

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ

ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΘΕΜΑ : ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ
"ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΗ ΑΝΤΛΙΑ" ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ ΤΩΝ
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ ΤΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ ΚΑΙ ΤΩΝ
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ
ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ**

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : ΖΑΧΑΡΙΑΣ ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΤΣΟΡΜΠΙΑΤΖΙΔΗΣ ΑΝΕΣΤΗΣ



ΝΕΑ ΜΗΧΑΝΙΩΝΑ

2017

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΘΕΜΑ : ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ
"ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΗ ΑΝΤΛΙΑ" ΓΙΑ ΤΟΝ
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ
ΜΕΓΕΘΩΝ ΤΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ ΚΑΙ ΤΩΝ
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ
ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ**

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : ΖΑΧΑΡΙΑΣ ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ

ΑΜ : 5016

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ :

Βεβαιώνεται η ολοκλήρωση της παραπάνω πτυχιακής εργασίας

Ο καθηγητής

Περίληψη

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία θα μελετηθούν και θα προσδιοριστούν με τη χρήση πειραμάτων στην υδραυλική εγκατάσταση «Φυγοκεντρική Αντλία», τα χαρακτηριστικά μεγέθη της αντλίας και οι χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας της εγκατάστασης. Καταρχήν θα γίνει μια εισαγωγή στην μηχανική των ρευστών και στις αντλίες παντός τύπου για μύηση του εκάστοτε αναγνώστη στο περιεχόμενο της εργασίας. Για να προχωρήσουμε εις βάθος στο κύριο μέρος της εργασίας και των πειραμάτων, πρέπει πρώτα να δοθεί ο ορισμός της φυγοκεντρικής αντλίας και των μερών της εγκατάστασης, έτσι ώστε να κατανοηθεί πλήρως ο τρόπος λειτουργίας της εγκατάστασης. Αφού λοιπόν αναφερθούν τα παραπάνω, είναι απαραίτητο να αναλυθούν τα χαρακτηριστικά μεγέθη αντλιών. Τα χαρακτηριστικά μεγέθη αντλιών αποτελούνται από τα ενεργειακά ύψη, την παροχή, την ισχύ και τους βαθμούς αποδόσεως. Μετά την ανάλυση των δεδομένων που προαναφέρθηκαν είναι εφικτό να γίνει μια εισαγωγή για τις χαρακτηριστικές καμπύλες αντλιών. Πιο ειδικά, γίνεται λόγος για το σχεδιασμό χαρακτηριστικών καμπυλών αντλιών. Τέλος θα γίνει η διεξαγωγή δύο πειραμάτων, το πρώτο για τον προσδιορισμό των μεγεθών της αντλίας με την βοήθεια πινάκων και υπολογισμών, και το δεύτερο για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών καμπυλών λειτουργίας της εγκατάστασης με την βοήθεια πινάκων, υπολογισμών και απεικόνιση των καμπυλών.

Abstract

In this undergraduate thesis, two experiments are conducted for the determination of centrifugal pump characteristics and the characteristics curves of the pump installation. At first, we make a general introduction to the mechanic of fluids and the types of pumps, and then we deepen further inside the concept of centrifugal pumps and the other parts of the installation in study. Furthermore, a generic introduction is made to every pump characteristic and curve. In the first experiment, we introduce and calculate with the help of charts, the centrifugal pump characteristic alone. In the second experiment, we calculate the characteristics and characteristic curves of the installation as a whole.

Πρόλογος

Η παρούσα πτυχιακή εργασία διαπραγματεύεται τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών μεγεθών της φυγοκεντρικής αντλίας και των χαρακτηριστικών καμπυλών της εγκατάστασης της φυγοκεντρικής αντλίας με την βοήθεια πειραμάτων. Ο λόγος για τον οποίο επιλέχθηκε αυτό το θέμα, είναι γιατί οι αντλίες αποτελούν την κορωνίδα των δικτύων ενός πλοίου. Επίσης, αυτό το θέμα προσφέρει αρκετές χρήσιμες πληροφορίες, καθώς η λειτουργία και η συντήρηση των αντλιών απασχολούν ένα από τα μείζοντα θέματα που απασχολούν έναν μηχανικό του Εμπορικού Ναυτικού. Σχετικά με το σκοπό αυτού του πονήματος, είναι να βοηθήσει τον κάθε απασχολούμενο με αυτό το θέμα και να ξεκαθαρίσει τις απορίες που γεννώνται ως προς την λειτουργία και τα χαρακτηριστικά μεγέθη των φυγοκεντρικών αντλιών και της εγκατάστασης που είναι τοποθετημένες. Αρχικά, παρατίθεται το θεωρητικό μέρος της εργασίας, δηλαδή οι αναλυτικότερες πληροφορίες για το θέμα που απασχολεί την εργασία, όπως είναι οι φυγοκεντρικές αντλίες. Αφού λοιπόν δοθούν οι κατάλληλες πληροφορίες είναι εφικτό να προχωρήσουμε στο πρακτικό μέρος, με την διεξαγωγή των πειραμάτων και τον υπολογισμό των χαρακτηριστικών μεγεθών της αντλίας και τον σχεδιασμό των χαρακτηριστικών καμπυλών της εγκατάστασης. Η εργασία αποτελείται από τέσσερα κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο ορίζεται η έννοια της μηχανικής των ρευστών και αναλύονται τα φαινόμενα που την αποτελούν. Επιπρόσθετα, αναλύεται η ιστορική αναδρομή και τα βασικά θεωρήματα που αποτελούν τη μηχανική των ρευστών. Έπειτα, στο δεύτερο κεφάλαιο, γίνεται εισαγωγή στις αντλίες και ειδικότερα στις φυγοκεντρικές αντλίες. Στο τρίτο κεφάλαιο, γίνεται ανάλυση των χαρακτηριστικών μεγεθών των αντλιών και των συστημάτων αντλήσεως. Καταληκτικά, το τέταρτο κεφάλαιο εμπεριέχει την περιγραφή του συστήματος αντλήσεως προς μελέτη, και την διεξαγωγή των πειραμάτων για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών μεγεθών της φυγοκεντρικής αντλίας και των χαρακτηριστικών καμπυλών της εγκατάστασης όπου και είναι ο κύριος σκοπός της εργασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: Η ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΤΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ

1.1 Ορισμός

Η Μηχανική των Ρευστών ανήκει στην ευρύτερη κοινότητα των Φυσικών Επιστημών. Αναπτύχθηκε ως ανεξάρτητος τεχνικό κλάδος με σημαντικές εφαρμογές σε κάθε τομέα της παραγωγικής δραστηριότητας και ισχυρή διασύνδεση με άλλους επιστημονικούς κλάδους (θερμοδυναμική, μετάδοση θερμότητας, υδρολογία, μετεωρολογία, ναυπηγία, ιατρική κ.α.). Ασχολείται με τα φαινόμενα που συναντώνται στα ρευστά υλικά σώματα (και ως τέτοια εννοούμε τα υγρά και αέρια), όταν αυτά βρίσκονται σε μακροσκοπική ισορροπία (στατική των ρευστών), και κυρίως, όταν αυτά ρέουν (δυναμική των ρευστών). Η στατική των ρευστών, μας επιτρέπει να κατανοήσουμε σημαντικές ιδιότητες και φαινόμενα (όπως την ατμοσφαιρική και υδροστατική πίεση, την άνωση και τις δυνάμεις που ασκούν τα ρευστά), να αντιμετωπίσουμε πρακτικά προβλήματα και να αξιοποιήσουμε τα συμπεράσματα μας σε πολλές εφαρμογές όπως μανόμετρα, υδραυλικά πιεστήρια, διαχωριστές βαρύτητας κ.λπ. Η δυναμική των ρευστών, αποτελεί τον πυρήνα των ζητημάτων που σχετίζονται με τη μεταφορά μάζας. Και σε οποιαδήποτε παραγωγική διαδικασία, τα δίκτυα διακίνησης υγρών και αερίων αποτελούν σημαντική τεχνική παράμετρο. Η κατανόηση της συμπεριφοράς των ρευστών είναι απαραίτητη για την αντιμετώπιση προβλημάτων σχετικών με τη ροή των ρευστών στους αγωγούς, τη χρήση αντλιών, αεροσυμπιεστών και άλλου σχετικού εξοπλισμού διακίνησης ρευστών. Παράλληλα μας διευκολύνει να κατανοήσουμε τις διεργασίες διαχωρισμού που βασίζονται στη διάχυση και τη μεταφορά μάζας, στις αεροδυναμικές και υδροδυναμικές διεργασίες κατά την κίνηση στερεών μέσα σε ρευστά (πλοία, αυτοκίνητα, αεροπλάνα, κ.λπ.), καθώς επίσης και τις διεργασίες που σχετίζονται με τη μετάδοση θερμότητας. Το πεδίο της μηχανικής των ρευστών είναι ευρύτατο και αγγίζει σχεδόν κάθε ανθρώπινη προσπάθεια. Σχεδόν όλη η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αξιοποιεί το ροή είτε του νερού είτε του ατμού. Όλα τα προβλήματα καύσεως περιλαμβάνουν τη διακίνηση ρευστών, όπως επίσης τα πιο κλασσικά προβλήματα, π.χ. της αρδύσεως, του ελέγχου πλυμμηρών, της παροχής νερού, της σταγανώσεως, της διαθέσεως των λυμάτων, της διακίνησης πετρελαίου και φυσικού αερίου. Η σημασία των ρευστών για τον τομέα της ναυτιλίας είναι τεράστια. Εκτός από ζητήματα που σχετίζονται με την άνωση, την πλεύση και την κίνηση του πλοίου στη θάλασσα, το ίδιο το πλοίο αποτελεί μία σχετικά αυτόνομη παραγωγική μονάδα, στην οποία συναντάμε πολλά είδη ρευστών. Οι σωληνώσεις και τα μηχανήματα διακίνησης αυτών των ρευστών δεν περιορίζονται μόνο στο μηχανοστάσιο, αλλά εκτείνονται σε όλο το πλοίο. Η μελέτη και η κατανόηση επομένως της συμπεριφοράς των ρευστών είναι εξαιρετικά σημαντική για τον Μηχανικό.

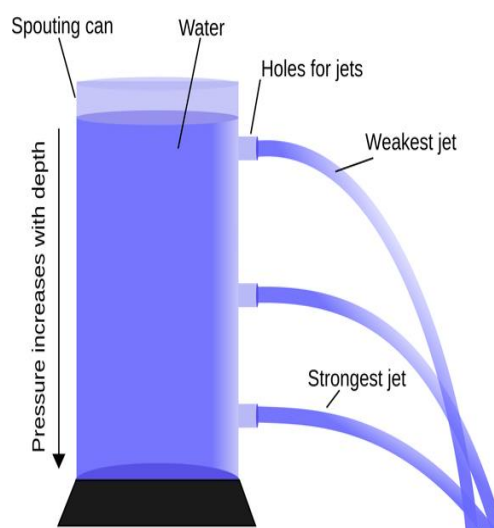
1.2 Ιστορική αναδρομή

Όπως και σε κάθε άλλη επιστήμη έτσι και στην Μηχανική των Ρευστών, η ιστορική εξέλιξη της διακρίνεται σε τέσσερις περιόδους. Πρώτη περίοδος ορίζεται η Αρχαία Ελλάδα στην οποία παρουσιάζεται μια εμπειρική ανάπτυξη γνώσεων και δεξιοτήτων. Την εποχή αυτή διαδέχεται μια μακράιωνη επιστημονική και τεχνική στασιμότητα (Μεσαίωνας). Αυτή την περίοδο τερματίζει το ανήσυχο και ερευνητικό πνεύμα της αναγεννήσεως, του διαφωτισμού και της επιστημονικής εκρήξεως (18ος – 19ος αιώνας). Τα επιστημονικά θεμέλια της προηγούμενης εποχής, οδηγούν στην επιστημονική και τεχνική εκτόξευση του 20ου αιώνα την περίοδο της συνεχούς αυξανόμενης γνώσης και των εφαρμογών που σχετίζονται με την Μηχανική Ρευστών. Καταληκτικά, φτάνοντας στον παρόντα αιώνα, γίνεται αντιληπτή μια σοβαρή εκδήλωση προβλημάτων, η οποία αυξάνει τον ρόλο της επιστήμης και της τεχνικής και οδηγεί τους αρμόδιους φορείς μπροστά στο φάσμα μεγαλύτερων ευθυνών.

1.3 Βασικά θεωρήματα της Μηχανικής των Ρευστών.

Πρωτοπόρος της επιστημονικής σκέψης που στα πρώτα της βήματα συνδεόταν και με τα ρευστά, χρήζεται ο Αρχιμήδης, ο οποίος ήταν αρχαίος Έλληνας μαθηματικός. Ειδικότερα, ο μαθηματικός ανακάλυψε και διατύπωσε την περίφημη αρχή του Αρχιμήδη, η οποία αναφέρει ότι κάθε σώμα που είναι πλήρως βυθισμένο σε ένα ρευστό δέχεται δύναμη άνωσης, ίση με το βάρος του ρευστού που εκτοπίζει, δηλαδή ισχύει $A=B$ υγρού. Επιπρόσθετα, η ανακάλυψη του προαναφερόμενου μαθηματικού συμπεριλήφθηκε στο δημοσιευόμενο έργο του Πλωτοί Φορείς, το οποίο θεωρείται ως η πρώτη σημαντική δουλειά στη μηχανική των ρευστών. Τέλος, αυτός ο νόμος εφαρμόζεται στα πλοία, στο ανθρώπινο σώμα, στα υποβρύχια και στα αερόστατα κ.λπ. Άλλη σημαντική μορφή ήταν ο Leonardo Da Vinci, ο οποίος χαρακτηριζόταν για το ανήσυχο και ερευνητικό του πνεύμα. Αυτός πραγματοποίησε παρατηρήσεις και πειράματα. Συγκεκριμένα, μελέτησε τη διατήρηση της μάζας στη μονοδιάστατη σταθερή ροή. Παράλληλα, ασχολήθηκε με τις περιγραφές κυμάτων, αεροδυναμικών και υδραυλικών συστημάτων. Έπειτα, ακολουθεί ο νόμος του Mariotte, ο οποίος αναδιατυπώθηκε, καθώς 14 χρόνια πριν ανακαλύφθηκε από τον Robert Boyle. Σύμφωνα με αυτό τον νόμο, ο όγκος ενός αερίου είναι αντιστρόφως ανάλογος της πίεσης αυτού, σε σταθερή θερμοκρασία. Ακόμη, ο Γάλλος φυσικός κατασκεύασε την πρώτη σήραγγα αέρα και πειραματίστηκε με αυτήν. Επιπρόσθετα, ο Γάλλος φυσικομαθηματικός Blaise Pascal διατύπωσε έναν από τους βασικότερους νόμους της υδροστατικής. Ειδικότερα, ο συγκεκριμένος νόμος καθορίζει ότι οποιαδήποτε πίεση που μπορεί να ασκηθεί στην επιφάνεια ενός υγρού μεταδίδεται ομοιόμορφα εντός αυτού, προς όλες τις διευθύνσεις και σε όλο το βάθος του. Αυτή η αρχή αφορά όλα τα ρευστά. Επίσης, το 1647 παράλληλα με την ομώνυμη αρχή του ανακάλυψε και την χρήση του βαρόμετρου για την μέτρηση του υψόμετρου. Σχετικά με τις εφαρμογές αυτής της αρχής αυτές είναι η πλήρωση με αέρα ενός τροχού ή μπαλονιού, το υδραυλικό πιεστήριο, οι υδραυλικοί γερανοί και τα υδραυλικά φρένα.

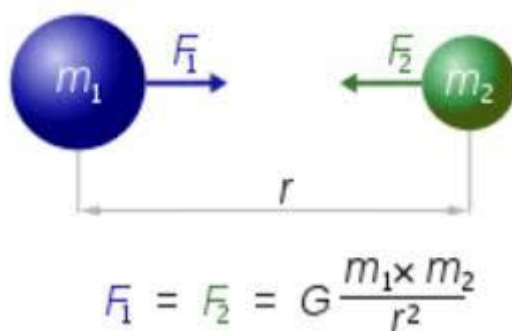
Την υδροστατική αποτελούν η αρχή του Pascal που προαναφέρθηκε, η αρχή του Αρχιμήδη και ο θεμελιώδης νόμος της υδροστατικής. Αναφορικά, με τον θεμελιώδη νόμο της υδροστατικής, αξίζει να αναφερθούμε ότι ο νόμος αυτός αφορά το υγρό, το οποίο ισορροπεί εντός ενός βαρυτικού πεδίου. Πιο συγκεκριμένα υπογραμμίζει ότι η πίεση που ασκείται από το υγρό σε ένα σημείο του που βρίσκεται σε βάθος (h), ισούται με το γινόμενο της πυκνότητας (ρ) του υγρού, της επιτάχυνσης της βαρύτητας (g) και του βάθους από την επιφάνεια του υγρού (h), δηλαδή ισχύει $P = \rho gh$. Σύγχρονος του Pascal ήταν και ο Torricelli, ο οποίος ανακάλυψε το υδραργυρικό βαρόμετρο και πραγματοποίησε την πρώτη μέτρηση της ατμοσφαιρικής πίεσης. Επίσης, συνέβαλλε στο έργο σχεδιασμού και κατασκευής μικροσκοπίων, αλλά και στις μεθόδους λείανσης των φακών των τηλεσκοπίων. Ακόμη, έλυσε σημαντικά μαθηματικά προβλήματα της εποχής του και η μονάδα Tor και ο αστεροειδής 7437 Torricelli φέρουν το όνομά του τιμής ένεκεν. Το 1644 ο Ιταλός φυσικομαθηματικός Torricelli διατύπωσε το ομώνυμο θεώρημά του για τη ροή των υγρών. Συγκεκριμένα, αναφέρει ότι όταν ένα υγρό εκρέει στον ελεύθερο αέρα υπό την επίδραση της βαρύτητας από μια οπή βάθους (h) (από την ελεύθερη επιφάνεια του) αποκτά ταχύτητα εκροής ίση με εκείνη που θα ελάμβανε εάν έπεφτε ελεύθερα από το ίδιο ύψος. Για να ισχύει το παραπάνω θεώρημα πρέπει το εμβαδόν διατομής εκροής να είναι κατά πολύ μικρότερο της ελεύθερης επιφάνειας.



Εικόνα 1.3.1: Θεώρημα Torricelli σε αναπαράσταση

Εντυπωσιασμένος από τον Torricelli ο Γαλιλαίος ανέλαβε την προστασία του. Ο Ιταλός φυσικός, μαθηματικός, αστρονόμος και φιλόσοφος διαδραμάτισε σημαντικό ρόλο στην επιστημονική επανάσταση του 17ου αιώνα. Συγκεκριμένα, βελτίωσε το τηλεσκόπιο, εφηύρε τους νόμους του εκκρεμούς που χρησιμοποιούνται στα ρολόγια και διατύπωσε το νόμο της πτώσεως των σωμάτων. Πιο ειδικά, ο νόμος της πτώσεως των σωμάτων αποδεικνύει ότι η βαρύτητα επιδρά στην ταχύτητα των σωμάτων όταν υψώνονται ή πέφτουν. Πρόσθετα, εφηύρε ένα θερμομόμετρο και ένα υπολογιστικό διαβήτη. Ακόμη, αντικατέστησε την υποθετική ή επαγωγική μέθοδο με την πειραματική και

συνέβαλε στην καθιέρωση της μηχανικής ως ιδιαίτερης επιστήμης. Το χρόνο που πέθανε ο Γαλιλαίος γεννήθηκε ο Άγγλος φυσικομαθηματικός, αστρονόμος, φιλόσοφος, αλχημιστής και θεολόγος Isaac Newton. Έκανε την αρχή της έρευνάς του από τις παρατηρήσεις του Γαλιλαίου και τους νόμους του Γερμανού αστρονόμου Johannes Kepler. Επιπρόσθετα, αξίζει να επισημανθεί ότι διατύπωσε τους τρεις μνημειώδεις νόμους της κίνησης και τον νόμο του ιξώδους των γραμμικών ρευστών που σήμερα ονομάζονται προς τιμήν του νευτώνεια. Επίσης, κρίθηκε καθοριστική η συμβολή του στη θεμελίωση των σύγχρονων μαθηματικών και συνείσφερε στη θεωρία των χρωμάτων. Μια πολύ σημαντική θεωρία που διατύπωσε ο Isaac Newton ήταν η θεωρία της παγκόσμιας έλξης ή αλλιώς ο νόμος της βαρύτητας. Σύμφωνα με αυτή τη θεωρία οι ελκτικές δυνάμεις μεταξύ δύο ουράνιων σωμάτων είναι ανάλογες του γινομένου των μαζών τους και αντιστρόφως ανάλογες του τετραγώνου της μεταξύ των κέντρων μάζας τους απόστασης. Δηλαδή: $F = Gm_1m_2/r^2$ όπου η F είναι η ελκτική δύναμη σε Newton, G η σταθερά της παγκόσμιας έλξης, m_1 και m_2 οι μάζες αδράνειας των δύο σωμάτων σε χιλιόγραμμα, και r η μεταξύ τους απόσταση σε μέτρα.



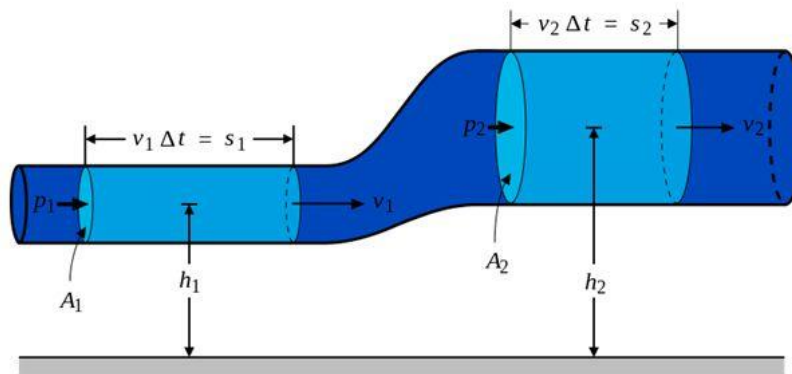
Εικόνα 1.3.2: Θεωρία της παγκόσμιας έλξης

Ο Leonard Euler ήταν ένας πρωτοπόρος Ελβετός φυσικομαθηματικός που εφάρμοσε στην μελέτη των ρευστών τις τρεις αρχές της δυναμικής του Newton και διατύπωσε τις διαφορικές εξισώσεις κινήσεως των ιδανικών ρευστών, χωρίς την χρήση ιξώδους. Ο Ελβετός πρωτοπόρος υπήρξε ο πρώτος που αντιλήφθηκε ότι η μόνη δυνατότητα που υπήρχε για την διατύπωση σχετικά απλών νόμων που αφορούσαν στην δυναμική ρευστών ήταν εκείνη που θα περιόριζε την μελέτη των ρευστών στα ασυμπίεστα και ιδανικά ρευστά, δηλαδή που θα παραμέριζε τις συνέπειες των εσωτερικών τριβών. Ο περιορισμός αυτός της μελέτης στα ιδανικά ρευστά συνέβαλε σημαντικά, αλλά τα αποτελέσματα της αναλύσεως του Euler μπορούν να θεωρηθούν μόνο μια προσεγγιστική εκτίμηση της συμπεριφοράς των πραγματικών ρευστών. Προσωπικός συνεργάτης του Euler ήταν ο Daniel Bernoulli, Ολλανδός μαθηματικός που συνέχισε την μελέτη των ιδανικών ρευστών και κατέληξε στην περίφημη εξίσωση που φέρει το όνομα του. Επεξηγηματικά, συσχέτισε την πίεση με την ταχύτητα ενός ρευστού και εξήγησε το φαινόμενο κατά το οποίο η ταχύτητα ενός ρευστού

αυξάνει όταν ελαττώνεται η πίεση του. Δηλαδή, $P + 1/2\rho u^2 + \rho gh = \text{σταθ.}$ Αν και αναφέρεται σε ιδανικά ρευστά, είναι εύκολη η προσαρμογή της σε πραγματικά υδραυλικά έργα.

Αρχή διατήρησης της ενέργειας – Εξίσωση Bernoulli

Συνδέει την πίεση, την ταχύτητα ροής και το ύψος.



$$P + \rho gh + \frac{1}{2} \rho u^2 = \text{σταθ.}$$

Εικόνα 1.3.3: παράδειγμα της εξίσωσης Bernoulli μεταξύ δύο σημείων

Εκτός από την εξίσωση του Bernoulli που αποτελεί τον θεμελιώδη νόμο της υδροδυναμικής υπάρχει και η εξίσωση της συνέχειας που αποτελεί και αυτή μέρος της υδροδυναμικής. Συγκεκριμένα, αυτή η εξίσωση αναφέρει ότι η παροχή παραμένει σταθερή κατά μήκος ενός σωλήνα που διαρρέεται από το υγρό. Η εξίσωση αυτή είναι άμεση συνέπεια της αρχής διατήρησης της ύλης. Δηλαδή, $A_1 u_1 = A_2 u_2$, όπου A η διατομή του σωλήνα και u η ταχύτητα του υγρού. Στις αρχές του 19ου αιώνα οι μηχανικοί ανέπτυξαν την επιστήμη της υδραυλικής, η οποία στηρίχθηκε εξ ολοκλήρου στο πείραμα. Δηλαδή απέρριψαν τις υποθέσεις τέλειων ρευστών θεωρώντας τις μη ρεαλιστικές. Κατά την περίοδο αυτή υπήρξαν σπουδαίοι πειραματιστές που κατέληξαν σε διάφορα συμπεράσματα όσο αφορά στις διάφορες ροές. Κάποιοι από αυτούς είναι οι Jean Louis Marie Poiseuille και Gotthilf Hagen, οι William Froude και ο γιος του ο Robert και ο John William Rayleigh. Κομβικό σημείο αποτελεί το 1883, που ο Άγγλος μηχανικός Osborne Reynolds κατέδειξε τη σημασία του αδιάστατου αριθμού Reynolds (όπως ονομάζεται προς τιμήν του) πειραματικά. Πιο ειδικά, διέκρινε δύο διαφορετικούς τύπους κινήσεως για ένα ρευστό με ιζώδες στο εσωτερικό ενός αγωγού. Έτσι, παρατήρησε ότι στις χαμηλές ταχύτητες το ρευστό ακολουθεί ομαλή πορεία, ενώ για

μεγαλύτερες ταχύτητες η ροή αυτή διαταράσσεται και δημιουργούνται δίνες. Επομένως, ο αριθμός Reynolds Re αποτελεί κριτήριο για το αν μια ροή είναι στρωτή ή τυρβώδης. Ισχύουν οι εξής ανισότητες: Αν $Re < 2100$ τότε η ροή είναι στρωτή. Διαφορετικά, αν $Re > 4000$ τότε έχουμε τυρβώδη ροή. Άλλες δύο σημαίνουσες προσωπικότητες είναι οι Claude Navier και George Stokes, που το 1845 διατύπωσαν τις βασικές εξισώσεις των ασυμπίεστων ρευστών με ιξώδες, αλλά ήταν δύσκολο να αναλυθούν για τυχαίες ροές. Ουσιαστικά επέτυχαν να συμπεριλάβουν τις επιπτώσεις της τριβής (δηλαδή του ιξώδους) στις μαθηματικές εξισώσεις κινήσεως των ρευστών. Αυτές οι εξισώσεις είναι από τις πιο χρήσιμες, γιατί χρησιμοποιούνται στις πιο πολλές εφαρμογές.

Ένας από τους μεγαλύτερους θεμελιωτές της μηχανικής των ρευστών ήταν ο Γερμανός μηχανικός Ludwig Prandtl που δημοσίευσε το 1904 μια από τις σημαντικότερες εργασίες της μηχανικής των ρευστών. Συγκεκριμένα, τόνισε ότι σε ροές ρευστών με μικρό ιξώδες, όπως είναι η ροή του νερού και του αέρα, γίνεται διακριτό ένα λεπτό οριακό στρώμα, που βρίσκεται σε επαφή με τα στερεά τοιχώματα, και ένα εξωτερικό στρώμα που ολισθαίνει στο οριακό και για το οποίο ισχύουν οι εξισώσεις του Euler και του Bernoulli. Πρόκειται λοιπόν, για τη θεωρία του οριακού στρώματος, το οποίο αποτελεί το σημαντικότερο εργαλείο στη σύγχρονη ανάλυση της ροής. Ο Ludwig Prandtl ήταν υπεύθυνος για μια νέα προσέγγιση της εφαρμοσμένης μηχανικής των ρευστών και το όνομά του φέρουν διάφορες εξισώσεις, αρχές και όργανα.

Ως τα μέσα του 19ου αιώνα το αντικείμενο της μηχανικής των ρευστών περιοριζόταν στη μελέτη της ροής του νερού και του αέρα. Όμως, στη συνέχεια λόγω της βιομηχανικής επανάστασης και των συνεπειών της διευρύνθηκε το ενδιαφέρον και ως προς τη συμπεριφορά άλλων υγρών και αερίων. Με το πέρασμα των χρόνων δημιουργήθηκε μια γενικότερη αλματώδης ανάπτυξη και έτσι τον 20ο αιώνα σημειώθηκε ραγδαία ανάπτυξη και στον τομέα της ρευστομηχανικής, η οποία ήταν παράλληλη και με την ανάπτυξη των άλλων επιστημονικών-τεχνικών κλάδων.

Φτάνοντας στο σήμερα, έχει πραγματοποιηθεί μια ραγδαία ανάπτυξη στον τομέα της μηχανικής των ρευστών, στα υπολογιστικά μαθηματικά και στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Όλα αυτά που προαναφέρθηκαν οδήγησαν το ενδιαφέρον στην υπολογιστική ρευστοδυναμική. Πιο ειδικά, μιλώντας για την υπολογιστική ρευστοδυναμική εννοούμε την προσομοίωση σε ηλεκτρονικό υπολογιστή χρησιμοποιώντας σαν εργαλεία τα βασικά θεωρήματα της μηχανικής των ρευστών για την επίλυση διάφορων ζητημάτων. Τα αποτελέσματα της εφαρμόζονται στη σύγχρονη αεροδυναμική, στην εμβιομηχανική και σε πολλούς κλάδους της επιστήμης και της τεχνολογίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: ΦΥΤΟΚΕΝΤΡΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ

2.1 Ορισμός και Βασικές Έννοιες

Αντλίες καλούμε τα μηχανήματα, τα οποία παρέχουν την αναγκαία ενέργεια για την ροή των υγρών. Πιο συγκεκριμένα, μια αντλία αναρροφά το υγρό από ένα χώρο και, προσδίδοντάς του ενέργεια (μηχανικό έργο), το οδηγεί, μέσω αγωγών, σε έναν άλλο χώρο υψηλότερης ενεργειακής στάθμης (π.χ. μεγαλύτερου υψομέτρου είτε μεγαλύτερης πίεσεως).

Χωρίς την ύπαρξη της αντλίας, η ροή του υγρού είναι αδύνατη, ακόμα και όταν οι δύο χώροι έχουν ίδιο υψόμετρο και πίεση (ίση ενεργειακή στάθμη). Για παράδειγμα, σε σύστημα δύο δεξαμενών, συνδεδεμένων με σωλήνα (σύστημα συγκοινωνούντων δοχείων) και με τις ελεύθερες επιφάνειες τους στο ίδιο επίπεδο και σε ίδια πίεση, καμιά ροή δεν είναι δυνατή. Το σύστημα βρίσκεται σε κατάσταση στατικής ισορροπίας. Αν επιθυμούμε να υπάρξει ροή από τη δεξαμενή Α στη Β, πρέπει να τοποθετηθεί αντλία, η οποία θα αναρροφά υγρό από τη δεξαμενή Α και θα το καταθλίβει στη Β, παρέχοντας του την αναγκαία ενέργεια για την αντιμετώπιση των απωλειών λόγω τριβών, αλλά και για την αύξηση της δυναμικής του ενέργειας, καθώς η στάθμη της δεξαμενής Β θα ανέρχεται.

Όπως είναι λογικό, η αναγκαιότητα της αντλίας, αλλά και η παρεχόμενη απ' αυτήν ποσότητα ενέργειας στο ρευστό, είναι μεγαλύτερη στην περίπτωση κατά την οποία η ελεύθερη επιφάνεια της δεξαμενής Β βρίσκεται υψηλότερα από την επιφάνεια της Α, είτε έχει μεγαλύτερη πίεση απ' αυτήν. Αν η επιφάνεια της Β βρίσκεται χαμηλότερα από την επιφάνεια της Α (είτε έχει χαμηλότερη πίεση), το υγρό θα ρέει από την δεξαμενή Α προς τη Β, ακόμα και αν δεν υπάρχει αντλία, λόγω διαφοράς ενεργειακού ύψους. Αλλά και σε αυτήν την περίπτωση, πιθανόν η παροχή να είναι μικρότερη από αυτήν που χρειαζόμαστε, οπότε η χρήση μιας αντλίας θα αυξήσει την παροχή στα επιθυμητά επίπεδα.

Γενικά, η ροή ρευστού από χώρο υψηλής προς χώρο χαμηλής ενεργειακής στάθμης γίνεται αυθόρμητα. Αλλά αν η ενεργειακή διαφορά είναι μικρή και οι απώλειες μεγάλες (λόγω μικρής διαμέτρου είτε μεγάλου μήκους του αγωγού ροής), η παροχή που εξασφαλίζεται με τη φυσική ροή είναι μικρή και απαιτείται συνήθως η χρήση αντλιών.

Ανακεφαλαιώνοντας, η χρήση αντλίας είναι αναγκαία όταν επιδιώκουμε: Πρώτον να υπάρξει ροή υγρού από χαμηλότερη προς υψηλότερη ή ίση ενεργειακή στάθμη και δεύτερον να αυξήσουμε την παροχή υφιστάμενης ροής.

Η αντλία παρεμβάλλεται στη σωλήνωση και αναρροφά ρευστό από τη μία πλευρά, καταθλίβοντας το στην άλλη. Η διαδικασία ονομάζεται άντληση του υγρού. Το σύστημα που διαμορφώνεται καλείται σύστημα αντλήσεως.

Το σύστημα αντλήσεως συνήθως είναι ανοιχτό, δηλαδή το ρευστό οδηγείται από ένα χώρο σε άλλον. Υπάρχουν όμως και συστήματα αντλήσεως, στα οποία το υγρό κυκλοφορεί σε ένα κλειστό κύκλωμα, όπως για παράδειγμα σε ένα κύκλωμα ψύξεως.

Ένα σύστημα αντλήσεως απο τελείται επομένως από τρία τμήματα:

α) Το σωλήνα αναρροφήσεως, ο οποίος μεταφέρει το υγρό στην εισαγωγή της αντλίας (αναρρόφηση της αντλίας).

β) Την αντλία (ή το αντλητικό συγκρότημα, δηλ σύνολο αντλιών που συνεργάζονται για την άντληση του υγρού).

γ) Το σωλήνα καταθλίψεως, στον οποίο διοχετεύει η αντλία το υγρό (αφού του προσέδωσε ενέργεια) και μέσω του οποίου το υγρό συνεχίζει τη ροή του.

Το υγρό προσάγεται στην αντλία μέσω του σωλήνα αναρροφήσεως, συνήθως από κάποιο χώρο, ο οποίος καλείται δεξαμενή αναρροφήσεως. Αν το υγρό μετά την κατάθλιψη οδηγείται σε νέο χώρο αποθηκεύσεως, ο χώρος αυτός καλείται δεξαμενή καταθλίψεως.

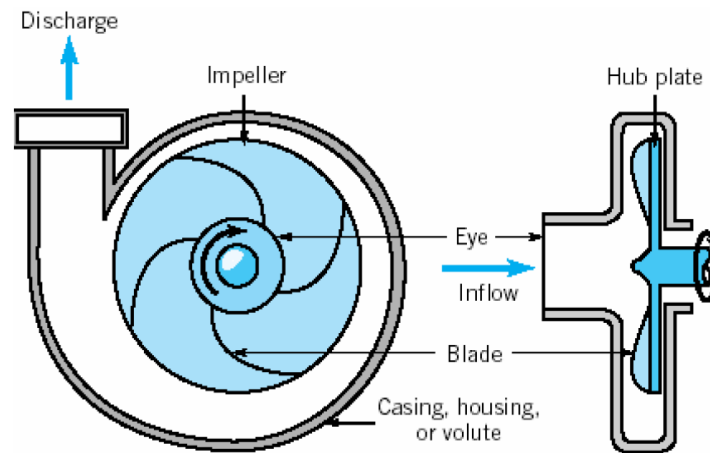
2.2 Φυγόκεντρες Αντλίες

Οι φυγόκεντρες αντλίες (centrifugal pumps) είναι ο πιο διαδεδομένος και χρησιμοποιούμενος τύπος αντλιών. Τα πλεονεκτήματα των δυναμικών αντλιών σε συνδυασμό με την ισορροπημένη σχέση μεταξύ παροχής και αποδιδόμενου ύψους, με την ευελιξία καθώς και τη σχετικά απλή κατασκευή τους, αποτελούν τα αίτια αυτής της διαδόσεως.



Τα κινητά μέρη μιας φυγόκεντρης αντλίας είναι ο άξονας και η περρωτή, ενώ τα σταθερά, είναι το περίβλημα και το σύστημα στεγανοποίησεως. Ο άξονας εδράζεται σε τριβείς (ρουλεμάν) και λαμβάνει περιστροφική κίνηση από τη κινητήρια μηχανή. Επάνω του είναι στερεωμένη η περρωτή που περιστρέφεται μαζί του. Η περρωτή καλύπτεται από το αντίστοιχου σχήματος περίβλημα, ενώ για την αποφυγή εξωτερικών διαρροών φροντίζει το σύστημα σταγανοποίησεως. Αυτό αποτελείται από το στυπιοθάλαμο, τη σαλαμάστρα και το στυπιοθλίπτη. Ο στυπιοθάλαμος είναι ο δακτυλιοειδής θάλαμος μεταξύ κελύφους και άξονα περιστροφής. Μέσα σ' αυτόν είναι τοποθετημένη η

σαλαμάστρα, η οποία αποτελείται από δακτύλιους που εφάπτονται στον άξονα περιστροφής. Η πίεση μεταξύ σαλαμάστρας και άξονα, ρυθμίζεται από το στυπιοθλίπτη. Μεγάλη πίεση σημαίνει καλύτερη στεγάνωση, αλλά μεγαλύτερες τριβές και ταχύτερη φθορά της σαλαμάστρας.

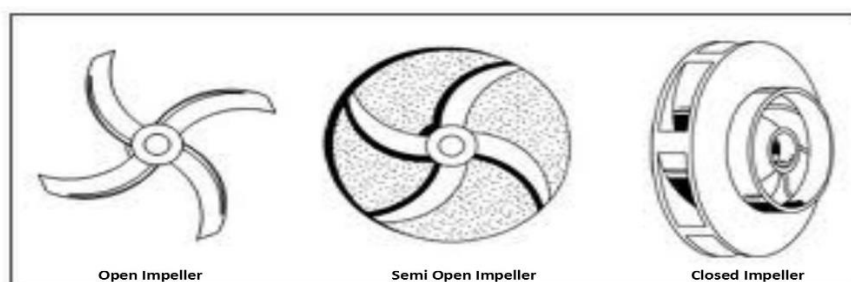


Κύριο χαρακτηριστικό των φυγόκεντρων αντλιών είναι ο σχεδιασμός των πτερυγίων της περωτής. Αυτά έχουν τέτοιο σχήμα, ώστε το υγρό το οποίο εισέρχεται στο κέντρο της περωτής, ωθούμενο από τα περιστρεφόμενα πτερύγια, ολισθαίνει επί αυτών κατά ακτινική διεύθυνση, απομακρυνόμενο από τον άξονα περιστροφής. Είναι αυτονόητο ότι και το περίβλημα του θαλάμου αντλήσεως έχει αντίστοιχο σχεδιασμό. Έτσι η αρχή λειτουργίας της φυγόκεντρης αντλίας είναι η εξής: Το υγρό εισέρχεται από την αναρρόφηση στη βάση της περωτής λόγω υποπίεσεως. Αναγκάζεται να περιστραφεί μαζί με την περωτή, αποκτώντας κινητική ενέργεια. Λόγω του σχήματος των πτερυγίων και της επιδράσεως της φυγόκεντρης δυνάμεως, ολισθαίνει επί των πτερυγίων από το κέντρο προς την περιφέρεια, διατηρώντας σταθερή την περιστροφική του ταχύτητα. Έτσι όμως αυξάνεται η γραμμική του ταχύτητα, άρα και η κινητική του ενέργεια. Ο σχεδιασμός του περιβλήματος είναι τέτοιος, ώστε όταν το υγρό φθάσει στο άκρο της περωτής, κατευθύνεται προς την έξοδο της αντλίας χωρίς σημαντικές απώλειες ενέργειας. Κατά τη διαδρομή του υγρού από την έξοδο της περωτής προς την έξοδο της αντλίας, αυξάνεται η διατομή ροής, με αποτέλεσμα να μειώνεται η ταχύτητα (ύψος κινητικής ενέργειας) και να αυξάνεται η πίεση (ύψος ενέργειας πίεσεως).

Οι περωτές διακρίνονται σε απλής και διπλής αναρροφήσεως, ανάλογα με το αν η αναρρόφηση γίνεται από τη μία ή και από τις δύο πλευρές της περωτής. Με τις αντλίες διπλής αναρροφήσεως επιτυγχάνουμε μεγαλύτερες παροχές, αφού ταυτόχρονα αντιμετωπίζονται και ορισμένα προβλήματα με κυριότερο το πρόβλημα της αξονικής ωθήσεως.

Στις αντλίες απλής αναρροφήσεως υπάρχει σημαντική διαφορά πίεσεως μεταξύ του στομίου εισόδου του υγρού και του εσωτερικού του κελύφους. Αποτέλεσμα είναι η εμφάνιση δυνάμεως, η οποία τείνει να μετατοπίσει την περωτή προς την πλευρά της χαμηλότερης πίεσεως (προς την

πλευρά της αναρροφήσεως). Η δύναμη αυτή καλείται αξονική ώθηση και αποτελεί σημαντικό αίτιο φθοράς των τριβέων, στους οποίους στηρίζεται ο άξονας περιστροφής. Για τούτο λαμβάνονται μέτρα για την αντιμετώπισή της. Ένας λόγος προτιμήσεως των αντλιών διπλής αναρροφήσεως είναι και το ότι, αφού το υγρό εισέρχεται και από τις δύο πλευρές τις περωτής, δεν παρουσιάζουν αξονική ώθηση. Όσον αφορά στην κατασκευή των περωτών, έχουμε περωτές ανοιχτού, ημιανοιχτού και κλειστού τύπου. Κατά την λειτουργία αντλιών με περωτές ανοιχτού τύπου, το υγρό ρέει μεταξύ της περιστρεφόμενης περωτής και του κελύφους. Επειδή το κέλυφος είναι ακίνητο, οι τριβές μεταξύ υγρού και τοιχωμάτων είναι αυξημένες. Επίσης, σημαντική ποσότητα υγρού διαρρέει από τα τοιχώματα προς το στόμιο εισόδου. Αποτέλεσμα είναι η μείωση του υδραυλικού και ογκομετρικού βαθμού αποδόσεως των αντλιών με περωτές ανοιχτού τύπου. Στις περωτές ημιανοιχτού τύπου, υπάρχει δίσκος από τη μία πλευρά της περωτής και πάνω του, προς την πλευρά του στομίου εισόδου, είναι προσαρμοσμένα τα περύγια. Οι τριβές και οι εσωτερικές διαρροές παρουσιάζονται μειωμένες. Τέλος, στις περωτές κλειστού τύπου υπάρχουν δίσκοι και από τις δύο πλευρές και ανάμεσα τους είναι τοποθετημένα τα περύγια. Ο δίσκος που βρίσκεται από την πλευρά του στομίου εισόδου, έχει στο κέντρο του οπή για την είσοδο του υγρού, το οποίο ρέει μεταξύ των περυγίων και των δίσκων της περωτής. Έτσι, ελαχιστοποιούνται οι απώλειες, αλλά δημιουργούνται προβλήματα με την άντληση υγρών που περιέχουν αιωρούμενα στερεά και γενικότερα με τον καθαρισμό της περωτής.



Ένα σημαντικό μειονέκτημα των φυγόκεντρων αντλιών αποτελεί η δυσκολία ή και η αδυναμία εκκινήσεως αν δεν είναι πληρωμένες με υγρό (δεν είναι δηλ. αυτοεκκινούμενες). Για αυτό το λόγο, όταν είναι δυνατό, οι φυγόκεντρες αντλίες τοποθετούνται χαμηλότερα από την ελεύθερη επιφάνεια της δεξαμενής αναρροφήσεως. Διαφορετικά, πρέπει να ληφθεί μέριμνα για την ομαλή εκκίνηση της αντλήσεως. Ένα μέτρο είναι η τοποθέτηση ανεπίστροφης βαλβίδας στην αναρρόφηση, ώστε να μην αδειάζει το υγρό αν για κάποιο μικρό χρονικό διάστημα δεν λειτουργεί η αντλία. Πιο αποτελεσματική είναι η παρουσία εξαρτημένης αεραντλίας, η οποία κατά την εκκίνηση, αναρροφά τον αέρα από το σωλήνα αναρροφήσεως και το κέλυφος της αντλίας.

Οι χρήσεις των φυγόκεντρων αντλιών είναι πάρα πολλές. Μπορούμε να πούμε ότι αποτελούν τα κύρια μηχανήματα αντλήσεως. Χρησιμοποιούνται ευρύτατα ως αντλίες πόσιμου νερού, θαλασσινού νερού, πυροσβέσεως, κυκλοφορίας, νερού τροφοδοσίας λεβήτων, συμπυκνώματος, υγρών καυσίμων κ.λπ.. Δεν είναι όμως κατάλληλες για άντληση υγρών πολύ μεγάλου ιξώδους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ

3.1 Χαρακτηριστικά Μεγέθη Αντλίας.

Σε αυτή την παράγραφο παρουσιάζονται τα κύρια μεγέθη που σχετίζονται με την λειτουργία μιας φυγοκεντρικής αντλίας.

3.1.1 Παροχή, V.

Είναι ο όγκος του υγρού που κινεί η αντλία στην μονάδα χρόνου. Συμβολίζεται με το γράμμα V και οι μονάδες μέτρησης της στο μετρικό σύστημα είναι κυβικά μέτρα ανά δευτερόλεπτο (m^3/s). Στην πράξη όμως χρησιμοποιούνται και κυβικά μέτρα ανά ώρα (m^3/h), και λίτρα ανά λεπτό (l/min).

Καθώς όλα τα υγρά είναι ουσιαστικά ασυμπίεστα, η παροχή έχει σταθερή τιμή σε όλα τα σημεία της εγκατάστασης και συνδέεται άμεσα με την ταχύτητα ροής: $V = A * u$, όπου A είναι το εμβαδόν διατομής του αγωγού σε κάποιο σημείο της εγκατάστασης και u είναι η αντίστοιχη ταχύτητα ροής.

3.1.2 Μανομετρικό ύψος αντλίας, $H_{αντλίας}$

Δηλώνει την ολική ενέργεια που προσδίδει η αντλία στο διακινούμενο υγρό. Ουσιαστικά είναι η ενέργεια που παράγει η αντλία ανά μονάδα βάρους του υγρού. Χρησιμοποιώντας φυσικούς όρους, το μανομετρικό ύψος μιας αντλίας είναι το μέγιστο ύψος ενός κατακόρυφου πίδακα υγρού που μπορεί να δημιουργήσει η αντλία. Κατά συνέπεια, έχει μονάδες μήκους και στο μετρικό σύστημα εκφράζεται σε μέτρα (m). Η επιλογή του μανομετρικού ύψους για τον προσδιορισμό της ενέργειας που παράγει μια αντλία βασίζεται στο γεγονός ότι αυτό δεν επηρεάζεται από το χρησιμοποιούμενο υγρό και συγκεκριμένα, από την πυκνότητά του. Έτσι, η ενεργειακή συμπεριφορά της αντλίας εκφρασμένης ως μεταβολή του μανομετρικού ύψους, θα είναι η ίδια για κάθε διακινούμενο υγρό. Αυτό φαίνεται και στην ακόλουθη διαδικασία διατύπωσης μιας έκφρασης για το μανομετρικό ύψος της αντλίας:

Η ολική ενέργεια μιας στοιχειώδους ποσότητας υγρού με μάζα m είναι:

$$\text{Ολική ενέργεια} = pV + \frac{1}{2}mu^2 + mgz$$

p είναι η τοπική στατική πίεση, V είναι ο όγκος της στοιχειώδους ποσότητας, u η ταχύτητα της, z η κατακόρυφη απόστασή της από ένα επίπεδο αναφοράς και g η επιτάχυνση της βαρύτητας. Υπενθυμίζεται ότι ο πρώτος όρος δεξιά της ισότητας δηλώνει την ενέργεια πίεσης που διαθέτει αυτή η στοιχειώδης ποσότητα υγρού, ο δεύτερος όρος την κινητική ενέργεια της και ο τρίτος την δυναμική ενέργεια της. Διαιρώντας όλους τους όρους με το βάρος mg της στοιχειώδους ποσότητας:

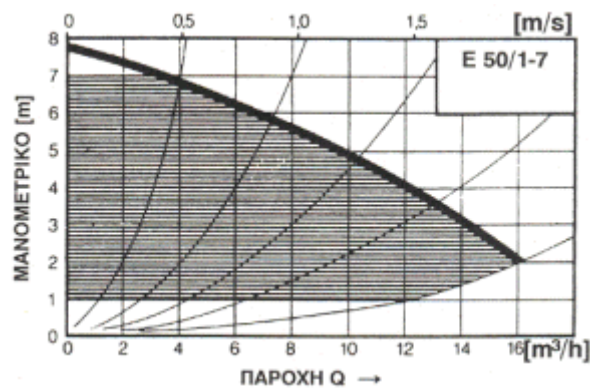
$$\text{Ολική ενέργεια ανά μονάδα βάρους} = \frac{p}{\rho g} + \frac{u^2}{2g} + z$$

Όπου ρ είναι η πυκνότητα του υγρού ($\rho=m/V$). Το μανομετρικό ύψος της αντλίας μπορεί να προσδιοριστεί αφαιρώντας από την ολική ενέργεια ανά μονάδα βάρους του υγρού στην έξοδο της αντλίας, την ολική ενέργεια ανά μονάδα βάρους στην είσοδο. Εφαρμόζοντας την Σχέση στις θέσεις αυτές, χρησιμοποιώντας τους δείκτες [εις] για την είσοδο και [εξ] για την έξοδο, προκύπτει:

$$H_{\text{αντλίας}} = \frac{p_{\text{εξ}}}{\rho g} + \frac{u_{\text{εξ}}^2}{2g} + Z_{\text{εξ}} - \left[\frac{p_{\text{εισ}}}{\rho g} + \frac{u_{\text{εισ}}^2}{2g} + Z_{\text{εισ}} \right]$$

$$H_{\text{αντλίας}} = \frac{p_{\text{εξ}} - p_{\text{εισ}}}{\rho g} + \frac{u_{\text{εξ}}^2 - u_{\text{εισ}}^2}{2g} + (Z_{\text{εξ}} - Z_{\text{εισ}})$$

Χρησιμοποιώντας υγρά με διαφορετική πυκνότητα, οι πιέσεις εξόδου και εισόδου της αντλίας μεταβάλλονται έτσι ώστε οι λόγοι $\frac{p_{\text{εξ}}}{\rho}$ και $\frac{p_{\text{εισ}}}{\rho}$ παραμένουν σταθεροί. Κατά συνέπεια, το μανομετρικό ύψος της αντλίας $H_{\text{αντλίας}}$ είναι ανεξάρτητο του διακινούμενου υγρού.



Στο ανωτέρω σχήμα παρουσιάζεται μια αντιπροσωπευτική καμπύλη μεταβολής του μανομετρικού ύψους αντλίας με την ογκομετρική παροχή, σε σταθερή ταχύτητα λειτουργίας. Υπό αυτές τις συνθήκες, το μανομετρικό ύψος ελαττώνεται συνεχώς καθώς αυξάνεται η παροχή. Η μέγιστη τιμή μανομετρικού ύψους εμφανίζεται σε μηδενική παροχή και κατά συνέπεια, ονομάζεται ύψος μηδενικής παροχής. Αύξηση του αριθμού στροφών της αντλίας προκαλεί μετακίνηση της καμπύλης προς μεγαλύτερες τιμές μανομετρικού ύψους και παροχής, ενώ μείωση του αριθμού στροφών, προκαλεί μετακίνηση της καμπύλης προς χαμηλότερες τιμές.

3.1.3 Ισχύς και βαθμός απόδοσης

Όπως προαναφέρθηκε, η φυγοκεντρική αντλία είναι μια διάταξη η οποία παραλαμβάνει μηχανική ισχύ μέσω του άξονά της ($P_{\alpha\xi}$) και την αποδίδει στο υγρό που διακινεί. Η ισχύς που προσλαμβάνει το υγρό ονομάζεται υδραυλική ισχύς, $P_{υδρ}$ και μπορεί να εκφραστεί χρησιμοποιώντας τον βασικό ορισμό της ισχύος: ισχύς = μεταβολή ολικής ενέργειας ανά μονάδα χρόνου. Έτσι:

$$P_{υδρ} = \frac{(H_{\text{αντλ}} * m * g)}{\Delta t} = \frac{(H_{\text{αντλ}} * \rho * V * g)}{\Delta t} = H_{\text{αντλ}} * \rho * g * \frac{V}{\Delta t} = \rho * g * H_{\text{αντλ}} * V$$

Η μηχανική ισχύς είναι ίση με το γινόμενο της ροπής στρέψης M του άξονα επί την γωνιακή ταχύτητα του ω .

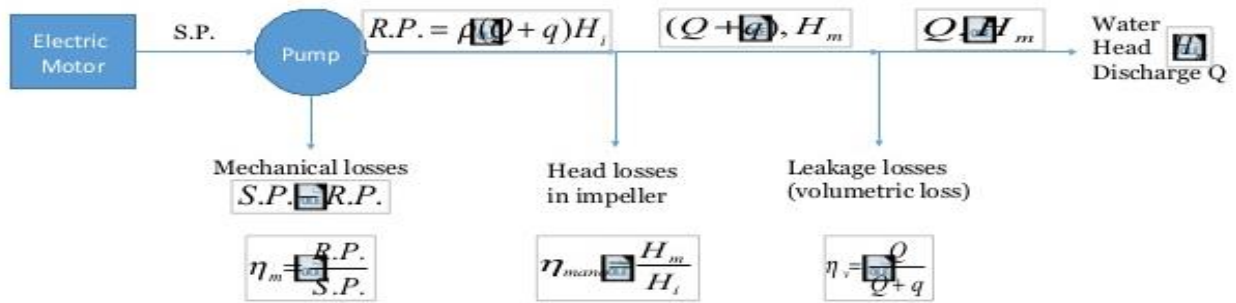
$$P_{\alpha\xi} = M * \omega$$

Η μηχανική αυτή ισχύς προέρχεται από τον ηλεκτροκινητήρα ο οποίος καταναλίσκει ηλεκτρική ισχύ $P_{\eta\lambda}$:

$$P_{\eta\lambda} = V * I$$

Όπου V είναι η τάση σε Volts και I η ένταση σε Ampere του παρεχόμενου ηλεκτρικού ρεύματος.

Η υδραυλική ισχύς είναι πάντοτε μικρότερη της μηχανικής ισχύος λόγω των απωλειών ενέργειας στην αντλία που προέρχονται από τριβές στον άξονα και από τριβές και στροβιλισμούς του υγρού στο στροφείο και τον σπειροειδή θάλαμο.

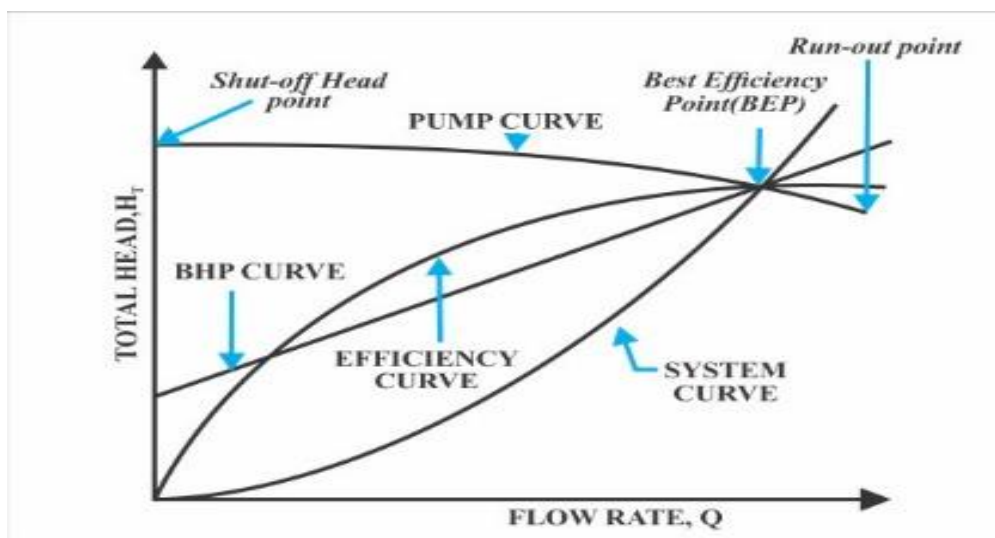


Κατά συνέπεια, ορίζεται ένας υδραυλικός βαθμός απόδοσης $\eta_{\delta\rho}$ της αντλίας, ως εξής:

$$\eta_{\delta\rho} = \frac{P_{\nu\delta\rho}}{P_{\alpha\xi}}$$

Θεωρώντας τον συνδυασμό αντλίας – ηλεκτροκινητήρα ως ενιαίο σύστημα, η παρεχόμενη ισχύς στο σύστημα είναι η ηλεκτρική ισχύς $P_{\eta\lambda}$ και η αποδιδόμενη ισχύς από το σύστημα είναι η υδραυλική ισχύς $P_{\nu\delta\rho}$. Ορίζεται έτσι ένας ολικός βαθμός απόδοσης $\eta_{\text{ολ}}$ του αντλητικού συγκροτήματος ως εξής :

$$\eta_{\text{ολ}} = \frac{P_{\nu\delta\rho}}{P_{\eta\lambda}}$$



Στο ανωτέρω σχήμα απεικονίζεται η καμπύλη μεταβολής της απαιτούμενης μηχανικής ισχύος (BHP curve) για την λειτουργία της αντλίας. Συνήθως, αν η αντλία λειτουργεί σε σταθερές στροφές, αύξηση της ογκομετρικής παροχής προκαλεί αύξηση της απαιτούμενης μηχανικής ισχύος. Ένα σημαντικό στοιχείο του ανωτέρω διαγράμματος είναι το γεγονός ότι και όταν η αντλία λειτουργεί με μηδενική παροχή, ακόμη απαιτείται δαπάνη ενέργειας, δηλαδή παροχή μηχανικής ισχύος στον άξονά της.

Επίσης στο ανωτέρω διάγραμμα βλέπουμε ότι ο βαθμός απόδοσης μιας αντλίας αυξάνεται σταθερά με την παροχή ως μια μέγιστη τιμή. Αν η παροχή αυξηθεί ακόμη περισσότερο, ο βαθμός απόδοσης αρχίζει να μειώνεται, καθώς οι απώλειες λόγω μηχανικών και υδραυλικών τριβών αποκτούν συνεχώς μεγαλύτερη σημασία. Η μέγιστη τιμή του βαθμού αποδόσεως αντλιών μεγάλων διαστάσεων είναι συνήθως αρκετά υψηλός (της τάξεως του 90%). Αντίθετα σε μικρές αντλίες, συνήθως δεν υπερβαίνει το 60%.

3.1.4 Νόμοι ομοιότητας

Όλα τα χαρακτηριστικά μεγέθη μιας αντλίας που παρουσιάστηκαν στην παρούσα παράγραφο, δηλαδή η ογκομετρική παροχή, το μανομετρικό ύψος, η απαιτούμενη μηχανική ισχύς και ο βαθμός απόδοσης, εξαρτώνται άμεσα από την ταχύτητα περιστροφής της αντλίας. Κατά συνέπεια, είναι πολύ σημαντικό να υπάρχει η δυνατότητα προσδιορισμού των μεταβολών των μεγεθών αυτών με την ταχύτητα περιστροφής για αποτελεσματική χρήση της αντλίας σε διάφορες ταχύτητες. Αυτή την δυνατότητα παρέχουν οι ακόλουθες μαθηματικές εκφράσεις όπου το σύμβολο \propto σημαίνει *ανάλογο προς*:

$$V \propto N \qquad H_{\text{αντλίας}} \propto N^2 \qquad P_{\alpha\xi} \propto N^3$$

Οι ανωτέρω σχέσεις μπορούν να εφαρμοστούν είτε στην ίδια αντλία, είτε σε αντλίες διαφορετικού μεγέθους με γεωμετρικά ίδια μορφή, υπό την προϋπόθεση ότι υπάρχει κινηματική ομοιότητα μεταξύ των δύο καταστάσεων λειτουργίας. Δηλαδή μια αλλαγή της ταχύτητας περιστροφής κατά ένα συγκεκριμένο ποσοστό, προκαλεί μεταβολή των ταχυτήτων κατά το ίδιο ποσοστό, διατηρώντας έτσι τις ίδιες διευθύνσεις εφαρμογής. Η ακρίβεια των ανωτέρω σχέσεων είναι ικανοποιητική αν οι αλλαγές της ταχύτητας περιστροφής δεν υπερβαίνουν το 50% των αρχικών τιμών. Επίσης από τις ανωτέρω σχέσεις προκύπτουν οι ακόλουθες εξισώσεις οι οποίες συνδέουν τις τιμές των χαρακτηριστικών μεγεθών της αντλίας σε μια ταχύτητα περιστροφής με τις τιμές των μεγεθών αυτών σε μια διαφορετική ταχύτητα:

$$V_2 = V_1 * \left(\frac{N_2}{N_1}\right)$$

$$H_{\text{αντλ } 2} = H_{\text{αντλ } 1} * \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2$$

$$P_{\alpha\xi 2} = P_{\alpha\xi 1} * \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^3$$

Οι ανωτέρω σχέσεις μπορούν να δημιουργήσουν τις καμπύλες μεταβολής των χαρακτηριστικών μεγεθών σε μια νέα τιμή της ταχύτητας περιστροφής N_2 , χρησιμοποιώντας υπάρχουσες καμπύλες μεταβολής σε μια αρχική ταχύτητα N_1 . Έτσι, θεωρώντας μερικά σημεία των αρχικών καμπυλών και εφαρμόζοντας σε αυτά τις ανωτέρω σχέσεις, προκύπτουν οι τιμές των αντίστοιχων χαρακτηριστικών μεγεθών και της ογκομετρικής παροχής στην νέα ταχύτητα.

3.1.5 Ειδικός αριθμός στροφών

Είναι μια παράμετρος που προσδιορίζει την γεωμετρική ομοιότητα μεταξύ αντλιών και τις κατατάσσει σε κατηγορίες ανάλογα με την μορφή και την λειτουργία τους. Η τιμή της υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$N_s = N * \frac{\sqrt{V}}{H_{αντλ}^{\frac{3}{4}}}$$

N είναι ο αριθμός στροφών της αντλίας ανά λεπτό (rpm). Η ογκομετρική παροχή V (m^3/s) και το μανομετρικό ύψος της αντλίας $H_{αντλίας}$ (σε m) αντιστοιχούν στο σημείο μέγιστου βαθμού απόδοσης. Όπως φαίνεται από τα ανωτέρω, ο ειδικός αριθμός στροφών δεν είναι αδιάστατο μέγεθος, αλλά οι μονάδες του συνήθως παραλείπονται. Η τιμή του είναι αριθμητικά ίση με τον αριθμό στροφών ανά λεπτό ενός γεωμετρικά όμοιου στροφείου αντλίας με κατάλληλες διαστάσεις, ώστε να δημιουργεί παροχή $1 m^3/s$ με μανομετρικό ύψος 1 μέτρο.

Ο ειδικός αριθμός στροφών καταδεικνύει την μορφή και την συμπεριφορά μιας αντλίας. Στις αντλίες ακτινικής ροής, το μανομετρικό ύψος εξόδου δημιουργείται από την επίδραση φυγόκεντρικών δυνάμεων στο υγρό (φυγόκεντρες αντλίες). Επίσης οι φυγόκεντρες αντλίες αναπτύσσουν υψηλές τιμές μανομετρικού ύψους με χαμηλές τιμές παροχής. Η τιμή του ειδικού αριθμού στροφών μιας συγκεκριμένης αντλίας προσδιορίζει την κατηγορία στην οποία εντάσσεται η αντλία. Για παράδειγμα, η χαρακτηριστική τιμή του ειδικού αριθμού στροφών μίας φυγόκεντρης αντλίας (ακτινικής ροής) ισούται με $N_s = 10$.

3.2 Χαρακτηριστικά Μεγέθη Υδραυλικής Εγκατάστασης

Σε αυτή την παράγραφο θα αναφερθούμε στα κύρια μεγέθη που σχετίζονται με την λειτουργία και την επίδοση μιας φυγόκεντρης αντλίας που είναι συνδεδεμένη σε μία υδραυλική εγκατάσταση.

3.2.1 Μανομετρικό Ύψος Εγκατάστασης, $H_{εγκ}$

Κατά τρόπο ανάλογο με το μανομετρικό ύψος αντλίας, το μανομετρικό ύψος της εγκατάστασης δηλώνει την ενέργεια ανά μονάδα βάρους υγρού που απαιτείται για την διακίνηση του υγρού μέσω μιας υδραυλικής εγκατάστασης. Η τιμή του $H_{εγκ}$ εξαρτάται αποκλειστικά από την μορφή

και την σύνθεση της εγκατάστασης και προκύπτει από το άθροισμα των διαφόρων ειδών ενέργειας που απαιτούνται για την κίνηση του υγρού. Τα είδη της απαιτούμενης ενέργειας είναι: α) δυναμική ενέργεια, αν το υγρό κινείται προς υψηλότερα σημεία, β) κινητική ενέργεια, αν το υγρό κινείται σε επιμήκεις σωληνώσεις όπου υφίσταται σημαντικές απώλειες κινητικής ενέργειας λόγω τριβών, γ) ενέργεια πίεσης, αν υπάρχουν εξαρτήματα στην υδραυλική εγκατάσταση που προκαλούν σημαντική πτώση πίεσης. Το σύνολο αυτής της απαιτούμενης ενέργειας θα πρέπει να το αποδώσει η αντλία. Κατά συνέπεια, σε μια υδραυλική εγκατάσταση όπου μεταφέρεται υγρό με σταθερές συνθήκες, ισχύει:

$$H_{αντλ} = H_{εγκ}$$

3.2.2 Καθαρό Θετικό Ύψος Αναρρόφησης, NPSH (Net Positive Suction Head).

Αυτός ο όρος δηλώνει την διαφορά μεταξύ της απόλυτης πίεσης του υγρού στην εισαγωγή μιας αντλίας και της πίεσης ατμοποίησης του υγρού στην ισχύουσα θερμοκρασία. Στην περίπτωση που η πίεση στην εισαγωγή της αντλίας είναι αρκετά χαμηλή, είναι πιθανό το διακινούμενο υγρό να ατμοποιηθεί και να σχηματιστούν φυσαλίδες οι οποίες μεταφέρονται μέσα στην αντλία. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται σπηλαίωση. Πρώτη επίπτωση αυτού του φαινομένου είναι η σημαντική μείωση της παροχής. Επίσης, όταν οι φυσαλίδες φτάσουν σε περιοχές της αντλίας με υψηλότερη πίεση διασπώνται βίαια, γεγονός που προκαλεί έντονους κραδασμούς που μπορούν να βλάψουν την αντλία, καθώς και τις σωληνώσεις που συνδέονται με αυτήν. Για την αποφυγή της σπηλαίωσης θα πρέπει η πίεση στην εισαγωγή της αντλίας να είναι πάντα μεγαλύτερη της πίεσης ατμοποίησης του υγρού.

Στην συνήθη περίπτωση που μια αντλία αναρροφά υγρό από δεξαμενή, η πίεση στην εισαγωγή της αντλίας $p_{εισαγ}$ καθορίζεται από την πίεση στην επιφάνεια του υγρού $p_{επιφ}$ (ατμοσφαιρική, αν πρόκειται για ανοικτή δεξαμενή), την υψομετρική διαφορά $H_{εισαγ}$ μεταξύ επιφανείας του υγρού και της εισαγωγής της αντλίας και τις απώλειες στον αγωγό αναρρόφησης $H_{απωλ}$.

Σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας της αντλίας (χωρίς σπηλαίωση), το Καθαρό Θετικό Ύψος Αναρρόφησης παίρνει τον χαρακτηρισμό *διαθέσιμο* (NPSHa, a=available) και υπολογίζεται από την σχέση:

$$NPSHa = \text{πίεση στην εισαγωγή της αντλίας } p_{εισαγ} - \text{πίεση ατμοποίησης υγρού } p_{ατμοπ} =$$

$$= \frac{p_{επιφ}}{\rho * g} \pm H_{εισ} - H_{απωλ} - \frac{p_{ατμοπ}}{\rho * g}$$

Όλοι οι όροι της ανωτέρω σχέσης είναι εκφρασμένοι σαν ύψη στήλης υγρού. Η υψομετρική διαφορά $H_{εισαγ}$ είναι θετική αν η αντλία βρίσκεται πιο χαμηλά από την επιφάνεια του υγρού και αρνητική, αν βρίσκεται πιο υψηλά.

Αν η πίεση στην εισαγωγή της αντλίας μειωθεί τόσο ώστε να εμφανιστεί σπηλαίωση, το Καθαρό Θετικό Ύψος Αναρρόφησης παίρνει τον χαρακτηρισμό *απαιτούμενο* (NPSHr, required).

Αυτή η συγκεκριμένη τιμή αποτελεί το κριτήριο εμφάνισης σπηλαίωσης. Δηλαδή, η απαραίτητη συνθήκη για την αποφυγή σπηλαίωσης είναι:

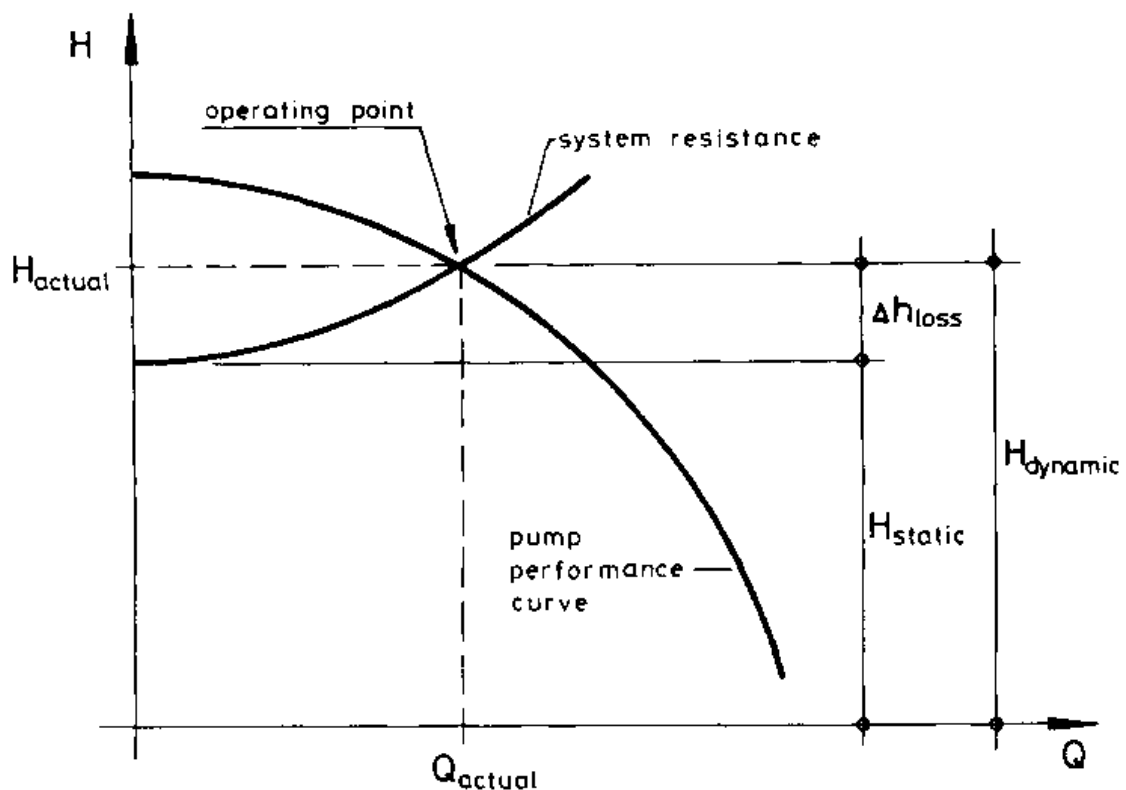
$$NPSHa > NPSHr$$

Λόγω της μεγάλης σημασίας αυτού του φαινομένου, η τιμή του $NPSHr$ προσδιορίζεται από τον κατασκευαστή και συνοδεύει κάθε μοντέλο αντλίας.

3.2.3 Διάγραμμα Λειτουργίας Αντλίας σε Υδραυλική Εγκατάσταση – Σημείο Λειτουργίας.

Μια αντλία μπορεί να λειτουργεί σε διάφορους συνδυασμούς τιμών μανομετρικού ύψους και ογκομετρικής παροχής. Το συγκεκριμένο σημείο της καμπύλης αυτής που προσδιορίζει τις τιμές μανομετρικού ύψους και παροχής της αντλίας σε μια δεδομένη εφαρμογή, είναι το σημείο λειτουργίας της αντλίας. Αν το σημείο αυτό είναι γνωστό, τότε η απαιτούμενη μηχανική ισχύ, ο βαθμός απόδοσης και το απαιτούμενο Καθαρό Θετικό Ύψος Αναρρόφησης μπορούν να προσδιοριστούν από τα αντίστοιχα διαγράμματα.

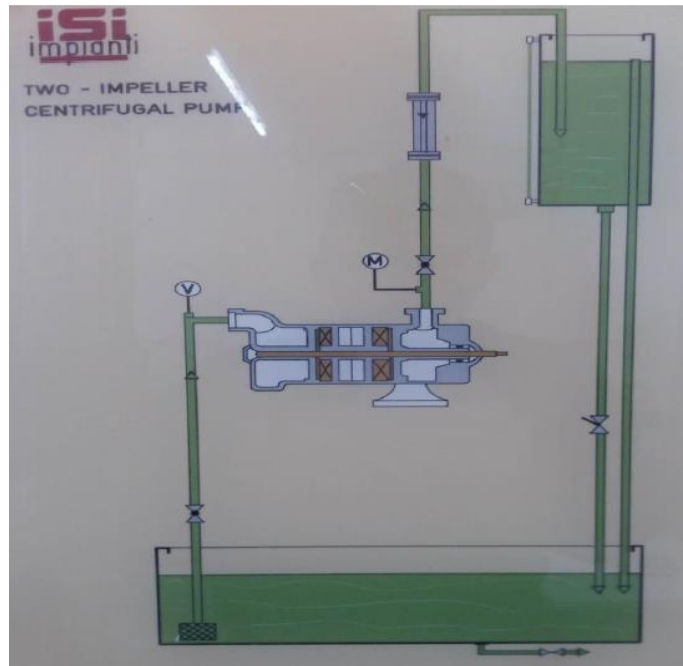
Το σημείο λειτουργίας μπορεί να προσδιοριστεί μετά από διερεύνηση των ενεργειακών απαιτήσεων της υδραυλικής εγκατάστασης, δηλαδή την δημιουργία μιας καμπύλης μεταβολής του μανομετρικού ύψους εγκατάστασης με ογκομετρική παροχή. Το σημείο λειτουργίας της αντλίας είναι το σημείο τομής αυτής της καμπύλης με την καμπύλη $H_{αντλ} - V$, ώστε να ικανοποιείται η σχέση $H_{αντλ} = H_{εγκ}$. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται ένα παράδειγμα των ανωτέρω:



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

4.1 Περιγραφή Υδραυλικής Εγκατάστασης

Η υδραυλική εγκατάσταση είναι ένα σύνολο 2 δεξαμενών (μία αναρροφήσεως και μία καταθλίψεως), μίας διβάθμιας φυγοκεντρικής αντλίας με ηλεκτρικό κινητήρα και πίνακα ελέγχου, ροόμετρου καθώς και σωληνώσεων με τα απαραίτητα επιστόμια και εξαρτήματα.



Εικόνα 4.1.α Υδραυλική Εγκατάσταση Πειράματος

Η διβάθμια αντλία είναι η καρδιά της εγκατάστασης και το κύριο σημείο εξέτασης του πειράματος αυτού. Η αντλία είναι άμεσα συνδεδεμένη μέσω άξονα με τον ηλεκτρικό κινητήρα συνεχούς ρεύματος, ο οποίος τροφοδοτείται με εναλλασσόμενο ρεύμα και μία διάταξη ανορθωτών μετατρέπει το εναλλασσόμενο σε συνεχές. Ο κινητήρας σύμφωνα με τον κατασκευαστή του, μας δίνει στον άξονα του ισχύ 1000 Watt, με ονομαστική τάση και ένταση, 220 Volt και 5,7 Ampere αντίστοιχα, και ονομαστικές στροφές λειτουργίας στις 1500 rpm.



Εικόνα 4.1.β Κινητήρας και διβάθμια αντλία

Ο πίνακας ελέγχου του κινητήρα αποτελείται από έναν διακόπτη ON/OFF, Βολτόμετρο και Αμπερόμετρο, Στροφόμετρο καθώς και έναν ροοστάτη για τον έλεγχο των στροφών.



Εικόνα 4.1.γ Διάταξη δεξαμενών,σωληνώσεων,αντλίας,εξαρτημάτων εγκατάστασης

Η κάτω δεξαμενή είναι η δεξαμενή αναρροφήσεως απ' όπου αναρροφά η αντλία. Στον σωλήνα αναρροφήσεως,πριν την αναρρόφηση της αντλίας είναι τοποθετημένο επιστόμιο και κενόμετρο. Στην εξαγωγή της αντλίας είναι τοποθετημένο μανόμετρο και επιστόμιο. Μετά από το μανόμετρο είναι τοποθετημένο το ροόμετρο για την παρακολούθηση της παροχής. Στην εγκατάσταση υπάρχει ακόμα επιστόμιο αποστράγγισης της δεξαμενής καταθλίψεως καθώς και επιστόμιο αποστράγγισης όλης της εγκατάστασης.



Εικόνα 4.1.δ Πίνακας ελέγχου εγκατάστασης

4.2 Πείραμα Πρώτο: Χαρακτηριστικά Μεγέθη Αντλίας

4.2.1 Διεξαγωγή πειράματος

1. Προϋποθέσεις: η δεξαμενή αναρρόφησης πλήρη, το επιστόμιο αναρρόφησης τελείως ανοικτό και το επιστόμιο της καταθλίψεως τελείως κλειστό.
2. Ανοίγουμε τον γενικό διακόπτη της εγκατάστασης και τον διακόπτη παρόχης ρεύματος στον κινητήρα. Γυρίζουμε τον ροοστάτη έως ότου δούμε την απαιτούμενες στροφές για την διεξαγωγή του πειράματος.
3. Καταγραφή των ενδείξεων των μανομέτρων της αναρρόφησης και κατάθλιψης ($p_{αναρ}$ και $p_{κατ}$ αντίστοιχα). Καταγραφή των ενδείξεων του βολτόμετρου και του αμπερόμετρου.
4. Ανοίγουμε το επιστόμιο της κατάθλιψης σε στάδια με καταγραφή των μετρήσεων στον πίνακα, έως ότου το επιστόμιο ανοίξει τελείως.
5. Κλείνουμε το επιστόμιο καταθλίψεως και ρυθμίζουμε την ταχύτητα σε νέα τιμή και επαναλαμβάνουμε τα βήματα 3 και 4.
6. Αφού ολοκληρωθούν οι μετρήσεις, κλείνουμε το επιστόμιο καταθλίψεως, σταματάμε τον κινητήρα από τον ροοστάτη και κλείνουμε τον γενικό διακόπτη ρεύματος.

Αφότου συμπληρωθούν οι πίνακες δεδομένων του πειράματος, πρέπει να σχεδιαστούν βάσει των πινάκων, τα διαγράμματα που αφορούν το πείραμα αυτό.

4.2.1.α Υπολογισμοί Χαρακτηριστικών Μεγεθών

1. Υπολογισμός μέσης ταχύτητας ροής στον αγωγό αναρρόφησης και στον αγωγό κατάθλιψης από τις ακόλουθες σχέσεις: $u_{αναρ} = \frac{V_{πρ}}{A_{αναρ}}$, $u_{κατ} = \frac{V_{πρ}}{A_{κατ}}$ (Α τα εμβαδά διατομής των αγωγών αναρρόφησης και κατάθλιψης)
2. Υπολογισμός του μανομετρικού ύψους της αντλίας $H_{αντλ}$ από την σχέση:

$$H_{αντλ} = \frac{p_{κατ} - p_{αναρ}}{\rho g} + \frac{u_{κατ}^2 - u_{αναρ}^2}{2g} + \Delta h$$

3. Υπολογισμός υδραυλικής και ηλεκτρικής ισχύς από τις σχέσεις:

$$P_{υδρ} = \frac{(H_{αντλ} * m * g)}{\Delta t} = \frac{(H_{αντλ} * \rho * V * g)}{\Delta t} = H_{αντλ} * \rho * g * \frac{V}{\Delta t} = \rho * g * H_{αντλ} * V$$

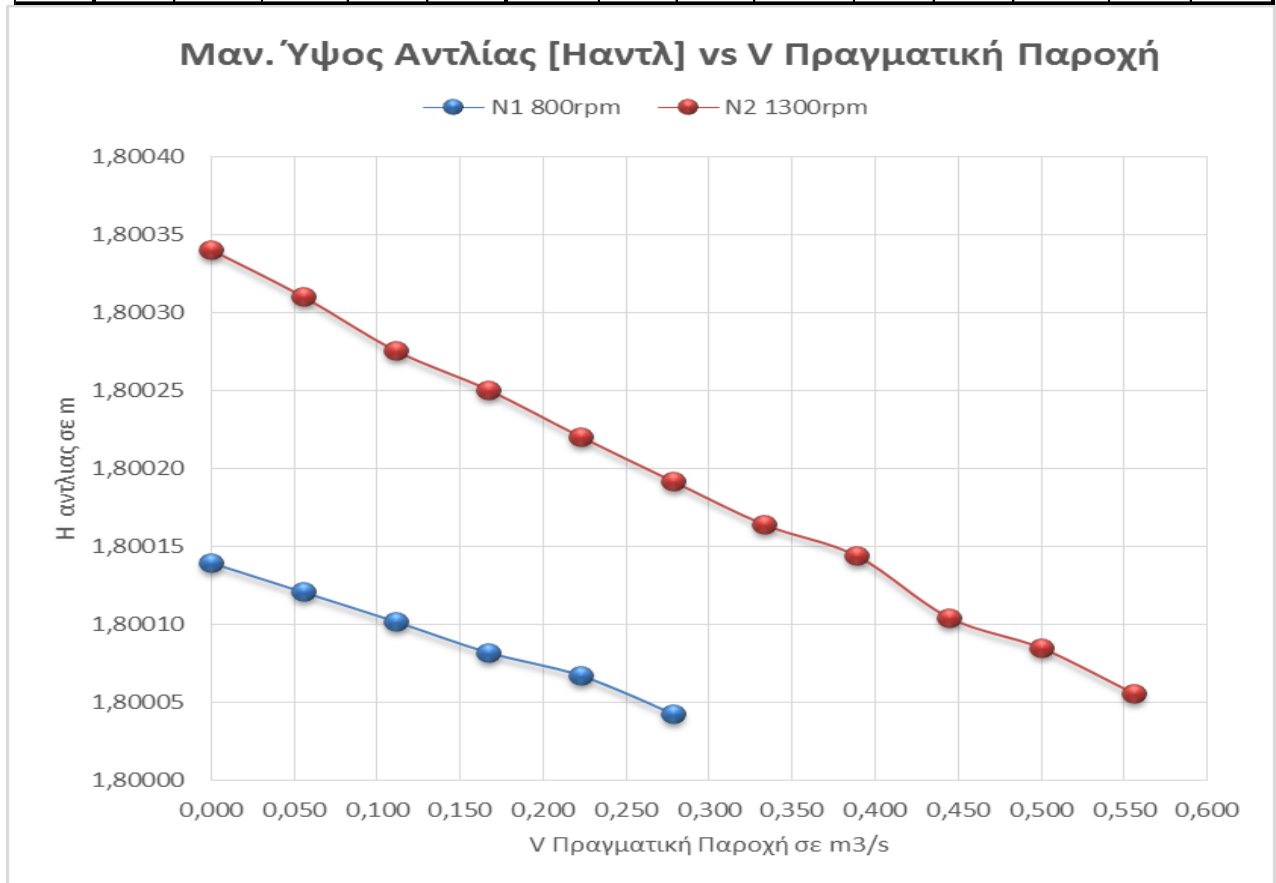
$$P_{ηλ} = V * I$$

4. Υπολογισμός υδραυλικού βαθμού απόδοσης και του ολικού βαθμού απόδοσης από τις σχέσεις: $\eta_{υδρ} = \frac{P_{υδρ}}{P_{αξ}}$ και $\eta_{ολ} = \frac{P_{υδρ}}{P_{ηλ}}$

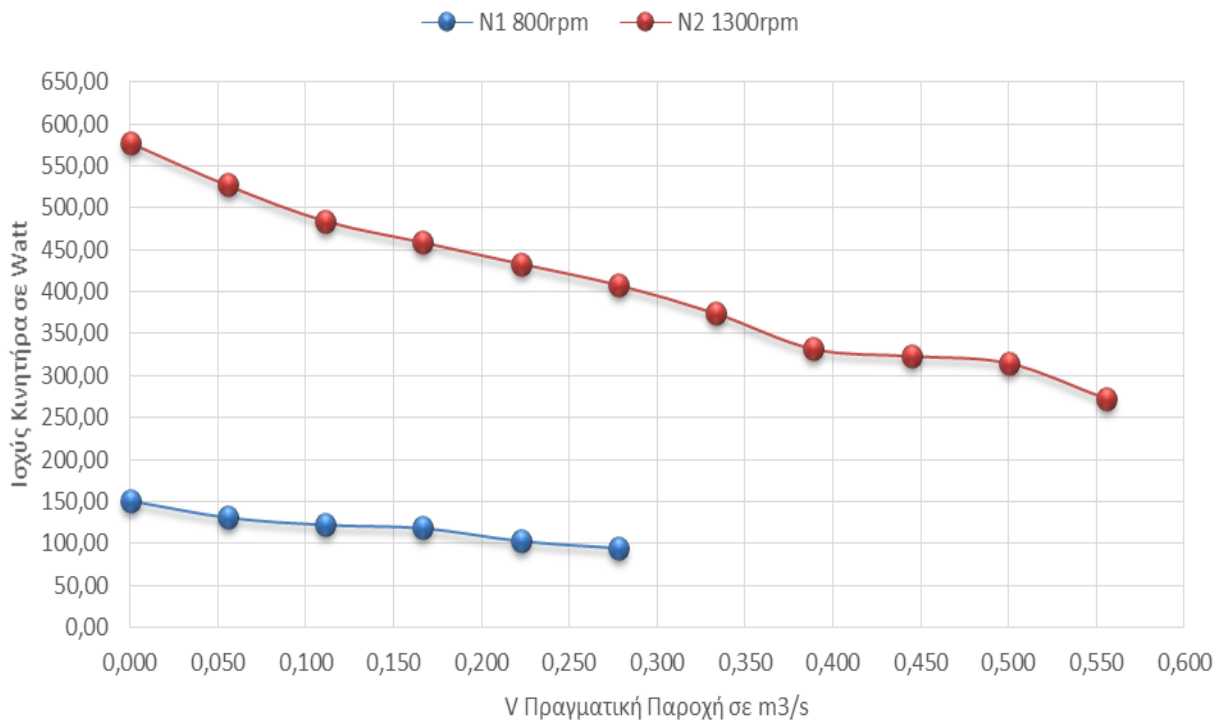
4.2.1.β Προσδιορισμός των γενικών χαρακτηριστικών μεγεθών της αντλίας

Πίνακας 4.2.1.A

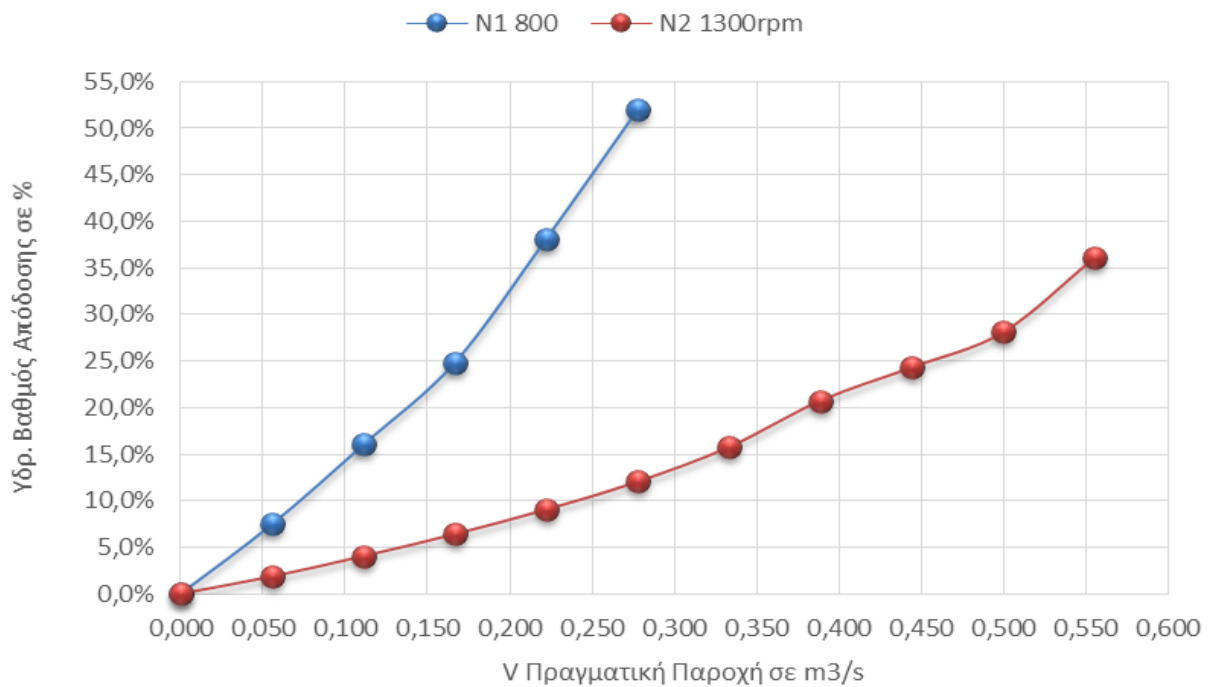
	$V_{ενδ}$ [m ³ /h]	$P_{αναρ}$ [bar]	$P_{κατ}$ [bar]	V [Volt]	I [Amp]	$V_{πρ} \times 10^3$ [m ³ /s]	$u_{αναρ}$ [m/s]	$u_{κατ}$ [m/s]	$H_{αντλ}$ [m]	$P_{υδρ}$ [W]	$P_{αξ}$ [W]	$P_{ηλ}$ [W]	$\eta_{υδρ}$ [%]	$\eta_{ολ}$ [%]
N1 = 800 rpm	0	-0,098	1,275	101	1,5	0,000	0,00	0,00	1,80014	0	151	151,50	0,0%	0,0%
	0,2	-0,108	1,079	101	1,3	0,056	0,07	0,07	1,80012	9,8	131,3	131,30	7,5%	7,5%
	0,4	-0,118	0,883	102	1,2	0,111	0,14	0,14	1,80010	19,6	122,4	122,40	16,0%	16,0%
	0,6	-0,119	0,686	103	1,15	0,167	0,21	0,21	1,80008	29,4	118,5	118,45	24,8%	24,8%
	0,8	-0,120	0,539	103	1	0,222	0,28	0,28	1,80007	39,24	103	103,00	38,1%	38,1%
	1	-0,123	0,294	105	0,9	0,278	0,35	0,35	1,80004	49,1	94,5	94,50	52,0%	52,0%
N2=1300	0	-0,098	3,236	170	3,4	0,000	0,000	0,000	1,80034	0	578	578,00	0,0%	0,0%
	0,2	-0,098	2,942	170	3,1	0,056	0,070	0,070	1,80031	9,8	527	527,00	1,9%	1,9%
	0,4	-0,103	2,599	170	2,85	0,111	0,140	0,140	1,80028	19,6	484,5	484,50	4,0%	4,0%
	0,6	-0,103	2,354	170	2,7	0,167	0,211	0,211	1,80025	29,4	459	459,00	6,4%	6,4%
	0,8	-0,103	2,059	170	2,55	0,222	0,281	0,281	1,80022	39,2	433,5	433,50	9,0%	9,0%
	1	-0,118	1,765	170	2,4	0,278	0,351	0,351	1,80019	49,1	408	408,00	12,0%	12,0%
	1,2	-0,137	1,471	170	2,2	0,333	0,421	0,421	1,80016	58,9	374	374,00	15,7%	15,7%
	1,4	-0,137	1,275	170	1,95	0,389	0,491	0,491	1,80014	68,7	331,5	331,50	20,7%	20,7%
	1,6	-0,142	0,883	170	1,9	0,444	0,561	0,561	1,80010	78,5	323	323,00	24,3%	24,3%
	1,8	-0,147	0,686	170	1,85	0,500	0,632	0,632	1,80008	88,3	314,5	314,50	28,1%	28,1%
	2	-0,157	0,392	170	1,6	0,556	0,702	0,702	1,80006	98,1	272	272,00	36,1%	36,1%



Ισχύς Κινητήρα [Ρηλ] vs V Πραγματική Παροχή



Υδραυλικός Βαθμός Απόδοσης [ηυδρ] vs V Πραγματική Παροχή



4.2.2 Στο Παράρτημα δίνονται ενδεικτικές τιμές των πειραμάτων.

4.2.3 Στο Παράρτημα δίνεται κενός πίνακας προς διευκόλυνση οποιουδήποτε θέλει να εξετάσει παρόμοια εγκατάσταση.

4.3 Πείραμα Δεύτερο: Χαρακτηριστικά Λειτουργίας Εγκατάστασης

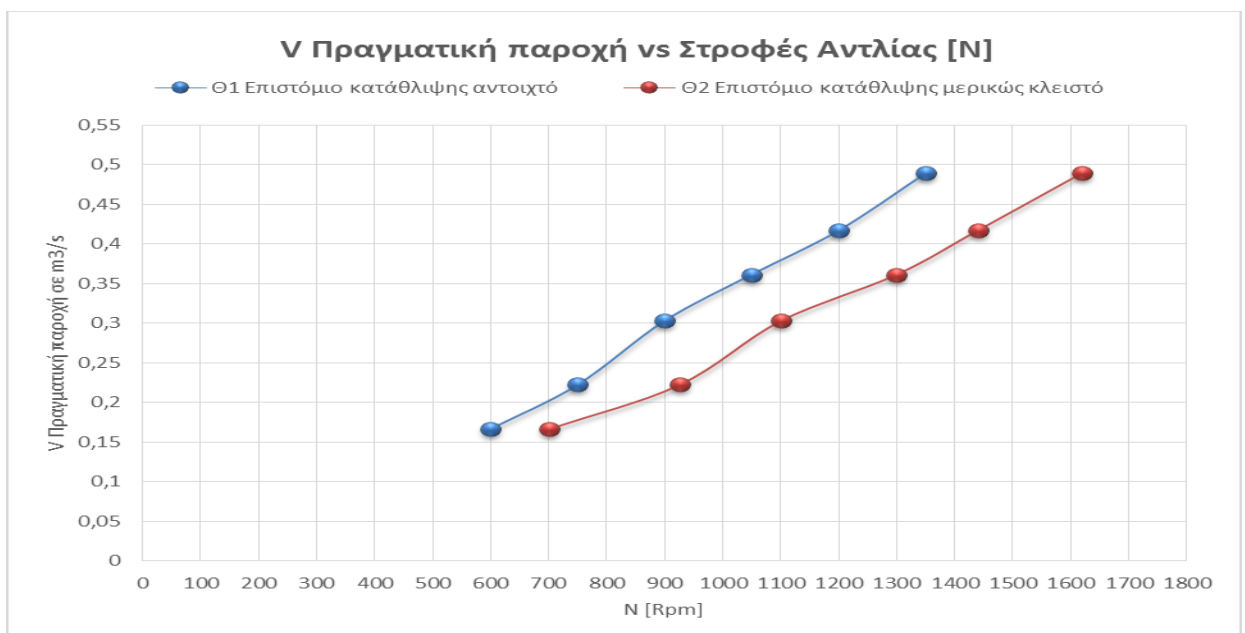
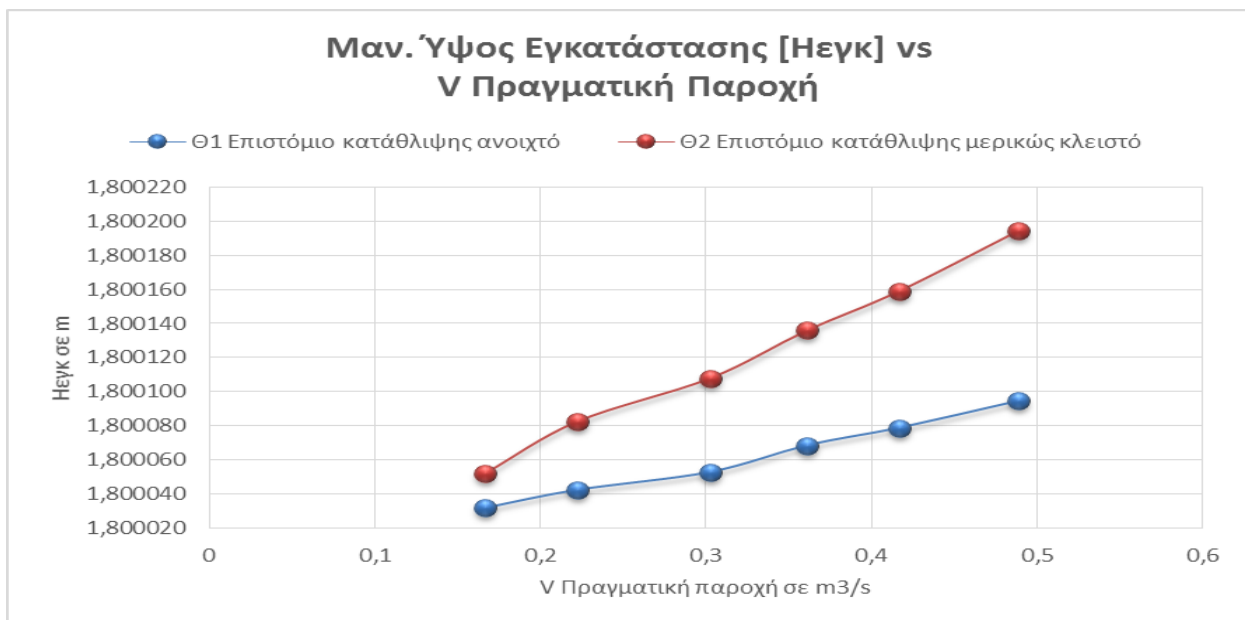
4.3.1 Διεξαγωγή Πειράματος

1. Προϋποθέσεις: Δεξαμενή αναρρόφησης πλήρης, επιστόμιο αγωγού αναρρόφησης τελείως ανοιχτό και επιστόμιο κατάθλιψης τελείως κλειστό.
2. Ανοίγουμε τον γενικό διακόπτη του πίνακα ελέγχου. Γυρνάμε τον ροοστάτη του κινητήρα έως ότου οι στροφές ανέβουν στις 600 στροφές ανά λεπτό. Κατόπιν, ανοίγουμε τελείως το επιστόμιο της κατάθλιψης.
3. Ρυθμίζουμε την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα ώστε η ένδειξη του ροόμετρου να είναι περίπου 600 λίτρα ανα ώρα.
4. Αυξάνουμε την ταχύτητα του κινητήρα κατά 150 στροφές τη φορά ώστε να αυξηθεί η παροχή και σημειώνουμε τις ενδείξεις στον πίνακα. Επαναλαμβάνουμε την διαδικασία μέχρι η ταχύτητα του κινητήρα να πλησιάσει την μέγιστη επιτρεπτή ταχύτητα των 1700 στρ/λεπτό.
5. Μειώνουμε την ταχύτητα στις 600 στρ/λεπτό. Κλείνουμε το επιστόμιο κατάθλιψης κατά το ήμισυ. Επαναλαμβάνουμε τα βήματα 3 και 4.
6. Αφού ολοκληρωθεί η δεύτερη ομάδα μετρήσεων, ρυθμίζουμε την ταχύτητα στις 1000 στροφές/λεπτό και ανοίγουμε τελείως το επιστόμιο κατάθλιψης.
7. Ανοίγουμε τελείως το επιστόμιο αναρρόφησης. Μετράμε και σημειώνουμε στον δεύτερο πίνακα: α) την κατακόρυφη απόσταση Ηεις από την επιφάνεια του νερού στην δεξαμενή αναρρόφησης μέχρι το μέσον της εισαγωγής της αντλίας, β) την θερμοκρασία του νερού στη δεξαμενή, και γ) την ατμοσφαιρική πίεση. Σημειώνουμε επίσης την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα N και την ένδειξη του ροόμετρου Vενδ.
8. Κλείνουμε το επιστόμιο κατάθλιψης, σταματάμε τον κινητήρα και κατεβάζουμε τον διακόπτη ρεύματος του πίνακα ελέγχου.

4.3.2 Αποτελέσματα, Πίνακες και Διαγράμματα

Τέλος, έχουμε τα αποτελέσματα και του δεύτερου πειράματος, απεικονιζόμενα με την χρήση πινάκων και διαγραμμάτων.

Θέση επιστομίου κατάθλιψης Θ1: ανοιχτό						Θέση επιστομίου κατάθλιψης Θ2: μερικώς κλειστό					
N [rpm]	Βενδ [m ³ /h]	ραναρ [bar]	ρκατ [bar]	Βπρ [m ³ /s]	Ηεγκ [m]	N [rpm]	Βενδ [m ³ /h]	ραναρ [bar]	ρκατ [bar]	Βπρ [m ³ /s]	Ηεγκ [m]
600	0,6	-0,118	0,1961	0,1667	1,800032	700	0,6	-0,118	0,392	0,1667	1,800052
750	0,88	-0,123	0,2942	0,2222	1,800042	925	0,88	-0,123	0,686	0,2222	1,800082
900	1,09	-0,127	0,3923	0,3028	1,800053	1100	1,09	-0,127	0,932	0,3028	1,800108
1050	1,3	-0,132	0,5394	0,3611	1,800068	1300	1,3	-0,137	1,196	0,3611	1,800136
1200	1,5	-0,135	0,6374	0,4167	1,800079	1440	1,5	-0,137	1,422	0,4167	1,800159
1350	1,76	-0,142	0,7845	0,4889	1,800094	1620	1,76	-0,142	1,765	0,4889	1,800194



4.3.3 Υπολογισμός απαιτούμενου και διαθέσιμου Καθαρού Θετικού Ύψους Αναρρόφησης (NPSHr & NPSHa)

Για τον προσδιορισμό των μεγεθών NPSHa & NPSHr θα χρησιμοποιήσουμε:

Για τον υπολογισμό του NPSHa, το επιστόμιο της αναρρόφησης είναι τελείως ανοικτό, οπότε οι μόνες απώλειες είναι αυτές που οφείλονται στις τριβές στα τοιχώματα του αγωγού αναρρόφησης. Θεωρώντας ότι το μήκος του αγωγού είναι αρκετά μικρό, οι απώλειες λόγω τριβών λαμβάνονται ως αμελητέες. Άρα $H_{απολ}=0$, και:

$$NPSHa = \frac{p_{ατμ}}{\rho * g} - H_{εισ} - \frac{p_{ατμοπ}}{\rho * g}$$

Για τον υπολογισμό του NPSHr, το αρκετά κλειστό επιστόμιο της αναρρόφησης δημιουργεί μια σημαντική πτώση πίεσης (p_{αναρ}) η οποία μετριέται από το αντίστοιχο μανόμετρο ως προς την ατμοσφαιρική πίεση. Άρα η απόλυτη πίεση στο σημείο του μανομέτρου είναι (p_{ατμ} + p_{αναρ}) και η απόλυτη πίεση στην εισαγωγή της αντλίας p_{εις} είναι:

$$p_{εις} = (p_{ατμ} + p_{αναρ}) - \rho * g * h_{αναρ}$$

Κατα συνέπεια:

$$NPSHr = \frac{p_{ατμ}}{\rho * g} + \frac{p_{αναρ}}{\rho * g} - h_{αναρ} - \frac{p_{ατμοπ}}{\rho * g}$$

p _{ατμ} = 101325 Pa	h _{αναρ} = 0,08m	H _{εισ} = 0,50 m
T _{νερ} = 20 C	p _{ατμοπ} = 2337 Pa	
N= 1000 rpm	V _{ενδ} = 1400 lt/h	p _{αναρ} = -30000 Pa
NPSHa= 9,5905 m		
NPSHr= 6,9524 m		

ΕΠΙΛΟΓΟΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Έχοντας ολοκληρώσει τα πειράματα πάνω στην υδραυλική εγκατάσταση και έχοντας λάβει τις απαραίτητες μετρήσεις με άκρως ικανοποιητικά αποτελέσματα ως προς την μελέτη της εγκατάστασης, συμπεραίνουμε τα παρακάτω:

Όσον αφορά την αντλία:

- Καθώς αυξάνεται η παροχή της αντλίας, το μανομετρικό της ύψος μειώνεται ανάλογα.
- Καθώς αυξάνεται η παροχή ανοίγωντας το επιστόμιο της εξαγωγής, η ισχύς του κινητήρα πέφτει ανάλογα με την παροχή, γιατί το φορτίο του κινητήρα μειώνεται.
- Με την αύξηση της παροχής, έχουμε αύξηση της υδραυλικού βαθμού αποδόσεως. Με μειώμενο το επιστόμιο της κατάθλιψης βλέπουμε πτώση του βαθμού αποδόσεως σε σχέση με το 1^ο σκέλος του πειράματος που ήταν με εντελώς ανοικτό επιστόμιο. Αυτό οφείλεται στο ότι το μερικώς κλειστό επιστόμιο εμποδίζει την σωστή ροή από την έξοδο της αντλίας, με αποτέλεσμα να χρειάζεται περισσότερη ισχύς και στροφές για να επιτευχθεί ίδια παροχή σε σχέση με τέρμα ανοικτό επιστόμιο κατάθλιψης.
- Τελός, έχοντας ελέγξει τα καθαρά θετικά ύψη αναρρόφσεως, συμπαραινουμε ότι η αντλία καλύπτει το απαιτούμενο NPSHr.

Όσον αφορά την εγκατάσταση:

- Με την αύξηση την παροχής, έχουμε ανάλογη αύξηση του μανομετρικού ύψους της εγκατάστασης.
- Με την σταδιακή αύξηση των στροφών της αντλίας, πετυχαίνουμε ανάλογη σταδιακή αύξηση της παροχής.

Μετά το πέρας των πειραμάτων, μπορέσαμε να κατανοήσουμε την λειτουργία της συγκεκριμένης πειραματικής διάταξης.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την Α.Ε.Ν. Μακεδονίας, τον Διευθυντή Σπουδών της Σχολής Μηχανικών και τον καθηγητή μου, οι οποίοι μου έδωσαν την δυνατότητα να εργαστώ και να εκπονήσω πτυχιακή εργασία πάνω σε ένα θέμα μεγάλης σημασίας ως προς το μηχανικό τομέα της ναυτιλίας. Θα θελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον καθηγητή μου για την πολύτιμη βοήθεια του και τις συμβουλές για την πραγματοποίηση των πειραμάτων και της γραπτής εργασίας.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

1. Ενδεικτικές Τιμές 1^{ου} Πειράματος

	$V_{ενδ}$ [m ³ /h]	$p_{αναρ}$ [bar]	$p_{κατ}$ [bar]	V [Volt]	I [Amp]	$V_{πρ} \times 10^{-3}$ [m ³ /s]	$u_{αναρ}$ [m/s]	$u_{κατ}$ [m/s]	$H_{αντλ}$ [m]	$P_{υδρ}$ [W]	$P_{αξ}$ [W]	$P_{ηλ}$ [W]	$\eta_{υδρ}$ [%]	$\eta_{ολ}$ [%]
N1 = 800 rpm	0	-0,098	1,275	101	1,5	0,000	0,00	0,00	1,80014	0	151	151,50	0,0%	0,0%
	0,2	-0,108	1,079	101	1,3	0,056	0,07	0,07	1,80012	9,8	131,3	131,30	7,5%	7,5%
	0,4	-0,118	0,883	102	1,2	0,111	0,14	0,14	1,80010	19,6	122,4	122,40	16,0%	16,0%
	0,6	-0,119	0,686	103	1,15	0,167	0,21	0,21	1,80008	29,4	118,5	118,45	24,8%	24,8%
	0,8	-0,120	0,539	103	1	0,222	0,28	0,28	1,80007	39,24	103	103,00	38,1%	38,1%
	1	-0,123	0,294	105	0,9	0,278	0,35	0,35	1,80004	49,1	94,5	94,50	52,0%	52,0%
N2=1300	0	-0,098	3,236	170	3,4	0,000	0,000	0,000	1,80034	0	578	578,00	0,0%	0,0%
	0,2	-0,098	2,942	170	3,1	0,056	0,070	0,070	1,80031	9,8	527	527,00	1,9%	1,9%
	0,4	-0,103	2,599	170	2,85	0,111	0,140	0,140	1,80028	19,6	484,5	484,50	4,0%	4,0%
	0,6	-0,103	2,354	170	2,7	0,167	0,211	0,211	1,80025	29,4	459	459,00	6,4%	6,4%
	0,8	-0,103	2,059	170	2,55	0,222	0,281	0,281	1,80022	39,2	433,5	433,50	9,0%	9,0%
	1	-0,118	1,765	170	2,4	0,278	0,351	0,351	1,80019	49,1	408	408,00	12,0%	12,0%
	1,2	-0,137	1,471	170	2,2	0,333	0,421	0,421	1,80016	58,9	374	374,00	15,7%	15,7%
	1,4	-0,137	1,275	170	1,95	0,389	0,491	0,491	1,80014	68,7	331,5	331,50	20,7%	20,7%
	1,6	-0,142	0,883	170	1,9	0,444	0,561	0,561	1,80010	78,5	323	323,00	24,3%	24,3%
	1,8	-0,147	0,686	170	1,85	0,500	0,632	0,632	1,80008	88,3	314,5	314,50	28,1%	28,1%
	2	-0,157	0,392	170	1,6	0,556	0,702	0,702	1,80006	98,1	272	272,00	36,1%	36,1%

2. Ενδεικτικές τιμές 2^ο Πειράματος


Θέση επιστομίου κατάθλιψης Θ1: ανοιχτό						Θέση επιστομίου κατάθλιψης Θ2: μερικώς κλειστό					
N [rpm]	Βενδ [m ³ /h]	ραναρ [bar]	ρκατ [bar]	Νπρ [m ³ /s]	Ηεγκ [m]	N [rpm]	Βενδ [m ³ /h]	ραναρ [bar]	ρκατ [bar]	Νπρ [m ³ /s]	Ηεγκ [m]
600	0,6	-0,118	0,1961	0,1667	1,800032	700	0,6	-0,118	0,392	0,1667	1,800052
750	0,88	-0,123	0,2942	0,2222	1,800042	925	0,88	-0,123	0,686	0,2222	1,800082
900	1,09	-0,127	0,3923	0,3028	1,800053	1100	1,09	-0,127	0,932	0,3028	1,800108
1050	1,3	-0,132	0,5394	0,3611	1,800068	1300	1,3	-0,137	1,196	0,3611	1,800136
1200	1,5	-0,135	0,6374	0,4167	1,800079	1440	1,5	-0,137	1,422	0,4167	1,800159
1350	1,76	-0,142	0,7845	0,4889	1,800094	1620	1,76	-0,142	1,765	0,4889	1,800194

Υπολογισμός NPSH_a & NPSH_r

ρατμ= 101325 Pa	h _{αναρ} = 0,08m	Η _{εισ} = 0,50 m
Τνερ= 20 C	ρατμοπ= 2337 Pa	
N= 1000 rpm	Βενδ= 1400 lt/h	ραναρ= -30000 Pa
NPSH _a = 9,5905 m		
NPSH _r = 6,9524 m		

3.Κενοί Πίνακες για διευκόλυνση περαιτέρω πειραμάτων.

1^ο Πείραμα

	Βενδ [m ³ /h]	ραναρ [bar]	ρκατ [bar]	V [Volts]	I [Amps]	Νπρ [m ³ /s]	υαναρ [m/s]	υκατ [m/s]	Ηαντλ [m]	Ρυδρ [W]	Ραξ [W]	Ρηλ [W]	ηυδρ [%]	ηολ [%]
N1=														
N2=														

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Βιβλίο Βοηθητικά Μηχανήματα Πλοίων, ΙΩΑΝΝΗ Κ. ΔΑΓΚΙΝΗ – ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥ Ι. ΓΛΥΚΑ, ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ, ΕΚΔΟΣΗ 2015
2. Βιβλίο Βοηθητικά Μηχανήματα Πλοίων, ΓΕΩΡΓΙΟΥ Φ. ΔΑΝΙΗΛ – ΚΩΝ. ΗΡ. ΜΙΜΗΚΟΠΟΥΛΟΥ, ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ, ΕΚΔΟΣΗ 2006
3. Βιβλίο Μηχανική των Ρευστών, ΝΙΚΟΛΑΟΥ ΠΑΝΤΖΑΛΗ, ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ, ΕΚΔΟΣΗ 2008
4. Google Γενικά περί αντλιών, Υπερσύνδεσμος:
https://www.google.gr/search?q=%CF%86%CF%85%CE%B3%CE%BF%CE%BA%CE%B5%CE%BD%CF%84%CF%81%CE%B9%CE%BA%CE%B5%CF%82+%CE%B1%CE%BD%CF%84%CE%BB%CE%B9%CE%B5%CF%82+%CE%B8%CE%B5%CF%89%CF%81%CE%B9%CE%B1&spell=1&sa=X&ved=0ahUKEwjC36DIn_PWAhUKblAKHfOzDUMQBQgjKAA&biw=1366&bih=648
5. Google Εικόνες Αντλιών, Υπερσύνδεσμος:
https://www.google.gr/search?q=%CF%86%CF%85%CE%B3%CE%BF%CE%BA%CE%B5%CE%BD%CF%84%CF%81%CE%B9%CE%BA%CE%B5%CF%82+%CE%B1%CE%BD%CF%84%CE%BB%CE%B9%CE%B5%CF%82+%CE%B8%CE%B5%CF%89%CF%81%CE%B9%CE%B1&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjX-LbLn_PWAhXSYVAKHcPNAUEQ_AUICigB&biw=1366&bih=648

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ενότητα.....	Σελίδα
Εξώφυλλο.....	1
Εσώφυλλο.....	2
Περίληψη.....	3
Abstract.....	4
Πρόλογος.....	5
Κεφάλαιο 1^ο: Η ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΤΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ	
1.1 Ορισμός.....	6
1.2 Ιστορική Αναδρομή.....	7
1.3 Βασικά θεωρήματα της Μηχανικής των Ρευστών.....	7
Κεφάλαιο 2^ο: ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ	
2.1 Ορισμός και Βασικές Έννοιες.....	12
2.2 Φυγόκεντρες Αντλίες.....	13
Κεφάλαιο 3^ο: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ	
3.1 Χαρακτηριστικά Μεγέθη Αντλίας.....	16
3.1.1 Παροχή.....	16
3.1.2 Μανομετρικό Ύψος Αντλίας.....	16
3.1.3 Ισχύς και Βαθμός Απόδοσης.....	17
3.1.4 Νόμοι Ομοιότητας.....	19
3.1.5 Ειδικός Αριθμός Στροφών.....	20
3.2 Χαρακτηριστικά Μεγέθη Υδραυλικής Εγκατάστασης.....	20
3.2.1 Μανομετρικό Ύψος Εγκατάστασης.....	20
3.2.2 Καθαρό Θετικό Ύψος Αναρρόφησης, NPSH.....	21
3.2.3 Διάγραμμα Λειτουργίας Αντλίας σε Υδραυλική Εγκατάσταση–Σημείο Λειτουργίας.....	22
Κεφάλαιο 4^ο: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ	
4.1 Περιγραφή Υδραυλικής Εγκατάστασης.....	23
4.2 Πείραμα Πρώτο: Χαρακτηριστικά Μεγέθη Αντλίας.....	25
4.2.1 Διεξαγωγή πειράματος.....	25
4.2.1.α Υπολογισμοί Χαρακτηριστικών Μεγεθών.....	25
4.2.1.β Προσδιορισμός των γενικών χαρακτηριστικών μεγεθών της αντλίας.....	26
4.3 Πείραμα Δεύτερο: Χαρακτηριστικά Λειτουργίας Εγκατάστασης.....	28
4.3.1 Διεξαγωγή Πειράματος.....	28
4.3.2 Αποτελέσματα, Πίνακες και Διαγράμματα.....	29

4.3.3 Υπολογισμός απαιτούμενου και διαθέσιμου Καθαρού Θετικού Ύψους Αναρρόφησης.....	30
Επίλογος – Συμπεράσματα.....	31
Ευχαριστίες.....	32
Παράρτημα.....	33
Ενδεικτικές Τιμές 1 ^ο Πειράματος.....	33
Ενδεικτικές τιμές 2 ^ο Πειράματος.....	34
Κενοί Πίνακες για διευκόλυνση περαιτέρω πειραμάτων.....	35
Βιβλιογραφία.....	37