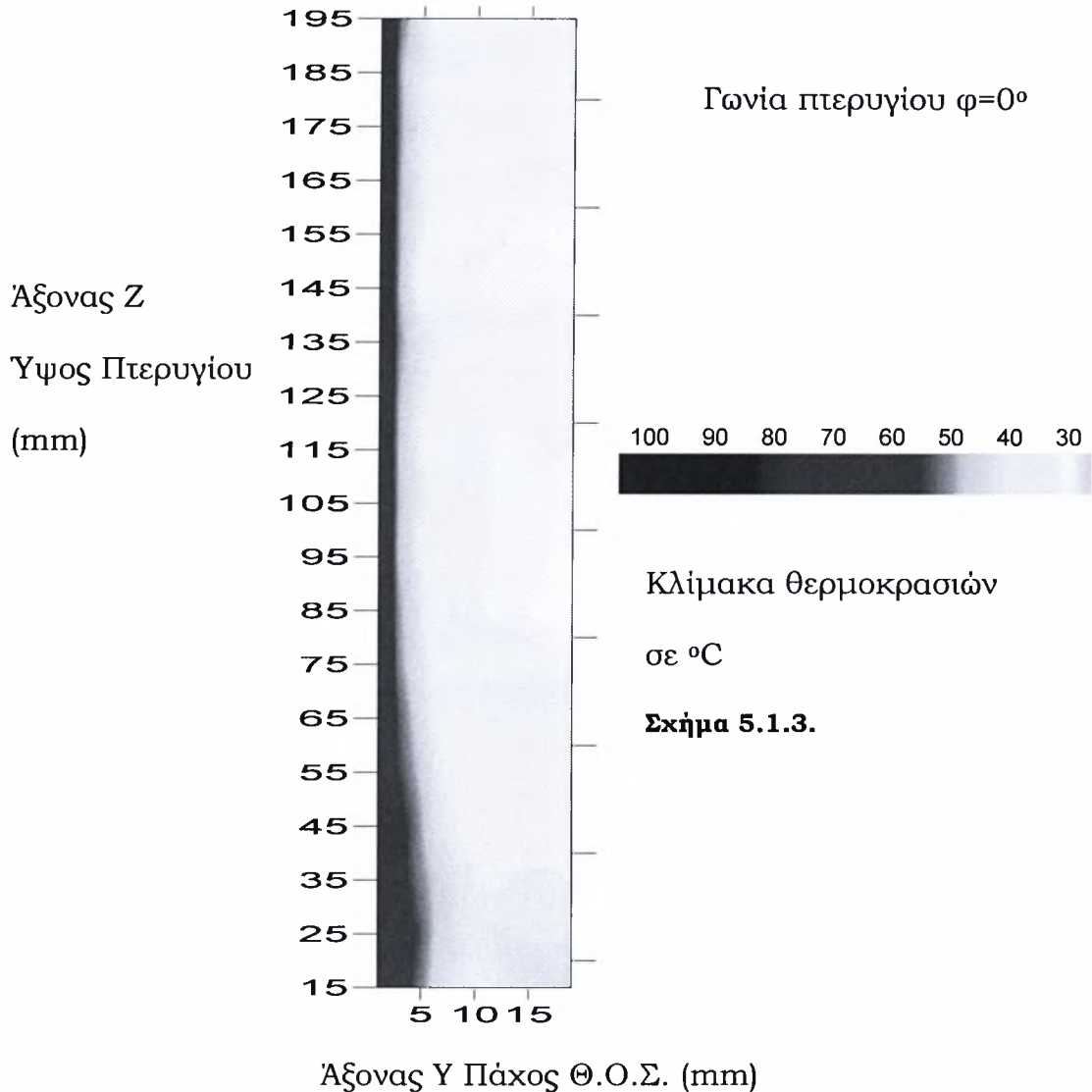
Παρατηρούμε πως το πάχος του Θ.Ο.Σ. στην συγκεκριμένη θερμοκρασία περιορίζεται στα 2 χιλιοστά από $Z=15$ (βάση) μέχρι το $Z=60$ και εν συνεχεία μειώνεται σταθερά ως την αιχμή του πτερυγίου στο 1 χιλιοστό. Στο υπόλοιπο τμήμα του θερμοκρασιακού πεδίου η θερμοκρασία κυμαίνεται σχεδόν στο 60% της θερμοκρασίας αναφοράς.

2^η Περίπτωση 70° C ή 65,3 Watt



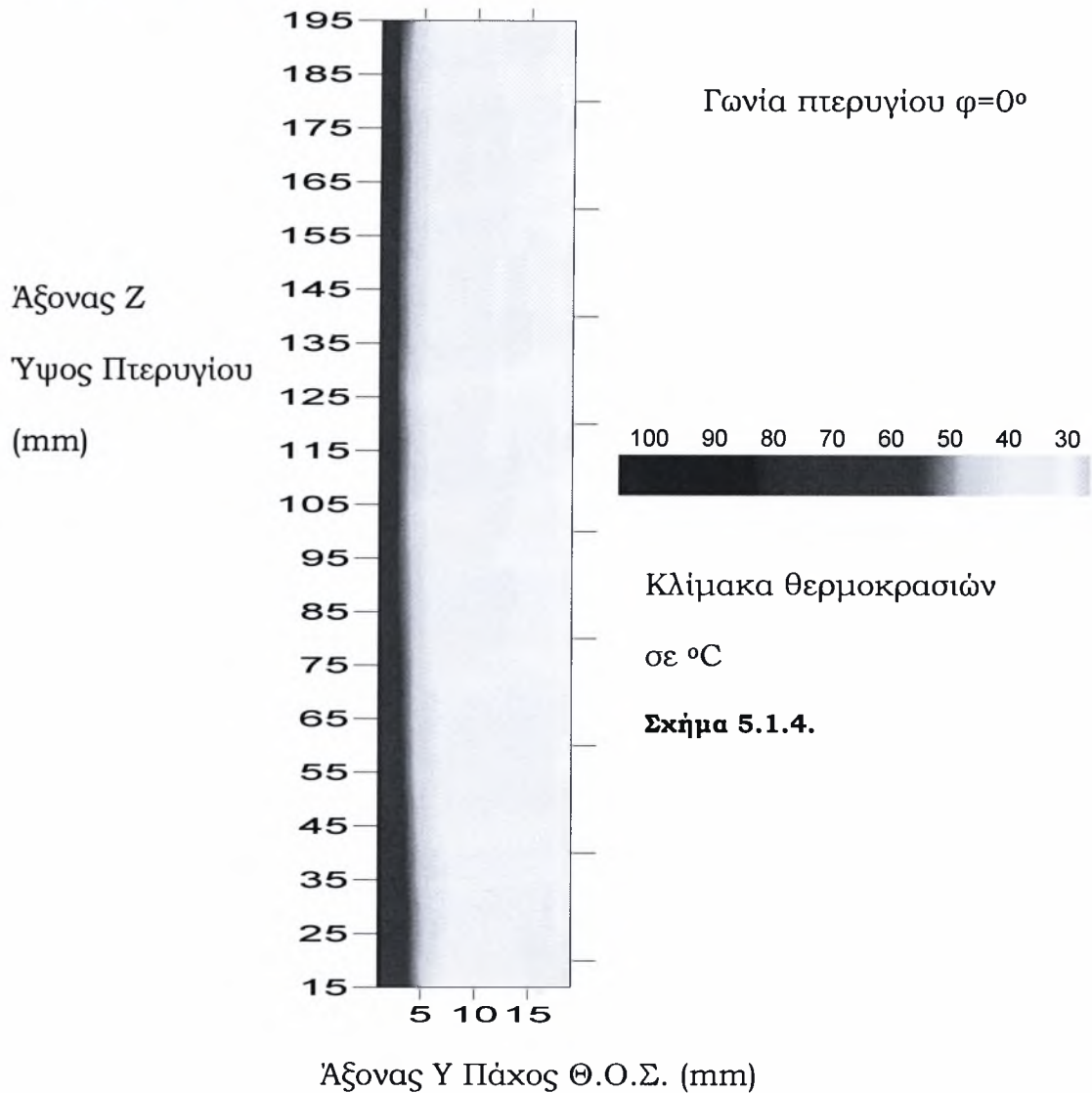
Στην περίπτωση αυτή το πάχος του Θ.Ο.Σ. είναι σχετικά αυξημένο. Έτσι για $Z=15$ (βάση) αγγίζει την τιμή των 5 χιλιοστών και μειώνεται σταδιακά στα 3 χιλιοστά μέχρι το $Z=65$. Από το σημείο αυτό και μέχρι την αιχμή του παραμένει σχεδόν σταθερό στα 3 χιλιοστά. Παρόλα αυτά σε ένα σημείο στα 135-165 χιλιοστά ύψους παρουσιάζεται μία πτώση της θερμοκρασίας η οποία και ξεχωρίζει λόγω χρώματος.

3^η Περίπτωση 80° C & 85,3 Watt



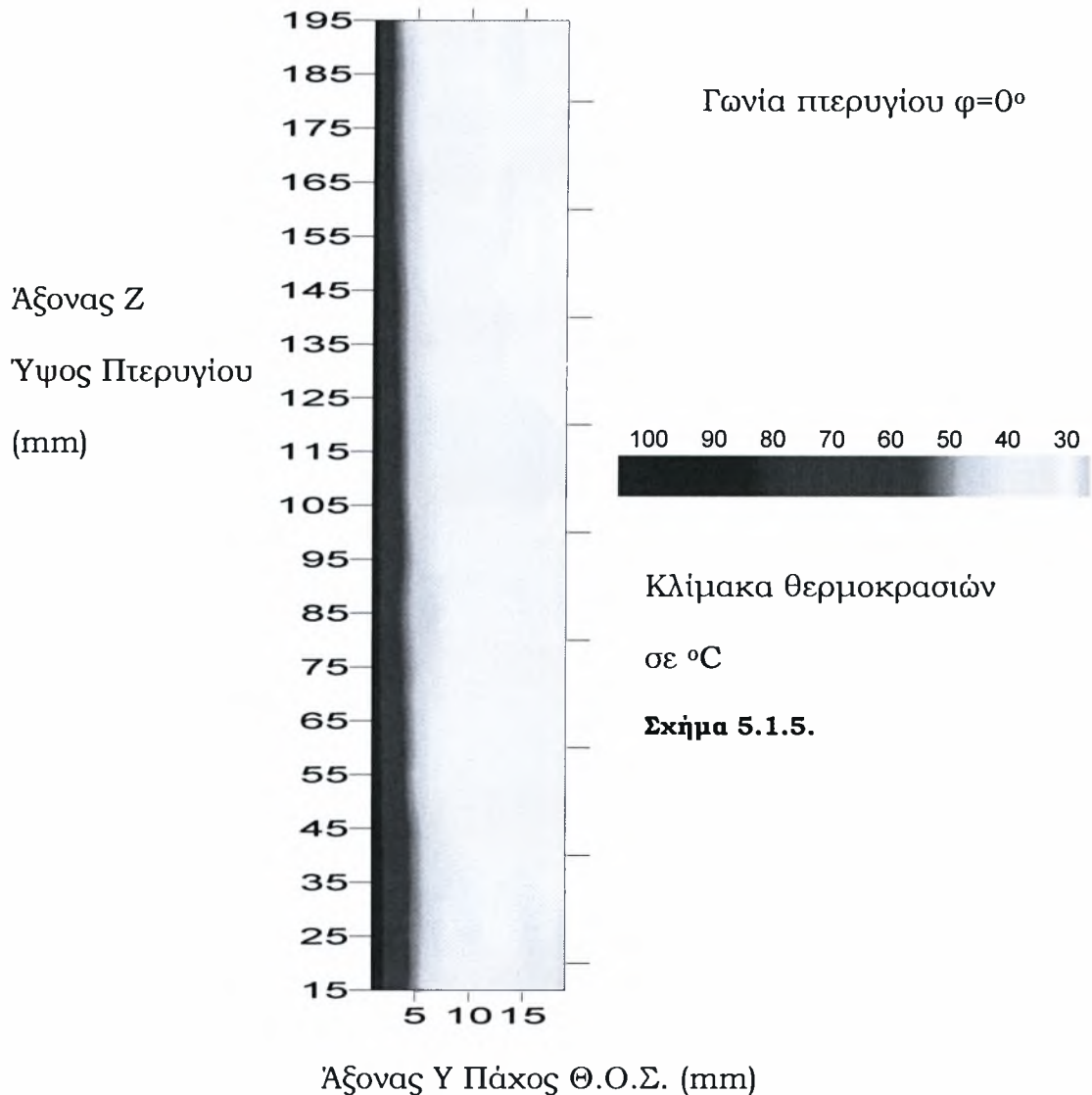
Στο διάγραμμα των 80° C παρατηρούμε πως το πάχος του στρώματος ξεπερνάει τα 5 χιλιοστά από $Z=15 - Z=45$ και μέχρι το $Z=80$ μειώνεται στα 3,5 χιλιοστά όπου και διατηρείται σταθερό ως την αιχμή του. Η τοπική αύξηση κοντά στην περιοχή της βάσης οφείλεται στην απουσία της μόνωσης στην βάση του πτερυγίου.

4^η Περίπτωση 90° C ή 108 Watt



Στο παραπάνω διάγραμμα το πάχος του στρώματος παραμένει σχεδόν σταθερό στα 4 χιλιοστά σε όλο το ύψος του πτερυγίου με μία ελαφριά αύξηση από $Z=15 - Z=75$ όπου είναι οριακά 5 χιλιοστά.

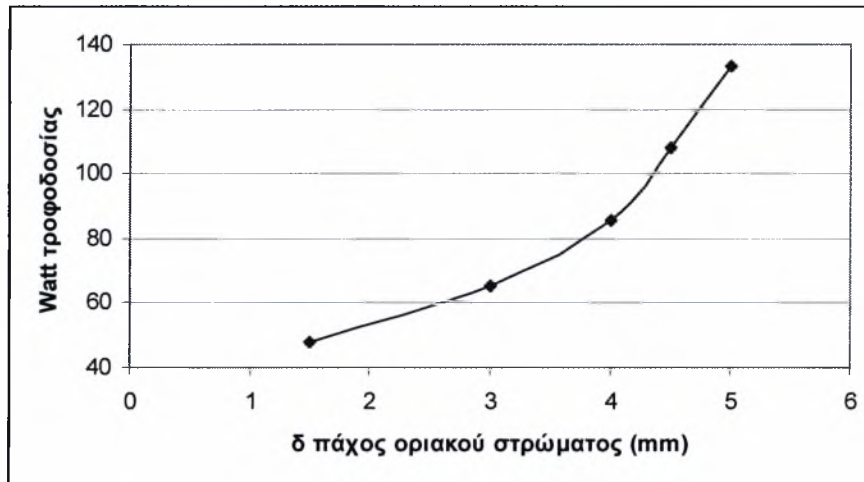
5^η Περίπτωση 100° C ή 133,3 Watt



Στην τελευταία περίπτωση της κατηγορίας αυτής το πάχος του θερμικού οριακού στρώματος φαίνεται από το διάγραμμα ότι κυμαίνεται στα 5 χιλιοστά καθόλο το ύψος του πτερυγίου.

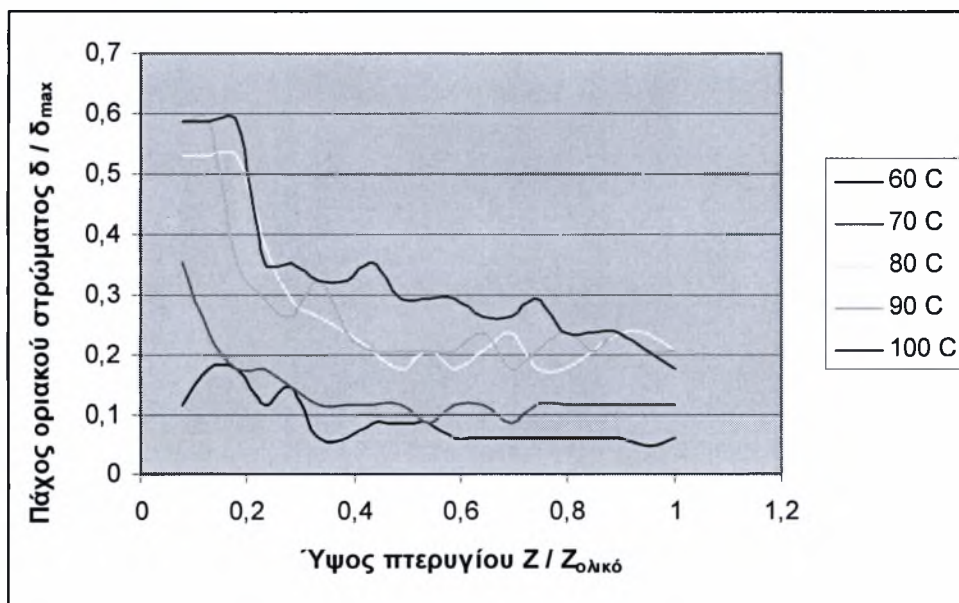
Συγκρίνοντας τα παραπάνω πέντε διαγράμματα της κατηγορίας αυτής μπορούμε να καταλήξουμε στο παρακάτω σχόλιο, ότι το πάχος του θερμικού οριακού στρώματος εξαρτάται σχεδόν ανάλογα από την αύξηση της θερμοκρασίας και ότι η αύξηση του πάχους κοντά στην βάση του πτερυγίου οφείλεται στην έλλειψη της τοπικής μόνωσης. Η

μεταβολή του οριακού στρώματος συναρτήσει της προσδιδόμενης ισχύς (Watt) φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα.



Σχήμα 5.1.6. Μεταβολή οριακού στρώματος χωρίς πλήρη μόνωση.

Στο σημείο αυτό θα παρουσιαστούν το διάγραμμα μεταβολής του θερμικού οριακού στρώματος συναρτήσει του ύψους Z και για τις πέντε περιπτώσεις.



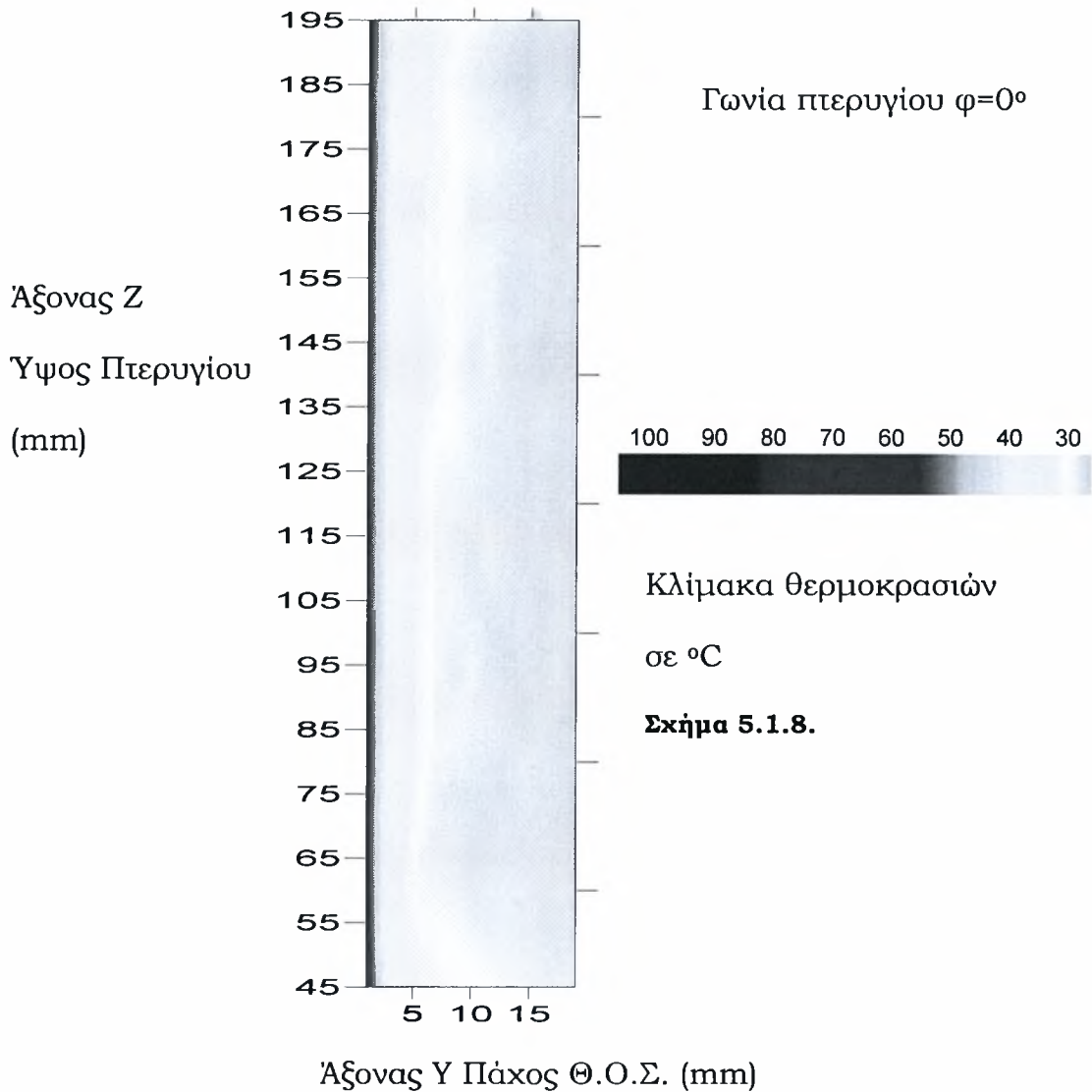
Σχήμα 5.1.7. Μεταβολή πάχους οριακού στρώματος συναρτήσει του ύψους του πτερυγίου, περίπτωση χωρίς πλήρη μόνωση.

Παρατηρούμε πως το πάχος κοντά στην βάση του πτερυγίου είναι ιδιαίτερα αυξημένο και εν συνεχεία μειώνεται όσο αυξάνει το ύψος του πτερυγίου. Ο λόγος της μεταβολής αυτής εντοπίζεται στην απουσία της μόνωσης στην βάση του πτερυγίου με αποτέλεσμα να διαφοροποιεί τα

διαγράμματα αυτά σε σχέση με την βιβλιογραφία όπου το οριακό στρώμα αυξάνει όσο αυξάνει το ύψος του πτερυγίου.

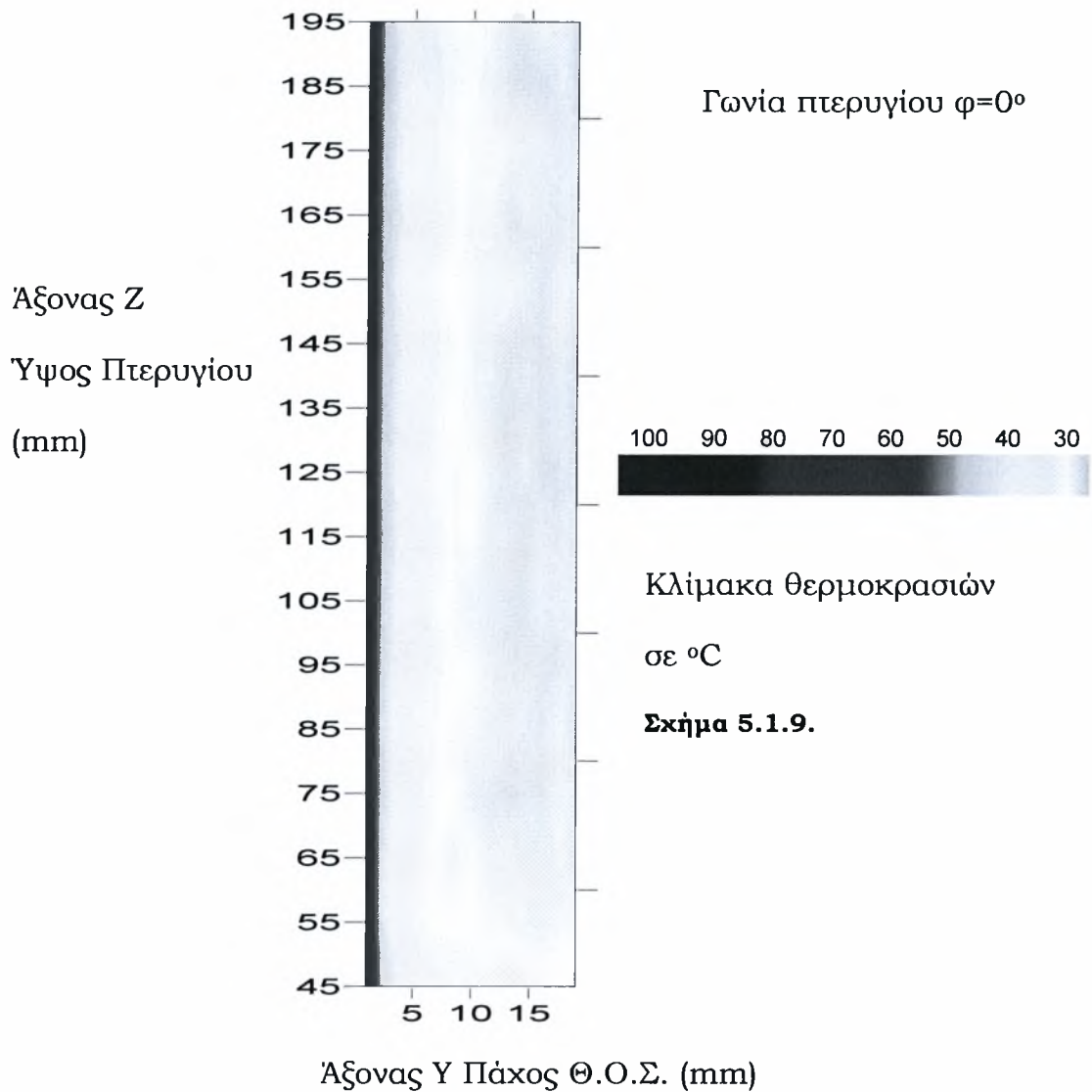
Κατηγορία 2^η Με Πλήρη Μόνωση

1^η Περίπτωση 60° C ή 48 Watt



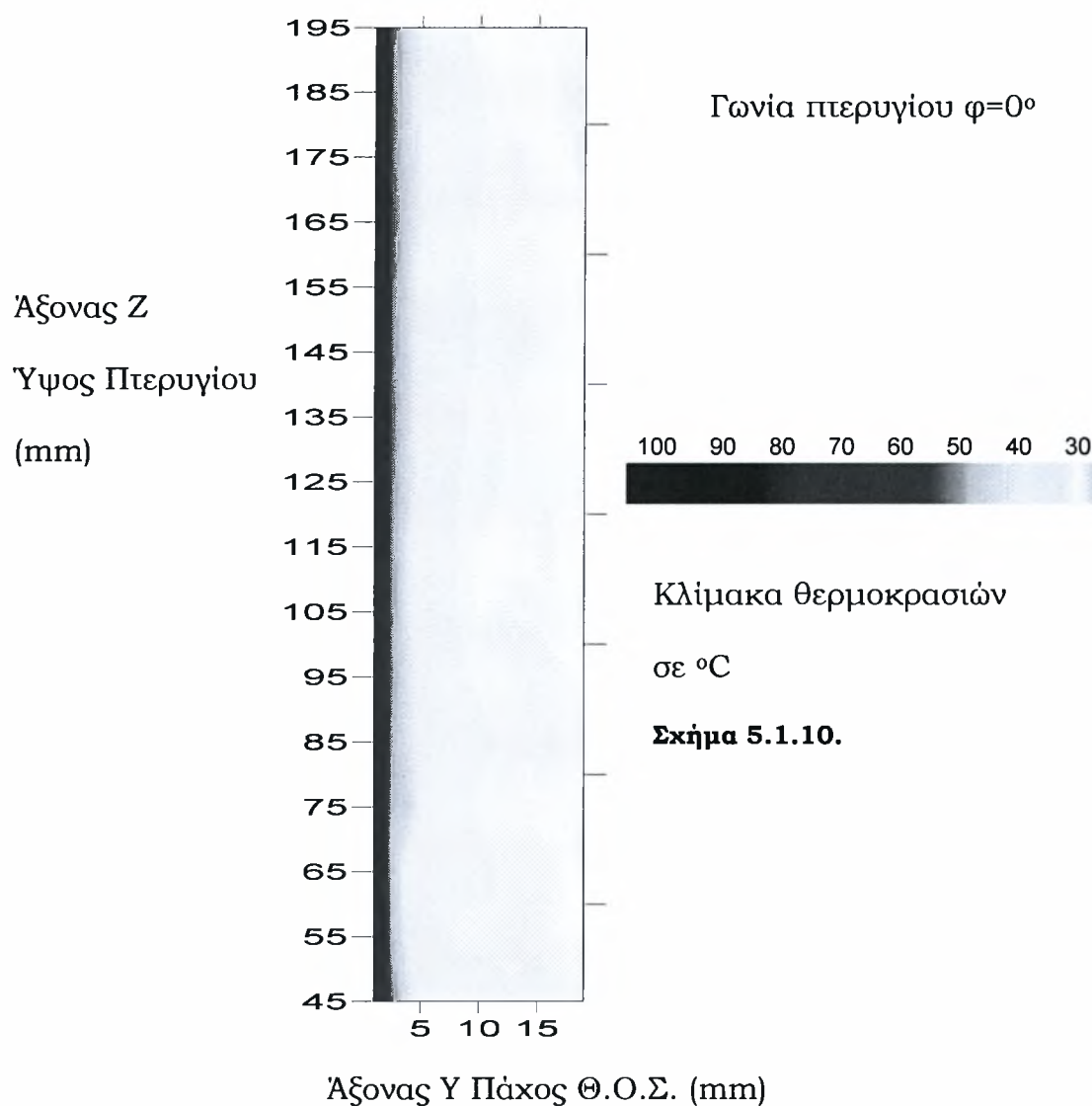
Στην κατηγορία αυτή έχει προστεθεί η τοπική μόνωση στην βάση του πτερυγίου με αποτέλεσμα να μην επηρεάζει το πάχος του στρώματος. Στο συγκεκριμένο διάγραμμα φαίνεται αρκετά καθαρά πως αυξάνει το πάχος του στρώματος καθώς πλησιάζουμε στην κορυφή του πτερυγίου.

2^η Περίπτωση 70° C ή 65,3 Watt



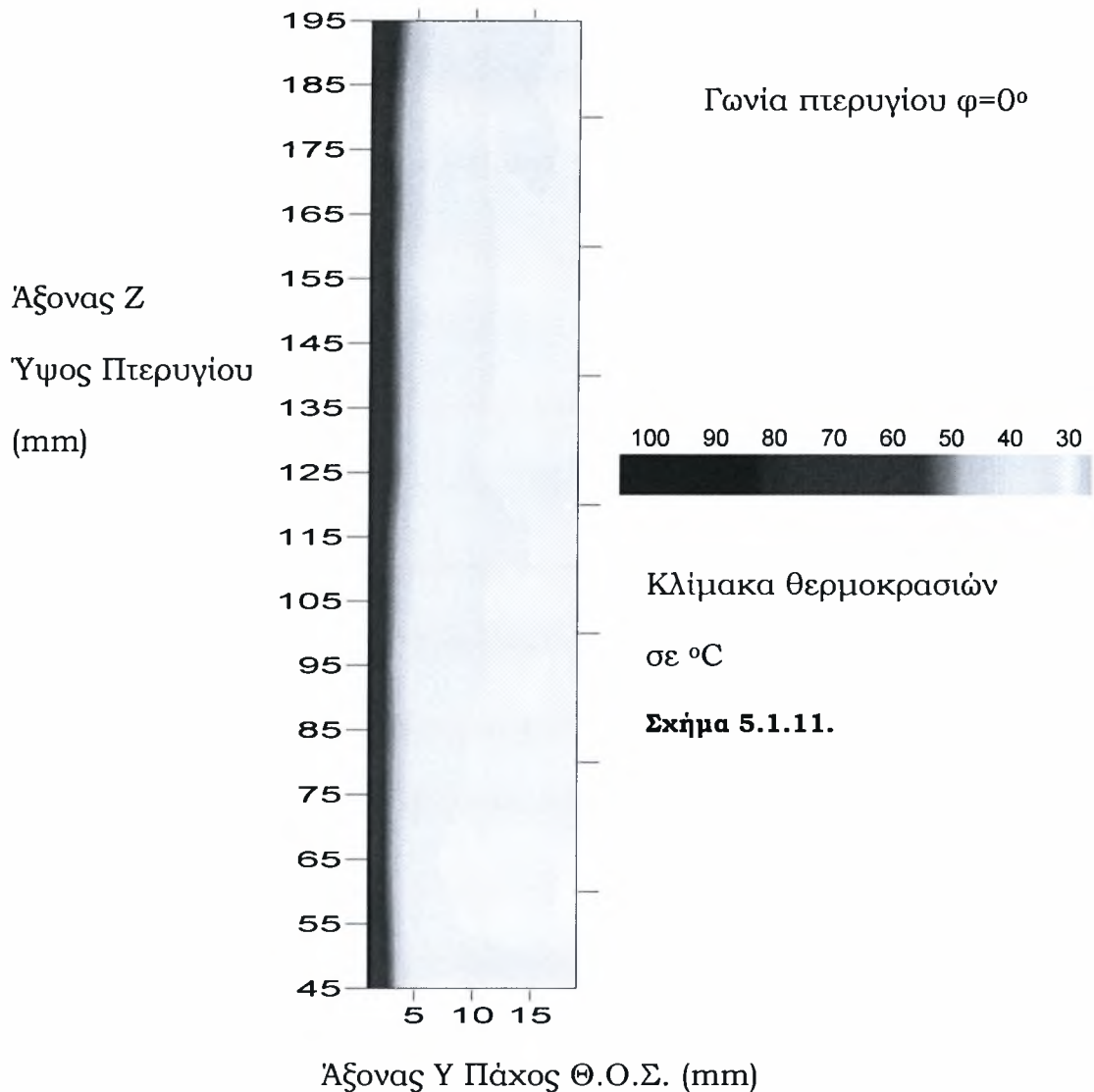
Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε πως το πάχος του στρώματος είναι αυξημένο στα 2 χιλιοστά και αυξάνει ελαφρά καθώς κινούμαστε από την βάση προς την άκρη του πτερυγίου.

3^η Περίπτωση 80° C ή 85,3 Watt



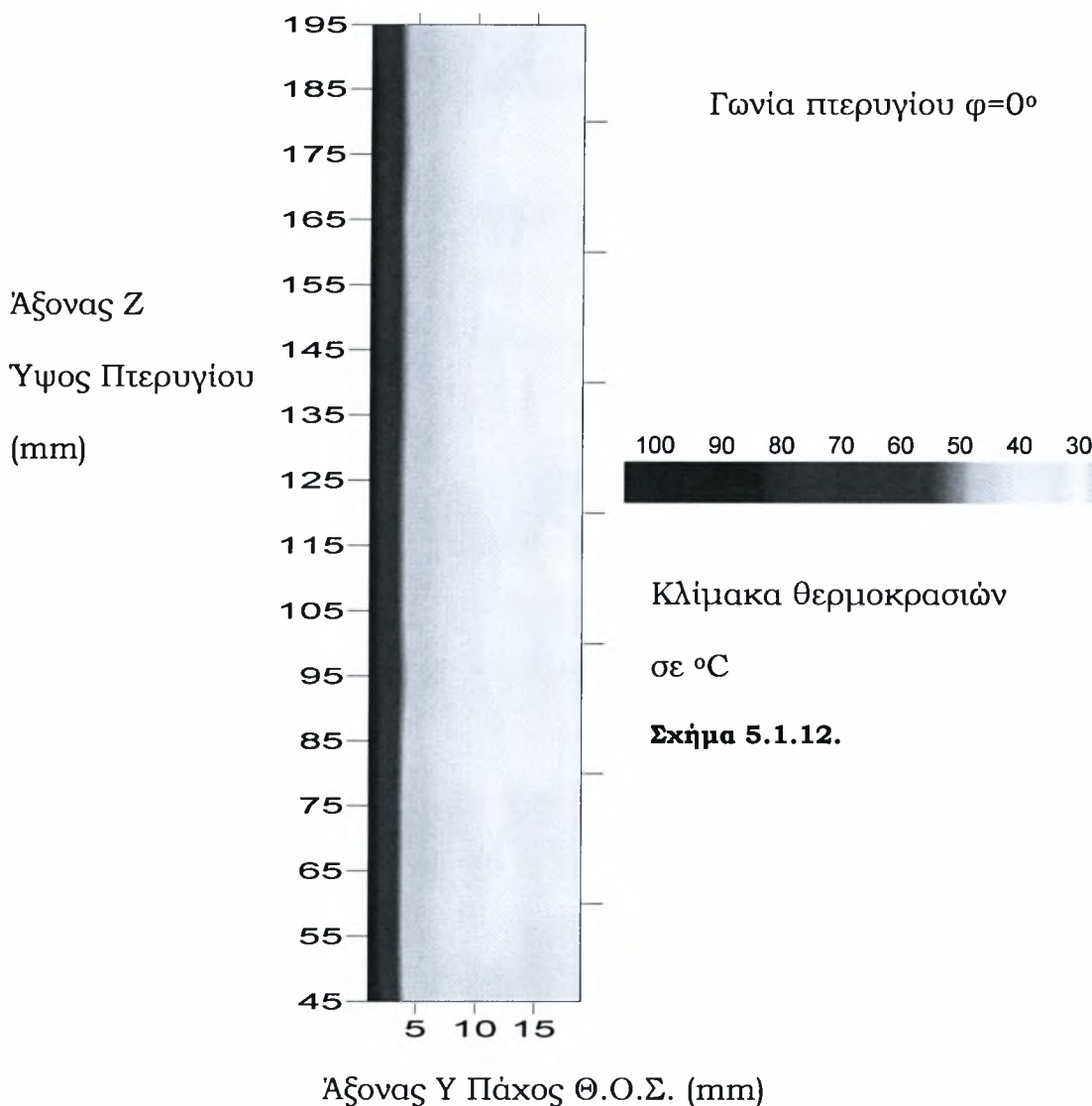
Στην περίπτωση της θερμοκρασίας των 80° C το θερμικό οριακό στρώμα αυξάνεται περισσότερο με τιμές μεγαλύτερες των 3 χιλιοστών κυρίως στο άνω μισό τμήμα του πτερυγίου. Καθώς επίσης ότι το συνολικό θερμοκρασιακό πεδίο έχει αποκτήσει μεγαλύτερες θερμοκρασίες.

4^η Περίπτωση 90° C ή 108 Watt



Στην συγκεκριμένη περίπτωση το πάχος του θερμικού οριακού στρώματος έχει αυξηθεί κυρίως στο άνω τμήμα του πτερυγίου ενώ παρουσιάζει ελάχιστη μεταβολή στο κάτω τμήμα του σε σχέση με το προηγούμενο διάγραμμα.

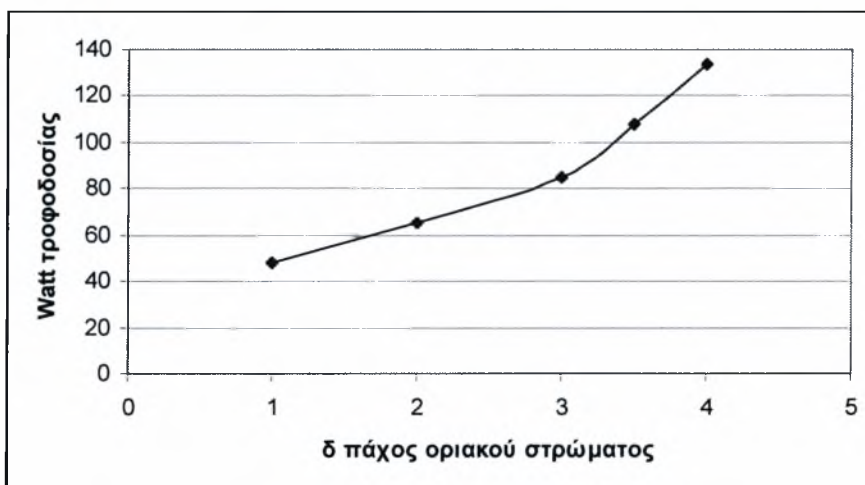
5^η Περίπτωση 100° C ή 133,3 Watt



Στην τελευταία περίπτωση της δεύτερης κατηγορίας, στους 100° C, το θερμικό οριακό στρώμα έχει το ίδιο πάχος σε όλο το ύψος του πτερυγίου το οποίο κυμαίνεται στα 4 χιλιοστά.

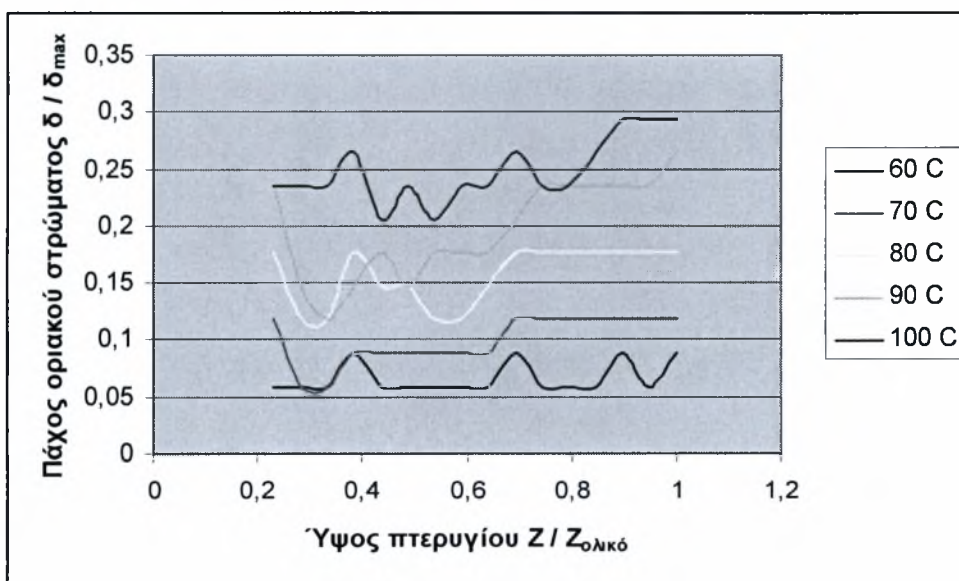
Υστερα από σύγκριση των παραπάνω διαγραμμάτων συμπεραίνουμε ότι το πάχος του οριακού στρώματος αυξάνει καθώς κινούμαστε προς το άκρο του πτερυγίου, και ανάλογα με την θερμοκρασία μεταβάλλεται όλο το οριακό στρώμα. Εξαιρεση αποτελεί μόνο η περίπτωση των 100° C όπου το πάχος είναι αυξημένο σε σχέση με την προηγούμενη περίπτωση αλλά παραμένει σχεδόν σταθερό κατά το ύψος του πτερυγίου.

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνονται οι παραπάνω μεταβολές όλων των περιπτώσεων που μελετήσαμε.



Σχήμα 5.1.13. Μεταβολή πάχους οριακού στρώματος με πλήρη μόνωση

Στο σημείο αυτό θα παρουσιαστούν το διάγραμμα μεταβολής του θερμικού οριακού στρώματος συναρτήσει του ύψους Z και για τις πέντε περιπτώσεις με πλήρη μόνωση.

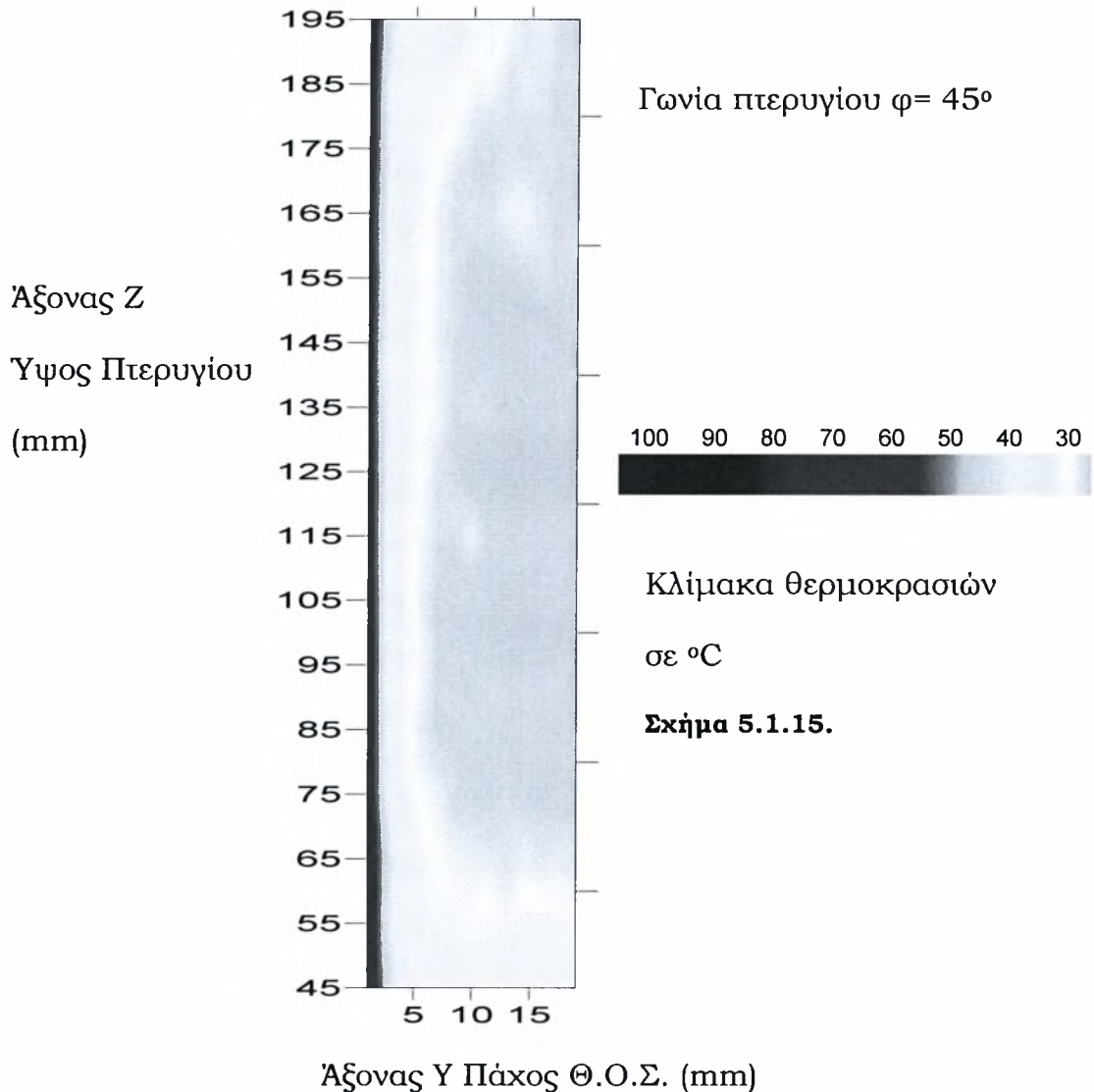


Σχήμα 5.1.14. Μεταβολή πάχους οριακού στρώματος συναρτήσει του ύψους του πτερυγίου για περιπτώσεις με πλήρη μόνωση.

Παρατηρούμε πως το πάχος αυξάνει όταν αυξάνει το ύψος του πτερυγίου. Πιο συγκεκριμένα, στις χαμηλές θερμοκρασίες η αύξηση δεν είναι σταθερή αλλά υπάρχουν διακυμάνσεις, αντίθετα σε υψηλές θερμοκρασίες (90° C και 100° C) η αύξηση είναι σταθερή.

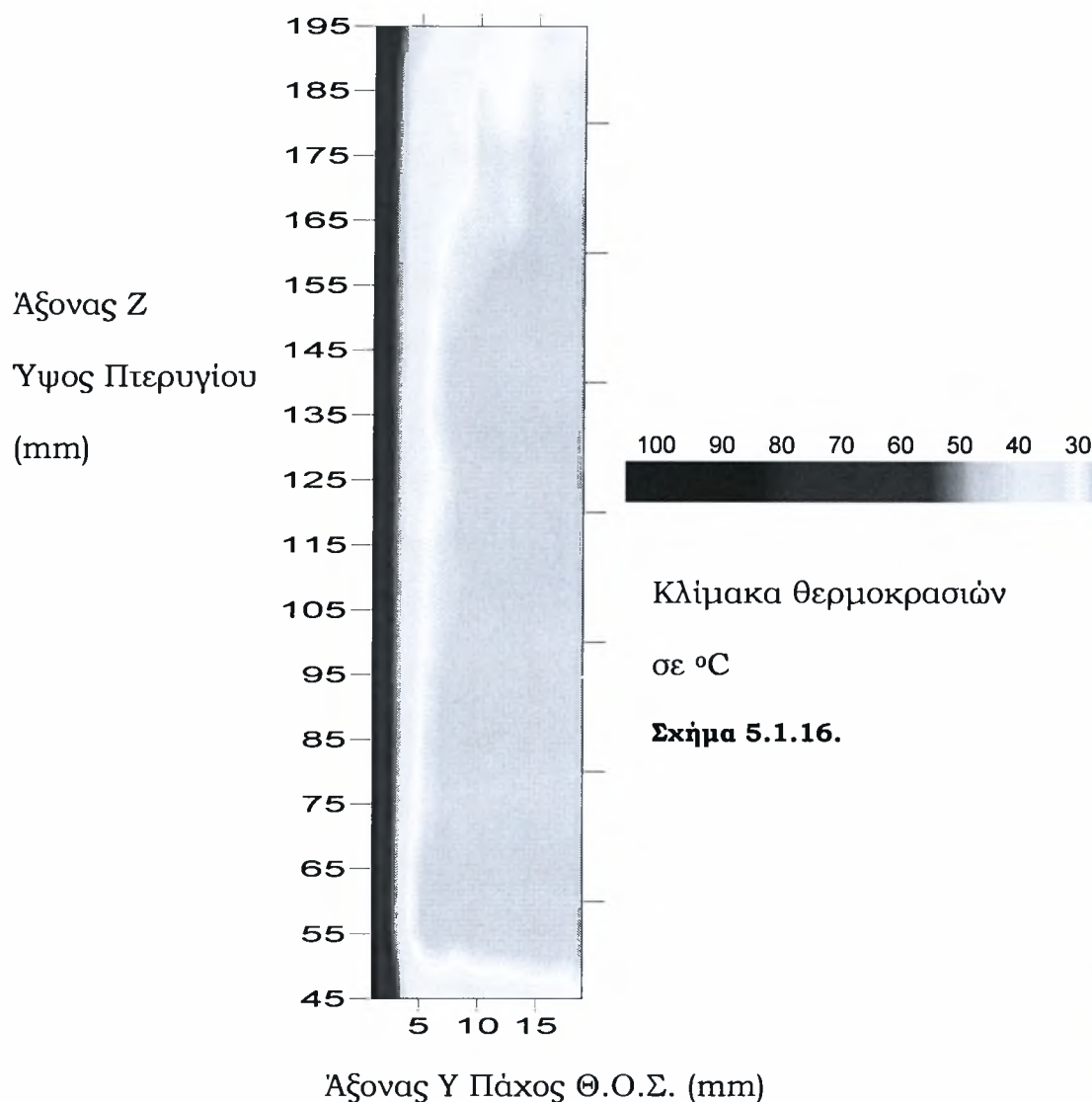
Κατηγορία 3^η α) Με πλήρη μόνωση και κλίση 45°

1^η Περίπτωση 70° C ή 65,3 Watt



Στην παραπάνω περίπτωση φαίνεται το θερμικό οριακό στρώμα της άνω πλευράς του πτερυγίου. Το πάχος του στρώματος δεν υπερβαίνει τα 2 χιλιοστά όμως το ενδιαφέρον της περίπτωσης αυτής επικεντρώνεται στο θερμοκρασιακό πεδίο του πτερυγίου όπου σε ορισμένα σημεία παρουσιάζονται κάποιες αποκλήσεις του στρώματος. Αυτό οφείλεται εξ'ολοκλήρου στο γεγονός ότι το πτερύγιο βρίσκεται υπό κλίση.

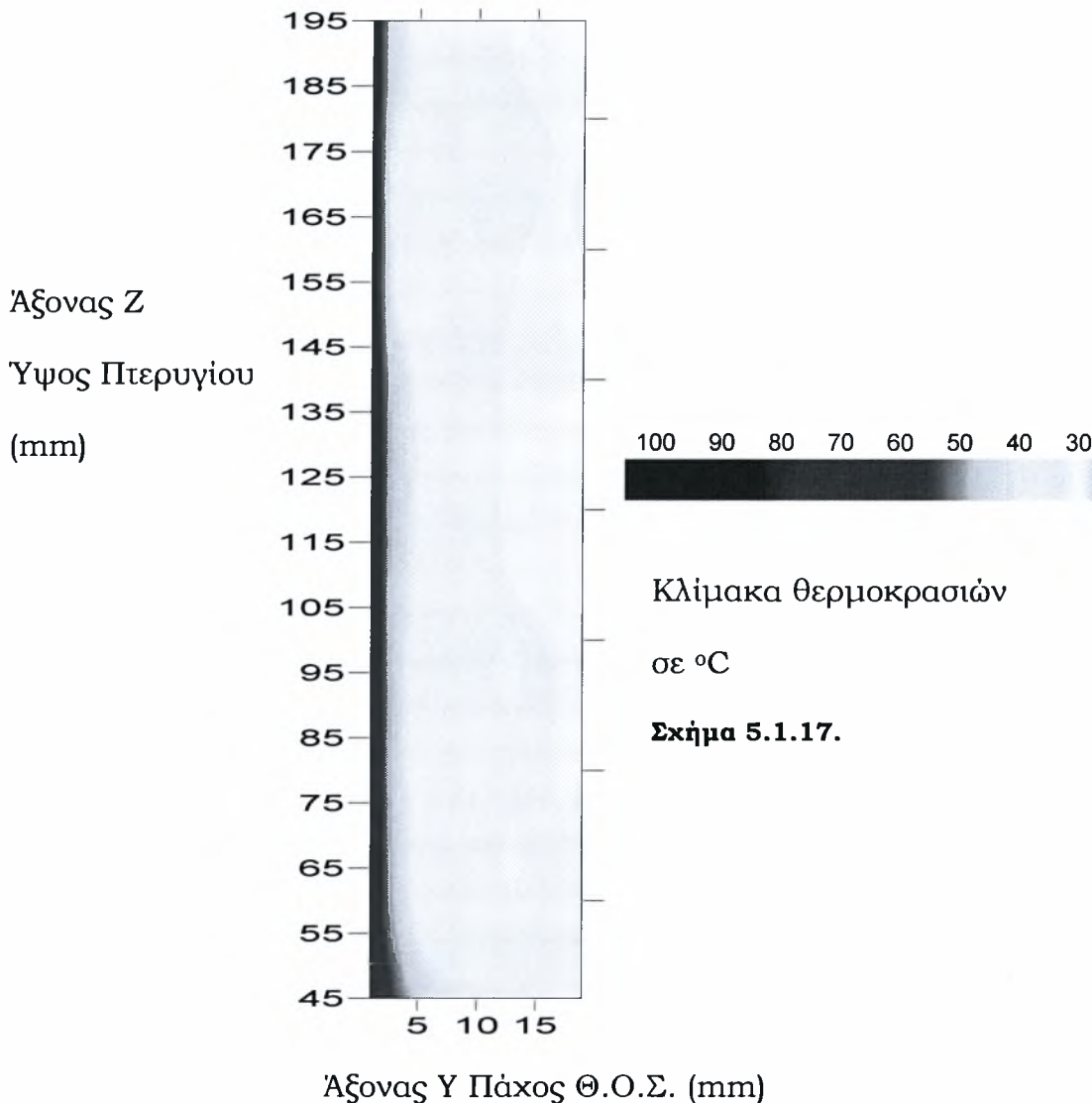
2^η Περίπτωση 100° C



Στην περίπτωση των 100° C το φαινόμενο είναι ακόμη πιο έντονο καθώς το πάχος του στρώματος έχει αυξηθεί στα 4 χιλιοστά και η αποκόλληση του είναι μεγαλύτερη και εμφανίζεται στην άκρη του πτερυγίου. Λόγω σχήματος θα μπορούσε να χαρακτηριστεί και σαν ανακυκλοφορία θερμού αέρα η οποία οφείλεται στην κάτω πλευρά του πτερυγίου που θα εξετάσουμε παρακάτω.

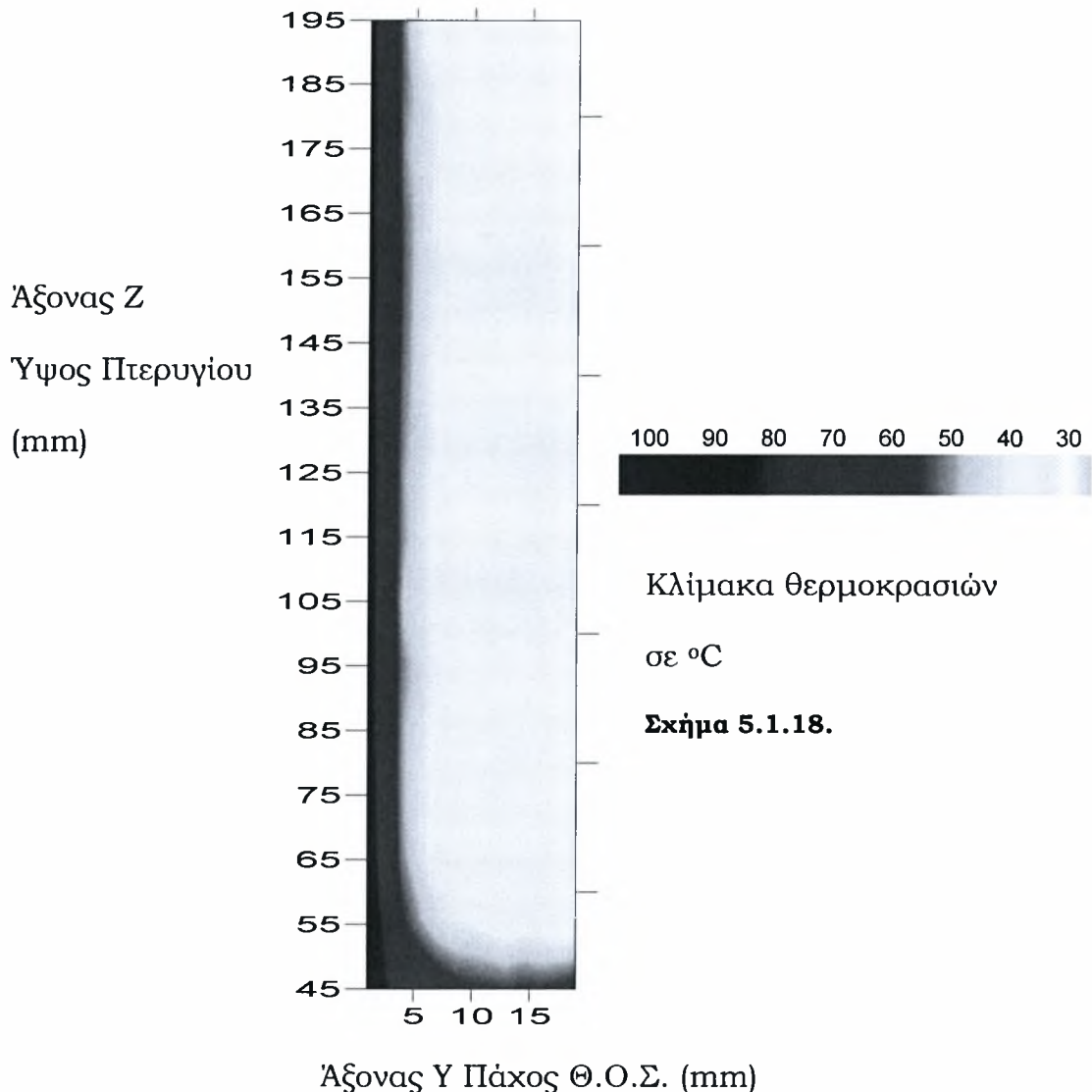
β) Με πλήρη μόνωση και κλίση 315°

1^η Περίπτωση 70° C



Στην περίπτωση αυτή εξετάζουμε την κάτω πλευρά του πτερυγίου και μπορούμε να παρατηρήσουμε πως το διάγραμμα δεν διαφέρει κατά πολύ από τα διαγράμματα αντίστοιχης θερμοκρασίας στην 2^η κατηγορία. Αυτό συμβαίνει διότι στην πλευρά αυτή το θερμικό οριακό στρώμα αναπτύσσεται φυσιολογικά χωρίς αποκολλήσεις ή ανακυκλοφορίες. Το πάχος του κυμαίνεται σε 3-4 χιλιοστά.

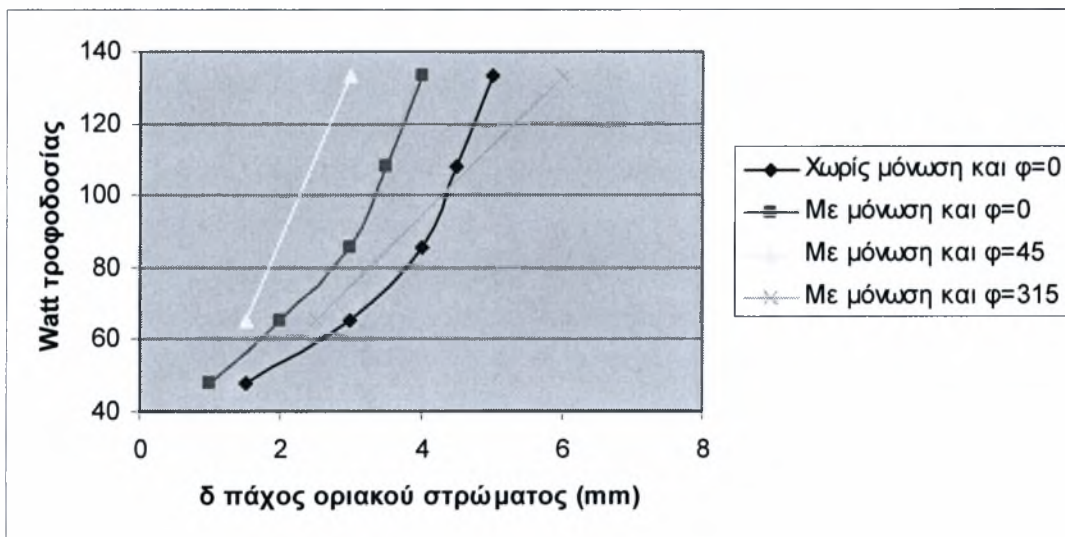
2^η Περίπτωση 100° C



Στο τελευταίο διάγραμμα της κατηγορίας αυτής φαίνεται έντονα το θερμικό οριακό στρώμα όπου σε πολλά σημεία το πάχος του ξεπερνάει τα 5 χιλιοστά. Αξίζει να παρατηρήσουμε ότι στην βάση του πτερυγίου η θερμοκρασία είναι αυξημένη γεγονός που οφείλεται στη κλίση του με αποτέλεσμα να εμποδίζει εν μέρει την κυκλοφορία του αέρα στα σημεία αυτά.

Συγκρίνοντας τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρήσαμε πως το πάχος του θερμικού οριακού στρώματος αυξάνει ανάλογα με την θερμοκρασία που αποκτά το πτερύγιο. Ακόμη, στις περιπτώσεις όπου υπάρχει πλήρης μόνωση το θερμικό οριακό στρώμα αναπτύσσεται

κανονικά σύμφωνα με την θεωρία αντίθετα με εκείνες στις οποίες λείπει η τοπική μόνωση στη βάση του πτερυγίου. Τα παραπάνω αποτελέσματα φαίνονται στο διάγραμμα μαζί με τα αποτελέσματα των προηγούμενων κατηγοριών ώστε να υπάρχει δυνατότητα σύγκρισης.

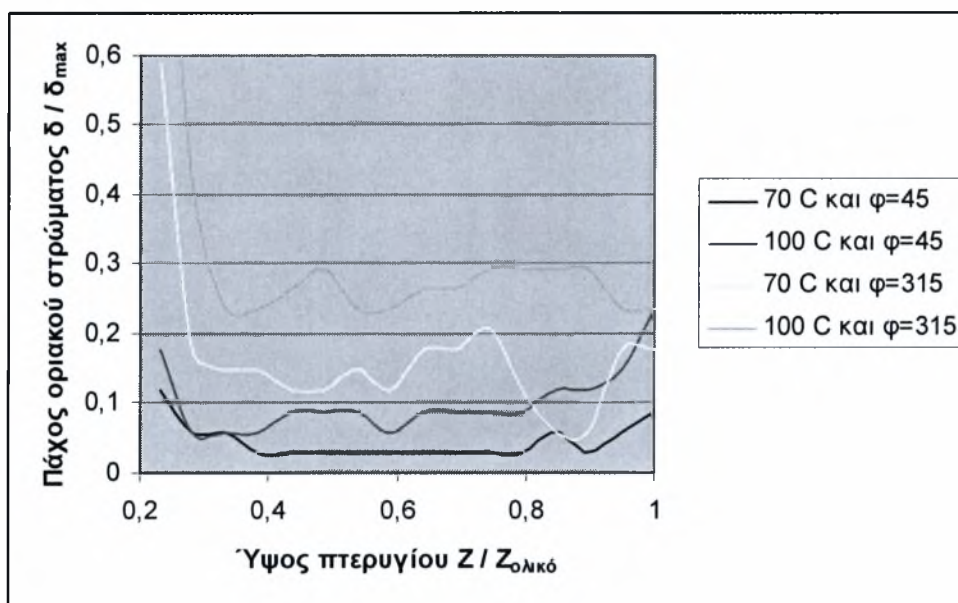


Σχήμα 5.1.19. Μεταβολή πάχους οριακού στρώματος με πλήρη μόνωση και κλίση 45° και 315°.

Φαίνεται από το παραπάνω διάγραμμα ότι στην άνω πλευρά του πτερυγίου ($\varphi=45^\circ$) το πάχος του οριακού στρώματος είναι μικρότερο σε αντίθεση με την κάτω πλευρά ($\varphi=315^\circ$) στην ίδια ισχύ τροφοδοσίας (Watt). Στην άνω πλευρά και ο ρυθμός αύξησης του οριακού στρώματος είναι μικρός σε σχέση με την κάτω πλευρά, καθότι με τον διπλασιασμό της ισχύς και για τις δύο περιπτώσεις το πάχος του οριακού στρώματος στην άνω πλευρά αυξάνει λιγότερο.

Γενική παρατήρηση είναι ότι με την αύξηση της ισχύος τροφοδοσίας το πάχος του θερμικού οριακού στρώματος μεγαλώνει. Στις περιπτώσεις για $\varphi=0$ ο ρυθμός αύξησης είναι ο ίδιος με την μόνη διαφορά στις τιμές του πάχους όπου είναι μεγαλύτερες όταν απουσιάζει η τοπική μόνωση στην βάση του πτερυγίου.

Στο σημείο αυτό θα παρουσιαστούν το διάγραμμα μεταβολής του θερμικού οριακού στρώματος συναρτήσει του ύψους Z και για τις δύο περιπτώσεις με πλήρη μόνωση και γωνία 45° και για τις δύο περιπτώσεις με πλήρη μόνωση και γωνία 315° .



Σχήμα 5.1.20. Μεταβολή πάχους οριακού στρώματος συναρτήσει του ύψους του πτερυγίου με πλήρη μόνωση και κλίση 45° και 315° .

Παρατηρούμε ότι στις περιπτώσεις με κλίση 45° το πάχος του οριακού στρώματος αυξάνεται καθώς αυξάνει το ύψος του πτερυγίου σε αντίθεση με τις περιπτώσεις με κλίση 315° όπου το πάχος μειώνεται απότομα από την βάση μέχρι το 30% και μετά διατηρείται σχεδόν σταθερό μέχρι την αιχμή του πτερυγίου.

5.2. Πτώση Θερμοκρασίας κατά τον άξονα Z

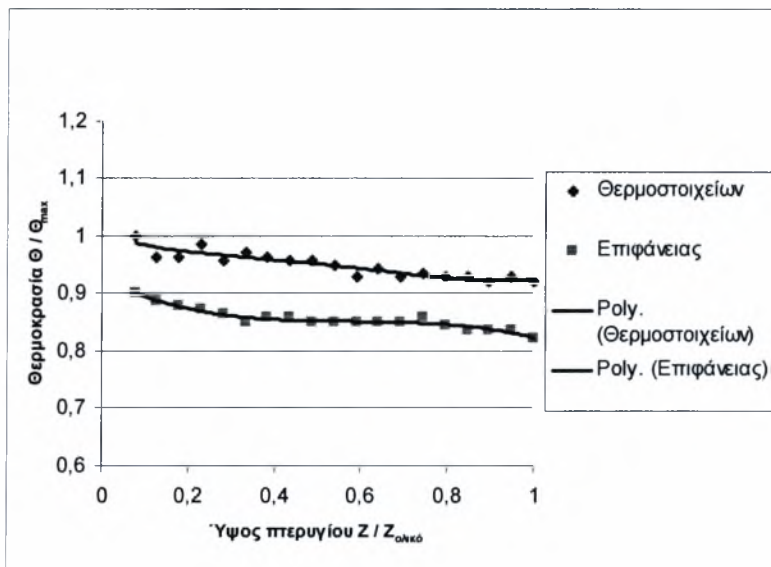
Στην κατηγορία αυτή τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις μετρήσεις του προηγούμενου κεφαλαίου αφορούν την πτώση της θερμοκρασίας κατά τον άξονα Z, δηλαδή καθώς κινούμαστε από την βάση του πτερυγίου προς την άκρη του. Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων θα πραγματοποιηθεί με την μορφή διαγράμματος, στο οποίο θα φαίνονται οι δύο πτώσεις θερμοκρασιών. Η πρώτη πτώση θερμοκρασίας είναι εκείνη που εμφανίζεται στο εσωτερικό του πτερυγίου, δηλαδή στο κέντρο της διατομής του, και η δεύτερη πτώση στην επιφάνειά του. Στις δύο αυτές περιπτώσεις η διαφορά είναι εμφανέστατη καθώς στην επιφάνεια εξελίσσεται το φαινόμενο της συναγωγής μεταξύ αυτής και του περιβάλλοντος αέρα. Για την καλύτερη παρουσίαση της πτώσης της θερμοκρασίας χρησιμοποιήθηκε πέραν των τιμών των μετρήσεων και η κατασκευή πολυωνυμικών συναρτήσεων 4^{ου} βαθμού που προσεγγίζουν γραφικά την πτώση αυτή.

Τα αποτελέσματα χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες όπως και οι μετρήσεις.

Κατηγορία 1^η Δίχως Πλήρη Μόνωση

1^η Περίπτωση 60° C ή 48 Watt

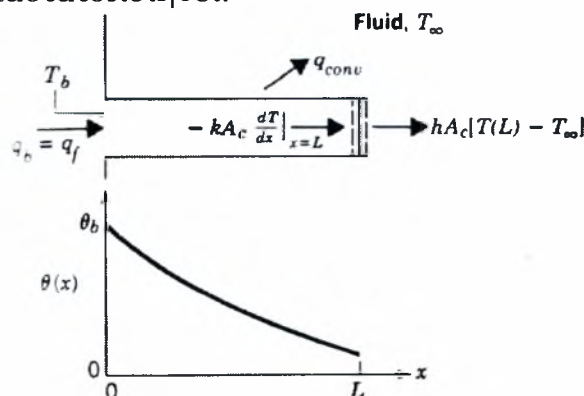
Γωνία πτερυγίου φ=0°



Διάγραμμα 5.2.1. Πτώση Θερμοκρασίας χωρίς μόνωση στους 60° C

Παρατηρούμε ότι και οι δύο καμπύλες, εσωτερικού και επιφάνειας, φθίνουν με παρόμοιο τρόπο, η πρώτη σχεδόν γραμμικά και η δεύτερη με μία μικρή ανομοιομορφία.

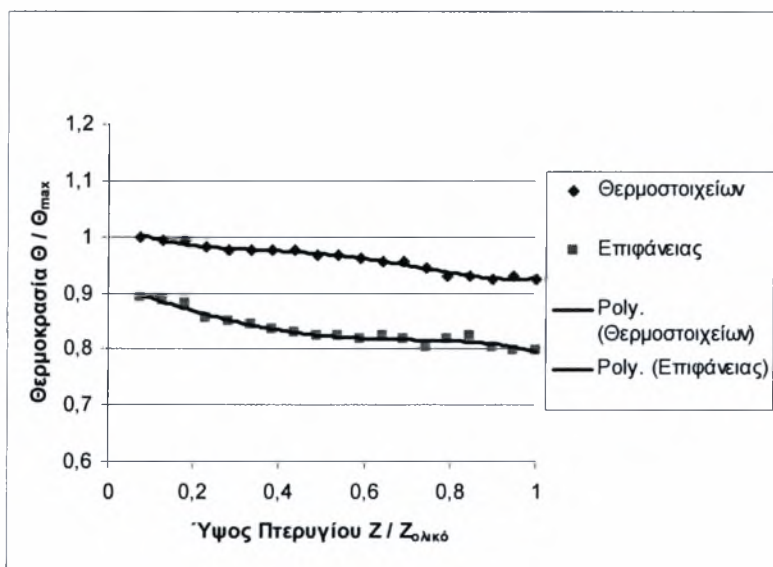
Από την βιβλιογραφία, Heat Transfer Incropera F. και DeWitt D. 1990, η πτώση της θερμοκρασίας στο πτερύγιο έχει την ίδια σχεδόν γραμμική μορφή με εκείνη που φαίνεται στο παραπάνω διάγραμμα. Στο διάγραμμα 5.2.2. οι άξονες έχουν κανονικές τιμές σε αντίθεση με τα διαγράμματα που παρουσιάζονται στην εργασία αυτή όπου οι άξονες έχουν αδιαστατοποιηθεί.



Διάγραμμα 5.2.2. Πτώση θερμοκρασίας κατά μήκος του πτερυγίου.

2^η Περίπτωση 70° C ή 65,3 Watt

Γωνία πτερυγίου $\varphi=0^\circ$

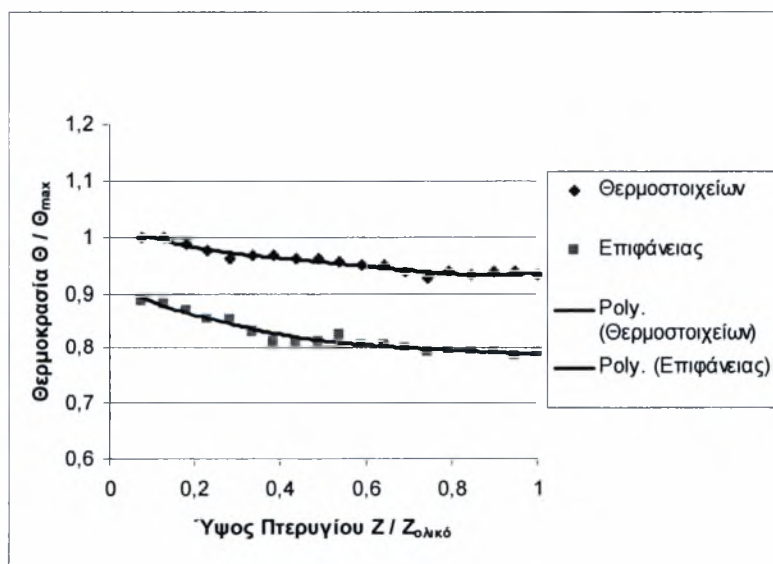


Διάγραμμα 5.2.3. Πτώση Θερμοκρασίας χωρίς μόνωση στους 70° C

Στο διάγραμμα των 70° C οι δύο καμπύλες έχουν πτωτική πορεία και η μεν πρώτη είναι ελαφρά κοίλη ενώ η δεύτερη κυρτή. Επίσης αξίζει να σημειωθεί ότι η διαφορά των δύο γραφημάτων είναι αυξημένη στο μέσο ενώ στις άκρες είναι σχεδόν η ίδια.

3^η Περίπτωση 80° C ή 85,3 Watt

Γωνία πτερυγίου $\varphi=0^\circ$



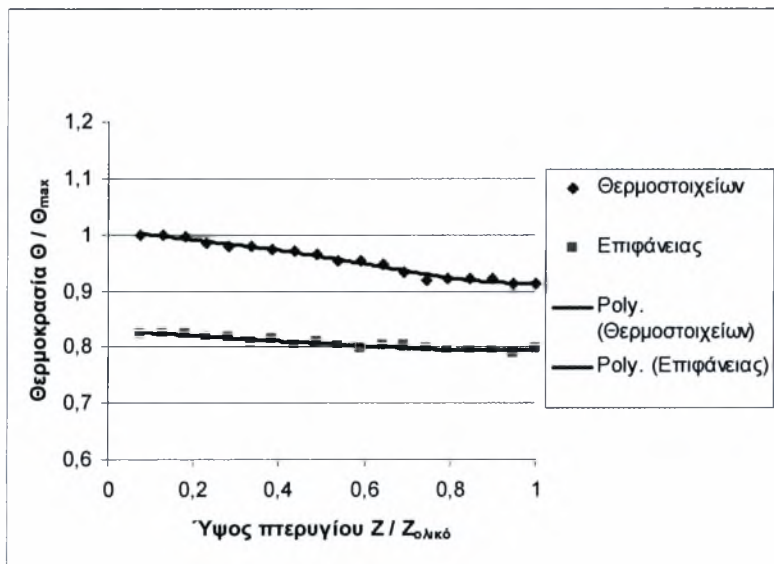
Διάγραμμα 5.2.4. Πτώση Θερμοκρασίας χωρίς μόνωση στους 80° C

Στο διάγραμμα αυτό παρατηρούμε ότι η διαφορά των δύο γραφημάτων αυξάνεται καθώς κινούμαστε από την βάση του προς την

άκρη του. Αυτό σημαίνει πως η αύξηση της θερμοκρασίας επηρεάζει την απόδοση του πτερυγίου.

4^η Περίπτωση 90° C ή 108 Watt

Γωνία πτερυγίου $\varphi=0^\circ$

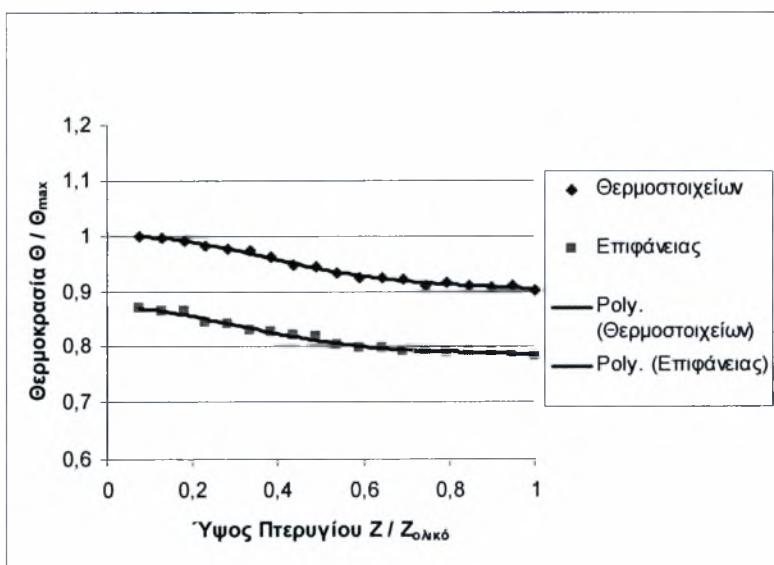


Διάγραμμα 5.2.5. Πτώση θερμοκρασίας χωρίς μόνωση στους 90° C

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι τα δύο γραφήματα διαφοροποιούνται σε σχέση με τα προηγούμενα διαγράμματα. Έτσι ενώ η πρώτη γραφική φθίνει η δεύτερη παραμένει σχετικά σταθερή σε όλο το ύψος του πτερυγίου.

5^η Περίπτωση 100° C ή 133,3

Γωνία πτερυγίου $\varphi=0^\circ$



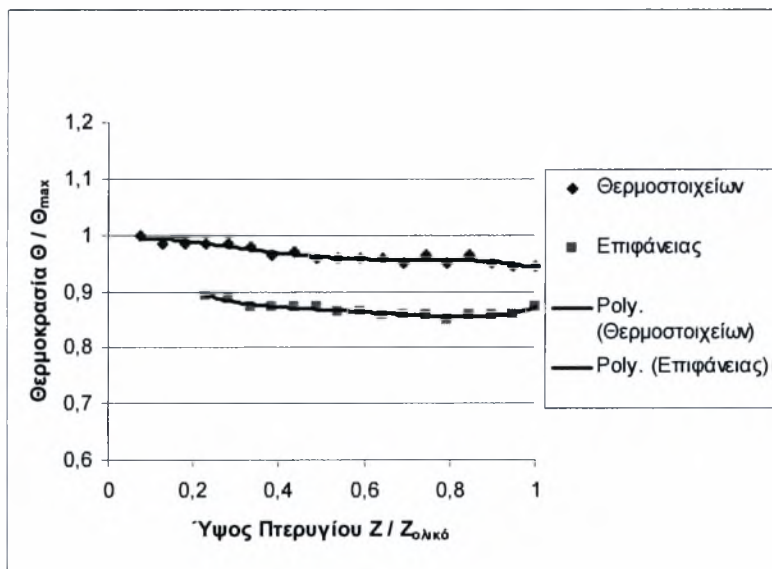
Διάγραμμα 5.2.6. Πτώση θερμοκρασίας χωρίς μόνωση στους 100° C

Στο τελευταίο διάγραμμα της κατηγορίας αυτής φαίνεται πως τα δύο γραφήματα έχουν την ίδια συμπεριφορά σε όλο το ύψος του πτερυγίου με αποτέλεσμα η διαφορά τους να παραμένει συνέχεια σταθερή.

Κατηγορία 2^η Με Πλήρη Μόνωση

1^η Περίπτωση 60° C ή 48 Watt

Γωνία πτερυγίου $\varphi=0^\circ$

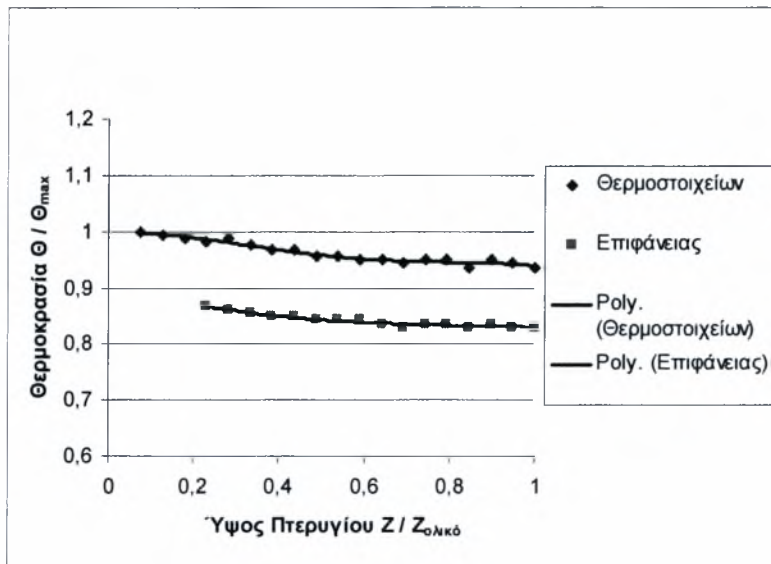


Διάγραμμα 5.2.7. Πτώση Θερμοκρασίας με μόνωση στους 60° C

Στα διαγράμματα που θα ακολουθήσουν η γραφική παράσταση της θερμοκρασίας της επιφάνειας είναι μικρότερη από αυτήν των θερμοστοιχείων. Ο λόγος είναι ότι η πλήρης μόνωση δεν δίνει την δυνατότητα της μέτρησης στην περιοχή αυτή. Παρόλα αυτά, τα δύο γραφήματα έχουν παρόμοια μορφή και η μεταξύ τους διαφορά είναι σταθερή σε όλο το ύψος του πτερυγίου.

2^η Περίπτωση 70° C ή 65,3 Watt

Γωνία πτερυγίου $\varphi=0^\circ$

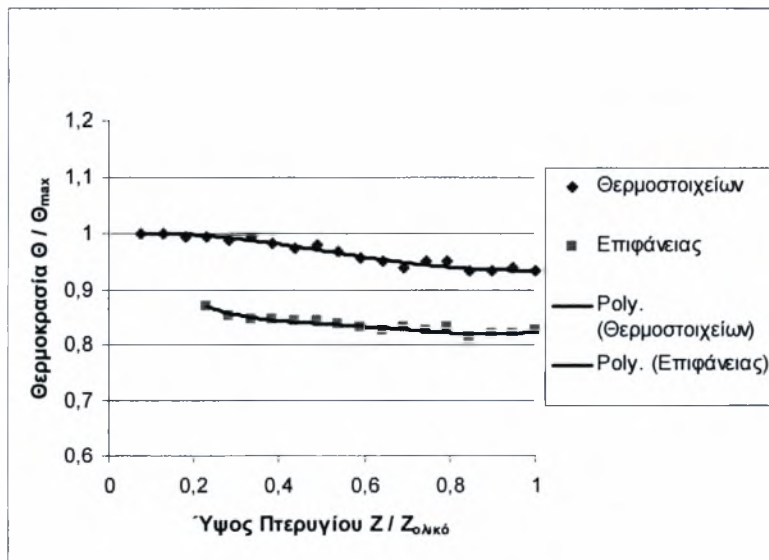


Διάγραμμα 5.2.8. Πτώση θερμοκρασίας με μόνωση στους 70° C

Όπως και παραπάνω έτσι και στο διάγραμμα αυτό οι δύο καμπύλες φθίνουν με ίδιο τρόπο και η διαφορά τους παραμένει σταθερή.

3^η Περίπτωση 80° C ή 85,3 Watt

Γωνία πτερυγίου $\varphi=0^\circ$

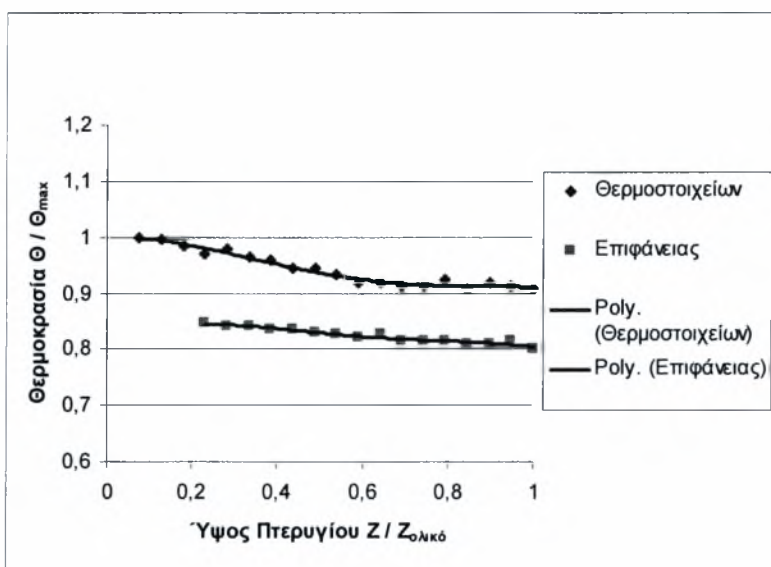


Διάγραμμα 5.2.9. Πτώση θερμοκρασίας με μόνωση στους 80° C

Στο διάγραμμα αυτό παρατηρούμε πως η διαφορά των δύο γραφημάτων παρουσιάζει κάποιες αυξομειώσεις στο πέρας του πτερυγίου. Μέγιστη γίνεται στο μέσο του, 40%-60% του συνολικού ύψους του.

4^η Περίπτωση 90° C ή 108 Watt

Γωνία πτερυγίου $\varphi=0^\circ$

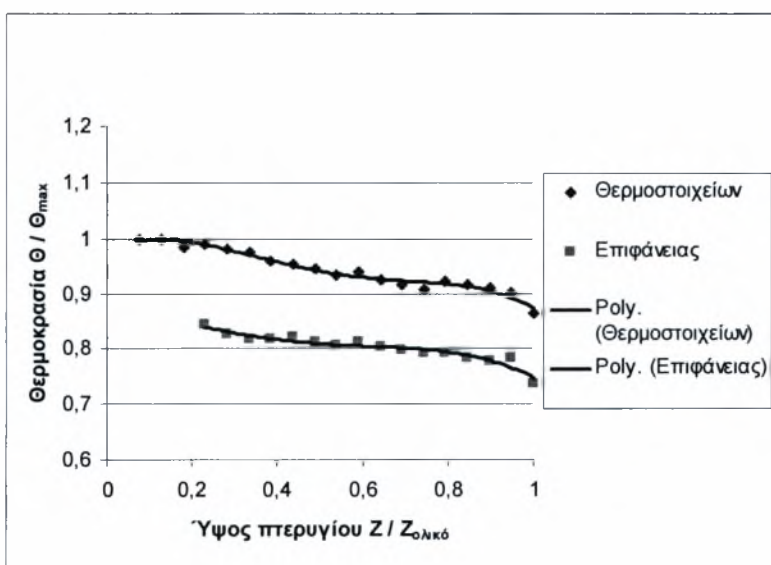


Διάγραμμα 5.2.10. Πτώση Θερμοκρασίας με μόνωση στους 90° C

Στην περίπτωση αυτή, η θερμοκρασία της επιφάνειας δεν μεταβάλλεται ιδιαίτερα καθώς κινούμαστε προς την άκρη του πτερυγίου. Η κλίση της καμπύλης αυτής είναι μικρότερη από την κλίση της καμπύλης των θερμοστοιχείων και αυτό οφείλεται στην αυξημένη θερμοκρασία του πειράματος.

5^η Περίπτωση 100° C ή 133,3 Watt

Γωνία πτερυγίου $\varphi=0^\circ$



Διάγραμμα 5.2.11. Πτώση Θερμοκρασίας με μόνωση στους 100° C

Στο τελευταίο διάγραμμα της κατηγορίας παρατηρούμε την έντονη πτώση της θερμοκρασίας κατά το πέρασ του πτερυγίου. Οι δύο

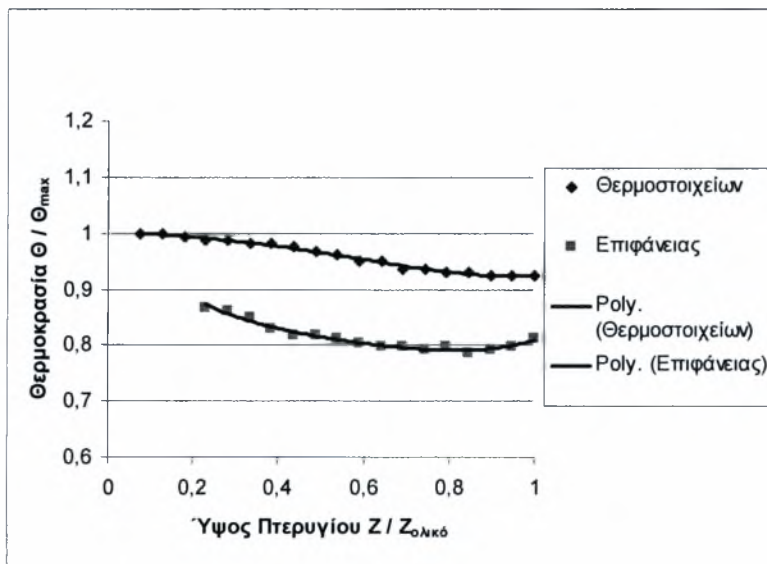
καμπύλες έχουν σχεδόν ίδια μορφή και η διαφορά τους μικραίνει όσο πλησιάζουμε στην άκρη του πτερυγίου.

Κατηγορία 3^η

- Με πλήρη μόνωση και κλίση 45°

1^η Περίπτωση 70° C ή 65,3 Watt

Γωνία πτερυγίου $\varphi=45^\circ$

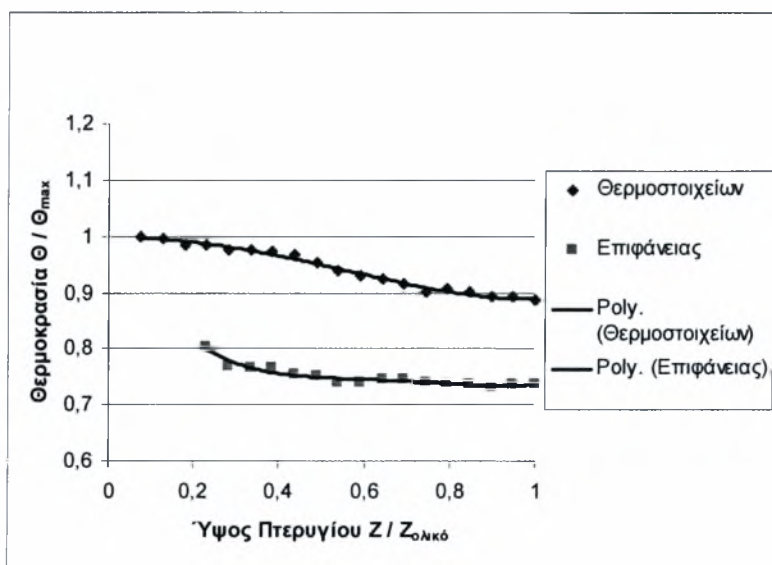


Διάγραμμα 5.2.12. Πτώση θερμοκρασίας με μόνωση και κλίση 45° στους 70° C

Στην περίπτωση αυτή των 70° C και 45° μοιρών κλίσης το γράφημα της θερμοκρασίας εντός του πτερυγίου (θερμοστοιχείων) ακολουθεί την μέχρι τώρα γνωστή μορφή σε αντίθεση με αυτό της επιφάνειας του πτερυγίου, το οποίο στρέφει τα κοίλα άνω και η μεταξύ τους διαφορά μεγαλώνει.

2^η Περίπτωση 100° C ή 133,3 Watt

Γωνία πτερυγίου $\varphi=45^\circ$



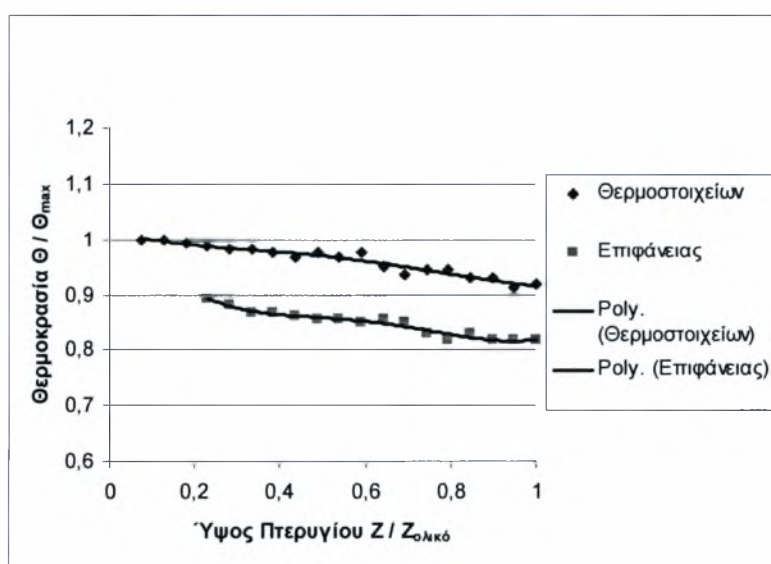
Διάγραμμα 5.2.13. Πτώση θερμοκρασίας με μόνωση και κλίση 45° στους 100°C

Στο διάγραμμα αυτό φαίνεται έντονα η αυξημένη διαφορά των δύο γραφημάτων σε όλο το ύψος του πτερυγίου και κυρίως στη μέση του. Η μεγάλη διαφορά οφείλεται κυρίως στην κλίση του πτερυγίου αλλά και στην υψηλή θερμοκρασία που βρίσκεται.

- Με πλήρη μόνωση και κλίση 315°

1^η Περίπτωση 70° C ή 65,3 Watt

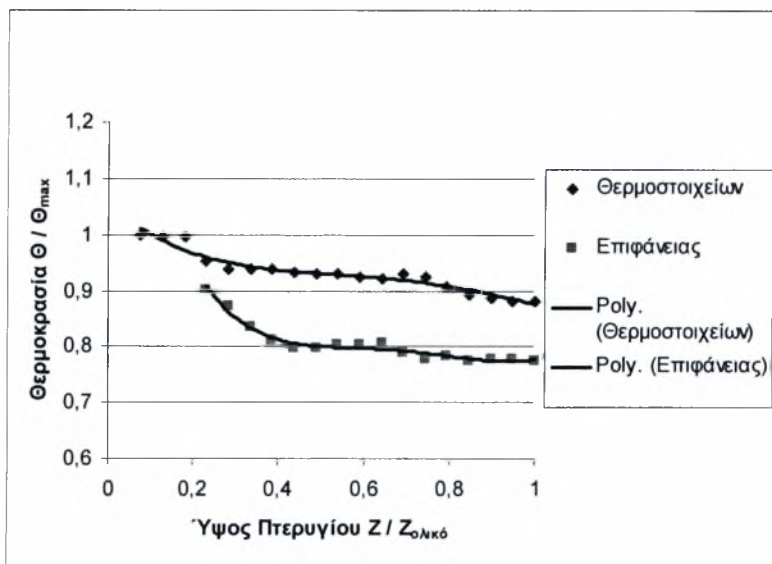
Γωνία πτερυγίου $\varphi=315^\circ$



Διάγραμμα 5.2.14. Πτώση θερμοκρασίας με μόνωση και κλίση 315° στους 70°C

Στη περίπτωση αυτή βλέπουμε πως τα δύο γραφήματα έχουν σχεδόν γραμμική πτώση και η διαφορά τους παραμένει σταθερή.

2^η Περίπτωση 100° C ή 133,3 Watt Γωνία πτερυγίου $\varphi=315^\circ$



Διάγραμμα 5.2.15. Πτώση Θερμοκρασίας με μόνωση και κλίση 315° στους 100°C

Στη τελευταία περίπτωση της κατηγορίας το γράφημα της θερμοκρασίας της επιφάνειας έχει μη γραμμική μορφή. Κυρίως κοντά στην βάση του πτερυγίου οι δύο θερμοκρασίες έχουν πολύ μικρότερη διαφορά από ότι στο υπόλοιπο τμήμα του πτερυγίου.

Συγκρίνοντας τα παραπάνω διαγράμματα και των τριών κατηγοριών παρατηρούμε πως η πτώση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του πτερυγίου είναι σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις γραμμική. Αντίθετα η πτώση της θερμοκρασίας πάνω στην επιφάνεια του πτερυγίου μεταβάλλεται συναρτησί της θερμοκρασίας και της κλίσης του. Η διαφορά τους έγκειται στο ότι η επιφάνεια λόγω συναγωγής με τον αέρα έχει αισθητά μικρότερη θερμοκρασία από ότι το εσωτερικό του πτερυγίου. Έτσι στην επιφάνεια οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας είναι μεγαλύτερες. Επίσης μεταβάλλεται και η διαφορά των δύο θερμοκρασιών συναρτησί των παραπάνω μεταβλητών. Έτσι, η πτώση της θερμοκρασίας της επιφάνειας κυμαίνεται από 6% – 14% ανάλογα με την περίπτωση και η διαφορά των δύο θερμοκρασιών από 5% – 18%. Οι διακυμάνσεις αυτές παρουσιάζονται κυρίως στα άκρα του πτερυγίου, στην βάση και στην αιχμή του. Ο λόγος της επιμέρους εμφάνισης των διακυμάνσεων είναι η περιορισμένη ή εκτεταμένη ροή του αέρα.

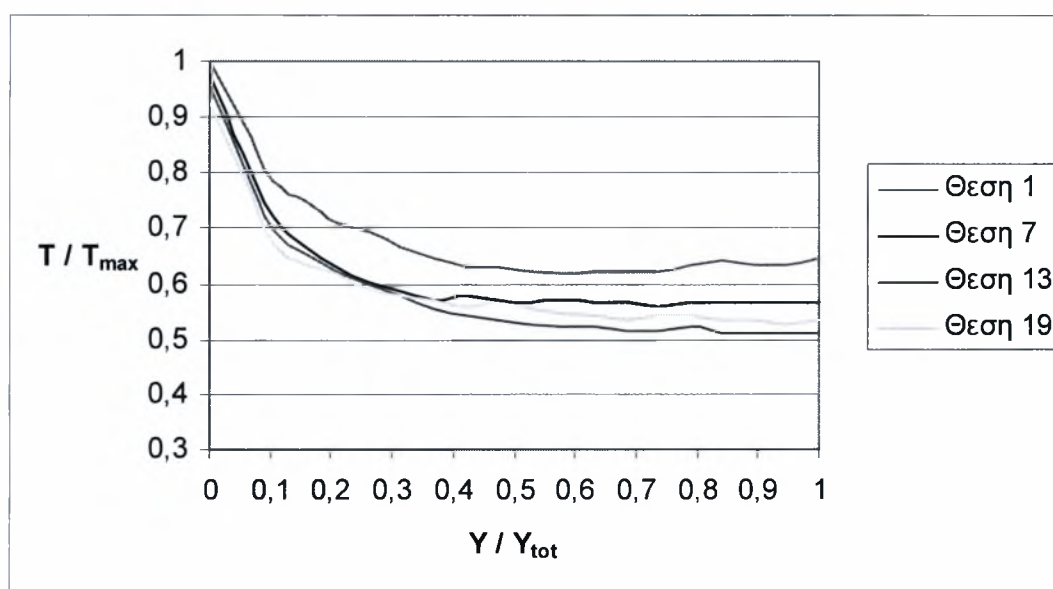
5.3. Πτώση Θερμοκρασίας κατά τον άξονα Y

Στα αποτελέσματα που θα παρατεθούν αναπαρίσταται γραφικά η πτώση της θερμοκρασίας στον άξονα Y, δηλαδή στο θερμικό οριακό στρώμα του πτερυγίου. Σε κάθε γράφημα θα φαίνονται τέσσερις από τις είκοσι, υψομετρικά διαφορετικές, θέσεις στις οποίες μετρήθηκε η θερμοκρασία. Οι θέσεις αυτές ισαπέχουν μεταξύ τους και προσφέρουν μία πληρέστερη εικόνα για την πτώση της θερμοκρασίας στον άξονα αυτό. Η θέση 1 είναι στα 15 χιλιοστά από την βάση του πτερυγίου, οι 7 και 13 στα 75 και 135 χιλιοστά αντίστοιχα και η 19 στα 195 χιλιοστά, δηλαδή στην αιχμή του πτερυγίου. Τα αποτελέσματα χωρίζονται στις τρεις κατηγορίες όπως και οι μετρήσεις που λήφθηκαν για την δημιουργία τους. Για όλες τις κατηγορίες επιλέχθηκαν δύο κοινές περιπτώσεις, των 70° C και των 100° C.

Κατηγορία 1^η Δίχως Πλήρη Μόνωση

1^η Περίπτωση 70° C ή 65,3 Watt

Γωνία πτερυγίου φ=0°

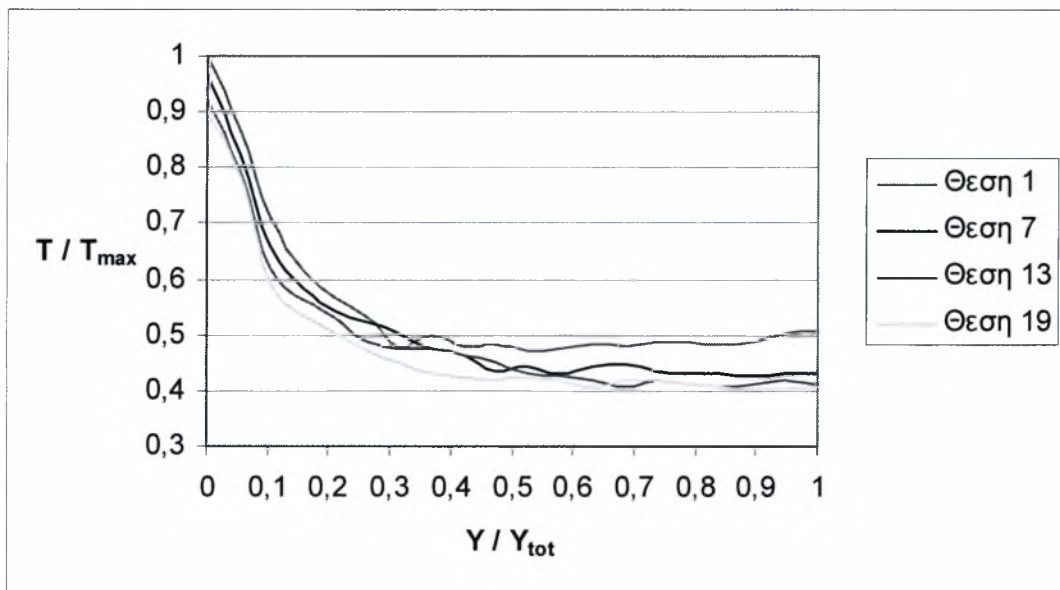


Διάγραμμα 5.3.1. Πτώση Θερμοκρασίας χωρίς μόνωση στους 70° C

Παρατηρούμε στο διάγραμμα ότι και στις τέσσερις θέσεις η πτώση της θερμοκρασίας είναι παραβολική. Στην 1^η θέση όμως η θερμοκρασία είναι αυξημένη από ότι στις υπόλοιπες θέσεις. Αίτια

είναι η απουσία της τοπικής μόνωσης στην βάση του πτερυγίου οπότε ένα μικρό τμήμα της πλάκας που θερμαίνεται μένει ακάλυπτο και επηρεάζει την θερμοκρασία στην συγκεκριμένη θέση. Για τις υπόλοιπες τρεις θέσεις η πτώση της θερμοκρασίας δεν διαφέρει ιδιαίτερα.

2^η Περίπτωση 100° C ή 133,3 Watt Γωνία πτερυγίου $\varphi=0^\circ$



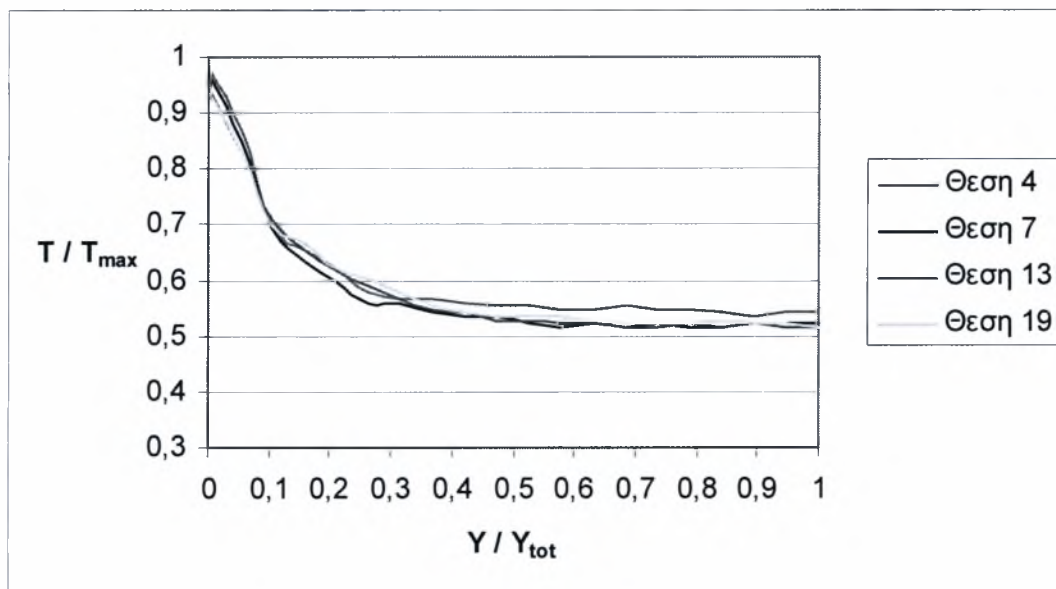
Διάγραμμα 5.3.2. Πτώση Θερμοκρασίας χωρίς μόνωση στους 100° C

Στην θερμοκρασία των 100° C παρατηρείται το ίδιο φαινόμενο που αναφέρθηκε και στην περίπτωση των 70° C αλλά η πτώση της θερμοκρασίας είναι πιο έντονη. Έτσι ως το 30% της μετρούμενης περιοχής στον άξονα Y, η θερμοκρασία μειώνεται κατά 50% και από το σημείο εκείνο και μέχρι το τέλος της περιοχής παραμένει σταθερή.

Κατηγορία 2^η Με Πλήρη Μόνωση

1^η Περίπτωση 70° C ή 65,3 Watt

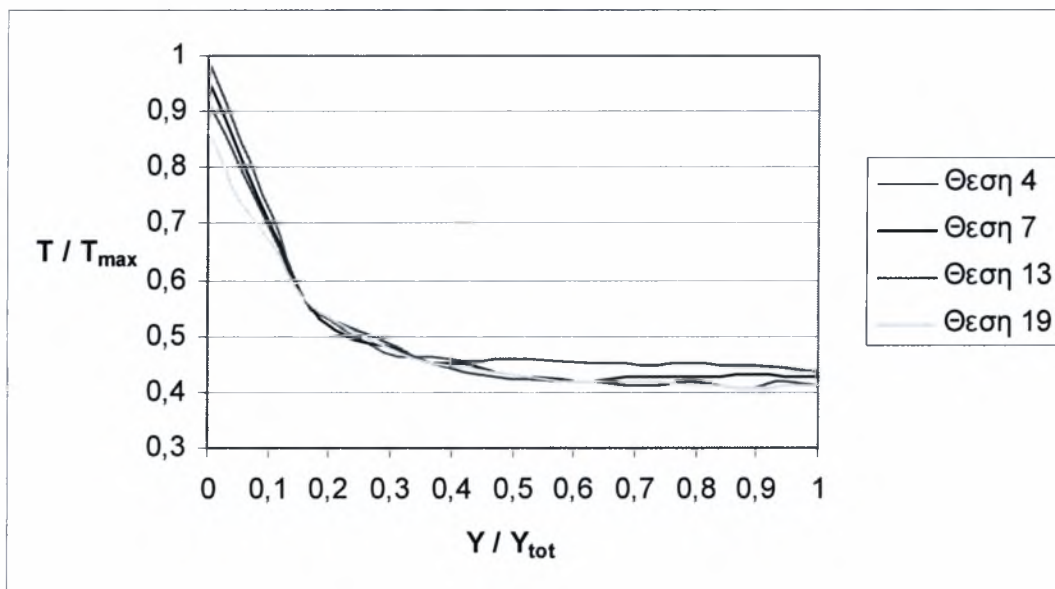
Γωνία πτερυγίου $\varphi=0^\circ$



Διάγραμμα 5.3.3. Πτώση Θερμοκρασίας με μόνωση στους 70° C

Στο διάγραμμα αυτό η πτώση της θερμοκρασίας είναι παραβολική σε όλες τις θέσεις. Εξαιτίας της μόνωσης η 1^η θέση έχει αντικατασταθεί από την 4^η, 45 χιλιοστά από την βάση του πτερυγίου, καθότι δεν ήταν δυνατόν να πραγματοποιηθεί η συγκεκριμένη μέτρηση. Παρατηρούμε ότι σε αντίθεση με την προηγούμενη κατηγορία αποτελεσμάτων, η 4^η θέση δεν έχει αισθητά αυξημένη θερμοκρασία σε σχέση με τις υπόλοιπες θέσεις, γεγονός που οφείλεται στην ύπαρξη της μόνωσης.

2^η Περίπτωση 100° C ή 133,3 Watt Γωνία πτερυγίου $\varphi=0^\circ$



Διάγραμμα 5.3.4. Πτώση Θερμοκρασίας με μόνωση στους 100° C

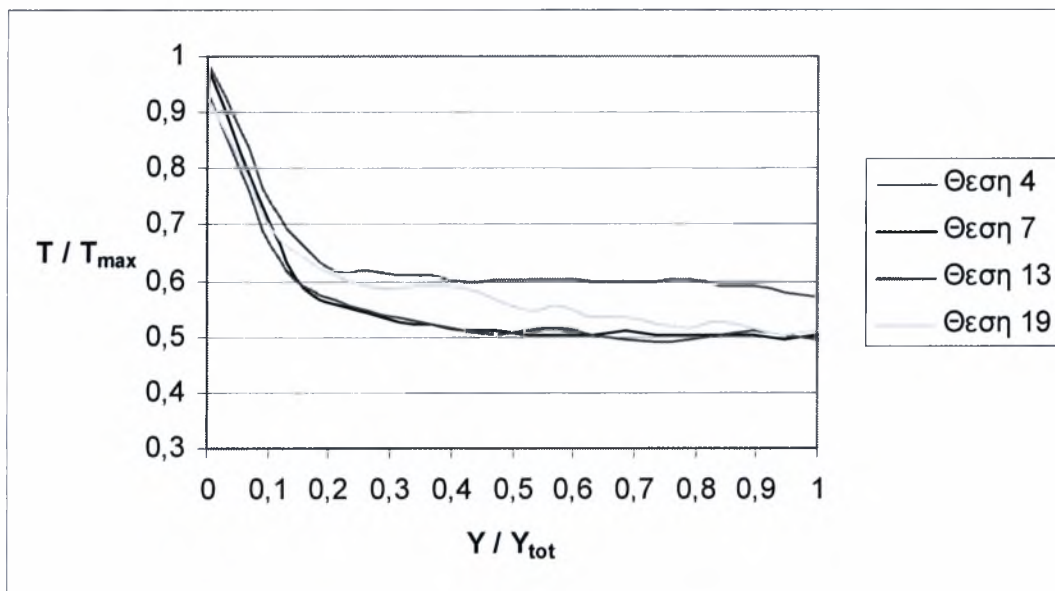
Στο διάγραμμα αυτό ο τρόπος με τον οποίο μειώνεται η θερμοκρασία είναι ο ίδιος που παρατηρήθηκε και στους 70° C. Η μόνη διαφορά εντοπίζεται στην μεγαλύτερη πτώση της θερμοκρασίας καθόλο το πλάτος της μετρούμενης περιοχής.

Κατηγορία 3^η

- Με Πλήρη Μόνωση και κλίση 45°

1^η Περίπτωση 70° C ή 65,3 Watt

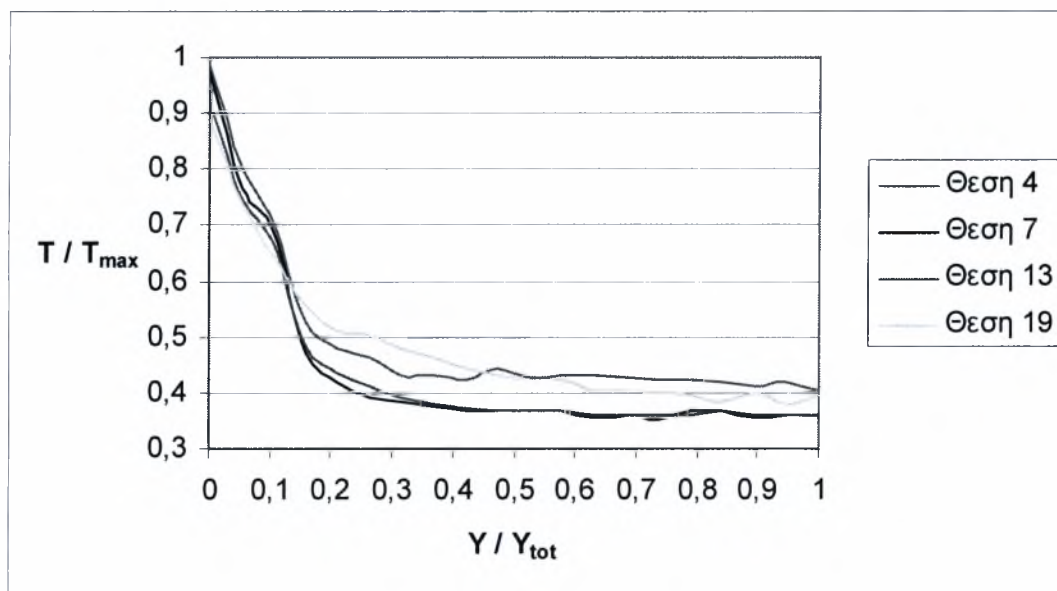
Γωνία πτερυγίου $\varphi=45^\circ$



Διάγραμμα 5.3.5. Πτώση Θερμοκρασίας με μόνωση και κλίση 45° στους 70° C

Στο διάγραμμα της περίπτωσης των 70° C εμφανίζεται μία διαφοροποίηση στην πτώση της θερμοκρασίας στις τέσσερις θέσεις. Στην 7^η και 13^η θέση η πτώση είναι μεγαλύτερη από ότι στην 19^η, η οποία είναι στην άκρη του πτερυγίου. Στην 4^η θέση η θερμοκρασία είναι ακόμη μεγαλύτερη από τις υπόλοιπες. Ο λόγος για αυτές τις διαφοροποιήσεις είναι η κλίση στην οποία βρίσκεται το πτερύγιο και επηρεάζεται η ροή του αέρα στη βάση του και στην αιχμή του.

2^η Περίπτωση 100° C ή 133,3 Watt Γωνία πτερυγίου $\varphi=45^\circ$

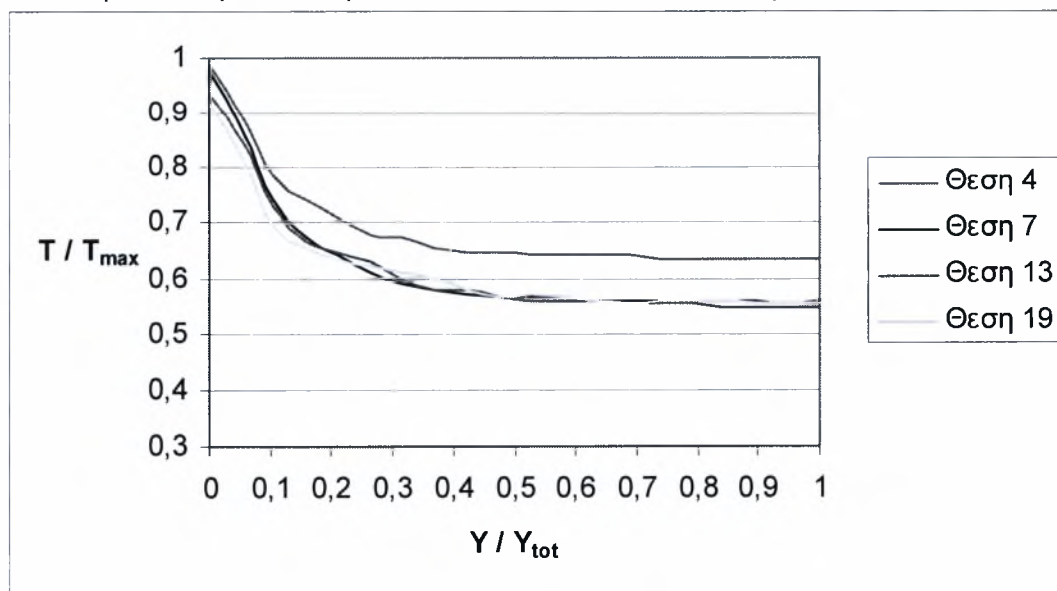


Διάγραμμα 5.3.6. Πτώση Θερμοκρασίας με μόνωση και κλίση 45° στους 100° C

Στο διάγραμμα αυτό εμφανίζονται ακόμη μεγαλύτερες διακυμάνσεις και συγκεκριμένα στο 15% – 50% της μετρούμενης περιοχής στον άξονα Y. Έτσι η θερμοκρασία της 19^{ης} θέσης στο κομμάτι αυτό υπερβαίνει τις θερμοκρασίες όλων των υπολοίπων θέσεων. Αυτό οφείλεται κυρίως στην αναταραχή της ροής του αέρα που προέρχεται από την κάτω πλευρά του πτερυγίου.

- Με Πλήρη Μόνωση και κλίση 315°

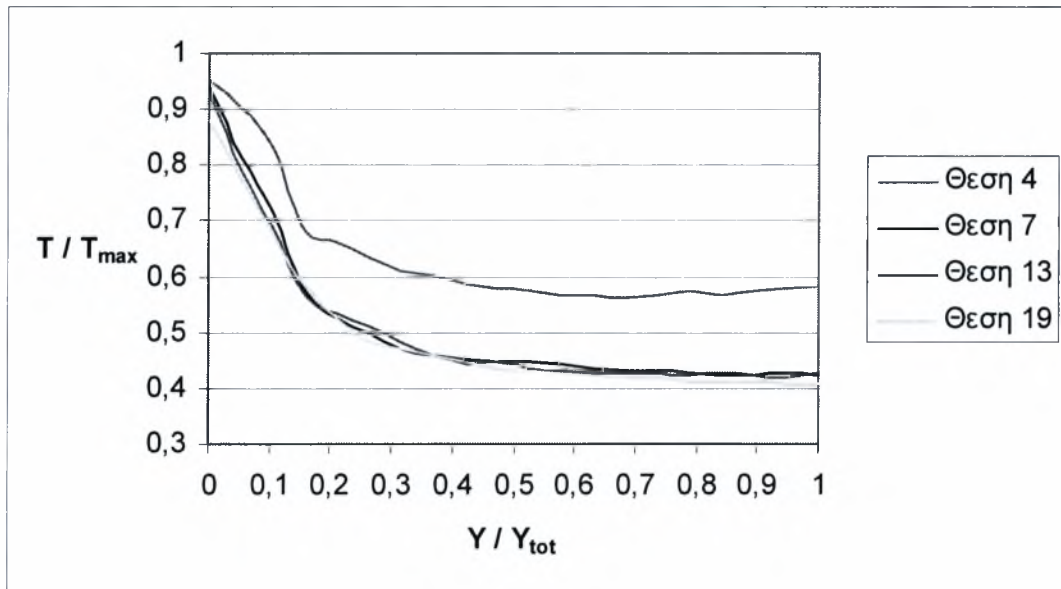
1^η Περίπτωση 70° C ή 65,3 Watt Γωνία πτερυγίου $\varphi=315^\circ$



Διάγραμμα 5.3.7. Πτώση Θερμοκρασίας με μόνωση και κλίση 315° στους 70° C

Στο διάγραμμα αυτό η πτώση της θερμοκρασίας στις τέσσερις θέσεις ομαλοποιείται. Έτσι στην 4^η θέση η θερμοκρασία είναι υψηλότερη από τις υπόλοιπες, οι οποίες κυμαίνονται στα ίδια σταθερά επίπεδα.

2^η Περίπτωση 100° C ή 133,3 Watt Γωνία πτερυγίου $\varphi=315^\circ$



Διάγραμμα 5.3.8. Πτώση θερμοκρασίας με μόνωση και κλίση 315° στους 100°C

Στην τελευταία αυτή περίπτωση από τα τέσσερα γραφήματα των θερμοκρασιών τα τρία έχουν την ίδια μορφή και μόνο το πρώτο διαφοροποιείται δείχνοντας ότι η θερμοκρασία στην θέση αυτή είναι διαρκώς αυξημένη.

Συγκρίνοντας τα παραπάνω αποτελέσματα διαπιστώνουμε ότι η πτώση της θερμοκρασίας στον άξονα Y μειώνεται παραβολικά. Έτσι μέχρι το 30% του άξονα Y η θερμοκρασία μειώνεται σχεδόν στο 40% – 60% της αρχικής. Στο υπόλοιπο μέρος του άξονα η θερμοκρασία διατηρείται σταθερή. Ανομοιομορφίες παρουσιάζονται μόνο στις ακριανές θέσεις, 1^η ή 4^η και 19^η, και κυρίως όταν το πτερύγιο βρίσκεται υπό κλίση. Οι πρώτες θέσεις επηρεάζονται από την θερμαινόμενη πλάκα και η τελευταία από το αυξημένο θερμικό στρώμα στην περίπτωση της κλίσης. Επίσης αξίζει να σημειωθεί ότι γραφικά το πάχος του θερμικού οριακού στρώματος ορίζεται ως το σημείο που η κλίση της εφαπτομένης είναι μικρότερη του 0,3. Πρακτικά από το σημείο αυτό και μετά η θερμοκρασία παραμένει σταθερή.

5.4. Διακύμανση του αριθμού Nusselt κατά τον άξονα Z

Στα αποτελέσματα που θα παρατεθούν αναπαρίσταται γραφικά η μεταβολή του αριθμού Nusselt συναρτήσει της θερμοκρασίας που επικρατεί στο περύγιο. Ο αριθμός Nusselt είναι ίσος με την αδιαστατοποιημένη θερμοβαθμίδα στην επιφάνεια. Ο μαθηματικός τύπος που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό του είναι ο εξής:

$$Nu = \frac{Q \cdot \bar{\delta}}{K \cdot |\Theta_{\text{μέσοεπιφ.}} - \Theta_{\text{περιβ.}}|}, \quad (5.4.1)$$

όπου Q η θερμοροή του περυγίου σε $\frac{W}{m^2}$, $\bar{\delta}$ το μέσο πάχος του θερμικού οριακού στρώματος σε m .

Στην βιβλιογραφία, Πασπαλάς Κ., ο μαθηματικός τύπος που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του αριθμού Nusselt είναι ο εξής:

$$Nu = \frac{Q \cdot L}{K \cdot \Delta\theta}$$

όπου Q η θερμοροή του περυγίου σε $\frac{W}{m^2}$, L το χαρακτηριστικό μήκος του περυγίου.

Η διαφορά των δύο τύπων έγκειται στον όρο του μήκους ή του πάχους (m). Καθότι οι δύο όροι διαφέρουν κατά δύο τάξεις μεγέθους, οι αριθμοί Nusselt που προκύπτουν θα έχουν την ίδια διαφορά καθώς εξαρτώνται αναλόγως από αυτούς.

Για τις τρεις κατηγορίες πειραμάτων θα παρατεθούν τα διαγράμματα στα οποία εμφανίζεται η μεταβολή του αριθμού Nusselt καθώς και τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία των διαγραμμάτων αυτών.

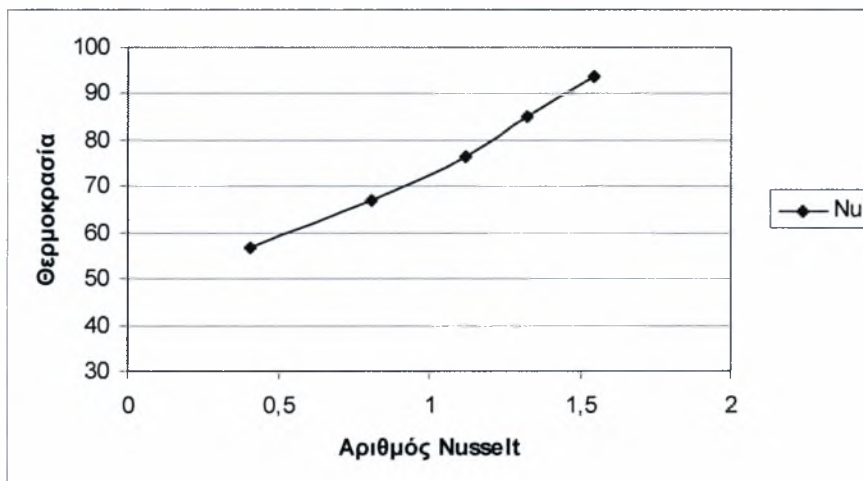
Κατηγορία 1^η

Τα δεδομένα υπολογισμού είναι τα εξής:

$\Theta_{\text{περιβ.}}$	$\Theta_{\text{λειτουργίας}}$	$\Theta_{\text{μέση}}$	K	Watt	$\delta_{\text{μέσο}}$	Q
26	100	93,89	0,031748	133,33	0,0050	666,65
26	90	85,15	0,030988	108,00	0,0045	540
26	80	76,29	0,030228	85,33	0,0040	426,65
26	70	67,13	0,029468	65,33	0,0030	326,65
26	60	56,61	0,028708	48,00	0,0015	240

Πίνακας 5.4.1. Χωρίς Πλήρη Μόνωση

Τα αποτελέσματα για τις πέντε περιπτώσεις φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα.



Διάγραμμα 5.4.1. Μεταβολή αριθμού Nusselt συναρτήσει θερμοκρασίας για περιπτώσεις χωρίς πλήρη μόνωση

Παρατηρούμε ότι ο αριθμός Nusselt αυξάνει σχεδόν γραμμικά με την αύξηση της θερμοκρασίας. Το γεγονός αυτό οφείλεται κυρίως στην θερμοροή Q που εξαρτάται έμμεσα από την θερμοκρασία.

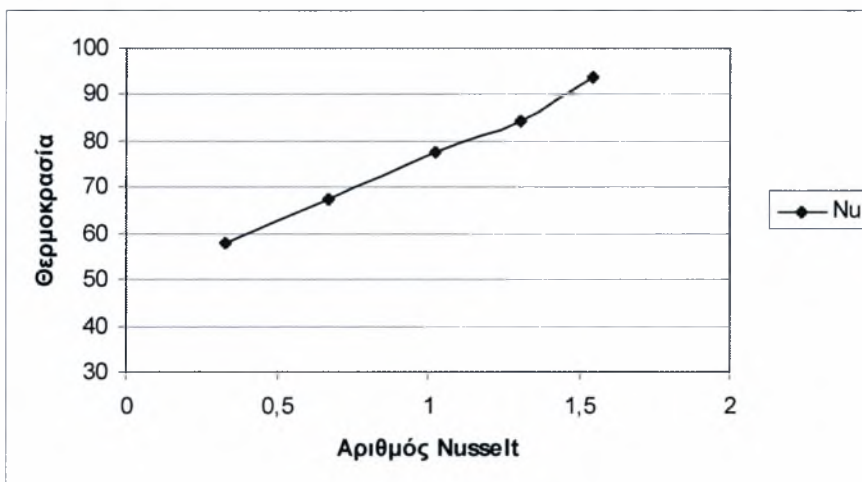
Κατηγορία 2^η Με Πλήρη Μόνωση

Τα δεδομένα υπολογισμού είναι τα εξής:

Θ _{περιβ.}	Θ _{λειτουργίας}	Θ _{μέση}	K	Watt	δ _{μέσο}	Q
26	100	93,83041	0,031748	133,33	0,004	833,3125
26	90	84,29825	0,030988	108	0,0035	675
26	80	77,7193	0,030228	85,33	0,003	533,3125
26	70	67,22222	0,029468	65,33	0,002	408,3125
26	60	57,89474	0,028708	48	0,001	300

Πίνακας 5.4.2. Με Πλήρη Μόνωση

Τα αποτελέσματα για τις πέντε περιπτώσεις φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα.



Διάγραμμα 5.4.2. Μεταβολή αριθμού Nusselt συναρτήσει θερμοκρασίας για περιπτώσεις με πλήρη μόνωση

Στην κατηγορία αυτή η αύξηση του αριθμού Nusselt είναι επίσης γραμμική χωρίς να παρουσιάζει κάποιες ιδιαίτερες διακυμάνσεις.

Κατηγορία 3^η

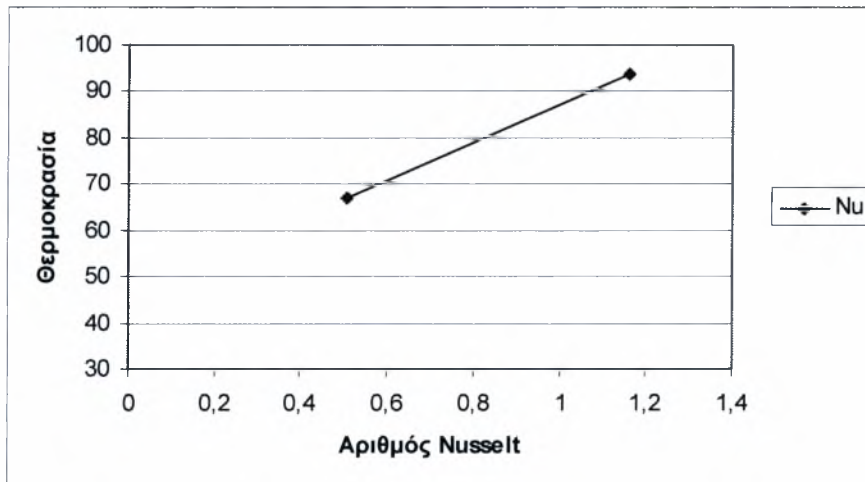
- Με Πλήρη Μόνωση και Κλίση 45° μοιρών

Τα δεδομένα υπολογισμού είναι τα εξής:

Θ _{περιβ.}	Θ _{λειτουργίας}	Θ _{μέση}	K	Watt	δ _{μέσο}	Q
26	100	93,71345	0,031748	133,3333	0,003	833,3333
26	70	67,04678	0,029468	65,33333	0,0015	408,3333

Πίνακας 5.4.3. Με Πλήρη Μόνωση και κλίση 45°

Τα αποτελέσματα για τις δύο περιπτώσεις φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα.



Διάγραμμα 5.4.3. Μεταβολή αριθμού Nusselt συναρτήσει θερμοκρασίας για περιπτώσεις με πλήρη μόνωση και κλίση 45°

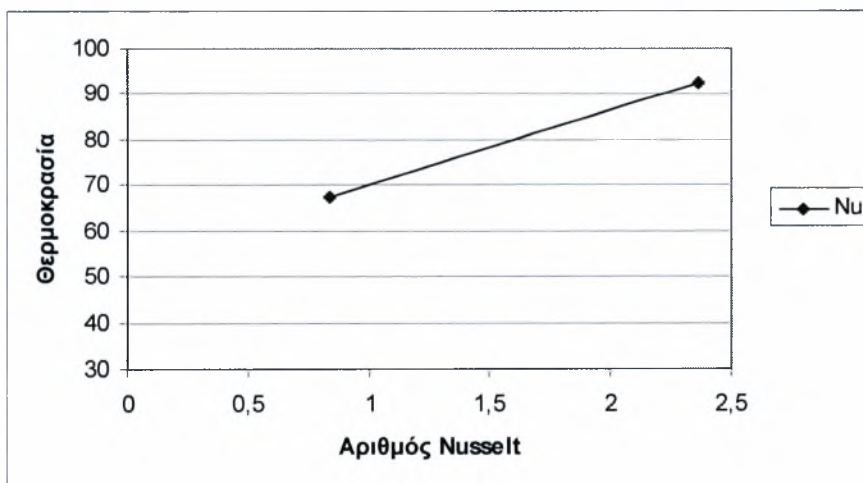
- Με Πλήρη Μόνωση και Κλίση 315° μοιρών

Τα δεδομένα υπολογισμού είναι τα εξής:

Θπεριβ,	Θλειτουργίας	Θμέση	K	Watt	δμέσο	Q
26	100	92,48538	0,031748	133,33	0,006	833,3125
26	70	67,16374	0,029468	65,33	0,0025	408,3125

Πίνακας 5.4.4. Με Πλήρη Μόνωση και κλίση 315°

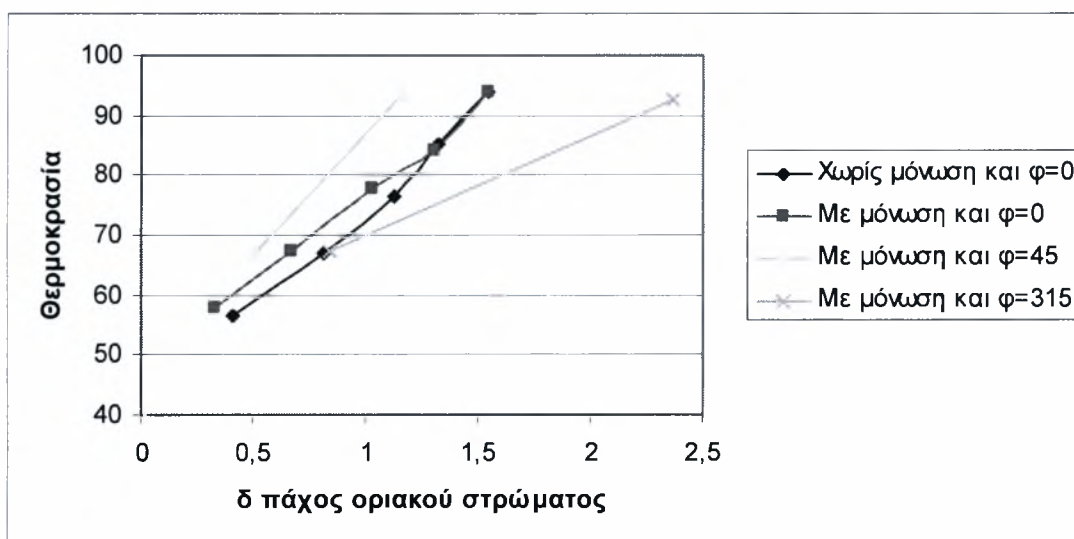
Τα αποτελέσματα για τις δύο περιπτώσεις φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα.



Διάγραμμα 5.4.4. Μεταβολή αριθμού Nusselt συναρτήσει θερμοκρασίας για περιπτώσεις με πλήρη μόνωση και κλίση 315°

Στα δύο παραπάνω διαγράμματα παρατηρούμε πως ο αριθμός Nusselt μεταβάλλεται με την θερμοκρασία αλλά και λόγω της κλίσης του πτερυγίου. Πιο συγκεκριμένα στην άνω πλευρά του, οι αριθμοί που προκύπτουν είναι κατά πολύ μικρότεροι από εκείνους στην κάτω. Αυτό οφείλεται στο διαφορετικό θερμικό οριακό στρώμα των δύο πλευρών.

Συγκεντριωτικά τα παραπάνω αποτελέσματα φαίνονται στο διάγραμμα που ακολουθεί.



Διάγραμμα 5.4.5. Αριθμοί Nu για όλες τις περιπτώσεις.

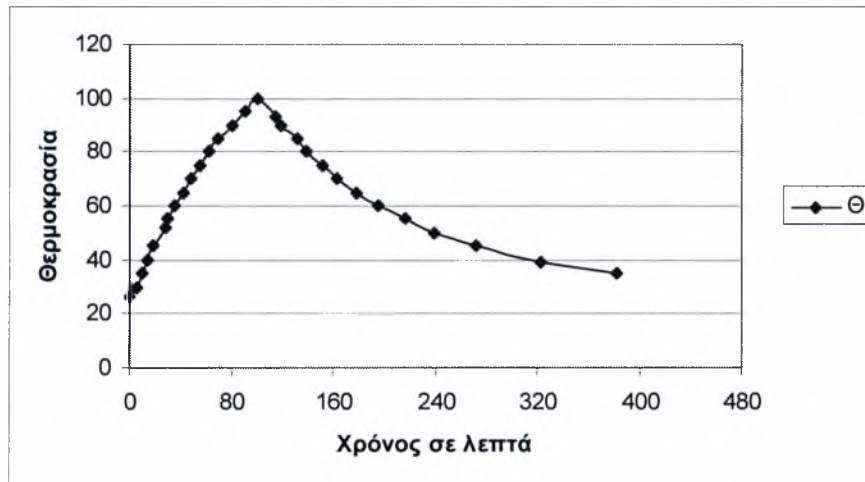
Παρατηρούμε ότι στις περιπτώσεις όπου το πτερύγιο είναι κάθετο οι αριθμοί Nu είναι παραπλήσιοι και σε ορισμένες θέσεις ταυτίζονται. Αντίθετα στις περιπτώσεις όπου είναι κεκλιμένο το πτερύγιο διαφέρουν κατά πολύ με κορύφωση στην θερμοκρασία των 100° C όπου η μεγαλύτερη τιμή είναι διπλάσια από την μικρότερη.

5.5. Διάρκεια Θέρμανσης και Ψύξης του πτερυγίου

Στα αποτελέσματα που θα παρατεθούν φαίνεται η διάρκεια που απαιτείται για την θέρμανση του πτερυγίου από την θερμοκρασία περιβάλλοντος στην μέγιστη θερμοκρασία μετρήσεων, δηλαδή τους 100° C, και εν συνεχεία για την ψύξη του μέχρι την θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Τα διαγράμματα που παρουσιάζουν τους παραπάνω χρόνους είναι τρία και αντιστοιχούν στις τρεις κατηγορίες.

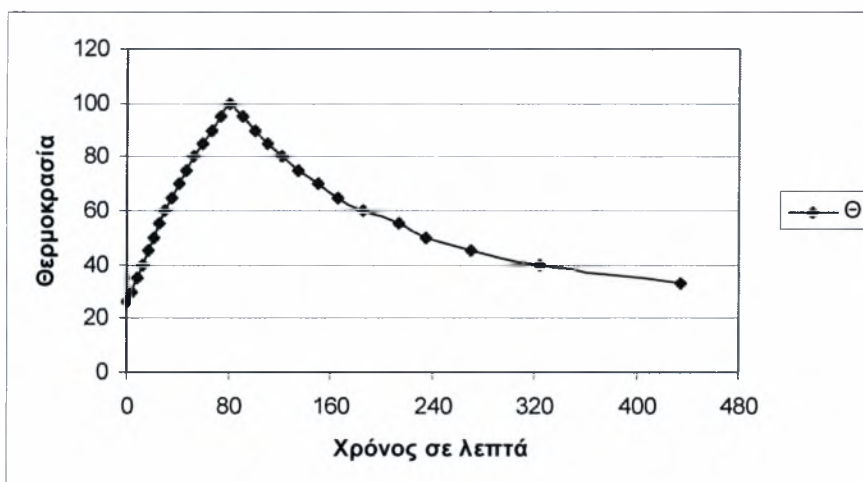
Κατηγορία 1^η Δίχως Πλήρη Μόνωση



Διάγραμμα 5.5.1. Διάρκεια Θέρμανσης - Ψύξης χωρίς πλήρη μόνωση

Παρατηρούμε ότι για να επιτευχθεί η θερμοκρασία των 100° C στο πτερύγιο χρειάζονται σχεδόν 100 λεπτά συνεχούς τροφοδότησης του ισχύος 300 Watt. Ενώ για την ψύξη του χρειάζονται 280 λεπτά, δηλαδή σχεδόν 3 φορές περισσότερο από την θέρμανση του.

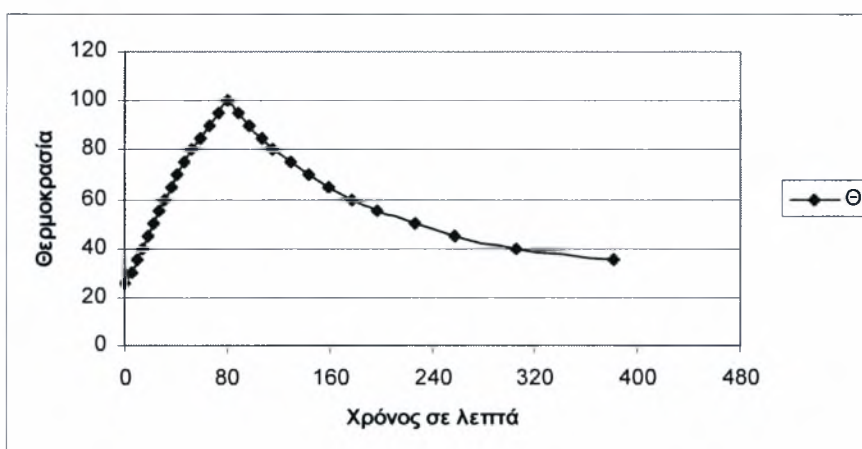
Κατηγορία 2^η Με Πλήρη Μόνωση



Διάγραμμα 5.5.2. Διάρκεια Θέρμανσης - Ψύξης με πλήρη μόνωση

Παρατηρούμε ότι ο χρόνος θέρμανσης κυμαίνεται στα 80 λεπτά, δηλαδή 20 λεπτά λιγότερα από την προηγούμενη κατηγορία. Ενώ ο χρόνος ψύξης είναι κατά 50 λεπτά αυξημένος, δηλαδή 5 φορές περισσότερο. Η αύξηση αυτή οφείλεται κυρίως στην ύπαρξη της τοπικής μόνωσης στην βάση του πτερυγίου.

Κατηγορία 3^η Με Πλήρη Μόνωση και κλίση 45° μοιρών



Διάγραμμα 5.5.3. Διάρκεια Θέρμανσης - Ψύξης με πλήρη μόνωση και κλίση 45°

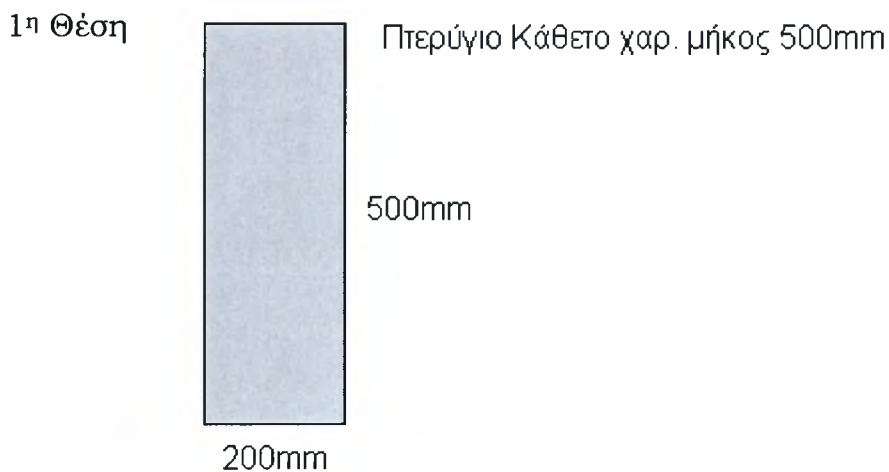
Στην κατηγορία αυτή ο χρόνος θέρμανσης είναι 80 λεπτά και ο χρόνος ψύξης 300 λεπτά.

Από τα παραπάνω διαγράμματα φαίνεται πως η απουσία της μόνωσης εμποδίζει την θέρμανση αλλά διευκολύνει την ψύξη του

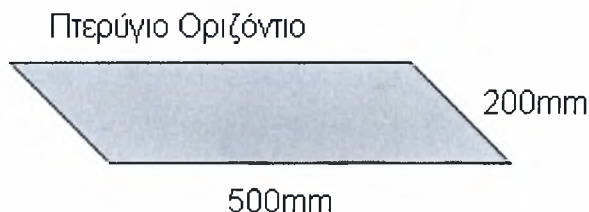
πτερυγίου. Σε αντίθεση με την τοποθέτηση της μόνωσης οι χρόνοι μεταβάλλονται μειώνοντας τον πρώτο και αυξάνοντας τον δεύτερο. Στην περίπτωση όπου το πτερύγιο είναι υπό κλίση οι χρόνοι βελτιώνονται όσον αφορά τη ψύξη του ενώ παραμένουν σταθεροί για την θέρμανση.

5.6. Επίδραση Προσανατολισμού Πτερυγίου στον ρυθμό ψύξης του.

Στο σημείο αυτό θα παρουσιαστεί ένα αριθμητικό παράδειγμα όσον αφορά την ψύξη μίας πλάκας σε σχέση με τον προσανατολισμό της ως προς το οριζόντιο και κατακόρυφο επίπεδο. Έχουμε λοιπόν μία πλάκα διαστάσεων 500*200*5 χιλιοστά η οποία βρίσκεται σε θερμοκρασία 80° C , με θερμοκρασία περιβάλλοντος 26° C, και αφήνεται να ψυχθεί σε τρεις διαφορετικές θέσεις. Στις πρώτες δύο θέσεις η πλάκα είναι κατακόρυφη, στη μεν πρώτη το χαρακτηριστικό μήκος είναι 500 χιλιοστά και στην δεύτερη 200 χιλιοστά. Στην τρίτη θέση η πλάκα είναι οριζόντια χωρίς να είναι καλυμμένη η κάτω πλευρά της. Για να διαπιστώσουμε σε ποια περίπτωση η ψύξη είναι μεγαλύτερη αρκεί να υπολογίσουμε πότε οι θερμικές απώλειες είναι μεγαλύτερες. Αυτό σημαίνει πότε απάγει μεγαλύτερο ποσό θερμότητας ανά μονάδα χρόνου ($\frac{W}{h}$).



3η Θέση



Για τον υπολογισμό του ποσού θερμότητας που απάγεται από την πλάκα σε κάθε περίπτωση χρησιμοποιήσαμε ορισμένους μαθηματικούς τύπους , Fundamentals of Heat and Mass Transfer των F.Incropera και D. DeWitt, για τους αδιάστατους αριθμούς Ra και Nu.

$$Ra = \frac{g \cdot \beta(T_{base} - T_{\infty}) \cdot L^3}{\nu \cdot \alpha} \quad \text{και}$$

$$Nu = 0,68 + \frac{0,67 Ra^{1/4}}{\left[1 + (0,492/Pr)^{9/16}\right]^{1/9}}$$

Έτσι για τους υπολογισμούς χρειάστηκαν πέραν των δύο τύπων και ορισμένα ακόμη δεδομένα,

$$\text{επιτάχυνση της βαρύτητας : } g = 9,81 \frac{m}{sec^2}$$

$$\text{κινηματικό ιξώδες του αέρα : } \nu = 18,405 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{sec}$$

$$\text{θερμική διαχυτότητα του αέρα : } \alpha = 26,2 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{sec}$$

$$\text{θερμική αγωγιμότητα του αέρα : } k = 28,15 \cdot 10^{-3} \frac{W}{m \cdot K}$$

$$\text{θερμοκρασία βάσεως : } T_{base} = 80^{\circ} C \rightarrow 353^{\circ} K$$

$$\text{θερμοκρασία περιβάλλοντος : } T_{\infty} = 26^{\circ} C \rightarrow 299^{\circ} K$$

$$\text{μέση θερμοκρασία βάσεως – περιβάλλοντος} : T_f = \frac{T_{base} - T_{\infty}}{2} = 326^{\circ} K$$

$$\text{συντελεστής θερμ. ογκομετρικής διαστολής} : \beta = \frac{1}{T_f} = 3,067 \cdot 10^{-3} K^{-1}$$

$$\text{επιφάνεια πλάκας} : A_s = 0,5 \cdot 0,2 = 0,1 m^2$$

$$\text{περίμετρος πλάκας} : P = 1,4 m$$

$$\text{αδιάστατος αριθμός Prandtl} : Pr = 0,7035$$

$$\text{χαρακτηριστικά μήκη} : L_1 = 0,5 m, L_2 = 0,2 m \text{ και } L_3 = \frac{A_s}{P} = 0,071 m$$

για την θέση 3 , οριζόντια θέση, το χαρακτηριστικό μήκος ισούται με το πηλίκο της διαίρεσης του εμβαδού δια της περιμέτρου.

Για τις δύο πρώτες θέσεις ο υπολογισμός είναι κοινός καθώς αλλάζει μόνο το χαρακτηριστικό μήκος. Έτσι πρώτα υπολογίζουμε τον αριθμό Ra:

$$Ra_1 = \dots = 4,2122 \cdot 10^8$$

Αντίστοιχα ο αριθμός Nu είναι :

$$Nu_1 = \dots = 77,27547$$

Από τα παραπάνω προκύπτει ο συντελεστής συναγωγής h.

$$h_1 = \dots = 4,1811 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

και οι θερμικές απώλειες Q.

$Q_1 = \dots = 22,5812 W$ Το ποσό αυτό αφορά μόνο την μία πλευρά της πλάκας, επομένως για να υπολογίσουμε τις συνολικές πολλαπλασιάζουμε επί 2.

$$Q_{tot1} = \dots = 45,1624 \frac{W}{h}$$

Αντίστοιχα για την δεύτερη θέση με χαρακτηριστικό μήκος 0,2 m έχουμε:

$$Ra_2 = \dots = 2,6958 \cdot 10^7$$

και

$$Nu_2 = \dots = 37,69656$$

Από τα παραπάνω προκύπτει:

συντελεστής συναγωγής h ,

$$h_2 = \dots = 5,3057 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Θερμικές απώλειες Q ,

$$Q_2 = \dots = 28,6512W$$

και συνολικές,

$$Q_{tot2} = \dots = 57,3025 \frac{W}{h}$$

Για την τρίτη θέση, όπου η πλάκα είναι οριζόντια, ο αριθμός Nu είναι διαφορετικός για τις δύο πλευρές της.

Έτσι έχουμε:

$$Ra_3 = \dots = 1,2061 \cdot 10^6$$

ο αριθμός Nu για την άνω πλευρά είναι :

$$Nu_{3upper} = 0,54 \cdot Ra^{1/4} = \dots = 17,89532 \quad \text{και για την κάτω πλευρά}$$

$$Nu_{3lower} = 0,27 \cdot Ra^{1/4} = \dots = 8,94766$$

Αντίστοιχα οι δύο συντελεστές συναγωγής είναι:

$$h_{3upper} = \dots = 7,0951 \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad \text{και}$$

$$h_{3lower} = \dots = 3,5455 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Από τους συντελεστές προκύπτουν οι αντίστοιχες απώλειες:

$$Q_{3upper} = \dots = 38,3136W \quad \text{και}$$

$$Q_{3lower} = \dots = 19,1568W$$

Οπότε οι συνολική θερμικές απώλειες προκύπτουν από το άθροισμά τους:

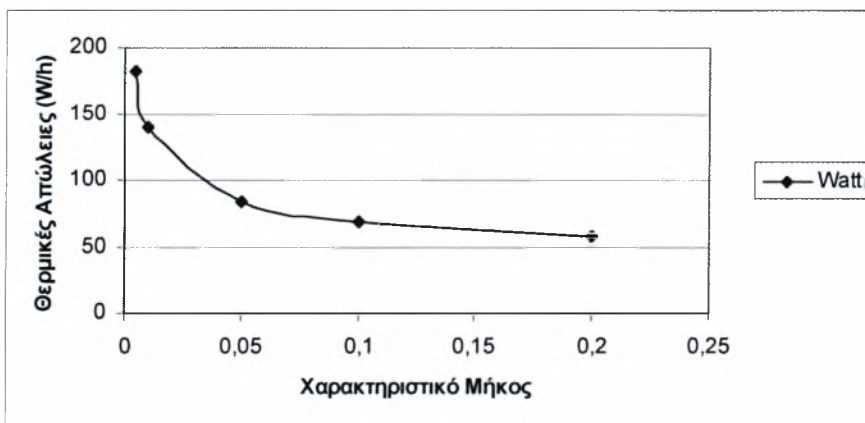
$$Q_{tot3} = \dots = 57,4704 \frac{W}{h}$$

Από τα παραπάνω αποτελέσματα παρατηρούμε πως στις θέσεις δύο και τρία οι θερμικές απώλειες είναι μεγαλύτερες από ότι στην θέση ένα. Μεταξύ των θέσεων δύο και τρία η διαφορά είναι σχεδόν αμελητέα (0,1W) οπότε τις θεωρούμε ίσες. Άρα από τις τρεις θέσεις σίγουρα πιο αργά θα ψυχθεί η πρώτη καθώς έχει τις μικρότερες απώλειες και οι άλλες δύο σχεδόν στον ίδιο χρόνο.

Στο παραπάνω παράδειγμα κάνοντας μία παραμετρική μελέτη για την θέση δύο παρατηρούμε πως για σταθερό εμβαδό πλάκας αλλά με μεταβαλλόμενες διαστάσεις, ύψος και πλάτος, οι θερμικές απώλειες συνεχώς αυξάνουν όσο μειώνεται το χαρακτηριστικό μήκος και αυξάνεται το πλάτος.

L _{χαρακτ.}	A _{σταθ.}	Q _{tot}
m	m ²	W/h
0,2	0,1	57,30254
0,1	0,1	68,98268
0,05	0,1	83,71087
0,01	0,1	139,6675
0,005	0,1	182,8554

Στον παραπάνω πίνακα μειώσαμε σταδιακά το χαρακτηριστικό μήκος της πλάκας, διατηρώντας το εμβαδό της επιφάνειας σταθερό, και παρατηρούμε ότι οι θερμικές απώλειες συνεχώς αυξάνονται. Επομένως ο σημαντικότερος παράγοντας για την ψύξη μίας πλάκας είναι οι διαστάσεις της. Τα παραπάνω αποτελέσματα φαίνονται στο διάγραμμα που ακολουθεί.



Διάγραμμα 5.5.4. Μεταβολή θερμικών απωλειών συναρτήσει χαρακτ. μήκους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο Συμπεράσματα – Προτάσεις

6.1. Συμπεράσματα

- Παρατηρήθηκαν αρκετές διακυμάνσεις στο θερμικό οριακό στρώμα κυρίως στα άκρα του πτερυγίου, βάση και αιχμή, σε υψηλές θερμοκρασίες και υπό κλίση.
- Σε υψηλές θερμοκρασίες το μέσο πάχος του θερμικού οριακού στρώματος αυξάνεται ελάχιστα και σταθεροποιείται γύρω από μία τιμή.
- Στην περίπτωση όπου έλειπε η τοπική μόνωση στην βάση του πτερυγίου οι χρόνοι θέρμανσης και ψύξης μεταβάλλονται. Έτσι για την θέρμανση απαιτείται περισσότερος χρόνος ενώ για την ψύξη λιγότερος από ότι στην περίπτωση με πλήρη μόνωση. Αυτό σημαίνει πως το πτερύγιο έχει μεγαλύτερη θερμορροή στην πρώτη περίπτωση.
- Ο αριθμός Nusselt αυξάνεται γραμμικά ανάλογα με την αύξηση της θερμοκρασίας γεγονός που συμφωνεί με την βιβλιογραφία, Anbar G. Heat and Mass Transfer 33, 1998. Οι πολύ χαμηλές τιμές του οφείλονται στην επιλογή μας για τον υπολογισμό του με βάση το πάχος του θερμικού οριακού στρώματος έναντι του ύψους του πτερυγίου.
- Το αριθμητικό παράδειγμα που παρουσιάσαμε στο τέλος του 5^{ου} κεφαλαίου μας οδήγησε στο συμπέρασμα ότι ο τρόπος τοποθέτησης μίας πλάκας ή ενός πτερυγίου στο χώρο για την ψύξη αυτής ή μίας συσκευής αντίστοιχα, αποτελεί τον σημαντικότερο παράγοντα για την απόδοσή του. Πιο συγκεκριμένα ένα παραλληλόγραμμο ορθογωνικό πτερύγιο με δεδομένες διαστάσεις πρέπει να τοποθετηθεί με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να έχει το

μικρότερο χαρακτηριστικό μήκος για να επιτευχθεί η μεγαλύτερη απαγωγή θερμότητας από αυτό.

- Στην περίπτωση όπου το πτερύγιο είναι κεκλιμένο η απόδοσή του είναι μεγαλύτερη από ότι σε κατακόρυφη θέση. Ειδικότερα, στις περιπτώσεις με πλήρη μόνωση όπου το πτερύγιο μελετήθηκε και υπό κλίση αλλά και κάθετα, η διάρκεια ψύξης ήταν μικρότερη στην περίπτωση της κλίσης.

6.2. Προτάσεις

Στην πειραματική διάταξη που κατασκευάστηκε για την εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας, υπάρχει δυνατότητα μελέτης πολλών ακόμη φαινομένων.

Για την ελεύθερη συναγωγή μπορούν να μελετηθούν οι ταχύτητες της ροής στο θερμικό οριακό στρώμα. Ακόμη, να κατασκευαστεί μία περισσότερο ενισχυμένη βάση στήριξης ούτως ώστε το πτερύγιο να τοποθετηθεί και σε άλλες γωνίες (π.χ. 90° , 180° και 270°).

Σαφέστατα όλα τα παραπάνω πειράματα μπορούν να επαναληφθούν για εξαναγκασμένη συναγωγή, σε αεροσύραγμα. Στην περίπτωση αυτή οι περιπτώσεις μετρήσεων αυξάνονται καθώς υπάρχουν πολλοί περισσότεροι συνδυασμοί αλλαγής των μεταβλητών, γωνίας, φορτίου και ταχύτητας ροής.

Τέλος η προσθήκη ενός ακόμη πτερυγίου ή μιας συστοιχίας πτερυγίων αυξάνει κατά πολύ τις δυνατότητες για περαιτέρω διερεύνηση των φαινομένων που δημιουργούνται στο θερμοκρασιακό πεδίο που αναπτύσσεται γύρω από αυτά.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΑΡΙΘΜΩΝ

- Αριθμός Reynolds (Re) : Ο αριθμός Re δίνει τον λόγο των δυνάμεων αδράνειας (κινητική ενέργεια) προς τις δυνάμεις τριβής.

$$\text{Τύπος : } Re = \frac{\rho \cdot u^2}{\eta \cdot u/l} = \frac{u \cdot l}{\nu}$$

- Αριθμός Prandtl (Pr) : Ο αριθμός Pr ο οποίος είναι φυσική ιδιότητα του ρευστού δίνεται από τον λόγο του κινηματικού ιξώδους προς τον συντελεστή θερμικής διαχυτότητας.

$$\text{Τύπος : } Pr = \frac{\nu}{\alpha}$$

- Αριθμός Nusselt (Nu) : Ο αριθμός Nu παριστάνει μία αδιάστατη κλίση της θερμοκρασίας στο τοίχωμα ή αλλιώς συγκρίνει την πραγματική κλίση του θερμοκρασιακού πεδίου μέσα στο ρευστό στην επιφάνεια επαφής με το τοίχωμα προς την κλίση της θερμοκρασίας σε ένα στρώμα πάχους.

$$\text{Τύπος : } Nu = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda} = \frac{q_w \cdot l}{\lambda \cdot \Delta\theta}$$

- Αριθμός Grashof (Gr) : Ο αριθμός Gr συγκρίνει την δύναμη άνωσης με την δύναμη τριβής και περιγράφει το πεδίο ροής όπου δεν εμφανίζεται κάποια χαρακτηριστική ταχύτητα.

$$\text{Τύπος : } Gr = \frac{\rho \cdot u^2 \cdot g \cdot l \cdot \Delta\rho}{(\eta \cdot u/l)^2} = \frac{g \cdot \beta \cdot l^3 \cdot \Delta\theta}{\nu^2}$$

- Αριθμός Rayleigh (Ra) : Ο αριθμός Ra δίνει την αναλογία της μετάδοσης θερμότητας με ελεύθερη συναγωγή προς τη μετάδοση θερμότητας με αγωγή.

$$\text{Τύπος : } Ra = Gr \cdot Pr = \frac{g \cdot \beta \cdot l^3 \cdot \Delta\theta}{\nu \cdot \alpha}$$

- Αριθμός Biot (Bi) : Ο αριθμός Bi συγκρίνει τη συναγωγή στο ρευστό με την αγωγή στο στερεό σώμα και ο λ είναι ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του στερεού.

$$\text{Τύπος : } Bi = \frac{\alpha \cdot X}{\lambda}$$

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Anbar, G., “Heat and Mass Transfer”, Springer-Verlag, 1998.
- Bahrami, P. A., “Natural Convection from Open- and Closed-Sided Vertical Plates and from Fin-Tube Configuration”, Ph.D. Thesis, Department of Mechanical Engineering, University of Minnesota, 1979.
- Bar-Cohen, A. and Distel, H., “Thermal Characteristics of Multiple Surface Submerged Condensers,” Stanford University Press, 1978.
- Bodoia J. R. and Osterle J. F., “The Development of Free Convection Between Heated Vertical Plates.” Journal of Heat Transfer, Trans. ASME, Series C, vol. 84. 1962.
- Elenbaas W., “The Heat Dissipation of Parallel Plates by Free Convection.” Physica. Vol. IX. No. 1, January, 1942.
- Elenbaas W., “The Dissipation of Heat by Free Convection – The Inner Surfaces Of Vertical Tubes of Different Shapes of Cross Section.” Physica. IX. No. 8, September, 1942.
- Harahap F., “A Study on the Natural Convection Heat Transfer From Horizontal Rectangular Extended Surface.” MS thesis, Cornell University, Ithaca, New York, September, 1964.
- Harahap, F., and McManus, H. N., “Natural Convection Heat Transfer From Horizontal Rectangular Fin Arrays,” Journal of Heat Transfer, Trans. ASME, Series C, vol.89, 1967.
- Holman, J. P., “Heat Transfer” , McGraw- Hill, New York, 1990.
- Incropera, F. C., and De Witt, D. P., “Fundamentals of Heat and Mass Transfer, Wiley, New York, 1990.

- Ostrash S., “Laminar Natural Convection Flow and Heat Transfer of Fluids With and Without Heat Sources in Channels With Constant Wall Temperatures.” NACA Tech. 1952
- Raithby, G. D., and Hollands G. T., “Natural Convection Heat Transfer From Array of Isothermal Triangular Fins in Air.” Journal of Heat Transfer, Trans. ASME, February 1994.
- Starner K. E. and McManus H. N., Jr., “An Experiment Investigation of Free Convection Heat Transfer From Rectangular Fin Arrays.” Journal of Heat Transfer, Trans. ASME. Series C, vol.85 1963.
- Welling J. R., and Wooldridge, C. B., “Free Convection Heat Transfer Coefficients From Rectangular Vertical Fins,” Journal of Heat Transfer, Trans. ASME, Series C, vol. 87, 1965.
- Πασπαλάς, Γ. Κ., “Μετάδοση Θερμότητας”, Σύλλογος Μηχανολόγων – Ηλεκτρολόγων Β. Ελλάδος, 2001.



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000074162