

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ  
ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ  
ΜΙΚΡΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ

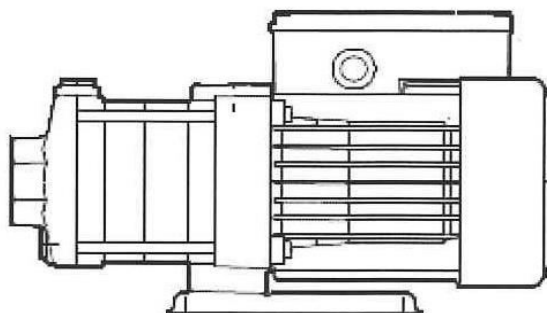
ΚΟΥΤΣΟΓΙΑΝΝΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ  
ΤΟΥΡΛΙΔΑΚΗΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ

Π.Δ.Μ. ΤΜΗΜΑ  
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ  
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

Αριθ. Εισαγ.:.....1689.....

Ημερομηνία:.....17/7/06.....



ΚΟΖΑΝΗ  
ΙΟΥΝΙΟΣ 2006

Στον παππού μου,  
Τουμπανιάρη Παναγιώτη  
(1931-2003)

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Κατά την εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας ήρθα σε επαφή με πολλούς ανθρώπους οι οποίοι μου προσέφεραν την βοήθειά τους, και γι αυτό το λόγο θα ήθελα να τους ευχαριστήσω.

Αρχικά λοιπόν, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Τεχνικό Διευθυντή της Grundfos Hellas κύριο Ανέστη Γεώργιο, για τις πολύτιμες πληροφορίες, στοιχεία και ξενάγηση που μου προσέφερε στις εγκαταστάσεις του τεχνικού τμήματος της Grundfos στην Παιανία, καθώς επίσης και για την χορηγία της αντλίας η οποία χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή του εργαστηρίου.

Στη συνέχεια, οφείλω να ευχαριστήσω τους κυρίους Παναγιωτίδη Ιωάννη, Υπεύθυνο Λειτουργίας και Εκποίησης του ΑΗΣ Καρδιάς για την πολύτιμη βοήθεια του, Πλιακή Ηλία, Ηλεκτρολόγο Τ.Ε., για τις συμβουλές του στην δημιουργία του ηλεκτρολογικού πίνακα., καθώς και τους κυρίους Μικέλη Κωνσταντίνο και Δαλαμπίρα Νικόλαο για την βοήθεια κατά την προμήθεια του μετρητή ισχύος και του υδραυλικού εξοπλισμού αντίστοιχα.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα, τον επιβλέποντα της εργασίας αυτής κ. Τουρλιδάκη Αντώνη, Επίκουρο Καθηγητή του Τμήματος Μηχανικών Διαχείρισης Ενεργειακών Πόρων του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας, επειδή προτείνοντας μου αυτό το θέμα για διπλωματική εργασία, μου πρόσφερε την δυνατότητα να συνδυάσω την βιβλιογραφική μελέτη με την δημιουργία και την κατασκευή. Η ευκαιρία που μου έδωσε και η εμπιστοσύνη που μου έδειξε με τιμούν ιδιαίτερα σαν φοιτητή αλλά και σαν άνθρωπο.

Ακόμη, δεν θα μπορούσα να παραλείψω να ευχαριστήσω τους φίλους και συμφοιτητές οι οποίοι με βοήθησαν και μου συμπαραστάθηκαν κατά την διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής αυτής εργασίας, αλλά και συνολικά στην φοιτητική μου ζωή.

Κλείνοντας, οφείλω το μεγαλύτερο ευχαριστώ στους γονείς μου Κουτσογιάννη Δημήτρη και Αναστασία και στον αδερφό μου

Παναγιώτη, για την στήριξη τους καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Η διπλωματική εργασία αυτή πραγματεύεται την κατασκευή μιας πειραματικής διάταξης η οποία χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της καμπύλης λειτουργίας και του βαθμού απόδοσης φυγοκεντρικών αντλιών μικρού μεγέθους με στόμιο αναρρόφησης και κατάθλιψης 1".

Στο πρώτο κεφάλαιο περιγράφεται σύντομα ο τρόπος λειτουργίας των φυγοκεντρικών αντλιών και τα χαρακτηριστικά τους μεγέθη, όπως το ύψος αναρρόφησης, κατάθλιψης και ολικό, παροχή, απαιτούμενη ισχύς, και βαθμός απόδοσης.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναφέρονται οι πηγές οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν σαν βάση για το σχεδιασμό και κατασκευή της πειραματική διάταξης, τι προέβλεπαν, καθώς και για ποιους λόγους επιλέχθηκε η συγκεκριμένη τελική της μορφή

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα εξαρτήματα και τα υλικά κατασκευής που χρησιμοποιήθηκαν με τα βασικά τεχνικά τους χαρακτηριστικά, περιγράφεται η θέση τους, ο τρόπος σύνδεσης μεταξύ τους, ενώ παράλληλα παρέχονται σχηματικά διαγράμματα, στα οποία φαίνεται ο τρόπος κατασκευής και σύνδεσης του ηλεκτρικού πίνακα και του μετατροπέα σήματος εξόδου.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύεται ο τρόπος διεξαγωγής του πειράματος που θα δώσει τελικά τα ζητούμενα της εργασίας αυτής, δηλαδή την καμπύλη μανομετρικού ύψους και του βαθμού απόδοσης, και περιγράφεται ο τρόπος λειτουργίας της εγκατάστασης και του λογισμικού του ηλεκτρονικού υπολογιστή.

Στο πέμπτο κεφάλαιο και επίλογο της εργασίας περιλαμβάνονται τα συμπεράσματα και οι διευκρινήσεις που ολοκληρώνουν την εργασία, καθώς και προτάσεις για την περαιτέρω ανάπτυξη μιας καλύτερης και λειτουργικότερης διάταξης.

Την εργασία συνοδεύουν δύο παραρτήματα. Στο πρώτο δίνονται λεπτομερείς οδηγίες για την διεξαγωγή του πειράματος και τη σωστή χρήση των διαφόρων οργάνων και προγραμμάτων, ενώ στο δεύτερο παρέχονται χρήσιμες συμβουλές και παρατηρήσεις τις οποίες θα βρει χρήσιμες οποίος ασχοληθεί για την ενδεχόμενη ανάπτυξη ή επισκευή του δοκιμαστηρίου.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ</b>	<b>3</b>
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b>	<b>4</b>
<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</b>	<b>6</b>
<b>ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ, ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΠΙΝΑΚΩΝ</b>	<b>8</b>
ΕΙΚΟΝΕΣ	8
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ	8
ΠΙΝΑΚΕΣ	9
<b>1. ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΑΝΤΛΙΩΝ</b>	<b>10</b>
<b>1.1 Περιγραφή λειτουργίας</b>	<b>10</b>
<b>1.2 Χαρακτηριστικά μεγέθη</b>	<b>10</b>
1.2.1 Ύψος αναρροφήσεως, ύψος κατάθλιψης, ολικό ύψος	10
1.2.2 Παροχή	16
1.2.3 Βαθμός αποδόσεως	18
<b>2. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ</b>	<b>20</b>
<b>2.1 Πηγές σχεδιασμού</b>	<b>20</b>
<b>2.2 Προσαρμογή</b>	<b>21</b>
<b>3. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ</b>	<b>23</b>
<b>3.1 Υλικά κατασκευής</b>	<b>23</b>
3.1.1 Αντλία	23
3.1.2 Μετρητής ροής νερού	24
3.1.3 Μεταδότης σήματος για τον μετρητή ροής νερού	25
3.1.4 Μεταδότης πίεσης στην αναρρόφηση	25
3.1.5 Μεταδότης πίεσης στην κατάθλιψη	26
3.1.6 Μετρητής ισχύος	27
3.1.7 Κάρτα ανάκτησης δεδομένων	27
3.1.8 Τροφοδοτικό σταθεροποιημένης τάσης SIEMENS LogoPower	28
3.1.9 Δεξαμενή νερού πλαστική	28
3.1.10 Θερμοκολλητικός σωλήνας	29
3.1.11 Plexiglass σωλήνας	29
3.1.12 Βάση αντλίας, στηρίγματα δαπέδου και ταβανιού	30
<b>3.2 Σύνδεση εξαρτημάτων</b>	<b>30</b>
<b>3.3 Ηλεκτρολογικός πίνακας</b>	<b>33</b>
<b>3.4 Μετατροπέας σήματος</b>	<b>36</b>
<b>4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ</b>	<b>39</b>
<b>4.1 Εισαγωγή</b>	<b>39</b>

4.2 Αντιστοίχιση μονάδων μέτρησης	39
4.3 Προετοιμασία πειράματος	40
4.4 Προσδιορισμός καμπύλης λειτουργίας και βαθμού απόδοσης	41
4.5 Παρατήρηση φαινομένου σπηλαιώσης	46
<b>5. ΕΠΙΛΟΓΟΣ</b>	<b>47</b>
5.1 Διευκρινήσεις	47
5.2 Προτάσεις	47
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ I</b>	<b>49</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II</b>	<b>52</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>	<b>54</b>

# **ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ, ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΠΙΝΑΚΩΝ**

## **ΕΙΚΟΝΕΣ**

Εικόνα 1: Αντλία GRUNDFOS CH 2-60 .....	24
Εικόνα 2: Μετρητής ροής νερού SIEMENS MAG 5100 .....	24
Εικόνα 3: Μεταδότης σήματος SIEMENS MAG 6000 για τον μετρητή νερού .....	25
Εικόνα 4: Μεταδότης πίεσης DANFOSS MBS-3000 πριν την αντλία.....	26
Εικόνα 5: Μεταδότης πίεσης DANFOSS MBS-3000 μετά την αντλία.....	26
Εικόνα 6: Μετρητής ισχύος.....	27
Εικόνα 7: Κάρτα ανάκτησης δεδομένων NATIONAL INSTRUMENTS.....	27
Εικόνα 8: Τροφοδοτικό στραθεροποιημένης τάσης SIEMENS.....	28
Εικόνα 9: Πλαστική δεξαμενή νερού 1500lt.....	28
Εικόνα 10: Θερμοκολλητικός σωλήνας υδραυλικών εφαρμογών .....	29
Εικόνα 11: Τμήμα κυκλώματος με plexiglass σωλήνα .....	29
Εικόνα 12: Βάση αντλίας, στηρίγματα δαπέδου και ταβανιού .....	30
Εικόνα 13: Γενική άποψη του εργαστηρίου .....	32
Εικόνα 14: Ηλεκτρικός πίνακας παροχής ρεύματος .....	34
Εικόνα 15: Μετατροπέας σήματος και πλακέτα σύνδεσης ακροδεκτών .	38
Εικόνα 16: Περιβάλλον προγράμματος "Measurement & Automation Explorer" .....	40
Εικόνα 17: Τιμές των μεγεθών για τον προσδιορισμό της καμπύλης λειτουργίας και του ολικού βαθμού απόδοσης .....	41

## **ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ**

Διάγραμμα 1: Ανοιχτό κύκλωμα δοκιμής αντλίας (ΠΗΓΗ: BS 4617:1983) .	20
Διάγραμμα 2: Κύκλωμα νερού της πειραματικής διάταξ .....	22
Διάγραμμα 3: Θέση και σύνδεση των οργάνων μέτρησης .....	31
Διάγραμμα 4: Ηλεκτρολογική σύνδεση πίνακα και εξαρτημάτων .....	35
Διάγραμμα 5: Μετατροπέας mA-V .....	37



Διάγραμμα 6: Χαρακτηριστική καμπύλη λειτουργίας της αντλίας .....	44
Διάγραμμα 7: Καμπύλη λειτουργίας από τον κατασκευαστή (ΠΗΓΗ: GRUNDFOS WinCAPS) .....	44
Διάγραμμα 8: Καμπύλη ισχύος της αντλίας .....	45
Διάγραμμα 9: Καμπύλη ισχύος από τον κατασκευαστή (ΠΗΓΗ: GRUNDFOS WinCAPS) .....	45

## **ΠΙΝΑΚΕΣ**

Πίνακας 1: Αντιστοιχία mA και Volt .....	37
Πίνακας 2: Αντιστοιχία μονάδων μέτρησης.....	39
Πίνακας 3: Εισαγωγή τιμών στον πίνακα EXCEL.....	43

# 1. ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΑΝΤΛΙΩΝ

## 1.1 Περιγραφή λειτουργίας

Οι δυναμικές αντλίες ή κινητικού τύπου αποτελούνται από ένα ή περισσότερους περιστρεφόμενους δρομείς τοποθετημένους σε ένα άξονα, που παίρνει κίνηση από κινητήρα και περιστρέφονται πάντοτε κατά την ίδια φορά μέσα σε ένα περίβλημα (θάλαμος). Το περίβλημα έχει ανοίγματα εισόδου και εξόδου του υγρού. Επάνω στον περιστρεφόμενο δρομέα είναι τοποθετημένα πτερύγια καταλλήλου σχήματος. Ο δρομέας μαζί με τα πτερύγια ονομάζεται πτερωτή. Καθώς η πτερωτή περιστρέφεται, το υγρό αποκτά γωνιακή επιτάχυνση, οπότε δημιουργείται φυγόκεντρη δύναμη που μεταφέρει το υγρό προς την περιφέρεια του περιβλήματος για να απομακρυνθεί από το άνοιγμα εξόδου. Επειδή το υγρό απομακρύνεται από το κέντρο προς την περιφέρεια, η πίεση στο κέντρο ελαττώνεται και νέα ποσότητα υγρού κινείται προς το σημείο χαμηλής πίεσεως με αποτέλεσμα τη δημιουργία σταθερής ροής.

## 1.2 Χαρακτηριστικά μεγέθη

Η απόδοση μιας αντλίας χαρακτηρίζεται από τις ακόλουθες ποσότητες:

- Ύψος αναρροφήσεως, ύψος κατάθλιψης, ολικό ύψος
- Παροχή
- Απαιτούμενη ισχύς για την λειτουργία της αντλίας
- Βαθμός απόδοσης

### 1.2.1 Ύψος αναρροφήσεως, ύψος κατάθλιψης, ολικό ύψος

α) Στατικό ή γεωμετρικό ύψος αναρροφήσεως  $H_a$  ενός συστήματος είναι η κατακόρυφη απόσταση από την επιφάνεια του υγρού της δεξαμενής αναρροφήσεως μέχρι το σημείο εισόδου του υγρού στην αντλία.

Συνήθως ως στατικό ύψος ορίζεται η κατακόρυφη απόσταση από την επιφάνεια του υγρού της δεξαμενής αναρροφήσεως μέχρι τον άξονα της αντλίας,  $h_a$  ( $h_v \sim 0$ ).

Αν ο άξονας της αντλίας είναι χαμηλότερα από την επιφάνεια του υγρού της δεξαμενής αναρροφήσεως  $H_a < 0$ .

Το στατικό ύψος αναρροφήσεως υπολογίζεται (θεώρημα Bernoulli) από την εξίσωση:

$$H_a = \frac{P_{\delta a} - P_a}{\gamma} - \frac{v_a^2 - v_{\delta a}^2}{2g} - \sum \Delta h_a \quad (1)$$

Όπου  $P_{\delta a}$  και  $v_{\delta a}$  είναι η απόλυτη πίεση και η ταχύτητα ροής στη δεξαμενή αναρροφήσεως αντιστοίχως,  $P_a$  και  $v_a$  η απόλυτη πίεση και η ταχύτητα ροής στην είσοδο της αντλίας και  $\sum \Delta h_a$  η απώλεια φορτίου στο σωλήνα αναρροφήσεως (γραμμικές απώλειες συν τοπικές απώλειες στο φίλτρο κτλ.).

Αν η επιφάνεια του υγρού στη δεξαμενή αναρροφήσεως είναι ελεύθερη έχουμε  $P_{\delta a} = P_o$  (ατμοσφαιρική πίεση),  $v_{\delta a} = 0$  και η εξίσωση (1) γίνεται:

$$H_a = \frac{P_o - P_a}{\gamma} - \frac{v_a^2}{2g} - \sum \Delta h_a \quad (2)$$

β) Στατικό ή γεωμετρικό ύψος καταθλίψεως  $H_k$  ενός συστήματος είναι η κατακόρυφη απόσταση από το σημείο εξόδου του υγρού από την αντλία μέχρι την επιφάνεια του υγρού της δεξαμενής αποθηκείσεως.

Συνήθως ως στατικό ύψος καταθλίψεως ορίζεται η κατακόρυφη απόσταση από τον άξονα της αντλίας μέχρι την επιφάνεια του υγρού της δεξαμενής αποθηκείσεως,  $h_k$  ( $h_v = 0$ ).

Το στατικό ύψος καταθλίψεως υπολογίζεται (θεώρημα Bernoulli) από την εξίσωση:

$$H_k = \frac{P_k - P_{\delta k}}{\gamma} + \frac{v_k^2 - v_{\delta k}^2}{2g} - \sum \Delta h_k \quad (3)$$

όπου  $P_{\delta k}$  και  $v_{\delta k}$  είναι η απόλυτη πίεση και η ταχύτητα ροής στη δεξαμενή αποθηκεύσεως,  $P_k$  και  $v_k$  η απόλυτη πίεση και η ταχύτητα ροής αντιστοίχως στην έξοδο της αντλίας και  $\sum \Delta h_k$  η απώλεια φορτίου στο σωλήνα καταθλίψεως (γραμμικές απώλειες συν τοπικές απώλειες).

Αν η επιφάνεια του υγρού στη δεξαμενή αποθηκεύσεως είναι ελεύθερη έχουμε  $P_{\delta k} = P_o$  (ατμοσφαιρική πίεση),  $v_{\delta k} \sim 0$  και η εξίσωση (3) γίνεται:

$$H_k = \frac{P_k - P_o}{\gamma} + \frac{v_k^2}{2g} - \sum \Delta h_k \quad (4)$$

γ) Ολικό στατικό ή γεωμετρικό ύψος  $H_\Sigma$  ενός συστήματος είναι η κατακόρυφη απόσταση από την επιφάνεια του υγρού της δεξαμενής αναρροφήσεως μέχρι την επιφάνεια του υγρού της δεξαμενής αποθηκεύσεως ανεξάρτητα από το αν οι επιφάνειες είναι ελεύθερες ή υπό πίεση.

$$H_\Sigma = H_\alpha + h_v + H_k \quad (5)$$

Συνηθέστερα όμως

$$H_\Sigma = h_\alpha + h_k \quad (6)$$

δ) Μανομετρικό ύψος αναρροφήσεως  $H_{ma}$  είναι το ύψος της σχετικής πιέσεως στη δεξαμενή αναρροφήσεως μείον το άθροισμα του στατικού ύψους αναρροφήσεως, των απωλειών φορτίου, και της διαφοράς των υψών ταχύτητας στο σωλήνα και στη δεξαμενή αναρροφήσεως.

$$H_{m\alpha} = \frac{P_{\delta\alpha} - P_a}{\gamma} - H_a - \sum \Delta h_\alpha - \frac{v_\alpha^2 - v_{\delta\alpha}^2}{2g} \quad (7)$$

Για ελεύθερη επιφάνεια υγρού στη δεξαμενή αναρροφήσεως είναι:

$$H_{m\alpha} = -H_a - \sum \Delta h_\alpha - \frac{v_\alpha^2}{2g} \quad (8)$$

Είναι φανερό ότι στην περίπτωση που ισχύει το προηγούμενο τότε  $H_{m\alpha} < 0$ .

Αντικαθιστώντας το  $H_a$  από την εξίσωση (1) στην εξίσωση (7) έχουμε:

$$H_{m\alpha} = \frac{P_\alpha - P_o}{\gamma} \quad (9)$$

δηλαδή το μανομετρικό ύψος αναρροφήσεως είναι το ύψος της σχετικής πιέσεως στο στόμιο εισόδου του υγρού στην αντλία.

Το μανομετρικό ύψος αναρροφήσεως μιας εγκαταστημένης αντλίας μπορεί να βρεθεί αν τοποθετηθεί στο στόμιο εισόδου του υγρού ένα μανόμετρο ( $M_\alpha$ ) πιέσεως ή υποπίεσεως.

ε) Μανομετρικό ύψος καταθλίψεως  $H_{m\kappa}$  είναι το άθροισμα του ύψους πιέσεως στη δεξαμενή αποθηκεύσεως, του στατικού ύψους καταθλίψεως και της απώλειας φορτίου μείον τη διαφορά των υψών ταχύτητας στο σωλήνα καταθλίψεως και τη δεξαμενή αποθηκεύσεως:

$$H_{m\kappa} = \frac{P_{\delta\kappa} - P_o}{\gamma} + H_\kappa - \sum \Delta h_\kappa - \frac{v_\kappa^2 - v_{\delta\kappa}^2}{2g} \quad (10)$$

Για ελεύθερη επιφάνεια υγρού στη δεξαμενή αποθηκεύσεως είναι:

$$H_{m\kappa} = H_{\kappa} + \sum \Delta h_{\kappa} - \frac{v_{\kappa}^2}{2g} \quad (11)$$

Αντικαθιστώντας το  $H_{\kappa}$  από την εξίσωση (3) έχουμε:

$$H_{m\kappa} = \frac{P_{\kappa} - P_o}{\gamma} \quad (12)$$

δηλαδή το μανομετρικό ύψος καταθλίψεως είναι το ύψος της σχετικής πιέσεως στο στόμιο καταθλίψεως.

Το μανομετρικό ύψος καταθλίψεως μιας εγκαταστημένης αντλίας μπορεί να βρεθεί αν τοποθετηθεί στο στόμιο καταθλίψεως ένα μανόμετρο πιέσεως ( $M_{\kappa}$ ).

στ) Ολικό μανομετρικό ύψος  $H_m$  ενός συστήματος βρίσκεται από τη διαφορά των υψών πιέσεως στα σημεία εισόδου και εξόδου του υγρού και εκφράζει την αύξηση της ενέργειας πιέσεως της μονάδας βάρους του υγρού που διέρχεται από την αντλία:

$$H_m = \frac{P_{\kappa} - P_{\alpha}}{\gamma} + h_v = H_{m\kappa} - H_{m\alpha} + h_v = \frac{P}{\gamma} \quad (13)$$

Αντικαθιστώντας τα  $H_{m\kappa}$  και  $H_{m\alpha}$  από τις εξισώσεις (10) και (7) και τα  $H_{\kappa}$  και  $H_{\alpha}$  από τις εξισώσεις (3) και (1), και αν  $h_v = 0$  το ολικό μανομετρικό ύψος δίνεται από την εξίσωση:

$$H_m = H_{\Sigma} + \frac{P_{\delta\kappa} - P_{\delta\alpha}}{\gamma} + \sum \Delta H_{\kappa} + \sum \Delta h_{\alpha} + \frac{v_{\delta\kappa}^2 - v_{\delta\alpha}^2}{2g} - \frac{v_{\kappa}^2 - v_{\alpha}^2}{2g} \quad (14)$$

Το ολικό μανομετρικό ύψος ενός συστήματος αντλήσεως είναι το άθροισμα: του ολικού στατικού ύψους, της διαφοράς των υψών

πίεσεως στις επιφάνειες του υγρού, του ύψους απωλειών στους σωλήνες αναρροφήσεως και καταθλίψεως; της διαφοράς των υψών ταχύτητας στις περιοχές καταθλίψεως και αναρροφήσεως, ελαττωμένο κατά το ύψος ταχύτητας που παράγεται από την αντλία.

Το μανομετρικό ύψος αντιστοιχεί στο έργο που πρέπει να αποδώσει η αντλία για την ανύψωση της μονάδας βάρους του υγρού από τη στάθμη αναρροφήσεως (υπό πίεση  $P_{\delta\alpha}$ ) μέχρι τη στάθμη καταθλίψεως (υπό πίεση  $P_{\delta\kappa}$  που βρίσκεται  $H_{\Sigma}$  μέτρα ψηλότερα, ενώ ταυτόχρονα να υπερνικήσει τις υδραυλικές αντιστάσεις στις σωληνογραμμές αναρροφήσεως και καταθλίψεως.

Αν οι επιφάνειες του υγρού είναι ελεύθερες ( $P_{\delta\kappa} = P_{\delta\alpha} = P_o$ ,  $v_{\delta\kappa} = v_{\delta\alpha} \sim 0$ ) και  $v_{\kappa} = v_o$ , η εξίσωση (14) γίνεται:

$$H_m = H_{\Sigma} + \sum \Delta h_a + \sum \Delta h_{\kappa} = H_{\Sigma} + \sum \Delta h \quad (15)$$

ζ) Αποδιδόμενο ύψος ή ολικό ύψος της αντλίας  $H_a$  είναι ίσο με την αύξηση της ολικής ενέργειας της μονάδας βάρους του υγρού μεταξύ των σημείων εισόδου και εξόδου του υγρού στην αντλία.

$$H_o = \frac{P_{\kappa} - P_a}{\gamma} + \frac{v_{\kappa}^2 - v_a^2}{2g} + h_v \quad (16)$$

Το ολικό ύψος της αντλίας εκφράζει το άθροισμα της αύξησης του ύψους πίεσεως και της αύξησης του ύψους ταχύτητας

Αν  $P_{\delta\kappa} = P_{\delta\alpha} = P_o$ ,  $v_{\delta\kappa} = v_{\delta\alpha} \sim 0$  και  $v_{\kappa} = v_a$  από τις εξισώσεις (14) και (16) συμπεραίνεται ότι το αποδιδόμενο ύψος της αντλίας είναι αριθμητικά ίσο με το ολικό μανομετρικό ύψος του συστήματος αντλήσεως.

η) Εσωτερικό ύψος  $H_e$  είναι το άθροισμα του ολικού ύψους της αντλίας  $H_o$  και των υδραυλικών απωλειών  $\Delta h_v$  μέσα στην αντλία:

$$H_k = H_o + \Delta h_v = H_\theta \quad (17)$$

Το εσωτερικό ύψος  $H_e$  είναι ίσο με το θεωρητικό ύψος  $H_\theta$  που μπορεί να αναπτύξει μια δυναμική αντλία.

### 1.2.2 Παροχή

α) Θεωρητική παροχή  $Q_\theta$  είναι ο όγκος του υγρού που θα έπρεπε να αποδίδεται ανά μονάδα χρόνου αν δεν υπήρχαν εσωτερικές ή εξωτερικές διαρροές.

β) Κανονική παροχή  $Q_n$  είναι η αποδιδόμενη παροχή όταν η αντλία εργάζεται με το μέγιστο βαθμό αποδόσεώς της.

γ) Πραγματική παροχή  $Q$  είναι ο όγκος υγρού που αποδίδεται στο σωλήνα καταθλίψεως στη μονάδα του χρόνου υπό ορισμένο μανομετρικό ύψος  $H_m$ .

δ) Εσωτερική παροχή  $Q_e$  είναι ο, όγκος υγρού που διέρχεται μέσα από την πτερωτή στη μονάδα του χρόνου. Επομένως είναι το άθροισμα της πραγματικής παροχής και των αναπόφευκτων εσωτερικών διαρροών:

$$Q_e = Q + Q_\delta \quad (18)$$

όπου  $Q_\delta$  είναι ο όγκος των εσωτερικών διαρροών (το  $Q_\delta$  είναι πολύ μικρό σε σύγκριση με το  $Q$ ).

Απαιτούμενη ισχύς

α) Εισερχομένη ισχύς στον άξονα της αντλίας ( $N_a$ ) είναι η ισχύς που μεταβιβάζεται στον άξονα της αντλίας από τον κινητήρα.

Αν η εισερχομένη ισχύς μετράται στην πηγή που τροφοδοτεί τον κινητήρα τότε:

$$N_a = \eta_k N_k \quad (19)$$



$\eta_k$  = βαθμός αποδόσεως του κινητήρα.

β) Εσωτερική ισχύς  $N_e$  είναι η συνολική ισχύς που μεταβιβάζεται από την πτερωτή στο υγρό παροχής  $Q_e$ .

$$N_e = \gamma Q_e H_e + N_f \quad (20)$$

όπου  $N_f$  η απαιτούμενη ισχύς για την υπερνίκηση των τριβών μεταξύ του υγρού και της πτερωτής που εκδηλώνεται υπό μορφή θερμικής ενέργειας.

Η εσωτερική ισχύς είναι ίση με την εισερχόμενη ισχύ  $i$ , στον άξονα της αντλίας μείον την ισχύ  $N_{mf}$  που απαιτείται για την υπερνίκηση των μηχανικών τριβών της αντλίας (τριβείς, σαλαμάστρα κτλ.):

$$N_e = N_a - N_{mf} \quad (21)$$

γ) Αποδιδόμενη ισχύς  $N$  της αντλίας είναι το γινόμενο:

$$N_e = \gamma Q H_o \quad [\text{Kp m/s}] \quad (22)$$

$\gamma$  = ειδικό βάρος του υγρού [ $\text{Kp/m}^3$ ],  $Q$  = πραγματική παροχή [ $\text{m}^3/\text{s}$ ],  $H_o$  = αποδιδόμενο ή ολικό ύψος της αντλίας [ $\text{m}$ ].

Αν το ειδικό βάρος του υγρού εκφραστεί σε  $\text{N/m}^3$  η ισχύς δίνεται σε  $\text{N/m/s}$  ή Watts ( $1 \text{ Kp} = 9.81 \text{ N}$ ).

Επειδή  $1 \text{ HP} = 75 \text{ Kp m/s} = 0,736 \text{ KW}$  η εξίσωση (22) γράφεται:

$$N_e = \frac{\gamma Q H_o}{75} \quad [\text{HP}] \quad (23)$$

και

$$N_{\varepsilon} = \frac{\gamma Q H_o}{75} \text{ [KW]} \quad (24)$$

### 1.2.3 Βαθμός αποδόσεως

α) Υδραυλικός βαθμός αποδόσεως  $\eta_h$  είναι ο λόγος του αποδιδόμενου ή ολικού ύψους της αντλίας προς το εσωτερικό ύψος.

$$\eta_h = \frac{H_o}{H_{\varepsilon}} = \frac{H_o}{H_{\theta}} \quad (25)$$

β) Ογκομετρικός βαθμός αποδόσεως  $\eta_v$  είναι ο λόγος της πραγματικής παροχής προς την εσωτερική παροχή:

$$\eta_v = \frac{Q}{Q_{\varepsilon}} \quad (26)$$

γ) Μηχανικός βαθμός αποδόσεως  $\eta_m$  είναι ο λόγος της εσωτερικής ισχύος προς την εισερχόμενη ισχύ στον άξονα της αντλίας:

$$\eta_m = \frac{N_{\varepsilon}}{N_a} = \frac{N_a - N_{mf}}{H_a} \quad (27)$$

δ) Ολικός βαθμός αποδόσεως  $\eta$  είναι ο λόγος της αποδιδόμενης ισχύος της αντλίας  $N$  προς την εισερχόμενη ισχύ στον άξονα της αντλίας:

$$\eta = \frac{N}{N_a} \quad (28)$$

Ο ολικός βαθμός αποδόσεως που συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 70-90% είναι το γινόμενο των επί μέρους βαθμών αποδόσεως. Αν  $N_f \sim O$  έχουμε:

$$\eta = \eta_h \eta_v \eta_m = \frac{\gamma H_o Q N_\varepsilon}{\gamma H_\varepsilon Q_\varepsilon N_\alpha} = \frac{N N_\varepsilon}{N_e N_\alpha} = \frac{N}{N_\alpha} \quad (29)$$

Από την εξίσωση (28) υπολογίζεται η ισχύς που πρέπει να μεταβιβάζει ο κινητήρας στον άξονα της αντλίας:

$$N_\alpha = \frac{N}{\eta} = \frac{\gamma Q H_o}{\eta} \quad [\text{Kpm/s}] \quad (30)$$

ή σύμφωνα με τις εξισώσεις (23) και (24)

$$N_\alpha = \frac{\gamma Q H_o}{75 \eta} \quad [\text{HP}] \quad (31)$$

και

$$N_\alpha = \frac{\gamma Q H_o}{102 \eta} \quad [\text{KW}] \quad (32)$$

Αντικαθιστώντας το  $N_\alpha$  από την εξίσωση (19) βρίσκουμε την ισχύ του κινητήρα:

$$N_\kappa = \frac{\gamma Q H_o}{75 \eta \eta_\kappa} \quad [\text{HP}] \quad (33)$$

και

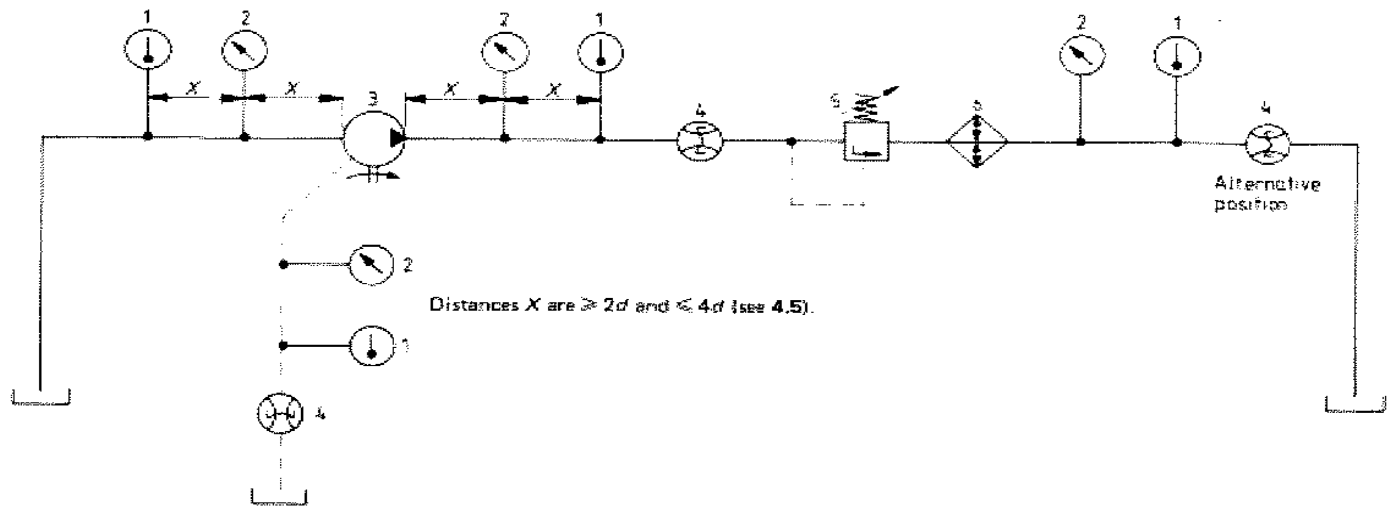
$$N_\kappa = \frac{\gamma Q H_o}{102 \eta \eta_\kappa} \quad [\text{KW}] \quad (34)$$

## 2. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

### 2.1 Πηγές σχεδιασμού

Ο σχεδιασμός της εγκατάστασης βασίστηκε σε έναν βρετανικό κανονισμό, το British Standard BS 4617:1983 "Methods for determining the performance of pumps and motors hydraulic fluid power transmission", ενώ η μέθοδος διεξαγωγής των δοκιμών στο βιβλίο «ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΣΤΡΟΒΙΛΟΜΗΧΑΝΩΝ & ΑΝΤΛΙΩΝ – ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ Ι».

Ο κανονισμός προβλέπει μια διάταξη όπως αυτή φαίνεται στο Διάγραμμα 1. Στο διάγραμμα φαίνονται οι θέσεις στις οποίες θα πρέπει να τοποθετηθούν τα διάφορα εξαρτήματα και οι απαραίτητες αποστάσεις μεταξύ της αντλίας και των μετρητών πίεσης και θερμοκρασίας, η τήρηση των οποίων είναι απαραίτητη για την όσο το δυνατό πιο πραγματική μέτρηση των μεγεθών.



- Key**
1. Temperature indicator
  2. Pressure indicator
  3. Pump under test
  4. Integrating flow meter
  5. Pressure control valve
  6. Temperature controller

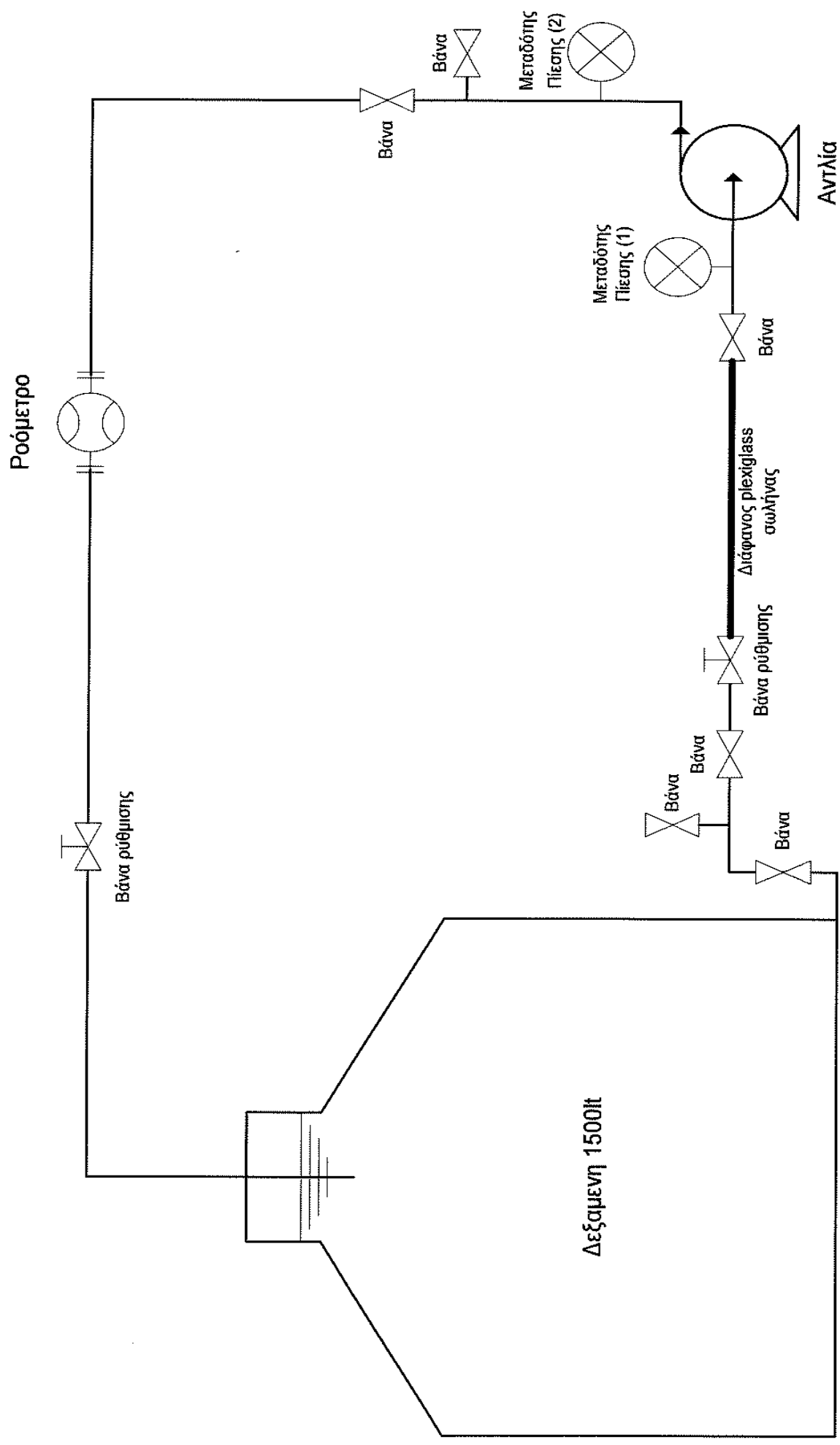
**Διάγραμμα 1: Ανοιχτό κύκλωμα δοκιμής αντλίας (ΠΗΓΗ: BS 4617:1983)**

Το βιβλίο παρέχει αναλυτικές προτάσεις για την μέθοδο μέτρησης και τον υπολογισμό των ζητούμενων καθώς και τρόπους για τον υπολογισμό χρήσιμων παραμέτρων που σχετίζονται με την κατασκευή της διάταξης.

## **2.2 Προσαρμογή**

Στη συγκεκριμένη περίπτωση παραλήφθηκαν οι μετρητές θερμοκρασίας πριν και μετά την αντλία και στην ουσία χρησιμοποιήθηκαν μόνο οι μετρητές πίεσης, το ροόμετρο και η ρυθμιστική βάννα από αυτά που προβλέπονταν. Για λόγους χρηστικούς και ασφαλείας έχουν τοποθετηθεί αρκετές βάννες αποκλεισμού καθώς και λήψεις σε δύο σημεία για πιθανό άδειασμα ή φιλτράρισμα του νερού από τα σωματίδια που κατακάθονται στον πάτο της δεξαμενής. Επίσης υπάρχουν δύο ρυθμιστικές βάννες, μια για την ρύθμιση της παροχής του νερού η οποία βρίσκεται στο τέλος του κυκλώματος και μια πριν από τον διάφανο plexiglass σωλήνα για την μείωση της πίεσης στην αναρρόφηση της αντλίας για την επίδειξη του φαινομένου της σπηλαιώσης. Το ροόμετρο συνδέθηκε στο κύκλωμα με φλάντζες ειδικής κατασκευής από PVC λόγω της ιδιαίτερης μορφολογίας του, αφού προορίζεται για βιομηχανική χρήση. Τέλος, χρησιμοποιήθηκε μια μεγάλη δεξαμενή νερού (1500lt) έτσι ώστε να παραληφθεί η περίπτωση ανόδου της θερμοκρασίας λόγω ενδεχόμενης παρατεταμένης λειτουργίας της αντλίας.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται το σχηματικό διάγραμμα που δείχνει την θέση των οργάνων μέτρησης της εγκατάστασης καθώς επίσης και τα σημεία που έχουν τοποθετηθεί οι βάννες αποκλεισμού και οι ρυθμιστικές.



Διάγραμμα 2: Κύκλωμα νερού της πειραματικής διάταξης

## **3. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ**

### **3.1 Υλικά κατασκευής**

Για την κατασκευή της εγκατάστασης χρησιμοποιήθηκαν τα όργανα και τα υλικά που περιγράφονται παρακάτω και αξίζει να αναφερθεί πως η επιλογή και η σύνθεση τους αποτέλεσε ένα από τα δυσκολότερα μέρη της εργασίας. Αυτό συνέβη διότι ένας φοιτητής που περνά από το επίπεδο της ιδέας, της βιβλιογραφικής αναζήτησης και του σχεδιασμού, στο σημείο της κατασκευής καλείται να υπερπηδήσει εμπόδια τα οποία είναι πολλές φορές δύσκολα και χρονοβόρα στην αντιμετώπισή τους. Αφενός έπρεπε να επιλεχθούν όργανα και υλικά που μπορούν να βρεθούν εύκολα στο εμπόριο από τον ίδιο, και αφετέρου έπρεπε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν από κάποιον ο οποίος δεν θα έχει εξειδικευμένες γνώσεις για την χρήση τους και την σύνδεση μεταξύ τους.

#### **3.1.1 Αντλία**

GRUNDFOS CH 2-60

Οριζόντια πολυβάθμια φυγοκεντρική αντλία με αξονική θύρα αναρρόφησης και ακτινική θύρα κατάθλιψης με μονοφασικό κινητήρα και προστασία θερμικής υπερφόρτωσης. Αντλία και κινητήρας είναι εδρασμένοι σε κοινή βάση.

Παροχή: 2,5 m<sup>3</sup>/h

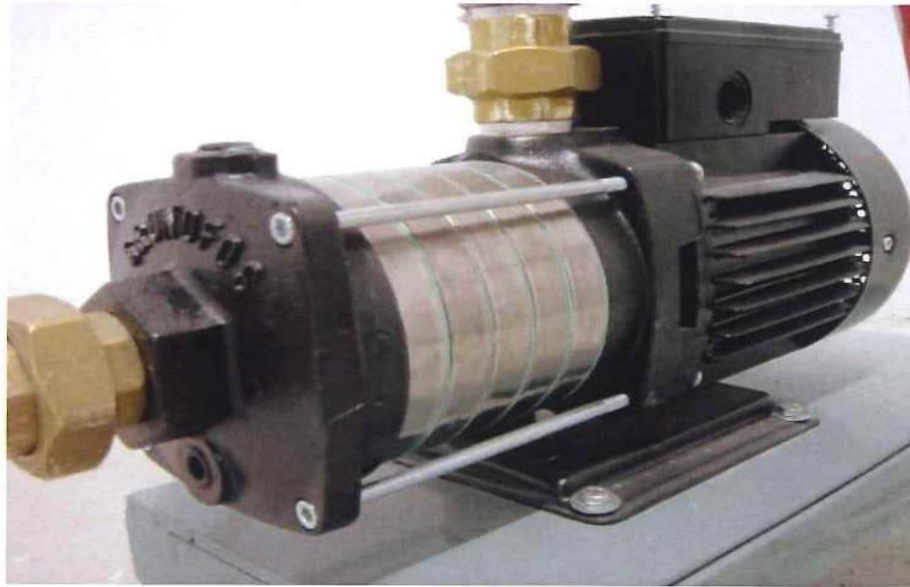
Ύψος: 56 m

Ισχύς: 800 W

Ρεύμα: 3,7 A

Στόμιο εισόδου: 1''

Στόμιο εξόδου: 1''



**Εικόνα 1: Αντλία GRUNDFOS CH 2-60**

### **3.1.2 Μετρητής ροής νερού**

SIEMENS MAG-5100-W DN25

Ηλεκτρομαγνητικό αισθητήριο ροής νερού το οποίο συνδέεται στο κύκλωμα με φλάτζες 1".

Μέγιστη μέτρηση παροχής: 78 m<sup>3</sup>/h

Μέγιστη μέτρηση ταχύτητας ρευστού: 10 m/sec.

Μέγιστη πίεση λειτουργίας: 16 bar



**Εικόνα 2: Μετρητής ροής νερού SIEMENS MAG 5100**



### 3.1.3 Μεταδότης σήματος για τον μετρητή ροής νερού

SIEMENS MAG 6000

Επιτοίχιος προγραμματιζόμενος μεταδότης σήματος με ψηφιακή ένδειξη και πληκτρολόγιο για ρυθμίσεις.

Ακρίβεια μέτρησης: 0.25%

Σήμα εξόδου: 4-20 mA



Εικόνα 3: Μεταδότης σήματος SIEMENS MAG 6000 για τον μετρητή νερού

### 3.1.4 Μεταδότης πίεσης στην αναρρόφηση

DANFOSS MBS-3000

Μεταδότης πίεσης με πιεζοηλεκτρικό αισθητήριο και σπείρωμα G-1/4". Για την προσαρμογή του στο σύστημα χρησιμοποιήθηκε ειδική κατασκευή μετατροπής του G-1/4" σε 1/2".

Περιοχή μέτρησης: 0-4 bar

Ακρίβεια μέτρησης: 0.1-0.5%

Σήμα εξόδου: 4-20 mA



**Εικόνα 4: Μεταδότης πίεσης DANFOSS MBS-3000 πριν την αντλία**

### **3.1.5 Μεταδότης πίεσης στην κατάθλιψη**

DANFOSS MBS-3000

Μεταδότης πίεσης με πιεζοηλεκτρικό αισθητήριο και σπείρωμα G- $\frac{1}{4}$ ". Για την προσαρμογή του στο σύστημα χρησιμοποιήθηκε ειδική κατασκευή μετατροπής του G- $\frac{1}{4}$ " σε  $\frac{1}{2}$ ".

Περιοχή μέτρησης: 0-10 bar

Ακρίβεια μέτρησης: 0.1-0.5%

Σήμα εξόδου: 4-20 mA



**Εικόνα 5: Μεταδότης πίεσης DANFOSS MBS-3000 μετά την αντλία**

### 3.1.6 Μετρητής ισχύος

ELECTREX DEPT 24Vac

Προγραμματιζόμενος ψηφιακός μετρητής ισχύος με μικροεπεξεργαστή.

Περιοχή μέτρησης: Τάση: 500 V, 20-800 Hz. Ρεύμα: 5 A, 20-800 Hz

Μέγιστη μέτρησης: 2200 W

Ακρίβεια μέτρησης: 0.5%

Σήμα εξόδου: 4-20 mA



Εικόνα 6: Μετρητής ισχύος

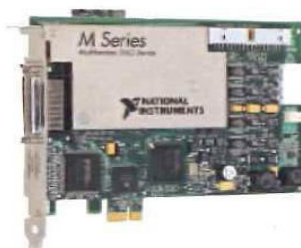
### 3.1.7 Κάρτα ανάκτησης δεδομένων

NATIONAL INSTRUMENTS PCI 6221 M SERIES MULTIFUNCTION DAQ

Ανάλυση ADC: 16 bits

Μέγιστος ρυθμός δειγματοληψίας: 1.25 MS/s

Σήμα εισόδου:  $\pm 10$  V



Εικόνα 7: Κάρτα ανάκτησης δεδομένων NATIONAL INSTRUMENTS



### 3.1.8 Τροφοδοτικό σταθεροποιημένης τάσης SIEMENS LogoPower

Ρεύμα εισόδου: 220V AC

Τάση εξόδου: 24V DC



Εικόνα 8: Τροφοδοτικό σταθεροποιημένης τάσης SIEMENS

### 3.1.9 Δεξαμενή νερού πλαστική

Χωρητικότητα: 1500 lt

Στόμιο εξόδου: 1''



Εικόνα 9: Πλαστική δεξαμενή νερού 1500lt

### 3.1.10 Θερμοκολλητικός σωλήνας

Εξωτερική διάμετρος: 40 mm

Εσωτερική διάμετρος: 26,6mm

Μήκος: 4,5 m (περίπου)



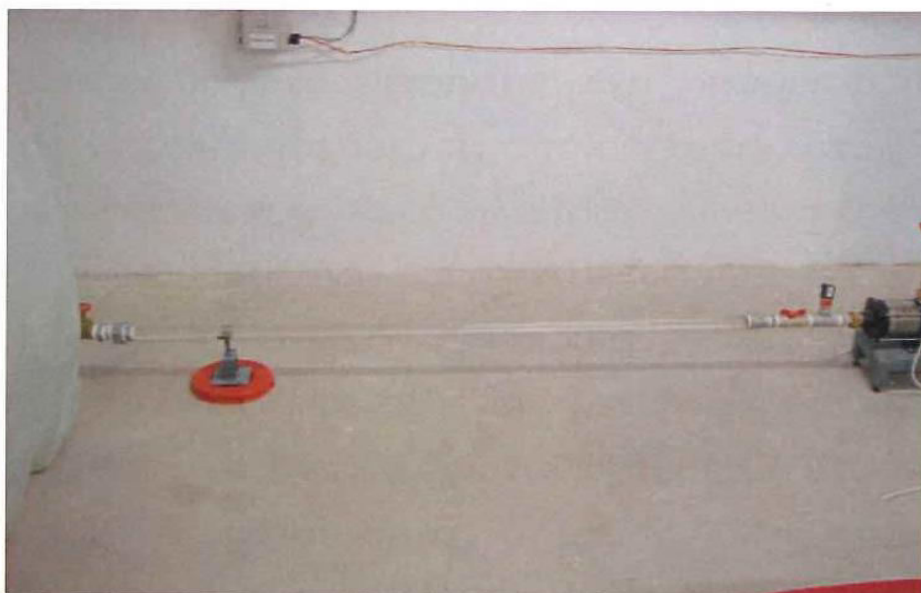
Εικόνα 10: Θερμοκολλητικός σωλήνας υδραυλικών εφαρμογών

### 3.1.11 Plexiglass σωλήνας

Εξωτερική διάμετρος: 40 mm

Εσωτερική διάμετρος: 30 mm

Μήκος: 1,65 m



Εικόνα 11: Τμήμα κυκλώματος με plexiglass σωλήνα

### 3.1.12 Βάση αντλίας, στηρίγματα δαπέδου και ταβανιού

Πρόκειται για ειδικές μεταλλικές κατασκευές οι οποίες σχεδιάστηκαν από τον φοιτητή, σύμφωνα με τις χωροταξικές απαιτήσεις της διάταξης και του δωματίου που παραχωρήθηκε, και κατασκευάστηκαν από το Μηχανουργείο του ΑΗΣ Καρδιάς.

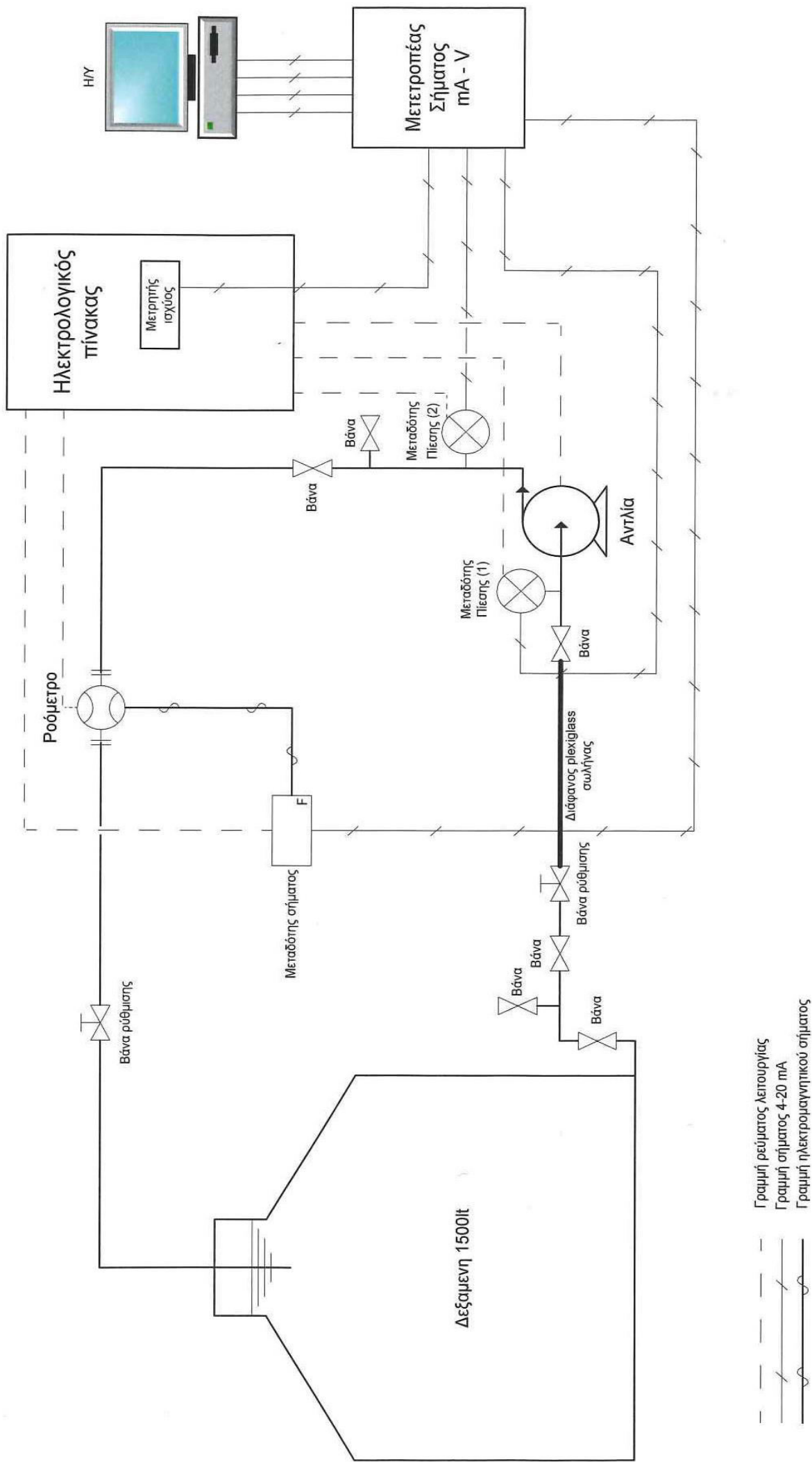


Εικόνα 12: Βάση αντλίας, στηρίγματα δαπέδου και ταβανιού

### 3.2 Σύνδεση εξαρτημάτων

Υπάρχουν τέσσερα όργανα μέτρησης: ένα ροόμετρο, δύο μετρητές πίεσης και ένας μετρητής ισχύος, τα οποία για να λειτουργήσουν τους παρέχεται ρεύμα από τον κεντρικό ηλεκτρικό πίνακα ο οποίος διαθέτει την απαραίτητη συνδεσμολογία και ηλεκτρική ασφάλεια. Ο πίνακας είναι τροφοδοτείται σε μια κοινή πρίζα 220V, 50Hz. Στο ακόλουθο διάγραμμα φαίνεται η συνδεσμολογία μεταξύ των μετρητών και των υπόλοιπων εξαρτημάτων καθώς και τα σήματα εξόδου 4-20 mA τα οποία καταλήγουν σε ένα μετατροπέα σήματος, από όπου τελικά ο υπολογιστής λαμβάνει σήμα 0-10 V για περαιτέρω ανάλυση.





**Διάγραμμα 3: Θέση και σύνδεση των οργάνων μέτρησης**



Εικόνα 13: Γενική άποψη του εργαστηρίου



### 3.3 Ηλεκτρολογικός πίνακας

Ο λόγος δημιουργίας του ηλεκτρολογικού πίνακα είναι να λαμβάνει ρεύμα από μια κοινή πρίζα με ρεύμα 220V 50Hz και να το διανέμει στις επιμέρους συσκευές και στην αντλία με την απαραίτητη ηλεκτρική ασφάλεια. Πιο συγκεκριμένα παρέχεται ρεύμα στα εξής εξαρτήματα:

- Αντλία
- Μεταδότης σήματος ροής (και μέσω αυτού στον αισθητήρα μέτρησης)
- Τροφοδοτικό σταθεροποιημένης τάσης
- Μεταδότες πίεσης (2)
- Μετρητής ισχύος

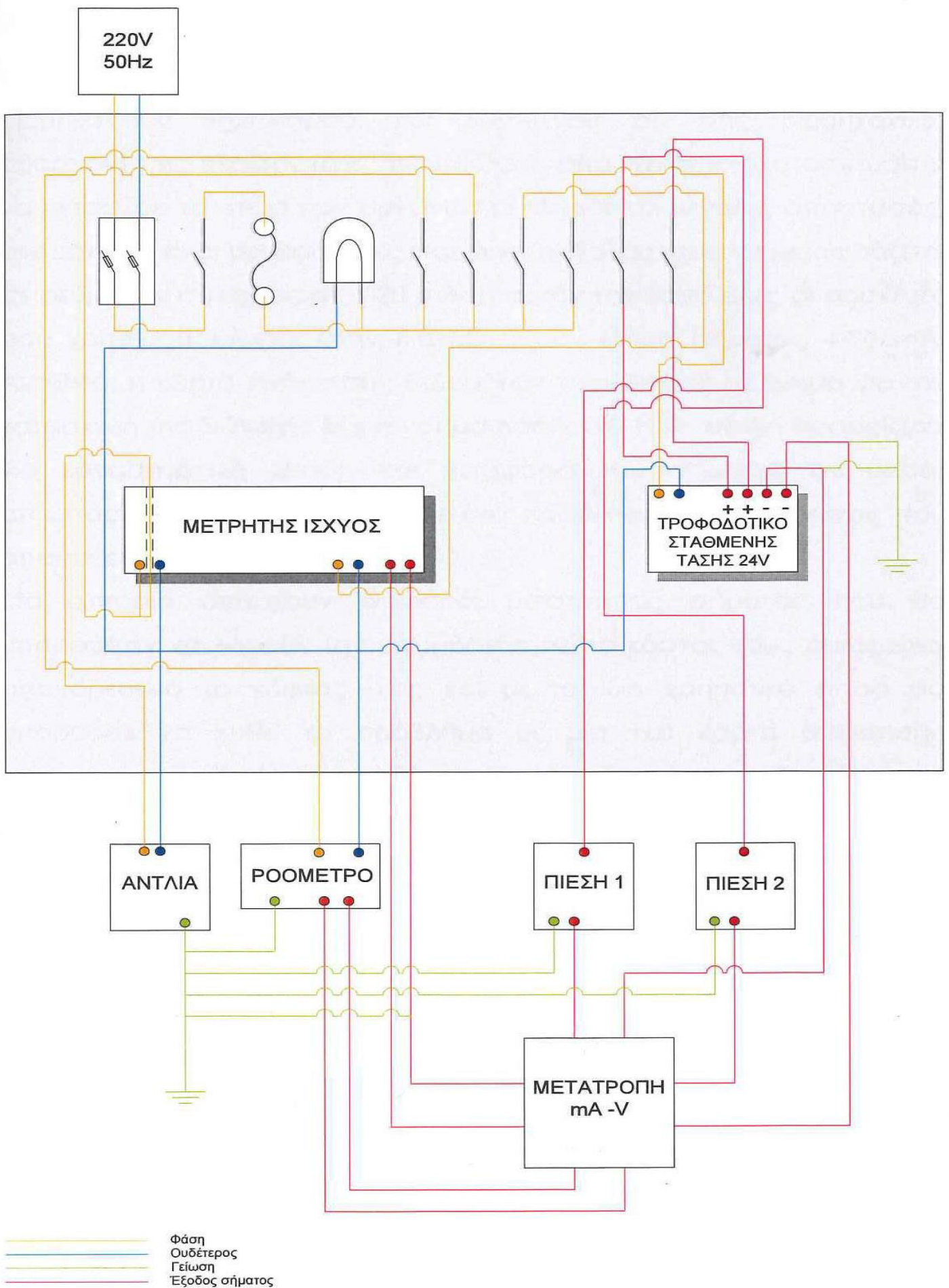
Ο πίνακας περιλαμβάνει το τροφοδοτικό σταθεροποιημένης τάσης και τον μετρητή ισχύος, ενώ τα υπόλοιπα βρίσκονται εκτός αυτού. Επίσης εκεί βρίσκονται:

- Ένας (1) γενικός διακόπτης με προστασία ηλεκτροπληξίας
- Ένας (1) γενικός διακόπτης
- Μία (1) θερμική ασφάλεια
- Μία (1) λυχνία λειτουργίας
- Έξι (6) διακόπτες

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η συνδεσμολογία τόσο του εσωτερικού του πίνακα όσο και των υπόλοιπων ηλεκτρικών συσκευών έξω από αυτόν και ακόμη η έξοδος των σημάτων προς τον μετατροπέα σήματος.



Εικόνα 14: Ηλεκτρικός πίνακας παροχής ρεύματος



Διάγραμμα 4: Ηλεκτρολογική σύνδεση πίνακα και εξαρτημάτων



### 3.4 Μετατροπείας σήματος

Όλα τα εξαρτήματα προέρχονται από καταστήματα προμήθειας βιομηχανικού εξοπλισμού, και δεδομένου ότι στις βιομηχανικές εφαρμογές τις περισσότερες περιπτώσεις απασχολεί τον κατασκευαστή να μεταφέρει το σήμα των οργάνων μέτρησης σε μεγάλες αποστάσεις, οι συσκευές είναι σχεδιασμένες έτσι ώστε η έξοδός τους να μεταφράζεται σε ρεύμα και συνήθως σε 4-20 mA. Γι αυτόν τον λόγο όλες οι συσκευές που χρησιμοποιούνται στην διάταξη έχουν έξοδο σήματος 4-20 mA. Αντίθετα, η κάρτα ανάκτησης δεδομένων που διέθεσε το Τμήμα για την κατασκευή της διάταξης δέχεται σήμα εισόδου 0-10 V, επειδή προορίζεται για εργαστηριακή χρήση και μεταφορά του σήματος σε μικρές αποστάσεις. Έτσι, δημιουργήθηκε ένα πρόβλημα ασυμβατότητας που απαιτούσε λύση.

Στο εμπόριο υπάρχουν διάφοροι μετατροπείς σήματος που θα μπορούσαν να λύσουν την ασυμβατότητα, το κόστος τους όμως είναι απαγορευτικό το κόστος μιας και με το ίδιο χρηματικό ποσό θα μπορούσε να λυθεί το πρόβλημα με μια νέα κάρτα ανάκτησης δεδομένων που θα δεχόταν 4-20 mA σαν είσοδο σήματος. Επομένως το κόστος ήταν άλλος ένας παράγοντας που έπρεπε να ληφθεί υπόψη κατά την αντιμετώπιση του προβλήματος.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση η λύση που δόθηκε είναι αρκετά απλή. Σύμφωνα με τον Νόμο του Ohm:

$$V = IR$$

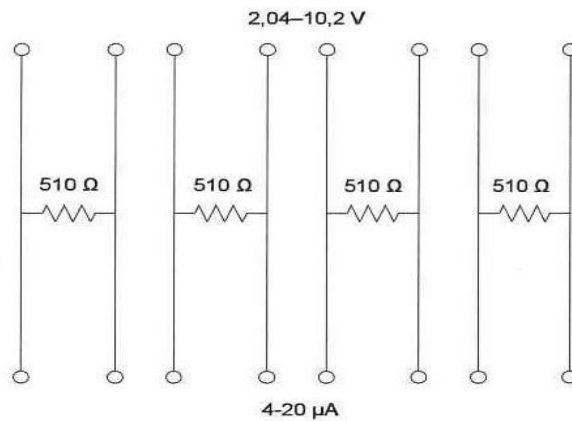
Έτσι συνδέοντας παράλληλα στους δύο ακροδέκτες κάθε συσκευής την κατάλληλη αντίσταση θα έχουμε και το επιθυμητό αποτέλεσμα σε Volt. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιώντας αντιστάσεις των 510 Ω και με ακρίβεια 1% έχουμε την εξής μετατροπή:

mA	V
----	---

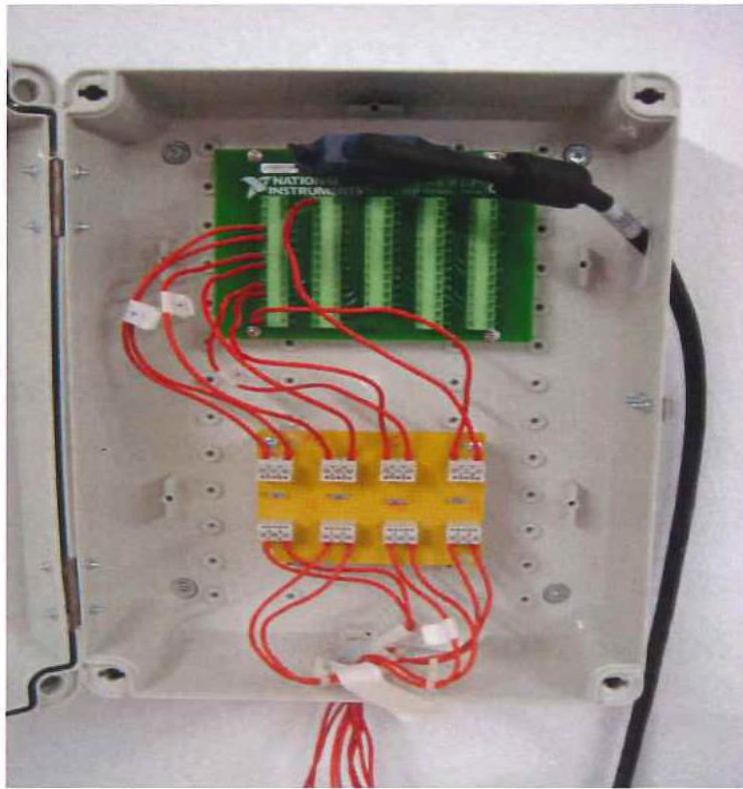
4	2,04
20	10,2

**Πίνακας 1: Αντιστοιχία mA και Volt**

Οι ακροδέκτες των σημάτων οδηγούνται πάνω σε μια ηλεκτρονική πλακέτα στην οποία είναι συνδεδεμένες οι αντιστάσεις παράλληλα στους κύκλωμα των ακροδεκτών, οι οποίοι έπειτα συνδέονται σε μια άλλη πλακέτα με αριθμημένες κλέμες η οποία στέλνει το σήμα στην κάρτα που βρίσκεται μέσα στον ηλεκτρονικό υπολογιστή. Εν τέλει, έπειτα από δοκιμές, το σήμα που έρχεται στον υπολογιστή έχει μια απόκλιση 1,5% από αυτό που θα έπρεπε να δείχνει.



**Διάγραμμα 5: Μετατροπές mA-V**



**Εικόνα 15: Μετατροπέας σήματος και πλακέτα σύνδεσης ακροδεκτών**



## 4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

### 4.1 Εισαγωγή

Στόχος αυτής της πειραματικής διάταξης είναι ο προσδιορισμός της καμπύλης λειτουργίας και του ολικού βαθμού απόδοσης μιας οποιαδήποτε φυγοκεντρικής αντλίας η οποία πληροί τις διαστασιολογικές προϋποθέσεις για να προσαρμοστεί στην διάταξη αυτή. Στην συνέχεια περιγράφονται τα βήματα από την στιγμή που το σήμα καταφθάνει στον υπολογιστή με την μορφή Volt έως και την δημιουργία της καμπύλης και τον υπολογισμό του ολικού βαθμού απόδοσης.

### 4.2 Αντιστοίχιση μονάδων μέτρησης

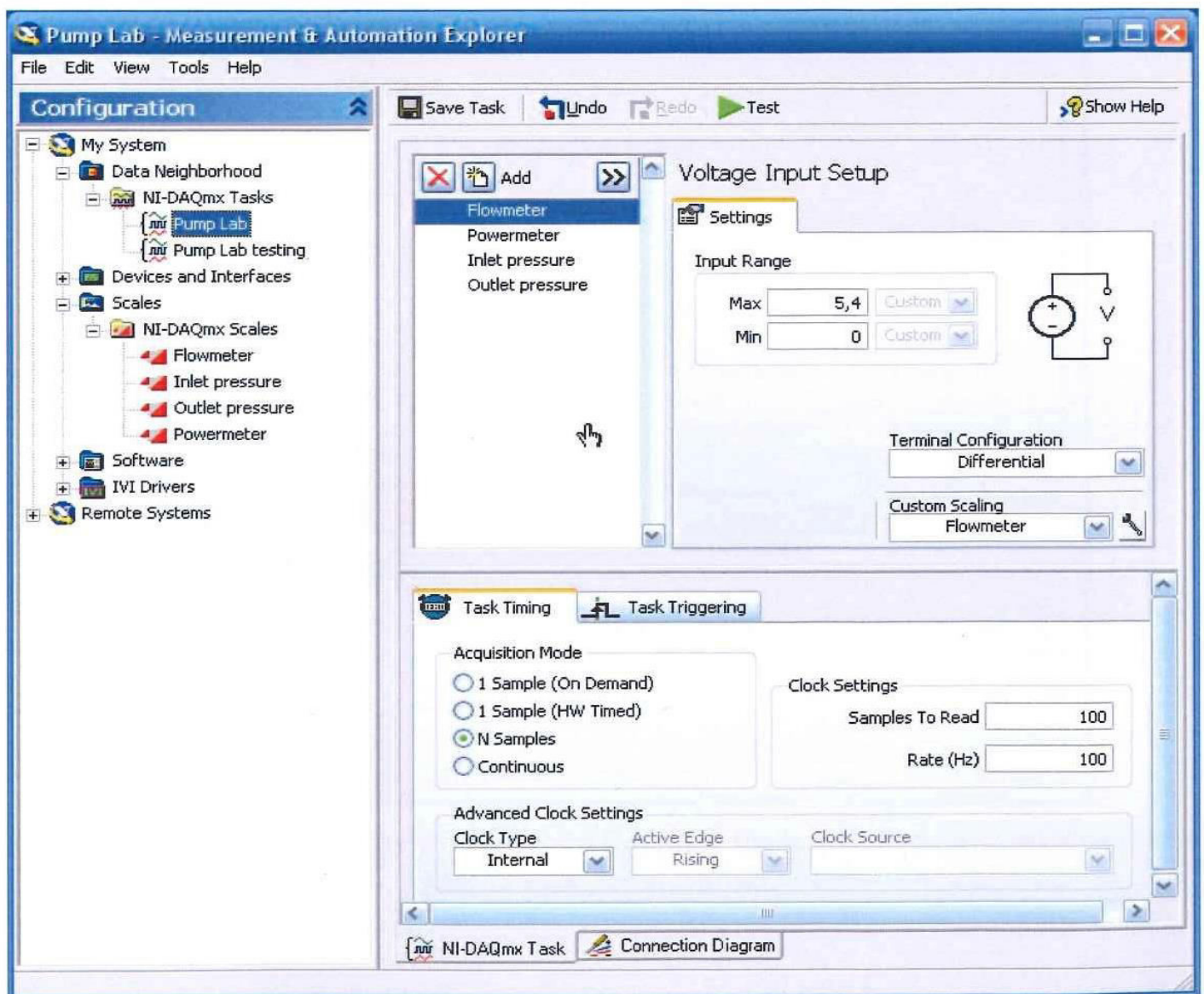
Κάθε ένα από τα όργανα στέλνει στον υπολογιστή την εκάστοτε τιμή μέτρησης με την μορφή τάσης ανάμεσα στα 0-10,2 V. Παρόλο που η κάρτα δέχεται 0-10 V η περίπτωση ένα όργανο να δείξει την μέγιστη τιμή είναι σπάνια κάτω από τις συνθήκες λειτουργίας της συγκεκριμένης διάταξης. Κάθε όργανο μετρά διαφορετικά μεγέθη και έχει διαφορετικό εύρος μέτρησης το οποίο είναι άλλοτε ρυθμιζόμενο όπως στην περίπτωση του ροόμετρου στις άλλες δεν είναι. Ο επόμενος πίνακας δείχνει την αντιστοιχία των μεγεθών των οργάνων

ΣΥΣΚΕΥΗ	Καθόλου ένδειξη	Μηδενική ένδειξη	Μέγιστη ένδειξη	ΜΟΝΑΔΑ
Κάρτα	0	2,04	10	Volts
Ροόμετρο	-	0	5,4	m <sup>3</sup> /η
Μετρητής ισχύος	-	0	4330	Watt
Μεταδότης πίεσης πριν	- ή 0	1	4	Bar
Μεταδότη πίεσης μετα	- ή 0	1	10	Bar

Πίνακας 2: Αντιστοιχία μονάδων μέτρησης

### 4.3 Προετοιμασία πειράματος

Καταρχάς πρέπει να ελεγχθούν αν όλες οι βάνες του κυκλώματος είναι ανοιχτές. Έπειτα να ενεργοποιηθούν τα όργανα μέτρησης και στην συνέχεια θέτεται σε λειτουργία η αντλία. Στο περιβάλλον του ηλεκτρονικού υπολογιστή πρέπει να είναι σε λειτουργία το πρόγραμμα “Measurement & Automation Explorer” που συνοδεύει την κάρτα ανάκτησης δεδομένων και πιο συγκεκριμένα την εφαρμογή που έχει πρωτίτερα δημιουργηθεί αποκλειστικά για την συγκεκριμένη εγκατάσταση (“Pump Lab”).

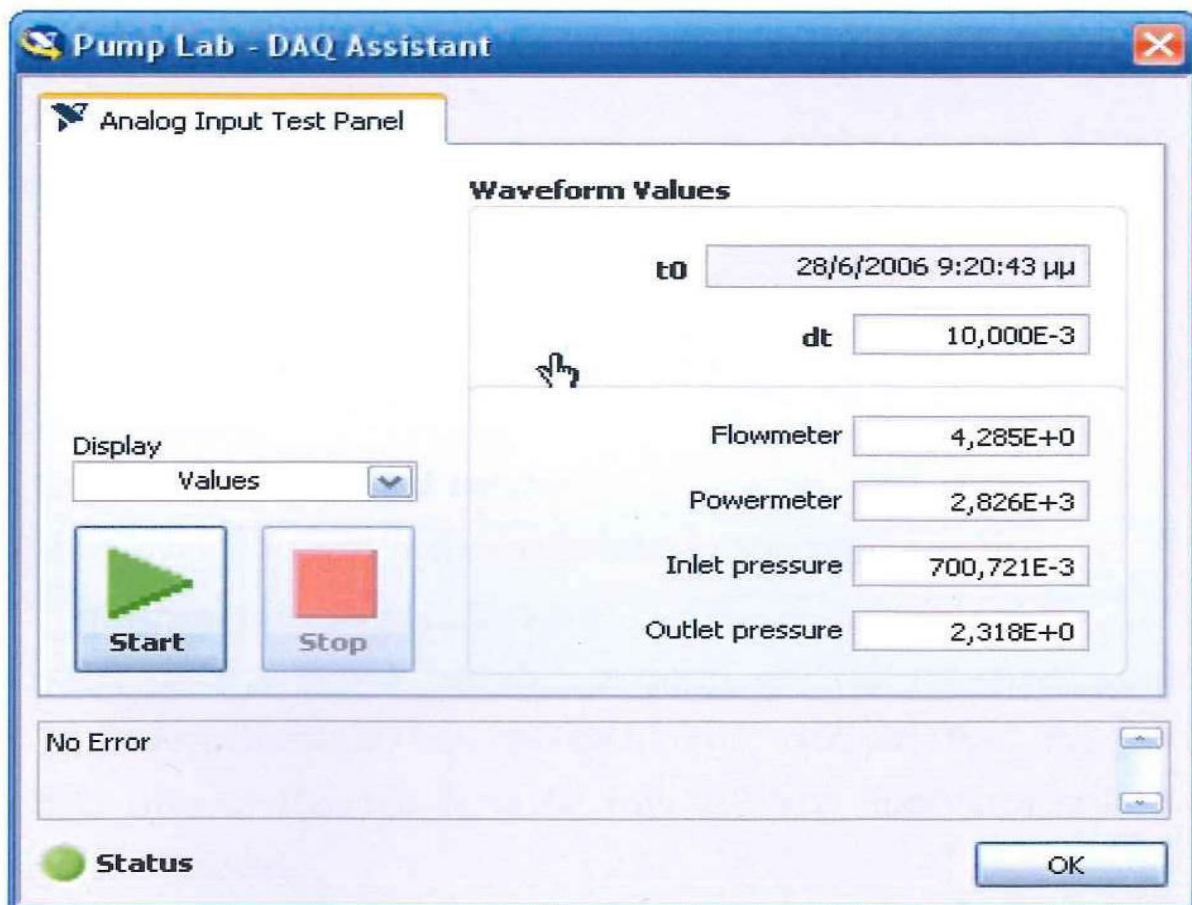


Εικόνα 16: Περιβάλλον προγράμματος “Measurement & Automation Explorer”



## 4.4 Προσδιορισμός καμπύλης λειτουργίας και βαθμού απόδοσης

Για τον προσδιορισμό της καμπύλης λειτουργίας της αντλίας αρκεί για τις δεδομένες στροφές λειτουργίας της να μετρηθεί η πίεση πριν και μετά από την αντλία σε διάφορες τιμές της παροχής. Η παροχή ρυθμίζεται αποκλειστικά και μόνο από την ρυθμιστική βάννα που βρίσκεται στο τέλος του κυκλώματος (μετά από την αντλία). Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνεται ο τρόπος με τον οποίο το πρόγραμμα παρέχει τις τιμές που χρειάζονται για τους περαιτέρω υπολογισμούς για την σχεδίαση της καμπύλης.



Εικόνα 17: Τιμές των μεγεθών για τον προσδιορισμό της καμπύλης λειτουργίας και του ολικού βαθμού απόδοσης

Οι τιμές στα κουτάκια Flowmeter, Powermeter Inlet pressure και Outlet pressure έχουν ήδη μετατραπεί στις επιθυμητές μονάδες ,και στη συνέχεια θα πρέπει να περαστούν πληκτρολογώντας σε ένα φύλλο

εργασίας Microsoft Office EXCEL για να γίνουν οι υπολογισμοί, και να μεταφερθούν τα αποτελέσματα πάνω σε διάγραμμα όπου θα φαίνονται οι καμπύλες.

Το ολικό μανομετρικό ύψος δίνεται από τη σχέση

$$H_{ολ} = \frac{\Delta P}{\rho g}$$

όπου  $\Delta P$  είναι η διαφορά πίεσης στην είσοδο και έξοδο της αντλίας σε Pascal

$\rho$  είναι η πυκνότητα του νερού και είναι ίση με  $1000 \text{ kg/m}^3$

$g = 9.81 \text{ m/s}^2$

Ο ολικός βαθμός απόδοσης της αντλίας δίνεται από τη σχέση

$$\eta_{ολ} = \frac{\Delta P \times Q}{V \times I}$$

όπου  $Q$  είναι η παροχή σε  $\text{m}^3/\text{h}$

$V \times I$  είναι η ισχύς που καταναλώνεται στην αντλία

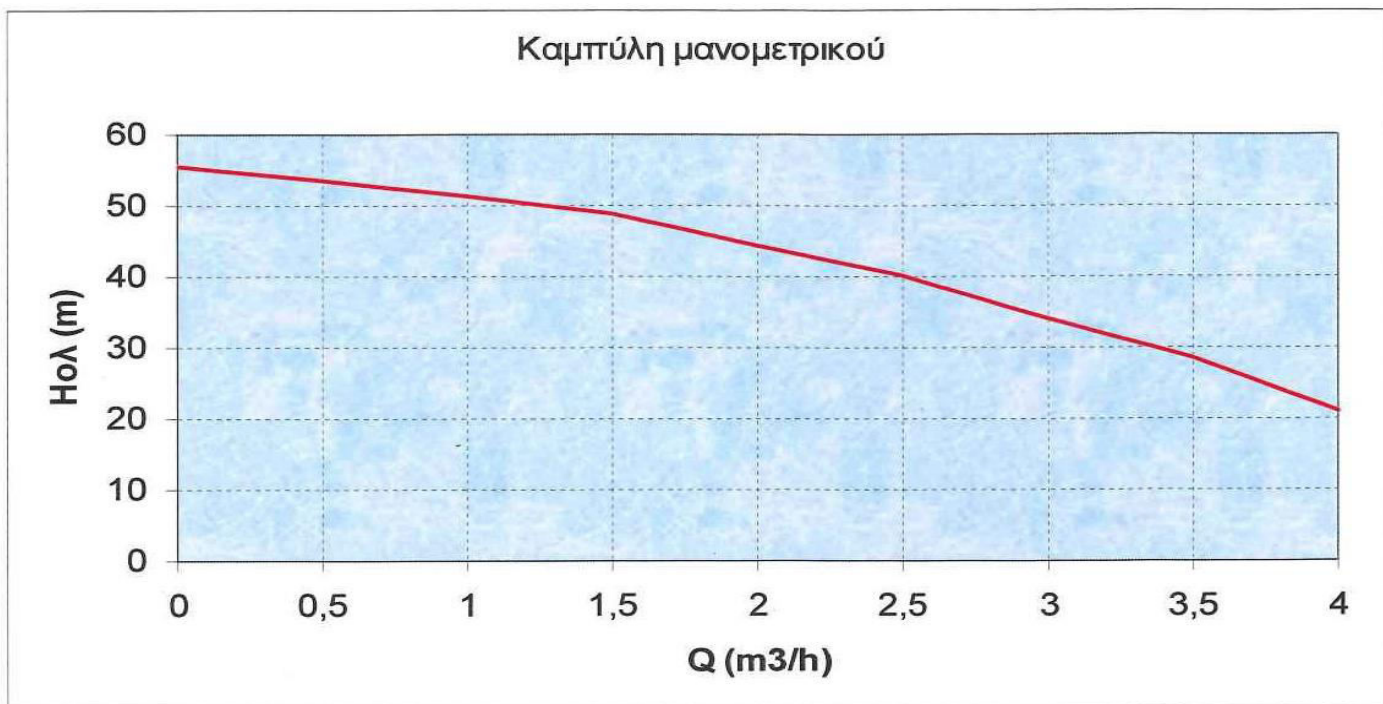
Ξεκινώντας με την βάννα τελείως ανοιχτή και για τις συγκεκριμένες τιμές ροής συμπληρώνουμε τον πίνακα στις στήλες  $P_{αν}$ ,  $P_{κατ}$  και  $V \times I$  και αυτόματα υπολογίζονται οι τιμές των  $\Delta P$  και φαίνεται στο διάγραμμα που τον ακολουθεί.

Q	Q (πραγματική)	$P_{αν}$	$P_{κατ}$	$\Delta P$	$H_{ολ}$	$V \times I$	$\eta_{ολ}$
$[\text{m}^3/\text{h}]$	$[\text{m}^3/\text{h}]$	[Bar]	[Bar]	[Bar]	[m]	[Watt]	
0	0	0,853	6,303	5,45	55,56	431,134	-
0,5	0,411	0,875	6,137	5,262	53,64	492,191	0,004394
1	1,002	0,852	5,898	5,046	51,44	577,576	0,008754
1,5	1,491	0,842	5,627	4,785	48,78	644,291	0,011073

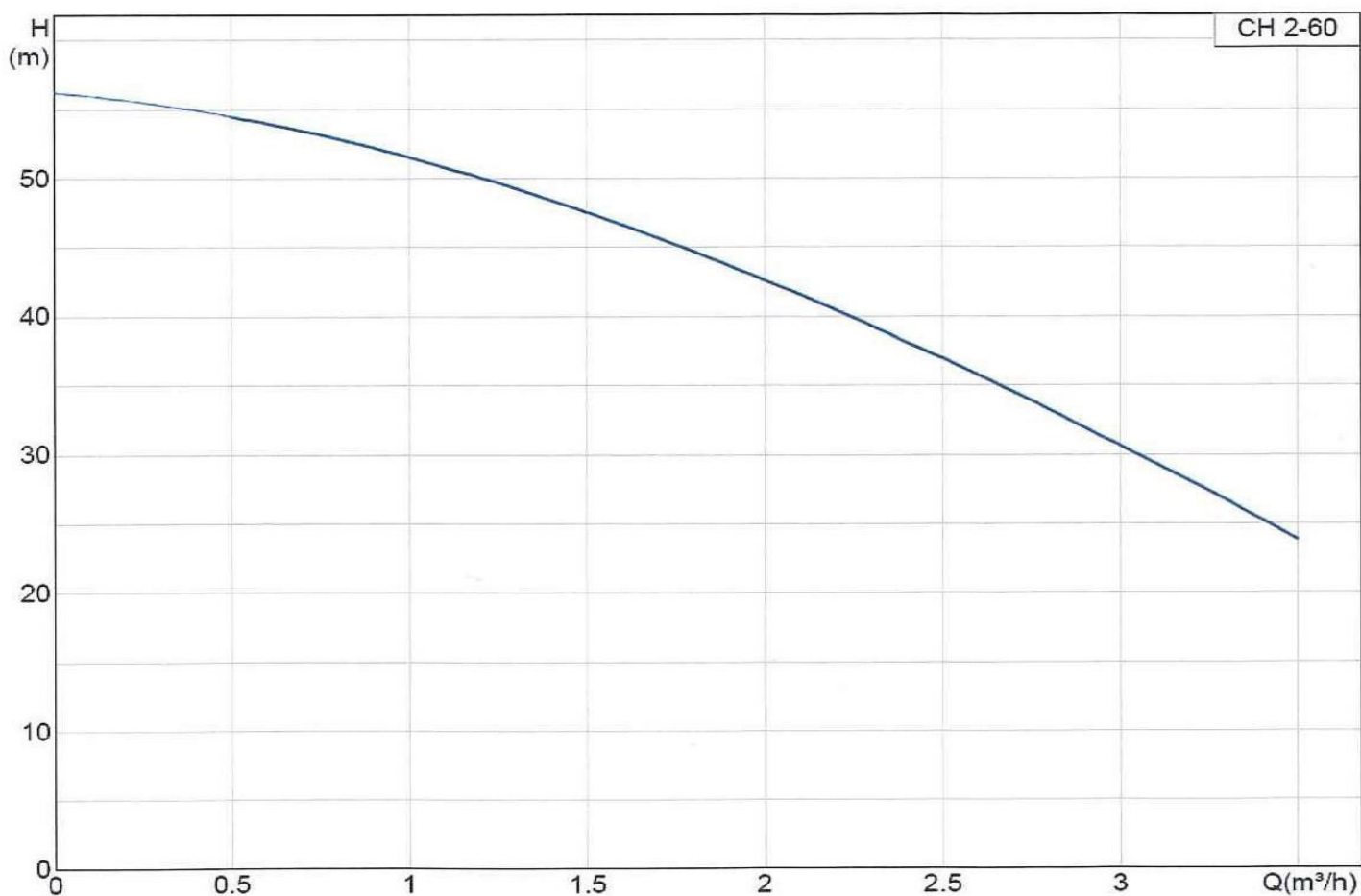
2	2,016	0,839	5,191	4,352	44,36	703,362	0,012474
2,5	2,522	0,801	4,742	3,941	40,17	726,593	0,013679
3	3,046	0,781	4,131	3,35	34,15	725,302	0,014069
3,5	3,533	0,752	3,563	2,811	28,65	727,983	0,013642
4	4,059	0,716	2,791	2,075	21,15	717,559	0,011738

**Πίνακας 3: Εισαγωγή τιμών στον πίνακα EXCEL**

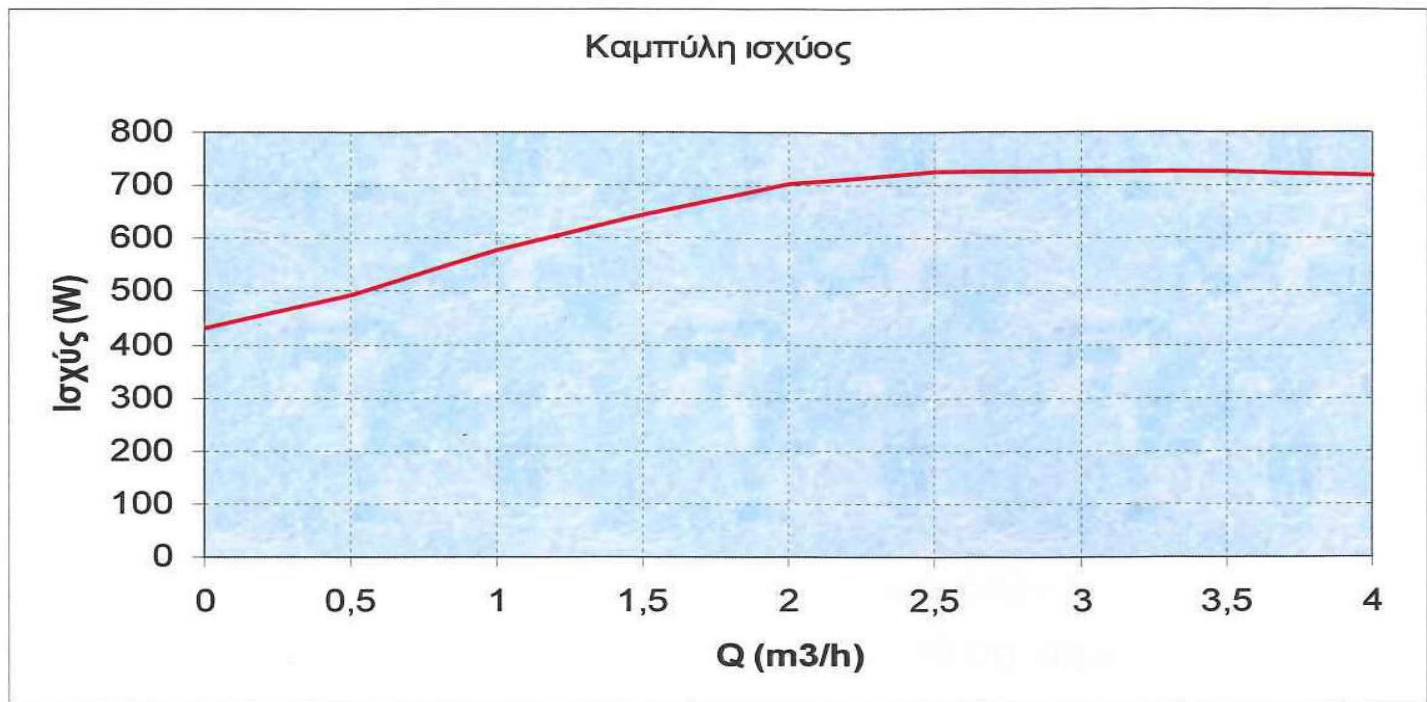




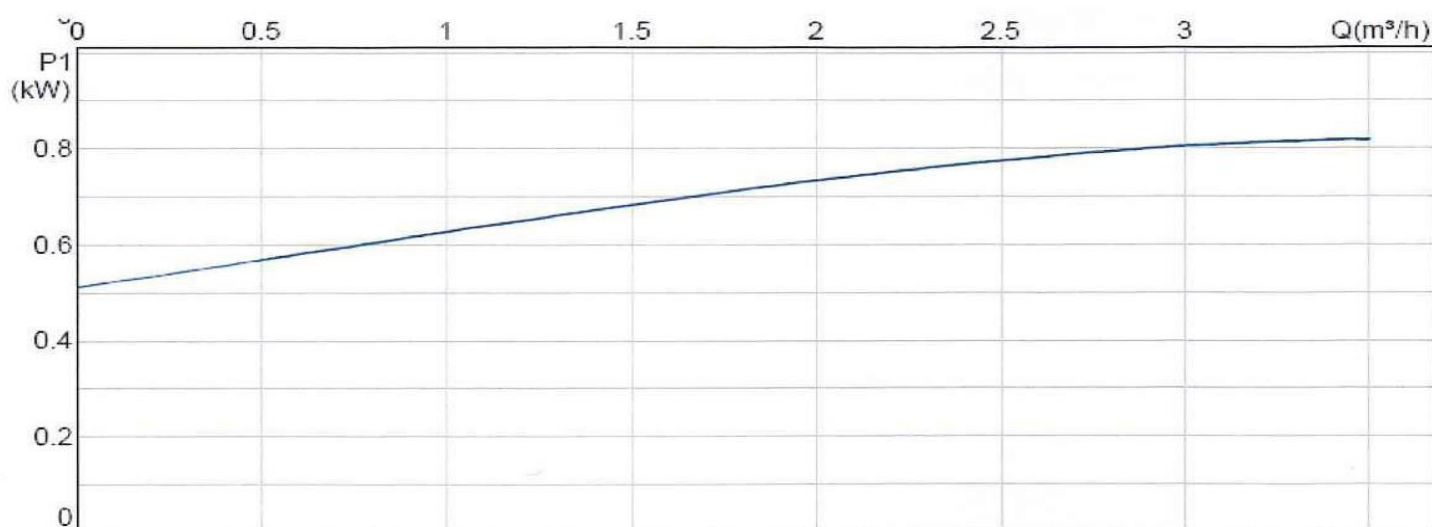
**Διάγραμμα 6: Χαρακτηριστική καμπύλη λειτουργίας της αντλίας**



**Διάγραμμα 7: Καμπύλη λειτουργίας από τον κατασκευαστή (ΠΗΓΗ: GRUNDFOS WinCAPS)**



Διάγραμμα 8: Καμπύλη ισχύος της αντλίας



Διάγραμμα 9: Καμπύλη ισχύος από τον κατασκευαστή (ΠΗΓΗ: GRUNFOS WinCAPS)

Συγκρίνοντας της παραπάνω καμπύλη λειτουργίας με αυτή που δίνει ο κατασκευαστής (Grundfos) φαίνεται πως ταυτίζονται, επομένως η πειραματική διάταξη έχει τη δυνατότητα να παράγει πραγματικά αποτελέσματα και να είναι αξιόπιστη. Όσον αφορά την καμπύλη ισχύος, βλέπουμε μια μικρή απόκλιση στα αποτελέσματα η οποία πρέπει να αποτελέσει αντικείμενο μελάτης από όποιον ασχοληθεί με την περαιτέρω λειτουργία και ανάπτυξη του εργαστηρίου. Πιθανότατα να οφείλεται

στην παρατεταμένη διακοπή της τροφοδοσίας νερού για την δημιουργία του φαινομένου της σπηλαιώσης.

#### **4.5 Παρατήρηση φαινομένου σπηλαιώσης**

Το εργαστήριο αυτό έχει και το ρόλο επίδειξης. Γι αυτόν τον λόγο τοποθετήθηκε ένα μεγάλο κομμάτι διάφανου plexiglass σωλήνα και μια ρυθμιστική βάνα πριν από αυτόν για την επίδειξη του φαινομένου δημιουργίας σπηλαιώσης.

Θέτουμε σε λειτουργία την αντλία και στην συνέχεια κλείνουμε με αργό ρυθμό την ρυθμιστική βάνα και παρατηρούμε όταν η απόλυτη στατική πίεση του νερού πέσει κάτω από την σχετική πίεση ατμού του υγρού να εμφανίζονται φυσαλίδες ατμού του νερού. Όσο περισσότερο κλείνει η βάνα, το φαινόμενο γίνεται όλο και πιο έντονο, όμως δεν θα πρέπει να κρατήσουμε την βάνα κάτω από την τελείως ανοιχτή θέση για πολύ, παρά μόνο για μερικά δευτερόλεπτα επειδή υπάρχει κίνδυνος καταστροφής των πτερυγίων της αντλίας.

## **5. ΕΠΙΛΟΓΟΣ**

### **5.1 Διευκρινήσεις**

Η συγκεκριμένη εγκατάσταση αποτελεί το μεγαλύτερο κομμάτι αυτής της διπλωματικής εργασίας. Δημιουργήθηκε κυρίως για εκπαιδευτικούς σκοπούς, γι αυτό το λόγο αυτό το γραπτό μέρος θα μπορούσε να αντικαθιστά το εγχειρίδιο χρήσης και λειτουργίας του δοκιμαστηρίου. Παράλληλα καταβλήθηκε μεγάλη προσπάθεια μέσα από φωτογραφίες και σχεδιαγράμματα να μπορέσει ο οποιοσδήποτε αναγνώστης να κατανοήσει τον τρόπο κατασκευής και τη συνθήκες λειτουργίας της εγκατάστασης. Το παράρτημα το οποίο το συνοδεύει αποτελεί το υλικό και τις οδηγίες για μια εργαστηριακή άσκηση που θα μπορούσε να διεξαχθεί στα πλαίσια των μαθημάτων που σχετίζονται με αντλίες γενικότερα.

### **5.2 Προτάσεις**

Υπάρχουν πολλά περιθώρια βελτίωσης που θα καθιστούσαν την κατασκευή αυτή πιο χρηστική και ενδιαφέρουσα σε ερευνητικό και εκπαιδευτικό επίπεδο.

- Είναι απαραίτητο να αντικατασταθεί ο υφιστάμενος μετατροπέας σήματος, μιας και πρόκειται για μια απλή πατέντα η μειώνει το πολύ υψηλό επίπεδο ακρίβειας που διαθέτουν τα όργανα μέτρησης. Έτσι, θα αυξηθεί η αξιοπιστία του δοκιμαστηρίου.
- Προχωρώντας σε ενέργειες βελτίωσης, θα μπορούσε κατ' αρχήν να χρησιμοποιηθεί μια γλώσσα προγραμματισμού όπως η Visual BASIC με την οποία μπορεί να επικοινωνήσει το λογισμικό που συνοδεύει την κάρτα ανάκτησης δεδομένων, για την ανάπτυξη ενός αλγόριθμου με ένα φιλικό περιβάλλον εργασίας και επικοινωνίας προς τον χρήστη της πειραματικής διάταξης. Ο αλγόριθμος αυτός θα μπορεί αυτόματα να εισάγει τις τιμές των

οργάνων τη δεδομένη στιγμή και για συγκεκριμένη παροχή, και να εξάγει αυτόματα τα αποτελέσματα που μας ενδιαφέρουν, γλιτώνοντας έτσι τον χρήστη από την χειροκίνητη εισαγωγή τους στο EXCEL.

- Ο αλγόριθμος αυτός σε συνδυασμό με μια ηλεκτροβάννα, η οποία θα αντικαθιστούσε την υφιστάμενη χειροκίνητη, θα μπορεί να ρυθμίζει την παροχή αυτόματα μέσα από το περιβάλλον του υπολογιστή με αρκετά μεγαλύτερη ακρίβεια και σε λιγότερο χρόνο. Με αυτόν τον τρόπο θα αυτοματοποιούνταν σε μεγάλο βαθμό η μετρητική διαδικασία.
- Επίσης, η εγκατάσταση και χρήση ενός ποτενσιόμετρου στον ηλεκτρικό πίνακα, θα έδινε την δυνατότητα ρύθμισης της αντλίας και μέτρησης της καμπύλης λειτουργίας σε διαφορετικές στροφές λειτουργίας.
- Ακόμη, ενδιαφέρον θα είχε η προσπάθεια μέτρησης των ο προσδιορισμός και υπολογισμός των απωλειών που υπάρχουν στο σύστημα, βελτιώνοντας έτσι την αξιοπιστία της εγκατάστασης και κατ' επέκταση των πειραμάτων.
- Τέλος, θα μπορούσαν να σχεδιαστούν νέα, με διαφορετική μορφολογία πτερύγια, και αφού αντικαταστήσουν τα υφιστάμενα στην αντλία, θα μπορούσε να αποτυπωθεί και αναλυθεί η συμπεριφορά τους μέσω των αποτελεσμάτων που θα ληφθούν από την μετρητική διαδικασία. Αυτός ο τρόπος θα οδηγούσε στην δημιουργία καινοτόμων πτερυγίων για την αντλία, αλλά κυρίως στην εξοικείωση των φοιτητών με την τεχνολογία των αντλιών.



## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι**

## **Βήματα διεξαγωγής πειράματος προσδιορισμού χαρακτηριστικής καμπύλης λειτουργίας και βαθμού απόδοσης**

Στόχος αυτής της πειραματικής διάταξης είναι ο προσδιορισμός της καμπύλης λειτουργίας και του ολικού βαθμού απόδοσης μιας οποιαδήποτε φυγοκεντρικής αντλίας η οποία πληροί τις διαστασιολογικές προϋποθέσεις για να προσαρμοστεί στην διάταξη αυτή. Για την σωστή και ασφαλή λειτουργία του δοκιμαστηρίου αντλιών παρακαλείσθε όπως ακολουθήσετε τις παρακάτω οδηγίες χρήσης και λειτουργίας.

1. Προσαρμόζουμε την εκάστοτε αντλία προς δοκιμή πάνω στη μεταλλική βάση ρυθμίζοντας το ύψος από τα ποδαράκια της έτσι ώστε ο plexiglass σωλήνας να βρίσκεται σε οριζόντια θέση παράλληλα προς το έδαφος για να μην ασκούνται επάνω του καμπτικές δυνάμεις.
2. Ελέγχουμε όλες τις βάνες της διάταξης ότι βρίσκονται στην τελείως ανοιχτή θέση.
3. Τροφοδοτούμε τον ηλεκτρικό πίνακα με ρεύμα βάζοντας στην πρίζα και στην συνέχεια σηκώνουμε τον διακόπτη SHOCK PROOF και με τη σειρά τους υπόλοιπους διακόπτες προς τα αριστερά.
4. Ενεργοποιούμε τον ηλεκτρονικό υπολογιστή, τρέχουμε την εφαρμογή "Measurement & Automation Explorer" από τη συντόμευση στην επιφάνεια εργασίας.
5. Στο δενδρικό διάγραμμα που βρίσκεται δεξιά επιλέγουμε: My System>Data Neighborhood>Pump Lab.
6. Ελέγχουμε έτσι ώστε στη δειγματοληψία να είναι επιλεγμένο το "N samples" και πατάμε το κουμπί "Test". Στο νέο παράθυρο επιλέγουμε να βλέπουμε τα αποτελέσματα με τη μορφή "Values"
7. Ανοίγουμε το αρχείο EXCEL "Προσδιορισμός βαθμού απόδοσης και καμπύλης λειτουργίας"

8. Θέτουμε την αντλία σε λειτουργία και με τη ρυθμιστική βάνα που βρίσκεται στο τέλος της διάταξης προσπαθούμε να επιτύχουμε την επιθυμητή παροχή κλείνοντας την με αργό ρυθμό.
9. Ακολουθούμε τις τιμές ροής που προτείνει το αρχείο EXCEL μία προς μία αρχίζοντας από τη μεγαλύτερη και όταν σταθεροποιήσουμε τη ροή περίπου στην επιθυμητή πατάμε το κουμπι "PLAY" και μετά από λίγο οι τιμές εμφανίζονται.
10. Περνάμε τις τιμές αυτές στα ανάλογα κουτάκια του αρχείου EXCEL και σταδιακά βλέπουμε στο διάγραμμα που συνοδεύει τον πίνακα να εμφανίζεται η καμπύλη λειτουργίας και η καμπύλη που εμφανίζει το βαθμό απόδοσης.
11. Μετά το πέρας του πειράματος κλείνουμε όλα τα εξαρτήματα με την αντίστροφη σειρά που τα ανοίξαμε έτσι ώστε να είναι το σύστημα έτοιμο για την επόμενη χρήση.

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ**

## Χρήσιμες παρατηρήσεις

- Κατά την κατασκευή του κυκλώματος του νερού καταβλήθηκε προσπάθεια ώστε να διατηρηθεί η εσωτερική διάμετρος του συνόλου των σωλήνων σταθερή και ίση με το άνοιγμα της αναρρόφησης και κατάθλιψης. Αυτό επιτεύχθηκε στο βαθμό που ήταν δυνατό όσον αφορά τα υλικά που μπορούσαν να βρεθούν εύκολα στο εμπόριο. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε θερμοκολλητικός σωλήνας 1¼'' έτσι ώστε η εσωτερική διάμετρος να προσεγγίζει αυτήν της αντλίας και του ροόμετρου, και ακόμη επειδή οι ρυθμιστικές βάνες λόγω κατασκευής έχουν μικρότερη εσωτερική διάμετρο από τα υπόλοιπα μεταλλικά εξαρτήματα που χρησιμοποιήθηκαν (ρακόρ, γωνίες, βάνες), επιλέχθηκε και σε αυτή την περίπτωση μια διάσταση παραπάνω δηλαδή 1¼''.
- Αξίζει να σημειωθεί η εξής ιδιαιτερότητα κάποιων συνδέσεων: στο σήμα που έρχεται από τον μετρητή ισχύος και από τους μεταδότες πίεσης έχει συνδεθεί με τη γείωση του ηλεκτρικού πίνακα το αρνητικός (-) ακροδέκτης. Πριν από αυτή τη σύνδεση τα σήματα αυτά κατέφταναν στον υπολογιστή αλλοιωμένα ακολουθώντας μια περιοδική αυξομείωση χωρίς να εμφανίζουν ευδιάκριτα τα σωστά αποτελέσματα.
- Το κομμάτι του σωλήνα από plexiglass για να συνδεθεί στο κύκλωμα πέρασε από τόρνο στο Μηχανουργείο του ΑΗΣ Καρδιάς έτσι ώστε να δημιουργηθεί το απαραίτητο σπείρωμα.
- Ανάμεσα στην ένδειξη της οθόνης του ροόμετρου και σε αυτήν του προγράμματος Pump Lab υπάρχει μια απόκλιση της τάξης του 1-1,5%. Αυτό οφείλεται πιθανότατα στη μετατροπή του σήματος από mA σε Volt, και συμβαίνει με όλα τα όργανα μέτρησης που χρησιμοποιούνται στην διάταξη.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- British Standard, BS 4617:1983, "Methods for determining the performance of pumps and motors hydraulic fluid power transmission"
- Ν. Β. Βλαχάκης – Α.Κ. Μπαλντούκας, «ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΣΤΡΟΒΙΛΟΜΗΧΑΝΩΝ & ΑΝΤΛΙΩΝ – ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ Ι».
- Ι. Μ. Μαυρουδής, «Αντλίες και σωληνώσεις», εκδ. Β', 2000
- Κ. Β. Ακριτιδης, «Αντλίες»
- Εγχειρίδιο χρήσης, "Electronic flowmeter SIEMENS MAG 5100W and transmitter MAG 6000"
- Φύλλο τεχνικών οδηγιών, "DANFOSS MBS 3000 pressure transmitter for industrial applications"
- Εγχειρίδιο χρήσης, "Energy supervision transducer ELECTREX DEPT4-20"
- Οδηγός χρήσης, "NATIONAL INSTRUMENTS DAQ quick start guide"
- Πρόγραμμα τεχνικών πληροφοριών αντλιών, "GRUNDFOS WinCAPS"