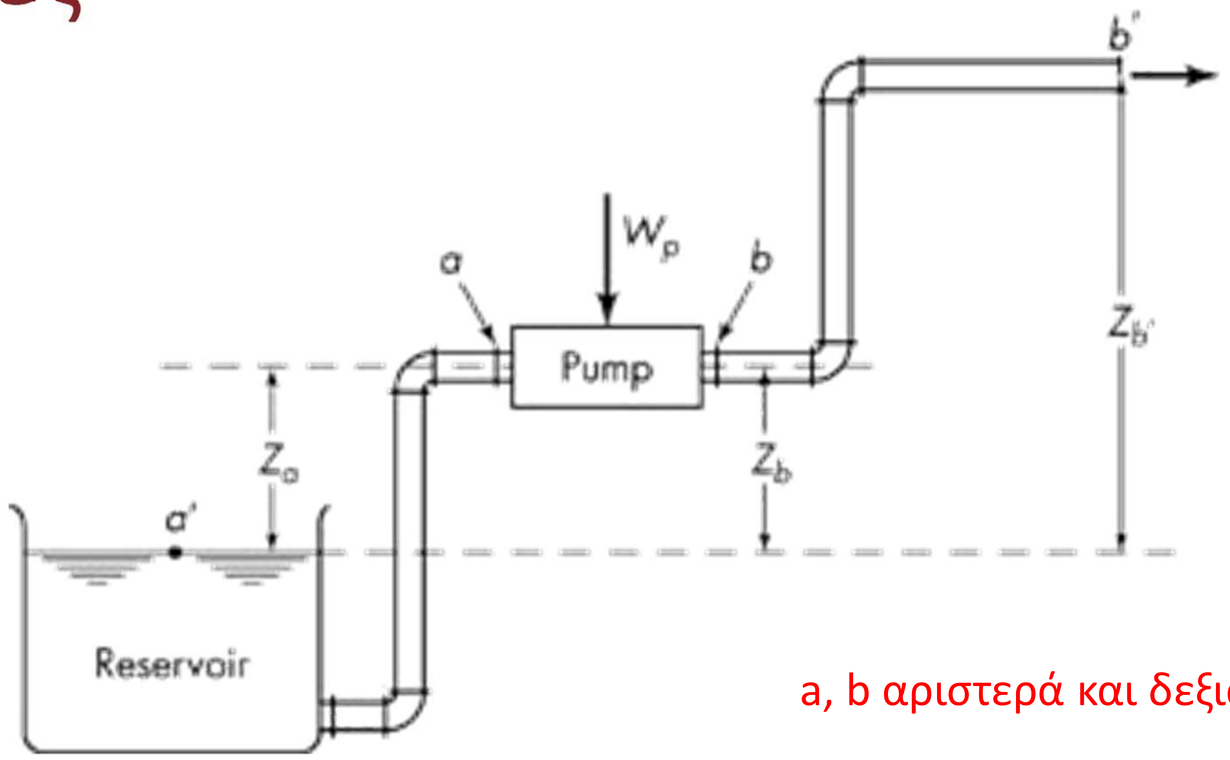
Α
Φρον

- 3ο διαδικτυ
- 3/4/2020

Αντλίες



a, b αριστερά και δεξιά της αντλίας

h$_f$=0, μόνο εδώ!

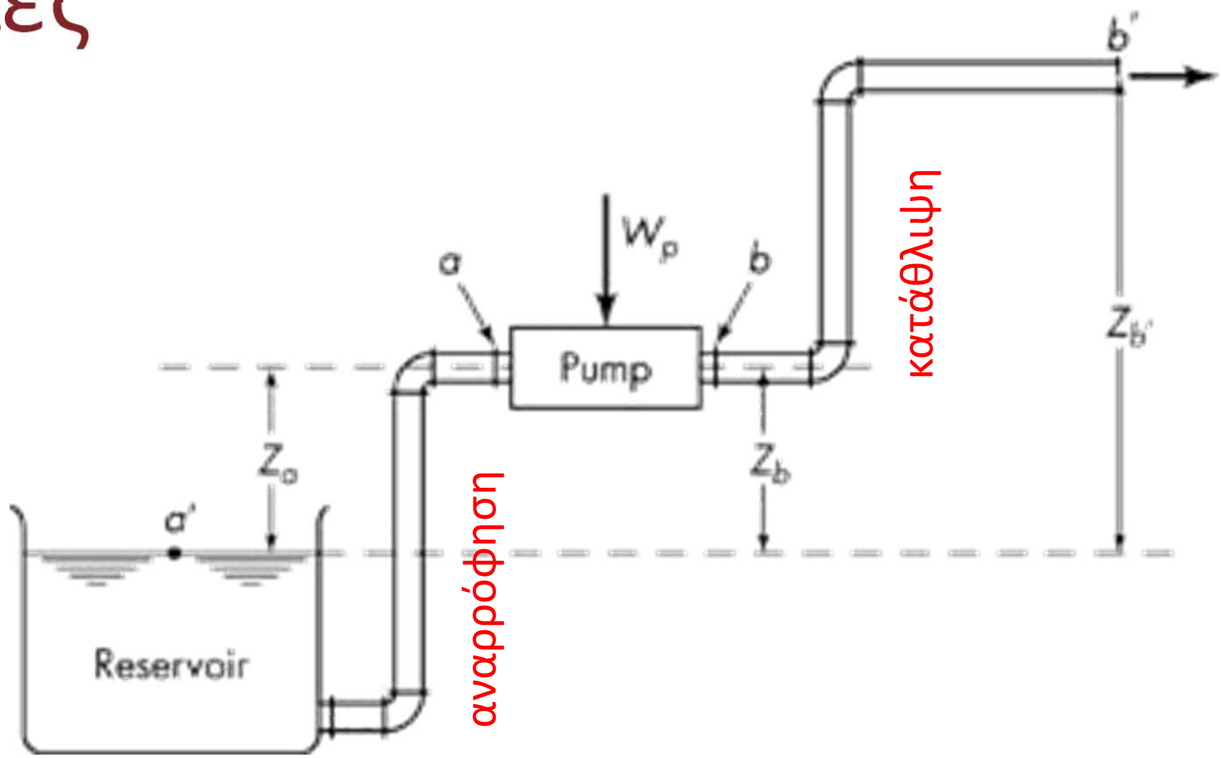
$$\frac{p_a}{\rho} + gZ_a + \frac{\alpha_a \overline{V}_a^2}{2} + \boldsymbol{\eta \cdot W_p} = \frac{p_b}{\rho} + gZ_b + \frac{\alpha_b \overline{V}_b^2}{2} + \cancel{h_f} \Longrightarrow$$

$$\eta \cdot W_p = \left(\frac{p_b}{\rho} + gZ_b + \frac{\alpha_b \overline{V}_b^2}{2}\right) - \left(\frac{p_a}{\rho} + gZ_a + \frac{\alpha_a \overline{V}_a^2}{2}\right)$$

$$\frac{p_a}{\rho} + gZ_a + \frac{\alpha_a \overline{V}_a^2}{2} + gH = \frac{p_b}{\rho} + gZ_b + \frac{\alpha_b \overline{V}_b^2}{2} \cancel{+\mathbf{h_f}}$$

h$_f$=0, μόνο εδώ!

Αντλίες



$$\frac{p_a}{\rho} + gZ_a + \frac{\alpha_a \overline{V}_a^2}{2} + \boxed{\eta \cdot W_p} = \frac{p_b}{\rho} + gZ_b + \frac{\alpha_b \overline{V}_b^2}{2} + \cancel{h_f} \Longrightarrow$$

$$\eta \cdot W'_{\iota\delta\alpha\nu\iota\kappa\acute{o}} = \left(\cancel{\frac{p_b}{\rho}} + gZ_b + \cancel{\frac{\alpha_b \overline{V}_b^2}{2}}\right) - \left(\cancel{\frac{p_a}{\rho}} + gZ_a + \cancel{\frac{\alpha_a \overline{V}_a^2}{2}}\right) = g\,(Z_b - Z_a) = W'_{\pi\rho\alpha\gamma\mu\alpha\tau\iota\kappa\acute{o}}$$

$$\frac{p_a}{\rho} + gZ_a + \frac{\alpha_a \overline{V}_a^2}{2} + \boxed{gH} = \frac{p_b}{\rho} + gZ_b + \frac{\alpha_b \overline{V}_b^2}{2}$$

, H σε μέτρα, gH ή W’ [=]m^2/s^2

3

Αντλίες

- Οι ποσότητες $\frac{p}{\rho} + gZ + \frac{\alpha \overline{V}^2}{2}$ ονομάζονται ολικές κεφαλές (αναρρόφησης ή κατάθλιψης αντίστοιχα) και συμβολίζονται με $\boldsymbol{H'}$ $\left[\frac{m^2}{s^2}\right]$

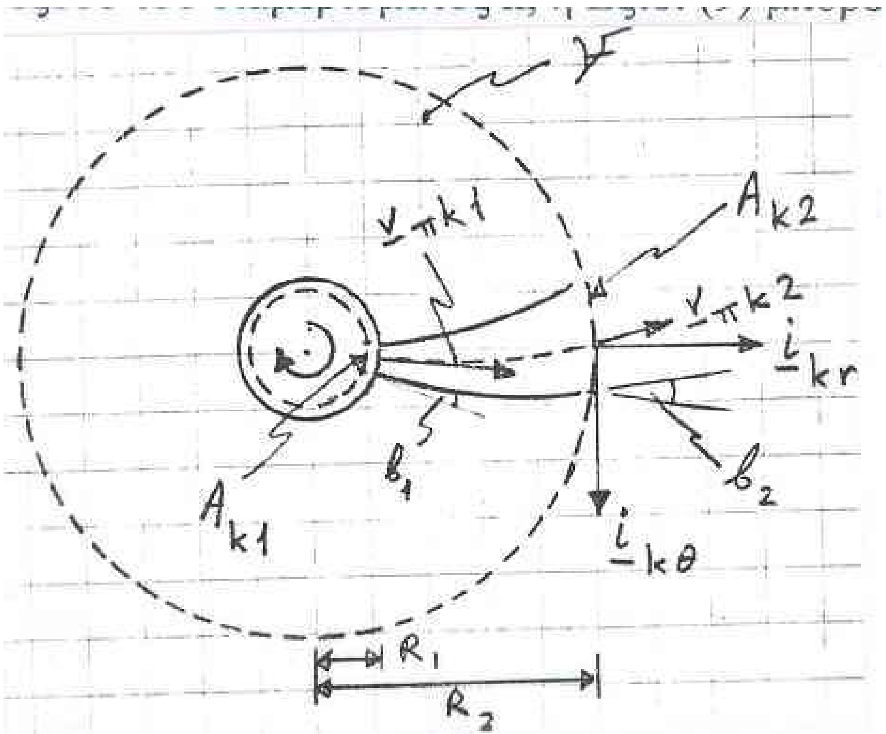
$$W_p = \frac{H'_b - H'_a}{\eta} = \frac{\Delta H'}{\eta} = (\mathrm{gH})/\eta$$

- Διαιρώντας με g προκύπτει:

H= $\frac{H\prime}{g} = \frac{p}{\rho\, g} + Z + \frac{\alpha \overline{V}^2}{2\, g}$ = [m^2/s^2]/(m/s^2) [=] m

- Ή στο fps: $\frac{H g_c}{g} = \frac{p g_c}{\rho\, g} + Z + \frac{\alpha \overline{V}^2}{2\, g}$
- Στις εξισώσεις αυτές κάθε όρος έχει μονάδες μήκους, m

Στροβιλοαντλίες ακτινικής ροής



Παρακινητής (φτερωτή) στροβιλοαντλίας ακτινικής ροής. Απεικονίζονται μόνο τα δύο γειτονικά πτερύγια που περικλείουν το διαμέρισμα k. Ο παρακινητής έχει K διαμερίσματα πανομοιότυπα με το απεικονιζόμενο. Ο άξονας z είναι κάθετος στη σελίδα και με κατεύθυνση προς αυτή. Μήκος παρακινητή κατά z = b.

Στροβιλοαντλίες ακτινικής ροής

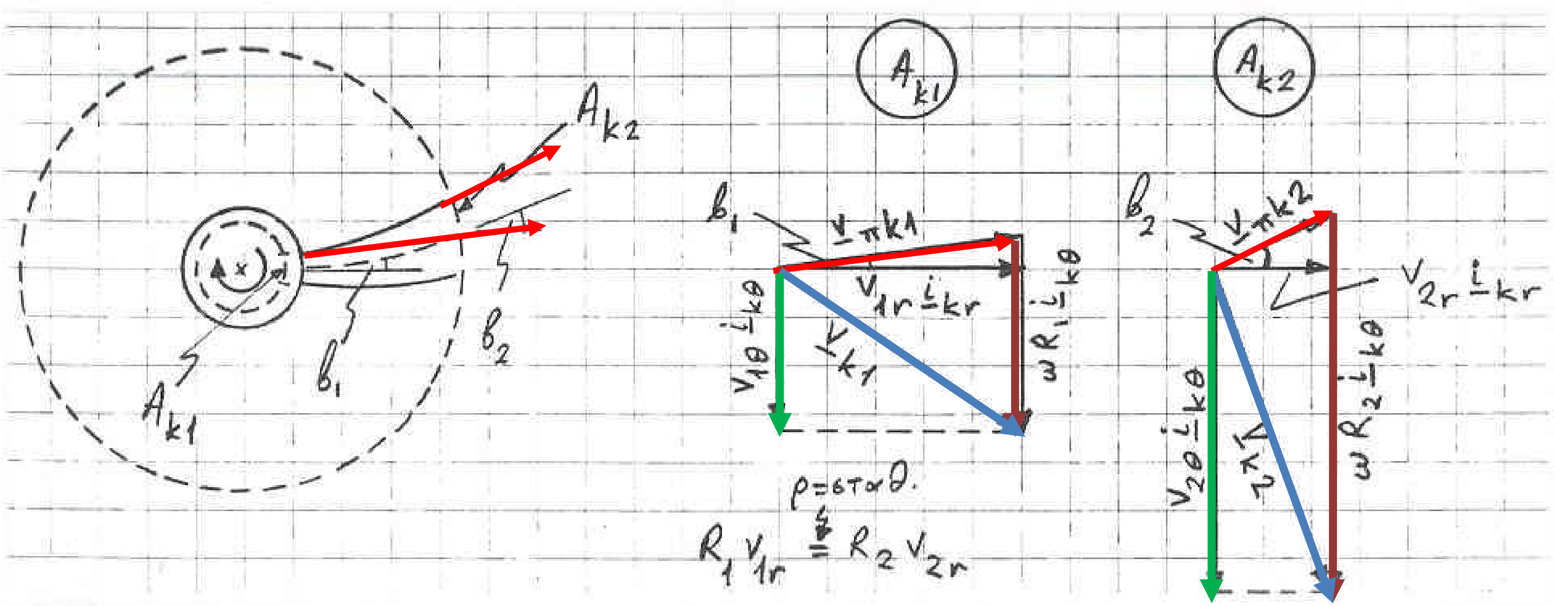
$$\mathbf{T}_{\text{shaft}} = \sum_{k=1}^{K} \mathbf{T}_{k}$$

$$\mathbf{T}_{k} = \iint_{A_{k1}} (\mathbf{r} \times \mathbf{v})\rho\, \mathbf{v}_{\pi} \cdot \hat{\mathbf{n}}\, dA + \iint_{A_{k2}} (\mathbf{r} \times \mathbf{v})\rho\, \mathbf{v}_{\pi} \cdot \hat{\mathbf{n}}\, dA$$

Εκτός των υποθέσεων 1, 2 και 3 που έχουν ενσωματωθεί στην Εξ. (12.9) θα κάνουμε τις ακόλουθες υποθέσεις

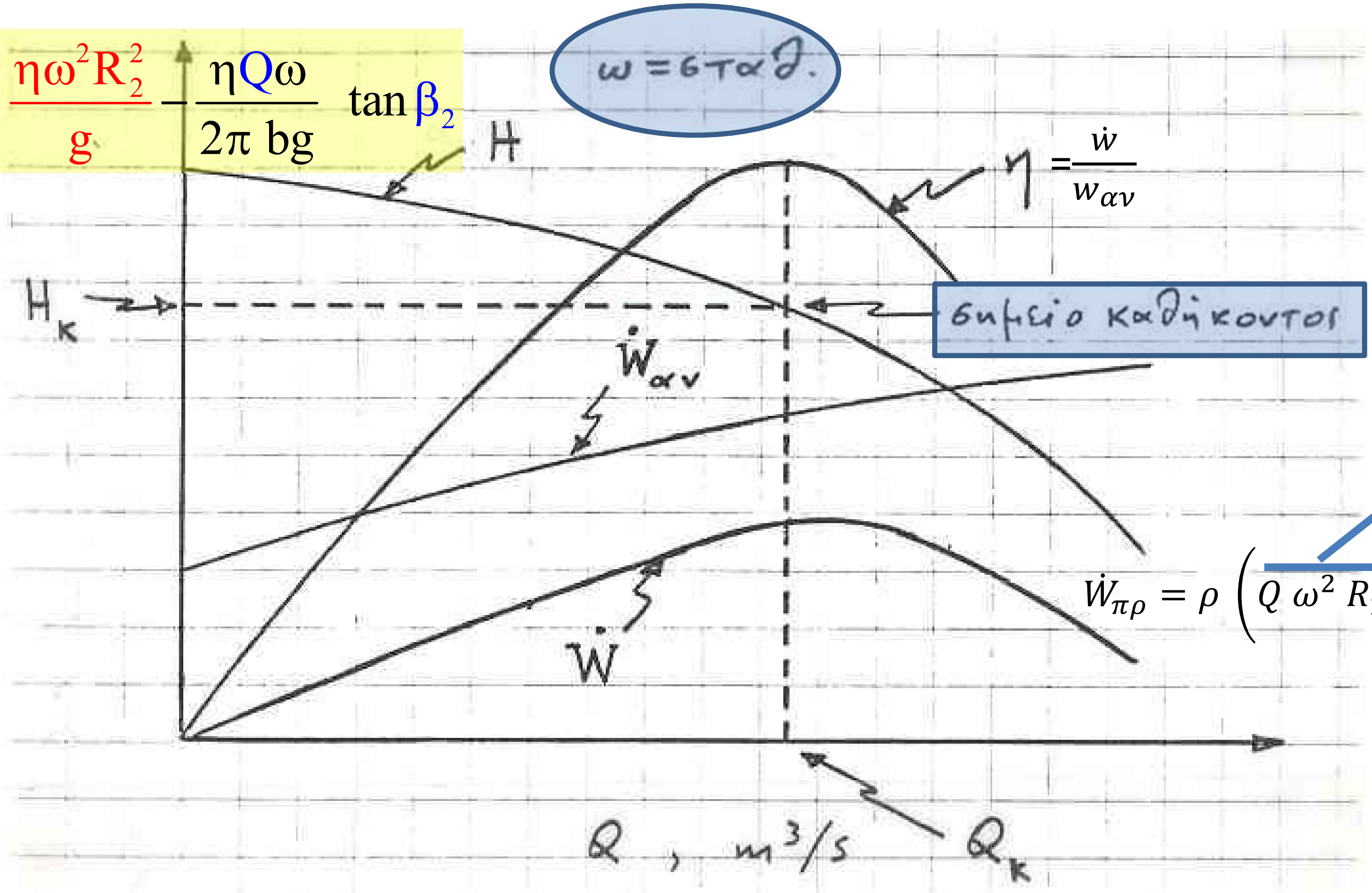
- $\mathbf{v}_{k1}$ = σταθ. επάνω στην A_{k1}, $\mathbf{v}_{k2}$ = σταθ. επάνω στην A_{k2}

$\mathbf{v}_{\pi k}$ // επιφάνεια που χωρίζει το διαμέρισμα k στη μέση, Σχ. 12.21



Χαρακτηριστικές καμπύλες φυγοκεντρικών αντλιών

$$H = \frac{\eta \omega^2 R_2^2}{g} - \frac{\eta Q \omega}{2\pi\, bg} \tan \beta_2$$

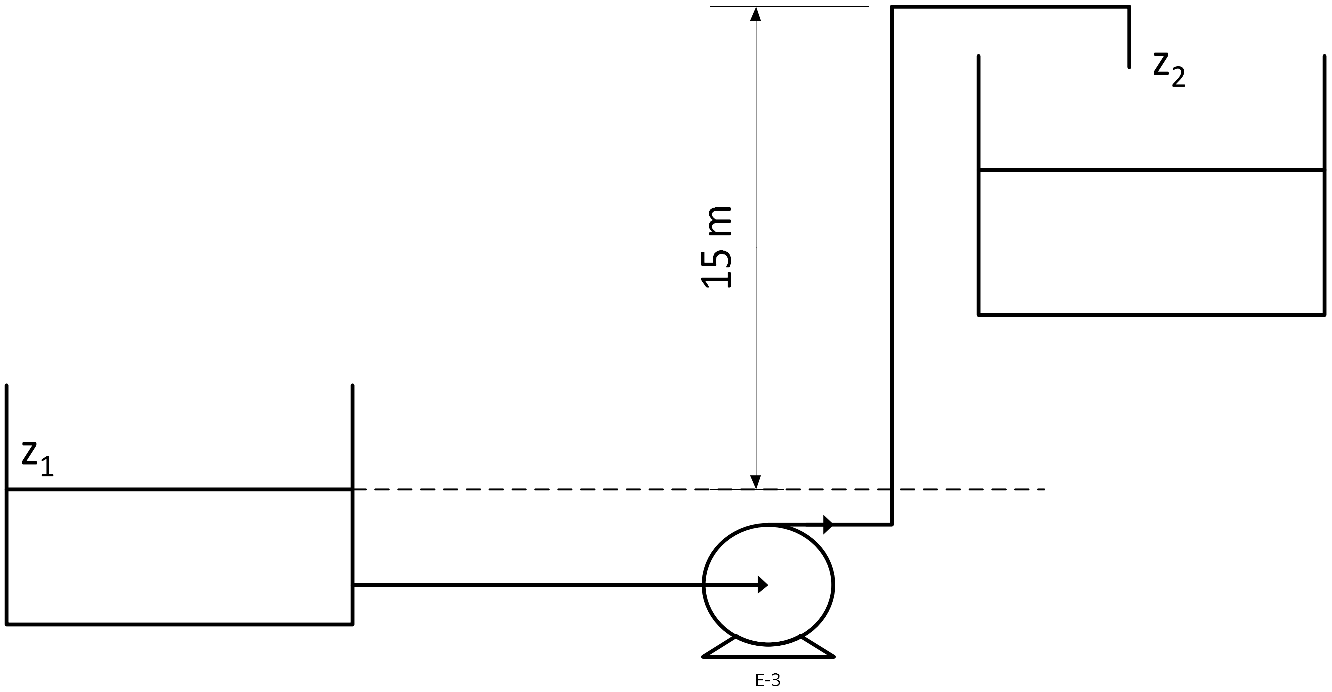


$$\dot{W}_{\pi\rho} = \rho \left(Q\, \omega^2 R_2^2 - \frac{Q^2 \omega}{2\pi\, b} \tan \beta_2 \right)$$

Άσκηση 1 (από τις παραδόσεις του συναδέλφου Δημήτρη Ματαρά)

Στην εγκατάσταση του σχήματος, αντλία αναρροφά από δεξαμενή διάλυμα πυκνότητας $1840\ \mathrm{kg/m^3}$ και ιξώδους περίπου όσο του νερού, μέσω σωληνώσεων 3 in (αναρρόφηση). Ο βαθμός απόδοσης της αντλίας είναι 60%. Η ταχύτητα μέσα στον αγωγό αναρρόφησης είναι $0.9\ \mathrm{m/s}$. Η αντλία καταθλίβει το υγρό με σωλήνα 2 in σε υπερκείμενη δεξαμενή σε ύψος 15 m. Οι μείζονες απώλειες τριβής h_μ στο σύστημα είναι $3\ \mathrm{kp \cdot m/kg}$. Ποια πίεση πρέπει να ασκεί η αντλία; Ποια η ιπποδύναμη της αντλίας σε hp (ισχύς);

$$h_\mu = 3\,\frac{\mathrm{kp \cdot m}}{\mathrm{kg}} = 3\,\frac{\mathrm{kp \cdot m}}{\mathrm{kg}} \cdot 9.81\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{kp}} \cdot \frac{\mathrm{kg \cdot m}}{\mathrm{N \cdot s}} = 29.43\,\frac{\mathrm{m^2}}{\mathrm{s^2}}$$



Άσκηση 1 (από τις παραδόσεις του Δ. Ματαρά)

Στην εγκατάσταση του σχήματος, αντλία αναρροφά από δεξαμενή διάλυμα πυκνότητας $1840\ \mathrm{kg/m^3}$ και ιξώδους περίπου όσο του νερού, μέσω σωληνώσεων 3 in (αναρρόφηση). Ο βαθμός απόδοσης της αντλίας είναι 60%. Η ταχύτητα μέσα στον αγωγό αναρρόφησης είναι $0.9\ \mathrm{m/s}$. Η αντλία καταθλίβει το υγρό με σωλήνα 2 in σε υπερκείμενη δεξαμενή σε ύψος 15 m. Οι μείζονες απώλειες τριβής h_μ στο σύστημα είναι $3\ \mathrm{kp \cdot m/kg}$. Ποια πίεση πρέπει να ασκεί η αντλία; Ποια η ιπποδύναμη της αντλίας σε hp (ισχύς);

- $q_\kappa = q_\alpha \Rightarrow \rho A_\kappa \overline{V}_\kappa = \rho A_\alpha \overline{V}_a \Rightarrow \overline{V}_\kappa = \overline{V}_a \left(\frac{D_a}{D_\kappa}\right)^2 = 0.9 \cdot \left(\frac{0.0762}{0.0508}\right)^2 \Rightarrow \boxed{\overline{V}_\kappa \cong 2.0\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}}$

Βασική Εξίσωση

$$\cancel{\frac{p_1}{\rho}} + gz_1 + a_1\cancel{\frac{\overline{V}_1^2}{2}} + \boxed{gH} = \cancel{\frac{p_2}{\rho}} + gz_2 + a_2\cancel{\frac{\overline{V}_2^2}{2}} + h_f$$

$h_f = h_{o\lambda}$

Όρος για αντλία

- Καθεστώς ροής στους σωλήνες : $\mathrm{Re}_\alpha = \frac{\rho \overline{V}_a D_a}{\mu} = \frac{1840 \cdot 0.9 \cdot 0.0762}{10^{-3}} = 1.26 \cdot 10^5$ *αναρρόφηση*

και $\mathrm{Re}_\kappa = \frac{\rho \overline{V}_\kappa D_\kappa}{\mu} = \frac{1840 \cdot 2.0 \cdot 0.0508}{10^{-3}} = 1.87 \cdot 10^5$ *κατάθλιψη*

- Οπότε σε όλο το σύστημα η ροή είναι τυρβώδης, δηλαδή : $\boxed{a_1 = a_2 = 1}$

Άσκηση 8.2

Στην εγκατάσταση του σχήματος, αντλία αναρροφά από δεξαμενή διάλυμα πυκνότητας $1840\ \mathrm{kg/m^3}$ και ιξώδους περίπου όσο του νερού, μέσω σωληνώσεων 3 in (αναρρόφηση). Ο βαθμός απόδοσης της αντλίας είναι 60%. Η ταχύτητα μέσα στον αγωγό αναρρόφησης είναι $0.9\ \mathrm{m/s}$. Η αντλία καταθλίβει το υγρό με σωλήνα 2 in σε υπερκείμενη δεξαμενή σε ύψος 15 m. Οι μείζονες απώλειες τριβής h_μ στο σύστημα είναι $3\ \mathrm{kp \cdot m/kg}$. Ποια πίεση πρέπει να ασκεί η αντλία; Ποια η ιπποδύναμη της αντλίας σε hp (ισχύς);

- Ακόμα : $\overline{V}_1 \cong 0$ επειδή η δεξαμενή είναι μεγάλη σε σχέση με τη διάμετρο σωλήνα
- $z_1 = 0$ και $z_2 = 15\mathrm{m}$ Θεωρούμε τη ταχύτητα στην έξοδο : $\overline{V}_2 = 0$ και $p_1 = p_2 = p_{atm}$
- Από τις παραπάνω παραδοχές η εξ. Bernoulli γίνεται :

$$gH = gL + h_{o\lambda}$$

- Στο σύστημα υπάρχουν 3 γωνίες και απότομη είσοδος και έξοδος. Λαμβάνουμε υπόψη τα παραπάνω χαρακτηριστικά ως συνεισφορές στις τριβές ως ελάσσονες απώλειες.

Άσκηση 8.2

Στην εγκατάσταση του σχήματος, αντλία αναρροφά από δεξαμενή διάλυμα πυκνότητας $1840\ \mathrm{kg/m^3}$ και ιξώδους περίπου όσο του νερού, μέσω σωληνώσεων 3 in (αναρρόφηση). Ο βαθμός απόδοσης της αντλίας είναι 60%. Η ταχύτητα μέσα στον αγωγό αναρρόφησης είναι $0.9\ \mathrm{m/s}$. Η αντλία καταθλίβει το υγρό με σωλήνα 2 in σε υπερκείμενη δεξαμενή σε ύψος L=15 m. Οι μείζονες απώλειες τριβής h_μ στο σύστημα είναι $3\ \mathrm{kp \cdot m/kg}$. Ποια πίεση πρέπει να ασκεί η αντλία; Ποια η ιπποδύναμη της αντλίας σε hp (ισχύς);

- Έτσι : $h_{o\lambda} = h_\mu + \overbrace{\boxed{\left(K_c + K_e + 3 \cdot K_f\right) \cdot \frac{\overline{V}_\kappa^2}{2}}}^{h_\varepsilon}$, όπου: $K_c = 0.4$ και $K_e = 1$
- Δίνεται : $h_\mu = 3\ \frac{\mathrm{kp \cdot m}}{\mathrm{kg}} = 3\ \frac{\mathrm{kp \cdot m}}{\mathrm{kg}} \cdot 9.81\ \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{kp}} \cdot \frac{\mathrm{kg \cdot m}}{\mathrm{N \cdot s}} = 29.43\ \frac{\mathrm{m^2}}{\mathrm{s^2}}$
- Επομένως : $h_{o\lambda} = 29.43\ \frac{\mathrm{m^2}}{\mathrm{s^2}} + \boxed{(0.4 + 1 + 3 \cdot 0.9) \cdot \frac{2.0^2}{2} \frac{\mathrm{m^2}}{\mathrm{s^2}}} \Rightarrow \boldsymbol{h_{o\lambda} = 37.5\ \frac{m^2}{s^2}}$
- Άρα η εξ. Bernoulli:

$$gH = gL + h_{o\lambda} \Rightarrow H = L + \frac{h_{o\lambda}}{g}, \text{ (L=15 m)}$$

$$H = 15\ \mathrm{m} + \frac{37.5}{9.81}\ \mathrm{m} = 18.8\ \mathrm{m}$$

Άσκηση 8.2

Στην εγκατάσταση του σχήματος, αντλία αναρροφά από δεξαμενή διάλυμα πυκνότητας $1840\ \mathrm{kg/m^3}$ και ιξώδους περίπου όσο του νερού, μέσω σωληνώσεων 3 in (αναρρόφηση). Ο βαθμός απόδοσης της αντλίας είναι 60%. Η ταχύτητα μέσα στον αγωγό αναρρόφησης είναι $0.9\ \mathrm{m/s}$. Η αντλία καταθλίβει το υγρό με σωλήνα 2 in σε υπερκείμενη δεξαμενή σε ύψος 15 m. Οι μείζονες απώλειες τριβής h_μ στο σύστημα είναι $3\ \mathrm{kp\cdot m/kg}$. Ποια πίεση πρέπει να ασκεί η αντλία; Ποια η ιπποδύναμη της αντλίας σε hp (ισχύς);

- $\boldsymbol{\Delta p = \rho g H} = 1840\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m^3}}\cdot 9.81\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s^2}}\cdot 18.8\ \mathrm{m} \Rightarrow \boldsymbol{\Delta p} = 3.39\cdot 10^5\,\mathrm{Pa}$ =**3.346** atm

β) <u>Υπολογισμός Ιπποδύναμης αντλίας</u>

- $P_f = \dot{m} g H = \rho\ Q\ g\ H$
- $\eta = \frac{P_f}{P_B} \Rightarrow P_B = \frac{P_f}{\eta}$

$$P_B = \frac{\rho\ q\ g\ H}{\eta}$$

- Επίσης : Q= $Q_\kappa = Q_a = \overline{V}_\kappa \cdot \frac{\pi D_\kappa^2}{4} \Rightarrow Q = 2\cdot\frac{3.14\cdot 0.0508^2}{4}\frac{\mathrm{m^3}}{\mathrm{s}} = 0.004\,\frac{\mathrm{m^3}}{\mathrm{s}}$
- Άρα : $\boldsymbol{P_B} = \frac{1840\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m^3}}\cdot 0.004\frac{\mathrm{m^3}}{\mathrm{s}}\cdot 9.81\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s^2}}\cdot 18.8\ \mathrm{m}}{0.6} = 2262\,\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{s}} = \mathbf{2.26\ kW} = 2.26\cdot 1.34\ \mathrm{hp} \cong$ $\mathbf{3.0\ hp}$ (Ιδανική, Ισχύς της αντλίας)
- **P_f=** 0.6* 2.6= 1,56 kW= **2.09 hp** (πραγματική ισχύς, η ισχύς που αποδίδεται στο ρευστό)

Αντλίες

$$gH_{\varepsilon\iota\sigma} + \frac{1}{2} < v_{\alpha\nu-} >^2 + h_{\varepsilon\iota\sigma} \leq \frac{(p_{atm} - p_{\upsilon})}{\rho} - g(\text{ΚΘΚΡ})$$

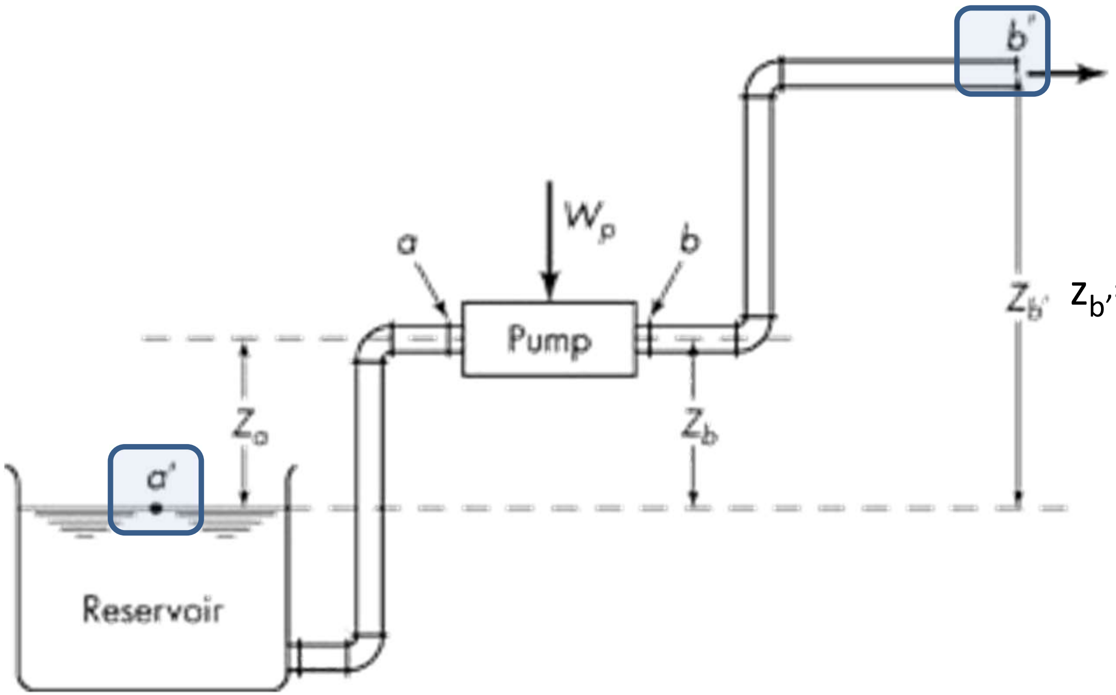
- Σπηλαίωση (cavitation): όταν η πίεση αναρρόφησης είναι ελάχιστα μεγαλύτερη από την τάση ατμών του υγρού μια ποσότητα υγρού μπορεί να εξατμιστεί μέσα στην αντλία. Μειώνεται η δυναμικότητα της αντλίας
- Για να αποφευχθεί η σπηλαίωση πρέπει η πίεση στην είσοδο να είναι μεγαλύτερη από την τάση ατμών του υγρού κατά ένα ποσό. Το ποσό αυτό λέγεται Καθαρό Θετικό Μανομετρικό Ύψος ή Καθαρή Θετική Κεφαλή Αναρρόφησης (ΚΘΚΑ) (NPSH= Net Positive Suction Head)

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

  - $p_{a'}$ απόλυτη πίεση στην επιφάνεια της δεξαμενής
  - p_v τάση ατμών
  - h_{fs} απώλειες λόγω τριβής στη γραμμή αναρρόφησης
  - Z_a ύψος αναρόφησης
- Στο fps: $\text{NPSH} = \frac{g_c}{g}\left(\frac{p_{a'} - p_v}{\rho} - h_{fs}\right) - Z_a$

Άσκηση 2 (από τις παραδόσεις του συναδέλφου Δημήτρη Ματαρά)

Βενζόλιο θερμοκρασίας 38 °C αντλείται μεσω του συστήματος που εμφανίζεται στο σχήμα, με ρυθμό **$9\ \mathrm{m^3/h}$**. Η πίεση της δεξαμενής είναι ίση με την ατμοσφαιρική. Η σχετική πίεση στο άκρο του σωλήνα κατάθλιψης είναι $350\ \mathrm{kN/m^2}$ ($P_{b'}$). Η κατάθλιψη βρίσκεται σε ύψος **3 m** και η αναρρόφηση σε ύψος **1.5 m** πάνω από τη στάθμη του υγρού στη δεξαμενή. Η γραμμή κατάθλιψης είναι σωλήνας 1.5” sch. 40. Οι απώλειες τριβής είναι $3.45\ \mathrm{kN/m^2}$και $38\ \mathrm{kN/m^2}$ στις γραμμές αναρρόφησης και κατάθλιψης, αντίστοιχα. Η απόδοση της αντλίας είναι 60%. Η πυκνότητα του βενζολίου είναι 865 $\mathrm{Kg/m^3}$ και η τάση ατμών του 26.2 $\mathrm{kN/m^2}$. Να υπολογιστούν α) το μανομετρικό ύψος που αναπτύσσει η αντλία, **H**, β) η ολική ισχύς, γ) το απαιτούμενο NPSH (ο κατασκευαστής δίνει NPSHR>3m).



$z_{b'}$=3 m

Άσκηση 2

- Ως επίπεδο αναφοράς επιλέγεται η στάθμη του υγρού στη δεξαμενή

$$\frac{p_{a'}}{\rho} + g z_{a'} + \frac{a_{a'} \overline{V}_{a'}^2}{2} + W_p \eta = \frac{p_{b'}}{\rho} + g z_{b'} + \frac{a_{b'} \overline{V}_{b'}^2}{2} + h_{o\lambda}$$

- $\overline{V}_{a'} = 0$, $\overline{V}_{b'} = \frac{Q}{A_{b'}} = \frac{9/3600}{\pi(1.610\times 0.0254)^2/4} = \mathbf{1.9\ m/s}$

- $\mathrm{Re} = \frac{1.9 \cdot 0.0409 \cdot 865}{0.525 \cdot 1 \quad ^{-3}} = 1.28\ 10^5$, άρα $a_{b'} \approx 1$

$$W_p\, \eta = \frac{p_{b'}}{\rho} - \frac{p_{a'}}{\rho} + h_{o\lambda} + g z_{b'} + \frac{a_{b'} \overline{V}_{b'}^2}{2} \Longrightarrow$$

$$W_p\, \eta =$$

$$= \frac{\mathbf{(101.325 + 350) \cdot 10^3}}{865} - \frac{101.325 \cdot 10^3}{865} + \frac{\mathbf{(38 + 3.45)} \cdot 10^3}{865} + 9.807 \cdot \mathbf{3.0}$$

$$+ \frac{\mathbf{1.9}^2}{2} = \frac{(350 + 38 + 3.45) \cdot 10^3}{865} + 9.807 \cdot 3.0 + \frac{1.9^2}{2} = 483.77\ \mathrm{J/Kg}$$

$$\boldsymbol{W_p\, \eta = \Delta H' = 483.77}\ \mathrm{J/Kg} \quad ([=]\ \mathrm{m^2/s^2})$$

Άσκηση 2

- Ο μαζικός ρυθμός ροής είναι:

$$\dot{m} = Q \cdot \rho = \frac{\mathbf{9}}{\mathbf{3600}} \cdot 865 = 2.16 \text{ kg/s}$$

$$P_B = \frac{\dot{m}\,\Delta H'}{\eta} = \frac{2.16 \cdot \mathbf{483.77}}{0.6} = \mathbf{1.74\ kW = 2.34\ hp}$$

- Η τάση ατμών αντιστοιχεί σε ένα μανομετρικό ύψος: $\frac{p_v}{\rho} = \frac{26.2 \cdot 10^3}{865} = 30.28 \text{ J/Kg}$

- Η τριβή στη γραμμή αναρρόφησης είναι: $h_{o\lambda,\alpha\nu\alpha\rho} = \frac{\mathbf{3.45 \cdot 10^3}}{865} = 3.99 \text{ J/Kg}$

$$\text{NPSH} = \frac{1}{g}\left(\frac{p_{a'} - p_v}{\rho} - h_{fs}\right) - Z_a = \frac{1}{9.807}\left(\frac{101.325 \cdot \ {}^{3}}{865} - 30.28 - 3.99\right) \text{-}0.0$$

$$\text{NPSH} = \boxed{8.45 \text{ m}} > \mathbf{3\ m}$$

ΚΘΚΡ $= \frac{1}{\mathrm{g}}\{\frac{(p_{atm} - p_v)}{\rho} - h_{\varepsilon\iota\sigma}\} - H_{\varepsilon\iota\sigma} - \frac{1}{2} < v_{\alpha\nu-} >^2$=8.45- ($\frac{1}{2}$) (1.9)^2=8.45-**1.805**= **6.645 m > 3 m**