

Εργαστηριακό φυλλάδιο:

Χαρακτηριστικά λειτουργίας υδροστροβίλων Pelton-Francis

1. Αντικείμενο και σκοπός του πειράματος:

Το πείραμα περιλαμβάνει την εξαγωγή χαρακτηριστικών καμπύλων λειτουργίας των υδροστροβίλων Francis και Pelton. Η χάραξη των χαρακτηριστικών καμπύλων γίνεται με τη βοήθεια άμεσων μετρήσεων (της πίεσης κατάθλιψης « P_K », της παροχής « Q » στο παροχόμετρο, του αριθμού στροφών « n_{RPM} », της δύναμης πέδησης του ζυγού Prony « F »), και έμμεσων μετρήσεων (του μανομετρικού « H », των ταχυτήτων κατάθλιψης « u_K » και αναρρόφησης στον διαχύτη « u_E », της ροπής στρέψης « M », της μηχανικής ισχύος « P_M », της ισχύος του ρευστού « P_{flow} » και του βαθμού απόδοσης « η »).

Σκοπός του πειράματος είναι η γνώση του τρόπου λειτουργίας των δύο τύπων υδροστροβίλων, καθώς επίσης και η χάραξη των χαρακτηριστικών καμπύλων.

Με την μέτρηση των απαραίτητων μεγεθών αποκτάται πρακτική εμπειρία που βοηθά στην εξαγωγή συμπερασμάτων σε συνδυασμό με την αντίστοιχη θεωρητική κατάρτιση. Κατά τη μέτρηση των διαφορετικών μεγεθών εκτιμώνται και δικαιολογούνται τα αποτελέσματα σε σχέση με τα θεωρητικά αποτελέσματα.

2. Θεωρία:

Στη δεδομένη πειραματική εγκατάσταση, η αντλία παροχετεύει την αναγκαία ποσότητα ρευστού για τη λειτουργία των υδροστροβίλων, αντικαθιστώντας έτσι τη φυσική διαμόρφωση του εδάφους, που στη πραγματικότητα είναι υπεύθυνη για την υδατόπτωση.

- Το ύψος πτώσης στον υδροστρόβιλο Pelton είναι:

$$H_{PELTON} = \frac{P_K}{\rho g} + \frac{u_K^2}{2g}$$

όπου:

- H_{PELTON} : ύψος πτώσης (m)
- P_K : πίεση κατάθλιψης (N/m² ή Pa)
- u_K : ταχύτητα του ρευστού στη θέση κατάθλιψης (m/s)
- ρ : πυκνότητα του νερού (1000 kg/m³)
- g : επιτάχυνση της βαρύτητας (9,81 m/s²)

- Το ύψος πτώσης στον υδροστρόβιλο Francis είναι:

$$H_{FRANCIS} = \frac{P_K}{\rho g} + \frac{u_K^2 - u_E^2}{2g} - \Delta z$$

όπου:

- $H_{FRANCIS}$: ύψος πτώσης (m)
- P_K : πίεση κατάθλιψης (N/m² ή Pa)

- u_K : ταχύτητα του ρευστού στη θέση κατάθλιψης (m/s)
 u_E : ταχύτητα του ρευστού στην αναρρόφηση του διαχύτη (m/s)
 ρ : πυκνότητα του νερού (1000 kg/m³)
 g : επιτάχυνση της βαρύτητας (9,81 m/s²)
 Δz : υψομετρική διαφορά φλέβας νερού με τον άξονα περιστροφής του υδροστρόβιλου Francis (0,27 m).

- Ταχύτητα του ρευστού:
$$u_K = \frac{4Q}{\pi D_K^2}$$
 και
$$u_E = \frac{4Q}{\pi D_E^2}$$

όπου:

- D_K : διάμετρος αγωγού στη θέση κατάθλιψης (0,045 m)
 D_E : διάμετρος αγωγού στην αναρρόφηση του διαχύτη (0,08 m)
 Q : παροχή του νερού (m³/h)

- Ροπή στρέψης στον άξονα:
$$M = F \cdot r$$
 και
$$F_{Nt} = \frac{F_{gr} \cdot 9,81}{1000}$$

όπου:

- M : ροπή στρέψης (Nm)
 F_{Nt} : δύναμη ροπής ζυγού (Nt)
 r : μήκος βραχίονα Prony (0.15844 m)

- Μηχανική ισχύς στον άξονα των υδροστρόβιλων:
$$P_m = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot n_{RPS} \cdot F_{Nt}$$

όπου:

- P_m : μηχανική ισχύς (Watt)
 n_{RPS} : ταχύτητα περιστροφής (1/sec), προσοχή στο πείραμα οι μετρήσεις που παίρνονται με το στροβοσκόπιο είναι σε RPM.

- Διαθέσιμη ισχύς του ρευστού:
$$P_{flow} = \rho \cdot g \cdot Q_{m^3/sec} \cdot H$$

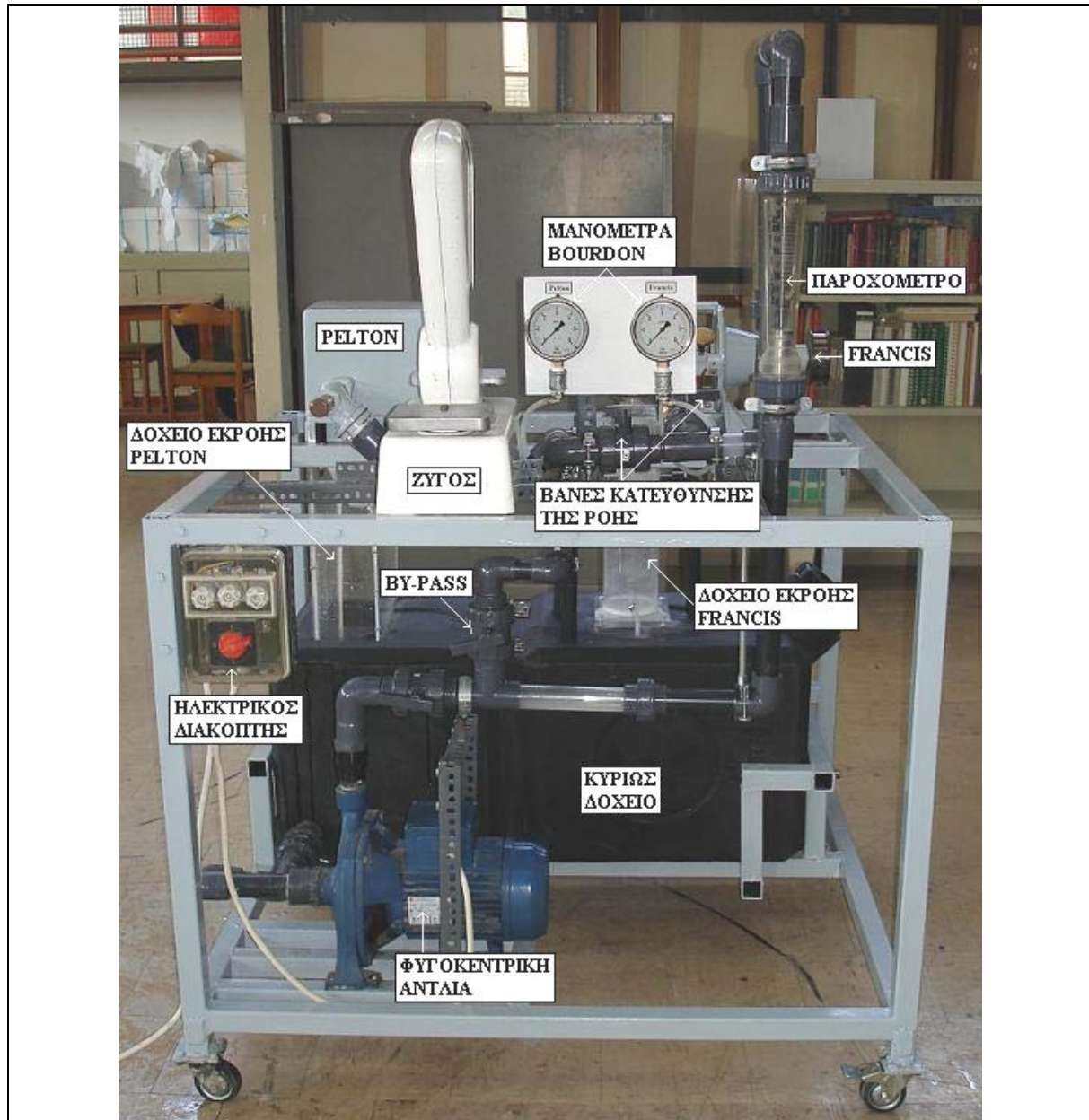
όπου:

- P_{flow} : ισχύς του ρευστού (Watt)
 Q : παροχή ρευστού (m³/s), προσοχή στο πείραμα μετρήσεις σε m³/h.
 H : ύψος πτώσης (m)

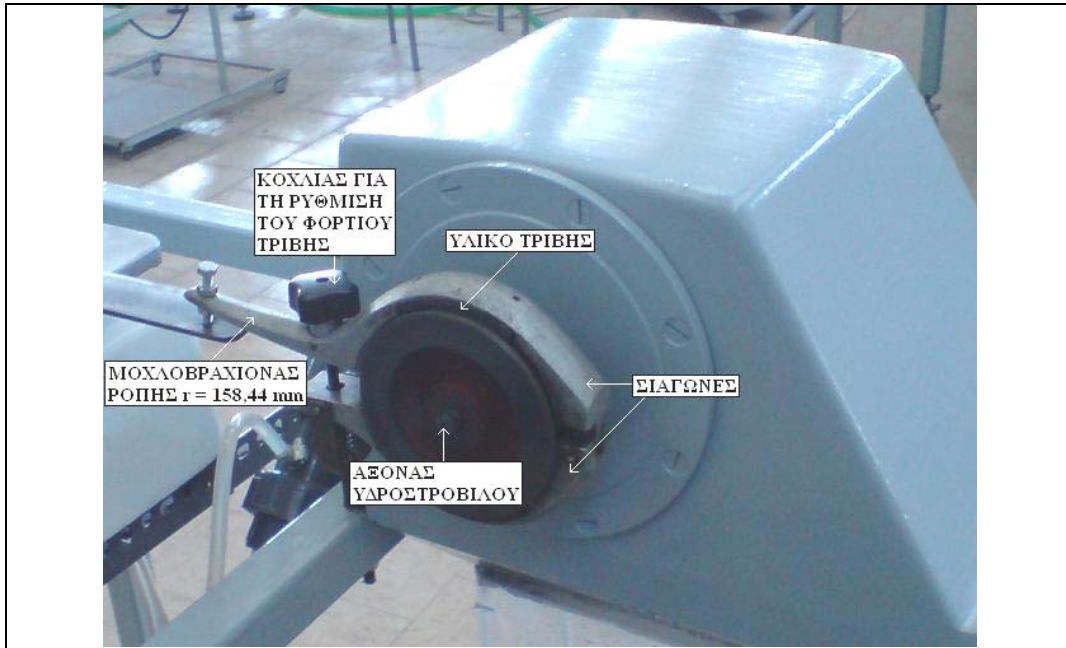
- Βαθμός απόδοσης του υδροστρόβιλου:
$$n = \frac{P_m}{P_{flow}}$$

3. Περιγραφή πειραματικής εγκατάστασης-μετρητικά όργανα

3.1 Σχηματική περιγραφή της πειραματικής εγκατάστασης



Η αντλία στέλνει το νερό προς το παροχόμετρο, όπου μπορούμε να ρυθμίσουμε την παροχή με την βοήθεια της βάνας του BY-PASS. Στη συνέχεια το ρευστό κατευθύνεται προς τις βάνες κατεύθυνσης της ροής, όπου ανάλογα με το ποια βάνα είναι ανοιχτή (και η άλλη κλειστή) κατευθύνεται προς τον αντίστοιχο υδροστρόβιλο. Λίγο πριν την είσοδο του ρευστού στον υδροστρόβιλο μετράται η πίεση της κατάθλιψης στα μανόμετρα «Bourdon». Όταν το νερό εισέλθει στον υδροστρόβιλο, η διαθέσιμη ενέργεια του ρευστού μετατρέπεται σε μηχανική και με τη βοήθεια του ψηφιακού στροφόμετρου, της πέδης «Prony» και του ζυγού, μπορούν να μετρηθούν αντίστοιχα η ταχύτητα περιστροφής και η ροπή στον άξονα.



Με τη βοήθεια του κοχλία, καθώς περιστρέφεται ο άξονας του υδροστρόβιλου, ρυθμίζεται το φορτίο τριβής, το οποίο μετράται σε gr στο ζυγό, όπου στη συνέχεια το μετατρέπουμε σε Nt. Ο υπολογισμός της ροπής ($M=F \cdot r$) γίνεται πολύ εύκολα αν πολλαπλασιάσουμε το μήκος του βραχίονα ($r = 0,15844 \text{ m}$) με την δύναμη σε Nt.

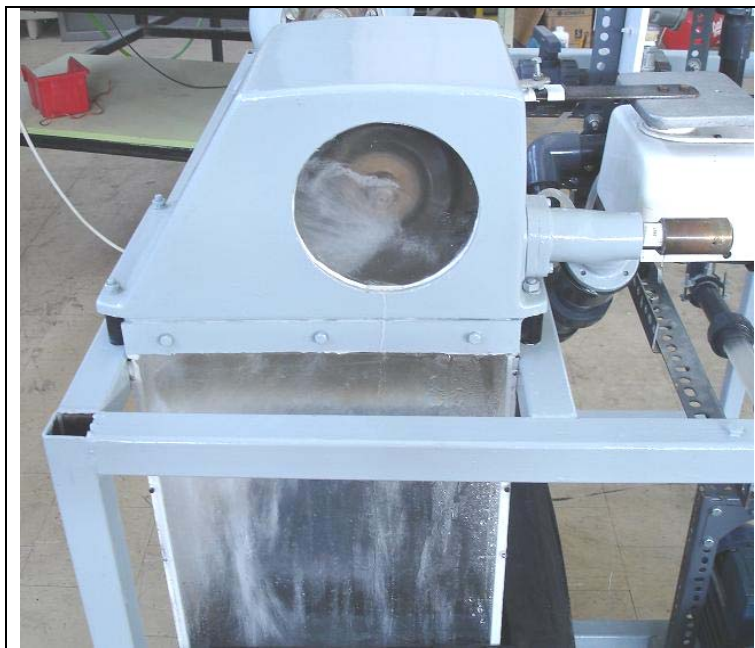


Κατά τη λειτουργία του υδροστρόβιλου Francis παρατηρείται ο σχηματισμός μικρών φυσαλίδων ($P < P_{sat}$), οι οποίες μεταφέρονται από την περιοχή μικρής πίεσης προς τις περιοχές υψηλής πίεσης, όπου προσκολλώνται. Έτσι με την πάροδο του χρόνου προκαλείται διάβρωση, όπου στην συνέχεια εξελίσσεται σε σχηματισμό ρωγμών και το μέταλλο διαχωρίζεται από την επιφάνεια.

3.2 Περιγραφή των κύριων μερών-μετρητικών συσκευών της πειραματικής εγκατάστασης:

- Υδροστρόβιλος Pelton:

Ο υδροστρόβιλος Pelton ανήκει στην κατηγορία των υδροστροβίλων ώθησης (Impulse turbines). Η αρχή λειτουργίας των υδροστροβίλων ώθησης στηρίζεται στην μεταβολή της ταχύτητας του νερού. Γι' αυτό είναι κατάλληλος για να μετατρέψει μεγάλο ειδικό έργο ή μεγάλο μανομετρικό ($\gamma = H \cdot g$) και χρησιμοποιείται εκεί που η υδατόπτωση γίνεται από μεγάλα ύψη αλλά η παροχή είναι μικρή.



Ο υδροστρόβιλος Pelton εν ώρα λειτουργίας.

Όταν η δέσμη του νερού που εισέρχεται μέσα στον στρόβιλο περνά μέσα από ένα ή περισσότερα ειδικά ακροφύσια, η ενέργεια της ροής μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια. Το υψηλής ταχύτητας νερό προσκρούει στις καμπύλες επιφάνειες των πτερυγίων (σκαφίδια) και αλλάζει κατεύθυνση. Τα σκαφίδια σχεδιάζονται έτσι ώστε να απορροφούν όσο το δυνατό περισσότερη από την κινητική ενέργεια του νερού, για να διατηρούν την ταχύτητα εξόδου όσο το δυνατό μικρότερη. Από την πρόσκρουση του νερού στα σκαφίδια προκαλείται μια δύναμη στα σκαφίδια (λόγω της μεταβολής της ορμής του νερού) που τείνει να περιστρέψει το στροφέιο. Κατά την πρόσκρουση του νερού πάνω στα σκαφίδια δεν υπάρχει καμιά μεταβολή της πίεσης του νερού (ισοθλιπτικός υδροστρόβιλος) και έτσι ο υδροστρόβιλος δεν χρειάζεται ιδιαίτερη επίβλεψη κατά την λειτουργία. Οι υδροστρόβιλοι αυτού του είδους συνήθως χρησιμοποιούνται για μεγάλα ύψη πτώσεως. Λόγω της υπερπίεσης (του φαινομένου του υδραυλικού πλήγματος), η βελόνη που είναι μέσα στο ακροφύσιο, μπορεί να εκτραπεί προς τα σκαφίδια, γι' αυτό θα πρέπει να κλείνεται πολύ αργά, ώστε να διατηρηθεί στο ελάχιστο το κύμα υπερπίεσης.

- Υδροστρόβιλος Francis:

Ο υδροστρόβιλος Francis είναι υδροστρόβιλος τύπου αντίδρασης (Reaction turbine), με σταθερά πτερύγια στον δρομέα και με μεταβλητά οδηγά πτερύγια, που χρησιμοποιούνται για μέσα γεωδαιτικά ύψη (συνήθως μέχρι 400 m) και είναι αντιπροσωπευτικός σαν μηχανή διαγώνιας (ημιαξονικής) ροής.

Το νερό κινείται μέσα από τον στρόβιλο, σαν να είναι κλεισμένο σ' ένα κλειστό σωλήνα-αγωγό, κινούμενο μέσα από ένα σταθερό μέρος, τον διανομέα, προς ένα κινούμενο, τον δρομέα, χωρίς να είναι σε καμία περίπτωση σε επαφή με την ατμόσφαιρα. Στο παρακάτω σχήμα, φαίνεται πως η οδηγός πτερύγωση ρυθμίζει την παροχή που πηγαίνει στον δρομέα. Ο στρόβιλος ρυθμίζεται με ρύθμιση της παροχής με μεταβολή της κλίσης των πτερυγίων της ακίνητης πτερύγωσης. Η δυνατότητα μεταβολής της κλίσης των πτερυγίων, προσδίδει στον υδροστρόβιλο ευελιξία, ώστε να λειτουργεί με τον μέγιστο βαθμό απόδοσης στις διάφορες συνθήκες ύψους πτώσης και παροχής.



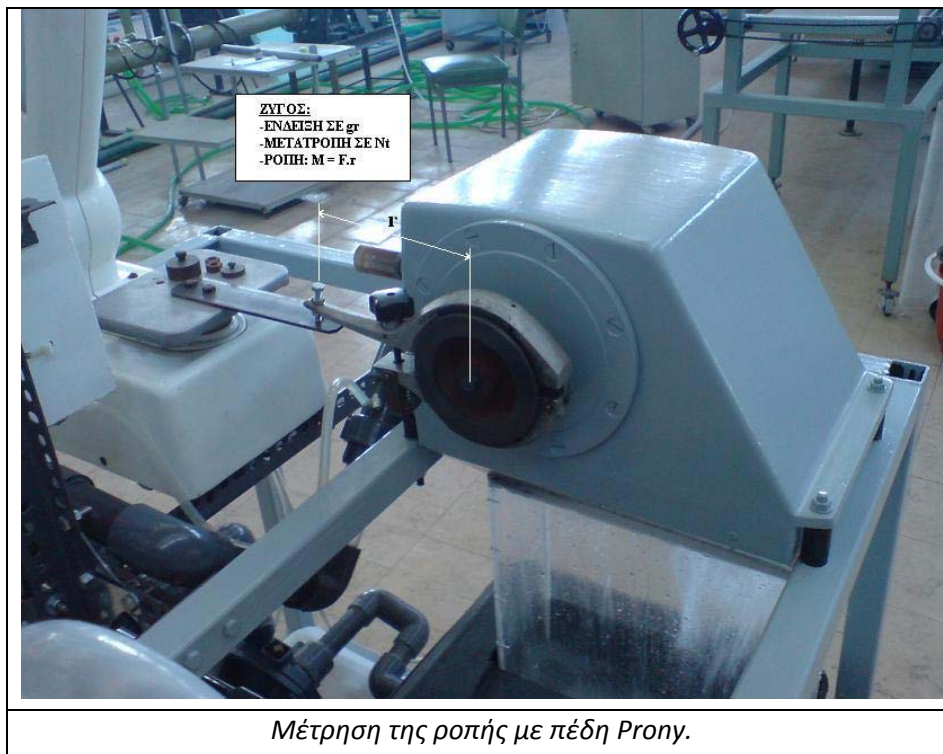
Ο υδροστρόβιλος Francis εν ώρα λειτουργίας.

Στους υδροστρόβιλους αντίδρασης, για να μειωθεί η κινητική ενέργεια (δυναμική πίεση) που παραμένει στο νερό στην έξοδο του στροβίλου, τοποθετείται ένας κωνικός σωλήνας (ή διαχύτης) μεταξύ του στροβίλου και της επιφάνειας του νερού (στο κατώτερο σημείο). Ένας καλά σχεδιασμένος κωνικός σωλήνας, σε κάποια συγκεκριμένα όρια, επιτρέπει την τοποθέτηση του στροβίλου πάνω από την επιφάνεια του νερού, χωρίς να υπάρχουν απώλειες (μανομετρικό). Μειώνοντας την ταχύτητα εξόδου με τη βοήθεια της κωνικής διατομής, ο όρος της ταχύτητας στην

κινητική ενέργεια, που είναι υψωμένος στο τετράγωνο, μειώνεται σε μεγάλο βαθμό, ενώ παράλληλα αυξάνεται η στατική πίεση.

- Πέδη «Prony»:

Είναι ένας τύπος δυναμόμετρου απορρόφησης ενέργειας. Η χρησιμοποιούμενη πέδη Prony φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Αποτελείται από δύο σιαγόνες, οι οποίες συγκλίνουν με την βοήθεια ενός κοχλίας. Ο κοχλίας αυτός ρυθμίζει το φορτίο τριβής. Το ελατήριο επιτρέπει την εφαρμογή μεταβαλλόμενου φορτίου τριβής. Το φορτίο τριβής μετράται μέσω ενός ζυγού. Με τη βοήθεια του κοχλίας ρυθμίζεται η θέση του μοχλοβραχίονα ροπής, έτσι ώστε η διεύθυνση της δύναμης πέδησης να είναι κάθετη στο ζυγό. Η πέδη Prony χρησιμοποιείται για να μετρηθεί η ισχύς ενός περιστρεφόμενου άξονα. Αρχικά μετράται η ροπή στρέψης του άξονα με ένα βραχίονα που φέρει η πέδη Prony. Ο βραχίονας πιέζει τον δίσκο ενός ζυγού, ο οποίος δίνει ένδειξη σε γραμμάρια (gr), δηλαδή γίνεται γνωστό το μέγεθος της δύναμης. Η ακρίβεια του ζυγού είναι 5 gr. Το μήκος του βραχίονα είναι $r = 15,844$ cm. Για τη μέτρηση της ροπής χρησιμοποιούνται οι σχέσεις που αναφέρονται στην θεωρία.

- Παροχόμετρο:

Για τη μέτρηση της παροχής χρησιμοποιείται παροχόμετρο περιστρεφόμενου πλωτήρα με εύρος παροχής $4 \div 22$ m³/h. Η αρχή λειτουργίας του στηρίζεται στην αρχή του Αρχιμήδη (Άνωση), όπου ο πλωτήρας ανέρχεται, μέχρις ότου επέλθει ισορροπία δυνάμεων. Στο σημείο που ο πλωτήρας

ισορροπεί, διαβάζεται η ένδειξη που αναγράφεται πάνω στο όργανο (παροχή σε m^3/h). Πάντα όταν ξεκινά για πρώτη φορά η αντλία να στέλνει νερό, το παροχόμετρο δείχνει συνήθως ένδειξη μεγαλύτερη της πραγματικής, γι' αυτό θα πρέπει να περιμένουμε λίγο (2-3 min), ώστε το παροχόμετρο να δώσει τη σωστή ένδειξη. Σημαντική παρατήρηση για αυτού του τύπου παροχόμετρα, είναι το γεγονός ότι απαιτούν μόνιμες και καθαρές ροές.



- Μανόμετρα «Bourdon»:

Η πειραματική εγκατάσταση περιλαμβάνει δύο μανόμετρα τύπου Bourdon, για τη μέτρηση της υπερπίεσης στην είσοδο των υδροστροβίλων (κατάθλιψη). Τα μανόμετρα έχουν κλίμακα από 0 έως 6 bar, με υποδιαίρεση το 0,1 bar. Πάνω στους αγωγούς, ακριβώς στην είσοδο των υδροστροβίλων είναι τοποθετημένα κάθετα δύο εξαρτήματα στο επάνω μέρος των αγωγών, τα οποία συνδέουν τα μανόμετρα με ένα ελαστικό σωληνάκι.

Τα μανόμετρα περιέχουν μέσα γλυκερίνη, ώστε σε περίπτωση κραδασμών να διατηρούν τη βελόνα του οργάνου σταθερή.

- Ψηφιακό στροφόμετρο:

Η μέτρηση των στροφών γίνεται με το ψηφιακό στροφόμετρο. Για περιστρεφόμενους άξονες, ή δίσκους, ή παλλόμενα (ταλαντευμένα αντικείμενα) θα πρέπει να προετοιμαστούν για την απόκτηση του μέγιστου σκότους στην φωτεινή αντίθεση με έναν από τους ακόλουθους τρόπους.

Στην αρχή γίνεται καθαρισμός του άξονα ή του περιστρεφόμενου αντικείμενου από λάδια. Τοποθετούμε μια από τις αυτοκόλλητες ενδεικτικές ετικέτες στον άξονα ή στο αντικείμενο έτσι ώστε το φως που προέρχεται από το όργανο να δημιουργεί μια καλή αντίθεση της αντανάκλαστικότητας όταν ο άξονας περιστρέφεται.

Μπορούν να χρησιμοποιηθούν δύο μέθοδοι:

- (i) Τοποθέτηση στο τέλος του άξονα μιας ετικέτας, κατά το μισό μαύρη και το υπόλοιπο άσπρη.

(ii) Καθαρίζοντας τον άξονα τοποθετείται ένα κομμάτι ανακλαστικής αυτοκόλλητης ταινίας. Πάντα να αφήνεται ακάλυπτο το μισό της διαμέτρου του άξονα.

Έτσι όταν περιστρέφεται ο άξονας, το ψηφιακό στροφόμετρο αναβοσβήνει, στέλνοντας το φως με κάποια συχνότητα. Το όργανο έχει ένα περιστρεφόμενο κουμπί στο πλάι, όπου περιστρέφοντάς το αριστερόστροφα μειώνεται η συχνότητα, και περιστρέφοντάς το δεξιόστροφα αυξάνεται. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αυτής, όταν η συχνότητα με την οποία στέλνεται το φως γίνει ίδια με τη συχνότητα που περιστρέφεται ο άξονας, τότε βλέπουμε το κομματάκι της αυτοκόλλητης ταινίας να είναι σταθερό σε κάποιο σημείο του άξονα. Γενικά για να είμαστε σίγουροι ότι η συχνότητα που μας δίνει το όργανο είναι η πραγματική υπάρχει ένας κανόνας. Ο κανόνας αυτός λέει, ότι αν βλέπουμε ένα σταθερό αντικείμενο, τότε, (α) αν διπλασιάσουμε τις στροφές που μας δίνει το όργανο θα πρέπει να βλέπουμε δύο αντικείμενα, το ένα απέναντι από το άλλο, και (β) αν υποδιπλασιάσουμε τις στροφές που μας δίνει το όργανο θα πρέπει να βλέπουμε πάλι ένα αντικείμενο.

Σημαντικό είναι να αναφέρουμε ότι σε σχετικά χαμηλές στροφές (200-300 RPM) είναι πολύ δύσκολο να βρούμε τον πραγματικό αριθμό στροφών και ότι πάντα η αναζήτηση της ταχύτητας περιστροφής γίνεται ξεκινώντας από έναν υψηλότερο αριθμό στροφών, προς ένα χαμηλότερο για την εύρεση του πραγματικού αριθμού στροφών του άξονα.

4. Πειραματική διαδικασία

• Υδροστρόβιλος Pelton

Πριν την εκκίνηση της αντλίας βεβαιωνόμαστε ότι η βάνα κατάθλιψης του Pelton είναι ανοιχτή και η βάνα κατάθλιψης του Francis είναι κλειστή. Επίσης ο ζυγός Prony τοποθετείται στον άξονα του Pelton επιτρέποντας του την ελεύθερη περιστροφή. Μ' αυτό τον τρόπο παίρνουμε μετρήσεις για τον υδροστρόβιλο Pelton. Οι χαραγές επάνω στη λόγχη αριθμούνται από 0 (Open) έως 10 (Shut). Σ' αυτό το πείραμα δεν χρειάζεται η χρήση του by-pass, αφού στον υδροστρόβιλο Pelton το μανομετρικό διατηρείται σταθερό.

Οι μετρήσεις γίνονται για 4 διαφορετικές χαραγές (αρχίζοντας από τη χαραγή 4/10, στη συνέχεια 5/10, 7/10 και 8/10).

Η σειρά με την οποία παίρνονται οι μετρήσεις είναι η εξής:

- Μέτρηση της ταχύτητας περιστροφής, αφού πρώτα έχει ρυθμιστεί το φορτίο τριβής.
- Μέτρηση της πίεσης στην κατάθλιψη και της παροχής στο παροχόμετρο.

• Υδροστρόβιλος Francis

Τελειώνοντας το πείραμα του υδροστρόβιλου Pelton κλείνουμε την φυγοκεντρική αντλία, και γίνεται αλλαγή της κατεύθυνσης της ροής από τον Pelton στον Francis, ανοίγοντας τη βάνα κατάθλιψης του Francis και κλείνοντας τη βάνα κατάθλιψης του Pelton. Επίσης τοποθετείται ο ζυγός «Prony» στον άξονα του Francis. Το βήμα παροχής του Francis μεταβάλλεται από 0% (ανοιχτά οδηγία πτερύγια) έως 100% (κλειστά οδηγία πτερύγια).

Οι μετρήσεις γίνονται για 3 βήματα παροχής (αρχίζοντας από 3 m³/h, 3,5 m³/h και 4 m³/h) κρατώντας το μανομετρικό σταθερό με τη βοήθεια του «by-pass». Για την επίτευξη πιο αντιπροσωπευτικών μετρήσεων πρέπει η πίεση κατάθλιψης P_K , που αντιστοιχεί στον ακινητοποιημένο άξονα να διατηρείται σ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων με τη βοήθεια του by-pass.

Προσοχή: όταν κλείσει η φυγοκεντρική αντλία, για αποφυγή υπερχειλίσης του δοχείου εκροής, θα πρέπει να περιμένουμε να αδειάσει το δοχείο και μετά να ξανά-ξεκινήσουμε την αντλία.

Η σειρά με την οποία παίρνονται οι μετρήσεις είναι η εξής:

- Μέτρηση της ταχύτητας περιστροφής, αφού πρώτα έχει ρυθμιστεί το φορτίο τριβής.
- Μέτρηση της πίεσης στην κατάθλιψη και της παροχής στο παροχόμετρο.

5. Αποτελέσματα

Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων συμπληρώνουμε τους πίνακες που ακολουθούν στο παράρτημα για τους υδροστρόβιλους Pelton-Francis, μετρώντας άμεσα την ταχύτητα περιστροφής (N_{RPM}), την δύναμη πέδησης (F_{gr}), την παροχή ($Q_{m^3/h}$) και την πίεση στην κατάθλιψη (P_K).

Από τα παραπάνω μεγέθη υπολογίζονται τα εξής:

- Για τον υδροστρόβιλο Pelton:

- Η δύναμη πέδησης F (Nt) και η ροπή M (Nm).
- Η μηχανική ισχύς P_m (Watts)
- Η μέση ταχύτητα του ρευστού στην κατάθλιψη u_k (m/s) και το ύψος πτώσης H (m)
- Η παροχή του ρευστού Q (m³/s) και η διαθέσιμη ισχύς P_{flow} (Watts)
- Η απόδοση του υδροστρόβιλου η (%)

- Για τον υδροστρόβιλο Francis:

- Η δύναμη πέδησης F (Nt) και η ροπή M (Nm).
- Η μηχανική ισχύς P_m (Watts)
- Η μέση ταχύτητα του ρευστού στην κατάθλιψη u_k (m/s), η μέση ταχύτητα του ρευστού στην αναρρόφηση u_E (m/s) και το ύψος πτώσης H (m)
- Η παροχή του ρευστού Q (m³/s) και η διαθέσιμη ισχύς P_{flow} (Watts)
- Η απόδοση του υδροστρόβιλου η (%)

5.1 Επεξεργασία αποτελεσμάτων:

- Για τον υδροστρόβιλο Pelton:

Για κάθε χαραγή χαράσσονται τα εξής διαγράμματα:

- $P_{flow} = f(N_{RPM})$. Ισχύς του ρευστού συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής.

- $M = f(N_{RPM})$. Ροπή στρέψης συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής.
- $P_m = f(N_{RPM})$. Μηχανική ισχύς συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής.
- $\eta = f(N_{RPM})$. Βαθμός απόδοσης συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής.
- $Q = f(N_{RPM})$. Παροχή συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής.
- $H = f(Q)$. Ύψος πτώσης (Μανομετρικό) συναρτήσει της παροχής.

Επίσης χαράσσονται ακόμα δύο διαγράμματα για ελεύθερη περιστροφή του άξονα (χωρίς την πέδη-0 gr), για όλες τις χαραγές στο ίδιο διάγραμμα:

- $t = f(N_{RPM})$. Βήμα παροχής (χαραγή) συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής.
- $Q = f(t)$. Παροχή συναρτήσει του βήματος παροχής (χαραγή).

- **Για τον υδροστρόβιλο Francis:**

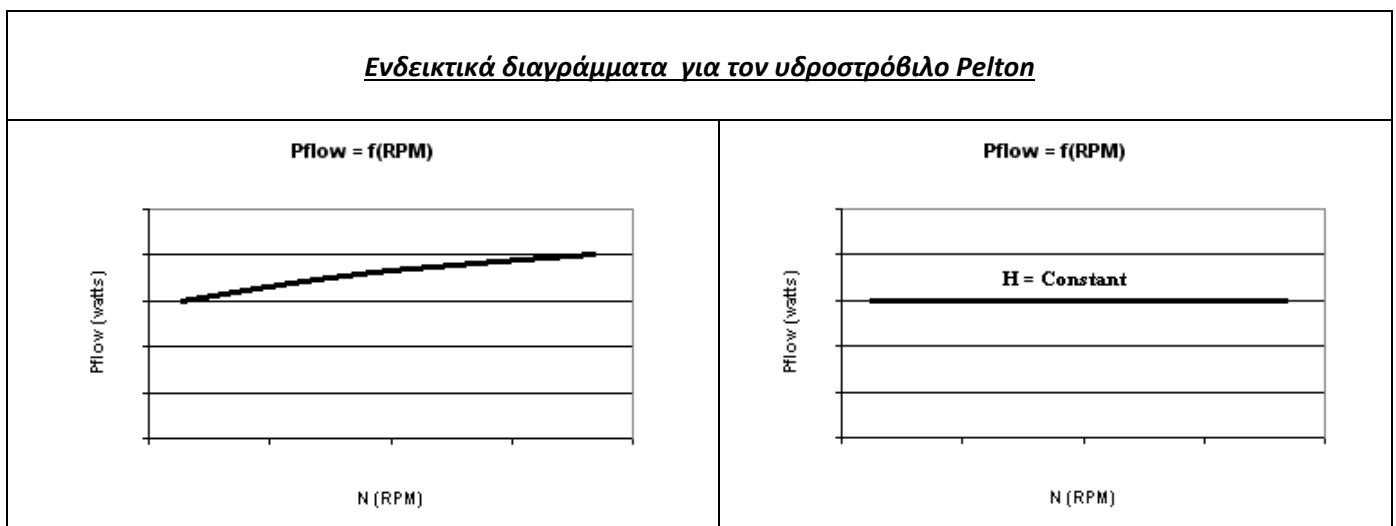
Για κάθε χαραγή χαράσσονται τα εξής διαγράμματα:

- $P_{flow} = f(N_{RPM})$. Ισχύς του ρευστού συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής.
- $M = f(N_{RPM})$. Ροπή στρέψης συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής.
- $P_m = f(N_{RPM})$. Μηχανική ισχύς συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής.
- $\eta = f(N_{RPM})$. Βαθμός απόδοσης συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής.
- $Q = f(N_{RPM})$. Παροχή συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής.

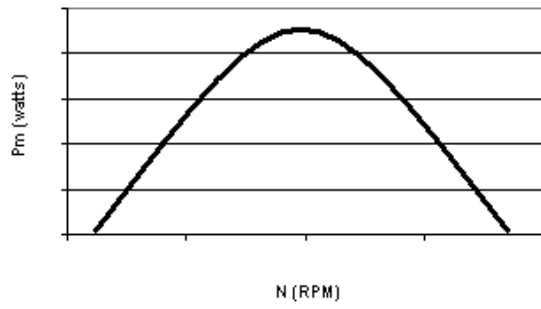
5.2 Ερωτήσεις

- (i) Να συγκρίνετε τους βαθμούς απόδοσης των δύο υδροστροβίλων και να σχολιάσετε το αποτέλεσμα:

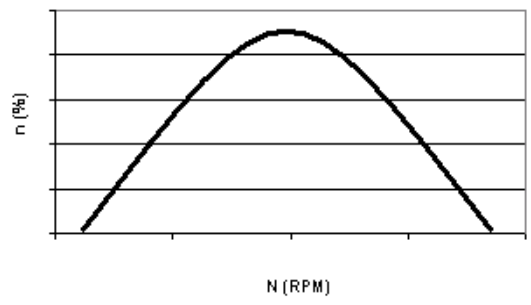
6. Ενδεικτικά διαγράμματα



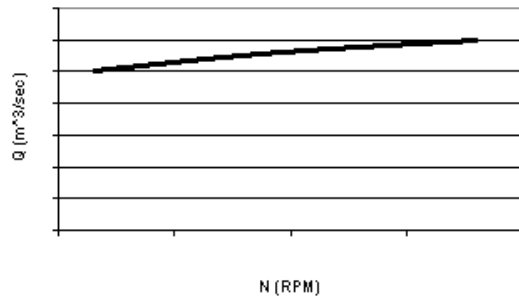
$P_m = f(\text{RPM})$



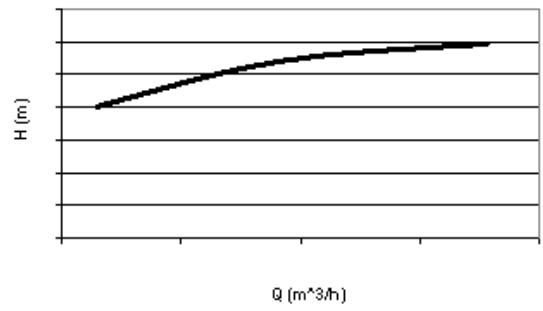
$n = f(\text{RPM})$



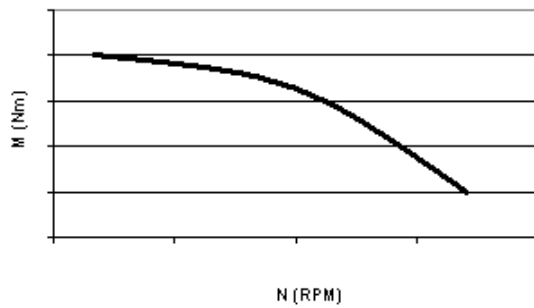
$Q = f(\text{RPM})$



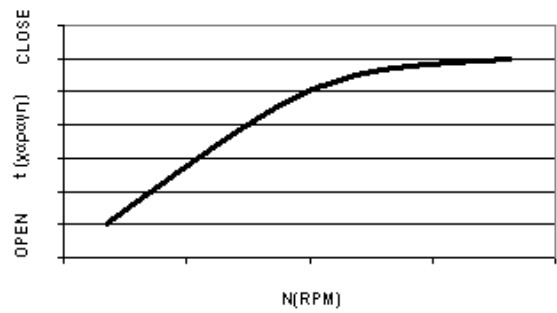
$H = Q (\text{m}^3/\text{h})$



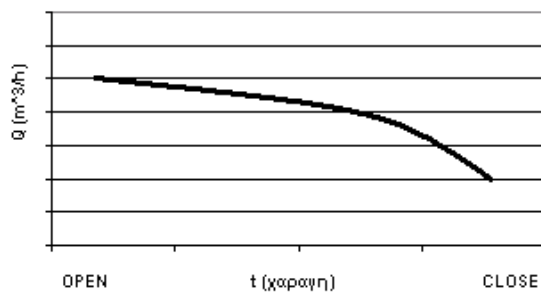
$M = f(\text{RPM})$



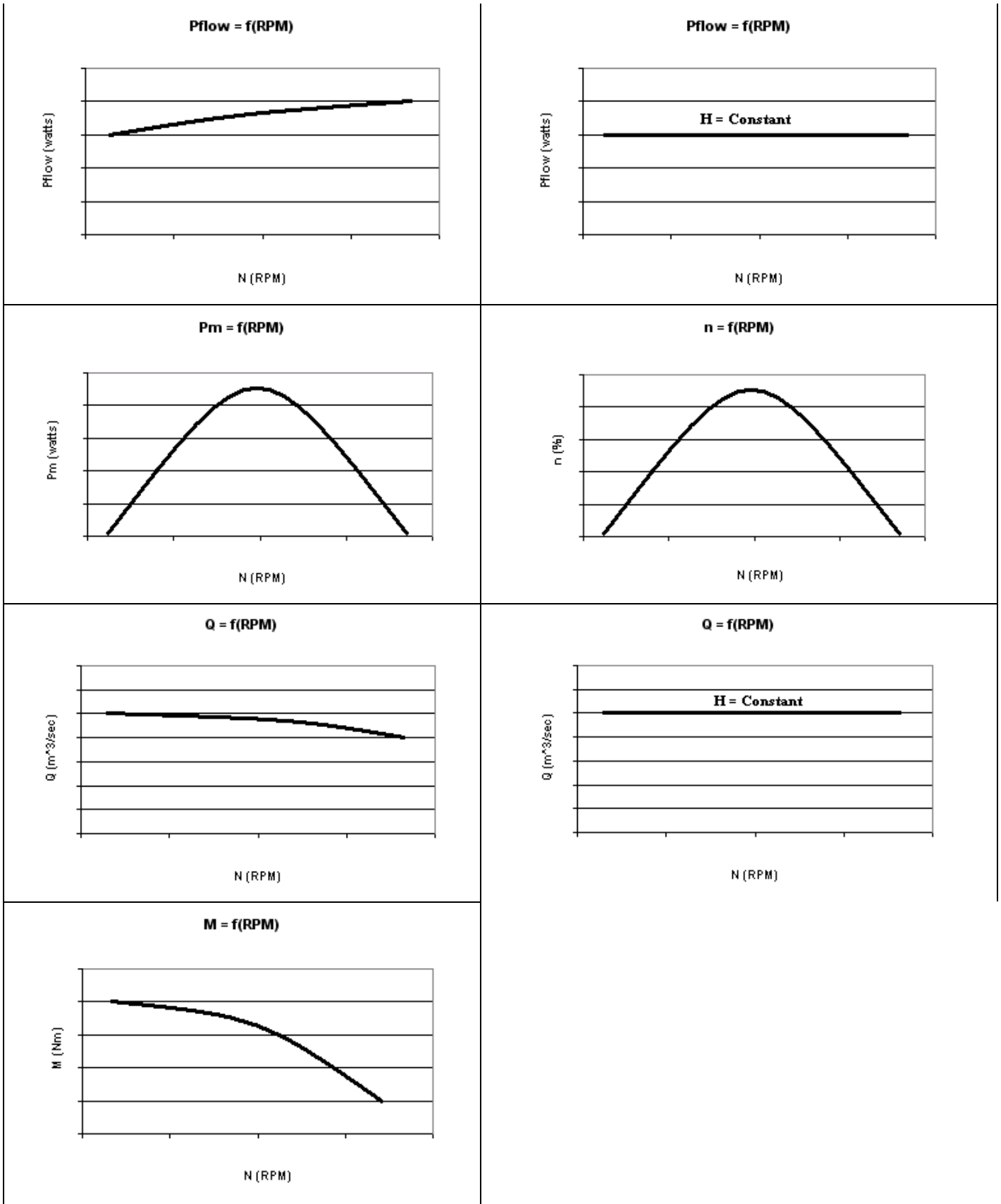
$t (\chi\alpha\rho\alpha\gamma\eta) = H (\text{RPM})$



$Q = t (\chi\alpha\rho\alpha\gamma\eta)$



Ενδεικτικά διαγράμματα για τον υδροστρόβιλο Francis



7. Ενδεικτικές πειραματικές μετρήσεις

Σημείωση: Στους Πίνακες δίνονται οι στήλες με τις μετρήσεις και ενδεικτικά μερικές στήλες με μεγέθη που προκύπτουν από τους υπολογισμούς. Οι Πίνακες πρέπει να συμπληρωθούν και με άλλες στήλες υπολογισμού μεγεθών (π.χ. ταχύτητες) αλλά και μετατροπής των τιμών στις κατάλληλες μονάδες για εφαρμογή των σχέσεων και σχεδιασμού των ζητούμενων διαγραμμάτων.

- **Υδροστρόβιλος Pelton:**

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: ΧΑΡΑΓΗ 1 (4/10)									
Θέση PRONY	F (gr)	N (RPM)	V (m ³ /h)	P _κ (bar)	M (N.m)	P _m (watts)	H (m)	P _{flow} (watts)	n (%)
1	50	702	4,30	0,19					
2	100	605	4,25	0,18					
3	150	516	4,25	0,18					
4	200	383	4,25	0,18					
5	250	150	4,25	0,18					

ΠΙΝΑΚΑΣ 2: ΧΑΡΑΓΗ 2 (5/10)									
Θέση PRONY	F (gr)	N (RPM)	V (m ³ /h)	P _κ (bar)	M (N.m)	P _m (watts)	H (m)	P _{flow} (watts)	n (%)
1	50	856	4,30	0,22					
2	100	730	4,25	0,21					
3	150	640	4,00	0,21					
4	200	545	4,20	0,21					
5	250	379	4,00	0,21					

ΠΙΝΑΚΑΣ 3: ΧΑΡΑΓΗ 3 (7/10)									
Θέση PRONY	F (gr)	N (RPM)	V (m ³ /h)	P _κ (bar)	M (N.m)	P _m (watts)	H (m)	P _{flow} (watts)	n (%)
1	50	1247	4,30	0,49					
2	100	1161	4,20	0,485					
3	150	1067	4,00	0,485					
4	200	973	3,95	0,44					
5	250	807	3,95	0,42					
6	275	690	3,90	0,41					

ΠΙΝΑΚΑΣ 4: ΧΑΡΑΓΗ 4 (8/10)

Θέση PRONY	F (gr)	N (RPM)	V (m ³ /h)	P _κ (bar)	M (N.m)	P _m (watts)	H (m)	P _{flow} (watts)	n (%)
1	50	1725	3,80	0,90					
2	100	1619	3,80	0,89					
3	150	1541	3,75	0,88					
4	200	1434	3,60	0,88					
5	250	1319	3,60	0,88					
6	275	1230	3,50	0,82					
7	300	1162	3,50	0,82					
8	375	900	3,50	0,82					
9	400	796	3,50	0,82					
10	450	690	3,50	0,82					

ΠΙΝΑΚΑΣ 5: ΧΑΡΑΓΗ 5 (8,5/10)

Θέση PRONY	F (gr)	N (RPM)	V (m ³ /h)	P _κ (bar)	M (N.m)	P _m (watts)	H (m)	P _{flow} (watts)	n (%)
1	50	1942	4,30	1,15					
2	100	1846	4,20	1,105					
3	150	1729	4,15	1,105					
4	200	1643	4,10	1,10					
5	250	1471	4,05	1,05					
6	275	1417	3,40	1,05					
7	300	1300	3,40	1,05					
8	350	1211	3,40	1,05					
9	400	1057	3,20	1,05					
10	450	836	3,20	1,05					
11	500	625	3,00	1,05					
12	550	480	3,00	1,05					

• Υδροστρόβιλος Francis:

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: ΒΗΜΑ ΠΑΡΟΧΗΣ 1									
Θέση PRONY	F (gr)	N (RPM)	V (m ³ /h)	Ρκ (bar)	M (N.m)	Pm (watts)	H (m)	P _{flow} (watts)	n (%)
1	0	3590	3,00	1,5					
2	50	2920	3,50	1,2					
3	80	2232	3,60	1					
4	120	1570	3,75	0,72					
5	150	1252	3,90	0,6					
6	175	651	3,90	0,4					

ΠΙΝΑΚΑΣ 2: ΒΗΜΑ ΠΑΡΟΧΗΣ 2									
Θέση PRONY	F (gr)	N (RPM)	V (m ³ /h)	Ρκ (bar)	M (N.m)	Pm (watts)	H (m)	P _{flow} (watts)	n (%)
1	0	3383	3,50	1,27					
2	50	2516	3,75	0,85					
3	80	1954	3,90	0,71					
4	120	1192	4,00	0,48					
5	150	625	4,05	0,33					
1	0	3383	3,50	1,27					

ΠΙΝΑΚΑΣ 3: ΒΗΜΑ ΠΑΡΟΧΗΣ 3									
Θέση PRONY	F (gr)	N (RPM)	V (m ³ /h)	Ρκ (bar)	M (N.m)	Pm (watts)	H (m)	P _{flow} (watts)	n (%)
1	0	2824	3,75	0,88					
2	50	1858	4,00	0,50					
3	75	1219	4,10	0,32					
4	100	728	4,20	0,25					
5	125	400	4,25	0,21					

ΠΙΝΑΚΑΣ 4: ΒΗΜΑ ΠΑΡΟΧΗΣ 4									
Θέση PRONY	F (gr)	N (RPM)	V (m ³ /h)	Ρκ (bar)	M (N.m)	Pm (watts)	H (m)	P _{flow} (watts)	n (%)
1	0	2205	3,90	0,51					
2	50	1785	3,95	0,45					
3	75	1193	4,05	0,31					
4	100	594	4,15	0,21					
5	125	320	4,20	0,15					