

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΕ ΑΓΩΓΟ HEAT PIPE ΓΙΑ ΨΥΞΗ

LAPTOP

υπό

Εκίζογλου Αλέξανδρου και Φλέγκα Πάρι

Επιβλέπων Καθηγητής: ΔΡ. ΕΡΡΙΚΟΣ ΣΤΑΠΟΥΝΤΖΗΣ

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των απαιτήσεων για την απόκτηση του

Διπλώματος Μηχανολόγου Μηχανικού

ΒΟΛΟΣ 2017

© 2017 Εκίζογλου Αλέξανδρος

© 2017 Φλέγκας Πάρις

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής Δρ. Ερρίκος Σταπουντζής
(Επιβλέπων) Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο
Θεσσαλίας

Δεύτερος Εξεταστής Δρ. Αναστάσιος Σταματέλλος
Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο
Θεσσαλίας

Τρίτος Εξεταστής Δρ. Νικόλαος Πελεκάσης
Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο
Θεσσαλίας

Ευχαριστίες

Η εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας αποτελεί το τελευταίο στάδιο για την απόκτηση του διπλώματος του μηχανολόγου μηχανικού και την είσοδο στην αγορά εργασίας. Αρχικά οφείλουμε να ευχαριστήσουμε τον επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας, Καθηγητή κ. Ερρίκο Σταπουντζή, για την τιμή που μας έκανε αποδεχόμενος την πρόταση μας για την μεταξύ μας συνεργασία. Η εμπιστοσύνη του και η πολύτιμη βοήθεια του προς εμάς στην επίβλεψη και στην καθοδήγηση υπήρξε καθοριστική. Επίσης θέλουμε να ευχαριστήσουμε και τα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, Καθηγητές κκ. Αναστάσιο Σταματέλλο και Νικόλαο Πελεκάση για την προσεκτική ανάγνωση της εργασίας μας και για τις πολύτιμες υποδείξεις τους. Σημαντική βοήθεια για εμάς ήταν ο συνάδελφος Στέλιος Μακρίδης, για το στήσιμο του πειράματος και την διεξαγωγή των αρχικών μετρήσεων. Επιπλέον ευχαριστούμε τον ηλεκτρονικό κ. Αναστάσιο Δαφερέρα, η συμβολή του οποίου ήταν σημαντική, σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας. Τέλος δεν θα μπορούσαμε να παραλείψουμε την πολύχρονη στήριξη των γονέων μας, δίχως την συμβολή των οποίων δεν θα μπορούσαμε να φτάσουμε τόσο κοντά στην επίτευξη των στόχων μας.

Αλέξανδρος Εκίζογλου

Πάρις Φλέγκας

Περίληψη

Σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη και ανάλυση των αποτελεσμάτων μέσω πειραματικών διαδικασιών ενός αγωγού απαγωγής θερμότητας heat pipe. Η διαμόρφωση της τελικής κατασκευής είχε σαν πρότυπο την ψύξη του επεξεργαστή ενός φορητού υπολογιστή τον οποίον προσομοιάσαμε με ένα κύλινδρο κατασκευασμένο από χαλκό και παρείχαμε θερμότητα μέσω του soldering station. Μέσω κάποιων συγκεκριμένων οργάνων μέτρησης καταφέραμε να συλλέξουμε δεδομένα από την πειραματική διάταξη και με τη βοήθεια προγραμμάτων να τα παρουσιάσουμε σε διαγράμματα. Οι μετρήσεις αφορούσαν τη θερμοκρασία που υπάρχει στον πυρήνα με συγκεκριμένη παροχή θερμότητας, την θερμοκρασία εξόδου του αέρα στα πτερύγια καθώς και τις ταχύτητες εξόδου του αέρα. Επιπλέον μέσω θερμικής κάμερας καταφέραμε να παρουσιάσουμε το θερμοκρασιακό πεδίου του θερμαντικού σωλήνα. Εκτός από την πειραματική διαδικασία, περιγράφεται η διαδικασία στην οποία μεταφέρεται θερμότητα και το πώς επιτυγχάνεται η συμπύκνωση και η εξάτμιση του υγρού που χρησιμοποιείται μέσα στον θερμαντικό σωλήνα. Στη συνέχεια γίνεται αναφορά για τους πιο σημαντικούς τύπους θερμαντικών σωλήνων αλλά και για τα είδη των υλικών από τα οποία αποτελείται. Τέλος με τη βοήθεια των μετρήσεων αλλά και των διαγραμμάτων καταφέραμε να βγάλουμε χρήσιμα συμπεράσματα για τον τρόπο λειτουργίας ενός θερμαντικού αγωγού.

Abstract

The target of this thesis is the study and analysis through experimental procedures of a heat pipe. The configuration of the final construction was modeled for the cooling of the processor of a laptop which is resembled as a cylinder made of copper and to which we provided heat using a soldering station. Using some instruments we measured and succeeded in collecting data through an experimental procedure and with help of programs to present them in graphs and charts. These measurements were related to the temperature that is in the core with a specific heat supply, the air temperature in the exit of the fins and also the speed of air at the exit. In addition, through a thermal camera we managed to represent the temperature range of the heat pipe. Except the experimental procedure, there is described the procedure in which heat is transferred and how the condensation and the evaporation of the fluid inside the heat pipe is succeeded. Subsequently, reference is made for the more important types of heat pipes and also the type of materials that they consist of. Finally, using the measurements and the graphs, we came in very useful results and conclusions for the operation of a heat pipe

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κεφάλαιο 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	Σελ. 12
1.1 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	16
1.2 Άλλες Μέθοδοι ψύξης σε Επεξεργαστή ενός Υπολογιστή	17
1.3 Πλεονεκτήματα Heat Pipe.....	19
1.4 Εφαρμογές Heat Pipe	20
Κεφάλαιο 2 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΘΕΡΜΑΝΤΙΚΟΥ ΣΩΛΗΝΑ (HEAT PIPE)	23
2.1 Μεταφορά θερμότητας.....	23
2.1.1 Αγωγή.....	24
2.1.2 Συναγωγή	25
2.1.3 Θερμική ακτινοβολία	26
2.2 Λειτουργία Heat Pipe	29
2.2.1 Όριο λειτουργίας θερμαντικών σωλήνων	31
2.3 Στοιχεία Θερμαντικών Σωληνώσεων.....	33
2.3.1 Λειτουργικό Υγρό	37
2.4 Τύποι Θερμαντικών Σωλήνων	38
Κεφάλαιο 3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ	42
3.1 Επιλογή Heat pipe	42
3.2 Επιλογή Συμπυκνωτή.....	44
3.3 Κατασκευή πυρήνα	45

3.3.1	Παροχή θερμότητας	48
3.4	Ολοκλήρωση κατασκευής.....	49
3.5	Όργανα μετρήσεων	51
3.5.1	Transmitter	51
3.5.2	Μετατροπέας σήματος	51
3.5.3	Ανεμόμετρο	52
3.5.4	Θερμική κάμερα	53
Κεφάλαιο 4 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....		54
4.1	Μετρήσεις ταχύτητας του αέρα στην έξοδο	54
4.1.1	Μέτρηση με φορητό θερμοανεμόμετρο.....	55
4.1.2	Μέτρηση με θερμοανεμόμετρο υψηλής ανάλυσης.....	55
4.2	Μετρήσεις θερμοκρασίας του αέρα στην έξοδο	57
4.3	Μετρήσεις θερμοκρασίας στον πυρήνα.....	58
4.4	Μετρήσεις θερμοκρασίας με χρήση θερμομέτρου IR χειρός	59
4.5	Μελέτη του θερμικού πεδίου με τη θερμική κάμερα	60
Κεφάλαιο 5 ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ		68
5.1	Μετρήσεις ταχύτητας εξόδου του αέρα στα πτερύγια	68
5.2	Μετρήσεις θερμοκρασίας εξόδου του αέρα στα πτερύγια.....	70
5.3	Μέτρηση θερμοκρασιών στον πυρήνα.....	72
5.3.1	Σύγκριση διαγραμμάτων	77
5.4	Υπολογισμός της ισχύος στην συσκευή.....	78

5.4.1	Υπολογισμός ισχύος στην είσοδο	78
5.4.2	Υπολογισμός ισχύος στην έξοδο.....	80
5.5	Μετρήσεις Θερμοκρασίας με θερμόμετρο IR χειρός.....	85
5.6	Πλήρης Απεικόνιση του Θερμοκρασιακού Πεδίου με θερμική κάμερα 89	
5.6.1	Ανάλυση με βάση τη κεντρική γραμμή	89
5.6.2	Ανάλυση με βάση τις περιοχές.....	100
5.6.3	Ανάλυση με βάση τα σημεία.....	103
Κεφάλαιο 6	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	108
6.1	Συμπεράσματα	108

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ

x: Απόσταση [m]

u: Ταχύτητα [m/s]

A: Εμβαδό επιφάνειας [m²]

ρ : Πυκνότητα $\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$

Θ : Θερμοκρασία [^oC]

T_{sat} : Θερμοκρασία κορεσμού [^oC]

P_{sat} : Πίεση κορεσμού [atm]

Q: Ροή θερμότητας [W]

q: Ροή θερμότητας ανά μονάδα επιφάνειας $\left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]$

k: Συντελεστής αγωγιμότητας $\left[\frac{\text{W}}{\text{m}^{\circ}\text{K}} \right]$

h: Συντελεστής συναγωγής $\left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{ }^{\circ}\text{K}} \right]$

ε : Ικανότητα εκπομπής επιφάνειας [-]

C_p : Ειδική θερμότητα υπό σταθερή πίεση $\left[\frac{\text{J}}{\text{kg}^{\circ}\text{K}} \right]$

σ : Επιφανειακή τάση $\left[\frac{\text{N}}{\text{m}} \right]$

μ : Δυναμικό ιξώδες [Poise]

ν : Κινηματικό ιξώδες [Stoke]

ΔP : Διαφορά πίεσης [atm]

g : Επιτάχυνση της βαρύτητας $\left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$

c : Ταχύτητα του φωτός στο κενό [m/s]

T_s : Θερμοκρασία επιφάνειας στερεού κατά τη μεταφορά θερμότητας με συναγωγή
[$^{\circ}\text{C}$]

T_{∞} : Θερμοκρασία μακριά από την επιφάνεια [$^{\circ}\text{C}$]

L_{eff} : Δραστικό μήκος του heat pipe [m]

A_w : Επιφάνεια του φυτιλιού σε τομή κάθετα στο διαμήκη άξονα του heat pipe [m^2]

h_{fg} : Λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης του νερού $\left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$

P_{in} : Ισχύς εισόδου [Watt]

P_{out} : Ισχύς εξόδου [Watt]

Κεφάλαιο 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στη σημερινή εποχή οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο μαζί με πολλά άλλα προϊόντα της τεχνολογίας, τα οποία έχουν γίνει απαραίτητα στην καθημερινή ζωή. Τέτοιες ηλεκτρονικές συσκευές εκτός από τους προσωπικούς υπολογιστές είναι τα κινητά τηλέφωνα smartphone, τα tablet, τα router. Καθώς η τεχνολογία εξελίσσεται υπάρχει όλο και υψηλότερη απαίτηση για μεγάλη ισχύ και μείωση του μεγέθους και του όγκου της συσκευής. Τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα διαρρέονται από ηλεκτρικό ρεύμα και σαν αποτέλεσμα δημιουργούνται μεγάλα ποσά θερμικής ενέργειας. Όπως είναι κατανοητό η πολύ μεγάλη συγκέντρωση θερμότητας επιφέρει αύξηση της θερμοκρασίας, η οποία μπορεί να προκαλέσει σοβαρές βλάβες στα ηλεκτρονικά εξαρτήματα. Μία από τις πιο αποτελεσματικές μεθόδους απαγωγής θερμότητας στις ηλεκτρονικές συσκευές είναι το heat pipe, Σχ. 1.1, το οποίο παρουσιάζεται αναλυτικά σε αυτή την εργασία.

Η απομάκρυνση αυτών των ροών θερμότητας κρίνεται ως επιτακτική από τον χώρο λειτουργίας των microchip. Τα εξαρτήματα αυτά έχουν πολύ στενά θερμοκρασιακά όρια λειτουργίας και τυχόν έκθεση σε μεγάλα ποσά θερμότητας επαναφέρει προβλήματα είτε προσωρινά, όπως προσωρινή διακοπή λειτουργίας αλλά μπορεί να προκαλέσει και μόνιμη καταστροφή εξαρτημάτων στην μητρική πλακέτα, σε σημείο που δεν είναι πάντοτε εύκολο να αντικατασταθούν.

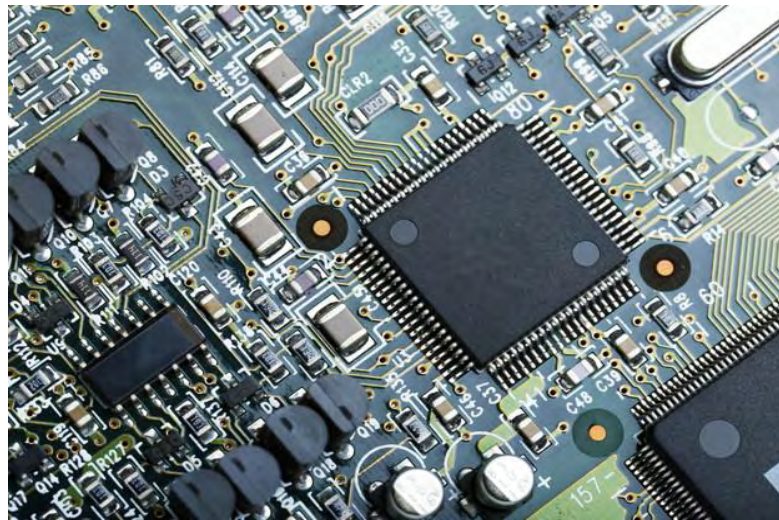


Σχήμα 1.1: Motherboard με εμφανές το heat pipe

Ο επεξεργαστής του ηλεκτρονικού υπολογιστή είναι ο κύριος υπεύθυνος για αυτές τις ροές θερμότητας. Η θερμότητα από τον επεξεργαστή πρέπει να απομακρύνονται επαρκώς, διαφορετικά πιθανή συσσώρευσή θα οδηγούσε σε αύξηση των θερμοκρασιών - ενδεχομένως και εκτός ορίων λειτουργίας - με καταστρεπτικές συνέπειες για ολόκληρη τη συσκευή. Καθίσταται επομένως επιτακτική η ανάγκη ενός συστήματος απαγωγής της θερμότητας, ώστε η θερμοκρασία να διατηρείται σε αποδεκτά επίπεδα.

Τα heat pipes καλύπτουν ακριβώς αυτή την ανάγκη, για έλεγχο της θερμοκρασίας των ηλεκτρονικών συσκευών καθώς προσκολλώνται πάνω στους επεξεργαστές των laptops, με εφαρμογή από τα μέσα της δεκαετίας του '90 και εφεξής. Πρόκειται για ένα παθητικό σύστημα απαγωγής θερμότητας, Σχ. 1.2, με θερμικές αγωγιμότητες τις οποίες δε φέρει κανένα συμπαγές υλικό και ικανότητα να μεταφέρει θερμότητα με ελάχιστη θερμοκρασιακή διαφορά στα δυο άκρα του. Ένα σημαντικό από τα πλεονεκτήματα είναι ότι δεν καταλαμβάνουν μεγάλο όγκο, σε

σχέση με άλλες πιο παραδοσιακές μεθόδους ψύξης ηλεκτρονικών, γεγονός που τους καθιστά ιδανικούς σε εφαρμογές όπως τα laptops και τα notebooks, Σχ. 1.3 και Σχ. 1.4, που ο διαθέσιμος χώρος για το σύστημα ψύξης, είναι εξαιρετικά περιορισμένος.



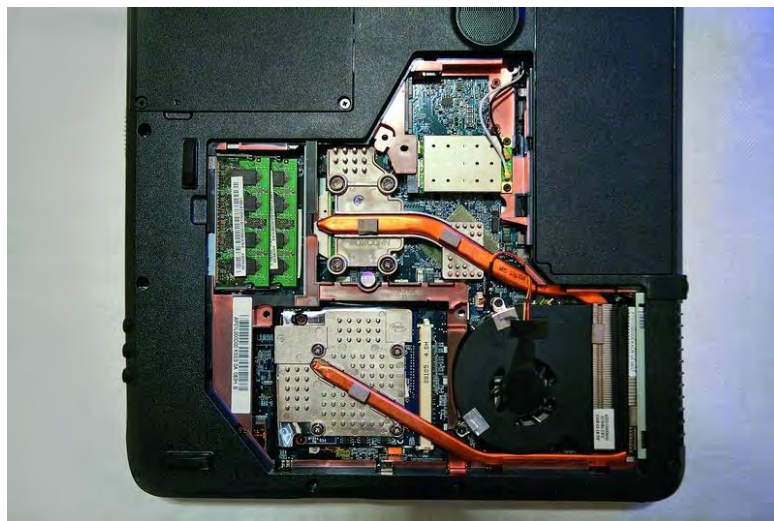
Σχήμα 1.2: Σύστημα microchip

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκε το θερμοκρασιακό πεδίο, κατά μήκος ενός heat pipe, τόσο σε μεταβατικές, όσο και σε μόνιμες συνθήκες λειτουργίας ώστε να βρεθεί η ισχύς στην είσοδο και την έξοδο της συσκευής. Τα πειράματα μας περιλαμβάνουν προσομοίωση του συστήματος επεξεργαστή ενός ηλεκτρονικού επεξεργαστή και εφαρμογής σε αυτόν διαφορετικών τιμών ισχύος. Η πειραματική διάταξη και τα όργανα παρουσιάζονται στις ενότητες 3 και 4.



heat pipe

Σχήμα 1.3: Εσωτερικό laptop



Σχήμα 1.4: Εσωτερικό notebook με εμφανές το heat pipe

1.1 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Ο R.S.Gaugler (1944), εργαζόμενος στην εταιρεία General Motors, ήταν ο πρώτος που συνέλαβε την ιδέα για μεταφορά θερμότητας εκμεταλλευόμενος τη λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης (U.S. PATEND No 2350348) , εσωτερικά ενός αγωγού επενδυμένου με φυτίλι. Ο R.S.Gaugler είχε ετοιμάσει τα σχέδια αλλά δεν έφτασε ποτέ στην πράξη. Η ιδέα επανήλθε στην επιφάνεια σε εργασία του L.Trefethen (1962) σχετικά με το Αμερικανικό διαστημικό πρόγραμμα, όταν μόνος στο εργαστήριο Los Alamos National Laboratory ανέπτυξε αγωγούς που στο εσωτερικό ήταν τριχοειδείς. Επίσης το 1963 σε εργασία του ο T.Wyatt για τον έλεγχο της θερμοκρασίας σε δορυφόρους, την κατοχύρωσε ως πατέντα (US PATEND No 3152774 A). Η ιδέα ωστόσο δεν είχε μεγάλη απήχηση μέχρι το 1964 οπότε ο Grover δημοσίευσε τα αποτελέσματα ανεξάρτητης μελέτης του στα εργαστήρια του Los Alamos Scientific Laboratories, όπου και για πρώτη φορά γίνεται χρήση του όρου "Heat Pipe". Ο George Grover θεωρείται ο εφευρέτης-πατέρας των heat pipe.

Το 1995 σε εργασία του ο A. Faghri παρουσίασε ότι οι αγωγοί θερμότητας εμφανίζουν εξαιρετικά υψηλή θερμική αγωγιμότητα, έως και 90 φορές μεγαλύτερη από το χαλκό με ίδια γεωμετρικά χαρακτηριστικά. Στην ίδια εργασία εξήχθη το συμπέρασμα ότι οι αγωγοί θερμότητας εμφανίζουν ιδιότητες εξομάλυνσης της ισχύος (power flattening). Ήταν η εργασία στην οποία βρέθηκε ότι διατηρούνται σταθερή η θερμοροή που αποβάλλονται από το συμπτυκνωτή τη στιγμή που στον εξαερωτήρα εφαρμοζόταν χρονικά μεταβαλλόμενη θερμοροή. Επιπλέον, η θερμοκρασία στο συμπτυκνωτή ήταν σχεδόν σταθερή, όταν στον εξαερωτήρα εφαρμοζόταν χρονικά μεταβαλλόμενη θερμοροή. Μετά από αυτή την εργασία ήταν προφανείς οι λόγοι που

τα heat pipes χαρακτηρίστηκαν ως αποτελεσματικός τρόπος μεταφοράς συγκεντρωμένης θερμότητας.

Το 1994 ο Peterson συμπέρανε ότι οι αγωγοί θερμότητας εμφανίζουν εξαιρετικά μικρή θερμική αντίσταση και ότι προσφέρουν γεωμετρική ευελιξία κατά το σχεδιασμό, αφού μεγάλες θερμορροές εισόδου μπορούν να απομακρυνθούν με μικρές θερμορροές κατά την έξοδο, μέσω φυσικής η εξαναγκασμένης συναγωγής.

Το 2014 οι Ferizah και Kassem διερευνώντας την επίδραση διαφόρων nanofluids στη θερμική αντίσταση των αγωγών θερμότητας, όταν αυτά χρησιμοποιούνται ως εργαζόμενα ρευστά, βρήκαν ότι, όσο αυξάνονταν η θερμική αγωγιμότητα και η συγκέντρωση των μικροσωματιδίων, τόσο αυξανόταν και η θερμική αγωγιμότητα συνολικά του ρευστού με συνέπεια τη μείωση της θερμικής αντίστασης του αγωγού.

1.2 Άλλες Μέθοδοι ψύξης σε Επεξεργαστή ενός Υπολογιστή

- Ψύξη με Ανεμιστήρες:

Είναι αυτή τη στιγμή η επικρατούσα μέθοδος ψύξης επεξεργαστή. Έχει πλεονεκτήματα όπως το μειωμένο κόστος, χαμηλός θόρυβος, έλλειψη αγωγών, σωληνώσεων και καλωδίων. Η κύρια λειτουργία του είναι να αντλεί τον αέρα από την περιοχή του επεξεργαστή. Σύμφωνα με τελευταίες έρευνες, η ψύξη με ανεμιστήρες κρίνεται ως ανεπαρκής για να καλύψει τις συνεχώς αυξανόμενες ανάγκες σε μείωση του όγκου και μεγαλύτερη ισχύς ηλεκτρονικών συσκευών.

• Ψύκτες Θερμότητας:

Οι συσκευές αυτές μεταφέρουν την θερμότητα που παράγεται μέσα σε ένα στερεό υλικό σε ένα ρευστό μέσο όπως ο αέρας ή το υγρό. Αποτελούνται από κράμα αλουμινίου, Σχ. 1.5, με μικρό αριθμό πτερυγίων, της τάξης 18-22. Σε συνεργασία με έναν ανεμιστήρα παρέχουν μια θερμοροή η οποία βέβαια είναι μικρή. Οπότε αυτή η μέθοδος χρησιμοποιούταν κυρίως στο παρελθόν όπου οι απαιτήσεις ήταν χαμηλότερες.



Σχήμα 1.5: Heat Sink

• Σύστημα Ψύξης με νερό:

Βασίζεται στην υψηλή θερμική αγωγιμότητα του νερού. Εξαιτίας της υψηλότερης πυκνότητας και μεγαλύτερης ειδικής θερμοχωρητικότητας του νερού από τον αέρα, το νερό μπορεί να παραλάβει πολλαπλάσια θερμότητα από τον αέρα. Ωστόσο το σύστημα αυτό απαιτεί μεγάλο όγκο και χρησιμοποιείται μόνο σε σταθερές υπολογιστικές μονάδες και όχι στην περίπτωση των laptop, notebook.

1.3 Πλεονεκτήματα Heat Pipe

Σύμφωνα με πολλές εργασίες και έρευνες από την αρχή εξέλιξης των heat pipes, τις οποίες παραθέτουμε στη βιβλιογραφία, καταγράφουμε τα κυριότερα πλεονεκτήματα που τα καθιστούν διαδεδομένα σήμερα.

- Η θερμική αγωγιμότητα είναι αρκετά μεγάλη αφού λειτουργεί σε κλειστό διαφασικό κύκλο. Άρα μπορεί να μεταφέρει μεγάλα ποσά θερμότητας με μικρή θερμοκρασιακή διαφορά ανάμεσα στο τμήμα του συμπυκνωτή και του εξατμιστή. Η θερμική αγωγιμότητα είναι έως 90 φορές μεγαλύτερη από χάλκινο αγωγό του ίδιου μεγέθους.
- Όλο το σύστημα του heat pipe δουλεύει χωρίς κινούμενα μέρη, χωρίς θόρυβο, χωρίς ανάγκη για συντήρηση και με μεγάλη αξιοπιστία. Τυχόν κινούμενα μέρη θα απαιτούσαν κόστη συντήρησης ή παρουσίαση φθορών.
- Μικρό μέγεθος που το καθιστά ιδανικό για ηλεκτρονικές συσκευές όπως το laptop.
- Η θερμοκρασία λειτουργίας του heat pipe δεν παρουσιάζει μεγάλες μεταβολές ανάλογα των μεταβολών των συνθηκών εισόδου. Γι αυτό η θερμοκρασία στον εξατμιστή και στον συμπυκνωτή παραμένουν σε ένα μικρό εύρος, κοντά στο T_{sat} .
- Ο εξατμιστής και ο συμπυκνωτής δουλεύουν ανεξάρτητα και χρειάζεται μόνο το κοινό υγρό για να εξασφαλίσουμε ότι ο ρυθμός εξάτμισης δεν είναι μεγαλύτερος από τον ρυθμό συμπύκνωσης.

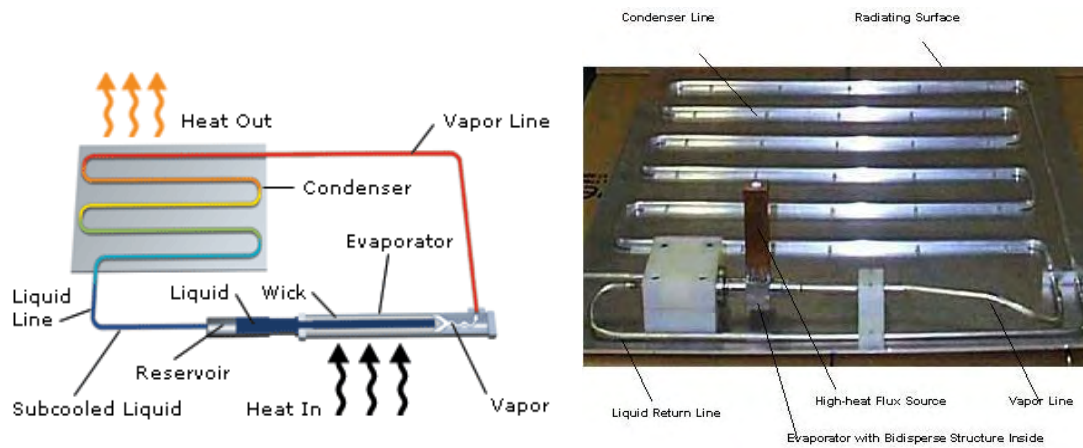
1.4 Εφαρμογές Heat Pipe

Η εργασία μας αφορά την ψύξη ενός laptop μέσω heat pipe, ωστόσο παραθέτουμε και τις άλλες χρήσεις τους για να δείξουμε τη σπουδαιότητά τους.

• Διαστημική Τεχνολογία:

Η NASA χρησιμοποίησε την εργασία του George Grover, που αναφέραμε στη βιβλιογραφική ανασκόπηση, σχετικά με τις εφαρμογές και την αξιοπιστία του heat pipe στη διαστημική πτήση, εκμεταλλευόμενη το χαμηλό βάρος, την υψηλή ροή θερμότητας και την μηδενικής ισχύος έλξη των heat pipes. Η πρώτη εφαρμογή της NASA σε διαστημικό πρόγραμμα ήταν για τη θερμική ισορροπία των δορυφορικών αναμεταδοτών. Καθώς οι δορυφόροι βρίσκονται σε τροχιά, το ένα μέρος είναι εκτεθειμένο απευθείας στην ηλιακή ακτινοβολία και το άλλο μέρος είναι εκτεθειμένο στο κρύο από το απώτερο διάστημα. Αυτό δημιουργεί τρομερές θερμοκρασιακές διαφορές οπότε και ζητήματα αξιοπιστίας και ακρίβειας των αναμεταδοτών. Το heat pipe για αυτή την περίπτωση, Σχ. 1.6, διαχειριζόταν τις υψηλές ροές θερμότητας και επέδειξε άψογη λειτουργία, με ή χωρίς την επίδραση της βαρύτητας.

Το heat pipe στους δορυφόρους σχεδιάζεται για σταθερή ή μεταβλητή αγωγιμότητα, σύστημα χαλκού-νερού, με ανοξειδωτους αυλούς χαμηλής θερμοκρασίας και αγωγούς με πολλούς βρόγχους.



Σχήμα 1.6: Heat Pipe με πολλούς βρόγχους

• Heat Pipe σε Smartphone:

Το heat pipe στα smartphone δουλεύει με την ίδια λογική όπως σε laptop μόνο που πάμε σε ακόμα μικρότερα μεγέθη. Ωστόσο τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται κατά κανόνα γιατί έχουν αυξηθεί πολύ οι δυνατότητες των κινητών τηλεφώνων άρα και οι απαιτήσεις τους ως προς απαγωγή θερμότητας, Σχ. 1.7 και Σχ. 1.8.



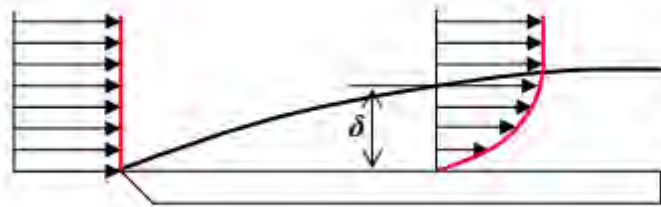
Σχήμα 1.7: heat pipe σε ένα κινητό τηλέφωνο



Σχήμα 1.8: heat pipe σε τελευταίας γενιάς smartphone τύπου Samsung Galaxy 8

Κεφάλαιο 2 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

ΘΕΡΜΑΝΤΙΚΟΥ ΣΩΛΗΝΑ (HEAT PIPE)



2.1 Μεταφορά Θερμότητας

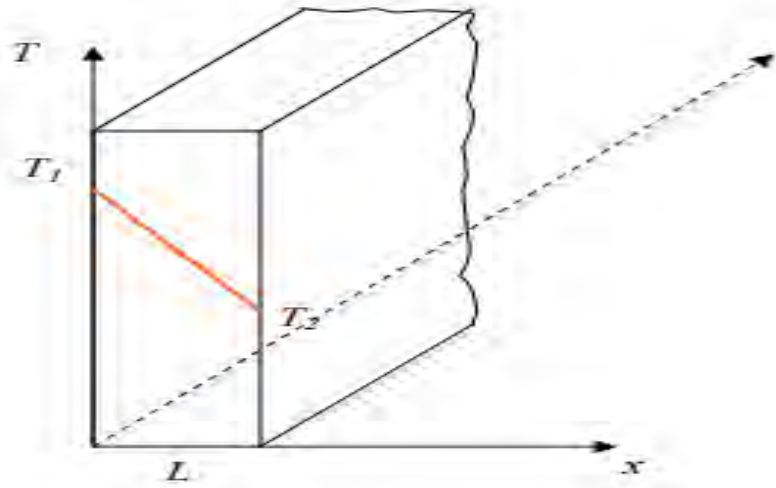
Μεταφορά θερμότητας είναι η θερμική ενέργεια κατά τη διαμετακόμιση λόγω χωρικής θερμοκρασιακής διαφοράς.

Η μεταφορά θερμότητας μπορεί να πραγματοποιηθεί με αγωγή, συναγωγή ή θερμική ακτινοβολία.

2.1.1 Αγωγή

Η μετάδοση θερμότητας με αγωγή μακροσκοπικά περιγράφεται από το νόμο του Fourier. Έστω σώμα πάχους L με τις άλλες δύο διαστάσεις του να εκτείνονται στο άπειρο, Σχ. 2.1. Αν επικρατεί στην μία πλευρά του θερμοκρασία T_1 και στην άλλη πλευρά του θερμοκρασία T_2 μικρότερη της T_1 , ενώ η κλίση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του είναι σταθερή (γραμμική μεταβολή της θερμοκρασίας), τότε ο **ρυθμός μετάδοσης θερμότητας** κατά την x διεύθυνση (κάθετα στο επίπεδο του σώματος) ανά μονάδα επιφάνειας είναι:

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



Σχήμα: 2.1

Ο συντελεστής k ονομάζεται **συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας** με μονάδα μέτρησης $W/(m \cdot K)$, ο οποίος εξαρτάται από το υλικό στο οποίο εφαρμόζεται η θερμοκρασιακή κλίση.

Ο **συνολικός ρυθμός μετάδοσης θερμότητας** μέσα από την επιφάνεια προκύπτει πολλαπλασιάζοντας με το εμβαδόν A της επιφάνειας, δηλαδή:

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

2.1.2 Συναγωγή

Η **συναγωγή** αναφέρεται στη μετάδοση θερμότητας σε κινούμενα ρευστά και υπάρχουν δύο μηχανισμοί επίτευξης της. Ο πρώτος είναι η διάχυση ενέργειας μέσω των σωματιδιακών αλληλεπιδράσεων, ενώ ο δεύτερος μηχανισμός αφορά τη μακροσκοπική κίνηση του ρευστού.

Το φαινόμενο της συναγωγής εξαρτάται από την ροή του ρευστού και από τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του ρευστού και της στερεής επιφάνειας. Μια γενική σχέση που περιγράφει τη **μετάδοση θερμότητας με συναγωγή** είναι ο νόμος Newton για τη συναγωγή, ο οποίος δίνει την πυκνότητα ροής θερμότητας:

$$q_x'' = h (T_s - T_o)$$

Ο συντελεστής h ονομάζεται **συντελεστής μετάδοσης θερμότητας με συναγωγή** σε $W/(m^2 K)$ και εξαρτάται από το είδος της ροής, τη μορφή της επιφάνειας και τα θερμοδυναμικά και ρευστομηχανικά χαρακτηριστικά του ρευστού.

Ο **συνολικός ρυθμός μετάδοσης θερμότητας** μέσα από την επιφάνεια προκύπτει πολλαπλασιάζοντας με το εμβαδόν A της επιφάνειας, δηλαδή:

$$q_x = q_x'' A = A h (T_s - T_o)$$

2.1.3 Θερμική ακτινοβολία

Η **ακτινοβολία** δημιουργείται με αλλαγές στην ενεργειακή κατάσταση των ηλεκτρονίων των ατόμων του σώματος. Σε αντίθεση με τους άλλους δύο μηχανισμούς μετάδοσης θερμότητας (αγωγή και συναγωγή), η μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία δεν απαιτεί την ύπαρξη ύλης, αλλά μπορεί να πραγματοποιείται και εν κενώ.

Η ακτινοβολία που εξέρχεται από την επιφάνεια παράγεται στο εσωτερικό του σώματος και ο ρυθμός με τον οποίο η ενέργεια εξέρχεται από μοναδιαίο εμβαδόν της επιφάνειας καλείται **πυκνότητα εκπεμπόμενης ακτινοβολίας E**, ενώ η μέγιστη τιμή E_b δίδεται από το νόμο του Stefan-Boltzman ως:

$$E_b = \sigma T_s^4$$

Όπου T_s , η απόλυτη θερμοκρασία της επιφάνειας (σε K) και $\sigma = 5,67 \times 10^{-8}$ W/(m² K).

Σε μία πραγματική επιφάνεια η **ακτινοβολούσα ισχύς** προφανώς μικρότερη για την ίδια θερμοκρασία δίδεται:

$$E = \varepsilon \sigma T_s^4$$

Όπου ε η **ικανότητα εκπομπής** της επιφάνειας με τιμές μεταξύ 0 και 1. Η τιμή της εξαρτάται από το υλικό και τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας και δείχνει πόσο προσεγγίζει η συγκεκριμένη επιφάνεια το μέλαν σώμα.

Εκτός από την εκπομπή ακτινοβολίας από μία επιφάνεια, γίνεται και πρόσπτωση ακτινοβολίας, η οποία παράγεται εκτός της επιφάνειας. Αν G η **πυκνότητα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας** (ισχύς ανά μονάδα επιφάνειας), τότε

ένα τμήμα της μπορεί να απορροφηθεί από το σώμα, ένα τμήμα να ανακλαστεί, ενώ το υπόλοιπο τμήμα μπορεί να διαπεράσει το σώμα.

Το ποσοστό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας που απορροφάται από το σώμα περιγράφεται με την **απορροφητικότητα** α , η οποία παίρνει τιμές μεταξύ 0 και 1, οπότε ισχύει:

$$G_{\text{απορρ}} = \alpha G$$

Μία ειδική περίπτωση της μετάδοσης θερμότητας με ακτινοβολία που φαίνεται στο παρακάτω σχήμα αφορά την περίπτωση μιας μικρής επιφάνειας, η οποία περικλείεται ολοκληρωτικά από μία αρκετά μεγαλύτερη επιφάνεια η οποία βρίσκεται σε διαφορετική (σταθερή) θερμοκρασία $T_{εξ}$. Μία τέτοια περίπτωση είναι τα τοιχώματα ενός φούρνου. Στην περίπτωση αυτή η **προσπίπτουσα ακτινοβολία** στην μικρή εσωτερική επιφάνεια θερμοκρασίας T_s μπορεί να προσεγγιστεί από την ακτινοβολία που παράγει ένα μέλαν σώμα θερμοκρασίας $T_{εξ}$, δηλ:

$$G = \sigma T_{εξ}^4$$

Στην ειδική περίπτωση κατά την οποία υποθέτουμε ότι η μικρή επιφάνεια είναι μια γκριζα επιφάνεια θα ισχύει:

$$\alpha = \varepsilon$$

Η **καθαρή ισχύς ανά μονάδα επιφάνειας** που εξέρχεται από την μικρή εσωτερική επιφάνεια εμβαδού A δίνεται:

$$q_{\text{rad}}^* = \frac{q_{\text{rad}}}{A} = \varepsilon E_b - \alpha G = \varepsilon E_b - \varepsilon G = \varepsilon \sigma (T_s^4 - T_{εξ}^4)$$

Η σχέση δίνει την καθαρή ισχύ που απελευθερώνεται από την επιφάνεια ως αποτέλεσμα της ισχύος που απορροφάται και της ισχύος που εκλύεται, λόγω της

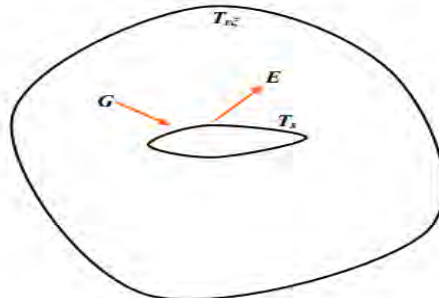
υπάρχουσας διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ της εσωτερικής και της περικλείουσας επιφάνειας, Σχ. 2.2.

Η **θερμική ισχύς** που ακτινοβολείται συχνά εκφράζεται σε μορφή αντίστοιχη με αυτή που μεταδίδεται με συναγωγή δηλαδή:

$$q_{rad} = h_{rad} A (T_s - T_{εξ})$$

όπου h_{rad} ο **συντελεστής μετάδοσης θερμότητας με ακτινοβολία**, ο οποίος δίδεται:

$$h_{rad} \equiv \varepsilon \sigma (T_s + T_{εξ}) (T_s^2 + T_{εξ}^2)$$



Σχήμα 2.2: Μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία μεταξύ δυο επιφανειών όπου η μία περικλείει την άλλη. Οι δύο επιφάνειες βρίσκονται σε διαφορετικές θερμοκρασίες.

2.2 Λειτουργία Heat Pipe

Λανθάνουσα θερμότητα ονομάζεται το ποσό της ενέργειας που απαιτείται για να εξατμιστεί ένα υγρό ή αντίστροφα για να λιώσει ένα στερεό. Η λανθάνουσα θερμότητα εξαρτάται από την θερμοκρασία αλλαγής φάσης. Στα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιήσαμε σαν υγρό το νερό. Η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης του νερού ισούται περίπου με 2260 kJ/kg.

Οι θερμαντικές σωληνώσεις είναι παθητικές συσκευές που μεταφέρουν θερμότητα από μια πηγή θερμότητας (εξατμιστή) σε έναν ψύκτη θερμότητας (συμπυκνωτή) σε σχετικά μεγάλες αποστάσεις μέσω της λανθάνουσας θερμότητας από την εξάτμιση ενός υγρού.

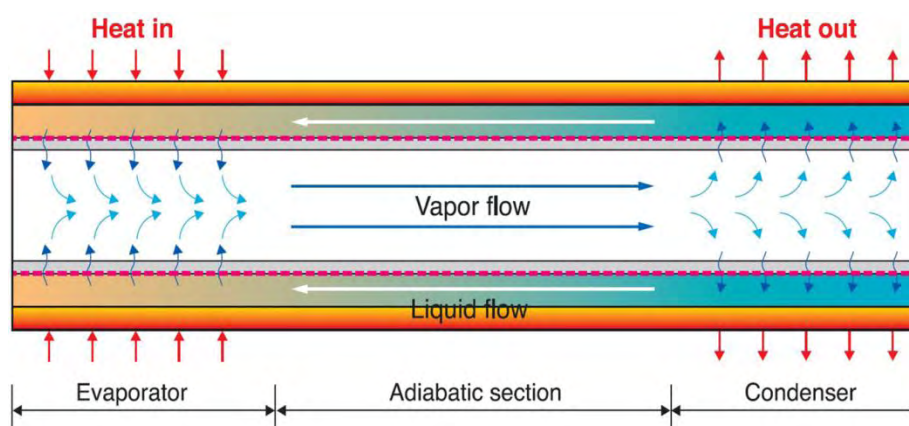
Οι θερμαντικές σωληνώσεις γενικά έχουν τρία τμήματα: ένα τμήμα εξατμιστή, ένα τμήμα αδιαβατικής (ή μεταφοράς) και ένα τμήμα συμπυκνωτή, Σχ.2.3. Τα κυριότερα συστατικά ενός σωλήνα είναι ένα σφραγισμένο περίβλημα, μία δομή φυτιλιού και ένα υγρό εργασίας. Η δομή του φυτιλιού τοποθετείται στην εσωτερική επιφάνεια του θερμαντικού σωλήνα και παρέχει την δομή για την ανάπτυξη της τριχοειδούς δράσης για την επιστροφή υγρού από τον συμπυκνωτή στον εξατμιστή.

Με την προσθήκη θερμότητας του εξατμιστή, το υγρό εξατμίζεται καθώς απορροφά ένα ποσό θερμότητας ισοδύναμο με τη λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης, ενώ στο συμπυκνωτή, ο ατμός του υγρού συμπυκνώνεται. Η προσθήκη μάζας στον πυρήνα ατμών του εξατμιστή και η απόρριψη μάζας στο άκρο του συμπυκνωτή οδηγεί σε πίεση κατά μήκος του διαύλου ατμού που οδηγεί την αντίστοιχη ροή ατμού. Η επιστροφή του υγρού στον εξατμιστή από τον συμπυκνωτή πραγματοποιείται από τη δομή του φυτιλιού. Καθώς πραγματοποιείται εξάτμιση στον

εξατμιστή, ο υγρός μηνίσκος υποχωρεί αντίστοιχα στη δομή του φυτιλιού. Ομοίως, καθώς ο ατμός συμπυκνώνεται στη περιοχή του συμπυκνωτή, η προσθήκη μάζας οδηγεί σε προηγμένο μηνίσκο. Η διαφορά μεταξύ των τριχοειδών ακτίνων στον εξατμιστή και των ακρών του συμπυκνωτή της δομής φυτιλιού οδηγεί στη διαφορά πίεσης στο κοίλωμα που έχει κορεστεί με υγρό. Αυτή η διαφορά πίεσης μεταφέρει το υγρό από τον συμπυκνωτή διαμέσου της δομής του φυτιλιού στον εξατμιστή, επιτρέποντας έτσι τη συνολική διαδικασία να είναι συνεχής.

Τα βασικά βήματα ενός θερμαντικού σωλήνα περιληπτικά είναι:

1. Η θερμότητα που προστίθεται στο τμήμα του εξατμιστή (evaporator) μέσω αγωγιμότητας μέσω του τοιχώματος του σωλήνα θερμότητας επιτρέπει την εξάτμιση του υγρού.
2. Ο ατμός μετακινείται από το τμήμα του εξατμιστή στο τμήμα του συμπυκνωτή (condenser) κάτω από την επίδραση της πτώσης της τάσης ατμών που προκύπτει από την εξάτμιση του υγρού.
3. Ο ατμός συμπυκνώνεται στο τμήμα του συμπυκνωτή απελευθερώνοντας την λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισής του.
4. Το υγρό επιστρέφει από το τμήμα του συμπυκνωτή στο τμήμα του εξατμιστή μέσω του φυτιλιού υπό την επίδραση της τριχοειδούς δύναμης και της πτώσης πίεσης του υγρού.



Σχήμα 2.3: Αρχή λειτουργίας ενός θερμαντικού σωλήνα

2.2.1 Όριο λειτουργίας θερμαντικών σωλήνων

Για να λειτουργήσει ο σωλήνας θέρμανσης, η μέγιστη τριχοειδής πίεση πρέπει να είναι μεγαλύτερη από το άθροισμα πιέσεων όλων των πτώσεων πίεσης μέσα στον αγωγό θερμότητας για να τους ξεπεράσει. Έτσι το βασικό κριτήριο λειτουργίας ενός σωλήνα έχει ως εξής:

$$\Delta P_c \geq \Delta P_l + \Delta P_v + \Delta P_g$$

Όπου ΔP_c είναι η μέγιστη τριχοειδής δύναμη μέσα στη δομή του φυτιλιού, ΔP_l είναι η πτώση πίεσης που απαιτούνται για την επιστροφή του υγρού από τον συμπυκνωτή στον εξατμιστή, ΔP_v είναι η πτώση πίεσης για τη μεταφορά του υγρού εξάτμισης από τον εξατμιστή στον συμπυκνωτή και ΔP_g είναι η πτώση πίεσης που προκαλείται λόγω διαφοράς στην βαρυτική ενέργεια.

Η υγρή πτώση πίεσης μπορεί να υπολογιστεί σύμφωνα με την εμπειρική σχέση:

$$\Delta P_l = \frac{\mu_l L_{eff} Q}{\rho_l K A_w h_{fg}}$$

μ_l =ιξώδες υγρού

L_{eff} = μήκος του σωλήνα

Q = θερμότητα

ρ_l =πυκνότητα υγρού

K = διαπερατότητα φυτιλιού

A_w =επιφάνεια φυτιλιού

h_{fg} =λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης νερού

Η πτώση πίεσης της αέριας φάσης μπορεί να υπολογιστεί από την παρακάτω εξίσωση:

$$\Delta P_v = \frac{16\mu_v L_{\text{eff}} Q}{2\left(\frac{D_v}{2}\right)^2 A_v \rho_v h_{fg}}$$

μ_v = ιξώδες ατμού

D_v = απόσταση που διανύει ο ατμός

ρ_v = πυκνότητα ατμού

A_v = επιφάνεια που καλύπτει ο ατμός

Η μέγιστη τριχοειδής πτώση πίεσης που παράγεται μέσα στην περιοχή του φυτιλιού δίνεται την Laplace-Young εξίσωση:

$$\Delta P_c = \frac{2\sigma_l}{r_{\text{eff}}}$$

σ_l =επιφανειακή τάση

r_{eff} =ακτινοβολία των πόρων του φυτιλιού

Η μέγιστη μεταφορά θερμότητας που μπορούμε να πάρουμε από έναν θερμαντικό σωλήνα μπορεί να υπολογιστεί από την παρακάτω εξίσωση:

$$Q_{\max} = \left(\frac{\rho_l \sigma_l h_{fg}}{\mu_l} \right) \left(\frac{A_w K}{L_{\text{eff}}} \right) \left(\frac{2}{r_{\text{eff}}} - \frac{\rho_l g L_{\text{eff}} \sin \phi}{\sigma_l} \right)$$

ϕ = γωνία μεταξύ του άξονα του σωλήνα και οριζόντια

2.3 Στοιχεία Θερμαντικών Σωληνώσεων

➤ Το δοχείο ή το τοίχος ενός σωλήνα:

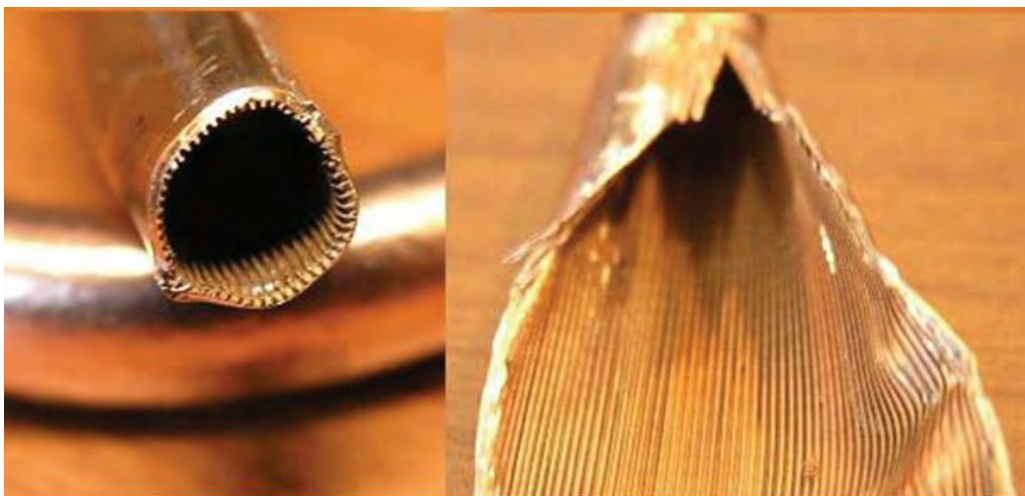
Το δοχείο είναι ένα μεταλλικό περίβλημα, που είναι ικανό να μεταφέρει τη θερμότητα μέσα αυτού προς το υγρό που χρησιμοποιούμε. Αυτό το μέταλλο απαιτείται να έχει καλή θερμική αγωγιμότητα. Πολλοί παράγοντες επηρεάζουν την επιλογή του υλικού αυτού του δοχείου όπως για παράδειγμα η αντοχή στην αναλογία βάρους, η μηχανική ικανότητα, η συμβατότητα. Το υλικό του δοχείου πρέπει να έχει υψηλή αναλογία αντοχής βάρους, πρέπει να είναι μη πορώδες για να αποφευχθεί η διάχυση μεταξύ σωματιδίων και πρέπει να διασφαλίζει την ελάχιστη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του φυτιλιού και της πηγής θερμότητας.

➤ Το φυτίλι ή τριχοειδής δομή:

Η δομή του φυτιλιού είναι το πιο σημαντικό συστατικό ενός θερμαντικού σωλήνα. Είναι υπεύθυνη για την επιστροφή του υγρού από τον συμπυκνωτή στον εξατμιστή μέσω της τριχοειδής ικανότητας, ακόμη και κατά την κατεύθυνση της βαρύτητας. Έτσι η παρουσία του φυτιλιού κάνει τους σωλήνες να μπορούν να λειτουργούν σε όλες τους προσανατολισμούς. Το αυλακωτό φυτίλι(grooved wick), το συσσωματωμένο φυτίλι(metal sintered powder wick) και το φυτίλι από πλέγμα(screen mesh wick) είναι οι σημαντικότεροι τύποι φυτιλιού.

Grooved wick:

Αυτός ο τύπος φυτιλιού, Σχ. 2.4, δημιουργεί μια μικρή τριχοειδή κινητική δύναμη, αλλά είναι κατάλληλη ή επαρκής για τους θερμαντικούς αγωγούς χαμηλής ποιότητας, ο οποίος λειτουργεί οριζόντια ή με την κατεύθυνση της βαρύτητας.



Σχήμα 2.4: Grooved wick

Metal sintered powder wick:

Αυτός ο τύπος φυτιλιού έχει μικρό μέγεθος πόρου, με αποτέλεσμα τη χαμηλή διαπερατότητα, οδηγώντας στη δημιουργία υψηλών τριχοειδών δυνάμεων για εφαρμογές αντιβαρύτητας. Ο συγκεκριμένος τύπος, Σχ. 2.5, δίνει μικρές θερμοκρασιακές διαφορές μεταξύ του εξατμιστή και του συμπυκνωτή. Αυτό μειώνει τη θερμική αντίσταση και αυξάνει την αποτελεσματική θερμική αγωγιμότητα του θερμαντικού σωλήνα.



Σχήμα 2.5: Metal sintered powder wick







Screen mesh wick:

Η αποτελεσματικότητα του συγκεκριμένου τύπου φυτιλιού, Σχ. 2.6, εξαρτάται από τον αριθμό των στρωμάτων και πλεγμάτων που χρησιμοποιούνται επειδή παρουσιάζει εύκολα μεταβλητά χαρακτηριστικά από τη μεταφορά θερμότητας την ευαισθησία προσανατολισμού.



Σχήμα 2.6: Screen mesh wick

Στο σχήμα 2.7 παρουσιάζονται συνοπτικά διάφορα είδη από φυτίλια.

Wick type	Capillary pumping	Thermal conductivity	Permeability	Comments
 A. Wrapped Screen	High	High	Low-average	Single or multiple wraps of wire screen mesh
 B. Sintered Metal	High	Average	Low-average	Packed spherical particles, felt metal fibers or powder
 C. Axial Grooves	Low	High	Average-high	Rectangular, circular, triangular, or trapezoidal grooves
 D. Open Annulus	Low	Low	High	Wire screen mesh spaced from wall
 E. Open Artery	Low	High	High	Wire screen mesh formed into artery and wall lining
 F. Integral Artery	High	High	Average-high	Homogeneous material with built-in arteries

Σχήμα 2.7: Typical homogenous wick designs

2.3.1 Λειτουργικό Υγρό

Η επιλογή του λειτουργικού υγρού εξαρτάται κυρίως από το εύρος θερμοκρασίας λειτουργίας των ατμών. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η βάση στη λειτουργία του σωλήνα θερμότητας είναι η διαδικασία της εξάτμισης και συμπύκνωσης του υγρού. Η επιλογή του κατάλληλου υγρού εργασίας πρέπει να γίνει προσεκτικά , λαμβάνοντας υπόψη τους ακόλουθους παράγοντες:

- Πολύ μεγάλη επιφανειακή τάση
- Καλή θερμική σταθερότητα
- Διαβρεξιμότητα υλικών τοίχου και φυτιλιού
- Υψηλή λανθάνουσα θερμότητα
- Υψηλή θερμική αγωγιμότητα
- Χαμηλό ιξώδες υγρού και ατμού
- Συμβατό τόσο με τα υλικά τοίχου όσο και με το φυτίλι

Η πιο σημαντική ιδιότητα του λειτουργικού υγρού είναι η υψηλή επιφανειακή τάση έτσι ώστε ο θερμαντικός σωλήνας να λειτουργεί κατά της βαρύτητας καθώς παράγει υψηλή δύναμη του τριχοειδούς χαρακτηριστικού. Στον παρακάτω πίνακα, Σχ. 2.8, φαίνονται οι ιδιότητες ορισμένων υγρών καθώς και χρήσιμες κλίμακες θερμοκρασίας.

Medium	Melting point (°C)	Boiling point (°C)	Useful range (°C)
Helium	-271	-261	-271 to -269
Nitrogen	-210	-196	-203 to -160
Ammonia	-78	-33	-60 to 100
Acetone	-95	57	0 to 120
Methanol	-98	64	10 to 130
Flutec PP2	-50	76	10 to 160
Ethanol	-112	78	0 to 130
Water	0	100	30 to 200
Toluene	-95	110	50 to 200
Mercury	-39	361	250 to 650

Σχήμα 2.8: Μερικές ιδιότητες λειτουργικών υγρών

2.4 Τύποι Θερμαντικών Σωλήνων

Κυλινδρικός θερμαντικός σωλήνας (Cylindrical heat pipe):

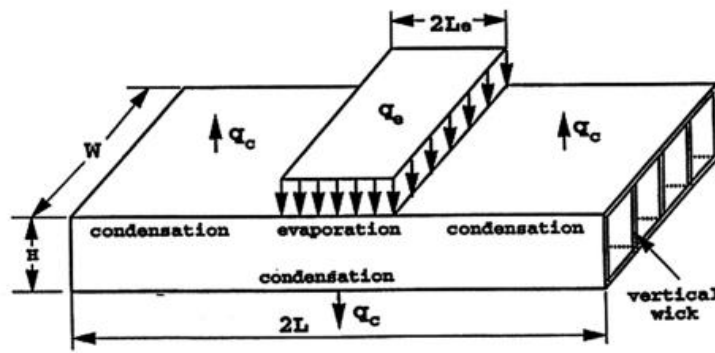
Ο κυλινδρικός θερμαντικός σωλήνας με κλειστά άκρα είναι ένας κοινός και συμβατός τύπου σωλήνα, Σχ. 2.9. Περιλαμβάνει την κυκλοφορία του λειτουργικού υγρού και ένα φυτίλι για την επιστροφή του υγρού.



Σχήμα 2.9: Cylindrical heat pipe

Επίπεδος σωλήνας θέρμανσης (Flat heat pipes):

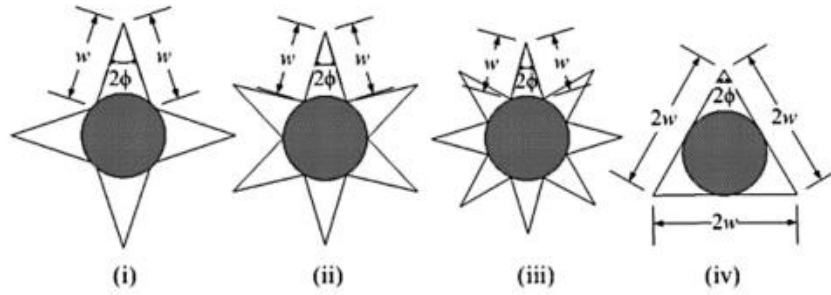
Ο επίπεδος σωλήνας θέρμανσης αποτελείται από τέσσερα τμήματα με ένα τμήμα εξάτμισης στη μέση και τρεις τμήματα συμπυκνωτή, Σχ. 2.10. Η θερμοκρασία είναι ομοιόμορφη κατά μήκος των επιφανειών του τοιχώματος του θερμαντικού σωλήνα και το πορώδες φυτίλι του εξατμιστή έχει σημαντική επίδραση στη θερμική αντίσταση.



Σχήμα 2.10: Flat heat pipe

Σωλήνες μικρο-θέρμανσης (Micro-heat pipes):

Οι σωλήνες μικρο-θέρμανσης διαφέρουν από τους συμβατούς θερμαντικούς σωλήνες με τον τρόπο που αντικαθιστούν τη δομή του φυτίλιού με τις αιχμηρές γωνίες, Σχ. 2.11, οι οποίες παίζουν σημαντικό ρόλο στην παροχή τριχοειδούς πίεσης για την δημιουργία υγρής φάσης. Υπάρχουν τετράγωνοι σωλήνες μικρο-θέρμανσης, εξαγωνικοί, οκταγωνικοί και τριγωνικοί με ίσες πλευρές.

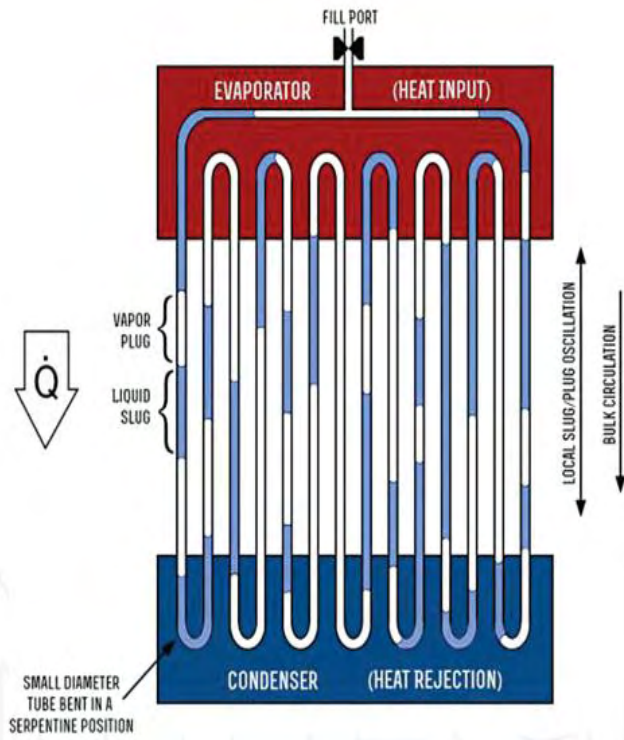


Σχήμα 2.11: Σωλήνες μικρο-θέρμανσης

- (i) Square star groove
- (ii) Hexagonal star groove
- (iii) Octagonal star groove
- (iv) Equilateral triangle

Παλλόμενοι θερμαντικοί σωλήνες *Oscillating (pulsating) heat pipe:*

Οι συγκεκριμένοι σωλήνες θέρμανσης είναι από τους ελπιδοφόρους εξοπλισμούς ψύξης στη σύγχρονη εφαρμογή που μπορεί να μεταφέρει θερμότητα σε γρήγορη απόκριση σε οποιοδήποτε προσανατολισμό, όπου το παλλόμενο φαινόμενο προσφέρει έναν ενισχυμένο μηχανισμό μεταφοράς θερμότητας. Το μοναδικό χαρακτηριστικό των παλλόμενων σωλήνων, σε σύγκριση με τους συμβατούς, είναι ότι δεν υπάρχει δομή φυτιλιού που να επιστρέφει το συμπύκνωμα στο τμήμα θέρμανσης και έτσι δεν υπάρχει αντίθετη ροή μεταξύ του υγρού και του ατμού, Σχ. 2.12.



Σχήμα 2.12: Oscillating (pulsating) heat pipe

Κεφάλαιο 3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ

ΔΙΑΤΑΞΗΣ

Το κεφάλαιο αυτό έχει σαν σκοπό να περιγράψει τον εξοπλισμό και τη μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας. Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν μέσα στα περιθώρια των οικονομικών δυνατοτήτων αλλά ταυτοχρόνως έπρεπε η συσκευή να ανταποκρίνεται στις συνθήκες που επιθυμούμε. Τα όργανα που χρησιμοποιήσαμε για να κάνουμε τις μελέτες υπήρχαν ήδη οπότε το μόνο που έπρεπε να γίνει ήταν η σωστή συνδεσμολογία τους.

3.1 Επιλογή Heat pipe

Ο θερμαντικός αγωγός που επιλέξαμε είναι της εταιρίας Forcecon και έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά που απεικονίζονται στον πίνακα. Επίσης παραθέτουμε αναλυτικές φωτογραφίες από όλα τα μέρη του heat pipe, όπως το φυτίλι, Σχ. 3.1.

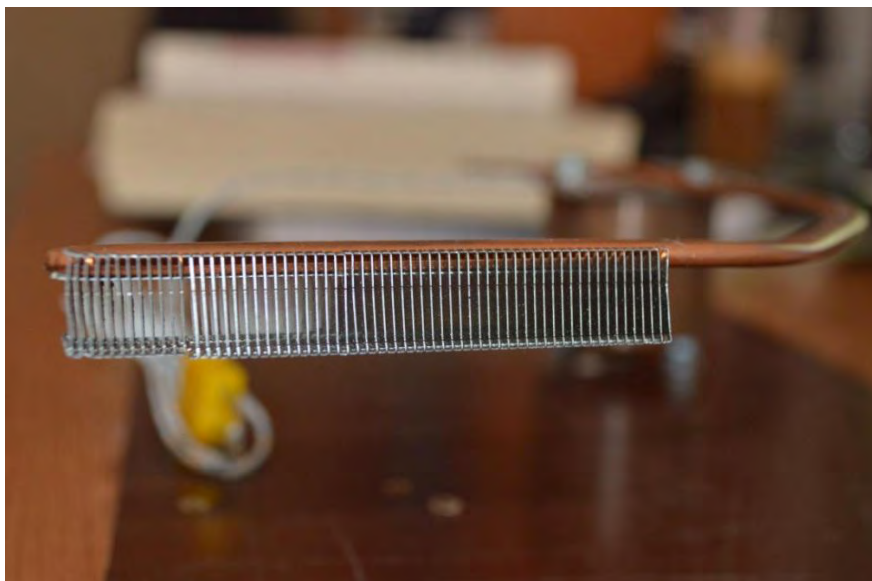
Πλάτος	7.6mm
Πάχος	3.4mm
Διάμετρος (πριν τη συμπίεση)	6mm
Υλικό κατασκευής	Χαλκός
Αδιαβατικό μήκος	110mm
Μήκος συμπυκνωτή	72mm
Μήκος εξατμιστή	30mm
Πάχος περιβλήματος	0.5mm
Λειτουργικό υγρό	Νερό
Δομή φυτιλιού	Συσσωματωμένη σκόνη (sintered powder)
Πάχος φυτιλιού	0.5mm



Σχήμα 3.1: Δομή του φυτιλιού

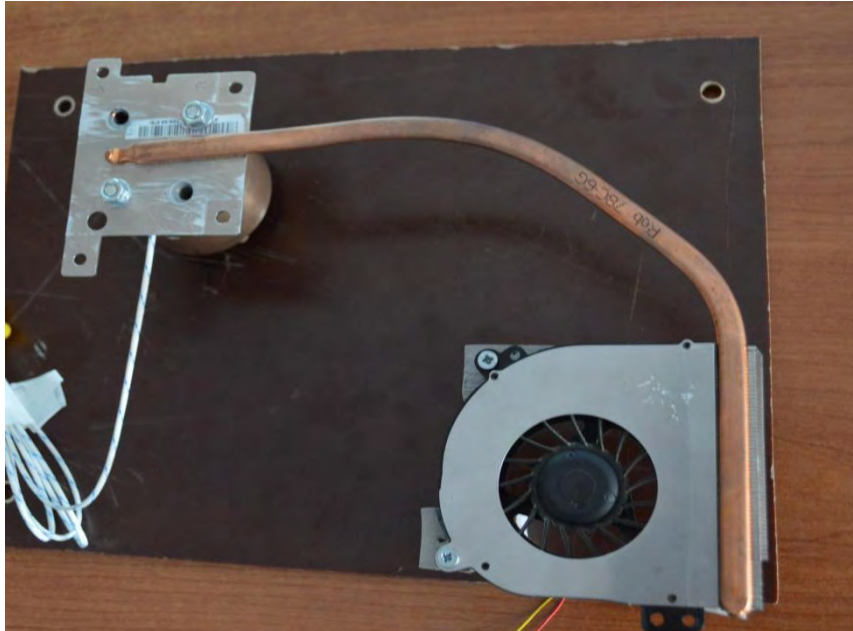
3.2 Επιλογή Συμπυκνωτή

Ο συμπυκνωτής που επιλέξαμε είναι ορθογωνικής διατομής και αποτελείται από 62 πτερύγια ψύξης, Σχ. 3.2.



Σχήμα 3.2: Πτερύγια στο συμπυκνωτή

Για την καλύτερη συμπίκνωση χρησιμοποιήθηκε ανεμιστήρας τύπου F6J10-CW ακτινικής ροής όπου του παρέχουμε ανάλογη τάση και ένταση κάθε φορά.



Σχήμα 3.3: Ανεμιστήρας στα περύγια του συμπυκνωτή

3.3 Κατασκευή πυρήνα

Επειδή το να χρησιμοποιούσαμε έναν επεξεργαστή ενός Laptop θα είχε διακυμάνσεις στη μέτρηση των θερμοκρασιών, επιλέξαμε για το πείραμά μας έναν κύλινδρο κατασκευασμένο από χαλκό με τις παρακάτω ιδιότητες στους 300K.

ΧΑΛΚΟΣ

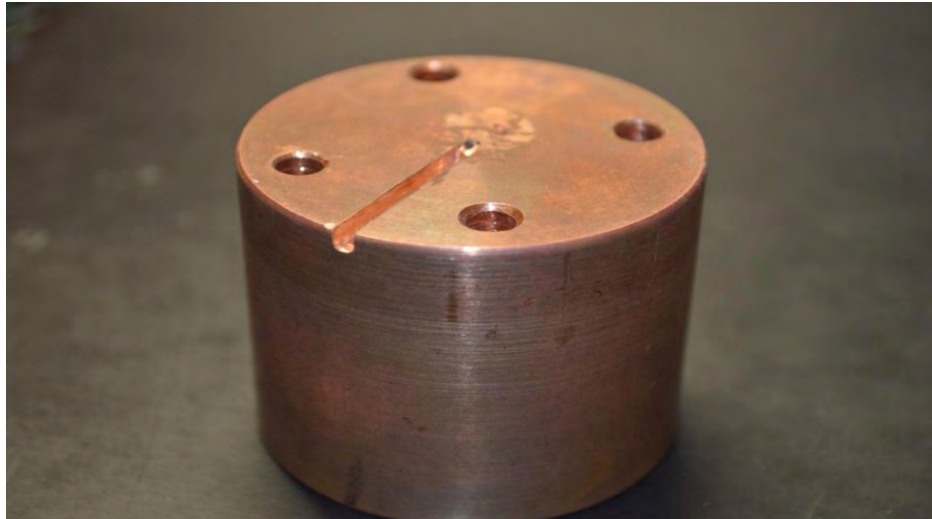
Θερμική αγωγιμότητα	401 W/mK
Διάμετρος	50mm
Ύψος	42mm

Στην συνέχεια κρίναμε απαραίτητο να ανοίξουμε 4 οπές διαμέτρου 4mm και βάθους 19mm, Σχ. 3.4, ώστε να μπορούμε να σταθεροποιήσουμε τον κύλινδρο ευκολότερα. Επίσης ανοίξαμε μια οπή διαμέτρου 11mm και βάθους 16mm για την τοποθέτηση του θερμοστοιχείου το οποίο θα παρέχει την θερμότητα.



Σχήμα 3.4: Ο κύλινδρος από χαλκό και τις οπές που δημιουργήσαμε

Στη συνέχεια για να μπορούμε να μετρήσουμε την θερμοκρασία στον πυρήνα ανοίξαμε ένα κανάλι με μήκος 25mm και πάχους και ύψους 4mm για την τοποθέτηση του θερμοστοιχείου, Σχ. 3.5.



Σχήμα 3.5: Άνοιγμα καναλιού

Με το άνοιγμα των οπών και του καναλιού χρησιμοποιήσαμε θερμικά αγωγή πάστα Deer Cool, Σχ. 3.6 με τις παρακάτω ιδιότητες:

Θερμικά αγωγή πάστα

Τύπος	Z3
Εύρος θερμοκρασίας	(-50) - 300°C
Θερμική αγωγιμότητα	1.134 W/mK



Σχήμα 3.6: Θερμικά αγώγιμη πάστα

3.3.1 Παροχή θερμότητας

Για την μεταφορά θερμότητας επιλέξαμε το παρακάτω soldering station, Σχ.

3.2, με τις εξής ιδιότητες:

Soldering station

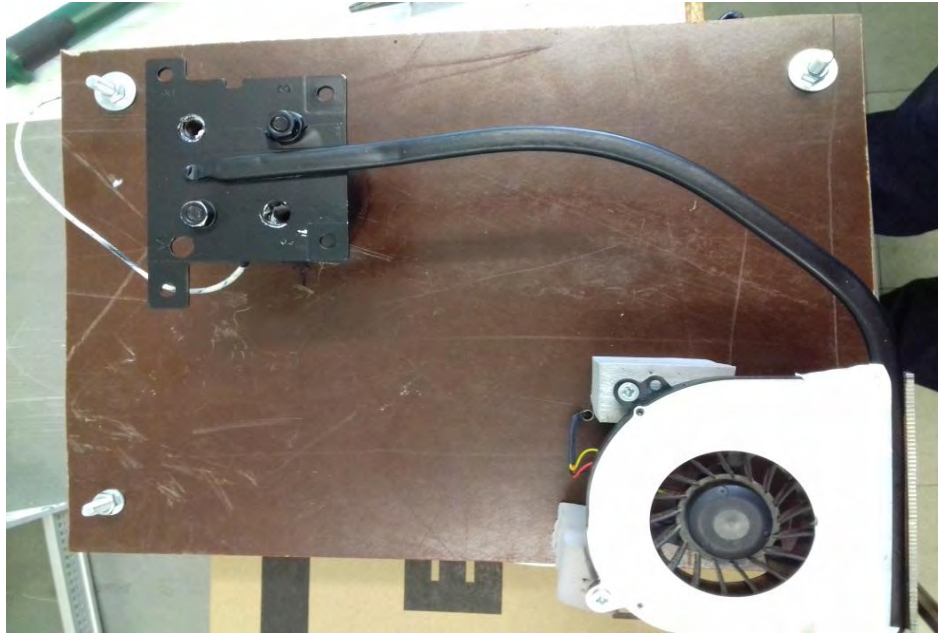
Τύπος	PLS 48 C1
Τάση	230 V
Συχνότητα	50 Hz
Ονομαστική ισχύς	48Watt
Εύρος θερμοκρασιών	0 - 500°C



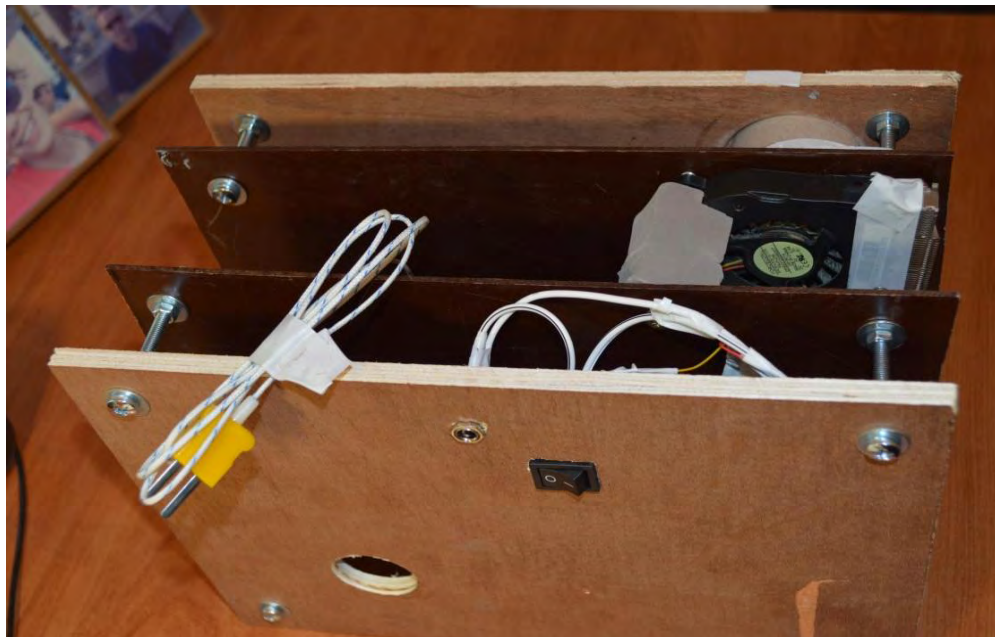
Σχήμα 3.7: Soldering station

3.4 Ολοκλήρωση κατασκευής

Αφού βγάγαμε τον θερμαντικό σωλήνα με μαύρο ματ, Σχ. 3.8, ώστε να μπορεί να εντοπιστεί από την θερμική κάμερα τοποθετήσαμε όλα τα παραπάνω κομμάτια καλυμμένα με υαλοβάμβακα για καλύτερη μόνωση ανάμεσα από δύο πλάκες υλικού βακελίτη κάνοντας μια διατομή για την θερμική κάμερα. Στη συνέχεια τοποθετήσαμε δύο πλάκες από sea plywood για επίσης καλύτερη μόνωση όπου κάναμε ίδιες διατομές με τις πλάκες από βακελίτη, Σχ. 3.9.



Σχήμα 3.8: Βάψιμο του θερμαντικού αγωγού



Σχήμα 3.9: Ολοκλήρωση κατασκευής

3.5 Όργανα μετρήσεων

3.5.1 Transmitter

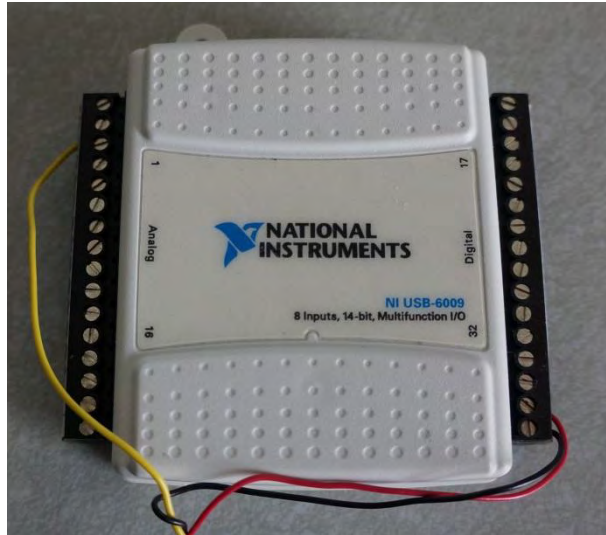
Για την μέτρηση της θερμοκρασίας στον πυρήνα χρησιμοποιήθηκε το transmitter της εταιρίας Jumo, Σχ. 3.10.



Σχήμα 3.10: Transmitter

3.5.2 Μετατροπέας σήματος

Για να μπορέσουμε να πάρουμε τα αποτελέσματα στον υπολογιστή μέσω του προγράμματος Labview χρησιμοποιήσαμε τον μετατροπέα της εταιρίας National Instruments, Σχ. 3.11.



Σχήμα 3.11: Μετατροπέας σήματος

3.5.3 Ανεμόμετρο

Για την μέτρηση στα πτερύγια του συμπυκνωτή χρησιμοποιήθηκε ανεμόμετρο της εταιρίας TSI, τύπου Veloci-calc 8352, Σχ. 3.12, με το οποίο μπορέσαμε να μετρήσουμε την θερμοκρασία του αέρα στην έξοδο των πτερυγίων αλλά και την ταχύτητα εξόδου του αέρα.



Σχήμα 3.12: Ανεμόμετρο

3.5.4 Θερμική Κάμερα

Για την μέτρηση της θερμοκρασίας μέσα στον θερμαντικό αγωγό χρησιμοποιήθηκε η θερμική κάμερα ThermoCAM P45 της εταιρίας FLIR SYSTEMS, Σχ. 3.13, και η ανάλυση των αποτελεσμάτων έγινε μέσω του λογισμικού Thermacam Researcher Pro 2.8 SR-3.



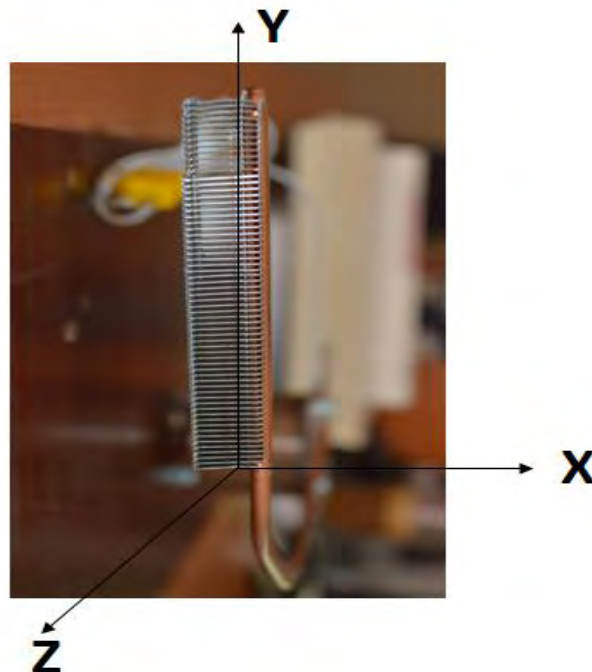
Σχήμα 3.13: Θερμική κάμερα

Κεφάλαιο 4 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο γίνεται η παρουσίαση των πειραματικών μεθόδων και τεχνικών που εφαρμόστηκαν για τις μετρήσεις της ταχύτητας του αέρα που εξέρχεται από τη συσκευή, της θερμοκρασίας του αέρα, της θερμοκρασία στον πυρήνα και γενικότερα πάνω στο χαλκό. Επιπλέον με τη χρήση της θερμικής κάμερας μελετήσαμε το θερμοκρασιακό πεδίο σε όλο το μήκος του θερμαντικού σωλήνα.

4.1 Μετρήσεις ταχύτητας του αέρα στην έξοδο

Για να πάρουμε τις μετρήσεις της ταχύτητας του αέρα αρχικά ορίσαμε το σύστημα αξόνων στα πτερύγια του συμπυκνωτή, Σχ.4.1.



Σχήμα 4.1: Σύστημα συντεταγμένων στο τμήμα του συμπυκνωτή

Για την μέτρηση της ταχύτητας του αέρα χρησιμοποιήσαμε δύο διαφορετικές συσκευές:

Φορητό θερμοανεμόμετρο: Το συγκεκριμένο θερμοανεμόμετρο είναι της εταιρείας TSI, κάνει εύκολη τη διαδικασία της μέτρησης αλλά προσφέρει μη ακριβή αποτελέσματα καθώς μετράει τις μέσες τιμές ταχύτητας.

Θερμοανεμόμετρο υψηλής ανάλυσης: Το θερμοανεμόμετρο προσφέρει πιο ακριβή αποτελέσματα καθώς μετράει στιγμιαίες ταχύτητες.

4.1.1 Μέτρηση με φορητό θερμοανεμόμετρο

Το θερμοανεμόμετρο που χρησιμοποιήθηκε είναι της εταιρείας TSI, model Velocicalc. Για την ευκολότερη κατακόρυφη μετακίνηση του αισθητήρα του ανεμόμετρου τοποθετήθηκε μια βαθμονομημένη βάση και ελήφθησαν 15 μετρήσεις με βήμα 5.14mm και κατά την κατακόρυφο από $y=0$ έως και $y=7,2$ cm, 1.5cm κατά τον άξονα z και για $x=0$. Η διαδικασία έγινε και για τις τέσσερις τάσεις τροφοδοσίας με θερμοκρασία εργαστηρίου στους 24°C .

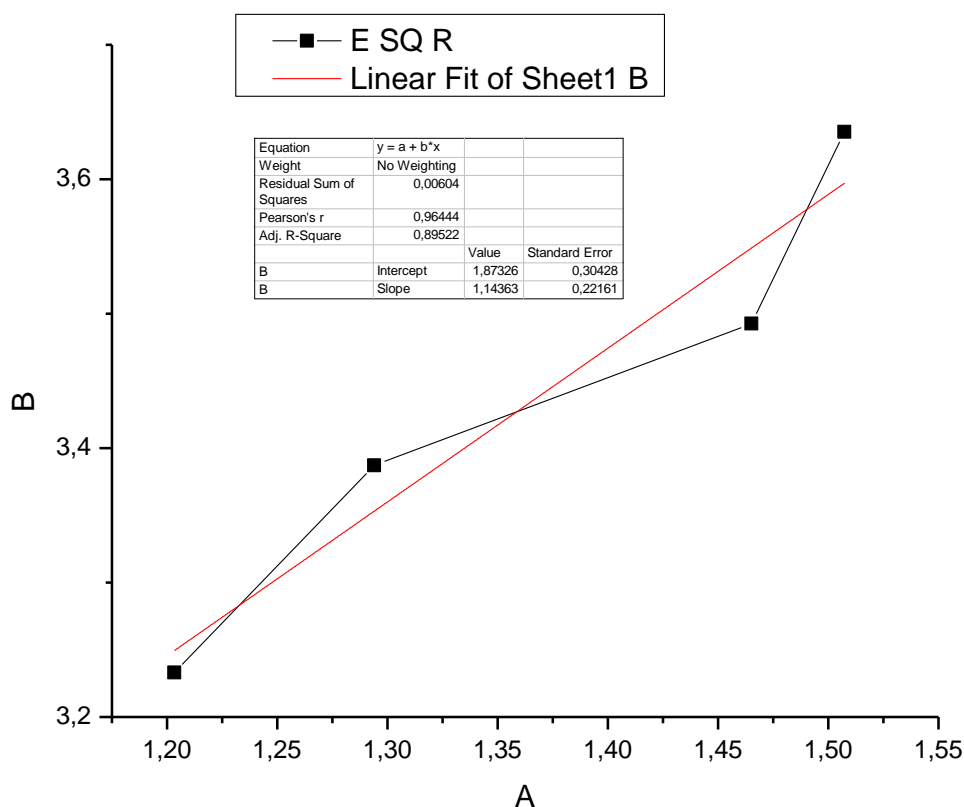
4.1.2 Μέτρηση με θερμοανεμόμετρο υψηλής ανάλυσης

Ο αισθητήρας του θερμοανεμόμετρο, , Σχ.4.2, διαμέτρου 5 μm , τοποθετήθηκε σε απόσταση 1.5cm κατά τον άξονα z και στο κέντρο της διατομής για $x=0$.

Εφαρμόζοντας τον νόμο της θερμό-ανεμομετρίας προκύπτει ότι τα Volts V και οι αντίστοιχες ταχύτητες U συνδέονται με την σχέση από το νόμο του King :

$$V^2 = A + B \cdot U^n$$

Όπου A και B σταθερές και n εκθέτης της τάξης του 0.45, ενώ για τον προσδιορισμό των σταθερών A και B χρησιμοποιήθηκε μέθοδος βελτιστοποίησης (Linear fit) από το υπολογιστικό πακέτο ORIGIN.



Βελτιστοποιώντας βρίσκουμε A=1,87326 και B=1,14363. Άρα τα Volts των μετρήσεων σε ταχύτητα του αέρα προκύπτουν από:

$$U(t) = \left(\frac{V^2 - A}{B} \right)^{1/n} = \left(\frac{V^2 - 1,87326}{1,14363} \right)^{2,2222}$$

Παίρνοντας λοιπόν τις μετρήσεις του σήματος μέσω του ενισχυτή σε Volts και για τις τέσσερις τάσεις τροφοδοσίας υπολογίσαμε την ταχύτητα αέρα για κάθε τάση όπως φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Τάση Ανεμιστήρα (V)	Σήμα E (V) απο LABVIEW	Ταχύτητα Αέρα (m/s)
1,5	1,7908	1,40738
3	1,8404	1,86532
4,5	1,8688	2,16640
6	1,9066	2,61315



Σχήμα 4.2: Ο αισθητήρας διαμέτρου 5 μm και ο ενισχυτής του θερμο-ανεμόμετρου

4.2 Μετρήσεις θερμοκρασίας του αέρα στην έξοδο

Για τις μετρήσεις της θερμοκρασίας του αέρα ο αισθητήρας του θερμοανεμόμετρου TSI Velocicalc οργάνου τοποθετήθηκε σε απόσταση 1.5cm από τον άξονα z και στο κέντρο της διατομής για $x=0$.

Η θερμοκρασία εργαστηρίου ήταν 24°C . Αρχικά παρείχαμε ισχύ των 40 Watt μέσω του soldering station και περιμέναμε μία ώρα ώστε να έχουμε μόνιμες συνθήκες και με τάση τροφοδοσίας 1.5V. Αφού πήραμε τις μετρήσεις της θερμοκρασίας και στα 15 σημεία επαναλάβαμε την διαδικασία και για τις άλλες τρεις τάσεις τροφοδοσίας (3V, 4.5V, 6V).

4.3 Μετρήσεις θερμοκρασίας στον πυρήνα

Για τις μετρήσεις της θερμοκρασίας τοποθετήσαμε αρχικά το θερμοστοιχείο στο κέντρο του πυρήνα προς τη μεριά του εξατμιστή του θερμαντικού σωλήνα, Σχ.4.3. Το θερμικό στοιχείο είναι συνδεδεμένο με το transmitter jumo και το οποίο με τη σειρά του ήταν συνδεδεμένο με τον μετατροπέα σήματος της National Instruments ο οποίος διαβίβαζε τα ψηφιακά πλέον δεδομένα σε Η/Υ, όπου και αποθηκεύονταν. Μέσω του λογισμικού Labview μπορούμε να επιλέξουμε τον ρυθμό συλλογής των αποτελεσμάτων (sample rate) και την χρονική διάρκεια συλλογής αποτελεσμάτων των μετρήσεων. Το sample rate στο Labview ήταν 1 Hz σε όλη τη διάρκεια.

Αρχικά παρείχαμε τάση τροφοδοσίας 1.5V παρείχαμε ισχύς 40Watt από το soldering station για μία ώρα. Στη συνέχεια κλείσαμε το soldering station και αφήσαμε τον πυρήνα να ψυχθεί για μία ώρα ώστε να φτάσει σε μόνιμη κατάσταση και στην θερμοκρασία δωματίου πιο συγκεκριμένα. Θεωρήσαμε πως η επιλογή των τελευταίων 200 θερμοκρασιών σε μόνιμη κατάσταση θα είχε ακριβή αποτελέσματα. Συνεπώς πήραμε αποτελέσματα για τις χρονικές στιγμές των 3400s έως 3600s κατά την θέρμανση του πυρήνα, ενώ κατά την ψύξη πήραμε τα αποτελέσματα για τις χρονικές στιγμές των 7000s και 7200s. Την ίδια διαδικασία ακολουθήσαμε και για τις υπόλοιπες τρεις τάσεις τροφοδοσίας του ανεμιστήρα.



Σχήμα 4.3: Το θερμοστοιχείο στον πυρήνα από χαλκό

4.4 Μετρήσεις θερμοκρασίας με χρήση θερμομέτρου IR χειρός.

Στη συγκεκριμένη διαδικασία πήραμε μετρήσεις του θερμοκρασιακού πεδίου στο heat pipe με το IR θερμόμετρο χειρός. Θεωρήσαμε πως οι μετρήσεις κάθε 15 λεπτά θα ήταν αρκετά, ώστε να αποκτήσουμε μια πρώτη εικόνα του θερμοκρασιακού πεδίου, καθώς γνωρίζουμε ότι το όργανο αυτό δεν διαθέτει μεγάλη ακρίβεια και αξιοπιστία. Οι μετρήσεις αφορούσαν τον εξατμιστή, το αδιαβατικό τμήμα του σωλήνα και τέλος τον συμπυκνωτή και έγιναν και για κατά την θέρμανση του πυρήνα αλλά και κατά την ψύξη του.

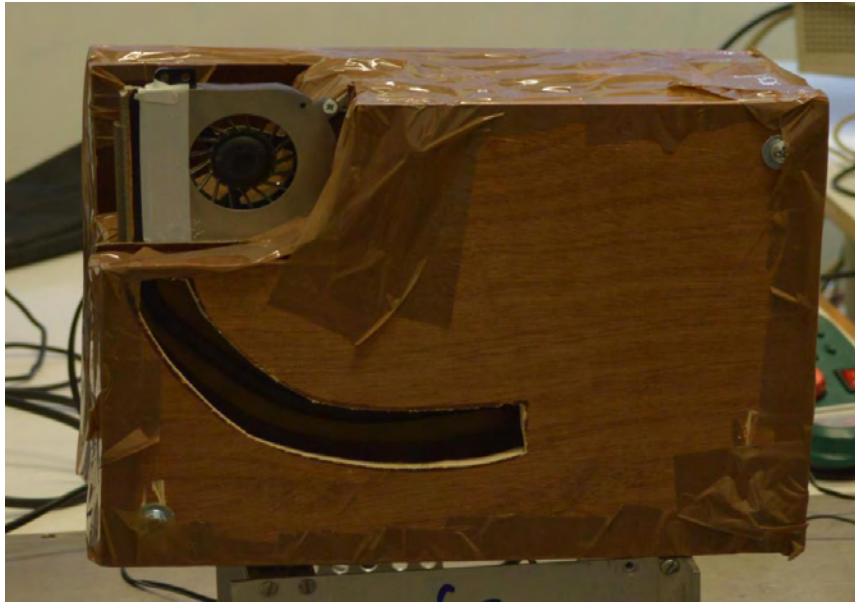
Η θερμοκρασία του εργαστηρίου ήταν 24°C. Αρχικά παρείχαμε τάση τροφοδοσίας των 1.5V του ανεμιστήρα και παρείχαμε ισχύ 40Watt από το soldering station. Πήραμε 4 μετρήσεις για μία ώρα για κάθε τμήμα του θερμαντικού σωλήνα και ενώ θερμαινόταν ο πυρήνας. Στη συνέχεια κλείσαμε την παροχή θερμότητας

αλλά αφήσαμε ανοιχτό το διακόπτη με την τάση τροφοδοσίας και πήραμε 4 μετρήσεις για κάθε τμήμα του αγωγού ενώ ψυχόταν. Η ίδια διαδικασία έγινε και για τις τάσεις τροφοδοσίας των 3V, 4.5V, 6V.

4.5 Μελέτη του θερμικού πεδίου με τη θερμική κάμερα

Για τη μελέτη του θερμικού πεδίου τοποθετήσαμε την θερμική κάμερα σε οριζόντια απόσταση 1.5m από τον θερμαντικό σωλήνα. Μέσω του λογισμικού ThermoCAM Researcher Pro 2.8 SR-3 αποθηκεύσαμε τις εικόνες που αναπαριστά η θερμική κάμερα και μπορέσαμε μέσω διάφορων ρυθμίσεων να βγάλουμε χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με το θερμικό πεδίο. Η αναπαράσταση αφορά την περίοδο θέρμανσης της συσκευής μέχρι να έχουμε μόνιμες συνθήκες καθώς και την περίοδο ψύξης μέχρι να σταθεροποιηθεί η θερμοκρασία. Η βιντεοσκόπηση ήταν δειγματοληπτική, καθώς βιντεοσκοπήθηκε το φαινόμενο για ένα λεπτό και σταματούσε η βιντεοσκόπηση για 3 λεπτά. Γι αυτό η συνολική διάρκεια του φαινομένου ήταν 75 λεπτά.

Παραθέτω τη συσκευή προσομοίωσης, Σχ.4.4 και τη τοποθέτηση της θερμοκάμερας, Σχ.4.5.



Σχήμα 4.4: Η συσκευή προσομοίωσης της λειτουργίας του Η/Υ



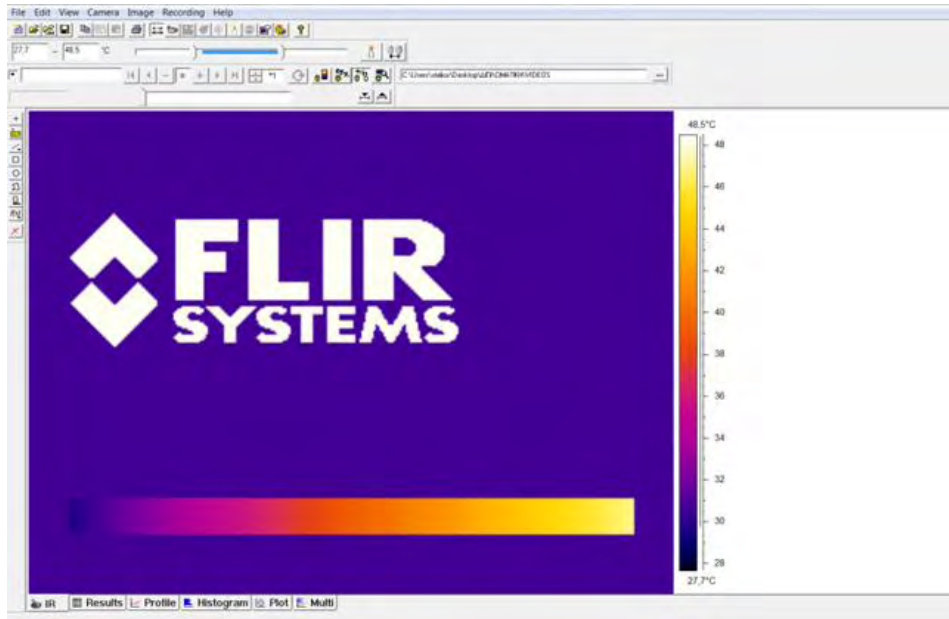
Σχήμα 4.5: Τοποθέτηση της κάμερας σε απόσταση 1,5m από τη συσκευή

Στον παρακάτω πίνακα αποτυπώνονται οι χρόνοι έναρξης και λήξης της βιντεοσκόπησης, όπως επίσης η διάρκεια του κάθε βίντεο και ο χρόνος που μεσολαβεί μέχρι την έναρξη της επόμενης βιντεοσκόπησης. Οι λήψεις πραγματοποιήθηκαν με τάση τροφοδοσίας 6V και με παροχή θερμότητας 40 Watt.

FLIR CAMERA TIMETABLE

	REC START TIME	REC STOP TIME	DURATION	NEXT VIDEO IN
1	12:33:15,767	12:34:42,482	01:26,7	02:06,5
2	12:36:49,032	12:37:51,955	01:02,9	02:02,0
3	12:39:53,975	12:40:54,511	01:00,5	02:04,0
4	12:42:58,487	12:43:59,256	01:00,8	03:04,7
5	12:47:03,987	12:48:04,34	01:00,4	03:03,0
6	12:51:07,352	12:52:06,887	00:59,5	03:03,3
7	12:55:10,228	12:56:09,971	00:59,7	03:02,0
8	12:59:11,979	13:00:12,213	01:00,2	03:02,1
9	13:03:14,264	13:04:14,322	01:00,1	03:02,0
10	13:07:16,368	13:08:16,826	01:00,5	03:03,0
11	13:11:19,857	13:12:20,411	01:00,6	03:03,6
12	13:15:24,008	13:16:46,517	01:22,5	03:08,5
13	13:19:55,020	13:20:56,382	01:01,4	03:07,4
14	13:24:03,736	13:27:04,507	03:00,8	03:06,1
15	13:30:10,635	13:31:20,433	01:09,8	03:06,7
16	13:34:27,174	13:35:48,417	01:21,2	03:04,7
17	13:38:53,124	13:40:24,323	01:31,2	02:50,7
18	13:43:15,047	13:44:26,087	01:11,0	02:43,6
19	13:47:09,731	13:48:13,129	01:03,4	-
	TOTAL		23:13,2	

Στη συνέχεια μέσω του προγράμματος Thermacam Researcher Pro 2.8 SR-3 , Σχ.4.6, και με διάφορες ρυθμίσεις στις παραμέτρους μπορούμε να βγάλουμε διάφορα χρήσιμα συμπεράσματα.



Σχήμα 4.6: Έναρξη προγράμματος Thermacam Researcher Pro 2.8 SR-3

Οι παράμετροι που αλλάξαμε είναι:

Emissivity: Συντελεστής εκπομπής της θερμαινόμενης επιφάνειας (όσο μεγαλύτερη είναι η τραχύτητα μιας στερεής επιφάνειας τόσο μεγαλύτερος είναι ο συντελεστής εκπομπής) Για χαλκό σε καθαρή μορφή βρήκαμε ότι ο συγκεκριμένος συντελεστής ισούται με 0.78.

Distance: Απόσταση μεταξύ της θερμικής κάμερας από τη συσκευή που ισούται με 1.5m.

Reflected temperature: Θερμοκρασία αντικειμένων δίπλα στην κατασκευή μας την οποία βάλαμε 22°C.

Atmospheric temperature: Ατμοσφαιρική θερμοκρασία κατά την εκτέλεση των πειραμάτων την οποία βάλαμε ίση με τη reflected temperature δηλαδή 22°C.

Relative Humidity: Σχετική υγρασία στο δωμάτιο, κατά την εκτέλεση των πειραμάτων όπου υπολογίσαμε ότι είναι 50%.

Θερμοκρασιακό Εύρος: Με βάση τις αρχικές μετρήσεις γνωρίζουμε την περιοχή θερμοκρασιών που θα κινηθεί το πείραμα μας. Ρυθμίζουμε σε [18,78]. Αρχικά η

θερμοκρασία είναι στους 20°C σε όλη την έκταση, άρα η εικόνα ήταν όλη μαύρη με βάση τη χρωματική κλίμακα. Έπειτα η θερμοκρασία του heat pipe αυξάνει, το χρώμα του μεταβάλλεται προς πιο ανοιχτές αποχρώσεις (μωβ) δίνοντας έτσι την αίσθηση της μεταφοράς θερμότητας. Μέσω της εντολής auto-adjust-scale που λαμβάνει ως όρια την ελάχιστη και μέγιστη θερμοκρασία που καταγράφει η θερμική κάμερα μπορούμε να παρατηρήσουμε τα αντικείμενα με βάση τις πολύ μικρές θερμοκρασιακές διαφορές.

Για την μελέτη του θερμοκρασιακού πεδίου χρησιμοποιήθηκαν τρεις διαφορετικές μέθοδοι:

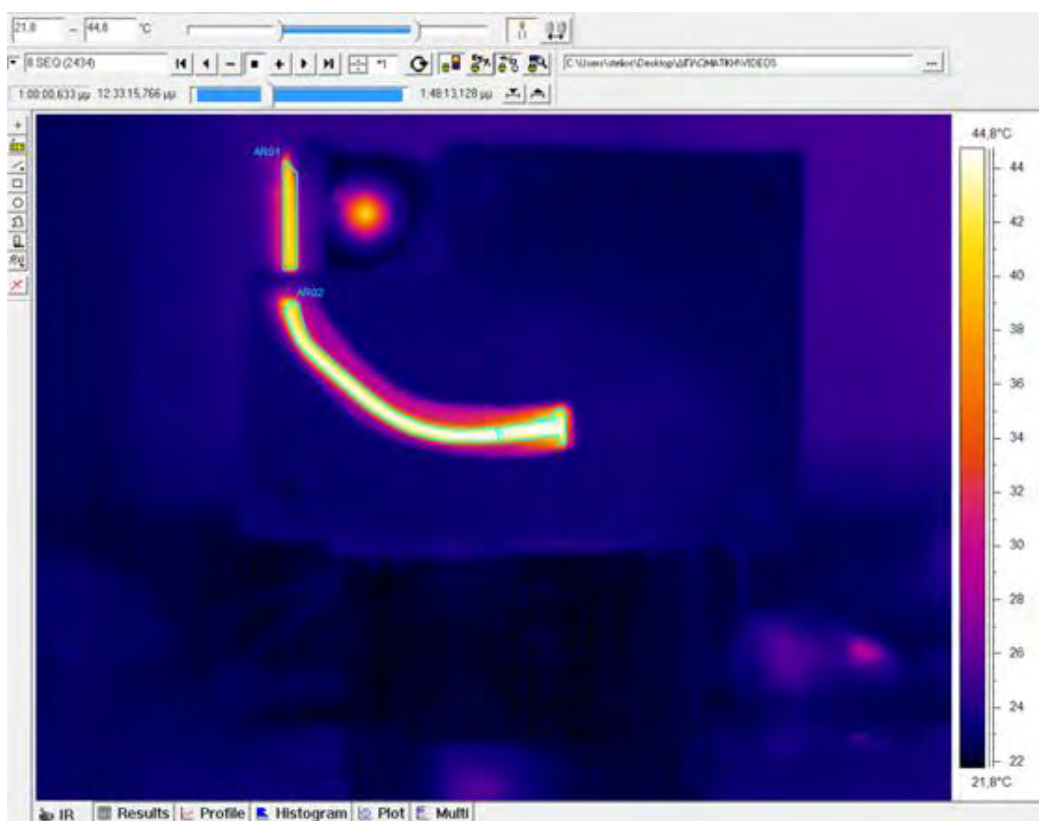
α) Η ανάλυση με βάση την κεντρική γραμμή. Επιλέγουμε όλα τα βίντεο (19) και τα εισάγουμε στο πρόγραμμα. Στη συνέχεια επιλεγούμε Bendable Line από τις lines και φέρουμε τη γραμμή στο κέντρο κατά μήκος του αγωγού, Σχ.4.7.



Σχήμα 4.7: Ανάλυση με βάση την κεντρική γραμμή

Πατώντας play τρέχουμε τα βίντεο και πατώντας το πεδίο PROFILE διακρίνουμε τη χρονική εξέλιξη του φαινομένου κατά μήκος του αγωγού. Από το πεδίο RESULTS εξάγουμε δεδομένα κάθε χρονική στιγμή.

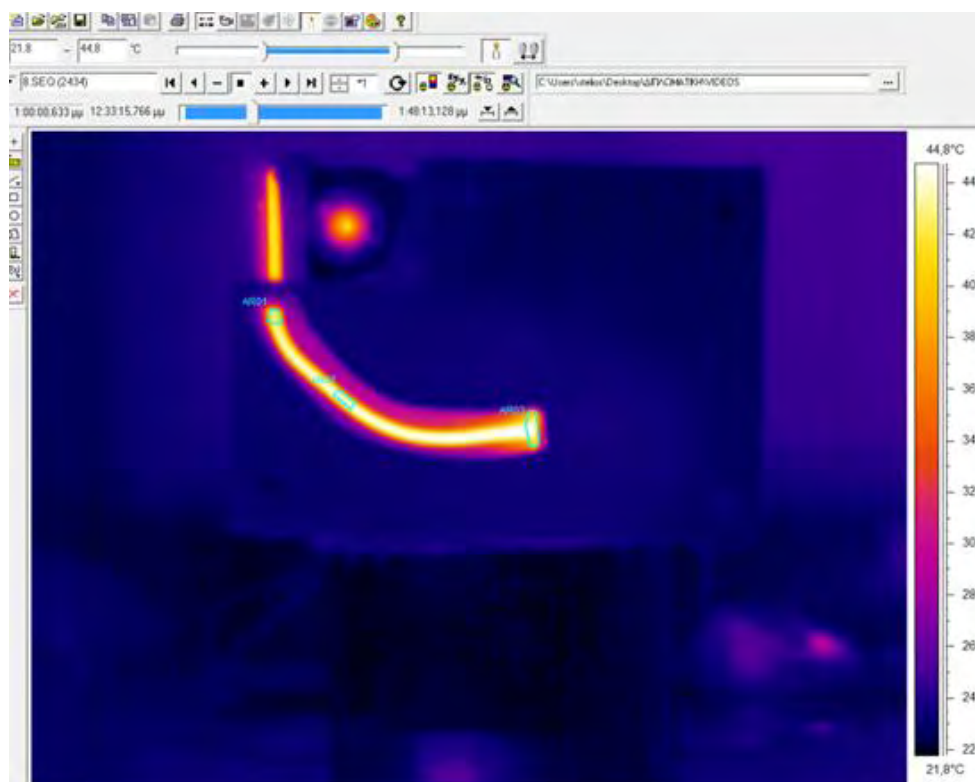
β) Η ανάλυση με βάση τις περιοχές. Χωρίζουμε την επιφάνεια του αγωγού σε 3 διαφορετικές περιοχές, χωρίς αλληλοεπικάλυψη με τις ονομασίες AR01 για την περιοχή του συμπυκνωτή, AR02 για την περιοχή του αδιαβατικού τμήματος και AR03 για την περιοχή του εξατμιστή, Σχ.4.8. Επιλέγουμε όλα τα βίντεο (19) και τα εισάγουμε στο πρόγραμμα. Έπειτα Polygon από το Add analysis και επιλέγουμε τις τρεις περιοχές του συμπυκνωτή αρχικά, μετά το αδιαβατικό κομμάτι και τέλος τον εξατμιστή.



Σχήμα 4.8: Ανάλυση με βάση τις περιοχές

Πατώντας play αναπαράγουμε τα βίντεο και μέσω της επιλογής PROFILE διακρίνουμε τη χρονική εξέλιξη του φαινομένου στις τρεις αυτές περιοχές. Στη συνέχεια μέσω της επιλογής RESULTS μπορούμε να συλλέξουμε τα αποτελέσματα.

γ) Η ανάλυση με βάση τα σημεία. Επιλέγουμε τρεις περιοχές πάλι αλλά μικρότερες από τη προηγούμενη ανάλυση. AR01, AR02 και AR03 που είναι στην ουσία οι περιοχές στο συμπυκνωτή, στην αδιαβατική περιοχή και στον εξαερωτήρα αντίστοιχα, Σχ.4.9. Είναι οι ίδιες περιοχές με αυτές στις οποίες ελήφθησαν θερμοκρασίες με χρήση θερμομέτρου IR χειρός, έτσι ώστε να τις αντιπαραβάλλουμε. Επιλέγω και εισάγω όλα και τα 19 βίντεο. Έπειτα Polygon από το Add Analysis και επιλέγουμε τις τρεις περιοχές με την τον ίδιο τρόπο που επιλέξαμε και με την ανάλυση με βάση τις περιοχές.



Σχήμα 4.9: Ανάλυση με βάση τα σημεία

Πατώντας play αναπαράγουμε τα βίντεο και πατώντας το πεδίο PROFILE διακρίνουμε τη χρονική εξέλιξη του φαινομένου στις τρεις αυτές περιοχές. Στη συνέχεια μέσω της επιλογής RESULTS μπορούμε να συλλέξουμε τα αποτελέσματα.

Κεφάλαιο 5 ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Σκοπός αυτού του κεφαλαίου είναι να παρουσιάσουμε τα αποτελέσματα καθώς και τα διαγράμματα τους από τις μετρήσεις που έγιναν για την ταχύτητα του αέρα στα πτερύγια του συμπυκνωτή, τη θερμοκρασία εξόδου του αέρα στα πτερύγια του συμπυκνωτή, τη θερμοκρασία του πυρήνα παρέχοντας σταθερή θερμοκρασία. Επιπλέον υπολογίσαμε την ισχύς στην είσοδο και στην έξοδο της κατασκευής αλλά και η αναπαράσταση του θερμοκρασιακού πεδίου αρχικά με θερμόμετρο χειρός και τελικά με την θερμική κάμερα. Τέλος θεωρήσαμε αναγκαίο να υπολογίσουμε την παροχή Q του αέρα με βάση την ταχύτητα εξόδου του. Φυσικά πρέπει να αναφέρουμε ότι έγιναν συνεχείς μετρήσεις της θερμοκρασίας του κυλίνδρου ώστε να διαπιστώσουμε πότε ολοκληρώνεται η μετάβαση σε μόνιμες συνθήκες λειτουργίας.

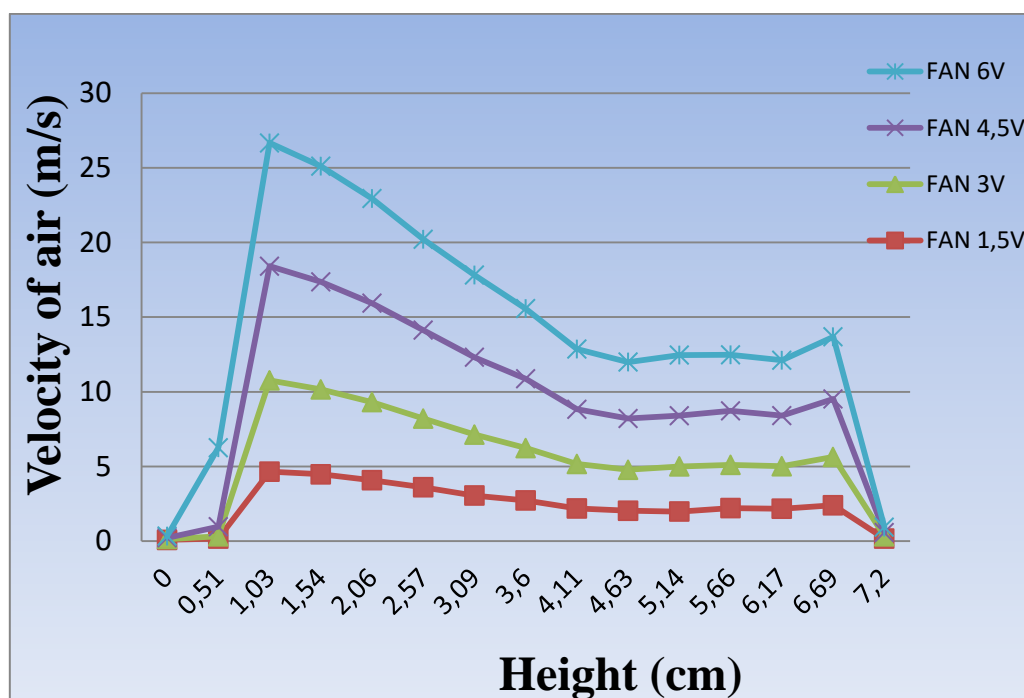
5.1 Μετρήσεις ταχύτητας εξόδου του αέρα στα πτερύγια

Αρχικά χωρίσαμε τα πτερύγια κατακόρυφα σε 15 σημεία ξεκινώντας από την θέση $y=0\text{cm}$ μέχρι $y=7.2\text{cm}$. Το πείραμα αυτό έγινε 4 φορές για 4 τιμές της τάσης τροφοδοσίας του ανεμιστήρα δηλαδή για 1.5V , 3V , 4.5V , 6V.

Παρακάτω, Σχ.5.1, φαίνονται οι μετρήσεις τις ταχύτητας αέρα για τις παραπάνω τιμές της τάσης τροφοδοσίας καθώς και το διάγραμμα, Σχ.5.2, με τα αποτελέσματα:

ΤΑΣΗ ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΑ	FAN 1,5V	FAN 3V	FAN 4,5V	FAN 6V
ΥΨΟΣ(cm)	ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΕΡΑ(m/s)			
0	0,076	0,061	0,086	0,112
0,51	0,168	0,152	0,645	5,288
1,03	4,648	6,116	7,645	8,255
1,54	4,47	5,69	7,203	7,747
2,06	4,079	5,232	6,624	7,01
2,57	3,607	4,597	5,928	6,081
3,09	3,053	4,079	5,182	5,507
3,6	2,723	3,505	4,648	4,699
4,11	2,184	2,982	3,658	4,039
4,63	2,032	2,743	3,434	3,785
5,14	1,981	3,023	3,393	4,064
5,66	2,21	2,896	3,617	3,754
6,17	2,169	2,845	3,388	3,708
6,69	2,398	3,236	3,886	4,166
7,2	0,168	0,152	0,254	0,356

Σχήμα 5.1: Μετρήσεις της ταχύτητας του αέρα στα περύγια



Σχήμα 5.2: Διάγραμμα ταχύτητας του αέρα συναρτήσει του ύψους των περρυγίων

Συμπεράσματα

Παρατηρούμε ότι όσο αυξάνουμε την τάση τροφοδοσίας η ταχύτητα εξόδου του αέρα αυξάνεται με αποτέλεσμα να γίνεται πιο γρήγορα η συμπύκνωση. Ακόμη οι μέγιστες τιμές της ταχύτητας του αέρα παρουσιάζονται στα 1,03cm και όσο αυξάνεται το ύψος, η ταχύτητα του αέρα μειώνεται έως ότου φτάσουμε λίγο πριν το επάνω άκρο(6.69cm) του συμπυκνωτή όπου αυξάνεται στιγμιαία.

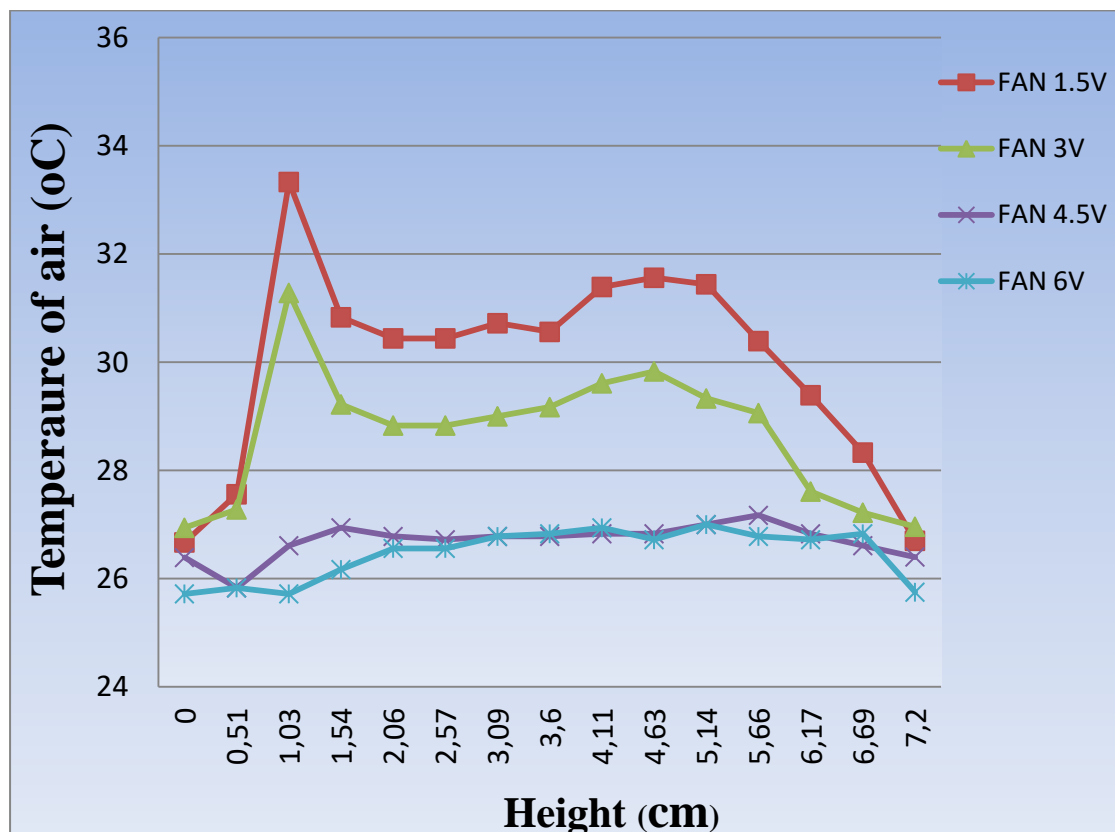
5.2 Μετρήσεις θερμοκρασίας εξόδου του αέρα στα πτερύγια

Όπως και στις μετρήσεις της ταχύτητας εξόδου έτσι και εδώ κάναμε 15 μετρήσεις σε όλο το ύψος των πτερυγίων για τις 4 διαφορετικές τιμές της τάσης τροφοδοσίας.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων, Σχ.5.3, μαζί με το αντίστοιχο διάγραμμα , Σχ.5.4, παρουσιάζονται παρακάτω:

ΤΑΣΗ ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΑ	FAN 1.5V	FAN 3V	FAN 4.5V	FAN 6V
ΥΨΟΣ(cm)	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ(οC)			
0	26,67	26,94	26,39	25,72
0,51	27,56	27,28	25,83	25,83
1,03	33,33	31,28	26,61	25,72
1,54	30,83	29,22	26,94	26,17
2,06	30,44	28,83	26,78	26,56
2,57	30,44	28,83	26,72	26,56
3,09	30,72	29	26,78	26,78
3,6	30,56	29,17	26,78	26,83
4,11	31,39	29,61	26,83	26,94
4,63	31,56	29,83	26,83	26,72
5,14	31,44	29,33	27	27
5,66	30,39	29,06	27,17	26,78
6,17	29,39	27,61	26,83	26,72
6,69	28,33	27,22	26,61	26,83
7,2	26,7	26,96	26,4	25,75

Σχήμα 5.3: Μετρήσεις της θερμοκρασίας του αέρα



Σχήμα 5.4: Διάγραμμα θερμοκρασία του αέρα συναρτήσει του ύψους των πτερυγίων

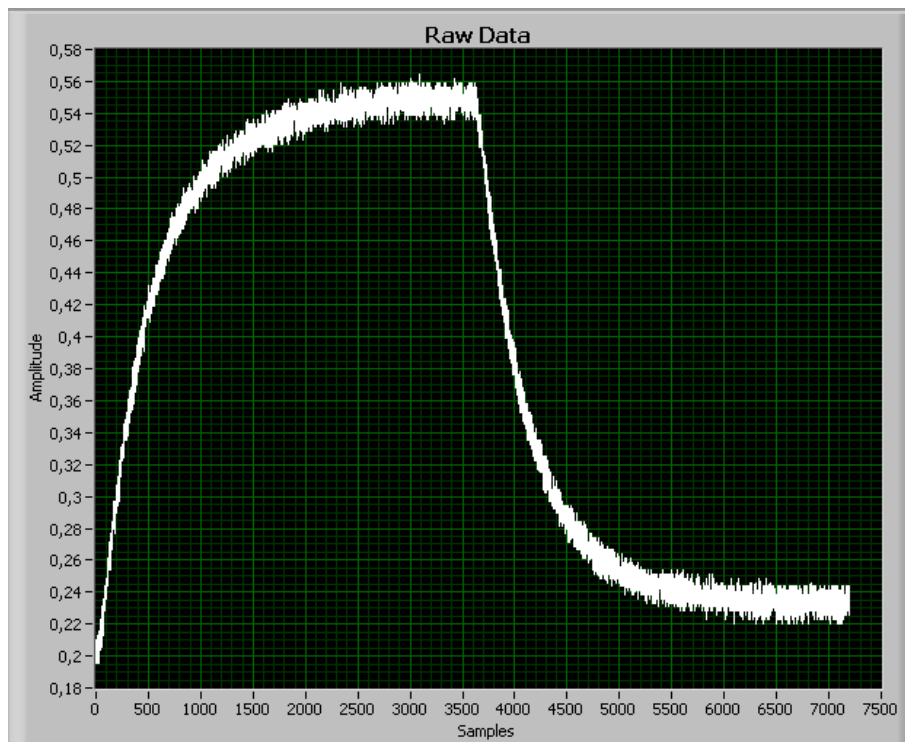
Συμπεράσματα

Παρατηρούμε ότι όσο αυξάνουμε την τάση της τροφοδοσίας, η θερμοκρασία του αέρα μειώνεται όπως και ακριβώς περιμέναμε. Επιπλέον η μέγιστη θερμοκρασία για τις τάσεις 1.5V και 3V παρουσιάζεται στο ύψος 1.03cm. Όσο αυξάνουμε το ύψος μειώνεται αρχικά αλλά όσο πλησιάζουμε προς το κέντρο των πτερυγίων όπως είναι λογικό αυξάνεται. Μετά το ύψος 4.63cm και πλησιάζοντας προς το επάνω άκρο των πτερυγίων η θερμοκρασία μειώνεται. Για τις τάσεις 4.5V και 6V θα λέγαμε ότι η θερμοκρασία κυμαίνεται γύρω στους 27°C σε όλο το ύψος των πτερυγίων και είναι λογικό καθώς με την αύξηση της τροφοδοσίας αυξήθηκε η ταχύτητα ροής με αποτέλεσμα η θερμοκρασία του αέρα 'πιάσει' γρήγορα την θερμοκρασία δωματίου.

5.3 Μέτρηση θερμοκρασιών στον πυρήνα

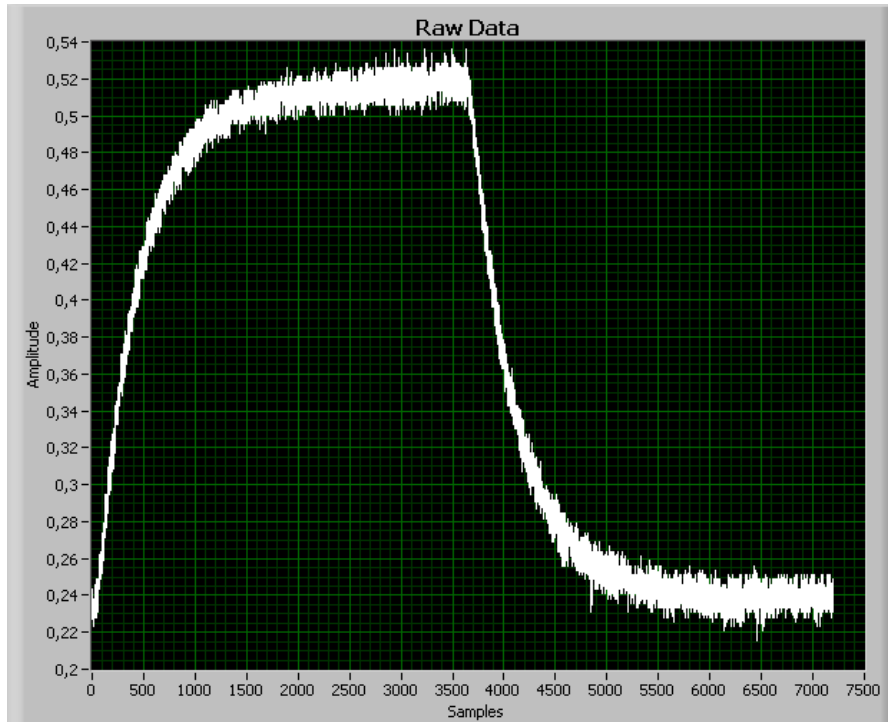
Για την μέτρηση της θερμοκρασίας του πυρήνα όπως αναφέραμε στο κεφάλαιο 4 χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Labview το οποίο έπαιρνε τις μετρήσεις μέσω του transmitter και στη συνέχεια ο μετατροπέας έδινε τα τελικά αποτελέσματα. Οι μετρήσεις έγιναν για τις 4 διαφορετικές τιμές της τάσης τροφοδοσίας του ανεμιστήρα δηλαδή για 1.5V,3V,4.5V,6V. Και στις 4 περιπτώσεις παρείχαμε θερμότητα για 3600s στον πυρήνα και μετά για άλλη μια ώρα συνεχόμενα σταματούσαμε την παροχή θερμοκρασίας για να δούμε πόση ώρα χρειάζεται η θερμοκρασία του πυρήνα για να φτάσει αυτήν του δωματίου.

Τα διαγράμματα των αποτελεσμάτων που πήραμε μέσω του λογισμικού και για τις 4 τάσεις τροφοδοσίας παρουσιάζονται παρακάτω, Σχ.5.5/6/7/8. Μέσω αυτών των διαγραμμάτων καταφέραμε να βγάλουμε συμπεράσματα για τη κρίσιμη θερμοκρασία αλλά και για το χρόνο που χρειάζεται για να αρχίσει να πέφτει η θερμοκρασία του πυρήνα και να φτάσει τελικά στην θερμοκρασία δωματίου.

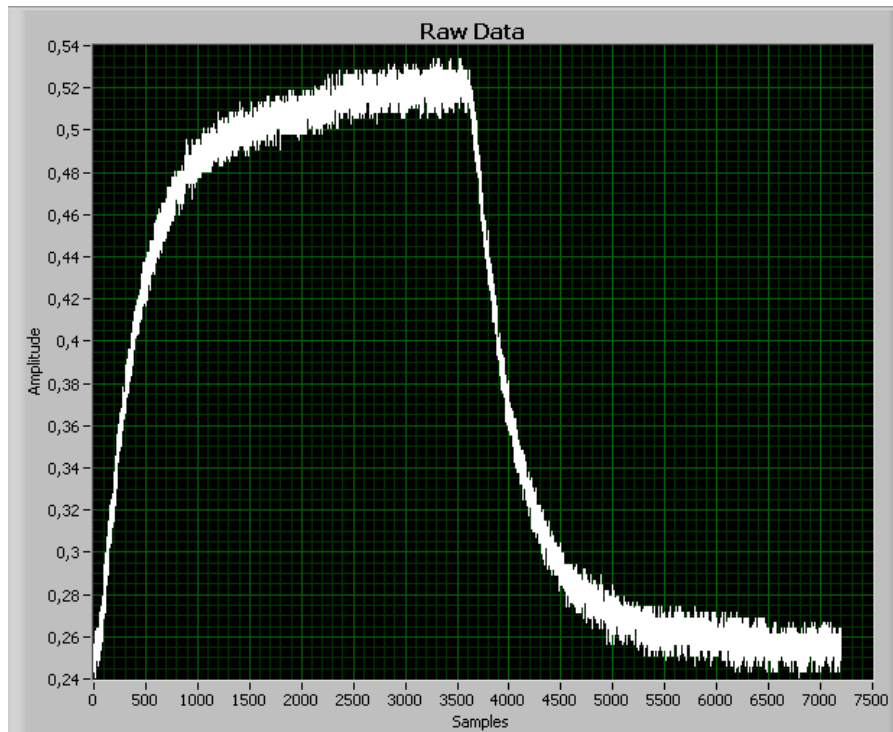


Σχήμα 5.5: Διάγραμμα θερμοκρασίας συναρτήσει του χρόνου για τάση τροφοδοσίας

1.5V

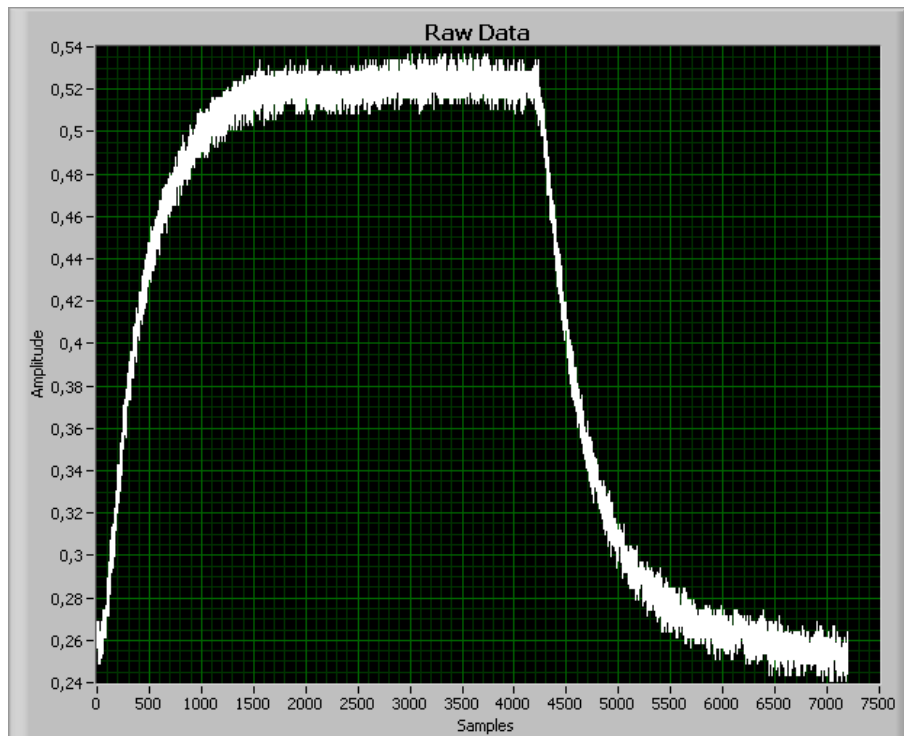


Σχήμα 5.6: Διάγραμμα θερμοκρασίας συναρτήσει του χρόνου για τάση τροφοδοσίας 3V



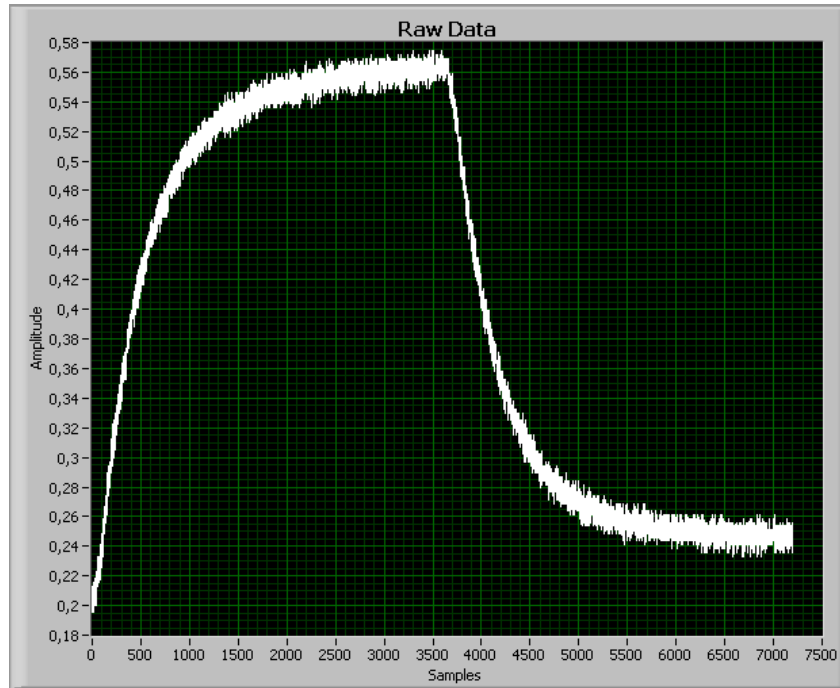
Σχήμα 5.7: Διάγραμμα θερμοκρασίας συναρτήσει του χρόνου για τάση τροφοδοσίας

4.5V

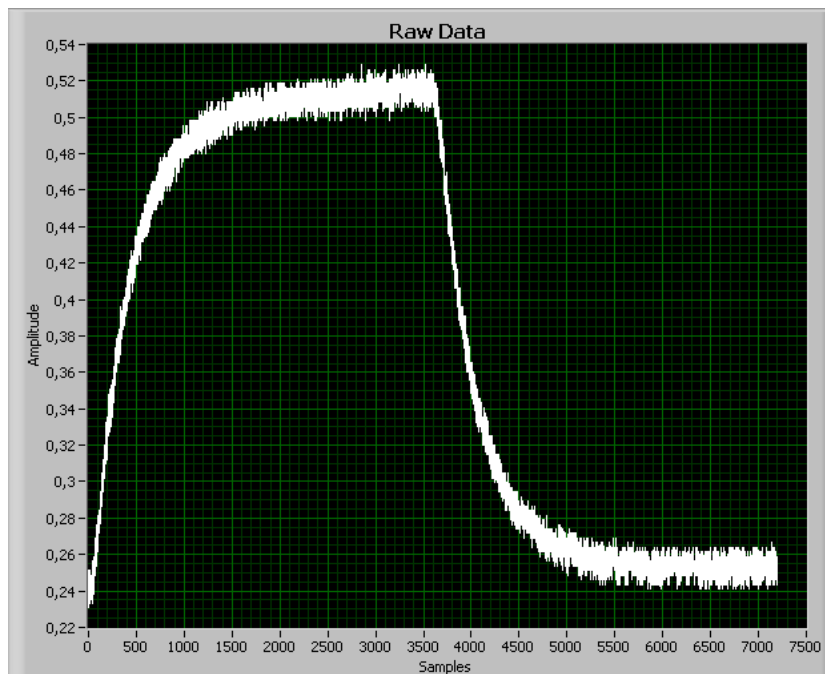


Σχήμα 5.8: Διάγραμμα θερμοκρασίας συναρτήσει του χρόνου για τάση τροφοδοσίας 6V

Στη συνέχεια κλείσαμε με υαλοβάμβακα το παράθυρο όρασης της IR camera για να δούμε πως θα επηρεάσει την θερμοκρασία του πυρήνα η καλύτερη μόνωση και πήραμε τα διαγράμματα μέσω του λογισμικού για τις τάσεις τροφοδοσίας 1.5V και 6V, Σχ.5.9/10.



Σχήμα 5.9: Διάγραμμα θερμοκρασίας συναρτήσει του χρόνου για τάση τροφοδοσίας 1.5V και κλειστό παράθυρο της IR camera



Σχήμα 5.10 Διάγραμμα θερμοκρασίας συναρτήσει του χρόνου για τάση τροφοδοσίας 6V και κλειστό παράθυρο της IR camera

5.3.1 Σύγκριση διαγραμμάτων

Κρίσιμη θερμοκρασία

Παρατηρούμε ότι η κρίσιμη θερμοκρασία για τάση τροφοδοσίας 1.5V μετά από 3600s είναι περίπου 55 °C, για τάση τροφοδοσίας 3V είναι 51.6 °C, για 4.5V είναι 52°C και για 6V είναι περίπου 52.2 °C. Για το κλειστό παράθυρο της IR camera και για τάση τροφοδοσίας 1.5V η κρίσιμη θερμοκρασία είναι 56 °C ενώ για τάση τροφοδοσίας 6V η κρίσιμη θερμοκρασία είναι περίπου 51 °C .

Χρόνος ψύξης του πυρήνα

Ο χρόνος που χρειάστηκε για να φτάσει την θερμοκρασία δωματίου ο πυρήνας και για τις 4 τάσεις τροφοδοσίας ήταν περίπου 3000s. Για την τάση τροφοδοσίας 1.5V μετά από αυτό το χρονικό διάστημα η θερμοκρασία του πυρήνα κατάφερε να φτάσει στους 23 °C, για τάση τροφοδοσίας 3V στους 24 °C ενώ για τις τάσεις τροφοδοσίας 4.5V και 6V η τελική θερμοκρασία ήταν περίπου 25 °C. Για την τάση τροφοδοσίας 1.5V με κλειστό το παράθυρο της IT camera η τελική θερμοκρασία και για 3000s ήταν 24.5 °C ενώ για τάση τροφοδοσίας 6V η τελική θερμοκρασία ήταν 25 °C.

Συμπεράσματα

Παρατηρούμε ότι σε όλες τις περιπτώσεις ακόμα και σε αυτές με κλειστό το παράθυρο της IT camera ο χρόνος που χρειάστηκε για να σταθεροποιηθεί η κρίσιμη θερμοκρασία ήταν 3600s. Παρόμοια, σε όλες τις περιπτώσεις ο χρόνος που χρειάστηκε η θερμοκρασία για να σταθεροποιηθεί ήταν περίπου 3000s. Επιπλέον, παρατηρούμε ότι οι τάσεις τροφοδοσίας 3V,4.5V,6V είχαν παρόμοια επίδραση στην κρίσιμη θερμοκρασία (περίπου 52 °C) ενώ για την τάση τροφοδοσίας 1.5V η διαφορά με τις άλλες τρεις τάσεις είναι μεγάλη(55 °C). Με κλειστό το παράθυρο της IT camera και για τις δύο τάσεις η διαφορά στην κρίσιμη θερμοκρασία ήταν μικρή (διαφορά 1°C). Τέλος, όπως ακριβώς περιμέναμε, εφόσον αυξήσαμε την τάση τροφοδοσίας είναι λογικό η τελική τιμή που θα έχει ο πυρήνας κατά την ψύξη του θα είναι μεγαλύτερη. Παρόλα αυτά η διαφορά εδώ είναι πολύ μικρή (1°C για κάθε αύξηση της τάσης τροφοδοσίας).

5.4 Υπολογισμός της ισχύος στην συσκευής

5.4.1 Υπολογισμός ισχύος στην είσοδο

Για να υπολογίσουμε την ισχύ εισόδου πρέπει να προσθέσουμε στην ισχύ που παρέχει το soldering station την ισχύ σε κάθε τάση τροφοδοσίας του ανεμιστήρα.

Ισχύει δηλαδή $P_{in} = \text{ισχύς ανεμιστήρα} + \text{ισχύς του soldering station}$.

<u>Τάση</u> <u>ανεμιστήρα</u>	<u>Ισχύς</u> <u>ανεμιστήρα</u>
FAN 1.5V	0,75W
FAN 3V	1.5W
FAN 4.5V	2.25W
FAN 6V	3W

Το soldering station μας δίνει ισχύς 40,2W. Συνεπώς η ισχύς εισόδου για κάθε τάση τροφοδοσίας είναι:

<u>Τάση</u> <u>ανεμιστήρα</u>	<u>Ισχύς</u> <u>εισόδου</u>
FAN 1.5V	40.95W
FAN 3V	41.7W
FAN 4.5V	42.45W
FAN 6V	43.2W

5.4.2 Υπολογισμός ισχύος στην έξοδο

Μεγαλύτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει ο υπολογισμός της ισχύος κατά την έξοδο. Για τον υπολογισμό της συγκεκριμένης ισχύος χρησιμοποιήσαμε τον παρακάτω τύπο:

$$P_{out} = \int \rho c_p \Delta u \Delta \theta dA = \sum_{i=1}^{i=15} \rho_i c_p u_i \Delta \theta_i E_i$$

όπου ρ_i η πυκνότητα του αέρα, c_p η ειδική θερμότητα του αέρα, u_i η ταχύτητα στην έξοδο του αέρα, $\Delta \theta_i$ η διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα σε αυτήν του αέρα και αυτή του περιβάλλοντος και E_i το εμβαδόν της διατομής των πτερυγίων.

Επειδή η θερμοκρασία εξαρτάται από την τάση τροφοδοσίας υπολογίσαμε την ισχύ εξόδου και για τις τέσσερις τάσεις.

FAN 1.5V

<u>Ύψος(cm)</u>	<u>ρ_i</u>	<u>c_p</u>	<u>$u_i(m/s)$</u>	<u>$T_{\text{εισόδου}}$</u>	<u>$T_{\text{εξόδου}}$</u>	<u>$\Delta\theta_i$</u>	<u>$E_i(m^2)$</u>	<u>P_{out_i}</u>
0	1.18	1007	0.08	25.5	26.67	1.17	0.000864	0.003
0.52	1.18	1007	0.17	25.5	27.56	2.06	0.000864	0.025
1.03	1.18	1007	4.65	25.5	33.33	7.83	0.000864	2.665
1.55	1.18	1007	4.47	25.5	30.83	5.33	0.000864	1.745
2.06	1.18	1007	4.08	25.5	30.44	4.94	0.000864	1.476
2.58	1.18	1007	3.61	25.5	30.44	4.94	0.000864	1.305
3.09	1.18	1007	3.05	25.5	30.72	5.22	0.000864	1.167
3.61	1.18	1007	2.72	25.5	30.56	5.06	0.000864	1.008
4.12	1.18	1007	2.18	25.5	31.39	5.89	0.000864	0.941
4.64	1.18	1007	2.03	25.5	31.56	6.06	0.000864	0.901
5.15	1.18	1007	1.98	25.5	31.44	5.94	0.000864	0.862
5.67	1.18	1007	2.21	25.5	30.39	4.89	0.000864	0.791
6.18	1.18	1007	2.17	25.5	29.39	3.89	0.000864	0.617
6.7	1.18	1007	2.4	25.5	28.33	2.83	0.000864	0.497
7.2	1.18	1007	0.17	25.5	26.6	1.1	0.000864	0.007

Συνεπώς η συνολική ισχύς εξόδου για την τάση τροφοδοσίας είναι το άθροισμα των ισχύων εξόδου για όλες τις 15 θέσεις των περυγίων δηλαδή **P_{out}=14.01W**.

FAN 3V

<u>Ύψος(cm)</u>	<u>ρ_i</u>	<u>c_p</u>	<u>$u_i(m/s)$</u>	<u>$T_{\text{εισόδου}}$</u>	<u>$T_{\text{εξόδου}}$</u>	<u>$\Delta\theta_i$</u>	<u>$E_i(m^2)$</u>	<u>P_{out_i}</u>
0	1.18	1007	0.061	25	26,944	1,944	0.000864	0,004
0.52	1.18	1007	0.305	25	27,278	2,278	0.000864	0,051
1.03	1.18	1007	6.116	25	31,278	6,278	0.000864	2,810
1.55	1.18	1007	5.690	25	29,222	4,222	0.000864	1,758
2.06	1.18	1007	5.232	25	28,833	3,833	0.000864	1,468
2.58	1.18	1007	4.597	25	28,833	3,833	0.000864	1,290
3.09	1.18	1007	4.079	25	29,000	4,000	0.000864	1,194
3.61	1.18	1007	3.505	25	29,167	4,167	0.000864	1,069
4.12	1.18	1007	2.982	25	29,611	4,611	0.000864	1,006
4.64	1.18	1007	2.743	25	29,833	4,833	0.000864	0,970
5.15	1.18	1007	3.023	25	29,333	4,333	0.000864	0,959
5.67	1.18	1007	2.896	25	29,056	4,056	0.000864	0,859
6.18	1.18	1007	2.845	25	27,611	2,611	0.000864	0,544
6.7	1.18	1007	3.236	25	27,222	2,222	0.000864	0,526
7.2	1.18	1007	0.152	25	26,939	1,939	0.000864	0,011

Συνεπώς η συνολική ισχύς εξόδου για την τροφοδοσία των 3V ισούται με **P_{out}=14.52W**.

FAN 4.5V

Ύψος(cm)	ρ_i	c_p	u_i (m/s)	$T_{\text{εισόδου}}$	$T_{\text{εξόδου}}$	$\Delta\theta_i$	E_i (m ²)	P_{out_i}
0	1.18	1007	0,086	23	26,389	3,389	0.000864	0,011
0.52	1.18	1007	0,645	23	25,833	2,833	0.000864	0,134
1.03	1.18	1007	7,645	23	26,611	3,611	0.000864	2,021
1.55	1.18	1007	7,203	23	26,944	3,944	0.000864	2,080
2.06	1.18	1007	6,624	23	26,778	3,778	0.000864	1,832
2.58	1.18	1007	5,928	23	26,722	3,722	0.000864	1,615
3.09	1.18	1007	5,182	23	26,778	3,778	0.000864	1,433
3.61	1.18	1007	4,648	23	26,778	3,778	0.000864	1,285
4.12	1.18	1007	3,658	23	26,833	3,833	0.000864	1,026
4.64	1.18	1007	3,434	23	26,833	3,833	0.000864	0,963
5.15	1.18	1007	3,393	23	27,000	4,000	0.000864	0,993
5.67	1.18	1007	3,617	23	27,167	4,167	0.000864	1,103
6.18	1.18	1007	3,388	23	26,833	3,833	0.000864	0,951
6.7	1.18	1007	3,886	23	26,611	3,611	0.000864	1,027
7.2	1.18	1007	0,254	23	26,390	3,390	0.000864	0,032

Συνεπώς η συνολική ισχύς εξόδου για την τροφοδοσία των 4.5V ισούται με

P_{out}=16.5W.

FAN 6V

Ύψος(cm)	ρ_i	c_p	u_i (m/s)	$T_{\text{εισόδου}}$	$T_{\text{εξόδου}}$	$\Delta\theta_i$	E_i (m ²)	P_{out_i}
0	1.18	1007	0,112	22	25,722	3,722	0.000864	0,015
0.52	1.18	1007	5,288	22	25,833	3,833	0.000864	1,484
1.03	1.18	1007	8,255	22	25,722	3,722	0.000864	2,249
1.55	1.18	1007	7,747	22	26,167	4,167	0.000864	2,363
2.06	1.18	1007	7,010	22	26,556	4,556	0.000864	2,337
2.58	1.18	1007	6,081	22	26,556	4,556	0.000864	2,027
3.09	1.18	1007	5,507	22	26,778	4,778	0.000864	1,926
3.61	1.18	1007	4,699	22	26,833	4,833	0.000864	1,662
4.12	1.18	1007	4,039	22	26,944	4,944	0.000864	1,461
4.64	1.18	1007	3,785	22	26,722	4,722	0.000864	1,308
5.15	1.18	1007	4,064	22	27,000	5,000	0.000864	1,487
5.67	1.18	1007	3,754	22	26,778	4,778	0.000864	1,313
6.18	1.18	1007	3,708	22	26,722	4,722	0.000864	1,282
6.7	1.18	1007	4,166	22	26,833	4,833	0.000864	1,474
7.2	1.18	1007	0,356	22	26,732	4,732	0.000864	0,062

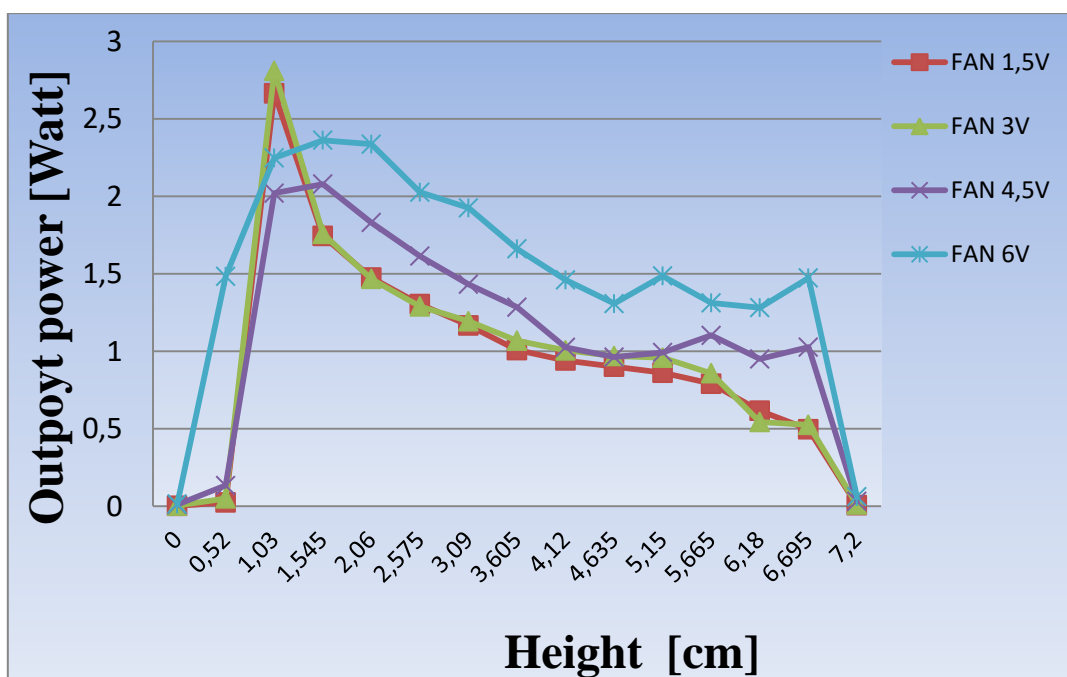
Συνεπώς η συνολική ισχύς εξόδου για την τροφοδοσία των 4.5V ισούται με

P_{out}=22.45W.

Για να βγάλουμε πιο χρήσιμα συμπεράσματα κάναμε τον πίνακα ισχύος εξόδου σε συνάρτηση με το ύψος και για τις τέσσερις τάσεις τροφοδοσίας, Σχ.5.11, και το διάγραμμα της ισχύος εξόδου, Σχ.5.12.

Υψος(cm)	Ισχύς εξόδου			
	FAN 1,5V	FAN 3V	FAN 4,5V	FAN 6V
0	0,003	0,004	0,011	0,015
0,52	0,025	0,051	0,134	1,484
1,03	2,665	2,81	2,021	2,249
1,545	1,745	1,758	2,08	2,363
2,06	1,476	1,468	1,832	2,337
2,575	1,305	1,29	1,615	2,027
3,09	1,167	1,194	1,433	1,926
3,605	1,008	1,069	1,285	1,662
4,12	0,941	1,006	1,026	1,461
4,635	0,901	0,97	0,963	1,308
5,15	0,862	0,959	0,993	1,487
5,665	0,791	0,859	1,103	1,313
6,18	0,617	0,544	0,951	1,282
6,695	0,497	0,526	1,027	1,474
7,2	0,007	0,011	0,032	0,062

Σχήμα 5.11: Ισχύς εξόδου και για τις τέσσερις τάσεις τροφοδοσίας



Σχήμα 5.12: Διάγραμμα ισχύος συναρτήσει του ύψους

<u>Τάση</u> <u>ανεμιστήρα</u>	<u>Ισχύς</u> <u>εξόδου</u>
FAN 1.5V	14.01W
FAN 3V	14.52W
FAN 4.5V	16.5W
FAN 6V	22.45W

Συμπεράσματα

Παρατηρούμε ότι όσο αυξάνουμε την τάση τροφοδοσίας η ισχύς εξόδου αυξάνεται με τη μεγαλύτερη αύξηση να την έχουμε στην τάση των 6V.

Με βάση το διάγραμμα παρατηρούμε ότι η μέγιστη ισχύς εξόδου εμφανίζεται όταν η τάση τροφοδοσίας είναι 3V και στο ύψος των 1.03cm. Στο ίδιο ακριβώς ύψος παρουσιάζουν τη μέγιστη ισχύ και οι υπόλοιπες τρεις τάσεις τροφοδοσίας αλλά με μικρότερη ισχύ. Καθώς αυξάνουμε το ύψος οι τάσεις των 1.5V και 3V μειώνονται συνεχώς. Οι άλλες δύο τάσεις μειώνονται συνεχώς μέχρι το ύψος των 4.635cm και μετά σημειώνουν κάποιες αυξομειώσεις μέχρι το τελικό ύψος.

Σε σύγκριση με τις ισχύεις εισόδου παρατηρούμε ότι και η ισχύς εξόδου ήταν μικρότερη σε σχέση με την ισχύς εισόδου για κάθε τάση τροφοδοσίας.

5.5 Μετρήσεις Θερμοκρασίας με θερμομέτρο IR χειρός

Λαμβάνω δειγματοληπτικά κάθε 15 λεπτά θερμοκρασίες για κάθε τμήμα του θερμαντικού σωλήνα κατά την περίοδο θέρμανσης για μία ώρα αλλά και για την περίοδο ψύξης πάλι για μία ώρα. Η διαδικασία αυτή επαναλήφθηκε και για τις τέσσερις τάσεις τροφοδοσίας (1.5V 3V 4.5V 6V). . Παρακάτω παρουσιάζονται οι τέσσερις πίνακες με τις μετρήσεις για τις τέσσερις τάσης ανεμιστήρα.

FAN 1.5V

		Θερμοκρασία °C		
		Εξατμιστήρας	Αδιαβατικό τμήμα	Συμπυκνωτής
HEATING	Λεπτά			
	15	26,8	23,1	36
	30	29	24,4	43,1
	45	30,2	25,5	46,4
COOLING	60	31,8	26,5	44,3
	75	23,9	23,3	26,6
	90	22,8	22,6	23,2
	105	22,1	22,2	22,6
	120	21,9	22,2	22,2

FAN 3V

		Θερμοκρασία °C		
		Εξατμιστήρας	Αδιαβατικό τμήμα	Συμπυκνωτής
HEATING	Λεπτά			
	15	25,1	23,6	38,9
	30	27,6	25	41
	45	26	23,7	42
COOLING	60	27,2	24,6	41,2
	75	23,9	23	25,7
	90	22,7	22,6	23,3
	105	23	22,9	23,1
	120	22,4	22,4	22,7

FAN 4.5V

	Λεπτά	Θερμοκρασία °C		
		Εξατμιστήρας	Αδιαβατικό τμήμα	Συμπυκνωτής
HEATING	15	25,1	25,2	30,5
	30	27,1	25,7	30,7
	45	25,1	25,1	29,1
	60	26	25,5	30,6
COOLING	75	25	24,6	25,7
	90	24,8	24,7	24,8
	105	24,3	24,1	24,2
	120	24,3	24,3	24,3

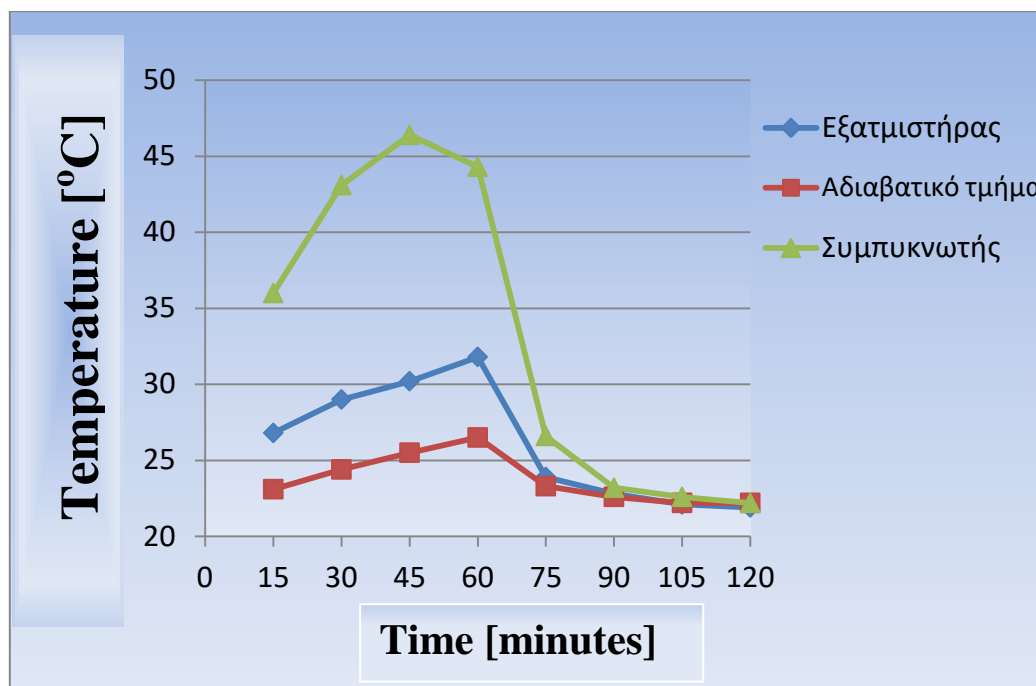
FAN 6V

	Λεπτά	Θερμοκρασία °C		
		Εξατμιστήρας	Αδιαβατικό τμήμα	Συμπυκνωτής
HEATING	15	27	27,2	35,2
	30	26,1	26,7	39,1
	45	25,8	26,7	36,6
	60	27	26,3	37,8
COOLING	75	26,6	26,6	30,9
	90	25,1	25,2	25,7
	105	24,3	24,3	24,4
	120	23,7	23,7	23,7

Παρακάτω απεικονίζονται τα διαγράμματα των παραπάνω μετρήσεων, ,

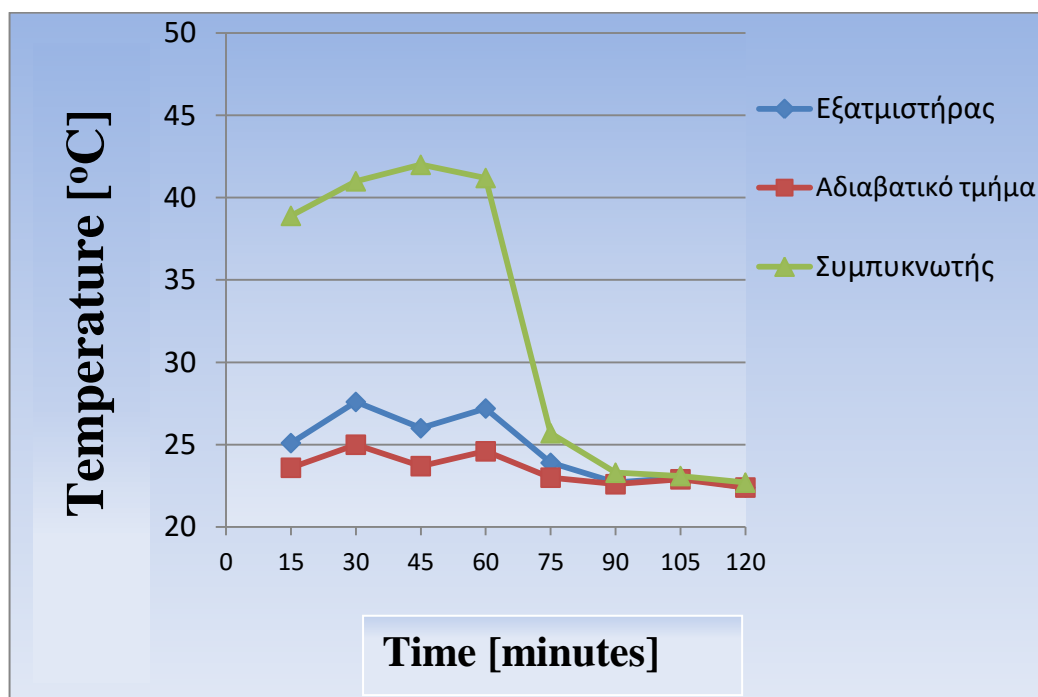
Σχ.5.13 ως Σχ.5.16:

FAN 1.5 Volt



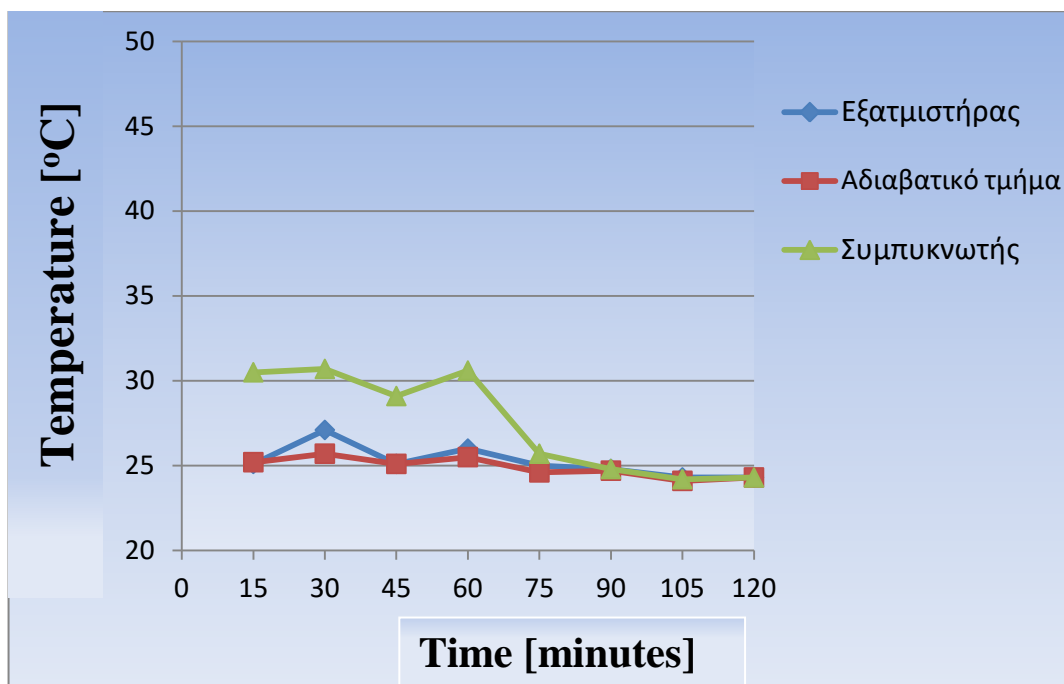
Σχήμα 5.13: Θερμοκρασίες στα τρία τμήματα για 60' θέρμανση και 60' ψύξη για 1.5V

FAN 3 Volt



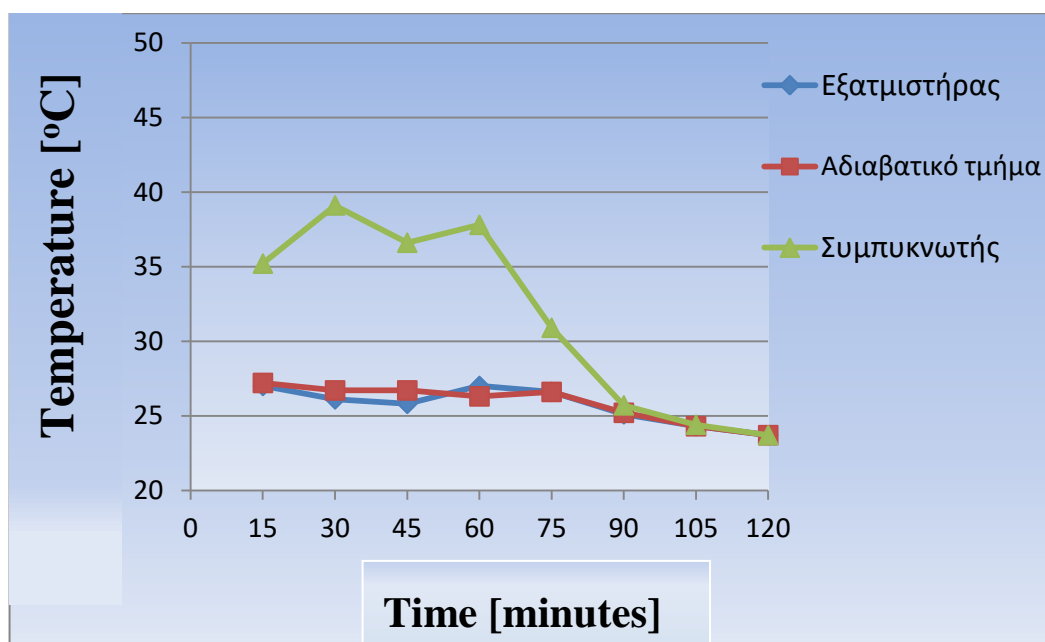
Σχήμα 5.14: Θερμοκρασίες στα τρία τμήματα για 60' θέρμανση και 60' ψύξη για 3V

FAN 4.5 Volt



Σχήμα 5.15: Θερμοκρασίες στα τρία τμήματα για 60' θέρμανση και 60' ψύξη για 4.5V

FAN 6 Volt



Σχήμα 5.16: Θερμοκρασίες στα τρία τμήματα για 60' θέρμανση και 60' ψύξη για 6V

Συμπεράσματα:

Η μεγαλύτερη θερμοκρασία πάντα είναι στο συμπτυκνωτή ανεξάρτητα την τάση του ανεμιστήρα.

Ο εξαμιστήρας δεν έχει μεγάλη διαφορά θερμοκρασίας από το αδιαβατικό τμήμα. Οριακά να είναι πιο ζεστός σε 1,5V και 3V.

Στην τάση ανεμιστήρα 4,5V βλέπω ότι η θερμοκρασία έχει την ελάχιστη από τις μέγιστες τιμές, γύρω στους 31 βαθμούς κελσίου.

Η διαφορά θερμοκρασίας συμπτυκνωτή και αδιαβατικού τμήματος περνά τους 20 βαθμούς κελσίου ιδιαίτερα στις τάσεις ανεμιστήρα 1,5V και 3V που προκαλεί ερωτηματικά για την αξιοπιστία του IR θερμομέτρου.

5.6 Πλήρης Απεικόνιση του Θερμοκρασιακού Πεδίου με θερμική κάμερα

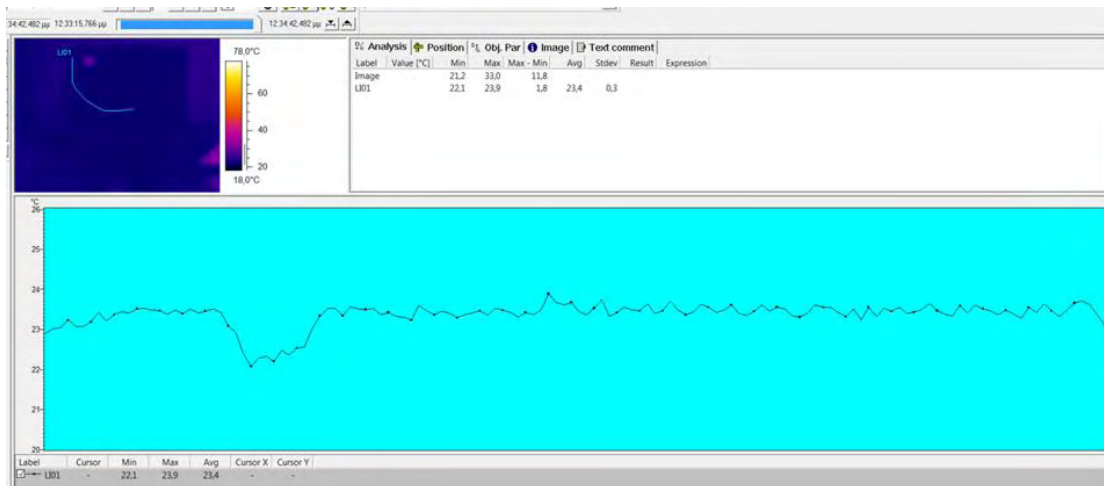
Χρησιμοποιώ τις τρεις μεθόδους 1) της κεντρικής γραμμής 2) των τριών περιοχών και 3) των τριών σημείων για απεικόνιση του πεδίου των θερμοκρασιών. Αυτές οι 3 μέθοδοι έχουν αναλυθεί και στην ενότητα 4.5.

5.6.1 Ανάλυση με βάση τη κεντρική γραμμή

Παραθέτω στιγμιότυπα της οθόνης του υπολογιστή από όλα τα βίντεο στο λογισμικό ThermaCAM Researcher Professional. Σε κάθε εικόνα φαίνεται το θερμοκρασιακό

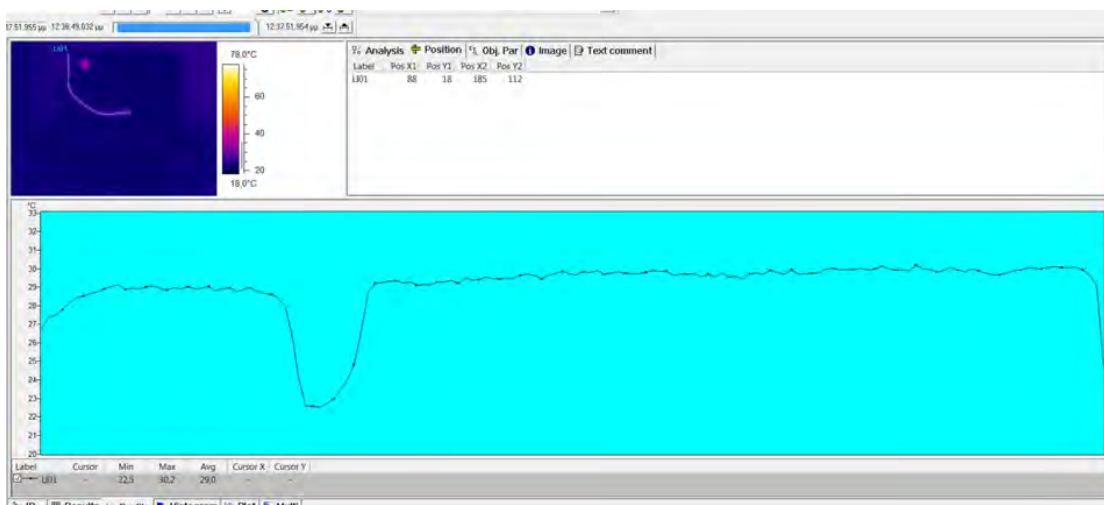
προφίλ κατά μήκος του αγωγού που κατά το πέρας βιντεοσκόπησης του εκάστοτε βίντεο, ενώ στη λεζάντα για κάθε εικόνα αναφέρεται ο χρόνος από την έναρξη της βιντεοσκόπησης. Στις εικόνες που ακολουθούν η θερμοκρασία αυξάνεται ομοιόμορφα σε όλο το μήκος του αγωγού.

ΘΕΡΜΑΝΣΗ

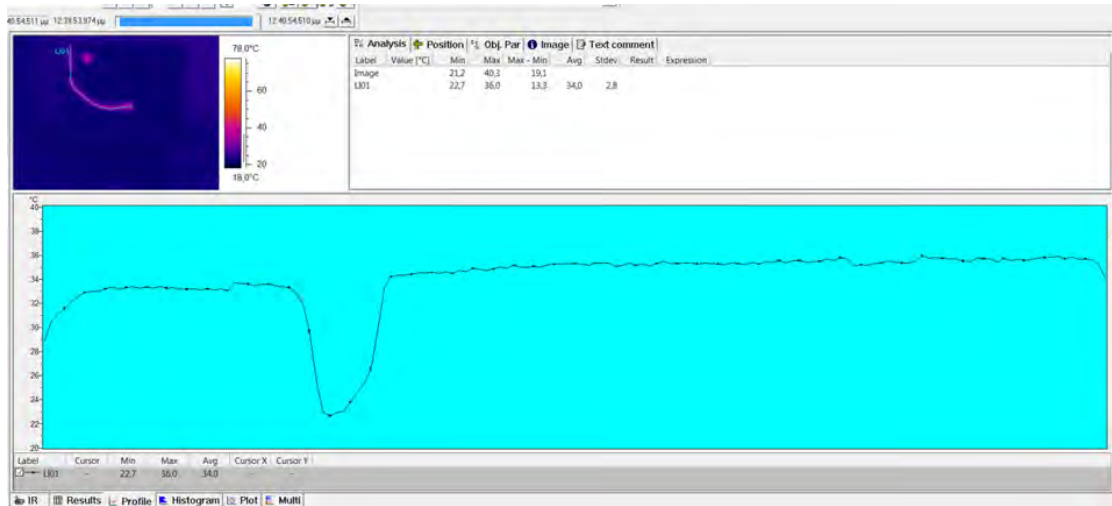


Σχήμα 5.17: στιγμιότυπο στα 90 sec

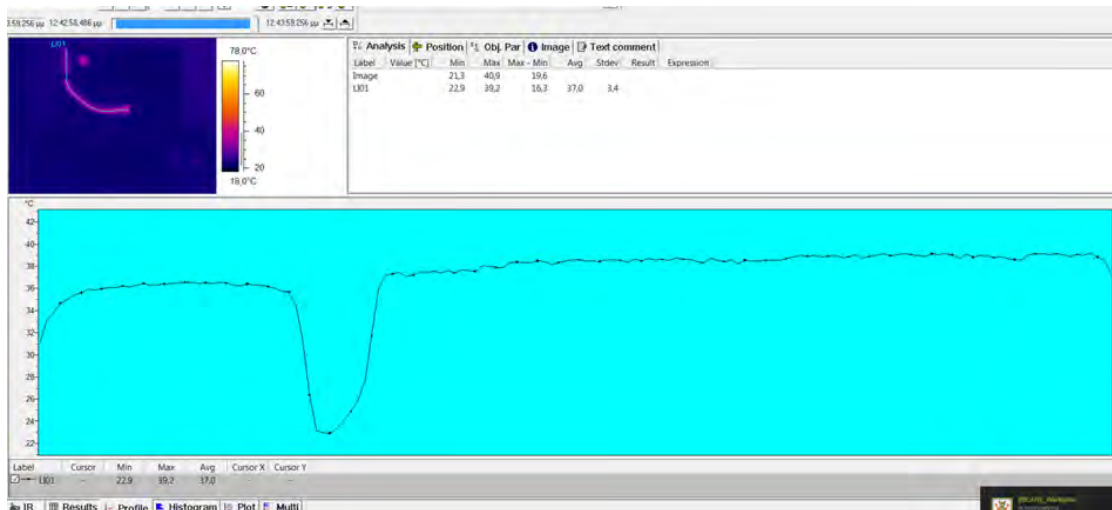
Η περιοχή έντονης πτώσης της θερμοκρασίας είναι ένα κομμάτι κόντρα πλακέ που αποτελεί βάση στήριξης του ανεμιστήρα, το οποίο βρίσκεται μπροστά από το heat pipe.



Σχήμα 5.18: στιγμιότυπο στα 280 sec

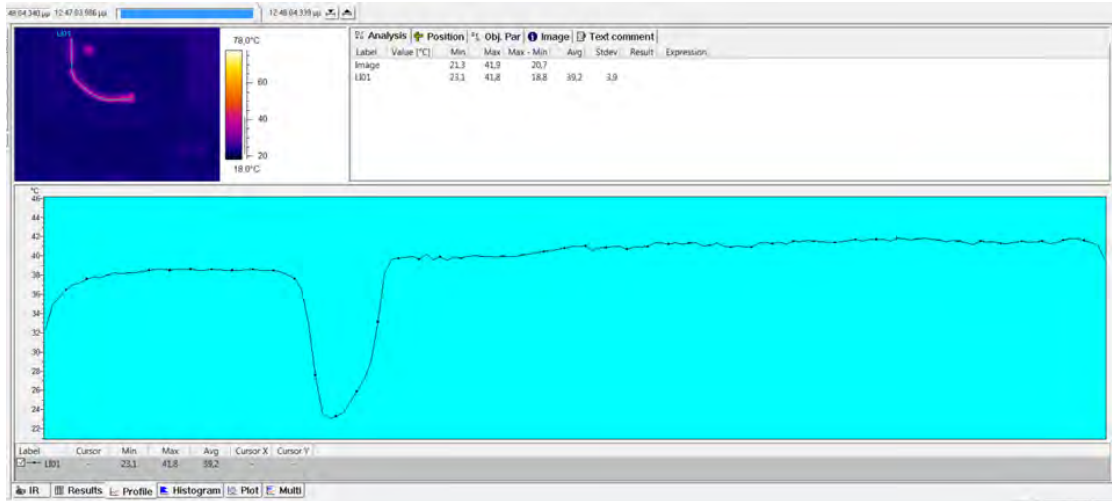


Σχήμα 5.19: στιγμιότυπο στα 460 sec

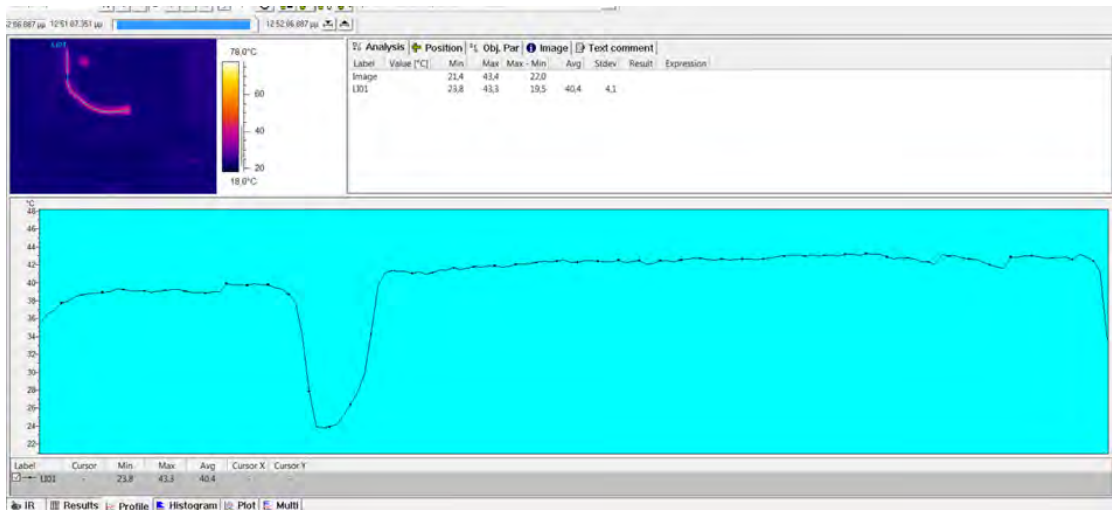


Σχήμα 5.20: στιγμιότυπο στα 645 sec

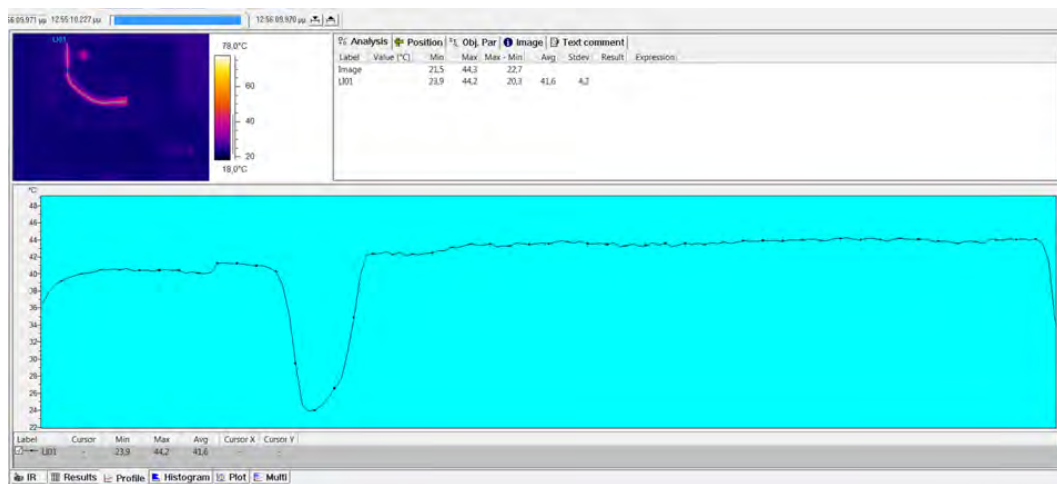
Από τις εικόνες εξάγουμε το συμπέρασμα ότι η θερμοκρασία αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου, αλλά και κατά μήκος απ τη μια άκρη του heat pipe στην άλλη. Επίσης η διαφορά θερμοκρασίας κατά μήκος του heat pipe δεν υπερβαίνει τους 3 βαθμούς κελσίου.



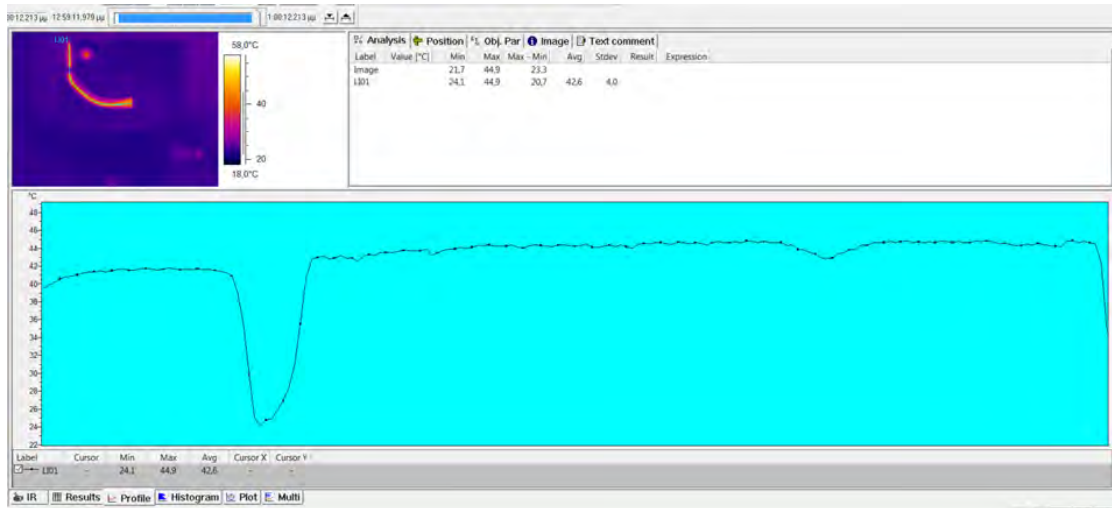
Σχήμα 5.21: στιγμιότυπο στα 890 sec



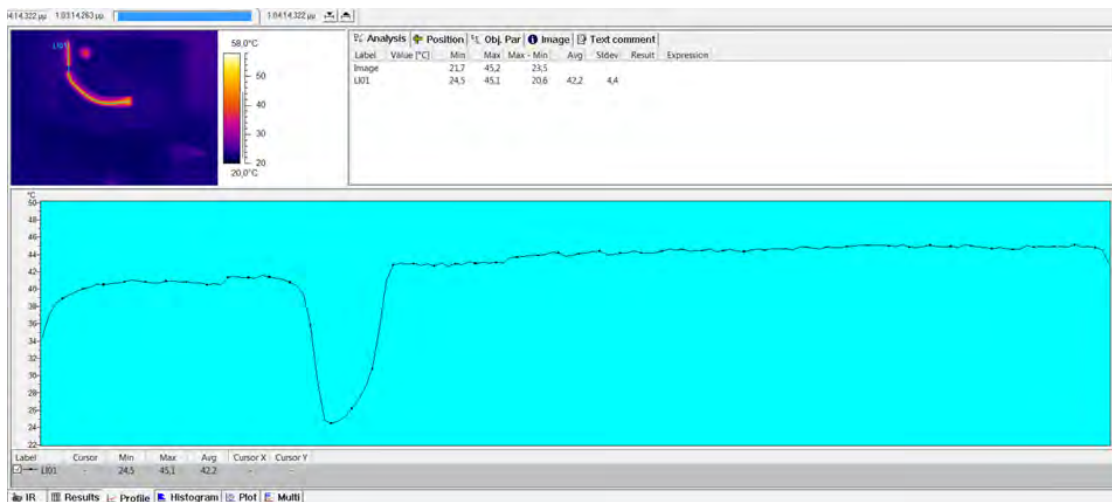
Σχήμα 5.22: στιγμιότυπο στα 1130 sec



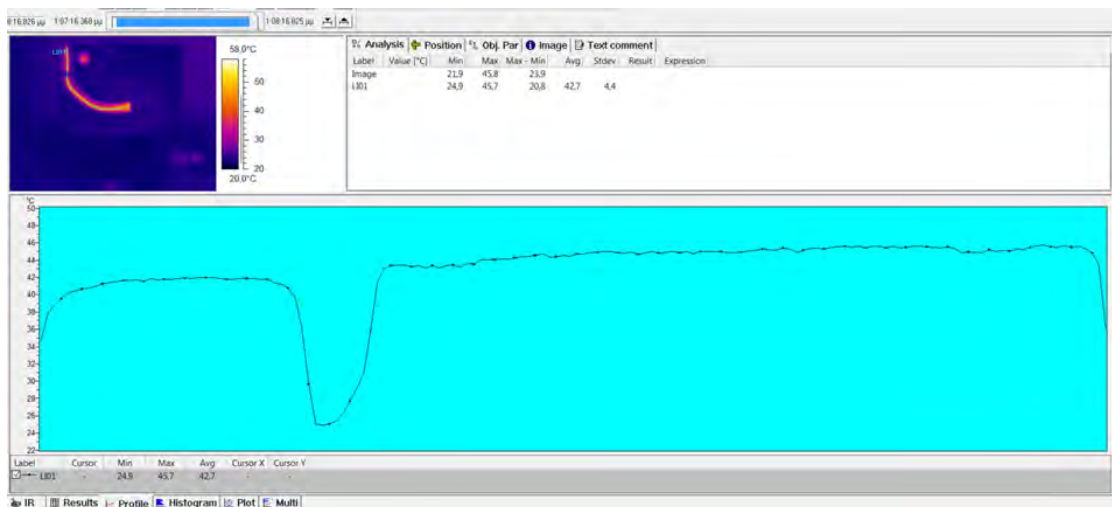
Σχήμα 5.23: στιγμιότυπο στα 1375 sec



Σχήμα 5.24: στιγμιότυπο στα 1615 sec

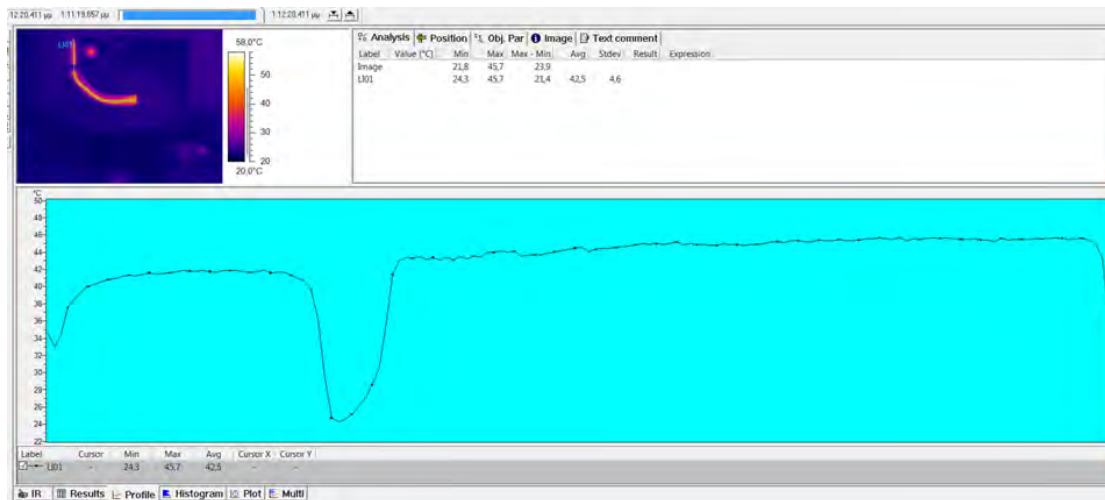


Σχήμα 5.25: στιγμιότυπο στα 1860 sec

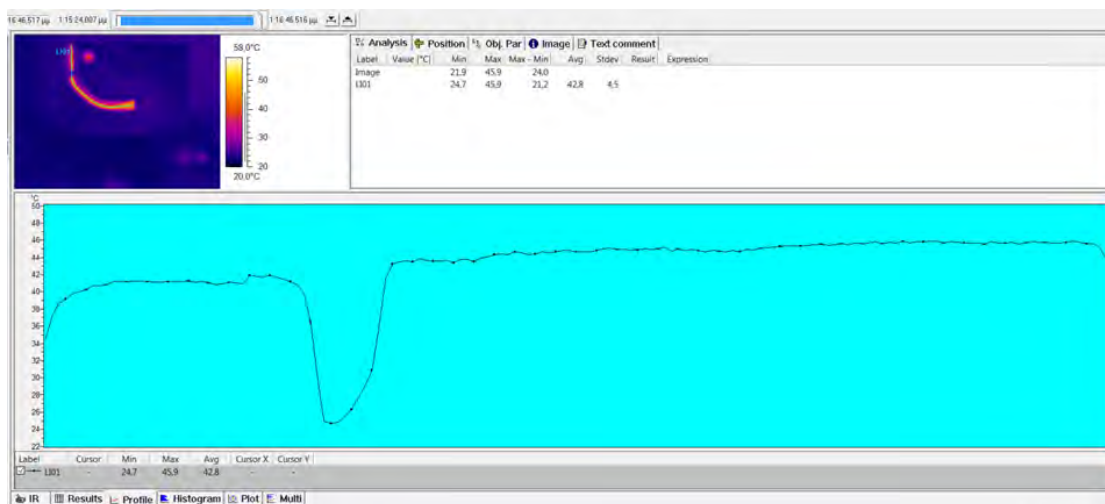


Σχήμα 5.26: στιγμιότυπο στα 2100 sec

Σε αυτό το σημείο, Σχ.5.26, καταλαβαίνουμε πως το heat ripe έχει φτάσει σε μόνιμο φαινόμενο, καθώς δε μεταβάλλονται χρονικά πλέον οι θερμοκρασίες, παρά μόνο από τη μια άκρη στην άλλη.



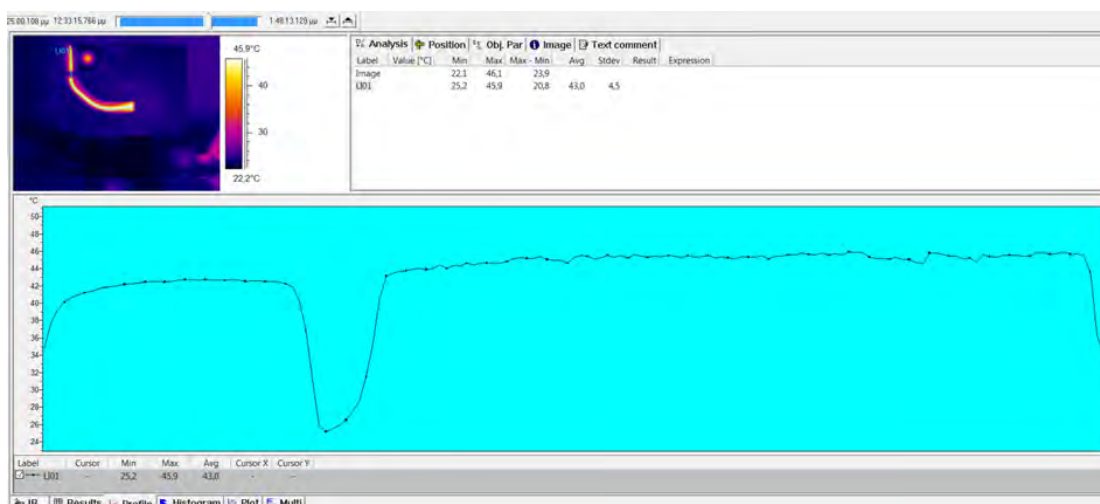
Σχήμα 5.27: στιγμιότυπο στα 2345 sec



Σχήμα 5.28: στιγμιότυπο στα 2610 sec

Βρισκόμαστε σε μόνιμο φαινόμενο με τη διαφορά θερμοκρασίας κατά μήκος του είναι περίπου 4 βαθμοί κελσίου. Το πιο σημαντικό συμπέρασμα είναι ότι η

μέγιστη θερμοκρασία εντοπίζεται στο τμήμα του εξαερωτήρα και όχι του συμπυκνωτή όπως είδαμε στην παράγραφο 5.5.

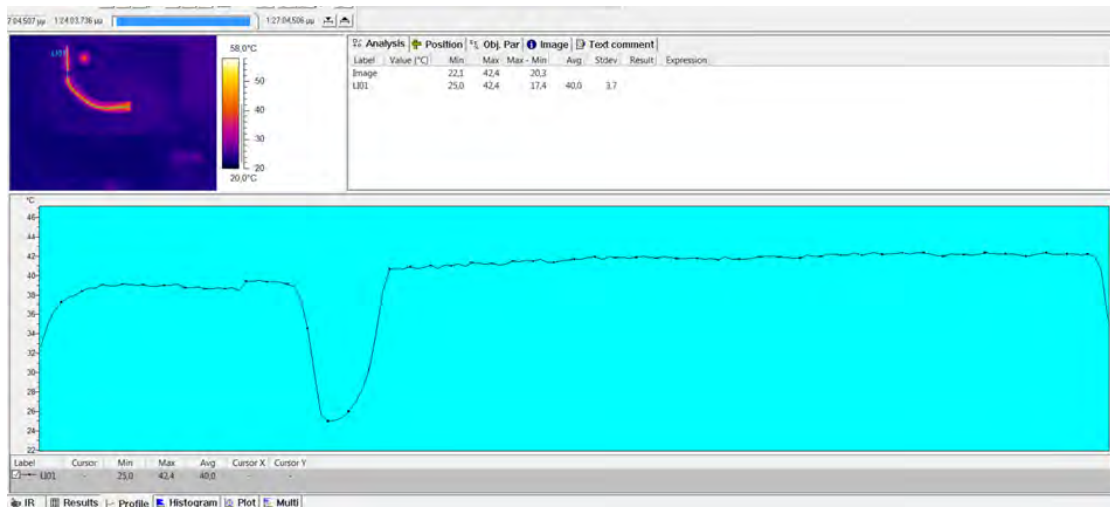


Σχήμα 5.29: στιγμιότυπο στα 3105 sec

Εδώ στο Σχ.5.29, φαίνεται η μέγιστη θερμοκρασία στο μόνιμο φαινόμενο. Επίσης φαίνεται μια πτώση της θερμοκρασίας προς τα δεξιά, το οποίο ερμηνεύεται πως κατά τη θέρμανση του αγωγού ο εξαερωτήρας βρίσκεται σε μεγαλύτερη θερμοκρασία από το συμπυκνωτή κατά περίπου 4 βαθμούς κελσίου.

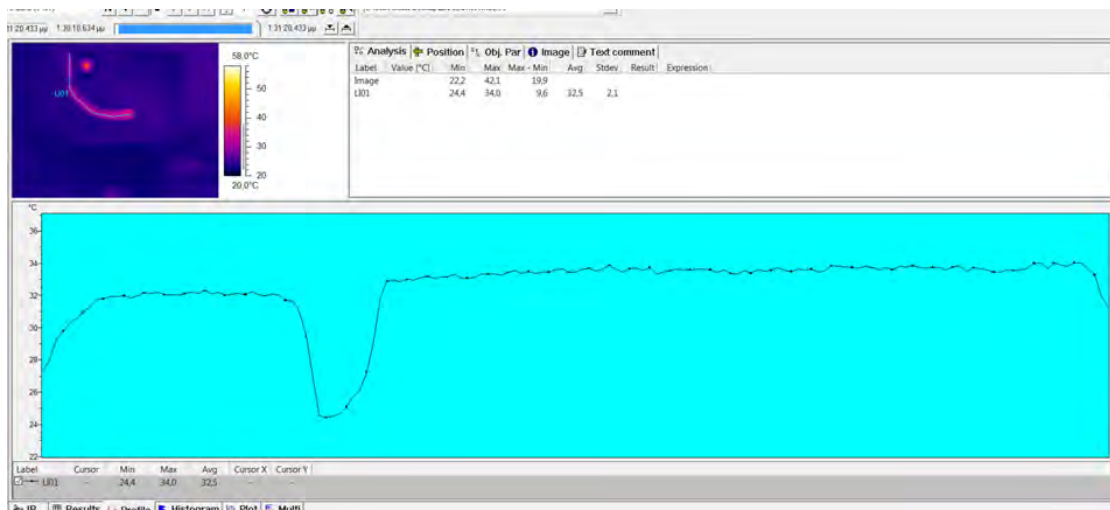
Κλείνουμε το soldering μετά από 3105 sec από την έναρξης της θέρμανσης/πρώτης βιντεοσκόπησης. Οπότε τώρα αρχίζει η σταδιακή ψύξη του heat pipe, με τον ανεμιστήρα σε λειτουργία όπως πριν. Σε αυτό το σημείο μετράμε την θερμοκρασία του ανεμιστήρα στους 41 βαθμούς κελσίου, και αυτό επηρεάζει αρνητικά την απαγωγή θερμότητας στον συμπυκνωτή που είναι ακριβώς στο ίδιο σημείο.

ΨΥΞΗ

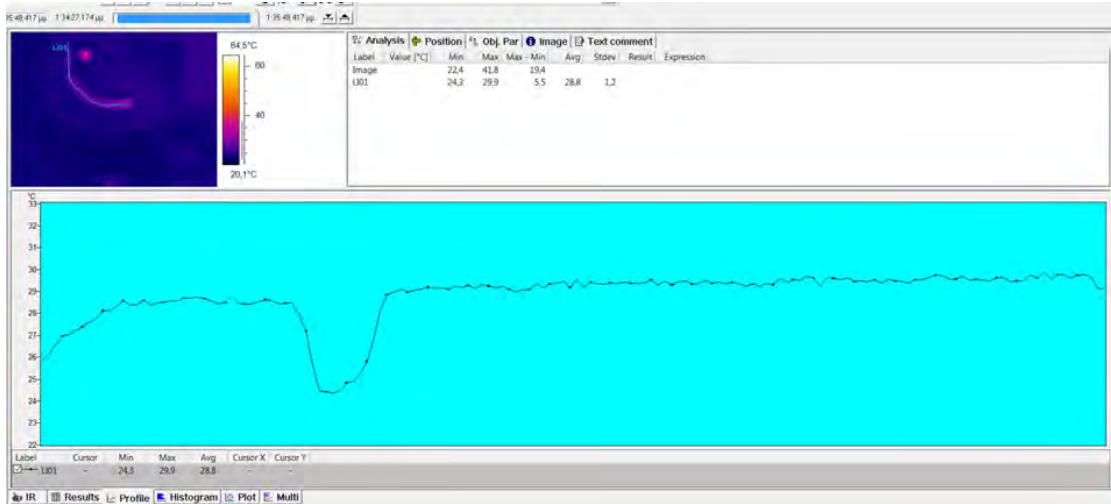


Σχήμα 5.30: στιγμιότυπο στα 3230 sec

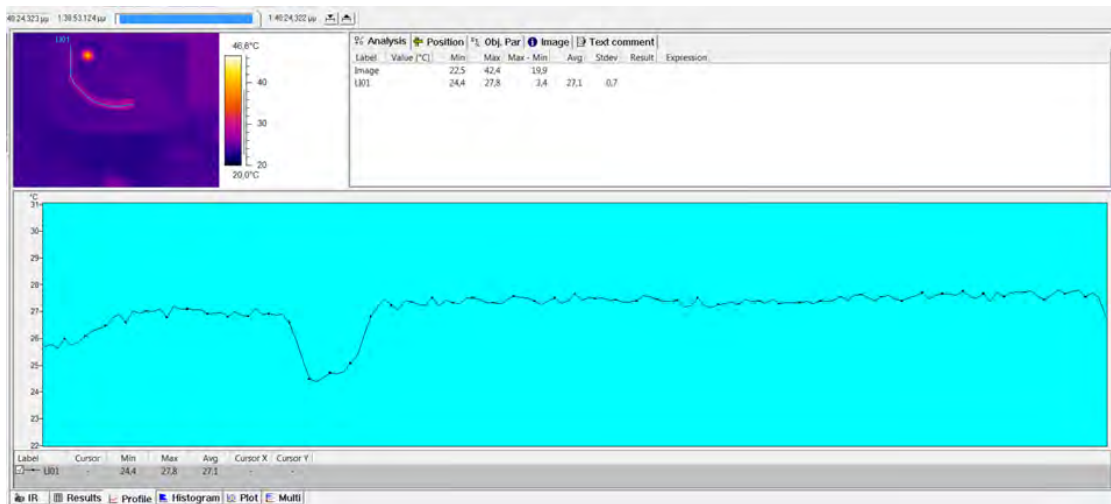
Από το παραπάνω στιγμιότυπο, Σχ.5.30 και μέχρι τέλους, Σχ.5.35, φαίνεται η σταδιακή ψύξη του αγωγού, καθώς έχουμε σταματήσει τη λειτουργία του soldering station, ενώ ο ανεμιστήρας συνεχίζει να λειτουργεί.



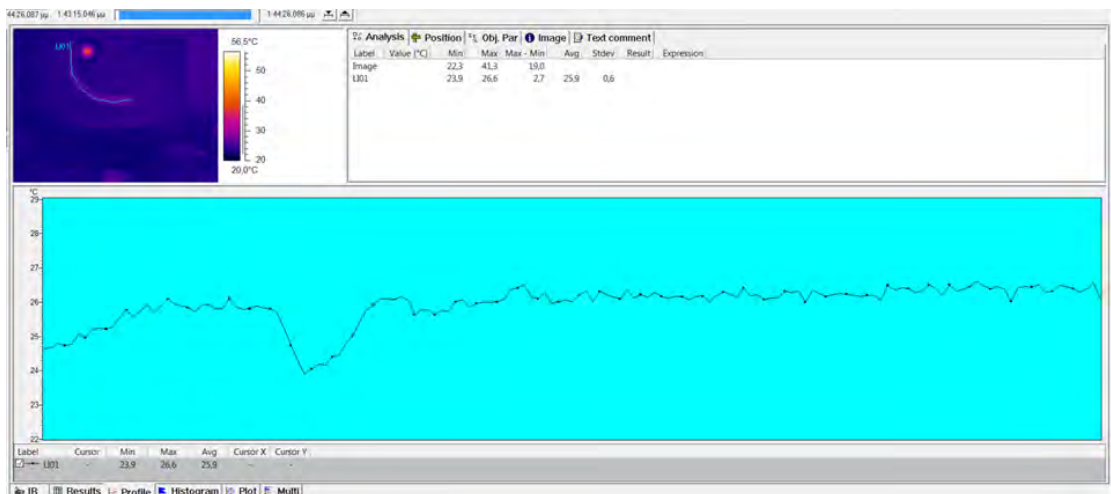
Σχήμα 5.31: στιγμιότυπο στα 3485 sec



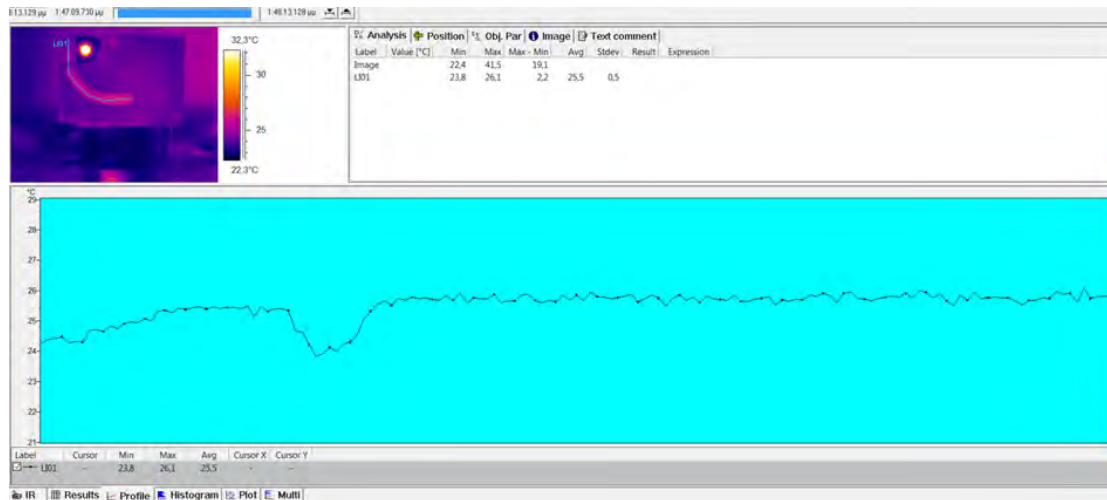
Σχήμα 5.32: στιγμιότυπο στα 3750 sec



Σχήμα 5.33: στιγμιότυπο στα 4030 sec



Σχήμα 5.34: στιγμιότυπο στα 4270 sec



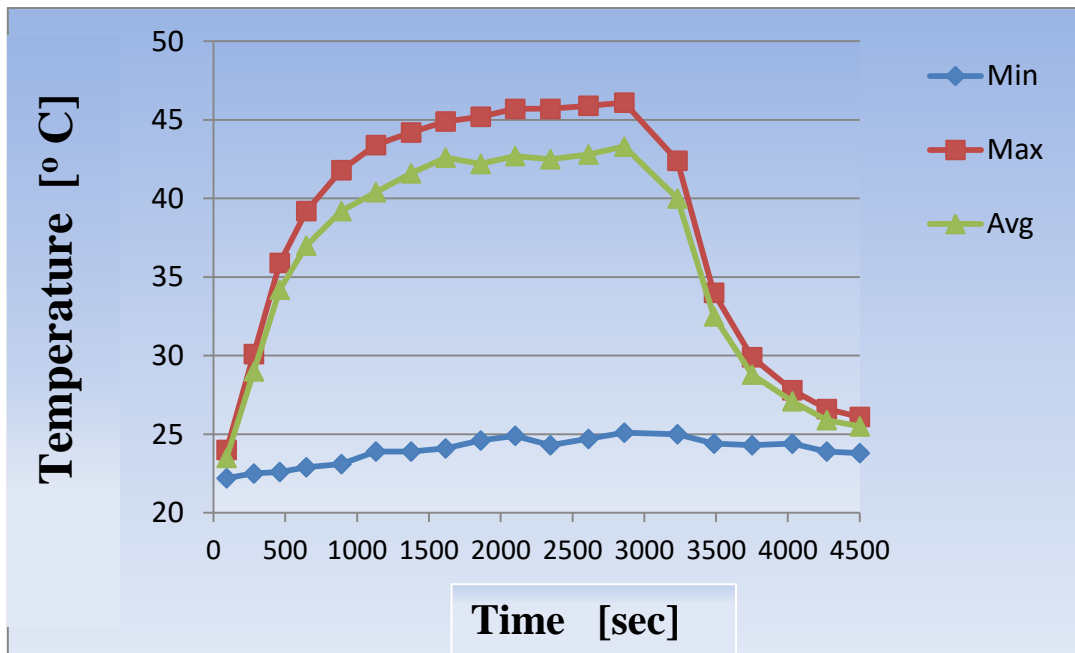
Σχήμα 5.35: στιγμιότυπο στα 4500 sec

Στο παραπάνω στιγμιότυπο, Σχ.5.35, φαίνεται πως η θερμοκρασία του αγωγού έχει φτάσει σχεδόν στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

Από τα παραπάνω στιγμιότυπα ελήφθησαν οι ακόλουθες μετρήσεις:

A/A	sec	Min	Max	Avg
1	90	22,2	24	23,5
2	280	22,5	30,1	29
3	460	22,6	35,9	34,2
4	645	22,9	39,2	37
5	890	23,1	41,8	39,2
6	1130	23,9	43,4	40,4
7	1375	23,9	44,2	41,6
8	1615	24,1	44,9	42,6
9	1860	24,6	45,2	42,2
10	2100	24,9	45,7	42,7
11	2345	24,3	45,7	42,5
12	2610	24,7	45,9	42,8
13	2860	25,1	46,1	43,3
14	3230	25	42,4	40
15	3485	24,4	34	32,5
16	3750	24,3	29,9	28,8
17	4030	24,4	27,8	27,1
18	4270	23,9	26,6	25,9
19	4500	23,8	26,1	25,5

Ανάλυση με βάση τη κεντρική γραμμή



Σχήμα 5.36: Μέγιστη, ελάχιστη και μέση θερμοκρασία κατά μήκος της κεντρικής γραμμής

Στο σχήμα 5.36, παρατηρούμε ότι οι μέσες τιμές πλησιάζουν στις μέγιστες τιμές, ιδιαίτερα κατά την ψύξη. Οι ελάχιστες τιμές κατά μήκος της κεντρικής γραμμής του αγωγού δεν προσφέρουν κάποια επιπλέον πληροφορία για τη θερμοκρασία στο περίβλημα του heat pipe, καθώς όλες τους αφορούν στο σημείο στήριξης του ανεμιστήρα.

5.6.2 Ανάλυση με βάση τις περιοχές

Επιλέγω 3 περιοχές AR01, AR02 και AR03 από το heat pipe, Σχ.5.37, όπως αναπτύχθηκε στη παράγραφο 4.5. Αυτές είναι αντίστοιχα οι περιοχές του συμπυκνωτή, της αδιαβατικής περιοχής και του εξαερωτήρα.



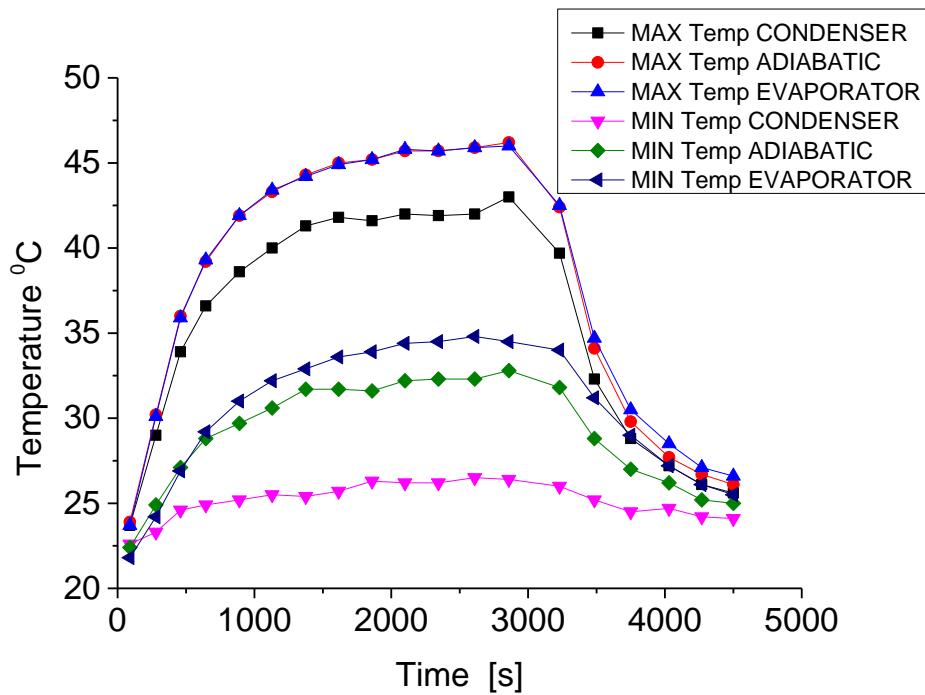
Σχήμα 5.37: Η ανάλυση με βάση τις τρεις περιοχές του heat pipe

Παίρνοντας τις μέγιστες και τις ελάχιστες θερμοκρασίες για τα τρία τμήματα του θερμαντικού σωλήνα κάναμε διάγραμμα της θερμοκρασίας συναρτήσει του χρόνου, Σχ.5.38, για την καλύτερη κατανόηση, αλλά και διάγραμμα της παραγωγού της θερμοκρασίας συναρτήσει του χρόνου, Σχ.5.39, για να δούμε πόσο γρήγορα

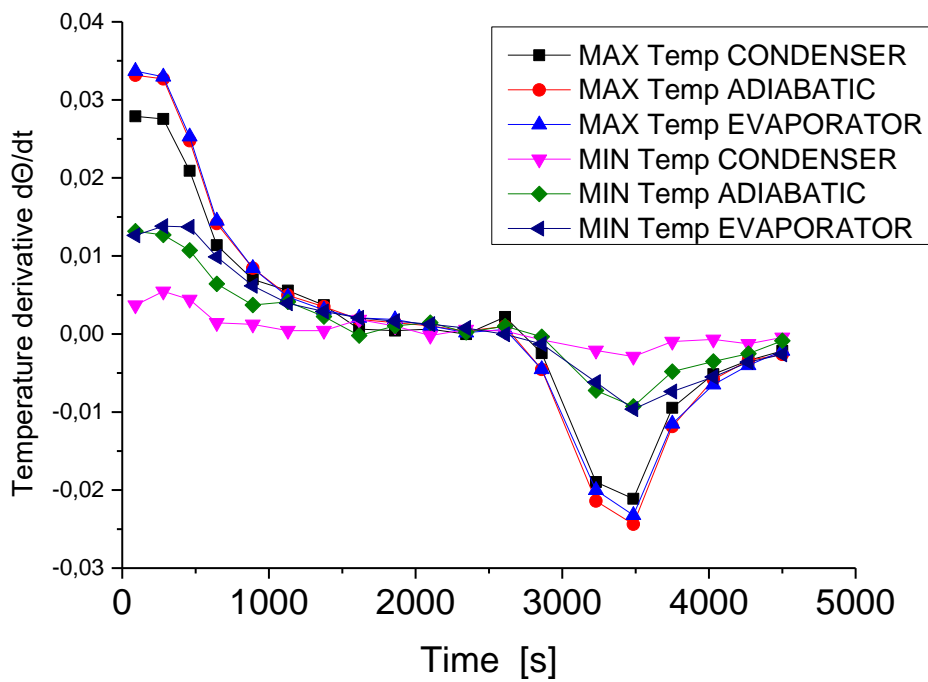
μεταβάλλεται η θερμοκρασία. Τα διαγράμματα έγιναν μέσω του προγράμματος OriginPro9.

MAX TEMPERATURE (C)				
A/A	SEC	CONDENSER	ADIABATIC	EVAPORATOR
1	90	23,7	23,9	23,7
2	280	29	30,2	30,1
3	460	33,9	36	35,9
4	645	36,6	39,2	39,3
5	890	38,6	41,9	41,9
6	1130	40	43,3	43,4
7	1375	41,3	44,3	44,2
8	1615	41,8	45	44,9
9	1860	41,6	45,2	45,2
10	2100	42	45,7	45,8
11	2345	41,9	45,7	45,7
12	2610	42	45,9	45,9
13	2860	43	46,2	46
14	3230	39,7	42,4	42,5
15	3485	32,3	34,1	34,7
16	3750	28,8	29,8	30,5
17	4030	27,2	27,7	28,5
18	4270	26,1	26,7	27,1
19	4500	25,6	26,1	26,6

MIN TEMPERATURE				
A/A	SEC	CONDENSER	ADIABATIC	EVAPORATOR
1	90	22,6	22,4	21,8
2	280	23,3	24,9	24,2
3	460	24,6	27,1	26,9
4	645	24,9	28,8	29,2
5	890	25,2	29,7	31
6	1130	25,5	30,6	32,2
7	1375	25,4	31,7	32,9
8	1615	25,7	31,7	33,6
9	1860	26,3	31,6	33,9
10	2100	26,2	32,2	34,4
11	2345	26,2	32,3	34,5
12	2610	26,5	32,3	34,8
13	2860	26,4	32,8	34,5
14	3230	26	31,8	34
15	3485	25,2	28,8	31,2
16	3750	24,5	27	29
17	4030	24,7	26,2	27,2
18	4270	24,2	25,2	26,1
19	4500	24,1	25	25,5



Σχήμα 5.38: Μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασίες στις τρεις περιοχές ανάλυσης



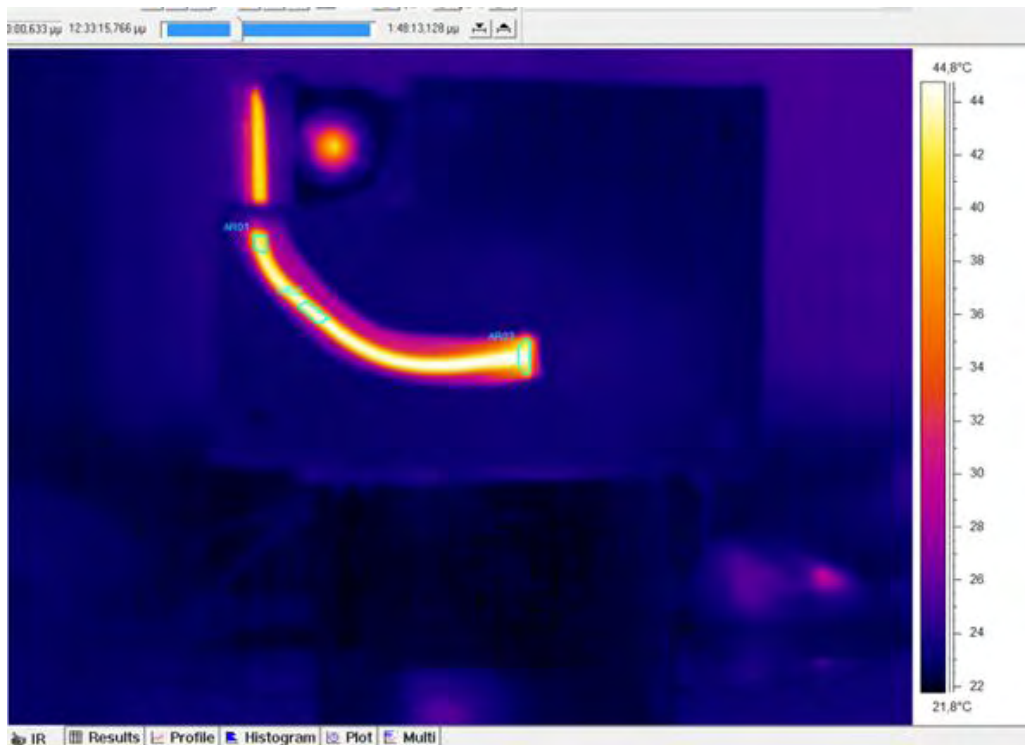
Σχήμα 5.39: Διάγραμμα των παραγώγων των θερμοκρασιών

Παρατηρούμε ότι:

- Οι θερμοκρασίες του εξαμιστήρα και του αδιαβατικού μέρους σχεδόν συμπίπτουν. Υπάρχει πολύ μικρή, έως ασήμαντη διαφορά μεταξύ τους.
- Ο συμπυκνωτής είναι σε αισθητά χαμηλότερη θερμοκρασία από τον εξαερωτήρα. Η μεγαλύτερη διαφορά τους φτάνει σε 3 βαθμούς κελσίου.
- Η μέγιστη διαφορά θερμοκρασίας (maxTemp - minTemp) στο heat pipe είναι στο αδιαβατικό μέρος περίπου ίση με 16 βαθμούς κελσίου. Πολύ κοντά είναι αυτή η διαφορά και στο συμπυκνωτή.
- Η θερμοκρασία φτάνει στη μέγιστη τιμή πριν τα 3000 δευτερόλεπτα, περίπου 2700-2800. Η παράγωγος της θερμοκρασίας γίνεται αρνητική λίγο μετά από τα 3000 sec, άρα η θερμοκρασία μειώνεται.

5.6.3 Ανάλυση με βάση τα σημεία

Και σε αυτή τη μέθοδο χωρίζω το θερμαντικό σωλήνα σε τρεις περιοχές AR01, AR02 και AR03, Σχ.5.40. Αυτές είναι αντίστοιχα οι περιοχές του συμπυκνωτή, της αδιαβατικής περιοχής και του εξαερωτήρα μόνο που σε αυτή τη μέθοδο οι περιοχές αυτές είναι σημαντικά μικρότερες σε σχέση με τη προηγούμενη μέθοδο. Κάνουμε το διάγραμμα της θερμοκρασίας συναρτήσει του χρόνου, Σχ.5.41, αλλά και το διάγραμμα της παραγωγού της θερμοκρασίας συναρτήσει του χρόνου, Σχ.5.42, για να δούμε πόσο γρήγορα μεταβάλλεται η θερμοκρασία. Τα διαγράμματα έγιναν μέσω του προγράμματος OriginPro9.

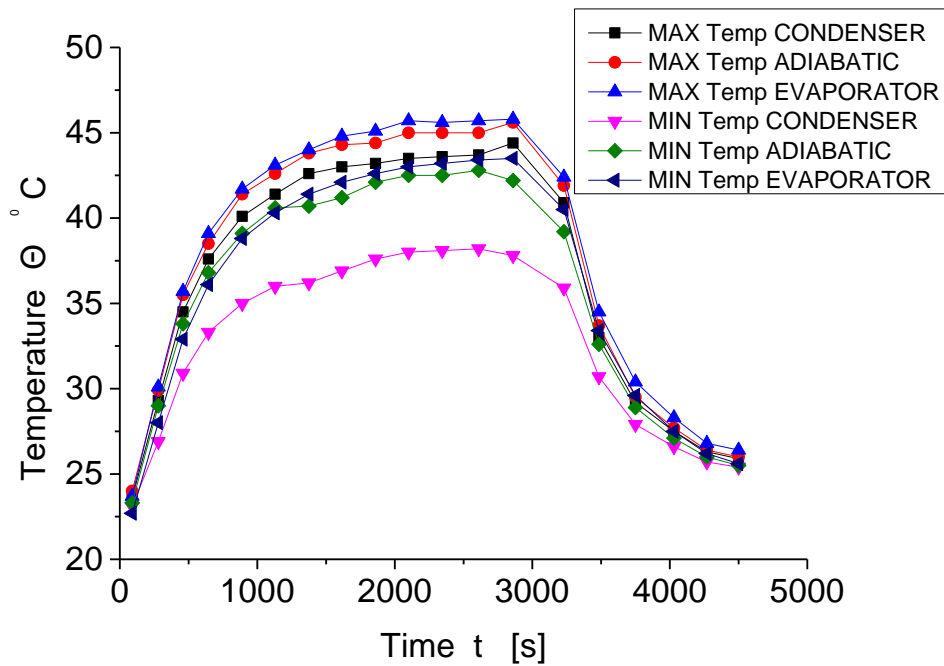


Σχήμα 5.40: Η ανάλυση με βάση τα 3 σημεία επί του heat pipe

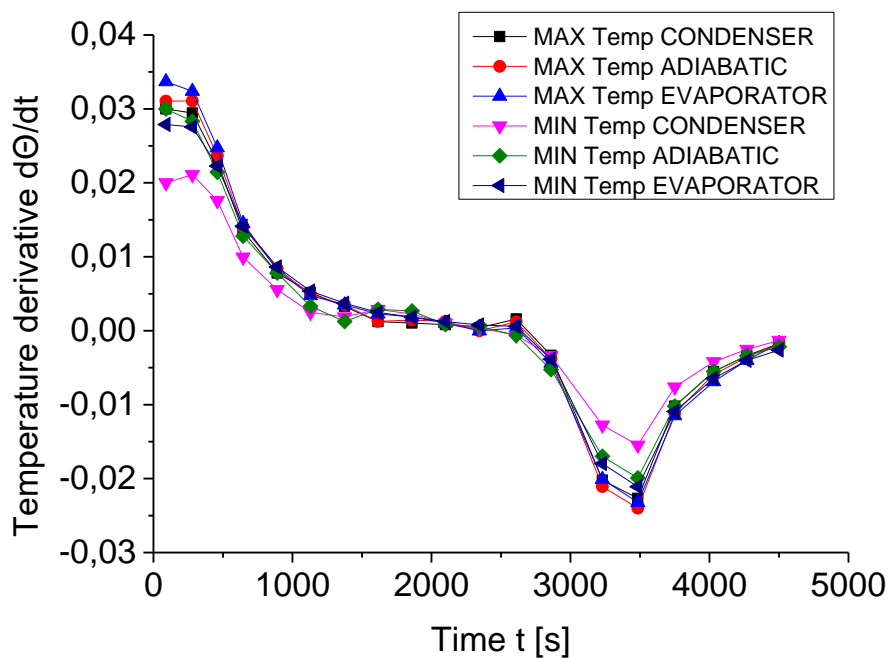
MAX TEMPERATURE C					
A/A	sec	CONDENSER	ADIABATIC	EVAPORATOR	
1	90	23,6	24	23,7	
2	280	29,3	29,9	30,1	
3	460	34,5	35,5	35,7	
4	645	37,6	38,5	39,1	
5	890	40,1	41,4	41,7	
6	1130	41,4	42,6	43,1	
7	1375	42,6	43,8	44	
8	1615	43	44,3	44,8	
9	1860	43,2	44,4	45,1	
10	2100	43,5	45	45,7	
11	2345	43,6	45	45,6	
12	2610	43,7	45	45,7	
13	2860	44,4	45,6	45,8	
14	3230	40,9	41,9	42,4	
15	3485	33	33,7	34,5	
16	3750	29,2	29,5	30,4	
17	4030	27,5	27,7	28,3	
18	4270	26,3	26,4	26,8	
19	4500	25,9	26	26,4	

MIN TEMPERATURE C

A/A	sec	CONDENSER	ADIABATIC	EVAPORATOR
1	90	23,1	23,3	22,7
2	280	26,9	29	28
3	460	30,9	33,8	32,9
4	645	33,3	36,8	36,1
5	890	35	39,1	38,8
6	1130	36	40,6	40,3
7	1375	36,2	40,7	41,4
8	1615	36,9	41,2	42,1
9	1860	37,6	42,1	42,6
10	2100	38	42,5	43
11	2345	38,1	42,5	43,2
12	2610	38,2	42,8	43,4
13	2860	37,8	42,2	43,5
14	3230	35,9	39,2	40,5
15	3485	30,7	32,6	33,4
16	3750	27,9	28,9	29,6
17	4030	26,6	27,1	27,5
18	4270	25,7	26	26,2
19	4500	25,4	25,5	25,6

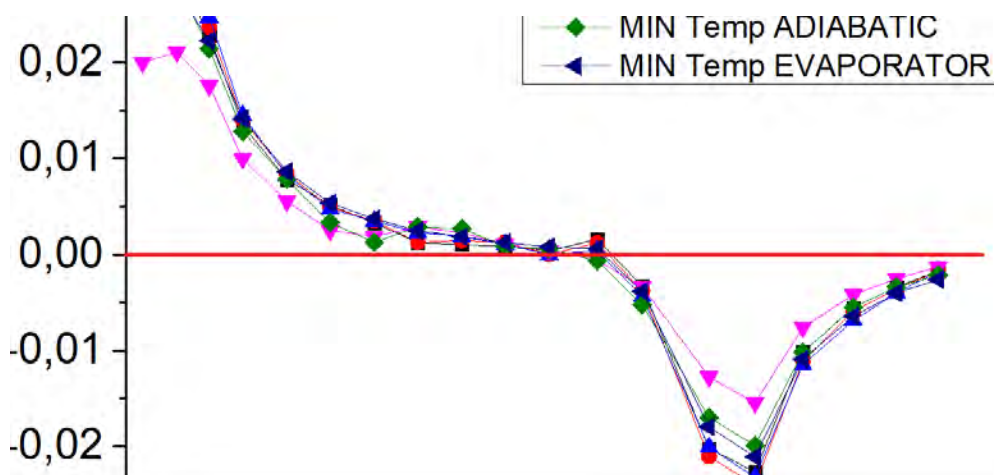


Σχήμα 5.41: Μέγιστες και ελάχιστες τιμές στα τρία σημεία ανάλυσης



Σχήμα 5.42: Διάγραμμα των παραγώγων των θερμοκρασιών

Παραθέτω μεγέθυνση του σχήματος 5.42, το Σχ.5.43, και με κόκκινη ευθεία γραμμή στο σημείο που μηδενίζεται η παράγωγος, για να δω πότε αυτή λαμβάνει θετικές, αρνητικές τιμές ή μηδέν:



Σχήμα 5.43: Μεγέθυνση του σχήματος 5.42

Συμπεράσματα:

- Οι θερμοκρασίες στον εξαερωτήρα είναι σταθερά μεγαλύτερες, παρότι με αυτή τη μέθοδο είναι μικρή η διαφορά από το αδιαβατικό μέρος και μικρότερη διαφορά από τον συμπυκνωτή σε σχέση με την προηγούμενη μέθοδο 5.6.2 (Ανάλυση με βάση τις περιοχές).
- Δεν υπάρχει σημαντική διαφορά μεταξύ των μέγιστων τιμών της θερμοκρασίας του εξαερωτήρα και του αδιαβατικού τμήματος.
- Στις χαμηλές θερμοκρασίες είναι μεγαλύτερη η διαφορά θερμοκρασιών μεταξύ του εξαερωτήρα και του συμπυκνωτή έως και 5 βαθμούς. Στις υψηλές θερμοκρασίες αυτή η διαφορά είναι πολύ μικρότερη, περίπου 2 βαθμούς.
- Η μέγιστη διαφορά θερμοκρασίας στα άκρα του heat pipe ανέρχεται στους 6,5 βαθμούς κελσίου. Εάν συγκρίνουμε αυτές τις διαφορές σε σχέση με αυτές της προηγούμενης ανάλυσης, βλέπουμε ότι η μέγιστη διαφορά στα άκρα του heat pipe κατά τη θέρμανση και όταν αυτό βρίσκεται σε μόνιμο φαινόμενο, είναι τουλάχιστον 6,5 βαθμοί κελσίου.
- Η θερμοκρασία φτάνει στη μέγιστη τιμή πριν τα 3000 δευτερόλεπτα, περίπου 2700-2800. Η παράγωγος της θερμοκρασίας γίνεται αρνητική απ' εκεί και πέρα, άρα η θερμοκρασία μειώνεται.

Κεφάλαιο 6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

6.1 Συμπεράσματα

Μέσα από τα πειράματα και τη χρήση των οργάνων μετρήσεις καταφέραμε να βγάλουμε χρήσιμα συμπεράσματα για τη συμπεριφορά ενός θερμαντικού σωλήνα:

Ταχύτητα αέρα στην έξοδο από τα πτερύγια: Στις συγκεκριμένες μετρήσεις είδαμε η μέγιστη ταχύτητα του αέρα εμφανίστηκε στην μεγαλύτερη τάση τροφοδοσίας (6V) και όσο μειώναμε την τάση, η ταχύτητα του αέρα μειωνόταν. Συνεπώς μπορούμε να συμπεράνουμε ότι όσο αυξάνουμε την τάση τροφοδοσίας, η ταχύτητα του αέρα στην έξοδο των πτερυγίων θα αυξάνεται σε όλο το ύψος.

Θερμοκρασία αέρα στην έξοδο από τα πτερύγια: Για τις συγκεκριμένες μετρήσεις είδαμε ότι όταν είχαμε τις δύο χαμηλές τάσεις τροφοδοσίας(1.5V και 3V) η θερμοκρασία του αέρα παρουσίαζε αρκετές αυξομειώσεις σε όλο το ύψος των πτερυγίων. Ωστόσο οι μέγιστες θερμοκρασίες αέρα ήταν ξεκάθαρα στο 1.5V όπου πέρασαν αρκετές φορές τους 30 βαθμούς και έφτασαν έως και 33 βαθμούς σε ύψος 1,03 cm. Για τις άλλες δύο τάσεις (4.5V και 6V) η θερμοκρασία κυμαινόταν περίπου στους 26°C σε όλο το ύψος των πτερυγίων το οποίο δείχνει ότι και να αυξήσουμε περισσότερο την τάση τροφοδοσίας, η θερμοκρασία αέρα στην έξοδο δεν θα επηρεαστεί και θα διατηρηθεί σχεδόν σταθερή στους 26°C.

Θερμοκρασία στον πυρήνα: Στις συγκεκριμένες μετρήσεις είδαμε ότι η μεγαλύτερη κρίσιμη θερμοκρασία δηλαδή η θερμοκρασία θέρμανσης που παραμένει σταθερή ήταν στην μικρότερη τάση τροφοδοσίας. Όταν όμως αυξήσαμε την τάση, στις υπόλοιπες τρεις τάσεις η κρίσιμη θερμοκρασία ήταν σχεδόν ίδια και για τις τρεις. Συνεπώς συμπεραίνουμε ότι ακόμα και να αυξήσουμε περισσότερο την τάση τροφοδοσίας η θερμοκρασία θα είναι σχεδόν ίδια με τις άλλες τρεις τάσεις (3V 4.5V 6V). Επίσης παρατηρήσαμε ότι και στις τέσσερις τάσεις τροφοδοσίας ο χρόνος που χρειάστηκε ο πυρήνας για να φτάσει στην κρίσιμη θερμοκρασία ήταν 3600s. Ακόμη, για την θερμοκρασία ψύξης του πυρήνα, είδαμε ότι και για τις 4 τάσεις τροφοδοσίας χρειάστηκαν περίπου 3600s για να σταθεροποιηθεί η συγκεκριμένη θερμοκρασία, η οποία ήταν ελάχιστα μεγαλύτερη κάθε φορά που μεγαλώναμε την τάση τροφοδοσίας. Τέλος, παρατηρήσαμε ότι το κλείσιμο του παραθύρου της IR camera μετέβαλε σε ελάχιστο βαθμό την κρίσιμη θερμοκρασία θέρμανσης και ψύξης.

Θερμοκρασία σε εξαμιστή, συμπτυκνωτή και στο αδιαβατικό τμήμα:

1) *IR camera:* Με την μέτρηση της IR camera παρατηρήσαμε ότι η συμπεριφορά του συμπτυκνωτή είχε παράξενη και μη αναμενόμενη συμπεριφορά καθώς ενώ η θερμοκρασία του συμπτυκνωτή μειώθηκε όταν αυξήσαμε την τάση τροφοδοσίας από 1.5V σε 3V και μετά σε 4.5V, όταν μετέπειτα αυξήσαμε την τάση στα 6V η θερμοκρασία του συμπτυκνωτή αντί να μειωθεί αυξήθηκε. Παρόμοια μη αναμενόμενα αποτελέσματα πήραμε και για το αδιαβατικό τμήμα. Μπορούμε έτσι να συμπεράνουμε ότι η διαδικασία με την μέτρηση της IR camera είναι αναξιόπιστη.

2)Θερμική κάμερα: Για την μελέτη με την θερμική κάμερα όπως έχουμε αναφέρει χρησιμοποιήσαμε 3 μεθόδους: με βάση την κεντρική γραμμή, με βάση τις περιοχές και με βάση τα σημεία τα οποία μετρήσαμε και με την IR camera.

Κατά την ανάλυση με βάση τη κεντρική γραμμή και στην περίοδο θέρμανσης παρατηρούμε ότι η μέγιστη θερμοκρασία εντοπίζεται στο τμήμα του εξατμιστή αλλά η διαφορά σε σχέση με την θερμοκρασία που εντοπίζονται στο τμήμα του συμπυκνωτή και στο αδιαβατικό τμήμα είναι ελάχιστη. Το ίδιο συμβαίνει και κατά την περίοδο ψύξης. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι η μελέτη με τη θερμική κάμερα που είναι αξιόπιστη λύση αναιρεί τα αποτελέσματα με την IR camera όπου η μέγιστη θερμοκρασία είχε εντοπιστεί στον συμπυκνωτή.

Κατά την ανάλυση με βάση τις περιοχές (συμπυκνωτή, αδιαβατικό τμήμα, εξατμιστή) παρατηρούμε επίσης ότι οι μέγιστη θερμοκρασία συμβαίνει και πάλι στον εξατμιστή που μας οδηγεί στο ίδιο συμπέρασμα ότι τα αποτελέσματα από την IR camera είναι αναξιόπιστα.

Παρόμοια είναι και τα αποτελέσματα και κατά την ανάλυση με βάση τα σημεία.

Και στις τρεις περιπτώσεις παρατηρούμε ότι η χαμηλότερη θερμοκρασία εντοπίζεται στον συμπυκνωτή και καθώς προχωράμε προς τον εξατμιστή η θερμοκρασία αυξάνεται.

Ισοζύγιο Ενέργειας στη συσκευή

Με τις μετρήσεις και τα αποτελέσματα που έχουμε μπορούμε να πούμε με σιγουριά ότι ισχύει το ισοζύγιο ενέργειας στη συσκευή. Η ισχύς εισόδου είναι πάντοτε μεγαλύτερη της ισχύος εξόδου. Αυτό ερμηνεύεται ως εξής: Ο επεξεργαστής δίνει θερμότητα στο heat pipe, το οποίο επιτυγχάνει να διατηρήσει σταθερή τη

θερμοκρασία, μέγιστη τιμή περίπου στους 56°C που επιτυγχάνεται μετά από κάποιο χρονικό διάστημα. Η θερμοκρασία φτάνει σε μια κρίσιμη τιμή και διατηρείται εκεί, γεγονός που είναι απαραίτητο στο σύστημα του ηλεκτρονικού υπολογιστή. Έντονες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας είναι ανεπιθύμητες και κρίνονται επικίνδυνες για την λειτουργία του laptop. Μάλιστα για μεγαλύτερη τάση ανεμιστήρα (fan 6 Volt) η θερμοκρασία φτάνει μια σταθερή τιμή σε μικρότερο χρονικό διάστημα. Η ισχύς εξόδου είναι μικρότερη από την μισή ισχύ εισόδου στις τάσεις fan 1.5V, 3V, 4.5V και μόνο στην τάση fan 6V φτάνει στο 52% της ισχύος εισόδου, αφού η ισχύς εξόδου αυξάνεται με αύξηση της τάσης ανεμιστήρα. Υπενθυμίζουμε ότι η τάση λειτουργίας του ανεμιστήρα fan ρυθμίζεται αυτόματα από τον επεξεργαστή. Τελικά συμπεραίνουμε ότι το heat pipe μεταφέρει επαρκώς τη θερμότητα μακριά από τον επεξεργαστή. Ένα κομμάτι της θερμότητας το παίρνουμε στην έξοδο και ένα άλλο διαχέεται μέσα στο σύστημα μας, από ακτινοβολία ή άλλες απώλειες. Σημαντικό είναι να μην ξεχνάμε τον τρόπο που στήσαμε το πείραμα και να αποδεχτούμε τυχόν αποκλίσεις από λειτουργία πραγματικού επεξεργαστή.

Βιβλιογραφία

- Brodkey Robert S. and Harry C. Hershey (2001) “Transport Phenomena, R.S. Brodkey-H.C. Hershey”.
- Cengel Yunus A. and Michael A. Boles (1998) “Thermodynamics, An Engineering Approach”.
- Cengel Yunus A., (2005) “Heat Transfer, A Practical Approach”
- Chi S.W. (1976) “Heat Pipe Theory And Practice”, Washington DC: Hemisphere.
- Dunn P. & D. A. Reay (1982) “Heat Pipes Third Edition” Pergamon Press.
- Faghri A. (1995) “Heat Pipe Science And Technology”, Taylor And Francis Group, New York, London.
- Finn Robert (1999) “Capillary Surface Interfaces” Notices of the AMS Volume 46, Number 7.
- Incropera Frank P., DeWitt David P., Bergman Theodore L., Lavine Adrienne S. (2006) “Fundamentals of Heat and Mass Transfer”, Wiley .
- Gaugler R.S. (1944) “Heat Transfer Devices”, US Patend 2350348.
- Grover G.M., T.P. Cotter and G.F. Erickson (1964) “Structures Of Very High Thermal Conductivity”, journal of Applied Physics 35 pp.1190-91.
- Khandenkar S., Schneider M., Schaefer P., Kulenovic R., Groll M. (2002) , "Thermofluid Dynamic Study of Flat-Plate Closed-Loop Pulsating Heat Pipes" , Taylor and Francis.

- Peterson, G.P., (1994) “An Introduction to Heat Pipes” John Wiley & Sons Inc, Canada.
- Shukla K. N. (2015) Heat Pipe for Aerospace Applications—An Overview, Journal of Electronics Cooling and Heat Control, Scientific Research Publishing.
- Νικολός Ιωάννης Κ. (2007) “Σημειώσεις Μαθήματος Μετάδοση Θερμότητας”, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Πολυτεχνείου Κρήτης.
- Σταπουντζής Ερρίκος (2004) “Σημειώσεις Συμπιεστής και Ασυμπίεστης Αεροδυναμικής”, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.