



**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΣΤΡΟΒΙΛΟΜΗΧΑΝΩΝ
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
ΕΠΙΔΟΣΕΩΝ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΩΝ ΦΥΣΗΤΗΡΩΝ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΒΛΑΧΑΚΗΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ**

**Επίβλεψη:
Επ. Καθηγητής Ν. Αρετάκης**

**ΑΘΗΝΑ
ΜΑΡΤΙΟΣ 2018**

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία έχει ως αντικείμενο, την κατασκευή πιστοποιημένης εγκατάστασης, με την οποία θα πραγματοποιούνται μετρήσεις των επιδόσεων, φυγοκεντρικών φυσητήρων. Από τις μετρήσεις αυτές, θα εξάγονται οι χαρακτηριστικές καμπύλες του εκάστοτε φυσητήρα, εντοπίζοντας με αυτόν τον τρόπο το εύρος λειτουργίας του, καθώς και τα σημεία όπου ο φυσητήρας παρουσιάζει μέγιστη-ελάχιστη απόδοση.

Έτσι λοιπόν, στο Εργαστήριο Θερμικών Στροβιλομηχανών (Ε.Θ.Σ), αρχικά προϋπήρχε εγκατάσταση μέτρησης φυσητήρων. Σκοπός του εργαστηρίου, ήταν η τροποποίηση και η κατασκευή επιπρόσθετων μερών της εγκατάστασης, προκειμένου αυτή να εμπίπτει στα πλαίσια που ορίζει ο κανονισμός για τις πρότυπες εγκαταστάσεις.

Μετά την επιλογή του κατάλληλου προτύπου, δηλαδή του προτύπου που ταίριαζε στις ανάγκες του εργαστηρίου, ξεκίνησε η κατασκευή στο μηχανουργείο, του κελύφους της εγκατάστασης και ακολούθησε η τοποθέτηση διαφόρων διατάξεων (φίλτρων, μετρητικών ακροφυσίων, διάταξη προκειμένου να επιτυγχάνεται η σύνδεση της εγκατάστασης με φυσητήρες διαφόρων διαμέτρων κλπ), καθώς και των μετρητικών οργάνων. Τα μετρητικά όργανα βαθμονομήθηκαν και συνδέθηκαν με το λογισμικό επεξεργασίας των μετρήσεων, δημιουργώντας με αυτόν τον τρόπο την μετρητική αλυσίδα της εγκατάστασης.

Στη συνέχεια, προκειμένου να βεβαιωθούμε ότι η εγκατάσταση λειτουργεί ορθά, πραγματοποιήθηκε διερεύνηση της λειτουργίας της με χρήση σωλήνων πίεσης για υπολογισμό της παροχής και σύγκρισή αυτής με τις αντίστοιχες ενδείξεις των μετρητικών ακροφυσίων.

Τέλος, αφού πραγματοποιήθηκε ο υπολογισμός των σφαλμάτων, τόσο των μετρούμενων, όσο και των υπολογιζόμενων μεγεθών, σειρά είχε η μελέτη ενός φυσητήρα, αποδίδοντας και σχολιάζοντας τις χαρακτηριστικές του καμπύλες.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Με αφορμή την παρούσα διπλωματική εργασία, αισθάνομαι την ηθική υποχρέωση, να ευχαριστήσω τους ανθρώπους που συνέβαλαν άμεσα ή έμμεσα, στην υλοποίηση της.

Αρχικώς , θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, Ν. Αρετάκη, που με δέχτηκε προκειμένου να πραγματοποιήσω αυτή την πτυχιακή εργασία , καθώς και για την καθοδήγηση και τη συμμετοχή του σε όλα τα στάδια της εργασίας. Επιπλέον, οφείλω τις ευχαριστίες μου , στον καθηγητή Κ.Μαθιουδάκη, για την επίβλεψη , τη συμμετοχή και τις συμβουλές του σε σημαντικές φάσεις της εργασίας. Οφείλω ακόμη να ευχαριστήσω, τον τεχνίτη και πολύ καλό φίλο Σωτήρη Μαυράκη , που ασχολήθηκε με τις κατασκευές της εργασίας , καθώς και τον τεχνικό Βασίλη Ζαφειράκη, για τη συμμετοχή του στα ηλεκτρικά-ηλεκτρονικά ζητήματα. Ευχαριστώ ακόμη , τον Χρήστο Καλαθάκη για τις συμβουλές του , τις ιδέες του , τη συμμετοχή του και την παρέα του σε πολλές από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια αυτής της εργασίας, καθώς επίσης και το υπόλοιπο προσωπικό του εργαστηρίου.

Τέλος , ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια μου , για τη στήριξη τους καθ' όλη την πορεία της ζωής μου.

Στον παππού μου Χρήστο

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1.1
1.1	Σκοπός της εργασίας.....	1.3
1.2	Δομή της εργασίας	1.3
2	Κατασκευή πειραματικής εγκατάστασης	2.1
2.1	Πρότυπα εγκατάστασης.....	2.1
2.1.1	Διατάξεις με ρύθμιση του αγωγού εξόδου.....	2.1
2.1.2	Διάταξη με ρύθμιση του θαλάμου εξαγωγής.....	2.4
2.1.3	Διάταξη με ρύθμιση του θαλάμου εισαγωγής.....	2.6
2.1.4	Διάταξη με ρύθμιση του αγωγού εισόδου.....	2.8
2.2	Παρούσα εγκατάσταση-διαδικασία κατασκευής.....	2.8
2.2.1	Κατασκευή settling chamber.....	2.10
2.2.2	Κατασκευή ακροφυσίων (nozzles).....	2.14
2.2.3	Τοποθέτηση settling means (σήτες-εξομαλυντής ροής- φίλτρο αέρα).....	2.18
2.2.4	Κατασκευή διάταξης για τη σύνδεση της εγκατάστασης με φυσητήρες διαφόρων διαμέτρων	2.21
2.2.5	Τοποθέτηση σωλήνων pitot-στατικές οπές - βαρελοειδείς συλλέκτες.....	2.23
2.2.5.1	Σωλήνες pitot- Μέτρηση ολικής πίεσης	2.23
2.2.5.2	Στατικές οπές στο κέλυφος τις διάταξης- Μέτρηση στατικής πίεσης.....	2.25
3	Μετρητική αλυσίδα- εξοπλισμός- διαδικασία μετρήσεων	3.1
3.1	Μετρητική εγκατάσταση	3.1
3.1.1	Θέσεις μέτρησης – Όργανα μέτρησης	3.2
3.2	Όργανα μέτρησης πίεσης	3.4
3.2.1	Μεταλλάκτες πίεσης.....	3.4
3.2.2	Βαθμονόμηση μεταλλακτών – καμπύλες βαθμονόμησης	3.5
3.3	Μέτρηση θερμοκρασίας.....	3.6
3.4	Μέτρηση συνθηκών περιβάλλοντος	3.7
3.5	Energy analyzer	3.8

3.6	Μέτρηση στροφών πτερωτής φυσητήρα.....	3.9
3.7	Αναλογηφιακός μετατροπέας (ADC).....	3.10
3.8	Επεξεργασία μετρήσεων	3.11
3.8.1	Πυκνότητα αέρα	3.11
3.8.2	Ακροφύσια.....	3.13
3.8.3	Πιέσεις στο fan	3.14
3.8.4	Ισχύς εισόδου-εξόδου στο fan.....	3.15
3.8.5	Βαθμός απόδοσης-ολικός και στατικός	3.16
3.9	Πρόσκτηση δεδομένων (Data acquisition).....	3.16
3.10	Λογισμικό λήψης και επεξεργασίας μετρήσεων.....	3.16
3.11	Τρόπος εκτέλεσης μετρήσεων	3.20
4	Πιστοποίηση και διερεύνηση λειτουργίας εγκατάστασης.....	4.1
4.1	Διερεύνηση λειτουργίας με 3hole-probe.....	4.1
4.1.1	Καμπύλες βαθμονόμησης.....	4.2
4.1.2	Αναγωγή αποτελεσμάτων	4.3
4.1.3	Αποτελέσματα μετρήσεων	4.4
4.2	Διερεύνηση λειτουργίας με Rakes- Scanivalve.....	4.15
4.2.1	Αναγωγή αποτελεσμάτων	4.18
4.2.2	Αποτελέσματα μετρήσεων	4.19
5	Υπολογισμός σφαλμάτων	5.1
5.1	Υπολογισμός σφάλματος μετρούμενων μεγεθών	5.1
5.2	Μετάδοση σφάλματος στα υπολογιζόμενα μεγέθη	5.2
6	Μέτρηση φυγοκεντρικού φυσητήρα	6.1
6.1	Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του φυσητήρα.....	6.1
6.2	Χαρακτηριστικές καμπύλες του φυσητήρα.....	6.3
7	Ανακεφαλαίωση –Συμπεράσματα- Μελλοντική έρευνα.....	7.1
7.1	Ανακεφαλαίωση	7.1

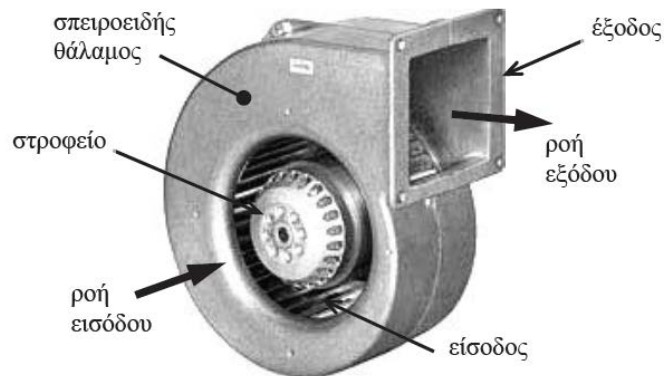
7.2	Συμπεράσματα	7.2
7.3	Πρόταση για μελλοντική έρευνα.....	7.2
8	Βιβλιογραφία.....	8.1

1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μεταφορά αερίων διαμέσου σωληνώσεων μεταξύ απόμακρων σημείων, είναι από τις πλέον συνήθεις λειτουργίες σε ένα ευρύ πεδίο εφαρμογών. Τυπικό παράδειγμα είναι η απομάκρυνση ανεπιθύμητων αερίων από περιορισμένους χώρους (εξερισμός κτιρίων κλπ). Η βασική απαίτηση για την πραγματοποίηση της εν λόγω λειτουργίας είναι ο εμπλουτισμός του διακινούμενου αερίου με ενέργεια ώστε αυτό να μπορέσει να κινηθεί μέσω του διαθέσιμου δικτύου αγωγών, όπως απαιτείται σε κάθε εφαρμογή. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται μηχανική διάταξη, η λεγόμενη φυσητήρας.

Ο φυσητήρας παραλαμβάνει μηχανική ενέργεια από έναν κινητήρα και την αποδίδει στο διακινούμενο αέριο, ως κινητική ενέργεια. Η μορφολογία του φυσητήρα επιφέρει κατά την πορεία του ρευστού διαμέσου αυτού, μετατροπή της κινητικής ενέργειας, σε ενέργεια πίεσης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το ρευστό στην έξοδο, να διαθέτει αυξημένη πίεση, γεγονός που το καθιστά ικανό να συνεχίσει την κίνηση του όπως απαιτείται. Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα κύρια μέρη ενός φυγοκεντρικού φυσητήρα.

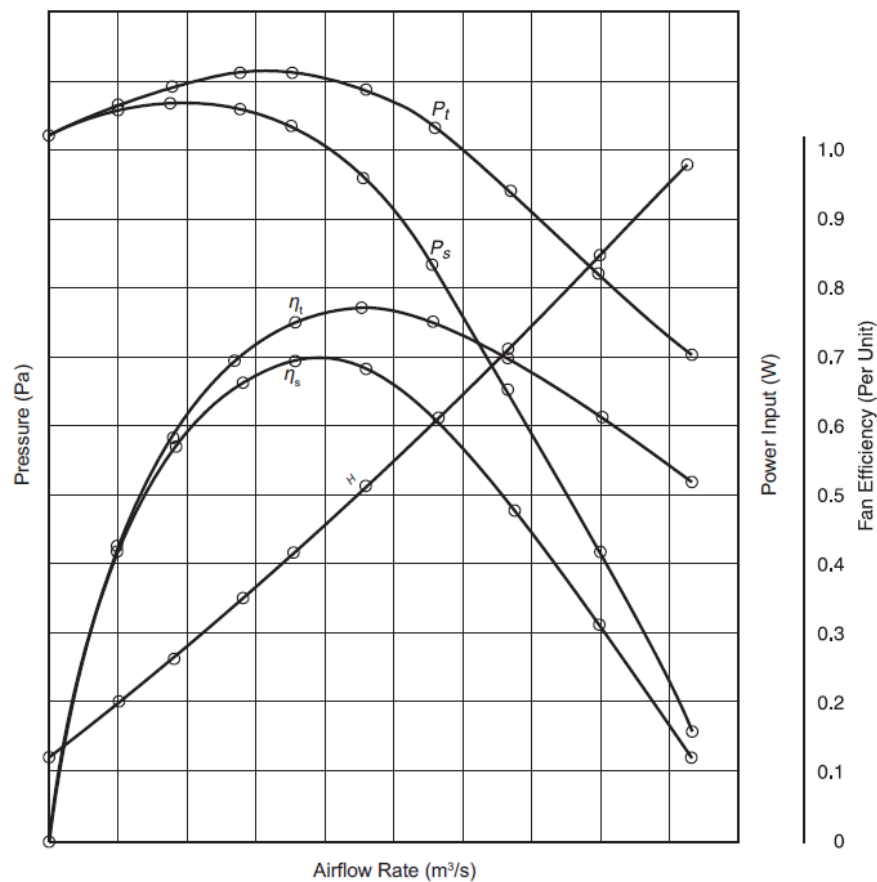


Σχήμα 1.1: Τα κύρια μέρη ενός αντιπροσωπευτικού φυγοκεντρικού φυσητήρα

Το στροφείο (ή αλλιώς πτερωτή) περιβάλλεται από έναν σπειροειδή θάλαμο, με συνεχώς αυξανόμενη διατομή, κατά τη φορά της κίνησης του στροφείου. Καθώς η πτερωτή περιστρέφεται (συνήθως από ηλεκτροκινητήρα), ο αέρας εισέρχεται στο φυσητήρα από το άνοιγμα και με διεύθυνση παράλληλη προς αυτήν. Στη συνέχεια, υπό την επίδραση φυγοκεντρικών δυνάμεων, που προέρχονται από την κίνηση των

περυγίων , ο αέρας ωθείται στον σπειροειδές θάλαμο , όπου η κινητική του ενέργεια μετατρέπεται σε ενέργεια πίεσης. Ο αέρας εξέρχεται από το φυσητήρα υπό γωνία 90° ως προς τη διεύθυνση εισόδου. [1]

Οι επιδόσεις που παρουσιάζει ένας φυσητήρας, αποτυπώνονται στις χαρακτηριστικές του καμπύλες. Οι χαρακτηριστικές καμπύλες , είναι τα διαγράμματα παροχής , πίεσεως , βαθμού απόδοσης , ισχύος , έντασης ρεύματος και στροφών και παρέχουν πληροφορίες σχετικά με το εύρος λειτουργίας του αντίστοιχου φυσητήρα, καθώς επίσης και των σημείων λειτουργίας , όπου ο εν λόγω φυσητήρας παρουσιάζει μέγιστη- ελάχιστη απόδοση. Στο σχήμα 1.2 παρουσιάζονται οι χαρακτηριστικές καμπύλες ενός τυπικού φυσητήρα . Έτσι λοιπόν , αν θέλουμε να μελετήσουμε έναν φυσητήρα ως προς τις επιδόσεις του , κρίνεται αναγκαία η δημιουργία διάταξης , στην οποία θα τοποθετείται ο φυσητήρας και θα εξάγονται οι χαρακτηριστικές του καμπύλες.



Σχήμα 1.2: Χαρακτηριστικές καμπύλες απόδοσης ενός τυπικού φυσητήρα

1.1 Σκοπός της εργασίας

Ο σκοπός της εργασίας είναι :

- η κατασκευή των απαραίτητων συνιστωσών, σύμφωνα με τις προδιαγραφές που αναφέρονται στο πρότυπο εγκατάστασης μέτρησης φυγοκεντρικών φυσητήρων ANSI/AMCA 210-07.
- η επιλογή των κατάλληλων αισθητηρίων και οργάνων μέτρησης και η εγκατάστασή τους επάνω στην εγκατάσταση.
- η λήψη μετρήσεων προκειμένου να πιστοποιηθεί η ορθή λειτουργία της εγκατάστασης
- καθώς και μια πρώτη μελέτη των επιδόσεων ενός φυσητήρα.

1.2 Δομή της εργασίας

Η δομή της εργασίας έχει ως εξής:

Το παρόν **κεφάλαιο 1** αποτελεί την εισαγωγή της εργασίας.

Στο **κεφάλαιο 2** παρουσιάζονται τα πρότυπα εγκατάστασης μέτρησης επιδόσεων φυγοκεντρικών φυσητήρων απ' όπου γίνεται και η επιλογή του κατάλληλου προτύπου, σύμφωνα με τα δεδομένα και τις ανάγκες του εργαστηρίου. Επίσης στο ίδιο κεφάλαιο περιγράφεται αναλυτικά η κατασκευή και η τοποθέτηση των επιμέρους τμημάτων της εγκατάστασης (settling chamber, έξοδος της εγκατάστασης, μετρητικά ακροφύσια, φίλτρα, συλλέκτες πίεσης, αισθητήρες πίεσης και θερμοκρασίας) και η σύνδεση τους με την ήδη υπάρχουσα εγκατάσταση του Ε.Θ.Σ.

Στο **κεφάλαιο 3** γίνεται η περιγραφή της μετρητικής αλυσίδας της διάταξης, παρουσιάζονται οι τύποι και τα χαρακτηριστικά των οργάνων, οι καμπύλες βαθμονόμησης τους καθώς και οι θέσεις που τοποθετούνται και τα μεγέθη που μετράμε με αυτά. Παρουσιάζεται ο τρόπος σύνδεσης των οργάνων μεταξύ τους, προκειμένου να σχηματίσουν την μετρητική αλυσίδα και περιγράφονται τα βασικά στοιχεία εκτέλεσης μίας μέτρησης. Τέλος γίνεται αναφορά, στα μετρούμενα μεγέθη, στην ανάπτυξη των εξισώσεων τους και τη χρήση τους μέσω υπολογιστικών προγραμμάτων.

Στο **κεφάλαιο 4** πραγματοποιείται διερεύνηση και πιστοποίηση της ορθής λειτουργίας της εγκατάστασης με χρήση σωλήνων πίεσης πολλαπλών οπών.

Στο **κεφάλαιο 5** πραγματοποιείται ο υπολογισμός των σφαλμάτων, των μετρούμενων μεγεθών, καθώς και η μετάδοση του σφάλματος τους στα υπολογιζόμενα μεγέθη.

Στο **κεφάλαιο 6** παρουσιάζονται και σχολιάζονται τα αποτελέσματα μετρήσεων σε έναν τυπικό φυγοκεντρικό φυσητήρα.

Το **κεφάλαιο 7**, περιλαμβάνει την ανακεφαλαίωση της διπλωματικής, τα σημαντικότερα συμπεράσματα που εξήχθησαν καθώς και προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

2

Κατασκευή πειραματικής εγκατάστασης

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η κατασκευή της εγκατάστασης. Αρχικά παρατίθενται οι πρότυπες εγκαταστάσεις, μέσα από τις οποίες γίνεται η επιλογή της πιο κατάλληλης (σύμφωνα με τις ανάγκες του εργαστηρίου). Στη συνέχεια, παρουσιάζεται η κατασκευή του κελύφους της εγκατάστασης καθώς και η σύνδεση του με την ήδη υπάρχουσα. Επιπλέον , παρουσιάζεται η κατασκευή των ακροφυσίων καθώς και η τοποθέτηση τόσο αυτών όσο και άλλων μερών (φίλτρα- εξομαλυντές ροής-σωλήνες pitot- συλλέκτες πίεσης) στην εγκατάσταση.

2.1 Πρότυπα εγκατάστασης

Τα πρότυπα διατάξεων μέτρησης επιδόσεων φυγοκεντρικών φυσητήρων, σύμφωνα με το **ANSI / AMCA STANDARD 210-07**, για πιστοποιημένες εγκαταστάσεις [2] είναι τα ακόλουθα :

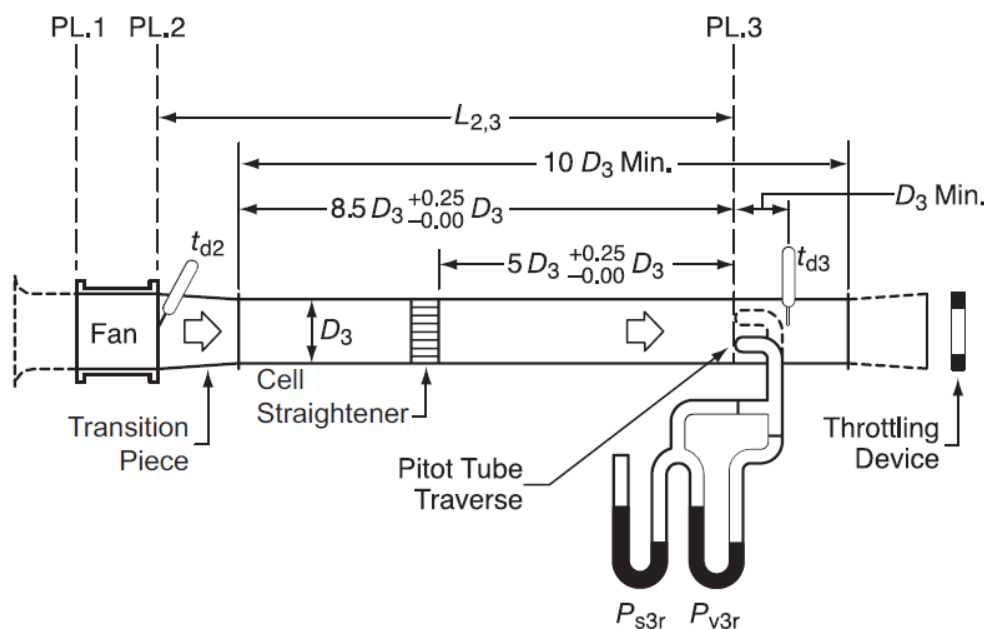
- Διατάξεις με ρύθμιση του αγωγού εξόδου
- Διατάξεις με ρύθμιση του θαλάμου εξαγωγής
- Διατάξεις με ρύθμιση του θαλάμου εισαγωγής
- Διατάξεις με ρύθμιση του αγωγού εισόδου

Στη συνέχεια πραγματοποιείται ανάλυση των προτύπων και επιλέγεται εκείνο που εξυπηρετεί καλύτερα τις ανάγκες του εργαστηρίου.

2.1.1 Διατάξεις με ρύθμιση του αγωγού εξόδου

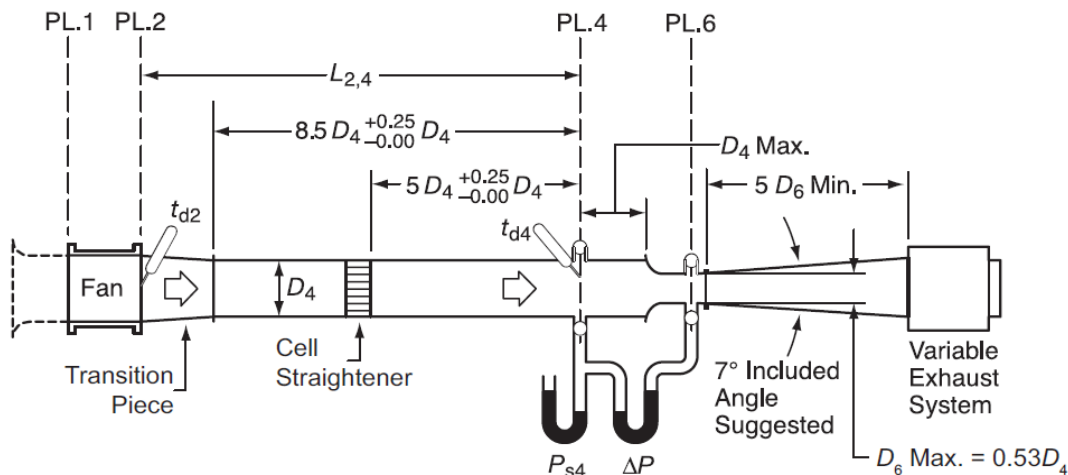
Στο σχήμα 2.1, βλέπουμε την εγκατάσταση, η οποία αποτελείται από έναν αγωγό, ο οποίος τροφοδοτείται στην είσοδο του από τον υπό εξέταση φυσητήρα και στην έξοδο του τοποθετείται στραγγαλιστική διάταξη (throttling device). Στο εσωτερικό

του αγωγού έχει τοποθετηθεί φίλτρο ευθυγράμμισης της ροής (flow cell straightener) – honeycomb , όπου ευθυγραμμίζει τη ροή του ρευστού πριν αυτό οδηγηθεί στη διάταξη τραβέρσας σωλήνων pitot (pitot tube traverse), όπου εκεί πραγματοποιείται η μέτρηση στατικής και δυναμικής πίεσης. Επίσης πραγματοποιείται μέτρηση της θερμοκρασίας στην είσοδο και στην έξοδο του αγωγού. Οι διακεκομμένες γραμμές που υπάρχουν στο σχήμα στην έξοδο της εγκατάστασης, δίνουν τη δυνατότητα τοποθέτησης διαχύτη σε εκείνο το σημείο. Η επιλογή της συγκεκριμένης διάταξης , δεν ενδείκνυται , καθώς η λήψη μετρήσεων με χρήση τραβέρσας σωλήνων pitot , απαιτεί λήψη πολλών σημείων με αποτέλεσμα ο χρόνος εκτέλεσης των μετρήσεων να είναι αυξημένος σε σχέση με τα άλλα πρότυπα που θα δούμε παρακάτω.



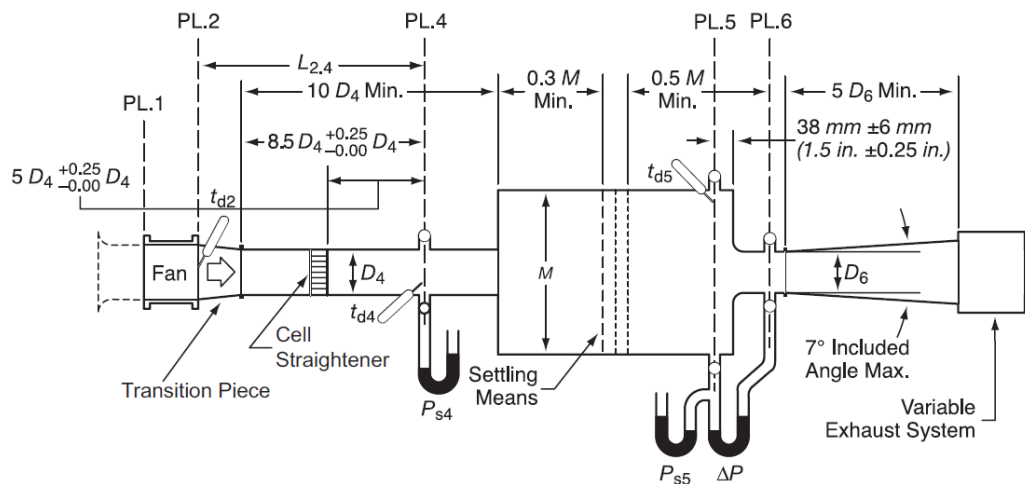
Σχήμα 2.1: Αγωγός με τραβέρσα σωλήνων pitot πριν την έξοδο του και με εξομαλυντή ροής

Στη συνέχεια, στο σχήμα 2.2 έχουμε έναν αγωγό, στην είσοδο του οποίου τοποθετείται ο υπό εξέταση φυσητήρας και στην έξοδο του αγωγού έχει τοποθετηθεί ακροφύσιο (nozzle with throat taps), που οδηγεί το ρευστό στην έξοδο της διάταξης. Η έξοδος μπορεί να είναι στραγγαλιστική διάταξη ή βοηθητικός fan. Επίσης έχει τοποθετηθεί honeycomb, ώστε να φιλτράρεται η ροή και στη συνέχεια πραγματοποιείται μέτρηση, της στατικής πίεσης πριν το ακροφύσιο, του ΔP του ακροφυσίου καθώς και της θερμοκρασίας στην είσοδο του αγωγού και του ακροφυσίου.



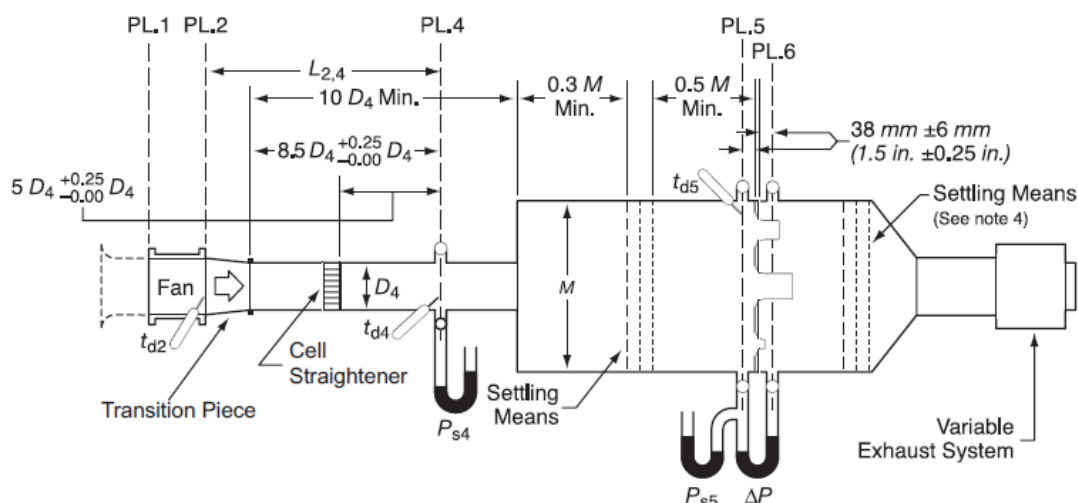
Σχήμα 2.2: Ακροφύσιο στην έξοδο του αγωγού ,με εξομαλυντή ροής

Η εγκατάσταση που φαίνεται στο σχήμα 2.3 αποτελείται από τον αγωγό, ο οποίος τροφοδοτείται από τον υπό εξέταση φυσητήρα και στην έξοδο του, ο αγωγός συνδέεται με settling chamber. Στην έξοδο του settling chamber έχει τοποθετηθεί ακροφύσιο (nozzle with throat taps). Στη συνέχεια η έξοδος του ακροφυσίου συνδέεται με την έξοδο της εγκατάστασης, η οποία μπορεί να είναι στραγγαλιστική διάταξη ή βοηθητικός fan. Όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα, στο εσωτερικό του αγωγού έχει τοποθετηθεί honeycomb και στο settling chamber έχουν τοποθετηθεί φίλτρα (settling means) προκειμένου στην έξοδο του chamber (πριν το ακροφύσιο), να υπάρχει ομοιόμορφη κατανομή στατικής και δυναμικής πίεσης. Οι μετρήσεις των πιέσεων είναι : μέτρηση στατικής πίεσης στην έξοδο του αγωγού (πριν την είσοδο του ρευστού στο settling chamber), μέτρηση στατικής πίεσης στην έξοδο του settling chamber και μέτρηση του ΔP του ακροφυσίου. Ακόμη γίνεται μέτρηση της θερμοκρασίας στην είσοδο του αγωγού, στην έξοδο του αγωγού και στην είσοδο του ακροφυσίου.



Σχήμα 2.3: Ακροφύσιο στην έξοδο του θαλάμου με εξομαλυντή ροής

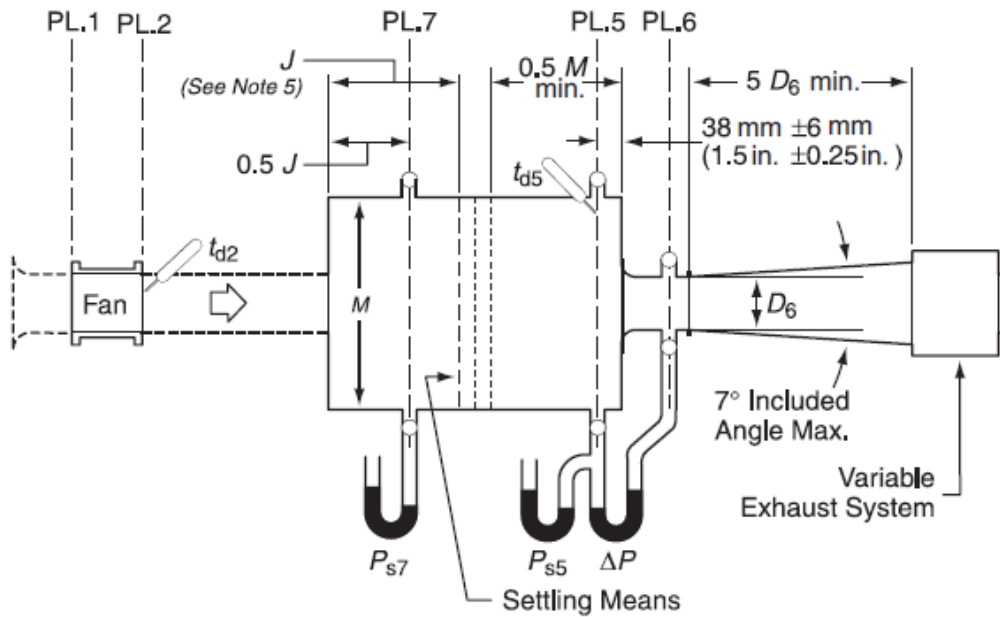
Με βάση το πρότυπο, η εγκατάσταση του σχήματος 2.4, αποτελείται από τον αγωγό εισόδου και το settling chamber. Ο αγωγός τροφοδοτείται από τον υπό εξέταση φυσητήρα και το ρευστό αφού φιλτραρισθεί περνώντας από το honeycomb, εισέρχεται στο settling chamber. Στο settling chamber είναι τοποθετημένα τα ακροφύσια καθώς και τα φίλτρα όπως φαίνεται στο σχήμα 2.4. Στην έξοδο της εγκατάστασης τοποθετείται βοηθητικός φυσητήρας ή στραγγαλιστική διάταξη. Πραγματοποιείται μέτρηση της στατικής πίεσης στην έξοδο του αγωγού, της στατικής πίεσης πριν τα ακροφύσια καθώς και του ΔP των ακροφυσίων. Μετρήσεις των θερμοκρασιών γίνονται στην είσοδο και στην έξοδο του αγωγού, καθώς και στην είσοδο των ακροφυσίων.



Σχήμα 2.4: Πολλαπλά ακροφύσια στο θάλαμο με εξομαλυντή ροής

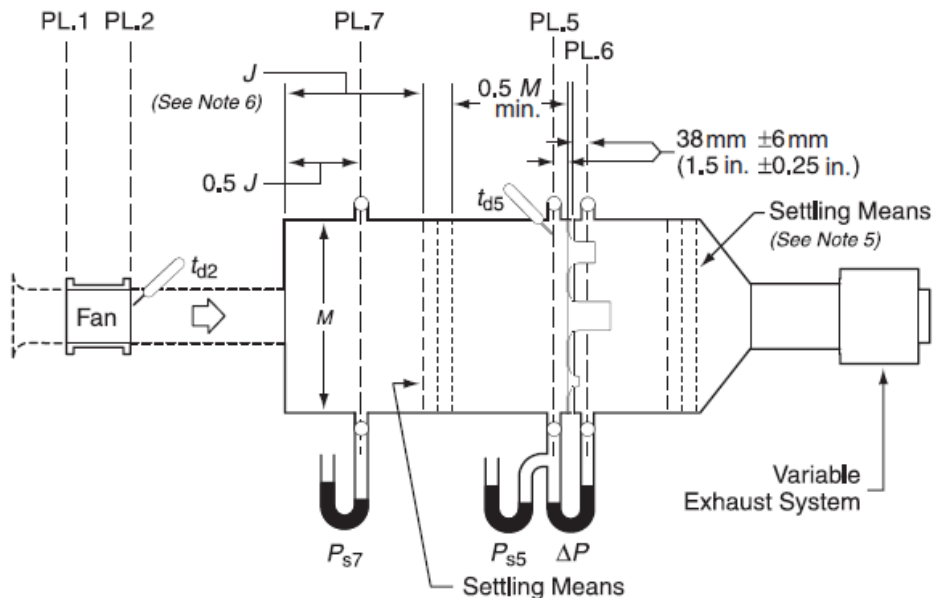
2.1.2 Διάταξη με ρύθμιση του θαλάμου εξαγωγής

Στην διάταξη του σχήματος 2.5, παρουσιάζεται το settling chamber, ύψους M , το οποίο τροφοδοτείται από τον υπό εξέταση φυσητήρα και φέρει στην έξοδο του ακροφύσιο (nozzle with throat taps), μέσα από το οποίο οδηγείται το ρευστό στην έξοδο της εγκατάστασης (στραγγαλιστική διάταξη ή βοηθητικός fan). Πραγματοποιείται μέτρηση στατικής πίεσης πριν και μετά τα φίλτρα (settling means) στο settling chamber, μέτρηση του ΔP του ακροφυσίου καθώς και των θερμοκρασιών στην έξοδο του φυσητήρα και του settling chamber αντίστοιχα.



Σχήμα 2.5: Ακροφύσιο στην έξοδο του θαλάμου εξισορρόπησης

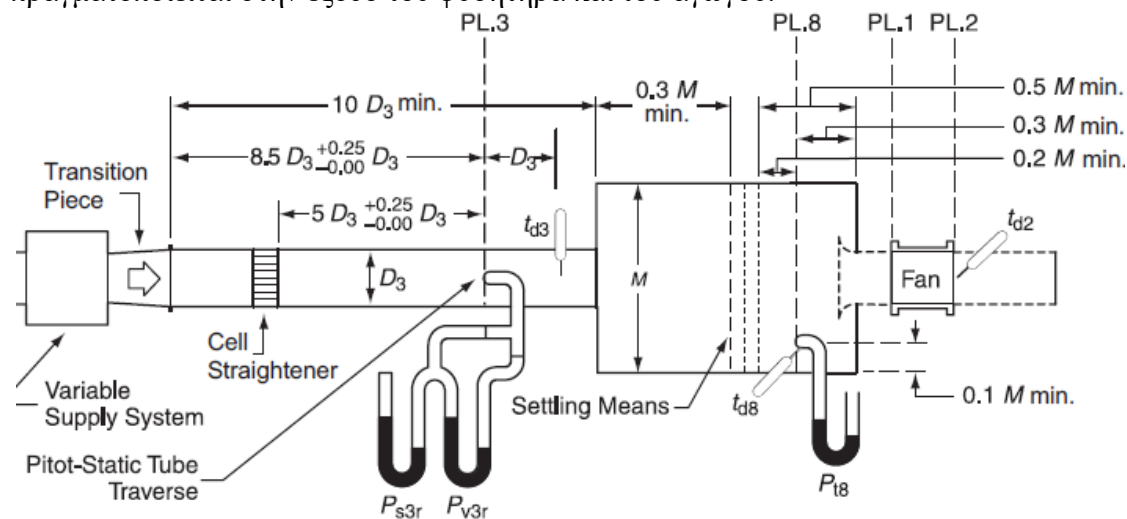
Στην συνέχεια έχουμε τη διάταξη του σχήματος 2.6 , όπου έχουν τοποθετηθεί ακροφύσια στο settling chamber, με settling means πριν και μετά από αυτά. Ο υπό εξέταση φυσητήρας τροφοδοτεί το σύστημα, το οποίο έχει ως έξοδο βοηθητικό fan ή στραγγαλιστική διάταξη. Πραγματοποιείται μέτρηση, στατικής πίεσης στην είσοδο του settling chamber και πριν τα ακροφύσια και του ΔP των ακροφυσίων. Η θερμοκρασία του ρευστού λαμβάνεται στην έξοδο του fan και στα ακροφύσια.



Σχήμα 2.6: Πολλαπλά ακροφύσια στο θάλαμο

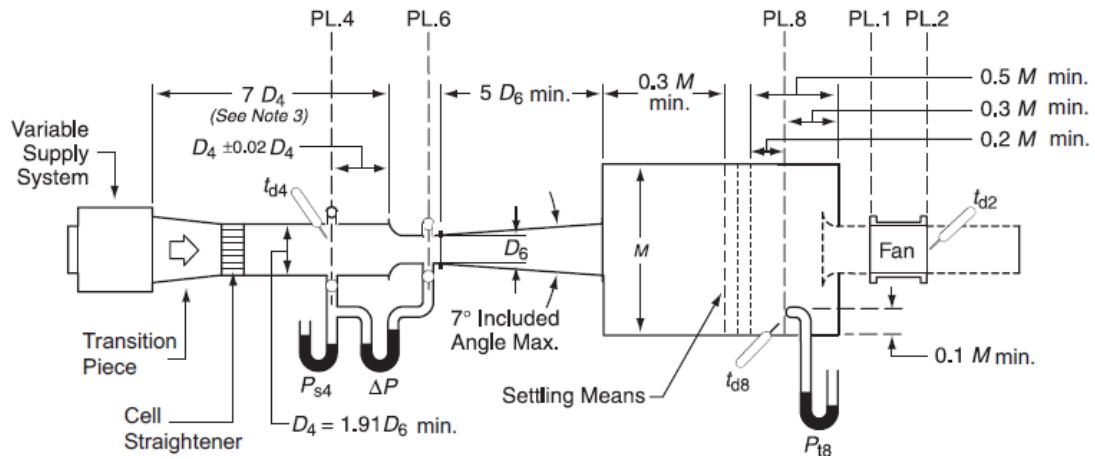
2.1.3 Διάταξη με ρύθμιση του θαλάμου εισαγωγής

Η διάταξη, του σχήματος 2.7 φέρει το settling chamber, ύψους M , με τον υπό εξέταση φυσητήρα συνδεδεμένο αυτή τη φορά στην έξοδο του. Στην είσοδο του το settling chamber συνδέεται με αγωγό, στον οποίο έχει τοποθετηθεί φίλτρο ευθυγράμμισης της ροής- honeycomb καθώς και διάταξη τραβέρσας σωλήνων pitot, για τον υπολογισμό της παροχής. Ο αγωγός συνδέεται με το σύστημα τροφοδοσίας, το οποίο μπορεί να είναι στραγγαλιστική διάταξη ή βοηθητικός fan. Σωλήνες Pitot, έχουν τοποθετηθεί επίσης στο settling chamber για τη μέτρηση της ολικής πίεσης και στο ίδιο σημείο μετράται και η θερμοκρασία του ρευστού. Ακόμη, μέτρηση της θερμοκρασίας πραγματοποιείται στην έξοδο του φυσητήρα και του αγωγού.



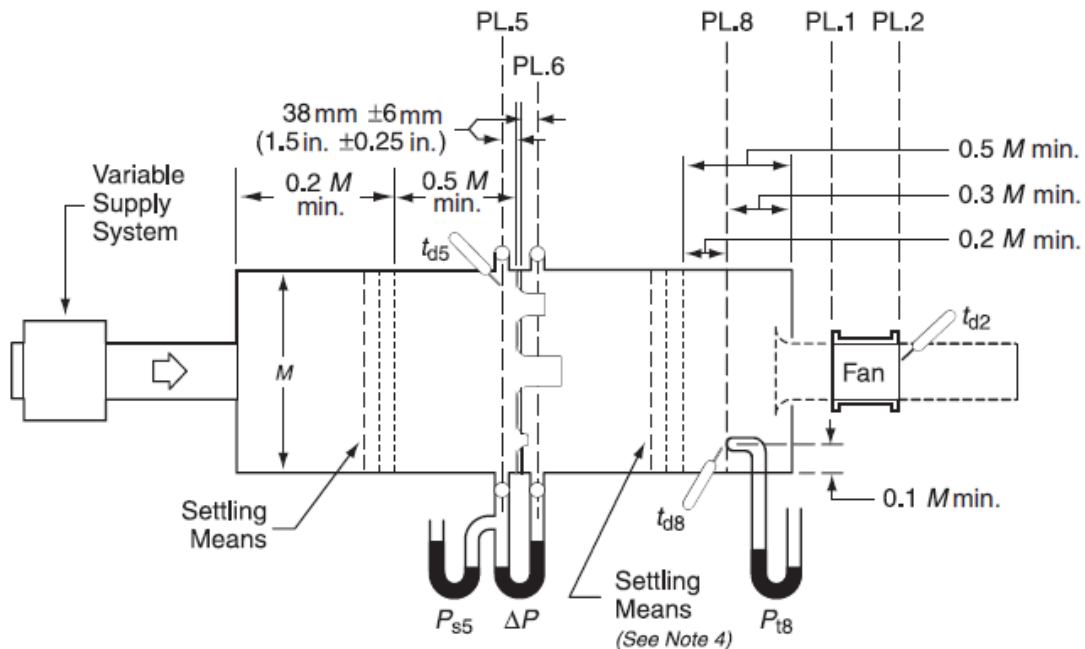
Σχήμα 2.7: Τραβέρσα σωλήνων pitot στον αγωγό

Στο σχήμα 2.8, παρουσιάζεται διάταξη με τον αγωγό εισόδου, στον οποίο έχει τοποθετηθεί ακροφύσιο-αγωγός, που στην συνέχεια συνδέεται με το settling chamber. Ο υπό εξέταση φυσητήρας τοποθετείται στην έξοδο του settling chamber και το σύστημα τροφοδοσίας βρίσκεται στην είσοδο του αγωγού. Ο αγωγός φέρει honeycomb και γίνεται μέτρηση της στατικής πίεσης και της θερμοκρασίας πριν το ακροφύσιο-αγωγός καθώς και του ΔP του ακροφυσίου. Επίσης γίνεται μέτρηση της ολικής πίεσης στο settling chamber μέσω σωλήνων pitot καθώς και της θερμοκρασίας στο ίδιο σημείο και στην έξοδο του φυσητήρα.



Σχήμα 2.8: Ακροφύσιο-αγωγός πριν το θάλαμο εξισορρόπησης.

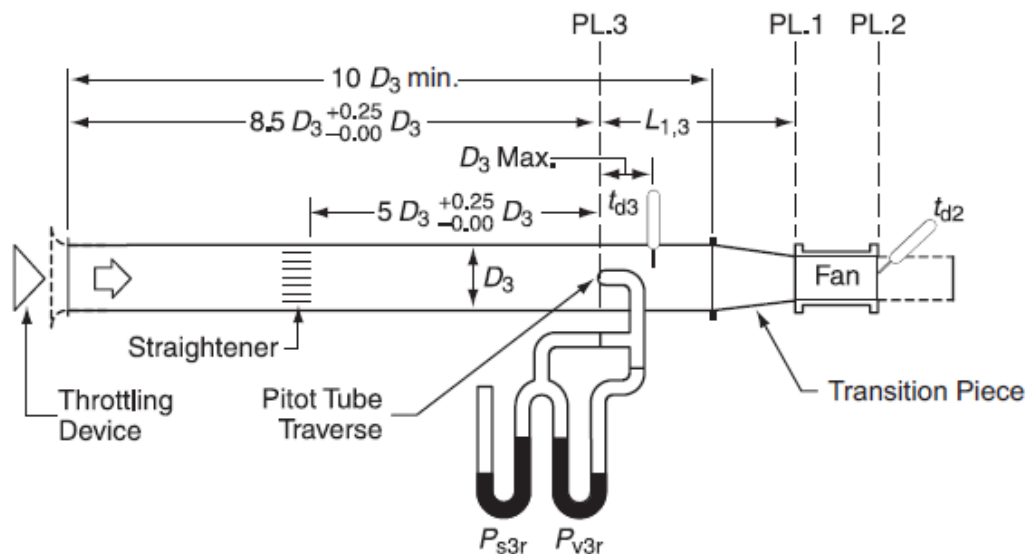
Η διάταξη του σχήματος 2.9, αποτελείται από το settling chamber το οποίο συνδέεται με το σύστημα τροφοδοσίας και φέρει διατάξεις φίλτρων προκειμένου να ομαλοποιείται η ροή. Ακόμη φέρει πολλαπλά ακροφύσια στο εσωτερικό του, όπου σε εκείνο το σημείο πραγματοποιείται η μέτρηση της στατικής πίεσης που επικρατεί πριν από αυτά, του ΔP καθώς και της θερμοκρασίας, υπολογίζοντας έτσι την παροχή στα ακροφύσια. Λίγο πριν την έξοδο του settling chamber, γίνεται μέτρηση της ολικής πίεσης και της θερμοκρασίας. Τέλος το settling chamber συνδέεται με τον αγωγό εξόδου, στην έξοδο του οποίου συνδέεται ο εξεταζόμενος φυσητήρας.



Σχήμα 2.9: Πολλαπλά ακροφύσια στο θάλαμο εξισορρόπησης.

2.1.4 Διάταξη με ρύθμιση του αγωγού εισόδου

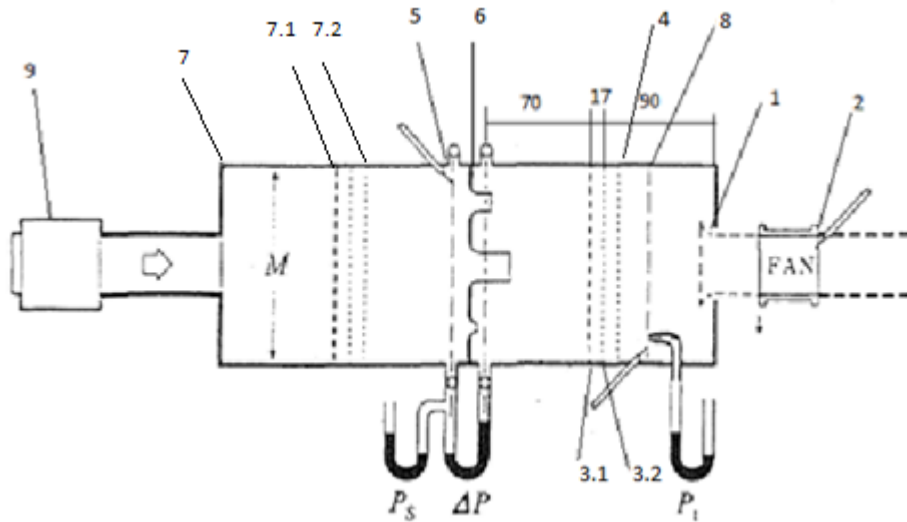
Η διάταξη του σχήματος 2.10, αποτελείται από έναν αγωγό ο οποίος στην είσοδο του φέρει στραγγαλιστική διάταξη και στο εσωτερικό του έχει τοποθετηθεί εξομαλυντής ροής καθώς και τραβέρσα σωλήνων Pitot για τη μέτρηση της στατικής και της δυναμικής πίεσης. Η διάταξη τραβέρσας και εδώ δεν μας εξυπηρετεί καθώς θα έχουμε μεγάλο χρόνο λήψης μετρήσεων. Στην έξοδο του αγωγού τοποθετείται ο προς μέτρηση φουσητήρας. [2]



Σχήμα 2.10: Τραβέρσα σωλήνων pitot στον αγωγό

2.2 Παρούσα εγκατάσταση-διαδικασία κατασκευής

Στο εργαστήριο θερμικών στροβιλομηχανών (Ε.Θ.Σ), αρχικά υπήρχε η εγκατάσταση με το σύστημα τροφοδοσίας, που αποτελείται από 2 αντίστροφα στρεφόμενους fan (contra-rotating fan), τον αγωγό εισόδου και το settling chamber ύψους $M=1.50m$. Η διάταξη που δέχεται τις λιγότερες αλλαγές και εξυπηρετεί τις ανάγκες του εργαστηρίου είναι η διάταξη με ρύθμιση του θαλάμου εισαγωγής-πολλαπλά ακροφύσια στο θάλαμο. Στο σχήμα 2.11 που ακολουθεί, η υπάρχουσα εγκατάσταση κάλυπτε από τη θέση 9 μέχρι τη θέση 5.



Σχήμα 2.11: Πρότυπο επιλεγμένης εγκατάστασης

Η εγκατάσταση μας επομένως αποτελείται από:

ΘΕΣΗ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
9	σύστημα τροφοδοσίας CRF
7	είσοδος settling chamber
5-6	ακροφύσια (nozzles)
7.1 7.2 3.1 3.2 4	settling means
1	έξοδος settling chamber
1-2	είσοδος-έξοδος του προς μέτρηση φυσητήρα
8	διάταξη σωλήνων pitot

Πίνακας 2.12: Αρίθμηση θέσεων εγκατάστασης

Το σύστημα τροφοδοσίας ελέγχεται μέσω inverter. Στο σχήμα 2.13 φαίνεται ο συμπίεστης αντήρροπα στρεφόμενων αξονικών πτερυγώσεων.



Σχήμα 2.13 : Ο συμπίεστης αντήρροπα στρεφόμενων αξονικών πτερυγώσεων – CRFAN

Ακολουθώντας το πρότυπο κατασκευάστηκαν : το υπόλοιπο τμήμα του settling chamber (το γκρι τμήμα στο σχήμα 2.14), τα ακροφύσια, τα οποία βρίσκονται μεταξύ των θέσεων 5-6 και η διάταξη για τη σύνδεση φυσητήρων, διαφορετικών διαμέτρων με την εγκατάσταση (θέση 1) .



Σχήμα 2.14: settling chamber

2.2.1 Κατασκευή settling chamber

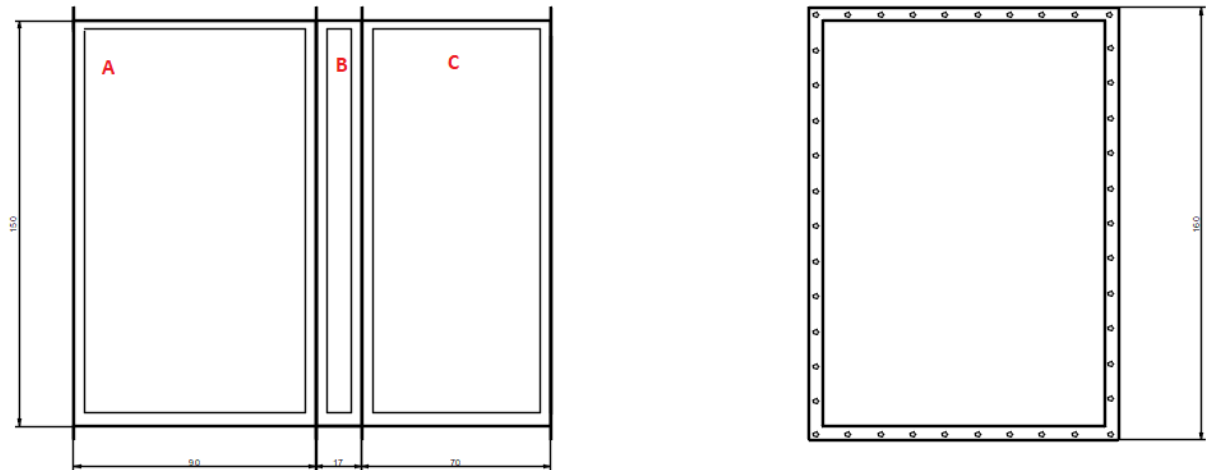
Σύμφωνα με την πρότυπη διάταξη, με κριτήριο το ύψος, $M=1,50m$ κατασκευάστηκαν 3 μέρη του settling chamber (σχήμα 2.15) , διαστάσεων:

A: 0.90x1.50x1.15 m

B: 0.17x1.50x1.15 m

C: 0.70x1.50x1.15 m

τα οποία τοποθετήθηκαν στην ήδη υπάρχουσα εγκατάσταση με αυτή ακριβώς τη σειρά.



Σχήμα 2.15: Σχέδιο κατασκευής settling chamber

Έτσι λοιπόν στο μηχανουργείο, κατασκευάστηκε το πλαίσιο των τριών τμημάτων, με δοκούς λαμαρίνας σχήματος Γ και πάχους 4mm (σχήμα 2.16).



Σχήμα 2.16:Κατασκευή πλαισίου τμήματος του settling chamber

Στην συνέχεια χρησιμοποιήθηκε λαμαρίνα ίδιου πάχους για την περιμετρική κάλυψη του πλαισίου (σχήμα 2.17)..



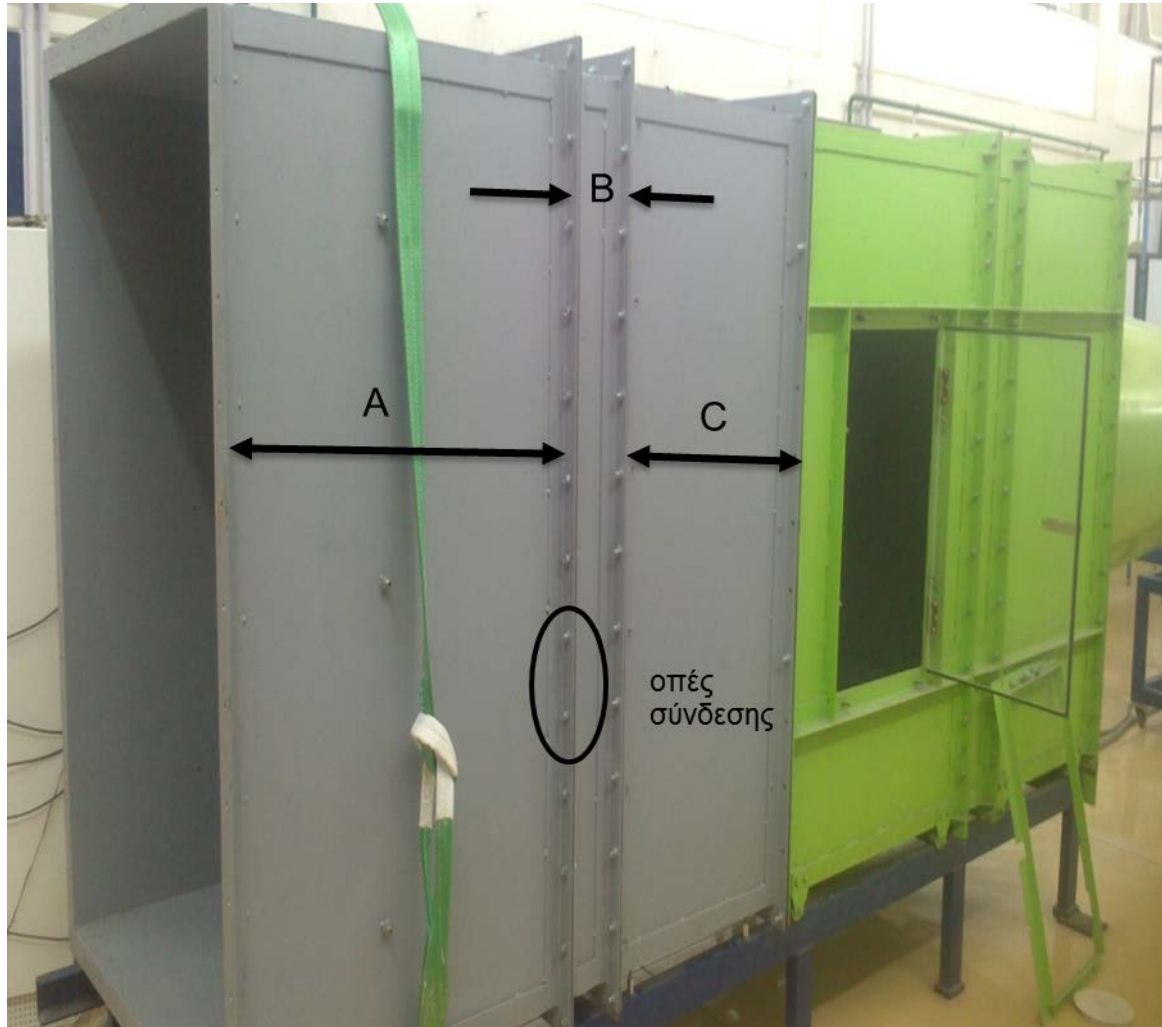
Σχήμα 2.17: Έτοιμο προς βαφή τμήμα του settling chamber

Προκειμένου η εγκατάστασή μας να είναι στεγανή, τοποθετήθηκε στις εσοχές των ενώσεων σιδηρόστοκος και αφού πραγματοποιήθηκε βαφή με γκρι αντιδιαβρωτικό χρώμα, το τμήμα του settling chamber, συνδέθηκε με την υπόλοιπη εγκατάσταση.



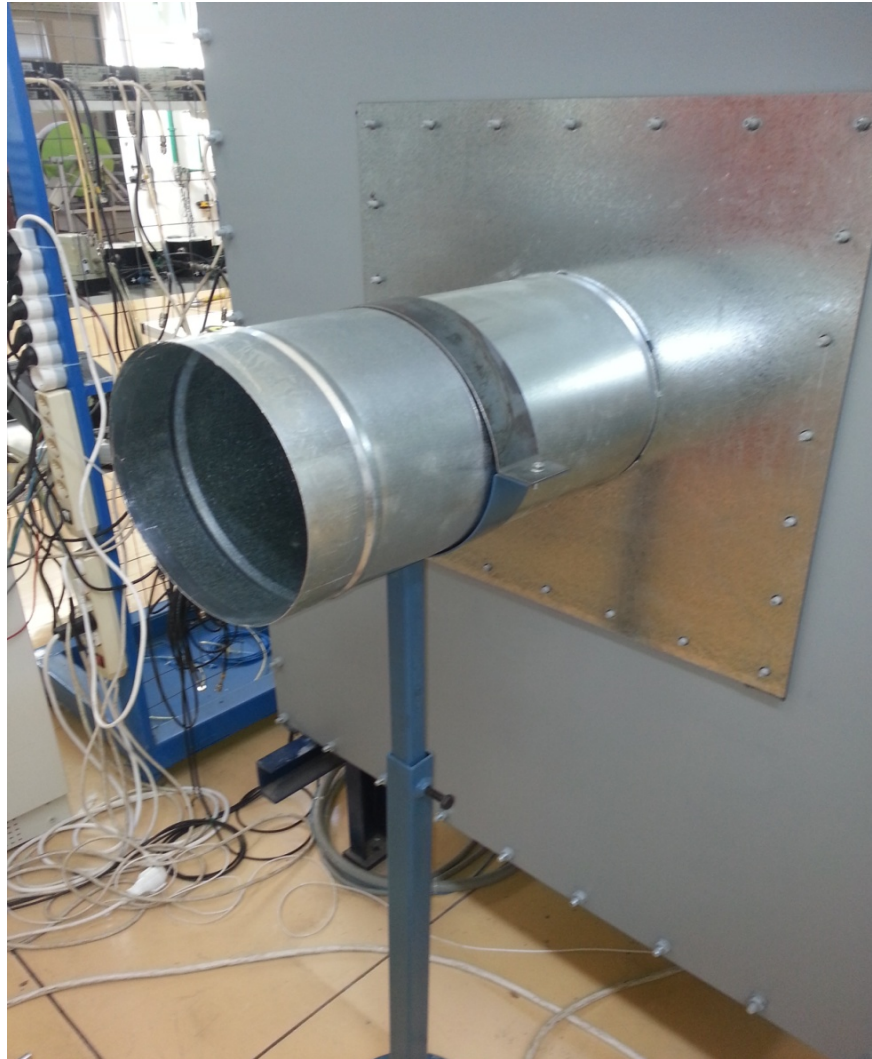
Σχήμα 2.18: Έτοιμο-τοποθετημένο στην εγκατάσταση τμήμα settling chamber

Οι δοκοί του πλαισίου περιλαμβάνουν 42 περιφερειακές οπές, έτσι ώστε να είναι δυνατή η σύνδεση των τριών μερών μεταξύ τους, καθώς και με την εγκατάσταση (σχήμα 2.19). Επιπλέον στο μέτωπο ένωσης των δοκών τοποθετήθηκε ταινία αφρώδους υλικού για στεγανοποίηση.



Σχήμα 2.19:Ενομένα τμήματα settling chamber

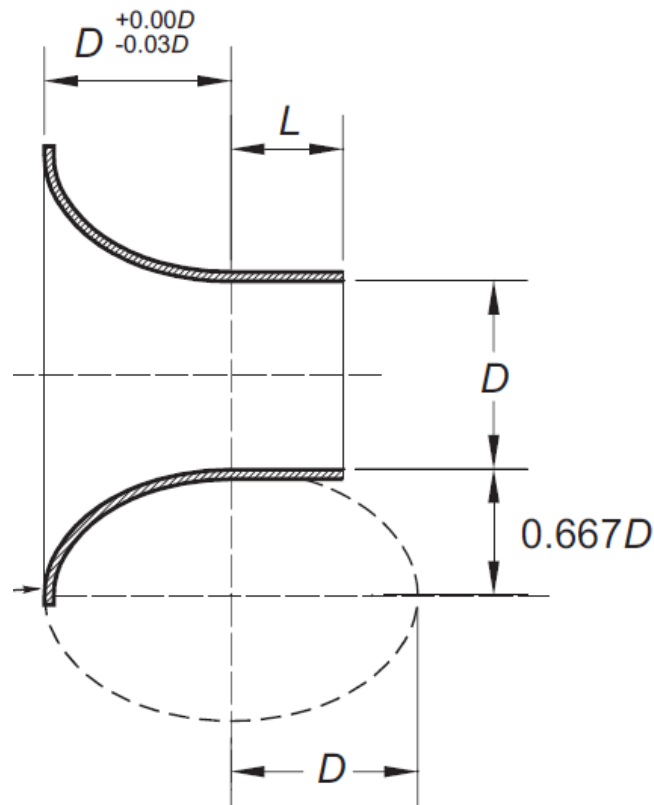
Στην έξοδο του settling chamber τοποθετήθηκε φύλλο λαμαρίνας πάχους 4mm, η οποία στη μέση της φέρει τετραγωνικό άνοιγμα διαστάσεων ($0.50 \times 0.50 m^2$). Το φύλλο φέρει και αυτό 42 περιφερειακές οπές, προκειμένου να τοποθετηθεί στην εγκατάσταση. Το τετραγωνικό άνοιγμα αποσκοπεί στο να διευκολύνει τη δυνατότητα σύνδεσης-αποσύνδεσης διαφορετικών διαμέτρων φυσητήρων στην εγκατάσταση. Στο σχήμα 2.20 φαίνεται η αναφερόμενη διάταξη, με τον αγωγό εξόδου να στηρίζεται σε μια βάση, έτοιμος προς ένωση με τον αντίστοιχης διαμέτρου φυσητήρα. [2]



Σχήμα 2.20: Διάταξη σύνδεσης διαφορετικών διαμέτρων φυσητήρων με την εγκατάσταση

2.2.2 Κατασκευή ακροφυσίων (nozzles)

Μεταξύ των θέσεων 5-6 του settling chamber τοποθετήθηκαν 15 ακροφύσια. Αρχικά τυπώθηκε ακροφύσιο σε 3D εκτυπωτή χρησιμοποιώντας πλαστικό, με τη βοήθεια του οποίου κατασκευάστηκε το καλούπι για την παραγωγή των ακροφυσίων με πολυεστέρα. Τα ακροφύσια φέρουν συγκεκριμένη αναλογία διαστάσεων, εσωτερικής διαμέτρου $D=100\text{mm}$ και καθαρού μήκους $L=60\text{mm}$. Το πρότυπο δεν απαιτεί να είναι όλα τα ακροφύσια ίδια, αλλά απαιτεί συγκεκριμένη αναλογία διαστάσεων (L/D) (σχήμα 2.21). [2]



Σχήμα 2.21: Ακροφύσιο

Έτσι λοιπόν επιλέχθηκε να κατασκευαστούν 15 ίδια ακροφύσια. Στη συνέχεια ελεγχθήκαν οι διαστάσεις τους, μετρώντας, τη διάμετρο τους σε 4 σημεία και το καθαρό τους μήκος (σχήμα 2.22), προκειμένου αυτά να εμπίπτουν στα όρια που αναφέρει το πρότυπο. Έπειτα πραγματοποιήθηκαν κατεργασίες λείανσης.

Nozzle	D1(mm)	D2(mm)	D3(mm)	D4(mm)	Dm(mm)	L(mm)	L/D
1	98.98	99.1	99.1	99.26	99.11	60	0.605388
2	98.6	99.01	100	99.4	99.2525	60	0.604519
3	100	99.81	100.38	99.02	99.8025	60	0.601187
4	99.65	99.2	98.2	99.86	99.2275	60	0.604671
5	99.33	99.2	99.02	99.13	99.17	60	0.605022
6	100	99.14	98.76	100.14	99.51	60	0.602954
7	99.2	99.37	99.32	98.17	99.015	60	0.605969
8	98.14	99.53	99.88	99.34	99.2225	60	0.604702
9	98.5	99.52	100.23	99.8	99.5125	58	0.582841
10	99.12	98.77	99.27	99.64	99.2	60	0.604839
11	98.76	98.59	99.09	98.47	98.7275	60	0.607733
12	99.51	99.08	98.83	99.31	99.1825	60	0.604945
13	99.2	98.98	98.23	98.18	98.6475	57	0.577815
14	99.07	98.84	98.15	98.5	98.64	60	0.608273
15	99.45	98.65	99.42	99.53	99.2625	59	0.594384

Σχήμα 2.22: Μετρούμενες διαστάσεις ακροφυσίων

Στη συνέχεια κατασκευάστηκε ξύλινη βάση, διαστάσεων $1.60 \times 1.25 \text{ m}^2$, όπου ανοίχτηκαν 15 οπές, προκειμένου να τοποθετηθούν τα ακροφύσια. Τα ακροφύσια τοποθετήθηκαν στη βάση, χρησιμοποιώντας εποξική κόλλα 2 συστατικών και στη συνέχεια περάστηκαν με στόκο πιστολιού (σχήμα 2.23)



Σχήμα 2.23: Τοποθέτηση ακροφυσίων στη βάση

Έπειτα ακολούθησε βαφή με λευκό χρώμα .



Σχήμα 2.24: Ολοκληρωμένη βάση με τα ακροφύσια

Στη ξύλινη βάση ανοίχτηκαν 42 περιφερειακές οπές , προκειμένου να γίνει η τοποθέτηση της στην εγκατάσταση (σχήμα 2.25). Επίσης, κατασκευάστηκαν μονωτικές τάπες προκειμένου να είναι δυνατή η επιλογή , των προς χρήση ακροφυσίων κατά τη διαδικασία της μέτρησης.



Σχήμα 2.25: Τοποθέτηση ακροφυσίων στην εγκατάσταση

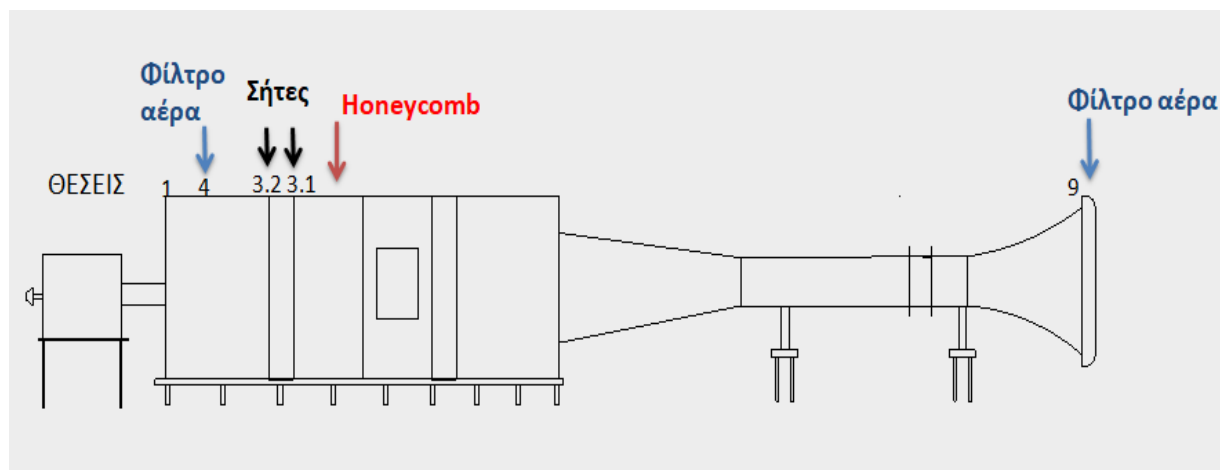
2.2.3 Τοποθέτηση settling means (σήτες-εξομαλυντής ροής- φίλτρο αέρα)

Σύμφωνα με το πρότυπο, κατάντη των ακροφυσίων το settling chamber ιδανικά απαιτείται ακίνητη ροή, δηλαδή ομοιόμορφη κατανομή στατικής και δυναμικής πίεσης, από όπου θα τροφοδοτείται ο φυσητήρας. Για το λόγο αυτό, το πρότυπο ορίζει τη χρήση διατάξεων με οπές σταδιακά μειούμενης διαμέτρου. [2]

Στη συγκεκριμένη διάταξη, μετά τα ακροφύσια και πριν τη θέση 3.1 του settling chamber, τοποθετήθηκε αλουμινένιος εξομαλυντής ροής (honeycomb), εξαγωνικής διατομής 6mm και μήκους $L=60\text{mm}$.

Επίσης, τοποθετήθηκαν δύο σήτες στις θέσεις 3.1 και 3.2, για την εξομάλυνση της ροής καθώς και φίλτρο αέρα πάχους 22mm, σύνθεσης πολυεστέρα, πάνω σε μια βάση (γαλβανισμένη λαμαρίνα), η οποία ενσωματώθηκε στο settling chamber σε απόσταση περίπου μισής διαμέτρου (0.75m) (θέση 4), από τη θέση 1 (αγωγός εισόδου). Με αυτόν τον τρόπο φρενάρεται η ροή και έχουμε ομοιόμορφη κατανομή στατικής και δυναμικής πίεσης στην έξοδο της εγκατάστασης.

Ίδιο φίλτρο αέρα, διαμέτρου 132 cm τοποθετήθηκε και στην είσοδο της εγκατάστασης, προκειμένου να διατηρήσουμε καθαρή τη ροή στο εσωτερικό της εγκατάστασης. Το φίλτρο δεν επηρεάζει τη ροή εισόδου και παράλληλα με αυτόν τον τρόπο αποφεύγουμε τις επικαθίσεις στα πτερύγια και στις οπές των σωλήνων πίεσης, επιβαρύνοντας με αυτόν τον τρόπο τη διαδικασία λήψης μετρήσεων.



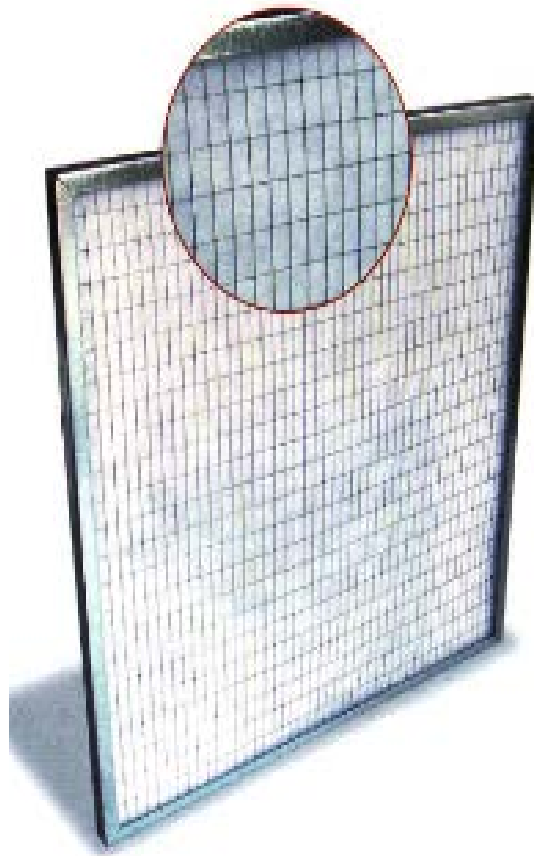
Σχήμα 2.26: Θέσεις τοποθέτησης settling means



Σχήμα 2.27: Τοποθέτηση honeycomb



Σχήμα 2.28: Τοποθέτηση σήτας



Σχήμα 2.29: Φίλτρο αέρα με βάση



Σχήμα 2.30: Τοποθέτηση φίλτρου αέρα στο settling chamber

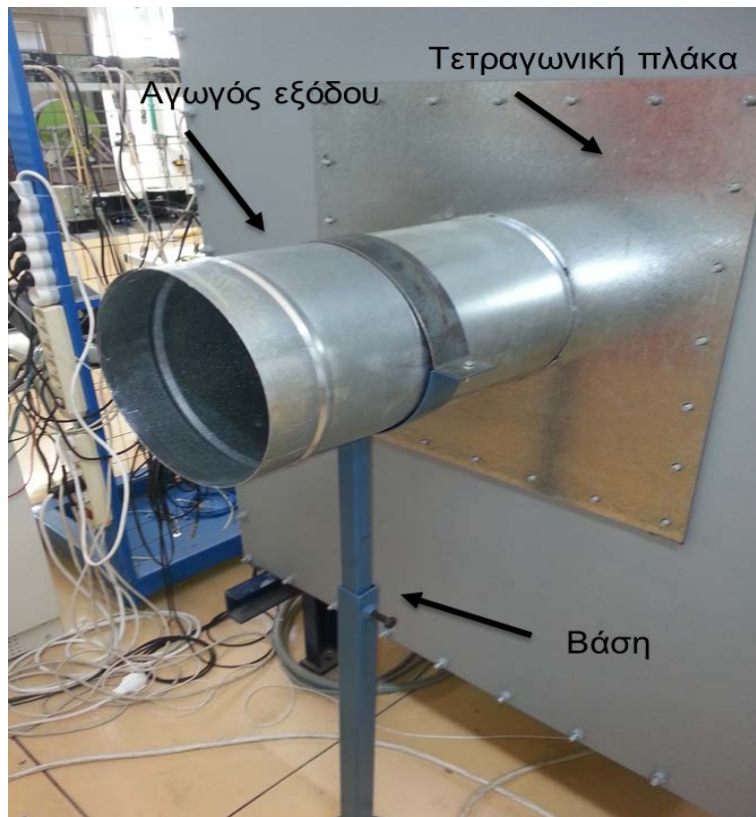


Σχήμα 2.31: Τοποθέτηση φίλτρου αέρα στον αγωγό εισόδου της εγκατάστασης

2.2.4 Κατασκευή διάταξης για τη σύνδεση της εγκατάστασης με φουσητήρες διαφόρων διαμέτρων

Προκειμένου να πραγματοποιηθούν μετρήσεις χαρακτηριστικών μεγεθών, για διάφορες διαμέτρους φουσητήρων(200-450mm), είναι απαραίτητη η κατασκευή διάταξης, η οποία να δίνει τη δυνατότητα σύνδεσης των φουσητήρων με την εγκατάσταση.

Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 2.2.1 , στην έξοδο του settling chamber, είναι τοποθετημένο το φύλλο λαμαρίνας, με το τετραγωνικό άνοιγμα. Στο άνοιγμα αυτό τοποθετείται τετραγωνική μεταλλική πλάκα διαστάσεων ($0.55 \times 0.55 m^2$), η οποία συνδέεται με την εγκατάσταση μέσω των περιφερειακών οπών που φέρει. Στο κέντρο της φέρει κυκλική οπή ,με την οποία συνδέεται ο αγωγός εξόδου της εγκατάστασης. Ο αγωγός εξόδου στηρίζεται σε βάση, προκειμένου να είναι ευθυγραμμισμένος και να μην μεταβάλλει τη ροή (σχήμα 2.32).



Σχήμα 2.32: Διάταξη σύνδεσης φυσητήρων

Στην εσωτερική πλευρά της τετραγωνικής πλάκας έχει κατασκευαστεί bellmouth, του οποίου η περίμετρος έχει περαστεί με αφρολέξ, αλουμινοταινία και μονωτική ταινία, προκειμένου να είναι ομοιόμορφο, στεγανό και να μην υπάρχουν απώλειες ροής (σχήμα 2.33).



Σχήμα 2.33: Bellmouth

2.2.5 Τοποθέτηση σωλήνων pitot-στατικές οπές - βαρελοειδείς συλλέκτες

Ακολουθώντας το πρότυπο, προκειμένου να ληφθούν μετρήσεις πιέσεων, ανοίχτηκαν στατικές οπές και τοποθετήθηκαν σωλήνες pitot. Οι θέσεις καθώς και οι αντίστοιχες πιέσεις που μετράμε είναι οι εξής:

Θέση	Μέτρηση πίεσης
5	Pst
5-6	ΔP
8	Pt
8	Pst
9	ΔP

Σχήμα 2.34: Θέσεις μέτρησης πιέσεων

2.2.5.1 Σωλήνες pitot- Μέτρηση ολικής πίεσης

Στη θέση 8 τοποθετήθηκαν συμμετρικά 10 σωλήνες pitot (3 αριστερά , 3 δεξιά, 2 πάνω και 2 κάτω) (σχήμα 2.35). Το βάθος τους με βάση το πρότυπο έπρεπε να είναι το λιγότερο $0.1M=0.15m$ και η απόστασή τους από την έξοδο έπρεπε να είναι το λιγότερο $0.3M=0.45m$. Έτσι τοποθετήθηκαν σε βάθος 20cm και απόσταση από την έξοδο 45cm (σχήμα 2.36). Τα pitot μέσω εύκαμπτων σωλήνων καταλήγουν σε βαρελοειδή συλλέκτη. Στο σχήμα 2.37 φαίνεται επίσης η έξοδος των σωλήνων pitot. Η μέτρηση της ολικής πίεσης στη θέση 8 γίνεται προκειμένου να γνωρίζουμε την ολική πίεση στην είσοδο του φυσητήρα και γνωρίζοντας και την πίεση εξόδου (περιβάλλον), υπολογίζουμε το ΔP του φυσητήρα. [2]



Σχήμα 2.35: Διάταξη σωλήνων pitot



Σχήμα 2.36: Τοποθέτηση σωλήνα pitot



Σχήμα 2.37: Έξοδος σωλήνα pitot

2.2.5.2 Στατικές οπές στο κέλυφος τις διάταξης- Μέτρηση στατικής πίεσης.

Σύμφωνα με το πρότυπο, για τη μέτρηση της στατικής πίεσης πριν τα ακροφύσια, δημιουργήθηκαν στην θέση 5, 12 στατικές οπές, κατανομημένες ομοιόμορφα και για τη μέτρηση του ΔP δημιουργήθηκαν άλλες 12 στατικές οπές μετά τα ακροφύσια (θέση 6), όπου το ΔP θα δίνεται από τη διαφορά των στατικών πιέσεων των θέσεων 5-6. Η μέτρηση του ΔP σε εκείνη τη θέση, αποσκοπεί στον υπολογισμό της παροχής των ακροφυσίων, ανάλογα με το ποια έχουν επιλεγεί να είναι ανοιχτά. [2] Οι στατικές οπές ενώνονται και αυτές με τη σειρά τους με βαρελοειδείς συλλέκτες μέσω εύκαμπτων σωλήνων.



Σχήμα 2.38: Στατική οπή

Στατικές οπές δημιουργήθηκαν και στη θέση 8 της εγκατάστασης (συγκεκριμένα 6 συμμετρικές στατικές οπές, 2 αριστερά και δεξιά της εγκατάστασης και μια πάνω και κάτω), όπου και αυτές με τη σειρά τους ενώνονταν με έναν μικρότερο συλλέκτη, για τη μέτρηση της μέσης στατικής πίεσης

Στατικές οπές κατασκευάστηκαν και στη θέση 9 (σχήμα 2.39), προκειμένου να μετράται το ΔP του bellmouth, στην είσοδο της εγκατάστασης το οποίο αποτελεί μια ένδειξη της παροχής και μπορεί να συσχετιστεί με την αντίστοιχη ένδειξη από τα ακροφύσια. Έτσι λοιπόν έχουμε 4 περιφερειακές οπές ανά 90° σε απόσταση 0.25m από την είσοδο και άλλες 4 ανά 90° σε απόσταση 1m από τη είσοδο. Οι οπές μέσω σωλήνων καταλήγουν σε συλλέκτη πίεσης. Όλες οι οπές στεγανοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας σιλικόνη.



Σχήμα 2.39: Στατικές οπές στην είσοδο της διάταξης

2.2.5.3 Βαρελοειδείς συλλέκτες πίεσης

Για την μείωση των διαταραχών πίεσης κατά την μέτρηση χρησιμοποιήθηκαν κατάλληλοι συλλέκτες πίεσης, αντιπροσωπεύοντας ακριβέστερα τα μεγέθη των πιέσεων, καθώς οι πιέσεις που λαμβάνονται ομοιόμορφα και περιμετρικά της εγκατάστασης, καταλήγουν στο συλλέκτη και δίνουν μία μέση πίεση. Έτσι υπάρχουν συνολικά 5 βαρελοειδείς συλλέκτες, από μπρούντζο (σχήμα 2.40) εκ των οποίων οι 3 στις θέσεις 5, 6 και 8 έχουν μήκος 15cm και εξωτερική διάμετρο περίπου 5 cm. Στις θέσεις 8 και 9, για τις στατικές οπές, χρησιμοποιήθηκαν μικρότεροι συλλέκτες, μήκους 5cm καθώς ο αριθμός των στατικών οπών σε αυτές τις θέσεις είναι μικρότερος. Οι συλλέκτες φέρουν κατά μήκος και περιμετρικά οπές σε αριθμό ίσες με τον αριθμό των οπών που έχουν ανοιχτεί στην αντίστοιχη θέση της εγκατάστασης. Τα σωληνάκια που προέρχονται από την εγκατάσταση, τοποθετούνται περιμετρικά των συλλεκτών, στις οπές αυτές, ενώ η έξοδος του συλλέκτη βρίσκεται στα 2 άκρα

του. Τα άκρα του συνδέονται μέσω T συνδέσμων και δίνουν μία έξοδο που καταλήγει στην είσοδο του μορφοτροπέα πίεσης.



Σχήμα 2.40: Βαρελοειδής συλλέκτης

3

Μετρητική αλυσίδα- εξοπλισμός- διαδικασία μετρήσεων

Στο κεφάλαιο αυτό , αρχικά περιγράφεται η μετρητική αλυσίδα και στη συνέχεια παρουσιάζονται αναλυτικά όλα τα όργανα που χρησιμοποιούνται για τις μετρήσεις στην εγκατάσταση. Πιο συγκεκριμένα παρουσιάζονται οι τύποι, τα χαρακτηριστικά των οργάνων , οι καμπύλες βαθμονόμησης τους, οι θέσεις που τοποθετούνται καθώς και τα μετρούμενα μεγέθη. Επίσης παρουσιάζεται ο τρόπος που τα όργανα συνδέονται μεταξύ τους ώστε να σχηματίσουν τη μετρητική αλυσίδα που χρησιμοποιείται και τέλος περιγράφονται τα βασικά στοιχεία εκτέλεσης μιας μέτρησης.

3.1 Μετρητική εγκατάσταση

Η μετρητική εγκατάσταση φαίνεται στο σχήμα 3.1 , όπου διακρίνεται η εγκατάσταση μέτρησης φυγοκεντρικών φυσητήρων , τα όργανα μέτρησης και η καμπίνα με τον Η/Υ.



Σχήμα 3.1: Μετρητική εγκατάσταση

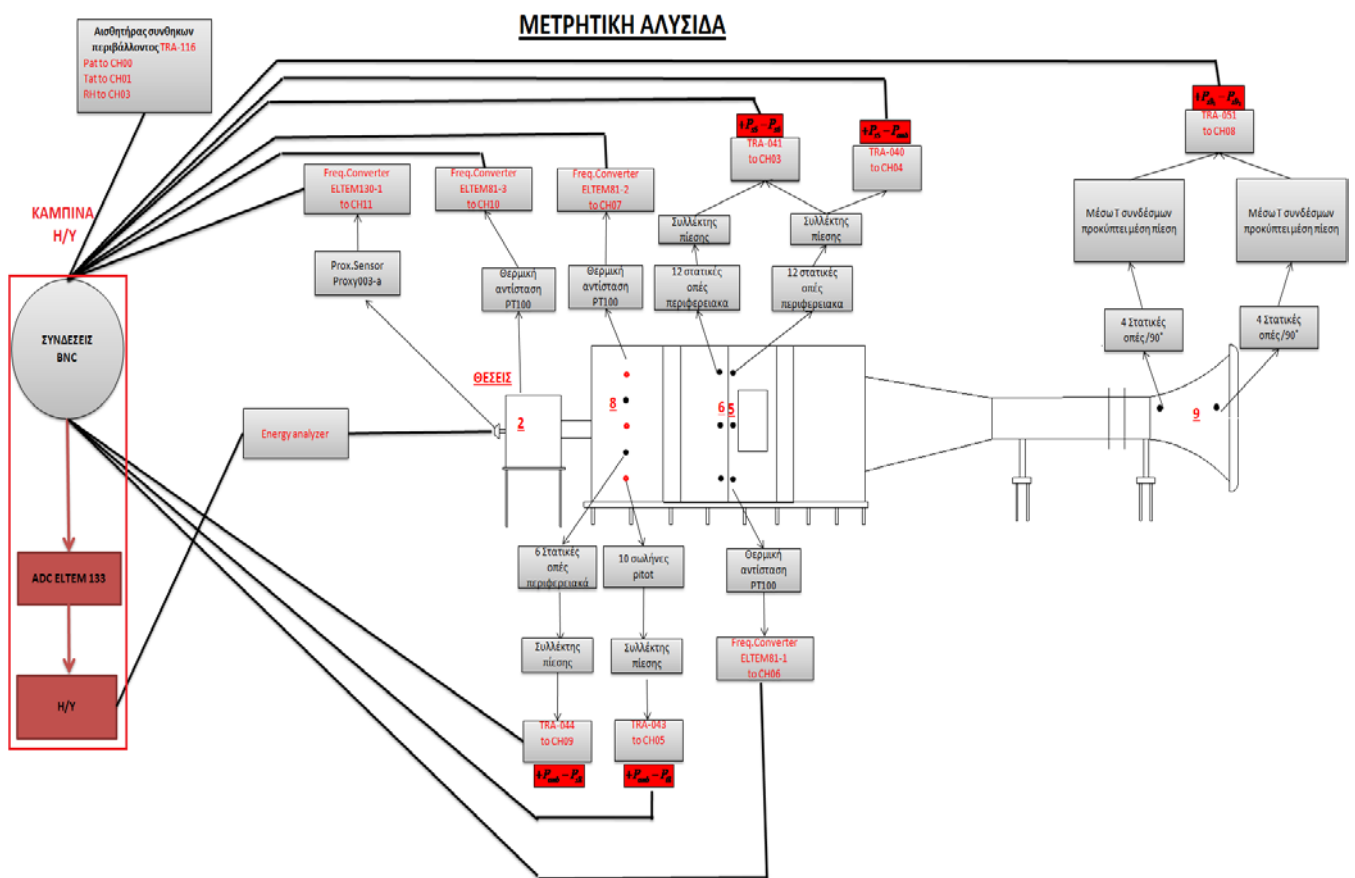
3.1.1 Θέσεις μέτρησης – Όργανα μέτρησης

Η αρίθμηση των θέσεων της διάταξης είναι ίδια με αυτή που παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, και τα μεγέθη που μετρούνται στις θέσεις αυτές παρουσιάζονται στον πίνακα 3.2. Έτσι λοιπόν :

ΘΕΣΗ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΘΕΣΗΣ	ΜΕΤΡΗΣΗ
8	Πριν την έξοδο του settling chamber	Pt8
8	Πριν την έξοδο του settling chamber	Ps8
8	Πριν την έξοδο του settling chamber	td8
2	έξοδος του fan	td2
5	είσοδος ακροφυσίων	Ps5
5	είσοδος ακροφυσίων	td5
5-6	ακροφύσια	ΔP
9	Bellmouth-είσοδος εγκατάστασης	ΔP

Σχήμα 3.2: Θέσεις μέτρησης χαρακτηριστικών μεγεθών

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η μετρητική αλυσίδα της εγκατάστασης (σχήμα 3.3)



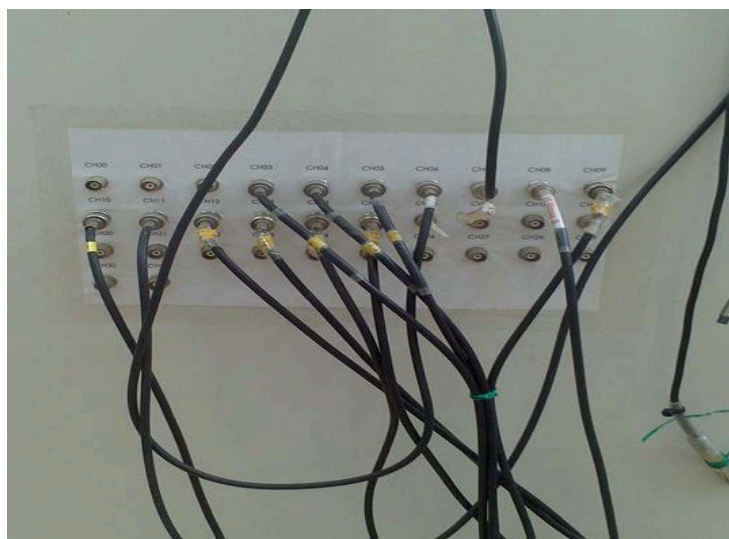
Σχήμα 3.3: Μετρητική αλυσίδα

Στον πίνακα 3.4 , που ακολουθεί ,δίνονται τα χαρακτηριστικά των οργάνων μέτρησης (κανάλι σύνδεσης και κωδικός εργαστηρίου μετρητικού οργάνου , θέση μέτρησης , εύρος μέτρησης , μετρούμενο μέγεθος).

ADC CHANNEL NUMBER	Κωδικός οργάνου	Εύρος μέτρησης	Θέση	Μετρούμενο μέγεθος
0	TRA-116	600-1100mbar	atm	Pat (mbar)
1	TRA-116	5 – 98 %	atm	Tat (°C)
2	TRA-116	-20 – 80°C	atm	RH %
3	TRA-041	±20 mbar	5-6	Ps5-Ps6
4	TRA-040	±20 mbar	5	Ps5-Pamb
5	TRA-043	±20 mbar	8	Pamb-Pt8
6	ELTEM081-1	0-200 °C	5	Tt5 (°C)
7	ELTEM081-2	0-200 °C	8	Tt8 (°C)
8	TRA-051	±10 mbar	9	DPsbell
9	TRA-044	±20 mbar	8	Pamb-Ps8
10	ELTEM081-3	0-200 °C	2	Tt2 (°C)
11	PROXY003-A	4±10%mm	2	Rpm

Πίνακας 3.4: Χαρακτηριστικά μετρητικών οργάνων

Τα όργανα συνδέονται μέσω καλωδίων BNC με το σύστημα πρόσκτησης δεδομένων, δηλαδή την καμπίνα με τον H/Y και τον αναλογοψηφιακό μετατροπέα (ADC). Στο σχήμα 3.5 φαίνονται τα κανάλια συνδέσεως της καμπίνας με τα BNC.



Σχήμα 3.5: Κανάλια συνδέσεων μετρητικών οργάνων

3.2 Όργανα μέτρησης πίεσης

Τα όργανα μέτρησης πίεσης που χρησιμοποιούνται είναι τα εξής:

- Μεταλλάκτες πίεσης για την μέτρηση των πιέσεων, των αντίστοιχων θέσεων της εγκατάστασης
- Μικρομανόμετρο φίρμας Furness control τύπου FC012 με δυνατότητα μέτρησης διαφοράς πίεσης από 0 έως 196 mbar και βαθμονομητή πίεσης (Pressure calibrator) τύπου DPI615 IS (TRA 111) για βαθμονόμηση μεταλλακτών πίεσης
- Ψηφιακό βαρόμετρο για τη μέτρηση της πίεσης του περιβάλλοντος

3.2.1 Μεταλλάκτες πίεσης

Προκειμένου να πραγματοποιηθεί η μέτρηση διαφοράς πίεσης μεταξύ δύο θέσεων χρησιμοποιήθηκαν μεταλλάκτες πίεσης (pressure transducers). Βασική αρχή των μεταλλακτών, είναι η ελαστική παραμόρφωση της μεταλλικής τους μεμβράνης, η οποία διαχωρίζει τους θαλάμους στους οποίους καταλήγουν οι 2 πιέσεις, όταν υπάρχει διαφορά πίεσης. Η εν λόγω παραμόρφωση αλλάζει τις ηλεκτρικές σταθερές του αισθητηρίου παράγοντας ηλεκτρικό σήμα, τάση ανάλογη της διαφοράς πίεσης $\Delta P=KV$. Ο μεταλλάκτης φέρει δύο υποδοχές για σωληνάκια, από τις οποίες δημιουργείται η διαφορά πίεσης, μια έξοδο του σήματος της τάσης ανάλογα την διαφορά πίεσης που μετρά και συνδέεται σε κάποιο κανάλι στην κάρτα πρόσκτησης δεδομένων του Η/Υ, και μια είσοδο παροχής ρεύματος για τη τροφοδοσία του. Η επιλογή του κατάλληλου μεταλλάκτη πίεσης καθορίζεται από το εύρος της διαφοράς πίεσης που μπορεί να μετρήσει. Στη διάταξη μας χρησιμοποιήθηκαν μεταλλάκτες πίεσης Furness control τύπου FC016 (σχήμα 3.6) και wika tronic (σχήμα 3.7).



Σχήμα 3.6: Μεταλλάκτες πίεσης Furness control τύπου FC016



Σχήμα 3.7: Μεταλλάκτης πίεσης Wikatronik

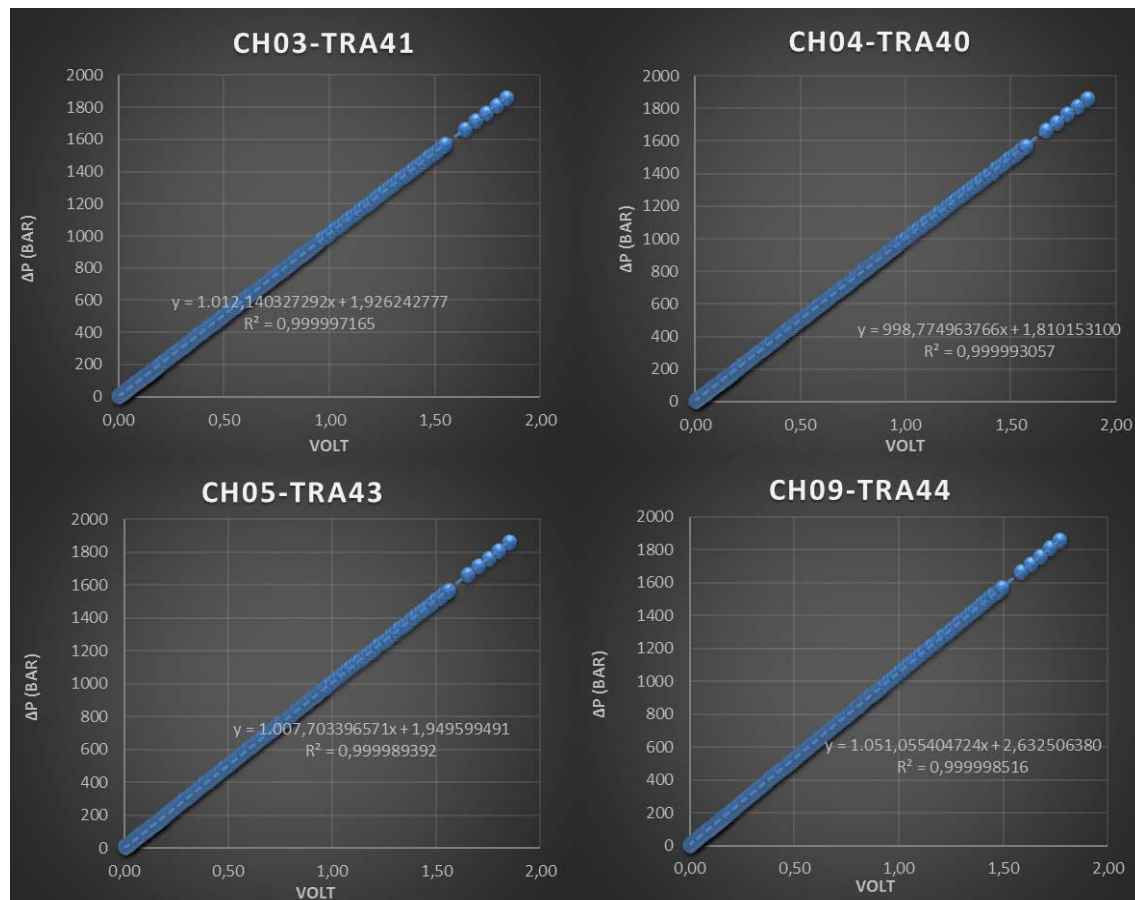
3.2.2 Βαθμονόμηση μεταλλακτών – καμπύλες βαθμονόμησης

Προκειμένου να πραγματοποιηθεί η βαθμονόμηση των μεταλλακτών πίεσης, δημιουργήθηκε μια διάταξη, η οποία αποτελείται από:

- Τους μεταλλάκτες πίεσης
- Το βαθμονομητή πίεσης (pressure calibrator)
- Το μικρομανόμετρο
- Τον Η/Υ με ενσωματωμένη κάρτα πρόσκτησης δεδομένων με αναλογοψηφιακό μετατροπέα (ADC).

Έτσι λοιπόν αρχικά αφήσαμε τους μεταλλάκτες να ζεσταθούν για λίγη ώρα, προκειμένου να σταθεροποιηθεί το offset τους και στη συνέχεια συνδέσαμε τα σωληνάκια και το μικρομανόμετρο στο βαθμονομητή πίεσης. Με τη βάνα ρύθμισης πίεσης του βαθμονομητή ασκήσαμε πιέσεις, πάντα στο εύρος των μεταλλακτών, καθώς αν το ξεπερνούσαμε υπήρχε κίνδυνος αλλαγής της γραμμικής του συμπεριφοράς ή καταστροφής του διαφράγματος. Οι πιέσεις αυτές διαβάζονται στο μικρομανόμετρο σε mmH₂O. Για κάθε καμπύλη βαθμονόμησης των μεταλλακτών πίεσης χρειάστηκαν περίπου 25 σημεία και η μορφή των καμπύλων είναι της μορφής $y=a \cdot x+b$ όπου το y αντιστοιχεί σε ΔP και το x σε Volt. Η επεξεργασία των μετρήσεων έγινε στο excel. Τα σφάλματα s_a και s_b των συντελεστών a και b αντίστοιχα, υπολογίστηκαν επίσης στο Excel και το σφάλμα s_x του Voltage έχει να κάνει με την διακριτική ικανότητα του αναλογοψηφιακού μετατροπέα (ADC) (16bit) που ισούται με $s_x = 0.00015259$ για τα κανάλια με εύρος εισόδου $\pm 5V$, και $s_x = 0.00030518$ για τα κανάλια με εύρος εισόδου $\pm 10V$. [3],[4]

Οι καμπύλες βαθμονόμησης παρουσιάζονται στο σχήμα 3.8:



Σχήμα 3.8: Καμπύλες βαθμονόμησης μεταλλακτών πίεσης

3.3 Μέτρηση θερμοκρασίας

Για τη μέτρηση της θερμοκρασίας στις θέσεις 2-5-8 χρησιμοποιήθηκαν θερμικές αντιστάσεις τύπου **Pt100** (σχήμα 3.9).

Οι θερμικές αντιστάσεις ή αισθητήρια θερμοκρασίας με αντιστάσεις είναι διεθνώς γνωστές ως RTD (Resistance Temperature Detector). Αποτελούνται από μέταλλα ή κράματα των οποίων η αντίσταση μεταβάλλεται με την θερμοκρασία. Η μεταβολή της αντίστασης εν γένει δεν είναι γραμμική. Μπορεί όμως να είναι γραμμική σε μία περιοχή με αρκετή προσέγγιση όπως στην περίπτωση του λευκόχρυσου (Pt).

Οι θερμικές αντιστάσεις τύπου Pt 100 αποτελούν ένα από τα διάφορα είδη αισθητηρίων θερμοκρασίας με αντίσταση. Ειδικά χαρακτηριστικά του τύπου Pt 100 είναι τα εξής : α) Η κεφαλή τους είναι από λευκόχρυσο - πλατίνα (Pt), β) Παρουσιάζουν αντίσταση 100Ω στους 0°C, γ) Παρουσιάζουν θετική γραμμική μεταβολή με την θερμοκρασία, δ) Η κεφαλή τους όπως επίσης και τα άκρα τους συναντώνται σε ποικίλες μορφές και διαστάσεις.



Σχήμα 3.9:Θερμική αντίσταση

Οι αισθητήρες θερμοκρασίας, συνδέονται με μετρητές, με ψηφιακή έξοδο (σχήμα 3.10). Οι μετρητές συνδέονται μέσω καλωδίων BNC με τον αναλογοψηφιακό μετατροπέα.



Σχήμα 3.10: Μετρητής

3.4 Μέτρηση συνθηκών περιβάλλοντος

Για τη μέτρηση των συνθηκών στον περιβάλλοντα χώρο χρησιμοποιήθηκε αισθητήρας φίρμας Delta Ohm τύπου HD2001.1, ο οποίος βρίσκεται στον ίδιο χώρο με την εγκατάσταση (σχήμα 3.11). Έτσι λοιπόν με αυτόν τον τρόπο γίνεται μέτρηση της απόλυτης βαρομετρικής πίεσης (P_{amb}), της θερμοκρασίας (T_{amb}) και της σχετικής υγρασίας RH% του περιβάλλοντος αέρα. Έχει 3 εξόδους σήματος, μία για κάθε μέγεθος, οι οποίες μέσω συνδέσεων BNC και καλωδίων σήματος κατευθύνονται στην είσοδο του ADC. Ο κατασκευαστής του αισθητήρα δίνει τις χαρακτηριστικές – γραμμικές – καμπύλες Μεγέθους – Τάσης για κάθε μέγεθος. Οι καμπύλες αυτές είναι της μορφής $y=a \cdot x+b$ όπου y είναι το μέγεθος (P_{at} , T_{at} , RH) και x η τάση εξόδου του αισθητήρα και δίνονται στον πίνακα 3.12



Σχήμα 3.11: Αισθητήρας μέτρησης περιβαλλοντικών συνθηκών

ADC Channel	Μέγεθος	ADC Volt Range	a	b	Accuracy
CH 00	Pat (mbar)	±10 Volt	50	600	±0.5mbar @ 25°C
CH 01	Tat (°C)	±10 Volt	10	-20	±0.3°C
CH 02	RH (%)	±10 Volt	10	0	±2.5%

Πίνακας 3.12: Γραμμικές –καμπύλες Μεγέθους – Τάσης κατασκευαστή

3.5 Energy analyzer

Για τη μέτρηση χαρακτηριστικών μεγεθών του κινητήρα, χρησιμοποιήθηκε τριφασικός ενεργειακός αναλυτής (Energy analyzer), σχήμα 3.13 . Ο ενεργειακός αναλυτής φέρει 3 αμπεροτσιμπίδες, στις οποίες τυλίγονται τα καλώδια τροφοδοσίας του κινητήρα 30 φορές και όταν αυτός τεθεί σε λειτουργία ο analyzer, δίνει ψηφιακά το συντελεστή ισχύος ($\cos\phi$), το στιγμιαίο ρεύμα (I) και την στιγμιαία ισχύ (W). Ο energy analyzer είναι φίρμας Microvip και φέρει δυνατότητα εκτύπωσης των αποτελεσμάτων αλλά στη διάταξη μας, η ψηφιακή του έξοδος συνδέθηκε απευθείας με το σύστημα πρόσκτησης δεδομένων. Στο σχήμα φαίνεται ο ενεργειακός αναλυτής.



Σχήμα 3.13: Ενεργειακός αναλυτής (energy analyzer)

3.6 Μέτρηση στροφών πτερωτής φουσητήρα

Για τη μέτρηση της ταχύτητας περιστροφής της πτερωτής του προς μέτρηση φουσητήρα χρησιμοποιήθηκε επαγωγικού τύπου αισθητήρας προσέγγισης (Proximity sensor) και μετατροπέας συχνότητας σε τάση (Frequency to Voltage Converter). Ο αισθητήρας τροφοδοτείται με μια τάση στους ακροδέκτες του και παράγει ηλεκτρομαγνητικό πεδίο στην κεφαλή του (σχήμα 3.14).

Από τη στιγμή που ένα μεταλλικό αντικείμενο πλησιάσει την κεφαλή του αισθητήρα, ο αισθητήρας αντιλαμβάνεται τα διννορεύματα που προκαλούνται και ανοίγει το κύκλωμα της τροφοδοσίας του, παράγοντας έναν παλμό, τον οποίο στέλνει στον μετατροπέα συχνότητας. Ο αισθητήρας της διάταξης έχει τοποθετηθεί μπροστά από τον άξονα περιστροφής του κινητήρα, στον οποίο άξονα έχει κατασκευαστεί ειδική διαμόρφωση (μεταλλικό στοιχείο που περνάει κάθετα από τον άξονα) και δίνει 2 σημεία ανίχνευσης του αισθητήρα ανά περιστροφή. Έτσι κάθε φορά που ο αισθητήρας ανιχνεύει ένα σημείο στέλνει έναν παλμό στον μετατροπέα συχνότητας και αυτός με τη σειρά του στέλνει στην έξοδο του, δηλαδή στον ADC, μια τάση ανάλογη της συχνότητας παλμών που δέχεται. Επομένως με τη σχέση

$$N[rpm] = f_b \frac{60}{z} \quad (3.1)$$

Όπου f (Hz) η συχνότητα περάσματος και z ο αριθμός των μεταλλικών σημείων ανίχνευσης.

Στη διάταξη ο αισθητήρας προσέγγισης έχει εύρος ανίχνευσης 0-4mm και μέγιστη συχνότητα 2.000Hz. Ο μετατροπέας συχνότητας σήματος σε τάση έχει κωδικό εργαστηρίου ELTEM 130-1



Σχήμα 3.14: Αισθητήρας προσέγγισης

3.7 Αναλογοψηφιακός μετατροπέας (ADC)

Ο αναλογοψηφιακός μετατροπέας (ADC) μετατρέπει τα αναλογικά σήματα (τάση-ρεύμα) των αισθητήρων που συνδέονται με αυτόν (pressure transducers , αισθητήρες περιβαλλοντικών συνθηκών , μετατροπείς παλμού σε τάση) , σε ψηφιακά προκειμένου να μπορούν να επεξεργαστούν σε έναν Η/Υ. Ο ADC φέρει έναν αριθμό καναλιών εισόδου και η περιοχή λειτουργίας τους ορίζεται από τη μέγιστη και την ελάχιστη τάση εισόδου (V_{max} και V_{min} αντίστοιχα)

Η διακριτική ικανότητα του αναλογοψηφιακού μετατροπέα ορίζεται από τον παρακάτω τύπο ως η ελάχιστη μεταβολή του αναλογικού σήματος που προκαλεί μεταβολή στο ψηφιακό σήμα εξόδου.

$$\delta V = \frac{V_{max} - V_{min}}{2^N - 1} , \quad (3.2)$$

$V_{max} - V_{min}$: το max και το min σήμα εισόδου του ADC

Στην παραπάνω σχέση το N είναι ο αριθμός των δυαδικών ψηφίων (bit) του καταχωρητή δεδομένων και όσο μεγαλύτερος είναι αυτός ο αριθμός τόσο καλύτερη η διακριτική ικανότητα του ADC.

Ο ADC είναι φίρμας NI τύπου PCIe-6323 16bit (με κωδικό εργαστηρίου ELTEM133) (σχήμα 3.15) και συνδέεται στη μητρική του Η/Υ.



Σχήμα 3.15: Κάρτα αναλογοψηφιακού μετατροπέα

3.8 Επεξεργασία μετρήσεων

Η επεξεργασία των μετρήσεων, περιλαμβάνει τις σχέσεις που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και τα μεγέθη που υπολογίστηκαν [2][6]. Έτσι λοιπόν υπολογίστηκαν:

3.8.1 Πυκνότητα αέρα

Αρχικά υπολογίζεται η απόλυτη υγρασία του αέρα W

$$W = 0.62198 \frac{P_w}{P_b - P_w} \quad (3.3)$$

Όπου

P_w : η πίεση υδρατμών (bar)

P_b : η ατμοσφαιρική πίεση (bar)

Χρησιμοποιώντας την σχέση 3.4, υπολογίζουμε την πίεση κορεσμού P_{w_s} , για θερμοκρασία T .

$$\ln(p_{w_s}) = C_8 / T + C_9 + C_{10} \cdot T + C_{11} \cdot T^2 + C_{12} \cdot T^3 + C_{13} \cdot \ln(T) \quad (3.4)$$

Με

$$\begin{aligned}
 C_8 &= -5800.2206 \\
 C_9 &= 1.3914993 \\
 C_{11} &= 0.41764768 \cdot 10^{-4} \\
 C_{12} &= -0.14452093 \\
 C_{13} &= 6.549673
 \end{aligned}$$

Και από τη σχέση :

$$P_{w_s} = \frac{P_w}{RH} \quad (\text{Pa}) \quad (3.5)$$

Υπολογίζουμε την P_w με βάση τη σχετική υγρασία RH

Στη συνέχεια έχουμε τον υπολογισμό της απόλυτης υγρασίας κορεσμού

$$W_s = 0.62198 \frac{P_{w_s}}{P_b - P_{w_s}} \quad (3.6)$$

Επομένως, από τη σχέση της απόλυτης υγρασίας (3.7), υπολογίζεται η t_{wb} (θερμοκρασία περιβάλλοντος υγρού βολβού, °C)

$$W = \frac{(2501 - 2.381t_{wb})W_s - (t_{db} - t_{wb})}{2501 + 1.805t_{db} - 4.186t_{wb}} \quad (3.7)$$

.Η t_{db} είναι η θερμοκρασία περιβάλλοντος ξηρού βολβού (°C) και η τιμή της είναι αυτή που μας δίνει ο αισθητήρας μέτρησης συνθηκών περιβάλλοντος.

Έχοντας υπολογίσει την t_{wb} , υπολογίζουμε την πυκνότητα του ατμοσφαιρικού αέρα (ρ_0) με την ακόλουθη φόρμουλα εξισώσεων:

$$p_e = 3.25t_{w0}^2 + 18.6t_{w0} + 692 \quad (\text{Pa}) \quad (3.8)$$

$$p_p = p_e - p_b \left(\frac{t_{d0} - t_{w0}}{1500} \right) \quad (\text{Pa}) \quad (3.9)$$

$$\rho_0 = \frac{p_b - 0.378 p_p}{R(t_{d0} + 273.15)} \quad (\text{kg} / \text{m}^3) \quad (3.10)$$

με $R=287.1 \text{ J/kgK}$.

Στη διάταξη η πυκνότητα του αέρα σε θέση X υπολογίζεται ως εξής:

$$\rho_x = \rho_0 \left[\frac{t_{d0} + 273.15}{t_{dx} + 273.15} \right] \left[\frac{P_{sx} + P_b}{P_b} \right] \quad (\text{kg} / \text{m}^3) \quad (3.11)$$

Όπου P_{sx} : η στατική πίεση στη θέση X

Έτσι η πυκνότητα του αέρα στο fan (θέση 1) είναι :

$$\rho = \rho_0 \left[\frac{t_{d0} + 273.15}{t_{s1} + 273.15} \right] \left[\frac{P_{t1} + P_b}{P_b} \right] \quad (\text{kg} / \text{m}^3) \quad (3.12)$$

3.8.2 Ακροφύσια

Στα ακροφύσια πραγματοποιούνται οι ακόλουθοι υπολογισμοί :

$$\text{Alpha ratio:} \quad a = 1 - \left[\frac{\Delta P}{\rho_x R [t_{dx} + 273.15]} \right] \quad (3.13)$$

$$\text{Expansion factor :} \quad Y = 1 - 0.548(1 - a) \quad (3.14)$$

Ακόμη το ιξώδες του αέρα :

$$\mu = (17.23 + 0.048 t_d) \times 10^{-6} \quad (3.15)$$

Στη συνέχεια πραγματοποιείται ο υπολογισμός του συντελεστή παροχής C. Ο συντελεστής παροχής δίνεται από τις ακόλουθες σχέσεις:

$$C = 0.9986 - \left(\frac{7.006}{\sqrt{\text{Re}}} \right) + \left(\frac{134.6}{\text{Re}} \right) \quad (3.16)$$

Για $L/D=0.6$

$$C = 0.9986 - \left(\frac{6.688}{\sqrt{Re}} \right) + \left(\frac{131.5}{Re} \right) \quad (3.17)$$

Για $L/D=0.5$

Αρχικά γίνεται μια πρώτη εκτίμηση του $C = C_1$. Στη συνέχεια μέσω των σχέσεων 3.15-3.16, υπολογίζεται ο αριθμός Reynolds και από τη σχέση 3.17, υπολογίζουμε το καινούργιο συντελεστή παροχής C_2

$$Re = \frac{\sqrt{2}}{\mu} \cdot CD_6 Y \sqrt{\Delta P \cdot \rho} \quad (3.18)$$

. Αν :

$$|C_2 - C_1| > 10^{-6} \quad (3.19)$$

Τότε επαναλαμβάνουμε την ίδια διαδικασία χρησιμοποιώντας αυτή τη φορά το C_2 , μέχρι η διαδικασία να συγκλίνει.. Έχοντας υπολογίσει το συντελεστή παροχής στη συνέχεια, υπολογίζουμε την παροχή Q_5 των ακροφυσίων.

$$Q_5 = Y \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho_5}} \Sigma(CA_6) \quad (\text{m}^3/\text{h}) \quad (3.20)$$

3.8.3 Πιέσεις στο fan

Έχοντας υπολογίσει την παροχή $Q = Q_5$ (m^3/h), η δυναμική πίεση στο fan P_v (Pa), υπολογίζεται από την ταχύτητα V_2 (m/s) και την πυκνότητα ρ_2 (kg/m^3) (σχέση 3.10) στο fan αντίστοιχα με τις εξής εξισώσεις :

$$Q_2 = Q \left(\frac{\rho}{\rho_2} \right) \quad \text{m}^3/\text{h} \quad (3.21)$$

$$V_2 = \frac{Q_2}{A_2} \quad m/s \quad (3.22)$$

$$P_{V_2} = \frac{\rho_2 V_2^2}{2} \quad Pa \quad (3.23)$$

Με A_2 : το εμβαδόν της διατομής εξόδου του fan

Επομένως η ολική πίεση του fan, P_{t1} (Pa) είναι:

$$P_{t1} = P_s + P_{V_2} \quad (3.24)$$

3.8.4 Ισχύς εισόδου-εξόδου στο fan

Την τιμή της ισχύος εισόδου του fan, H , παρέχει ο energy analyzer, ενώ η ισχύς εξόδου υπολογίζεται παρακάτω.

Απόδοση του fan

Για τον υπολογισμό της ισχύς εξόδου του fan (H_0), είναι απαραίτητος ο υπολογισμός του συντελεστή συμπίεστος K_p καθώς το ρευστό δεν είναι ασυμπίεστο. Έτσι η ισχύς εξόδου δίνεται από τη σχέση :

$$H_0 = Q P_t K_p \quad (W) \quad (3.25)$$

Ο συντελεστής συμπίεστος K_p υπολογίζεται με την παρακάτω φόρμουλα:

$$x = \frac{P_t}{P_{t1} + P_b}$$

$$z = \left(\frac{\gamma - 1}{\gamma} \right) \left(\frac{\left[\frac{H}{Q} \right]}{P_{t1} + P_b} \right) \quad (3.26)$$

$$\rightarrow K_p = \left(\frac{\ln(1+x)}{x} \right) \left(\frac{z}{\ln(1+z)} \right)$$

3.8.5 Βαθμός απόδοσης-ολικός και στατικός

Ολικός Βαθμός απόδοσης του fan

Ο ολικός βαθμός απόδοσης του fan είναι ο λόγος της ισχύς εξόδου προς την ισχύ εισόδου:

$$n_t = \frac{QP_t K_p}{H} \quad (3.27)$$

Στατικός βαθμός απόδοσης του fan

Ο στατικός βαθμός απόδοσης του fan είναι ίσος με :

$$n_s = n_t \frac{P_s}{P_t} \quad (3.28)$$

Όπου P_s και P_t η στατική και η ολική πίεση του fan αντίστοιχα.

3.9 Πρόσκτηση δεδομένων (Data acquisition)

Τα μετρούμενα μεγέθη εισάγονται στο πρόγραμμα πρόσκτησης δεδομένων μέσω του αναλογοψηφιακού μετατροπέα (ADC). Ο αναλογοψηφιακός μετατροπέας βρίσκεται μαζί με τον H/Y σε μια καμπίνα , η οποία φέρει από τη μια πλευρά της τις αναλογικές εισόδους των καναλιών του ADC, υπό μορφή βύσματος BNC. Στον H/Y της καμπίνας είναι εγκατεστημένο το λογισμικό της κάρτας του ADC και το λογισμικό πρόσκτησης δεδομένων του εργαστηρίου με το οποίο καταγράφουμε τα δεδομένα των μετρήσεων και τα χαρακτηριστικά του περιγράφονται στην επόμενη παράγραφο.

3.10 Λογισμικό λήψης και επεξεργασίας μετρήσεων

Στον H/Y βρίσκεται εγκατεστημένο το λογισμικό λήψης δεδομένων το οποίο διαβάζει τις τιμές των τάσεων εισόδου της κάρτας του ADC και εξάγει τις τιμές των πραγματικών μεγεθών που μας ενδιαφέρουν, χρησιμοποιώντας τις καμπύλες βαθμονόμησης των οργάνων. Ακόμα στο λογισμικό λήψης δεδομένων εισάγεται η τιμή του ρεύματος και της ισχύος του energy analyzer μέσω ψηφιακής εισόδου και επιπλέον εισάγεται ο αριθμός των ακροφυσίων που χρησιμοποιούνται καθώς και τα Hz του inverter και τα σημεία μέτρησης. Δίνεται η δυνατότητα επιλογής των καναλιών, τα οποία θα μας δώσουν μια μέση τιμή του μεγέθους και μια τυπική απόκλιση , για έναν αριθμό δειγμάτων και μια συχνότητα δειγματοληψίας.

Το κύριο αρχείο εισόδου του λογισμικού φαίνεται στο σχήμα 3.16. Το αρχείο αυτό μας δίνει τα χαρακτηριστικά των μεγεθών που μετράμε δηλαδή: τον αριθμό του καναλιού (channel) , την περιγραφή του μεγέθους (position) , τις μονάδες μέτρησης των μεγεθών (units) , το εύρος της τάσης εισόδου του καναλιού (\pm τιμή) (range) , τον συντελεστή ενίσχυσης του σήματος (Gain), τον συντελεστή a της βαθμονόμησης (slope), τον συντελεστή b της βαθμονόμησης (offset) και τον τύπο της μέτρησης (Meas. Type). Ακόμη δίνεται η συχνότητα δειγματοληψίας και ο αριθμός δειγμάτων (Sampling Frequency – Number of Samples), η χρονική απόσταση μεταξύ κάθε δειγματοληψίας (Acquisition Time Interval (msec)), το επίπεδο εμπιστοσύνης % με βάση το οποίο θα υπολογίζεται το σφάλμα των steady measurements (steady measurements confidence level).

```
[Steady-Fast Response Use Flag]
1 0
[0:Bipolar 1:unipolar Flag Option from Automation and Measurements]
0
[Steady Measurements Settings]
[Start-Stop Channel]
0 15
[Sampling Frequency-Number of Samples]
300 300
[Channel-Position-Units-Range-Gain-Slope-Offset-MeasType(0:Gen,1:E,2:J,3:K,4:R,5:S,6:T,7:B,8:N,9:Freq,10:Rms-Qmin-Qmax)]
0 ,Pamb,mbar,+,-10, 1 50 600 0 0 0 0 0 0 0
1 ,RH,%,+,-10, 1 10 0 0 0 0 0 0 0 0
2 ,Tamb,C,+,-10, 1 10 -20 0 0 0 0 0 0 0
3 ,Ps5-Ps6,Pa,+,-5, 1 1012.162721 1.917729157 0 0 0 0 0 0 0
4 ,Ps5-Pamb,Pa,+,-5, 1 998.8502493 1.78109705 0 0 0 0 0 0 0
5 ,Pamb-Pt8,Pa,+,-5, 1 1007.787677 1.917364521 0 0 0 0 0 0 0
6 ,Tt5,C,+,-5, 1 10. 0 0 0 0 0 0 0 0
7 ,Tt8,C,+,-5, 1 10. 0 0 0 0 0 0 0 0
8 ,OPsbell,Pa,+,-5, 1 100.187455 -3.026223553 0 0 0 0 0 0 0
9 ,Pamb-Ps8,Pa,+,-5, 1 1051.078661 2.62400783 0 0 0 0 0 0 0
10 ,Tt2,C,+,-5, 1 100. -40 0 0 0 0 0 0 0
11 ,Speed,RPM,+,-10, 1 303.295721184114 16.002637506114 0 0 0 0 0 0 0
12 ,Ps5-Ps6,Pa,+,-5, 1 1029.742266 -1008.986499 0 0 0 0 0 0 0
13 ,Ps5-Pamb,Pa,+,-5, 1 1524.530765 -4531.336396 0 0 0 0 0 0 0
14 ,Pamb-Pt8,Pa,+,-5, 1 654.2745847 -1905.812412 0 0 0 0 0 0 0
15 ,Pamb-Ps8,Pa,+,-5, 1 637.9546074 -1896.407062 0 0 0 0 0 0 0
[Acquisition Time Interval (msec)]
1000
[Time Interval of Periodic Storage (sec)]
1000
[Steady Measurements Confidence Level]
95
[Fast Response Measurements NFFT]
1024
[Steady-Fast Response whole sample storage Flag]
0 0
Hole3Flag
0
```

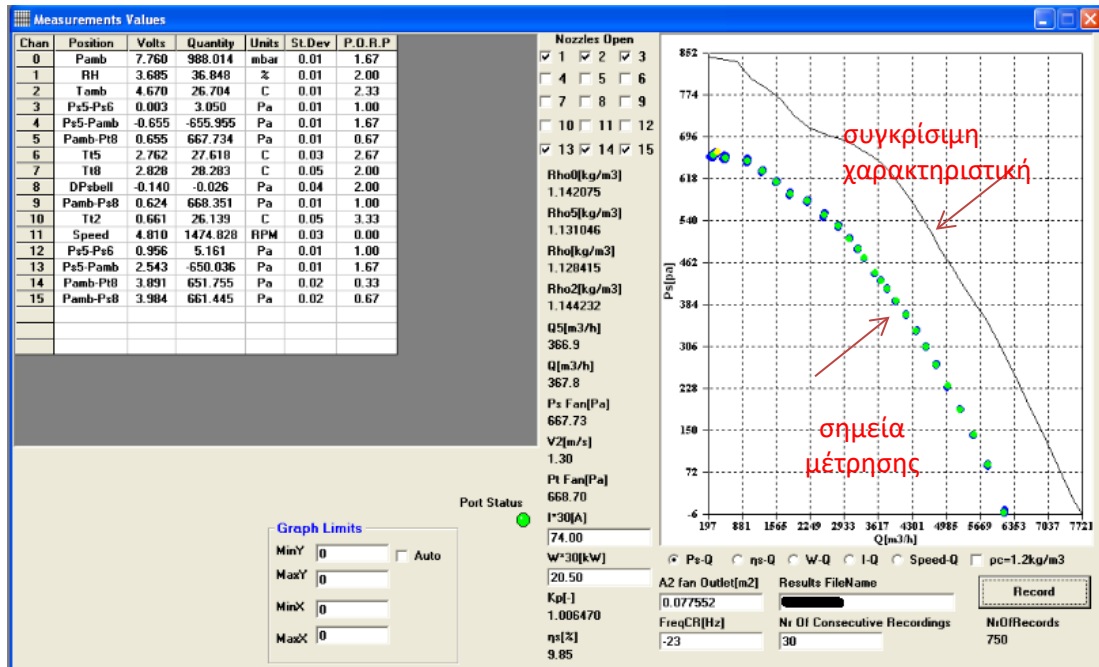
Σχήμα 3.16: Αρχείο εισόδου λογισμικού

Στην οθόνη του Η/Υ κατά τη λειτουργία του προγράμματος εμφανίζεται παράθυρο , το οποίο μας δίνει τις τιμές των μεγεθών που μετράμε σε πραγματικό χρόνο.

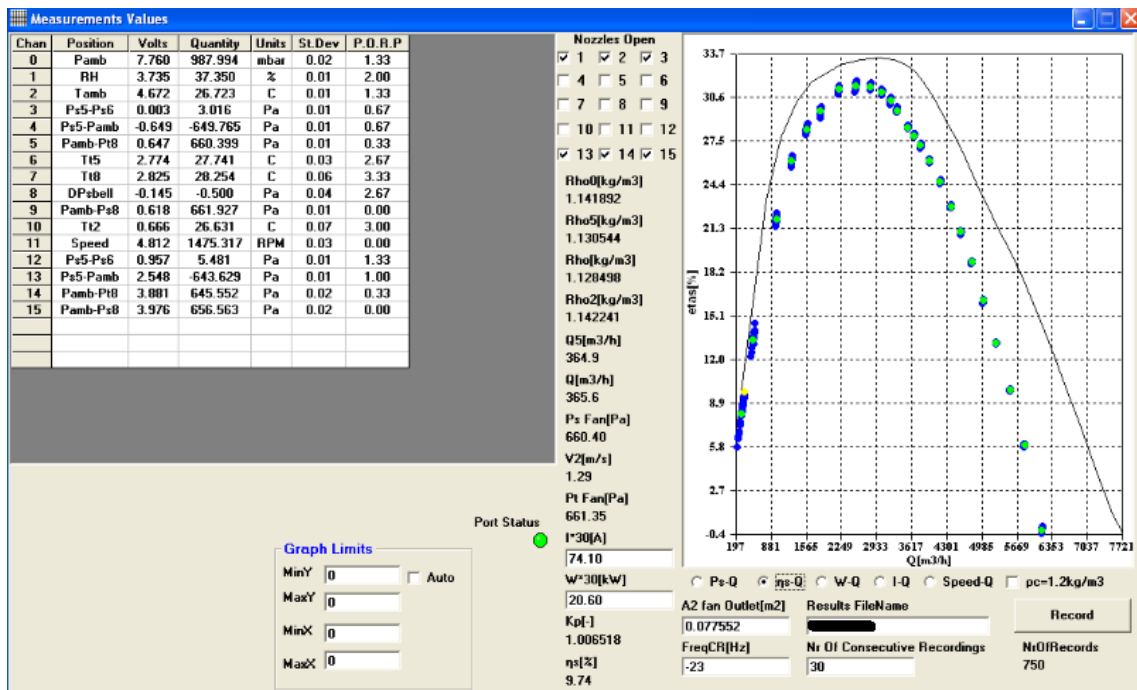
Επίσης στο παράθυρο αυτό φαίνονται τα διαγράμματα για τον fan:

- **Ps-Q** (σχήμα3.17)
- **ns-Q** (σχήμα 3.18)
- **W-Q** (σχήμα 3.19)
- **I-Q** (σχήμα 3.20)
- **Speed-Q**(σχήμα 3.21)

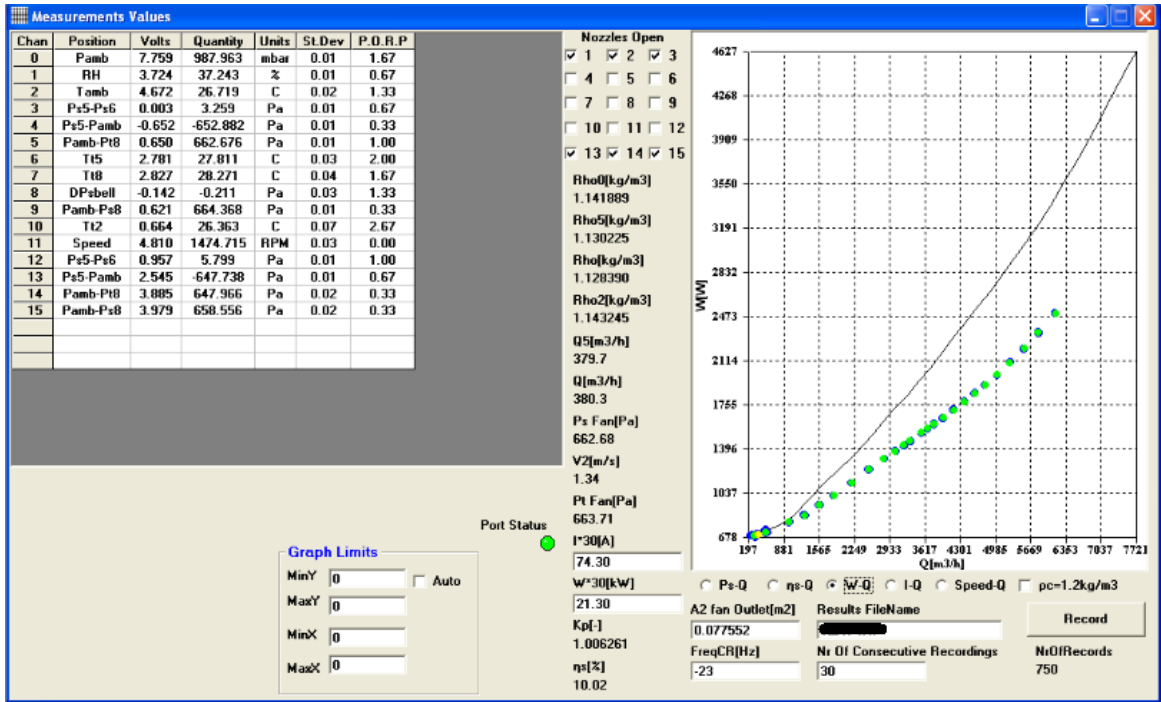
Δίνεται: η δυνατότητα σύγκρισης των μετρήσεων με άλλες χαρακτηριστικές καμπύλες όπως φαίνεται στα σχήματα, η δυνατότητα εστίασης (zoom) στο σημείο της καμπύλης που θέλουμε να εξετάσουμε.



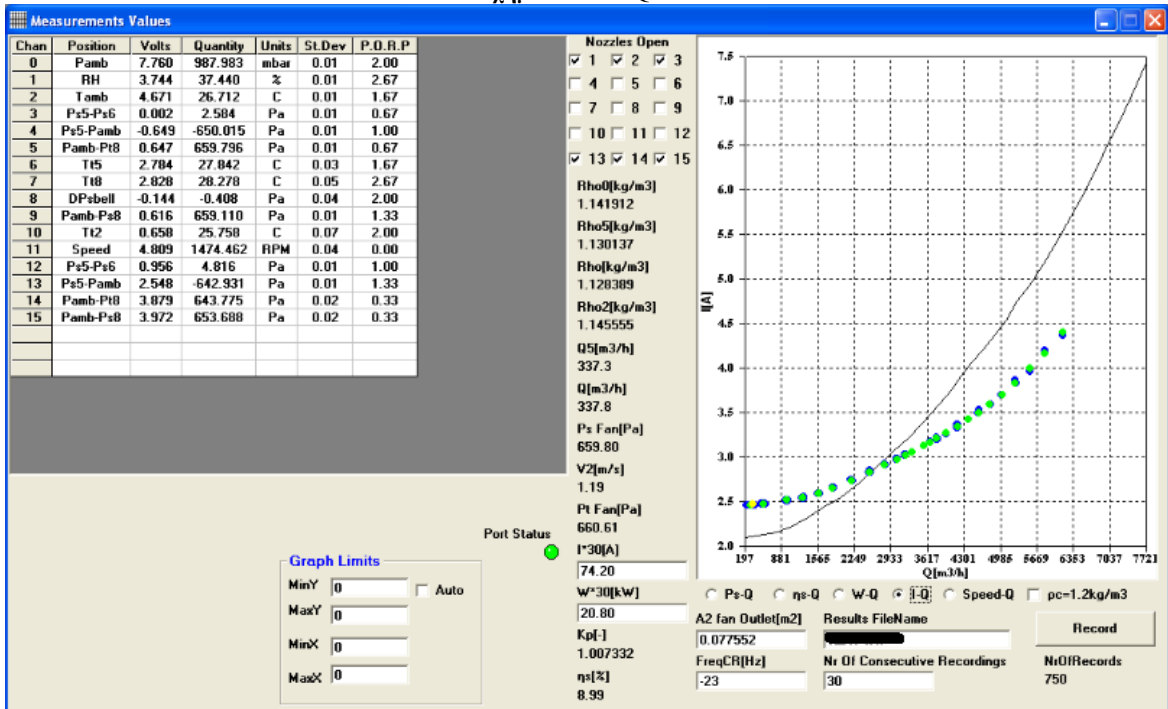
Σχήμα 3.17: Ps-Q



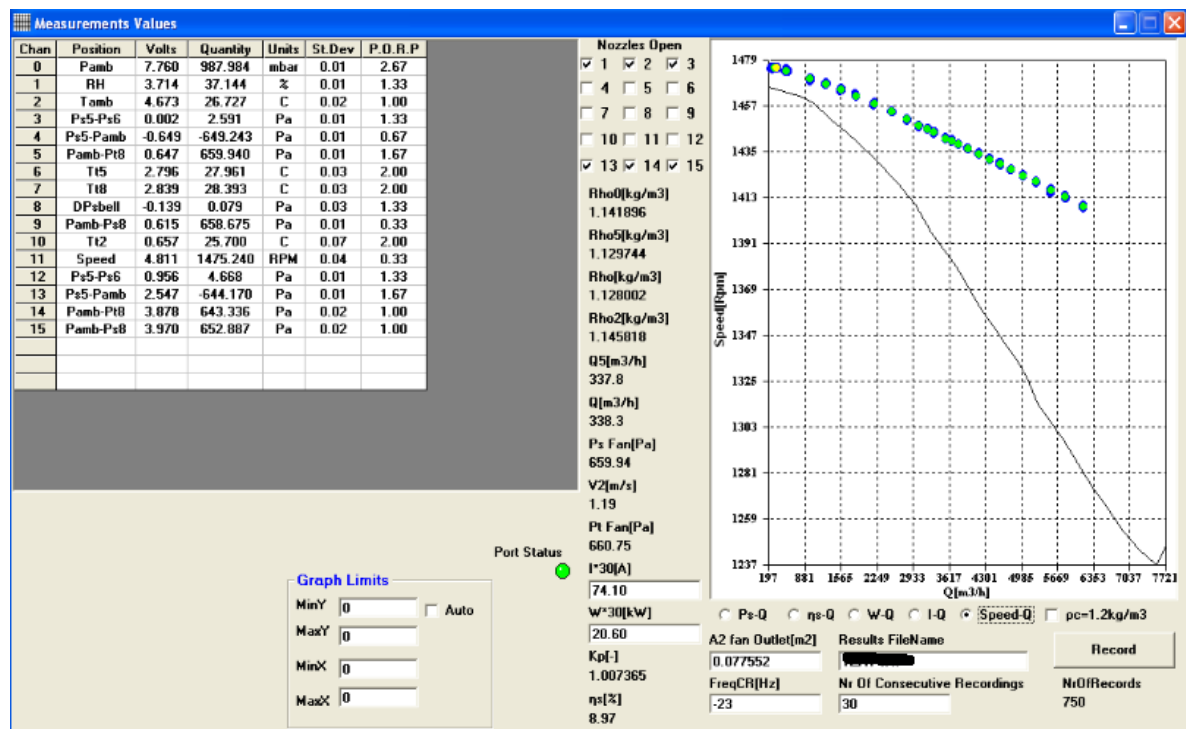
Σχήμα 3.18: ns-Q



Σχήμα 3.19: W-Q



Σχήμα 3.20: I-Q



Σχήμα 3.21: Speed-Q

3.11 Τρόπος εκτέλεσης μετρήσεων

Προκειμένου να πραγματοποιηθεί η λήψη μετρήσεων ο χειριστής αρχικά, πρέπει να θέσει σε λειτουργία όλα τα μετρητικά όργανα, προκειμένου να ζεσταθούν και να σταθεροποιηθούν. Στη συνέχεια ανάλογα με τον προς μέτρηση φυσητήρα, πρέπει να επιλεγθούν τα ακροφύσια που θα χρησιμοποιηθούν. Έτσι, αφού ανοίξουμε το παράθυρο του settling chamber, επιλέγουμε ποια ακροφύσια θα μείνουν ανοιχτά και ποια θα ταπωθούν. Έπειτα ανοίγουμε στον Η/Υ το πρόγραμμα πρόσκτησης δεδομένων και μέσω μιας επιλογής που υπάρχει στο πρόγραμμα μηδενίζουμε τις ενδείξεις των οργάνων, αφαιρώντας τα offset τους. Αυτό πρέπει να γίνεται πριν από κάθε έναρξη μέτρησης. Στη συνέχεια επιλέγουμε στο πρόγραμμα τον αριθμό των ακροφυσίων που θα χρησιμοποιηθούν και αφού δώσουμε όνομα στο αρχείο εξόδου είμαστε έτοιμοι να ξεκινήσουμε τη μέτρηση. Θέτουμε λοιπόν σε λειτουργία τον φυσητήρα, δίνουμε μια τιμή Hz στον inverter προσέχοντας πάντα να μην ξεπεράσουμε τα όρια των μεταλλακτών πίεσης, και περνάμε στο πρόγραμμα το εμβαδόν της διατομής εξόδου του προς μέτρηση φυσητήρα. Αφού σταθεροποιηθούν οι ενδείξεις των οργάνων πατάμε το κουμπί record και μόλις ολοκληρωθεί η καταγραφή μπορούμε να προχωρήσουμε στο επόμενο σημείο της χαρακτηριστικής καμπύλης, αλλάζοντας τα Hz του inverter και κάνοντας την ίδια διαδικασία. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων θα πρέπει να προσέχουμε συνεχώς τα αποτελέσματα μέσα από το πρόγραμμα, διότι αν διαπιστωθεί κάποια ανωμαλία σε αυτά, αυτό σημαίνει πιθανή βλάβη στο σύστημα και θα πρέπει να μηδενίσουμε τις στροφές του φυσητήρα και του inverter.

4

Πιστοποίηση και διερεύνηση λειτουργίας εγκατάστασης

Στο κεφάλαιο αυτό πραγματοποιείται διερεύνηση λειτουργίας της εγκατάστασης. Πιο αναλυτικά, προκειμένου να πραγματοποιηθεί η πιστοποίηση της εγκατάστασης, έγιναν μετρήσεις στον αγωγό εξόδου (οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν χωρίς φυσητήρα στην έξοδο) , χρησιμοποιώντας στη μία περίπτωση 3hole-probe και στη δεύτερη περίπτωση rakes. Από τις μετρήσεις αυτές υπολογίστηκαν τα προφίλ ταχυτήτων, επιλέγοντας διαφορετικό συνδυασμό ακροφυσίων κάθε φορά. Ακόμη , έγινε σύγκριση της παροχής των ακροφυσίων με αυτή στην έξοδο της εγκατάστασης και ελέγχθηκε κατά πόσο η επιλογή των ανοιχτών ακροφυσίων, δηλαδή η επιλογή των ακροφυσίων που χρησιμοποιούνται στη μέτρηση, επηρεάζει τα αποτελέσματα των μετρήσεων μας.

4.1 Διερεύνηση λειτουργίας με 3hole-probe

Ο σωλήνας πίεσης τριών οπών (3hole -probe) , περιλαμβάνει στο ένα άκρο του τρεις οπές , οι οποίες σχηματίζουν επίπεδο κάθετο στο σωλήνα. Οι οπές αυτές είναι ανεξάρτητες και μέσω μικρών συριγγίων οδηγούνται στο άλλο άκρο του σωλήνα σε τρία ξεχωριστά σωληνάκια. Όταν ο σωλήνας είναι τοποθετημένος έτσι ώστε το επίπεδο των οπών να περιέχει το διάνυσμα της ταχύτητας , τότε αυτό σχηματίζει μια γωνία α με το διάνυσμα της κεντρικής οπής.

Λόγω της γεωμετρίας λοιπόν της κεφαλής του σωλήνα από κάθε οπή θα προκύπτει διαφορετική πίεση (P_0 - P_1 - P_3). Ο συσχετισμός των πιέσεων που λαμβάνουμε από τις 3 οπές μας δίνει τα χαρακτηριστικά του πεδίου ροής.

Ο σωλήνας πίεσης τοποθετείται στον αγωγό εξόδου (σχήμα 4.1) του settling chamber και πραγματοποιείται ακτινική σάρωση του αγωγού για κάθε ακροφύσιο καθώς και για συνδυασμούς ακροφυσίων. Για τη μέτρηση της ακτινικής θέσης R (mm), χρησιμοποιείται φορείο (carriage), στο οποίο είναι προσαρμοσμένος να ολισθαίνει ο probe , μέσω μικρού ηλεκτρικού κινητήρα.

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν για τρεις διαφορετικές γωνίες τοποθέτησης του 3hole (0^0 , 60^0 , 120^0). Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων , προκύπτουν τα προφίλ ταχυτήτων για κάθε ανοιχτό ακροφύσιο, καθώς και για συνδυασμό ακροφυσίων. Επίσης εξετάζεται το κατά πόσο η επιλογή του κεντρικού ακροφυσίου επηρεάζει τη ροή και κατά συνέπεια τις μετρήσεις.



Σχήμα 4.1: Τοποθέτηση 3hole στον αγωγό εξόδου της εγκατάστασης

4.1.1 Καμπύλες βαθμονόμησης

Οι καμπύλες βαθμονόμησης υπολογίζονται με βάσει της σχέσεις 4.1-4.3 [5]. Επομένως έχουμε τρεις συντελεστές:

- K_{pt} → συντελεστής ολικής πίεσης
- K_q → συντελεστής δυναμικής πίεσης
- K_a → συντελεστής γωνίας α

Όπου:

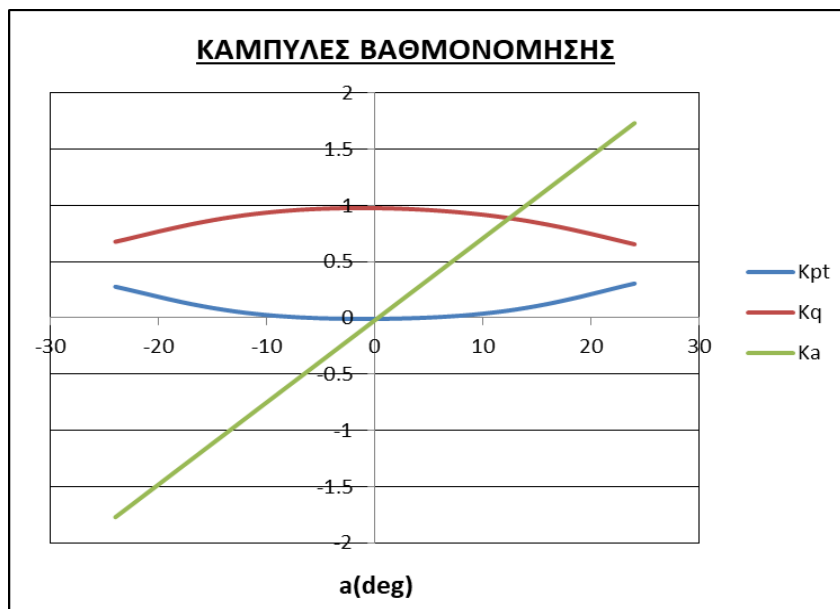
$$K_a = \frac{P_3 - P_1}{\Delta P} \quad (4.1)$$

$$K_{pt} = \frac{P_{tref} - P_0}{q_{ref}} \quad (4.2)$$

$$K_q = \frac{\Delta P}{q_{ref}} \quad (4.3)$$

Με την q_{ref} να ισούται με τη δυναμική πίεση και την P_{tref} με την ολική πίεση.

Επομένως οι καμπύλες βαθμονόμησης, για γωνία α (από -24° μέχρι 24°), παρουσιάζονται στο σχήμα 4.2.



Σχήμα 4.2: Καμπύλες βαθμονόμησης 3hole

4.1.2 Αναγωγή αποτελεσμάτων

Η διεξαγωγή μετρήσεων με τον 3-hole, αποσκοπεί στην εξαγωγή των προφίλ ταχυτήτων, στην έξοδο της εγκατάστασης καθώς και στη σύγκριση της παροχής που έχουμε στα ακροφύσια με αυτή που έχουμε στην έξοδο της εγκατάστασης, προκειμένου να γίνει η πιστοποίηση της ορθής λειτουργίας αυτής.

Οι ποσότητες που μετράμε για την αναγωγή των αποτελεσμάτων είναι:

1. Πίεση περιβάλλοντος (απόλυτη) **Pamb**, Θερμοκρασία περιβάλλοντος **Tamp**, Σχετική υγρασία αέρα **RH**. Τα μεγέθη αυτά μετρήθηκαν με ψηφιακό αισθητήρα μέτρησης ατμοσφαιρικών συνθηκών.

2. Διαφορά πιέσεων και μέτρηση θερμοκρασίας
 - στα ακροφύσια : $\Delta P_S (P_{S1} - P_{S2})$, $P_{S1} - P_{amb}$, T_{d5}
 - πριν την έξοδο του settling chamber : $P_{amb} - P_t$ και T_{d8}

3. Από τον 3-hole: $P_0 - P_{amb}$, $P_0 - P_3$, $P_3 - P_1$

Έτσι λοιπόν από τη μέτρηση των συνθηκών περιβάλλοντος,

P_{amb}, T_{amb}, RH , υπολογίζεται η πυκνότητα του αέρα περιβάλλοντος
 $\rightarrow Rho_0$ και στη συνέχεια η πυκνότητα του αέρα στα ακροφύσια $\rightarrow Rho_5$.

Με τη μέτρηση του ΔP_s των ακροφυσίων γίνεται ο υπολογισμός της παροχής σε εκείνη τη θέση, Q_5 , απ' όπου με τη διόρθωση των πυκνοτήτων γίνεται υπολογισμός της παροχής στην έξοδο της εγκατάστασης,

$$Q = Q_5 \frac{Rho_5}{Rho} \quad (4.4)$$

Στη συνέχεια με χρήση της δυναμικής πίεσεως $q = \frac{\Delta P}{K_q}$, υπολογίζεται η ταχύτητα της ροής

$$V = \sqrt{\frac{2q}{Rho}} \quad (4.5)$$

και συσχετιζόμενη με τη γωνία a υπολογίζεται η αξονική ταχύτητα

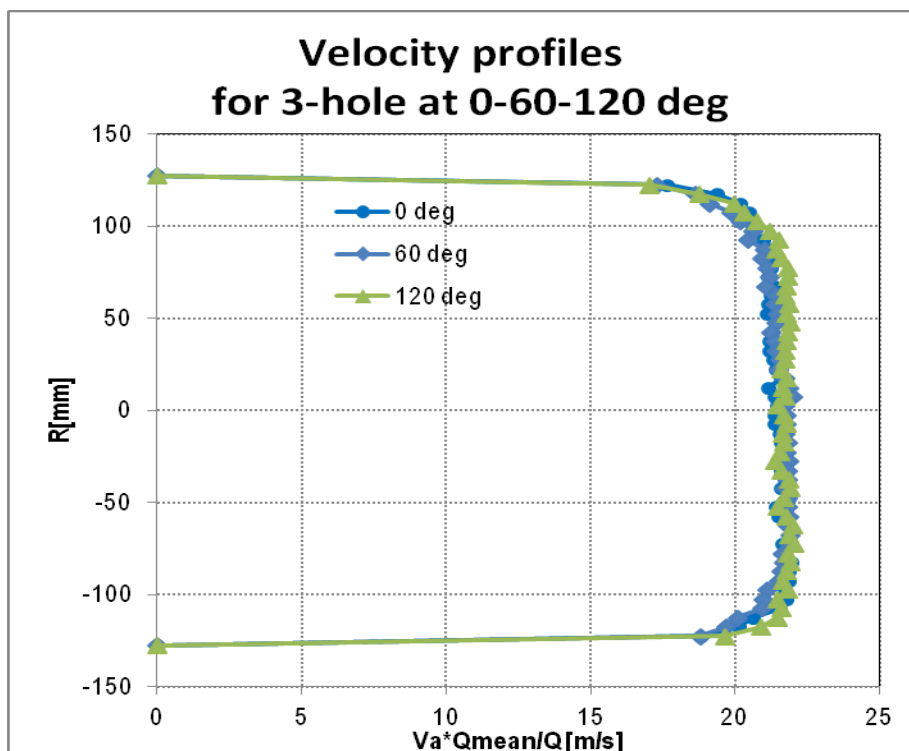
$$V_a = V \cos\left(\frac{a \cdot \pi}{180}\right) \quad (4.6)$$

Τέλος γίνεται μια διόρθωση της ταχύτητας αυτής έτσι ώστε να λάβουμε υπόψη την μεταβολή της παροχής μεταξύ των διαφορετικών σημείων μέτρησης

$$\rightarrow V_a \cdot \frac{Q_{mean}}{Q}$$

4.1.3 Αποτελέσματα μετρήσεων

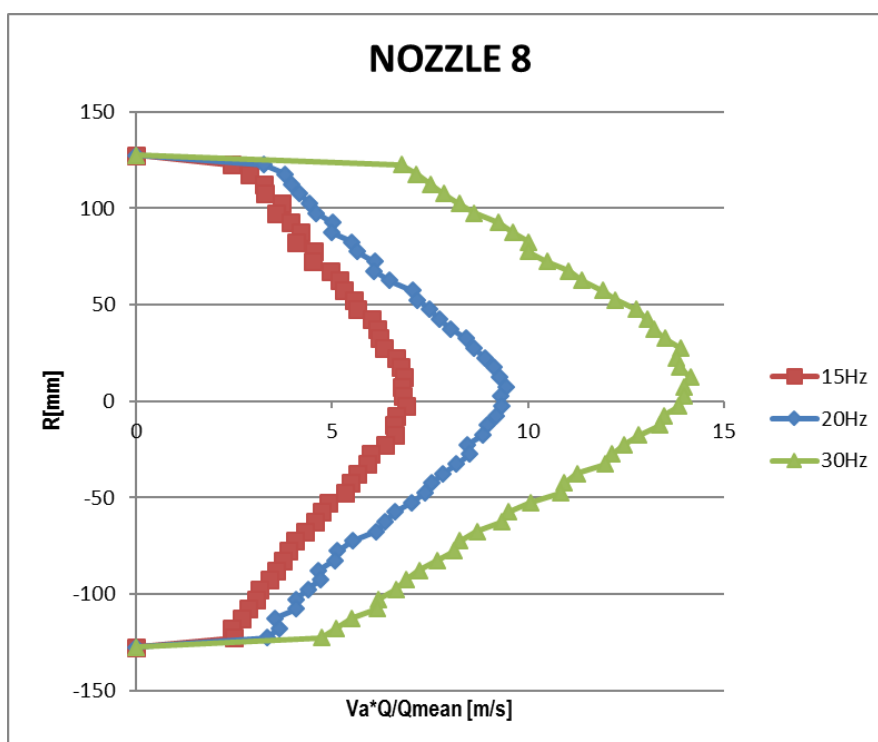
Αρχικά παρουσιάζονται τα προφίλ ταχυτήτων για διαφορετικές γωνίες τοποθέτησης του 3-hole, έτσι ώστε να ελεγχθεί κατά πόσο η γωνία τοποθέτησης του 3-hole επηρεάζει τα αποτελέσματα. Πιο συγκεκριμένα λήφθηκαν μετρήσεις ανά 60° , χρησιμοποιώντας τα ακροφύσια 1-3-15 (Σχήμα 4.3).



Σχήμα 4.3: Προφίλ ταχύτητας για γωνίες τοποθέτησης του 3hole σε 0-60-120 μοίρες

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.3 η γωνία τοποθέτησης του 3-hole δεν επηρεάζει σημαντικά τα προφίλ ταχυτήτων, άρα έχουμε περιφερειακή ομοιομορφία.

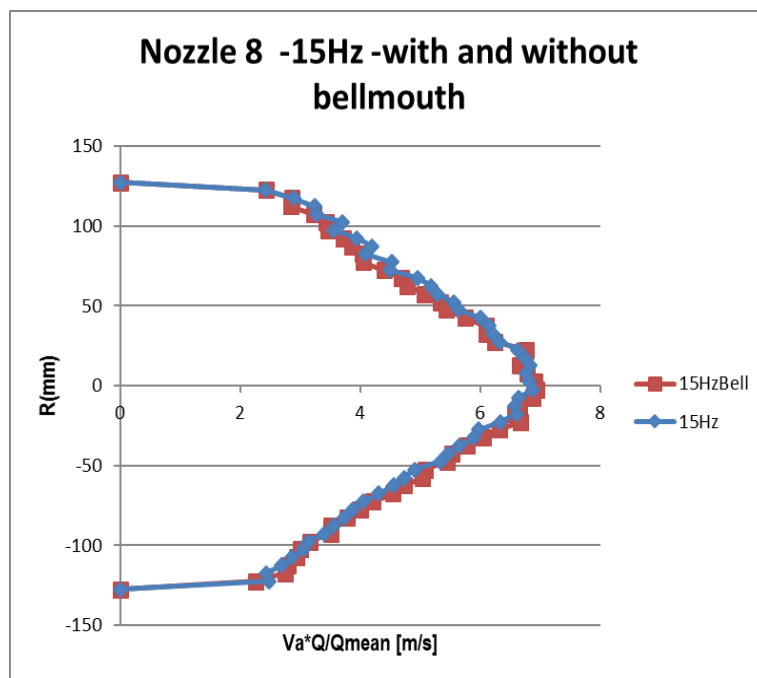
Στη συνέχεια εξετάζεται το προφίλ ταχυτήτων με ανοιχτό το 8^ο ακροφύσιο για διάφορα Hz (15-20-30 Hz), (σχήμα 4.4).



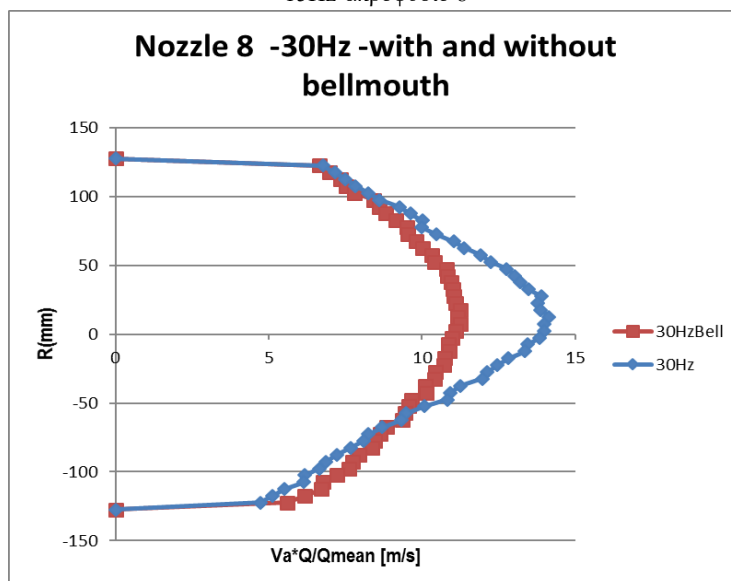
Σχήμα 4.4 : Προφίλ ταχύτητας για 15-20-30 Hz με ανοιχτό το 8^ο ακροφύσιο

.Παρατηρούμε ότι έχουμε αυξημένη ταχύτητα , κυρίως στο κέντρο του αγωγού εξόδου και αυτό συμβαίνει διότι ο η δέσμη του αέρα που περνά από το ακροφύσιο δεν κατανέμεται ομοιόμορφα στο settling chamber, αλλά οδηγείται σχεδόν απευθείας στον αγωγό εξόδου

Ακολούθησε μέτρηση του προφίλ, με τη τοποθέτηση του bellmouth στον αγωγό εξόδου της εγκατάστασης (όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 2.2.4). Στόχος ήταν η ομαλοποίηση της ροής στην έξοδο, αναμένοντας καλύτερα προφίλ ταχυτήτων. Τα αποτελέσματα πριν και μετά την τοποθέτηση του bellmouth μας δίνουν συγκριτικά τα σχήματα 4.5 , 4.6:



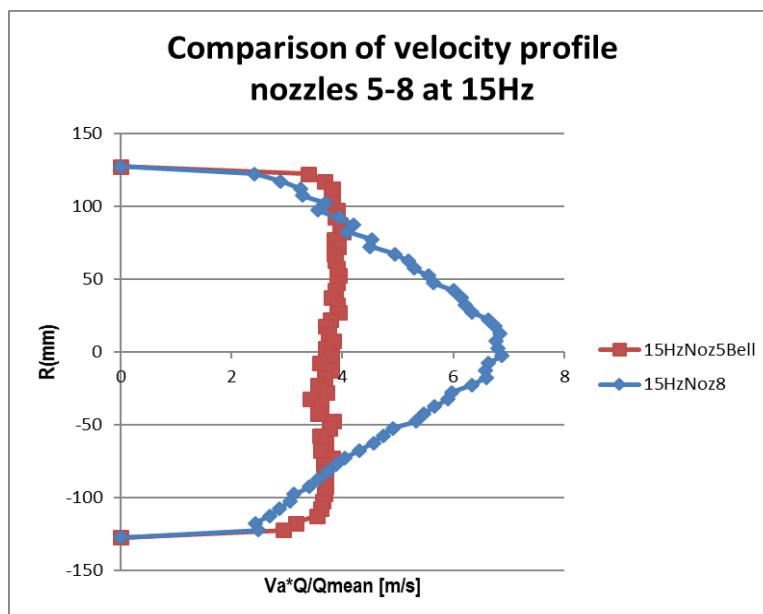
Σχήμα 4.5 : Σύγκριση προφίλ ταχυτήτων πριν και μετά την τοποθέτηση Bellmouth 15Hz-ακροφύσιο 8



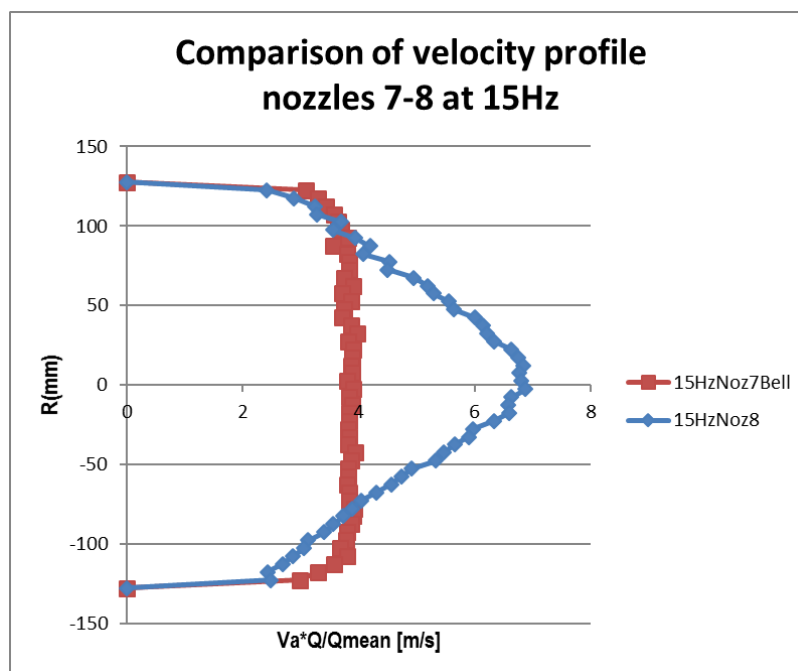
Σχήμα 4.6 : Σύγκριση προφίλ ταχυτήτων πριν και μετά την τοποθέτηση Bellmouth 30Hz-ακροφύσιο 8

Για τα 15 Hz δεν παρατηρείται σημαντική αλλαγή στο προφίλ, ωστόσο όμως στα 30 Hz, παρατηρούμε σημαντική μεταβολή, περίπου 3m/s, αποδίδοντας πιο ομοιόμορφη ροή κατά τη διάμετρο του αγωγού

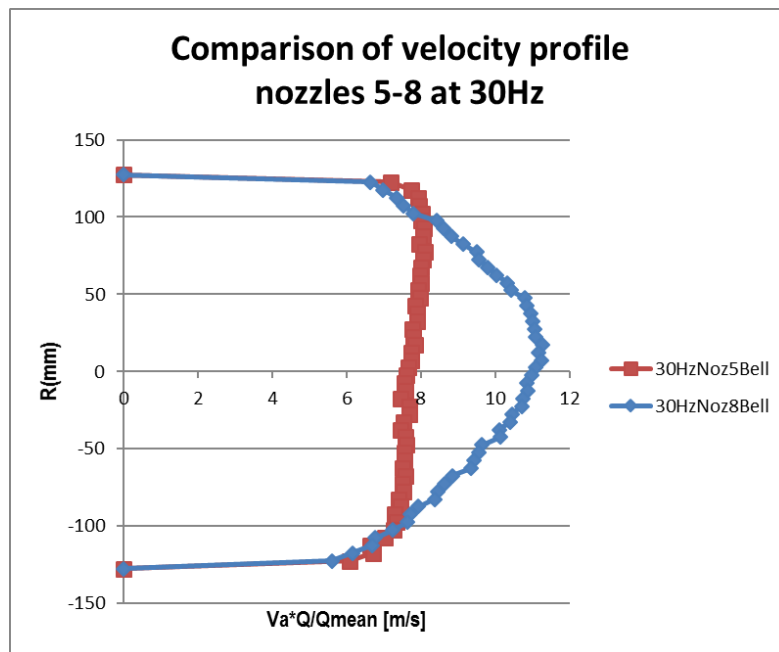
Εμβαθύνοντας περισσότερο στη μελέτη της λειτουργίας του 8^{ου} ακροφυσίου, συγκρίναμε τα προφίλ ταχυτήτων του, με 2 άλλων ακροφυσίων, του 5^{ου} και του 7^{ου}, στα ίδια Hz. Τα αποτελέσματα μας απεικονίζονται στα σχήματα 4.7-4.10:



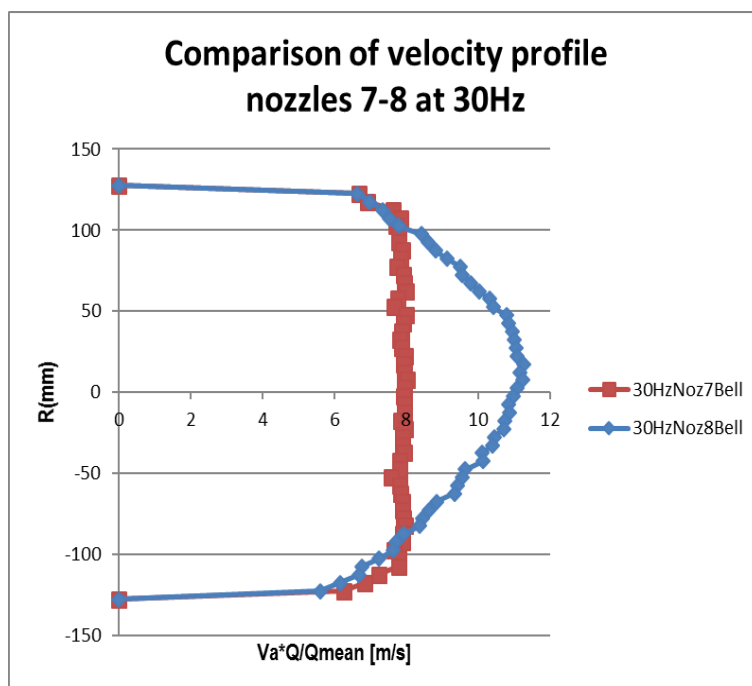
Σχήμα 4.7 : Σύγκριση προφίλ ταχυτήτων για το 5^ο και το 8^ο ακροφύσιο στα 15Hz



Σχήμα 4.8 : Σύγκριση προφίλ ταχυτήτων για το 7^ο και το 8^ο ακροφύσιο στα 15Hz



Σχήμα 4.9 : Σύγκριση προφίλ ταχυτήτων για το 5^ο και το 8^ο ακροφύσιο στα 30Hz

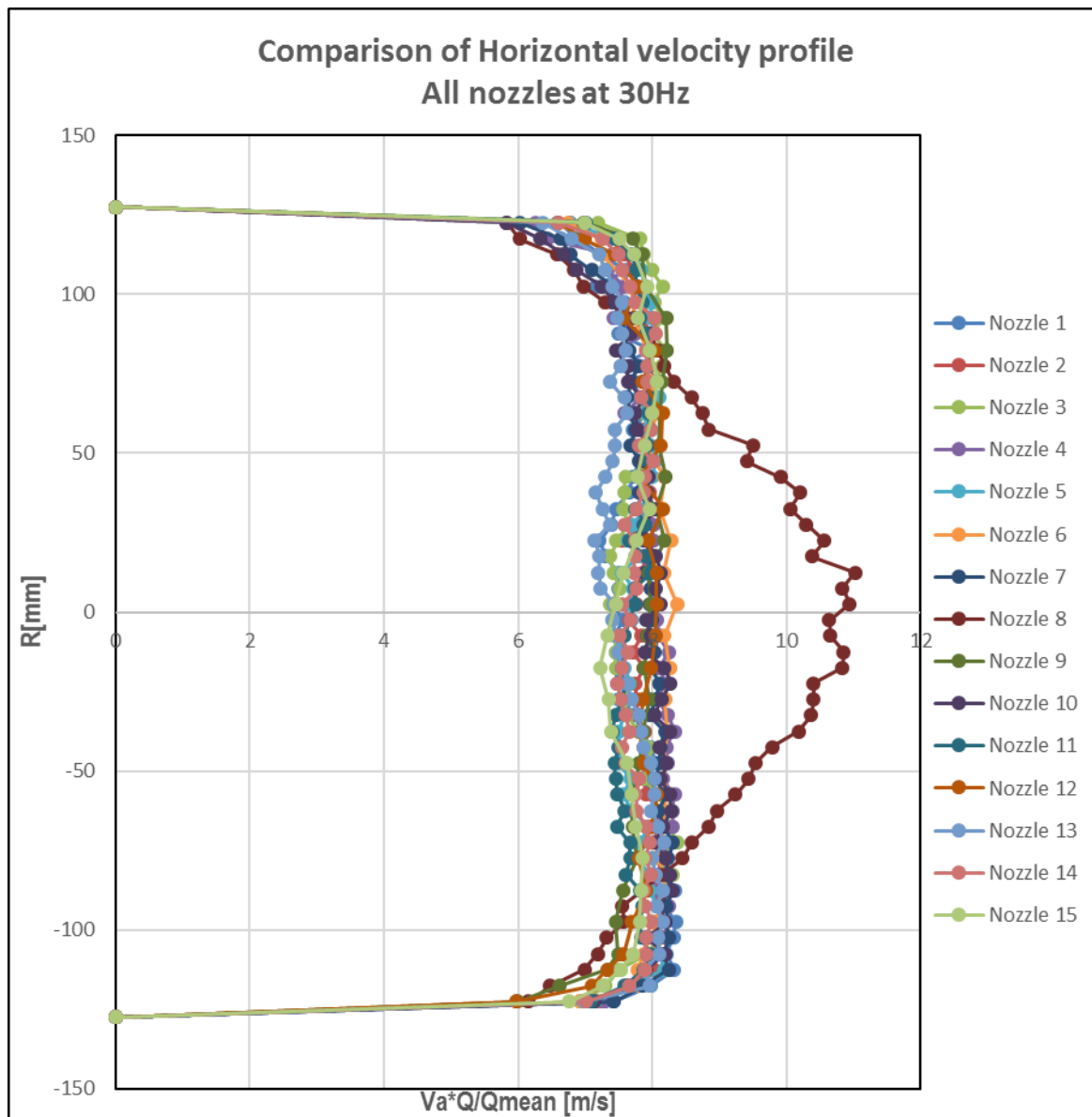


Σχήμα 4.10 : Σύγκριση προφίλ ταχυτήτων για το 7^ο και το 8^ο ακροφύσιο στα 30Hz

Τα ακροφύσια 5 και 7 αποδίδουν όμοια προφίλ ταχυτήτων για τις δεδομένες παροχές αέρα, ωστόσο όμως διαφοροποιούνται με τα προφίλ του 8^{ου} ακροφυσίου, επιβεβαιώνοντας έτσι το γεγονός ότι η κατανομή της πίεσης στο settling chamber κατά τη λειτουργία του 8^{ου} ακροφυσίου, δεν είναι ομοιόμορφη.

Βλέποντας την απόκλιση αυτή που μας δίνει το 8^ο ακροφύσιο και θέλοντας να έχουμε μία πιο ξεκάθαρη εικόνα στο σύνολο των ακροφυσίων, υπολογίστηκαν και

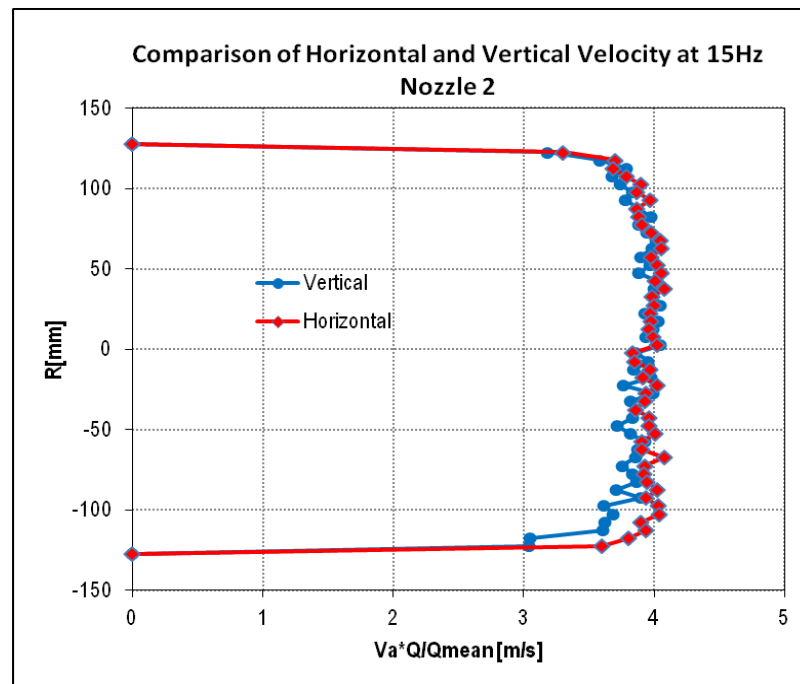
αποδόθηκαν τα προφίλ ταχυτήτων, για κάθε ακροφύσιο ξεχωριστά στα 30 Hz. Το σχήμα 4.11 μας δίνει τα προφίλ ταχυτήτων στην οριζόντια διεύθυνση :



Σχήμα 4.11 : Σύγκριση προφίλ ταχυτήτων για όλα τα ακροφύσια

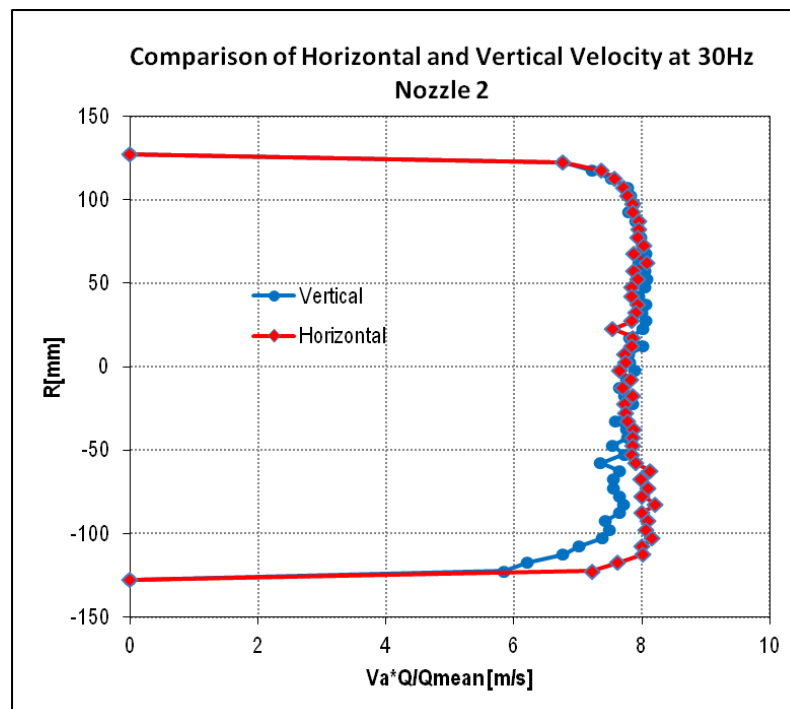
Παρατηρούμε ότι όλα τα ακροφύσια εκτός του 8^{ου} μας δίνουν σχεδόν όμοια προφίλ ταχυτήτων, όπως ήταν αναμενόμενο. Προκειμένου λοιπόν να είμαστε αξιόπιστοι στις μετρήσεις μας, θα πρέπει να διερευνήσουμε τον αποκλεισμό του 8^{ου} ακροφυσίου από τη διαδικασία λήψης μετρήσεων.

Συνεχίζοντας τη διερεύνηση, πραγματοποιήθηκε σύγκριση των προφίλ μεταξύ της οριζόντιας και της κατακόρυφης συνιστώσας της ταχύτητας, όπου επιλέχθηκαν τα ακροφύσια 2, 7 και 8 στα 15 και τα 30 Hz. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στα σχήματα 4.12-4.17.



Σχήμα 4.12 : Σύγκριση προφίλ κατακόρυφης και οριζόντιας συνιστώσας ταχύτητας στα 15 Hz- Ακροφύσιο 2

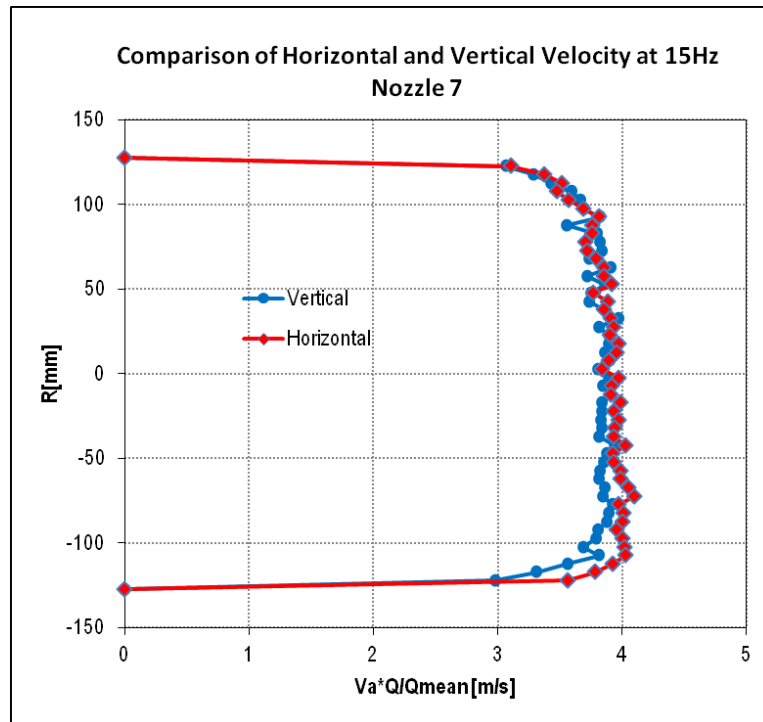
Ανάγοντας την ταχύτητα στην μέση οριζόντια και τη μέση κατακόρυφη παροχή έχουμε μια διαφορά της τάξεως του 4,06%, την οποία θέλουμε να επαληθεύσουμε και στα 30Hz.



Σχήμα 4.13 : Σύγκριση προφίλ κατακόρυφης και οριζόντιας συνιστώσας ταχύτητας στα 30Hz- Ακροφύσιο 2

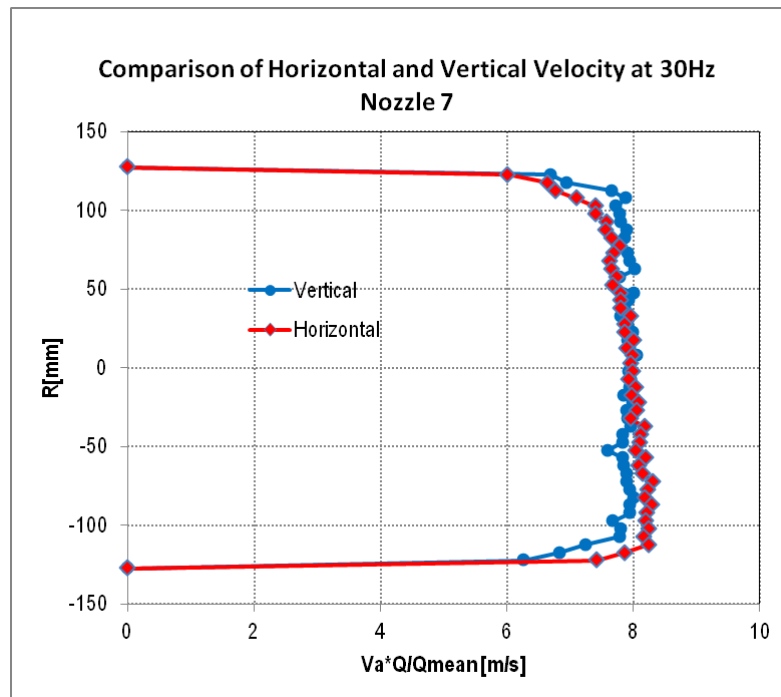
Στα 30 Hz , πράγματι η διαφορά εντοπίζεται στο 4,08%.

Συνεχίζοντας με το 7^ο ακροφύσιο έχουμε :



Σχήμα 4.14 : Σύγκριση προφίλ κατακόρυφης και οριζόντιας συνιστώσας ταχύτητας στα 15Hz- Ακροφύσιο 7

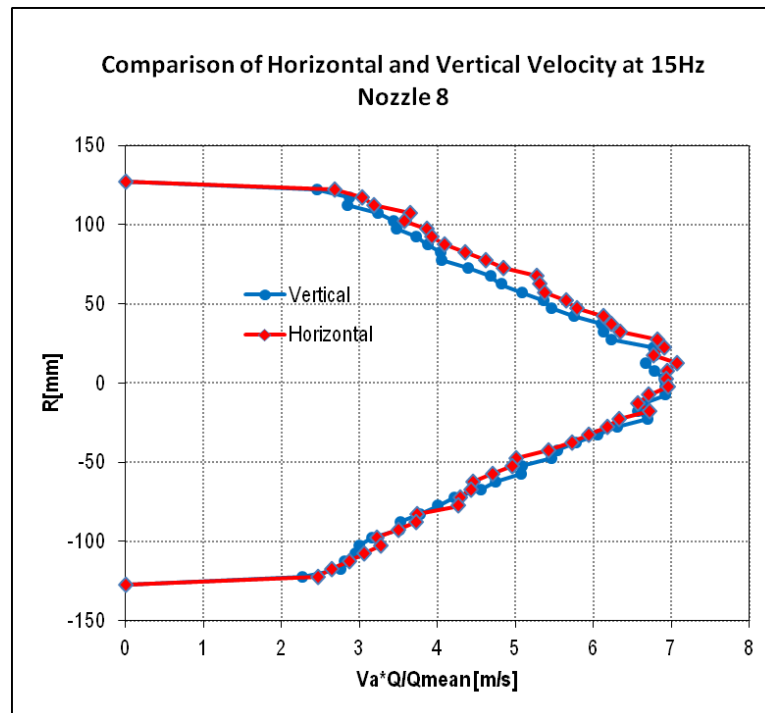
Η διαφορά της οριζόντιας και της κατακόρυφης συνιστώσας υπολογίζεται 3,22%. Ενώ στα 30 Hz:



Σχήμα 4.15 : Σύγκριση προφίλ κατακόρυφης και οριζόντιας συνιστώσας ταχύτητας στα 30Hz- Ακροφύσιο 7

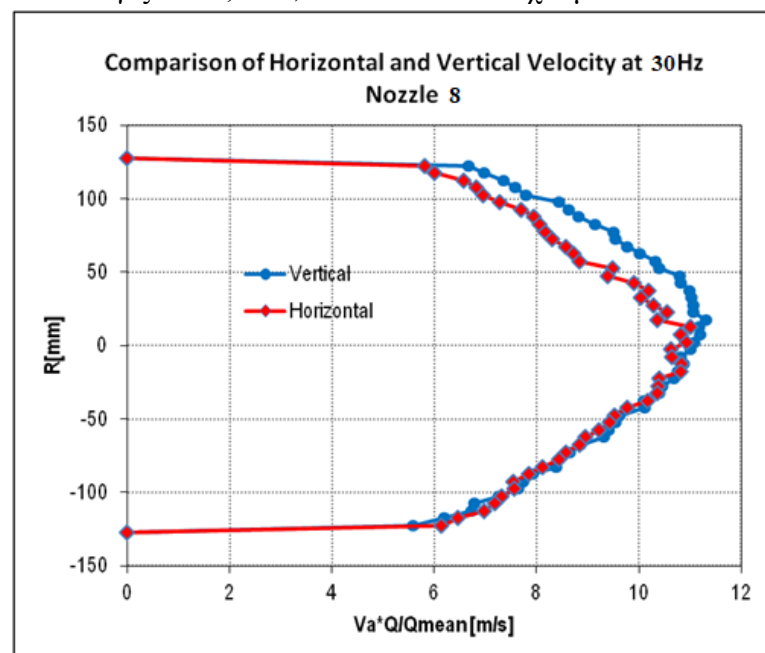
Η διαφορά υπολογίζεται στο 1%. Αυξάνοντας λοιπόν την παροχή, η διαφορά μεταξύ της οριζόντιας και της κατακόρυφης συνιστώσας παρατηρούμε ότι μειώνεται.

Όσον αφορά το ακροφύσιο 8 στα 15 Hz έχουμε:



Σχήμα 4.16 : Σύγκριση προφίλ κατακόρυφης και οριζόντιας συνιστώσας ταχύτητας στα 15Hz- Ακροφύσιο 8

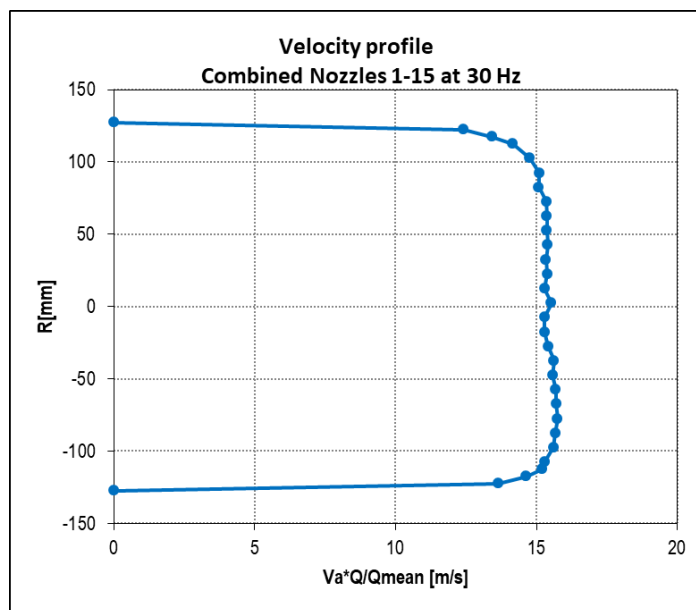
Η διαφορά υπολογίζεται 3,84%, ενώ στα 30 Hz έχουμε:



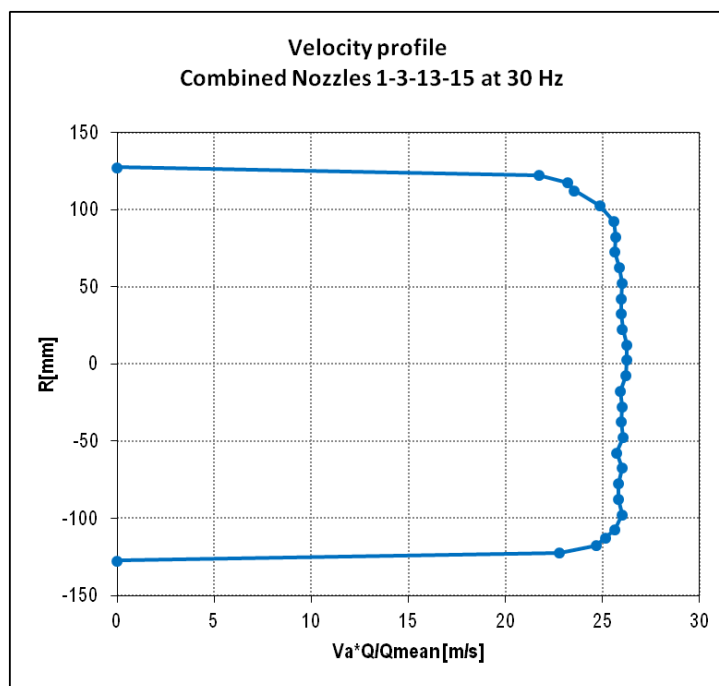
Σχήμα 4.17 : Σύγκριση προφίλ κατακόρυφης και οριζόντιας συνιστώσας ταχύτητας στα 30Hz- Ακροφύσιο 8

Η διαφορά υπολογίζεται ίση με 6,05%. Εδώ αντιθέτως, παρατηρούμε ότι όσο αυξάνεται η παροχή η διαφορά μεταξύ της οριζόντιας και της κατακόρυφης συνιστώσας αυξάνεται.

Στη συνέχεια μελετήθηκαν τα αποτελέσματα που επιφέρει ο συνδυασμός των ακροφυσίων. Πιο συγκεκριμένα τα σχήματα 4.18 και 4.19 παρουσιάζονται τα προφίλ ταχυτήτων για τον συνδυασμό των 1-15 στα 30Hz και τον συνδυασμό των 1-3-13-15 στα 30Hz αντίστοιχα. Παρατηρούμε ότι τα προφίλ ταχυτήτων είναι ομαλά, όπως και στην περίπτωση ενός ακροφυσίου.



Σχήμα 4.18 : Προφίλ ταχύτητας για τον συνδυασμό των ακροφυσίων 1-15



Σχήμα 4.19 : Προφίλ ταχύτητας για τον συνδυασμό των ακροφυσίων 1-3-13-15

Τέλος προκειμένου να πιστοποιηθεί η ορθή λειτουργία της εγκατάστασης, πρέπει να συγκριθεί η μετρούμενη παροχή στην έξοδο της εγκατάστασης (**Q3Hole**) με αυτή των ακροφυσίων (**Qnozzle**). Η σύγκριση αυτή γίνεται , προκειμένου να διαπιστώσουμε ότι δεν υπάρχουν απώλειες ροής, δηλαδή η μετρούμενη παροχή στην έξοδο είναι ίση με αυτή που παρέχουμε στην εγκατάσταση και επομένως οι μετρήσεις μας είναι σωστές. Έτσι λοιπόν από τις μετρήσεις που έγιναν (μερικές από τις οποίες αναφέρθηκαν και αναλύθηκαν προηγουμένως), προκύπτει το σχήμα 4.20.

Nozzle		Qnozzle [m3/s]	Q3Hole [m3/s]	Difference [Qnozzle-Q3hole] %
1	30HzNoz1BellHor	0.369704721	0.380217442	-2.76%
2	15HzNoz2Bell	0.186160277	0.182949414	1.76%
	15HzNoz2BellHor	0.185865217	0.191016763	-2.70%
	30HzNoz2Bell	0.371247417	0.368155867	0.84%
	30HzNoz2BellHor	0.370761488	0.384401397	-3.55%
3	30HzNoz3BellHor	0.374542255	0.386159379	-3.01%
4	30HzNoz4BellHor	0.370660854	0.380926567	-2.69%
5	15HzNoz5Bell	0.185674212	0.181179625	2.48%
	15HzNoz5BellHor	0.185719055	0.18862397	-1.54%
	30HzNoz5Bell	0.370571911	0.37076402	-0.05%
	30HzNoz5BellHor	0.370047939	0.38255832	-3.27%
6	30HzNoz6BellHor	0.372926051	0.384694951	-3.06%
7	15HzNoz7Bell	0.185198628	0.180347211	2.69%
	15HzNoz7BellHor	0.185235239	0.186322091	-0.58%
	30HzNoz7Bell	0.369444488	0.374904478	-1.46%
	30HzNoz7BellHor	0.36917959	0.379022053	-2.60%
8	15HzNoz8	0.195055813	0.196953654	-0.96%
	15HzNoz8Bell	0.195332442	0.194989351	0.18%
	15HzNoz8BellHor	0.195300675	0.202813514	-3.70%
	20HzNoz8	0.261067305	0.261917086	-0.32%
	30HzNoz8	0.389663719	0.428232652	-9.01%
	30HzNoz8Bell	0.388252226	0.414015085	-6.22%
	30HzNoz8BellHor	0.387682308	0.391073072	-0.87%
9	30HzNoz9BellHor	0.372998864	0.377557175	-1.21%
10	30HzNoz10BellHor	0.370856235	0.375993616	-1.37%
11	30HzNoz11BellHor	0.367044517	0.377468923	-2.76%
12	30HzNoz12BellHor	0.370284705	0.374727368	-1.19%
13	30HzNoz13BellHor	0.366403552	0.373317045	-1.85%
14	30HzNoz14BellHor	0.366542215	0.378689044	-3.21%
15	30HzNoz15BellHor	0.370657545	0.377155305	-1.72%
1&15	30HzNoz1&15BellHor	0.706636782	0.737458468	-4.18%
1&3&13&15	30HzNoz1&3&13&15BellHor	1.204410967	1.236738768	-2.61%

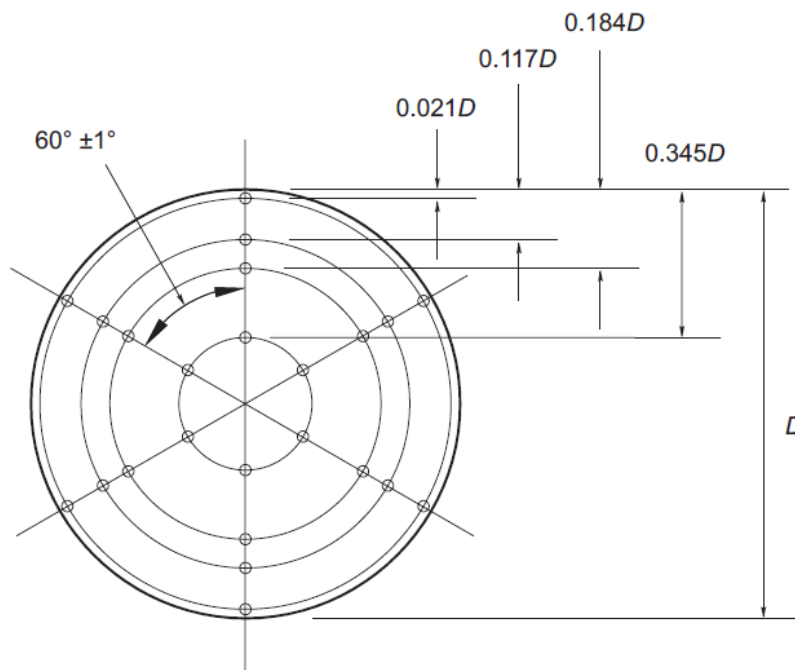
Σχήμα 4.20 : Σύγκριση παροχών Qnozzle-Q3Hole

Παρατηρούμε μικρές αποκλίσεις στη διαφορά των δύο παροχών, η οποία κατά μέσο όρο αγγίζει το 2%-3% σχεδόν για όλα τα ακροφύσια. Ωστόσο όμως παρατηρείται αυξημένη η διαφορά τους όσον αφορά τη μέτρηση που έγινε για το 8^ο ακροφύσιο , η οποία είναι και η μεγαλύτερη (6.2%-9%) , όχι τόσο στα πιο χαμηλά Hz αλλά στα 30Hz, γεγονός που μας οδηγεί στον αποκλεισμό του 8^{ου} ακροφυσίου κατά τη διαδικασία μέτρησης των χαρακτηριστικών μεγεθών του φυσητήρα. Αυτό συμβαίνει καθώς η δέσμη του αέρα που περνά από το 8^ο ακροφύσιο δεν κατανέμεται ομοιόμορφα στο settling chamber, με αποτέλεσμα να μην έχουμε και ομοιόμορφη κατανομή της πίεσης και της ταχύτητας.

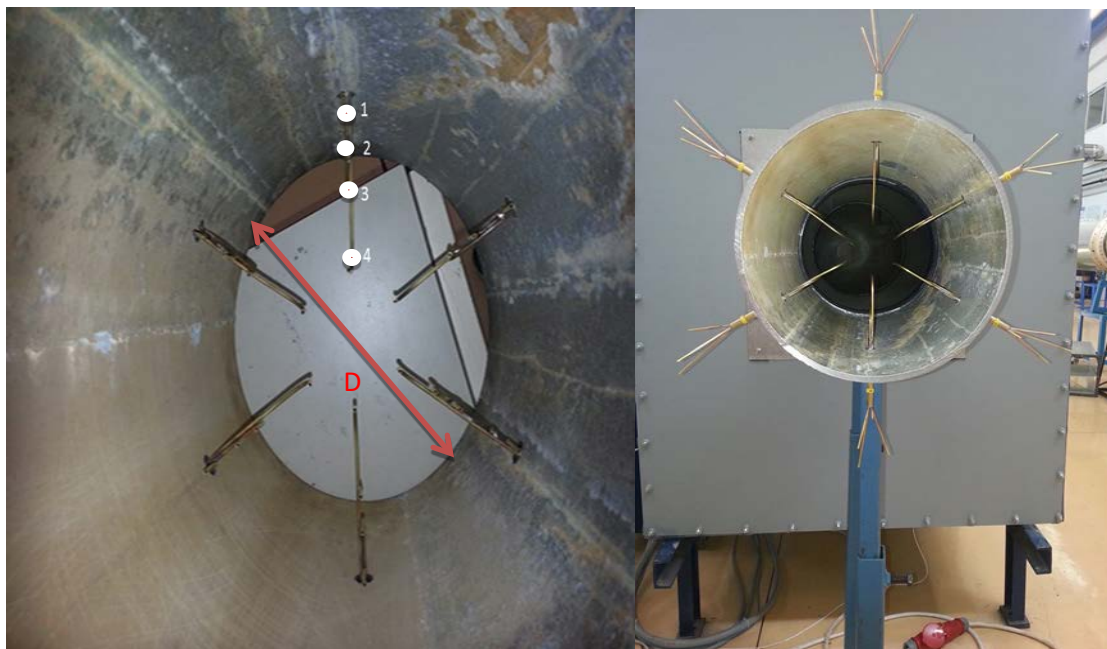
4.2 Διερεύνηση λειτουργίας με Rakes- Scanivalve

Με τη μέθοδο του 3hole , δεν αντιπροσωπεύονται πλήρως τα προφίλ ταχυτήτων καθώς οι μετρήσεις πραγματοποιούνται σε 2 διευθύνσεις, μην λαμβάνοντας υπόψη την κατανομή της ταχύτητας περιφερειακά του αγωγού. Για το λόγο αυτό είναι απαραίτητο να προχωρήσουμε σε μια δεύτερη διερεύνηση. Στα πλαίσια μιας δεύτερης διερεύνησης της λειτουργίας της εγκατάστασης , χρησιμοποιήθηκε η διάταξη των rakes-scanivalve, την οποία διάταξη συνιστά και το πρότυπο. Τα rakes είναι διάταξη σωλήνων pitot , οι οποίοι έχουν τοποθετηθεί σε 6 θέσεις περιμετρικά και συμμετρικά του αγωγού εξόδου (σχήμα 4.21). Κάθε θέση αποτελείται από 4 σωλήνες Pitot και οι αποστάσεις μεταξύ των εισόδων των σωλήνων είναι προκαθορισμένες με βάση το πρότυπο. Οι ακτινικές αποστάσεις για τον $D=255\text{mm}$ εσωτερικής διαμέτρου, αγωγό εξόδου φαίνονται στον σχήμα 4.22 [2] .Συνολικά υπάρχουν 24 σωλήνες Pitot, όπου οι εξοδοί τους καταλήγουν μέσω εύκαμπτων λεπτών σωλήνων στο scanivalve (σχήματα 4.23-4.24-4.25).

Το scanivalve στη συνέχεια, συνδέεται με τον μορφοτροπέα πίεσης (pressure transducer) , όπου με τη σειρά του συνδέεται με το σύστημα επεξεργασίας δεδομένων. Σε κάθε σημείο μέτρησης λαμβάνονται 2 τιμές πιέσεων από δύο σωλήνες Pitot και η σειρά λήψης σημείων μέτρησης είναι προκαθορισμένη. Έτσι λοιπόν ένας κύκλος λήψης σημείων στο scanivalve περιλαμβάνει 12 μετρήσεις.



Σχήμα 4.21 : Διάταξη rakes σύμφωνα με το πρότυπο



Σχήμα 4.22 : Διάταξη Rakes εγκατάστασης

D(mm)	255
R1(mm)	118.145
R2(mm)	93.665
R3(mm)	76.580
R4(mm)	35.525

Σχήμα 4.23 : Ακτινικές αποστάσεις εισόδων σωλήνων pitot



Σχήμα 4.24 : Έξοδος σωλήνων pitot



Σχήμα 4.25 : Έξοδος σωλήνων pitot- σύνδεση μέσω σωλήνων με scanivalve



Σχήμα 4.26 : Scanivalve

4.2.1 Αναγωγή αποτελεσμάτων

Η διεξαγωγή μετρήσεων με rakes-scanivalve, αποσκοπεί στην εξαγωγή των προφίλ ταχυτήτων, στην έξοδο της εγκατάστασης καθώς και στη σύγκριση της παροχής που έχουμε στα ακροφύσια με αυτή που έχουμε στην έξοδο της εγκατάστασης, προκειμένου να γίνει η πιστοποίηση της ορθής λειτουργίας αυτής.

Οι μετρούμενες ποσότητες είναι :

1. Πίεση περιβάλλοντος P_{amb} , Θερμοκρασία περιβάλλοντος T_{amb} , Σχετική υγρασία αέρα RH . Τα μεγέθη αυτά μετρήθηκαν με ψηφιακό αισθητήρα μέτρησης ατμοσφαιρικών συνθηκών.

2. Διαφορά πιέσεων και μέτρηση θερμοκρασίας (χρήση μεταλλακτών πίεσης και θερμοστοιχείων) :

- στα ακροφύσια : ΔP_S ($P_{S1} - P_{S2}$), $P_{S1} - P_{amb}$, T_{d5}

- πριν την έξοδο του settling chamber : $P_{amb} - P_t$ και T_{d8}

3. Από τα rakes: $P_{t_i} - P_{amb}$ και υπολογίζεται η αντίστοιχη δυναμική πίεση P_v

Έτσι λοιπόν από τη μέτρηση συνθηκών του περιβάλλοντος, P_{amb}, T_{amb}, RH , υπολογίζεται η πυκνότητα του αέρα περιβάλλοντος $\rightarrow Rho_0$ και στη συνέχεια η πυκνότητα του αέρα στα ακροφύσια $\rightarrow Rho_5$.

Με τη μέτρηση του ΔP_S των ακροφυσίων γίνεται ο υπολογισμός της παροχής σε αυτά, Q_5 , απ' όπου με τη διόρθωση των πυκνοτήτων γίνεται ο υπολογισμός της παροχής στην έξοδο της εγκατάστασης, $Q = Q_5 \frac{Rho_5}{Rho}$.

Στη συνέχεια με χρήση της δυναμικής πίεσης υπολογίζεται η ταχύτητα

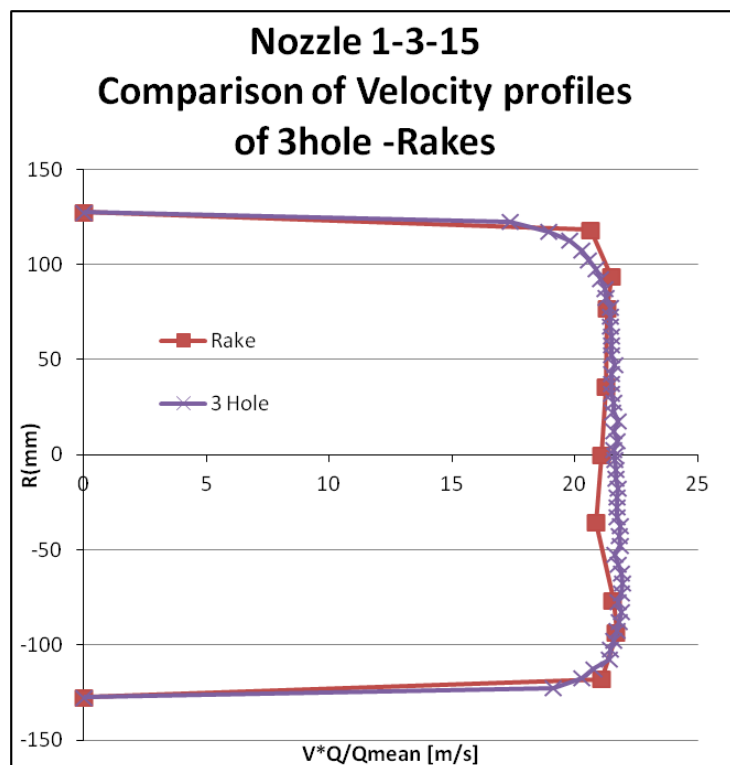
$$V = \sqrt{\frac{2P_v}{Rho}} \quad (4.7)$$

που προκύπτει για κάθε οπή του rake. Στη συνέχεια υπολογίζονται οι μέσες ταχύτητες V_m για κάθε ακτινική θέση. Τέλος η παροχή στην έξοδο της εγκατάστασης υπολογίζεται από τις ακόλουθες σχέσεις :

$$\rightarrow Q_{int} = \sum_{i=0}^{i=4} \pi \cdot (V_{m_i} \cdot R_{m_i} + V_{m_{i+1}} \cdot R_{m_{i+1}}) \cdot (R_{m_i} - R_{m_{i+1}}) \cdot 3600 \quad \frac{m^3}{h} \quad (4.8)$$

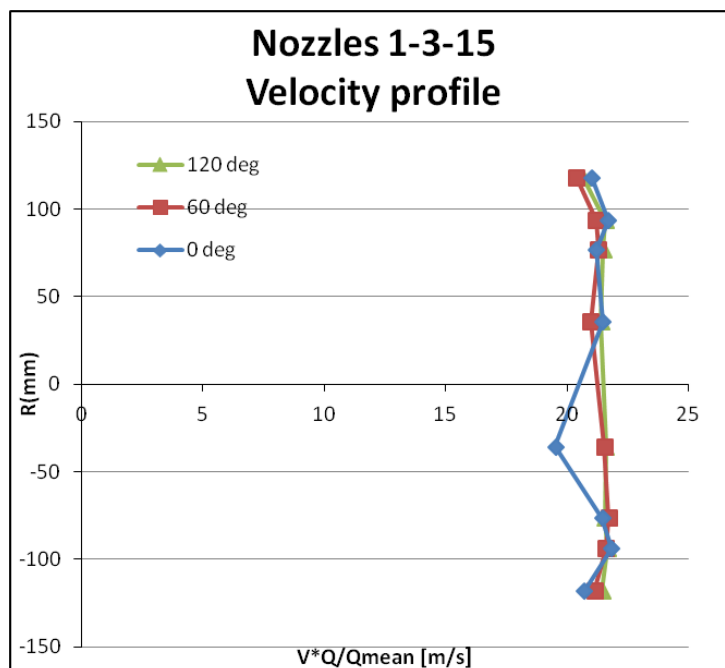
4.2.2 Αποτελέσματα μετρήσεων

Στο σχήμα 4.27, πραγματοποιείται σύγκριση του μέσου προφίλ ταχυτήτων από τα rakes με το αντίστοιχο του 3hole, για τον συνδυασμό των ακροφυσίων 1-3-15.

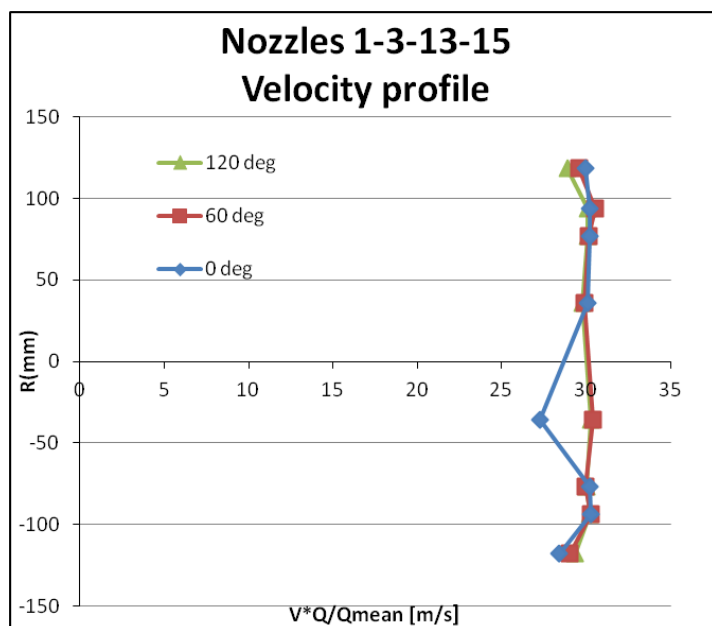


Σχήμα 4.27: Σύγκριση προφίλ ταχύτητας για 3hole και Rakes για τον συνδυασμό των ακροφυσίων 1-3-15

Παρατηρούμε ότι τα 2 προφίλ έχουν μικρές διαφορές μας γεγονός που σημαίνει ότι θα μπορούσε να αντικατασταθεί η μέτρηση με χρήση 3-hole, η οποία είναι χρονοβόρα με τα rakes, τα οποία δεν απαιτούν αλλαγή ακτινικής θέσης. Το επόμενο στάδιο ήταν η εξαγωγή προφίλ ταχυτήτων, συνδυασμού ακροφυσίων, ελέγχοντας αν έχουμε ομοιόμορφη κατανομή σε κάθε θέση. Στα σχήματα 4.28, 4.29, παρουσιάζονται τα μέσα προφίλ σε γωνίες 0, 60, 120 μοίρες, χρησιμοποιώντας τα αντιδιαμετρικά rakes για κάθε θέση.



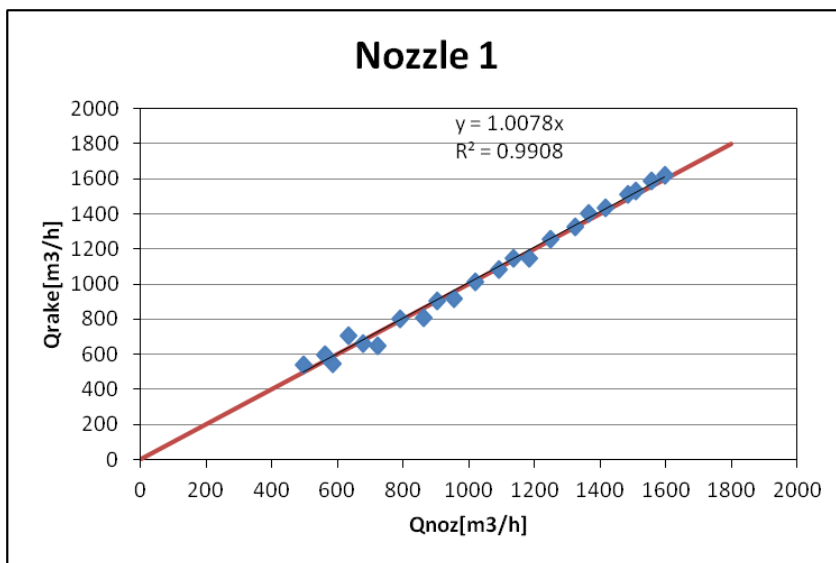
Σχήμα 4.28 : Προφίλ ταχύτητας με χρήση Rakes για το συνδυασμό των ακροφυσίων 1-3-15



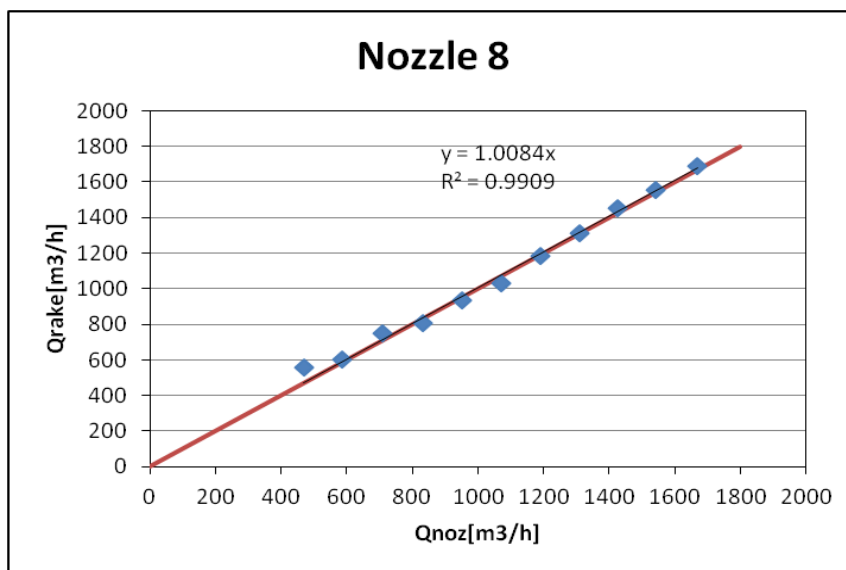
Σχήμα 4.29 : Προφίλ ταχύτητας με χρήση Rakes για το συνδυασμό των ακροφυσίων 1-3-13-15

Από τα παραπάνω σχήματα παρατηρούμε μια μικρή διαφοροποίηση στις 0 μοίρες, στη θέση -35 mm, το οποίο πιθανά να οφείλεται σε μη σωστή ευθυγράμμιση του σωλήνα στο αντίστοιχο rake.

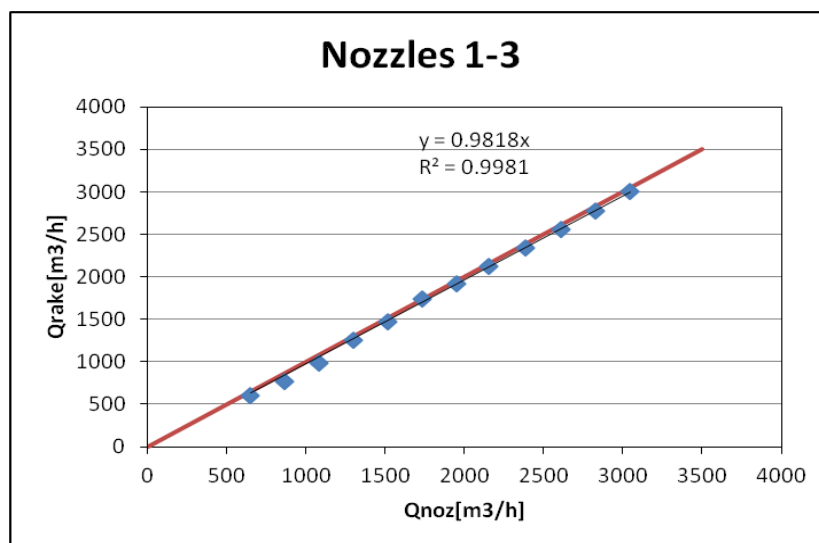
Τέλος προκειμένου να επιβεβαιώσουμε την ορθή λειτουργία της εγκατάστασης, έπρεπε να βεβαιωθούμε ότι η μετρούμενη παροχή στην έξοδο της εγκατάστασης ισούται με την παροχή που μετράμε στα ακροφύσια. Έτσι πραγματοποιήθηκε η σύγκριση της παροχής των Rakes με αυτής των ακροφυσίων, καθώς και συνδυασμών αυτών. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στα σχήματα 4.30-4.33.



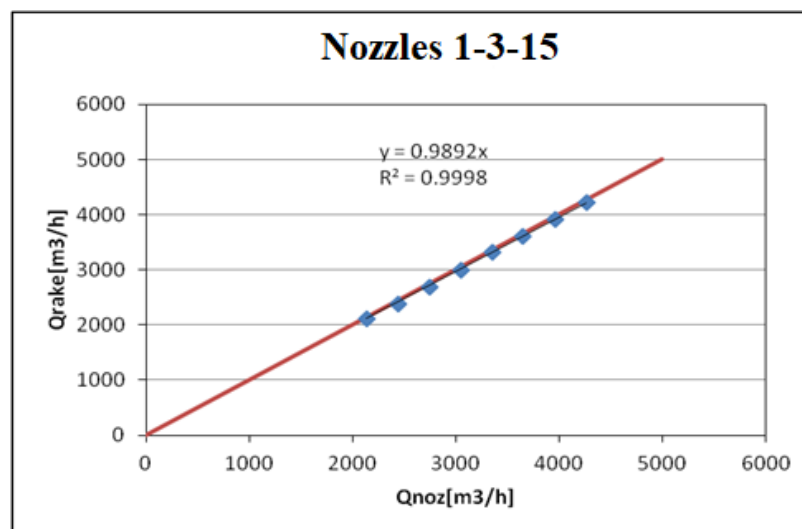
Σχήμα 4.30 : Σύγκριση παροχής Rake και παροχής 1^{ου} ακροφυσίου



Σχήμα 4.31 : Σύγκριση παροχής Rake και παροχής 8^{ου} ακροφυσίου



Σχήμα 4.32 : Σύγκριση παροχής Rake και παροχής συνδυασμού 1^{ου} και 3^{ου} ακροφυσίου



Σχήμα 4.33 : Σύγκριση παροχής Rake και παροχής συνδυασμού 1^{ου}, 3^{ου} και 15^{ου} ακροφυσίου

Παρατηρείται πολύ καλή συσχέτιση μεταξύ των δύο παροχών τόσο για μεμονωμένα ακροφύσια όσο και για συνδυασμούς αυτών, επιβεβαιώνοντας την ορθή λειτουργία της εγκατάστασης. Έτσι λοιπόν, είμαστε βέβαιοι ότι η διάταξη μας λειτουργεί σωστά και μπορούμε να προχωρήσουμε στον υπολογισμό των χαρακτηριστικών καμπυλών του φουσητήρα.

5

Υπολογισμός σφαλμάτων

Στο κεφάλαιο αυτό , πραγματοποιείται ο υπολογισμός του σφάλματος των μετρούμενων μεγεθών καθώς και η μετάδοση τους στα υπολογιζόμενα μεγέθη.

5.1 Υπολογισμός σφάλματος μετρούμενων μεγεθών

Τα υπολογιζόμενα μεγέθη (παροχή , βαθμός απόδοσης , πυκνότητες) προκύπτουν από διάφορα μετρούμενα μεγέθη τα οποία έχουν κάποιο σφάλμα λόγω της αβεβαιότητας των μετρητικών οργάνων. Τα σφάλματα αυτά συσσωρεύονται με αποτέλεσμα πολλές φορές τα υπολογιζόμενα μεγέθη να απέχουν αρκετά από την πραγματικότητα. Γι' αυτό το λόγο θα ήταν σκόπιμο να γνωρίζουμε που κυμαίνονται τα σφάλματα των διαφόρων υπολογιζόμενων μεγεθών.

Έτσι λοιπόν, πραγματοποιήθηκε ανάλυση του σφάλματος που υπεισέρχεται στις μετρήσεις. Στο σχήμα 5.1 παρουσιάζονται τα σφάλματα στη μέτρηση των φυσικών μεγεθών, πίεσης , θερμοκρασίας , σχετικής υγρασίας , ρεύματος και τάσης , που χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό των χαρακτηριστικών καμπυλών του προς μέτρηση φυσητήρα και αντιστοιχούν σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

$\sigma_{Pb} [Pa]$	50
$\sigma_{RH} [\%]$	2.5%
$\sigma_{t_{d0}} [^{\circ}C]$	0.3
$\sigma_{DP} [Pa]$	1%
$\sigma_{Ps5-Pb} [Pa]$	1%
$\sigma_{Pb-Pt8} [Pa]$	1%
$\sigma_{Pb-Ps8} [Pa]$	1%
$\sigma_{DPsbell} [Pa]$	1%
$\sigma_{t_{d5}} [^{\circ}C]$	0.3
$\sigma_{t_{d8}} [^{\circ}C]$	0.3
$\sigma_{t_{d2}} [^{\circ}C]$	0.3
$\sigma_{speed} [RPM]$	1%
$\sigma_I [A]$	0.25%
$\sigma_W [W]$	0.5%

Σχήμα 5.1 : Σφάλματα μέτρησης φυσικών μεγεθών

5.2 Μετάδοση σφάλματος στα υπολογιζόμενα μεγέθη

Το συνολικό σφάλμα ενός υπολογιζόμενου μεγέθους z , το οποίο εξαρτάται από τα μετρούμενα μεγέθη $x_1, x_2, x_3, \dots, x_N$ δίνεται από την παρακάτω σχέση: [Σ.Ε.ΣΙΜΟΠΟΥΛΟΣ, 1989]

$$\sigma_z = \sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x_1} \sigma_{x_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial x_2} \sigma_{x_2}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial x_3} \sigma_{x_3}\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial z}{\partial x_N} \sigma_{x_N}\right)^2} \quad (5.1)$$

Όπου $\frac{\partial z}{\partial x_i}$ η μερική παράγωγος του υπολογιζόμενου μεγέθους σε σχέση με το μετρούμενο μέγεθος x_i η οποία υπολογίζεται μεταβάλλοντας κατά 1% το μετρούμενο μέγεθος και υπολογίζοντας την μεταβολή που επιφέρει στο υπολογιζόμενο μέγεθος.

Εφαρμόζοντας τη σχέση 5.1 και τα επιμέρους σφάλματα των μετρητικών οργάνων υπολογίστηκαν τα σφάλματα της παροχής (Q, Q_5), βαθμού απόδοσης (η_{tas}) και στατικής πίεσης στην έξοδο του φυσητήρα (P_s) τα οποία παρουσιάζονται στο σχήμα 5.2 και αντιστοιχούν σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

	% ΤΗΣ ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΜΕΝΗΣ ΤΙΜΗΣ
σ_Q	0.525%
σ_{Q_5}	0.5%
$\sigma_{\eta_{tas}}$	1-1.5%
σ_{P_s}	1%

Σχήμα 5.2 : Σφάλματα υπολογιζόμενων μεγεθών

6

Μέτρηση φυγοκεντρικού φυσητήρα

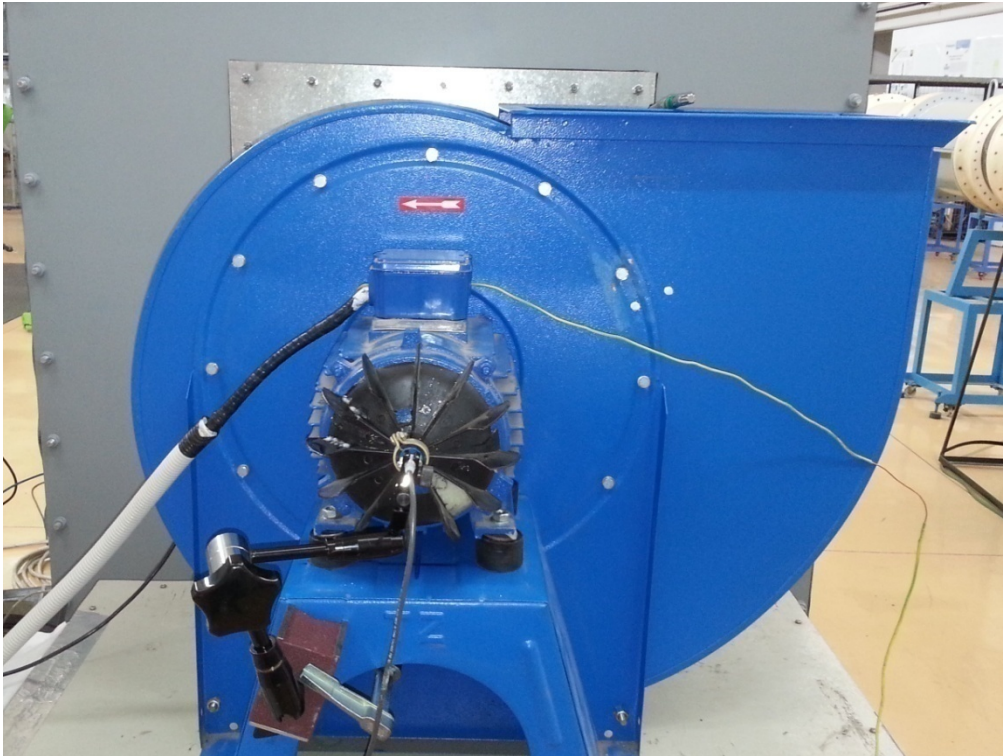
Στο κεφάλαιο αυτό πραγματοποιείται μέτρηση των επιδόσεων ενός φυγοκεντρικού φυσητήρα. Αρχικά παρουσιάζονται τα τεχνικά του χαρακτηριστικά και στη συνέχεια αποδίδονται και σχολιάζονται οι χαρακτηριστικές του καμπύλες.

6.1 Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του φυσητήρα

Στο σχήμα 6.1 καθώς και στις εικόνες που ακολουθούν (σχήμα 6.2-6.4) παρατίθενται, στοιχεία του προς μέτρηση φυσητήρα

ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΦΥΣΗΤΗΡΑ	
Μήκος διατομής εξόδου (mm)	340
Πλάτος διατομής εξόδου (mm)	261
Ύψος πτερυγίου (mm)	158
Εσωτερική διάμετρος (mm)	392
Εξωτερική διάμετρος (mm)	394
Μήκος αγωγού στο εσωτερικό του φυσητήρα (mm)	0
Διάκενο αγωγού στεφάνης (mm)	90
Διάκενο πλάτης στεφάνης (mm)	13
Μήκος αγωγού που περισσεύει στην είσοδο (mm)	100
Μήκος αγωγού εισόδου (mm)	105
Αριθμός πτερυγίων	16
Διάμετρος πτερωτής (mm)	395
Πλάτος δαχτυλιδιού στεφάνης (mm)	24
Ισχύς κινήτηρα (kW)	1.5
Ταχύτητα περιστροφής (rpm)	1400

Σχήμα 6.1 : Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά φυσητήρα



Σχήμα 6.2 : Ο προς μέτρηση φυσητήρας



Σχήμα 6.3 : Ο προς μέτρηση φυσητήρας-σύνδεση με την εγκατάσταση

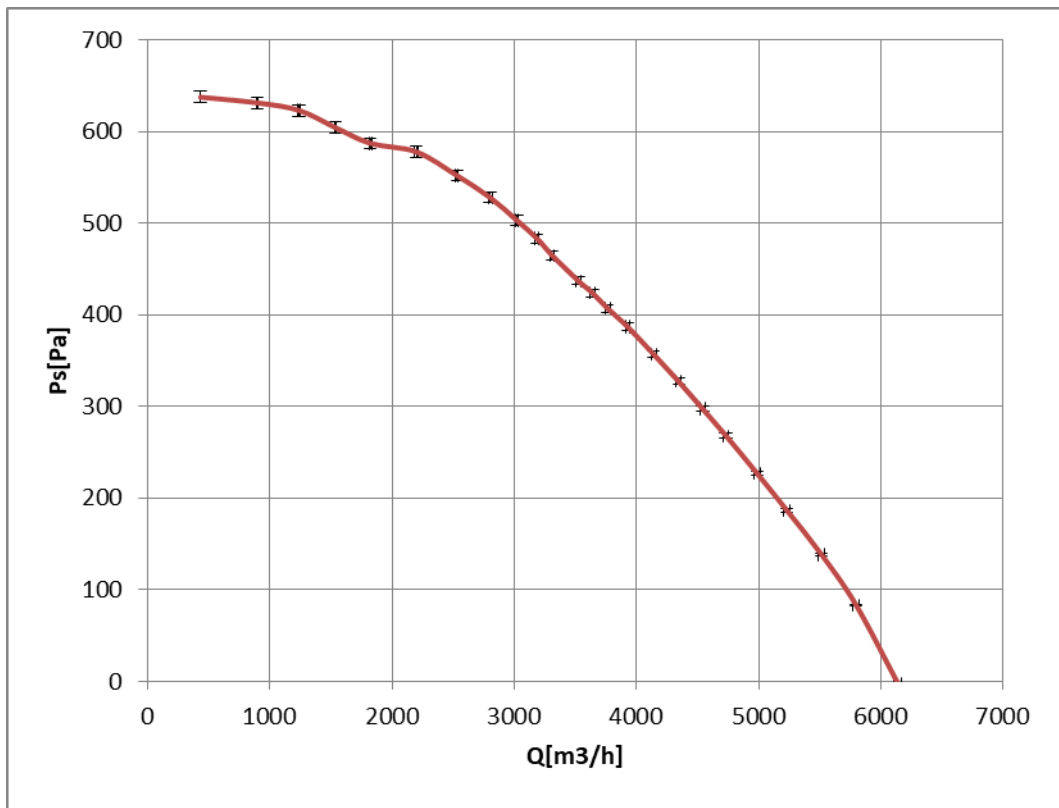


Σχήμα 6.4 : Πτερωτή φυσητήρα-Στεφάνη πτερωτής-πτερόγυα- Τμήμα αγωγού εισόδου

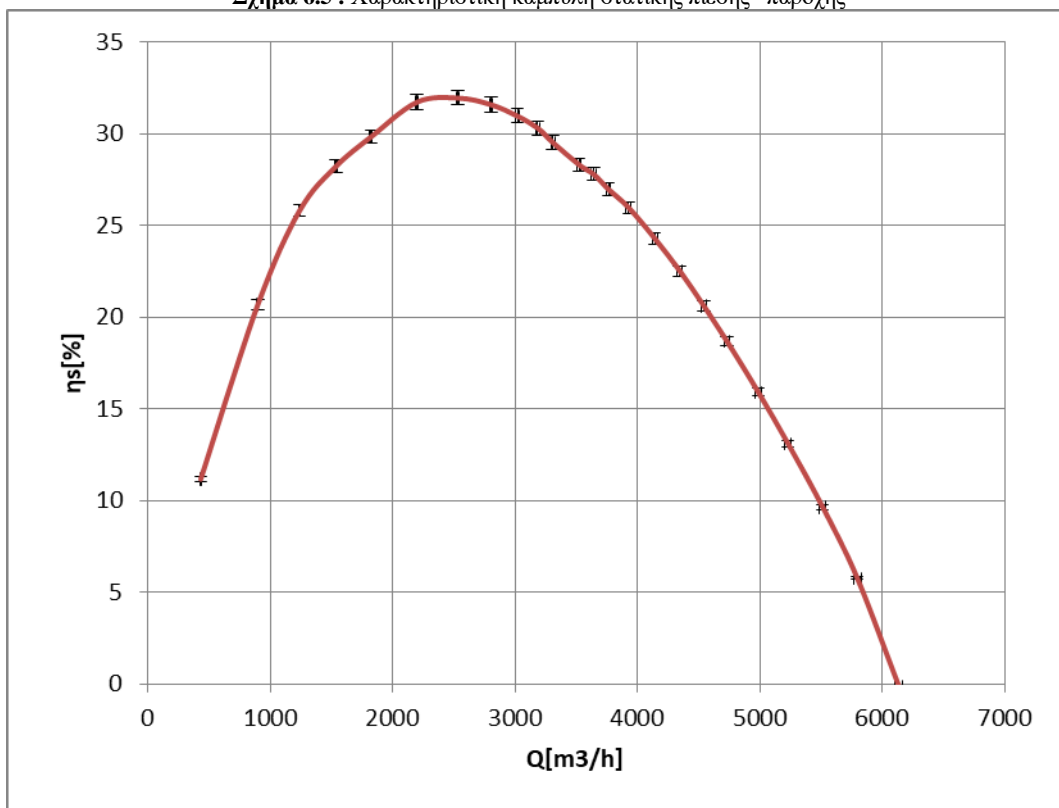
6.2 Χαρακτηριστικές καμπύλες του φυσητήρα

Μετά την τοποθέτηση του φυσητήρα στην εγκατάσταση, ακολούθησε η επιλογή των ακροφυσίων που θα χρησιμοποιήσουμε κατά τη διαδικασία της μέτρησης. Τα ακροφύσια που επιλέχθηκαν, σύμφωνα με την αρίθμηση που τους δόθηκε, είναι τα 1-2-3-13-14-15. Ακολούθησε στη συνέχεια η διαδικασία της λήψης μετρήσεων, όπως περιγράφεται στο κεφάλαιο 3.

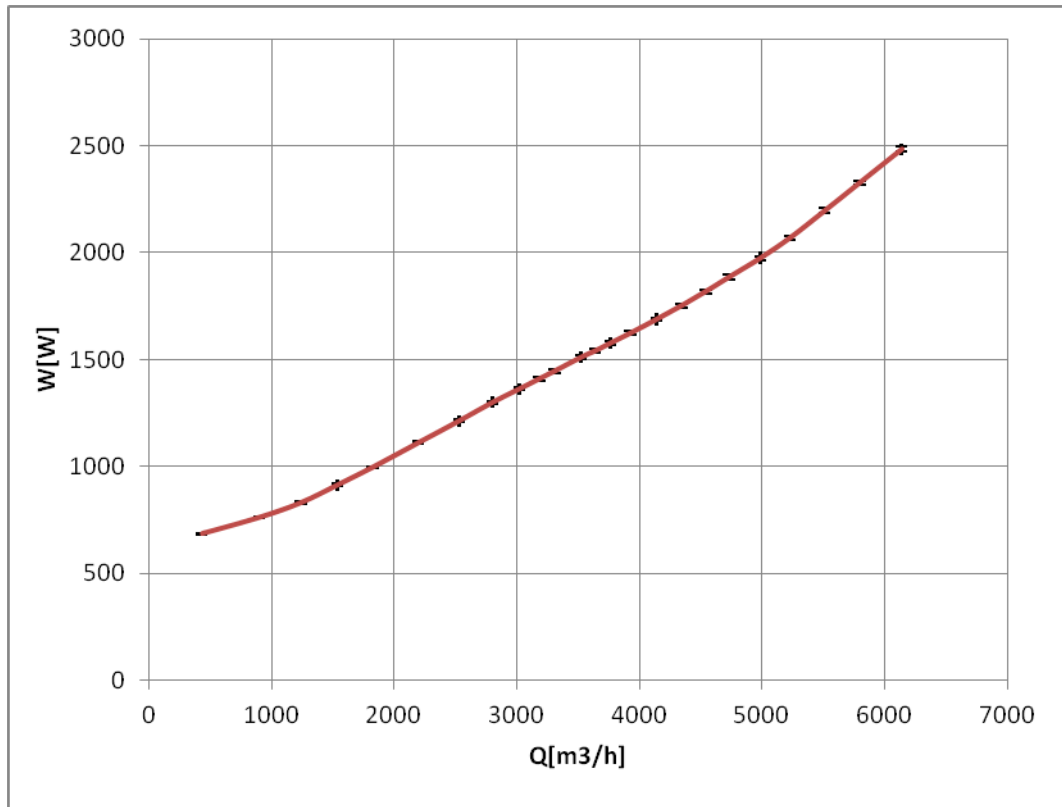
Στα σχήματα 6.5-.6.9 παρουσιάζονται οι χαρακτηριστικές καμπύλες P_s-Q , η_s-Q , $W-Q$, $I-Q$, $RPM-Q$ του φυσητήρα μαζί με την αποτύπωση των αντίστοιχων σφαλμάτων.



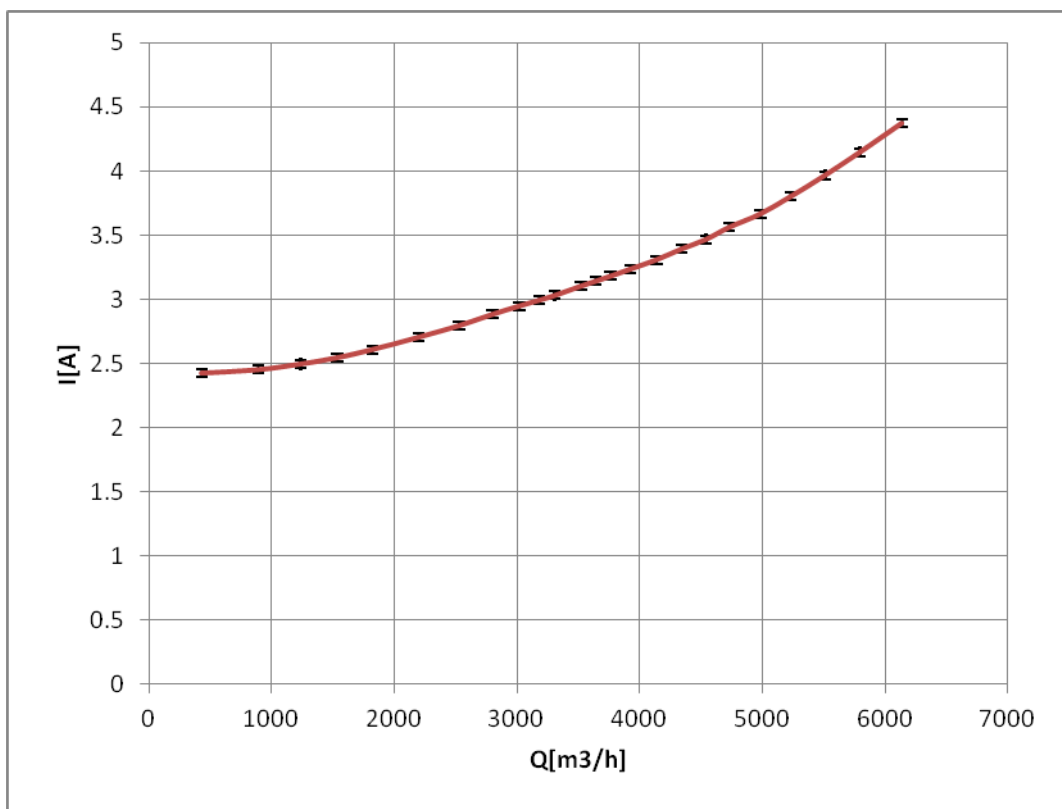
Σχήμα 6.5 : Χαρακτηριστική καμπύλη στατικής πίεσης -παροχής



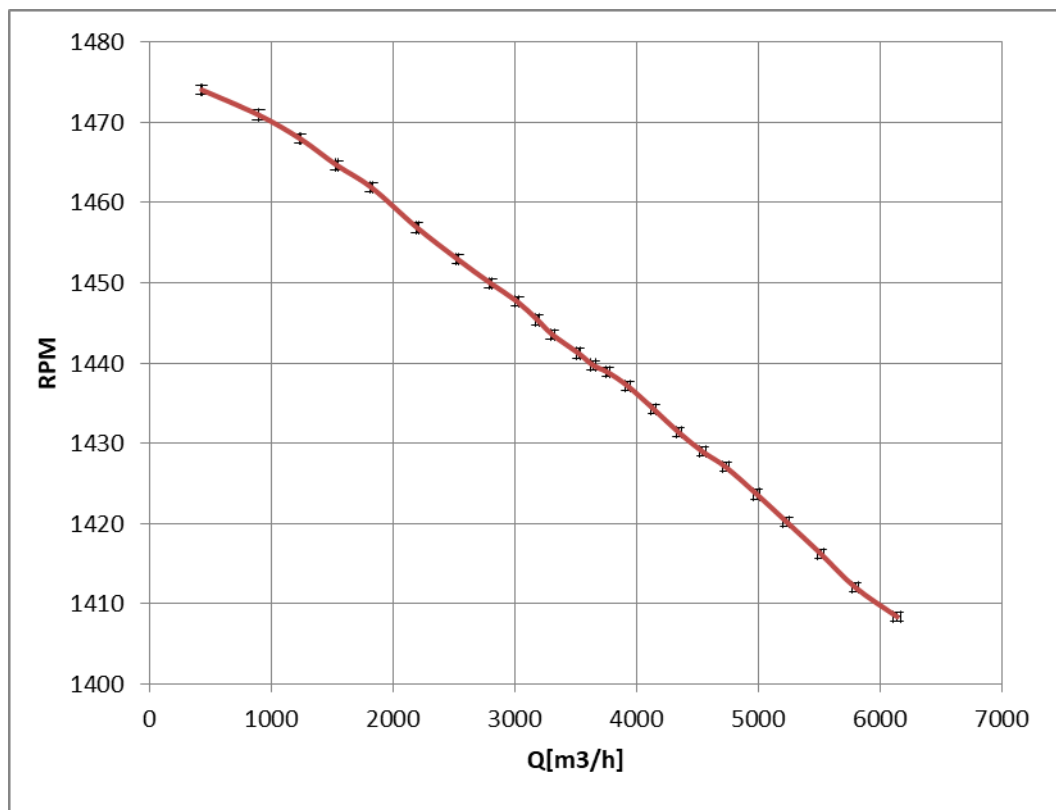
Σχήμα 6.6 : Χαρακτηριστική καμπύλη βαθμού απόδοσης -παροχής



Σχήμα 6.7 : Χαρακτηριστική καμπύλη ισχύος -παροχής



Σχήμα 6.8 : Χαρακτηριστική καμπύλη έντασης ρεύματος -παροχής



Σχήμα 6.9 : Χαρακτηριστική καμπύλη σ.α.λ. –παροχής

Από τις χαρακτηριστικές καμπύλες του φυσητήρα, παρατηρούμε ότι φτάνουμε μέγιστη παροχή περίπου 6300m³/h και μέγιστο βαθμό απόδοσης της τάξεως του 32%, για παροχή 2700 m³/h. Η ένταση του ρεύματος καλύπτει το εύρος των 2.5-4.5 A, σε αναλογία με την παροχή. Επίσης οι στροφές κινούνται μεταξύ 1405-1475 RPM για το εύρος της παροχής που μελετάται και παρουσιάζουν γραμμική συμπεριφορά. Ακόμη η ισχύς, φτάνει μέγιστη τιμή 2500 W και αντιστοιχεί στο σημείο που έχουμε τη μέγιστη παροχή, παρουσιάζοντας σχεδόν γραμμική συμπεριφορά.

7

Ανακεφαλαίωση – Συμπεράσματα- Μελλοντική έρευνα

7.1 Ανακεφαλαίωση

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, πραγματοποιήθηκε διαμόρφωση και αναβάθμιση μιας υπάρχουσας διάταξης του Ε.Θ.Σ για μέτρηση των χαρακτηριστικών καμπυλών φυγοκεντρικών φυσητήρων, σύμφωνα με το πρότυπο ANSI/AMCA STANDARD 210-07. Για το σκοπό αυτό, κατασκευάστηκε κατάλληλα διαστασιολογημένη επέκταση του υπάρχοντος settling chamber, η οποία συνδέθηκε με την υπάρχουσα διάταξη. Επίσης κατασκευάστηκαν και τοποθετήθηκαν μετρητικά ακροφύσια παροχής, επί της διάταξης, τα οποία είναι και αυτά με τη σειρά τους διαστασιολογημένα, σύμφωνα με τις οδηγίες του προτύπου. Τέλος έγινε τοποθέτηση, διαφόρων διατάξεων εξομάλυνσης της ροής (φίλτρα και σήτες), οι οποίες τοποθετήθηκαν στο εσωτερικό του settling chamber. Το κομμάτι της κατασκευής ολοκληρώθηκε με τη δημιουργία στατικών οπών καθώς και την τοποθέτηση σωλήνων pitot, στο κέλυφος της διάταξης.

Για την πραγματοποίηση μετρήσεων επί της διάταξης έγινε επιλογή και βαθμονόμηση κατάλληλων μετρητικών οργάνων. Οι έξοδοι των μετρητικών οργάνων, συνδέθηκαν με κάρτα αναλογοψηφιακής μετατροπής, η οποία ήταν τοποθετημένη σε Η/Υ. Με χρήση κατάλληλα διαμορφωμένου λογισμικού πραγματοποιήθηκε η λήψη και η επεξεργασία των μετρήσεων για τον τελικό υπολογισμό των χαρακτηριστικών καμπυλών του μετρούμενου φυσητήρα.

Προκειμένου να βεβαιωθούμε για την ορθότητα των μετρήσεων της διάταξης, πραγματοποιήθηκε πειραματική διερεύνηση με δύο μεθόδους μέτρησης της ροής, με σωλήνα πίεσης τριών οπών και με rakes. Επιβεβαιώθηκε και με τις δύο μεθόδους η ομοιομορφία των συνθηκών ροής στην είσοδο του μετρούμενου φυσητήρα όπως και η ορθότητα της μέτρησης της παροχής από τα μετρητικά ακροφύσια, τόσο για χρήση μεμονωμένων ακροφυσίων όσο και για συνδυασμό αυτών. Παράλληλα η εκτίμηση των σφαλμάτων των μετρούμενων και υπολογιζόμενων μεγεθών επιβεβαιώνει την αξιοπιστία της εγκατάστασης σαν μετρητικής διάταξης.

Τέλος, η λειτουργικότητα της νέας αναβαθμισμένης εγκατάστασης αποδεικνύεται με την μέτρηση ενός φυγοκεντρικού φυσητήρα για τον οποίο παρουσιάζονται τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του και οι μετρούμενες χαρακτηριστικές του καμπύλες.

7.2 Συμπεράσματα

Με βάση τα αποτελέσματα από όλα τα στάδια της εργασίας, μπορούμε να πούμε ότι η εγκατάσταση που δημιουργήθηκε στα πλαίσια της παρούσας εργασίας λειτουργεί αξιόπιστα, ευέλικτα και αποδοτικά, παρέχοντας μετρήσεις που αντιπροσωπεύουν πλήρως το πεδίο λειτουργίας του μετρούμενου φυσητήρα.

Κατά τη λήψη των μετρήσεων, ενδείκνυται η χρήση πολλαπλών ακροφυσίων και κυρίως των περιφερειακών, καθότι με χρήση αυτών επιτυγχάνεται ομοιόμορφη κατανομή της ροής και της πίεσης, στο settling chamber, παρέχοντας με αυτόν τον τρόπο πιο αντιπροσωπευτικές μετρήσεις.

Επίσης, σύμφωνα με τη διερεύνηση λειτουργίας που πραγματοποιήθηκε, θα πρέπει να αποφεύγεται η χρήση του κεντρικού ακροφυσίου (8^{ου}). Τα προφίλ ταχυτήτων του ακροφυσίου αυτού κυρίως για υψηλές παροχές, δεν συμβαδίζουν με τα προφίλ των υπολοίπων ακροφυσίων, δείχνοντας ότι η ροή δεν κατανέμεται ομοιόμορφα στο settling chamber και κατά συνέπεια στον αγωγό εξόδου.

7.3 Πρόταση για μελλοντική έρευνα

Για την βελτίωση και την περαιτέρω ανάπτυξη της παρούσας εγκατάστασης μέτρησης φυσητήρων προτείνεται η μέτρηση των ηχητικών εκπομπών του προς μέτρηση φυσητήρα, τα αποτελέσματα της οποίας δεν θα επηρεάζονται από εξωτερικούς θορύβους (σύστημα τροφοδοσίας, θόρυβος εργαστηρίου κλπ). Το σύστημα πρόσκτησης δεδομένων, έχει τη δυνατότητα υποδοχής μικροφώνου για τη μέτρηση του ήχου.

8

Βιβλιογραφία

- [1] Δ. Παπανίκας, Ρευστοδυναμικές Μηχανές, 3^η έκδοση, Αθήνα: Φ. Παπανίκα & Σια Ο.Ε., 2012.
- [2] 2007_Laboratory Methods For Testing Fans (AMCA210-07-ANSI-ASHRAE-51)
- [3] Σ.Ε ΣΙΜΟΠΟΥΛΟΥ, ‘Μετρήσεις Τεχνικών Μεγεθών’ , Εκδόσεις Ε.Μ.Π, Αθήνα 1989
- [4] Δ.Σ Μαθιουλάκης , ‘Τεχνικές Μετρήσεις Ρευστομηχανικών Μεγεθών’ , Εκδόσεις Ε.Μ.Π , Αθήνα 2005
- [5] Χ.Αμπάτης , ‘ Σχεδιασμός και κατασκευή συνιστωσών, θέση σε λειτουργία και μετρήσεις σε διάταξη δοκιμών αντίρροπα στρεφόμενων περωτών’ , Διπλωματική εργασία Ε.Μ.Π 2010.
- [6] ASHRAE 1985 Fundamentals Handbook, Chapter 6 Psychrometrics