

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΥΔΡΑΝΤΛΙΑΣ



ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ: ΠΕΡΓΑΝΤΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ
ΦΡΟΥΝΤΑΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΠΑΤΡΑ 2020

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την Πτυχιακή Εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Δυτικής Ελλάδας και αναφέρεται στην ανάλυση και μελέτη της πειραματικής διάταξης της φυγοκεντρικής υδραντλίας του εργαστηρίου Ρευστομηχανικής, στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. του ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας. Σκοπός της εργασίας αυτής είναι να γίνει πειραματική μελέτη και ανάλυση των χαρακτηριστικών μεγεθών στην φυγοκεντρική υδραντλία, με στόχο την καταγραφή των αποτελεσμάτων και την σύγκρισή τους.

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τον Επιβλέποντα καθηγητή κύριο Ανδρέα Βούρο, του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. για την πολύτιμη βοήθεια και την καθοδήγηση που μας παρείχε κατά την διάρκεια της εκπόνησης της παρούσης πτυχιακής εργασίας. Τέλος ένα μεγάλο ευχαριστώ στις οικογένειές μας και στους φίλους μας που στάθηκαν δίπλα μας αυτό το διάστημα και φέραμε εις πέρας την εκπόνηση αυτής της εργασίας.

Περγαντής Κωνσταντίνος και Φρούντας Ιωάννης
Φεβρουάριος 2020

Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστών: Οι κάτωθι υπογεγραμμένοι σπουδαστές έχουμε επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνουμε υπεύθυνα ότι είμαστε συγγραφείς αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, αναλαμβάνοντας την ευθύνη επί ολοκλήρου του κειμένου εξ ίσου, έχουμε δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μας όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποιήσαμε και λάβαμε ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνουμε επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχουμε ενσωματώσει στην εργασία μας προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχουμε πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχουμε αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Οι σπουδαστές

(Όνοματεπώνυμο)

(Όνοματεπώνυμο)

.....
(Υπογραφή)

.....
(Υπογραφή)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα Πτυχιακή Εργασία έχει θέμα την μελέτη και ανάλυση της φυγοκεντρικής αντλίας του εργαστηρίου ρευστομηχανικής του ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας. Οι αντλίες αποτελούν ένα από τα σημαντικότερα τμήματα στο μάθημα των ρευστοδυναμικών μηχανών. Για αυτό το λόγο επιλέχθηκε το θέμα της φυγοκεντρικής αντλίας. Γιατί είναι επίσης και το είδος αντλίας με την πιο συχνή εφαρμογή.

Στο πρώτο κεφάλαιο περιγράφεται θεωρία, γύρω από την ρευστομηχανική, τις βασικές έννοιες που διέπουν τις ρευστομηχανικές μηχανές οι οποίες προέρχονται από την μελέτη ρευστομηχανικών φαινομένων και στην συνέχεια δίνεται βάρος στα ρευστοδυναμικά φαινόμενα.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται η εκτενής ταξινόμηση των αντλιών και των στροβίλων και αναφέρονται ορισμοί, νόμοι και οι βασικές έννοιες που είναι απαραίτητες. Επίσης γίνεται η κατατάξή τους ανάλογα με την χρήση τους και τις εφαρμογές τους.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναπτύχθηκαν τα βασικά χαρακτηριστικά που αφορούν τις αντλίες, όπως η χαρακτηριστική καμπύλη λειτουργίας, ο βαθμός απόδοσης και άλλα σημαντικά στοιχεία που χρειάζονται όχι μόνο στην σχεδίαση και την κατασκευή, αλλά και στην εγκατάσταση των αντλιών.

Στο τέταρτο Κεφάλαιο παρουσιάζεται η φυγοκεντρική υδραντλία που ανήκει στο εργαστήριο Ρευστομηχανικής του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. του ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας (νυν Τμήμα Μηχανολόγων, της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου), τα βασικότερα μέρη της αντλίας καθώς και τα εξαρτήματα. Επίσης σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα βασικά χαρακτηριστικά της υπό μελέτη αντλίας, στην πειραματική διάταξη και στην πειραματική διαδικασία.

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται η μελέτη και ανάλυση με πείραμα των βασικών χαρακτηριστικών της φυγοκεντρικής υδραντλίας

Στο έκτο Κεφάλαιο αναλύονται τα αποτελέσματα των πειραμάτων και σχολιασμοί επί των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων της φυγοκεντρικής υδραντλίας.

Για την θεωρητική προσέγγιση και την ταξινόμηση των ρευστοδυναμικών μηχανών, καθώς και και την ανάλυση της φυγοκεντρικής υδραντλίας έχει χρησιμοποιηθεί βιβλιογραφία κυρίως από το βιβλίο «Ρευστοδυναμικές Μηχανές – Σχεδιασμός. Επιλογή, Εγκαταστάσεις» του Καθηγητή Δημήτρη Παπανίκα, από το βιβλίο «Ρευστοδυναμικές Μηχανές» των Καθηγητών Θεόδωρου Τσιρίκογλου και Μιχαήλ Βλαχογιάννη, και εκπαιδευτικό υλικό από το εργαστήριο Ρευστομηχανικής του

Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. του ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας (νυν Τμήμα
Μηχανολόγων, της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου)

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ..... IX

1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΣΤΙΣ ΡΕΥΣΤΟΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ 1

1.1.	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ.....	1
1.1.1.	<i>Ιδιότητες και μεγέθη των ρευστοδυναμικών μηχανών</i>	1
1.1.2.	<i>Ροϊκά Φαινόμενα</i>	10
1.1.3.	<i>Ανοιχτό Σύστημα (Όγκος Ελέγχου)</i>	12
1.2.	ΒΑΣΙΚΟΙ ΝΟΜΟΙ ΤΗΣ ΡΕΥΣΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ	12
1.2.1.	<i>Διατήρηση της Ενέργειας</i>	12
1.2.2.	<i>Νόμος Συνέχειας</i>	15
1.3.	ΡΕΥΣΤΟΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ	15
1.3.1.	<i>Ορισμός των Ρευστοδυναμικών Μηχανών</i>	15
1.3.2.	<i>Αντλίες – Ανεμιστήρες - Συμπιεστές</i>	15
1.3.3.	<i>Στρόβιλοι</i>	16
1.4.	ΠΑΡΑΓΩΓΗ, ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ, ΑΞΙΟΤΤΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΡΕΥΣΤΟΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ	16

2. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΙ ΕΙΔΗ ΤΩΝ ΡΕΥΣΤΟΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ 19

2.1.	ΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ (ROTODYNAMIC PUMPS).....	19
2.1.1.	<i>Ανάλυση Δυναμικών Αντλιών</i>	19
2.1.2.	<i>Κατηγορίες Δυναμικών Αντλιών</i>	21
2.2.	ΕΙΔΗ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ	24
2.2.1.	<i>Με βάση το σχεδιασμό του περιβλήματος:</i>	24
2.2.2.	<i>Με βάση τον τύπο της πτερωτής:</i>	26
2.2.3.	<i>Με βάση τον αριθμό των εισόδων</i>	28
2.2.4.	<i>Με βάση τον αριθμό των πτερωτών:</i>	29
2.2.5.	<i>Με βάση τον τρόπο τοποθέτησης</i>	30
2.3.	ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΤΙΚΗΣ ΕΚΤΟΠΙΣΗΣ (POSITIVE DISPLACEMENT PUMPS)	32
2.3.1.	<i>Ανάλυση Αντλιών Θετικής Εκτόπισης</i>	32
2.3.2.	<i>Παλινδρομικές αντλίες (Reciprocating pumps)</i>	32
2.3.3.	<i>Παλινδρομικές Αντλίες απλής ενέργειας</i>	33
2.3.4.	<i>Παλινδρομικές Αντλίες διπλής ενέργειας</i>	37
2.3.5.	<i>Περιστροφικές αντλίες (Rotary pumps)</i>	38
2.4.	ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΕΣ - ΣΥΜΠΙΕΣΤΕΣ.....	40
2.4.1.	<i>Ανάλυση Ανεμιστήρων</i>	40
2.4.2.	<i>Φυγοκεντρικοί ανεμιστήρες – συμπιεστές</i>	41
2.4.3.	<i>Αξονικοί ανεμιστήρες - συμπιεστές</i>	41
2.4.4.	<i>Αεροσυμπιεστής</i>	42
2.5.	ΣΤΡΟΒΙΛΟΙ	43

2.5.1.	<i>Ανάλυση Στροβίλων</i>	43
2.5.2.	<i>Ταξινόμηση ανάλογα με το εργαζόμενο ρευστό</i>	43
2.5.3.	<i>Ταξινόμηση ανάλογα με την κατεύθυνση της ροής του ρευστού</i>	47
3.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΑΝΤΛΙΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟΔΟΣΗ	49
3.1.	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΑΝΤΛΙΩΝ – ΣΥΜΠΙΕΣΤΩΝ - ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΩΝ	49
3.1.1.	<i>Ύψος αναρροφήσεως, καταθλίψεως και ολικό</i>	49
3.1.2.	<i>Παροχή</i>	50
3.1.3.	<i>Απαιτούμενη ισχύς</i>	50
3.1.4.	<i>Βαθμός αποδόσεως</i>	51
3.2.	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΑΝΤΛΙΩΝ	51
3.2.1.	<i>Χαρακτηριστική Καμπύλη Μανομετρικού – Παροχής</i>	52
3.2.2.	<i>Χαρακτηριστική Καμπύλη Ισχύος – Παροχής</i>	55
3.2.3.	<i>Βέλτιστο Σημείο Λειτουργίας</i>	56
3.3.	ΣΠΗΛΑΙΩΣΗ	57
3.3.1.	<i>Ορισμός Σπηλαίωσης – Συνθήκες Δημιουργίας</i>	57
3.4.	ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΝΤΛΙΩΝ	57
3.5.	ΜΕΡΗ ΤΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ	58
3.5.1.	<i>Τα βασικότερα μέρη μιας αντλίας</i>	58
3.5.2.	<i>Το σώμα της αντλίας</i>	58
3.5.3.	<i>Το τμήμα εισόδου</i>	59
3.5.4.	<i>Το τμήμα εξόδου</i>	60
3.5.5.	<i>Το σπειροειδές κέλυφος</i>	61
3.5.6.	<i>Ο Διαχύτης</i>	62
3.5.7.	<i>Η πτερωτή</i>	63
3.5.8.	<i>Δακτύλιοι φθοράς (wear rings)</i>	63
3.5.9.	<i>Άτρακτος</i>	64
4.	ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΥΔΡΑΝΤΛΙΑΣ	67
4.1.	Η ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΗ ΥΔΡΑΝΤΛΙΑ ΤΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΡΕΥΣΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΤΟΥ ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	67
4.1.1.	<i>Σκοπός της μελέτης</i>	67
4.2.	ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	67
4.3.	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	72
4.3.1.	<i>Πειραματική διάταξη</i>	72
4.3.2.	<i>Προετοιμασία Διάταξης</i>	73
5.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ – ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	75
5.1.	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΑΙ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	75
5.2.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	76
6.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	81

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Έννοια της Αντλίας

Οι αντλίες για την άντληση του νερού επινοήθηκαν πριν από τις κινητήριες μηχανές. Τα βασικά εξαρτήματα των αντλιών αυτών ήταν δοχεία, τα οποία βυθίζονταν μέσα στο νερό και μετά ανυψώνονταν με τη βοήθεια απλών μηχανών. Η επινόηση του ανυψωτικού τροχού πρέπει να θεωρηθεί σαν ένα σημαντικό βήμα προόδου στην άντληση του νερού για άρδευση. Στην περιφέρεια ενός μεγάλου τροχού ήσαν τοποθετημένα δοχεία, που βυθίζονταν στο νερό, γέμιζαν και καθώς ο τροχός περιστρεφόταν, ανερχόταν και άδειαζαν στο αυλάκι αρδεύσεως. Ως ενέργεια για την περιστροφή του τροχού χρησιμοποιήθηκε η ανθρώπινη ή ζωική δύναμη και η δύναμη του ανέμου. Αργότερα ο ανυψωτικός τροχός μετατράπηκε σε αυτοκινούμενο με την προσθήκη πτερυγίων στην περιφέρειά του. Καθώς το νερό των ποταμών έρεε, ωθούσε τα πτερύγια και ο τροχός περιστρεφόταν για την ανύψωση των δοχείων. Άλλες διατάξεις για άντληση του νερού ήταν ο κοχλίας, η αλυσίδα με βύσματα και η χειροκίνητη παλινδρομική αντλία. Εφευρέτης της φυγόκεντρου αντλίας θεωρείται ο Γάλλος Denis Papin, που το 1687 περιέγραψε ένα τύπο αντλίας, της οποίας η αρχή λειτουργίας ήταν η ίδια με τις σημερινές φυγόκεντρους αντλίες. Το 1705 κατασκεύασε ο ίδιος την πρώτη φυγόκεντρο αντλία για άντληση νερού. Αργότερα κατασκευάστηκαν και άλλες φυγόκεντρες αντλίες με μικρές βελτιώσεις, αλλά ο βαθμός αποδόσεως τους ήταν πολύ μικρός. Το 1875 ο Osborne Reynolds κατασκεύασε την πρώτη στροβιλαντλία (turbine pump), που είχε σημαντικά αυξημένη απόδοση.¹

Από το 1840 άρχισαν να χρησιμοποιούνται οι ατμομηχανές για την κίνηση των αντλιών όταν ο H. Worthington κατασκεύασε μια παλινδρομική αντλία, της οποίας το έμβολο ήταν συνδεδεμένο απευθείας με το έμβολο της ατμομηχανής. Νέα ώθηση στην εξέλιξη των αντλιών και την επινόηση νέων τύπων έδωσε η εμφάνιση των κινητήρων εσωτερικής καύσεως. Επίσης οι αεριοστρόβιλοι (steam turbines) και οι ηλεκτροκινητήρες, που δίνουν μεγάλο αριθμό στροφών και σταθερή ροπή, συντέλεσαν στην ταχεία εξέλιξη των φυγόκεντρικών αντλιών και την εκτόπιση των παλινδρομικών, εκτός από τις περιπτώσεις όπου επιζητείται υψηλή πίεση και μικρή παροχή. Παράλληλα αναπτύχθηκαν οι περιστροφικές αντλίες για μικρές παροχές με μέση πίεση ιδίως για υγρά με μεγάλο ιξώδες.²

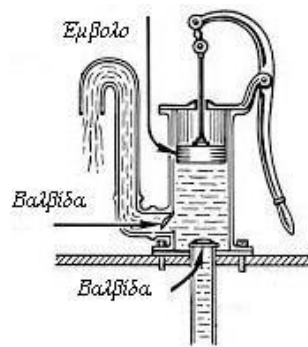
Αντλία και εφαρμογές

Η αντλία είναι μια μηχανή, που χρησιμοποιείται για την ανύψωση ενός ρευστού από μία χαμηλότερη στάθμη σε μία υψηλότερη ή για τη μεταβίβαση ενέργειας στο ρευστό. Στην κατηγορία των ρευστών περιλαμβάνονται τα υγρά και τα αέρια, αν και υπάρχει ή λανθασμένη τάση με τον όρο ρευστά να υπονοούνται μόνο τα υγρά.

Οι ρευστοδυναμικές μηχανές, δηλαδή οι αντλίες (υδραντλίες, ανεμιστήρες, συμπιεστές, παλινδρομικές και περιστροφικές αντλίες θετικής εκτόπισης) και οι στρόβιλοι (υδροστρόβιλοι, ατμοστρόβιλοι, αεριοστρόβιλοι) πήραν τη σημερινή τους μορφή μετά από πολύχρονες προσπάθειες βελτίωσης του σχεδιασμού των. Φυσικά η εξέλιξη είναι δυναμικό φαινόμενο και ο σχεδιασμός συνεχώς βελτιώνεται. Η ανάπτυξη των μηχανών αυτών, όπως άλλωστε όλων των μηχανών, συμβαδίζει με τις ανάγκες της κοινωνίας των ανθρώπων και την ανάπτυξη της τεχνολογίας των υλικών, των μεθόδων κατεργασίας, των εργαλειομηχανών και των μεθόδων προτυποποίησης. Η ανάπτυξη σήμερα μεθόδων τρισδιάστατης εκτύπωσης αντικειμένων ενδιαφέρει ιδιαίτερα την υλοποίηση του πολύπλοκου σχεδιασμού των ρευστοδυναμικών μηχανών.

Ιστορικά η ανάπτυξη αντλητικών μεθόδων επιχειρήθηκε πριν την ανάπτυξη των στροβίλων (υδροστρόβιλοι), αφού η άντληση νερού καλύπτει βασικές ανάγκες ύδρευσης και άρδευσης, που αποτελούν προϋπόθεση επιβίωσης του ανθρώπου. Υπάρχουν ιστορικά στοιχεία, τα οποία καταδεικνύουν ότι η προσπάθεια άντλησης νερού, με πρωτόγονα μέσα, από υπόγεια ή επιφανειακά αποθέματα, άρχισε στην αρχαιότητα. Οι εμβολοφόρες αντλίες χρησιμοποιήθηκαν από τους αρχαίους Αιγυπτίους και Έλληνες, και είχαν μακρόχρονη παρουσία στην καθημερινή ζωή μέχρι να αναπτυχθούν οι περιστροφικές ρευστοδυναμικές μηχανές. Καθώς οι άνθρωποι συγκεντρώνονται σε οργανωμένες κοινωνίες και αυξάνονται αριθμητικά, τα ενεργειακά συστήματα παραγωγής έργου εξελίσσονται, διότι οι ανάγκες βαίνουν συνεχώς αυξανόμενες, και η προσπάθεια αυτή συνεχίζεται μέχρι τη σύγχρονη εποχή. Εδώ τίθεται ο βασικός ορισμός της έννοιας της ενέργειας, που σχετίζεται άμεσα με την παραγωγή έργου. Όταν ένα σύστημα (συγκεκριμένη ποσότητα ύλης) έχει ενέργεια, αυτή μπορεί να αποδοθεί ως έργο (μετατόπιση δυνάμεων).

Οι περιστροφικές ρευστοδυναμικές μηχανές εμφανίζονται τον 17ο αιώνα. Ο Γάλλος εφευρέτης, φυσικός Denis Papin (1674-1714) θεωρείται ο πατέρας των φυγοκεντρικών αντλιών και ανεμιστήρων. Ο ίδιος εφευρέτης κατασκεύασε πρότυπα φυγοκεντρικών αντλιών με περίβλημα και πτερωτές (στροφεία) με δύο ακτινικά πτερύγια, αρχικά, και περισσότερα στη συνέχεια. Οι μηχανές αυτές είχαν σημαντικά λειτουργικά προβλήματα διότι δεν υπήρχε στεγάνωση του εσωτερικού του περιβλήματος και η είσοδος του ατμοσφαιρικού αέρα εμπόδιζε την ανάπτυξη υπερπίεσης στην έξοδο του νερού από το στροφείο. Επίσης, επειδή η ανάπτυξη των κινητήριων μηχανών (ηλεκτροκινητήρες, μηχανές εσωτερικής καύσης) και των εδράνων ολίσθησης έγινε μεταγενέστερα, οι πρώτοι αυτοί σχεδιασμοί πτερωτών δεν μπορούσαν να περιστρέφονται με τις επιθυμητές μεγάλες ταχύτητες περιστροφής. Η προσπάθεια συνεχίζεται πιο έντονα, καθώς παράλληλα αναπτύσσονται και οι κινητήριες μηχανές.



Παλαιά εμβολοφόρος αντλία³

Ο J. Skeys παρουσίασε το 1875 την πρώτη αντλία αξονικής ροής με πτερωτή τύπου έλικα. Το σπειροειδές περίβλημα γύρω από τη φυγοκεντρική πτερωτή εισάγεται αργότερα (περί το 1840) από τον W.D. Andrews. Περί τα τέλη του 19ου αιώνα αρχίζει η βιομηχανική παραγωγή φυγοκεντρικών αντλιών, με την ίδρυση μεγάλων μονάδων κατασκευής ρευστοδυναμικών μηχανών, μερικές από τις οποίες έχουν παρουσία και στη σύγχρονη εποχή⁴.



Παλαιά φυγοκεντρική αντλία. ⁵

Η ιδέα ανάπτυξης στροβίλων δημιουργήθηκε όταν συνειδητοποιήθηκε το μέγεθος της μηχανικής ενέργειας, που είναι αποθηκευμένη στα ρεύματα του νερού και του αέρα. Η εκμετάλλευση της υδραυλικής ενέργειας έχει τις ρίζες της στην αρχαιότητα. Η κατασκευή υδρόμυλων, για το άλεσμα των δημητριακών και την κοπή ξυλείας (υδροπρίονα), ανάγεται στους αρχαίους χρόνους. Κατά τη Ρωμαϊκή εποχή κατασκευάστηκαν για πρώτη φορά υδραυλικοί τροχοί, με τη μορφή περιστρεφόμενης πλήμνης με περιφερειακά πτερύγια, για την κίνηση των υδρόμυλων. Ήταν πλέον γεγονός η εισαγωγή της ενέργειας του νερού στα ενεργειακά ισοζύγια της κοινωνίας των ανθρώπων. Η υδραυλική ενέργεια, όπως και η αιολική, αποτελεί ανανεώσιμο, φθινό και περιβαλλοντικά ουδέτερο ενεργειακό πόρο. Η προσπάθεια σχεδιασμού αποδοτικών υδροτροχών, για την εκμετάλλευση του υδροδυναμικού ενεργειακού πλούτου (υδατοπτώσεις) συνεχίζεται μέχρι και σήμερα. Στην αρχαιότητα ανάγεται, επίσης, η ανάπτυξη των πρώτων τροχών εκμετάλλευσης της ενέργειας του ανέμου (αιολική). Πρωτοπόρος αναφέρεται ο Έλληνας μηχανικός Ήρων από την Αλεξάνδρεια, ο οποίος τον 1ο αιώνα π.Χ. κατασκεύασε «ανεμοτροχό» για την κίνηση μηχανής οδήγησης αρχαίου μουσικού οργάνου. Υπάρχουν ισχυρισμοί ότι και οι αρχαίοι Βαβυλώνιοι, από τον 7ο π.Χ. αιώνα, έκαναν χρήση της αιολικής ενέργειας για αρδευτικούς σκοπούς. Τον 18ο αιώνα, με την ανάπτυξη των ατμομηχανών, εισήλθε το νερό, με τη μορφή υδρατμού υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας, στη συστηματοποιημένη οργάνωση μονάδων παραγωγής μηχανικής ισχύος. Το 1184 δημιουργήθηκε από τον Charles Parsons ο πρώτος λειτουργικός ατμοστρόβιλος. Κατά τον 19ο αιώνα αναπτύχθηκαν και οι σύγχρονες μορφές υδροστροβίλων οι οποίοι παράγουν σημαντική μηχανική ισχύ περιστρέφονται με μεγάλη γωνιακή ταχύτητα $[\omega]$, και, ανάλογα με το μέγεθός τους, έχουν τη δυνατότητα ανάπτυξης μεγάλων ροπών. Ο Αμερικανός Lester Pelton (1829-1908) το 1880 παρουσίασε τον υδροστρόβιλο, που φέρει το όνομά του και χρησιμοποιείται μέχρι σήμερα, για μικρή σχετικά παροχή νερού και υψηλή υδατόπτωση. Ο υδροτροχός Pelton φέρει περιφερειακά διπλά σκαφίδια μέσω των οποίων επιτυγχάνεται σχεδόν πλήρης αναστροφή της δέσμης του νερού, που προσάγεται και προσβάλλει μερικώς την πτερωτή διαμέσου της βελονοειδούς

βαλβίδας ρύθμισης της παροχής. Για την αξιοποίηση υδατοπτώσεων μεσαίου και μικρού ύψους σχεδιάστηκαν υδροτροχοί, οι κυριότεροι των οποίων είναι, αντίστοιχα, ο τροχός Francis στον οποίο το ρευστό προσέρχεται περιφερειακά, προσβάλλοντας ολικά την πτερωτή και εξέρχεται από το κέντρο της, και ο τροχός Kaplan στον οποίο το νερό εισρέει και εκρέει κατά την αξονική διεύθυνση. Οι σύγχρονοι υδροστρόβιλοι επιτυγχάνουν βαθμούς απόδοσης της τάξης του 94%. Σήμερα, παράλληλα με το σχεδιασμό και ανάπτυξη μεγάλων υδροηλεκτρικών έργων, που απαιτούν μεγάλη αρχική επένδυση, ενθαρρύνεται και η εκμετάλλευση μικρών υδατοπτώσεων, με χαμηλό, σχετικά, αρχικό κόστος επένδυσης και τυποποιημένους υδραυλικούς τροχούς.

Ο σχεδιασμός και η κατασκευή των Ρευστοδυναμικών μηχανών είναι μια δύσκολη, επίπονη και πολύπλοκη διαδικασία. Τα ροϊκά φαινόμενα που αναπτύσσονται μέσα στη μηχανή είναι σύνθετα και είναι πολύ δύσκολο να περιγραφούν με ακρίβεια με μαθηματικές εξισώσεις. Ακόμη πιο δύσκολη, ως αδύνατη, είναι η αναλυτική λύση των εξισώσεων για να προσδιορισθούν με ακρίβεια οι παράμετροι της ροής σε κάθε σημείο του ροϊκού πεδίου, για κάθε χρονική στιγμή. Χρησιμοποιούνται αριθμητικές μέθοδοι για την προσεγγιστική επίλυση των εξισώσεων που περιγράφουν τόσο πολύπλοκα φαινόμενα, που πολλές φορές είναι διφασικά, και η αξιοπιστία της επίλυσης συναρτάται με τις δυνατότητες του υπολογιστικού συστήματος. Στην πράξη χρησιμοποιούνται οργανωμένα δοκιμαστήρια ρευστοδυναμικών μηχανών στα οποία μετριοούνται μακροσκοπικές παράμετροι της ροής και προσδιορίζεται το λειτουργικό πεδίο, η ενεργειακή απόδοση, τα επίπεδα του θορύβου και η συμπεριφορά τους, ως προς διάφορα φαινόμενα που παρουσιάζονται σε αυτές (σπηλαίωση, υπερκορεσμός). Χρησιμοποιούνται επίσης αεροσήραγγες υπερηχητικών, ή υποηχητικών ταχυτήτων, για τον έλεγχο της αεροδυναμικής συμπεριφοράς των στοιχείων των ρευστοδυναμικών μηχανών, ή ολόκληρης της μηχανής σε φυσικό μέγεθος, ή σε πρότυπο.

1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΣΤΙΣ ΡΕΥΣΤΟΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ

1.1. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ

1.1.1. Ιδιότητες και μεγέθη των ρευστοδυναμικών μηχανών

Για την θεωρητική προσέγγιση και την ταξινόμηση των ρευστοδυναμικών μηχανών, καθώς και την ανάλυση της φυγοκεντρικής υδραντλίας έχει χρησιμοποιηθεί βιβλιογραφία κυρίως από το βιβλίο «Ρευστοδυναμικές Μηχανές – Σχεδιασμός. Επιλογή, Εγκαταστάσεις» του Καθηγητή Δημήτρη Παπανίκα, από το βιβλίο «Ρευστοδυναμικές Μηχανές» των Καθηγητών Θεόδωρου Τσιρίκογλου και Μιχαήλ Βλαχογιάννη, από το βιβλίο «Ρευστοδυναμικές μηχανές - Στροβιλομηχανές - Υδροδυναμικές μηχανές (Θεωρία και λυμένες ασκήσεις)» του Καθηγητή Απόστολου Πολυζάκη και εκπαιδευτικό υλικό από το εργαστήριο Ρευστομηχανικής του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. του ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας (νυν Τμήμα Μηχανολόγων, της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου)

Καταρχάς παρουσιάζονται τα κυριότερα φυσικά μεγέθη της ρευστομηχανικής, τα οποία χρησιμοποιούνται για τη μελέτη και τη θεωρητική ανάλυση των φαινομένων που επηρεάζουν το σχεδιασμό των ρευστοδυναμικών μηχανών. Γίνεται, επίσης, σύντομη αναφορά στα όργανα μέτρησης αυτών. Για τις μονάδες μέτρησης των φυσικών μεγεθών, χρησιμοποιείται το Διεθνές Σύστημα Μονάδων (SI), αλλά γίνεται αναφορά και σε μονάδες άλλων συστημάτων, κυρίως του Αγγλοσαξονικού, που έχουν ευρύτατη χρησιμοποίηση.

Όλα τα ρευστά, που διαρρέουν ρευστοδυναμικές μηχανές (για αυτό και αποκαλούνται εργαζόμενα ρευστά) υπόκεινται αυστηρά στους νόμους της Ρευστομηχανικής σε ότι αφορά στα ροϊκά φαινόμενα, και της Θερμοδυναμικής και ότι αφορά στα θερμικά φαινόμενα. Φυσικά επειδή ο ένας τομέας συμπληρώνει τον άλλον, παρουσιάζονται συνδυασμένα και λέγονται ρευστοθερμικά φαινόμενα. Δηλώνεται έτσι η ζεύξη της ροϊκής και της θερμικής συμπεριφοράς.

1.1.1.1. Όγκος, Πυκνότητα και ειδικό βάρος

Όγκος ενός υλικού συστήματος ονομάζεται η ποσότητα του χώρου που καταλαμβάνει το σύστημα αυτό, και μετρείται σε κυβικά μέτρα (m^3). Χρησιμοποιείται, επίσης, και το λίτρο (lt) [$1\text{lt}=1000\text{cm}^3=10^{-3}\text{m}^3$]. Τα κυριότερα όργανα μέτρησης όγκου είναι το σιφώνιο, η προχοϊδα, η ογκομετρική φιάλη και ο ογκομετρικός σωλήνας.

Η πυκνότητα ρ είναι ένα μονόμετρο μέγεθος, χαρακτηριστικό για κάθε υλικό, που βρίσκεται σε συγκεκριμένη φυσική κατάσταση (στερεό, υγρό, αέριο) και σε συγκεκριμένες συνθήκες (πίεση, θερμοκρασία) και ορίζεται ως το πηλίκο της μάζας m του υλικού, προς τον όγκο V που αυτή καταλαμβάνει. (kg / m^3).

Ειδικό βάρος γ ενός υλικού ορίζεται ως το πηλίκο του βάρους B του υλικού, προς τον όγκο V που αυτό καταλαμβάνει ή ως το γινόμενο της πυκνότητας επί την επιτάχυνση της βαρύτητας g .



Εικόνα 1.1: Ογκομετρικός σωλήνας και προχοΐδα ⁶

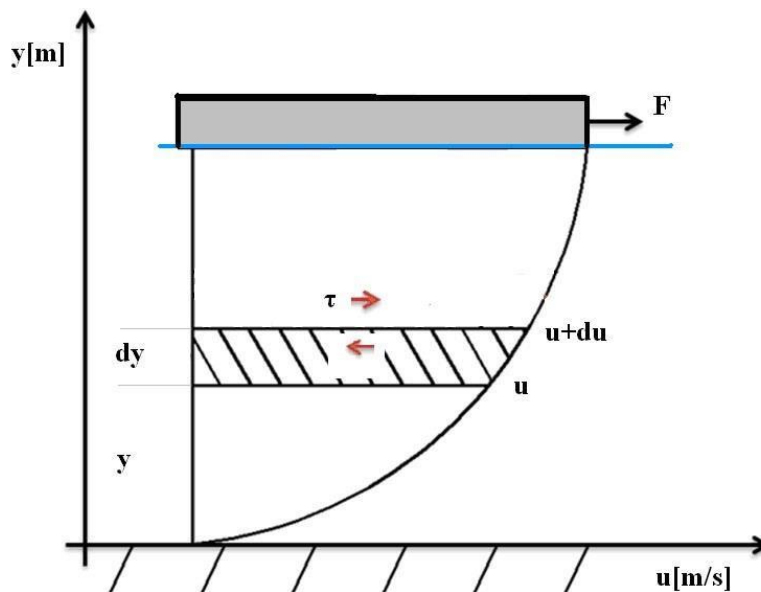
1.1.1.2. Ιξώδες

Η ιδιότητα του ρευστού να αντιστέκεται σε δυνάμεις, που τείνουν να προκαλέσουν τη ροή του, ονομάζεται ιξώδες. Η αντίσταση αυτή οφείλεται στις δυνάμεις συνοχής μεταξύ των μορίων του ρευστού. Το ιξώδες, το οποίο είναι μέτρο αυτής της τριβής, αποτελεί εντατική ιδιότητα του ρευστού που χαρακτηρίζει τη ροή. Το ιξώδες μετρείται με ειδικά όργανα που λέγονται ιξωδόμετρα [Εικόνα 1.2.(α)(β)]. Όταν ένα ρευστό ρέει σε επαφή με στερεό τοίχωμα, η ταχύτητά του είναι μικρότερη κοντά στο τοίχωμα και μηδενίζεται ακριβώς επάνω σε αυτό. Για την κατανόηση του ορισμού του ιξώδους χρησιμοποιείται η εικόνα 1.3. Έστω λοιπόν δυο παράλληλα τοιχώματα μεταξύ των οποίων υπάρχει ρευστό. Στο πάνω τοίχωμα, που είναι δυνατόν να κινείται, ασκείται δύναμη F . Όλα τα στοιχεία του ρευστού που βρίσκονται σε επαφή με το κινούμενο τοίχωμα αποκτούν την ταχύτητα του τοιχώματος, ενώ τα στοιχεία που βρίσκονται σε επαφή με το κάτω τοίχωμα παραμένουν ακίνητα. Μεταξύ των δύο τοιχωμάτων αποκαθίσταται μια κατανομή ταχύτητας, όπως φαίνεται στην εικόνα 1.3.



Εικόνα 1.2.: (α)Γυάλινο ιξωδόμετρο τύπου U ⁷
β)Ηλεκτρονικό περιστροφικό ιξωδόμετρο⁸

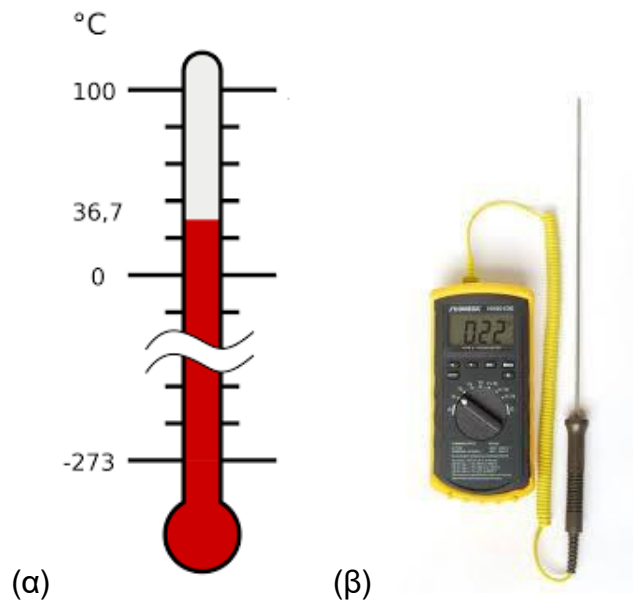
Μεταξύ δυο γειτονικών θέσεων που απέχουν απειροστή απόσταση dy υπάρχει διαφορά ταχύτητας κατά du . Ποσοτικά το ιξώδες, μ ορίζεται ως η διατμητική δύναμη ανα μονάδα επιφάνειας που μεταφέρεται μεταξύ δυο επάλληλων στρωμάτων, που βρίσκονται σε σχετική κίνηση και ανά μονάδα μεταβολής της ταχύτητας ως προς την κάθετη προς τα τοιχώματα διάσταση. Η διατμητική τάση, τ είναι στην ουσία η τάση που αντιστέκεται στη μεταβολή της κινητικής κατάστασης του ρευστού. Το δυναμικό ιξώδες έχει μονάδα μέτρησης τα Pa επί sec ενώ το κινηματικό ιξώδες που είναι ο λόγος του δυναμικού ιξώδους προς την πυκνότητα ρ , έχει μονάδες τα m^2/sec .



Εικόνα 1.3.:Ροή ρευστού σε επαφή με στερεό τοίχωμα

1.1.1.3. Θερμοκρασία και Πίεση

Η θερμοκρασία είναι το επίπεδο της θερμικής ισορροπίας των συστημάτων (ως σύστημα ορίζεται συγκεκριμένη ποσότητα ύλης-μάζας με οριακή επιφάνεια που υπάρχει σε ορισμένο περιβάλλον). Συνδέεται με τη μέση κινητική ενέργεια των σωματιδίων ενός υλικού συστήματος. Πιο απλά είναι το μέτρο που καθορίζει πόσο θερμό ή πόσο ψυχρό είναι ένα σύστημα. Μονάδα μέτρησης της θερμοκρασίας είναι ο βαθμός Kelvin. Μετρητικά όργανα της θερμοκρασίας είναι τα θερμόμετρα (ηλεκτρονικά θερμόμετρα, θερμοζεύγη, θερμόμετρα υδραργύρου ή οινόπνεύματος).



Εικόνα 1.4. Θερμόμετρα⁹

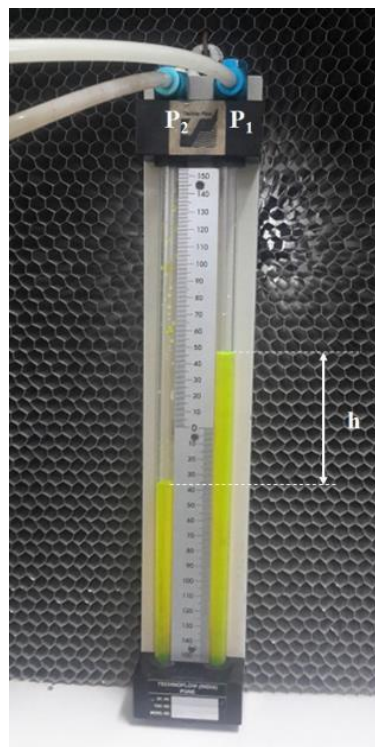
Η πίεση σε ένα σημείο ενός ρευστού ορίζεται ως ο λόγος του μέτρου της κάθετης δύναμης F , που ασκείται σε στοιχειώδη επιφάνεια ΔA , περιβάλλουσα το σημείο με οποιοδήποτε προσανατολισμό, προς το εμβαδόν της επιφάνειας αυτής. Η πίεση αφορά στα ρευστά, και είναι μονόμετρο μέγεθος. Η πίεση μετριέται με ειδικά όργανα τα μανόμετρα και, ειδικά για την ατμοσφαιρική πίεση, χρησιμοποιούνται τα βαρόμετρα. Μονάδα μέτρησης είναι το Pa. Υπάρχουν διαφόρων ειδών μανόμετρα, τα συνηθέστερα εκ των οποίων είναι τα μηχανικά μανόμετρα και τα ψηφιακά ηλεκτρονικά:

Τα μηχανικά μανόμετρα χρησιμοποιούνται ευρύτατα στις εφαρμογές των ρευστοδυναμικών μηχανών. Τα περιβλήματα μάλιστα των αντλιών φέρουν πολλές φορές ειδικές κοχλιώσεις στην είσοδο και στην έξοδο της αντλίας για την τοποθέτηση μηχανικών μανομέτρων και την ανάγνωση των πιέσεων στις θέσεις αυτές. Η διαφορά πίεσης μεταξύ εξόδου και εισόδου μιας αντλίας, είναι καθοριστικός λειτουργικός της παράγων. Όταν η βελόνα του μηχανικού μανομέτρου δείχνει μηδέν, τη στιγμή που επικοινωνεί με την ατμόσφαιρα, τότε αυτό μετρά σχετική πίεση, δηλαδή πόσο μεγαλύτερη ή μικρότερη είναι η μετρούμενη πίεση σχετικά με την ατμοσφαιρική. Όταν δηλαδή ένα μηχανικό μανόμετρο δείχνει, για παράδειγμα, -0.3 bar , τότε η απόλυτη πίεση που μετρά είναι 0.7 bar .



Εικόνα 1.5.:Μηχανικά μανόμετρα μέτρησης της σχετικής πίεσης ¹⁰

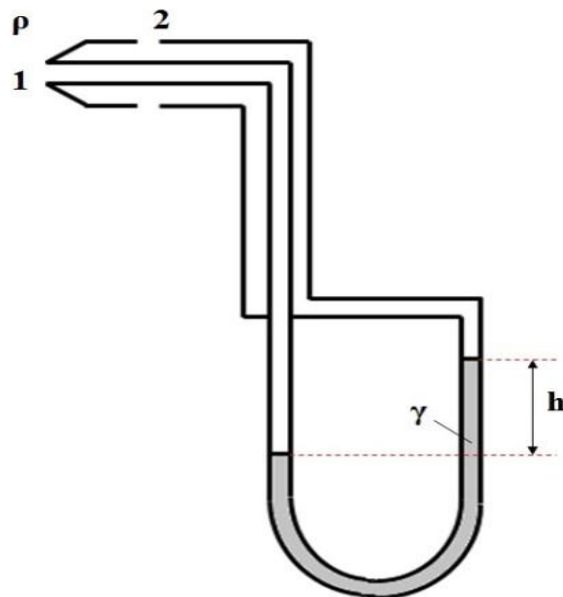
Για τη μέτρηση της διαφοράς των πιέσεων μεταξύ δύο χώρων, χρησιμοποιούνται τα διαφορικά μανόμετρα. Αυτά είναι υοειδείς σωλήνες με κατακόρυφα [Εικόνα 1.6.], (για μεγαλύτερη ευαισθησία) διατομής σωλήνα Α, που περιέχουν ένα μανομετρικό υγρό (συνήθως χρωματισμένο νερό) γνωστής πυκνότητας ρ και ειδικού βάρους γ . Η διαφορά πίεσης μεταξύ των δύο χώρων, με τους οποίους συνδέονται τα δύο σκέλη, ισούται με την υδροστατική πίεση που ασκεί στη βάση της η στήλη h του μανομετρικού υγρού που υπερέχει της στάθμης του άλλου σκέλους.



Εικόνα 1.6.: Διαφορικό μανόμετρο

Ο σωλήνας Pitot είναι ένα αισθητήριο, που σε συνδυασμό με ένα διαφορικό μανόμετρο χρησιμοποιείται για τη μέτρηση ταχύτητας ροής ενός ρευστού. Πρόκειται για μια απλή κατασκευή, η οποία αποτελείται από δύο ομόκεντρους σωλήνες που είναι έτσι διαμορφωμένοι, ώστε να συνδέουν δυο ανεξάρτητες περιοχές της ροής με τα δύο σκέλη ενός διαφορικού μανομέτρου (Εικόνα 1.7). Τοποθετείται, έτσι ώστε η ροή να

είναι παράλληλη με το οριζόντιο τμήμα του σωλήνα, προσερχόμενη προς αυτόν. Στο σημείο ανακοπής 1 του σωλήνα, η ταχύτητα του ρευστού μηδενίζεται (μέγιστη πίεση), ενώ στις οπές 2, του εξωτερικού σωλήνα η ταχύτητα του ρευστού στο σημείο αυτό είναι ίση με την ταχύτητα της ροής. Οι σωλήνες Pitot λόγω της απλής κατασκευής τους, της αρκετά καλής ακρίβειας που επιτυγχάνουν, καθώς, επίσης, και της αξιόπιστης λειτουργίας τους, λόγω απουσίας κινουμένων μερών, χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση ταχύτητας ρευστών σε αγωγούς ή γύρω από σώματα αλλά και για τη μέτρηση της ταχύτητας κίνησης σωμάτων μέσα σε ρευστά.



Εικόνα 1.7.:Ο σωλήνας Pitot

Τα ψηφιακά μανόμετρα στην είσοδο αποτελούνται από έναν αισθητήρα ο οποίος μετατρέπει την πίεση, που δέχεται, σε ανιχνεύσιμη μορφή αναλογικού ηλεκτρικού σήματος. Το ηλεκτρικό σήμα μεταφέρεται, μετά από ειδική ενίσχυση και ψηφιοποίηση, στη συσκευή ανάγνωσης, καταγραφής και βαθμονόμησης, και έτσι, παρέχεται σε οθόνη η ένδειξη της τιμής της πίεσης.



Εικόνα 1.8.: Ηλεκτρονικά μανόμετρα

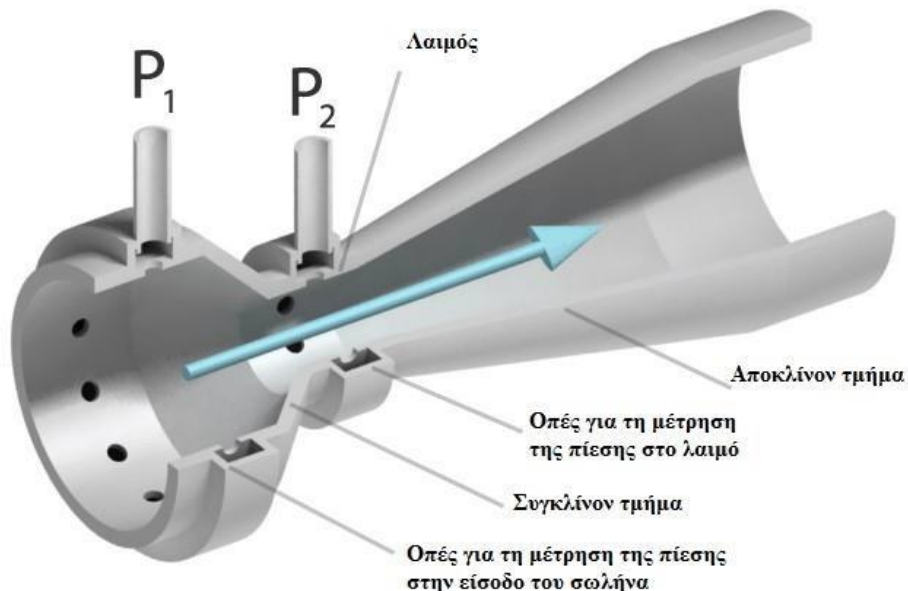
1.1.1.4. Παροχή και Ταχύτητα

Παροχή ονομάζεται ο ρυθμός με τον οποίο διεξάγεται ένα φυσικό φαινόμενο. Στην περίπτωση του φαινομένου της ροής ρευστών, διακρίνεται σε παροχή μάζας και παροχή όγκου. Οι παροχές αυτές καθορίζουν την ποσότητα της μάζας, ή του όγκου, του ρευστού που διέρχεται από ένα σημείο ελέγχου της ροής ανά μονάδα χρόνου. Η παροχή είναι ένα από τα κύρια λειτουργικά χαρακτηριστικά των ρευστοδυναμικών μηχανών.

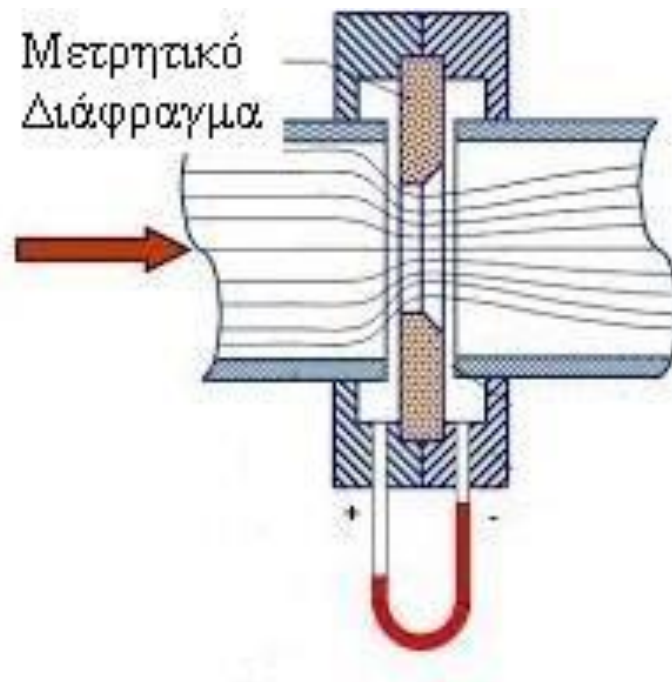
- Παροχή όγκου(Q) διαμέσου μιας ροϊκής επιφάνειας (A) είναι ο όγκος (V) του ρευστού που διαπερνά την επιφάνεια προς τον αντίστοιχο χρόνο (t). Συνεπώς, η ογκομετρική παροχή ορίζεται ως το πηλίκο V/t και έχει μονάδα μέτρησης m^3/sec .
- Παροχή μάζας (\dot{m}) διαμέσου μιας ροϊκής επιφάνειας είναι η μάζα του ρευστού που διαπερνά την επιφάνεια προς τον αντίστοιχο χρόνο, δηλαδή m/t . Μονάδα μέτρησης είναι τα kg/sec .

Χρησιμοποιούνται πολλά είδη οργάνων μέτρησης της παροχής, τα συνηθέστερα εκ των οποίων είναι:

- Μετρητικός σωλήνας Venturi
- Μετρητικό διάφραγμα
- Διαφόρων τύπων ροόμετρα



Εικόνα 1.9.: Σωλήνας Venturi ¹¹



Εικόνα 1.10.: Μετρητικό πλακίδιο(διάφραγμα)¹²



Εικόνα 1.11. :Ροόμετρο με πλωτήρα¹³,



Εικόνα 1.12.: Μηχανικό ροόμετρο νερού ¹⁴

Ταχύτητα ενός ροϊκού στοιχείου ονομάζεται ο ρυθμός μεταβολής της θέσης του στοιχείου αυτού ως προς το χρόνο, όπως αυτή μετριέται σε ένα δεδομένο σύστημα συντεταγμένων. Στην κινηματική η ταχύτητα είναι διανυσματικό μέγεθος, δηλαδή χαρακτηρίζεται τόσο από το μέτρο (μέγεθος) της, όσο και από τη διεύθυνση και τη φορά της. Διακρίνεται σε μέση ταχύτητα και σε στιγμιαία ταχύτητα. Ως μέση ταχύτητα (v) ενός σώματος ή στοιχείου, κατά τη διάρκεια ενός χρονικού διαστήματος (t), ορίζεται το πηλίκο της μετατόπισής του (Δx) προς το χρονικό διάστημα (t) που χρειάστηκε για τη μετατόπιση, ενώ ως διεύθυνση και φορά της ταχύτητας ορίζεται η διεύθυνση και η φορά της μετατόπισης αυτής.

Στιγμιαία θεωρείται η ταχύτητα ενός σώματος, ή στοιχείου, σε μια δεδομένη χρονική στιγμή. Ορίζεται ως το όριο της μέσης ταχύτητας του σώματος σε χρονικά διαστήματα ολοένα και πιο μικρά γύρω από τη δεδομένη χρονική στιγμή. Καθώς το χρονικό διάστημα τείνει στο μηδέν, η ταχύτητα τείνει σε μια τιμή που ορίζεται ως η στιγμιαία ταχύτητα κατά τη χρονική στιγμή t . μετατόπισής του αντίστοιχα. Το όριο αυτό, με το οποίο εκφράζεται η στιγμιαία ταχύτητα, εκφράζει και την έννοια της παραγώγου του διανύσματος θέσης του στοιχείου ως προς το χρόνο.

Η μέτρηση της ταχύτητας των ρευστών είναι ένα θέμα που απασχόλησε και απασχολεί την επιστήμη εδώ και πάρα πολλά χρόνια. Η ταχύτητα στα δίκτυα υπολογίζεται πλέον μέσω της παροχής. Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένες περιπτώσεις στις οποίες απαιτείται η μέτρηση της στιγμιαίας ταχύτητας σε σημεία της ροής γύρω από στρεφόμενα

στοιχεία των ρευστοδυναμικών μηχανών, όπου δεν μπορούν να τοποθετηθούν όργανα, ή σε σημεία όπου τα τοποθετούμενα όργανα επηρεάζουν το ροϊκό πεδίο. Έχουν αναπτυχθεί λοιπόν μετρητικές διατάξεις, οι οποίες δεν επηρεάζουν τη ροή του ρευστού. Οι διατάξεις αυτές χρησιμοποιούνται, όλο και περισσότερο, και στα δίκτυα, των οποίων οι αγωγοί έχουν σχετικά μικρή διάμετρο. Άρα επηρεάζονται σημαντικά από την τοποθέτηση αντικειμένων μέσα στη ροή. Οι διατάξεις αυτές χωρίζονται σε δυο κατηγορίες, τις διατάξεις Doppler Velocimetry και τις διατάξεις μέτρησης του πεδίου ταχύτητας, Particle Image Velocimetry (PIV), όπως ονομάζονται διεθνώς.¹⁵

1.1.1.5. Συμπιεστότητα

Η ιδιότητα των υγρών να αντιδρούν στις πιεστικές τάσεις έχει μερική επίδραση στο φαινόμενο της απότομης μεταβολής της κινητικής καταστάσεως του υγρού, όπως στο υδραυλικό πλήγμα που προκαλείται από το απότομο σταμάτημα της αντλίας. Στις περιπτώσεις αυτές τοποθετούνται στη σωληνογραμμή αεροθύλακες ή ειδικές βαλβίδες, στις οποίες γίνεται απόσβεση του υδραυλικού πλήγματος για την προστασία των σωλήνων μεταφοράς υγρού.

1.1.2. Ροϊκά Φαινόμενα

1.1.2.1. Στρωτή και Τυρβώδης Ροή

Το ιξώδες, μ , όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, είναι χαρακτηριστική φυσική ιδιότητα των πραγματικών ρευστών και το αίτιο της δημιουργίας διατμητικών τάσεων, μεταξύ δύο διαδοχικών στρωμάτων του ρευστού που βρίσκονται σε σχετική κίνηση (ροή). Η λειτουργία του ιξώδους προσομοιάζει με εκείνη της τριβής μεταξύ δύο κινουμένων στερεών επιφανειών σε επαφή. Τα λεπτόρρευστα υγρά έχουν μικρό ιξώδες ενώ τα παχύρρευστα μεγάλο. Προφανώς το ιδανικό ρευστό δεν παρουσιάζει εσωτερική τριβή και δεν έχει ιξώδες.

Δύο βασικές μορφές ροής των ιξωδών ρευστών, υγρών, ή αερίων, συναντώνται στις πρακτικές εφαρμογές. Η στρωτή, ή στρωματική, ή γραμμική (*laminar*) ροή και η τυρβώδης (*turbulent*) ροή, η οποία κυριαρχεί στα ροϊκά φαινόμενα των εφαρμογών της μηχανικής των ρευστών.

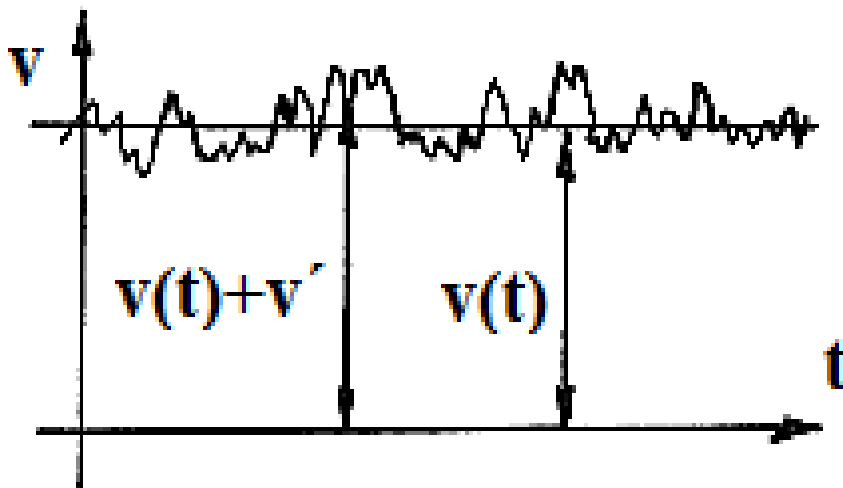
Στρωτή, ή στρωματική, ή γραμμική ροή υφίσταται όταν τα δομικά στοιχεία του ρευστού ρέουν, ομαλά, κατά στρώματα, ή κατά γραμμές χωρίς καμία συναλλαγή μάζας και ορμής κάθετα προς την κίνηση των στρωμάτων ή των γραμμών. Η στρωτή ροή δεν είναι ευσταθής και αν αυξηθεί η ταχύτητα, με ευκολία μεταβαίνει σε τυρβώδη κατάσταση. Η τυρβώδης ροή ή τύρβη χαρακτηρίζεται από χαοτική κίνηση των δομικών στοιχείων του ρευστού. Ασταθείς στροβιλισμοί, κάθε κλίμακας, σχηματίζονται στη μάζα του ρευστού και συναλλάσσουν μάζα και ορμή, αλληλοεπιδρώντας μεταξύ τους. Όταν ανοίγεται μια βρύση σχετικά λίγο, παρατηρείται ότι το νερό τρέχει στρωτά, σχηματίζοντας ένα σχεδόν διαφανές ρεύμα. Εδώ η ροή είναι γραμμική. Όταν όμως η βρύση ανοίγεται αρκετά, παρατηρείται ότι το νερό κινείται άτακτα προς τα κάτω, στροβιλίζεται (δημιουργείται τύρβη) και το ρεύμα δεν είναι πλέον διαφανές. Εδώ πρόκειται για τυρβώδη ροή.

Όταν ένα ρεύμα ρευστού, δεδομένης ταχύτητας, ρέει, επαπτόμενο σε στερεό τοίχωμα (κυλινδρικό, ή επίπεδο), η ταχύτητά του βαίνει μειούμενη, λόγω του ιξώδους, καθώς προσεγγίζεται το στερεό αυτό όριο. Ακριβώς στη διεπαφή η ταχύτητα του ρευστού θεωρείται μηδενική. Το στρώμα του ρευστού, στο οποίο γίνεται βάρθρωση της ταχύτητας, από τη μηδενική τιμή μέχρι την ταχύτητα του ελεύθερου ρεύματος, ονομάζεται οριακό στρώμα (*boundary layer*). Το οριακό στρώμα είναι στρωτό ή τυρβώδες, ανάλογα με το ιξώδες του ρευστού, την τιμή της ταχύτητας του ρεύματος και το μέγεθος της τραχύτητας του στερεού ορίου.¹⁶

1.1.2.2. Μόνιμη και Μεταβαλλόμενη Ροή

Όταν οι τιμές των χαρακτηριστικών ιδιοτήτων (παραμέτρων) μιας ροής, σε οποιοδήποτε σημείο του ρευστού, δεν μεταβάλλονται με το χρόνο, τότε η ροή θεωρείται μόνιμη (*steady*). Δηλαδή δεν αλλάζει με το χρόνο σε κάθε θέση του ροϊκού πεδίου, η ταχύτητα v , η πίεση P , η θερμοκρασία T και η πυκνότητα, ρ , της ροής. Τα μεγέθη αυτά μπορεί να είναι διαφορετικά σε διάφορες θέσεις του ροϊκού πεδίου, αλλά σε κάθε θέση παραμένουν σταθερά με το χρόνο.

Η τυρβώδης ροή χαρακτηρίζεται από διακύμανση των τιμών των χαρακτηριστικών ιδιοτήτων της, σε κάθε θέση της, κατά τη διάρκεια του χρόνου. Στην περίπτωση αυτή, σημειώνεται με έμφαση ότι η ροή είναι μόνιμη, όταν δε μεταβάλλεται με το χρόνο η μέση τιμή του μεγέθους. Για παράδειγμα, έστω η ταχύτητα σε κάποιο σημείο τυρβώδους ροής διακυμαίνεται με το χρόνο, σύμφωνα με την ακόλουθη γραφική απεικόνιση:



Εικόνα 1.13.: Κυματομορφή ταχύτητας σε σχέση με τον χρόνο

Ομοιόμορφη (*homogeneous*) χαρακτηρίζεται η ροή που παρουσιάζει αμελητέα σχετική κίνηση. Δηλαδή, στη ροή αυτή το διάνυσμα της ταχύτητας παραμένει σταθερό, κατά μέτρο, διεύθυνση και φορά σε οποιοδήποτε σημείο της ροής, σε οποιονδήποτε χρόνο. Σε κάθε άλλη περίπτωση η ροή είναι ανομοιόμορφη. Στις επόμενες ενότητες θα θεωρηθεί ομοιόμορφη η ροή σε σωληνωτούς αγωγούς σταθερής διατομής. Ανεξάρτητα από το γεγονός ότι υπάρχει βάρθρωση της ταχύτητας

από το κέντρο του αγωγού προς τα τοιχώματα, όταν η μέση ταχύτητα διατηρείται σταθερή χωρικά και χρονικά, τότε η ροή θεωρείται ομοιόμορφη.

Όπως επίσης θα αναφερθεί παρακάτω, επειδή η εργασία έχει θέμα την φυγοκεντρική υδραντλία, δηλαδή ρευστοδυναμική μηχανή, θα δοθεί έμφαση στα ανοιχτά συστήματα και όχι στα κλειστά. Στα ανοιχτά συστήματα θεωρείται όγκος ελέγχου ενώ στα κλειστά μάζα ελέγχου. Στα ανοιχτά και πάλι υπάρχει διαχωρισμός σε εκείνα με σταθεροποιημένη ή μόνιμη ροή (άρα η παροχή είναι σταθερή) και σε εκείνα με μεταβαλλόμενη ή μη σταθεροποιημένη ροή (δηλαδή με μεταβαλλόμενη παροχή).

1.1.3. Ανοιχτό Σύστημα (Όγκος Ελέγχου)

Η ροή ενός πραγματικού ρευστού είναι ένα σύνθετο, πολυπαραμετρικό φαινόμενο με αρκετά δύσκολη εξέταση. Οι βασικοί νόμοι και εξισώσεις που διέπουν την κίνηση του ρευστού είναι δύσκολο να αναπυχθούν και να λυθούν με αναλυτικές μαθηματικές μεθόδους. Το πείραμα, οι εμπειρικές μέθοδοι και οι αριθμητικές μέθοδοι, σε συνεργασία με τους υπολογιστές, χρησιμοποιούνται συχνά για την επίλυση προβλημάτων σχετικών με τη ροή, η λύση των οποίων επηρεάζει άμεσα το σχεδιασμό των ρευστοδυναμικών μηχανών.

Στη μηχανική των ρευστών αλλά και σε άλλες επιστημονικές περιοχές γίνεται συχνά η χρήση του όρου σύστημα. Σύστημα είναι μια ορισμένη ποσότητα ύλης, η οποία μπορεί να εξεταστεί χωριστά από ό,τι την περιβάλλει. Στην περίπτωση που η ποσότητα αυτή της ύλης (μάζα) παραμένει πάντοτε η ίδια, χωρίς να αλλάζει κατά τη διάρκεια των μεταβολών τις οποίες παθαίνει ονομάζεται κλειστό σύστημα. Στην περίπτωση όμως που η ύλη βρίσκεται σε ροή και μετακινείται συνεχώς, τότε πρόκειται για ανοικτό σύστημα. Ένα ροϊκό σύστημα μπορεί να αναλυθεί εισάγοντας την έννοια του όγκου ελέγχου. Ως όγκος ελέγχου ορίζεται ένας συγκεκριμένος χώρος ο οποίος περιβάλλεται από μια επιφάνεια (επιφάνεια ελέγχου), που αποτελεί και χώρο για τον οποίο υπάρχει ενδιαφέρον ανάλυσης των παραμέτρων της ροής. Ο όγκος ελέγχου, δηλαδή, περιβάλλει το σύστημα στην αρχή μέτρησης του χρόνου. Ο όγκος ελέγχου μπορεί να είναι ακίνητος, κινούμενος, με μεταβλητά όρια ή με ακλόνητα, απαραμόρφωτα όρια και υπάρχει συνεχής ροή ρευστού δια της επιφανείας του. Όταν λοιπόν διερευνάται ροή ρευστού γίνεται αναφορά πάντα σε ανοικτό σύστημα, το οποίο πρέπει να ορίζεται σαφώς από την αρχή.

1.2. ΒΑΣΙΚΟΙ ΝΟΜΟΙ ΤΗΣ ΡΕΥΣΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

1.2.1. Διατήρηση της Ενέργειας

Το άθροισμα όλων των μορφών ενέργειας [ικανότητα για παραγωγή έργου] που εμπεριέχει (αποθηκευμένη ενέργεια) ένα σύστημα ονομάζεται εσωτερική ενέργεια (E) του συστήματος. Η θερμότητα Q είναι μια μορφή ενέργειας, η οποία δεν μπορεί να αποθηκευτεί στα συστήματα, μπορεί όμως να μεταφέρεται από και προς αυτά. [Η προσδιδόμενη θερμότητα συμφωνείται να έχει θετικό πρόσημο]. Ένα σύστημα μπορεί να παράγει ή να καταναλώνει έργο (W). [Το έργο συμφωνείται να έχει θετικό πρόσημο, αν παράγεται από το σύστημα, και αρνητικό αν καταναλώνεται].

Η πιο περίφημη εξίσωση της Υδραυλικής που λέγεται και εξίσωση Bernoulli προς τιμή του Daniel Bernoulli, δηλώνει ότι η συνολική ενέργεια ανά μονάδα βάρους του υγρού (ασυμπίεστου και σε σταθερή ροή) σε δύο σημεία 1 και 2 κατά μήκος της ροής ισούται με το άθροισμα τριών όρων και μπορεί να αποδοθεί ως εξής:

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + h_f$$

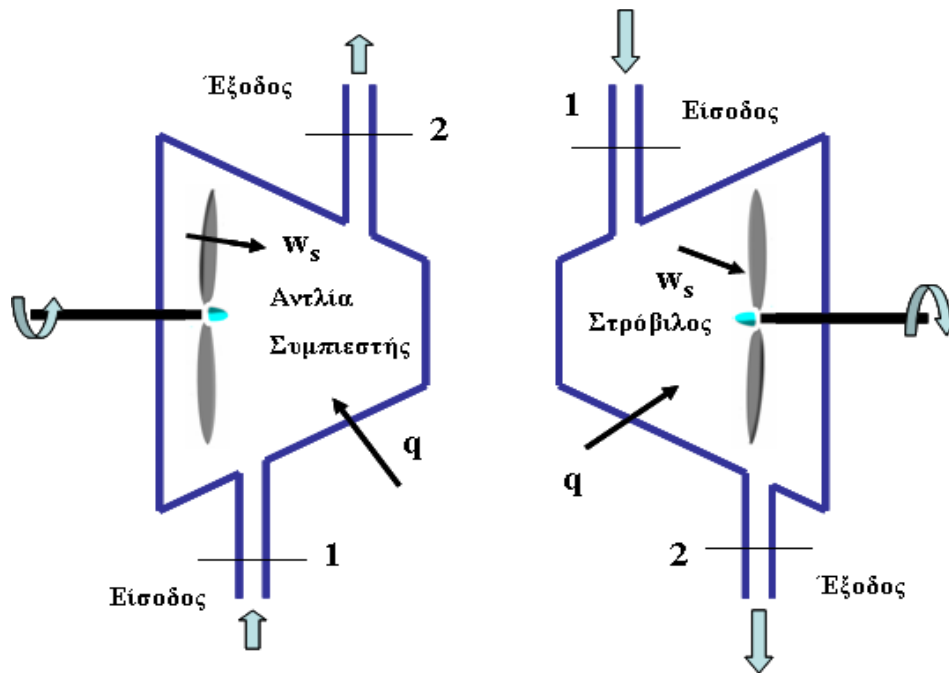
Όπου στο παραπάνω τύπο z είναι η υψομετρική διαφορά του κάθε σημείου από μία στάθμη αναφοράς (datum), $\frac{p}{\rho g}$ είναι η πίεση ανά μονάδα βάρους και $\frac{V^2}{2g}$ είναι η κινητική ενέργεια του ρευστού.

Ο όρος h_f εκφράζει τις απώλειες ενέργειας από το πρώτο σημείο της ροής στο δεύτερο. Σε πολλές περιπτώσεις οι απώλειες αυτές είναι τόσο μικρές ώστε να θεωρούμε ότι η ενέργεια διατηρείται και έτσι μπορούμε να εξισώσουμε τους δύο όρους. Στην παραπάνω εξίσωση κάθε όρος έχει διαστάσεις μήκους (m). Έτσι το $p/\rho g$ λέγεται ύψος πίεσεως, το z υψομετρικό ύψος και το $V^2/2g$ λέγεται ύψος κινητικής ενέργειας, ενώ το άθροισμα τους αποτελεί το ολικό ύψος. Αν θεωρηθεί λοιπόν ένας σωλήνας ή ένα κανάλι σε κατά μήκος τομή, το ύψος $p/\rho g + z$ λέγεται στατικό ή πιεζομετρικό ύψος (γιατί παριστάνει το επίπεδο στο οποίο θα ανέβει το υγρό σε ένα πιεζομετρικό σωλήνα). Η πιεζομετρική γραμμή γράφεται από τις κορυφές των (ιδεατών) πιεσομετρικών στηλών. Εάν προστεθεί σε αυτό το ύψος της κινητικής ενέργειας $V^2/2g$, αποτέλεσμα θα είναι το ολικό ύψος που γράφει την γραμμή ενέργειας.

Ως υδραυλικό σύστημα ορίζεται ένα ανοικτό ροϊκό σύστημα, το οποίο λειτουργεί μέσα σε περιορισμένα στερεά όρια, τα οποία όμως διαθέτουν μία τουλάχιστον είσοδο και μία τουλάχιστον έξοδο. Για παράδειγμα, σε μία σωλήνωση, ή σε ένα δίκτυο αεραγωγών, μπορεί να ορισθεί ένα ανοικτό ροϊκό υδραυλικό σύστημα. Στις πρακτικές εφαρμογές τα υδραυλικά συστήματα εξετάζονται σε μόνιμη ροή. Η ταχύτητα στην είσοδο και την έξοδο του συστήματος κατανέμεται ομοιόμορφα στη διατομή του σωλήνα, και είναι σταθερή. Οι ταχύτητες στις συνήθεις εφαρμογές δεν είναι σημαντικά μεγάλες, δεν εμφανίζονται φαινόμενα συμπίεστικότητας και για τα υγρά και αέρια συστήματα η πυκνότητα, ρ , του ρευστού έχει σταθερές τιμές στην είσοδο και την έξοδο του συστήματος. Στα υγρά συστήματα (αλλά και στα αέρια χαμηλών ταχυτήτων) όταν δεν υπάρχει σημαντική μεταβολή της θερμοκρασίας, η πυκνότητα του ρευστού είναι ίδια στην είσοδο και την έξοδο του συστήματος.

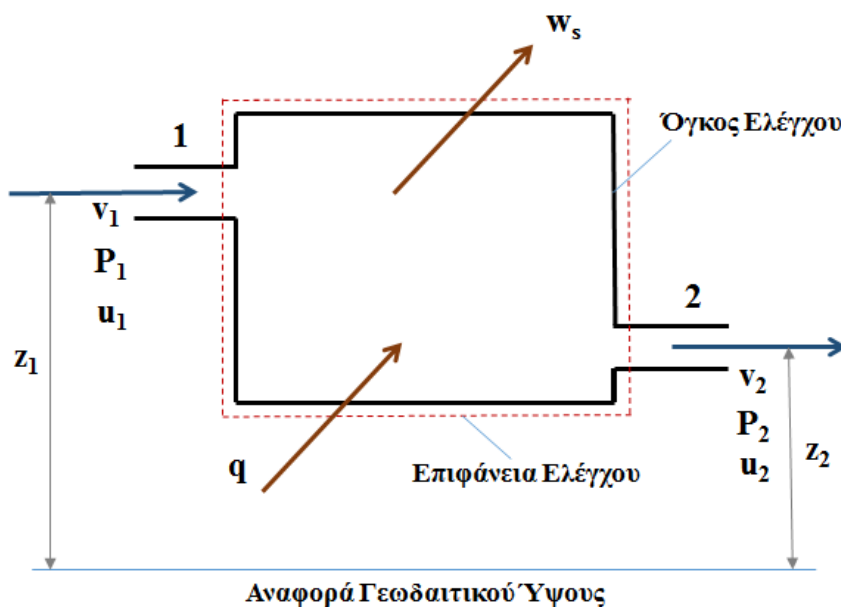
Όταν δεν υπάρχει σημαντική μεταβολή της θερμοκρασίας μεταξύ εισόδου και εξόδου της ροής, η εσωτερική ενυπάρχουσα ενέργεια u , του συστήματος παραμένει σταθερή. Στις συνήθεις εφαρμογές δεν προσδίδεται θερμότητα στο ανοικτό σύστημα ούτε αποβάλλεται από αυτό, και τότε θεωρείται μονωμένο (αδιαβατικό). Τα υδραυλικά συστήματα μπορεί να εμπεριέχουν ρευστοδυναμικές μηχανές, δηλαδή αντλίες, συμπιεστές, ανεμιστήρες αλλά και στροβίλους (υδροστροβίλους, αεριοστροβίλους) [Εικόνα 1.14.]. Όταν πρόκειται για αντλία, ανεμιστήρα ή συμπιεστή, ενέργεια ανά μονάδα μάζας, προσερχομένου ρευστού δίνεται στο σύστημα υπό μορφή ειδικού έργου από το στροφέιο της ρευστοδυναμικής μηχανής. Όταν πρόκειται για στρόβιλο,

ενέργεια ανά μονάδα μάζας προσερχομένου ρευστού W_s , αποδίδεται από το σύστημα υπό μορφή ειδικού έργου στο στροφείο της ρευστοδυναμικής μηχανής.¹⁷



Σχήμα 1.14.: Υδραυλικά συστήματα που εμπεριέχουν ρευστοδυναμικές μηχανές¹⁸

Στην εικόνα 1.15, παριστάνεται σχηματικά ένα υδραυλικό σύστημα, το οποίο μπορεί να εμπεριέχει αντλία ή στρόβιλο. Στόχος είναι η εφαρμογή του νόμου διατήρησης της ενέργειας για το σύστημα αυτό, με βάση τις προϋποθέσεις και παραδοχές που αναπτύχθηκαν παραπάνω.¹⁹



Εικόνα 1.15: Αναπαράσταση ανοιχτού συστήματος (όγκος ελέγχου)²⁰

1.2.2. Νόμος Συνέχειας

Η εξίσωση της συνέχειας είναι απλά ο νόμος διατήρησης της μάζας που δηλώνει ότι σε έναν όγκο αναφοράς η εισερχόμενη μάζα μείον την εξερχόμενη μάζα ισούται με την αποθηκευμένη μάζα στον δεδομένο όγκο. Εάν δεν αποθηκεύεται μάζα, τότε την αρχή της συνέχειας στην υδραυλική την διατυπώνουμε απλούστερα ως εξής:

$$Q = A \cdot V = \text{σταθερό}$$

Όπου Q η παροχή (m^3/sec), A η επιφάνεια της υγρής διατομής (m^2), και V η ταχύτητα (m/sec). Εκφράζει ότι η μεταβολή της μάζας (ρυθμός αύξησης ή μείωσης της μάζας) σε έναν όγκο ελέγχου ισούται με τον ρυθμό της συνολικής ροής μάζας διαμέσου της επιφάνειας ελέγχου.²¹

Η εξίσωση της ενέργειας μαζί με την εξίσωση της συνέχειας αποτελούν τα δύο κλειδιά στην επίλυση πρακτικών προβλημάτων τόσο για ανοιχτούς όσο και για κλειστούς αγωγούς και κατά συνέχεια και σε προβλήματα ρευστοδυναμικών μηχανών.²²

1.3. ΡΕΥΣΤΟΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ

1.3.1. Ορισμός των Ρευστοδυναμικών Μηχανών

Οι ρευστοδυναμικές μηχανές μετατρέπουν την κίνηση των ρευστών σε μηχανική ενέργεια και ισχύ σε χρηστική μορφή. Και αντιστρόφως μπορούν να μετατρέψουν την μηχανική κίνηση σε ενέργεια ροής ρευστών, δηλαδή υγρών και αερίων. Το εύρος των εφαρμογών είναι τεράστιο. Δύσκολα αναλύεται και στα εγκυρότερα συγγράμματα. Οι βασικές αρχές όμως της Ρευστομηχανικής και της Θερμοδυναμικής είναι κοινές για τις μηχανές αυτές.²³

1.3.2. Αντλίες – Ανεμιστήρες - Συμπιεστές

Οι αντλίες είναι οι πιο γνωστές ρευστοδυναμικές μηχανές καθώς παροχετεύουν νερό στην δημόσια υδροδότηση και έχουν εφαρμογή σε αντλιοστάσια. Ο όρος αντλία χρησιμοποιείται πολύ συχνά για μηχανές που αλληλοεπιδρούν με ρευστά σε υγρή μορφή.²⁴ Οι αντλίες κατασκευάζονται από διάφορα υλικά, όπως χυτοσίδηρος, χυτοχάλυβας, χάλυβας, μπρούντζος και άλλα κράματα του χαλκού καθώς και σύνθετα υλικά, θερμοπλαστικά, ειδικά πλαστικά και κεραμικά.²⁵

Αντλίες ονομάζονται τα μηχανικά μέσα με τα οποία είναι δυνατό να μεταφερθεί μία ποσότητα υγρού από μία υψομετρική στάθμη σε άλλη που βρίσκεται υψηλότερα ή από ένα χώρο χαμηλής πίεσεως σε άλλο υψηλής πίεσεως. Υπάρχουν όμως περιπτώσεις όπου οι αντλίες χρησιμοποιούνται για την μεταφορά υγρών από υψηλότερη στάθμη σε χαμηλότερη, όταν ο σωλήνας μεταφοράς είναι μεγάλου μήκους ή όταν η υδραυλική αντίσταση μέσα στο σωλήνα είναι πολύ μεγάλη. Οι αντλίες τοποθετούνται πάντοτε μεταξύ των σημείων παραλαβής και αποστολής του υγρού και η μεταφορά του

οφείλεται στη δημιουργία διαφοράς πίεσεως στις δύο πλευρές του κινούμενου στοιχείου της αντλίας (έμβολο ή περιστρεφόμενος δρομέας).

- Σωλήνας αναρροφήσεως είναι το τμήμα του σωλήνα, από το σημείο παραλαβής του υγρού μέχρι την είσοδο του στην αντλία.
- Σωλήνας καταθλίψεως είναι το τμήμα του σωλήνα, από το σημείο εξόδου του υγρού από την αντλία μέχρι το σημείο αποστολής του.
- Σωληνογραμμή είναι το σύνολο των σωλήνων μέσα από τους οποίους ρέει το υγρό.
- Σύστημα αντλήσεως είναι η διάταξη του σωλήνα αναρροφήσεως, της αντλίας, του σωλήνα καταθλίψεως και του κινητήρα.
- Αντλητικό συγκρότημα είναι ένα σύνολο αντλιών (μαζί με τον κινητήρα) που συνεργάζονται για την άντληση του υγρού.²⁶ (Οι αντλίες είναι δυνατόν να συνδέονται μεταξύ τους και να συνεργάζονται για την υλοποίηση συγκεκριμένου αντλητικού σκοπού).

Αντλίες, ανεμιστήρες, φυσητήρες και συμπιεστές ονομάζονται ρευστοδυναμικές μηχανές με τις οποίες είναι δυνατό να προσφερθεί ενέργεια ανά μονάδα βάρους προσερχομένου σε αυτές ρευστού.²⁷ Η ενέργεια αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί, για να ανυψωθεί μία ποσότητα ρευστού ή να μεταφερθεί από ένα χώρο χαμηλής πίεσης σε άλλο υψηλής πίεσης ή να διατεθεί για να αντιμετωπισθούν οι υδραυλικές αντιστάσεις των δικτύων μεταφοράς. Δημιουργούν πάντοτε θετική διαφορά πίεσης μεταξύ της εξόδου του ρευστού, που ωθείται από κινούμενο στέλεχος (στροφέιο ή έμβολο), και της εισόδου του ρευστού, που προσέρχεται στο στέλεχος αυτό. Έχουν, δηλαδή, όμοια λειτουργική συμπεριφορά σε σχέση με το ρευστό με το οποίο αλληλοεπιδρούν.²⁸

1.3.3. Στρόβιλοι

Στρόβιλοι, υδροστρόβιλοι, ατμοστρόβιλοι, ανεμοκινητήρες, είναι κινητήριες ρευστοδυναμικές μηχανές (λέγονται κινητήρες με την έννοια ότι το ρευστό είναι το κινητήριο μέσο) και κάνουν εκμετάλλευση της κινητικής ενέργειας των ρευστών (κυρίως του νερού)²⁹ όπως για παράδειγμα τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια τα οποία εκμεταλλεύονται την δυναμική ενέργεια του νερού στους ταμιευτήρες η οποία κατά την βαρυτική του κάθοδο, μετατρέπεται σε κινητική. Φυσικά υπάρχουν και υβριδικές μηχανές όπως οι στροβιλοαντλίες και οι αντλιοστρόβιλοι. Αντίστοιχα οι ατμοστρόβιλοι εκμεταλλεύονται την πολύ μεγάλη κινητική ενέργεια του ατμού ως εργαζόμενο μέσο σε υψηλές πιέσεις ο οποίος παράγεται σε ατμοπαραγωγούς με την καύση καυσίμων υγρών ή στερεών. Οι ανεμοκινητήρες λέγονται έτσι καθώς χρησιμοποιούν τον άνεμο ως κινητήριο μέσο και κακώς στην καθομιλουμένη λέγονται ανεμογεννήτριες.

1.4. ΠΑΡΑΓΩΓΗ, ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ, ΑΞΙΟΤΤΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΡΕΥΣΤΟΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ

Ο ρόλος των ρευστοδυναμικών μηχανών στη παραγωγή μηχανικής και κυρίως ηλεκτρικής ενέργειας είναι πρωταγωνιστικός, τόσο όταν η πρωτογενής ενέργεια προέρχεται από συμβατικές πηγές, όπως π.χ. από τα ορυκτά καύσιμα, όσο και όταν προέρχεται από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, γνωστές ως ΑΠΕ, δηλ. ενέργεια

ανέμου, κυμάτων, ακτινοβολίας, γεωθερμίας και παρεμφερείς πηγές. Ατμοστρόβιλοι συνδέονται αναπόσπαστα με ατμοπαραγωγούς και μηχανές εσωτερικής καύσης, οι οποίες αποτελούν επίσης λειτουργικό μέρος των αεριοστρόβιλων, ενώ κυριαρχούν στα συστήματα των ΑΠΕ. Στις αντίστοιχες εγκαταστάσεις και στα συγκροτήματα των ηλεκτροπαραγωγών σταθμών χρησιμοποιούνται επίσης αντλίες, ανεμιστήρες, συμπιεστές και άλλες μηχανές. Ταυτόχρονα η ορθολογική εκμετάλλευση και μετατροπή ενέργειας πλησιάζει την βέλτιστη δυνατή και ωφέλιμη εκμετάλλευση, όταν ο σχεδιασμός των ρευστοδυναμικών μηχανών και των μηχανολογικών εγκαταστάσεων είναι πλήρης και βελτιστοποιημένος με πρόσθετο παράλληλο αποτέλεσμα να αυξάνει η απορρύπανση του περιβάλλοντος με την ελαχιστοποίηση της προκαλούμενης ενεργειακής ωφέλειας. Το "πλέγμα Ενέργεια και Περιβάλλον" ειδικότερα σε σχέση με τις ρευστοδυναμικές μηχανές καθώς επίσης και γενικότερα με τις κοινωνικές, οικονομικές και τεχνολογικές επιπτώσεις και εξελίξεις πρέπει να εξετάζεται σε όλες τις μελέτες και έρευνες εγκαταστάσεων.³⁰

2. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΙ ΕΙΔΗ ΤΩΝ ΡΕΥΣΤΟΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ

2.1. ΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ (ROTODYNAMIC PUMPS)

Στο Κεφάλαιο 1 ορίσθηκε η έννοια του θεωρητικού μανομετρικού ύψους (H) μιας ρευστοδυναμικής μηχανής. Το ύψος (ενέργεια ανά μονάδα βάρους ρευστού) των απωλειών ενέργειας σε μια αντλία, ανεμιστήρα, ή συμπιεστή, αφαιρείται από το θεωρητικό μανομετρικό ύψος, για να προκύψει το πραγματικό μανομετρικό ύψος, με την έννοια της ενέργειας ανά μονάδα βάρους ρευστού, που πέρασε σε αυτό. Ομοίως, το ύψος (ενέργεια ανά μονάδα βάρους ρευστού) των απωλειών ενέργειας σε ένα στρόβιλο προστίθεται στο θεωρητικό μανομετρικό ύψος, για να προκύψει το πραγματικό μανομετρικό ύψος, με την έννοια της συνολικής μηχανικής ενέργειας ανά μονάδα βάρους ρευστού, που πραγματικά αποδίδει το ρευστό στο στρόβιλο.

Οι αντλίες, οι ανεμιστήρες και οι συμπιεστές χαρακτηρίζονται από ορισμένες βασικές παραμέτρους, οι οποίες προσδιορίζουν τις ικανότητές των. Οι παράμετροι αυτές είναι το πραγματικό μανομετρικό ύψος, η παροχή, οι βαθμοί απόδοσης (υδραυλικός, ογκομετρικός, μηχανικός, ολικός) και η καταναλισκόμενη ισχύς που απαιτείται για την κίνησή τους. Ο σκοπός της τοποθέτησης των ρευστοδυναμικών αυτών μηχανών στα υδραυλικά δίκτυα είναι η ικανοποίηση των ενεργειακών αναγκών του δικτύου με την καλύτερη ενεργειακή απόδοση.

2.1.1. Ανάλυση Δυναμικών Αντλιών

Οι δυναμικές αντλίες συνδέονται στα υδραυλικά δίκτυα, για να καλύψουν τις ενεργειακές ανάγκες των ρευστών που κυκλοφορούν σε αυτά. Η παροχή όγκου ή μάζας σε μια σωληνογραμμή που φέρει δυναμική αντλία εξαρτάται από τις ενεργειακές ανάγκες της σωληνογραμμής. Οι ενεργειακές ανάγκες της σωληνογραμμής, για συγκεκριμένη ταχύτητα ροής, εξαρτώνται από το είδος, τη διάμετρο και το μήκος των ευθυγράμμων στοιχείων (αγωγών), από τα οποία αποτελείται, και από το είδος και τον αριθμό των ειδικών υδραυλικών τεμαχίων και συσκευών που φέρει. Αν, δηλαδή, αυξηθούν οι ενεργειακές ανάγκες της σωληνογραμμής, θα μειωθεί η παροχή, και αντιστρόφως.³¹

Οι δυναμικές αντλίες έχουν σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι των αντλιών θετικής εκτόπισης:

- Λειτουργούν σε υψηλή συχνότητα περιστροφής, με ελάχιστα κινούμενα μέρη σε αντίθεση με τις αντλίες θετικής εκτόπισης, που διαθέτουν περισσότερα κινούμενα μέρη και ιδίως βαλβίδες, οι οποίες ανοιγοκλείνουν και έχουν όρια στην ταχύτητα εναλλαγής των οριακών τους θέσεων. Η λειτουργία τους είναι ασφαλής γιατί έχουν μικρό αριθμό κινούμενων στοιχείων ενώ δεν έχουν αυτοκινούμενες βαλβίδες.³²
- Οι δυναμικές αντλίες μπορούν λοιπόν εύκολα να συνδεθούν με κινητήριες μηχανές χωρίς την παρεμβολή συστημάτων μείωσης των στροφών, που απαιτούνται για την ομαλή λειτουργία των αντλιών θετικής εκτόπισης.
- Παρουσιάζουν συνεχή και ομοιόμορφη λειτουργία με μικρή διακύμανση των λειτουργικών τους παραμέτρων (πίεσεις, παροχή).
- Έχουν μικρότερο μέγεθος για τα ίδια λειτουργικά χαρακτηριστικά και μικρότερο αρχικό και λειτουργικό κόστος.
- Τα κινούμενα μέρη των δυναμικών αντλιών, δηλαδή τα στροφέα, λιπαίνονται από το αντλούμενο ρευστό, ενώ στις αντλίες θετικής εκτόπισης πρέπει να προβλεφθεί ιδιαίτερο σύστημα λίπανσης των κινουμένων μερών, συνήθως με λιπαντικό έλαιο.
- Με κατάλληλες παρεμβάσεις στο υδραυλικό δίκτυο, είναι εύκολο να μεταβληθούν τα λειτουργικά τους χαρακτηριστικά. Μπορούν, δηλαδή, να λειτουργήσουν σε ένα ευρύ σχετικά φάσμα παροχών. Όταν όμως λειτουργούν με χαρακτηριστικά εκτός του εύρους τιμών, για τα οποία έχουν υπολογισθεί, οι δυναμικές αντλίες δίνουν χαμηλές αποδόσεις.
- Οι δυναμικές αντλίες αποτελούνται από ένα ή περισσότερα στροφέα τοποθετημένα σε ένα άξονα, που περιστρέφεται συνήθως από ηλεκτροκινητήρα ή μηχανή εσωτερικής καύσης, με καθορισμένη φορά περιστροφής μέσα σε ένα περίβλημα (κέλυφος). Το ρευστό εισέρχεται στο στροφέο (impeller) από κατάλληλη είσοδο στο περίβλημα και, εξερχόμενο από το στροφέο, οδηγείται διαμέσου του περιβλήματος στην έξοδο. Το στροφέο φέρει πτερύγια (blades), τα οποία διαμορφώνονται έτσι ώστε να καθοδηγούν τη σχετική ροή του ρευστού ως προς το στροφέο. Παράλληλα το στροφέο επιβάλλει στο ρευστό, λόγω της περιστροφής του, και περιφερειακή (περιστροφική) ταχύτητα.
- Η κίνηση τους είναι συνεχής και ομοιόμορφη. Η παροχή και η πίεση είναι σταθερές ή παρουσιάζουν πολύ μικρή περιοδική μεταβολή.
- Το μέγεθός τους είναι μικρό (λόγω του μεγάλου αριθμού των στροφών τους) και επομένως απαιτείται μικρότερος χώρος για την εγκατάστασή τους.
- Τόσο το αρχικό κόστος όσο και τα έξοδα συντηρήσεώς τους είναι χαμηλά.³³

Τα κύρια μειονεκτήματα των δυναμικών αντλιών είναι:³⁴

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

διάρκεια της λειτουργίας της αντλίας εισχωρήσει τυχαία αέρας στο σωλήνα αναρροφήσεως.

Οι δυναμικές αντλίες ταξινομούνται ανάλογα με τη μορφή του στροφείου και της πτερύγωσης που φέρει. Τα δύο αυτά στοιχεία καθορίζουν τη διαδρομή του ρευστού μέσα στη μηχανή: ³⁵

2.1.2. Κατηγορίες Δυναμικών Αντλιών

2.1.2.1. Φυγοκεντρικές αντλίες ή αντλίες ακτινικής ροής (Centrifugal pumps) [Εικόνα 1.6.]

Οι φυγοκεντρικές αντλίες τυγχάνουν ευρύτατης χρήσης. Η μορφή του στροφείου και η διάταξη των πτερυγίων δίνουν τη δυνατότητα στο ρευστό να εισέλθει στο στροφείο κατά τη διεύθυνση του άξονα της αντλίας, να στραφεί κατά 90ο, να οδηγηθεί από τα πτερύγια η σχετική ροή με παράλληλη περιφερειακή κίνηση, λόγω της περιστροφής, και τελικά να εξέλθει από το στροφείο ακτινικά, σε κάθετη προς τον άξονα πορεία. Το περίβλημα, ή κέλυφος, έχει μορφή σπειροειδούς αγωγού με αυξανόμενη διατομή, για τη συλλογή της μάζας του υγρού, καθώς εξέρχεται από την περιφέρεια του στροφείου. Η αυξανόμενη διατομή του σπειροειδούς περιβλήματος εξασφαλίζει τη συλλογή του ρευστού, χωρίς να αυξάνεται η ταχύτητά του. Ο αποκλίνων αγωγός εξόδου (διαχύτης), στη συνέχεια συμβάλλει καθοριστικά στη μείωση της ταχύτητας και στην περαιτέρω αύξηση της πίεσης, στην οποία στοχεύουν οι αντλίες, οι ανεμιστήρες και οι συμπιεστές. Οι φυγοκεντρικές αντλίες χρησιμοποιούνται για δημιουργία μεγάλων αυξήσεων της πίεσης στην έξοδό τους, και μικρών σχετικά παροχών



Εικόνα 2.1.: Φυγοκεντρική αντλία με σπειροειδές κέλυφος³⁶



Εικόνα 2.2.: Ημιτομή στροφείου φυγοκεντρικής αντλίας ακτινικής ροής³⁷

2.1.2.2. Μικτής ή διαγώνιας ροής (Mixed flow pumps) [Εικόνα 1.7.]

Στις δυναμικές αυτές αντλίες η είσοδος του ρευστού στο στροφείο γίνεται κατά την αξονική διεύθυνση, όπως και στις φυγοκεντρικές. Η πορεία, όμως, του ρευστού μέσα στο στροφείο είναι συγχρόνως αξονική και ακτινική (μικτή ή διαγώνια ροή). Η αύξηση της πίεσης του υγρού στην έξοδο της πτερωτής οφείλεται στη φυγόκεντρη δύναμη και στην ωστική δράση των πτερυγίων.



Εικόνα 2.3. Ημιτομή στροφείου αντλίας μικτής ή διαγώνιας ροής³⁸

2.1.2.3. Αξονικής ροής (Axial flow pumps)

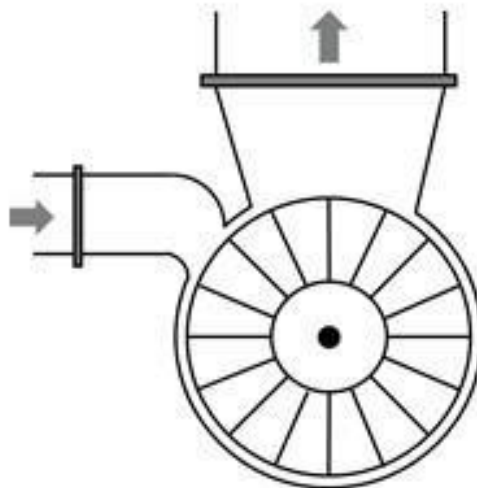
Το στροφείο στις αντλίες αυτές έχει τη μορφή πλήμνης εφοδιασμένης με κατάλληλα σχεδιασμένα πτερύγια, διατομής αεροτομών, τα οποία, σε πολλές περιπτώσεις, έχουν τη δυνατότητα περιστροφής με στόχο την αλλαγή της κλίσης τους. Η όλη πτερωτή προσομοιάζει με έλικα στον οποίο το υγρό προσέρχεται κατά τη διεύθυνση του άξονα της αντλίας και εξέρχεται, επίσης, κατά την αξονική διεύθυνση. Η αύξηση της πίεσης του υγρού στην έξοδο της αντλίας προέρχεται από την ωστική δράση του περιρρεόμενου έλικα. Οι αξονικές αντλίες χρησιμοποιούνται για δημιουργία μικρών αυξήσεων της πίεσης στην έξοδό τους και μεγάλων σχετικά παροχών



Εικόνα 2.4.: Αντλία αξονικής ροής³⁹

2.1.2.4. Στροβιλαντλίες (Turbine pumps)

Η διαφοράς μιας στροβιλαντλίας [Εικόνα 2.5.] από μια τυπική φυγοκεντρική αντλία είναι ότι το στροφείο στις αντλίες αυτές φέρει ευθέα ακτινικά πτερύγια και από τις δύο πλευρές, και ότι η είσοδος του ρευστού δε γίνεται στο κέντρο της πτερωτής αλλά περιφερειακά, όπως και η έξοδος. Το κέλυφος, ή περίβλημα, των αντλιών αυτών δεν είναι σπειροειδές. Οι στροβιλοαντλίες είναι δυναμικές αντλίες, δηλαδή προσδίδουν ορμή και ταχύτητα στο ρευστό με μια περιστρεφόμενη πτερωτή, και δημιουργούν αύξηση της πίεσης. Τα πτερύγια ανακυκλοφορούν το ρευστό κατά τη διαδρομή του από την αναρρόφηση προς την κατάθλιψη. Το υγρό επιταχύνεται όχι μόνον εφαπτομενικά προς την διεύθυνση της περιστροφής αλλά και ακτινικά. Προσκρούοντας στο κέλυφος, η ροή ανακλάται και επανέρχεται μέσα στην πτερώγωση, για να λάβει επιπρόσθετη ενέργεια. Τελικά, αφού διαγραφεί μια ολόκληρη σχεδόν περιφέρεια, εξέρχεται από το περίβλημα.



Εικόνα 2.5.:Στροβιλοαντλία⁴⁰

2.2. ΕΙΔΗ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ

Η φυγοκεντρική αντλία ακτινικής ροής, που είναι ο πιο διαδεδομένος τύπος αντλίας γιατί έχουν με-γάλο εύρος παροχής (Q) - αποδιδόμενου ύψους (H) και προσαρμόζονται σε ποικιλία συνθηκών αντλήσεως. Υπάρχουν διάφορα κριτήρια κατατάξεως των φυγοκέντρων αντλιών όπως α) Η τοποθέτηση του άξονα της πτερωτής που μπορεί να είναι οριζόντια ή κατακόρυφη, (οριζόντιες ή κατακόρυφες αντλίες), β) το είδος της πτερωτής, οπότε οι αντλίες διακρίνονται σε απλής ή διπλής αναρροφήσεως και γ) ο αριθμός των πτερωτών, (μονοβάθμιες ή πολυβάθμιες αντλίες).

2.2.1. Με βάση το σχεδιασμό του περιβλήματος:

2.2.1.1. Απλό κυκλικό περίβλημα

Είναι αντλίες όπου το περίβλημα τους είναι κυκλικό, πολύ διαδεδομένος τύπος σε μικρούς κυκλοφορητές.

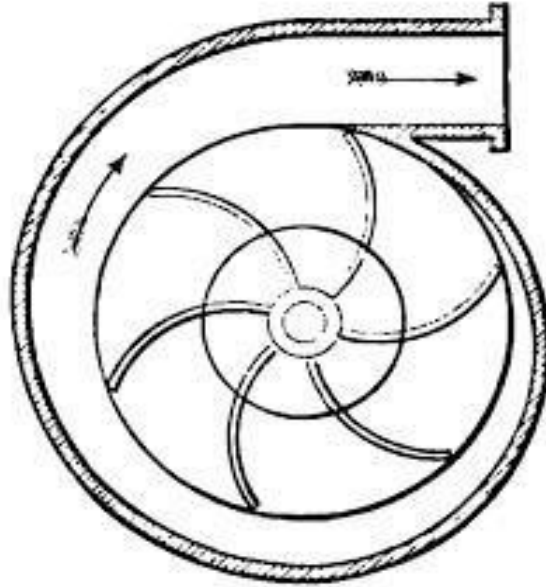


Εικόνα 2.6.: Απλό κυκλικό περίβλημα⁴¹

2.2.1.2. Σπειροειδές περίβλημα

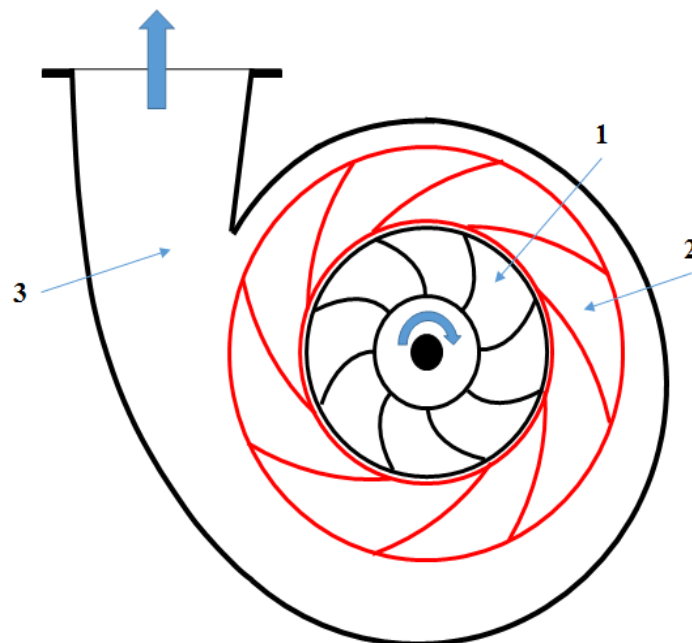
- Απλής αναρροφήσεως με σπειροειδές περίβλημα. Είναι ο πιο διαδεδομένος τύπος . Τα πτερύγια είναι απλής καμπυλότητας για μικρές παροχές ενώ για μεγάλες παροχές κάμπτονται στο χώρο.
- Απλής αναρροφήσεως με σπειροειδές περίβλημα και πτερύγια διαχύσεως. Η κατασκευή τους είναι ίδια με τις προηγούμενες με μόνη διαφορά ότι γύρω από την πτερωτή έχουν σταθερά πτερύγια διαχύσεως για τη μερική μετατροπή της κινητικής ενέργειας σε ενέργεια πίεσεως.

- Διπλής αναρρόφησης με σπειροειδές περίβλημα. Επειδή έχουν υδραυλική εξισορρόπηση χρησιμοποιούνται για μεγαλύτερες παροχές από ότι οι προηγούμενες .Για αύξηση του ολικού ύψους μπορούν να τοποθετηθούν πτερύγια διαχύσεως γύρω από την πτερωτή .



Εικόνα 2.7 Σπειροειδές περίβλημα ⁴²

2.2.1.3. Περίβλημα με πτερύγια διάχυσης της ροής



Εκόνα 2.8.: Περίβλημα με ακίνητα πτερύγια διάχυσης της ροής, 1-στροφέιο, 2-ακίνητα πτερύγια διάχυσης, 3-σπειροειδές κέλυφος και διαχύτης

2.2.2. Με βάση τον τύπο της πτερωτής:

2.2.2.1. Ανοικτή πτερωτή

Οι ανοικτές πτερωτές χρησιμοποιούνται για την άντληση υγρών τα οποία περιέχουν αιωρούμενα στερεά. Για τις περιπτώσεις που το αντλούμενο υγρό περιέχει μεγαλύτερα τεμάχια στερεών, π.χ. μικρές πέτρες, η ανοικτή πτερωτή δύναται να κατασκευαστεί από εύκαμπτο πολυμερές υλικό, για καλύτερη συμπεριφορά στη συνεργασία με τη μεταφερόμενη ύλη.⁴³

Ο περιστρεφόμενος δρομέας αποτελείται από ένα «ομφαλό» γύρω από τον οποίο είναι τοποθετημένα τα πτερύγια. Ο βαθμός αποδόσεως των αντλιών με πτερωτή ανοικτού τύπου είναι μικρός, γιατί αξιόλογη ποσότητα υγρού διαρρέει από το περίβλημα στο στόμιο εισόδου. Επίσης δεν μπορούν να δημιουργήσουν αρκετά μεγάλο μανομετρικό ύψος. Για το λόγο αυτό οι αντλίες με πτερύγια ανοικτού τύπου χρησιμοποιούνται σε ειδικές περιπτώσεις και ιδιαίτερα για άντληση νερού που περιέχει φερτές ύλες επειδή δε «μπουκώνουν» εύκολα.⁴⁴



Εικόνα 2.9.: Ανοικτή πτερωτή [commons.wikimedia.org/wiki/File:Impellerrad.jpg]

2.2.2.2. Ημίκλειστη πτερωτή

Απαιτείται μεγάλη ακρίβεια συναρμογής της κατασκευής, ώστε το διάκενο μεταξύ των πτερυγίων και της εσωτερικής επιφάνειας του περιβλήματος να είναι, κατά το δυνατό, μικρότερο. Έτσι ελαττώνεται η ανακυκλοφορία του υγρού και αυξάνεται ο βαθμός απόδοσης της αντλίας (το φαινόμενο αυτό, της ανακυκλοφορίας εσωτερικά του περιβλήματος της αντλίας, περί την πτερωτή, παρουσιάζεται λόγω της διαφοράς πίεσης μεταξύ της διατομής εξόδου και της διατομής εισόδου της αντλίας).⁴⁵ Ο περιστρεφόμενος δρομέας αποτελείται από ένα δίσκο στη μία πλευρά του οποίου είναι τοποθετημένα τα πτερύγια. Τα πτερύγια βρίσκονται προς την πλευρά του στομίου εισόδου του υγρού. Ο βαθμός αποδόσεως των αντλιών με πτερωτή ημίκλειστου τύπου είναι κατά κανόνα μεγαλύτερος από τις αντλίες με πτερωτή ανοικτού τύπου και μικρότερος από τις αντλίες με πτερωτή κλειστού τύπου. Είναι δυνατό όμως στις αντλίες αυτές να επιτευχθεί πολύ ικανοποιητικός βαθμός αποδόσεως αν το διάκενο μεταξύ των πτερυγίων και της εσωτερικής επιφάνειας του τοιχώματος του καλύμματος του

περιβλήματος είναι πολύ μικρό. Οι αντλίες με πτερωτή ημίκλειστου τύπου δεν είναι κατάλληλες για την άντληση ακάθαρτων υγρών, μπορούν όμως να χρησιμοποιηθούν για την άντληση νερού που περιέχει άμμο.



Εικόνα 2.10.: Ημίκλειστη πτερωτή

2.2.2.3. Κλειστή πτερωτή

Στις κλειστές πτερωτές τα πτερούγια αναπτύσσονται μεταξύ δύο στερεών επιφανειών. Οι επιφάνειες αυτές απογεννούν ένα δακτυλιοειδή χώρο, ο οποίος διαθέτει μια λωρίδα εισόδου του ρευστού στην πτερούγωση διαμέσου της οποίας οδηγείται σε μια λωρίδα εξόδου από το στροφείο [Εικόνα 2.11.].⁴⁶



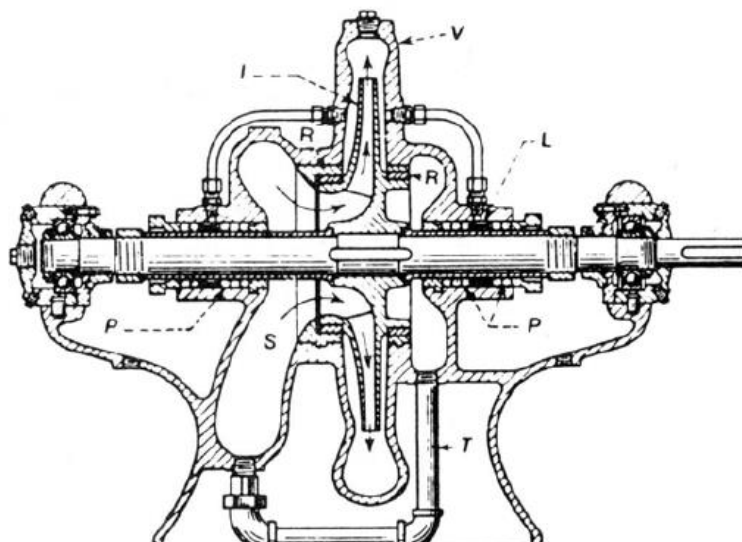
Εικόνα 2.11.: Πτερωτή κλειστού τύπου

Οι αντλίες με πτερωτές κλειστού τύπου έχουν υψηλό βαθμό απόδοσης, αναπτύσσουν υψηλή πίεση και έχουν μικρότερη τάση για σπηλαιώση. Έχουν, όμως, το μειονέκτημα συγκράτησης μεταξύ των επιφανειών και των πτερυγίων, στερεών τεμαχίων, που τυχόν φέρονται με τη ροή, με αποτέλεσμα τη στόμωση των διακένων. Τα στροφέια αυτά πρέπει να χρησιμοποιούνται για άντληση καθαρών υγρών. Ο περιστρεφόμενος δρομέας αποτελείται από δύο δίσκους μεταξύ των οποίων βρίσκονται τα πτερύγια. Ο ένας δίσκος έχει στο κέντρο του οπή (μάτι) για την είσοδο του υγρού στα πτερύγια σαν συνέχεια του στομίου εισόδου του υγρού στο περίβλημα. Στις αντλίες διπλής αναρρόφησης υπάρχουν οπές και στους δύο δίσκους για την είσοδο του υγρού και από τις δύο πλευρές της πτερωτής. Οι αντλίες με πτερωτή κλειστού τύπου αναπτύσσουν υψηλή πίεση, αλλά χρησιμοποιούνται για άντληση καθαρών μόνο υγρών γιατί «μπουκώνουν» εύκολα.⁴⁷

2.2.3. Με βάση τον αριθμό των εισόδων⁴⁸

2.2.3.1. Απλής αναρρόφησης

Στις αντλίες αυτές το ρευστό εισέρχεται μόνο από τη μια πλευρά της πτερωτής, γεγονός το οποίο προκαλεί αξονικές ωθήσεις, λόγω της μονόπλευρης ώσης, με αποτέλεσμα την επιτάχυνση της φθοράς των εδράνων του άξονα. Στην αντλία η πτερωτή είναι τοποθετημένη στο άκρο του άξονα και το υγρό οδηγείται από το σωλήνα αναρρόφησης κατευθείαν στο κέντρο της πτερωτής. Η πτερωτή μπορεί να είναι τοποθετημένη και στο κέντρο του άξονα, οπότε υπάρχουν δύο στυπιοθάλαμοι για τη στεγανοποίηση και από τις δύο πλευρές του σπειροειδούς περιβλήματος. Στις αντλίες απλής αναρρόφησης λόγω της διαφοράς πίεσης που υπάρχει πάντοτε μεταξύ του στομίου εισόδου του υγρού (πίεση αναρρόφησης) και του εσωτερικού του περιβλήματος (πίεση καταθλίψεως) δημιουργείται δύναμη, η οποία τείνει να μετατοπίσει την πτερωτή προς την πλευρά της χαμηλότερης πίεσης – αξονική ώθηση - με αποτέλεσμα την καταπόνηση και καταστροφή των τριβέων.

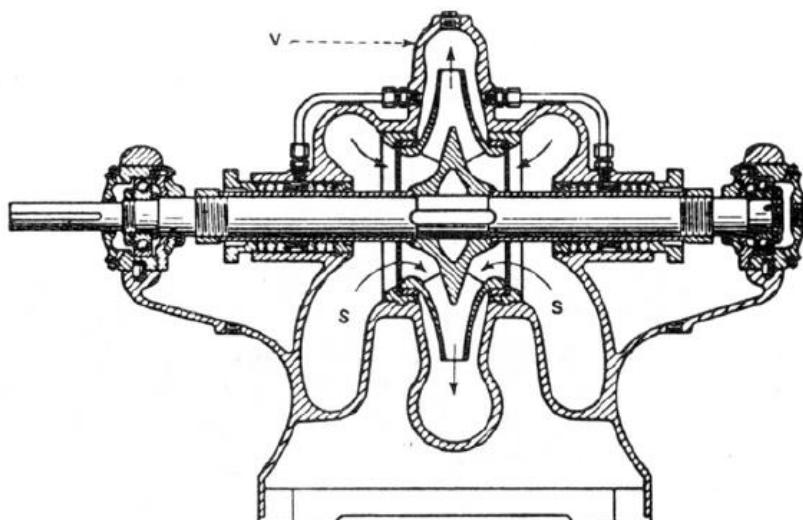


Εικόνα 2.11.: Αντλία απλής αναρρόφησης με την πτερωτή τοποθετημένη στο κέντρο του άξονα

2.2.3.2. Διπλής αναρρόφησης

Για την αποφυγή μονόπλευρης αξονικής καταπόνησης των εδράνων του άξονα των αντλιών σχεδιάζονται, συμμετρικά ως προς επίπεδο κάθετο στον άξονα, φυγοκεντρικά στροφεία, με δυνατότητα αμφίπλευρης εισόδου της ροής στο στροφείο και κοινή έξοδο προς το περίβλημα. Αντλίες διπλής αναρρόφησης . Το περίβλημα στις αντλίες αυτού του τύπου έχει δύο στόμια για την είσοδο του υγρού και από τις δύο πλευρές της πτερωτής . Η αντλία αυτή αποτελείται από δύο αντλίες απλής αναρρόφησης τοποθετημένες συμμετρικά ως προς επίπεδο κάθετο στον άξονα της αντλίας . Λόγω της συμμετρίας η πίεση στα στόμια εισόδου από τις δύο πλευρές της πτερωτής είναι ίση, οπότε οι αντλίες αυτές έχουν θεωρητικά υδραυλική εξισορρόπηση. Μικρές όμως ατέλειες στην κατασκευή των εξαρτημάτων και άνισες φθορές μεταβάλλουν τα χαρακτηριστικά ροής του υγρού στις δύο πλευρές και η πτερωτή υπόκειται σε μικρή αξονική ώθηση.

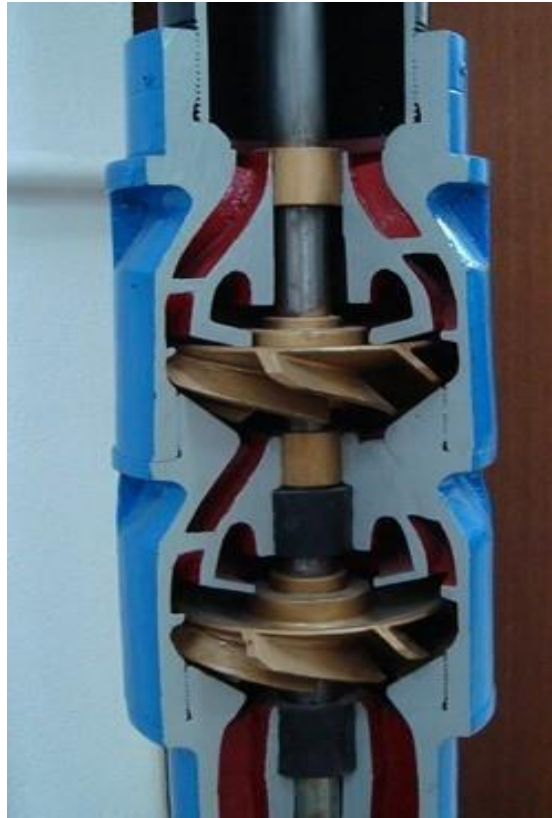
Οι αντλίες διπλής αναρρόφησης πλεονεκτούν στο ότι μειώνεται κατά πολύ ο κίνδυνος αξονικής ωθήσεως , ενώ λόγω της μικρής ταχύτητας κινήσεως του υγρού στην είσοδο (διπλός σωλήνας αναρρόφησης) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μεγάλες παροχές.



Εικόνα 2.12.: Αντλία διπλής αναρρόφησης I. πτερωτή, V. Σπειροειδές περίβλημα, L. Δακτύλιος υδρολιπάνσεως, P. Σαλαμάστρα, R. Στεγανοποίηση δρομέα-περιβλήματος S. Αναρρόφηση, T. σωλήνας επιστροφής του υγρού που διαρρέει.

2.2.4. Με βάση τον αριθμό των πτερωτών:

Μονοβάθμιες είναι οι αντλίες που έχουν μόνο μία πτερωτή. Με σκοπό να επιτευχθεί υψηλή διαφορά πίεσης μεταξύ αναρρόφησης και κατάθλιψης, οι φυγοκεντρικές αντλίες μπορούν να κατασκευαστούν με περισσότερες από μια πτερωτές πάνω στον ίδιο άξονα. Οι πτερωτές είναι τοποθετημένες με τέτοιο τρόπο, ώστε να λειτουργούν σε σειρά, δηλαδή η κατάθλιψη της μιας είναι η αναρρόφηση της επόμενης.



Εικόνα 2.13.: Σύνδεση πτερωτών σε σειρά με κέλυφος σταθερής διατομής και ακίνητους οδηγούς ροής

Για πολύ μεγάλες αυξήσεις πίεσης τοποθετούνται μέσα στο ίδιο κέλυφος, περισσότερες πτερωτές στη σειρά, έτσι ώστε η έξοδος μίας από αυτές να είναι είσοδος της επόμενης (πολυβάθμιες αντλίες - multistage pumps). Το κέλυφος των πολυβάθμιων αντλιών μπορεί να είναι σπειροειδούς μορφής στην έξοδο της τελευταίας πτερωτής ή σταθερής διατομής με ακίνητους οδηγούς ροής [Εικόνα 2.13]. Πολυβάθμιες αντλίες μπορούν να δημιουργηθούν για οποιαδήποτε μορφή πτερωτής δυναμικής αντλίας, ανεμιστήρα ή συμπιεστή. Η αξονική ώθηση στις πολυβάθμιες αντλίες είναι μεγάλη, γιατί όλες οι πτερωτές είναι τοποθετημένες στον ίδιο άξονα. Για την υδραυλική εξισορρόπηση οι πτερωτές είναι τοποθετημένες ανά ζεύγη αντίθετα. Η αξονική ώθηση επίσης, εξουδετερώνεται αν η πτερωτή κάθε βαθμίδας είναι διπλής αναρροφήσεως.

2.2.5. Με βάση τον τρόπο τοποθέτησης

2.2.5.1. Οριζόντιες

- Με οδηγούς ροής για μικρές παροχές και μικρό ολικό ύψος. Η είσοδος του υγρού είναι αξονική. Επειδή η αξονική ώθηση είναι μικρή ο άξονας στηρίζεται σε απλούς ή διπλούς σφαιροτριβείς και ανοίγονται οπές στους δίσκους των πτερυγίων. Συνήθως χρησιμοποιούνται για άντληση καθαρού νερού.

- Με οδηγούς ροής για μεγάλες παροχές και μεγάλο ολικό ύψος . Επειδή εργάζονται με υψηλές πιέσεις το περίβλημα είναι «μονοκόμματο» ή υπό τη μορφή δακτυλίων. Χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία ή τα ορυχεία για την άντληση καθαρών ή ελαφρώς ακάθαρτων υγρών.
- Με σπειροειδή περιβλήματα και πτερωτές υδραυλικώς εξισορροπημένες. Κάθε πτερωτή περιστρέφεται μέσα σε σπειροειδές περίβλημα. Η υδραυλική εξισορρόπηση γίνεται με αντίθετα τοποθετημένες πτερωτές γιατί οι άλλες μέθοδοι προκαλούν μείωση του βαθμού αποδόσεως της αντλίας. Οι πολυβάθμιες αντλίες δεν κατασκευάζονται με περισσότερες από 8 βαθμίδες γιατί το μήκος του άξονα δεν μπορεί να υπερβεί ένα ορισμένο μήκος.

2.2.5.2. Κατακόρυφες

Όταν τα αντλητικά στοιχεία (στροφεία με το κέλυφος) πρέπει να διέλθουν από μικρές επιφάνειες για να προσεγγίσουν το αντλούμενο υγρό, τότε ο άξονας της αντλίας τοποθετείται κατακόρυφα και όχι οριζόντια, όπως συμβαίνει στις περισσότερες περιπτώσεις εγκατάστασης αντλιών. Αυτό συμβαίνει κυρίως σε εφαρμογές αντλιών σε γεωτρήσεις βαθέων φρεάτων. Τοποθετούνται πολυβάθμιες αντλίες με ομοιόμορφη διάμετρο κελύφους μέσα στο υπόγειο νερό, διότι η άντληση από την επιφάνεια είναι αδύνατη. Ο άξονας της αντλίας επεκτείνεται μέχρι την επιφάνεια του εδάφους, από όπου δίνεται κίνηση με κινητήρια μηχανή. Σε σύγχρονες υποβρύχιες αντλίες, για απλούστευση της πολυπλοκότητας της κατασκευής και για εξοικονόμηση υλικών και χρηματικού κόστους, ο ηλεκτροκινητήρας είναι στεγανά προσαρμοσμένος στα αντλητικά στοιχεία και βυθίζεται μαζί τους στη γεώτρηση, ηλεκτροδοτούμενος από την επιφάνεια.⁴⁹



Εικόνα 2.14.:Κατακόρυφες φυγοκεντρικές αντλίες

Τα μειονεκτήματα τους είναι η πολύπλοκη κατασκευή τους και το μεγαλύτερο κόστος τους. Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν οι κατακόρυφες αντλίες είναι:

- Καταλαμβάνουν μικρότερη επιφάνεια του δαπέδου, γιατί ο κινητήρας τοποθετείται πάνω από την αντλία, οπότε χρειάζονται μικρότερο χώρο στεγάσεως και
- αν η στάθμη του αντλούμενου υγρού είναι χαμηλά ή κυμαίνεται κατά τη διάρκεια της αντλήσεως, η αντλία μπορεί να τοποθετηθεί πιο κοντά στη στάθμη ώστε το ύψος αναρροφήσεως να μην υπερβεί το επιτρεπτό όριο.

2.3. ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΤΙΚΗΣ ΕΚΤΟΠΙΣΗΣ (POSITIVE DISPLACEMENT PUMPS)

2.3.1. Ανάλυση Αντλιών Θετικής Εκτόπισης

Οι αντλίες θετικής εκτόπισης (Positive Displacement Pumps), κατά κανόνα, δεν παρουσιάζουν μια ομοιόμορφη συνεχή δράση επί του ρευστού που διακινούν, αλλά λειτουργούν κατά διαδοχικούς κύκλους του αντλητικού μηχανισμού. Κατά τη λειτουργία των αντλιών θετικής εκτόπισης, μια συγκεκριμένη ποσότητα υδραυλικού υγρού αναρροφάται και εγκλωβίζεται σε χώρο που διαμορφώνεται κατά την κίνηση του αντλητικού μηχανισμού, και, στη συνέχεια, εκτοπίζεται και συμπιέζεται προς το δίκτυο κατάθλιψης. Η ποσότητα, δηλαδή, του υγρού που απελευθερώνεται προς το υδραυλικό δίκτυο, κατά ένα κύκλο λειτουργίας του αντλητικού μηχανισμού, είναι σταθερή. Η ποσότητα αυτή είναι ένα φυσικό χαρακτηριστικό της αντλίας και δεν εξαρτάται από τη συχνότητα επανάληψης της κυκλικής διαδικασίας.

Συνέπεια της παραπάνω ανάλυσης είναι ότι η παροχή των αντλιών αυτών δεν επηρεάζεται από τις αντιστάσεις του υδραυλικού δικτύου. Ονομάζονται και υδροστατικές αντλίες σε αντιπαράθεση με τις δυναμικές αντλίες, διότι μετατρέπουν μηχανική ενέργεια σε υδραυλική ενέργεια με συγκριτικά μικρή παροχή και ταχύτητα του υγρού. Η συχνότητα λειτουργίας της κυκλικής διαδικασίας είναι μικρή, αλλά οι αντλίες θετικής εκτόπισης έχουν τη δυνατότητα άσκησης μεγάλων πιέσεων.

Οι αντλίες θετικής εκτόπισης βρίσκουν εφαρμογή σε υδραυλικά συστήματα ψεκασμού υγρών, όπου απαιτείται υψηλή πίεση και μικρή παροχή υγρού (καυστήρες πετρελαίου, ψεκαστήρες γεωργικών καλλιεργειών). Οι αντλίες θετικής εκτόπισης κατά τη λειτουργία τους μετατοπίζουν θετικά (ωθούν) το υγρό και η παροχή τους δεν επηρεάζεται σημαντικά από την υδραυλική αντίσταση, που παρουσιάζεται κατά την κίνηση του υγρού μέσα στη σωληνογραμμή. Οι αντλίες αυτές διακρίνονται στις παρακάτω ενότητες.

2.3.2. Παλινδρομικές αντλίες (Reciprocating pumps)

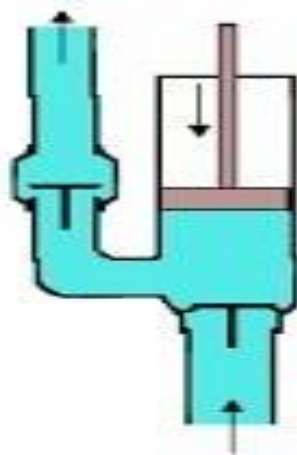
Η αρχή της θετικής εκτόπισης γίνεται εύκολα κατανοητή κατά τη μελέτη λειτουργίας των παλινδρομικών αντλιών. Το στοιχείο που παλινδρομεί είναι έμβολο μέσα σε κύλινδρο ή ελαστικό διάφραγμα από κατάλληλο υλικό. Καθώς το κινούμενο έμβολο ή

διάφραγμα κινείται στην κατεύθυνση της δημιουργίας κενού χώρου στον κύλινδρο ή στο περίβλημα της αντλητικής διάταξης, αντίστοιχα, το δημιουργούμενο κενό προκαλεί το άνοιγμα της βαλβίδας εισόδου και το ρευστό εισρέει στον κύλινδρο ή στο περίβλημα, καταλαμβάνοντας το κενό. Παράλληλα το κενό που δημιουργείται συνεισφέρει στην ερμητική φραγή της βαλβίδας εξαγωγής του ρευστού από τον κύλινδρο ή το περίβλημα. Η ποσότητα του ρευστού που εισέρχεται στον απογεννόμενο χώρο από την κίνηση του αντλητικού στοιχείου είναι συγκεκριμένη και γνωστή με βάση τη γεωμετρία του κυλίνδρου ή του σχετικού περιβλήματος.

Όταν το στοιχείο που παλινδρομεί κινηθεί κατά την αντίθετη φορά, η βαλβίδα εισαγωγής εξαναγκάζεται σε φραγή, ενώ η βαλβίδα εξαγωγής, λόγω της πίεσης, που αναπτύσσεται, υποχωρεί και το ρευστό εκτοπίζεται, συμπιεζόμενο προς το δίκτυο κατάθλιψης. Κατά τη διάρκεια κάθε παλινδρομικού κύκλου, η ίδια ποσότητα ρευστού εξαναγκάζεται να εξέλθει από την αντλία προς την κατάθλιψη. Η παλινδρόμηση του εμβόλου ή του διαφράγματος επιτυγχάνεται με στροφαλοφόρο άξονα και διωστήρα ή με έκκεντρο, και ως κινητήριες μηχανές χρησιμοποιούνται οι μηχανές εσωτερικής καύσης ή ηλεκτροκινητήρες.

Οι παλινδρομικές αντλίες είναι εύχρηστες, χρειάζονται λιγότερη συντήρηση και έχουν καλά χαρακτηριστικά λειτουργίας. Δίνουν σταθερή παροχή [μάζα ρευστού ανά μονάδα χρόνου] σε μεγάλο εύρος μεταβολής του μανομετρικού ύψους [ενέργεια ανά μονάδα βάρους προσερχομένου ρευστού] και χρησιμοποιούνται ευρύτατα για την άντληση πετρελαίου και την τροφοδοσία ψεκαστήρων γεωργικών καλλιεργειών.⁵⁰

Οι παλινδρομικές αντλίες ταξινομούνται σε απλής ενέργειας και διπλής ενέργειας:



Εικόνα 2.15: Παλινδρομική αντλία⁵¹

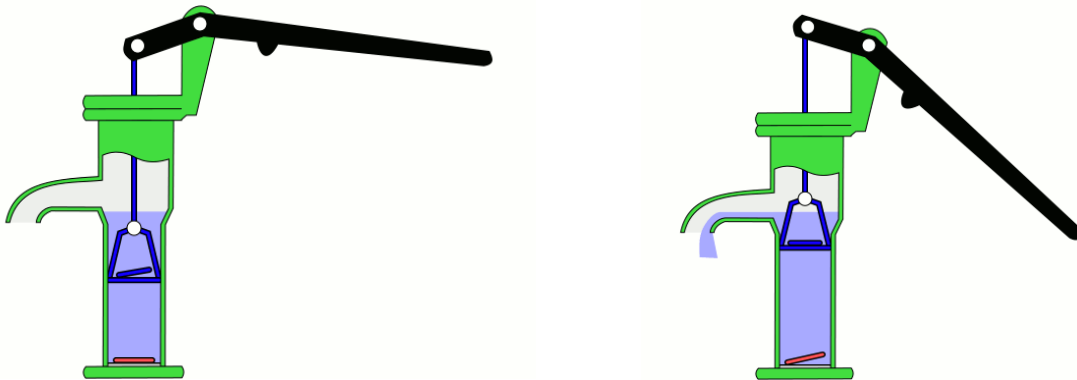
2.3.3. Παλινδρομικές Αντλίες απλής ενέργειας

2.3.3.1. Εμβολοφόρος αναρροφητική αντλία

Διακρίνεται για την απλότητα της κατασκευής και χρησιμοποιήθηκε ευρύτατα παλαιότερα για άντληση νερού από πηγάδια με την κοινή ονομασία «τουλούμπα». Η αντλία αυτή μπορεί να αντλήσει νερό από 8 περίπου μέτρα. Το δίκτυο αναρρόφησης της αντλίας αποτελείται από ένα σωλήνα με το ένα άκρο του βυθισμένο μέσα στο νερό

του φρέατος. Το άκρο αυτό φέρει ποδοβαλβίδα αντεπιστροφής, η οποία εξασφαλίζει τη συγκράτηση του νερού μέσα στο δίκτυο αναρρόφησης, όταν η αντλία δε λειτουργεί. Το άλλο άκρο του σωλήνα αναρρόφησης καταλήγει στην επιφάνεια του εδάφους και συνδέεται με κατακόρυφο κύλινδρο, μέσα στον οποίο παλινδρομεί έμβολο. Ο κύλινδρος στο σημείο σύνδεσης με το σωλήνα αναρρόφησης και το έμβολο φέρουν βαλβίδες, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.16.

Η αντλία λειτουργεί, όταν το δίκτυο αναρρόφησης είναι γεμάτο νερό, και αυτό εξασφαλίζεται από την ποδοβαλβίδα αντεπιστροφής. Όταν το έμβολο κατέρχεται μέσα στον κύλινδρο, η βαλβίδα του κυλίνδρου φράσσεται, ενώ η βαλβίδα του εμβόλου ωθείται προς την ανοικτή θέση και το νερό καταλαμβάνει το χώρο στο πίσω μέρος του εμβόλου. Όταν το έμβολο κινείται προς τα επάνω, η βαλβίδα του εμβόλου ωθείται σε φραγή και το νερό οδηγείται προς την έξοδο της αντλίας για χρήση. Παράλληλα το κενό που δημιουργείται στο χώρο του κυλίνδρου προκαλεί το άνοιγμα της βαλβίδας του κυλίνδρου και την εισροή στον κύλινδρο νερού από το φρέαρ. Η επανάληψη του παραπάνω κύκλου δημιουργεί την περιοδική ροή του νερού προς την έξοδο της αντλίας.

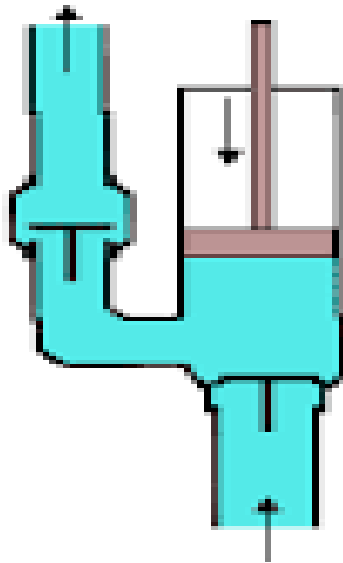


Εικόνα 2.16. Εμβολοφόρος αναρροφητική αντλία ⁵²

2.3.3.2. Εμβολοφόρος καταθλιπτική αντλία

Η αντλία αυτή βασίζεται, επίσης, στην παλινδρόμηση εμβόλου μέσα σε κύλινδρο. Στην περίπτωση αυτή, τοποθετούνται στον κύλινδρο και οι δύο βαλβίδες. Δεν υπάρχει, δηλαδή, βαλβίδα στο έμβολο. Η μια βαλβίδα συνδέεται με το δίκτυο αναρρόφησης και η άλλη με το δίκτυο κατάθλιψης. Κατά την κίνηση του εμβόλου κατά τη μία διεύθυνση ωθείται στην ανοικτή θέση η βαλβίδα που συνδέεται με το δίκτυο κατάθλιψης και το ρευστό εξέρχεται της αντλίας.

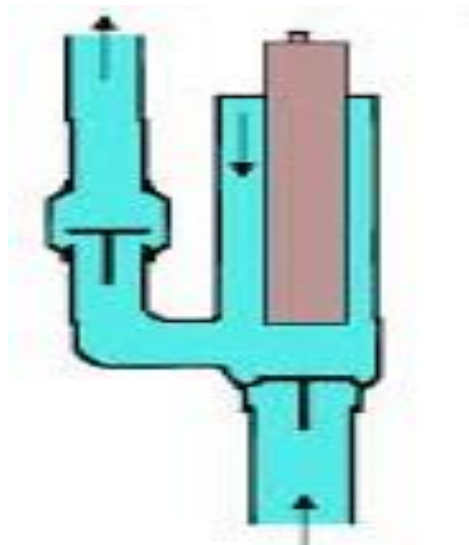
Η πίεση, που αναπτύσσεται στον κύλινδρο, εισφέρει στη φραγή της βαλβίδας, που συνδέεται με το δίκτυο αναρρόφησης. Όταν το έμβολο κινείται προς την αντίθετη διεύθυνση, το κενό που δημιουργείται εισφέρει στην απόφραξη της βαλβίδας προς την κατάθλιψη και στο άνοιγμα της βαλβίδας, που συνδέεται με το δίκτυο αναρρόφησης. Έτσι το ρευστό αναρροφάται στον κύλινδρο, και η κυκλική αυτή διαδικασία επαναλαμβάνεται συνεχώς, με αποτέλεσμα την περιοδική αναρρόφηση και κατάθλιψη του ρευστού.



Εικόνα 2.17. Εμβολοφόρος καταθλιπτική αντλία⁵³

2.3.3.3. Αντλίες με βυθιζόμενο έμβολο.

Στις αντλίες αυτές, που εργάζονται πανομοιότυπα με τις εμβολοφόρες καταθλιπτικές, αντί του εμβόλου με τους δακτυλίους στεγανότητας, που παλινδρομεί μέσα στον κύλινδρο, υπάρχει ένα έμβολο το οποίο βυθίζεται μέσα στον κύλινδρο και εκτοπίζει το ρευστό προς την κατάθλιψη. Ο όγκος του εντοπιζόμενου υγρού ισούται με το βυθιζόμενο όγκο του εμβόλου. Η στεγανοποίηση γίνεται με συττιοθλίπτη στην αρχή του κυλίνδρου. Ο συττιοθλίπτης [Εικόνα 2.18.] είναι ένα μηχανικό σύστημα περισφίξης ενός κινουμένου κυλινδρικού στοιχείου με ειδικά πλαστικά ή ινώδη υλικά, εμποτισμένα με ειδικά λιπαντικά, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται στεγανοποίηση, καθώς το μεταλλικό κυλινδρικό στοιχείο ολισθαίνει επάνω στα ειδικά αυτά αντιτριβικά υλικά. Επειδή οι τριβές είναι λιγότερες και η στεγανότητα καλύτερη, σχετικά με τις εμβολοφόρες καταθλιπτικές αντλίες, οι αντλίες με βυθιζόμενο έμβολο παρουσιάζουν καλύτερη απόδοση.



Εικόνα 2.18.: Αντλία με βυθιζόμενο έμβολο⁵⁴

2.3.3.4. Αντλίες με διάφραγμα

Στις αντλίες με διάφραγμα, αντί για έμβολο, που παλινδρομεί, υπάρχει ένα διάφραγμα από ειδικό πλαστικό, θερμοπλαστικό ή Teflon, το οποίο είναι στερεωμένο περιφερειακά και πάλλεται με συγκεκριμένη συχνότητα (60-80 παλμούς ανά min), ωθούμενο από κάθετο σε αυτό εξωτερικό στοιχείο που παλινδρομεί. Καθώς το διάφραγμα πάλλεται, δημιουργούνται πανομοιότυπες συνθήκες αναρρόφησης και κατάθλιψης με αυτές που έχουν περιγραφεί προηγούμενα, για τους τύπους των παλινδρομικών αντλιών που εξετάστηκαν. Χρησιμοποιούνται και εδώ κατάλληλες βαλβίδες αναρρόφησης και κατάθλιψης στην είσοδο και στην έξοδο της αντλίας, αντίστοιχα. Οι αντλίες αυτές χρησιμοποιούνται συνήθως για ανάπτυξη πίεσης στην κατάθλιψη μέχρι 10 bar και παροχή μέχρι 600 l/min. Οι αντλίες διαφράγματος δημιουργούν απόλυτη μόνωση μεταξύ του μηχανισμού οδήγησης και του αυξομειούμενου θαλάμου, επιτρέποντας στην αντλία να αναρροφά και να συμπιέζει διαβρωτικά και καυστικά υγρά και ακάθαρτα διφασικά μίγματα υγρών και στερεών υλών. Είναι κατάλληλες για διακίνηση πολλών ρευστών, όπως νερό, πετρέλαιο, βενζίνη [Εικόνα 2.19.], οξέα και κολλώδη ρευστά.

Ένας σύγχρονος τύπος αντλιών με διάφραγμα είναι αυτός που χρησιμοποιεί πεπιεσμένο αέρα, αντί για μηχανικά στοιχεία, για την οδήγηση του διαφράγματος και διαθέτει διπλό διάφραγμα. Είναι ουσιαστικά δύο αντλίες μαζί. Όταν η μια είναι σε στάδιο αναρρόφησης, η άλλη είναι σε στάδιο κατάθλιψης. Οι βαλβίδες του αέρα ρυθμίζονται, έτσι ώστε, όταν το ένα διάφραγμα ωθείται και καταθλίβει το υγρό που διακινείται, το άλλο αποσυμπιέζεται και αναρροφά το διακινούμενο υγρό.



Εικόνα 2.19.: Αντλία με διάφραγμα, αρχή λειτουργίας⁵⁵ αντλίας βενζίνης αυτοκινήτου

2.3.3.5. Πολυκύλινδρες παλινδρομικές αντλίες.

Όταν απαιτούνται μεγάλες παροχές, χρησιμοποιούνται πολυκύλινδρες εμβολοφόρες αντλίες θετικής εκτόπισης. Τα έμβολα τοποθετούνται σε σειρά [Εικόνα 2.20.] αλλά και σε άλλες διατάξεις. Οδηγούνται από κοινό στροφαλοφόρο άξονα ή από έκκεντρα. Συνήθως κάθε κύλινδρος έχει χωριστές βαλβίδες αναρρόφησης και κατάθλιψης. Η παροχή της αντλίας είναι το άθροισμα των παροχών όλων των κυλίνδρων.⁵⁶



Εικόνα 2.20.: Πολυκύλινδρη αντλία θετικής εκτόπισης

2.3.4. Παλινδρομικές Αντλίες διπλής ενέργειας

Όταν σε μια εμβολοφόρα καταθλιπτική αντλία το έμβολο καταθλίβει το διακινούμενο υγρό και κατά τις δύο φορές κίνησής του, τότε η αντλία χαρακτηρίζεται ως διπλής ενέργειας. Οι αντλίες αυτές επιτυγχάνουν μεγαλύτερη παροχή (διπλάσια παροχή σε ένα κύκλο λειτουργίας), με πιο ομοιόμορφη ροή. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.21., ο κύλινδρος, μέσα στον οποίο παλινδρομεί το έμβολο, φέρει, κατάλληλα τοποθετημένες, δύο βαλβίδες αναρρόφησης και δύο βαλβίδες κατάθλιψης. Όταν το έμβολο κινείται προς μια διεύθυνση, ωθούνται στην ανοικτή θέση δύο βαλβίδες που βρίσκονται εκατέρωθεν των δύο πλευρών του εμβόλου.



Εικόνα 2.21.: Αντλία διπλής ενέργειας⁵⁷

Η μια αναρροφά ρευστό από το δίκτυο αναρρόφησης προς τη μια παρειά του εμβόλου και η άλλη επιτρέπει την κατάθλιψη ρευστού στο δίκτυο κατάθλιψης, ωθούμενο από την άλλη παρειά του εμβόλου. Η αλλαγή της φοράς κίνησης του εμβόλου συνεπάγεται τη φραγή των δύο βαλβίδων και την εξώθηση στην ανοικτή θέση των άλλων δύο. Το ρευστό, που είχε αναρροφηθεί προηγουμένως, ωθείται τώρα ελεύθερα προς την

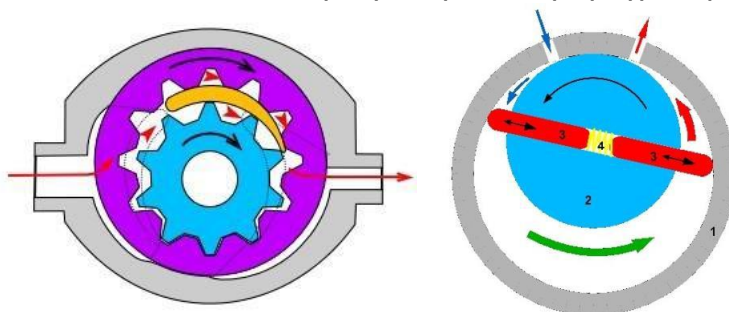
κατάθλιψη από τη μια πλευρά του εμβόλου, ενώ στο χώρο που βρίσκεται η άλλη πλευρά του εμβόλου αναρροφάται ελεύθερα ρευστό από το δίκτυο αναρρόφησης.

2.3.5. Περιστροφικές αντλίες (Rotary pumps)

2.3.5.1. Ανάλυση περιστροφικών αντλιών

Το αντλητικό στοιχείο των αντλιών αυτών εκτελεί περιστροφική κίνηση με σταθερή γωνιακή ταχύτητα και αποτελείται από ένα ή περισσότερα κινούμενα στοιχεία που βρίσκονται συνεχώς σε επαφή μεταξύ τους ή με το θάλαμο μέσα στον οποίο περιστρέφονται. Με τον τρόπο αυτό απομονώνουν μία ποσότητα υγρού και την ωθούν προς το σωλήνα κατάθλιψης. Η ώθηση ή εκτόπιση του υγρού είναι η αιτία της αύξησης της πίεσης στην έξοδο της αντλίας και για το λόγο αυτό, οι περιστροφικές αντλίες, αν και έχουν στροφείο, ταξινομούνται στις αντλίες θετικής εκτόπισης και όχι στις δυναμικές αντλίες, στις οποίες επιτυγχάνεται αύξηση της πίεσης στην έξοδο λόγω μεταβολής της κινητικής κατάστασης του ρευστού.

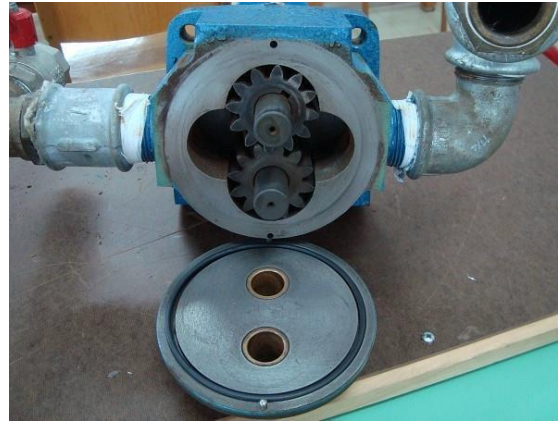
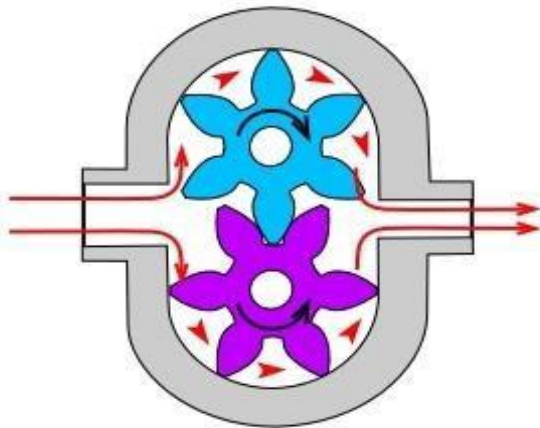
Οι αντλίες αυτές δεν έχουν βαλβίδες και η ροή του υγρού είναι σχεδόν σταθερή. Η αρχή λειτουργίας και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά είναι όμοια για όλες τις περιστροφικές αντλίες. Η μορφή του αντλητικού στοιχείου που διαφέρει κατοπτρίζεται στην ονομασία της αντλίας. Γραναζωτές, λοβωτές ή κοχλιωτές είναι μερικοί τύποι περιστροφικών αντλιών. Οι περιστροφικές αντλίες χρησιμοποιούνται για τη διακίνηση της υγρής κατάστασης όλων των ειδών και ιδιαίτερα για τη διακίνηση υγρών με μεγάλο ιξώδες.



Εικόνα 2.22: Περιστροφική αντλία θετικής εκτόπισης, (α) γραναζωτή, (β) με έμβολα ⁵⁸

2.3.5.2. Γραναζωτές αντλίες

Το κινούμενο στοιχείο άντλησης των αντλιών αυτών είναι δύο οδοντωτοί τροχοί (γρανάζια) που βρίσκονται συνεχώς σε εμπλοκή, εξασφαλίζοντας το στεγανό διαχωρισμό των θαλάμων αναρρόφησης και κατάθλιψης. Οι δύο συνεργαζόμενοι τροχοί περιστρέφονται μέσα σε κατάλληλα διαμορφωμένο περίβλημα [Εικόνα 2.22.]. Ο ένας οδοντωτός τροχός είναι ο κινητήριος, ο οποίος περιστρέφεται από ηλεκτροκινητήρα ή μηχανή εσωτερικής καύσης. Το διάκενο μεταξύ του περιβλήματος και των οδοντωτών τροχών είναι πολύ μικρό [Εικόνα 2.23.]. Καθώς οι τροχοί περιστρέφονται, το υγρό εγκλωβίζεται στα διάκενα μεταξύ των δοντιών και του κελύφους και ωθείται προς το δίκτυο κατάθλιψης.



Εικόνα 2.23.:Γραναζωτές αντλίες, τρόπος λειτουργίας⁵⁹

2.3.5.3. Αντλίες με λοβούς

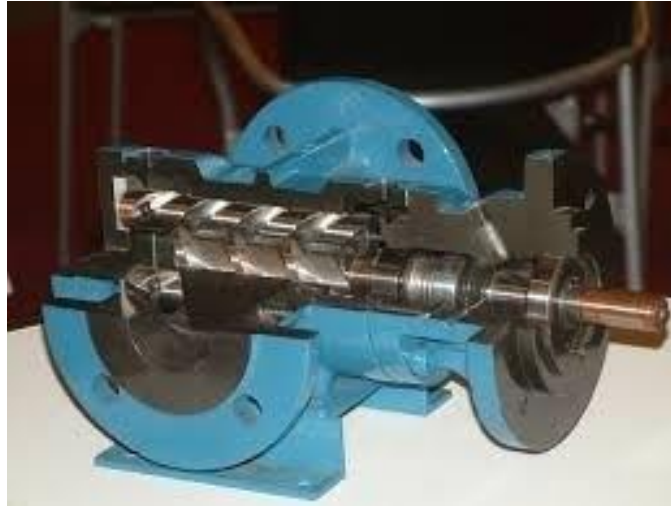
Οι λοβωτές αντλίες λειτουργούν όμοια με τις γραναζωτές. Η διαφορά βρίσκεται στα περιστρεφόμενα σώματα, που σε αυτή την περίπτωση είναι ειδικά διαμορφωμένοι λοβωτοί δρομείς οι οποίοι συνεργάζονται μεταξύ τους, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.23.. Κάθε λοβωτός δρομέας φέρει στο πίσω μέρος του άξονά του οδοντωτό τροχό. Οι άξονες τοποθετούνται παράλληλα μέσα στο κέλυφος, έτσι ώστε τα λοβωτά σώματα και οι οδοντωτοί τροχοί να βρίσκονται σε εμπλοκή. Ο κινητήριος άξονας, στον οποίο συνδέεται η κινητήρια μηχανή, είναι ο ένας από τους δύο. Η δυνατότητα αναρρόφησης είναι μικρή και η ροή είναι σχετικά ασταθής.

Έχουν δυνατότητα μεταφοράς, χωρίς παραμόρφωση ή σύνθλιψη, σχετικά μεγάλων στερεών τεμαχίων, λόγω των σχετικά μεγάλων θαλάμων που δημιουργούνται μεταξύ των λοβών και του κελύφους της αντλίας. Ενδείκνυνται για τη διακίνηση ιξωδών ρευστών, με μικρές, φυσικά, ταχύτητες ροής, για να υπάρξει μια ικανοποιητική απόδοση. Χρησιμοποιούνται ευρύτατα στη βιομηχανία τροφίμων, στην ποτοποιία, στη χαρτοβιομηχανία, στις εγκαταστάσεις βιολογικών καθαρισμών, στη χημική βιομηχανία, στη φαρμακευτική και στη βιοτεχνολογία. Ο αντλητικός θάλαμος και τα στροφέα καθαρίζονται εύκολα και προσφέρουν υγειονομική προστασία, υψηλή απόδοση, αξιοπιστία και αντίσταση στη διάβρωση, χωρίς να υποβαθμίζεται το διακινούμενο προϊόν.

2.3.5.4. Αντλίες με κοχλίες

Οι αντλίες με κοχλίες είναι γνωστές πριν τους ελληνιστικούς χρόνους. Ο κοχλίας του Αρχιμήδη είναι διάσημη κοχλιωτή αντλία που χρησιμοποιείται ευρύτατα και σήμερα στις εγκαταστάσεις βιολογικών καθαρισμών, στην τροφοδοσία καυστήρων στερεών καυσίμων και σε ειδικές εγκαταστάσεις διακίνησης υγρών ή στερεών υπό μορφή μικρών τεμαχίων που συμπεριφέρονται σαν τα ρευστά. Το διακινούμενο ρευστό στις αντλίες με κοχλίες, που μπορεί να είναι στερεό, υγρό ή αέριο, δεν εκτελεί περιστροφική κίνηση αλλά ευθύγραμμη, ωθούμενο από την κοχλίωση μέσα στην ελικοειδή αύλακα του κοχλία. Μπορούν να διαχειριστούν από καθαρό νερό μέχρι υγρά απόβλητα και από αέρα μέχρι υγρά με μεγάλο ιξώδες. Σύγχρονες αντλίες με τρεις κοχλίες μπορούν

να καταθλίβουν σε πιέσεις μέχρι 300 bar, και δίνουν παροχές μέχρι 750 m³/h, με πολύ υψηλές αποδόσεις. Οι αντλίες με κοχλίες, επειδή δεν αναπτύσσουν μεγάλες τριβές, επιτυγχάνουν μεγάλες ταχύτητες περιστροφής, που μπορούν να φθάσουν και τις 3500 rpm.[Εικόνα 2.24.]



Εικόνα 2.24: Τομή κοχλιωτής αντλίας⁶⁰

2.4. ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΕΣ - ΣΥΜΠΙΕΣΤΕΣ

2.4.1. Ανάλυση Ανεμιστήρων

Όταν η ρευστοδυναμική μηχανή καλείται να δώσει ενέργεια ανά μονάδα βάρους προσερχομένου ρευστού στον αέρα του περιβάλλοντος, τότε ονομάζεται ανεμιστήρας, φυσητήρας ή συμπιεστής. Η αρχή λειτουργίας των ανεμιστήρων και των συμπιεστών δε διαφέρει από αυτή των αντλιών. Το μόνο που διαφέρει είναι το ρευστό. Και εδώ οι δυο βασικοί σχεδιασμοί είναι ο φυγοκεντρικός και ο αξονικός. Η ρευστοδυναμική μηχανή εδώ αλληλοεπιδρά με αέριο ρευστό πολύ μικρότερης πυκνότητας από αυτή των υγρών και έτσι οι δυνάμεις, που ασκούνται, είναι πολύ μικρότερες. Αυτό έχει ως συνέπεια τη δημιουργία ελαφρότερων κατασκευών με μεγαλύτερη κατασκευαστική ευκολία.

Ανάλογα λοιπόν με το ρευστό, στο οποίο καλείται να δώσει ενέργεια η κάθε μηχανή, υπάρχει διαφοροποίηση στο σχεδιασμό του περιβλήματος και της πτερωτής της. Τα υλικά, που χρησιμοποιούνται κυρίως, είναι αλουμίνιο, χάλυβας (ελάσματα κυρίως), μπρούντζος και άλλα κράματα του χαλκού καθώς και σύνθετα υλικά, θερμοπλαστικά, ειδικά πλαστικά. Για παράδειγμα, ο κλιματισμός σε οποιονδήποτε χώρο βασίζεται αναγκαστικά σε εξαναγκασμένη κίνηση ποσοτήτων αέρα προς κατάλληλες κατευθύνσεις, δεδομένων θερμοδυναμικών χαρακτηριστικών και με προκαθορισμένη παροχή. Για τη ροή του αέρα χρησιμοποιούνται αεραγωγοί και για την αναγκαία παροχή ενέργειας στον αέρα χρησιμοποιούνται ανεμιστήρες. Οι ανεμιστήρες, οι φυσητήρες και οι συμπιεστές είναι μηχανές, που μπορούν να αναπτύξουν διαφορά πίεσης μεταξύ της εισόδου και της εξόδου τους. Αποτελούνται από τα εξής κύρια μέρη:

- Περίβλημα (κέλυφος)
- Περιστρεφόμενος άξονας
- Πτερωτή, η οποία στηρίζεται στον άξονα και στηρίζει τα πτερύγια (στροφείο)
- Στόμιο εισαγωγής του αέρα
- Στόμιο εξαγωγής του αέρα
- Τα στρεφόμενα πτερύγια δημιουργούν υποπίεση (μικρότερη της ατμοσφαιρικής) στην εισαγωγή και υπερπίεση στο σημείο αναχώρησης του αέρα.

2.4.2. Φυγοκεντρικοί ανεμιστήρες – συμπιεστές

Οι φυγοκεντρικοί ανεμιστήρες [Εικόνα 2.25.] χρησιμοποιούνται κυρίως στις μονάδες κλιματισμού χώρων.



Εικόνα 2.25.: Φυγοκεντρικός ανεμιστήρας – Φυγοκεντρική πτερωτή κλειστού τύπου

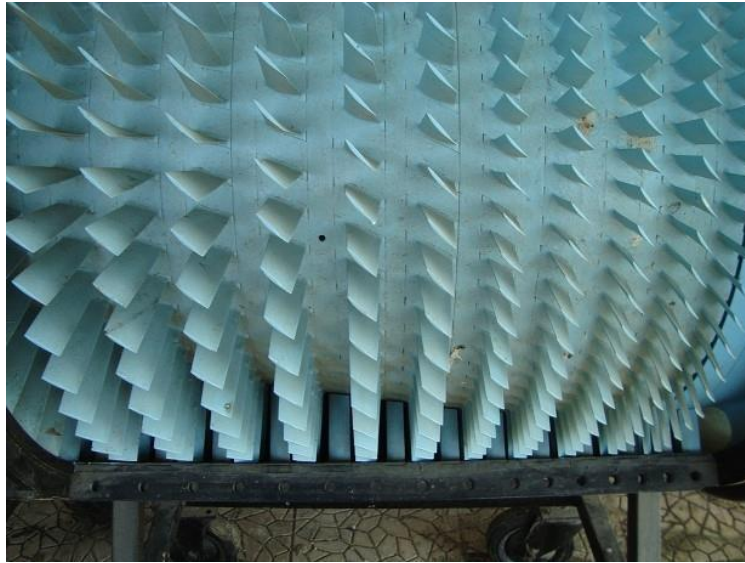
2.4.3. Αξονικοί ανεμιστήρες - συμπιεστές

Αντίθετα στις περιπτώσεις αερισμού χώρων, κυριαρχούν οι αξονικοί ανεμιστήρες [Εικόνα 2.26.], τόσο στους μικρούς χώρους των κατοικιών και γραφείων, όσο και στη βιομηχανία.

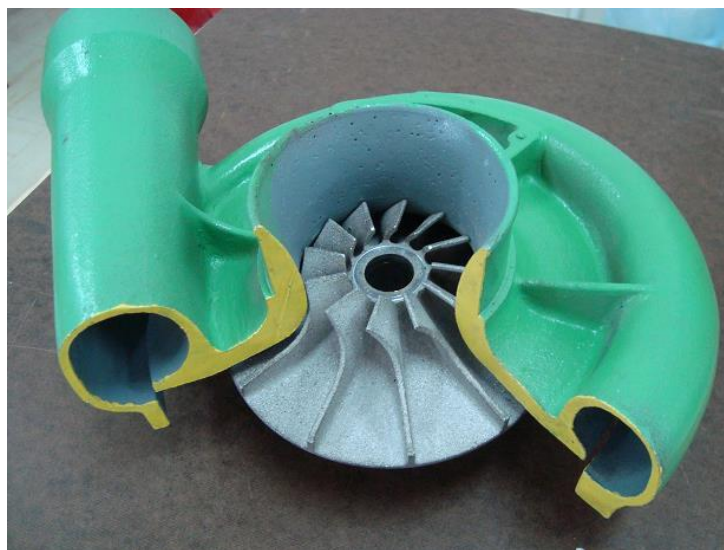


Εικόνα 2.26.: Αξονικός ανεμιστήρας με πλέγμα εξομάλυνσης της ροής σε υποχητική αεροσήραγγα

Οι πολυβάθμιοι αξονικοί συμπιεστές [Εικόνα 2.27.] κυριαρχούν στις αεροπορικές εφαρμογές.



Εικόνα 2.27.: Αξονικός συμπιεστής αεροπορικού κινητήρα (κινητή πτερύγωση – ακίνητα - οδηγά πτερύγια στο περίβλημα – σύνθεση των δύο πτερυγώσεων)



Εικόνα 2.28.: Φυγοκεντρικός συμπιεστής – Πτερωτή

2.4.4. Αεροσυμπιεστής

Σε πολλές μηχανολογικές εφαρμογές χρησιμοποιείται ο πεπιεσμένος αέρας ως μια κεντρική πηγή για την οδήγηση εργαλείων. Αέρας συμπιέζεται σε μια δεξαμενή αποθήκευσης, η οποία τροφοδοτεί το εργαλείο με πεπιεσμένο αέρα σε σταθερή πίεση (5bar ή 10bar για παράδειγμα). Η ψυχή του συστήματος είναι μια ρευστοδυναμική μηχανή, ο αεροσυμπιεστής, ο οποίος, συνήθως, λειτουργεί ως αντλία θετικής εκτόπισης, εμβολοφόρου [Εικόνα 2.28.] ή περιστροφικού [Εικόνα 2.30.] τύπου.



Εικόνα 2.29 και 2.30..: Οι δύο όψεις ενός εμβολοφόρου, αερόφυκτου, παλινδρομικού αεροσυμπιεστή και η λειτουργία του.

2.5. ΣΤΡΟΒΙΛΟΙ

2.5.1. Ανάλυση Στροβίλων

Αντίθετα με τις αντλίες, οι στρόβιλοι (turbines), λαμβάνουν ενέργεια ανά μονάδα βάρους προσερχόμενου ρευστού, την οποία και μετατρέπουν σε ωφέλιμο έργο. Στόχο, φυσικά, των στροβίλων αποτελεί η μέγιστη μεταφορά ενέργειας από το ρευστό. Η πιο απλή μορφή στροβίλου είναι μια σύνθεση στροφείου, όπου σε έναν άξονα, ή ένα τύμπανο, προσαρμίζονται πτερύγια. Το ρευστό επιδρά στα πτερύγια και αυτά, αντιδρώντας στη ροή, περιστρέφουν το στροφείο. Παραδείγματα απλών στροβίλων αποτελούν οι ανεμόμυλοι και οι νερόμυλοι.

2.5.2. Ταξινόμηση ανάλογα με το εργαζόμενο ρευστό

2.5.2.1. Υδροστρόβιλοι

Οι υδροστρόβιλοι εκμεταλλεύονται την ενέργεια από την κίνηση του νερού με σκοπό την παραγωγή έργου π.χ. νερόμυλοι. Οι σύγχρονοι υδροστρόβιλοι χρησιμοποιούνται για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας, δηλαδή ηλεκτρικής ενέργειας, που

προκύπτει από την περιστροφή τους. Νερό υψηλής κινητικής ενέργειας, μετά από προγραμματισμένη υδατόπτωση, προκαλεί την περιστροφή του στροβίλου και την ανάπτυξη ροπής μέσω του άξονά του σε συζευγμένη ηλεκτρογεννήτρια. Η ελεγχόμενη παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας γίνεται εδώ και πολλά χρόνια σε όλα τα σημεία του πλανήτη που διαθέτουν κατάλληλη γεωλογική διαμόρφωση, έτσι ώστε να δημιουργούνται υδατοπτώσεις μεγάλου ή και μικρού σχετικά ύψους με μεγάλη παροχή νερού. Τα έργα υποδομής πολιτικού μηχανικού και ο ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός, που χρησιμοποιείται για τη μετατροπή της υδραυλικής ενέργειας σε ηλεκτρική, συνθέτουν ένα υδροηλεκτρικό έργο.



Εικόνα 2.31.: Υδροηλεκτρικό έργο λίμνης Πλαστήρα⁶¹

Η μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων νερού σε φυσικούς ή τεχνητούς ταμειυτήρες, σε στάθμη υψηλότερη της επιφανείας της θάλασσας, με τη φυσική διεργασία της εξάτμισης και της συμπύκνωσης (βροχή), δημιουργεί ουσιαστικά συσσωρευτές ηλεκτρικής ενέργειας. Η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι η σημαντικότερη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, με σημαντική διείσδυση στα ενεργειακά ισοζύγια πολλών χωρών. Τα υδροηλεκτρικά έργα δεν δημιουργούν σημαντικά περιβαλλοντικά προβλήματα.



Εικόνα 2.32.: Υδροστρόβιλος Pelton⁶²,



Εικόνα 2.33.: Υδροστρόβιλος Francis, περίβλημα – κέλυφος, ρύθμιση σταθερών πτερυγίων και γεννήτρια⁶³



Εικόνα 2.34.: Υδροστρόβιλος Karlan (αξονική ροή) ⁶⁴

2.5.2.2. Αεριοστρόβιλοι

Οι αεριοστρόβιλοι εκμεταλλεύονται την ενέργεια της ροής καυσαερίων με σκοπό την παραγωγή κινητήριου έργου σε επίγειες ή αεροπορικές εφαρμογές. Για παράδειγμα, αναφέρονται οι στροβιλοσυμπιεστές υπερπλήρωσης μηχανών εσωτερικής καύσης, οι επίγειοι αεριοστρόβιλοι παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και οι αεριοστρόβιλοι των αεροπορικών εφαρμογών [Εικόνα 2.35.].



Εικόνα 2.35: Πολυβάθμιος αεριοστρόβιλος⁶⁵],

2.5.2.3. Ατμοστρόβιλοι

Οι ατμοστρόβιλοι [Εικόνα 2.36.] εκμεταλλεύονται την ενέργεια του υδρατμού με σκοπό την παραγωγή μηχανικού έργου και τη μετατροπή του κυρίως σε ηλεκτρική ενέργεια στα ατμοηλεκτρικά εργοστάσια με συμβατικά ή πυρηνικά καύσιμα, που εξασφαλίζουν τη θερμική ενέργεια που απαιτείται για τη δημιουργία του υδρατμού υψηλής θερμοκρασίας και πίεσης.



Εικόνα 2.36.: Πολυβάθμιοι ατμοστρόβιλοι αξονικής και ακτινικής ροής⁶⁶

2.5.2.4. Ανεμοκινητήρες

Οι ανεμοκινητήρες [Εικόνα 2.37] εκμεταλλεύονται την ενέργεια της ροής του ανέμου με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (ανεμογεννήτριες).

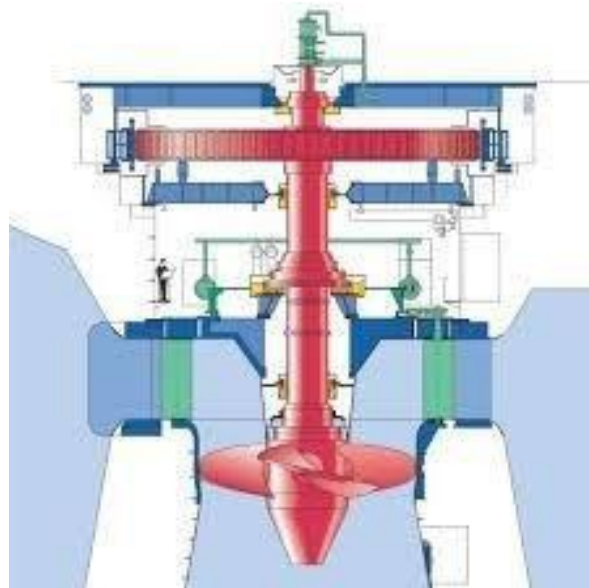


Εικόνα 2.37.: Ανεμοκινητήρες σε αιολικό πάρκο⁶⁷

2.5.3. Ταξινόμηση ανάλογα με την κατεύθυνση της ροής του ρευστού

2.5.3.1. Αξονικής ροής

Στους στροβίλους αξονικής ροής, η διέλευση του ρευστού πραγματοποιείται παράλληλα με τη διεύθυνση του άξονα της πτερωτής (αξονική ροή). Η μέση ακτίνα της ροής στους αξονικούς στροβίλους παραμένει σχεδόν σταθερή. Οι στροβίλοι αυτοί χρησιμοποιούνται για την ενεργειακή αξιοποίηση μεγάλης παροχής μάζας ρευστού. Οι αξονικοί στροβίλοι παρουσιάζουν ιδιαίτερα χαμηλή διαφορά πίεσης μεταξύ των σημείων εισόδου και εξόδου του ρευστού, με συνέπεια να καθίσταται αναγκαία η τοποθέτηση πολλών βαθμίδων στη σειρά με σκοπό να επιτευχθούν υψηλοί λόγοι πτώσης πίεσης. Ως τυπική βαθμίδα αξονικού στροβίλου θεωρείται η αλληλουχία μιας σταθερής, ακίνητης πτερύγωσης (ακροφύσιο), η οποία ακολουθείται από μια περιστρεφόμενη, κινητή πτερύγωση, στην οποία εκτονώνεται το ρευστό.



Εικόνα 2.38.: Υδροστροβίλος Kaplan αξονικής ροής⁶⁸

2.5.3.2. Ακτινικής ροής

Στους στροβίλους ακτινικής ροής το ρευστό προσβάλλει το στρόβιλο ακτινικά, δηλαδή κάθετα ως προς τον άξονα της πτερωτής, και οδεύει μέσα στο στρόβιλο κατά την ακτινική διεύθυνση

2.5.3.3. Μικτής ή διαγώνιας ροής

Στο σύγχρονο σχεδιασμό των υδροστροβίλων Francis, για παράδειγμα, η ροή μέσα στο δρομέα γίνεται με κλίση ως προς τον άξονα, και όχι απολύτως ακτινικά. Τότε ο στρόβιλος χαρακτηρίζεται ως διαγώνιας ή μικτής ροής.⁶⁹



Εικόνα 2.39.: Υδροστρόβιλοι Pelton (μερικής επαπτομενικής προσβολής) ⁷⁰



Εικόνα 2.40.: Francis (ακίνητη και κινητή πτερωτή) ακτινικής ροής⁷¹

3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΑΝΤΛΙΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟΔΟΣΗ

3.1. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΑΝΤΛΙΩΝ – ΣΥΜΠΙΕΣΤΩΝ - ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΩΝ

Η απόδοση μιας αντλίας χαρακτηρίζεται από τις ποσότητες: 1) Ύψος αναρροφήσεως, ύψος καταθλίψεως, ολικό ύψος, 2) Παροχή, 3) Απαιτούμενη ισχύς για τη λειτουργία της αντλίας και 4) Βαθμός αποδόσεως.

3.1.1. Ύψος αναρροφήσεως, καταθλίψεως και ολικό

- Στατικό ή γεωμετρικό ύψος αναρροφήσεως (H_a) ενός συστήματος είναι η κατακόρυφη απόσταση από την επιφάνεια του υγρού της δεξαμενής αναρροφήσεως μέχρι το σημείο εισόδου του υγρού στην αντλία.
- Στατικό ή γεωμετρικό ύψος καταθλίψεως (H_k) ενός συστήματος είναι η κατακόρυφη απόσταση από το σημείο εξόδου του υγρού από την αντλία μέχρι την επιφάνεια του υγρού της δεξαμενής αποθηκεύσεως.
- Ολικό στατικό ή γεωμετρικό ύψος (H_Σ) ενός συστήματος είναι η κατακόρυφη απόσταση από την επιφάνεια του υγρού της δεξαμενής αναρροφήσεως μέχρι την επιφάνεια του υγρού της δεξαμενής αποθηκεύσεως, ανεξάρτητα από το αν οι επιφάνειες είναι ελεύθερες ή υπό πίεση.
- Μανομετρικό ύψος αναρροφήσεως (H_{ma}) είναι το ύψος της σχετικής πίεσεως στη δεξαμενή αναρροφήσεως μείον το άθροισμα του στατικού ύψους αναρροφήσεως, των απωλειών φορτίου και της διαφοράς των υψών ταχύτητας στο σωλήνα και στη δεξαμενή αναρροφήσεως.
- Μανομετρικό ύψος καταθλίψεως (H_{mk}) είναι το άθροισμα του ύψους πίεσεως στη δεξαμενή αποθηκεύσεως, του στατικού ύψους καταθλίψεως και της απώλειας φορτίου μείον τη διαφορά των υψών ταχύτητας στο σωλήνα καταθλίψεως και τη δεξαμενή αποθηκεύσεως.
- Ολικό μανομετρικό ύψος (H_m) ενός συστήματος βρίσκεται από τη διαφορά των υψών πίεσεως στα σημεία εισόδου και εξόδου του υγρού και εκφράζει την αύξηση της ενέργειας πίεσεως της μονάδας βάρους του υγρού που διέρχεται από την αντλία.

- Αποδιδόμενο ύψος ή ολικό ύψος της αντλίας (H_0) είναι ίσο με την αύξηση της ολικής ενέργειας της μονάδας βάρους του υγρού μεταξύ των σημείων εισόδου και εξόδου του υγρού στην αντλία.

3.1.2. Παροχή

- Θεωρητική παροχή (Q_θ) είναι ο όγκος του υγρού που θα έπρεπε να αποδίδεται ανά μονάδα χρόνου αν δεν υπήρχαν εσωτερικές ή εξωτερικές διαρροές.
- Κανονική παροχή (Optimum) (Q_n) είναι η αποδιδόμενη παροχή όταν η αντλία εργάζεται με το μέγιστο βαθμό αποδόσεως της.
- Πραγματική παροχή (Q) είναι ο όγκος υγρού που αποδίδεται στο σωλήνα κατα-θλίψεως στη μονάδα του χρόνου υπό ορισμένο μανομετρικό ύψος H_m .
- Εσωτερική παροχή (Q_e) είναι ο όγκος υγρού που διέρχεται μέσα από την πτερωτή στη μονάδα του χρόνου. Επομένως είναι το άθροισμα της πραγματικής παροχής και των αναπτόφευκτων εσωτερικών διαρροών
- $Q_e = Q + Q_\delta$ Όπου Q_δ είναι ο όγκος των εσωτερικών διαρροών (το Q_δ είναι πολύ μικρό σε σύγκριση με το Q).

3.1.3. Απαιτούμενη ισχύς

- Εισερχόμενη ισχύς στον άξονα της αντλίας (N_a) είναι η ισχύς που μεταβιβάζεται στον άξονα της αντλίας από τον κινητήρα. Αν η εισερχόμενη ισχύς μετράται στην πηγή που τροφοδοτεί τον κινητήρα τότε:

$$N_a = \eta_k N_k$$

όπου η_k = βαθμός αποδόσεως του κινητήρα.

- Εσωτερική ισχύς (N_e) είναι η συνολική ισχύς που μεταβιβάζεται από την πτερωτή στο υγρό παροχής Q_e

$$N_e = \gamma Q_e H_e + N_f$$

Όπου N_f η απαιτούμενη ισχύς για την υπερνίκηση των τριβών μεταξύ του υγρού και της πτερωτής που εκδηλώνεται υπό μορφή θερμικής ενέργειας. Η εσωτερική ισχύς είναι ίση με την εισερχόμενη ισχύ στον άξονα της αντλίας μείον την ισχύ N_{mf} που απαιτείται για την υπερνίκηση των μηχανικών τριβών της σαλαμάστρας (τριβείς, σαλαμάστρα κλπ) :

$$N_e = N_a - N_{mf}$$

- Αποδιδόμενη ισχύς (N) της αντλίας είναι το γινόμενο :

$$N = \gamma Q H_0 K_p/\text{sec} \quad (5)$$

Όπου γ = ειδικό βάρος του υγρού [kr/m^3],

Q = πραγματική παροχή [m^3/sec],

H_0 = αποδιδόμενο ή ολικό ύψος της αντλίας [m].

Αν το ειδικό βάρος του υγρού εκφραστεί σε N/m^3 η ισχύς δίνεται σε Nm/sec ή Watts ($1 \text{ Kr} = 9,81 \text{ N}$). Επειδή $1 \text{ HP} = 75 \text{ Kr m / sec} = 0,736 \text{ KW}$ η εξίσωση γράφεται:

$$N = 75H Q \gamma_0 \text{ (HP)}$$

$$N = 102H Q \gamma_0 \text{ (KW)}$$

3.1.4. Βαθμός αποδόσεως

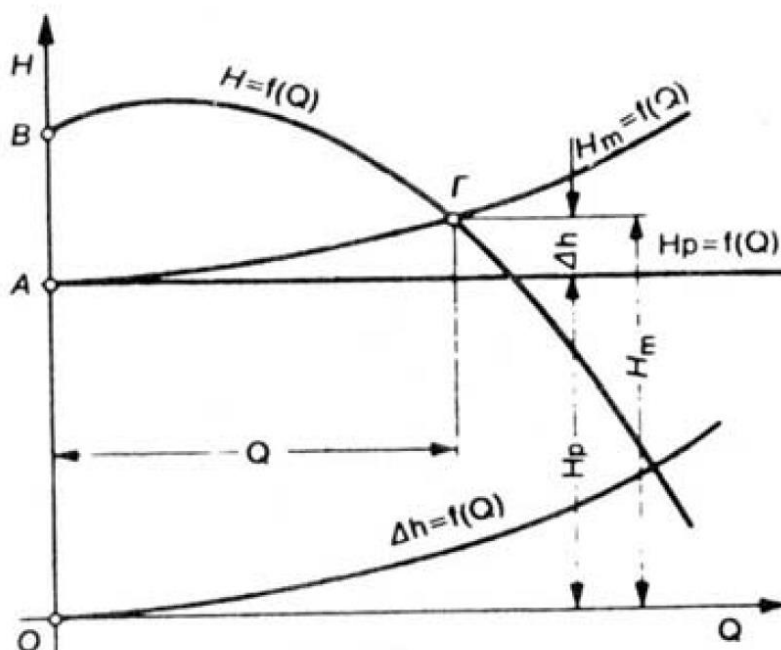
- Υδραυλικός βαθμός αποδόσεως (η_h) είναι ο λόγος του αποδιδόμενου ή ολικού ύψους της αντλίας προς το εσωτερικό ύψος.
- Ογκομετρικός βαθμός αποδόσεως (η_n) είναι ο λόγος της πραγματικής παροχής προς την εσωτερική παροχή
- Μηχανικός βαθμός αποδόσεως (η_m) είναι ο λόγος της εσωτερικής ισχύος προς την εισερχόμενη ισχύ στον άξονα της αντλίας
- Ολικός βαθμός αποδόσεως (η) είναι ο λόγος της αποδιδόμενης ισχύος της αντλίας (N) προς την εισερχόμενη ισχύ στον άξονα της αντλίας :

$$\eta = P_{\omega\phi\acute{\epsilon}\lambda\iota\mu\omicron} / P_{\kappa\alpha\tau\alpha\nu\acute{\alpha}\lambda\omega\sigma\eta\varsigma}$$

3.2. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΑΝΤΛΙΩΝ

Μια φυγόκεντρος αντλία που λειτουργεί με σταθερή ταχύτητα παρέχει στην έξοδό της μια μεταβλητή ποσότητα η οποία μειώνεται καθώς το ύψος αυξάνεται, ενώ η κατανάλωση ισχύος μεταβάλλεται επίσης μέσα σε ορισμένα όρια. Συνεπώς η φυγόκεντρική αντλία έχει τη ιδιότητα να είναι αυτορυθμιζόμενη. Η ιδιότητα αυτή δείχνεται στην καμπύλη $H=f(Q)$ (γνωστή και ως χαρακτηριστική καμπύλη ή καμπύλη στραγγαλισμού), που είναι η καμπύλη του ύψους συναρτήσεως της παροχής για δοσμένη ταχύτητα.

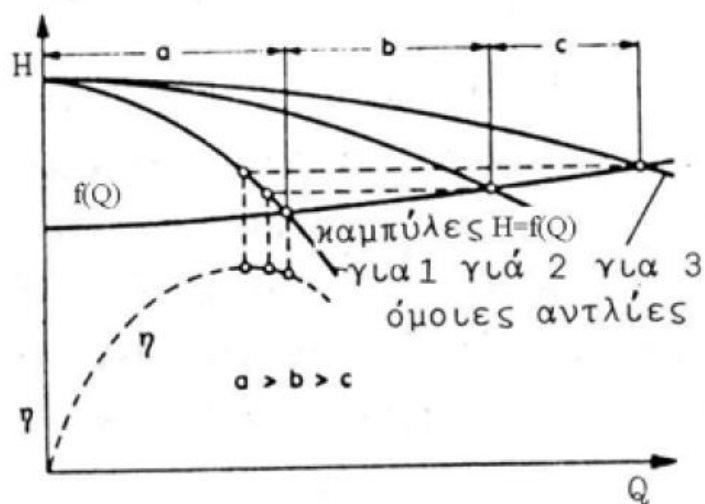
Άλλες καμπύλες σχεδιάζονται για να δείξουν την σχέση μεταξύ της παροχής, της καταναλισκόμενης ισχύος και της απόδοσης. Η καμπύλη της καταναλισκόμενης ισχύος P_s παραμένει μεταξύ ενός μεγίστου και ενός ελάχιστου ορίου. Αυξάνεται με την αύξηση της παροχής Q όταν η αντλία έχει μικρή ειδική ταχύτητα, είναι σχεδόν οριζόντια για αντλίες με υψηλότερη ειδική ταχύτητα και πέφτει όταν η ειδική ταχύτητα γίνεται πολύ υψηλή. Η καμπύλη του βαθμού απόδοσης η ανέρχεται από το μηδέν σε ένα μέγιστο που είναι το σημείο κανονικής λειτουργίας της αντλίας. Μετά το σημείο αυτό η καμπύλη κατέρχεται ομαλά όταν η ειδική ταχύτητα είναι μικρή και απότομα όταν η ειδική ταχύτητα είναι μεγάλη.



Εικόνα 3.1.: Χαρακτηριστική καμπύλη της σωληνογραμμής και σημείο λειτουργίας

3.2.1. Χαρακτηριστική Καμπύλη Μανομετρικού – Παροχής

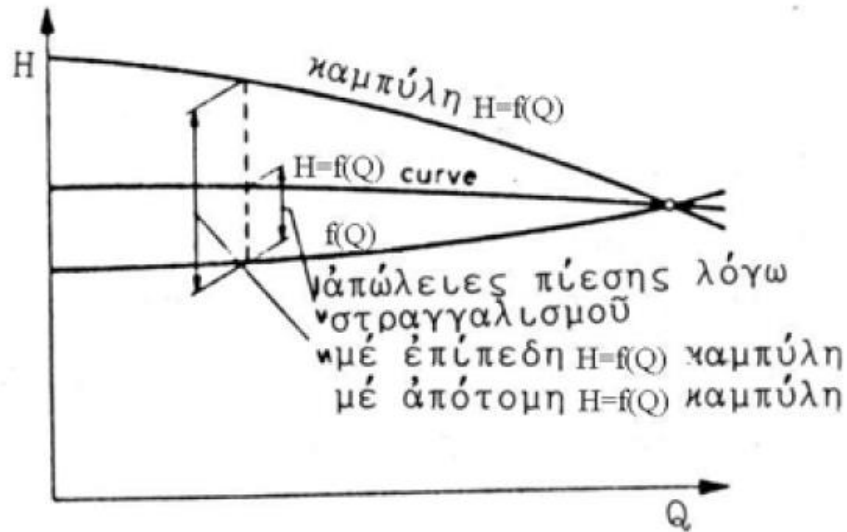
Το άθροισμα του ύψους απωλειών και του στατικού ύψους είναι ίσο με το μανομετρικό ύψος. Στην εικόνα 3.2. το στατικό ύψος εκφράζεται με την ευθεία $H_p=f(Q)$. Προσθέτοντας το ύψος Δh στο ύψος H_p για κάθε τιμή του Q , θα προκύψει το αντίστοιχο μανομετρικό ύψος $H_m=H_p+\Delta h$. Ενώνοντας τα σημεία αυτά θα πάρουμε την καμπύλη του μανομετρικού ύψους $H_m=f(Q)$.



Εικόνα 3.2.: Παράλληλη λειτουργία δύο ή τριών αντλιών του ίδιου μεγέθους

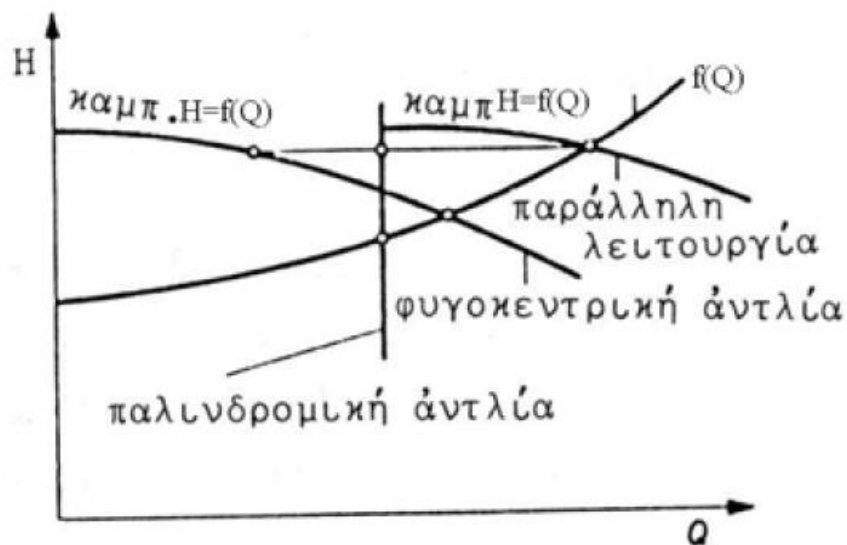
Αν τοποθετήσουμε τη χαρακτηριστική καμπύλη $H = f(Q)$ μιας αντλίας στο ίδιο σύστημα συντεταγμένων με την ίδια κλίμακα, το σημείο τομής Γ των δύο καμπυλών ονομάζεται σημείο λειτουργίας του συστήματος. Το σημείο Γ δείχνει την παροχή Q και το

μανομετρικό ύψος H_m που θα αποδώσει το σύστημα. Είναι φανερό ότι η μορφή της χαρακτηριστικής καμπύλης της σωληνογραμμής $\Delta h = f(Q)$ πρέπει να είναι τέτοια ώστε το σημείο λειτουργίας του συστήματος να συμπίπτει με την κανονική παροχή Q_n της αντλίας.



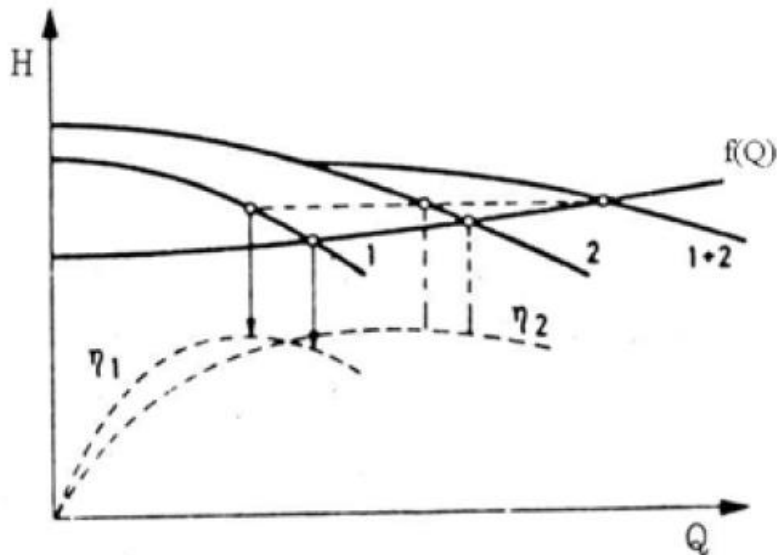
Εικόνα 3.3.: Μορφή της καμπύλης $H=f(Q)$ με αλλαγές στο στατικό ύψος

Μια απότομη καμπύλη είναι απαραίτητη εάν θέλουμε να διατηρήσουμε τις διακυμάνσεις της παροχής στα ελάχιστα δυνατά όρια όταν λαμβάνουν χώρα μεγάλες διακυμάνσεις στο ολικό στατικό ύψος. Από την άλλη μεριά, οι αντλίες που δουλεύουν κύρια με στραγγαλισμένη παροχή και έχουν λίγο – πολύ σταθερό στατικό ύψος θα πρέπει κατά προτίμηση να έχουν επίπεδη χαρακτηριστική καμπύλη έτσι ώστε κάτω από συνθήκες μερικού φορτίου να υπάρχουν μικρότερες απώλειες ύψους λόγω στραγγαλισμού και μικρότερο έργο στραγγαλισμού από την βαλβίδα ελέγχου (εικόνα 3.3.)



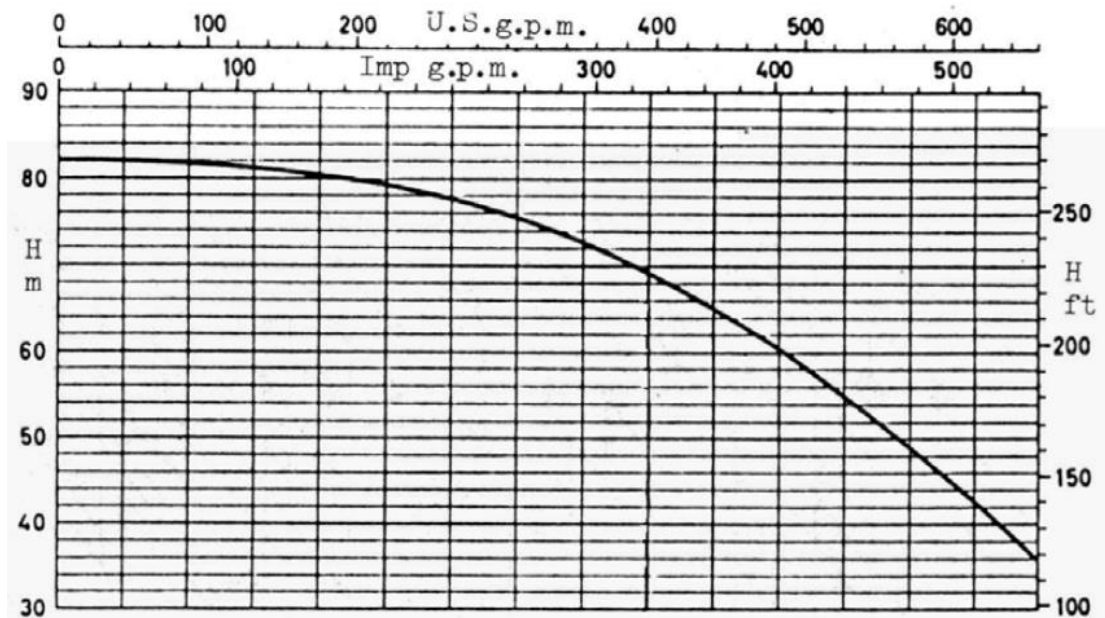
Εικόνα 3.4.: Παλινδρομική αντλία σε παράλληλη λειτουργία με μια φυγοκεντρική

Στην περίπτωση των αντλιών τροφοδοσίας λεβήτων για σχετικά υψηλές πιέσεις κάτω από συνθήκες μερικού φορτίου, είναι μειονέκτημα η ύπαρξη μιας αντλίας με χαρακτηριστική καμπύλη πολύ απότομη, επειδή κάτω απ' αυτές τις συνθήκες η υπάρχουσα μεταξύ της αντλίας και του λέβητα μεγάλη διαφορά πίεσης θα επιτρέπει υπερφόρτιση της βαλβίδας ελέγχου. Χαράσσοντας οριζόντιες γραμμές από τα σημεία λειτουργίας που προσδιορίστηκαν για παράλληλη λειτουργία και προεκτείνοντας αυτές τις γραμμές μέχρι να τμήσουν την χαρακτηριστική καμπύλη κάθε αντλίας, είναι δυνατόν να βρούμε την παροχή καθώς και την απόδοση της κάθε αντλίας (εικόνα 3.5).⁷²



Εικόνα 3.5: Παράλληλη λειτουργία δύο ανόμοιων φυγοκεντρικών αντλιών⁷³

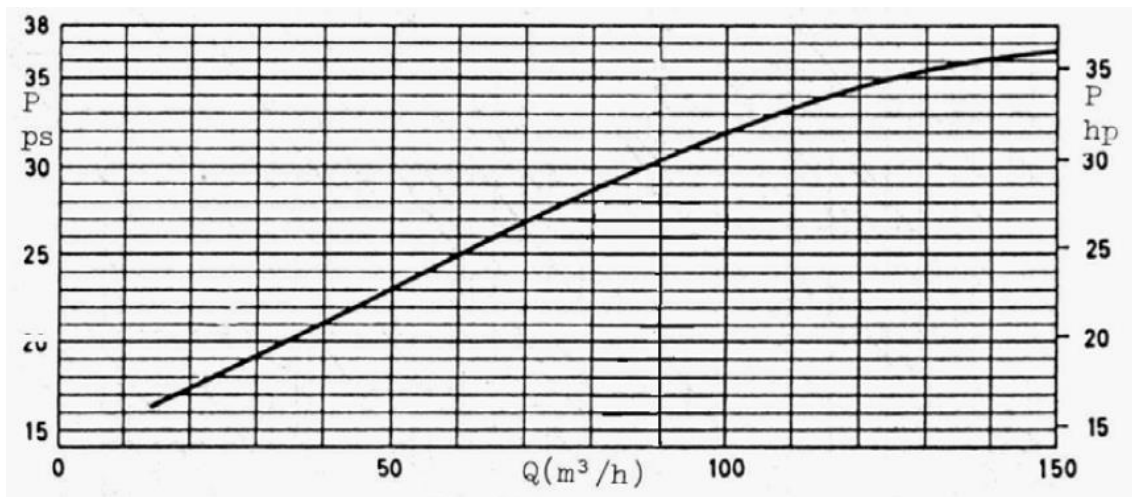
Παρακάτω φαίνονται με περισσότερη ευκρίνεια οι χαρακτηριστικές καμπύλες.



Εικόνα 3.6.: Χαρακτηριστική καμπύλη της σωληνογραμμής

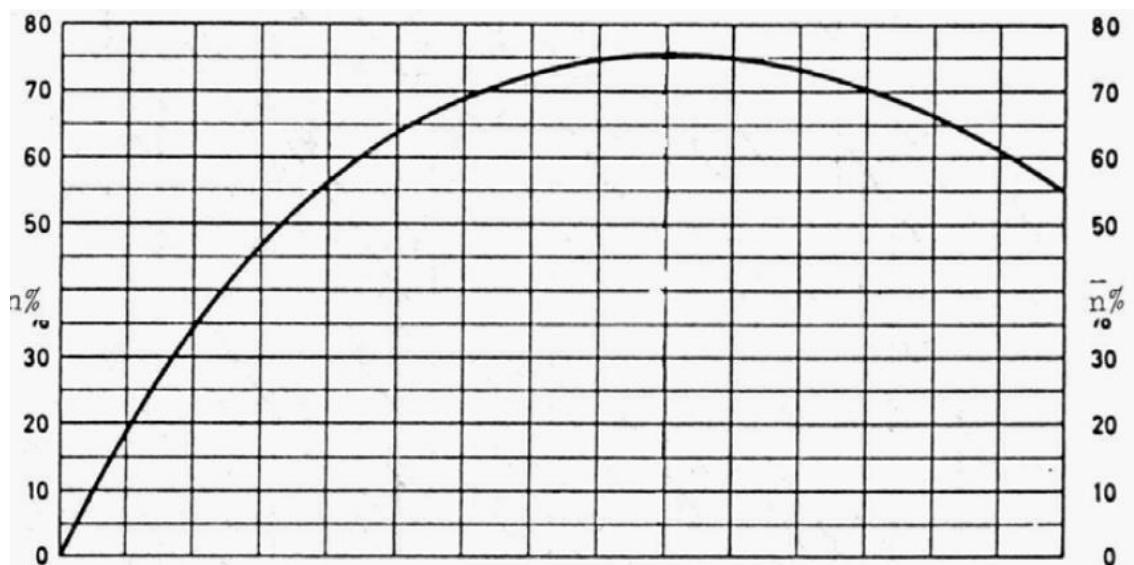
3.2.2. Χαρακτηριστική Καμπύλη Ισχύος – Παροχής

Η καμπύλη της καταναλισκόμενης ισχύος P_s παραμένει μεταξύ ενός μεγίστου και ενός ελάχιστου ορίου. Αυξάνεται με την αύξηση της παροχής Q όταν η αντλία έχει μικρή ειδική ταχύτητα, είναι σχεδόν οριζόντια για αντλίες με υψηλότερη ειδική ταχύτητα και πέφτει όταν η ειδική ταχύτητα γίνεται πολύ υψηλή. Η μέγιστη καταναλισκόμενη ισχύς που ενδεχόμενα να υπάρξει, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη όταν αποφασίζεται το μέγεθος της κινητήριας



Εικόνα 3.7.: Χαρακτηριστική καμπύλη ισχύος και παροχής

Η καμπύλη του βαθμού απόδοσης η ανέρχεται από το μηδέν σ' ένα μέγιστο που είναι το σημείο κανονικής λειτουργίας της αντλίας. Μετά το σημείο αυτό η καμπύλη κατέρχεται ομαλά όταν η ειδική ταχύτητα είναι μικρή και απότομα όταν η ειδική ταχύτητα είναι μεγάλη.



Εικόνα 3.8.: Χαρακτηριστική καμπύλη βαθμού απόδοσης σε συνάρτηση με την παροχή

3.2.3. Βέλτιστο Σημείο Λειτουργίας

Είναι το σημείο όπου τέμνονται η εξίσωση σωληνογραμμής και η καμπύλη λειτουργίας. Από αυτό το σημείο αν τραβηχτούν παράλληλες ευθείες στους άξονες, τότε θα υπάρχει το αντίστοιχο ΗΣΛ QΣΛ για την συγκεκριμένη αντλία σε σταθερές στροφές. Επίσης όπου ακουμπάει η καμπύλη λειτουργίας τους δύο άξονες, υπάρχει το Μέγιστο ύψος και η Ελεύθερη παροχή. (Hmax Qmax). Το σημείο λειτουργίας της καμπύλης αυτής για το οποίο η αντλία παρουσιάζει μέγιστο ολικό βαθμό απόδοσης χαρακτηρίζεται ως κανονικό σημείο λειτουργίας της αντλίας.

Με τα ζεύγη τιμών (Q, H_p), που λαμβάνονται σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας της αντλίας, είναι δυνατόν να κατασκευασθούν άλλες δύο χαρακτηριστικές καμπύλες, οι οποίες είναι η γραφική παράσταση των ζευγών (NΩΦ, Q), που με κατάλληλη προσαρμογή σε καμπύλη NΩΦ = f (Q) δημιουργεί τη χαρακτηριστική καμπύλη ωφέλιμης ισχύος – παροχής της αντλίας και η γραφική παράσταση των ζευγών (e, Q), που με κατάλληλη προσαρμογή σε καμπύλη e = f (Q) δημιουργεί τη χαρακτηριστική καμπύλη βαθμού απόδοσης – παροχής της αντλίας.

Ισχύς και Απόδοση Αντλιών

Εισερχόμενη Ισχύς $P_{εισ} = \omega T$, ω = γωνιακή ταχύτητα, T = στρέψη του κινητήρα

Αποδιδόμενη Ισχύς $P_{αποδ} = \gamma Q h_{αντλ}$, $h_{αντλ}$ = μανομετρικό αντλίας
(ωφέλιμη ισχύς)

Συντελεστής Απόδοσης Αντλίας $\eta_{αντλ} = \frac{P_{αποδ}}{P_{εισ}}$

Απόδοση κινητήρα $\eta_{κιν} = \frac{P_{εισ}}{P_{κιν}}$,

$P_{κιν}$ = ισχύς που προσφέρεται στον κινητήρα

Ολική Απόδοση Αντλίας

$$\eta_t = \eta_{αντλ} \eta_{κιν} = \frac{P_{αποδ}}{P_{εισ}} \frac{P_{εισ}}{P_{κιν}} = \frac{P_{αποδ}}{P_{κιν}}$$

Εικόνα 3.9: Συγκεντρωμένες απαραίτητες σχέσεις για την φυγοκεντρική υδραντλία.

3.3. ΣΠΗΛΛΑΙΩΣΗ

3.3.1. Ορισμός Σπηλαίωσης – Συνθήκες Δημιουργίας

Κατά την άντληση ενός υγρού, είναι δυνατό (υπό ορισμένες προϋποθέσεις) να σχηματιστούν φυσαλίδες ατμών μέσα στη μάζα του με δυσμενή επίδραση στη λειτουργία της αντλίας. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό ως σπηλαίωση (cavitation). Από τη θερμοδυναμική γνωρίζουμε (Μάζης, 1968) ότι όταν σε ένα υγρό η εξωτερική πίεση γίνει ίση με την «τάση των κεκορεσμένων ατμών (μέγιστη τάση)», το υγρό εξαερώνεται σε όλη τη μάζα του με μεγάλη ταχύτητα (βρασμός).

Το φαινόμενο της σπηλαίωσης αναπτύσσεται όταν σε μία περιοχή της ροής, η στατική πίεση τείνει, τοπικά, να γίνει μικρότερη από την πίεση ατμοποίησης του υγρού p_v , οπότε αυτό ατμοποιείται και αναπτύσσεται ένας θύλακας ατμοποιημένου υγρού, δηλαδή ατμού λόγω υδροδυναμικών φαινομένων επιτάχυνσης της ροής. Άρα,

η σπηλαίωση είναι ένα φαινόμενο που αναπτύσσεται αποκλειστικά σε ροές υγρών. Συγκεκριμένα, οι πιθανές περιοχές ανάπτυξης του φαινομένου της σπηλαίωσης σε φυγόκεντρες αντλίες, είναι η διατομή εισόδου της πτερωτής, όπου η στατική πίεση είναι ακόμη πιο χαμηλή, δηλαδή στην ακμή πρόσπτωσης των πτερυγίων και μάλιστα στην πλευρά υποπίεσης αυτών. Σημειώνεται ότι η πίεση ατμοποίησης του κάθε υγρού, είναι χαρακτηριστικό θερμοδυναμικό μέγεθος του υγρού και εξαρτάται από τη θερμοκρασία του και υπολογίζεται από πίνακες ή εξισώσεις (Assael, Trusler, & Tsolakis, 1996). Στο

Έστω M το σημείο ελάχιστης μέσης στατικής πίεσης p_M στην επιφάνεια υποπίεσης του πτερυγίου, το οποίο βρίσκεται στην ακτίνα r_M , που αναμένεται να είναι γειτονική της r_1 . Άρα, η συνθήκη ανάπτυξης ή μη σπηλαίωσης στην αντλία, διατυπώνεται ως εξής: συμβολίζοντας με p_v την πίεση ατμοποίησης του υγρού, η οποία εξαρτάται από τη φύση του υγρού και τη μέση θερμοκρασία του:

Για $p_M > p_v$ δεν υπάρχει κίνδυνος ανάπτυξης σπηλαίωσης.

Για $p_M \approx p_v$ στην περιοχή r_M αναπτύσσεται σπηλαίωση με τρόπο μη συστηματικό, λαμβάνοντας υπόψη τον τυρβώδη χαρακτήρα της ροής, οπότε σε κάποιες χρονικές στιγμές ενδέχεται να αναπτύσσονται τιμές της στατικής πίεσης μικρότερες της p_v .

3.4. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΝΤΛΙΩΝ

Στις ρευστοδυναμικές μηχανές εξασκούνται δυνάμεις μεταξύ του ρευστού και των σωμάτων, που κινούνται μέσα σε αυτό. Ένα αίτιο τέτοιας αλληλεπίδρασης, όπως αναλύθηκε παραπάνω, είναι η μεταβολή της ορμής ενός ρευστού, που βρίσκεται σε επαφή με το σώμα. Αυτό έχει ως συνέπεια, το ρευστό να δεχθεί δύναμη από το σώμα και ίση και αντίθετη δύναμη να ασκηθεί σε αυτό. Μια άλλη αιτία ανάπτυξης τέτοιων δυνάμεων, είναι η μεταβολή της πίεσης του ρευστού, γύρω από την εξωτερική επιφάνεια του σώματος, το οποίο κινείται εμβαπτισμένο μέσα στο ρευστό, ή είναι ακίνητο και το ρευστό περιρρέει την εξωτερική επιφάνειά του. Τα σώματα που χρησιμοποιούνται έχουν κατάλληλη μορφή (αεροδυναμική), με στόχο τη βελτιστοποίηση των αναπτυσσόμενων δυνάμεων, ανάλογα με την εφαρμογή. Η μορφή

των αεροδυναμικών διατομών των σωμάτων, που χρησιμοποιούνται, ονομάζεται αεροτομή.

- Αεροδυναμικής μορφής σώματα μπορούν να θεωρηθούν τα σώματα εκείνα στα οποία η διάσταση η κάθετη στη κατεύθυνση της ροής είναι μικρό ποσοστό της διάστασης κατά την κατεύθυνση της κύριας ροής, και η επιφάνειά τους δεν παρουσιάζει ασυνέχειες.
- Αεροδυναμικής μορφής σώμα είναι και η αεροτομή της οποίας το πρόσθιο τμήμα προς τη ροή είναι στρογγυλεμένο (για υποηχητικές πτέρυγες), ενώ το πίσω μέρος της καταλήγει σε οξεία ακμή.

Μια ρευστοδυναμική μηχανή που διαθέτει πτέρυγες με διατομή αεροτομής είναι ο ανεμοκινητήρας.

3.5. ΜΕΡΗ ΤΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ

3.5.1. Τα βασικότερα μέρη μιας αντλίας.

Οι φυγοκεντρικές αντλίες αποτελούνται από ένα μεγάλο πλήθος εξαρτημάτων. Τα βασικότερα μέρη τους είναι τα παρακάτω.

- Το σώμα της αντλίας.
- Το στροφέιο ή πτερωτή.
- Τους δακτυλίους φθοράς
- Την άτρακτο τη αντλίας και τα παρελκόμενα εξαρτήματα.
- Τα έδρανα.

3.5.2. Το σώμα της αντλίας.

Το σώμα της αντλίας είναι το πλαίσιο πάνω στο οποίο μοντάρονται όλα τα άλλα μέρη της αντλίας. Το σώμα της αντλίας κατασκευάζεται από υλικά ανθεκτικά και στα υγρά που πρόκειται να μεταφερθούν και στις διάφορες θερμοκρασίες λειτουργίας (Εικόνα 3.10.) Το κέλυφος της αντλίας είναι διαιρούμενο, είτε οριζόντια, είτε κάθετα, είτε διαγώνια σε μια γωνία διαφορετική από 90 μοίρες. Τα κελύφη που διαιρούνται οριζόντια λέγονται και αξονικά διαιρούμενα κελύφη, ενώ τα κάθετα διαιρούμενα λέγονται και ακτινικά διαιρούμενα. Οι λαιμοί (nozzles) για τις φλάντζες εισόδου και εξόδου είναι και οι δύο στο κάτω τμήμα του διαιρούμενου κελύφους. Αναφορικά με το σώμα της αντλίας σημειώνεται πως υπάρχει και ο σχεδιασμός τύπου βαρελιού (barrel type), που χρησιμοποιείται κυρίως σε αντλίες πολύ υψηλών πιέσεων.

Στο σχεδιασμό αυτό το εξωτερικό του κελύφους προσαρμόζεται στο εσωτερικό του «βαρελιού». Το σώμα έχει ποδαρικά με τα οποία αγκυρώνεται είτε στον εξοπλισμό που βρίσκεται κάτω από αυτό είτε στο έδαφος, πράγμα που αποτελεί και τη συνηθέστερη

περίπτωση. Το σώμα της αντλίας με βάση το κριτήριο της λειτουργικότητας μπορεί να χωριστεί σε δύο μέρη το τμήμα εισόδου και το τμήμα.



Εικόνα 3.10.: Το σώμα της αντλίας.

3.5.3. Το τμήμα εισόδου.

Η βασική απαίτηση για να επιτυγχάνεται ικανοποιητική λειτουργία στην αναρρόφηση της αντλίας είναι το τμήμα εισόδου να είναι έτσι διαμορφωμένο, ώστε να εξασφαλίζεται ομοιόμορφη διανομή της ταχύτητας στην συμμετρική ως προς τον άξονα επιφάνεια εισόδου της πτερωτής. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται όλα τα πτερύγια της πτερωτής να λειτουργούν ομοιόμορφα. Ευκολότερος είναι ο σωστός σχεδιασμός του τμήματος εισόδου σε ορισμένους τύπους αντλιών, όπως στις μονοβάθμιες αντλίες με την πτερωτή σε πρόβολο και στις κατακόρυφες αντλίες αξονικής ή μικτής ροής. Σε αυτούς τους τύπους αντλιών το τμήμα εισόδου έχει μορφή, είτε κωνική συγκλίνουσα προς την είσοδο της πτερωτής, είτε κυλινδρική με κυκλική διατομή.

Ωστόσο το τμήμα εισόδου δεν μπορεί να έχει κωνική ή κυλινδρική μορφή στις πολυβάθμιες αντλίες και στις αντλίες διπλής αναρρόφησης γιατί σε αυτούς τους τύπους αντλιών η διεύθυνση του ρευστού στη διατομή εισόδου είναι κάθετη προς τον άξονα περιστροφής της πτερωτής. Για να εξαιρεθεί λοιπόν η συστροφή του ρευστού στη διατομή εισόδου, αλλά παράλληλα και για να αλλάξει η διεύθυνση του ρευστού μετά την είσοδό του στην αντλία σχεδιάστηκε το τμήμα εισόδου με τη μορφή ημισπειροειδούς κελύφους. Σχεδιάζοντας τη διατομή του ημισπειροειδούς αυτού κελύφους υποπολλαπλάσια της διατομής εισόδου επιτυγχάνετε η επιθυμητή επιταχυνόμενη ροή στο τμήμα εισόδου.

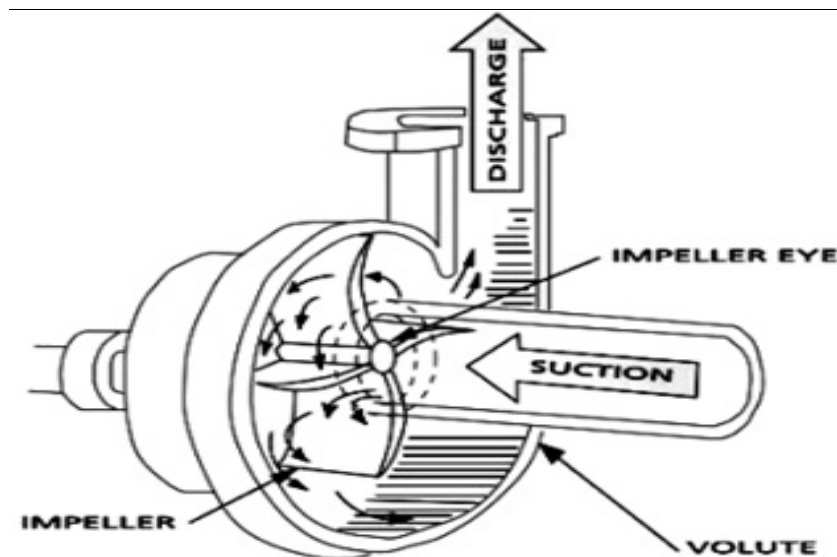
Στις αντλίες που έχουν πτερωτή διπλής αναρρόφησης το τμήμα εισόδου είναι συμμετρικό και διαμοιράζει τη ροή σε δύο ίσα μέρη με συνέπεια η τροφοδοσία κάθε μιας εισόδου της πτερωτής να γίνεται από ένα ημισπειροειδές κέλυφος όπως και στις πολυβάθμιες αντλίες.



Εικόνα 3.11.:Τμήμα εισόδου

3.5.4. Το τμήμα εξόδου

Το τμήμα εξόδου μιας φυγοκεντρικής αντλίας φαίνεται να καταλαμβάνει το με γαλύτερο όγκο του συνολικού σώματος (κελύφους) της αντλίας και είναι αυτό που συλλέγει το αντληθέν ρευστό και το καθοδηγεί στη διατομή εξόδου της αντλίας. Στην έξοδο της πτερωτής (που εντάσσεται στο τμήμα εισόδου) το ρευστό έχει μια αρκετά μεγάλη ταχύτητα που είναι συνάρτηση μιας σειράς παραμέτρων (τύπος πτερωτής, μορφή τμήματος εισόδου, πίεση ρευστού στην αναρρόφηση κ.λ.π), η οποία όμως πρέπει να μειωθεί όταν το ρευστό θα φτάσει στην κυκλική διατομή εξόδου μέχρι μια ταχύτητα της τάξεως 4-6 μέτρων το δευτερόλεπτο. Η πτώση της ταχύτητας πρέπει να συνοδευτεί από μια μετατροπή της κινητικής ενέργειας σε στατική πίεση. Στα κελύφη των φυγοκεντρικών αντλιών συναντώνται δύο βασικοί τύποι τμημάτων εξόδου, το σπειροειδές κέλυφος και ο διαχύτης (diffuser).



Εικόνα 3.12.:Τμήμα εξόδου

3.5.5. Το σπειροειδές κέλυφος.

Είναι ο συχνότερα συναντώμενος τύπος κελύφους εξόδου μιας φυγοκεντρικής αντλίας. Για να σχεδιαστεί το σπειροειδές κέλυφος χρησιμοποιούνται σήμερα δύο μέθοδοι που κάθε μια έχει τα δικά της πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Η πρώτη μέθοδος που είναι και η πιο παραδοσιακή και συνήθως χρησιμοποιούμενη βασίζεται σε δύο βασικές αρχές της μηχανικής των ρευστών, την αρχή της διατήρησης της συστροφής και την αρχή της συνέχειας και υπολογίζει την κλίση της γραμμής ροής του αντληθέντος ρευστού στη διαδρομή εξόδου συναρτήσει της απόστασης του όγκου ελέγχου (μονάδα αναφοράς του ρευστού που χρησιμοποιείται για θεωρητικούς υπολογισμούς στη μηχανική των ρευστών) του προωθούμενου ρευστού από το κέντρο της κυκλικής διατομής εισόδου. Από τη εξίσωση που προκύπτει διαπιστώνεται ότι η γραμμή ροής - στον αξονοισομετρικό χώρο που αποτελεί νοητή προέκταση των αξονοισομετρικών επιφανειών των δίσκων της περρωτής – είναι σπειροειδής καμπύλη. Αν οι προεκτάσεις των αξονοισομετρικών επιφανειών είναι επίπεδα κάθετα προς τον άξονα συμμετρίας τότε οι γραμμές ροής είναι λογαριθμικές σπείρες.

Η γεωμετρία λοιπόν του κελύφους καλείται να ακολουθήσει τη γραμμή ροής που προέκυψε με βάση τους υπολογισμούς αυτούς, ωστόσο είναι προσεγγιστική για δύο βασικούς λόγους. Κατά πρώτον γιατί οι υπολογισμοί της γραμμής ροής γίνονται με την παραδοχή ιδανικής και όχι συνεκτικής ροής και κατά δεύτερο γιατί για πρακτικούς κατασκευαστικούς λόγους το σπειροειδές κέλυφος ακολουθεί την υπολογισθείσα γεωμετρία της σπειροειδούς καμπύλης μόνο για μια περιστροφή και μετά διαμορφώνεται έτσι ώστε να προσαρμοστεί σταδιακά στην κυκλική διατομή εξόδου.

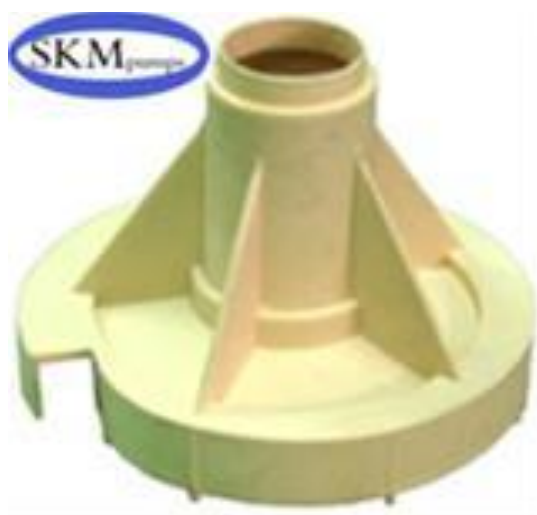


Εικόνα 3.12: Σπειροειδές κέλυφος.

Η δεύτερη μέθοδος που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της γεωμετρίας του σπειροειδούς κελύφους είναι η μέθοδος της σταθερής μέσης ταχύτητας. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην αρχή της σταθερής μέσης ταχύτητας της ροής στις διάφορες διατομές και υπολογίζει τη διατομή του σπειροειδούς κελύφους συναρτήσει της γωνίας περιστροφής του μονάδας αναφοράς του προωθούμενου ρευστού (όγκος ελέγχου όπως αναφέρθηκε παραπάνω). Η αφορμή για τη χρησιμοποίηση αυτή της μεθόδου δόθηκε από τη διαπίστωση ότι υπήρξαν σημαντικές αποκλίσεις στη διανομή της ταχύτητας στο τμήμα εξόδου σε σπειροειδή κελύφη που υπολογίζονταν με τη μέθοδο της διατήρησης της συστροφής. Ολοκληρώνοντας την αναφορά στο σπειροειδές κέλυφος σημειώνουμε ότι μέθοδος της διατήρησης της συστροφής δίνει αντλίες με λίγο μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης, ενώ η μέθοδος της σταθερής μέσης ταχύτητας δίνει περισσότερο ομοιόμορφη διανομή της στατικής πίεσης στο σπειροειδές κέλυφος.

3.5.6. Ο Διαχύτης.

Το τμήμα εξόδου μπορεί να έχει τη μορφή διαχύτη, ο οποίος μπορεί να είναι κατασκευασμένος με ή χωρίς πτερύγια. Ο διαχύτης χωρίς πτερύγια δεν είναι παρά ένα αξονοσυμμετρικό κέλυφος οδήγησης της ροής, εντός του οποίου η περιφερειακή ταχύτητα μεταβάλλεται αντίστροφα ανάλογα προς την ακτίνα ενώ η ακτινική ταχύτητα ικανοποιεί την αρχή της συνέχειας (Εικ. 3.13). Δεν αποτελεί καλή λύση γιατί η διαδρομή του ρευστού μέχρι τη φλάντζα εξόδου είναι μεγάλη όπως επίσης και οι αντίστοιχες απώλειες τριβής. Ο διαχύτης με πτερύγια δεν είναι παρά μια ακίνητη ακτινική στεφάνη πτερυγίων διατεταγμένη γύρω από την πτερωτή. Τα πτερύγια της στεφάνης επιτυγχάνουν σε μικρή σχετικά ακτινική απόσταση την επιθυμητή επιβράδυνση της ταχύτητας που έχει το ρευστό στην έξοδο της πτερωτής.



Εικόνα 3.13.: Διαχύτης.

Όταν χρησιμοποιείται σχεδιασμός τύπου διαχύτη με πτερύγια σε μικρού μεγέθους αντλίες προκύπτουν ιδιαίτερα μεγάλες απώλειες τριβής. Από την άλλη πλευρά σε αντλίες με μικρό ειδικό αριθμό στροφών συχνά μια στεφάνη διαχύτη με πτερύγια παρεμβάλλεται μεταξύ πτερωτής και σπειροειδούς κελύφους. Ο διαχύτης στην περίπτωση αυτή επιτυγχάνει μια καταρχήν επιβράδυνση της ροής πριν το ρευστό

προχωρήσει στο σπειροειδές κέλυφος και παράλληλα μια μείωση των υδραυλικών απωλειών.

3.5.7. Η πτερωτή.

Για το σχεδιασμό της πτερωτής δύο είναι τα καθοριστικά σημεία. Το πρώτο είναι ο υπολογισμός της γωνίας κλίσης των πτερυγίων στη διατομή εξόδου της πτερωτής και το δεύτερο είναι ο καθορισμός του αριθμού των πτερυγίων της πτερωτής. Αναφορικά με τη γωνία κλίσης των πτερυγίων είναι γνωστό από τη μηχανική των ρευστών ότι αυτή συνδέεται άμεσα με την κλίση της ιδεατής αλλά και πραγματικής χαρακτηριστικής H-V μιας φυγοκεντρικής αντλίας. Σημειώνεται πως όσο μειώνεται η γωνία κλίσης των πτερυγίων, τόσο αυξάνεται η απόλυτη τιμή της κλίσης της πραγματικής χαρακτηριστικής καμπύλης λειτουργίας H-V. Αυτό ευνοεί την ευστάθεια της λειτουργίας μιας αντλητικής εγκατάστασης με θετικό μανομετρικό. Στις περιπτώσεις αυτές που αποτελούν και τη μεγάλη πλειοψηφία, η γωνία κλίσης κυμαίνεται μέσα σε ένα εύρος 17-35 μοιρών και συνήθως επιλέγεται να είναι 20–25 μοίρες. Στις ειδικές περιπτώσεις που δεν είναι απαιτητό ένα θετικό μανομετρικό, όπως στους κυκλοφορητές των κτιριακών δικτύων, δεν τίθεται πρόβλημα ευστάθειας λειτουργίας της συνολικής αντλητικής εγκατάστασης, οπότε η γωνία κλίσης παίρνει μεγαλύτερη τιμή (μέχρι τις 90 μοίρες), δεδομένου άλλωστε ότι με μεγαλύτερη γωνία κλίσης επιτυγχάνεται το επιθυμητό σημείο λειτουργίας με μικρότερες διαστάσεις πτερωτής αλλά και της αντλίας συνολικά. Το πλήθος των πτερυγίων της πτερωτής με βάση τη θεωρία των φυγοκεντρικών αντλιών συνδέεται άμεσα με το βαθμό απόδοσης της πτερωτής και κατ'επέκταση και της αντλίας καθώς όσο περισσότερα είναι τα πτερύγια τόσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός απόδοσης.

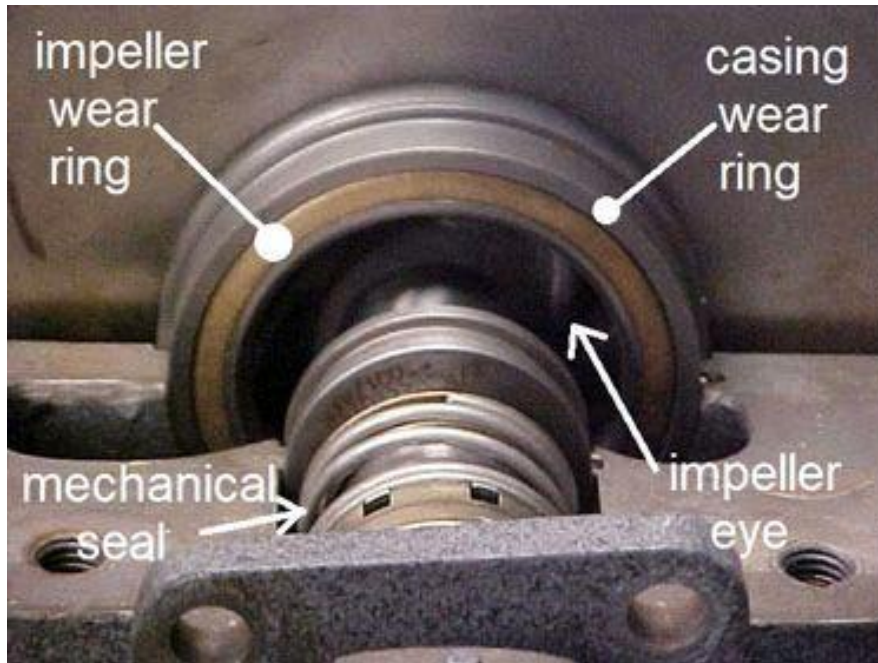


Εικόνα 3.14.: Πτερωτή

3.5.8. Δακτύλιοι φθοράς (wear rings).

Ένα άλλο δομικό στοιχείο των φυγοκεντρικών αντλιών είναι οι δακτύλιοι φθοράς. Αυτοί έχουν συγκεκριμένη διαμόρφωση ώστε να επιτυγχάνουν μια δακτυλιοειδή σχισμή μεταξύ του ακίνητου κελύφους και της πτερωτής. Η σχισμή αφήνει ένα συγκεκριμένο κατά περίπτωση ακτινικό διάκενο και έχει ένα επίσης συγκεκριμένο μήκος (Εικ. 3.15). Σκοπός της διαμόρφωσης λαβυρίνθων με τη χρήση των δακτυλίων φθοράς είναι η διατήρηση των ογκομετρικών απωλειών στην επιθυμητή χαμηλή τιμή οπότε η

αντίστοιχη τιμή του ογκομετρικού βαθμού απόδοσης να έχει την τιμή που προδιαγράφεται. Οι δακτύλιοι φθοράς είναι στις περιπτώσεις αφαιρετοί και μπορούν να αντικατασταθούν όταν έχουν φθαρεί αρκετά με χαμηλό κόστος, πολύ χαμηλότερο φυσικά από αυτό που θα απαιτείτο για την αντικατάσταση, είτε του κελύφους, είτε της πτερωτής.

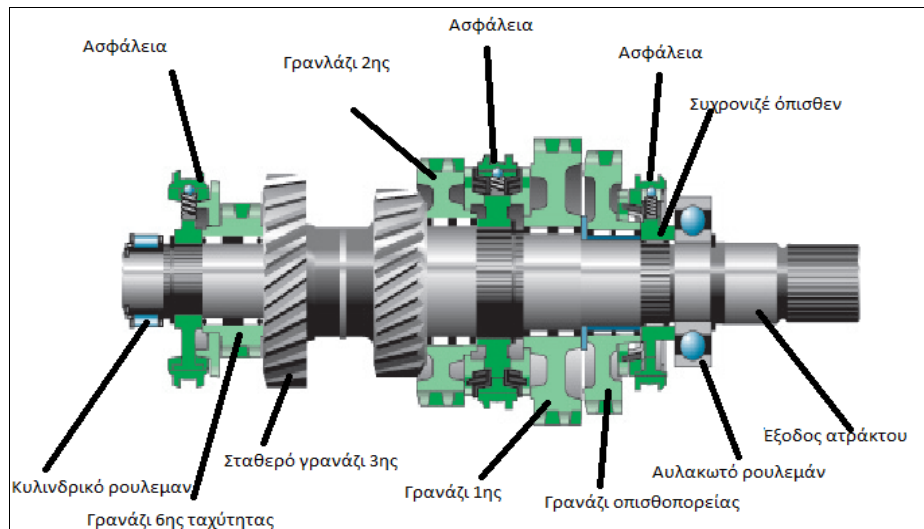


Εικόνα 3.15: Δακτύλιοι φθοράς, wear rings.

3.5.9. Άτρακτος.

Η άτρακτος μεταφέρει τη ροπή στρέψης από τον κινητήρα προς την πτερωτή ή τις πτερωτές (Εικ. 3.16). Σε μια μόνιμη λειτουργία μιας φυγοκεντρικής αντλίας με σταθερή ταχύτητα περιστροφής η ροπή αυτή ισούται με τη ροπή αντιστάθμισης που προκύπτει από τις μηχανικές απώλειες κατά τη λειτουργία. Πάντως καθώς η άτρακτος είναι προσδεσμένη στην πτερωτή παραλαμβάνει επίσης εκτός από τη μηχανική ροπή αντίστασης και αντιστάσεις «υδραυλικής προέλευσης» που προέρχονται από τις αξονικές και ακτινικές δυνάμεις που αναπτύσσονται στην/στις πτερωτές καθώς αυτή/αυτές μετακινούν το ρευστό.

Το σύνολο των προβλεπόμενων να εφαρμοστούν στην άτρακτο δυνάμεων και ροπών επιβάλλει καταρχήν ένα στατικό υπολογισμό στη φάση του σχεδιασμού της. Δεδομένου του μεγάλου κατά κανόνα μήκους της άτρακτου πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η ελαστικότητά της. Στόχος πάντα είναι να διατηρείται κατά τη λειτουργία μικρή κλίση και βέλος κάμψης της άτρακτου για να μην επηρεάζεται η λειτουργία του πλήθους των συνδεόμενων με αυτήν εξαρτημάτων. Παράλληλα πρέπει να μελετηθεί η ιδιοσυχνότητα του μηχανικού υποσυστήματος άτρακτος - πτερωτή ώστε να μην συμπέσει με την ιδιοσυχνότητα του συνολικού στρεφομένου συστήματος και προκληθούν έτσι αυξημένες καταπονήσεις και συνεπώς ανεπιθύμητα μεγάλες παραμορφώσεις στην άτρακτο κατά τη λειτουργία.



Εικόνα 3.16: Ατράκτος

Γύρω από τον άξονα των αντλιών τοποθετούμε σαλαμάστρες για να επιτύχουμε στεγανότητα. Το πρόβλημα της στεγανότητας είναι από τα σημαντικότερα για το σχεδιασμό και τη λειτουργία μιας αντλίας. Αντιμετωπίζεται με τη χρήση στυπιοθλιπτών των οποίων σκοπός είναι η εξασφάλιση της στεγανότητας της αντλίας με το εξωτερικό περιβάλλον στο σημείο όπου η άτράκτος διαπερνά το σταθερό κέλυφος της αντλίας. Στην περίπτωση όπου το ύψος της αντλίας είναι σημαντικό οπότε κατά την εκκίνησή της, η στατική πίεση στο σημείο εξόδου της ατράκτου πέσει κάτω από την ατμοσφαιρική, σκοπός του στυπιοθλιπτή είναι να εμποδίσει την είσοδο του αέρα από το περιβάλλον. Σε αντίθετη περίπτωση η κίνηση της αντλίας γίνεται προβληματική.

Για να έχουμε λειτουργία φυγοκεντρικής αντλίας πρέπει όλος ο σωλήνας αναρρόφησης, καθώς και ολόκληρη η αντλία να γεμίσουν με υγρού. Για να γίνει αυτό πρέπει οπωσδήποτε ο σωλήνας αναρρόφησης να έχει στο κάτω άκρο του μια ποδοβαλβίδα και η αντλία να έχει χοάνη πλήρωσης και εξαερισμού.

Στο σύστημα αναρρόφησης πρέπει να υπάρξει καλή στεγανοποίηση, διαφορετικά δε μπορεί να γίνει άντληση λόγω αναρρόφησης αέρα. Το ύψος της αναρρόφησης στις φυγοκεντρικές αντλίες είναι περιορισμένο. Κατά την έναρξη της άντλησης, καλό θα ήταν η στάθμη του αντλούμενου υγρού να μην είναι χαμηλότερη των τριών (3) μέτρων από τον άξονα της αντλίας.

Στις φυγοκεντρικές αντλίες η άντληση δεν επιτρέπεται να συνεχιστεί όταν το ύψος της αναρρόφησης φθάσει και υπερβεί τα 6.5 μέτρα διότι παρατηρείται το φαινόμενο της σπηλαιώσης.

Σε μανομετρικά ύψη αναρρόφησης μεγαλύτερα των 6.5 μέτρων ακούγονται κρότοι στην αναρρόφηση που οφείλονται στην μικρή πίεση του υγρού και την εμφάνιση φαινομένων εξατμίσεως του υγρού. Αυτό προκαλεί σοβαρές φθορές στην πτερωτή της αντλίας και σχηματίζει σπήλαια στο σώμα του μετάλλου.

4. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΥΔΡΑΝΤΛΙΑΣ

4.1. Η ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΗ ΥΔΡΑΝΤΛΙΑ ΤΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΡΕΥΣΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΤΟΥ ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

Ότι παρουσιαστεί σε αυτό το κεφάλαιο αφορά την πειραματική διάταξη της φυγοκεντρικής υδραντλίας του εργαστηρίου ρευστομηχανικής του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. του ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας, και βασίζεται πάνω σε προηγούμενα πειράματα που έχουν γίνει, σε σημειώσεις του εργαστηρίου, σε πειραματικά δεδομένα που έχουν συλλέξει οι διδάσκοντες και στις εργαστηριακές ασκήσεις του εργαστηρίου.⁷⁴

4.1.1. Σκοπός της μελέτης

Το αντικείμενο αυτής της εργασίας είναι η μελέτη των χαρακτηριστικών μεγεθών που διέπουν τη λειτουργία μιας φυγοκεντρικής υδραντλίας. Θα γίνει υπολογισμός των χαρακτηριστικών - καμπυλών της φυγοκεντρικής υδραντλίας ως συνάρτηση της παροχής για δεδομένες στροφές και στην συνέχεια θα γίνει υπολογισμός των χαρακτηριστικών - καμπυλών της φυγοκεντρικής υδραντλίας για διαφορετικές στροφές. Τα παραπάνω θα αποδοθούν γραφικά με χρήση των χαρακτηριστικών λειτουργίας της υδραντλίας.

4.2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Η φυγοκεντρική υδραντλία είναι ο απλούστερος τύπος υδροδυναμικής μηχανής με ευρεία εφαρμογή. Η λειτουργία της αντλίας έχει ως στόχο την πρόσθεση ενέργειας στο νερό. Η φυγοκεντρική αντλία (ή η τυπική φυγόκεντρος αντλία) είναι εκείνη η αντλία, στην οποία το υγρό εισέρχεται αξονικά από τον αγωγό αναρρόφησης, προωθείται υποβάλλεται σε περιδίνηση από την πτερωτή και εξέρχεται από την χοάνη καταθλίψεως κερδίζοντας ενέργεια (δηλαδή ύψος ενέργειας). Η πτερωτή της αντλίας περιστρέφεται με ενέργεια (ή με την απαιτούμενη ισχύ, ή με την ισχύ πέδησης), που της δίνεται από τον ηλεκτροκινητήρα. Κατά την διέλευση, όμως του νερού από την υδραντλία είναι δυνατόν (υπό ορισμένες προϋποθέσεις) να σχηματιστούν φουσαλίδες υδρατμών με δυσμενή επίδραση στην λειτουργία της μηχανής. Το φαινόμενο είναι γνωστό ως σπηλαίωση και θα συζητηθεί σε επόμενη άσκηση.

Η θεωρία των Φυγοκεντρικών Υδραντλιών στη συνέχεια περιορίζεται σε βασικές σχέσεις οι οποίες είναι απαραίτητες για τον υπολογισμό των χαρακτηριστικών μεγεθών και την γραφική απόδοση αυτών ως χαρακτηριστικών καμπυλών.



Εικόνα 4.1.: Μονοβάθμια Φυγοκεντρική Αντλία Απλής Αναρρόφησης

Η λειτουργία μιας στροβιλομηχανής (ΣΜ) ή ειδικότερα μιας αντλίας στη συγκεκριμένη άσκηση χαρακτηρίζεται από 4 βασικά μεγέθη:

- Την παροχή της αντλίας Q ,
- Το ολικό μανομετρικό ύψος ΔH ,
- Την αξονική ισχύ στον άξονα της αντλίας P_n ,
- Το βαθμό απόδοσης της αντλίας η .

Σε μια ΣΜ τα παραπάνω μεγέθη εξαρτώνται από :

- Το είδος της ΣΜ (ακτινικής, αξονικής, μικτής ροής, κατανάλωσης ή παραγωγής έργου),
- Την ταχύτητα περιστροφής,
- Το είδος του ρευστού (υγρό ή αέριο),
- Το μέγεθος της ΣΜ (διάμετρος πτερωτής)

Μανομετρικό Ύψος Αντλίας είναι το ολικό ύψος (ή το αποδιδόμενο) της αντλίας.

Με άλλα λόγια είναι το ύψος ενέργειας που προσδίδει η αντλία στην μονάδα βάρους του υγρού. Το ύψος αυτό εκφράζεται γενικά με το άθροισμα της αύξησης του ύψους της στατικής πίεσης και του ύψους της ταχύτητας μεταξύ αναρρόφησης (Α - είσοδος αντλίας) και κατάθλιψης (Κ - έξοδος αντλίας), καθώς επίσης και του γεωμετρικού ύψους και του ύψους πάσης φύσεως απωλειών. Στην υδραντλία του πειράματος το γεωμετρικό ύψος είναι ασήμαντο, οι ταχύτητες στην αναρρόφηση και στην κατάθλιψη

θεωρούνται περίπου ίσες και οι απώλειες αμελητέες. Η σχέση που θα χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό του Ολικού Ύψους είναι:

$$H = H_K - H_A$$

Ογκομετρική Παροχή μιας αντλίας είναι η παροχή όγκου του ρευστού που αποδίδεται από τον αγωγό καταθλίψεως. Στην υδραντλία του πειράματος η παροχή μετράται με τη βοήθεια τριγωνικού υπερχειλιστή (Πειραματικό μέρος).

Ονομαστική παροχή αντλίας Q_N λέγεται η παροχή για την οποία σχεδιάζεται και κατασκευάζεται μια αντλία. Ισχύει για λειτουργία της αντλίας στο ονομαστικό ολικό ύψος H_N , στην ονομαστική ταχύτητα περιστροφής n_N και για δεδομένο αντλούμενο υγρό (συνήθως νερό).

Ελάχιστη και μέγιστη παροχή αντλίας είναι εκείνες οι παροχές εντός των οποίων η αντλία λειτουργεί χωρίς τον κίνδυνο να υποστεί βλάβη.

Ηλεκτρική Ισχύς είναι η ισχύς του ηλεκτροκινητήρα και δίνεται από τη σχέση

$$P_e = V \cdot I \quad (1)$$

όπου V η τάση [V]

I η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος [A]

Στην πειραματική διάταξη η τάση και η ένταση ρεύματος καταγράφονται από βολτόμετρο και αμπερόμετρο, όργανα που είναι προσαρμοσμένα στη συσκευή.

Ισχύς Πέδησης ή Ισχύς Εισόδου είναι η ισχύς που μεταβιβάζεται στον άξονα του κινητήρα. Η ισχύς αυτή υπολογίζεται από δυναμόμετρο που επίσης είναι προσαρμοσμένο στη συσκευή. Η ισχύς πέδησης δίνεται από τη σχέση:

$$P_n = M \cdot \omega \quad (\text{Watt}) \quad (2)$$

Όπου

$$M = F \cdot L \quad (\text{Nm}) \quad (3)$$

και

$$\omega = 2\pi \cdot N / 60 \quad (\text{rad/s}) \quad \text{όταν } N \text{ (rpm)} \quad (4)$$

Ωφέλιμη Ισχύς (ή αποδιδόμενη) μιας αντλίας είναι η ενέργεια ανά μονάδα χρόνου που αποδίδεται στο ρευστό καθώς αυτό διέρχεται μέσα από αυτήν. Δίνεται από τη

σχέση:
$$P_\Omega = \rho g H \cdot Q \quad (5)$$

όπου H είναι το ολικό μανομετρικό ύψος, μετρημένο σε μέτρα στήλης ύδατος (mΣΥ).

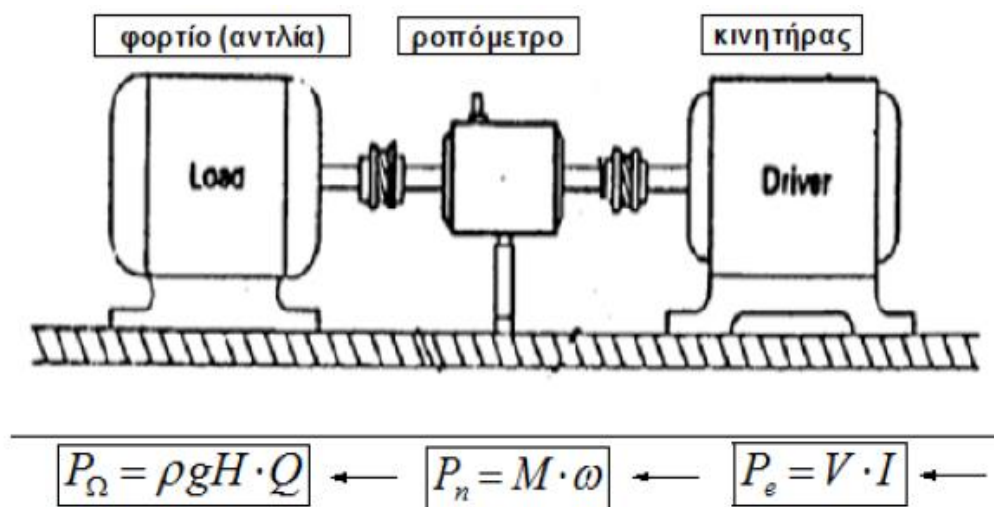
Ο βαθμός απόδοσης της αντλίας n , υπολογίζεται από τη σχέση

$$n = \frac{P_\Omega}{P_n} \quad (6)$$

$$n_K = \frac{P_n}{P_e}$$

Ο βαθμός απόδοσης του ηλεκτροκινητήρα n_K , υπολογίζεται από τη σχέση (7)

Η μετατροπή ισχύος γίνεται σύμφωνα με την εικόνα 4.2.. Η στρεπτική ροπή M στην άτρακτο της αντλίας μετράται με ένα ροπόμετρο ελαστικής παραμόρφωσης, που προσαρμόζεται μεταξύ κινητήριας ατράκτου του ηλεκτροκινητήρα και της ατράκτου της αντλίας, όπως φαίνεται στο σχήμα. Με τον τρόπο αυτόν δεν υπεισέρχονται στον υπολογισμό οι μηχανικές απώλειες του ηλεκτροκινητήρα. Η αρχή λειτουργίας του ροπόμετρου αυτού, βασίζεται στη μέτρηση της στρεπτικής παραμόρφωσης της ατράκτου, ως αποτέλεσμα της μεταφερόμενης ροπής, μέσω ηλεκτρομηκυσιομέτρων. Η στρεπτική παραμόρφωση διαβάζεται από την ένδειξη του οργάνου.

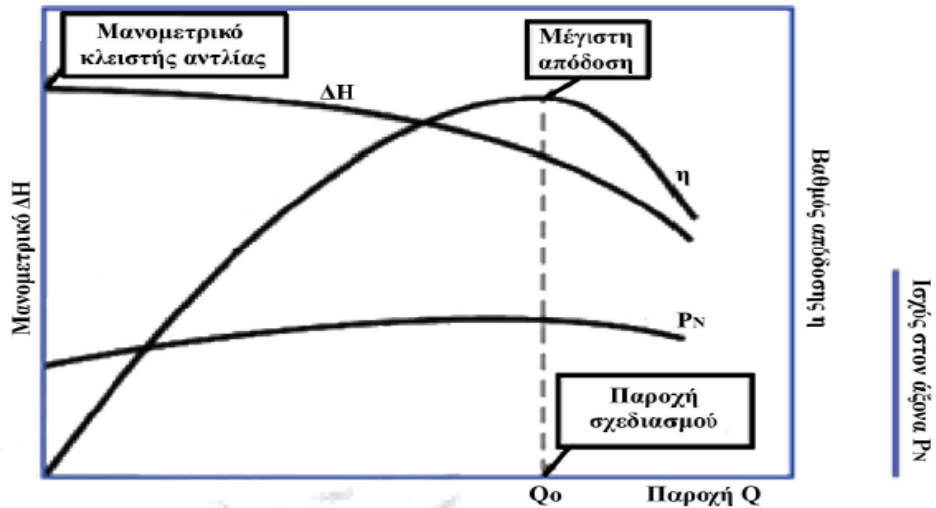


Εικόνα 4.2.: Οι διαδοχικές μετατροπές ισχύος σχηματικά.

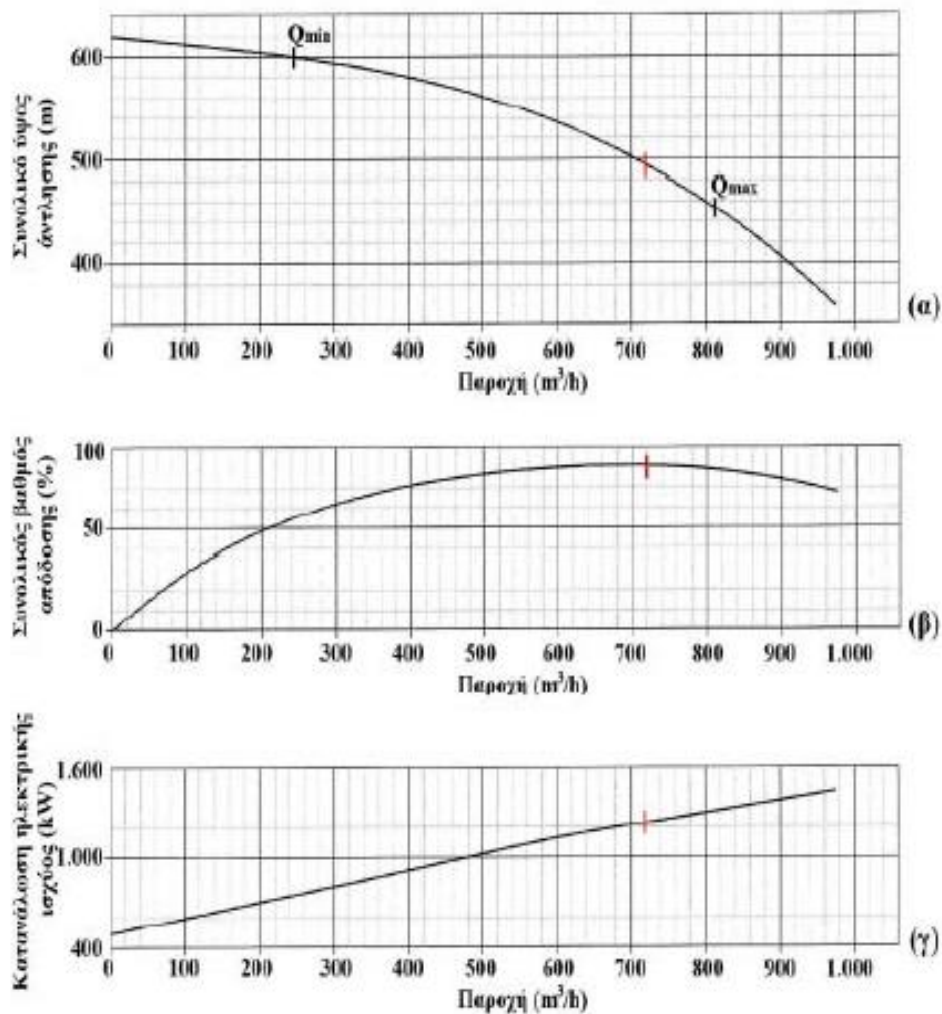
Η “ταυτότητα” μιας ΣΜ δίνεται με τη μορφή διαγραμμάτων, τις επωνομαζόμενες Χαρακτηριστικές Καμπύλες Λειτουργίας (ΧΚΛ). Για τις αντλίες κατασκευάζονται 3 ΧΚΛ που είναι:

- Για το ολικό μανομετρικό ΔH ,
- Για την ισχύ της αντλίας P_n ,
- Για το βαθμό απόδοσης της αντλίας n .

Τα μεγέθη (ΔH , P_n , n) παριστάνονται ως συνάρτηση της παροχής Q . Ενδεικτικές καμπύλες ΣΜ αποδίδονται στο σχήμα 4.3. Μια κοινή πρακτική είναι οι 3 καμπύλες να παριστάνονται σε κοινό διάγραμμα. Κάθε ΣΜ έχει ένα βέλτιστο σημείο λειτουργίας, το σημείο δηλ. στο οποίο ο βαθμός απόδοσης λαμβάνει μέγιστη τιμή. Επομένως σε κάθε εφαρμογή θα πρέπει να χρησιμοποιείται μια ΣΜ που να εξασφαλίζει καταρχήν την επιθυμητή λειτουργία $\Delta H = f(Q)$, αλλά και την μέγιστη απόδοση n (για συγκεκριμένη κατανάλωση ισχύος => οικονομικότερη λειτουργία).



Εικόνα 4.3: Αναπαράσταση χαρακτηριστικών καμπυλών ΣΜ σε κοινό διάγραμμα [3]



Εικόνα 4.4.: Ποιοτικά Διαγράμματα μανομετρικού, απόδοσης και καταναλισκόμενης ισχύος ως συνάρτηση της παροχής για ορισμένη ταχύτητα περιστροφής - χαρακτηριστικές καμπύλες

4.3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

4.3.1. Πειραματική διάταξη

Η πειραματική μονάδα αποτελείται από την φυγοκεντρική αντλία, από τον ηλεκτροκινητήρα, από δύο δεξαμενές απαραίτητες για την ανακύκλωση του νερού και από τις αναγκαίες σωληνώσεις και όργανα μετρήσεων.



Εικόνα 4.5: Εργαστηριακή Συσκευή Φυγοκεντρικής Υδραντλίας

Η φυγοκεντρική αντλία αποτελείται βασικά από τρία μέρη: τον σωλήνα αναρρόφησης (ή εισόδου), την πτερωτή που καλύπτεται από ένα δακτυλιοειδές περίβλημα και τον σωλήνα καταθλίψεως (ή εξόδου).

Ο σωλήνας αναρρόφησης οδηγεί το υγρό στο κέντρο της πτερωτής. Η πτερωτή περιστρεφόμενη περιδινεί το υγρό και το προωθεί με ταχύτητα προς τα έξω από το κέντρο περιστροφής της. Λόγω όμως του περιβλήματος η ταχύτητα του υγρού ελαττώνεται σημαντικά, με συνέπεια η κινητική ενέργεια του να μετατρέπεται σε ενέργεια πίεσεως. Το υψηλής πίεσεως υγρό εξέρχεται τέλος από τον αγωγό καταθλίψεως. Η παροχή του νερού μετράται με τριγωνικό υπερχειλιστή που συνοδεύεται από καμπύλη βαθμονόμησης. Τα ύψη πιέσεων στην κατάθλιψη και την αναρρόφησης μετρούνται απευθείας με μανόμετρα. Η ισχύς του ηλεκτροκινητήρα θα βρεθεί από την τάση του βολτομέτρου και την ένταση του ρεύματος από την ένδειξη του αμπερομέτρου. Η ισχύς πεδήσεως θα βρεθεί με την μέτρηση της δυνάμεως πεδήσεως στο δυναμόμετρο. Η ταχύτητα περιστροφής του ηλεκτροκινητήρα ή της αντλίας θα μετράται με στροφόμετρο.

4.3.2. Προετοιμασία Διάταξης.

Στην πειραματική συσκευή που περιεγράφηκε παραπάνω θα πρέπει πριν από το πείραμα να γίνουν οι εξής προετοιμασίες:

- Η συσκευή να είναι συνδεδεμένη στο ηλεκτρικό δίκτυο (ώστε να μπορεί να πάρει ρεύμα έως 20A),
- Η ένδειξη του δυναμόμετρου πρέπει να δείχνει μηδέν, πράγμα που ρυθμίζεται με τον οδοντωτό τροχό στο από κάτω μέρος του,
- Η στρόφιγγα αναρρόφησης (ή εισόδου) να είναι εντελώς ανοικτή (δηλ. σε οριζόντια θέση),
- Η ελεύθερη επιφάνεια του νερού στην κάτω δεξαμενή να είναι 5mm περίπου από την κορυφή της τριγωνικής διατομής του υπερχειλιστή και στην επάνω δεξαμενή ακριβώς μέχρι την κορυφή του τριγώνου του υπερχειλιστή. Η ένδειξη της κλίμακας του υπερχειλιστή τοποθετείται στο μηδέν (με την βοήθεια των δύο στηριγμάτων της ίδιας κλίμακας).

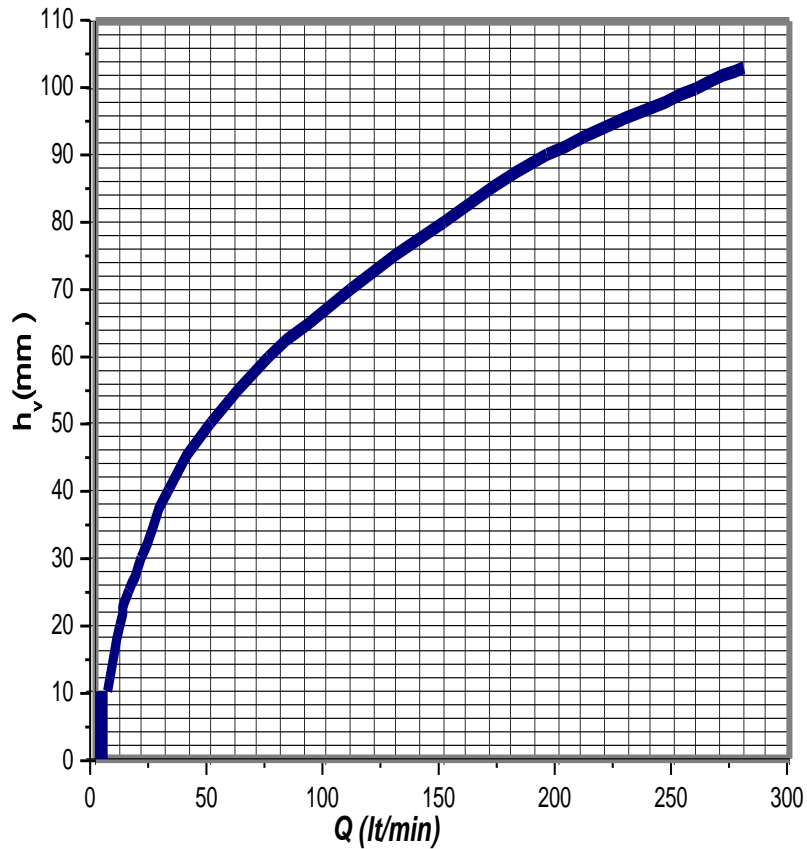
4.3.3. Υπολογισμός Ογκομετρικής Παροχής.

Στην υδραντλία του πειράματος η παροχή μετριέται με την βοήθεια παροχόμετρου με τριγωνικό υπερχειλιστή (Εικόνα 4.6). Στην κατακόρυφη κλίμακα μετριέται το ύψος της ελεύθερης επιφάνειας του νερού υπεράνω της κορυφής της τριγωνικής εντομής του υπερχειλιστή. Στη συνέχεια από την ένδειξη αυτή και την καμπύλη βαθμονόμησης του τριγωνικού υπερχειλιστή υπολογίζουμε την παροχή. Η σχέση παροχής-ύψους υπερχείλισης ακολουθεί την γνωστή συσχέτιση για τριγωνικούς υπερχειλιστές:

$Q = C h_v^{5/2}$ που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την προσέγγιση της καμπύλης, με $C = 4.334327 \cdot 10^{-8}$ όταν h_v σε [mm] και Q σε [m^3/s].



Εικόνα 4.6: Τριγωνικός Υπερχειλιστής



Εικόνα 4.7: Καμπύλη Βαθμονόμησης Τριγωνικού Υπερχειλιστή.

Για την ορθή επιλογή της αντλίας θα πρέπει να υπολογίζονται τα εξής δεδομένα:

- Ολικό ύψος ή μανομετρικό ύψος,
- Ογκομετρική παροχή,
- Ηλεκτρική ισχύς,
- Ισχύς εισόδου ή δαπανώμενη ή απαιτούμενη,
- Ισχύς εξόδου ή ωφέλιμη ισχύς,
- Βαθμός απόδοσης

5. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ – ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

5.1. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΑΙ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Τα πειράματα έγιναν στο εργαστήριο Ρευστομηχανικής του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. του ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας (νυν Τμήμα Μηχανολόγων, της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου) υπό την εποπτεία και καθοδήγηση του επιβλέποντα Καθηγητή. Έγιναν συνολικά περίπου 10 επισκέψεις στο εργαστήριο. Η πειραματική διαδικασία γινόταν με σταθερές στροφές και μετρούνταν όλα τα χαρακτηριστικά μεγέθη της υδραντλίας αλλάζοντας την ογκομετρική παροχή. Η διαδικασία έγινε για 5 διαφορετικούς αριθμούς στροφών. Δηλαδή για το 30%, το 40%, το 50%, το 60%, και το 70% αντίστοιχα των 3400 RPM της αντλίας. Γινόταν προσπάθεια ώστε το ρεύμα να κρατηθεί σταθερό, προσέχοντας πολύ τις ενδείξεις των οργάνων.

N [rpm]	F [N]	H _κ [m ΣΥ]	H _Α [m ΣΥ]	h _ν [mm]	V [Volt]	I 1
1020	23,6	1,8	0	99,6	60	8
1020	23,1	1,9	0	98,6	60	8
1020	22,6	1,9	0	97,1	60	8
1020	21,1	2	0	91,6	60	8
1020	19,6	2	0	87,6	60	8
1020	17,1	2,1	0	74,6	60	8
1020	14,6	2,2	0	61,6	60	8
1020	9,1	2,3	0	0	60	8

Εικόνα 5.1.: Δεδομένα για 1020 RPM

N [rpm]	F [N]	H _κ [m ΣΥ]	H _Α [m ΣΥ]	h _ν [mm]	V [Volt]	I 1
1360	23,6	1,6	0	99,6	82	8
1360	23,1	1,8	0	98,6	82	8
1360	22,6	1,9	0	97,1	82	8
1360	21,1	2	-0,01	91,6	82	8
1360	19,6	2,3	-0,01	87,6	82	8
1360	17,1	2,3	-0,01	74,6	82	8
1360	14,6	2,4	-0,02	61,6	82	8
1360	9,1	2,5	-0,02	0	82	8

Εικόνα 5.2.: Δεδομένα για 1360 RPM

N [rpm]	F [N]	H _K [m ΣΥ]	H _A [m ΣΥ]	h _v [mm]	V [Volt]	I 1
1700	23,6	1,8	-0,703	99,6	101	8
1700	23,1	2	-0,705	98,6	101	8
1700	22,6	2,1	-0,702	97,1	101	8
1700	21,1	2,2	-0,706	91,6	101	8
1700	19,6	2,4	-0,705	87,6	101	8
1700	17,1	2,6	-0,702	74,6	101	8
1700	14,6	2,6	-0,703	61,6	101	8
1700	9,1	2,7	-0,704	0	101	8

Εικόνα 5.3.: Δεδομένα για 1700 RPM

N [rpm]	F [N]	H _K [m ΣΥ]	H _A [m ΣΥ]	h _v [mm]	V [Volt]	I 1
2040	23,6	2	-1,265	99,6	120	8
2040	23,1	2,1	-1,265	98,6	120	8
2040	22,6	2,3	-1,265	97,1	120	8
2040	21,1	2,5	-1,265	91,6	120	8
2040	19,6	2,7	-1,265	87,6	120	8
2040	17,1	2,9	-1,265	74,6	120	8
2040	14,6	3	-1,265	61,6	120	8
2040	9,1	3,1	-1,265	0	120	8

Εικόνα 5.4.: Δεδομένα για 2040 RPM

N [rpm]	F [N]	H _K [m ΣΥ]	H _A [m ΣΥ]	h _v [mm]	V [Volt]	I 1
2380	23,6	2,3	-1,41	99,6	150	8
2380	23,1	2,5	-1,41	98,6	150	8
2380	22,6	2,8	-1,41	97,1	150	8
2380	21,1	3,1	-1,41	91,6	150	8
2380	19,6	3,4	-1,41	87,6	150	8
2380	17,1	3,6	-1,41	74,6	150	8
2380	14,6	3,8	-1,41	61,6	150	8
2380	9,1	4,2	-1,41	0	150	8

Εικόνα 5.5.: Δεδομένα για 2380 RPM

5.2. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα φαίνονται στους παρακάτω πίνακες. Η ροπή δεν αλλάζει καθώς δίνεται από το γινόμενο της δύναμης F επί την απόσταση L του άξονα περιστροφής. Η παροχή αλλάζει σύμφωνα με την καμπύλη βαθμονόμησης της φυγοκεντρικής

υδραντλίας και υπολογίζεται από την σχέση $Q = C h_v^{5/2}$. Στην συνέχεια υπολογίζεται η ηλεκτρική ισχύς με την βοήθεια οργάνων από την σχέση:

$$P_e = V \cdot I$$

M (Nm)	H _{KA} (m)	Q (m ₃ /s)	P _n (Watt)	P _e (Watt)	P _ω (Watt)	η	η _κ
4,130	1,800	0,00429	440,919	480	75,772	0,172	0,919
4,043	1,900	0,00418	431,577	480	77,990	0,181	0,899
3,955	1,900	0,00403	422,236	480	75,057	0,178	0,880
3,693	2,000	0,00348	394,211	480	68,290	0,173	0,821
3,430	2,000	0,00311	366,187	480	61,077	0,167	0,763
2,993	2,100	0,00208	319,479	480	42,920	0,134	0,666
2,555	2,200	0,00129	272,772	480	27,859	0,102	0,568
1,593	2,300	0,00000	170,015	480	0,000	0,000	0,354

Εικόνα 5.6.: Αποτελέσματα για 1020 RPM

Στην συνέχεια υπολογίζεται η μηχανική ισχύς στον άξονα της αντλίας με την βοήθεια της ροπής M και των στροφών N: $P_n = M \cdot \omega$ (Watt)

M (Nm)	H _{KA} (m)	Q (m ₃ /s)	P _n (Watt)	P _e (Watt)	P _ω (Watt)	η	η _κ
4,130	1,600	0,00429	587,892	656	67,353	0,115	0,896
4,043	1,800	0,00418	575,436	656	73,885	0,128	0,877
3,955	1,900	0,00403	562,981	656	75,057	0,133	0,858
3,693	2,010	0,00348	525,615	656	68,632	0,131	0,801
3,430	2,310	0,00311	488,249	656	70,544	0,144	0,744
2,993	2,310	0,00208	425,972	656	47,212	0,111	0,649
2,555	2,420	0,00129	363,696	656	30,645	0,084	0,554
1,593	2,520	0,00000	226,687	656	0,000	0,000	0,346

Εικόνα 5.7.: Αποτελέσματα για 1360 RPM

M (Nm)	H _{KA} (m)	Q (m ₃ /s)	P _n (Watt)	P _e (Watt)	P _ω (Watt)	η	η _κ
4,130	2,503	0,00429	734,865	808	105,366	0,143	0,909
4,043	2,705	0,00418	719,296	808	111,033	0,154	0,890
3,955	2,802	0,00403	703,726	808	110,690	0,157	0,871
3,693	2,906	0,00348	657,019	808	99,226	0,151	0,813
3,430	3,105	0,00311	610,311	808	94,823	0,155	0,755
2,993	3,302	0,00208	532,466	808	67,486	0,127	0,659
2,555	3,303	0,00129	454,620	808	41,826	0,092	0,563
1,593	3,404	0,00000	283,359	808	0,000	0,000	0,351

Εικόνα 5.8.: Αποτελέσματα για 1700 RPM

M (Nm)	H _{KA} (m)	Q (m ₃ /s)	P _n (Watt)	P _e (Watt)	P _ω (Watt)	η	η _κ
4,130	3,265	0,00429	881,838	960	137,443	0,156	0,919
4,043	3,365	0,00418	863,155	960	138,124	0,160	0,899
3,955	3,565	0,00403	844,472	960	140,831	0,167	0,880
3,693	3,765	0,00348	788,423	960	128,557	0,163	0,821
3,430	3,965	0,00311	732,374	960	121,086	0,165	0,763
2,993	4,165	0,00208	638,959	960	85,124	0,133	0,666
2,555	4,265	0,00129	545,544	960	54,008	0,099	0,568
1,593	4,365	0,00000	340,031	960	0,000	0,000	0,354

Εικόνα 5.9.: Αποτελέσματα για 2040 RPM

M (Nm)	H _{KA} (m)	Q (m ₃ /s)	P _n (Watt)	P _e (Watt)	P _ω (Watt)	η	η _κ
4,130	3,710	0,00429	1028,811	1200	156,176	0,152	0,857
4,043	3,910	0,00418	1007,014	1200	160,494	0,159	0,839
3,955	4,210	0,00403	985,217	1200	166,311	0,169	0,821
3,693	4,510	0,00348	919,826	1200	153,995	0,167	0,767
3,430	4,810	0,00311	854,436	1200	146,891	0,172	0,712
2,993	5,010	0,00208	745,452	1200	102,394	0,137	0,621
2,555	5,210	0,00129	636,468	1200	65,975	0,104	0,530
1,593	5,610	0,00000	396,702	1200	0,000	0,000	0,331

Εικόνα 5.10.: Αποτελέσματα για 2380 RPM

Στην συνέχεια υπολογίζεται ο βαθμός απόδοσης του μοτέρ της αντλίας η_κ και ο βαθμός απόδοσης της αντλίας η ως εξής: Ο βαθμός απόδοσης της αντλίας η, υπολογίζεται

$$\eta = \frac{P_{\Omega}}{P_n}$$

από τη σχέση

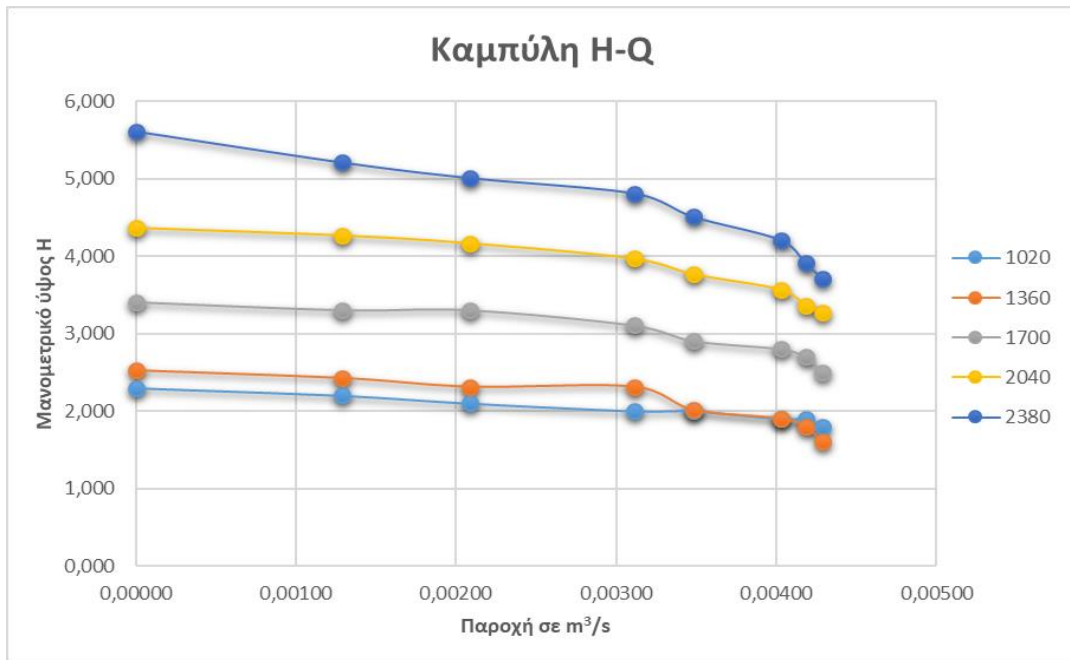
$$\eta_{\kappa} = \frac{P_n}{P_e}$$

τη σχέση (7)

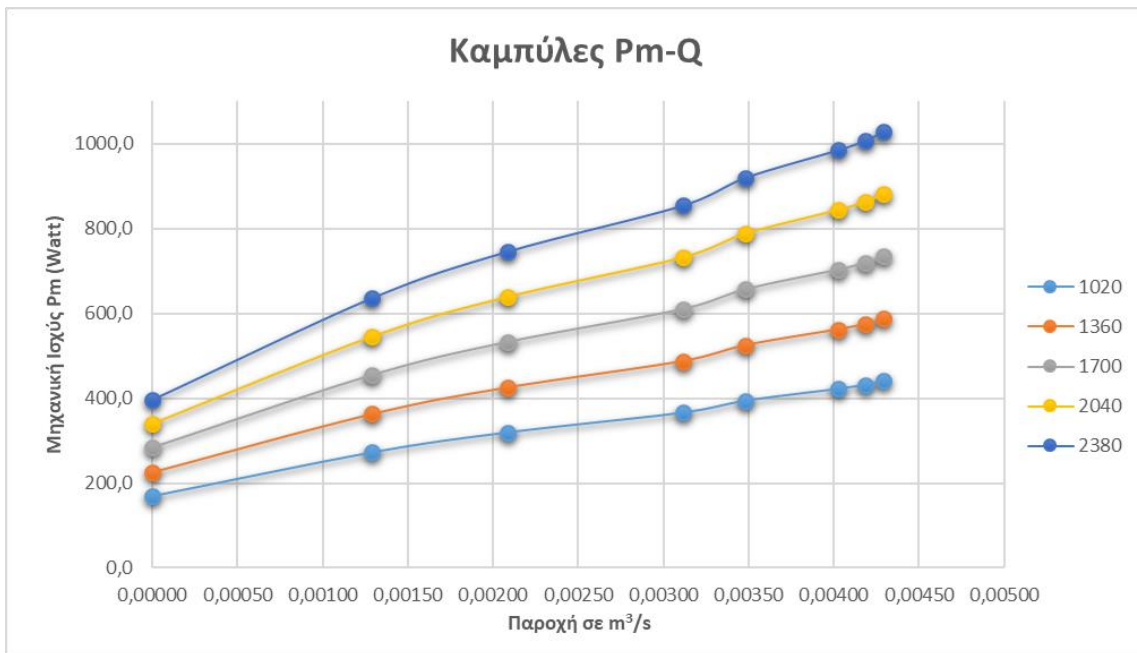
Και με τον παραπάνω τρόπο έχουν συμπληρωθεί οι πίνακες με τα απαιτούμενα στοιχεία για να γίνει η κατασκευή των διαγραμμάτων. Τα διαγράμματα θα είναι τα ίδια με αυτά που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 3 και στο κεφάλαιο 4.

- Καμπύλη Μανομετρικού – Παροχής
- Καμπύλη Μηχανικής ισχύος – Παροχής
- Καμπύλη βαθμού απόδοσης – Παροχής

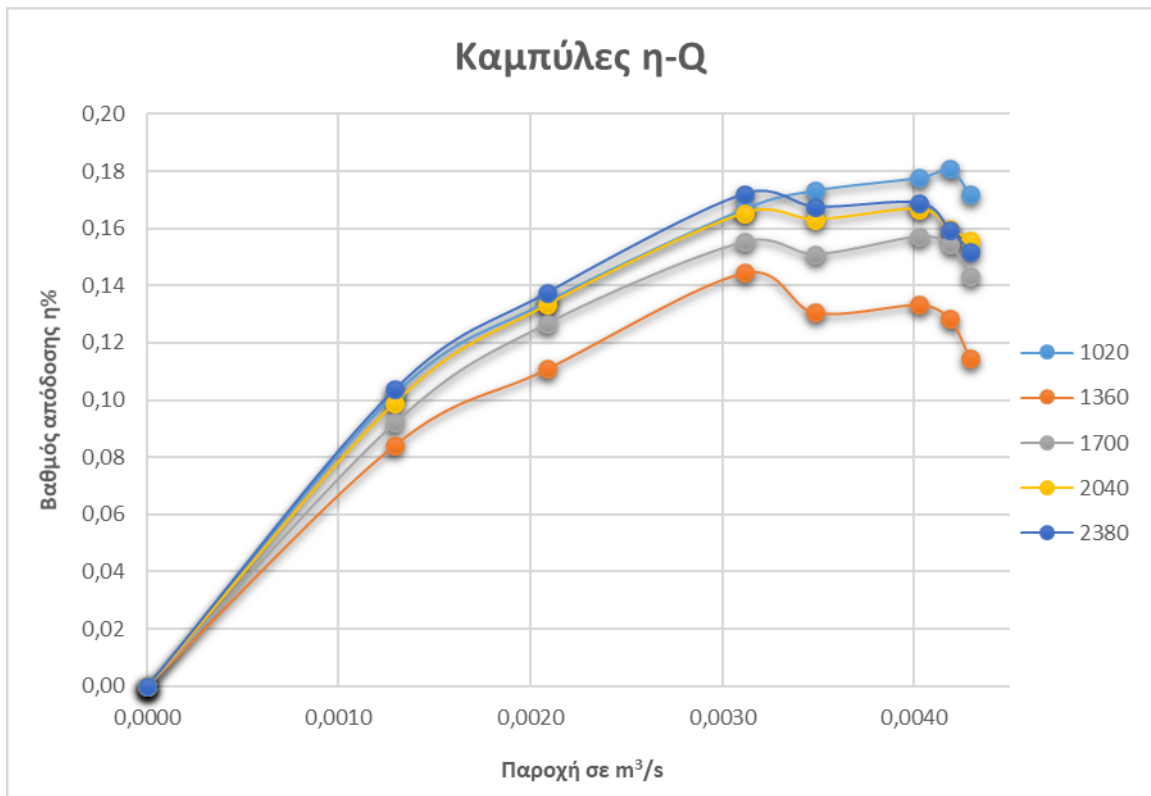
Παρακάτω φαίνονται οι καμπύλες όπως δημιουργήθηκαν στο excel.



Εικόνα 5.11.: Διάγραμμα Η-Q για διαφορετικές στροφές



Εικόνα 5.12.: Διάγραμμα Ρm-Q για διαφορετικές στροφές



Εικόνα 5.13.: Διάγραμμα η-Q για διαφορετικές στροφές

6. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σύμφωνα με τα παραπάνω προκύπτει ότι :

Παρατηρούμε ότι οι καμπύλες δεν είναι ομαλές και αυτό συμβαίνει λόγω πιθανών σφαλμάτων κατά την πειραματική διαδικασία, είτε από τα μετρητικά όργανα είτε από σφάλμα παρατήρησης. Επίσης η υδραντλία λόγω των πολλών ωρών λειτουργίας της έως τώρα, έχει μηχανικές φθορές στα εξαρτήματά της. Λόγω περιορισμένου εύρους στροφών στην φυγοκεντρική υδραντλία, οι δοκιμές έγιναν μόνο στο 30%, 40%, 50%, 60%, 70% του ονομαστικού αριθμού στροφών καθώς δεν έπρεπε να ξεπεράσει το 80% η αντλία.

Στο διάγραμμα Μανομετρικού – Παροχής, παρατηρείται ότι στις πρώτες δυο ομάδες μετρήσεων οι γραμμές συγκλίνουν λόγω του μηδενικού ύψους. Και εδώ όπως και στα υπόλοιπα διαγράμματα παρατηρείται ένα επαναλαμβανόμενο μοτίβο μεταξύ των καμπυλών. Αυτό συμβαίνει επειδή οι παροχές που ήταν δεδομένες, είχαν δοθεί από την καμπύλη βαθμονόμησης της αντλίας του εργαστηρίου. Σχεδόν τα πρώτα τρία δεκαδικά ψηφία είναι ίδια στις μετρήσεις. Η διαφορά ήταν μετά το 4^ο δεκαδικό γιατί οι μονάδες είναι σε m³/s.

Στο διάγραμμα Μανομετρικού – Παροχής όπως είναι λογικό φαίνεται ότι το μανομετρικό ύψος αυξάνεται όσο αυξάνονται οι στροφές. Επίσης όσο αυξάνονται οι στροφές είναι πιο απότομη η πτώση του μανομετρικού στις μεγάλες παροχές.

Στο διάγραμμα Μηχανικής Ισχύος – Παροχής φαίνεται ότι όσο αυξάνεται η παροχή (δηλαδή και οι στροφές) αυξάνεται και η ροπή στον άξονα και συνεπώς η μηχανική ισχύς. Το ίδιο φαίνεται σε όλες τις καμπύλες.

Στο διάγραμμα που αναφέρεται στον βαθμό απόδοσης συναρτήσει της παροχής, είναι και το διάγραμμα όπου φαίνεται περισσότερο μία αυξομείωση στον βαθμό απόδοσης της αντλίας. Στο διάγραμμα αυτό παρατηρείται ότι στις αρχικές στροφές να παίρνει την αναμενόμενη μορφή, ενώ όσο οι στροφές αυξάνονται παρατηρείται ολοένα και μεγαλύτερη αυξομείωση και συγκεκριμένα στα 0,00300 με 0,00350 m³/s. Αυτό συμβαίνει λόγω του μανομετρικού ύψους. Η διαφορά του ύψους σε εκείνες της παροχές είχε μια μικρή αυξομείωση στα μανόμετρα, για το οποίο μπορεί να ευθύνεται ένα σφάλμα στην μέτρηση.

Σε γενικές γραμμές παρατηρείται ότι η φυγοκεντρική υδραντλία έχει καλό εύρος στροφών, και έχει δυνατότητες για ποικιλία εφαρμογών λόγω του εύρους μανομετρικού – παροχής.

- Οι φυγοκεντρικές αντλίες μπορούν λοιπόν εύκολα να συνδεθούν με το μοτέρ
- Παρουσιάζουν συνεχή και ομοιόμορφη λειτουργία με μικρή διακύμανση των λειτουργικών τους παραμέτρων. Η παροχή και η πίεση είναι σταθερές ή παρουσιάζουν πολύ μικρή περιοδική μεταβολή.
- Το μέγεθός τους είναι μικρό (λόγω του μεγάλου αριθμού των στροφών τους) και επομένως απαιτείται μικρότερος χώρος για την εγκατάστασή τους και σχετικά μικρό κόστος.
- Τα κινούμενα μέρη των δυναμικών αντλιών, δηλαδή τα στροφεία, λιπαίνονται από το αντλούμενο ρευστό κατευθείαν άρα δεν χρειάζεται να γίνει λίπανση από τον χειριστή.
- Με κατάλληλες παρεμβάσεις στο υδραυλικό δίκτυο, είναι εύκολο να μεταβληθούν τα λειτουργικά τους χαρακτηριστικά. Μπορούν, δηλαδή, να λειτουργήσουν σε ένα ευρύ σχετικά φάσμα παροχών. Όταν όμως λειτουργούν με χαρακτηριστικά εκτός του εύρους τιμών, για τα οποία έχουν υπολογισθεί, οι δυναμικές αντλίες δίνουν χαμηλές αποδόσεις.
- Τόσο το αρχικό κόστος όσο και τα έξοδα συντηρήσεώς τους είναι χαμηλά.⁷⁵

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ακριτιδης Κωνσταντινος, Αντλίες, Εκδόσεις Γιαχουδη-Γιαπουλη 1985 κεφάλαιο 2 – Εισαγωγή Στα Ροϊκά Φαινόμενα

Γιαννάκης Ι., Κρουστάλλη Α., 2009, Σημειώσεις Εργαστηρίου Βασικές Αρχές Στροβιλομηχανών

Ε.Μ.Π., Τμήμα Μηχανολόγων, Τομέας Ρευστών, Εργαστήριο Υδροδυναμικών Μηχανών, Εργαστηριακή Άσκηση Στο Μάθημα Υδροδυναμικών Μηχανών Ι

Κατσαπρακάκης Α. Δημήτρης Σημειώσεις “Βασικά Μεγέθη Αντλιών” Υδροδυναμικές Μηχανές Εργαστήριο Αιολικής Ενέργειας Τει Κρήτης.
[Http://www.tm.teicrete.gr/shmeiwseis.aspx](http://www.tm.teicrete.gr/shmeiwseis.aspx)

Κότσος Παν. «Τύποι Λειτουργία Εγκατάσταση Συντήρηση Επισκευή Γραναζωτή Αντλία Polyrex» ΤΕΙ Σερρών
Μέντζος, Μ., & Βρώτσος, Σ. (1997). Ρευστομηχανικός Και Κατασκευαστικός Σχεδιασμός Φυγοκεντρικών Αντλιών. Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά, Πειραιάς.

Παπαηλιου Δημοσθενης, Τεχνική Θερμοδυναμική (Στροβιλοκινητήρες), Διδακτικές Σημειώσεις Πανεπιστήμιο Πατρών

Παπανίκας Δημητριος, Εφαρμοσμένη Ρευστομηχανική, Εκδόσεις Media Guru 2010

Παπανίκας, Γ. Δ. (2012). Ρευστοδυναμικές Μηχανές (3η Έκδοση). Αθήνα: Φ. Παπανίκα & ΣΙΑ Ο.Ε.

Παπαντωνης Δημητριος, Υδροδυναμικές Μηχανές (Αντλίες – Υδροστρόβιλοι), Εκδόσεις Συμεων 1994

Παπαντώνης, Ε. Δ. (2009). Υδροδυναμικές Μηχανές Αντλίες - Υδροστρόβιλοι Υδροδυναμικές Μεταδόσεις. Εκδόσεις Συμεών.

Τσιρίκογλου – Βλαχογιάννης, 2011, «Ρευστοδυναμικές Μηχανές- Θεωρητική Προσέγγιση - Εφαρμογές», Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Τσιρικογλου, Ρευστοδυναμικές Μηχανές, Διδακτικές Σημειώσεις Τει Θεσσαλλιας 2002

White M. Frank, 1996, (Univ.Of Rhode Island) Fluid Mechanics 4th Edition, Mcgraw-Hill.

Υδραυλική / Daugerty- Franzini (Εκδόσεις Φουντας)

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

http://courseware.mech.ntua.gr/ml25036/texts/ergasthriakh_askhsh.pdf
commons.wikimedia.org/wiki/file:kaplan-turbine-2007.jpg
commons.wikimedia.org/wiki/file:kaplan-turbine-2007.jpg
commons.wikimedia.org/wiki/file:pelton_400kw_roue_1.jpg
commons.wikimedia.org/wiki/file:greenmountainwindfarm_fluvanna_2004.jpg
commons.wikimedia.org/wiki/file:s_vs_kaplan_schnitt_1_zoom.jpg
[commons.wikimedia.org/wiki/File:Pump_\(PSF\).png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pump_(PSF).png)
en.wikipedia.org/wiki/centrifugal_pump#/media/file:warman_centrifugal_pump.jpg
commons.wikimedia.org/wiki/file:simple_measuring_cup.jpg
commons.wikimedia.org/wiki/file:mohr_burette.jpg
[commons.wikimedia.org/wiki/file:ostwaldscher_z%
c3%a4higkeitsmesser.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/file:ostwaldscher_z%c3%a4higkeitsmesser.jpg) ,([flickr.com/photos/micro-motion/16648284619](https://www.flickr.com/photos/micro-motion/16648284619)
[en.wikipedia.org/wiki/orders_of_magnitude_\(temperature\)#/media/file:temperature_in_ev.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/orders_of_magnitude_(temperature)#/media/file:temperature_in_ev.svg)
[commons.wikimedia.org/wiki/file:thermoelement-thermometer_omega_\(1\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/file:thermoelement-thermometer_omega_(1).jpg)
pixabay.com/el-863210/ commons.wikimedia.org/wiki/file:manometer_inside.jpg
commons.wikimedia.org/wiki/file:venturitubescheme.png
commons.wikimedia.org/wiki/file:blende_eng.png
https://en.wikipedia.org/wiki/variable_area_meter#/media/file:techfluid-cg34-2500.jpg
en.wikipedia.org/wiki/file:water_meter.jpg
en.wikipedia.org/wiki/centrifugal_pump#/media/file:warman_centrifugal_pump.jpg
commons.wikimedia.org/wiki/file:icon_of_radial_impeller_with_mean_nq.gif
commons.wikimedia.org/wiki/file:icon_of_semi-axial_impeller_with_low_nq.gif
commons.wikimedia.org/wiki/file:axial_2.png
commons.wikimedia.org/wiki/file:icon_of_semi-axial_impeller_with_low_nq.gif
commons.wikimedia.org/wiki/file:centrifugal_pump_volute_richards_1894.png
commons.wikimedia.org/wiki/file:centrifugal_pump_volute_richards_1894.png
commons.wikimedia.org/wiki/file:piston_vs_plunger_pump.png
https://commons.wikimedia.org/wiki/file:hand_pump_-_animation.gif
commons.wikimedia.org/wiki/file:piston_vs_plunger_pump.png
commons.wikimedia.org/wiki/file:piston_vs_plunger_pump.png
commons.wikimedia.org/wiki/file:diaphram_pump.svg ,
commons.wikimedia.org/wiki/file:piston_pump_types.png
commons.wikimedia.org/wiki/file:gear_pump_3.png
commons.wikimedia.org/wiki/file:rotary_vane_pump.svg
commons.wikimedia.org/wiki/file:gear_pump.png
[commons.wikimedia.org/wiki/file:screw_pump,_make_kral_cutaway_version_\(1\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/file:screw_pump,_make_kral_cutaway_version_(1).jpg)
commons.wikimedia.org/wiki/file:lake_plastira_dam_2.jpg
commons.wikimedia.org/wiki/file:pelton_400kw_roue_1.jpg
commons.wikimedia.org/wiki/file:francis_turbine_complete.jpg

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

-
- ¹ Κότσος Παν. «Τύποι Λειτουργία Εγκατάσταση Συντήρηση Επισκευή Γραναζωτή Αντλία Polyrex» ΤΕΙ Σερρών
- ² Κότσος Παν. «Τύποι Λειτουργία Εγκατάσταση Συντήρηση Επισκευή Γραναζωτή Αντλία Polyrex» ΤΕΙ Σερρών
- ³ . [commons.wikimedia.org/wiki/File:Pump_\(PSF\).png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pump_(PSF).png)
- ⁴ Τσιρίκογλου – Βλαχογιάννης, 2011, «Ρευστοδυναμικές Μηχανές- Θεωρητική Προσέγγιση - Εφαρμογές», Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
- ⁵ en.wikipedia.org/wiki/centrifugal_pump#/media/file:warman_centrifugal_pump.jpg
- ⁶ https://commons.wikimedia.org/wiki/file:simple_measuring_cup.jpgcommons.wikimedia.org/wiki/file:mohr_burette.jpg
- ⁷ commons.wikimedia.org/wiki/file:ostwaldscher_z%C3%A4hlmessgerat.jpg ,(
- ⁸ [flickr.com/photos/micro-motion/16648284619](https://www.flickr.com/photos/micro-motion/16648284619/)
- ⁹ [en.wikipedia.org/wiki/orders_of_magnitude_\(temperature\)#/media/file:temperature_in_ev.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/orders_of_magnitude_(temperature)#/media/file:temperature_in_ev.svg)
[commons.wikimedia.org/wiki/file:thermoelement-thermometer_omega_\(1\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/file:thermoelement-thermometer_omega_(1).jpg)
- ¹⁰ pixabay.com/el-863210/ commons.wikimedia.org/wiki/file:manometer_inside.jpg
- ¹¹ commons.wikimedia.org/wiki/file:venturitubescheme.png
- ¹² commons.wikimedia.org/wiki/file:blende_eng.png
- ¹³ https://en.wikipedia.org/wiki/variable_area_meter#/media/file:techfluid-cg34-2500.jpg
- ¹⁴ en.wikipedia.org/wiki/file:water_meter.jpg
- ¹⁵ Δημητριος Παπαντωνης, Υδροδυναμικές Μηχανές (Αντλίες – Υδροστροβίλοι), Εκδόσεις Συμμεων 1994 και Κωνσταντίνος Ακριτιδης, Αντλίες, Εκδόσεις Γιαχουδη-Γιαπουλη 1985 κεφάλαιο 2 – Εισαγωγή Στα Ροϊκά Φαινόμενα
- ¹⁶ Δημοσθενης Παπαηλιου, Τεχνική Θερμοδυναμική (Στροβιλοκινητήρες), Διδακτικές Σημειώσεις Πανεπιστημιο Πατρων
- ¹⁷ Δημητριος Παπανικας, Εφαρμοσμένη Ρευστομηχανική, Εκδόσεις Media Guru 2010
- ¹⁸ Τσιρίκογλου – Βλαχογιάννης, 2011, «Ρευστοδυναμικές Μηχανές- Θεωρητική Προσέγγιση - Εφαρμογές», Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
- ¹⁹ Υδραυλικη / Daugerty- Franzini (Εκδόσεις Φουντας)
- ²⁰ Τσιρίκογλου – Βλαχογιάννης, 2011, «Ρευστοδυναμικές Μηχανές- Θεωρητική Προσέγγιση - Εφαρμογές», Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
- ²¹ V. Streeter – E. Wylie, Μηχανική Ρευστών, Εκδόσεις Φουντας 2000 και Θ.Ι. Τσιρικουλου, Ρευστοδυναμικές Μηχανές, Διδακτικές Σημειώσεις Τει Θεσσαλλιας 2002
- ²² Υδραυλικη / Daugerty- Franzini (Εκδόσεις Φουντας)
- ²³ Παπανίκας, Γ. Δ. (2012). Ρευστοδυναμικές Μηχανές (3η Έκδοση). Αθήνα: Φ. Πα-Πανίκα & ΣΙΑ Ο.Ε 1,3
- ²⁴ Παπανίκας, Γ. Δ. (2012). Ρευστοδυναμικές Μηχανές (3η Έκδοση). Αθήνα: Φ. Πα-Πανίκα & ΣΙΑ Ο.Ε,3
- ²⁵ Τσιρίκογλου – Βλαχογιάννης, 2011, «Ρευστοδυναμικές Μηχανές- Θεωρητική Προσέγγιση - Εφαρμογές», Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
- ²⁶ Κότσος Παν. «Τύποι Λειτουργία Εγκατάσταση Συντήρηση Επισκευή Γραναζωτή Αντλία Polyrex» ΤΕΙ Σερρών
- ²⁷ Παπανίκας, Γ. Δ. (2012). Ρευστοδυναμικές Μηχανές (3η Έκδοση). Αθήνα: Φ. Πα-Πανίκα & ΣΙΑ Ο.Ε 1,3
- ²⁸ Τσιρικουλου
- ²⁹ Παπανίκας, Γ. Δ. (2012). Ρευστοδυναμικές Μηχανές (3η Έκδοση). Αθήνα: Φ. Πα-Πανίκα & ΣΙΑ Ο.Ε 1,3

-
- ³⁰ Παπανίκας, Γ. Δ. (2012). *Ρευστοδυναμικές Μηχανές* (3η Έκδοση). Αθήνα: Φ. Πα-Πανίκα & ΣΙΑ Ο.Ε,4
- ³¹ Τσιρίκογλου – Βλαχογιάννης, 2011, «Ρευστοδυναμικές Μηχανές- Θεωρητική Προσέγγιση - Εφαρμογές», Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
- ³² Κότσος Παν. «Τύποι Λειτουργία Εγκατάσταση Συντήρηση Επισκευή Γραναζωτή Αντλία Polyrex» ΤΕΙ Σερρών
- ³³ Τσιρίκογλου – Βλαχογιάννης, 2011, «Ρευστοδυναμικές Μηχανές- Θεωρητική Προσέγγιση - Εφαρμογές», Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
- ³⁴ Κότσος Παν. «Τύποι Λειτουργία Εγκατάσταση Συντήρηση Επισκευή Γραναζωτή Αντλία Polyrex» ΤΕΙ Σερρών
- ³⁵ Κωνσταντίνος Ακριτιδής, *Αντλίες, Εκδόσεις Γιαχουδη-Γιαπουλη 1985*
- ³⁶ en.wikipedia.org/wiki/centrifugal_pump#/media/file:warman_centrifugal_pump.jpg
- ³⁷ commons.wikimedia.org/wiki/file:icon_of_radial_impeller_with_mean_nq.gif
- ³⁸ commons.wikimedia.org/wiki/file:icon_of_semi-axial_impeller_with_low_nq.gif
- ³⁹ commons.wikimedia.org/wiki/file:axial_2.png
- ⁴⁰ commons.wikimedia.org/wiki/file:icon_of_semi-axial_impeller_with_low_nq.gif
- ⁴¹ commons.wikimedia.org/wiki/file:centrifugal_pump_volute_richards_1894.png
- ⁴² commons.wikimedia.org/wiki/file:centrifugal_pump_volute_richards_1894.png
- ⁴³ Τσιρίκογλου – Βλαχογιάννης, 2011, «Ρευστοδυναμικές Μηχανές- Θεωρητική Προσέγγιση - Εφαρμογές», Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
- ⁴⁴ Κότσος Παν. «Τύποι Λειτουργία Εγκατάσταση Συντήρηση Επισκευή Γραναζωτή Αντλία Polyrex» ΤΕΙ Σερρών
- ⁴⁵ Τσιρίκογλου – Βλαχογιάννης, 2011, «Ρευστοδυναμικές Μηχανές- Θεωρητική Προσέγγιση - Εφαρμογές», Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
- ⁴⁶ Τσιρίκογλου – Βλαχογιάννης, 2011, «Ρευστοδυναμικές Μηχανές- Θεωρητική Προσέγγιση - Εφαρμογές», Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
- ⁴⁷ Κότσος Παν. «Τύποι Λειτουργία Εγκατάσταση Συντήρηση Επισκευή Γραναζωτή Αντλία Polyrex» ΤΕΙ Σερρών
- ⁴⁸ Κότσος Παν. «Τύποι Λειτουργία Εγκατάσταση Συντήρηση Επισκευή Γραναζωτή Αντλία Polyrex» ΤΕΙ Σερρών
- ⁴⁹ Κότσος Παν. «Τύποι Λειτουργία Εγκατάσταση Συντήρηση Επισκευή Γραναζωτή Αντλία Polyrex» ΤΕΙ Σερρών
- ⁵⁰ Κωνσταντίνος Ακριτιδής, *Αντλίες, Εκδόσεις Γιαχουδη-Γιαπουλη 1985*
- ⁵¹ commons.wikimedia.org/wiki/file:piston_vs_plunger_pump.png
- ⁵² https://commons.wikimedia.org/wiki/file:hand_pump_-_animation.gif
- ⁵³ commons.wikimedia.org/wiki/file:piston_vs_plunger_pump.png
- ⁵⁴ commons.wikimedia.org/wiki/file:piston_vs_plunger_pump.png
- ⁵⁵ commons.wikimedia.org/wiki/file:diaphragm_pump.svg ,
- ⁵⁶ κωνσταντίνος ακριτιδής, αντλίες, εκδόσεις γιαχουδη-γιαπουλη 1985
- ⁵⁷ commons.wikimedia.org/wiki/file:piston_pump_types.png
- ⁵⁸ commons.wikimedia.org/wiki/file:gear_pump_3.png commons.wikimedia.org/wiki/file:rotary_vane_pump.svg
- ⁵⁹ commons.wikimedia.org/wiki/file:gear_pump.png
- ⁶⁰ [commons.wikimedia.org/wiki/file:screw_pump,_make_kral_cutaway_version_\(1\).jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/file:screw_pump,_make_kral_cutaway_version_(1).jpg)
- ⁶¹ commons.wikimedia.org/wiki/file:lake_plastira_dam_2.jpg
- ⁶² commons.wikimedia.org/wiki/file:pelton_400kw_roue_1.jpg
- ⁶³ commons.wikimedia.org/wiki/file:francis_turbine_complete.jpg
- ⁶⁴ commons.wikimedia.org/wiki/file:kaplan-turbine-2007.jpg
- ⁶⁵ commons.wikimedia.org/wiki/file:kaplan-turbine-2007.jpg
- ⁶⁶ commons.wikimedia.org/wiki/file:pelton_400kw_roue_1.jpg
- ⁶⁷ commons.wikimedia.org/wiki/file:greenmountainwindfarm_fluvanna_2004.jpg
- ⁶⁸ commons.wikimedia.org/wiki/file:s_vs_kaplan_schnitt_1_zoom.jpg
- ⁶⁹ V. Streeter – E. Wylie, *Μηχανική Ρευστών, Εκδόσεις Φουντας 2000 και Δημητριος Παπανικας, Εφαρμοσμένη Ρευστομηχανική, Εκδόσεις Media Guru 2010 και Θ.Ι. Τσιρικογλου, Ρευστοδυναμικές Μηχανές, Διδακτικές Σημειώσεις Τει Θεσσαλίας 2002 Κωνσταντίνος Ακριτιδής, Αντλίες, Εκδόσεις Γιαχουδη-Γιαπουλη 1985 Δημητριος Παπανικας, Ρευστοδυναμικές Μηχανές, Εκδόσεις Media Guru 2012*
- ⁷⁰ Δημητριος Παπαντωνης, *Υδροδυναμικές Μηχανές (Αντλίες – Υδροστρόβιλοι), Εκδόσεις Συμμεων 1994* commons.wikimedia.org/wiki/file:kartell_kraftwerk_pelton_turbine.jpg
- ⁷¹ commons.wikimedia.org/wiki/file:francis_turbine_high_flow.jpg

⁷² V. Streeter – E. Wylie, *Μηχανική Ρευστών, Εκδόσεις Φουντας 2000 και Δημητριος Παπανικας, Εφαρμοσμένη Ρευστομηχανική, Εκδόσεις Media Guru 2010 και Δημητριος Παπανικας, Ρευστοδυναμικές Μηχανές, Εκδόσεις Media Guru 2012*

⁷³ Κότσος Παν. «Τύποι Λειτουργία Εγκατάσταση Συντήρηση Επισκευή Γραναζωτή Αντλία Polyrex» ΤΕΙ Σερρών

⁷⁴ Γιαννάκης Ι., Κρουστάλλη Α., 2009, Σημειώσεις Εργαστηρίου Βασικές Αρχές Στροβιλομηχανών

White M. Frank, 1996, (Univ. Of Rhode Island) *Fluid Mechanics 4th Edition*, Mcgraw-Hill.

Ε.Μ.Π., Τμήμα Μηχανολόγων, Τομέας Ρευστών, Εργαστήριο Υδροδυναμικών Μηχανών, Εργαστηριακή Άσκηση Στο Μάθημα Υδροδυναμικών Μηχανών I

http://courseware.mech.ntua.gr/ml25036/texts/ergasthriakh_askhsh.pdf

Κατσαπρακάκης Α. Δημήτρης Σημειώσεις “Βασικά Μεγέθη Αντλιών” Υδροδυναμικές Μηχανές Εργαστήριο Αιολικής Ενέργειας Τει Κρήτης. [Http://www.tm.teicrete.gr/shmeiwseis.aspx](http://www.tm.teicrete.gr/shmeiwseis.aspx)

Μέντζος, Μ., & Βρώτσος, Σ. (1997). *Ρευστομηχανικός Και Κατασκευαστικός Σχε-Διασμός Φυγοκεντρικών Αντλιών. Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά, Πειραιάς.*

Παπανίκας, Γ. Δ. (2012). *Ρευστοδυναμικές Μηχανές (3η Έκδοση)*. Αθήνα: Φ. Πα-Πανίκα & ΣΙΑ Ο.Ε.

Παπαντώνης, Ε. Δ. (2009). *Υδροδυναμικές Μηχανές Αντλίες - Υδροστρόβιλοι Υ-Δροδυναμικές Μεταδόσεις. Εκδόσεις Συμεών.*

Φιλίος, Α. Ε. (2015). *Τυπολόγιο Μαθήμα*

⁷⁵ Τσιρίκογλου – Βλαχογιάννης, 2011, «Ρευστοδυναμικές Μηχανές- Θεωρητική Προσέγγιση - Εφαρμογές», Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο