

ΡΕΥΣΤΟΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ

ΑΣΚΗΣΗ: Χαρακτηριστικά λειτουργίας φυγοκεντρικής αντλίας νερού

1. Αντικείμενο και σκοπός του πειράματος

Το πείραμα περιλαμβάνει την εξαγωγή χαρακτηριστικών καμπυλών λειτουργίας δύο όμοιων φυγοκεντρικών αντλιών συνδεδεμένων παράλληλα, σε σειρά και κάθε μία ξεχωριστά. Η εξαγωγή των χαρακτηριστικών γίνεται με την βοήθεια άμεσων μετρήσεων (πίεσης αναρρόφησης p_a , πίεσης κατάθλιψης p_k , τάσης V , έντασης ρεύματος I , συχνότητας ρεύματος ν , αριθμό στροφών κινητήρα R.P.M., παροχής Q) και έμμεσων μετρήσεων (μανομετρικού H , ισχύος του ρευστού P_{fl} , ηλεκτρικής ισχύος P_{el} και των βαθμών απόδοσης των αντλιών).

Ο επιδιωκόμενος σκοπός του πειράματος είναι η γνώση του τρόπου λειτουργίας των αντλιών στην εγκατάσταση στραγγαλίζοντας τη βάνα κατάθλιψης, καθώς επίσης και του τρόπου λειτουργίας των μετρητικών οργάνων.

Με την μέτρηση των απαραίτητων μεγεθών αποκτάται πρακτική εμπειρία που βοηθά στην εξαγωγή συμπερασμάτων σε συνδυασμό με την αντίστοιχη θεωρητική κατάρτιση. Κατά τη μέτρηση των διαφορετικών μεγεθών εκτιμούνται και δικαιολογούνται τα θεωρητικά αποτελέσματα. Η διαφοροποίηση αυτή πρέπει να αναζητηθεί στις ρευστομηχανικές απώλειες της εγκατάστασης (τριβή μηχανικών τμημάτων, απώλειες κρούσης, απώλειες τριβής).

2. Θεωρία

Ο ηλεκτροκινητήρας της πειραματικής εγκατάστασης έχει τη δυνατότητα να μεταβάλλει τις στροφές μέσω ενός μετασχηματιστή συχνότητας (frequency inverter) δίνοντας έτσι τη δυνατότητα στην αντλία να παρέχει μια μεγάλη κλίμακα μανομετρικών. Επίσης με τη βάνα κατάθλιψης είναι δυνατόν να μεταβάλλονται οι αντιστάσεις της εγκατάστασης. Ακόμα για τον υπολογισμό των χαρακτηριστικών μεγεθών της αντλίας χρησιμοποιούνται οι σχέσεις:

Το μανομετρικό ύψος της 1 αντλίας είναι:

$$H = \frac{p_k - p_a}{\rho g} + \Delta Z + \frac{C_k^2 - C_a^2}{2g} \quad (1)$$

με $C_a = C_k$, γιατί $d_a = d_k$

Αντίστοιχα, για την εν σειρά λειτουργία είναι:

$$H_{σειρά} = \frac{p_{k2} - p_{a1}}{\rho g} + \Delta Z \quad (2)$$

Και για την παράλληλη λειτουργία είναι:

$$H_{παρ/λα} = \frac{p_{k2} - p_{a2}}{\rho g} + \Delta Z \quad (3)$$

Χρησιμοποιούνται οι μετρήσεις της 1 αντλίας γιατί το μανομετρικό παραμένει σχεδόν ίδιο στην παράλληλη λειτουργία.

Όπου:

H: μανομετρικό αντλίας (m)

p_a : πίεση ρευστού στην αναρρόφηση (Pa)

p_k : πίεση ρευστού στην κατάθλιψη (Pa)

C_a : ταχύτητα ρευστού στην αναρρόφηση (m/s)

C_k : ταχύτητα ρευστού στην κατάθλιψη (m/s)

ΔZ : διαφορά ύψους μεταξύ αναρρόφησης και κατάθλιψης ($\Delta Z = 15\text{cm}$)

g: επιτάχυνση της βαρύτητας ($g = 9.81 \text{ m/s}^2$)

ρ : πυκνότητα του ρευστού ($\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1000 \text{ kg/m}^3$)

Η ισχύς του ρευστού είναι:

$$P_{fl} = \rho g Q H \quad (4)$$

Η ηλεκτρική ισχύς είναι:

$$P_{el} = \sqrt{3} VI \cos \varphi \quad (5)$$

(όπου $\cos \varphi = 1$)

Ο συνολικός βαθμός απόδοσης είναι:

$$\eta = \frac{P_{fl}}{P_{el}} \quad (6)$$

Όπου:

Q: η παροχή όγκου του ρευστού (m^3/h)

V: η τάση του ρεύματος τροφοδοσίας του ηλεκτροκινητήρα της αντλίας (V)

I: η ένταση του ρεύματος τροφοδοσίας του ηλεκτροκινητήρα της αντλίας (A)

P_{el} : η ηλεκτρική ισχύς (Watt)

P_{fl} : η ισχύς του ρευστού (υδραυλική ισχύς) (Watt)

φ : η διαφορά φάσης μεταξύ τάσης και έντασης του ρεύματος (λόγω μικρής αντίστασης του τυλίγματος θεωρούμε ότι $\varphi = 0$)

Η εγκατάσταση στην οποία όμως εργάζεται μια αντλία παρουσιάζει μια χαρακτηριστική καμπύλη απωλειών τριβών και κρούσης σε συνάρτηση με την παροχή:

$$H_{tot} = \frac{p_2 - p_1}{\rho g} + H_{geo} + H_{vtot} \quad (7)$$

με

$$H_{vtot} = \sum_i \lambda_i \frac{l_i c_i^2}{d_i 2g} + \sum_j \zeta_j \frac{c_j^2}{2g} \quad (8)$$

Όπου ο πρώτος όρος εκφράζει τις γραμμικές απώλειες στα διάφορα τμήματα i της σωλήνωσης διαμέτρου d_i και μήκους l_i , ο δεύτερος όρος εκφράζει τις υδραυλικές απώλειες στις διάφορες εντοπισμένες αντιστάσεις της σωλήνωσης. Ο συντελεστής λ_i των γραμμικών απωλειών είναι συνάρτηση της σχετικής τραχύτητας του αγωγού και του αριθμού Reynolds της ροής ($Re = c_i d_i / \nu$). Έτσι για στρωτή ροή ($Re_i < 2320$) ο συντελεστής λ προκύπτει από τη σχέση $\lambda = 64/Re$. Ενώ για τυρβώδη ροή ($Re_i > 2320$) ο συντελεστής προκύπτει από τη σχέση του Jain (Σχ. 7) ή από το διάγραμμα Moody, που είναι η γραφική απεικόνιση της

πολύπλοκης σχέσης των Colebrook – White. Ο συντελεστής ζ_i των εντοπισμένων αντιστάσεων είναι σταθερός και ανεξάρτητος της ταχύτητας της ροής. Εξαρτάται μόνο από την αλλαγή της διατομής της σωλήνωσης ή άλλα τυχόν εμπόδια κατά μήκος της σωλήνωσης.

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 1,14 - 2 \log \left(\frac{\kappa}{d} + \frac{21,25}{Re^{0.9}} \right) \text{ (τυρβώδης ροή)} \quad (9)$$

Τα απαραίτητα μεγέθη για τους υπολογισμούς έχουν ως εξής:

$\kappa = 0,00001\text{m}$ (η τραχύτητα του αγωγού)

$\zeta = 0,76$ για γωνίες 90° και $d: 0.06\text{m}$

$\zeta = 0,76$ για γωνίες 90° και $d: 0.08\text{m}$

$\zeta = 0,51$ για συστολή από $d: 0.06\text{m}$ σε $d: 0.04\text{m}$

$\zeta = 0,25$ για διαστολή από $d: 0.04\text{m}$ σε $d: 0.08\text{m}$

$\zeta = 1,52$ για «ταφ» από $d: 0.08\text{m}$ σε $d: 0.06\text{m}$

$\zeta = 2$ για «ταφ» από $d: 0.04\text{m}$ σε $d: 0.08\text{m}$

$l = 0.68\text{m}$ μήκος σωλήνα για τη λειτουργία μίας αντλίας με διάμετρο $d = 0.06\text{m}$

$l = 2.5\text{m}$ μήκος σωλήνα για τη λειτουργία μίας αντλίας με διάμετρο $d = 0.04\text{m}$

$l = 4.49\text{m}$ μήκος σωλήνα για τη λειτουργία μίας αντλίας με διάμετρο $d = 0.08\text{m}$

$l = 0.68\text{m}$ μήκος σωλήνα για τη λειτουργία εν σειρά με διάμετρο $d = 0.06\text{m}$

$l = 5,37\text{m}$ μήκος σωλήνα για τη λειτουργία εν σειρά με διάμετρο $d = 0.04\text{m}$

$l = 4,49\text{m}$ μήκος σωλήνα για τη λειτουργία εν σειρά με διάμετρο $d = 0.08\text{m}$

$l = 0.68\text{m}$ μήκος σωλήνα για τη λειτουργία εν παραλλήλω με διάμετρο $d = 0.06\text{m}$

$l = 5,0\text{m}$ μήκος σωλήνα για τη λειτουργία εν παραλλήλω με διάμετρο $d = 0.04\text{m}$

$l = 4,49\text{m}$ μήκος σωλήνα για τη λειτουργία εν παραλλήλω με διάμετρο $d = 0.08\text{m}$

$H_{\text{geo}}=1.8\text{m}$ το γεωδαιτικό ύψος της εγκατάστασης

$p_1 =$ η πίεση στη δεξαμενή αναρρόφησης

$p_2 =$ η πίεση στη δεξαμενή κατάθλιψης (στην περίπτωσή μας $p_1 = p_2$)

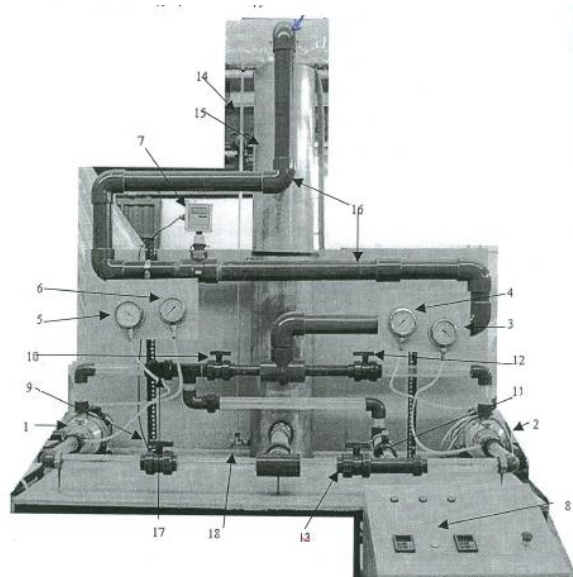
Το σημείο λειτουργίας της εγκατάστασης βρίσκεται αν στο ίδιο διάγραμμα αναπαραστήσουμε την καμπύλη λειτουργίας της αντλίας [$H = f(Q)$] και αυτή της εγκατάστασης [$H_{\text{tot}} = f(Q)$]. Το σημείο τομής των δύο αυτών καμπύλων θα είναι το σημείο λειτουργίας της εγκατάστασης. Για την εν σειρά λειτουργία των δύο αντλιών προσθέτουμε το μανομετρικό της κάθε αντλίας ($H = H_1 + H_2$) – χρησιμοποιείται η σχέση 1 όπου p_κ η πίεση της κατάθλιψης της αντλίας 2 και p_α η υποπίεση αναρρόφησης της αντλίας 1). Για την εν παραλλήλω λειτουργία των αντλιών προσθέτουμε τις παροχές ($Q = Q_1 + Q_2$).

3. Πειραματική εγκατάσταση

Η πειραματική εγκατάσταση περιγράφεται στο Σχήμα 1 και αποτελείται από τα παρακάτω μέρη:

1. Αντλία 1
2. Αντλία 2
3. Μανόμετρο αναρρόφησης 2
4. Μανόμετρο κατάθλιψης 2
5. Μανόμετρο αναρρόφησης 1

6. Μανόμετρο κατάθλιψης 1
7. Ψηφιακό παροχόμετρο όγκου
8. Μετασχηματιστής συχνότητας
9. Βάνα αναρρόφησης 1
10. Βάνα κατάθλιψης 1
11. Βάνα αναρρόφησης 2
12. Βάνα κατάθλιψης 2
13. Βάνα αλλαγής ροής ρευστού
14. Σωλήνας ένδειξης στάθμης ρευστού
15. Δεξαμενή νερού
16. Αντεπίστροφο
17. Σωληνώσεις
18. Βάνα εκκένωσης εγκατάστασης



Σχήμα 1 Πειραματική Εγκατάσταση

4. Μετρητικές συσκευές

4.1. Μανόμετρα

Σε κάθε αντλία έχει τοποθετηθεί ένα μανόμετρο υποπίεσης (στην είσοδο της αντλίας) το οποίο μετράει σε bar την υποπίεση που δημιουργείται στη διατομή εισόδου της αντλίας. Η κλίμακα του οργάνου είναι από 0 έως -1 bar υποπίεσης ($1 \text{ bar} = 101325 \text{ Pa}$). Επίσης στην έξοδο κάθε αντλίας έχει τοποθετηθεί ένα μανόμετρο υπερπίεσης για τη μέτρηση της πίεσης στην έξοδο της αντλίας, με κλίμακα από 0 έως 6 bar. Και τα 4 μανόμετρα είναι αναλογικού τύπου με γλυκερίνη, ώστε σε περίπτωση κραδασμών να διατηρούν τη βελόνα του οργάνου σταθερή.

4.2. Παροχόμετρο

Στον οριζόντιο σωλήνα έχει τοποθετηθεί ένα ψηφιακό παροχόμετρο (Great Lakes Instruments model 690F). Η αρχή λειτουργίας του βασίζεται σε μια πτερωτή που βρίσκεται

στην άκρη του οργάνου και μετρά την ταχύτητα του ρευστού. Το όργανο τοποθετείται μέσα σε ένα ειδικού τύπου «Ταφ» που παρέχεται από τον κατασκευαστή, ούτως ώστε η ροδέλα να περιστρέφεται με αποτέλεσμα το όργανο να μετατρέπει το ρυθμό περιστροφής της ροδέλας σε παροχή. Η παροχή του οργάνου δίνεται σε GPM (Gallons per Minute), όπου $1 \text{ GPM} = 0.22716 \text{ m}^3/\text{h}$. Το όργανο αυτό μπορεί να μετρήσει παροχή για ταχύτητες ρευστού μέχρι 9.144 m/s με ακρίβεια 1% της μέγιστης κλίμακας και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μέγιστη πίεση $27,6 \text{ atm}$ σε θερμοκρασία 105 C . Ακόμα το όργανο τροφοδοτείται από μετασχηματιστή εναλλασσόμενου ρεύματος σε συνεχές, Hewlett Packard, και μπορεί να λειτουργήσει για συνεχές ρεύμα από 15 έως 40 Volt ελάχιστης εντάσεως 20mA. Για τη σωστή λειτουργία του οργάνου αυτό πρέπει να είναι τοποθετημένο σε ευθύγραμμο σωλήνα μήκους τουλάχιστον 10 διαμέτρων του σωλήνα πριν το όργανο και 5 διαμέτρων μετά.

Ο αισθητήρας της ροής δημιουργεί ένα σήμα με συχνότητα ανάλογη του ρυθμού της ροής. Η συχνότητα 0Hz αντιστοιχεί στην περίπτωση που δεν έχουμε ροή, ενώ μέγιστη συχνότητα έχουμε όταν έχουμε και μέγιστη ροή η οποία εξαρτάται από το μέγεθος του σωλήνα που είναι εγκατεστημένος ο αισθητήρας. Το μοντέλο 680F μετατρέπει το σήμα συχνότητας του αισθητήρα σε συνεχές ρεύμα και αυτό εμφανίζεται στην οθόνη του οργάνου. Το μοντέλο αυτό είναι βαθμονομημένο από το εργοστάσιο.

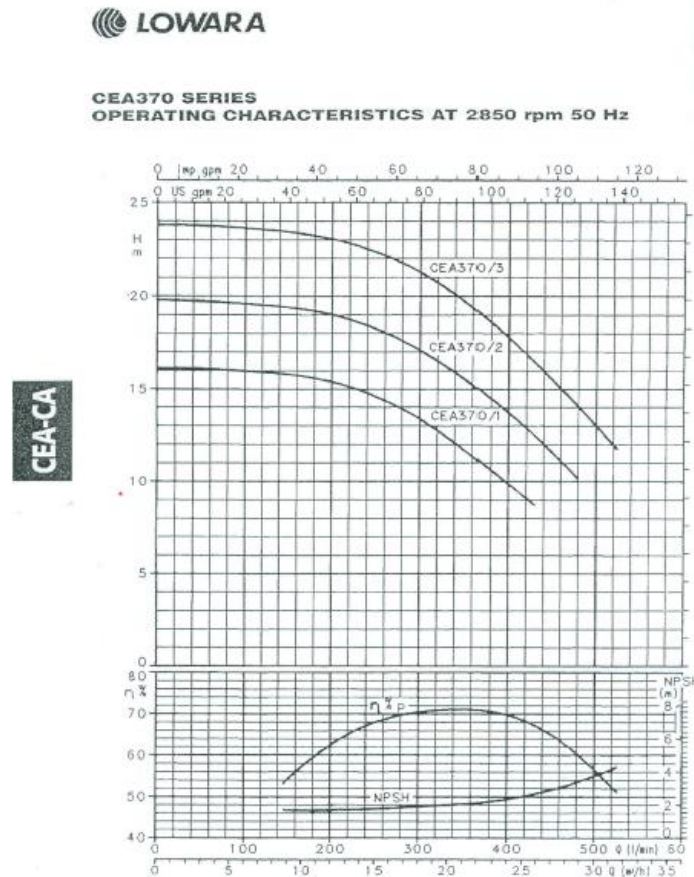
4.3. Μετασχηματιστής συχνότητας (frequency inverter)

Για τον καθορισμό των στροφών του ηλεκτροκινητήρα της αντλίας από 1200 έως 3000 RPM καθώς και ηλεκτρικών μεγεθών που εφαρμόζονται σε αυτή έχουμε ένα μετασχηματιστή συχνότητας (Σχήμα 1 - 8). Από αυτό το όργανο παίρνουμε μετρήσεις για την τάση (V) και την ένταση του ρεύματος (I) καθώς και της συχνότητας του (v). Το όργανο αυτό μπορεί να λειτουργήσει για θερμοκρασίες από -10 C έως $+50 \text{ C}$, υγρασία από 20 ως 90%, σε υψόμετρο μικρότερο από 1000m, δονήσεις έως 5.9 m/s^2 και ελάχιστη ατμοσφαιρική πίεση 900mbar. Με το πλήκτρο FUNC/DATA μπορούμε να επιλέξουμε την ένδειξη του μεγέθους που θέλουμε να μετρήσουμε ή να καθορίσουμε. Έτσι πατώντας το διαδοχικά βλέπουμε στην οθόνη του οργάνου τις στροφές ανά λεπτό της αντλίας n (RPM), τη συχνότητα v (Hz), την ταχύτητα της περωτής της αντλίας u (m/min), την ένταση του ρεύματος I (A) και την τάση V (V). Πατώντας τα βελάκια μπορούμε να μεταβάλλουμε την τιμή του μεγέθους που απεικονίζεται στην οθόνη. Με το πλήκτρο STOP σταματά η λειτουργία του μετασχηματιστή συχνότητας.

5. Περιγραφή πειραματικής διάταξης

Η πειραματική εγκατάσταση αποτελείται από δύο φυγόκεντρες αντλίες τοποθετημένες στα «άκρα» της εγκατάστασης. Οι αντλίες αυτές τροφοδοτούνται από ένα κυλινδρικό δοχείο τοποθετημένο στο πίσω μέρος της. Το νερό έπειτα από μια σύντομη διαδρομή μέσα από σωληνώσεις Plexiglas και διάφορα μετρητικά όργανα καταλήγει στην κυλινδρική δεξαμενή. Ο σχεδιασμός της εγκατάστασης επιτρέπει τη λειτουργία κάθε αντλίας ξεχωριστά, αλλά και τη λειτουργία των δύο αντλιών μαζί. Έτσι με κατάλληλους χειρισμούς στις βάνες που είναι τοποθετημένες σε συγκεκριμένα σημεία στην εγκατάσταση μπορούμε να έχουμε παράλληλη αλλά και εν σειρά λειτουργία των δύο αντλιών. Οι αντλίες είναι πανομοιότυπες για οικιακή και βιομηχανική χρήση. Ανήκουν στη σειρά CEA της εταιρείας Lowara, είναι μονοβάθμιες, αποδίδουν παροχή έως $30 \text{ m}^3/\text{h}$ και μανομετρικό έως $24 \text{ m}\Sigma\text{N}$. Η μέγιστη θερμοκρασία

αντλούμενου υγρού δεν πρέπει να ξεπερνάει τους 85C. Διαθέτουν κινητήρα κλειστού τύπου με εξωτερική ψύξη. Η χαρακτηριστική καμπύλη λειτουργίας της κάθε αντλίας δίνεται στο Σχήμα 2. Αξίζει να σημειωθεί ότι κάθε αντλία είναι συνδεδεμένη με έναν μετασχηματιστή συχνότητας με αποτέλεσμα τον πλήρη έλεγχο των στροφών της κάθε αντλίας από 1200 έως 3000RPM. Για τα πειράματα αυτής της εργασίας θα δουλέψουμε στις 2850 RPM.



Σχήμα 2 Θεωρητικές καμπύλες αντλιών Lowara στις 2850 RPM

6. Πειραματική Διαδικασία

Στην πειραματική διαδικασία θα πάρουμε μετρήσεις για τα εξής μεγέθη της κάθε αντλίας:

1. Πίεση αναρρόφησης p_a (bar) (Σχήμα 1 – 3, 5)
2. Πίεση κατάθλιψης p_k (bar) (Σχήμα 1 – 4, 6)
3. Τάση ρεύματος V (Volt) (Σχήμα 1 – 8)
4. Ένταση ρεύματος I (A) (Σχήμα 1 – 8)
5. Συχνότητα ρεύματος ν (Hz) (Σχήμα 1 – 8)
6. Παροχή Q (GPM) (Σχήμα 1 – 7)

6.1. Λειτουργία μόνο της αντλίας 1

Στην αρχή εξετάζουμε την αντλία 1 μόνη της. Γεμίζουμε την αντλητική πειραματική εγκατάσταση με το ρευστό, που στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι το νερό και απομονώνουμε την αντλία 2 κλείνοντας τις βάνες αναρρόφησης 2, κατάθλιψης 2 και αλλαγής ροής ώστε να μην επηρεάζουν το πείραμα. Εν συνεχεία δίνουμε από το frequency inverter εντολή και η αντλία 1 ξεκινά τη λειτουργία της. Με την εκκίνηση της αντλίας 1 το νερό

αναγκάζεται να ανακυκλωθεί μέσα στο σύστημα των σωληνώσεων και να επιστρέψει στη δεξαμενή, όπως περιγράψαμε και πιο πάνω. Με τον μετασχηματιστή συχνότητας δίνουμε στην αντλία τον επιθυμητό αριθμό στροφών κάθε φορά (στροφές πειράματος $N = 2850$ RPM). Οι βάνες που βρίσκονται στην αναρρόφηση και κατάθλιψη της αντλίας στην αρχή είναι τελείως ανοιχτές. Διαβάζουμε τις ενδείξεις των οργάνων, τις καταγράφουμε στον πίνακα A1 που ακολουθεί και έπειτα κλείνουμε προοδευτικά τη βάνα κατάθλιψης (μανομετρικό) αυξάνεται. Σε κάποια θέση όπου η τιμή της παροχής είναι αυτή που επιθυμούμε για την επόμενη μέτρηση σταματάμε το κλείσιμο της βάνας και καταγράφουμε άλλη μια σειρά μετρήσεων. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται συνέχεια μέχρι να κλείσουμε τελείως τη βάνα κατάθλιψης.

Μόλις ολοκληρώσουμε την πειραματική διαδικασία έχοντας πλέον ένα πίνακα μετρήσεων μπορούμε με υπολογισμούς να χαράξουμε την πειραματική χαρακτηριστική καμπύλη λειτουργίας της αντλίας 1. Οι μετρήσεις θα πρέπει να γίνουν με προσοχή αλλά σφάλματα ακριβείας μπορούν να αποφευχθούν. Ακόμα στην περιοχή όπου η βάνα κατάθλιψης κινείται να κλείσει τελείως δεν μπορούμε να πάρουμε σωστές μετρήσεις λόγω σφάλματος του οργάνου μέτρησης της παροχής του ρευστού. Τέλος επιλέγεται ο στραγγαλισμός της βάνας κατάθλιψης για να μην έχουμε φαινόμενα σπηλαιώσης όπως θα είχαμε αν στραγγαλίζουμε την βάνα αναρρόφησης.

6.2. Λειτουργία μόνο της αντλίας 2

Για την αντλία 2 επαναλαμβάνουμε τις ενέργειες αυτή τη φορά όμως απομονώνοντας την αντλία 1 κλείνοντας τις βάνες αναρρόφησης 1, κατάθλιψης 1. Αυτή τη φορά στραγγαλίζουμε τη βάνα κατάθλιψης 2. Έπειτα παίρνουμε τις μετρήσεις αυτή τη φορά για την αντλία 2 και τις καταγράφουμε.

6.3. Λειτουργία αντλιών 1 και 2 «εν σειρά»

Για τη λειτουργία των αντλιών 1 και 2 «εν σειρά» ανοίγουμε τις βάνες αναρρόφησης 1, κατάθλιψης 2 και αλλαγής ροής και κλείνουμε τις βάνες αναρρόφησης 2 και κατάθλιψης 1. Σ' αυτή την περίπτωση και οι δύο αντλίες είναι ρυθμισμένες στις 2850 RPM. Εργαζόμαστε ομοίως με τις προηγούμενες περιπτώσεις στραγγαλίζοντας τη βάνα κατάθλιψης 2 και καταγράφουμε τις μετρήσεις στον πίνακα A3.

6.4. Λειτουργία αντλιών 1 και 2 «παράλληλα»

Σ' αυτή τη σύνδεση ανοίγουμε τις βάνες αναρρόφησης 1, κατάθλιψης 1, αναρρόφησης 2 και κατάθλιψης 2 και κλείνουμε μόνο τη βάνα αλλαγής ροής. Η λειτουργία των αντλιών γίνεται πάλι στις 2850 RPM. Επειδή όμως δεν υπάρχει μια κεντρική βάνα κατάθλιψης προσπαθούμε να στραγγαλίζουμε ταυτόχρονα και στην ίδια θέση τις βάνες κατάθλιψης 1 και 2 και καταγράφουμε τις μετρήσεις.

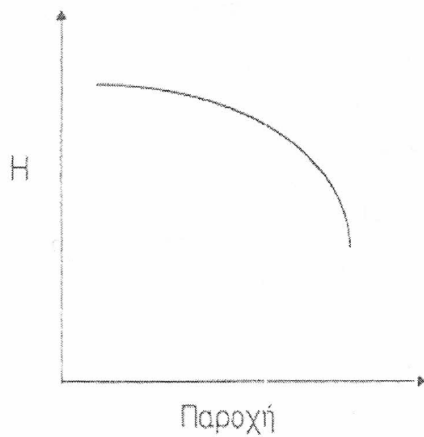
7. Αποτελέσματα

Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων και για σταθερό αριθμό στροφών συμπληρώνουμε τους πίνακες μετρώντας άμεσα την πίεση αναρρόφησης p_a , την πίεση κατάθλιψης p_k , την τάση V , την ένταση ρεύματος I , τη συχνότητα ρεύματος Hz , τον αριθμό στροφών κινήτηρα RPM και την παροχή Q .

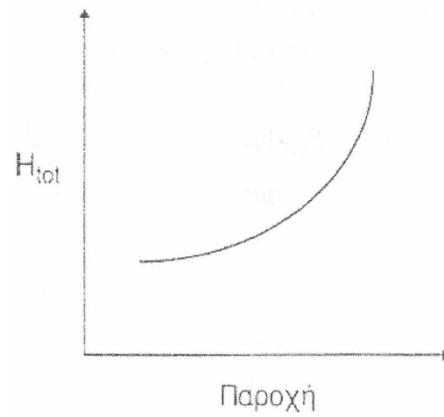
Από τα παραπάνω μεγέθη υπολογίζονται τα εξής:

1. Το μανομετρικό H της αντλίας (Σχέση 1)
2. Το μανομετρικό H_{tot} της εγκατάστασης (Σχέση 5)
3. Η ισχύς του ρευστού P_{fl} (Σχέση 2)
4. Η ηλεκτρική ισχύς P_{el} (Σχέση 3)
5. Ο βαθμός απόδοσης (Σχέση 4)

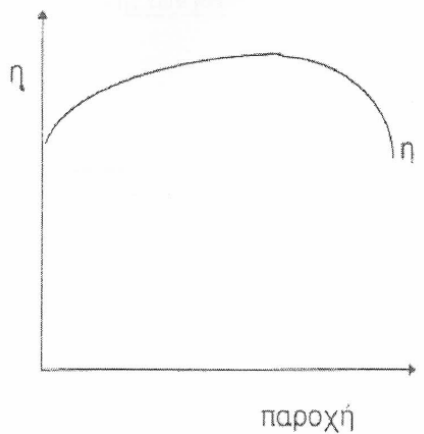
8. Ενδεικτικές και θεωρητικές καμπύλες αντλιών



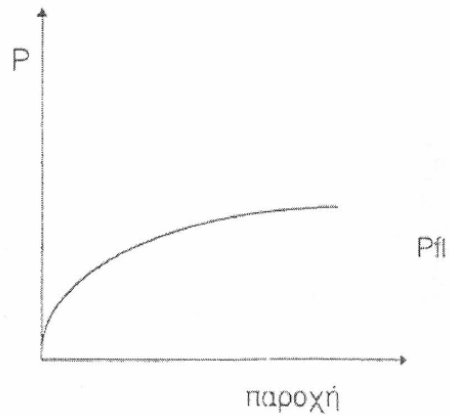
Σχήμα 3: Ενδεικτική καμπύλη μανομετρικού αντλίας συναρτήσει της παροχής, $H=f(Q)$



Σχήμα 4: Ενδεικτική καμπύλη μανομετρικού εγκατάστασης συναρτήσει της παροχής $H_{tot}=f(Q)$



Σχήμα 5: Ενδεικτική καμπύλη βαθμού απόδοσης και παροχής, $\eta = f(Q)$



Σχήμα 6: Ενδεικτική καμπύλη ισχύος ρευστού και παροχής, $P_{fl} = f(Q)$

Δεδομένα για εύρεση γραμμικών και υδραυλικών απωλειών

Πίνακας 4: Δεδομένα για εύρεση απωλειών

Λειτουργία 1 αντλίας	Εν σειρά	Εν παραλλήλω
2 γωνίες d: 0.06m	10 γωνίες d: 0.08m	8 γωνίες d:0.08m
10 γωνίες d: 0.08m	9 γωνίες d:0.06m	4 γωνίες 0.06m
2 συστολές 0.06 σε 0.04m	2 συστολές 0.06 σε 0.04m	4 συστολές 0.06 σε 0.04m
1 ταφ από 0.04 σε 0.08m	1 ταφ από 0.04 σε 0.08m	2 ταφ από 0.04 σε 0.08m

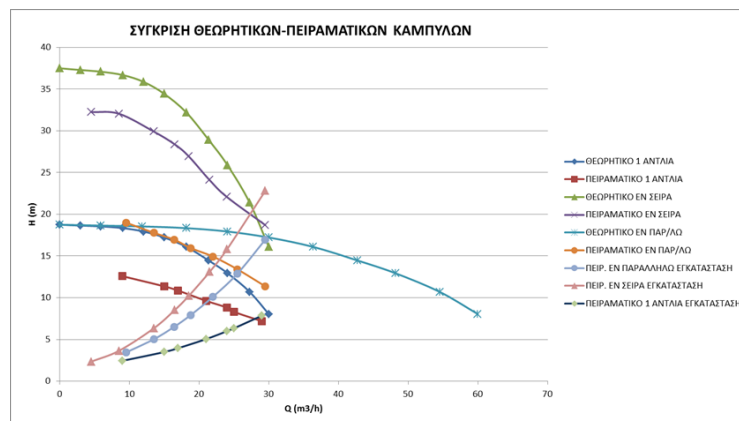
Δεδομένα για θεωρητικά διαγράμματα

Πίνακας 5: Δεδομένα για θεωρητικά διαγράμματα

Q(m³/h)	0.00	2.95	5.91	9.09	12.04	14.99	18.17	21.35	24.08	27.26	29.99
H_{αντ}(m)	18.75	18.65	18.55	18.34	17.94	17.22	16.10	14.47	12.94	10.70	8.05

Ζητούμενα

- 1) Να σχεδιαστεί κοινό διάγραμμα μανομετρικού ύψους της αντλίας και της εγκατάστασης συναρτήσει της παροχής ($H, H_{\text{tot}} = f(Q)$) για όλες τις περιπτώσεις σύνδεσης (και ομοίως στο 2 και 3 ζητούμενο).
- 2) Να σχεδιαστεί ο ολικός βαθμός απόδοσης συναρτήσει της παροχής ($\eta = f(Q)$).
- 3) Να σχεδιαστεί η ισχύς του ρευστού συναρτήσει της παροχής ($P_{\text{fl}} = f(Q)$).
- 4) Να σχεδιαστεί συγκριτικό διάγραμμα για όλες τις περιπτώσεις σύνδεσης των αντλιών (μία αντλία, δύο εν σειρά και εν παραλλήλω) και των αντίστοιχων διαγραμμάτων της εγκατάστασης σύμφωνα με το παρακάτω υπόδειγμα.



Σχήμα 7: Σύγκριση θεωρητικών – πειραματικών καμπύλων

Παρατήρηση

Για την κατασκευή των θεωρητικών διαγραμμάτων θα χρησιμοποιηθούν οι τιμές του **Πίνακα 5**. Για τη θεωρητική καμπύλη «εν σειρά» διπλασιάζονται οι τιμές του μανομετρικού ενώ για την «εν παραλλήλω» λειτουργία διπλασιάζονται οι τιμές της παροχής.