



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ

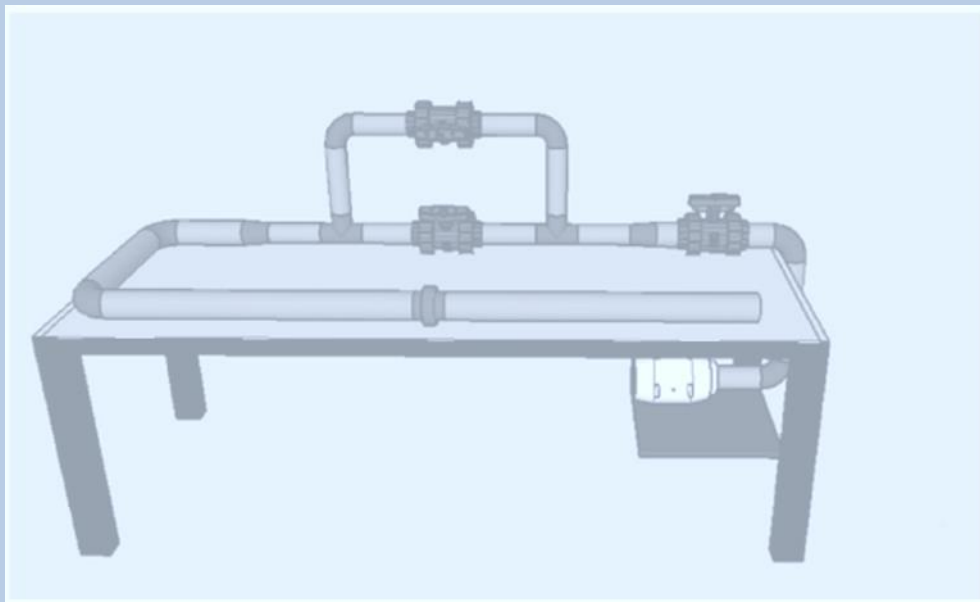
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΑΕΡΟΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ, ΑΕΡΟΝΑΥΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΤΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΑΥΤΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ II

Ροή σε Αγωγούς



ΠΑΤΡΑ, 2017

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΕΙΚΟΝΑ 1. ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ.....	11
ΕΙΚΟΝΑ 2. ΠΟΛΛΑΠΛΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΑΣ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΠΙΕΣΗΣ.	11
ΕΙΚΟΝΑ 3. ΤΥΠΙΚΗ ΜΟΡΦΗ ΣΩΛΗΝΑ PRANDTL.....	12
ΕΙΚΟΝΑ 4. ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΜΑΝΟΜΕΤΡΟ.....	13
ΕΙΚΟΝΑ 5. ΣΗΜΕΙΑ ΛΗΨΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΤΙΜΕΣ ΑΠΟΣΤΑΣΕΩΝ.	13

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

ΣΧΗΜΑ 1. ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΕΙΣΟΔΟ ΚΑΙ ΣΕ ΚΑΤΑΝΤΗ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΤΟΥ ΑΓΩΓΟΥ..... 3

ΣΧΗΜΑ 2. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΕΝΤΟΣ ΓΩΝΙΑΣ 90^ο. 5

ΣΧΗΜΑ 3. ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΥΣΕΣ ΡΟΕΣ. 6

ΣΧΗΜΑ 4. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΤΟΠΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΓΙΑ ΓΩΝΙΑ 90^ο ΣΕ ΑΓΩΓΟ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ. 7

ΣΧΗΜΑ 5. ΑΠΟΤΟΜΗ ΔΙΕΥΡΥΝΣΗ..... 8

ΣΧΗΜΑ 6. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΤΟΠΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΓΙΑ ΑΠΟΤΟΜΗ ΔΙΕΥΡΥΝΣΗ. 8

ΣΧΗΜΑ 7. ΑΠΟΤΟΜΗ ΣΤΕΝΩΣΗ. 9

ΣΧΗΜΑ 8. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΤΟΠΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΓΙΑ ΑΠΟΤΟΜΗ ΣΤΕΝΩΣΗ. 9

ΣΧΗΜΑ 9. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΤΟΠΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΓΙΑ ΣΦΑΙΡΙΚΗ ΒΑΛΒΙΔΑ. 10

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ

ΔP ($M/L T^2$) – πτώση πίεσης

P_A, P_B ($M/L T^2$) – τιμές στατικής πίεσης στα σημεία A και B

λ (–) – συντελεστής τριβής

l (L) – απόσταση των σημείων για τα οποία υπολογίζεται η πτώση πίεσης

d (L) – διάμετρος αγωγού

ρ (M/L^3) – πυκνότητα ρευστού

\bar{u} (L/T) – μέση ταχύτητα ρευστού

Re (–) – αριθμός Reynolds

μ ($M/L T$) – δυναμικό ιξώδες

ν (L^2/T) – κινηματικό ιξώδες

L_e (L) – μήκος εισόδου για πλήρως ανεπτυγμένη ροή

U_{max} (L/T) – μέγιστη ταχύτητα ρευστού στον άξονα του αγωγού

R (L) – ακτίνα αγωγού

r (L) – απόσταση από τον άξονα του αγωγού

u_{av} (L/T) – μέση ταχύτητα ρευστού

ζ (–) – συντελεστής τοπικών απωλειών

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	II
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	III
ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ	IV
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	V
1. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ.....	1
2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	1
2.1 ΑΠΩΛΕΙΑ ΠΙΕΣΗΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΤΡΙΒΗΣ	1
2.2 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ.....	2
2.3 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΤΟΠΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ	5
2.3.1 Στοιχεία αλλαγής κατεύθυνσης της ροής – Γωνίες 90°.....	5
2.3.2 Στοιχεία μεταβολής της διατομής.....	7
2.3.3 Σφαιρικές βαλβίδες	9
3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	10
4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	14
4.1 ΠΕΙΡΑΜΑ Α	14
4.2 ΠΕΙΡΑΜΑ Β	15
4.3 ΠΕΙΡΑΜΑ Γ	15
4.4 ΠΕΙΡΑΜΑ Δ	16
5. ΖΗΤΟΥΜΕΝΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ	16
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	18

1. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Η εργαστηριακή άσκηση περιλαμβάνει την εκτέλεση τεσσάρων (4) διαφορετικών πειραμάτων που σκοπό έχουν:

1. Τη μέτρηση των απωλειών πίεσης σε αγωγό κυκλικής διατομής.
2. Την εύρεση της κατανομής ταχύτητας σε διάφορες διατομές.
3. Την εύρεση του συντελεστή τριβής.
4. Την εύρεση του συντελεστή τοπικών απωλειών σε στοιχεία αλλαγής κατεύθυνσης της ροής, μεταβολής της διατομής, διακλαδώσεις και σφαιρικές βαλβίδες.

Η γνώση των απωλειών πίεσης σε μια εγκατάσταση είναι αναγκαία για τη σωστή της λειτουργία, ειδικά σε εγκαταστάσεις που περιλαμβάνουν αγωγούς μεγάλου μήκους με διακλαδώσεις, καμπύλα τμήματα και άλλα εξαρτήματα. Σε τέτοιες εγκαταστάσεις, το ρευστό που βρίσκεται υπό συγκεκριμένες συνθήκες (πίεσης, ταχύτητας) μεταφέρεται σε άλλους χώρους (υπό άλλες συνθήκες). Προκειμένου το ρευστό να υπερνικήσει τις απώλειες ενέργειας κατά τη ροή του και να φτάσει στην επιθυμητή θέση (με τις προκαθορισμένες συνθήκες πίεσης και ταχύτητας) πρέπει να είναι γνωστό το απαιτούμενο γι' αυτό ποσό ενέργειας.

Σκοπός της εργαστηριακής άσκησης είναι η εξοικείωση με τη χρήση μετρητικών οργάνων και τη λήψη πειραματικών μετρήσεων, καθώς και η σύγκριση πειραματικών και θεωρητικών αποτελεσμάτων.

2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

2.1 ΑΠΩΛΕΙΑ ΠΙΕΣΗΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΤΡΙΒΗΣ

Απώλεια πίεσης, ΔP , είναι η πτώση πίεσης που προκαλείται από τη δράση των διατμητικών τάσεων των τοιχωμάτων του αγωγού στο ρευστό.

Για στρωτή και τυρβώδη ροή ισχύει η σχέση:

$$\Delta P = P_A - P_B = \frac{1}{2} \lambda \frac{l}{d} \rho \bar{u}^2 \quad (1)$$

Ο συντελεστής τριβής, λ , από την άλλη πλευρά, λαμβάνει διαφορετική τιμή για στρωτή και τυρβώδη ροή. Για στρωτή ροή, η τιμή του προκύπτει από τη σχέση:

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}} \quad (2)$$

όπου Re ο αριθμός Reynolds που δίνεται από τη σχέση:

$$\text{Re} = \frac{\bar{u} d}{\nu} \quad (3)$$

Για τυρβώδη ροή, η τιμή του συντελεστή τριβής, λ , με βάση την εμπειρική σχέση που πρότεινε ο Blasius είναι:

$$\lambda = \frac{0.3164}{\text{Re}^{0.25}} \quad (4)$$

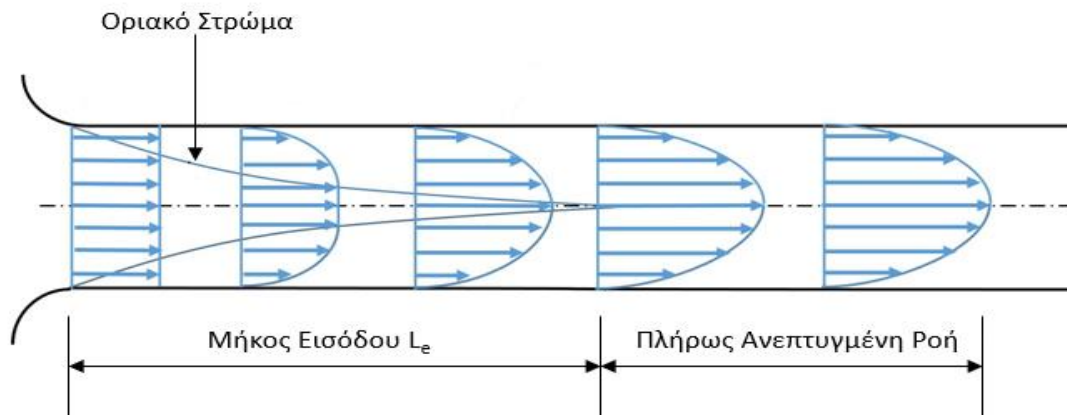
Η ανωτέρω σχέση παρουσιάζει μεγάλη συμφωνία με πειραματικά δεδομένα για αριθμούς Reynolds έως και 100,000, αλλά για μεγαλύτερους αριθμούς Reynolds εμφανίζει μεγάλη απόκλιση και επομένως δεν συνιστάται η χρησιμοποίησή της.

Στις περιπτώσεις αυτές μεγαλύτερη συμφωνία με τα πειραματικά δεδομένα δίνει ο «Γενικός νόμος τριβής για λείους αγωγούς» του Prandtl:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \log(\text{Re}\sqrt{\lambda}) - 0.8 \quad (5)$$

2.2 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ

Όταν ένα ρευστό εισέρχεται σε έναν κυκλικό αγωγό από μια μεγάλη δεξαμενή, η κατανομή της ταχύτητάς του μεταβάλλεται συναρτήσει της απόστασης από τη διατομή εισόδου, Σχήμα 1. Σε διατομές πλησίον της εισόδου η κατανομή της ταχύτητας είναι σχεδόν ομοιόμορφη. Σε κατάντη διατομές η κατανομή της ταχύτητας αλλάζει, λόγω της επίδρασης της τριβής, έως ότου αποκατασταθεί ένα πλήρως ανεπτυγμένο «προφίλ» ταχύτητας, σε μια ορισμένη κατάντη διατομή του αγωγού, το οποίο εν συνεχεία παραμένει σταθερό καθ' όλο το μήκος αυτού.



Σχήμα 1. Σχηματική απεικόνιση κατανομής ταχύτητας στην είσοδο και σε κατάντη διατομές του αγωγού.

Στη στρωτή ροή, το (κρίσιμο) μήκος εισόδου για πλήρως ανεπτυγμένη ροή δίνεται προσεγγιστικά από τη σχέση:

$$L_e = 0.06 * Re * D \quad (6)$$

Έτσι, στην περίπτωση στρωτής ροής απαιτείται ένα μήκος εισόδου για πλήρως ανεπτυγμένη ροή της τάξης των $140D \div 240D$, όπου το κάτω όριο προκύπτει θεωρώντας τον κρίσιμο αριθμό Reynolds για στρωτή ροή σε αγωγούς ($Re_{cr} = 2300$) και το άνω όριο θεωρώντας το άνω κατώφλι του αριθμού Reynolds ($Re = 4000$) στη μεταβατική περιοχή, στην οποία η ροή δεν είναι ξεκάθαρα ούτε στρωτή, ούτε τυρβώδης, αλλά μεταβαίνει από το ένα είδος ροής στο άλλο. Στην τυρβώδη ροή, το (κρίσιμο) μήκος εισόδου για πλήρως ανεπτυγμένη ροή είναι συγκριτικά μικρότερο από το αντίστοιχο της στρωτής ροής και κυμαίνεται από $50D \div 100D$ (Kristen), ενώ σύμφωνα με μια λιγότερο συντηρητική προσέγγιση (Nikuradse) είναι της τάξεως των $25D \div 40D$.

Η κατανομή ταχύτητας στους αγωγούς απασχόλησε κατά καιρούς πολλούς ερευνητές, οι οποίοι στην προσπάθειά τους να εξαγάγουν ένα νόμο εκφραζόμενο από μια απλή μαθηματική σχέση, έκαναν διάφορες παραδοχές που στη συνέχεια επαληθεύονταν μερικώς ή ολικώς από τα πειράματα. Οι πιο γνωστοί νόμοι κατανομής ταχύτητας είναι οι κάτωθι:

- Νόμος Hagen – Poiseuille

Στη στρωτή ροή, η κατανομή ταχύτητας έχει παραβολικό σχήμα και εκφράζεται από τη σχέση:

$$\frac{u}{U_{\max}} = 1 - (r/R)^2 \quad (7)$$

- Νόμος Δύναμης

Είναι ο απλούστερος, από μαθηματικής άποψης, νόμος και προκύπτει από τη σχέση του Blasius.

$$\frac{u}{U_{\max}} = \left(1 - \frac{r}{R}\right)^{1/n} \quad (8)$$

Ο εκθέτης n μεταβάλλεται με τον αριθμό Reynolds της ροής και λαμβάνει την τιμή $n = 6$ για $Re = 4000$, την τιμή $n = 7$ για $Re = 10^5$ και την τιμή $n = 10$ για $Re = 3240 \cdot 10^3$.

Από τη σχέση (8) προκύπτει ο λόγος της μέσης ταχύτητας προς την μέγιστη:

$$\frac{u_{\text{av}}}{U_{\max}} = \frac{2n^2}{(n+1)(2n+1)} \quad (9)$$

- Νόμος Von Karman

Είναι μια σύνθετη σχέση που προϋποθέτει τον υπολογισμό ενός νέου μεγέθους που ονομάζεται διατμητική ταχύτητα, εξ. (11). Η γενική διατύπωση του νόμου είναι:

$$\frac{u}{u_{\max}} = 1 + \left\{ 2.77 \frac{u^*}{u_{\max}} \left[\ln \left(1 - \sqrt{\frac{r}{R}} \right) + \sqrt{\frac{r}{R}} \right] \right\} \quad (10)$$

$$u^* = \sqrt{0.003325 \bar{u}^{7/4} \nu^{1/4} R^{1/4}} \quad (11)$$

- Νόμος Darcy

Η κατανομή της ταχύτητας στον συγκεκριμένο νόμο δίνεται από την εξ. (12). Η διατμητική ταχύτητα λαμβάνεται ίση με: $u^* = 0.177$.

$$\frac{u}{u_{\max}} = 1 - \left[5.08 \left(\frac{u^*}{u_{\max}} \right) \frac{r^{3/2}}{R} \right] \quad (12)$$

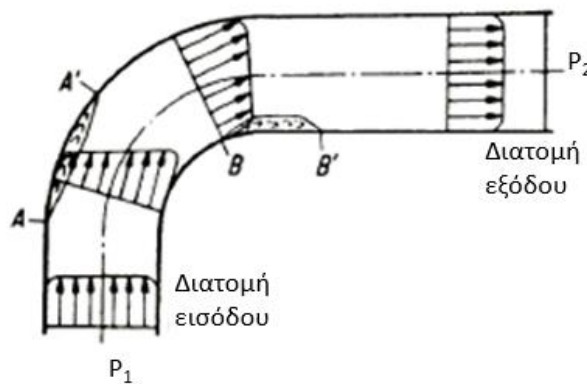
2.3 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΤΟΠΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ

Ο συντελεστής τοπικών απωλειών, ζ , δίνεται από τη σχέση:

$$\zeta = \frac{2\Delta P}{\rho \bar{u}^2} \quad (13)$$

2.3.1 Στοιχεία αλλαγής κατεύθυνσης της ροής – Γωνίες 90°

Η παρουσία στοιχείων αλλαγής κατεύθυνσης της ροής δημιουργεί φαινόμενα αποκόλλησης, αλλά και δευτερεύουσες ροές που αυξάνουν περαιτέρω τις ενεργειακές απώλειες. Λόγω της επίδρασης των φυγοκεντρικών δυνάμεων, δημιουργείται βαθμίδα πίεσης ακτινικά, δηλαδή κάθετα προς τον καμπύλο άξονα του σωλήνα και παρατηρείται αύξηση της πίεσης από την εσωτερική στην εξωτερική πλευρά αυτού.

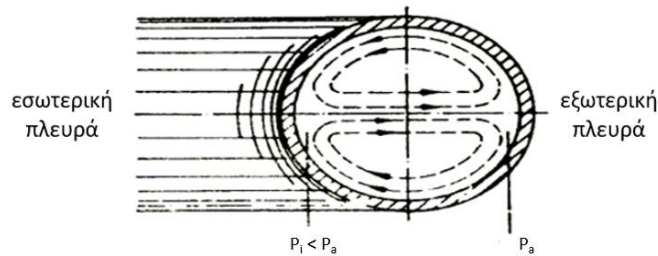


Σχήμα 2. Κατανομή ταχύτητας εντός γωνίας 90°.

Επομένως, σύμφωνα με το Σχήμα 2, εάν θεωρηθεί σταθερή η πίεση στη διατομή εισόδου, $P_1 = \text{const.}$, τότε από τη θέση A στη θέση A' η πίεση αυξάνεται σε $P'_A > P_A \cong P_1$ και άρα το στοιχείο του ρευστού κινείται στην εξωτερική πλευρά προς περιοχές αυξανόμενης πίεσης. Στην εσωτερική πλευρά η πίεση P_1 πέφτει μέχρι τη θέση B σε P_B , ενώ στη συνέχεια ανέρχεται στην τιμή $P'_B \cong P_2 > P_B$ στη θέση B'. Και αυτό το στοιχείο του ρευστού κινείται προς περιοχές

αυξανόμενης πίεσης. Σε αυτές τις περιοχές η κινητική ενέργεια του στοιχείου του ρευστού μπορεί να μειωθεί σε τέτοιες τιμές ώστε να προκληθεί αποκόλληση της ροής.

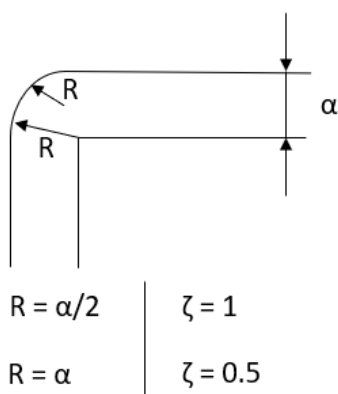
Το αξονικά συμμετρικό προφίλ της ταχύτητας στη διατομή εισόδου του αγωγού μεταβάλλεται εξαιτίας της αλλαγής της κατεύθυνσης της ροής, λαμβάνοντας εκ νέου τη συμμετρική κατανομή μετά από ένα ικανό τμήμα εκροής κατά μήκος της διατομής εξόδου.



Σχήμα 3. Δευτερεύουσες ροές.

Τα στρώματα του ρευστού που βρίσκονται στην εξωτερική και την εσωτερική πλευρά του καμπύλου αγωγού και έχουν μικρές ταχύτητες, βρίσκονται κάτω από την κλίση της πίεσης $P_a - P_i > 0$ που υπάρχει μεταξύ της εσωτερικής και της εξωτερικής πλευράς αυτού. Επομένως, το στρώμα του ρευστού που βρίσκεται κοντά στο τοίχωμα κινείται από την εξωτερική πλευρά προς την εσωτερική, ενώ στο κέντρο του αγωγού αποκαθίσταται μια επιστροφή του ρευστού από μέσα προς τα έξω. Αποκαθίσταται, επομένως, μια δευτερεύουσα ροή υπό μορφή δύο στροβίλων, Σχήμα 3, η οποία προστιθέμενη στη βασική ροή δημιουργεί μια διπλή σπειροειδή κίνηση του ρευστού.

Ο θεωρητικός συντελεστής τοπικών απωλειών υπολογίζεται με βάση το Σχήμα 4.



Σχήμα 4. Συντελεστής τοπικών απωλειών για γωνία 90° σε αγωγό κυκλικής διατομής.

2.3.2 Στοιχεία μεταβολής της διατομής

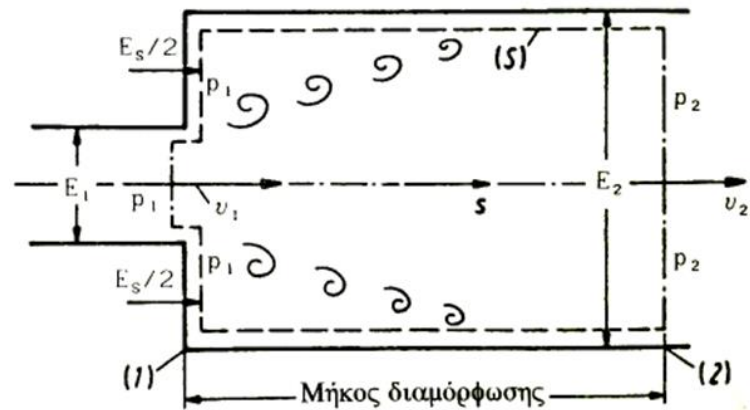
Τα στοιχεία μεταβολής της διατομής προκαλούν είτε απότομη, είτε προοδευτική μεταβολή αυτής και επομένως το μέγεθος των επιπρόσθετων απωλειών που δημιουργείται εξαρτάται από το μέγεθος της μεταβολής και από τον τρόπο με τον οποίο αυτή επιβάλλεται.

1. Απότομη Διεύρυνση (Κρουστικός Διαχύτης):

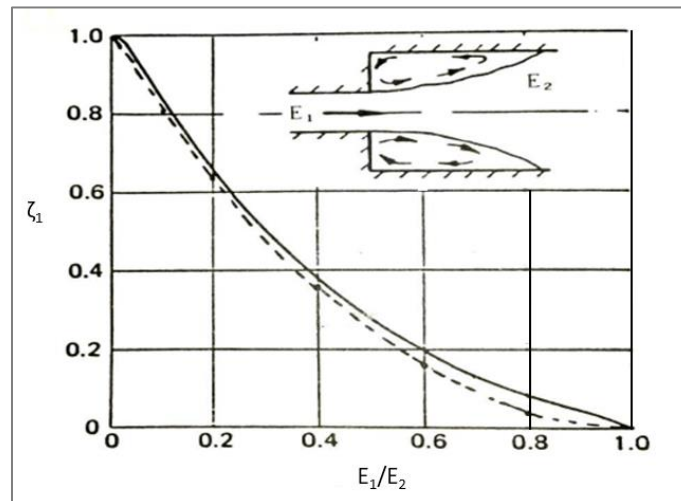
Κατά την απότομη διεύρυνση του αγωγού, Σχήμα 5, δέσμη ρευστού διατομής E_1 εξέρχεται σε αγωγό μεγαλύτερης διατομής E_2 , αποκτά στροβιλότητα και αναμιγνύεται με το περιβάλλον ακίνητο ρευστό, το οποίο απάγεται εν μέρει με τη ροή.

Η δημιουργία του στροβίλου ευνοεί την επανακόλληση της ροής στο τοίχωμα ώστε μετά από κάποιο μήκος να αποκαθίσταται ομοιόμορφη ροή μικρότερης μέσης ταχύτητας.

Η θεωρητική σχέση μεταξύ του λόγου των διατομών και του συντελεστή τοπικών απωλειών αποτυπώνεται γραφικά στο Σχήμα 6.



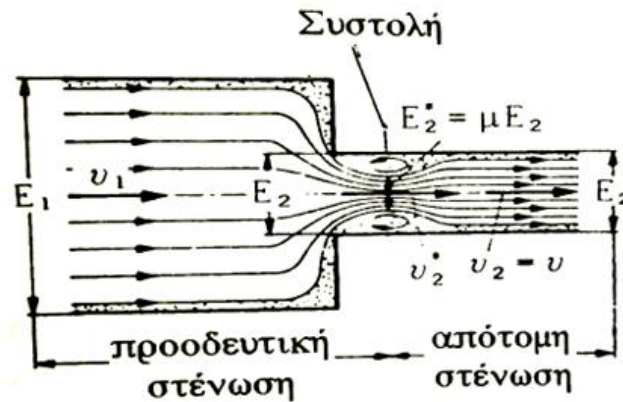
Σχήμα 5. Απότομη διεύρυνση.



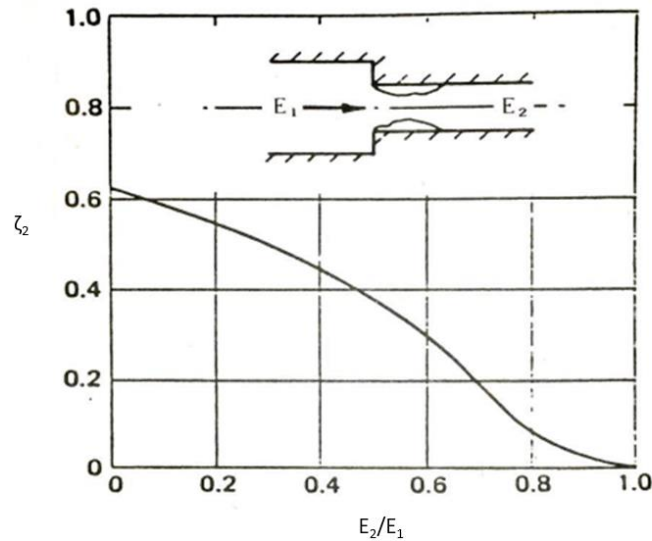
Σχήμα 6. Συντελεστής τοπικών απωλειών για απότομη διεύρυνση.

2. Απότομη Στένωση:

Κατά την απότομη στένωση του αγωγού, Σχήμα 7, δέσμη ρευστού διατομής E_1 εξέρχεται σε αγωγό μικρότερης διατομής E_2 . Η θεωρητική σχέση μεταξύ του λόγου των διατομών και του συντελεστή τοπικών απωλειών αποτυπώνεται γραφικά στο Σχήμα 8.



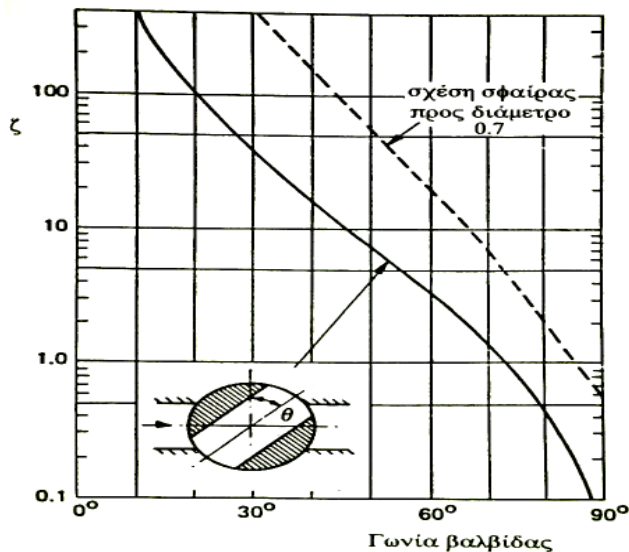
Σχήμα 7. Απότομη στένωση.



Σχήμα 8. Συντελεστής τοπικών απωλειών για απότομη στένωση.

2.3.3 Σφαιρικές βαλβίδες

Ο θεωρητικός συντελεστής τοπικών απωλειών για σφαιρικές βαλβίδες (βάνες) προσδιορίζεται με τη βοήθεια του ακόλουθου διαγράμματος, Σχήμα 9.



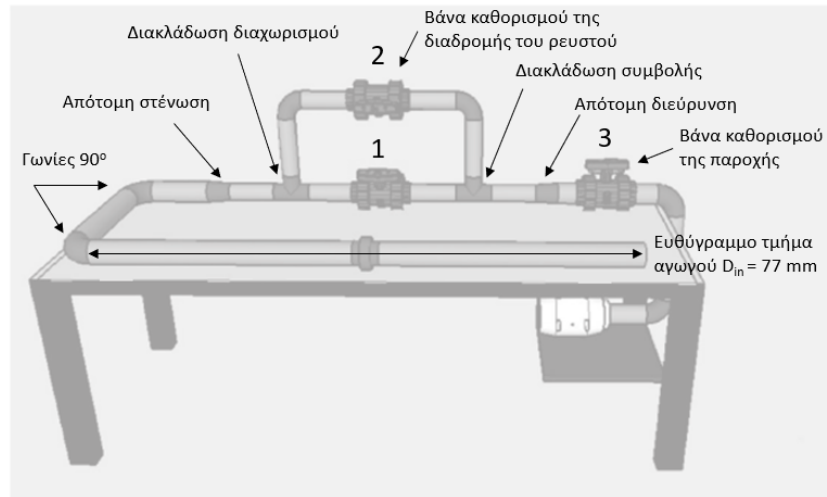
Σχήμα 9. Συντελεστής τοπικών απωλειών για σφαιρική βαλβίδα.

3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Η πειραματική εγκατάσταση, Εικόνα 1, στην οποία διεξάγεται η παρούσα εργαστηριακή άσκηση αποτελείται από τα εξής επιμέρους τμήματα:

- Ευθύγραμμο τμήμα αγωγού εσωτερικής διαμέτρου $D_i = 77 \text{ mm}$ και μήκους $L = 2150 \text{ mm}$.
- Τρία (3) τμήματα αγωγού εσωτερικής διαμέτρου $D_i = 64 \text{ mm}$.
- Ανεμιστήρα αξονικού τύπου για τη δημιουργία της ροής.
- Τρεις (3) συνολικά σφαιρικές βαλβίδες (βάνες), εκ των οποίων οι δύο (2) εξ' αυτών χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό της διαδρομής της ροή και η μία (1) για τη ρύθμιση της παροχής.
- Στοιχεία αλλαγής κατεύθυνσης της ροής (γωνίες 90°).
- Απότομη στένωση για τη μείωση της διαμέτρου του αγωγού από $D_i = 77 \text{ mm}$ σε $D_i = 64 \text{ mm}$.
- Απότομη διεύρυνση για την αύξηση της διαμέτρου του αγωγού από $D_i = 64 \text{ mm}$ σε $D_i = 77 \text{ mm}$.

- Διακλάδωση διαχωρισμού της ροής.
- Διακλάδωση συμβολής της ροής.



Εικόνα 1. Τρισδιάστατη απεικόνιση πειραματικής εγκατάστασης.

Αναφορικά με τον μετρητικό εξοπλισμό που χρησιμοποιείται κατά την εκτέλεση της εργαστηριακής άσκησης αυτός αποτελείται από έναν πολλαπλό υποδοχέα στατικής πίεσης, Εικόνα 2, από δύο σωλήνες Prandtl για τη μέτρηση της δυναμικής πίεσης, Εικόνα 3, και από ένα ηλεκτρονικό μανόμετρο, Εικόνα 4.

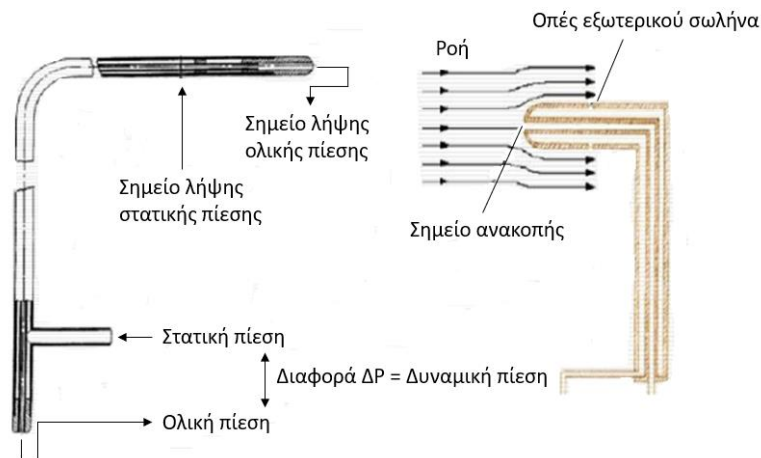


Εικόνα 2. Πολλαπλός υποδοχέας στατικής πίεσης.

Ο πολλαπλός υποδοχέας στατικής πίεσης περιλαμβάνει δύο σειρές (Α και Β) δώδεκα (12) υποδοχών, που αντιστοιχούν στις είκοσι τέσσερις (24) οπές της πειραματικής εγκατάστασης, Εικόνα 5, για τις οποίες λαμβάνονται οι μετρήσεις της πτώσης πίεσης.

Ο πολλαπλός υποδοχέας περιλαμβάνει, επίσης, έναν περιστροφικό διακόπτη, με τη βοήθεια του οποίου επιλέγεται κάθε φορά η αντίστοιχη οπή για την οποία επιθυμείται η λήψη μέτρησης.

Η μετρούμενη πτώση πίεσης αναγράφεται στο ηλεκτρονικό μανόμετρο, ο αρνητικός υποδοχέας του οποίου συνδέεται στην έξοδο του πολλαπλού υποδοχέα στατικής πίεσης (ένδειξη COMM), ενώ ο θετικός υποδοχέας του ηλεκτρονικού μανομέτρου παραμένει ελεύθερος.



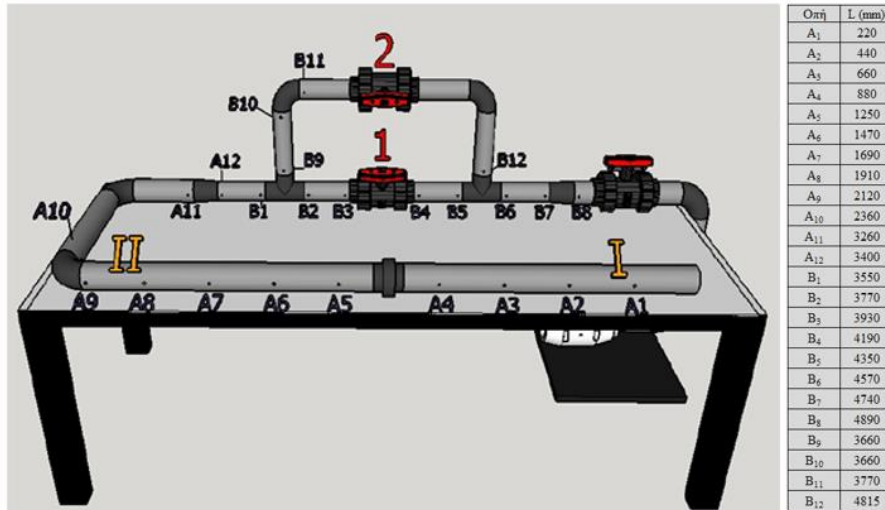
Εικόνα 3. Τυπική μορφή σωλήνα Prandtl.

Ο σωλήνας Prandtl, Εικόνα 3, αποτελεί έναν συνδυασμό σωλήνα ολικής και σωλήνα στατικής πίεσης και δίνει τη δυνατότητα προσδιορισμού της δυναμικής πίεσης και ως εκ τούτου της ταχύτητας της ροής. Η δυναμική πίεση μετρείται με το ηλεκτρονικό μανόμετρο, Εικόνα 4, συνδέοντας τους σωλήνες ολικής και στατικής πίεσης στον θετικό και τον αρνητικό υποδοχέα αυτού, αντίστοιχα.



Εικόνα 4. Ηλεκτρονικό μανόμετρο.

Στην Εικόνα 5 απεικονίζονται τα σημεία λήψης των μετρήσεων κατά μήκος της πειραματικής εγκατάστασης, καθώς και οι αποστάσεις αυτών από τη διατομή εισόδου του αγωγού.



Εικόνα 5. Σημεία λήψης πειραματικών μετρήσεων και τιμές αποστάσεων.

4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Η πειραματική διαδικασία περιλαμβάνει την εκτέλεση τεσσάρων (4) πειραμάτων. Στα πειράματα αυτά λαμβάνονται μετρήσεις της πτώσης πίεσης στις οπές της πειραματικής εγκατάστασης και της δυναμικής πίεσης σε δύο (2) θέσεις κατά μήκος του οριζοντίου τμήματος αυτής για πλήρη παροχή, της πτώσης πίεσης σε δύο (2) συγκεκριμένες οπές (A_1 και A_9) και της δυναμικής πίεσης στη Θέση II για εννέα (9) διαφορετικές παροχές, καθώς και της πτώσης πίεσης σε στοιχεία αλλαγής κατεύθυνσης της ροής, απότομης στένωσης και διεύρυνσης αλλά και στις θέσεις των σφαιρικών βαλβίδων, προκειμένου να εξαχθούν έπειτα συμπεράσματα αναφορικά με τη μεταβολή της στατικής πίεσης κατά μήκος του αγωγού, την πειραματική και θεωρητική κατανομή της ταχύτητας, τη μεταβολή του συντελεστή τριβής συναρτήσει του αριθμού Reynolds της ροής και του συντελεστή τοπικών απωλειών ζ στα διάφορα στοιχεία μεταβολής της γεωμετρίας του αγωγού που περιλαμβάνονται στην πειραματική εγκατάσταση, αντίστοιχα.

4.1 ΠΕΙΡΑΜΑ Α

Στο συγκεκριμένο πείραμα μετρείται η πτώση πίεσης (σε σχέση με την ατμοσφαιρική) στις είκοσι τέσσερις (24) οπές της πειραματικής εγκατάστασης, Εικόνα 5, για τις τρεις πιθανές διαδρομές που μπορεί να ακολουθήσει το ρευστό και οι οποίες, όπως έχει ήδη αναφερθεί, καθορίζονται από τις σφαιρικές βαλβίδες 1 και 2 της πειραματικής εγκατάστασης, Εικόνα 1.

Οι τρεις αυτές πιθανές διαδρομές προκύπτουν για τους εξής συνδυασμούς σφαιρικών βαλβίδων (βανών): α) βάνες 1 και 2 ανοικτές, β) βάνα 2 κλειστή και γ) βάνα 1 κλειστή.

Από τις μετρηθείσες τιμές της πτώσης πίεσης υπολογίζονται έπειτα οι τιμές της στατικής πίεσης και κατασκευάζεται το διάγραμμα που αποτυπώνει τη μεταβολή αυτής συναρτήσει του μήκους του αγωγού.

Για κάθε διαμόρφωση από τις τρεις ανωτέρω, ο ανεμιστήρας της πειραματικής εγκατάστασης τίθεται σε λειτουργία και αφότου παρέλθει ένα ικανό χρονικό διάστημα, περίπου πέντε (5)

λεπτών, ώστε να μπορεί να θεωρηθεί ότι η ροή έχει πλέον σταθεροποιηθεί, λαμβάνονται οι μετρήσεις της πτώσης πίεσης με τη βοήθεια του πολλαπλού υποδοχέα στατικής πίεσης και του ηλεκτρονικού μανομέτρου, όπως περιεγράφηκε στην Ενότητα 3.

4.2 ΠΕΙΡΑΜΑ Β

Στο πείραμα αυτό λαμβάνονται μετρήσεις της δυναμικής πίεσης σε δύο θέσεις (Θέση I και Θέση II) κατά μήκος του οριζοντίου τμήματος της πειραματικής εγκατάστασης, Εικόνα 5, προκειμένου να προσδιοριστεί η κατανομή ταχύτητας. Στη συνέχεια, τόσο η πειραματική κατανομή ταχύτητας που προκύπτει με την προηγούμενη διαδικασία, όσο και η θεωρητική κατανομή ταχύτητας που προκύπτει χρησιμοποιώντας τον Νόμο της Δύναμης, σχεδιάζονται σε κοινό διάγραμμα και σχολιάζονται.

Η μέτρηση της δυναμικής πίεσης πραγματοποιείται με τη βοήθεια των σωλήνων Prandtl που βρίσκονται τοποθετημένοι στις αντίστοιχες θέσεις (Θέση I και Θέση II) και του ηλεκτρονικού μανομέτρου. Αρχικά, προσδιορίζεται η δυναμική πίεση στο κέντρο του αγωγού και έπειτα με τη βοήθεια της βαθμονομημένης μετρητικής ταινίας της συσκευής μετατόπισης λαμβάνονται μετρήσεις του συγκεκριμένου μεγέθους ανά 4 mm έως το τοίχωμα του αγωγού.

Στο τοίχωμα του αγωγού είναι αδύνατη η λήψη μέτρησης εξαιτίας του πάχους της κεφαλής του σωλήνα Prandtl και επομένως η τιμή της ταχύτητας λαμβάνεται με βάση τη θεωρία και είναι ίση με μηδέν.

Δεδομένου ότι η κατανομή της ταχύτητας είναι συμμετρική ως προς το κέντρο του αγωγού κυκλικής διατομής της πειραματικής εγκατάστασης, οι μετρήσεις δυναμικής πίεσης λαμβάνονται στο ήμισυ της διατομής.

4.3 ΠΕΙΡΑΜΑ Γ

Κλείνοντας τη βάνα 2 της πειραματικής εγκατάστασης (ή διατηρώντας την κλειστή εάν έχει επιλεγεί εξ' αρχής η συγκεκριμένη διαμόρφωση) μετρείται η πτώση πίεσης σε δύο (2)

συγκεκριμένες οπές αυτής (A_1 και A_9), καθώς και η δυναμική πίεση στη Θέση II, για εννέα (9) διαφορετικές παροχές, προκειμένου να εξαχθεί μία καμπύλη που να εκφράζει τη συνάρτηση $\lambda = f(Re)$. Οι εννέα (9) διαφορετικές παροχές καθορίζονται στρέφοντας τη σφαιρική βαλβίδα καθορισμού της παροχής της πειραματικής εγκατάστασης ανά 5° , ξεκινώντας από τις 0° (πλήρης παροχή) και φθάνοντας έως τις 40° .

4.4 ΠΕΙΡΑΜΑ Δ

Ομοίως με το Πείραμα Γ, κλείνοντας τη βάνα 2 (ή διατηρώντας την κλειστή εάν έχει επιλεγεί εξ' αρχής η συγκεκριμένη διαμόρφωση) μετρείται η πτώση πίεσης στα διάφορα στοιχεία μεταβολής της γεωμετρίας του αγωγού της πειραματικής εγκατάστασης, δηλαδή στη γωνία 90° (οπές A_9 και A_{10}), στην απότομη στένωση (οπές A_{11} και A_{12}) και διεύρυνση (οπές B_7 και B_8), καθώς και στη σφαιρική βαλβίδα 1 (οπές B_3 και B_4) και προσδιορίζεται ο πειραματικός συντελεστής τοπικών απωλειών ζ . Υπολογίζονται έπειτα με τη βοήθεια των αντίστοιχων σχημάτων που δίνονται στην Ενότητα 2 οι τιμές του θεωρητικού συντελεστή τοπικών απωλειών ζ και σχολιάζονται τα αποτελέσματα.

5. ΖΗΤΟΥΜΕΝΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ

Αφού ολοκληρωθεί η εργαστηριακή άσκηση και ληφθούν οι απαραίτητες για τους υπολογισμούς πειραματικές μετρήσεις, καλείστε να:

1. Κατασκευάσετε διάγραμμα που να αναπαριστά τη μεταβολή της στατικής πίεσης κατά μήκος του αγωγού της πειραματικής εγκατάστασης.
2. Κατασκευάσετε σε κοινό διάγραμμα την πειραματική και θεωρητική κατανομή ταχύτητας για τη Θέση I και τη Θέση II της πειραματικής εγκατάστασης, σχολιάζοντας τα αποτελέσματα.

3. Κατασκευάσετε σε κοινό διάγραμμα τη μεταβολή του συντελεστή τριβής λ συναρτήσει του αριθμού Reynolds, τόσο με βάση τις πειραματικές μετρήσεις που λάβατε, όσο και με βάση τις θεωρητικές τιμές αυτού.
4. Υπολογίστε τον συντελεστή τοπικών απωλειών ζ για τα διάφορα στοιχεία μεταβολής της γεωμετρίας του αγωγού της πειραματικής εγκατάστασης και να συγκρίνετε τις τιμές του με τις αντίστοιχες της θεωρίας.

Όλες οι μετρήσεις που λαμβάνονται κατά τη διάρκεια διεξαγωγής της παρούσας εργαστηριακής άσκησης καταγράφονται στο Φύλλο Μετρήσεων που δίνεται στο Παράρτημα.

Σε αντίστοιχης μορφής πίνακες με αυτούς που περιέχονται στο Φύλλο Μετρήσεων, θα παρουσιάζετε τα αποτελέσματα των υπολογισμών σας για καθένα από τα παραπάνω τέσσερα (4) ερωτήματα.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΠΕΙΡΑΜΑ Α			
	Βάνες 1 & 2 ΑΝΟΙΚΤΕΣ	Βάνα 2 ΚΛΕΙΣΤΗ	Βάνα 1 ΚΛΕΙΣΤΗ
Οπή	ΔP (Pa)	ΔP (Pa)	ΔP (Pa)
A1			
A2			
A3			
A4			
A5			
A6			
A7			
A8			
A9			
A10			
A11			
A12			
B1			
B2			
B3			
B4			
B5			
B6			
B7			
B8			
B9			
B10			
B11			
B12			

ΠΕΙΡΑΜΑ Β		
Μετρήσεις Δυναμικής Πίεσης		
r (mm)	P_d (Pa)	ΘΕΣΗ I
0		
4		
8		
12		
16		
20		
24		
28		
32		
36		
38		
38.5		
r (mm)	P_d (Pa)	ΘΕΣΗ II
0		
4		
8		
12		
16		
20		
24		
28		
32		
36		
38		
38.5		

ΠΕΙΡΑΜΑ Γ			
Μετρήσεις Πτώσης Πίεσης και Δυναμικής Πίεσης για Εννέα (9) Παροχές			
Γωνία Στροφής (°)	ΔP_{A1} (Pa)	ΔP_{A9} (Pa)	P_d (Pa) – Θέση II
0			
5			
10			
15			
20			
25			
30			
35			
40			

ΠΕΙΡΑΜΑ Δ		
Συντελεστές Τοπικών Απωλειών ζ		
	Οπή	ΔP (Pa)
Γωνία Στροφής 90°	A9	
	A10	
Στένωση	A11	
	A12	
Βάνα 1	B3	
	B4	
Διεύρυνση	B7	
	B8	

