

Μία αντλητική εγκατάσταση διακινεί νερό άρδευσης από ποταμό σταθερής στάθμης προς δεξαμενή με γεωμετρικό ύψος ανύψωσης 30 m ως προς τον ποταμό, με χρήση αγωγού μήκους $L=1100$ m, εσωτερικής διαμέτρου 132 mm και μέσης επιφανειακής τραχύτητας $\epsilon=0,15$ mm. Η αντλία έχει τις εξής χαρακτηριστικές καμπύλες στις 1450 rpm:

Q (m ³ /h)	0	40	70	100	130	160	200
H (mΣΥ)	40	37,5	34	30	24	15	0
η (%)	0	54	74	80	70	48	0

Η κλίση του αγωγού θεωρείται σταθερή, όπως και οι υδραυλικές απώλειες στο στόμιο αναρρόφησης $dh_a=1,0$ mΣΥ. Ο συντελεστής γραμμικών απωλειών του αγωγού θα υπολογιστεί με βάση τον αριθμό Reynolds που αντιστοιχεί στο ΚΣΔ της αντλίας. Η μέγιστη επιτρεπόμενη πίεση στον αγωγό είναι 7 bar. Δίνεται επίσης η ατμοσφαιρική πίεση $H_{atm}=10$ mΣΥ.

Α. Να βρεθεί το σημείο λειτουργίας της αντλίας και η ισχύς που απορροφά. Να λάβετε υπόψη και τις απώλειες κινητικής ενέργειας στην δεξαμενή κατάθλιψης.

Β. Η λειτουργία της αντλίας στο σημείο του ερωτήματος Α μπορεί να χαρακτηριστεί ως α) ικανοποιητική, β) αντιοικονομική, γ) προβληματική ή δ) αδύνατη και γιατί;

Γ. Εάν ο κινητήρας επιτρέπει συνεχή μεταβολή των στροφών, σε ποιες στροφές η παροχή της αντλίας θα γίνει ίση με 100 m³/h;

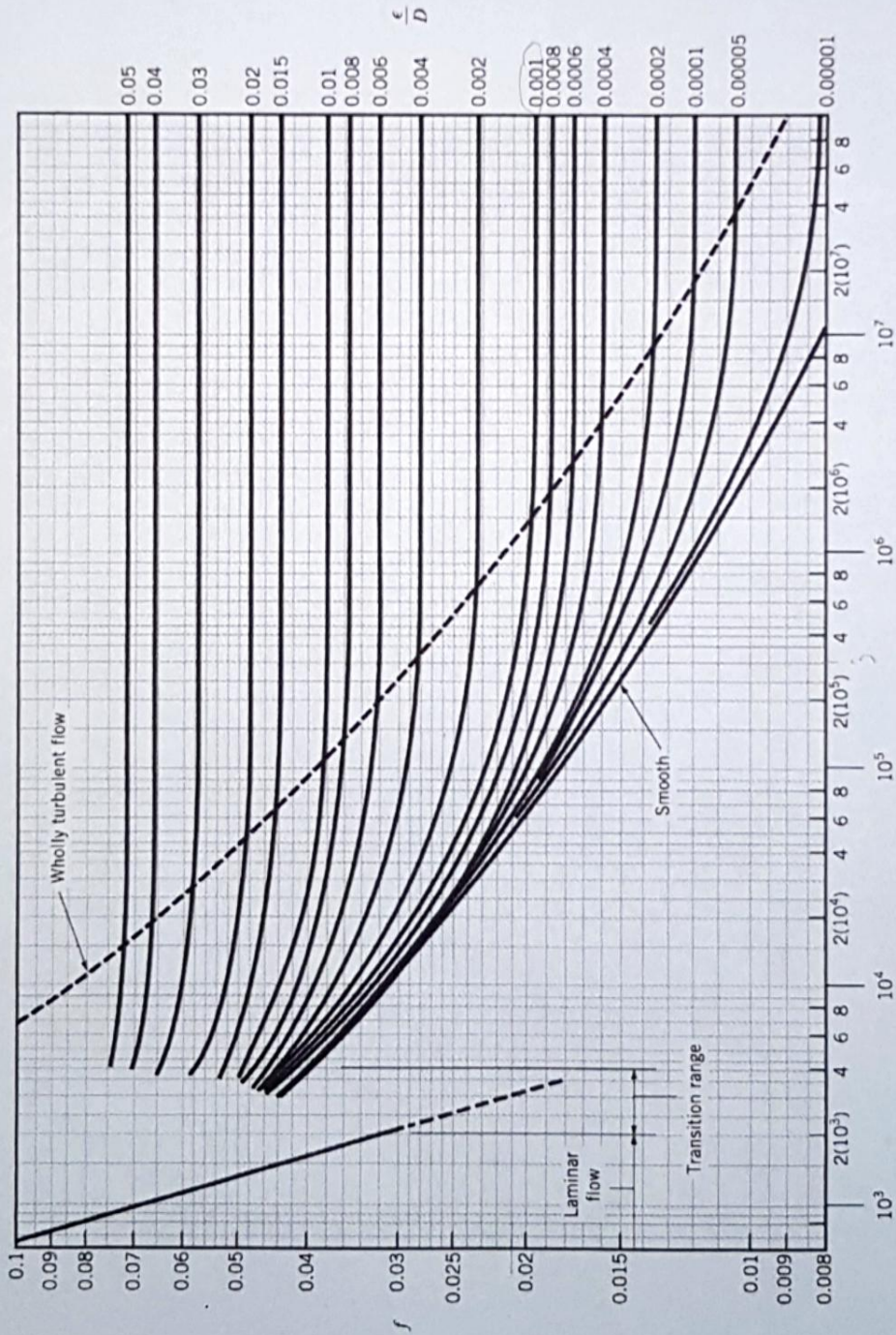
Δ. Η λειτουργία της αντλίας στις στροφές που βρήκατε στο ερώτημα Γ μπορεί να χαρακτηριστεί ως α) ικανοποιητική, β) αντιοικονομική, γ) προβληματική ή δ) αδύνατη και γιατί; Λάβετε υπόψη επίσης τη μέγιστη δυνατή αύξηση της πίεσης που προκαλεί η αντλία στις συγκεκριμένες στροφές.

Ε. Παραμένοντας στις 1450 rpm, εξετάζουμε τη σύνδεση μιας δεύτερης ταυτόσημης με την αρχική αντλίας σε παράλληλη ή σε εν σειρά λειτουργία. Να βρεθεί και στις δύο περιπτώσεις το σημείο λειτουργίας των αντλιών (της κάθε μίας και το συνολικό), καθώς και η ισχύς που απορροφούν οι δύο αντλίες.

ΣΤ. Θεωρείτε σκόπιμη την εν σειρά ή την παράλληλη σύνδεση και γιατί;

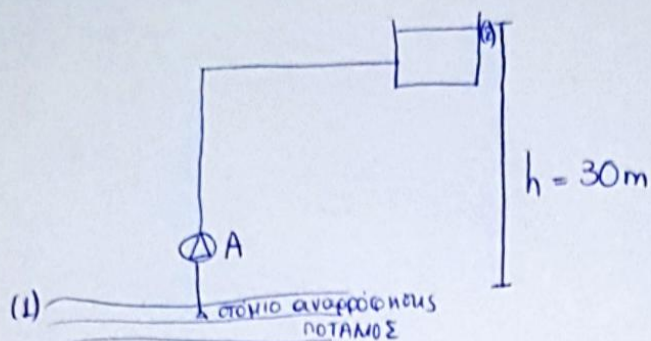
Ζ. Είναι δυνατή η τοποθέτηση των δύο αντλιών εν σειρά στο ίδιο αντλιοστάσιο (δηλαδή στο ίδιο υψόμετρο δίπλα στον ποταμό);

ΟΔΗΓΙΕΣ: Απαγορεύεται η χρησιμοποίηση σημειώσεων, ή βιβλίων, ή οποιουδήποτε άλλου βοηθήματος. **Απαγορεύεται η χρήση μολυβιού για την συγγραφή του διαγωνίσματος.** Οι φοιτητές πρέπει να επιδεικνύουν την ταυτότητά τους κατά τους σχετικούς ελέγχους. Απαγορεύεται κάθε είδους συνεργασία και συνομιλία μεταξύ των φοιτητών. Δεν επιτρέπεται η αποχώρηση από την αίθουσα για οποιονδήποτε λόγο πριν την παράδοση του γραπτού. **Απαγορεύεται η χρήση κινητού τηλεφώνου.** Η εκφώνηση των θεμάτων παραδίδεται μαζί με το γραπτό.



20 - 6 - 2017

(1)



$$L = 1100\text{m}$$

$$D = 132\text{mm} = 0.132\text{m}$$

$$\varepsilon = 0.15\text{mm} = 0.15 \times 10^{-3}\text{m}$$

$$\delta h_{\sigma} = 1.0\text{m ΣΥ}$$

$$\lambda \rightarrow \text{στο } Re \text{ του ΚΣΛ}$$

$$P_{\max} = 7\text{bar} = 7 \times 10^5\text{Pa}$$

$$H_{\text{actm}} = 10\text{m ΣΥ}$$

Bernoulli (1) $\rightarrow$ (2)

$$H_{\text{actm}} + 0 + z_1 - \delta h_{\sigma} - \delta h_{\text{hp}} - \delta h_{\text{out}} + H_A = H_{\text{actm}} + 0 + z_2$$

$\downarrow$ γραμμικές ανώσεις $\downarrow$ ανώσεις λόγω κινητικής ενέργειας

$$H_A = (z_2 - z_1) + \delta h_{\sigma} + \delta h_{\text{hp}} + \delta h_{\text{out}} \quad (1)$$

$$\bullet \quad z_2 - z_1 = h = 30\text{m} \quad (2)$$

$$\bullet \quad \delta h_{\sigma} = 1.0\text{m ΣΥ} \quad (3)$$

• Υπολογισμός γραμμικών ανώσεων.

$$\delta h_{\text{hp}} = \lambda \frac{L}{D} \frac{C^2}{2g} \quad * (4)$$

$\hookrightarrow$ συντελεστής γραμμικών ανώσεων

$$Q = C \cdot A \Rightarrow C = \frac{Q}{A} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} C = \frac{4Q}{\pi D^2 \cdot 3600} \quad (\text{m/s}) \quad * (2)$$

②

$$\left. \begin{array}{l} (*) (1) \\ (*) (2) \end{array} \right\} \Rightarrow \Delta h_{\text{hsp}} = \lambda \frac{L}{D} \frac{\left(\frac{4Q}{\pi D^2 \cdot 3600} \right)^2}{2g}$$

$$\Delta h_{\text{hsp}} = \lambda \frac{L}{D} \frac{16}{\pi^2 D^4 \cdot 3600^2 \cdot 2g} Q^2 \quad * (3)$$

Υπολογισμός λ

Λέει να υπολογιστεί με βάση τον αριθμό Reynolds που αντιστοιχεί στο ΚΣΛ της αντλίας.
Το ΚΣΛ της αντλίας είναι αυτό με τον μέγιστο βαθμό απόδοσης (ΕΔΟ : $Q = 100 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 30 \text{ m}$, $\eta = 80\%$)

1) Υπολογίω την ταχύτητα στο ΚΣΛ

$$* (2) \Rightarrow C_{\text{ΚΣΛ}} = \frac{4 \times 100}{\pi (0.132)^2 \times 3600} \Rightarrow C_{\text{ΚΣΛ}} = 2.03 \text{ m/s}$$

2) Υπολογίω τον αριθμό Reynolds στο ΚΣΛ

$$Re = \frac{C \cdot D}{\nu}$$

$$\nu = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

(ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΟ Ίξωδες νερού)
πρέπει να το ξέρω για το νερό

$$Re_{\text{ΚΣΛ}} = \frac{(2.03 \text{ m/s})(0.132 \text{ m})}{10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$Re_{\text{ΚΣΛ}} = 2.68 \times 10^5$$

3) Υπολογισμός των σχετικών τραχύτητας.
 (επιφάνεια) τραχύτητα

$$\epsilon_s = \frac{\epsilon}{D}$$

$$\epsilon = 0.15 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$D = 0.132 \text{ m}$$

$$\epsilon_s = 0.001$$

4) Διαγράμμα Moody

$$Re_{KSL} = 2.68 \times 10^5$$

$$\epsilon_s = 0.001$$

$$\lambda = 0.021$$

5) Από τη σχέση *(3), βρίσκω το δh_{hp} .

$$*(3) \Rightarrow \delta h_{hp} = 0.021 \cdot \frac{1100}{0.132} \cdot \frac{16}{\pi^2 (0.132)^4 \cdot 3600^2 \cdot 2 \cdot 9.81} Q^2$$

$$\delta h_{hp} = 0.003675 Q^2 \quad (4)$$

ΠΡΟΣΟΧΗ : Το ΚΣΛ δεν είναι το ΣΛ της εγκατάστασης. Χρησιμοποιείται μόνο για τον υπολογισμό του λ . Αυτό το λ είναι ο συντελεστής γραμμικών απωλειών και δεν έχει καμία σχέση με το λ της παραβολής!

• Υπολογισμός ενέργειας απωλειών λόγω κινητικής

$$\delta h_{out} = \frac{c^2}{2g} \quad *(4)$$

$$\left. \begin{array}{l} *(2) \\ *(4) \end{array} \right\} \Rightarrow \delta h_{out} = \frac{\left(\frac{4Q}{\pi D^2 3600} \right)^2}{2g}$$

$$\delta h_{out} = \frac{16}{\pi^2 D^4 \cdot 3600^2 \cdot 2g} Q^2$$

$$\delta h_{out} = \frac{16}{\pi^2 (0.132)^4 \times 3600^2 \times 2 \times 9.81} Q^2$$

$$\delta h_{out} = 0.000021 Q^2 \quad (5)$$

Ενομένων από (1), (2), (3), (4), (5)

$$H_A = 30 + 1 + 0.003675 Q^2 + 0.000021 Q^2$$

$$H_A = 31 + 0.003696 Q^2 \quad \Sigma \omega \lambda / \mu \dot{\mu}$$

A]

Q	H _A
0	31
40	36.91
70	49.11
100	67.96
130	93.46
160	125.62
200	178.84

Φτιάχνω γραφικά των $\Sigma \omega \lambda / \mu \dot{\mu}$. Το σημείο τομής της με την χαρτί της αντλίας A μου δίνει το $\Sigma \omega \lambda / \mu \dot{\mu}$.

$$Q = 42 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$H = 37.5 \text{ m} \Sigma \gamma$$

$$\eta = 56\%$$

$$N = \frac{\rho Q H}{\eta \cdot 3600} = \frac{(1000 \text{ kg/m}^3)(9.81 \text{ m/s}^2)(42 \text{ m}^3/\text{h})(37.5 \text{ m} \Sigma \gamma)}{(0.56) \times (3600 \frac{\text{s}}{\text{h}})}$$

$$N = 7664 \text{ W} = 7.664 \text{ kW}$$

$$\boxed{B} \quad \left. \begin{array}{l} P_{\max} = 7 \times 10^5 \text{ Pa} \\ P = \rho g H \end{array} \right\} H_{\max} = \frac{P}{\rho g} = \frac{7 \times 10^5}{1000 \times 9.81}$$

$$H_{\max} = 71.36 \text{ m ΣΥ}$$

ΜΕΓΙΣΤΟ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΟ
ΜΑΘΗΜΕΤΡΙΚΟ

Στο ΣΛ του Α ερωτήματος

$$H = 37.5 \text{ m ΣΥ} < H_{\max}$$

Άρα η λύση αρχικά είναι εφικτή.
Όμως λειτουργεί με βαθμό απόδοσης 56% και
ο μέγιστος δυνατός είναι 80%.
Επομένως, η λύση είναι αντιστοικονομική, λόγω χαμη-
λού βαθμού απόδοσης.

$$\boxed{\Gamma} \quad \begin{aligned} Q_N &= 100 \text{ m}^3/\text{h} \\ H_N &= 31 + 0.003696 \times 100^2 \quad (\text{από σωλήνη}) \\ H_N &= 67.96 \text{ m ΣΥ} \end{aligned}$$

$$\left. \begin{array}{l} H = \lambda Q^2 \\ (Q_N, H_N) \end{array} \right\} \lambda = \frac{H_N}{Q_N^2} = \frac{67.96}{100^2} \Rightarrow \lambda = 6.796 \times 10^{-3}$$

Q	H
0	0
40	10.87
70	33.3
100	67.96
130	114.85

Το σημείο τομής της παραβολής με την
 χαρμή της αντλίας στις πολλές στροφές που
 δίνει το παλίο αντιστοιχεί σε 1. (6)

$$Q_n = 71 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$H_n = 34.26 \text{ m ΣΥ}$$

$$\eta_n = 75\%$$

$$\frac{U_N}{U_n} = \frac{Q_N}{Q_n} \Rightarrow U_N = U_n \frac{Q_N}{Q_n} = (1450 \text{ rpm}) \frac{100}{71}$$

$$U_N = 2042.25 \text{ rpm}$$

Δ] Μέγιστη δυνατή αύξηση πίεσης προκαλείται, όταν $Q=0$.
 Για τις $U_N = 2042.25 \text{ rpm}$ $Q_N = 0$ $H_{N, \max} = ?$
 $U_n = 1450 \text{ rpm}$ $Q_n = 0$ $H_{n, \max} = 40 \text{ m ΣΥ}$

$$\frac{U_N}{U_n} = \sqrt{\frac{H_{N, \max}}{H_{n, \max}}} \Rightarrow H_{N, \max} = \left(\frac{U_N}{U_n} \right)^2 H_{n, \max}$$

$$H_{N, \max} = \left(\frac{2042.25}{1450} \right)^2 40$$

$$H_{N, \max} = 79.35 \text{ m ΣΥ} > H_{\max, \text{ επιτρεπόμενο}}$$

Άρα η λύση είναι αδύνατη.

Ε] Πτιάχνω γραφικά τις αυτές Α+Β, σε σειρά και Α+Β, παράλληλα. Το σημείο τέρμας της καθέμιας αντίστοιχα με την σωλήνα που δίνει το ΣΑ της.

Σε σειρά

$$Q_{AB} = 94 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$H_{AB} = 63.7 \text{ m ΣΥ}$$

$$Q_A = Q_B = 94 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$H_A = H_B = \frac{H_{AB}}{2} = 31.85 \text{ m ΣΥ}$$

$$\eta_A = \eta_B = 79\%$$

$$N_A = N_B = \frac{\delta Q_A H_A}{\eta_A \cdot 3600} = 10327 \text{ W} = 10.327 \text{ kW}$$

$$N_{\text{ολ}} = 2N_A = 20.654 \text{ kW}$$

Παράλληλα

$$Q_{AB} = 46 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$H_{AB} = 38.8 \text{ m ΣΥ}$$

$$Q_A = Q_B = \frac{Q_{AB}}{2} = 23 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$H_A = H_B = 38.8 \text{ m ΣΥ}$$

$$\eta_A = \eta_B = 32\%$$

$$N_A = N_B = \frac{\delta Q_A H_A}{\eta_A \cdot 3600} = 7599 \text{ W} = 7.599 \text{ kW}$$

$$N_{\text{ολ}} = 2N_A \Rightarrow N_{\text{ολ}} = 15.198 \text{ kW}$$

ΣΤ

Σκοπιμότερη είναι η τοποθέτηση αντλίας σε σειρά, γιατί αυξάνει πολύ περισσότερο την παροχή με ανάλογη αύξηση ισχύος.

Ζ

Αν τοποθετηθούν 2 αντλίες σε σειρά, όπως φαίνεται από το διάγραμμα, για $Q = 0$, $H = 80 \text{ m}$ $\Sigma Y > H_{\text{max}}$, επιτρεπόμενο.
Αρα δεν μπορούν να τοποθετηθούν.

