

ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΚΑΙ ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΕΡΓΑ

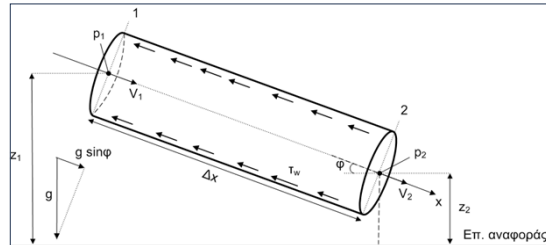
1. Υδραυλική κλειστών αγωγών υπό πίεση

Τελική μορφή παρουσιάσεων
Ακαδ. Έτους 2018-2019

ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΡΟΗΣ ΣΕ ΚΛΕΙΣΤΟΥΣ ΑΓΩΓΟΥΣ ΥΠΟ ΠΙΕΣΗ

1. Συνοπτική επανάληψη βασικών σχέσεων υπολογισμού -
Τυπολόγιο
2. Γραμμικές απώλειες – Θεμελιώδη προβλήματα
3. Τοπικές απώλειες

Ροή σε κλειστούς αγωγούς υπό πίεση



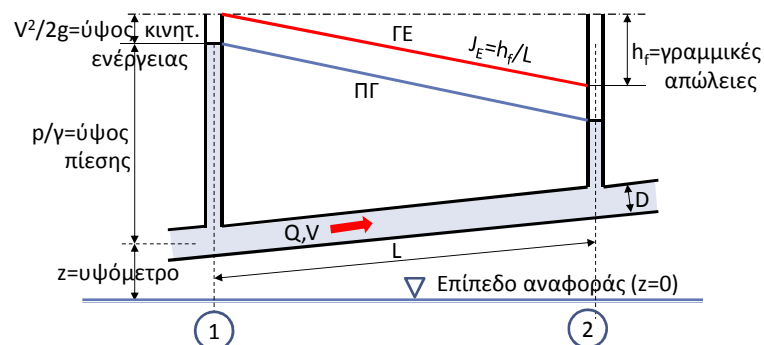
- Η ροή μπορεί να γίνεται εξαιτίας της διαφοράς πίεσης $\Delta p = p_1 - p_2$ ή και της διαφοράς στάθμης $\Delta z = z_1 - z_2$ μεταξύ των διατομών 1 και 2.
- Υπάρχουν απώλειες ενέργειας εξ αιτίας τριβών κατά τη διεύθυνση της ροής, που λαμβάνονται πάντα υπ' όψιν.

Οκτώβριος 2016

A. NANOY-GIANNAROY

3

Απώλειες ενέργειας ΔH κατά μήκος αγωγού (πραγματικά ρευστά)



$$H_1 = H_2 + h_f \Rightarrow z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + h_f$$

Η κατεύθυνση της ροής καθορίζεται αποκλειστικά από την κλίση της ΓΕ.

Σεπτέμβριος 2018

A. NANOY-GIANNAROY

4

Εξισώσεις της ροής (Μονοδιάστατη ανάλυση)

Εξίσωση συνέχειας

$$\left. \begin{array}{l} Q_1 = Q_2 = Q \\ A_1 = A_2 = A = \frac{\pi D^2}{4} \end{array} \right\} \Rightarrow A_1 V_1 = A_2 V_2 = AV \Rightarrow V_1 = V_2 = V$$

Εξίσωση ενέργειας $\rightarrow H = z + \frac{p}{\gamma} + \alpha \frac{V^2}{2g} \Rightarrow H_1 = H_2 + h_f$

Εξίσωση Darcy-Weisbach $\rightarrow h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$ *

* Υπάρχουν και εμπειρικές σχέσεις για τον υπολογισμό των γραμμικών απωλειών.

Διατμητική τάση ορίου $\rightarrow \tau_w = \rho g \frac{D}{4} \frac{h_f}{L} = \gamma \frac{D}{4} J_E$ ή $\tau_w = \frac{f}{8} \rho V^2$

Οκτώβριος 2016

A. NANOY-GIANNPOY

5

Επίλυση προβλημάτων ροής σε σωλήνες Υπολογισμός του f

Αριθμός Reynolds $\rightarrow Re = \frac{VD}{\mu/\rho}$

Εξίσωση παροχής $\rightarrow Q = V \cdot \frac{\pi D^2}{4}$ ή $V = \frac{4Q}{\pi D^2}$

Εξίσωση Darcy-Weisbach $\rightarrow h_f = J_E L = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}, J_E = f \frac{1}{D} \frac{V^2}{2g}$

Συντελεστές τριβών για σωλήνες

Για στρωτή ροή ($Re < 2000$) $\rightarrow f = \frac{64}{Re}$

Για τυρβώδη ροή $\rightarrow \frac{1}{\sqrt{f}} = -2.0 \log \left(\frac{k_s/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right)$ Colebrook-White

Σεπτέμβριος 2018

A. NANOY-GIANNPOY

6

Εξίσωση Colebrook-White για τυρβώδη ροή ($Re \geq 4000$)

- Υδραυλικώς λεία περιοχή: $f = F(Re)$, $k_s \rightarrow 0$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2.0 \log \left(\frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right)$$

- Μεταβατική περιοχή: $f = F(Re, k_s/D)$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2.0 \log \left(\frac{k_s/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right)$$

- Πλήρως τραχεία περιοχή: $f = F(Re, k_s/D)$, $Re \rightarrow \infty$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2.0 \log \left(\frac{k_s/D}{3.7} \right)$$

Σεπτέμβριος 2018

A. NANOY-GIANNPOY

7

Άλλες σχέσεις υπολογισμού του f

Προσεγγιστικές σχέσεις

Εξίσωση των Swamee and Jain $\rightarrow f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{1}{3.7} \frac{k_s}{D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2}$

Εξίσωση Haaland $\rightarrow \frac{1}{\sqrt{f}} = -1.8 \log \left(\frac{6.9}{Re} + \left(\frac{k_s/D}{3.7} \right)^{1.11} \right)$

Προσοχή: Αντικαθιστά την διαφάνεια 8 του παλαιού αρχείου.

Σεπτέμβριος 2018

A. NANOY-GIANNPOY

8

Διάγραμμα Moody

- Αποτελεί γραφικό τρόπο επίλυσης της εξίσωσης Colebrook – White και υπολογισμού του f (ακρίβεια $\pm 15\%$).
- Νομογράφημα, συνδυάζει 4 παραμέτρους:

- Συντελεστής τριβών f
- Αριθμός Reynolds Re
- Σχετική τραχύτητα k_s/D
- Παράμετρος $Re\sqrt{f}$

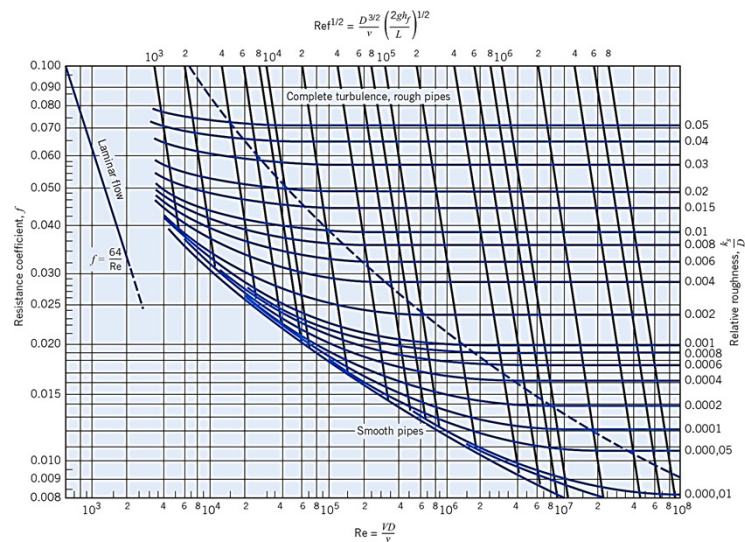
$$Re = \frac{VD}{\nu} = \frac{4Q}{\pi D\nu}$$

$$Re\sqrt{f} = \frac{D^{3/2}}{\nu} \left(\frac{2gh_f}{L} \right)^{1/2}$$

Σεπτέμβριος 2018

A. NANOY-GIANNPOY

9



Relative roughness same as previous problem

Σεπτέμβριος 2018

A. NANOY-GIANNPOY

10

Επίλυση της εξίσωσης Darcy-Weisbach Τυπικά προβλήματα

- Μεταβλητές που υπεισέρχονται: h_f , L , D , k_s , ν , Q (ή V), f
- Έχουμε:
 - Γνωστό υγρό κινηματικής συνεκτικότητας ν .
 - Γνωστά μήκος σωλήνα L και ισοδ. τραχύτητα k_s .
 - Μεταβλητές προς διερεύνηση: h_f , D , Q (ή V)
- Ανάλογα με το ζητούμενο μέγεθος, διατυπώνονται τα ακόλουθα βασικά προβλήματα:
 - 1^ο Πρόβλημα: Άγνωστο το h_f . Γνωστά τα D , Q (ή V).
 - 2^ο Πρόβλημα: Άγνωστο το Q (ή V). Γνωστά τα h_f , D .
 - 3^ο Πρόβλημα: Άγνωστο το D . Γνωστά τα h_f , Q (ή V).

Σεπτέμβριος 2018

A. NANOY-GIANNPOY

11

1^ο τυπικό πρόβλημα

Δεδομένα: D , Q , L , k_s , ν

Ζητούμενο: h_f → Άμεση επίλυση

$$\left. \begin{array}{l} V = \frac{4Q}{\pi D^2} \rightarrow Re = \frac{VD}{\nu} \\ \frac{k_s}{D} \end{array} \right\} \rightarrow$$

→ f (Από Colebrook-White ή διάγραμμα Moody) ⇒

$$\Rightarrow h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

Σεπτέμβριος 2018

A. NANOY-GIANNPOY

12

2^ο τυπικό πρόβλημα

Δεδομένα: h_f, D, L, k_s, ν

Ζητούμενο: $Q \rightarrow$ Άμεση επίλυση

$$\text{Λύνουμε ως προς } V \rightarrow V = \left[2gh_f \frac{D}{L} \right]^{1/2} \frac{1}{\sqrt{f}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \text{Re} = \frac{VD}{\nu} = \left[2gh_f \frac{D}{L} \right]^{1/2} \frac{1}{\sqrt{f}} \frac{D}{\nu} \Rightarrow \text{Re} \sqrt{f} = \sqrt{\frac{2gh_f D^{3/2}}{L \nu}}$$

$\text{Re} \sqrt{f}, \frac{k_s}{D} \rightarrow f$ (Από Colebrook-White ή διάγραμμα Moody) $\rightarrow V \rightarrow Q$

Εναλλακτικά, εξίσωση Swamee & Jain ($\text{Re} > 2000$) \rightarrow

$$Q = -0.965 \left(\frac{gD^5 h_f}{L} \right)^{1/2} \ln \left[\frac{k_s/D}{3.7} + \left(\frac{3.17 \nu^2 L}{gD^3 h_f} \right)^{1/2} \right]$$

Έχει την ίδια ακρίβεια υπολογισμού με αυτή του διαγράμματος Moody.

3^ο τυπικό πρόβλημα

Δεδομένα: h_f, Q, L, k_s, ν

Ζητούμενο: $D \rightarrow$ Δοκιμές (Μπορούν να επιλεγούν το f ή το D)

Διαδικασία υπολογισμού \rightarrow Υποθέτουμε μία τιμή του f

$$\text{Λύνουμε ως προς } D \rightarrow D = \left[\frac{8LQ^2}{\pi^2 gh_f} \right]^{1/5} f^{1/5} \xrightarrow{\text{υπολογίζεται}} \text{Re} \sqrt{f} = \sqrt{\frac{2gh_f D^{3/2}}{L \nu}}$$

Γνωρίζουμε το $\frac{k_s}{D} \xrightarrow{\text{(Re} \sqrt{f}, k_s/D)}$ (Από Colebrook-White ή διάγραμμα Moody) \rightarrow νέα τιμή του f

Εναλλακτικά, εξίσωση Swamee & Jain ($3 \cdot 10^8 > \text{Re} > 5000, 0.01 > k_s/D > 10^{-6}$)

$$\rightarrow D = 0.66 \left[k_s^{1.25} \left(\frac{LQ^2}{gh_f} \right) + \frac{\nu}{Q} \left(\frac{LQ^2}{gh_f} \right)^{5.2} \right]^{0.04} \quad (\text{ακρίβεια } 2\%)$$

Χρησιμοποιούμε πάντα διαμέτρους σωλήνων του εμπορίου.

Σωλήνες εμπορίου

- Είναι οι σωλήνες που χρησιμοποιούμε στην πράξη.
- Οι σωλήνες του εμπορίου χαρακτηρίζονται από:
 - i. την ονομαστική διάμετρο
 - ii. την ονομαστική πίεση
 - iii. το υλικό κατασκευής τους (συντελεστής τραχύτητας k_s)
- Η **ονομαστική διάμετρος DN (Diameter Nominal)** είναι η κατά προσέγγιση εγκάρσια διάμετρος τους σε mm.
- Ανάλογα με το υλικό τους, οι σωλήνες εμπορίου ονομάζονται χαλυβδοσωλήνες, σιδηροσωλήνες, χαλκοσωλήνες, μολυβδοσωλήνες, πλαστικοί σωλήνες κλπ.

Συνήθεις τιμές τραχύτητας για σωλήνες του εμπορίου

ΕΙΔΟΣ ΑΓΩΓΟΥ	Ισοδύναμη τραχύτητα k_s
PVC ή HDPE (Πλαστικοί)	0.1 mm
Χυτοσιδηροί σωλήνες	0.25 mm
Χαλύβδινοι σωλήνες	1.00 mm
Αμιαντοτσιμεντοσωλήνες	0.50 mm

Γήρανση σωλήνων

- Οι σωλήνες εμπορίου με την πάροδο του χρόνου **γηράσκουν** (λόγω οξειδωσης, διάβρωσης ή και εναπόθεσης αλάτων στην εσωτερική τους επιφάνεια που έρχεται σε επαφή με το νερό).
- Το αποτέλεσμα της γήρανσης είναι η **αύξηση της τραχύτητάς τους** και η συνεπαγόμενη **μείωση της παροχτευόμενης παροχής**.
- Για λόγους υπολογιστικούς θεωρείται:

$$k_s(t) = k_{s,0} + a_g \cdot t, \quad a_g = \text{συντελεστής}$$

$$\text{Τυπικές τιμές: } 6 \cdot 10^{-5} < a_g < 2 \cdot 10^{-3} \text{ (mm / έτος)}$$

Τρόποι αντιμετώπισης της γήρανσης

- Αυξάνοντας την διατιθέμενη ενέργεια στη ροή του σωλήνα
 - Αύξηση της στάθμης της ανάντη δεξαμενής τροφοδότησης
 - Χρήση αντλίας
- Αντικαθιστώντας τον παλιό σωλήνα από νέο.
- Προσθέτοντας νέο σωλήνα, παράλληλα στον υφιστάμενο (βλ. Κεφ. 4.4.3 και εφαρμογές).

Αγωγοί μη κυκλικής διατομής

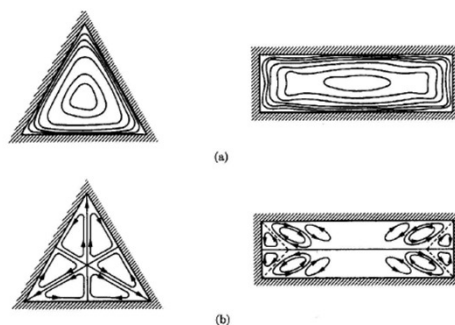


FIG. 13-3. Velocity contours and diagrams of secondary motions for fully developed flow in noncircular ducts: (a) velocity contours; (b) secondary circulation patterns [2].

Ισοταχείς καμπύλες - δευτερεύουσα ροή σε μη κυκλικούς αγωγούς (Daily, JW, and Harleman, DRF, 1966, Fig.13.3, σελ. 262).

Σεπτέμβριος 2018

A. NANOY-GIANNPOY

19

Αγωγοί μη κυκλικής διατομής

- Τα προβλήματα ροής σε μη κυκλικούς αγωγούς επιλύονται όπως αυτά σε σωλήνες, με τη διαφορά ότι χρησιμοποιείται η **υδραυλική διάμετρος** αντί για τη διάμετρο του σωλήνα.

$$\text{Υδραυλική ακτίνα } R_h, \text{ υδραυλική διάμετρος } D_h \rightarrow R_h = \frac{A}{P} = \frac{D_h}{4}$$

A = Εμβαδόν υγρής διατομής

P = Βρεχόμενη περίμετρος

- Η **ακρίβεια** στον υπολογισμό του f, χρησιμοποιώντας τα αντίστοιχα αποτελέσματα των σωλήνων, είναι σημαντικά **μικρότερη**.

Σεπτέμβριος 2018

A. NANOY-GIANNPOY

20

Αγωγοί μη κυκλικής διατομής

Υδραυλική ακτίνα R_h , υδραυλική διάμετρος $D_h \rightarrow R_h = \frac{A}{P} = \frac{D_h}{4}$

Αριθμός Reynolds $\rightarrow Re = \frac{V \cdot 4R_h}{\nu}$

Εξίσωση παροχής $\rightarrow Q = V \cdot A$ ή $V = \frac{Q}{A}$

Εξίσωση Darcy-Weisbach $\rightarrow h_f = J_E L = f \frac{L}{4R_h} \frac{V^2}{2g} = f \frac{L}{D_h} \frac{V^2}{2g}$

Διατμητική τάση ορίου $\tau_w \rightarrow \tau_w = \rho g R_h J_E, R_h = \frac{A}{P}$

Σεπτέμβριος 2018

A. NANOY-GIANNPOY

21

Εμπειρικές σχέσεις υπολογισμού

Darcy-Weisbach $\rightarrow h_f = f \frac{L}{D_h} \frac{V^2}{2g} = f \frac{L}{4R_h} \frac{V^2}{2g} \Rightarrow \frac{h_f}{L} = f \frac{1}{4R_h} \frac{V^2}{2g} = \frac{f}{8g} \frac{1}{R_h} V^2 \Rightarrow$
 $\Rightarrow J_E = \frac{f}{8g} \frac{1}{R_h} V^2, J_E = \text{κλίση της } \Gamma.E. \Rightarrow V = \sqrt{\frac{8g}{f} R_h J_E}$

Θέτοντας $\rightarrow C_h = \sqrt{\frac{8g}{f}}$ = συντελ. Chezy, διαστάσεις $[L^{1/2}, T^{-1}] \Rightarrow V = C_h \sqrt{R_h J_E} = \text{εξίσωση Chezy}$

Θέτοντας $\rightarrow C_h = \frac{R_h^{1/6}}{n} \Rightarrow n = \frac{R_h^{1/6}}{C_h}$ = συντελ. Manning, διαστάσεις $[L^{-1/3}, T]$

$\Rightarrow V = \frac{R_h^{1/6}}{n} \sqrt{R_h J_E} = \frac{1}{n} R_h^{2/3} J_E^{1/2} = \text{εξίσωση Manning}$

Είναι η σημαντικότερη εξίσωση για προβλήματα ροής σε ανοικτούς αγωγούς.

Μεταξύ f και $n \rightarrow f = \frac{8gn^2}{R_h^{1/3}} \Rightarrow n = \sqrt{\frac{fR_h^{1/3}}{8g}}$

Σεπτέμβριος 2018

A. NANOY-GIANNPOY

22

Παρατηρήσεις

- Στην πράξη έχει επικρατήσει χάριν απλότητας να μη χρησιμοποιούμε μονάδες για τον συντελεστή Manning. Έτσι, συχνά ένας μηχανικός αναφέρει ότι ο συντελεστής Manning είναι ίσος με 0.0125.
- Οι τιμές του n εκτιμώνται από πίνακες, ανάλογα με την τραχύτητα του αγωγού ή δίνονται από τον κατασκευαστή.
- Επίσης, αρκετές φορές χρησιμοποιείται και η αντίστροφη τιμή $1/n$ που καλείται **συντελεστής Strickler**, δηλ. $1/0.0125=80.0$.

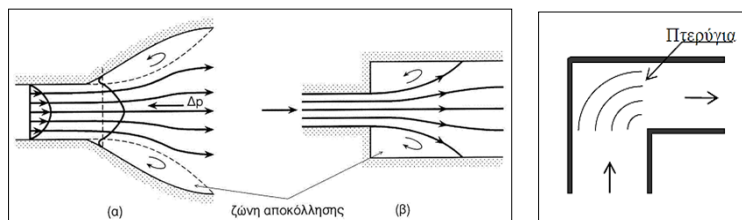
Τοπικές απώλειες ενέργειας

- Αποτελούν: Δευτερεύουσες απώλειες ή απώλειες σχήματος.
 - Οφείλονται σε μεταβολές της γεωμετρίας της ροής.
- Υπολογιστικά, θεωρούνται ότι γίνονται σημειακά (=τοπικά):

$$h_m = k \frac{V^2}{2g}, \quad k = f(\text{Re}, \text{γεωμετρία})$$

- Ο συντελεστής απωλειών k υπολογίζεται:
 - Σε απλές περιπτώσεις, τη μέθοδο του όγκου αναφοράς.
 - Στις περισσότερες περιπτώσεις πειραματικά.
- Πρακτικά χρησιμοποιούμε τη μεγαλύτερη ταχύτητα από τις δύο, δηλ. την ταχύτητα στο σωλήνα με τη μικρότερη διάμετρο.

Τοπικές απώλειες



- ✓ Οι τοπικές απώλειες αυξάνονται σε περιοχές στροβίλων (περιοχές ανακυκλοφορίας της ροής, αποκλίνουσες ροές).
- ✓ Η χρήση πτερυγίων σε καμπύλη έχει σαν αποτέλεσμα σημαντική μείωση περιοχής αποκόλλησης και κατά συνέπεια απωλειών ενέργειας.

ΑΠΡΪΙΟΣ 2017

A. NANOY-GIANNPOY

25

Κύριες περιπτώσεις τοπικών απωλειών

- Διαστολές.
- Συστολές.
- Εισροή σωλήνα σε δεξαμενή και εκροή σωλήνα από αυτή.
- Αλλαγή κατεύθυνσης ροής.
- Δικλείδες.

Σεπτέμβριος 2018

A. NANOY-GIANNPOY

26

1. Απότομες διαστολές

(1) $\rightarrow Q = A_1 V_1 = A_2 V_2$

(2) $\rightarrow H_1 = H_2 + h_f + h_m \Rightarrow z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + h_f + h_m$

(3) $\rightarrow F_{px} + F_{tx} + F_{gx} = \rho Q(V_2 - V_1)$

$\alpha_1 = \alpha_2 = 1$, $z_1 = z_2$ ———— *οριζ. τμήμα* $\rightarrow F_{gx} = 0$
 ———— *μικρού μήκους τμήμα* $\rightarrow h_f = 0$ & $F_{tx} = 0$ } \Rightarrow

$$\Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} h_m = \frac{p_1 - p_2}{\gamma} + \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g} \\ p_1 A_1 - p_2 A_2 = \rho Q(V_2 - V_1) \end{array} \right\} \Rightarrow h_m = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$$

$V_2 = \frac{A_1}{A_2} V_1 \Rightarrow h_m = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2 \frac{V_1^2}{2g} \xrightarrow{\text{σωλήνες}} h_m = k \frac{V_1^2}{2g}, k = \left(1 - \frac{D_1^2}{D_2^2}\right)^2$

Σεπτέμβριος 2018 A. NANOY-GIANNPOY 27

2. Εκροή σωλήνα σε δεξαμενή

- Απώλειες εξόδου σωλήνα.
- Όλη η κινητική ενέργεια της ροής στο σωλήνα μετατρέπεται, μέσω των δημιουργούμενων στροβίλων στη δεξαμενή, σε εσωτερική ενέργεια του νερού της δεξαμενής.
- Για τυρβώδη ροή οι τοπικές απώλειες είναι ίσες με το ύψος κινητικής ενέργειας.
- Η σχέση είναι ανεξάρτητη από τη διαμόρφωση της γεωμετρίας εξόδου του σωλήνα.

$$k = 1 \Rightarrow h_m = \frac{V_1^2}{2g}$$

Σεπτέμβριος 2018 A. NANOY-GIANNPOY 28

3. Απότομες συστολές

$$h_m = k \frac{V_2^2}{2g}$$

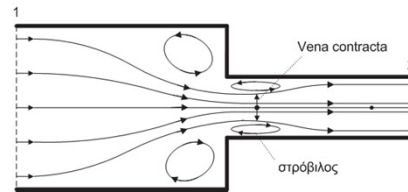
Πειραματικά ενρίζεται:

$$\frac{D_2}{D_1} \leq 0.76 \Rightarrow k = 0.42 * \left(1 - \frac{D_2^2}{D_1^2}\right)^2$$

$$\frac{D_2}{D_1} > 0.76 \Rightarrow k = \left(1 - \frac{D_2^2}{D_1^2}\right)^2$$

Προτεινόμενες τιμές:

D2/D1	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
k	0.5	0.45	0.42	0.39	0.36	0.33	0.28	0.22	0.15	0.06	0



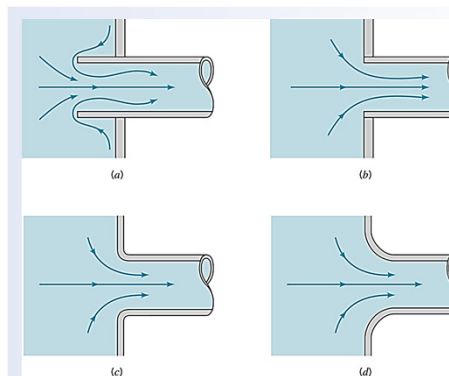
Σεπτέμβριος 2018

A. NANOY-GIANNPOY

29

4. Είσοδος της ροής από δεξαμενή σε σωλήνα

- Απώλειες εισόδου.
- Η τιμή του k εξαρτάται από τη διαμόρφωση του στομίου (βλ. σχήμα).



ΣΧΗΜΑ 3.9-3. Συντελεστές τοπικών απωλειών κατά την είσοδο της ροής από δεξαμενή σε σωλήνα (α) $k=0.8$, (β) $k=0.5$, (γ) $k=0.2$, (δ) $k=0.04$.

- Όταν δεν υπάρχει διαμόρφωση, $k=0.50$ (συνήθης περίπτωση).

Σεπτέμβριος 2018

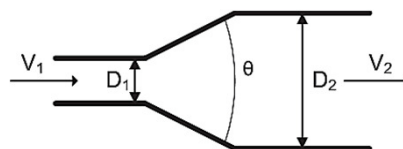
A. NANOY-GIANNPOY

30

5. Βαθμιαίες διαστολές

$$k = 2.6 \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \left(1 - \frac{D_1^2}{D_2^2}\right)^2 \quad \text{για } \theta < 45^\circ$$

$$k = \left(1 - \frac{D_1^2}{D_2^2}\right)^2 \quad \text{για } \theta \geq 45^\circ$$



Κωνικός διαχύτης

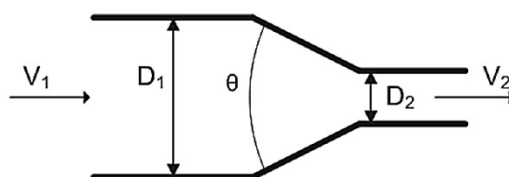
- $\theta < 5^\circ$: Απώλειες λόγω τριβών (γραμμικές απώλειες)
- $5^\circ < \theta < 15^\circ$: Βέλτιστη περιοχή λειτουργίας, ελάχιστες απώλειες
- $\theta = 7^\circ$: Βέλτιστη γωνία
- $\theta > 15^\circ$: Αποκόλληση ροής
- Η χρήση περυγίων επιτρέπει την ύπαρξη διαχυτών με μεγαλύτερες γωνίες θ .

Σεπτέμβριος 2018

A. NANOY-GIANNPOY

31

6. Βαθμιαίες συστολές



$$k = 0.8 \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \left(1 - \frac{D_1^2}{D_2^2}\right) \quad \text{για } \theta < 45^\circ$$

$$k = 0.5 \sqrt{\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)} \left(1 - \frac{D_1^2}{D_2^2}\right) \quad \text{για } \theta \geq 45^\circ$$

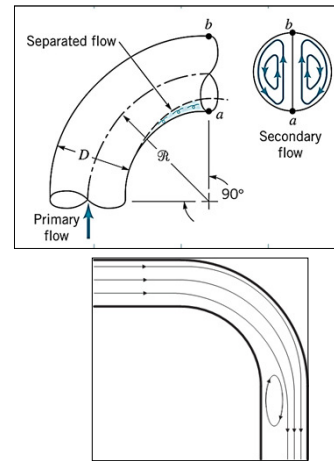
Σεπτέμβριος 2018

A. NANOY-GIANNPOY

32

7. Αλλαγή κατεύθυνσης σωλήνα -1

- Γίνεται με τη βοήθεια ειδικών τεμαχίων, όπως **καμπυλών-γωνιών** και **ταυ**.
- Οι τοπικές απώλειες οφείλονται
 - Στη δημιουργία στροβίλων στην εσωτερική πλευρά του σωλήνα, εξαιτίας της προκαλούμενης **αποκόλλησης της ροής**.
 - Στη δημιουργούμενη **δευτερεύουσα ροή** στο επίπεδο της διατομής του σωλήνα.

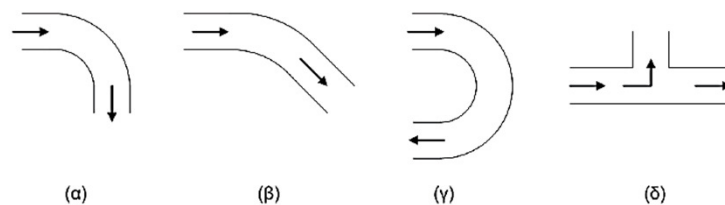


Σεπτέμβριος 2018

A. NANOY-GIANNPOY

33

Αλλαγή κατεύθυνσης σωλήνα -2



Καμπύλη ή ταυ	Ενδεικτικές τιμές
Καμπύλη 90° Σχ. 3.9-7α	0.3-1.5
Καμπύλη 45° Σχ. 3.9-7β	0.2-0.4
Καμπύλη 180° Σχ. 3.9-7γ	0.2-1.5
Ταυ-κύρια διεύθυνση Σχ. 3.9-7δ	0.2-0.9
Ταυ-κάθετη διεύθυνση Σχ. 3.9-7δ	1.0-2.0

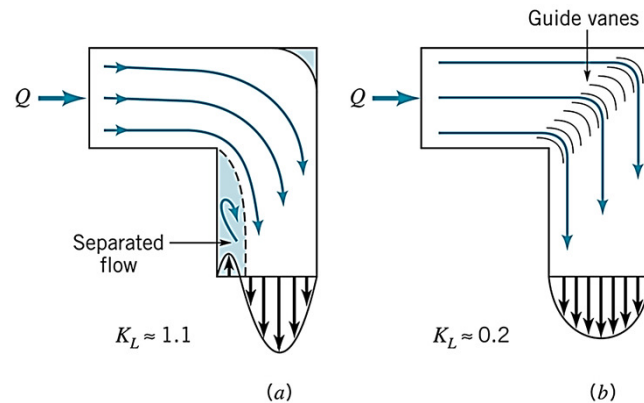
White, 1991

Σεπτέμβριος 2018

A. NANOY-GIANNPOY

34

8. Τοπικές απώλειες για $\theta=90^\circ$, με πτερύγια και χωρίς πτερύγια



Σεπτέμβριος 2018

A. NANOY-GIANNPOY

35

9. Δικλείδες

- Παρέχονται διαγράμματα του k από τους κατασκευαστές.
- Η τιμή του k εξαρτάται από το είδος της δικλείδας, τον τρόπο σύνδεσής της στο σωλήνα (σπείρωμα, φλάντζα) και το ποσοστό ανοίγματος.

Δικλίδα	Ενδεικτικές τιμές
Βύσματος	5-15
Γωνιακή	2-9
Διαφραγματική	2.5-14
Πεταλούδα	0.3-35
Συρταρωτή	0.03-10

(Για άνοιγμα δικλείδας από 100% μέχρι 25%)

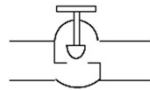
Θέση δικλείδας	Ανοιχτή	3/4 - ανοιχτή	1/2 - ανοιχτή	1/4 - ανοιχτή
k	0.20	1.15	5.60	24.00

Σεπτέμβριος 2018

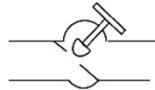
A. NANOY-GIANNPOY

36

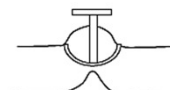
Σκαριφήματα βασικών τύπων δικλείδων



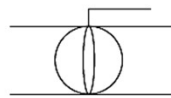
(α) βύσματος
(globe)



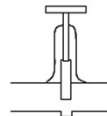
(β) γωνιακή
(angle)



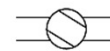
(γ) διαφραγματική
(diaphragm)



(δ) πεταλούδα
(butterfly)



(ε) συρταρωτή
(gate)



(στ) σφαιρική
(ball)

Σεπτέμβριος 2018

A. NANOY-GIANNPOY

37

Σημασία τοπικών απωλειών

- Τα συνηθισμένα προβλήματα ροής υπό πίεση (π.χ. εξωτερικά δίκτυα ύδρευσης) περιλαμβάνουν σωλήνες συνήθως μεγάλου μήκους και οι τοπικές απώλειες μπορούν να αμεληθούν.
- Στα εσωτερικά δίκτυα ύδρευσης σε κτίρια, οι σωλήνες έχουν μικρό συνήθως μήκος και πολλές μεταβολές της γεωμετρίας της ροής (π.χ. συνδέσεις με ειδικά τεμάχια), οπότε οι τοπικές απώλειες είναι σημαντικές.
- Οι απώλειες στις δικλείδες λαμβάνονται υπ' όψιν πάντοτε.
- Οι συνολικές απώλειες ενέργειας προκύπτουν εφαρμόζοντας σε κάθε τμήμα σωλήνα i και κάθε κόμβο τοπικών απωλειών j (ειδικό τεμάχιο) τη σχέση:

$$\Delta h_{ολ} = \sum h_f + \sum h_m = \sum_i f_i \frac{L_i}{D_i} \frac{V_i^2}{2g} + \sum_j k_j \frac{V_j^2}{2g}$$

Σεπτέμβριος 2018

A. NANOY-GIANNPOY

38

Ισοδύναμο μήκος

- Οι τοπικές απώλειες μπορούν να εκτιμηθούν με τη θεώρηση του «ισοδύναμου μήκους» L_i :
 - Μήκους αγωγού ίδιας διαμέτρου, στο οποίο οι γραμμικές απώλειες είναι ίσες με τις τοπικές του υπό μελέτη ειδικού τεμαχίου.

$$h_a = K \frac{V^2}{2g} = h_f = f \frac{L_i}{D} \frac{V^2}{2g} \Leftrightarrow L_i = \frac{KD}{f}$$

- Όταν οι τοπικές απώλειες είναι <5% μπορούν να αμεληθούν.
 - Πρακτικά, αυτό συμβαίνει όταν έχουμε μήκη $L > 1000D$.

Επομένως:

- Γεωμετρικά στοιχεία: L, D
- «Υδραυλικά» στοιχεία: Q, h_f, k_s
- Μεταφορά του νερού γίνεται με:
 - Ομοιόμορφους αγωγούς
 - Ειδικά τεμάχια (δικλείδες, στενώσεις, διευρύνσεις, καμπύλες κλπ.)
- Οι γραμμικές απώλειες λαμβάνονται πάντοτε υπ' όψιν.
- Οι τοπικές απώλειες θεωρούνται κατά περίπτωση.
 - Εξαίρεση: Τοπικές απώλειες σε δικλείδες

Σκαρίφημα ΓΕ και ΠΓ για σύστημα 2 δεξαμενών

(α) → Χωρίς τοπικές απώλειες

(β) → Με τοπικές απώλειες

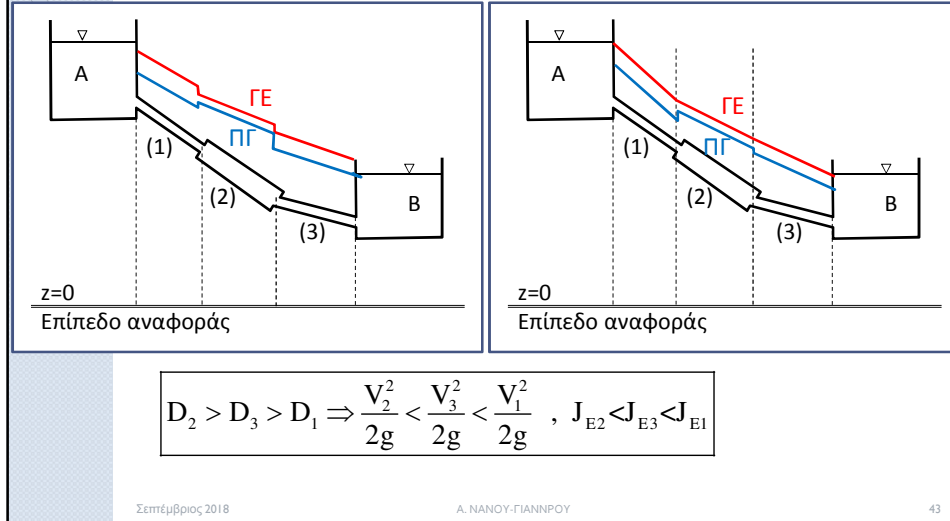
Σεπτέμβριος 2018 A. NANOY-GIANNPOY 41

Εκροή από δεξαμενή θεωρώντας τοπικές απώλειες εισόδου – Σκαρίφημα ΓΕ και ΠΓ

ακροφύσιο διαμ. d

ΜΑΡΤΙΟΣ 2017 A. NANOY-GIANNPOY 42

Ενδεικτικό παράδειγμα χάραξης ΓΕ και ΠΓ με και χωρίς τοπικές απώλειες

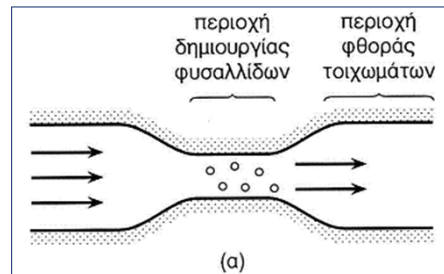


Σπηλαίωση

$$z + \frac{p}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} = H \Rightarrow p = \gamma H - \gamma z - \frac{1}{2} \rho V^2$$

- Όταν η απόλυτη πίεση $p = p_v =$ **τιμή τάσης ατμών** στην ίδια θερμοκρασία, σχηματίζονται φυσαλλίδες ατμών λόγω εξαέρωσης του υγρού.
- Το φαινόμενο αυτό λέγεται **σπηλαίωση** και καταργεί τοπικά τη συνέχεια του μέσου.

Σπηλαίωση - Συνήθη προβλήματα

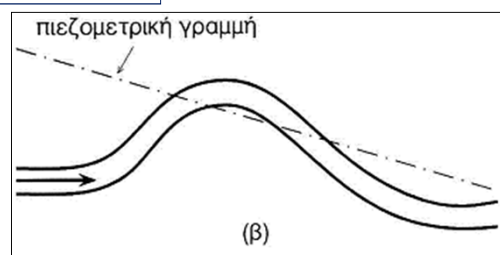


$$z + \frac{p}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} = H \Rightarrow$$

$$p = \gamma H - \gamma z - \frac{1}{2} \rho V^2$$

Συνήθη προβλήματα

- Πρόβλημα του αυχένα
- Ανάντη αντλιών
- Κατάντη υδροτροβίλου



ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2017

A. NANOY-GIANNPOY

45

Σπηλαίωση - Υπολογισμός υποπιέσεων

Απόλυτη πίεση p_a : $p_a = p + p_{atm} < p_v \Rightarrow p < p_v - p_{atm}$

όπου $p_{atm} = 1 \text{ Atm} = 101325 \text{ Pa}$

Πίεση υδρατμών για θερμοκρασία $T=20^\circ\text{C}$: $p_v = 2340 \text{ Pa}$ (από πίνακες)

Σπηλαίωση θα παρατηρηθεί για σχετική πίεση p :

$$p < 2340 \text{ Pa} - 101325 \text{ Pa} = -98985 \text{ Pa} \Rightarrow \frac{p}{\gamma} < -10.1 \text{ m}$$

Αρνητικές πιέσεις p = υποπιέσεις = πιέσεις μικρότερες της ατμοσφαιρικής.

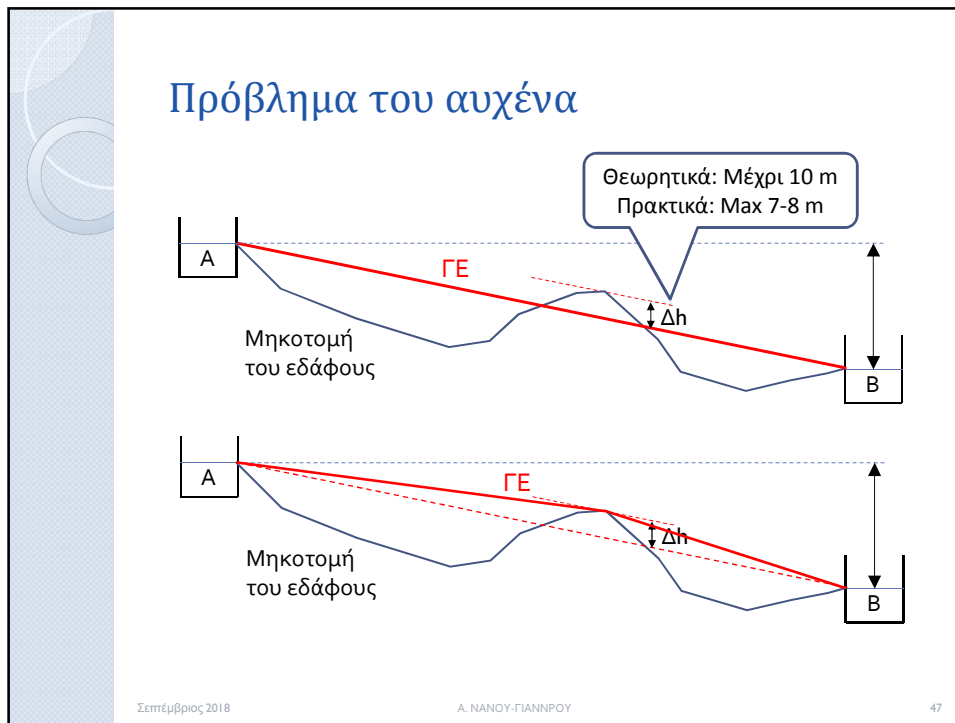
Επομένως, για να μην παρατηρηθεί σπηλαίωση πρέπει: $\frac{p}{\gamma} > -10.1 \text{ m}$

Πρακτικά, για λόγους ασφαλείας, συνιστάται: $\frac{p}{\gamma} > -7$ ή $\frac{p}{\gamma} > -8 \text{ m}$

Σεπτέμβριος 2018

A. NANOY-GIANNPOY

46



Υδραυλικές μηχανές Αντλία (α) – Υδροστροβίλος (β)

(α)

Αντλίες: Προσδίδουν ενέργεια στο σύστημα.
Στρόβιλοι: Αφαιρούν ενέργεια από το σύστημα.

$$P = \gamma Q H_{\mu} = \rho g Q H_{\mu}$$

P = ισχύς αντλίας ή υδροστροβίλου
 H_{μ} = μανομετρικό ύψος, n = συντ. απόδοσης = 1
 (α) Εξίσ. ενέργειας, αντλία με συντ. απόδοσης n

$$H_1 + H_{\mu} = H_2 + h_f, \quad P = \frac{\gamma Q H_{\mu}}{n}$$

(β) Εξίσ. ενέργειας, υδροστροβίλος με συντ. απόδοσης n

$$H_1 = H_2 + H_{\mu} + h_f, \quad P = \gamma Q H_{\mu} \cdot n$$

(β)

Σεπτέμβριος 2018 A. NANOY-GIANNPOY 48

Μονάδες ισχύος P

$$\frac{\rho \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] g \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right] Q \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] H_{\text{man}} [\text{m}]}{n_p [-]} = P \left[\frac{\text{kgm}^2}{\text{s}^3} \right] \text{ ή}$$

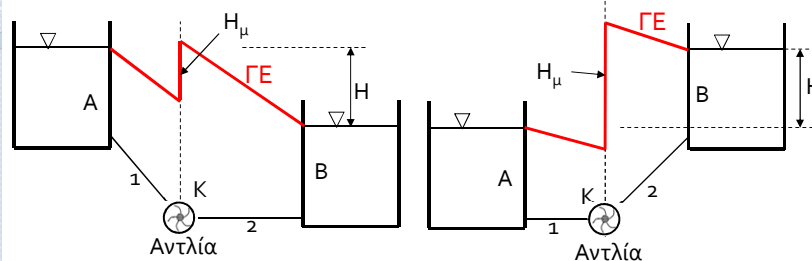
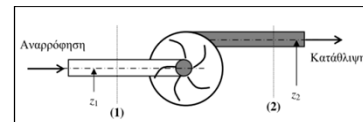
$$1 \text{ W} = \frac{1 \text{ J}}{\text{s}} = \frac{1 \text{ Nm}}{\text{s}} = 1 \text{ N} \frac{\text{m}}{\text{s}} = 1 \frac{\text{kgm}}{\text{s}} \frac{\text{m}}{\text{s}} = 1 \frac{\text{kgm}^2}{\text{s}^3}$$

Σεπτέμβριος 2018

A. NANOY-GIANNPOY

49

Εφαρμογές συστήματος 2 δεξαμενών με αντλία



- Παραδείγματα συστήματος 2 δεξαμενών με αντλία στη θέση Κ.
- Ροή από την δεξαμενή Α στη Β.
- Οι σωλήνες έχουν ίδια διάμετρο D.
- Τοπικές απώλειες αμελούνται.
- Σκαρίφημα της ΓΕ.

$$(\alpha) \rightarrow H + H_{\mu} = h_{f1} + h_{f2}$$

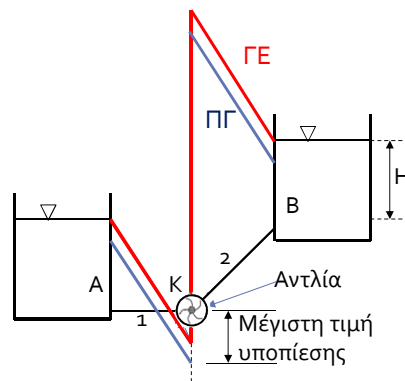
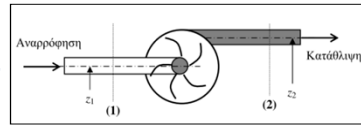
$$(\beta) \rightarrow H_{\mu} = H + h_{f1} + h_{f2}$$

Σεπτέμβριος 2018

A. NANOY-GIANNPOY

50

Εφαρμογή συστήματος 2 δεξαμενών με αντλία – Υποπίεση



- Παραδείγματα συστήματος 2 δεξαμενών με αντλία.
- Οι σωλήνες έχουν ίδια διάμετρο D .
- Τοπικές απώλειες αμελούνται.
- Σκαρίφημα της ΓΕ.
- Στην περίπτωση αυτή η ΠΓ τέμνει τον άξονα του αγωγού → Κίνδυνος υποπίεσης

Σεπτέμβριος 2018

A. NANOY-GIANNPOY

51

Συστήματα σωλήνων

- 1) **Απλά συστήματα:** Ονομάζονται αυτά που διαθέτουν ένα σημείο υδροληψίας και ένα σημείο υδροδότησης. Σ' αυτά παρουσιάζεται μια και μοναδική διαδρομή νερού.
- 2) **Σύνθετα συστήματα:** Ονομάζονται αυτά στα οποία υπάρχουν περισσότερα του ενός συστήματα υδροδότησης και υδροληψίας.

Στοιχεία του συστήματος σωλήνων:

- 1) **Αγωγοί του συστήματος:** Τμήματα ενιαίας διαμέτρου, κατά μήκος των οποίων η παροχή παραμένει σταθερή.
- 2) **Κόμβοι του συστήματος:** Σημεία στα οποία τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά (διάμετρος και τραχύτητα ή υλικό κατασκευής) ή και η παροχή μεταβάλλονται.

Σεπτέμβριος 2018

A. NANOY-GIANNPOY

52

ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

1. Απλά συστήματα σωλήνων

- ✓ Σωλήνες σε σειρά
- ✓ Παράλληλοι σωλήνες
- ✓ Συστήματα σωλήνων διερχόμενων από κόμβο

2. Σύνθετα συστήματα

- ✓ Πρόβλημα 3 ή περισσότερων δεξαμενών

Σημαντικές οδηγίες

Πριν την επίλυση οποιουδήποτε προβλήματος ροής σε κλειστούς αγωγούς υπό πίεση:

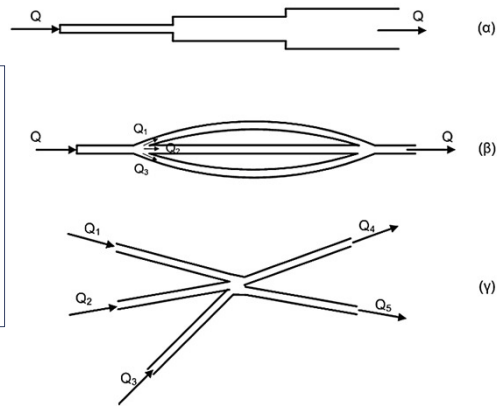
- Διαβάζουμε καλά και πινακοποιούμε τα δεδομένα του προβλήματος ανά κλάδους και κόμβους αγωγών.
- Χαράζουμε ποιοτικά, όσο μπορούμε, την γραμμή ενέργειας ΓΕ.
 - Προσοχή, όταν υπάρχουν περισσότερες από 2 δεξαμενές!
- Πινακοποιούμε τη λύση.

Απλά προβλήματα

$$Q_i = V_i \frac{\pi D_i^2}{4}$$

$$\Delta H_i = f_i \frac{L_i}{D_i} \frac{V_i^2}{2g} + \sum k_i \frac{V_i^2}{2g}$$

$$\Rightarrow \Delta H_{ολ.} = \sum_i h_f + \sum_j h_m$$

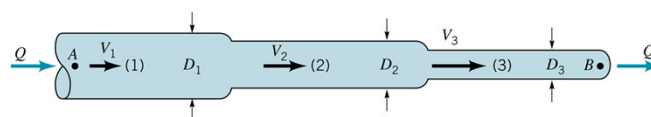


Σεπτέμβριος 2018

A. NANOY-GIANNPOY

55

Σύστημα σωλήνων σε σειρά



Ίδιες παροχές σε όλους τους σωλήνες: $Q_1 = Q_2 = Q_3 \Rightarrow V_1 D_1^2 = V_2 D_2^2 = V_3 D_3^2$
 Οι συνολικές απώλειες ισούνται με το άθροισμα των απωλειών κάθε σωλήνα.

$$\Delta H_{A-B} = h_1 + h_2 + h_3 =$$

$$= \frac{V_1^2}{2g} \left(f_1 \frac{L_1}{D_1} + \sum k_1 \right) + \frac{V_2^2}{2g} \left(f_2 \frac{L_2}{D_2} + \sum k_2 \right) + \frac{V_3^2}{2g} \left(f_3 \frac{L_3}{D_3} + \sum k_3 \right) \Rightarrow$$

$$\Delta H_{A-B} = \frac{V_1^2}{2g} \left(f_1 \frac{L_1}{D_1} + \sum k_1 \right) + \frac{V_1^2 D_1^4}{2g D_2^4} \left(f_2 \frac{L_2}{D_2} + \sum k_2 \right) + \frac{V_1^2 D_1^4}{2g D_3^4} \left(f_3 \frac{L_3}{D_3} + \sum k_3 \right)$$

Σεπτέμβριος 2018

A. NANOY-GIANNPOY

56

Σύστημα σωλήνων σε σειρά - Προβλήματα

1^ο Πρόβλημα → Δίδονται: Q, Li, Di, ksi, v . Ζητείται: ΔH_{A-B}

$$\xrightarrow{\text{Απ' ευθείας λύση}} \left\{ \begin{array}{l} Q \rightarrow V_i \rightarrow Re_i, (k_s / D)_i \rightarrow f_i \\ \text{Τοπικές απώλειες, εφ' όσον θεωρούνται} \end{array} \right\} \rightarrow \Delta H_{A-B}$$

2^ο Πρόβλημα → Δίδονται: $\Delta H_{A-B}, Li, Di, ksi, v$. Ζητείται: $Q \xrightarrow{\text{Δοκιμές}}$

1ος τρόπος

Υποθέτουμε $f_i \rightarrow V_1 \rightarrow V_2, V_3 \rightarrow Re_i, (k_s / D)_i \rightarrow \text{νέο } f_i$

2ος τρόπος

Υποθέτουμε $Q \rightarrow V_i \rightarrow Re_i, (k_s / D)_i \rightarrow f_i \rightarrow H$, συνήθως διαφορετικό από αρχικό. Γίνονται 2 δοκιμές. Γραμμική παρεμβολή. Απαιτεί μεγαλύτερη εμπειρία.

3^ο Πρόβλημα → Δίδονται: $\Delta H_{A-B}, Q, Li, ksi, v$. Ζητούνται: Di

Πρόβλημα αόριστο. Μπαίνουν άλλοι περιορισμοί (π.χ. οικονομικότητα)

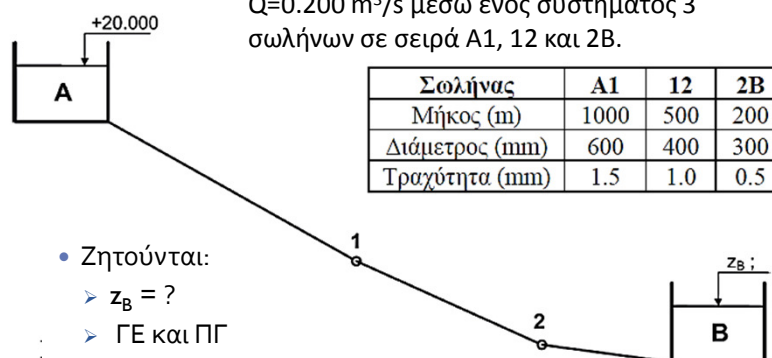
Σεπτέμβριος 2018

A. NANOY-GIANNPOY

57

Παράδειγμα 4.4-1

- Από δεξαμενή A τροφοδοτείται η δεξαμενή B με παροχή νερού ($v=1.1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$) ίση με $Q=0.200 \text{ m}^3/\text{s}$ μέσω ενός συστήματος 3 σωλήνων σε σειρά A1, 12 και 2B.



Σωλήνας	A1	12	2B
Μήκος (m)	1000	500	200
Διάμετρος (mm)	600	400	300
Τραχύτητα (mm)	1.5	1.0	0.5

- Ζητούνται:
 - $z_B = ?$
 - ΓΕ και ΠΓ

Τοπικές απώλειες λαμβάνονται υπ' όψιν .

Σεπτέμβριος 2018

A. NANOY-GIANNPOY

58

Πίνακας δεδομένων

Σωλήνας	A1	12	2B	Μονάδες
D	1.0	0.5	0.2	m
L	600	400	300	m
ks	0.0015	0.001	0.0005	m
Ks/D				-
A				m ²
Q	0.20	0.20	0.20	m ³ /s
V				m/s
Re				-
f				-
hf	?	?	?	m

$$H_A - H_B = z_A - z_B = (h_{f_{A1}} + h_{f_{12}} + h_{f_{2B}}) + (h_{mA} + h_{m1} + h_{m2} + h_{mB})$$

Σεπτέμβριος 2018

A. NANOY-GIANNPOY

59

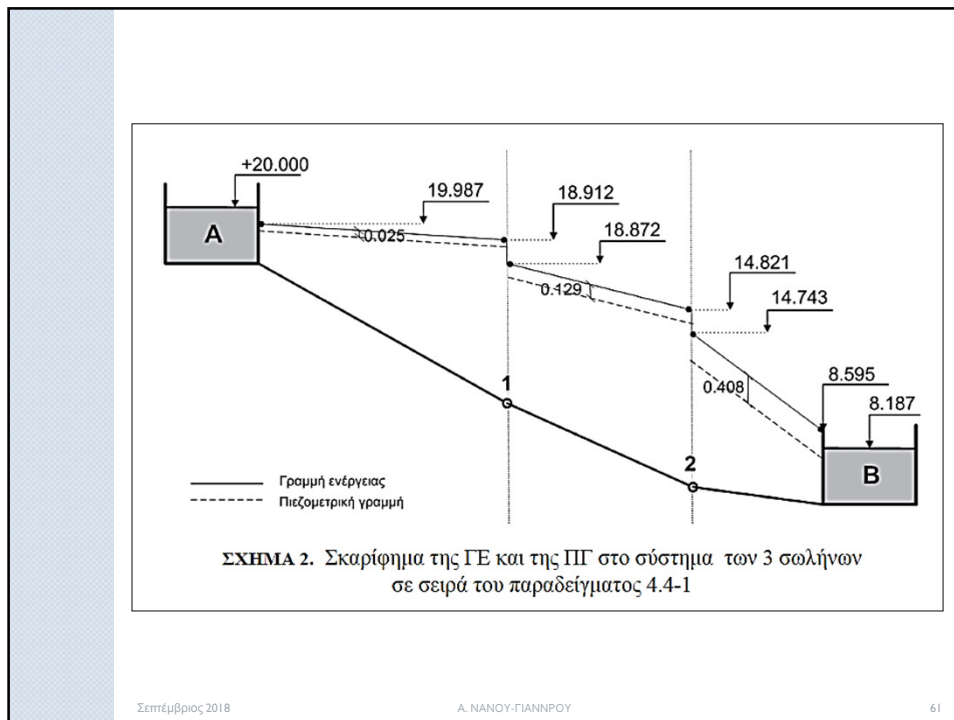
ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Υπολογισμοί των γραμμικών απωλειών των σωλήνων του παραδείγματος 4.4-1

Σωλήνας	A1	12	2B	Μονάδες
D	0.600	0.400	0.300	m
L	1000	500	200	m
Q	0.200	0.200	0.200	m ³ /s
A	0.283	0.126	0.071	m ²
V	0.707	1.592	2.829	m/s
Re	385830	578745	771660	-
k _s	1.5	1.0	0.5	mm
k _s /D	0.00250	0.00250	0.00167	-
f	0.0253	0.0251	0.0226	-
h _f	1.075	4.051	6.148	m

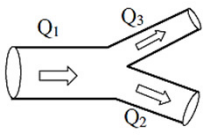
Σεπτέμβριος 2018

A. NANOY-GIANNPOY

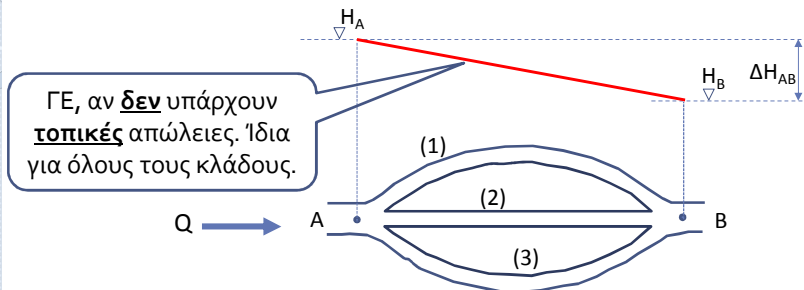
60



Σύστημα σωλήνων διερχόμενων από κόμβο

- 1) **Ισοζύγιο παροχών:** Το άθροισμα των παροχών που «εισέρχονται» στον κόμβο είναι ίσο με το άθροισμα των παροχών που «εξέρχονται» από αυτόν.
- 
- 2) Εάν λαμβάνουμε υπ' όψιν τις **τοπικές απώλειες** ενέργειας σε έναν κόμβο, εφαρμόζοντας την εξίσωση ενέργειας, υπολογίζουμε διαφορετικά ενεργειακά ύψη του κόμβου για τους διάφορους κλάδους.
 - 3) **Αμελώντας τις τοπικές απώλειες** στον κόμβο, το **ενεργειακό υψόμετρο** είναι **κοινό** για όλους τους κλάδους.

Σύστημα παράλληλων σωλήνων -1



- 1) Σε κάθε σωλήνα οι ολικές απώλειες είναι οι ίδιες.
 $\Delta H_{AB} = \Delta H_1 = \Delta H_2 = \Delta H_3$ (γραμμικές και τοπικές)
- 2) Η ολική παροχή στο σύστημα είναι ίση με το άθροισμα των παροχών σε κάθε ένα από τους σωλήνες.
 $Q_{AB} = Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$

Σεπτέμβριος 2018

A. NANOY-GIANNPOY

63

Σύστημα παράλληλων σωλήνων -2

- **1^η περίπτωση:** Δίνεται το ΔH_{AB} και ζητούνται τα Q_i και Q .
- Για κάθε σωλήνα, 2^ο τυπικό πρόβλημα $\rightarrow Q_i \rightarrow Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$
- Αν υπάρχουν και τοπικές απώλειες: Δοκιμές
 Υποθέτουμε $f_i \rightarrow V_i \rightarrow Re_i, \text{ksi}/D_i \rightarrow f_i$
- Ίδιο ύψος απωλειών σε κάθε σωλήνα $\rightarrow \Delta H_{AB} = \Delta H_1 = \Delta H_2 = \Delta H_3$
- Αν δεν υπάρχουν τοπικές απώλειες $\rightarrow h_{f1} = h_{f2} = h_{f3}$

- **2^η περίπτωση:** Δίνεται η παροχή Q και ζητούνται: Q_i και ΔH_{A-B} .
 \rightarrow Δοκιμές \rightarrow Υποθέτουμε $f_i \rightarrow$
 $\rightarrow V_1, V_2, V_3 \rightarrow Q_1, Q_2, Q_3 \rightarrow Re_i, \text{ksi}/D_i \rightarrow$ νέο f_i

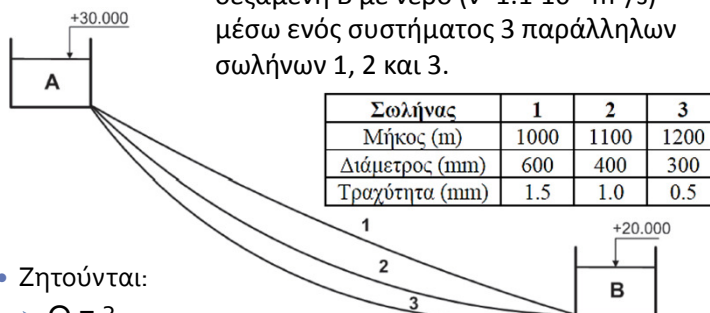
Σεπτέμβριος 2018

A. NANOY-GIANNPOY

64

Παράδειγμα 4.4-2

- Από τη δεξαμενή A τροφοδοτείται η δεξαμενή B με νερό ($\nu=1.1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$) μέσω ενός συστήματος 3 παράλληλων σωλήνων 1, 2 και 3.



Σωλήνας	1	2	3
Μήκος (m)	1000	1100	1200
Διάμετρος (mm)	600	400	300
Τραχύτητα (mm)	1.5	1.0	0.5

- Ζητούνται:
 - $Q = ?$
 - ΓΕ και ΠΓ

Τοπικές απώλειες λαμβάνονται υπ' όψιν .

Σεπτέμβριος 2018

A. NANOY-GIANNPOY

65

Πίνακας δεδομένων

Σωλήνας	1	2	3	Μονάδες
D	0.60	0.40	0.30	m
L	1000	1100	1200	m
ks	0.0015	0.001	0.0005	m
Ks/D				-
A				m ²
Q	?	?	?	m ³ /s
V				m/s
f				-
hf	10	10	10	m

$$H_A - H_B = h_{f1} + h_{m1} = h_{f2} + h_{m3} = h_{f2} + h_{m3}$$

Σεπτέμβριος 2018

A. NANOY-GIANNPOY

66

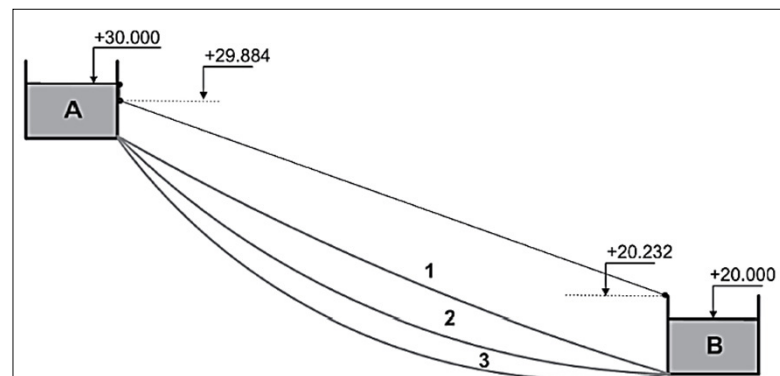
ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Υπολογισμοί των παραγόντων των σωλήνων του παραδείγματος 4.4-2

Σωλήνας	1	2	3	Μονάδες
D	0.600	0.400	0.300	m
L	1000	1100	1200	m
Q	0.603	0.210	0.103	m ³ /s
A	0.283	0.126	0.071	m ²
V	2.133	1.671	1.457	m/s
Re	1163278	607683	397405	-
ks	1.5	1.0	0.5	mm
ks/D	0.00250	0.00250	0.00167	-
f	0.0250	0.0251	0.0228	-
$h_{m,A}$	0.116	0.071	0.054	m
$h_{f,AB}$	9.659	9.825	9.870	m
$h_{m,B}$	0.232	0.142	0.108	m
ΔH_{AB}	10.007	10.038	10.032	m

Σεπτέμβριος 2018

A. NANOY-GIANNPOY

67



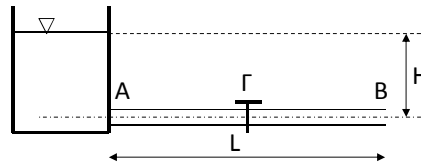
ΣΧΗΜΑ 2. Σκαρίφημα της ΓΕ για το σωλήνα 1 του παραδείγματος 4.4-2

Σεπτέμβριος 2018

A. NANOY-GIANNPOY

68

Άσκηση 1



- Ο λείος σωλήνας AB, με μήκος $L=240$ m και διάμετρο $D=150$ mm, υδροδοτείται από δεξαμενή, όπως στο σχήμα. Στη θέση B το νερό εκρέει ελεύθερα στην ατμόσφαιρα. Για τη ρύθμιση της παροχής υπάρχει στο μέσο του σωλήνα (θέση Γ) συρταρωτή δικλείδα. Να υπολογιστεί η παροχή και να χαραχτούν οι ΓΕ και ΠΓ για τις ακόλουθες συνθήκες:

- Δικλείδα πλήρως ανοιχτή $K=0.2$
- Δικλείδα ανοιχτή κατά $\frac{1}{2}$ $K=5.6$
- Δικλείδα ανοιχτή κατά $\frac{1}{4}$ $K=24$

Σεπτέμβριος 2018

A. NANOY-GIANNPOY

69

Σχέσεις υπολογισμού

$$H = \left[f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} + K \frac{V^2}{2g} \right] + \frac{V^2}{2g} \quad \Rightarrow \quad H = \frac{8Q^2}{\pi^2 g} \left[f \frac{L}{D^5} + \frac{K}{D^4} + \frac{1}{D^4} \right] \Rightarrow$$

$$V = \frac{4Q}{\pi D^2}$$

$$\Rightarrow Q^2 = \frac{H \pi^2 g}{8} \left[f \frac{L}{D^5} + \frac{K}{D^4} + \frac{1}{D^4} \right]^{-1} \quad \text{Re} = \frac{VD}{\nu} = \frac{4Q}{\pi D \nu}$$

Colebrook – White

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2.0 \log \left(\frac{k_s/D}{3.7} + \frac{2.51}{\text{Re} \sqrt{f}} \right)$$

Swamee and Jain

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{1}{3.7} \frac{k_s}{D} + \frac{5.74}{\text{Re}^{0.9}} \right) \right]^2}$$

Σεπτέμβριος 2018

A. NANOY-GIANNPOY

70

Υπολογισμός παροχής και απωλειών

k	f	Q (m3/s)	A (m2)	V (m/s)	Re	ks/D	f	hf	V ² /2g	hm
0.2	0.0150	0.0604	0.0177	3.4174	4.66E+05	0	0.0133			
0.2	0.0133	0.0640	0.0177	3.6238	4.94E+05	0	0.0131			
0.2	0.0131	0.0644	0.0177	3.6419	4.97E+05	0	0.0131	14.176	0.676	0.135
5.6	0.0150	0.0548	0.0177	3.1012	4.23E+05	0	0.0135			
5.6	0.0135	0.0571	0.0177	3.2313	4.41E+05	0	0.0134			
5.6	0.0134	0.0573	0.0177	3.2405	4.42E+05	0	0.0134	11.462	0.535	2.997
24	0.0150	0.0433	0.0177	2.4507	3.34E+05	0	0.0141			
24	0.0141	0.0440	0.0177	2.4881	3.39E+05	0	0.0140			
24	0.0140	0.0440	0.0177	2.4898	3.40E+05	0	0.0140	7.100	0.316	7.583

Σεπτέμβριος 2018

A. NANOY-GIANNPOY

71

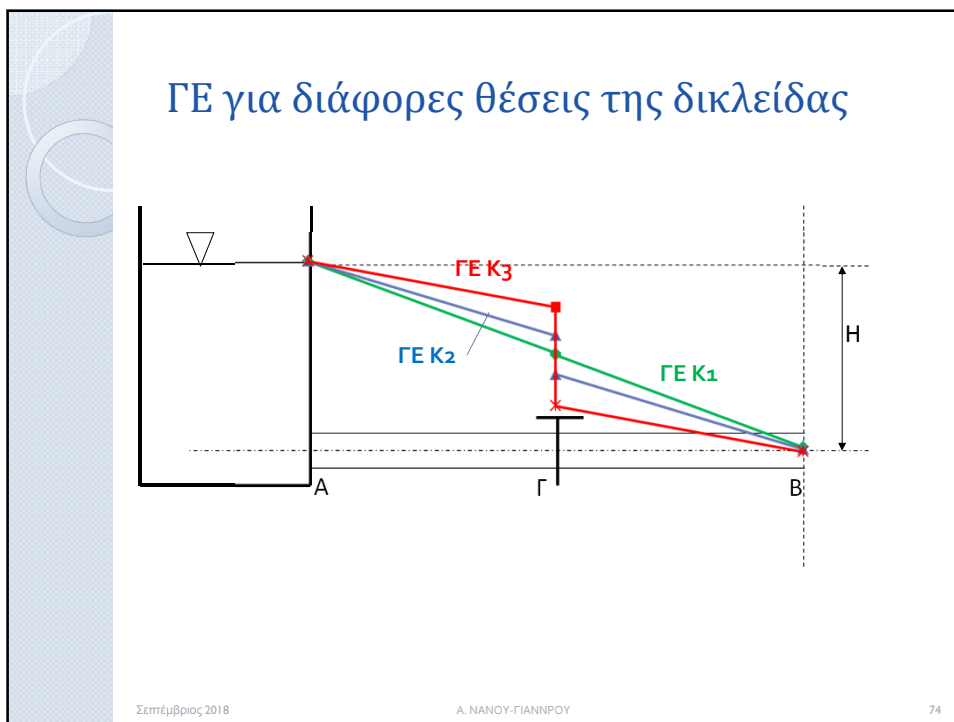
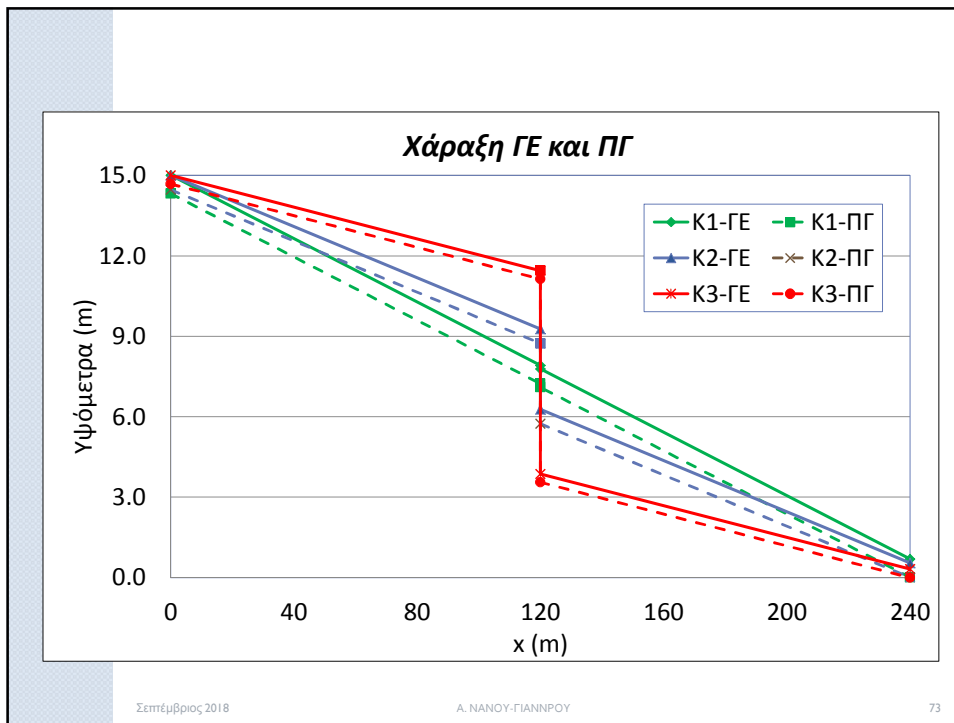
Χάραξη ΓΕ και ΠΓ

x	k1		k2		k3	
	ΓΕ	ΠΓ	ΓΕ	ΠΓ	ΓΕ	ΠΓ
0	15.000	14.324	15.000	14.465	15.000	14.684
120-	7.912	7.236	9.269	8.734	11.450	11.134
120+	7.777	7.101	6.272	5.737	3.867	3.551
240	0.689	0.013	0.541	0.006	0.317	0.001

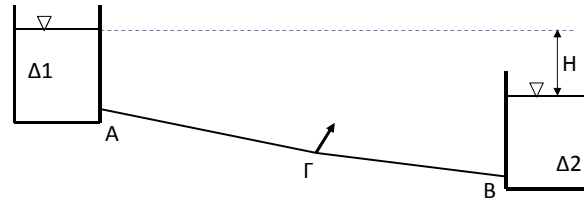
Σεπτέμβριος 2018

A. NANOY-GIANNPOY

72



Άσκηση 2



$L_{AΓ}$	=1200 m
$L_{ΓB}$	=600 m
$D_{AΓB}$	=400 mm
K_s	=1 mm
H	=20 m

- Έστω σύστημα 2 δεξαμενών συνδεδεμένων με κλειστό αγωγό AB.
- Στην περιοχή της θέσης Γ του αγωγού ιδρύεται εργοστάσιο, για το οποίο αποφασίζεται η υδροδότησή του από τον αγωγό με πλευρική υδροληψία από το Γ και παροχή $Q_r = 0.20 \cdot Q_{αρχ}$ ($Q_{αρχ}$ = αρχική μεταφερόμενη παροχή) (Τοπικές απώλειες αμελούνται)
- Ζητούνται:
 - 1) Η αρχική παροχή $Q_{αρχ}$.
 - 2) Η μεταφερόμενη παροχή στη δεξαμενή Δ_2 μετά την κατασκευή της πλευρικής υδροδότησης.
 - 3) Να χαραχθούν οι ΓΕ και ΠΓ για την περίπτωση (2).

Σεπτέμβριος 2018

A. NANOY-GIANNPOY

75

Σχέσεις υπολογισμού

1ο Ερώτημα → 2ο τυπικό πρόβλημα

$$\text{Λύνουμε ως προς } V \rightarrow V = \left[2gh_r \frac{D}{L} \right]^{1/2} \frac{1}{\sqrt{f}} \Rightarrow \text{Re} \sqrt{f} = \sqrt{\frac{2gh_r}{L} \frac{D^{3/2}}{v}}$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2.0 \log \left(\frac{k_s/D}{3.7} + \frac{2.51}{\text{Re} \sqrt{f}} \right), \quad f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{1}{3.7} \frac{k_s}{D} + \frac{5.74}{\text{Re}^{0.9}} \right) \right]^2}$$

$$2\text{o Ερώτημα} \rightarrow Q_1 = V_1 \frac{\pi D^2}{4}, Q_2 = V_2 \frac{\pi D^2}{4}$$

$$Q_1 = Q_r + Q_2 \Rightarrow V_1 \frac{\pi D^2}{4} = Q_r + V_2 \frac{\pi D^2}{4}$$

$$H = \frac{V_1^2}{2g} \left(f_1 \frac{L_1}{D} \right) + \frac{V_2^2}{2g} \left(f_2 \frac{L_2}{D} \right)$$

Σεπτέμβριος 2018

A. NANOY-GIANNPOY

76

Υπολογισμοί

1^ο Ερώτημα

Revf	1.07E+05		Qαρχ	0.2342
ks/D	0.0025		QΓ=0.20*Qαρχ	0.0468
1/vf	6.311		L1/D	3000
f	0.0251		L2/D	1500
V	1.864		A	0.12567

2^ο Ερώτημα

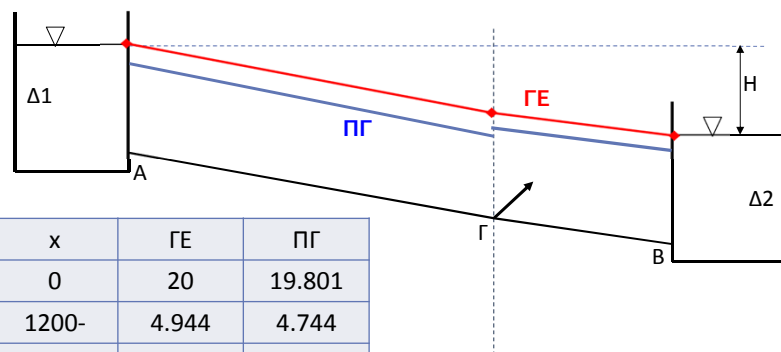
Q1	Q2	V1	V2	Re1	Re2	f1	f2	H
0.28	0.233	2.228	1.855	8.10E+05	6.75E+05	0.0251	0.0252	25.724
0.25	0.203	1.989	1.617	7.23E+05	5.88E+05	0.0252	0.0252	20.281
0.2485	0.202	1.978	1.605	7.19E+05	5.84E+05	0.0252	0.0252	20.026

Σεπτέμβριος 2018

A. NANOY-GIANNPOY

77

Χάραξη ΓΕ και ΠΓ



x	ΓΕ	ΠΓ
0	20	19.801
1200-	4.944	4.744
1200+	4.944	4.813
1800	0	-0.131

V1 ² /2g	V2 ² /2g	hf1	hf2	JE1	JE2
0.199	0.131	15.056	4.970	0.013	0.008

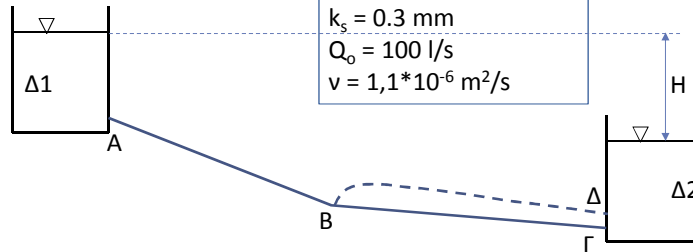
Σεπτέμβριος 2018

A. NANOY-GIANNPOY

78

Άσκηση 3

$L_{AB\Gamma} = 2000 \text{ m}$
 $L_{AB} = L_{B\Gamma} = L_{B\Delta} = 1000 \text{ m}$
 $H = 14.3 \text{ m}$
 $k_s = 0.3 \text{ mm}$
 $Q_o = 100 \text{ l/s}$
 $\nu = 1,1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$



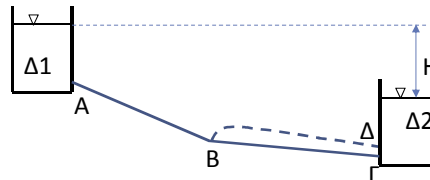
- Όταν λειτουργεί μόνο ο αγωγός ABΓ με παροχή Q_o και για τα δεδομένα του σχήματος, να υπολογιστεί η διάμετρος D του ABΓ.
- Με την πάροδο του χρόνου, λόγω αύξησης των καταναλωτικών αναγκών, κατασκευάζεται ο παράλληλος αγωγός BΔ, με το μισό μήκος, με ίδια διάμετρο D και από το ίδιο υλικό. Να υπολογιστούν οι νέες παροχές και να χαραχθούν οι ΓΕ και ΠΓ.

Σεπτέμβριος 2018

A. NANOY-GIANNPOY

79

Υπολογισμοί



- 3^ο τυπικό πρόβλημα →
 $f = 0.021$, $D = 300 \text{ mm}$
- $hf_{AB} + hf_{B\Gamma} = hf_{AB} + hf_{B\Delta} \Rightarrow hf_{B\Gamma} = hf_{B\Delta}$, $Q_{B\Gamma} = Q_{B\Delta} = Q$, $Q_{AB} = 2Q$
 $D_{AB} = D_{B\Gamma} = D_{B\Delta} = D$, $L_{AB} = L_{B\Gamma} = L_{B\Delta} = L$

$$H = f_{AB} \frac{L_{AB}}{D} \frac{V_{AB}^2}{2g} + f_{B\Gamma} \frac{L_{B\Gamma}}{D} \frac{V_{B\Gamma}^2}{2g} \Rightarrow H = f_{AB} \frac{L_{AB}}{D} \frac{16Q_{AB}^2}{\pi^2 D^4 2g} + f_{B\Gamma} \frac{L_{B\Gamma}}{D} \frac{16Q_{B\Gamma}^2}{\pi^2 D^4 2g} \Rightarrow$$

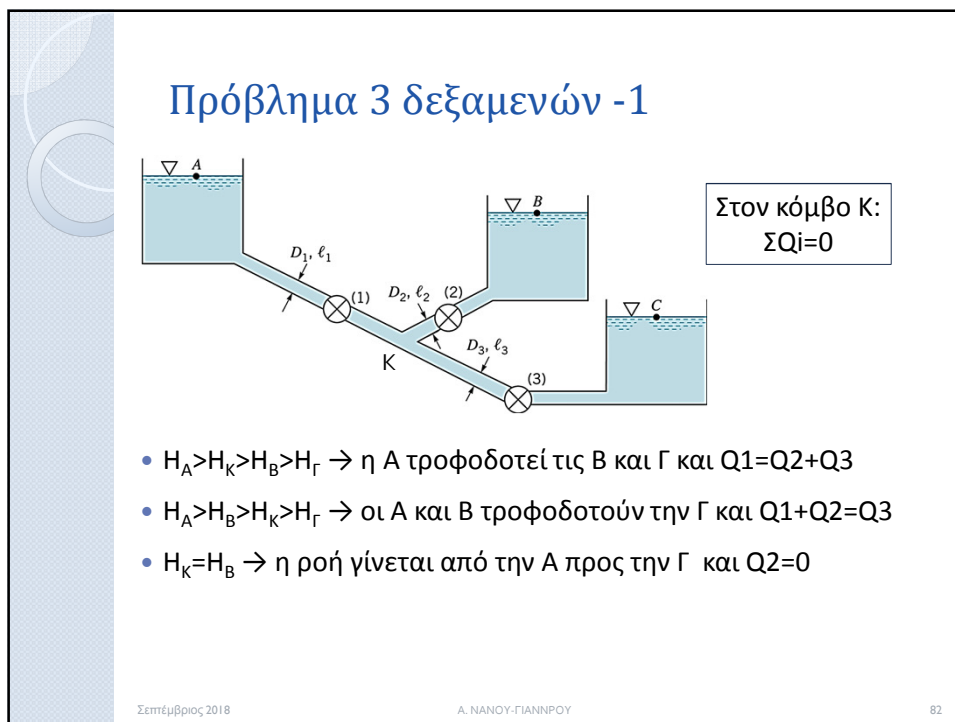
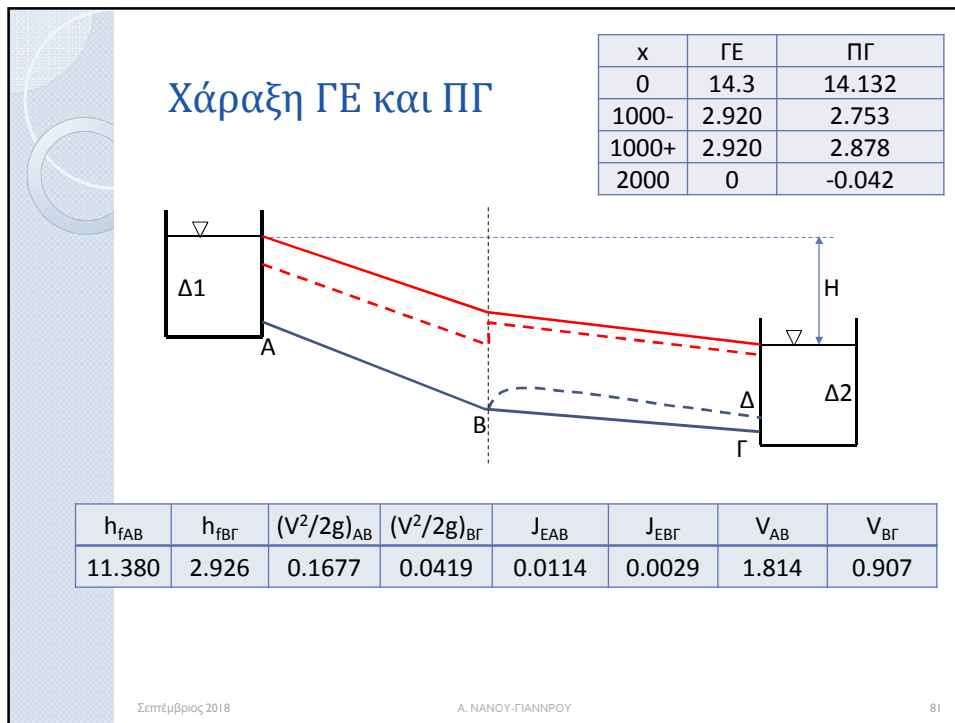
$$\Rightarrow H = \frac{L}{D^5} \frac{16Q^2}{2g \pi^2} (4f_{AB} + f_{B\Gamma}) \Rightarrow Q = \left(\frac{L}{HD^5} \frac{8}{g\pi^2} (4f_{AB} + f_{B\Gamma}) \right)^{-1/2}$$

f_{AB}	$f_{B\Gamma}$	Q_{AB}	$Q_{B\Gamma}$	Re_{AB}	$Re_{B\Gamma}$	f_{AB}	$f_{B\Gamma}$
0.02	0.02	0.1297	0.06485	5.00E+05	2.50E+05	0.02035	0.02093
0.02035	0.02093	0.12821	0.06410	4.95E+05	2.47E+05	0.02036	0.02094

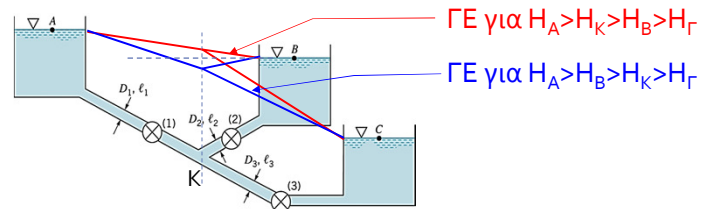
Σεπτέμβριος 2018

A. NANOY-GIANNPOY

80



Πρόβλημα 3 δεξαμενών -2



Δίνονται οι στάθμες των 3 δεξαμενών και ζητούνται οι παροχές των 3 κλάδων. Λύση με δοκιμές.

- 1) Επιλέγουμε το ενεργειακό υψόμετρο του κόμβου Κ
- 2) Αν $\Sigma Qi > 0 \rightarrow$ αυξάνουμε το H_K
- 3) Αν $\Sigma Qi < 0 \rightarrow$ μειώνουμε το H_K
- 4) Συνεχίζουμε μέχρι $\Sigma Qi = 0$

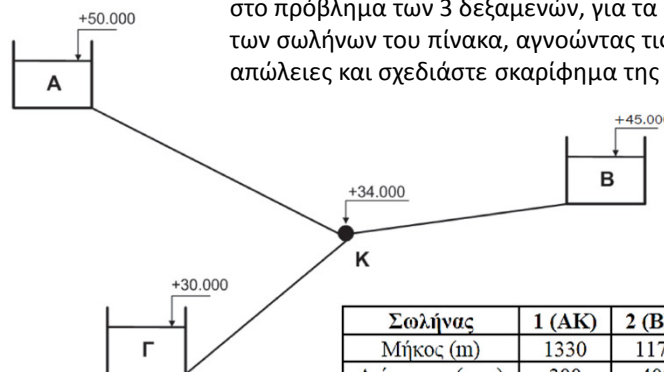
Σεπτέμβριος 2018

A. NANOY-GIANNPOY

83

Παράδειγμα 4.4-3

Υπολογίστε τις παροχές νερού ($\nu = 1.1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$) στο πρόβλημα των 3 δεξαμενών, για τα στοιχεία των σωλήνων του πίνακα, αγνοώντας τις τοπικές απώλειες και σχεδιάστε σκαρίφημα της ΓΕ.



Σωλήνας	1 (ΑΚ)	2 (ΒΚ)	3 (ΚΓ)
Μήκος (m)	1330	1170	790
Διάμετρος (mm)	300	400	400
Τραχύτητα (mm)	0.4	0.7	0.9

Σεπτέμβριος 2018

A. NANOY-GIANNPOY

84

Πίνακας δεδομένων

Σωλήνας	AK	BK	ΓK	Μονάδες
D	0.30	0.40	0.40	m
L	1330	1170	790	m
ks	0.0004	0.0007	0.0009	m
Ks/D				-
A				m ²
Q	?	?	?	m ³ /s
V				m/s
f				-
hf	?	?	?	m

$$H_A - H_K = h_{f1}, \quad |H_B - H_K| = h_{f2}, \quad H_K - H_\Gamma = h_{f3}$$

Λύση με δοκιμές, επιλέγοντας ενεργειακό υψόμετρο του K.

Σεπτέμβριος 2018

A. NANOY-GIANNPOY

85

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Υπολογισμοί των σωλήνων του παραδείγματος 4.4-3

Σωλήνας	1	2	3	Μονάδες
D	0.300	0.400	0.400	m
L	1330	1170	790	m
Q	0.100	0.150	0.250	m ³ /s
A	0.071	0.126	0.126	m ²
V	1.415	1.194	1.989	m/s
Re	385830	434059	723432	-
k _s	0.4	0.7	0.9	mm
k _s /D	0.00133	0.00175	0.00225	-
f	0.0217	0.0231	0.0244	-
h _f	9.97	5.02	10.02	m

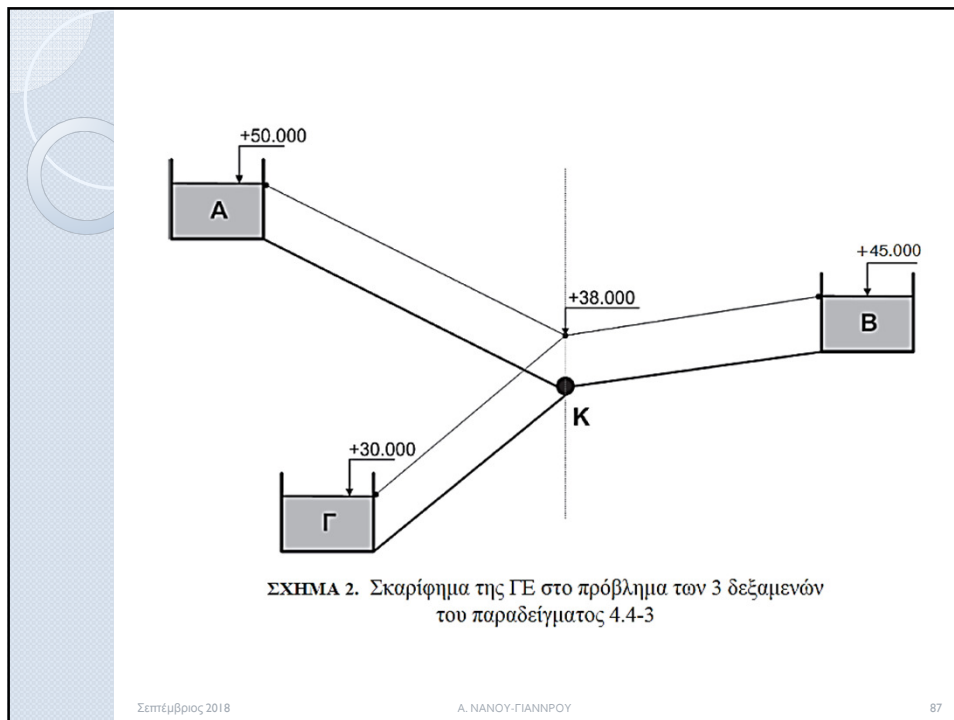
$$\text{Έλεγχος: } 0.15 + 0.20 = 0.25 \Rightarrow Q_1 + Q_2 = Q_3$$

$$H_K = H_A - h_{f1} = H_B - h_{f2} = H_\Gamma + h_{f3}$$

Σεπτέμβριος 2018

A. NANOY-GIANNPOY

86



° ΣΥΝΘΕΤΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

Σεπτέμβριος 2018 A. NANOY-ΓΙΑΝΝΟΥ 88

**Παράδειγμα
4.5-1**

Θεωρείστε σύστημα το οποίο αποτελείται από

- 1) 3 δεξαμενές Α, Β και Γ με σταθερές στάθμες ($\nu=1.1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$)
- 2) 4 σωλήνες τραχύτητας $k_s=1 \text{ mm}$ με τα ακόλουθα στοιχεία: Α1 ($D_{A1}=400 \text{ mm}$ και $L_{A1}=1020 \text{ m}$), 1B (D_{1B} και $L_{1B}=630 \text{ m}$), 1Σ ($D_{1\Sigma}=400 \text{ mm}$ και $L_{1\Sigma}=280 \text{ m}$) και ΣΓ ($D_{\Sigma\Gamma}=400 \text{ mm}$ και $L_{\Sigma\Gamma}=280 \text{ m}$) και
- 3) υδροστρόβιλο Σ.

Σεπτέμβριος 2018 Α. ΝΑΝΟΥ-ΓΙΑΝΝΠΟΥ 89

**Παράδειγμα
4.5-1**

Από τη δεξαμενή Α παροχετεύεται στη δεξαμενή Β παροχή νερού ίση με $0.225 \text{ m}^3/\text{s}$ μέσω των σωλήνων Α1 και 1B, για τις ακόλουθες 2 συνθήκες λειτουργίας:

- 1) Συνθήκη 1. Στάθμη του νερού στη δεξαμενή Α= Κατώτατη (ΚΣΥ). Στη δεξαμενή Γ δεν μεταφέρεται παροχή, οπότε ο στρόβιλος δεν λειτουργεί.
- 2) Συνθήκη 2. Στάθμη του νερού στη δεξαμενή Α = Ανώτατη (ΑΣΥ). Στη δεξαμενή Γ μεταφέρεται παροχή μέσω των σωλήνων 1Σ και ΣΓ και ο στρόβιλος λειτουργεί.

Σεπτέμβριος 2018 Α. ΝΑΝΟΥ-ΓΙΑΝΝΠΟΥ 90

Παράδειγμα 4.5-1

Υπολογίστε, αγνοώντας τις τοπικές απώλειες:

- Τη θεωρητική διάμετρο D1B του σωλήνα 1B.
- Το μανομετρικό ύψος του υδροστρόβιλου.
- Σχεδιάστε σε σκαρίφημα τη ΓΕ για την ΑΣΥ (συνθήκη 2).
- Ελέγξτε τα σημεία του δικτύου όπου εμφανίζεται υποπίεση και σχολιάστε.

Σεπτέμβριος 2018
A. NANOY-GIANNPOY
91

Πίνακας δεδομένων

Σωλήνας	A1	B1	1Σ	ΣΓ	Μονάδες
D	0.4	?	0.4	0.4	m
L	1020	630	280	280	m
ks	0.001	0.001	0.001	0.001	m
Ks/D					-
A					m ²
Q					m ³ /s
V					m/s
f					-
hf					m

Σεπτέμβριος 2018
A. NANOY-GIANNPOY
92

Πίνακας δεδομένων Συνθήκη 1

Χαμηλή στάθμη

Σωλήνας	A1	B1	1Σ	ΣΓ	Μονάδες
D	0.4	?	0.4	0.4	m
L	1020	630	280	280	m
ks	0.001	0.001	0.001	0.001	m
Ks/D					-
A					m ²
Q	Ίση με Q _{B1}	0.225	0	0	m ³ /s
V					m/s
f					-
hf	?	?			m

Σεπτέμβριος 2018
A. NANOY-GIANNPOY
93

Πίνακας δεδομένων Συνθήκη 2

Υψηλή στάθμη

Σωλήνας	A1	B1	1Σ	ΣΓ	Μονάδες
D	0.4	Από Συνθήκη1	0.4	0.4	m
L	1020	630	280	280	m
ks	0.001	0.001	0.001	0.001	m
Ks/D					-
A					m ²
Q	?	0.225	?	?	m ³ /s
V					m/s
f					-
hf	?	Από Συνθήκη1	?	?	m

Άρα, γνωστό υψόμετρο κόμβου 1

Σεπτέμβριος 2018
A. NANOY-GIANNPOY
94

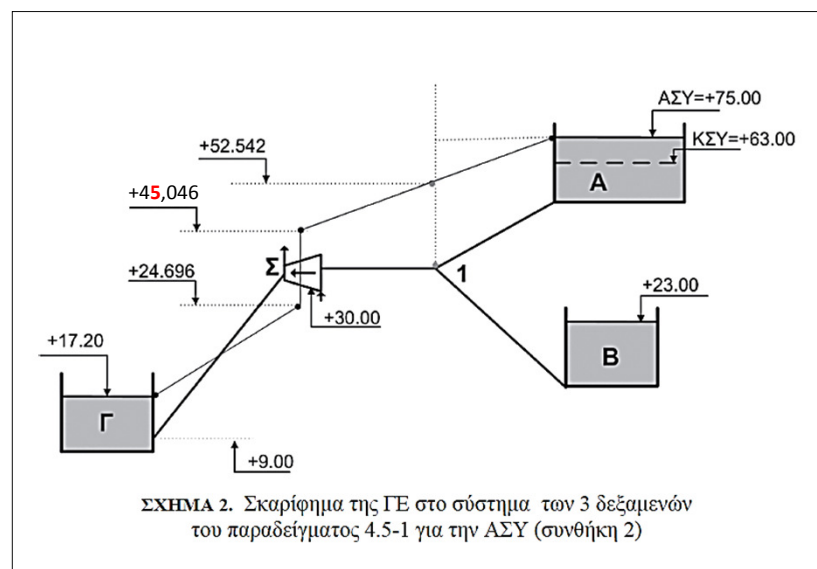
ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Αναλυτικοί υπολογισμοί των σωλήνων του παραδείγματος 4.5-1

Σωλήνας	A1	1B	A1	1Σ	ΣΓ	-
D	0.400	<u>0.300</u>	0.400	0.250	0.250	m
L	1020	630	1020	280	280	m
Q	0.225	0.225	<u>0.330</u>	0.105	0.105	m ³ /s
A	0.126	0.071	0.126	0.049	0.049	m ²
V	1.790	3.183	2.626	2.139	2.139	m/s
Re	651088	868118	954930	486146	486146	-
k_s	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	mm
k_s/D	0.00250	0.00333	0.00250	0.00400	0.00400	-
f	0.0251	0.0271	0.0250	0.0287	0.0287	-
h_f	<u>10.458</u>	29.389	22.407	<u>7.496</u>	<u>7.496</u>	m

Σεπτέμβριος 2018

A. NANOY-GIANNPOY

95



Σεπτέμβριος 2018

A. NANOY-GIANNPOY

96

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4.5-4

Θεωρείστε το σύστημα του Σχ. 1 το οποίο αποτελείται από

- 1) 3 δεξαμενές Α, Β και Γ με σταθερές στάθμες νερού ($v=1.2 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$),
- 2) 4 σωλήνες με τα γνωστά και σταθερά στοιχεία του Πίν. 1 και
- 3) αντλία Ν.

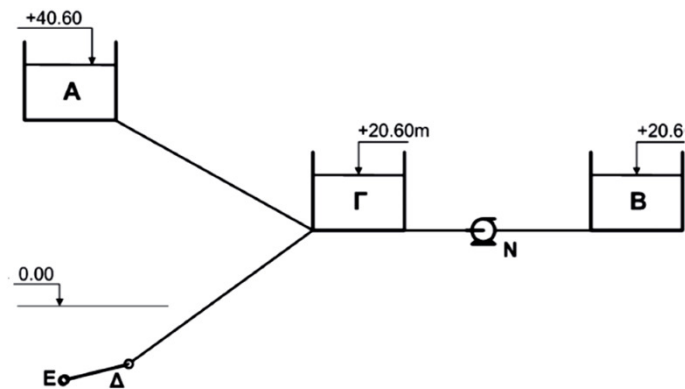
Από τις δεξαμενές Α και Β παροχετεύονται λύματα ($v=1.2 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ και $\gamma=1005 \text{ kg/m}^3$) στη δεξαμενή καθαρισμού Γ, όπου υφίστανται μερική επεξεργασία. Τα επεξεργασμένα νερά ($v=1.2 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$) διατίθενται στη θάλασσα.

- 1) Υπολογίστε αγνοώντας τις τοπικές απώλειες τα άγνωστα στοιχεία του Πίν. 1 και την απαιτούμενη ισχύ της αντλίας, η οποία έχει απόδοση 75%.
- 2) Σχεδιάστε σε σκαρίφημα τη ΓΕ.

Σεπτέμβριος 2018

Α. ΝΑΝΟΥ-ΓΙΑΝΝΠΟΥ

97



Αγωγός	ΑΓ	ΒΝ	ΝΓ	ΔΕ	ΓΔ	Μονάδες
D	0.350	0.350	0.350	0.300	:	m
L	4230	1065	1065	275	1058	m
Q	:	0.125	:	:	:	m ³ /s
k _s	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	mm
hf	20	?	?	?	?	m

Σεπτέμβριος 2018

Α. ΝΑΝΟΥ-ΓΙΑΝΝΠΟΥ

98

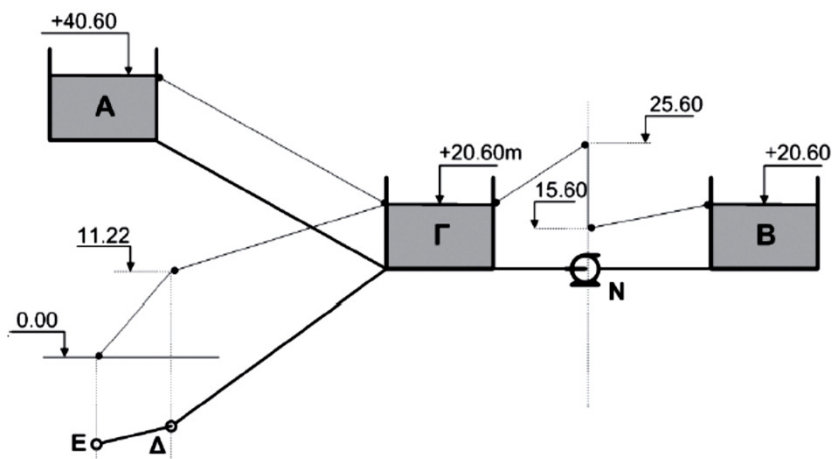
ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Υπολογισμοί των σωλήνων του παραδείγματος 4.5-4

Αγωγός	ΑΓ	ΒΝ	ΝΓ	ΔΕ	ΓΔ	Μονάδες
D	0.350	0.350	0.350	0.300	0.400	m
L	4230	1065	1065	275	1015	m
Q	0.125	0.125	0.125	0.250	0.250	m ³ /s
A	0.096	0.096	0.096	0.071	0.126	m ²
V	1.299	1.299	1.299	3.537	1.989	m/s
R _e	378940	378940	378940	964575	723432	-
k _s	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	mm
k _s /D	0.00071	0.00071	0.00071	0.00083	0.00063	-
f	0.0191	0.0191	0.0191	0.0192	0.0182	-
h _f	19.860	5.000	5.000	11.221	9.316	m

Σεπτέμβριος 2018

Α. ΝΑΝΟΥ-ΓΙΑΝΝΟΥ

99



ΣΧΗΜΑ 2. Σκαρίφημα της ΓΕ στο σύστημα του παραδείγματος 4.5-4

Σεπτέμβριος 2018

Α. ΝΑΝΟΥ-ΓΙΑΝΝΟΥ

100