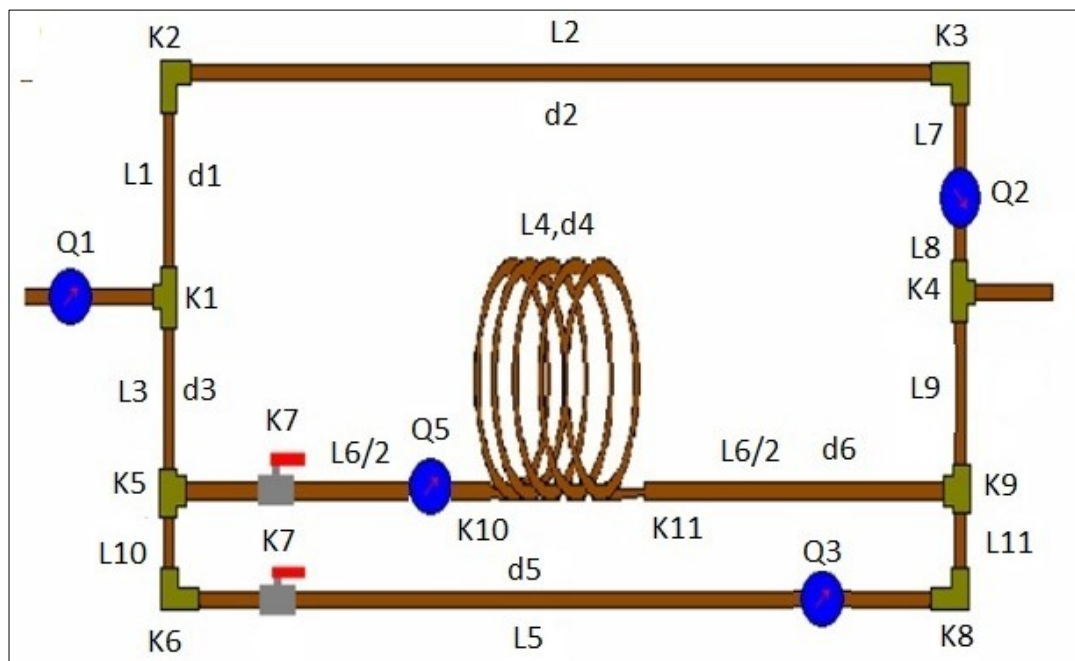


# ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΡΕΥΣΤΟΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ

## ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 01: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΣΕ ΣΩΛΗΝΟΓΡΑΜΜΗ



### ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΦΟΙΤΗΤΗ

ΟΝΟΜ/ΜΟ	Α.Μ.

ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟ ΕΤΟΣ 2018 -2019

## 1. Σκοπός

Σκοπός της Εργαστηριακής Άσκησης είναι η εξάσκηση των σπουδαστών στον υπολογισμό απωλειών με χρήση μιας κατασκευασμένης στο εργαστήριο σωληνογραμμής διαφορετικών διαμέτρων και μηκών και ο καθορισμός της φύσης της ροής βασιζόμενος στον αδιάστατο αριθμό Re.

Πιο αναλυτικά αντικείμενο της εργαστηριακής άσκησης είναι η ανασκόπηση των απωλειών σωληνογραμμής σε μια ενδεικτική εγκατάσταση κίνησης ρευστού (νερού). Παράλληλα με τον υπολογισμό των απωλειών (τοπικών και λόγω τριβής) υπενθυμίζεται ο χαρακτηρισμός μιας ροής (στρωτής ή τυρβώδους) με τη βοήθεια του αριθμού Reynolds ενώ ειδικότερα για τα δύο είδη των απωλειών ελέγχεται η κατανόηση του διαγράμματος Moody (απώλειες λόγω τριβών) και η χρήση του συντελεστή απωλειών των διαφόρων εξαρτημάτων (K) που εμπεριέχονται στη σωληνογραμμή (τοπικές απώλειες).

## 2. Θεωρητικό Μέρος

### 2.1 Ενεργειακές Απώλειες.

Το ολικό ύψος των ενεργειακών απωλειών  $\Delta H_{12}$ , στην περίπτωση της ροής ρευστού σε κλειστό κυκλικό αγωγό (στον οποίο ούτε προσθέτουμε ούτε αφαιρούμε ενέργεια) θεωρείται ως άθροισμα των απωλειών  $h_f$  που οφείλονται αποκλειστικά στα αποτελέσματα της τριβής εντός του αγωγού και των τοπικών απωλειών  $h_m$  που οφείλονται στις αλλαγές της διεύθυνσης και της διατομής του αγωγού, δηλαδή:

$$\Delta H_{12} = h_f + h_m \quad (1)$$

### 2.2 Απώλειες λόγω τριβών $h_f$

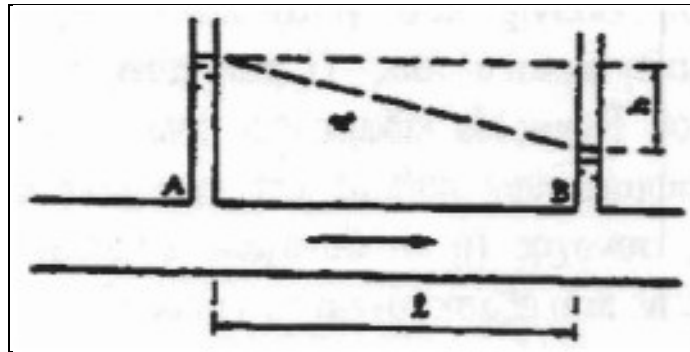
Οι απώλειες αυτές συμβαίνουν στο μεγαλύτερο ποσοστό ως συνέπεια των δυνάμεων τριβής, που αναπτύσσονται (α) μεταξύ των μορίων του ρευστού και των τοιχωμάτων του αγωγού, (β) μεταξύ των ίδιων των μορίων του ρευστού λόγω του ιξώδους και ονομάζονται **απώλειες λόγω τριβών**.

Οι δυνάμεις αντιστάσεως λόγω τριβών, που αναπτύσσονται κατά την κίνηση ρευστού κατά μήκος του σωλήνα, έχουν σαν συνέπεια μια συνεχή απώλεια ενέργειας, δηλαδή απώλεια του ολικού ύψους του ρευστού. Έτσι στο Σχήμα 2, η διαφορά των υψών μεταξύ των πιεζομετρικών σωλήνων Α και Β δείχνει την ολική υψομετρική απώλεια  $h$  στο μήκος  $l$  του σωλήνα. Συνήθως η μεταβολή της απώλειας του ολικού ύψους κατά μήκος του σωλήνα εκφράζεται με τον όρο **υδραυλική βαθμίδα** που σύμφωνα με το Σχήμα 2 υπολογίζεται από τη σχέση:

$$i = \frac{dh}{dl} \quad (2)$$

Η ροή ενός πραγματικού ρευστού είναι μια πιο πολύπλοκη διαδικασία από τη ροή ενός ιδανικού ρευστού. Λόγω της συνεκτικότητας (ιξώδους) των πραγματικών ρευστών δημιουργούνται διατμητικές δυνάμεις (τάσεις) μεταξύ των διαδοχικών στρώσεων του ρευστού και μεταξύ του ρευστού και των

τοιχωμάτων του αγωγού. Για την επίλυση ροϊκών προβλημάτων πρακτικά χρησιμοποιούνται πειραματικά δεδομένα και ημιεμπειρικές μέθοδοι.



Σχήμα 1: Σκαρίφημα αναπαράστασης της Υδραυλικής Βαθμίδας

Συνοψίζοντας οι απώλειες λόγω τριβών  $h_f$  κατά την κίνηση του ρευστού σε αγωγό είναι αποτέλεσμα των διατμητικών δυνάμεων, που αναπτύσσονται μεταξύ

α) των εσωτερικών τοιχωμάτων και του ρευστού και

β) εντός του ίδιου του ρευστού λόγω εσωτερικής τριβής του (ή του ιξώδους του).

Οι διατμητικές δυνάμεις επενεργούν αντίθετα προς την κίνηση του ρευστού και έτσι παράγουν έργο αρνητικό δηλαδή θα έχουμε πάντοτε ελάττωση στη μηχανική ενέργεια του ρευστού ή του ολικού ύψους της ενέργειας.

Η θεωρία και το πείραμα απέδειξαν ότι για έναν κλειστό αγωγό με σταθερή διατομή, οι απώλειες αυτές λόγω τριβών θα εξαρτώνται από τη φύση του ρευστού (δηλ. την πυκνότητα  $\rho$  και το ιξώδες  $\mu$ ) και την ταχύτητά του  $u$ , καθώς και από τα κατασκευαστικά στοιχεία του αγωγού (δηλ. το μήκος  $l$ , τη διάμετρο  $D$  και την τραχύτητα  $\epsilon$  του αγωγού).

Η εξάρτηση όλων των παραπάνω παραγόντων δίνεται από τη σχέση **Darcy – Weisbach** σύμφωνα με την

οποία 
$$\Delta h_f = f \cdot \frac{l}{D} \cdot \frac{u^2}{2g} \quad (3)$$

όπου  $f$  είναι ένας αδιάστατος αριθμός, ο **συντελεστής τριβής**.

Ο συντελεστής τριβής  $f$ , εξαρτάται από τον αριθμό Reynolds ( $Re = \frac{\rho u D}{\mu}$ ) και την τραχύτητα του αγωγού και προσδιορίζεται πειραματικά. Η σχέση αυτή είναι γενική και ισχύει για κάθε αγωγό, οποιασδήποτε διατομής, τόσο για στρωτή όσο και για τυρβώδη ροή.

### 2.3 Διάγραμμα Moody (από Παράρτημα 00)

Οι απώλειες τριβών όπως φάνηκε νωρίτερα υπολογίζονται σύμφωνα με τη σχέση

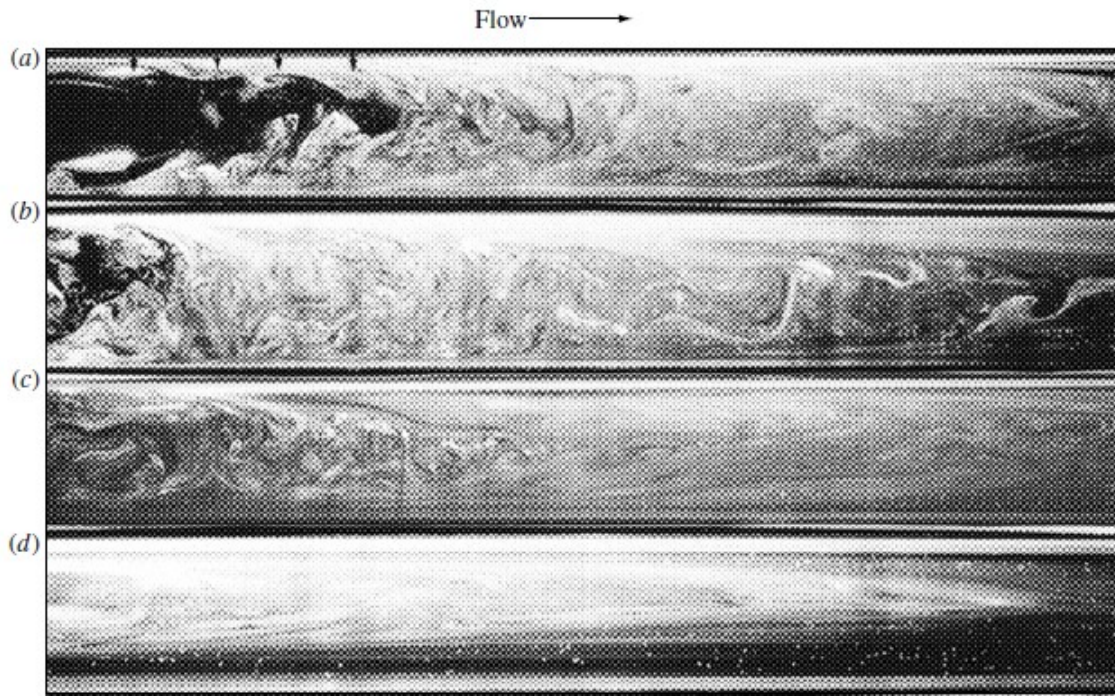
$$\Delta h_f = f \cdot \frac{l}{D} \cdot \frac{u^2}{2g} \quad (4)$$

Αναγκαστικά πρέπει να υπολογιστεί μια τιμή για τον συντελεστή τριβής  $f$  ο οποίος εξαρτάται από τον αριθμό Reynolds ( $Re = \frac{\rho u D}{\mu}$ ) και την τραχύτητα του αγωγού και προσδιορίζεται πειραματικά.

Υπενθυμίζεται ότι με βάση τον αριθμό Re μια ροή χαρακτηρίζεται ως στρωτή ή τυρβώδης. Συνοπτικά οι παραπάνω χαρακτηρισμοί ορίζονται προς υπενθύμιση ακολούθως:

**Στρωτή Ροή**, γενικά είναι η ροή εκείνη που γειτονικά στρώματα του ρευστού κινούνται χωρίς μακροσκοπική ανάμιξη μεταξύ τους. Η ροή αυτή απεικονίζεται με τις ρευματικές γραμμές. Δεν υπάρχει μετακίνηση ρευστών σωματιδίων κάθετα στις γραμμές αυτές. Η στρωτή ροή παρατηρείται όταν οι δυνάμεις συνοχής είναι σημαντικές έναντι των λοιπών δυνάμεων, που εξασκούνται στο ρευστό.

**Τυρβώδης Ροή** είναι εκείνη που τα ρευστά σωματίδια κινούνται ακανόνιστα, σχεδόν τυχαία, με εγκάρσιες διακυμάνσεις ως προς την κύρια διεύθυνση της ροής. Η κίνηση κατά στρώματα της στρωτής ροής εδώ δεν υπάρχει γιατί γίνεται ανάμιξη μεταξύ των διαφόρων στρωμάτων και ρευστά σωματίδια μετακινούνται από το ένα στρώμα στο άλλο.



Σχήμα 2: Οπτική απεικόνιση εξέλιξης τυρβώδους ροής σε σωλήνα.

Η παράμετρος που καθορίζει πότε μια ροή είναι στρωτή ή τυρβώδης είναι ο αριθμός Reynolds.

$$Re = \frac{\rho u D}{\mu} \Rightarrow Re = \frac{u D}{\nu} \quad (5)$$

όπου  $\rho$ : η πυκνότητα του ρευστού,  
 $\mu$ : το μοριακό ιξώδες του ρευστού,  
 $u$ : η ταχύτητα του ρευστού,  
 $D$ : η διάμετρος του αγωγού.

Η κίνηση του ρευστού είναι στρωτή ή τυρβώδης όταν η τιμή του  $Re$  είναι μικρότερη ή μεγαλύτερη αντίστοιχα από μια ορισμένη κρίσιμη τιμή του. Η κρίσιμη αυτή τιμή είναι περίπου **2300** για ροή σε σωλήνα, και κάτω απ' αυτήν η ροή γίνεται οπωσδήποτε στρωτή.

Για τις διαφορετικές περιοχές μιας ροής ο **συντελεστής τριβής  $f$**  υπολογίζεται διαφορετικά. Έτσι για παράδειγμα για στρωτή ροή η έκφραση είναι

$$\boxed{f = \frac{64}{Re}} \quad (\text{Στρωτή ροή}) \quad (6)$$

Δυστυχώς στην τυρβώδη ροή, δεν υπάρχει απλή σχέση που να περιγράφει τη μεταβολή του  $f$  σε σχέση με τον αριθμό  $Re$ . Επιπλέον έχει βρεθεί ότι η σχετική τραχύτητα του σωλήνα (ο λόγος του μεγέθους των προεξοχών της επιφάνειας  $\epsilon$  προς την εσωτερική διάμετρο του σωλήνα  $D$ ) επηρεάζει και αυτός την τιμή του  $f$ .

Ο Prandtl το 1935 κατέληξε σε μια λογαριθμική συσχέτιση μεταξύ του συντελεστή τριβής και του αριθμού  $Re$  για την τυρβώδη ροή σε σωλήνες,

$$\boxed{\frac{1}{f^{1/2}} \approx 1.99 \log(Re \cdot f^{1/2}) - 1.02} \quad (7)$$

Στη συνέχεια ο ερευνητής προσάρμοσε τις σταθερές ώστε να “συγκλίνει καλύτερα” ο συντελεστή τριβής φθάνοντας

$$\boxed{\frac{1}{f^{1/2}} = 2.0 \log(Re \cdot f^{1/2}) - 0.8} \quad (8)$$

Από τη μορφή της τελευταίας σχέσης (1.8) φαίνεται ότι δύσκολα επιλύεται στην περίπτωση που είναι γνωστός ο  $Re$  και ζητείται ο συντελεστής τριβής  $f$ . Υπάρχουν άλλες εναλλακτικές – προσεγγιστικές μορφές στη βιβλιογραφία με τη βοήθεια των οποίων μπορεί να υπολογισθεί ο συντελεστής τριβής  $f$  από τον  $Re$ . Όπως για παράδειγμα:

$$f = \begin{cases} 0.316 \cdot Re^{-1/4} & 4000 < Re < 10^5 \quad \text{Blasius} \quad (1911) \\ \left(1.8 \cdot \log \frac{Re}{6.9}\right)^{-2} & \text{Colebrook} \quad (1939) \end{cases} \quad (9)$$

Το 1939 ο Colebrook για να καλύψει και τη μεταβατική ζώνη συνδύασε κάποιες σχέσεις για λεία τοιχώματα και για τοιχώματα με μεγάλη τραχύτητα και κατέληξε σε μία σχέση

$$\boxed{\frac{1}{f^{1/2}} = -2.0 \log \left( \frac{\epsilon/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re \cdot f^{1/2}} \right)} \quad (\text{Colebrook 1939}) \quad (10)$$

Η τελευταία σχέση είναι η έως και σήμερα αποδεκτή για τον συντελεστή τριβής για τυρβώδη ροή. Την σχέση αυτή σχεδίασε το 1944 ο Moody δημιουργώντας το λεγόμενο Διάγραμμα Moody. Είναι το πιο διάσημο διάγραμμα και χρήσιμο ταυτόχρονα στη Ρευστομηχανική. Έχει ακρίβεια  $\pm 15\%$  σε όλο το εύρος και μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για κυκλικής διατομής αγωγούς όσο και για διαφορετικής γεωμετρίας διατομές σωλήνων.

## 2.4 Τοπικές Απώλειες Ενέργειας $h_m$

Πρακτικά κατά τη μεταφορά των ρευστών δεν χρησιμοποιούνται μόνο ευθύγραμμοι κλειστοί αγωγοί (σωλήνες) σταθερής διατομής, αλλά απαιτούνται αλλαγές των διευθύνσεών τους, τοπικές αυξομειώσεις της διαμέτρου (συγκλίσεις – αποκλίσεις) βαλβίδες ή βάνες, παράγοντες που προκαλούν τις επονομαζόμενες **τοπικές απώλειες ενέργειας**.

Σε ένα κλειστό αγωγό δηλαδή που μεταφέρει ρευστό, θα εμφανίζονται επιπλέον των απωλειών τριβής και τοπικές απώλειες ενέργειας, που οφείλονται:

- α. στην είσοδο ή έξοδο του αγωγού,
- β. απότομη (ή προοδευτική) διεύρυνση ή συστολή της διατομής του αγωγού,
- γ. σε καμπύλωση, γωνία, διακλάδωση ή και άλλων μετατροπών του αγωγού,
- δ. ανοικτή ή μερικά κλειστή βαλβίδα ή βάνα.

Επειδή όμως, το πεδίο ροής σε κάθε μία από τις παραπάνω περιπτώσεις είναι σύνθετο, η θεωρία αδυνατεί να δώσει ακριβή αποτελέσματα υπολογισμού των τοπικών ενεργειακών απωλειών. Για αυτό τον λόγο οι απώλειες αυτού του είδους μετρώνται πειραματικά και συναρτώνται συνήθως με το ύψος των απωλειών της ταχύτητας (ή της κινητικής ενέργειας) που δίνεται από τον όρο  $u^2/2g$ . Έτσι οι τοπικές απώλειες ορίζονται για την κάθε περίπτωση από τη σχέση

$$h_m = \zeta \frac{u^2}{2g} \quad (11)$$

όπου  $u$  είναι η μέση ταχύτητα του ρευστού και  $\zeta$  ο αδιάστατος συντελεστής τοπικών απωλειών, που προσδιορίζεται πειραματικά για κάθε μία περίπτωση χωριστά. Υπάρχουν εξάλλου, αναλυτικοί πίνακες όπου οι τιμές των συντελεστών  $\zeta$  έχουν προκύψει από πειραματικά δεδομένα.

Συγκρίνοντας τα δύο παραπάνω είδη απωλειών έχει προκύψει ότι για έναν αγωγό με μεγάλο μήκος, οι τοπικές απώλειες είναι μικρές σε σχέση με τις απώλειες λόγω τριβών.

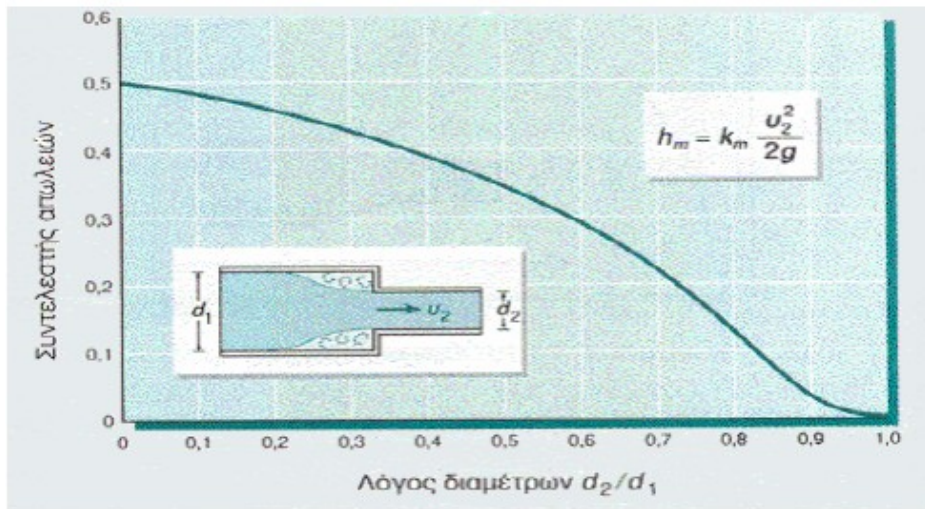
## 2.5 Ειδικές περιπτώσεις Τοπικών Απωλειών.

Στο Διάγραμμα 1 δίνεται ο υπολογισμός του συντελεστή απωλειών για απότομη συστολή ως συνάρτηση του λόγου των διαμέτρων μετά και πριν τη στένωση. Η εμπειρική σχέση για τον υπολογισμό του συντελεστή απωλειών για απότομη **συστολή** δίνεται:

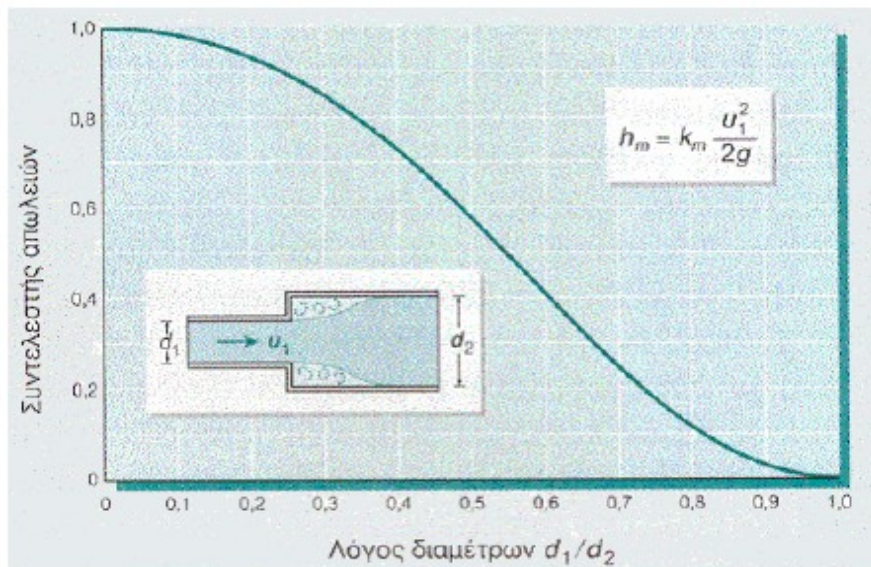
$$\zeta \approx 0,42 \left( 1 - \left( \frac{d_2}{d_1} \right)^2 \right) \quad (12)$$

Η εμπειρική σχέση για τον υπολογισμό του συντελεστή απωλειών για απότομη **διαστολή** δίνεται:

$$\zeta \approx \left( 1 - \left( \frac{d_1}{d_2} \right)^2 \right)^2 \quad (13)$$



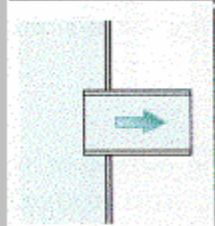

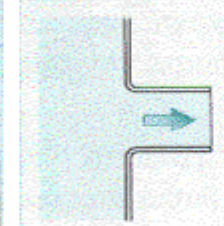
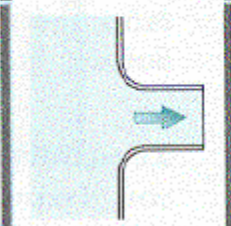
**Διάγραμμα 1: Συντελεστής απωλειών για απότομη συστολή.**



**Διάγραμμα 2: Συντελεστής απωλειών για απότομη διαστολή αγωγού.**

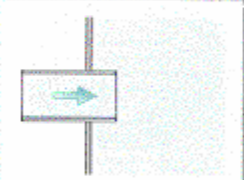
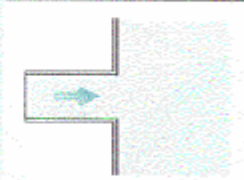
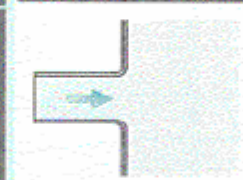
Οι συντελεστές τοπικών απωλειών για **στόμια εισόδου** αγωγών δίνονται στον **Πίνακα 1:**

**Πίνακας 1: Συντελεστές Απωλειών Στοιμίων Εισόδου**

Στόμιο Borda	Στόμιο με Οξεία Χείλη	Στόμια με Στρογγυλευμένα Χείλη
		
$\zeta = 0,78$	$\zeta = 0,5 + 0,3\cos\theta + 0,2\cos^2\theta$	$\zeta = 0,2$
		
		$\zeta = 0,04$

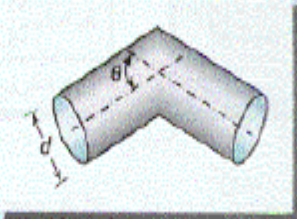
Οι συντελεστές τοπικών απωλειών για **στόμια εξόδου** αγωγών δίνονται στον **Πίνακα 2**:

**Πίνακας 2: Συντελεστές Απωλειών Στομίων Εξόδου**

Στόμιο Borda	Στόμιο με Οξεία Χείλη	Στόμια με Στρογγυλεμένα Χείλη
		
$\zeta = 1,0$	$\zeta = 1,0$	$\zeta = 1,0$

Οι συντελεστές τοπικών απωλειών για καμπύλα τμήματα και γωνίες αγωγών δίνονται στον **Πίνακα 3**:

**Πίνακας 3: Συντελεστές Απωλειών για καμπύλα τμήματα και γωνίες αγωγών**

	$\theta$	20°	30°	45°	60°	75°	90°
	$\zeta$	0,08	0,16	0,34	0,55	0,81	1,20

## 2.6 Συνολικές Απώλειες Ενέργειας $\Delta h$

Γενικότερα σε ένα απλό σύστημα κλειστών αγωγών είναι δυνατόν να υπάρχουν διαφόρων διατομών ευθύγραμμοι αγωγοί και πολλές αιτίες τοπικών απωλειών ενέργειας. Σε αυτή τη γενική περίπτωση το ολικό ύψος των ενεργειακών απωλειών θα δίνεται ως άθροισμα των επιμέρους **απωλειών λόγω τριβών** και των επιμέρους **τοπικών απωλειών**.

$$\text{Δηλαδή: } \Delta H = \sum_i \left( f_i \frac{l_i}{D_i} \frac{u_i^2}{2g} \right) + \sum_j \left( K_j \frac{u_j^2}{2g} \right) \quad (14)$$

### Παρατήρηση:

Η παροχή  $Q$  μιας ασυμπίεστης ροής διαμέσου ενός απλού συστήματος αγωγών είναι σταθερή, λόγω του νόμου της συνέχειας. Τότε οι ταχύτητες θα δίνονται από τις σχέσεις:

$$u_1 = \frac{Q}{A_1}, u_2 = \frac{Q}{A_2}, u_3 = \frac{Q}{A_3} \quad (15)$$

και η σχέση απωλειών μπορεί συνοπτικά να γραφτεί στη μορφή  $\Delta H_{12} = C_r Q^2$  (16)



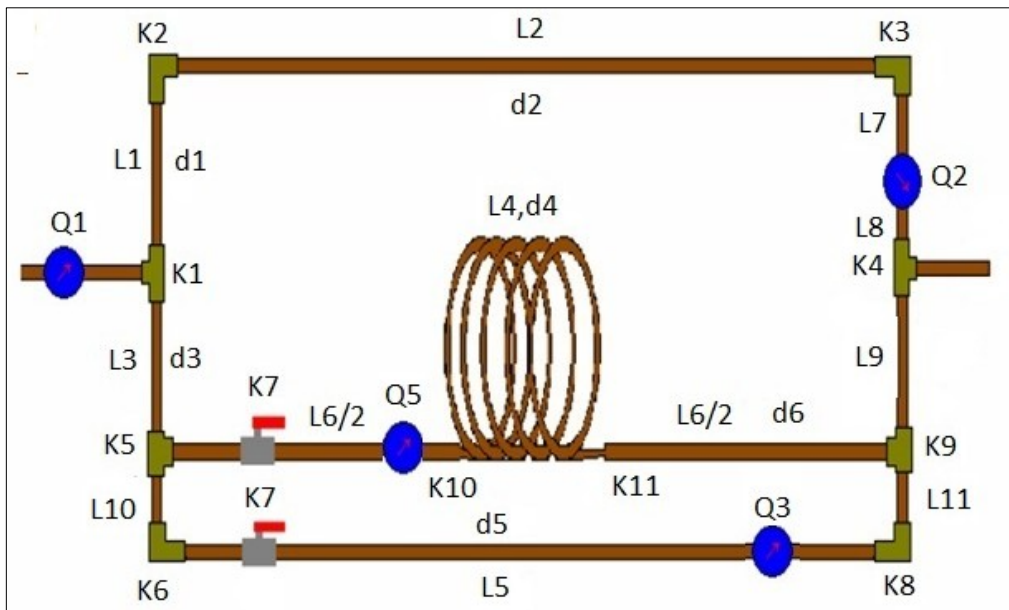
όπου  $C_\tau$  είναι ο **συντελεστής αντίστασης απωλειών** με διαστάσεις  $T^2/L^5$ . Ο συντελεστής  $C_\tau$  θα εξαρτάται κατά βάση από ροικά όσο και από τα κατασκευαστικά στοιχεία του απλού συστήματος αγωγών και θα ορίζεται από τον συνδυασμό των σχέσεων (1.11), (1.12) & (1.13).

$$C_\tau = \sum_i \left( f_i \frac{l_i}{D_i} \frac{1}{2g} \frac{1}{A_i^2} \right) + \sum_j \left( K_j \frac{1}{2g} \frac{1}{A_j^2} \right) \quad (17)$$

### 3. Πειραματική Συσκευή

Η πειραματική συσκευή αποτελείται από αγωγούς διαφορετικών διατομών από υλικό χαλκοσωλήνα. Στην είσοδο, στην έξοδο και στους ενδιάμεσους αγωγούς παρεμβάλλονται ογκομετρικά ρολόγια για την μέτρηση της παροχής. Οι χαλκοσωλήνες συνδέονται μεταξύ τους με εξαρτήματα (συνδέσεις, γωνίες 90° και ταυ) καθώς επίσης έχουν τοποθετηθεί και δύο βάνες για να ελέγχεται η παροχή, έτσι ώστε να μπορεί να υπάρχει η δυνατότητα διακοπής της παροχής σε έναν από τους δύο κλάδους ή ακόμα και στους δύο ταυτόχρονα. Τα ογκομετρικά ρολόγια συνδέονται με το χαλκοσωλήνα μέσω ρακόρ.

Το σχέδιο της πειραματικής συσκευής με την ονοματολογία των συντελεστών τοπικών απωλειών ( $K_i$ ) και των διαστάσεων (διάμετροι και μήκη σωληνώσεων  $d_i, L_i$ ) φαίνεται στο Σχ. 3 ενώ οι αριθμητικές τιμές των μεγεθών δίνονται στον **Πίνακα 5** παρακάτω :



Σχήμα 3 Σκαρίφημα συσκευής

#### 4. Πειραματική Διαδικασία

1. Η συσκευή συνδέεται με παροχή δικτύου.
2. Αρχικά καταγράφονται οι αρχικές μετρήσεις των ογκομετρικών ρολογιών (Q).
3. Μετά από 5min λειτουργίας, διακόπτεται η παροχή και καταγράφονται οι νέες τιμές παροχής.
4. Αφαιρείται η τελική από την αρχική τιμή για να υπολογιστεί η παροχή για 5min.
- 5.

Η όλη διαδικασία πραγματοποιείται για τις ακόλουθες περιπτώσεις:

- A. ΔΥΟ ΒΑΝΕΣ ΑΝΟΙΚΤΕΣ (2 διαφορετικές παροχές εισόδου),
- B. ΑΝΩ ΒΑΝΑ ΑΝΟΙΚΤΗ - ΚΑΤΩ ΒΑΝΑ ΚΛΕΙΣΤΗ
- Γ. ΚΑΤΩ ΒΑΝΑ ΑΝΟΙΚΤΗ - ΑΝΩ ΒΑΝΑ ΚΛΕΙΣΤΗ

Δίνονται οι συντελεστές απωλειών των διαφόρων εξαρτημάτων της όλης διάταξης

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4 Συντελεστές Τοπικών Απωλειών και Διαστάσεις Σωληνώσεων**

Είδος εξαρτήματος	Συντελεστής Απώλειας (K)	Είδος Σωλήνα	Μήκος Σωλήνα (m)	Είδος Διαμέτρου (m)	Διάμετρος Σωλήνα (m)
Ταυ εισόδου (K <sub>1</sub> )	0.2	L1	0.45	d1	0.013
Γωνία 90° (K <sub>2</sub> )	1.2	L2	1.3	d2	0.013
Γωνία 90° (K <sub>3</sub> )	1.2	L3	0.45	d3	0.013
Ταυ εξόδου (K <sub>4</sub> )	0.2	L4	3.768	d4	0.010
Ταυ εξόδου (K <sub>5</sub> )	0.2	L5	1.3	d5	0.013
Γωνία 90° (K <sub>6</sub> )	1.2	L6	0.9	d6	0.013
Βάνα (K <sub>7</sub> )	1.0	L7=L8	0.1	d7=d8=d9	0.013
Ταυ εξόδου (K <sub>8</sub> )	0.2	L9	0.3	d9	
Γωνία 90° (K <sub>9</sub> )	1.2	L10=L11=L12	0.1	d10=d11=d12	0.013

### ΠΙΝΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 1: ΔΥΟ ΒΑΝΕΣ ΑΝΟΙΚΤΕΣ		
Ενδείξεις Υδρόμετρου	Αρχικά [m <sup>3</sup> ]	Μετά 5min [m <sup>3</sup> ]
Q <sub>1</sub>	0.0364+((A+M)/500)	0.1213+(M/1000)
Q <sub>2</sub>	0.9342+((A+M)/500)	0.9755+(M/1000)
Q <sub>3</sub>	0.0069+((A+M)/500)	0.0494+(M/1000)
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 2: ΑΝΩ ΒΑΝΑ ΑΝΟΙΚΤΗ - ΚΑΤΩ ΒΑΝΑ ΚΛΕΙΣΤΗ		
Ενδείξεις Υδρόμετρου	Αρχικά [m <sup>3</sup> ]	Μετά 5min [m <sup>3</sup> ]
Q <sub>1</sub>	0.1424+((A+M)/500)	0.2448+(A/1000)
Q <sub>2</sub>	0.9804+((A+M)/500)	1.0402+(A/1000)
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 3: ΚΑΤΩ ΒΑΝΑ ΑΝΟΙΚΤΗ - ΑΝΩ ΒΑΝΑ ΚΛΕΙΣΤΗ		
Ενδείξεις Υδρόμετρου	Αρχικά [m <sup>3</sup> ]	Μετά 5min [m <sup>3</sup> ]
Q <sub>1</sub>	0.2735+((A+M)/500)	0.3937+((A+M)/500)
Q <sub>2</sub>	1.0581+((A+M)/500)	1.1161+((A+M)/500)
		<b>M = ΤΕΛΕΥΤΑΙΟ ΨΗΦΙΟ του AM σας</b>
		<b>A = ΠΡΟΤΕΛΕΥΤΑΙΟ ΨΗΦΙΟ του AM σας</b>

### 5. Ζητούμενα Άσκησης

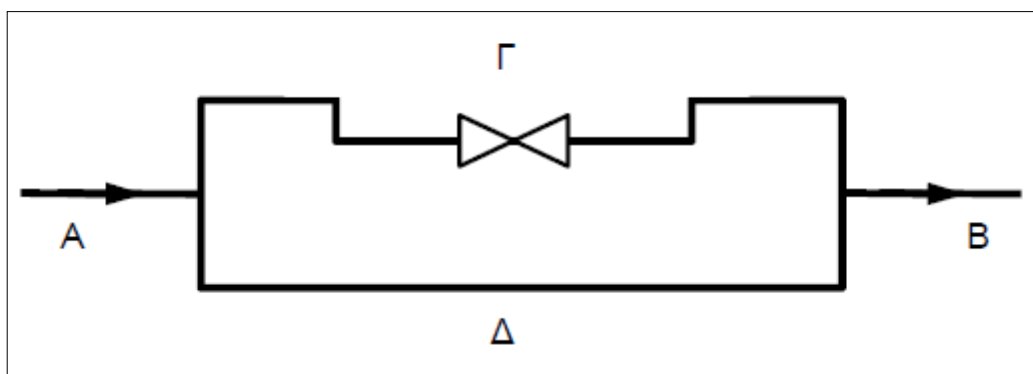
1. Να γίνει αναλυτικός υπολογισμός των Απωλειών για τις παροχές και συνδυασμούς σωληνογραμμών,
2. Να γίνει έλεγχος του χαρακτήρα της ροής (στρωτή ή τυρβώδης) για κάθε διαδρομή του ρευστού,
3. Να γίνει συνολικά σύγκριση των μεταξύ των τριών διαφορετικών περιπτώσεων.

Για τους υπολογισμούς που ακολουθούν θεωρείται νερό ως ρευστό με τις τιμές ιδιοτήτων να αναφέρονται σε θερμοκρασία 20 °C.

	μ (kg/m s)	8.90E-04
<b>θ=20 °C</b>	ρ (kg/m <sup>3</sup> )	997.1
	ν (m <sup>2</sup> /s)	8.926E-07

## 6. Παράρτημα

Στο Σχ. 4, η ροή στο σημείο A (η ροή είναι από τα αριστερά προς τα δεξιά) διαχωρίζεται σε δυο παράλληλους κλάδους ΑΓΒ και ΑΔΒ με δυσμενέστερο από πλευράς απωλειών πίεσης τον πρώτο και επανενώνεται στο σημείο Β. Η πτώση πίεσης  $p_A - p_B$  όμως είναι κοινή και για τους δυο κλάδους. Άρα μπορεί να υπολογισθεί είτε κατά μήκος της «εύκολης» διαδρομής ΑΔΒ, είτε κατά μήκος της «δύσκολης» διαδρομής ΑΓΒ. Παρόλα αυτά, υπολογίζεται **πάντα** κατά μήκος της δυσμενέστερης διαδρομής. Η άλλη απλά θα «ακολουθήσει». Από τα παραπάνω είναι φανερό ότι η πτώση πίεσης ενός δικτύου κεντρικής θέρμανσης θα πρέπει να υπολογισθεί κατά μήκος **μιας μόνο κλειστής διαδρομής** του (με ίδια αρχή και τέλος). Αυτή θα είναι η δυσμενέστερη από πλευράς απωλειών τριβής από όλες τις υπόλοιπες που υπάρχουν στο δίκτυο.



Σχήμα 4 Διαχωρισμός Ροής σε παράλληλους κλάδους. [5]

### Βιβλιογραφία

1. Γιαννάκης Ι., Κρουστάλλη Α., Σημειώσεις Εργαστηρίου ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΣΤΡΟΒΙΛΟΜΗΧΑΝΩΝ, 2009,
2. TecQuipment Catalogue, TecQuipment Interantional Ltd, Nottingham England, 1990,
3. White M. Frank, (Univ.of Rhode Island) Fluid Mechanics 4<sup>th</sup> edition, McGraw-Hill, 1991.
4. Γιανναδάκης Αθανάσιος Σημειώσεις Διαλέξεων Ρευστοδυναμικών Μηχανών, 2009
5. Καλογήρου Ι., Βούρος Α., Ρωμαίος Α., (2017) Σημειώσεις Εργαστηρίου Θέρμανσης – Ψύξης – Κλιματισμού –I Άσκηση 05 Υπολογισμός Σωληνώσεων Κεντρικής Θέρμανσης.

### Δ1. ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΙΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 01 (Μονάδες 3)

Σε ένα ατμοηλεκτρικό εργοστάσιο απαιτείται η τοποθέτηση μιας αντλίας με εξαιρετικά υψηλές επιδόσεις. Να υπολογιστεί το μανομετρικό και η ισχύς της αντλίας με τα εξής δεδομένα:

1. Το παροχετευόμενο νερό έχει θερμοκρασία  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$  και ταχύτητα στον τροφοδοτικό αγωγό που κυμαίνεται από  $1.2\text{ έως }2.0\text{ m/s}$ . Η πυκνότητα του νερού σε αυτή τη θερμοκρασία είναι  $\rho=865\text{ kg/m}^3$ ,
2. Ο αγωγός από την πλευρά της κατάθλιψης ως το λέβητα έχει συνολικό μήκος  $L=120\text{ m}$ , συντελεστή τριβής είναι  $f=0.022$  και περιέχει 5 καμπύλα τμήματα με  $K_1=0.7$ , 5 μεταβατικά με  $K_2=0.4$ , 2 δικλείδες με  $K_3=8$  και 8 διακλαδώσεις με  $K_4=1$ ,
3. Ο προθερμαντήρας έχει απώλεια πίεσης  $1.5\text{ bar}$  και ο ρυθμιστής παροχής  $2.5\text{ bar}$ ,
4. Ο βαθμός απόδοσης της αντλίας είναι  $\eta=85\%$  και η παροχή μάζας  $85\text{ kg/s}$ ,
5. Η πίεση λειτουργίας του λέβητα είναι  $125\text{ bar}$ ,
6. Γεωδαιτικά ύψη δεν λαμβάνονται υπόψη.

### Δ2. ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΙΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 02 (Μονάδες 3)

Για την εγκατάσταση του παρακάτω σχήματος ισχύουν τα εξής δεδομένα:

#### Δεδομένα

1. Τα μήκη από το δοχείο 1 προς την πλευρά της αναρρόφησης και από την κατάθλιψη προς το δοχείο 2 είναι  $L_A=6\text{ m}$  και  $L_K=300\text{ m}$ ,
2. Οι συντελεστές τοπικών απωλειών είναι  $\zeta_1=0.8$ ,  $\zeta_2=0.5$ ,  $\zeta_3=0.3$  και  $\zeta_4=0.3$ . Ο συντελεστής γραμμικών απωλειών (τριβής) είναι  $f=0.013$ ,
3. Το ύψος αναρρόφησης είναι  $h_A=3\text{ m}$  ενώ το ύψος κατάθλιψης είναι  $h_K=25\text{ m}$ , ενώ ισχύει  $D_A=D_B=350\text{ mm}$ .

#### Ζητούμενα:

1. Να υπολογισθεί το μανομετρικό της αντλίας ως συνάρτηση της παροχής της,
2. Για την τιμή  $Q=0.2\text{ m}^3/\text{s}$  και  $\eta=85\%$  να υπολογιστούν το μανομετρικό και η ισχύς της αντλίας,
3. Εάν η διάμετρος της αναρρόφησης/κατάθλιψης μειωθεί σε  $D=300\text{ mm}$  πόση επιπλέον ισχύ πρέπει να δαπανηθεί ώστε να διατηρηθεί η παροχή και ο συντελεστής απόδοσης της αντλίας στα ίδια επίπεδα.
4. Εάν ζητείται η διατήρηση της παροχής και της απαιτούμενης ισχύος της αντλίας στα ίδια επίπεδα, ποια θα πρέπει να είναι η τιμή του συντελεστή απόδοσης.

