

Φυσική και εξαναγκασμένη συναγωγή από γραμμική πηγή σε κατακόρυφη κυλινδρική κοιλότητα

Διπλωματική εργασία:

Παπαχρήστου Αλέξανδρος

Επιβλέπων :

Αναπληρωτής Καθηγητής
ΣΤΑΠΟΥΝΤΖΗΣ ΕΡΡΙΚΟΣ

Βόλος, Μάρτιος, 2005



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

Αριθ. Εισ.: 4361/1
Ημερ. Εισ.: 16-03-2005
Δωρεά: Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ – ΜΜΒ
2005
ΠΑΠ

Στον αδερφό μου
Βασίλη

© 2005 Παπαχρήστου Αλέξανδρος

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας 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 (Επιβλέπων) Δρ. Σταπουντζής Ερρίκος
Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών
Βιομηχανίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δεύτερος Εξεταστής Δρ. Μποντόζογλου Βασίλειος
Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

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

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω τον επιβλέποντά μου, αναπληρωτή καθηγητή του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας κ. Ερρίκο Σταπουντζή που με τη συνεργασία του και διαρκή καθοδήγηση συνετέλεσε στο τελικό αποτέλεσμα.

Ευχαριστώ επίσης τους καθηγητές του τμήματος Δρ. Β. Μποντόζογλου και Δρ. Ν. Πελεκάση που δέχτηκαν να παρευρεθούν στην παρουσίαση και να αποτελούν μέλη της εξεταστικής επιτροπής.

Επίσης ευχαριστώ με όλη μου την καρδιά τους υποψήφιους διδάκτορες του τμήματος Εμμανουήλ Κ. Αλυγιζάκη για την πολύτιμη βοήθεια του την στήριξη του και την συνεργασία καθ' όλη την διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας, Και τον Κωνσταντίνο Τσιγκλιφή για την πολύτιμη βοήθεια του στο θεωρητικό μέρος της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Τέλος ευχαριστώ την οικογένειά και τους φίλους μου για την ψυχολογική συμπαράσταση καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Περιεχόμενα

Εισαγωγή	4
Υπόμνημα	6
1.Βιβλιογραφική ανασκόπηση και θεωρία	7
1.1 Κατακόρυφη κυλινδρική κοιλότητα και εξισώσεις	7
1.2 Φυσική και εξαναγκασμένη συναγωγή	13
Περιγραφή φαινομένου	14
Ανάλυση	16
1.3 Επεξήγηση Πυκνότητας φάσματος ισχύος	20
1.4 Επεξήγηση Πλουμίων	22
2.Πειραματική εγκατάσταση	25
2.1 Διάταξη	25
2.2 Περιβάλλον Διάταξης	27
2.3 Αναλυτική περιγραφή πειραματικής διάταξης	29
2.3.1 Κύλινδρος από plexi glass	29
2.3.2 Άνω ακροφύσιο	30
2.3.3 Φυσητήρας κάτω βάσης	30
2.3.4 Θερμική πηγή-πατέντα στήριξης	30
2.3.5 Σύστημα στήριξης του κυλινδρικού σωλήνα	31
2.3.6 Μικρόμετρο ακριβείας και σύστημα στήριξης	31
2.3.7 Όργανα μέτρησης θερμοκρασίας	33
Θερμοστοιχείο	33
Ανεμόμετρο	34
2.3.8 Ηλεκτρονικός υπολογιστής	37
3.Πειραματική μεθοδολογία	38

3.1 Γενικά	36
3.2 Αρχικές Μετρήσεις	36
3.3 Γενική αναφορά στη μέθοδο μετρήσεων	40
3.6 Μετρήσεις μεταβατικού φαινομένου	40
4.Επεξεργασία αποτελεσμάτων	41
4.1 Γενικά	41
4.2 Μέση τιμή και τυπική απόκλιση μεγέθους	41
4.3 Μέθοδοι και λογισμικό για τη λήψη δεδομένων σε H/Y	43
5.Βαθμονόμηση-σφάλματα	44
5.1 Γενικά	44
5.2 Γενική και ειδική αναφορά στα σφάλματα μετρήσεων	44
5.3 Ακρίβεια οργάνων	46
5.4 Βαθμονόμηση για μετρήσεις με cold wire-hot wire	47
6. Διαγράμματα σχόλια	50
6.1 Μεταβολή ταχύτητας μέσης και RMS κατά μήκος μιας ακτίνας και κατά μήκος ολόκληρου του σωλήνα	50
6.2 Μεταβολή θερμοκρασίας μέσης RMS και transient σε ροή αντίρροπη της άνωσης μετρήσεις με cold wire	55
6.3 Μεταβολή θερμοκρασίας μέση RMS και transient σε ροή ομόροπη της άνωσης μετρήσεις με cold wire	72
6.4 Επίδραση V_r και V_f σε ροή ομόροπη και αντίρροπη της άνωσης	83
6.5 Μεταβολή μέσης θερμοκρασίας σε ροή αντίρροπη της άνωσης	89
6.6 Φασματική ανάλυση θερμοκρασίας και ταχύτητας κατά μήκος μιας ακτίνας και τοπικών μέγιστων μέσων και	

RMS	93
Φασματική ανάλυση μεγίστων ταχύτητας	93
Φασματική ανάλυση μεγίστων θερμοκρασίας Σε ροή αντίρροπη της άνωσης σε T_{mean} και T_{rms}	96
Φασματική ανάλυση μεγίστων θερμοκρασίας Σε ροή ομόροπη της άνωσης σε T_{mean} και T_{rms}	105
Πυκνότητα φάσματος ταχύτητας και θερμοκρασίας κατά μήκος μιας αντίστασης	114
6.6.1 Σχόλια διαγραμμάτων πυκνότητας φάσματος	117
7. Τελικά συμπεράσματα	120
8. Βιβλιογραφία	121

Εισαγωγή

Σκοπός της διπλωματικής αυτής είναι η μελέτη του θερμορροϊκού πεδίου σε κυλινδρικό αγωγό στο οποίο το κέντρο βρίσκεται γραμμική πηγή παραγωγής θερμότητας και βρίσκεται τοποθετημένος σε κατακόρυφο επίπεδο. Πιο συγκεκριμένα μελετάται η τύρβη, η ακτινική θερμοκρασιακή κατανομή και το προφίλ ταχυτήτων στις περιπτώσεις εξαναγκασμένης και φυσικής συναγωγής. Μια πιθανή χρησιμότητα της εν λόγω διπλωματικής θα μπορούσε να είναι η προσομοίωση του θερμοκρασιακού πεδίου κυλινδρικού αγωγού για μεταφορά ρεύματος υπόγεια ή υποθαλάσσια. Αλλά και μια γενικότερη μελέτη του σημείου μετάβασης από στρωτή σε τυρβώδη ροή. Και σίγουρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν σημείο αναφοράς για κάποια υπολογιστικά προγράμματα προσομοίωσης τέτοιων ροών.

Για την επίτευξη και μελέτη αυτής της ροής τροποποιήθηκε μια προϋπάρχουσα συσκευή. Η συσκευή αποτελείτο από μια κυλινδρική κοιλότητα από plexi glass στο εσωτερικό της οποίας υπήρχε μια γραμμική πηγή θερμότητας. Η γραμμική πηγή θερμότητας δημιουργούταν από μια αντίσταση (χρωμονικελίνης) κατά μήκος της κοιλότητας, η οποία τοπικά έφτανε μέχρι και τους 300C° . Η διαφοροποίηση της συσκευής έγινε καθώς ήταν αναγκαία η επίτευξη ροής κατά μήκος του σωλήνα. Έτσι στο πάνω μέρος τοποθετήθηκε ακροφύσιο και στο κάτω μέρος ανεμιστήρας δημιουργώντας έτσι μια κατά παραδοχή μικρή αεροσύραγα.

Όλες οι μετρήσεις έγιναν ακτινικά αλλά σε διάφορα σημεία κατά μήκος του άξονα. Για να εξηγηθεί το πρόβλημα έγινε μελέτη εκτός από την μετάδοση θερμότητας και της ρευστομηχανικής της ροής καθώς η κίνηση του αέρα είτε εξαναγκασμένη είτε όχι συναντά αντίσταση από τον αέρα στο περιβάλλον της αντίστασης που εμποδίζει την κίνηση του.

Το γεγονός της αντίστασης του αέρα αντισταθμίστηκε με την ύπαρξη εξαναγκασμένης ροής από τον φουσητήρα στο κάτω μέρος της συσκευής. Όπως είναι φυσικό ο αέρας από τον φουσητήρα όντας αντίθετος της ανωστικής δύναμης από την θέρμανση, προκαλούσε μια στρωτή ροή τοπικά. Όπως επίσης υπήρχε η μέγιστη διακύμανση και άρα τύρβη όταν ήταν ομότροπες οι προαναφερθείσες δυνάμεις.

Κατά την μελέτη του φαινομένου και μετά από αρκετές μετρήσεις βρέθηκαν συμπεράσματα αρκετά ενδιαφέροντα όπως για παράδειγμα η επίτευξη στρωτής ροής διάγραμμα 6.31($V_f=6V$ $P=36w/m$) ή η επίτευξη τυρβώδους ροής στο διάγραμμα 6.6.3 ($V_f=6V$ για $R=4mm$) Τα αποτελέσματα αυτά αλλά και τα συμπεράσματα τους αναφέρονται σε παρακάτω κεφαλαία της διπλωματικής. Για την πληρότητα της μελέτης έγινε χρήση ποικίλων μετρητικών εργαλείων(Protec TSI κα) ακριβέστατων αισθητήρων (cold wire-hot wire) αλλά και λογισμικού όπως το labview για την ψηφιοποίηση των μετρήσεων και το Origin για την απεικόνιση τους.

Πίνακας συμβόλων

Θ_{mean}	: Μέση θερμοκρασία ($^{\circ}\text{C}$)
Θ_{rms}	: Μέση τετραγωνική τιμή της θερμοκρασίας ($^{\circ}\text{C}$)
U_{mean}	: Μέση ταχύτητα (m/s)
U_{rms}	: Μέση τετραγωνική τιμή της ταχύτητας (m/s)
T_{mean} αδιάστατη	: $\frac{\Theta_{mean} - T_{περιβαλοντος}}{T_{wall} - T_{περιβαλοντος}}$
U_{mean} αδιάστατη	: $\frac{U_{mean}}{U_{max}}$
T_{rms} αδιάστατη	: $\frac{\Theta_{rms}}{T_{wall} - T_{περιβαλοντος}}$
T	: Στιγμιαία θερμοκρασία ($^{\circ}\text{C}$)
U_{rms} αδιάστατη	: $\frac{U_{rms}}{U_{max}}$
U_c	: μέση ταχύτητα στο κέντρο του σωλήνα m/s
R	: μέγιστη εσωτερική ακτίνα 35(mm)
r	: εσωτερική ακτίνα σε mm
t	: χρόνος (sec)
PSD	: φασματική πυκνότητα ισχύος για θερμοκρασία και ταχύτητα {($^{\circ}\text{C}$) ² /Hz} (m/s) ² /Hz αντίστοιχα
D	: Διάμετρος κυλίνδρου εξωτερική 80mm
V_f	: Volts φυσητήρα (V)
V_r	: Volts αντίστασης (V)
P	: Ισχύς αντίστασης ανα μέτρο (w/m)

1. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

1.1 Κατακόρυφη κυλινδρική κοιλότητα

Το φαινόμενο που θα μελετηθεί είναι η μορφή της ροής, φυσικής και εξαναγκασμένης συναγωγής, σε κατακόρυφη κοιλότητα. Μια σταθερή θερμοροή εφαρμόζεται στον εσωτερικό κύλινδρο. Ο μαθηματικός τύπος του προβλήματος αυτού ταυτίζεται μ'αυτόν ενός ρευστού μέσα σ'ένα δακτύλιο με ομοιόμορφα κατανεμημένες πηγές θερμότητας, θεωρείται δηλαδή μια διαμήκης γραμμική πηγή στο κέντρο ενός κυλίνδρου και σε όλο του το μήκος. Η γραμμική αυτή πηγή είναι σαν μια σειρά δισδιάστατων πηγών που βρίσκονται πάνω στην ίδια ευθεία και η παροχή της είναι ίση με το ποσό θερμότητας που εκλύεται στην μονάδα του χρόνου. Στην περίπτωση αυτή το σύστημα συντεταγμένων που προτιμάται (λόγω αξονικής συμμετρίας) είναι το πολικό με μεταβλητές R και φ στην ακτινική και γωνιακή κατεύθυνση αντίστοιχα

Στην εξέλιξη του φαινομένου που καθοδηγείται από καταστάσεις ελεύθερης συναγωγής παίζει σημαντικό ρόλο το πεδίο ταχυτήτων. Οι ταχύτητες αυτές δημιουργούνται από τις ανωστικές δυνάμεις, οι οποίες εμφανίζονται λόγω του γεγονότος ότι ο όγκος του ρευστού που βρίσκεται κοντά στη πηγή θερμότητας ζεσταίνεται (διαφορά θερμοκρασίας $\Delta\theta$ μεταξύ του ρευστού οριακής στοιβάδας σε σχέση με το υπόλοιπο ρευστό) και διαστέλλεται. Στην εξαναγκασμένη ροή υπάρχει στην ωθούσα δύναμη κάποιο άλλο αίτιο όπως η διαφορά πιέσεων ή η ορμή λόγω μηχανικών αιτίων.

Αποτέλεσμα της παραπάνω διαστολής είναι να μικραίνει η πυκνότητα του ρευστού και να ανέρχεται προκαλώντας έτσι κυκλοφορία. Γίνεται αντιληπτό ότι είναι αναγκαία μια αδιαστατοποιημένη σχέση μεταξύ δυνάμεων ανώσεως και δυνάμεων αδράνειας ανά μονάδα όγκου , και βέβαια η απαλοιφή από τη σχέση αυτή της ταχύτητας του ρευστού στην ελεύθερη συναγωγή μια και η ταχύτητα δεν είναι δυνατόν να μετρηθεί. Οδηγούμαστε λοιπόν στην παράσταση μιας σχέσης που αποτελεί τον αριθμό Grashof:

$$\frac{\text{δυναμεις ανωσης}}{\text{αδρανειακες δυναμεις}} = \frac{\rho g \Delta \theta}{\rho U^2 / l} \cdot \frac{\text{Re}^2}{\text{Re}^2} = \frac{g \beta \Delta \theta l^3}{\nu^2} \cdot \frac{l}{\text{Re}^2}$$

$$Gr = \frac{g \beta \Delta \theta l^3}{\nu^2} = \frac{\text{δυναμεις ανωσης}}{\text{αδρανειακες δυναμεις}} \cdot \text{Re}^2$$

$$\text{Re} = \frac{Ul}{\nu}$$

3 ενδεικτικοί αριθμοί Re για την δεδομένη πειραματική διάταξη είναι

α) Για ταχύτητα φυσστήρα 6V $\text{Re} = 0.3331 \cdot 10^4$

β) Για ταχύτητα φυσστήρα 12V $\text{Re} = 0.8142 \cdot 10^4$ και

γ) Για ταχύτητα φυσστήρα 24V $\text{Re} = 1.6607 \cdot 10^4$

όπου

u ακτινική ταχύτητα

l μήκος

Re αριθμός Reynolds

Gr αριθμός Grashof

n: δυναμικό ιζώδες Pa s

ν κινηματικό ιζώδες m^2/s

ρ πυκνότητα kg/m^3

β συντελεστής κατ' όγκο διαστολής k^{-1}

Αξιοσημείωτο είναι ότι σε ένα μικρό πεπερασμένο χώρο η θέρμανση και η ψύξη συμβαίνουν παράλληλα και έτσι είναι δύσκολο να τις διαχωρίσουμε με αποτέλεσμα να πρέπει να αναλυθούν ταυτόχρονα Ο περιορισμός του χώρου και η ύπαρξη ανοδικών και καθοδικών ρευμάτων περιπλέκουν κατά πολύ τις συνθήκες ροής. Τόσο το φαινόμενο της ψύξης όσο και αυτό της θέρμανσης εξαρτώνται από το σχήμα ,το μέγεθος του χώρου ,το είδος του ρευστού και την ένταση της μετάδοσης θερμότητας. Κατά τη μελέτη ροών γύρω και μέσα σε κυλίνδρους σημαντική θεωρείται η χρήση του αριθμού Rayleigh

$$Ra_D = \frac{g \beta D^3 (T_i - T_o)}{\nu \alpha}$$

όπου

α - συντελεστής θερμικής διαχυτότητας

T_i θερμοκρασία εσωτερικού τοιχώματος

T_o - θερμοκρασία εξωτερικού τοιχώματος

g Επιτάχυνση της βαρύτητας

τιμές του οποίου οριοθετούν την μετάβαση από τη στρωτή στην τυρβώδη ροή. Συγκεκριμένα για αριθμό Ra μεγαλύτερο του 10^6 η ροή γίνεται τυρβώδης .

Οι Kuehn και Goldstein (1971) μελέτησαν πειραματικά και θεωρητικά τη φυσική συναγωγή στο "ενδιάμεσο" δακτυλίδι μεταξύ δύο ομόκεντρων κυλίνδρων με χρήση οπτικών και αριθμητικών μεθόδων.

Η λύση των κύριων εξισώσεων που περιγράφουν το φαινόμενο δίνουν την κατανομή της ταχύτητας και της θερμοκρασίας. Από τις κατανομές αυτές οι συντελεστές τοπικής και ολικής μεταφοράς θερμότητας και συγκρίνονται με τα πειραματικά αποτελέσματα. Το πείραμα έγινε για μεγαλύτερους αριθμούς Ra που δείχνει την επίδραση του αριθμού Pr και του λόγου των διαμέτρων στο φαινόμενο. Οι κύριες εξισώσεις ανεξάρτητες από το χρόνο σε κυλινδρικές και πολικές συντεταγμένες είναι οι παρακάτω

$$\frac{\partial U}{\partial r} + \frac{U}{r} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial V}{\partial \theta} = 0 \text{ εξίσωση συνέχειας}$$

$$\rho(U \frac{\partial U}{\partial r} + \frac{V}{r} \frac{\partial U}{\partial \theta} - \frac{V^2}{r} = \frac{\partial P}{\partial r} + \mu(\frac{\partial^2 U}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial U}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 U}{\partial \theta^2} - \frac{U}{r^2} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial V}{\partial \theta}) + Fr$$

$$\rho(U \frac{\partial V}{\partial r} + \frac{V}{r} \frac{\partial V}{\partial \theta} - \frac{UV}{r} = \frac{1}{r} \frac{\partial P}{\partial \theta} + \mu(\frac{\partial^2 V}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial V}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 V}{\partial \theta^2} - \frac{V}{r^2} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial U}{\partial \theta}) + Fr$$

εξισώσεις ορμής

$$\rho(U \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{V}{r} \frac{\partial T}{\partial \theta}) = \kappa(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2})$$

εξίσωση ενέργειας

όπου

U ακτινική ταχύτητα

Υγωνιακή ταχύτητα

P πίεση

T θερμοκρασία

r ακτίνα

ρ πυκνότητα

μ κινηματικό ιξώδες

c ειδική θερμότητα

k θερμική αγωγιμότητα

Τα F_r και F_θ μπορούν να γράφουν και σαν συναρτήσεις της διαφοράς θερμοκρασίας

$$F_r = g\rho\beta(t-t_0)\cos\theta$$

$$F_\theta = g\rho\beta(t-t_0)\sin\theta$$

Όπου

g επιτάχυνση της βαρύτητας

t θερμοκρασία σε κάποιο σημείο του ρευστού

t_0 θερμοκρασία στον εξωτερικό κύλινδρο

β συντελεστής διαστολής

Με χρήση της ροικής συνάρτησης Ψ έχουμε

$$U = R^{-1} \frac{\partial \Psi}{\partial \theta}, V = \frac{\partial \Psi}{\partial R}$$

Οι εξισώσεις αδιαστοποιούνται

$$\Psi' = \frac{\Psi}{\alpha}, r = R/L$$

$$g = \frac{t - t_0}{t_i - t_0}$$

$$u=UL/\alpha$$

$$v=VL/\alpha$$

όπου

$\alpha=k/\rho c$ συντελεστής θερμικής διαχυτότητας

L απόσταση μεταξύ δυο κυλίνδρων

ti η θερμοκρασία στον εσωτερικό κύλινδρο

Στην παρούσα διπλωματική εργασία υπήρχαν περιπτώσεις ταυτόχρονης μετάδοσης θερμότητας από φυσική και εξαναγκασμένη συναγωγή. Ο αδιάστατος αριθμός που καθορίζει ποιου είδους συναγωγή επηρεάζει περισσότερο το φαινόμενο είναι ο αριθμός Αρχιμήδους (Ar)

$$Ar = \frac{g\alpha\theta L}{U^2} = \frac{\text{φυσική_συναγωγή}}{\text{εξαναγκασμένη_συναγωγή}}$$

Όπου

g η επιτάχυνση της βαρύτητας

α συντελεστής θερμικής διαστολής

U ταχύτητα ροής

θ χαρακτηριστική θερμοκρασία (ΔT)

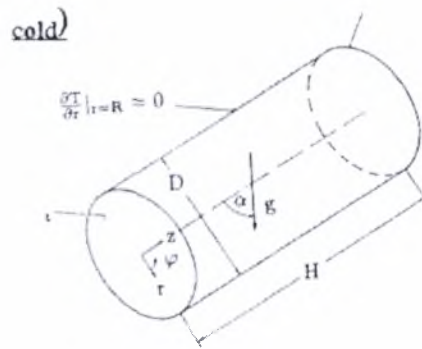
L χαρακτηριστικό μήκος

Όταν ο Ar είναι πολύ μεγαλύτερος της μονάδας τότε κύριο ρόλο στην εξήγηση του φαινομένου παίζει η φυσική συναγωγή και ο αδιάστατος αριθμός που περιγράφει το πρόβλημα είναι ο Gr στην αντίθετη περίπτωση όταν δηλαδή ο Ar είναι πολύ μικρότερος της μονάδας τότε ο αδιάστατος αριθμός που περιγράφει το πρόβλημα είναι ο αριθμός Re

Ένας άλλος αδιάστατος αριθμός που είναι άξιος αναφοράς και που επηρεάζει το φαινόμενο είναι ο αριθμός Peclet (Pe) ο οποίος είναι ο αντιστοιχος του προαναφερθέντος αριθμού Ra για την εξαναγκασμένη συναγωγή..

$$Pe=RePr=UL/\alpha$$

Ένα επίσης σχετικό πρόβλημα μ' αυτό που μελετάται εδώ είναι αυτό της φυσικής κυκλοφορίας σ' ένα, γεμάτο με ρευστό, κύλινδρο υπό κλίση και με διαφορετικές θερμοκρασίες μεταξύ του πάνω και κάτω τοιχώματος (Σχ.1.1). Εξετάζονται η επίδραση του ρευστού και των γεωμετρικών παραμέτρων, όπως ο αριθμός Rayleigh ο αριθμός Prandtl ο λόγος ύψους προς διάμετρο(H/D) και η γωνία κλίσης($0^\circ < \alpha < 180^\circ$) στην κίνηση του ρευστού και στην μεταφορά θερμότητας.



Σχήμα 1.1

Σ' αυτή την περίπτωση ο αριθμός Rayleigh ορίζεται σαν :

$$RaL = g\beta_p L^3 (T_{hot} - T_{cold}) / \nu\kappa$$

όπου

g : επιτάχυνση βαρύτητας

β_p : συντελεστής θερμικής διαστολής

L : χαρακτηριστικό μήκος

T_{hot} : θερμοκρασία θερμού τοιχώματος

T_{cold} : θερμοκρασία μυχρού τοιχώματος

ν : κινηματικό ιξώδες

κ : θερμική διαχυτότητα

Συνήθως για την εκλογή του σωστού χαρακτηριστικού μήκους χρησιμοποιείται η διάσταση στην κατεύθυνση της βαρύτητας. Έτσι για $\alpha = 0^\circ$, όπου ο κύλινδρος είναι κατακόρυφος, $L = H$ και για $\alpha = 90^\circ$ όπου ο κύλινδρος είναι οριζόντιος $L = D$. Για τις άλλες κλίσεις προσπαθούμε να εκφράσουμε την επίδραση της κλίσης

εκλέγοντας ένα τροποποιημένο αριθμό Rayleigh αναπτυγμένο σε όρους της παράστασης του κυλίνδρου στην διεύθυνση της βαρύτητας. Η ανάλυση αυτή δεν είναι πάντα επιτυχής.

1.2 Φυσική και εξαναγκασμένη συναγωγή σε θερμαινόμενη κοιλότητα

Το αντικείμενο είναι η φυσική και εξαναγκασμένη συναγωγή σ' ένα θερμαινόμενο κατακόρυφο ομόκεντρο δακτύλιο (Σχ1.2 σελ16). Μια σταθερή θερμοροή εφαρμόζεται εσωτερικά στον κύλινδρο και ο εξωτερικός κύλινδρος μονώνεται. Κάτω απ' αυτές τις συνθήκες, η μέση θερμοκρασία του ρευστού αυξάνει γραμμικά, καθώς ταυτόχρονα, θερμότητα διαχέεται από τη θερμαινόμενη επιφάνεια μέσα στο ρευστό, καταλήγοντας σε μια θερμοκρασιακή κατανομή στην εγκάρσια κατεύθυνση. Αφαιρώντας αυτή τη σταθερά αυξανόμενη θερμοκρασία από την ολική θερμοκρασία καταλήγουμε σε μια μόνιμη θερμοκρασιακή διαστρωμάτωση στην εγκάρσια κατεύθυνση, που οδηγεί την κίνηση του ρευστού. Ο μαθηματικός τύπος του βαθμωτού αυτού προβλήματος ταυτίζεται με αυτόν ενός ρευστού μέσα σ' ένα δακτύλιο με ομοιόμορφα κατανεμημένες πηγές θερμότητας, με τον εσωτερικό κύλινδρο να διατηρείται σε σταθερή θερμοκρασία και τον εξωτερικό κύλινδρο να μονώνεται. Σε χαμηλές ταχύτητες πρόσδοσης θερμότητας η κίνηση του ρευστού είναι σταθερή και παράλληλη και θερμότητα μεταφέρεται με αγωγή ανάμεσα στα στρώματα του ρευστού. Καθώς η ταχύτητα θέρμανσης (ρυθμός πρόσδοσης θερμότητας) αυξάνει η ροή γίνεται ασταθής και σχηματίζονται ανακυκλοφορούντες στροβιλισμοί οι οποίοι μεταφέρουν θερμότητα με συναγωγή. Η ορμητική εκδήλωση συναγωγής καθορίζεται από γραμμική ανάλυση αστάθειας της βασικής κατάστασης. Τα αποτελέσματα αποδεικνύουν, ότι όταν ο αριθμός Prandtl είναι μικρός η υπερισχύουσα αστάθεια λαμβάνει ενέργεια πρωταρχικά από διατμητικές δυνάμεις. Από την άλλη πλευρά όταν ο αριθμός Prandtl είναι μεγάλος, είναι προκαθορισμένο ότι η αστάθεια λαμβάνει κινητική ενέργεια από ανωστικές δυνάμεις. Η θεωρία μη γραμμικών ασθενών ασταθειών χρησιμοποιείται για την ανάλυση με στοιχεία πεπερασμένων

διαφορών. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι και οι δύο τύποι γραμμικών ασταθειών είναι κρίσιμοι.

Περιγραφή φαινομένου

Αστάθεια φυσικής συναγωγής σ'' ένα κατακόρυφο δακτύλιο έχει μελετηθεί λόγω της συνάφειας της με πρακτικές εφαρμογές, όπως είναι ένα πρόβλημα μοντέλο για θερμικά οδηγούμενες ασταθείς ροές. Η ροή μπορεί να φανεί να εξαρτάται από τον αριθμό Grashof, τον αριθμό Prandtl και τη γεωμετρία της κοιλότητας. Σ'ένα υψηλό κατακόρυφο αυλάκι όπου η ροή μπορεί να θεωρηθεί παράλληλη το προκύπτον προφίλ της ταχύτητας είναι κυβικό με το ρευστό κοντά στο θερμότερο τοίχωμα να κινείται προς τα πάνω και κοντά στο ψυχρότερο τοίχωμα να κινείται προς τα κάτω. Σε μια παράλληλη ροή θερμότητα μεταφέρεται (δια μέσου του αγωγού) αποκλειστικά με αγωγή, μεταξύ των στρωμάτων του ρευστού και η ροή λέγεται ότι είναι σε καθεστώς αγωγής. Τα πειραματικά αποτελέσματα των Eckert, Carlson(1961) και Elder(1965) επιβεβαιώνουν την ύπαρξη του καθεστώτος αγωγής, όταν ο Gr είναι μικρός. Καθώς ωστόσο ο Gr αυξάνει η ροή γίνεται ασταθής πρώτα καταλήγοντας σε μια πολυκυτταρική δευτερογενή μορφή ροής και καθώς ο Gr αυξάνει γρηγορότερα, σε στροβιλισμό. Η σταθερότητα του καθεστώτος αγωγής και φυσικής συναγωγής έχει επίσης μελετηθεί. Τα συμπεράσματα αποδεικνύουν, ότι για ρευστά χαμηλού αριθμού Prandtl, η επικρατέστερη αστάθεια είναι ανεπηρέαστη από αλλαγές στον αριθμό Prandtl και οφείλεται σε μια ασταθή διανομή ταχυτήτων προκαλούμενη από θερμικές επιδράσεις.

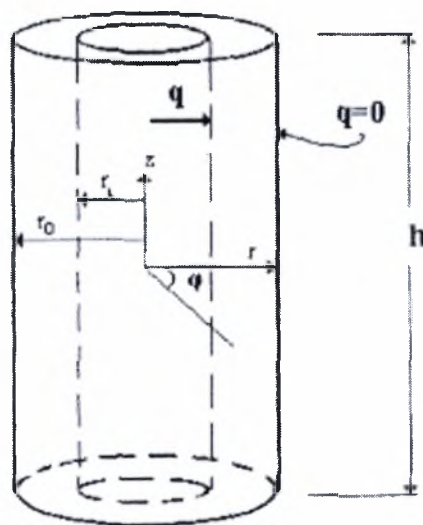
Επομένως αυτή είναι μια θερμοδιατημητική αστάθεια που παίρνει κινητική ενέργεια πρωταρχικά από θερμοδιατημητικές δυνάμεις. Σε μεγάλους αριθμούς Pr ωστόσο μια άλλη αστάθεια γίνεται πρωταρχική. Αυτή ονομάζεται θερμοανωστική αστάθεια αφού παίρνει κινητική ενέργεια πρωταρχικά από ανωστικές δυνάμεις. Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις οι θερμοκρασίες των τοιχωμάτων κρατούνται σταθερές και η θερμοκρασιακή διαφορά ανάμεσα σε κάθε τοίχωμα προκαλεί μια θερμοκρασιακή διαστρωμάτωση, που οδηγεί την κίνηση του ρευστού. Η αστάθεια λαμβάνει χώρα όταν η θερμοκρασιακή διαφορά γίνει μεγαλύτερη από μια οριακή τιμή. Αυτή αντιστοιχεί στον κρίσιμο αριθμό Gr. Ωστόσο η επίδραση του Pr σε αστάθειες ροής ποτέ δεν έχει μελετηθεί συστηματικά, επομένως οι γνώσεις μας για την επίδραση του Pr είναι ατελείς.

Υπάρχει μια κατηγορία προβλημάτων φυσικής συναγωγής πρακτικού ενδιαφέροντος που δεν έχουν μελετηθεί προηγουμένως όπου η θερμοκρασία του ρευστού μπορεί συνεχώς να αυξάνει, εξαιτίας μιας κατάστασης σταθερής ροής θερμότητας σε μια επιφάνεια. Για παράδειγμα ένα βασικό πρόβλημα στην εναποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων είναι ο προσδιορισμός του μονωτικού αποτελέσματος του δακτυλιοειδή χώρου αέρα, που περιβάλλει ένα κυλινδρικό μεταλλικό κουτί πυρηνικού απορρίμματος θαμμένο σε μια γεωλογική αποθήκη. Σ' αυτή την περίπτωση θερμότητα μπορεί να μεταφερθεί από το μεταλλικό κουτί διαμέσου του μονωτή (διάστημα αέρα) μέσα στον περιβάλλοντα βράχο. Θερμότητα μπορεί να μεταφέρεται διαμέσου του διαστήματος αέρα με αγωγή ανάμεσα στα στρώματα του ρευστού και με συναγωγή. Εάν η προκαλούμενη ανωστική κίνηση του αέρα είναι στρωτή και παράλληλη, θερμότητα θα μεταφέρεται αποκλειστικά με αγωγή ανάμεσα στα στρώματα του ρευστού και η θερμική αντίσταση του ανοίγματος αέρα θα είναι συγκριτικά μεγάλη. Ωστόσο εάν η κίνηση του αέρα γίνει ασταθής και εμφανιστούν ανακυκλοφορούντες στροβιλισμοί, θερμότητα θα μεταφέρεται επίσης, διαμέσου του αέρα, με συναγωγή οφειλόμενη στην εγκάρσια ανάμειξη του ρευστού. Σ' αυτή την περίπτωση η θερμική αντίσταση του ανοίγματος αέρα θα είναι μικρότερη απ' αυτήν στην περίπτωση της καθαρής αγωγής και η θερμοκρασία ισορροπίας του μεταλλικού κουτιού θα είναι αντίστοιχα χαμηλότερη. Έχει υπολογιστεί ότι οι ιδιότητες του αέρα μπορούν να επηρεάσουν την τελική θερμοκρασία ισορροπίας του μεταλλικού κουτιού. Αυτή η θερμοκρασία είναι κρίσιμη γιατί είναι ο πρωταρχικός παράγοντας που καθορίζει την διάρκεια ζωής του μεταλλικού περιβλήματος. Για να καθοριστεί εάν θερμότητα θα μεταφέρεται διαμέσου του ανοίγματος αέρα με αγωγή ή με συναγωγή, πρέπει να ερευνηθεί η σταθερότητα της παράλληλης κίνησης. Όπως αποδεικνύεται το κριτήριο για την ασταθή ροή θα εξαρτάται από τον ρυθμό πρόσδοσης θερμότητας στον αέρα. Έτσι εξαιτίας της αυξημένης θερμικής αντίστασης του ανοίγματος αέρα είναι πιθανό ότι ένα μεταλλικό κουτί με χαμηλό ρυθμό πρόσδοσης θερμότητας (δεν παρακινεί αστάθειες ροής) θα φτάσει σε υψηλότερες θερμοκρασίες ισορροπίας σε σχέση με ένα μεταλλικό κουτί με θερμοροή αρκετά υψηλή η οποία παρακινεί αστάθειες). Σ' αυτό το στάδιο το πρόβλημα μελετάται, θεωρώντας την ανωστικά οδηγούμενη ροή ενός ρευστού σ' ένα κατακόρυφο δακτύλιο, με σταθερή θερμοροή να εφαρμόζεται στον εσωτερικό κύλινδρο και τον εξωτερικό να μονώνεται.

Ανάλυση

Το πρόβλημα που μελετάται εδώ είναι αυτό της ανωστικά οδηγούμενης κίνησης ενός πραγματικού ρευστού που εσωκλείεται σε ένα κατακόρυφο ψηλό κυλινδρικό δακτύλιο όπως φαίνεται στο Σχ1.2. Μια ομοιόμορφη ροή θερμότητας εφαρμόζεται στον εσωτερικό κύλινδρο και ο εξωτερικός κύλινδρος μονώνεται και σαν επακόλουθο η μέση θερμοκρασία αυξάνει γραμμικά με την ώρα. Καθώς ο εσωτερικός κύλινδρος θερμαίνεται θερμότητα θα διαχυθεί μέσα στο ρευστό δημιουργώντας μια θερμοκρασιακή διαστρωμάτωση στην εγκάρσια κατεύθυνση. Συνεπώς η θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ του κυλινδρικού τοιχώματος και του ρευστού θα είναι αναλογική με το λόγο της κλίμακας του χρόνου που σχετίζεται με τη θέρμανση του ρευστού και τη διαδικασία της διάχυσης. Ωστόσο όταν η θερμοροή αρχίζει η θερμοκρασιακή διαστρωμάτωση θα εντοπίζεται στο εσωτερικό τοίχωμα μέχρι η θερμότητα να απαιτήσει μια πεπερασμένη χρονική περίοδο για να μεταφερθεί στο ρευστό. Καθώς η γεωμετρία του δακτυλίου είναι πεπερασμένη μια οιονεί μόνιμη θερμοκρασιακή διαστρωμάτωση θα δημιουργηθεί τελικά στην οποία η θερμοκρασία του ρευστού αυξάνει ομοιόμορφα στην εγκάρσια κατεύθυνση. Η σταθερή διαστρωμάτωση εγκαθίσταται όταν ο χρόνος είναι πολύ μεγαλύτερος από το χρόνο αγωγής που δίνεται από $t_0 = (r_0 - r_i)^2 / \alpha$

όπου α είναι η θερμική διαχυτότητα και r_i και r_0 , είναι η εσωτερική και εξωτερική ακτίνα του ομόκεντρου δακτυλίου αντίστοιχα. **Σχήμα 1.2**



Σχήμα 1.2 Σχέδιο Κατακόρυφης Διάταξης

r_i , r_o εσωτερική και εξωτερική ακτίνα του ομόκεντρου δακτυλίου

T θερμοκρασία του εσωτερικού τοιχώματος του δακτυλίου

T_0 : αρχική θερμοκρασία εσωτερικού τοιχώματος

t χρόνος

Η μέση τιμή του T θα είναι ανεξάρτητη του χρόνου όταν ο χρόνος είναι μεγάλος συγκρινόμενος με το χρόνο αγωγής. Ωστόσο όλες τις χρονικές στιγμές το T μπορεί να ταλαντεύεται γύρω από τη μέση τιμή πράγμα που οφείλεται σε ανακυκλοφορούντες στροβιλισμούς που προκαλούνται από υδροδυναμικές αστάθειες.

Η βαθμωτή θερμική ταχύτητα λαμβάνεται από την ισορροπία της διατμητικής ιξώδους δύναμης και της ανωστικής δύναμης στην εξίσωση της ορμής στην κατακόρυφη διεύθυνση. Το αποτέλεσμα είναι

$$W_s \cong \frac{g\beta\Delta T(r_o - r_i)^2}{\nu}$$

Όπου

g επιτάχυνση της βαρύτητας

β συντελεστής θερμικής διαστολής

$\Delta T = T_w - T$

Και άρα

$$W_s = \frac{g\beta k(ro - ri)^4}{\nu^2}$$

Οι εξισώσεις που περιγράφουν το φαινόμενο είναι οι εξισώσεις Navier-Stokes με την προσέγγιση Boussinesq σε κυλινδρικές συντεταγμένες

Οι εξισώσεις Navier Stokes είναι μια ειδικευμένη περίπτωση της εξίσωσης της ορμής όταν το ρευστό υπακούει στους παρακάτω νόμους

A) Στον καταστατικό νόμο του Newton

B) Είναι ασυμπίεστο

Γ) Έχει σταθερό ιξώδες

Συγκεκριμένα στην περίπτωση της φυσικής συναγωγής όπου ο μόνος όρος που περιέχει πυκνότητα η οποία μεταβάλλεται είναι ο όρος της βαρύτητας (ανωστικές δυνάμεις) τότε στην γενικότερη θεώρηση υπεισέρχεται και η παραδοχή Boussinesq.

$$\frac{\partial u}{\partial \eta} + \frac{u}{\eta + K} + \frac{1}{\eta + K} \frac{\partial u}{\partial \phi} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (\alpha)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial \eta} + \frac{u}{\eta + K} \frac{\partial u}{\partial \phi} + w \frac{\partial u}{\partial z} - \frac{u^2}{\eta + K} = -\frac{\partial p}{\partial \eta} + \frac{1}{Gr} \left[D^2 u - \frac{1}{(\eta + K)^2} (2 \frac{\partial u}{\partial \phi} + u) \right] \quad (\beta)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial \eta} + \frac{u}{\eta + K} \frac{\partial u}{\partial \phi} + w \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{u U}{\eta + K} = -\frac{1}{\eta + K} \frac{\partial p}{\partial \phi} + \frac{1}{Gr} \left[D^2 u + \frac{1}{(\eta + K)^2} (2 \frac{\partial u}{\partial \phi} - u) \right] \quad (\gamma)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial \eta} + \frac{u}{\eta + K} \frac{\partial w}{\partial \phi} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{1}{Gr} (D^2 w - T) \quad (\delta)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial \eta} + \frac{u}{\eta + K} \frac{\partial T}{\partial \phi} + w \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{1}{Gr Pr} (D^2 T + 1) \quad (\epsilon)$$

$$D^2 = \frac{\partial^2}{\partial \eta^2} + \frac{1}{\eta + K} \frac{\partial}{\partial \eta} + \frac{1}{(\eta + K)^2} \frac{\partial^2}{\partial \phi^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$$

Όπου

ϕ αζιμουθιακή συντεταγμένη

η ακτινική συντεταγμένη

z αξονική συντεταγμένη

K παράμετρος καμπυλότητας του δακτυλίου $ri/(ro-ri)$

u ακτινική ταχύτητα

U αξιμουθιακή ταχύτητα

W αξονική ταχύτητα

T αδιάστατη θερμοκρασία

Οι παραπάνω εξισώσεις είναι αδιάστατες αδιαστοποιώντας τα μήκη με το πλάτος του κυλινδρικού ανοίγματος $ro-ri$, το χρόνο με $(Ro-Ri)/Ws$ τις ταχύτητες με Ws και τη πίεση με ρWs^2 , όπου ρ είναι η πυκνότητα. Η αδιαστατοποιημένη ακτινική συντεταγμένη είναι $\pi = (R-Ri)/(Ro-Ri)$ και η παράμετρος καμπυλότητας του δακτυλίου έχει ορισθεί σαν $K = Ri/(Ro-Ri)$. Οι παράμετροι του προβλήματος είναι ο αριθμός Grashof, $Gr=Ws(Ro-Ri)/\nu$, και ο αριθμός Prandtl $Pr=\nu/\alpha$. Επομένως σε αυτό το πρόβλημα ο Gr είναι ένα μέτρο του λόγου πρόσδωσης θερμότητας στο ρευστό.

Εξέταση της εξίσωσης ενέργειας e δείχνει ότι η εξάρτηση του χρόνου από τη θερμοκρασία χωρίζεται σε δύο μέρη. Το πρώτο δίνει τη θερμοκρασιακή διακύμανση γύρω από τη μέση τιμή και δίνεται από $d\theta/dt$. Ο δεύτερος όρος εκφράζει τη μόνιμη γραμμική αύξηση στη θερμοκρασία του ρευστού και ύστερα από αδιαστατοποίηση δίνεται από $1/(GrPr)$. Η εισαγωγή του παράγοντα του Pr στον ορισμό του κ που δίνεται στην εξίσωση (1) κάνει δυνατή την ομαδοποίηση αυτού του όρου με τους όρους αγωγής όπως γίνεται στην εξίσωση (ε) καταλήγοντας σε μια βασική κατάσταση που δεν εξαρτάται από τον Pr .

Η βασική κατάσταση της ροής είναι μόνιμη πλήρως ανεπτυγμένη παράλληλη ροή. Εάν εφαρμόσουμε αυτές τις συνθήκες στις εξισώσεις (β) (ε) η εξίσωση βασικής κατάστασης θα είναι μία εξίσωση μόνο στην αξονική κατεύθυνση και οι εξισώσεις απλοποιούνται στην παρακάτω:

όπου W_0 και Θ_0 είναι η ταχύτητα και θερμοκρασία βασικής κατάστασης αντίστοιχα,

Οι οριακές συνθήκες στην αρχική κατάσταση είναι $W_0(0) = W_0(1) = \Theta_0(0) = \Theta_0(1) = 0$.

Η μόνιμη θερμοκρασία αυξάνεται όπως ο μη ομογενής όρος -1 . Επομένως αυτός εμφανίζεται σαν όρος ομοιόμορφης πηγής όπου τροποποιεί την αδιάστατη ακτινική θερμοκρασιακή διαστρωμάτωση Θ_0 .

1.3 Επεξήγηση Πυκνότητας φάσματος ισχύος

Η συνάρτηση πυκνότητας φάσματος ισχύος ορίζει τη σύνθεση των δεδομένων ως προς τις συχνότητες. Μετρήσεις της πυκνότητας φάσματος ισχύος μπορεί να μας δώσουν πληροφορίες σχετικά με τα δυναμικά χαρακτηριστικά ενός συστήματος. Το συνολικό εμβαδόν κάτω από ένα φάσμα ισχύος ισούται με το μέσο τετράγωνο. Δευτερεύουσες εφαρμογές είναι η χρήση του για τον εντοπισμό περιοδικοτήτων και σαν ενδιάμεσο βήμα για τον υπολογισμό των συναρτήσεων αυτοσυσχέτισης

Η φασματική ανάλυση στην παρούσα διπλωματική εργασία σκοπό έχει να ερευνήσει την περιοδικότητα των δομών όπου υπήρχαν. Πιο συγκεκριμένα για την ανάλυση ενός σήματος (στη συγκεκριμένη περίπτωση σήμα αποτελεί ενίοτε η τιμή της ταχύτητας και της θερμοκρασίας) χρησιμοποιείται ο διακριτός μετασχηματισμός Fourier (DISCRETE FOURIER TRANSFORM-DFT) ο οποίος βρίσκει τις συχνότητες του σήματος καθώς και το φάσμα ισχύος του. Βασίζεται στο μετασχηματισμό Fourier και χρησιμοποιείται όταν τα δεδομένα του σήματος λαμβάνουν διακριτές τιμές. Το MATLAB 6.1 έχει στη διάθεση του το γρήγορο μετασχηματισμό Fourier (FAST FOURIER TRANSFORM-FFT) ο οποίος είναι ένας αλγόριθμος που έγινε γνωστός μετά από μία εργασία των Cooley και Tuckey (1965) και απαιτεί $N \log N$ αριθμητικές πράξεις για τον υπολογισμό του DFT ενώ ο παραδοσιακός τρόπος που εφαρμοζόταν μέχρι τότε απαιτούσε N^2 πράξεις.

Κάθε περιοδική συνάρτηση $f(t)$ με περίοδο T , αναλύεται με σειρές Fourier στη μορφή:

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left[a_n \cos\left(n \frac{2\pi}{T} t\right) + b_n \sin\left(n \frac{2\pi}{T} t\right) \right] \quad (1.1)$$

όπου:

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t) dt$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t) \cos\left(n \frac{2\pi}{T} t\right) dt$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t) \sin\left(n \frac{2\pi}{T} t\right) dt, \text{ όπου } n=1,2,3,\dots\infty$$

Κάθε όρος της σχέσης (1.1) ονομάζεται αρμονική και η συχνότητα του είναι πολλαπλάσιο της βασικής αρμονικής, η οποία προκύπτει για $n=1$. Η σχέση (1.1) γράφεται και στη μορφή:

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} c_n \cos\left(n \frac{2\pi}{T} t - \phi_n\right) \quad \text{με } c_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \quad \text{και } \phi_n = \tan^{-1} \frac{b_n}{a_n}, \quad \text{όπου}$$

$$n=1,2,3,\dots\infty \quad (1.2).$$

Ο συντελεστής c_n ονομάζεται και πλάτος του φάσματος, ενώ η ισχύς του φάσματος ισούται με $\frac{c_n^2}{2}$.

Κάθε μη περιοδική συνάρτηση $f(t)$, μπορεί να αναπαρασταθεί με το μετασχηματισμό Fourier (αντίστροφο και ευθύ αντιστοίχως) ως εξής:

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\nu) e^{i2\pi\nu t} d\nu \quad (1.3)$$

$$\text{όπου } f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\nu) e^{-i2\pi\nu t} dt \quad (1.4)$$

με $\nu = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{T}$. Είναι ακόμα $F(\nu) = a(\nu) - ib(\nu)$ και το πλάτος του φάσματος

ορίζεται ως: $c(\nu) = \sqrt{a(\nu)^2 + b(\nu)^2}$, ενώ η ισχύς του φάσματος με $\frac{c(\nu)^2}{2}$.

Έστω N η διάσταση του διανύσματος x , οι τιμές του οποίου αντιπροσωπεύουν μια σειρά δεδομένων ενός σήματος. Τότε, ο διακριτός μετασχηματισμός Fourier (DFT) του διανύσματος x , θα είναι ένα διάνυσμα X διάστασης N και θα δίνεται από τη σχέση:

$$X(k) = \sum_{n=1}^N x(n) e^{-\frac{i2\pi}{N}(n-1)(k-1)} \quad \text{με } 1 \leq k \leq N \quad (1.5),$$

ενώ ο αντίστροφος διακριτός μετασχηματισμός Fourier θα δίνεται από τη σχέση:

$$x(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N X(k) e^{\frac{i2\pi}{N}(n-1)(k-1)} \quad \text{με } 1 \leq n \leq N \quad (1.6).$$

Επίσης είναι $X(k) = a(k) - ib(k)$

και το πλάτος του φάσματος ορίζεται ως: $c(k) = \sqrt{a(k)^2 + b(k)^2}$, ενώ η ισχύς του

φάσματος ισούται με $\frac{c(k)^2}{2}$ με $1 \leq k \leq N$.

Με τη χρήση του μετασχηματισμού Fourier είναι δυνατό να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με την εύρεση όλων των αρμονικών που επιδρούν στη μορφή μιας συνάρτησης, κυρίως μέσα από την ισχύ του φάσματος της συχνότητας.

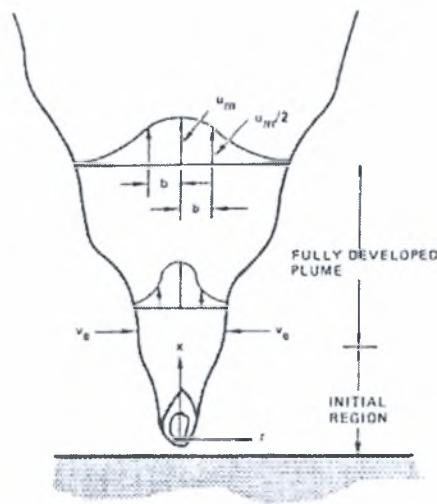
Ωστόσο, χρειάζεται προσοχή για την εφαρμογή του γρήγορου μετασχηματισμού Fourier (FFT). Σύμφωνα με το θεώρημα του Nyquist, αν f_s είναι η συχνότητα της δειγματοληψίας, τότε η μέγιστη συχνότητα που μπορεί να αναλυθεί σωστά είναι η $f_m = \frac{f_s}{2}$.

1.4 Επεξήγηση Πλούμιων

Το πλούμιο είναι μια ανωστική ροή με αρχική ορμή κοντά στο μηδέν. Αφού τα πλούμια έχουν λιγότερη μάζα ανά όγκο από το ρευστό στο οποίο βρίσκονται, καθοδηγούνται προς τα πάνω από την πίεση του ρευστού που τα περιβάλλει. Αυτή η διαφορά της πυκνότητας αποκαλείται ανωστική ροή.

Ο πιο κοινός τύπος πλούμιου είναι αυτός που προκαλείται από την κίνηση ενός ζεστού ρευστού σε ένα κρύο περιβάλλον. Ένα τέτοιου είδους πλούμιο ανεβαίνει κατακόρυφα. Βέβαια είναι πιθανό να δημιουργηθεί ένα πλούμιο από ψυχρή πηγή η οποία όμως έχει διαφορετική πυκνότητα από αυτή του ρευστού στο περιβάλλον. Για παράδειγμα ένα ρεύμα γλυκού νερού στον ωκεανό θα επιφέρει ένα πλούμιο που θα οδηγείται από την διάφορα πυκνότητας που θα υπάρχει από το γλυκό με το αλμυρό νερό.

Ο αδιάστατος αριθμός Re αυξάνει με την απόσταση στον άξονα X **σχήμα 1.3** το πλούμιο προς τα πάνω, αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την μετάβαση από στρωτή σε τυρβώδη ροή. Ένα παράδειγμα μιας τέτοιας ροής μπορεί να φανεί στον καπνό του τσιγάρου που από στρωτή ροή που έχει αρχικά καταλήγει σε τυρβώδη.



(a) PLUME
σχήμα 1.3

Η ανάλυση του πλουμίου συνοψίζεται στα παρακάτω συμπεράσματα

1. Η διαφορά μεταξύ του ρευστού που βρίσκεται το πλούμιο και αυτού στο περιβάλλον είναι τόσο μικρή που η κινηματικές ιδιότητες των δυο ρευστών είναι πανομοιότυπες.
2. Οι απώλειες θερμότητας εξαιτίας της μοριακής διάχυσης ή της ακτινοβολίας είναι ασήμαντες από αυτές εξαιτίας της τυρβώδους μεταφοράς
3. Η ροή είναι τυρβώδης.

Το πρώτο συμπέρασμα δηλαδή της μικρής διαφοράς της πυκνότητας εκφράζεται μαθηματικά ως εξής

$$(\rho_a - \rho) / \rho < 1$$

Όπου

ρ_a η πυκνότητα του περιβάλλοντος ρευστού

ρ η πυκνότητα του πλουμίου

Η αξονική ταχύτητα του πλούμιου στον άξονα x **σχήμα 1.3** δίνεται από τον παρακάτω τύπο

$$u = \frac{5}{6a} \left(\frac{9aB}{10\pi} \right)^{1/3} x^{-1/3}$$

όπου

$$B = Q_0 g (\rho_a - \rho_0) / \rho_a$$

Q_0 η παροχή του αέρα

g η επιτάχυνση της βαρύτητας

ρ_a η πυκνότητα του αέρα

ρ η πυκνότητα του πλούμιου

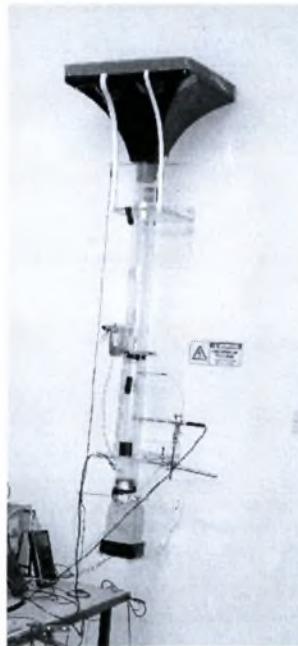
α γωνία σε rad

2. Πειραματική διάταξη και πειραματική μεθοδολογία

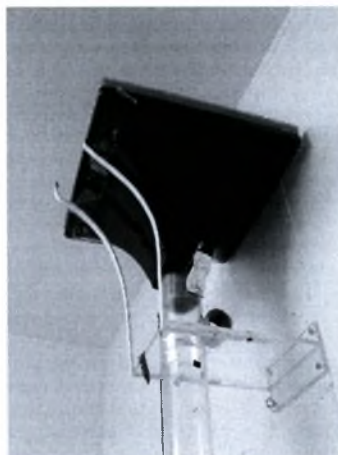
2.1 Διάταξη

Η διάταξη αποτελείται από

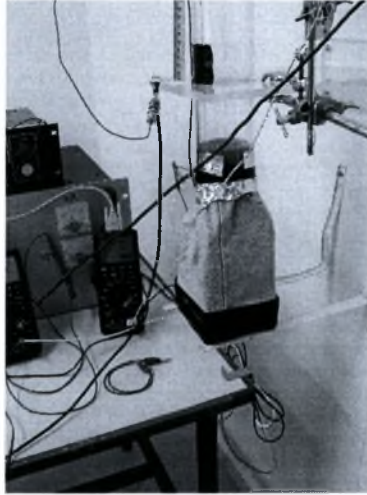
- Ένα κυλινδρικό κομμάτι από plexi glass κυλινδρικής διαμέτρου 80mm στηριγμένο σε δυο ορθογώνια έδρανα επίσης από plexi glass



- Ένα ακροφύσιο τετραγωνικών διαστάσεων με πλευρά 80cm και 1600cm^2 ορθογώνιας επιφάνειας τοποθετημένο στην πάνω άκρη στην συσκευής



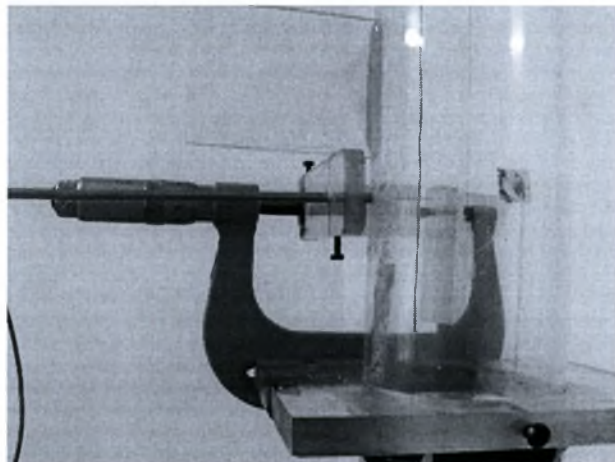
- Ένα ανεμιστήρα 12watt 24volt με σύστημα στη βάση από πανί που αποκλείει την μεταφορά των κραδασμών και έχει εσωτερικό άκαμπτο χωροδουκτίωμα για την επίτευξη της επαναληψιμότητας των μετρήσεων



- Θερμική πηγή από χρωμονικελίνη και σύστημα στήριξης με αντίβαρο για να μένει συνεχώς τεντωμένη κατά μήκος του άξονα του κατακόρυφου κυλίνδρου (λόγω συστολής και διαστολής από την διαφορά θερμοκρασίας)
- Δυο χαλύβδινες βέργες τοποθετημένες(και κεντραρισμένες με αντίβαρο) στα άκρα της διάταξης για στερέωση της αντίστασης στο μέσο της διαμέτρου του κυλίνδρου



- Επίσης περιέχεται μικρόμετρο τοποθετημένο στο μέσο της συσκευής στο οποίο τοποθετήθηκαν το cold wire και θερμοστοιχείο και είχε ελευθέρια κίνησης τουλάχιστον 20mm στην διεύθυνση της ακτίνας



- 3 κομμάτια κυψελωτού διαφράγματος (honey comb) πάχους 5εκ για την ομαλοποίηση της ροής μέσα στον κύλινδρο



Η όλη διάταξη είχε τοποθετηθεί στον τοίχο αλφαδιασμένη κατά τέτοιο τρόπο ώστε να είναι κατακόρυφη. Επίσης έγιναν και κάποιες μετρήσεις στο οριζόντιο επίπεδο κυρίως σαν μέτρο σύγκρισης προς προγενέστερες εργασίες

2.2 Περιβάλλον Διάταξης

Για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκαν τα εξής όργανα

- Ένα τροφοδοτικό 200V DC για την θέρμανση της αντίστασης

- Ένα τροφοδοτικό 30V DC για την τροφοδοσία του ανεμιστήρα
- 2 βολτόμετρα (πολύμετρα) για την έλεγχο των βολτ των τροφοδοτικών
- Παλμογράφο για την επίδειξη της ροής και άμεση ένδειξη των «ενδιαφερόντων» σημείων
- Ένα PC για την συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων
- Δυο θερμοστοιχεία το ένα τοποθετημένο κοντά στην διάταξη για την μέτρηση της θερμοκρασίας αναφοράς κάθε φορά. Και το άλλο για της μετρήσεις εντός του σωλήνα.



- Ανεμόμετρο για την μέτρηση της ταχύτητας(με το hot wire) και της θερμοκρασίας(με το cold wire) μαζί με PC για την άμεση επεξεργασία και καταχώρηση των αποτελεσμάτων .



2.3 Αναλυτική περιγραφή πειραματικής διάταξης

Η συσκευή αποτελείται από τα παρακάτω επιμέρους εξαρτήματα-όργανα

Σωλήνας από plexi glass

Άνω ακροφύσιο

Φυσητήρας κάτω βάσης

Θερμική πηγή

Σύστημα στήριξης του κυλινδρικού σωλήνα

Μικρόμετρο ακριβείας και σύστημα στήριξης του

Όργανα μέτρησης θερμοκρασίας

Ηλεκτρονικός υπολογιστής

2.3.1 Κύλινδρος από plexi glass

Ο κύλινδρος είναι από plexi glass, ένα φθινό υλικό που αντέχει σε σχετικά υψηλές θερμοκρασίες είναι διάφανο ώστε να υπάρχει οπτική επαφή καθ όλη την διάρκεια του φαινομένου και τέλος έχει την απαραίτητη αντοχή ώστε να μην αλλάζει η φυσιολογία του στα ανοίγματα οπών που χρειάστηκαν.

Το μήκος του είναι 1170mm, μήκος ικανοποιητικό για το δισδιάστατο φαινόμενο (οριζόντια θέση) αλλά όχι για την πλήρη ανάπτυξη της ροής στην κατακόρυφη θέση. Η εξωτερική του διάμετρος είναι 80mm και πάχος τοιχώματος 5mm. Στο μέσον του σωλήνα ανοίχτηκε οπή διαμέτρου 3mm για την τοποθέτηση των εκάστοτε αισθητήριων (θερμοστοιχείο cold wire). Κατά μήκος του σωλήνα έχουν ανοιχθεί άλλες 5οπες στις οποίες γίνεται ταυτόχρονη μέτρηση ταχύτητας και θερμοκρασίας.

2.3.2 Άνω ακροφύσιο

Το ακροφύσιο αυτό είναι τετραγωνικής διατομής στο σημείο εξόδου και κυλινδρικής στο σημείο εισόδου με εσωτερική διάμετρο 80mm. Έχει μήκος 50cm. Στην είσοδο τοποθετήθηκε κυψελωτό διάφραγμα (honey comb) πάχους 5cm από αυτό που χρησιμοποιούν στα φίλτρα των ελικόπτερων αλλά και γενικότερα στις αεροσύραγγες.

2.3.3 Φυσητήρας κάτω βάσης

Στο κάτω μέρος υπάρχει ανεμιστήρας 12W 24volt οποίος είναι στηριγμένος σε ανεξάρτητη από την υπόλοιπη συσκευή βάση. Η προσρόφηση του αέρα γίνεται μέσω ενός πανιού. Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγεται η μετάδοση των κραδασμών του ανεμιστήρα στην ροή. Τέλος υπάρχει μια βάση χωροδουκτίωμα από συνδυασμό χάλυβα και χαλκού ώστε να επιτευχθεί η επαναληψιμότητα των μετρήσεων, από πιθανή είσοδο μέρος του πανιού μπροστά από τον ανεμιστήρα. Ο ανεμιστήρας δεχόταν βολτ από το τροφοδοτικό και έχει γίνει βαθμονόμηση του από το ανεμόμετρο ώστε σε κάθε τιμή των βολτ να αντιστοιχεί μια ταχύτητα

2.3.4 Θερμική πηγή-σύστημα στήριξης

Η θερμική πηγή είναι ένα σύρμα χρωμονικελίνης αντίστασης 40 ω /m μήκους 1300mm και με διάμετρο 0,15mm.

Το σύστημα στήριξης βασίζεται σε ένα αντίβαρο στο πάνω μέρος της αντίστασης. Το πάνω μέρος έχει ελευθέρια κίνησης και είναι δεμένο ένα βάρος που ζυγίζει περί τα 350 γραμμάρια σε αντίθεση με το κάτω που είναι ακλόνητο. Έτσι όταν διαρρέυσει ρεύμα την αντίσταση και αυτή αρχίσει να θερμαίνεται οι διαστολή της θα αναγκάσει μια επιμήκυνση η οποία όμως με την σειρά της, θα επιτρέψει σε κίνηση το αντίβαρο και έτσι η αντίσταση θα παραμείνει τεντωμένη αντί να δημιουργήσει ένα τόξο. Η αντίσταση εδράζει πάνω σε δυο χαλύβδινες βέργες κυλινδρικής διατομής και πάχους 2mm όπως φαίνεται και στο σχήμα πιο καθαρά. Στις βέργες αυτές συνδέονται και τα ηλεκτρόδια για την τροφοδοσία της αντίστασης.

2.3.5 Σύστημα στήριξης του κυλινδρικού σωλήνα

Αποτελείται από δυο τεμάχια plexi glass που χρησιμεύουν αφ ενός ως έδρανα στήριξης αφ έτερου δε ως έδρανα ολίσθησης. Για τη δεύτερη λειτουργία των εδράνων στο ένα από τα δυο είχε χαραχθεί μοιρογνωμόνιο κλίμακας 5 μοιρών πράγμα επιβεβλημένο για την ακρίβεια των μετρήσεων σε διάφορες πολικές γωνίες(κάτι που είχε χρειαστεί σε προηγούμενες διπλωματικές).Η βάση των εδράνων αυτών φέρει 4 οπές για κοχλιωτή σύνδεση με τράπεζα εξασφαλίζοντας έτσι την απαραίτητη στιβαρότητα της κατασκευής.

2.3.6 Μικρόμετρο ακριβείας και σύστημα στήριξης του

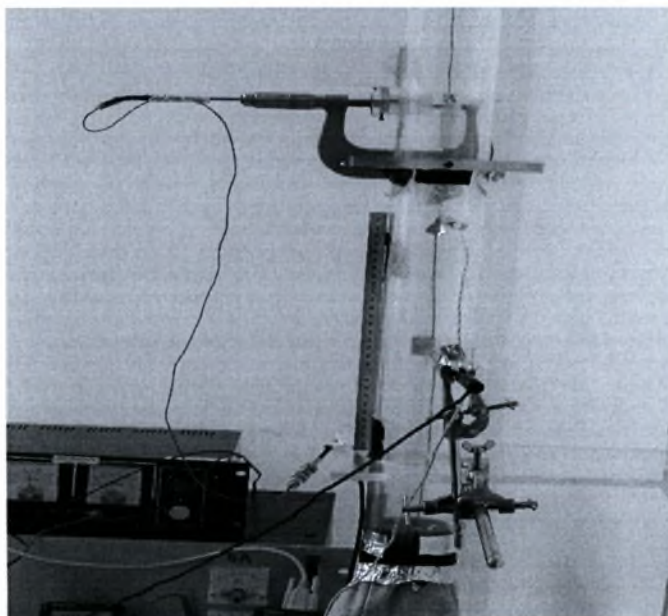
Το μικρόμετρο χρησιμοποιήθηκε για την ακτινική μέτρηση των αποστάσεων από το κέντρο του κυλίνδρου μέχρι το τοίχωμα του(σε κάθετο επίπεδο ως προς την αντίσταση). Έχει άνοιγμα μέτρησης 25mm και ακρίβεια δέκατα του χιλιοστού, Συγκεκριμένα μια περιστροφή του δείκτη(περιέχει 50 γραμμώσεις αριθμησης)μετατοπίζει το πειράκι κατά 0.5mm. Στον πείρο μέτρησης του μικρομέτρου κολλήθηκε ένα ένσφαιρο ρουλεμάν στο οποίο προσαρμόστηκε ένα τεμάχιο από plexi glass που έφερε μία ακόμη οπή. Από την οπή αυτή περνούσε το στέλεχος του cold wire το οποίο συγκρατήθηκε μ'ένα κοχλία. Έτσι με περιστροφική κίνηση ανεβοκατέβαινε το πειράκι και συνεπώς το τεμάχιο από plexi glass και το στέλεχος του cold wire

Το σύστημα στήριξης του μικρομέτρου έπρεπε να εξασφαλίζει, μεγάλη ακρίβεια για τη λήψη των αποτελεσμάτων, άρα και μεγάλη στιβαρότητα ώστε να εκμηδενίζονται, τόσο οι ακτινικές ανοχές του συστήματος πρόσδεσης του coldwire, όσο και οι ανοχές που από τη φύση τους έχουν τα ένσφαιρα ρουλεμάν. Δυνατότητα μέτρησης σε όλο το εύρος της ακτίνας της σήραγγας ,Αυτό δεν στάθηκε δυνατό γιατί η ακτίνα του εσωτερικού τοιχώματος του σωλήνα ήταν 35mm ενώ το άνοιγμα του μικρομέτρου ήταν μόνο 25mm.Μετατόπιση όλου του μετρητικού συστήματος κατά μήκος του σωλήνα. Αυτό θα ήταν αναγκαίο αν υπήρχαν φαινόμενα τύρβης-αστάθειας συσχετιζόμενα μάλιστα με φαινόμενα των άκρων, οπότε θα

ήταν χρήσιμη η λήψη και άλλων δεδομένων σε θέσεις πέραν του κέντρου της σήραγγας.

Τα εξαρτήματα στήριξης του μικρομέτρου αποτελούνταν από:

- Κομμάτι plexi glass πάχους 13mm και διαστάσεων 115mm X 155mm με ανοιγμένη στο κέντρο του οπή διαμέτρου 80mm για την προσαρμογή του με σύσφιγξη στον κυρίως κύλινδρο.
- Τεμάχιο plexiglass πάχους 8mm για την στήριξη του στελέχους του cold wire.
- Ένσφαιρο ρουλεμάν πάχους 5mm. Η τοποθέτηση του ρουλεμάν έγινε με κόλληση στον πείρο μέτρησης του μικρομέτρου και εξασφάλιζε την έδραση του τεμαχίου 2, πετυχαίνοντας ταυτόχρονα τη σωστή λειτουργία του μικρομέτρου (το πειράκι μέτρησης ανεβοκατέβαινε με περιστροφική κίνηση).
- Δύο τεμάχια plexi glass καθώς και πειράκι (εξάρτημα ισοστάθμισης του μικρομέτρου) που η κατασκευαστική τους λειτουργικότητα φαίνεται στο .
- Τεμάχιο plexi glass διαστάσεως 20mm x 24mm και ύψους 43mm, κολημένο με το τεμάχιο 2, στο κέντρο του οποίου ανοίχτηκε διαμπερής οπή και μαζί με το πειράκι ισοστάθμισης αποτελούσε μια κατά προσέγγιση διάταξη εμβόλου .
- Δύο περύγια από plexi glass συγκολλητά στην σήραγγα, εκατέρωθεν της οπής βύθισης του cold wire. Τα περύγια είχαν το ρόλο του οδηγού του εξαρτήματος στήριξης του στελέχους του cold wire



2.3.7 Όργανα μέτρησης θερμοκρασίας

Τα κύρια όργανα μέτρησης της θερμοκρασίας ήταν τα παρακάτω

Θερμοστοιχείο Cr-Al

Θερμοανεμόμετρο τύπου cold wire

Ανεμόμετρο

Η στιγμιαία θερμοκρασία του ρευστού δεν είναι σταθερή για τυρβώδη ροή, αλλά μεταβάλλεται σαν συνάρτηση του χρόνου γύρω από τη μέση τιμή. Η μεταβολή αυτή οφείλεται κυρίως στην μεταβολή της στιγμιαίας ταχύτητας λόγω τυρβώδους ροής. Η συχνότητα της μεταβολής της θερμοκρασίας είναι του ίδιου μεγέθους με την τύρβη.

Τα θερμοστοιχεία που, όπως παραπάνω αναφέρθηκε, χρησιμοποιήθηκαν σε κάποιες μετρήσεις λόγω των μεγάλων σχετικά διαστάσεων τους έχουν μεγάλο χρόνο αντίδρασης Αυτό τα κάνει ακατάλληλα για την μέτρηση της στιγμιαίας θερμοκρασίας Γι' αυτό το λόγο επιβαλλόταν η χρήση ανεμόμετρου ψυχρού σύρματος cold wire. Το ψυχρό σύρμα είναι ένα θερμόμετρο αντίστασης ο αισθητήρας του οποίου είναι ένα σύρμα πολύ μικρών διαστάσεων. Η λειτουργία του στηρίζεται στις αλλαγές στο ρεύμα μιας πολύ μικρής αντίστασης λόγω αλλαγών της θερμοκρασίας του ρευστού.

Το ανεμόμετρο βασίζεται στην μέτρηση του ποσού θερμότητας που εναλλάσσεται ανάμεσα στο ψυχρό σύρμα και το ρευστό. Η ενέργεια που απαιτείται δίνεται συνήθως με τη μορφή ηλεκτρικής ενέργειας Το σύρμα θερμαίνεται από ηλεκτρικό ρεύμα έντασης I που περνάει απ' αυτό ,Σε κατάσταση ισορροπίας η ηλεκτρική ενέργεια που δίνεται, είναι ίση με εκείνη που απάγεται από το ρευστό και, επομένως ισχύει

Ο νόμος μετάδοσης θερμότητας του Νεύτωνα

$$I^2 R_w = kA(T - T_a)$$

όπου,

R_w : η αντίσταση του σύρματος

k : ο συντελεστής μετάδοσης θερμότητας

A:η επιφάνεια του σύρματος

T:η θερμοκρασία του σύρματος

T_a:η θερμοκρασία του ρευστού

Ο σκοπός εδώ είναι η μετατροπή του ηλεκτρικού σήματος που παρέχει ο αισθητήρας σε θερμοκρασία. Ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η μετατροπή αυτή αναφέρεται στο ειδικό κεφάλαιο της βαθμονόμησης

Μετρήσεις με hot wire-cold wire

Ο κύριος όγκος των μετρήσεων έγινε με χρησιμοποίηση του cold wire και ανεμομέτρου το οποίο συνδέθηκε με H/Y για τη λήψη και επεξεργασία των αποτελεσμάτων. Το hot wire είναι βασίζεται στην ίδια ακριβώς διάταξη με το cold wire αλλά με διαφορετική βαθμονόμηση τέτοια ώστε να μετράει την μεταβολή της ταχύτητας αντί της θερμοκρασίας. Ο τρόπος στήριξης του στελέχους μέτρησης καθώς και της βύθισης του μέσα στον κυλινδρικό σωλήνα είναι ίδιος μ'αυτόν του θερμοστοιχείου. Η κίνηση του cold wire-hot wire όπως επίσης και το βήμα που επιλέχθηκε βασίστηκαν στα παρακάτω.

Στις υπάρχουσες κατασκευαστικές δυνατότητες της μετρητικής διάταξης που κυμαίνονταν από 0-32mm. Όμως το τελικό διάστημα κίνησης του κινητού μέρους του μικρομέτρου που επιλέχθηκε ήταν 0,5-20mm. Καθώς για την πλήρη κάλυψη της ακτίνας του κυλίνδρου έπρεπε να λυθεί και να ανατοποθετηθεί, το στέλεχος μέτρησης σε μια νέα θέση πάνω στην οπή στερέωσης του. Μ'αυτό τον τρόπο όμως θα παρουσιαζόταν μια επιπλέον πιθανότητα σφάλματος όσον αφορά τη σωστή επανατοποθέτηση και στήριξη του, και έτσι αποφεύχθηκε, πλην μερικών περιπτώσεων όπως αυτή της μέτρησης της ταχύτητας με το hot wire.

Την προστασία του cold wire από κίνδυνο καταστροφής του. Το τελευταίο βάζει ένα κατώτερο όριο στην τιμή της ακτίνας R στην οποία μπορούμε να μετρήσουμε, πέρα από το οποίο υπάρχει πιθανότητα καταστροφής του λόγω επαφής του με την αντίσταση θερμότητας. Το όριο αυτό ήταν 0.5mm.

Το σφάλμα που προκύπτει από την δημιουργία καμπυλότητας της αντίστασης λόγω διαστολής όταν αυτή θερμανθεί μας εμποδίζει να πλησιάζουμε πολύ κοντά στην αντίσταση καθώς το σφάλμα που εμφανίζεται είναι τόσο μεγάλο που καθιστά ανώφελη τη λήψη κάθε μετρητικού δεδομένου.

Τελειώνοντας πρέπει να αναφερθεί ότι κατά τη διάρκεια ολόκληρης της πειραματικής διαδικασίας χρησιμοποιήθηκε εξωτερικό θερμοστοιχείο για τη συνεχή καταγραφή και παρακολούθηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος. Σαν θερμοκρασία αναφοράς.

Θερμοστοιχείο

Χρησιμοποιήθηκαν δυο θερμοστοιχεία τύπου K ένα εντός του σωλήνα και ένα εκτός για την μέτρηση της Θ_{ref} . Όπως επίσης και ένα cold wire.

Θερμοστοιχείο τύπου K χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση των θερμοκρασιών μέσα στον σωλήνα, Η χρησιμοποίησή του επιβαλλόταν για να αποκτηθεί μια πρώτη εικόνα του πεδίου ροής και για να αναγνωρισθούν οι παράμετροι που επηρέαζαν σημαντικά το πρόβλημα που έπρεπε να μελετηθεί π.χ. καταγραφή των ορίων ανάμεσα στα οποία κυμαινόταν η θερμοκρασία στις διάφορες περιπτώσεις. Πράγματι μετά από αλλαγή της ταχύτητας του φυσητήρα, η θερμοκρασία μέσα στην κοιλότητα, να κυμαινόταν ανάμεσα σε μία κατώτερη και μία ανώτερη τιμή, δείγμα τις αστάθειας της ροής.

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται λεπτομερή στοιχεία για το θερμοστοιχείο

Είδος	Περιοχή Λειτουργίας	Μέγιστη Επιτρεπ ή Θερμοκρα	Μέγισ το Σχετι κό
K Χρωμονικέλιο / Αλουμέλ (90%Ni+ 10%Cr / 95%Ni+2%Al+ 1 %Bi)	-200 έως 1110 K	1300K	±0.75

Το δεύτερο θερμοστοιχείο είχε τοποθετηθεί στην είσοδο του ακροφυσίου με σκοπό την ταυτόχρονη μέτρηση της θερμοκρασίας του σωλήνα, και της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος. Έτσι είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε εάν οι μεταβολές της θερμοκρασιακής κατανομής γύρω από την αντίσταση για τις διάφορες

περιπτώσεις οφείλονται στη φύση της ροής στην σήραγγα ή σε εξωτερικούς παράγοντες όπως η θερμοκρασία περιβάλλοντος, Για το σκοπό αυτό η ακρίβεια του θεωρήθηκε ικανοποιητική.

Μετρήσεις με θερμοστοιχείο(cr al)

Για τη καλύτερη σταθεροποίηση του θερμοστοιχείου και τον ακριβή έλεγχο και καθορισμό του σημείου μέτρησης χρησιμοποιήθηκε ειδικός σωλήνας αλουμινίου πολύ μικρής διαμέτρου μέσα από τον οποίο περάστηκε το ένα άκρο του θερμοστοιχείου και το στερεώθηκε σε κατάλληλη οπή του κινητού μέρους του συστήματος του μικρομέτρου. Για τη βύθιση του στελέχους μέτρησης, στο εσωτερικό του σωλήνα από plexi glass υπήρχε οπή πάνω στο τοίχωμα του, η οποία επηρέαζε το θερμοκρασιακό πεδίο κυρίως στις θέσεις γύρω απ'αυτήν. Η αιτία ήταν η ροή θερμότητας από τη διάκενο μεταξύ τοιχώματος σωλήνα αλουμινίου και οπής βύθισης του cold wire καθώς και η επίδραση χαμηλών ρευμάτων του αέρα περιβάλλοντος. Για τη αποφυγή όλων των παραπάνω το διάκενο αυτό σφραγίστηκε με πλαστελίνη. Οι μετρήσεις με θερμοστοιχείο έγιναν με διαφορετικό βήμα σε σχέση μ'αυτή των μετρήσεων με cold wire. Αυτό γιατί οι δυνατότητες προσαρμογής και κίνησης των στελεχών μέτρησης των δύο οργάνων είναι διαφορετικές, Συνολικά οι μετρήσεις αυτές μπορούν να θεωρηθούν ως δοκιμαστικές καθώς είναι πολύ δύσκολο να έχουμε ακρίβεια λόγω της αδυναμίας ανταπόκρισης του οργάνου σε φαινόμενα μεγάλης αστάθειας. Ήταν όμως απολύτως αναγκαίες για μια πρώτη εικόνα του θερμοκρασιακού πεδίου, αλλά κυρίως για την πιστοποίηση ότι βρισκόμαστε στην περιοχή τυρβώδους ροής. Ακόμη μπορούν να θεωρηθούν συγκρίσιμες με τις μετρήσεις του cold wire ώστε να είναι δυνατός κάποιος έλεγχος της εγκυρότητας και της επαναληψιμότητας των αποτελεσμάτων. Στις μετρήσεις αυτές εξαιτίας της μεγάλης διακύμανσης της ένδειξης του οργάνου λήφθηκε υπόψη η μέση τιμή των ακραίων ενδείξεων.

2.3.8 Ηλεκτρονικός υπολογιστής

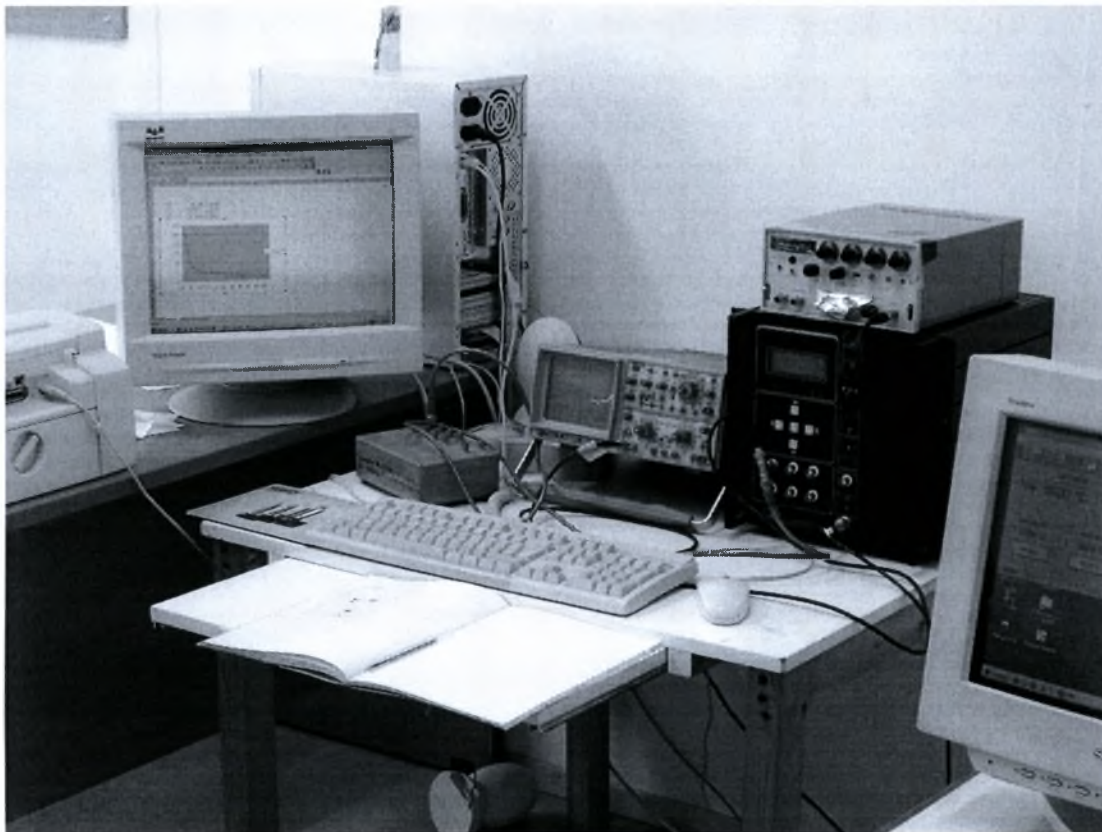
Στον ηλεκτρονικό υπολογιστή καταγράφονταν τα αποτελέσματα. Στις πρώτες

μετρήσεις με το protec η ψηφιοποίηση του σήματος γινόταν αυτόματα από το όργανο. Κάτι που δεν γινόταν έτσι και με το ανεμόμετρο και το cold wire στο οποίο γινόταν χρήση μιας ειδικής κάρτας μετατροπής αναλογικού σε ψηφιακό σήμα .Στη συνέχεια αποτυπωνόταν η στιγμιαία τιμή μέση τιμή και το τετράγωνο της μέσης τιμής.

Πέραν του ηλεκτρονικού υπολογιστή(Intel Pentium 800Mhz 256MB RAM) έγινε χρήση των παρακάτω οργάνων

Παλμογράφος leader τύπου LBO-525L δυο καναλιών με εύρος από 0-50Mhz

Μετατροπέας αναλογικού-ψηφιακού σήματος με κάρτα της National Instruments



3. Πειραματική μεθοδολογία

3.1 Γενικά

Το κύριο μετρούμενο μέγεθος σε όλη τη διάρκεια των μετρήσεων ήταν η τιμή της θερμοκρασίας. Η μεταβολή της τιμής της θερμοκρασίας σχετικά με την μεταβολή των παραγόντων που την επηρεάζουν είναι και ο κύριος σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Όπως είναι φανερό οι παράγοντες που την επηρεάζουν είναι πολλοί και η επίδραση, πολλών απ'αυτούς, πολύπλοκη και τυχαία συνεπώς, ο ακριβής υπολογισμός της ξεφεύγει από τα όρια των υπάρχουσών δυνατοτήτων καθώς και από τους στόχους της εργασίας αυτής

Ωστόσο καταβλήθηκε προσπάθεια ελαχιστοποίησης των ανεπιθύμητων παραγόντων(επιλογή κλειστού χώρου με κλιματισμό για τη διεξαγωγή των μετρήσεων, κλείσιμο οπών, σφράγισμα της οπής) πράγμα που επιφέρει αρκετή ακρίβεια στις μετρήσεις.

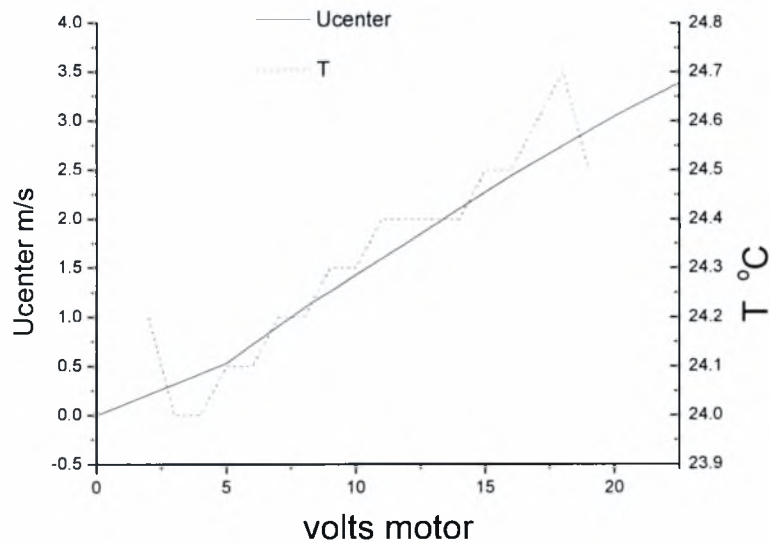
Τέλος πρέπει να αναφερθεί ότι πριν ξεκινήσουν οι κανονικές μετρήσεις έγιναν μερικές δοκιμαστικές έτσι ώστε να υπάρχει εξοικείωση μεν με τη χρήση των οργάνων και αφ' εταίρου εντοπισμός και επίλυση τυχόν προβλημάτων που θα παρουσιάζονταν κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.

3.2 Αρχικές μετρήσεις

Ένας από τους βασικούς στόχους ήταν η διερεύνηση της επίδρασης της θέρμανσης στην δημιουργία τύρβης και στη κίνηση του ρευστού.

Βέβαια δεν θα υπήρχε ενδιαφέρον αν είτε η τυρβώδης ροή είτε η στρωτή επιτυγχάνονταν κατ ευθείαν και όχι σταδιακά. Έτσι για την επίτευξη τους χρησιμοποιήθηκε πέραν της θερμαινόμενης αντίστασης και ένας φυσητήρας που η ροή του ήταν επιλεκτικά ομόροπη ή αντίροπη της ανώσεως. Οι τιμές των volts του φυσητήρα ήταν προεπιλεγμένες στα 6V 9V 12V και 24V οι οποίες είναι ενδεικτικές για την πλήρη περιγραφή του φαινομένου σε σχετική βαθμονόμηση **πίνακας 3.1- Διάγραμμα 3.1** φαίνονται και οι αντίστοιχες κεντρικές ταχύτητες για κάθε τιμή των Volt. για την ακρίβεια των τιμών των Volts χρησιμοποιήθηκε ψηφιακό βολτόμετρο. Ένα σημείο που επίσης δόθηκε προσοχή είναι ο χρόνος εξισορρόπησης του

φαινομένου. Για να ξεκινήσει η διαδικασία λήψης των δεδομένων πρέπει το θερμοκρασιακό πεδίο να είναι μόνιμο. Αυτό βέβαια απαιτεί την παρέλευση κάποιου χρονικού διαστήματος από την έναρξη της τροφοδοσίας..



Διάγραμμα 3.1. Διάγραμμα βαθμονόμησης φυσητήρα

volts motor	Uc m/s
0	0
5	0.53
5.49	0.62
6	0.72
6.5	0.81
7.01	0.91
7.51	1
7.98	1.09
8.49	1.18
9.01	1.26
10.01	1.43
12	1.76
14.02	2.11
16	2.44
18.02	2.75
20	3.05
22	3.32
24	3.59

Πίνακας3.1. Τιμές βαθμονόμησης φυσητήρα

3.3 Γενική αναφορά στη μέθοδο μετρήσεων

Όπως διαπιστώθηκε πρόκειται για μια γραμμική πηγή θερμότητας που βρίσκεται μέσα σε κυλινδρική κοιλότητα και ταυτίζεται με τον άξονα συμμετρίας της. Για τον πλήρη υπολογισμό του θερμοκρασιακού πεδίου που δημιουργείται από τη θέρμανση της αντίστασης πρέπει να μετρηθούν οι θερμοκρασίες σ' όλα τα σημεία του εσώκλειστου χώρου. Κάτι τέτοιο δεν είναι δυνατό για τεχνικούς λόγους και έτσι οι μετρήσεις έγιναν δειγματοληπτικά σ' ένα επίπεδο εγκάρσιο στον κυλινδρικό σωλήνα.. Έτσι καθορίστηκε το επίπεδο μέτρησης στο μέσο του σωλήνα σαν κύριο επίπεδο μέτρησης και αλλά τέσσερα επίπεδα εκατέρωθεν του μέσου σαν δευτερεύοντα στα οποία έγιναν λιγότερες μετρήσεις και με άλλο όργανο μέτρησης(TSI) .

Η διαδικασία λήψης των δεδομένων έγινε διαδοχικά σε δύο φάσεις. Στην πρώτη φάση έγιναν οι μετρήσεις των θερμοκρασιών με τη χρήση θερμοστοιχείου. Στη συνέχεια ακολούθησαν μετρήσεις με cold wire,ορισμένες με hot wire για την μεταβολή της ταχύτητας και τέλος με το TSI για ταυτόχρονη ένδειξη θερμοκρασίας και ταχύτητας.

3.4 Μετρήσεις μεταβατικού φαινομένου

Οι μετρήσεις μεταβατικού φαινομένου έγιναν για τις περιπτώσεις της αντίρροπης και ομόροπης με την άνωση ροής στις αποστάσεις των 10mm 15mm και 20mm όσον αφορά την αντίρροπη της ανώσεως ροής και 2mm όσον αφορά την ομόροπη της άνωσης ροή. Οι μετρήσεις έγιναν με την χρήση του cold wire.Τοποθετούνταν το cold wire στην επιθυμητή απόσταση και αφού γινόταν οι απαραίτητες ρυθμίσεις στα volt του φουσητήρα και της αντίστασης στη συνέχεια γινόταν ταυτόχρονη έναρξη της μέτρησης και της διαρροής από ρεύμα της αντίστασης(στην ομόροπη με την άνωση ροή μεσολαβούσε κάποιος χρόνος μέχρι να διαρρεύσει το ρεύμα την αντίσταση ο οποίος καθορίστηκε στα 5 sec). Μετέπειτα η χρονοσειρά που προέκυπτε αποθηκευόταν μέσω του lab view στον υπολογιστή και τέλος γινόταν η απεικόνισή της στο πρόγραμμα Origin. Οι περιπτώσεις στις οποίες έγινε μέτρηση transient φαίνονται αναλυτικά μαζί με τα σχόλια τους στο κεφαλαίο 6.

4.Επεξεργασία Αποτελεσμάτων

4.1 Γενικά

Η γρήγορη μεταβολή της ταχύτητας και της θερμοκρασίας απαιτεί την απευθείας αποθήκευση των δεδομένων της δειγματοληψίας σε Η/Υ. Μ' αυτό τον τρόπο σε κάθε θέση μέτρησης φαινόταν, εκτός από την μέση τιμή και η τυπική απόκλιση της θερμοκρασίας και τις τιμές ανάμεσα στις οποίες κυμαινόταν κατά το χρονικό διάστημα της αποθήκευσης. Αυτό ήταν απαραίτητο ιδίως στις μεγάλες ταχύτητες του φουσητήρα όπου η θερμοκρασία και η ταχύτητα μεταβάλλονταν σε μεγάλο εύρος. Η σύνδεση της δειγματοληπτικής εργασίας με καταγραφή των δεδομένων που θα προέκυπταν απ' αυτή στον Η/Υ απαιτούσε τη μετατροπή της αναλογικής μορφής των σημάτων σε ψηφιακή, άρα τη χρήση ειδικού μετατροπέα, καθώς επίσης και τη δημιουργία ειδικού προγράμματος για την αποθήκευση των δεδομένων αυτών.

4.2. Μέση τιμή και τυπική απόκλιση μεγέθους

Εδώ πρέπει να αναφερθεί τι σημαίνουν οι όροι μέση τιμή και τυπική απόκλιση ενός μεγέθους, ώστε να γίνει κατανοητή η έννοια της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης της θερμοκρασίας και της ταχύτητας που έδινε η δειγματοληπτική διαδικασία, για κάθε θέση μέτρησης.

Με την έκφραση μέση τιμή ενός μεγέθους εννοείται αυτή ενός συνόλου ομοειδών μεγεθών τα οποία προέκυψαν κάτω από επαναλαμβανόμενες μετρήσεις στον ίδιο πάντα χρόνο. Το και κάτω από όμοιες συνθήκες. Τότε ο αντίστοιχος αριθμός της μέσης τιμής δίνεται από τη σχέση :

$$U(x_o, t_o) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N u_i(x_o, t_o)$$

όπου N ο αριθμός πανομοιότυπων πειραμάτων

Ο όρος μέση τιμή εννοείται και σαν χρονική μέση τιμή (time average) ενός τυρβώδους μεγέθους σε κάποιο μεγάλο χρονικό διάστημα t :

$$\bar{U} = \frac{\sum_{i=1}^N u_i(x_o, t_o)}{N}$$

Για να ταυτίζονται οι δύο παραπάνω εξισώσεις θα πρέπει το φαινόμενο που εξετάζεται να είναι χρονικά μόνιμο. Οι σχέσεις υπολογισμού της μέσης τιμής της θερμοκρασίας και της μέσης τετραγωνικής τιμής είναι οι παρακάτω :

$$U_{mean} = \frac{\sum_{i=1}^N u_i}{N} \quad U_{rms} = \sqrt{\left(\frac{\sum_{i=1}^N u_i^2}{N} \right)}$$

4.3 Μέθοδοι και λογισμικό για τη λήψη δεδομένων σε H/Y

Για τη λήψη των βασικών μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε ανεμόμετρο ψυχρού και θερμού σύρματος που έδειχναν τη στιγμιαία τιμή της θερμοκρασίας και της ταχύτητας αντίστοιχα.

Για την εύρεση της μέσης τιμής και της μέσης τετραγωνικής τιμής της θερμοκρασίας χρησιμοποιήθηκε το γνωστό πρόγραμμα lab view. Αυτό σε κάποιο χρονικό διάστημα έπαιρνε τα δεδομένα του ανεμόμετρου με συχνότητα δειγματοληψίας 1000hz και το μέγεθος του δείγματος 20000 σημεία.

Από το σύνολο των σημείων που λαμβάνονταν, με το ίδιο επίσης πρόγραμμα υπολογιζόταν ταυτόχρονα η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση της θερμοκρασίας ενώ υπήρχε η επιλογή της αποθήκευσης των στιγμιαίων τιμών της θερμοκρασίας.

Τα αποτελέσματα που προέκυπταν από το labview, τυπωνόντουσαν σε αρχεία με ανάλογα ονόματα για τις διάφορες θέσεις μετρήσεων και μέσω του origin, μπορούσαν να παρουσιαστούν σε διαγράμματα.

Το ψηφιακό σήμα που επεξεργαζόταν μέσω του υπολογιστή ήταν η μέση τιμή και μέση τετραγωνική απόκλιση της θερμοκρασίας σε Volts. Με κατάλληλη σχέση, (σχέση βαθμονόμησης) γινόταν η μετατροπή των Volts σε βαθμούς °C και m/s.

5.Βαθμονόμηση Σφάλματα Οργάνων

5.1 Γενικά

Η ακρίβεια των μετρήσεων (ακρίβεια των ενδείξεων των οργάνων που χρησιμοποιούμε) είναι σημαντική γιατί επηρεάζει τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τη λήψη και επεξεργασία των δεδομένων. Γι' αυτό θα γίνει αναφορά στα σφάλματα μετρήσεων τόσο γενικά όσο και ειδικά , στους παράγοντες που τα δημιουργούν, στην προκειμένη περίπτωση, και στους τρόπους αντιμετώπισης τους.

5.2 Γενική και ειδική αναφορά στα σφάλματα μετρήσεων

Ορίζεται σαν ακρίβεια μιας μέτρησης, ενός ρευστομηχανικού μεγέθους το πόσο κοντά στην πραγματική τιμή είναι η ένδειξη του οργάνου. Σαν σφάλμα ορίζουμε τη διαφορά ανάμεσα στην ένδειξη και την πραγματική τιμή. Το σφάλμα μιας μέτρησης διαιρείται στο συστηματικό σφάλμα και στο τυχαίο σφάλμα Το συστηματικό σφάλμα είναι το ίδιο για κάθε ανάγνωση και μπορεί να διορθωθεί με βαθμονόμηση. Το τυχαίο είναι στατιστικό σφάλμα και οφείλεται σε ανακρίβεια του οργάνου ,συνεπώς για το τυχαίο σφάλμα δεν μπορούμε να κάνουμε διόρθωση και δεδομένης μιας μέτρησης, το μόνο που μπορούμε να κάνουμε, είναι να δώσουμε τα όρια στα οποία θα βρίσκεται η πραγματική τιμή.

Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι ενδιαφέρουν έχουν τα συστηματικά σφάλματα, δηλαδή σφάλματα που προκύπτουν από τη μέθοδο λήψης των αποτελεσμάτων , και από την επίδραση του περιβάλλοντος στο αποτέλεσμα της μέτρησης . Τα σφάλματα που οφείλονται σε ανακρίβεια του οργάνου (π.χ. μη επαναληπτικότητα) είναι σφάλματα τυχαίας μορφής .

Η θερμοκρασία, η υγρασία, η ατμοσφαιρική πίεση, τα ηλεκτρικά, μαγνητικά και ηλεκτρομαγνητικά πεδία αποτελούν παράγοντες του περιβάλλοντος που μπορούν να επιδρούν στο αποτέλεσμα μιας μέτρησης κατά γνωστό ή άγνωστο τρόπο. Συνήθως παίρνονται μέτρα προστασίας ,ο βαθμός των οποίων εξαρτάται

από το μέγεθος της ακρίβειας που απαιτείται στη μέτρηση ,όπως κλωβοί για τη μείωση των ηλεκτρικών επιδράσεων, ρύθμιση της θερμοκρασίας, υγρασίας κ.τ.λ.

Επίσης οι συνθήκες εκτέλεσης του πειράματος και η μέθοδος λήψης των δεδομένων εισάγουν σφάλματα στις μετρήσεις ανάλογα με το αν η εκτέλεση του πειράματος και η λήψη των δεδομένων γίνονται κάτω από πανομοιότυπες συνθήκες.

Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων είναι φανερό ότι απαιτείται μονιμότητα των συνθηκών του περιβάλλοντος. Αυτό επέβαλε την εκτέλεση των πειραμάτων σε κλειστό χώρο κλιματιζόμενο που θα επηρεαζόταν όσο το δυνατό λιγότερο από εξωτερικές διακυμάνσεις της θερμοκρασίας και από ρεύματα αέρος. Βέβαια κατά την εκτέλεση των πειραμάτων δεν ήταν δυνατό η θερμοκρασία περιβάλλοντος να παραμένει απολύτως σταθερή. Συνεπώς ο παράγοντας του χρόνου υπεισέρχεται και επηρεάζει το φαινόμενο χωρίς να είναι δυνατή η δημιουργία απόλυτης μονιμότητας. Η καταγραφή όμως σε κάθε μέτρηση και της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος, έδινε τη δυνατότητα να επισημαίνεται αν και πόσο σημαντικά η θερμοκρασία του περιβάλλοντος επηρεάζει τις συνθήκες ροής- Η θερμοκρασία περιβάλλοντος επηρεάζει μόνο κατά μικρό βαθμό το φαινόμενο, όταν ο φυσητήρας λειτουργούσε στην αντίθετη περίπτωση δε υπήρχε μεταβολή της ροής η οποία όμως ήταν αναπόφευκτη.

Άλλη πηγή σφαλμάτων κατά τις μετρήσεις ήταν δημιουργία καμπυλότητας της αντίστασης θερμότητας μετά από κάποιο χρονικό διάστημα Το σύστημα στήριξης της γραμμικής πηγής είχε σαν σκοπό την παραλαβή των διαστολών αυτών(αύξηση μήκους της πηγής λόγω αύξησης της θερμοκρασίας πχ. όμως ήταν αδύνατη η απόλυτη παραλαβή των διαστολών αυτών με αποτέλεσμα τη δημιουργία εκκεντρότητας. Η εκκεντρότητα αυτή δημιούργησε πρόβλημα στις μετρήσεις κοντά στη πηγή για μικρές τιμές του R.Επίσης άλλο ένα σφάλμα υπεισερχόταν από την ταλάντωση της αντίστασης σε ορισμένες τιμές των Volt που την διέρρεαν. Και αυτό οφειλόταν στο γεγονός ότι το ρεύμα που διέρρεε το τροφοδοτικό προερχόταν από την ΔΕΗ και όντας εναλλασσόμενο σε ορισμένα αμπερ συντονίζονταν η αντίσταση αφού τα Hz του ρεύματος είχαν την ιδιοσυχνότητα της αντίστασης.

Προκειμένου να αντιμετωπιστούν τα σφάλματα που οφειλόταν στην ακρίβεια του μετρητικού οργάνου έγινε βαθμονόμηση ,όπως επεξηγείται στη συνέχεια

Βαθμονόμηση έγινε μόνο για τα cold wire και hot wire αφού μ' αυτά γίνονταν οι κύριες μετρήσεις. Για το θερμοστοιχείο διαπιστώθηκε η ακρίβεια του μετρώντας τη θερμοκρασία βρασμού καθαρού νερού.

5.3 Ακρίβεια οργάνων

Οι μετρήσεις έγιναν από 3 όργανα

Από το θερμοστοιχείο το οποίο είχε συνδεθεί στο πολύμετρο Protec

Από το μετρητικό της TSI

Και τέλος από το ανεμόμετρο που ήταν και το κυριότερο όργανο μέτρησης. Η ακρίβεια των δυο πρώτων οργάνων βρίσκεται από το manual τους και είναι στο +/- 0,075% αντιθέτως η ακρίβεια του ανεμόμετρου βρίσκεται από τις παρακάτω εξισώσεις

$$W_u = 5/2^{16} = 0.076 \text{ mV}$$

Για τις μετρήσεις της ταχύτητας με το hot wire το μέγιστο σφάλμα είναι

$$\Theta = \frac{\partial U}{\partial V} W_u$$

$$\frac{\partial U}{\partial V} = 3B_3 V^2 + 2B_2 V + B_1 =$$

όπου

$$\beta_1 = -92.5066$$

$$\beta_2 = -39.7327$$

$$\beta_3 = -5.8340$$

$$V = 5 \text{ V}$$

Άρα τελικά $\Theta = 0,841\%$

Για τις μετρήσεις της θερμοκρασίας με το hot wire το μέγιστο σφάλμα είναι

$$\Theta = \frac{\partial T}{\partial V} W_u$$

$$\frac{\partial T}{\partial V} = B$$

όπου

$$B = -457,22$$

$$V = 5 \text{ V}$$

Άρα τελικά $\Theta = 0,346\%$

Οι όροι B, B_1, B_2, B_3 είναι όροι των πολυωνύμων της βαθμονόμησης του ανεμόμετρου

5.4 Βαθμονόμηση για μετρήσεις με cold wire-hot wire.

Με τον όρο βαθμονόμηση ενός οργάνου εννοείται η ανάπτυξη μιας σχέσης ανάμεσα στα σήματα εισόδου και εξόδου του οργάνου. Προκειμένου να βαθμονομηθεί ένα όργανο πρέπει να είμαστε σε θέση να μετρήσουμε το σήμα εισόδου με ακρίβεια που να είναι καλύτερη από την ακρίβεια που έχει το όργανο που μελετάται.

Η αρχή λειτουργίας του συστήματος βασίζεται στην εναλλαγή θερμότητας μεταξύ σύρματος και ρευστού. Τα cold wire λειτουργούν συνήθως σαν όργανα σταθερού ρεύματος κρατώντας την ένταση του ρεύματος μέσα από το σύστημα σταθερή και πολύ μικρή. Η επίδραση της ταχύτητας στα άκρα του ψυχρού ρεύματος είναι αμελητέα. Ακριβώς το αντίθετο συμβαίνει στο hot wire όπου εκεί δεν επιδράει καθόλου η θερμοκρασία αλλά μετρώνται οι μεταβολές της ταχύτητας. Τη διαφοροποίηση μεταξύ τους την κάνει η διαφορετική βαθμονόμηση κατά αλλά βασίζονται στην ίδια αρχή λειτουργίας.

Η σχέση που συνδέει το σήμα εισόδου(θερμοκρασία θ) και το σήμα εξόδου(τάση E) είναι ένα πολυώνυμο το οποίο μπορεί να είναι $1^{ου}$ $2^{ου}$ $3^{ου}$ ή και $5^{ου}$ βαθμού

Π.χ.

$$\theta(t)=\alpha * E(t) + \beta$$

όπου

t: ο χρόνος τη στιγμή της μέτρησης

$\theta\{t\}$: η στιγμιαία θερμοκρασία στο χρόνο t

$E(t)$: η στιγμιαία τάση στο χρόνο t

α, β : σταθερές που είναι συνάρτηση της έντασης I που περνά από το wire

Για το cold wire το πολυώνυμο που χρησιμοποιήθηκε ήταν $1^{ου}$ βαθμού με σταθερές α, β

$$A=1834,22$$

$$B=-457,22$$

Για το hot wire το πολυώνυμο που χρησιμοποιήθηκε ήταν $3^{ου}$ βαθμού με σταθερές $\alpha, \beta, \beta_1, \beta_2, \beta_3$

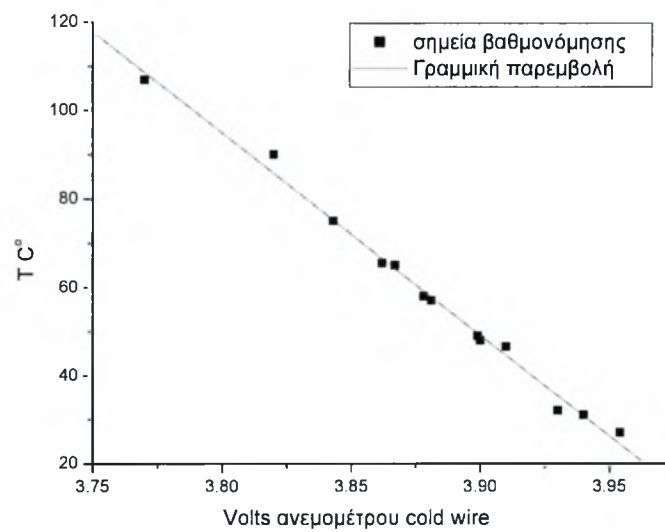
$$\beta_1 = -92,5066$$

$$\beta_2 = -39,7327$$

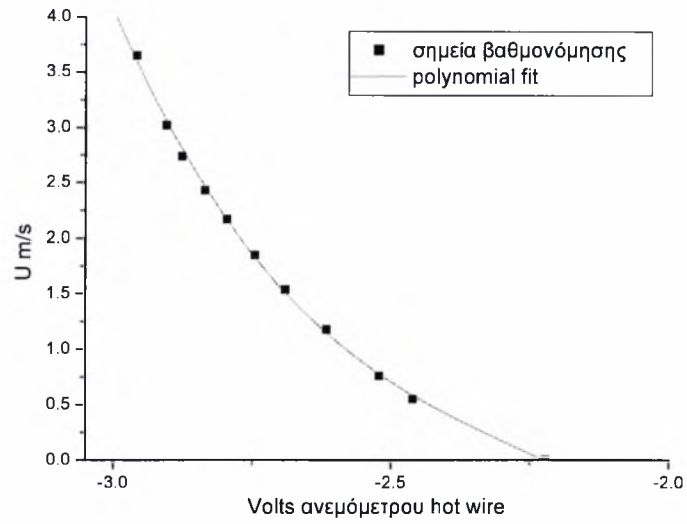
$$\beta_3 = -5,8340$$

$$A = -73,3863$$

Όλες οι παραπάνω σταθερές προέκυψαν από μέτρηση των αντιστοιχών θερμοκρασιών και ταχυτήτων και μετά από πέρασμα τους στο Origin από όπου περάστηκε και η σχετική polynomial καμπύλη για το καθένα βλ. σχετικό διάγραμμα 5.1 & 5.2 αντίστοιχα για το cold wire και το hot wire



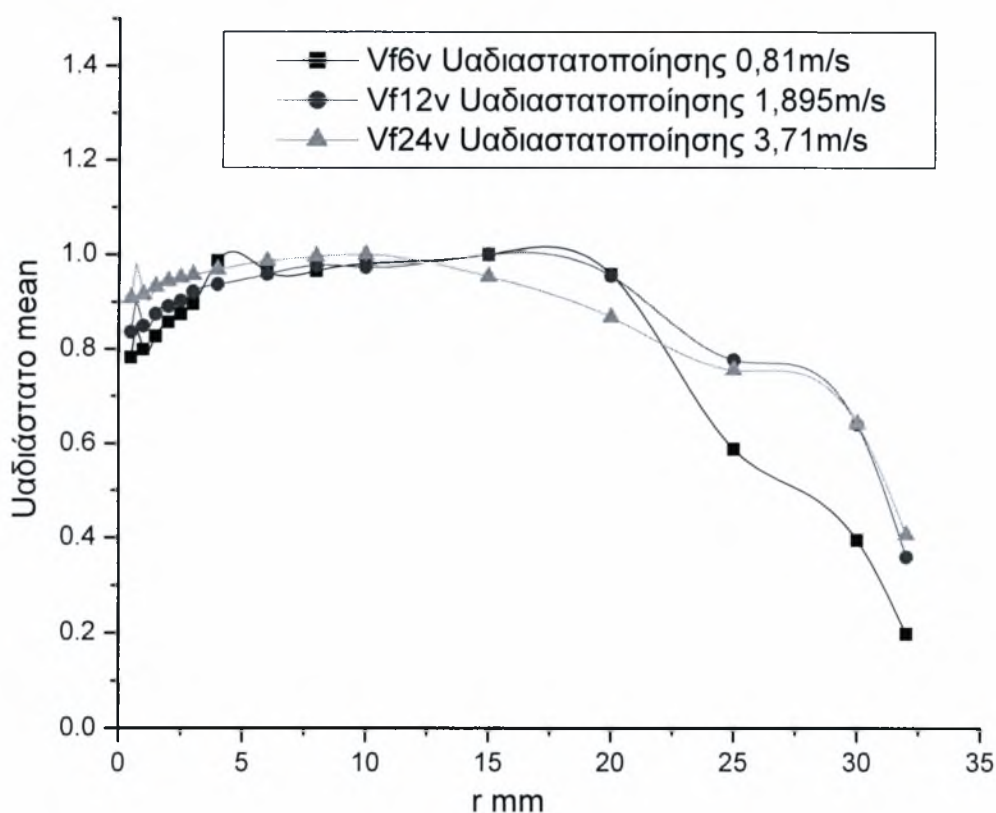
Διάγραμμα 5.1 Βαθμονόμηση cold wire



Διάγραμμα 5.2. Βαθμονόμηση hot wire

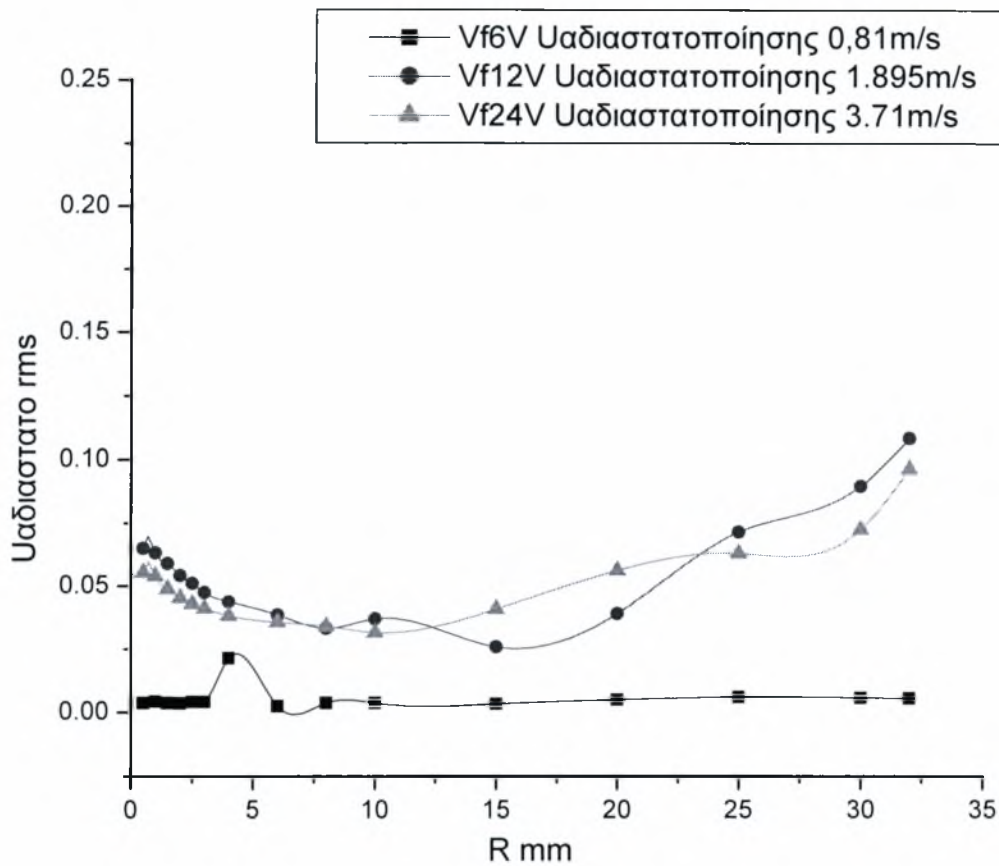
6. Διαγράμματα Σχόλια

6.1. Μεταβολή ταχύτητας μέσης και RMS κατά μήκος μιας ακτίνας και κατά μήκος ολόκληρου του σωλήνα μετρήσεις με hot wire-TSI



Διάγραμμα 6.1 προφίλ ταχυτήτων κατά μήκος μιας ακτίνας χωρίς θέρμανση

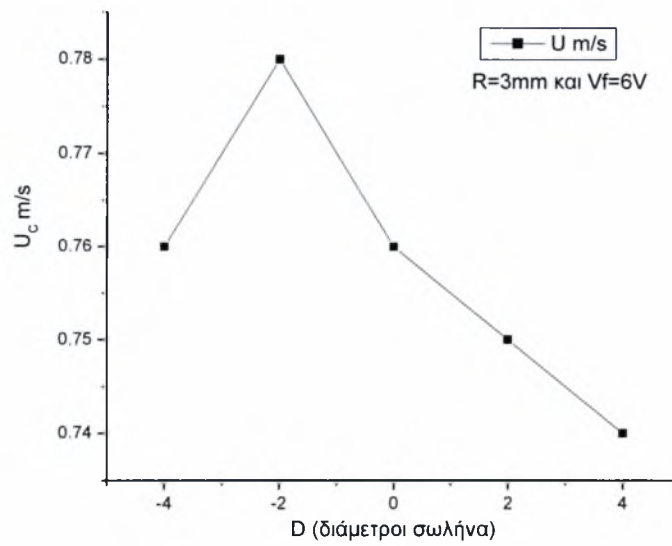
Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 6.1 η μεταβολή της ταχύτητας για της περιπτώσεις των 6 12 και 24 volt του φουσητήρα είναι σχεδόν η ίδια με μια μικρή διάφορα τα 20mm όπου από εκεί και πέρα τα 6volt του φουσητήρα δεν μπορούν να υπερνικήσουν τις τριβές από τα τοιχώματα του σωλήνα και έτσι μειώνεται η ταχύτητα αισθητά. Οι άλλες δυο περιπτώσεις 12 και 24 volt συνεχίζουν πανομοιότυπα καθ όλη την διάρκεια του διαστήματος κατά μήκος της ακτίνας.



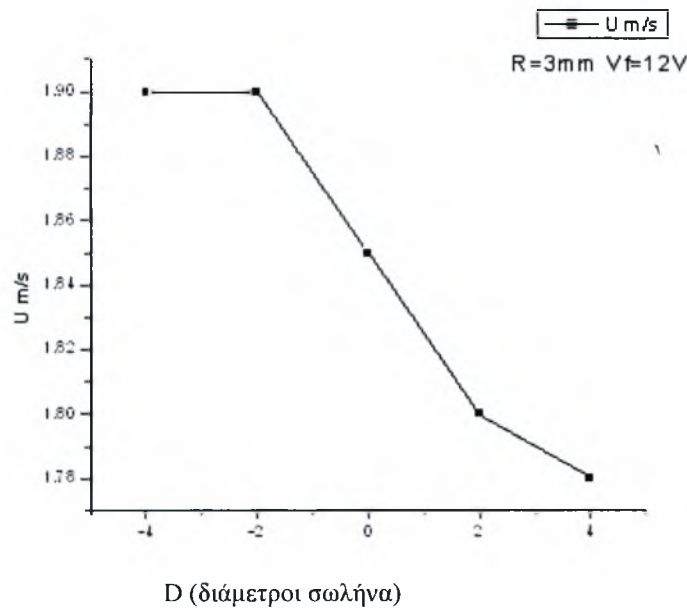
Διάγραμμα 6.2 προφίλ ταχυτήτων κατά μήκος μιας ακτίνας χωρίς θέρμανση

Στο συγκεκριμένο διάγραμμα 6.2 είναι αξιοσημείωτο το peak που κάνει η καμπύλη του RMS της ταχύτητας για την περίπτωση των 6volt του φυσητήρα. Δείχνει δηλαδή μια στρωτή ροή εκτός του σημείου των 4mm όπου πιθανότατα δημιουργούνται κάποιες δομές.

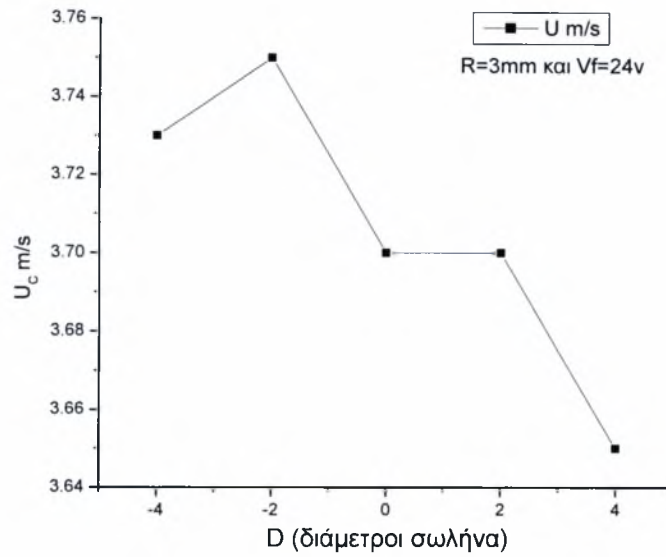
Μετρήσεις ταχύτητας με το TSI χωρίς θέρμανση



Διάγραμμα 6.3 μεταβολή ταχύτητας κατά μήκος της κυλινδρικής κοιλότητας

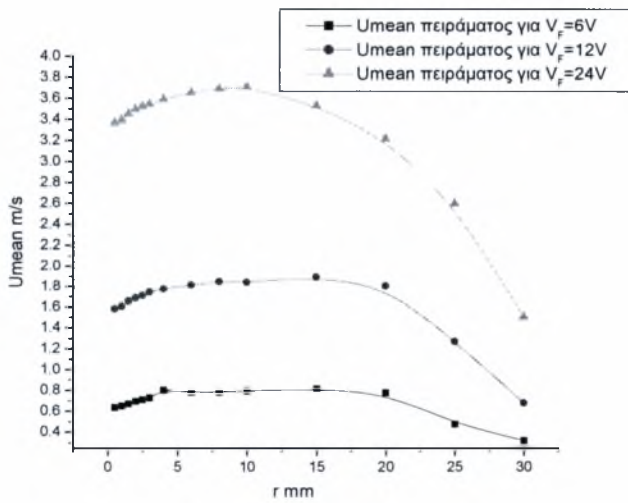


Διάγραμμα 6.4 Μεταβολή της ταχύτητας κατά μήκος της κυλινδρικής κοιλότητας

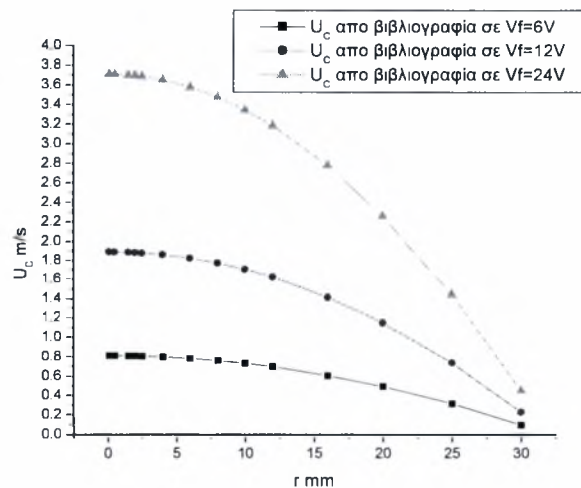


Διάγραμμα 6.5 μεταβολή ταχύτητας κατά μήκος της κυλινδρικής κοιλότητας

Σύγκριση διαγραμμάτων ταχύτητας βιβλιογραφίας-πειράματος

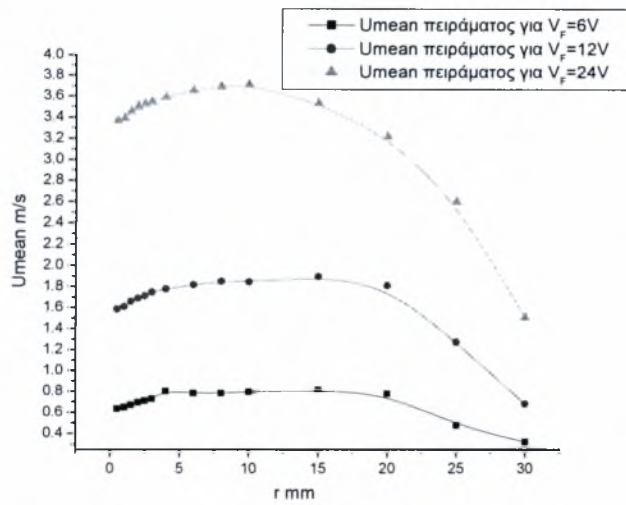


Διάγραμμα 6.5.1

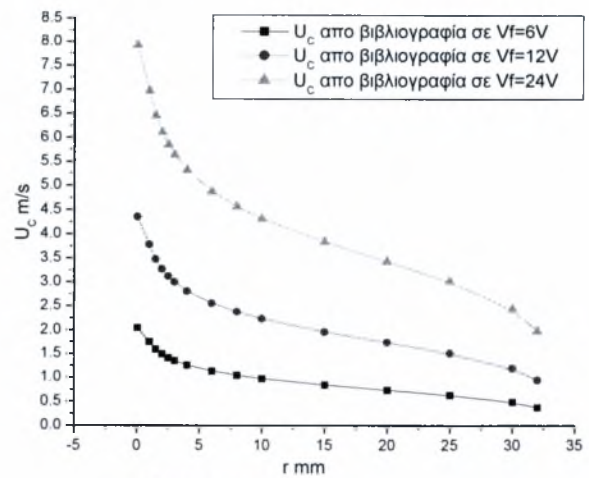


Διάγραμμα 6.5.2

Σύγκριση πειραματικών ταχυτήτων, με την ταχύτητα της στρωτής ροής σε σωλήνα από βιβλιογραφία



Διάγραμμα 6.5.3



Διάγραμμα 6.5.4

Σύγκριση πειραματικών ταχυτήτων, με την ταχύτητα της τυρβώδους ροής σε σωλήνα από βιβλιογραφία

Από τα παραπάνω διαγράμματα φαίνεται ότι το μοντέλο της στρωτής ροής σε σωλήνα επαληθεύεται τουλάχιστον ποιοτικά και από το πειραματικό μοντέλο, σε αντίθεση με το μοντέλο της τύρβης όπου δεν το προσεγγίζει ούτε ποιοτικά αλλά ποσοτικά αφού οι μέγιστες ταχύτητες στο θεωρητικό μοντέλο της τύρβης είναι διπλάσιες του πειραματικού. Μια πιθανή εξήγηση αυτού είναι ότι στο φαινόμενο δημιουργείται μια επαλληλία τυρβώδους και στρωτής ροής που πλησιάζει περισσότερο στο μοντέλο της θεωρητικά στρωτής ροής παρά στο μοντέλο της τυρβώδους.

Για το μοντέλο της στρωτής ροής από την βιβλιογραφία χρησιμοποιήθηκε ο τύπος

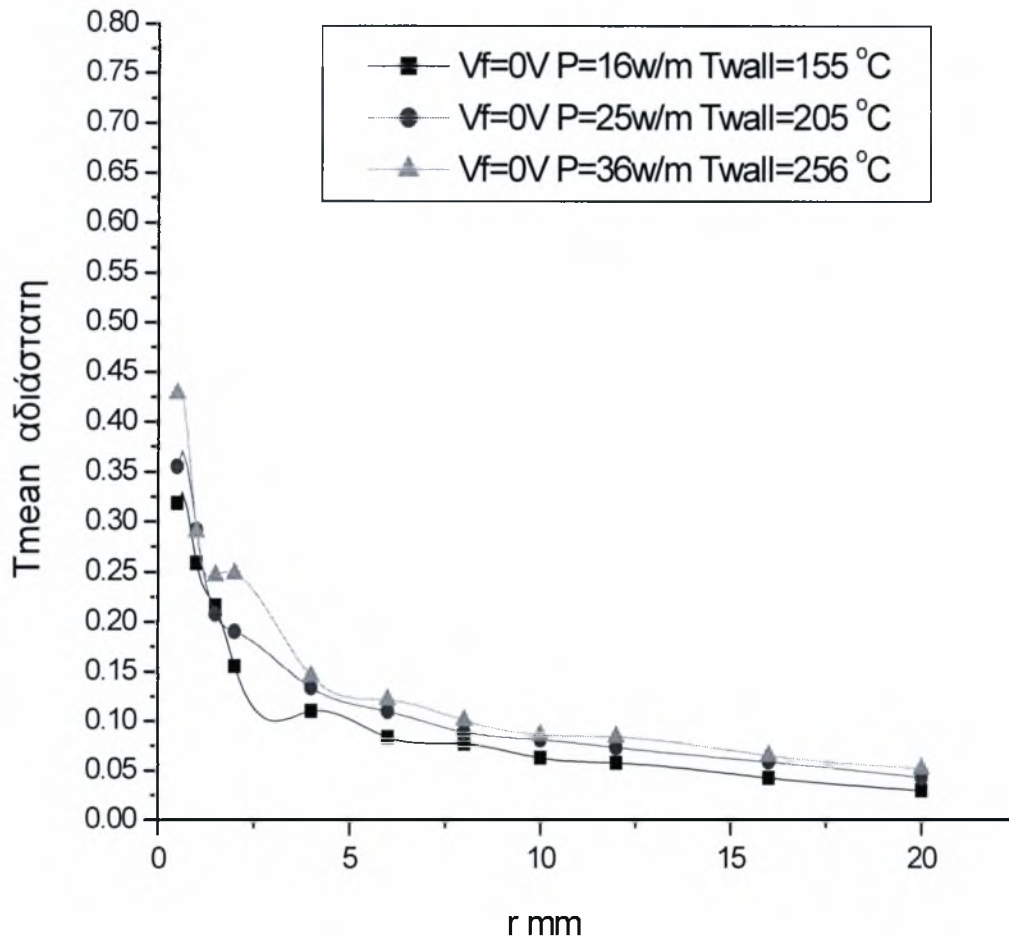
$$U_x = U_o \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right]$$

Για το μοντέλο της στρωτής ροής από την βιβλιογραφία χρησιμοποιήθηκε ο τύπος

$$U_x = U_o \left(\frac{R-r}{R} \right)^{1/n}$$

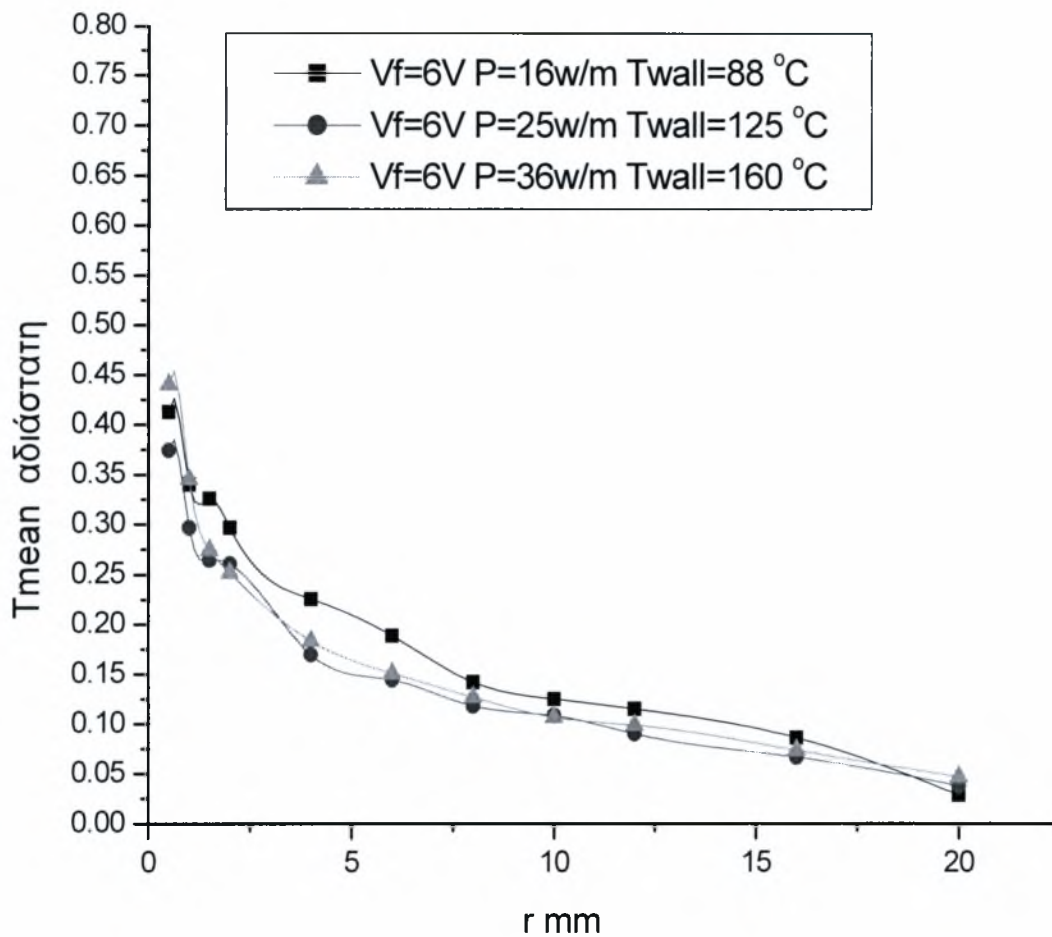
Όπου n παράμετρος που εξαρτάται από τον αριθμό Re

6.2. Μεταβολή θερμοκρασίας μέσης και RMS και διαγράμματα χρονοσειρών σε ροή αντίρροπη της άνωσης μετρήσεις με cold wire



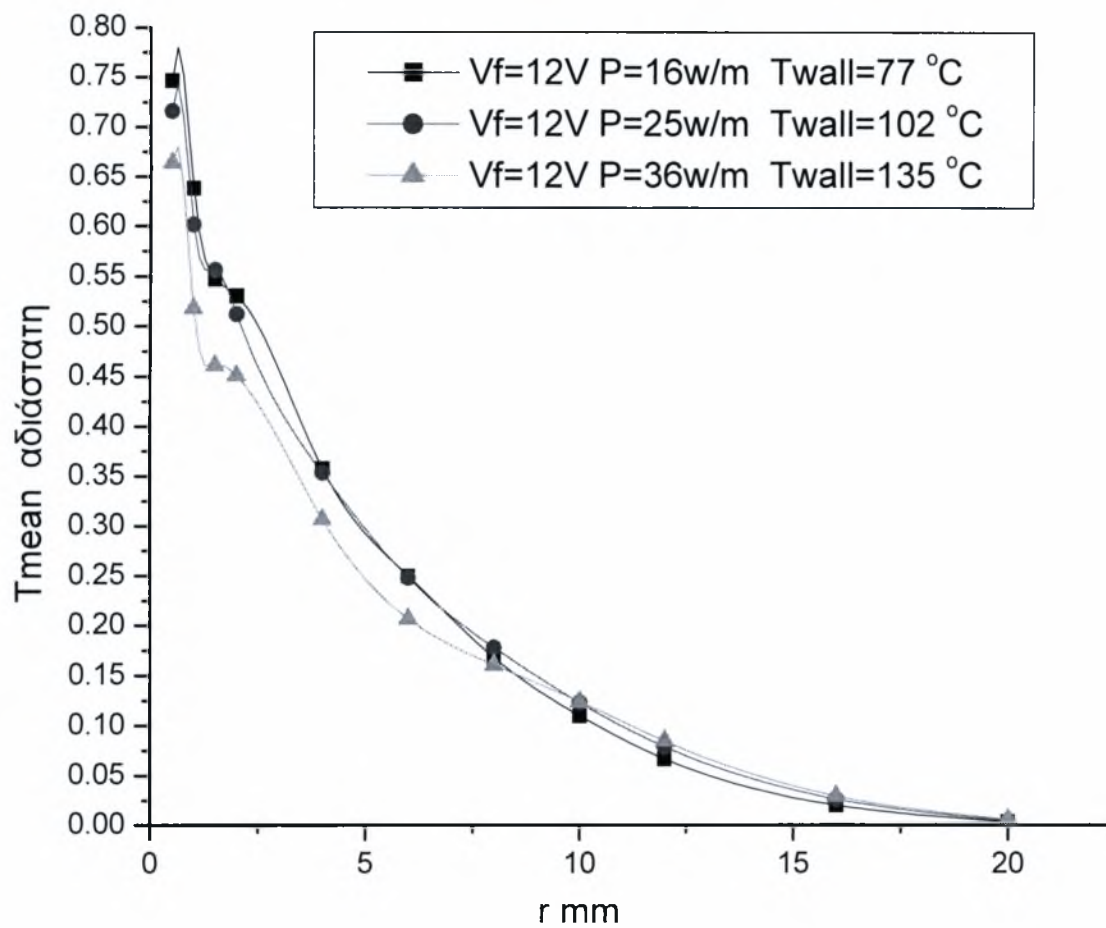
Διάγραμμα 6.6 Μεταβολη T_{mean} συναρτήσει της ακτίνας με σταθ $V_f=0V$ σε ροη αντίρροπη της άνωσης

Όπως παρατηρείται σε αυτό το διάγραμμα (6.6) οι μεταβολές της θερμοκρασίας είναι σημαντικές όταν ο φυσητήρας δεν λειτουργεί. Ξεκινώντας από την θερμοκρασία T_{wall} που είναι σημαντικά διαφορετικές. Μέγιστη μέση τιμή στα 2.5mm



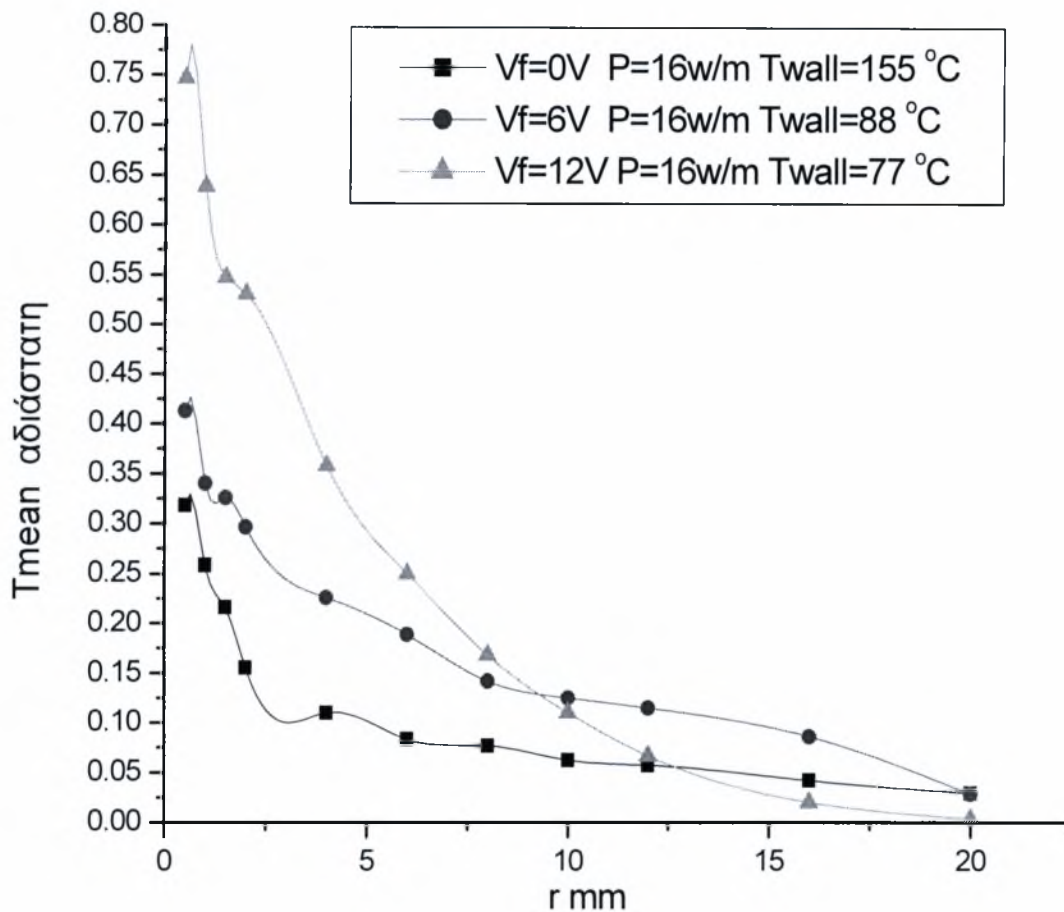
Διάγραμμα 6.7 Μεταβολή T_{mean} συναρτήσει της ακτίνας για σταθ $V_f=6V$ σε ροή αντίροπη της άνωσης

Όπως παρατηρείται σε αυτό το διάγραμμα (6.7) οι μεταβολές της θερμοκρασίας είναι σημαντικές όταν ο φυσητήρας λειτουργεί στα 6V. Μέγιστη μέση τιμή στα 0.5mm



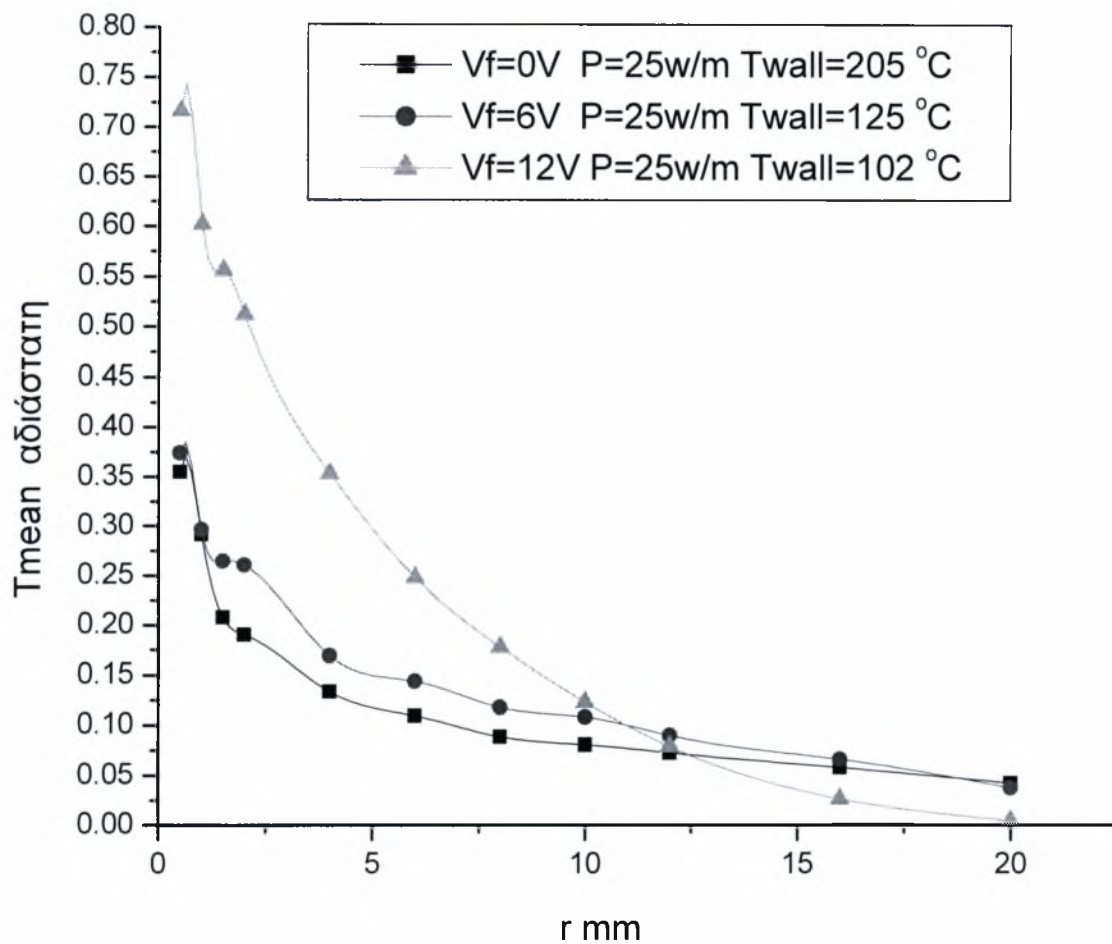
Διάγραμμα 6.8 Μεταβολή T_{mean} συναρτήσει της ακτίνας για σταθ $V_f=12V$ σε ρή αντίροπη της άνωσης

Στην τάση των 12volt του φουσητήρα πλέον τα διαγράμματα των μέσων τιμών μίκρυναν ακόμα περισσότερο με σημείο μέγιστης διαφοράς τα 2mm



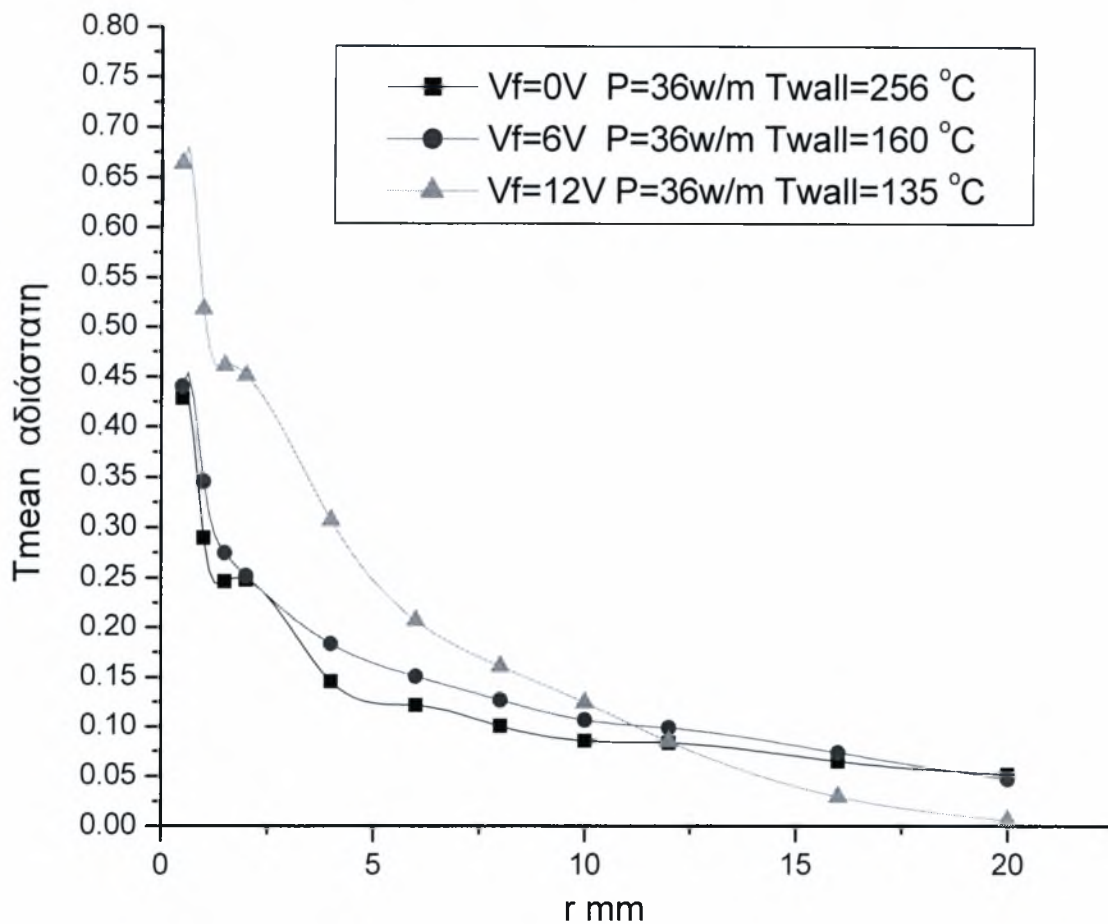
Διάγραμμα 6.9 Μεταβολή T_{mean} συναρτήσει της ακτίνας για σταθ ισχύ 16W/m σε ροή αντίροπη της άνωσης

Σε αυτή την ομάδα καμπυλών κρατιέται σταθερή η ισχύς της αντίστασης στα 16w/m ή 40volt και παρατηρείται ότι οι διακυμάνσεις είναι πολύ μεγάλες μεταξύ των θερμοκρασιών. Πράγμα που σημαίνει ότι η εξαναγκασμένη συναγωγή παίζει σημαντικότερο ρόλο στην διαμόρφωση της ροής στην δεδομένη ισχύ της αντίσταση σε σχέση με την φυσική. Επίσης φαίνεται και μια απότομη ψύξη μετά τα 8mm στην περίπτωση των 12 volt του φουσητήρα.



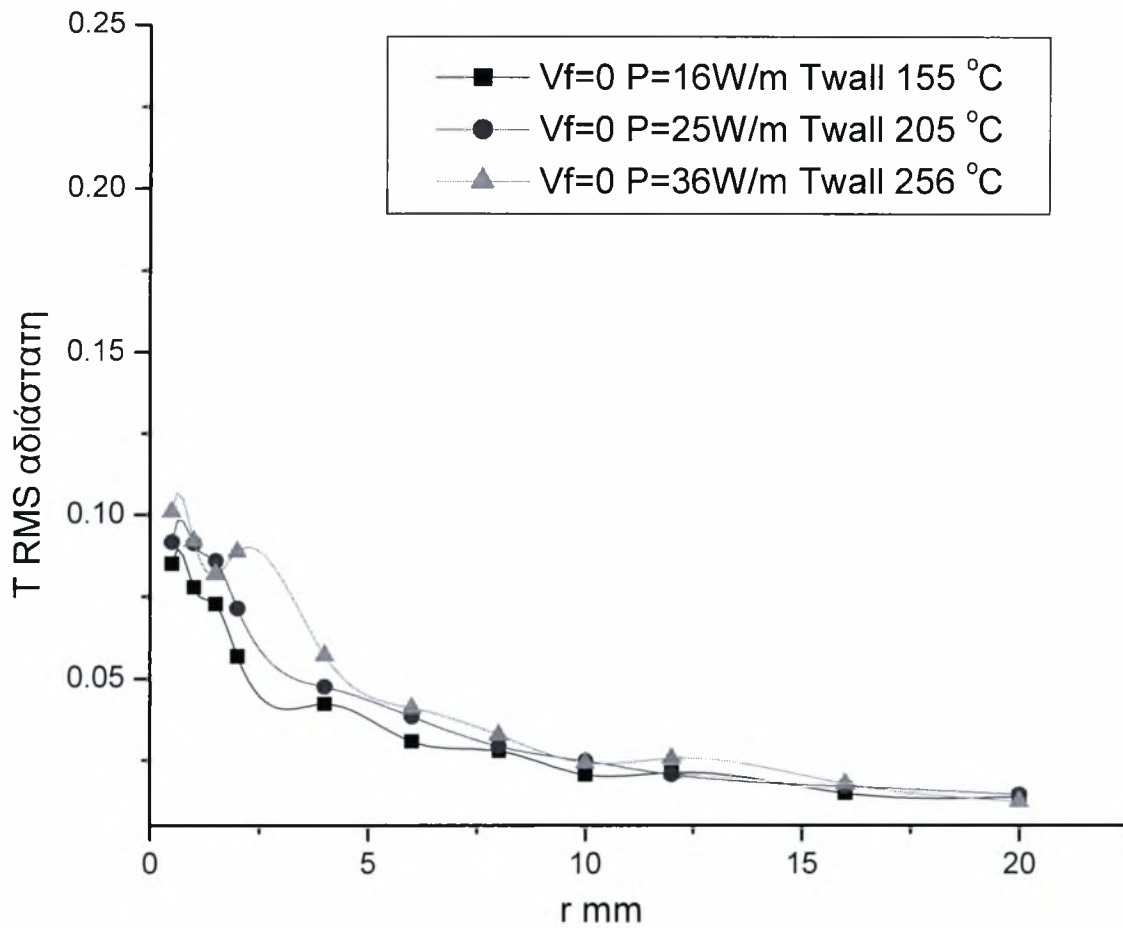
Διάγραμμα 6.10 Μεταβολή T_{mean} συναρτήσει της ακτίνας για σταθ ισχύ 25W/m σε ροή αντίροπη της άνωσης

Σε αυτή την ομάδα καμπυλών κρατιέται σταθερή η ισχύς της αντίστασης στα 25w/m ή 50volt και παρατηρείται και εδώ ότι οι διακυμάνσεις είναι πολύ μεγάλες μεταξύ των θερμοκρασιών. Πράγμα που σημαίνει ότι ο φυσητήρας παίζει τον κύριο ρόλο στην διαμόρφωση της ροής στην δεδομένη ισχύ της αντίστασης;. Επίσης φαίνεται και μια απότομη ψύξη μετά τα 11mm στην περίπτωση των 12 volt του φυσητήρα. Τέλος διαφαίνεται μια τάση των χαμηλών volt του φυσητήρα (0 και 6) για κοινές τιμές ειδικά στις αρχικές και τελικές καταστάσεις



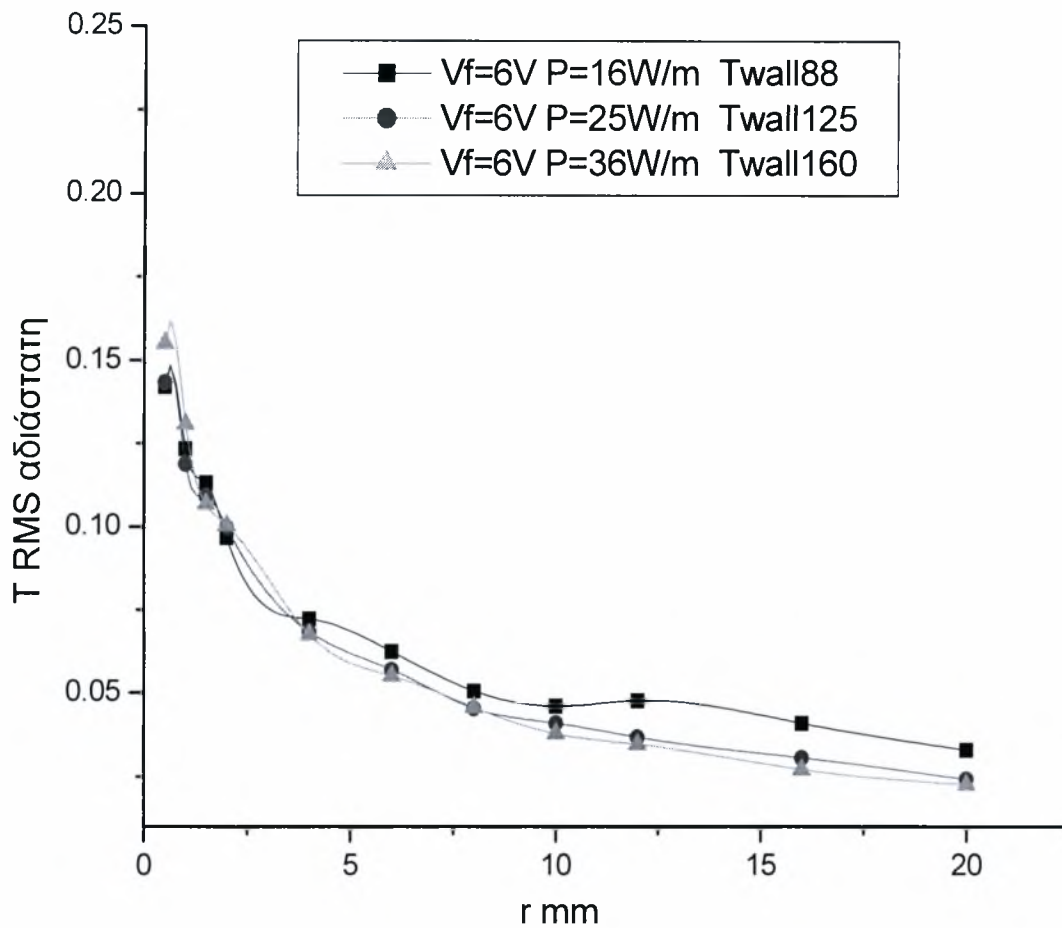
Διάγραμμα 6.11 Μεταβολή T_{mean} συναρτήσει της ακτίνας για σταθ ισχύ 36W/m σε ροή αντίροπη της άνωσης

Σε αυτή την ομάδα καμπυλών κρατιέται σταθερή η ισχύς της αντίστασης στα 36w/m ή 60volt και παρατηρείται και εδώ ότι οι διακυμάνσεις είναι πολύ μεγάλες μεταξύ των θερμοκρασιών. Πράγμα που σημαίνει ότι ο φυσητήρας παίζει τον κύριο ρόλο στην διαμόρφωση της ροής στην δεδομένη ισχύ της αντίστασης;. Επίσης φαίνεται και μια απότομη ψύξη μετά τα 14mm στην περίπτωση των 12 volt του φυσητήρα. Τέλος η τάση των χαμηλών volt του φυσητήρα (0 και6) για κοινές τιμές ειδικά στις αρχικές και τελικές καταστάσεις γίνεται ακόμα εντονότερη.



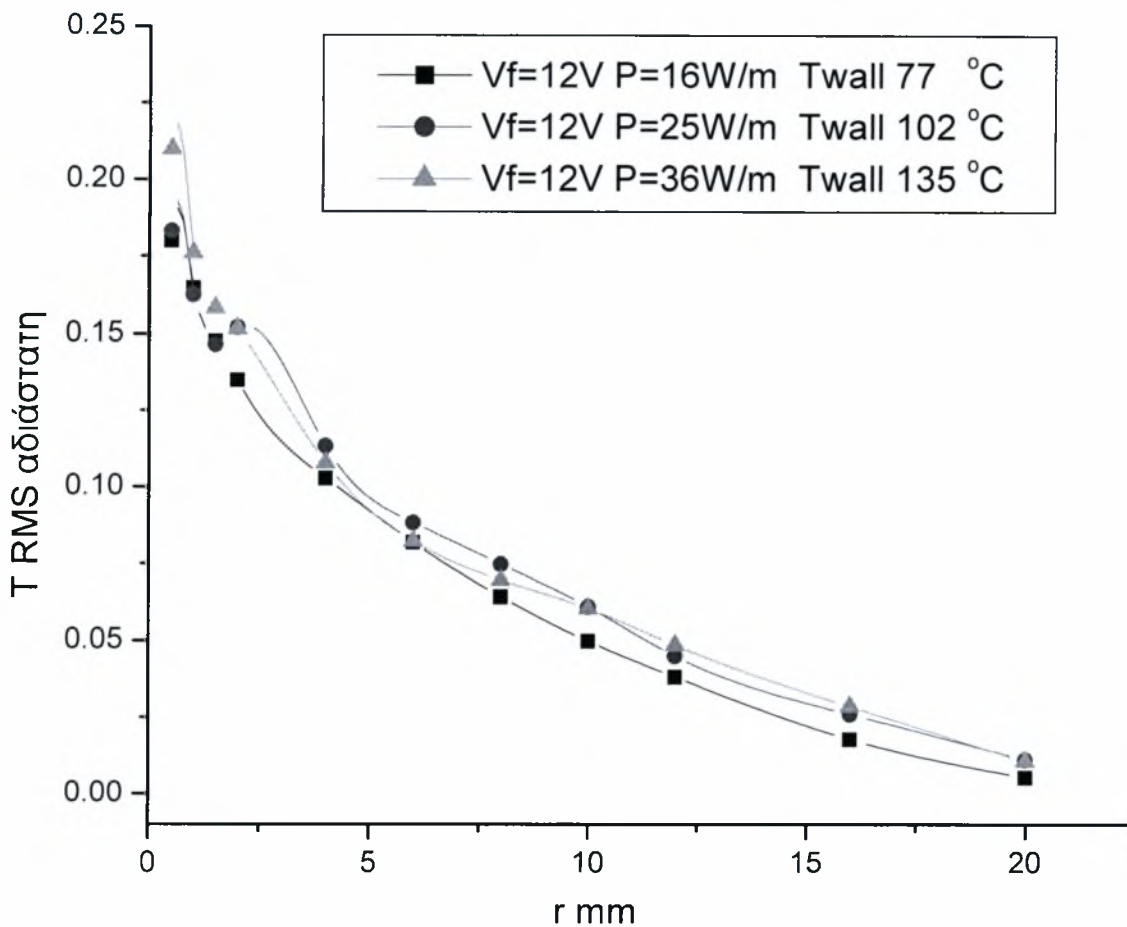
Διάγραμμα 6.12 Μεταβολής της θερμοκρασίας RMS συναρτήσει της ακτίνας για $V_f=0$ volts σε ροή αντίροπη της άνωσης

Το συγκεκριμένο διάγραμμα 6.12 δείχνει την μεταβολή της ρίζας του τετραγώνου της μέσης τιμής και κατ'επέκταση το κατά πόσο είναι τυρβώδης ή στρωτή η ροή. Παρατηρείται επίσης ότι η ροή είναι πιο στρωτή όσο πλησιάζουμε προς τα πλαϊνά τοιχώματα του κυλίνδρου κάτι που είναι φυσικό αφού εξασθενούν οι ανωστικές δυνάμεις.



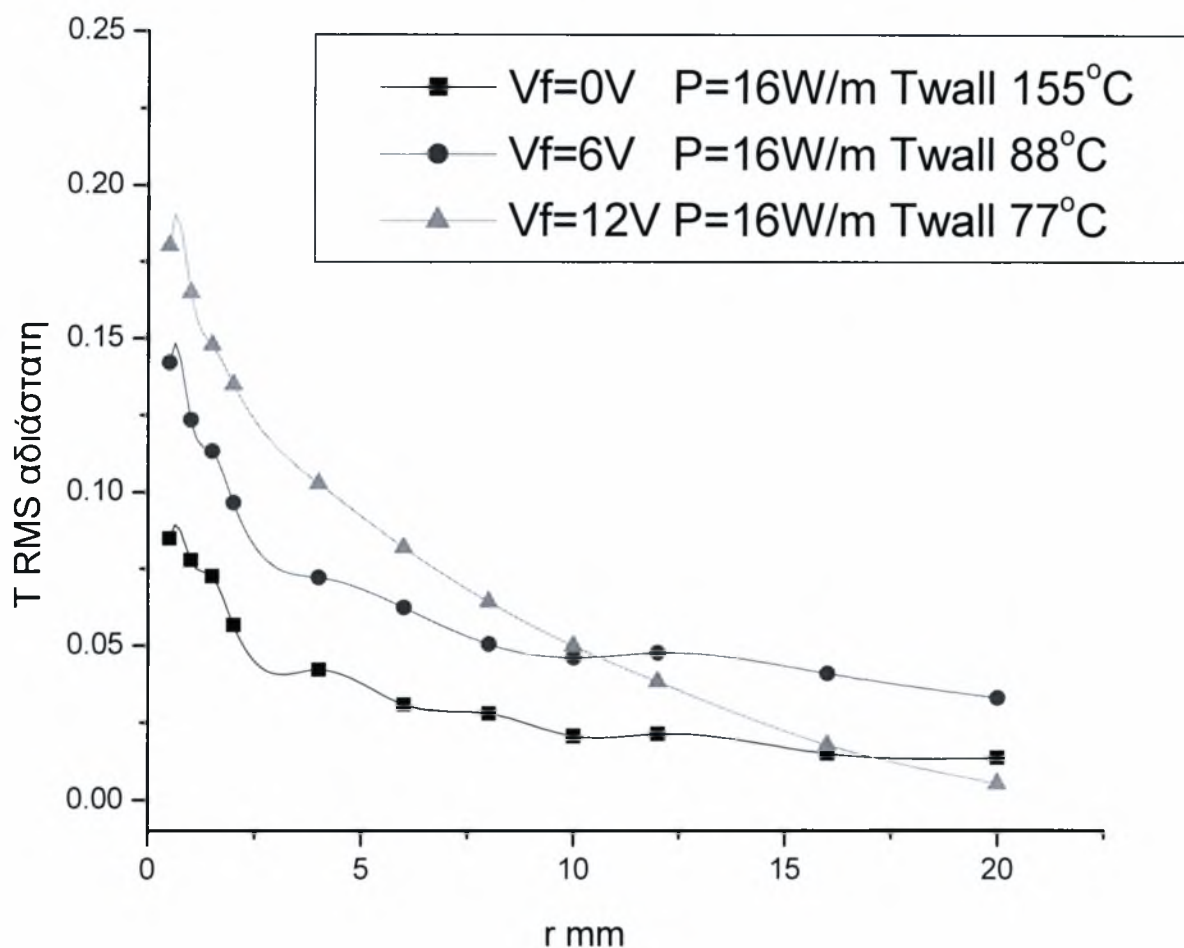
Διάγραμμα 6.13 Μεταβολής της θερμοκρασίας RMS συναρτήσει της ακτίνας για $V_{fan} = 6$ volts σε ροή αντίροπη της άνωσης

Το συγκεκριμένο διάγραμμα 6.13 δείχνει την μεταβολή του τετράγωνου της ρίζας της μέσης τιμής και κατ'επέκταση το κατά πόσο είναι τυρβώδης ή στρωτή η ροή. Στην περίπτωση της σταθερής διαφοράς δυναμικού στον φυσητήρα (6volt) Παρατηρείται επίσης ότι η ροή είναι πιο στρωτή όσο πλησιάζουμε προς τα πλαϊνά του κυλίνδρου κάτι που είναι φυσικό αφού ασθενούν οι ανωστικές δυνάμεις. Επίσης από όσο φαίνεται ο φυσητήρας αρχίζει να εξασθενεί μετά τα 10mm γιατί μέχρι εκεί οι ροές είναι πανομοιότυπες.



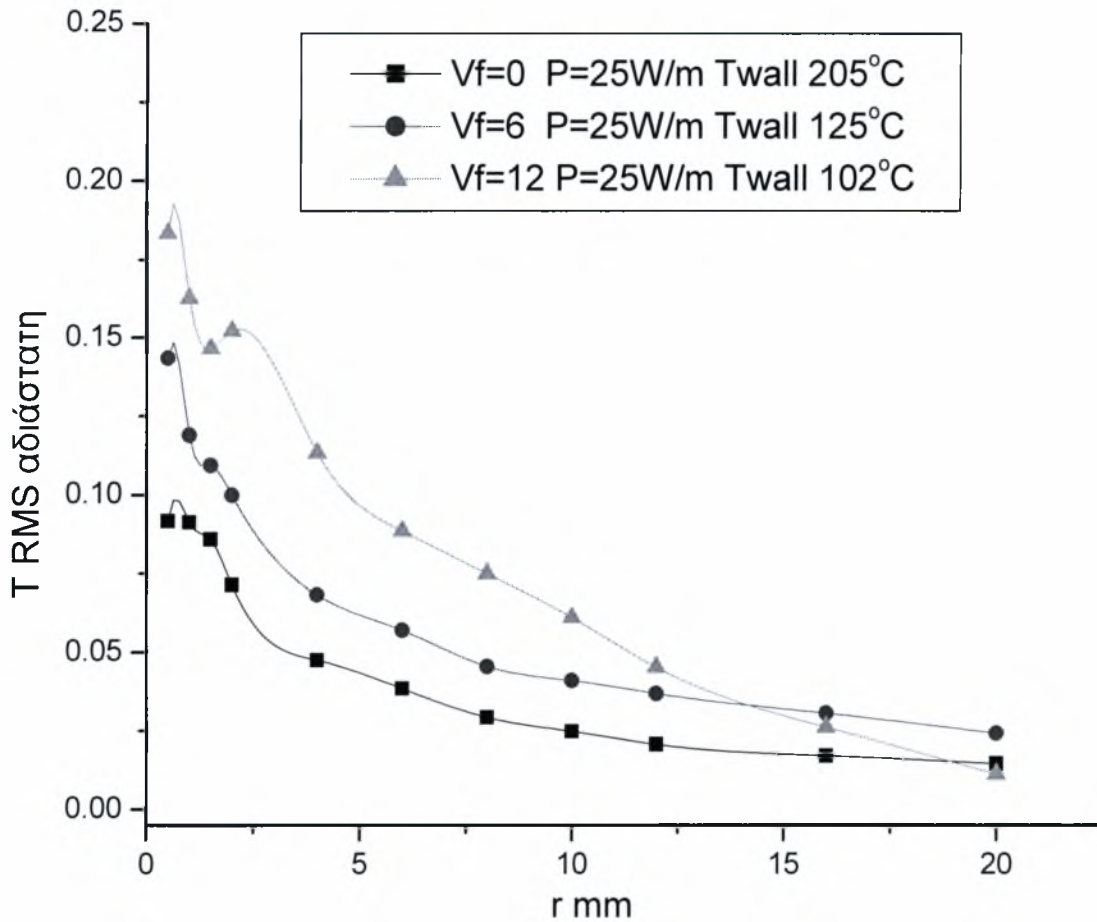
Διάγραμμα 6.14 Μεταβολής της θερμοκρασίας RMS συναρτήσει της ακτίνας για $V_{fan}=12$ volts σε ροή αντίροπη της άνωσης

Το συγκεκριμένο διάγραμμα 6.14 δείχνει την μεταβολή του τετράγωνου της ρίζας της μέσης τιμής και κατ επέκταση το κατά πόσο είναι τυρβώδης ή στρωτή η ροή. Στην περίπτωση της σταθερής διαφοράς δυναμικού στον φυσητήρα (12volt) Παρατηρείται επίσης ότι η ροή είναι πιο στρωτή όσο πλησιάζουμε προς τα πλαϊνά του κυλίνδρου κάτι που είναι φυσικό αφού ασθενούν οι ανωστικές δυνάμεις. Επίσης από όσο φαίνεται ο φυσητήρας δεν εξασθενεί καθόλου καθώς οι ροές είναι πανομοιότυπες



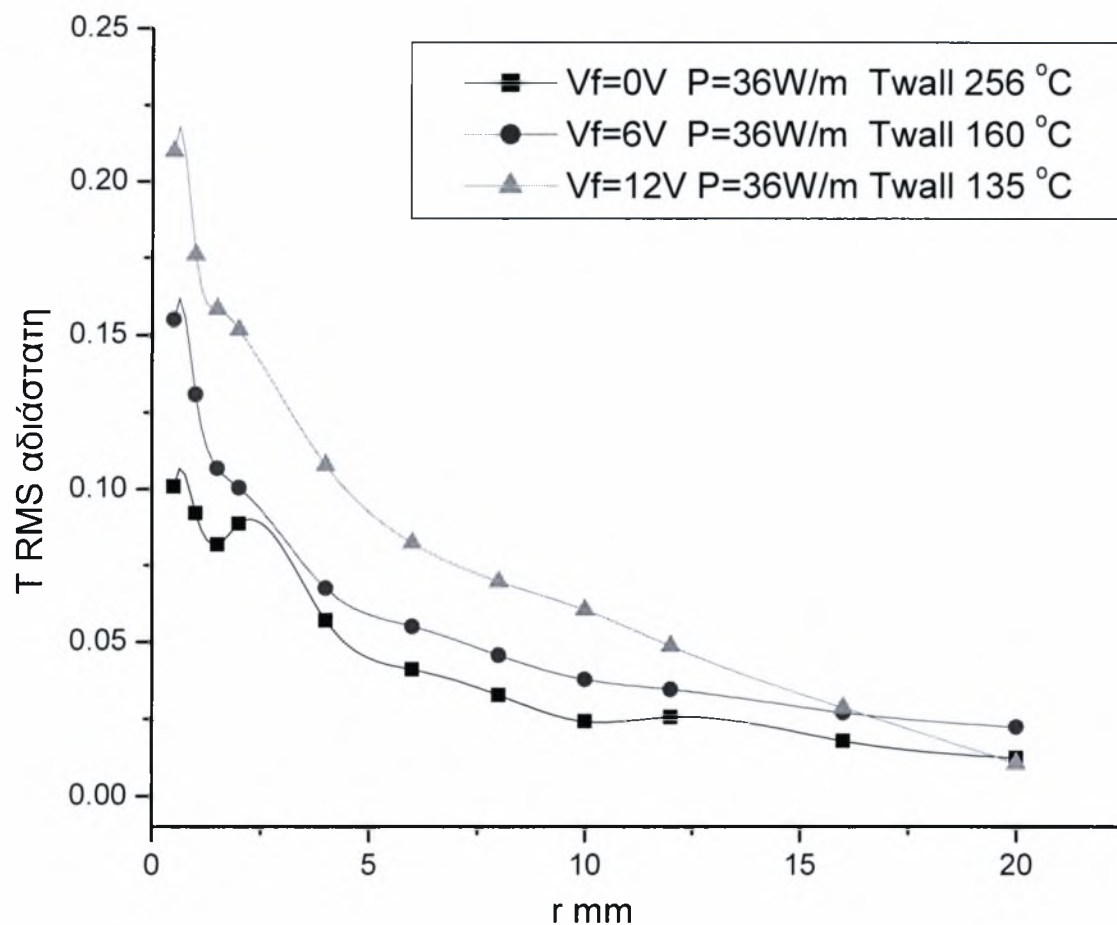
Διάγραμμα 6.15 Μεταβολής της θερμοκρασίας RMS συναρτήσει της ακτίνας για $P=16W/m$ σε ροή αντίροπη της άνωσης

Σε αυτή την ομάδα διαγραμμάτων υπάρχουν καμπύλες για διαφορετικές τάσεις των volt του φουσητήρα σε σταθερή ισχύ της αντίστασης. Εδώ παρατηρείται μια έντονη τύρβη στα 12volt στα 0.5 mm αλλά μια πιο ραγδαία πτώση της έντασης της όσο μεγαλώνει η απόσταση από την αντίσταση. Κάτι που δεν συμβαίνει και για τις δυο υπόλοιπες τιμές των volt του φουσητήρα οι οποίες είναι μετά τα 2.5mm σχεδόν απαράλλαχτες.



Διάγραμμα 6.16 Μεταβολής της θερμοκρασίας RMS συναρτήσει της ακτίνας $P=25W/m$ σε ροή αντίροπη της άνωσης

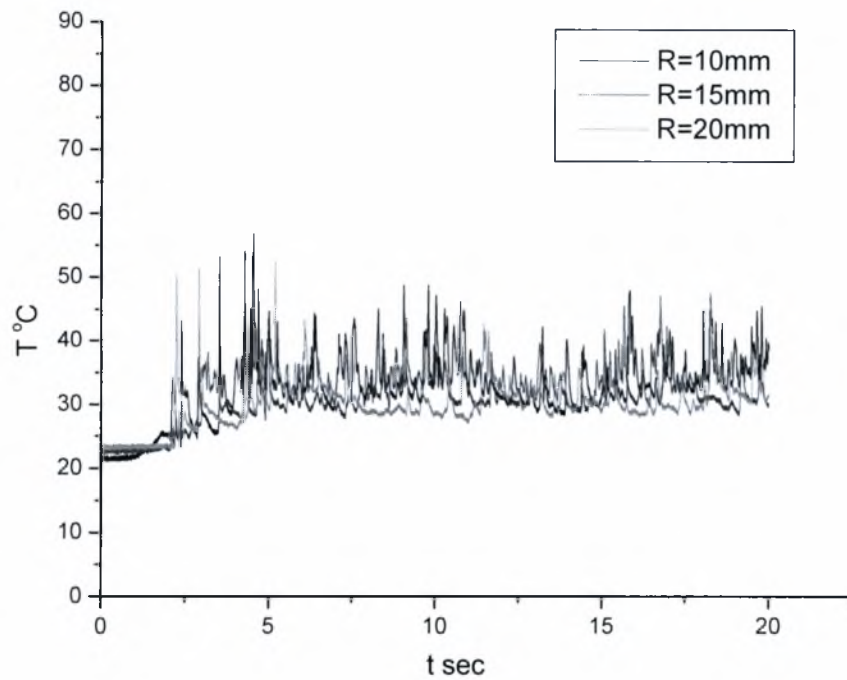
Σε αυτή την ομάδα διαγραμμάτων υπάρχουν καμπύλες για διαφορετικές τάσεις των volt του φυσητήρα σε σταθερή ισχύ της αντίστασης. Και εδώ παρατηρείται μια έντονη τύρβη στα 12volt στα 0.5 mm αλλά μια πιο ραγδαία πτώση της έντασης της όσο μεγαλώνει η απόσταση από την αντίσταση η οποία ξεκινάει από τα 16mm. Κάτι που δεν συμβαίνει και για τις δυο υπόλοιπες τιμές των volt του φυσητήρα οι οποίες είναι μετά τα 6mm σχεδόν απαράλλαχτες. Επίσης έχει μειωθεί και η διακύμανση μεταξύ των τιμών των καμπυλών.



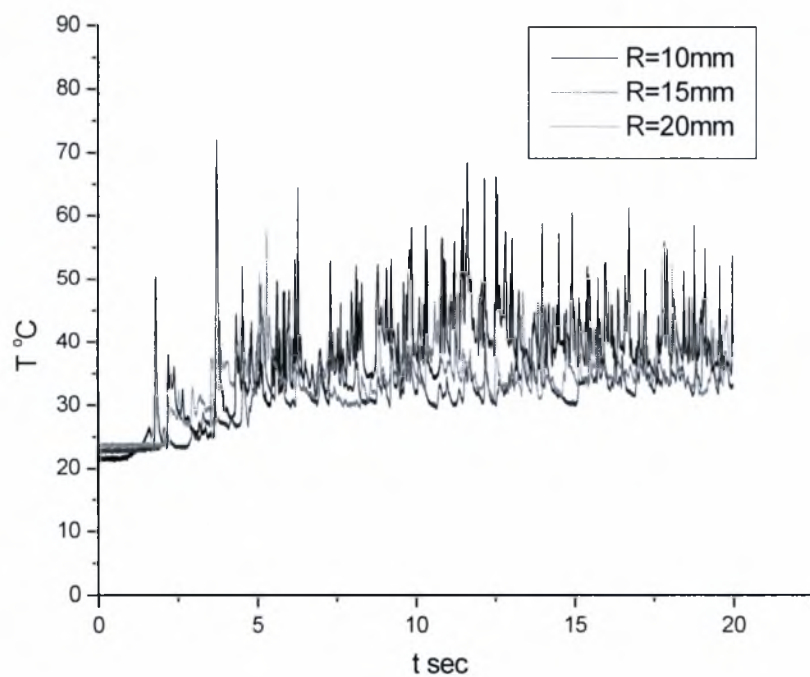
Διάγραμμα 6.17 Μεταβολής της θερμοκρασίας RMS συναρτήσεως της ακτίνας για $P=36W/m$ σε ροή αντίροπη της άνωσης

Σε αυτή την ομάδα διαγραμμάτων υπάρχουν καμπύλες για διαφορετικές τάσεις των volt του φυσητήρα σε σταθερή ισχύ της αντίστασης. Και εδώ παρατηρείται μια έντονη τύρβη στα 12volt στα 0.5 mm αλλά μια πιο ραγδαία πτώση της έντασης της όσο μεγαλώνει η απόσταση από την αντίσταση η οποία ξεκινάει από τα 16mm. Κάτι που δεν συμβαίνει και για τις δυο υπόλοιπες τιμές των volt του φυσητήρα οι οποίες είναι μετά τα 8mm σχεδόν απαράλλαχτες. Επίσης έχει μειωθεί περισσότερο η διακύμανση μεταξύ των τιμών των καμπυλών

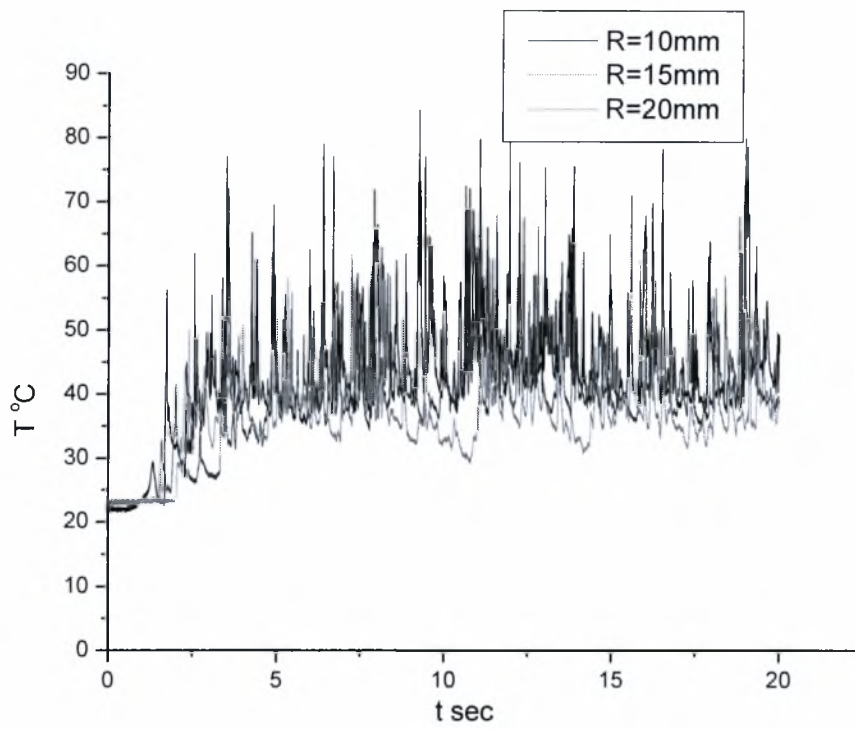
Διαγράμματα χρονοσειρών σε ροή αντίροπη της άνωσης
μετρήσεις με cold wire



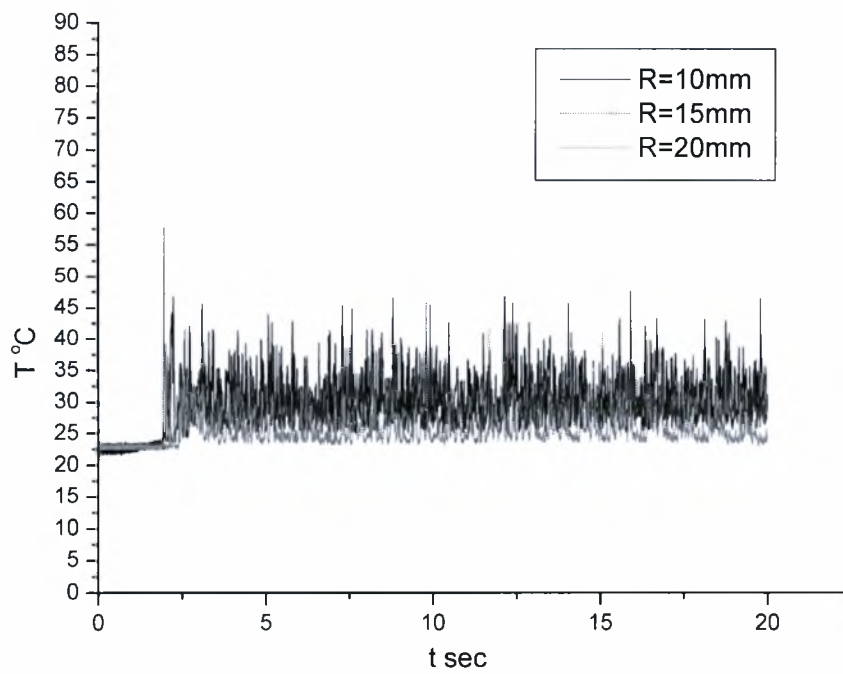
Διάγραμμα 6.18 χρονοσειρά σε ροή αντίροπη
της άνωσης με $V_f=0$ και $P=16\text{w/m}$



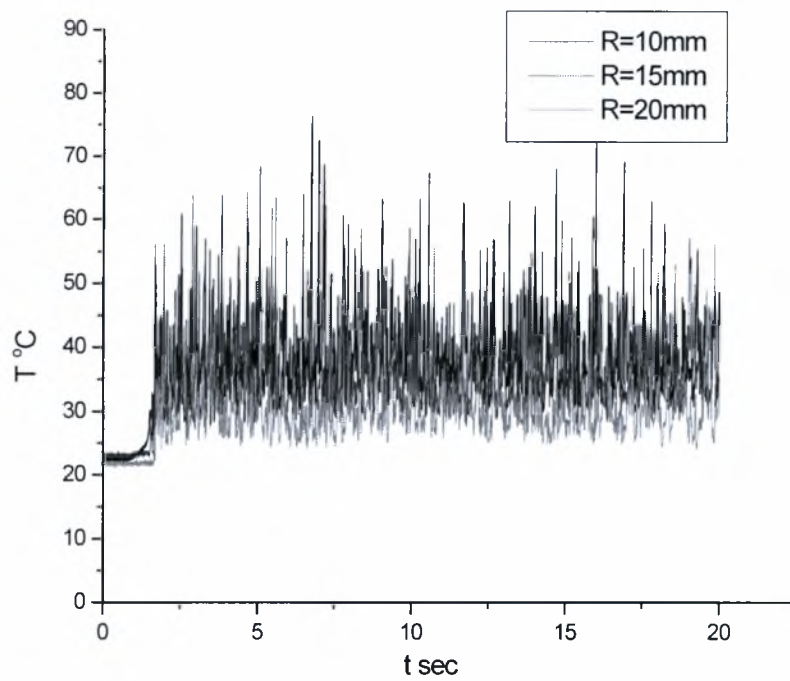
Διάγραμμα 6.19 χρονοσειρά σε ροή αντίροπη
της άνωσης με $V_f=0$ και $P=25\text{w/m}$



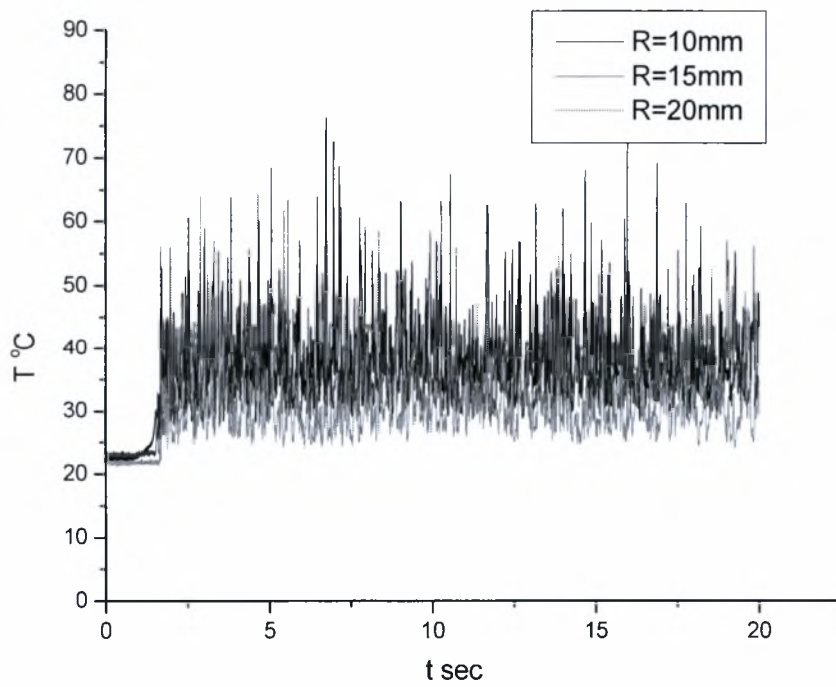
Διάγραμμα 6.20 χρονοσειρά σε ροή αντίροπη της άνωσης με $V_f=0$ και $P=36w/m$



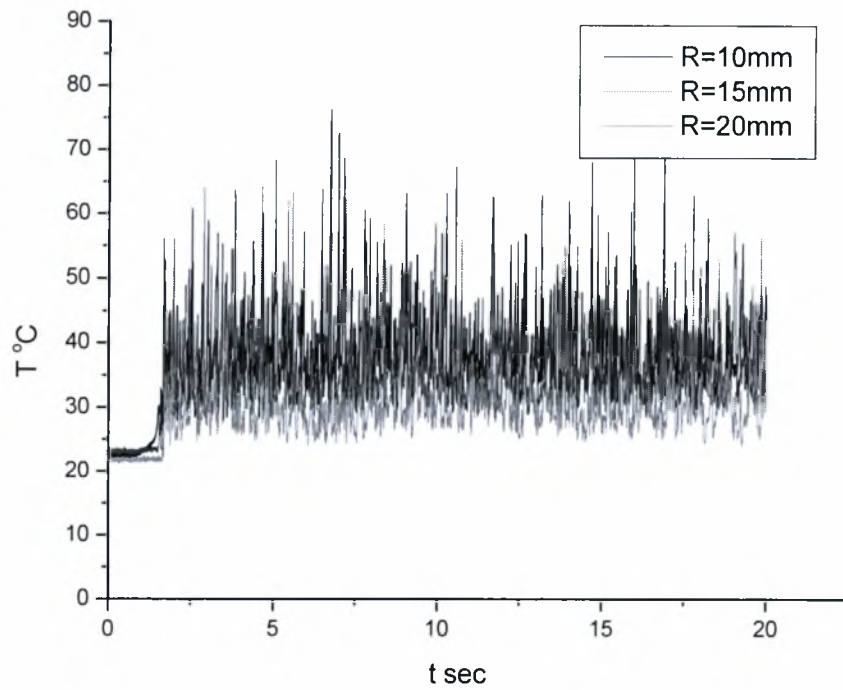
Διάγραμμα 6.21 χρονοσειρά σε ροή αντίροπη της άνωσης με $V_f=6$ και $P=16w/m$



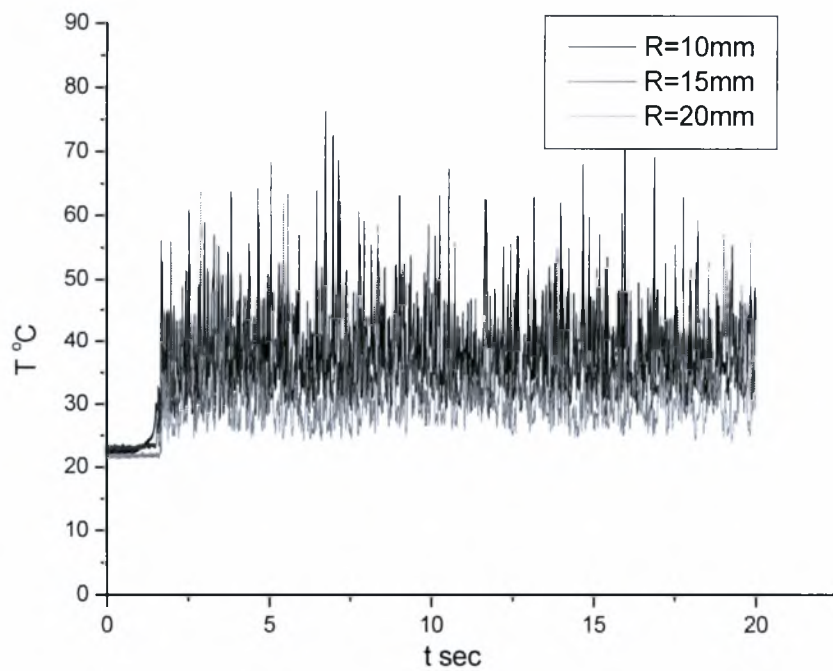
Διάγραμμα 6.22 χρονοσειρά σε ροή αντίροπη της άνωσης με $V_f=6V$ και $P=25w/m$



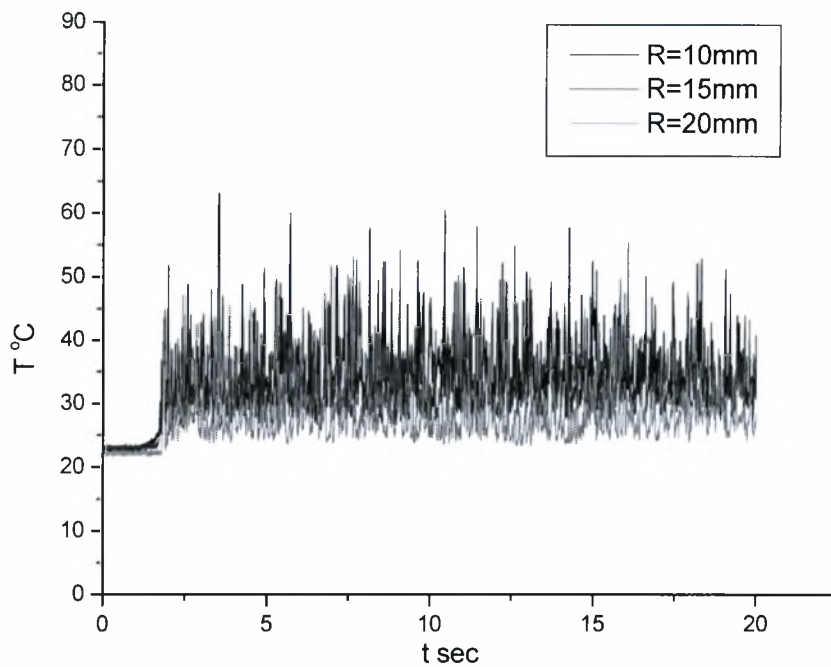
Διάγραμμα 6.23 χρονοσειρά σε ροή αντίροπη της άνωσης με $V_f=6V$ και $P=36w/m$



Διάγραμμα 6.24 χρονοσειρά σε ροή αντίροπη της άνωσης με $V_f=12V$ και $P=16w/m$



Διάγραμμα 6.25 χρονοσειρά σε ροή αντίροπη της άνωσης με $V_f=12V$ και $P=25w/m$



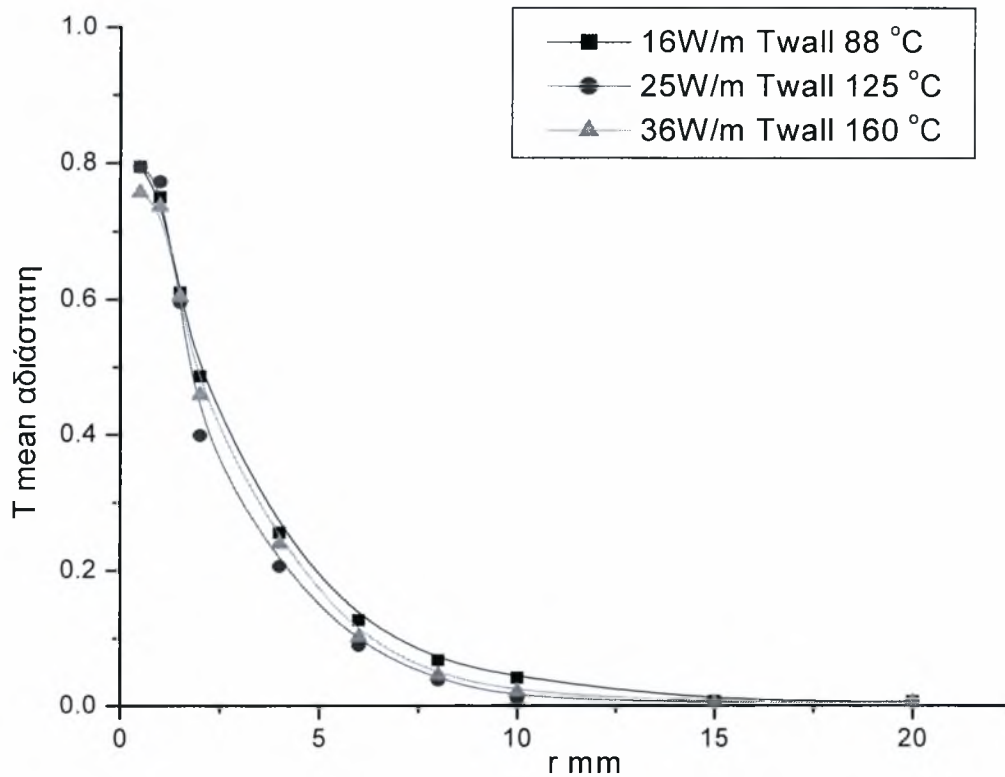
Διάγραμμα 6.26 χρονοσειρά σε ροή αντίροπη της άνωσης με $V_f=12V$ και $P=36w/m$

Από την ομάδα των διαγραμμάτων των χρονοσειρών αντίρροπης ως προς την άνωση ροής παρατηρούνται τα εξής

Κατ αρχήν σε όλες τις περιπτώσεις όσο πιο κοντά πλησιάζει το cold wire τόσο πιο γρήγορο και το φαινόμενο. Έτσι στα 10mm η θερμοκρασία σταθεροποιείται πολύ πιο γρήγορα από ότι στα 15mm και 20mm. Επίσης στα 15mm και 20mm οι χρονικές διαφορές είναι πολύ μικρές καθώς έχουμε ήδη απομακρυνθεί αρκετά. Κάτι άλλο αξιο λόγου είναι ότι σε χαμηλές τιμές της ισχύος τα αντίστασης η διακύμανση της θερμοκρασίας είναι πιο μικρή και άνιση μεταξύ των διαδοχικών αποστάσεων που έγιναν οι μετρήσεις. Τέλος αξιοσημείωτη η περίπτωση του διαγράμματος 6.16 στο οποίο εφαρμόζεται τάση στον φυσητήρα ίση με 6volt και ισχύς στην αντίσταση ίση με 16w/m και παρατηρείται μια ομοιόμορφη κατανομή της θερμοκρασίας παρόμοια με αυτής του διαγράμματος 6.21 το οποίο έχει $V_f=12volt$ και $P=36w/m$

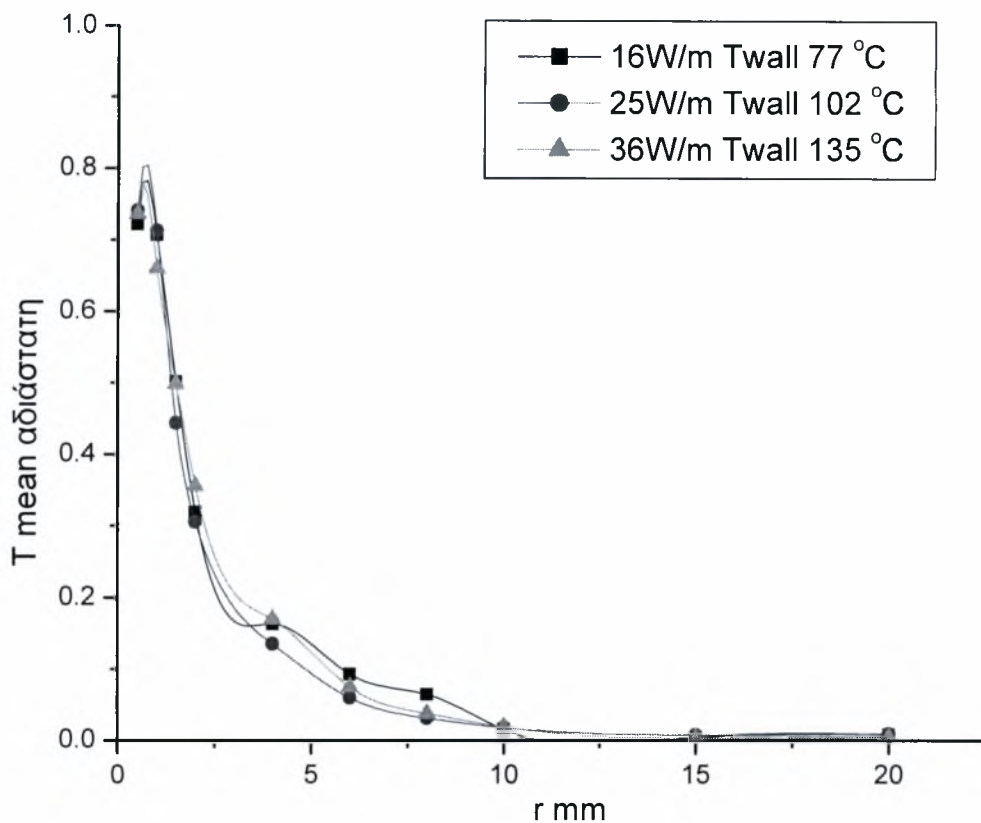
Οι αιχμές στα διαγράμματα των χρονοσειρών κατευθύνονται προς τα πάνω καθώς ξεκινάνε από ψυχρότερη θερμοκρασία(θερμοκρασία περιβάλλοντος) και κατευθύνονται προς θερμότερη (εσωτερικό κυλίνδρου με θερμαινόμενη αντίσταση)

6.3 Μεταβολή θερμοκρασίας μέσης και RMS και χρονοσειρών σε ροή ομόροπη της άνωσης μετρήσεις με cold wire



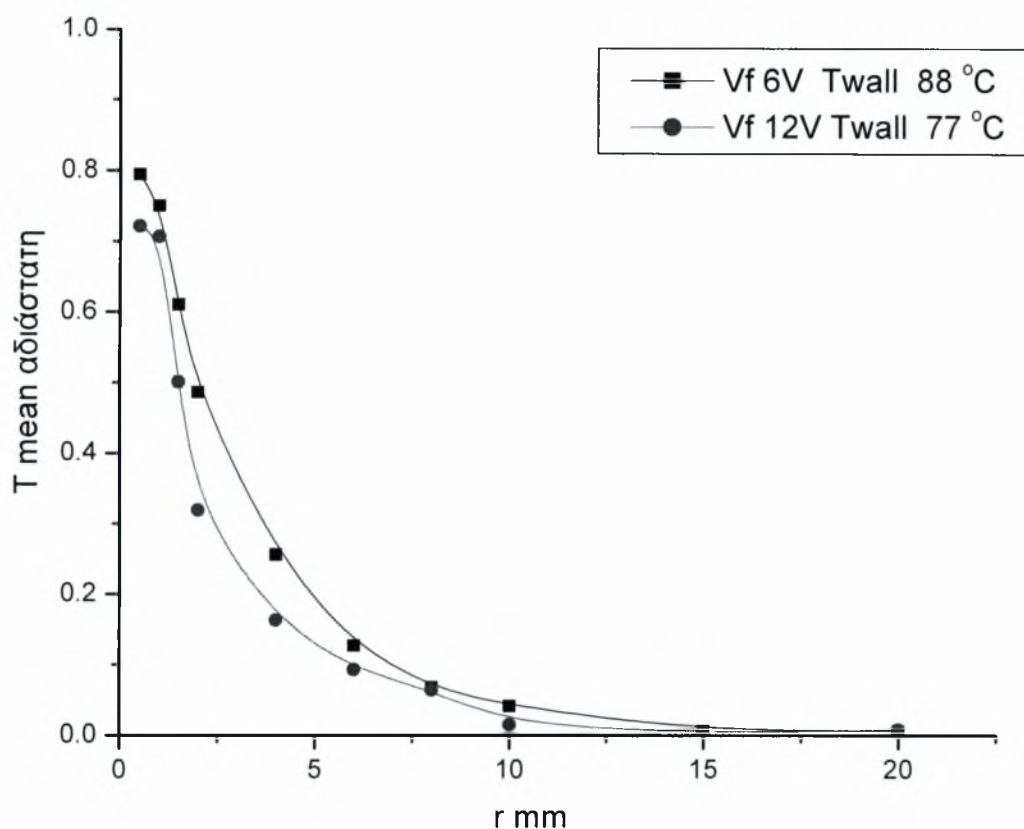
Διάγραμμα 6.27 Μεταβολή T_{mean} συναρτήσει της ακτίνας για σταθ $V_f=6\text{V}$ σε ροή ομοροπη της άνωσης

Στο διάγραμμα 6.27 αποικονίζεται η θερμοκρασιακή μεταβολή της μέσης ταχύτητας με σταθερή την τάση του φυσητήρα στα 6volt.στις περιπτώσεις των 16w/m 25w/m και 36w/m Όπως φαίνεται και από το διάγραμμα οι ροες είναι πανομοιότυπες γεγονός που σημαίνει ότι στην ομόροπη της άνωσης ροη δεν παιζει σημαντικό ρόλο η ισχυς της αντίστασης όταν τα volt του φυσητήρα είναι 6volt



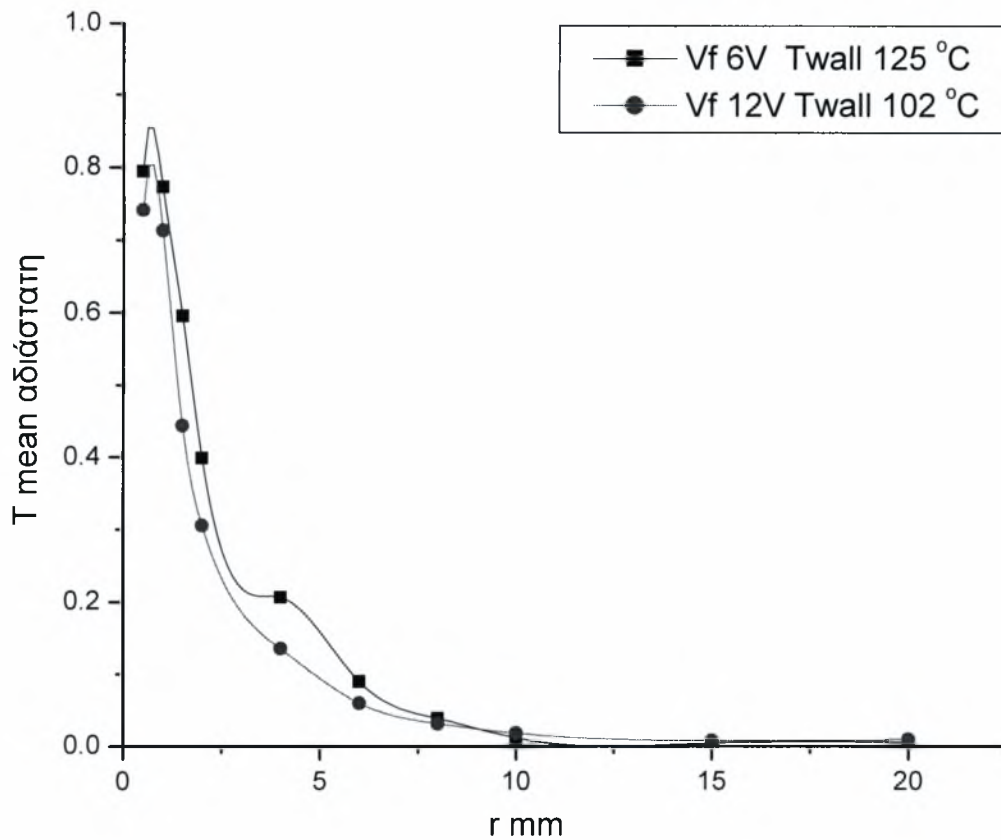
Διάγραμμα 6.28 Μεταβολή T_{mean} συναρτήσει της ακτίνας με σταθ $V_f=12V$ σε ροή ομοροπη της άνωσης

Στο διάγραμμα 6.28 αποικονίζεται η θερμοκρασιακή μεταβολή της μέσης ταχύτητας με σταθερή την τάση του φυσητήρα στα 6volt.στις περιπτώσεις των 16w/m 25w/m και 36w/m Όπως φαίνεται και από το διάγραμμα οι ροες είναι παράλληλες γεγονός που σημαίνει ότι στην ομόροπη της άνωσης ροή δεν παίζει σημαντικό ρόλο η ισχύς της αντίστασης όταν τα volt του φυσητήρα είναι 12volt.Παρά μόνο μεταξύ των αποστάσεων από 3mm ως 10mm όπου εκεί δημιουργούνται κάποιες διαφοροποιήσεις



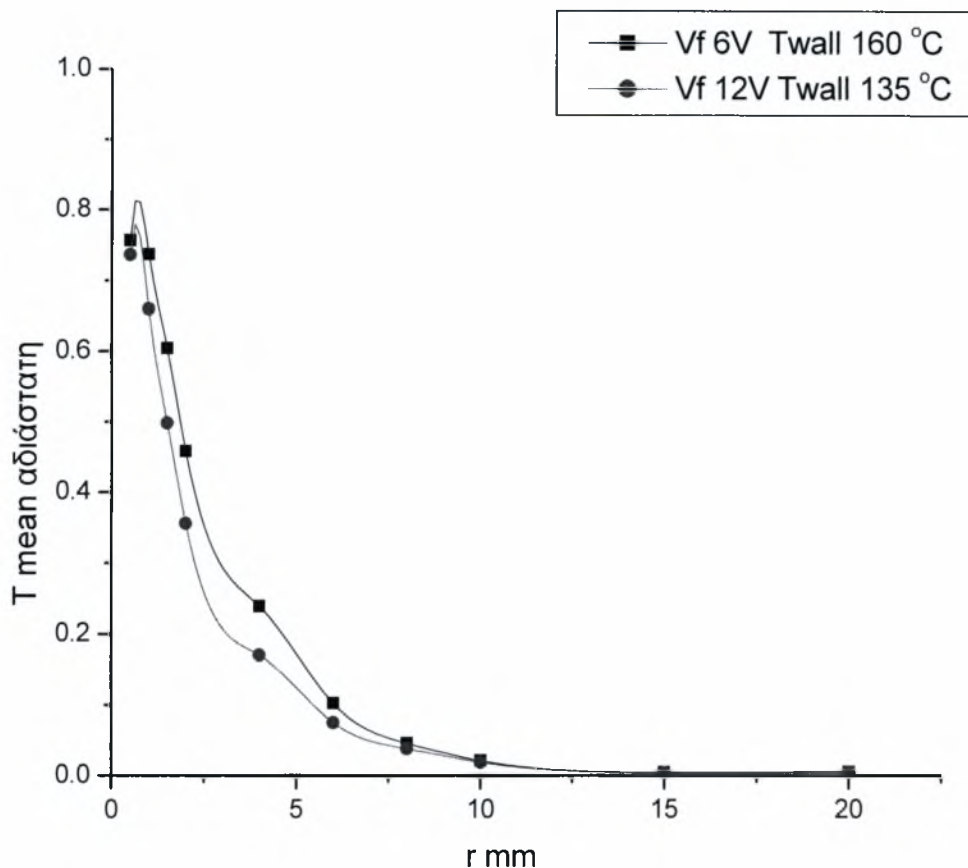
Διάγραμμα 6.29 Μεταβολή T_{mean} συναρτήσει της ακτίνας για σταθ ισχύος $16W/m$ σε ροή ομοροπτη της άνωσης

Στο διάγραμμα 6.29 αποικονίζεται η μεταβολή της θερμοκρασίας στις περιπτώσεις των δυο διαφορετικών τάσεων του φυσητήρα, για 6 και 12 volt είναι αξιολογού το γεγονός ότι ενώ ξεκινάνε και οι δυο καμπύλες από δυο διαφορετικές θερμοκρασίες εντούτοις στην πορεία παρουσιάζονται 3 τιμές της ακτίνας στις οποίες ταυτίζονται οι θερμοκρασίες μια στην αρχή στο 1mm άλλη μία στα 7mm και τέλος μια στα 15mm.



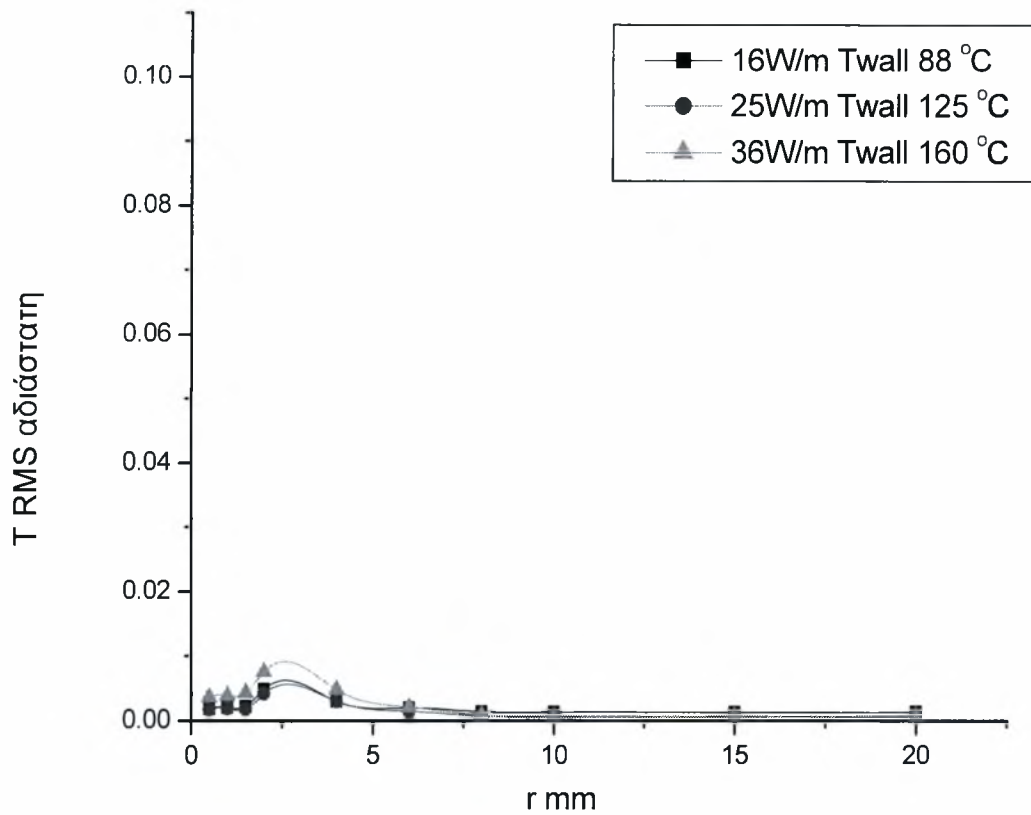
Διάγραμμα 6.30 Μεταβολή T_{mean} συναρτήσει της ακτίνας για σταθ ισχύος 25W/m σε ροή ομόροπη της άνωσης

Στο διάγραμμα 6.30 αποικονίζεται η μεταβολή της θερμοκρασίας για σταθερή ισχύ και διαφορετικές τάσεις φυσητήρα. Σε αυτό το διάγραμμα οι ροές είναι παράλληλες όμως σε ένα σημείο δημιουργείται μια ασυνέχεια δηλαδή από τα 3mm έως τα 6mm τα 6volt επιτυγχάνουν μεγαλύτερες θερμοκρασίες.



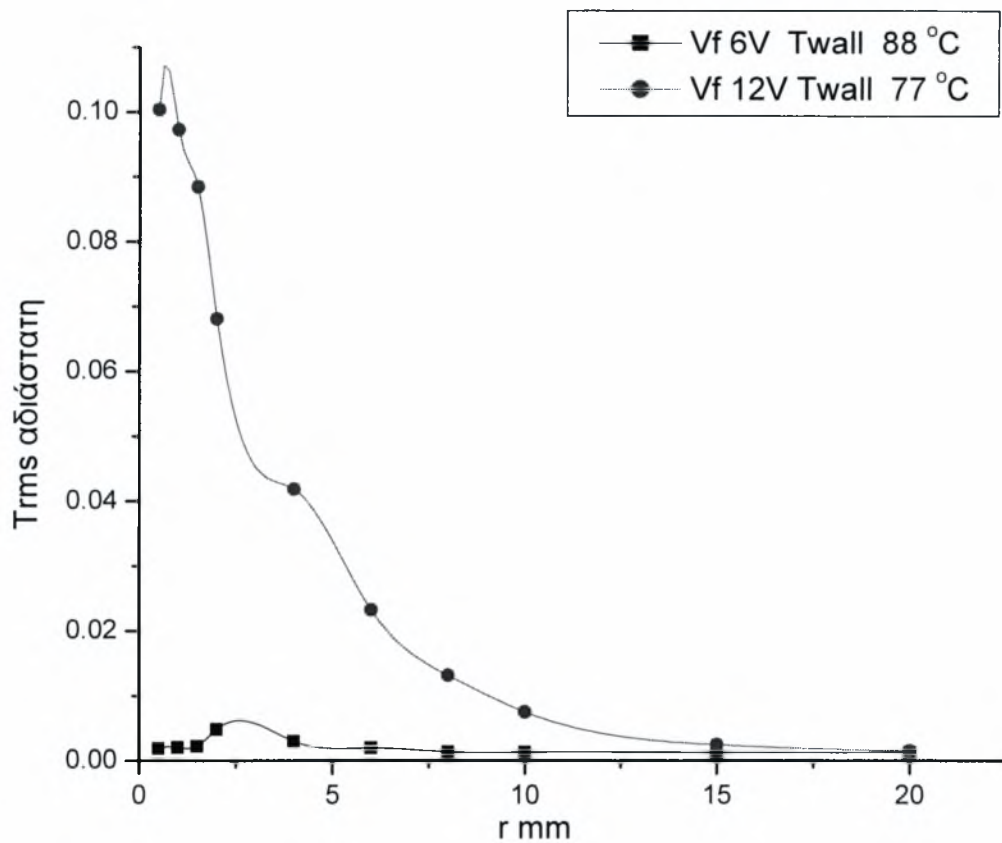
Διάγραμμα 6.31 Μεταβολή T_{mean} συναρτήσει της ακτίνας για σταθ ισχύος $36W/m$ σε ροή ομοροπτη της άνωσης

Στο διάγραμμα 6.31 αποικονίζεται η μεταβολή της θερμοκρασίας για σταθερή ισχύ $36w/m$ και διαφορετικές τάσεις φουσητήρα. Σε αυτό το διάγραμμα οι ροες είναι παράλληλες όμως σε ένα σημείο δημιουργείται μια ασυνέχεια δηλαδή από τα $2mm$ έως τα $6mm$ τα $5volt$ επιτυγχάνουν μεγαλύτερες θερμοκρασίες από εκεί και περα όμως είναι αξιοσημείωτα όμοιες.



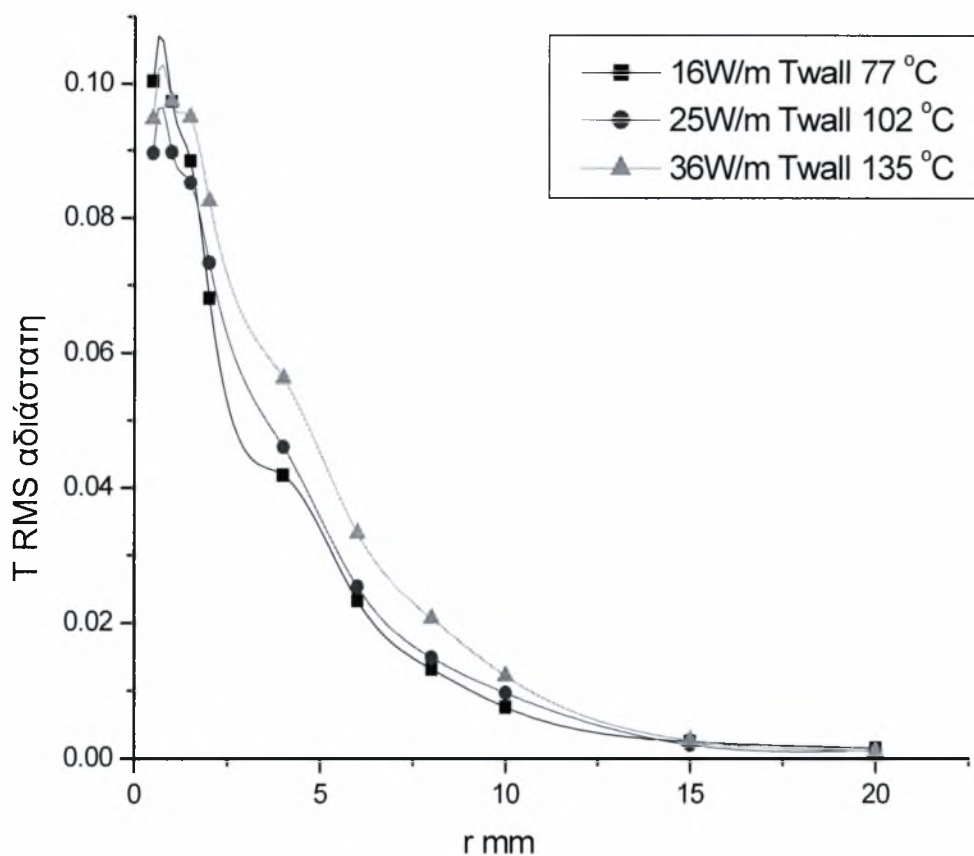
Διάγραμμα 6.32 Μεταβολή T_{rms} συναρτήσει της ακτίνας για σταθ $V_f=6V$ σε ροή ομοροπη της άνωσης

Το τετράγωνο της μέσης θερμοκρασίας στην περίπτωση της ομόροπης ροής σε αντίθεση με το αντίστοιχο της αντίρροπης δείχνει μια ροή αρκετά στρωτή. Αν εξαιρέσει βέβαια κανείς το μικρό διάστημα από 2-5mm όπου εκεί δημιουργείται μια μικρή τύρβη.



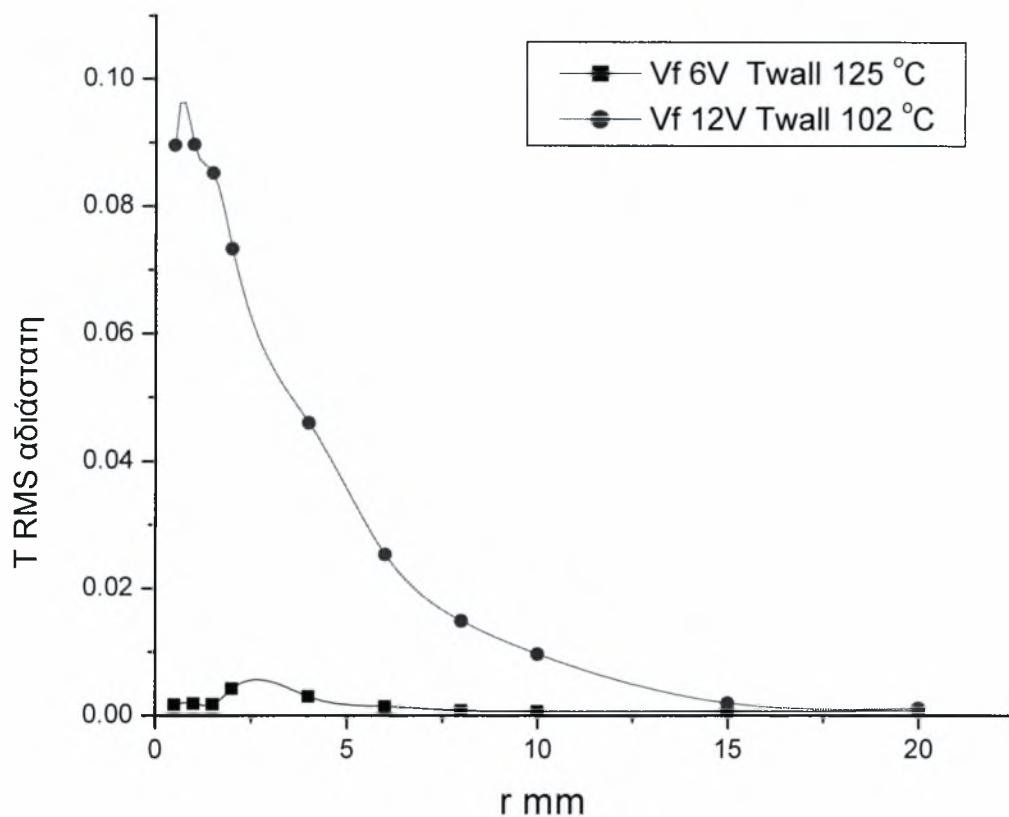
Διάγραμμα 6.33 Μεταβολή T_{rms} συναρτήσει της ακτίνας για σταθ ισχύος $16W/m$ σε ροή ομόροπη της άνωσης

Σε αντίθεση με τα προηγούμενα διαγράμματα T_{rms} το συγκεκριμένο παρουσιάζει την εξής ιδιαιτερότητα. Στην περίπτωση της ισχύος της αντίστασης στα $16w/m$ υπάρχει πολύ μεγάλη διαφορά στην διακύμανση μεταξύ των περιπτώσεων στα volt του φουστήρα με άλλα λόγια στα 12volt φουστήρα και για $16w/m$ ισχυ η τύρβη που προκαλείται είναι τάξεις μεγέθους ανώτερη από αυτήν της περίπτωσης των 6volt.



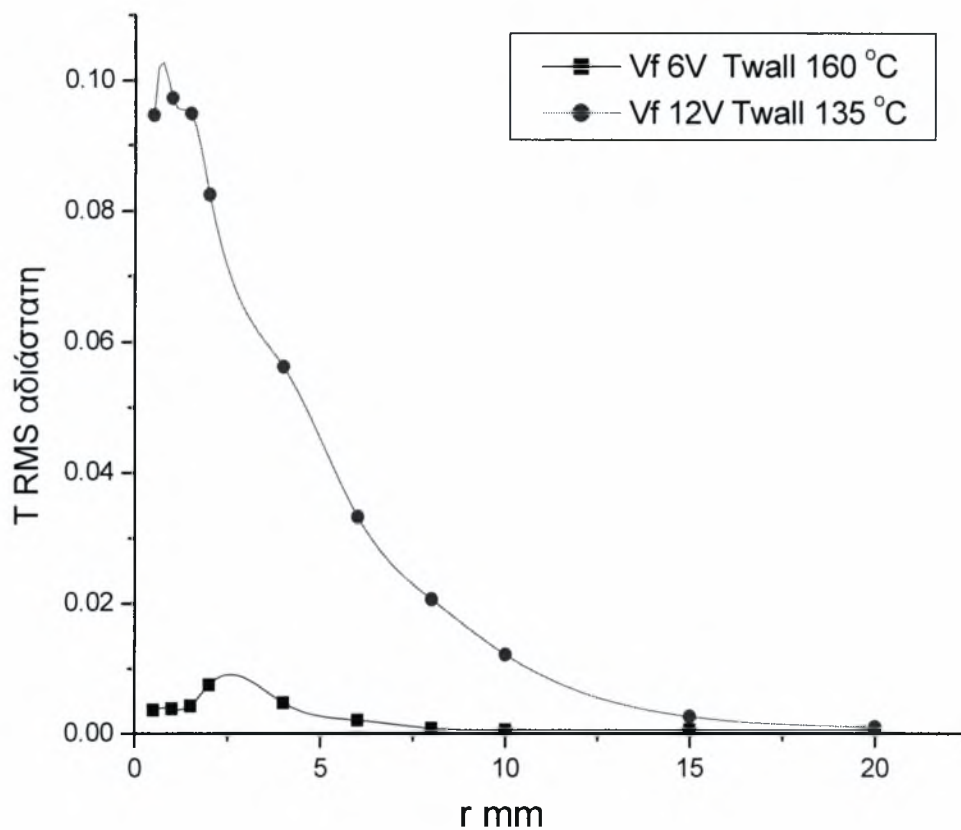
Διάγραμμα 6.34 Μεταβολή T_{rms} συναρτήσει της ακτίνας με σταθ $V_f=12V$ σε ροη ομόροπη της άνωσης

Το διάγραμμα 6.34 αποικονίζει την μεταβολη του RMS της θερμοκρασίας σε σταθερή τάση φουσητήρα ίση με 12volt το συμπ'ερασμα που βγαίνει είναι ότι οι ροες είναι παράλληλες με μόνη διαφορα στην ένταση της τύρβης το διάστημα από 2-4mm οπου δημιουργούνται καποιες ασυνέχειες



Διάγραμμα 6.35 Μεταβολή T_{rms} συναρτήσει της ακτίνας για σταθ ισχύος $25W/m$ σε ροή ομόροπη της άνωσης

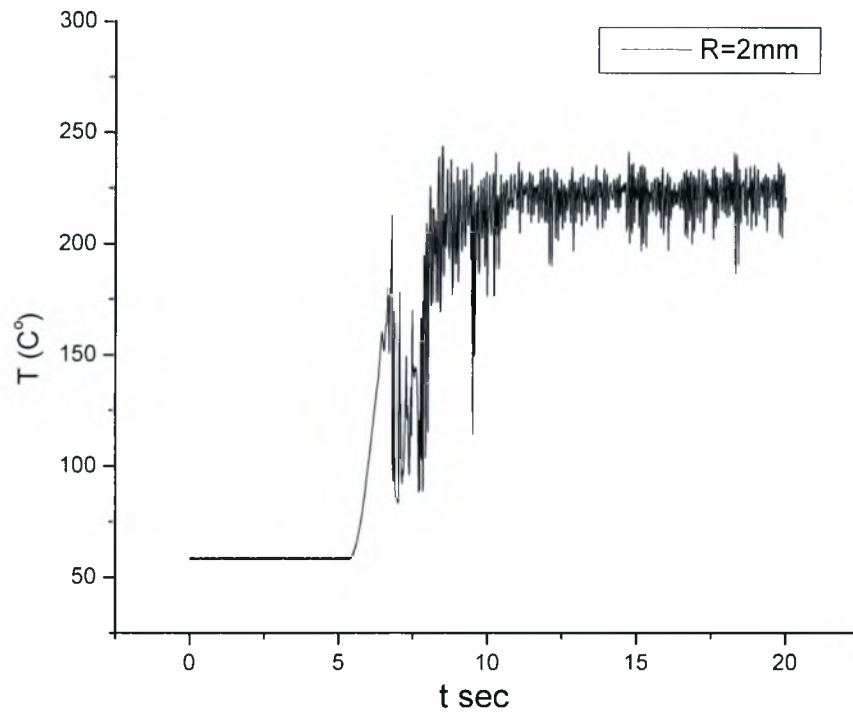
Όπως και το προηγούμενο διάγραμμα 6.33 παρουσιάζει την εξής ιδιαιτερότητα. Στην περίπτωση της ισχύος της αντίστασης στα $25w/m$ υπάρχει πολύ μεγάλη διαφορά στην διακύμανση μεταξύ των περιπτώσεων στα volt του φουσητήρα με άλλα λόγια στα 12volt φουσητήρα και για $16w/m$ ισχυ η τύρβη που προκαλείται είναι τάξεις μεγέθους ανώτερη από αυτήν της περίπτωσης των 6volt,



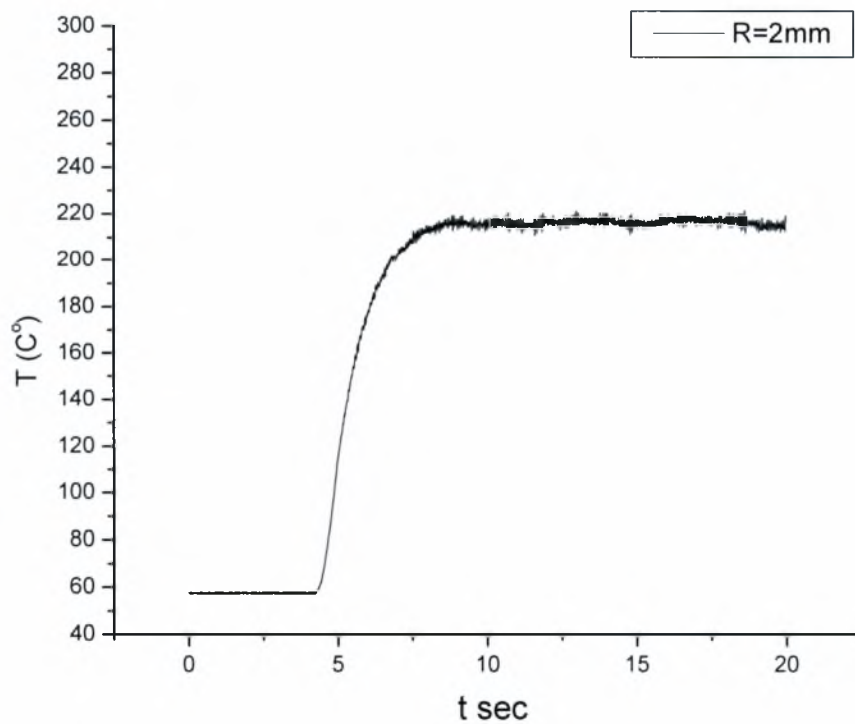
Διάγραμμα 6.36 Μεταβολή T_{rms} συναρτήσει της ακτίνας για σταθ ισχύς $36W/m$ σε ροή ομόροπη της άνωσης

Όπως και το προηγούμενο διάγραμμα 6.35 παρουσιάζει την εξής ιδιαιτερότητα. Στην περίπτωση της ισχύος της αντίστασης στα $25w/m$ υπάρχει πολύ μεγάλη διαφορά στην διακύμανση μεταξύ των περιπτώσεων στα volt του φουσίτηρα με άλλα λόγια στα 12volt φουσιτήρα και για $16w/m$ ισχυ η τύρβη που προκαλείται είναι τάξεις μεγέθους ανώτερη από αυτήν της περίπτωσης των 6volt,

Διαγράμματα χρονοσειρών σε ροή ομόροπη της άνωσης μετρήσεις με cold wire

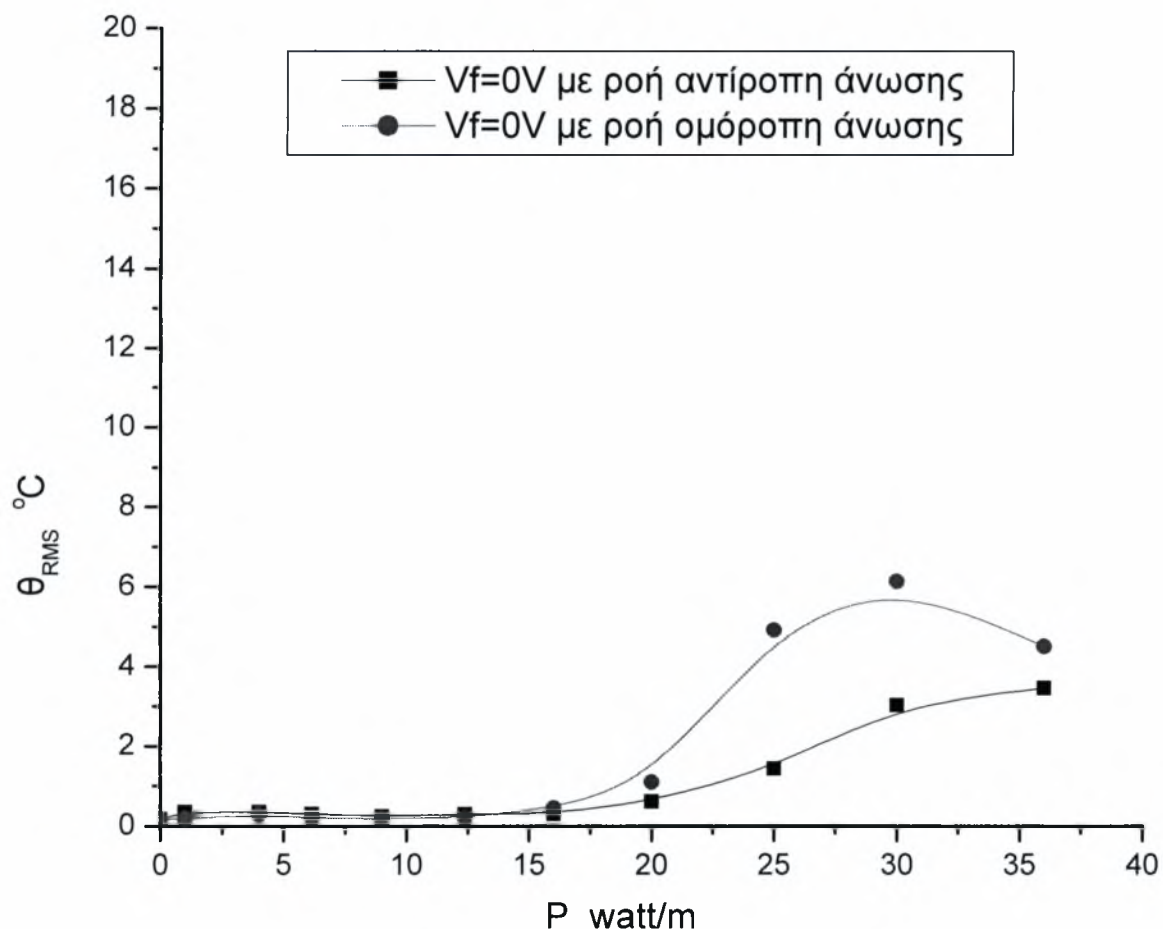


Διάγραμμα 6.37 μέτρηση transient σε ροή ομόροπη της άνωσης με $V_f=0V$ και $P=36w/m$



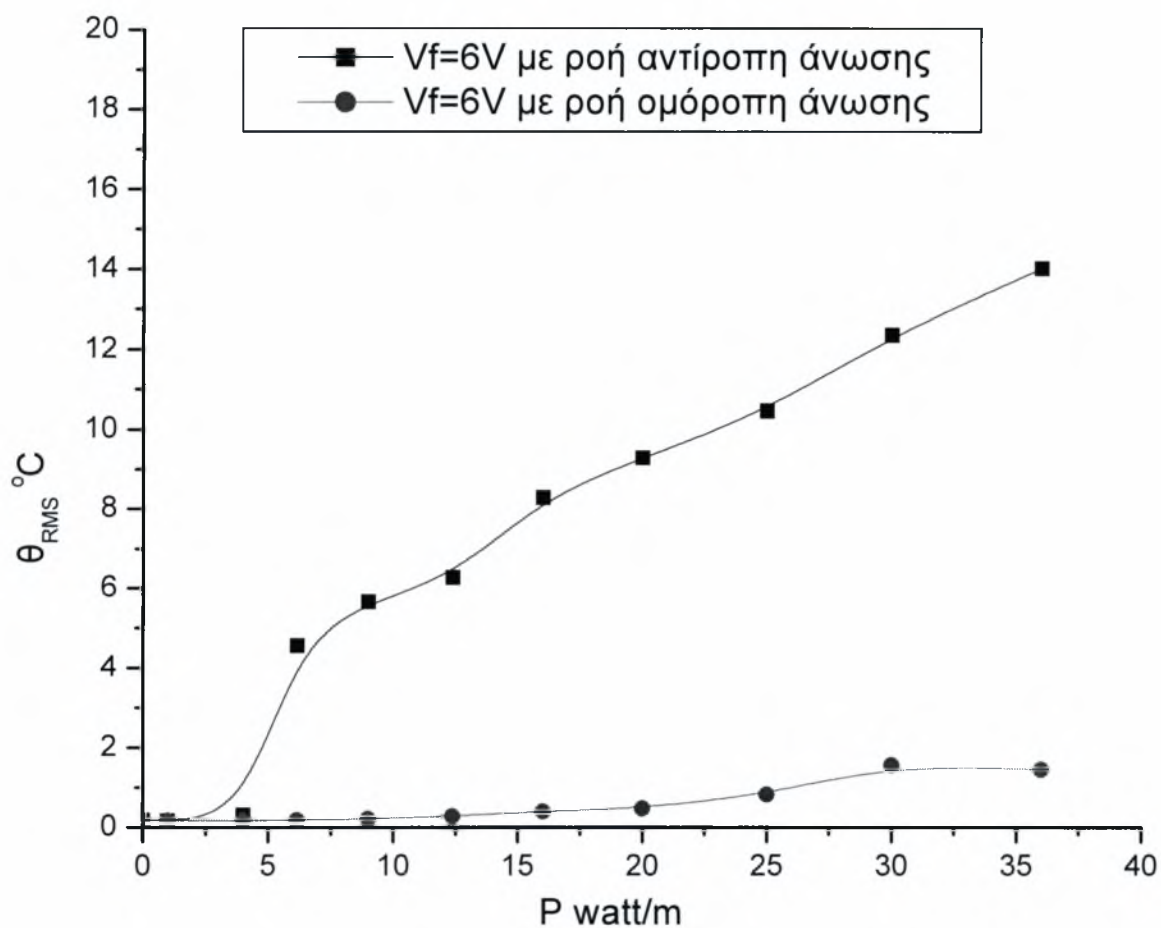
Διάγραμμα 6.38 μέτρηση transient σε ροή ομόροπη της άνωσης με $V_f=6V$ και $P=36w/m$

6.4 Επίδραση V_r και V_f σε ροή ομόροπη και αντίροπη της άνωσης



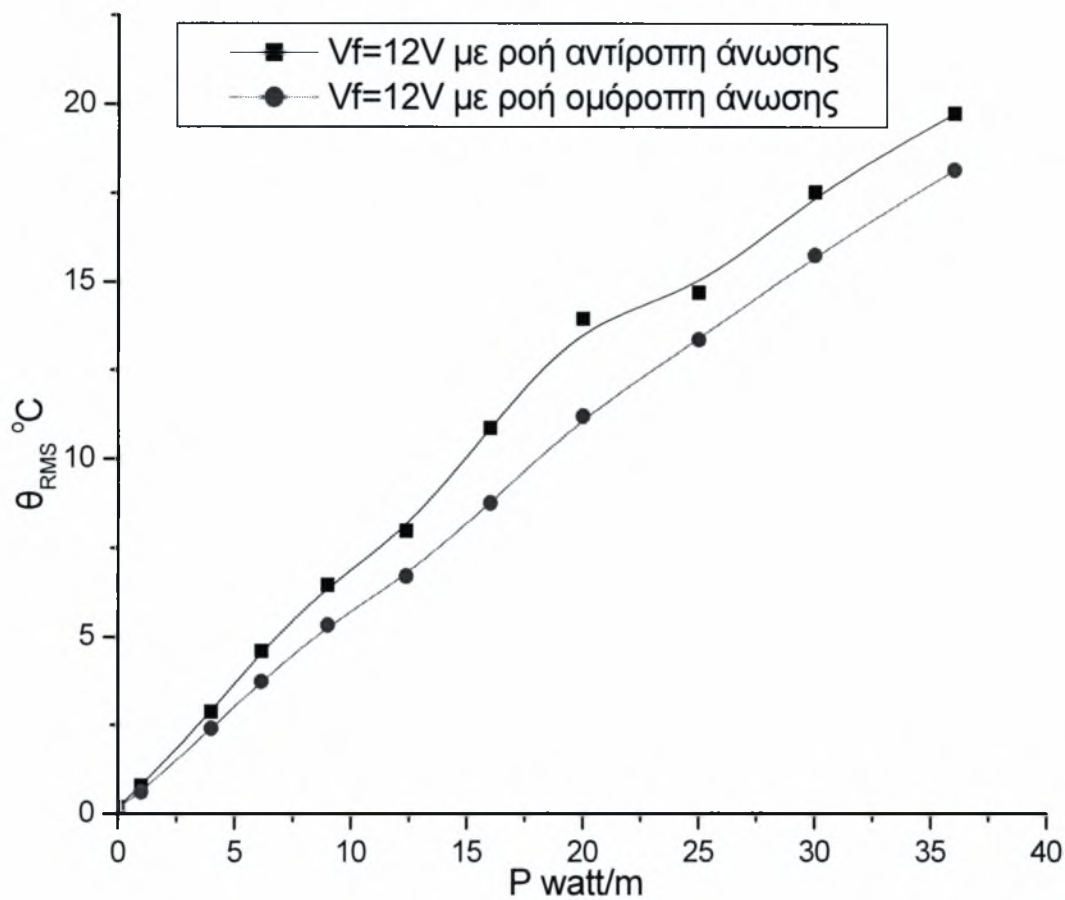
Διάγραμμα 6.39 επίδραση V_r σε σταθ $R=2\text{mm}$ και $V_f=0$

Στο διάγραμμα 6.39 φαίνεται η επίδραση που έχει η ισχύς της αντίστασης στο τετράγωνο της μέσης θερμοκρασίας στην αντίροπη και ομόροπη ως προς την άνωση ροή. Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα μετά τα 16 w/m αρχίζει να γίνεται τυρβώδης η ροή με αποκορύφωμα τα 30 w/m και στις δυο περιπτώσεις αντίροπης και ομόροπης ροής.



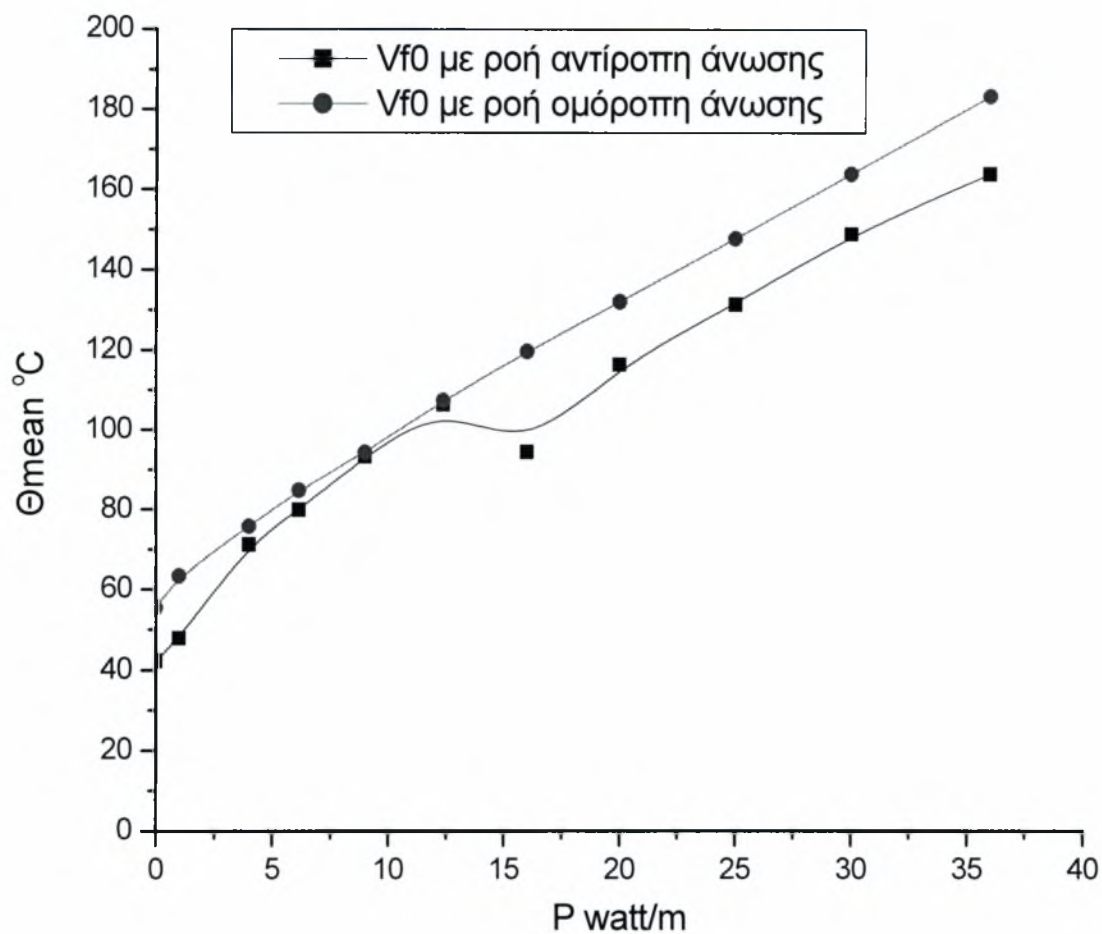
Διάγραμμα 6.40 επίδραση V_f σε σταθ $R=2\text{mm}$ και $V_f=6\text{V}$

Σε αντίθεση με το προηγούμενο διάγραμμα 6.39 στο 6.40 η επίδραση που έχει η ισχύς της αντίστασης είναι πολύ πιο έντονη ακόμα και από τα 4w/m στην περίπτωση των 6v του φουσητήρα. Στην δε αντίροπη ροή ακόμα και στα 35w/m σημείο οριακό για την διαθέσιμη συγκεκριμένη συσκευή δείχνει να μην έχει πιάσει μέγιστο!! Ενώ στην περίπτωση της ομόροπη το μέγιστο επιτυγχάνεται ξανά στα 30w/m



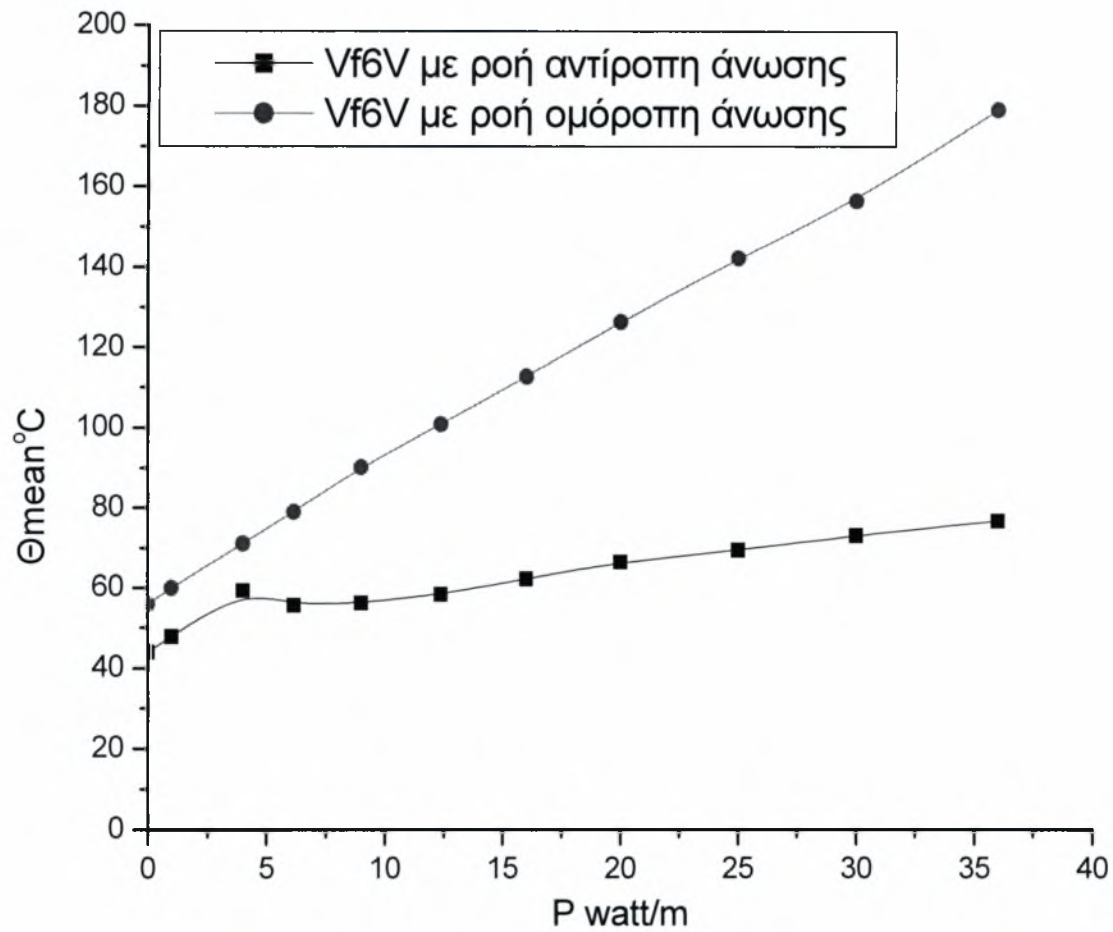
Διάγραμμα 6.41 επίδραση V_f σε σταθ $R=2mm$ και $V_f=12V$

Και οι δυο καμπύλες δείχνουν να τείνουν προς το άπειρο χωρίς να σχηματίζουν κάποιο τοπικό μέγιστο ή ελάχιστο γεγονός που σημαίνει ότι η ροή μπορεί να γίνει περισσότερο τυρβώδης και στις δυο περιπτώσεις. και οι δυο ροές στην περίπτωση των 12volt του φυσητήρα δεν φτάνουν το μέγιστο T_{rms} και είναι παράλληλες καθ' όλη το διάστημα μέτρησης δείχνοντας έτσι ένα φαινόμενο έντονης τύρβης για την κάθε περίπτωση.



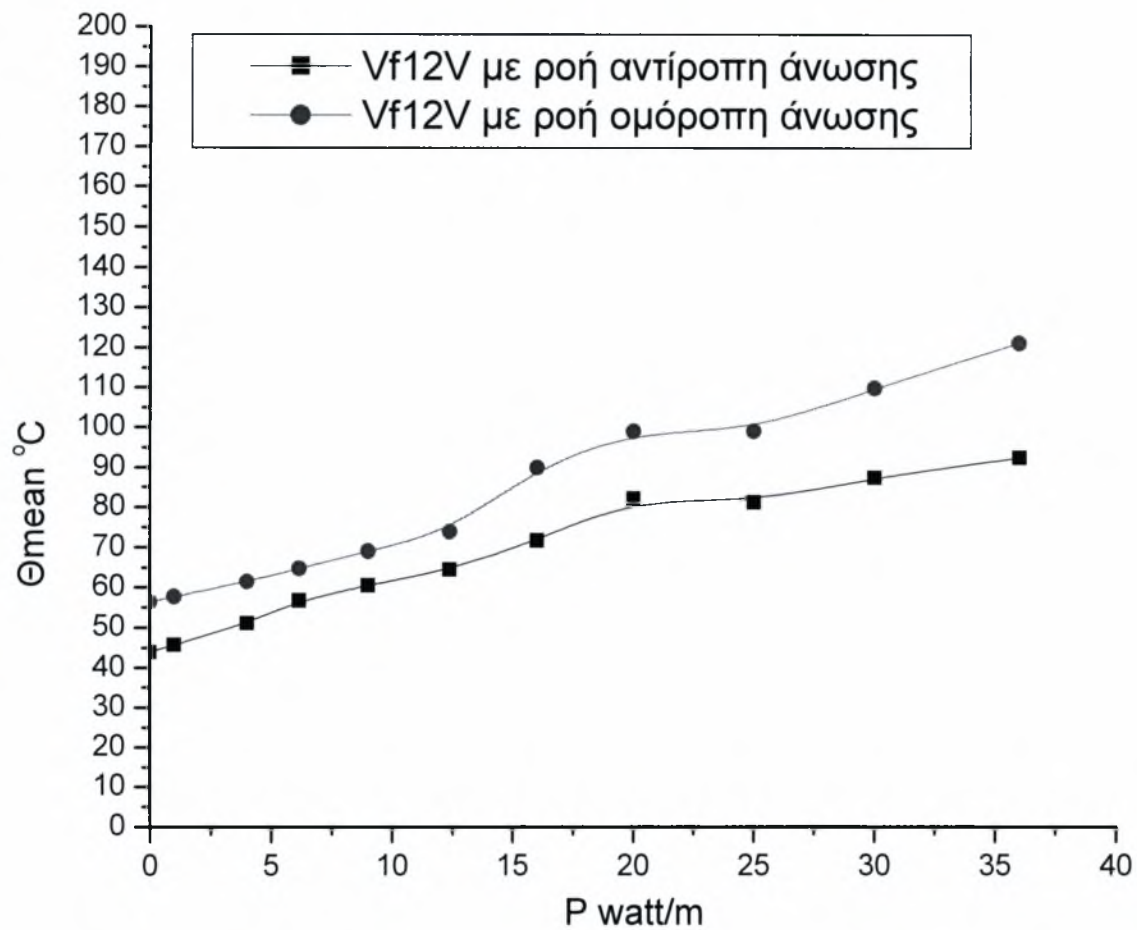
Διάγραμμα 6.42 επίδραση V_r σε σταθ $R=2\text{mm}$ και $V_f=0$

Όπως φαίνεται από το διάγραμμα 6.42 η επίδραση της ισχύος της αντίστασης στις διαφορετικές περιπτώσεις της ομόροπη και αντίροπης ως προς την άνωση ροής είναι σχεδόν πανομοιότυπες με μια εξαίρεση μετά τα 16w/m όπου η αντίροπη ως προς την άνωση ροή παρουσιάζει μια ελάχιστο το οποίο πιθανότατα οφείλεται στην γεωμετρία της συσκευής η οποία βοηθάει περισσότερο στην ελεύθερη κίνηση την ανωστική ροή και άρα την ομόροπη ως προς την άνωση



Διάγραμμα 6.43 επίδραση V_f σε σταθ $R=2\text{mm}$ και $V_f=6\text{V}$

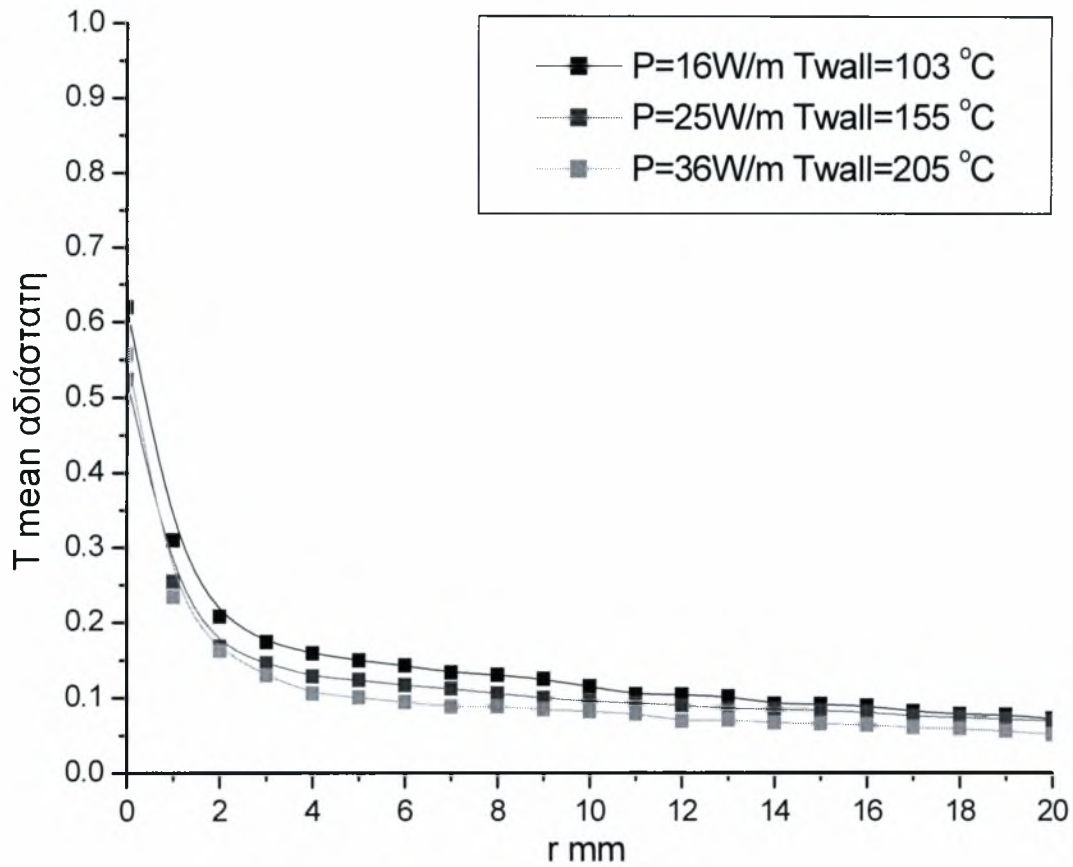
Όπως φαίνεται από το διάγραμμα 6.43 η επίδραση της ισχύος της αντίστασης στις διαφορετικές περιπτώσεις της ομόροπη και αντίροπη ως προς την άνωση ροής ξεκινάει στα πρώτα 5w/m σχεδόν πανομοιότυπα αλλά μετά τα 5w/m όπου η αντίροπη ως προς την άνωση ροή παρουσιάζει ένα ελάχιστο το οποίο και διατηρεί για το υπόλοιπο του διαστήματος της μέτρησης



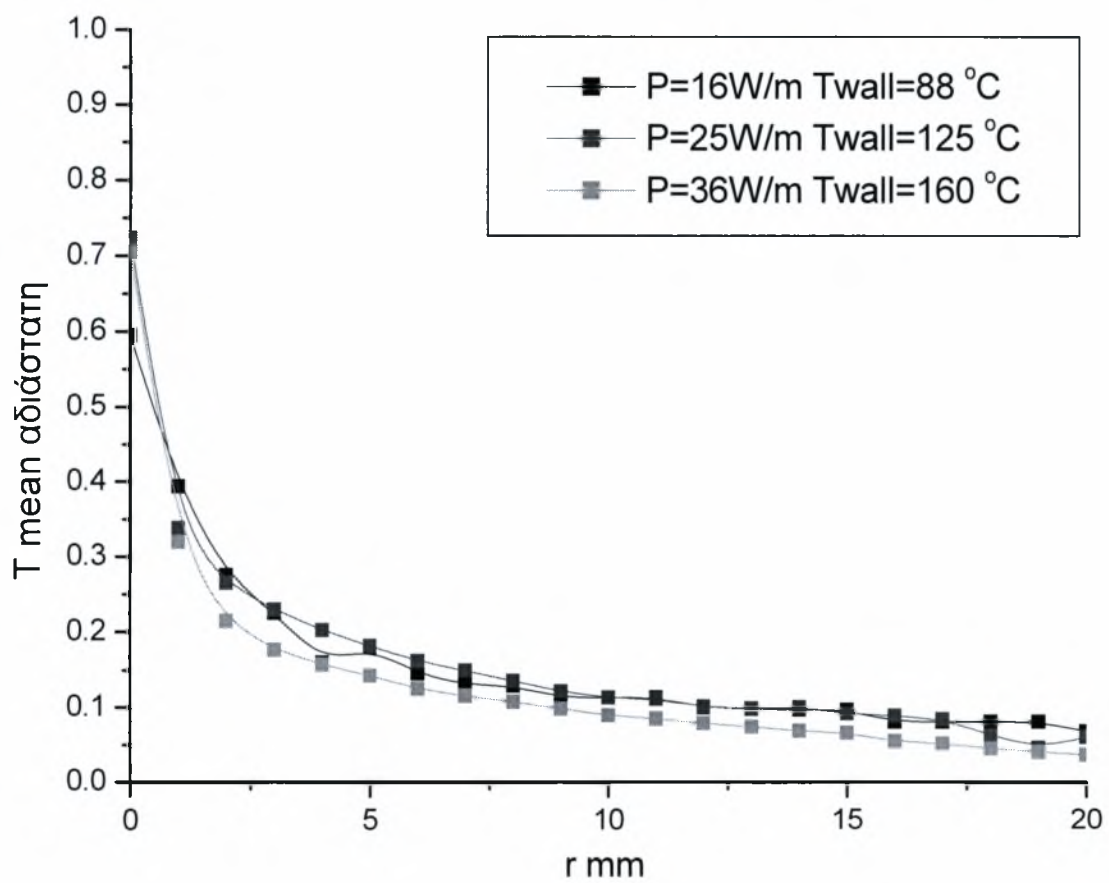
Διάγραμμα 6.44 επίδραση V_f σε σταθ $R=2\text{mm}$ και $V_f=12\text{V}$

Όπως φαίνεται από το διάγραμμα 6.44 η επίδραση της ισχύος της αντίστασης στις διαφορετικές περιπτώσεις της ομόροπη και αντίροπης ως προς την άνωση ροής είναι σχεδόν πανομοιότυπες σε όλο το διάστημα της μέτρησης για την περίπτωση των 12volt του φουσητήρα

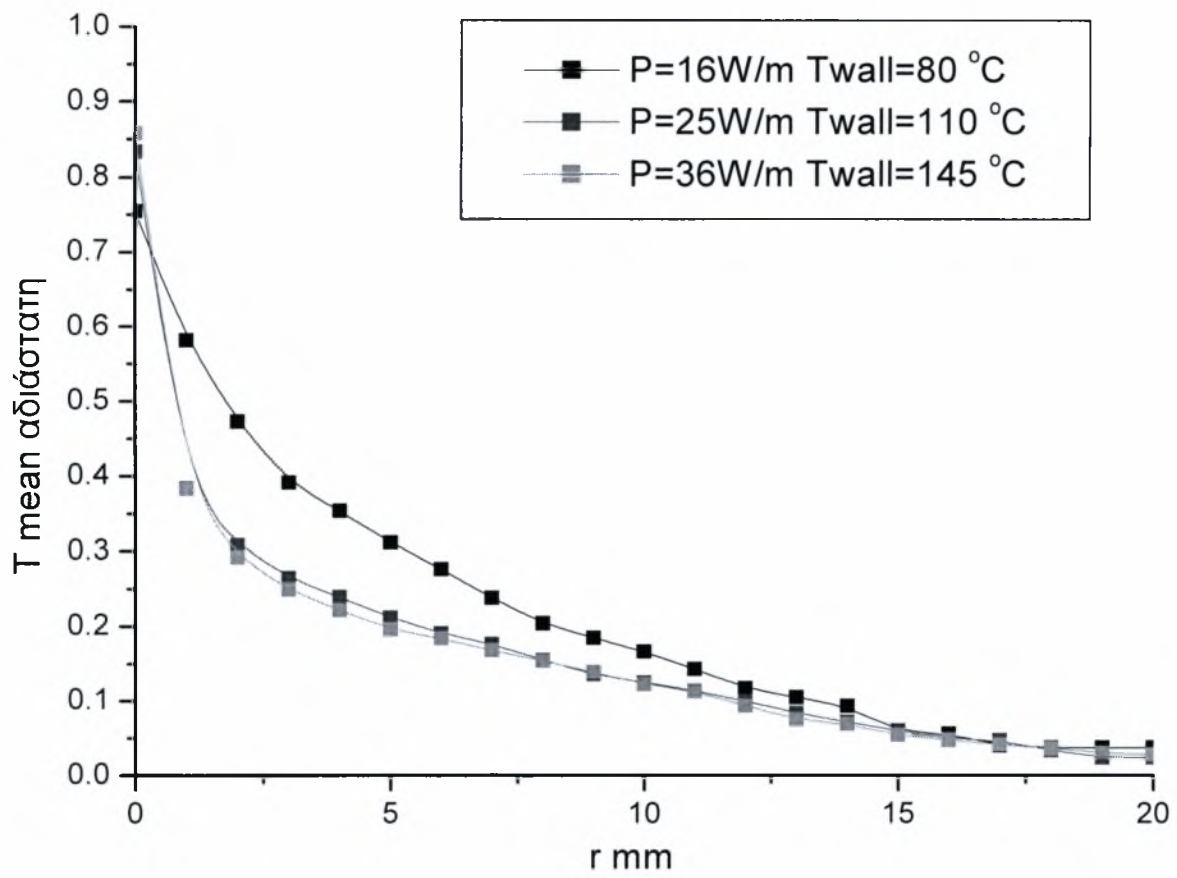
6.5 Μεταβολή μέσης θερμοκρασίας σε ροή αντίρροπη της άνωσης μετρήσεις με θερμοστοιχείο



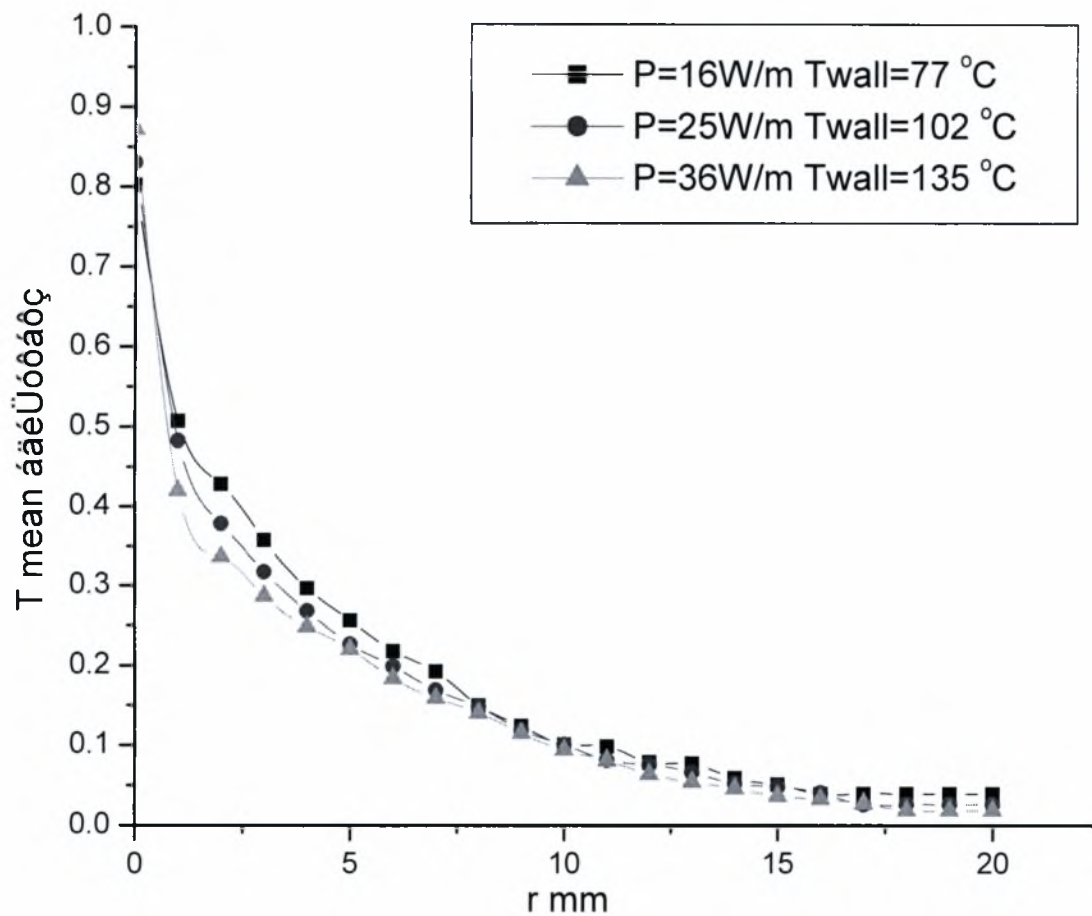
Διάγραμμα 6.45 κατανομή θερμοκρασίας απο θερμοστοιχείο για $V_f=5\text{V}$



Διάγραμμα 6.46 κατανομή θερμοκρασίας απο
θερμοστοιχείο για $V_f=7\text{V}$



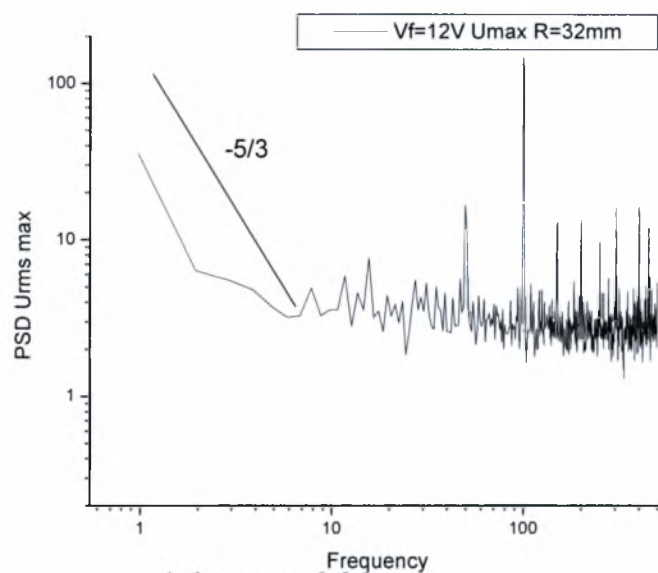
Διάγραμμα 6.47 κατανομή θερμοκρασίας απο θερμοστοιχείο για $V_f=9V$



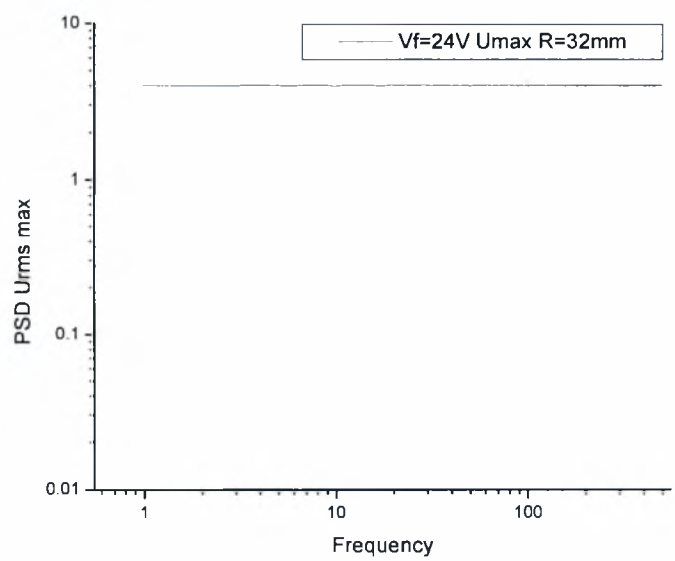
Διάγραμμα 6.48 κατανομή θερμοκρασίας απο
θερμοστοιχείο για Vf=12V

6.6. Φασματική ανάλυση θερμοκρασίας και ταχύτητας κατά μήκος μιας ακτίνας και τοπικών μέγιστων μέσων και RMS

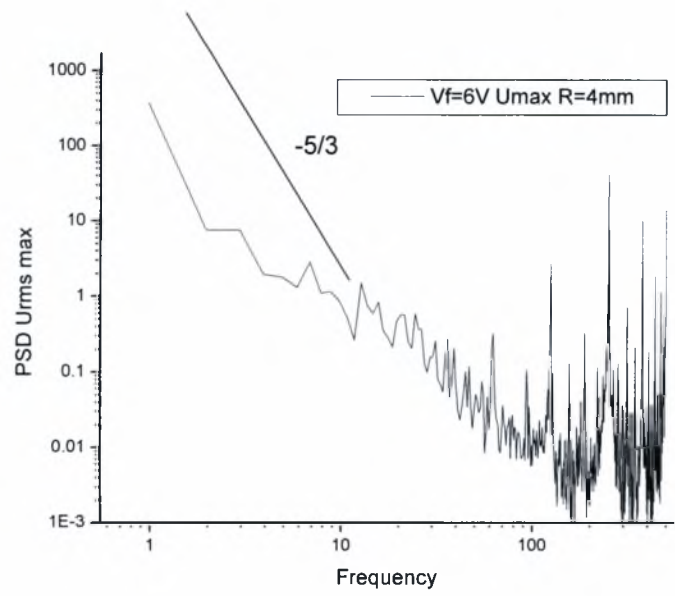
Φασματική ανάλυση θέσεων μέγιστης ταχύτητας



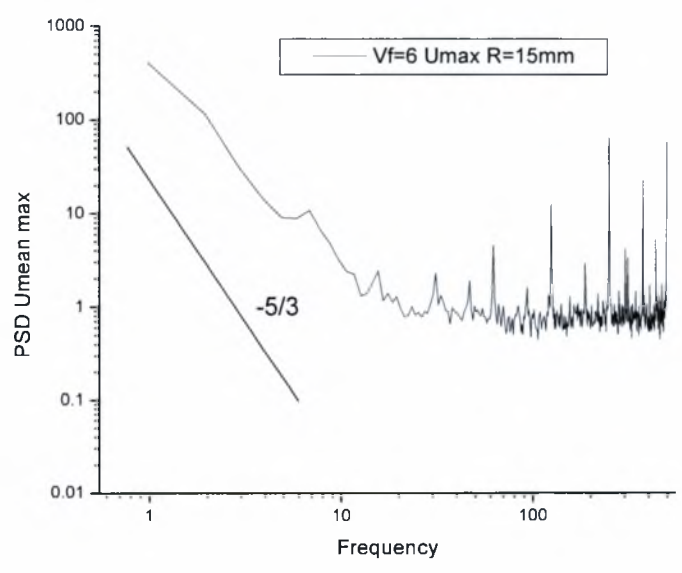
Διάγραμμα 6.6.1



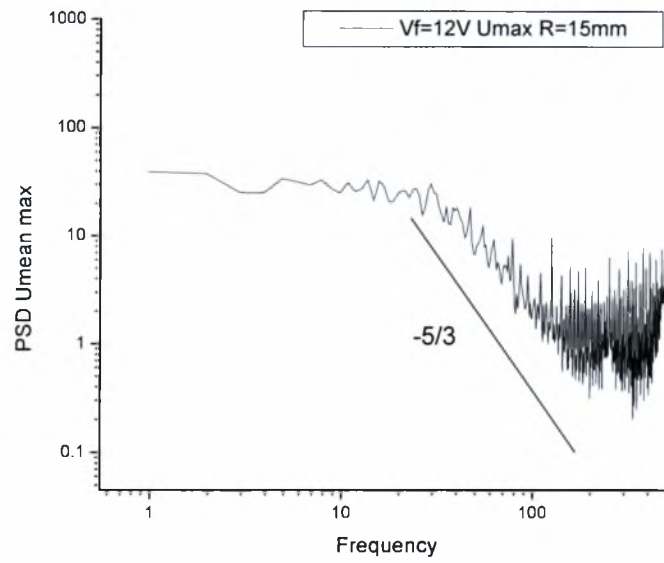
Διάγραμμα 6.6.2



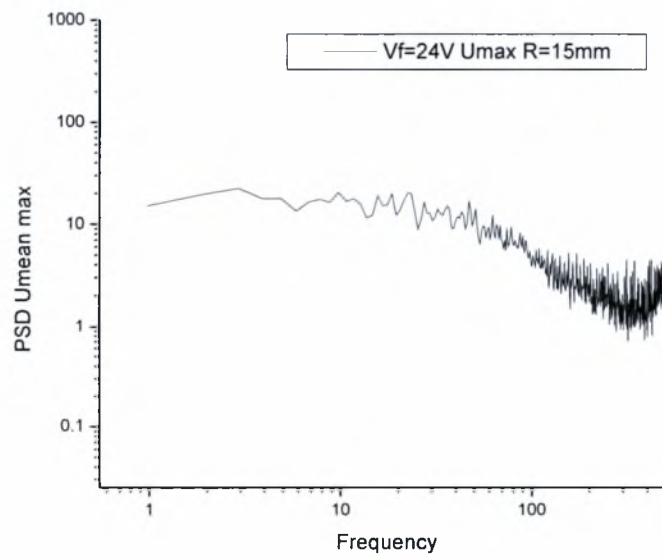
Διάγραμμα 6.6.3



Διάγραμμα 6.6.4

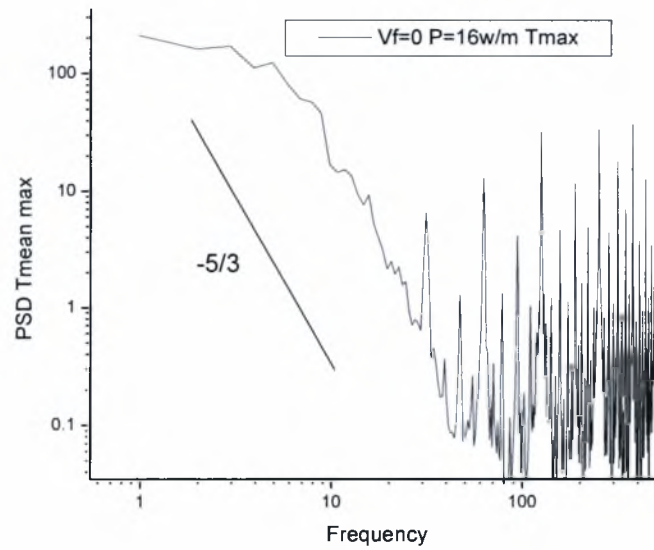


Διάγραμμα 6.6.5

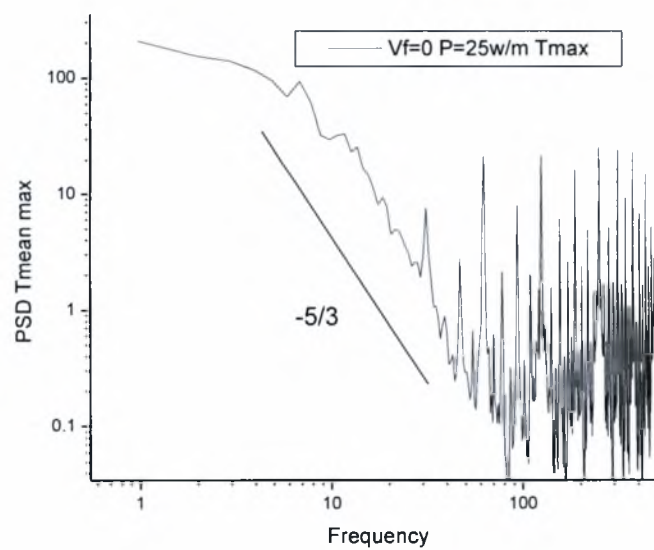


Διάγραμμα 6.6.6

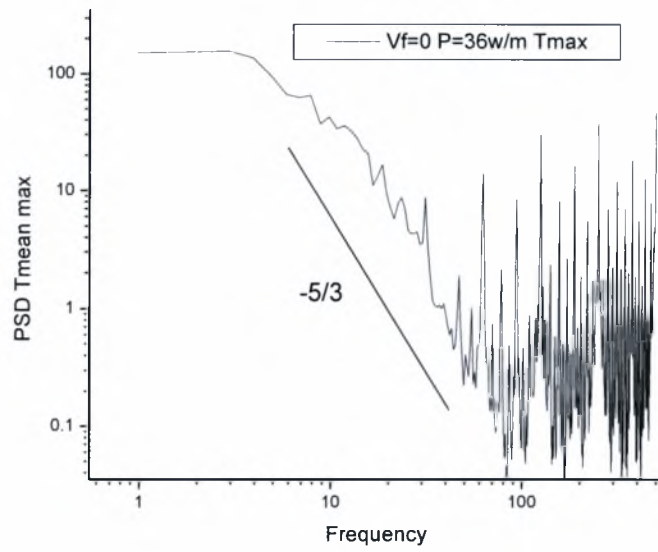
Φασματική ανάλυση θέσεων μεγίστων θερμοκρασίας
Σε ροή αντίρροπη της άνωσης



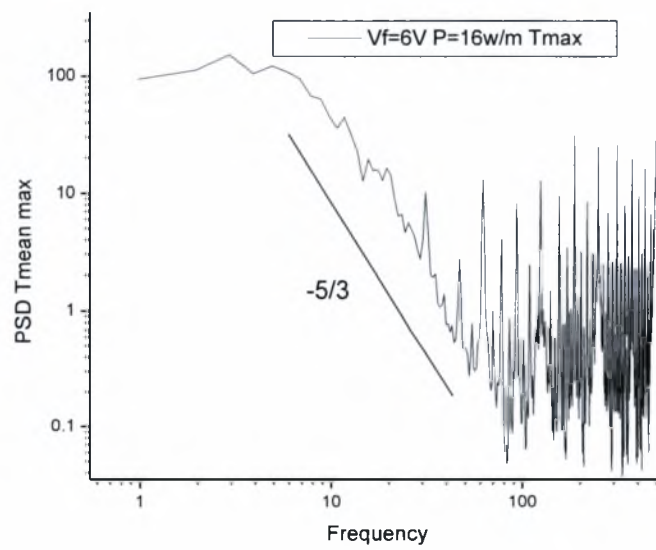
Διάγραμμα 6.6.7



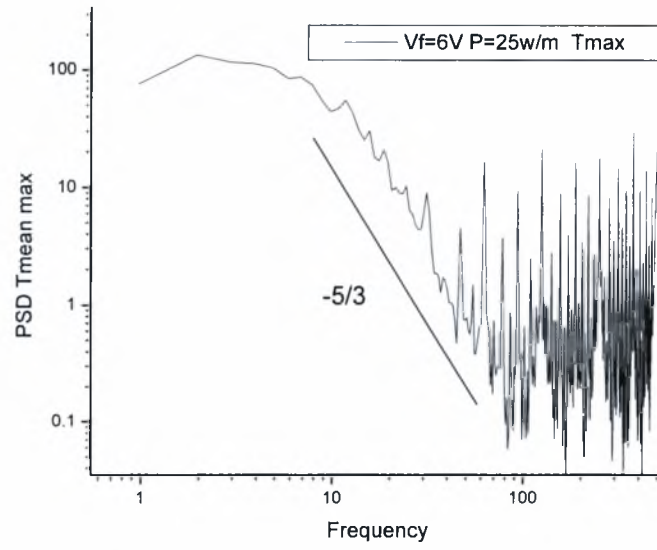
Διάγραμμα 6.6.8



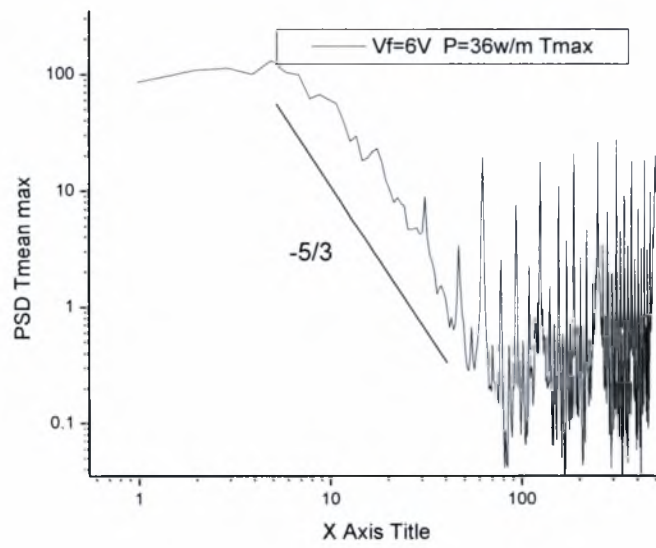
Διάγραμμα 6.6.9



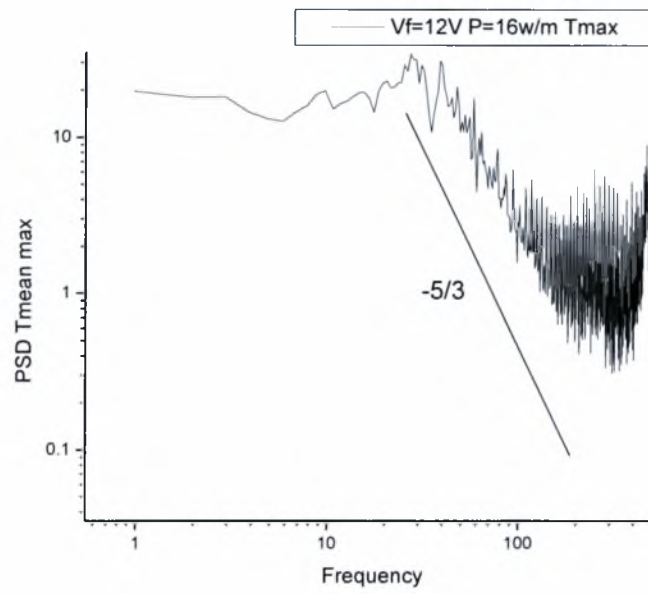
Διάγραμμα 6.6.10



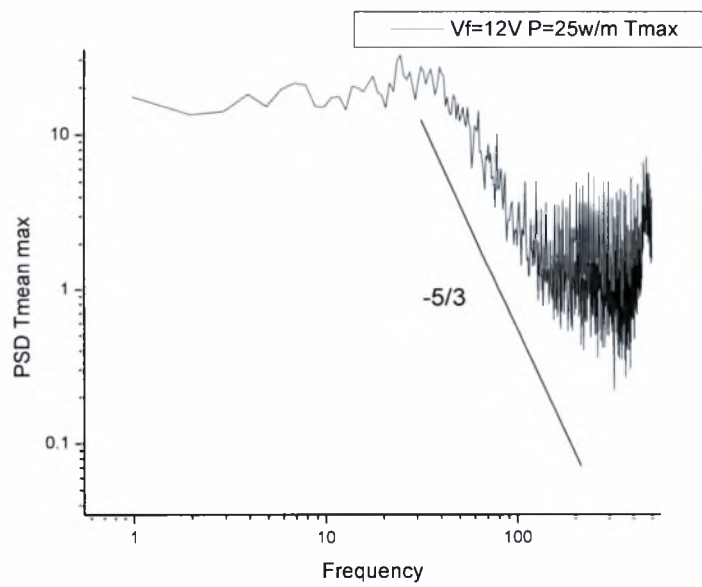
Διάγραμμα 6.6.11



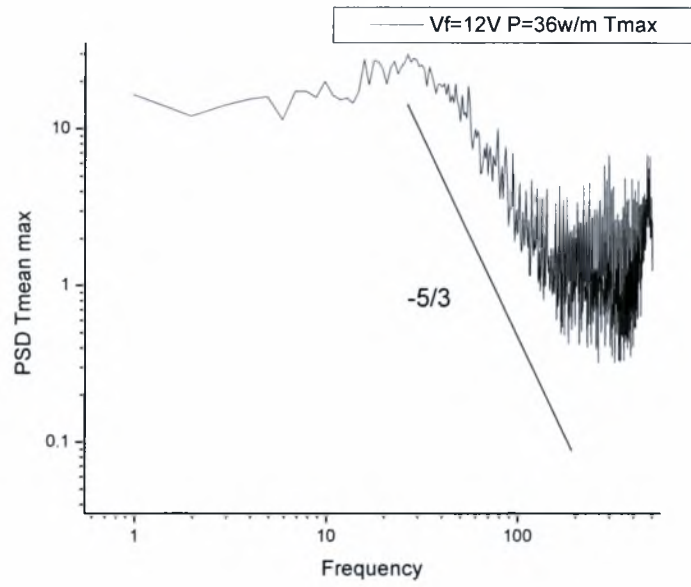
Διάγραμμα 6.6.12



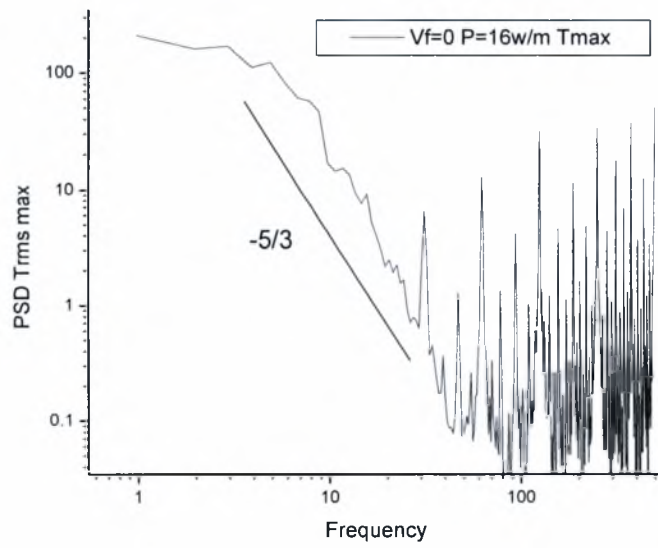
Διάγραμμα 6.6.13



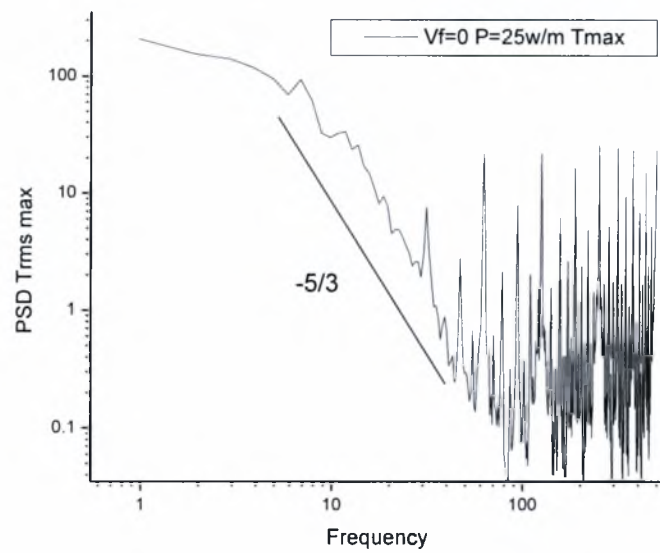
Διάγραμμα 6.6.14



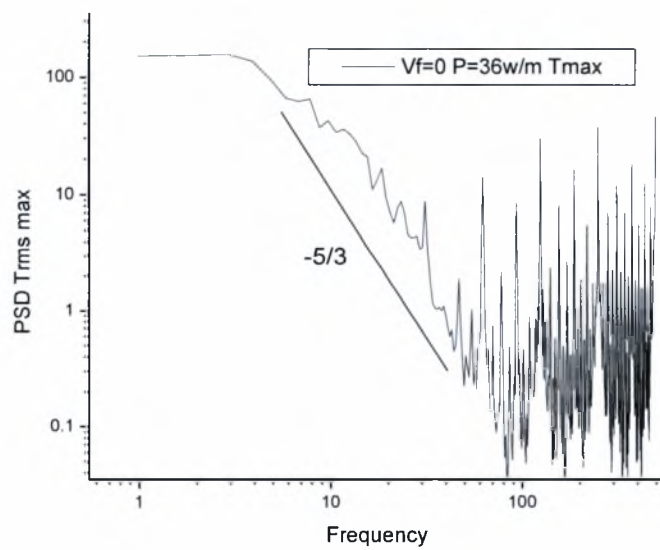
Διάγραμμα 6.6.15



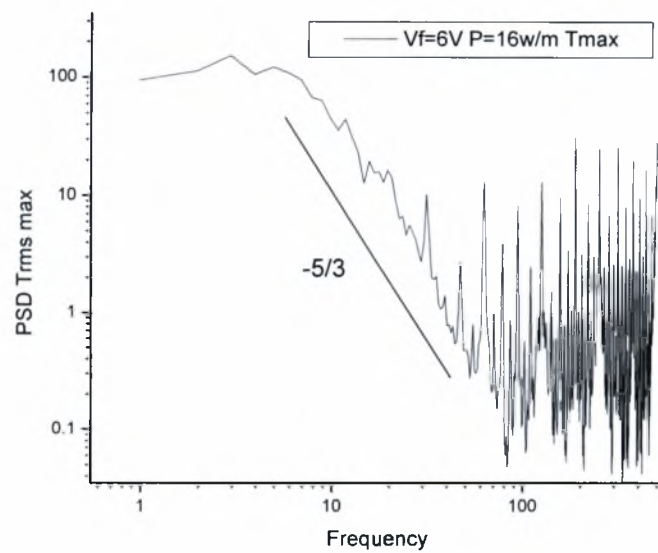
Διάγραμμα 6.6.16



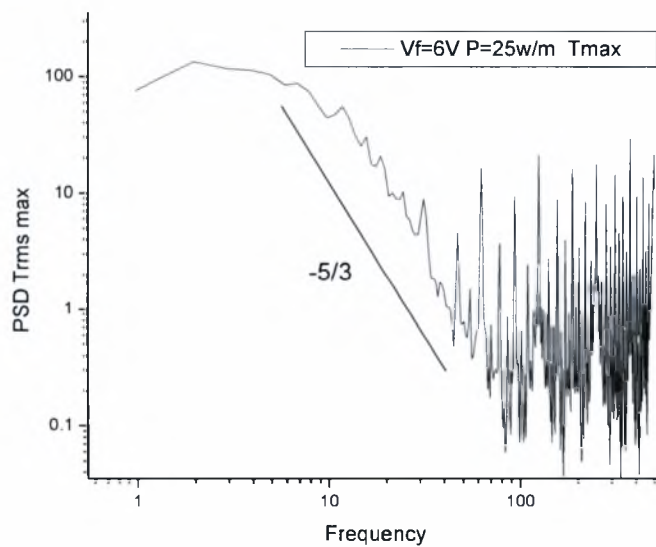
Διάγραμμα 6.6.17



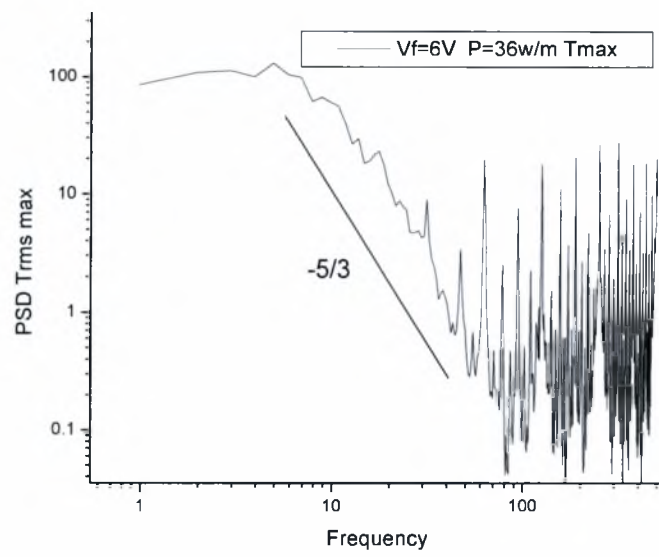
Διάγραμμα 6.6.18



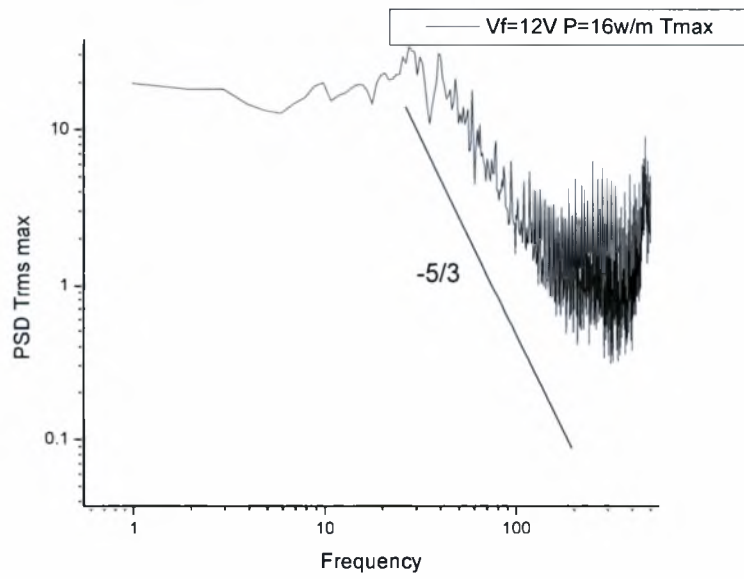
Διάγραμμα 6.6.19



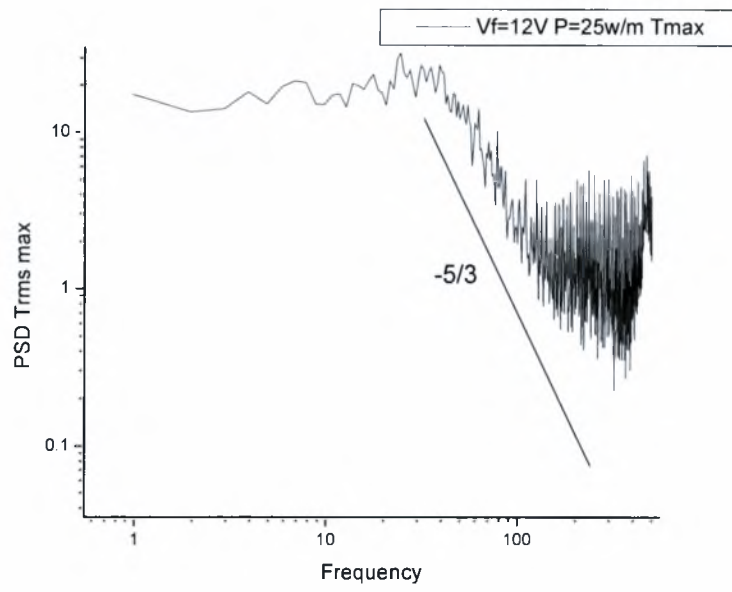
Διάγραμμα 6.6.20



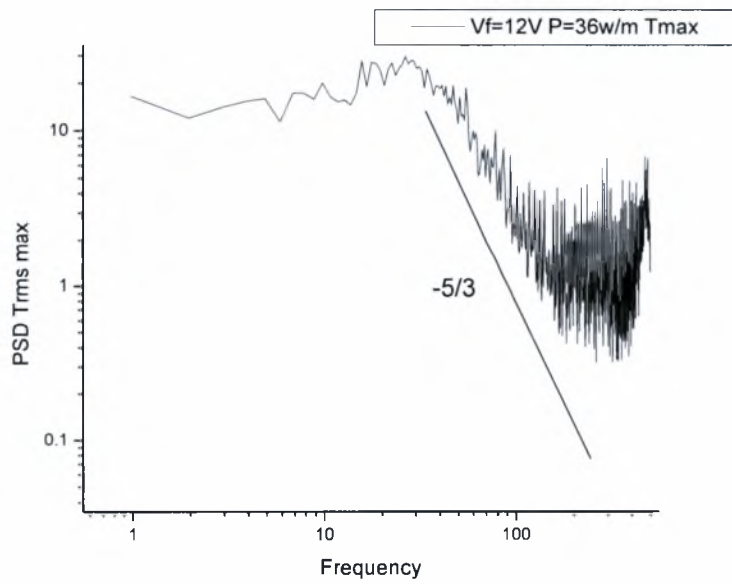
Διάγραμμα 6.6.21



Διάγραμμα 6.6.22

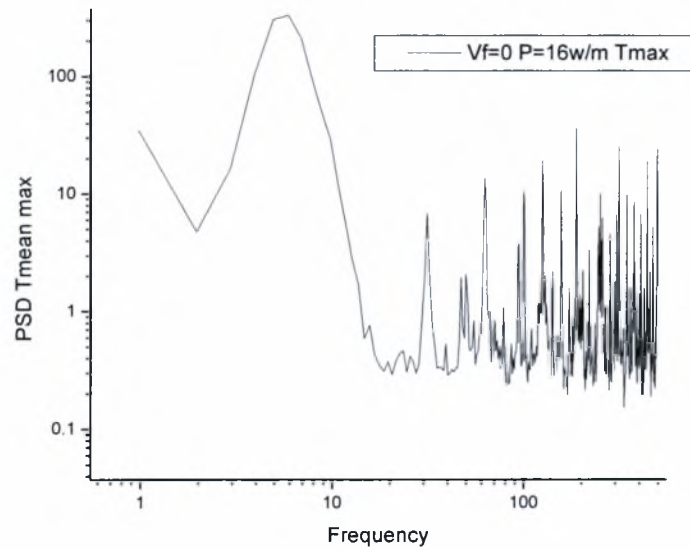


Διάγραμμα 6.6.23

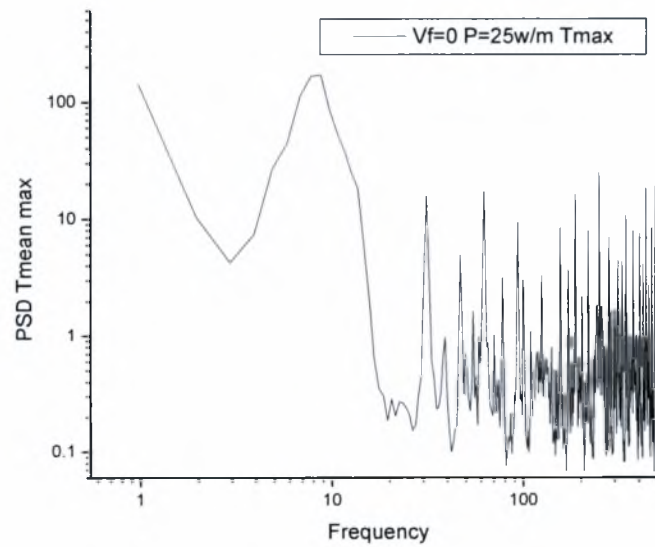


Διάγραμμα 6.6.24

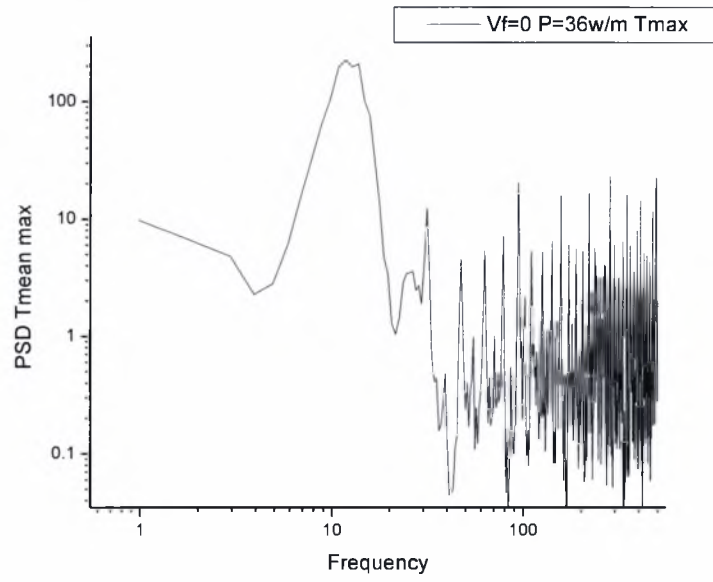
Φασματική ανάλυση θέσεων μεγίστων θερμοκρασίας
Σε ροή ομόροπη της άνωσης



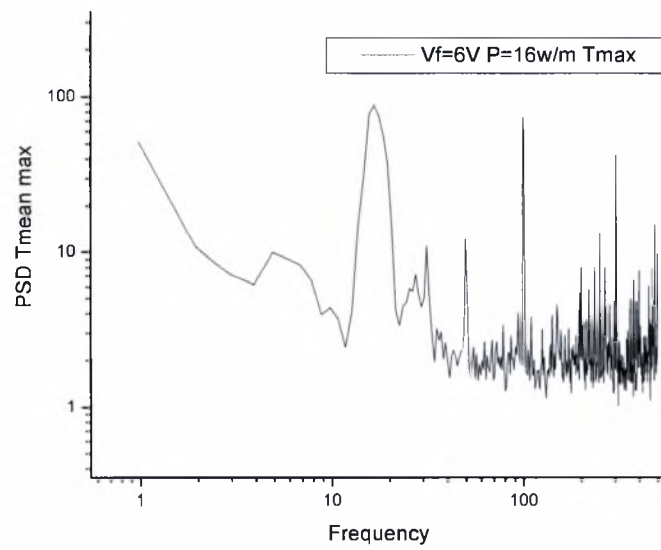
Διάγραμμα 6.6.25



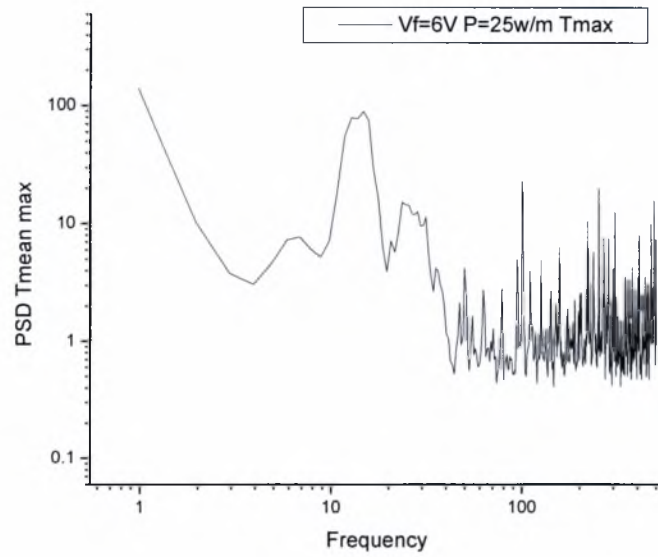
Διάγραμμα 6.6.26



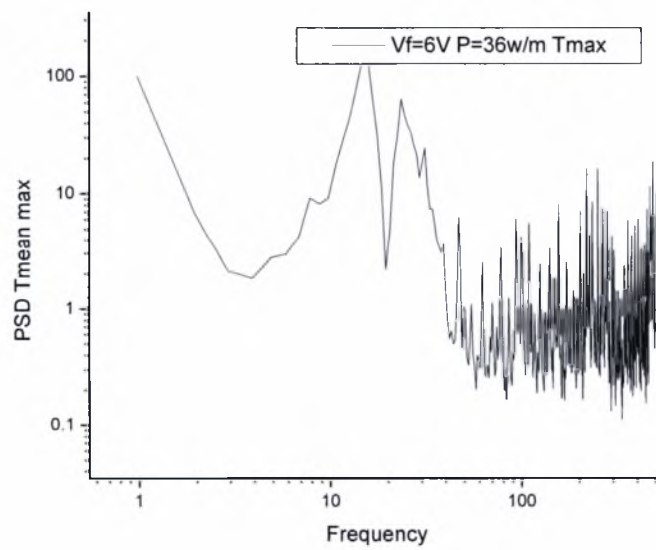
Διάγραμμα 6.6.27



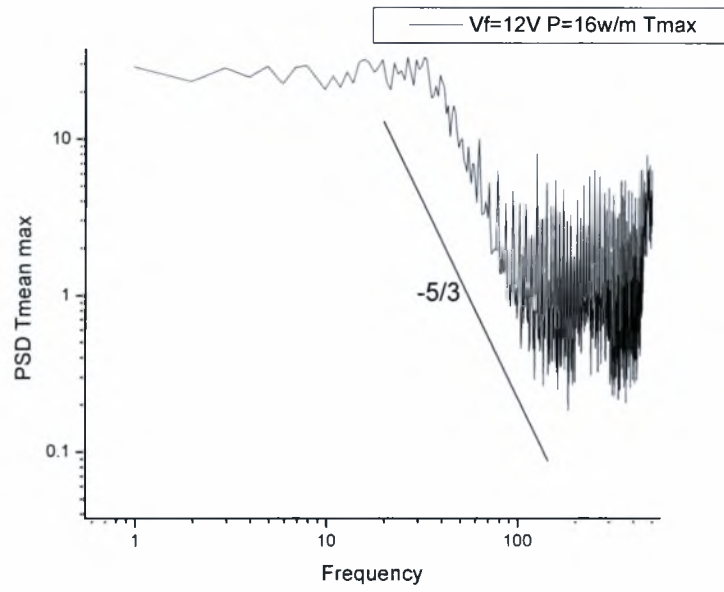
Διάγραμμα 6.6.28



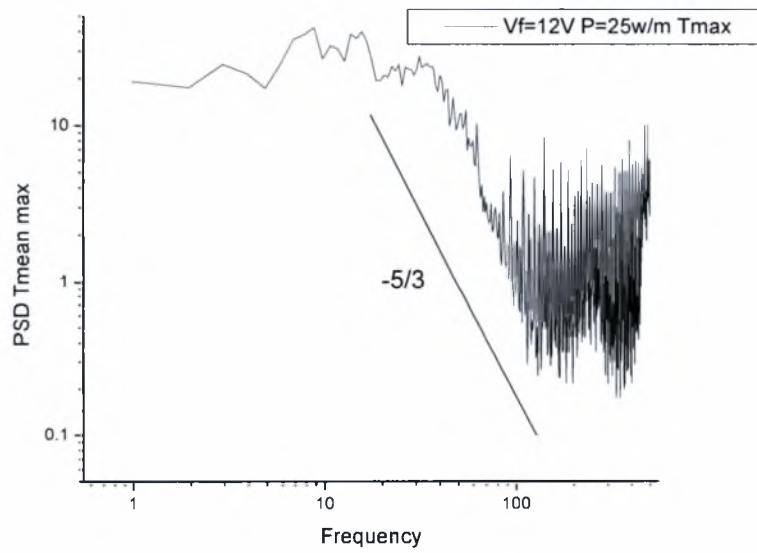
Διάγραμμα 6.6.29



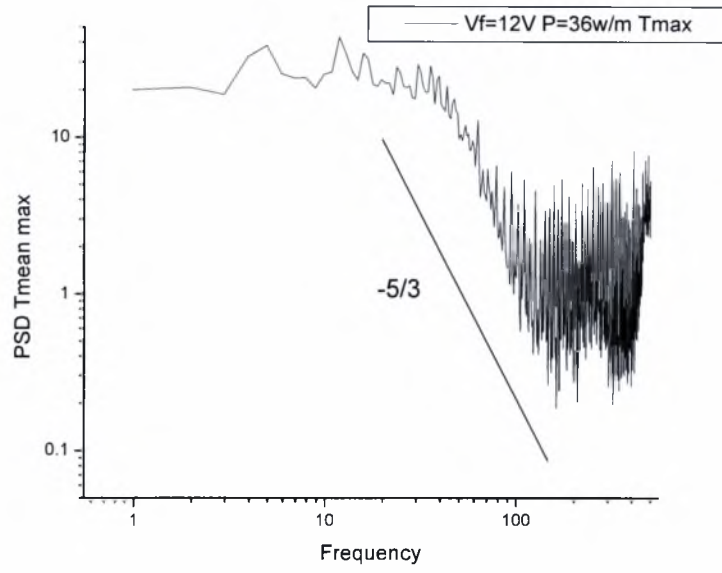
Διάγραμμα 6.6.30



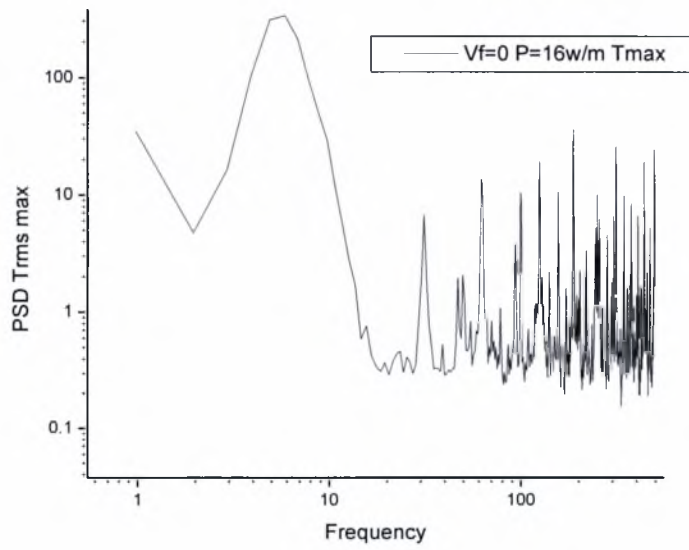
Διάγραμμα 6.6.31



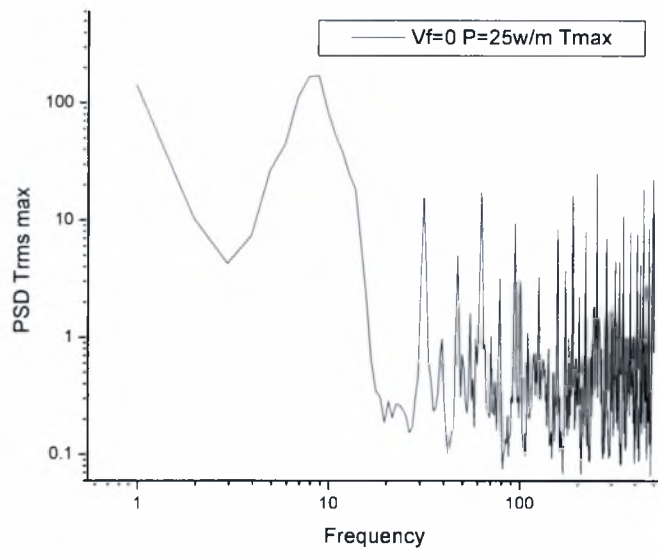
Διάγραμμα 6.6.32



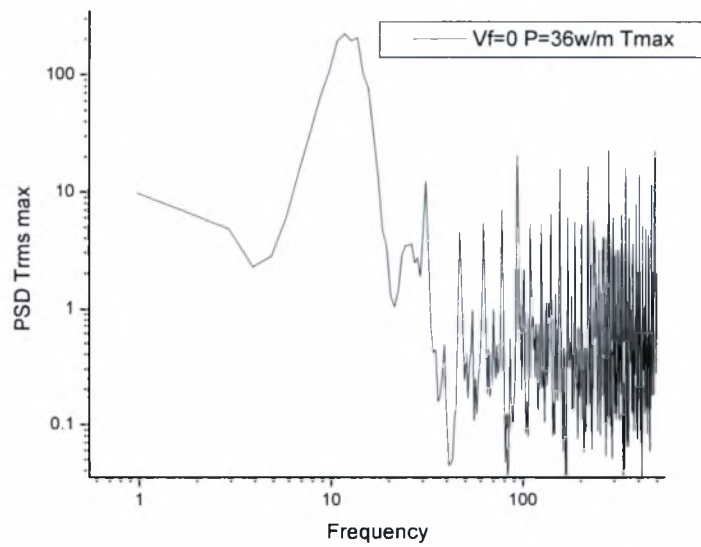
Διάγραμμα 6.6.33



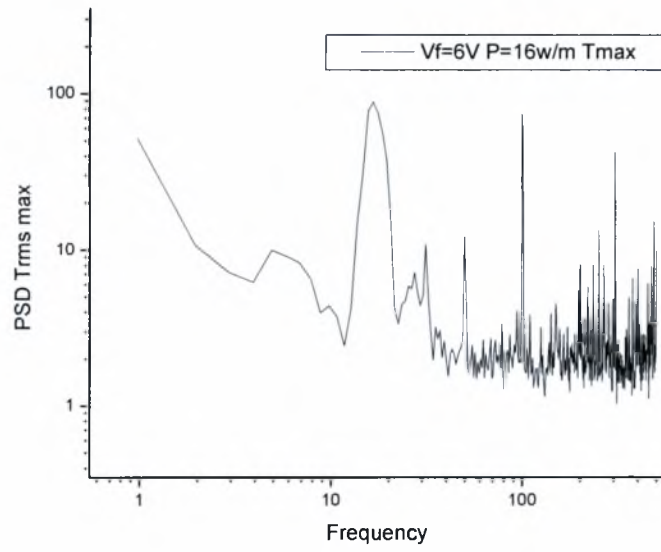
Διάγραμμα 6.6.34



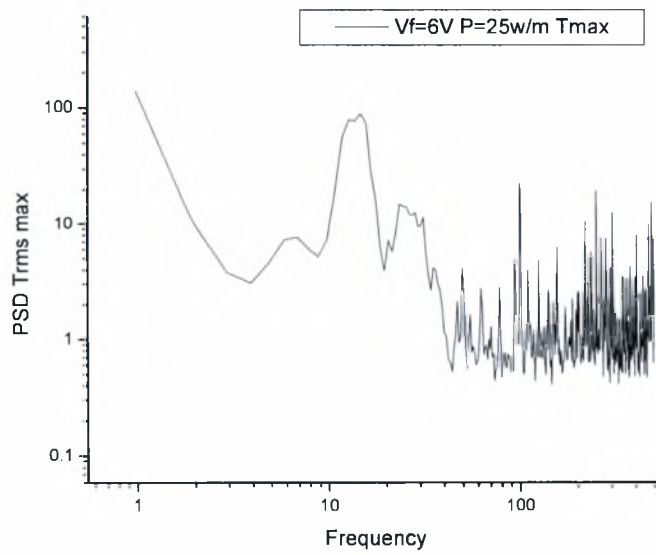
Διάγραμμα 6.6.35



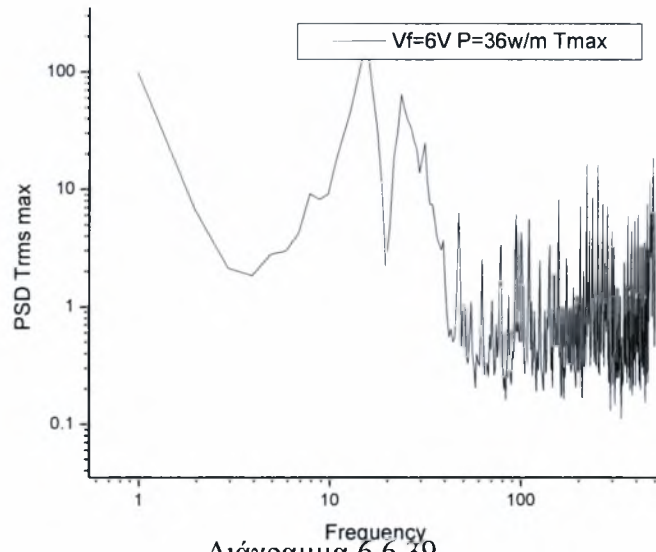
Διάγραμμα 6.6.36



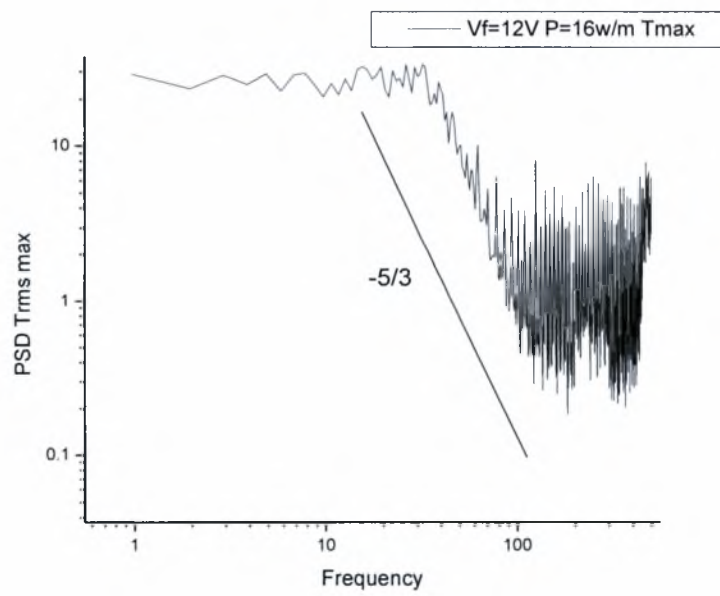
Διάγραμμα 6.6.37



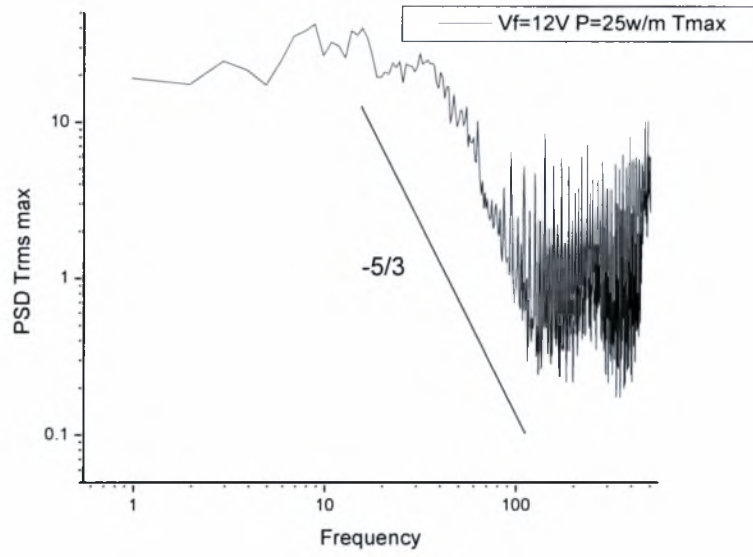
Διάγραμμα 6.6.38



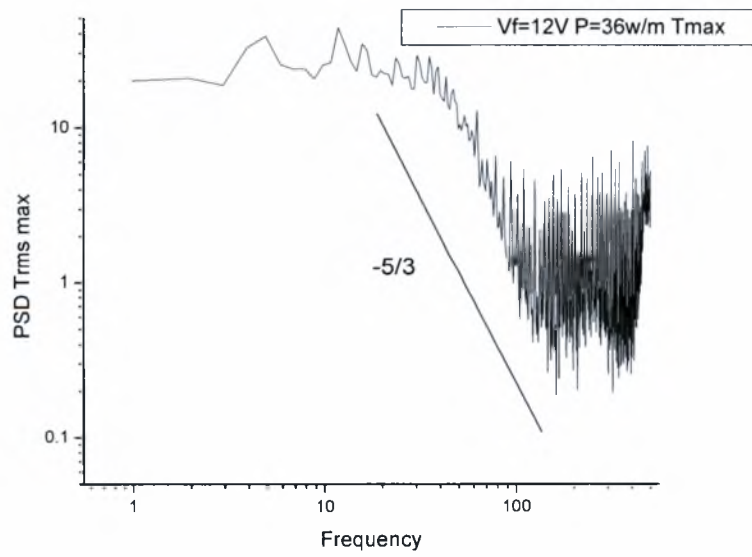
Διάγραμμα 6.6.39



Διάγραμμα 6.6.40

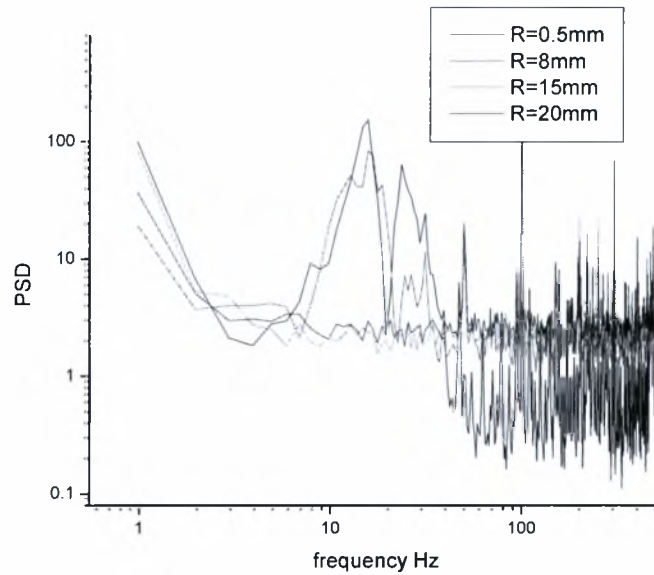


Διάγραμμα 6.6.41



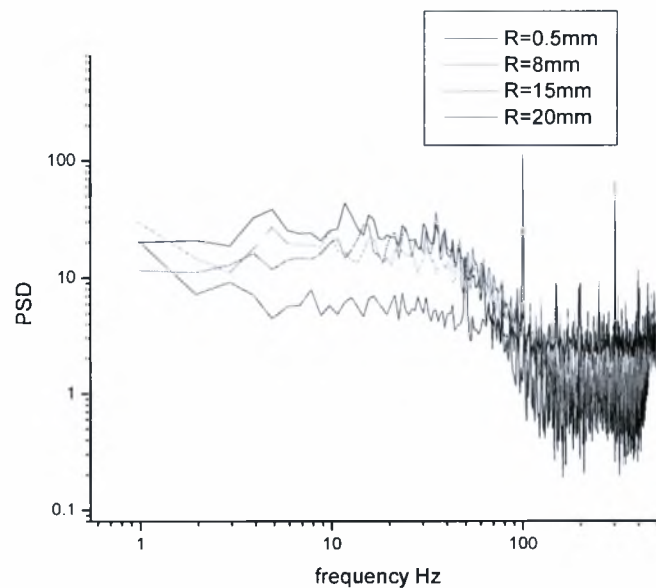
Διάγραμμα 6.6.42

Πυκνότητα φάσματος ταχύτητας και θερμοκρασίας κατά μήκος μιας αντίστασης



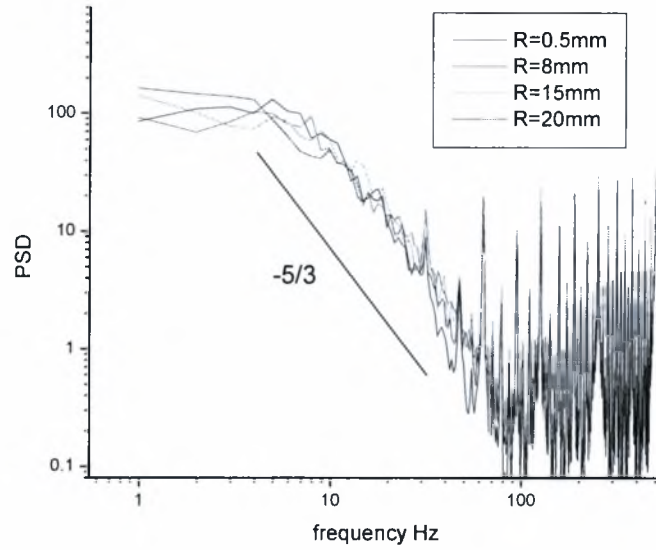
Διάγραμμα 6.6.43

Πυκνότητα φάσματος θερμοκρασίας κατά μήκος μιας ακτίνας
Σε $V_f=6\text{volt}$ και $P=36\text{w/m}$
Σε ροή ομόροπη της άνωσης



Διάγραμμα 6.6.44

Πυκνότητα φάσματος θερμοκρασίας κατά μήκος μιας ακτίνας
Σε $V_f=12\text{volt}$ και $P=36\text{w/m}$
Σε ροή ομόροπη της άνωσης

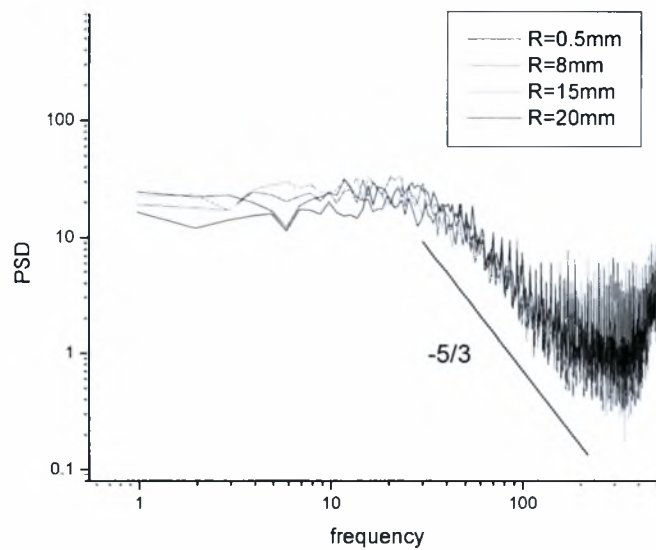


Διάγραμμα 6.6.45

Πυκνότητα φάσματος θερμοκρασίας κατά μήκος μιας ακτίνας

Σε $V_f=6\text{volt}$ και $P=36\text{w/m}$

Σε ροή αντίρροπη της άνωσης

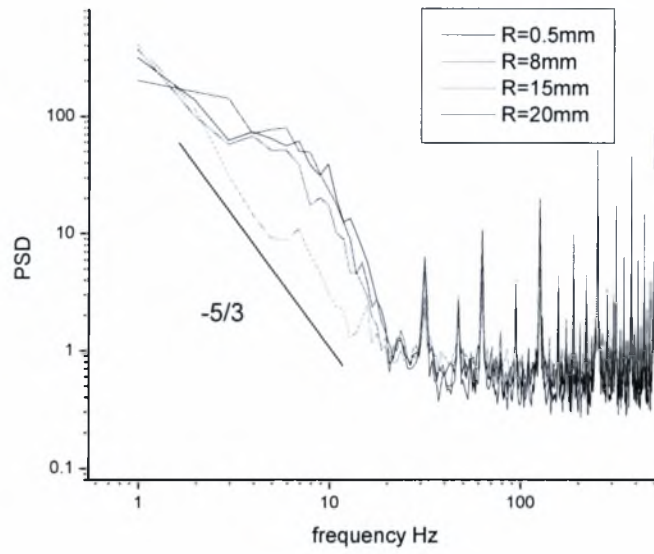


Διάγραμμα 6.6.46

Πυκνότητα φάσματος θερμοκρασίας κατά μήκος μιας ακτίνας

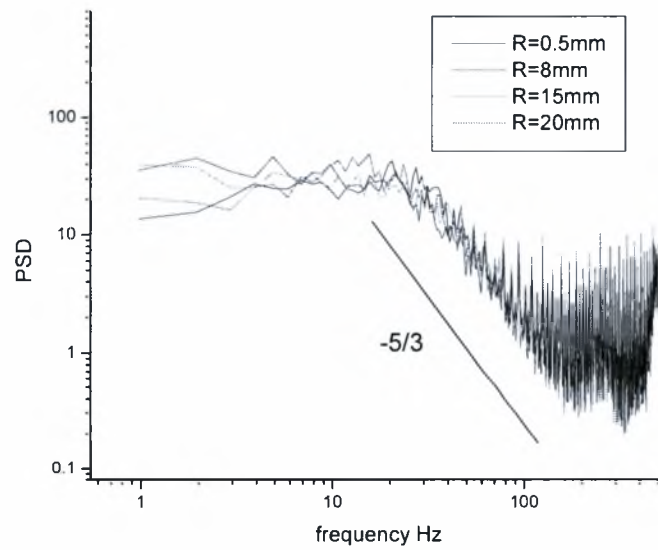
Σε $V_f=12\text{volt}$ και $P=36\text{w/m}$

Σε ροή αντίρροπη της άνωσης



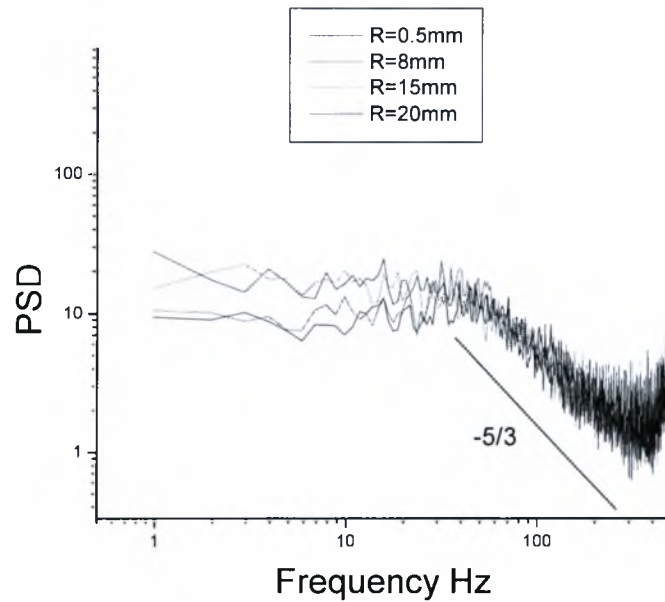
Διάγραμμα 6.6.47

Πυκνότητα φάσματος ταχύτητας κατά μήκος μιας ακτίνας
Σε $V_f = 6$ volt



Διάγραμμα 6.6.48

Πυκνότητα φάσματος ταχύτητας κατά μήκος μιας ακτίνας
Σε $V_f = 12$ volt



Διάγραμμα 6.6.49

Πυκνότητα φάσματος ταχύτητας κατά μήκος μιας ακτίνας
Σε $V_f=24\text{volt}$

6.6.1 Σχόλια διαγραμμάτων πυκνότητας φάσματος

Ορισμένα από τα διαγράμματα της πυκνότητας φάσματος δείχνουν την επίτευξη τυρβώδους ροής. Σύμφωνα με το θεώρημα του Kolmogoroff όταν το διάγραμμα της πυκνότητας του φάσματος έχει κλίση $-5/3$ τότε έχει επιτευχθεί τυρβώδης ροή. Τα διαγράμματα στα οποία υπήρχε κλίση $-5/3$ σε μέρος αυτών φαίνονται στην παρακάτω λίστα(λίστα 6.6.1.1).

- 6.6.1 από 1-10hz κλίση $-5/3$
- 6.6.3 από 1-10 hz κλίση $-5/3$
- 6.6.4 από 1-10 hz κλίση $-5/3$
- 6.6.5 από 10-100 hz κλίση $-5/3$
- 6.6.7 από 5-15 hz κλίση $-5/3$
- 6.6.8 από 10-100 hz κλίση $-5/3$
- 6.6.9 από 10-100 hz κλίση $-5/3$
- 6.6.10 από 10-100 hz κλίση $-5/3$
- 6.6.12 από 10-100 hz κλίση $-5/3$

- 6.6.13 από 15-100 hz κλίση $-5/3$
- 6.6.14 από 15-100 hz κλίση $-5/3$
- 6.6.15 από 15-100 hz κλίση $-5/3$
- 6.6.16 από 5-15 hz κλίση $-5/3$
- 6.6.17 από 1-10 hz κλίση $-5/3$
- 6.6.18 από 1-10 hz κλίση $-5/3$
- 6.6.19 από 1-10 hz κλίση $-5/3$
- 6.6.20 από 1-10 hz κλίση $-5/3$
- 6.6.21 από 1-10 hz κλίση $-5/3$
- 6.6.22 από 15-100 hz κλίση $-5/3$
- 6.6.23 από 15-100 hz κλίση $-5/3$
- 6.6.24 από 15-100 hz κλίση $-5/3$
- 6.6.31 από 15-100 hz κλίση $-5/3$
- 6.6.32 από 15-100 hz κλίση $-5/3$
- 6.6.33 από 15-100 hz κλίση $-5/3$
- 6.6.40 από 15-100 hz κλίση $-5/3$
- 6.6.41 από 15-100 hz κλίση $-5/3$
- 6.6.42 από 15-100 hz κλίση $-5/3$
- 6.6.45 από 1-100 hz κλίση $-5/3$
- 6.6.47 από 1-10 hz κλίση $-5/3$

λίστα 6.6.1.1

Επίσης σε αρκετά από τα διαγράμματα παρουσιάστηκαν κάποια peaks τα οποία υποδηλώνουν περιοδικότητα του φαινομένου στα Hz του peak. Η λίστα των διαγραμμάτων που παρουσίασαν αιχμές και άρα περιοδικότητα φαίνεται παρακάτω (λίστα 6.6.1.2)

- 6.6.25 περιοδικότητα φαινομένου στα 5 hz
- 6.6.26 περιοδικότητα φαινομένου στα 9 hz
- 6.6.27 περιοδικότητα φαινομένου στα 11 hz
- 6.6.28 περιοδικότητα φαινομένου στα 11 hz
- 6.6.29 περιοδικότητα φαινομένου στα 10 hz

- 6.6.30 περιοδικότητα φαινομένου στα 10 και 12 hz
- 6.6.34 περιοδικότητα φαινομένου στα 5 hz
- 6.6.35 περιοδικότητα φαινομένου στα 10 hz
- 6.6.36 περιοδικότητα φαινομένου στα 11 hz
- 6.6.37 περιοδικότητα φαινομένου στα 11 hz
- 6.6.38 περιοδικότητα φαινομένου στα 11 hz
- 6.6.39 περιοδικότητα φαινομένου στα 10 και 12
- 6.6.43 περιοδικότητα φαινομένου στα 10 hz για τις περιπτώσεις των 0.5 και 8 mm

λίστα 6.6.1.2

Από τα παραπάνω διαγράμματα τα παρακάτω

6.6.25 6.6.26 6.6.27 6.6.34 6.6.35 6.6.36 6.6.43

Είχαν μεγάλο εύρος ή πλάτος της αιχμής γεγονός που σημαίνει μικρότερη συνεκτικότητα στην δομή, σε σχέση με τα υπόλοιπα της λίστας

Επίσης στα 3 πρώτα διαγράμματα στα οποία η τάση του φουσητήρα είναι μηδέν παρατηρείται ότι καθώς αυξάνει η ισχύς της αντίστασης μεταφέρεται και η αιχμή και άρα η περιοδικότητα σε υψηλότερες συχνότητες. Κάτι που δεν συμβαίνει στα αμέσως επόμενα 3 διαγράμματα στα οποία η περιοδικότητα εμφανίζεται σε παραπλήσιες συχνότητες ενώ η τάση του φουσητήρα είναι 6Volt.

Άξιο λόγου είναι το διάγραμμα 6.6.2 το οποίο είναι flat και άρα υποδηλώνει μια τελείως τυχαία ροή

Τέλος κάτι που είναι κοινό σε όλα τα διαγράμματα είναι ένας θόρυβος που συμβαίνει από τα 100 Hz και μετά και οποίος πιθανότατα προκαλείται εξαιτίας εναλλασσόμενου ρεύματος της ΔΕΗ. Και δυστυχώς ήταν αναπόφευκτος κατά την διάρκεια των μετρήσεων.

7. Τελικά συμπεράσματα

Σε μεγάλες τιμές της ταχύτητας του ρευστού μέσα στον σωλήνα στην ομόροπη με την άνωση ροή αυξάνει η τύρβη συνεχώς ενώ στην αντίρροπη ως προς την άνωση ροή ως ένα σημείο μειώνεται η ένταση της ενώ από ένα σημείο και μετά αυξάνεται.

Όσο αυξάνει η ισχύς της αντίστασης τότε για δεδομένη την τάση του φυσητήρα αυξάνει η ταχύτητα του ρευστού η αστάθεια η θερμοκρασία και η διακύμανση της

Στην ομόροπη με την άνωση ροή γενικά οι πάσης φύσεως διακυμάνσεις των τιμών T_{mean} T_{rms} U_{mean} U_{rms} είναι μικρότερες από αυτές της αντίρροπης

Στην ένταση της τύρβης παίζει πολύ σημαντικότερο ρόλο η τάση του φυσητήρα από ότι η ισχύς της αντίστασης

Η στρωτή ροή επιτυγχάνεται πιο εύκολα στις χαμηλές τιμές ισχύος της αντίστασης. Και για μεγάλες τιμές της ακτίνας.

Ο χρόνος μέχρι να σταθεροποιηθεί η θερμοκρασία του μεταβατικού φαινομένου είναι μικρότερος όσο μικρότερη είναι και η απόσταση μέτρησής του όσο μεγαλύτερη η ισχύς της αντίστασης και όσο μικρότερη η τάση του φυσητήρα.

Από τα διαγράμματα των ταχυτήτων προκύπτει ότι η ροή μέσα στον σωλήνα είναι αναπτυσσόμενη.

8. Βιβλιογραφία

- Comparison of correlations and experiment in opposing flow, mixed convection heat transfer in a vertical tube with Grashof number variation
Donald D. Joye
Received 7 February 1995; revised 8 May 1995.
- Natural convections in heated annulus 1992 BB rogers and LS yao
- Applied fluid dynamics hand book jet plumes wakes and shear layers (chapter 9) R Blevins
- Yang R; Chang SF A numerical study of fully developed laminar flow and heat transfer in a curved pipe with arbitrary curvature ratio. Int. J. Heat and Fluid Flow, Vol. 14, No. 2, 1993, pp 138-145
- Bullen PR; Cheeseman DJ; Hussain LA A study of turbulent flow in pipe contractions.
Journal of Process Mechanical Engineering, Vol. 210, 1996, pp 170-180
- Laminar natural convection in a cylindrical enclosure with different end temperatures 1990 S Schneider and J Strub
- Μηχανική ρευστών Victor streeter/Ebenjamin Wylie
- Μηχανική ρευστών Α. Παπαϊοάννου
- Μετάδοση θερμότητας Ν. Μουσιόπουλος
- Μετάδοση θερμότητας Κ. Πασπαλάς



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000074674