

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΙΙ

Ασκήσεις Φυσικών Διεργασιών

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ:

“ΡΟΗ ΣΕ ΣΩΛΗΝΩΣΕΙΣ”

Υπεύθυνος Εργαστηρίου: Χριστάκης Παρασκευά/
Βαρβάρα Συγγούνη
Υπεύθυνος Άσκησης: *Κωνσταντίνος Παπαγεωργίου*

ΔΟΜΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗΣ

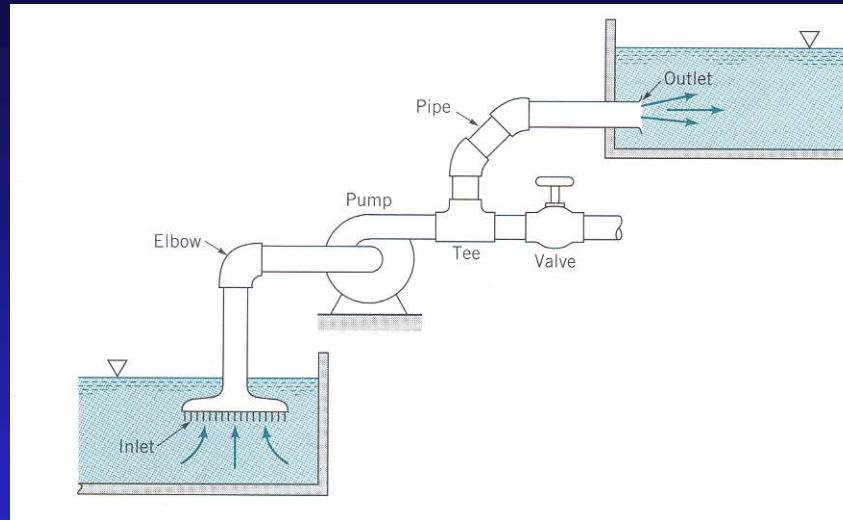
- *Μέρος I:* Θεωρία
- *Μέρος II:* Πειραματική διάταξη
- *Μέρος III:* Μεθοδολογία ανάλυσης δικτύου σωληνώσεων

Ροή σε σωληνώσεις

Πληθώρα εφαρμογών σε τεχνολογικά και φυσικά συστήματα

- χημικές βιομηχανίες
- μονάδες παραγωγής ενέργειας
- αστικά συστήματα ύδρευσης
- συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων
-

Φυσικά δίκτυα αγωγών στο ανθρώπινο σώμα(μεταφορά αίματος, μεταφορά αέρα, προς και από, στους πνεύμονες)



Δίκτυο σωληνώσεων

Οι μεταβολές στην πίεση κατά μήκος του δικτύου οφείλονται σε

1. υψομετρικές διαφορές
2. μεταβολές της ταχύτητας ροής (μεταβολές διατομής σωληνώσεων)
3. ιξώδεις τριβές

*Εφαρμογή του μακροσκοπικού ισοζυγίου ενέργειας
σε σωληνώσεις*

$$\dot{Q} - \dot{W} = \frac{\partial}{\partial t} \iiint_V \rho e dV + \iint \rho \mathbf{v} \cdot \hat{\mathbf{n}} dA$$

\dot{Q} = ρυθμός παροχής θερμότητας προς το σύστημα από το περιβάλλον

\dot{W} = ρυθμός παραγωγής μηχανικού έργου από το σύστημα προς το περιβάλλον

ρ = πυκνότητα του ρευστού

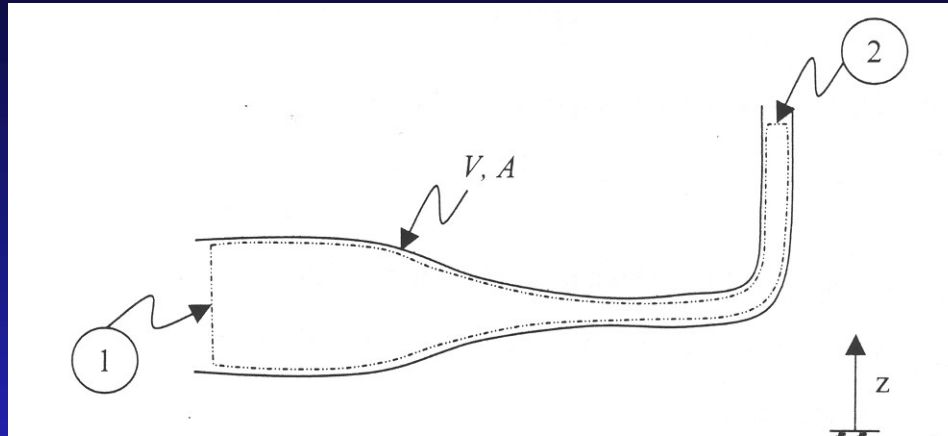
\mathbf{v} = ταχύτητα του ρευστού

$e = u + \frac{1}{2}v^2 + gz =$ ειδική ολική ενέργεια

$u =$ ειδική εσωτερική ενέργεια

$\frac{1}{2}v^2 =$ ειδική κινητική ενέργεια

$gz =$ ειδική δυναμική ενέργεια



$$\left(\frac{P_1}{\rho} + \frac{1}{2} \alpha_1 \langle v_1 \rangle^2 + gz_1 \right) = \left(\frac{P_2}{\rho} + \frac{1}{2} \alpha_2 \langle v_2 \rangle^2 + gz_2 \right) + h_{ολ}$$

{ ρυθμός παροχής
 μηχανικής ενέργειας
 ανά μονάδα μάζας
 στη διατομή A_1 }

{ ρυθμός παροχής
 μηχανικής ενέργειας
 ανά μονάδα μάζας
 στη διατομή A_2 }

{ ολική απώλεια
 υδροστατικής κεφαλής }

Ολική απώλεια υδροστατικής κεφαλής

$$h_{ολ} \equiv (u_2 - u_1) - \frac{\dot{Q}}{\dot{m}} \quad [L^2/T^2]$$



$(u_2 - u_1)$ = αύξηση της εσωτερικής ενέργειας του ρευστού
(δηλ. θέρμανση του ρευστού)

$-\frac{\dot{Q}}{\dot{m}}$ = απώλεια θερμικής ενέργειας στο περιβάλλον

Ολική απώλεια υδροστατικής κεφαλής = η αναντίστροφη μετατροπή
μηχανικής ενέργειας
σε θερμική ενέργεια

Συντελεστής παροχής κινητικής ενέργειας

$$\alpha = \frac{\iint_A \frac{1}{2} v^2 \rho v dA}{\iint_A \frac{1}{2} \langle v \rangle^2 \rho v dA}$$

$$\alpha \cong 2$$

για στρωτή ροή

$$\alpha \cong 1$$

για τυρβώδη ροή

Τύποι ροής σε μια σωλήνωση

(i) Συμπιεστή και ασυμπιεστή ροή

$$N_{\text{Mach}} = \frac{U}{c} \begin{cases} \rightarrow N_{\text{mach}} < 0.3 & \text{(ασυμπιεστή)} \\ \rightarrow N_{\text{mach}} > 0.3 & \text{(συμπιεστή)} \end{cases}$$

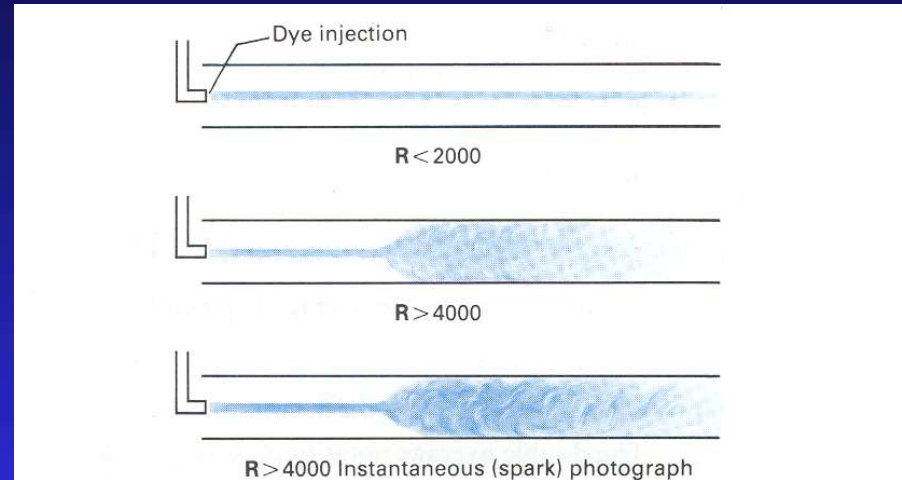
U = η μέση ταχύτητα ροής

c = η ταχύτητα του ήχου στο ρευστό

(ii) Στρωτή και τυρβώδης ροή

$$N_{\text{Re}} = \frac{\rho U d}{\mu} \begin{cases} \rightarrow N_{\text{Re}} < \sim 2100 & \text{(στρωτή)} \\ \rightarrow N_{\text{Re}} > \sim 2100 & \text{(τυρβώδης)} \end{cases}$$

Το πείραμα του Reynolds



(iii) Μόνιμη και μεταβατική ροή

↓
Το προφίλ της ροής
δε μεταβάλλεται
με το χρόνο

→ Οι τιμές της ταχύτητας
και της πίεσης σε ένα δεδομένο
σημείο δεν αλλάζουν με το χρόνο

Μέρος I: Θεωρία

9/20

Υπολογισμός ολικής απώλειας υδροστατικής κεφαλής

$$h_{ολ} \equiv h_{\mu} + h_{\varepsilon}$$

A) h_{μ} : “μείζονες απώλειες”



Οφείλονται σε πλήρως ανεπτυγμένη ροή μέσα σε σωληνώσεις σταθερής διατομής

B) h_{ε} : “ελάσσονες απώλειες”

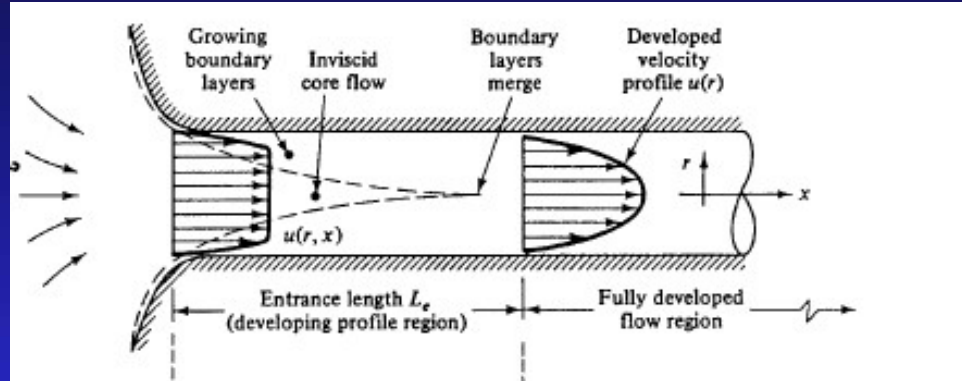


Οφείλονται στη ροή μέσα από εξαρτήματα και αλλαγές διατομής

Μέρος I: Θεωρία

10/20

Πλήρως ανεπτυγμένη ροή



$$\frac{L_{\text{εισ}}}{D} = 0.0575 \text{ Re}$$

$L_{\text{εισ}}$: μήκος εισόδου

Μέρος I: Θεωρία

11/20

Υπολογισμός μειζόνων απωλειών

$$h_{\mu} = \frac{(P_1 - P_2)}{\rho} = \frac{\Delta P}{\rho}$$

(για πλήρως ανεπτυγμένη ροή σε σωλήνα)

α) Στρωτή ροή

$$h_{\mu} = \frac{64 L \langle v \rangle^2}{\text{Re } D \cdot 2}$$

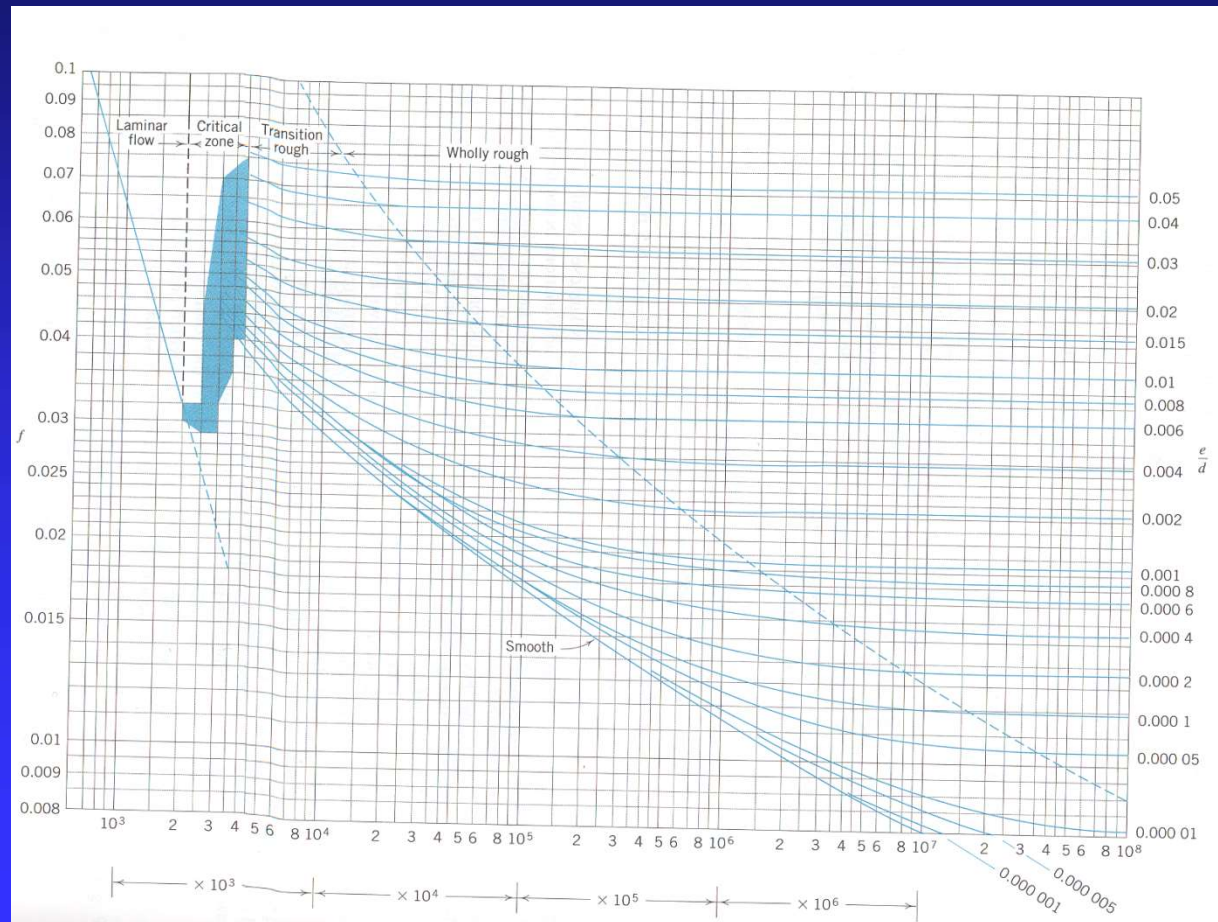
β) Τυρβώδης ροή

$$h_{\mu} = f \left(\text{Re}, \frac{e}{D} \right) \frac{L \langle v \rangle^2}{D \cdot 2}$$

$f \left(\text{Re}, \frac{e}{D} \right)$: συντελεστής τριβής του Fanning

Προσδιορισμός του συντελεστή τριβής f

a) Διάγραμμα Moody



Μέρος I: Θεωρία

13/20

Προσδιορισμός του συντελεστή τριβής f

b) Αναλυτικές εκφράσεις

(i) ($Re < 2000$) Στρωτή ροή

$$f = \frac{64}{Re}$$

(ii) ($3000 < Re$) Τυρβώδης ροή

➤ Λείοι σωλήνες και $2,5 \cdot 10^3 < Re < 10^5$

$$f = 0.3168 \cdot Re^{-0.25}$$

➤ Λείοι σωλήνες και $2,5 \cdot 10^3 < Re < 10^7$

$$(\phi)^5 = 2.5 \cdot \ln(Re \phi^{0.5}) + 0.3, \quad \phi = \frac{f}{8}$$

➤ Τραχείς σωλήνες

$$(\phi)^{-0.5} = -2.5 \cdot \ln\left(0.27 \frac{e}{D} + 0.885 Re^{-1} \phi^{-0.5}\right), \quad \phi = \frac{f}{8}$$

➤ Τραχείς σωλήνες και $e/D \cdot Re \cdot \phi \gg 3.3$

$$(\phi)^{-0.5} = 3.2 - 2.5 \cdot \ln\left(\frac{e}{D}\right), \quad \phi = \frac{f}{8}$$

Υπολογισμός ελασσόνων απωλειών

$$h_{\varepsilon} = K \frac{\langle v \rangle^2}{2}$$

ή, ισοδύναμα

$$h_{\varepsilon} = f \frac{L_e}{D} \frac{\langle v \rangle^2}{2}$$

K : συντελεστής απώλειας, [-]

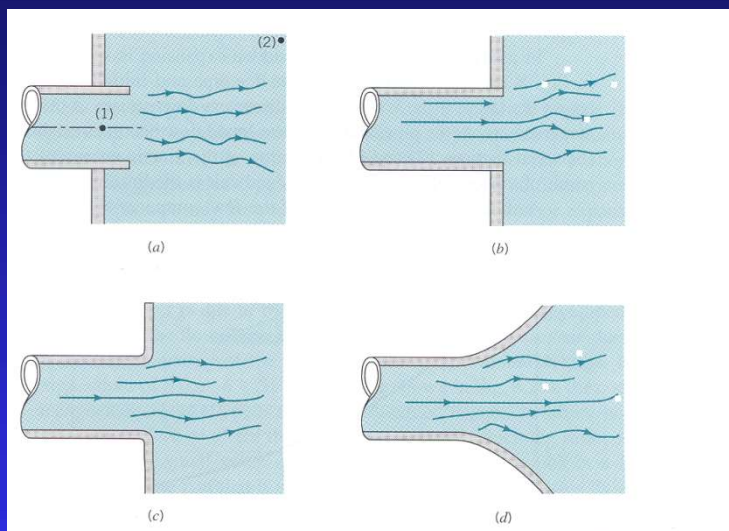
f : η τιμή του συντελεστή τριβής του ευθύγραμμου σωλήνα με ισοδύναμο μήκος L_e που προκαλεί τις ίδιες απώλειες

Μέρος I: Θεωρία

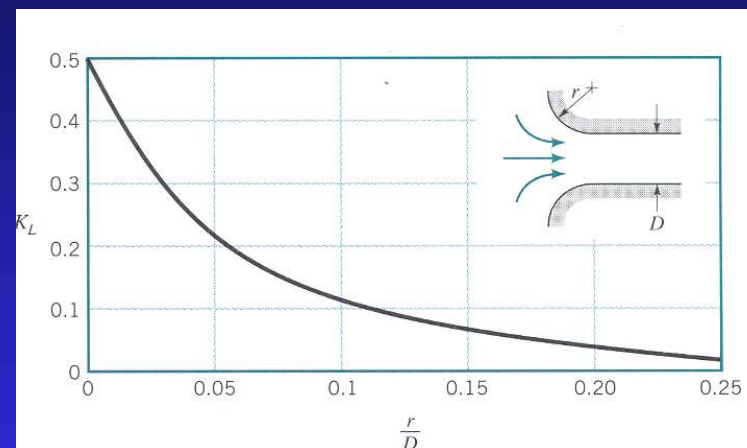
15/20

Υπολογισμός ελασσόνων απωλειών

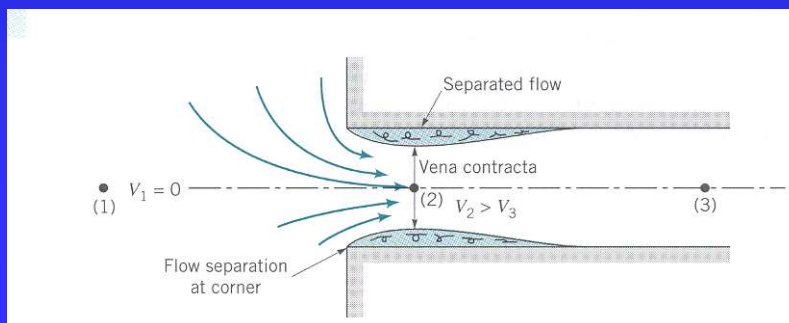
α) είσοδοι



Τύποι εισόδων



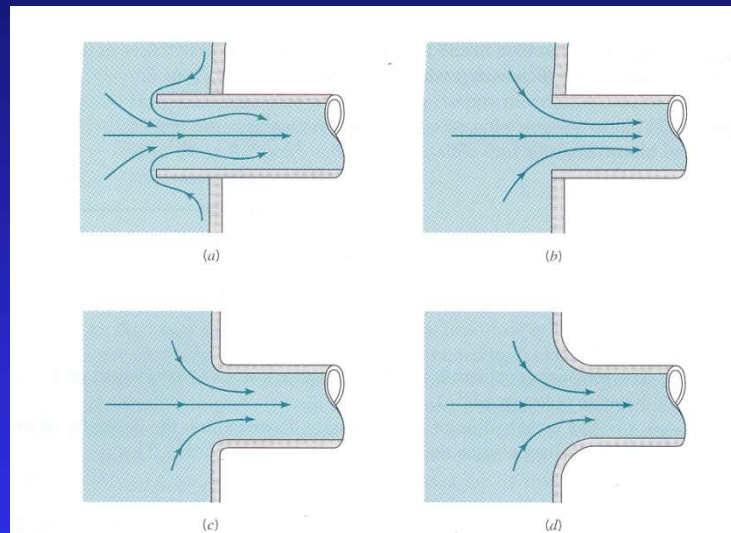
Συντελεστής απώλειας εισόδου



Σχηματισμός Vena contracta

Υπολογισμός ελασσόνων απωλειών

β) έξοδοι



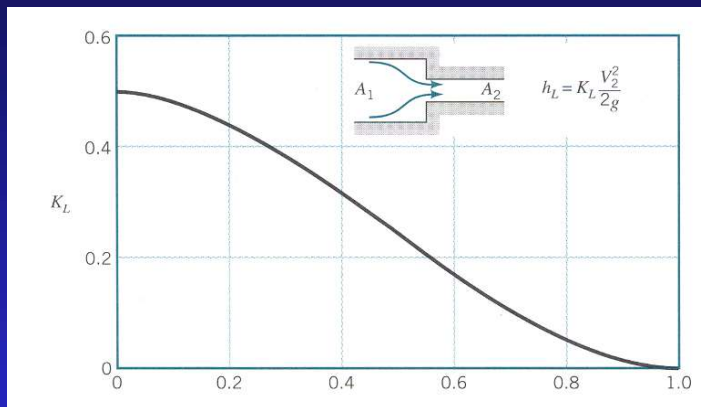
Τύποι εξόδων

Συντελεστής απώλειας εξόδου: πάντα ίσος με τη μονάδα

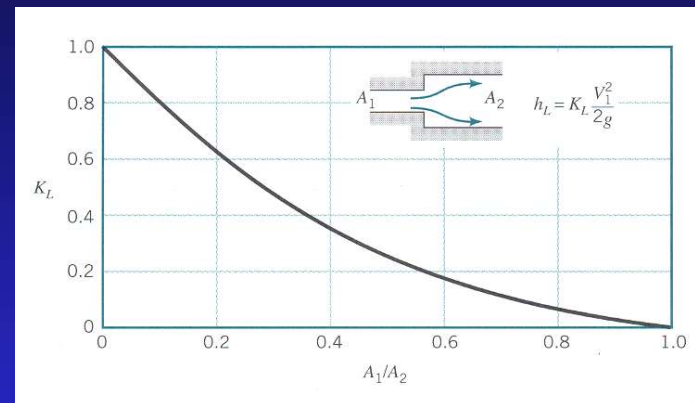
Μέρος I: Θεωρία

Υπολογισμός ελασσόνων απωλειών

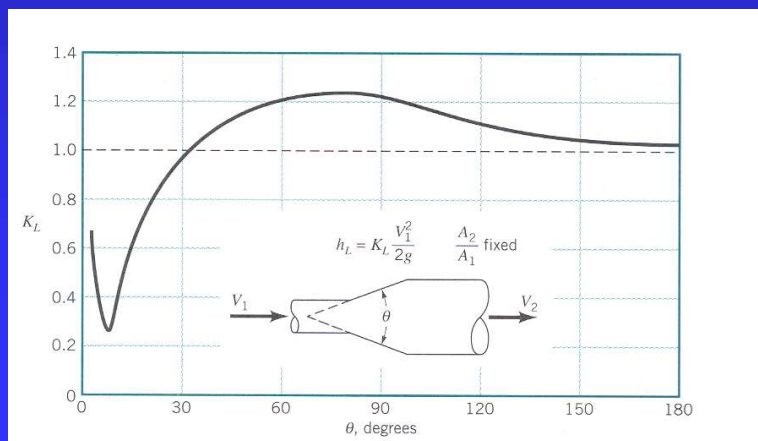
γ) διευρύνσεις και στενώσεις



Συντελεστής απώλειας για στένωση



Συντελεστής απώλειας για διεύρυνση



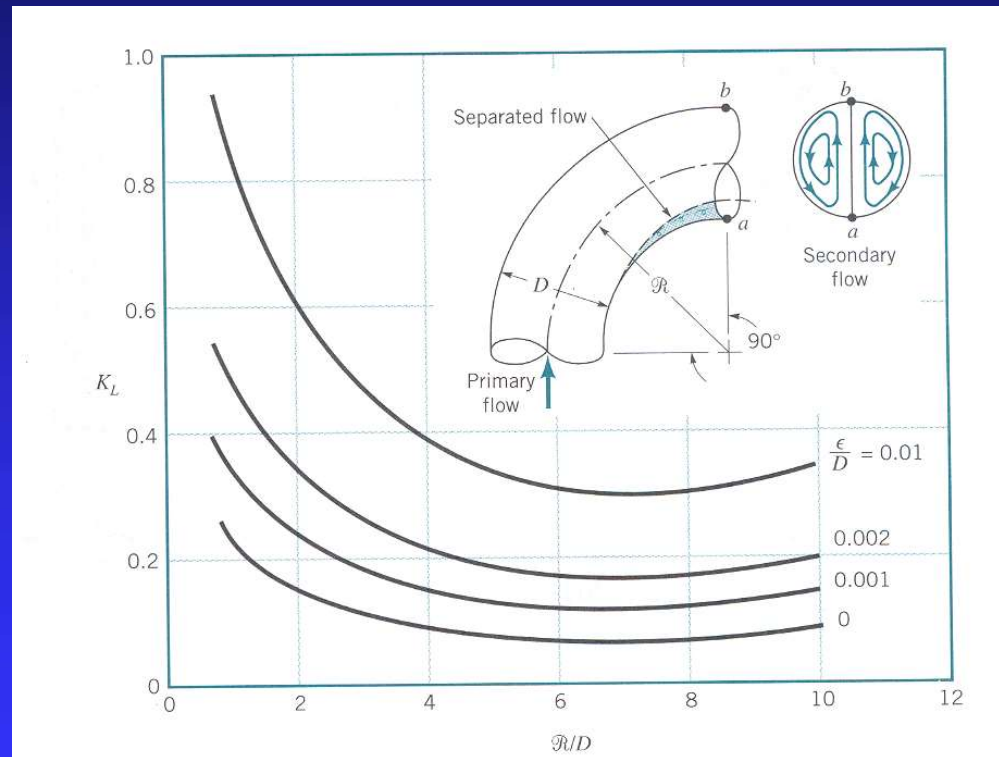
Συντελεστής απώλειας για βαθμιαία διεύρυνση (διαχυτήρα)

Μέρος I: Θεωρία

18/20

Υπολογισμός ελασσόνων απωλειών

δ) καμπές



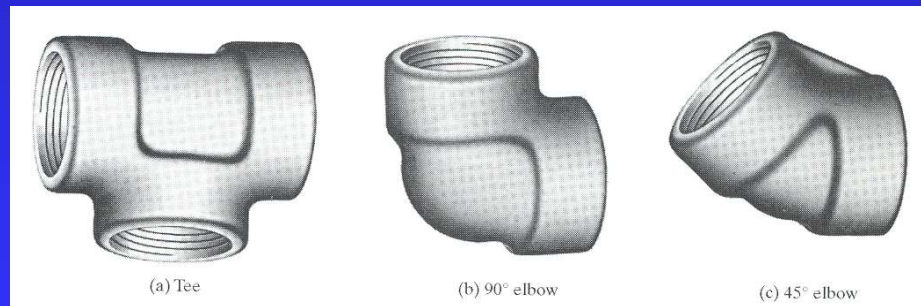
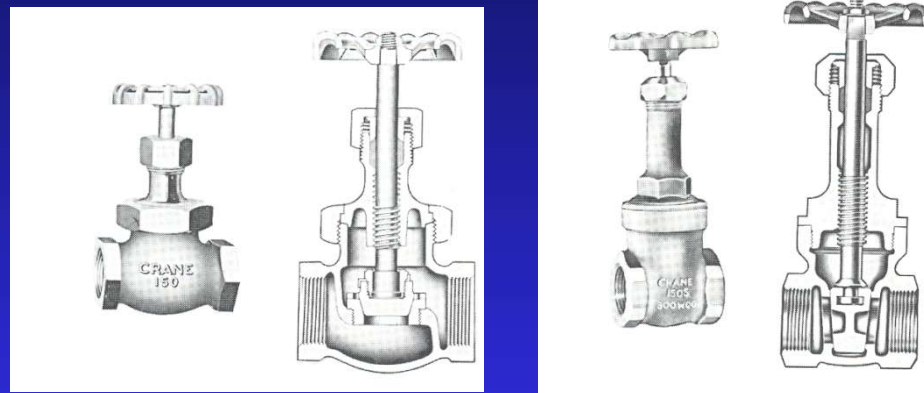
Συντελεστής απώλειας για καμπές

Μέρος I: Θεωρία

19/20

Υπολογισμός ελασσόνων απωλειών

δ) βαλβίδες και εξαρτήματα



Υπολογισμός ελασσόνων απωλειών

δ) βαλβίδες και εξαρτήματα

<i>Valve or Fitting</i>	<i>Loss Coefficient K_L</i>
1. Globe valve	
Fully open	10.0
$\frac{1}{2}$ open	12.5
2. Gate valve	
Fully open	0.19
$\frac{3}{4}$ open	0.90
$\frac{1}{2}$ open	4.5
$\frac{1}{4}$ open	24.0
3. Swing check valve	
Through flow	2.0
Blocked flow	∞
4. Tee	
Line flow	0.40
Branch flow	1.5
5. Elbow	
45°	0.40
90°	0.75
6. Return bend	2.2

Φωτογραφία διάταξης

Μέρος III: Ανάλυση δικτύου σωληνώσεων 1/3

Βασικές σχέσεις

$$(1) \left(\frac{P_1}{\rho} + \frac{1}{2} \alpha_1 \langle v_1 \rangle^2 + g z_1 \right) = \left(\frac{P_2}{\rho} + \frac{1}{2} \alpha_2 \langle v_2 \rangle^2 + g z_2 \right) + h_{ολ}$$

$$(2) h_{ολ} \equiv h_{\mu} + h_{\varepsilon}$$

$$(3) h_{\mu} = f \left(Re, \frac{e}{D} \right) \frac{L}{D} \frac{\langle v \rangle^2}{2}$$

όπου $f \left(Re, \frac{e}{D} \right)$

Διάγραμμα Moody

Αναλυτικές σχέσεις

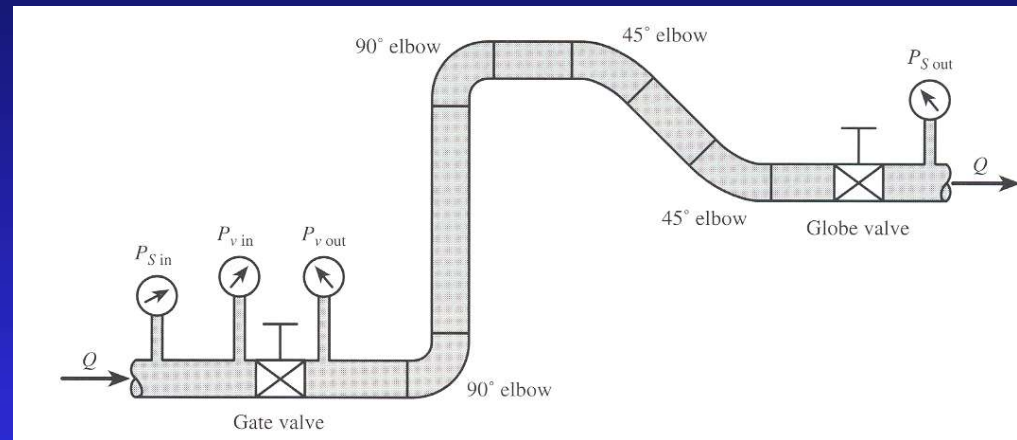
$$(4) h_{\varepsilon} = K \frac{\langle v \rangle^2}{2} \quad \text{ή, ισοδύναμα} \quad h_{\varepsilon} = f \frac{L_e}{D} \frac{\langle v \rangle^2}{2}$$

όπου $K, \frac{L_e}{D}$ από πίνακες

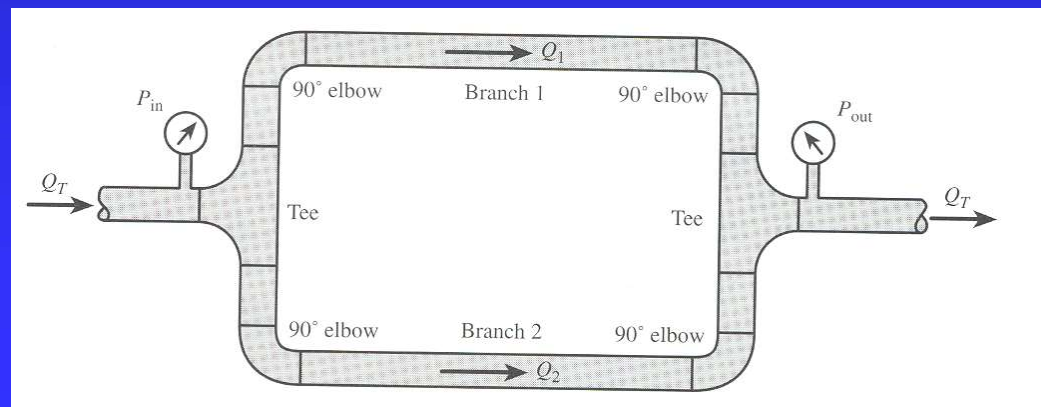
Μέρος III: Ανάλυση δικτύου σωληνώσεων 2/3

Βασικές κατηγορίες δικτύων σωληνώσεων

(1) Σύνδεση των στοιχείων εν σειρά



(2) Σύνδεση των στοιχείων εν παράλληλω



Μέρος III: Ανάλυση δικτύου σωληνώσεων 3/3

Βασικές κατηγορίες προβλημάτων

Τύπος I: Q, D γνωστά, $\Delta P = ?$

Τύπος II: $\Delta P, D$ γνωστά, $Q = ?$

Τύπος III: $Q, \Delta P$ γνωστά, $D = ?$