

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ**

**ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΘΕΜΑ : ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ ΒΑΣΙΣΜΕΝΗ ΣΤΗΝ  
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΗΣ  
ΑΝΤΛΙΑΣ ΤΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΤΩΝ  
ΡΕΥΣΤΩΝ**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΚΑΡΑΒΑΝΑΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ**

**ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : κ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΔΙΒΙΝΗΣ**

**ΝΕΑ ΜΗΧΑΝΙΩΝΑ**

**2017**

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ  
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΘΕΜΑ : ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ ΒΑΣΙΣΜΕΝΗ ΣΤΗΝ  
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΗΣ  
ΑΝΤΛΙΑΣ ΤΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΤΩΝ  
ΡΕΥΣΤΩΝ**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΚΑΡΑΒΑΝΑΣ**

**ΑΜ : 5420**

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ :**

Βεβαιώνεται η ολοκλήρωση της παραπάνω πτυχιακής εργασίας

Ο καθηγητής

## Περίληψη

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η δημιουργία πειραματικού φύλλου εργασίας στην εργαστηριακή άσκηση της φυγόκεντρης αντλίας που βρίσκεται στο εργαστήριο της Μηχανικής των Ρευστών στην ακαδημία Εμπορικού Ναυτικού Μακεδονίας. Το πρώτο βήμα ήταν να πραγματοποιηθούν μια σειρά πειραμάτων ώστε χαρτογραφηθεί αλλά και να ελεγχθεί η αξιοπιστία αυτής της συσκευής, η οποία είχε πέραν της εικοσαετίας να τεθεί σε λειτουργία. Μετά την επιτυχή διαδικασία ελέγχου, δημιουργήθηκε το κατάλληλο πειραματικό φύλλο εργασίας με την βοήθεια του προγράμματος του excel. Σε αυτό το φύλλο εργασίας ο σπουδαστής θα έχει την δυνατότητα να διερευνήσει παραμέτρους της Μηχανικής Ρευστών όπως ο αριθμός Reynolds και οι απώλειες αγωγού (ύλη του μαθήματος της Μηχανικής Ρευστών του Δ και του Ε εξαμήνου) και μέσα από τις παραμέτρους αυτές να μπορέσει να αξιολογήσει μέσω διαγραμμάτων το ρόλο που παίζουν διάφορα χαρακτηριστικά κατά την λειτουργία της αντλίας όπως είναι η βαλβίδα εξαγωγής και η διάμετρος του σωλήνα.

## **Abstract**

The purpose of this undergraduate thesis is to create an experimental worksheet for the laboratory work of the centrifugal pump located in the Fluid Mechanics Laboratory at the Merchant Naval Academy of Macedonia. Prior to creating this worksheet, it was necessary to map and verify the reliability of this device, which had been inoperative for more than 20 years, through a series of experiments. After the successful testing process, the appropriate experimental worksheet was created with the aid of the excel program. In this worksheet, the student will be able to explore parameters of Mechanical Fluids such as Reynolds number and pipe losses (course material of Fluid Mechanics of D and E semester) and through these parameters can evaluate through diagrams the role that various features play when operating the pump such as the exhaust valve opening and the diameter of the pipe.

## Πρόλογος

Τα πλοία έχουν σχεδιαστεί με προδιαγραφές που εξασφαλίζουν την αυτονομία τους ώστε να πραγματοποιείται ο σκοπός λειτουργίας τους με επιτυχία και πάνω από με ασφάλεια τόσο για το πλήρωμα ή τους επιβάτες όσο και για το φορτίο το οποίο μεταφέρουν.

Η ομαλή λειτουργία του πλοίου, είτε βρίσκεται εν πλω είτε σε λιμένα και φορτοεκφορτώνει εξαρτάται άμεσα από την αξιοπιστία των βοηθητικών εγκαταστάσεων και των μηχανημάτων που συνθέτουν τον μηχανολογικό του εξοπλισμό. Είναι σημαντικό να κατανοηθεί ότι οι βοηθητικές εγκαταστάσεις των πλοίων περιλαμβάνουν: βοηθητικά μηχανήματα, δίκτυα, εξαρτήματα χειρισμού, όργανα παρακολούθησης ομαλής λειτουργίας και εξοπλισμό εκτάκτου ανάγκης. Τα βοηθητικά μηχανήματα χωρίζονται σε δυο κατηγορίες στις εξαρτημένες και ανεξάρτητες εγκαταστάσεις. Μέρος των βοηθητικών εγκαταστάσεων αποτελούν τα βοηθητικά μηχανήματα καθώς και οι συσκευές υποστηρίζουν την σωστή και φυσικά αποδοτική λειτουργία τόσο της Κ.Μ.(κύριας μηχανής) όπως και των υπόλοιπων λειτουργιών του πλοίου. Στον βασικό εξοπλισμό των περισσότερων μηχανημάτων καθώς και κύρια συσκευή πολλών λειτουργιών εντός του πλοίου, όπως η φορτοεκφόρτωση του πλοίου σε περίπτωση που έχουμε ένα πετρελαιοφόρο πλοίο, αλλά και πολλών επιμέρους εργασιών αποτελούν οι **αντλίες**.

Αναφορικά, στα κεφάλαια που ακολουθούν, θα αναλυθούν οι κατηγορίες των αντλιών καθώς και ο τρόπος διαχωρισμού τους, η πειραματική διάταξη της αντλίας του εργαστηρίου της Μηχανικής των Ρευστών με φωτογραφίες. Στην συνέχεια θα ακολουθήσουν οι τύποι, οι υπολογισμοί και οι πίνακες των πειραμάτων με τα διαγράμματά τους.

# Κεφάλαιο 1

## Τίτλος κεφαλαίου : ΑΝΤΛΙΕΣ

### 1.1 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Αντλίες (pumps) ονομάζονται τα μηχανήματα τα οποία καταναλώνοντας μηχανικό έργο, πραγματοποιούν τη μεταφορά ενός υγρού από έναν χώρο(αναρρόφηση) σε έναν άλλον(κατάθλιψη). Κατά την άντληση του υγρού προστίθεται ενέργεια στο ίδιο το υγρό. Η αντλία προκαλεί αύξηση στην δυναμική ενέργεια του ρευστού ή αύξηση της πίεσεως όταν α) γίνεται ανύψωση του υγρού (μεταφορά από χαμηλότερο σημείο σε υψηλότερο σημείο) και όταν β) υπάρχει διαφορά πίεσεως μεταξύ των ελευθέρων επιφανειών των μερών αναρροφήσεως και καταθλίψεως.

### 1.2 ΤΥΠΟΙ ΑΝΤΛΙΩΝ

#### 1.2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κατ' αρχήν, οι αντλίες παράγονται σε διάφορα μεγέθη και τύπους, ανάλογα με την κάλυψη των αναγκών του ανθρώπου ανά χρήση. Η κίνηση των αντλιών πραγματοποιείται με διάφορα μέσα πχ από ηλεκτροκινητήρες, βενζινοκινητήρες, πετρελαιομηχανές, ατμομηχανές, αμοστροβίλους, αέριο-στροβίλους, από πεπιεσμένο αέρα και σε ορισμένες περιπτώσεις η κίνηση τους γίνεται χειροκίνητα (χειραντλίες). Έτσι, δύο βασικές κατηγορίες χωρισμού όλων των αντλιών είναι ο τρόπος μετάδοσης της κίνησης στην αντλία μας. Ανεξάρτητη, ονομάζεται μία αντλία όταν η κίνηση της γίνεται μέσω ενός ανεξάρτητου μηχανήματος. Εξαρτημένη, ονομάζεται μία αντλία όταν η κίνηση της γίνεται μέσω ενός ιμάντα, οδοντωτού τροχού, καδένας(αλυσίδα), διάταξη έκκεντρων ή διωστήρα από ένα κινητό μέρος της κύριας μηχανής.

#### 1.2.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ

Οι αντλίες ταξινομούνται με βάση την αρχή με την οποία η ενέργεια προστίθεται στο υγρό. Βάση αυτής της ταξινόμησης όλες οι αντλίες χωρίζονται στις εξής δύο μεγάλες κατηγορίες:

A) Αντλίες Δυναμικής Μεταβολής

Σε αυτές τις αντλίες, η ενέργεια που προστίθεται στο ρευστό αυξάνει την ταχύτητά του εντός της αντλίας σε τιμή πολύ μεγαλύτερη από την ταχύτητα που έχει στην κατάθλιψη της αντλίας με στόχο

όταν πέσει η ταχύτητα του υγρού εντός ή εκτός της αντλίας να αυξηθεί η πίεση του.

Αυτές υποδιαιρούνται σε:

- Φυγοκεντρικές, το υγρό μετακινείται λόγω της φυγοκεντρικής δύναμης, χρησιμοποιώντας τα περιστρεφόμενα πτερύγια από το στροφείο ή στροφεία, από την αναρρόφιση προς την κατάθλιψη. Οι φυγοκεντρικές αντλίες διακρίνονται περαιτέρω σε αξονικής, περιφερειακής και ακτινικής-μεικτής ροής.
- Αντλίες ειδικής επιδράσεως, όπου εδώ ανήκουν οι εκχυτήρες, τα υδραυλικά έμβολα και οι ηλεκτρομαγνητικές αντλίες φυσικού αερίου.

#### B) Αντλίες Θετικής Μετατοπίσεως

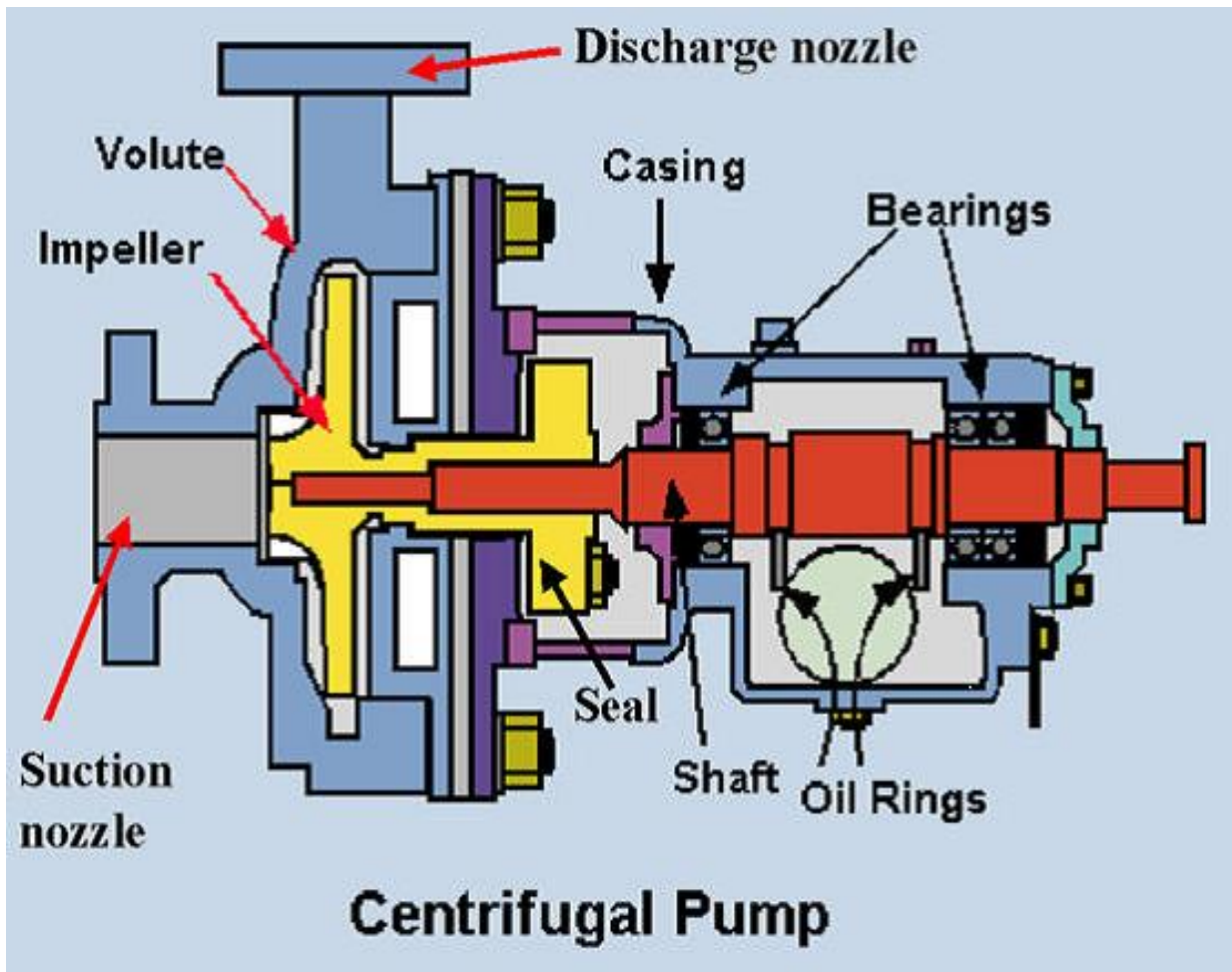
Σε αυτές τις αντλίες η ενέργεια προστίθεται συνεχώς (ανά τακτά χρονικά διαστήματα ) με την εφαρμογή δυνάμεως σε θαλάμους μεταβαλλόμενου όγκου όπου περιέχουν το ρευστό. Η αύξηση της πίεσεως δημιουργεί συνθήκες τέτοιες που οδηγούν το υγρό να κατευθυνθεί προς τις βαλβίδες ή τις θυρίδες προς την σωλήνα της κατάθλιψης.

Αυτές υποδιαιρούνται σε:

- Εμβολοφόρες ή παλινδρομικές, όπου ένα έμβολο μηχανικά κινούμενο παλινδρομεί μέσα σε ένα κύλινδρο και μεταβάλλει τον όγκο του κυλίνδρου και αυξάνοντας την πίεση του υγρού.
- Περιστροφικές, στις οποίες το υγρό συμπιέζεται μέσα στον κύλινδρο ή στο κέλυφος της αντλίας από κατάλληλα διαμορφωμένους περιστρεφόμενους λοβούς ή έμβολα.

### **1.2.3 ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΕΣ**

Οι φυγοκεντρικές αντλίες, που ονομάζονται και περιστροφικές αντλίες ροής ανήκουν στην κατηγορία των δυναμικών αντλιών. Προσδίδουν στο υγρό μεγάλη ταχύτητα ροής, όπου μετατρέπεται σε στατική πίεση, δηλαδή αναπτύσσεται δυναμική δράση. Η αλλαγή αυτή οφείλεται στην ταχύτητα του στροφείου, στο μέγεθος του κελύφους καθώς και στο σχήμα του. Μερικά βασικά πλεονεκτήματα των φυγοκεντρικών αντλιών είναι η υψηλή απόδοση με μικρό βάρος αλλά και όγκο, η συνεχή περιστροφική κίνηση τους χωρίς διακυμάνσεις της πίεσεως και της παροχής του ρευστού, εύκολη σύνδεση με διάφορους τύπους κινητήρων καθώς και απλότητα κατασκευής τους. Επίσης, ας μην ξεχνάμε την ικανότητα που παρουσιάζουν στον χειρισμό μεγάλης ποσότητας υγρών. Οι αντλίες αυτές έρχονται πρώτες ως επιλογή στην πετρελαϊκή βιομηχανία. Μια φυγοκεντρική αντλία αποτελείται από το ελικοειδές κέλυφος (volute casing), το στροφείο-πτερωτή (impeller), το οποίο τοποθετείται σε άξονα, που υποστηρίζεται από ένσφαιρους τριβείς ολίσθησης (bearings) στο κέλυφος ή εξωτερικά της αντλίας και από τον στυπαιοθλίπτη (mechanical seal). Στο σχήμα δείχνονται χαρακτηριστικά τα σημαντικότερα μέρη μια φυγοκεντρικής αντλίας.



Εικόνα 1.1: Τα κύρια μέρη φυγοκεντρικής αντλίας

Το ελεύθερο άκρο του άξονα συνδέεται με το βασικό μηχανισμό μετάδοσης κίνησης (ηλεκτροκινητήρας-motor). Η αντλία και ο κινητήρας συνδέονται ομοιοαξονικά(μέσω ενός κομπλερ). Έτσι, καθώς περιστρέφεται ο άξονας του ηλεκτροκινητήρα, έχουμε μετάδοση της περιστροφικής αυτής κίνησης στον άξονα της αντλίας μας. Στο κέλυφος της αντλίας, το ήδη υπάρχον υγρό εκτοπίζεται προς τα τοιχώματα μέσω της φυγοκεντρικής δύναμης που παράγεται από την περιστροφική κίνηση του στροφείου(impeller), έτσι έχουμε την παραγωγή κενού(υποπίεση). Την θέση του παίρνει το νεοεισερχόμενο υγρό(ρευστό προς άντληση), όπου έρχεται από το κέντρο του στροφείου, μέσω του σωλήνα αναρρόφησης. Το στροφείο μέσω της κίνησης του, δίνει μια ταχύτητα στο υγρό(κινητική ενέργεια) η οποία στην συνέχεια μετατρέπεται σε πίεση στο κέλυφος. Από την τρύπα στο κέλυφος το νερό οδεύει προς την κατανάλωση μέσω της σωλήνας καταθλίψεως της αντλίας. Συνήθης στροφές λειτουργίας των φυγοκεντρικών αντλιών βρίσκεται μεταξύ 1500 rpm – 3000 rpm. Βέβαια εκτός των προαναφερθέντων κατηγοριών χωρισμού των αντλιών, οι αντλίες ξεχωρίζονται σε ακόμα περισσότερες κατηγορίες για παράδειγμα οι φυγοκεντρικές ταξινομούνται:



- A) Ανάλογα με τον τρόπο ροής του υγρού(λόγω του στροφείου)
- B) Τρόπος κατασκευής κελύφους
- Γ) Τρόπος εισαγωγής του υγρού στην αντλία
- Δ) Ανάλογα με το είδος στροφείου που διαθέτουν.

Εξίσου περαιτέρω υποδιαίρεση των φυγόκεντρων όπου θα αναλύσουμε παρακάτω, γίνεται όσον αφορά τις βαθμίδες τους(μονοσταδιακές, δισταδιακές, πολυσταδιακές), ανάλογα με την θέση του άξονα τους(οριζόντιες, κάθετες, κεκλιμένες) καθώς και σε ηλεκτροκίνητες, ατμοκίνητες, πετρελαιοκίνητες, υδραυλικές ενέργειας.

Βαθμίδα/βαθμίδες μίας φυγοκεντρικής αντλίας ορίζουμε ως τον αριθμό των συνδυασμένων πτερωτών που κινούν το υγρό και προσδίδουν την ενέργεια σε αυτό μέσα στο κέλυφος της αντλίας. Η οδηγητική διάταξη αποτελείται από ένα σύνολο σταθερών οδηγητικών πτερυγίων και από ένα κέλυφος σπειροειδές ή δακτυλιοειδές.

-Μονοσταδιακές ή μονοβάθμιες, αναφέρουμε όταν μια μόνο πτερωτή αναπτύσσει το ολικό μανομετρικό ύψος κατάθλιψης της αντλίας. Κύριο ρόλο στην τιμή της πίεσεως αποτελεί ο αριθμός στροφών της αντλίας και το μέγεθος της πτερωτής(διάμετρος).

-Πολυσταδιακές ή πολυβάθμιες, ορίζουμε όταν περισσότερες από μία πτερωτές αναπτύσσουν το ολικό μανομετρικό ύψος κατάθλιψης της αντλίας. Ο συνδυασμός αυτός επιτυγχάνεται με την χρήση ενός άξονα, πάνω στον οποίο τοποθετούνται τα στροφεία και ενός κελύφους κατάλληλα διαμορφωμένο. Επίσης, ανά βαθμίδα τοποθετούνται και αντίστοιχα οδηγητικά πτερύγια τα οποία δίνουν μια κατεύθυνση στο ρευστό μας, τέτοια ώστε να περνάνε από το προηγούμενο στάδιο στην αναρρόφηση της επόμενης πτερωτής, με όσο των δυνατών λιγότερες απώλειες. Για τον λόγο αυτό, χρησιμοποιούνται πτερωτές διπλής εισόδου ή απλής εισόδου τοποθετημένες κατά αντίθετη κατεύθυνση από την συνήθη και ανά ζεύγη, εξισορροπώντας έτσι τις αξονικές δυνάμεις ώσεως που δημιουργούνται κατά την περιστροφή του άξονα. Όπως και σε όλες τις αντλίες ο άξονας στηρίζεται σε συνδυασμό ένσφαιρων τριβέων οι οποίοι τοποθετούνται έξω από το κέλυφος. Η στεγανοποίηση της αντλίας επιτυγχάνεται συνήθως με την χρήση παρεμβυσμάτων πάνω σε μηχανικό στυπιοθλίπτη ή μηχανικούς στυπιοθλίπτες υψηλών πιέσεων και θερμοκρασιών λειτουργίας. Οι πολυσταδιακές φυγοκεντρικές αντλίες έχουν σαν κύριο χαρακτηριστικό τους την μεγάλη παροχή και την υψηλή πίεση κατάθλιψης που πετυχαίνουν. Στην ναυτιλία χρησιμοποιούνται ευρέως ως τροφοδοτικές αντλίες λεβήτων.

## Α) ΜΟΝΟΣΤΑΔΙΑΚΕΣ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΜΕ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΑ

Οι μονοσταδιακές αντλίες απλής αναρροφήσεως από κατασκευής έχουν μεγάλο μανομετρικό ύψος καταθλίψεως και υψηλή ταχύτητα περιστροφής του άξονα τους αυστηρά εξαρτώμενα από τις ανάγκες της παροχής και του ύψους καταθλίψεως. Δύο περιπτώσεις τοποθέτησης του άξονα τους, κάθετα ή οριζόντια με όρια παροχής από 75 έως και 6500 κυβικά εκατοστά ανά ώρα. Αναλυτικότερα, υποπεριπτώσεις κατασκευής βλέπουμε τόσο από πλευράς του στροφείου-περωτής της αντλίας όσο και του κελύφους. Στην πρώτη περίπτωση μπορεί να έχουμε περωτή μονής εισόδου ή διπλής εισόδου που παρατηρούμε στις μεγάλες παροχές. Από πλευράς στροφείου σε σχέση με τον κατασκευαστή, έχουμε περιπτώσεις όπου το κέλυφος ανοίγει από την πάνω πλευρά αξονικά(κυρίως σε μικρές αντλίες), ενώ σε μεγαλύτερες αντλίες το κέλυφος είναι διαιρούμενο μονής ή διπλής σπειρώσεως.

Το κινητήριο μηχάνημα συνήθως αποτελεί ένας ηλεκτροκινητήρας, όπου συνδέεται με τον άξονα μεταδόσεως της κινήσεως στην περωτή μέσω ενός συνδέσμου συζεύξεως, το λεγόμενο coupling. Η συγκράτηση των δύο αξόνων μέσω του coupling γίνεται με βίδες, παξιμάδια και ενός ελαστικού δακτυλίου πετυχαίνοντας έτσι την ομαλή εκκίνηση και ταυτόχρονα την ομαλή μετάδοση της κίνησης από τον ηλεκτροκινητήρα προς την αντλία. Ο άξονας στον κινητήρα στηρίζεται με ρουλεμάν όπως και στην αντλία με μόνη διαφορά την ύπαρξη της λεγόμενης φολιάς ρουλεμάν όπου εκεί τοποθετούνται και δύο τριβείς σε αντλίες με μεγάλους άξονες. Όσον αφορά την επίτευξη της στεγανοποίησης, τοποθετείται στην έξοδο από το κέλυφος είτε μηχανικός στυπιοθλίπτης είτε διαδοχική σειρά από σαλαμάστρες κατάλληλα για το υγρό που διαρρέει την αντλία και την θερμοκρασία του υγρού. Ο διαχωρισμός της αναρροφήσεως με την κατάθλιψη γίνεται μέσω δακτυλίων(mouth wear rings) περιορίζοντας όσο το δυνατό τις απώλειες.



**Εικόνα 1.2:** Μονοβάθμια φυγοκεντρική αντλία σπειροειδούς κελύφους

## B) ΠΟΛΥΣΤΑΔΙΑΚΕΣ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΜΕ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΑ

Οι πολυβάθμιες αντλίες χρησιμοποιούνται κυρίως ως τροφοδοτικές αντλίες λεβήτων, λόγω υψηλού μανομετρικού ύψους καταθλίψεως, καθώς διαθέτουν πολλές πτερωτές οι οποίες είναι ομοιοαξονικά συνδεδεμένες. Αναλόγως τις ανάγκες χρήσης της, όπως παροχή και του απαιτούμενου μανομετρικού ύψους γίνεται η επιλογή του αριθμού και του μεγέθους των στροφείων της πολυβάθμιας αντλίας. Ο αριθμός των δακτυλιοειδών σταδίων από όπου αποτελείται το κέλυφος της αντλίας είναι ίσος με τον αριθμό των πτερωτών οι οποίες συγκρατούνται μεταξύ αναρρόφησης και κατάθλιψης με κοιλίες συσφίξεως. Το ρευστό εισέρχεται πρώτα στο ένα στάδιο και στην συνέχεια στον επόμενο θάλαμο έτσι ώστε να υπάρχει μια συνέχεια ροής από την μια πτερωτή ενός στροφείου στην επόμενη.

Ο άξονας της πολυσταδιακής αντλίας στηρίζεται σε κάθε άκρο που εξέρχεται από το κέλυφος της με την βοήθεια τριβέων, ένσφαιρων ως επί των πλείστον, αλλά και με ακόμη ένα τρόπο που ονομάζεται υδραυλική διάταξη ισορροπίας. Τώρα, όσον αφορά το κομμάτι της στεγανοποίησης της αντλίας τοποθετούμε σαλαμάστρες υψηλής θερμοκρασίας και πίεσης αλλιώς τοποθετούμε μηχανικό στυπιοθλίπτη (mechanical seal). Αξιοσημείωτη είναι η τοποθέτηση, από πλευράς κατάθλιψης της αντλίας, βαλβίδα ανεπίστροφης ροής (non-return valve). Η χρήση αυτής της βαλβίδας γίνεται με σκοπό την επίτευξη υψηλής πίεσης στην κατάθλιψη, σε μικρό χρονικό διάστημα από την εκκίνηση. Σε αντίθετη περίπτωση παρατηρείται υψηλή καταπόνηση των εδράνων βάσεων λόγω τριβής και υψηλής θερμοκρασίας. Συνήθως τοποθέτηση του άξονα σε αυτές τις αντλίες είναι κατά το οριζόντιο επίπεδο σε κοινή βάση με τον ηλεκτροκινητήρα (μοτέρ).



**Εικόνα 1.3:** Πολυβάθμια φυγοκεντρική αντλία δύο σταδίων

## Κεφάλαιο 2

### Τίτλος κεφαλαίου : Πειραματική Διάταξη

#### 2.1 ΤΑ ΜΕΡΗ ΤΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ

Το σύστημα της αντλίας του εργαστηρίου της Μηχανικής των Ρευστών αποτελείται από:

- 1 Φυγοκεντρική Αντλία
- 1 Ηλεκτρικό Κινητήρα
- 2 Δεξαμενές
- Σωληνώσεις και εξαρτήματα δικτύου

#### 2.1.1 Φυγοκεντρική Αντλία



Εικόνα 2.1.1: Αντλία του εργαστηρίου

Η οριζόντια αντλία που παρουσιάζεται στην φωτογραφία ανήκει στην κατηγορία των αντλιών δυναμικής μεταβολής περιστροφικών φυγοκεντρικών αντλιών και είναι διβάθμια. Διαθέτει δύο στροφεία στο εσωτερικό του κελύφους της. Τέτοιου είδους αντλίες χρησιμοποιούνται συνήθως για μεγάλες παροχές καθώς μπορούν να πετύχουν υψηλό μανομετρικό ύψος καταθλίψεως. Σε αυτό βοηθάνε τόσο η διπλή βαθμίδα των στροφείων που διαθέτει μέσα στο κοινό κέλυφος που τα περικλείει όσο και ο τύπος του κελύφους της. Στην περίπτωση μας έχουμε κέλυφος σταθερών πτερυγίων, η λεγομένη στοβιλοφυγόκεντρη.

### **2.1.2 Ηλεκτρικός Κινητήρας**



**Εικόνα 2.1.2α:** Κινητήρας(Με μπλε χρώμα)

Η μετάδοση της κίνησης στην αντλία γίνεται μέσω ενός ηλεκτρικού κινητήρα(μοτερ). Ο ηλεκτροκινητήρας αυτός λειτουργεί με συνεχές ρεύμα. Όπως όλοι οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος διαθέτουν ανεξάρτητη διέγερση, δηλαδή η τροφοδότηση του κινητήρα είναι εναλλασσόμενης τάσης η οποία μέσω ενός συστήματος ανορθωτών, πυκνωτών και φίλτρων τροφοδοτούν τόσο το κύκλωμα του στάτη(stator) όσο και το κύκλωμα της διέγερσης με συνεχή τάση.



**Εικόνα 2.1.2β:** Στοιχεία κινητήρα

Σύμφωνα με τα στοιχεία που μας δίνει ο κινητήρας:

- Ισχύς κινητήρα: 1 KW
- Ονομαστική τάση λειτουργίας: 220 Volts
- Ονομαστικό ρεύμα λειτουργίας: 5,7 Ampere
- Τάση διέγερσης: 220 Volts
- Ρεύμα διέγερσης: 0,379 Ampere
- Στροφές λειτουργίας (ονομαστικές): 1500 RPM



**Εικόνα 2.1.2γ:** Πίνακας ελέγχου

Στην πειραματική διάταξή μας έχουμε από πλευράς χειρισμών του κινητήρα, ένα διακόπτη ON/OFF για την παροχή ηλεκτρικής ισχύς στο μοτέρ και ένα χειροκίνητο ρυθμιστή στροφών με τον οποίο ρυθμίζουμε τις στροφές της αντλίας επενεργώντας στον ηλεκτροκινητήρα. Το μοτέρ είναι ομοιοαξονικά συνδεδεμένο με την αντλία, μέσω ενός κομπλερ.

Στον πίνακα χειρισμών, έχουμε ένα βολτόμετρο, ένα αμπερόμετρο και ένα μετρητή στροφών. Το βολτόμετρο δείχνει την τάση την οποία απορροφάει το μοτέρ μας αναλογικά με τα αμπέρ πάντα. Δίπλα ακριβώς έχουμε το μετρητή στροφών της αντλίας όπου η ένδειξη του πολλαπλασιασμένη επί εκατό μας δίνει τις στροφές μας. Η ένδειξη στο βολτόμετρο και στο αμπερόμετρο δίνεται σε μονάδες S.I. (Volts & ampere).

### 2.1.3 Δεξαμενές συστήματος



Εικόνα 2.1.3α: Σύστημα αντλία με δυο δεξαμενές



Το σύστημα αποτελείται από δύο δεξαμενές. Μια αναρροφήσεως και μια καταθλίψεως. Στην φωτογραφία απεικονίζεται η δεξαμενή καταθλίψεως της αντλίας.



**Εικόνα 2.1.3.β:** Δεξαμενή κατάθλιψης

#### **2.1.4 Σωληνώσεις και εξαρτήματα δικτύου**

Έχουμε μία δεξαμενή που αποθηκεύουμε το υγρό μέσω από την οποία αναρροφά η αντλία μέσω κατάλληλης σωλήνωσης που φθάνει σε απόσταση 2,5 εκατοστά πριν από τον πυθμένα της δεξαμενής. Λίγο πιο πάνω, στο ίδιο κομμάτι της σωλήνας συναντάμε την βαλβίδα απομόνωσης της άντλησης και στην κορυφή, πάνω στην καμπύλη γωνιά των 90 μοιρών βρίσκεται το μανόμετρο(V) πίεσης του υγρού αναρροφήσεως. Το συγκεκριμένο μανόμετρο υπολογίζει την πίεση σε μέτρα στήλης νερού(mH<sub>2</sub>O).



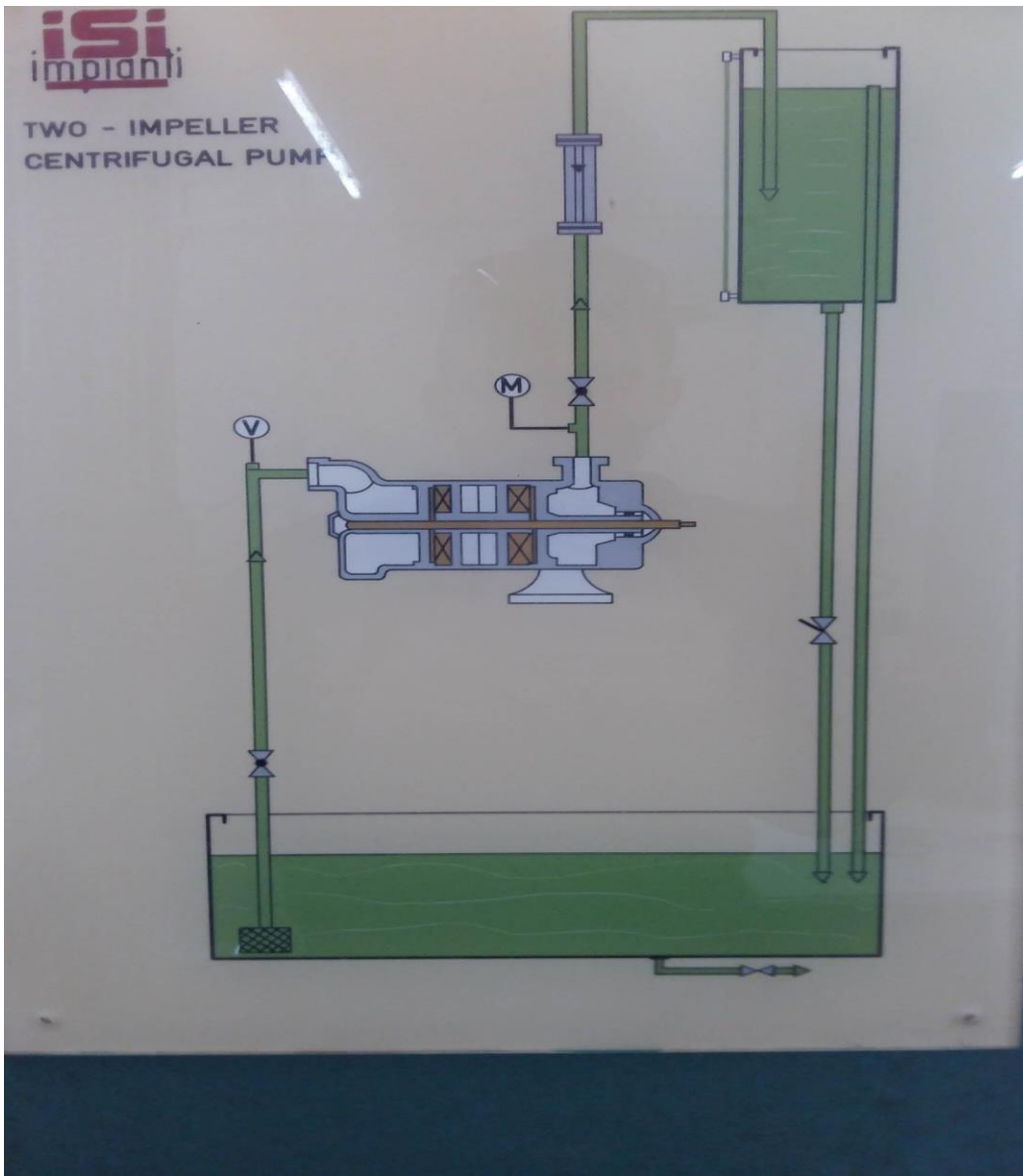
**Εικόνα 2.1.4α:** Σωλήνα αναρρόφησης μαζί με βαλβίδα αναρρόφησης



**Εικόνα 2.1.4.β:** Μανόμετρο αναρρόφησης

Το υγρό εισέρχεται στην αναρρόφηση(εισαγωγή στην αντλία) και μέσω της φυγόκεντρου δύναμης ,όπου αναλύσαμε στο πρώτο κεφάλαιο(φυγοκεντρικές αντλίες) αυξάνεται η πίεση του ρευστού το οποίο εξέρχεται προς την κατάθλιψη της αντλίας. Εκεί θα συναντήσει το μανόμετρο(M) πίεσης του υγρού καταθλίψεως. Το συγκεκριμένο μανόμετρο υπολογίζει την πίεση σε κιλά ανά τετραγωνικό εκατοστό( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ). Ανεβαίνοντας το υγρό βρίσκει ένα μετρητή παροχής, ο συγκεκριμένος μετρητής μας μετράει παροχή υγρού σε λίτρα ανά ώρα(Lt/hr).

Η δεξαμενή καταθλίψεως και αποθηκεύσεως του υγρού διαθέτει βαλβίδα αποστράγγισης, όπου το υγρό καταλήγει στην δεξαμενή αναρρόφησης, καθώς και ένα μετρητή στάθμης( $1\text{cm}=2,19\text{ Lt}$ ).



Εικόνα 2.1.4.γ: Διάγραμμα συστήματος

## Κεφάλαιο 3

### Τίτλος κεφαλαίου : Πειραματικές μετρήσεις

Πίνακας 3.1.1

<u>ΠΑΡΟΧΟΜΕΤΡΟ(Litres/hr)</u>	<u>ΤΑΣΗ (V)</u>	<u>ΕΝΤΑΣΗ (Amp)</u>	<u>ΣΤΡΟΦΕΣ(RPM)</u>	<u>ΘΕΣΗ ΒΑΛΒΙΔΑΣ ΚΑΤΑΘΛΙΨΗΣ</u>
500	60	0,7	400	1/4 Ανοιχτή
555	60	0,65	400	1/2 Ανοιχτή
610	60	0,62	400	Πλήρως Ανοιχτή
750	95	1,1	800	1/4 Ανοιχτή
1050	96	0,97	800	1/2 Ανοιχτή
1350	97	0,8	800	Πλήρως Ανοιχτή
1800	157	1,6	1200	1/4 Ανοιχτή
2100	158	1,5	1200	1/2 Ανοιχτή
2300	158	1,4	1200	Πλήρως Ανοιχτή
2200	210	2,52	1600	1/4 Ανοιχτή
2500	210	2,4	1600	1/2 Ανοιχτή
3150	210	2	1600	Πλήρως Ανοιχτή
<u>DENSITY(Νερό στους 20)</u>	<u>ΜΗΚΟΣ ΑΝΑΡΡΟΦΗΣΗΣ</u>	<u>ΜΗΚΟΣ ΚΑΤΑΘΛΙΨΗΣ</u>		
1000	0,80 ΜΕΤΡΑ	2,34 ΜΕΤΡΑ		
<u>ΘΕΣΗ ΒΑΛΒΙΔΑΣ ΚΑΤΑΘΛΙΨΗΣ</u>	<u>ΣΚ ΑΝΑΡΡΟΦΗΣΗΣ</u>	<u>ΣΚ ΚΑΤΑΘΛΙΨΗΣ</u>		
1/4 ΑΝΟΙΧΤΗ	2,8	19,8		
1/2 ΑΝΟΙΧΤΗ	2,8	8,8		
ΠΛΗΡΩΣ ΑΝΟΙΧΤΗ	2,8	6		

Το ρευστό που χρησιμοποιείται στην συγκεκριμένη άσκηση είναι γλυκό νερό, θερμοκρασίας 20 βαθμών Κελσίου και έχει πυκνότητα 1000 κιλά ανά κυβικό(  $\text{kg/m}^3$ ). Στον παραπάνω πίνακα δείχνεται αναλυτικά τα χαρακτηριστικά όπου βρήκαμε μέσα από μετρήσεις και τα οποία αποτέλεσαν δεδομένα της άσκησης μας. Πιο αναλυτικά, έχουμε 0,80 του μέτρου μήκος σωλήνωσης αναρρόφησης και 2,34 μέτρα σωλήνωσης κατάθλιψης. Η βαλβίδα αναρρόφησης ήταν πλήρως

ανοιχτή καθ' όλη την διάρκεια εκπλήρωσης των πειραμάτων μας. Από την πλευρά της καταθλίψεως η βαλβίδα ήταν σε σταθερές στροφές,  $\frac{1}{4}$  ανοιχτή  $\frac{1}{2}$  ανοιχτή και τέλος πλήρως ανοιχτή. Επομένως, κρατώντας σε σταθερές στροφές την αντλία στο μόνο κομμάτι όπου επενεργήσαμε ήταν η βαλβίδα καταθλίψεως. Παρατηρούμε ότι όσο την ανοίγουμε έχουμε αύξηση παροχής στις 400 στροφές μέχρι 110 λίτρα την ώρα και μπορεί να φτάσει έως και 950 λίτρα την ώρα από ένα τέταρτο ανοιχτή έως πλήρως ανοιχτή.

Πίνακας 3.1.2

<u>ΠΑΡΟΧΗ(ΛΙΤΡΑ/ΛΕΠΤΟ)</u>	<u>ΑΡΙΘΜΟΣ REYNOLDS(Re)</u>	<u>ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΤΡΙΒΗΣ(f)</u>	<u>ΙΣΧΥΣ ΑΝΤΛΙΑΣ(P)mWatt</u>
8,33	4644,39	0,0449	25,4
9,25	5143,5	0,044	21,2
10,16	5646,42	0,0433	22,8
12,5	6949,44	0,0417	90,0
17,5	9723,12	0,0397	140,7
22,5	12531,09	0,0384	242,1
30	16706,85	0,0373	1234,1
35	19480,53	0,0368	1114,7
38,33	21320,76	0,0365	1179,2
36,7	20417,79	0,0366	2247,1
41,7	23191,47	0,0363	1875,0
52,5	29237,94	0,0357	3024,1

Στον πίνακα αυτό έχουμε υπολογίσει την παροχή σε λίτρα ανά λεπτό της κατάθλιψης της αντλίας και τον αριθμό Reynolds. Τον συντελεστή τριβής όπου συμβολίζεται με το γράμμα f τον υπολογίσαμε με τον τύπο του Haaland. Τελευταία στήλη έχουμε την ισχύ της αντλίας και την εκφράζουμε σε milli-Watt. Παρατηρούμε ότι όσο αυξάνεται η ισχύς της αντλίας τόσο αυξάνεται η παροχή της αντλίας προς την δεξαμενή καταθλίψεως. Ο αριθμός Reynolds(Re) εκφράζει το είδος της ροής που έχουμε μέσα στην σωλήνωση. Στην περίπτωση μας η μικρότερη τιμή είναι 4644,39, η

οποία μας δείχνει ότι έχουμε τυρβώδης ροή. Ο αριθμός Reynolds αυξάνεται όσο αυξάνεται η παροχή και φτάνει μέχρι 29237,94.

Πίνακας 3.1.3

<b>ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΥΨΟΥΣ ΑΝΑΡΡΟΦΗΣΗΣ(M)</b>	<b>ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΥΨΟΥΣ ΚΑΤΑΘΛΙΨΗΣ(M)</b>	<b>DIAMETER(M)</b>	<b>INPUT FLOW IN M3/S INPUT</b>
0,0027	0,0160	0,0381	0,000139
0,0034	0,0106	0,0381	0,000154
0,0041	0,0096	0,0381	0,000169
0,0062	0,0379	0,0381	0,000208
0,0120	0,0373	0,0381	0,000291
0,0198	0,0460	0,0381	0,000375
0,0351	0,2165	0,0381	0,0005
0,0476	0,1473	0,0381	0,000583
0,0569	0,1315	0,0381	0,000638
0,0522	0,3227	0,0381	0,000611
0,0672	0,2082	0,0381	0,000694
0,1065	0,2458	0,0381	0,000875

Ο υπολογισμός των παραπάνω παραμέτρων έλαβε υπόψιν του τις απώλειες τόσο στην σωλήνα της αναρρόφησης όσο και της κατάθλιψης. Η διάμετρος της σωλήνας είναι 1,5 ίντσα. Τελευταία στήλη έχουμε την παροχή στο Διεθνές Σύστημα μονάδων (S.I.), σε m<sup>3</sup>/sec.

Πίνακας 3.1.4

<u>KINEMATIC VISCOSITY INPUT</u>	<u>VELOCITY CALCULATED</u>	<u>REYNOLDS CALCULATED</u>
0,000001	0,122	4645,15
0,000001	0,135	5146,43
0,000001	0,148	5647,70
0,000001	0,182	6951,02
0,000001	0,255	9724,74
0,000001	0,329	12531,89
0,000001	0,439	16709,18
0,000001	0,511	19482,90
0,000001	0,560	21320,91
0,000001	0,536	20418,62
0,000001	0,609	23192,34
0,000001	0,767	29241,07

Η πρώτη στήλη είναι το κινηματικό ιξώδες σε M<sup>2</sup>/sec, την ταχύτητα του υγρού εκφρασμένη σε μέτρα το δευτερόλεπτο και τον αριθμό Reynolds. Παρατηρούμε πως όσο αυξάνεται η ταχύτητα αυξάνεται και ο αριθμός Reynolds καθώς η ταχύτητα είναι ανάλογη του Re.

Εξισώσεις που χρησιμοποιήθηκαν για υπολογισμό είναι οι παρακάτω

Παροχής:

$$Q = \frac{V * \pi * d^2}{4}$$

Αριθμός Reynolds:

$$Re = \frac{d * V}{\nu}$$

Haaland:

$$\frac{1}{f^{1/2}} = -1,8 \log \left( \frac{6,9}{Re} + \left( \frac{e}{3,7d} \right)^{1,11} \right)$$

Σχετική τραχύτητα:

$$\frac{e}{d}$$



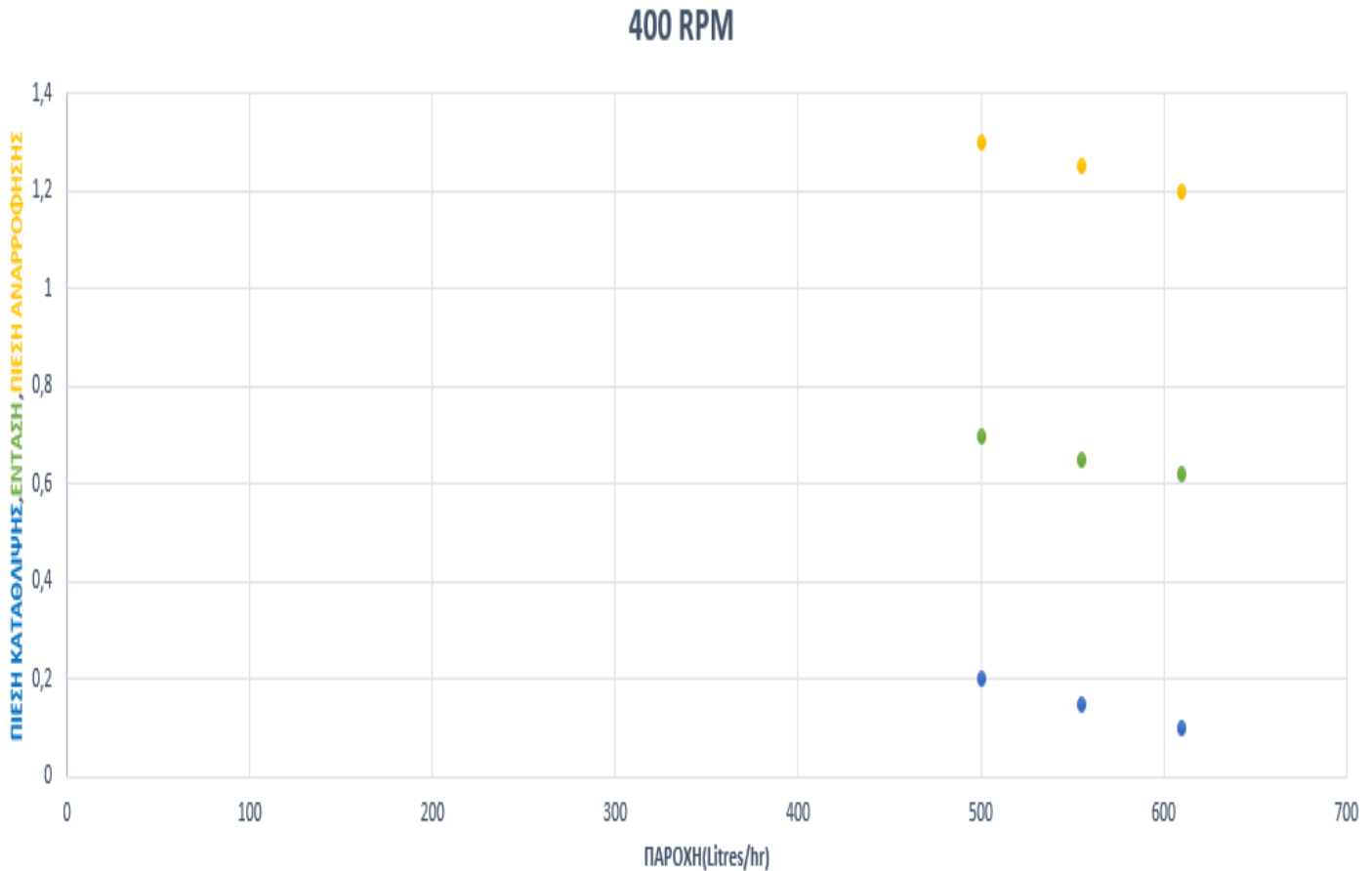
Ύψος απωλειών:

$$\Sigma H = \left( f * \left( \frac{l}{d} \right) + \Sigma K \right) * \frac{V^2}{2 * g}$$

Ισχύς αντλίας:

$$P = \gamma * Q * \Sigma H$$

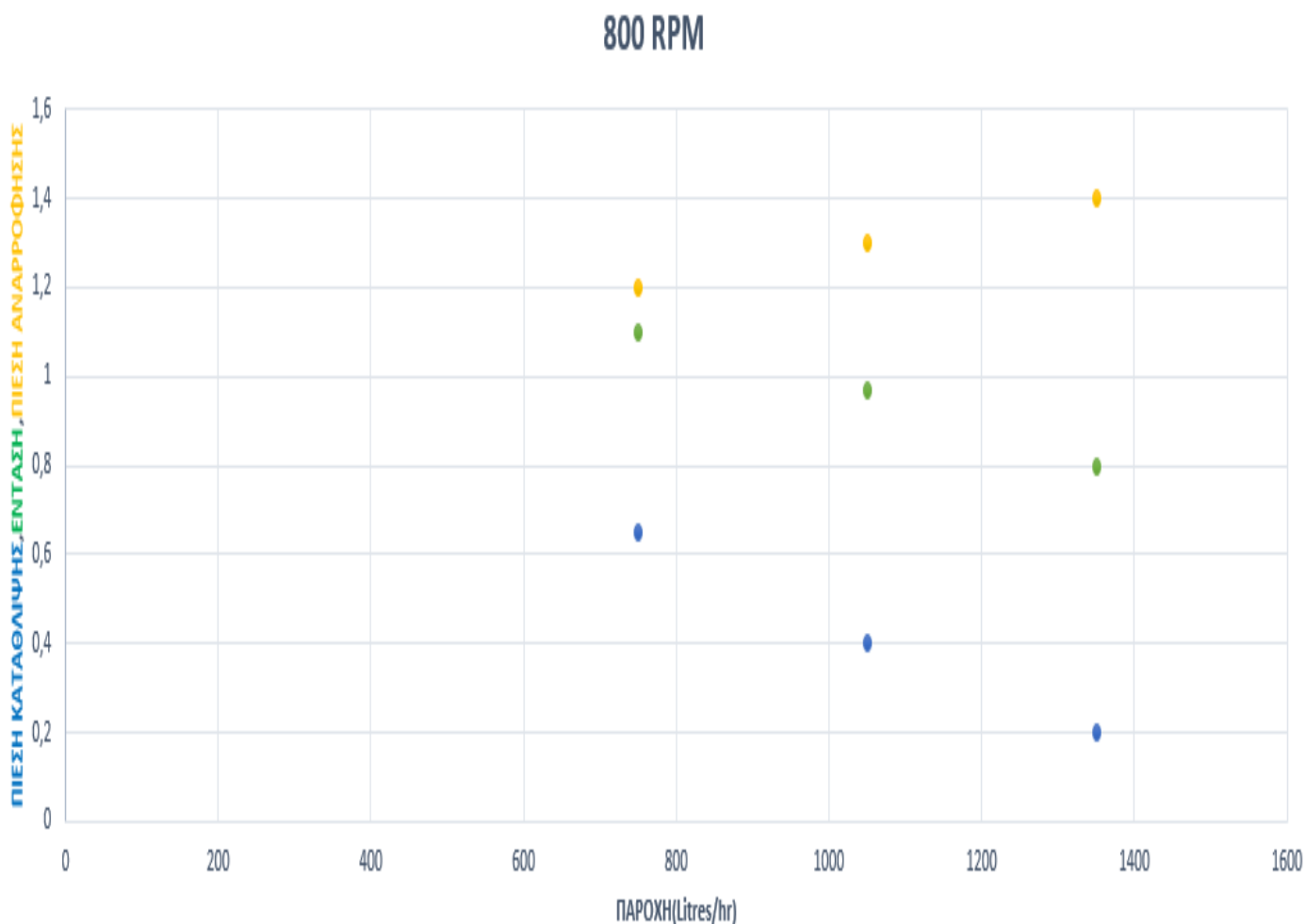
Διάγραμμα 3.1.A 400 στροφές της αντλίας



Στον άξονα των X τιμών έχουμε την παροχή της αντλίας σε λίτρα ανά ώρα σύμφωνα με την ένδειξη του παροχόμετρου και στον άξονα των Y τιμών έχουμε με μπλε χρώμα την πίεση κατάθλιψης, την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος με πράσινο χρώμα και τέλος με κίτρινο χρώμα η πίεση αναρρόφησης της αντλίας μας.

Παρατηρούμε πως όσο ανοίγουμε την βαλβίδα καταθλίψεως αυξάνεται μεν η παροχή αλλά από την άλλη πλευρά πέφτει η πίεση αναρρόφησης, κατάθλιψης και η ένταση του ρεύματος στις ίδιες στροφές τις αντλίας.

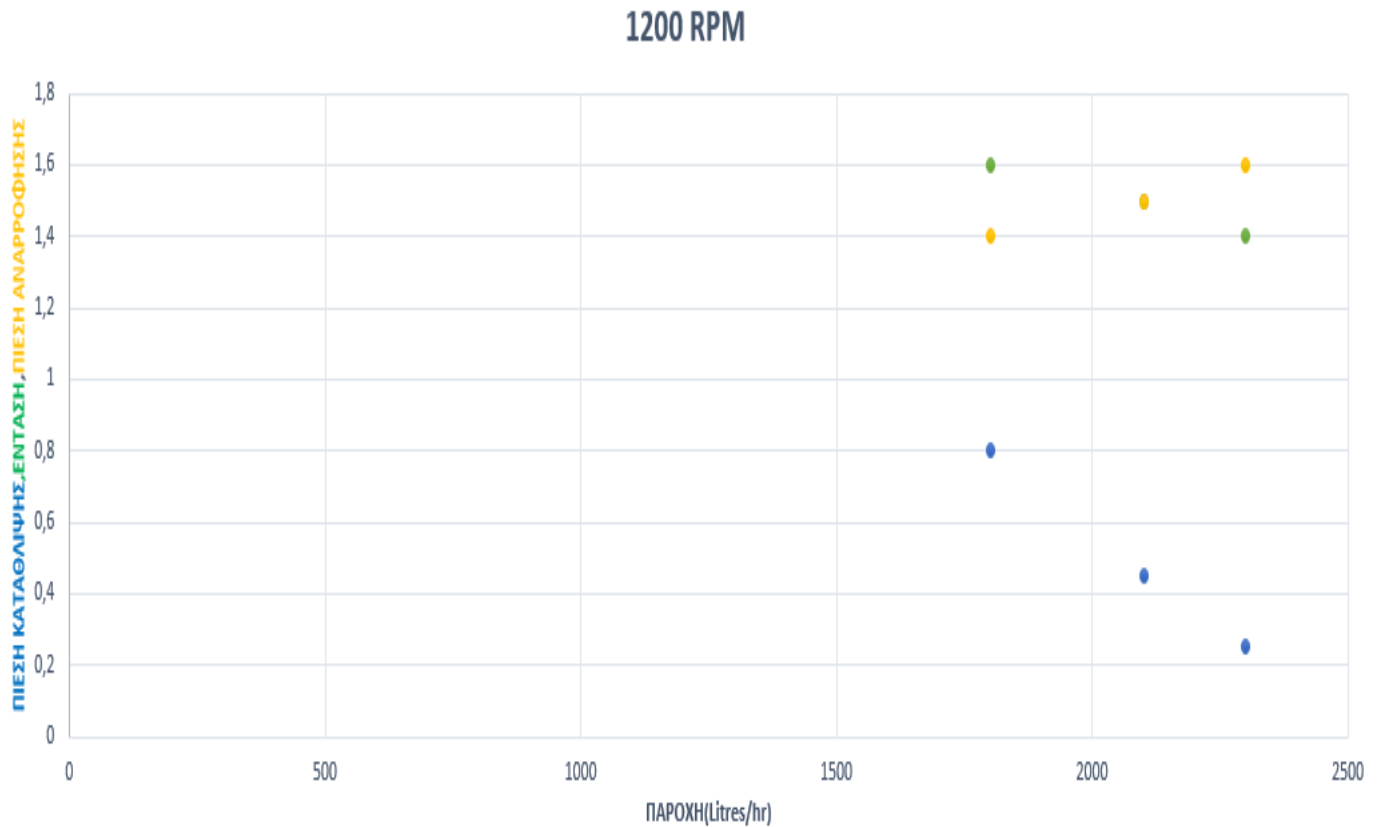
Διάγραμμα 3.1.Β 800 στροφές της αντλίας



Περίπτωση των 800 στροφών της αντλίας. Στον άξονα των X τιμών έχουμε την παροχή της αντλίας σε λίτρα ανά ώρα σύμφωνα με την ένδειξη του παροχόμετρου και στον άξονα των Y τιμών έχουμε με μπλε χρώμα την πίεση κατάθλιψης, την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος με πράσινο χρώμα και τέλος με κίτρινο χρώμα η πίεση αναρρόφησης της αντλίας μας.

Βλέπουμε ότι όσο ανοίγουμε την βαλβίδα καταθλίψεως αυξάνεται μεν η παροχή και ταυτόχρονα η πίεση αναρρόφησης αλλά από την άλλη πλευρά πέφτει η πίεση κατάθλιψης και η ένταση του ρεύματος στις ίδιες στροφές τις αντλίας.

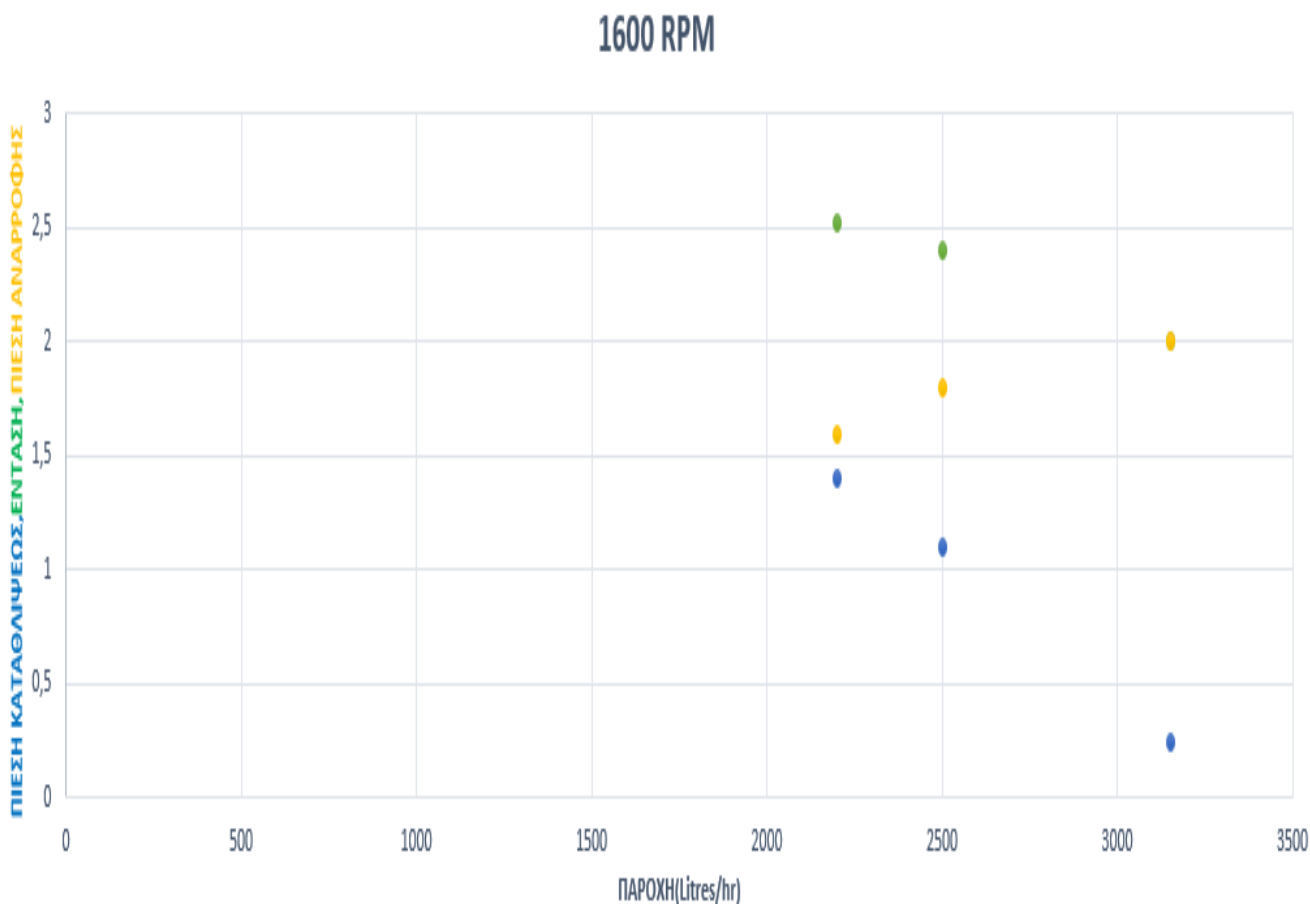
Διάγραμμα 3.1.Γ 1200 στροφές της αντλίας



Το παραπάνω διάγραμμα αφορά τις 1200 στροφές της αντλίας. Στον άξονα των X τιμών έχουμε την παροχή της αντλίας σε λίτρα ανά ώρα σύμφωνα με την ένδειξη του παροχόμετρου και στον άξονα των Y τιμών έχουμε με μπλε χρώμα την πίεση κατάθλιψης, την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος με πράσινο χρώμα και τέλος με κίτρινο χρώμα η πίεση αναρρόφησης της αντλίας μας.

Βλέπουμε ότι όσο ανοίγουμε την βαλβίδα καταθλίψεως αυξάνεται μεν η παροχή και η πίεση αναρρόφησης αλλά από την άλλη πλευρά πέφτει η πίεση κατάθλιψης και η ένταση του ρεύματος στις ίδιες στροφές της αντλίας.

Διάγραμμα 3.1.Δ 1600 στροφές της αντλίας



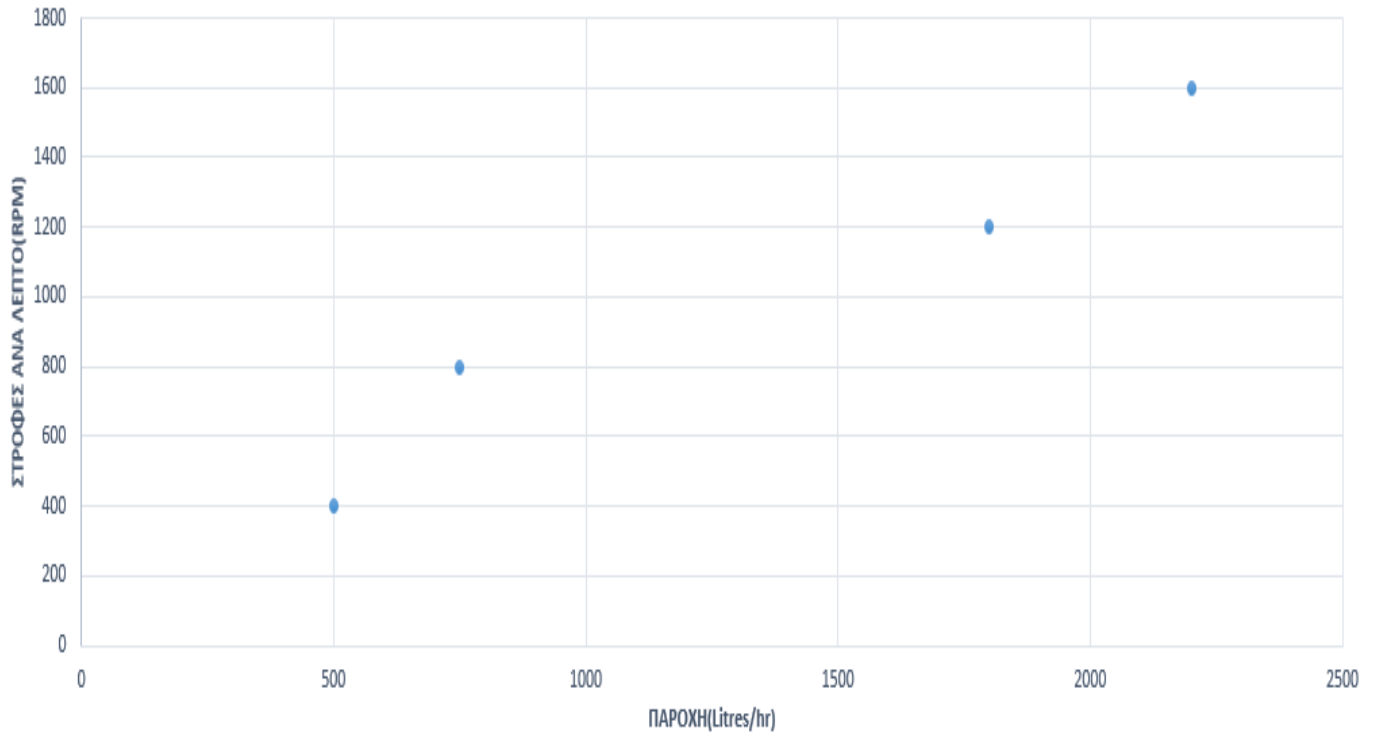
Το παραπάνω διάγραμμα αφορά την περίπτωση των 1600 στροφών της αντλίας. Στον άξονα των X τιμών έχουμε την παροχή της αντλίας σε λίτρα ανά ώρα σύμφωνα με την ένδειξη του παροχόμετρου και στον άξονα των Y τιμών έχουμε με μπλε χρώμα την πίεση κατάθλιψης, την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος με πράσινο χρώμα και τέλος με κίτρινο χρώμα η πίεση αναρρόφησης της αντλίας μας.

Βλέπουμε ότι όσο ανοίγουμε την βαλβίδα καταθλίψεως αυξάνεται μεν η παροχή και η πίεση αναρρόφησης αλλά από την άλλη πλευρά πέφτει η πίεση κατάθλιψης και η ένταση του ρεύματος στις ίδιες στροφές τις αντλίας.

Στα ακόλουθα διαγράμματα η βαλβίδα καταθλίψεως  $\frac{1}{4}$  ανοιχτή,  $\frac{1}{2}$  ανοιχτή και πλήρως ανοιχτή. Στον άξονα των X έχουμε την παροχή εκφραζόμενη σε λίτρα ανά ώρα και στον άξονα των Y τις στροφές ανά λεπτό της αντλίας. Παρατηρούμε ξεκάθαρα ότι όσο αυξάνονται οι στροφές της αντλίας τόσο αυξάνεται και η παροχή της αντλίας. Ξεκινώντας με μικρότερη τιμή παροχής στις 400 στροφές τα 500 λίτρα την ώρα στο πρώτο διάγραμμα και μέγιστη τιμή παροχής στις 1600 στροφές τα 3150 λίτρα ανά ώρα.

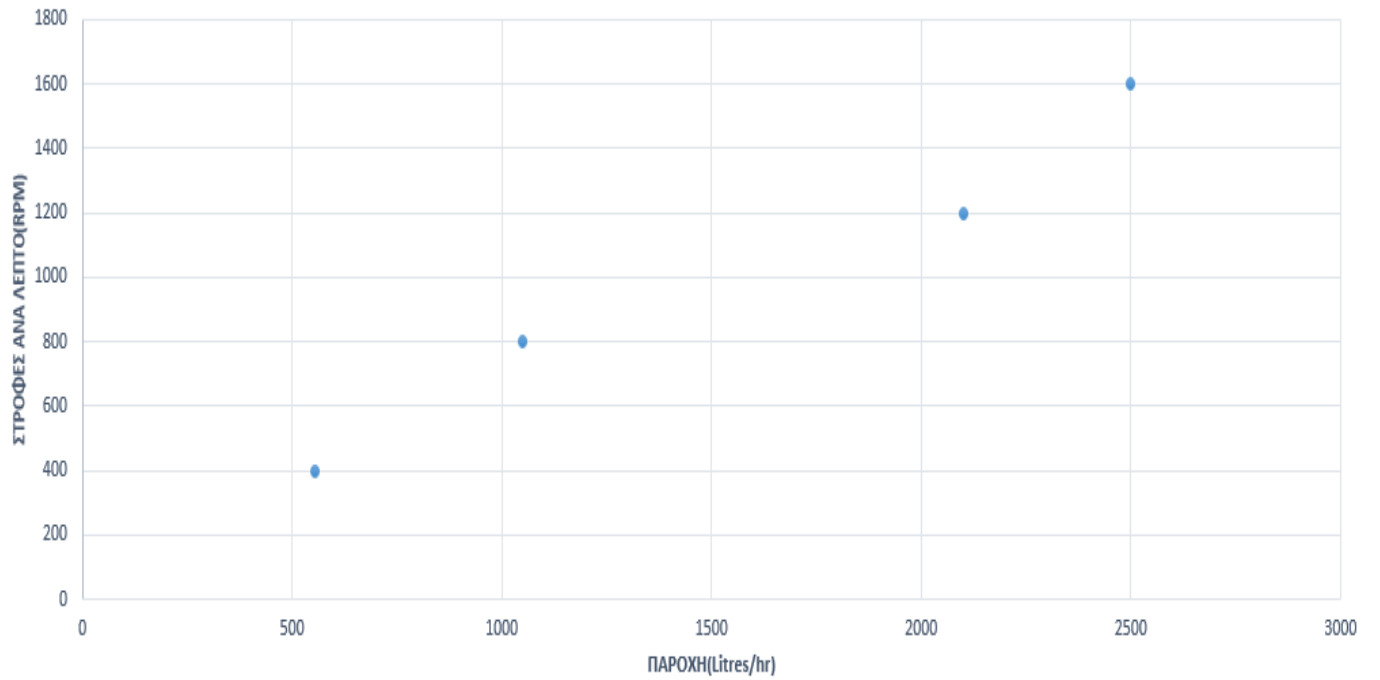
**Διάγραμμα 3.1.Δ** Η θέση της βαλβίδας  $\frac{1}{4}$  ανοιχτή

**ΒΑΛΒΙΔΑ ΚΑΤΑΘΛΙΨΕΩΣ:  $\frac{1}{4}$  ΑΝΟΙΧΤΗ**



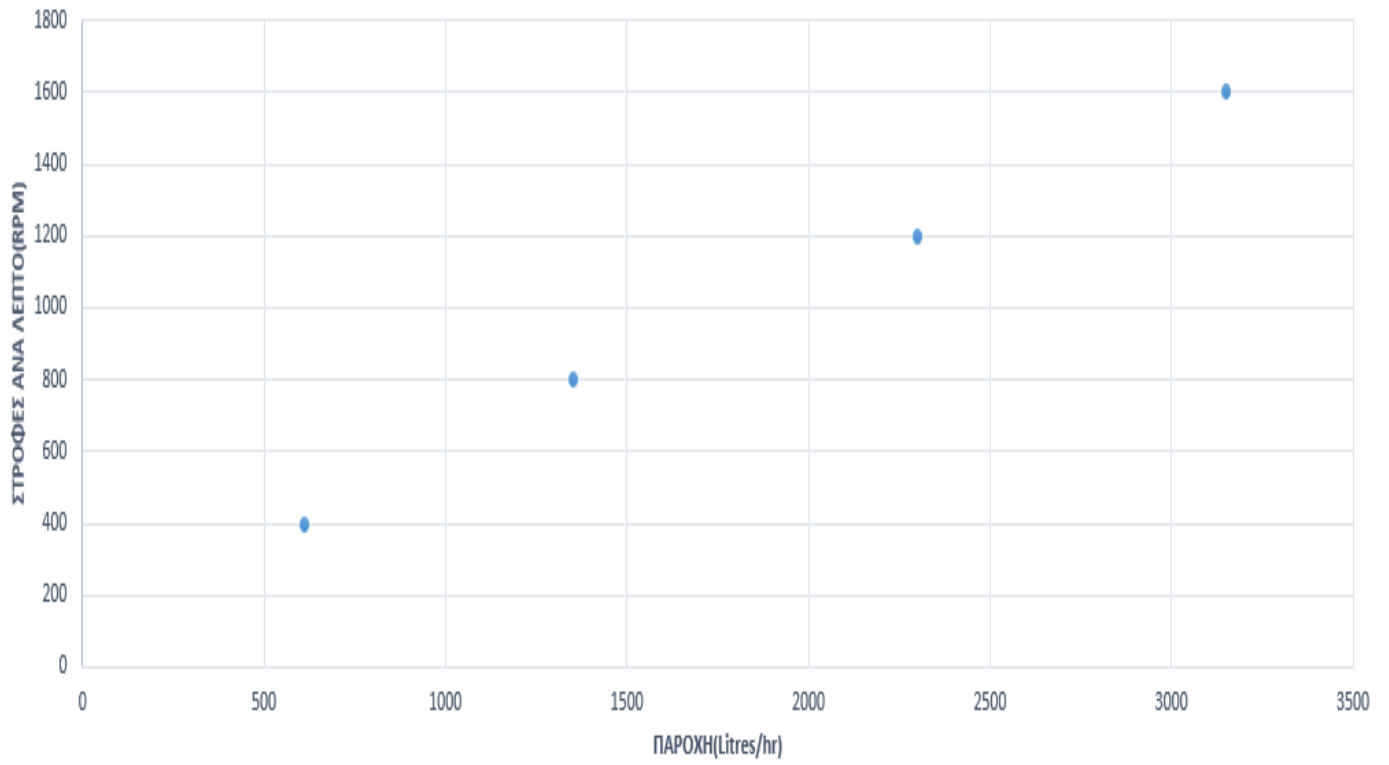
**Διάγραμμα 3.1.Ε** Η θέση της βαλβίδας  $\frac{1}{2}$  ανοιχτή

**ΒΑΛΒΙΔΑ ΚΑΤΑΘΛΙΨΕΩΣ:  $\frac{1}{2}$  ΑΝΟΙΧΤΗ**

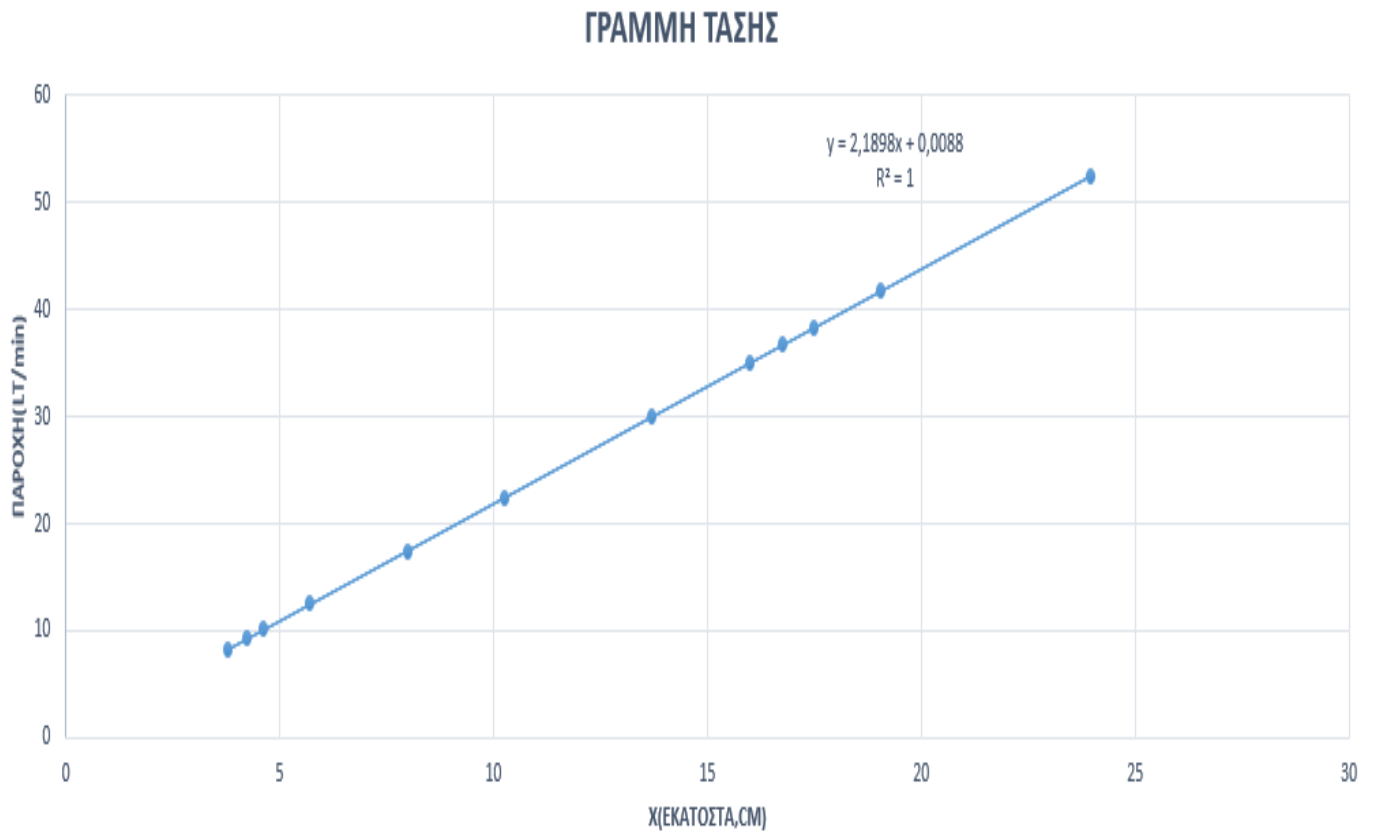


**Διάγραμμα 3.1.Z** Η θέση της βαλβίδας πλήρως ανοιχτή

**ΒΑΛΒΙΔΑ ΚΑΤΑΘΛΙΨΕΩΣ: ΠΛΗΡΩΣ ΑΝΟΙΧΤΗ**

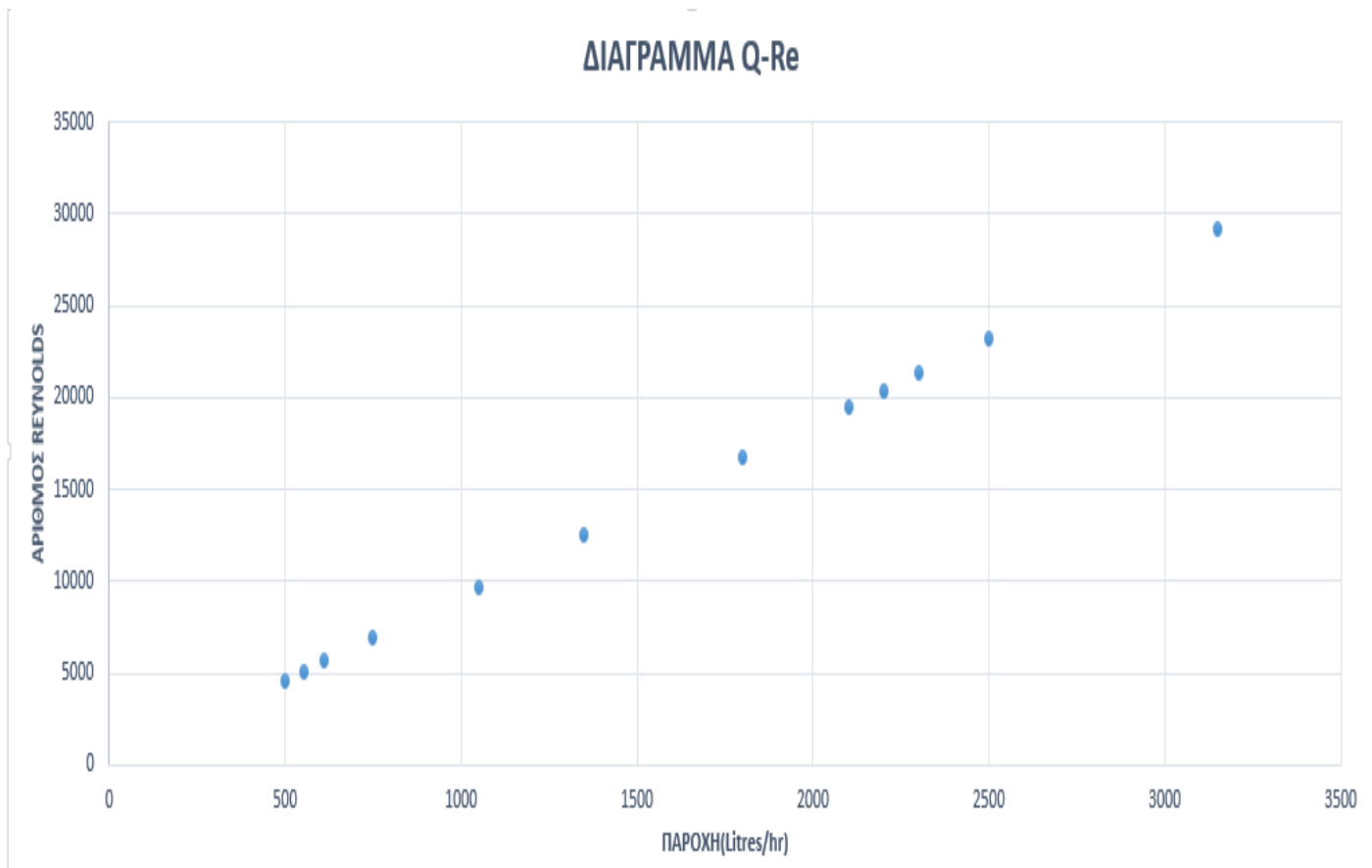


Διάγραμμα 3.1.Η Εξίσωση και ευθεία γραμμής τάσης



Στον άξονα των Y έχουμε την παροχή σε λίτρα ανά ώρα και από τον άξονα των X έχουμε το ύψος του υγρού στην δεξαμενή καταθλίψεως σε εκατοστά. Ο ρυθμός με τον οποίο αυξάνεται σταδιακά η στάθμη της δεξαμενής όπου στέλνει η αντλία το υγρό. Βλέπουμε πως κάθε φορά όπου αυξάνεται η παροχή της αντλίας έχουμε και γραμμική μεταβολή της στάθμης στην δεξαμενή καταθλίψεως.

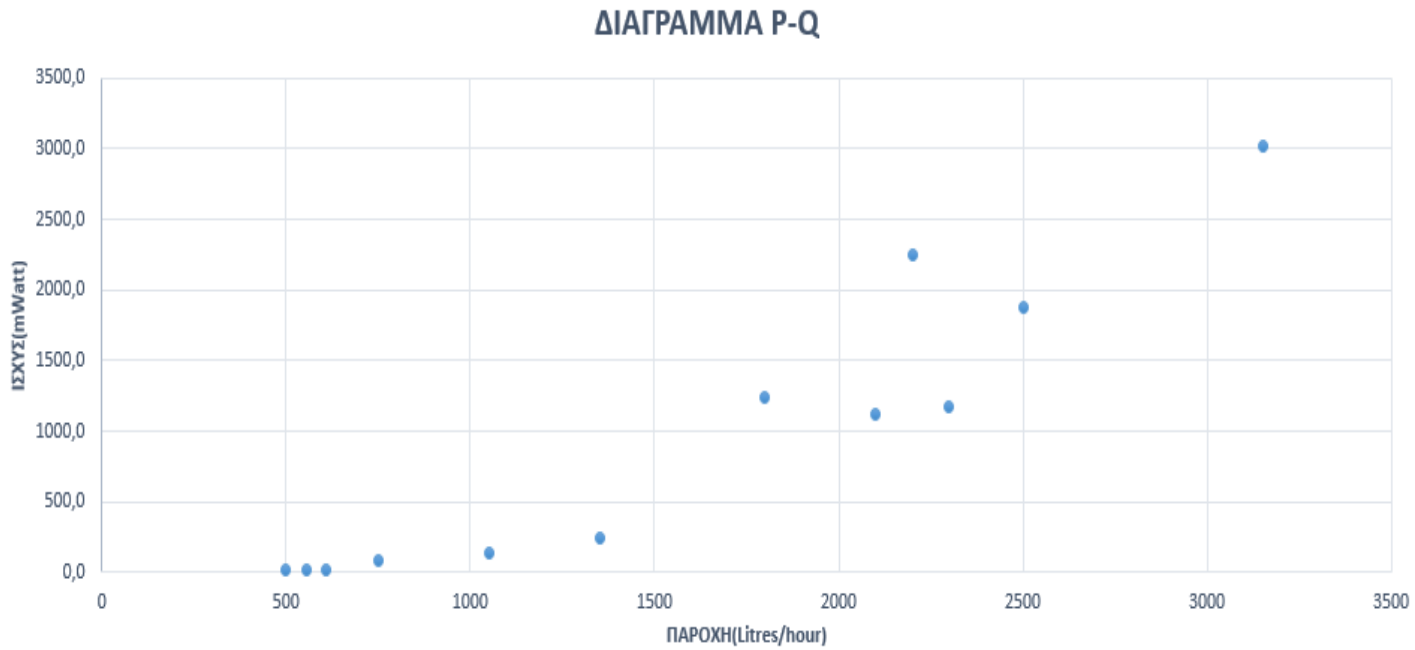
Διάγραμμα 3.1.1 Διάγραμμα παροχής και αριθμού Reynolds



Στον άξονα των Y έχουμε τιμές του αριθμού Reynolds και στον άξονα των X έχουμε τις τιμές της παροχής σε λίτρα ανά ώρα. Όσο αυξάνεται η παροχή αυξάνεται και ο αριθμός Reynolds.



**Διάγραμμα 3.1.Κ** Η ισχύ της αντλίας σε σχέση με την παροχή της.



Στον άξονα των X έχουμε την παροχή σε λίτρα ανά ώρα και στον άξονα των Y έχουμε την ισχύ σε milliWatt. Όσο αυξάνεται η ισχύς της αντλίας τόσο αυξάνεται και η παροχή σε λίτρα την ώρα.

Ένα παράδειγμα φύλλου εργασίας ενός μαθητή που υπόκειται να συμπληρώσει είναι το παρακάτω:

**Διάγραμμα 3.1.Α** Φύλλο εργασίας πειράματος

ΦΥΛΛΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ	1			
<b>ΕΙΣΑΓΕΤΕ ΣΤΑΘΕΡΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ</b>				
ΘΕΣΗ ΒΑΛΒΙΔΑΣ ΚΑΤΑΘΛΙΨΗΣ (ΕΠΙΛΕΨΤΕ ΘΕΣΗ)	1/4 ΑΝΟΙΚΤΗ	1/2 ΑΝΟΙΚΤΗ	<b>ΠΛΗΡΩΣ ΑΝΟΙΚΤΗ</b>	
ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΟ ΙΞΩΔΕΣ ΥΓΡΟΥ ΣΤΗΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ	<b>1,000E-06</b>			
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΣΩΛΗΝΑ (M)	<b>0,0381</b>			
<b>ΕΙΣΑΓΕΤΕ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ</b>				
ΕΝΔΕΙΞΗ ΠΑΡΟΧΟΜΕΤΡΟΥ (L/H)				
	610			
	1350			
	2300			
	3150			
<b>ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ</b>				
Q(M <sup>3</sup> /S)	ΤΑΧΥΤΗΤΑ(M/S)	REYNOLDS	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΑΓΩΓΟΥ	ΙΣΧΥΣ (mW)
1,694E-04	0,149	5,663E+03	0,0137	22,8
3,750E-04	0,329	1,253E+04	0,0658	242,1
6,389E-04	0,560	2,135E+04	0,1884	1179,2
8,750E-04	0,767	2,924E+04	0,3523	3024,1

## Επίλογος – Συμπεράσματα

Κατά την εκτέλεση της παραπάνω πτυχιακής εργασίας βγήκαν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Όσο αυξάνεται η ισχύς της αντλίας τόσο αυξάνεται και η παροχή σε λίτρα την ώρα.
- Όσο αυξάνεται η παροχή αυξάνεται και ο αριθμός Reynolds.
- Όσο περιορίζουμε την βαλβίδα καταθλίψεως τόσο αυξάνεται η πίεση καταθλίψεως της αντλίας.
- Όσο αυξάνουμε τις στροφές της αντλίας τόσο αυξάνεται η ένταση του ρεύματος, η τάση τροφοδοσίας και η ισχύς της αντλίας.

## Βιβλιογραφία

1. Βιβλίο Βοηθητικά Μηχανήματα Πλοίου 1
2. Βιβλίο Βοηθητικά Μηχανήματα Πλοίου 2
3. Wikipedia: Αντλίες
4. Οι φωτογραφίες του πρώτου κεφαλαίου είναι από τον ιστότοπο:  
<https://www.google.gr/search?q=%CE%B5%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CE%BD%CE%B5%CF%82+%CE%B3%CE%B9%CE%B1+%CE%B1%CE%BD%CF%84%CE%BB%CE%B9%CE%B5%CF%82&espv=2&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwiQ9tzPh8DTAhUEtRoKHSqPCxUQsAQIA&biw=1366&bih=662>

## Περιεχόμενα

Περίληψη .....	3
Abstract .....	4
Πρόλογος .....	5
Κεφάλαιο 1: Αντλίες .....	6
Κεφάλαιο 2: Πειραματική Διάταξη .....	12
Κεφάλαιο 3: Πειραματικές Μετρήσεις .....	21
Επίλογος - Συμπεράσματα .....	35
Βιβλιογραφία.....	36