ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά μαθήματα ΠΠ

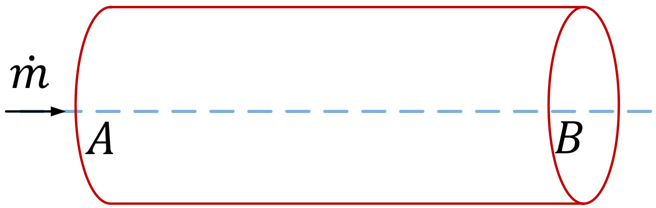
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΦΥΣΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΙΙ

Καθηγητής Δ. Ματαράς

Άσκηση 1

Νερό θερμοκρασίας 20^oC ρέει σε οριζόντιο σωλήνα από μπετόν, εσωτερικής διαμέτρου $D = 0.1$ m με μαζικό ρυθμό 15 kg/s. Προσδιορίστε την πτώση πίεσης ανά 100 m σωλήνα.



$$\frac{p_A}{\rho} + g z_A + a_A \frac{\overline{V}_A^2}{2} = \frac{p_B}{\rho} + g z_B + a_{\boldsymbol{B}} \frac{\overline{V}_B^2}{2} + h_f$$

- Οριζόντιος σωλήνας: $z_A = z_B$, για πλήρως ανεπτυγμένη ροή: $\overline{V}_A = \overline{V}_B = \overline{V}$

- Υπολογίζουμε το μαζικό ρυθμό ροής: $\dot{m} = \rho\, q = \rho\, A\, \overline{V} \Rightarrow \dot{m} = \frac{\rho\, \pi\, D^2\, \overline{V}}{4}$

- Επομένως: $\overline{V} = \frac{4\,\dot{m}}{\rho\,\pi\,D^2} = \frac{4 \cdot 15\ \mathrm{kg/s}}{1000\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3} \cdot 3.141 \cdot (0.1\ \mathrm{m})^2} = 1.91\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$

- Το καθεστώς ροής είναι: $\mathrm{Re} = \frac{\rho\,\overline{V}D}{\mu} = \frac{1000 \cdot 1.91 \cdot 0.1}{10^{-3}} = 1.91 \cdot 10^5$

  Όπου $\mu_{\nu\varepsilon\rho o \acute{\upsilon}}(20^o\mathrm{C}) = 10^{-3}\,\frac{\mathrm{N \cdot s}}{\mathrm{m}^2} = 10^{-3}\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m \cdot s}}$

Άσκηση 1

Νερό θερμοκρασίας $20^{o}\mathrm{C}$ ρέει σε οριζόντιο σωλήνα από μπετόν, εσωτερικής διαμέτρου $D = 0.1\ \mathrm{m}$ με μαζικό ρυθμό $15\ \mathrm{kg/s}$. Προσδιορίστε την πτώση πίεσης ανά $100\ \mathrm{m}$ σωλήνα.

- Στην τυρβώδη ροή: $a_A = a_B = 1$, επομένως η εξ. Bernoulli γίνεται:

$$p_A - \frac{p_B}{\rho} = h_f \Rightarrow p_A - p_B = \rho\, h_f$$

- Από το διάγραμμα Moody για σωλήνες από μπετόν $k = 0.01 \ldots 0.001\ \mathrm{ft}$, και το $\frac{k}{D} = 0.03048 \ldots 0.003048$
- για $\mathrm{Re} = 1.91 \cdot 10^5$ το $f = 0.0066 \ldots 0.0145$ παίρνουμε ως μέση τιμή το $f = 0.01$

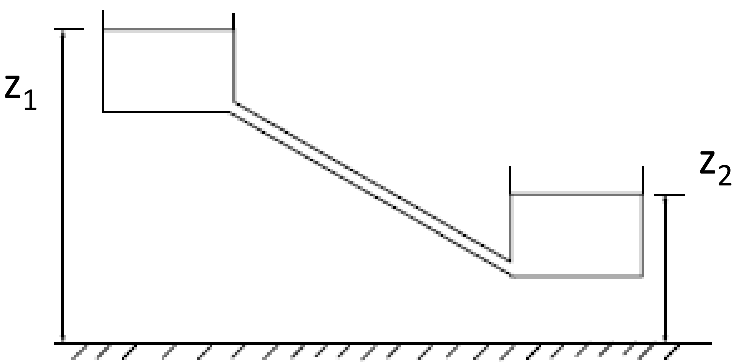
$$h_f = h_{fs} = 4f\,\frac{L}{D}\frac{\overline{V}^2}{2} = 4 \cdot 0.01\,\frac{100}{0.1}\frac{1.91^2}{2} \approx 73\ \frac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{s}^2}$$

Και τελικά:

$$p_A - p_B = \rho\, h_f = 1000\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3} \cdot\ 73\,\frac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{s}^2} = 73000\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m} \cdot \mathrm{s}^2} = \boxed{73\ \mathrm{kPa}}$$

Άσκηση 2

Νερό πρόκειται να ρεύσει λόγω βαρύτητας από μία δεξαμενή σε μία άλλη η οποία βρίσκεται σε χαμηλότερο ύψος, μέσω ενός λείου σωλήνα. Η ογκομετρική παροχή είναι $0.007\ \mathrm{m}^3/\mathrm{s}$, η διάμετρος του σωλήνα είναι $50\ \mathrm{mm}$ και το μήκος του $250\ \mathrm{m}$. Οι δεξαμενές είναι ανοικτές στην ατμόσφαιρα. Αμελώντας τις ελλάσονες απώλειες υπολογίστε τη διαφορά ύψους ανάμεσα στις δεξαμενές ώστε η ογκομετρική παροχή να παραμένει σταθερή.



$$\frac{p_1}{\rho} + g z_1 + a_1 \frac{\overline{V}_1^2}{2} = \frac{p_2}{\rho} + g z_2 + a_2 \frac{\overline{V}_2^2}{2} + h_f$$

- Επειδή οι δεξαμενές είναι ανοικτές στην ατμόσφαιρα : $p_1 = p_2 = p_{atm}$
- Και αν: $A_1, A_2 \gg \frac{\pi d^2}{4} \Longrightarrow \overline{V}_1 = \overline{V}_2 \cong 0$
- Οπότε η Bernoulli γίνεται: $g(z_1 - z_2) = h_f$ ή $\Delta z = h_f/g$
- Υπολογισμός ταχύτητας : $q = A \cdot \overline{V} \Rightarrow \overline{V} = \frac{4q}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 0.007}{3.141 \cdot 0.05^2} = 3.565\ \mathrm{m/s}$
- Καθεστώς ροής: $Re = \frac{\rho \overline{V} d}{\mu} = \frac{1000 \cdot 3.565 \cdot 0.05}{10^{-3}} = 1{,}78 \cdot 10^5$

Άσκηση 2

Νερό πρόκειται να ρεύσει λόγω βαρύτητας από μία δεξαμενή σε μία άλλη η οποία βρίσκεται σε χαμηλότερο ύψος, μέσω ενός λείου σωλήνα. Η ογκομετρική παροχή είναι $0.007\ \mathrm{m}^3/\mathrm{s}$, η διάμετρος του σωλήνα είναι $50\ \mathrm{mm}$ και το μήκος του $250\ \mathrm{m}$. Οι δεξαμενές είναι ανοικτές στην ατμόσφαιρα. Αμελώντας τις ελλάσονες απώλειες υπολογίστε τη διαφορά ύψους ανάμεσα στις δεξαμενές ώστε η ογκομετρική παροχή να παραμένει σταθερή.

- Αφού ο σωλήνας είναι λείος : $\frac{k}{d} \to 0$
- Έτσι, από το διάγραμμα Moody: $f = 0.004$
- $h_f = h_{fs} = 4f\,\frac{L}{D}\frac{\overline{V}^2}{2} = 0.016\,\frac{250}{0.05}\frac{3.565^2}{2} = 508369\,\frac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{s}^2}$
- $\Delta z = \frac{h_f}{g} = \frac{508369}{9.807} = \boxed{51.84\ \mathrm{m}}$

για να εξισοροπήσει η διαφορά ύψους την απώλεια ενέργειας λόγω της τριβής

Άσκηση 3

Πετρέλαιο ειδικής βάρύτητας 0,855 , θερμοκρασίας 15^oC και ιξώδους 9cp, ρέει μέσα σε λείο σωλήνα. Δύο σταθμοί αντλιών βρίσκονται σε απόσταση 12km και στο ίδιο σχεδόν υψόμετρο. Η πτώση πίεσης μεταξύ των δύο σταθμών είναι 15atm. Η εσωτερική διάμετρος του σωλήνα είναι 24in. Μολονότι ο σωλήνας είναι κατασκευασμένος από κοινό χάλυβα η τραχύτητά του έχει αυξηθεί λόγω γήρανσης και διάβρωσης και προσεγγίζει αυτή του γαλβανισμένου σιδήρου. Ποια είναι η ογκομετρική παροχή του πετρελαίου σε m^3/s και ποια η απαιτούμενη ισχύς των αντλιών σε KW?

<u>Μετατροπές Μονάδων</u>

$$1\ in = 0{,}0254\ m$$

$$1\ atm \cong 10^5\ Pa = 10^5\ \frac{N}{m^2}$$

$$1\ cp = 10^{-3} Pa \cdot s = 10^{-3}\ \frac{N \cdot s}{m^2}$$

Η ειδική βαρύτητα είναι : $SG_{oil} = \frac{\rho_{oil}}{\rho_w}$

$$\Rightarrow \rho_{oil} = \rho_w \cdot SG_{oil} \ \Rightarrow\ \rho_{oil} = 1000\ kg/m^3 \cdot 0{,}855$$

$$\Rightarrow \rho_{oil} = 855\ kg/m^3$$

Η σχετική τραχύτητα του σωλήνα είναι: $\frac{\varepsilon}{d}$

Για γαλβανισμένο σίδηρο : $\varepsilon = 0{,}015 \cdot 10^{-3} m$

Έτσι : $\frac{\varepsilon}{d} = \frac{0{,}015 \cdot 10^{-3}}{24 \cdot 0{,}0254} = 0{,}00025$

Άσκηση 3

Πετρέλαιο ειδικής βάρύτητας 0,855 , θερμοκρασίας 15^{o}C και ιξώδους 9cp, ρέει μέσα σε λείο σωλήνα. Δύο σταθμοί αντλιών βρίσκονται σε απόσταση 12km και στο ίδιο σχεδόν υψόμετρο. Η πτώση πίεσης μεταξύ των δύο σταθμών είναι 15atm. Η εσωτερική διάμετρος του σωλήνα είναι 24in. Μολονότι ο σωλήνας είναι κατασκευασμένος από κοινό χάλυβα η τραχύτητά του έχει αυξηθεί λόγω γήρανσης και διάβρωσης και προσεγγίζει αυτή του γαλβανισμένου σιδήρου. Ποια είναι η ογκομετρική παροχή του πετρελαίου σε m^3/s και ποια η απαιτούμενη ισχύς των αντλιών σε KW?

$$\boxed{\frac{P_1}{\rho} + \alpha_1 \frac{u_1^2}{2} + gz_1 = \frac{P_2}{\rho} + \alpha_2 \frac{u_2^2}{2} + gz_2 + h_t} \longrightarrow$$

$$u_1 = u_2 = u$$

$$z_1 = z_2$$

$a = a(Re)$, Για τυρβώδη ροή : $\alpha_1 = \alpha_2$

Οπότε έχουμε : $\dfrac{P_1 - P_2}{\rho} = h_t$ Όπου, $h_t = h_\mu + h_\varepsilon$

Εφόσον ο αγωγός είναι σταθερής διατομής : $h_t = h_\mu = f\dfrac{\varepsilon}{D}\dfrac{u^2}{2}$

Έτσι : $\dfrac{P_1 - P_2}{\rho} = f\dfrac{L}{D}\dfrac{u^2}{2} \Rightarrow \boxed{f = \dfrac{2D^2 \Delta P}{\rho L u^2}}$

Άσκηση 3

Πετρέλαιο ειδικής βάρύτητας 0,855 , θερμοκρασίας 15°C και ιξώδους 9cp, ρέει μέσα σε λείο σωλήνα. Δύο σταθμοί αντλιών βρίσκονται σε απόσταση 12km και στο ίδιο σχεδόν υψόμετρο. Η πτώση πίεσης μεταξύ των δύο σταθμών είναι 15atm. Η εσωτερική διάμετρος του σωλήνα είναι 24in. Μολονότι ο σωλήνας είναι κατασκευασμένος από κοινό χάλυβα η τραχύτητά του έχει αυξηθεί λόγω γήρανσης και διάβρωσης και προσεγγίζει αυτή του γαλβανισμένου σιδήρου. Ποια είναι η ογκομετρική παροχή του πετρελαίου σε m^3/s και ποια η απαιτούμενη ισχύς των αντλιών σε KW?

Έχουμε :

$$\boxed{f = \frac{2D^2 \Delta P}{\rho L u^2}} \qquad \boxed{Re = \frac{\rho u D}{\mu}} \qquad \boxed{f = 8\Phi}$$

Φ ο συντελεστής τριβής Moody

Συνδυάζοντας τις 3 σχέσεις :

$$\Phi Re^2 = \frac{1}{8} f\, Re^2 = \Delta P \frac{\rho D^4}{4\mu^2 L}$$

Με αυτόν τον τρόπο απαλοίφουμε την άγνωστη μεταβλητή της ταχύτητας και μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το τροποποιημένο διάγραμμα Moody.

$$\Phi Re^2 = \frac{15 \cdot 10^5 \, \frac{kg \cdot m}{s^2} \cdot 855 \frac{kg}{m^3} \cdot (24 \cdot 0{,}0254\, m)^4}{4 \cdot \left(9 \cdot \frac{10^{-3} kg}{m^2}\right)^2 \cdot 12 \cdot 10^3 m} \Rightarrow \boxed{\Phi Re^2 = 7{,}5 \cdot 10^7}$$

Άσκηση 3

Πετρέλαιο ειδικής βάρύτητας 0,855 , θερμοκρασίας 15^{o}C και ιξώδους 9cp, ρέει μέσα σε λείο σωλήνα. Δύο σταθμοί αντλιών βρίσκονται σε απόσταση 12km και στο ίδιο σχεδόν υψόμετρο. Η πτώση πίεσης μεταξύ των δύο σταθμών είναι 15atm. Η εσωτερική διάμετρος του σωλήνα είναι 24in. Μολονότι ο σωλήνας είναι κατασκευασμένος από κοινό χάλυβα η τραχύτητά του έχει αυξηθεί λόγω γήρανσης και διάβρωσης και προσεγγίζει αυτή του γαλβανισμένου σιδήρου. Ποια είναι η ογκομετρική παροχή του πετρελαίου σε m^3/s και ποια η απαιτούμενη ισχύς των αντλιών σε KW?

Οπότε έχουμε : $\Phi \mathrm{Re}^2 = 7{,}5 \cdot 10^7$ και $\frac{\varepsilon}{d} = 0{,}0025$

Από το τροποποιημένο διάγραμμα Moody ($\Phi \mathrm{Re}^2$ vs Re): $Re \cong 4 \cdot 10^4$

$$Re = \frac{\rho u D}{\mu} \Rightarrow u = \frac{\rho D}{\mu Re} \Rightarrow u = 0{,}69\, m/s$$

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

$$Q = \frac{0{,}69\frac{m}{s} \cdot 3{,}14 \cdot (0{,}6096\, m)^2}{4} \Rightarrow \boxed{Q = 0{,}2013\, m^3/s}$$

Άσκηση 3

Πετρέλαιο ειδικής βάρύτητας 0,855 , θερμοκρασίας 15°C και ιξώδους 9cp, ρέει μέσα σε λείο σωλήνα. Δύο σταθμοί αντλιών βρίσκονται σε απόσταση 12km και στο ίδιο σχεδόν υψόμετρο. Η πτώση πίεσης μεταξύ των δύο σταθμών είναι 15atm. Η εσωτερική διάμετρος του σωλήνα είναι 24in. Μολονότι ο σωλήνας είναι κατασκευασμένος από κοινό χάλυβα η τραχύτητά του έχει αυξηθεί λόγω γήρανσης και διάβρωσης και προσεγγίζει αυτή του γαλβανισμένου σιδήρου. Ποια είναι η ογκομετρική παροχή του πετρελαίου σε m^3/s και ποια η απαιτούμενη ισχύς των αντλιών σε KW?

<u>Υπολογισμός ισχύος αντλιών</u>

$$\mathrm{P}_f = \dot{\mathrm{m}}\, P_B$$

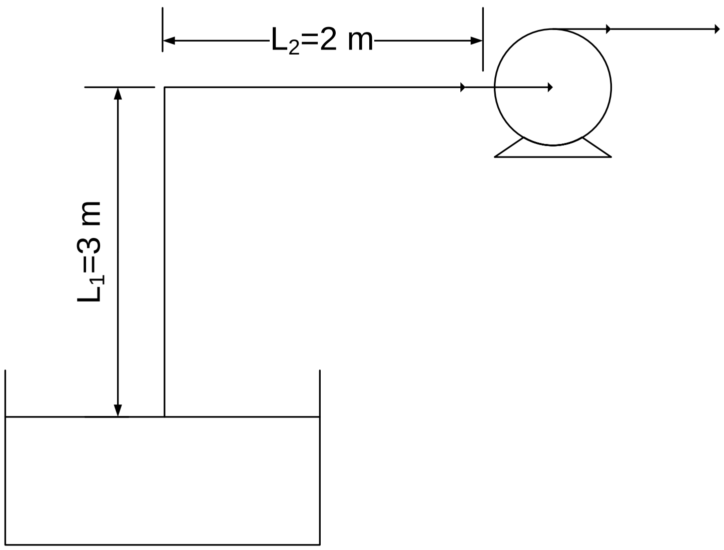
Όπου : $\dot{\mathrm{m}} = \rho Q$ και $\mathrm{P_B} = \frac{\Delta \mathrm{P}}{\rho}$

Δηλαδή : $P_f = Q\Delta\mathrm{P} \Rightarrow P_f = 0{,}2013\, m^3/s \cdot 1{,}5 \cdot 10^6 Pa$

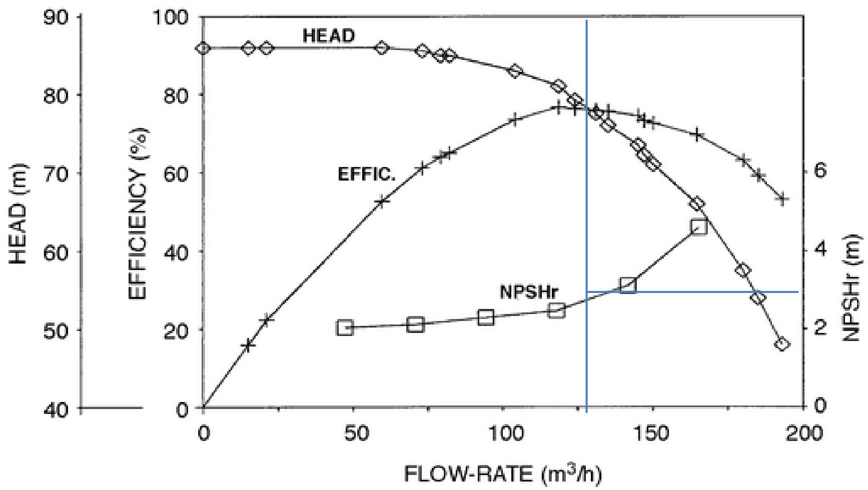
$$\mathrm{P}_f = 301950\, W \Rightarrow \boxed{P_f = 302\, kW}$$

Άσκηση 4

Να βρεθεί η μέγιστη θερμοκρασία του νερού για την οποία η αντλία του σχήματος δουλεύει χωρίς σπηλαίωση σε μέγιστη απόδοση. Η σχετική τραχύτητα των σωληνώσεων είναι : $\frac{k}{D} = 0.001$. Το υλικό των σωληνώσεων είναι κοινός χάλυβας . Το ισοδύναμο μήκος καμπής είναι 2.2 m.



Χαρακτηριστικές καμπύλες αντλίας.



- Από τις χαρακτηριστικές καμπύλες της αντλίας , στη μέγιστη απόδοση :

$$Q = 128\frac{m^3}{h} = \frac{128}{3600}\frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{s}} = 0.0355\frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{s}}$$

Και : $NPSH = 3\ \mathrm{m}$

Άσκηση 4

Να βρεθεί η μέγιστη θερμοκρασία του νερού για την οποία η αντλία του σχήματος δουλεύει χωρίς σπηλαίωση σε μέγιστη απόδοση. Η σχετική τραχύτητα των σωληνώσεων είναι : $\frac{k}{D} = 0.001$. Το υλικό των σωληνώσεων είναι κοινός χάλυβας . Το ισοδύναμο μήκος καμπής είναι 2.2 m.

- Για να λειτουργεί η αντλία χωρίς σπηλαίωση πρέπει :

$$\mathrm{NPSH} = \frac{1}{g}\left(\frac{p_{a'} - p_v}{\rho} - h_{fs}\right) - \mathrm{L}_1$$

$$g(NPSH + L_1) = \frac{p_{a'} - p_v}{\rho} - h_{fs}$$

$$p_v = p_{a'} - \rho g(NPSH + L_1) - \rho h_{fs}$$

- Γνωρίζουμε : $\frac{k}{D} = 0.001$ και $k = 0.15mm$

- $D = \frac{0.15}{0.001}\mathrm{mm} = 150\mathrm{mm} = 0.15\mathrm{m}$

Άσκηση 4

Να βρεθεί η μέγιστη θερμοκρασία του νερού για την οποία η αντλία του σχήματος δουλεύει χωρίς σπηλαίωση σε μέγιστη απόδοση. Η σχετική τραχύτητα των σωληνώσεων είναι : $\frac{k}{D} = 0.001$. Το υλικό των σωληνώσεων είναι γαλβανισμένος σίδηρος . Το ισοδύναμο μήκος καμπής είναι 2.2 m.

- Έτσι:

$$Q = A\overline{V} = \frac{\pi D^2}{4}\overline{V} \Rightarrow \overline{V} = \frac{4Q}{\pi D^2} = \frac{4 \cdot 0.0355\,\frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{s}}}{3.14 \cdot 0.15^2\mathrm{m}^2} = 2.0\ \mathrm{m/s}$$

- Καθεστώς ροής : $\mathrm{Re} = \frac{\rho \overline{\mathrm{V}} D}{\mu} = \frac{1000 \cdot 2 \cdot 0.15}{10^{-3}} = 3 \cdot 10^5$ Τυρβώδης ροή.

- Υπολογισμός παράγοντα Fanning :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2.28 - 4\log\left[\frac{k}{D} + \frac{21.25}{\mathrm{Re}^{0.9}}\right] \Rightarrow \frac{1}{\sqrt{f}} = 2.28 - 4\log\left[0.001 + \frac{21.25}{(3 \cdot 10^5)^{0.9}}\right]$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2.28 - 4\log[0.00075] = 14.78 \Rightarrow f = \frac{1}{14.78^2} = 0.00458$$

Άσκηση 4

Να βρεθεί η μέγιστη θερμοκρασία του νερού για την οποία η αντλία του σχήματος δουλεύει χωρίς σπηλαίωση σε μέγιστη απόδοση. Η σχετική τραχύτητα των σωληνώσεων είναι : $\frac{k}{D} = 0.001$. Το υλικό των σωληνώσεων είναι κοινός χάλυβας . Το ισοδύναμο μήκος καμπής είναι 2.2 m.

- Υπολογισμος απωλειών μέχρι την αντλία :

$$h_{f1,2} = h_{fs1,2} + h_{ff1,2}$$

Όπου : $h_{fs1,2} = 4f\frac{(L_1+L_2)}{D}\frac{\overline{V}^2}{2}$ και $h_{ff1,2} = 4f\frac{\lambda}{D}\frac{\overline{V}^2}{2}$, λ: ισοδύναμο μήκος καμπής

$$h_{f1,2} = 4f\frac{(L_1 + L_2 + \lambda)}{D}\frac{\overline{V}^2}{2} = 4 \cdot 0.00458\frac{(3 + 2 + 2.2)\mathrm{m} \cdot 2^2\,\frac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{s}^2}}{2 \cdot 0.15\mathrm{m}} = 1.76\,\frac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{s}^2}$$

- Επομένως :

$$p_v = p_{a'} - \rho g(NPSH + L_1) - \rho h_{fs}$$

$$p_v = 101300\ \mathrm{Pa} - 1000 \cdot 9.81(3 + 3)\mathrm{Pa} - 1000 \cdot 1.76\ \mathrm{Pa} = 40680\ \mathrm{Pa}$$

Άσκηση 4

Να βρεθεί η μέγιστη θερμοκρασία του νερού για την οποία η αντλία του σχήματος δουλεύει χωρίς σπηλαίωση σε μέγιστη απόδοση. Η σχετική τραχύτητα των σωληνώσεων είναι : $\frac{k}{D} = 0.001$. Το υλικό των σωληνώσεων είναι κοινός χάλυβας . Το ισοδύναμο μήκος καμπής είναι 2.2 m.

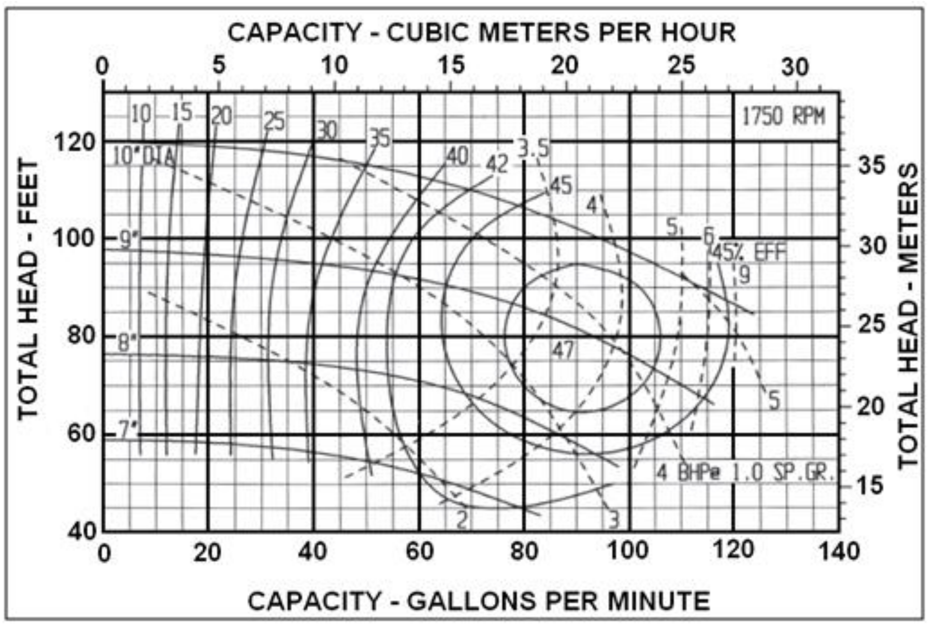
- Η τάση ατμών του νερού δε θα πρέπει να υπερβαίνει τη παραπάνω τιμή.
- Η σχέση που συνδέει τη τάση ατμών ενός ρευστού με τη θερμοκρασία του είναι η σχέση Antoine : $\log(p_u) = \mathrm{A} - \frac{\mathrm{B}}{\mathrm{C+T}}$, $p_u(mmHg), T(^oC)$
- Για το νερό : $\mathrm{A} = 8.07$, $\mathrm{B} = 1730.6$, $\mathrm{C} = 233.4$
- Επομένως :

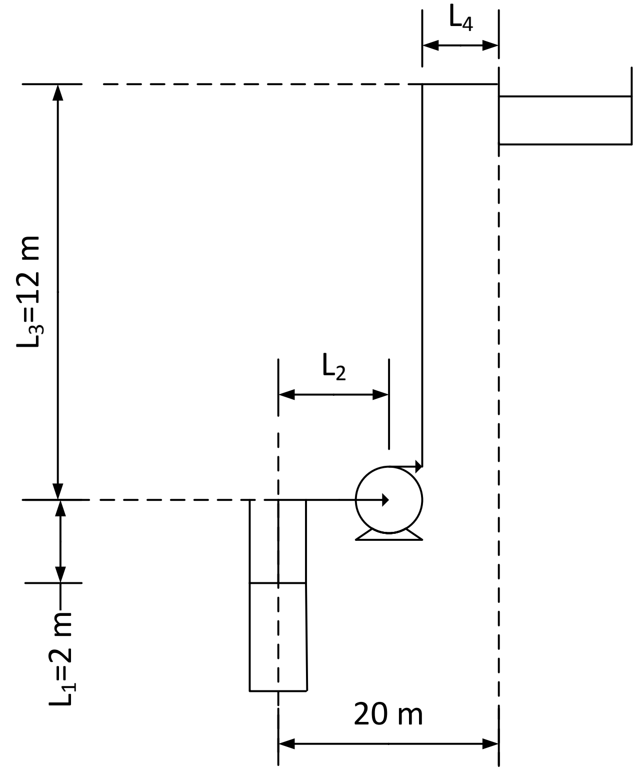
$$p_u \leq 40680 \text{ Pa} = 0.0075 \cdot 40680 \text{ mmHg} = 305 \text{ mmHg}$$

$$\mathrm{T} \leq \frac{\mathrm{B}}{\mathrm{A} - \log(\mathrm{p_u})} - \mathrm{C} \Rightarrow T \leq \frac{1730.6}{8.07 - log(305)} - 233.4 = 76.4^o\mathrm{C}$$

Άσκηση 5

Θέλουμε να αντλήσουμε νερό από το φρεάτιο του σχήματος σε μια δεξαμενή, υπό συνεχή λειτουργία.Η μέση εκροή από τη δεξαμενή είναι 172.8 m^3/day. Η σωληνώσεις είναι κατασκευασμένες από αλουμίνιο ,D=2 in. Ποιο μέγεθος αντλίας πρέπει να επιλέξουμε?Ποια η διάμετρος του παρακινητή (impeller) σε mm? Ποιες οι λογικές θέσεις της αντλίας εάν NHPS=0.5 m?





- $Q = 172.8\frac{m^3}{h} = \frac{172.8}{3600}\frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{s}} = 0.002\frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{s}}$
- $\overline{V} = \frac{4Q}{\pi D^2} = 4 \cdot \frac{0.002}{3.14\cdot(0.0254\cdot 2)^2}\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} \cong 1\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$

Άσκηση 5

Θέλουμε να αντλήσουμε νερό από το φρεάτιο του σχήματος σε μια δεξαμενή, υπό συνεχή λειτουργία.Η μέση εκροή από τη δεξαμενή είναι 172.8 m^3/day. Η σωληνώσεις είναι κατασκευασμένες από αλουμίνιο. Ποιο μέγεθος αντλίας πρέπει να επιλέξουμε?Ποια η διάμετρος του παρακινητή (impeller) σε mm? Ποιες οι λογικές θέσεις της αντλίας εάν NHPS=0.5 m?

- Εξ. Bernoulli 1-3:

$$\frac{p_1}{\rho} + gz_1 + a_1\frac{\overline{V_1}^2}{2} + gH = \frac{p_3}{\rho} + gz_3 + a_3\frac{\overline{V}_3^{\;2}}{2} + h_f$$

- Καθεστώς ροής : $Re = \frac{\rho\overline{\mathrm{V}}D}{\mu} = \frac{1000\cdot1\cdot0.0508}{10^{-3}} = 5.08\cdot10^4$ Τυρβώδης ροή
- $a_1 = a_3 = 1$
- $z_1 = 0 \quad , \quad z_3 = L_1 + L_3 = (2+12)\mathrm{m} = 14\mathrm{m}$
- $\overline{V}_1 \cong 0$ (Επιφάνεια δεξαμενής) , $\overline{\mathrm{V}}_3 = \overline{V} = 1\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$
- $p_1 = p_3 = p_{atm} = 1.013\cdot10^5$ Pa

Άσκηση 5

Θέλουμε να αντλήσουμε νερό από το φρεάτιο του σχήματος σε μια δεξαμενή, υπό συνεχή λειτουργία.Η μέση εκροή από τη δεξαμενή είναι 172.8 m^3/day. Η σωληνώσεις είναι κατασκευασμένες από αλουμίνιο. Ποιο μέγεθος αντλίας πρέπει να επιλέξουμε?Ποια η διάμετρος του παρακινητή (impeller) σε mm? Ποιες οι λογικές θέσεις της αντλίας εάν NHPS=0.5 m?

- Ακόμα : $h_f = h_{fs} + h_{ff}$
- $k = 0.000005 \text{ ft} = 0.00006$ και το $\frac{k}{D} = 0.00003$
- Για $Re = 5.08 \cdot 10^4$ και $\frac{k}{D} = 0.00003$ μπορούμε να θεωρήσουμε λέιο σωλήνα

Για την περιοχή $5 \cdot 10^3 < Re < 5 \cdot 10^4$ και για λείους σωλήνες :

$$f = 0.0786\,\mathrm{Re}^{-0.25} = 0.0786 \cdot (5.08 \cdot 10^4)^{-0.23} = 0.0065$$

- $h_{fs} = 4f\,\frac{L_{1,3}}{D}\frac{\overline{V}^2}{2} = 4 \cdot f(L_1 + L_2 + L_3 + L_4)\frac{\overline{V}^2}{2D}$

$$h_{fs} = 4 \cdot 0.0065 \cdot 34\mathrm{m} \cdot \frac{1^2\,\frac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{s}^2}}{2 \cdot 0.0508\ \mathrm{m}} \cong 8.83\,\frac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{s}^2}$$

Άσκηση 5

Θέλουμε να αντλήσουμε νερό από το φρεάτιο του σχήματος σε μια δεξαμενή, υπό συνεχή λειτουργία.Η μέση εκροή από τη δεξαμενή είναι 172.8 m^3/day. Η σωληνώσεις είναι κατασκευασμένες από αλουμίνιο. Ποιο μέγεθος αντλίας πρέπει να επιλέξουμε?Ποια η διάμετρος του παρακινητή (impeller) σε mm? Ποιες οι λογικές θέσεις της αντλίας εάν NPSH=0.5 m?

- Μπορούμε να θεωρήσουμε $h_{ff} \approx 0$ εφόσον οι ελάσσονες απώλειες θα συνεισφέρουν πολύ λίγο στις συνολικές απώλειες σε σωληνώσεις μεγάλου μηκους
- Επομένως από την απλοποιημένη εξ. Bernoulli:

$$H = \frac{\overline{V}^2}{2g} + (L_1 + L_3) + h_{fs} = \left(\frac{1}{2 \cdot 9.81} + 14 + 8.83\right)\mathrm{m} = 22.88\ \mathrm{m}$$

- Έχοντας ως δεδομένα πλέον $Q = 0.002\,\frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{s}} = 7.2\,\frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{h}},\quad H = 22.88\ \mathrm{m} \approx 23\ \mathrm{m}$ μπορούμε από το διάγραμμα λειτουργίας της αντλίας να βρούμε :

$D_{imp} = 8'' = 8 \cdot 0.0254 \cdot 10^3\ \mathrm{mm} = 203\ \mathrm{mm}$, $\eta = 30\% = 0.3$

Άσκηση 5

Θέλουμε να αντλήσουμε νερό από το φρεάτιο του σχήματος σε μια δεξαμενή, υπό συνεχή λειτουργία.Η μέση εκροή από τη δεξαμενή είναι 172.8 m^3/day. Η σωληνώσεις είναι κατασκευασμένες από αλουμίνιο. Ποιο μέγεθος αντλίας πρέπει να επιλέξουμε?Ποια η διάμετρος του παρακινητή (impeller) σε mm? Ποιες οι λογικές θέσεις της αντλίας εάν NPSH=0.5 m?

<u>Υπολογισμός παραγόμενης ισχύος</u>

- $P_f = \dot{m}gH = \rho QgH \Rightarrow$

$$P_f = 1000\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}\cdot 0.002\,\frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{s}}\cdot 9.81\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}\cdot 22.88\ \mathrm{m} = 449\ W$$

<u>Υπολογισμός καταναλισκόμενης ισχύος</u>

$$\mathrm{P_B} = \frac{\mathrm{P}_f}{\eta} = \frac{0.449\mathrm{W}}{0.3} = 1.5\ \mathrm{W}$$

Άσκηση 5

Θέλουμε να αντλήσουμε νερό από το φρεάτιο του σχήματος σε μια δεξαμενή, υπό συνεχή λειτουργία.Η μέση εκροή από τη δεξαμενή είναι 172.8 m^3/day. Η σωληνώσεις είναι κατασκευασμένες από αλουμίνιο. Ποιο μέγεθος αντλίας πρέπει να επιλέξουμε?Ποια η διάμετρος του παρακινητή (impeller) σε mm? Ποιες οι λογικές θέσεις της αντλίας εάν NPSH=0.5 m?

Υπολογισμός θέσης αντλίας.

- Εξ. Bernoulli 1-2 (μέχρι την αντλία): $\frac{p_1}{\rho} + gz_1 + a_1\frac{\overline{V_1}^2}{2} = \frac{p_2}{\rho} + gz_2 + a_2\frac{\overline{V}_2{}^2}{2} + h_f$

Και σύμφωνα με τις προηγούμενες παραδοχές :

$$p_2 = p_1 - \rho\left(\frac{\overline{V}^2}{2} + gL_1 + h_{fs1,2}\right) = p_1 - \rho\left(\frac{\overline{V}^2}{2} + gL_1 + \frac{4f(L_1 + L_2)}{D}\frac{\overline{V}^2}{2}\right)$$

$$p_2 = 1.013 \cdot 10^5 - 1000\frac{kg}{m^3}\left(\frac{1}{2} + 9.81 \cdot 2 \ + \ 4 \cdot 0.0065 \cdot \frac{2 + L_2}{0.0508} \cdot \frac{1}{2}\right)\frac{m^2}{s^2} \Rightarrow$$

$$p_2 = (80668.2 - 255.9\mathrm{L}_2)\mathrm{Pa}$$

Άσκηση 5

Θέλουμε να αντλήσουμε νερό από το φρεάτιο του σχήματος σε μια δεξαμενή, υπό συνεχή λειτουργία.Η μέση εκροή από τη δεξαμενή είναι 172.8 m^3/day. Η σωληνώσεις είναι κατασκευασμένες από αλουμίνιο. Ποιο μέγεθος αντλίας πρέπει να επιλέξουμε?Ποια η διάμετρος του παρακινητή (impeller) σε mm? Ποιες οι λογικές θέσεις της αντλίας εάν NPSH=0.5 m?

- Για την ομαλή λειτουργία της αντλίας πρέπει :

$$p_{a'} = p_2 \geq p_u + (NPSH)\rho g \Rightarrow \mathrm{NPSH} \leq \frac{p_2 - p_u}{\rho \mathrm{g}} \Rightarrow$$

$$0.5m \leq \frac{(80668.2 - 255.9\mathrm{L}_2 - 0.75 \cdot 10^5)\mathrm{Pa}}{1000\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3} \cdot 9.81\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}} \Rightarrow \frac{80668.2 - 4905 - 75000}{255.9}\mathrm{m} \geq L_2$$

$$L_2 \leq 2.98\ \mathrm{m}$$

Άσκηση 6

Αέρας θερμοκρασίας 40°F και σε πίεση 0.1 psig μεταφέρεται μέσα από οριζόντιο αγωγό μήκους 800 ft. Στην έξοδο του αγωγού η πίεση είναι 0.01 psig και η ογκομετρική παροχή 500cfm. Ο συντελεστής τραχύτητας του σωλήνα είναι 0.00006 in. Να υπολογιστούν η διάμετρος του σωλήνα και η μέση ταχύτητα του αέρα.

<u>Μετατροπές μονάδων</u>

- $℃ = (℉ - 32) \cdot 5/9 \quad , (40^{o}F - 32) \cdot \frac{5}{9} = 4.45\,℃$
- $p_1 = 0.1 \text{ psig} = 0.1 \cdot 0.07 \text{ atm} + 1.033 \text{ atm} = 1.04 \text{ atm} = 1.04 \cdot 1.013 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 1.0535 \cdot 10^5 \text{Pa}$
- $p_2 = 0.01 \text{ psig} = 0.01 \cdot 0.07 \text{ atm} + 1.033 \text{ atm} = 1.0337 \text{ atm} = 1.0337 \cdot 1.013 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 1.0471 \cdot 10^5 \text{Pa}$
- $L = 800 \text{ ft} = 0.3048 \cdot 800 \text{ m} = 243.84 \text{ m}$
- $Q = 500 \text{ cfm} = 1.699 \cdot 500 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 1.699 \cdot \frac{500}{3600} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 0.236 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$
- $k = 0.00006 \text{ in} = 0.00006 \cdot 0.0254 \text{ m} = 1.524 \cdot 10^{-6} \text{m}$

Άσκηση 6

Αέρας θερμοκρασίας 40°F και σε πίεση 0.1 psig μεταφέρεται μέσα από οριζόντιο αγωγό μήκους 800 ft. Στην έξοδο του αγωγού η πίεση είναι 0.01 psig και η ογκομετρική παροχή 500cfm. Η σχετική τραχύτητα του σωλήνα είναι 0.00006 in. Να υπολογιστούν η διάμετρος του σωλήνα και η μέση ταχύτητα του αέρα.

- Υπολογίζουμε τη πυκνότητα του αέρα στη μέση πίεση : $p \approx 1.05 \cdot 10^5 \mathrm{Pa}$
- $\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow \rho_{air}(4.45^o C) = \frac{p}{RT} = \frac{1.05 \cdot 10^5\ Pa}{286.9 \frac{J}{K \cdot kg} 277.45\ K}$
- $\rho_{air}(4.45^o C) = 1.319 \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}$
- Από πίνακες μπορούμε να βρούμε :

$\mu_{air}(250\ K) = 1.488 \cdot 10^{-5}\ \mathrm{Pa \cdot s}$ και $\mu_{air}(300\ K) = 1.983 \cdot 10^{-5}\ \mathrm{Pa \cdot s}$

- Οπότε το ιξώδες του αέρα στους $277.45^o \mathrm{K} = 4.45^o C$ θα είναι :

$$\frac{300-277.45}{300-250} = \frac{1.983 \cdot 10^{-5} - \mu}{(1.983-1.488) \cdot 10^{-5}} \Rightarrow \mu_{air}(4.45^o C) \approx 1.76 \cdot 10^{-5}\ \mathrm{Pa \cdot s}$$

Άσκηση 6

Αέρας θερμοκρασίας 40°F και σε πίεση 0.1 psig μεταφέρεται μέσα από οριζόντιο αγωγό μήκους 800 ft. Στην έξοδο του αγωγού η πίεση είναι 0.01 psig και η ογκομετρική παροχή 500cfm. Η σχετική τραχύτητα του σωλήνα είναι 0.00006 in. Να υπολογιστούν η διάμετρος του σωλήνα και η μέση ταχύτητα του αέρα.

- $\mathrm{Re} = \frac{\rho \overline{\mathrm{V}} D}{\mu}$
- $Q = A\overline{V} \Rightarrow \overline{V} = \frac{4Q}{\pi \mathrm{D}^2}$
- Επομένως : $\mathrm{Re} = \frac{4\rho Q D}{\mu \pi \mathrm{D}^2} = \frac{4\rho}{\mu \pi}\, Q D^{-1} = \frac{4 \cdot 1.319 \cdot 0.236}{3.14 \cdot 1.76 \cdot 10^{-5}} \mathrm{D}^{-1}$

$$\boxed{\mathrm{Re} = 2.25 \cdot 10^4 D^{-1}} \quad (1)$$

- Εξ. Bernoulli :

$$\frac{p_1}{\rho} + g z_1 + a_1 \frac{\overline{V}_1^{\,2}}{2} = \frac{p_2}{\rho} + g z_2 + a_2 \frac{\overline{V}_2^{\,2}}{2} + h_f$$

Άσκηση 6

Αέρας θερμοκρασίας 40°F και σε πίεση 0.1 psig μεταφέρεται μέσα από οριζόντιο αγωγό μήκους 800 ft. Στην έξοδο του αγωγού η πίεση είναι 0.01 psig και η ογκομετρική παροχή 500cfm. Η σχετική τραχύτητα του σωλήνα είναι 0.00006 in. Να υπολογιστούν η διάμετρος του σωλήνα και η μέση ταχύτητα του αέρα.

- Θεωρούμε τυρβώδη ροή : $a_1 = a_2 = 1$
- Ο σωλήνας είναι οριζόντιος : $z_1 = z_2 = 0$
- $\overline{V}_1 = \overline{V}_2 = \overline{V}$
- Έτσι :

$$\frac{p_1}{\rho} = \frac{p_2}{\rho} + h_f \;\; \Rightarrow \;\; h_f = \frac{p_1 - p_2}{\rho} \;\; \Rightarrow \frac{4fL}{D}\frac{\overline{V}^2}{2} = \frac{p_1 - p_2}{\rho}$$

- Όμως : $\overline{V} = \frac{4Q}{\pi D^2} \Rightarrow \overline{V}^2 = \frac{16Q^2}{\pi^2 D^4}$
- Αντικαθιστούμε στη παραπάνω σχέση : $\frac{4fL}{D}\frac{16Q^2}{2\pi^2 D^4} = \frac{p_1 - p_2}{\rho}$

Άσκηση 6

Αέρας θερμοκρασίας $40^{o}F$ και σε πίεση 0.1 psig μεταφέρεται μέσα από οριζόντιο αγωγό μήκους 800 ft. Στην έξοδο του αγωγού η πίεση είναι 0.01 psig και η ογκομετρική παροχή 500cfm. Η σχετική τραχύτητα του σωλήνα είναι 0.00006 in. Να υπολογιστούν η διάμετρος του σωλήνα και η μέση ταχύτητα του αέρα.

- Η σχέση που προκύπτει είναι :

$$\frac{32fLQ^2}{\pi^2 D^5} = \frac{p_1 - p_2}{\rho} \Rightarrow \frac{32 \cdot f \cdot 243.84 \cdot 0.236^2}{3.14^2 \cdot D^5} = \frac{(1.0535 - 1.0471) \cdot 10^5}{1.319}$$

$$\boxed{D = \left(\frac{44.078f}{485.2}\right)^{0.2}} \quad (2)$$

- Επίσης :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2.28 - 4\log\left[\frac{k}{D} + \frac{21.25}{\mathrm{Re}^{0.9}}\right]$$,όπου $\mathrm{k} = 1.524 \cdot 10^{-6}$ m

$$\boxed{f = \left(2.28 - 4\log\left[\frac{1.524 \cdot 10^{-6}}{D} + \frac{21.25}{\mathrm{Re}^{0.9}}\right]\right)^{-2}} \quad (3)$$

Άσκηση 6

Αέρας θερμοκρασίας 40^{o}F και σε πίεση 0.1 psig μεταφέρεται μέσα από οριζόντιο αγωγό μήκους 800 ft. Στην έξοδο του αγωγού η πίεση είναι 0.01 psig και η ογκομετρική παροχή 500cfm. Ο συντελεστής τραχύτητας του σωλήνα είναι 0.00006 in. Να υπολογιστούν η διάμετρος του σωλήνα και η μέση ταχύτητα του αέρα.

- 1^η Υπόθεση διαμέτρου: $D = 0.5\ \mathrm{m}$
- Τότε από τη σχέση (1): $\mathrm{Re} = 2.25 \cdot 10^4 D^{-1} = 2.25 \cdot \frac{10^4}{0.5} = 4.5 \cdot 10^4$
- Από τη σχέση (3) : $f = \left(2.28 - 4\log\left[\frac{1.524 \cdot 10^{-6}}{0.5} + \frac{21.25}{45000^{0.9}}\right]\right)^{-2} = 0.005314$
- Και αντικαθιστώντας στη σχέση (2) : $D = \left(\frac{44.078 \cdot 0.005314}{485.2}\right)^{0.2} = 0.21\ \mathrm{m}$
- Το αποτέλεσμα δε συμφωνεί με την υπόθεση οπότε επιλέγουμε νέα διάμετρο και επαναλαμβάνουμε τα παραπάνω βήματα.

Άσκηση 6

Αέρας θερμοκρασίας 40^oF και σε πίεση 0.1 psig μεταφέρεται μέσα από οριζόντιο αγωγό μήκους 800 ft. Στην έξοδο του αγωγού η πίεση είναι 0.01 psig και η ογκομετρική παροχή 500cfm. Ο συντελεστής τραχύτητας του σωλήνα είναι 0.00006 in. Να υπολογιστούν η διάμετρος του σωλήνα και η μέση ταχύτητα του αέρα.

- Έτσι :

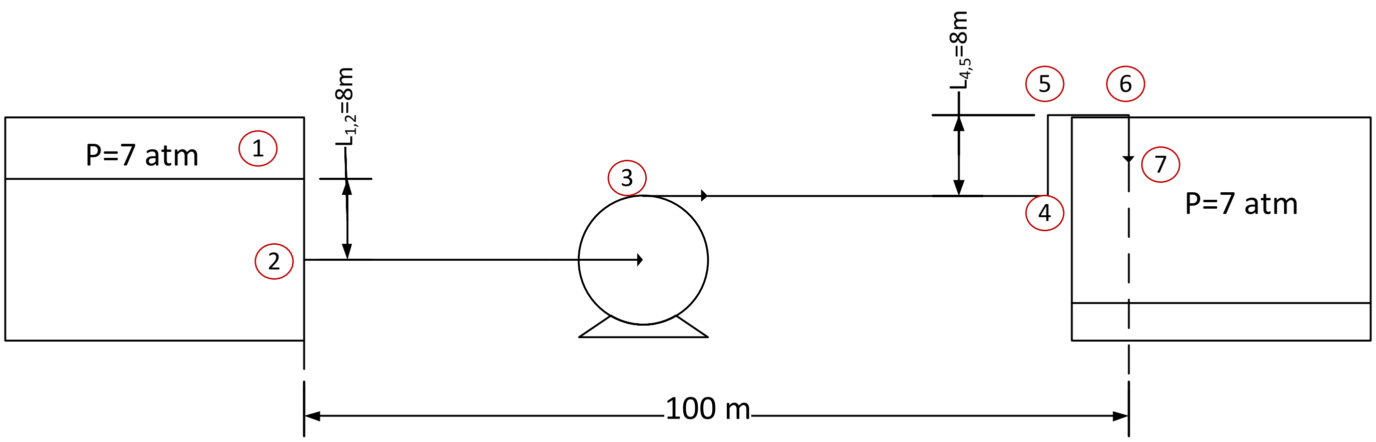
Υπόθεση	D(m) (υπόθεση)	Re	f	D (m) (αποτέλεσμα)
1η	0.5	45000	0.005314	0.2174
2η	0.21	40181	0.005643	0,219
3η	0.22	38354.5	0.005176	0.2201

- Επομένως η διάμετρος του σωλήνα είναι : $D \cong 0.22 \text{ m}$

- $\overline{V} = \frac{4Q}{\pi \mathrm{D}^2} = \frac{4 \cdot 0.236 \frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{s}}}{3.14 \cdot 0.22^2 \mathrm{m}^2} \Rightarrow \overline{V} = 6.2 \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$

Άσκηση 7

Θέλουμε να διακινήσουμε πετρέλαιο μεταξύ δύο δεξαμενών όπως στο σχήμα.Η φυγοκεντρική αντλία έχει σημείο καθήκοντος $H_\kappa = 32$ m και $Q_\kappa = 0.018\ \mathrm{m^3/s}$. Χρησιμοποιούμε σωλήνα από κοινό χάλυβα. Α) Ποια διάμετρο σωλήνα πρέπει να επιλέξουμε ώστε η αντλία να λειτουργεί κοντά στο σημείο καθήκοντός της; Β) Ποια είναι η αντίστοιχη παροχή; Γ) Πόση είναι η μέγιστη επιτρεπτή απόσταση της αντλίας από τη πρώτη δεξαμενή εάν η πίεση στην είσοδό της πρέπει να είναι $p_{a'} \geq 6$ atm?



- $\rho = 920\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m^3}}$
- $\mu = 2.5\ \cdot 10^{-3}\ \mathrm{Pa}\cdot s$

Παρατηρούμε :

- $p_1 = p_6 = p_7 = 7\ \mathrm{atm} = 7.091\cdot 10^5\ \mathrm{Pa}$
- $p_{a'} = p_3 \leq 6\ \mathrm{atm} = 6.078\cdot 10^5\mathrm{Pa}$

Άσκηση 7

Θέλουμε να διακινήσουμε πετρέλαιο μεταξύ δύο δεξαμενών όπως στο σχήμα.Η φυγοκεντρική αντλία έχει σημείο καθήκοντως $H_\kappa = 32m$ και $Q_\kappa = 0.018m^3/s$.Χρησιμοποιούμε σωλήνα από κοινό χάλυβα. Α)Ποια διάμετρο σωλήνα πρέπει να επιλέξουμε ώστε η αντλία να λειτουργεί κοντά στο σημείο καθήκοντός της? Β)Ποια είναι η αντίστοιχη παροχή? Γ)Πόση είναι η μέγιστη επιτρεπτή απόσταση της αντλίας από τη πρώτη δεξαμενή εάν η πίεση στην είσοδό της πρέπει να είναι $p_{a'} \geq 6$ atm?

- Εξ. Bernoulli 1-7 (πριν την έξοδο) :

$$\cancel{\frac{p_1}{\rho}} + \cancel{gz_1} + \cancel{a_1\frac{\overline{V}_1^2}{2}} + gH = \cancel{\frac{p_7}{\rho}} + \cancel{gz_7} + \cancel{a_7}\frac{\overline{V}_7{}^2}{2} + h_{f1,7}$$

- Θεωρούμε τυρβώδη ροή : $\alpha_1 = \alpha_7 = 1$
- $\overline{\mathrm{V}}_1 \cong 0$ επειδή η δεξαμενή είναι μεγάλη.
- Σταθερή διατομή σωληνώσεων : $\overline{V} = \sigma\tau\alpha\theta. = \overline{\mathrm{V}}_7$
- $z_1 = \mathrm{z}_2 = 8$ m
- $p_1 = p_7 = 7.091 \cdot 10^5$ Pa

Άσκηση 7

Θέλουμε να διακινήσουμε πετρέλαιο μεταξύ δύο δεξαμενών όπως στο σχήμα.Η φυγοκεντρική αντλία έχει σημείο καθήκοντως $H_\kappa = 32m$ και $Q_\kappa = 0.018m^3/s$.Χρησιμοποιούμε σωλήνα από κοινό χάλυβα. Α)Ποια διάμετρο σωλήνα πρέπει να επιλέξουμε ώστε η αντλία να λειτουργεί κοντά στο σημείο καθήκοντός της? Β)Ποια είναι η αντίστοιχη παροχή? Γ)Πόση είναι η μέγιστη επιτρεπτή απόσταση της αντλίας από τη πρώτη δεξαμενή εάν η πίεση στην είσοδό της πρέπει να είναι $p_{a'} \geq 6$ atm?

- Επομένως :

$$H = \frac{1}{\mathrm{g}}\left(\frac{\overline{V}^2}{2} + h_{f1,7}\right) \quad (1)$$

- $h_{f1,7} = h_{fs1,7} + h_{ff1,7}$
- $h_{fs1,7} = h_{fs1,2} + h_{fs2,7}$

Όπου : $h_{fs1,2} = 4f\,\frac{L_{1,2}}{D}\frac{\overline{V}_1^2}{2} \cong 0$ και $h_{fs2,7} = 4f\,\frac{L_{2,7}}{D}\frac{\overline{V}^2}{2}$

- Έτσι : $h_{fs1,7} = 4f\,\frac{L_{2,7}}{D}\frac{\overline{V}^2}{2} = 4f\,\frac{(L_{2,6}+L_{4,5}+\cancel{L_{6,7}})}{D}\frac{\overline{V}^2}{2} = 216\,f\,D^{-1}\overline{V}^2$

Άσκηση 7

Θέλουμε να διακινήσουμε πετρέλαιο μεταξύ δύο δεξαμενών όπως στο σχήμα. Η φυγοκεντρική αντλία έχει σημείο καθήκοντως $H_\kappa = 32m$ και $Q_\kappa = 0.018m^3/s$.Χρησιμοποιούμε σωλήνα από κοινό χάλυβα. Α)Ποια διάμετρο σωλήνα πρέπει να επιλέξουμε ώστε η αντλία να λειτουργεί κοντά στο σημείο καθήκοντός της? Β)Ποια είναι η αντίστοιχη παροχή? Γ)Πόση είναι η μέγιστη επιτρεπτή απόσταση της αντλίας από τη πρώτη δεξαμενή εάν η πίεση στην είσοδό της πρέπει να είναι $p_{a'} \geq 6$ atm?

- Από το σημείο 1 εώς πρίν την έξοδο έχουμε ελάσσονες απώλειες λόγω των 3 καμπών (90°) στον σωλήνα και λόγω της απότομης εισόδου:

$h_{ff1,7} = 3 \cdot K_f \frac{\overline{V}^2}{2} + \mathrm{K}_{\varepsilon\iota\sigma} \frac{\overline{\mathrm{V}}^2}{2}$, όπου το $K_{\varepsilon\iota\sigma} = 0.34$ και $K_f = 0.75$

- Επομένως : $h_{ff1,7} = \left(3K_f + K_{\varepsilon\iota\sigma}\right) \cdot \frac{\overline{\mathrm{V}}^2}{2} \Rightarrow h_{ff1,7} = (3 \cdot 0.75 + 0.34) \cdot \frac{\overline{\mathrm{V}}^2}{2}$

$\Rightarrow h_{ff1,7} \approx 1.3 \cdot \overline{\mathrm{V}}^2$

- Οπότε : $h_{f1,7} = h_{fs1,7} + h_{ff1,7} = 216\, f\, D^{-1}\overline{V}^2 + 1.3\, \overline{\mathrm{V}}^2$

Άσκηση 7

Θέλουμε να διακινήσουμε πετρέλαιο μεταξύ δύο δεξαμενών όπως στο σχήμα.Η φυγοκεντρική αντλία έχει σημείο καθήκοντως $H_\kappa = 32m$ και $Q_\kappa = 0.018m^3/s$.Χρησιμοποιούμε σωλήνα από κοινό χάλυβα. Α)Ποια διάμετρο σωλήνα πρέπει να επιλέξουμε ώστε η αντλία να λειτουργεί κοντά στο σημείο καθήκοντός της? Β)Ποια είναι η αντίστοιχη παροχή? Γ)Πόση είναι η μέγιστη επιτρεπτή απόσταση της αντλίας από τη πρώτη δεξαμενή εάν η πίεση στην είσοδό της πρέπει να είναι $p_{a'} \geq 6$ atm?

- Η σχέση (1) γίνεται :

$$H = \frac{\overline{V}^2}{g}\left(\frac{1}{2} + 216 \cdot f \cdot D^{-1} + 1.3\right)\mathrm{m}$$

- Επιπλέον : $Q = A\overline{V} \Rightarrow \overline{V} = \frac{4Q}{\pi \mathrm{D}^2} \Rightarrow \overline{V}^2 = \frac{16Q^2}{3{,}14^2\mathrm{D}^4}$

- Επομένως : $H = \frac{16Q^2}{9.86 \cdot 9.81\mathrm{D}^4}\left(\frac{1}{2} + 216 \cdot f \cdot D^{-1} + 1.3\right)\mathrm{m}$

$$H = \frac{0.165Q^2}{\mathrm{D}^4}\left(\frac{1}{2} + 216 \cdot f \cdot D^{-1} + 1.3\right)\mathrm{m}$$

Άσκηση 7

Θέλουμε να διακινήσουμε πετρέλαιο μεταξύ δύο δεξαμενών όπως στο σχήμα.Η φυγοκεντρική αντλία έχει σημείο καθήκοντως $H_\kappa = 32m$ και $Q_\kappa = 0.018m^3/s$.Χρησιμοποιούμε σωλήνα από κοινό χάλυβα. Α)Ποια διάμετρο σωλήνα πρέπει να επιλέξουμε ώστε η αντλία να λειτουργεί κοντά στο σημείο καθήκοντός της? Β)Ποια είναι η αντίστοιχη παροχή? Γ)Πόση είναι η μέγιστη επιτρεπτή απόσταση της αντλίας από τη πρώτη δεξαμενή εάν η πίεση στην είσοδό της πρέπει να είναι $p_{a'} \geq 6$ atm?

- Και εφόσον θέλουμε η αντλία να λειτουργεί κοντά στο σημείο καθήκοντός της

  θα θέσουμε $Q = Q_\kappa = 0.018\,\frac{m^3}{s}$

- Θα πρέπει δηλαδή : $H_\kappa = \frac{0.165 Q_\kappa^2}{\mathrm{D}^4}\left(\frac{1}{2} + 216 \cdot f \cdot D^{-1} + 1.3\right)\mathrm{m}$

$$\boxed{H_\kappa = \frac{5.35 \cdot 10^{-5}}{\mathrm{D}^4}(216 \cdot f \cdot D^{-1} + 1.8)\mathrm{m}} \quad (2)$$

- Ακόμα : $\mathrm{Re} = \frac{\rho \overline{\mathrm{V}} D}{\mu} = \frac{4\rho Q D}{\mu\pi \mathrm{D}^2} = \frac{4\rho}{\mu\pi}\, Q D^{-1} = \frac{4 \cdot 920}{3.14 \cdot 2.5 \cdot 10^{-3}} \mathrm{QD}^{-1}$

Άσκηση 7

Θέλουμε να διακινήσουμε πετρέλαιο μεταξύ δύο δεξαμενών όπως στο σχήμα. Η φυγοκεντρική αντλία έχει σημείο καθήκοντως $H_\kappa = 32m$ και $Q_\kappa = 0.018m^3/s$. Χρησιμοποιούμε σωλήνα από κοινό χάλυβα. Α)Ποια διάμετρο σωλήνα πρέπει να επιλέξουμε ώστε η αντλία να λειτουργεί κοντά στο σημείο καθήκοντός της? Β)Ποια είναι η αντίστοιχη παροχή? Γ)Πόση είναι η μέγιστη επιτρεπτή απόσταση της αντλίας από τη πρώτη δεξαμενή εάν η πίεση στην είσοδό της πρέπει να είναι $p_{a'} \geq 6$ atm?

- $Re = 468790 Q_\kappa D^{-1} = 468790 \cdot 0.018\ \mathrm{D}^{-1}$

$$\boxed{Re = 8438 D^{-1}} \quad (3)$$

- Επίσης :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2.28 - 4\log\left[\frac{k}{D} + \frac{21.25}{\mathrm{Re}^{0.9}}\right]$$,όπου $k = 0.046$ mm για κοινό χάλυβα.

$$\boxed{f = \left(2.28 - 4\log\left[\frac{0.046 \cdot 10^{-3}}{D} + \frac{21.25}{\mathrm{Re}^{0.9}}\right]\right)^{-2}} \quad (4)$$

Άσκηση 7

Θέλουμε να διακινήσουμε πετρέλαιο μεταξύ δύο δεξαμενών όπως στο σχήμα.Η φυγοκεντρική αντλία έχει σημείο καθήκοντως $H_\kappa = 32m$ και $Q_\kappa = 0.018m^3/s$.Χρησιμοποιούμε σωλήνα από κοινό χάλυβα. Α)Ποια διάμετρο σωλήνα πρέπει να επιλέξουμε ώστε η αντλία να λειτουργεί κοντά στο σημείο καθήκοντός της? Β)Ποια είναι η αντίστοιχη παροχή? Γ)Πόση είναι η μέγιστη επιτρεπτή απόσταση της αντλίας από τη πρώτη δεξαμενή εάν η πίεση στην είσοδό της πρέπει να είναι $p_{a'} \geq 6$ atm?

- Υποθέτουμε μία διάμετρο για τις σωληνώσεις.
- <u>1η Υπόθεση</u> : $D = 3\ in = 3 \cdot 0.0254\ m = 0.0762\ m$

1. Υπολογίζουμε τον αρ. Reynolds από τη σχέση (3) :

$$Re = 8438D^{-1} = \frac{8438}{0.0762} = 110734$$

2. Υπολογίζουμε τον παράγοντα Fanning από τη σχέση (4) :

$$f = \left(2.28 - 4\log\left[\frac{0.046 \cdot 10^{-3}}{0.0762} + \frac{21.25}{110734^{0.9}}\right]\right)^{-2} = 0{,}005147$$

Άσκηση 7

Θέλουμε να διακινήσουμε πετρέλαιο μεταξύ δύο δεξαμενών όπως στο σχήμα.Η φυγοκεντρική αντλία έχει σημείο καθήκοντως $H_\kappa = 32m$ και $Q_\kappa = 0.018m^3/s$.Χρησιμοποιούμε σωλήνα από κοινό χάλυβα. Α)Ποια διάμετρο σωλήνα πρέπει να επιλέξουμε ώστε η αντλία να λειτουργεί κοντά στο σημείο καθήκοντός της? Β)Ποια είναι η αντίστοιχη παροχή? Γ)Πόση είναι η μέγιστη επιτρεπτή απόσταση της αντλίας από τη πρώτη δεξαμενή εάν η πίεση στην είσοδό της πρέπει να είναι $p_{a'} \geq 6$ atm?

3. Υπολογίζουμε το ύψος κεφαλής από τη σχέση (2):

$$H_\kappa = \frac{5.35 \cdot 10^{-5}}{0.0762^4}(216 \cdot 0.005147 \cdot 0.0762^{-1} + 1.8)\mathrm{m} = 26.0\ \mathrm{m}$$

- Όμως : $\mathrm{H}_\kappa = 32\ \mathrm{m} > H_\kappa = 26\ \mathrm{m}$
- Επομένως η υπόθεσή μας δεν είναι σωστή και θα πρέπει να επαναλάβουμε τη διαδικασία με νέα υπόθεση.

Άσκηση 7

Θέλουμε να διακινήσουμε πετρέλαιο μεταξύ δύο δεξαμενών όπως στο σχήμα.Η φυγοκεντρική αντλία έχει σημείο καθήκοντως $H_\kappa = 32m$ και $Q_\kappa = 0.018m^3/s$.Χρησιμοποιούμε σωλήνα από κοινό χάλυβα. Α)Ποια διάμετρο σωλήνα πρέπει να επιλέξουμε ώστε η αντλία να λειτουργεί κοντά στο σημείο καθήκοντός της? Β)Ποια είναι η αντίστοιχη παροχή? Γ)Πόση είναι η μέγιστη επιτρεπτή απόσταση της αντλίας από τη πρώτη δεξαμενή εάν η πίεση στην είσοδό της πρέπει να είναι $p_{a'} \geq 6 \text{ atm}$?

- Έτσι με διαφορετικές δοκιμές και ελέγχοντας τη συνθήκη $H \approx H_\kappa$ παίρνουμε:

Υπόθεση	D(in)	D(m)	Re	f	H (m)
1η	2	0.0762	110735	0,005146	194.2
2η	3	0.0508	166102	0,005264	26
3η	2.5	0.0635	132882	0,005176	36.5
4η	2.85	0.07236	116563	0,005151	33.45

- Η υπόθεση $D = 0.07236 \text{ m}$ δίνει $H = 33.45 \text{ m} \approx H_\kappa = 32 \text{ m}$

Άσκηση 7

Θέλουμε να διακινήσουμε πετρέλαιο μεταξύ δύο δεξαμενών όπως στο σχήμα.Η φυγοκεντρική αντλία έχει σημείο καθήκοντως $H_\kappa = 32m$ και $Q_\kappa = 0.018m^3/s$.Χρησιμοποιούμε σωλήνα από κοινό χάλυβα. Α)Ποια διάμετρο σωλήνα πρέπει να επιλέξουμε ώστε η αντλία να λειτουργεί κοντά στο σημείο καθήκοντός της? Β)Ποια είναι η αντίστοιχη παροχή? Γ)Πόση είναι η μέγιστη επιτρεπτή απόσταση της αντλίας από τη πρώτη δεξαμενή εάν η πίεση στην είσοδό της πρέπει να είναι $p_{a'} \geq 6$ atm?

- Επομένως η ογκομετρική παροχή θα υπολογιστεί για $H = 33.45$ m και

  $D = 0.07236$ m

- Από τη σχέση για τον Re:

$$\mathrm{Re} = 468790 Q_\kappa D^{-1}$$

- Υπολογίσαμε ότι για $D = 0.07236$ m : $\mathrm{Re} = 116563$

- Επομένως : $Q = \frac{116563 \cdot 0.07236}{468790} \frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{s}}$

$$Q = 0.01799 \frac{m^3}{s} \cong Q_\kappa$$

Άσκηση 7

Θέλουμε να διακινήσουμε πετρέλαιο μεταξύ δύο δεξαμενών όπως στο σχήμα.Η φυγοκεντρική αντλία έχει σημείο καθήκοντως $H_\kappa = 32m$ και $Q_\kappa = 0.018m^3/s$.Χρησιμοποιούμε σωλήνα από κοινό χάλυβα. Α)Ποια διάμετρο σωλήνα πρέπει να επιλέξουμε ώστε η αντλία να λειτουργεί κοντά στο σημείο καθήκοντός της? Β)Ποια είναι η αντίστοιχη παροχή? Γ)Πόση είναι η μέγιστη επιτρεπτή απόσταση της αντλίας από τη πρώτη δεξαμενή εάν η πίεση στην είσοδό της πρέπει να είναι $p_{a'} \geq 6$ atm?

- Γ) Υπολογισμός επιτρεπτής απόστασης αντλίας από τη πρώτη δεξαμενή.
- Εξ. Bernoulli 1-3:

$$\frac{p_1}{\rho} + gz_1 + a_1 \cancel{\frac{\overline{V}_1^2}{2}} = \frac{p_3}{\rho} + \cancel{gz_3} + \cancel{a_3} \frac{\overline{V}_3^{\,2}}{2} + h_{f1,3}$$

- Τυρβώδης ροή : $\alpha_1 = \alpha_3 = 1$
- $\overline{\mathrm{V}}_1 \cong 0$ επειδή η δεξαμενή είναι μεγάλη.
- Σταθερή διατομή σωληνώσεων : $\overline{V} = \sigma\tau\alpha\theta. = \overline{\mathrm{V}}_3$
- $z_3 = 0$

Άσκηση 7

Θέλουμε να διακινήσουμε πετρέλαιο μεταξύ δύο δεξαμενών όπως στο σχήμα.Η φυγοκεντρική αντλία έχει σημείο καθήκοντως $H_\kappa = 32m$ και $Q_\kappa = 0.018m^3/s$.Χρησιμοποιούμε σωλήνα από κοινό χάλυβα. Α)Ποια διάμετρο σωλήνα πρέπει να επιλέξουμε ώστε η αντλία να λειτουργεί κοντά στο σημείο καθήκοντός της? Β)Ποια είναι η αντίστοιχη παροχή? Γ)Πόση είναι η μέγιστη επιτρεπτή απόσταση της αντλίας από τη πρώτη δεξαμενή εάν η πίεση στην είσοδό της πρέπει να είναι $p_{a'} \geq 6$ atm?

- $h_{f1,3} = h_{fs1,3} + h_{ff1,3} = \frac{4f\left(L_{1,2}+L_{2,3}\right)}{\mathrm{D}}\frac{\overline{V}^2}{2} + K_{\varepsilon\iota\sigma}\frac{\overline{V}^2}{2}$
- Επομένως η εξ. Bernoulli γίνεται :

$$\frac{p_1}{\rho} + gL_{1,2} = \frac{p_3}{\rho} + \frac{\overline{V}^2}{2} + \frac{4f\left(L_{1,2}+L_{2,3}\right)}{\mathrm{D}}\frac{\overline{V}^2}{2} + K_{\varepsilon\iota\sigma}\frac{\overline{V}^2}{2}$$

$$\frac{\left(\frac{p_1 - p_3}{\rho} + \mathrm{gL}_{1,2}\right)2}{\overline{V}^2} - 1 - \frac{4\mathrm{fL}_{1,2}}{\mathrm{D}} - \mathrm{K}_{\varepsilon\iota\sigma} = \frac{4\mathrm{fL}_{2,3}}{\mathrm{D}}$$

Άσκηση 7

Θέλουμε να διακινήσουμε πετρέλαιο μεταξύ δύο δεξαμενών όπως στο σχήμα.Η φυγοκεντρική αντλία έχει σημείο καθήκοντως $H_\kappa = 32m$ και $Q_\kappa = 0.018m^3/s$.Χρησιμοποιούμε σωλήνα από κοινό χάλυβα. Α)Ποια διάμετρο σωλήνα πρέπει να επιλέξουμε ώστε η αντλία να λειτουργεί κοντά στο σημείο καθήκοντός της? Β)Ποια είναι η αντίστοιχη παροχή? Γ)Πόση είναι η μέγιστη επιτρεπτή απόσταση της αντλίας από τη πρώτη δεξαμενή εάν η πίεση στην είσοδό της πρέπει να είναι $p_{a'} \geq 6$ atm?

- Υπολογίζουμε τη ταχύτητα: $\overline{V} = \frac{4Q}{\pi \mathrm{D}^2} = \frac{4 \cdot 0.01799 \frac{m^3}{s}}{3.14 \cdot 0.07236^2\ m^2} = 4.37\ m/s$

- Έτσι :

$$\frac{4\mathrm{fL}_{2,3}}{\mathrm{D}} = \frac{\left(\frac{p_1 - p_3}{\rho} + \mathrm{gL}_{1,2}\right)2}{\overline{V}^2} - 1 - \frac{4\mathrm{fL}_{1,2}}{\mathrm{D}} - \mathrm{K}_{\varepsilon\iota\sigma}$$

$$4 \cdot \frac{0.005151}{0.07236}\mathrm{L}_{2,3} = \left[\frac{(7.091 - 6.078) \cdot 10^5}{920} + 9.81 \cdot 8\right] \cdot \frac{2}{4.37^2} - 1 - 4 \cdot \frac{0.005151 \cdot 8}{0.07236} - 0.34$$

Άσκηση 7

Θέλουμε να διακινήσουμε πετρέλαιο μεταξύ δύο δεξαμενών όπως στο σχήμα.Η φυγοκεντρική αντλία έχει σημείο καθήκοντως $H_\kappa = 32m$ και $Q_\kappa = 0.018m^3/s$.Χρησιμοποιούμε σωλήνα από κοινό χάλυβα. Α)Ποια διάμετρο σωλήνα πρέπει να επιλέξουμε ώστε η αντλία να λειτουργεί κοντά στο σημείο καθήκοντός της? Β)Ποια είναι η αντίστοιχη παροχή? Γ)Πόση είναι η μέγιστη επιτρεπτή απόσταση της αντλίας από τη πρώτη δεξαμενή εάν η πίεση στην είσοδό της πρέπει να είναι $p_{a'} \geq 6$ atm?

- $0.2847\, L_{2,3} = 19.75 - 1 - 2.28 - 0.34$

$$\boxed{L_{2,3} = 56.6 \text{ m}}$$

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο

ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

ΕΣΠΑ 2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.0.0.

Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Πατρών. Καθηγητής, Δημήτριος Ματαράς. «Φυσικές Διεργασίες ΙΙ». Έκδοση: 1.0. Πάτρα 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: https://eclass.upatras.gr/courses/CMNG2120/

Σημείωμα Αδειοδότησης