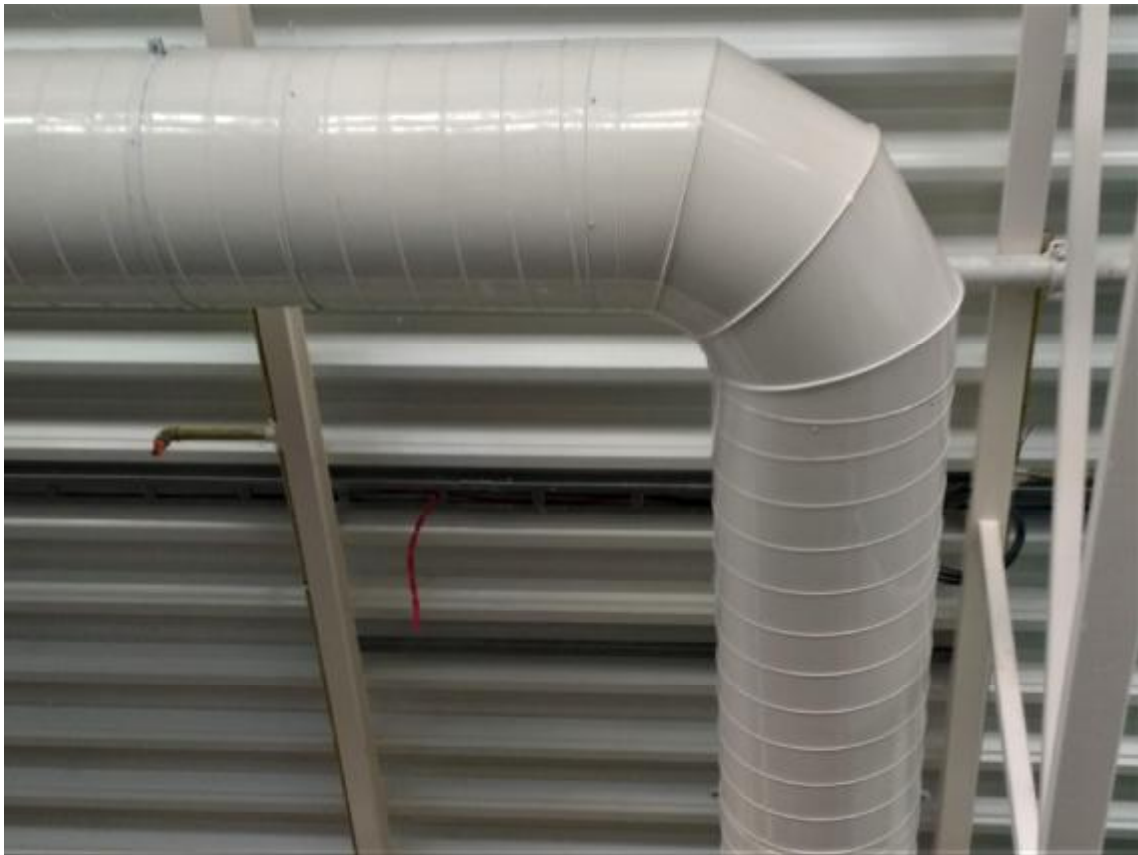


ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΡΟΗ ΑΕΡΑ ΣΕ ΓΩΝΙΑ 90 ΜΟΙΡΩΝ




ΦΟΙΤΗΤΗΣ: ΚΟΛΙΟΠΟΥΛΟΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΤΖΙΡΤΖΙΛΑΚΗΣ ΕΥΣΤΡΑΤΙΟΣ, ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΠΑΤΡΑ-2019

Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστή: Ο κάτωθι υπογεγραμμένος σπουδαστής έχω επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνω υπεύθυνα ότι είμαι συγγραφέας αυτής της Πτυχιακής Εργασίας. Έχω δε αναφέρει στη βιβλιογραφία μου όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποίησα και έλαβα ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνω επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχω ενσωματώσει στην εργασία μου προερχόμενο από βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχω πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχω αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Παναγιώτης Κολιόπουλος



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η πτυχιακή εργασία πραγματοποιήθηκε στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του Α.Τ.Ε.Ι. Δυτικής Ελλάδος. Πρόκειται για μια πτυχιακή που έχει μεγάλη σημασία όχι μόνο για εμένα ως σπουδαστή αλλά και για το τομέα των εγκαταστάσεων διαχείρισης ρευστών. Ένα πολύ μεγάλο κεφάλαιο των μηχανολογικών εγκαταστάσεων το οποίο έχει άμεση σχέση με τη ποιότητα ζωής και της καθημερινότητας ενός μεγάλου ποσοστού του ανθρώπινου πληθυσμού το οποίο είτε ζει, είτε δραστηριοποιείται κοντά σε χώρους οι οποίοι διέπονται από εγκαταστάσεις ροής αέρα για τη σωστή λειτουργία τους.

Η εργασία περιλαμβάνει κατά βάση τη μελέτη ενός συγκεκριμένου σημείου μιας εγκατάστασης. Πιο συγκεκριμένα πρόκειται για τη ροή του αέρα σε καμπύλη 90 μοιρών, θα γίνει πλήρης καταγραφή και ανάλυση των συνθηκών της ροής σε αυτό το σημείο ενώ θα προσδιοριστούν οι απώλειες οι οποίες είναι πολύ σημαντική μεταβλητή για την ορθή λειτουργία της εγκατάστασης. Ο βασικός στόχος της εργασίας είναι η εξακρίβωση όλων των μεταβλητών που διέπουν τη ροή του ρευστού εντός του προαναφερθέντος σημείου της εγκατάστασης καθώς και ο προσδιορισμός του καλύτερου συνδυασμού των μεταβλητών αυτών ώστε να επιτύχουμε τη βέλτιστη δυνατή λειτουργία και απόδοση μιας εγκατάστασης.

Η σημασία της πτυχιακής αυτής όπως αναφέρθηκε είναι πολύ σημαντική καθώς εκτός της ανάλυσης και καταγραφής της ροής του ρευστού αναλύεται η περίπτωση του μη κυκλικού αγωγού, πιο συγκεκριμένα πρόκειται για γωνία σε αγωγό τετραγωνικής διατομής όπου πολλά από τα δεδομένα διαφοροποιούνται. Η χρήση αγωγών μη κυκλικής διατομής είναι ευρείας κλίμακας και χρησιμότητας σε πληθώρα εγκαταστάσεων ροής ρευστού και πιο συγκεκριμένα αέρα με σκοπό για παράδειγμα την επίτευξη ενός εξαερισμού.



Εικόνα 1 Τυπικό παράδειγμα εφαρμογής καμπύλης 90 μοιρών.



Εικόνα 2 Τυπικό παράδειγμα γωνίας 90 μοιρών.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία έχει ως βασικό αντικείμενο τη πειραματική μελέτη ροής αέρα σε γωνία 90 μοιρών στη πειραματική διάταξη πάγκου ροής αέρα (air flow bench), η οποία βρίσκεται στο εργαστήριο ρευστομηχανικής «Νανούσης Νανούσης» του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε του ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδος.

Στο πρώτο κεφάλαιο της πτυχιακής εργασίας γίνεται η εισαγωγή στην πτυχιακή εργασία η οποία περιλαμβάνει την έννοια της ροής ενός ρευστού, τη σημασία της μελέτης των φαινομένων αυτών ενώ ακολουθεί μια σύντομη ιστορική αναδρομή σχετικά με τους πατέρες της επιστήμης της ρευστομηχανικής από την εποχή του Αρχιμήδη ως σήμερα.

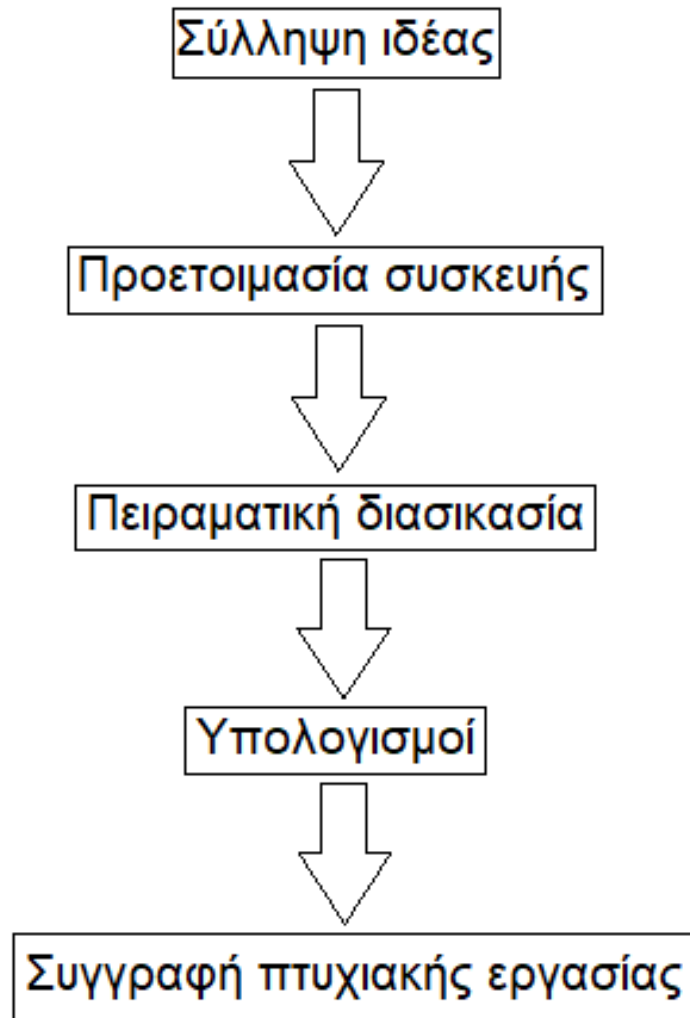
Στη συνέχεια περνάμε στο δεύτερο κεφάλαιο στο οποίο αναλύονται εκτενώς τα βασικά χαρακτηριστικά μεγέθη που διέπουν ένα ρευστό όπως η πυκνότητα, η πίεση, το ειδικό βάρος, η συμπιεστότητα και το ιξώδες. Επίσης αναφέρονται και αναλύονται τα είδη της ροής ενός ρευστού και πως αυτά κατηγοριοποιούνται ενώ το κεφάλαιο κλείνει με την αναφορά, ανάλυση καθώς και επεξήγηση του φαινομένου των απωλειών.

Στη συνέχεια περνάμε στο τρίτο κεφάλαιο στη διάρκεια του οποίου γίνεται εκτενής περιγραφή της πειραματικής συσκευής καθώς και των μερών που την αποτελούν ενώ το ίδιο επαναλαμβάνεται και για τα εξαρτήματα που χρησιμοποιήθηκαν. Ύστερα ακολουθεί πλήρως αναλυτική περιγραφή και σχολιασμός της πειραματικής διαδικασίας βήμα προς βήμα από την αρχή έως το τέλος αυτής. Το επόμενο μέρος του κεφαλαίου είναι αφιερωμένο στη διαδικασία της περισυλλογής και αποτύπωσης των μετρήσεων για όλες τις τιμές παροχής που έχουμε ορίσει.

Στη συνέχεια περνάμε στο επόμενο μέρος της πτυχιακής εργασίας και πιο συγκεκριμένα στο τέταρτο κεφάλαιο όπου ξεκινάει με μια αναλυτική περιγραφή υπολογισμού των σταθερών παραμέτρων που διέπουν τη συσκευή μας όπως η πυκνότητα του αέρα συναρτήσει των τιμών της πίεσης και της θερμοκρασίας και τον θεωρητικό συντελεστή πίεσης. Έπειτα μεταβαίνουμε στο επόμενο μέρος του κεφαλαίου στο οποίο πλέον υπάρχουν οι υπολογισμοί κάθε δεδομένου όπως ο πειραματικός συντελεστής πίεσης, η πραγματική πίεση, η ταχύτητα και το μέγεθος της παροχής του αέρα για κάθε σημείο, κάθε πλευράς της γωνίας και κάθε τιμή παροχής ξεκινώντας από την ελάχιστη και καταλήγοντας στη μέγιστη τιμή παροχής. Στη συνέχεια παίρναμε στο επόμενο μέρος του κεφαλαίου στο οποίο γίνεται αναλυτικός υπολογισμός για τη εξακρίβωση των απωλειών ενέργειας του αέρα στη γωνία 90 μοιρών για τα δεδομένα του πειράματος της πτυχιακής εργασίας σε όλα τα στάδια του πειράματος ενώ στο τέλος αυτού του κεφαλαίου γίνεται και εκτενής σχολιασμός των γραφημάτων που προκύπτουν από τα δεδομένα μας. Κλείνοντας το κεφάλαιο αυτό γίνεται εκτενής σχολιασμός των διαγραμμάτων της σχέσης του θεωρητικού συντελεστή και πειραματικού συντελεστή πίεσης.

Στο τελευταίο κεφάλαιο της πτυχιακής αυτής εργασίας όπου ξεκινάει με το σχολιασμό της πειραματικής διαδικασίας, έπειτα γίνεται σχολιασμός των αποτελεσμάτων που εξήχθηκαν

κατά την εκτέλεση του πειράματος, ενώ κλείνουμε με το γενικό συμπέρασμα που εξήχθηκε από τη διεξαγωγή πτυχιακής αυτής και τον επίλογο.



Εικόνα 3 Διάγραμμα ροής διαδικασίας

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ:

Ροή αέρα, γωνία 90 μοιρών, διάταξη ροής αέρα, καμπύλη, παροχή, ταχύτητα, πίεση, απώλειες.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1°	1
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Η έννοια της ροής ρευστών.	1
1.2 Η σημασία της μελέτης της ροής αέρα.....	1
1.3 Σύντομη ιστορική αναδρομή της επιστήμης της ρευστομηχανικής από τον Αρχιμήδη έως σήμερα.	1
Κεφάλαιο 2°	1
Περιγραφή βασικών χαρακτηριστικών στοιχείων της ροής ενός ρευστού.....	1
2.1 Πυκνότητα.....	1
2.2 Πίεση.....	2
2.2.1 Ατμοσφαιρική πίεση.....	3
2.2.3 Δυναμική Πίεση.	4
2.2.4 Μονάδες και μέτρηση της πίεσης.	4
2.3 Ειδικό βάρος.	4
2.4 Συμπιεστότητα.....	5
2.5 Είδη ροής ρευστού.....	5
2.5.1 Στρωτή ροή.....	5
2.5.3 Εσωτερική ροή.	7
2.5.4 Εξωτερική ροή.	7
2.5.5 Υποηχητική, διηχητική και υπερηχητική ροή.....	7
2.6 Οριακό στρώμα.	7
2.6.1 Βασικά χαρακτηριστικά του οριακού στρώματος.....	7
2.7 Ιξώδες.....	8
2.8 Είδη ρευστών.....	9
2.8.1 Πραγματικά και ιδανικά ρευστά.....	9
2.8.2 Συμπιεστά και ασυμπίεστα ρευστά.	10
2.8.3 Τέλεια αέρια.....	10
2.8.4 Νευτώνεια και μη Νευτώνεια ρευστά.....	10
2.9 Απώλειες ενέργειας.....	11
2.9.1 Απώλειες λόγω τριβής, <i>hf</i>	11

2.9.2 Τοπικές απώλειες ενέργειας, <i>hm</i>	12
2.9.3 Απώλειες σε μη κυκλικές διατομές.....	13
2.10 Ο Αριθμός Reynolds	14
Κεφάλαιο 3°	17
Πειραματική διαδικασία.....	17
3.1 Η πειραματική συσκευή.....	17
3.2 Το μανόμετρο.....	17
3.3 Το εξάρτημα ροής 90 μοιρών.....	20
3.4 Περιγραφή πειραματικής συσκευής.....	22
3.5 Περιγραφή πειραματικής διαδικασίας.....	27
3.6 Διαδικασία Μετρήσεων.....	29
3.6.1 Μετρήσεις.....	30
Κεφάλαιο 4°	37
Διαδικασία Υπολογισμών.....	37
4.1 Εισαγωγή.....	37
4.2 Υπολογισμός δεδομένων στη συσκευή.....	39
4.3 Θεωρητικός συντελεστής πίεσης, C_p	39
4.4 Πειραματικός συντελεστής πίεσης, C_p	42
4.5 Υπολογισμός πραγματικής πίεσης.....	42
4.6 Υπολογισμοί.....	43
4.6.1 Παροχή Q1.....	45
4.6.2 Παροχή Q2.....	50
4.6.3 Παροχή Q3.....	54
4.6.4 Παροχή Q4.....	59
4.6.5 Παροχή Q5.....	64
4.6.6 Παροχή Q6.....	69
4.7 Υπολογισμός απωλειών.....	73
4.8 Σχολιασμός διαγραμμάτων.....	78
Κεφάλαιο 5°	81
Σχολιασμός αποτελεσμάτων.....	81
5.1 Σχετικά με τη πειραματική διαδικασία.....	81

5.2 Σχετικά με τα αποτελέσματα.....	81
5.3 Γενικό συμπέρασμα.....	82
5.4 Επίλογος.....	82
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	84

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Η έννοια της ροής ρευστών.

Με τον όρο ροή των ρευστού καλείται ειδικότερα η κίνηση των σωματιδίων των ρευστών, επειδή ακριβώς αυτά ρέουν, η οποία όμως κίνηση περιλαμβάνει επίσης τις έννοιες της δύναμης που προκαλεί την κίνηση, της ταχύτητας καθώς και της επιτάχυνσης του ρευστού. Η κίνηση ενός ρευστού προκαλείται από διατμητικές τάσεις καθώς και από μη ισοζυγισμένες κάθετες τάσεις (πιέσεις) που ασκούνται στο ρευστό. Η ανάλυση των δυνάμεων αυτών αποτελεί το αντικείμενο μελέτης και έρευνας της "δυναμικής των ρευστών", ενώ η σπουδή των αποτελεσμάτων της εφαρμογής των δυνάμεων αυτών που παράγουν τη κίνηση, δηλαδή την ταχύτητα και την επιτάχυνση, με την αντίστοιχη περιγραφή και απεικόνιση της κίνησης, αποτελούν αντικείμενα μελέτης της "κινηματικής των ρευστών". Η αεροδυναμική αποτελεί ένα τεράστιο κλάδο της μηχανικής των ρευστών, τα ρευστά όταν αλληλεπιδρούμε μαζί τους τείνουν να ρέουν.

Ένας ακριβής ορισμός των ρευστών είναι ο εξής, ρευστά είναι τα υγρά και τα αέρια, τα οποία κάτω από την επίδραση τάσεων, κυρίως διατμητικών τάσεων υφίστανται μη αντιστρεπτή παραμόρφωση, δηλαδή αρχίζουν να ρέουν. Εδώ εισάγεται για πρώτη φορά η έννοια των τάσεων και κυρίως των διατμητικών τάσεων.

1.2 Η σημασία της μελέτης της ροής αέρα.

Η σημασία της μελέτης της ροής ρευστών πάνω στις γωνίες είναι τεράστια καθώς αυτό το εξάρτημα αποτελεί πολύ σημαντικό στοιχείο κάθε διάταξης ή εγκατάστασης είτε μεγάλης είτε μικρής κλίμακας και είναι σημείο το οποίο μπορεί να ανατρέψει όλους τους υπολογισμούς μας λόγω της μεταποίησης που προκαλούν στη ροή του ρευστού αυτά τα εξαρτήματα. Επίσης άξιο αναφοράς είναι και το φαινόμενο των τοπικών απωλειών που παρουσιάζεται πάνω σε αυτά τα σημεία στις εγκαταστάσεις, μέγεθος το οποίο μπορεί να επηρεάσει άμεσα τους υπολογισμούς και τα αναμενόμενα αποτελέσματα που περιμένουμε να επιδείξει η ροή του αέρα σε κάποια εγκατάσταση. Σημαντικό επίσης στοιχείο αποτελεί το γεγονός ότι τις καμπύλες 90 μοιρών τις συναντάμε σε κάθε μέγεθος και τύπο εγκατάστασης ροής αέρα, από τον απορροφητήρα της κουζίνας ως μια καμινάδα ενός καμινιού επεξεργασίας σιδήρου.

1.3 Σύντομη ιστορική αναδρομή της επιστήμης της ρευστομηχανικής από τον Αρχιμήδη έως σήμερα.

Η πρώιμη γνώση της μηχανικής των ρευστών εμφανίζεται στους αρχαίους πολιτισμούς εμπειρικά με το σχεδιασμό αεροδυναμικών συσκευών, όπως βέλη και λόγχες, αλλά και σκαφών και έργων υδραυλικής για την προστασία από τις πλημμύρες, την άρδευση και

την υδροδότηση των πρώτων οικισμών. Οι πρώτοι πολιτισμοί άκμασαν κοντά στις ακτές των ποταμών και κατά συνέπεια η εξέλιξη του ανθρώπινου πολιτισμού συμπίπτει με την αυγή της υδραυλικής και της μηχανικής των ρευστών. Οι πρώτες γνώσεις στη μηχανική των ρευστών αποδίδονται στους Αιγύπτιους, 3000 χρόνια προ Χριστού και σχετίζονται κυρίως με ναυπηγικές και υδραυλικές κατασκευές για μετακίνηση, άρδευση και υδροδότηση.

Οι θεμελιώδεις αρχές της υδροστατικής εισάγονται από τον Αρχιμήδη (287–212 π.Χ.) στο έργο του για τα επιπλέοντα σώματα και τη στατική των ρευστών, γύρω στο 250 π.Χ. σε αυτό, ο Αρχιμήδης διατυπώνει το νόμο της άνωσης, γνωστός και ως αρχή του Αρχιμήδη και για πρώτη φορά εισάγεται η έννοια της πίεσης. Από την εποχή του Αρχιμήδη και μέχρι τον μεσαίωνα δεν υπάρχει ουσιαστική εξέλιξη της μηχανικής των ρευστών σε θεωρητικό επίπεδο, σε πρακτικό επίπεδο όμως, έχουμε την εξέλιξη των ναυπηγικών και υδραυλικών κατασκευών. Με την αναγέννηση και τον Leonardo da Vinci ξεκινά μια νέα εποχή για την εξέλιξη της μηχανικής των ρευστών. Ο Leonardo da Vinci (1452–1519) με το μεγαλοφυή τρόπο σκέψης του και στηριζόμενος στις θεωρήσεις του Αρχιμήδη, συμπληρώνει τις έννοιες της πίεσης και της στατικής των ρευστών, ασχολείται με την αεροδυναμική σχεδίαση ξεπερνώντας κατά πολύ τις θεωρήσεις της εποχής του.

Τον δέκατο έβδομο αιώνα, ο Ιταλός φυσικός και μαθηματικός Torricelli (1608–1647), θεμελιώνει πολλές βασικές έννοιες της Μηχανικής των Ρευστών. Εισάγει τον νόμο του Torricelli, σχετικά με την ταχύτητα ενός ρευστού που ρέει από ένα άνοιγμα, που αργότερα αποδείχθηκε ότι αποτελεί μια ειδική περίπτωση της αρχής του Bernoulli. Θεωρείται δε, ο εφευρέτης του υδραργυρικού βαρομέτρου. Ο σύγχρονός του Pascal (1623–1662), συνεχίζει το έργο του Torricelli και ασχολείται με τη συμπίεστικότητα του αέρα. Οι Boyle (1627–1691) και Mariotte (1620–1684), συνεχίζουν την εργασία του Pascal πάνω στη συμπίεστικότητα του αέρα. Τον ίδιο αιώνα έχουμε την ανάπτυξη της Κλασικής Μηχανικής με κύριο θεμελιωτή της τον Isaac Newton (Ισαάκ Νεύτωνα) (1642–1727). Ο Newton πέρα από τη θεμελίωση της Μηχανικής εισάγει τον πειραματικό νόμο της τριβής και την έννοια του ιξώδους (μ) ενός ρευστού.

Τον δέκατο όγδοο αιώνα υπήρξε ραγδαία ανάπτυξη της μηχανικής των ρευστών και πολλοί επιστήμονες συντέλεσαν ενεργά στην εξέλιξη της. Άξιοι αναφοράς είναι ο Daniel Bernoulli (1700–1782), που εισάγει το γνωστό θεώρημα του Bernoulli, το οποίο είναι ουσιαστικά η αρχή διατήρησης της ενέργειας στα ρευστά. Ο Γάλλος μαθηματικός και φιλόσοφος Jean le Rond d' Alembert (1717–1783), διατύπωσε το παράδοξο του d' Alembert και εισήγαγε τη βασική αρχή διατήρησης της μάζας ή με άλλα λόγια την εξίσωση της συνέχειας.

Τον δέκατο όγδοο αιώνα επίσης έχουμε τη διατύπωση των πρώτων βασικών εξισώσεων της μηχανικής των ρευστών για τα ιδανικά ρευστά. Συγκεκριμένα, ο πρωτοπόρος Ελβετός μαθηματικός Leonhard Euler (1707–1783), διατύπωσε τις εξισώσεις κίνησης για ιδανικά ρευστά (ρευστά χωρίς ιξώδες άρα και χωρίς τριβές) και ανέπτυξε τη μαθηματική θεωρία περί αυτών. Ο Euler θεωρείται ο κυριότερος μαθηματικός του 18ου αιώνα και ένας από τους σημαντικότερους μαθηματικούς που έχουν υπάρξει ποτέ. Είναι επιπλέον ένας από

τους πιο παραγωγικούς μαθηματικούς όλων των εποχών, την εργασία του Euler συνέχισε ο Joseph–Louis Lagrange (1736–1813). Τον ίδιο αιώνα οι Claude–Louis Navier (1783–1836) και George Gabriel Stokes (1819–1903), εργαζόμενοι χωριστά ο ένας από τον άλλο, εισάγουν τις εξισώσεις εκείνες που περιγράφουν την κίνηση των πραγματικών ρευστών. Αυτές οι εξισώσεις προκύπτουν ουσιαστικά από την εφαρμογή του δεύτερου νόμου του Νεύτωνα για την ροή των ρευστών. Οι Navier και Stokes διατυπώνουν τις εξισώσεις κίνησης πραγματικών ρευστών, γνωστές ως εξισώσεις Navier–Stokes και ουσιαστικά θεμελιώνουν τη σύγχρονη υδροδυναμική. Τον δέκατο ένατο αιώνα η ανάπτυξη της Μηχανικής των Ρευστών είναι ακόμα πιο θεαματική, χαρακτηριστικά, ο Rankine (1820–1872), αναπτύσσει τη θεωρία των πηγών και αναρροφήσεων της ροής με μεγάλη εφαρμογή στην αεροδυναμική. Ο Γάλλος μαθηματικός Hugoniot (1851–1887) ασχολήθηκε με τα κρουστικά κύματα που εμφανίζονται κατά την κίνηση των ρευστών. Συγκεκριμένα, οι Rankine–Hugoniot κατασκεύασαν τις συνθήκες για κρουστικά κύματα που περιγράφουν τη σχέση μεταξύ των καταστάσεων και στις δύο πλευρές ενός κρουστικού κύματος σε μια μονοδιάστατη ροή ρευστού. Με τον όρο κρουστικό κύμα περιγράφουμε την έντονη διαταραχή στη ροή ενός ρευστού με ασυνεχείς μεταβολές της πίεσης, της πυκνότητας και της θερμοκρασίας του ρευστού.

Στα νεώτερα χρόνια, έχουμε την αλματώδη ανάπτυξη της αεροδυναμικής. Πρωτοπόρος σε αυτό είναι ο μηχανικός Ludwig Prandtl (1875–1953), καθηγητής στο Πανεπιστήμιο του Goettingen στη Γερμανία. Ο Prandtl εισάγει την έννοια του οριακού στρώματος, ως οριακό στρώμα ορίζουμε τη πολύ μικρή περιοχή της ροής που δημιουργείται γύρω από μια επίπεδη πλάκα μέσα σε ένα ρευστό που ρέει γύρω από αυτή και αποτελεί πολύ σημαντική έννοια για τον σχεδιασμό των αεροσκαφών. Οι μαθητές του, Blasius και Von Karman συνεχίζουν την εργασία του Prandtl στην αεροδυναμική. Συγκεκριμένα, ο Paul Richard Heinrich Blasius (1883–1970) θεμελιώνει την έννοια του οριακού στρώματος και είναι γνωστός για την εξίσωση Blasius. Ο Theodore Von Karman (1881–1963) εισάγει τη μαθηματική περιγραφή της υπερηχητικής ροής αέρα. Χαρακτηριστικά, ο Rankine (1820–1872), αναπτύσσει τη θεωρία των πηγών και αναρροφήσεων της ροής με μεγάλη εφαρμογή στην αεροδυναμική.

Σήμερα η ραγδαία ανάπτυξη της Μηχανικής των Ρευστών των προηγούμενων αιώνων, αλλά και η σημαντική ανάπτυξη των υπολογιστικών μαθηματικών και των ηλεκτρονικών υπολογιστών, επιτρέπει τη στρόφη του επιστημονικού ενδιαφέροντος προς μια νέα κατεύθυνση της μηχανικής ρευστών που βρίσκει πολλές εφαρμογές στη σύγχρονη τεχνολογία και αεροδιαστημική επιστήμη την υπολογιστική ρευστοδυναμική. Στην υπολογιστική ρευστοδυναμική εισάγεται η έννοια της προσομοίωσης και η έννοια του υπολογιστικού πλέγματος, η υπολογιστική ρευστοδυναμική βρίσκει εφαρμογές στη σύγχρονη αεροδυναμική, στην εμβιομηχανική, στη μαγνητούδροδυναμική και σε πολλούς άλλους κλάδους της επιστήμης και της τεχνολογίας.

Τέλος, τα τελευταία χρόνια υπάρχει μια ανάγκη για πιο λεπτομερή περιγραφή της ροής των ρευστών σε συνδυασμό με την αλληλεπίδραση τους με τα στερεά ελαστικά όρια στα

οποία ρέουν. Τέτοιες περιγραφές λέγονται μέθοδοι αλληλεπίδρασης, ξεχωρίζουμε δύο περιγραφές, την Immersed Boundary Method (IBM) με θεμελιωτή της τον Charles S. Peskin στο Courant Institute of Math Sciences και τις Sharp interface methods ή Arbitrary Euler–Lagrange (ALE) μεθοδολογίες.

Κεφάλαιο 2^ο

Περιγραφή βασικών χαρακτηριστικών στοιχείων της ροής ενός ρευστού.

2.1 Πυκνότητα.

Η πυκνότητα ενός ρευστού ορίζεται ως η μάζα του ρευστού στη μονάδα του όγκου. Η πυκνότητα είναι το μέγεθος που χρησιμοποιείται για να χαρακτηρίζει τη μάζα ενός ρευστού συστήματος. Το φυσικό μέγεθος αυτό αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό της ύλης και συμβολίζεται με το γράμμα (ρ). Όπως είπαμε και παραπάνω η πυκνότητα εκφράζει τη μάζα του υλικού που περιέχεται σε μία μονάδα όγκου.

Ο τύπος της πυκνότητας είναι ο εξής:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.1)$$

Μονάδα μέτρησης της πυκνότητας στο διεθνές σύστημα μονάδων (SI) είναι το 1 (kg/m³).

Αρκετά συχνά όμως ως μονάδα χρησιμοποιείται και το γραμμάριο ανά κυβικό εκατοστό, 1 g/cm³ στο σύστημα CGS.

Η τιμή της πυκνότητας μπορεί να διαφέρει κατά πολύ από ρευστό σε ρευστό, στα υγρά όμως οι μεταβολές της πίεσης (P) και της θερμοκρασίας (T) κατά κανόνα δεν έχουν παρά μόνο μια μικρή επίδραση στη τιμή της πυκνότητας. Σε αντίθεση με τα υγρά όμως η πυκνότητα των αερίων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις τιμές της πίεσης (P) και της θερμοκρασίας (T).

Προσοχή: Η έκφραση σωματιδιακή πυκνότητα αναφέρεται στον αριθμό σωματιδίων ανά μονάδα όγκου και ποτέ σε πυκνότητα του κάθε σωματιδίου.

Γενικά η πυκνότητα είναι ένα εντατικό μέγεθος, καθώς εκφράζεται ως πηλίκο μεγεθών που εξαρτώνται από την ποσότητα του υλικού στο οποίο αναφέρονται. Με άλλα λόγια, η πυκνότητα δεν εξαρτάται από τη ποσότητα του υλικού, αλλά όμως αποτελεί κύριο σταθερό χαρακτηριστικό συγκεκριμένου κάθε φορά υλικού.

Για παράδειγμα, η πυκνότητα ενός σιδερένιου συνδετήρα είναι ίδια με την πυκνότητα μιας σιδερένιας ράβδου, δηλαδή ίση με 7800 kg/m³ διότι είναι κατασκευασμένα αμφότερα από το ίδιο υλικό..

Οι πυκνότητες των συνηθέστερων σωμάτων (στερεών, υγρών, ή αερίων) καταγράφονται ή φέρονται σε πίνακες τόσο σε βιβλία Φυσικής όσο και σε διάφορα σε τεχνικά βοηθήματα.

Χαρακτηριστικές πυκνότητες διάφορων υλικών παρατίθενται στον Πίνακα 1.

Πυκνότητες διάφορων υλικών.	
Υλικό	Πυκνότητα (kg/m ³)
Αέρας (στους 20 °C)	1,2
Αέρας (στους 0 °C)	1,3
Φελλός	250
Οινόπνευμα	800
Ελαιόλαδο	900
Πάγος	920
Νερό	1.000
Τσιμέντο	2.400
Αλουμίνιο	2.700
Σίδηρος	7.800
Μόλυβδος	11.340
Υδράργυρος	13.600
Χρυσός	19.300
Όσμιο	22.587

Πίνακας 1

2.2 Πίεση.

Πίεση είναι η δύναμη που εφαρμόζεται κάθετα σε μια επιφάνεια ενός αντικειμένου ανά μονάδα εμβαδού της επιφάνειας αυτής.

Ο τύπος της είναι:

$$P = \frac{F}{A} \quad (2.2)$$

Οι μονάδες της πίεσης είναι $[P] = \frac{N}{m^2} = Pa$

Τα ρευστά (αέρια και υγρά) δεν έχουν καθορισμένο σχήμα και έτσι προσαρμόζονται στο σχήμα των στερεών επιφανειών με τις οποίες εφάπτονται. Έτσι, η δύναμη λόγω πίεσης που ασκεί ένα ρευστό σε επιφάνεια είναι πάντα κάθετη στην επιφάνεια.

Όταν ένα ρευστό βρίσκεται μέσα σε πεδίο βαρύτητας, τότε η βαρυτική δύναμη του υπερκείμενου ρευστού είναι ο ουσιαστικός μηχανισμός ο οποίος καθορίζει την τιμή της πίεσης σε κάθε σημείο του ρευστού. Έτσι, ορίζουμε τη στατική ή υδροστατική πίεση η οποία αντιστοιχεί στο βάρος στήλης συγκεκριμένου ύψους και συγκεκριμένης διατομής, η οποία περιέχει το ρευστό που μας ενδιαφέρει.

Έτσι προκύπτει ο νόμος της υδροστατικής πίεσης για τα ασυμπίεστα υγρά ως εξής:

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{F}{A} \rho \\
 P &= \frac{(mg)}{A} \rho \\
 P &= \frac{(mgh)}{Ah} \rho & (2.3) \\
 P &= \frac{m}{V} gh \rho \\
 P &= \rho gh
 \end{aligned}$$

Όπου:

ρ , είναι η (σταθερή) πυκνότητα του υγρού

, είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας

h , είναι το ύψος από την ελεύθερη επιφάνεια του υγρού.

Η υδροστατική πίεση μετριέται από την ελεύθερη επιφάνεια, στην οποία η πραγματική πίεση δεν είναι μηδέν αλλά ίση με 1 atm.

2.2.1 Ατμοσφαιρική πίεση.

Για την πίεση της ατμόσφαιρας χρησιμοποιούμε την ίδια διαδικασία αλλά εδώ η πυκνότητα δεν είναι σταθερή αλλά υπακούει σε μια καταστατική εξίσωση:

$$P = \rho RT \quad (2.4)$$

Αποτέλεσμα το οποίο εκφράζει την εκθετική πτώση της ατμοσφαιρικής πίεσης με το ύψος, υπολογιζόμενης ως υδροστατικής πίεσης συμπιεστού ρευστού. Χρησιμοποιώντας την εκθετική μείωση της πυκνότητας του αέρα με το ύψος στην ατμόσφαιρα, μπορούμε να υπολογίσουμε την υδροστατική πίεση της ατμόσφαιρας με τρόπο ανάλογο με αυτό των υγρών.

2.2.3 Δυναμική Πίεση.

Όταν ένα ρευστό κινείται και μεταβάλλεται η κινητική του ενέργεια ή η ορμή του τότε η μεταβολή αυτή εμφανίζεται ως πίεση, την οποία αποκαλούμε δυναμική πίεση. Για πρακτικούς λόγους μπορούμε να χρησιμοποιούμε κατά περίπτωση και λιγότερο δόκιμους όρους όπως η «πίεση ακτινοβολίας», αλλά όλες ανάγονται στους δύο παραπάνω αρχικούς ορισμούς, αν και τα όργανα μέτρησης λειτουργούν αντιμετωπίζοντας την πίεση ως δύναμη ανά μονάδα επιφάνειας.

2.2.4 Μονάδες και μέτρηση της πίεσης.

Μονάδα της πίεσης στο διεθνές σύστημα μονάδων είναι το Πασκάλ (Pascal) μονάδα η οποία έχει τις ίδιες διαστάσεις με Joule/m^3 . Η τελευταία προέρχεται από τον εναλλακτικό ορισμό της πίεσης ως πυκνότητας ενέργειας, αλλά δεν χρησιμοποιείται ως μονάδα επειδή δεν είναι πρακτικά εφικτή η μέτρηση της πίεσης με έναν τέτοιο τρόπο. Πρακτική μονάδα πίεσης είναι το bar, που ισοδυναμεί με 100.000 Pa.

Γενικά η πίεση μετριέται με ειδικά όργανα τα μανόμετρα και ειδικά για την ατμοσφαιρική πίεση, τα βαρόμετρα.

Μονάδες πίεσης είναι το Πασκάλ (Pa), η Ατμόσφαιρα (Atm), το χιλιοστό στήλης υδραργύρου (mm Hg), το Torr, το Μπαρ (Bar) και οι υποδιαιρέσεις αυτού: το Μιλιμπάρ (mb) και το Μίκρομπαρ (μb).

Η μονάδα ατμόσφαιρας (atm) σήμερα ορίζεται ως 101.325 (Pa) ακριβώς^[2].

Απόλυτη πίεση χαρακτηρίζεται εκείνη που αρχή μέτρησης έχει το τέλειο ή απόλυτο κενό.

Πραγματική πίεση χαρακτηρίζεται εκείνη που ως αρχή μέτρησης λαμβάνεται η βαρομετρική πίεση.

2.3 Ειδικό βάρος.

Με τον όρο ειδικό βάρος εννοούμε το βάρος του ρευστού σωματιδίου δια του όγκου του ή το βάρος ανά μονάδα όγκου. Για το γήινο βαρυτικό πεδίο, το ειδικό βάρος (γ) ρευστού πυκνότητας ρ είναι:

$$g = \frac{mg}{V} = \frac{mg}{m/r} = r g \quad (2.5)$$

όπου g επιτάχυνση της βαρύτητας δηλ. $g = 9.81 \text{ m/sec}^2$.

Η συνήθης μονάδα μέτρησης στο SI είναι το N/m^3 .

2.4 Συμπιεστότητα.

Η συμπιεστότητα αποτελεί μέτρο της μεταβολής του όγκου του ρευστού κάτω από την επίδραση εξωτερικών δυνάμεων. Το αντίστροφο της συμπιεστότητας ενός ρευστού ορίζεται ως το μετρό ελαστικότητας (E), του ρευστού.

Από το παραπάνω προκύπτει το εξής.

$$Dp = - E \frac{DV}{V_0} \quad (2.6)$$

Όπου ο λόγος $\Delta V/V_0$ είναι η ποσοστιαία μεταβολή του όγκου του ρευστού λόγω μεταβολής (αύξησης) της πίεσης κατά Δp . Το αρνητικό πρόσημο παρουσιάζεται γιατί η μεταβολή του όγκου ΔV είναι αρνητική, δηλαδή το ρευστό συρρικνώνεται.

Για την περίπτωση των αερίων, όταν έχουμε ισόθερμη μικρή μεταβολή, το μέτρο ελαστικότητας (E) είναι ίσο προς την αρχική πίεση p_0 που δέχεται μία συγκεκριμένη ποσότητα αερίου όγκου V .

Παρατήρηση: Μεγάλο μέτρο ελαστικότητας σημαίνει μικρή συμπιεστότητα.

Η συμπιεστότητα των υγρών είναι πολύ μικρή. Τα περισσότερα υγρά θεωρούνται ασυμπίεστα. Τα αέρια, σε αντίθεση, έχουν μέτρο ελαστικότητας ίσο προς την αρχική πίεση p_0 , που δέχεται μια συγκεκριμένη ποσότητα αέρα όγκου V_0 , όταν η μεταβολή είναι ισόθερμη. Δηλαδή κατά τη μεταβολή τα p , V μεταβάλλονται, αλλά η θερμοκρασία (T) παραμένει σταθερή.

2.5 Είδη ροής ρευστού.

Υπάρχουν διαφορετικά είδη ροής των ρευστών τα οποία διαχωρίζονται με βάση τις μεταβλητές που διέπουν τη ροή του ρευστού, Δύο είναι τα βασικά είδη της ροής η στρωτή και η τυρβώδης. Ο χαρακτηρισμός αυτός της ροής γίνεται με βάση τη δυναμική άποψη δηλαδή με το συσχετισμό των δυνάμεων.

2.5.1 Στρωτή ροή.

Κατά τη στρωτή ροή οι γειτονικές στρώσεις του ρευστού κινούνται σχηματίζοντας λείες αλλά όχι απαραίτητα ευθείες γραμμές ροής χωρίς να πραγματοποιείται ανάμιξη μακροσκοπικής κλίμακα μεταξύ δυο γειτονικών στρώσεων.

Η στρωτή ροή πραγματοποιείται όταν οι δυνάμεις συνεκτικότητας (εξαιτίας των διατμητικών τάσεων, -δηλαδή οι δυνάμεις τριβών που οφείλονται στην παρουσία στερεών τοιχωμάτων- είναι μεγαλύτερες από τις δυνάμεις αδράνειας. Οι στρωτές ροές αποτελούν θεωρητική περίπτωση και πολύ σπάνια συμβαίνουν στη φύση.

Όπου γραμμή ροής είναι η γραμμή στην οποία είναι εφαπτόμενο το άνυσμα της ταχύτητας ροής.

Στρωτή ροή.

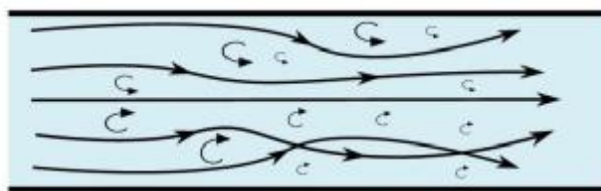


Εικόνα 4 Απεικόνιση στρωτής ροής εντός αγωγού.

2.5.2 Τυρβώδη ροή.

Στην τυρβώδη ροή τα ρευστά σωματίδια έχουν ακανόνιστη, σχεδόν τυχαία, διακυμαινόμενη κίνηση. Η ταχύτητα σε κάθε σημείο του ρευστού μεταβάλλεται με το χρόνο τόσο κατά μέγεθος, όσο και κατά διεύθυνση. Η ροή κατά στρώσεις με λείες γραμμές ροής που παρατηρείται στη στρωτή ροή, διασπάται πλήρως και συμβαίνει έντονη μακροσκοπική ανάμιξη μεταξύ δυο γειτονικών στρώσεων. Η τυρβώδης ροή πραγματοποιείται όταν οι δυνάμεις αδράνειας είναι μεγαλύτερες από τις δυνάμεις συνεκτικότητας. Στο φυσικό περιβάλλον, όλες σχεδόν οι ροές είναι τυρβώδεις.

Τυρβώδης ροή.



Εικόνα 5 Απεικόνιση τυρβώδους ροής εντός αγωγού.

2.5.3 Εσωτερική ροή.

Μια ροή χαρακτηρίζεται ως εσωτερική όταν περιορίζεται από στερεά όρια. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η ροή σε αγωγούς υπό πίεση, που αποτελεί το αντικείμενο του παρόντος βιβλίου.

2.5.4 Εξωτερική ροή.

Μια ροή χαρακτηρίζεται ως εξωτερική, όταν δεν περιορίζεται από στερεά όρια και μπορεί να επεκταθεί. Οι περισσότερες πρακτικές περιπτώσεις εξωτερικών ροών αφορούν τη σχετική κίνηση ρευστών στην περιοχή στερεών αντικειμένων, όπως η ροή του αέρα σε διάφορες κατασκευές (κτίρια, γέφυρες, ανεμογεννήτριες), η κίνηση των πλοίων στη θάλασσα, η κίνηση των αυτοκινήτων και των αεροπλάνων στον αέρα κ.α.

Ακόμα και στις εξωτερικές ροές υπάρχουν στερεά όρια, τα οποία επηρεάζουν τη ροή κοντά σε αυτά. Ένα στερεό όριο χαρακτηρίζεται από την τραχύτητά του « k », η οποία πρακτικά είναι ίση με το μέσο μμέγεθος των προεξοχών του. Στην ανάλυση της ροής κοντά σε στερεό όριο χρησιμοποιούμε την ισοδύναμη τραχύτητα « ks ». Η ισοδύναμη τραχύτητα μιας επιφάνειας είναι ίση με τη διάμετρο ομοιόμορφων κόκκων άμμου που τοποθετούμε πάνω σε μια λεία επιφάνεια ώστε να παρουσιάζει τις ίδιες απώλειες εξαιτίας τριβών με την εξεταζόμενη φυσική επιφάνεια.

2.5.5 Υποηχητική, διηχητική και υπερηχητική ροή.

Αν η ταχύτητα u , ενός ρευστού είναι μικρότερη από την ταχύτητα του ήχου c , τότε η ροή χαρακτηρίζεται ως υποηχητική (subsonic flow). Όταν η ταχύτητα u , του ρευστού είναι κοντά στην ταχύτητα του ήχου c , τότε η ροή χαρακτηρίζεται ως διηχητική (transonic flow). Σε αυτήν την περίπτωση ο αριθμός Mach της ροής $M = u/c$, είναι μεταξύ 0.8 και 1.2. Τέλος, όταν η ταχύτητα u , του ρευστού είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα του ήχου c , τότε η ροή χαρακτηρίζεται ως υπερηχητική ροή.

2.6 Οριακό στρώμα.

Η παρουσία ενός στερεού ορίου στις εσωτερικές ή εξωτερικές ροές επηρεάζει τη ροή κοντά σε αυτό. Δηλαδή «επιβάλλει» το μηδενισμό της ταχύτητας ροής στο όριο και επιβραδύνει το ρευστό, λόγω της παρουσίας των τριβών. Η επίδραση αυτή του στερεού ορίου περιορίζεται σε ένα χώρο που καλείται οριακό στρώμα.

Όπου όριο, η φυσική οριακή συνθήκη.

2.6.1 Βασικά χαρακτηριστικά του οριακού στρώματος.

Τα βασικά χαρακτηριστικά του οριακού στρώματος είναι τα ακόλουθα:

1) Το πάχος « δ » του οριακού στρώματος, το οποίο ορίζεται ως η κάθετη απόσταση από

το στερεό όριο «y» μέχρι το σημείο όπου η ταχύτητα ροής είναι ίση με την εξωτερική ταχύτητα της ροής «U», πρακτικά διαφέρει κατά 1%, δηλ. είναι $(u = 0.99U)$.

2) Η εσωτερική και η εξωτερική περιοχή. Η έννοια του οριακού στρώματος παρουσιάστηκε το 1904 από τον Ludwig Prandtl (1875-1953). Ο Prandtl, ο οποίος ήταν Γερμανός μηχανικός, καθηγητής εφαρμοσμένης μηχανικής στα Πανεπιστήμια του Ανόβερου (1901) και του Goettingen (1904-1953), έθεσε τις βάσεις της αεροδυναμικής τη δεκαετία του 1920 και απλοποίησε τη μορφή των εξισώσεων του πεδίου ροής στο οριακό στρώμα θεωρώντας δυο περιοχές:

- Την εσωτερική περιοχή (όπου $y < 0.15 \delta$), όπου κυριαρχεί η συνεκτικότητα και δημιουργείται η κύρια αντίσταση στη ροή (drag) ενός βυθισμένου σώματος.

- Την εξωτερική περιοχή (όπου $y > 0.15 \delta$), όπου η επίδραση της συνεκτικότητας μπορεί να αγνοηθεί, δηλαδή να θεωρήσουμε ότι το ρευστό είναι ιδεατό ($\mu=0$).

Το στρωτό οριακό, υπό στρώμα (wall layer), το οποίο είναι μια ζώνη πάχους « δ » πολύ κοντά στο όριο, όπου επικρατούν οι δυνάμεις συνεκτικότητας και η ροή είναι στρωτή. Συνήθως, το « δ » είναι της τάξης του 2% του « δ ».

2.7 Ιξώδες.

Τα ρευστά κάτω από την επίδραση διατμητικών τάσεων υφίστανται μη αντιστρεπτή παραμόρφωση, δηλαδή αρχίζουν να ρέουν. Η πιο απλή περίπτωση ροής που μπορούμε να δούμε κατά την ροή ρευστού είναι η ροή σε αλληπάλληλες στρώσεις ρευστού, δηλαδή, επιφάνειες η μια πάνω στην άλλη που κινούνται παράλληλα. Μεταξύ αυτών των στρώσεων του ρευστού εμφανίζονται δυνάμεις εσωτερικής τριβής και μπορούμε να πούμε ότι σε κάθε σημείο της ροής υπάρχει διατμητική τάση. Οι τάσεις αυτές οφείλονται στις εσωτερικές ιδιότητες του ρευστού λόγω της κινητικότητας των μορίων του και αποτελεί χαρακτηριστική ιδιότητα του. Ο συντελεστής που αποδίδει τις εσωτερικές ιδιότητες του ρευστού καλείται συνεκτικότητα ή δυναμικό ιξώδες ή ιξώδες και συνήθως συμβολίζεται με (μ). Άρα θα μπορούσαμε να πούμε ότι το ιξώδες αποτελεί το μέτρο της εσωτερικής τριβής που αναπτύσσεται κατά την κίνηση του ρευστού. Η συνεκτικότητα των ρευστών επηρεάζεται με τη μεταβολή της θερμοκρασίας. Η μεταβολή της πίεσης αντίθετα, προξενεί ουσιαστικά αμελητέα μεταβολή του ιξώδους εκτός εάν έχουμε πολύ μεγάλες μεταβολές της πίεσης. Με την αύξηση της θερμοκρασίας προσδίδεται ενέργεια στα μόρια, τα οποία αυξάνουν το πλάτος της ταλάντωσής τους γύρω από τη θέση ισορροπίας τους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της σταθερότητας της μοριακής δομής και κατά συνέπεια της συνεκτικότητας του υγρού.

Στα αέρια, τα μόρια δεν ταλαντώνονται γύρω από μία θέση ισορροπίας, αλλά διανύουν αποστάσεις μέσα στο χώρο που καταλαμβάνουν και συγκρούονται μεταξύ τους. Με την αύξηση της θερμοκρασίας, πάλι προσδίδεται ενέργεια στο σύστημα και τα μόρια του αερίου αυτή τη φορά επιταχύνονται περισσότερο. Αποτέλεσμα αυτής της αύξησης της άτακτης κίνησης, είναι η αύξηση των συγκρούσεων των μορίων μεταξύ τους. Αυτές οι

αυξανόμενες συγκρούσεις ουσιαστικά αυξάνουν τη μεταβολή της ορμής μεταξύ των σωματιδίων και κατά συνέπεια των δυνάμεων εσωτερικής τριβής. Στα αέρια λοιπόν, η συνεκτικότητα αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας, αντίθετα με ότι συμβαίνει στα υγρά.

Με πιο απλά λόγια το ιξώδες ενός ρευστού είναι σταθερά αναλογίας της σχέσης μεταξύ της διαμητικής τάσης και του ρυθμού διάτμησης σε ένα νευτωνικό ρευστό.

Πιο συγκεκριμένα.

$$t_u = m \frac{du}{dy} \quad (2.7)$$

Η μονάδα μέτρησης του ιξώδους είναι το (N/m^2) .

Το ιξώδες των υγρών και των αερίων εξαρτάται κυρίως από τη θερμοκρασία και τη δομή του μορίου και λιγότερο από τη πίεση.

Προσεγγιστικά για τα αέρια ισχύει.

$$\frac{m}{m_0} = \frac{\alpha T}{\zeta 273} \frac{\sigma''}{\sigma} \quad (2.8)$$

Αέριο	αέρας	N ₂	O ₂	CO ₂	CO	CH ₄	Cl ₂	H ₂ O
N	0,768	0,756	0,814	0,935	0,758	0,783	1	1,16

Πίνακας 2 Τιμή ιξώδους για βασικά αέρια.

2.8 Είδη ρευστών.

Τα ρευστά και οι ροές τους μπορούν να ταξινομηθούν σε διάφορες κατηγορίες, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους. Στη συνέχεια παραθέτουμε τις πιο βασικές κατηγοριοποιήσεις τους

2.8.1 Πραγματικά και ιδανικά ρευστά.

Πραγματικά ή ιξώδη λέγονται τα ρευστά εκείνα που έχουν ιξώδες, μ . Στα ρευστά αυτά εμφανίζονται διαμητικές τάσεις. Ένα ρευστό καλείται ιδανικό (ή ιδεατό ή ανιξωδικό) όταν έχει μηδενική συνεκτικότητα ($\mu = 0$). Κατά την κίνηση των ρευστών αυτών δεν

εμφανίζονται διατμητικές τάσεις. Οι μόνες επιφανειακές δυνάμεις που ασκούνται σε κάθε σημείο του πεδίου ροής, είναι οι δυνάμεις πίεσεως ή κάθετες τάσεις. Άρα, η συνισταμένη δύναμη σε αυτά τα ρευστά θα αποτελείται από τις δυνάμεις πίεσεως και τις καθολικές δυνάμεις. Οι εξισώσεις που περιγράφουν την κίνηση των ιδανικών ρευστών διατυπώθηκαν από τον Ελβετό μαθηματικό Leonhard Euler σε άρθρο του που δημοσιεύτηκε το 1757.

2.8.2 Συμπιεστά και ασυμπίεστα ρευστά.

Συμπιεστά ονομάζονται τα ρευστά εκείνα που είναι ομογενή, δηλαδή έχουν παντού την ίδια χημική σύσταση, αλλά δεν έχουν σταθερή πυκνότητα. Ένα παράδειγμα τέτοιου ρευστού είναι ο αέρας. Σε αντίθεση, ασυμπίεστα ονομάζονται τα ρευστά που έχουν σταθερή πυκνότητα. Ένα παράδειγμα τέτοιου ρευστού είναι το νερό.

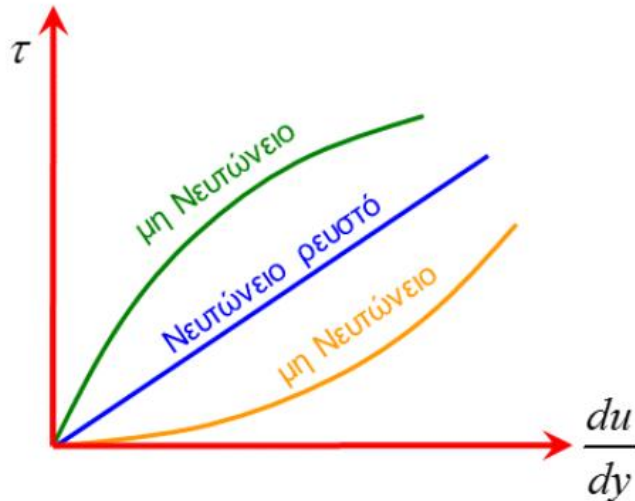
2.8.3 Τέλεια αέρια.

Τέλεια ή ιδανικά ονομάζονται τα αέρια που η αλληλεπίδραση μεταξύ των μορίων που τα δομούν είναι αμελητέα. Δηλαδή, η δυναμική ενέργεια λόγω της αλληλεπίδρασης μεταξύ των μορίων του αερίου είναι πολύ μικρή σε σχέση με τη μέση κινητική ενέργεια των μορίων του αερίου. Για τα αέρια αυτά και για μάζα, m , ισχύει η καταστατική εξίσωση των αερίων.

2.8.4 Νευτώνεια και μη Νευτώνεια ρευστά.

Αυτή η ταξινόμηση γίνεται βάσει της σχέσης που συνδέει τις τάσεις που ασκούνται στα ρευστά αυτά και τις ταχύτητες παραμόρφωσης αυτών. Έτσι τα ρευστά εκείνα που έχουν μια γραμμική σχέση μεταξύ τάσης και ταχύτητας παραμόρφωσης, όπως αυτή περιγράφεται από τον πειραματικό νόμο του Νεύτωνα, $\tau = \mu (du / dy)$, ονομάζονται Νευτώνεια ρευστά.

Τα περισσότερο κοινά αλλά και σπουδαία ρευστά, όπως ο αέρας και το νερό, είναι Νευτώνεια ρευστά. Υπάρχουν βέβαια ρευστά που η σχέση μεταξύ τάσης και ταχύτητας παραμόρφωσης δεν είναι γραμμική. Για παράδειγμα, υπάρχουν ρευστά για τα οποία ισχύει $\tau = \mu(du/dy)$. Τέτοιου είδους ρευστά καλούνται μη Νευτώνεια ρευστά και απαντώνται συχνά στη φύση. Μη Νευτώνεια ρευστά είναι οι παχύρρευστοι υδρογονάνθρακες (δομή μακρών αλυσίδων άνθρακα) όπως η πίσσα ή τα υγρά πολυμερή (πλαστικά). Η εικόνα παρουσιάζει τη σχέση μεταξύ τάσης και ταχύτητας παραμόρφωσης.



Εικόνα 6 Σχέση τάσης τ με την ταχύτητα παραμόρφωσης $du=dy$, για Νευτώνεια και μη Νευτώνεια ρευστά

2.9 Απώλειες ενέργειας.

Ουσιαστικά το φαινόμενο των απωλειών παρουσιάζεται λόγω των τριβών που παρουσιάζονται κατά τη ροή ενός ρευστού, πιο συγκεκριμένα πρόκειται για απώλειες ενέργειας που οδηγούν τελικά σε πτώση της στατικής πίεσης. Οι απώλειες ενέργειας χωρίζονται σε δύο κατηγορίες οι οποίες, άξιο αναφορά είναι το γεγονός ότι αν συγκρίνουμε τα δύο παρακάτω είδη απωλειών έχει προκύψει ότι για έναν αγωγό με μεγάλο μήκος, οι τοπικές απώλειες είναι μικρές σε σχέση με τις απώλειες λόγω τριβών.

2.9.1 Απώλειες λόγω τριβής, hf .

Λόγω της συνεκτικότητας (ιξώδους) των πραγματικών ρευστών δημιουργούνται διατμητικές δυνάμεις μεταξύ των διαδοχικών στρώσεων του ρευστού λόγω της εσωτερικής τριβής καθώς και μεταξύ του ρευστού και των τοιχωμάτων του αγωγού. Ένας σημαντικός παράγοντας για τις απώλειες ροής στον αγωγό είναι αν η ροή είναι τυρβώδης ή στρωτή. Κατά τη στρωτή ροή, τα ρευστά σωματίδια κινούνται σε παράλληλες στρώσεις και δεν παρατηρείται μίξη μεταξύ των στρώσεων του ρευστού. Κατά την τυρβώδη ροή, έχουμε ακανόνιστη κίνηση των ρευστών σωματιδίων τα οποία αναμειγνύονται σε διάφορες στρώσεις. Για τον προσδιορισμό του τύπου της ροής δηλαδή αν είναι στρωτή ή τυρβώδη, εξετάζουμε αν η τιμή του αριθμού Reynolds (Re), βασιζόμενου στη διάμετρο (D) του αγωγού είναι μικρότερη ή μεγαλύτερη, αντίστοιχα, από μια ορισμένη κρίσιμη τιμή του.

Οι απώλειες λόγω τριβής προσδιορίζονται από το παρακάτω τύπο.

$$hf = f \frac{l U^2}{D 2g} \quad (2.9)$$

Όπου:

- f , ο συντελεστής τριβής.

- $u^2/2g$, είναι το ύψος της κινητικής ενέργειας στον αγωγό διαμέτρου (D) ως προς το μήκος ροής (l).

2.9.2 Τοπικές απώλειες ενέργειας, hm .

Λόγω αλλαγής γεωμετρίας του αγωγού που παρουσιάζονται στην είσοδο και την έξοδο του αγωγού, όταν έχουμε αλλαγές στην διεύθυνση του αγωγού όπως καμπύλωση, διακλάδωση ή και άλλων μετατροπών του αγωγού που επηρεάζουν τη γεωμετρία του, συγκλίσεις ή αποκλίσεις δηλαδή παρουσία αλλαγής στην διατομή ή παρεμβολή εξαρτημάτων όπως βαλβίδες, βάνες, ενώσεις κλπ.

Οι τοπικές απώλειες ενέργειας (hm) λέγονται και δευτερεύουσες απώλειες διότι σε δίκτυα αγωγών συνήθως οι ευθύγραμμοι αγωγοί είναι το μεγαλύτερο μέρος του δικτύου και από αυτούς προέρχονται όλες οι απώλειες. Το ότι λέγονται και δευτερεύουσες απώλειες δεν σημαίνει ότι μπορούν να αγνοηθούν ή ότι δεν είναι σημαντικές. Υπάρχουν περιπτώσεις μάλιστα που οι απώλειες αυτές είναι μεγαλύτερες από τις απώλειες τριβής.

Οι τοπικές απώλειες ορίζονται για την κάθε περίπτωση από το παρακάτω τύπο.

$$hm = z \frac{u^2}{2g} \quad (2.10)$$

Όπου:

- z , ο αδιάστατος συντελεστής τοπικών απωλειών, που προσδιορίζεται πειραματικά για κάθε μία περίπτωση

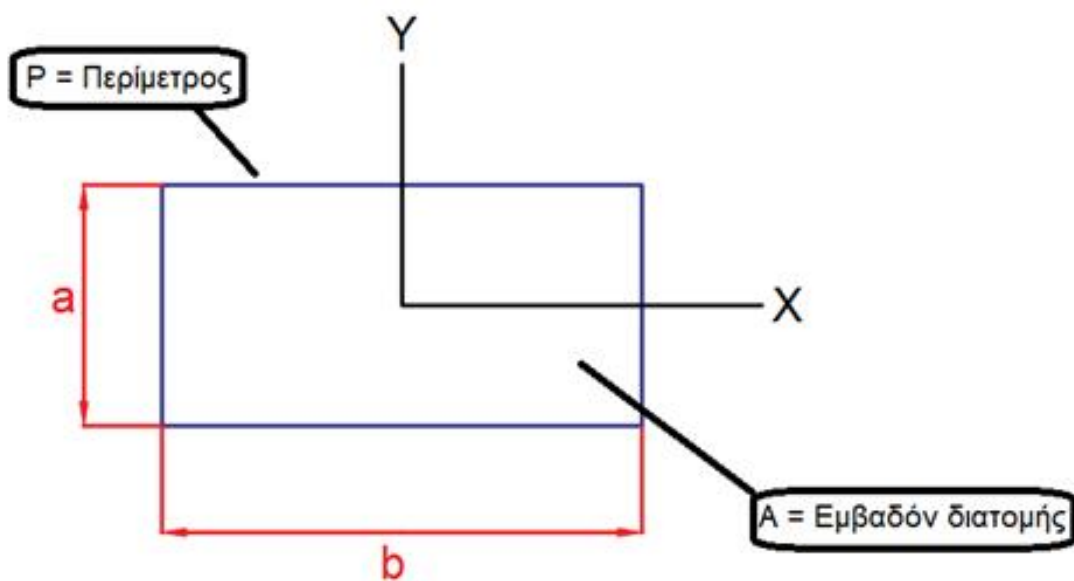
- $u^2 / 2g$, είναι το ύψος της κινητικής ενέργειας στον αγωγό διαμέτρου ως προς μήκος της ροής.

Σε γενικές γραμμές όσο αφορά τις απώλειες ενέργειας εντός κλειστών αγωγών ισχύει ότι είναι:

$$DH = hf + hm \quad (2.11)$$

2.9.3 Απώλειες σε μη κυκλικές διατομές.

Ένα σημαντικό μέρος των αγωγών που διακινούν ρευστά, όπως στη περίπτωση της αυτής εδώ της πτυχιακής, είναι μη κυκλικής διατομής. Τα χαρακτηριστικά της ροής των αγωγών αυτών εξαρτώνται σε πάρα πολύ μεγάλο βαθμό από το σχήμα της διατομής του αγωγού, παρόλα αυτά υπάρχει δυνατότητα να ανάγουμε τα αποτελέσματα των απωλειών σε αγωγούς κυκλικής διατομής σε αυτά τα σχήματα. Αυτό παρόλα αυτά μπορεί να επιτευχθεί μέσω πολύ πολύπλοκων μαθηματικών, ας εξετάσουμε όμως έναν πρακτικό τρόπο υπολογισμού απωλειών σε μη κυκλικές διατομές.



Εικόνα 7 Αγωγός μη κυκλικής διατομής.

Ανεξαρτήτως σχήματος όταν η ροή είναι πλήρως ανεπτυγμένη δεν υφίστανται δυνάμεις λόγω αδρανείας. Αυτό συνεπάγεται ότι ο συντελεστής τριβής μπορεί να γραφτεί στη παρακάτω μορφή:

$$f = \frac{C}{Re_h} \quad (2.12)$$

Όπου:

- C, σταθερά η οποία εξαρτάται από το σχήμα του εκάστοτε αγωγού.
- Re_h , ο αριθμός Reynolds υπολογισμένος με βάση την υδραυλική διάμετρο

Πιο συγκεκριμένα.

$$D_h = r V \frac{D}{m} \quad (2.13)$$

Έτσι η υδραυλική διάμετρος ορίζεται ως εξής από τη παρακάτω σχέση.

$$D_h = \frac{4 \times A}{P} \quad \text{ή} \quad D_h = \frac{4 C_D \frac{\pi}{4} D^2 \frac{\dot{V}}{D}}{\rho \times D} = D \quad (2.14)$$

Όπου:

- C_D , σταθερά της σχέσης με σκοπό την εξίσωση της υδραυλικής διάμετρο ενός αγωγού κυκλικής διατομής με τη διάμετρο του.
- A , το εμβαδόν της διατομής του αγωγού.
- P , η περίμετρος της διατομής του αγωγού.

Οι τιμές της σταθεράς C_D για στρωτές ροές μπορούν να προκύψουν αναλυτικά αλλά και πειραματικά για κάθε σχήμα και διατομή. Άξιο αναφοράς είναι ότι αν η διατομή δεν είναι πολύ λεπτή τότε η τιμή της σταθεράς C_D διαφέρει και πολύ από τη τιμή $C_D=64$, τιμή η οποία ισχύει για σχήματα στρογγυλής διατομής. Από τη στιγμή που θα προσδιορίσουμε τη τιμή της σταθεράς C_D εφαρμόζουμε την ίδια μεθοδολογία που ακολουθούμε στους σωλήνες κυκλικής διατομής, επίσης το διάγραμμα Moody μπορεί να χρησιμοποιηθεί για σωλήνες μη κυκλικής διατομής.

Οι υπολογισμοί που αφορούν σε πλήρως ανεπτυγμένη τυρβώδη ροή σε αγωγούς μη κυκλικής διατομής γίνονται συνήθως μέσω του διαγράμματος Moody, με βάση την υδραυλική διάμετρο και τον αριθμό Reynolds που προκύπτει βάση της υδραυλικής διαμέτρου. Οι υπολογισμοί αυτοί έχουν ακρίβεια κατά προσέγγιση 15% οπότε αν απαιτείται μεγαλύτερη ακρίβεια απαιτείται πιο ενδελεχής ανάλυση με βάση το σχήμα σε κάθε περίπτωση. Άξιο τονισμού είναι ότι το εμβαδόν μη κυκλικής διατομής δεν είναι ίσο με $\frac{P}{4} \cdot D_h^2$ και ότι οι υπολογισμοί της μέσης ταχύτητας και της παροχής θα πρέπει να διεξάγονται με βάση το πραγματικό εμβαδόν της μη κυκλικής διατομής.

2.10 Ο Αριθμός Reynolds

Στη μηχανική ρευστών, ο αριθμός Reynolds (Re) είναι μια αδιάστατη ποσότητα, η οποία χρησιμοποιείται για να προσδιορίσουμε όμοια πρότυπα ροής σε διαφορετικές

καταστάσεις ροής ρευστών. Η έννοια του αριθμού Reynolds εισήχθη από τον Τζωρτζ Στόουκς το 1851, αλλά πήρε το όνομά του από τον Όσμπορν Ρέινολτς (1842–1912), ο οποίος καθιέρωσε την χρήση του το 1883.

Ο αριθμός Reynolds ορίζεται ως, ο λόγος των δυνάμεων αδράνειας προς τις δυνάμεις ιξώδους και συνεπώς ποσοτικοποιεί την μεταξύ τους σημαντικότητα για μια συγκεκριμένη κατάσταση ροής. Συχνά προκύπτουν κατά τη διάρκεια πειραμάτων μοντελοποίησης, προκειμένου να προσδιορίσουμε την σχέση μεταξύ δυο διαφορετικών περιπτώσεων ροής ρευστού. Επίσης ο αριθμός Reynolds χρησιμοποιείται ευρέως για το χαρακτηρισμό του είδους μια ροής, όπως είναι η στρωτή και η τυρβώδης ροή. Πιο συγκεκριμένα, η στρωτή ροή προκύπτει για χαμηλούς αριθμούς Reynolds, όπου είναι κυρίαρχες οι δυνάμεις ιξώδους ενώ χαρακτηρίζεται από ομαλή και σταθερή κίνηση του ρευστού ενώ τυρβώδης ροή προκύπτει για υψηλούς αριθμούς Reynolds, όπου είναι κυρίαρχες οι δυνάμεις αδράνειας, οι οποίες παράγουν χαοτικές δίνες και άλλες αστάθειες στην ροή.

Ο τύπος υπολογισμού του αριθμού Reynolds είναι ο εξής.

$$\text{Re} = \frac{ULr}{\mu} \quad (2.15)$$

Όπου r είναι η πυκνότητα του ρευστού ιξώδους μ . Είναι μία χαρακτηριστική ταχύτητα. Για αγωγό κυκλικής διατομής συνήθως θεωρούμε την μέση ταχύτητα ροής στην είσοδο του αγωγού. Τέλος, ως L επιλέγουμε ένα χαρακτηριστικό μήκος το οποίο για την περίπτωση του αγωγού μπορεί να είναι η υδραυλική διάμετρος ή η διάμετρος ή η ακτίνα της διατομής του αγωγού στην είσοδο.

Κεφάλαιο 3^ο

Πειραματική διαδικασία.

3.1 Η πειραματική συσκευή.

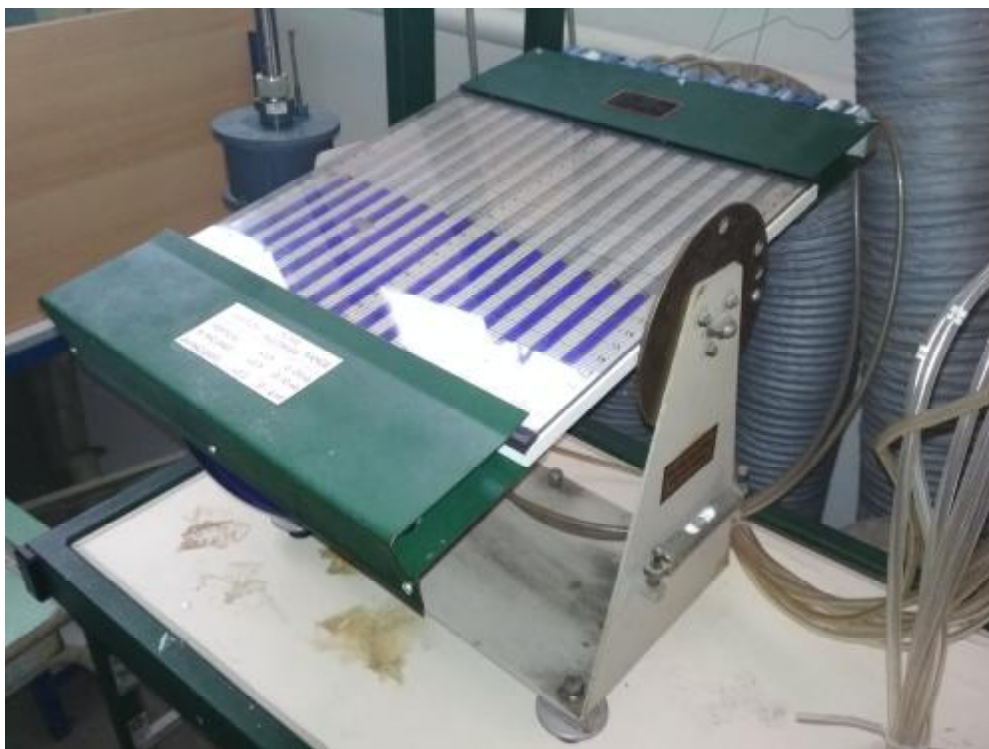
Η συσκευή πάγκου ροής αέρα (air flow bench) της Techquipment που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα βρίσκεται στο εργαστήριο ρευστομηχανικής του ΑΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας. Πρόκειται για μια απλή κατασκευαστικά συσκευή η οποία είναι πιο άμεση στη χρήση σε σχέση με τις μεγαλύτερες σε όγκο και πιο πολύπλοκες αεροσήραγγες οι οποίες εκτός από δυσκολία χειρισμού υστερούν και σε χωροταξία καταλαμβάνοντας μεγάλο όγκο εντός του εργαστηρίου. Η συσκευή παράγει ένα συγκεκριμένο ρεύμα αέρα το οποίο είναι κατάλληλο για εργαστηριακά πειράματα, ειδικότερα στα τμήματα των εργαστηρίων των μικρότερων εξαμήνων. Επίσης είναι ικανή να καταστήσει δυνατή τη διεξαγωγή πειραμάτων ακόμα και εντός ενός απλού εργαστηρίου ενώ παράλληλα δίνει τη δυνατότητα στο διδάσκοντα καθηγητή να μεταλαμπαδεύσει γνώσεις με πιο άμεσο τρόπο. Τέλος είναι πολύ φιλική προς το χρήστη λόγω της ευκολίας συναρμολόγησης της για κάθε πείραμα, δίνει πολύ ωραία εμπειρία χρήσης στο χρήστη κατά τη διάρκεια των πειραμάτων ενώ ο βαθμός επικινδυνότητας της κατά τη χρήση είναι πάρα πολύ μικρός καθιστώντας τη ιδανική για χρήση από φοιτητές.

3.2 Το μανόμετρο.

Το μανόμετρο που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα είναι αυτό που διαθέτει η συσκευή πάγκου ροής αέρα. Πιο συγκεκριμένα πρόκειται για πολύστηλο μανόμετρο το οποίο δίνει ένδειξη της πτώσης πίεσης στα σημεία με τα οποία έχουμε συνδέσει τις διαθέσιμες θέσεις του. Μας παρέχει τη δυνατότητα να το τοποθετήσουμε σε τρία σημεία κλίσης μία εκ των οποίων είναι η κάθετη ενώ αλλάζοντας τη κλίση αυτού επηρεάζουμε την ευαισθησία της μέτρησης που επιθυμούμε να πάρουμε (βλ. εικόνα 9). Η ρύθμιση του ύψους των στηλών γίνεται μέσω μιας δεξαμενής η οποία βρίσκεται στα αριστερά του μανόμετρου και κινείται κατακόρυφα επηρεάζοντας το ύψος των στηλών μέσω του φαινομένου των συγκοινωνούντων δοχείων (βλ. εικόνα 10). Επίσης απαιτείται το μανόμετρο να είναι απόλυτα αλφαδιασμένο στη βάση της μηχανής ώστε να έχουμε σωστές μετρήσεις, αυτό το επιτυγχάνουμε μετατοπίζοντας τα πόδια του μανόμετρου που ουσιαστικά είναι κοχλίες οριζοντίωσης με ελαστικά πέλματα κατά τον άξονα Y μέσω των σπειρωμάτων που διαθέτουν ελέγχοντας την σωστή θέση μέσω του αλφαδιού που βρίσκεται στην αριστερή πλευρά του μανόμετρου (βλ. εικόνα 11). Η μέτρηση που καταγράφουμε είναι αναλογικού τύπου οπότε επιβάλλεται αρκετή προσοχή από μέρος κατά τη διαδικασία των μετρήσεων.



Εικόνα 8 Το μανόμετρο.



Εικόνα 9 Το μανόμετρο υπό κλίση για τη μέτρηση των μικρότερων παροχών.



Εικόνα 10 Η δεξαμενή ρύθμισης το ύψους των στηλών.



Εικόνα 11 Τα «πόδια», κοχλίες οριζοντίωσης του μανομέτρου.

POSITION	SCALE MULTIPLIER	RANGE
VERTICAL	x1,0	0-20mb
1st INCLINED	x0,5	0-10mb
2nd INCLINED	x0,2	0- 4mb

Εικόνα 12 Οι 3 κλίσεις που μπορούμε να προσδώσουμε στο μανόμετρο.

3.3 Το εξάρτημα ροής 90 μοιρών.

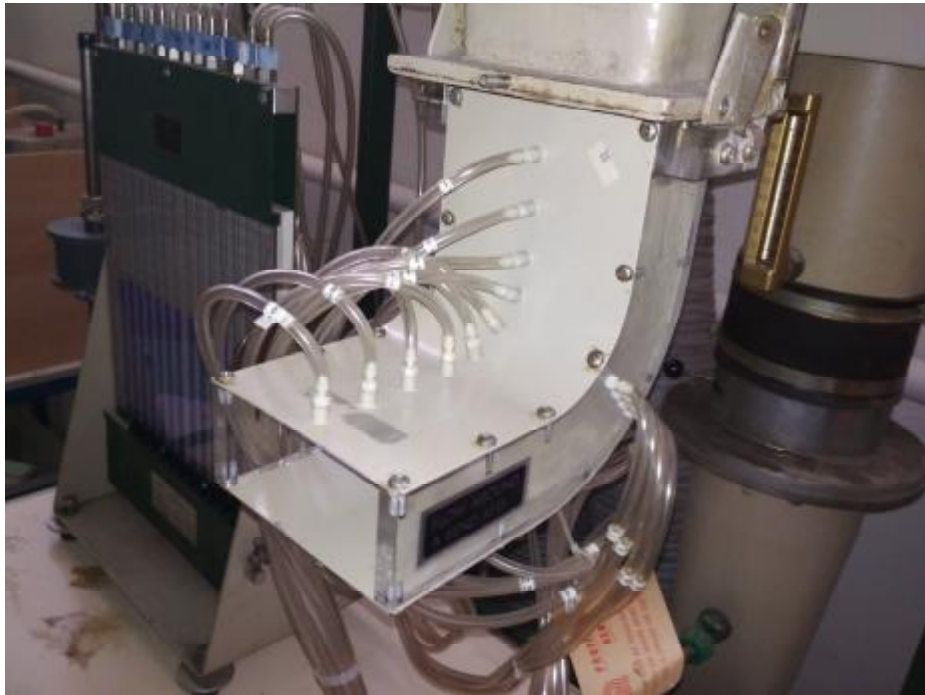
Το εξάρτημα που χρησιμοποιήθηκε για το συγκεκριμένο πείραμα είναι η γωνία των 90 μοιρών. Πρόκειται για μια καμπύλη η οποία αποτελείται από κομμάτια πλεξιγκλάς και αλουμίνιου και συνδέεται στη κατάθλιψη της συσκευής, Σε κάθε επιφάνεια της διαθέτει οπές οι οποίες συνδέονται με το μανόμετρο προσδίδοντας τη πτώση πίεσης στο σημείο αυτό. Πιο συγκεκριμένα στην άνω και τη κάτω επιφάνεια τους διαθέτει δέκα οπές ενώ στις δύο πλάγιες πλευρές του διαθέτει πέντε και τέσσερις οπές αντίστοιχα. Για τις ανάγκες του πειράματος αναφέρουμε τις επιφάνειες αυτές ως εσωτερικό τοίχωμα (άνω επιφάνεια), εξωτερικό τοίχωμα (κάτω επιφάνεια), αξονική κατανομή (πλάγιες επιφάνειες). Το πρόσθετο εξάρτημα ροής αέρα 90 μοιρών, που χρησιμοποιήσαμε στα πειράματα, απεικονίζεται στις εικόνες 13 και 14. Όπως φαίνεται το εξάρτημα είναι ουσιαστικά ένας καμπύλος αγωγός 90° σταθερής ορθογωνικής διατομής με διαστάσεις:

$$-a \times b = 50 \times 100 \text{ mm}$$

ενώ οι ακτίνες της καμπύλης έχουν διαστάσεις:

$$-r_1 = 100 \text{ mm, για το εξωτερικό τοίχωμα.}$$

$$-r_2 = 50 \text{ mm, για το εσωτερικό τοίχωμα.}$$

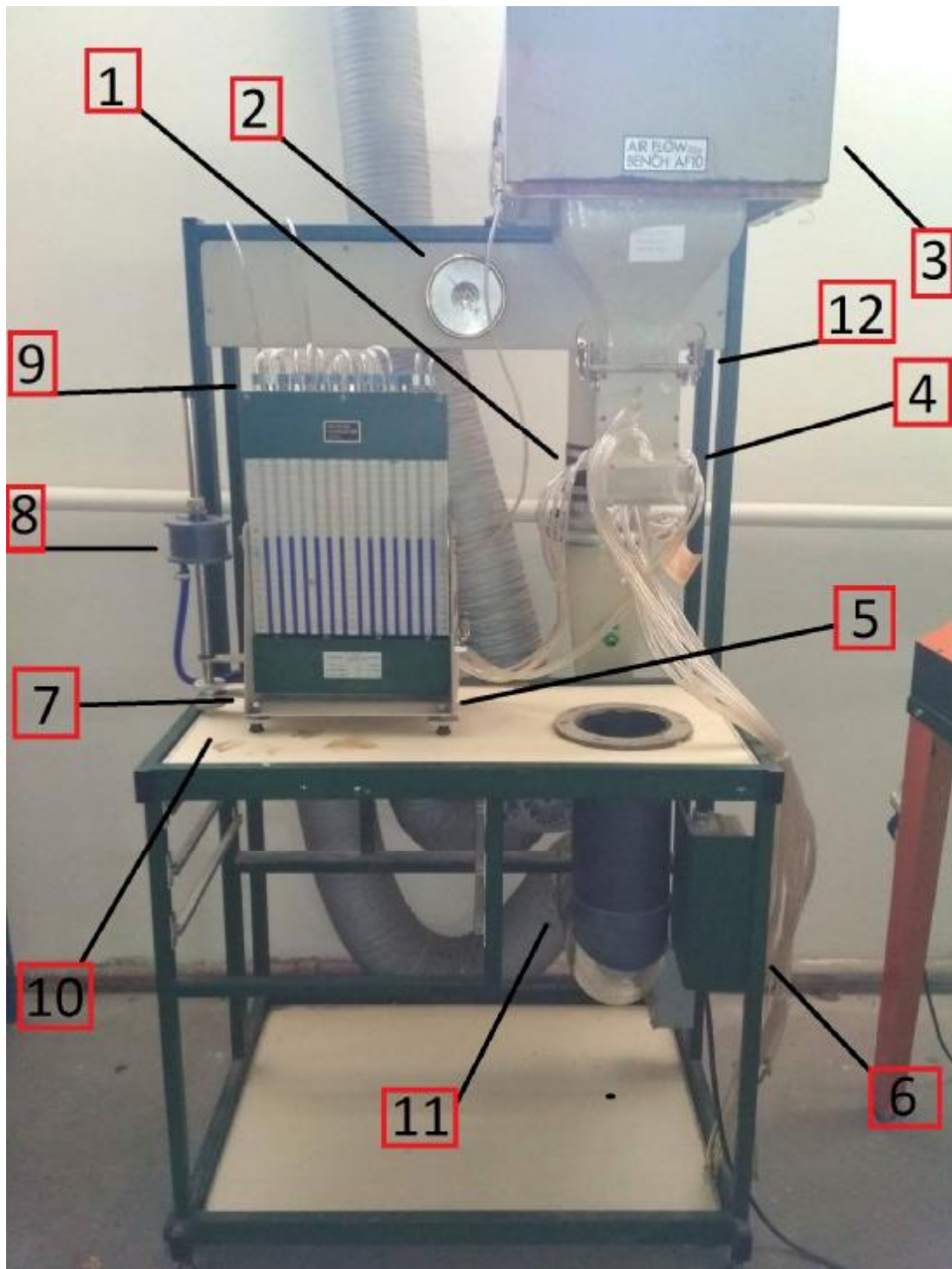


Εικόνα 13 Το εξάρτημα ροής 90° προσαρμοσμένο στη συσκευή.



Εικόνα 14 Πλάγια άποψη του εξαρτήματος ροής 90 μοιρών..

3.4 Περιγραφή πειραματικής συσκευής.

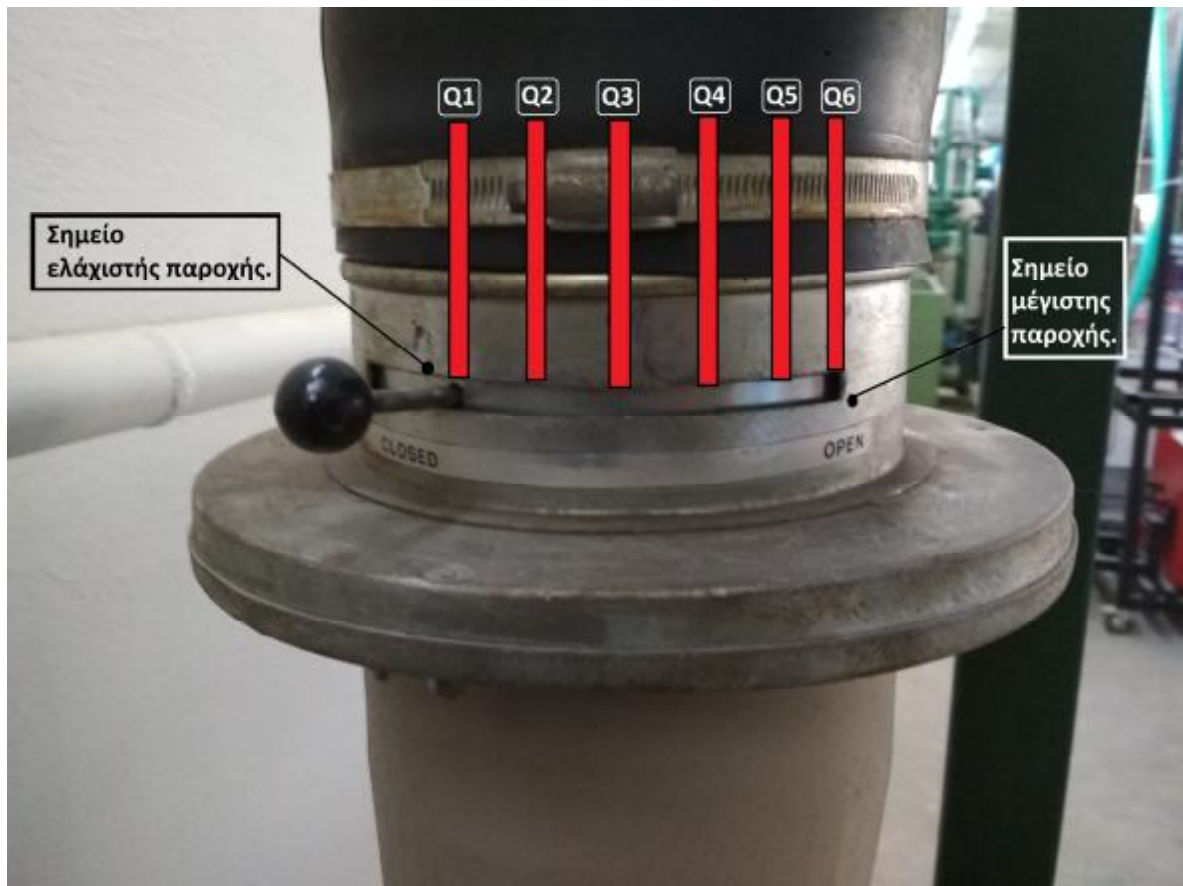


Εικόνα 15 Η πειραματική συσκευή.

Η πειραματική συσκευή φαίνεται στην εικόνα 15 και αποτελείται από πολλά διαφορετικά μέρη, παρακάτω παραθέτουμε μία περιγραφή για το κάθε μέρος αυτής, με την αρίθμηση που φαίνεται στην εικόνα 15, καθώς και τον ρόλο του για την εκτέλεση του πειράματος.

1. Ρυθμιστής παροχής αέρα.

Πρόκειται για ένα μοχλό με συγκεκριμένη διαδρομή ο οποίος είναι υπεύθυνος για το ποσό της παροχής αέρα με το οποίο θέλουμε να δουλέψουμε τη συσκευή. Στην εικόνα 16 απεικονίζονται οι διάφορες θέσεις του μοχλού και κατά συνέπεια οι αντίστοιχες παροχές, που χρησιμοποιήσαμε για το πείραμα μας.



Εικόνα 16 Ο ρυθμιστής παροχής της συσκευής.

2. Βαρόμετρο και Θερμόμετρο.

Πρόκειται για αναλογικά όργανα τα οποία μετράνε τις τιμές της πίεσης και της θερμοκρασίας για τη χρονική στιγμή που επιθυμούμε να προβούμε σε συλλογή μετρήσεων. Τα όργανα αυτά είναι πάνω στον πάγκο και φαίνονται στην εικόνα 17.



Εικόνα 17 Τα όργανα μέτρησης θερμοκρασίας και πίεσης της συσκευής.

3. Δοχείο αέρα.

Πρόκειται για το σημείο της μηχανής στο οποίο συσσωρεύεται μεγάλος όγκος αέρα πριν οδηγηθεί στο σημείο της κατάθλιψης και το εξάρτημα ροής αέρα 90° που έχουμε τοποθετήσει στην άκρη της. Ο αέρας έρχεται κατευθείαν από το περιβάλλον προωθούμενος από μία αντλία αέρα (ανεμιστήρα) που φαίνεται παρακάτω στην εικόνα 20. Στο δοχείο αέρα λαμβάνουμε τη μέτρηση της πίεσης του αέρα, πριν εισέλθει στον καμπύλο αγωγό 90° κατά τη διαδικασία των μετρήσεων μας και ουσιαστικά είναι η πρώτη μέτρηση στη διαδρομή του αέρα που τη χρησιμοποιούμε στους υπολογισμούς μας.



Εικόνα 18 Το δοχείο αέρα της συσκευής.

4. Εξάρτημα καμπύλου αγωγού 90°

Πρόκειται για το εξάρτημα το οποίο τοποθετήσαμε στη συσκευή για τη διεξαγωγή του πειράματος. Επειδή αυτό το εξάρτημα ουσιαστικά είναι και αυτό στο οποίο εκτελούμε την μελέτη μας δίνουμε αναλυτική περιγραφή αυτού παρακάτω.

5. Μανόμετρο στήλης.

Πρόκειται για ένα πολύστηλο μανόμετρο το οποίο μας δίνει τη μέτρηση της πτώσης πίεσης σε όλα τα σημεία της γωνίας καθώς και στα σημεία της μηχανής στα οποία η μέτρηση της πίεσης κρίνεται επιθυμητή για τους υπολογισμούς μας. Το πολυμανόμετρό μας περιέχει χρωματισμένη αιθυλική αλκοόλη που συνήθως χρησιμοποιείται σε αυτού του τύπου μανομέτρων.

6. Διακόπτης παροχής ρεύματος.

Πρόκειται για ένα διακόπτη λειτουργίας με τη βοήθεια του οποίου εκκινούμε ή διακόπτουμε τη λειτουργία της συσκευής.

7. Βάση του μανόμετρου.

Πρόκειται για τη βάση του προαναφερθέντος μανόμετρου η οποία του επιτρέπει να λειτουργεί στο απόλυτο σημείο ισορροπίας του ενώ ταυτόχρονα μας δίνει τη δυνατότητα να αλλάξουμε τη κλίση του μανομέτρου κάτι που φάνηκε ιδιαίτερα χρήσιμο στις μικρές τιμές τις παροχής.

8. Δεξαμενή ρευστού μανομέτρου.

Πρόκειται για μια δεξαμενή στην οποία είναι τοποθετημένη η ποσότητα του ρευστού με το οποίο τροφοδοτείται το μανόμετρο και μέσω του φαινομένου των συγκοινωνούντων δοχείων μπορούμε να ρυθμίσουμε το ύψος όλων των στηλών στο σημείο που επιθυμούμε. Επειδή το μανόμετρο μετράει υπερπίεσεις και υποπίεσεις οι στήλες του μεταβάλλονται αρκετά σε ύψος το οποίο φυσικά εξαρτάται και από την ταχύτητα ροής του αέρα. Αυτές οι αυξομειώσεις επιβάλλουν στην αρχική του ρύθμιση τα ύψη των στηλών να έχουν το κατάλληλο ύψος ώστε να μπορούμε να μετρήσουμε τις αντίστοιχες μεταβολές πιέσεων.

9. Εισαγωγή σωληναρίων στο μανόμετρο.

Μέσω ενός εξαρτήματος το οποίο είναι τοποθετημένο πάνω στα σωληνάκια μπορούμε να τα συνδέουμε στην αντίστοιχη θέση τους πάνω στο μανόμετρο με τρόπο ο οποίος δεν δημιουργεί απώλειες και άλλα φαινόμενα τα οποία μπορούν να επηρεάσουν τη μέτρηση μας. Μεγάλη προσοχή απαιτείται στην εισαγωγή και την εξαγωγή των σωληναρίων πάνω στις υποδοχές του μανομέτρου ώστε να μη τους προκαλέσουμε κάποια αστοχία. Λεπτομέρειες φαίνονται στην εικόνα 19.



Εικόνα 19 Οι υποδοχές των σωληναρίων μέτρησης του μανόμετρου.

10. Έδρα συσκευής.

Πρόκειται για τη κύρια έδρα στη οποία εδράζεται το μανόμετρο και είναι κατασκευασμένη από ξύλο για την καλύτερη πρόσφυση τυχών κραδασμών κατά τη λειτουργία της συσκευής, φαινόμενο το οποίο παρατηρήθηκε ορισμένες στιγμές στις μικρές τιμές της παροχής.

11. Ανεμιστήρας συσκευής.

Πρόκειται για τη καρδιά της μηχανής, ουσιαστικά είναι ένα μονοφασικός ανεμιστήρας στροφών και είναι υπεύθυνος για τη διοχέτευση αέρα στο δίκτυο της συσκευής.



Εικόνα 20 Ο ανεμιστήρας της συσκευής.

3.5 Περιγραφή πειραματικής διαδικασίας.

Η πειραματική διαδικασία είναι αρκετά πολύπλοκη και απαιτεί πολύ προσοχή αλλά και ταχύτητα κατά τη διάρκεια της ώστε να έχουμε ακριβείς μετρήσεις, πιο αναλυτικά.

Στο πρώτο στάδιο της πειραματικής διαδικασίας σετάρουμε τη συσκευή δηλαδή συνδέουμε την αντίστοιχη επιφάνεια προς μέτρηση με το μανόμετρο, ελέγχουμε τις υπόλοιπες συνδέσεις της συσκευής με το μανόμετρο, ρυθμίζουμε το αλφάδι του μανομέτρου στο σημείο ισορροπίας και τέλος ελέγχουμε αν η στάθμη όλων των στηλών

του μανόμετρου είναι στο ίδιο ύψος.

Ύστερα παίρνουμε τις μετρήσεις των σταθερών παραμέτρων μας οι οποίες είναι οι ενδείξεις του βαρόμετρου, του θερμομέτρου καθώς και το ύψος των στηλών σε κατάσταση ηρεμίας πριν εκκινήσουμε τη συσκευή. Η πίεση, η θερμοκρασία και το ύψος των στηλών σε κατάσταση ηρεμίας είναι απαραίτητα στοιχεία για τους υπολογισμούς μας.

Στη συνέχεια εκκινούμε τη μηχανή, ρυθμίζουμε την επιθυμητή παροχή και καταγράφουμε τις μετρήσεις μας στο πίνακα που θα δούμε παρακάτω.

Ακολούθως επαναλαμβάνουμε τη παραπάνω διαδικασία για κάθε τιμή παροχής και επιφάνεια της καμπύλης στο συντομότερο δυνατό χρονικό διάστημα ώστε να μην έχουμε μεταβολή των σταθερών μας οι οποίες είναι η πίεση και η θερμοκρασία.

Προσοχή!

Στις μικρότερες τιμές παροχής η κάθετη κλίση του μανομέτρου ίσως μας δίνει λανθασμένα αποτελέσματα μετρήσεων ή μετρήσεις με μικρή ακρίβεια όπου οι μεταβολές των πιέσεων είναι δυσδιάκριτες. Σε αυτή τη περίπτωση πρέπει να μεταβάλλουμε τη κλίση του ενώ θα πρέπει να ορίσουμε εκ νέου το ύψος των στηλών του μανομέτρου σε ηρεμία μέσω της δεξαμενής που βρίσκεται στα δεξιά του μανόμετρου ενώ θα λάβουμε υπόψη μας και τη μετατροπή που ορίζει η συγκεκριμένη κλίση στους υπολογισμούς μας.

Κάθε τιμή μέτρησης που καταγράφουμε εκφράζεται σε μίλι μπαρ (mb).



POSITION	SCALE MULTIPLIER	RANGE
VERTICAL	x1,0	0-20mb
1st INCLINED	x0,5	0-10mb
2nd INCLINED	x0,2	0- 4mb

Εικόνα 21 Οι τρεις θέσεις κλίσεως που μπορούμε να βάλουμε το μανόμετρο της συσκευής.

Στην *εικόνα 21* βλέπουμε την αντίστοιχη μετατροπή στις μετρήσεις μας σε περίπτωση μεταβολής της κλίσης του μανομέτρου.

Αντίστοιχα για μεταβολή στη πρώτη θέση κλίσης θα πρέπει να πολλαπλασιάσουμε τις τιμές των μετρήσεων μας με το 0.5 και θα κυμανθούμε στο πεδίο από 0 έως 10 μίλιμπαρ (mb).

Αντίστοιχα για μεταβολή στη δεύτερη θέση κλίσης θα πρέπει να πολλαπλασιάσουμε τις τιμές των μετρήσεων μας με το 0.2 και θα κυμανθούμε στο πεδίο από 0 έως 4 μίλιμπαρ (mb).

3.6 Διαδικασία Μετρήσεων.

Στη διαδικασία των μετρήσεων μετρήθηκε η πτώση (στατικής) πίεσης σε κάθε σημείο της καμπύλης σε όλες τις επιφάνειες της διαδοχικά για κάθε τιμή παροχής και καταγράφηκαν σε πίνακα με τη παρακάτω μορφή.

Αριθμός πιεζόμετρου	Εξωτερικό Τοίχωμα	Εσωτερικό τοίχωμα	Αξονική κατανομή
	P ανάγνωσης	P ανάγνωσης	P ανάγνωσης
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Πίνακας 3: Πρότυπος πίνακας μετρήσεων.

Όπου:

- Εξωτερικό τοίχωμα, η άνω επιφάνεια της γωνίας.
- Εσωτερικό τοίχωμα, η κάτω επιφάνεια της γωνίας.
- Αξονική κατανομή, οι πλάγιες επιφάνειες της γωνίας.
- P αναγ., η αναγκαζόμενη πίεση σε κάθε σημείο της αντίστοιχης επιφάνειας της γωνίας.

Αφού επαναλάβουμε λοιπόν τη διαδικασία για κάθε παροχή και επιφάνεια της γωνίας πήραμε τα παρακάτω αποτελέσματα.

Οι μετρήσεις καταγράφηκαν για τιμές θερμοκρασίας και πίεσης.

Θερμοκρασία: $T = 30\text{ C}$

Πίεση: $P = 1005\text{ Bar}$

3.6.1 Μετρήσεις.

Για την παροχή, Q1. (ελάχιστη παροχή)

Κλίση μανομέτρου: 2nd inclined x 0.2 mb

Ύψος στήλης πριν τη μέτρηση = 12.4 mb

Αριθμός πιεζόμετρου	Εξωτερικό Τοίχωμα	Εσωτερικό τοίχωμα	Αξονική κατανομή
	P αναγ.	P αναγ.	P αναγ.
1	12.6	12,9	10,6
2	12,8	12,7	11,2
3	12,8	11,9	11,8
4	13.2	10,4	12,2
5	13,3	10,6	12,4
6	13,1	11,0	12,9
7	13,0	11,1	13,1
8	12,8	12,3	13,4
9	12,9	12,7	13,6
10	12,8	12,8	-

Πίνακας 4: Μετρήσεις για παροχή Q1.

Επίσης καταγράφουμε τις έξης πιέσεις.

$P_{box} = 14,8\text{ mb}$

$p_0 \text{ ανάγ.} = 13\text{mb}$

Όπου:

- P_{box} , η πίεση στο "δοχείο" της συσκευής.

- P0 ανάγ., η πίεση στο σημείο εφαρμογής της γωνίας στη συσκευή.

Για την παροχή, Q2.

Κλίση μανομέτρου: 2nd inclined x 0.2 mb

Ύψος στήλης πριν τη μέτρηση = 12.4 mb

Αριθμός πιεζόμετρου	Εξωτερικό Τοίχωμα	Εσωτερικό τοίχωμα	Αξονική κατανομή
	P αναγ.	P αναγ.	P αναγ.
1	13,5	13,5	8,8
2	13	13,8	11,3
3	14,8	10,7	11,7
4	16,2	6,4	12
5	16,5	6,5	12,4
6	16,3	7,4	12,7
7	14,6	8,4	12,9
8	13,1	12,4	13,2
9	12,6	12,6	13,9
10	12,2	12,9	-

Πίνακας 5: Μετρήσεις για παροχή Q2.

Επίσης καταγράφουμε τις έξης πιέσεις.

P box= 14,6 mb

P0 ανάγ. = 11,3mb

Όπου:

- Pbox, η πίεση στο "δοχείο" της συσκευής.

- p0 ανάγ., η πίεση στο σημείο εφαρμογής της γωνίας στη συσκευή.

Για την παροχή, Q3. (μέση παροχή)

Κλίση μανομέτρου: Vertical

Ύψος στήλης πριν τη μέτρηση = 8,6mb

Αριθμός πιεζόμετρου	Εξωτερικό Τοίχωμα	Εσωτερικό τοίχωμα	Αξονική κατανομή
	P αναγ.	P αναγ.	P αναγ.
1	9	9,1	6,4
2	9,2	8,6	7,4
3	9,8	7,7	8,2
4	10,3	5,3	8,7
5	10,5	5,2	9,1
6	10,4	5,6	9,6
7	9,7	7,0	9,8
8	9	8,5	10,2
9	8,7	8,6	10,4
10	8,6	8,8	-

Πίνακας 6: Μετρήσεις για παροχή Q3.

Επίσης καταγράφουμε τις έξης πιέσεις.

P box= 12,7 mb

P0 ανάγ. = 9,1 mb

Όπου:

- Pbox, η πίεση στο "δοχείο" της συσκευής.
- p0 ανάγ., η πίεση στο σημείο εφαρμογής της γωνίας στη συσκευή.

Για την παροχή, Q4.

Κλίση μανομέτρου: Vertical

Ύψος στήλης πριν τη μέτρηση = 8,6 mb

Αριθμός πιεζόμετρου	Εξωτερικό Τοίχωμα	Εσωτερικό τοίχωμα	Αξονική κατανομή
	P αναγ.	P αναγ.	P αναγ.
1	8,9	9,2	5,8
2	9,3	8,6	7,0
3	8,5	7,4	8,0
4	10,9	4,3	8,7
5	11,1	4,2	9,2
6	11	4,6	9,8
7	10,1	6,7	10,1
8	9,1	8,4	10,6
9	8,7	8,5	10,9
10	8,6	8,8	-

Πίνακας 7: Μετρήσεις για παροχή Q4.

Επίσης καταγράφουμε τις έξης πιέσεις.

$P_{\text{box}} = 13,8 \text{ mb}$

$P_0 \text{ ανάγ.} = 9,2 \text{ mb}$

Όπου:

- P_{box} , η πίεση στο "δοχείο" της συσκευής.
- $p_0 \text{ ανάγ.}$, η πίεση στο σημείο εφαρμογής της γωνίας στη συσκευή.

Για την παροχή, Q5.

Κλίση μανομέτρου: Vertical, Ύψος στήλης πριν τη μέτρηση = 8,6 mb

Αριθμός πιεζόμετρου	Εξωτερικό Τοίχωμα	Εσωτερικό τοίχωμα	Αξονική κατανομή
	P αναγ.	P αναγ.	P αναγ.
1	9,2	9,2	5,4
2	8,6	8,6	7
3	7,2	7,2	8
4	3,5	3,5	8,8
5	3,4	3,4	9,4
6	3,9	3,9	10,0
7	6,3	6,3	10,4
8	8,4	8,4	11,0
9	8,4	8,4	11,9
10	8,7	8,7	-

Πίνακας 8: Μετρήσεις για παροχή Q5.

Επίσης καταγράφουμε τις έξης πιέσεις.

P box= 14,6 mb

P0 ανάγ. = 9,2 mb

Όπου:

- Pbox, η πίεση στο "δοχείο" της συσκευής.

- p0 ανάγ., η πίεση στο σημείο εφαρμογής της γωνίας στη συσκευή.

Για την παροχή, Q6. (μέγιστη παροχή)

Κλίση μανομέτρου: Vertical

Ύψος στήλης πριν τη μέτρηση = 8,6 mb

Αριθμός πιεζόμετρου	Εξωτερικό Τοίχωμα	Εσωτερικό τοίχωμα	Αξονική κατανομή
	P αναγ.	P αναγ.	P αναγ.
1	9,3	9,3	5,4
2	9,5	8,6	6,9
3	10,5	7,3	7,9
4	11,2	3,8	8,8
5	11,4	3,7	9,3
6	11,4	3,8	9,8
7	10,3	6,3	10,3
8	9,2	8,4	10,9
9	8,8	8,4	11,3
10	8,7	8,7	-

Πίνακας 9: Μετρήσεις για παροχή Q6.

Επίσης καταγράφουμε τις έξης πιέσεις.

P box= 14,8 mb

P0 ανάγ. = 9,2 mb

Όπου:

- Pbox, η πίεση στο "δοχείο" της συσκευής.
- p0 ανάγ., η πίεση στο σημείο εφαρμογής της γωνίας στη συσκευή.

Κεφάλαιο 4^ο

Διαδικασία Υπολογισμών

4.1 Εισαγωγή.

Η διαδικασία των υπολογισμών είναι ιδιαίτερα σύνθετη διότι πρέπει να είμαστε πολύ

προσεκτικοί με τα δεδομένα μας καθώς μπορεί να γίνει εύκολα κάποιο λάθος. Για τη καλύτερη κατανόηση του πειράματος αλλά και αποτύπωση των αποτελεσμάτων δίπλα σε κάθε στήλη της μέτρησης μας προσθέσαμε άλλες δύο στήλες, πιο συγκεκριμένα.

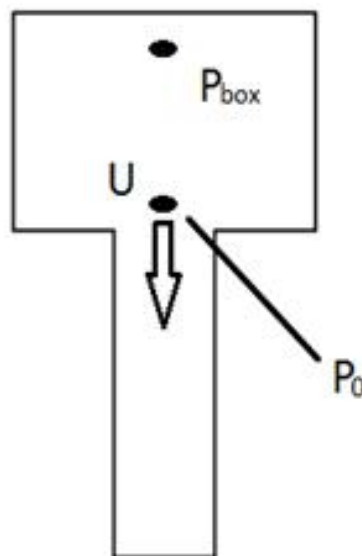
Η υπάρχουσα στήλη χαρακτηρίζει την πίεση ανάγνωσης στο μανόμετρο κατά τη διαδικασία των μετρήσεων.

Η πρώτη στήλη που προσθέτουμε χαρακτηρίζει τη πραγματική σχετική πίεση σε κάθε σημείο της καμπύλης.

Η δεύτερη στήλη που προσθέτουμε χαρακτηρίζει το μέγεθος του C_p σε κάθε σημείο της καμπύλης.

Βέβαια το νέο αυτό πίνακα συνοδεύουν και άλλοι υπολογισμοί όπως η παροχή, η πυκνότητα του αέρα, η ταχύτητα του αέρα και η πίεση στο δοχείο της συσκευής καθώς, στο σημείο εξόδου της συσκευής καθώς και η τιμή του θεωρητικού C_p για κάθε σημείο της καμπύλης.

Παρακάτω αναλύονται όλοι οι υπολογισμοί για τα δεδομένα που χρειαζόμαστε και αναφέραμε πιο πάνω.



Εικόνα 22 Το δοχείο της συσκευής.

4.2 Υπολογισμός δεδομένων στη συσκευή.

$$P_{box} - P_0 = \frac{1}{2} \rho u^2 \quad (3.1)$$

Όπου:

- ρ , η πυκνότητα του αέρα.

Ο τύπος της υπολογισμού της πυκνότητας είναι ο εξής.

$$\rho = \frac{P_{atm}}{287,2 T} \quad (3.2)$$

- u , η ταχύτητα του αέρα.

Ο τύπος υπολογισμού της ταχύτητας είναι ο εξής.

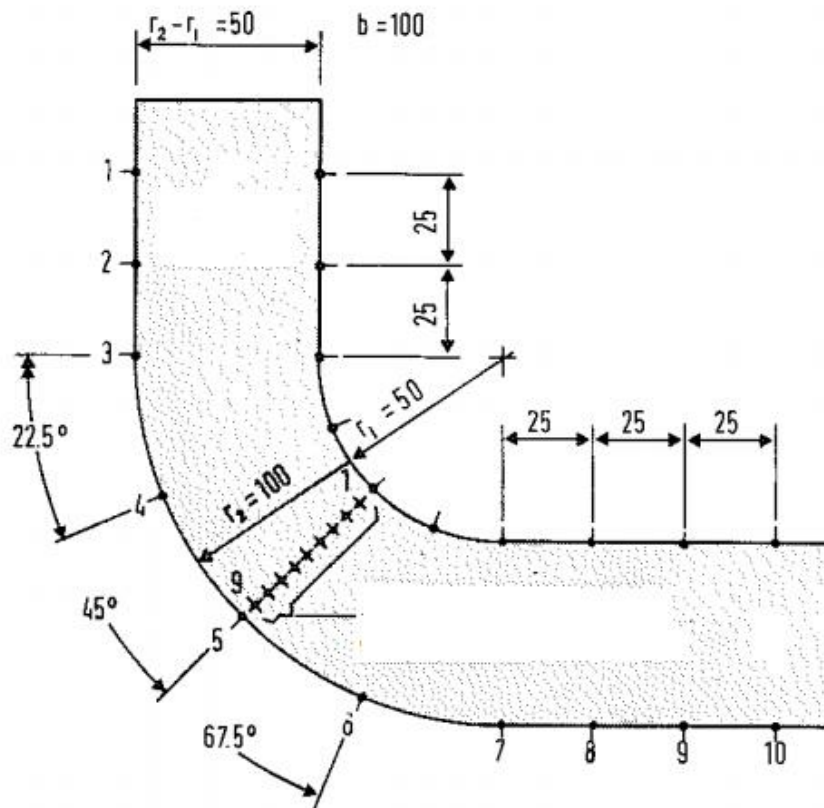
$$U = \sqrt{2(P_{box} - P_0)} \quad (3.3)$$

- P_0 , η πίεση στην έξοδο του τραπεζιού.

Η πίεση αυτή καταγράφεται κατά τη διαδικασία των μετρήσεων μέσω του μανομέτρου.

4.3 Θεωρητικός συντελεστής πίεσης, C_p .

Ο θεωρητικός συντελεστής πίεσης (C_p) είναι άμεσα συνδεδεμένος με τη γεωμετρία και το σχήμα του αγωγού.



Εικόνα 23 Η γεωμετρία του αγωγού γωνίας 90°.

Από την εξίσωση Bernoulli έχουμε:

$$P_0 + \frac{1}{2} \rho U^2 = P + \frac{1}{2} \rho u^2 \quad \text{b}$$

$$\frac{1}{2} \rho (U^2 - u^2) = P - P_0 \quad (3.4)$$

Επίσης ισχύει ότι :

$$C_p = \frac{P - P_0}{\frac{1}{2} \rho u^2} \quad (3.5)$$

Από τις παραπάνω σχέσεις έχουμε το εξής.

$$C_p = \frac{\frac{1}{2} \rho (U^2 - u^2)}{\frac{1}{2} \rho u^2} \quad \text{B}$$

$$C_p = \frac{u^2}{U^2} - \frac{u^2}{U^2} \quad \text{B} \quad (3.6)$$

$$C_p = 1 - \frac{u^2}{U^2}$$

$$\frac{u}{U} = \frac{r_2 - r_1}{r \ln(r_2 / r_1)} \quad \text{B}$$

$$\frac{u}{U} = \frac{50}{r' \ln(50/100)} \quad \text{B} \quad (3.7)$$

$$\frac{u}{U} = \frac{72.1}{r}$$

r (mm)	Cp θεωρητικό
55	Cp 1
60	Cp 2
65	Cp 3
70	Cp 4
75	Cp 5
80	Cp 6
85	Cp 7
90	Cp 8
95	Cp 9

Πίνακας 10 Πρότυπο πίνακα θεωρητικού συντελεστή πίεσης, Cp.

4.4 Πειραματικός συντελεστής πίεσης, C_p .

Ο τύπος του πειραματικού C_p είναι ο εξής.

$$C_p = \frac{P - P_0}{\frac{1}{2} \rho U^2} \quad (3.8)$$

Όπου:

- P_0 , η πίεση στην έξοδο του τραπεζιού.

Η πίεση αυτή καταγράφεται κατά τη διαδικασία των μετρήσεων μέσω του μανομέτρου.

- P , η πίεση στην εκάστοτε θέση.

Η πίεση αυτή καταγράφεται κατά τη διαδικασία των μετρήσεων μέσω του μανομέτρου.

- U , η ταχύτητα του αέρα.

Ο τύπος της ταχύτητας είναι ο εξής.

$$U = \frac{\sqrt{2(P_{box} - P_0)}}{\rho} \quad (3.9)$$

4.5 Υπολογισμός πραγματικής πίεσης.

Για τον υπολογισμό της πραγματικής σχετικής πίεσης έχουμε.

$$P = (P_{αν\acute{\alpha}\gamma} - P_r) \quad (3.10)$$

Όπου:

- $P_{αν\acute{\alpha}\gamma}$, η πίεση που αναγνώσαμε στο μανόμετρο κατά τη διαδικασία του πειράματος.

- P_r , η στάθμη των στηλών πριν εκκινήσουμε τη συσκευή.

Τη παραπάνω διαδικασία την επαναλαμβάνουμε και για τον υπολογισμό της πραγματικής τιμής της σχετικής του δοχείου (P_{box}), δηλαδή.

$$P_{box} = (P_{box} - Pr)$$

Προσοχή.

Στους υπολογισμούς μας λαμβάνουμε υπόψη μας τις τιμές των πιέσεων μετά την αφαίρεση της αρχικής τιμής με το αρχικό ύψος των στηλών.

4.6 Υπολογισμοί.

Πριν προβούμε στους υπολογισμούς πρέπει να έχουμε στο νου μας ότι σε όλες μας τις μετρήσεις έχουμε δυο σταθερούς συντελεστές και αυτοί δεν είναι άλλοι από το θεωρητικό C_p και τη πυκνότητα του αέρα.

Πιο αναλυτικά για το θεωρητικό C_p έχουμε.

$$\begin{aligned} \frac{u}{U} &= \frac{r \ln(r_2 / r_1)}{r' \ln(r_2 / r_1)} \quad \text{B} \\ \frac{u}{U} &= r \ln(r_2 - r_1) \cdot (r_2 - r_1) \quad \text{B} \\ \frac{u}{U} &= \frac{50}{r \ln \frac{50}{55}} \quad \text{B} \\ \frac{u}{U} &= \frac{72,1}{r} \quad \text{B} \\ \frac{u}{U} &= \frac{72,1}{55} \quad \text{B} \\ \frac{u}{U} &= 1,31 \end{aligned} \quad (3.11)$$

Παράδειγμα, υπολογισμού για το C_p θεωρητικό (1).

$$C_p = 1 - \frac{\rho u^2}{2 \rho U^2} \quad (3.12)$$

$$C_p = -0,718$$

r (mm)	Cp θεωρητικό
55	-0,718
60	-0,444
65	-0,230
70	-0,060
75	0,075
80	0,187
85	0,280
90	0,358
95	0,424

Πίνακας 11 Ο θεωρητικός συντελεστής πίεσης, C_p .

Στον πίνακα 11 παραθέτουμε τις υπολογισμένες τιμές του θεωρητικού C_p για διάφορες τιμές της ακτίνας r ακολουθώντας τους υπολογισμούς που αναλύσαμε παραπάνω..

Η πυκνότητα του αέρα είναι επίσης **σταθερή** για όλες τις μετρήσεις και υπολογίζεται με την χρήση προσεγγιστικού τύπου υπολογισμού της πυκνότητάς συναρτήσει της θερμοκρασίας και της ατμοσφαιρικής πίεσης. Για τις μετρήσεις μας έχουμε ότι..

$$\rho = \frac{P_{atm}}{(287,2 T)} \quad (3.13)$$

$$\rho = \frac{100.500}{(287,2 \cdot 313.15)}$$

$$\rho = 1,154 \frac{kg}{m^3}$$

Η μονάδα μέτρησης της πυκνότητας είναι το κιλό ανά κυβικό μέτρο.

Όπου:

- $P_{atm} = 1005 \text{ bar}$ ή $P_{atm} = 100.500 \text{ N/m}^2$
- 287,2η σταθερά της σχέσης.
- Τα, η θερμοκρασία σε βαθμούς Kelvin.

Για τη θερμοκρασία έχουμε.

$$\begin{aligned}T &= T + 273,15 \text{ K} \\T &= 30 + 273,15 \text{ K} \quad (3.14) \\T &= 313,15 \text{ K}\end{aligned}$$

Η μονάδα μέτρησης της θερμοκρασίας είναι το Κέλβιν (Kelvin).

Υπενθύμιση.

Οι τιμές της θερμοκρασίας και της πίεσης έχουν μετρηθεί από τα όργανα της συσκευής στα πρώτα στάδια του πειράματος. Ο συγκεκριμένος τύπος απαιτεί την έκφραση της πίεσης σε (N/m^2) και της θερμοκρασίας σε βαθμούς Kelvin οπότε προβαίνουμε στις ανάλογες μετατροπές μονάδων.

4.6.1 Παροχή Q1.

Η συγκεκριμένη παροχή είναι η ελάχιστη .

Η κλίση του μανομέτρου για τη συγκεκριμένη παροχή είναι η εξής.

2nd inclined $\Delta \times 0,2 \text{ mb}$

$P_r = 12,4 \text{ mb}$

$P_{box} \text{ ανάγνωσης} = 14,8 \text{ mb}$

Έχουμε:

$$\begin{aligned}
P_{box} &= P_{box} \text{ ανάγνωση} V - Pr \quad \text{Π} \\
P_{box} &= 14,8 - 12,4 \quad \text{Π} \\
P_{box} &= 2,4 \text{ mb}
\end{aligned}
\tag{3.15}$$

P_0 ανάγνωσης = 13 mb

$$\begin{aligned}
P_1 &= (P_{anag.} - P_r) 0,2 \quad \text{Π} \\
P_1 &= (13 - 12,4) 0,2 \quad \text{Π} \\
P_1 &= 0,12 \text{ mb}
\end{aligned}$$

Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.

Από τα παραπάνω έχουμε:

$$\begin{aligned}
P - P_0 &= \frac{1}{2} \cdot r \cdot U^2 \quad \text{Π} \\
2,4 - 0,6 &= \frac{1}{2} \cdot r \cdot U^2 \quad \text{Π} \tag{3.16} \\
1,8 &= \frac{1}{2} \cdot r \cdot U^2
\end{aligned}$$

Όπου, $P = P_{box}$.

Η ταχύτητα του αέρα υπολογίζεται από το παρακάτω τύπο.

$$\begin{aligned}
U &= \sqrt{\frac{2P_{box} - P_0}{r}} \quad \text{Π} \\
U &= \sqrt{\frac{22,4 - 0,6}{1,1548857}} \quad \text{Π} \\
U &= \sqrt{\frac{21,8}{1,1548857}} \quad \text{Π} \\
U &= \sqrt{\frac{3,6}{1,1548857}} \quad \text{Π} \\
U &= \sqrt{3,1} \quad \text{Π} \\
U &= 1,760 \text{ m/sec}
\end{aligned}
\tag{3.17}$$

Όπου:

- P_{box} , η πραγματική τιμή της σχετικής πίεσης στο δοχείο της συσκευής.
- P_0 , η πραγματική τιμή της πίεσης της εξόδου της συσκευής.
- ρ , η πυκνότητα του αέρα που υπολογίσαμε παραπάνω

Η παροχή του αέρα υπολογίζεται από το παρακάτω τύπο:

$$Q = UA\sqrt{P}$$

$$Q = 1,765 \cdot 0,005\sqrt{P} \quad \text{Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.}$$

$$Q = 0,008825 m^3/sec$$

Όπου:

- U , η ταχύτητα ροής του αέρα που υπολογίσαμε παραπάνω.
- A , η επιφάνεια της γωνίας.

Η επιφάνεια της γωνίας είναι ορθογωνικής διατομής με διαστάσεις:

$$a \times b = 50 \times 100 \text{ mm}$$

Μετατρέποντας τα δεδομένα στο διεθνές σύστημα μονάδων έχουμε.

$$A = a \times b = 0,05 \times 0,1 = 0.005 \text{ m}^2$$

Ο πειραματικός συντελεστής πίεσης (C_p) υπολογίζεται ως εξής.

$$C_p = \frac{P - P_0}{\frac{1}{2} \rho u^2} \quad (3.18)$$

Για το υπολογισμό του C_{p1} του εξωτερικού τοιχώματος έχουμε:

$$C_p = \frac{P - P_0}{1/2 \rho U^2} \text{ B}$$

$$C_p = \frac{(12,6 - 12,4)0,2}{1,8} \text{ B} \quad (3.19)$$

$$C_p = -0,311$$

Όπου:

- P, η πίεση που αναγνώσαμε στο μανόμετρο κατά τη μέτρηση.

$$P_0 = P_{\text{αναγ.}} - P_r$$

$$1/2 \times \rho \times U^2 = 1,8 \text{ mb} \quad (3.20)$$

-0,2 ο συντελεστής της κλίσης του μανομέτρου.

Η πίεση στη γραμμή 1 (P₁), του εξωτερικού τοιχώματος υπολογίζεται ως εξής.

$$P_1 = (P_{\text{αναγ.}} - P_r)0,2 \text{ B}$$

$$P_1 = (12,6 - 12,4)0,2 \text{ B} \quad (3.21)$$

$$P_1 = 0,04 \text{ mb}$$

Όπου:

- P_{αναγ.} η πίεση που αναγνώσαμε στο μανόμετρο κατά τη μέτρηση.

- P_r, η στάθμη των στηλών πριν εκκινήσουμε τη συσκευή.

Ακολουθούμε την ίδια διαδικασία για όλες τις γραμμές του πίνακα 12.

Αριθμός πιεζόμετρου	Ραναγνωσης (mb)	P (mb)	Cp (-)
1	12,6	0,040	-0,311
2	12,8	0,080	-0,289
3	12,8	0,080	-0,289
4	13,2	0,160	-0,244
5	13,3	0,180	-0,233
6	13,1	0,140	-0,256
7	13,0	0,120	-0,267
8	12,8	0,080	-0,289
9	12,9	0,100	-0,278
10	12,8	0,080	-0,289

Πίνακας 12 Πίνακας υπολογισμών του εξωτερικού τοιχώματος για την παροχή Q1.

Αριθμός πιεζόμετρου	Ρανάγνωσης (mb)	P (mb)	Cp (-)
1	12,9	0,100	-0.278
2	12,7	0,060	-0,300
3	11,9	-0,100	-0,389
4	10,4	-0,400	-0,556
5	10,6	-0,360	-0,533
6	11,0	-0,280	-0,489
7	11,1	-0,260	-0,478
8	12,3	-0,020	-0,344
9	12,7	0,060	-0,300
10	12,8	0,080	-0,289

Πίνακας 13 Πίνακας υπολογισμών του εσωτερικού τοιχώματος για τη παροχή Q1

Αριθμός πιεζόμετρου	Ραναγνωσης (mb)	P (mb)	Cp (-)
1	10,6	-0,360	-0,533
2	11,2	-0,240	-0,467
3	11,8	-0,120	-0,400
4	12,2	-0,040	-0,356
5	12,4	0,000	-0,333
6	12,9	0,100	-0,278
7	13,1	0,140	-0,256
8	13,4	0,200	-0,222
9	13,6	0,240	-0,200
10	-	-	-

Πίνακας 14 Πίνακας υπολογισμών της αξονικής κατανομής για τη παροχή Q1.

Προσοχή!

Οι μετρήσεις στην επιφάνεια της αξονικής κατανομής είναι εννέα και όχι δέκα.

Η ταχύτητα του αέρα που εισέρχεται στον καμπύλο αγωγό υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο ως εξής:

$$U = \sqrt{\frac{2P_{box} - P_0}{\rho}} \quad \text{Π}$$

$$U = \sqrt{\frac{2(2,2 - (-1,1))}{1,1548857}} \quad \text{Π}$$

$$U = \sqrt{\frac{2 \cdot 3,3}{1,1548857}} \quad \text{Π}$$

Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί

$$U = \sqrt{\frac{6,6}{1,1548857}} \quad \text{Π}$$

$$U = \sqrt{5,71} \quad \text{Π}$$

$$U = 2,390 \text{ m/sec}$$

σελιδοδείκτης.

Όπου:

- P_{box} , η πραγματική τιμή της σχετικής πίεσης στο δοχείο της συσκευής.
- P_0 , η πραγματική τιμή της πίεσης της εξόδου της συσκευής.
- ρ , η πυκνότητα του αέρα που υπολογίσαμε παραπάνω

Η παροχή του αέρα υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο.

$$Q = UA \quad \text{Π}$$

$$Q = 2,39 \cdot 0,005 \quad \text{Π}$$

(3.23)

$$Q = 0,0119 \text{ m}^3/\text{sec}$$

Όπου:

- U , η ταχύτητα ροής του αέρα που υπολογίσαμε παραπάνω.
- Η επιφάνεια της γωνίας.

Ο καμπύλος αγωγός είναι ορθογωνικής διατομής με διαστάσεις:

$$a \times b = 50 \times 100 \text{ mm}$$

Μετατρέποντας τα δεδομένα στο διεθνές σύστημα μονάδων έχουμε.

$$A = a \times b = 0,05 \times 0,1 = 0.005 \text{ m}^2$$

Ο πειραματικός συντελεστής πίεσης(C_p) υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο.

$$\begin{aligned} Q &= UA \quad \text{b} \\ Q &= 2,39 \cdot 0,005 \quad \text{b} \\ Q &= 0,0119 \text{ m}^3/\text{sec} \end{aligned} \quad (3.24)$$

Για το υπολογισμό του C_{p1} έχουμε.

$$\begin{aligned} C_p &= \frac{P - P_0}{\frac{1}{2} \rho u^2} \quad \text{b} \\ C_p &= \frac{(12,4 - 13) \cdot 0,2}{3,3} \quad \text{b} \\ C_p &= 0,37 \end{aligned} \quad (3.25)$$

Όπου:

- P, η πίεση που αναγνώσαμε στο μανόμετρο κατά τη μέτρηση.

$$\begin{aligned} P_0 &= P_{\text{αναγ.}} - P_r \quad \text{b} \\ \frac{1}{2} \rho U^2 &= 3,3 \text{ mb} \end{aligned} \quad (3.26)$$

- 0,2 ο συντελεστής της κλίσης του μανομέτρου.

Ακολουθούμε την ίδια διαδικασία για όλες τις γραμμές του πίνακα.

Ηπίεση στη γραμμή 1 (P_1), του εξωτερικού τοιχώματος υπολογίζεται ως εξής.

$$P_1 = (P_{\text{αναγ.}} - P_r) \cdot 0,2 \text{ B}$$

$$P_1 = (13 - 12,4) \cdot 0,2 \text{ B} \quad (3.27)$$

$$P_1 = 0,12 \text{ mb}$$

Όπου:

Ραναγ, P, η πίεση που αναγνώσαμε στο μανόμετρο κατά τη μέτρηση.

- Pr, η στάθμη των στηλών πριν εκκινήσουμε τη συσκευή.

Ακολουθούμε την ίδια διαδικασία για όλες τις γραμμές του πίνακα.

Αριθμός πιεζόμετρου	Ραναγνωσης (mb)	P (mb)	Cp (-)
1	13	0,120	0,370
2	13,5	0,220	0,400
3	14,8	0,480	0,479
4	16,2	0,760	0,564
5	16,5	0,820	0,582
6	16,3	0,780	0,570
7	14,6	0,440	0,467
8	13,1	0,140	0,376
9	12,6	0,040	0,345
10	12,2	-0,040	0,321

Πίνακας 15 Πίνακας υπολογισμών του εξωτερικού τοιχώματος για την παροχή Q2.

Αριθμός πιεζόμετρου	Ραναγνωσης (mb)	P (mb)	Cp (-)
1	13,5	0,220	0,400
2	13,8	0,280	0,418
3	10,7	-0,340	0,230
4	6,4	-1,200	-0,030
5	6,5	-1,180	-0,024
6	7,4	-1,000	0,030

7	8,4	-0,800	0,091
8	12,4	0,000	0,333
9	12,6	0,040	0,345
10	12,9	0,100	0,364

Πίνακας 16 Πίνακας υπολογισμών του εσωτερικού τοιχώματος για τη παροχή Q2

Αριθμός πιεζόμετρου	Ραναγνώσης (mb)	P (mb)	Cp (-)
1	8,8	-0,720	0,400
2	11,3	-0,220	0,267
3	11,7	-0,140	0,291
4	12	-0,080	0,309
5	12,4	0,000	0,333
6	12,7	0,060	0,352
7	12,9	0,100	0,364
8	13,2	0,160	0,382
9	13,5	0,220	0,400
10	-	-	-

Πίνακας 17 Πίνακας υπολογισμών της αξονικής κατανομής για τη παροχή Q2.

Προσοχή!

Οι μετρήσεις στην επιφάνεια της αξονικής κατανομής είναι εννέα και όχι δέκα.

4.6.3 Παροχή Q3.

Η συγκεκριμένη παροχή είναι η μέση .

Η κλίση του μανομέτρου για τη συγκεκριμένη παροχή είναι η εξής.

Vertical

$P_r = 8,6 \text{ mb}$

Έχουμε:

$P_{box \text{ ανάγνωσης}} = 12,7 \text{ mb}$

$$P_{box} = P_{box_ανάγνωση} - Pr \text{ Π}$$

$$P_{box} = 12,7 - 8,6 \text{ Π}$$

$$P_{box} = 4,1 \text{ mb}$$

Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.

P_0 ανάγνωσης = 9,1 mb

$$P_0 = P_{0\text{ανάγνωση}} - 8,6 \text{ Π}$$

$$P_0 = 9,1 - 8,6 \text{ Π}$$

$$P_0 = 0,5 \text{ mb}$$

Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.

Από τα παραπάνω έχουμε:

$$P - P_0 = \frac{1}{2} \cdot r \cdot U^2 \text{ Π}$$

$$4,1 - 0,5 = \frac{1}{2} \cdot r \cdot U^2 \text{ Π (3.28)}$$

$$3,6 = \frac{1}{2} \cdot r \cdot U^2$$

Όπου, $P = P_{box}$.

Η ταχύτητα του αέρα υπολογίζεται από το παρακάτω τύπο.

$$U = \sqrt{\frac{2 \cdot P_{box} - P_0}{r}} \text{ Π}$$

$$U = \sqrt{\frac{2 \cdot 2,4 - 0,6}{1,1548857}} \text{ Π}$$

$$U = \sqrt{\frac{2 \cdot 3,6}{1,1548857}} \text{ Π} \quad (3.29)$$

$$U = \sqrt{\frac{7,2}{1,1548857}} \text{ Π}$$

$$U = \sqrt{6,23} \text{ Π}$$

$$U = 2,496 \text{ m/sec}$$

Όπου:

- P_{box} , η πραγματική τιμή της σχετικής πίεσης στο δοχείο της συσκευής.
- P_0 , η πραγματική τιμή της πίεσης της εξόδου της συσκευής.
- ρ , η πυκνότητα του αέρα που υπολογίσαμε παραπάνω.

Η παροχή του αέρα υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\begin{aligned} Q &= U \cdot A \cdot \rho \\ Q &= 2,496 \cdot 0,005 \cdot \rho \\ Q &= 0,0125 m^3/sec \end{aligned} \quad (3.30)$$

Όπου:

- U , η ταχύτητα ροής του αέρα που υπολογίσαμε παραπάνω.
- Η επιφάνεια της γωνίας.

Η γωνία είναι ορθογωνικής διατομής με διαστάσεις:

$$a \times b = 50 \times 100 \text{ mm}$$

Μετατρέποντας τα δεδομένα στο διεθνές σύστημα μονάδων έχουμε.

$$A = a \times b = 0,05 \times 0,1 = 0.005 \text{ m}^2$$

Ο πειραματικός συντελεστής πίεσης (C_p) υπολογίζεται από το παρακάτω τύπο.

$$C_p = \frac{P - P_0}{1/2 \cdot \rho \cdot u^2} \quad (3.31)$$

Για το υπολογισμό του C_{p1} του εξωτερικού τοιχώματος έχουμε.

$$\begin{aligned} C_p &= \frac{P - P_0}{1/2 \cdot \rho \cdot u^2} \cdot \rho \\ C_p &= \frac{(9 - 8,6)}{3,6} \cdot \rho \\ C_p &= -0,028 \end{aligned} \quad (3.32)$$

Όπου:

P, η πίεση που αναγνώσαμε στο μανόμετρο κατά τη μέτρηση.

$$P_0 = P_{\text{αναγ.}} - P_r \quad \rho$$
$$\frac{1}{2} \rho U^2 = 3,6 \text{ mb} \quad (3.33)$$

Η πίεση στη γραμμή 1 (P_1), του εξωτερικού τοιχώματος υπολογίζεται ως εξής. (mb).

$$P_1 = (P_{\text{αναγ.}} - P_r) \rho$$
$$P_1 = (9 - 8,6) \rho \quad (3.34)$$
$$P_1 = 0,400 \text{ mb}$$

Όπου:

P_{αναγ.}, P, η πίεση που αναγνώσαμε στο μανόμετρο κατά τη μέτρηση.

- P_r, η στάθμη των στηλών πριν εκκινήσουμε τη συσκευή.

Ακολουθούμε την ίδια διαδικασία για όλες τις γραμμές του πίνακα.

Αριθμός πιεζόμετρου	Ραναγνωσης (mb)	P (mb)	Cp (-)
1	9	0,400	-0,028
2	9,2	0,600	0,028
3	9,8	1,200	0,194
4	10,3	1,700	0,333
5	10,5	1,900	0,389
6	10,4	1,800	0,361
7	9,7	1,100	0,167
8	9,0	0,400	-0,028
9	8,7	0,100	-0,111
10	8,6	0,000	-0,139

Πίνακας 18 Πίνακας υπολογισμών του εξωτερικού τοιχώματος για τη παροχή Q3.

Αριθμός πιεζόμετρου	Ραναγνώσης (mb)	P (mb)	Cp (-)
1	9,1	0,500	0,000
2	8,6	0,000	-0,139
3	7,7	-0,900	-0,389
4	5,3	-3,300	-1,056
5	5,2	-3,400	-1,083
6	5,6	-3,000	-0,972
7	7,0	-1,600	-0,583
8	8,5	-0,100	-0,167
9	8,6	0,000	-0,139
10	8,8	0,200	-0,083

Πίνακας 19 Πίνακας υπολογισμών του εσωτερικού τοιχώματος για τη παροχή Q3.

Αριθμός πιεζόμετρου	Ραναγνώσης (mb)	P (mb)	Cp (-)
1	6,4	-2,200	-0,750
2	7,4	-1,200	-0,472
3	8,2	-0,400	-0,250
4	8,7	0,100	-0,111
5	9,1	0,500	0,000
6	9,6	1,000	0,139
7	9,8	1,200	0,194
8	10,2	1,600	0,306
9	10,4	1,800	0,361
10	-	-	-

Πίνακας 20 Πίνακας υπολογισμών της αξονικής κατανομής για τη παροχή Q3.

$$\begin{aligned}
P - P_0 &= \frac{1}{2} \rho U^2 \\
5,2 - 0,6 &= \frac{1}{2} \rho U^2 \\
4,6 &= \frac{1}{2} \rho U^2
\end{aligned}
\tag{3.35}$$

Όπου, $P = P_{box}$

Η ταχύτητα του αέρα υπολογίζεται από το παρακάτω τύπο.

$$\begin{aligned}
U &= \sqrt{\frac{2P_{box} - P_0}{\rho}} \\
U &= \sqrt{\frac{2 \cdot 5,2 - 0,6}{1,1548857}} \\
U &= \sqrt{\frac{2 \cdot 4,6}{1,1548857}} \\
U &= \sqrt{\frac{9,2}{1,1548857}} \\
U &= \sqrt{7,97} \\
U &= 2,823 \text{ m/sec}
\end{aligned}
\tag{3.36}$$

Όπου:

- P_{box} , η πραγματική τιμή της σχετικής πίεσης στο δοχείο της συσκευής.
- P_0 , η πραγματική τιμή της πίεσης της εξόδου της συσκευής.
- ρ , η πυκνότητα του αέρα που υπολογίσαμε παραπάνω

Η παροχή του αέρα υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$Q = UA \rho$$

$$Q = 2.823 \cdot 0,005 \rho$$

$$Q = 0,0141 m^3 / sec$$

Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.

Όπου:

- U, η ταχύτητα ροής του αέρα που υπολογίσαμε παραπάνω.

- Η επιφάνεια της γωνίας.

Η γωνία είναι ορθογωνικής διατομής με διαστάσεις:

$$a \times b = 50 \times 100 \text{ mm}$$

Μετατρέποντας τα δεδομένα στο διεθνές σύστημα μονάδων έχουμε.

$$A = a \times b = 0,05 \cdot 0,1 = 0.005 \text{ m}^2$$

Ο πειραματικός συντελεστής πίεσης (C_p) υπολογίζεται από το παρακάτω τύπο.

$$C_p = \frac{P - P_0}{1/2 \rho u^2} \quad (3.37)$$

Για το υπολογισμό του C_{p1} του εξωτερικού τοιχώματος έχουμε.

$$C_p = \frac{P - P_0}{1/2 \rho u^2} \rho$$

$$C_p = \frac{(8,6 - 8,9)}{4,6} \rho \quad (3.38)$$

$$C_p = -0,065$$

Όπου:

P, η πίεση που αναγνώσαμε στο μανόμετρο κατά τη μέτρηση.

$$P_0 = P_{\text{αναγ.}} - P_r \rho$$

$$\frac{1}{2} \rho U^2 = 1,8 \text{ mb} \quad (3.39)$$

Η πίεση στη γραμμή 1 (P_1) του εξωτερικού τοιχώματος υπολογίζεται ως εξής.

$$P_1 = (P_{\text{αναγ.}} - P_r) \rho$$

$$P_1 = (9 - 8,6) \rho$$

$$P_1 = 0,400 \text{ mb}$$
(3.40)

Όπου:

Ραναγ, η πίεση που αναγνώσαμε στο μανόμετρο κατά τη μέτρηση.

- Pr, η στάθμη των στηλών πριν εκκινήσουμε τη συσκευή.

Ακολουθούμε την ίδια διαδικασία για όλες τις γραμμές του πίνακα.

Αριθμός πιεζόμετρου	Ραναγνωσης (mb)	P (mb)	Cp (-)
1	8,9	0,300	-0,065
2	9,3	0,700	0,022
3	8,5	-0,100	-0,152
4	10,9	2,300	0,370
5	11,1	2,500	0,413
6	11	2,400	0,391
7	10,1	1,500	0,196
8	9,1	0,500	-0,022
9	8,7	0,100	-0,109
10	8,6	0,000	-0,130

Πίνακας 21 Πίνακας υπολογισμών του εξωτερικού τοιχώματος για τη παροχή Q4.

Αριθμός πιεζόμετρου	Ραναγνωσης (mb)	P (mb)	Cp (-)
1	9,2	0,600	0,000
2	8,6	0,000	-0,130
3	7,4	-1,200	-0,391
4	4,3	-4,300	-1,065

5	4,2	-4,400	-1,087
6	4,6	-4,000	-1,000
7	6,7	-1,900	-0,543
8	8,4	-0,200	-0,174
9	8,5	-0,100	-0,152
10	8,8	0,200	-0,087

Πίνακας 22 Πίνακας υπολογισμών του εσωτερικού τοιχώματος για τη παροχή Q4.

Αριθμός πιεζόμετρου	Ρανάγνωσης (mb)	P (mb)	Cp (-)
1	5,8	-2,800	-0,739
2	7	-1,600	-0,478
3	8	-0,600	-0,261
4	8,7	0,100	-0,109
5	9,2	0,600	0,000
6	9,8	1,200	0,130
7	10,1	1,500	0,196
8	10,6	2,000	0,304
9	10,9	2,300	0,370
10	-	-	-

Πίνακας 23 Πίνακας υπολογισμών της αξονικής κατανομής για τη παροχή Q4.

Προσοχή!

Οι μετρήσεις στην επιφάνεια της αξονικής κατανομής είναι εννέα και όχι δέκα.

4.6.5 Παροχή Q5.

Η κλίση του μανομέτρου για τη συγκεκριμένη παροχή είναι η εξής.

Vertical

$$P_r = 8,6 \text{ mb}$$

Έχουμε:

$$P_{\text{box ανάγνωσης}} = 14,6 \text{ mb}$$

$$P_{\text{box}} = P_{\text{box_ανάγνωσης}} - P_r \text{ } \mathbf{P}$$

$$P_{\text{box}} = 14,6 - 8,6 \text{ } \mathbf{P}$$

$$P_{\text{box}} = 6,0 \text{ mb}$$

Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.

$$P_0 \text{ ανάγνωσης} = 9,2 \text{ mb}$$

$$P_0 = P_{\text{ανάγνωσης}} - 8,6$$

$$P_0 = 9,2 - 8,6$$

(3.41)

$$P_0 = 0,6 \text{ mb}$$

Από τα παραπάνω έχουμε:

$$P - P_0 = \frac{1}{2} \rho U^2 \text{ } \mathbf{P}$$

$$6,0 - 0,6 = \frac{1}{2} \rho U^2 \text{ } \mathbf{P}$$

(3.42)

$$5,4 = \frac{1}{2} \rho U^2$$

Όπου, $P = P_{\text{box}}$

Η ταχύτητα του αέρα υπολογίζεται από το παρακάτω τύπο.

$$\begin{aligned}
 U &= \sqrt{\frac{2P_{box} - P_0}{\rho}} \text{ } \mathbf{P} \\
 U &= \sqrt{\frac{2 \cdot 6,0 - 0,6}{1,1548857}} \text{ } \mathbf{P} \\
 U &= \sqrt{\frac{2 \cdot 5,4}{1,1548857}} \text{ } \mathbf{P} \\
 U &= \sqrt{\frac{10,8}{1,1548857}} \text{ } \mathbf{P} \\
 U &= \sqrt{9,35} \text{ } \mathbf{P} \\
 U &= 3,050 \text{ } m/sec
 \end{aligned}
 \tag{3.43}$$

Όπου:

- P_{box} , η πραγματική τιμή της σχετικής πίεσης στο δοχείο της συσκευής.
- P_0 , η πραγματική τιμή της πίεσης της εξόδου της συσκευής.
- ρ , η πυκνότητα του αέρα που υπολογίσαμε παραπάνω.

Η παροχή του αέρα υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο.

$$\begin{aligned}
 Q &= UA \text{ } \mathbf{P} \\
 Q &= 2,883 \cdot 0,005 \text{ } \mathbf{P} \\
 Q &= 0,0141 \text{ } m^3/sec
 \end{aligned}
 \tag{3.44}$$

Όπου:

- U , η ταχύτητα ροής του αέρα που υπολογίσαμε παραπάνω.
- A , Η επιφάνεια της γωνίας.

Η γωνία είναι ορθογωνικής διατομής με διαστάσεις:

$$a \times b = 50 \times 100 \text{ mm}$$

Μετατρέποντας τα δεδομένα στο διεθνές σύστημα μονάδων έχουμε.

$$A = a \times b = 0,05 \times 0,1 = 0.005 \text{ m}^2$$

Ο πειραματικός συντελεστής πίεσης (C_p) υπολογίζεται από το παρακάτω τύπο.

$$C_p = \frac{P - P_0}{1/2 \rho u^2} \quad (3.45)$$

Για το υπολογισμό του C_{p1} του εξωτερικού τοιχώματος έχουμε.

$$\begin{aligned} C_p &= \frac{P - P_0}{1/2 \rho u^2} \text{ P} \\ C_p &= \frac{(9,2 - 8,6)}{5,4} \text{ P} \\ C_p &= 0 \end{aligned} \quad (3.46)$$

Όπου:

P, η πίεση που αναγνώσαμε στο μανόμετρο κατά τη μέτρηση.

$$\begin{aligned} C_p &= \frac{P - P_0}{1/2 \rho u^2} \text{ P} \\ C_p &= \frac{(9,2 - 8,6)}{5,4} \text{ P} \\ C_p &= 0 \end{aligned} \quad (3.47)$$

Η πίεση στη γραμμή 1 (P_1) του εξωτερικού τοιχώματος υπολογίζεται ως εξής.

$$P_1 = (P_{\text{αναγ}} - P_r) \cdot \rho$$

$$P_1 = (9,2 - 8,6) \cdot \rho$$

$$P_1 = 0,600 \text{ mb}$$
(3.48)

Όπου:

$P_{\text{αναγ}}$, P , η πίεση που αναγνώσαμε στο μανόμετρο κατά τη μέτρηση.

- P_r , η στάθμη των στηλών πριν εκκινήσουμε τη συσκευή.

Ακολουθούμε την ίδια διαδικασία για όλες τις γραμμές του πίνακα.

Αριθμός πιεζόμετρου	Ρανάγνωσης (mb)	P (mb)	Cp (-)
1	9,2	0,600	0,000
2	8,6	0,000	0,000
3	7,2	-1,400	-1,400
4	3,5	-5,100	-5,100
5	3,4	-5,200	-5,200
6	3,9	-4,700	-4,700
7	6,3	-2,300	-2,300
8	8,4	-0,200	-0,200
9	8,4	-0,200	-0,200
10	8,7	0,100	0,100

Πίνακας 24 Πίνακας υπολογισμών του εξωτερικού τοιχώματος για τη παροχή Q5.

Αριθμός πιεζόμετρου	Ρανάγνωσης (mb)	P (mb)	Cp (-)
1	9,2	0,600	0,000
2	8,6	0,000	0,000
3	7,2	-1,400	-1,400
4	3,5	-5,100	-5,100
5	3,4	-5,200	-5,200
6	3,9	-4,700	-4,700
7	6,3	-2,300	-2,300
8	8,4	-0,200	-0,200
9	8,4	-0,200	-0,200
10	8,7	0,100	0,100

Πίνακας 25 Πίνακας υπολογισμών του εσωτερικού τοιχώματος για τη παροχή Q5.

Αριθμός πιεζόμετρου	Ρανάγνωσης (mb)	P (mb)	Cp (-)
1	5,4	-3,200	-0,704
2	7	-1,600	-0,407
3	8	-0,600	-0,222
4	8,8	0,200	-0,074
5	9,4	0,800	0,037
6	10	1,400	0,148
7	10,4	1,800	0,222
8	11	2,400	0,333
9	11,9	3,300	0,500
10	-	-	-

Πίνακας 26 Πίνακας υπολογισμών της αξονικής κατανομής για τη παροχή Q5.

4.6.6 Παροχή Q6.

Η συγκεκριμένη παροχή είναι η μέγιστη

Η κλίση του μανομέτρου για τη συγκεκριμένη παροχή είναι η εξής.

Vertical

$$P_r = 8,6 \text{ mb}$$

Έχουμε:

$$P_{\text{box ανάγνωσης}} = 14,6 \text{ mb}$$

$$P_{\text{box}} = P_{\text{box ανάγνωσης}} - P_r \quad \text{B}$$

$$P_{\text{box}} = 14,8 - 8,6 \quad \text{B}$$

$$P_{\text{box}} = 6,2 \text{ mb}$$

Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.

$$P_0 \text{ ανάγνωσης} = 9,2 \text{ mb}$$

$$P_0 = P_0 \text{ ανάγνωσης} - 8,6$$

$$P_0 = 9,2 - 8,6$$

$$P_0 = 0,6 \text{ mb}$$

Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.

Από τα παραπάνω έχουμε:

$$P - P_0 = \frac{1}{2} \rho U^2 \quad \text{B}$$

$$6,2 - 0,6 = \frac{1}{2} \rho U^2 \quad \text{B} \quad (3.49)$$

$$5,6 = \frac{1}{2} \rho U^2$$

Όπου, $P = P_{box}$

Η ταχύτητα του αέρα υπολογίζεται από το παρακάτω τύπο.

$$\begin{aligned}U &= \sqrt{\frac{2P_{box} - P_0}{\rho}} \text{ } \mathbf{P} \\U &= \sqrt{\frac{2 \cdot 6,2 - 0,6}{1,1548857}} \text{ } \mathbf{P} \\U &= \sqrt{\frac{2 \cdot 5,6}{1,1548857}} \text{ } \mathbf{P} \\U &= \sqrt{\frac{11,2}{1,1548857}} \text{ } \mathbf{P} \\U &= \sqrt{9,70} \text{ } \mathbf{P} \\U &= 3,115 \text{ } \mathbf{m/sec}\end{aligned} \tag{3.50}$$

Όπου:

- P_{box} , η πραγματική τιμή της σχετικής πίεσης στο δοχείο της συσκευής.
- P_0 , η πραγματική τιμή της πίεσης της εξόδου της συσκευής.
- ρ , η πυκνότητα του αέρα που υπολογίσαμε παραπάνω

Η παροχή του αέρα υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο.

$$\begin{aligned}Q &= UA \text{ } \mathbf{P} \\Q &= 3,115 \cdot 0,005 \text{ } \mathbf{P} \\Q &= 0,0155 \text{ } \mathbf{m^3/sec}\end{aligned} \tag{3.51}$$

Όπου:

- U , η ταχύτητα ροής του αέρα που υπολογίσαμε παραπάνω.
- Η επιφάνεια της γωνίας.

Η γωνία είναι ορθογωνικής διατομής με διαστάσεις:

$$a \times b = 50 \times 100 \text{ mm}$$

Μετατρέποντας τα δεδομένα στο διεθνές σύστημα μονάδων έχουμε.

$$A = a \times b = 0,05 \times 0,1 = 0.005 \text{ m}^2$$

Ο πειραματικός συντελεστής πίεσης(C_p) υπολογίζεται ως εξής.

$$C_p = \frac{P - P_0}{\frac{1}{2} \rho U^2} \quad (3.52)$$

Για το υπολογισμό του C_{p1} του εξωτερικού τοιχώματος έχουμε.

$$\begin{aligned} C_p &= \frac{P - P_0}{\frac{1}{2} \rho U^2} \quad \text{P} \\ C_p &= \frac{(9,3 - 8,6)}{6,0} \quad \text{P} \quad (3.53) \\ C_p &= 0,018 \end{aligned}$$

Όπου:

P, η πίεση που αναγνώσαμε στο μανόμετρο κατά τη μέτρηση.

$$\begin{aligned} P_0 &= P_{\text{ανηγ.}} - P_r \quad \text{P} \\ \frac{1}{2} \rho U^2 &= 16,0 \text{ mb} \quad (3.54) \end{aligned}$$

Η πίεση στη γραμμή 1 (P_1) του εξωτερικού τοιχώματος υπολογίζεται ως εξής.

$$\begin{aligned} P_1 &= (P_{\text{ανηγ.}} - P_r) \quad \text{P} \\ P_1 &= (9,3 - 8,6) \quad \text{P} \quad (3.55) \\ P_1 &= 0,700 \text{ mb} \end{aligned}$$

Όπου:

$P_{\text{ανηγ.}}$, P, η πίεση που αναγνώσαμε στο μανόμετρο κατά τη μέτρηση.

- Pr, η στάθμη των στηλών πριν εκκινήσουμε τη συσκευή.

Ακολουθούμε την ίδια διαδικασία για όλες τις γραμμές του πίνακα.

Αριθμός πιεζόμετρου	Ρανάγνωσης (mb)	P (mb)	Cp (-)
1	9,3	0,700	0,018
2	9,5	0,900	0,054
3	10,5	1,900	0,232
4	11,2	2,600	0,357
5	11,4	2,800	0,393
6	11,4	2,800	0,393
7	10,3	1,700	0,196
8	9,2	0,600	0,000
9	8,8	0,200	-0,071
10	8,7	0,100	-0,089

Πίνακας 27 Πίνακας υπολογισμών του εξωτερικού τοιχώματος για τη παροχή Q6.

Αριθμός πιεζόμετρου	Ρανάγνωσης (mb)	P (mb)	Cp (-)
1	9,3	0,700	0,018
2	8,6	0,000	-0,107
3	7,3	-1,300	-0,339
4	3,8	-4,800	-0,964
5	3,7	-4,900	-0,982
6	3,8	-4,800	-0,964
7	6,3	-2,300	-0,518
8	8,4	-0,200	-0,143
9	8,4	-0,200	-0,143
10	8,7	0,100	-0,089

Πίνακας 28 Πίνακας υπολογισμών του εσωτερικού τοιχώματος για τη παροχή Q6.

Αριθμός πιεζόμετρου	Ρανάγνωσης (mb)	P (mb)	Cp (-)
1	5,4	-3,200	-0,679
2	6,9	-1,700	-0,411
3	7,9	-0,700	-0,232
4	8,8	0,200	-0,071
5	9,3	0,700	0,018
6	9,8	1,200	0,107
7	10,3	1,700	0,196
8	10,9	2,300	0,304
9	11,3	2,700	0,375
10	-	-	-

Πίνακας 29 Πίνακας υπολογισμών της αξονικής κατανομής για τη παροχή Q6.

Υπενθυμίζουμε ότι οι μετρήσεις στην επιφάνεια της αξονικής κατανομής είναι εννέα και όχι δέκα.

4.7 Υπολογισμός απωλειών.

Όπως καταλαβαίνουμε το σύστημα μας προφανώς παρουσιάζονται κάποιες απώλειες, αυτές είναι της κατηγορίας των τοπικών απωλειών λόγω του εξαρτήματος που προσαρμόζουμε στη διάταξη το οποίο δεν είναι άλλο από τη γωνία των 90 μοιρών.

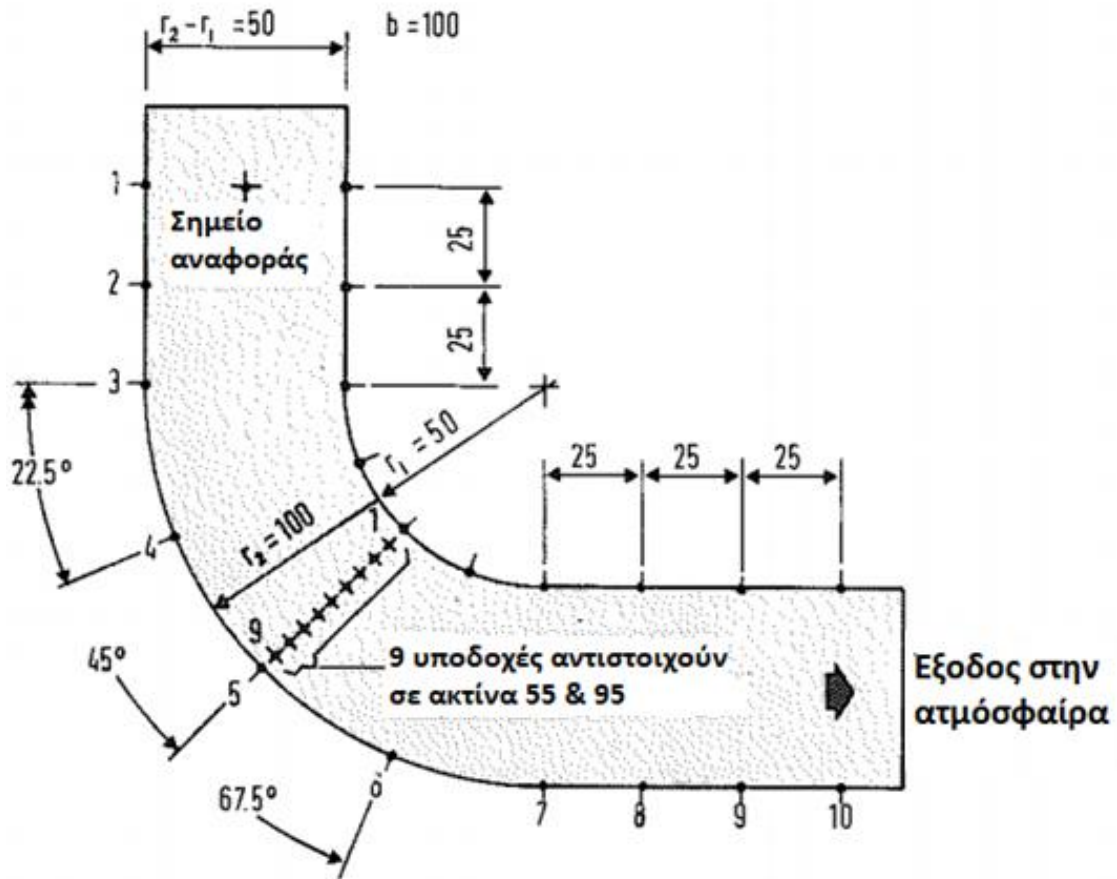
Ουσιαστικά η δουλειά που θα πρέπει να κάνουμε είναι να προσδιορίσουμε το συντελεστή (ζ) ο οποίος θα μας βοηθάει να προσδιορίσουμε τις απώλειες που έχει το σύστημα σε κάθε περίπτωση.

Πίεση αέρα στο δοχείο: $P_{box} = 6,2 \text{ mb}$

Πίεση στο σημείο αναφοράς : $P_0 = 0,6 \text{ mb}$

Έχουμε το τύπο:

$$P - P_0 = \frac{1}{2} \rho u^2 \quad (3.56)$$



Εικόνα 24 Οι διευθύνσεις και οι θέσεις των υποδοχών για τη μέτρηση της πίεσης πάνω στη καμπύλη.

Από την εικόνα 6 ξέρουμε ότι οι διαστάσεις τις γωνίας είναι:

$$r_1 = 50 \text{ mm} \text{ \& } r_2 = 100 \text{ mm.}$$

Επίσης γνωρίζουμε ότι η κατανομή της ταχύτητας που καταγράφεται εντός του τμήματος της γωνίας λόγω της ελεύθερης δίνης δίδεται από το τύπο 1.82.

$$\frac{u}{U} = \frac{50}{r \ln(2)} = \frac{72.1}{r}$$

Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.

Όπου το (r) εκφράζεται σε χιλιοστά.

Αριθμός Πιεζόμετρου	Εξωτερικό τοίχωμα		Εσωτερικό τοίχωμα		Αξονική κατανομή	
	P (mb)	Cp (-)	P (mb)	Cp (-)	P (mb)	Cp (-)
1	0,700	0,018	0,700	0,018	-3,200	-0,679
2	0,900	0,054	0,000	-0,107	-1,700	-0,411
3	1,900	0,232	-1,300	-0,339	-0,700	-0,232
4	2,600	0,357	-4,800	-0,964	0,200	-0,071
5	2,800	0,393	-4,900	-0,982	0,700	0,018
6	2,800	0,393	-4,800	-0,964	1,200	0,107
7	1,700	0,196	-2,300	-0,518	1,700	0,196
8	0,600	0,000	-0,200	-0,143	2,300	0,304
9	0,200	-0,071	-0,200	-0,143	2,700	0,375
10	0,100	-0,089	0,100	-0,089	-	-

Πίνακας 30 Οπίνακας υπολογισμών των πτώσεων και συντελεστών πίεσεων για τη μέγιστη παροχή.

Στο παρακάτω πίνακα καταγράφονται οι τιμές του συντελεστής πίεσης (Cp) για κάθε τιμή του (r) πάνω στη καμπύλη.

r (mm)	Συντελεστής πίεσης (Cp)
55	-0,718
60	-0,444
65	-0,230
70	-0,060
75	0,075
80	0,187

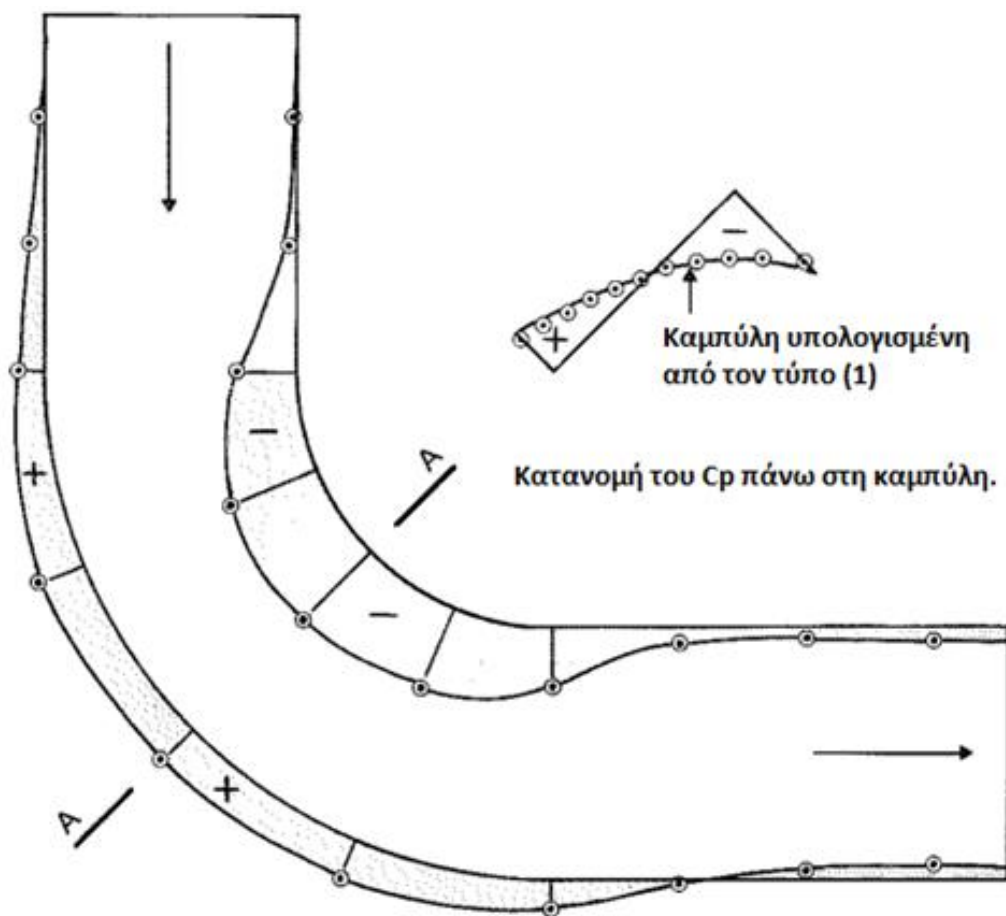
85	0,280
90	0,358
95	0,424

Πίνακας 31 Ο θεωρητικός συντελεστής πίεσης για κάθε τιμή που εξαρτήματος ροής.

Η εικόνα 23 μας υποδεικνύει τη κατανομή της μέτρησης του συντελεστή πίεσης πάνω στη καμπύλη τη κατανομή της μέτρησης του συντελεστή πίεσης (C_p) πάνω στη καμπύλη.

Όπως φαίνεται η κατανομή στο εσωτερικό τοίχωμα είναι ομοιόμορφη, όσο η ροή του αέρα εισέρχεται κοντά στην αρχή της γωνίας παρουσιάζεται μια ραγδαία πτώση πίεσης στο εσωτερικό τοίχωμα ενώ αντιθέτως στο εξωτερικό τοίχωμα η πίεση αυξάνεται ραγδαία μεγέθη τα οποία όμως στη πλειοψηφία τους παραμένουν σταθερά πάνω στη περιφέρεια της καμπύλης. Η παρουσία αυτού του φαινομένου υποδηλώνει ότι η ροή πάνω στη καμπύλη είναι ουσιαστικά ίδια.

Η κατανομή του συντελεστή πίεσης (C_p) στη περιφέρεια της αξονικής κατανομής ακολουθεί την υπολογισμένη καμπύλη σε πολύ ικανοποιητικό βαθμό, γεγονός που υποδηλώνει ότι οι υπολογισμοί μας είναι σωστοί. Ουσιαστικά μας προσδίδεται μια πολύ καλή απεικόνιση του πεδίου ροής. Η πτώση πίεσης είναι λιγότερο απότομη από αυτή των υπολογισμών μας υποδεικνύοντας μια δύναμη στροβίλου C_k μικρότερη από αυτή της δοθείσας εξίσωσης.



Εικόνα 25 Απεικόνιση της κατανομής του συντελεστή πίεσης στα τοιχώματα της καμπύλης.

Κατευθυνόμενη προς την έξοδο της καμπύλης οι πιέσεις των τοιχωμάτων αναπροσαρμόζονται μέχρι το τέλος της εξόδου της καμπύλης. Είναι παρόλα αυτά ελάχιστα χαμηλότερη από τη πίεση στην είσοδο της καμπύλης, αυτή η διαφορά υποδηλώνει μια πτώση πίεσης καθώς η ροή του αέρα εισέρχεται στη περιοχή της καμπύλης. Είναι εύχρηστο να εκφραστεί αυτή η απώλεια όσον αφορά τη πτώση πίεσης της ταχύτητας ($\frac{1}{2} \times \rho \times u^2$) στην ομοιόμορφη ροή από την έκφραση.

$$K = \frac{DP}{\frac{1}{2} \rho u^2}$$

Όπου το K είναι ο συντελεστής απωλειών χωρίς διόρθωση.

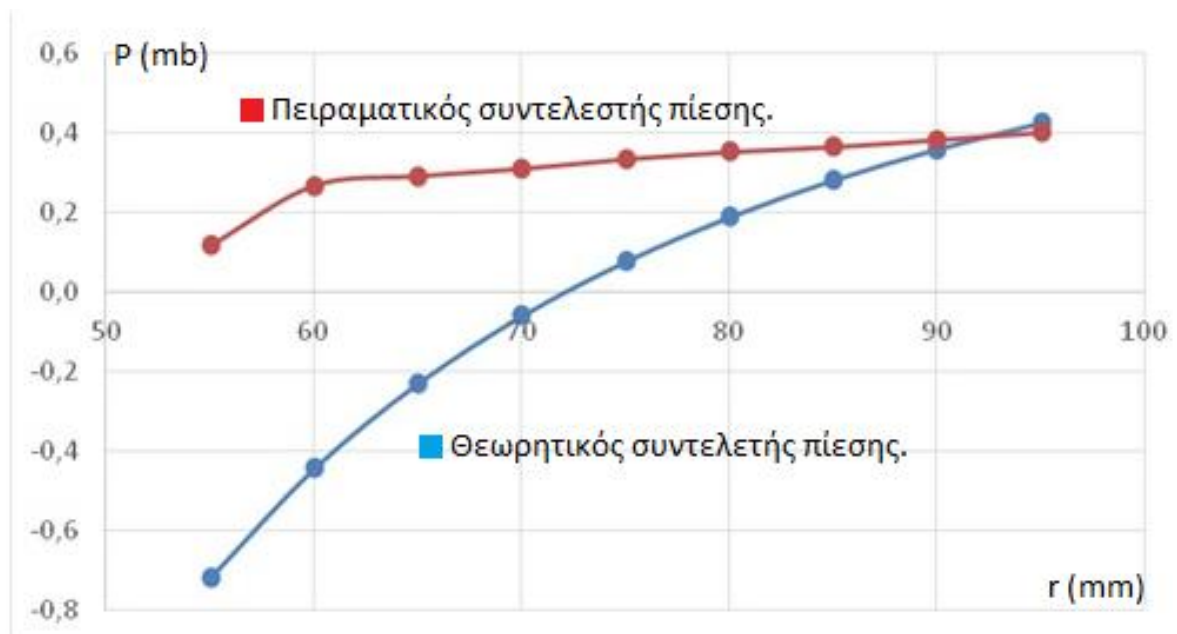
Σε αυτή τη περίπτωση από τη μεταβολή του συντελεστή πίεσης $C_{ραπτό}$ το εσωτερικό προς το εξωτερικό τοίχωμα.

$$K = 0,089 \approx 0,9$$

4.8 Σχολιασμός διαγραμμάτων.

Για μικρές τιμές παροχής παρουσιάζεται μια μεγάλη διαφορά ανάμεσα στις τιμές του θεωρητικού συντελεστή πίεσης και του πειραματικού συντελεστή πίεσης όπως φαίνεται στο διάγραμμα .8.1 ενώ παρουσιάζουν μια σχετική σύγκλιση μεταξύ τους στο τέλος της γραφικής τους παράστασης.

Στα διαγράμματα, ο κάθετος άξονας απεικονίζει τις τιμές πίεσης του πολύ μανομέτρου στήλης ενώ ο οριζόντιος άξονας απεικονίζει τις τιμές των ακτινών της καμπύλης του εξαρτήματος ροής. Πιο συγκεκριμένα, τα γαλάζια γραφήματα αναπαριστούν το θεωρητικό συντελεστή πίεσης ο οποίος παραμένει σταθερός σε όλες τις περιπτώσεις των παροχών μας ενώ τα κόκκινα γραφήματα αναπαριστούν το πειραματικό συντελεστή πίεσης ο οποίος διαφοροποιείται σε όλες τις περιπτώσεις των παροχών μας.



Εικόνα 26 Σχέση πειραματικού και θεωρητικού συντελεστή πίεσης για την ίδια τιμή παροχής Q2.

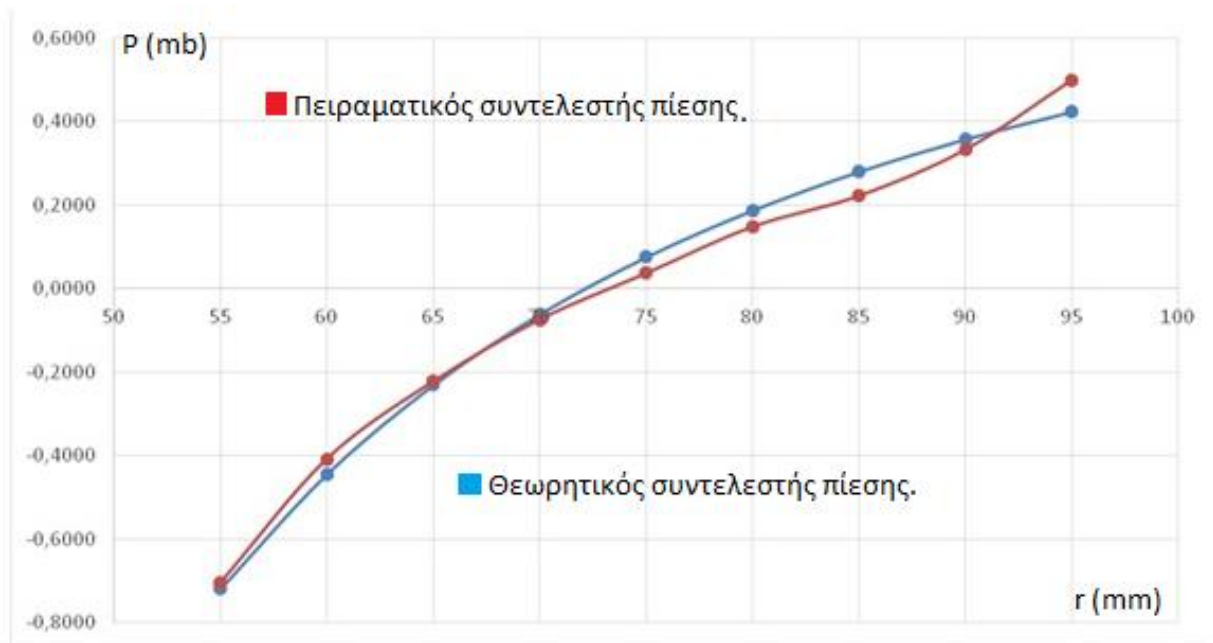
Από τις σχέσεις (3.6) και (3.7) έχουμε

$$C_p = 1 - \frac{\alpha}{\xi} \frac{1.2 \dot{\sigma}^2}{r \dot{\sigma}} \quad (3.70)$$

Από τις σχέσεις (3.8) και (3.1) έχουμε

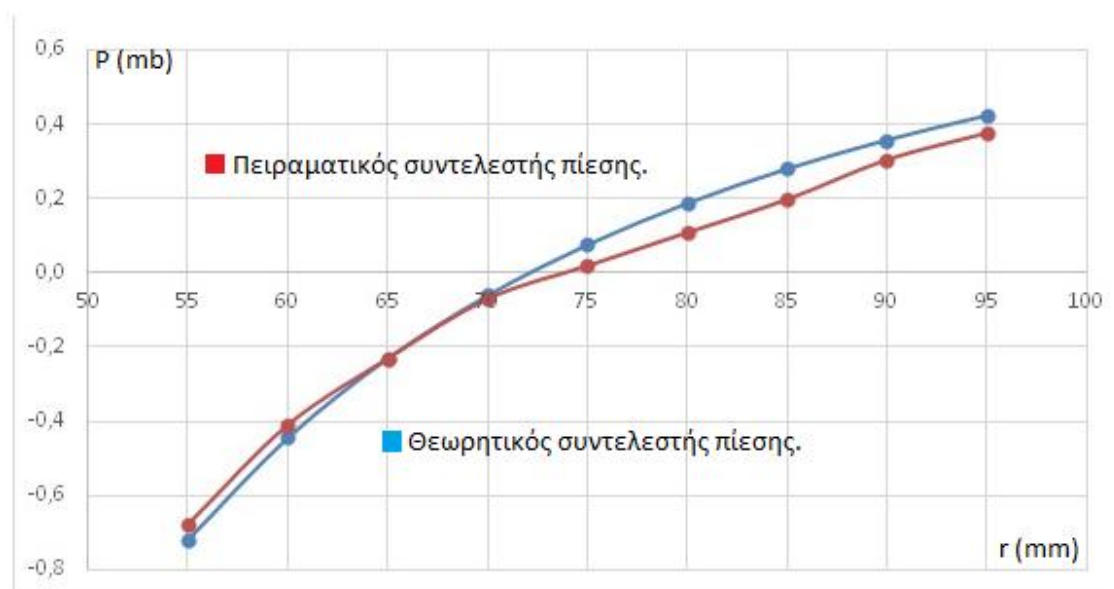
$$Cp = \frac{P - P_0}{P_{box} - P_0} \quad (3.71)$$

Στην εικόνα 26 απεικονίζεται η γραφική παράσταση του θεωρητικού και του πειραματικού συντελεστή πίεσης ανά μήκος του αγωγού καμπύλης 90° για την παροχή Q2 που είναι η μικρότερη του πειράματος. Παρατηρούμε ότι γενικά οι τιμές δεν συμφωνούν εκτός από τις δύο τελευταίες μετρήσεις. Η μεγάλη αυτή απόκλιση παρατηρείται μόνο για αυτή την παροχή. Μία εξήγηση αυτού μπορεί να είναι ότι λόγω της μικρής παροχής ο αέρας δεν δημιουργεί τα αναμενόμενα οριακά στρώματα στις επιφάνειες του αγωγού κατά μήκος της καμπύλης. Θα μπορούσαμε να πούμε ότι δημιουργούνται «κενά» λόγω της μικρής παροχής και η ροή δεν είναι ομοιόμορφη κατά μήκος της καμπύλης. Ανεβάζοντας τη τιμή της παροχής παρατηρούμε ότι οι δύο συντελεστές πίεσης συγκλίνουν σε πάρα πολύ μεγάλο βαθμό παρουσιάζουν μια αισθητή διαφορά μεταξύ τους από το μέσο της γραφικής τους παράστασης και μετά.



Εικόνα 27 Σχέση θεωρητικού και Πειραματικού συντελεστή πίεσης για την ίδια τιμή παροχής Q5.

.Στην εικόνα 27 απεικονίζεται η γραφική παράσταση του θεωρητικού και του πειραματικού συντελεστή πίεσης κατά μήκος του αγωγού καμπύλης 90° για την παροχή Q5 που είναι σχεδόν η μέγιστη παροχή του πειράματος. Όπως παρατηρούμε η συμπεριφορά του θεωρητικού και του πειραματικού συντελεστή πίεσης είναι σχεδόν όμοια. Μία εξήγηση αυτού μπορεί να είναι ότι λόγω της μεγάλης παροχής ο αέρας δημιουργεί τα αναμενόμενα οριακά στρώματα στις επιφάνειες του αγωγού κατά μήκος της καμπύλης. Θα μπορούσαμε να πούμε ότι δεν δημιουργούνται «κενά» λόγω της μεγάλης παροχής και η ροή πλέον είναι αρκετά ομοιόμορφη κατά μήκος της καμπύλης. Ανεβάζοντας τη τιμή της παροχής παρατηρούμε ότι οι δύο συντελεστές πίεσης συγκλίνουν σε πάρα πολύ μεγάλο βαθμό παρουσιάζουν μια αισθητή διαφορά μεταξύ τους από το μέσο της γραφικής τους παράστασης και μετά



Εικόνα 28 Σχέση του Πειραματικού και του Θεωρητικού συντελεστή πίεσης για την ίδια τιμή παροχής Q6.

Στην εικόνα 28 απεικονίζεται η γραφική παράσταση του θεωρητικού και του πειραματικού συντελεστή πίεσης κατά μήκος του αγωγού καμπύλης 90° για την παροχή Q6 που είναι η μέγιστη παροχή του πειράματος. Όπως παρατηρούμε η συμπεριφορά του θεωρητικού και του πειραματικού συντελεστή πίεσης είναι σχεδόν όμοια. Μία εξήγηση αυτού μπορεί να είναι ότι λόγω της μεγάλης παροχής ο αέρας δημιουργεί τα αναμενόμενα οριακά στρώματα στις επιφάνειες του αγωγού κατά μήκος της καμπύλης. Θα μπορούσαμε να πούμε ότι δεν δημιουργούνται «κενά» λόγω της μεγάλης παροχής και η ροή πλέον είναι η ομοιόμορφη δυνατή ροή που μπορεί να αναπτυχθεί κατά μήκος της καμπύλης. Φτάνοντας

τη τιμή της παροχής σε αυτό το σημείο παρατηρούμε ότι οι δύο συντελεστές πίεσης συγκλίνουν σε πάρα πολύ μεγάλο βαθμό αφού ταυτίζονται για λίγο στο μέσο του αγωγού ενώ παρουσιάζουν μια αισθητή διαφορά μεταξύ τους από το μέσο της γραφικής τους παράστασης και μετά.

Κεφάλαιο 5^ο

Σχολιασμός αποτελεσμάτων.

5.1 Σχετικά με τη πειραματική διαδικασία.

Η πειραματική διαδικασία διέπεται από συγκεκριμένους παραμέτρους και δε παρουσιάζει μεγάλη δυσκολία κατά την εκτέλεση της, παρόλα αυτά απαιτείται μεγάλη προσοχή κατά τη προετοιμασία της συσκευής καθώς και κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας ώστε να επιτύχουμε το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα στη καταγραφή των μετρήσεων. Επίσης άξια αναφοράς είναι και η ταχύτητα που πρέπει να ολοκληρώσουμε τη διαδικασία ώστε να μη πραγματοποιηθεί κάποια μεταβολή σε κάποιες από τις σταθερές παραμέτρους που διέπουν το πείραμα. Επίσης τεράστια προσοχή απαιτείται κατά την αλλαγή του μετρούμενου τοιχώματος ώστε να μη προκαλέσουμε κάποια ζημιά στη διάταξη καθώς και στις εισαγωγές των αγωγών πάνω στις ειδικές υποδοχές του μανομέτρου.

5.2 Σχετικά με τα αποτελέσματα.

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών μας ουσιαστικά πιστοποιούν την εγκυρότητα ολόκληρης της πειραματικής διαδικασίας, στη συγκεκριμένη περίπτωση τα αποτελέσματα είναι πολύ ικανοποιητικά αφού είναι τα αναμενόμενα. Συγκεκριμένα ο συντελεστής πίεσης για κάθε τιμή παροχής καθώς και η ταχύτητα της ροής δείχνουν την ανάλογη συμπεριφορά την οποία αναμέναμε να δούμε καθώς προετοιμάζαμε το πείραμα.

Πιο συγκεκριμένα η τιμή της ταχύτητας καθώς αυξάνεται η τιμή της παροχής, αυξάνεται ενώ ο θεωρητικός συντελεστής πίεσης (C_p) σε σχέση με το πειραματικό συντελεστή πίεσης (C_p) έχουν μια συγκεκριμένη συμπεριφορά την οποία αναλύσαμε στο σχολιασμό

των διαγραμμάτων.

5.3 Γενικό συμπέρασμα.

Η διανομή της πίεσης πάνω στη καμπύλη των 90 μοιρών στην ορθογώνια διανομή έχει δημιουργηθεί με εκτόνωση πίεσης. Ο συντελεστής της πίεσης είναι αρνητικός και σχεδόν σταθερός γύρω από το εξωτερικό τοίχωμα.

Πάνω στο τμήμα της καμπύλης στο σημείο 45 μοιρών η κατανομή της πίεσης μπορεί να προβλεφθεί με προβλέψιμη ακρίβεια υποθέτοντας την ελεύθερη κατανομή ταχύτητας στροβίλου πάνω από αυτή τη διατομή.

Η τιμή του συντελεστή απώλειας χωρίς διόρθωση για αυτό το συγκεκριμένο εξάρτημα της καμπύλης των 90 μοιρών ισούται με $K = 0,089$.

5.4 Επίλογος.

Η παρούσα πτυχιακή είχε ως σκοπό την ανάδειξη των παραμέτρων καθώς και τη κατανόηση της συμπεριφοράς της ροής αέρα σε έναν αγωγό τετραγωνικής διατομής με καμπύλη 90 μοιρών. Αυτό αποτελεί ένα σημείο το οποίο είναι πάρα πολύ κοινό και απαραίτητο για το μεγαλύτερο ποσοστό των εγκαταστάσεων τις οποίες καλείται να αναλάβει ένας μηχανικός, από τις πιο απλές έως τις πολύ σύνθετες. Αυτή η πτυχιακή εκτός του ότι παραθέτει μία μεθοδολογία μελέτης για την μέτρηση απωλειών στον συγκεκριμένο αγωγό αποτελεί και έναν οδηγό για την μελέτη απωλειών ροής αέρα σε οποιοδήποτε άλλο εξάρτημα με μεταβαλλόμενη γεωμετρία ευθύγραμμο ή καμπύλο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΡΕΥΣΤΩΝ MUNSON, YOUNG&OKIISHI'S 8η Έκδοση, Επιστημονική επιμέλεια Υάκινθος Κυριάκος Αναπληρωτής Καθηγητής ΑΠΘ, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη 2017.

Introduction into Fluid Mechanics Y. NAKAYAMA Former Professor, Tokai University, Japan.

UK Editor R. F. BOUCHER Principal and Vice Chancellor, UMIST, UK 1998.

THE PRESSURE LOSSES IN 90° BENDS OF RECTANGULAR CROSS SECTION
by SURESH CHANDRA KACKER, B.TECH. McMaster University October 1966.

A FIRST COURSE IN AIR FLOW by E. MARKLAND BSc, Ph.D, D.Sc, F.I.C.E., F.I.MECH., Mem. A.S.M.E Professor of Mechanical Engineering University College Cardiff 1976.

Μηχανική Ρευστών με εφαρμογές Μιχαήλ Ξένος,
Ευστράτιος Τζιρτζιλάκης, , Εκδόσεις Γκότσης, Πάτρα 2018.

Fluid flow through a vertical to horizontal 90 elbow bend III three phase flow P.L. Spedding, E. Benard *, N.M. Crawford School of Mechanical and Aerospace Engineering, Queen's University Belfast, Ashby Building, Belfast BT9 5AH, United Kingdom 2007.

Bends, Flow and Pressure Drop in <http://www.thermopedia.com/content/577/>,
[ημερομηνία ανάκτησης Νοέμβριος 2018](http://www.thermopedia.com/content/577/).

E. Markland, A First Course in Air Flow, Tecquipment Limited, Nottingham, England, 1976.

TecEquipment Teaching Manuals, TecEquipment Limited, Nottingham England, 1976.

