

## 5.4 Μόνιμη Ροή υπό Πίεση – Συστήματα αγωγών (Σωλήνων)

### 5.4.1 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**. Στα <δικά μας> έργα οι αγωγοί έχουν συνηθέστατα κυκλική διατομή είναι δηλαδή σωλήνες.

Ομοιόμορφος αγωγός σημαίνει: **Ενιαία διάμετρος και ποιότητα** (τραχύτητα η οποία προκαλεί τριβές, άρα απώλειες) και σταθερή παροχή, σε όλο το μήκος του. Ως λογιστικό μήκος **L** χρησιμοποιείται η **οριζόντια προβολή** του μήκους του αγωγού.

Μεταξύ των ομοιόμορφων αγωγών παρεμβάλλονται **κόμβοι**:

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

Κάθε σύστημα:

- Υδροδοτείται από ένα ή περισσότερα σημεία: **υδροληψίες**
  - ο **Δεξαμενές** ή ταμιευτήρες φραγμάτων κ.λπ.
- Υδροδοτεί ένα ή περισσότερα σημεία: **υδροδοτήσεις**.
  - ο **Δεξαμενές** ή άλλους υδάτινους αποδέκτες π.χ. τη θάλασσα κ.λπ.
  - ο Ελεύθερες **εκροές** εις την **ατμόσφαιρα**.
- Εις τους υπολογισμούς η **στάθμη** των **δεξαμενών** θεωρείται **σταθερή** (μόνιμη ροή) και φυσικά αποτελούν και αυτές **κόμβους**!

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 συνήθως μικρή, **δεν παραλείπεται ποτέ** εις τον υπολογισμό ☺.

### 5.4.2 Γραφική απεικόνιση της Εξίσωσης Ενέργειας

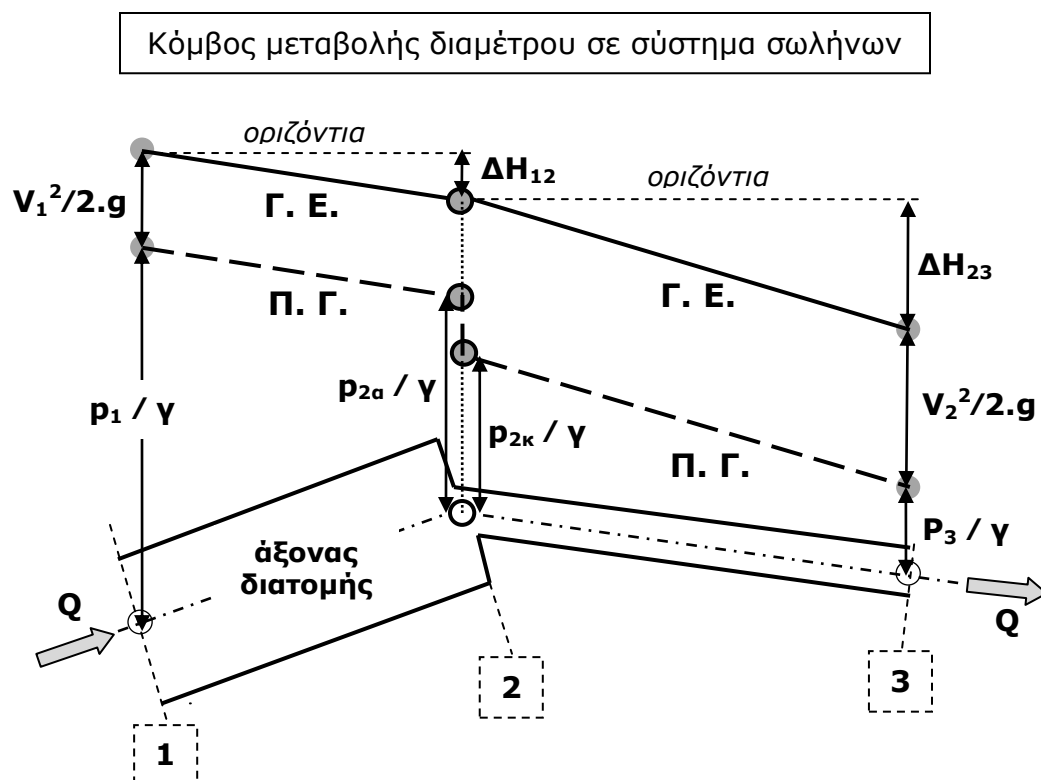
Είναι δυνατό να αποκτήσουμε μία πολύ **παραστατική εικόνα** των σχετικών **συνθηκών ροής** και να αντλήσουμε **πολύτιμες πληροφορίες**, εάν χαράξουμε γραφικά τους όρους της εξίσωσης (57δ).

- Αντί για σταθερό χρησιμοποιούμε **μεταβαλλόμενο επίπεδο αναφοράς**, το οποίο ορίζεται από τους **άξονες** των διαδοχικών **διατομών** των αγωγών.
- Σε κάθε διατομή i χαράζουμε τη κατακόρυφη απόσταση από το αντίστοιχο σημείο του άξονα της με **ύψος**: ( $p_i / \gamma$ ).  
Αυτό είναι το σημείο της **Πιεζομετρικής Γραμμής** – Π.Γ.

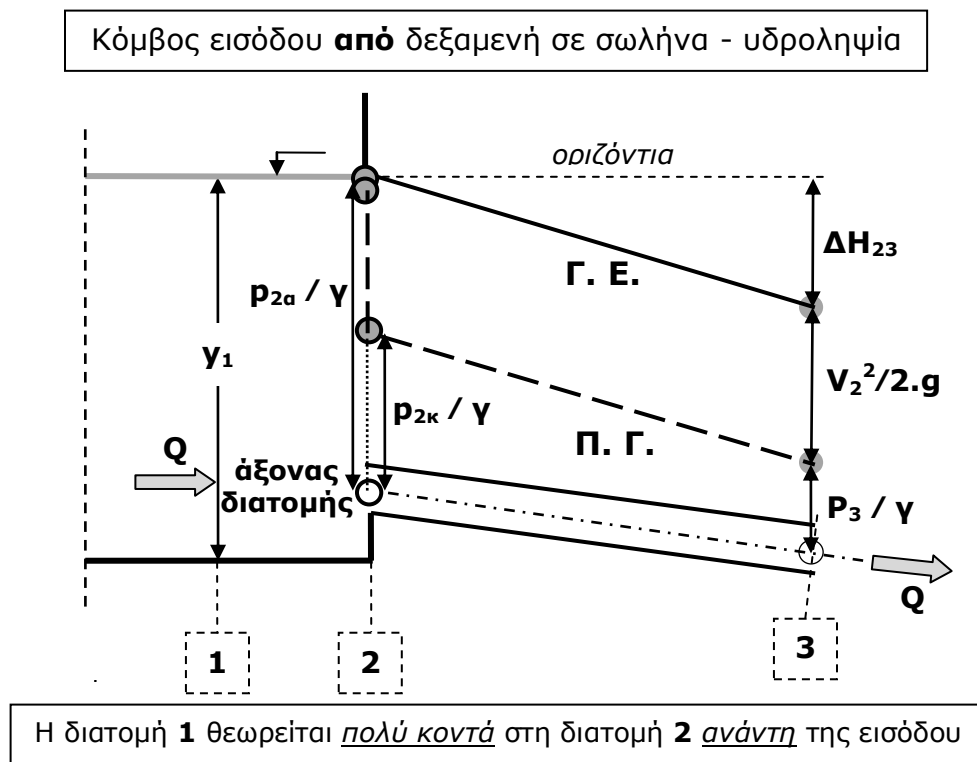
- Στη συνέχεια (πάντα κατακόρυφα) χαράζουμε **επιπλέον ύψος:  $a_i \cdot (V_i^2/2 \cdot g)$** . Αυτό είναι το σημείο της **Γραμμής Ενέργειας – Γ.Ε.**  
Συνήθως ο συντελεστής συνόρθωσης  $\alpha$  λαμβάνεται ίσος με τη **μονάδα** (βλ. 5.2.4)
- Σε κάθε κόμβο του συστήματος υπάρχει επίσης το τοπογραφικό υψόμετρο θέσης (σημείο συμβολής των αξόνων των αγωγών), δηλαδή το αντίστοιχο σημείο του μεταβαλλόμενου επιπέδου αναφοράς!
  - **ΔΕΝ** πρέπει να **συγχέεται** με τα δύο προηγούμενα υψόμετρα ☹.
  - **ΔΕΝ** συμμετέχει εις τον **ενεργειακό σχεδιασμό** ☹.
  - Είναι **επικίνδυνα παραπλανητικό** ☹. Με εξαιρέση:
    - Στάθμες ελεύθερης επιφάνειας δεξαμενών, (όχι στάθμες εισόδου / εξόδου αγωγών, πυθμένων δεξαμενών κ.λπ.)
    - Υψόμετρο άξονα αγωγού, ο οποίος **εκβάλλει** στην **ατμόσφαιρα**.
    - Περιπτώσεις προβλημάτων, όπου η **πίεση παίζει καθοριστικό ρόλο** (βλ. 5.4.6).

#### 5.4.2 Σχεδίαση της Γραμμής Ενέργειας και της Πιεζομετρικής Γραμμής

- Η Γραμμή Ενέργειας (Γ.Ε.) και η Πιεζομετρική Γραμμή (Π.Γ.) σε ομοιόμορφο αγωγό (βλ. 5.4.1), είναι **ευθείες παράλληλες** (μεταξύ τους) με **αρνητική κλίση** (κατά τη διεύθυνση της ροής) **ως προς την οριζόντια**.
- **ΔΕΝ** έχουν όμως γενικώς **καμία σχέση** με την **κλίση** του **άξονα** ☹.



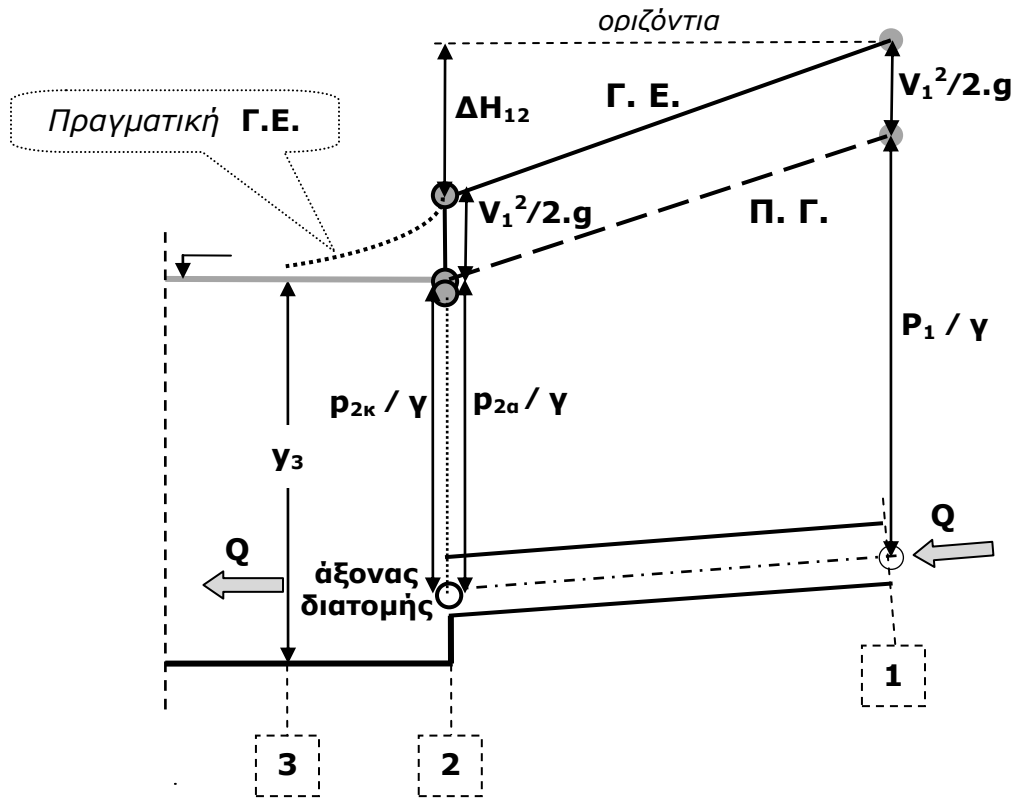
- Η **Γραμμή Ενέργειας** σε κόμβο μεταβολής διαμέτρου:
  - Αλλάζει μόνο κλίση (γόνατο)  $\bullet^*$ .
  - Όσο **μικρότερη** η **διάμετρος** τόσο **μεγαλύτερη** η **κλίση** της **Γ.Ε.**  
(Είναι μεγαλύτερες οι απώλειες λόγω τριβών ανά μέτρο μήκους του αγωγού).
- Η **Πιεζομετρική Γραμμή** σε κόμβο μεταβολής διαμέτρου:
  - Αλλάζει **επίπεδο** (σκαλοπάτι) και κλίση  $\bullet^*$ .
  - Εάν η **ανάντη διάμετρος** είναι **μεγαλύτερη** από την **κατάντη** (όπως στο παραπάνω σχήμα), τότε η **Π.Γ. κατεβαίνει** κατακόρυφα.
  - Στην αντίστροφη περίπτωση συμβαίνει το αντίστροφο: ανεβαίνει κατακόρυφα.
  - Η κλίση της **Π.Γ. ακολουθεί** την αντίστοιχη – **νέα κλίση** της **Γ.Ε.**
- Εάν ο αγωγός δεν είναι ομοιόμορφος, αλλά η διατομή του μεταβάλλεται ομαλώς και συνεχώς οι **Γ.Ε.** και **Π.Γ.** δεν είναι ευθείες αλλά καμπύλες.  
Όλες όμως οι παραπάνω επισημάνσεις ισχύουν ποιοτικά με αντίστοιχη λογική. (βλ. **2<sup>ο</sup> Πείραμα**).
- Στη σπάνια περίπτωση (ανάλυση ιδεατού ρευστού) όπου αμελούνται οι απώλειες ενέργειας, οι **Γ.Ε.** και **Π.Γ.** έχουν οριζόντια κλίση.



- Στις δεξαμενές η **ταχύτητα** (προσπέλασης προς το σωλήνα) είναι πολύ μικρή και **θεωρείται** γενικώς **αμελητέα**, σε σχέση με τις ταχύτητες στους αγωγούς του υδραγωγείου.
- Η **Γραμμή Ενέργειας** σε κόμβο εισόδου – υδροληψία από δεξαμενή:
  - Ταυτίζεται με την **ελεύθερη επιφάνεια** της δεξαμενής  $\bullet^*$ .
  - Αποκτά **κλίση** (γόνατο)  $\bullet^*$ .

- Η **Πιεζομετρική Γραμμή** σε κόμβο εισόδου – υδροληψία από δεξαμενή:
  - Ταυτίζεται και αυτή με την **ελεύθερη επιφάνεια** της δεξαμενής ☹.
  - Αλλάζει **επίπεδο** (σκαλοπάτι) και αποκτά **κλίση** ☹.
  - Η κλίση της **Π.Γ.** είναι η αντίστοιχη κλίση της **Γ.Ε.**

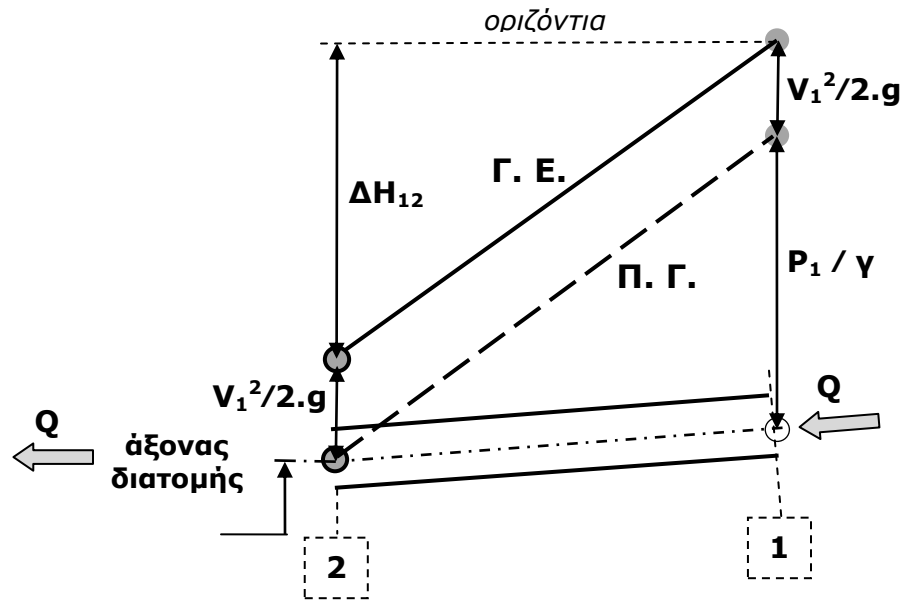
Κόμβος εξόδου **σε** δεξαμενή από σωλήνα - υδροδότηση



Η διατομή **3** θεωρείται πολύ κοντά στη διατομή **2** κατάντη της εξόδου

- Η **Γραμμή Ενέργειας** σε κόμβο εξόδου – υδροδότηση σε δεξαμενή:
  - Καταλήγει **υψηλότερα** από την **ελεύθερη επιφάνεια** της δεξαμενής και αλλάζει **επίπεδο** (σκαλοπάτι) ☹.
  - Στην πραγματικότητα αυτό αποτελεί γραφική απλοποίηση.
    - Η κινητική ενέργεια της ροής ΔΕΝ καταστρέφεται ακριβώς στη διατομή εισόδου **2** στη δεξαμενή, αλλά σε κάποια (μικρή) απόσταση ΜΕΣΑ στη δεξαμενή με τurbώδη διάχυση της φλέβας στην ακίνητη μάζα του νερού.
    - Η Γ.Ε. ακολουθεί ασυμπτωτική καμπύλη μικρού μήκους.
- Η **Πιεζομετρική Γραμμή** σε κόμβο εξόδου – υδροδότηση σε δεξαμενή:
  - Καταλήγει στην **ελεύθερη επιφάνεια** της δεξαμενής **χωρίς** να αλλάξει **επίπεδο** (σκαλοπάτι) ☹.
  - Η κλίση της **Π.Γ.** είναι η αντίστοιχη κλίση της **Γ.Ε.**
- Οι γραφικές εικόνες στους κόμβους εισόδου (από δεξαμενή) και εξόδου (σε δεξαμενή) είναι κατοπτρικές.

Κόμβος εξόδου **εκροής** στην **ατμόσφαιρα** από σωλήνα - υδροδότηση



- Η **Γραμμή Ενέργειας** σε κόμβο εξόδου - υδροδότηση - εκροή στην ατμόσφαιρα:
  - Καταλήγει **υψηλότερα** από τον **άξονα** του αγωγού (σωλήνα) και **ΔΕΝ** αλλάζει **επίπεδο** ☹.
  - Η **κινητική ενέργεια** της ροής **ΔΕΝ** καταστρέφεται, αλλά **παραμένει** ως **κινητική ενέργεια** της **φλέβας**.
- Η **Πιεζομετρική Γραμμή** σε κόμβο εξόδου - υδροδότηση - εκροή στην ατμόσφαιρα:
  - Καταλήγει στον **άξονα** του αγωγού (σωλήνα) ☹.
  - Διότι η **πίεση** είναι πλέον ατμοσφαιρική:  **$p_2/\gamma = 0$**
  - Η κλίση της **Π.Γ.** είναι η αντίστοιχη κλίση της **Γ.Ε.**

- Η (57δ) γράφεται: 
$$H = \sum_1^n \Delta H_{Li} + \frac{V_n^2}{2 \cdot g} \quad (59), \text{ όπου:}$$

- **H**: ενεργειακό διαθέσιμο (βλ. σχήμα 5.4.3)
  - Είτε υψομετρική διαφορά μεταξύ των δεξαμενών:  **$z_A - z_B$**
  - Είτε υψομετρική διαφορά μεταξύ δεξαμενής και υψομέτρου του άξονα του αγωγού  **$z_A - z_{\text{τοπογραφικό}}$**  στην περίπτωση ελεύθερης εκροής στην ατμόσφαιρα
- **$V_n^2/2.g$** : κινητική ενέργεια στον τελευταίο κατάντη αγωγό
  - Είτε χάνεται στον κόμβο εξόδου προς τη δεξαμενή
  - Είτε παραμένει ως κινητική ενέργεια της φλέβας στην περίπτωση ελεύθερης εκροής στην ατμόσφαιρα
- **$\Delta H_{Li}$** : Οι απώλειες ενέργειας (λόγω τριβών) κατά μήκος των σωλήνων,

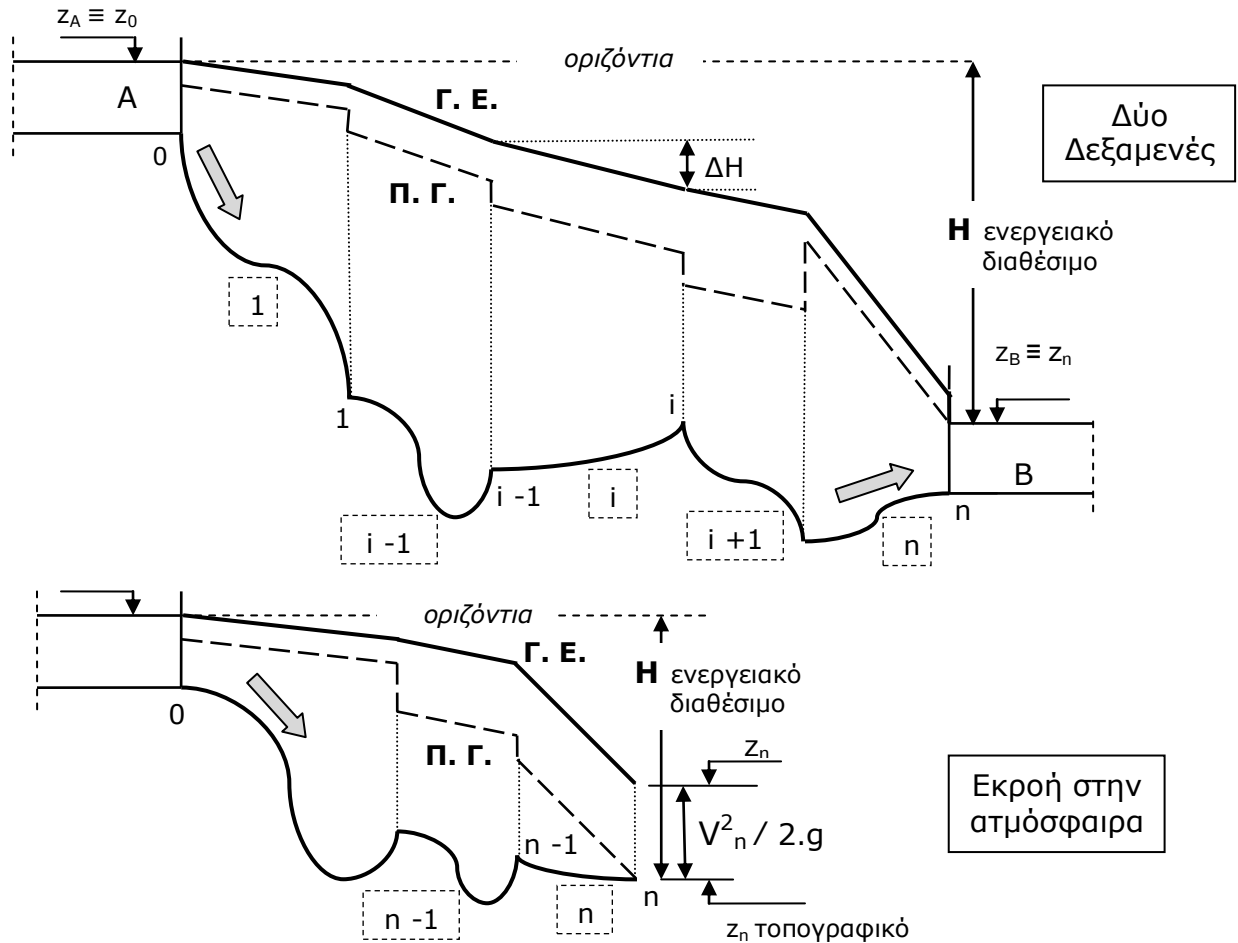
οι οποίες δίνονται από τη σχέση : 
$$\Delta H_{Li} = K_i \cdot \frac{L_i}{g \cdot D_i} \cdot V_i^2 \quad (60), \text{ όπου:}$$

- $L_i, D_i, V_i$ : τα γεωμετρικά στοιχεία και η ταχύτητα σε κάθε σωλήνα.

- $K_i$ : αδιάστατος συντελεστής τριβών σε κάθε σωλήνα.

Το συντελεστή τριβών θα μάθουμε να τον υπολογίζουμε στο μάθημα της Εφαρμοσμένης Υδραυλικής (5<sup>ο</sup> εξάμηνο). Προς το παρόν θα δίδεται στην εκφώνηση.

#### 5.4.3 Τυπικές μορφές της Γραμμής Ενέργειας και της Πιεζομετρικής Γραμμής



#### 5.4.4 Συστήματα αγωγών τα οποία περιλαμβάνουν υδραυλικές μηχανές

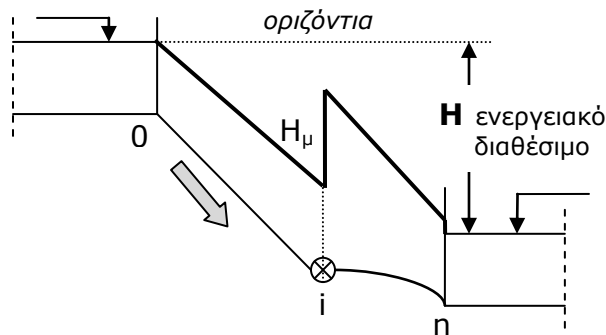
- Είναι πολύ σημαντική η κατανόηση, ότι οι υδραυλικές μηχανές
  - 'Η **δίνουν μηχανικό έργο - ενέργεια στη ροή - αντλίες.**
  - 'Η **αφαιρούν μηχανικό έργο - ενέργεια από τη ροή - στρόβιλοι.**
- Σε καμία περίπτωση **δεν δίνουν** ή **αφαιρούν παροχή** ☹.  
Σε κάθε κόμβο, όπου υπάρχει υδραυλική μηχανή, **ισχύει η εξίσωση συνέχειας!**
- Είναι προφανές, ότι η λειτουργία υδραυλικών μηχανών **επηρεάζει** το **ενεργειακό ισοζύγιο - διαθέσιμο** του συστήματος και εξ' αυτού η παροχή αυξομειώνεται:
  - **Πριν** και **μετά** τη **λειτουργία** (ή όχι) της μηχανής.
  - **Όχι πριν** και **μετά** τον **κόμβο** όπου είναι τοποθετημένη ☹.
- Η **ισχύς N** της μηχανής σε kW δίδεται από τη σχέση: 
$$N = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H_{\mu}}{n} \quad (61), \text{ όπου:}$$

- ο  **$\rho$** : πυκνότητα του ρέοντος υγρού.
- ο  **$Q$** : διερχόμενη - δια της μηχανής - παροχή.
- ο  **$H_\mu$** : μανομετρικό ύψος της μηχανής.
- ο  **$n$** : αδιάστατος συντελεστής απόδοσης της μηχανής.

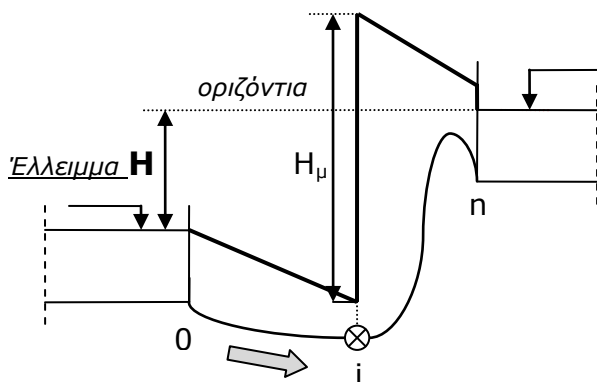
- Η **ισχύς  $N$**  της μηχανής σε γαλλικούς ίππους CV ή PS είναι: 
$$N = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_\mu}{0,075 \cdot n} \quad (62)$$

- ο  **$\gamma$** : ειδικό βάρος του ρέοντος υγρού σε  **$t/m^3$** .
- ο  **$Q$** : διερχόμενη - δια της μηχανής - παροχή σε  **$m^3/s$** .
- ο  **$H_\mu$** : μανομετρικό ύψος της μηχανής σε  **$m$** .
- ο  **$n$** : συντελεστής απόδοσης της μηχανής - **αδιάστατος**.

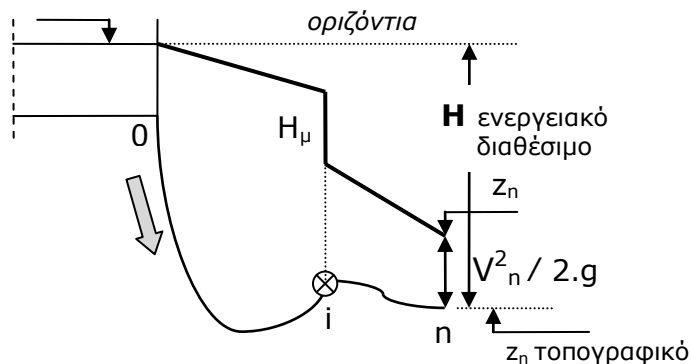
#### 5.4.5 Τυπικές μορφές της Γραμμής Ενέργειας με υδραυλικές μηχανές



**ΑΝΤΛΙΑ**  
 $H_\mu > 0, H > 0$



**ΑΝΤΛΙΑ**  
 $H_\mu > 0, H < 0$

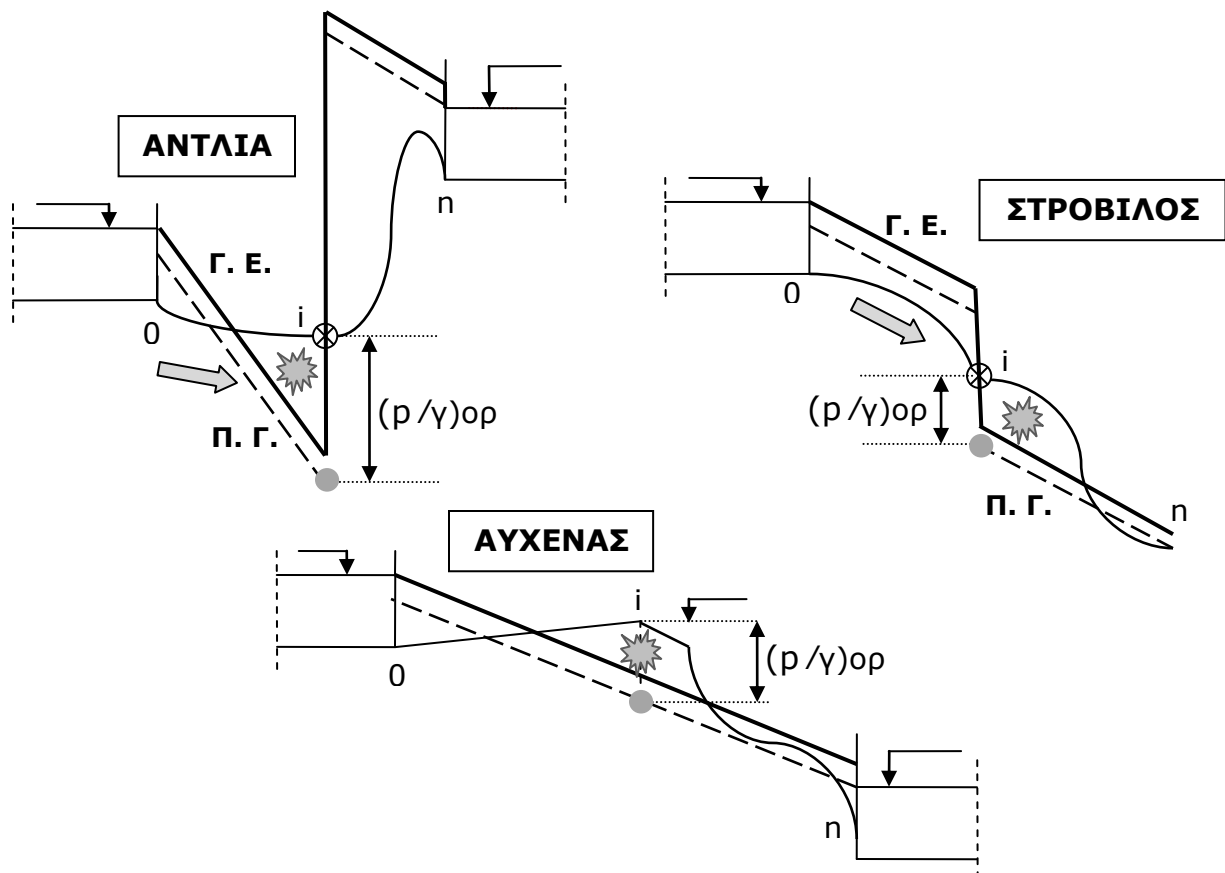


**ΣΤΡΟΒΙΛΟΣ**  
 $H_\mu < 0, H > 0$

Η (59) γράφεται: 
$$\pm H \pm H_\mu = \sum_1^n \Delta H_{Li} + \frac{V_n^2}{2 \cdot g} \quad (63), \text{ με πρόσημα των } H \text{ και } H_\mu \text{ ως άνω!}$$

#### 5.4.6 Προβλήματα με καθοριστικό το ρόλο της Πίεσης και της Π.Γ.

- Η Ροή υπό Πίεση σε κλειστούς αγωγούς είναι δυνατό να παρουσιάσει προβλήματα (βλ. Κεφάλαιο **8**).
  - Κάποια εμφανίζονται όταν η **τιμή** της **πίεσης** (σε κάποια διατομή) είναι **μικρότερη** από την τιμή της **ατμοσφαιρικής** πίεσης.
  - Επειδή (αυθαιρέτως – βλ. 2.1.1) ορίζουμε την ατμοσφαιρική πίεση μηδενική:
    - Τιμές της πίεσης **μικρότερες** της ατμοσφαιρικής είναι **αρνητικές** και τις χαρακτηρίζουμε ως **υποπίεσεις**.
    - Στην περίπτωση αυτή η **Πιεζομετρική Γραμμή**, η οποία χαράζεται με βάση τον άξονα του αγωγού και τον (**αρνητικό** πλέον) όρο  **$p/\gamma$**  (βλ. 5.4.2), είναι γραφικά **χαμηλότερα από** τον **άξονα** του αγωγού!
  - Για να μην εμφανισθεί το φαινόμενο της **σπηλαιώσης** (βλ. Κεφάλαιο **8**), με όλες τις ανεπιθύμητες συνέπειές του, φροντίζουμε στο σχεδιασμό των συστημάτων οι υποπίεσεις να μην υπερβαίνουν κάποια τιμή:
    - Στη πράξη το σύνηθες όριο:  **$(p/\gamma)_{op}$**  είναι **8 m**. (συμπεριλαμβανομένων των *περιθωρίων ασφαλείας*)
    - Είναι όμως δυνατό, να προδιαγραφούν μικρότερες τιμές.
    - *Περισσότερα* στο μάθημα της Εφαρμοσμένης Υδραυλικής (5<sup>ο</sup> εξάμηνο).
- Επικίνδυνες περιοχές ☼ για την εμφάνιση υποπίεσεων είναι:
  - **Ακριβώς ανάντη αντλίας** – **ακριβώς κατάντη στροβίλου**
  - Σε **τοπογραφικό αυχένα** – σε **σίφωνα**.



#### 5.4.7 Διαδικασία υπολογισμού

- Χαράζουμε ποιοτικά = χονδροειδώς τις **Γ.Ε.** και **Π.Γ.** (βλ. 5.4.3 και 5.4.4).
  - Ενοποιούμε τις μονάδες  $\bullet^*$  (σε m και  $m^3/s$ )
  - Εάν **δεν** υπάρχουν υδραυλικές **μηχανές** εφαρμόζουμε τη σχέση (60) και υπολογίζουμε το ζητούμενο μέγεθος: **H**, **Q**, ή μία εκ των διαμέτρων  $D_i$ .
  - Εάν **υπάρχουν** υδραυλικές **μηχανές** εφαρμόζουμε τη γενικότερη σχέση (63) σε συνδυασμό με μία εκ των (61), (62) και υπολογίζουμε το ζητούμενο μέγεθος: **H**, **Q**, μία εκ των διαμέτρων,  $D_i$  ή  $H_\mu$ , ή  $H_\mu$ .
  - Σε οιαδήποτε περίπτωση οι υπολογισμοί βασίζονται στα ενεργειακά υψόμετρα  $\text{⌘}$  (βλ. 5.4.2 ).
  - Εάν υπάρχουν **επικίνδυνες περιοχές** με πιθανότητα εμφάνισης προβλημάτων με **καθοριστικό** το ρόλο της **Πίεσης** , ελέγχουμε το σχεδιασμό  $\bullet^*$  (βλ. 5.4.6 ).
  - Υπολογίζουμε τις απώλειες ενέργειας σε όλους τους αγωγούς (\*).
  - Υπολογίζουμε τα υψόμετρα της Γραμμής Ενέργειας στους κόμβους(\*), οδεύοντας είτε προς τα ανάντη, είτε προς τα κατόντη και επιβεβαιώνουμε – ελέγχουμε την ακρίβεια των ως άνω υπολογισμών (\*).
  - Υπολογίζουμε τα υψόμετρα της Πιεζομετρικής Γραμμής στους κόμβους (\*).
  - Χαράζουμε πλήρως = με τα **υψόμετρα** τους τις **Γ.Ε.** και **Π.Γ.**
- (\*) Σημείωση: Στρογγυλεύουμε στο δεύτερο δεκαδικό του m, δηλαδή σε cm!

## 5.5 Ερωτήσεις κατανόησης και Εφαρμογές υπολογισμού

### 5.5.1 (μία μόνο απάντηση είναι ορθή)

|   |                                                                   |
|---|-------------------------------------------------------------------|
|   | <b>Σε έναν ομοιόμορφο αγωγό πραγματοποιείται ροή υπό πίεση...</b> |
|   | Οι απώλειες λόγω τριβών αμελούνται                                |
| ✓ | Η παροχή είναι σταθερή σε όλο το μήκος του                        |
|   | Η ροή είναι ομοιόμορφη                                            |
|   | Ισχύουν ΟΛΑ τα παραπάνω                                           |
|   | ΔΕΝ ισχύει ΤΙΠΟΤΑ από τα παραπάνω                                 |

|   |                                                                                                                      |
|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   | <b>Σε ένα σύστημα αγωγών, όπου πραγματοποιείται ροή υπό πίεση, οι κόμβοι υδροδότησης περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων:</b> |
| ✓ | Δεξαμενές                                                                                                            |
|   | Εκροές στην ατμόσφαιρα                                                                                               |
|   | Αντλίες                                                                                                              |
|   | Ισχύουν ΟΛΑ τα παραπάνω                                                                                              |
|   | ΔΕΝ ισχύει ΤΙΠΟΤΑ από τα παραπάνω                                                                                    |

|   |                                                                                                                     |
|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   | <b>Σε ένα σύστημα αγωγών, όπου πραγματοποιείται ροή υπό πίεση, οι κόμβοι υδροληψίας περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων:</b> |
|   | Δεξαμενές                                                                                                           |
|   | Εκροές στην ατμόσφαιρα                                                                                              |
|   | Λίμνες                                                                                                              |
| ✓ | Ισχύουν ΟΛΑ τα παραπάνω                                                                                             |
|   | ΔΕΝ ισχύει ΤΙΠΟΤΑ από τα παραπάνω                                                                                   |

|   |                                                                                                                                                                                                 |
|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   | <b>Παράλληλα σε ένα δρόμο με μεγάλη κατά μήκος κλίση και σε βάθος 1 m έχει τοποθετηθεί ομοιόμορφος σωλήνας ύδρευσης, όπου πραγματοποιείται ροή υπό πίεση. Η Πιεζομετρική Γραμμή του σωλήνα:</b> |
|   | Είναι παράλληλη με το δρόμο                                                                                                                                                                     |
| ✓ | Είναι παράλληλη με τη Γραμμή Ενέργειας του σωλήνα                                                                                                                                               |
|   | Έχει πάντοτε μεγαλύτερη κλίση από την κλίση του δρόμου                                                                                                                                          |
|   | Ισχύουν ΟΛΑ τα παραπάνω                                                                                                                                                                         |
|   | ΔΕΝ ισχύει ΤΙΠΟΤΑ από τα παραπάνω                                                                                                                                                               |

|   |                                                                                                                            |
|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   | <b>Σε έναν ομοιόμορφο αγωγό πραγματοποιείται ροή υπό πίεση και σε κάποιο σημείο του έχει τοποθετηθεί αντλία...</b>         |
|   | Όταν η αντλία δεν λειτουργεί, οι παροχές ανάντη και κατόντη της αντλίας είναι ίσες                                         |
|   | Όταν η αντλία λειτουργεί, οι παροχές ανάντη και κατόντη της αντλίας είναι ίσες                                             |
|   | Όταν η αντλία δεν λειτουργεί, οι παροχές ανάντη και κατόντη της αντλίας είναι μικρότερες απ' ό,τι όταν η αντλία λειτουργεί |
| ✓ | Ισχύουν ΟΛΑ τα παραπάνω                                                                                                    |
|   | ΔΕΝ ισχύει ΤΙΠΟΤΑ από τα παραπάνω                                                                                          |

### 5.5.2 Η εφαρμογή αναφέρεται στα 5.4.2, 5.4.3 και 5.4.6

Στο υδραγωγείο του σχήματος παροχή νερού **Q** παροχετεύεται από τη δεξαμενή **A** στη δεξαμενή **B**, μέσω ενός συστήματος σωλήνων με δεδομένες διαμέτρους και μήκη. Οι στάθμες των δύο δεξαμενών είναι σταθερές: **z<sub>A</sub> = +90,00 m** και **z<sub>B</sub> = +73,89 m** (βλ. σχήμα).

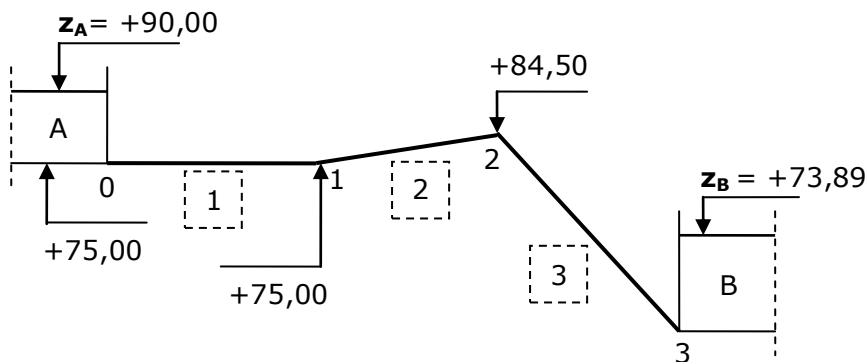
Οι απώλειες ενέργειας στους σωλήνες δίδονται από τη σχέση  $\Delta H_{L_i} = K_i \cdot \frac{L_i}{g \cdot D_i} \cdot V_i^2$

Ζητούνται:

1. Η παροχή **Q**.
2. Να χαραχτούν πλήρως η Γραμμή Ενέργειας και η Πιεζομετρική Γραμμή.
3. Να προσδιορισθούν τα σημεία - κόμβοι, όπου είναι ενδεχόμενο να εμφανισθούν τα φαινόμενα σπηλαιώσης ή αποκόλλησης (ενδεχομένως σωρευτικά).

Αριθμητική δεδομένα:

| αγωγός | D <sub>i</sub><br>[mm] | L <sub>i</sub><br>[m] | K <sub>i</sub> |
|--------|------------------------|-----------------------|----------------|
| (1)    | <b>350</b>             | <b>650</b>            | <b>0,010</b>   |
| (2)    | <b>300</b>             | <b>500</b>            | <b>0,012</b>   |
| (3)    | <b>350</b>             | <b>650</b>            | <b>0,010</b>   |



$$(52\gamma) \rightarrow Q = Q_{(1)} = Q_{(2)} = Q_{(3)} \rightarrow V_1 = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D_1^2}, V_2 = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D_2^2}, V_3 = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D_3^2}$$

$$(59) \rightarrow z_A - z_B = K_1 \cdot \frac{L_1 \cdot V_1^2}{g \cdot D_1} + K_2 \cdot \frac{L_2 \cdot V_2^2}{g \cdot D_2} + K_3 \cdot \frac{L_3 \cdot V_3^2}{g \cdot D_3} + \frac{V_3^2}{2 \cdot g}$$

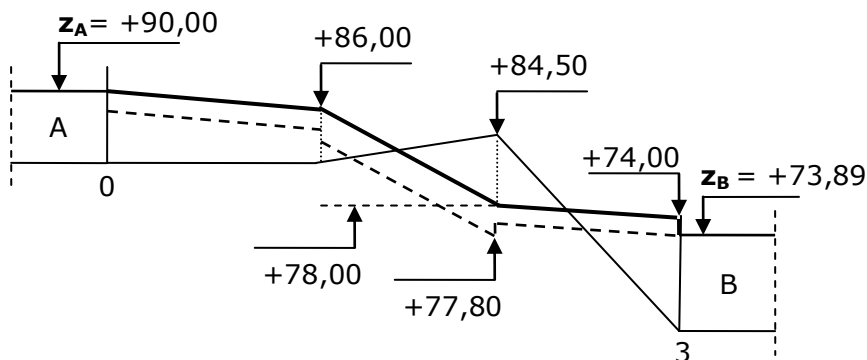
$$\rightarrow z_A - z_B = \frac{16 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot g} \cdot \left( \frac{K_1 \cdot L_1}{D_1^5} + \frac{K_2 \cdot L_2}{D_2^5} + \frac{K_3 \cdot L_3}{D_3^5} + \frac{1}{2 \cdot D_3^5} \right)$$

$$\rightarrow Q = \frac{\pi}{4} \cdot \left( \frac{g \cdot (z_A - z_B)}{\frac{K_1 \cdot L_1}{D_1^5} + \frac{K_2 \cdot L_2}{D_2^5} + \frac{K_3 \cdot L_3}{D_3^5} + 0,5} \right)^{1/2} \rightarrow Q = 0,139084 \text{ m}^3/\text{s}$$

Υπολογισμός απωλειών ενέργειας και υψομέτρων **Γ.Ε.** και **Π.Γ.**

| αγωγός | $D_i$<br>[m] | $L_i$<br>[m] | $K_i$        | $\Delta H_{L_i}$<br>[m] | $V_i^2/2.g$<br>[m] |
|--------|--------------|--------------|--------------|-------------------------|--------------------|
| (1)    | <b>0,350</b> | <b>650</b>   | <b>0,010</b> | 4,00                    | 0,11               |
| (2)    | <b>0,300</b> | <b>500</b>   | <b>0,012</b> | 8,00                    | 0,20               |
| (3)    | <b>0,350</b> | <b>650</b>   | <b>0,010</b> | 4,00                    | 0,11               |

| κόμβος         | <b>Γ.Ε.</b><br>[m] | <b>Π.Γ.</b><br>[m] |
|----------------|--------------------|--------------------|
| 0 <sub>α</sub> | + 90,00            | + 90,00            |
| 0 <sub>κ</sub> | + 90,00            | + 89,89            |
| 1 <sub>α</sub> | + 86,00            | + 85,89            |
| 1 <sub>κ</sub> | + 86,00            | + 85,80            |
| 2 <sub>α</sub> | + 78,00            | + 77,80            |
| 2 <sub>κ</sub> | + 78,00            | + 77,89            |
| 3 <sub>α</sub> | + 74,00            | + 73,89            |
| 3 <sub>κ</sub> | + 73,89 ✓          | + 73,89 ✓          |



Σημείωση: Στο σχήμα έχουν σημειωθεί όλα τα υψόμετρα της **Γ.Ε.** και το κρίσιμο υψόμετρο της **Π.Γ.** στον κόμβο **2**

Στον κόμβο **2** εντοπίζονται - συνυπάρχουν:

- Κίνδυνος **αποκόλλησης**: Μεταβολή διαμέτρου  $D_{ανάντη} < D_{κατάντη}$
- Κίνδυνος **σπηλαιώσης**: Υποπίεση =  $77,80 - 84,50 = - 6,70$  m

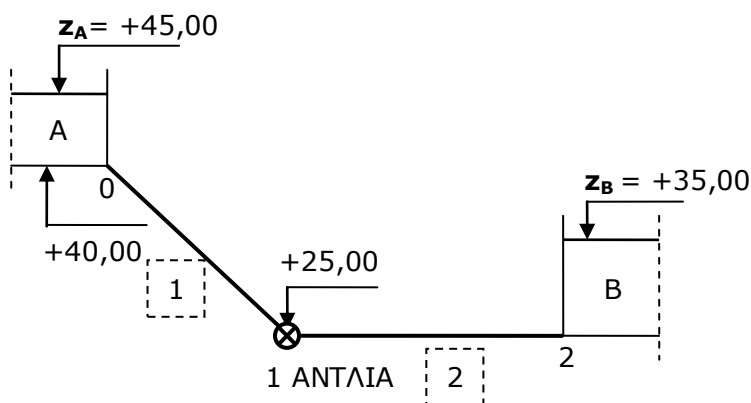
### 5.5.3 Η εφαρμογή αναφέρεται στα 5.4.2, 5.4.4, 5.4.5 και 5.4.6

Στο υδραγωγείο του σχήματος παροχή νερού  $Q$  παροχετεύεται από τη δεξαμενή **A** στη δεξαμενή **B**, μέσω ενός συστήματος σωλήνων με δεδομένες διαμέτρους και μήκη. Οι στάθμες των δύο δεξαμενών είναι σταθερές:  $z_A = +45,00$  m και  $z_B = +35,00$  m και στον κόμβο **1** παρεμβάλλεται αντλία, η οποία δεν λειτουργεί (βλ. σχήμα).

Όταν η αντλία λειτουργεί η παροχέτευση αντιστρέφεται (από τη δεξαμενή **B** στη δεξαμενή **A**) ενώ η παροχή  $Q$  έχει την ίδια τιμή.

Ζητούνται:

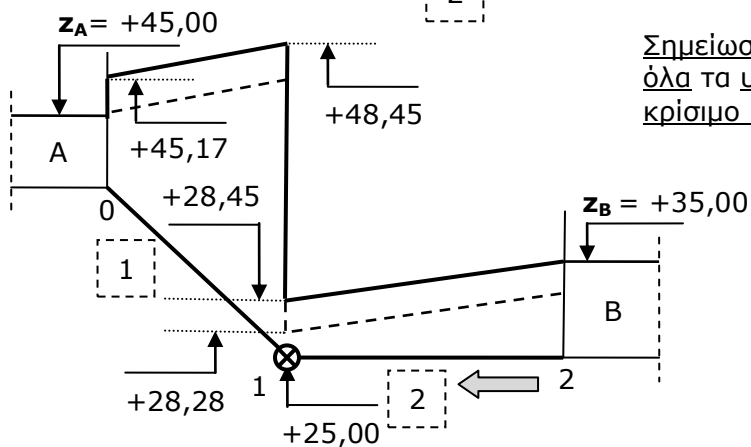
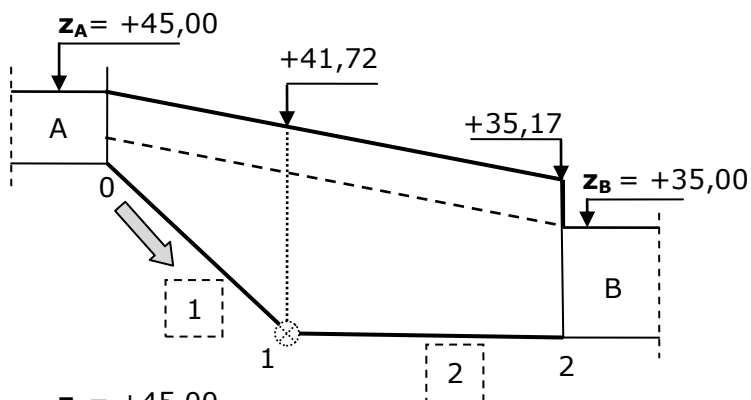
1. Η ισχύς της αντλίας **N** σε *γαλλικούς ίππους* CV ή PS.
2. Να χαραχτούν πλήρως η Γραμμή Ενέργειας και η Πιεζομετρική Γραμμή και στις δύο περιπτώσεις λειτουργίας.
3. Να ελεγχθεί το σύστημα για κίνδυνο εκτός ορίων σπηλαιώσης.



Αριθμητικά δεδομένα

| αγωγός | $D_i$<br>[mm] | $L_i$<br>[m] | $Q$<br>[lt/s] |
|--------|---------------|--------------|---------------|
| (1)    | <b>300</b>    | <b>300</b>   | <b>130</b>    |
| (2)    | <b>300</b>    | <b>600</b>   |               |

Παροχή  $Q = 130$  lt/s  
Συντελεστής  $n = 2/3$



Σημείωση: Στα σχήματα έχουν σημειωθεί όλα τα υψόμετρα της **Γ.Ε.** και το κρίσιμο υψόμετρο της **Π.Γ.** στον κόμβο **1**

$$(52\gamma) \rightarrow Q = Q_{(1)} = Q_{(2)} \rightarrow V_1 = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D_1^2}, V_2 = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D_2^2}$$

$$\text{Περίπτωση I (A} \rightarrow \text{B): (59) } \rightarrow z_A - z_B = \Delta H_{L1} + \Delta H_{L2} + \frac{V_2^2}{2 \cdot g}$$

$$\text{Περίπτωση II (B} \rightarrow \text{A): (63) } \rightarrow -(z_A - z_B) + H_\mu = \Delta H_{L2}^* + \Delta H_{L1}^* + \frac{V_1^{*2}}{2 \cdot g}$$

Όμως:

- ο Η παροχή **Q** έχει την ίδια τιμή, άρα οι **απώλειες** έχουν την **ίδια τιμή** ♪
- ο Η διαμέτροι **D<sub>1</sub>** και **D<sub>2</sub>** έχουν την ίδια τιμή, άρα οι **ταχύτητες V<sub>2</sub>** και **V<sub>1</sub><sup>\*</sup>** έχουν την **ίδια τιμή** ♪

$$\rightarrow -(z_A - z_B) + H_\mu = z_A - z_B \rightarrow H_\mu = 2 \cdot (z_A - z_B)$$

$$(62) \rightarrow N = \frac{2 \cdot \gamma \cdot Q \cdot (z_A - z_B)}{0,075 \cdot \eta} \rightarrow \mathbf{N = 52,0 \text{ CV}} \text{ και } H_\mu = 20,0 \text{ m}$$

| αγωγός | <b>Q</b><br>[m <sup>3</sup> /s] | <b>D<sub>i</sub></b><br>[m] | <b>L<sub>i</sub></b><br>[m] | <b>ΔH<sub>Li</sub></b><br>[m] | <b>V<sub>i</sub><sup>2</sup>/2.g</b><br>[m] |
|--------|---------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|---------------------------------------------|
| (1)    | <b>0,130</b>                    | <b>0,300</b>                | <b>300</b>                  | 3,28                          | 0,17                                        |
| (2)    |                                 | <b>0,300</b>                | <b>600</b>                  | 6,55                          | 0,17                                        |

Περίπτωση I (A → B):

| κόμβος         | <b>Γ.Ε.</b><br>[m] | <b>Π.Γ.</b><br>[m] |
|----------------|--------------------|--------------------|
| 0 <sub>α</sub> | + 45,00            | + 45,00            |
| 0 <sub>κ</sub> | + 45,00            | + 44,90            |
| 1 <sub>α</sub> | + 41,72            | + 41,55            |
| 1 <sub>κ</sub> | + 41,72            | + 41,55            |
| 2 <sub>α</sub> | + 35,17            | + 35,00            |
| 2 <sub>κ</sub> | + 35,00 ✓          | + 35,00 ✓          |

Περίπτωση II (B → A):

| κόμβος         | <b>Γ.Ε.</b><br>[m] | <b>Π.Γ.</b><br>[m] |
|----------------|--------------------|--------------------|
| 2 <sub>α</sub> | + 35,00            | + 35,00            |
| 2 <sub>κ</sub> | + 35,00            | + 34,83            |
| 1 <sub>α</sub> | + 28,45            | + 28,28            |
| 1 <sub>κ</sub> | + 48,45            | + 48,28            |
| 0 <sub>α</sub> | + 45,17            | + 45,00            |
| 0 <sub>κ</sub> | + 45,00 ✓          | + 45,00 ✓          |

κόμβος **1<sub>α</sub>**: *Κίνδυνος σπηλαιώσης*: Πίεση = 28,28 – 25,00 = **+ 3,28 m > 0 ✓**