



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΡΕΥΣΤΩΝ**

**ΜΗ ΕΠΕΜΒΑΤΙΚΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ
ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ
ΜΕ ΠΡΟΕΞΟΧΕΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΝΤΑΟΥΛΤΖΗ ΑΘΑΝΑΣΙΟΥ**

**Επιβλέπων
Αναπληρωτής Καθηγητής Δημήτριος Μαθιουλάκης**

**Αθίνα
Σεπτέμβριος 2011**



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΡΕΥΣΤΩΝ**

**ΜΗ ΕΠΕΜΒΑΤΙΚΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ
ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ
ΜΕ ΠΡΟΕΞΟΧΕΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΝΤΑΟΥΑΤΖΗ ΑΘΑΝΑΣΙΟΥ**

**Επιβλέπων
Αναπληρωτής Καθηγητής Δημήτριος Μαθιουλάκης**

**Αθίνα
Σεπτέμβριος 2011**

Ευχαριστίες

Από τη θέση αυτή θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου κυρίαρχα στην οικογένειά μου ,άνθρωποι εργατικοί που μόχθησαν επί μακρόν για να αναδείξουν τα παιδιά τους σε άξια μέλη της κοινωνίας.Η στήριξη τους απέφερε καρπούς και το παράδειγμα τους αποτέλεσε και θα αποτελεί πηγή έμπνευσης στην προσωπική μου πορεία.

Φυσικά θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον Κύριο Καθηγητή Μαθιουλάκη Δημήτριο για την αγαστή συνεργασία μας κατά την εκπόνηση της διπλωματικής μου και την καθοδήγησή του σε όλα τα επί μέρους ζητήματα ,ως επιστήμονα αλλά και ως παιδαγωγό.

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκαν πειράματα μετρήσεων του συντελεστή συναγωγής θερμότητας σε θερμαινόμενη επιφάνεια μεταβαλλόμενης επιφανειακής τραχύτητας ,εκτεθειμένης σε ρεύμα ψύξης, με χρήση υγρών κρυστάλλων.Η επιφάνεια που χρησιμοποιήθηκε είναι μια επίπεδη θερμική αντίσταση επικαλυμμένη με ένα λεπτό φύλλο αλουμινίου ,ένα φύλλο υγρών κρυστάλλων από την πλευρά του ρεύματος ψύξης και μια αδιαβατική επιφάνεια για περιορισμό των απωλειών στην πλευρά της έδρασής της.Χρησιμοποιήθηκε η μικρή αεροσήραγγα του τομέα ρευστών στο εργαστήριο αεροδυναμικής του τομέα ρευστών και τα πειράματα διεξήχθησαν σε χαμηλές ταχύτητες ροής και σε συνθήκες περιβαλλοντικής θερμοκρασίας.

Η καταγραφή των πειραμάτων έγινε μέσω οπτικής κάμερας ccd και χρησιμοποιήθηκε συγκεκριμένος εξοπλισμός αποθήκευσης σε H/Y,εν συνεχεία έγινε επεξεργασία των οπτικών δεδομένων με χρήση του μαθηματικού πακέτου Matlab Συνοπτικά τα αρχεία εικόνας πραγματικού χρώματος υγρών κρυστάλλων που καταγράφησαν ,μετατράπηκαν σε αρχεία θερμοκρασιακής κατανομής,Μέσω λοιπόν των θερμοκρασιακών επιφανειακών δεδομένων και γνωρίζοντας την ροή θερμότητας διά της ηλεκτρικής αντίστασης καταλήξαμε σε μια εκτίμηση του τοπικού συντελεστή συναγωγής θερμότητας κατά μήκος της πλάκας.

Ποιο συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκαν πειράματα με τέσσερις διαφορετικές διατάξεις εμποδίων,εννιαίων και διακεκομένων εμποδίων,σε τρεις χαρακτηριστικές ταχύτητες του ρεύματος ψύξης και σε τέσσερις διαδοχικές καταστάσεις ροής θερμότητας διά της θερμαινόμενης ηλεκτρικής πλάκας.Προέκυψαν τελικά 48 διαδοχικές περιπτώσεις θερμοκρασιακής διάχυσης οι οποίες επεξεργάστηκαν και αναλύθηκαν ούτως ώστε να προκύψουν η κατανομή της θερμοκρασίας επί της πλάκας ο τοπικός Nusselt και ο τοπικός συντελεστής συναγωγής θερμότητας όπως και τα αντίστοιχα συγκριτικά διαγράμματα αυτών.

ABSTRACT

In the context of the present diploma thesis experiments were conducted in a wind tunnel so as to measure the local heat transfer coefficient over a heated plate of adjustable surface roughness using thermosensitive liquid crystals. The air cooling stream resulted in a forced convection phenomenon over the plate and in addition liquid crystals were employed to quantify non-invasively the wall temperature field. In reality the thermal plate is a variable electrical resistance, covered with an aluminum foil and a liquid crystal sheet on the side exposed to the air stream and a polisterol seat on the base of the plate which is considered adiabatic in our heat transfer analysis.

In brief, we recorder the phenomena using a CCD camera and a frame grabber. The data were analyzed using in house computer code running in Matlab environment. The obtained color images in rgb format were “decoded” via Matlab functions in order to reveal the wall temperature distribution of the heated surface. Finally, the local heat transfer coefficient was measured as a function of the air speed and the used obstacles which simulated the roughness of the surface.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

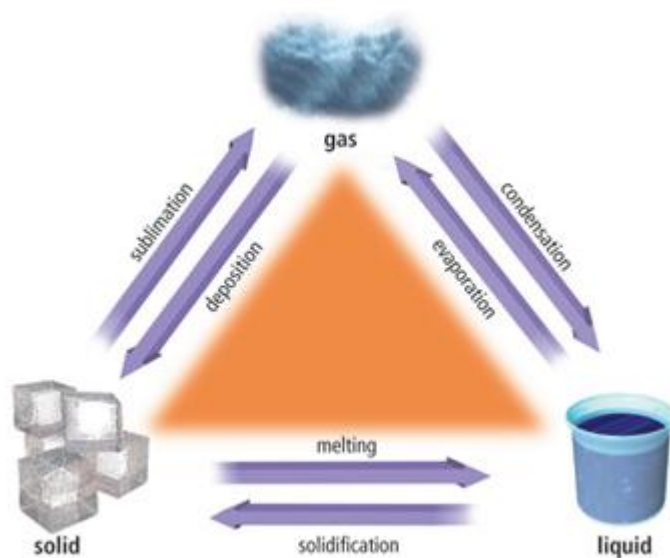
1. Εισαγωγή	σελ. 8
1.1 Περιγραφή υγρών κρυστάλλων	
1.2 Κατηγορίες υγρών κρυστάλλων	
1.3 Διάθλαση του φωτός μέσω υγρών κρυστάλλων	
1.4 Εφαρμογές υγρών κρυστάλλων	
2. Χρωματομετρία	σελ.16
2.1. Οπτική αντίληψη- Όραση- Οφθαλμός	
2.2. Συστήματα χρωματικής αναφοράς	
3. Πειραματική διάταξη	σελ.22
3.1. Εξοπλισμός πειράματος	
4. Βαθμονόμηση Υγρών κρυστάλλων	σελ.32
4.1 Χρήση συναρτήσεων Matlab	
4.2. Καμπύλη βαθμονόμησης	
5. Μετάδοση θερμότητας	σελ.37
5.1. Αγωγή θερμότητας	
5.2 Αγωγή θερμότητας σε πλήρως ανεπτυγμένες συνθήκες	
5.3 Αγωγή θερμότητας σε μεταβατικές συνθήκες	
5.4 Συναγωγή θερμότητας	
5.5 Υδροδυναμικό οριακό στρώμα και θερμικό οριακό στρώμα	
5.6 Θερμική ακτινοβολία	
6. Εξισώσεις διατήρησης μάζας, ορμής κ ενέργειας.	σελ.52
7. Παράθεση και ανάλυση αποτελεσμάτων πειράματος	σελ.54
7.1 Η διαδικασία του πειράματος	
7.2. Συγκριτικά διαγράμματα κατανομής θερμοκρασίας	
7.3. Συγκριτικά διαγράμματα κατανομής συντελεστού συναγωγιμότητας	
7.4.Συγκριτικά διαγράμματα αριθμού Nusselt	
7.5 Τελικά συμπεράσματα και σχολιασμός	
8. Παράρτημα κώδικα Matlab	σελ.88
9. Βιβλιογραφία	σελ.98

1. Εισαγωγή

Στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήσαμε υγρούς κρυστάλλους για να οπτικοποιήσουμε την θερμοκρασιακή κατανομή επί της θερμαινόμενης πλάκας ούτως ώστε να εξάγουμε συμπεράσματα για τον συντελεστή συναγωγιμότητας συναρτήσει της επιφανειακής τραχύτητας της πλάκας. Αρχικά γίνεται μία περιγραφή των υγρών κρυστάλλων και τον τρόπο με τον οποίο αλληλεπιδρούν με το φως.

1.1 Περιγραφή υγρών κρυστάλλων

Οι τρεις κύριες καταστάσεις της ύλης είναι η στερεά, η υγρή και η αέρια. Οι τρεις αυτές καταστάσεις όμως δεν περιγράφουν ολοκληρωμένα όλες τις φάσεις της ύλης καθώς παρουσιάζονται στη φύση και δομές με ενδιάμεσες ιδιότητες. Γενικότερα, με αύξηση της θερμοκρασίας ενός στερεού (κρυσταλλικής μοριακής δομής) το υλικό μεταβαίνει από τη στερεά φάση στην υγρή φάση και από την υγρή εν συνεχεία στην αέρια. Στην υγρή φάση τα μόρια χαρακτηρίζονται συνήθως από μεγαλύτερη αταξία. Μερικά υλικά οστόσο βρίσκονται σε ενδιάμεση φάση παρουσιάζοντας κρυσταλλικές δομές στερεών μεγαλύτερης μοριακής αταξίας σε βαθμό που να προσεγγίζουν τις μοριακές δομές των υγρών. Αυτά τα υλικά λέγονται υγροί κρύσταλλοι.

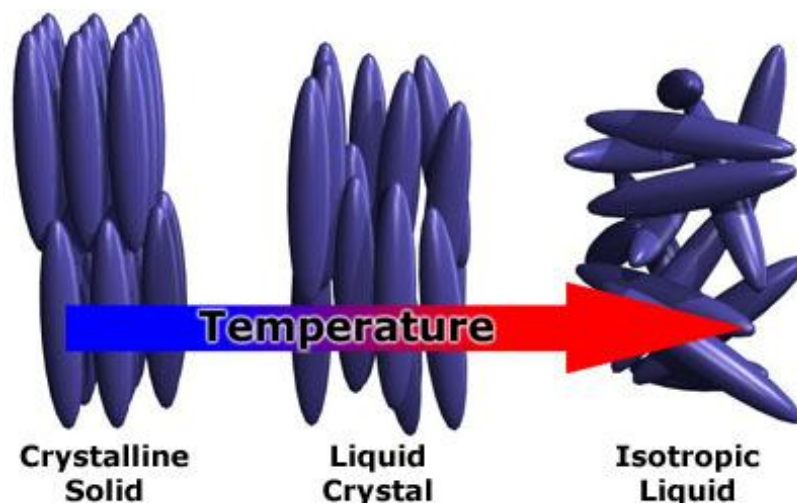


Οι υγροί κρύσταλλοι αποτελούν μία κατάσταση της ύλης στην οποία παρουσιάζονται χαρακτηριστικές ιδιότητες ρευστών και στερεών σωμάτων ταυτόχρονα. Τα μόρια των υγρών κρυστάλλων δύναται να ρέουν όπως ρέουν αυτά ενός ρευστού, αλλά ταυτόχρονα να διατάσσονται όπως αυτά των στερεών κρυστάλλων.

Υπάρχουν πολλές διαφορετικές φάσεις υγρών κρυστάλλων οι οποίες διακρίνονται μεταξύ τους από τις διαφορετικές οπτικές ιδιότητες που παρουσιάζουν. Όταν παρατηρούμε υγρούς κρυστάλλους κάτω από μικροσκόπιο χρησιμοποιώντας μια πολομένη πηγή φωτός, οι διάφορες φάσεις των κρυστάλλων θα εμφανίζονται να έχουν ιδιέταιρες δομές. Οι περιοχές με διαφορετική αντίθεση ανταποκρίνονται σε χωρία στα οποία τα μόρια των υγρών κρυστάλλων αναδιατάσσονται σε διαφορετικές

διευθύνσεις. Εντός όμως συγκεκριμένου χωρίου, τα μόρια είναι σε παρόμοια διάταξη. Οι υγροί κρύσταλλοι γενικά, μπορεί να μην είναι σε υγρή κρυσταλλική φάση.

Οι περισσότεροι υγροί κρύσταλλοι είναι θερμοτρόποι. Επί της ουσίας αυτό σημαίνει πως η διεύθυνση και η αρχιτεκτονική των μορίων τους επηρεάζεται από την θερμοκρασία. Κατά συνέπεια και η υγρή κρυσταλλική τους φάση προκύπτει σε συγκεκριμένο θερμοκρασιακό εύρος μεταξύ της στερεάς και της υγρής φάσης.



Εικ. Μεταβολή των μοριακών φάσεων συναρτήσει της θερμοκρασίας

1.2 Κατηγορίες υγρών κρυστάλλων

Οι διάφορες υγροκρυσταλλικές φάσεις (καλούνται και μεσοφάσεις) μπορούν να χαρακτηριστούν από τον τύπο της διάταξης των μορίων τους. Ο διαχωρισμός μπορεί να γίνει βάση της γεωμετρικής διάταξης των μορίων τους (σε σχέση κυρίως με τον προσανατολισμό) ή ακόμα και με βάση της μορφής των μορίων σχετικά με το μήκος τους ή τις μεταξύ τους αποστάσεις. Στην πλειονότητά τους οι θερμοτρόποι υγροί κρύσταλλοι παρουσιάζουν μια ισότροπη φάση όταν βρίσκονται σε υψηλές θερμοκρασίες. Η θέρμανση τελικά προκαλεί στους υγρούς κρυστάλλους μια συμβατική υγρή φάση η οποία χαρακτηρίζεται από ισοτροπικότητα και τυχαιότητα στην διάταξη των μορίων τους και εμφανίζεται τυπική συμπεριφορά στην ρευστότητα τους όμοια με αυτή των υγρών. Κάτω από διαφορετικές συνθήκες (λ.χ. χαμηλές θερμοκρασίες) ένας υγρός κρύσταλλος μπορεί να παρουσιάζει μία ή περισσότερες φάσεις με σημαντική ανισοτροπικότητα αναφορικά με την μοριακή του δομή.

Η διάταξη των ρευστών κρυσταλλικών φάσεων μελετάται σε μοριακό επίπεδο. Αυτή η διάταξη επεκτείνεται σε όλοκληρο το πεδίο το οποίο μπορεί να είναι τάξης μεγέθους μικρομέτρων, αλλά συνήθως δεν υπερβαίνει την μακροσκοπική κλίμακα όπως συνήθως συμβαίνει στα κλασσικά κρυσταλλικά στερεά σώματα. Οστόσο μέσω κάποιων συγκεκριμένων τεχνικών, όπως η εφαρμογή ηλεκτρικού πεδίου, δύναται να προκληθεί εξαναγκασμένη διάταξη μορίων σε ένα δείγμα μακροσκοπικού υγρού κρυστάλλου. Η προσανατολισμένη διάταξη ενός υγρού κρυστάλλου μπορεί να

εντοπίζεται κατά τη μία μόνο διάσταση ,με το υλικό να είναι ουσιαστικά αταξικό κατά τις δύο άλλες διαστάσεις του χώρου.

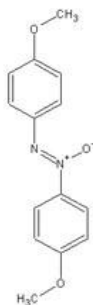
Θερμοτρόποι υγροί κρύσταλλοι.

Οι θερμοτροπικές φάσεις είναι αυτές οι οποίες προκύπτουν σε ένα συγκεκριμένο θερμοκρασιακό εύρος. Αν η θερμοκρασία γίνει πολύ υψηλή, η θερμική φόρτιση θα καταστρέψει την μοριακή δομή της υγροκρυσταλλικής φάσης, αναγκάζοντας ουσιαστικά το υλικό να μεταβεί στη συμβατική ισοτροπική υγρή φάση. Σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες αντίστοιχα, η πλειονότητα των υγροκρυσταλλικών υλικών, παρουσιάζει τις ιδιότητες ενός συμβατικού κρυστάλλου. Οι θερμοτροπικοί υγροί κρύσταλλοι παρουσιάζουν ποικιλία φάσεων συναρτήσει της θερμοκρασιακής μεταβολής. Για παράδειγμα, ένας συγκεκριμένος τύπος υγροκρυσταλλικού μορίου (καλείται mesogen) μπορεί να μεταβαίνει από ποικίλες σμεκτικές, νηματικές και τελικά ισοτροπικές φάσεις, καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται.

Οι χοληστερινικοί υγροί κρύσταλλοι λέγονται θερμοτρόποι καθώς η γωνία στροφής των μορίων τους είναι σε άμεση συνάρτηση με την θερμοκρασία του περιβάλλοντος στο οποίο βρίσκονται. Ουσιαστικά το χρώμα τους επηρεάζεται από την γωνία στροφής των μορίων τους επομένως το χρώμα είναι μια καθαρή ένδειξη θερμοκρασίας και για αυτό υλοποιούνται ως θερμοδείκτες-θερμόμετρα. Υγροκρυσταλλικά συστήματα μεταβλητού χρώματος χρησιμοποιούνται σε ενυδρεία ως θερμοκρασιακοί δείκτες, θερμαινόμενες πισήνες-δεξαμενές όπως και σε κοιτήδες νεογνών για να προσδιορίζεται άμεσα η θερμοκρασία των χώρων αυτών ως χρωματική ένδειξη. Κάποιοι υγροί κρύσταλλοι αλλάζουν χρώμα όταν υπόκεινται σε διαμητικές τάσεις. Αυτοί οι κρύσταλλοι εφαρμόζονται άμεσα στη βιομηχανία κατά τον έλεγχο ποιότητας για να αναδειξουν επικίνδυνα σημεία ως προς την αντοχή των υλικών ή να αποκαλύψουν την ροή θερμότητας διά μεσω συγκεκριμένων υλικών, να μετρήσουν την κατανομή παραμενουσών τάσεων και ούτω καθεξής. Οι υγροί κρύσταλλοι επίσης ψεκάζονται σε επιφάνειες για τον εντοπισμό ηλεκτρικών ατελειών σε ανάλυση κινδύνου καταστροφής στη βιομηχανία ημιαγωγών.

Υγροκρυσταλλικές φάσεις

Νηματική φάση



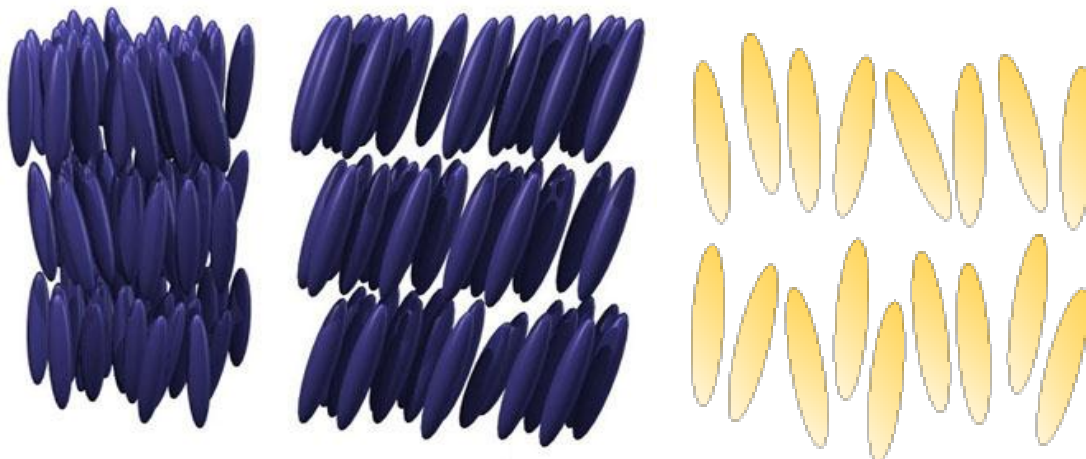
Εικ. Μόρια νηματικών υγρών κρυστάλλων

Η πιο διαδεδομένη υγροκρυσταλλική φάση είναι η νηματική φάση ,ορισμός που προέρχεται από την ελληνική λέξη νήμα.Ο ορισμός αυτός προέκυψε από την νηματοειδή μορφή των μορίων της φάσης αυτής στην οποία περιέχονται γεωμετρικές ατέλειες.Οι νηματικοί υγροί κρύσταλλοι φέρουν κυλινδρικά ή καλαμιτικά οργανικά μόρια,τα οποία δεν έχουν γεωμετρική τάξη αλλά προσανατολίζονται μεταξύ τους κατά τον εγκάρσιο άξονα σε σχετική παραλληλία.Επομένως,τα μόρια τους ρέουν ελεύθερα,με τα κέντρα μαζών των μορίων τους να είναι τυχαία διασκορπισμένα όπως στα ρευστά,αλλά με τα μόρια σε παραλληλία ως προς τον εγκάρσιο άξονα κατά την μεγάλη τους διάσταση.Η πλειοψηφία των νηματικών είναι μονοαξονική,έχουν δλδ έναν άξονα αρκετά μεγάλο με τους άλλους δύο να είναι πολύ μικρότεροι και ισομήκεις όπως περιπου οι κύλινδροι ή οι ράβδοι.

Ωστόσο ,μερικοί υγροί κρύσταλλοι είναι διαξονικά νηματοειδής,που σημαίνει ότι επιπρόσθετα με την διάταξη εν παραλλήλω κατά τον διαμήκη άξονα εμφανίζουν και παραλληλία κατά έναν δευτερεύων άξονα.Οι νηματοειδής έχουν ρευστότητα εφάμιλλη με των ισοτρόπων ρευστών αλλά μπορούν εύκολα να παρουσιάσουν ευθυγράμμιση στα μόρια τους με την εφαρμογή μαγνητικού ή ηλεκτρικού πεδίου.Οι ευθυγραμμισμένοι νηματοειδής φέρουν τις οπτικές ιδιότητες των μονοαξονικών κρυσταλλικών δομών ,χαρακτηριστικό που τους προσδίδει μεγάλη χρησιμότητα κατά την εφαρμογή τους σε οθόνες υγρών κρυστάλλων.

Σμηγματική φάση

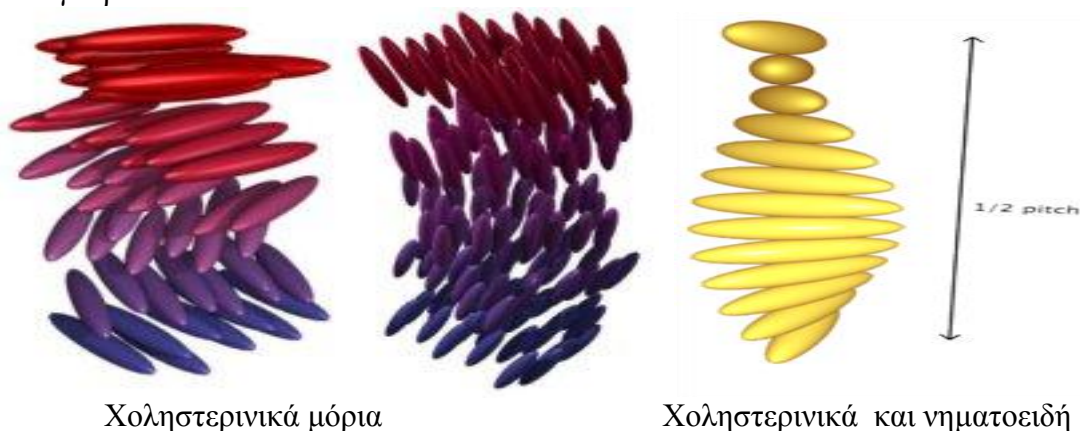
Κατά τη σμηγματική φάση,η οποία παρουσιάζεται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες από τη νηματοειδή φάση, δημιουργούνται σαφώς διακεκριμένα επίπεδα μορίων τα οποία ρέουν το ένα ως προς το άλλο όπως περίπου συμβαίνει στα μόρια ενός σαπουνιού.Οι σμηγματικοί παρουσιάζουν προσανατολισμό μορίων κατά μία συγκεκριμένη κατεύθυνση.Στην σμηγματική κατάσταση εμφανίζονται δύο διατάξεις μορίων,η Α και η Β φάση.Αυτές οι φάσεις προσομοιάζουν την λειτουργία των υγρών μεταξύ των μορίων τους.Υπάρχουν πολλές κατηγορίες σμηγματικών φάσεων με διαφορετικά χαρακτηριστικά διάταξης και προσανατολισμού των μορίων τους.



Σμηγματική διάταξη Α Σμηγματική διάταξη Β Μόρια σμηγματικών κρυστάλλων

Χοληστερινική - Chiral φάση

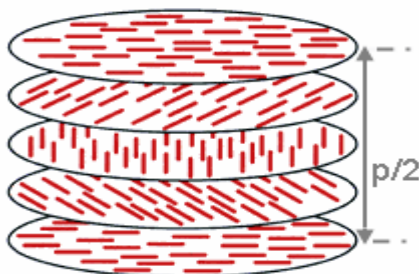
Η chiral-νηματοειδής φάση χαρακτηρίζεται από αμφιχειρία. Η φάση συχνά αποκαλείται και ως χοληστερινική επειδή ιστορικά εντοπίστηκε πρώτη φορά σε παράγωγα χοληστερίνης. Αυτή η φάση παρουσιάζει μία συστροφή των μορίων της ως προς τον κατάκόρυφο άξονα, με τους άξονες των μορίων της σε παραλληλία ως προς τον εγκάρσιο.



Χοληστερινικά μόρια

Χοληστερινικά και νηματοειδή

Η στοιχειώδης γωνία συστροφής μεταξύ των μορίων, οφείλεται στην ασυμμετρικότητα ως προς τη διάταξη αυτών, με αποτέλεσμα να εμφανίζεται μια μακροσκελής χοληστερινική δομή. Καλείται απίσης και σμιγματική C φάση. Η χοληστερινικότητα προκαλεί μια μικρή αζιμουθιακή στροφή μεταξύ των επιπέδων των μορίων με αποτέλεσμα να παρουσιάζεται τελικά μία σπειροειδής διάταξη των μορίων σε σχέση με το επίπεδο.



Εικ. Γωνία συστροφής μεταξύ των επιπέδων των προσανατολισμένων υγροκρυσταλλικών μορίων.

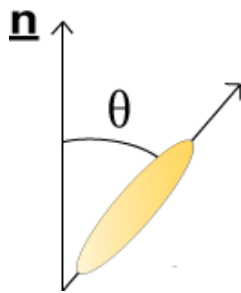
Αυτή ακριβώς η ιδιότητα της περιστροφής σε παράλληλα επίπεδα των μορίων των χοληστερινικών κρυστάλλων τους δίνει μοναδικές οπτικές ιδιότητες κατά τον τρόπο με τον οποίο αντανακλούν και διαθλούν το φως. Αυτή η ιδιότητα έχει καταστήσει τους υγρούς κρυστάλλους τόσο σημαντικούς στον σύγχρονο κόσμο με πάμπολες εφαρμογές σε πολλά πεδία της επιστήμης. Με ανάμιξη χοληστερινικών και νηματοειδών κρυστάλλων παίρνουμε μόρια ελικοειδούς διάταξης. Η απόσταση κατά μήκος του άξονα μεταξύ δύο μορίων με παράλληλα κυρίαρχα διανύσματα καλείται βήμα του υγρού κρυστάλλου pitch και συμβολίζεται με το Αγγλικό γράμμα p .

1.3 Διάθλαση του φωτός μέσω υγρών κρυστάλλων

Τα υγροκρυσταλλικά μόρια όπως αναφέραμε είναι ραβδοειδούς μορφής, μακροσκελή και φέρουν ένα σκληρό εννιαίο κέντρο το οποίο τους επιτρέπει να διατηρούν το σχήμα τους. Επειδή τα άκρα των μορίων τους είναι εύκαμπτα

,επιτρέπεται η μεταξύ τους κίνηση-πλεύση ,δηλαδή μπορεί να ρέει το ένα ως προς το άλλο με σχετική ευκολία.Επιπρόσθετα υπάρχουν υγροί κρύσταλλοι με μόρια δισκοειδούς μορφής τα οποία εμφανίζουν την ίδια πλευστότητα όπως και τα ραβδοειδή.

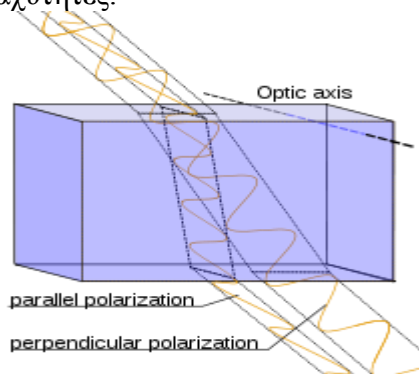
Δεδομένου του ραβδοειδούς σχήματος τα υγροκρυσταλλικά μόρια παρουσιάζουν ισχυρότερες ελκτικές δυνάμεις όταν βρίσκονται σε μεταξύ τους παραλληλία.Όταν είναι σε παραλληλία μεταξύ τους δείχνοντας ως προς μία συγκεκριμένη κατεύθυνση μπορούμε να ορίσουμε ένα κυρίαρχο διάνυσμα οδηγό , το διάνυσμα \underline{n} .



Η γωνία μεταξύ του κυρίαρχου διανύσματος και ενός μορίου είναι μια ένδειξη της τάξης ή της αταξίας του συστήματος και βάση του τύπου που ακολουθεί ορίζεται η παράμετρος τάξης από την σχέση :

$$\text{order parameter } Q = \frac{3\langle \cos^2 \theta \rangle - 1}{2}$$

Οι υγροί κρύσταλλοι παρουσιάζουν το φαινόμενο της διπλής διάθλασης.Όταν διέρχεται μία ακτίνα φώτος μέσα από ένα υγροκρυσταλλικό μόριο επί της ουσίας διαχωρίζεται σε δύο ακτίνες οι οποίες ταξιδεύουν μέσα από το μόριο με διαφορετικές ταχύτητες.



Το άμμεσο φως αποτελείται από ένα παράλληλο και κάθετο άξονα πόλωσης και καλείται μη πολωμένο.Ο οπτικός άξονας είναι κάθετος σε σχέση με την κάθετη συνιστώσα του άμμεσου φωτός έτσι ώστε η πολωμένη παράλληλη δέσμη ως προς τον άξονα να παρουσιάζει μεγαλύτερο δείκτη διάθλασης σε σχέση με την κάθετη πολωμένη συνιστώσα. Αυτή η διπλή διαθλαστικότητα μπορεί να είναι θετική ή αρνητική ανάλογα με το υλικό στο οποίο αναφερόμαστε.Η πόλωση του αργού ή ανάλογα του γρήγορου κύμματος είναι παράλληλη με τον οπτικό άξονα όταν η διπλή διαθλαστικότητα του κρυστάλλου είναι θετική ή αρνητική αντίστοιχα.Η διπλή διαθλαστικότητα και τα σχετικά οπτικά φαινόμενα όπως ο κυκλικός διχρωσμός μπορούν να μετρηθούν υπολογίζοντας την

αλλαγή στην πόλωση του φωτός όταν αυτό διέρχεται μέσα από υλικά που έχουν τέτοιες ιδιότητες αλληλεπίδρασης. Αυτός ο τομέας της οπτικής καλείται πολωμετρία.

1.4 Εφαρμογές υγρών κρυστάλλων

Οι υγροί κρύσταλλοι τυγχάνουν ευρείας εφαρμογής σε πάρα πολλά πεδία, κυρίως λόγω των οπτικών τους ιδιοτήτων χρησιμοποιούνται σε συσκευές οπτικής φύσεως, όπως εν παραδείγματι οι οθόνες υγρών κρυστάλλων. Με την χρήση συγκεκριμένων υδροκρυσταλλικών ενώσεων και παρουσία μαγνητικού ή ηλεκτρικού πεδίου υλοποιούντε οθόνες απεικόνισης. Σε μία τυπική οθόνη υγρών κρυστάλλων, ένα φύλλο υγρών κρυστάλλων περί τα 10 μ m τοποθετείται μεταξύ δύο πολωτών οι οποίοι βρίσκονται σε γωνία 90 μοιρών μεταξύ τους. Ο προσανατολισμός των υγρών κρυστάλλων επιλέγεται να είναι τέτοιος ώστε η φάση χαλάρωσης να συμπίπτει με την φάση της συστροφής. Η φάση της συστροφής αλληλεπιδράει με το διερχόμενο φως από τον πρώτο σε σειρά πολωτή και εν συνεχεία διέρχεται από τον δεύτερο πολωτή για να καταλήξει τελικά στο οπτικό νεύρο του ανθρώπου που βρίσκεται μπροστά από το μονιτορ.

Με την προσθήκη ηλεκτρομαγνητικού πεδίου στο φύλλο των υγρών κρυστάλλων, οι άξονες των υδροκρυσταλλικών μορίων τείνουν να προσανατολιστούν παράλληλα στις γραμμές του πεδίου. Σε αυτή τη φάση το φύλλο κρυστάλλων δεν διαθλάει το διερχόμενο φως, οπότε το πολωμένο φως που εκπέμπει ο πρώτος πολωτής απορροφάται από τον δεύτερο πολωτή και η διάταξη χάνει την διαφάνεια της με αύξηση της τάσης του ηλεκτρικού πεδίου. Με αυτόν τον μηχανισμό, ρυθμίζοντας την τάση μπορούμε να έχουμε έναν διακόπτη σε επίπεδο πιξελ αναφορικά με την διαφάνεια και την αδιαφάνεια κατά βούληση. Τα έγχρωμα μονιτορ υγρών κρυστάλλων υλοποιούν την ίδια τεχνική και με την προσθήκη έγχρωμων φίλτρων αναπαράγουν τα τρία κυρίαρχα χρώματα RGB.

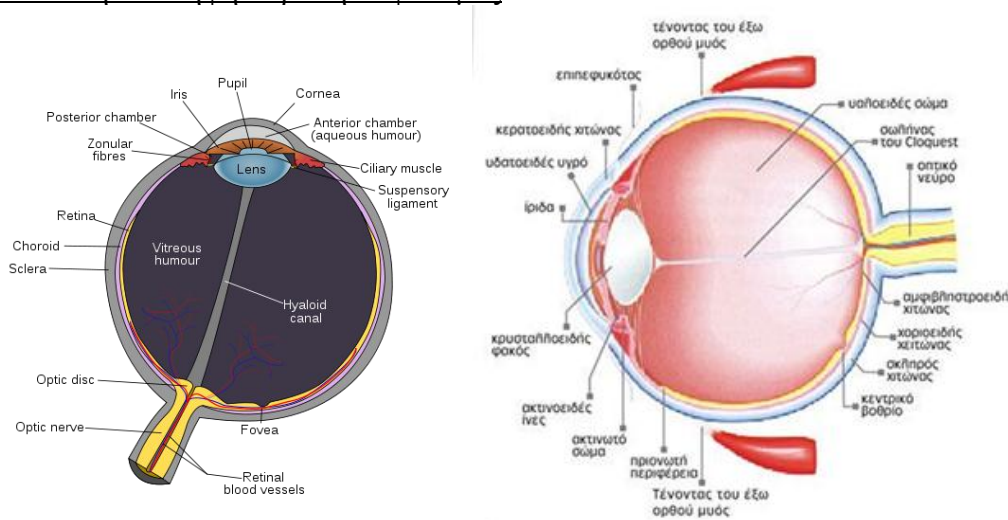
Παράλληλα, πλήθως εφαρμογών αφορά ερευνητικούς σκοπούς αφού οι ιδιότητες των υγρών κρυστάλλων συναρτήσκει της θερμοκρασίας οπτικοποιούν μία πλειάδα φαινομένων. Χαρακτηριστική τεχνική είναι η χρωματογραφία υγρών κρυστάλλων, τεχνική την οποία υλοποιήσαμε στην παρούσα διπλωματική με χρήση υγρών κρυστάλλων, καταγραφικού εξοπλισμού εικόνων πραγματικού χρώματος και επεξεργασία αυτών με μαθηματικό λογισμικό ούτως ώστε να αποφανθούμε για την κατανομή του τοπικού συντελεστή συναγωγιμότητας επί της διάταξης μας.

2. ΧΡΩΜΑΤΟΜΕΤΡΙΑ

Η χρωματομετρία είναι ο τομέας εκείνος της επιστήμης που περιγράφει και ποσοτικοποιεί τον τρόπο με τον οποίο ο άνθρωπος αντιλαμβάνεται το χρώμα. Είναι εφάμιλη με την φασματοσκοπία και φωτομετρία αλλά διαφέρει στον περιορισμό του φάσματος αντίληψης που σχετίζεται με τις φυσικές συνιστώσες του ανθρώπινου οπτικού νεύρου αναφορικά με το χρώμα.

Η χρωματική αντίληψη είναι η ικανότητα ενός οργανισμού η μηχανής να διαχωρίζει αντικείμενα βάση του μήκους κύματος και της συχνότητας του φωτός το οποίο αντανακλάται στην επιφάνεια τους, εκλύεται ή μεταδίδεται. Τα χρώματα μετρώνται με πολλούς τρόπους και ποσοτικοποιούνται επίσης με πολλούς τρόπους, οστόσο η αντίληψη των χρωμάτων είναι μία υποκειμενική διαδικασία κατά την οποία ο εγκέφαλος και το νευρικό σύστημα ανταποκρίνονται στα ερεθίσματα που προκύπτουν όταν το αντιλαμβανόμενο φως επιδρά με τους κωνικούς φωτοδέκτες που βρίσκονται στον οφθαλμό.

2.1. Οπτική αντίληψη- Όραση- Οφθαλμός



Εικ. Τα τμήματα του ανθρώπινου οφθαλμού

Ο ανθρώπινος οφθαλμός αποτελείται από πάρα πολλά τμήματα τα οποία συντελούν στην όραση. Στο ανθρώπινο μάτι διακρίνονται τρία βασικά τμήματα, ο ινώδης χιτώνας, ο αμφιβληστροειδής και ο αγγειώδης χιτώνας.

Το εξωτερικό περίβλημα του οφθαλμού καλείται ινώδης χιτώνας και έχει αυξημένη σκληρότητα κυρίως για την προστασία του εσωτερικού τμήματος του οφθαλμού. Στην εμπρόσθια όψη του ινώδη χιτώνα έχουμε μία διαφανή μεμβράνη που καλείται κερατοειδής μεμβράνη. Το τμήμα που καλείται αγγειώδης χιτώνας φέρει το ακτινωτό σώμα, την ίριδα και τον χοριοειδή χιτώνα. Στον χοριοειδή χιτώνα γίνεται κυρίαρχα η απορρόφηση των φωτεινών δεσμών από το εξωτερικό περιβάλλον οι οποίες διέρχονται πρώτα από την διαφανή κερατοειδή μεμβράνη του εμπρόσθιου τμήματος του ματιού. Επιπρόσθετα στον χοριοειδή χιτώνα απολήγουν και οι διάφορες αντανάκλασεις που επιτελούνται εντός τους σφαιρικού βολβού του οφθαλμού, αντανάκλασεις οι οποίες σχηματίζουν είδωλα αντικειμένων και αποτυπώνονται επί του αμφιβληστροειδούς χιτώνα.

Στο εμπρόσθιο τμήμα του οφθαλμού έχουμε την ίριδα. Η ίριδα είναι ένας τέλειος φωτοδιακόπτης, καθώς μέσω της κόρης επιτρέπεται η διέλευση του φωτός. Η μεταβλητή διατομή της ίριδας επιτρέπει την μεταβλητή παροχή των φωτεινών

δεσμών του περιβάλλοντος,σε συνθήκες χαμηλής φωτεινότητας διαστέλεται και αυξάνει την εισροή φωτός ενώ σε συνθήκες υψηλής συστέλεται για να μειώσει την έλευση φωτός προστατεύοντας έτσι τον αμφιβληστροειδή χιτώνα.

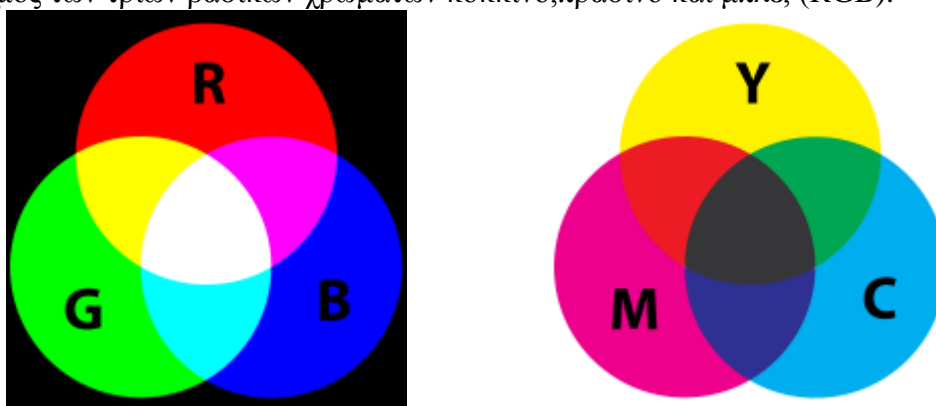
Ο αμφιβληστροειδής χιτώνας αποτελείται από φωτοευαίσθητα κύτταρα.Η σύνθεση του είναι πολύπλοκη καθώς επί της επιφάνειας του εμφανίζονται γάγγλια,διπολικά φωτοκύτταρα και νευρωνικά κύτταρα τα ραβδία και τα κωνία.Τα ραβδία είναι υπεύθυνα για την όραση σε αμυδρό φως, αν και είναι ευαίσθητα σε όλες τις ορατές ακτινοβολίες, περιέχουν μία μόνο χρωστική και δεν μπορούν να διακρίνουν τα χρώματα.Τα κωνία είναι υπεύθυνα για την έγχρωμη και την υψηλής ευκρίνειας όραση. Κάθε κωνίο είναι ευαίσθητο στην ακτινοβολία ενός απ' τα τρία πρωταρχικά χρώματα, κόκκινο, πράσινο ή μπλε σε συνθήκες έντονου φωτισμού.

Όταν οι φωτεινές ακτίνες προσπέσουν στον αμφιβληστροειδή, τα κωνία και τα ραβδία διεγείρονται και παράγουν ηλεκτρικές ώσεις που αποτελούν το έναυσμα για τη δημιουργία περαιτέρω νευρικών ώσεων στα νευρικά κύτταρα, των οποίων αποτελούν αποφυάδες. Οι νευρικές ώσεις μεταδίδονται στον εγκέφαλο μέσω του οπτικού νεύρου. Τα χρωμοφόρα κύτταρα πίσω από τα ραβδία και τα κωνία απορροφούν τις φωτεινές ακτίνες και αποτρέπουν την ανάκλασή τους μέσα στο μάτι.

Δεδομένου λοιπόν ότι στην παρούσα εργασία αξιοποιούνται οι θερμοτρόπες ιδιότητες των υγροκρυσταλλικών υλικών προκειμένου να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με την θερμοκρασιακή κατανομή της θερμαινόμενης πλάκας η αναφορά στην λειτουργία και στην ανατομία του ανθρώπινου οφθαλμού κρίθηκε απαραίτητη.

2.2.Συστήματα χρωματικής αναφοράς

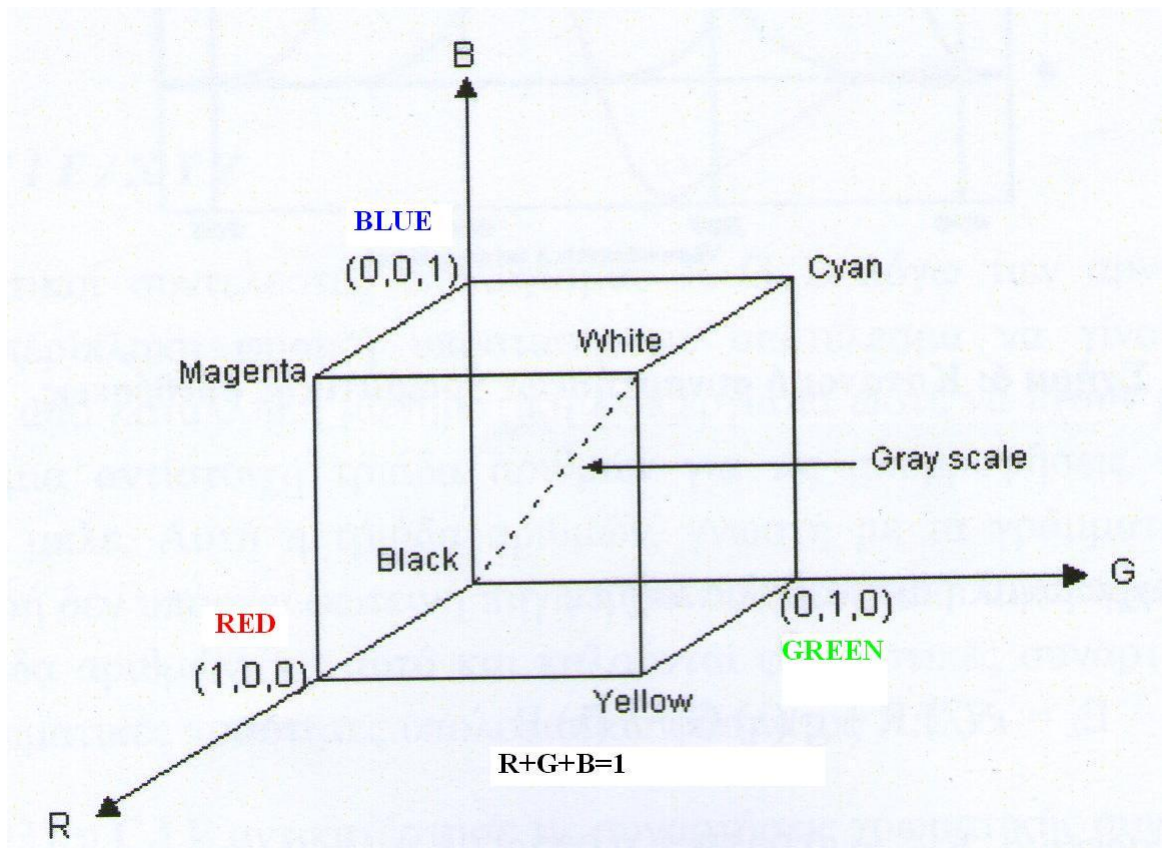
Η χαρακτηριστική ερώτηση αναφορικά με το ποιο είναι το χρώμα του ηλιοβασιλέματος δεν έχει δεδομένη απάντηση. Κάποιοι θα λέγανε πως είναι απλά κόκκινο, άλλοι θα λέγανε βαθύ κόκκινο ή κορεσμένο κόκκινο. Η ποικιλία των απαντήσεων αναδुकνειούν την δυσκολία που προκύπτει σχετικά με την περιγραφή των χρωμάτων. Επιπρόσθετα η πολυπλοκότητα αυξάνει αν σκεφτεί κανείς τους διάφορους τρόπους ορισμού του χρώματος. Το χρώμα συνήθως ορίζεται ως συνδιασμός των τριών βασικών χρωμάτων κόκκινο, πράσινο και μπλε, (RGB).



Τα τρία βασικά χρώματα μπορούν να αναμιχθούν σε οποιοδήποτε συνδιασμό για να αναπαράξουν εκατομμύρια χρώματα στο οπτικό φάσμα. Άλλη μία παραδοσιακή μέθοδος μίξης χρωμάτων, δημοφιλής ανάμεσα στους εκδότες εκτύπωσης με μίξη μελανιών βασίζεται στην μέθοδο μίξης των εξής χρωμάτων, κυανό, κίτρινο, μύβ και μαύρο. Η μέθοδος καλείται και CYMB από τα αρχικά των χρωμάτων αυτών.

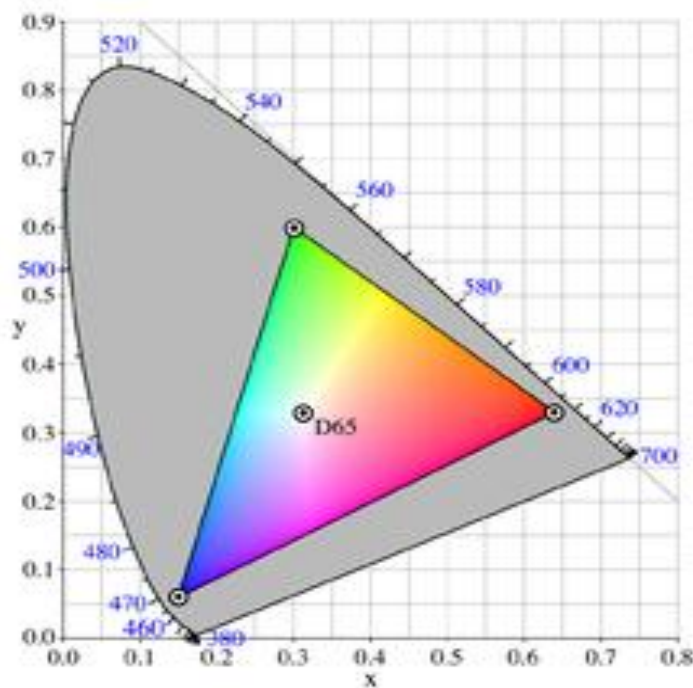
Η επεξεργασία έγχρωμων εικόνων μπορεί να είναι αρκετά πιο εύκολη και γρήγορη αν οι έγχρωμες εικόνες που παίρνουμε από καταγραφικές διατάξεις (όπως μία κάμερα) μετατραπούν ψηφιακά από το σύστημα χρωματικής αναφοράς rgb στο σύστημα χρωματικής αναφοράς hsi. Για να απλοποιήσουμε την διαδικασία επεξεργασίας εικόνων με λογισμικό υπολογιστών, σκεπτόμενοι και ορίζοντας το χρώμα με όρους HSI, προσεγγίζουμε τον τρόπο με τον οποίο εμείς οι άνθρωποι αντιλαμβανόμαστε και κατανοούμε το χρώμα. Το Hue, για παράδειγμα, είναι η ιδιότητα που περιγράφει ένα καθαρό χρώμα, όπως φέρι πιν το καθαρό κόκκινο, το καθαρό κίτρινο, το καθαρό πράσινο, το καθαρό μύβ κλπ ή κάποιο ενδιάμεσο χρώμα μεταξύ αυτών. Επί της ουσίας το hue είναι η τυπική έννοια του όρου όταν κανείς χρησιμοποιεί τον όρο χρώμα. Ο κορεσμός είναι μία άλλη χρωματική ιδιότητα που περιγράφει σε ποιον βαθμό ένα καθαρό χρώμα έχει αναμιχθεί με το άσπρο. Ένα χρώμα πολύ κορεσμένο έχει χαμηλή περιεκτικότητα σε λευκό. Intensity - ένταση είναι μια ουδέτερη ιδιότητα κάθε χρώματος η οποία περιγράφει την σχετική φωτεινότητα η σκοτεινότητα. Η ένταση μιας έγχρωμης εικόνας ανταποκρίνεται στην κλίμακα του γκρι (ασπρόμαυρη) της εικόνας.

Για να μειώσουμε την υποκειμενικότητα στον ορισμό ενός χρώματος η διεθνής επιτροπή l'Éclairage (CIE) διεξήγαγε μια σειρά πειραμάτων στα τέλη του 1920 στα οποία ζητήθηκε από έναν αριθμό ατόμων να αντιστοιχίσουν ένα χρώμα συνδιάζοντας χρώματα μπλε, κόκκινου και πράσινου (rgb). Τα πειράματα είχαν ως αποτέλεσμα την δημιουργία μιας βάσης κανονικοποιημένων χρωμάτων μέσω συναρτήσεων που καθόριζαν το ποσοστό ανάμειξης βασικών χρωμάτων για την δημιουργία του επιθυμητού χρώματος.



Εικ. Διανύσματα RGB

Οι κύριες συνιστώσες του RGB χρησιμοποιήθηκαν για να δημιουργηθεί ένας ισόπλευρος τριγωνικός χάρτης. Το τρίγωνο έχει ως κύριες συνιστώσες τα τρία βασικά χρώματα και εντός αυτού αποκαλύπτεται όλη η γκάμα των χρωμάτων που προκύπτουν με συνδιασμό των τριών βασικών χρωμάτων. Περαιτέρω έρευνα επέκτεινε το τρίγωνο για την δημιουργία ενός κανονικοποιημένου εγχρώμου διαγράμματος στο οποίο ποσοτικοποιούνται τα χρώματα με αντιστοίχιση αριθμών σε αυτά. Το διάγραμμα αυτό, ακόμα σε ισχύ παγκοσμίως, είναι το χρωματικό διάγραμμα του 1931. Μια τροποποίηση του διαγράμματος αυτού αποτελεί το διάγραμμα του 1976 το οποίο αποκαλείται ομογενές χρωματικό σύνολο. Αν και η δημιουργία αυτού του διαγράμματος βασίζεται κυρίως σε συνδιασμούς των κύριων χρωμάτων του RGB εντός του οπτικού φάσματος, το διάγραμμα του 1976 παρέχει μια πολύ καλή απεικόνιση της έντασης και του κορεσμού.



Εικ.Το ομογενές χρωματικό σύνολο του 1976

Οι καθαρές αποχρώσεις των χρωμάτων εμφανίζονται στην περίμετρο του χρωματικού διαγράμματος.Κάθε σημείο της περιμέτρου ανταποκρίνεται σε ένα καθαρό χρώμα, το οποίο είναι 100% κορεσμένο. Ο κορεσμός κάθε επιλεγμένου χρώματος μειώνεται όσο πλησιάζουμε προς τα μέσα απομακρυνόμενοι από την περίμετρο του διαγράμματος και κατευθυνόμενοι ως προς το κέντρο, το οποίο και αντιστοιχεί στο λευκό χρώμα ως συνέπεια της ίσης ανάμιξης κόκκινου πράσινου και μπλέ χρώματος.Κάθε βήμα προς το κέντρο του διαγράμματος αντιστοιχεί σε μείωση του κορεσμού.

Χρωματικά διαγράμματα και ανάλυση εικόνας

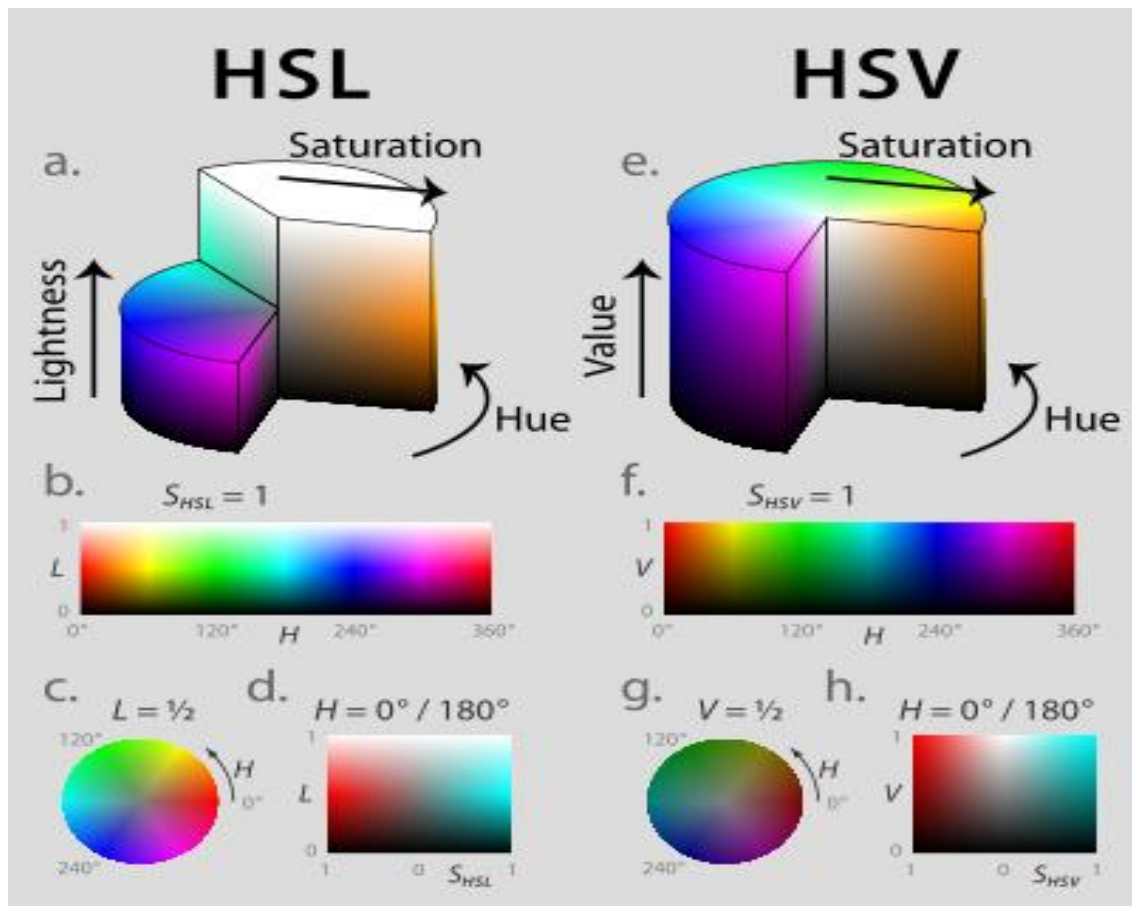
Τα χρωματικά διαγράμματα και μοντέλα συνήθως χρησιμοποιούνται στην ανάλυση σήματος /εικόνας μέσω υπολογιστή σε διάφορα πεδία που προϋποθέτουν ανάλυση εικόνας.Διάφορες εφαρμογές όπως κίνηση ή εντοπισμός αντικειμένου,πχ όραση robot,αναγνώριση αντικειμένου όπως φέρι πιν πρόσωπου,δακτυλικών αποτυπωμάτων,αποκωδικοποίηση κειμένου,ανάλυση ιατρικών εικόνων απο ανάλογα μηχανήματα κλπ είναι μερικά παραδείγματα εφαρμογών στα οποία η ανάλυση σήματος παίζει σημαντικό ρόλο.

Πρόσφατα και με την χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών η επεξεργασία εικόνων μεγάλης ευκρίνειας γίνεται σε πολύ μεγάλη κλίμακα.Οπτικές διαδικασίες επεξεργασίας σήματος,συστήματα επικοινωνίας και αυτοματοποιημένες διαδικασίες επεξεργασίας εικόνας είναι τα κύρια πεδία εφαρμογής τεχνικών με χρήση υπολογιστή.Ίσως τα πιο ενδιαφέροντα πεδία επεξεργασίας είναι αυτά που υλοποιούν ανάκτηση εικόνας και εμπλούτιση εικόνας χαμηλής πληροφορίας.Στην παρούσα μελέτη γίνεται ανάλυση εικόνας πραγματικού χρώματος rgb ,μετατροπή αυτής στο σύστημα χρωματικής αναφοράς hsn και επεξεργασία των αποτελεσμάτων με χρήση του μαθηματικού λογισμικού Matlab.

Συστήματα χρωματικής αναφοράς HSL & HSV

Τα συστήματα HSL και HSV είναι τα ποιο διαδεδομένα συστήματα χρωματικής αναφοράς και βασίζονται πάνω στο RGB μοντέλο. Είναι κυλινδρικής απεικόνισης συστήματα και επί της ουσίας αποτελούν μία αναδιάταξη του rgb αναφορικά με την καρτεσιανή συνιστώσα. Αναπτύχθηκαν την δεκαετία του 70 για εφαρμογές γραφικών μέσω υπολογιστή και χρησιμοποιούνται πλέον ευρέως σαν εργαλεία σε πακέτα επεξεργασίας εικόνας και λιγότερο σε πακέτα ανάλυσης εικόνας όπως και στην οπτική απεικόνιση εφαρμογών υπολογιστών.

Τα αρχικά HSL προκύπτουν από τις συνιστώσες hue, saturation, lightness δηλ χρώμα κορεσμός και φωτεινότητα. Τα αρχικά HSV προκύπτουν από τις συνιστώσες hue, saturation, value δηλ χρώμα κορεσμός και αξία. Ένα τρίτο μοντέλο, κοινό σε εφαρμογές που σχετίζονται με γραφικά υπολογιστών είναι το HSI με συνιστώσες hue, saturation και intensity (ένταση). Δυστυχώς ενώ τα χρωματικά μοντέλα είναι τυπικά επαναλαμβανόμενα στην παγκόσμια βιβλιογραφία, αυτοί οι ορισμοί δεν είναι κανονικοποιημένοι.



Εικ.Κυλινδρικά χρωματικά συστήματα αναφοράς HSL και HSV

3.ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ

Η αεροδυναμική σήραγγα του τομέα ρευστών ΕΜΠ



Εικ.Η αεροδυναμική σύραγγα

Τα πειράματα της παρούσας διατριβής γίνανε στην μικρή αεροσήραγγα του τομέα ρευστών της σχολής μηχανολόγων μηχανικών εμπ.Η συγκεκριμένη αεροσήραγγα επί της ουσίας φέρει ένα συμπιεστή αξονικού τύπου, διαθέτει περιστροφικό στρόφαλο για την ρύθμιση των στροφών της και δύναται να παράξει ρεύμα αέρα ταχύτητας από 2 έως 20 m/s.Η σήραγγα κατασκευάζεται από την εταιρεία Neonent ,είναι ισχύος 7.5 hp δύναται να αναπτύξει στροφές έως 2910 rpm και έχει ωφέλιμη ολική πίεση 70kp/m^2



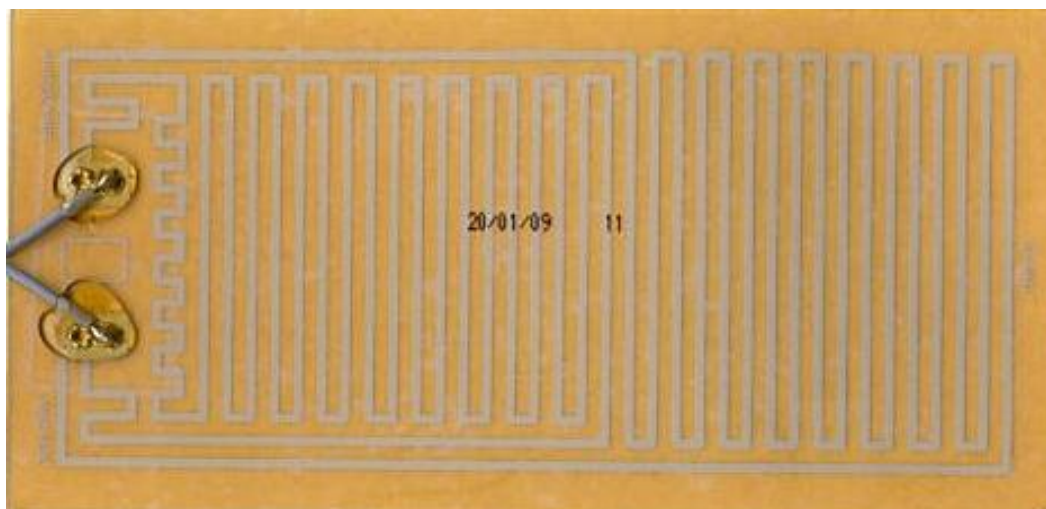
Εικ. Συμπιεστής αεροδυναμικής σήραγγας αξονικού τύπου

Επιλέξαμε χαμηλές ταχύτητες περιστροφής του συμπιεστή της σήραγγας προκειμένου να έχουμε σχετικά χαμηλές ταχύτητες ροής του ρεύματος ψύξης ούτως ώστε να αποφύγουμε έντονα ροϊκά φαινόμενα. Στο σημείο καταγραφής του πειράματος έχουμε τοιχώματα από πλεξιγκλας. Το συγκεκριμένο τμήμα της σήραγγας φέρει διατομή 400mm x 225 mm και έχει μήκος 1.5 m .



Εικ. Θέση καταγραφής, τοιχώματα από πλεξιγκλας και πηγή φωτός

Η θερμαινόμενη πλάκα



Η θερμαινόμενη πλάκα επί της ουσίας είναι μία πλαστικοποιημένη θερμική αντίσταση με την μορφή σερπαντίνας προκειμένου να έχουμε όσο το δυνατόν ομοιόμορφη θερμική διάχυση. Η πάνω πλευρά της πλάκας φέρει θερμοαγώγιμη πάστα στην οποία εφαρμόσαμε ένα λεπτό φύλλο αλουμινίου πάχους 50μm.



Εικ. Φύλλο αλουμινοταινίας με θερμοαγώγιμη κολλητική επιφάνεια

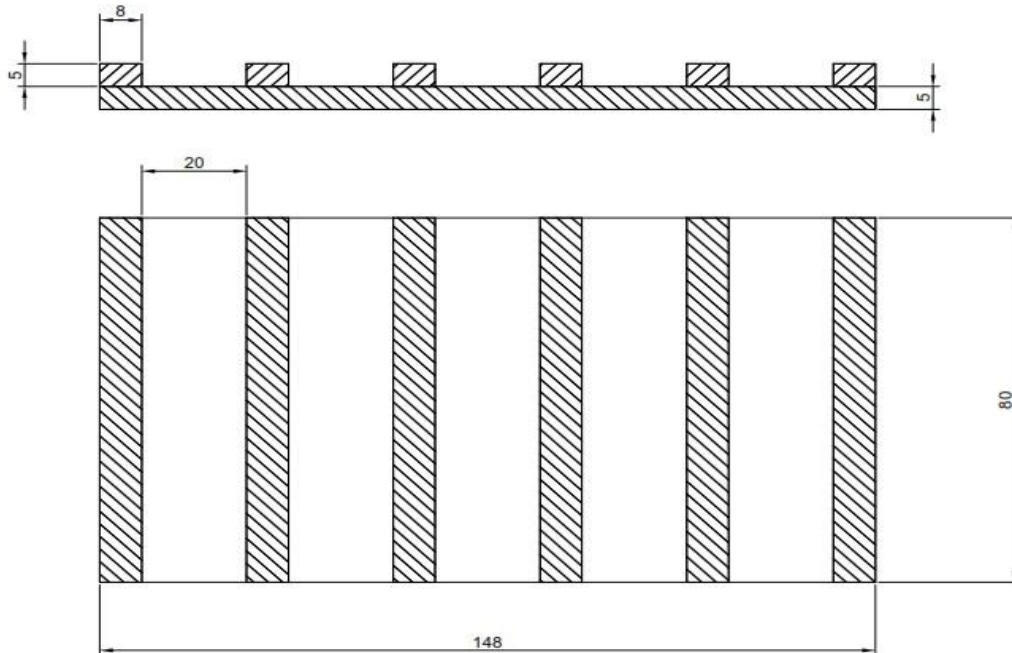
Από την κάτω πλευρά της πλάκας έχουμε ένα στρώμα φελιζόλ πάχους 20mm το οποίο έχει ελάχιστη θερμική αγωγιμότητα και στις αναλύσεις μας θεωρείται αδιαβατικό.



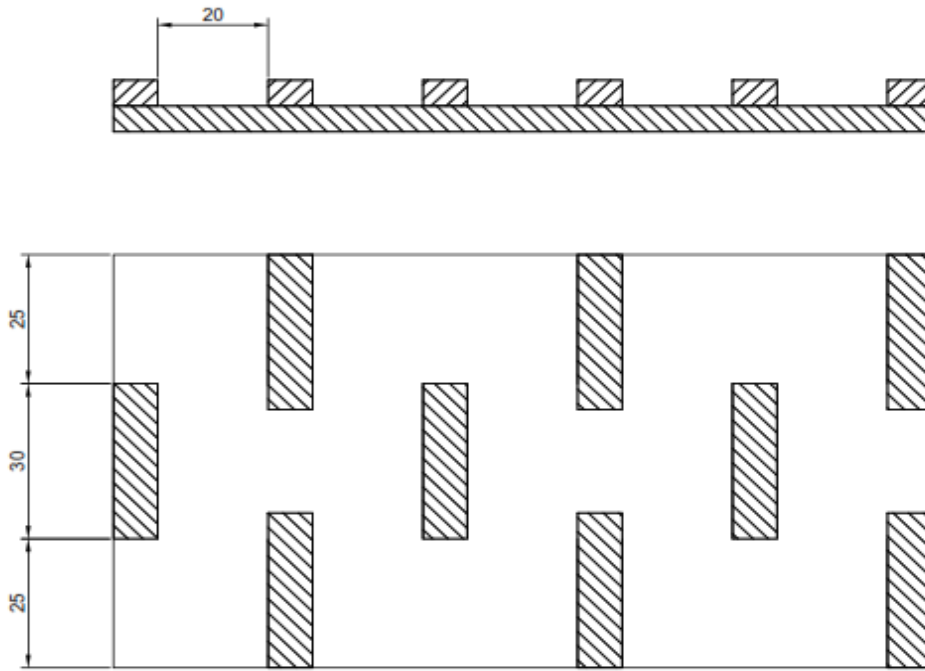
Εικ. Θερμαινόμενη πλάκα επικαλυμμένη με φύλλο υγρών κρυστάλλων και διάταξη ξύλινων εμποδίων

Η πλάκα έχει διαστάσεις μήκους 200 mm και πλάτος 100 mm. Η πλάκα είναι δυναμικότητας έως 20 watt 24v/0,8A, απαιτεί είσοδο συνεχούς ρεύματος και δεδομένου ότι εφαρμόζουμε κατά βούληση την τάση εισόδου ρυθμίζουμε αναλόγως και την ροή θερμότητας από την πλάκα προς το περιβάλλον. Στα πειράματα που διεξήχθησαν καταγράψαμε μεγάλο τμήμα της πλάκας και όχι ολόκληρη την πλάκα λόγω περιορισμών του συστήματος του φακού της κάμερας λήψης ccd.

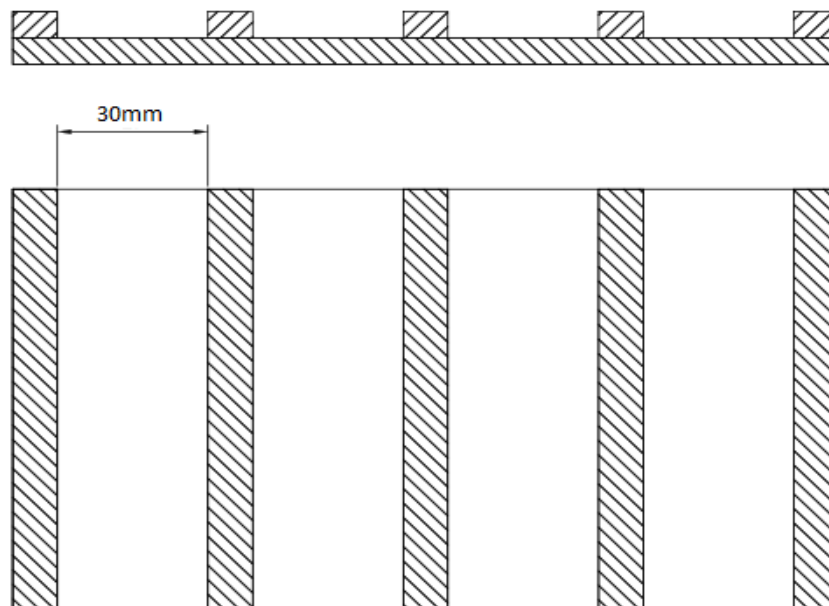
Παρακάτω βλέπουμε το σκαρίφημα της πλάκας και των εμποδίων όπως υλοποιήθηκαν στην συγκεκριμένη εργασία στις τέσσερις περιπτώσεις γεωμετρίας που εξετάσαμε.



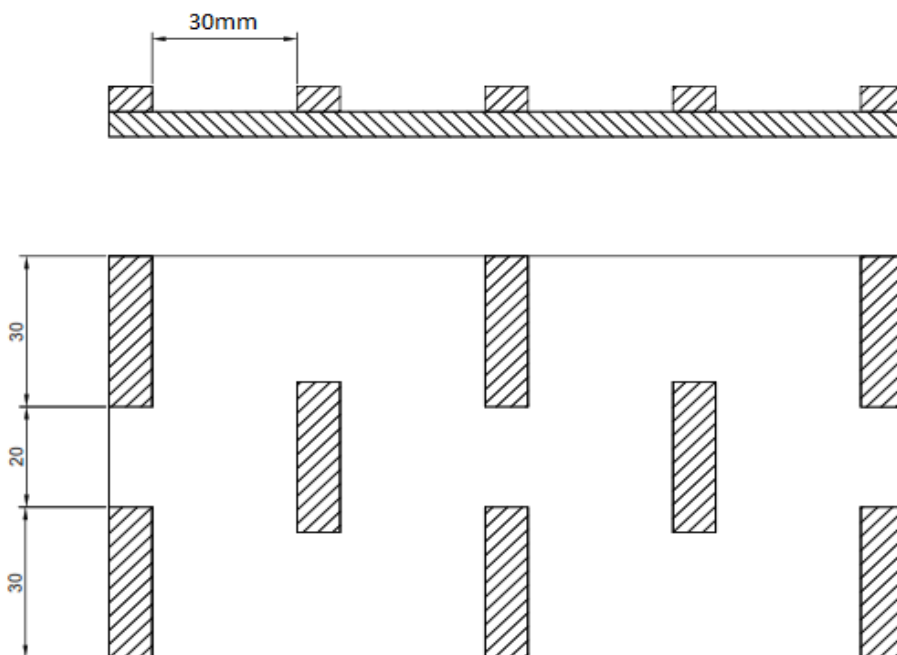
Εικ. Σκαρίφημα πλάκας με εμποδία εννιαία ,Διάταξη Α.Λόγος Ύψους προς απόσταση 1/4



Εικ. Σκαρίφημα πλάκας με διακεκομένα εμπόδια ,Διάταξη Γ.Λόγος ύψους προς απόσταση 1/4



Εικ. Σκαρίφημα πλάκας με εννιαία εμπόδια ,Διάταξη Β.Λόγος ύψους προς απόσταση 1/6

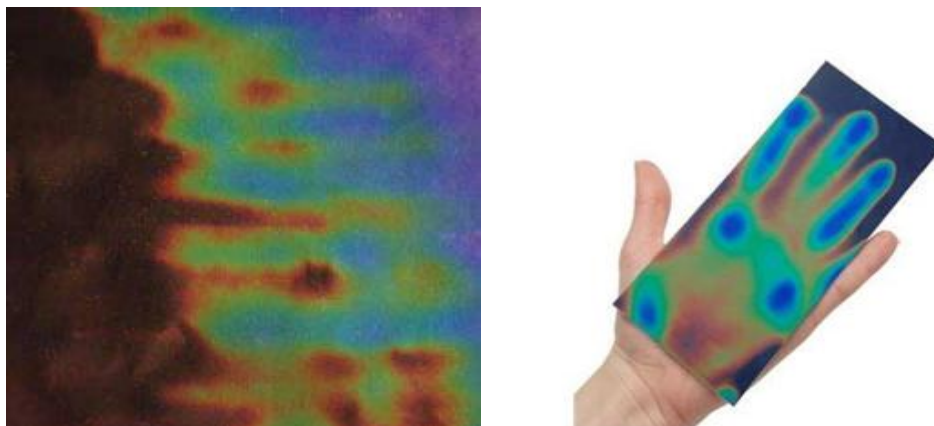


Εικ.Σκαρίφημα πλάκας με διακεκομμένα εμπόδια ,Διάταξη Δ.Λόγος ύψους προς απόσταση 1/6

Στον παρακάτω πίνακα βλέπουμε την συσχέτιση τάσης έντασης και επομένως της ηλεκτρικής ισχύος,όπως καταγράφηκε από δύο ψηφιακά πολύμετρα ακριβείας κατά τη διάρκεια των πειραμάτων:

Τάση (Volt)	Ένταση (A)	Ηλεκτρική Ισχύς (Watt)
1	0.03	0.03
1.5	0.04	0.06
2	0.06	0.12
2.5	0.08	0.2
3	0.09	0.27
3.5	0.11	0.385
4	0.13	0.52
4.5	0.14	0.63
5	0.16	0.8
5.5	0.18	0.99
6	0.20	1.2
6.5	0.21	1.365
7	0.23	1.61
7.5	0.24	1.8
8	0.26	2.08
8.5	0.27	2.295
9	0.29	2.61
9.5	0.31	2.945
10	0.32	3.2
10.5	0.34	3.57
11	0.36	3.96
11.5	0.37	4.255
12	0.39	4.68
12.5	0.41	5.125
13	0.42	5.46

Το φύλλο υγρών κρυστάλλων



Εικ. Τυπική εικόνα φύλλου υγρών κρυστάλλων με την τεχνική της ενθυλάκωσης

Τύπος R30C5W . Κατασκευαστής Hallcrest

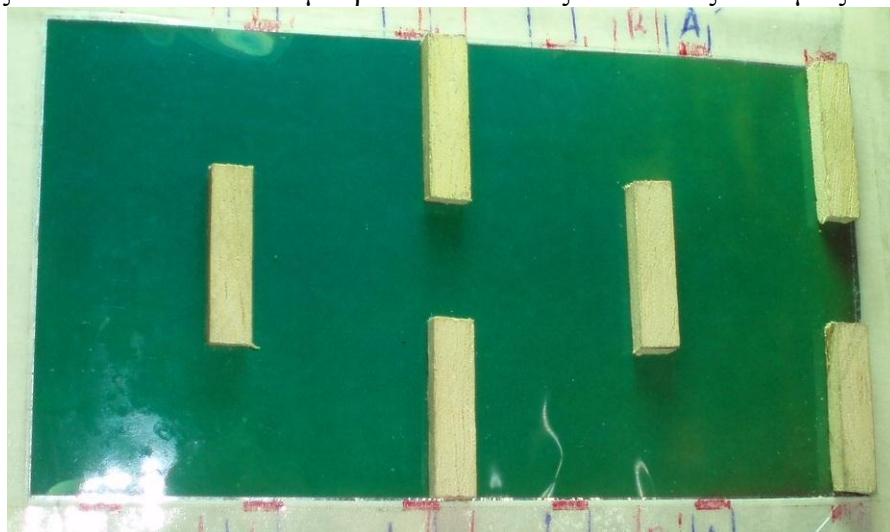
Έναρξη Κόκκινου 29-30 °C

Έναρξη Πράσινου 31-32 °C

Έναρξη Μπλε 35-36 °C

Βαθύ Κυανό 38+ °C

Το φύλλο υγρών κρυστάλλων που χρησιμοποιήθηκε βασίζεται στην τεχνική της ενθυλάκωσης των κρυστάλλων εντός πολυεστερικού φιλμ. Το πλεονέκτημα του τύπου αυτού είναι πως οι υγροί κρύσταλλοι διατηρούνται σε προστατευτική ατμόσφαιρα εντός του πολυεστέρα οπότε δύναται να επαναληφθούν αρκετά πειράματα με το ίδιο φύλλο δίχως να επέρχεται σοβαρή μεταβολή των ιδιοτήτων αυτού. Το φύλλο είναι πάχους 175-225 microns και μπορεί να κοπεί στις διαστάσεις που εμείς θέλουμε.



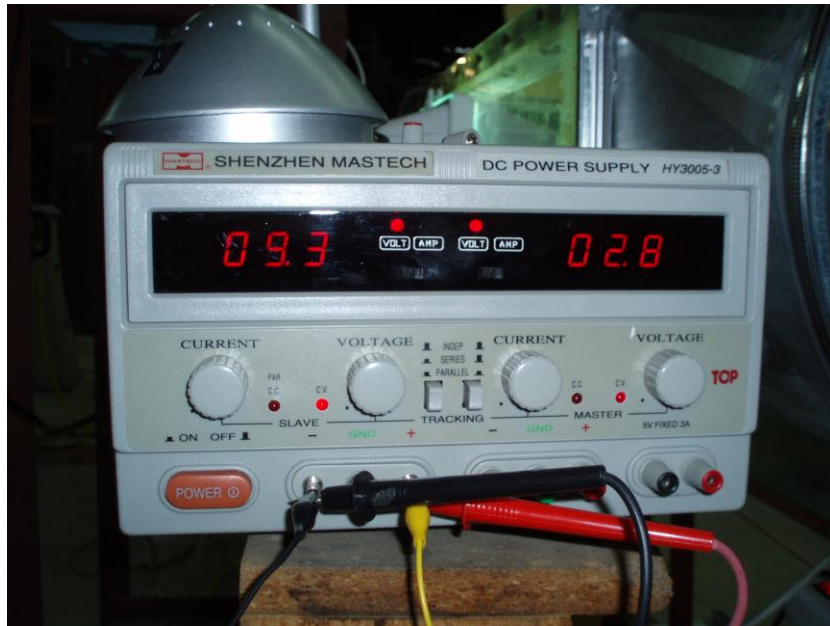
Εικ. Φύλλο υγρών κρυστάλλων και εικόνα πραγματικού χρώματος μετά διακεκομένων εμποδίων

Το πραγματικό θερμοκρασιακό εύρος των κρυστάλλων είναι μεταξύ 30-35 °C γεγονός που μας εξυπηρετούσε αναφορικά με την θερμοκρασία περιβάλλοντος τον μήνα Ιούλιο (περί τους 27 °C τις ημέρες που διεξήχθησαν τα πειράματα) και

δεδομένου ότι επιδιώξαμε σχετικά χαμηλές ταχύτητες ροής έπρεπε να εφαρμόσουμε και ανάλογα σχετικά χαμηλή ροή θερμικής ισχύος διά της πλάκας.

Ανοχές της σειράς C5W, Έναρξη κόκκινου σε $\pm 1^{\circ}\text{C}$ με εύρος $\pm 1^{\circ}\text{C}$
Χρόνος απόκρισης της σειράς C5W: 50-200ms σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος 15 to 25°C

Το τροφοδοτικό



Εικ. Τροφοδοτικό DC

Το τροφοδοτικό μας είναι μεταβλητής τάσης και έντασης με περιστροφικούς ρυθμιστές ακριβείας ,παρέχει συνεχή έξοδο DC ενώ η είσοδος του είναι 220 volt AC και 50 Hz.

Πολύμετρα



Εικ. Ψηφιακό πολύμετρο ακριβείας

Συνδέουμε δύο πολύμετρα ένα σε σειρά με την αντίσταση για να εξάγουμε σε πραγματικό χρόνο την ένταση και ένα παράλληλα με αυτή για να εξάγουμε σε πραγματικό χρόνο την τάση που δίδουμε στην πλάκα ούτως ώστε να έχουμε σαφή δεδομένα για την ηλεκτρική ισχύ τροφοδοσίας αυτής και κατά συνέπεια την ροή θερμότητας από την αντίσταση. Τα πολύμετρα που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα μοντέλα Protec 506
DC Accuracy $\pm(0.5\% \text{ Rdg} + 2d)$

Διάταξη μέτρησης θερμοκρασίας πλάκας



Εικ. Διάταξη μέτρησης θερμοκρασίας με probe συνδεδεμένο στο μέσο της πλάκας

Καμερα λήψης και frame grabber



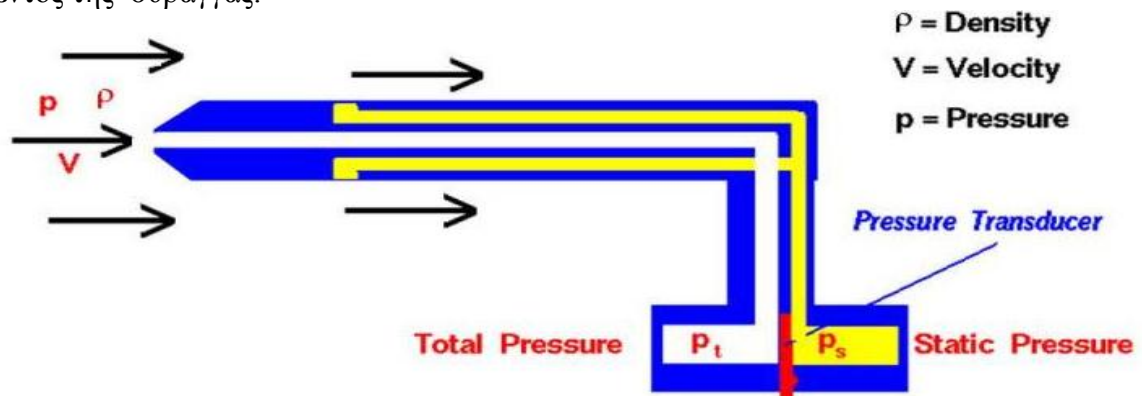
Εικ. Καμερα καταγραφής ccd



Αναλογικο-ψηφιακός μετατροπέας

Μετρητική διάταξη δυναμικής πίεσης με σωλήνα Pitot

Η διάταξη Pitot μας δίνει μία καλή ένδειξη της ταχύτητας του ρεύματος του αέρα εντός της σύραγγας.



Με την οπή του σωλήνα παράλληλα ως προς το ρεύμα ψύξης ο σωλήνας Pitot παίρνει μια ένδειξη της δυναμικής πίεσης. Εφαρμογή της εξίσωσης Bernoulli μας δίνει $P_{total} = P_{static} + P_{dynamic} \Rightarrow$

$$p_t = p_s + \left(\frac{\rho V^2}{2} \right)$$

Και λύνοντας ως προς την ταχύτητα με δεδομένη την πυκνότητα του αέρα στην θερμοκρασία αναφοράς T_{ref} είναι:

$$V = \sqrt{\frac{2(p_t - p_s)}{\rho}}$$

Συνδέοντας τον σωλήνα Pitot με ψηφιακό μανόμετρο λαμβάναμε σε πραγματικό χρόνο τις ενδείξεις δυναμικής πίεσης του ψυκτικού ρεύματος αέρος.



Εικ. Ψηφιακό μανόμετρο

4. Βαθμονόμηση υγρών κρυστάλλων

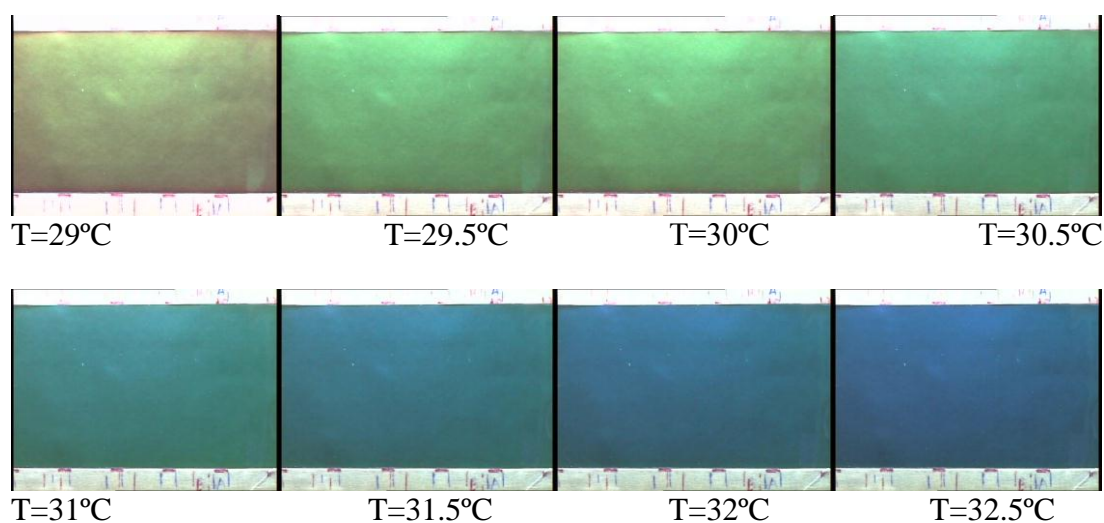
Οι μετρήσεις βαθμονόμησης πραγματοποιήθηκαν σε δύο φάσεις με διαφορά μιας ημέρας. Οι περιβαλλοντικές συνθήκες την 5η και 7η Ιουλίου ήταν πανομοιότυπες αναφορικά με την θερμοκρασία περιβάλλοντος. Αυτή βάση υδραργυρικού θερμομέτρου ακριβείας μετρήθηκε στους 27° C κατά την ώρα των πειραμάτων στον χώρο που εβρίσκεται η αεροσήραγγα.

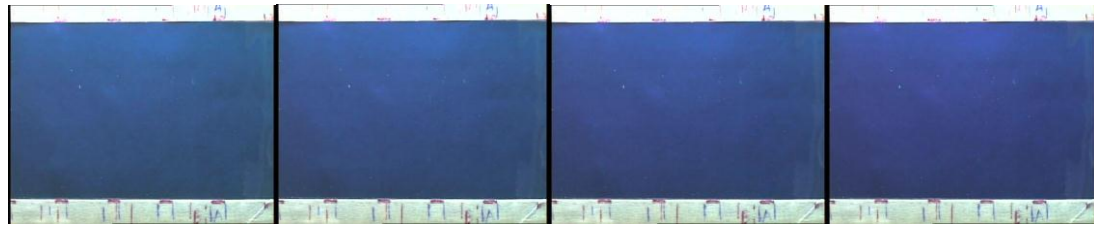
Ποιοτικά η αντιστοιχία χρωμάτων θερμοκρασιών έχει ως εξής:

T=28.5° C	ΜΑΥΡΟ
T=29.2° C	ΑΜΥΔΡΑ ΚΟΚΚΙΝΟ
T=29.5° C	ΚΟΚΚΙΝΟ ΠΡΟΣ ΚΙΤΡΙΝΟ
T=30° C	ΚΙΤΡΙΝΟ
T=30.5° C	ΚΙΤΡΙΝΟ ΠΡΟΣ ΠΡΑΣΙΝΟ
T=31.5° C	ΠΡΑΣΙΝΟ
T=32.3° C	ΠΡΑΣΙΝΟ ΠΡΟΣ ΓΑΛΑΖΙΟ
T=33° C	ΓΑΛΑΖΙΟ
T=34° C	ΓΑΛΑΖΙΟ ΠΡΟΣ ΜΠΛΕ
T=34.5° C	ΜΠΛΕ
T=35° C	ΒΑΘΥ ΜΠΛΕ ΠΡΟΣ ΚΥΑΝΟ
T=35°+ C	ΚΥΑΝΟ

Για την 5-7-2011 έχουμε τα κάτωθι δεδομένα

T_{περ}=27° C



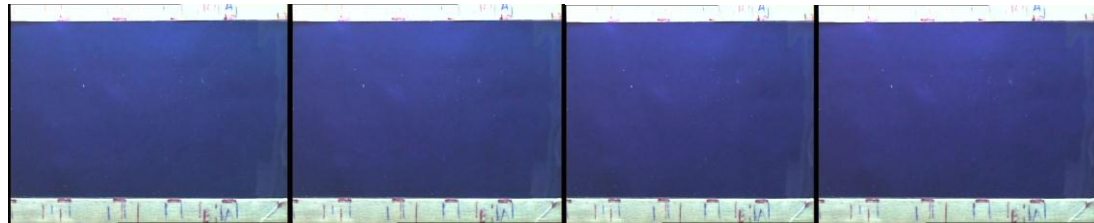


T=33°C

T=33.5°C

T=33.5°C

T=34°C

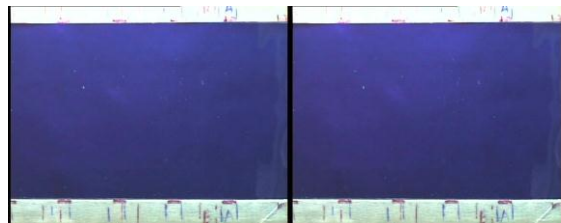


T=34.5°C

T=35°C

T=35.5°C

T=36°C

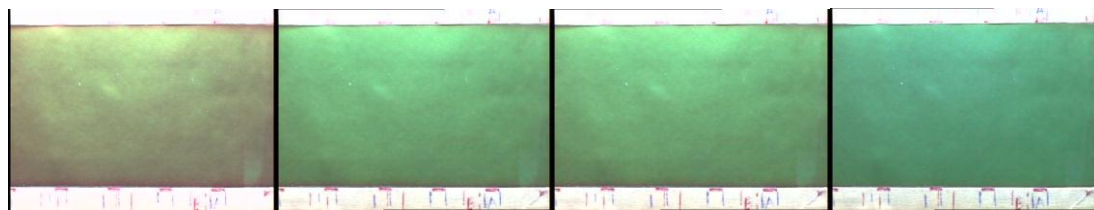


T=36.5°C

T=37°C

Για την 7-7-2011 έχουμε τα κάτωθι δεδομένα:

T_{περ}=27° C

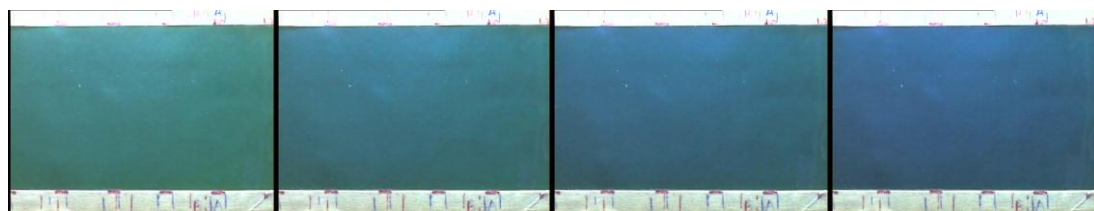


T=29°C

T=29.5°C

T=30°C

T=30.5°C

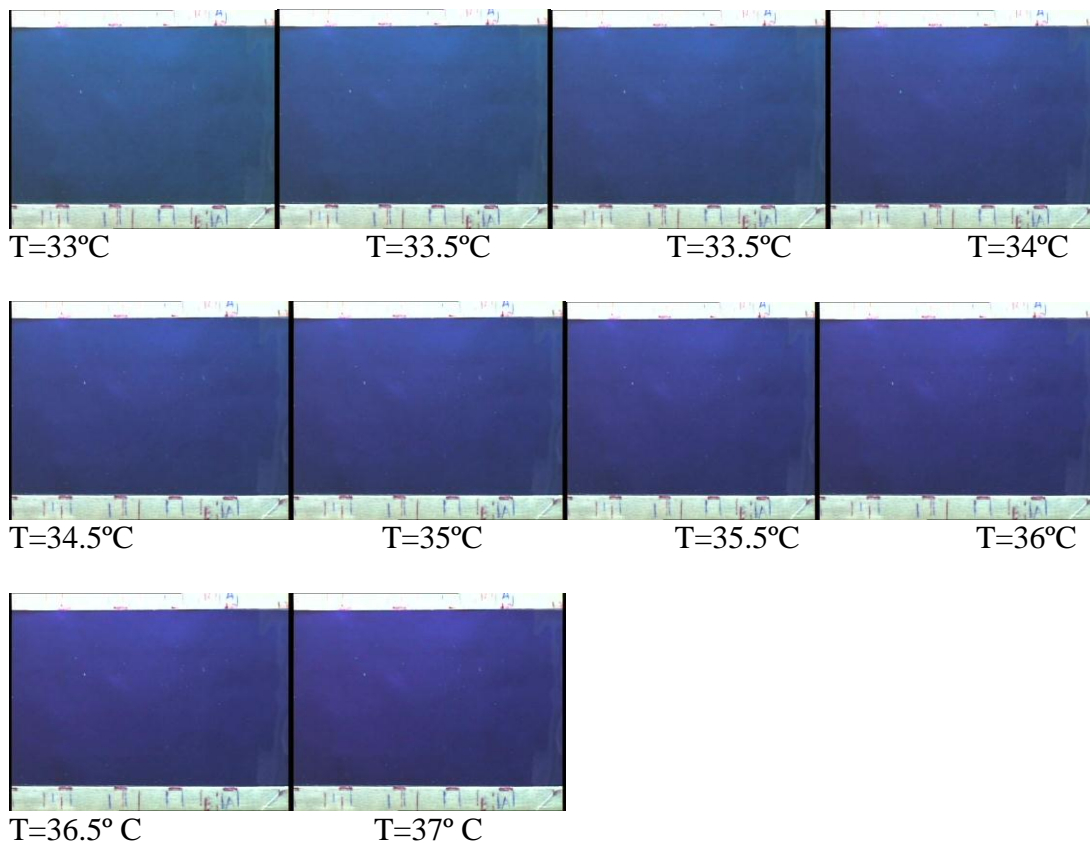


T=31°C

T=31.5°C

T=32°C

T=32.5°C



Παρατηρούμε και οπτικά την χρωματική μεταβολή συναρτήσει της αύξησης της θερμοκρασίας. Βλέπουμε δηλαδή τη συσχέτιση χρώματος και θερμοκρασίας κατά συγκεκριμένο τρόπο. Στη συνέχεια με την υλοποίηση κώδικα matlab και χρήση συγκεκριμένης συνάρτησης προσαρμογής, μπορούμε να αξιοποιήσουμε αυτά τα δεδομένα ούτως ώστε να προχωρήσουμε στην ανάλυση μας.

Σκοπός μας είναι να εξάγουμε από τα ψηφιακά δεδομένα που καταγραφήκανε στο πείραμα την παράμετρο η οποία έχει την ελάχιστη μεταβολή συναρτήσει των συνθηκών καταγραφής μας. Η παράμετρος αυτή σύμφωνα με πάμπολες αναφορές στην διεθνή βιβλιογραφία αποδεικνύεται ότι είναι η παράμετρος HUE (χρώμα) στο HSV σύστημα χρωματικής αναφοράς και βάση αυτής της παραμέτρου καταστρώθηκε πολυώνυμο που προβλέπει την χρωματική συμπεριφορά των υγρών κρυστάλλων συναρτήσει της θερμοκρασίας.

4.1 Χρήση συναρτήσεων Matlab

Για την ανάλυσή μας υλοποιούμε κώδικα matlab χρησιμοποιώντας συγκεκριμένη συνάρτηση, την `rgb2hsv`. Με την χρήση αυτής της συνάρτησης μεταπηδούμε από το σύστημα χρωματικής αναφοράς RGB στο οποίο έχουμε τα δεδομένα μας στο σύστημα χρωματικής αναφοράς HSV.

Σε αυτό το στάδιο θέλουμε να εξάγουμε και να αναδείξουμε την παράμετρο HUE βάση της οποίας θα καταστρώσουμε την συμπεριφορά των υγρών κρυστάλλων αναφορικά με την θερμοκρασία.

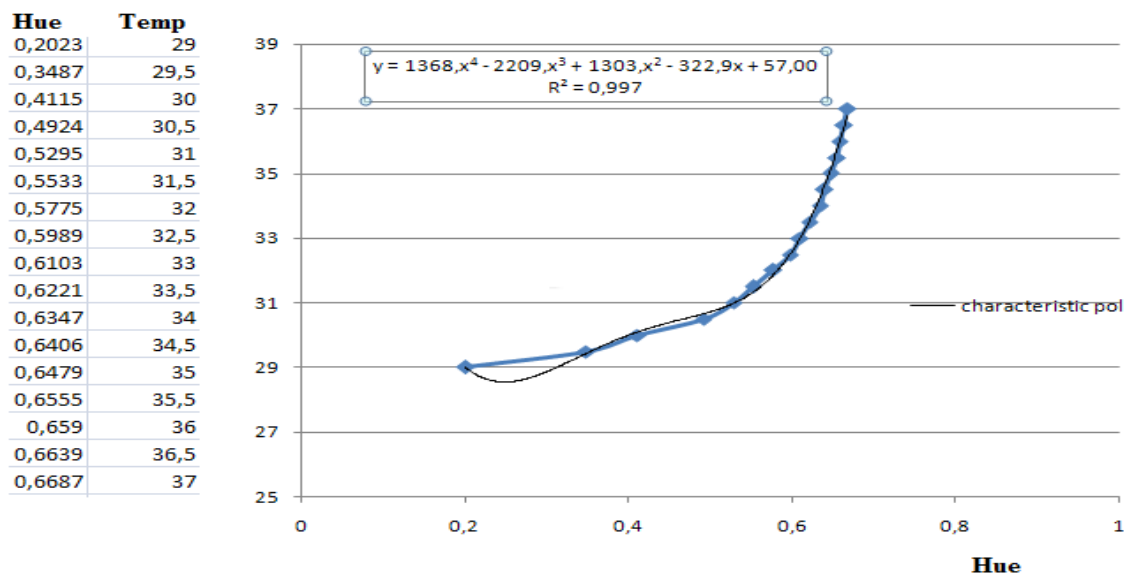
Ουσιαστικά σε κάθε θερμοκρασία αντιστοιχεί μία συγκεκριμένη τιμή της παραμέτρου HUE. Αυτό έχει ως άμεση συνέπεια την δημιουργία χαρακτηριστικού πολωνύμου βάση του οποίου μπορούμε να μετατρέπουμε την οποιαδήποτε εικόνα πραγματικού χρώματος διαθέτουμε σε εικόνα απεικόνισης του θερμοκρασιακού πεδίου. Δηλαδή η συνάρτηση του Hue με την θερμοκρασία μετατρέπει μια εικόνα που αποτελείται από pixel συγκεκριμένης τιμής hue σε μία εικόνα με pixel συγκεκριμένης τιμής θερμοκρασίας και μάλιστα σε αντιστοίχιση ένα προς ένα. Επομένως αυτόματα το οπτικό μας δεδομένο μετατρέπεται σε θερμοκρασιακή κατανομή, γεγονός που θα μας βοηθήσει σημαντικότερα στην μετέπειτα ανάλυση προσδιορισμού του τοπικού συντελεστή συναγωγής επί της πλάκας.

Κώδικας :

```
% Calibration
xsize=input('Give X size of the image (pixels) :');
ysize=input('Give Y size of the image (pixels) :');
[r,g,b]=imread(file.tif);
[h,s,v]=rgb2hsv(r,g,b);
average=mean(mean(h));
xh=average
```

4.2 Καμπύλη βαθμονόμησης

Για την 5/7/2011 λάβαμε την παρακάτω καμπύλη Temperature-Hue

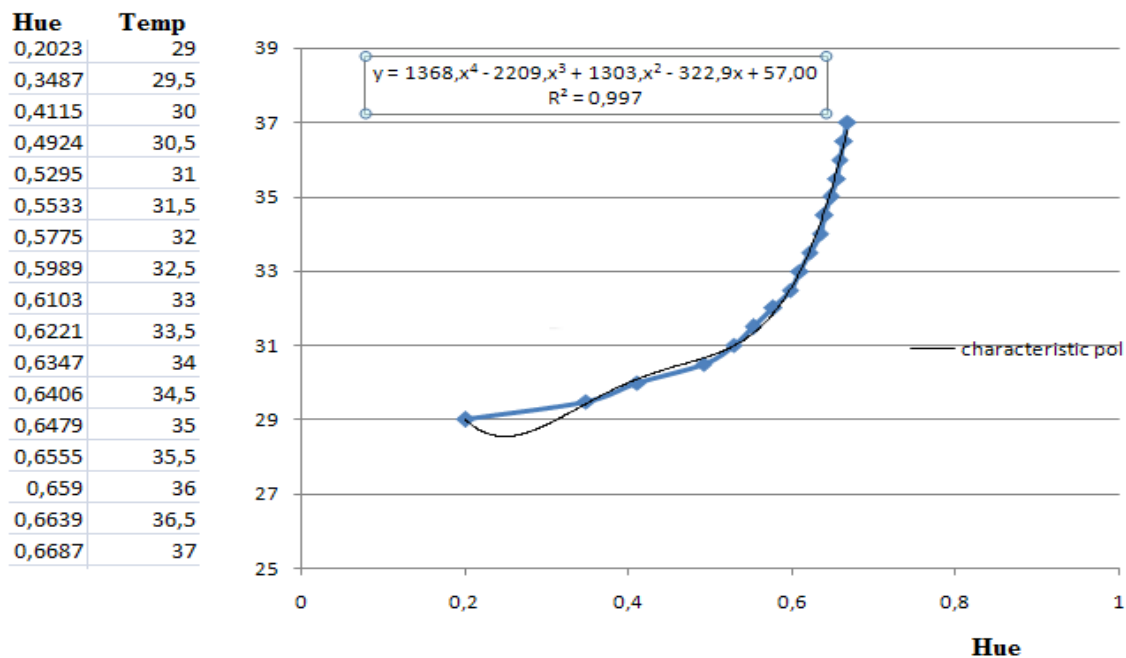


Το χαρακτηριστικό πολυώνυμο που προσομοιάζει την καμπύλη μας ιδανικότερα είναι τετάρτου βαθμού και είναι το εξής:

$$y = 1368x^4 - 2209x^3 + 1303x^2 - 322.9x + 57$$

με τυπική απόκλιση $R^2 = 0.997$

Για την **7/7/2011** προέκυψε η παρακάτω καμπύλη:



Παρατηρούμε πως η επανάληψη των μετρήσεων μας έδωσε ακριβώς την ίδια καμπύλη, αυτό οφείλεται στις πανομοιότυπες συνθήκες μετρήσεων και τις δύο ημέρες όπως και στην ευαισθησία του κώδικα rgb2hsv που εκτελέστηκε στη Matlab .

Επομένως δεχόμαστε το χαρακτηριστικό πολυώνυμο να είναι το εξής για τις περεταίρω διαδικασίες ανάλυσης

$$y = 1368x^4 - 2209x^3 + 1303x^2 - 322.9x + 57 \text{ με τυπική απόκλιση } R^2 = 0.997$$

Εν συνεχεία επανερχόμαστε στην Matlab και χρησιμοποιούμε το χαρακτηριστικό μας πολυώνυμο ούτως ώστε να περάσουμε από αρχεία εικόνας δλδ αρχεία διαστάσεων X επί Y πίξελ που το κάθε πίξελ φέρει δεδομένα RGB σε αρχεία εικόνας ίδιων διαστάσεων που πλέον το κάθε πίξελ φέρει δεδομένα Hue (χρώματος) και κατά συνέπεια μέσα από το πολυώνυμο προσαρμογής σε δεδομένα θερμοκρασίας . Ουσιαστικά έχουμε την θερμοκρασιακή κατανομή στην επιφάνεια της πλάκας υπό την έννοια ότι πλέον κάθε εικονοστοιχείο φέρει δεδομένα θερμοκρασίας.

Δεδομένου πλέον ότι γνωρίζουμε την θερμοκρασία περιβαλλοντος και την ροή θερμότητας διά μέσου της πλάκας προς το ρεύμα ψύξης, σύμφωνα με τον ψυκτικό νόμο του Νεύτωνα, μπορούμε να έχουμε την κατανομή του συντελεστή συναγωγιμότητας h επί της πλάκας. Εν συνεχεία υπολογίζουμε και τη κατανομή του τοπικού Nusselt επί της πλάκας .

5.Μεταδοση θερμότητας

Η μετάδοση θερμότητας στη φύση είναι η διαδικασία κατά την οποία η εσωτερική ενέργεια ενός σώματος διαδίδεται σε ένα άλλο σώμα. Η θερμοδυναμική είναι ο κατεξοχήν κλάδος της φυσικής που πραγματεύεται το θέμα της μετάδοσης θερμότητας. Γενικά μπορούμε να πούμε ότι η θερμότητα διαδίδεται από τα θερμά σώματα στα λιγότερο θερμά σώματα μέσα από κάποιους μηχανισμούς. Αυτή είναι η ροπή της φύσης δηλαδή κατ'αυτήν την έννοια λειτουργεί το φυσικό μοντέλο της διάχυσης της θερμότητας.

Σύμφωνα με την κινητική θεωρία η εσωτερική ενέργεια προκύπτει από την κίνηση σε μοριακό και ατομικό επίπεδο. Η θερμότητα είναι αυτή η μορφή της ενέργειας που μεταφέρει την ενέργεια από το ένα σώμα ή σύστημα σε κάποιο άλλο σώμα ή σύστημα. Ξεχωρίζουμε τρεις διακριτούς τρόπους μετάδοσης θερμότητας. Αγωγή, συναγωγή και ακτινοβολία.

5.1 Αγωγή θερμότητας

Η αγωγή θερμότητας προκύπτει όταν έχουμε ροή θερμικής ενέργειας διαμέσου περιοχών στερεού σώματος ή διαμέσου διαφορετικών στερεών που βρίσκονται σε θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ τους και επαφίονται. Η θερμότητα διαδίδεται ή κοινώς ρέει μεταξύ περιοχών διαφορετικής θερμότητας εντός στερεού ούτως ώστε να αποκατασταθεί χρόνικα μία θερμική ισοροπία. Η αγωγή λαμβάνει χώρα μεταξύ όλων των φυσικών φάσεων των υλικών δηλαδή στερεών ρευστών και αερίων της ίδιας πάσης.

Στα στερεά η αγωγή προκύπτει λόγω της κινητικής κατάστασης των μορίων που συντελείται στο κρυσταλλικό τους πλέγμα διαμέσου των ελεύθερων ηλεκτρονίων. Η κίνηση των ελευθέρων ηλεκτρονίων είναι αυτή που φέρει τα θερμικά φορτία διαμέσου των στερεών. Στα αέρια και τα ρευστά η αγωγή συνιστάται στην διαμοριακή τριβή και στην διάχυση μεταξύ των μορίων κατά την τυχαία κίνηση αυτών και υπό την επίδραση συνεκτικών δυνάμεων.

Σε μικροσκοπικό επίπεδο η αγωγή θερμότητας προκύπτει από την ισχυρά τυχαία κίνηση των ταλαντούμενων ατόμων και μορίων που αλληλεπιδρούν με γειτονικά τους μόρια ή άτομα μεταδίδοντας ποσοστό ενέργειας της κινητικής τους κατάστασης. Η θερμότητα διαδίδεται μέσω αγωγής όταν συζηγή άτομα δονούνται σε ζεύξη μεταξύ τους και όταν ελεύθερα ηλεκτρόνια μεταπηδούν από άτομο σε άτομο.

Είναι εύλογο να υποθέσει κανείς ότι η αγωγή θερμότητας φθίνει ως φαινόμενο συναρτήσει της μείωσης της πυκνότητας. Στα υγρά και κυρίως στα αέρια σώματα λόγω της μεγάλης απόστασης των μορίων έχουμε αρκετά λιγότερες αλληλεπιδράσεις με συνέπεια να έχουμε και μικρή αγωγή θερμότητας μεταξύ των μορίων των σωμάτων αυτών. Γενικά η αγωγή των αερίων σωμάτων γίνεται πιο ισχυρή σε υψηλότερες θερμοκρασίες στις οποίες και παρατηρείται μεγαλύτερη πυκνότητα συναρτήσει της αυξανόμενης πίεσης.

Η θερμική αγωγιμότητα διά επαφής είναι η μελέτη των φαινομένων αγωγής θερμότητας διαμέσου στερεών σωμάτων που βρίσκονται σε επαφή. Μια θερμοκρασιακή πτώση συχνά παρατηρείται στην διεπαφή των στερεών στο σημείο που έχουμε την μεταξύ τους ζεύξη. Εδώ εμφανίζεται και ο ορισμός της θερμικής αντίστασης ο οποίος προκύπτει από την αντίσταση του κάθε στερεού ως προς την διάδοση θερμότητας διά αγωγής διά μέσου αυτού. Αυτή η θερμική αντίσταση διαφέρει από την αντίσταση της διεπαφής δεδομένου ότι παρατηρείται και σε

επιφάνειες προλειασμένες πολύ καλά ακόμα και σε μοριακό επίπεδο. Η κατανόηση της θερμικής αντίστασης στην διεπαφή δύο υλικών είναι στοιχειώδους σημασίας για την ευρύτερη κατανόηση των θερμικών ιδιοτήτων των διαφόρων υλικών.

Η εσωτερική δομή των υλικών σε μοριακό επίπεδο είναι υπεύθυνη για την μετάδοση ενέργειας μεταξύ των μορίων και πιο συγκεκριμένα προέρχεται κυρίως από ελαστικές συγκρούσεις μορίων όπως συμβαίνει στα ρευστά ή και από την ηλεκτρονιακή διάχυση όπως συμβαίνει στα μέταλλα ή μέσω δονήσεων φωνονίων όπως συμβαίνει στους μονωτές. Στους μονωτές η ροή θερμότητας οφείλεται κυρίως στην φωνονιακή ταλάντωση.

Στα μέταλλα εμφανίζονται οι ισχυρότερες ιδιότητες μετάδοσης θερμότητας διά αγωγής και θεωρούνται οι καλύτεροι αγωγοί θερμικής ενέργειας. Αυτό οφείλεται καθαρά στους δεσμούς μεταλλικής φύσης που εμφανίζονται στα υλικά αυτά και κατά βάση στο κρυσταλλικό τους πλέγμα και στους ισχυρούς δεσμούς ετεροπολικής φύσεως. Η παρουσία ελευθέρων ηλεκτρονίων στους δεσμούς αυτούς προκαλεί την ταχεία μετάδοση της θερμικής ενέργειας διά μέσου των υλικών αυτών. Η ηλεκτρονιακή ροή των αγώγιμων μεταλλικών στερεών άγει σχεδόν ολόκληρη την ροή θερμότητας διά μέσου του στερεού. Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του κρυσταλλικού πλέγματος των μετάλλων μεταδίδουν επίσης το ηλεκτρικό φορτίο διά μέσου των αγώγιμων μεταλλικών στοιχείων με συνέπεια η θερμική και η ηλεκτρική αγωγιμότητα των μεταλλικών υλικών να βρίσκεται συνήθως σε πλήρη αναλογία. Εν κατακλείδι μπορούμε να πούμε πως η διάχυση θερμότητας διά αγωγής εντός στερεών σωμάτων είναι σε απευθείας αναλογία με την διάχυση των μορίων που συντελείται στα ρευστά όταν αυτά βρίσκονται σε πλήρη ακινησία δηλαδή απουσίας ροικών φαινομένων.

Για να ποσοτικοποιήσουμε την ευχέρεια ή μη των σωμάτων να διαχέουν την θερμότητα ορίσαμε την έννοια της θερμικής αγωγιμότητας, η αλλιώς την σταθερά αγωγιμότητας ή συντελεστή αγωγιμότητας που συμβολίζεται με το γράμμα k . Η θερμική αγωγιμότητα k είναι η ποσότητα της θερμότητας Q που διαδίδεται σε χρόνο t διά μέσου μιας επιφάνειας πάχους L στη κατεύθυνση μιας επιφάνειας διατομής A υπό την επίδραση θερμοκρασιακής διαφοράς ΔT .

$$k = \frac{\Delta Q}{A \Delta t} \frac{x}{\Delta T} \quad \text{και} \quad e = (k \rho c_p)^{1/2}$$

Η θερμική αγωγιμότητα είναι χαρακτηριστική ιδιότητα του υλικού και εξαρτάται άμεσα από την φάση που βρίσκεται το υλικό την θερμοκρασία αυτού την πυκνότητα και τους μοριακούς δεσμούς που το χαρακτηρίζουν.

Παρακάτω παρατίθεται ένας ενδεικτικός πίνακας θερμικής αγωγιμότητας διαφόρων υλικών

Material	Thermal conductivity (cal/sec)/(cm ² C/cm)	Thermal conductivity (W/m K)*
Diamond	...	1000
Silver	1.01	406.0
Copper	0.99	385.0
Gold	...	314
Brass	...	109.0
Aluminum	0.50	205.0
Iron	0.163	79.5
Steel	...	50.2
Lead	0.083	34.7
Mercury	...	8.3
Ice	0.005	1.6
Glass, ordinary	0.0025	0.8
Concrete	0.002	0.8
Water at 20° C	0.0014	0.6
Asbestos	0.0004	0.08
Snow (dry)	0.00026	...
Fiberglass	0.00015	0.04
Snow (dry)	0.00026	...
Fiberglass	0.00015	0.04
Brick, insulating	...	0.15
Brick, red	...	0.6
Cork board	0.00011	0.04
Wool felt	0.0001	0.04
Rock wool	...	0.04
Polystyrene (styrofoam)	...	0.033
Polyurethane	...	0.02
Wood	0.0001	0.12-0.04
Air at 0° C	0.000057	0.024
Helium (20°C)	...	0.138
Hydrogen(20°C)	...	0.172
Nitrogen(20°C)	...	0.0234
Oxygen(20°C)	...	0.0238
Silica aerogel	...	0.003

5.2 Αγωγή θερμότητας σε πλήρως ανεπτυγμένες συνθήκες (steady state)

Η κατάσταση πλήρως ανεπτυγμένων συνθηκών αφορά την περίπτωση εκείνη στην οποία η αγωγή θερμότητας συντελείται μεταξύ συγκεκριμένου θερμοκρασιακά σταθερού εύρους ΔT ούτως ώστε (μετά από ένα χρόνο αποκατάστασης) η θερμοκρασιακή κατανομή των διεπαφόμενων υλικών να μην μεταβάλλεται περαιτέρω. Κατ'έκταση όλες οι θερμοκρασιακές διακυμάνσεις σχετικές με τον χώρο του υλικού δύναται να είναι μηδενικές, ή διαφορές του μηδενός, αλλά η χρονική παράγωγος είναι αυστηρά μηδενική. Στη σταθερή κατάσταση αγωγής το ποσό της θερμότητας που διαχέεται διαμέσου μιας περιοχής ενός υλικού είναι ακριβώς ίσο με το ποσό της θερμότητας που εκλύεται από το υλικό αυτό (ενεργειακό ισοζύγιο εισόδου –εξόδου)

Επί παραδείγματι μία μεταλλική δοκός δύναται να είναι ψυχρή στη μία άκρη της και θερμή στην άλλη άκρη, αλλά όταν φτάσουμε σε μια κατάσταση πλήρως ανεπτυγμένων συνθηκών, η τοπική παράγωγος της θερμότητας κατά μήκος της δοκού δεν μεταβάλλεται συναρτήσει του χρόνου. Αντιθέτως η θερμοκρασία σε κάθε δεδομένη περιοχή της δοκού παραμένει σταθερή και διέπεται από γραμμική συσχέτιση χωρικά και στην ίδια κατεύθυνση με την διάδοση της θερμότητας.

Στην κατάσταση πλήρως ανεπτυγμένων συνθηκών, οι νόμοι που διέπουν την διάδοση του ηλεκτρικού ρεύματος μπορούν να διατυπωθούν κατ'αναλογία και στα 'θερμικά ρεύματα'. Σε αυτές τις περιπτώσεις είναι εφικτό να διατυπωθεί μία αναλογία μεταξύ των θερμικών αντιστάσεων και των ηλεκτρικών αντιστάσεων, όπου πλέον η θερμοκρασία έχει το ανάλογο της τάσης και η μεταδιδόμενη ροή θερμότητας ανά μονάδα χρόνου είναι το ανάλογο του ηλεκτρικού φορτίου.

5.3 Αγωγή θερμότητας σε μεταβατικές συνθήκες (transient state)

Γενικότερα κατά την πορεία της εξέλιξης του φαινομένου της μετάδοσης θερμότητας διά αγωγής οι θερμοκρασίες μεταβάλλονται χρονικά και χωρικά σε κάθε σημείο του στερεού ,η φάση αυτή της θερμικής διάχυσης καλείται μεταβατική φάση αγωγής.Επίσης υπάρχουν οι όροι μη σταθερή ή μη πλήρως ανεπτυγμένη κατάσταση ,και σχετίζεται με την χρονική συσχέτιση των θερμοκρασιακών πεδίων ενός σώματος.Μεταβατικές καταστάσεις εμφανίζονται όταν μεταβάλλονται οι θερμοκρασιακές συνθήκες στα τοιχώματα ενός σώματος.Μπορούν επίσης να προκύψουν εντός κάποιου σώματος όταν μεταβληθούν εσωτερικά οι θερμοκρασιακές συνθήκες, όπως μία εμφάνιση νέας πηγής θερμότητας εντός του υλικού ,προκαλώντας μεταβολές χρονικά στην θερμοκρασιακή διακύμανση του υλικού.

Όταν συμβεί ένα τέτοιο θερμοκρασιακό γεγονός ,οι θερμοκρασίες εντός του συστήματος μεταβάλλονται συναρτήσει του χρόνου προς μια κατάσταση νέας θερμοκρασιακής ισορροπίας δεδομένου ότι οι θερμοκρασιακές αλλαγές που επιβάλλονται θα παραμείνουν σταθερές.Μετά την αποκατάσταση της ισορροπίας ,η ροή θερμότητας εντός του συστήματος θα εξισορροπίσει την εκροή θερμότητας διά του συστήματος επαληθεύοντας την θερμοκρασιακή ισορροπία του συστήματος μπαίνοντας πλέον στην κατάσταση πλήρως ανεπτυγμένων συνθηκών που επί της ουσίας σηματοδοτούν μη περαιτέρω αλλαγές στην θερμοκρασιακή διακύμανση του συστήματος.

Στην περίπτωση που οι αλλαγές στη θερμοκρασία,εσωτερικά ή εξωτερικά του υλικού,είναι πολύ βίαιες ως προς την αποκατάσταση της θερμοκρασιακής ισορροπίας του συστήματος συναρτήσει του όγκου του,τότε το σύστημα ποτέ δεν θα φτάσει σε κατάσταση πλήρους ανεπτυγμένων συνθηκών και θα παραμένει ες αεί σε μεταβατική φάση.Χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτής της μεταβατικής κατάστασης είναι ο κινητήρας ενός σύγχρονου οχήματος όπου εμφανίζονται έντονες θερμοκρασιακές μεταβολές εντός μικρών χρονικών διαστημάτων.

Η ανάλυση προβλημάτων που αφορούν συστήματα μεταβατικών καταστάσεων είναι αρκετά πολυπλοκότερη από την ανάλυση συστημάτων σταθερών συνθηκών, εκτός από κάποια πολύ απλά προβλήματα διάδοσης τα οποία μοντελοποιούνται με απλές θεωρίες προσέγγισης και αριθμητικά μοντέλα συγκλισης.

Νόμοι Fourier για την αγωγή θερμότητας

Διαφορική διατύπωση

$\vec{q} = -k\nabla T$ Η διαφορική διατύπωση της θερμικής αγωγιμότητας δείχνει ότι η τοπική πυκνότητα της ροής θερμότητας \vec{q} είναι ίση με την θερμική αγωγιμότητα k επί το αρνητικό ανάδελτα της θερμοκρασίας T . Η πυκνότητα της ροής θερμότητας είναι το ποσό της ενέργειας που ρέει διαμέσου μονάδας χωρου ανά μονάδα χρόνου.

$$\begin{aligned} \vec{q} & \text{ σε } \underline{W} \cdot \underline{m}^{-2} \\ k & \text{ θερμική αγωγιμότητα του υλικού σε } \underline{W} \cdot \underline{m}^{-1} \cdot \underline{K}^{-1} \\ \nabla T & \text{ σε } \underline{K} \cdot \underline{m}^{-1} \end{aligned}$$

Σε συνήθεις απλές εφαρμογές ο νόμος του Fourier λαμβάνει την εξής απλή μορφή για την επίλυση μονοδιάστατων προβλημάτων μετάδοσης κατά μία κατεύθυνση σύμφωνα με την εξίσωση

$$q_x = -k \frac{dT}{dx}$$

Ολοκληρωτική διατύπωση του νόμου του Fourier

Εισάγωντας την διαφορική διατύπωση του νόμου του Fourier σε όλη την επιφάνεια του σώματος S καταλήγουμε στην ολοκληρωτική διατύπωση :

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = -k \oint_S \vec{\nabla} T \cdot d\vec{A}$$

Όπου $\frac{\partial Q}{\partial t}$ είναι η ροή της θερμότητας ανά μονάδα χρόνου σε W

Και $d\vec{A}$ είναι ένα οριοθετημένο επιφανειακό στοιχείο σε m^2

Στην απλή περίπτωση της μονοδιάστατης αγωγής η ολοκληρωτική εξίσωση παίρνει την εξής μορφή :

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

Όπου : A εμβαδό διεπιφάνειας ,
 ΔT θερμοκρασιακή μεταβολή των άκρων,
 Δx η απόσταση μεταξύ των άκρων.

Η έννοια της θερμικής αγωγιμότητας U και της αντίστασης R

$$U = \frac{k}{\Delta x}, \text{ όπου } U \text{ αγωγιμότητα σε } W/(m^2 K).$$

Οπότε κατά συνέπεια ο νόμος του Fourier διατυπώνεται και ως εξής

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = UA(-\Delta T).$$

Το αντίστροφο μέγεθος της αγωγιμότητας είναι η αντίσταση R η οποία γράφεται ως

$$R = \frac{1}{U} = \frac{\Delta x}{k} = \frac{A(-\Delta T)}{\frac{\Delta Q}{\Delta t}},$$

Όταν έχουμε πολυεπίπεδα στρώματα υλικών όπου έχουμε αγωγή θερμότητας ισχύουν οι νόμοι που εφαρμόζονται στα ηλεκτρικά στοιχεία σε απόλυτη αναλογία. Δηλαδή ισχύει η σχέση

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{U_1} + \frac{1}{U_2} + \frac{1}{U_3} + \dots$$

Η διαφορετικά $R_{total} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$

5.4 Συναγωγή θερμότητας

Η μεταδιδόμενη θερμότητα διά μέσου συναγωγής είναι η περίπτωση στην οποία η θερμότητα διαδίδεται μέσα από την κίνηση των ρευστών σωμάτων. Επί της ουσίας η συναγωγή θερμότητας διαξάγεται μεταξύ ρευστών σωμάτων και στερεών σωμάτων. Στη φύση η συναγωγή θερμότητας είναι πολύ ισχυρή διαδικασία ανταλλαγής θερμότητας μεταξύ ρευστών και στερεών σωμάτων.

Το φαινόμενο της μετάδοσης θερμότητας από ένα ρευστό σε ένα στερεό σώμα και το αντίστροφο, απαιτεί όχι μόνο μετάδοση μέσω της ροής του ρευστού αλλά διάχυση και αγωγή θερμότητας διαμέσου του οριακού στρώματος που αναπτύσσεται οριακά στην επιφάνεια του στερεού σώματος. Για αυτό και η διαδικασία μετάδοσης θερμότητας που συντελείται μεταξύ ρευστών και στερεών απαιτεί την διάχυση και την αγωγή θερμότητας και με έναν όρο καλείται συναγωγή θερμότητας.

Η συναγωγή θερμότητας δύναται να είναι εξαναγκασμένη υπό την έννοια ότι η κίνηση του ρευστού οφείλεται όχι σε φυσική κίνηση αλλά εξαναγκασμένα, επί παραδείγματι μία αντλία που διακινεί ρευστό ένος ψυκτικού κυκλώματος κινητήρος εσωτερικής καύσης. Σε μερικές περιπτώσεις οι δυνάμεις φυσικής ροής είναι εξολοκλήρου υπεύθυνες για την κίνηση κάποιου θερμαινόμενου ρευστού και σε αυτή την περίπτωση κάνουμε λόγο για φυσική συναγωγή θερμότητας. Για παράδειγμα ένα ρευστό που θερμαίνεται σε ένα δοχείο αρχίζει και ρέει εσωτερικά από τον πυθμένα του δοχείου προς τα ανώτερα στρώματα του δοχείου υποκαθιστώντας ρευστό χαμηλότερης θερμοκρασίας και υψηλότερης πυκνότητας. Όταν η θέρμανση παύσει η διάχυση και η συναγωγή μέσα από αυτή τη διαδικασία έχει οδηγήσει το ρευστό σε μία θερμοκρασιακή ισορροπία ομογενούς πυκνότητας καθόλη τη μάζα του.

Ο μηχανισμός της συναγωγής θερμότητας αποτελείται από δύο κύριους μηχανισμούς μετάδοσης ενέργειας, η ενέργεια μεταδίδεται από την τυχαία μοριακή κίνηση των μορίων (διάχυση) αλλά και από την ίδια μακροσκοπική κίνηση της μάζας

αριθμοί ρευστοστοιχείων κινούνται επιλεκτικά προς συγκεκριμένες κατευθύνσεις. Αυτή η κίνηση παρουσία θερμοκρασιακών διαφορών συνεισφέρει στην διάδοση της θερμότητας. Επειδή τα μόρια εν κινήσει διατηρούν την κινηματική τους κατάσταση, την τυχαιότητα δηλ της κίνησης τους, η συνολική μεταδιδόμενη θερμότητα οφείλεται στην τυχαία κίνηση των μορίων και στην συνολική κίνηση του ρευστού.

Φυσική συναγωγή θερμότητας

Όταν η συνολική μάζα του ρευστού βρίσκεται σε επαφή με μία επιφάνεια στερεού διαφορετικής θερμοκρασίας (πχ το νερό μιας λίμνης σε επαφή με το έδαφος), ως υποθέσουμε υψηλότερης θερμοκρασίας, τότε τα μόρια του ρευστού που επαφίονται του στερεού αρχίζουν να διαχωρίζονται και να κινούνται ραγδαία με άμεση συνέπεια να αλλάζει η πυκνότητα του ρευστού τοπικά στο οριακό στρώμα. Όταν αυτό συμβαίνει το ρευστό κινείται εσωτερικά σε οριζόντιες και κάθετες διευθύνσεις με συνέπεια το πιο κρύο ρευστό έχοντας υψηλότερη πυκνότητα να βυθίζεται εσωτερικά σε χαμηλότερα επίπεδα. Αυτή η ανάμιξη του ρευστού, ή διάχυση, φέρει θερμική ενέργεια από τα θερμότερα στρώματα του ρευστού στα πιο ψυχρά και έτσι διαχέεται εσωτερικά η θερμότητα. Αυτό είναι ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα ελεύθερης η φυσικής συναγωγής θερμότητας.

Εξαναγκασμένη συναγωγή θερμότητας

Όταν η κίνηση του ρευστού γίνεται εξαναγκασμένα γύρω από την επιφάνεια κάποιου στερεού, παράδειγμα είναι οι ανεμιστήρες, οι αντλίες κτλ, δημιουργώντας μία τεχνητή κατάσταση μετάδοσης θερμότητας διά συναγωγής.

Επιπρόσθετα η συναγωγή θερμότητας δύναται να διαχωρισθεί σε εσωτερικής και εξωτερικής ροής. Η εσωτερικής ροής προκύπτει όταν το ρευστό εγκλωβίζεται εντός στερεού σώματος όπως για παράδειγμα σε έναν αγωγό. Η εξωτερικής ροής εμφανίζεται όταν το ρευστό προεκτείνεται απεριόριστα δίχως να συναντάει στη ροή του στερεό όριο. Αυτές οι δύο περιπτώσεις συναγωγής μπορεί να αφορούν είτε ελεύθερη είτε εξαναγκασμένη ροή. Η μέση θερμοκρασία ενός ρευστού ή η μαζική θερμοκρασία είναι σημείο αναφοράς για την αξιολόγηση των ιδιοτήτων του ρευστού και την ικανότητα του να διαδίδει θερμότητα μέσω συναγωγής.

Ψυκτικός νόμος του Νεύτωνα

Η συναγωγή θερμότητας διέπεται από τους νόμους ψύξης του Νεύτωνα και αφορά τις περιπτώσεις εκείνες όπου ο συντελεστής συναγωγής θερμότητας είναι ανεξάρτητος ή σχετικά εξαρτημένος από την θερμοκρασιακή διαφορά των εμπλεκόμενων σωμάτων (ρευστών & στερεών)

Ο ψυκτικός νόμος του Νεύτωνα απαιτεί σταθερή την σταθερά συναγωγής θερμότητας και ενολίγει περιγράφει πως ο ρυθμός μετάδοσης θερμότητας είναι ανάλογος της θερμοκρασιακής διαφοράς των σωμάτων που εμπλέκονται στην συναγωγή.

$$\frac{dQ}{dt} = \dot{Q} = h \cdot A(T_{\text{env}} - T(t)) = -h \cdot A\Delta T(t)$$

Όπου Q είναι η θερμική ενέργεια σε joules

h ο συντελεστής μετάδοσης θερμότητας δια συναγωγής (υποθέτουμε ανεξάρτητος της θερμοκρασίας T) σε $W/(m^2K)$

A είναι το εμβαδό της επιφάνειας όπου συντελείται η μετάδοση διά συναγωγής σε m^2

T η θερμοκρασία του στερεού σώματος επιφανειακά και εσωτερικά (κατά προσέγγιση αυτές είναι ίσες)

T_{env} η θερμοκρασία του περιβάλλοντος σε αρκετή απόσταση μακριά από το στερεό σώμα

$\Delta T(t) = T(t) - T_{\text{env}}$ η χρονικά εξαρτώμενη μεταβολή της θερμοκρασίας σώματος και περιβάλλοντος σε K

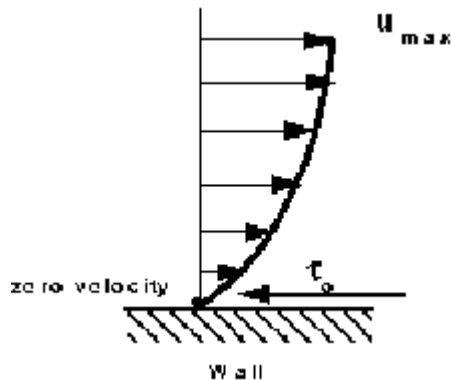
Ο συντελεστής μετάδοσης διά συναγωγής, h , εξαρτάται από τις φυσικές ιδιότητες του ρευστού και τις συνθήκες στις οποίες εμφανίζεται η συναγωγή θερμότητας. Επομένως, για να πεί κανείς καταληκτικά πως το φαινόμενο διέπεται από σταθερο συντελεστή συναγωγιμότητας h καθόλη τη διάρκεια της εξέλιξης του θα πρέπει να αφορά μικρά θερμοκρασιακά εύρη και χαμηλές ταχύτητες ρευστού.

Στη στρωτή ροή ο συντελεστής μετάδοσης συναγωγής είναι κατά βάση μικρότερος από ότι στις τυρβώδεις ροές. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στις τυρβώδεις ροές έχουμε λεπτότερα οριακά στρώματα στις επιφάνειες των στερεών στρωμάτων. Πάντως ο Νεύτωνιος νόμος της ψύξης δεν ευσταθεί σε μεταβατικά φαινόμενα μεταξύ στρωτής και τυρβώδους ροής δεδομένου ότι ο συντελεστής συναγωγής h μεταβάλλεται σημαντικά με συνέπεια να μην μπορεί να επιλυθεί η εξίσωση.

Ποιοτικά ο Νεύτωνιος νόμος υποθέτει πως η μετάδοση διά αγωγής εντός του ρευστού είναι πολύ μεγαλύτερη από την μετάδοση διά συναγωγής.

5.5 Υδροδυναμικό οριακό στρώμα

Κατά την κίνηση ενός ρευστού περιμετρικά ενός στερεού σώματος, τα μόρια του ρευστού οριακά κοντά στην επιφάνεια του στερεού διαταράσσονται και κινούνται περιμετρικά του στερεού σώματος. Ρευστοδυναμικές φύσεως δυνάμεις αναπτύσσονται μεταξύ του ρευστού και του στερεού σώματος. Το μέγεθος αυτών των δυνάμεων εξαρτώνται κυρίως από την γεωμετρία του στερεού σώματος, την ταχύτητα του ρευστού, την μάζα του ρευστού και δύο σημαντικές ιδιότητες αυτού, την κινηματική του συνεκτικότητα και την συμπιεστότητα του.



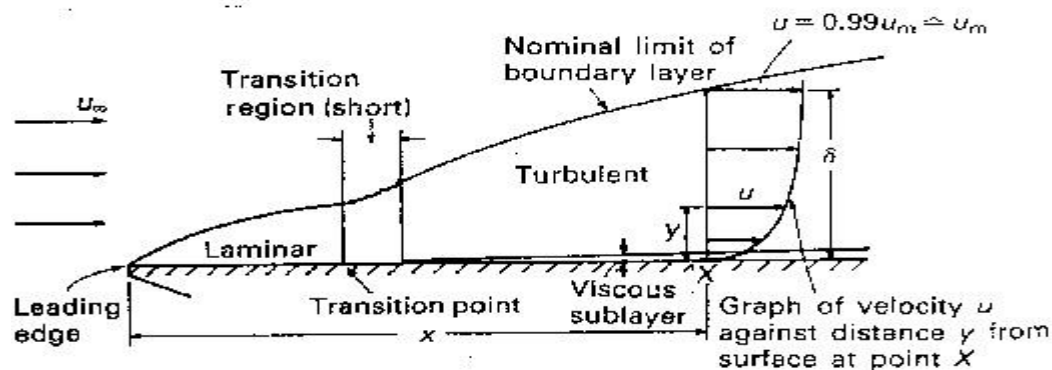
Επί της ουσίας το ρευστό οριακά στην επιφάνεια του στερεού ορίου επιβραδύνεται από την διατμητική τάση που αναπτύσσεται στο τοίχωμα. Η παραπάνω εικόνα αφορά το δυδιάστατο προφίλ της ταχύτητας άνωθεν του στερεού. Το προφίλ αυτό δημιουργείται σταδιακά κατά μήκος της κατεύθυνσης της ροής.

Τα μόρια του ρευστού οριακά κοντά στην επιφάνεια του στερεού επιβραδύνονται και λόγω της διαφορετικής ταχύτητας τους με τα άνωθεν μόρια της ροής και υπό την επίδραση της συνεκτικότητας συγκρούονται μεταξύ τους και διαταράσσονται. Δημιουργείται κατ'αυτόν τον τρόπο μία επιβράδυνση σε ένα εύρος επιρροής κοντά στην επιφάνεια του στερεού και όσο απομακρυνόμαστε από την επιφάνεια καθ' ύψος τόσο εξασθενεί η επιρροή αυτή.

Κατ'αυτόν τον τρόπο δημιουργείται ένα λεπτό στρώμα κοντά στην επιφάνεια του στερεού το οποίο χαρακτηρίζεται από μία κατανομή ταχυτήτων που καλείται προφίλ ταχυτήτων, με μηδενική την ταχύτητα πάνω στην επιφάνεια η οποία βαίνει αύξουσα κατά μήκος του προφίλ.

BOUNDARY LAYER ON FLAT PLATE

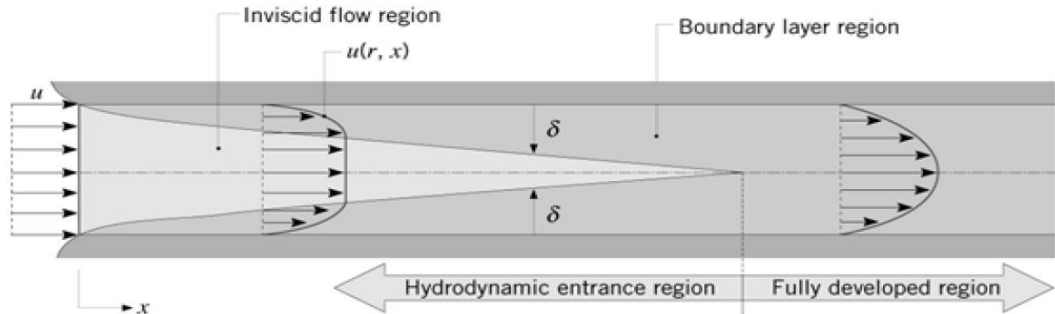
(y scale greatly enlarged)



Εικ. Ανάπτυξη οριακού στρώματος σε επίπεδη πλάκα

Γενικά μπορεί να πει κανείς πως το πάχος του οριακού στρώματος εξαρτάται από τον αριθμό Reynolds του ρευστού ο οποίος ορίζεται ως το γινόμενο της ταχύτητας του ρευστού επί την πυκνότητα του ,επί ένα χαρακτηριστικό μήκος προς τον συντελεστή συνεκτικότητας αυτού.

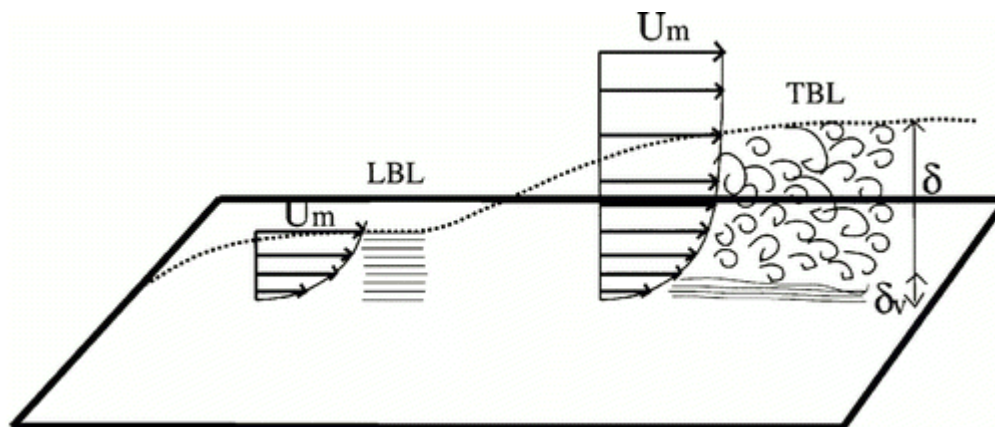
$$Re = V * r * l / \mu$$



Εικ.Ανάπτυξη υδροδυναμικού οριακού στρώματος εντός σωλήνωσης

Τα οριακά στρώματα μπορεί να είναι στρωτά η τυρβώδη και αυτό εξαρτάται αποκλειστικά από την αξία του αριθμού Reynolds. Σε χαμηλούς αριθμούς Reynolds ,το οριακό στρώμα είναι στρωτό και το προφίλ της ταχύτητας μεταβάλλεται ομοιόμορφα όσο απομακρυνόμαστε από την επιφάνεια του στερεού. Σε υψηλότερους αριθμούς Reynolds το οριακό στρώμα είναι τυρβώδες και το προφίλ της ταχύτητας χαρακτηρίζεται απο ασταθής (χρονικά μεταβλητές) συστρεφόμενες ροές –δίνες εντός του οριακού στρώματος. Η εξωτερική ροή επιδρά στην κορυφή του οριακού στρώματος όπως θα έκανε με την επιφάνεια του στερεού.

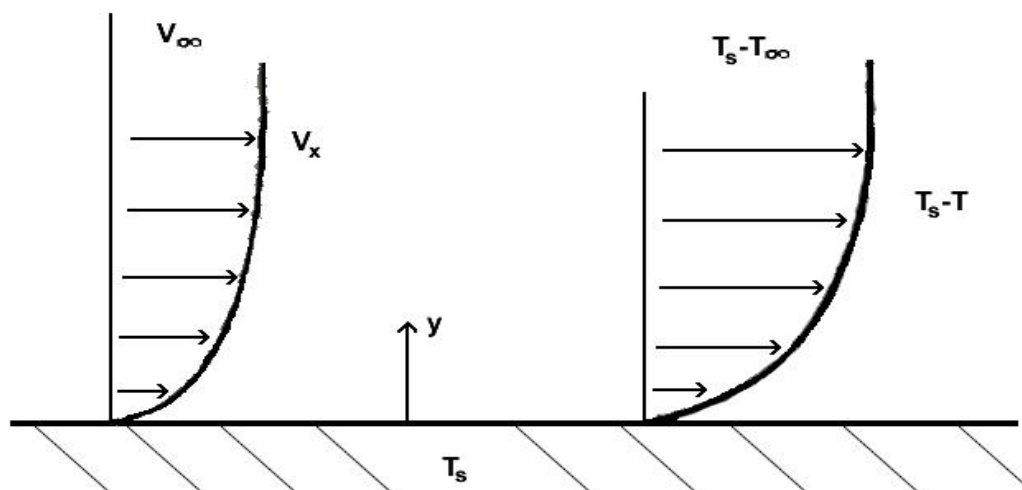
Γενικά η ροή εντός του οριακού στρώματος χαρακτηρίζεται από πολύ χαμηλή ενέργεια(αναλογικά με την ελεύθερη ροή) και είναι πολύ ευαίσθητη στις αλλαγές πίεσης που συντελούνται τοπικά. Το υδροδυναμικό οριακό στρώμα δύναται να ανυψωθεί η να αποκολληθεί τοπικά από την επιφάνεια του στερεού περιπλέκοντας αρκετά το αεροδυναμικό πεδίο δυνάμεων της περιοχής. Η αποκόλληση της ροής είναι χαρακτηριστικό πρόβλημα στην αεροναυπηγική και εν γένει σε όλα τα ροϊκά προβλήματα.



Εικ. Αποκόλληση της ροής σε επιπεδη πλάκα

Θερμικό οριακό στρώμα

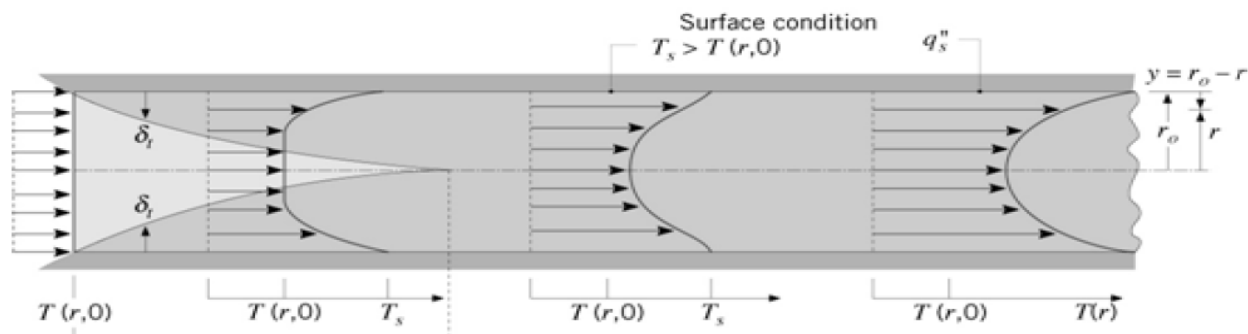
Η ανάλυση του υδροδυναμικού οριακού στρώματος μας φανερώνει την ανάγκη διατύπωσης αντίστοιχων θεωριών για το θερμικό οριακό στρώμα. Το θερμικό οριακό στρώμα πραγματεύεται την μετάδοση θερμότητας μεταξύ στερεού και ρευστού οριακά κοντά στην επιφάνεια του στερεού σώματος.



Η θερμότητα γενικά θα ρέει από ένα στερεό προς ένα ρευστό μέσο, και αντίστροφα, όταν μεταξύ τους εμφανίζεται θερμοκρασιακή διαφορά. Κοντά στο τοίχωμα έχουμε μηδενικές ταχύτητες στην ροή ενώ απομακρυνόμενοι οι ταχύτητες έρχονται να εξισωθούν σε κάποιο ύψος με αυτές του ελεύθερου ρεύματος όπως αναπτύξαμε παραπάνω περί του υδροδυναμικού οριακού στρώματος.

Αντίστοιχα, έχουμε θερμοκρασιακές διακυμάνσεις μεταξύ του τοιχώματος και του ελεύθερου ρεύματος που εκτείνονται σε όλο το πάχος του οριακού στρώματος. Το ρευστό πολύ κοντά στο τοίχωμα υποθέτουμε ότι βρίσκεται σε θερμοκρασιακή ισοροπία με το στερεό ενώ σε κάποια απόσταση θεωρούμε πως έχει την θερμοκρασία του ελεύθερου ρεύματος. Το ύψος αυτό στο οποίο συντελείται η μετάβαση από την θερμοκρασία του τοιχώματος στην θερμοκρασία του ελεύθερου ρεύματος καλείται θερμικό οριακό στρώμα.

Το υδροδυναμικό οριακό στρώμα και το θερμικό οριακό στρώμα βρίσκονται σε αλληλεπίδραση μεταξύ τους καθόλη την εξέλιξη του φαινομένου, χωρίς όμως τα πάχη των δύο οριακών στρωμάτων κατ'ανάγκη να ταυτίζονται.



Εικ.Ανάπτυξη θερμικού οριακού στρώματος εντός σωλήνωσης

Ο αριθμός Prandtl μας βοηθάει στην ανάλυση που κάνουμε όταν προσδιορίζουμε το πάχος του θερμικού και υδροδυναμικού στρώματος. Γενικά η σχέση των αδιάστατων αριθμών Nusselt Reynolds και Prandtl εξαρτάται από το μέγεθος κυρίως του αριθμού Prandtl που έγκυται στην συσχέτιση του πάχους του υδροδυναμικού και του θερμικού οριακού στρώματος. Σε μεγάλους αριθμούς Prandtl παρατηρείται πως το εύρος του θερμικού οριακού στρώματος εντοπίζεται εντός του εύρους του υδροδυναμικού ενώ σε μικρούς αριθμούς Prandtl το θερμικό οριακό στρώμα τείνει να έχει μεγαλύτερο πάχος από το αντίστοιχο υδροδυναμικό. Γενικά έχουν διατυπωθεί αρκετές προτάσεις για την συσχέτιση των προαναφερόμενων αδιάστατων αριθμών. Παρακάτω παρατίθεται ένας πίνακας που παρουσιάζει μερικές εμπειρικές σχέσεις διαφόρων ερευνητών.

Prandtl Number	Heat Transfer Condition	Correlation
$Pr < 0.1$ (e.g. liquid metals)	Constant Heat Rate	$Nu = 6.3 + .003(RePr)$
$Pr < 0.1$ (e.g. liquid metals)	Constant Temperature	$Nu = 4.8 + .003(RePr)$
$0.5 < Pr < 1$ (e.g. gases)	Constant Heat Rate	$Nu = 0.022(Re^{0.8} Pr^{0.6})$
$0.5 < Pr < 1$ (e.g. gases)	Constant Temperature	$Nu = 0.021(Re^{0.8} Pr^{0.6})$
$1.0 < Pr < \sim 20$ (e.g. water & light liquids)	All	$Nu = 0.0155(Re^{0.83} Pr^{0.5})$
$Pr > \sim 20$ (e.g. oils & viscous liquids)	All	$Nu = 0.0118(Re^{0.9} Pr^{0.3})$

Η κατανόηση του θερμικού οριακού στρώματος στη συναγωγή είναι αναγκαία για την κατανόηση του φαινομένου της συναγωγής μεταξύ της επιφάνειας ενός στερεού σώματος και ενός ρευστού που ρέει περίξ του στερεού.

Ο ρυθμός μετάδοσης της θερμότητας δύναται να γραφεί :

$$q_y = hA (T_s - T_\infty)$$

Και επειδή στην επιφάνεια διεπαφής έχουμε κυρίως μετάδοση διά αγωγής ισχύει:

$$q_y = -kA \frac{\partial}{\partial y} (T - T_s)|_{y=0}$$

Αυτά τα δύο μεγέθη είναι σε ισορροπία οπότε το ενεργειακό ισοζύγιο δίνει:

$$-kA \frac{\partial}{\partial y} (T - T_s)|_{y=0} = hA (T_s - T_\infty)$$

$$\Rightarrow \frac{h}{k} = \frac{\frac{\partial(T_s - T)}{\partial y}|_{y=0}}{(T_s - T_\infty)} \Rightarrow \frac{hL}{k} = \frac{\frac{\partial(T_s - T)}{\partial y}|_{y=0}}{(T_s - T_\infty)}$$

Δηλαδή αδιαστατοποιούμε πολλαπλασιάζοντας με το προβαλλόμενο μήκος L
Εμφανίσαμε τον λόγο του συντελεστή συναγωγής προς τον συντελεστή αγωγής ο οποίος καλείται και αριθμός Nusselt

$$\text{Nu} = \frac{hL}{k}$$

Όπου:

h ο ο συντελεστής μετάδοσης διά συναγωγής

L χαρακτηριστικό μήκος

k ο συντελεστής μετάδοσης του ρευστού διά αγωγής στην θερμοκρασία αναφοράς

Ο ρόλος της επιφανειακής τραχύτητας

Η επιφανειακή τραχύτητα επιδρά στην ανάπτυξη του υδροδυναμικού οριακού στρώματος όπως επίσης επιδρά και στο θερμικό οριακό στρώμα. Η επιφανειακή τραχύτητα είναι αυτό ακριβώς που λέει ο ορισμός δηλαδή είναι το κατά πόσον η επιφάνεια του στερεού είναι λεία ,έχει ασυνέχειες ή ατέλειες και είναι ομογενής ή όχι. Η επιφανειακή τραχύτητα επί της ουσίας επιδρά στον συντελεστή τριβής και όταν πραγματευόμαστε ροικά φαινόμενα επιδρά στην τιμή του αριθμού Reynolds οπότε καθιστά την ροή στρωτή ή τυρβώδη.

Γενικότερα σε στρωτές ροές η συνεισφορά της επιφανειακής τραχύτητας θεωρείται σχετικά μικρή. Στα φαινόμενα όμως που χαρακτηρίζονται από τυρβώδη ροή αν το ύψος της επιφανειακής τραχύτητας είναι μεγαλύτερο από το εύρος του στρωτού οριακού υποστρώματος τότε η τυρβή ενισχύεται και έχουμε μεγαλύτερες ενεργειακές απώλειες στην ροή. Αν το ύψος της τραχύτητας είναι μικρότερο από το στρωτό οριακό υπόστρωμα τότε η επιφάνεια θεωρείται στρωτή-λεία και η συνεισφορά της είναι μικρή αναφορικά με το εύρος του οριακού στρώματος.

Θεωρητικά μοντέλα στην συναγωγή θερμότητας

Αν και η συναγόμενη θερμότητα μπορεί να υπολογιστεί αναλυτικά, η ακριβής ανάλυση του οριακού στρώματος, η προσεγγιστική διαφορική λύση του οριακού στρώματος και οι αναλογίες μεταξύ της μεταφερόμενης ενέργειας και της ορμής, αποτελούν προσεγγίσεις οι οποίες μπορεί να μην προσφέρουν πρακτικές λύσεις όταν δεν υπάρχουν εφαρμόσιμα μαθηματικά μοντέλα. Επομένως, πολλά μοντέλα έχουν αναπτυχθεί από διάφορους ερευνητές για τον υπολογισμό του συντελεστή συναγωγιμότητας σε διάφορες εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένου της φυσικής συναγωγής, της εξαναγκασμένης συναγωγής εσωτερικής και εξωτερικής ροής. Αυτά τα εμπειρικά μοντέλα εφαρμόζονται σε συγκεκριμένα γεωμετρικά προβλήματα και συνθήκες ροής. Δεδομένου ότι οι ιδιότητες των ρευστών είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας που βρίσκονται, τα προβλήματα αξιολογούνται σχετικά με την θερμοκρασία του φιλμ T_f , η οποία προκύπτει από τον μέσο όρο της επιφανειακής θερμοκρασίας του στερεού T_s , και του ρευστού σε μεγάλη απόσταση T_∞

$$T_f = \frac{T_s + T_\infty}{2}$$

5.6 Θερμική Ακτινοβολία

Η θερμική ακτινοβολία είναι η ενέργεια που εκλύεται από ένα σώμα με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων διά μέσου της δεξαμενής θερμικής ενέργειας που κάθε υλικό ενέχει όταν βρίσκεται σε θερμοκρασία ανώτερη του απόλυτου μηδενός.

Η θερμική ακτινοβολία προκύπτει από την τυχαία κίνηση των ατόμων και των μορίων των υλικών. Δεδομένου ότι τα άτομα και μόρια αποτελούνται από φορτισμένα σωματίδια (πρωτόνια και ηλεκτρόνια) η κίνηση αυτών των φορτισμένων σωματιδίων προκαλεί την έκλυση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας η οποία απάγει ενέργεια από την επιφάνεια των σωμάτων αυτών προς τον περιβάλλοντα χώρο. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία όπως και το φως δεν απαιτούνε την ύπαρξη μέσου για να διαδοθούν χωρικά και ταξιδεύουν απεριόριστα στο κενό όπως συμβαίνει στο σύμπαν.

Τα χαρακτηριστικά της θερμικής ακτινοβολίας εξαρτώνται από πολλές ιδιότητες της επιφάνειας από την οποία εκλύονται όπως για παράδειγμα την θερμοκρασία, την φασματική εκλυόμενη ισχύ, την φασματική απορροφήση όπως εκφράζονται από τους νόμους του Kirchhoff. Η ακτινοβολία δεν είναι μονοχρωματική δλδ δεν εκλύεται σε μοναδική συχνότητα αλλά αποτελείται από μιά πληθώρα έκλυσης φωτονίων στο χαρακτηριστικό φάσμα των συχνοτήτων. Αν το εκλύον σώμα και η επιφάνεια του βρίσκονται σε θερμοδυναμική ισορροπία και η επιφάνεια του έχει απόλυτη απορροφησιμότητα σε όλα τα μήκη κύματος, τότε αυτό χαρακτηρίζεται ως μέλαν σώμα. Το μέλαν σώμα θεωρείται ο τέλειος πομπός ακτινοβολίας. Ο λόγος της ακτινοβολίας που εκλύει το κάθε σώμα προς αυτήν που εκλύει το μέλαν σώμα καλείται συντελεστής έκλυσης και είναι χαρακτηριστική ιδιότητα κάθε υλικού, κατά συνέπεια το μέλαν σώμα έχει συντελεστή έκλυσης ίσο με τη μονάδα.

Ο νόμος του Planck περιγράφει και ποσοτικοποιεί την μετάδοση ενέργειας από ένα μέλαν σώμα συναρτήσει των μεταβαλλόμενων συχνοτήτων σε κάθε δεδομένη θερμοκρασία

$$I(\nu, T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}.$$

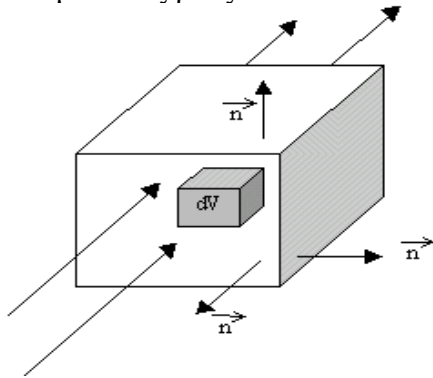
Ορίζονται επίσης οι έννοιες της απορροφητικότητας την ανακλαστικότητας και της εκπομπής και για όλα τα σώματα είναι συνάρτηση του μήκους κύματος της ακτινοβολίας. Η θερμοκρασία καθορίζει το μήκος κύματος της ακτινοβολίας που εκπέμπεται.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θεωρήσαμε αμεληταίες τις απώλειες διά ακτινοβολίας από την θερμαινόμενη αντίσταση και τα εμπόδια δεδομένου ότι είχαμε πολύ χαμηλή θερμοκρασία στερεού σώματος και επομένως ασήμαντα ποσά ενέργειας σε σχέση με την συναγούμενη ροή θερμότητας.

6.Εξισώσεις διατήρησης μάζας , ορμής και ενέργειας.

Στον κλάδο της μηχανικής των ρευστών οι εξισώσεις του Euler περιγράφουν την συμπεριφορά των μη συνεκτικών ρευστών. Οι εξισώσεις διατήρησης της μάζας της ορμής και της ενέργειας καλύπτουν το θέμα της ρευστομηχανικής σε αντιστοιχεία με τους νόμους Navier –Stokes που απαλοΐφουν τις παραμέτρους της συνεκτικότητας και της αγωγής θερμότητας. Οι εξισώσεις διατήρησης δύναται να γραφούν σε συντηριτική και μη συντηριτική μορφή αναλόγως με το αν το έχουμε κάποιο σταθερό όγκο ελέγχου και ελέγχουμε την διατήρηση ή αν έχουμε έναν κινούμενο όγκο ελέγχου να ρέει παράλληλα με τα στοιχεία ρευστού οπότε και χρησιμοποιήσουμε την μη συντηριτική γραφή.

Οι εξισώσεις του Euler έχουν εφαρμογή και σε συμπιεστά ρευστά όπως και σε ασυμπίεστες ροές.



Εικ. Όγκος ελέγχου

Διατήρηση της Μάζας

Η εξίσωση της διατήρησης της μάζας συναρτήσε του χρόνου δύναται να γραφεί ως εξής :

$$\dot{m} = \int_{CS} \rho (\mathbf{V} \cdot \mathbf{n}) dA$$

Για σταθερή ροή γράφουμε :

$$\int_{CS} \rho (\mathbf{V} \cdot \mathbf{n}) dA = 0$$

Και για ασυμπίεστη ροή είναι :

$$\int_{CS} (\mathbf{V} \cdot \mathbf{n}) dA = 0$$

Διατήρηση της Ορμής

$$\sum F = \frac{d}{dt} \left(\int_{CV} \mathbf{V} \rho \right) + \int_{CS} \mathbf{V} \rho (\mathbf{V} \cdot \mathbf{n}) dA$$

Δλδ το άθροισμα των δυνάμεων που επιδρούν στον όγκο του ρευστού συμπεριλαμβανομένου επιφανειακές και βαρυτικές δυνάμεις.

Διατήρηση της ενέργειας

Το πρώτο θερμοδυναμικό αξίωμα μας δίνει τα εξής :

$$\frac{dQ}{dt} + \frac{dW}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\int_{CV} e\rho \right) + \int_{CS} e\rho (\mathbf{V} \cdot \mathbf{n}) dA$$

Όπου e η ενέργεια ανά μονάδα μάζας

Η εξίσωση της συνέχειας

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{V}) = 0$$

Η παράγωγος της μάζας σε σχέση με την αλλαγή της πυκνότητας και της ταχύτητας.

Για ασυμπίεστα ρευστά όπου η πυκνότητα είναι σταθερή έχουμε :

$$\rho (\nabla \cdot \mathbf{V}) = 0$$

Επιπρόσθετα με τους νόμους διατήρησης ,εξειδικευμένες συναρτήσεις σχετικά με τις μεταβλητές κατάστασης χρειάζονται για την επίλυση προβλημάτων για διάφορους τύπους ρευστών.Για την επίλυση πολύπλοκων ροικών προβλημάτων πρέπει να οριστούν οι οριακές συνθήκες και με ταυτόχρονη επίλυση όλων των εξισώσεων σε όλο το πεδίο ροής για κάθε τιμή του χρόνου προκύπτει η λύση.Αυτή είναι μία αναλυτική μέθοδος και συνήθως απαιτείται γρήγορος η/υ λόγω της πολυπλοκότητας και του αριθμού των εξισώσεων που πραγματεύεται.

7 ΠΑΡΑΘΕΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

7.1 Η διαδικασία του πειράματος

Μετά την προετοιμασία της θερμαινόμενης πλάκας με το φύλλο των υγρών κρυστάλλων και τον αισθητήρα θερμοκρασίας τοποθετήθηκαν επί της πλάκας τα εμπόδια,συνεχή και διακεκομένα, στις τεσσερις διαφορετικές γεωμετρίες που περιγράψαμε.Έπειτα ρυθμίσαμε την έξοδο του τροφοδοτικού μας ούτως ώστε να παρέχει ηλεκτρική ισχύ στην αντίσταση εντός συγκεκριμένου εύρους.Η θερμοκρασία της πλάκας βάση της ένδειξης του θερμοζεύγους φροντίσαμε να διατηρήται σταθερή στην περιοχή λειτουργίας των υγρών κρυστάλλων ούτως ώστε να μην καταστραφούν από υπερθέρμανση αλλά ταυτόχρονα να είναι ενεργοί στο θερμοκρασιακό φάσμα του κατασκευαστή.

Ρυθμίσαμε επιπλέον την αεροσήραγγα να παρέχει ψυκτικό ρεύμα στις ταχύτητες που μας ενδιέφερε μετρώντας την δυναμική πίεση αυτού με ειδική μετρητική διάταξη Pitot.Σε κάθε περίπτωση περιμέναμε αρκετά ούτως ώστε να είναι βέβαιο πως έχουμε πλήρως ανεπτυγμένες συνθήκες του φαινομένου της διάδοσης ρυθμίζοντας με ακρίβεια όλα τα επι μέρους στοιχεία του πειράματος αναφορικά με την ηλεκτρική ισχύ και την ένδειξη του θερμοζεύγους.

Εν συνεχεία θέταμε σε λειτουργία τον καταγραφικό εξοπλισμό μας αποθηκεύοντας σε μορφή αρχείων εικόνας τα δεδομένα που μας παρείχε η ψηφιακή κάμερα λήψης.Τα αρχεία πραγματικού χρώματος rgb που λήφθηκαν από την ccd camera μετατραπήκανε σε εικόνες τύπου tif μέσα απο κατάλληλο λογισμικό.Οι εικόνες αυτές επεξεργάστηκανε με διαθέσιμα εμπορικά πακέτα και μέσα απο τον αλγόριθμο μετατροπής του matlab rgb2hsv οι εικόνες πραγματικού χρώματος rgb μετατραπήκανε σε εικόνες του χρωματικού συστήματος αναφοράς hsv σε αντιστοιχεία pixel by pixel.Κατάλληλος κώδικας matlab σαρώνοντας τις εικόνες αποφάνθηκε για την τελική κατανομή της θερμοκρασίας αφού προηγήθηκε η βαθμονόμηση των κρυστάλλων μας και αναλύθηκε η συμπεριφορά τους βάση του χαρακτηριστικού πολώνυμου .

Κατ'αυτόν τον τρόπο τελικά αποφανθήκαμε για τον ειδικό συντελεστή συναγωγιμότητας κατά μηκους της πλάκας και για τον αριθμό Nusselt. Τα δεδομένα λήψεις που καταγράψαμε αφορούν συνολικά 48 διαφορετικές περιπτώσεις γεωμετρίας εμποδίων,ροής θερμότητας και ταχύτητας ρεύματος ψύξης.

Εικόνες πραγματικού χρώματος RGB

Διάταξη A



A.1

A.2

A.3



A.4

A.5

A.6



A.7

A.8

A.9



A.10

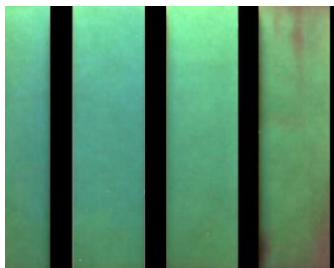
A.11

A.12

Διάταξη Β



B.1



B.2



B.3



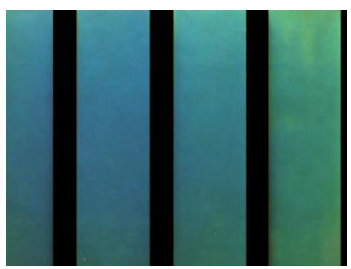
B.4



B.5



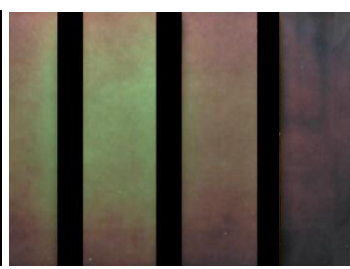
B.6



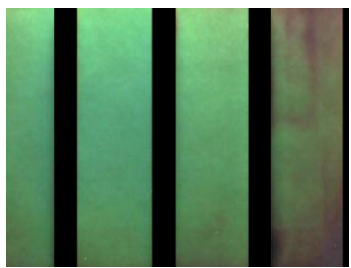
B.7



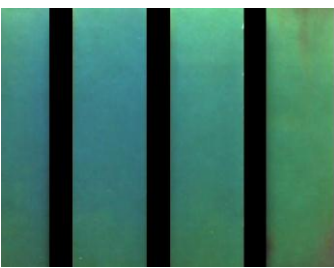
B.8



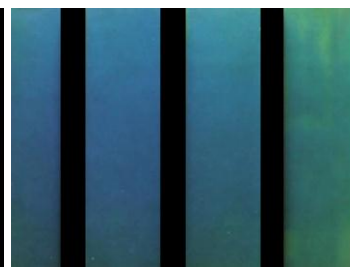
B.9



B.10



B.11



B.12

Διάταξη Γ



Γ.1



Γ.2



Γ.3



Γ.4



Γ.5



Γ.6



Γ.7



Γ.8



Γ.9



Γ.10

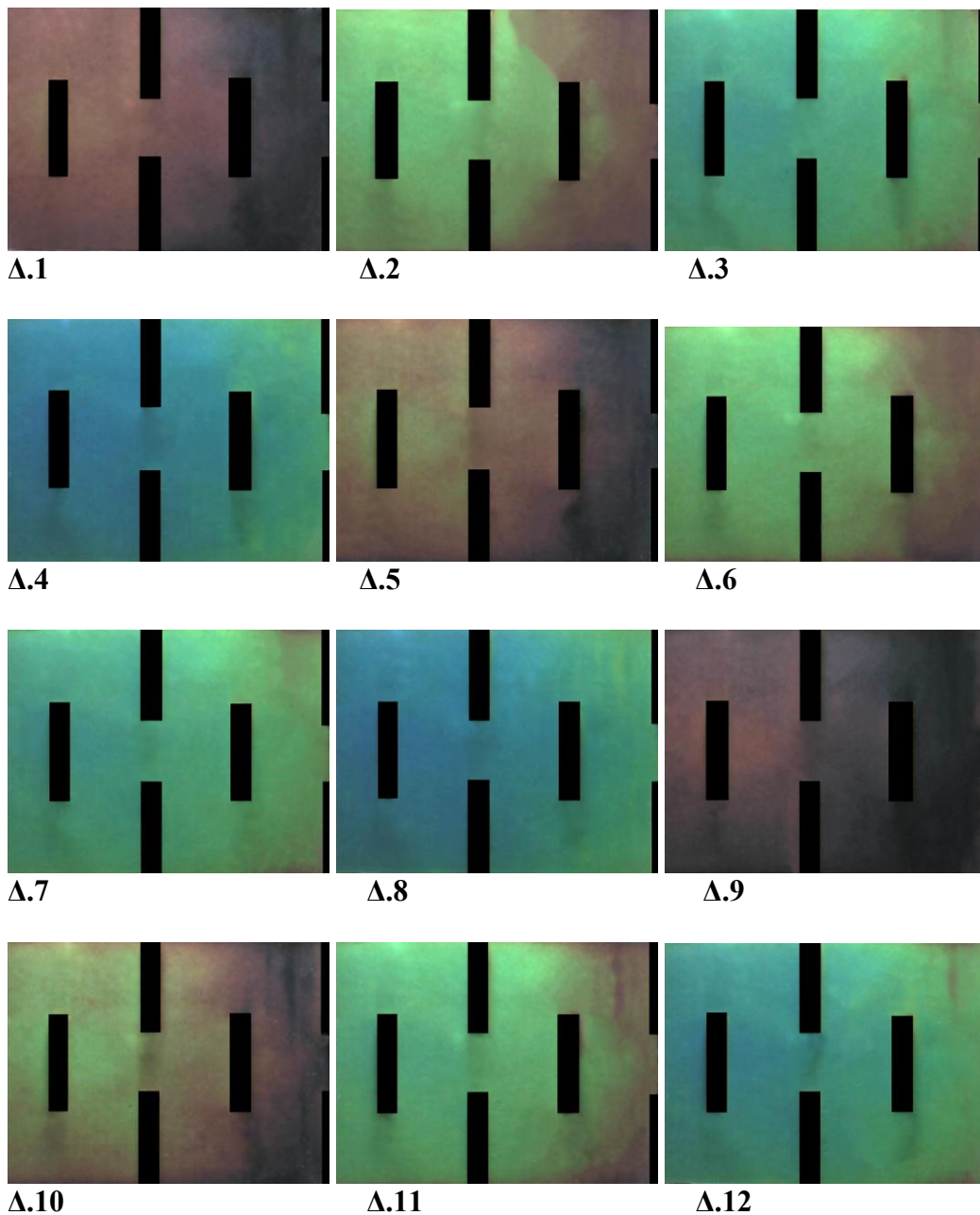


Γ.11



Γ.12

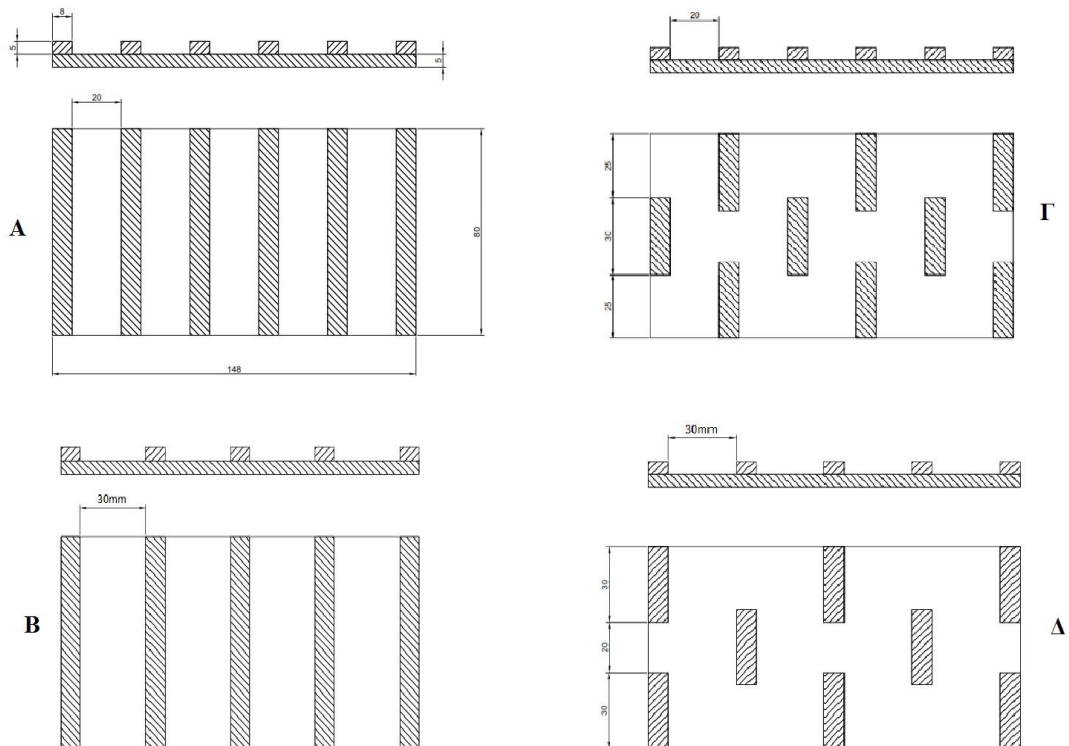
Διάταξη Δ



Παραπάνω βλέπουμε τα καρτέ που καταγράψαμε από την κάμερα.Στις περιπτώσεις που το οπτικό αποτέλεσμα ήταν χαμηλής ευκρίνειας επαναλάβαμε πολλαπλές φορές την καταγραφή και συσχετίσαμε τα καρτέ των ίδιων συνθηκών ούτως ώστε να πάρουμε την μέγιστη δυνατή οπτική πληροφορία .

Συγκεκριμένα έχουμε :

Διατάξη Α(x)	Διατάξη Β(x)	Διατάξη Γ(x)	Διατάξη Δ(x)	Τπερ=27 °C
2,64 (1,2,3,4)	2,64(1,2,3,4)	2,64 (1,2,3,4)	2,64 (1,2,3,4)	V stream (m/s)
2,88 (5,6,7,8)	2,88 (5,6,7,8)	2,88 (5,6,7,8)	2,88 (5,6,7,8)	
3,29(9,10,11,12)	3,29(9,10,11,12)	3,29(9,10,11,12)	3,29(9,10,11,12)	
2.08 (1,5,9)	2.08(1,5,9)	2.08 (1,5,9)	2.08(1,5,9)	Ισχύς (Watt)
2.61(2,6,10)	2.61(2,6,10)	2.61 (2,6,10)	2.61 (2,6,10)	
3.2 (3,7,11)	3.2(3,7,11)	3.2 (3,7,11)	3.2 (3,7,11)	
3.96 (4,8,12)	3.96 (4,8,12)	3.96 (4,8,12)	3.96 (4,8,12)	
L=1/4	L=1/6	L=1/4	L=1/6	L=h/D (ύψος εμποδίου προς απόσταση εμποδίων)



Εικ.Οι τέσσερις γεωμετρικές διατάξεις εμποδίων που υλοποιήθηκαν,Α και Γ με λόγο ύψους προς απόσταση εμποδίων $L=1/4$ ενώ Β και Δ με λόγο $L=1/6$

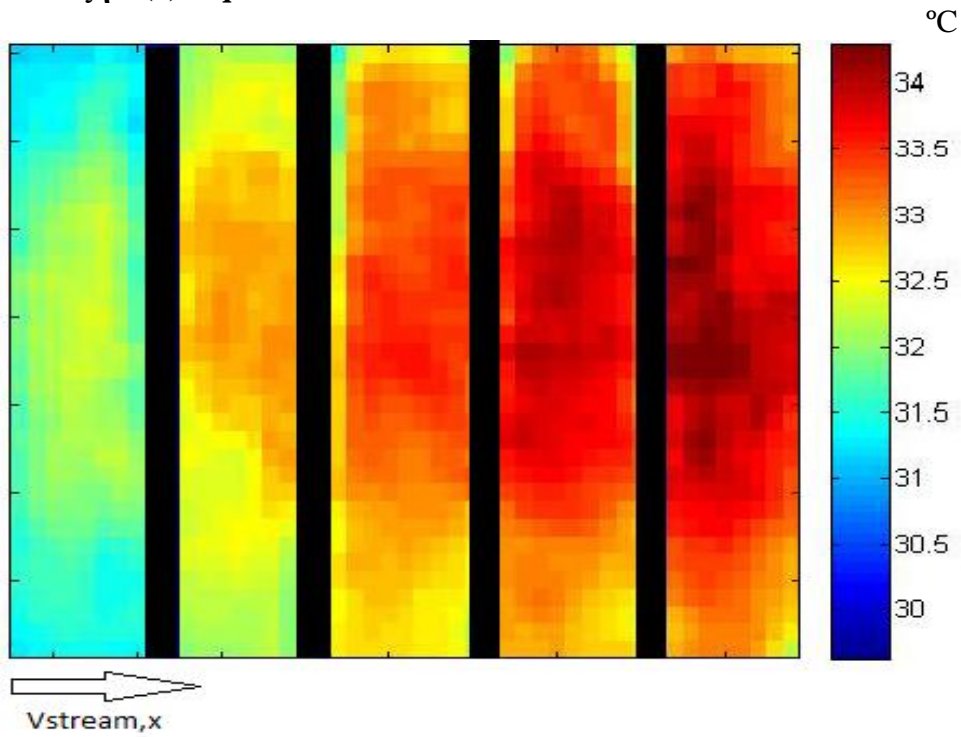
Τρεις περιπτώσεις ταχύτητας ρεύματος ψύξης, τέσσερις περιπτώσεις ροής θερμότητας και τέσσερις γεωμετρικές διατάξεις εμποδίων μας δίνουν 48 διακριτές καταστάσεις συναγωγής θερμότητας.

Οι καταλληλότερες εικόνες προς επεξεργασία προέκυψαν στην μέγιστη ηλεκτρική και επομένως θερμική ισχύ που μπορούσαμε να δώσουμε συναρτήσει της περιβαλλοντικής θερμοκρασίας τις ημερομηνίες των πειραμάτων και χωρίς να ανεβαίνουμε σε πάρα πολύ υψηλές ταχύτητες του ρεύματος ψύξης ότως ώστε να αποφύγουμε έντονα ροικά φαινόμενα. Κατά συνέπεια θα μελετήσουμε αυτές τις περιπτώσεις συναγωγής θερμότητας όπου έχουμε την μέγιστη ηλεκτρική ισχύ στην αντίσταση για όλες τις συνθήκες ταχύτητας και για όλες τις επιμέρους γεωμετρίες εμποδίων.

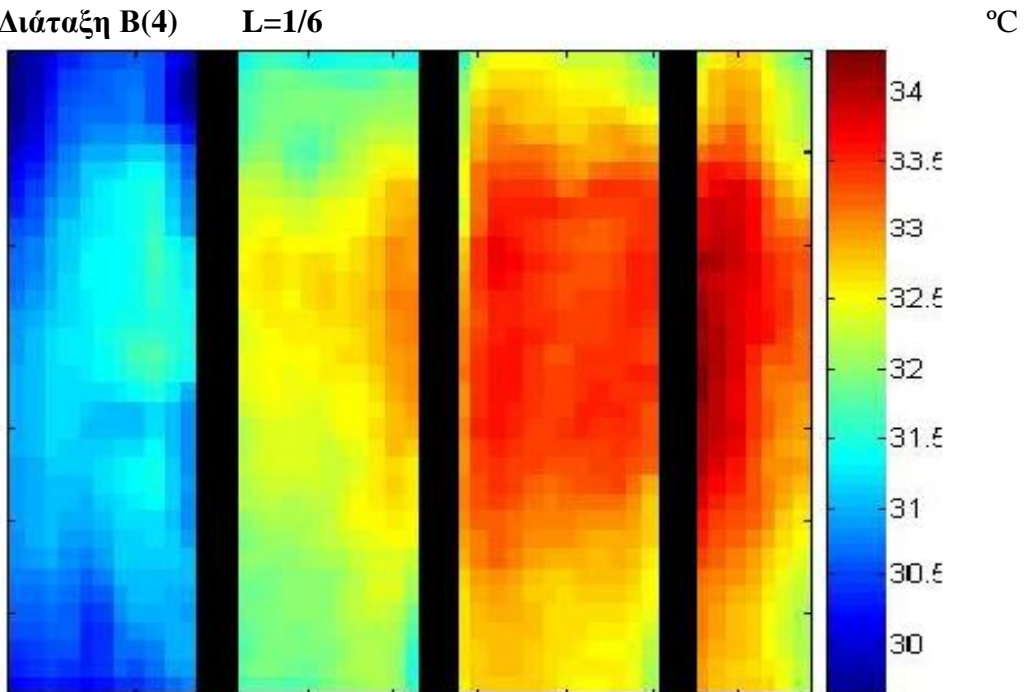
Στην ανάλυση μας θεωρήσαμε αδιαβατική την επιφάνεια έδρασης της πλάκας δεδομένου ότι αποτελείται από φελιζόλ πολύ μικρής θερμικής αγωγιμότητας, όπως επίσης θεωρήσαμε και αμεληταίες τις απώλειες ενέργειας διά ακτινοβολίας από την πλάκα και τα εμπόδια. Έτσι απλοποιήσαμε το μοντέλο μετάδοσης θερμότητας για να εξετάσουμε συγκεκριμένα την εξαναγκασμένη συναγωγή θερμότητας που λαμβάνει χώρα μεταξύ της θερμαινόμενης πλάκας και του ρεύματος ψύξης εντός της αεροσήραγγας.

7.2 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

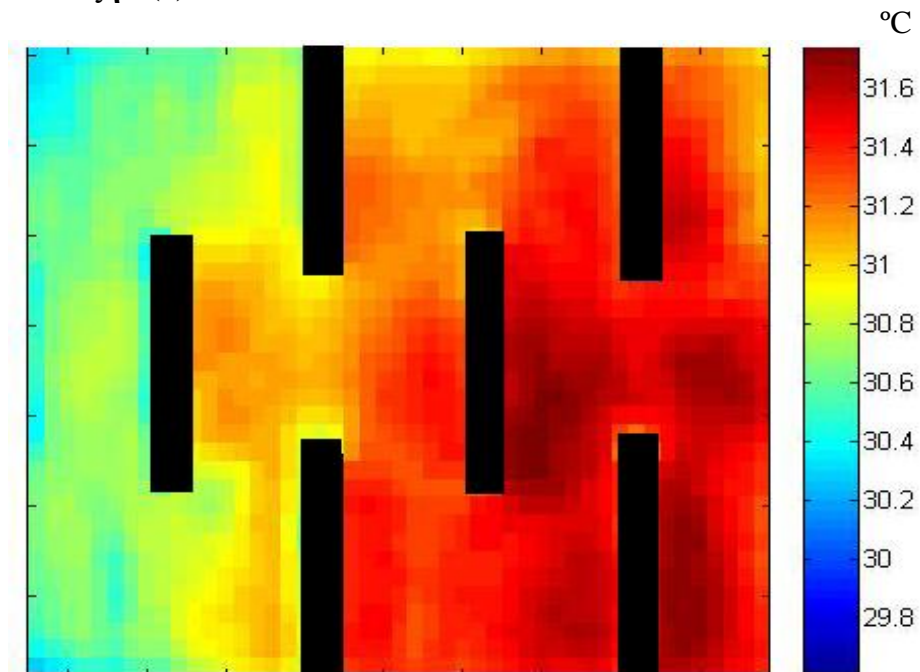
Διάταξη A(4) : $q=198\text{w/m}^2$ $V_{\text{stream}}=2.64\text{m/s}$ $L=1/4$



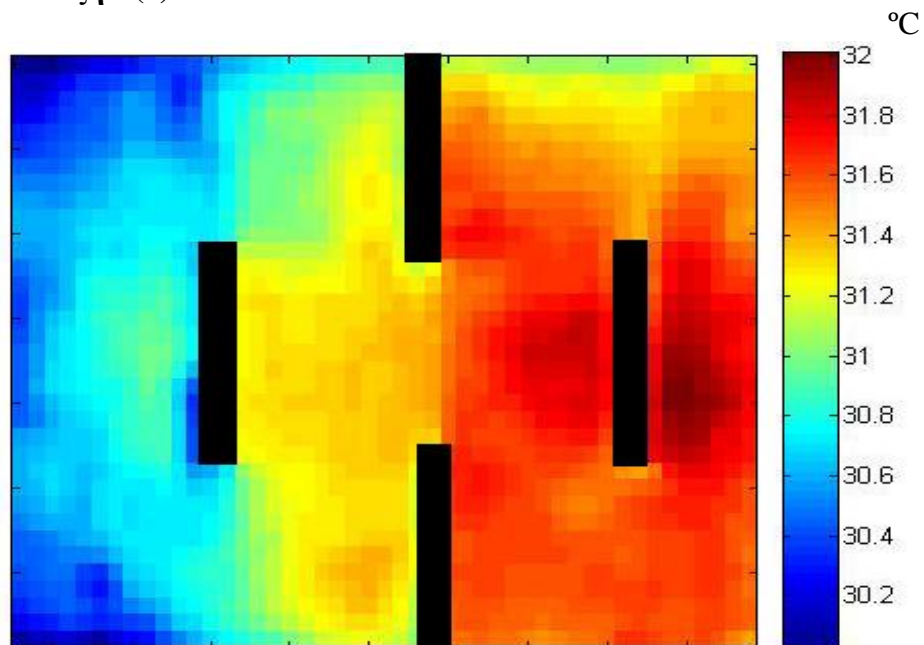
Διάταξη B(4) $L=1/6$



Διάταξη Γ(4) L=1/4



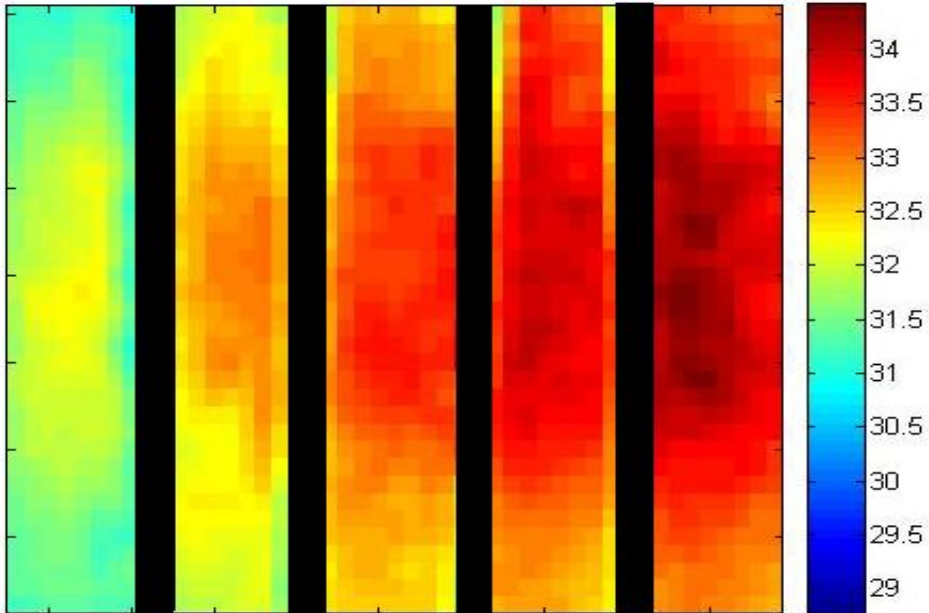
Διάταξη Δ(4) L=1/6



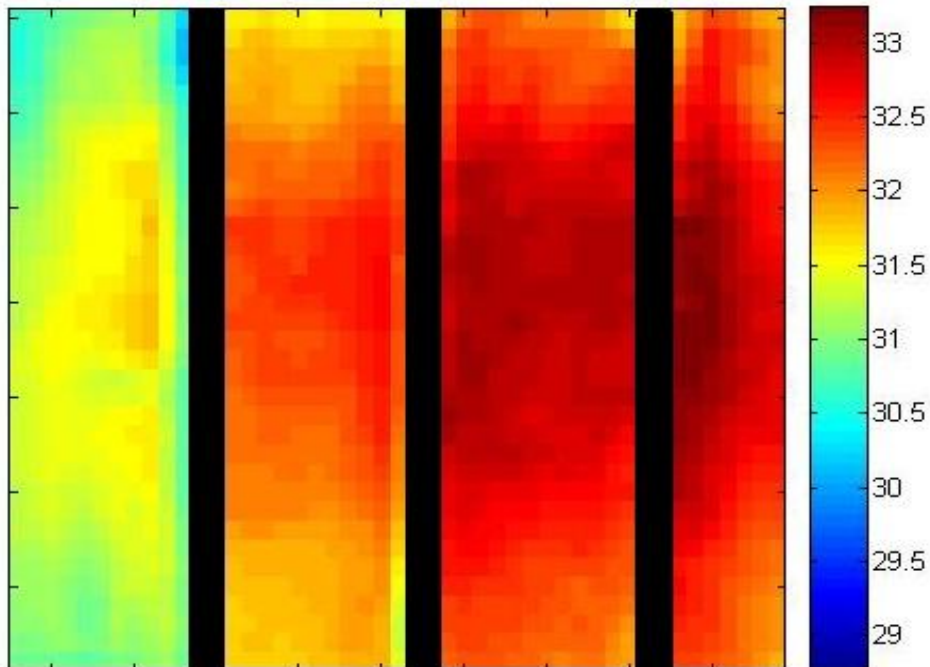
Παρατηρούμε πως στην διάταξη A με $L=1/4$ και για τις ίδιες συνθήκες εμφανίζονται οι υψηλότερες θερμοκρασίες ενώ οι ελάχιστες θερμοκρασίες φαίνεται να επιτυγχάνονται στις διατάξεις διακεκομένων εμποδίων.

Για ηλεκτρική ισχύ $P=3.96\text{watt}$ που αντιστοιχεί σε ροή θερμότητας $q=198\text{w/m}^2$ από την διεπιφάνεια της πλάκας και ταχύτητα ρεύματος ψύξης $V_{\text{stream}}=2.88\text{ m/s}$ προκύπτουν οι κάτωθι θερμοκρασιακές κατανομές επί της πλάκας

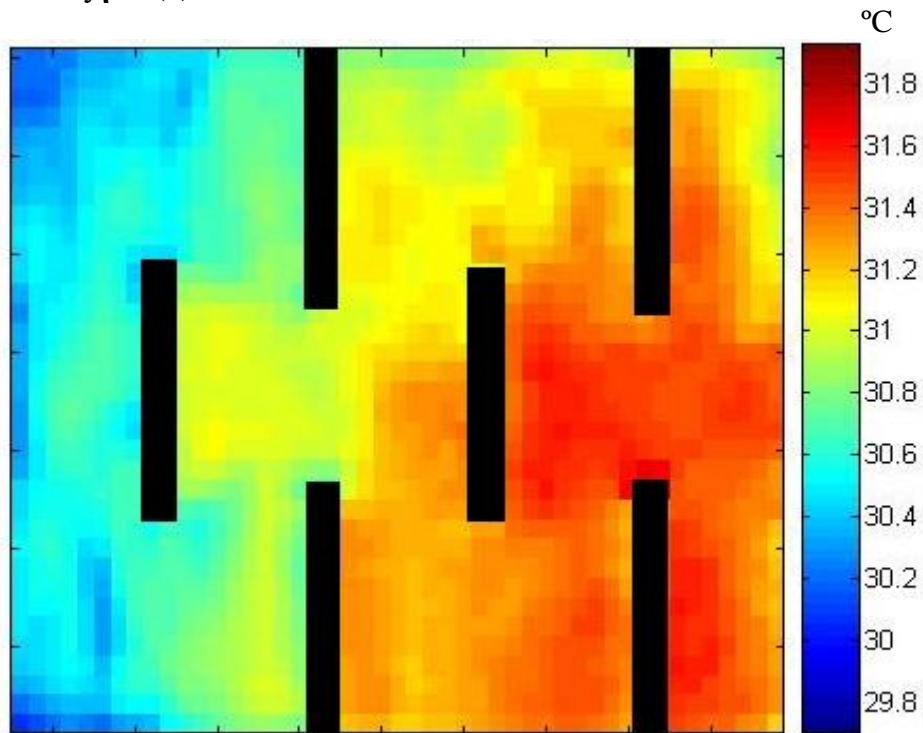
Διάταξη A(8) : $q = 198\text{w/m}^2$ $V_{\text{stream}}=2.88\text{m/s}$ $L=1/4$ °C



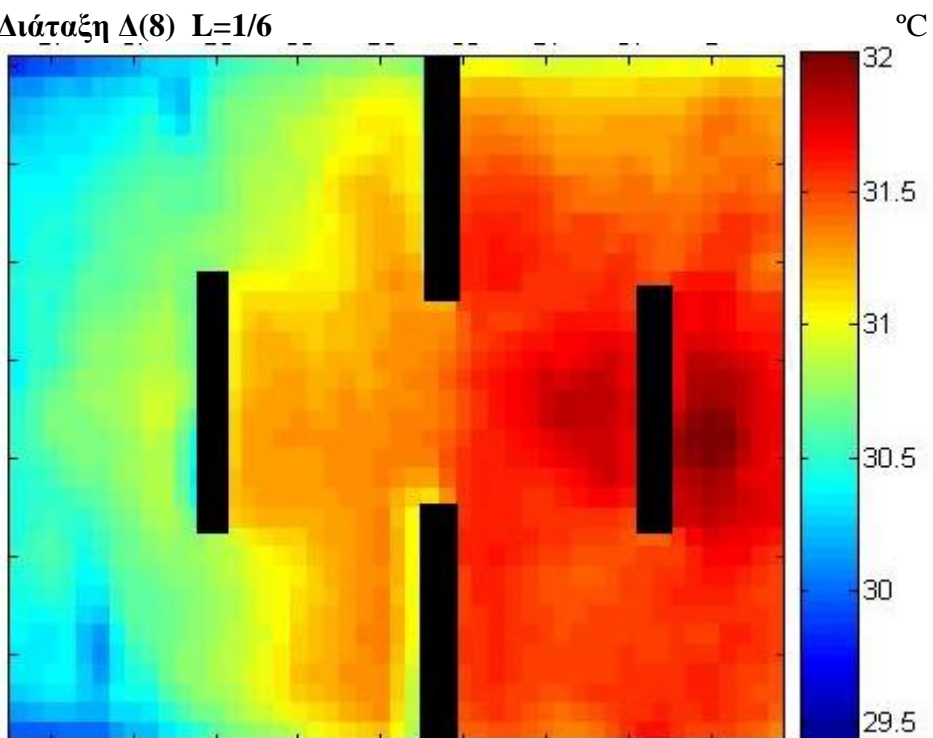
Διάταξη B(8) $L=1/6$ °C



Διάταξη Γ(8) L=1/4



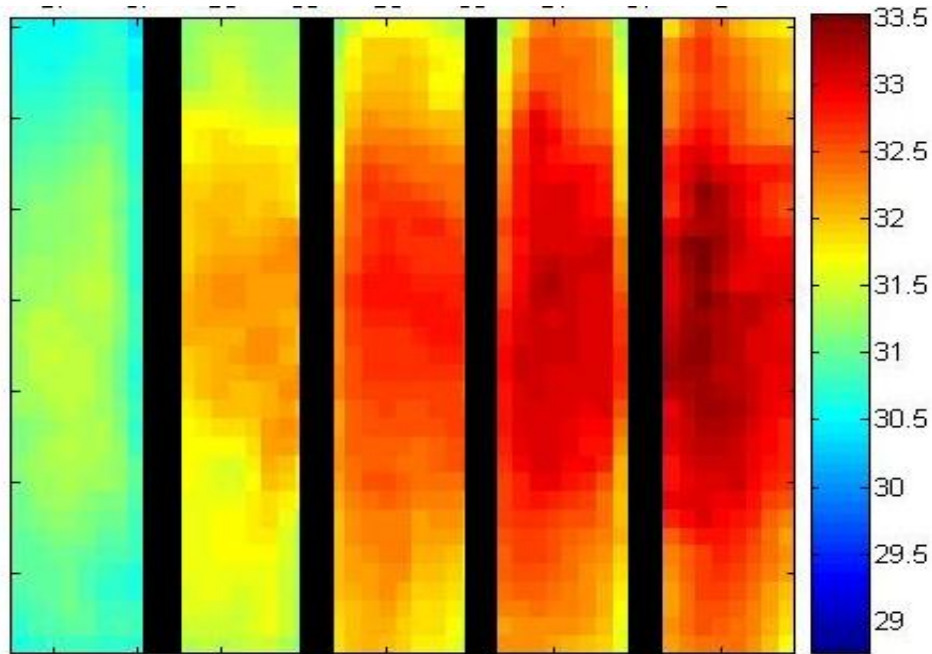
Διάταξη Δ(8) L=1/6



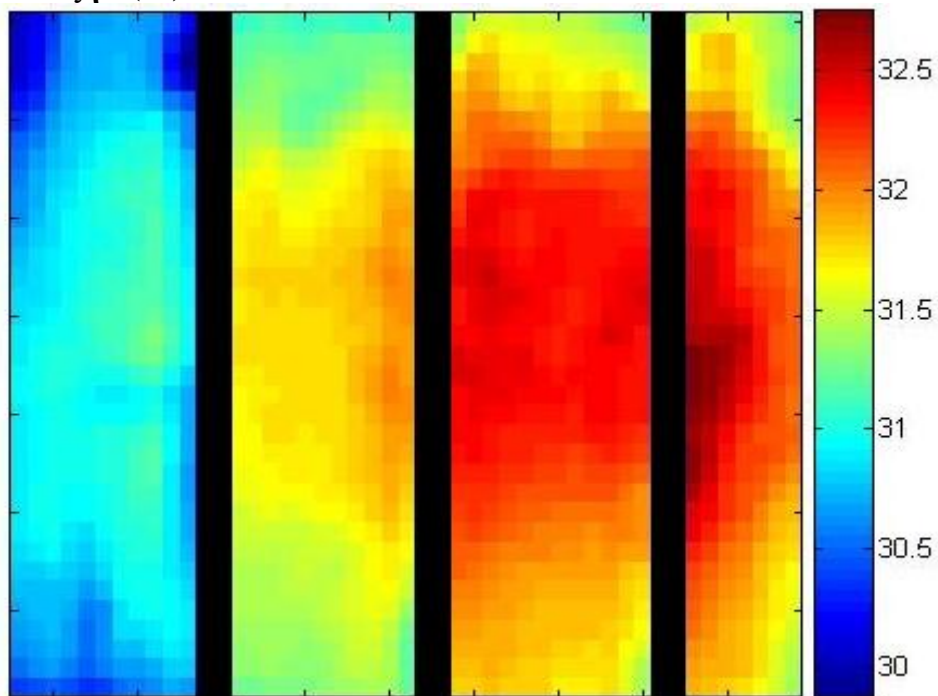
Διαπιστώνουμε ξανά πως η διάταξη A εμφανίζεται να παρουσιάζει τις μεγαλύτερες θερμοκρασίες ενώ οι ελάχιστες παρουσιάζονται πάλι στην διάταξη Γ.

Για ροή θερμότητας $q=198\text{w/m}^2$ και την μέγιστη ταχύτητα του ρεύματος ψύξης που είναι $V_{\text{stream}}=3.22\text{ m/s}$ προκύπτουν οι κάτωθι θερμοκρασιακές κατανομές επί της πλάκας.

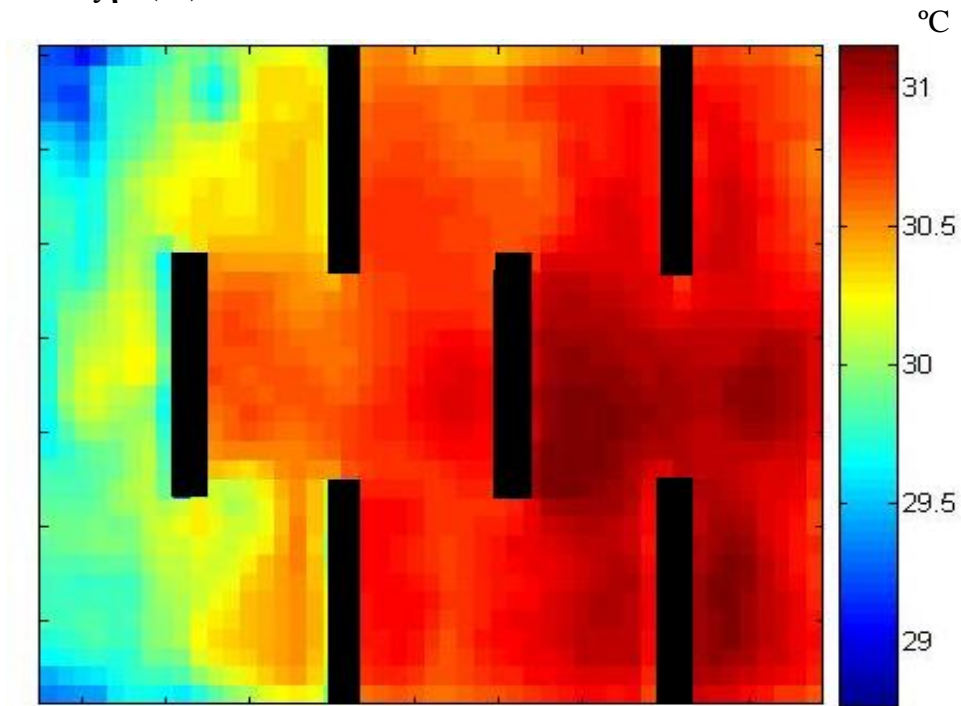
Διάταξη A(12): $q=198\text{w/m}^2$ $V_{\text{stream}}=3.22\text{m/s}$ $L=1/4$ °C



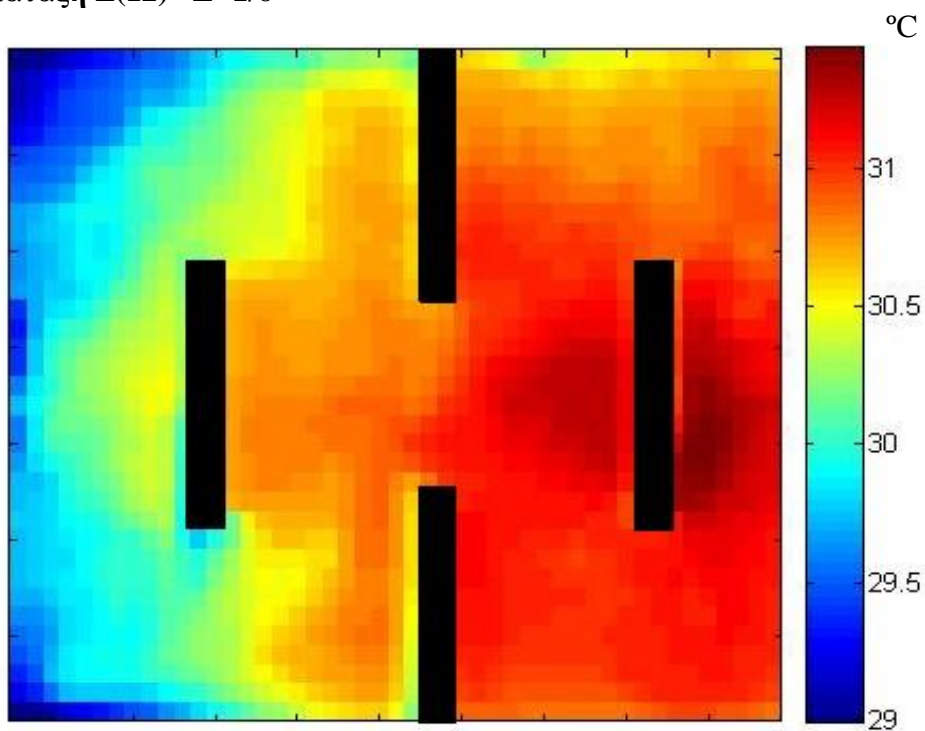
Διάταξη B(12) $L=1/6$ °C



Διάταξη Γ(12) $L=1/4$



Διάταξη Δ(12) $L=1/6$



Διαπιστώνουμε ότι οι μεγαλύτερες θερμοκρασίες εμφανίζονται πάλι στην διάταξη Α με $L=1/4$ ενώ οι μικρότερες στις διατάξεις Γ Δ όπου έχουμε διακεκομένα εμπόδια.

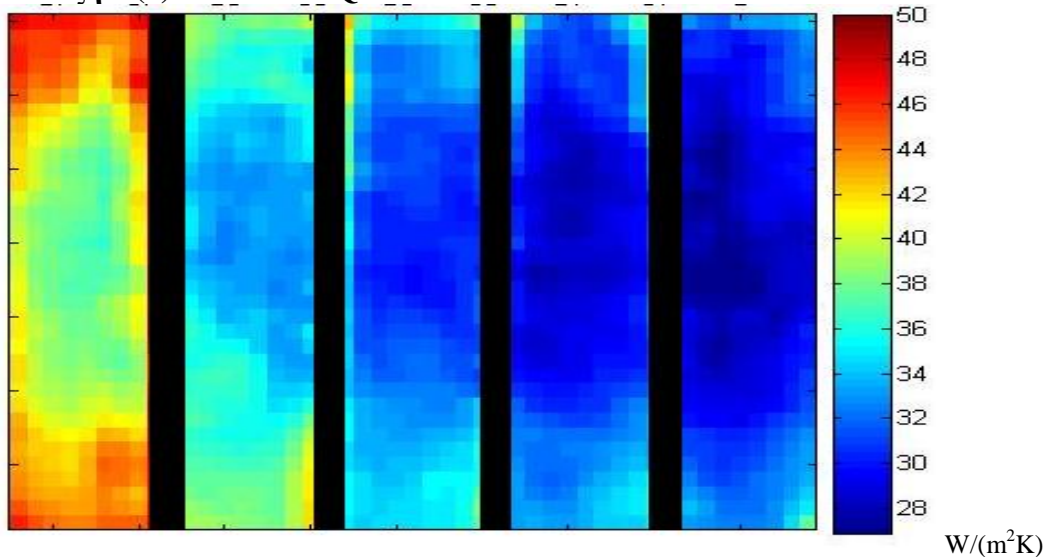
7.3 Διαγράμματα κατανομής συντελεστή συναγωγής h κατά μήκος της πλάκας

Βάση του ψυκτικού νόμου του Νεύτωνα είναι :

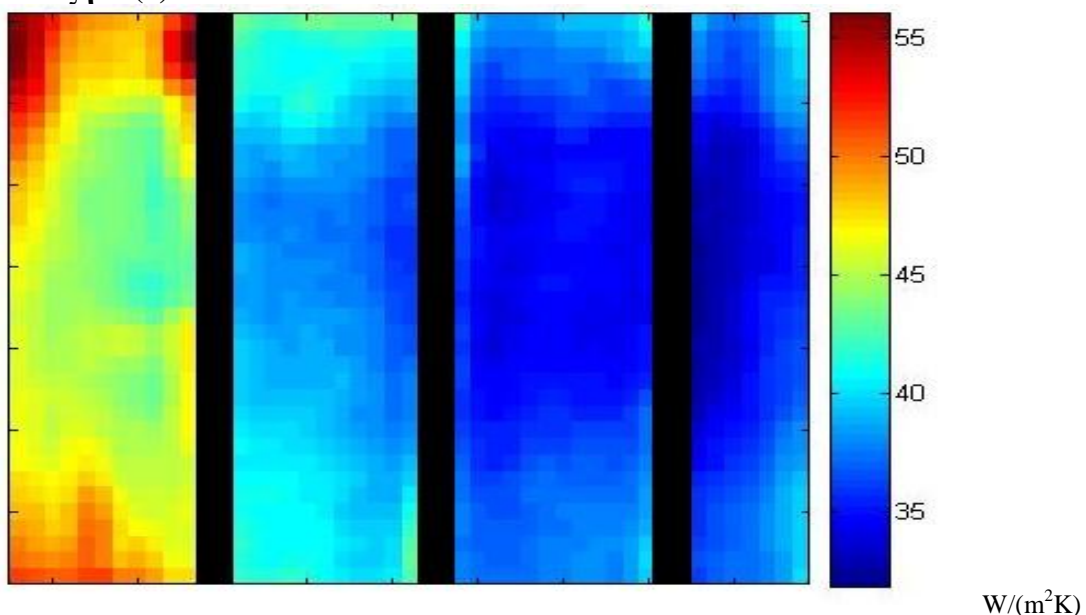
$$\frac{dQ}{dt} = \dot{Q} = h \cdot A(T_{\text{env}} - T(t)) = -h \cdot A\Delta T(t)$$

Τα δεδομένα μας είναι η ροή θερμότητας $q=198 \text{ W/m}^2$ που είναι εξολοκλήρου η ηλεκτρική ισχύς που παρήγαμε στην πλάκα δεδομένου ότι υποθέσαμε μηδενικές απώλειες αγωγής δια' την αδιαβατική έδραση αυτής καθώς και μηδενικές απώλειες ακτινοβολίας από την πλάκα και τα εμπόδια. Η θερμοκρασία του ψυκτικού ρευματος στο φιλμ διεπαφής θεωρείται ίση με την του περιβάλλοντος $T=27 \text{ }^\circ\text{C}$. Οπότε μπορούμε να υπολογίσουμε την κατανομή του h σε $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ επί της πλάκας.

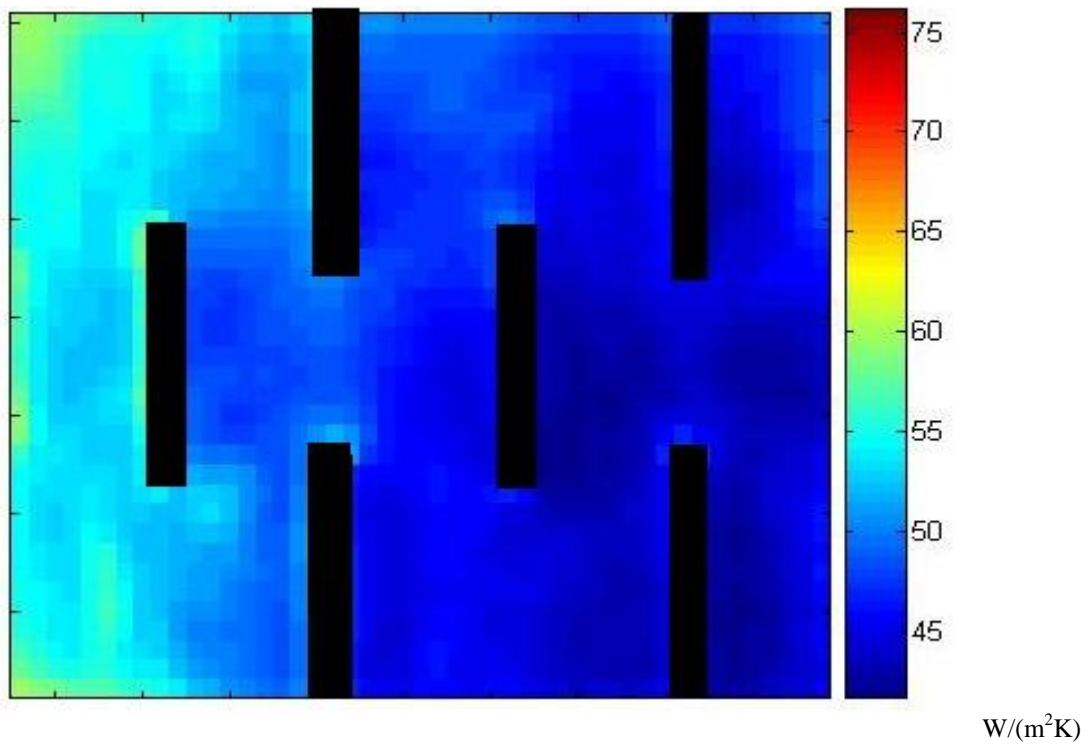
Διάταξη A(4) : $Q=198\text{W/m}^2$ $V_{\text{stream}}=2.64\text{m/s}$



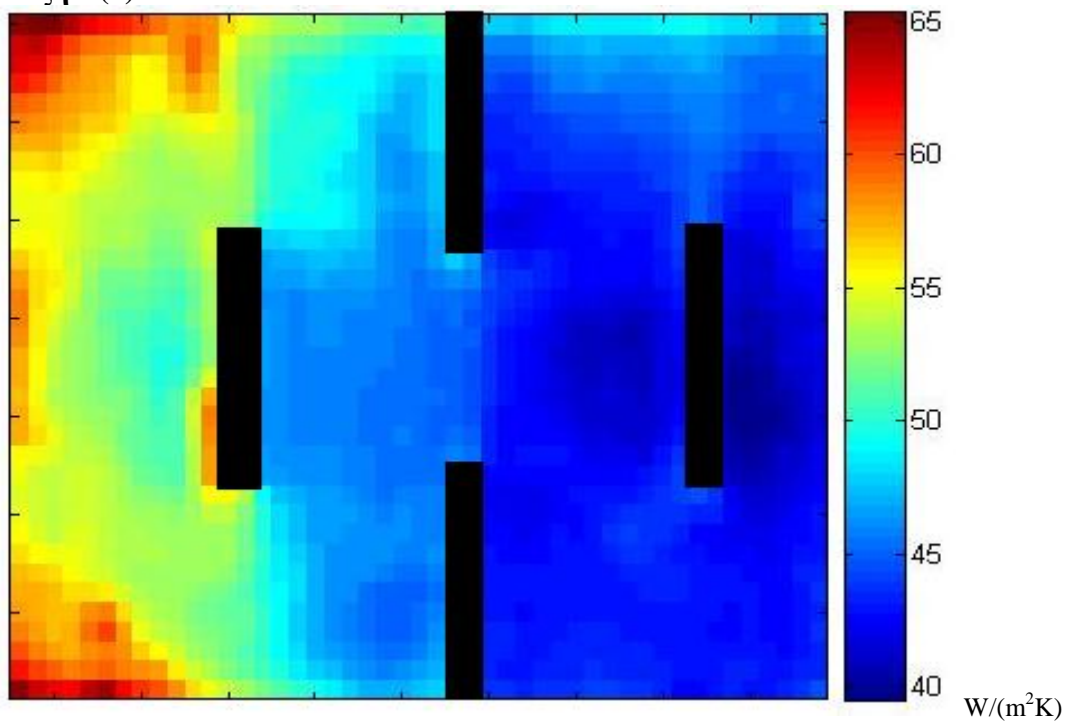
Διάταξη B(4)



Διάταξη Γ(4)

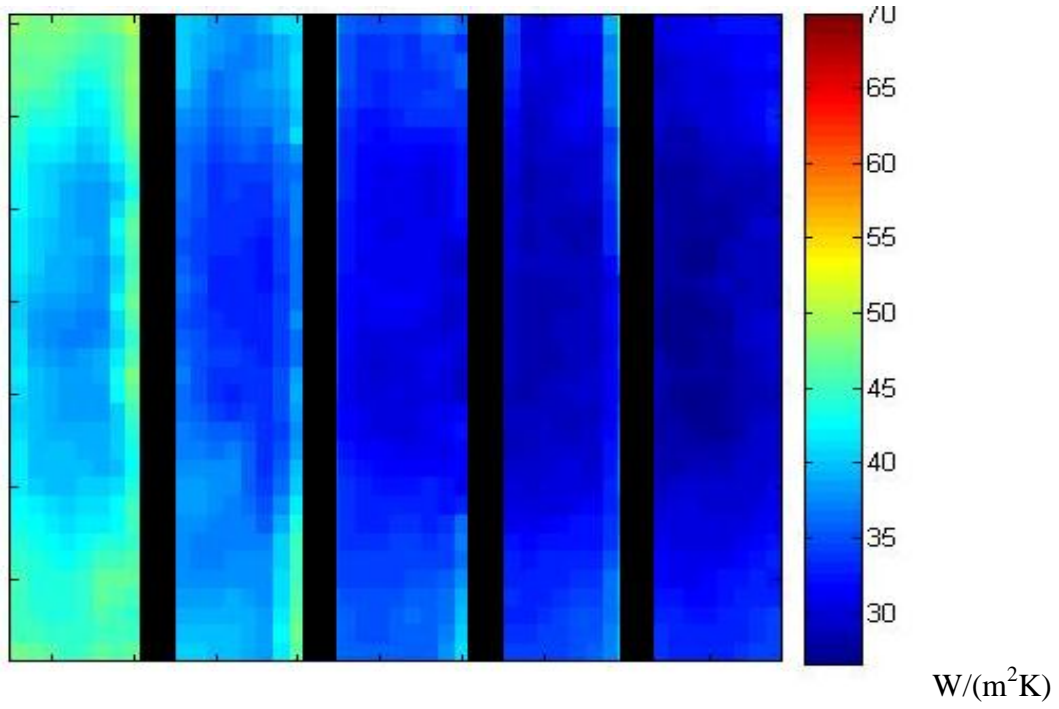


Διάταξη Δ(4)

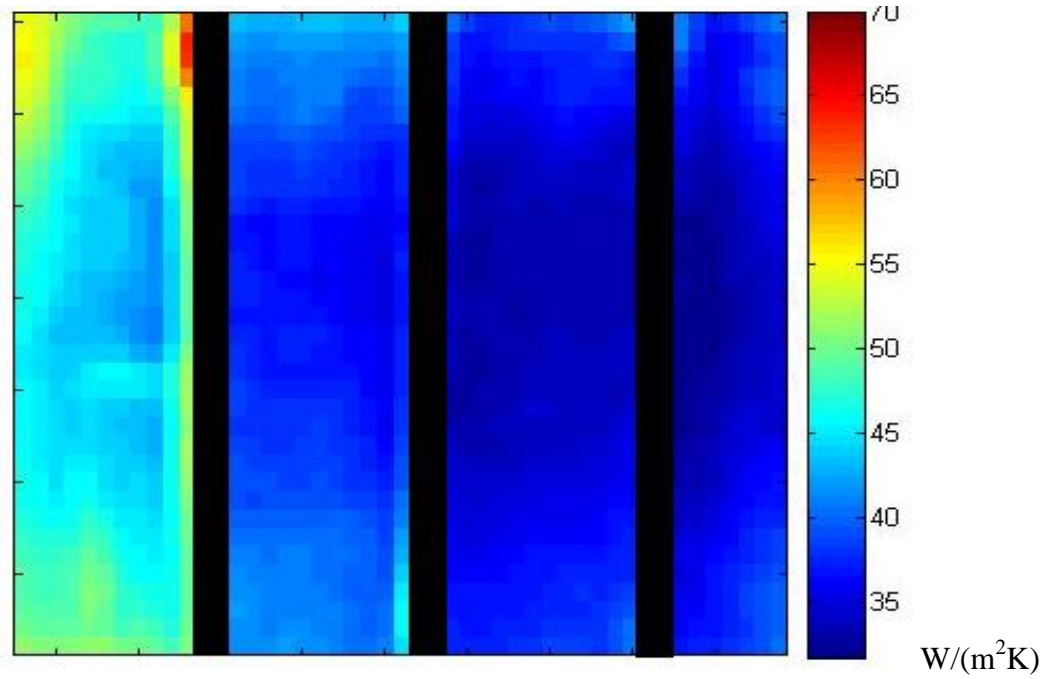


Διάταξη A(8) :

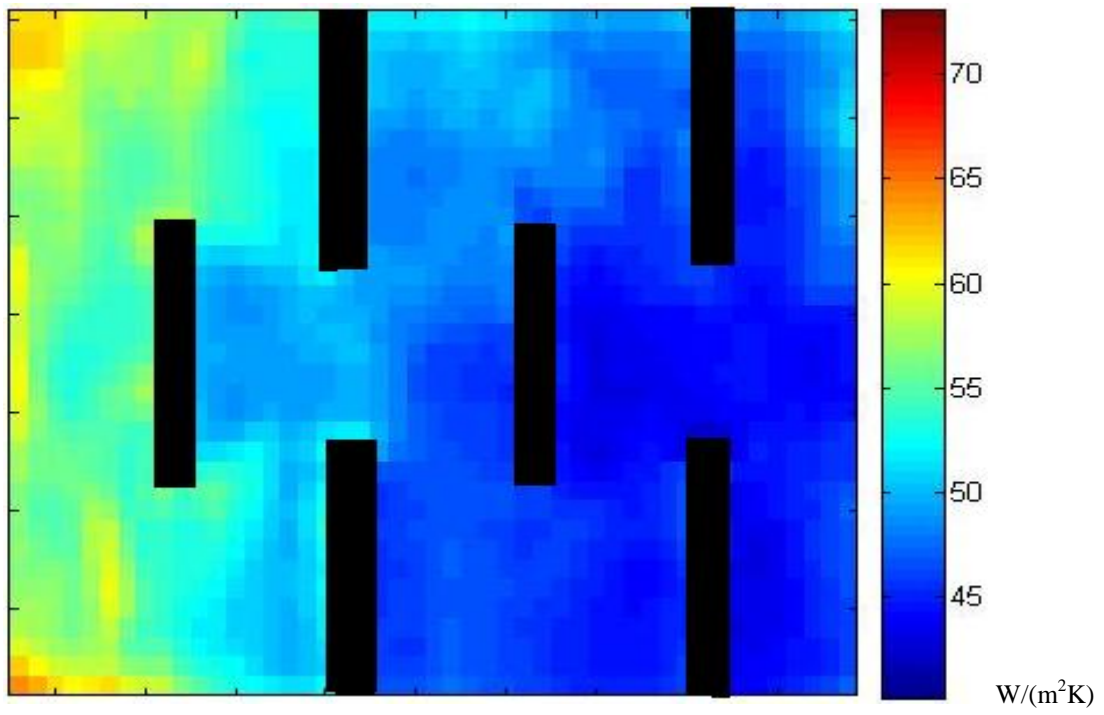
$Q=198\text{W/m}^2$ $V_{\text{stream}}=2.88\text{m/s}$



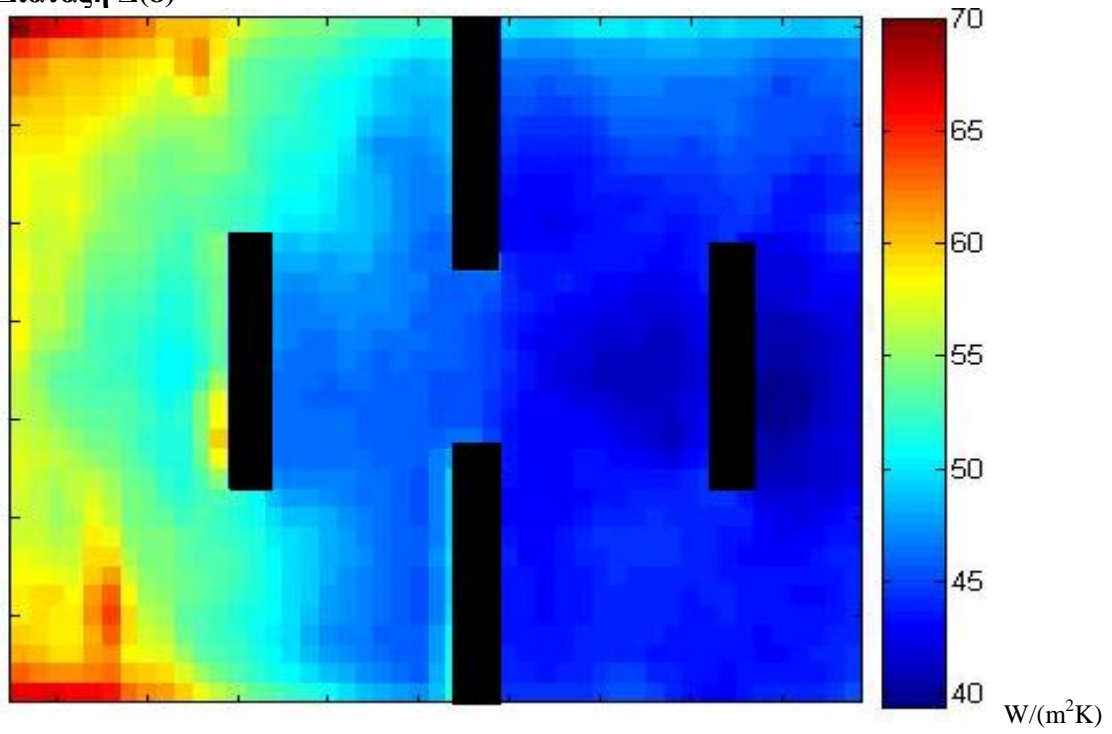
Διάταξη B(8)



Διάταξη Γ(8)

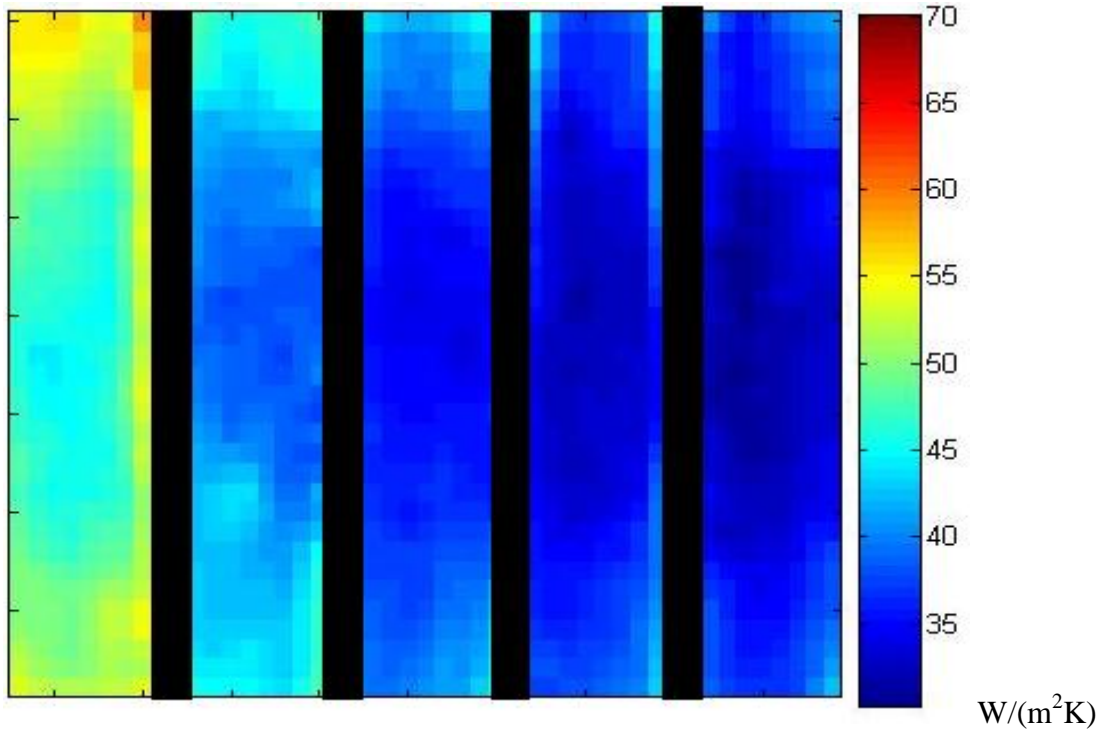


Διάταξη Δ(8)

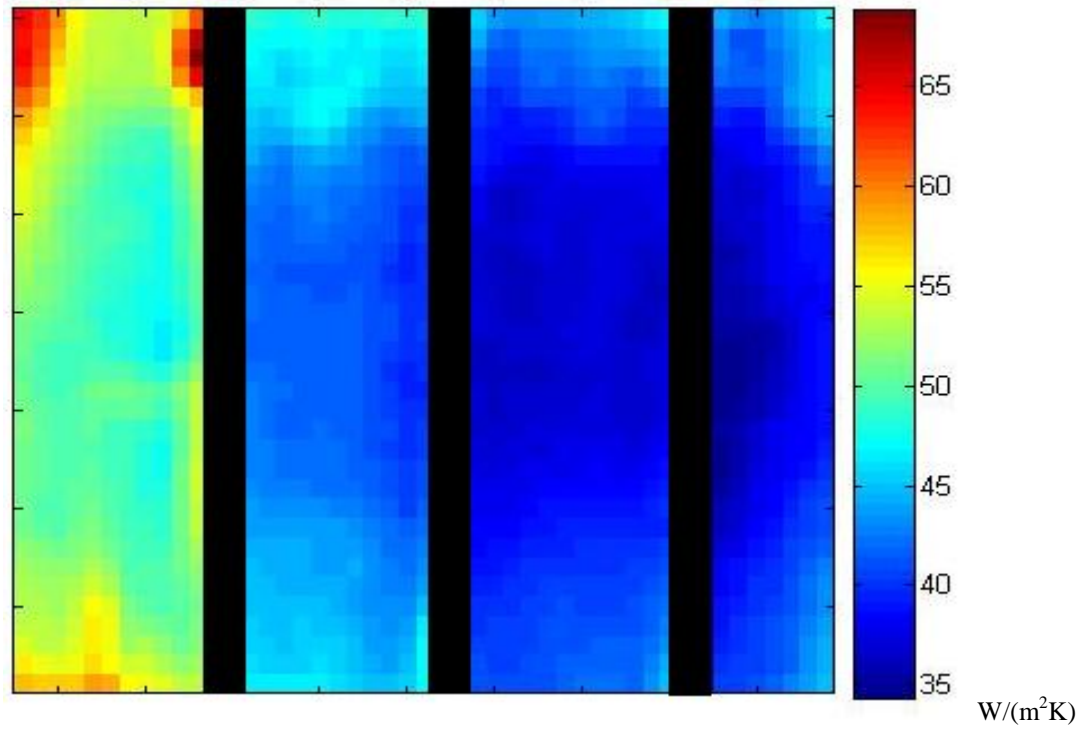


Διάταξη A(12)

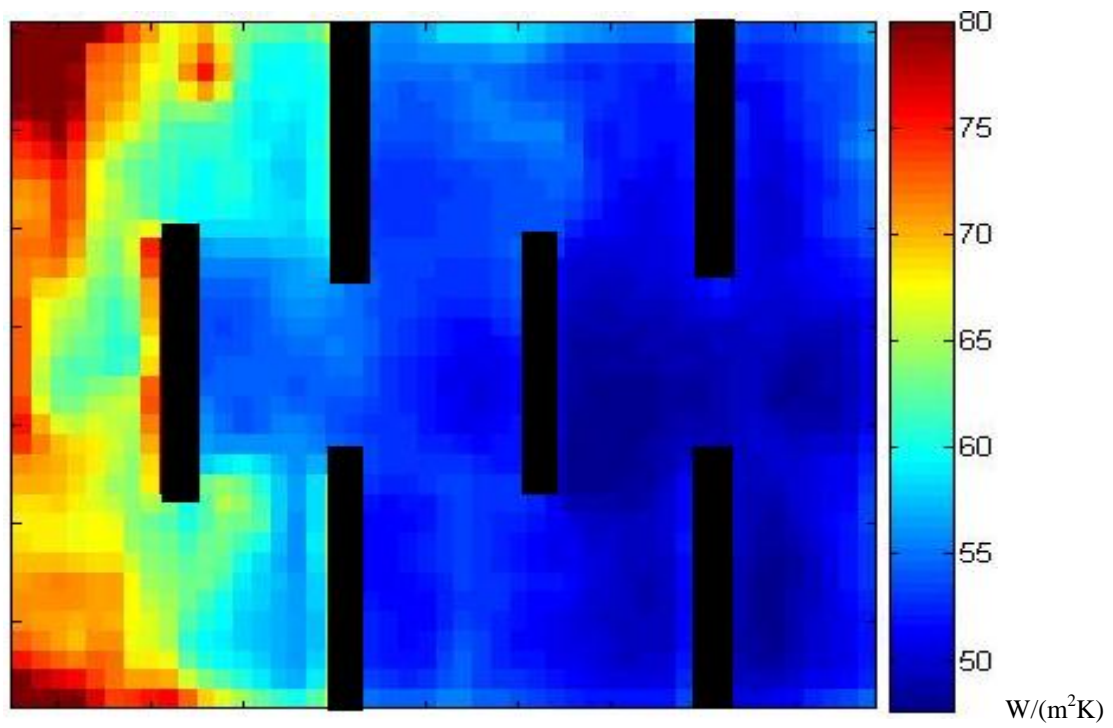
$Q=198\text{W/m}^2$ $V_{\text{stream}}=3,22\text{m/s}$



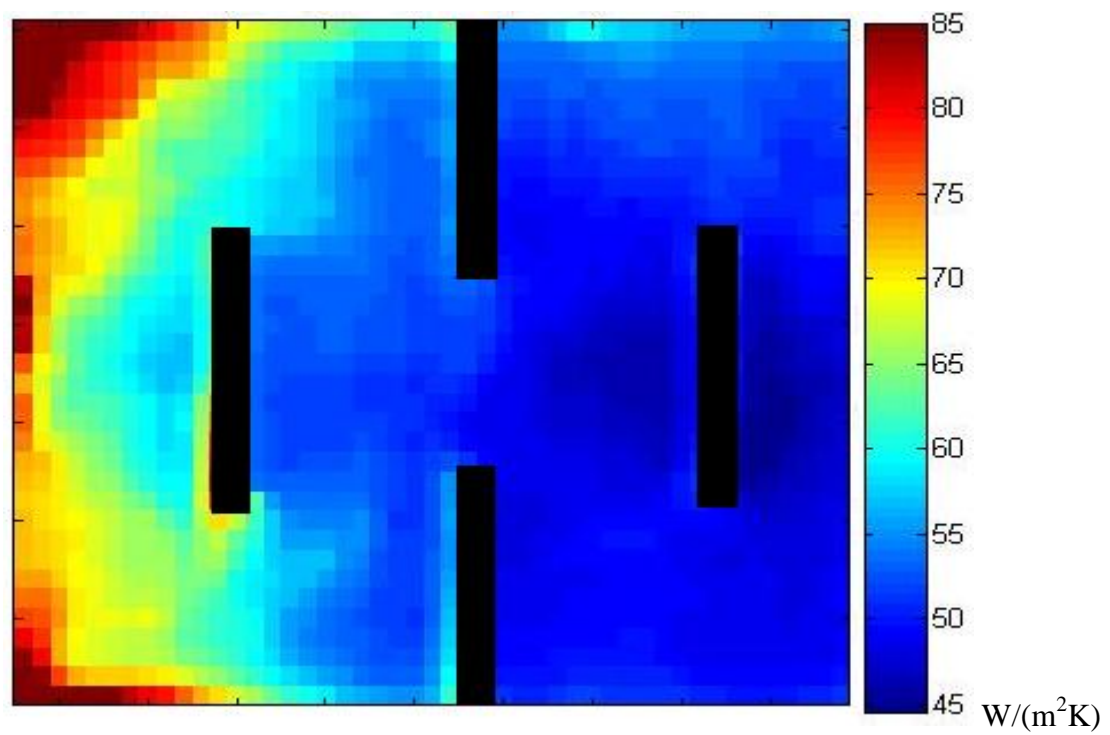
Διάταξη B(12)



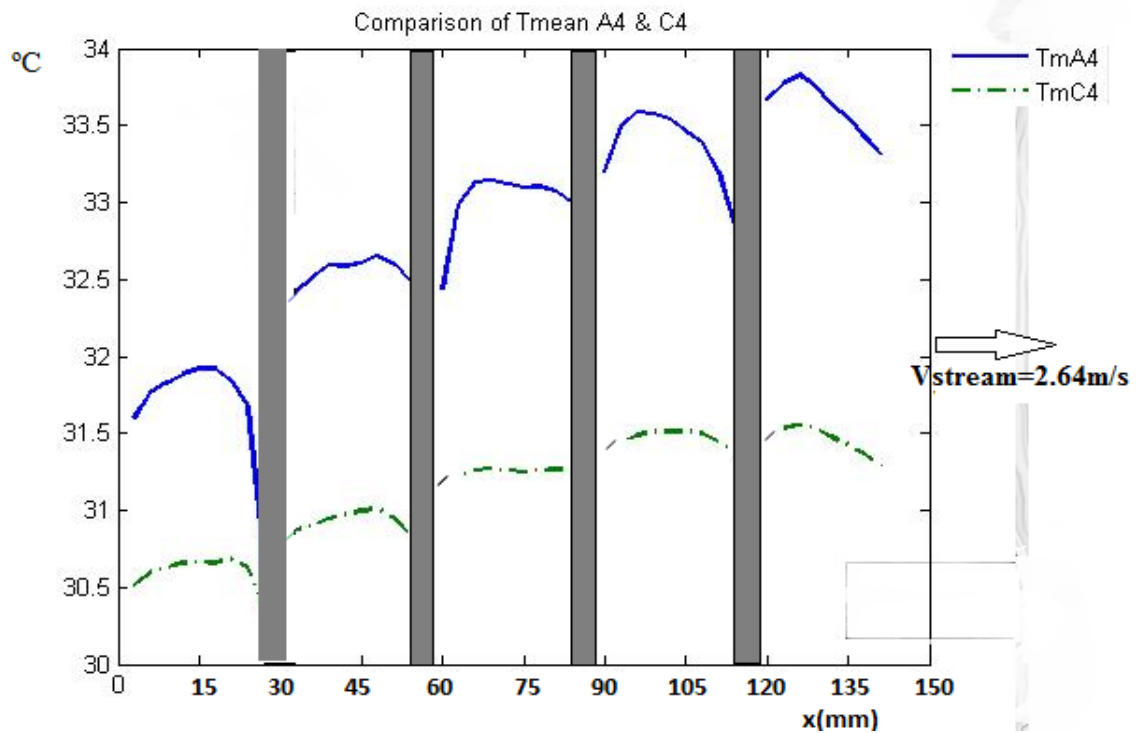
Διάταξη Γ(12)



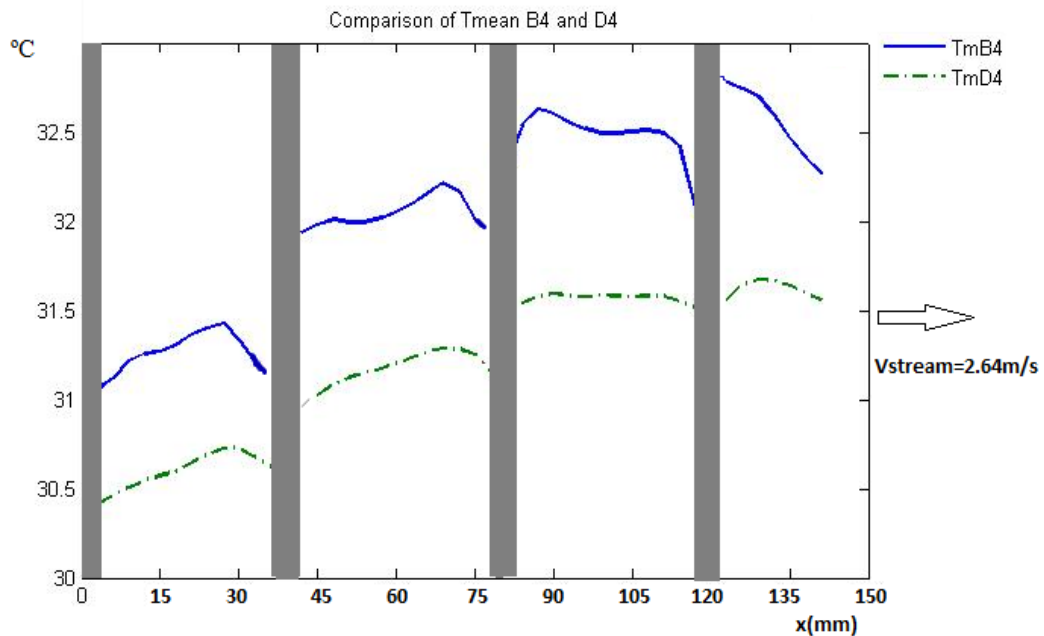
Διάταξη Δ(12)



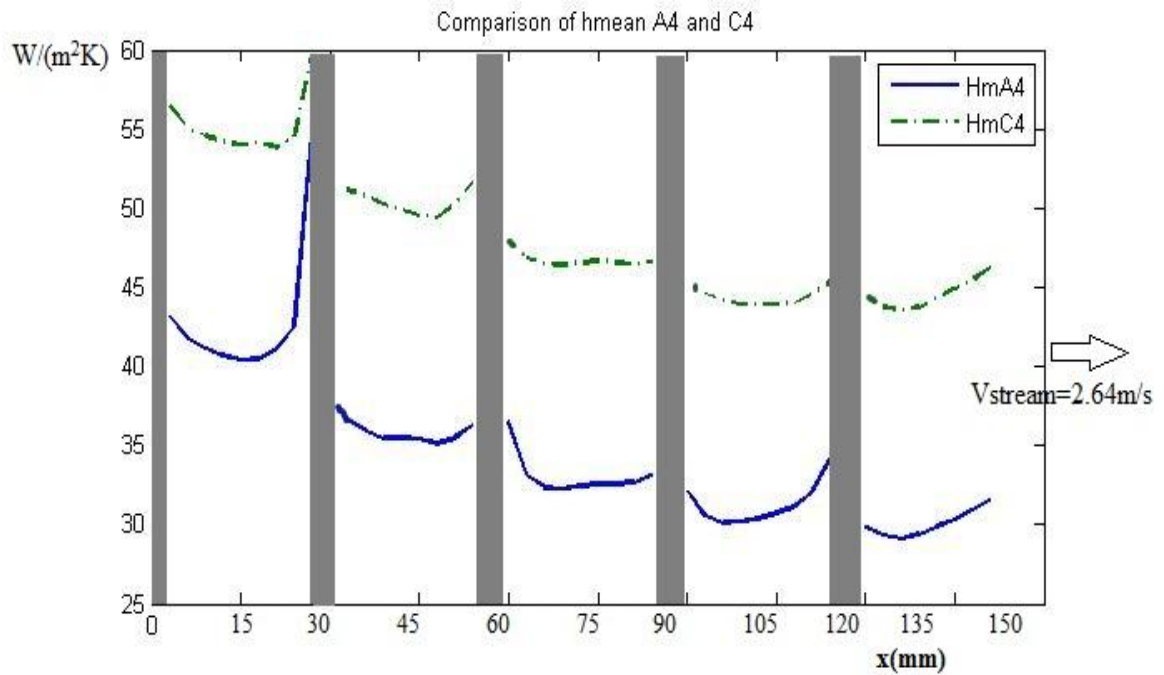
Μέσες θερμοκρασίες και συναγωγιμότητες



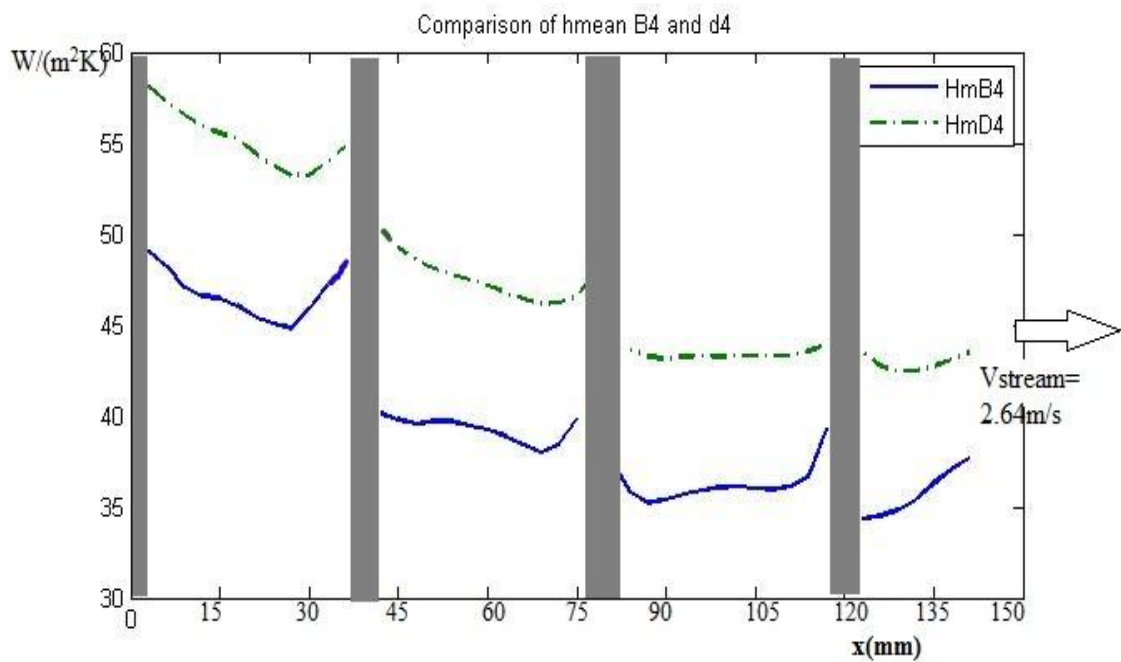
Εικ. Μέσες θερμοκρασίες κατά μήκος του άξονα x για τις διατάξεις A4 και Γ4 σε ταχύτητα ρευματος ψύξης 2.64m/s και για ροή θερμότητας 198w/m^2 για $L=1/4$



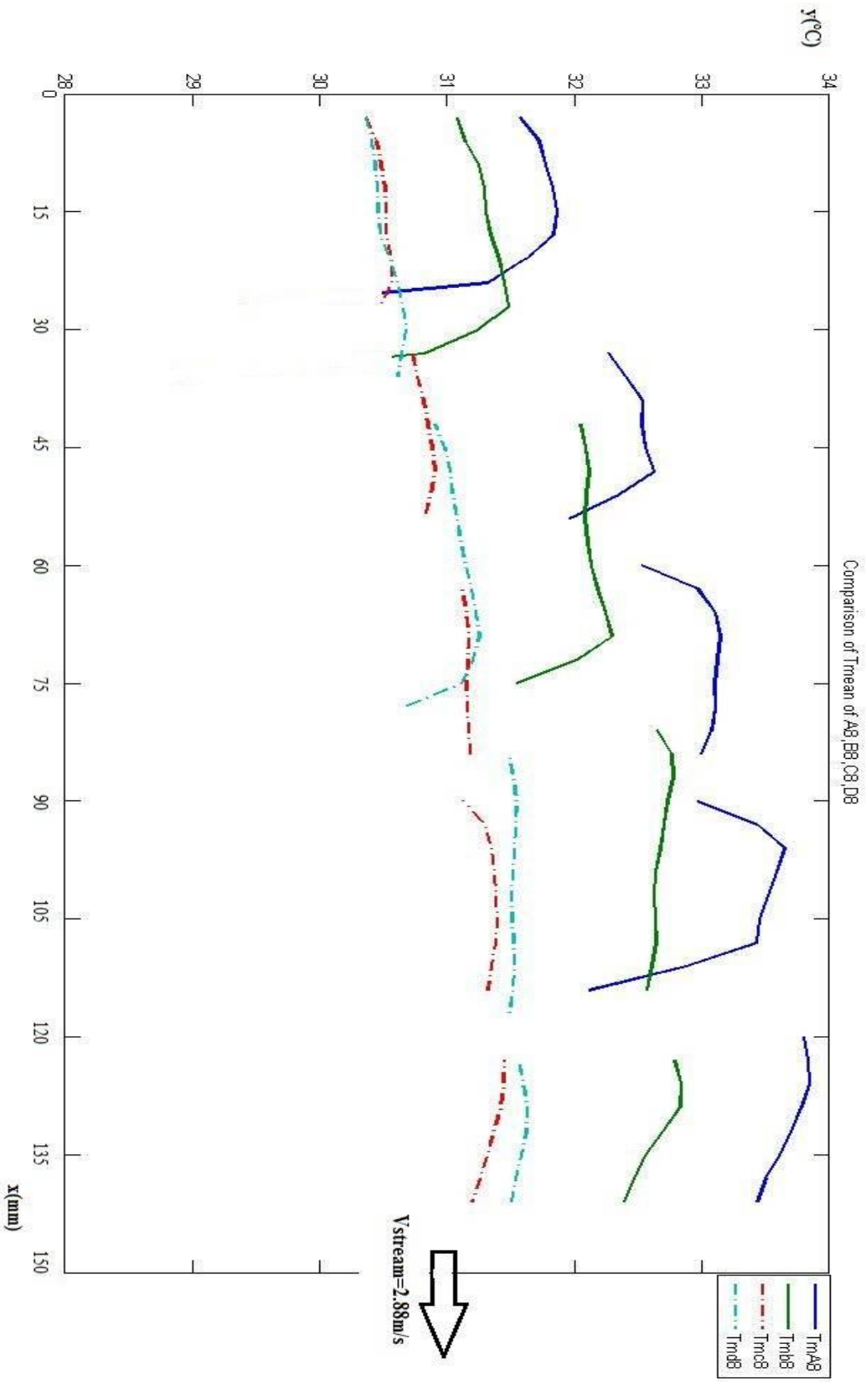
Εικ. Μέσες θερμοκρασίες κατά μήκος του άξονα x για τις διατάξεις B4 και Δ4 σε ταχύτητα ρευματος ψύξης 2.64m/s και για ροή θερμότητας 198w/m^2 για $L=1/6$

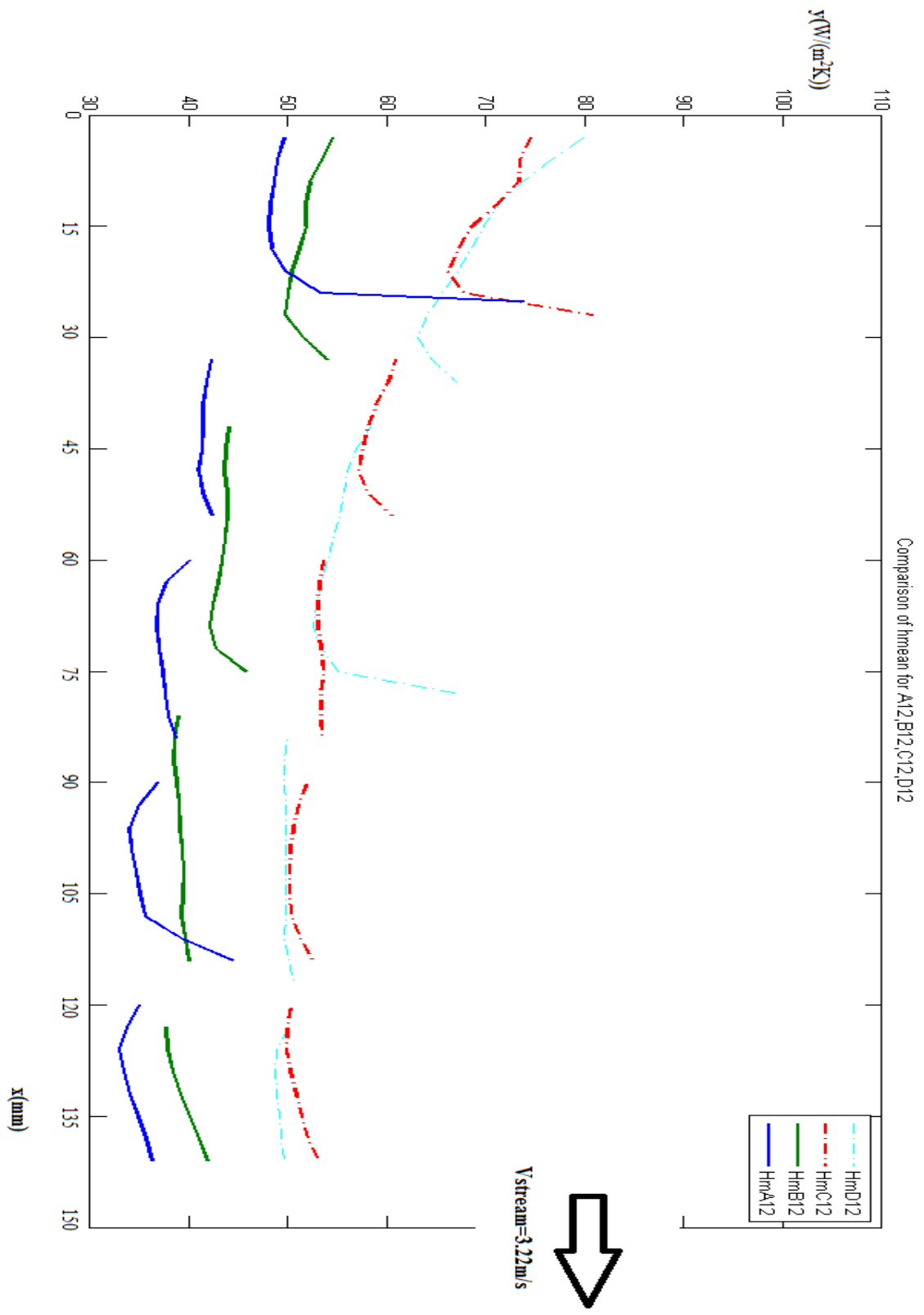


Εικ. Μέσος συντελεστής συναγωγιμότητας κατά μήκος του x για τις διατάξεις A4 και Γ4 για ταχύτητα ρεύματος ψύξης 2.64 m/s και ροή θερμότητας 198 w/m² για L=1/4



Εικ. Μέσος συντελεστής συναγωγιμότητας κατά μήκος του x για τις διατάξεις B4 και Δ4 για ταχύτητα ρεύματος ψύξης 2.64 m/s και ροή θερμότητας 198 w/m² για L=1/6





7.4 Συγκριτικά διαγράμματα κατανομής αριθμού NUSSELT

Όπως αναφέρθηκε ο αδιάστατος αριθμός Nusselt είναι ο λόγος της θερμότητας διά συναγωγής προς την θερμότητα διά αγωγής κοντά στο όριο του στερεού σώματος.

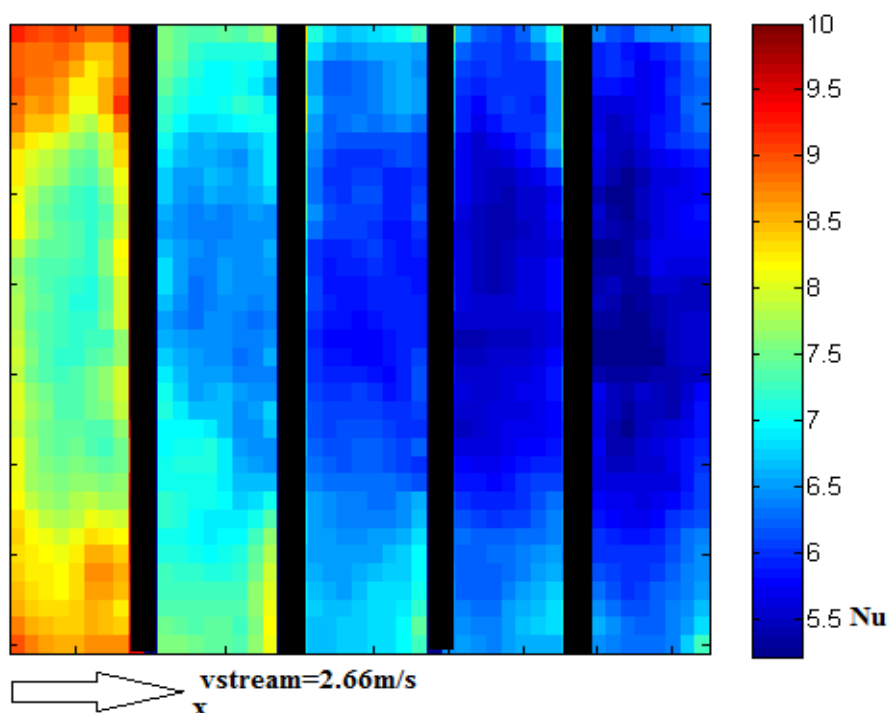
$$Nu_L = \frac{hL}{k_f}$$

Όπου h ο συντελεστής συναγωγιμότητας
 k_f η σταθερά αγωγιμότητας του ρευστού, δηλαδή του αέρα στη θερμοκρασία περιβάλλοντος για το πείραμά μας
 L ένα χαρακτηριστικό μήκος

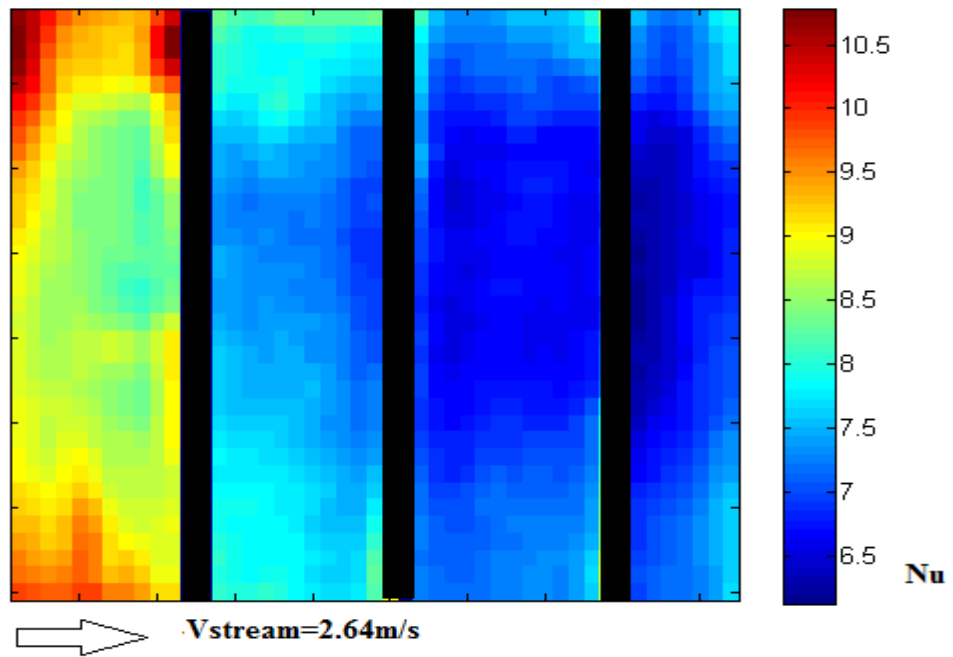
Στην ανάλυση μας ως χαρακτηριστικό μήκος λάβαμε το ύψος των εμποδίων το οποίο είναι 5mm. Δεδομένης της σταθεράς αγωγιμότητας του αέρα στους $T=27\text{ }^\circ\text{C}$ ίση με $k_f=0.026\text{ W/m.K}$ και γνωρίζοντας την κατανομή του συντελεστή συναγωγιμότητας h προκύπτουν οι κατανομές του αριθμού Nusselt όπως και η μέση τιμή αυτού κατά μήκος της πλάκας ως εξής :

Για ταχύτητα ρεύματος ψύξης $V_{stream}=2.64\text{m/s}$ και $q=198\text{ w/m}^2$

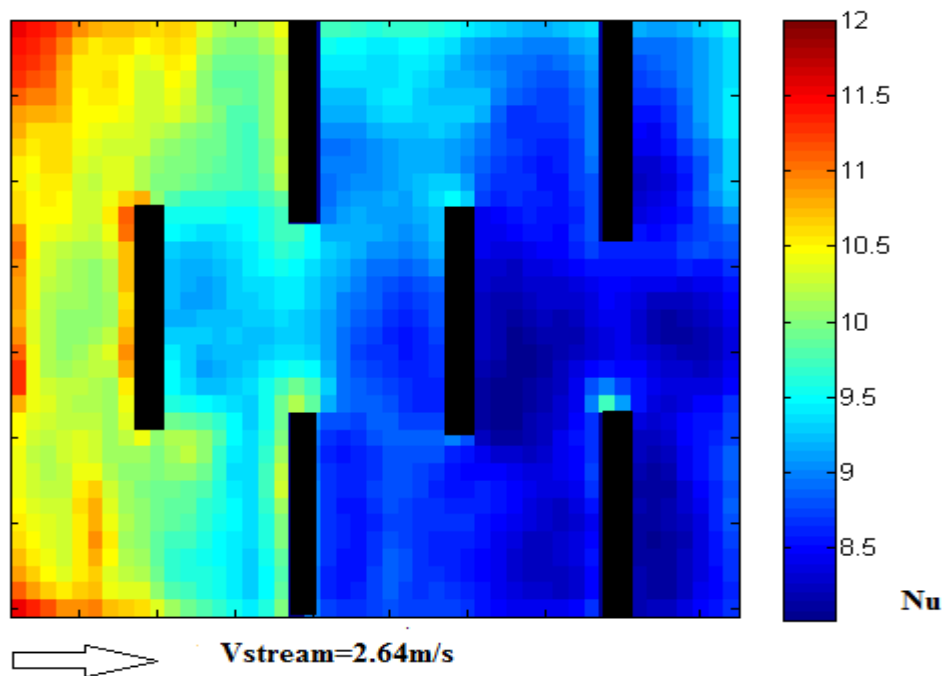
Διάταξη A $L=1/4$



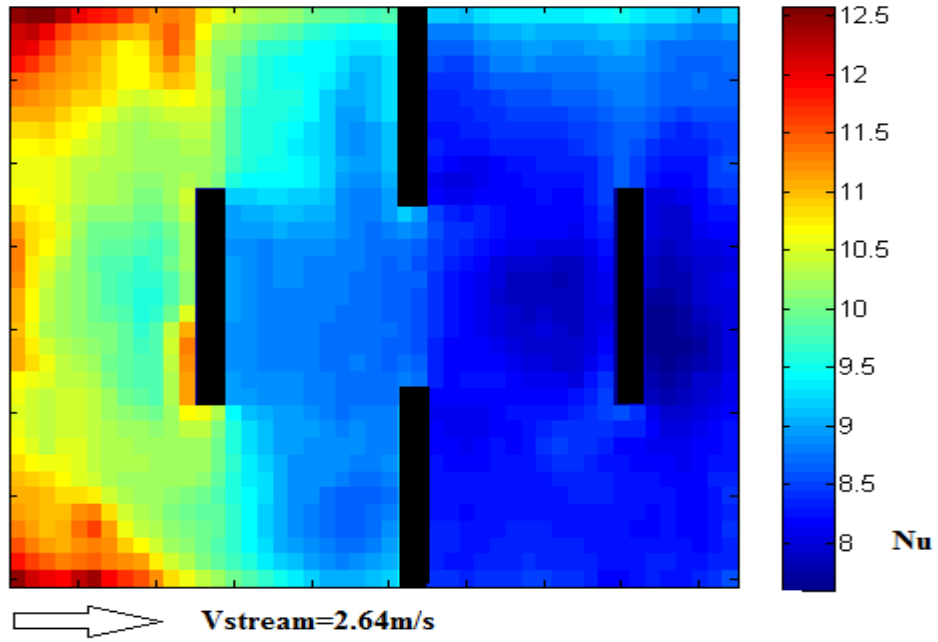
Διάταξη Β $L=1/6$



Διάταξη Γ $L=1/4$

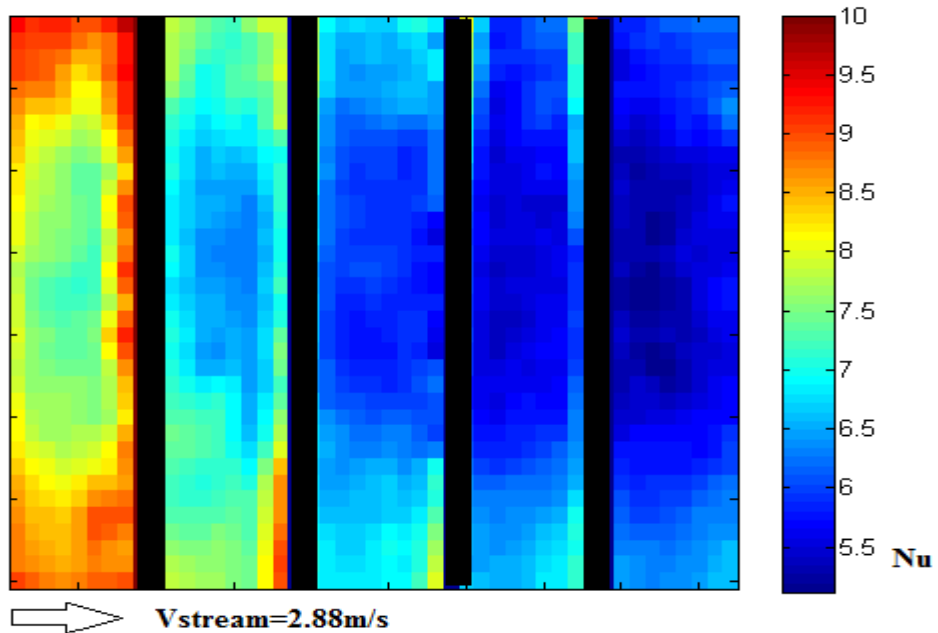


Διάταξη Δ L=1/6

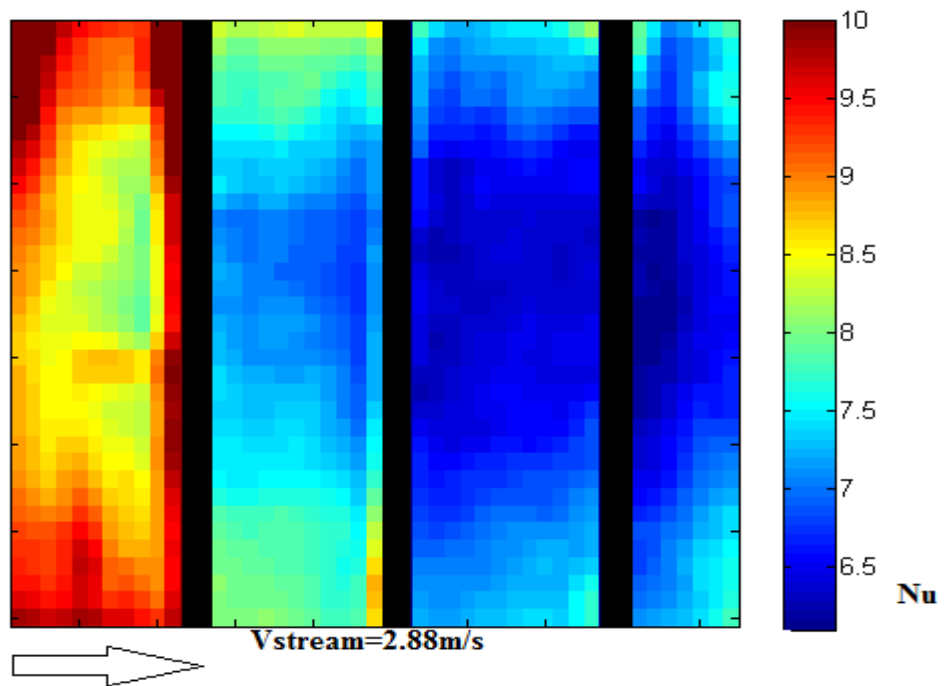


Για ταχύτητα ρεύματος ψύξης $V_{stream}=2.88\text{m/s}$ και $q=198\text{ w/m}^2$ προέκυψαν τα εξής διαγράμματα κατανομής του αριθμού Nusselt επί της πλάκας:

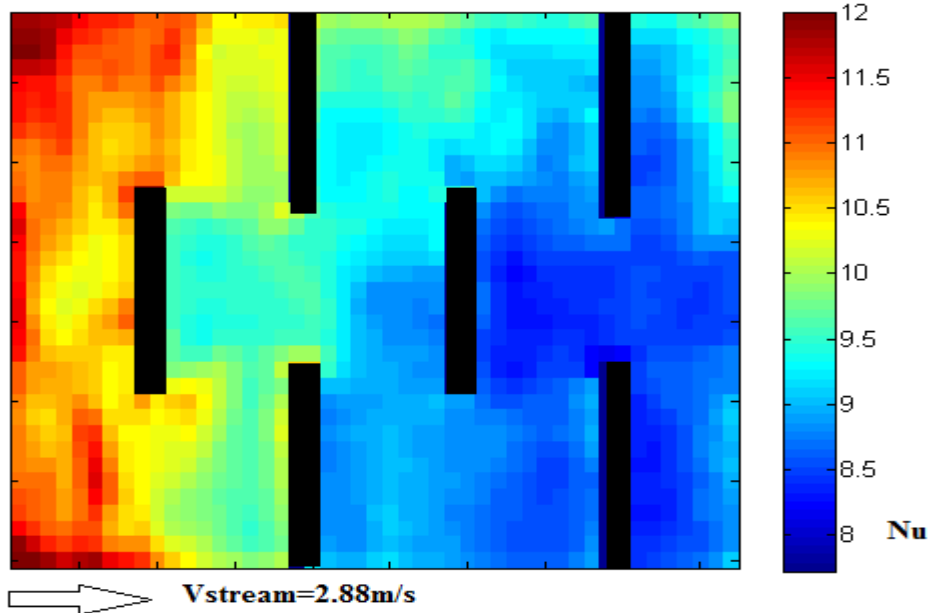
Διάταξη Α L=1/4



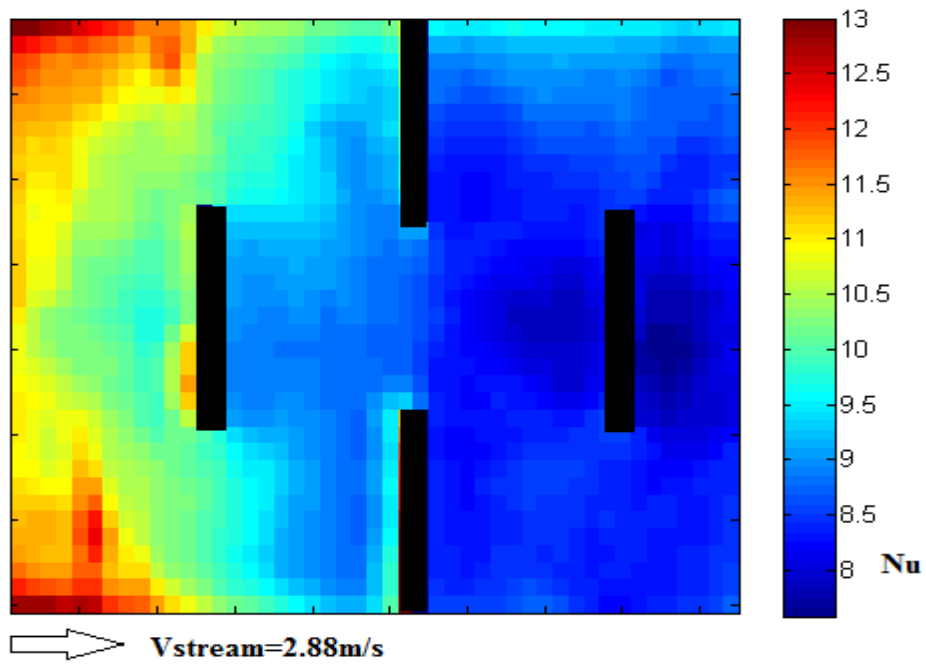
Διάταξη Β $L=1/6$



Διάταξη Γ $L=1/4$

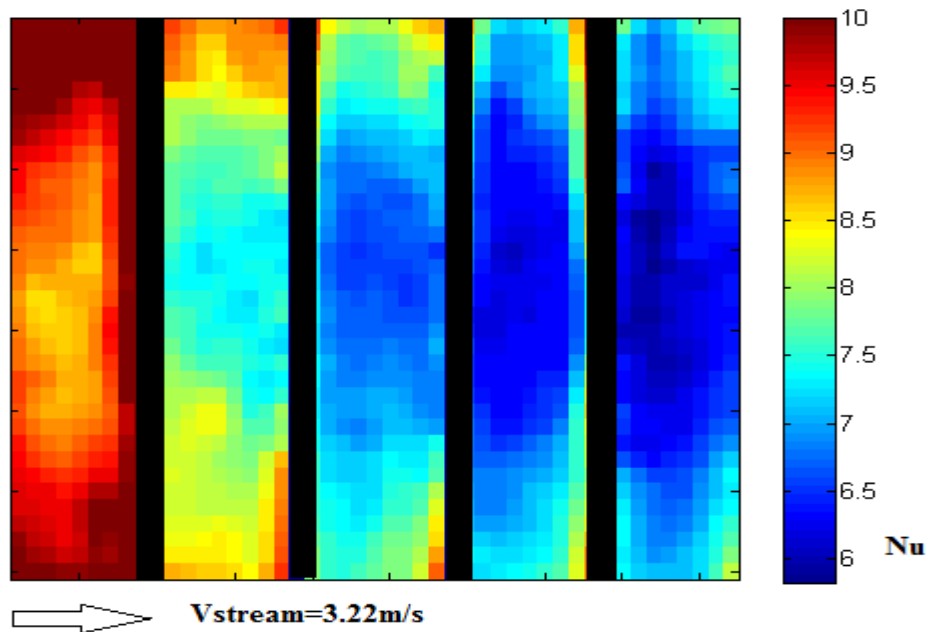


Διάταξη Δ L=1/6

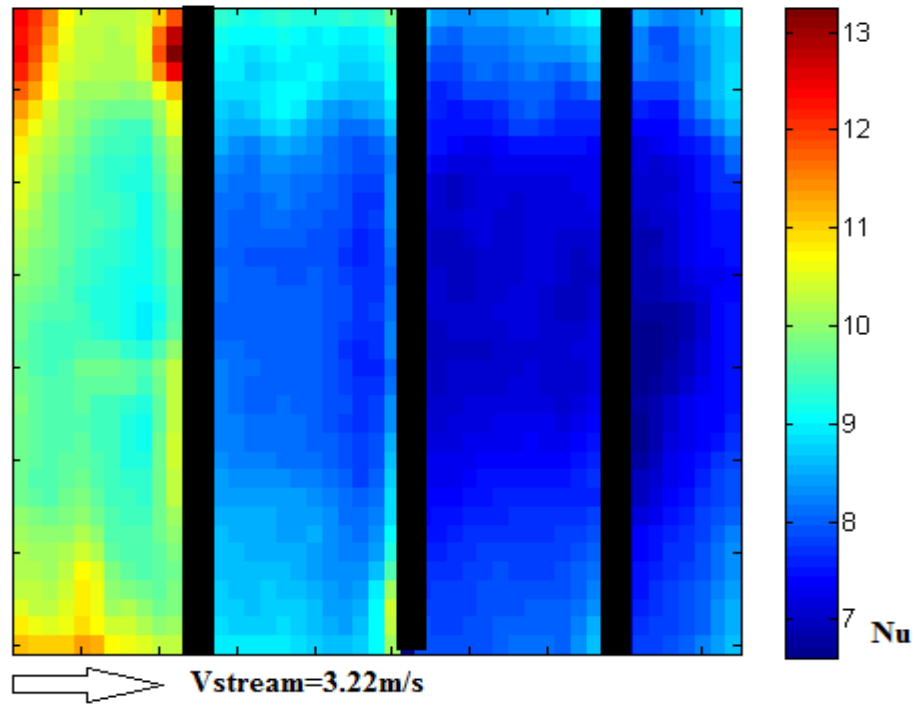


Για ταχύτητα ρεύματος ψύξης $V_{stream}=3.22\text{m/s}$ και $q=198\text{ w/m}^2$ προκύπτουν τα εξής διαγράμματα κατανομής του αριθμού Nusselt κατά μήκος της πλάκας:

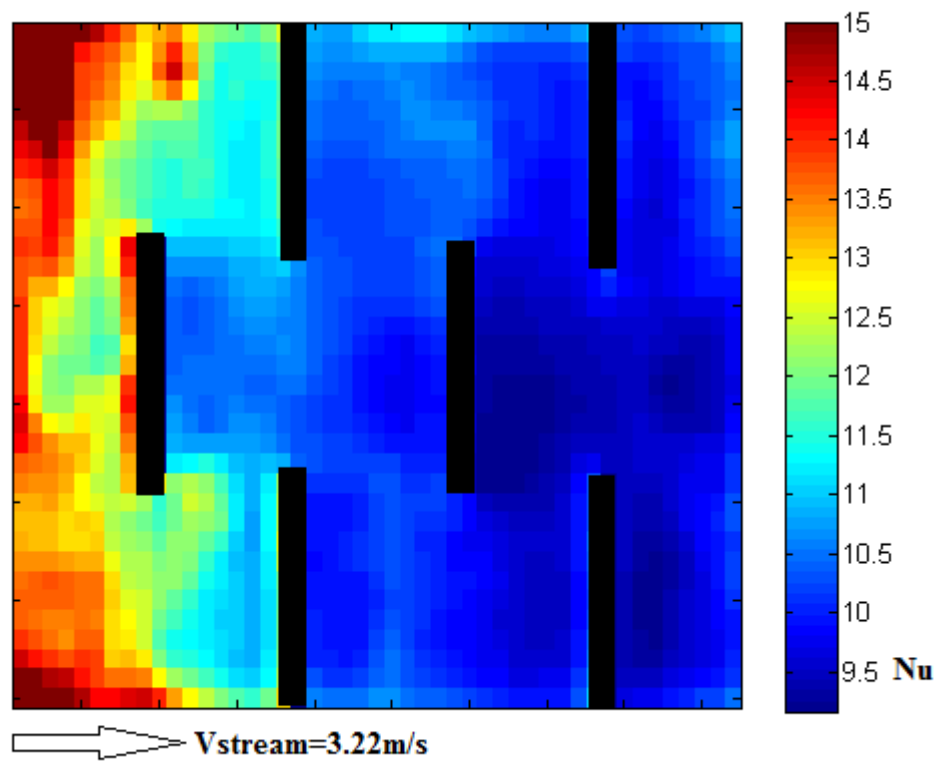
Διάταξη Α L=1/4



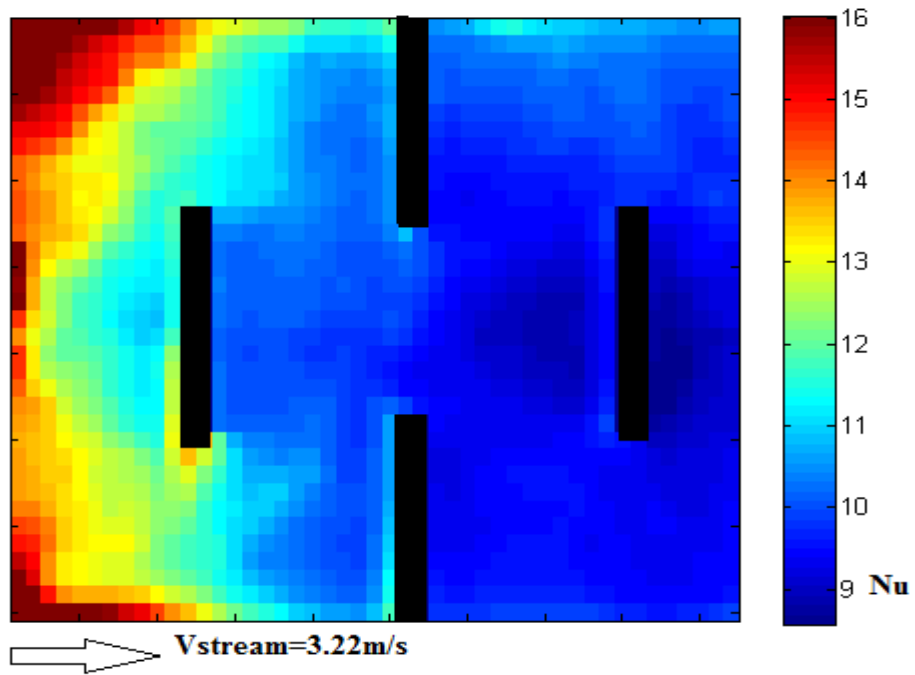
Διάταξη Β $L=1/6$



Διάταξη Γ $L=1/4$

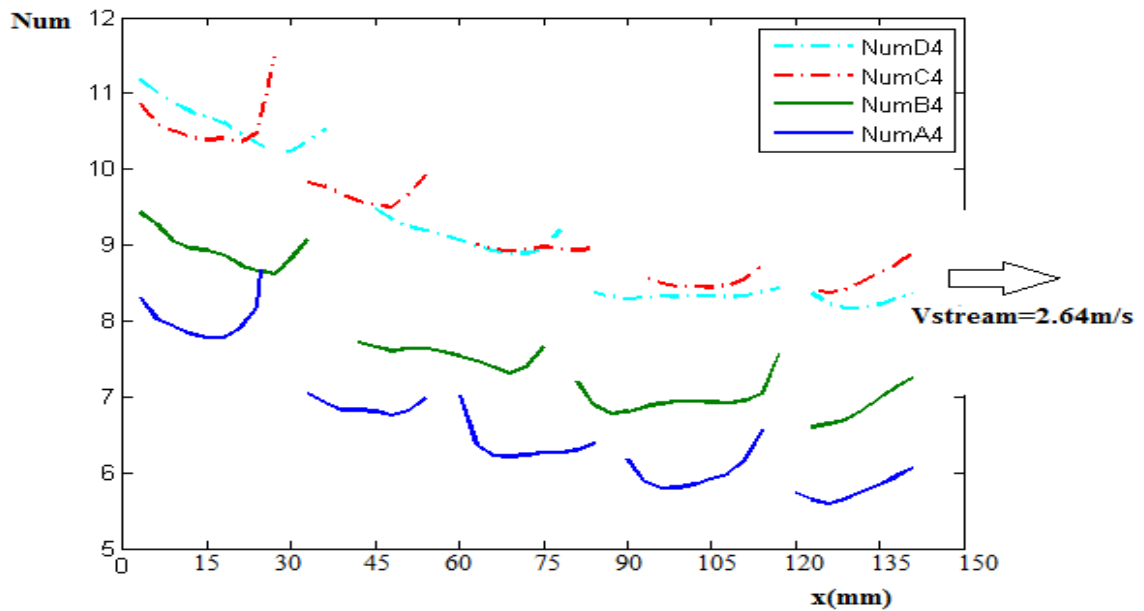


Διάταξη $\Delta L=1/6$

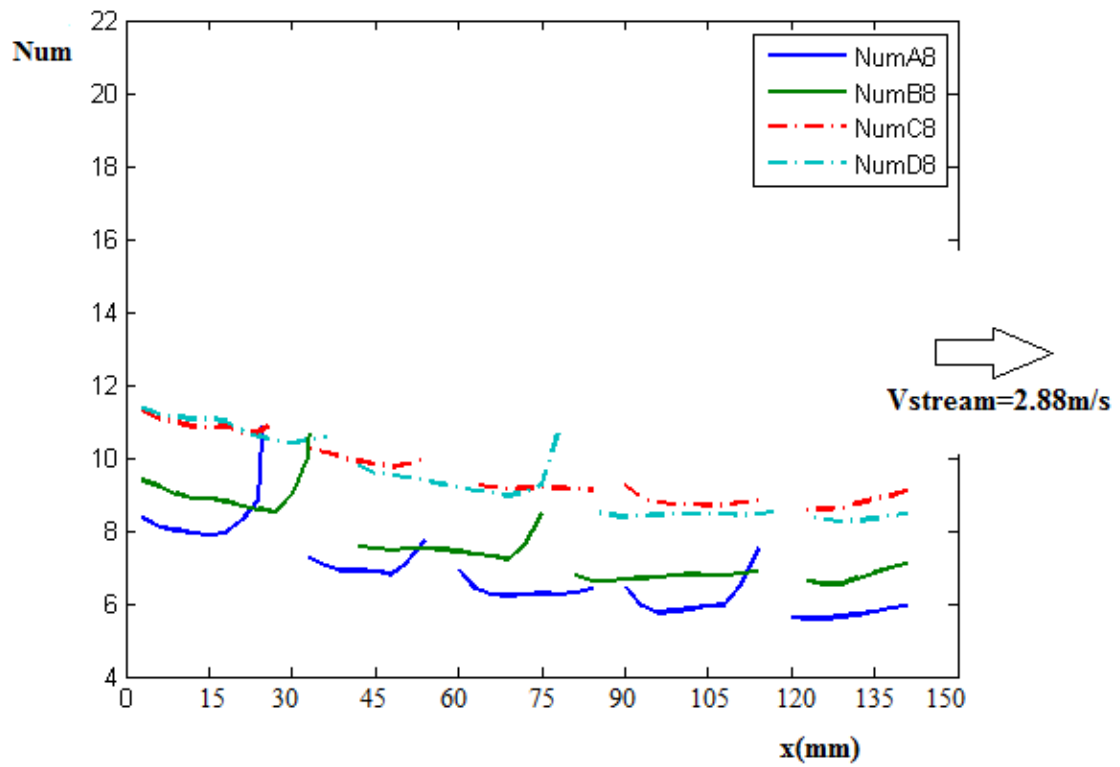


Μέσος αριθμός Nusselt κατά μήκος του άξονα x της πλάκας

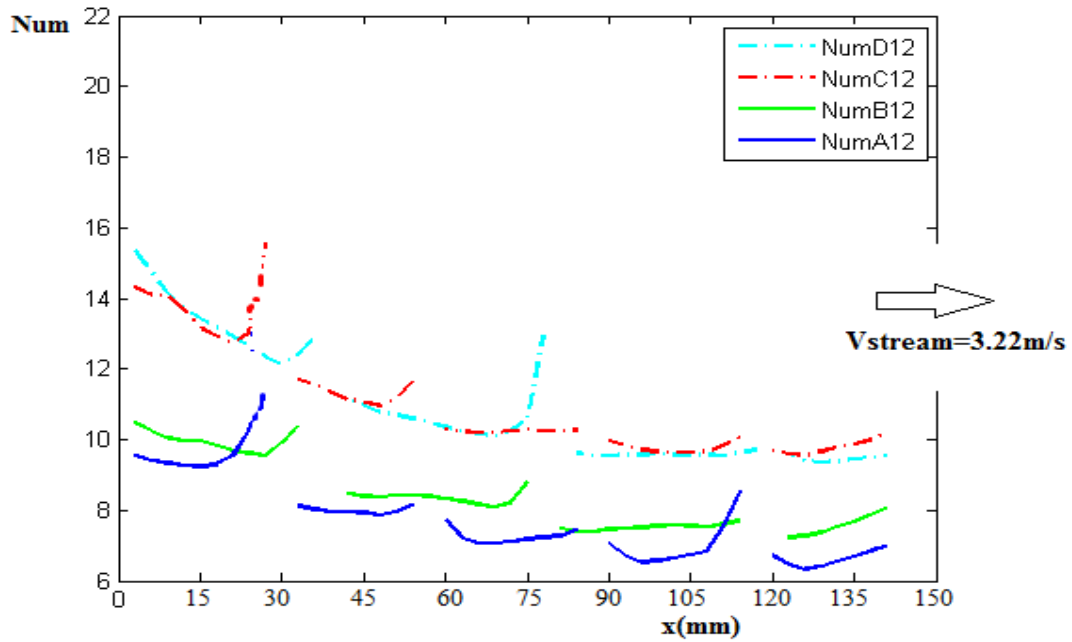
Για $V_{stream}=2.64\text{m/s}$ και $q=198\text{ w/m}^2$



Για $V_{stream}=2.88m/s$ και $q=198 w/m^2$



Για $V_{stream}=3.22m/s$ και $q=198 w/m^2$



7.5 ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ

Η χρήση υγρών κρυστάλλων για την απεικόνιση θερμοκρασιακών πεδίων με την τεχνική της χρωματογραφικής ανάλυσης είναι αρκετά ακριβής, γρήγορη και αποτελεσματική. Αναφορικά με τα τελικά αποτελέσματα προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα:

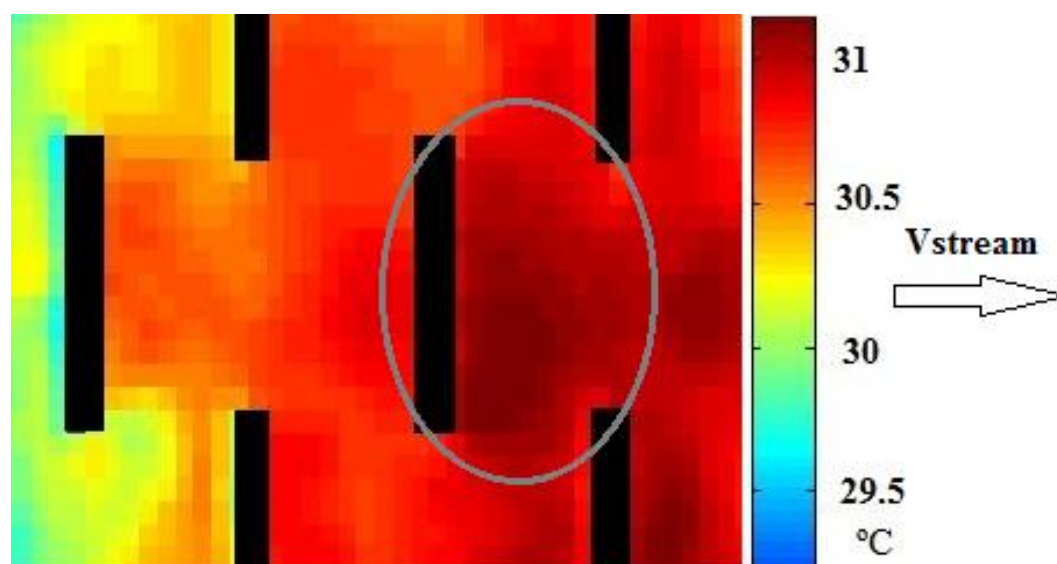
-Η κατανομή του τοπικού συντελεστή συναγωγιμότητας h επί επίπεδης θερμαινόμενης πλάκας παρουσιάζει εμπόδια, εκτεθειμένη σε ρεύμα ψύξης μεταβάλλεται σημαντικά συναρτήσει της διάταξης των εμποδίων (απόσταση εμποδίων) και της μορφής αυτών (συνεχή ή διακεκομμένα).

-Αύξηση της ταχύτητας του ρεύματος ψύξης V_{stream} προκαλεί αύξηση του συντελεστή συναγωγής θερμότητας h ενώ μείωση αυτού προκαλεί μείωση του συντελεστή συναγωγής θερμότητας h όπως καταγράφηκε ξεκάθαρα σε όλες τις περιπτώσεις.

-Τα διακεκομμένα εμπόδια παρουσιάζουν αρκετά υψηλότερους μέσους συντελεστές συναγωγιμότητας h σε σχέση με τα συνεχή.

-Τοπικά ελάχιστα του συντελεστή συναγωγιμότητας εμφανίζονται στην οπίσθια όψη των εμποδίων κατάντη της ροής λόγω της ανακυκλοφορίας και των ροικών δινών που λαμβάνουν χώρα στις θέσεις αυτές.

Η τοπική μείωση του συντελεστή συναγωγιμότητας πίσω από τα εμπόδια κατάντη της ροής φαίνεται ικανοποιητικά στην παρακάτω εικόνα όπου εντοπίζεται τοπικά υψηλότερη θερμοκρασία. Αυτό οφείλεται στην ανακυκλοφορία του ρεύματος ψύξης με άμεση συνέπεια την μείωση του τοπικού συντελεστή συναγωγιμότητας λόγω της υψηλότερης θερμοκρασίας στο φιλμ αυτού οριακά με το στερεό τοίχωμα. Αυτή η ανακυκλοφορία εντοπίζεται σε όλες τις διατάξεις των πειραμάτων μας και είναι σε απόλυτη συμφωνία με την διεθνή βιβλιογραφία.



Εικ. Η περιοχή κατάντη της ροής στην οπίσθια πλευρά του εμποδίου παρουσιάζει υψηλότερη θερμοκρασία και κατά συνέπεια χαμηλότερο συντελεστή συναγωγιμότητας σε σχέση με γειτονικές περιοχές

-Η κατανομή του αριθμού Nusselt συναρτήσει του μήκους της πλάκας παρουσιάζει μέγιστο στο εμπρόσθιο τμήμα της πλάκας όπως την προσβάλλει η ροή και βαίνει ελλατούμενη αλλά με φθίνον ρυθμό κατά μήκος αυτής. Στο ουραίο τμήμα της πλάκας μετά τα 90 mm φαίνεται να σταθεροποιείται ενώ σε αρκετές περιπτώσεις μεταξύ αυτών που καταγράψαμε παρουσιάζει μικρή άνοδο στο οπίσθιο τμήμα της πλάκας.

-Ο λόγος ύψους προς απόσταση εμποδίων (L) επηρεάζει σημαντικά τον συντελεστή συναγωγής θερμότητας. Αύξηση του λόγου προκαλεί μείωση του συντελεστή συναγωγής για τις ίδιες συνθήκες ενώ μείωση αυτού προκαλεί αύξηση του συντελεστή συναγωγής θερμότητας h . Στα διακεκομένα εμπόδια η συμπεριφορά αυτή δεν είναι τόσο εμφανής όπως στα συνεχή γεγονός που καταδεικνύει τις έντονες ροϊκές μεταβολές που προκαλούν τα διακεκομένα εμπόδια σε σχέση με τα συνεχή εμπόδια.

8. Παράρτημα

Κώδικας Matlab:

```
1.      %program for image processing
2.      xsize=input('Give X size of the image(pixels) : ')
3.      ysize=input('Give Y size of the image(pixels) : ')
4.      wsize=input('Give X size of the interrogation
   windows(16,32,64 pixels) : ')
5.      zsize=input('Give Y size of the interrogation
   windows(16,32,64 pixels) : ')
6.      [ra,ga,ba]=imread('A (8).tif');
7.      [ha,sa,va]=rgb2hsv(ra,ga,ba);
8.      A=ha;
9.      B=sa;
10.     C=va;
11.     for i=1:(ysize/zsize);
12.     k=1+zsize*(i-1);
13.     eval(['lh' int2str(i) '=A(k:(k+zsize-1),:);']);
14.     eval(['ls' int2str(i) '=B(k:(k+zsize-1),:);']);
15.     eval(['lv' int2str(i) '=C(k:(k+zsize-1),:);']);
16.     end
17.     for i=1:(ysize/zsize-1);
18.     k=(1+zsize/2)+zsize*(i-1);
19.     eval(['nh' int2str(i) '=A(k:(k+zsize-1),:);']);
20.     eval(['ns' int2str(i) '=B(k:(k+zsize-1),:);']);
21.     eval(['nv' int2str(i) '=C(k:(k+zsize-1),:);']);
22.     end
23.     clear A;
24.     clear B;
25.     clear C;
26.     [rb,gb,bb]=imread('A (8).tif');
27.     [hb,sb,vb]=rgb2hsv(rb,gb,bb);
28.     A=hb;
29.     B=sb;
30.     C=vb;
31.     for i=1:(ysize/zsize);
32.     k=1+zsize*(i-1);
33.     eval(['mh' int2str(i) '=A(k:(k+zsize-1),:);']);
34.     eval(['ms' int2str(i) '=B(k:(k+zsize-1),:);']);
35.     eval(['mv' int2str(i) '=C(k:(k+zsize-1),:);']);
36.     end
37.     for i=1:(ysize/zsize-1);
38.     k=(1+zsize/2)+zsize*(i-1);
39.     eval(['th' int2str(i) '=A(k:(k+zsize-1),:);']);
40.     eval(['ts' int2str(i) '=B(k:(k+zsize-1),:);']);
41.     eval(['tv' int2str(i) '=C(k:(k+zsize-1),:);']);
42.     end
43.     clear A;
44.     clear B;
45.     clear C;
```

```

46.     for m=1:(ysize/zsize);
47.     fh1=['lh' int2str(m)];
48.     fs1=['ls' int2str(m)];
49.     fv1=['lv' int2str(m)];
50.     fh2=['mh' int2str(m)];
51.     fs2=['ms' int2str(m)];
52.     fv2=['mv' int2str(m)];
53.     Ph=eval(fh1);
54.     Ps=eval(fs1);
55.     Pv=eval(fv1);
56.     for i=1:(xsize/wsize);
57.     k=1+wsize*(i-1);
58.     eval(['qh' int2str(i) '=Ph(:,k:(k+wsize-1));']);
59.     eval(['qs' int2str(i) '=Ps(:,k:(k+wsize-1));']);
60.     eval(['qv' int2str(i) '=Pv(:,k:(k+wsize-1));']);
61.     end
62.     clear Ph
63.     clear Ps
64.     clear Pv
65.     Ph=eval(fh2);
66.     Ps=eval(fs2);
67.     Pv=eval(fv2);
68.     for i=1:(xsize/wsize);
69.     k=1+wsize*(i-1);
70.     eval(['gh' int2str(i) '=Ph(:,k:(k+wsize-1));']);
71.     eval(['gs' int2str(i) '=Ps(:,k:(k+wsize-1));']);
72.     eval(['gv' int2str(i) '=Pv(:,k:(k+wsize-1));']);
73.     end
74.     clear Ph;
75.     clear Ps;
76.     clear Pv;
77.     for i=1:(xsize/wsize);
78.     fh3=['qh' int2str(i)];
79.     fs3=['qs' int2str(i)];
80.     fv3=['qv' int2str(i)];
81.     fh4=['gh' int2str(i)];
82.     fs4=['gs' int2str(i)];
83.     fv4=['gv' int2str(i)];
84.     Ph1=eval(fh3);
85.     Ps1=eval(fs3);
86.     Pv1=eval(fv3);
87.     Ph2=eval(fh4);
88.     Ps2=eval(fs4);
89.     Pv2=eval(fv4);
90.     % exclude zero values (obstacle pixels)
91.     athanh1 = sum(sum(Ph1 ~= 0));
92.     athanh2 = sum(sum(Ph2 ~= 0));
93.     athans1 = sum(sum(Ps1 ~= 0));
94.     athans2 = sum(sum(Ps2 ~= 0));
95.     athanv1 = sum(sum(Pv1 ~= 0));
96.     athanv2 = sum(sum(Pv2 ~= 0));
97.     have1=mean(mean(Ph1))*32*32/athanh1;
98.     save1=mean(mean(Ps1))*32*32/athans1;

```

```

99.     vave1=mean(mean(Pv1))*32*32/athanv1;
100.    have2=mean(mean(Ph2))*32*32/athanh2;
101.    save2=mean(mean(Ps2))*32*32/athans2;
102.    vave2=mean(mean(Pv2))*32*32/athanv2;
103.    for ia=1:zsize;
104.        for ja=1:wsize;
105.            hm1(ia,ja)=have1;
106.            sm1(ia,ja)=save1;
107.            vm1(ia,ja)=vave1;
108.            hm2(ia,ja)=have2;
109.            sm2(ia,ja)=save2;
110.            vm2(ia,ja)=vave2;
111.            Ph(ia,ja)=(hm1(ia,ja)+hm2(ia,ja))/2;
112.            Ps(ia,ja)=(sm1(ia,ja)+sm2(ia,ja))/2;
113.            Pv(ia,ja)=(vm1(ia,ja)+vm2(ia,ja))/2;
114.            h1((m-1)*zsize+ia),((i-1)*wsize+ja)=Ph(ia,ja);
115.            s1((m-1)*zsize+ia),((i-1)*wsize+ja)=Ps(ia,ja);
116.            v1((m-1)*zsize+ia),((i-1)*wsize+ja)=Pv(ia,ja);
117.        end
118.    end
119.    Y1(m,i)=(have1+have2)/2;
120. end
121. end
122. for m=1:(ysize/zsize);
123.     fh1=['lh' int2str(m)];
124.     fs1=['ls' int2str(m)];
125.     fv1=['lv' int2str(m)];
126.     fh2=['mh' int2str(m)];
127.     fs2=['ms' int2str(m)];
128.     fv2=['mv' int2str(m)];
129.     Ph=eval(fh1);
130.     Ps=eval(fs1);
131.     Pv=eval(fv1);
132.     for i=1:(xsize/wsize-1);
133.         k=(1+wsize/2)+wsize*(i-1);
134.         eval(['qh' int2str(i) '=Ph(:,k:(k+wsize-1));']);
135.         eval(['qs' int2str(i) '=Ps(:,k:(k+wsize-1));']);
136.         eval(['qv' int2str(i) '=Pv(:,k:(k+wsize-1));']);
137.     end
138.     clear Ph
139.     clear Ps
140.     clear Pv
141.     Ph=eval(fh2);
142.     Ps=eval(fs2);
143.     Pv=eval(fv2);
144.     for i=1:(xsize/wsize-1);
145.         k=(1+wsize/2)+wsize*(i-1);
146.         eval(['gh' int2str(i) '=Ph(:,k:(k+wsize-1));']);
147.         eval(['gs' int2str(i) '=Ps(:,k:(k+wsize-1));']);
148.         eval(['gv' int2str(i) '=Pv(:,k:(k+wsize-1));']);
149.     end
150.     clear Ph;
151.     clear Ps;

```

```

152.     clear Pv;
153.     for i=1:(xsize/wsize-1);
154.         fh3=['qh' int2str(i)];
155.         fs3=['qs' int2str(i)];
156.         fv3=['qv' int2str(i)];
157.         fh4=['gh' int2str(i)];
158.         fs4=['gs' int2str(i)];
159.         fv4=['gv' int2str(i)];
160.         Ph1=eval(fh3);
161.         Ps1=eval(fs3);
162.         Pv1=eval(fv3);
163.         Ph2=eval(fh4);
164.         Ps2=eval(fs4);
165.         Pv2=eval(fv4);
166.         % exclude zero values (obstacle pixels)
167.         athanh1 = sum(sum(Ph1 ~= 0));
168.         athanh2 = sum(sum(Ph2 ~= 0));
169.         athans1 = sum(sum(Ps1 ~= 0));
170.         athans2 = sum(sum(Ps2 ~= 0));
171.         athanv1 = sum(sum(Pv1 ~= 0));
172.         athanv2 = sum(sum(Pv2 ~= 0));
173.         have1=mean(mean(Ph1))*32*32/athanh1;
174.         save1=mean(mean(Ps1))*32*32/athans1;
175.         vave1=mean(mean(Pv1))*32*32/athanv1;
176.         have2=mean(mean(Ph2))*32*32/athanh2;
177.         save2=mean(mean(Ps2))*32*32/athans2;
178.         vave2=mean(mean(Pv2))*32*32/athanv2;
179.         for ib=1:zsize;
180.             for jb=1:wsize;
181.                 hm1(ib,jb)=have1;
182.                 sm1(ib,jb)=save1;
183.                 vm1(ib,jb)=vave1;
184.                 hm2(ib,jb)=have2;
185.                 sm2(ib,jb)=save2;
186.                 vm2(ib,jb)=vave2;
187.                 Ph(ib,jb)=(hm1(ib,jb)+hm2(ib,jb))/2;
188.                 Ps(ib,jb)=(sm1(ib,jb)+sm2(ib,jb))/2;
189.                 Pv(ib,jb)=(vm1(ib,jb)+vm2(ib,jb))/2;
190.                 h2((m-1)*zsize+ib),((i-1)*wsize+jb)=Ph(ib,jb);
191.                 s2((m-1)*zsize+ib),((i-1)*wsize+jb)=Ps(ib,jb);
192.                 v2((m-1)*zsize+ib),((i-1)*wsize+jb)=Pv(ib,jb);
193.             end
194.         end
195.         Y2(m,i)=(have1+have2)/2;
196.     end
197. end
198. for m=1:(ysize/zsize-1);
199.     fh1=['nh' int2str(m)];
200.     fs1=['ns' int2str(m)];
201.     fv1=['nv' int2str(m)];
202.     fh2=['th' int2str(m)];
203.     fs2=['ts' int2str(m)];
204.     fv2=['tv' int2str(m)];

```

```

205.     Ph=eval(fh1);
206.     Ps=eval(fs1);
207.     Pv=eval(fv1);
208.     for i=1:(xsize/wsize);
209.         k=1+wsize*(i-1);
210.         eval(['qh' int2str(i) '=Ph(:,k:(k+wsize-1));']);
211.         eval(['qs' int2str(i) '=Ps(:,k:(k+wsize-1));']);
212.         eval(['qv' int2str(i) '=Pv(:,k:(k+wsize-1));']);
213.     end
214.     clear Ph
215.     clear Ps
216.     clear Pv
217.     Ph=eval(fh2);
218.     Ps=eval(fs2);
219.     Pv=eval(fv2);
220.     for i=1:(xsize/wsize);
221.         k=1+wsize*(i-1);
222.         eval(['gh' int2str(i) '=Ph(:,k:(k+wsize-1));']);
223.         eval(['gs' int2str(i) '=Ps(:,k:(k+wsize-1));']);
224.         eval(['gv' int2str(i) '=Pv(:,k:(k+wsize-1));']);
225.     end
226.     clear Ph;
227.     clear Ps;
228.     clear Pv;
229.     for i=1:(xsize/wsize);
230.         fh3=['qh' int2str(i)];
231.         fs3=['qs' int2str(i)];
232.         fv3=['qv' int2str(i)];
233.         fh4=['gh' int2str(i)];
234.         fs4=['gs' int2str(i)];
235.         fv4=['gv' int2str(i)];
236.         Ph1=eval(fh3);
237.         Ps1=eval(fs3);
238.         Pv1=eval(fv3);
239.         Ph2=eval(fh4);
240.         Ps2=eval(fs4);
241.         Pv2=eval(fv4);
242.         % exclude zero values (obstacle pixels)
243.         athanh1 = sum(sum(Ph1 ~= 0));
244.         athanh2 = sum(sum(Ph2 ~= 0));
245.         athans1 = sum(sum(Ps1 ~= 0));
246.         athans2 = sum(sum(Ps2 ~= 0));
247.         athanv1 = sum(sum(Pv1 ~= 0));
248.         athanv2 = sum(sum(Pv2 ~= 0));
249.         have1=mean(mean(Ph1))*32*32/athanh1;
250.         save1=mean(mean(Ps1))*32*32/athans1;
251.         vave1=mean(mean(Pv1))*32*32/athanv1;
252.         have2=mean(mean(Ph2))*32*32/athanh2;
253.         save2=mean(mean(Ps2))*32*32/athans2;
254.         vave2=mean(mean(Pv2))*32*32/athanv2;
255.     for ic=1:zsize;
256.     for jc=1:wsize;
257.     hml(ic,jc)=have1;

```

```

258.     sm1(ic,jc)=savel;
259.     vm1(ic,jc)=vavel;
260.     hm2(ic,jc)=have2;
261.     sm2(ic,jc)=save2;
262.     vm2(ic,jc)=vave2;
263.     Ph(ic,jc)=(hm1(ic,jc)+hm2(ic,jc))/2;
264.     Ps(ic,jc)=(sm1(ic,jc)+sm2(ic,jc))/2;
265.     Pv(ic,jc)=(vm1(ic,jc)+vm2(ic,jc))/2;
266.     h3((m-1)*zsize+ic),((i-1)*wsize+jc)=Ph(ic,jc);
267.     s3((m-1)*zsize+ic),((i-1)*wsize+jc)=Ps(ic,jc);
268.     v3((m-1)*zsize+ic),((i-1)*wsize+jc)=Pv(ic,jc);
269.     end
270.     end
271.     Y3(m,i)=(have1+have2)/2;
272.     end
273.     end
274.     for m=1:(ysize/zsize-1);
275.         fh1=['nh' int2str(m)];
276.         fs1=['ns' int2str(m)];
277.         fv1=['nv' int2str(m)];
278.         fh2=['th' int2str(m)];
279.         fs2=['ts' int2str(m)];
280.         fv2=['tv' int2str(m)];
281.         Ph=eval(fh1);
282.         Ps=eval(fs1);
283.         Pv=eval(fv1);
284.         for i=1:(xsize/wsize-1);
285.             k=(1+wsize/2)+wsize*(i-1);
286.             eval(['qh' int2str(i) '=Ph(:,k:(k+wsize-1));']);
287.             eval(['qs' int2str(i) '=Ps(:,k:(k+wsize-1));']);
288.             eval(['qv' int2str(i) '=Pv(:,k:(k+wsize-1));']);
289.             end
290.             clear Ph
291.             clear Ps
292.             clear Pv
293.             Ph=eval(fh2);
294.             Ps=eval(fs2);
295.             Pv=eval(fv2);
296.             for i=1:(xsize/wsize-1);
297.                 k=(1+wsize/2)+wsize*(i-1);
298.                 eval(['gh' int2str(i) '=Ph(:,k:(k+wsize-1));']);
299.                 eval(['gs' int2str(i) '=Ps(:,k:(k+wsize-1));']);
300.                 eval(['gv' int2str(i) '=Pv(:,k:(k+wsize-1));']);
301.                 end
302.                 clear Ph;
303.                 clear Ps;
304.                 clear Pv;
305.                 for i=1:(xsize/wsize-1);
306.                     fh3=['qh' int2str(i)];
307.                     fs3=['qs' int2str(i)];
308.                     fv3=['qv' int2str(i)];
309.                     fh4=['gh' int2str(i)];
310.                     fs4=['gs' int2str(i)];

```

```

311.     fv4=['gv' int2str(i)];
312.     Ph1=eval(fh3);
313.     Ps1=eval(fs3);
314.     Pv1=eval(fv3);
315.     Ph2=eval(fh4);
316.     Ps2=eval(fs4);
317.     Pv2=eval(fv4);

318.     % exclude zero values (obstacle pixels)
319.     athanh1 = sum(sum(Ph1 ~= 0));
320.     athanh2 = sum(sum(Ph2 ~= 0));
321.     athans1 = sum(sum(Ps1 ~= 0));
322.     athans2 = sum(sum(Ps2 ~= 0));
323.     athanv1 = sum(sum(Pv1 ~= 0));
324.     athanv2 = sum(sum(Pv2 ~= 0));
325.     have1=mean(mean(Ph1))*32*32/athanh1;
326.     save1=mean(mean(Ps1))*32*32/athans1;
327.     vave1=mean(mean(Pv1))*32*32/athanv1;
328.     have2=mean(mean(Ph2))*32*32/athanh2;
329.     save2=mean(mean(Ps2))*32*32/athans2;
330.     vave2=mean(mean(Pv2))*32*32/athanv2;

331.     for id=1:zsize;
332.         for jd=1:wsize;
333.             hm1(id,jd)=have1;
334.             sm1(id,jd)=save1;
335.             vm1(id,jd)=vave1;
336.             hm2(id,jd)=have2;
337.             sm2(id,jd)=save2;
338.             vm2(id,jd)=vave2;
339.             Ph(id,jd)=(hm1(id,jd)+hm2(id,jd))/2;
340.             Ps(id,jd)=(sm1(id,jd)+sm2(id,jd))/2;
341.             Pv(id,jd)=(vm1(id,jd)+vm2(id,jd))/2;
342.             h4((m-1)*zsize+id,((i-1)*wsize+jd))=Ph(id,jd);
343.             s4((m-1)*zsize+id,((i-1)*wsize+jd))=Ps(id,jd);
344.             v4((m-1)*zsize+id,((i-1)*wsize+jd))=Pv(id,jd);
345.         end
346.     end
347.     Y4(m,i)=(have1+have2)/2;
348. end
349. end
350.     for k=1:(xsize/wsize);
351.         Y12(:,2*k-1)=Y1(:,k);
352.         h12(:,((k-1)*wsize+1):((2*k-1)*wsize/2))=h1(:,((k-1)*wsize+1):((2*k-1)*wsize/2));
353.         s12(:,((k-1)*wsize+1):((2*k-1)*wsize/2))=s1(:,((k-1)*wsize+1):((2*k-1)*wsize/2));
354.         v12(:,((k-1)*wsize+1):((2*k-1)*wsize/2))=v1(:,((k-1)*wsize+1):((2*k-1)*wsize/2));
355.     end
356.     for n=1:(xsize/wsize-1);
357.         Y12(:,2*n)=Y2(:,n);
358.         h12(:,((2*n-1)*wsize/2+1):(n*wsize))=h2(:,((n-1)*wsize+1):((2*n-1)*wsize/2));

```

```

359.     s12(:, ((2*n-1)*wsize/2+1):(n*wsize))=s2(:, ((n-
1)*wsize+1):((2*n-1)*wsize/2));
360.     v12(:, ((2*n-1)*wsize/2+1):(n*wsize))=v2(:, ((n-
1)*wsize+1):((2*n-1)*wsize/2));
361.     end
362.     for k=1:(xsize/wsize);
363.         Y34(:, 2*k-1)=Y3(:, k);
364.         h34(:, ((k-1)*wsize+1):((2*k-1)*wsize/2))=h3(:, ((k-
1)*wsize+1):((2*k-1)*wsize/2));
365.         s34(:, ((k-1)*wsize+1):((2*k-1)*wsize/2))=s3(:, ((k-
1)*wsize+1):((2*k-1)*wsize/2));
366.         v34(:, ((k-1)*wsize+1):((2*k-1)*wsize/2))=v3(:, ((k-
1)*wsize+1):((2*k-1)*wsize/2));
367.     end
368.     for n=1:(xsize/wsize-1);
369.         Y34(:, 2*n)=Y4(:, n);
370.         h34(:, ((2*n-1)*wsize/2+1):(n*wsize))=h4(:, ((n-
1)*wsize+1):((2*n-1)*wsize/2));
371.         s34(:, ((2*n-1)*wsize/2+1):(n*wsize))=s4(:, ((n-
1)*wsize+1):((2*n-1)*wsize/2));
372.         v34(:, ((2*n-1)*wsize/2+1):(n*wsize))=v4(:, ((n-
1)*wsize+1):((2*n-1)*wsize/2));
373.     end
374.     for k=1:(ysize/zsize);
375.         Y(2*k-1, :)=Y12(k, :);
376.         h(((k-1)*zsize+1):((2*k-1)*zsize/2), :)=h12(((k-
1)*zsize+1):((2*k-1)*zsize/2), :);
377.         s(((k-1)*zsize+1):((2*k-1)*zsize/2), :)=s12(((k-
1)*zsize+1):((2*k-1)*zsize/2), :);
378.         v(((k-1)*zsize+1):((2*k-1)*zsize/2), :)=v12(((k-
1)*zsize+1):((2*k-1)*zsize/2), :);
379.     end
380.     for n=1:(ysize/zsize-1);
381.         Y(2*n, :)=Y34(n, :);
382.         h(((2*n-1)*zsize/2+1):(n*zsize), :)=h34(((n-
1)*zsize+1):((2*n-1)*zsize/2), :);
383.         s(((2*n-1)*zsize/2+1):(n*zsize), :)=s34(((n-
1)*zsize+1):((2*n-1)*zsize/2), :);
384.         v(((2*n-1)*zsize/2+1):(n*zsize), :)=v34(((n-
1)*zsize+1):((2*n-1)*zsize/2), :);
385.     end
386.     %metatroph paletas h se T
387.     for j=1:(2*(xsize/wsize)-1);
388.         for i=1:(2*(ysize/zsize)-1);
389.             a. T(i, j)=1368*(Y(i, j))^4 - 2209*(Y(i, j))^3 + 1303*Y(i, j)^2-
390.                 322*Y(i, j)+57;
391.         end
392.     end
393.     %Meses thermokrasies kai syntelestes synagwgimothtos kai
arithmos Nusselt
394.     Tm=mean(T)
395.     Hsynagwghs=198./(T-27)
396.     Hm=mean(Hsynagwghs)
397.     Num=Hm*0.005/0.026 % nu=H* L / K
398.     Nu=(0.005/0.026)*Hsynagwghs

```



```

397.    %exagwgh arxeiwn T kai eikonas RGB
398.    Temp=T;
399.    save T Temp -ascii;
400.    AA=hsv2rgb(h,s,v);
401.    imwrite(AA,'TLC6.tif');

```

Γραμμές 2-5 και 6,26

Εισάγουμε τις διαστάσεις της ως προς επεξεργασία εικόνας πραγματικού χρώματος, επίσης εισάγουμε τις διαστάσεις του παραθύρου βάση του οποίου θα τεμαχίσουμε την αρχική μας εικόνα. Στη θέση 26 δίδουμε μία εικόνα αμέσως επόμενη αυτής που δώσαμε στη θέση 6 με ελάχιστη χρονική καθυστέρηση για να έχουμε επιπρόσθετη πληροφορία.

Ταυτόχρονα δημιουργούμε με την συνάρτηση `imread` πίνακες `ra,rb,rg` που αντιστοιχούν στις τρεις συνιστώσες του συστήματος χρωματικής αναφοράς RGB ανά pixel.

Γραμμή 7

Η συνάρτηση `rgb2hsv` μετατρέπει τους πίνακες `rgb` σε πίνακες του χρωματικού συστήματος `hsv`.

Γραμμές 8-22

Η εικόνα τεμαχίζεται σε οριζόντιες λωρίδες κατά συγκεκριμένο τρόπο.

Γραμμές 23-45

Επαναλαμβάνονται οι εργασίες 8-22 για την δεύτερη εικόνα η οποία επίσης τεμαχίζεται σε αριθμό οριζόντιων λωρίδων κατά τον ίδιο τρόπο.

Γραμμές 46-384

Έχουμε έναν κύριο βρόχο ο οποίος περιλαμβάνει πλήθος περικλυόμενων βρόχων. Γίνεται ένας υπολογισμός των μέσων τιμών των τριών πινάκων `H,S,V` ανά pixel εικόνας και για κάθε εικόνα από τις δύο αρχικές που εισάγαγαμε. Οι μέσες τιμές που προέκυψαν ανά εικόνα αθροίζονται και διαιρούνται για να μας δώσουν μια μέση τιμή μιας τρίτης εικόνας που δημιουργείται. Η αντιστοιχία των πράξεων είναι `pixel by pixel`, οπότε προκύπτει πίνακας μέσων τιμών ίδιων αριθμών `pixel` με τους αρχικούς. Στις γραμμές 90-102, 167-178, 242-254, 318-330 εξαιρούμε τα `pixel` μηδενικού `hue` από τις μέσες τιμές δεδομένου ότι οι εικόνες μας φέρανε αδιαβατικά εμπόδια που δεν θα θέλαμε να λάβουν μέρος στις επιμέρους πράξεις εξαγωγής του μέσου όρου τιμής `hue` ανά `pixel` αλλοιώνοντας έτσι τα πραγματικά δεδομένα. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται με οριζόντιους και κάθετους τεμαχισμούς κατά συγκεκριμένο τρόπο.

Γραμμές 386-389

Ο τελικός πίνακας `Y` περιέχει τις τελικές μέσες τιμές `Hue` ανά `pixel` που προέκυψαν από τον τεμαχισμό δύο αρχικών εικόνων με αρκετούς τρόπους τεμαχισμού για να πάρουμε την βέλτιστη πληροφορία χρώματος `pixel` σε σχέση με τα γειτονικά του. Γνωρίζοντας το χαρακτηριστικό πολυώνυμο συμπεριφοράς των υγρών κρυστάλλων μας συναρτήσεως της θερμοκρασίας όπως προέκυψε από τα πειράματα βαθμονόμησης μετατρέπουμε πλέον τον τελικό πίνακα `Y` σε πίνακα θερμοκρασιών με αντιστοιχία `pixel` 1 προς 1.

Γραμμές 391-396 και 397-401

Στη θέση 400 ο τελικός πίνακας μετατρέπεται αντιστροφά από το χρωματικό σύστημα `hsv` στο `rgb` με την αντίστροφη `function`. Ο πίνακας θερμοκρασιών μέσα από μαθηματικές πράξεις μας δίνει πίνακες τιμών μέσων, κατανομών συντελεστών συναγωγιμότητας, και κατανομών αριθμών `Nusselt` όπως και τις μέσες τιμές αυτών

των μεγεθών στο μέσο της πλάκας καθύψος συναρτήσει της οριζόντιας διάστασης δηλαδή καθόλο το μήκος της τελικής εικόνας.

9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Σωκράτης Τσαγγάρης**, 'Μηχανική των Ρευστών', Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα 2005
- Σταματόπουλος Χρήστος**, 'Ταυτόχρονη μέτρηση ταχύτητας και θερμοκρασίας πεδίου ροής με χρήση υγρών κρυστάλλων' 2005
- Ξενοφών Κ.Κακάτσιος**, 'Μετάδοση Θερμότητας', Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα 2002
- Ξενοφών Κ. Κακάτσιος**, 'Αρχές Μεταφοράς Θερμότητας και Μάζης', Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα 2006
- Γεωργακοπούλου Παναγιώτα**, 'Μέτρηση κατανομής συντελεστή συναγωγής απότομης διέυρυνσης, εκτεθειμένης σε ρεύμα αέρα, με χρήση υγρών κρυστάλλων' 2011
- Δημήτριος Θ. Χουντάλας**, 'Φαινόμενα μεταφοράς και εφαρμογές αυτών', Έκδοση β', Αθήνα 1993
- Μαρία Κούη** 'Υγροί κρυστάλλοι' 2009
- McLaughlin, E.** "Theory of thermal conductivity of fluids" in P.R. Tye, Ed., Thermal Conductivity, Vol. 2, Academic Press, London, 1969.
- Burmeister, L. C.**, Convective heat transfer, Wiley-Interscience, New York, 1983.
- Han J. C.**, 1988, "Heat transfer and friction characteristics in rectangular channels with rib turbulators ", ASME Journal of Heat Transfer, Vol.110, 321.
- Han J. C., Park J. S.**, 1988, "Developing heat transfer in rectangular channels with rib turbulators ", Int.J. Heat Mass Transfer, Vol.31, 183.
- Giovanni Tanda, Diego Cavallero**, 'Heat transfer coefficient measurements in ribbed channels using liquid crystal thermography' DITEC, University of Genoa
- Kukreja R. T., S.C. Lau S. C., McMillin R. D.**, 1993, "Local heat/mass transfer distribution in a square channel with full and V-shaped ribs", Int.J. Heat Mass Transfer, Vol.36, 2013.
- Documentation λογισμικού Matlab

Υπερσύνδεσμοι:

<http://www.ntua.gr>

<http://www.wikipedia.com>

<http://web.mit.edu>

<http://www.doitpoms.ac.uk>

<http://www.nasa.gov>

<http://www.hallcrest.com>

