

#### 4.2.2 Υπολογισμός του Ενεργειακού Διαθέσιμου **H** - Πρόβλημα **Λ5**

(τελικώς: υπολογισμός ενός εκ των υψομέτρων της ελεύθερης επιφάνειας - στάθμης των δεξαμενών: **z<sub>A</sub>**, **z<sub>B</sub>**, ή του τοπογραφικού υψομέτρου του άξονα του σωλήνα **z<sub>n</sub>** εις την περίπτωση ελεύθερης εκροής στην ατμόσφαιρα).

Αξιοποίηση του Προβλήματος **Λ1**

- Αποφασίζουμε εάν θα ληφθούν υπόψη οι τοπικές απώλειες: βλ. (28)
- Εφαρμόζουμε τη διαδικασία επίλυσης του Προβλήματος **Λ1** σε όλους τους αγωγούς του συστήματος
- Υπολογίζουμε - μόνο εάν υπάρχει εκροή στην ατμόσφαιρα - τον όρο ο οποίος εκφράζει την κινητική ενέργεια της εξερχόμενης φλέβας από τον τελευταίο

αγωγό n του συστήματος:  $\frac{V_n^2}{2 \cdot g}$ , όπου  $V_n = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D_n^2}$

- Υπολογίζουμε - μόνο εάν δεν αμελούνται - όλες τις τοπικές απώλειες σε όλους

τους κόμβους του συστήματος:  $h_{Ti} = \frac{k_{Ti} \cdot V_i^2}{2 \cdot g}$ , όπου  $V_i = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D_i^2}$

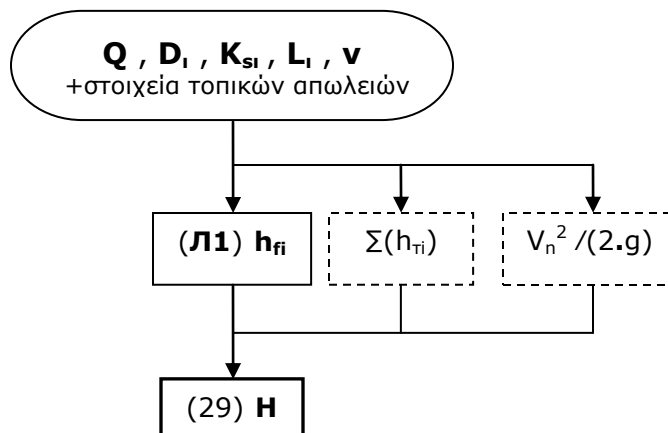
- Υπολογίζουμε το ενεργειακό διαθέσιμο:  $H = \sum_{i=1}^{(n)} h_{fi} + \sum_{i=0}^n h_{Ti} + \frac{V_n^2}{2 \cdot g}$  (29)

- Υπολογίζουμε τελικώς ένα από τα υψόμετρα **z<sub>A</sub>**, **z<sub>B</sub>**, **z<sub>n</sub>**

➤ Τυποποίηση διαδικασίας:

| <b>Q</b><br>[m <sup>3</sup> /s] | <b>D<sub>i</sub></b><br>[m] | <b>k<sub>si</sub></b><br>[m] | <b>L<sub>i</sub></b><br>[m] | <b>v</b><br>[m <sup>2</sup> /s] | <b>V<sub>i</sub></b><br>[m/s] | <b>R<sub>i</sub></b> | <b>F<sub>i</sub></b> | <b>h<sub>fi</sub></b> [m] |
|---------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|-------------------------------|----------------------|----------------------|---------------------------|
|                                 |                             |                              |                             |                                 |                               |                      |                      |                           |
|                                 |                             |                              |                             |                                 |                               |                      |                      |                           |
| <b>Σh<sub>fi</sub></b>          |                             |                              |                             |                                 |                               |                      |                      |                           |

- Διάγραμμα ροής διαδικασίας:



#### 4.2.3 Υπολογισμός της παροχής **Q** - Πρόβλημα **Λ6**

Αξιοποίηση του Προβλήματος **Λ1** σε αριθμητική μέθοδο *β' τάξεως*.

Προσοχή: η αξιοποίηση του Προβλήματος **Λ2 δεν** είναι δυνατή διότι είναι γνωστό το ενεργειακό διαθέσιμο - σύνολο των γραμμικών απωλειών - αλλά όχι οι επιμέρους απώλειες σε κάθε αγωγό!

- Προσδιορίζουμε τους σταθερούς συντελεστές της αριθμητικής μεθόδου:

$$C_H = \pi \cdot \left( \frac{g \cdot H}{8} \right)^{0,5} \quad (30)$$

$$C_{fi} = \frac{L_i}{D_i^5} \quad (31)$$

$$C_T = \sum_{i=0}^n \frac{k_i}{D_i^4} \quad (32), \text{ εάν } \underline{\text{αμελούνται}} \text{ οι } \underline{\text{τοπικές}} \text{ απώλειες: } C_T = 0$$

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

- Επιλέγουμε την 1<sup>η</sup> τιμή εκκίνησης - εάν η τάξη μεγέθους δεν είναι γνωστή

$$Q_1 = \frac{C_H}{\left[ \sum_{i=1}^{(n)} (f_{i0} \cdot C_{fi}) + C_T + C_V \right]^{0,5}} \quad (34)$$

Όπου ουσιαστικώς επιλέγουμε - *εμπειρικά* - την 1η τιμή της ισοδύναμης τραχύτητας **f<sub>i0</sub>** για κάθε σωλήνα χωριστά, από τον παρακάτω πίνακα:

|                        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| <b>k<sub>s</sub>/D</b> | 0      | 0,0005 | 0,0010 | 0,0015 | 0,0020 | 0,0025 | 0,0030 | 0,0035 |
| <b>f<sub>i0</sub></b>  | 0,0125 | 0,0175 | 0,0200 | 0,0220 | 0,0240 | 0,0250 | 0,0265 | 0,0275 |

|                        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| <b>k<sub>s</sub>/D</b> | 0,0040 | 0,0050 | 0,0060 | 0,0070 | 0,0080 | 0,0090 | 0,0100 | 0,012  |
| <b>f<sub>i0</sub></b>  | 0,0285 | 0,0305 | 0,0325 | 0,0340 | 0,0355 | 0,0370 | 0,0380 | 0,0405 |

- Υπολογίζουμε τη 2<sup>η</sup> τιμή σύγκλισης από την επαναληπτική σχέση:

$$Q_2 = \frac{C_H}{\left[ \sum_{i=1}^{(n)} (f_{i1} \cdot C_{fi}) + C_T + C_V \right]^{0,5}} \quad (35)$$

Όπου έχουμε υπολογίσει τη 2η τιμή της ισοδύναμης τραχύτητας **f<sub>i1</sub>** για κάθε σωλήνα χωριστά, με βάση την 1<sup>η</sup> τιμή εκκίνησης της παροχής **Q<sub>1</sub>**, εφαρμόζοντας τμήμα της διαδικασίας επίλυσης του Προβλήματος **Λ1**

**Σημείωση 1:** είναι δυνατό να γνωρίζουμε την τάξη μεγέθους της Q: π.χ. εάν έχει προηγηθεί υπολογισμός με ελαφρώς διαφορετικά μεγέθη H, D ή  $k_s$ . Στην περίπτωση αυτή έχουμε τιμή εκκίνησης και παραλείπουμε το 1<sup>ο</sup> βήμα.

Ελέγχουμε τη σύγκλιση  $\frac{|Q_2 - Q_1|}{Q_1} \leq 5\%$  (36)

- Υπολογίζουμε (σπανίως) την 3<sup>η</sup> τιμή σύγκλισης από την επαναληπτική σχέση:

$$Q_3 = \frac{C_H}{\left[ \sum_{i=1}^{(n)} (f_{i2} \cdot C_{fi}) + C_T + C_V \right]^{0,5}} \quad (35a)$$

Όπου έχουμε υπολογίσει τη 3<sup>η</sup> τιμή της ισοδύναμης τραχύτητας  $f_{i2}$  για κάθε σωλήνα χωριστά, με βάση την 2<sup>η</sup> τιμή σύγκλισης της παροχής  $Q_2$ , εφαρμόζοντας εκ νέου τμήμα της διαδικασίας επίλυσης του Προβλήματος **Λ1**

- Επανελέγχουμε (σπανίως) τη σύγκλιση  $\frac{|Q_3 - Q_2|}{Q_2} \leq 5\%$

- Υπολογίζουμε τελικώς τις γραμμικές απώλειες σε όλους τους σωλήνες – με βάση τα  $f_i$  της τελευταίας περιστροφής - τις στρογγυλεύουμε ώστε να είναι:  $\Sigma h_{fi} = H$  και χαράζουμε επακριβώς τη Γραμμή Ενέργειας με τα ενεργειακά υψόμετρα σε όλους τους κόμβους.

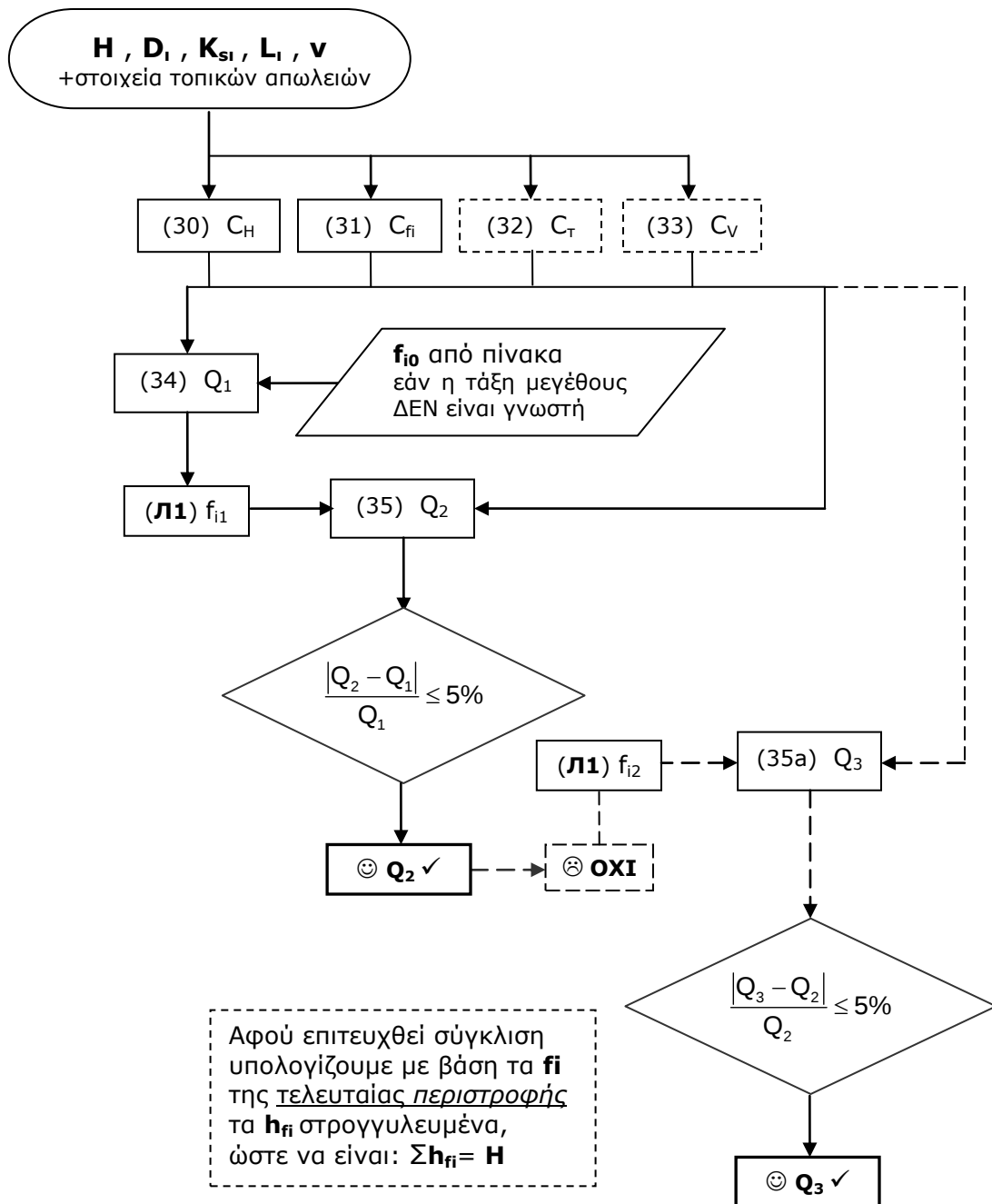
- Τυποποίηση διαδικασίας:

| H   | D <sub>i</sub> | k <sub>si</sub> | L <sub>i</sub> | v                   | C <sub>H</sub> | C <sub>fi</sub> | C <sub>T</sub> | C <sub>V</sub> | f <sub>i0</sub> |
|-----|----------------|-----------------|----------------|---------------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|
| [m] | [m]            | [m]             | [m]            | [m <sup>2</sup> /s] |                |                 |                |                |                 |
|     |                |                 |                |                     |                |                 |                |                |                 |

| Q <sub>1</sub>      | D <sub>i</sub> | k <sub>si</sub> | v                   | V <sub>i1</sub> | R <sub>i1</sub> | f <sub>i1</sub> | Q <sub>2</sub>      | ΔQ  |
|---------------------|----------------|-----------------|---------------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------------|-----|
| [m <sup>3</sup> /s] | [m]            | [m]             | [m <sup>2</sup> /s] | [m/s]           |                 |                 | [m <sup>3</sup> /s] | [%] |
|                     |                |                 |                     |                 |                 |                 |                     |     |

**Σημείωση 2:** Εις τη περίπτωση απλού συστήματος ενός σωλήνα και δύο δεξαμενών και εφόσον αμελούνται οι τοπικές απώλειες το πρόβλημα εκφυλίζεται: **Αρκεί** η εφαρμογή του **Λ2**, θέτοντας προφανώς: **hf<sub>1</sub> = H**

- Διάγραμμα ροής διαδικασίας:



#### 4.2.4 Υπολογισμός της διάμετρος **ενός** αγωγού **Di** - Πρόβλημα **Λ7**

(Οι διάμετροι όλων των υπολοίπων αγωγών είναι δεδομένες).

Αξιοποίηση των Προβλημάτων **Λ1** και **Λ3**

- Αποφασίζουμε εάν θα ληφθούν υπόψη οι τοπικές απώλειες: βλ. (28)
- Εφαρμόζουμε τη διαδικασία επίλυσης του Προβλήματος **Λ1** σε όλους τους αγωγούς του συστήματος – εκτός από τον αγωγό (i) όπου ζητείται η διάμετρος
- Υπολογίζουμε - μόνο εάν υπάρχει εκροή στην ατμόσφαιρα - τον όρο ο οποίος εκφράζει την κινητική ενέργεια της εξερχόμενης φλέβας από τον τελευταίο

αγωγό n του συστήματος:  $\frac{V_n^2}{2 \cdot g}$ , όπου  $V_n = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D_n^2}$

- Υπολογίζουμε - μόνο εάν δεν αμελούνται – όλες τις τοπικές απώλειες σε όλους

τους κόμβους του συστήματος:  $h_{Ti} = \frac{k_{Ti} \cdot V_i^2}{2 \cdot g}$ , όπου  $V_i = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D_i^2}$

- Υπολογίζουμε τις γραμμικές απώλειες στον αγωγό (i) όπου ζητείται η διάμετρος:

$$h_{fi} = H - \sum_{i=1}^{(i-1)} h_{fi} - \sum_{(i+1)}^{(n)} h_{fi} - \sum_{i=0}^n h_{Ti} - \frac{V_n^2}{2 \cdot g} \quad (37)$$

- Υπολογίζουμε τη (θεωρητική) διάμετρο του αγωγού (i) από το Πρόβλημα **Λ3**

- Τυποποίηση διαδικασίας:

| <b>Q</b><br>[m <sup>3</sup> /s] | <b>Di</b><br>[m] | <b>k<sub>si</sub></b><br>[m] | <b>Li</b><br>[m] | <b>v</b><br>[m <sup>2</sup> /s] | <b>Vi</b><br>[m/s] | <b>Ri</b> | <b>Fi</b> | <b>h<sub>fi</sub></b> [m] |
|---------------------------------|------------------|------------------------------|------------------|---------------------------------|--------------------|-----------|-----------|---------------------------|
|                                 |                  |                              |                  |                                 |                    |           |           |                           |
|                                 |                  |                              |                  |                                 |                    |           |           |                           |
| <b>Σh<sub>fi</sub></b>          |                  |                              |                  |                                 |                    |           |           |                           |

| <b>J=</b><br><b>h<sub>fi</sub> / L</b> | <b>Q</b><br>[m <sup>3</sup> /s] | <b>k<sub>si</sub></b><br>[m] | <b>v.10<sup>6</sup></b><br>[m <sup>2</sup> /s] | <b>C</b> | <b>A</b><br>.10 <sup>3</sup> | <b>B</b><br>.10 <sup>-6</sup> | <b>D<sub>iv</sub></b><br>[m] | <b>ΔD</b><br>[%]<br><b>V</b><br>[m/s] | <b>D<sub>θi</sub></b><br>[mm] |
|----------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------------------------------------------------|----------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|
|                                        |                                 |                              |                                                |          |                              |                               |                              |                                       |                               |
|                                        |                                 |                              |                                                |          |                              |                               |                              |                                       |                               |

**Σημείωση 1:** Εις τη περίπτωση απλού συστήματος ενός σωλήνα και δύο δεξαμενών και εφόσον αμελούνται οι τοπικές απώλειες το πρόβλημα εκφυλίζεται:

**Αρκεί** η εφαρμογή του **Λ3**, θέτοντας προφανώς: **h<sub>f1</sub> = H**

**Σημείωση 2:** Η περίπτωση υπολογισμού διαμέτρων **περισσοτέρων** του ενός αγωγού είναι πρόβλημα **αόριστο** - άπειροι ενεργειακά δεκτοί συνδυασμοί.  
Το ενδιαφέρον μετατίθεται τότε σε οικονομική βελτιστοποίηση.

Σημείωση 3: Εις την περίπτωση όπου υπάρχει **εκροή** εις την **ατμόσφαιρα και** ζητείται η διάμετρος του **ακραίου κατάντη** αγωγού (**n**),

ο όρος  $\frac{V_n^2}{2 \cdot g}$  είναι άγνωστος.

- Υπολογίζουμε τον παρακάτω όρο  $\Gamma$  στον αγωγό (**n**) όπου ζητείται η διάμετρος:

$$\Gamma = H - \sum_{i=1}^{(n-1)} h_{fi} - \sum_{i=0}^n h_{Ti} = h_{fn} + \frac{V_n^2}{2 \cdot g} \quad (37a)$$

- Εφαρμόζουμε την παρακάτω **παραλλαγή** του Προβλήματος **Λ3**

- Προσδιορίζουμε τον όρο:

$$C_r = \left( \frac{L \cdot Q^2}{\Gamma} \right)^{0,2} \quad (20a) - \text{παραλείπουμε δηλαδή τον όρο } \frac{V_n^2}{2 \cdot g}$$

- Επιλέγουμε κανονικά την 1<sup>η</sup> τιμή εκκίνησης με βάση όμως τον όρο  $C_r$

$D_1 = a \cdot C_r$  από τον παρακάτω πίνακα:

| <b>k<sub>s</sub></b> | 0     | 0,25  | 0,50  | 1,00  | 1,50  | 2,00~2,50 | 3,00  | >3,00       |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|-------|-------------|
| <b>a</b>             | 0,255 | 0,275 | 0,285 | 0,295 | 0,305 | 0,310     | 0,315 | 0,320~0,325 |

- Εφαρμόζουμε το Πρόβλημα **Λ1**

- 
- 
- 

- Υπολογίζουμε τις γραμμικές απώλειες:  $h_{fn1} = f_1 \cdot \frac{L \cdot V_{n1}^2}{2 \cdot g \cdot D_1} \quad (8)$

- Υπολογίζουμε τον όρο:  $\Gamma_1 = h_{fn1} + \frac{V_{n1}^2}{2 \cdot g}$

- Ελέγχουμε τη σύγκλιση  $\frac{|\Gamma_1 - \Gamma|}{\Gamma} \leq 5\% \quad (38)$

4.2.5 Υπολογισμός του συντελεστή τοπικών απωλειών μιας δικλείδας **k<sub>Τi</sub>**  
 κόμβος i - Πρόβλημα **Λ8**

Αξιοποίηση του Προβλήματος **Λ1**

- Αποφασίζουμε εάν θα ληφθούν υπόψη οι λοιπές τοπικές απώλειες: βλ. (28)
- Εφαρμόζουμε τη διαδικασία επίλυσης του Προβλήματος **Λ1** σε όλους τους αγωγούς του συστήματος
- Υπολογίζουμε - μόνο εάν υπάρχει εκροή στην ατμόσφαιρα - τον όρο ο οποίος εκφράζει την κινητική ενέργεια της εξερχόμενης φλέβας από τον τελευταίο

αγωγό n του συστήματος:  $\frac{V_n^2}{2 \cdot g}$ , όπου  $V_n = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D_n^2}$

- Υπολογίζουμε - μόνο εάν δεν αμελούνται - όλες τις λοιπές τοπικές απώλειες σε

όλους τους κόμβους του συστήματος:  $h_{Ti} = \frac{k_{Ti} \cdot V_i^2}{2 \cdot g}$ , όπου  $V_i = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D_i^2}$

- Υπολογίζουμε τις τοπικές απώλειες λόγω της δικλείδας στον κόμβο i:

- $h_{Ti} = H - \sum_{i=1}^{(n)} h_{fi} - \sum_{i=0}^n h_{Ti} - \frac{V_n^2}{2 \cdot g}$  (39)

- Υπολογίζουμε την ταχύτητα στον αγωγό ανάντη ή συνήθως κατάντη της

δικλείδας, όπου η διάμετρος είναι μικρότερη:  $V_{i+1} = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D_{i+1}^2}$

- Υπολογίζουμε το συντελεστή τοπικών απωλειών της δικλείδας:  $k_{Ti} = h_{Ti} \frac{2 \cdot g}{V_{i+1}^2}$

- Τυποποίηση διαδικασίας:

| <b>Q</b><br>[m <sup>3</sup> /s] | <b>D<sub>i</sub></b><br>[m] | <b>k<sub>si</sub></b><br>[m] | <b>L<sub>i</sub></b><br>[m] | <b>v</b><br>[m <sup>2</sup> /s] | <b>V<sub>i</sub></b><br>[m/s] | <b>R<sub>i</sub></b> | <b>F<sub>i</sub></b> | <b>h<sub>fi</sub></b> [m] |
|---------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|-------------------------------|----------------------|----------------------|---------------------------|
|                                 |                             |                              |                             |                                 |                               |                      |                      |                           |
|                                 |                             |                              |                             |                                 |                               |                      |                      |                           |
| <b>Σh<sub>fi</sub></b>          |                             |                              |                             |                                 |                               |                      |                      |                           |

| <b>h<sub>Ti</sub></b><br>[m] | <b>V<sub>i+1</sub></b><br>[m/s] | <b>k<sub>Ti</sub></b><br>[m] |
|------------------------------|---------------------------------|------------------------------|
|                              |                                 |                              |

*Σημείωση 1:* Χειριστήκαμε (βλ. 2.3.5 - Πρόβλημα **Λ3**) τον υπολογισμό της θεωρητικής διαμέτρου D και πληροφορηθήκαμε ότι, διάμετροι εμπορίου υπάρχουν σε περιορισμένες - τυποποιημένες τιμές.

- Μία πρακτική λύση είναι:
  - Η πρόβλεψη **διαμέτρου** με τιμή ίση με την **αμέσως μεγαλύτερη** από τυποποιημένη κλάση της τιμής της *θεωρητικής*, σε **όλο** το δεδομένο **μήκος** του **αγωγού**
  - **και** η πρόβλεψη **δικλείδας** της οποίας ο συντελεστής τοπικών απωλειών υπολογίζεται ως άνω.

Από ενεργειακή προσέγγιση είναι δυνατό να προβλεφθεί μεγαλύτερη διάμετρος από οιαδήποτε τυποποιημένη κλάση, αλλά δεν οδηγεί συνήθως σε βέλτιστη οικονομική λύση...

- Μία εναλλακτική πρακτική λύση αποτελεί:
  - Η πρόβλεψη **ζεύγους διαμέτρων**, με τιμές **αμέσως μεγαλύτερη** και **αμέσως μικρότερη** από τυποποιημένη κλάση της τιμής της *θεωρητικής*:
    - Το **ζεύγος** είναι **ενεργειακά ισοδύναμο** με τη **θεωρητική διάμετρο**.
    - Οι δύο **διάμετροι** του ζεύγους προβλέπονται με **διαφορετικά μήκη**, των οποίων το **άθροισμα** είναι **ίσο** με το δεδομένο - συνολικό **μήκος** του **αγωγού**.
  - Στη λύση αυτή προσδιορίζονται τα **μήκη εφαρμογής εκάστης** εκ των **διαμέτρων** από το επόμενο Πρόβλημα **Λ9**.

Και στη λύση αυτή - από ενεργειακή προσέγγιση - είναι δυνατό να προβλεφθεί οιαδήποτε ζεύγος διαμέτρων με τιμές μεγαλύτερη / μικρότερη της θεωρητικής από οιαδήποτε τυποποιημένη κλάση, αλλά επίσης δεν οδηγεί συνήθως σε βέλτιστη οικονομική λύση...

#### 4.2.6 Υπολογισμός του *ισοδυνάμου ζεύγους διαμέτρων εμπορίου* **D<sub>α</sub>** & **D<sub>κ</sub>** αγωγός (i) - Πρόβλημα **Λ9**

Αξιοποίηση του Προβλήματος **Λ1**

(Υποτίθεται ότι, **έχει προηγηθεί** ο υπολογισμός της *θεωρητικής* διαμέτρου - **Λ3**)

- Επιλέγουμε το ζεύγος διαμέτρων **D<sub>α</sub>** & **D<sub>κ</sub>**
- Έχουμε ήδη αποφασίσει εάν θα ληφθούν υπόψη οι τοπικές απώλειες: βλ. (28)
- Υπολογίζουμε - μόνο εάν δεν αμελούνται ως άνω - τις τοπικές απώλειες λόγω της διαφοράς των διαμέτρων του ζεύγους
- Έχουμε ήδη υπολογίσει τις γραμμικές απώλειες στον αγωγό (i):

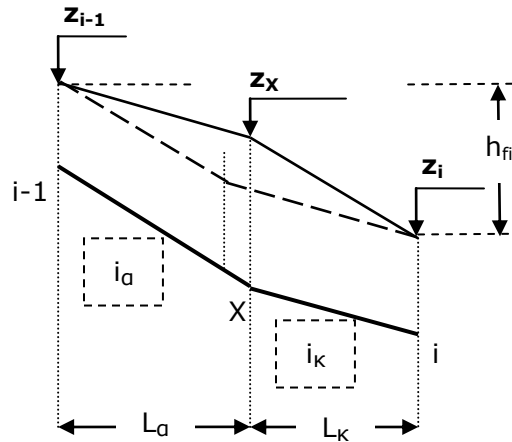
$$h_{fi} = H - \sum_{i=(1)}^{(i-1)} h_{fi} - \sum_{(i+1)}^{(n)} h_{fi} - \sum_{i=0}^n h_{Ti} - \frac{V_n^2}{2 \cdot g} \quad (37)$$

- Υπολογίζουμε τις δύο κλίσεις της Γραμμής Ενέργειας **J<sub>α</sub>** & **J<sub>κ</sub>** για τις δύο διαμέτρους **D<sub>α</sub>** & **D<sub>κ</sub>** (μέσω **Λ1**)
- Υπολογίζουμε τα δύο μήκη **L<sub>α</sub>** & **L<sub>κ</sub>** εφαρμογής των διαμέτρων **D<sub>α</sub>** & **D<sub>κ</sub>**:

$$L_{\alpha} = \frac{h_{fi} - J_{\kappa} \cdot L}{J_{\alpha} - J_{\kappa}} \quad (40) \text{ και } L_{\kappa} = L - L_{\alpha} \quad (41)$$

- Υπολογίζουμε τελικώς τις γραμμικές απώλειες στους δύο αγωγούς – με βάση τα  $h_{fi}$  της επίλυσης του **Λ1** - τις στρογγυλεύουμε ώστε να είναι:  $\Sigma h_{fak} = h_{fi}$  και χαράζουμε επακριβώς τη Γραμμή Ενέργειας με το ενεργειακό υψόμετρο του κόμβου αλλαγής διαμέτρου.

*Σημείωση 1:* Η **μεγαλύτερη** διάμετρος τοποθετείται γενικώς **ανάντη**. Ενεργειακά όμως η σχετική θέση τοποθέτησης των διαμέτρων είναι αδιάφορη.



- Τυποποίηση διαδικασίας:

| <b>Q</b><br>[m <sup>3</sup> /s] | <b>D</b><br>[m] | <b>k<sub>s</sub></b><br>[m] | <b>L</b><br>[m] | <b>v</b><br>[m <sup>2</sup> /s] | <b>V</b><br>[m/s] | <b>R</b> | <b>f</b> | <b>J</b> |
|---------------------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------|---------------------------------|-------------------|----------|----------|----------|
|                                 |                 |                             |                 |                                 |                   |          |          |          |
|                                 |                 |                             |                 |                                 |                   |          |          |          |

*Σημείωση 2:* Η ως άνω μεθοδολογία επίλυσης – με αξιοποίηση της δυνατότητας υπολογισμού της κλίσης της Γραμμής Ενέργειας **J** – δηλαδή εφαρμογή **τμήματος** του Προβλήματος **Λ1**, έχει ευρύτερη εφαρμογή, την οποία θα συναντήσουμε και εφαρμόσουμε και σε άλλες περιπτώσεις εις τη συνέχεια.

## 4.3 Ερωτήσεις κατανόησης και Εφαρμογές υπολογισμού

### 4.3.1 (μία μόνο απάντηση είναι ορθή)

|   |                                                 |
|---|-------------------------------------------------|
|   | <b>Σε όλο το μήκος ενός ομοιόμορφου αγωγού:</b> |
|   | Η διάμετρος παραμένει σταθερή                   |
|   | Η ισοδύναμη τραχύτητα παραμένει σταθερή         |
|   | Η παροχή παραμένει σταθερή                      |
| ✓ | Ισχύουν ΟΛΑ τα παραπάνω                         |
|   | ΔΕΝ ισχύει ΤΙΠΟΤΑ από τα παραπάνω               |

|   |                                                         |
|---|---------------------------------------------------------|
|   | <b>Σε συστήματα αγωγών η ενεργειακή βελτιστοποίηση:</b> |
|   | Αποτελεί την τελική – τεχνική λύση                      |
|   | Έπεται της οικονομικής βελτιστοποίησης                  |
|   | Δεν συνδέεται με την οικονομική βελτιστοποίηση          |
|   | Ισχύουν ΟΛΑ τα παραπάνω                                 |
| ✓ | ΔΕΝ ισχύει ΤΙΠΟΤΑ από τα παραπάνω                       |

|   |                                                                   |
|---|-------------------------------------------------------------------|
|   | <b>Σε συστήματα αγωγών η ενεργειακή βελτιστοποίηση βασίζεται:</b> |
|   | Στην εξίσωση Bernoulli                                            |
|   | Στην εξίσωση ποσότητας κίνησης                                    |
| ✓ | Στις εξισώσεις συνέχειας και ενέργειας και τη Γραμμή Ενέργειας    |
|   | Ισχύουν ΟΛΑ τα παραπάνω                                           |
|   | ΔΕΝ ισχύει ΤΙΠΟΤΑ από τα παραπάνω                                 |

|   |                                                                                                                                                                    |
|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   | <b>Σε συστήματα αγωγών η ενεργειακή βελτιστοποίηση εξασφαλίζει ότι:</b>                                                                                            |
| ✓ | Ολόκληρο το ενεργειακό διαθέσιμο θα καταναλωθεί σε απώλειες ενέργειας, ή /και θα παραμείνει ως ενέργεια της εκρέουσας φλέβας στην περίπτωση εκροής στην ατμόσφαιρα |
|   | Δεν θα υπάρχουν απώλειες στην παροχή του συστήματος λόγω διαρροών                                                                                                  |
|   | Θα ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες ενέργειας                                                                                                                          |
|   | Ισχύουν ΟΛΑ τα παραπάνω                                                                                                                                            |
|   | ΔΕΝ ισχύει ΤΙΠΟΤΑ από τα παραπάνω                                                                                                                                  |

|   |                                           |
|---|-------------------------------------------|
|   | <b>Σε απλά συστήματα σωλήνων:</b>         |
|   | Αμελούνται οι τοπικές απώλειες            |
|   | Αποκλείεται να υπάρχουν δικλείδες         |
| ✓ | Η ροή πραγματοποιείται λόγω της βαρύτητας |
|   | Ισχύουν ΟΛΑ τα παραπάνω                   |
|   | ΔΕΝ ισχύει ΤΙΠΟΤΑ από τα παραπάνω         |

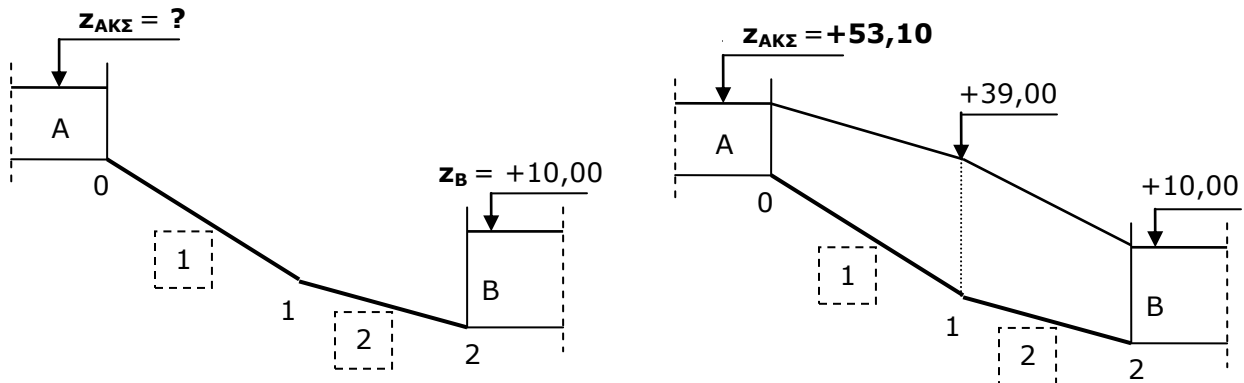
|   |                                                         |
|---|---------------------------------------------------------|
|   | <b>Σε απλά συστήματα σωλήνων:</b>                       |
|   | Αποκλείεται η ροή να καταλήγει στη θάλασσα              |
|   | Συμπεριλαμβάνονται οπωσδήποτε δύο δεξαμενές             |
|   | Δεν επιτρέπεται η παροχέτευση μη επεξεργασμένων λυμάτων |
|   | Ισχύουν ΟΛΑ τα παραπάνω                                 |
| ✓ | ΔΕΝ ισχύει ΤΙΠΟΤΑ από τα παραπάνω                       |

#### 4.3.2 Η εφαρμογή επικεντρώνεται στο Πρόβλημα **Λ5**

Στο υδραγωγείο του σχήματος η παροχή νερού για την **Κατωτάτη Στάθμη** στη δεξαμενή **A** είναι **Q: 125 lt /s**. Δίδονται επίσης τα στοιχεία:

| αγωγός | $D_i$<br>[mm] | $k_{si}$<br>[mm] | $L_i$<br>[m] |
|--------|---------------|------------------|--------------|
| (1)    | <b>300</b>    | <b>0,50</b>      | <b>1.160</b> |
| (2)    | <b>250</b>    | <b>0,50</b>      | <b>920</b>   |

Να υπολογιστεί η **Κ.Σ.** της δεξαμενής **A** και να χαραχθεί η Γραμμή Ενέργειας.



(28) → οι τοπικές απώλειες αμελούνται

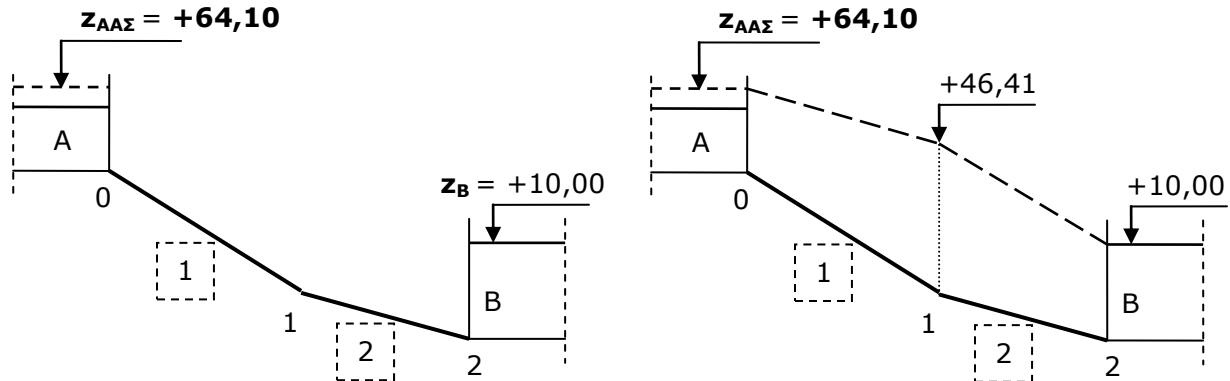
| Q<br>[m³/ s]     | D <sub>i</sub><br>[m] | k <sub>si</sub><br>[m] | L <sub>i</sub><br>[m] | v<br>[m²/ s]         | V <sub>i</sub><br>[m/ s] | R <sub>i</sub>        | F <sub>i</sub> | h <sub>fi</sub> [m] |
|------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|----------------------|--------------------------|-----------------------|----------------|---------------------|
| 0,125            | 0,300                 | 0,50                   | 1.160                 | 1,1.10 <sup>-6</sup> | 1,768                    | 4,823×10 <sup>5</sup> | 0,0229         | 14,10               |
|                  | 0,250                 | 0,50                   | 920                   |                      | 2,546                    | 5,787×10 <sup>5</sup> | 0,0238         | 29,00               |
| Σh <sub>fi</sub> |                       |                        |                       |                      |                          |                       |                | 43,10               |

$$z_{AK\Sigma} = 10,00 + (14,10 + 29,00) = +53,10 \text{ m}, (z_1 = 10,00 + 29,00 = +39,00 \text{ m})$$

#### 4.3.3 Η εφαρμογή επικεντρώνεται στο Πρόβλημα **Λ6**

Στο προηγούμενο υδραγωγείο η **Ανωτάτη Στάθμη** στη δεξαμενή **A** είναι υψηλότερη από την Κ.Σ. κατά **11,00 m**.

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



Οι τοπικές απώλειες αμελούνται και δεν υπάρχει ελεύθερη εκροή

| H<br>[m] | D <sub>i</sub><br>[m] | k <sub>si</sub><br>[m] | L <sub>i</sub><br>[m] | v<br>[m <sup>2</sup> /s] | C <sub>H</sub> | C <sub>fi</sub>       | C <sub>T</sub> | C <sub>V</sub> | f <sub>i0</sub> |
|----------|-----------------------|------------------------|-----------------------|--------------------------|----------------|-----------------------|----------------|----------------|-----------------|
| 54,10    | 0,300                 | 0,50                   | 1.160                 | 1,1·10 <sup>-6</sup>     | 25,5881        | 4,774×10 <sup>5</sup> | 0              | X              | 0,0227          |
|          | 0,250                 | 0,50                   | 920                   |                          |                | 9,421×10 <sup>5</sup> |                | 0              | 0,0240          |

| Q <sub>1</sub><br>[m <sup>3</sup> /s] | D <sub>i</sub><br>[m] | k <sub>si</sub><br>[m] | v<br>[m <sup>2</sup> /s] | V <sub>i1</sub><br>[m/s] | R <sub>i1</sub>       | f <sub>i1</sub> | Q <sub>2</sub><br>[m <sup>3</sup> /s] | ΔQ <br>[%] |
|---------------------------------------|-----------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|-----------------|---------------------------------------|------------|
| 0,1399                                | 0,300                 | 0,50                   | 1,1·10 <sup>-6</sup>     | 1,979                    | 5,398×10 <sup>5</sup> | 0,0228          | 0,1402                                | 0,20%✓     |
|                                       | 0,250                 | 0,50                   |                          | 2,850                    | 6,478×10 <sup>5</sup> | 0,0238          |                                       |            |

→ **Q\* = 140 lt/s** και **h<sub>f1</sub> = 17,69 m**, **h<sub>f2</sub> = 36,41 m**, (**z<sub>1</sub> = 10,00 + 36,41 = +46,41 m**)

Σημείωση 1: <Εδώ> η τάξη μεγέθους της είναι **Q\*** γνωστή!

Αξιοποιώντας **δημιουργικά** τις (9) και (35) προκύπτει:

$$Q_1 = Q \cdot \left( \frac{H^*}{H} \right)^{0,5} = 0,125 \cdot \left( \frac{54,1}{43,1} \right)^{0,5} = 0,140$$

Σημείωση 2: Ας υπολογίσουμε τις τοπικές απώλειες για να διαπιστώσουμε την επίδρασή τους στην τάξη μεγέθους της ακρίβειας των υπολογισμών:

$$h_{T0} = 0,5 \frac{V_1^2}{2 \cdot g} = 0,100\text{m}, \quad h_{T1} = 0,0935 \frac{V_2^2}{2 \cdot g} = 0,039\text{m}, \quad h_{T2} = 1,0 \frac{V_2^2}{2 \cdot g} = 0,415\text{m}$$

$$\rightarrow \sum_0^1 h_{Ti} = 0,61\text{m} = 1,12\% \cdot \sum_{(1)}^{(2)} h_{fi}$$

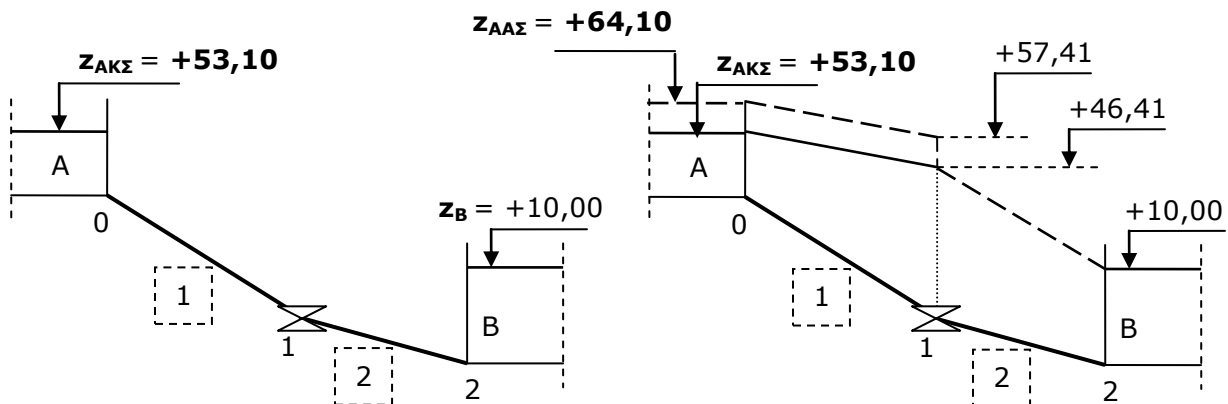
#### 4.3.4 Η εφαρμογή επικεντρώνεται στα Προβλήματα **Λ17** και **Λ18**

Στο προηγούμενο υδραγωγείο εξετάζεται η εναλλακτική δυνατότητα, ώστε η παροχή νερού **και** για την **Κατωτάτη Στάθμη** στη δεξαμενή **A** να είναι η  $Q^*$ : **140** lt /s.

A) Να υπολογιστεί η *εναλλακτικώς* απαιτούμενη (θεωρητική) διάμετρος  $D_{\theta 1}^*$  του αγωγού (**1**) και να χαραχθεί η Γραμμή Ενέργειας.

B) Στη λύση της *εναλλακτικής* ως άνω διαμέτρου  $D_{\theta 1}^*$  προβλέπεται και η τοποθέτηση στον κόμβο 1 δικλείδας, ώστε η παροχή για την **Ανώτατη Στάθμη** στη δεξαμενή **A** να είναι η  $Q^*$ : **140** lt /s.

Να υπολογιστεί ο συντελεστής τοπικών απωλειών  $k_{T1}$  στη δικλείδα και να χαραχθεί η Γραμμή Ενέργειας.



**Παρατήρηση A:** Εφ' όσον η παροχή εις τον αγωγό (2) είναι η  $Q^*$ : **140** lt /s, οι απώλειες στον αγωγό είναι γνωστές – τις έχουμε ήδη υπολογίσει, άρα και το ενεργειακό υψόμετρο του κόμβου 1 είναι **γνωστό** ☺

Το έχουμε ήδη υπολογίσει εις την 4.3.3 :  $z_1 = +46,41 \rightarrow h_{f1} = 53,10 - 46,41 = \mathbf{6,69}$  m

| $J = \frac{h_f}{L}$ | $Q$<br>[m <sup>3</sup> /s] | $k_s$<br>[m]  | $v \cdot 10^6$<br>[m <sup>2</sup> /s] | C      | A<br>· 10 <sup>3</sup> | B<br>· 10 <sup>-6</sup> | $D_i$<br>[m] | $\frac{\delta D}{V}$<br>[%]<br>[m/s] | $D_{\theta}$<br>[mm] |
|---------------------|----------------------------|---------------|---------------------------------------|--------|------------------------|-------------------------|--------------|--------------------------------------|----------------------|
| <b>0,00577</b>      | <b>0,140</b>               | <b>0,0005</b> | <b>1,1</b>                            | 1,2772 | 0,135                  | 8,208                   | 0,3640       |                                      |                      |
|                     |                            |               |                                       |        |                        |                         | 0,3606       | 0,94✓<br>1,37✓                       | <b>361</b>           |

**Παρατήρηση B:** Εφ' όσον η παροχή εις τούς αγωγούς (1), (2) είναι η  $Q^*$ : **140** lt /s, οι απώλειες εις τούς αγωγούς είναι γνωστές – τις έχουμε ήδη υπολογίσει:

- ως άνω:  $h_{f1} = \mathbf{6,69}$  m
- 4.3.3:  $h_{f2} = \mathbf{36,41}$  m
- Επομένως οι συνολικές γραμμικές απώλειες στο σύστημα είναι **γνωστές** ☺  
→  $\Sigma h_{fi} = 6,69 + 36,41 = \mathbf{43,10}$  m
- Άρα οι τοπικές απώλειες λόγω της δικλείδας στον κόμβο 1 είναι **γνωστές** ☺  
→  $h_{T1} = (64,10 - 10,00) - 43,10 = \mathbf{11,00}$  m

$$○ V_2 = \frac{4 \cdot Q^*}{\pi \cdot D_2^2} = 2,852 \rightarrow \frac{V_2^2}{2 \cdot g} = 0,4146 \rightarrow k_{T1} = h_{T1} \frac{2 \cdot g}{V_2^2} = \mathbf{26,532}$$

#### 4.3.5 Η εφαρμογή επικεντρώνεται στο Πρόβλημα **Π9**

Στο προηγούμενο υδραγωγείο εξετάσθηκε η εναλλακτική δυνατότητα, ώστε η παροχή νερού και για την **Κατωτάτη Στάθμη** στη δεξαμενή **A** να είναι η  **$Q^*$ : 140 lt /s** και υπολογίσθηκε η απαιτούμενη **θεωρητική** διάμετρος του αγωγού (**1**).

Να υπολογιστούν τα μήκη αγωγών διαμέτρων **400 m.m** και **250 m.m**, ώστε να αποτελούν το ισοδύναμο ζεύγος διαμέτρων εμπορίου της υπολογισθείσας **θεωρητικής** διαμέτρου.

| <b>Q</b><br>[m <sup>3</sup> /s] | <b>D</b><br>[m] | <b>k<sub>s</sub></b><br>[m] | <b>v</b><br>[m <sup>2</sup> /s] | <b>V</b><br>[m/s] | <b>R</b>              | <b>f</b> | <b>J</b> |
|---------------------------------|-----------------|-----------------------------|---------------------------------|-------------------|-----------------------|----------|----------|
| <b>0,140</b>                    | <b>0,400</b>    | <b>0,0005</b>               | <b>1,1.10<sup>-6</sup></b>      | 1,114             | 4,051×10 <sup>5</sup> | 0,0215   | 0,00340  |
|                                 | <b>0,250</b>    |                             |                                 | 2,852             | 6,482×10 <sup>5</sup> | 0,0238   | 0,03947  |

(40) → **L<sub>a1</sub> = 1.083,88 m** και (41) → **L<sub>κ1</sub> = 76,12 m**

**Σημείωση 1:** Το επιβαλλόμενο από την εκφώνηση ζεύγος διαμέτρων **δεν** περιλαμβάνει την **αμέσως μικρότερη** διάμετρο από τον πίνακα διαμέτρων *εμπορίου* (βλ. 2.3.5), εάν είχαμε επιλέξει *ελεύθερα*, η μικρότερη διάμετρος θα ήταν 350 m.m

**Σημείωση 2:** Επιλέγουμε γενικώς να τοποθετήσουμε τη μεγαλύτερη διάμετρο: 400 m.m ανάντη (βλ. 4.2.6)

Τελικώς δηλαδή: **L<sub>(400)</sub> ≈ 1.084 m** και **L<sub>(250)</sub> ≈ 76 m**