

2.4 Απώλειες ενέργειας σε Ανομοιόμορφη ροή

2.4.1 Εισαγωγή

- Οιαδήποτε **γεωμετρική μεταβολή** σε ομοιόμορφο αγωγό συνεπάγεται **διατάραξη** των χαρακτηριστικών της ομοιόμορφης ροής. Σε περιοχές ανομοιόμορφης ροής παρατηρούνται επιταχύνσεις ή επιβραδύνσεις της ροής, αποκόλληση από τα στερεά όρια, δευτερεύουσα ροή, ανάπτυξη οριακών στρωμάτων κ.λπ. (βλ. 1.1.4)
- Ως αποτέλεσμα των παραπάνω εμφανίζονται **απώλειες ενέργειας**, οι οποίες **δεν** οφείλονται σε αντιστάσεις επιφανειακών **τριβών** αλλά κυρίως σε **ανάπτυξη τύρβης** μεγάλης κλίμακας.
- Οι απώλειες αυτές λαμβάνουν χώρα μέσα σε **μικρό μήκος** κατά τη κατεύθυνση της κύριας ροής και ονομάζονται εξ' αυτού **τοπικές: h_T** . Έχουν συνήθως **μικρό μέγεθος** σε **σχέση** με το σύνολο των απωλειών λόγω τριβών - **γραμμικών απωλειών** και ονομάζονται εξ' αυτού **δευτερεύουσες**.
- Συνήθειες **γεωμετρικές μεταβολές** είναι:
 - Μεταβολές στη **διατομή**: Συστολές ή διαστολές, απότομες ή βαθμιαίες. Ειδικώς ενδιαφέρουσα περίπτωση αποτελεί το μήκος εισόδου από δεξαμενή σε σωλήνα (βλ. 2.1.1)
 - Μεταβολές στην **κατεύθυνση**: Σε οριζοντιογραφία ή μηκοτομή, απότομες ή βαθμιαίες.
 - Μεταβολές λόγω **διακλαδώσεων**: Κόμβοι συμβολής αγωγών.
 - Μεταβολές λόγω **παρεμβολής συσκευών** μετρήσεων ή υδραυλικών **μηχανών**.
 - Μεταβολές λόγω **τοποθέτησης** συσκευών ελέγχου της ροής - **δικλείδων**. Την περίπτωση αυτή θα εξετάσουμε ιδιαίτερας εις τη συνέχεια (βλ. 2.4.4).
- Οι απώλειες λόγω ανομοιόμορφης ροής – τοπικές – απώλειες εκφράζονται γενικώς ως:
 - $$h_T = \frac{k_T \cdot V^2}{2 \cdot g} \quad (27), \text{ όπου:}$$
 - **k_T** : ο **αδιάστατος** συντελεστής τοπικών απωλειών (βλ. 2.4.2)
 - **V** : **χαρακτηριστική** ταχύτητα – συνήθως η **μεγαλύτερη** ταχύτητα των αγωγών του κόμβου, ή όπως ειδικώς ορίζεται

2.4.2 Επισημάνσεις

- Οι **τοπικές** απώλειες είναι **προφανώς ανεπιθύμητες** και συνήθως **υπολείπονται** των γραμμικών κατά **τάξη μεγέθους** εντός των ορίων της συνολικής ακρίβειας των υπολογισμών (βλ. 2.3.2).
Εξαιρέση αποτελούν οι τοπικές απώλειες λόγω της λειτουργίας **δικλείδων**, οι οποίες **προβλέπονται** για τον **έλεγχο** της ροής (βλ. 2.4.4).

- Το **μικρό μέγεθος** των τοπικών απωλειών επιτρέπει συνήθως να **αμελούνται** εις τους υπολογισμούς δικτύων, (ή να λογίζονται ως ποσοστό των γραμμικών).
 - Το **σύνηθες κριτήριο**, με το οποίο **αμελούνται** οι τοπικές απώλειες είναι:

$$L > 1.000 \cdot D \quad (28)$$
 - όπου **L**: συνολικό μήκος του δικτύου
 - **D**: μέση διάμετρος των σωλήνων του δικτύου
 - Εις το μάθημα <Αστικά Υδραυλικά Έργα> του 6^{ου} εξαμήνου θα διδαχθείτε την παραδοχή εκτίμησης του μεγέθους των τοπικών απωλειών ως ποσοστού (5%~10%) των γραμμικών απωλειών.
Για τις ανάγκες του <εδώ> μαθήματος θα **αμελήσουμε**- ή **δεν θα αμελήσουμε** - τις τοπικές απώλειες με βάση την (28).
- Προσοχή! Εάν σε ένα κόμβο συνυπάρχουν περισσότερες από μία περιπτώσεις εμφάνισης τοπικών απωλειών (π.χ. αλλαγή διαμέτρου και αλλαγή κατεύθυνσης), **υπολογίζουμε** την **κάθε περίπτωση χωριστά** και **αθροίζουμε**.

2.4.3 Πρακτικές εφαρμογές

- Οι **τοπικές** απώλειες είναι *προφανώς μεγαλύτερες* όταν:
 - Η ροή είναι **αποκλίνουσα** (διαστολές) σε σύγκριση με αντίστοιχη μεταβολή σε συγκλίνουσα ροή (συστολές) (βλ. 1.1.4).
 - Η μεταβολή είναι **απότομη** παρά όταν είναι βαθμιαία.
- Οριακή - ακραία περίπτωση συστολής αποτελεί η είσοδος από δεξαμενή σε σωλήνα: **$k_T = 0,5$**
- Οριακή - ακραία περίπτωση διαστολής αποτελεί η κατάληξη από σωλήνα σε δεξαμενή: **$k_T = 1,0$**

2.4.4 Δικλείδες (ή βάνες)

- Είναι διατάξεις οι οποίες τοποθετούνται σε σωλήνες, για να **ρυθμίσουν** την **παροχή** που διέρχεται, με το άνοιγμα, κλείσιμο ή μερική φραγή. Επομένως εισάγουν **χρήσιμες** – σχεδιασμένες **τοπικές απώλειες**!
- Σε αντίθεση με τις *συνήθεις* τοπικές απώλειες, όπου είναι δυνατό να τις αμελήσουμε υπό όρους (βλ. 2.4.2):
 - Οι **τοπικές απώλειες** σε **δικλείδες** είναι **σημαντικές** έως *κυρίαρχες* – αυτό το ρόλο παίζουν!
 - Ο **συντελεστής τοπικών απωλειών k_T** σε **δικλείδες** είναι δυνατό να λάβει **πολύ μεγάλες τιμές** ∞
Εάν η δικλείδα τείνει να κλείσει τελείως, τότε **$k_T \rightarrow \infty$**
 - Άρα: **Δεν αμελούμε ποτέ** τις **τοπικές απώλειες** λόγω **δικλείδων** ∞ , ακόμη και εάν η δικλείδα είναι εντελώς κλειστή - πλην ρητής προδιαγραφής.

2.5 Ερωτήσεις κατανόησης και Εφαρμογές υπολογισμού

2.5.1 (μία μόνο απάντηση είναι ορθή)

	Η συνολική ακρίβεια των υπολογισμών σε δίκτυα κλειστών αγωγών υπό πίεση είναι της τάξης του 5% διότι μεταξύ άλλων:
	Συχνά παραλείπονται οι (τοπικές) απώλειες ανομοιόμορφης ροής
	Γίνεται χρήση στους υπολογισμούς της οριζόντιας προβολής του μήκους των σωλήνων
	Οι χρησιμοποιούμενες σχέσεις υπολογισμού είναι ημιεμπειρικές
✓	Ισχύουν ΟΛΑ τα παραπάνω
	ΔΕΝ ισχύει ΤΙΠΟΤΑ από τα παραπάνω
	Η συνολική ακρίβεια των υπολογισμών σε δίκτυα κλειστών αγωγών υπό πίεση είναι της τάξης του 5% διότι:
	Γίνεται χρήση αριθμητικών μεθόδων στους υπολογισμούς
	Είναι αμφίβολη η ποιότητα – αρχική ισοδύναμη τραχύτητα των σωλήνων
	Συνήθως δεν ελέγχεται εάν η ροή είναι στρωτή ή τυρβώδης
	Ισχύουν ΟΛΑ τα παραπάνω
✓	ΔΕΝ ισχύει ΤΙΠΟΤΑ από τα παραπάνω
	Η χρήση του διαγράμματος Moody στους υπολογισμούς:
	Οδηγεί σε ακρίβεια μεγαλύτερη της συνολικής τάξης μεγέθους
	Διευκολύνει και εξασφαλίζει την αποφυγή χονδροειδών λαθών
✓	Έπρεπε να έχει απαγορευθεί δια Νόμου
	Ισχύουν ΟΛΑ τα παραπάνω
	ΔΕΝ ισχύει ΤΙΠΟΤΑ από τα παραπάνω
	Η σχέση Darcy – Weissbach ισχύει:
✓	Και στις δύο περιπτώσεις στρωτής και τυρβώδους ροής
	Μόνο στην περίπτωση τυρβώδους ροής
	Μόνο στην περίπτωση στρωτής ροής
	Ισχύουν ΟΛΑ τα παραπάνω
	ΔΕΝ ισχύει ΤΙΠΟΤΑ από τα παραπάνω
	Η σχέση Colebrook – White ισχύει:
	Και στις δύο περιπτώσεις στρωτής και τυρβώδους ροής
	Μόνο στην περίπτωση στρωτής ροής
✓	Μόνο στην περίπτωση τυρβώδους ροής
	Ισχύουν ΟΛΑ τα παραπάνω
	ΔΕΝ ισχύει ΤΙΠΟΤΑ από τα παραπάνω
	Η σχέση Colebrook – White δεν ισχύει:
	Για υδραυλικώς λείους σωλήνες
	Όταν αμελούνται οι τοπικές απώλειες
	Για αριθμούς Reynolds: $0,5 \cdot 10^4 < R < 5,0 \cdot 10^6$
	Ισχύουν ΟΛΑ τα παραπάνω
✓	ΔΕΝ ισχύει ΤΙΠΟΤΑ από τα παραπάνω

	Η εμφάνιση - εις το πέρας των υπολογισμών - της τελικής τιμής του προς προσδιορισμό μεγέθους με 9 σημαντικά δεκαδικά ψηφία:
	Επιδεικνύει επιμέλεια και ακρίβεια των υπολογισμών
✓	Σηματοδοτεί ανεπάρκεια κατανόησης της ακρίβειας των μεθόδων υπολογισμού
	Είναι επιθυμητή, αλλά απαιτεί τη χρήση προγραμματιζόμενου υπολογιστή χειρός
	Ισχύουν ΟΛΑ τα παραπάνω
	ΔΕΝ ισχύει ΤΙΠΟΤΑ από τα παραπάνω

2.5.2 (μία μόνο απάντηση είναι ορθή)

	Τοπικές απώλειες εμφανίζονται μεταξύ άλλων:
	Λόγω της μεταβολής των διαμέτρων των σωλήνων
	Λόγω της παρεμβολής στο δίκτυο υδραυλικών μηχανών
	Λόγω της τοποθέτησης στο δίκτυο συσκευών ελέγχου της ροής - δικλείδων
✓	Ισχύουν ΟΛΑ τα παραπάνω
	ΔΕΝ ισχύει ΤΙΠΟΤΑ από τα παραπάνω

	Οι τοπικές απώλειες αμελούνται:
	Μόνο στην περίπτωση στρωτής ροής
	Μόνο για υδραυλικώς λείους σωλήνες
	Μόνο για αριθμούς Reynolds: $1,5 \cdot 10^4 < R < 0,5 \cdot 10^5$
	Ισχύουν ΟΛΑ τα παραπάνω
✓	ΔΕΝ ισχύει ΤΙΠΟΤΑ από τα παραπάνω

	Ο συντελεστής τοπικών απωλειών είναι μεγαλύτερος:
	Στην περίπτωση μεταβολής της διαμέτρου κατάντη της ροής από μικρότερη σε μεγαλύτερη
	Στην περίπτωση μεταβολής της διαμέτρου κατάντη της ροής από μεγαλύτερη σε μικρότερη
✓	Στην περίπτωση κατάληξης της ροής από σωλήνα σε δεξαμενή
	Ισχύουν ΟΛΑ τα παραπάνω
	ΔΕΝ ισχύει ΤΙΠΟΤΑ από τα παραπάνω

	Οι τοπικές απώλειες δεν αμελούνται ποτέ:
	Στην περίπτωση κατάληξης της ροής από σωλήνα σε δεξαμενή
	Στην περίπτωση εισόδου της ροής από δεξαμενή σε σωλήνα
	Στην περίπτωση κατάληξης της ροής από σωλήνα σε ελεύθερη εκροή στην ατμόσφαιρα
	Ισχύουν ΟΛΑ τα παραπάνω
✓	ΔΕΝ ισχύει ΤΙΠΟΤΑ από τα παραπάνω

	Οι τοπικές απώλειες δεν αμελούνται ποτέ:
	Όταν ο σωλήνας εμφανίζει το φαινόμενο της γήρανσης
✓	Όταν έχει τοποθετηθεί στο δίκτυο συσκευή ελέγχου της ροής - δικλείδα
	Όταν έχει τοποθετηθεί στο δίκτυο συσκευή ελέγχου της ροής - δικλείδα και είναι κλειστή τουλάχιστον κατά 5%
	Ισχύουν ΟΛΑ τα παραπάνω
	ΔΕΝ ισχύει ΤΙΠΟΤΑ από τα παραπάνω

2.5.3 Η εφαρμογή επικεντρώνεται στο Πρόβλημα **Λ1**

A) Η παροχή νερού ($v = 1,1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$) σε σωλήνα είναι **Q= 150 lt /s**.
 Να υπολογιστεί η κλίση **J** της Γραμμής Ενέργειας για όλους τους παρακάτω συνδυασμούς *ποιοτήτων* / διαμέτρων:

D [m.m] →	250	300	350
K_s [m.m] ↓			
0	✓	✓	✓
1,0	✓	✓	✓
2,0	✓	✓	✓

Q [m ³ /s]	D [m]	k_s [m]	L [m]	v [m ² /s]	V [m/s]	R	f	J
0,150	0,250	0	-	1,1·10⁻⁶	3,056	6,945×10 ⁵	0,0124	0,0235
	0,300				2,122	5,787×10 ⁵	0,0128	0,0098
	0,350				1,559	4,961×10 ⁵	0,0131	0,0046

Q [m ³ /s]	D [m]	k_s [m]	L [m]	v [m ² /s]	V [m/s]	R	f	J
0,150	0,250	0,001	-	1,1·10⁻⁶	3,056	6,945×10 ⁵	0,0287	0,0545
	0,300				2,122	5,787×10 ⁵	0,0273	0,0209
	0,350				1,559	4,961×10 ⁵	0,0262	0,0093

Q [m ³ /s]	D [m]	k_s [m]	L [m]	v [m ² /s]	V [m/s]	R	f	J
0,150	0,250	0,002	-	1,1·10⁻⁶	3,056	6,945×10 ⁵	0,0354	0,0673
	0,300				2,122	5,787×10 ⁵	0,0334	0,0256
	0,350				1,559	4,961×10 ⁵	0,0319	0,0113

Συγκεντρωτικώς:

D [m.m] →	250	300	350
K_s [m.m] ↓			
0	0,0235	0,0098	0,0046
1,0	0,0545	0,0209	0,0093
2,0	0,0673	0,0256	0,0113

Σημειώστε ότι:

- Απαιτείται διάμετρος μεγαλύτερη κατά *περίπου* 50 m.m, ώστε να έχουμε την *ίδια κλίση* J της Γ.Ε., εάν αντί *λείο* σωλήνα επιλέξουμε τραχύ με $k_s = 1,00 \text{ m.m}$
- Αντιθέτως, ο διπλασιασμός της ισοδύναμης τραχύτητας από $k_s = 1,00 \text{ m.m}$ σε $k_s = 2,00 \text{ m.m}$, έχει σαφώς μικρότερη επίδραση στην κλίση της Γ.Ε.!

B) Η παροχή νερού σε σωλήνα είναι **Q= 165 lt /s**.

Να υπολογιστεί η κλίση **J** της Γραμμής Ενέργειας για σωλήνα διαμέτρου

D: 300 m.m και ισοδύναμης τραχύτητας **K_s: 1,0 m.m**

k_s [mm]	D [mm]	Q [m ³ /s]	Q₂ Q₁	J₂ J₁	J
1,00	300	0,165	0,175	0,0282626	0,0252730
			0,150	0,0207885	

2.5.4 Η εφαρμογή επικεντρώνεται στο Πρόβλημα **Π2**

A) Ένας σωλήνας με ισοδύναμη τραχύτητα **k_s : 0,50 m.m** μεταφέρει νερό.
 Να υπολογιστεί η παροχή **Q** για όλους τους παρακάτω συνδυασμούς κλίσεων της Γραμμής Ενέργειας / διαμέτρων:

J ↓	D [m.m] →	200	250	300
0,016		✓	✓	✓
0,032		✓	✓	✓
0,048		✓	✓	✓

J	D [m]	k_s [m]	v [m²/s]	$R \cdot f^{0,5}$	$1/f^{0,5}$	V [m/s]	Q [m³/s]
0,016	0,200	0,0005	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$4,556 \cdot 10^4$	6,2732	1,572	0,0494
	0,250			$6,367 \cdot 10^4$	6,4740	1,814	0,0890
	0,300			$8,369 \cdot 10^4$	6,6375	2,037	0,1440

J	D [m]	k_s [m]	v [m²/s]	$R \cdot f^{0,5}$	$1/f^{0,5}$	V [m/s]	Q [m³/s]
0,032	0,200	0,0005	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$6,443 \cdot 10^4$	6,2927	2,230	0,0700
	0,250			$9,004 \cdot 10^4$	6,4915	2,572	0,1262
	0,300			$1,184 \cdot 10^5$	6,6536	2,888	0,2041

J	D [m]	k_s [m]	v [m²/s]	$R \cdot f^{0,5}$	$1/f^{0,5}$	V [m/s]	Q [m³/s]
0,048	0,200	0,0005	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$7,891 \cdot 10^4$	6,3014	2,735	0,0859
	0,250			$1,103 \cdot 10^5$	6,4994	3,154	0,1548
	0,300			$1,450 \cdot 10^5$	6,6608	3,540 *	0,2503

Συγκεντρωτικώς:

J ↓	D [m.m] →	200	250	300
0,016		0,0494	0,0890	0,1440
0,032		0,0700	0,1262	0,2041
0,048		0,0859	0,1548	0,2503

Σημειώστε ότι:

- Για την ίδια κλίση **J** της Γ.Ε. η μεταβολή της διαμέτρου από 200 σε 300 m.m προσφέρει περίπου τριπλασιασμό της παροχής.
 Δυστυχώς η μεταβολή της τιμής προμήθειας των σωλήνων δεν είναι γραμμική συνάρτηση της διαμέτρου!..

B) Η κλίση της Γραμμής Ενέργειας σε σωλήνα είναι **J= 0,0185**.
 Να υπολογιστεί η Παροχή **Q** για σωλήνα διαμέτρου **D: 350 m.m**
 και ισοδύναμης τραχύτητας **k_s : 0,50 m.m**

k_s [mm]	D [mm]	J	J_2 J_1	Q_2 Q_1	Q [m³/s]
0,50	350	0,0185	0,0213751	0,250	0,232
			0,0173386	0,225	

2.5.5 Η εφαρμογή επικεντρώνεται στο Πρόβλημα **Λ3**

Ένας σωλήνας με ισοδύναμη τραχύτητα **k_s : 1,0 m.m** μεταφέρει νερό.
 Να υπολογιστεί η απαιτούμενη *θεωρητική* διάμετρος **D_θ** για όλους
 τους παρακάτω συνδυασμούς κλίσεων της Γραμμής Ενέργειας / παροχών:

J ↓	Q [lt /s] →	75	100	125
0,016		✓	✓	✓
0,032		✓	✓	✓
0,048		✓	✓	✓

J	Q [m ³ / s]	k_s [m]	v.10⁶ [m ² / s]	C	A ·10 ³	B ·10 ⁻⁶	D_i [m]	δD [%] V [m/ s]	D_θ [mm]
0,016	0,075	0,00100	1,1	0,8113	0,270	4,928	0,2393 0,2427	 1,41✓ 1,62✓	 243

J	Q [m ³ / s]	k_s [m]	v.10⁶ [m ² / s]	C	A ·10 ³	B ·10 ⁻⁶	D_i [m]	δD [%] V [m/ s]	D_θ [mm]
0,016	0,100	0,00100	1,1	0,9103	0,270	4,928	0,2685 0,2705	 0,72✓ 1,74✓	 270

J	Q [m ³ / s]	k_s [m]	v.10⁶ [m ² / s]	C	A ·10 ³	B ·10 ⁻⁶	D_i [m]	δD [%] V [m/ s]	D_θ [mm]
0,016	0,125	0,00100	1,1	0,9953	0,270	4,928	0,2936 0,2942	 0,19✓ 1,84✓	 294

J	Q [m ³ / s]	k_s [m]	v.10⁶ [m ² / s]	C	A ·10 ³	B ·10 ⁻⁶	D_i [m]	δD [%] V [m/ s]	D_θ [mm]
0,032	0,075	0,00100	1,1	0,7063	0,270	3,485	0,2084 0,2129	 2,20✓ 2,11✓	 213

J	Q [m ³ / s]	k_s [m]	v.10⁶ [m ² / s]	C	A ·10 ³	B ·10 ⁻⁶	D_i [m]	δD [%] V [m/ s]	D_θ [mm]
0,032	0,100	0,00100	1,1	0,7924	0,270	3,485	0,2338 0,2373	 1,49✓ 2,26✓	 237

J	Q [m ³ / s]	k_s [m]	v.10⁶ [m ² / s]	C	A .10 ³	B .10 ⁻⁶	D_i [m]	δD [%] V [m/ s]	D_θ [mm]
0,032	0,125	0,00100	1,1	0,8664	0,270	3,485	0,2556 0,2580	0,95✓ 2,39✓	258

J	Q [m ³ / s]	k_s [m]	v.10⁶ [m ² / s]	C	A .10 ³	B .10 ⁻⁶	D_i [m]	δD [%] V [m/ s]	D_θ [mm]
0,048	0,075	0,00100	1,1	0,6513	0,270	2,845	0,1921 0,1973	2,68✓ 2,11✓	197

J	Q [m ³ / s]	k_s [m]	v.10⁶ [m ² / s]	C	A .10 ³	B .10 ⁻⁶	D_i [m]	δD [%] V [m/ s]	D_θ [mm]
0,048	0,100	0,00100	1,1	0,7307	0,270	2,845	0,2156 0,2198	1,96✓ 2,64✓	220

J	Q [m ³ / s]	k_s [m]	v.10⁶ [m ² / s]	C	A .10 ³	B .10 ⁻⁶	D_i [m]	δD [%] V [m/ s]	D_θ [mm]
0,048	0,125	0,00100	1,1	0,7989	0,270	2,845	0,2357 0,2390	1,41✓ 2,79✓	239

Συγκεντρωτικώς:

J ↓	Q [lt /s] →	75	100	125
0,016		243	270	294
0,032		213	237	258
0,048		197	220	239

Σημειώστε ότι:

- Για την ίδια κλίση J της Γ.Ε. η μεταβολή της παροχής από 75 σε 125 lt /s επιτυγχάνεται με αύξηση της διαμέτρου μόλις κατά *περίπου* 20%.
- Όλες οι ως άνω τελικές τιμές των διαμέτρων έχουν ελεγχθεί για χονδροειδές σφάλμα μέσω των Πινάκων.

2.5.6 Η εφαρμογή επικεντρώνεται στο Πρόβλημα **Π4**

A) Ένας σωλήνας με διάμετρο **D: 350 m.m** μεταφέρει νερό.

Να υπολογιστεί η ισοδύναμη τραχύτητά του **k_s** για όλους

τους παρακάτω συνδυασμούς κλίσης της Γραμμής Ενέργειας / παροχής:

Q [lt /s] →	200	250	300
J ↓			
0,016	✓	✓	✓
0,032	✓	✓	✓
0,048	✓	✓	✓

Q [m ³ /s]	D [m]	J	v [m ² /s]	c	k_s [m]	k_s [mm]
0,200	0,350	0,016	1,1·10⁻⁶	-2,57168	0,00090	0,901
		0,032		-1,65151	0,00781	7,808
		0,048		-1,24385	0,00199	19,919

Q [m ³ /s]	D [m]	J	v [m ² /s]	c	k_s [m]	k_s [mm]
0,250	0,350	0,016	1,1·10⁻⁶	-3,35710	0,00012	0,118
		0,032		-2,20688	0,00214	2,138
		0,048		-1,69731	0,00699	6,991

Q [m ³ /s]	D [m]	J	v [m ² /s]	c	k_s [m]	k_s [mm]
0,300	0,350	0,016	1,1·10⁻⁶	-4,14252	0,000005	0,005
		0,032		-2,76226	0,00058	0,575
		0,048		-2,15078	0,00244	2,443

Συγκεντρωτικώς:

Q [lt /s] →	200	250	300
J ↓			
0,016	0,901	0,118	0,005
0,032	7,808	2,138	0,575
0,048	19,919	6,991	2,443

Σημειώστε ότι:

- Για την ίδια κλίση J της Γ.Ε. η μεταβολή της παροχής από 300 σε 200 lt /s οδηγεί σε τεράστιες αυξήσεις της ισοδύναμης τραχύτητας.
- Κάποιες τιμές ζευγών {παροχή / διάμετρος} οδηγούν εις εξωφρενικές τιμές ισοδύναμης τραχύτητας...
... Ιδίως δε εις απίστευτους λόγους ισοδύναμης τραχύτητας / διάμετρο.
Δυστυχώς τούτο παρατηρείται και εις τους σωλήνες (κυρίως λόγω απόθεσης αλάτων – μείωσης της διαμέτρου), αλλά και εις τις αρτηρίες των ανθρώπων!... (αθηρωματικές πλάκες – μείωση της διαμέτρου).
Όπως θα δούμε εις τη συνέχεια οι τρόποι αντιμετώπισης – θεραπείας οιονεί συμπίπτουν: Παράλληλοι σωλήνες – bypass!..
- Όλες οι ως άνω τελικές τιμές ισοδύναμης τραχύτητας έχουν ελεγχθεί για χονδροειδές σφάλμα μέσω των Πινάκων.

3. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΓΩΓΩΝ (ΣΩΛΗΝΩΝ)

Ορίζονται οι ομοιόμορφοι αγωγοί, περιγράφονται τα συστήματα αγωγών και οι βασικές έννοιες και παραδοχές οι οποίες συνδέονται με την επίλυσή τους. Εισάγεται η έννοια της ενεργειακής βελτιστοποίησης και της απλοποιημένης Γραμμής Ενέργειας ως βασικού εργαλείου σχεδιασμού και επίλυσης. Παρουσιάζεται ένα τυπικό σχήμα συστήματος σωλήνων με χαραγμένες τις Γραμμές Ενέργειας, με επισήμανση των ενεργειακών υψομέτρων και αντιδιαστολή τους με τα τοπογραφικά υψόμετρα.

3.1 Γενικά

3.1.1 Εισαγωγή

Η μεταφορά και διανομή νερού και γενικότερα ρευστών, με κλειστούς αγωγούς υπό πίεση, γίνεται με *συστήματα* αγωγών, δηλαδή με τμήματα **ομοιόμορφων** αγωγών, που συνδέονται μεταξύ τους και αποτελούν ένα **ενιαίο σύνολο λειτουργικά και υπολογιστικά**. Ομοιόμορφος αγωγός σημαίνει:

- **Ενιαία διάμετρος** και **ποιότητα** (ισοδύναμη τραχύτητα) και **σταθερή παροχή**, σε όλο το μήκος του. Ως **λογιστικό μήκος L** χρησιμοποιείται η **οριζόντια προβολή**.
- **Ουδεμία** περίπτωση εμφάνισης **τοπικών απωλειών** εις το μήκος αυτό, με εξαίρεση την περίπτωση καμπύλης αλλαγής κατεύθυνσης (βλ. 2.4.1).

Μεταξύ των ομοιόμορφων αγωγών παρεμβάλλονται **κόμβοι**:

- **Πραγματικοί** – κατασκευαστικοί (π.χ. Ειδικά τεμάχια, υδραυλικές μηχανές, δικλείδες).
- Ή / και **λογιστικοί** (π.χ. εισόδου σε σωλήνα, αλλαγής διαμέτρου και όλοι οι ως άνω πραγματικοί).

Κάθε σύστημα:

- Υδροδοτείται από ένα ή περισσότερα σημεία: **υδροληψίες**
 - **Δεξαμενές** ή ταμειυτήρες φραγμάτων κ.λπ.
 - **Λογιστικούς κόμβους εισροής** – εις το σύστημα.
- Υδροδοτεί ένα ή περισσότερα σημεία: **υδροδοτήσεις**.
 - **Δεξαμενές** ή άλλους υδάτινους αποδέκτες π.χ. τη θάλασσα κ.λπ.
 - Ελεύθερες **εκροές** εις την **ατμόσφαιρα**.
 - **Λογιστικούς κόμβους εκροής** – από το σύστημα.
- Εξαίρεση αποτελούν τα συστήματα **κλειστής κυκλοφορίας** (ή κυκλώματος), όπου *υδροληψία* και *υδροδότηση* ταυτίζονται σε ένα τουλάχιστον κόμβο, όπου είναι εγκατεστημένη **αντλία**.
- Εις τους υπολογισμούς η **στάθμη** των **δεξαμενών** (και λοιπών υδάτινων στοιχείων) θεωρείται **σταθερή κατά περίπτωση** (μόνιμη ροή – σε αυτό το Μάθημα) και φυσικά αποτελούν και αυτές **κόμβους**!

3.1.2 Κατηγοριοποίηση

Εκπαιδευτικοί και μόνο λόγοι μας οδηγούν, να διακρίνουμε τα **απλά**, τα **σύνθετα** και τα **πολύπλοκα** συστήματα σωλήνων τα οποία θα χειρισθούμε διαδοχικά.

Ο αυξανόμενος βαθμός δυσκολίας της επίλυσης προϋποθέτει τη κατανόηση των μεθόδων, οι οποίες εφαρμόζονται εις το προηγούμενο – απλούστερο στάδιο.

Οι μέθοδοι επίλυσης, οι οποίες παρουσιάζονται εις τη συνέχεια, αφορούν γενικώς σε **τυρβώδη ροή** και αγωγούς κυκλικής διατομής – **σωλήνες**.

Κάποιες είναι δυνατό να εφαρμοσθούν ως έχουν και σε στρωτή ροή ή σε μη - κυκλικούς αγωγούς. Για τις υπόλοιπες η κατανόηση της τεχνικής τους εύκολα οδηγεί σε προσαρμογή τους.

3.2 Μεθοδολογία υπολογισμού

3.2.1 Γραμμή Ενέργειας

Εις το σχεδιασμό και υπολογισμό συστημάτων σωλήνων καθοριστικό κριτήριο είναι σε πρώτη φάση η **ενεργειακή βελτιστοποίηση**:

- **Ολόκληρο** το **ενεργειακό διαθέσιμο** προβλέπεται να καταναλωθεί σε **απώλειες ενέργειας**.
- **Εκτός** από το τμήμα το οποίο παραμένει ως **ενέργεια** της **εκρέουσας φλέβας**, εις την περίπτωση **εκροής** εις την **ατμόσφαιρα**!
- **Προσοχή** παρότι η τιμή της ενέργειας της εκρέουσας φλέβας: $V^2/2.g$ είναι της τάξης μεγέθους των τοπικών απωλειών, **δεν παραλείπεται ποτέ** εις τον υπολογισμό ☹.

Η Γραμμή Ενέργειας **ταυτίζεται απλουστευτικά** με την Πιεζομετρική Γραμμή με εξαίρεση ειδικά προβλήματα - όπου η **πίεση** έχει **καθοριστικό ρόλο** - εις τα οποία θα γίνει ειδική αναφορά εις τη συνέχεια.

Έκαστος **κόμβος** του συστήματος **χαρακτηρίζεται** από το ή τα **ενεργειακά υψόμετρα** του → **σημεία της Γραμμής Ενέργειας** (άρα και της Πιεζομετρικής Γραμμής κατά την ως άνω απλούστευση).

Εναλλακτικοί - **ισοδύναμοι** όροι είναι: πίεση κόμβου ή υψόμετρο κόμβου.

Προσοχή: Εις τους υπολογισμούς **δεν** υπεισέρχεται το **τοπογραφικό υψόμετρο** του κόμβου ☹, παρά μόνο ως εργαλείο ελέγχου - όπου η **πίεση** έχει **καθοριστικό ρόλο**.

