

**Τ.Ε.Ι. ΠΑΤΡΩΝ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ & ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗΣ  
ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΑΝΤΛΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ  
ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΡΕΥΣΤΩΝ**



**ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΣΠΟΥΔΑΣΤΩΝ  
ΚΟΥΒΑΡΟΣ ΝΙΚΟΛΑΣ  
ΜΑΜΑ ΜΙΧΑΛΗΣ**

**ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ  
ΙΩΑΝΝΗΣ ΓΙΑΝΝΑΚΗΣ  
ΚΡΟΥΣΤΑΛΛΗ ΑΝΘΗ**

**ΠΑΤΡΑ 2008**

## **ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ**

<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b>	<b>4</b>
<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	<b>5</b>
<b>1. ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΟΙ</b>	<b>6</b>
<b>1.2 ΔΙΑΚΡΙΣΗ ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΩΝ</b>	<b>6</b>
<b>1.3 ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΟΙ ΔΡΑΣΗΣ</b>	<b>8</b>
<b>1.4 ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΟΣ ΔΡΑΣΕΩΣ PELTON</b>	<b>10</b>
<b>1.5 ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΟΙ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗΣ</b>	<b>11</b>
<b>1.6 ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΟΣ FRANCIS</b>	<b>13</b>
<b>1.7 Ο ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΟΣ KARLAN</b>	<b>14</b>
<b>2. ΑΝΤΛΙΕΣ</b>	<b>16</b>
<b>2.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ</b>	<b>16</b>
<b>2.2 ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ</b>	<b>17</b>
<b>2.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΩΝ ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΩΣ</b>	<b>19</b>
<b>3. Η ΣΩΛΗΝΟΓΡΑΜΜΗ</b>	<b>21</b>
<b>3.1 ΣΩΛΗΝΑΣ ΑΝΑΡΡΟΦΗΣΕΩΣ</b>	<b>21</b>
<b>3.2. ΣΩΛΗΝΑΣ ΚΑΤΑΘΛΙΨΕΩΣ</b>	<b>23</b>
<b>3.3. ΒΟΗΘΗΤΙΚΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ</b>	<b>24</b>
<b>4. ΣΠΗΛΛΙΩΣΗ</b>	<b>25</b>
<b>4.1 ΓΕΝΙΚΑ</b>	<b>25</b>

<b>4.2. ΘΕΣΕΙΣ ΟΠΟΥ ΕΚΔΗΛΩΝΕΤΑΙ Η ΣΠΗΛΛΑΙΩΣΗ</b>	<b>27</b>
<b>4.3 ΣΥΜΠΤΩΜΑΤΑ ΤΗΣ ΣΠΗΛΛΑΙΩΣΕΩΣ</b>	<b>28</b>
<b>4.4. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΠΗΛΛΑΙΩΣΕΩΣ</b>	<b>30</b>
<b>5.1 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ</b>	<b>33</b>
<b>5.2 ΚΥΚΛΩΜΑ ΥΔΡΟΡΟΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ –ΣΤΡΟΒΙΛΟΥ</b>	<b>34</b>
<b>5.3 ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΙΜΑ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΑΝΤΛΙΑΣ – ΣΤΡΟΒΙΛΟΥ</b>	<b>38</b>
<b>5.4 ΕΛΕΓΧΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ – ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ</b>	<b>39</b>
<b>5.5 ΚΥΚΛΩΜΑ ΚΑΤΑ ΤΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΩΝ ΠΙΕΣΕΩΝ</b>	<b>40</b>
<b>5.6 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ</b>	<b>43</b>
<b>5.7 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ</b>	<b>44</b>
<b>6. ΕΠΙΣΚΕΥΗ - ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ – ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ</b>	<b>47</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>	<b>72</b>

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στον εργαστηριακό χώρο του Τμήματος Μηχανολογίας της αίθουσας Υδραυλικής, υπάρχει μια εργαστηριακή συσκευή στροβιλοαντλίας για την εκπαίδευση των σπουδαστών. Η συγκεκριμένη ηλεκτρομηχανολογική διάταξη τα τελευταία χρόνια είχε τεθεί εκτός λειτουργίας εξαιτίας του ότι έφερε πολλαπλά μηχανολογικά σφάλματα. Για εκπόνηση πτυχιακής εργασίας έγινε ανάθεση η επισκευή και η συντήρηση αυτής της εργαστηριακής συσκευής με απότερο σκοπό την επιδιόρθωσή της.

Στην παρούσα Πτυχιακή Εργασία ο αναγνώστης στα πρώτα τρία κεφάλαια ενημερώνεται γενικά περί τις αντλίες και τους στροβίλους καθώς επίσης και τα κύρια χαρακτηριστικά αυτών. Κατόπιν στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται πλήρη περιγραφή της Εργαστηριακής Συσκευής της Στροβιλαντλίας, δηλαδή τον τρόπο λειτουργίας, την περιγραφή των οργάνων, καθώς επίσης και τις χαρακτηριστικές καμπύλες που προκύπτουν από τις μετρήσεις. Τέλος στο τελευταίο κεφάλαιο περιγράφονται αναλυτικά όλες οι διεργασίες που πραγματοποιήθηκαν στην προσπάθεια να τεθεί ξανά σε πλήρη λειτουργία η συσκευή.

## **ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Το θέμα της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας εισηγήθηκε από τον κ. Ιωάννη Γιαννάκη και από την κα Ανθή Κουστάλλη. Το συγκεκριμένο θέμα επιλέχθηκε σε μια προσπάθεια αναβάθμισης του Εργαστηριακού Χώρου της αίθουσας Υδραυλικής.

Η Εργαστηριακή Μονάδα Αντλιοστρόβιλου είναι μια συσκευή στην οποία μπορούν να πραγματοποιηθούν δύο εργαστηριακές ασκήσεις, αφού μπορεί να λειτουργήσει και ως αντλία αλλά και ως στρόβιλος. Έτσι η επισκευή αυτής της Εργαστηριακής Μονάδας ήταν για εμάς μια πρόκληση για άμεση τεχνολογική εφαρμογή.

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους προαναφερθέντες εισηγητές για την βοήθειά τους, τόσο για το θεωρητικό όσο και για το πρακτικό μέρος της Εργασίας και ελπίζουμε πως η επαναλειτουργία της πειραματικής συσκευής θα συμβάλει στην καλύτερη διεξαγωγή των εργαστηριακών ασκήσεων των συμφοιτητών μας.

Οι σπουδαστές

Κούβαρος Νικόλας

Μάμα Μιχάλης

## **1. ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΟΙ**

Υδροστρόβιοι είναι οι κινητήριες στροβιλομηχανές που χρησιμοποιούνται για την εκμετάλλευση της κινητικής και δυναμικής ενέργειας του νερού σε υδροηλεκτρικούς σταθμούς, για τη κίνηση των ηλεκτρογεννητριών για τη παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος.

Οι κινητήριες αυτές στροβιλομηχανές χρησιμοποιούνται για την μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ενέργεια του νερού.

Αν και η μελέτη και η σχεδίαση υδροστροβίλων περιλαμβάνει την συνένωση γνώσεων και πληροφοριών πολλών τομέων της μηχανικής, η μηχανική ρευστών είναι ο μόνος κλάδος που μας δίνει τη δυνατότητα να προβλέψουμε τα χαρακτηριστικά λειτουργίας και να καθορίσουμε τα όρια λειτουργίας για διάφορους τύπους υδρομηχανών.

### **1.2 ΔΙΑΚΡΙΣΗ ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΩΝ**

Τους υδροστρόβιλους τους διακρίνουμε σε δύο είδη:

1.Στους υδροστρόβιλους ΔΡΑΣΗΣ, στους οποίους κατά την δίοδο του νερού μέσα από τον στρόβιλο η ΣΤΑΤΙΚΗ ΠΙΕΣΗ παραμένει ΣΤΑΘΕΡΗ και ίση με την ατμοσφαιρική και στον οποίο η ενέργεια που δίνει το νερό στο στροφίο οφείλεται ΜΟΝΟ ΣΤΗ ΚΙΝΗΤΙΚΗ του ΕΝΕΡΓΕΙΑ. Τέτοιο είδος υδροστρόβιλου είναι ο υδροστρόβιλος PELTON.

2.Στους υδροστρόβιλους ΑΝΤΙΔΡΑΣΗΣ στους οποίους έχουμε ΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΠΙΕΣΗΣ μεταξύ εισόδου και εξόδου του υδροστρόβιλου. Τέτοιου είδους υδροστρόβιοι είναι οι υδροστρόβιοι FRANCIS και KAPLAN.

Η παραπάνω κατάταξη των υδροστροβίλων γίνεται με βάση τα κριτήρια.

α) Αν για τη δημιουργία της ταχύτητας εισόδου  $U_1$  στο περιστρεφόμενο δρομέα (τροχό) καταναλώνεται ένα μέρος του ωφέλιμου ύψους πτώσεως  $H$  ή όλο το ωφέλιμο ύψος. Έτσι στη πρώτη περίπτωση έχουμε τους υδροστροβίλους αντίδρασης (*όπου  $U_1 < \sqrt{2gH}$* ) και στη δεύτερη περίπτωση έχουμε τους υδροστροβίλους δράσης (*όπου  $U_1 = \sqrt{2gH}$* ).

β) Αν κατακλύζεται η περίμετρος της στεφάνης του περιστρεφόμενου δρομέα (υδροστροβίλος αντίδρασης) ή κατακλύζονται τμήματα μόνο της περιμέτρου (υδροστροβίλος δράσεως).

Οι παραπάνω τύποι υδροστροβίλων χρησιμοποιούνται καθένας τους ανάλογα:

- ο Του διαθέσιμου ύψους πτώσεως.
- ο Της διαθέσιμης παροχής

Οι PELTON χρησιμοποιούνται για:

- Ø ΜΕΓΑΛΑ ΥΨΗ ΠΤΩΣΕΩΣ και
- Ø ΜΙΚΡΕΣ ΠΑΡΟΧΕΣ

Οι FRANCIS χρησιμοποιούνται για

- Ø ΜΕΣΑ ΥΨΗ ΠΤΩΣΕΩΣ και
- Ø ΜΕΣΕΣ ΠΑΡΟΧΕΣ

Οι KAPLAN χρησιμοποιούνται για

- Ø ΜΙΚΡΑ ΥΨΗ ΠΤΩΣΕΩΣ και
- Ø ΜΕΓΑΛΕΣ ΠΑΡΟΧΕΣ

Οι υδροστρόβιλοι είναι οι μόνες μηχανές που δεν μπορούμε να τους εκλέξουμε ελεύθερα.

Η εκλογή τους καθορίζεται κυρίως από τη φύση, με το ύψος πτώσεως και την παροχή που μας δίνει.

Κατά την επιλογή του τύπου του στρόβιλου που θα χρησιμοποιηθεί σε κάθε περίπτωση, για το καθορισμό της ταχύτητας περιστροφής του και άλλων στοιχείων κάνουμε χρήση του βασικού μεγέθους που είδαμε και στις αντλίες: ΤΟΥ ΕΙΔΙΚΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΣΤΡΟΦΩΝ ή ΕΙΔΙΚΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ( $n_s$ ), που καθορίζεται σαν η ταχύτητα περιστροφής ενός εικονικού υδροστρόβιλου όμοιου ακριβώς με εκείνο που έχουμε και ο οποίος όμως λειτουργεί με ύψος 1 m και δίνει ισχύ 1 ps.

Οι PELTON χρησιμοποιούνται ΜΟΝΟ σε εγκαταστάσεις ΑΠΟΤΑΜΙΕΥΣΗΣ με μεγάλο ύψος πτώσεως.

Οι FRANCIS χρησιμοποιούνται σε εγκαταστάσεις ΑΠΟΤΑΜΙΕΥΣΗΣ και σε εγκαταστάσεις ΡΟΗΣ.

Οι KAPLAN χρησιμοποιούνται μόνο σε εγκαταστάσεις ΡΟΗΣ.

### **1.3 ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ ΔΡΑΣΗΣ**

Στους υδροστρόβιλους δράσης η δυναμική ενέργεια του νερού που πέφτει από ένα ορισμένο ύψος μετατρέπεται πρώτα σε κινητική ενέργεια περνώντας μέσα από τα σταθερά πτερύγια του εσωτερικού του κελύφους που καταλήγουν σε ακροφύσια. Στη συνέχεια το νερό πέφτει με μεγάλη ταχύτητα πάνω στα κινητά πτερύγια του στρόφου, τον περιστρέφει περνώντας μέσα απ' αυτά, χωρίς να το γεμίζει πλήρως και βγαίνει από αυτά έχοντας καινούργια διεύθυνση αφού κατά τη ροή του πάνω σε κάθε πτερύγιο ακολουθεί τη διαμόρφωση της επιφάνειας.

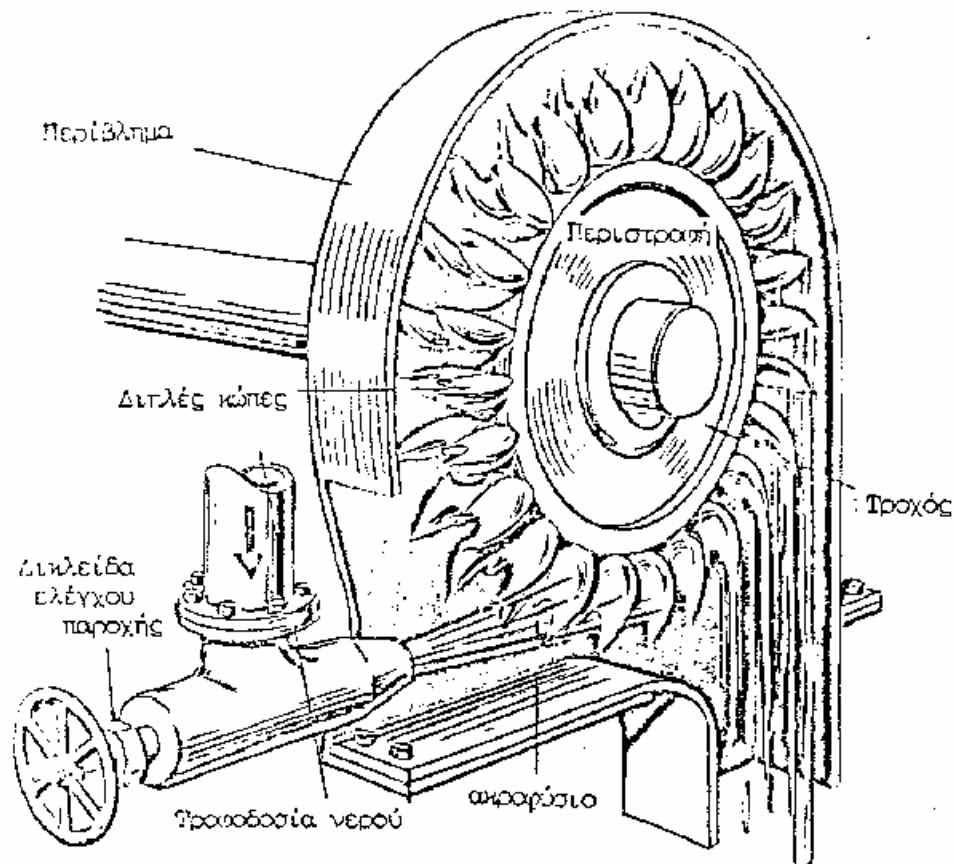


Τους υδροστρόβιλους δράσης ανάλογα με το είδος της ροής τους τους χωρίζουμε:

- Σε υδροστρόβιλους ακτινικής ροής με φορά προς τη περιφέρεια. Σ' αυτούς, το νερό εισέρχεται στο κέντρο του σταθερού μέρους του στροβίλου περνά από τα σταθερά περύγια – ακροφύσια και με μεγάλη ταχύτητα πέφτει πάνω στα περύγια του τροχού που περιστρέφει.
- Σε υδροστρόβιλους ακτινικής ροής με φορά προς το κέντρο. Σ' αυτούς τα σταθερά περύγια – ακροφύσια βρίσκονται στην περιφέρεια του στροβίλου. Το νερό εισέρχεται λοιπόν από θυρίδες στην περιφέρεια, περνά από τα ακροφύσια και πέφτει με ορμή στα περύγια του στροφέα που περιστρέφει και εξέρχεται από το κέντρο.
- Σε υδροστρόβιλους αξονικής ροής. Οι στρόβιλοι αυτοί έχουν κέλυφος που διαθέτει σειρές σταθερών περυγίων με μορφή ακροφυσίων κατά μήκος του άξονα ροής, τοποθετημένες κατά κανονικά διαστήματα. Μεταξύ των διαστημάτων αυτών βρίσκονται τα περύγια του στροφέα. Το νερό περνά από τα σταθερά περύγια – ακροφύσια αποκτά μεγάλη ταχύτητα, πέφτει επάνω στα περύγια του στροφέα και τον περιστρέφει. Τμηματικά αρχίζοντας από την είσοδο στο ένα άκρο, περνά όλες τις σειρές περυγίων και εξέρχεται από την άλλη άκρη του στροβίλου.
- Σε υδροστρόβιλους εφαπτομενικής ροής (Pelton). Στους υδροστρόβιλους αυτούς ο τροχός έχει περύγια (σκαφίδια) σε σχήμα λεκάνης. Το νερό περνά πρώτα από ακροφύσια τοποθετημένα έτσι ώστε βγαίνοντας από αυτά με μεγάλη ταχύτητα να πέφτει πάνω στα σκαφίδια κατά τη διεύθυνση της εφαπτόμενης του τροχού και τον περιστρέφει.

#### 1.4 ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΙΟΣ ΔΡΑΣΕΩΣ PELTON.

Ο υδροστρόβιλος αυτός χρησιμοποιείται για ύψη πτώσεως  $> 300\text{m}$  αποτελείται από μία καθοδηγήτρια συσκευή, που αποτελείται από ένα ή περισσότερα αμετακίνητα ακροφύσια (επιστόμια) και από ένα περιστρεφόμενο κυκλικό δρομέα (τροχός) ο οποίος είναι ένας δίσκος που έχει στην περίμετρο του κουπιά. Η δέσμη του νερού που διέρχεται από το αντίστοιχο ακροφύσιο εγκαταλείπει αυτό με ατμοσφαιρική πίεση. Έτσι ολόκληρη η ποσότητα ενέργειας του νερού, όταν το νερό βγαίνει από τα ακροφύσια έχει μεταβληθεί σε κινητική ενέργεια. (Βλέπε σχ. 1).



Σχ. 1 Υδροστρόβιλος τύπου Pelton

Η δέσμη του νερού που βγαίνει από τα ακροφύσια, προσκρούει εφαιπτομενικά στα κουπιά του δρομέα, ο οποίος έτσι περιστρέφεται, μετατρέποντας την κινητική ενέργεια σε μηχανική ενέργεια, που μεταδίδεται στον άξονα περιστροφής. Ένα μέρος της κινητικής ενέργειας χάνεται λόγω τριβών και ένα άλλο μικρό της κινητικής ενέργειας παραμένει σταθερό στο νερό, καθώς αυτό αφήνει τα κουπιά του δρομέα. Ο αριθμός των ακροφυσίων (ακροστομιών) είναι συνήθως 1-2 όταν ο άξονας του δρομέα είναι οριζόντιος και 2-4 όταν ο άξονας είναι κατακόρυφος. Η σπή του ακροφυσίου αυξομειώνεται με τη βοήθεια βελόνης αποδειδούς σχήματος (βελονωτό ακροφύσιο) έτσι ώστε να ρυθμίζεται η παροχή.

## **1.5 ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗΣ**

Στους υδροστρόβιλους αντίδρασης μέρος της ολικής (δυναμικής) ενέργειας του νερού μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια ενώ το υπόλοιπο της δυναμικής ενέργειας παραμένει μέσα στο στρόβιλο με τη μορφή πίεσης. Τα σταθερά πτερύγια είναι τοποθετημένα στη περιφέρεια ενώ το νερό περνά μέσα από τα σταθερά και κινητά πτερύγια με πίεση χωρίς να αφήνει κενά. Επειδή οι υδροστρόβιλοι αντίδρασης εκμεταλλεύονται τόσο τη κινητική όσο και τη δυναμική ενέργεια του νερούμ γι' αυτό είναι δυνατό το νερό κατά την εξαγωγή του να εκρέει είτε ελεύθερα ,είτε κάτω από πίεση που μπορεί να φθάσει τα 8 μέτρα στήλης πάνω από τα κινητά πτερύγια. Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι στους υδροστρόβιλους αντίδρασης η παραγωγή ενέργειας πραγματοποιείται κατά ένα ποσοστό λόγω δράσης και κατά το υπόλοιπο μόνο λόγω αντίδρασης.

Ο βαθμός αντίδρασης ορίζεται δε απο τη σχέση της παραγόμενης ενέργειας λόγω δράσης και αντίδρασης.

Τους υδροστρόβιλους αντίδρασης τους χωρίζουμε ανάλογα με το είδος της ροής σε:

- ✚ Υδροστρόβιλους ακτινικής ροής με φορά προς την περιφέρεια. Σ' αυτούς το νερό περνά πρώτα από τα πτερύγια ενός σταθερου δακτυλίου. Εκεί ένα μέρος της δυναμικής ενέργειας μετατρέπεται σε κινητική. Στη συνέχεια με την ταχύτητα που έχει αποκτήσει περνώντας από τα κινητά πτερύγια του στροφέα τα κινεί με τη δύναμη δράσης ενώ ταυτόχρονα η δύναμη αντίδρασης που σχηματίζεται στα κινητά πτερύγια λόγω πτώσης πίεσης σ' αυτά δίνει μία επιπλέον ώθηση. Ρύθμιση της ποσότητας του νερού που διέρχεται από τα πτερύγια επιτυγχάνεται με την ανύψωση και επαναφορά ενός κυλίνδρου παράλληλου προς τον άξονα περιστροφής που τοποθετείται ανάμεσα στα σταθερά και κινητα πτερύγια του στροβίλου. Ρύθμιση της ποσότητας του νερού σημαίνει ότι μπορούμε να αυξομειώσουμε τις στροφές και από αυτές την ισχύ του στροβίλου.
- ✚ Υδροστρόβιλος ακτινικής ροής με φορά προς το κέντρο. Οι υδροστρόβιλοι αυτοί διαφέρουν από τους ακτινικής ροής με φορά προς την περιφέρεια στο ότι ο σταθερός δακτύλιος που περιέχει τα σταθερά πτερύγια βρίσκεται στην περιφέρεια, ενώ ο στροφέας με τα κινητά πτερύγια καταλαμβάνει το εσωτερικό του στροβίλου.
- ✚ Υδροστρόβιλος αξονικής ροής (Kaplan). Αυτοί όπως και οι αντίστοιχοι τους υδροστρόβιλοι δράσης αξονικής ροής αποτελούνται από το στροφέα που έχει τα κινητά πτερύγια και τα σταθερά πτερύγια τα στερεωμένα στο εσωτερικό μέρος της περιφέρειας του κέλυφους. Το νερό περνώντας από τα πτερύγια προσφέρει μέρος της ενέργειας του σαν κινητικής ενώ το υπόλοιπο παραμένει σαν πίεση και περιστρέφει τον τροχό.

- ✚ Υδροστρόβιλος μικτής ροής (Francis). Στους υδροστρόβιλους του τύπου αυτού το νερό που περνά από τον στρόβιλο έχει αρχικά ακτινική και τελική αξονική ροή.

## 1.6 ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΙΟΣ FRANCIS

Στον υδροστρόβιλο αυτό το νερό περνά από τα σταθερά πτερυγία (οδηγούς) που βρίσκονται στην περιφέρεια αρχικά με κατεύθυνση ακτινική (από την περιφέρεια προς το κέντρο) η οποία μεταβάλλεται σε αξονική, έτσι ώστε όταν εισέρχεται στο δρομέα η σχετική του ταχύτητα να είναι εφαπτόμενη στην είσοδο των πτερυγίων. Καθώς η ακτινική ροή μεταβάλλεται σε αξονική, η εφαπτομενική συνιστώσα της ταχύτητας ελατώνεται έτσι φθάνοντας το νερό στο τέλος του πτερυγίου η ροή είναι σχεδόν αξονική με ελάχιστο ποσοστό στροβιλισμού λόγω της απομένουσας εφαπτομενικής συνιστώσας. Στη συνέχεια το νερό αφήνοντας τα κινητά πτερυγία του τροχού εισέρχεται στο σωλήνα αναρρόφησης. Η παροχή και επομένως η ισχύς του στρόβιλου Francis ρυθμίζεται μεταβάλλοντας τη κλίση των σταθερών πτερυγίων με κατάλληλο μηχανισμό όταν ο περιφερειακός δακτύλιος (με τα προσαρμοσμένα σ' αυτό περιστραφεί).

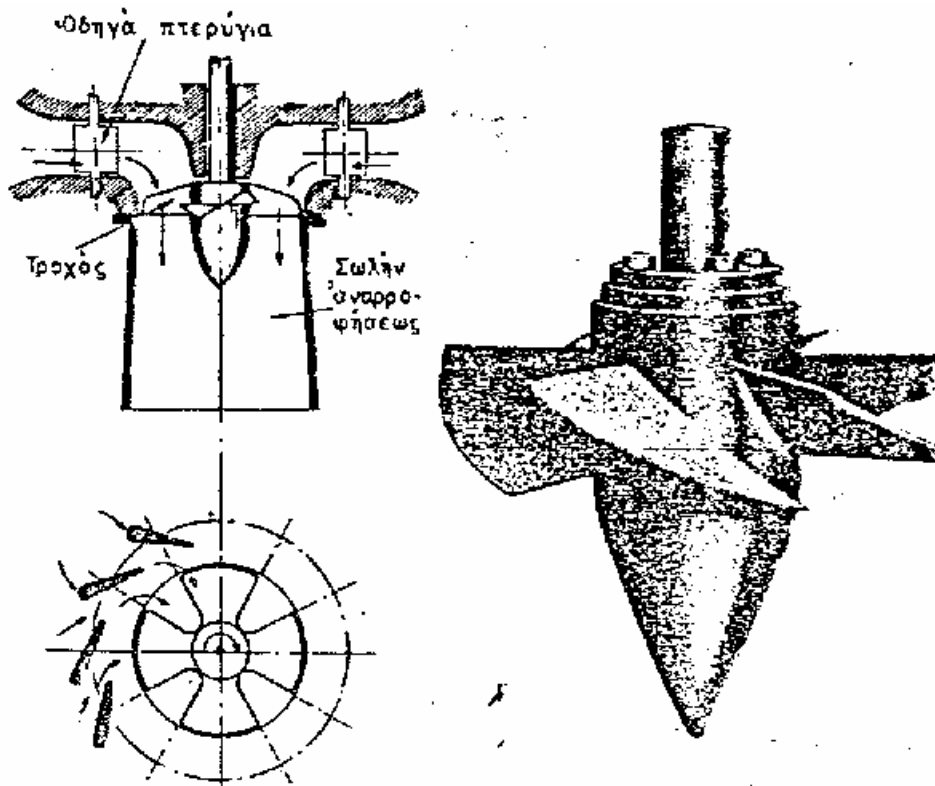
Ο Υδροστρόβιλος Francis χρησιμοποιείται με την καλύτερη του απόδοση για μεσαία ύψη πτώσης, από 25 m μέχρι 300 m και μέση παροχή, έχει δε απόδοση από 90% ως και 95% για τις μεγαλύτερες μονάδες. Σε στρόβιλους που εργάζονται με μικρά ύψη π.χ.  $H < 75$  m ο σωλήνας αναρρόφησης σχεδιάζεται με μεγάλη προσόχη έτσι ώστε να μην έχουμε απώλειες κινητικής ενέργειας του νερού κατά την έξοδο του. Αυτό επιτυγχάνεται με μία βαθμιαία αύξηση της διατομής των τελευταίων μέτρων του αγωγού και έτσι η ταχύτητα του εξερχόμενου μειώνεται στο μηδέν.

Επειδή κατά την έξοδο, από τον αγωγό αναρρόφησης το νερό βρίσκεται περίπου κάτω από την ατμοσφαιρική πίεση αυτό σημαίνει ότι κατά την έξοδο του από τα κινητά πτερύγια του τροχού θα βρίσκεται σε υποπίεση. Τούτο ισοδυναμεί με μία αύξηση του ύψους πτώσης κατά τόσα μέτρα όσα η σχηματιζόμενη υποπίεση.

## **1.7 Ο ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ ΚΑΡΛΑΝ**

Στους υδροστρόβιλους αυτού του τύπου το νερό εισέρχεται στα σταθερά πτερύγια του κέλυφους στην περιφέρεια, έχοντας ακτινική διεύθυνση που βαθμηδόν μεταβάλλεται σε αξονική. Στη συνέχεια το νερό πέφτει επάνω στον έλικα, της οποίας τα πτερύγια είναι δυνατόν (σε μερικούς υδροστρόβιλους) να έχουν μεταβλητό βήμα και την περιστρέφει χρησιμοποιώντας τόσο την κινητική του όσο και την υπόλοιπη δυναμική του ενέργεια. Η έλικα έχει, συνήθως, λίγα πτερύγια που είναι πλατιά με μικρή σχετικά κοιλότητα. Η σχετική ταχύτητα του ρευστού ως προς τα πτερύγια είναι υψηλή, παραμένει δε περίπου σταθερή κατά τη ροή πάνω από κάθε πτερύγιο.

Αλλάζοντας το αξονικό βήμα των πτερυγίων επιτυγχάνουμε προσαρμογή του στροβίλου στις συνθήκες ροής π.χ. (α) της παροχής και (β) του ύψους πτώσης. Οι υδροστρόβιλοι Kaplan χρησιμοποιούνται για μικρά ύψη πτώσης μέχρι 50 m έχουν συντελεστή απόδοσης από 80% έως 94%, ανάλογα της ισχύος που αποδίδουν.



Υδροστρόβιλος Kaplan

## 2. ΑΝΤΛΙΕΣ

### 2.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

Αντλίες ονομάζονται τα μηχανικά μέσα με τα οποία είναι δυνατό να μεταφερθεί μια ποσότητα υγρού από μια υψομετρική στάθμη σε άλλη που βρίσκεται ψηλότερα ή από ένα χώρο χαμηλής πιέσεως σε ένα άλλο υψηλής πιέσεως. Υπάρχουν όμως περιπτώσεις όπου χρησιμοποιούνται για την μεταφορά υγρών από υψηλότερη στάθμη σε χαμηλότερη, όταν ο σωλήνας μεταφοράς είναι μεγάλου μήκους ή όταν η υδραυλική αντίσταση μέσα στο σωλήνα είναι πολύ μεγάλη. Οι αντλίες τοποθετούνται πάντοτε μεταξύ σημείων παραλαβής και αποστολής του υγρού και η μεταφορά του οφείλεται στη δημιουργία διαφοράς πιέσεως στις δύο πλευρές του κινούμενου στοιχείου της αντλίας (έμβολο ή περιστρεφόμενος δρομέας).

Σωλήνας αναρροφήσεως είναι το τμήμα του σωλήνα, από το σημείο παραλαβής του υγρού μέχρι την είσοδο του στην αντλία.

Σωλήνας καταθλίψεως είναι το τμήμα του σωλήνα, από το σημείο εξόδου του υγρού από την αντλία μέχρι το σημείο αποστολής του.

Σωληνογραμμή είναι το σύνολο των σωλήνων μέσα από τους οποίους ρέει το υγρό.

Σύστημα αντλήσεως είναι η διάταξη του σωλήνα αναρροφήσεως, της αντλίας, του σωλήνα καταθλίψεως και του κινητήρα.

Αντλητικό συγκρότημα είναι ένα σύνολο αντλιών (μαζί με τον κινητήρα) που συνεργάζεται για την άνληση του υγρού.



## 2.2 ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ.

Οι αντλίες διαιρούνται σε δύο βασικές κατηγορίες ανάλογα με το τρόπο μεταφοράς του υγρού από το σωλήνα αναρροφήσεως στο σωλήνα καταθλίψεως:

- α) Αντλίες μετατοπίσεως ή αντλίες στατικού τύπου , και
- β) Αντλίες δυναμικές ή αντλίες κινητικού τύπου.

Οι αντλίες μετατοπίσεως ή αντλίες στατικού τύπου κατά τη λειτουργία τους μετατοπίζουν θετικά το υγρό και η παροχή τους δεν επηρεάζεται σημαντικά από την αντίσταση που παρουσιάζεται κατά τη κίνηση του υγρού μέσα στους σωλήνες μεταφοράς. Οι αντλίες αυτές διακρίνονται σε 1) Παλινδρομικές αντλίες και 2) Περιστροφικές αντλίες.

Οι δυναμικές αντλίες ή αντλίες κινητικού τύπου κατά την λειτουργία τους μεταβάλλουν την κινητική κατάσταση του υγρού, με αποτέλεσμα τη μεταβολή της κινητικής τους ενέργειας σε στατική πίεση και αντίστροφα. Η παροχή τους επηρεάζεται σημαντικά από την αντίσταση που παρουσιάζεται κατά την τη κίνηση του υγρού μέσα στους σωλήνες μεταφοράς και από άλλα χαρακτηριστικά της ροής του υγρού.

Υπάρχουν δύο τύποι δυναμικών αντλιών:

- 1) Φυγοκεντρικές αντλίες ή κεντρόφυγες και
- 2) Στροβιλαντλίες.

Στο πίνακα 1 περιλαμβάνονται: α) η κατάταξη των αντλιών, β) τα γενικά χαρακτηριστικά λειτουργίας και γ) οι χρήσεις τους.



## **2.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΩΝ ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΩΣ**

Οι δυναμικές αντλίες παρουσιάζουν τα παρακάτω χαρακτηριστικά έναντι των χαρακτηριστικών των αντλιών μετατοπίσεως.

- 1) Η κίνησή τους είναι συνεχής και ομοιόμορφη. Η παροχή και η πίεση είναι σταθερές ή παρουσιάζουν πολύ μικρή περιοδική μεταβολή.
- 2) Η λειτουργία τους είναι ασφαλής γιατί έχουν μικρό αριθμό κινούμενων στοιχείων ενώ δεν έχουν αυτοκινούμενες βαλβίδες .
- 3) Εργάζονται με μεγάλο αριθμό, στροφών, οπότε είναι δυνατό να συζευχθούν απευθείας με ηλεκτροκινητήρες, ταχύστροφους κινητήρες εσωτερικής καύσεως ή αεροστρόβιλους.
- 4) Το μέγεθος τους είναι μικρό (λόγω του μεγάλου αριθμού των στροφών τους ) και επομένως απαιτείται μικρότερος χώρος για την εγκατάσταση τους.
- 5) Τόσο το αρχικό κόστος όσο και τα έξοδα συντηρήσεως τους είναι χαμηλά.
- 6) Τα κινούμενα στοιχεία μέσα στην αντλία συνήθως αυτολιπαίνονται από το υγρό που αντλείται οπότε δεν χρειάζεται εξωτερική λίπανση.
- 7) Είναι δυνατό να μεταβληθεί η παροχή τους και ακόμη να εργάζονται με μηδενική παροχή για περισσότερο χρονικό διάστημα.

Τα κύρια μειονεκτήματα των δυναμικών αντλίων είναι:

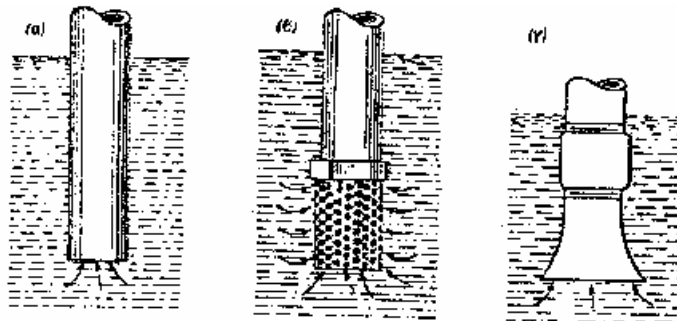
- 1) Όταν εργάζονται με μικρή παροχή και υψηλή πίεση έχουν μικρό βαθμό αποδόσεως.
- 2) Όταν η παροχή είναι μικρή δεν μπορούν να μεταφερθούν υγρά που περιέχουν στερεά υλικά γιατί μικραίνει η διατομή της διόδου του υγρού.
- 3) Πριν από την εκκίνηση της αντλίας πρέπει να εκδιωχτεί ο αέρας από το σωλήνα αναρροφήσεως, εκτός αν υπάρχει διάταξη για την αυτόματη απομάκρυνσή του (ανταναρρόφηση). Στην περίπτωση που δεν υπάρχει διάταξη για ανταναρρόφηση είναι δυνατό να διακοπεί η άντληση αν κατά τη διάρκεια λειτουργίας της αντλίας εισχωρήσει τυχαία αέρας στο σωλήνα αναρροφήσεως.

### 3. Η ΣΩΛΗΝΟΓΡΑΜΜΗ

Το σύνολο των σωληνωτών αγωγών που συνδέονται με την αντλία για τη μεταφορά του υγρού μπορεί να διακριθεί σε τρεις κατηγορίες: α) το σωλήνα αναρροφήσεως, β) το σωλήνα καταθλίψεως και γ) τις βοηθητικές γραμμές.

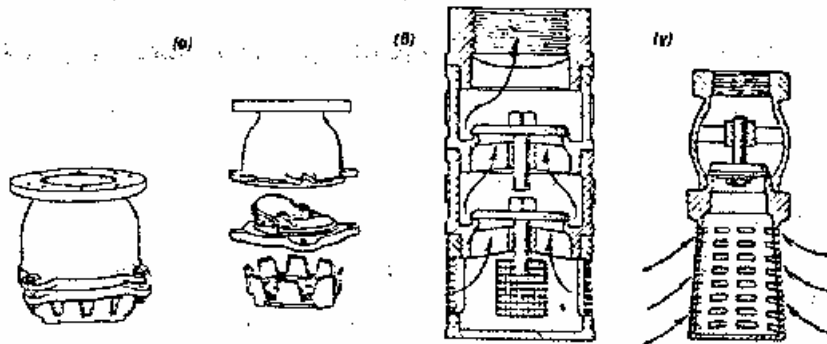
#### 3.1 ΣΩΛΗΝΑΣ ΑΝΑΡΡΟΦΗΣΕΩΣ.

Η σωστή εκλογή των εξαρτημάτων του σωλήνα αναρροφήσεως και η σωστή τοποθέτησή τους παίζει σπουδαίο ρόλο στη καλή λειτουργία της αντλίας. Ενδεχόμενα λάθη στην εκλογή του σωλήνα αναρροφήσεως μπορεί να προκαλέσουν ανωμαλίες, όπως ισχυρούς στροβιλισμούς σπηλαίωση, υδραυλικό πλήγμα, μείωση της παροχής και του βαθμού απόδοσης κ.α.



Σχήμα 3.1

Στόμια εισόδου του υγρού στο σωλήνα αναρροφήσεως  
(α) ευθύγραμμο, (β) με φίλτρο, (γ) κωδωνοειδές



Σχήμα 3.2

Τύποι παδοβαλβίδων με φίλτρο

Στο σχήμα 3.1 φαίνονται τρία στόμια εισόδου του υγρού στο σωλήνα αναρροφήσεως. Στο στόμιο (α) οι απώλειες είναι μεγάλες και χρησιμοποιείται σε προσωρινές μόνο εγκαταστάσεις. Στα κωδωνοειδή στόμια (γ) οι απώλειες είναι μικρότερες. Η τοποθέτηση ενός φίλτρου (β) στο άκρο του στομίου εισόδου εμποδίζει τη μεταφορά ξένων υλών στην αντλία που θα είχε σα συνέπεια τη μείωση της αποδόσεως και τη φθορά της. Συνήθως μετά το φίλτρο τοποθετείται μια ποδοβαλβίδα που κλείνει υδατοστεγώς το σωλήνα αναρροφήσεως. [σχ. 3.2]. Όταν σταματήσει η λειτουργία της αντλίας η ποδοβαλβίδα εμποδίζει τη διαφυγή του υγρού από το σωλήνα αναρροφήσεως και την αντλία οπότε δε χρειάζεται πλήρωση για την εκκίνηση της.

Η στεγανότητα του σωλήνα αναρροφήσεως είναι βασική προϋπόθεση για την ομαλή λειτουργία της αντλίας. Είσοδος του αέρα στην αντλία προκαλεί μείωση ή διακοπή της παροχής με παράλληλη μείωση του μονομετρικού ύψους. Ο αέρας μπορεί να εισχωρήσει από τις διάφορες συνδέσεις αλλά και από το φίλτρο όταν η απόσταση του από την επιφάνεια του υγρού είναι μικρή. Ένας γενικός κανόνας είναι να τοποθετείται το φίλτρο τουλάχιστο 50 cm κάτω από την επιφάνεια του υγρού. Όταν αντλείται νερό από ανοικτό αγωγό ροής, πρέπει να τοποθετείται φράγμα μετά την αντλία για την αποφυγή στροβιλισμών.

Για την αποφυγή μεγάλων απωλειών η διάμετρος του σωλήνα αναρροφήσεως πρέπει να είναι μεγαλύτερη από ότι η διάμετρος του στομίου εισόδου της αντλίας και η σύνδεση με την αντλία να γίνεται με κωνική στένωση. Επίσης η σύνδεση του σωλήνα αναρροφήσεως με την αντλία πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε ο σωλήνας να είναι πάντοτε γεμάτος με υγρό.

### **3.2. ΣΩΛΗΝΑΣ ΚΑΤΑΘΛΙΨΕΩΣ.**

Το σπουδαιότερο πρόβλημα που παρουσιάζεται στο σωλήνα καταθλίψεως είναι η απώλεια φορτίου λόγω τριών ή τοπικών απωλειών. Για να περιοριστούν οι απώλειες όσο το δυνατό περισσότερο, πρέπει να επιλέγει η σωστή διάμετρος του σωλήνα και να χρησιμοποιείται ο ελάχιστος δυνατός αριθμός βαλβίδων, συνδέσεων ή κάμψεων. Οι κάμψεις που θα χρησιμοποιηθούν πρέπει να έχουν όσο το δυνατό μεγαλύτερη ακτίνα καμπυλότητας. Αν η παροχή ρυθμίζεται με δικλίδα, ως συντελεστής τοπικής απώλειας για τον υπολογισμό του ολικού ύψους θα πρέπει να επιλέγεται αυτός που δίνεται όταν η δικλίδα είναι κλειστή. Κατά χρονικά διαστήματα πρέπει να γίνεται έλεγχος για τυχόν αποθέσεις αλάτων ή άλλων ξένων υλών στο εσωτερικό των σωλήνων. Οι διάφορες αποθέσεις μικραίνουν την διάμετρο των σωλήνων και αυξάνουν την τραχύτητα των τοιχωμάτων με αποτέλεσμα την αύξηση των απωλειών.

Οι γραμμικές απώλειες μειώνονται με αύξηση της διαμέτρου του σωλήνα. Μεγάλη όμως διάμετρο επιβαρύνει το κόστος της εγκατάστασης. Για το λόγο αυτό πρέπει να γίνεται οικονομικός συνδυασμός των συνθηκών λειτουργίας της αντλίας και της διαμέτρου των σωλήνων.

### **3.3. ΒΟΗΘΗΤΙΚΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ.**

Ως βοηθητικές γραμμές αναφέρονται οι σωλήνες που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά λαδιού για λίπανση ή νερού για υδρολίπανση της σαλαμάστρας. Στη κατηγορία αυτή υπάγονται και οι σωλήνες που συνδέουν τις δύο πλευρές της περωτής για εξισορόπηση της αξονικής ωθήσεως. Σε ειδικές ανάγκες υπάρχει ανάγκη συχνού καθαρισμού του σωλήνα καταθλίψεως. Στις περιπτώσεις αυτές διοχετεύεται στο σωλήνα καταθλίψεως αέρας ή υδρατμοί υπό πίεση μέσω βοηθητικής γραμμής (που συνήθως είναι ένας εύκαμπτος σωλήνας). Βοηθητικές γραμμές χρησιμοποιούνται και για την πλήρωση της αντλίας.



## 4. ΣΠΗΛΛΑΙΩΣΗ

### 4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Κατά την άντληση ενός υγρού, είναι δυνατό να σχηματιστούν φυσαλίδες ατμών μέσα στη μάζα του με δυσμενή επίδραση στη λειτουργία της αντλίας. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό ως σπηλαίωση (cavitation).

Από τη θερμοδυναμική γνωρίζουμε ότι όταν σε ένα υγρό η εξωτερική πίεση γίνει ίση με την «τάση των κεκορεσμένων ατμών (μέγιστη τάση)», το υγρό αζαερώνεται σε όλη τη μάζα του με μεγάλη ταχύτητα. Η τιμή της μέγιστης τάσεως των υδρατμών σε mmHg για θερμοκρασίες  $0 < t < 100 \text{ } ^\circ\text{C}$  υπολογίζεται από τις εξισώσεις:

$$P = 4,58 (1,07424 - 0,00024t)^t$$

Για  $t < 50$

$$P = 149,38 (1,055895 - 0,000145t)^{t-60}$$

Για  $t > 50$

Επίσης σύμφωνα με την εξίσωση Bernoulli αν για οποιοδήποτε λόγο αυξηθεί η ταχύτητα ροής του υγρού, θα έχουμε αντίστοιχη μείωση της πίεσεως. Επομένως αν σε ένα σημείο μέσα στην αντλία, αυξηθεί η ταχύτητα κινήσεως του υγρού τόσο ώστε η πίεση να γίνει ίση με τη μέγιστη τάση των ατμών θα σχηματιστούν μέσα στη μάζα του υγρού φυσαλίδες ατμών. Όταν οι φυσαλίδες μεταφερθούν σε περιοχή όπου η ταχύτητα ροής είναι μικρότερη συμπυκνώνεται με μεγάλη ταχύτητα (σε χρόνο μικρότερο από 0,003 sec) και το υγρό προσκρούει στις μεταλλικές επιφάνειες.

Έχουν διατυπωθεί διάφορες θεωρίες για το πώς η σπηλαιώση δημιουργεί τις κοιλότητες στις μεταλλικές επιφάνειες. Η επικρατέστερη είναι η θεωρία της μηχανικής δράσεως της σπηλαιώσεως που επιβεβαιώνεται και από πειραματικές μετρήσεις. Οι μεταλλικές επιφάνειες στις οποίες προσκρούει το υγρό, υπόκεινται σε κραδασμούς, ενώ η πίεση που εξασκείται σ' αυτές αυξομειώνεται με μεγάλη ταχύτητα. Οι πιέσεις δεν δρουν μόνο στο σημείο όπου εκδηλώνεται η σπηλαιώση αλλά εκτείνονται σε μεγαλύτερη επιφάνεια.

Οι δυνάμεις που δημιουργούνται από την αυξομείωση της πίεσεως, ωθούν μέρος του υγρού στους πόρους του μετάλλου, ενώ το υγρό που βρίσκεται στους πόρους απομακρύνεται με μεγάλη ταχύτητα. Οι εναλλαγές αυτές διευρύνουν του μετάλλου, καταστρέφουν τη συνοχή του και αποσπών μέρος του υλικού. Διαβρώσεις από την σπηλαιώση έχουν παρατηρηθεί σε όλα τα είδη των στερεών σωμάτων, μεταλλικών ή μη μεταλλικών χημικώς ενεργώς αδρανών. Το φαινόμενο της σπηλαιώσης εκτός από την καταστροφή των μετάλλων επηρεάζει και τη λειτουργία της αντλίας. Είναι φανερό ότι οι διαδοχικές αυξομειώσεις της πίεσεως του υγρού προκαλούν κραδασμούς, που μεταφέρονται σε όλα τα εξαρτήματα της αντλίας ακόμη και στη βάση στηρίζεώς της.

Γενικώς οι προϋποθέσεις για την εμφάνιση της σπηλαιώσης είναι οι εξής:

α) Η μικρή πίεση σε συγκριση με τη μέγιστη τάση των ατμών του υγρού που αντλείται. Αυτό συμβαίνει όταν το ύψος αναρροφήσεως είναι μεγάλο ή το στόμιο εισόδου στο σωλήνα αναρροφήσεως βρίσκεται σε μικρή απόσταση από την επιφάνεια του υγρού.

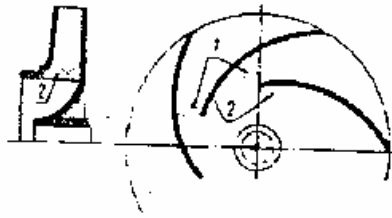
β) Όταν η παροχή είναι μεγαλύτερη από την κανονική η σπηλαιώση εμφανίζεται ευκολότερα γιατί αυξάνεται η ταχύτητα ροής με αντίστοιχη πτώση της πίεσεως.

γ) Από κινηματική άποψη το σχήμα των γραμμών ροής επηρεάζει την εμφάνιση της σπηλαιώσεως. Απότομη αλλαγή της διεύθυνσεως ροής, απότομη διεύρυνση των διόδων ροής μέσα στην αντλία ή κακές συνθήκες εισόδου του υγρού στην περωτή είναι δυνατό να προκαλέσουν σπηλαιώση.

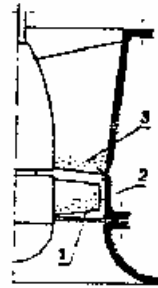
#### **4.2. ΘΕΣΕΙΣ ΟΠΟΥ ΕΚΔΗΛΩΝΕΤΑΙ Η ΣΠΗΛΑΙΩΣΗ**

Στις φυγόκεντρες αντλίες οι περιοχές όπου υπάρχει κίνδυνος εκδηλώσεως της σπηλαιώσεως είναι η πίσω πλευρά των περυγίων κοντά στο χείλος εισόδου του υγρού (σχ. 4.1). Στις περιοχές αυτές η πίεση έχει τη μικρότερη τιμή λόγω της απότομης αυξήσεως της ταχύτητας ροής του υγρού. Επίσης η σπηλαιώση εμφανίζεται συχνά μεταξύ των περυγίων (σχ. 2.1). Όταν η σπηλαιώση είναι μεγάλης εκτάσεως μπορεί να φθαρούν και τα άκρα των περυγίων στην έξοδο, τα περύγια διαχύσεως και ο αγωγός τους σπειροειδούς περιβλήματος.

Στις αντλίες μικρής και αξονικής ροής όπου τα περύγια είναι πάντοτε ανοικτού τύπου (σχ. 4.2) η σπηλαιώση εκδηλώνεται (1) στο χείλος εισόδου του υγρού στα περύγια, (2) στα άκρα των περυγίων προς τα τοιχώματα του περιβλήματος και (3) στο χείλος εισόδου του υγρού στα περύγια διαχύσεως.



Σχ. 4.1 Εμφάνιση της σπηλαιώσης σε φυγόκεντρο αντλία



Σχ. 4.2 Εμφάνιση της σπηλαιώσης σε αντλία αξονικής ροής

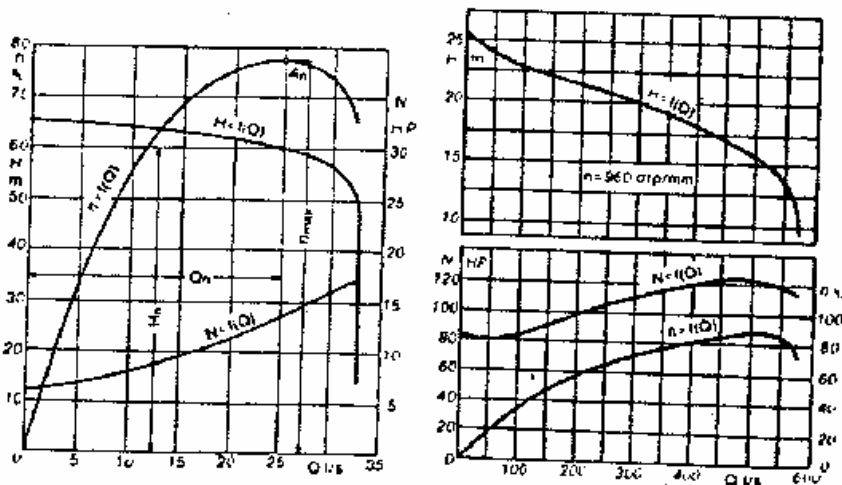
### 4.3 ΣΥΜΠΤΩΜΑΤΑ ΤΗΣ ΣΠΗΛΑΙΩΣΕΩΣ

1. Θόρυβος. Προκαλείται από την πρόσκρουση του υγρού στις μεταλλικές επιφάνειες κατά την απότομη συμπύκνωση των φυσαλίδων.
2. Κραδασμοί της αντλίας. Προκαλούνται από τις ταλαντώσεις των τμημάτων στα οποία προσκρούει το υγρό. Όσο μεγαλύτερη είναι η αντλία τόσο πιο έντονοι είναι οι θορύβοι και οι κραδασμοί.
3. Φθορά των μεταλλικών επιφανειών. Πολλές φορές έχει μεγάλη έκταση ιδίως όταν το υγρό περιέχει διαβρωτικές ουσίες (οξυγόνο ή οξέα). Η φθορά που προέρχεται από τη σπηλαιώση διαφέρει, μακροσκοπικώς από τις συνήθεις διαβρώσεις των μετάλλων γιατί εμφανίζεται μόνο σε ορισμένα σημεία και όχι σε όλο το μήκος των γραμμών ροής του υγρού. Η αντοχή των μετάλλων στη σπηλαιώση εξαρτάται από την χημική τους σύνθεση και από το βαθμό λειάνσεως της επιφάνειάς τους. Απο πειραματικά αποτελέσματα διαπιστώθηκε ότι τα διάφορα υλικά έχουν διαφορετικό βαθμό αντοχής στη σπηλαιώση. Η κατάταξή τους κατά σειρά αυξανόμενης ανθεκτικότητας είναι: Μόλυβδος, χυτοσίδηρος, ορείχαλκος, αλουμίνιο με άνθρακα, ανοξείδωτο ατσάλι.

4. Απότομη πτώση των χαρακτηριστικών καμπυλών. Γενικά οφείλεται στο ότι στη ζώνη σπηλαιώσεως αυξάνονται οι τριβές και οι υδραυλικές απώλειες. Εξαρτάται από διάφορους παράγοντες και κυρίως από την ειδική ταχύτητα της αντλίας.

Στις φυγοκεντρικές αντλίες με μικρή ειδική ταχύτητας ( $n_{\infty} < 30$ ) η πτώση των χαρακτηριστικών καμπυλών είναι πιο έντονη. Στο σχήμα 4 η σπηλαίωση εκδηλώνεται σε παροχή 32,5 l/s.

Στις αντλίες αξονικής ροής με ειδική ταχύτητα  $30 < n_{\infty} < 80$  η πτώση των χαρακτηριστικών καμπυλών αρχίζει πριν από την πλήρη εκδήλωση της σπηλαιώσεως (σχ. 5).



Χαρακτηριστικές Καμπύλες μονοβάθμιας φυγοκέντρου αντλίας και αξονικής ροής αντλίας όπου εκδηλώνεται η σπηλαίωση

#### 4.4. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΠΗΛΑΙΩΣΕΩΣ

Εφαρμόζοντας την εξίσωση ενέργειας μεταξύ της επιφάνειας της δεξαμενής αναροφήσεως (επίπεδο αναφοράς) και του σημείου εισόδου του υγρού στην περωτή έχουμε:

$$\frac{P_{δa}}{\gamma} = \frac{P_0}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + H_a + K \frac{W_1^2}{2g} + Dha \quad (2)$$

$P_{δa}$  = απόλυτη πίεση στη δεξαμενή αναροφήσεως (για ελεύθερη επιφάνεια είναι ίση με την ατμοσφαιρική πίεση).  $P_0$  = απόλυτη πίεση στο σημείο όπου εμφανίζεται η σπηλαιώση. Η μικρότερη τιμή της πίεσεως για την εμφάνιση της σπηλαιώσεως (κρίσιμη πίεση) είναι ίση με τη «μέγιστη τάση κεκορεσμένων ατμών»  $P_0$ .

$V_1$  = απόλυτη ταχύτητα του υγρού στην είσοδο της περωτής  $H_a$  = στατικό ύψος αναροφήσεως.  $W_1$  =

σχετική ταχύτητα του υγρού στην είσοδο της περωτής  $K$  = συντελεστής απωλειών στην είσοδο της περωτής, ο οποίος εξαρτάται από την ειδική ταχύτητα της αντλίας και το σχήμα των περυγίων.  $\Delta h_a$  =

άθροισμα υδραυλικών απωλειών στο σωλήνα αναροφήσεως για να μην εμφανιστεί η σπηλαιώση ( $P_{δa} = P_0$ )

$$H_a = \frac{P_{δa}}{\gamma} - \frac{P_0}{\gamma} - \frac{V_1^2}{2g} - Dha - K \frac{W_1^2}{2g} \quad (3)$$

Η εξίσωση όμως αυτή έχει θεωρητική μόνο ισχύ γιατί είναι αδύνατο να μετρηθεί η σχετική ταχύτητα  $W_1$ , ενώ η τιμή του  $K$  εξαρτάται από τις κατασκευαστικές λεπτομέρειες και τις συνθήκες λειτουργίας της αντλίας. Για τον υπολογισμό του μέγιστου ύψους αναροφήσεως έχουν διατυπωθεί εμπειρικές εξισώσεις με πειραματικούς συντελεστές. Η πτώση της απόλυτης πίεσεως μεταξύ της εισόδου στην περωτή και της εισόδου στα περύγια, που προκαλεί τη σπηλαιώση, οφείλεται στην αύξηση του ύψους ταχύτητας και στις απώλειες λόγω τριβών.

$$\Delta h = \frac{V_1^2}{2g} + K \frac{W_1^2}{2g} \quad (4)$$

Η ποσότητα  $\Delta h$  αναφέρεται ως δυναμική πτώση της πίεσεως. Κατά τον D. Thoma η δυναμική πτώση της πίεσεως είναι ανάλογη του ολικού ύψους της αντλίας.

$$Dh = \sigma \cdot H \quad (5)$$

Ο συντελεστής αναλογίας  $\sigma$  ονομάζεται συντελεστής σπηλαιώσεως και αποτελεί κριτήριο εμφανίσεως της σπηλαιώσεως μέσα στην αντλία.

Αντικαθιστώντας την εξίσωση (3) τους αντίστοιχους όρους από τις εξισώσεις (4) και (5) και εκφράζοντας τις πιέσεις ως ύψη πίεσεως, έχουμε:

$$H_a = h_{\delta a} - h_v - \sigma H - \Delta h_a \quad (6)$$

Οπότε ο συντελεστής σπηλαιώσεως είναι:

$$\sigma = \frac{h_{\delta a} - h_v - \Delta h_a - H_a}{H} \quad (7)$$

(αν η αντλία βρίσκεται χαμηλότερα από τη στάθμη αναρροφήσεως το  $H_a$  έχει αντίθετο πρόσημο)

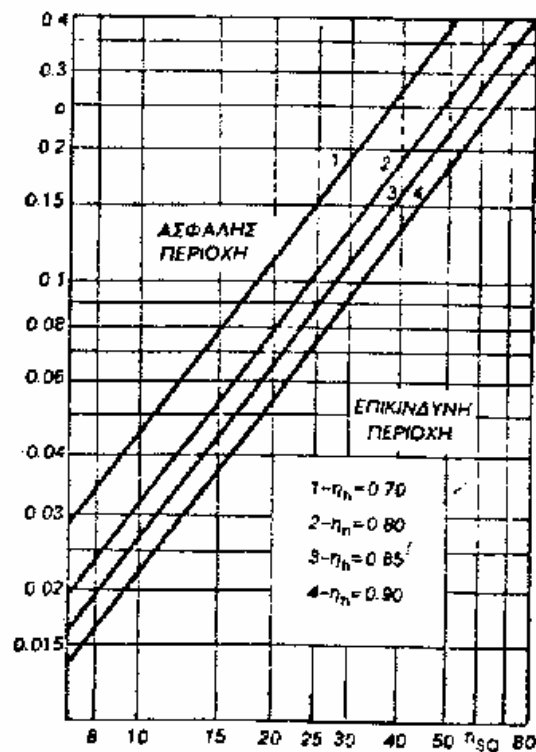
Ο αριθμητής της εξίσωσης (7) αναφέρεται ως καθαρό θετικό ύψος αναρροφήσεως του συστήματος αντλήσεως και σύμφωνα με τις εξισώσεις (3) και (4) η τιμή του είναι ίση με τη δυναμική πτώση της πίεσεως. Όταν χρησιμοποιείται ο συντελεστής σπηλαιώσεως του Thoma πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι:

- 1) Η τιμή του  $\sigma$  εξαρτάται από την ειδική ταχύτητα της αντλίας και
- 2) Η τιμή του  $\sigma$  για τις αντλίες με διαφορετική ειδική ταχύτητα και διαφορετικούς βαθμούς αποδόσεως πρέπει να καθοριστεί πειραματικά.

Στο σχήμα 6 δίνεται η κρίσιμη τιμή του συντελεστή σπηλαιώσεως  $\sigma$  συναρτήσει της ειδικής ταχύτητας  $n_0$  για διάφορους υδραυλικούς βαθμούς αποδόσεως  $\eta_h$ . Οι τιμές αναφέρονται σε αντλίες απλής αναρροφήσεως.

Ο Η.Η. Anderson έδωσε την παρακάτω σχέση, από την οποία βρίσκεται μία μέση τιμή του συντελεστή σπηλαιώσεως για φυγόκεντρες αντλίες απλής αναρροφήσεως.

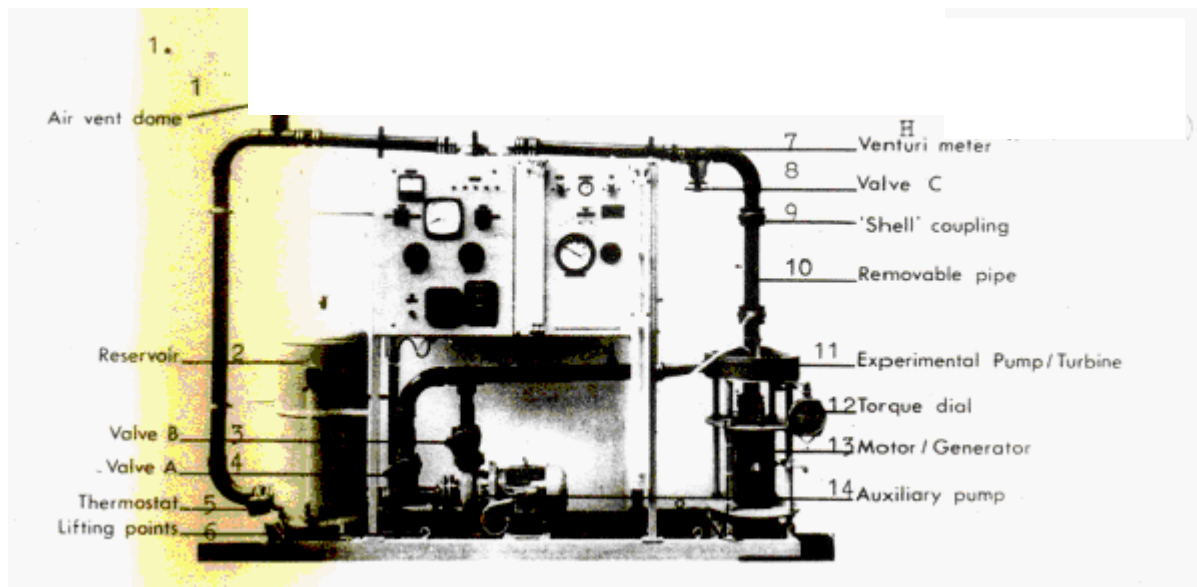
$$\sigma = \frac{8,8 \times 10^{-4}}{n_h^2} \quad n = Q^{4/3} \quad (8)$$



Κρίσιμες τιμές του συντελεστή σπηλαιώσεως συναρτήσει της ειδικής ταχύτητας για διάφορους υδραυλικούς βαθμούς



## 5.1 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ



Η άνω εικονιζόμενη συσκευή είναι δυνατόν να λειτουργήσει τόσο σαν αντλία όσο και σαν υδροστρόβιλος. Ο κατακόρυφος άξονας είναι συνδεδεμένος με τον άξονα ενός κινητήρα – γεννήτριας από τον οποίο παρέχει κίνηση θέτοντας ένα κλειστό κύκλωμα υδρορροής σε λειτουργία η αντιστρόφως παραλαμβάνει κίνηση περιστρεφόμενος από την αντλούμενη υδρορροή με τη βοήθεια μιας επικουρικής αντλίας στη βάση της συσκευής.

Το μέγεθος της υδρορροής μετράται με τη βοήθεια ενός υδρομετρητή τύπου VENTOURI , η διαφορική πίεση με τη βοήθεια ενός υδραργυρικού μανόμετρου και η πίεση επί της οποίας αναφέρεται η διαφορική με τη βοήθεια ενός μετρητή τύπου BOURDON.

Ο κυλινδρικός λέβητας αριστερά της συσκευής χρησιμοποιείται σαν υδροσυλέκτης στο άνω μέρος του οποίου ο έγκλειστος υπό πίεση ατμοσφαιρικός αέρας εξυπηρετεί τη συνεχή τροφοδότηση του κυκλώματος

υδρορροής , διατηρούμενος με τη βοήθεια ενός αεροσυμπιεστή σε συνεχώς σταθερά πίεση.

## **5.2 ΚΥΚΛΩΜΑ ΥΔΡΟΡΟΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ –ΣΤΡΟΒΙΛΟΥ**

Η ανακύκλωση της υδρορροής γίνεται εντός πλαστικού σωλήνα με τρεις διαφραγματικούς διακόπτες Α,Β,Γ.

Όταν είναι η αντλία εν λειτουργία η υδρορροή κατευθύνεται από την αντλία οριζοντίως και μέσω του διακόπτη Α προς το κατακόρυφον και εν συνεχεία οριζόντιο τμήμα του αγωγού , διατρέχουσα κατά σειράν τον πυθμένα του υδατοσυλλέκτου, τον παροχομετρητή και τον διακόπτη Γ , για να καταλήξει τελικά πάλιν στην αντλία και επαναληφθεί έτσι η εν λόγω ανακύκλωση . Για τη λειτουργία του υδροστροβίλου χρησιμοποιείται η επικουρική αντλία στη βάση της συσκευής με σταθερό αριθμό στροφών και η παρεχόμενη υδρορροή έχει την εντελώς αντίθετων φοράν της προηγούμενης.

Κατά τη λειτουργική έναρξη της αντλίας οφείλουν και οι τρεις διακόπτες Α Β C να είναι καθ "ολοκληρίαν ανοικτοί.

Του δε υδροστροβίλου μονό ο διακόπτης C ενώ οι υπόλοιποι Α και Β να είναι κλειστοί. Της περεταίρω υδρορροής ρυθμιζόμενης σε αμφοτέρες τις περιπτώσεις τη βοήθεια του διακόπτη Β και του για λεπτούς χειρισμούς προοριζομένου διακόπτη Α. Το μέγεθος ανοίγματος των θυρίδων και στους τρεις διακόπτες παρέχεται τη βοήθεια βαθμολογικής ενδείξεως.

Ο κυλινδρικός υδατοσυλλέκτης χρησιμοποιείται αφενός μεν για την υποβίβαση της υδροστάθμης κάτω από το επίπεδο της αντλίας που είναι απαραίτητος κατά την, αντικατάσταση διαφόρων εξαρτημάτων π. χ. του στροφέως, της εισόδου και της εξόδου διαχύσεως , αφετέρου δε για τη

συνεχή τροφοδότηση του συστήματος με νερό και τη παροχή μιας μεγαλύτερης επιφάνειας διαχύσεως στη θερμότητα που εκλύεται κατά την υδροκυκλοφορία.

Η υποβίβαση της υδροστάθμης στο στατικό επίπεδο επιτυγχάνετε με την εξίσωση της πίεσεως του αέρα στο άνω μέρος του υδατοσυλλέκτου με την ατμοσφαιρική πίεση. Η αναπλήρωση δε της συσκευής με νερό επιτυγχάνεται με την επανασυμπίεση του αέρος και το άνοιγμα της βαλβίδας εξαερώσεως.

Η κατά τη λειτουργία του υδροστρόβιλου παραγόμενη και μεταφερόμενη από τη κυκλοφορία της υδρορροής θερμική ενέργεια ελέγχεται με τη βοήθεια ενός θερμομέτρου εξοπλισμένοι με θερμοστάτη ο οποίος διακόπτει τη παροχή ρεύματος στην επικουρική αντλία όταν η θερμοκρασία του νερού υπερβεί τους 50 °c.

Η πίεση του έγκλειστου ατμοσφαιρικού αέρα στο άνω μέρος του υδατοσυλλέκτη ελέγχεται με τη βοήθεια ενός ρυθμιστή στο πίνακα της συσκευής και οι βαλβίδες εξαερώσεως και αποσυμπιέσεις στα υψηλότερα σημεία του υδραγωγού και υδατοσυλλέκτη αντιστοίχως ρυθμίζονται με τη βοήθεια των διακοπών στο πίνακα της συσκευής. Η στάθμη του νερού στον υδατοσυλλέκτη γίνεται ορατή από τον εμπρόσθιο τοποθετημένο και συγκοινωνούντα με αυτόν διαφανή πλαστικό σωλήνα και τέλος η βαλβίδα ασφαλείας υδατοσυλλέκτου τρέπει τη διαφυγή του έγκλειστου αέρος όταν η πίεση αυτού υπερβεί τα 25 m.

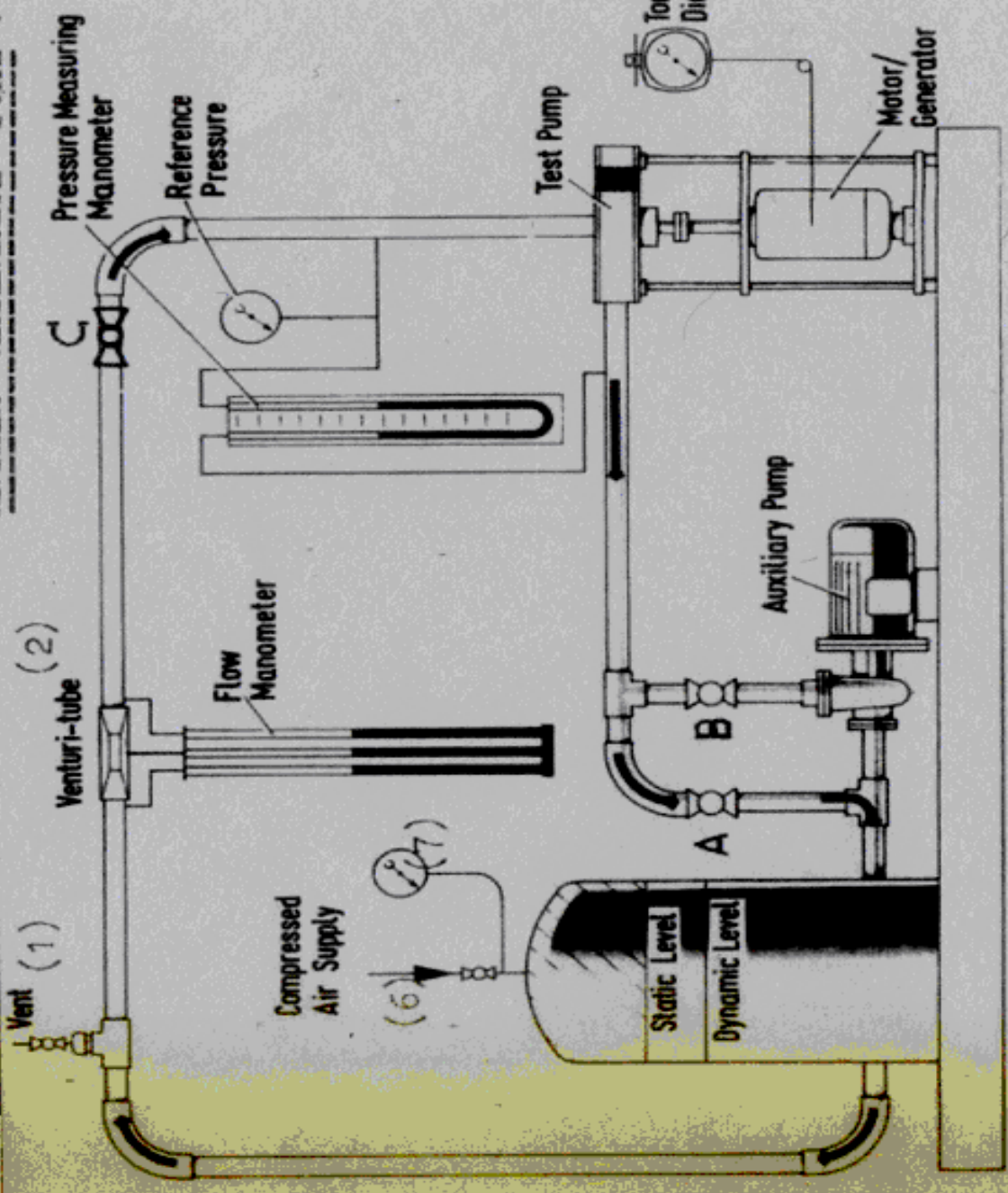
**ADIAL FLOW WATER PUMP - (FLOW DIAGRAM)**

ΑΝΤΙΑ ΑΚΤΙΝΙΚΗΣ ΡΟΗΣ : ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ

(3)

(4)

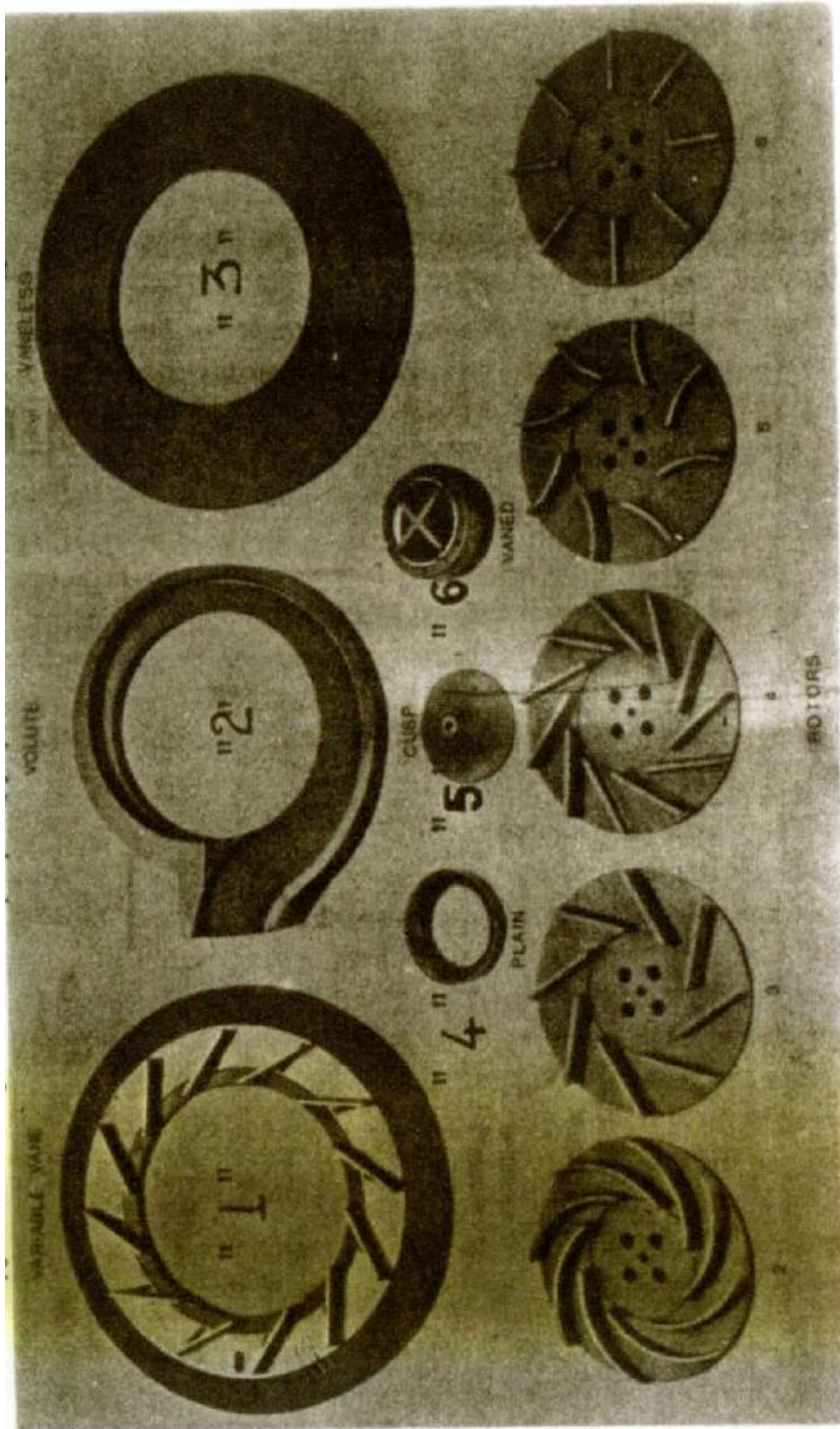
(5)



1. Βαλβίδα εξαερώσεως υδραγωγού
2. Παροχομετρητής VENTOURI
3. Υδραγωγικό μανόμετρο μέτρησης διαφορικής πίεσης
4. Μανόμετρο BOURDON μέτρησης της απόλυτης πιέσεις στην είσοδο και έξοδο του υδροστρόβιλου.
5. Όργανο μέτρησης της παραγόμενης στρεπτικής ροπής σε N/m.
6. Βαλβίδα αποσυμπιέσεις του υδατοσυλλέκτη.
7. Μανόμετρο μέτρησης της πίεσεως του έγκλειστου αέρα στον υδατοσυλλέκτη.

### 5.3 ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΙΜΑ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΑΝΤΛΙΑΣ – ΣΤΡΟΒΙΛΟΥ

Οι εργαστηριακές ασκήσεις λειτουργίας αντλίας η στροβίλου εμπλουτίζονται σε ποικιλία με την αντικατάσταση και χρησιμοποίηση διαφόρων τύπων στροφέων εισόδου και εξόδου υδροροής που εικονίζονται πιο κάτω.



" 1 " , " 2 " καλ " 3 " εΐδη εξόδου υδροροής  
 " 4 " , " 5 " καλ " 6 " εΐδη εισόδου υδροροής  
 2 , 3 , 4 , 5 , καλ 6 : εΐδη στροφέων

## 5.4 ΕΛΕΓΧΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ – ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

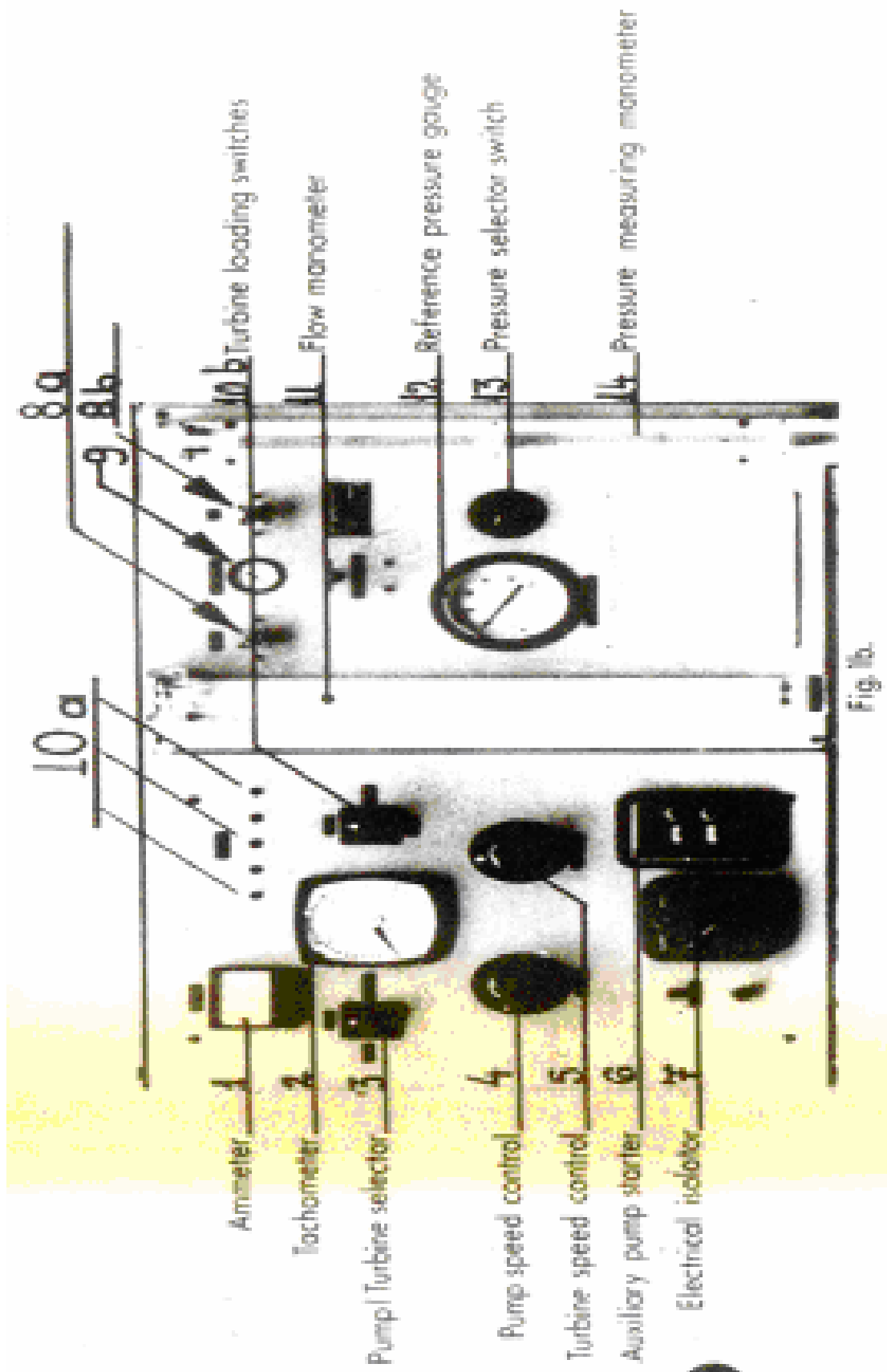
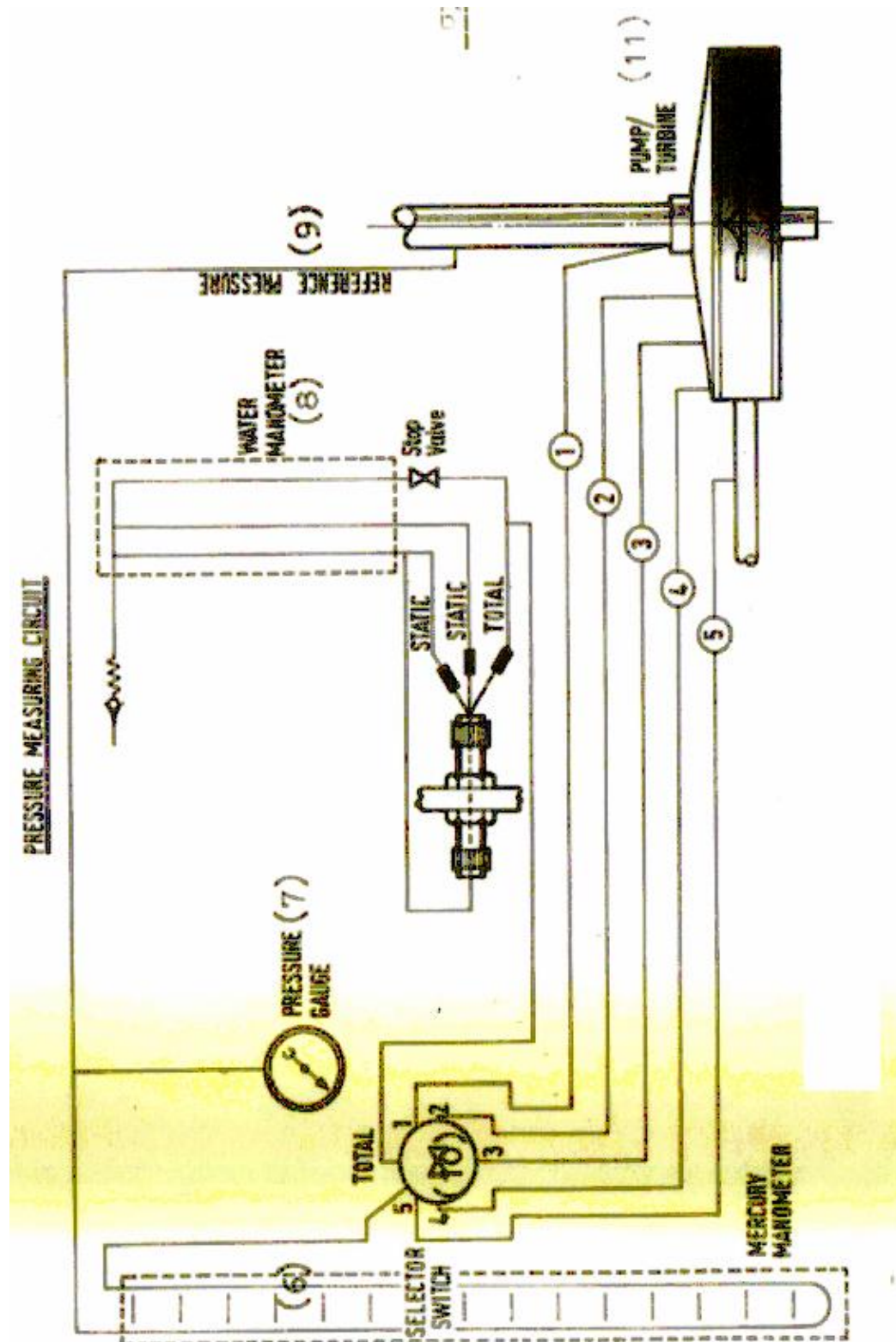


Fig. 1b.

## 5.5 ΚΥΚΛΩΜΑ ΚΑΤΑ ΤΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΩΝ ΠΙΕΣΕΩΝ

Κύκλωμα κατά την μέτρηση των πιέσεων με τον μετρητή εκτροπής όχι σε λειτουργία.





Κύκλωμα κατά την μέτρηση των πιέσεων με τον μετρητή εκτροπής σε λειτουργία.

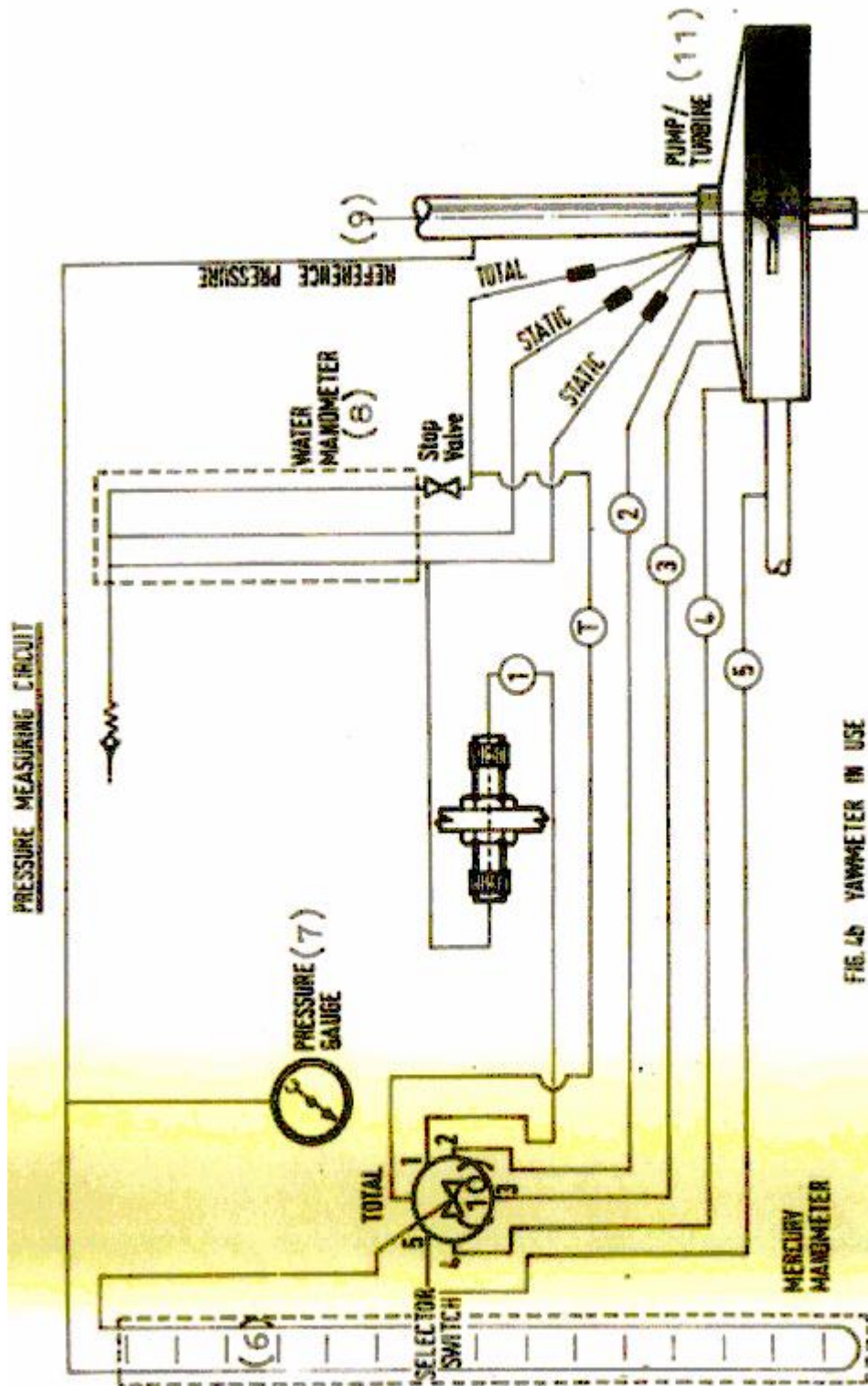
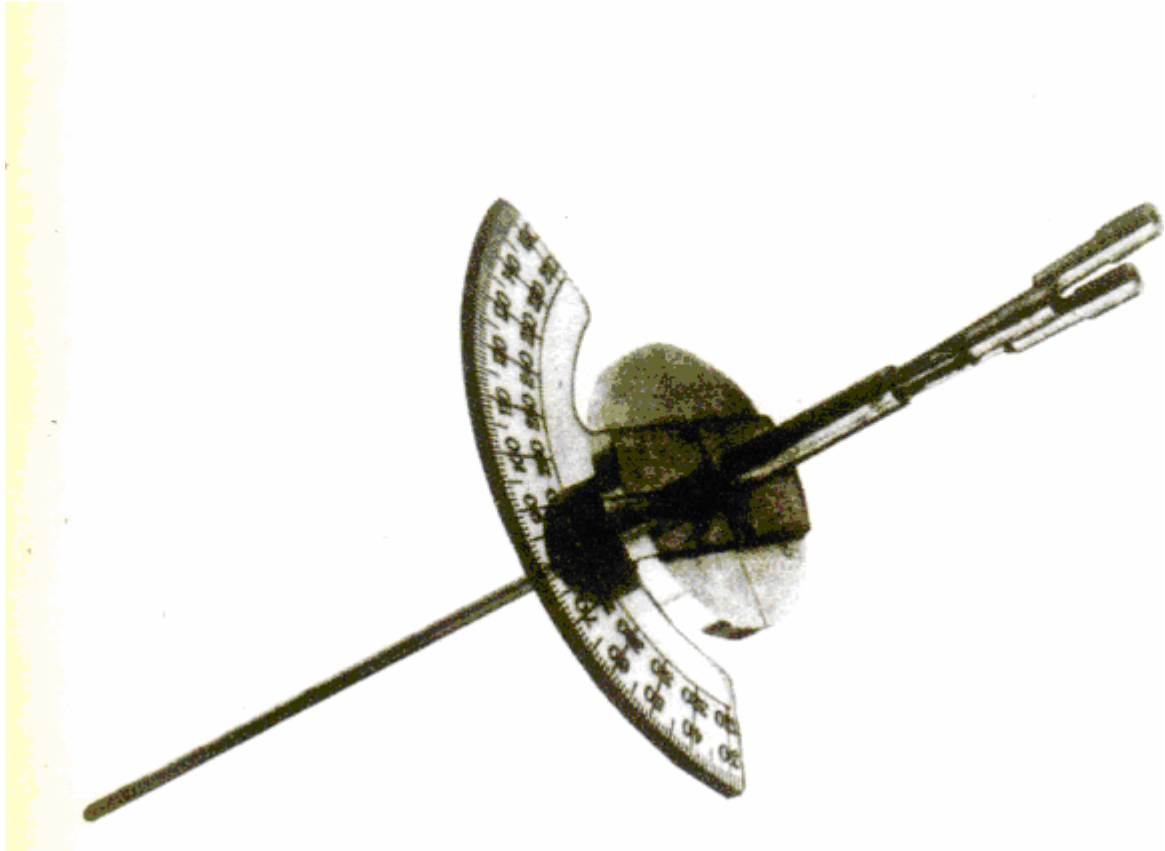


FIG. 4b YAWMETER IN USE

## Μετρητής Εκτροπής



## 5.6 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

**Βοηθητική αντλία:** Φυγοκεντρικός τύπος, που κινείται από 5.5kw ηλεκτρικό μοτέρ 3 φάσεων.

**Υδραγωγείο:** Κύλινδρος χαλκού, χωρητικότητα 114 λίτρα.

**Σωληνώσεις:** Ομαλό P.V.C. (για μείωση των τριβών) 67mm

**Βαλβίδες ελέγχου ροής:** Πλαστική κατασκευή - τύπος διαφραγματικός

**Μέγιστη παροχή μάζας ως αντλία ή στρόβιλος:** 12kg/s

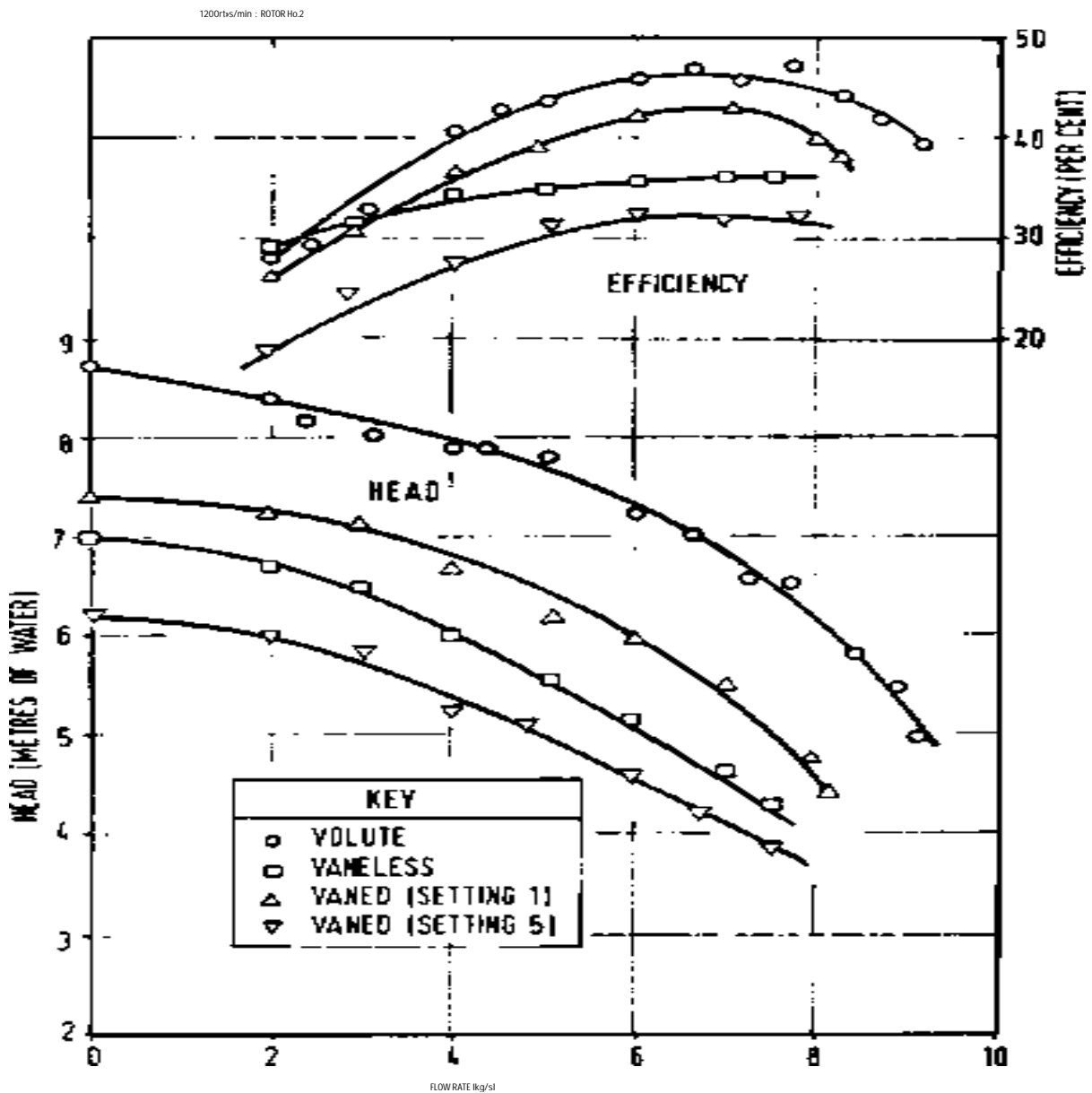
**Στροβιλοαντλία:** 1.5kW , 220v ,500-1400 ταχύτητα περιστροφής

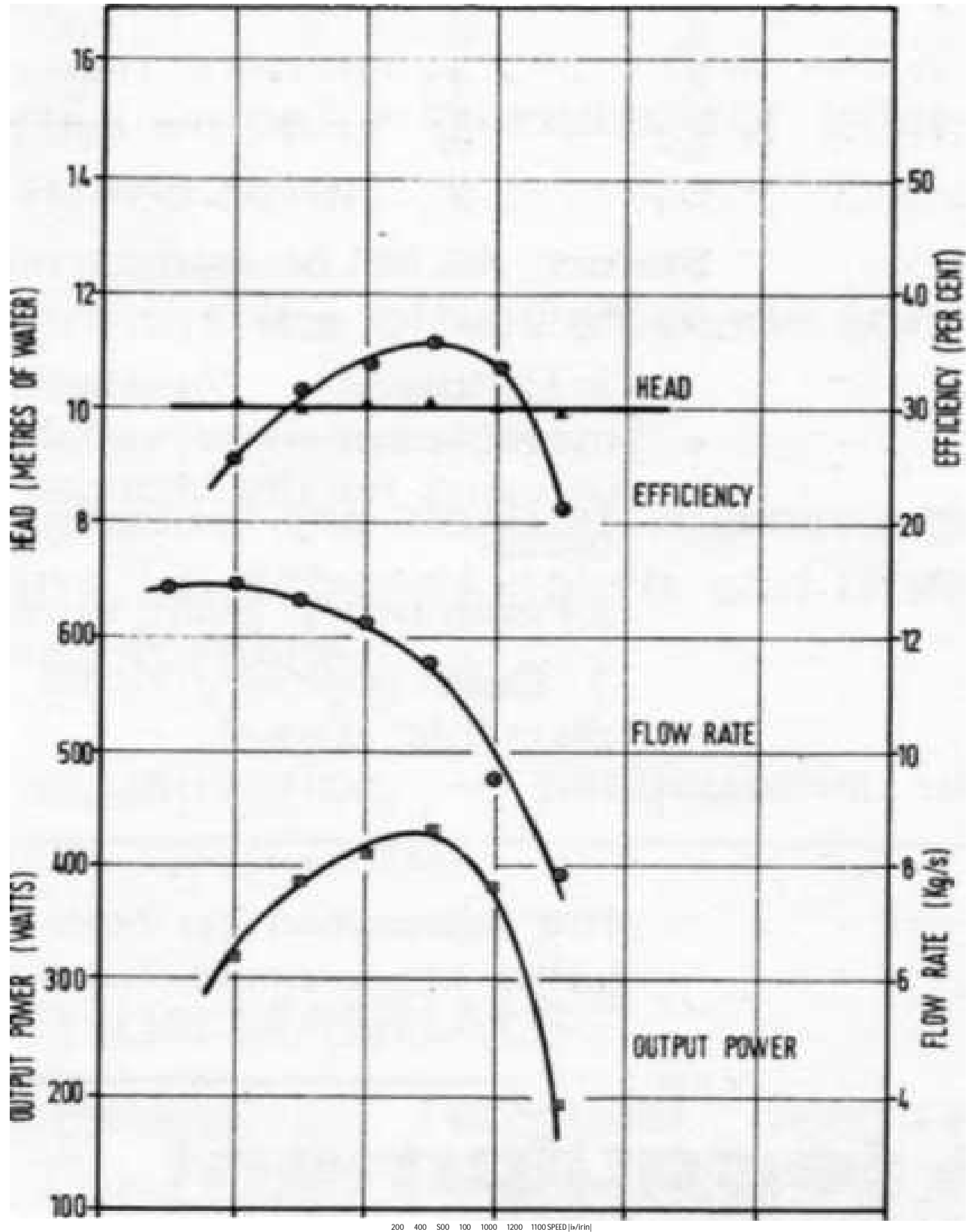
### **Απαιτήσεις για λειτουργία:**

1. *Ηλεκτρική παροχή* :καλώδιο με τέσσερις κλώνους, τριφασικό, ουδέτερος και γείωση. 380/440v εναλλασσόμενο ρεύμα 50/60 Hz.
2. Συμπιεσμένη παροχή αέρα περίπου 3 bar

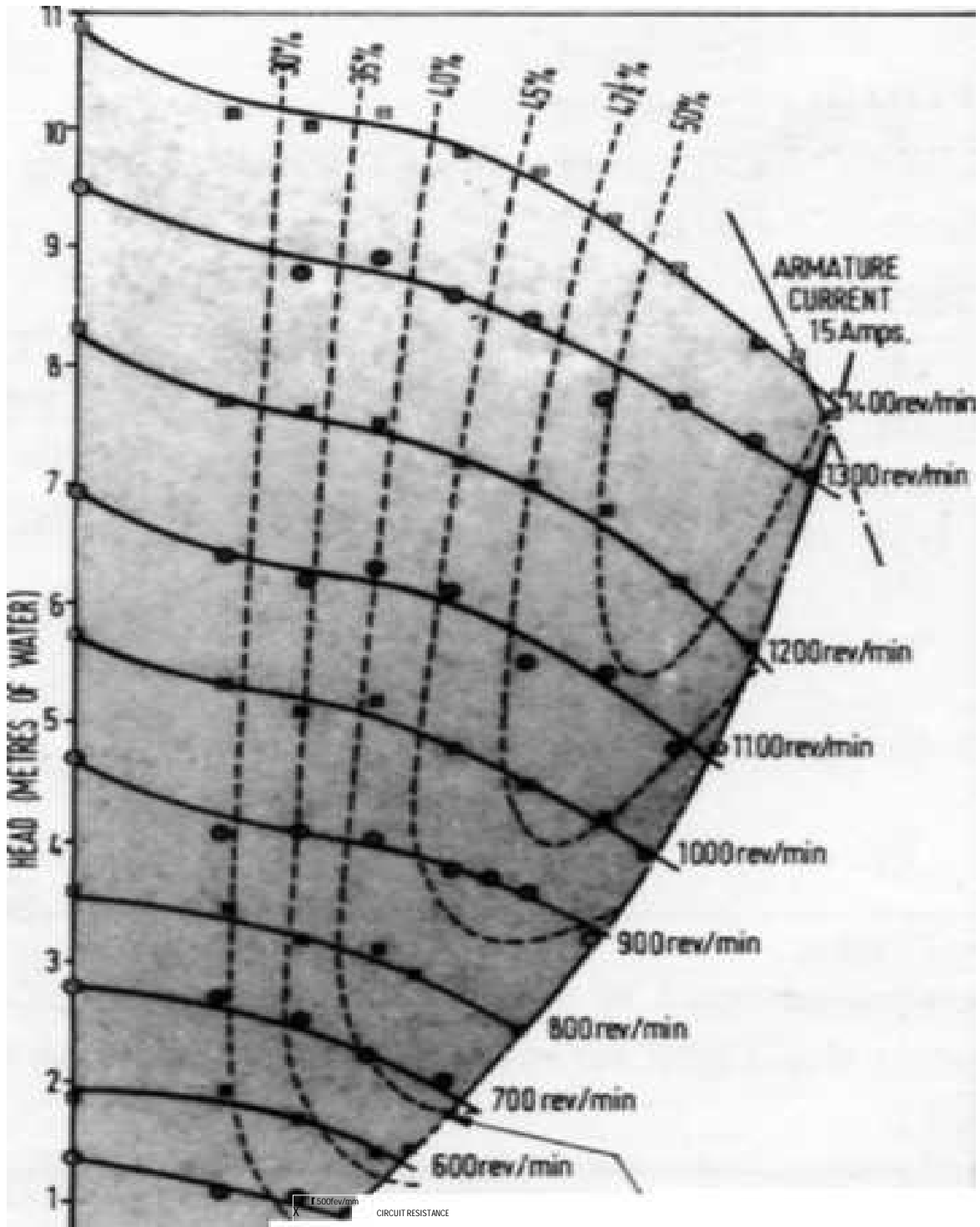
## 5.7 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ

Οι χαρακτηριστικές καμπύλες της συσκευής που δίνονται από τον κατασκευαστή φαίνονται παρακάτω:





ROTOR No. 2 ■ VOLUTE ENTRY - 10mm HO HEAD DROP PLAIN OUTLET



2 1 e a 10 12  
 FLOW RATE (kg/s)  
 PUMP CHARACTERISTIC WITH EFFICIENCY CONTOURS

## 6. ΕΠΙΣΚΕΥΗ - ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ – ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ

Στην πρώτη φάση θα γίνει άδειασμα νερού από την μονάδα ανοίγοντας την βάννα που βρίσκεται στον υδατοσυλλέκτη.

Το πρόβλημα που παρουσίαζε η συσκευή ήταν ότι η περωτή της αντλίας δεν περιστρεφόταν. Έτσι λύθηκε η αντλία στην οποία διαπιστώθηκε ότι είχε κολλήσει η περωτή, στο κέλυφος υπήρχε υδράργυρος καθώς επίσης και τα σημάδια διάβρωσης και φαινομένου σπηλαίωσης ήταν έντονα (Σχ.1, 2, 3, 4, 5 & 6)



Σχ.1 Η αντλία που πρόκειται να λυθεί



Σχ.2 Λύσιμο αντλίας



Σχ. 3 Κέλυφος Πτερωτής – Πτερωτή





Σχ.4 Διαβρωση Πτερωτής



Σχ.5 Φαινόμενο Σπηλαίωσης



Σχ. 6 Υδράργυρος στο Κέλυφος

Τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την επιδιόρθωση των παραπάνων προβλημάτων, ήταν να ξεκολληθεί η αντλία, να γίνει σχολαστικός καθαρισμός, να απομακρυνθεί με ιδιαίτερη προσοχή ο υδράργυρος (αφού είναι επικίνδυνος όταν έρχεται σε άμεση επαφή με τον άνθρωπο) και να γίνει ξανά η συναρμολόγηση της αντλίας. (Σχ.7)



Σχ.7 Αντλία μετα την επιδιόρθωση

Στη συνέχεια αποσυρναμολογήθηκε ο στρόβιλος (Σχ. 8) όπου και διαπιστώθηκαν τα ίδια ακριβώς προβλήματα όπως και στην αντλία, καθώς επίσης χαλασμένα τα ρουλεμάν και οι τσιμούχες στεγανοποίησης.(Σχ. 8, 9, & 10)



Σχ.8 Στρόβιλος



Σχ. 9 Διάβρωση Στροβίλου



Σχ. 10 Διάβρωση Στροβίλου



Σχ. 11 Διάβρωση Στροβίλου και παρουσία υδράργυρου

Αφού επιδιορθώθηκαν όλα τα ελαττωματικά μέρη έγινε αντικατάσταση της φτερωτής του στροβίλου με μια καινούργια.(Σχ.12, 13 &14)



Σχ. 12 Η Νέα Πτερωτή που θα αντικατασταθεί στον σρόβιλο.



Σχ.13 Παλιά & νέα Πτερωτή Στροβίλου



Σχ. 14 Τοποθέτηση Νέας Πτερωτής



Με την εμφάνιση του υδραργύρου μέσα στις περωτές του στροβίλου και της αντλίας κρίναμε σκόπιμο να εξετάσουμε πως περιχύνεται ο υδράργυρος μέσα στις σωληνώσεις. Στο πίσω μέρος της συσκευής υπήρχαν οι τα δοχεία αποθήκευσης του υδράργυρου. (Σχ. 15 & 16)



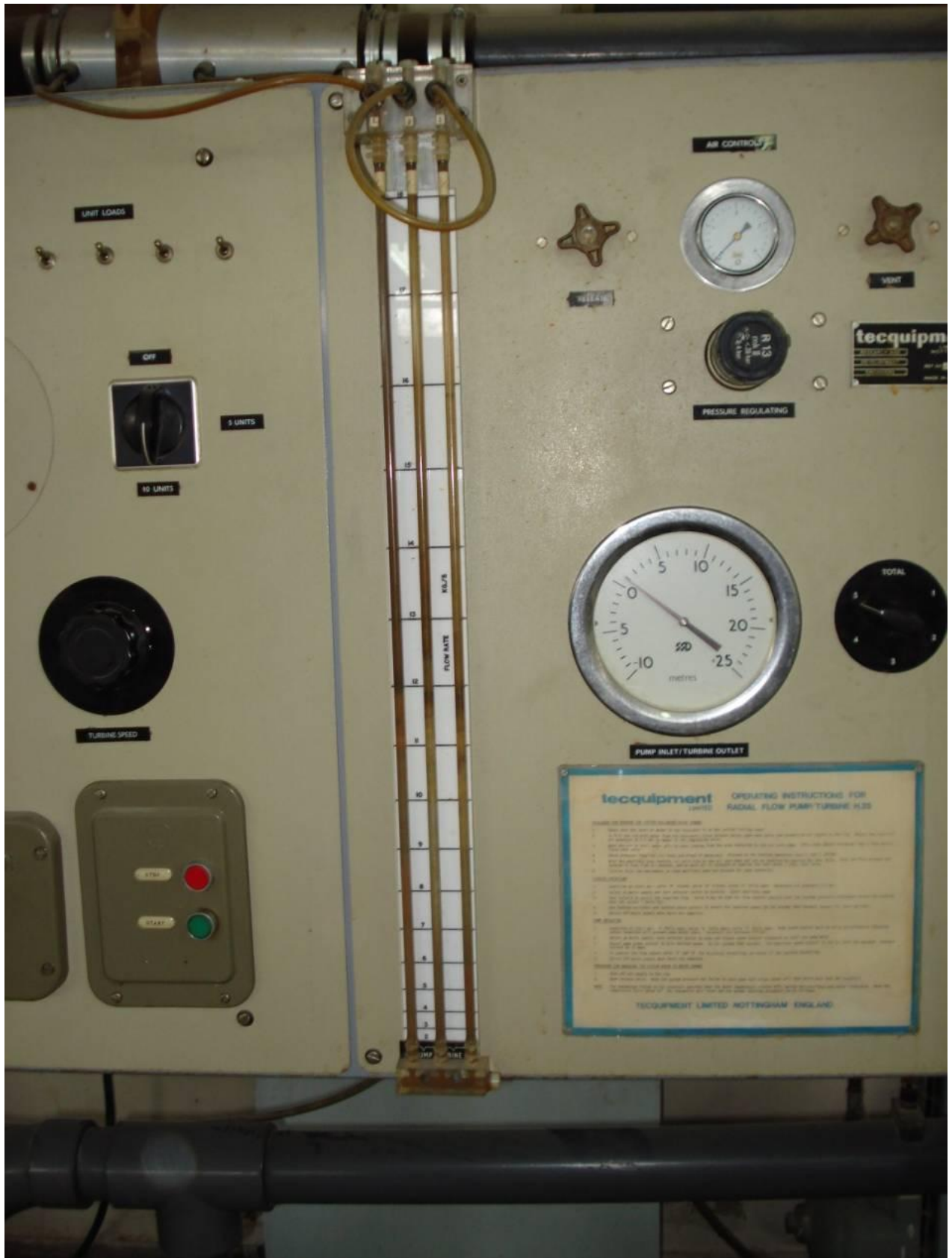
Σχ. 15 Δοχεία Αποθήκευσης Υδράργυρου



Σχ. 16 Δοχεία Αποθήκευσης Υδράργυρου

Εξετάζοντας προσεκτικά την συσκευή, διαπιστώθηκε ότι όλος σχεδόν ο υδράργυρος είχε σκορπιστεί στο πάνω μέρος της μονάδας και είχε περιχυθεί και μέσα στις σωληνώσεις.

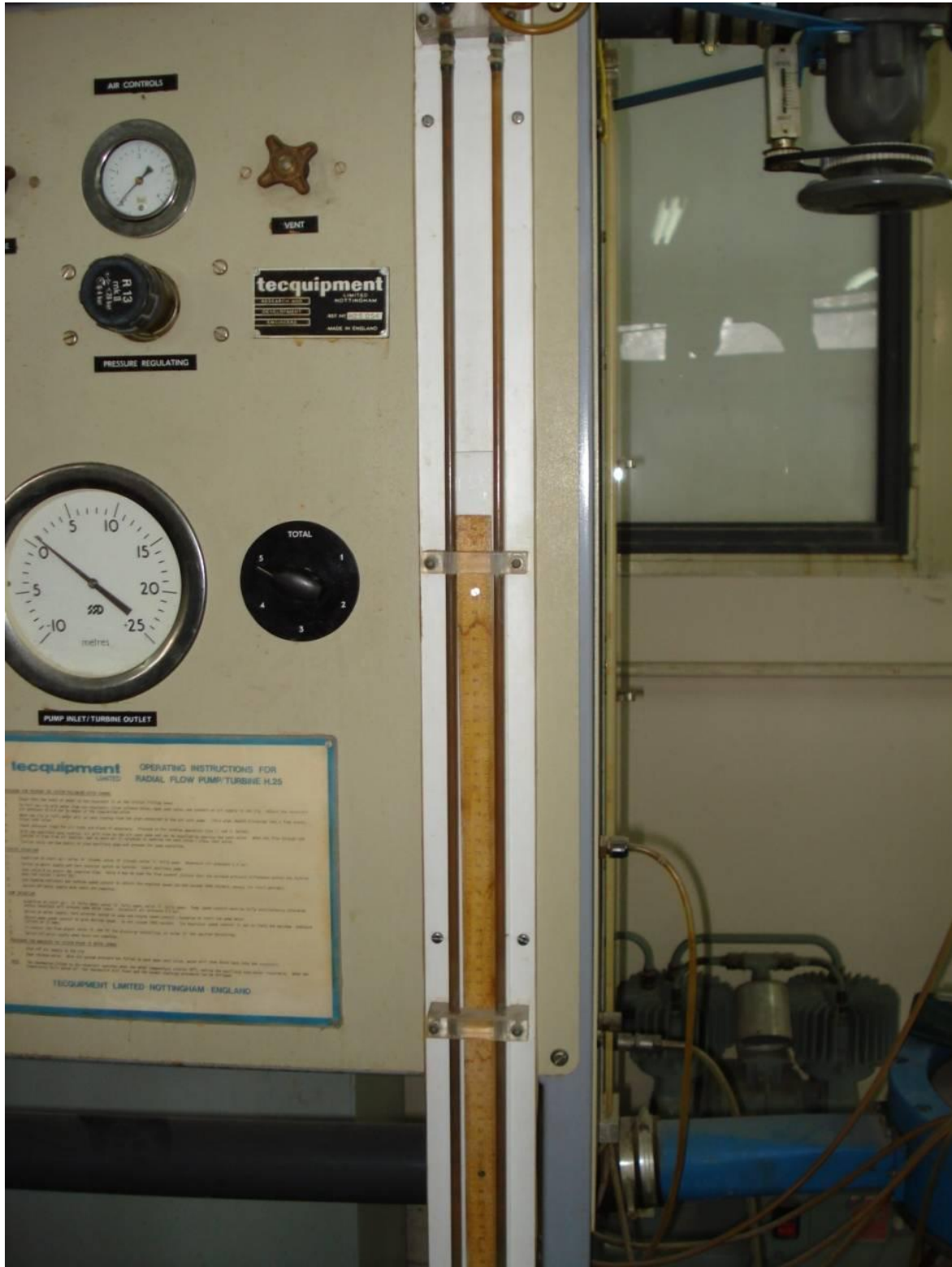
Με την πρώτη σκέψη θεωρήθηκε σκόπιμο να αντικατασταθούν τα σωληνάκια των υδραργυρικών μανομέτρων τα οποία ήταν πολυκαιρισμένα. Σωλήνες που μετρούν πιέσεις του Ventouί και από τν στήλη του στροβίλου (Σχ. 17, 18, 19, 20)



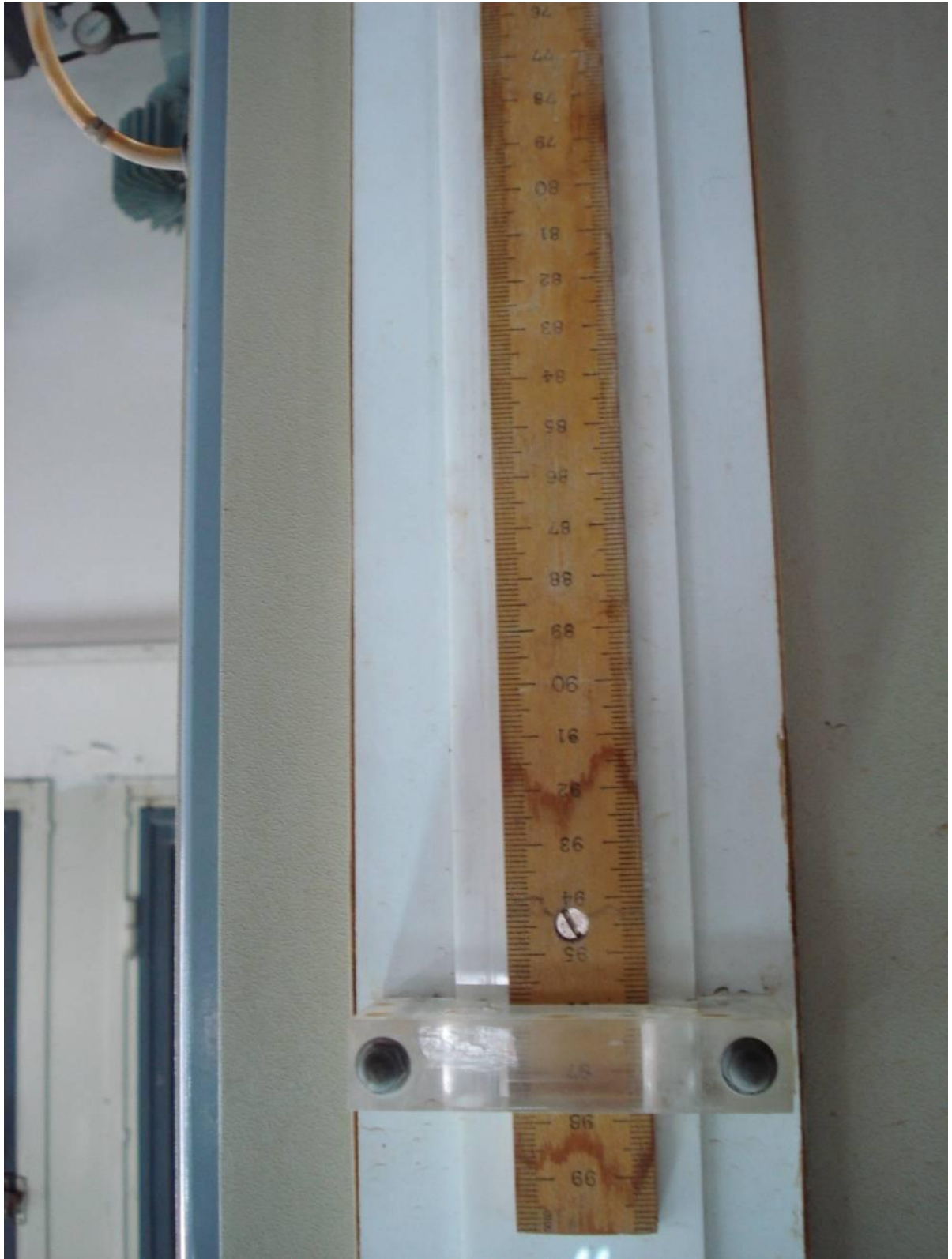
Σχ. 17 Πολυκαίρισμένοι πλαστικοί σωλήνες προς Ventouri



Σχ. 18 Πολυκαιρισμένοι πλαστικοί σωλήνες προς Ventouri



Σχ. 19 Πολυκαρισμένοι πλαστικοί σωλήνες προς στρόβιλο



Σχ. 20 Στήλη στροβίλου χωρίς τους σωλήνες



Σχ. 21 Αφαίρεση και καθαρισμός σωλήνων του Ventouri

Παρά την αντικατάσταση των πολυκαιρισμένων σωλήνων με νέων, υπήρξε απώλεια υδραργύρου όταν η μονάδα τέθηκε σε λειτουργία.

Έτσι ως βέλτιστη λύση έγινε αντικατάσταση των υδραργυρικών μανομέτρων και νερού με καινούργια, υγρού τύπου ( γλυκερίνης ) όπως φαίνεται παρακάτω. (Σχ.22, 23, 24 & 25)



Σχ. 22 Μανόμετρα Υγρού Τύπου





Σχ. 23 Σύνδεση σωλήνα μανομέτρου στον σωλήνα στροβίλου



Σχ. 24 Συνδέσεις σωλήνων μανομέτρων με το Ventouri



Σχ. 25 Μανομετρικός σωλήνας

Στις παρακάτω εικόνες διακρίνεται η πλέον αναβαθμισμένη εργαστηριακή μονάδα αντλιοστρόβιλου. (Σχ. 26, 27, 28 & 29)



Σχ. 26 Αναβαθμισμένη Μονάδα



Σχ. 27 Αναβαθμισμένη Μονάδα



Σχ. 28 Αναβαθμισμένη Μονάδα



Σχ. 29 Αναβαθμισμένη Μονάδα

Όταν έγιναν όλες οι εργασίες, το σύστημα τέθηκε σε λειτουργία με επιτυχία.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- § Ρευστοδυναμικές Μηχανές I & II  
Δημήτρη Γ. Παπανίκα  
Πανεπιστήμιο Πατρών
- § Εργαστηριακές Σημειώσεις Στροβιλομηχανών  
ΤΕΙ Πατρών  
Τμήμα Μηχανολογίας
- § Εγχειρίδιο Εργαστηριακής Μονάδας TecQuipment



<http://www.tecquipment.com>

- § Ρευστομηχανική I  
Ν.Δ. Νανούση  
ΤΕΙ Πάτρας
- § Βασικές αρχές στροβιλομηχανών  
Νανούσης, Νανούσης  
ΤΕΙ Πάτρας
- § Ρευστομηχανική II  
Ν.Δ. Νανούση  
ΤΕΙ Πάτρας
- § Εφαρμοσμένη ρευστομηχανική ,Τόμος I  
Δημήτρη Γ. Παπανίκα  
Πανεπιστήμιο Πατρών
- § Εφαρμοσμένη ρευστομηχανική ,Τόμος II  
Δημήτρη Γ. Παπανίκα  
Πανεπιστήμιο Πατρών