

1. Το υδραγωγείο του Σχήματος 1 αποτελείται από τρεις δεξαμενές Α, Β και Γ, στις οποίες οι στάθμες της ελεύθερης επιφάνειας παραμένουν σταθερές και πέντε σωλήνες με τα ακόλουθα στοιχεία:

Σωλήνας	διάμετρος D [mm]	Ισοδύναμη τραχύτητα k_s [mm]	μήκος L [m]	παροχή Q [m ³ /s]
(1)	250	2.50	828	0.075
(2)	250	0.75	299	?
(3)	?	0.75	575	?
(4)	150	0.50	310	?
(5)	300	2.00	735	?

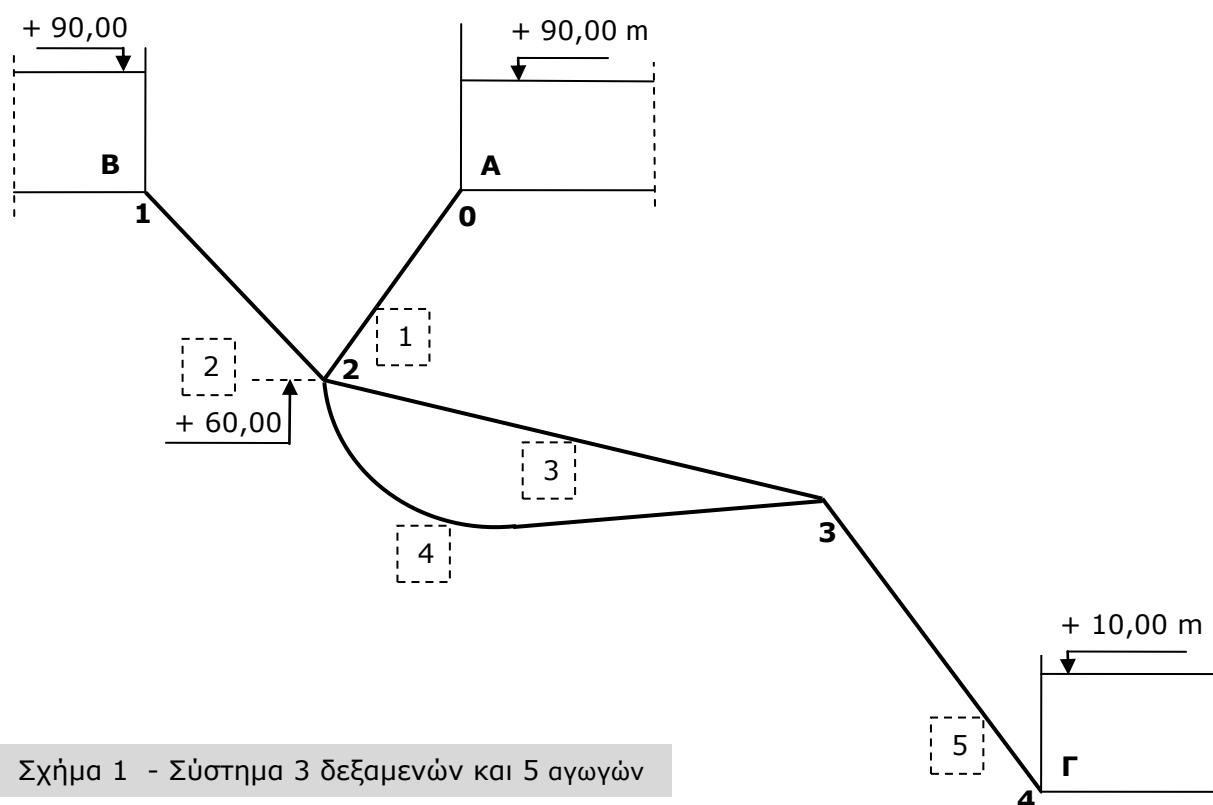
Να χαράξετε ποιοτικά τη Γραμμή Ενέργειας (ΓΕ) στο Σχήμα 1 και να υπολογίσετε:

- 1) Τις άγνωστες παροχές Q και κατεύθυνση της ροής στους σωλήνες (2) – (5).
- 2) Την απαιτούμενη *θεωρητική* διάμετρο D_{3θ} στο σωλήνα (3), και
- 3) να προσδιορίσετε τα υψόμετρα της ΓΕ στο Σχήμα 1.

Εάν η διάμετρος D_{3θ} δεν συμπίπτει με διάμετρο *εμπορίου*, εξετάστε τις εξής δύο λύσεις:

- 4) Ποια είναι τα απαιτούμενα μήκη L_{3α} και L_{3κ} σωλήνων του εμπορίου με την αμέσως μεγαλύτερη και μικρότερη διάμετρο που αντικαθιστούν το σωλήνα (3).
- 5) Ποιος είναι ο συντελεστής τοπικών απωλειών k_τ δικλίδας, η οποία θα τοποθετηθεί στην περίπτωση τοποθέτησης σωλήνα με την αμέσως μεγαλύτερη διάμετρο του εμπορίου.

Να αμελήσετε τις τοπικές απώλειες, εκτός από αυτές στη δικλείδα. $\nu = 1.1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.



Σχήμα 1 - Σύστημα 3 δεξαμενών και 5 αγωγών

➤ Οι τοπικές απώλειες αμελούνται (βλ. 2.4.2)

➤ Κόμβος 2

• Υπολογίζουμε τις απώλειες στον αγωγό (1) - Πρόβλημα **Λβ1**

Q [m ³ /s]	D [m]	k_s [m]	L [m]	v [m ² /s]	V [m/s]	R	f	h_f [m]
0,075	0,250	0,0025	828	1,1.10 ⁻⁶	1,528	3,472×10 ⁵	0,0382	15,04

• Υπολογίζουμε το υψόμετρο του κόμβου 2 - Πρόβλημα **Λβ1**

$$z_1 = (+90,00) - 15,04 = \mathbf{+74,96 \text{ m.}}$$

• Υπολογίζουμε τις απώλειες στον αγωγό (5)

$$h_{f2} = (+90,00) - 74,96 = \mathbf{15,04 \text{ m.}}$$

• Υπολογίζουμε την παροχή στον αγωγό (2) - Πρόβλημα **Λβ2**

h_f [m]	D [m]	k_s [m]	L [m]	v [m ² /s]	R.f^{0,5}	1/f^{0,5}	V [m/s]	Q [m ³ /s]
15,04	0,250	0,00075	299	1,1.10 ⁻⁶	1,129×10 ⁵	6,15951	3,060	0,150

• Υπολογίζουμε την παροχή στο βρόχο των παράλληλων αγωγών (3) και (4)

$$Q_3 + Q_4 = Q_1 + Q_2 = 0,075 + 0,150 = \mathbf{0,225 \text{ m}^3/\text{s.}}$$

➤ Κόμβος 3

• Υπολογίζουμε την παροχή στον αγωγό (5)

$$Q_5 = Q_3 + Q_4 = \mathbf{0,225 \text{ m}^3/\text{s.}}$$

• Υπολογίζουμε τις απώλειες στον αγωγό (5) - Πρόβλημα **Λβ1**

Q [m ³ /s]	D [m]	k_s [m]	L [m]	v [m ² /s]	V [m/s]	R	f	h_f [m]
0,225	0,300	0,002	735	1,1.10 ⁻⁶	3,183	8,681×10 ⁵	0,0333	42,18

• Υπολογίζουμε το υψόμετρο του κόμβου 3 - Πρόβλημα **Λβ1**

$$z_3 = (+10,00) + 42,18 = \mathbf{+52,18 \text{ m}}$$

➤ Βρόχος παράλληλων αγωγών (3) και (4) μεταξύ των κόμβων 2 και 3.

Υπολογισμός της διαμέτρου του αγωγού (3) - Πρόβλημα **Λβ3**

• Υπολογίζουμε τις κοινές απώλειες στους αγωγούς (3) και (4)

$$h_{f4} = (+74,96) - (+52,18) = \mathbf{22,78 \text{ m.}}$$

• Υπολογίζουμε την παροχή στον αγωγό (4) - Πρόβλημα **Λβ2**

h_f [m]	D [m]	k_s [m]	L [m]	v [m ² /s]	R.f^{0,5}	1/f^{0,5}	V [m/s]	Q [m ³ /s]
22,78	0,150	0,0005	310	1,1.10 ⁻⁶	6,341×10 ⁴	6,05413	2,815	0,050

• Υπολογίζουμε την παροχή στον αγωγό (3)

$$Q_3 = \Sigma Q - Q_4 = 0,225 - 0,050 = \mathbf{0,175 \text{ m}^3/\text{s.}}$$

• Υπολογίζουμε τη θεωρητική διάμετρο στον αγωγό (3) - Πρόβλημα **Λβ3**

J = h_f / L	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]
0,0005	0,175	0,00075	1,10	0,94981	0,20250	3,132	0,27544		
							0,27713	+0,61✓ 2,901✓	277

➤ Αγωγός (3) – Λύσεις με διαμέτρους *εμπορίου*

- Υπολογίζουμε το βέλτιστο *ισοδύναμο ζεύγους* διαμέτρων *εμπορίου* - Πρόβλημα **Λ9**
 - Επιλέγουμε (βλ. 2.3.5 και 4.2.6): $D_a = 300 \text{ mm} > 277$ και $D_k = 250 \text{ mm} < 277$.
 - Είναι: $h_{f3} = 22,78 \text{ m}$.

Q [m ³ /s]	D_{a-k} [m]	k_s [m]	L [m]	v [m ² /s]	V [m/s]	R	f	J	L_{a-k} [m]
0,175	0,300	0,00075	575	$1,1 \cdot 10^{-6}$	2,476	$6,752 \times 10^5$	0,0252	0,02623	392,6
	0,250				3,565*	$8,102 \times 10^5$	0,0264	0,06842	182,4

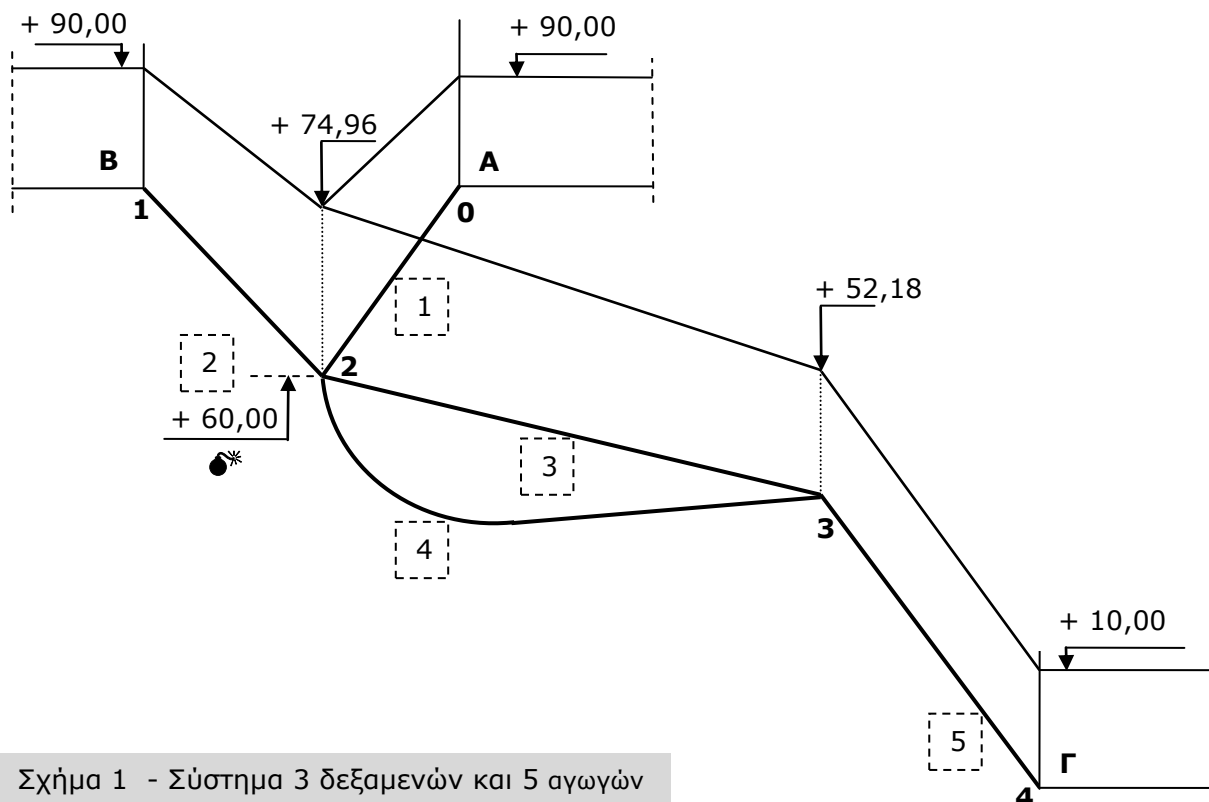
* Η ταχύτητα στον αγωγό (3κ) είναι *οριακώς αποδεκτή*.

- Υπολογίζουμε τον συντελεστή τοπικών απωλειών της δικλείδας k_T - Πρόβλημα **Λ8**
 - Επιλέγουμε (βλ. 2.3.5 και 4.2.): $D_3 = 300 \text{ mm} > 277$.
 - Είναι: $h_{f3} = 22,78 \text{ m}$.
 - Υπολογίζουμε τις απώλειες** στον αγωγό (3) - Πρόβλημα **Λ1**

Q [m ³ /s]	D [m]	k_s [m]	L [m]	v [m ² /s]	V [m/s]	R	f	h_f [m]
0,175	0,300	0,00075	575	$1,1 \cdot 10^{-6}$	2,476	$6,752 \times 10^5$	0,0252	15,08

** Η κλίση της Γ.Ε. για τη διάμετρο 300 mm έχει ήδη υπολογιστεί ως άνω, αρκεί απλώς ο υπολογισμός των απωλειών ☺...

- Υπολογίζουμε τις τοπικές απώλειες: (29) → $h_T = 22,78 - 15,08 = +7,70 \text{ m}$
- Υπολογίζουμε το συντελεστή τοπικών απωλειών της δικλείδας: (27) → $h_T = 24,64$



Σχήμα 1 - Σύστημα 3 δεξαμενών και 5 αγωγών

2. Στην εγκατάσταση αφαλάτωσης του Σχήματος 2 αντλείται θαλασσινό νερό ($\nu = 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$) και παροχετεύεται στη δεξαμενή επεξεργασίας Α, της οποίας η στάθμη παραμένει σταθερή. Το σύστημα αγωγών περιλαμβάνει αρχικά δύο σωλήνες με τα ακόλουθα στοιχεία:

Σωλήνας	διάμετρος D [mm]	ρχική ισοδύναμη τραχύτητα k_{so} [mm]	μήκος L [m]
(1)	400	υδραυλικά λείος	516
(2)	400	0.25	391

και αντλία στον κόμβο 1, με μανομετρικό ύψος H_μ .

Αρχική λειτουργία: Εάν η παροχή είναι $Q_1 = 0.350 \text{ m}^3/\text{s}$, να χαράξετε ποιοτικά τη Γραμμή Ενέργειας (ΓΕ) στο Σχήμα 2 και να υπολογίσετε:

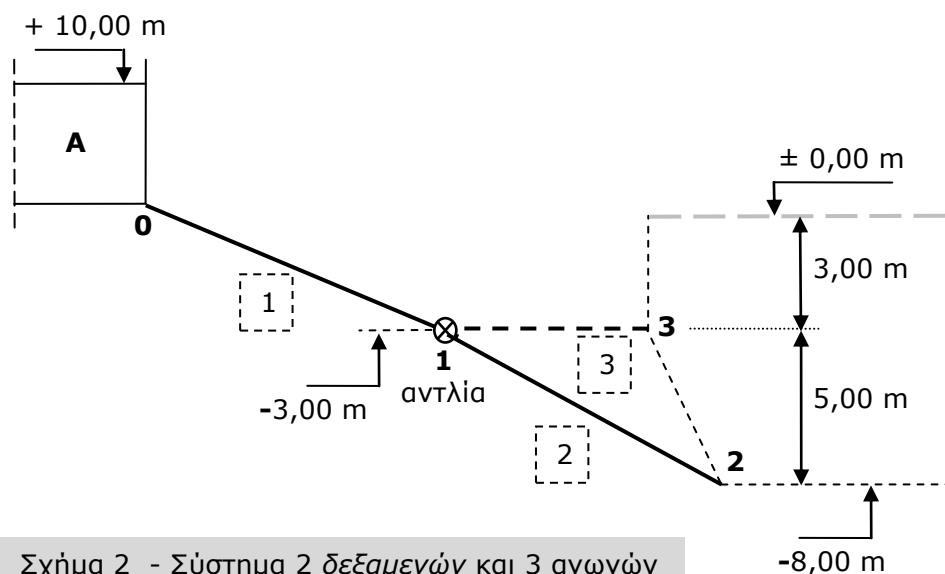
1. Το απαιτούμενο μανομετρικό ύψος H_μ της αντλίας.
2. Να προσδιορίσετε τα υψόμετρα της (ΓΕ) στο Σχήμα 2.
3. Να ελέγξετε το σύστημα για τον κίνδυνο υπέρβασης υποπιέσεων με επιτρεπόμενο όριο τα 6 m.

Τελική λειτουργία: Μετά από εικοσιπέντε έτη λειτουργίας, διαπιστώνεται ότι λόγω γήρανσης των σωλήνων η παροχή μειώθηκε σε $Q'_1 = 0.315 \text{ m}^3/\text{s}$. Για να αποκατασταθεί η αρχική παροχή αποφασίζεται η πρόσθετη τοποθέτηση του υδραυλικά λείου σωλήνα (3) μήκους 334m.

Το μανομετρικό ύψος H_μ της αντλίας παραμένει ίδιο. Να χαράξετε ποιοτικά τη Γραμμή Ενέργειας (ΓΕ) και να υπολογίσετε:

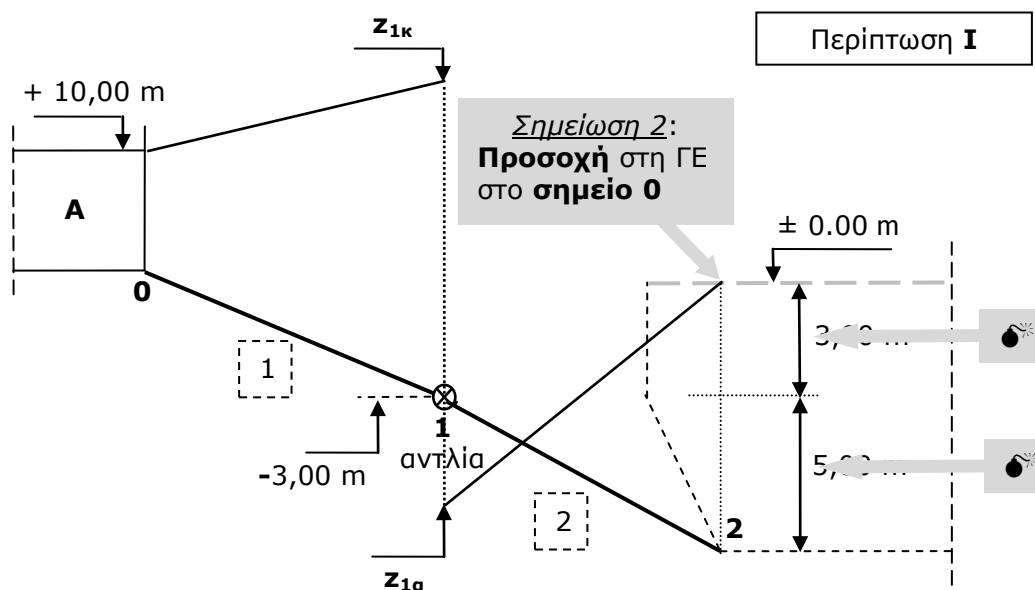
4. Την ισοδύναμη τραχύτητα k_{s25} του γερασμένου σωλήνα (2).
5. Την απαιτούμενη θεωρητική διάμετρο $D_{3\theta}$ του σωλήνα (3).
6. Προσδιορίστε τα υψόμετρα της (ΓΕ), πριν και μετά την τοποθέτηση του σωλήνα (3).

Να αμελήσετε τις τοπικές απώλειες.



➤ Αρχική λειτουργία

Σημείωση 1: Πρώτα χαράζουμε ποιοτικά τη Γ.Ε.



- Υπολογίζουμε τις απώλειες στον αγωγό (2) - Πρόβλημα **Λβ1**

Q [m ³ /s]	D [m]	k_s [m]	L [m]	v [m ² /s]	V [m/s]	R	f	h_f [m]
0,350	0,400	0,00025	391	1,2·10 ⁻⁶	2,785	9,284×10 ⁵	0,0181	7,00

- Υπολογίζουμε το υψόμετρο του κόμβου 1: $z_{1α} = (\pm 0,00) - 7,00 = \mathbf{-7,00 \text{ m}}$.
- Έλεγχος υποπίεσης στον κόμβο 1:
 - Υψόμετρο Π.Γ.: $z_{1α-ΠΓ} = -7,00 - \frac{2,785^2}{2 \cdot 9,81} = -7,40 \text{ m}$
 - Τιμή υποπίεσης: $(-3,00) - (-7,40) = \mathbf{4,40 \text{ m}} < 6,0 \text{ m} \checkmark$

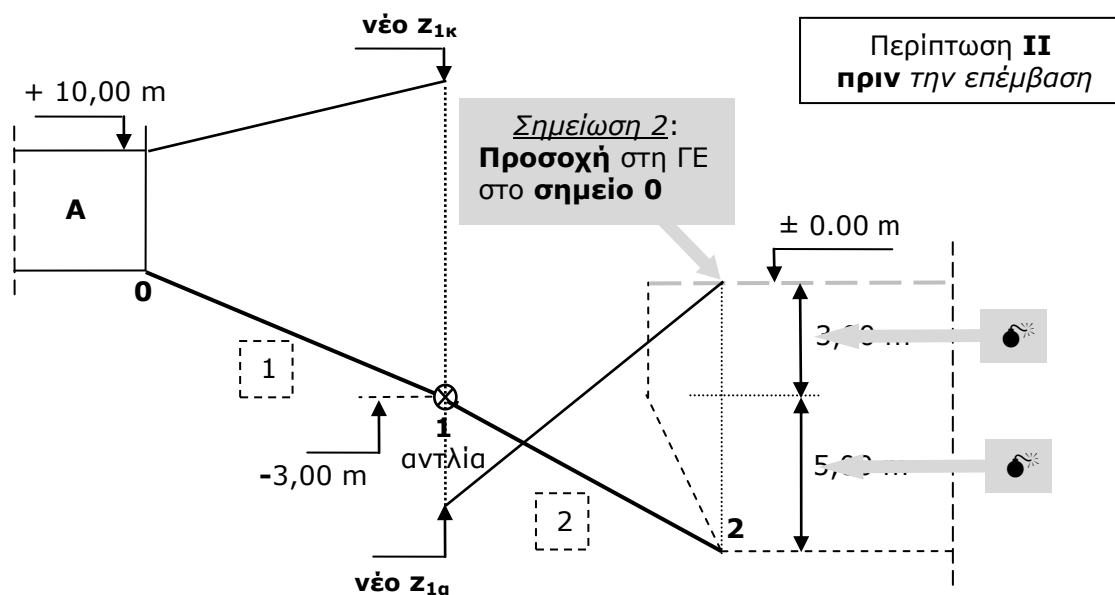
- Υπολογίζουμε τις απώλειες στον αγωγό (1) - Πρόβλημα **Λβ1**

Q [m ³ /s]	D [m]	k_s [m]	L [m]	v [m ² /s]	V [m/s]	R	f	h_f [m]
0,350	0,400	0	516	1,2·10 ⁻⁶	2,785	9,284×10 ⁵	0,0118	6,00

- Υπολογίζουμε το υψόμετρο του κόμβου 1: $z_{1κ} = (+10,00) + 6,00 = \mathbf{+16,00 \text{ m}}$.
- Υπολογίζουμε το μανομετρικό ύψος: $H_{\mu} = (+16,00) - (-7,00) = \mathbf{23,00 \text{ m}}$.

➤ Τελική λειτουργία – **πριν** την επέμβαση

Σημείωση 1: Πρώτα χαράζουμε ποιοτικά τη Γ.Ε.



➤

- Υπολογίζουμε τις νέες απώλειες στον αγωγό (1) - Πρόβλημα **Λβ1**

Q [m ³ /s]	D [m]	k_s [m]	L [m]	v [m ² /s]	V [m/s]	R	f	h_f [m]
0,315	0,400	0	516	$1,2 \cdot 10^{-6}$	2,507	$8,356 \times 10^5$	0,0120	4,95

Σημείωση 3: Ο σωλήνας (1) είναι υδραυλικά λείος, δεν γηράσκει (βλ. 2.1.7).

- Υπολογίζουμε τα νέα υψόμετρα του κόμβου 1:

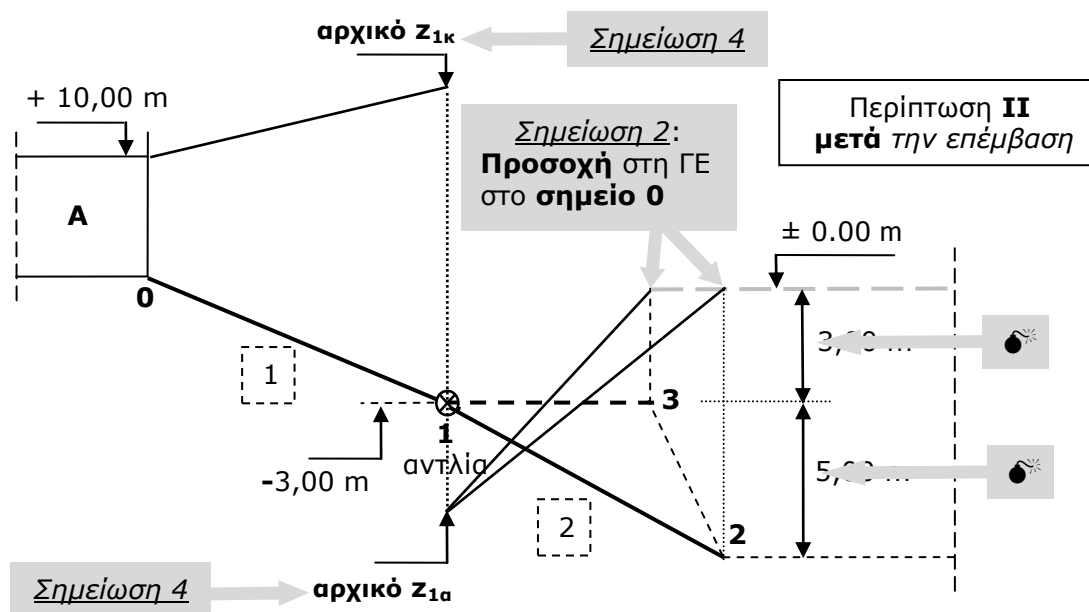
- $z_{1κ} = (+10,00) + 4,95 = \mathbf{+14,95 \text{ m.}}$
- $z_{1α} = (+14,95) - 23,00 = \mathbf{-8,05 \text{ m.}}$

- Υπολογίζουμε τη νέα ισοδύναμη τραχύτητα στον αγωγό (2) - Πρόβλημα **Λβ4**

Q_{25} [m ³ /s]	D_2 [m]	h_{f2} [m]	L_1 [m]	v [m ² /s]	C_1	k_{s25} [mm]
0,315	0,400	8,05	391	$1,2 \cdot 10^{-6}$	-2,55402	1,08

➤ Τελική λειτουργία – **μετά** την επέμβαση

Σημείωση 1: Πρώτα χαράζουμε ποιοτικά τη Γ.Ε.



- Υπολογίζουμε τη νέα παροχή στον αγωγό (2) - Πρόβλημα **Λβ2**

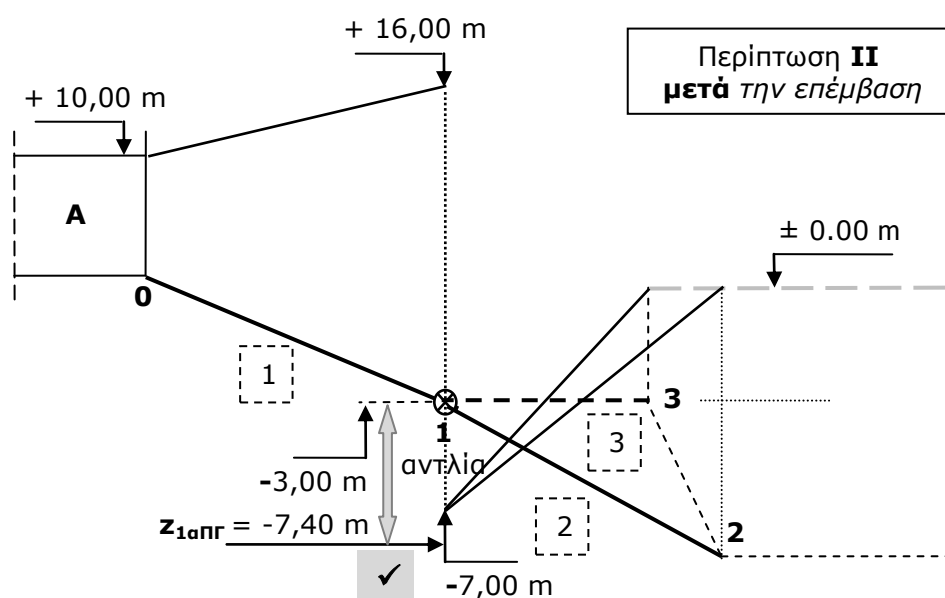
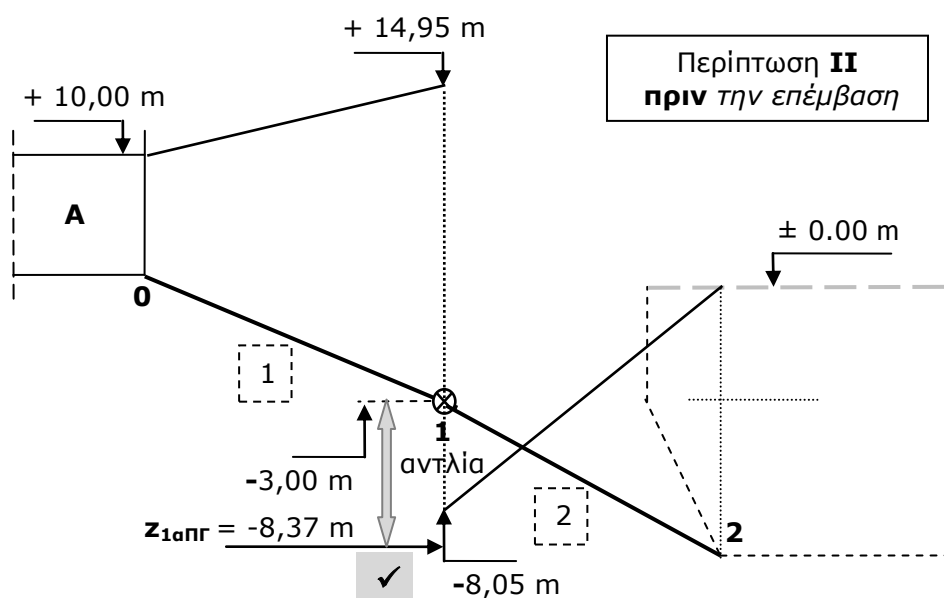
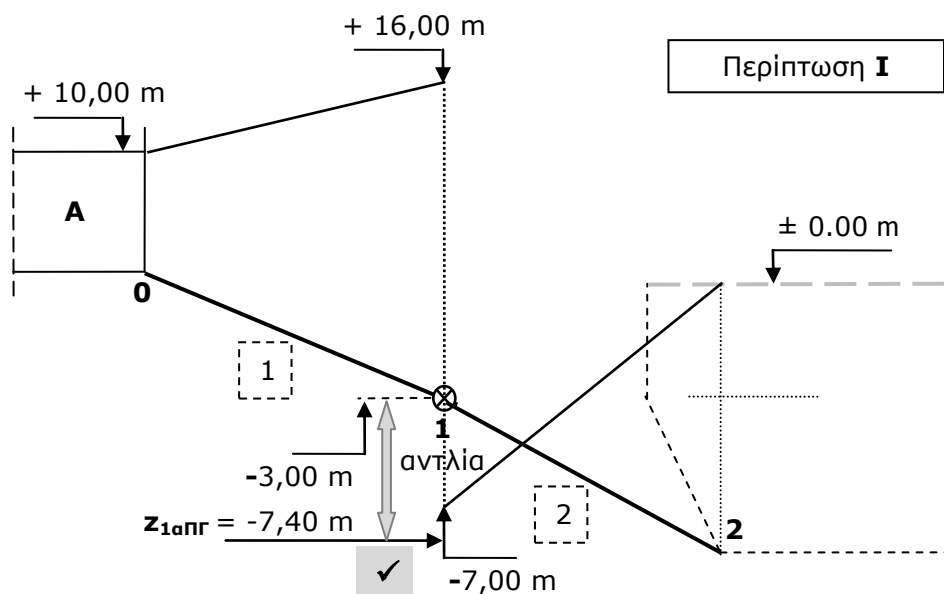
h_f [m]	D [m]	k_s [m]	L [m]	v [m ² /s]	$R \cdot f^{0,5}$	$1/f^{0,5}$	V [m/s]	Q [m ³ /s]
7,00	0,400	0,00108	391	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$1,249 \times 10^5$	6,2813	2,354	0,296

Σημείωση 4: Μετά την τοποθέτηση του σωλήνα (2) τα υψόμετρα του κόμβου 1 αποκαθίστανται και είναι ίδια με την περίπτωση I D_p

- Υπολογίζουμε την παροχή στον αγωγό (3): $Q_3 = 0,350 - 0,296 = \mathbf{0,054 \text{ m}^3/\text{s}}$.
- Υπολογίζουμε τη θεωρητική διάμετρο στον αγωγό (3) - Πρόβλημα **Λβ3**

Q [m ³ /s]	L_1 [m]	h_{f1} [m]	k_{s1} [m]	v [m ² /s]	C	A	B
0,054	335	7,00	0	$1,2 \cdot 10^{-6}$	0,67404	0	$4,697 \cdot 10^{-6}$

a	D_i [m]	$ \delta D $ [%]	V [m/s]	D_θ [mm]
0,255	0,1719			
	0,1750	1,79✓	2,25✓	175



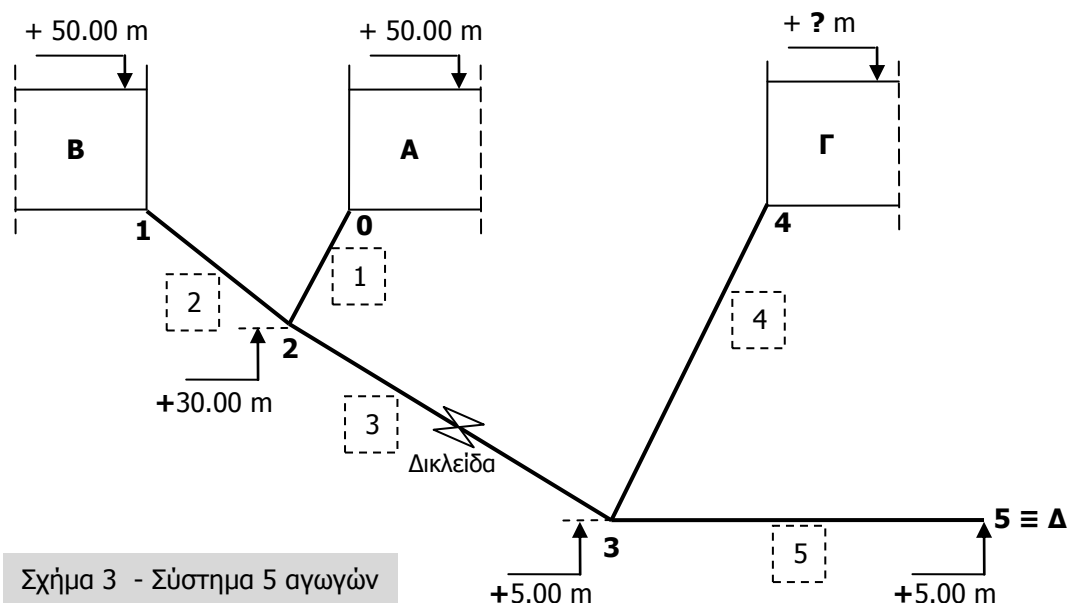
3. Το υδραγωγείο ($\nu=1,1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$) του Σχήματος 3 αποτελείται από τρεις δεξαμενές Α, Β και Γ και πέντε σωλήνες με ισοδύναμη τραχύτητα $k_s= 1,25 \text{ mm}$ και τα ακόλουθα στοιχεία: μια ελεύθερη εκροή στην ατμόσφαιρα Δ.

Σωλήνας	διάμετρος D [mm]	μήκος L [m]	παροχή Q [m^3/s]
(1)	300	385	?
(2)	300	722	0.145
(3)	?	2200	?
(4)	400	820	?
(5)	600	1219	0.745

Ο σωλήνας (5) εκρέει στην ατμόσφαιρα στο σημείο Δ. Οι στάθμες της ελεύθερης επιφάνειας στις δεξαμενές παραμένουν σταθερές. Δίδονται οι στάθμες στις δεξαμενές Α και Β και η στάθμη του άξονα του σωλήνα στο σημείο εκροής Δ. Να χαράξετε ποιοτικά τη Γραμμή Ενέργειας (ΓΕ) στο Σχήμα 3 και να υπολογίσετε:

- 1) Τις παροχές στους σωλήνες (1), (3) και (4).
- 2) Το υψόμετρο της στάθμης στη δεξαμενή Γ.
- 3) Την απαιτούμενη *θεωρητική* διάμετρο $D_{3\theta}$ στο σωλήνα (3).
- 4) Εάν η διάμετρος $D_{3\theta}$ δεν συμπίπτει με διάμετρο *εμπορίου* ποιος είναι ο συντελεστής τοπικών απωλειών k_T δικλίδας η οποία θα τοποθετηθεί στο μέσον του σωλήνα (3) με την αμέσως μεγαλύτερη της $D_{3\theta}$ διάμετρο του εμπορίου;
- 5) Προσδιορίστε τα υψόμετρα της (ΓΕ) στο Σχήμα 1, συμπεριλαμβάνοντας τη δικλίδα.

Να αμελήσετε τις τοπικές απώλειες, εκτός από αυτές στη δικλίδα.



- Υπολογίζουμε τις απώλειες στον αγωγό (2) - Πρόβλημα **Λβ1**

Q [m ³ /s]	D [m]	k_s [m]	L [m]	v [m ² /s]	V [m/s]	R	f	h_f [m]
0,145	0,300	0,00125	722	1,1·10 ⁻⁶	2,051	5,595×10 ⁵	0,0291	15,00

- Υψόμετρο του κόμβου 2: **z₂ = (+50,00) - 15,00 = +35,00 m.**

- Υπολογίζουμε την παροχή στον αγωγό (1) - Πρόβλημα **Λβ2**

h_f [m]	D [m]	k_s [m]	L [m]	v [m ² /s]	R·f^{0,5}	1/f^{0,5}	V [m/s]	Q [m ³ /s]
15,00	0,300	0,00125	385	1,1·10 ⁻⁶	1,306×10 ⁵	5,9115	2,831	0,200

- Παροχή του σωλήνα (3): **Q₃ = Q₁ + Q₂ = 0,200 + 0,145 = 0,345 m³/s.**

- Υπολογίζουμε τις απώλειες στον αγωγό (5) - Πρόβλημα **Λβ1**

Q [m ³ /s]	D [m]	k_s [m]	L [m]	v [m ² /s]	V [m/s]	R	f	h_f [m]
0,745	0,600	0,00125	1.219	1,1·10 ⁻⁶	2,635	1,437×10 ⁶	0,0239	17,15

- Υψόμετρο του κόμβου 5: **z₅ = (+5,00) + 0,35 = +5,35 m.**

- Υψόμετρο του κόμβου 3: **z₃ = +5,35 + 17,15 = +22,50 m.**

- Παροχή του σωλήνα (4): **Q₄ = Q₅ - Q₃ = 0,745 - 0,345 = 0,400 m³/s.**

- Υπολογίζουμε τις απώλειες στον αγωγό (4) - Πρόβλημα **Λβ1**

Q [m ³ /s]	D [m]	k_s [m]	L [m]	v [m ² /s]	V [m/s]	R	f	h_f [m]
0,400	0,400	0,00125	820	1,1·10 ⁻⁶	3,183	1,157×10 ⁶	0,0266	28,21

- Στάθμη της δεξαμενής Γ: **z_Γ ≡ z₃ = +22,50 + 28,21 = +50,71 m.**

- Υπολογίζουμε τη θεωρητική διάμετρο στον αγωγό (3) - Πρόβλημα **Λβ3**

Q [m ³ /s]	L [m]	h_{f3} [m]	k_s [m]	v [m ² /s]	C	A	B
0,345	2.200	12,50	0,00125	1,1·10 ⁻⁶	1,83751	3,378·10 ⁻⁴	8,268·10 ⁻⁶

a	D_i [m]	 δD [%]	V [m/s]	D_θ [mm]
0,300	0,5512			
	0,5309	-3,69✓	1,56✓	531

→ επιλέγουμε: **D₃ = 600 mm.**

- Υπολογίζουμε τις απώλειες στον αγωγό (3) με τη διάμετρο 600 mm - Πρόβλημα **Λβ1**

Q [m ³ /s]	D [m]	k_s [m]	L [m]	v [m ² /s]	V [m/s]	R	f	h_{f-600} [m]
0,345	0,600	0,00125	2.200	1,1·10 ⁻⁶	1,220	6,656×10 ⁵	0,0240	6,68965

- Απαιτούμενες τοπικές απώλειες: **h_T = h_{f3} - h_{f-600} = 5,81035 m.**

- Συντελεστής τοπικών απωλειών δικλείδας: **k_T = 88,155.**

- Υψόμετρα του κόμβου της δικλείδας:

$$\mathbf{z_{\delta a} = +35,00 - 3,34 = +31,66 \text{ m} \text{ και } z_{\delta \kappa} = +31,66 - 5,81 = +25,85 \text{ m}}$$

