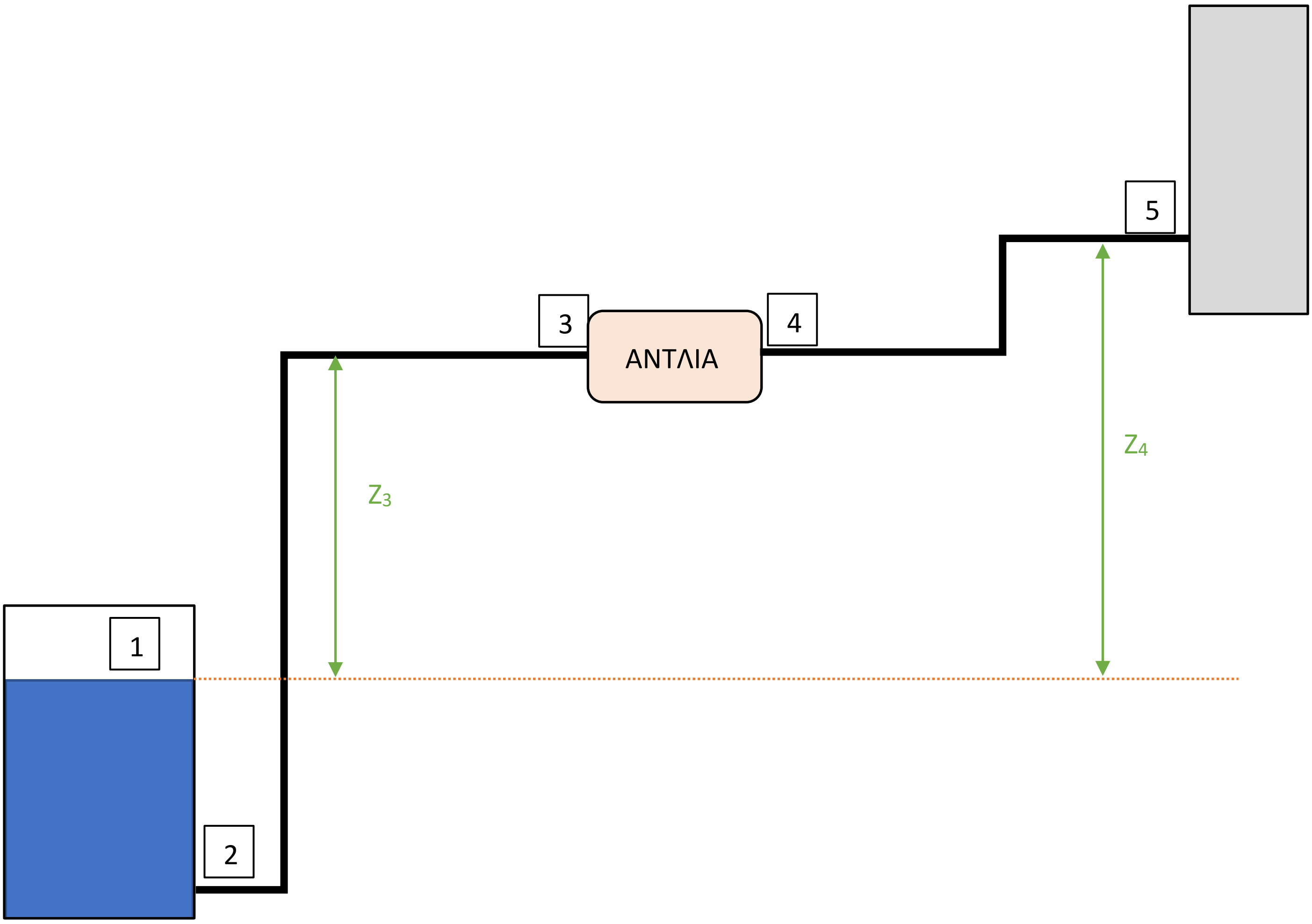
Φυσικές Διεργασίες ΙΙ: Φροντιστήριο 3. (07/04/2021)

ΑΝΤΛΙΕΣ 1

Άσκηση 1.

Ένας μηχανικός προτείνει την άντληση 10000 kg/h τολουενίου σε θερμοκρασία 114 °C και απόλυτη πίεση 1.1 atm από τον αναβραστήρα μιας αποστακτικής στήλης σε μια δεύτερη αποστακτική μονάδα χωρίς ψύξη του τουλουενίου πριν την είσοδο στην αντλία. Αν οι απώλειες λόγο τριβών στην γραμμή ανάμεσα στον αναβραστήρα και την αντλία είναι 7 kN/m^2 και η πυκνότητα του τουλουενίου είναι 866 kg/m^3, πόσο υψηλότερα θα πρέπει να βρίσκεται η στάθμη του υγρού στον αναβραστήρα έτσι ώστε να προκύψει NPSH ίσο με 2.5 m; Η ονομαστική διάμετρος της σωλήνας μεταξύ αναβραστήρα και αντλίας είναι 1 ½ in.



ΛΥΣΗ

A. *Μετατροπές Μονάδων και Υποθέσεις*

1) $\dot{m} = 10000 \frac{kg}{hr} = 10000 \frac{kg}{hr} \frac{1\,hr}{60\,min} \frac{1\,min}{60sec} \Longrightarrow \dot{m} = 2.778\,kg/s$

2) $\dot{m} = \rho\, Q \Longrightarrow Q = \frac{\dot{m}}{\rho} = \frac{2.778\left(\frac{kg}{s}\right)}{866\left(\frac{kg}{m^3}\right)} \Longrightarrow Q = 3.208 * 10^{-3} m^3/s$

3) $D = 1\frac{1}{2}\ in$ (ονομαστική διάμετρος) από τον πίνακα 11.4 σελ.336 σύμφωνα με το Schedule 40 η εσωτερική διάμετρος του σωλήνα είναι $D = 1.610\ in = 1.610 * 0.0254\ m \Longrightarrow D = 0.0409\ m$

4) $Q = A < v > \Longrightarrow < v > = \frac{4Q}{\pi D^2} = \frac{4*3.208*10^{-3}\left(\frac{m^3}{s}\right)}{\pi*(0.0409)^2(m^2)} \Longrightarrow < v > = 2.44\ m/s$

5) Ρευστό: Τολουένιο στους 114 °C, $\rho = 866\ kg/m^3$

6) $P_1 = P_v = 1.1\ atm \Rightarrow P_1 = P_v = 1.1 * 1.01325 * 10^5\ Pa \Rightarrow P_1 = P_v = 1.11457 * 10^5 Pa$

7) Τριβή στην αναρρόφηση = πτώση πίεσης στην αναρρόφηση $\Longrightarrow \Delta P_{1,3} = 7\frac{kN}{m^2} \Longrightarrow \Delta P_{1,3} = 7 * 10^3 Pa$

8) Θεωρώ τυρβώδη ροή άρα $a = 1$

9) Θεωρώ ότι η ταχύτητα στην επιφάνεια 1 στον αναβραστήρα είναι σχεδόν μηδέν. (Σύγκριση ανάμεσα στην ταχύτητα της σωλήνωσης και στην ταχύτητα με την οποία μειώνεται η στάθμη του τουλουενίου μέσα στον αναβραστήρα). $< v_1 > = 0$

10) $z_1 = 0$

B. *Θέλω να υπολογίσω την διαφορά ύψους μεταξύ σημείου (1) και σημείου (3), επομένως θα πάρω το Ισοζύγιο Ενέργειας από το σημείο (1) μέχρι το σημείο (3) μέχρι λίγο πριν η ροή εισέλθει στην αντλία.*

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{1}{2}\alpha_1 < v_1 >^2 + gz_1 = \frac{P_3}{\rho} + \frac{1}{2}\alpha_3 < v_3 >^2 + gz_3 + h_{O\Lambda_{1,3}} \Longrightarrow$$

$$\Rightarrow (\textit{Εφαρμόζω τις Παραδοχές } (8), (9), (10) \textit{ και προκύπτει}) \Rightarrow$$

$$\frac{P_1}{\rho} = \frac{P_3}{\rho} + \frac{1}{2} < v_3 >^2 + gz_3 + h_{O\Lambda_{1,3}} \Longrightarrow \boldsymbol{gz_3 = \frac{P_1}{\rho} - \frac{P_3}{\rho} - \frac{1}{2} < v_3 >^2 - h_{O\Lambda_{1,3}}} \quad (\mathbf{1})$$

Όμως για τις ολικές απώλειες υδροστατικής κεφαλής στο κομμάτι της αναρρόφησης ισχύει ότι:

$$h_{O\Lambda_{1,3}} = h_\varepsilon + h_\mu = 0 + h_\mu = \frac{\Delta P_{1,3}}{\rho} = \frac{7 * 10^3\ \left(\frac{kg}{s^2 m}\right)}{866\ \left(\frac{kg}{m^3}\right)} \Longrightarrow \boldsymbol{h_{O\Lambda_{1,3}} = 8.083\ m^2/s^2}$$

Επίσης, για την ομαλή λειτουργία μιας αντλίας η πίεση στην είσοδο της αντλίας ,$P_{\alpha\nu-} = P_3$, θα πρέπει να ικανοποιεί την παρακάτω σχέση:

$$P_{\alpha\nu-} \geq P_v + (K\Theta KP)\rho g \text{ ή } \textit{οριακά } \boldsymbol{P_{\alpha\nu-} = P_v + (K\Theta KP)\rho g}\ (\mathbf{2})$$

$$(1) \overset{(2)}{\Rightarrow} gz_3 = \frac{P_1 - P_v}{\rho} - (K\Theta KP)\ g - \frac{1}{2} < v >^2 - h_{O\Lambda_{1,3}} \Longrightarrow$$

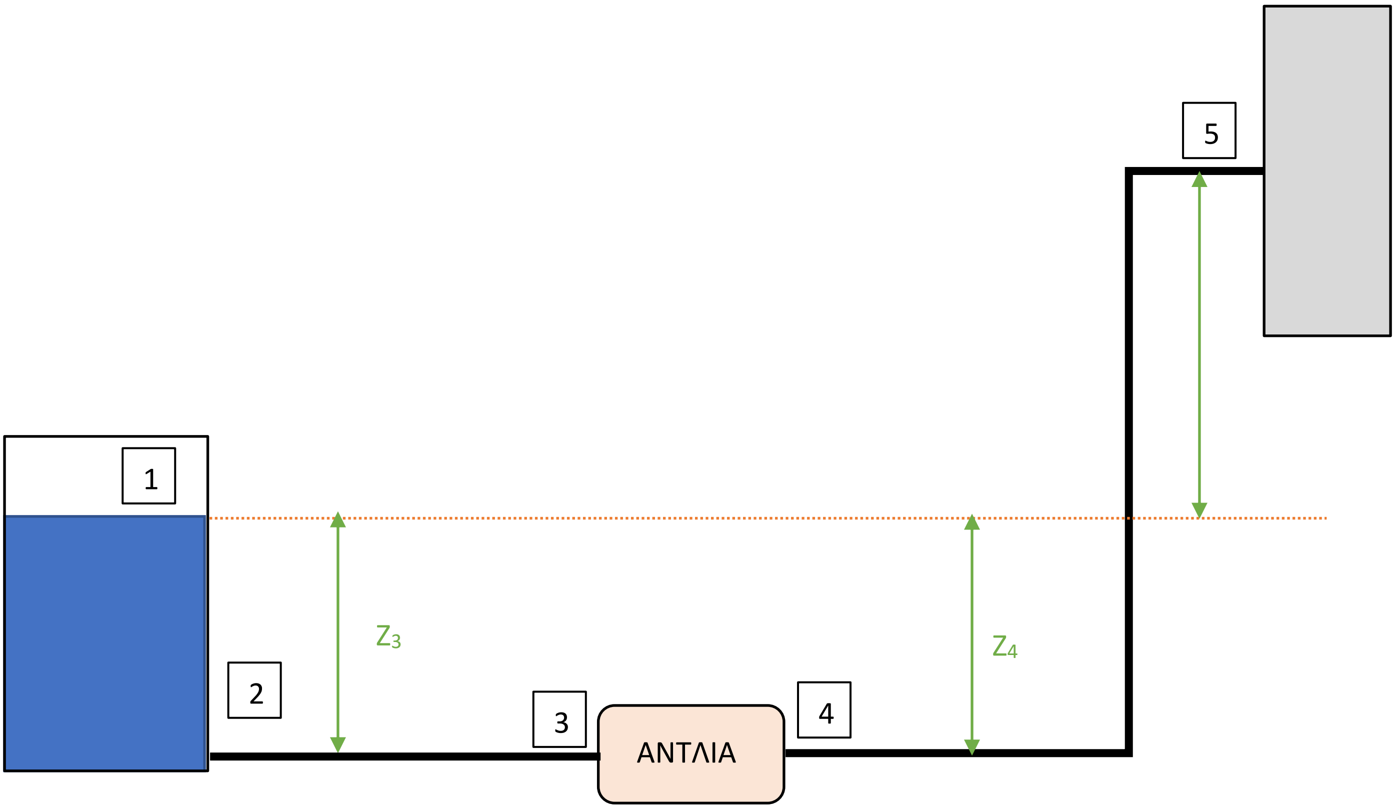
$$z_3 = -(K\Theta KP) - \frac{1}{2} < v_3 >^2 - h_{O\Lambda_{1,3}} = -2..5\ (m) - \frac{1}{2}\frac{(2.44)^2 \left(\frac{m^2}{s^2}\right)}{9.81\ \left(\frac{m}{s^2}\right)} - \frac{8.083\ \left(\frac{m^2}{s^2}\right)}{9.81\ \left(\frac{m}{s^2}\right)} \Longrightarrow$$

$$\boldsymbol{z_3 = -3.627\ m}$$

Επομένως, η στάθμη του υγρού μέσα στον αναβραστήρα θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 3.6 m υψηλότερα από την αντλία.

Άσκηση 2

Να υπολογιστεί η ισχύς που απαιτείται για τη λειτουργία της αντλίας της Άσκησης 1, αν η αντλία πρόκειται να ανυψώσει το τολουένιο κατά 10 m, η πίεση στην δεύτερη μονάδα είναι ίση με την ατμοσφαιρική και οι απώλειες λόγο τριβής στην γραμμή κατάθλιψη είναι 35 kN/m^2.



ΛΥΣΗ

Οι απώλειες λόγο τριβής στην γραμμή κατάθλιψης είναι ίσες με την πτώση πίεσης στη γραμμή κατάθλιψης:

$$\Delta P_{4,5} = 35 \frac{kN}{m^2} \Rightarrow \Delta P_{4,5} = 35 * 10^3 \; Pa$$

Θέλουμε να υψώσουμε το τολουένιο κατά 10 m, επομένως:

$$z_5 + z_4 = 10 \; m \; και \;\; z_3 = z_4 = 3.627 \; m \Rightarrow z_5 = 6.373 \; m$$

Θέλουμε να υπολογίσουμε την ισχύ της αντλίας, άρα χρειαζόμαστε την κεφαλή της αντλίας H. Θα γράψουμε το Ισοζύγιο Ενέργειας από το σημείο 1 στο σημείο 5 έτσι ώστε να εμφανιστεί στο ισοζύγιο και ο όρος της αντλίας, δηλαδή ο όρος gH:

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{1}{2}\alpha_1 < v_1 >^2 + g z_1 + gH = \frac{P_5}{\rho} + \frac{1}{2}\alpha_5 < v_5 >^2 + g z_5 + h_{OΛ_{1,5}} \Rightarrow$$

$$(< v_1 > = 0, z_1 = 0, a_5 = 1) \Rightarrow$$

$$\boldsymbol{gH = \frac{P_5}{\rho} - \frac{P_1}{\rho} + \frac{1}{2}\alpha_5 < v_5 >^2 + g z_5 + h_{OΛ_{1,5}}} \;\; \mathbf{(1)}$$

Όμως για τις ολικές απώλειες του συστήματος ισχύει ότι:

$$h_{OΛ_{1,5}} = h_\varepsilon + h_\mu = 0 + h_{\alpha\nu} + h_{\kappa\alpha\tau} = \frac{\Delta P_{1,3}}{\rho} + \frac{\Delta P_{4,5}}{\rho} \Rightarrow \boldsymbol{h_{OΛ_{1,5}} = 48.5 \; m^2/s^2}$$

$$(1) \Rightarrow gH = \frac{(1.11457 * 10^5 - 1.01325 * 10^5)(Pa)}{866 \left(\frac{kg}{m^3}\right)} + \frac{1}{2}(2.44)^2 \left(\frac{m^2}{s^2}\right) + 9.81 \left(\frac{m}{s^2}\right) * 6.373\ (m) + 48.5 \left(\frac{m^2}{s^2}\right) \Rightarrow$$

$$\boldsymbol{H = 12.81\ m}$$

Εξορισμού ισχύει ότι:

$$W_{\pi\rho\alpha\gamma\mu} = mgH = 2.778 \left(\frac{kg}{s}\right) * 9.81 \left(\frac{m}{s^2}\right) * 12.81\ (m) \Rightarrow \boldsymbol{W_{\pi\rho} = 349.2\ W} \text{ ή } \boldsymbol{W_{\pi\rho} = 0.35\ kW}$$

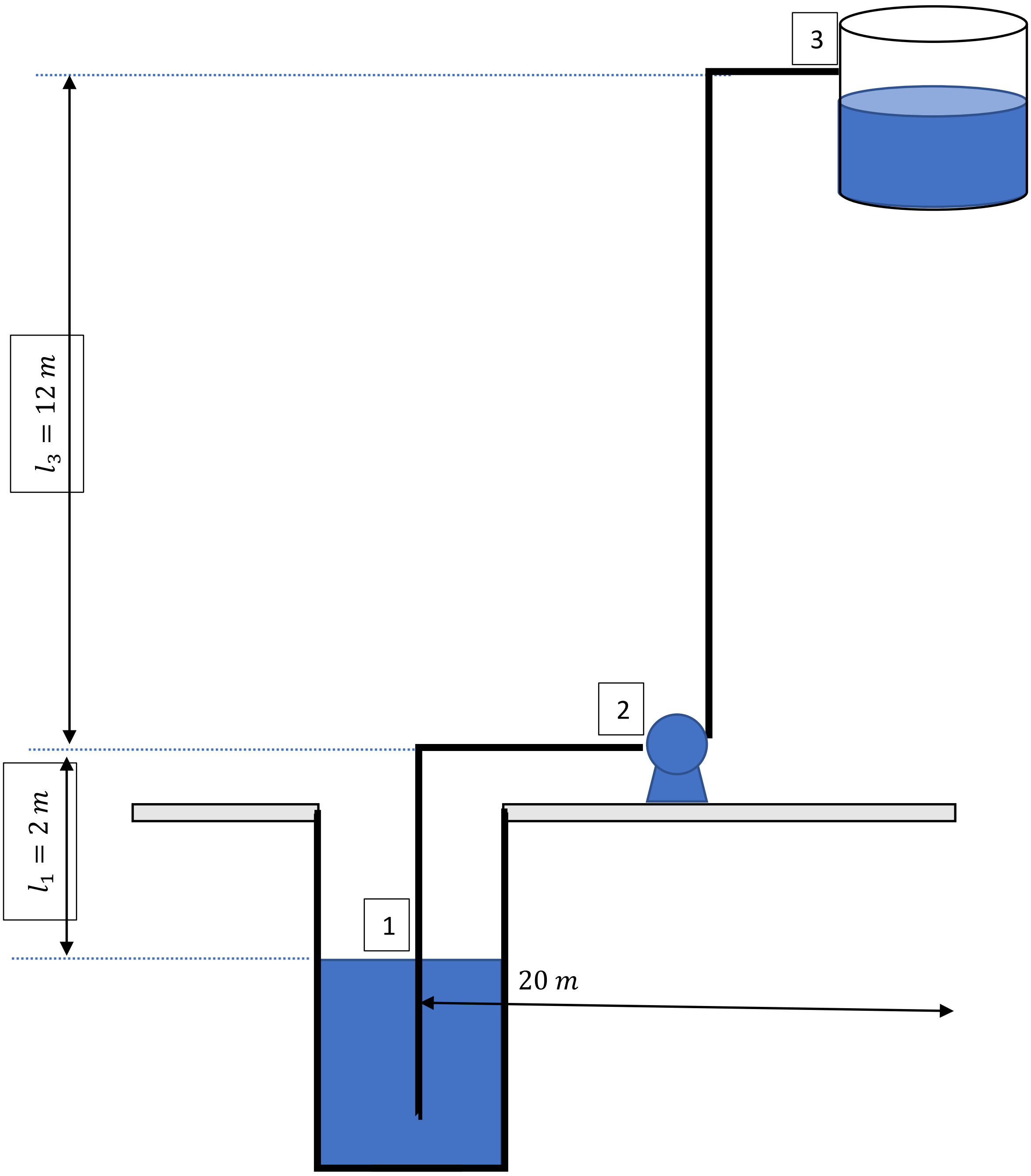
Για $\tilde{\eta} = 0.60$, η ισχύς που καταναλώνεται από την πραγματική αντλία είναι:

$$W_{\alpha\nu} = \tilde{\eta}\, W_{\pi\rho} \Rightarrow \boldsymbol{W_{\alpha\nu} = 209.46\ W}$$

Άσκηση 3

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 σωλήνωση αποτελείται από κοινό σωλήνα αλουμινίου ονομαστικής διαμέτρου 2 in (Schedule 40). Σκοπεύουμε να επιλέξουμε μια φυγοκεντρική αντλία του τύπου που αντιστοιχεί στο διάγραμμα του Σχήματος 12.25. (T=20 ^oC)

i. Ποιο μέγεθος αντλίας πρέπει να επιλέξουμε; Δώστε τη διάμετρο του παρακινητή (impeller) σε mm;
ii. Ποιες είναι οι εύλογες θέσεις της αντλίας αν ΚΘΚΡ = 0.5 m;
iii. $W_{\pi\rho}$ =?
iv. $W_{\alpha\nu}$ =?



ΛΥΣΗ

1) $Q = 172.8 \frac{m^3}{day} = 172.8 \frac{m^3}{day} * \frac{1day}{24\ hr} * \frac{1\ hr}{60\ min} * \frac{1\ min}{60sec} \Longrightarrow Q = 2 * 10^{-3} m^3/s$

2) $D = 2\ in$ (ονομαστική διάμετρος)$\Longrightarrow Schedule\ 40 \Longrightarrow D = 2.067\ in$ (εσωτερική διάμετρος)

$$D = 2.067 * 0.0254\ (m\ ) \Longrightarrow D = 0.0525\ m$$

3) $< v > = \frac{4Q}{\pi D^2} = \frac{4*2*10^{-3}\left(\frac{m^3}{s}\right)}{\pi*(0.0525)^2(m^2)} \Longrightarrow < v >= 0.924\ m/s$

4) Νερό στους 20 °C$\Longrightarrow \rho = 1000\ kg/m^3,\ \mu = 10^{-3}Pa\ s$

5) $Re = \frac{\rho<v>D}{\mu} = \frac{10^3*0.924*0.0525}{10^{-3}} \Longrightarrow Re = 4.85*10^4$ (τυρβώδη ροή)

6) $\left.\begin{matrix}\frac{e}{D}=0.00003\\ Re=4.85*10^3\end{matrix}\right\} \Longrightarrow (\delta\iota\acute{\alpha}\gamma\rho\alpha\mu\mu\alpha\ Moody) \Longrightarrow f = 0.021$

(i) Ισοζύγιο Ενέργειας από το σημείο 1 στο σημείο 3

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{1}{2}\alpha_1 < v_1 >^2 + gz_1 + gH = \frac{P_3}{\rho} + \frac{1}{2}\alpha_3 < v_3 >^2 + gz_3 + h_{O\Lambda_{1,3}} \quad (1)$$

Όμως, $P_1 = P_3 = 1\ atm$

$< v_1 >= 0\ , \varepsilon\pi\iota\varphi\acute{\alpha}\nu\varepsilon\iota\alpha\ \nu\varepsilon\rho o\acute{\upsilon}\ \sigma\tau o\ \varphi\rho\varepsilon\acute{\alpha}\tau\iota o$

$< v_3 >=< v >$

$a_1 = a_3 = 0$

$z_1 = 0$

$z_3 = 12 + 2 = 14\ m$

$h_{O\Lambda_{1,3}} = f\frac{l}{D}\frac{<v>^2}{2} = 0.021\ \frac{(2+20+12)}{0.0525}\ \frac{(0.924)^2}{2} \Longrightarrow h_{O\Lambda_{1,3}} = 5.806\ m^2/s^2$

$$(1) \Longrightarrow gH = \frac{1}{2}(0.924)^2 + 9.81*14 + 5.806 \Longrightarrow \boldsymbol{H = 14.64\ m}$$

Εφόσον έχω βρει τις τιμές της κεφαλής της αντλίας και της παροχής μπορώ από το διάγραμμα του Σχήματος 12.25 να υπολογίσω τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά της αντλίας:

$$\begin{matrix} H = 14.64\ m \\ Q = 2*10^{-3}\frac{m^3}{s}\end{matrix} \quad \Longrightarrow \boldsymbol{D_{imp} = 95\ mm}$$

(iii) Η παρεχόμενη ισχύς από την αντλία στο νερό είναι:

$$W_{\pi\rho} = mgH = \rho QgH = 1000*2*10^{-3}*9.81*14.64 \Longrightarrow$$

$$\boldsymbol{W_{\pi\rho} = 287.23\ W} \text{ ή } \boldsymbol{W_{\pi\rho} \approx 0.3\ kW}$$

(iv) Από το διάγραμμα του Σχήματος 12.25 μπορούμε να βρούμε τον συντελεστή ολικής αποδοτικότητας της αντλίας. $\tilde{\eta} = 0.375$

Η καταναλισκόμενη ισχύς από την αντλία είναι:

$$W_{\alpha\nu} = \frac{W_{\pi\rho}}{\tilde{\eta}} = \frac{287.23}{0.375} \Longrightarrow \boldsymbol{W_{\alpha\nu} = 0.77\ kW}$$

(ii) Ποιες είναι οι λογικές θέσεις της αντλίας; $l_1 =?\ \kappa\alpha\iota\ l_2 =?$

Γνωρίσουμε ότι $l_1 = 2\ m$

Το ισοζύγιο Ενέργειας από το σημείο 1 στο σημείο 2 μας δίνει:

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{1}{2}\alpha_1 < v_1 >^2 + gz_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{1}{2}\alpha_2 < v_2 >^2 + gz_2 + h_{O\Lambda_{1,2}} \quad (2)$$

Όμως, $P_1 = 1\ atm = 1.01325\ 10^5 Pa$

$P_2 = P_{\alpha\nu-}$

$< v_1 >= 0$

$< v_2 > = < v > = 0.924 \frac{m}{s}$

$z_1 = 0$

$z_2 = 2\ m$

$h_{O\Lambda_{1,2}} = h_\varepsilon + h_\mu = 0 + f \frac{l_1}{D} \frac{<v>^2}{2} + f \frac{l_2}{D} \frac{<v>^2}{2} \Longrightarrow h_{O\Lambda_{1,2}} = f\ \frac{<v>^2}{2} (l_1 + l_2)\ (3)$

Επίσης, για την ομαλή λειτουργία μιας αντλίας η πίεση στην είσοδο της αντλίας ,$P_{\alpha\nu-} = P_2$, θα πρέπει να ικανοποιεί την παρακάτω σχέση:

$$P_{\alpha\nu-} \geq P_v + (K\Theta KP)\rho g \text{ ή } \textit{οριακά}\ P_{\alpha\nu-} = P_v + (K\Theta KP)\rho g\ (4)$$

Από πίνακες η τάση ατμών του νερού στους 20 ºC $\Longrightarrow P_v = 0.75 * 10^5 Pa$

$$(4) \Longrightarrow P_2 = P_{\alpha\nu-} = 0.75 * 10^5 + 0.5 * 1000 * 9.81 \Longrightarrow P_2 = 79905\ Pa$$

$$(2) \Longrightarrow h_{O\Lambda 1,2} = \frac{P_1 - P_2}{\rho} - \frac{1}{2} < v >^2 - g z_2 \Longrightarrow h_{O\Lambda_{1,2}} = 1.373 \frac{m^2}{s^2}$$

$$(3) \Longrightarrow (l_1 + l_2) = 8.041\ m \Longrightarrow$$

$$\boldsymbol{l_1 = 2\ m\ \kappa\alpha\iota\ l_2 = 6.04\ m}$$