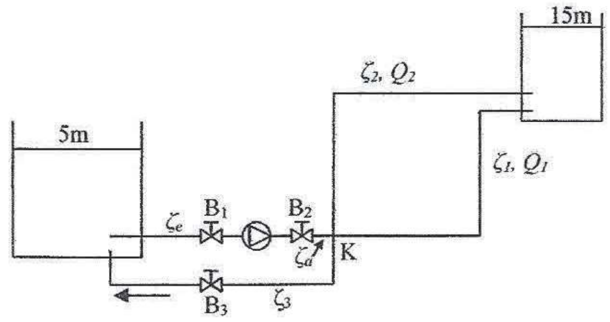
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ, ΣΧΟΛΗ Μ.Π.Δ. **«ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ» (2-9-2017)**
ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΟΥ:
ΑΣΚΗΣΕΙΣ (6.0)

Για το ακόλουθο κύκλωμα δίδονται οι χαρακτηριστικές καμπύλες της αντλίας στις $n = 3000$ *rpm*, όπου και λειτουργεί.

Α. Να βρεθούν οι παροχές Q_1 και Q_2 και να υπολογιστεί η **ισχύς** της αντλίας όταν η βάνα Β3 είναι **τελείως κλειστή**.
Β. Σε μία φάση λειτουργίας της εγκατάστασης είναι επιθυμητή η μείωση της συνολικής παροχής ($Q_{12}=Q_1+Q_2$) κατά 30%. Για το λόγο αυτό εξετάζονται οι ακόλουθες περιπτώσεις:
Β1. Κλείσιμο της βάνας Β1 ή εναλλακτικά της Β2, δηλαδή αύξηση κατά $\delta\zeta$ του συντελεστή αντίστασης του αντίστοιχου κλάδου. Ποιός από τους δύο αυτούς χειρισμούς πρέπει να προτιμηθεί και γιατί; Ποιά η τιμή του $\delta\zeta$;
Β2. Μεταβολή της ταχύτητας περιστροφής της αντλίας. Ποιά πρέπει να είναι η νέα τιμή της;
Β3. Τοποθέτηση κλάδου by-pass, του οποίου να ευρεθεί η τιμή του συντελεστή αντίστασης ζ_3, συμπεριλαμβανομένης της βάνας Β3 (η οποία προφανώς δεν είναι πλέον κλειστή).
Β4. Ποιά από τις τρεις παραπάνω λύσεις (Β1, Β2 και Β3) είναι προτιμότερη, λαμβάνοντας ως κριτήριο την ισχύ που απορροφά η αντλία, αλλά και την ασφάλεια λειτουργίας της ως προς την σπηλαίωση; (ζητείται όχι απλώς ποιοτική απάντηση αλλά ποσοτική)
Οι συντελεστές ζ των απωλειών στους κλάδους του δικτύου (όπου $\delta h_f = \zeta Q^2$, με δh_f σε $m\Sigma Y$ και Q σε m^3/h), δίδονται: $\zeta_1=1,1\text{x}10^{-2}$, $\zeta_2=3,4\text{x}10^{-3}$, $\zeta_e=5,0\text{x}10^{-4}$, $\zeta_a=15,0\text{x}10^{-4}$. Οι απώλειες στις διακλαδώσεις θεωρούνται αμεληταίες.

Q (m^3/h)	0	20	40	50	60	80	100
H ($m\Sigma Y$)	31,0	29,0	25,7	23,5	20,8	13,5	0,0
η (%)	0,0	48,5	75,5	81	76,5	47	0,0

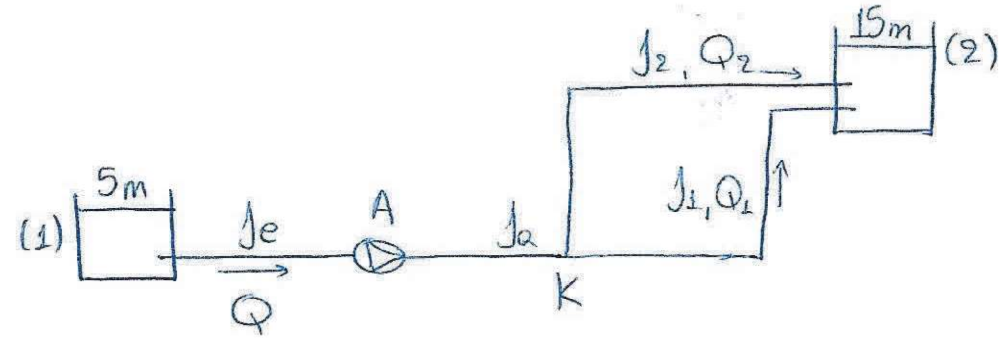
Για διευκόλυνση, σε κάποια ερωτήματα οι δύο παράλληλοι κλάδοι μετά τον κόμβο Κ **μπορούν να αντικατασταθούν από ισοδύναμο κλάδο**, με παροχή το άθροισμα των δύο παροχών. Αν υιοθετήσετε τη συγκεκριμένη προσέγγιση, **αποδείξτε τη σχέση που δίνει τον συντελεστή αντίστασης του ισοδύναμου κλάδου.**



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.*

Άσκηση (2-9-2017)

A



Bernoulli $K \to (2)$ (πάνω αγωγός)

$$H_{OK} - J_2 Q_2^2 = H_{atm} + 0 + 15$$

$$H_{OK} - H_{atm} = 15 + J_2 Q_2^2$$

$$H_{OK}' = 15 + J_2 Q_2^2$$

$$\boxed{Q_2 = \sqrt{\frac{H_{OK}' - 15}{J_2}}} \quad (1)$$

Bernoulli $K \to (2)$ (κάτω αγωγός)

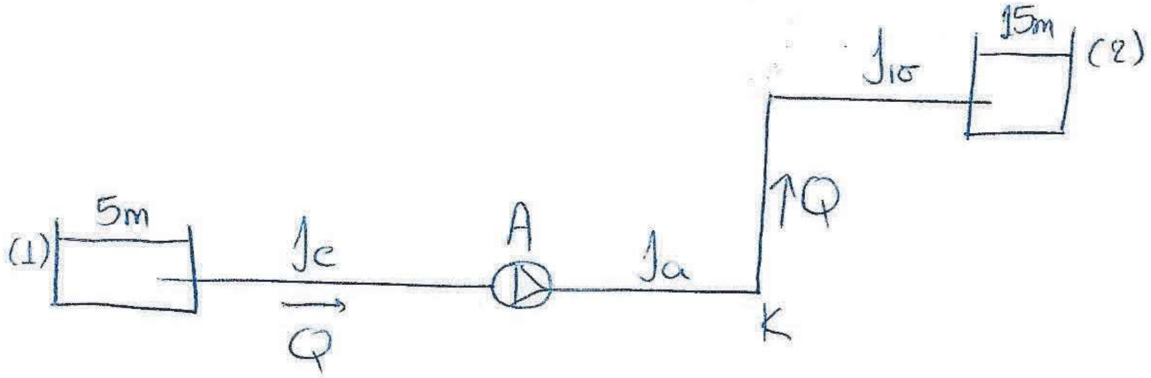
$$H_{OK} - J_1 Q_1^2 = H_{atm} + 0 + 15$$

$$H_{OK} - H_{atm} = 15 + J_1 Q_1^2$$

$$H_{OK}' = 15 + J_1 Q_2^2$$

$$\boxed{Q_1 = \sqrt{\frac{H_{OK}' - 15}{J_1}}} \quad (2)$$

(Ισοδύναμο σύστημα)



Bernoulli $K \to (2)$

$$H_{0K} - J_{1\sigma} Q^2 = H_{atm} + 0 + 15$$

$$H_{0K} - H_{atm} = 15 + J_{1\sigma} Q^2$$

$$H_{0K}' = 15 + J_{1\sigma} Q^2$$

$$\boxed{Q = \sqrt{\frac{H_{0K}' - 15}{J_{1\sigma}}}} \quad (3)$$

Κόμβος K: $\boxed{Q = Q_1 + Q_2}$ (4)

$$(4) \xRightarrow[(3)]{(1),(2)} \sqrt{\frac{H_{0K}' - 15}{J_{1\sigma}}} = \sqrt{\frac{H_{0K}' - 15}{J_1}} + \sqrt{\frac{H_{0K}' - 15}{J_2}}$$

$$\boxed{\frac{1}{\sqrt{J_{1\sigma}}} = \frac{1}{\sqrt{J_1}} + \frac{1}{\sqrt{J_2}}}$$

Σχέση για παράλληλους αγωγούς

$$\frac{1}{\sqrt{J_{10}}} = \frac{1}{\sqrt{(1.1 \times 10^{-2})}} + \frac{1}{\sqrt{(3.4 \times 10^{-3})}}$$

$$J_{10} = 1.4043 \times 10^{-3}$$

Bernoulli $(1) \rightarrow (2)$ (ισοδ. σύστημα)

$$H_{ατμ} + 0 + 5 - J_e Q^2 + \underline{\underline{H_A}} - J_a Q^2 - J_{10} Q^2 =$$
$$= H_{ατμ} + 0 + 15$$

$$H_A = (15 - 5) + (J_e + J_a + J_{10}) Q^2$$

$$\boxed{H_A = 10 + 3.4043 \times 10^{-3} Q^2}$$ Σωλ/μού

Q	H_A
0	10
20	11.36
40	15.45
50	18.51
60	22.26
80	31.79
100	44.04

Φτιάχνω γραφικά την χαρ/κή της αντλίας A και την σωλ/μού. Το σημείο τομής τους μου δίνει το ΣΛ:

$Q = 57 m^3/h$
$H = 21.7 m ΣΥ$
$\eta = 79\%$

$$N = \frac{\gamma Q H}{\eta \cdot 3600} \overset{(\gamma = \rho g)}{=\!=} \frac{1000 \frac{kg}{m^3} \times 9.81 \frac{m}{s^2} \times 57 \frac{m^3}{h} \times 21.7 m ΣΥ}{(0.79)(3600 \frac{s}{h})} = 4267 W$$

$$N = 4.267 kW$$

$$(3) \Rightarrow H_{OK}' = 15 + J_{10} Q^2$$

$$H_{OK}' = 15 + 1.4043 \times 10^{-3} \times 57^2$$

$$H_{OK}' = 19.56\ m\ \Sigma\Upsilon$$

$$(2) \Rightarrow Q_2 = \sqrt{\frac{(19.56 - 15)}{(3.4 \times 10^{-3})}}$$

$$Q_2 = 36.62\ m^3/h$$

$$(4) \Rightarrow Q_1 = Q - Q_2 \Rightarrow Q_1 = 20.38\ m^3/h$$

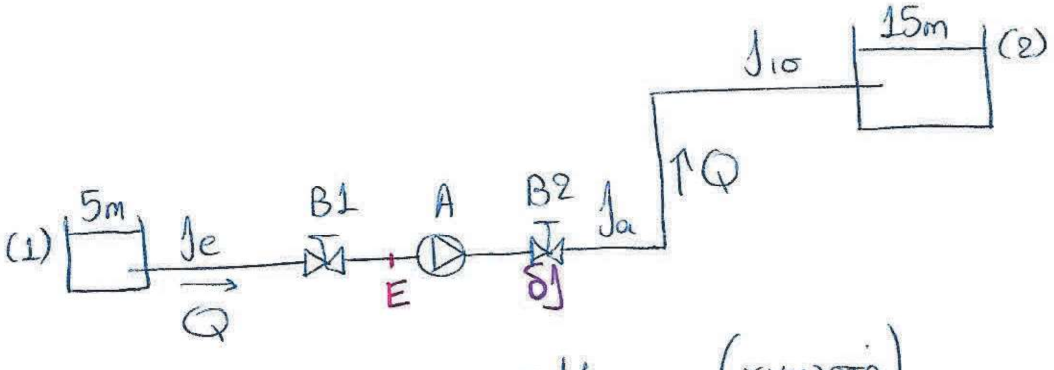
$\boxed{B}$

$$Q_{12} = 0.7 \times Q_{A-\text{ερωτήματος}}$$

$$Q_{12} = 0.7 \times 57\ m^3/h$$

$$Q_{12} = 39.9\ m^3/h$$

$\boxed{B1}$



$$Q = Q_{12} = 39.9\ m^3/h \quad (\text{γνωστό})$$

Προτιμώ το κλείσιμο της βάνας Β2, γιατί αν κλείσω την Β1 μειώνεται απότομα η στατική πίεση στην είσοδο της αντλίας, γεγονός που μπορεί να προκαλέσει σπηλαίωση.

$$Q_A = Q = 39.9\ m^3/h \xrightarrow[\text{Ανά. A}]{\text{Χαρακ.}} \quad H_A = 25.6\ m\Sigma Y$$

$$\eta_A = 75\%$$

$$N_A = \frac{\gamma Q_A H_A}{\eta_A \cdot 3600} = \frac{1000 \times 9.81 \times 39.9 \times 25.6}{0.75 \times 3600}$$

$$N_A = 3711\ W$$

$$N_A = 3.711\ kW$$

Bernoulli $(1) \rightarrow (2)$

$$\cancel{H_{atm}} + 0 + 5 - J_e Q_A^2 + H_A - \delta J Q_A^2 - J_a Q_A^2 - J_{10} Q_A^2 = \\ = \cancel{H_{atm}} + 0 + 15$$

$$\delta J = \frac{H_A - 10}{Q_A^2} - J_e - J_a - J_{10}$$

$$\delta J = \frac{25.6 - 10}{39.9^2} - 5 \times 10^{-4} - 15 \times 10^{-4} - 1.4043 \times 10^{-3}$$

$$\delta J = 6.39 \times 10^{-3}$$

Bernoulli $(1) \rightarrow E$

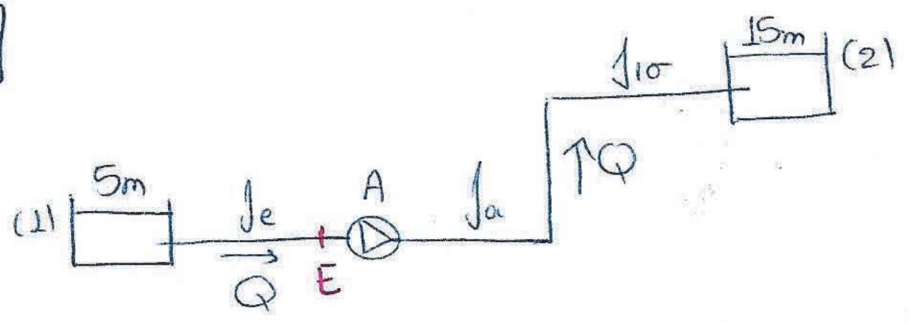
$$H_{atm} + 0 + 5 - J_e Q^2 = H_{OE}$$

$$H_{OE} - H_{atm} = 5 - J_e Q^2$$

$$H_{OE}' = 5 - 5 \times 10^{-4} \times 39.9^2$$

$$H_{OE}' = 4.2\ m\Sigma Y$$

B2



$Q = Q_{12} = 39.9\, m^3/h$ (γνωστό)

$Q_N = 39.9\, m^3/h$

Bernoulli $(1) \rightarrow (2)$

$H_{atm} + 0 + 5 - J_e Q^2 + H_A - J_a Q^2 - J_{1\sigma} Q^2 = H_{atm} + 0 + 15$

$H_A = 10 + (J_e + J_a + J_{1\sigma}) Q^2$

$H_A = 10 + 3.4043 \times 10^{-3} \times 39.9^2$

$H_A = 15.42\, m\Sigma Y$

Αντλία Α

$Q_N = 39.9\, m^3/h$

$H_N = 15.42\, m\Sigma Y$

$$\left.\begin{matrix} H = \lambda Q^2 \\ (Q_N, H_N) \end{matrix}\right\} \lambda = \frac{H_N}{Q_N^2} = \frac{15.42}{39.9^2} = 9.686 \times 10^{-3}$$

$H = 9.686 \times 10^{-3} Q^2$

Q	H
0	0
20	3.87
39.9	15.42
60	34.87

Σχεδιάζω την παραβολή. Το σημείο τομής της με την χαρ/κή της αντλίας Α, μου δίνει το [illegible]

$$Q_\pi = 49.5\ m^3/h$$
$$H_\pi = 23.7\ m\Sigma Y$$
$$\eta_\pi = 80\%$$

$$\frac{n_N}{n_\pi} = \frac{Q_N}{Q_\pi} \Rightarrow n_N = n_\pi \frac{Q_N}{Q_\pi} = (3000rpm)\frac{39.9}{49.5}$$

$$n_N = 2418\ rpm$$

$$\eta_N = \eta_\pi = 80\%$$

$$N_A = \frac{\gamma Q_N H_N}{\eta_N \cdot 3600} = \frac{1000 \times 9.81 \times 39.9 \times 15.42}{(0.8)(3600)}$$

$$N_A = 2096\ W = 2.096\ kW$$

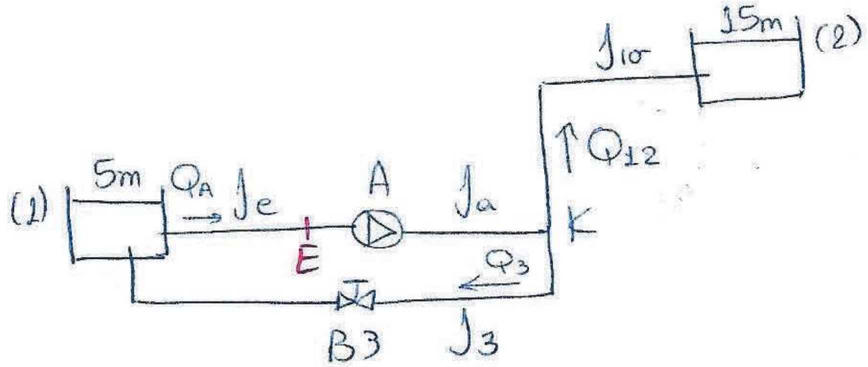
Bernoulli $(1) \rightarrow E$

$$H_{atm} + 0 + 5 - J_E Q^2 = H_{OE}$$

$$H_{OE}' = 5 - J_E Q^2$$
$$H_{OE}' = 5 - 5\times10^{-4} \times 39.9^2$$

$$H_{OE}' = 4.2\ m\Sigma Y$$

B3



$Q_{12} = 39.9 \; m^3/h$ (γνωστό)

Bernoulli $K \to (2)$

$$H_{0K} - J_{10} Q_{12}^2 = H_{atm} + 0 + 15$$

$$H_{0K} - H_{atm} = 15 + J_{10} Q_{12}^2$$

$$H_{0K}' = 15 + 1.4043 \times 10^{-3} \times 39.9^2$$

$$H_{0K}' = 17.24 \; m \; ΣΥ$$

Bernoulli $(1) \to K$

$$H_{atm} + 0 + 5 - J_e Q_A^2 + H_A - J_a Q_A^2 = H_{0K}$$

$$H_A = (H_{0K}' - 5) + (J_e + J_a) Q_A^2$$

$$H_A = (17.24 - 5) + (5 \times 10^{-4} + 15 \times 10^{-4}) Q_A^2$$

$$\boxed{H_A = 12.24 + 2 \times 10^{-3} Q_A^2}$$ Χαρ/κή του κλάδου με την αντλία A

Q	H_A
0	12.24
20	13.04
40	15.44
50	17.24
60	19.44
80	25.04
100	32.24

Φτιάχνω γραφικά την σωλήνωση του κλάδου και το σημείο τομής της με την χαρ/κή της αντλίας Α μου δίνει το ΣΛ της αντλίας Α:

$$Q_A = 62.5\, m^3/h$$
$$H_A = 20.1\, m\Sigma Y$$
$$\eta_A = 74\%$$

$$N_A = \frac{\gamma Q_A H_A}{\eta_A \cdot 3600} = \frac{1000 \times 9.81 \times 62.5 \times 20.1}{0.74 \times 3600}$$

$$N_A = 4626\, W$$
$$N_A = 4.626\, kW$$

Κομβος Κ: $Q_A = Q_{12} + Q_3 \Rightarrow Q_3 = Q_A - Q_{12}$

$$Q_3 = (62.5 - 39.9)\, m^3/h$$
$$Q_3 = 22.6\, m^3/h$$

Bernoulli $K \to (1)$

$$H_{0K} - J_3 Q_3^2 = H_{atm} + 0 + 5$$
$$H_{0K}' - 5 = J_3 Q_3^2$$

$$J_3 = \frac{H_{OK}{}' - 5}{Q_3{}^2} = \frac{17.24 - 5}{22.6^2}$$

$$J_3 = 0.02396$$

Bernoulli (1) → E

$$H_{atm} + 0 + 5 - J_E Q_A{}^2 = H_{OE}$$

$$H_{OE}{}' = 5 - J_E Q_A{}^2$$

$$H_{OE}{}' = 5 - 5 \times 10^{-4} \times 62.5^2$$

$$H_{OE}{}' = 3.05 \, m\Sigma Y$$

$\boxed{B4}$

	N_A (kW)	$H_{OE}{}'$ ($m\Sigma Y$)
B1	3.711	4.2
B2	2.096	4.2
B3	4.626	3.05

Η λύση B3 έχει τον μεγαλύτερο κίνδυνο σπηλαίωσης και απαιτεί την περισσότερη ισχύ, άρα απορρίπτεται.
Οι λύσεις B1, B2 έχουν ίδιο κίνδυνο σπηλαίωσης.
Επιλέγω τη λύση B2, γιατί απαιτεί λιγότερη ισχύ.