

5. ΣΥΝΘΕΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΩΛΗΝΩΝ

Ορίζονται τα σύνθετα συστήματα σωλήνων και οι βασικές έννοιες και παραδοχές οι οποίες συνδέονται με την επίλυσή τους. Παρουσιάζεται η μεθοδολογία συστηματικής εκπαιδευτικής προσέγγισης των μορφών – περιπτώσεων συνθέτων συστημάτων: Σωλήνες εν σειρά με μεταβλητή παροχή - Συστήματα με περισσότερες από δύο δεξαμενές - Σωλήνες σε παράλληλη διάταξη - Συστήματα τα οποία περιλαμβάνουν υδραυλικές μηχανές - Προβλήματα σε συστήματα όπου η πίεση έχει καθοριστικό ρόλο.

5.1 Γενικά

5.1.1 Εισαγωγή

Ένα σύστημα σωλήνων χαρακτηρίζεται (για εκπαιδευτικούς λόγους) ως **σύνθετο**, εάν **δεν** πληρούνται **μία** από τις **δεσμεύσεις**, οι οποίες είναι αναγκαίες και ικανές ώστε να χαρακτηριστεί ως απλό (βλ. 4.1.1).

Εάν **δεν** πληρούνται **περισσότερες από μία δεσμεύσεις**, τότε το σύστημα χαρακτηρίζεται (για εκπαιδευτικούς λόγους) ως **πολύπλοκο** και θα το διαχειριστούμε σε επόμενα Κεφάλαια.

Τα σύνθετα και τα πολύπλοκα συστήματα σωλήνων ονομάζονται και **δίκτυα**.

- Εάν κάθε σημείο υδροδότησης υδροδοτείται με **μία** μόνο **διαδρομή** του νερού από κάθε σημείο υδροληψίας, το δίκτυο ονομάζεται **ακτινωτό**.
- Εάν κάθε σημείο υδροδότησης δύναται να υδροδοτηθεί μέσω **περισσοτέρων** από **μία διαδρομές** του νερού από ένα σημείο υδροληψίας, το δίκτυο ονομάζεται **κυκλοφοριακό**.

Σε κάθε δίκτυο, μεταξύ των σημείων υδροληψίας και **όλων** των σημείων υδροδότησης πρέπει να υπάρχει **ικανό ενεργειακό διαθέσιμο**, ώστε να μεταφέρεται η απαιτούμενη παροχή.

- Εάν τούτο υπάρχει λόγω των τοπογραφικών θέσεων, το δίκτυο **λειτουργεί** με **βαρύτητα**.
- Εάν όχι, πρέπει να **δοθεί** ή να **συμπληρωθεί** το **ενεργειακό διαθέσιμο** με τη βοήθεια **αντλίας**. Το δίκτυο (ή *τμήματά* του) **λειτουργεί** στην περίπτωση αυτή με **κατάθλιψη**.

5.1.2 Συστηματική εκπαιδευτική προσέγγιση

- Στα επόμενα Κεφάλαια θα χειριστούμε τις διάφορες μορφές - περιπτώσεις συνθέτων συστημάτων, εξετάζοντας διαδοχικώς την μη- πλήρωση μιας διαφορετικής δέσμευσης.
- Η ακολουθία παρουσίασης επιδιώκει, κατά το δυνατόν, το χειρισμό κάθε περίπτωσης ως το *επόμενο σκαλοπάτι*, το οποίο βασίζεται στην προηγούμενη περίπτωση και βεβαίως στα Τυπικά και Βασικά Προβλήματα.
- Ιδιαίτερη σημασία έχει η **γενίκευση** – **εμπλουτισμός** της σχέσης **ενεργειακής βελτιστοποίησης** (29 - βλ. 4.2.1) σε κάθε διαφορετική μορφή - περίπτωση.

5.2 Μορφές - περιπτώσεις

5.2.1 Κατηγοριοποίηση για εκπαιδευτικούς λόγους

- **Σωλήνες εν σειρά** με **μεταβλητή παροχή**, δηλαδή δίκτυα τα οποία συνδέουν δύο δεξαμενές (ή μία δεξαμενή και μία ελεύθερη εκροή), όπου **τουλάχιστον σε ένα κόμβο** υπάρχει **πλευρική παροχέτευση**: εκροή ή εισροή παροχής.
 - ο Δεν πληρούται η δέσμευση: < Ένας κόμβος υδροληψίας και ένας κόμβος υδροδότησης>.
- **Συστήματα** τα οποία περιλαμβάνουν **τουλάχιστον τρεις υδροδοτήσεις** ή **υδροληψίες** (δεξαμενές ή ελεύθερες εκροές).
 - ο Δεν πληρούται η δέσμευση: < Ένας κόμβος υδροληψίας και ένας κόμβος υδροδότησης>.
- **Σωλήνες σε παράλληλη διάταξη**, δηλαδή δίκτυα τα οποία περιλαμβάνουν **ένα τουλάχιστον βρόχο** και επιτρέπουν **περισσότερες** από μία **δυνατές διαδρομές** της ροής.
 - ο Δεν πληρούται η δέσμευση: < Η δυνατή διαδρομή του νερού μεταξύ των δύο κόμβων υδροληψίας / υδροδότησης είναι μοναδική>.
- **Δίκτυα** τα οποία **περιλαμβάνουν υδραυλικές μηχανές**:
Αντλίες οι οποίες **προσδίδουν** μηχανικό έργο (ενεργειακό διαθέσιμο) **στο** δίκτυο.
Στροβίλους οι οποίοι **αφαιρούν** μηχανικό έργο (ενεργειακό διαθέσιμο) **από** το δίκτυο.
 - ο Δεν πληρούται η δέσμευση: < Δεν περιλαμβάνονται στο σύστημα υδραυλικές μηχανές>.

5.2.2 Προβλήματα σε συστήματα, όπου η πίεση έχει καθοριστικό ρόλο

- Στα σύνθετα, τα πολύπλοκα, αλλά ακόμη και στα απλά συστήματα σωλήνων, εμφανίζονται, σε κάποιες θέσεις, **προβλήματα**, όπου η **πίεση** έχει **καθοριστικό ρόλο**.
- Τα προβλήματα αφορούν κατά περίπτωση σε:
 - ο **Υποπιέσεις**. Δηλαδή σε εμφάνιση πιέσεων **μικρότερων** από την **ατμοσφαιρική** πίεση με ενδεχόμενες **υδραυλικές** συνέπειες.
 - ο **Υπερπιέσεις**. Δηλαδή σε εμφάνιση πιέσεων **μεγαλύτερων** από την κατασκευαστική πίεση **αντοχής** του σωλήνα με ενδεχόμενες **μηχανικές** συνέπειες.
- Τα προβλήματα εμφανίζονται λόγω της **μορφολογίας** του **εδάφους** (χάραξη), ή / και της **λειτουργίας υδραυλικών μηχανών**.

6. ΣΩΛΗΝΕΣ ΕΝ ΣΕΙΡΑ ΜΕ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΠΑΡΟΧΗ

Ορίζονται οι διαφορές των συστημάτων σωλήνων εν σειρά με μεταβλητή παροχή σε σχέση με τα αντίστοιχα απλά συστήματα. Αξιοποιείται - επεκτείνεται η μεθοδολογία επίλυσης απλών συστημάτων στην επίλυση συστημάτων σωλήνων εν σειρά με μεταβλητή παροχή.

6.1 Γενικά

6.1.1 Εισαγωγή

Η κατηγορία αυτή **διαφέρει** από τα **απλά** συστήματα **μόνο** λόγω της **μεταβολής** της **παροχής** σε καθένα σωλήνα, κατά μήκος του δικτύου, από **πλευρικές εκροές** ή **εισροές** παροχής στους κόμβους.

Προσοχή! Οι εκροές (από) και οι εισροές (στους) κόμβους **δεν** είναι **ελεύθερες εκροές** (στην) ή εισροές (από την) **ατμόσφαιρα**, αλλά **λογιστικές μεταβολές** (μειώσεις ή αυξήσεις) της παροχής του δικτύου ☹.

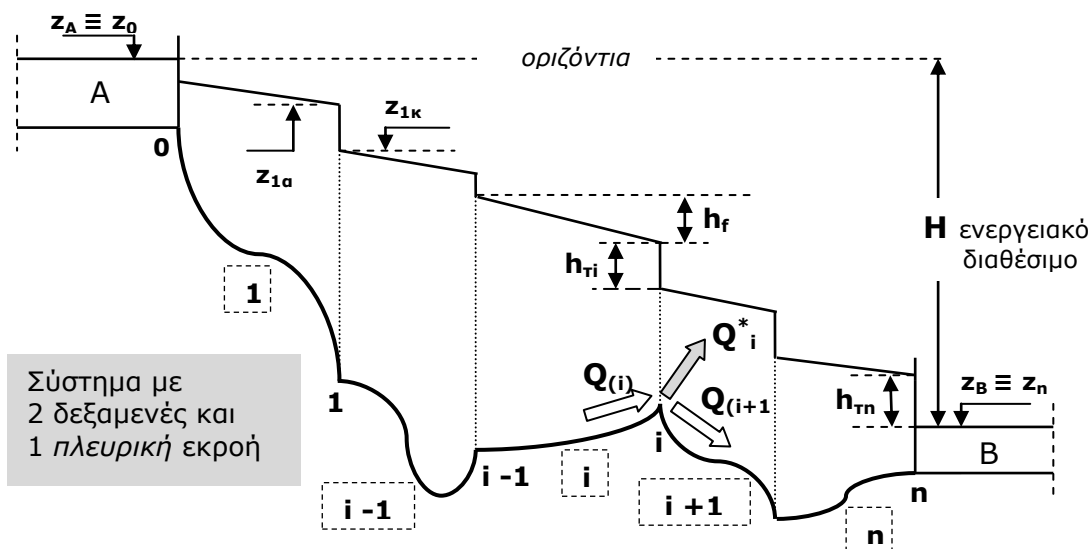
Δίδονται, με απόλυτη αριθμητική τιμή ή ως ποσοστό της παροχής ανάντη του κόμβου.

Τις εκροές / εισροές θα συμβολίζουμε <εδώ> με **αστερίσκο** και τον **αριθμό** του **κόμβου**: Q_i^* . Στα σχήματα συμβολίζονται με αντιπροσωπευτικό βέλος (βλ. 5.2.2).

6.1.2 Εξισώσεις και Γραμμή Ενέργειας

Σε κάθε κόμβο ισχύει η εξίσωση συνέχειας, λαμβάνουμε όμως υπόψη τις σημειούμενες εισροές / εκροές κατά περίπτωση:

- Η **παροχή** σε καθένα **σωλήνα** είναι γενικώς **διαφορετική**: $\sum Q_i = 0$
- Στον **επόμενο κατάντη** σωλήνα (**i+1**) είναι: $Q_{i+1} = Q_i \pm Q_i^*$ (43)
- Η σχέση (29): $H = \sum_{(1)}^{(n)} h_{fi} + \sum_0^n h_{ti} + \frac{V_n^2}{2 \cdot g}$ ισχύει χωρίς διαφοροποίηση!



6.2 Χαρακτηριστικά προβλήματα

6.2.1 Προβλήματα τα οποία επιλύονται ως επέκταση των Τυπικών Προβλημάτων

Ένα υποσύνολο από τα Προβλήματα υπολογισμών τα οποία ήδη χειριστήκαμε σε απλά συστήματα, ακολουθούν την **ίδια** ακριβώς **διαδικασία**, με απλή - **επιπλέον απαίτηση** τη χρήση της σχέσης (43), αντί της σχέσης (1).

Θα τα χειριστούμε απλώς ως επέκταση των Τυπικών Προβλημάτων (βλ. **4.2**) $\mathcal{D}_p$

Τα Προβλήματα αυτά είναι τα: **L5, L7, L7_a, L8, L9** και **L10_A**.

Θα τα συμβολίζουμε αντιστοίχως: **L5_P, L7_P, L7_{aP}, L8_P, L9_P** και **L10_{AP}**.

❖ Ως παράδειγμα ας εξετάσουμε το Πρόβλημα **L5_P**.

- Τα ζητούμενα είναι ακριβώς τα ίδια με το πρόβλημα **L5** (βλ. 4.2.2), αλλά η δεδομένη - ενιαία στο **L5** - παροχή **Q** αντικαθίσταται:
 - ο **Είτε** με τη **δεδομένη** παροχή **Q₁** του (πρώτου ανάντη) σωλήνα (**1**).
 - ο **Ή** με τη **δεδομένη** παροχή **Q_n** του (τελευταίου κατόντη) σωλήνα (**n**).

Δεδομένες είναι **επιπλέον** και **όλες** οι **εκροές / εισροές** στους κόμβους **Q^{*}_i**.

- Στη διαδικασία του **L5** προστίθεται ένα βήμα:
Υπολογισμός **όλων** των (γενικώς) **διαφορετικών** παροχών **Q_i** σε καθένα, σωλήνα με βάση την **Q₁** (ή την **Q_n**) και τις **Q^{*}_i**.

Τυποποίηση διαδικασίας:

Q_i [m ³ /s]	D_i [m]	k_{si} [m]	L_i [m]	v [m ² /s]	V_i [m/s]	R_i	f_i	h_{fi} [m]
Σh_{fi}								

Ακολουθούν Προβλήματα, τα οποία είναι ιδιαίτερα στους σωλήνες εν σειρά με μεταβλητή παροχή.

Οι προτεινόμενες διαδικασίες βασίζονται σε γνωστές διαδικασίες, οι οποίες εφαρμόζονται στα Τυπικά Προβλήματα, ή/και στα Βασικά Προβλήματα καθώς και σε αποτελεσματικές αριθμητικές μεθόδους με διαδοχικές προσεγγίσεις.

❖ Υπενθύμιση: Ως **πρώτο βήμα**, για την **επίλυση** οιοδήποτε προβλήματος, **χαράζουμε ποιοτικά** τη Γραμμή Ενέργειας!

6.2.2 Υπολογισμός των **διαφορετικών** παροχών Q_i - Πρόβλημα **Л11**

Είναι **γνωστές** όλες οι **εισροές** / **εκροές** στους κόμβους.

❖ **Αξιοποίηση των Προβλημάτων Л1, Л5Р και Л6 – αριθμητική μέθοδος**

Σημείωση 1: η μέθοδος περιλαμβάνει τον υπολογισμό της αρχικής τιμής της παροχής Q_{11} του ανάντη σωλήνα (**1**), με χρήση εμπειρικού πίνακα, ή την εκτίμησή της με άλλο τρόπο και την επαλήθευση – διόρθωση της τιμής αυτής.

Σημείωση 2: είναι δυνατό να γνωρίζουμε την τάξη μεγέθους της Q : π.χ. εάν έχει προηγηθεί υπολογισμός με ελαφρώς διαφορετικά μεγέθη, κυρίως του H . Τότε η αρχική τιμή Q_{11} εκτιμάται με άλλο τρόπο.

- Αποφασίζουμε εάν θα ληφθούν υπόψη οι τοπικές απώλειες: βλ. 2.4.2 - (28) και εξετάζουμε εάν υπάρχει κατάντη δεξαμενή.
- Προσδιορίζουμε τους σταθερούς συντελεστές της αριθμητικής μεθόδου (βλ. **Л6**):

$$C_H = \frac{8}{g \cdot \pi^2} \quad (30) \text{ και } C_{fi} = \frac{L_i}{D_i^5} \quad (31) \text{ -σε καθένα από τους σωλήνες.}$$

- $C_{Ti} = \frac{k_i}{D_i^4} \quad (32a) \text{ -μόνο εάν δεν αμελούνται οι τοπικές απώλειες.}$

- $C_V = \frac{1}{D_n^4} \quad (33) \text{ -εάν υπάρχει κατάντη δεξαμενή θέτουμε: } C_V = 0$

- Μορφώνουμε τη δευτεροβάθμια εξίσωση, από την οποία θα υπολογίσουμε την αρχική τιμή της παροχής Q_{11} του ανάντη σωλήνα (**1**)
- εάν η τάξη μεγέθους δεν είναι γνωστή

Σημείωση 3: Στη συνέχεια της διαδικασίας, για λόγους απλοποίησης, έχουν **αμεληθεί** οι **τοπικές απώλειες** και **υπάρχει** κατάντη **δεξαμενή**: $C_{Ti} = C_V = 0$.

Εάν αμελούνται οι τοπικές απώλειες, αλλά δεν υπάρχει κατάντη **δεξαμενή**: $C_{Ti} = 0$ αλλά: $C_V \neq 0$, η διαφορά από την απλοποίηση θα εξαλειφθεί στη συνέχεια της διαδικασίας.

$$A \cdot Q_{11}^2 + B \cdot Q_{11} + C = 0 \quad (44), \text{ όπου:}$$

- $A = \sum_{(1)}^{(n)} (f_{i0} \cdot C_{fi}) \quad (45)$

- $B = 2 \cdot [(f_{20} \cdot C_{f2}) \cdot (\pm Q_1^*) + (f_{30} \cdot C_{f3}) \cdot (\pm Q_1^* \pm Q_2^*) + \kappa \lambda \pi] \quad (46)$

- $C = [(f_{20} \cdot C_{f2}) \cdot Q_1^{*2} + (f_{30} \cdot C_{f3}) \cdot (\pm Q_1^* \pm Q_2^*)^2 + \kappa \lambda \pi] - \frac{H}{C_H} \quad (47)$

- Επιλύουμε τη δευτεροβάθμια εξίσωση και υπολογίζουμε τη **θετική αρχική τιμή** Q_{11} του ανάντη σωλήνα (**1**):

$$\Delta = B^2 - 4 \cdot A \cdot C \quad (48) \rightarrow Q_{11} = \frac{-B \pm \sqrt{\Delta}}{2 \cdot A} \quad (49)$$

και τις αρχικές τιμές Q_{i1} στους υπόλοιπους σωλήνες από τη σχέση (43):

$$Q_{21} = Q_{11} \pm Q_1^*, Q_{31} = Q_{21} \pm Q_2^* \text{ κλπ}$$

Σημείωση 4: Στις σχέσεις (46) και (47) οι **εισροές** στους κόμβους έχουν θετικό πρόσημο (+) και οι **εκροές** από τους κόμβους έχουν αρνητικό πρόσημο (-). Οι σχέσεις αυτές έχουν γραφτεί για ένα σύστημα με τρεις σωλήνες και μεταβολή της παροχής και στους δύο (ενδιάμεσους) κόμβους.

Εύκολα επεκτείνονται σε μεγαλύτερα συστήματα.

Σημείωση 5: Στις σχέσεις (45) ~ (47) χρησιμοποιούμε τις τιμές f_{i0} , τις οποίες έχουμε εκτιμήσει, για καθένα σωλήνα χωριστά, από τον εμπειρικό πίνακα (βλ. σελίδα 48X). Προσοχή! Ο Πίνακας **δεν** είναι **ακριβής** για λείους σωλήνες: $k_s = 0$.

➤ **Η εκτιμάμε την αρχική τιμή Q_{11} - εάν η τάξη μεγέθους είναι γνωστή**

$$Q_{11} = Q_1^* \cdot \sqrt{\frac{H}{H^*}} \quad (49a), \text{ όπου: } Q_1^*, H^* \text{ γνωστά - ελαφρώς διαφορετικά μεγέθη.}$$

- Εφαρμόζουμε το **Λ5P** και υπολογίζουμε το ενεργειακό διαθέσιμο H_1 .

$$H_1 = \sum_{(1)}^{(n)} h_{f1} + C_v \cdot C_H \cdot Q_{n1}^2 \quad (50) \text{ και } h_{f1} = C_H \cdot C_{fi} \cdot f_{i1} \cdot Q_{i1}^2 \quad (50a)$$

Σημείωση 6: **Δεν** χρησιμοποιούμε πλέον τον εμπειρικό πίνακα $\bullet^*$.

Χρησιμοποιούμε τις τιμές f_{i1} από τη σχέση (16), τις οποίες έχουμε υπολογίσει, για καθένα σωλήνα χωριστά, με βάση τις αρχικές τιμές Q_{i1} .

- Επαληθεύουμε τη σύγκλιση: $\frac{|H - H_1|}{H} \leq 5\% \quad (36)$

Σημείωση 7: Όταν τουλάχιστον ένας σωλήνας είναι λείος (βλ. *Σημείωση 5*), είναι πιθανό να μην πληρούται η απαίτηση (36) $\bullet^*$.

- ο Διορθώνουμε την αρχική τιμή Q_1 : (49a) $\rightarrow Q_{12} = Q_{11} \cdot \sqrt{\frac{H}{H_1}} \quad (49b)$

και τις αρχικές τιμές Q_{i1} στους υπόλοιπους σωλήνες από τη σχέση (43):

$$Q_{22} = Q_{12} \pm Q_1^*, Q_{32} = Q_{22} \pm Q_2^* \text{ κλπ}$$

- ο Εφαρμόζουμε εκ νέου το **Λ5P** και υπολογίζουμε το ενεργειακό διαθέσιμο H_2 .

$$H_2 = \sum_{(1)}^{(n)} h_{f2} + C_v \cdot C_H \cdot Q_{n2}^2 \quad (50b), \quad h_{f2} = C_H \cdot C_{fi} \cdot f_{i2} \cdot Q_{i2}^2 \quad (50γ)$$

Σημείωση 8: Χρησιμοποιούμε τις τιμές f_{i2} από τη σχέση (13), τις οποίες έχουμε υπολογίσει, για καθένα σωλήνα χωριστά, με βάση τις διορθωμένες τιμές Q_{i2} $\bullet^*$.

Επαληθεύουμε εκ νέου τη σύγκλιση: $\frac{|H - H_2|}{H} \leq 5\%$ (36a)

- **Χαράζουμε** επακριβώς τη **Γραμμή Ενέργειας** με τα ενεργειακά υψόμετρα σε όλους τους κόμβους.

Σημείωση 9: Υπενθυμίζεται ότι, η διαδικασία υπολογισμού είναι προσεγγιστική:

Στρογγυλεύουμε χονδροειδώς τις γραμμικές απώλειες:

$$h_{fi\tau\epsilon\lambda} = h_{fi1} \cdot \frac{H_1}{H} \quad (37) - \text{εάν πληρούται η (36), ή: } h_{fi\tau\epsilon\lambda} = h_{fi2} \cdot \frac{H_2}{H} \quad (37a)$$

Τυποποίηση διαδικασίας:

H [m]	D_i [m]	k_{si} [m]	L_i [m]	v [m ² /s]	C_H	C_{fi}	f_{i0}

A	B	C	Δ	Q₁₁

Q_{i1} [m ³ /s]	D_i [m]	k_{si} [m]	L_i [m]	v [m ² /s]	V_{i1} [m/s]	R_{i1}	f_{i1}	h_{fi1} [m]
H₁=								
ΔH [%]=								

Εάν απαιτείται διόρθωση (49β)

Q_{i2} [m ³ /s]	V_{i2} [m/s]	R_{i2}	f_{i2}	h_{fi2} [m]
H₂=				
ΔH [%]=				

Υπενθύμιση: Ως **πρώτο βήμα**, για την **επίλυση** οιοδήποτε προβλήματος, **χαράζουμε ποιοτικά τη Γραμμή Ενέργειας!**

6.2.3 Υπολογισμός της εκροής / εισροής **ενός** κόμβου Q_i^* - Πρόβλημα **Λ12**

Είναι **γνωστή**: **είτε** η παροχή Q_1 του (πρώτου ανάντη) σωλήνα (**1**), **ή** η παροχή Q_n του (τελευταίου κατάντη) σωλήνα (**n**).

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η διαδικασία στην περίπτωση όπου είναι γνωστή η παροχή Q_1 του (πρώτου ανάντη) αγωγού (**1**). Η επέκταση της διαδικασίας στην περίπτωση, όπου είναι **γνωστή** η παροχή Q_n του (τελευταίου κατάντη) αγωγού (**n**), είναι απλή και οιονεί κατοπτρική.

❖ Αξιοποίηση δημιουργική των Προβλημάτων **Λ5P** και **Λ11**

- Αποφασίζουμε εάν θα ληφθούν υπόψη οι τοπικές απώλειες: βλ. 2.4.2 - (28).
 - Εφαρμόζουμε τη διαδικασία επίλυσης του Προβλήματος **Λ5P** στο **τμήμα** του δικτύου **ανάντη** του κόμβου **i** και υπολογίζουμε το (ενεργειακό) υψόμετρό του:
 - Εφαρμόζουμε τη διαδικασία επίλυσης του Προβλήματος **Λ11** στο **τμήμα** του δικτύου **κατάντη** του κόμβου **i** και υπολογίζουμε την παροχή Q_{i+1} (κατάντη του κόμβου **i**).
 - Υπολογίζουμε την παροχή Q_i^* : $Q_i^* = Q_i - Q_{i+1}$ (43a)
- Χαράζουμε επακριβώς τη **Γραμμή Ενέργειας** με τα ενεργειακά υψόμετρα σε όλους τους κόμβους.

Σημείωση: Είναι προφανές ότι, το πρόβλημα απλοποιείται όταν (ενδεικτικώς):

- ο Δεν υπάρχουν εισροές / εκροές στους κόμβους ανάντη του κόμβου **i**
→ Αξιοποιούμε το πρόβλημα **Λ5** αντί για το **Λ5P**.
- ο Δεν υπάρχουν εισροές / εκροές στους κόμβους κατάντη του κόμβου **i**
→ Αξιοποιούμε το πρόβλημα **Λ6** αντί για το **Λ11**.
- ο Το σύστημα περιλαμβάνει μόνο δύο σωλήνες και ένα κόμβο, (όπου ζητείται η εισροή / εκροή).
→ Αξιοποιούμε τα βασικά προβλήματα **Λb1** και **Λb2** *Δρ*

6.3 Εφαρμογές υπολογισμού

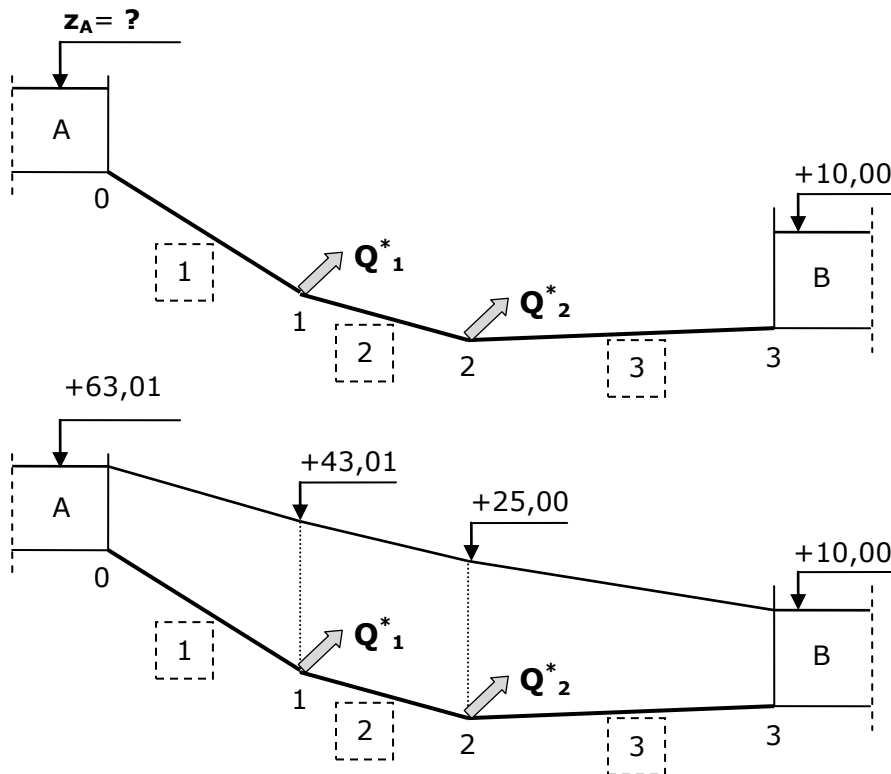
6.3.1 Η εφαρμογή επικεντρώνεται στο Πρόβλημα **Λ5Ρ**

Στο υδραγωγείο του σχήματος η παροχή νερού στο σωλήνα (1) είναι $Q_1=325$ lt/s, η στάθμη στη δεξαμενή B είναι γνωστή, καθώς και οι πλευρικές εκροές στους κόμβους: $Q^*_1=100$ lt/s και $Q^*_2=75$ lt/s.

Δίδονται επίσης τα στοιχεία:

αγωγός	D_i [mm]	k_{si} [mm]	L_i [m]
(1)	350	1,00	463
(2)	300	1,00	385
(3)	250	1,00	275

Να υπολογιστεί η στάθμη z_A της δεξαμενής A και να χαραχθεί η Γραμμή Ενέργειας.



(28) → οι τοπικές απώλειες αμελούνται. Δεν υπάρχει ελεύθερη εκροή.

Q_i [m ³ /s]	D_i [m]	k_{si} [m]	L_i [m]	v [m ² /s]	V _i [m/s]	R _i	f _i	h_{fi} [m]
0,325	350	1,00	463	1,1.10⁻⁶	3,378	1,075.10 ⁶	0,0260	20,00
0,225	300	1,00	385		3,183	8,681.10 ⁵	0,0272	18,01
0,150	250	1,00	275		3,056	6,945.10 ⁵	0,0287	15,00
Σh_{fi}=								53,01

$$z_A = +10,00 + 15,00 + 18,01 + 20,00 = +63,01 \text{ m.}$$

$$z_1 = +10,00 + 15,00 + 18,01 = +43,01 \text{ m.}$$

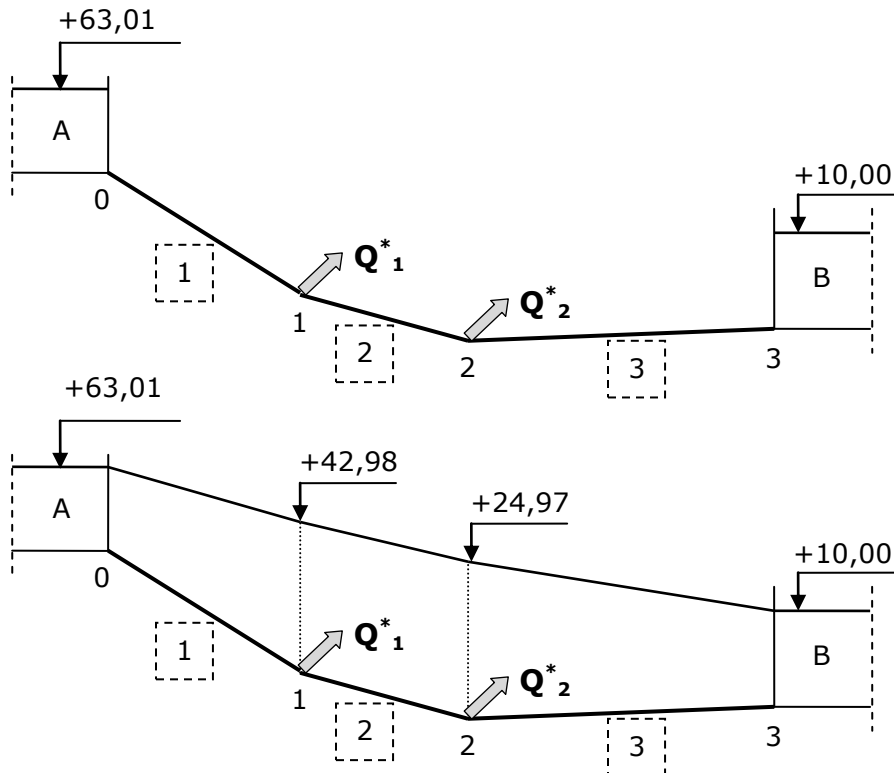
$$z_2 = +10,00 + 15,00 = +25,00 \text{ m.}$$

6.3.2 Η εφαρμογή επικεντρώνεται στο Πρόβλημα **Λ11**

Στο υδραγωγείο του σχήματος είναι γνωστές και οι δύο στάθμες των δεξαμενών, καθώς και οι πλευρικές εκροές στους κόμβους: $Q^*_1 = 100 \text{ lt/s}$ και $Q^*_2 = 75 \text{ lt/s}$. Δίδονται επίσης τα στοιχεία:

αγωγός	D_i [mm]	k_{si} [mm]	L_i [m]
(1)	350	1,00	463
(2)	300	1,00	385
(3)	250	1,00	275

Να υπολογιστεί η παροχή Q και να χαραχθεί η Γραμμή Ενέργειας.



(28) → οι τοπικές απώλειες αμελούνται. Δεν υπάρχει ελεύθερη εκροή.

H [m]	D_i [m]	k_{si} [m]	L_i [m]	v [m ² /s]	C_H	C_{fi}	f_{i0}
53,01	0,350	$1,0 \cdot 10^{-3}$	463	$1,1 \cdot 10^{-6}$	0,08263	$8,815 \cdot 10^4$	0,0261
	0,300	$1,0 \cdot 10^{-3}$	385			$1,584 \cdot 10^5$	0,0273
	0,250	$1,0 \cdot 10^{-3}$	275			$2,816 \cdot 10^5$	0,0287

A	B	C	Δ	Q_{11}
$1,47080 \cdot 10^4$	$-3,69373 \cdot 10^3$	$-3,50802 \cdot 10^2$	$3,42821 \cdot 10^7$	0,3246

Q_{i1} [m ³ /s]	D_i [m]	k_{si} [m]	L_i [m]	ν [m ² /s]	V_{i1} [m/s]	R_{i1}	f_{i1}	h_{fi1} [m]	
0,3246	350	1,0.10⁻³	463	1,1.10⁻⁶	3,37	1,073.10 ⁶	0,0260	19,957	
0,2246	300	1,0.10⁻³	385		3,18	8,681.10 ⁵	0,0272	17,945	
0,1496	250	1,0.10⁻³	275		3,05	6,945.10 ⁵	0,0287	14,922	
H₁=								52,824	
							ΔH	[%]=	0,35✓

→ $Q_1 = 325$ lt/s, $Q_2 = 225$ lt/s, $Q_3 = 150$ lt/s.

$h_{f1} = 20,03$ m, $h_{f2} = 18,01$ m και $h_{f3} = 14,97$ m. (μετά τη στρογγύλευση!)

$z_1 = +10,00 + 14,97 + 18,01 = +42,98$ m.

$z_2 = +10,00 + 14,97 = +24,97$ m.

Σημείωση: Συγκρίνοντας τις τιμές των ενεργειακών υψομέτρων των κόμβων 1 και 2, αλλά και τις τιμές των παροχών στους σωλήνες, παρατηρούμε ότι ελάχιστα διαφέρουν, από τις αντίστοιχες τιμές στην *κατοπτρική* Εφαρμογή 6.3.1, παρότι <εδώ> ακολουθήθηκε προσεγγιστική διαδικασία ☺

7. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΑ ΟΠΟΙΑ ΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΟΥΝ ΥΔΡΑΥΛΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ

Ορίζονται οι διαφορές των συστημάτων σωλήνων τα οποία περιλαμβάνουν υδραυλικές μηχανές σε σχέση με τα αντίστοιχα απλά συστήματα. Αξιοποιείται - επεκτείνεται η μεθοδολογία επίλυσης απλών συστημάτων στην επίλυση συστημάτων τα οποία περιλαμβάνουν υδραυλικές μηχανές.

7.1 Γενικά

7.1.1 Εισαγωγή

Η κατηγορία αυτή **διαφέρει** από τα **απλά** συστήματα **μόνο** λόγω της **μεταβολής** του **ενεργειακού διαθέσιμου** στο σύστημα, το οποίο οφείλεται στη λειτουργία της υδραυλικής μηχανής.

Προσοχή! Είναι πολύ σημαντική η κατανόηση, ότι οι υδραυλικές μηχανές **δίνουν μηχανικό έργο** στη ροή - **αντλίες**, ή **αφαιρούν μηχανικό έργο** από τη ροή - **στρόβιλοι**. Σε καμία περίπτωση **δεν δίνουν** ή **αφαιρούν παροχή** ☹.

Είναι βεβαίως προφανές ότι, εφόσον η λειτουργία υδραυλικών μηχανών μεταβάλει το ενεργειακό διαθέσιμο του δικτύου, η **παροχή αυξομειώνεται**:

- **Προτού** και **μετά** τη θέση σε **λειτουργία** της υδραυλικής **μηχανής**.
- **Όχι προτού** ή **μετά** τον **κόμβο**, όπου είναι τοποθετημένη ☹.

7.1.2 Εξισώσεις και Γραμμή Ενέργειας

- Η **παροχή** $Q = \frac{\pi \cdot D_i^2}{4} \cdot V_i$ (1) είναι **ενιαία** σε όλους τους σωλήνες.

- Η σχέση (29), (βλ. 4.2.1) παίρνει **γενικότερη** μορφή:

$$\pm H \pm H_M = \sum_{(1)}^{(n)} h_{fi} + \sum_0^n h_{ti} + \frac{V_n^2}{2 \cdot g} \quad (51)$$

- ο Δηλαδή το **ενεργειακό διαθέσιμο** ορίζεται γενικότερα ως: $\pm H \pm H_M$ (51a).

Η υψομετρική διαφορά **H** της στάθμης των δύο δεξαμενών (ή της ανάντη δεξαμενής και του άξονα της εκροής στην ατμόσφαιρα) **δεν** αποτελεί πλέον το ενεργειακό διαθέσιμο και είναι δυνατό να λογίζεται ως **θετική** ή **αρνητική** ☹* Στην περίπτωση κλειστού κυκλώματος αντλίας δεν υπάρχει καν υψομετρική διαφορά.

- ο **H_M** είναι το **έργο ανά μονάδα βάρους ρέοντος ρευστού**, καλείται **μανομετρικό ύψος** της υδραυλικής μηχανής και λογίζεται ως:

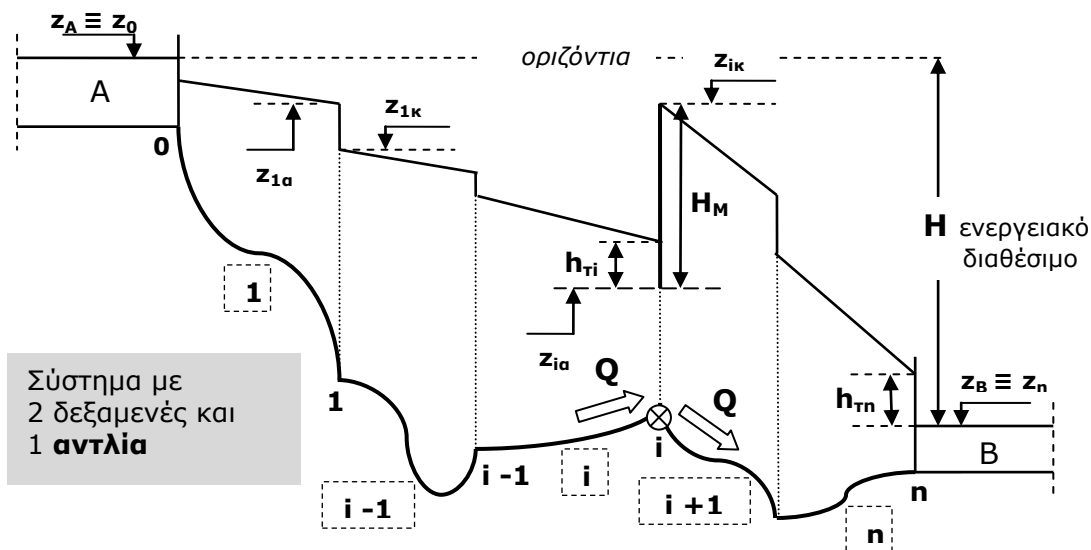
θετικό σε **αντλία** - **αρνητικό** σε **στρόβιλο**.

- ο Το **μανομετρικό ύψος H_M** συνδέεται με την **ισχύ N** της υδραυλικής μηχανής

$$N = \frac{\gamma \cdot g \cdot Q \cdot H_M}{n} \quad (52) \text{ -σε kW, ή } H_M = \frac{n \cdot N}{\gamma \cdot g \cdot Q} \quad (52a) \text{ -σε m.}$$

$$N = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_M}{0,075 \cdot n} \quad (53) \text{ -σε ίππους CV, ή } H_M = \frac{0,075 \cdot n \cdot N}{\gamma \cdot Q} \quad (53a) \text{ -σε m.}$$

- **γ** : το **ειδικό βάρος** του ρέοντος υγρού, σε t/m^3 .
- **n** : ο **συντελεστής απόδοσης** της υδραυλικής μηχανής, αδιάστατος.
 Στη συνέχεια θα θεωρούμε, για λόγους απλοποίησης, το συντελεστή **n σταθερό**. Στην πραγματικότητα μεταβάλλεται με τη παροχή και είναι απαραίτητο - στην πράξη - να συμβουλευόμαστε τους πίνακες και διαγράμματα λειτουργίας της συγκεκριμένης μηχανής.



- Από τις σχέσεις (52) και (53) είναι φανερό ότι η ισχύς **N** μιας **αντλίας** συνδέεται **ανταγωνιστικώς** με την παροχή **Q** και το μανομετρικό ύψος **H_M** .

Δηλαδή για δεδομένη N : $Q \uparrow \Rightarrow H_M \downarrow$ και $Q \downarrow \Rightarrow H_M \uparrow$

Στην πράξη χειριζόμαστε την ως άνω **αντίφαση** με δύο διατάξεις - *τρόπους*.

Και στις δύο διατάξεις - *τρόπους*, το αντλιοστάσιο περιλαμβάνει **n** αντλίες:

- ο Συνδέουμε **αντλίες εν σειρά**.

Στην έξοδο της 1^{ης} αντλίας συνδέουμε τη 2^η, στην έξοδο της 2^{ης} αντλίας συνδέουμε την 3^η κ.ο.κ. Για το σύστημα **n** αντλιών ισχύει:

- **Παροχή** συστήματος **ενιαία**: **Q**

- Λογιστικό **μανομετρικό ύψος** συστήματος:
$$H_{M_{\text{συστ}}} = \sum_{i=1}^n H_{Mi}$$

- ο Συνδέουμε **αντλίες εν παράλληλω**:

Στην είσοδο του αντλιοστασίου *μοιράζουμε* την παροχή του σωλήνα εισόδου στις αντλίες.

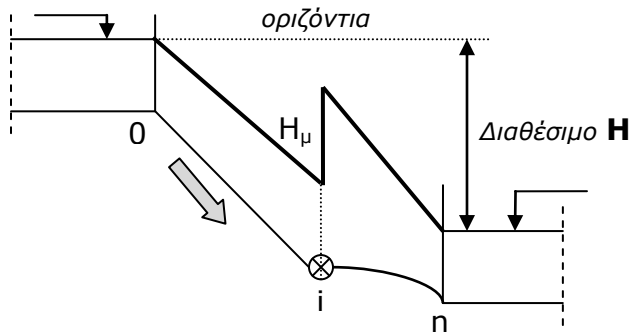
Στην έξοδο του αντλιοστασίου *συγκεντρώνουμε* την παροχή των αντλιών στο σωλήνα εξόδου.

Για το σύστημα **n** αντλιών ισχύει:

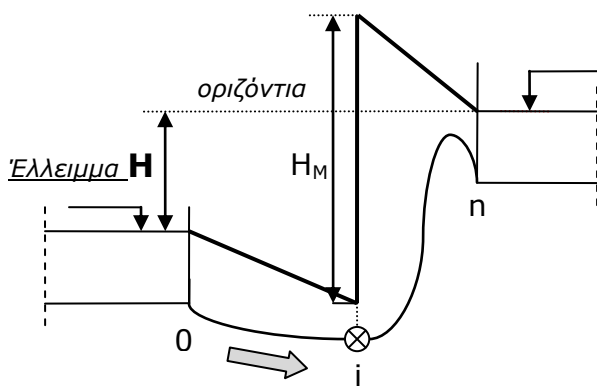
- **Παροχή** συστήματος **Q** :
$$Q_{\text{συστ}} = \sum_{i=1}^n Q_i$$

- Λογιστικό **μανομετρικό ύψος** συστήματος **ενιαίο**: **H_M**

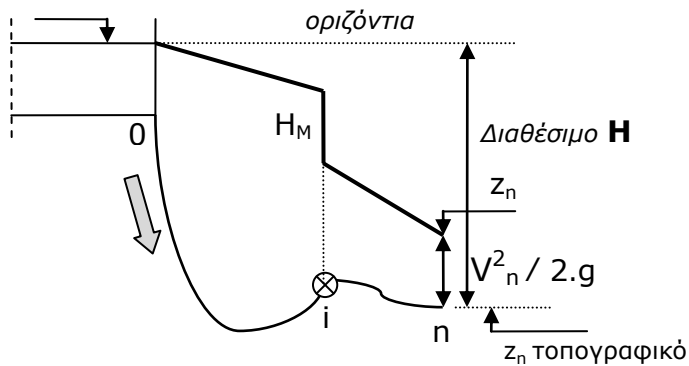
Τυπικές μορφές Γραμμής Ενέργειας
και πρόσημα στη σχέση (51)



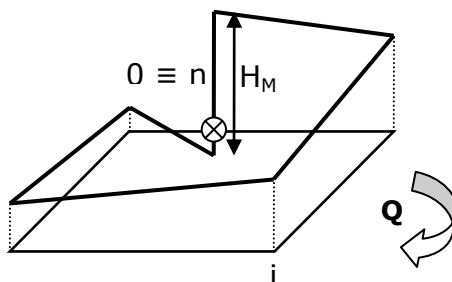
ΑΝΤΛΙΑ
 $H_M > 0, H > 0$



ΑΝΤΛΙΑ
 $H_M > 0, H < 0$



ΣΤΡΟΒΙΛΟΣ
 $H_M < 0, H > 0$



ΑΝΤΛΙΑ
κλειστό κύκλωμα
 $H_M > 0, H = 0$

❖ Υπενθύμιση: Ως **πρώτο βήμα**, για την **επίλυση** οιοδήποτε προβλήματος, **χαράζουμε** **ποιοτικά** τη Γραμμή Ενέργειας!

7.2 Χαρακτηριστικά προβλήματα

7.2.1 Προβλήματα τα οποία επιλύονται ως επέκταση των Τυπικών Προβλημάτων

Ένα υποσύνολο από τα Προβλήματα υπολογισμών τα οποία ήδη χειριστήκαμε σε απλά συστήματα, ακολουθούν την **ίδια** ακριβώς **διαδικασία**, με απλή - **επιπλέον απαίτηση** τη χρήση της σχέσης (51), αντί της σχέσης (29).

Θα τα χειριστούμε απλώς ως επέκταση των Τυπικών Προβλημάτων (βλ. **4.2**) $\mathcal{D}_p$

Τα Προβλήματα αυτά είναι τα: **L5, L7, L7_a, L8, L9** και **L10_A**.

Θα τα συμβολίζουμε αντιστοίχως: **L5_M, L7_M, L7_{aM}, L8_M, L9_M** και **L10_{AM}**.

Σημείωση 1: σε όλα τα παραπάνω Προβλήματα ως **δεδομένο** (ή ζητούμενο) αρκεί **ένα από** τα: **μανομετρικό ύψος H_M ή ισχύς N** της υδραυλικής μηχανής (καθώς και ο συντελεστής απόδοσής της **η** και το ειδικό βάρος του ρέοντος υγρού **γ**), διότι συνδέονται μέσω των σχέσεων (52) - (52a), ή (53) - (53a).

Σημείωση 2: Οι τοπικές απώλειες στους κόμβους, **εκτός της υδραυλικής μηχανής**, αποφασίζεται εάν θα ληφθούν υπόψη ή όχι κατά τα γνωστά (βλ. 2.4.2 - (28)).

Οι τοπικές απώλειες στην **υδραυλική μηχανή** είναι **σημαντικές**, δεν εξετάζονται με το παραπάνω κριτήριο και **δεν παραλείπονται**, αλλά είτε δίδονται, ή ρητώς στην εκφώνηση προδιαγράφεται η παράλειψή τους.

Υπενθυμίζεται ότι και οι τοπικές απώλειες σε δικλείδες είναι σημαντικές (βλ. 2.4.2).

❖ Ως παράδειγμα ας εξετάσουμε το Πρόβλημα **L5_M**.

➤ Τα ζητούμενα είναι τα ίδια με το πρόβλημα **L5** (βλ. 4.2.2), αλλά το ενεργειακό διαθέσιμο **H** λαμβάνει τη **γενικότερη τιμή του** από τη σχέση (51a).
Είναι δυνατό να υπολογιστούν τελικώς:

- Ένα εκ των υψομέτρων της ελεύθερης επιφάνειας - στάθμης των δεξαμενών: **z_A, z_B** , ή του τοπογραφικού υψομέτρου του άξονα του σωλήνα **z_n** στην περίπτωση ελεύθερης εκροής στην ατμόσφαιρα.
- Το μανομετρικό ύψος H_M ή η ισχύς N της υδραυλικής μηχανής.

➤ Η διαδικασία του **L5** τροποποιείται ελάχιστα:

Τυποποίηση διαδικασίας:

Q [m ³ /s]	D_i [m]	k_{si} [m]	L_i [m]	v [m ² /s]	V_i [m/s]	R_i	f_i	h_{fi} [m]
Σh_{fi}=								
±H ή ±H_M=								
±H ή ±H_M=								

Ακολουθούν Προβλήματα, τα οποία είναι ιδιαίτερα σε συστήματα τα οποία περιλαμβάνουν υδραυλικές μηχανές.

Οι προτεινόμενες διαδικασίες basίζονται σε γνωστές διαδικασίες, οι οποίες εφαρμόζονται στα Τυπικά Προβλήματα, ή/και στα Βασικά Προβλήματα καθώς και σε αποτελεσματικές αριθμητικές μεθόδους με διαδοχικές προσεγγίσεις.

7.2.2 Υπολογισμός της **ενιαίας** παροχής **Q** - Πρόβλημα **Λ13_A**

Είναι **γνωστό** το **μανομετρικό ύψος** **H_M** της υδραυλικής μηχανής.

❖ Γενίκευση του Προβλήματος **Λ16** – αριθμητική μέθοδος

Σημείωση 1: η μέθοδος περιλαμβάνει τον υπολογισμό της αρχικής τιμής της παροχής **Q₁** με χρήση εμπειρικού πίνακα, ή την εκτίμησή της με άλλο τρόπο και την επαλήθευση – διόρθωση της τιμής αυτής.

Σημείωση 2: είναι δυνατό να γνωρίζουμε την τάξη μεγέθους της Q: π.χ. εάν έχει προηγηθεί υπολογισμός με ελαφρώς διαφορετικά μεγέθη, κυρίως των H ή H_M. Τότε η αρχική τιμή εκτιμάται με άλλο τρόπο.

- Αποφασίζουμε εάν θα ληφθούν υπόψη οι τοπικές απώλειες: βλ. 2.4.2 - (28).
- Προσδιορίζουμε τους σταθερούς συντελεστές της αριθμητικής μεθόδου:

$$C_H = \frac{8}{g \cdot \pi^2} \quad (30) \text{ και } C_{fi} = \frac{L_i}{D_i^5} \quad (31) \text{ -σε καθένα από τους σωλήνες.}$$

- $C_T = \sum_0^n \frac{k_i}{D_i^4} \quad (32)$ -**μόνο** εάν **δεν** αμελούνται οι τοπικές απώλειες.

- $C_{TM} = \frac{k_M}{D_i^4} \quad (54)$ -**μόνο** εάν **δεν** αμελούνται οι τοπικές απώλειες της μηχανής.

- $C_V = \frac{1}{D_n^4} \quad (33)$ -**εάν** υπάρχει **κατάντη δεξαμενή** θέτουμε: $C_V = 0$

- Υπολογίζουμε την αρχική τιμή **Q₁** - *εάν η τάξη μεγέθους **δεν** είναι **γνωστή***

$$Q_1 = \sqrt{\frac{\pm H \pm H_M}{C_H \cdot \left(\sum_{(1)}^{(n)} (C_{fi} \cdot f_{i0}) + C_T + C_{TM} + C_V \right)}} \quad (55)$$

Σημείωση 3: Στη σχέση (55) χρησιμοποιούμε τις τιμές **f_{i0}**, τις οποίες έχουμε εκτιμήσει, για καθένα σωλήνα χωριστά, από τον εμπειρικό πίνακα (βλ. σελίδα 48X). Προσοχή! Ο Πίνακας **δεν** είναι **ακριβής** για λείους σωλήνες: **k_s = 0**.

- **Ή** εκτιμάμε την αρχική τιμή **Q₁** - *εάν η τάξη μεγέθους **είναι γνωστή***

$$Q_1 = Q^* \cdot \sqrt{\frac{\pm H \pm H_M}{\pm H^* \pm H_M^*}} \quad (55a), \text{ όπου:}$$

Q*, H* και H_M* γνωστά - ελαφρώς διαφορετικά μεγέθη.

- Εφαρμόζουμε το **Λ15** και υπολογίζουμε το ενεργειακό διαθέσιμο **H₁**.

$$\pm H_1 = \sum_{(1)}^{(n)} h_{f1} \pm H_M + C_T \cdot C_H \cdot Q_1^2 + C_{TM} \cdot C_H \cdot Q_1^2 + C_V \cdot C_H \cdot Q_1^2 \quad (56),$$

όπου: $h_{fi1} = C_H \cdot C_{fi} \cdot f_{i1} \cdot Q_1^2$ (35α)

Σημείωση 4: **Δεν** χρησιμοποιούμε πλέον τον εμπειρικό πίνακα $\bullet^*$.
Χρησιμοποιούμε τις τιμές f_{i1} από τη σχέση (16), τις οποίες έχουμε υπολογίσει, για καθένα σωλήνα χωριστά, με βάση την αρχική τιμή Q_1 .

- Επαληθεύουμε τη σύγκλιση: $\frac{|H| - |H_1|}{|H|} \leq 5\%$ (57)

Σημείωση 5: Όταν τουλάχιστον ένας σωλήνας είναι λείος (βλ. **Σημείωση 3**), είναι πιθανό να μην πληρούται η απαίτηση (57) $\bullet^*$.

- Διορθώνουμε την αρχική τιμή Q_1 : (55α) $\rightarrow Q_2 = Q_1 \cdot \sqrt{\frac{\pm H \pm H_M}{\pm H_1 \pm H_M}}$ (55β)

- Εφαρμόζουμε εκ νέου το **Λ5** και υπολογίζουμε το ενεργειακό διαθέσιμο H_2 .

$$\pm H_2 = \sum_{(1)}^{(n)} h_{fi2} \pm H_M + C_T \cdot C_H \cdot Q_2^2 + C_{TM} \cdot C_H \cdot Q_2^2 + C_V \cdot C_H \cdot Q_2^2 \quad (56\beta),$$

όπου: $h_{fi2} = C_H \cdot C_{fi} \cdot f_{i2} \cdot Q_2^2$ (35γ)

Σημείωση 6: Χρησιμοποιούμε τις τιμές f_{i2} από τη σχέση (16), τις οποίες έχουμε υπολογίσει, για καθένα σωλήνα χωριστά, με βάση τη διορθωμένη τιμή Q_2 $\bullet^*$.

- Επαληθεύουμε εκ νέου τη σύγκλιση: $\frac{|H| - |H_2|}{|H|} \leq 5\%$ (57α)

➤ Χαράζουμε επακριβώς τη **Γραμμή Ενέργειας** με τα ενεργειακά υψόμετρα σε όλους τους κόμβους.

Σημείωση 7: Υπενθυμίζεται ότι, η διαδικασία υπολογισμού είναι προσεγγιστική:

Στρογγυλεύουμε χονδροειδώς τις γραμμικές απώλειες (βλ. **Λ6**).

Τυποποίηση διαδικασίας:

H [m]	H _M [m]	D _i [m]	k _{si} [m]	L _i [m]	v [m ² /s]	C _H	C _{fi}	f _{i0}

Q ₁ [m ³ /s]	V _{i1} [m/s]	R _{i1}	f _{i1}	h _{fi1} [m]	H ₁ [m]	ΔH [%]	Q ₂ [m ³ /s]
Σh _{fi1} =							

Εάν απαιτείται διόρθωση (βλ. **Λ6**).

7.2.3 Υπολογισμός της **ενιαίας** παροχής **Q** - Πρόβλημα **Λ13_B**

Είναι **γνωστή** η **ισχύς N** της υδραυλικής μηχανής και ο συντελεστής απόδοσής της.

❖ Γενίκευση του Προβλήματος **Λ16** – αριθμητική μέθοδος

Σημείωση 1: η μέθοδος περιλαμβάνει τον υπολογισμό της αρχικής τιμής της παροχής **Q₁** με χρήση δύο εμπειρικών πινάκων, ή την εκτίμησή της με άλλο τρόπο και την επαλήθευση – διόρθωση της τιμής αυτής.

Σημείωση 2: σε αντίθεση με το Πρόβλημα **Λ13_A**, ο υπολογισμός της αρχικής τιμής **Q₁** είναι **δυσχερής**, διότι η σχέση (51) **δεν** οδηγεί πλέον στην **απλή σχέση** (55), αλλά σε **τριτοβάθμια εξίσωση**.

Απαιτείται επομένως – ως **πρώτο βήμα** – η εκτίμηση της τιμής εκκίνησης **Q₀**, με χρήση ενός επιπλέον εμπειρικού πίνακα, ο οποίος βασίζεται στα συνήθη στην πράξη όρια ταχυτήτων (βλ. 2.3.2).

Γενικώς η διαδικασία σύγκλισης είναι πιο αργή και απαιτούνται περισσότερες διαδοχικές επαναλήψεις της αριθμητικής μεθόδου, ιδιαιτέρως όταν τουλάχιστον ένας σωλήνας είναι λείος.

Σημείωση 3: είναι δυνατό να γνωρίζουμε την τάξη μεγέθους της Q: π.χ. εάν έχει προηγηθεί υπολογισμός με ελαφρώς διαφορετικά μεγέθη, κυρίως των H ή H_M. Τότε η αρχική τιμή εκτιμάται με άλλο τρόπο.

- Αποφασίζουμε εάν θα ληφθούν υπόψη οι τοπικές απώλειες: βλ. 2.4.2 - (28).
- Προσδιορίζουμε τους σταθερούς συντελεστές της αριθμητικής μεθόδου:

$$C_H = \frac{8}{g \cdot \pi^2} \quad (30) \text{ και } C_{fi} = \frac{L_i}{D_i^5} \quad (31) \text{ -σε καθένα από τους σωλήνες.}$$

$$\text{και } C_M = \frac{n \cdot N}{\gamma \cdot g} \quad (58) \text{ ή } C_M = \frac{0,075 \cdot n \cdot N}{\gamma} \quad (58a) \text{ -οπωσδήποτε.}$$

$$\circ C_T = \sum_0^n \frac{k_i}{D_i^4} \quad (32) \text{ -μόνο εάν } \mathbf{\delta\epsilon\nu} \text{ αμελούνται οι } \mathbf{\textit{τοπικές απώλειες}}.$$

$$\circ C_{TM} = \frac{k_M}{D_i^4} \quad (54) \text{ -μόνο εάν } \mathbf{\delta\epsilon\nu} \text{ αμελούνται οι } \mathbf{\textit{τοπικές απώλειες της μηχανής}}.$$

$$\circ C_V = \frac{1}{D_n^4} \quad (33) \text{ -εάν υπάρχει } \mathbf{\textit{κατάντη δεξαμενή}} \text{ θέτουμε: } C_V = 0$$

- Εκτιμάμε την τιμή εκκίνησης **Q₀**, με χρήση του παρακάτω εμπειρικού πίνακα
- εάν η τάξη μεγέθους **δεν** είναι **γνωστή**

D [mm]	100	125	150	175	200	250	300	350	400	500	600
Q_{min} [m ³ /s]	0,008	0,012	0,018	0,024	0,031	0,049	0,071	0,096	0,126	0,196	0,283
Q_{max} [m ³ /s]	0,027	0,043	0,062	0,084	0,110	0,172	0,247	0,337	0,440	0,687	0,990

Η τιμή Q_0 προκύπτει ως ο **μέσος όρος** της ελάχιστης τιμής παροχής του μεγαλύτερου σωλήνα και της μέγιστης τιμής παροχής του μικρότερου σωλήνα:

$$Q_0 = \frac{\{Q_{\min} @ D_{\max}\} + \{Q_{\max} @ D_{\min}\}}{2} \quad (59)$$

- Υπολογίζουμε την αρχική τιμή Q_1 - εάν η τάξη μεγέθους **δεν** είναι **γνωστή**

$$Q_1 = Q_0 \cdot \left[\frac{\pm H \cdot Q_0 \pm C_M}{C_H \cdot \left(\sum_{(1)}^{(n)} (C_{fi} \cdot f_{i0}) + C_T + C_{TM} + C_V \right) \cdot Q_0^3} \right]^{1/3} \quad (60)$$

Σημείωση 3: Στη σχέση (60) χρησιμοποιούμε τις τιμές f_{i0} , τις οποίες έχουμε εκτιμήσει, για καθένα σωλήνα χωριστά, από τον εμπειρικό πίνακα (βλ. σελίδα 48X).

- **Η** εκτιμάμε την αρχική τιμή Q_1 - εάν η τάξη μεγέθους **είναι γνωστή**

$$Q_1 = Q^* \cdot \sqrt{\frac{\pm H \pm H_M^*}{\pm H^* \pm H_M^*}} \quad (60a), \text{ όπου:}$$

Q^* , H^* και H_M^* γνωστά - ελαφρώς διαφορετικά μεγέθη.

- Εφαρμόζουμε το **Λ5** και υπολογίζουμε το ενεργειακό διαθέσιμο H_1 .

$$\pm H_1 = \sum_{(1)}^{(n)} h_{fi1} \mp H_{M1} + C_T \cdot C_H \cdot Q_1^2 + C_{TM} \cdot C_H \cdot Q_1^2 + C_V \cdot C_H \cdot Q_1^2 \quad (61),$$

όπου: $h_{fi1} = C_H \cdot C_{fi} \cdot f_{i1} \cdot Q_1^2$ (35a) και $H_{M1} = \frac{C_M}{Q_1}$ (62)

Σημείωση 4: **Δεν** χρησιμοποιούμε πλέον τον εμπειρικό πίνακα $\bullet^*$.

Χρησιμοποιούμε τις τιμές f_{i1} από τη σχέση (16), τις οποίες έχουμε υπολογίσει, για καθένα σωλήνα χωριστά, με βάση την αρχική τιμή Q_1 .

Σημείωση 5: **Προσοχή**, στη σχέση (61) το **πρόσημο** του μανομετρικού ύψους της υδραυλικής μηχανής **αντιστρέφεται** $\bullet^*$.

- Επαληθεύουμε τη σύγκλιση: $\frac{|H| - |H_1|}{|H|} \leq 5\%$ (57)

- Διορθώνουμε την αρχική τιμή Q_1 : $\rightarrow Q_2 = Q_1 \cdot \left(\frac{\pm H \pm H_{M1}}{\pm H_1 \pm H_{M1}} \right)^{1/3}$ (63)

- Εφαρμόζουμε εκ νέου το **Λ5** και υπολογίζουμε το ενεργειακό διαθέσιμο H_2 .

$$\pm H_2 = \sum_{(1)}^{(n)} h_{fi2} \mp H_{M2} + C_T \cdot C_H \cdot Q_2^2 + C_{TM} \cdot C_H \cdot Q_2^2 + C_V \cdot C_H \cdot Q_2^2 \quad (64),$$

όπου: $h_{fi2} = C_H \cdot C_{fi} \cdot f_{i2} \cdot Q_2^2$ (35β) και $H_{M2} = \frac{C_M}{Q_2}$ (62a)

Σημείωση 6: Χρησιμοποιούμε τις τιμές f_{i2} από τη σχέση (13), τις οποίες έχουμε υπολογίσει, για καθένα σωλήνα χωριστά, με βάση τη διορθωμένη τιμή Q_2 $\bullet^*$.

Σημείωση 7: **Προσοχή**, στη σχέση (61a) το **πρόσημο** του μανομετρικού ύψους της υδραυλικής μηχανής **αντιστρέφεται** $\bullet^*$.

• Επαληθεύουμε εκ νέου τη σύγκλιση: $\frac{|H| - |H_2|}{|H|} \leq 5\%$ (57a)

➤ Χαράζουμε επακριβώς τη **Γραμμή Ενέργειας** με τα ενεργειακά υψόμετρα σε όλους τους κόμβους.

Σημείωση 8: Υπενθυμίζεται ότι, η διαδικασία υπολογισμού είναι προσεγγιστική:

Στρογγυλεύουμε χονδροειδώς τις γραμμικές απώλειες: $h_{fi\epsilon\lambda} = h_{fi2} \cdot \frac{H + H_{M2}}{\sum_{(1)}^{(n)} h_{fi2}}$ (65)

Τυποποίηση διαδικασίας:

H [m]	N [kW]	D _i [m]	k _{si} [m]	L _i [m]	v [m ² /s]	C _H	C _{fi}	f _{i0}
	C _M							
		Q ₀ [m ³ /s]			⇒		Q ₁ [m ³ /s]	
Q ₁ [m ³ /s]	V _{i1} [m/s]	R _{i1}	f _{i1}	h _{fi1} [m]	H _{M1} [m]	H ₁ [m]	ΔH [%]	Q ₂ [m ³ /s]
Σh _{fi1} =								
Q ₂ [m ³ /s]	V _{i2} [m/s]	R _{i2}	f _{i2}	h _{fi2} [m]	H _{M2} [m]	H ₂ [m]	ΔH [%]	Q ₂ [m ³ /s]
Σh _{fi1} =								

7.2.4 Προβλήματα εμφάνισης υποπίεσεων

Η λειτουργία υδραυλικών μηχανών συνεπάγεται **σημαντικές – τοπικές μεταβολές** στη **Γραμμή Ενέργειας** άρα και στην **Πιεζομετρική Γραμμή** του συστήματος, όπου περιλαμβάνονται (βλ. 7.1.2). Οι μεταβολές αυτές ενδέχεται να οδηγήσουν, σε **εμφάνιση υποπίεσεων** βλ. (5.2.2), στη γειτονία του κόμβου της υδραυλικής μηχανής. Θα ασχοληθούμε με το χειρισμό τους στο **Κεφάλαιο 10**.

7.3 Εφαρμογές υπολογισμού

7.3.1 Η εφαρμογή επικεντρώνεται στο Πρόβλημα **Λ5M**

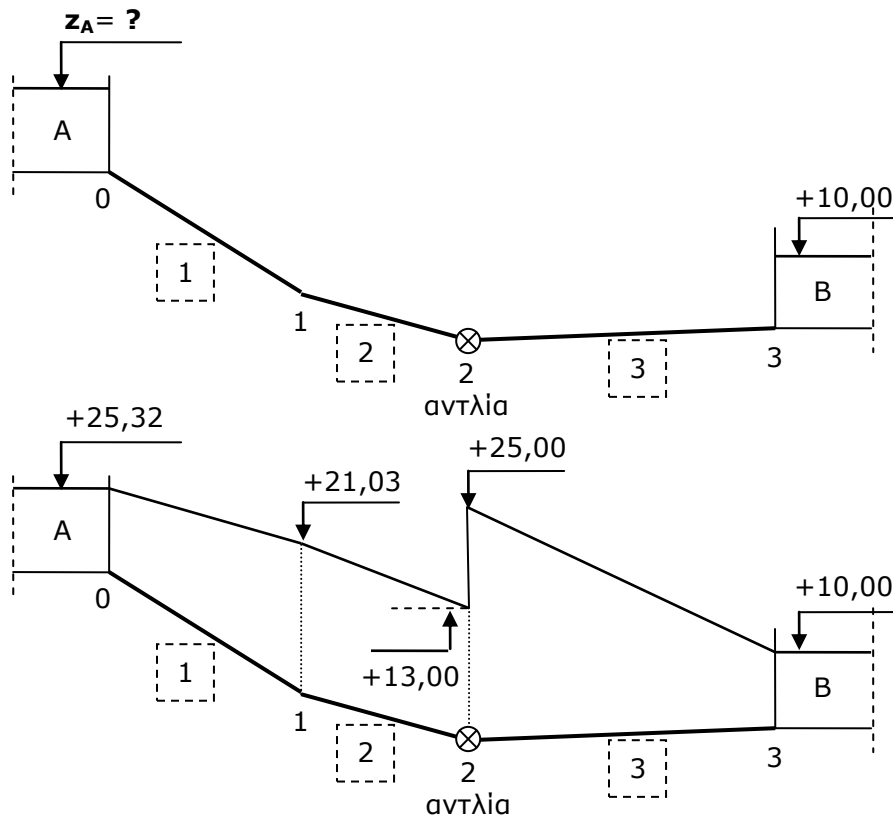
Στο υδραγωγείο του σχήματος η παροχή νερού είναι **$Q=150$ lt/s**, η στάθμη στη δεξαμενή B είναι γνωστή, καθώς και το μανομετρικό ύψος της αντλίας: **$H_M=12$ m**.

Οι *τοπικές* απώλειες στην αντλία αμελούνται.

Δίδονται επίσης τα στοιχεία:

αγωγός	D_i [mm]	k_{si} [mm]	L_i [m]
(1)	350	1,00	463
(2)	300	1,00	385
(3)	250	1,00	275

Να υπολογιστεί η στάθμη **z_A** της δεξαμενής **A** και να χαραχθεί η Γραμμή Ενέργειας.



(28) → οι *τοπικές* απώλειες αμελούνται. Δεν υπάρχει ελεύθερη εκροή.
Οι *τοπικές* απώλειες στην αντλία επίσης αμελούνται.

Q_i [m ³ /s]	D_i [m]	k_{si} [m]	L_i [m]	v [m ² /s]	V_i [m/s]	R_i	f_i	h_{fi} [m]
0,150	350	1,00	463	1,1.10 ⁻⁶	1,559	4,961.10 ⁵	0,0262	4,29
	300	1,00	385		2,122	5,787.10 ⁵	0,0273	8,03
	250	1,00	275		3,056	6,945.10 ⁵	0,0287	15,00
Σh _{fi} =								27,32
H _M =								12,00
H=								15,32

$$z_{2κ} = +10,00 + 15,00 = +25,00 \text{ m.}$$

$$z_{2α} = +10,00 + 15,00 - 12,00 = +13,00 \text{ m.}$$

$$z_1 = +10,00 + 15,00 - 12,00 + 8,03 = +21,03 \text{ m.}$$

$$z_A = +10,00 + 15,00 - 12,00 + 8,03 + 4,29 = +25,32 \text{ m.}$$

7.3.2 Η εφαρμογή επικεντρώνεται στο Πρόβλημα **Λ13_A**

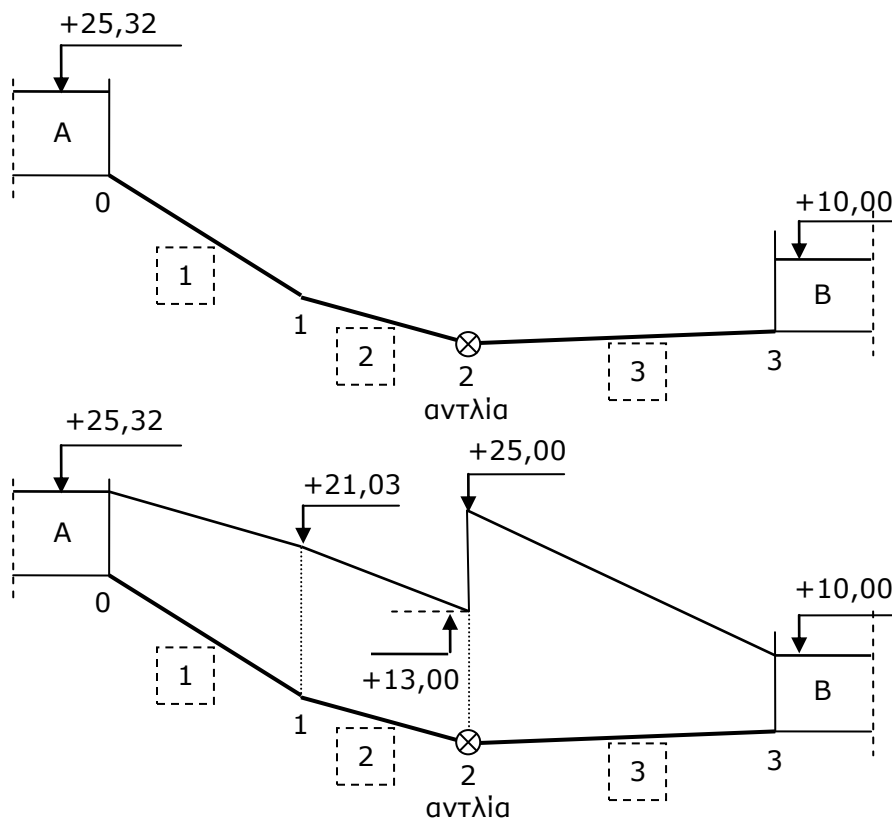
Στο υδραγωγείο του σχήματος είναι γνωστές και οι δύο στάθμες των δεξαμενών, καθώς και το μανομετρικό ύψος της αντλίας στον κόμβο 2: **$H_M = 12$ m.**

Οι *τοπικές* απώλειες στην αντλία αμελούνται.

Δίδονται επίσης τα στοιχεία:

αγωγός	D_i [mm]	k_{si} [mm]	L_i [m]
(1)	350	1,00	463
(2)	300	1,00	385
(3)	250	1,00	275

Να υπολογιστεί η παροχή **Q** και να χαραχθεί η Γραμμή Ενέργειας.



(28) → οι *τοπικές* απώλειες αμελούνται. Δεν υπάρχει ελεύθερη εκροή.

Οι *τοπικές* απώλειες στην αντλία επίσης αμελούνται.

H [m]	H_M [m]	D_i [m]	k_{si} [m]	L_i [m]	v [m ² /s]	C_H	C_{fi}	f_{i0}
15,32	12,00	0,350	$1,0 \cdot 10^{-3}$	463	$1,1 \cdot 10^{-6}$	0,08263	$8,815 \cdot 10^4$	$0,0261$
		0,300	$1,0 \cdot 10^{-3}$	385			$1,584 \cdot 10^5$	$0,0273$
		0,250	$1,0 \cdot 10^{-3}$	275			$2,816 \cdot 10^5$	$0,0287$

Q_1 [m ³ /s]	V_{i1} [m/s]	R_{i1}	f_{i1}	h_{fi1} [m]	H_1 [m]	$ \Delta H $ [%]	Q_2 [m ³ /s]
0,1499	1,558	$4,957 \cdot 10^5$	0,0262	4,288	15,288	0,21✓	0,150
	2,121	$5,784 \cdot 10^5$	0,0273	8,021			
	3,054	$6,940 \cdot 10^5$	0,0287	14,979			
$\Sigma h_{fi1} =$				27,288			

$h_{f1} = 4,29$ m, $h_{f2} = 8,03$ m και $h_{f3} = 15,00$ m. (μετά τη στρογγύλευση!)

$z_{2κ} = +10,00 + 15,00 = +25,00$ m.

$z_{2α} = +10,00 + 15,00 - 12,00 = +13,00$ m.

$z_1 = +10,00 + 15,00 - 12,00 + 8,03 = +21,03$ m.

Σημείωση: Συγκρίνοντας τις τιμές των ενεργειακών υψομέτρων των κόμβων 1 και 2, αλλά και την τιμή της παροχής, παρατηρούμε ότι ελάχιστα διαφέρουν, από τις αντίστοιχες τιμές στην κατοπτρική Εφαρμογή 7.3.1, παρότι <εδώ> ακολουθήθηκε προσεγγιστική διαδικασία ☺

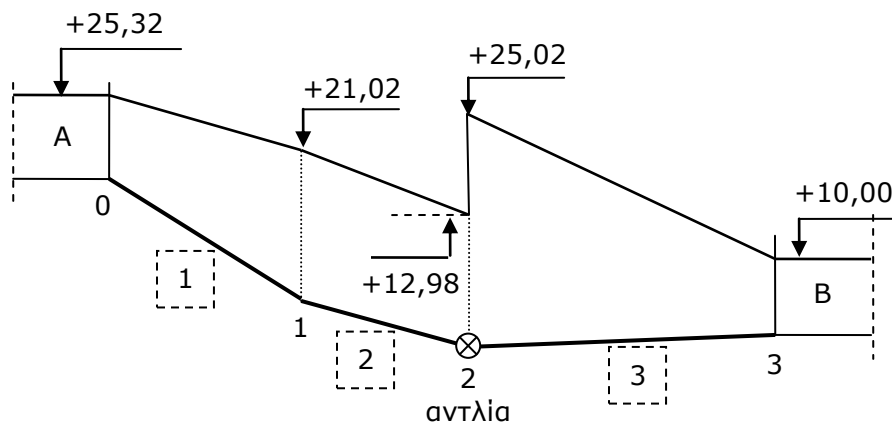
7.3.3 Η εφαρμογή επικεντρώνεται στο Πρόβλημα **Λ13_B**

Στο υδραγωγείο της εφαρμογής 7.3.2 είναι γνωστές και οι δύο στάθμες των δεξαμενών, καθώς και η ισχύς της αντλίας στον κόμβο 2: **$N = 27$ kW**, με $n = \mathbf{0,654}$
Οι τοπικές απώλειες στην αντλία αμελούνται.

Δίδονται επίσης τα στοιχεία:

αγωγός	D_i [mm]	k_{si} [mm]	L_i [m]
(1)	350	1,00	463
(2)	300	1,00	385
(3)	250	1,00	275

Να υπολογιστεί η παροχή **Q** και να χαραχθεί η Γραμμή Ενέργειας.



(28) → οι τοπικές απώλειες αμελούνται. Δεν υπάρχει ελεύθερη εκροή.
Οι τοπικές απώλειες στην αντλία επίσης αμελούνται.

H [m]	N [kW]	D _i [m]	k _{si} [m]	L _i [m]	v [m ² /s]	C _H	C _{fi}	f _{i0}
15,32	27,00	0,350	1,0.10 ⁻³	463	1,1.10 ⁻⁶	0,08263	8,815.10 ⁴	0,0261
	C _M	0,300	1,0.10 ⁻³	385			1,584.10 ⁵	0,0273
	1,80000	0,250	1,0.10 ⁻³	275			2,816.10 ⁵	0,0287
		Q ₀ [m ³ /s]	0,134	➡			Q ₁ [m ³ /s]	0,1469

Q_1 [m ³ /s]	V_{i1} [m/ s]	R_{i1}	f_{i1}	h_{fi1} [m]	H_{M1} [m]	H_1 [m]	$ \Delta H $ [%]	Q_2 [m ³ / s]
0,1469	1,527	$4,858.10^5$	0,0262	4,119	12,253	13,958	8,89	0,1494
	2,078	$5,668.10^5$	0,0273	7,704				
	2,993	$6,801.10^5$	0,0287	14,388				
$\Sigma h_{fi1} =$				26,211				

Q_2 [m ³ /s]	V_{i2} [m/ s]	R_{i2}	f_{i2}	h_{fi2} [m]	H_{M2} [m]	H_2 [m]	$ \Delta H $ [%]	Q_2 [m ³ / s]
0,1494	1,553	4,941.10 ⁵	0,0262	4,257	12,048	15,056	1,72✓	0,149
	2,114	5,764.10 ⁵	0,0273	7,967				
	3,044	6,917.10 ⁵	0,0287	14,880				
$\Sigma h_{fi1} =$				27,104				

h_{f1}= 4,30 m, **h_{f2}**= 8,04 m, **h_{f3}**= 15,02 m. και **H_M**= **15,04** m.
(μετά τη στρογγύλευση!)

z_{2κ}= +10,00+15,02= **+25,02** m.

z_{2α}= +10,00+15,02-12,04= **+12,98** m.

z₁= +10,00+15,02-12,04+8,04= **+21,02** m.

Σημείωση: Συγκρίνοντας τις τιμές των ενεργειακών υψομέτρων των κόμβων 1 και 2, αλλά και την τιμή της παροχής, παρατηρούμε ότι ελάχιστα διαφέρουν, από τις αντίστοιχες τιμές στην κατοπτρική Εφαρμογή 7.3.1, παρότι <εδώ> ακολουθήθηκε προσεγγιστική διαδικασία ☺