

Κλειστοί αγωγοί

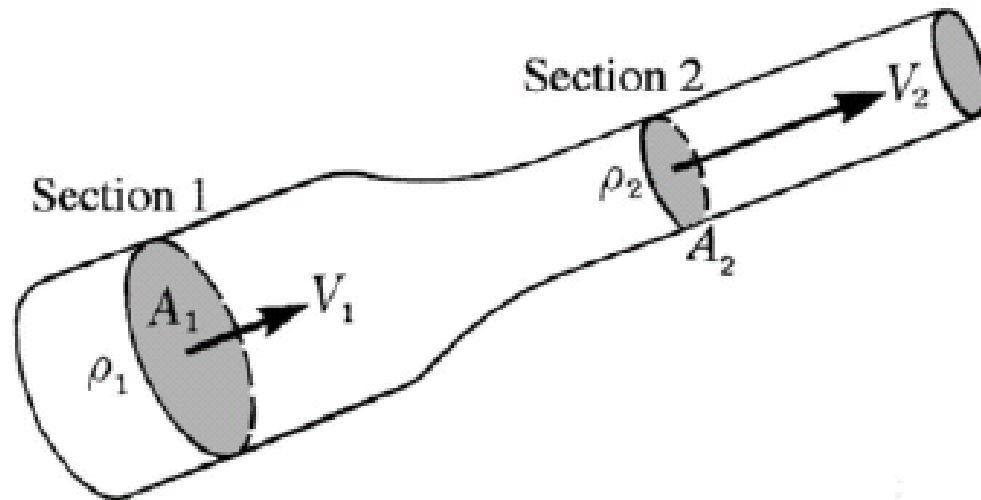
- Εφαρμογές Υδροδυναμικής - Bernoulli
- Γραμμή ενέργειας και υδραυλική ή πιεζομετρική γραμμή κατά μήκος γραμμής ροής
- Υλικά αγωγών - χαρακτηριστικά
- Τοπικές απώλειες
- Ασκήσεις

Εφαρμογή της εξίσωσης συνέχειας (αρχή διατήρησης της μάζας)

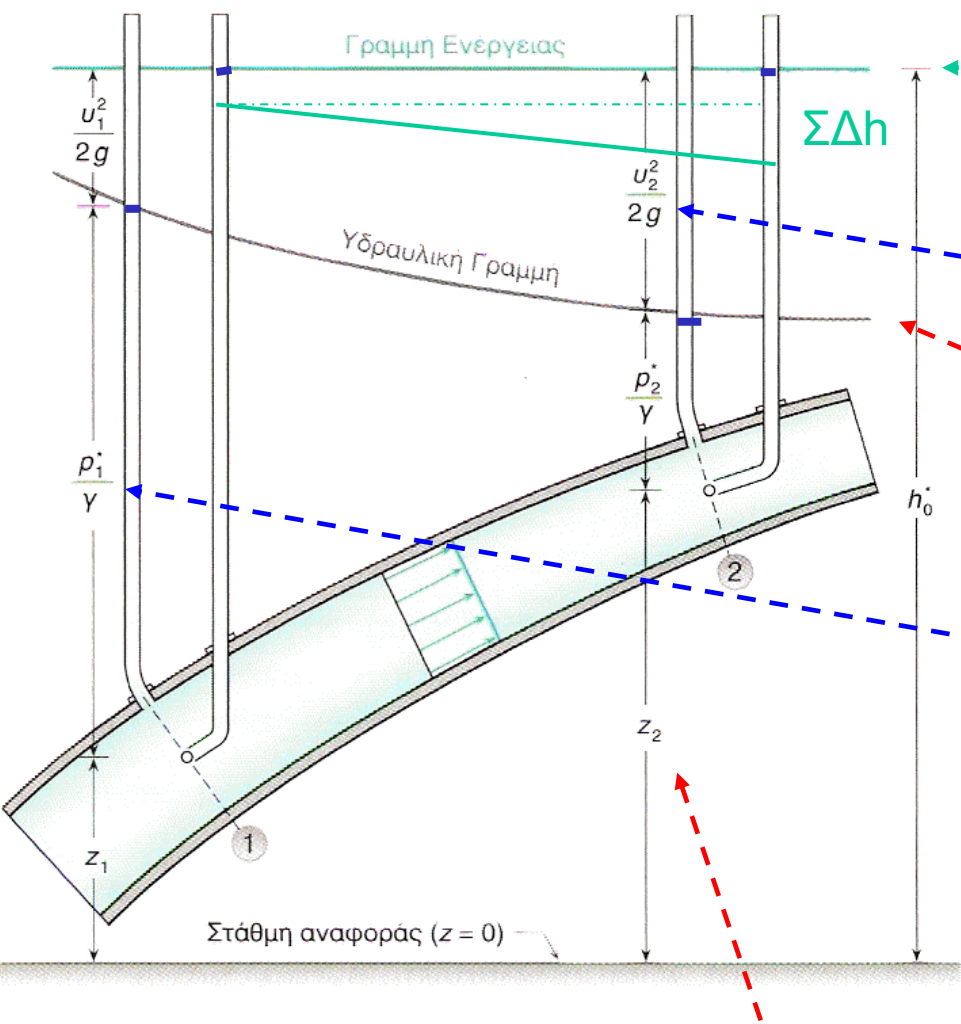
$$Q_{m1} = Q_{m2} \Rightarrow \rho_1 A_1 V_1 = \rho_2 A_2 V_2$$

Σε ασυμπίεστη ροή:

$$Q_{m1} = Q_{m2} \Rightarrow A_1 V_1 = A_2 V_2 \Rightarrow \frac{\pi D_1^2}{4} V_1 = \frac{\pi D_2^2}{4} V_2$$



Εφαρμογή της εξίσωσης Bernoulli



Γραμμή ενέργειας.
 • Σε τέλεια υγρά, σταθερή
 • Σε πραγματικά υγρά, απώλειες ΣΔh

$U^2/2g$: φορτίο ταχύτητας
 - κινητική ενέργεια

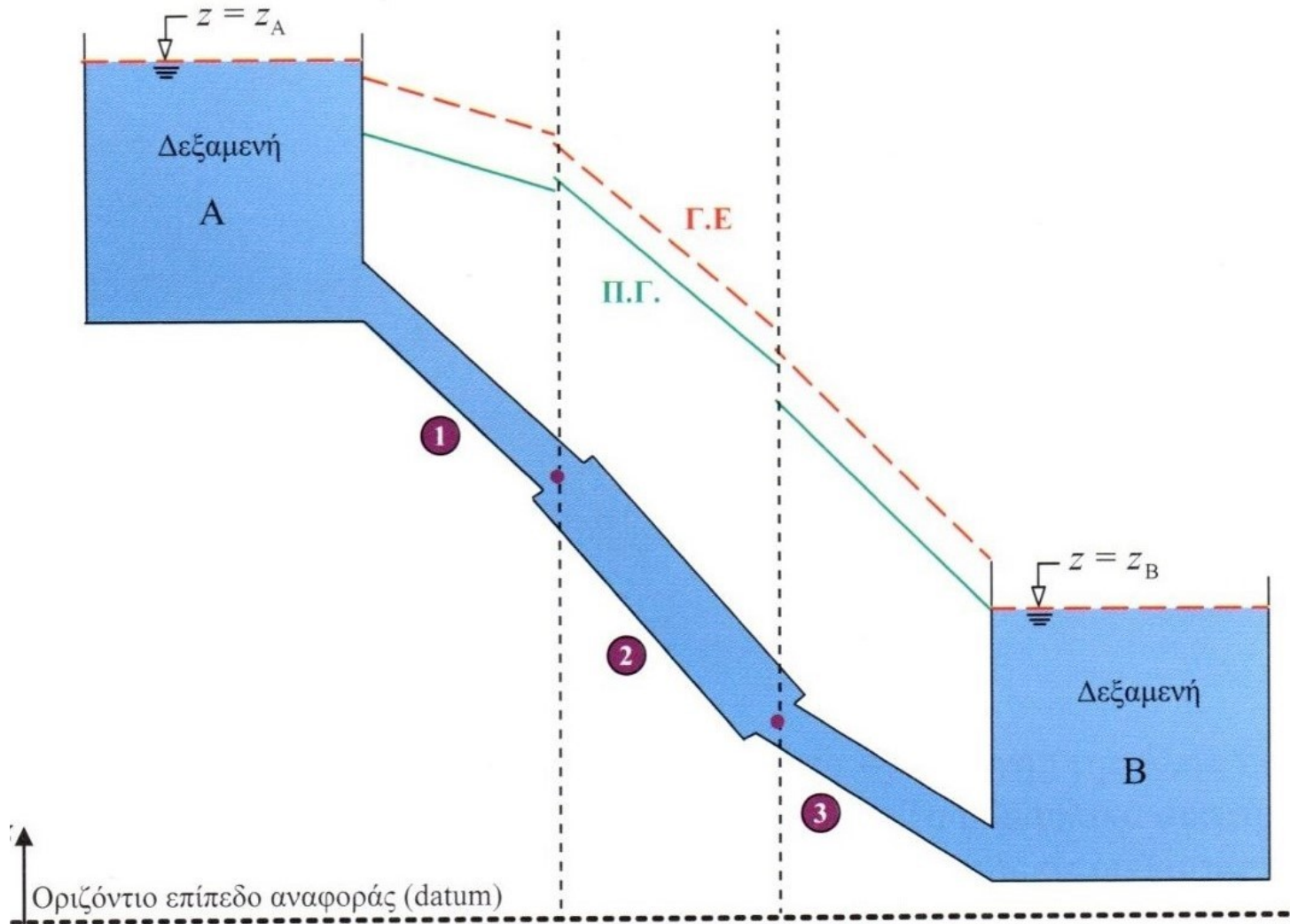
Πιεζομετρικό ύψος $p/\gamma + x$,
 Πιεζομετρική ή υδραυλική
 γραμμή

p/γ : ύψος πίεσης, ενέργεια
 αποθηκευμένη λόγω της πίεσης

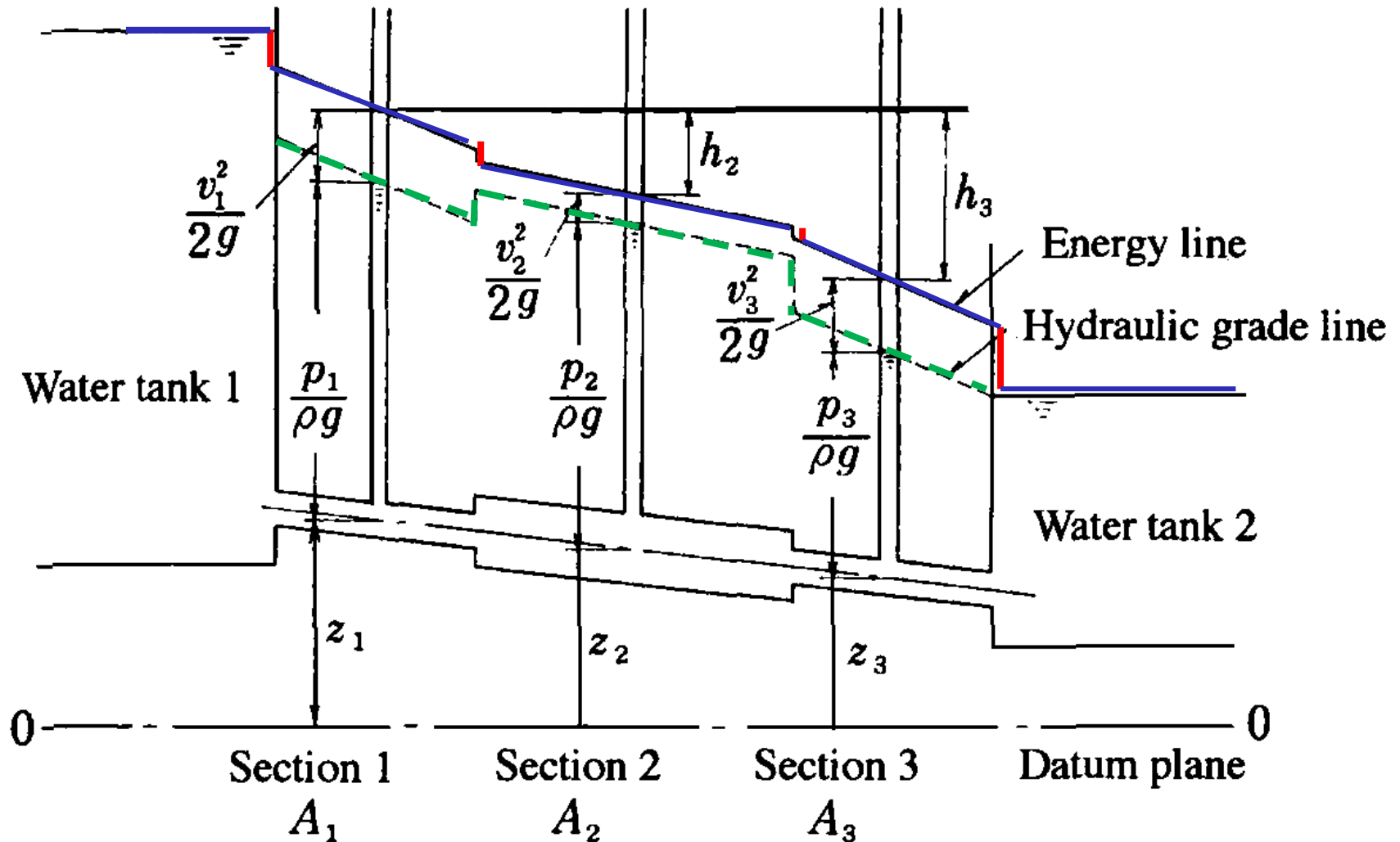
$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \sum \Delta h$$

Φορτίο ύψους: δυναμική ενέργεια

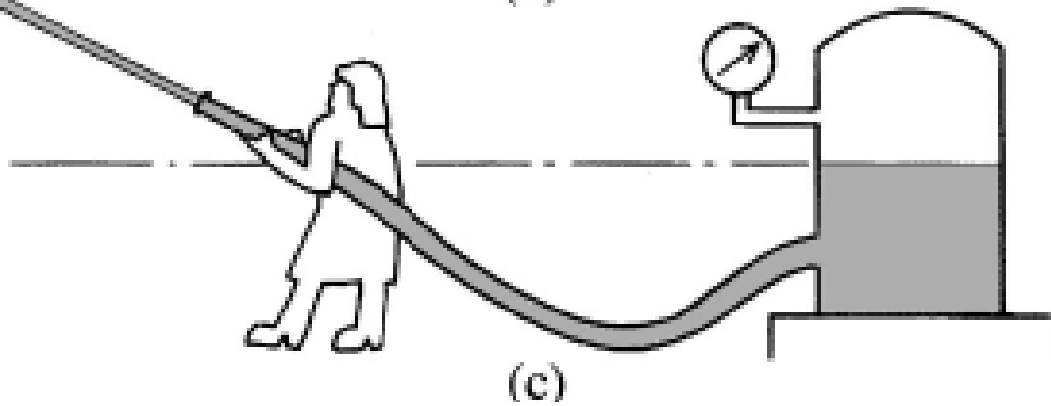
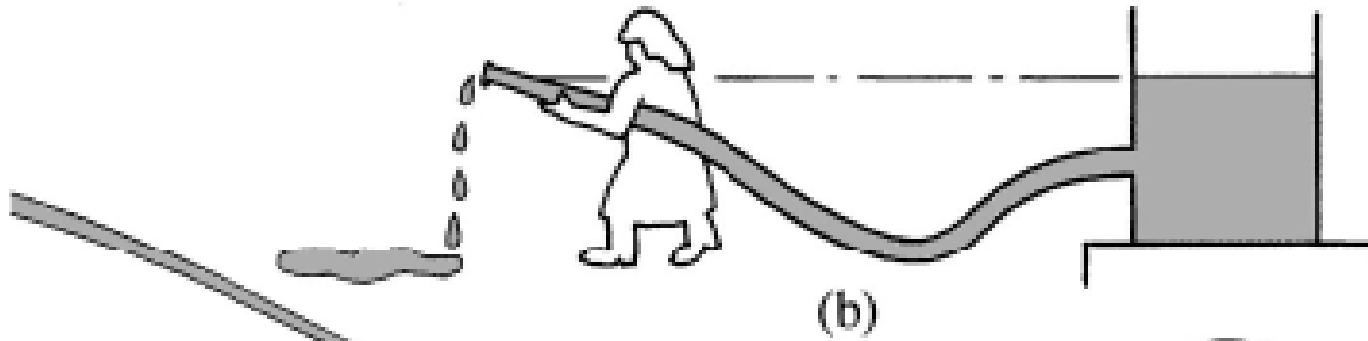
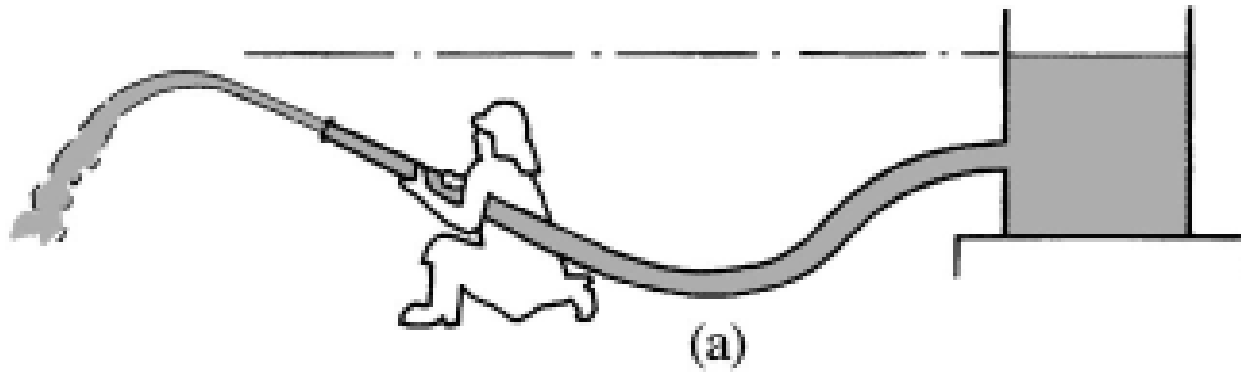
Εφαρμογή Bernoulli – οι απώλειες, **ΤΟΠΙΚΕΣ** και γραμμικές: παρατηρήστε την πορεία της **γραμμής ενέργειας** και της **πιεζομετρικής**



Εφαρμογή Bernoulli 2 – οι απώλειες, **ΤΟΠΙΚΕΣ** και γραμμικές:
παρατηρήστε την πορεία της **γραμμής ενέργειας** και της **πιεζομετρικής**



Εφαρμογές Bernoulli 3



Υλικά αγωγών - επιλογή

Οι αγωγοί μεταφοράς των ρευστών κατασκευάζονται από διάφορα υλικά, όπως καθαρά μέταλλα, κράματα, πλαστικά, κεραμικά, τσιμέντο και γυαλί.

Η επιλογή του κατάλληλου υλικού εξαρτάται από:

1. Τις διαβρωτικές ιδιότητες του μεταφερόμενου ρευστού.
2. Τη θερμοκρασία και, κυρίως, την πίεση μεταφοράς του ρευστού.
3. Το κόστος.
4. Την ύπαρξη περιοριστικών κανονισμών για τη συγκεκριμένη χρήση.

Συνήθη υλικά κατασκευής αγωγών μεταφοράς ρευστών

ΥΛΙΚΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

ΠΕΔΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Ανθρακούχος χάλυβας

Σωλήνες νερού, ατμού και πεπιεσμένου αέρα.

Ανοξείδωτος χάλυβας

*Σωλήνες μεταφοράς οξειδωτικών ρευστών.
Ευρεία εφαρμογή στη χημική βιομηχανία.*

Χυτοσίδηρος

*Κεντρικοί σωλήνες μεταφοράς νερού.
Σωλήνες αποχέτευσης.*

Χαλκός-Ορείχαλκος

*Σωλήνες εναλλακτών θερμότητας.
Εσωτερικά δίκτυα ψυχρού και θερμού νερού.*

Κεραμικό – Κοινό μπετόν

*Υπόγειοι αγωγοί ύδρευσης.
Δίκτυα αποχέτευσης.*

Οπλισμένο μπετόν

*Κεντρικοί αποχετευτικοί αγωγοί.
Υδραγωγοί μεγάλης διαμέτρου.*

Πολυβινυλοχλωρίδιο

Πολυαιθυλένιο

Σωλήνες ύδρευσης, αποχέτευσης και άρδευσης.

Πολυαιθυλένιο

Πολυπροπυλένιο

*Σωλήνες αποχέτευσης όξινων και αλκαλικών ρευστών.
Σωλήνες διακίνησης νερού θέρμανσης.*

ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ

	ΕΙΔΟΣ ΡΟΗΣ	ΤΑΧΥΤΗΤΑ (m/s)
Αγωγοί Μεταφοράς	<i>Αργού πετρελαίου</i>	1 ÷ 2
	<i>Φυσικού αερίου</i>	10 ÷ 20
	<i>Κορεσμένου ατμού</i>	15 ÷ 25
	<i>Υπέρθερμου ατμού</i>	30 ÷ 60
	<i>Αερίων χαμηλής πίεσης</i>	5 ÷ 10
	<i>Αερίων υψηλής πίεσης</i>	10 ÷ 30
Δίκτυα Διανομής	<i>Πόσιμου νερού</i>	1 ÷ 2
	<i>Υγραερίου</i>	≦ 1
Είσοδος Αντλίας	<i>Λεπτόρευστα ρευστά</i>	0,3 ÷ 1,0
	<i>Παχύρευστα ρευστά</i>	0,05 ÷ 0,15
Έξοδος Αντλίας	<i>Λεπτόρευστα ρευστά</i>	1,20 ÷ 3,0
	<i>Παχύρευστα ρευστά</i>	0,20 ÷ 0,60
Βιομηχανικές Σωληνώσεις	<i>Λεπτόρευστα ρευστά</i>	1,4 ÷ 2,4
	<i>Παχύρευστα ρευστά</i>	0,05 ÷ 0,60

Ταχύτητες σχεδιασμού σε δίκτυα διανομής νερού και πρότυπα

(πηγή: Λιακόπουλος Α., «Υδραυλική», Εκδόσεις Τζιόλα, 2020)

Διάμετρος αγωγού		Ταχύτητα νερού
ίντσες	mm	m/s
1	25	1
2	50	1.1
3	75	1.15
4	100	1.25
6	150	1.5
8	200	1.75
10	250	2
12	300	2.65

α/α	Υλικό σωλήνα	Βρετανικά/ Αμερικανικά πρότυπα	Γερμανικά πρότυπα	Ελληνικά πρότυπα
1.	Χυτοσίδηροι	BS 2035, BS 143 BS 78, BS 1256 BS 1211, BS 1740	DIN 28511 DIN 28513	
2.	Χαλυβδοσωλήνες	BS 534, BS 1956 BS 1387	DIN 2460, DIN 2440, DIN 2441, DIN 2453 DIN 2543, DIN 2461	ΕΛΟΤ 269 ΕΛΟΤ 284
3.	Χαλκοσωλήνες	BS 1386, BS 864 BS 659, BS 61	DIN 1754	ΕΛΟΤ 616 ΕΛΟΤ 917
4.	Τσιμεντοσωλήνες	BS 5911/1		
5.	Πηλοσωλήνες	BS 65, BS 539, BS 540 BS 1143, BS 1196		

Μέση τραχύτητα σωλήνων εμπορίου

ΥΛΙΚΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ (mm)	ΥΛΙΚΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ (mm)
Χάλυβας εμπορίου	0,046	Χαλκός, ελαφρά μέταλλα	0,013 ÷ 0,015
Χυτοσίδηρος	0,26	Σκυρόδεμα	0,3 ÷ 3,0
Γαλβανισμένος σίδηρος	0,15	Κεραμικό	~ 0,07
Ασφαλτωμένος σίδηρος	0,12	Πλαστικό	0,0016

Υλικά σωλήνων ύδρευσης -1

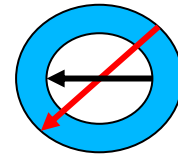
Αγωγοί δικτύων ύδρευσης

Είδη αγωγών και σωληνώσεων

- ◆ Στα δίκτυα ύδρευσης χρησιμοποιούνται **αγωγοί εμπορίου**, και μόνο σε σπάνιες περιπτώσεις πολύ μεγάλων έργων κατασκευάζονται αγωγοί κατά παραγγελία.
- ◆ Οι αγωγοί εμπορίου διαχωρίζονται ως προς το **υλικό κατασκευής** και την **κλάση ή ονομαστική πίεση**, ήτοι τη μέγιστη επιτρεπόμενη πίεση στην οποία μπορούν να υποβληθούν με ασφάλεια (για όλα τα υλικά, η μικρότερη επιτρεπτή κλάση αγωγών είναι 10 atm). Στα δίκτυα ύδρευσης χρησιμοποιούνται οι ακόλουθοι τύποι αγωγών:
 - **Πλαστικοί σωλήνες από πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC)**: Ελαφρύ και εύκαμπτο υλικό, η πλέον οικονομική επιλογή για αγωγούς μικρής διαμέτρου (< 400 mm) και ονομαστικής πίεσης έως 16 atm. Παράγονται συνήθως σε δμετρα τεμάχια.
 - **Πλαστικοί σωλήνες από πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (HDPE)**: Εξαιρετικά ελαφροί και εύκαμπτοι, αντικαθιστούν σταδιακά τους αγωγούς από PVC. Για μικρές διαμέτρους (< 125 mm), μεταφέρονται σε ρολά των 100 m και δεν απαιτούν ειδικά τεμάχια στις στροφές. Παράγονται για κλάσεις έως 32 atm.
 - **Χαλυβδοσωλήνες (Χ/Σ)**: Δαπανηροί, επιλέγονται για διαμέτρους > 1000 mm.
 - **Αμιαντοτσιμεντοσωλήνες (Α/Σ)**: Στο παρελθόν έχουν χρησιμοποιηθεί εκτεταμένα, αλλά σήμερα έχει περιοριστεί η χρήση τους, καθώς έχουν εκφραστεί φόβοι για αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία.

Υλικά σωλήνων ύδρευσης – PVC

Αγωγοί δικτύων ύδρευσης Πλαστικοί αγωγοί εμπορίου (1)



$$D_{\text{εσωτερικη}} = D_{\text{ονομαστικη}} + 2 \cdot \text{πάχος}$$

- ◆ Μικρότερη επιτρεπτή ονομαστική διάμετρος $\Phi 63$ mm.
- ◆ Οι υδραυλικοί υπολογισμοί γίνονται πάντοτε με βάση την εσωτερική διάμετρο των αγωγών. Στους πλαστικούς αγωγούς, η εσωτερική διάμετρος διαφέρει από την ονομαστική, και λαμβάνεται από πίνακες του κατασκευαστή.
- ◆ Η σύνδεση των σωλήνων από PVC γίνεται μέσω ειδικών τεμαχίων (σύστημα μούφας και ελαστικού δακτυλίου ή απλής μούφας με συγκόλληση), που παράγονται από το ίδιο υλικό ή από χυτοσίδηρο (μειονέκτημα: δεν παραλαμβάνουν αξονικές δυνάμεις).

Πίνακας διαμέτρων αγωγών από PVC (σε mm)

Ονομαστική διάμετρος (mm)	Εσωτερική διάμετρος (mm)		
	10 atm	12.5 atm	16 atm
63	57.0		53.6
75	67.8		63.8
90	81.4	79.0	76.6
110	99.4	97.0	93.6
125	113.0	110.2	106.4
140	126.6	123.6	119.2
160	144.6	141.2	136.2
200	180.8	176.4	170.2
225	203.4	198.6	191.6
250	226.2	220.6	212.8
280	253.2	247.0	238.4
315	285.0	278.0	268.2
355	321.2	313.2	
400	361.8	353.2	340.6
450	407.0	397.0	
500	452.2	441.2	

Υλικά σωλήνων ύδρευσης - HDPE

Ονομαστική διάμετρος (mm)	Εσωτερική διάμετρος (mm)					
	10 atm	12.5 atm	16 atm	20 atm	25 atm	32 atm
63	55.4	53.6	51.4	48.8	45.8	42.0
75	66.0	63.8	61.4	58.2	54.4	50.0
90	79.2	76.6	73.6	69.8	65.4	60.0
110	96.8	93.8	90.0	85.4	79.8	73.4
125	110.2	106.6	102.2	97.0	90.8	83.4
140	123.4	119.4	114.6	108.6	101.6	93.4
160	141.0	136.4	130.8	124.2	116.2	106.8
180	158.6	153.4	147.2	139.8	130.8	120.2
200	176.2	170.6	163.6	155.2	145.2	133.6
225	198.2	191.8	184.0	174.6	163.4	150.2
250	220.4	213.2	204.6	194.2	181.6	167.0
280	246.8	238.8	229.2	217.4	203.4	187.0
315	277.6	268.6	257.8	244.6	228.8	210.4
355	312.8	302.8	290.6	275.6	258.0	
400	352.6	341.2	327.4	310.6	290.6	
450	396.6	383.8	368.2	349.4	327.0	
500	440.6	526.4	409.2	388.4		
560	493.6	477.6	458.4			
630	555.2	537.4	515.6			

Πίνακας
διαμέτρων (σε
mm) αγωγών
από HDPE



Σωλήνες ΡΕ και ΗDΡΕ

| Σωλήνες πολυαιθυλενίου υψηλής πυκνότητας (ΗDΡΕ) |

ΗDΡΕ = High Density Polyethylene

| Σωλήνες από πολυαιθυλένιο (ΡΕ) |

Θερμοκρασία (°C)	Μέγιστη πίεση λειτουργίας (bar)		
	PN 6	PN 10	PN 16
20	6.0	10.0	16.0
30	3.2	8.0	13.0
40	2.0	6.0	11.0
50	2.6	4.0	8.0
60	1.0	3.2	6.0

ΗDΡΕ ΡΕ 100 για ονομαστική πίεση 12.5 bar και 16 bar

De (mm)	Μέγιστο πάχος e_{max} (mm)	
	PN 12.5	PN 16
50.0	-	5.3
63.0	5.4	6.7
75.0	6.4	7.8
90.0	7.7	9.4
110.0	9.3	11.5
125.0	10.6	13.1
140.0	11.8	14.6
160.0	13.6	16.8
180.0	15.3	18.9
200.0	16.9	20.9
225.0	19.1	23.6
250.0	21.2	26.1
280.0	23.7	29.2
315.0	26.7	32.9
355.0	30.0	37.0
400.0	33.8	41.7
450.0	38.1	47.0
500.0	42.3	52.2
560.0	47.4	58.4
630.0	53.1	65.8

Η μέγιστη επιτρεπόμενη πίεση
μειώνεται με την θερμοκρασία

(πηγή: Λιακόπουλος Α., «Υδραυλική»,
Εκδόσεις Τζιόλα, 2020)

Υλικά σωλήνων ύδρευσης – Χ/Σ και Α/Σ

Αγωγοί δικτύων ύδρευσης

Αγωγοί εμπορίου από χάλυβα και αμιαντοτσιμέντο

- ◆ Μικρότερη επιτρεπτή διάμετρος Φ80 mm για Α/Σ και Φ100 mm για Χ/Σ.
- ◆ Στους χαλυβδοσωλήνες (Χ/Σ) και τους αμιαντοτσιμεντοσωλήνες (Α/Σ), η ονομαστική διάμετρος ταυτίζεται πάντοτε με την εσωτερική (και όχι την εξωτερική, όπως συμβαίνει με τους πλαστικούς αγωγούς).
- ◆ Στους χαλυβδοσωλήνες διατίθενται διαμέτροι μέχρι και Φ2000, με διαβάθμιση ανά 100 m.
- ◆ Παρόλο που κατασκευάζονται από ψαθυρά υλικά, οι Α/Σ έχουν παρουσιάσει ικανοποιητική συμπεριφορά έναντι μεγάλων σεισμών στην Ελλάδα.

Πίνακας διαμέτρων εμπορίου Χ/Σ και Α/Σ (σε mm)

Χαλυβδοσωλήνες	Αμιαντοσωλήνες
100	80
150	100
200	150
250	200
300	250
350	300
400	350
500	400
600	450
700	500
800	600
900	800
1000	1000

Σωλήνες από ελατό χυτοσίδηρο

(Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN545 και ISO 2531)

DN Ονομαστική διάμετρος (mm)	Εξωτερική διάμετρος (mm)	Πάχος τοιχώματος (mm)	PN (bar)
60	77	6.0	64
80	98	6.0	64
100	118	6.1	64
125	144	6.2	64
150	170	6.3	64
200	222	6.4	62
250	274	6.8	54
300	326	7.2	49
350	378	7.7	45
400	429	8.1	42
450	480	8.6	40
500	532	9.0	38
600	635	9.9	36
700	738	10.8	34
800	842	11.7	32
900	945	12.6	31
1000	1048	13.5	30
1100	1151	14.4	29
1200	1255	15.3	28
1400	1462	17.1	28
1500	1565	18.0	27
1600	1668	18.9	27
1800	1875	20.7	26
2000	2082	22.5	25

(πηγή: Λιακόπουλος Α.,
«Υδραυλική», Εκδόσεις
Τζιόλα, 2020)

Προσέξτε τη διαφορά των
τριών διαμέτρων κάθε
σωλήνα:

- Ονομαστικής
- Εξωτερικής
- Εσωτερικής

Πλαστικοί σωλήνες ενισχυμένοι με ίνες γυαλιού (GRP-Glass Reinforced Plastic)

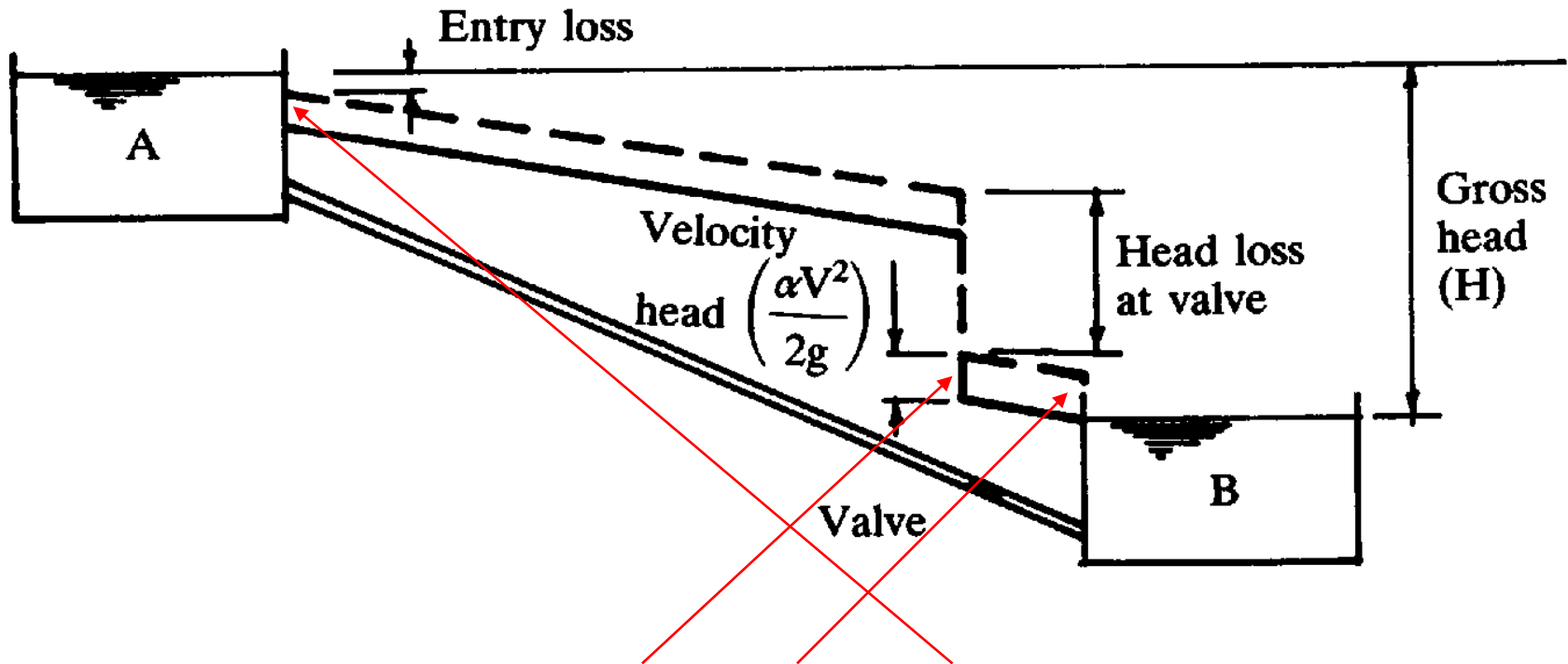
(πηγή: Λιακόπουλος Α., «Υδραυλική», Εκδόσεις Τζιόλα, 2020)

Ονομαστική διάμετρος DN (mm)	Εξωτερική διάμετρος (mm)	Πάχος τοιχώματος (mm)	Βάρος ανά μονάδα μήκους (kg/m)
100	116.0	3.1	2.2
125	142.0	3.7	3.2
150	168.0	4.3	4.5
200	220.5	5.5	7.5
250	272.1	6.6	11.0
300	324.5	6.1	12.0
350	376.4	6.9	14.0
400	427.3	7.7	20.0
450	478.2	8.4	24.0
500	530.1	9.4	30.0
600	617.0	10.9	41.0
700	719.0	12.5	55.0
800	821.0	14.1	71.0
900	923.0	15.7	90.0
1000	1025.0	17.4	111.0
1100	1127.0	19.0	133.0
1200	1229.0	20.6	158.0
1300	1331.0	22.2	185.0
1400	1433.0	23.9	214.0
1500	1535.0	25.5	245.0
1600	1637.0	27.2	278.0
1800	1841.0	30.4	352.0
2000	2045.0	33.3	432.0
2200	2249.0	33.7	458.0
2400	2453.0	36.1	472.0

Τοπικές απώλειες - γενικά

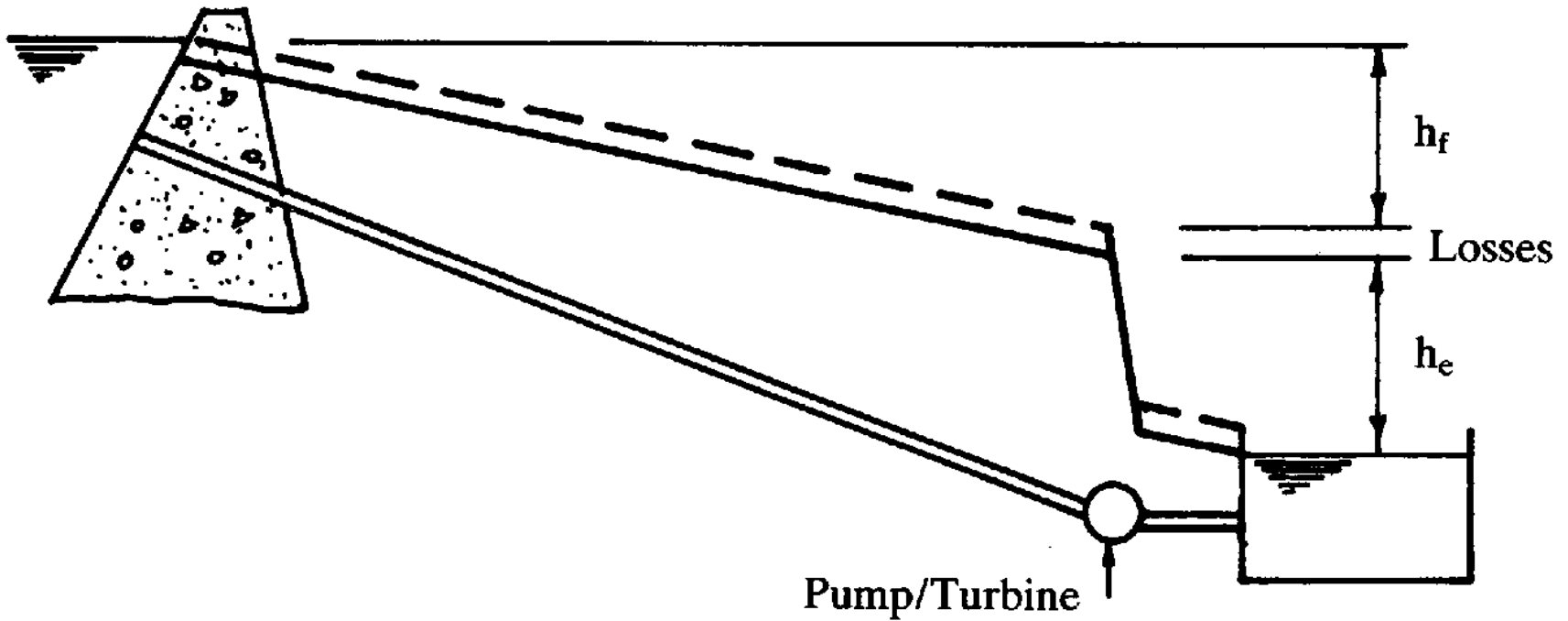
Τοπικές απώλειες ενέργειας εμφανίζονται όπου υπάρχουν οποιοδήποτε είδους εμπόδια στη ροή, όπως καμπύλα τμήματα, στροφές, στενώσεις, βαλβίδες, πλατύνσεις, διαφράγματα, είσοδοι και έξοδοι από δεξαμενή κλπ.

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \sum \Delta h = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \sum_{i=1}^n K_i \frac{V_i^2}{2g} + \sum_{j=1}^m f_j \frac{L_j V_j^2}{D_j 2g}$$



Παράδειγμα απωλειών σε βάννα, είσοδο και έξοδο

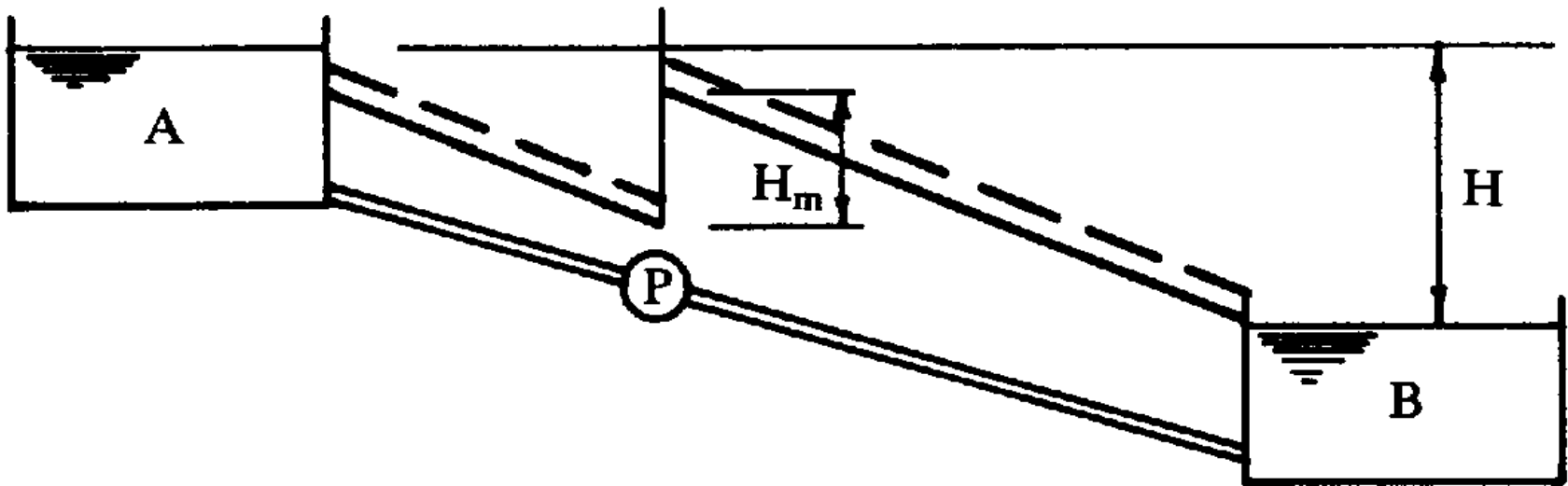
Απώλειες ενέργειας σε τουρμπίνα



$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \sum_{i=1}^n K_i \frac{V_i^2}{2g} + \sum_{j=1}^m f_j \frac{L_j}{D_j} \frac{V_j^2}{2g} + h_{turb}$$

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} - h_{turb} = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \sum_{i=1}^n K_i \frac{V_i^2}{2g} + \sum_{j=1}^m f_j \frac{L_j}{D_j} \frac{V_j^2}{2g}$$

Μανομετρικό ύψος αντλίας



$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_{pump} = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \sum_{i=1}^n K_i \frac{V_i^2}{2g} + \sum_{j=1}^m f_j \frac{L_j}{D_j} \frac{V_j^2}{2g}$$

Ισχύς αντλίας: $P = \gamma Q h_{pump}$

Τοπικές απώλειες - γενικά

- Οι τοπικές απώλειες δίνονται από
- Όπου U η μέση ταχύτητα στο σημείο
- Και K συντελεστής με διαφορετική τιμή σε κάθε περίπτωση
- Υπενθυμίζεται ο τύπος των Darcy-Weisbach για τις γραμμικές απώλειες, για την ομοιότητα:

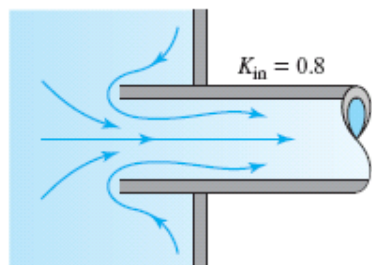
$$\Delta h = K \cdot \frac{U^2}{2g}$$

$$\Delta h = f \cdot \frac{l}{D} \cdot \frac{U^2}{2g}$$

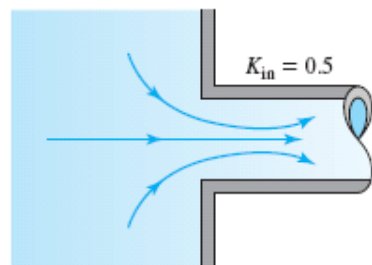
Σε γενικές γραμμές, μικρές κατασκευαστικές λεπτομέρειες επιφέρουν σημαντικές αλλαγές στον συντελεστή απωλειών, όταν αλλάζουν σημαντικά την μορφή των γραμμών ροής:

Μεγάλες αλλαγές στις γραμμές ροής και στο K

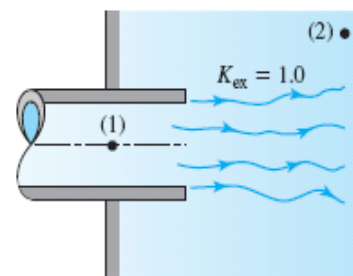
μικρές αλλαγές στις γραμμές ροής και στο K



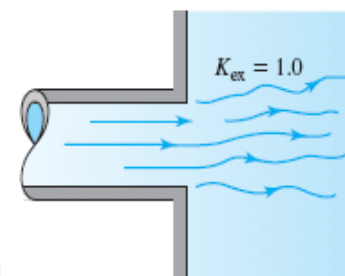
(B)



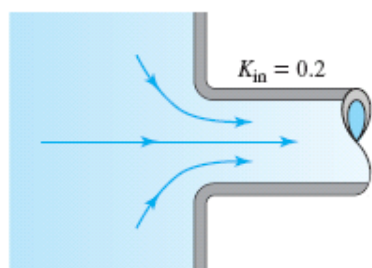
(B)



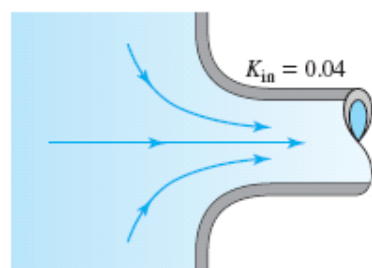
(B)



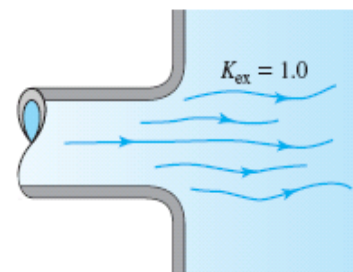
(B)



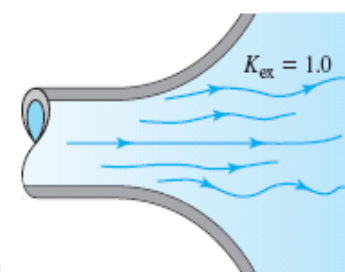
(D)



(D)



(D)



(D)

(από Παπαϊωάννου Α.Θ. «Μηχανική των Ρευστών», 1996, εκδ. Κοράλι)

Πίνακας 4.3 Επιλεγμένες τιμές συντελεστή τοπικών απωλειών K^1

Περιγραφή	Σκαρίφημα	r/d	K		Πηγή	
Εισροή σε σωλήνα $H_{\ell_m} = K_e V^2/2g$		0.0	K_e		(1)	
		0.1	0.50			
		>0.2	0.12			
		0.03				
Στένωση $H_{\ell_m} = K_c V_2^2/2g$		D_2/D_1	K_c	K_c	(1)	
			$\theta = 60^\circ$	$\theta = 180^\circ$		
			0.00	0.08		0.50
			0.20	0.08		0.49
			0.40	0.07		0.42
			0.60	0.06		0.32
			0.80	0.05		0.18
0.90	0.04	0.10				
Διεύρυνση $H_{\ell_m} = K_E V_1^2/2g$		D_1/D_2	K_E	K_E	(1)	
			$\theta = 10^\circ$	$\theta = 180^\circ$		
			0.00	1.00		
			0.20	0.92		
			0.40	0.72		
			0.60	0.42		
			0.80	0.03		
Απότομη αλλαγή διεύθυνσης (90° miter bend)		Χωρίς κατευθυντήρια πτερόγνια	$K_b = 1.1$		(2)	
		Με κατευθυντήρια πτερόγνια	$K_b = 0.2$		(2)	
Αγωγός ομαλά καμπυλωμένος		r/d	K_b	K_b	(3) and (4)	
			$\theta = 45^\circ$	$\theta = 90^\circ$		
			1	0.10		0.35
			2	0.09		0.19
			4	0.10		0.16
6	0.12	0.21				
Απώλειες σε δικλίδες, ειδικά τεμάχια, κλπ.	Σφαιροειδής δικλίδα, εντελώς ανοικτή (Globe valve-wide open)	$K_v = 10.0$				
	Γωνιακή δικλίδα, εντελώς ανοικτή (Angle valve-wide open)	$K_v = 5.0$				
	Συρταρωτή δικλίδα, εντελώς ανοικτή (Gate valve-wide open)	$K_v = 0.2$				
	Συρταρωτή δικλίδα, 50% ανοικτή (Gate valve-half open)	$K_v = 5.6$				
Εξαρτήματα με σπείρωμα	Καμπή 180° (return bend)	$K_b = 2.2$				
	Καμπή 90° (90° elbow)	$K_b = 0.9$				
	Καμπή 45° (45° elbow)	$K_b = 0.4$				
	Ενδεικτικές τιμές					

Πίνακας 4.4 Συντελεστές τοπικών απωλειών για ειδικά τεμάχια και δικλίδες²

$$\left(H_{\ell_m} = K \frac{V^2}{2g} \right)$$

Τεμάχιο ή δικλίδα	K	Σκαρίφημα
α. Καμπές (elbows), ειδικά τεμάχια		
90°, κανονικής ακτίνας καμπής, με φλάντζες (flanged)	0.3	
90°, κανονικής ακτίνας καμπής, με σπείρωμα (threaded)	1.5	
90°, μεγάλης ακτίνας καμπής, με φλάντζες (flanged)	0.2	
90°, μεγάλης ακτίνας καμπής, με σπείρωμα (threaded)	0.7	
45°, μεγάλης ακτίνας καμπής, με φλάντζες (flanged)	0.2	
45°, κανονικής ακτίνας καμπής, με σπείρωμα (threaded)	0.4	
β. Καμπές 180° (return bends)		
με φλάντζες (flanged)	0.2	
με σπείρωμα (threaded)	1.5	
γ. Ταυ (Tees)		
Ευθύγραμμη ροή, με φλάντζες (Line flow, flanged)	0.2	
Ευθύγραμμη ροή, με σπείρωμα (Line flow, threaded)	0.9	
Διακλαδούμενη ροή, με φλάντζες, (Branch flow, flanged)	1.0	
Διακλαδούμενη ροή, με σπείρωμα, (Branch flow, threaded)	2.0	
δ. Κοχλιοτή ένωση (Union, threaded)	0.08	
ε. Δικλίδες		
Σφαιροειδής δικλίδα (εντελώς ανοικτή) (globe valve)	10	
Γωνιακή δικλίδα, (εντελώς ανοικτή)	2	
Συρταρωτή δικλίδα, (εντελώς ανοικτή)	0.15	
Συρταρωτή δικλίδα, (¼ κλειστή)	0.26	
Συρταρωτή δικλίδα, (½ κλειστή)	2.1	
Συρταρωτή δικλίδα, (¾ κλειστή)	17	
Σφαιρική δικλίδα, (ανοικτή) (ball valve)	0.05	
Σφαιρική δικλίδα, (1/3 κλειστή) (ball valve)	5.5	
Σφαιρική δικλίδα, (2/3 κλειστή) (ball valve)	210	

¹ Λοοσαρμογή από Roberson, A.J., Cassidy, J.J. and Chaudhry, M.H., "Hydraulic Engineering", Wiley, 1995.

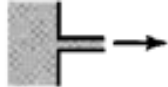






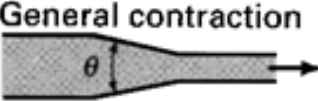
² ASHRAE Handbook, 1977 Fundamentals, Am. Soc. of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, New York, 1977.

³ Streeter, V.L. (ed.), Handbook of Fluid Dynamics, McGraw-Hill, New-York, 1961.

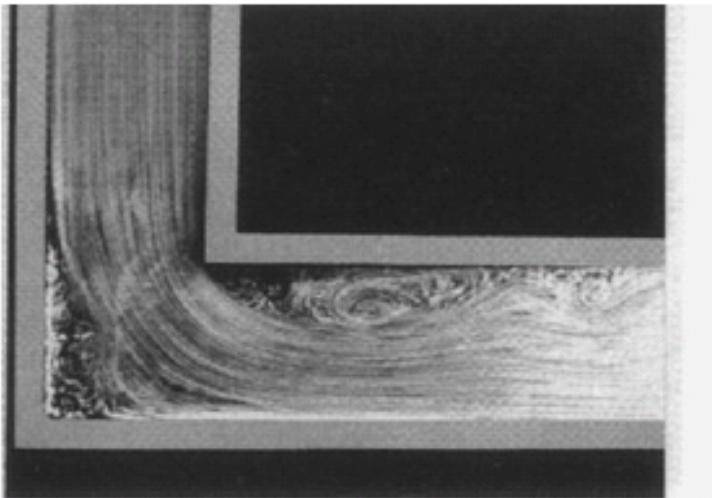
⁴ Idel'chik, I.E., Handbook of Hydraulic Resistance-Coefficients of Local Resistance and of Friction, Trans. A. Barouch. Israel Program for Scientific Translations (1966).

⁵ Miller, D.S., Internal Flow-A Guide to Losses in Pipe and Duct Systems, British Hydromechanics Research Association, Granfield-Bedford, England, 1971.

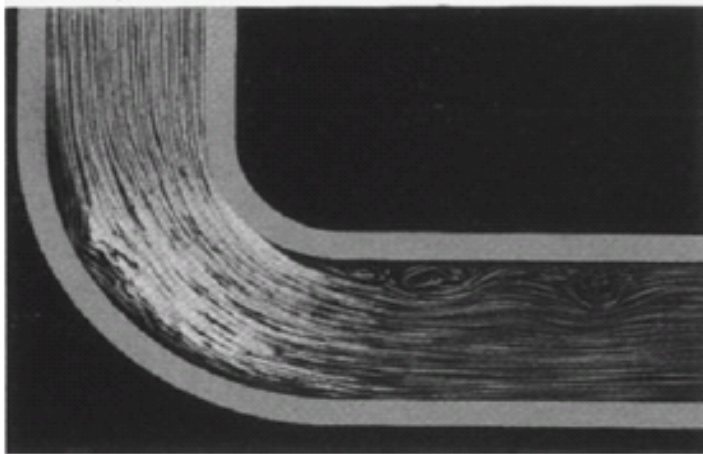
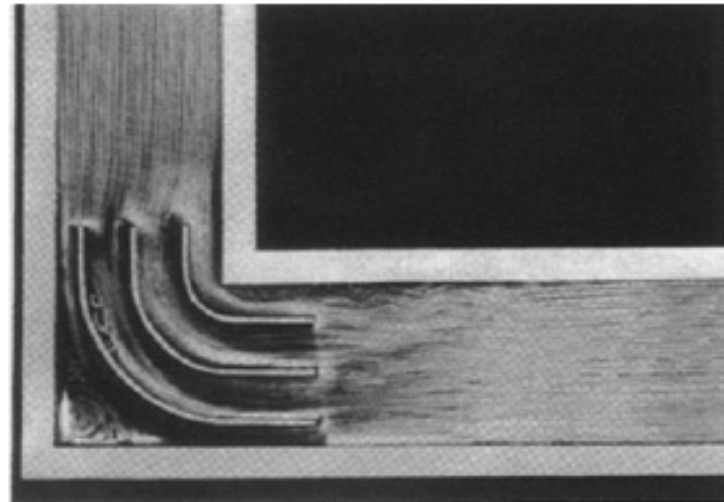
Τιμές του Κ
για διάφορες
συνθήκες
("The civil engineering
Handbook,
Fundamentals of
Hydraulics". Purdue
University)

Square-edged entrance		0.5	
Reentrant entrance		0.8	
Well-rounded entrance		0.03	
Pipe exit		1.0	
	<u>Area ratio</u>		
Sudden contraction ^b		2:1	0.25
		5:1	0.41
		10:1	0.46
	<u>Area ratio A/A₀</u>		
Orifice plate		1.5:1	0.85
		2:1	3.4
		4:1	29
		≥ 6:1	$2.78 \left(\frac{A}{A_0} - 0.6 \right)^2$
Sudden enlargement ^c		$\left(1 - \frac{A_1}{A_2} \right)^2$	
90° miter bend (without vanes)		1.1	
		(with vanes)	0.2
General contraction		(30° included angle)	0.02
		(70° included angle)	0.07

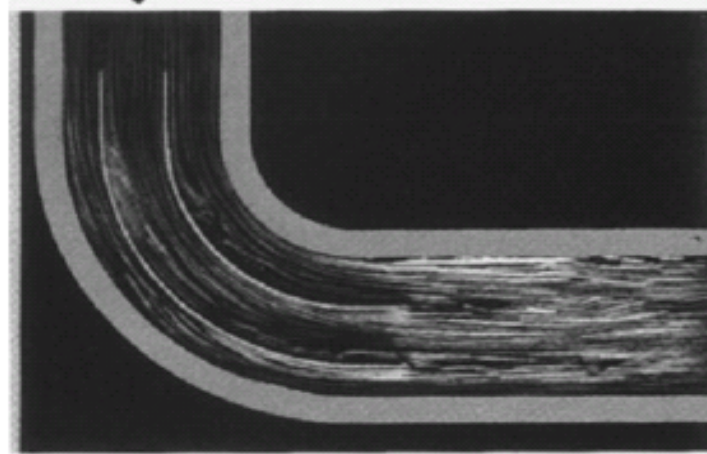
Επειδή μικρές αλλαγές στη γεωμετρία, τροποποιούν τη ροή ...



(B)

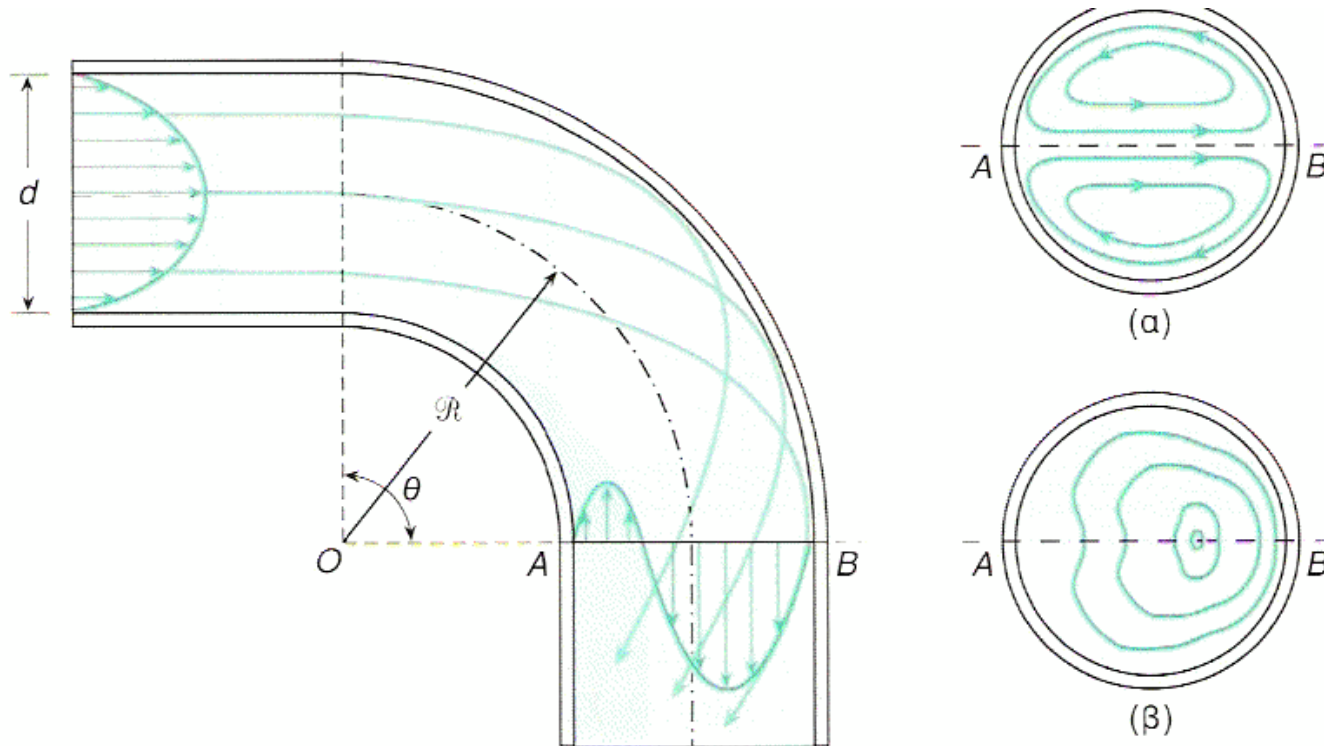


(B)



... οι συντελεστές απωλειών δεν είναι απόλυτοι.

Αιτία των απωλειών σε στροφή αγωγού

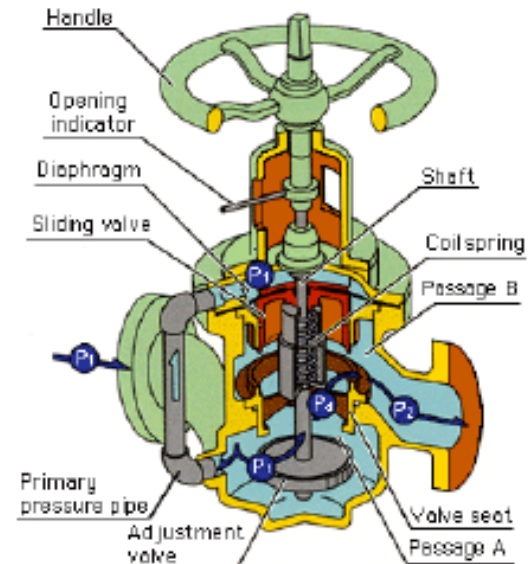


Σχήμα 4-29 Γενική μορφή ροής σε καμπύλο τμήμα αγωγού [(α) διπλός εγκάρσιος στροβιλισμός και (β) ισοταχείς καμπύλες].

Ειδικές συσκευές με τοπικές απώλειες

Ειδικές συσκευές δικτύου

- ❖ **Δικλείδες:** Συσκευές ρύθμισης της παροχής, που τοποθετούνται σε όλες τις διακλαδώσεις, ώστε σε περίπτωση βλάβης να εξασφαλίζουν απομόνωση του υπόλοιπου δικτύου. Οι συνηθέστεροι τύποι δικλείδων είναι η συρταρωτή (σχήμα πάνω δεξιά) και η «πεταλούδα» (σχήμα κάτω αριστερά).
- ❖ **Βαλβίδες αντεπιστροφής:** Εγκαθίστανται κυρίως σε καταθλιπτικούς αγωγούς, ώστε να εξασφαλίσουν ότι η ροή γίνεται μόνο προς μια συγκεκριμένη κατεύθυνση.

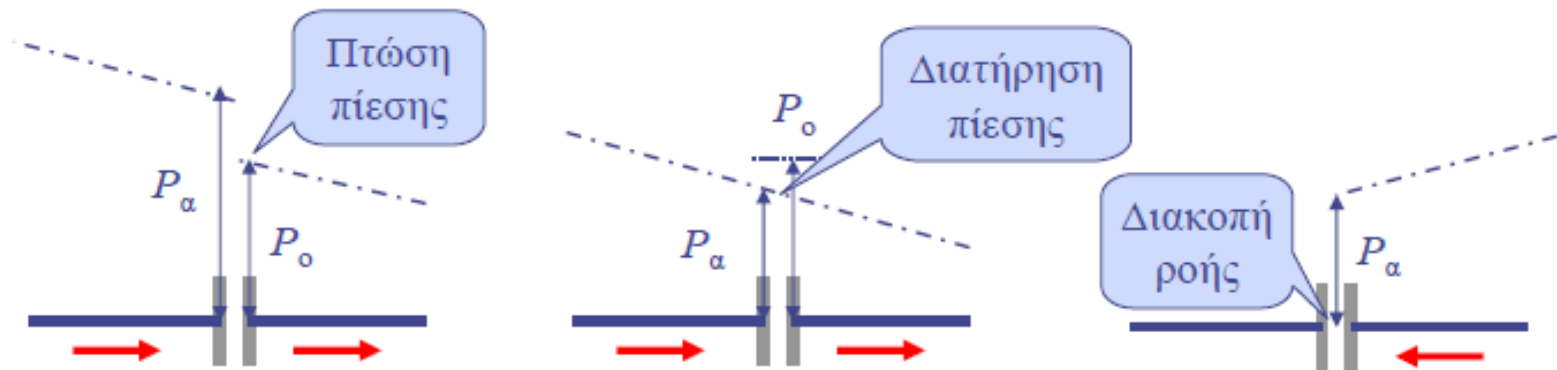


- ❖ **Εκκενωτές:** Διακλαδώσεις τύπου «T», τοποθετούνται σε χαμηλά σημεία του δικτύου, και επιτρέπουν την ελεύθερη εκροή προς ένα φυσικό αποδέκτη, για έκπλυση του δικτύου και απομάκρυνση των φερτών.
- ❖ **Αερεξαγωγοί:** Συνήθως διπλού στομίου, τοποθετούνται σε υψηλά σημεία του δικτύου (χαμηλή πίεση). Σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας, χρησιμεύουν για απομάκρυνση του αέρα, ενώ, αντίθετα, στην περίπτωση πλήγματος εισάγουν αέρα, ώστε να πετύχουν γρήγορη αποσυμπίεση του δικτύου.

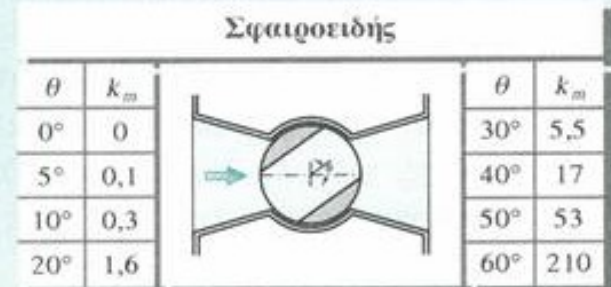
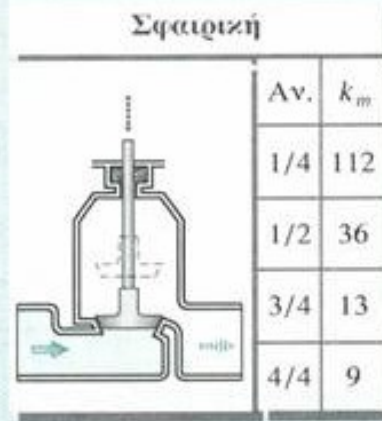
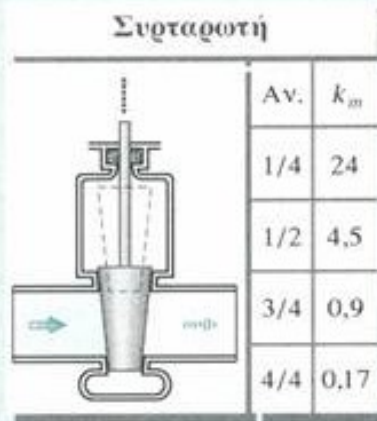
Ειδικές συσκευές με τοπικές απώλειες

Μειωτές πίεσης

- ◆ Χρησιμοποιούνται στα σημεία διαχωρισμού των πιεζομετρικών ζωνών και όπου, γενικά, επιδιώκεται μείωση του ενεργειακού υψομέτρου, στην περίπτωση που η τοπογραφία και χωροταξία δεν επιτρέπουν τη χρήση πιεζοθραυστικών φρεατίων.
- ◆ Οι μειωτές πίεσης είναι ειδικές αυτόματες βαλβίδες που προκαλούν σταθερή πίεση εξόδου P_o , αν η ανάντη πίεση P_a είναι μεγαλύτερη από την P_o , ενώ σε περίπτωση αντιστροφής της ροής λειτουργούν ως βαλβίδες αντεπιστροφής.
- ◆ Ο τριπλός τρόπος λειτουργίας των μειωτών πίεσης (βλ. σκαρίφημα) καθιστά εξαιρετικά δύσκολη την προσομοίωσή τους στα μαθηματικά μοντέλα.



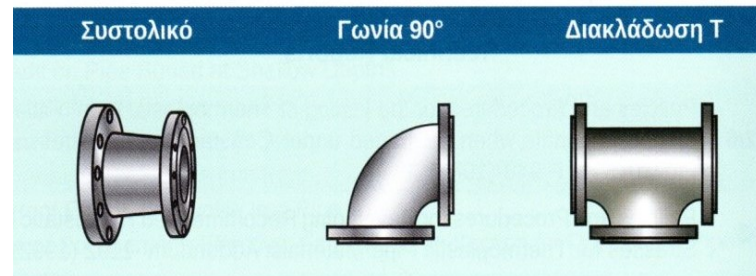
Συντελεστής απωλειών σε βαλβίδες διαφόρων τύπων



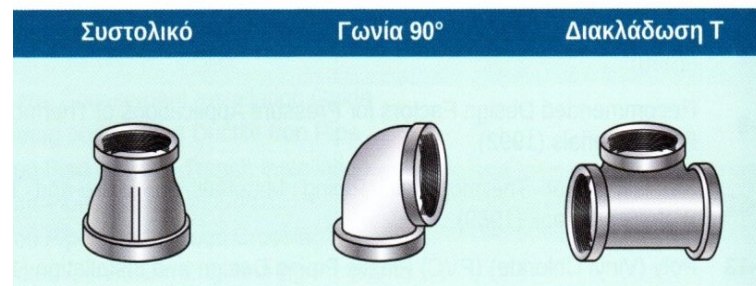
Βασικά είδη εξαρτημάτων σωληνογραμμών

(πηγή: Λιακόπουλος Α., «Υδραυλική», Εκδόσεις Τζιόλα, 2020)

Με φλάντζες

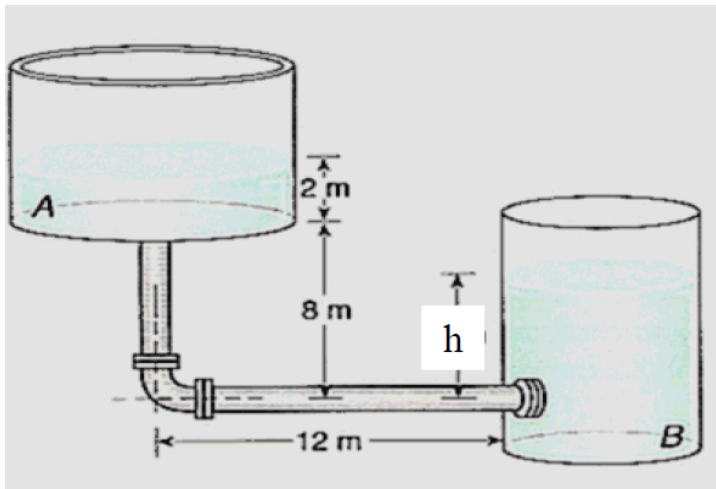


Με σπείρωμα



Τοπικές απώλειες

- Συντελεστές αναλυτικά για περίπλοκες περιπτώσεις, βλέπε σημειώσεις – κατασκευαστή.
- Σε μελέτες μεγάλης κλίμακας λαμβάνονται υπόψη σαν ποσοστό επί των γραμμικών



1. Στο σχήμα, οι στάθμες στις δύο ανοικτές δεξαμενές παραμένουν σταθερές. Οι σωλήνες είναι όλοι από χυτοσίδηρο με απόλυτη τραχύτητα 0.25mm και έχουν εσωτερική διάμετρο 5cm. Ο συντελεστή τοπικών απωλειών της στροφής είναι $K=0.5$. Να βρεθεί το ύψος h του σχήματος, αν η παροχή από τη μία δεξαμενή στην άλλη είναι 4 lt/sec. (μονάδες 3.5)

$$\frac{p_A}{\gamma} + z_A + \frac{v_A^2}{2g} = \frac{p_B}{\gamma} + z_B + \frac{v_B^2}{2g} + \sum_{i=1}^n K_i \frac{V_i^2}{2g} + \sum_{j=1}^m f_j \frac{L_j}{D_j} \frac{V_j^2}{2g}$$

$$z_A - z_B = (0.5 + 0.5 + 1) \frac{V^2}{2g} + f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

$$10 - h = \left(2.0 + f \frac{L}{D} \right) \frac{V^2}{2g} \quad h = 10 - (400f + 2) \frac{V^2}{2g}$$

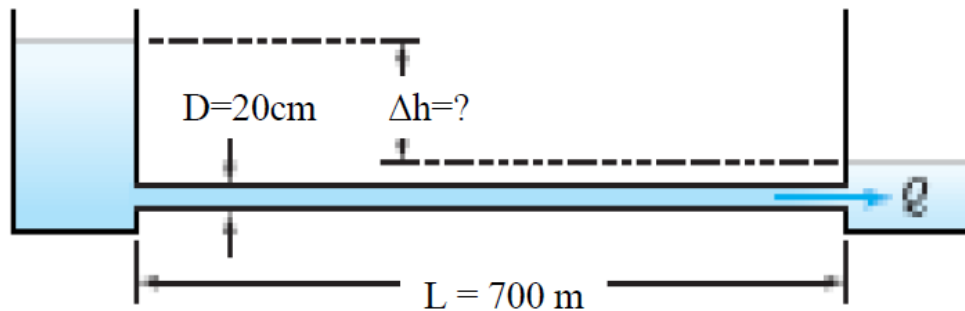
$$V = 2.037 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{VD}{\nu} = \frac{2.037 * 0.05}{1.31 * 10^{-6}} = 77755$$

$$\frac{e}{D} = \frac{0.25}{50} = 0.005$$

$$\left. \begin{array}{l} Re = 77755 \\ \frac{e}{D} = 0.005 \end{array} \right\} f=0.032 \quad h=6.869\text{m}$$

Οι δύο ανοικτές δεξαμενές του παρακάτω σχήματος περιέχουν νερό. Η είσοδος στον αγωγό καθώς και η έξοδος δεν είναι στρογγυλεμένες. Ο αγωγός είναι λείος. Το μήκος του είναι $L = 700 \text{ m}$. Η διάμετρος του $D = 20 \text{ cm}$. Η παροχή είναι $Q = 26 \text{ l/sec}$. Να βρεθεί η υψομετρική διαφορά των δύο ελεύθερων επιφανειών. Το κινηματικό ιξώδες του νερού είναι $\nu = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$. (μονάδες 3.5)



$$z_A - z_B = (0.5 + 1) \frac{V^2}{2g} + f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

$$z_A - z_B = \left(1.5 + f \frac{700}{0.2} \right) \frac{V^2}{2g}$$

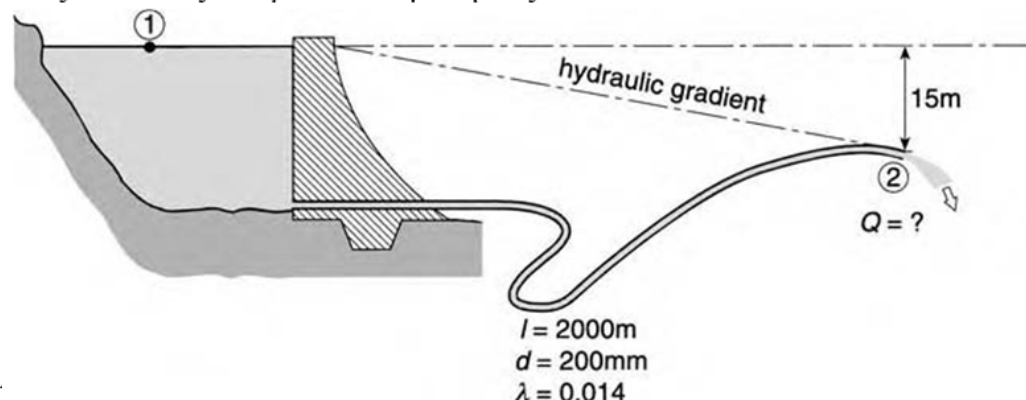
$$V = 0.83 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{VD}{\nu} = 165521$$

$$\frac{e}{D} = 0.000001$$

$$f = 0.0161 \quad h = 2.02 \text{ m}$$

Από τον ταμιευτήρα του σχήματος, διοχετεύεται νερό με παροχή Q . Να βρεθεί η παροχή αυτή, αν ξέρουμε ότι το μήκος του σωλήνα είναι $l = 2000$ m, η εσωτερική του διάμετρος $d = 200$ mm, ο συντελεστής γραμμικών απωλειών $f = 0.014$, και η υψομετρική διαφορά μεταξύ ελεύθερης επιφάνειας του νερού στον ταμιευτήρα και εξόδου της παροχής είναι 15 m. Οι τοπικές απώλειες θεωρούνται αμελητέες.



Από την εξίσωση Bernoulli, προκύπτει ότι

$$p_1/\gamma + z_1 + V_1^2/(2g) =$$

όπου τα σημεία 1 και 2 αντιστοιχούν στο σχήμα. Στη συνέχεια, μηδενίζουμε το φορτίο ταχύτητας και το φορτίο πίεσης στο σημείο 1 και το φορτίο πίεσης στο σημείο 2:

$$z_1 = z_2 + V_2^2/(2g) + \Delta h$$

Το Δh εκφράζει το σύνολο των απωλειών. Οι τοπικές όμως απώλειες, δεν λαμβάνονται υπόψη στην συγκεκριμένη περίπτωση. Έτσι:

$$z_1 = z_2 + V^2/(2g) + f(L/D) (V^2/2g)$$

όπου το V_2 αντικαταστάθηκε με το V , αφού πρόκειται για την ίδια ταχύτητα, την ταχύτητα στην έξοδο. Λύνοντας ως προς $V^2/(2g)$ και αντικαθιστώντας $z_1 - z_2 = 15\text{m}$, βρίσκω:

$$V^2/(2g) = 15\text{m} / [(fL/D)+1]$$

Με δεδομένα $L=2000\text{m}$, $D=0.2\text{m}$, και $f=0.014$, βρίσκουμε $V^2=2.09$ (m/sec)²,

Και $V = 1.45\text{m/sec}$, οπότε, από την εξίσωση της συνέχειας: $Q=V\pi D^2/4 = 0.0454$ m³/sec.

Από τη δεξαμενή A, η ελεύθερη στάθμη της οποίας βρίσκεται σε υψόμετρο $z_A=5\text{m}$ υπάρχει ροή νερού προς τη δεξαμενή B ($z_B=10\text{m}$) με τη βοήθεια μιάς αντλίας. όπως φαίνεται στο σχήμα. Η παροχή της ροής είναι $40 \text{ m}^3/\text{hr}$

I. Η διάμετρος των κυλινδρικών

σωλήνων που ενώνουν τις δεξαμενές είναι 10cm , και η τραχύτητά τους 0.1mm . Να βρεθούν:

α) οι συνολικές απώλειες φορτίου της ροής και

β) η ωφέλιμη ισχύς της αντλίας.

Δίνεται το κινηματικό ιξώδες του νερού ίσο με $\nu=10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$.

(μονάδες 2.0 + 1.5)

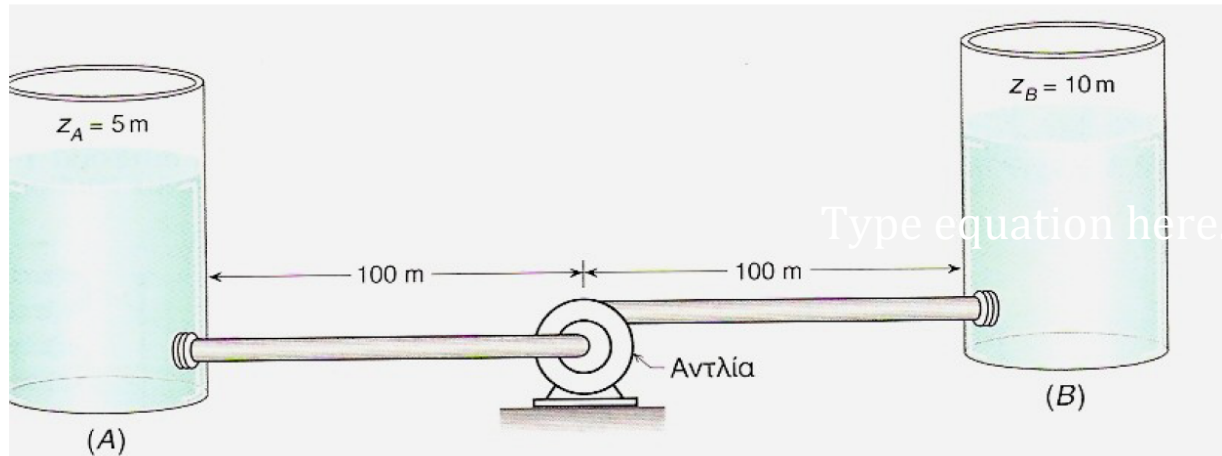
$$Q = 40 \text{ m}^3/\text{hr} = 0.0111 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V = 4Q/(\pi D^2) = 1.415 \text{ m/s}$$

$$\text{Re} = VD/\nu = 141500$$

$$e/D = 0.001$$

$$f = 0.0216$$



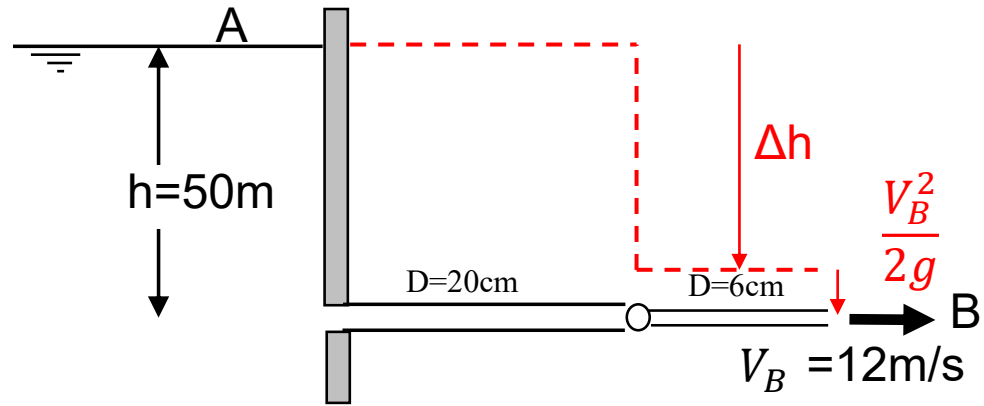
$$\frac{p_A}{\gamma} + \frac{V_A^2}{2g} + z_A + h_{\mu\alpha\nu} = \frac{p_B}{\gamma} + \frac{V_B^2}{2g} + z_B + \Sigma\Delta h \Rightarrow h_{\mu\alpha\nu} = z_B - z_A + \Sigma\Delta h$$

$$\Sigma\Delta h = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} + (K_{\epsilon\iota\sigma} + K_{\epsilon\xi}) \frac{V^2}{2g} = 4.56 \text{ m}$$

$$h_{\mu\alpha\nu} = z_B - z_A + \Sigma\Delta h = 9.56 \text{ m}$$

$$P = \gamma Q h_{\mu\alpha\nu} = 1042 \text{ W}$$

Να υπολογιστεί η ισχύς του υδροστροβίλου του σχήματος, αγνοώντας όλες τις απώλειες τριβής, τοπικές και γραμμικές. Το ύψος h είναι 50 m. Ο τύπος που δίνει την ισχύ του υδροστροβίλου σε συνάρτηση με την παροχή και το Δh είναι $P = \gamma \cdot Q \cdot \Delta h$



$$Q = VA = V \frac{\pi D^2}{4} = 12 \frac{\pi \cdot 0.06^2}{4} = 0.0339 \text{ m}^3/\text{sec}$$

Ύψος υδροστροβίλου: Δh

Επειδή αγνοούνται οι γραμμικές και τοπικές απώλειες, η γραμμή ενέργειας είναι οριζόντια μέχρι τον υδροστροβίλο. Η διαφορά φορτίου h , καταναλώνεται μόνο στον υδροστροβίλο και στο φορτίο της ταχύτητας εξόδου.

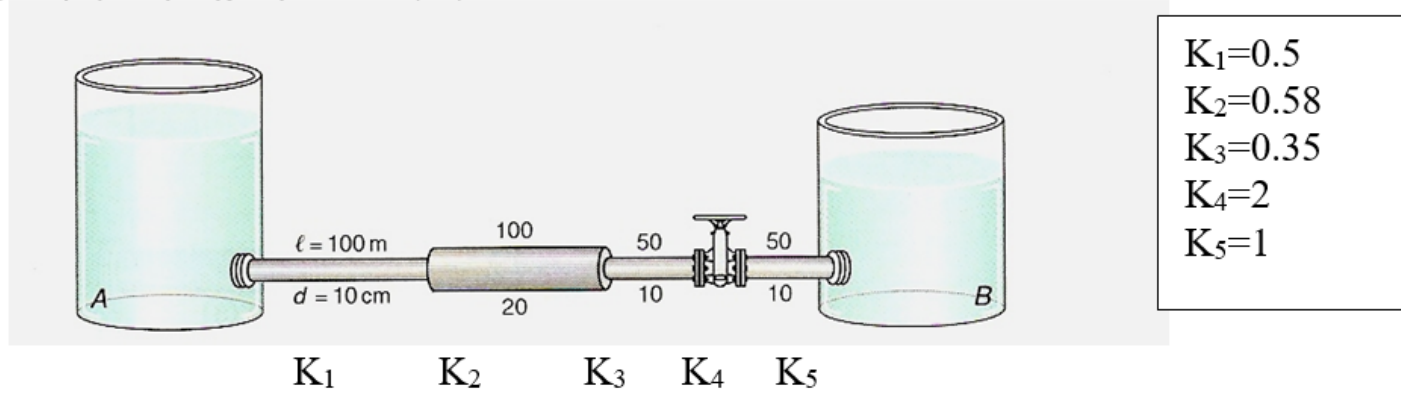
$$\cancel{\frac{p_A}{\gamma}} + z_A + \cancel{\frac{V_A^2}{2g}} = \cancel{\frac{p_B}{\gamma}} + z_B + \frac{V_B^2}{2g} + \Delta h$$

$$z_A - z_B = \frac{V_B^2}{2g} + \Delta h = h \text{ και επομένως } \Delta h = h - \frac{V_B^2}{2g}$$

$$\Delta h = 50 - \frac{12^2}{2 \cdot 9.81} = 42.66 \text{ m και η ισχύς του στροβίλου:}$$

$$P = \gamma \cdot Q \cdot \Delta h = 9810 \cdot 0.0339 \cdot 42.66 = 14199 \text{ W}$$

Δύο ανοικτές δεξαμενές νερού Α και Β συνδέονται μεταξύ τους όπως φαίνεται στο σχήμα. Η υψομετρική διαφορά των ελεύθερων επιφανειών του νερού στις δύο δεξαμενές είναι 50m. Ο άξονας της σωλήνωσης βρίσκεται 5m χαμηλότερα από την ελεύθερη επιφάνεια του νερού στη δεξαμενή Β. Ο συντελεστής τριβής όλων των σωλήνων είναι $f=0.015$. Οι συντελεστές τοπικών απωλειών K_1 έως K_5 που αντιστοιχούν στα πέντε αντίστοιχα σημεία όπως φαίνεται, δίνονται στο πινακάκι του σχήματος. (α) Να υπολογιστεί η ογκομετρική παροχή του νερού και (β) Να σχεδιαστούν η γραμμή ενέργειας και η υδραυλική γραμμή της ροής. Διευκρινίζεται ότι οι συντελεστές K τοπικών απωλειών αντιστοιχούν όλες στην μέση ταχύτητα του αγωγού των 10cm.



$$\frac{P_A}{\gamma} + z_A + \frac{V_A^2}{2g} = \frac{P_B}{\gamma} + z_B + \frac{V_B^2}{2g} + \Sigma \Delta h \quad z_A - z_B = f \frac{L_{10}}{D_{10}} \frac{V_{10}^2}{2g} + f \frac{L_{20}}{D_{20}} \frac{V_{20}^2}{2g} + (\Sigma K_i) \frac{V_{10}^2}{2g}$$

$$V_{10} \frac{\pi D_{10}^2}{4} = V_{20} \frac{\pi D_{20}^2}{4} \quad \text{ή} \quad V_{20} = \frac{1}{4} V_{10}$$

άρα η παραπάνω εξίσωση γίνεται:

$$50m = 0.015 \cdot \frac{200}{0.1} \frac{V_{10}^2}{2g} + 0.015 \cdot \frac{100}{0.2} \frac{1}{16} \frac{V_{10}^2}{2g} + (0.5 + 0.58 + 0.35 + 2 + 1) \cdot \frac{V_{10}^2}{2g}$$

που δίνει: $V_{10} = 5.302 \text{ m/sec}$, οπότε $Q = V_{10} A_{10} = 0.166 \text{ m}^3/\text{sec}$