



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΑΕΡΟΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

[ΤΟΜΕΑΣ]

[ΟΝΟΜΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ]

ΣΠΟΥΔΑΣΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

[Ιδιότητες Αντλητικών Συστημάτων]

[Ιασonas Λιωκης]

[1059762]

[Βούρος Α. Επίκουρος καθηγητής]

ΠΑΤΡΑ, [Φεβρουάριος 2025]

Πανεπιστήμιο Πατρών, [Τμήμα]

[Όνομα Συγγραφέα]

©[έτος] – Μετηνεπιφύλαξη παντός δικαιώματος

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας δεν υποδηλοί την αποδοχή των γνώμων του συγγραφέα.
Κατά τη συγγραφή τηρήθηκαν οι αρχές της ακαδημαϊκής δεοντολογίας.

[Ιδιότητες Αντλητικών Συστημάτων]

[Ιάσοντας Λιώκης]

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι αντλίες αποτελούν την καρδιά ενός συστήματος άντλησης καθώς χωρίς αυτές είναι αδύνατη η μεταφορά του υγρού. Μια αντλία είναι μια συσκευή που χρησιμοποιείται για να παρέχει ενέργεια σε ένα υγρό. Αυτό επιτυγχάνεται μετατρέποντας την μηχανική ενέργεια σε υδραυλική ενέργεια.

Στην παρούσα εργασία, αρχικά, γίνεται αναφορά στις δύο μεγάλες κατηγορίες αντλιών, τις αντλίες στατικού τύπου και τις αντλίες δυναμικού τύπου καθώς και στις διάφορες υποκατηγορίες που αυτές χωρίζονται.

Στην συνέχεια παρουσιάζεται ο τρόπος υπολογισμού των χαρακτηριστικών μεγεθών των αντλιών και των συστημάτων άντλησης. Τέτοια μεγέθη είναι τα διάφορα ενεργειακά ύψη, ο βαθμός απόδοσης καθώς και το καθαρό θετικό ύψος αναρρόφησης, ένα μέγεθος απαραίτητο για την αποφυγή του φαινομένου της σπηλαίωσης στο σύστημά μας.

Τέλος, γίνεται εκτενής αναφορά στις χαρακτηριστικές καμπύλες των αντλιών, δηλαδή διαγράμματα τα οποία μας δείχνουν πώς μεταβάλλονται διάφορα χαρακτηριστικά μεγέθη των αντλιών (π.χ. το συνολικό αποδιδόμενο ύψος) σε σχέση με κάποια άλλα (π.χ. την ογκομετρική παροχή). Η γνώση των παραπάνω είναι απαραίτητη για την εύρυθμη λειτουργία ενός συστήματος άντλησης.

Λέξεις κλειδιά: Αντλίες, ενεργειακά ύψη, παροχή, απόδοση

ABSTRACT

Pumps are the heart of a pumping system, as without them, the transfer of liquid would be impossible. A pump is a device used to provide energy to a liquid, enabling it to overcome the resistance in the hydraulic system.

In this study, an initial reference is made to the two main categories of pumps: static type pumps and dynamic type pumps, as well as the various subcategories into which they are divided.

Subsequently, the method for calculating the characteristic parameters of pumps and pumping systems is presented. Such parameters include various energy heads, efficiency, and the net positive suction head, a crucial factor for avoiding the phenomenon of cavitation in our system.

Finally, extensive reference is made to the characteristic curves of pumps, which are diagrams that show how various pump characteristics (e.g., total head delivered) change in relation to others (e.g., volumetric flow rate). Knowledge of these factors is essential for the efficient operation of a pumping system.

Keywords: Pumps, heads, volumetric flow, pump efficiency

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1-1: Αντλίες θετικής εκτοπίσεως. (1)	1
Εικόνα 1-2: Κατηγορίες δυναμικών αντλιών. (1)	2
Εικόνα 1-3 α) Παλινδρομική αντλία, β) Περιστροφική (με ελικοειδές στροφείο) αντλία. (1)	3
Εικόνα 1-4: α) Αρχή λειτουργίας αναρροφητικής αντλίας, β) Καταθλιπτική αντλία μονής ενέργειας, γ) Καταθλιπτική αντλία διπλής ενέργειας. (1)	4
Εικόνα 1-5: Αντλία με διάφραγμα (πνευματική). (1)	5
Εικόνα 1-6: α) Αντλία μηχανικής διεγέρσεως, β) Αντλία υγρής διεγέρσεως. (1)	5
Εικόνα 1-7: Περισταλτική αντλία. (1)	6
Εικόνα 1-8: Αντλία περιστρεφόμενων λοβών. (1)	7
Εικόνα 1-9: Αντλίες με κοχλίες. (1)	7
Εικόνα 1-10: Γραναζωτή αντλία. (1)	8
Εικόνα 1-11: Πτερυγιοφόρα αντλία. (1)	8
Εικόνα 1-12: Αντλία υγρών εμβόλων. (1)	9
Εικόνα 1-13: Εμβολοφόρος αντλία ακτινικών εμβόλων. (1)	10
Εικόνα 1-14: Εμβολοφόρα αντλία αξονικών εμβόλων. (1)	11
Εικόνα 1-15: Αντλία περιφερειακών εμβόλων. (1)	11
Εικόνα 1-16: Φυγοκεντρική αντλία. (3)	13
Εικόνα 1-17: Αντλία αξονικής ροής. (1)	14
Εικόνα 1-18: Αντλία μικτής ροής. (1)	14

Εικόνα 1-19: Αντλία περιφερειακής ροής. (4).....	15
Εικόνα 1-20: Αντλίες ακροφυσίου. (1).....	16
Εικόνα 1-21: α) Αντλία ανυψώσεως με αέρα, β) Αντλία υδραυλικού εμβόλου. (1), (5)	17
Εικόνα 1-22: Ηλεκτρομαγνητικές αντλίες. (1)	18
Εικόνα 1-23: Μονοβάθμια αντλία, β) Πολυβάθμια αντλία. (1)	18
Εικόνα 2-1: Στατικό ύψος σε διάφορες αντλητικές διατάξεις. (1)	19
Εικόνα 2-2: Αποδιδόμενο συνολικό ύψος αντλίας. (6)	21
Εικόνα 3-1: α) Διάγραμμα ολικού ύψους αντλίας- παροχής, β) Μεταβολή του ογκομετρικού βαθμού απόδοσης, του συνολικού βαθμού απόδοσης και της ογκομετρικής παροχής για μία αντλία στατικού τύπου, γ) Μεταβολή της ισχύος σε σχέση με τις στροφές για μία γραναζωτή αντλία. (1), (8).....	28
Εικόνα 3-2: Παραδείγματα ευσταθών και ασταθών καμπυλών στραγγαλισμού. (1).....	29
Εικόνα 3-3: Καμπύλες αξονικής ισχύος- ογκομετρικής παροχής. (1).....	30
Εικόνα 3-4: Καμπύλη βαθμού απόδοσης- ογκομετρικής παροχής. (1).....	30
Εικόνα 3-5: Καμπύλη καθαρού απαιτούμενου θετικού ύψους αναρρόφησης- παροχής όγκου. (1)	31
Εικόνα 3-6: Χαρακτηριστικές καμπύλες αντλίας συγκεντρωμένες σε ένα ενιαίο διάγραμμα σύμφωνα με ISO. (1)	31
Εικόνα 3-7: α) Πλήρεις χαρακτηριστικές καμπύλες αντλίας για σταθερή διάμετρο περωτής, β) Πλήρεις χαρακτηριστικές καμπύλες αντλίας για σταθερή ταχύτητα περιστροφής. (1)	32
Εικόνα 3-8: Χαρακτηριστικό διάγραμμα επιλογής αντλίας. (1).....	32
Εικόνα 3-9: Χαρακτηριστική καμπύλη συστήματος αντλήσεως. (1).....	33

Εικόνα 3-10: Περιοχές σπηλαίωσης συστήματος άντλησης. (6).....	34
Εικόνα 3-11: α) Αντλίες συνδεδεμένες σε σειρά, β) Αντλίες συνδεδεμένες παράλληλα. (9).....	35

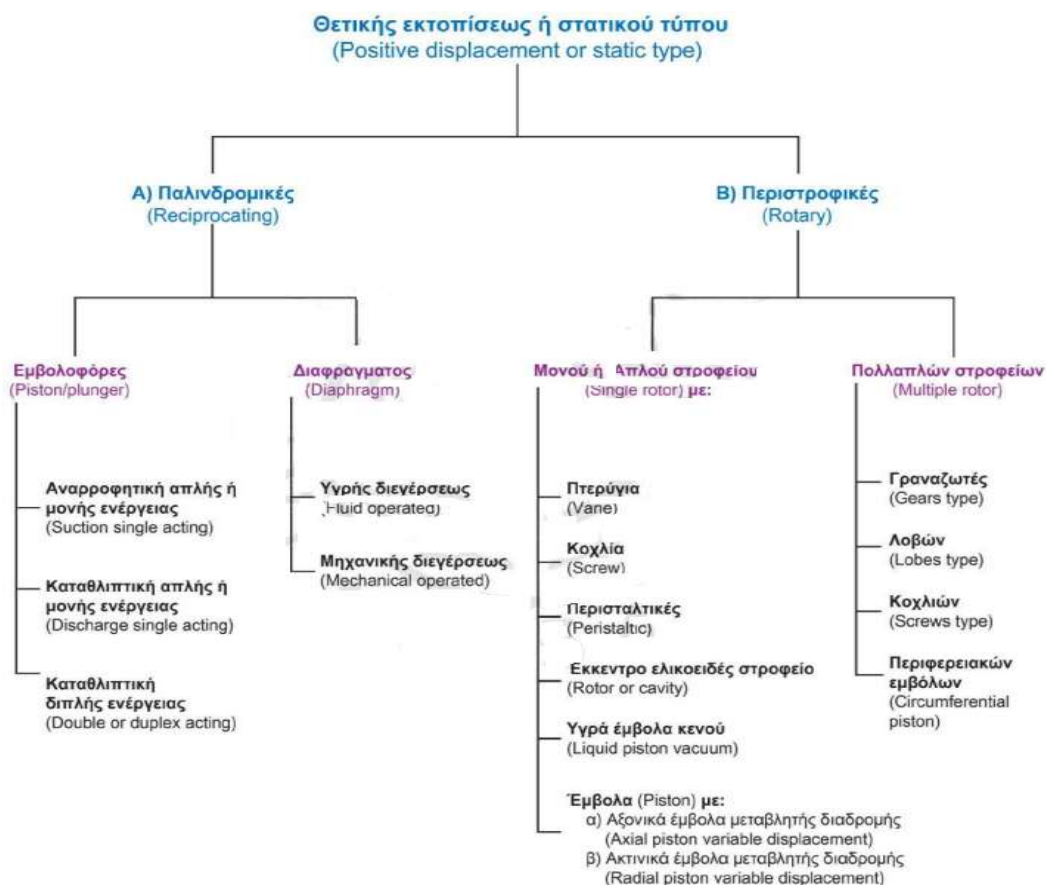
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	V
ABSTRACT.....	VII
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	IX
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	XIII
1 ΑΝΤΑΙΕΣ- ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	1
1.1 ΤΑΞΙΜΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΑΝΤΑΙΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥΣ 1	
1.1.1 ΑΝΤΑΙΕΣ ΘΕΤΙΚΗΣ ΕΚΤΟΠΙΣΕΩΣ (1), (2).....	2
1.2 ΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΑΝΤΑΙΕΣ (1), (2), (3)	12
2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΑΝΤΑΙΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΝΤΛΗΣΗΣ....	19
2.1 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΥΨΗ ΑΝΤΛΙΑΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΝΤΛΗΣΗΣ.....	19
2.2 ΒΑΘΜΟΙ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΑΝΤΑΙΩΝ (1), (2), (6)	21
2.3 ΣΠΗΛΛΑΙΩΣΗ ΚΑΙ ΚΑΘΑΡΟ ΘΕΤΙΚΟ ΥΨΟΣ ΑΝΑΡΡΟΦΗΣΗΣ (6)....	23
3 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΝΤΑΙΩΝ (1), (2), (6).....	27
3.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΑΝΤΑΙΩΝ ΣΤΑΤΙΚΟΥ ΤΥΠΟΥ ...	27
3.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΑΝΤΑΙΩΝ	28
3.3 ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΤΛΗΣΕΩΣ	33
3.4 ΣΥΝΔΕΣΗ ΑΝΤΑΙΩΝ ΣΕ ΣΕΙΡΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΛΛΗΛΗ ΣΥΝΔΕΣΗ ΑΝΤΑΙΩΝ	34
4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	37
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	39

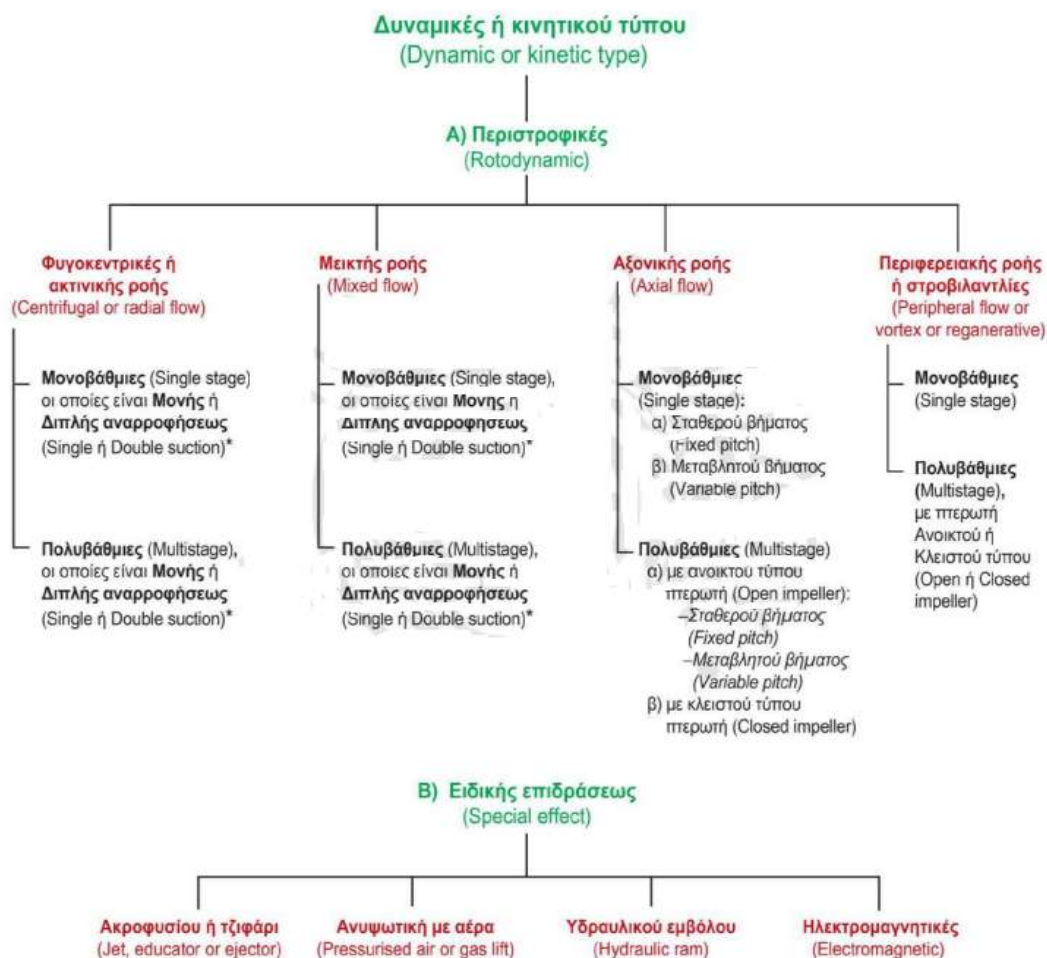
1 ΑΝΤΛΙΕΣ- ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

1.1 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥΣ

Οι αντλίες διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται. Η πιο διαδεδομένη κατηγοριοποίηση γίνεται με βάση την αρχή λειτουργίας τους. Με βάση αυτόν τον διαχωρισμό διακρίνονται σε αντλίες θετικής εκτοπίσεως ή στατικού τύπου και σε δυναμικές ή κινητικού τύπου(1). Αυτές οι δύο κύριες κατηγορίες στην συνέχεια διακρίνονται σε άλλες υποκατηγορίες οι οποίες παρουσιάζονται στις Εικόνα 1-1, Εικόνα 1-2.



Εικόνα 1-1: Αντλίες θετικής εκτοπίσεως.(1)



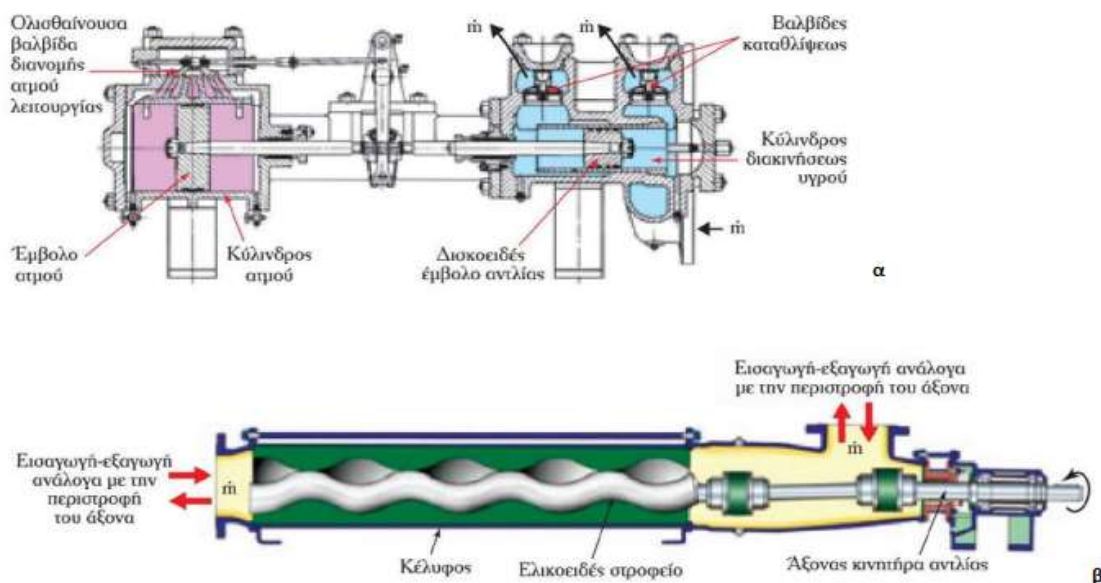
Εικόνα 1-2: Κατηγορίες δυναμικών αντλιών.(1)

1.1.1 ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΤΙΚΗΣ ΕΚΤΟΠΙΣΕΩΣ (1), (2)

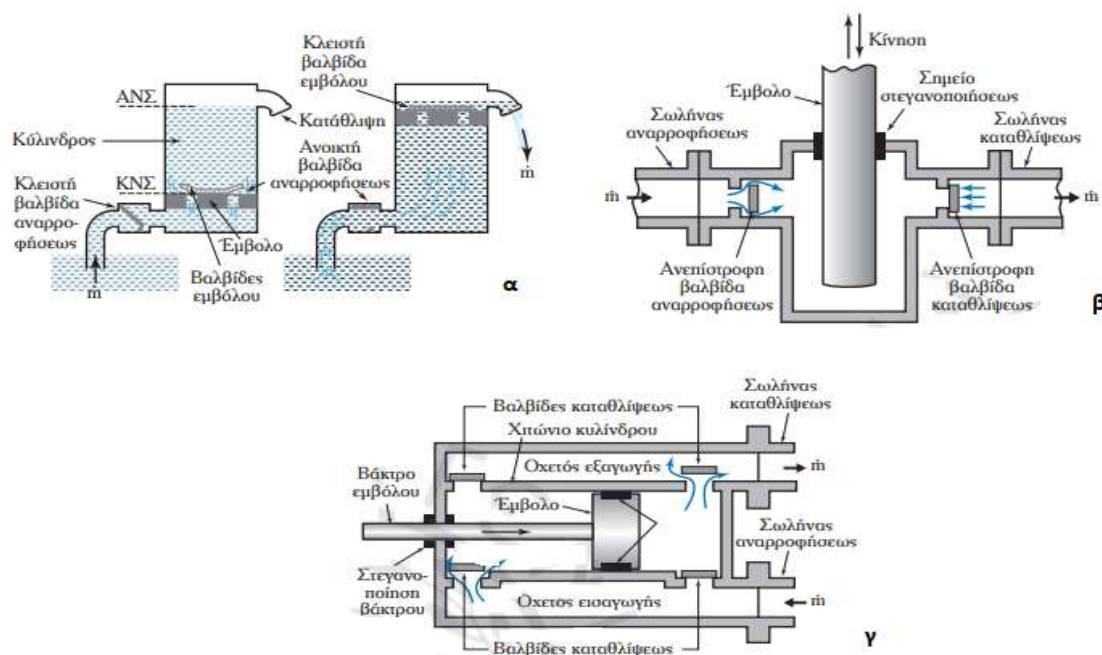
Σε αυτήν την κατηγορία αντλιών η μεταβίβαση του μηχανικού έργου από την αντλία στο ρευστό επιτυγχάνεται με την άσκηση δύναμης η οποία το αναγκάζει να μετακινηθεί. Διακρίνονται σε παλινδρομικές και περιστροφικές (Εικόνα 1-3).

Οι παλινδρομικές αντλίες (Εικόνα 1-3α) εκτοπίζουν το ρευστό με την επαναληπτική κίνηση ενός μηχανικού μέσου σε θάλαμο σταθερού όγκου. Οι παλινδρομικές αντλίες διακρίνονται σε αντλίες με έμβολο και σε αντλίες με διάφραγμα. Στις εμβολοφόρες αντλίες το υγρό μεταφέρεται στον χώρο ανάμεσα στο έμβολο και το κυλινδρικό τοίχωμα και ωθείται από

την αναρρόφηση προς την κατάθλιψη. Επίσης, γίνεται χρήση δύο βαλβίδων όπου η μία κλείνει εμποδίζοντας με αυτόν τον τρόπο την ροή να επιστραφεί στην αναρρόφηση και η δεύτερη ανοίγει επιτρέποντας το ρευστό να εκρεύσει με μεγαλύτερη πίεση στην πλευρά της κατάθλιψης. Οι εμβολοφόρες αντλίες με την σειρά τους διακρίνονται αναρροφητικές απλής ενέργειας, σε καταθλιπτικές απλής ενέργειας και σε καταθλιπτικές διπλής ενέργειας (Εικόνα 1-4). Ο διαχωρισμός σε αναρροφητικές και σε καταθλιπτικές βασίζεται στον τρόπο αντλήσεως και παροχής του υγρού ενώ ο διαχωρισμός σε απλής και διπλής ενέργειας (οι αντλίες διπλής ενέργειας αφορούν μόνο τις καταθλιπτικές) βασίζεται στο εάν κατά την αναρρόφηση και την κατάθλιψη το ρευστό έρχεται σε επαφή από την μία πλευρά του εμβόλου (απλής ενέργειας) ή εάν το ρευστό συμπιέζεται και από τις δύο πλευρές του εμβόλου (διπλής ενέργειας). Κύριο χαρακτηριστικό αυτών των εμβολοφόρων παλινδρομικών μηχανών είναι οι χαμηλές παροχές και οι υψηλές πιέσεις (σε σχέση με τις φυγοκεντρικές). Η παροχή της αντλίας είναι ανεξάρτητη από το μανομετρικό και εξαρτάται ελάχιστα από το ιξώδες του υγρού.

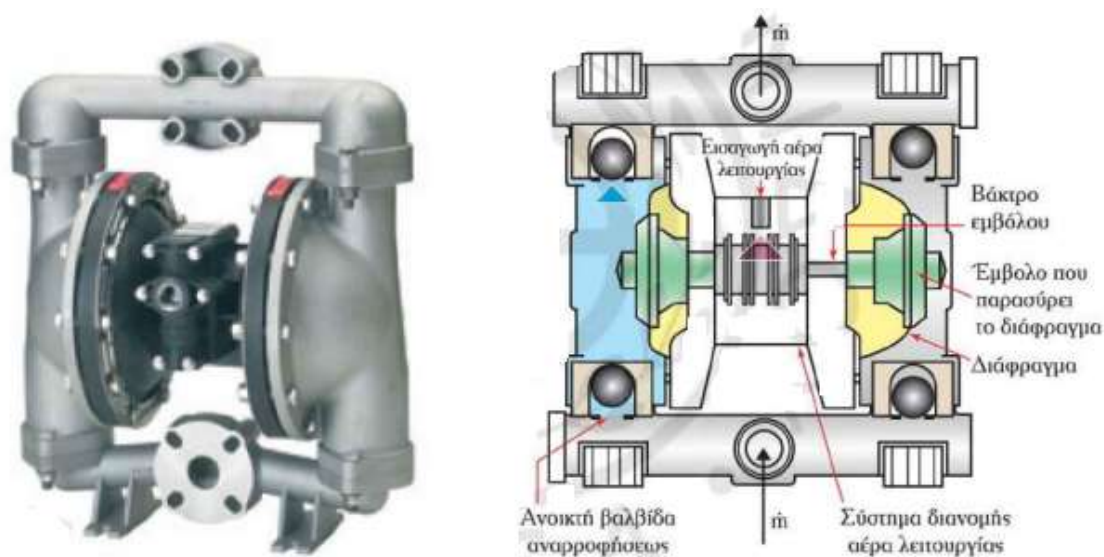


Εικόνα 1-3 α) Παλινδρομική αντλία,β) Περιστροφική (με ελικοειδές στροφείο) αντλία.(1)

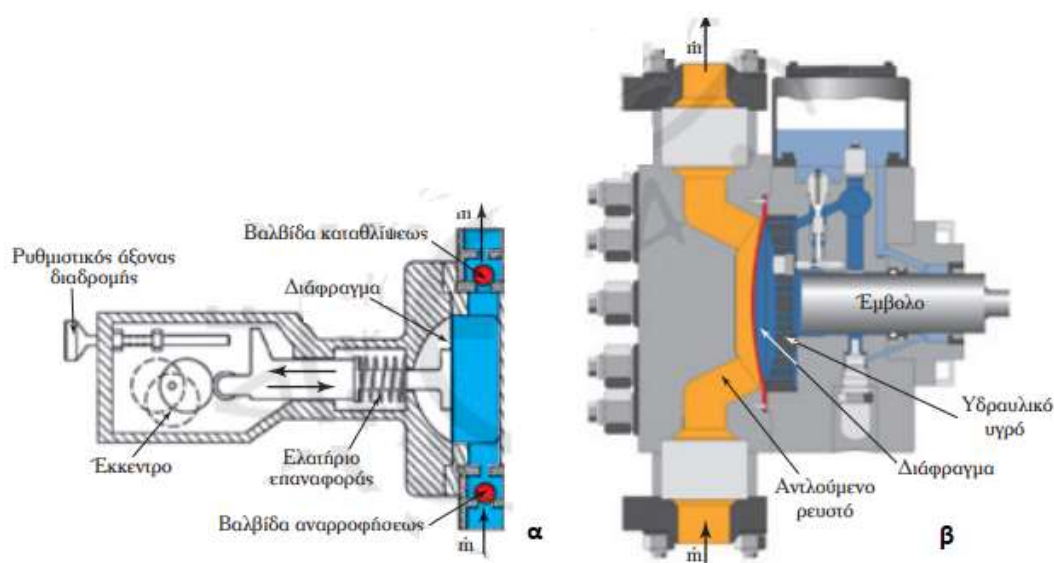


Εικόνα 1-4: α) Αρχή λειτουργίας αναρροφητικής αντλίας, β) Καταθλιπτική αντλία μονής ενέργειας, γ) Καταθλιπτική αντλία διπλής ενέργειας. (1)

Η αρχή λειτουργίας των αντλιών με διάφραγμα είναι ίδια με αυτήν των εμβολοφόρων. Σε αυτήν την κατηγορία τα έμβολα έχουν αντικατασταθεί από διαφράγματα (Εικόνα 1-5). Τα διαφράγματα είναι κατασκευασμένα από διάφορα υλικά π.χ. Teflon, μέταλλα, κ.α. Διακρίνονται σε μηχανικής διεγέρσεως, υγρής διεγέρσεως και πνευματικές (Εικόνα 1-5, Εικόνα 1-6). Στις αντλίες μηχανικής διεγέρσεως υπάρχει ένα έμβολο το οποίο κινείται μέσω ενός έκκεντρου και παλινδρομεί το διάφραγμα. Με αυτήν του την κίνηση το διάφραγμα δημιουργεί τις κατάλληλες συνθήκες αναρρόφησης και κατάθλιψης. Στις υδραυλικά κινούμενες αντλίες διαφράγματος δεν υπάρχει κάποιο έκκεντρο, αλλά υπάρχει ένα ρευστό το οποίο δέχεται την παλινδρομική κίνηση του εμβόλου και με την σειρά του αναγκάζει το διάφραγμα να κάμπτεται. Με αυτόν τον τρόπο, επιτυγχάνεται η αυξομείωση του όγκου στον θάλαμο. Σε αντίθεση με τις αντλίες μηχανικής διεγέρσεως, εδώ το έμβολο δεν έρχεται σε επαφή με το διάφραγμα. Στις πνευματικές αντλίες τα διαφράγματα κινούνται με την βοήθεια του αέρα ο οποίος εισέρχεται μη την βοήθεια μίας βαλβίδας διανομής.



Εικόνα 1-5: Αντλία με διάφραγμα (πνευματική).(1)

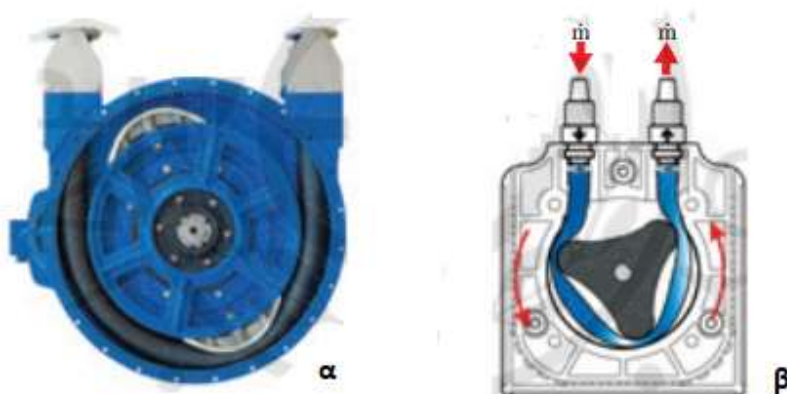


Εικόνα 1-6: α) Αντλία μηχανικής διεγέρσεως, β) Αντλία υγρής διεγέρσεως. (1)

Οι περιστροφικές αντλίες πιέζουν το υγρό μέσα στο κέλυφος της αντλίας κάνοντας χρήση περιστρεφόμενων περυγίων, εμβόλων κ.α. Οι περιστροφικές αντλίες διακρίνονται σε μονού και σε πολλαπλού στροφείου. Σε αυτές τις αντλίες καθώς τα στροφεία περιστρέφονται, μεταφέρουν το ρευστό από την αναρρόφηση προς την κατάθλιψη. Η διαφορά με τις εμβολοφόρες αντλίες έγκειται στο γεγονός ότι το κινητό μέρος στις περιστροφικές περιστρέφεται ενώ στις Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – [όνομα τομέα]

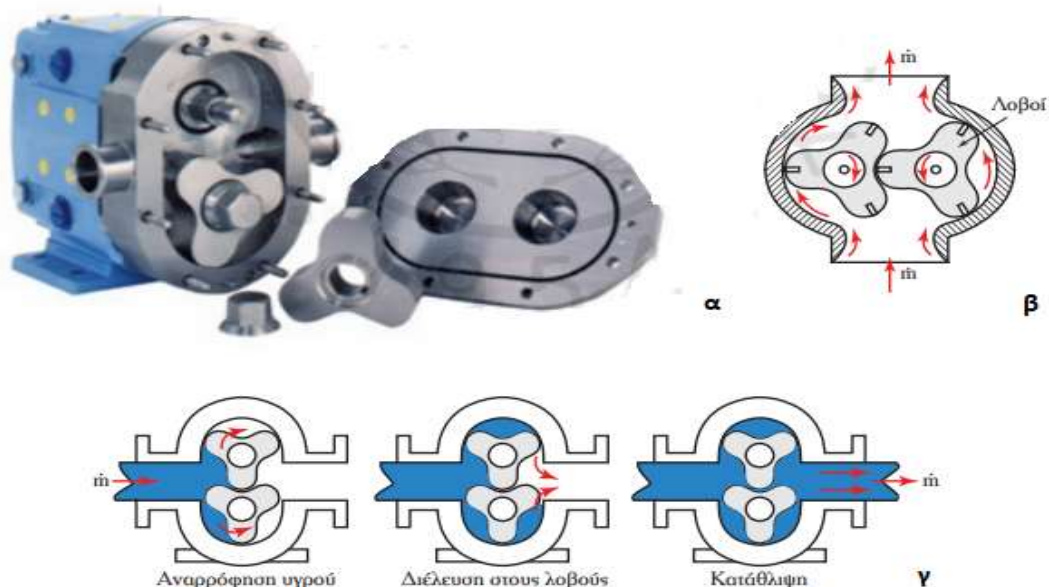
εμβολοφόρες πραγματοποιεί μία παλινδρομική κίνηση. Οι περιστροφικές αντλίες είναι σχεδιασμένες με πολύ μικρά διάκενα μεταξύ των περιστρεφόμενων μερών και των σταθερών μερών για να ελαχιστοποιηθεί η διαρροή (ολίσθηση) από την πλευρά της εξαγωγής πίσω στην πλευρά της αναρρόφησης. Οι περιστροφικές αντλίες είναι σχεδιασμένες να λειτουργούν σε σχετικά χαμηλές ταχύτητες για να διατηρούνται αυτά τα διάκενα. Η λειτουργία σε υψηλότερες ταχύτητες προκαλεί διάβρωση και υπερβολική φθορά, η οποία έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των διάκενων και τη μείωση της ικανότητας άντλησης.

Στις περισταλτικές αντλίες (Εικόνα 1-7) τα περιστρεφόμενα έμβολα πιέζουν τον ελαστικό αγωγό μετατοπίζοντας με αυτόν τον τρόπο το υγρό. Σε αυτές τις αντλίες το υγρό δεν έρχεται σε επαφή με τα μεταλλικά τμήματα της μηχανής. Αυτό τις καθιστά κατάλληλες για την μεταφορά χημικών υγρών αλλά και υγρών τα οποία δεν πρέπει να μολυνθούν από το περιβάλλον. Η μέγιστη παροχή που μπορούν να πετύχουν είναι τα $20\text{m}^3/\text{h}$, μέγιστο μανομετρικό 25m ενώ ο βαθμός απόδοσης κυμαίνεται από 20% έως 40% για αγωγούς κατασκευασμένους από φυσικό ελαστικό και από 15% έως 20% για αγωγούς από σύνθετο ελαστικό.



Εικόνα 1-7: Περισταλτική αντλία. (1)

Στις αντλίες περιστρεφόμενων λοβών (Εικόνα 1-8) το ρευστό εκτοπίζεται προς την κατάθλιψη μετά την ενθυλάκωσή του ανάμεσα στο έμβολο και στο περίβλημα. Λειτουργούν για κατάθλιψη μέχρι 4 bar και μέγιστη παροχή μέχρι $20\text{m}^3/\text{h}$. Η φορά περιστροφής των εμβόλων είναι αντίθετη από την διεύθυνση της ροής του υγρού.



Εικόνα 1-8: Αντλία περιστρεφόμενων λοβών.(1)

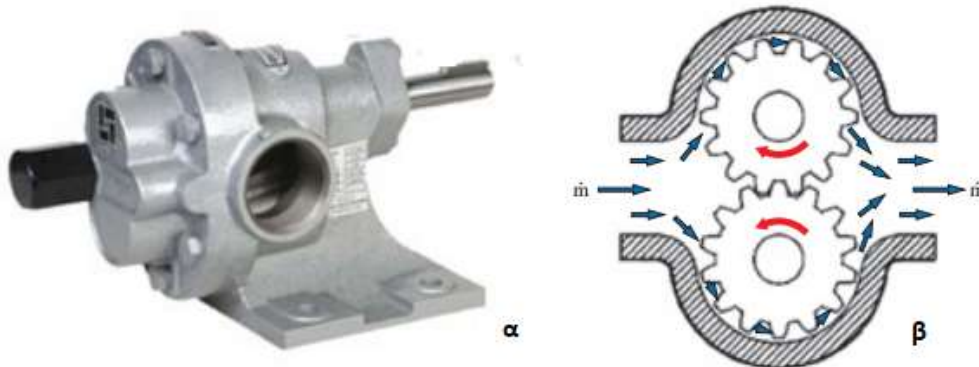
Οι αντλίες με κοχλίες αποτελούνται από το κέλυφος και τους κοχλίες (Εικόνα 1-9). Η μεταφορά του υγρού από την αναρρόφηση στην κατάθλιψη πραγματοποιείται μέσω των θαλάμων από τους περιστρεφόμενους κοχλίες. Διαθέτουν υψηλή ικανότητα αναρρόφησης και επιτυγχάνουν ομαλή διακίνηση του υγρού.



Εικόνα 1-9: Αντλίες με κοχλίες. (1)

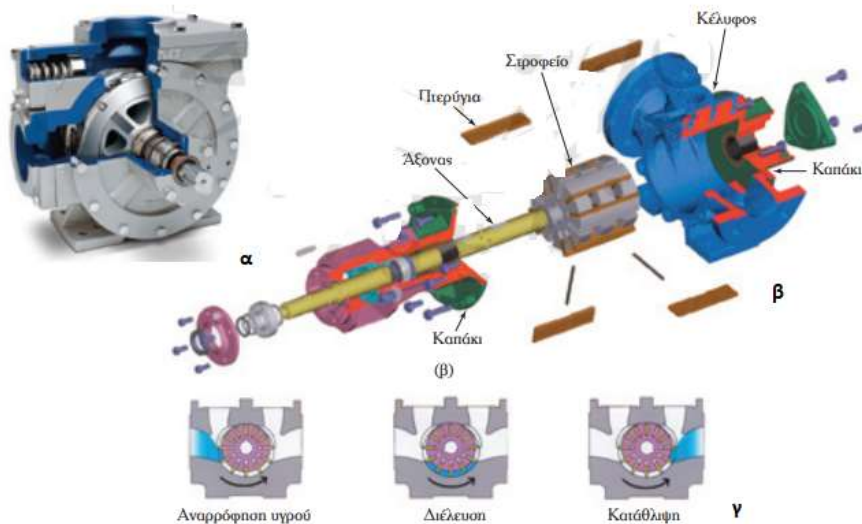
Οι γραναζωτές αντλίες μετατοπίζουν το υγρό το οποίο βρίσκεται μεταξύ δύο οδόντων και του περιβλήματος (Εικόνα 1-10). Η φορά περιστροφής των γραναζιών είναι αντίθετη από την διεύθυνση της ροής του υγρού. Υπάρχουν γραναζωτές αντλίες χαμηλής πίεσης (μέχρι 16 bar),

μέσης (μέχρι 63 bar) και υψηλής (από 64 bar και άνω). Αυτές οι αντλίες βρίσκουν εφαρμογή όπου απαιτείται η παροχέτευση μικρών ποσοτήτων υγρών σε μεγάλες πιέσεις.



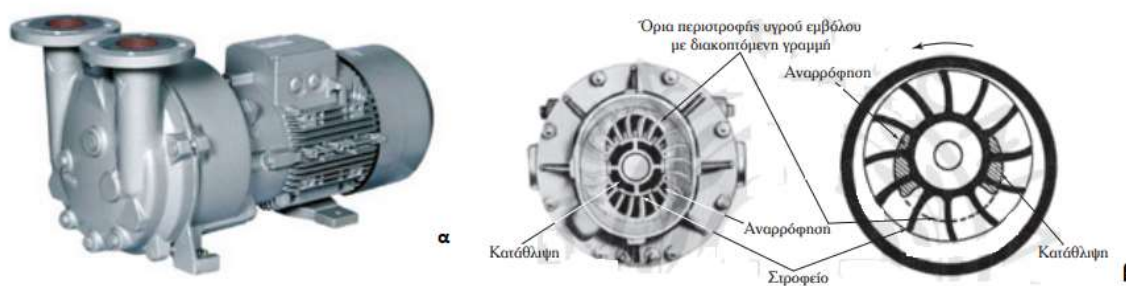
Εικόνα 1-10: Γραναζωτή αντλία.(1)

Στις περυγιοφόρες αντλίες τα περύγια είναι τοποθετημένα ακτινικά σε έναν ρότορα, δημιουργώντας με αυτόν τον τρόπο θαλάμους στους οποίους παγιδεύεται το υγρό (Εικόνα 1-11). Τα περύγια σχηματίζουν στενή σφράγιση με το τοίχωμα του θαλάμου άντλησης, αποτρέποντας την διαρροή του υγρού προς τα πίσω. Το στροφείο είναι έκκεντρα τοποθετημένο σε σχέση με το κέντρο του κελύφους. Αυτή η έκκεντρη περιστροφή δημιουργεί θαλάμους μεταβαλλόμενου όγκου με αποτέλεσμα να προκαλείται αναρρόφηση και κατάθλιψη.



Εικόνα 1-11: Πτερυγιοφόρα αντλία.(1)

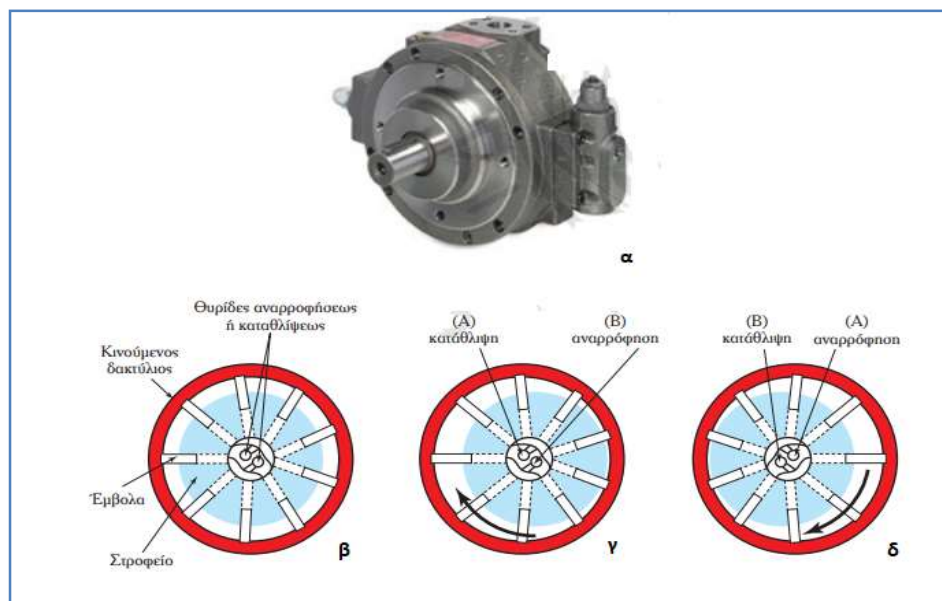
Στις αντλίες υγρών εμβόλων (Εικόνα 1-12) υπάρχει ένα στροφέιο το οποίο φέρει πτερύγια και η περιστροφή του οποίου δημιουργεί θαλάμους αυξομειούμενου όγκου ανάμεσα στα πτερύγια και στο κέλυφος. Το κέλυφος σε αυτές τις αντλίες μπορεί να είναι είτε ελλειπτικό είτε εκκεντρικό κυκλικό. Οι αντλίες υγρών εμβόλων χρησιμοποιούνται για την δημιουργία κενού αναρρόφησης, αφαιρώντας τον ατμοσφαιρικό αέρα, σε αντλίες όπου η αναρρόφηση βρίσκεται σε μεγαλύτερο ύψος από την ελεύθερη επιφάνεια του υγρού.



Εικόνα 1-12: Αντλία υγρών εμβόλων.(1)

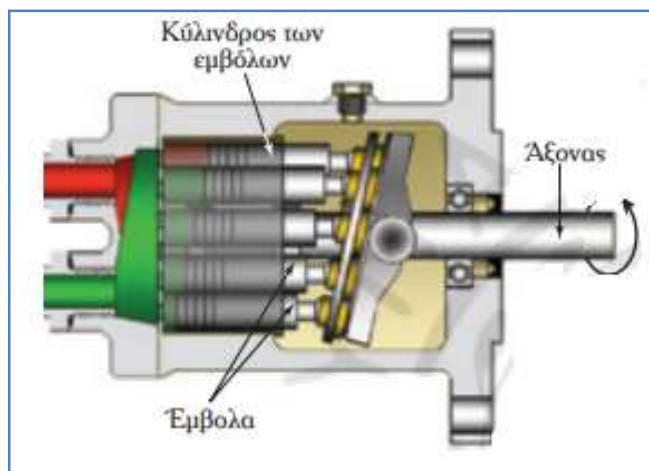
Οι αντλίες έκκεντρου ελικοειδούς στροφείου (Εικόνα 1-3β) επιτυγχάνουν την συνεχή και χωρίς στροβιλισμούς ροή του ρευστού. Σε αυτές τις αντλίες είναι δυνατή η αντιστροφή της ροής με την αλλαγή της φοράς περιστροφής του στροφείου. Ο σχεδιασμός των τμημάτων αυτής της αντλίας (του κελύφους και του ελικοειδούς στροφείου) είναι τέτοιος ώστε να δημιουργείται μία διπλή σειρά κοιλοτήτων κατά την περιστροφή του στροφείου. Το στροφέιο κατά την περιστροφή του εφάπτεται στο εσωτερικό του κελύφους. Η περιστροφή αυτή προκαλεί και την ροή του υγρού από την αναρρόφηση προς την κατάθλιψη.

Στις εμβολοφόρες αντλίες ακτινικών εμβόλων, (Εικόνα 1-13) η μετατόπιση του δακτυλίου στο προς το κέλυφος της αντλίας, αναγκάζει τα έμβολα τα οποία ολισθαίνουν πάνω σε αυτόν να κινηθούν παλινδρομικά. Με αυτόν τον τρόπο, προκαλείται μεταβολή του όγκου στο εσωτερικό των κυλίνδρων προκαλώντας έτσι την αναρρόφηση και την κατάθλιψη του ρευστού. Κατά την διάρκεια λειτουργίας της αντλίας το στροφέιο έχει σταθερή διεύθυνση περιστροφής έτσι ώστε η κατάθλιψη και η μεταβολή της παροχής να προκαλείται μόνο από την μετατόπιση του δακτυλίου.



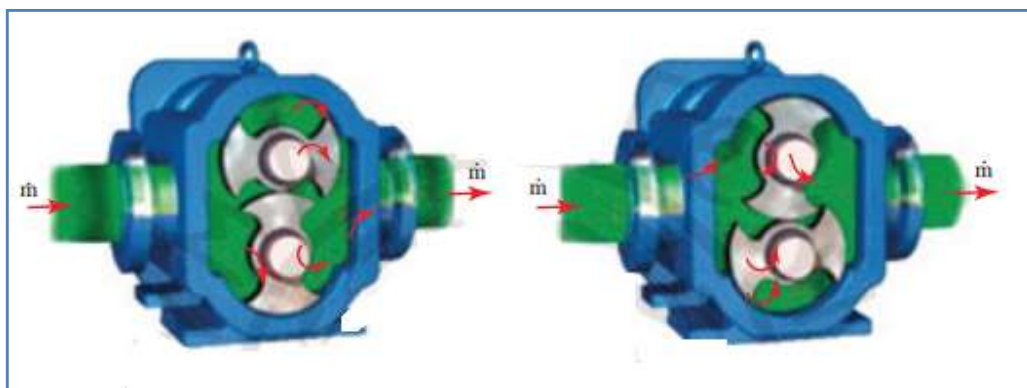
Εικόνα 1-13: Εμβολοφόρος αντλία ακτινικών εμβόλων.(1)

Στις εμβολοφόρες αντλίες αξονικών εμβόλων (Εικόνα 1-14) αποτελείται από τους κυλίνδρους των εμβόλων ενώ την περιστροφή του την προκαλεί ο άξονας του κινητήρα ο οποίος κινεί την αντλία. Στο σώμα της αντλίας βρίσκονται οι βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής. Οι κύλινδροι κατά την περιστροφή του στροφέιου διέρχονται από τις θυρίδες προκαλώντας αναρρόφηση ή κατάθλιψη. Επίσης, ο δίσκος έχει την δυνατότητα μέσω ενός εξωτερικού μηχανισμού να αλλάζει την κλίση του σχέση με τον άξονα περιστροφής της αντλίας ρυθμίζοντας με αυτόν τον τρόπο την παροχή του ρευστού. Όταν τα έμβολα βρίσκονται σε μία κάθετη θέση σε σχέση με τον κινητήριο άξονα δεν πραγματοποιείται ούτε αναρρόφηση ούτε κατάθλιψη. Αναρρόφηση πραγματοποιείται με την απομάκρυνση των εμβόλων σε σχέση με το καπάκι της αντλίας ενώ όταν αυτά το πλησιάζουν πραγματοποιείται η κατάθλιψη.



Εικόνα 1-14: Εμβολοφόρα αντλία αξονικών εμβόλων. (1)

Οι αντλίες περιστρεφόμενων εμβόλων αποτελούνται από δύο περιστρεφόμενα στροφεία πάνω στα οποία είναι τοποθετημένα τα έμβολα (Εικόνα 1-15). Η κίνηση των στροφείων πραγματοποιείται μέσω περιστρεφόμενων αξόνων. Η περιστροφή των εμβόλων είναι αυτή που προκαλεί την αναρρόφηση και την κατάθλιψη του ρευστού αφού αυξομειώνεται ο όγκος που δημιουργείται μεταξύ των εμβόλων και του κελύφους.



Εικόνα 1-15: Αντλία περιφερειακών εμβόλων. (1)

1.2 ΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ(1), (2), (3)

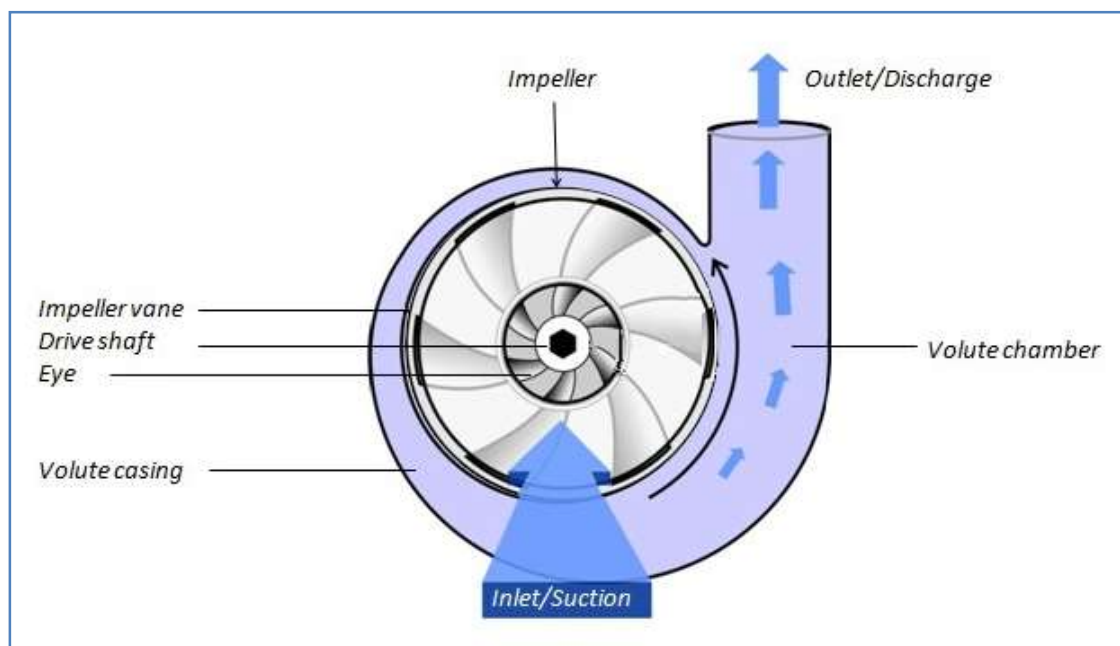
Οι αντλίες αυτής της κατηγορίας λειτουργούν βάσει της συνεχούς προσθήκης ενέργειας του ρευστού με στόχο την αύξηση της ταχύτητας και της πίεσής του. Αυτή η κατηγορία αντλιών υποδιαιρείται σε δύο μεγάλες υποκατηγορίες οι οποίες είναι οι περιστροφικές και οι ειδικής επιδράσεως.

Οι περιστροφικές δυναμικές αντλίες λειτουργούν με τον εξής τρόπο: Το μηχανικό έργο μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια του ρευστού και στην συνέχεια μέρος της κινητικής ενέργειας μετατρέπεται σε ενέργεια πίεσεως στην έξοδο. Επομένως, έχουμε την μετατροπή της ταχύτητας σε πίεση. Οι περιστροφικές δυναμικές αντλίες διακρίνονται σε φυγοκεντρικές ή ακτινικής ροής, σε μεικτής ροής, σε αξονικής ροής και σε περιφερειακής ροής.

Οι φυγοκεντρικές αντλίες αποτελούν τον πιο ευρέως διαδεδομένο τύπο αντλιών που χρησιμοποιείται σήμερα (Εικόνα 1-16).Πρόκειται για αντλίες ακτινικής ροής όπου το υγρό από το κέντρο του στροφείου της αντλίας εκτοξεύεται προς την περιφέρειά του. Το ρευστό εισέρχεται στο ταχέως περιστρεφόμενο στροφέιο και εκτοξεύεται από την περιφέρεια λόγω της φυγόκεντρης δύναμης μέσω των άκρων των πτερυγίων του στροφέα. Η δράση του στροφέα αυξάνει την ταχύτητα και την πίεση του ρευστού και το κατευθύνει προς την έξοδο της αντλίας. Το περίβλημα της αντλίας είναι ειδικά σχεδιασμένο ώστε να κατευθύνει το ρευστό μέσα στο στροφέιο και στη συνέχεια να μειώνει και να ελέγχει την ροή του πριν από την εκροή.Η αποδοτική λειτουργία μιας φυγοκεντρικής αντλίας βασίζεται στην σταθερή, υψηλής ταχύτητας περιστροφή του στροφέα της. Στην περίπτωση που το υγρό έχει υψηλό ιξώδες, οι φυγοκεντρικές αντλίες γίνονται ολοένα και πιο αναποτελεσματικές καθώς υπάρχει μεγαλύτερη αντίσταση και απαιτείται υψηλότερη πίεση για να διατηρηθεί μια συγκεκριμένη τιμή παροχής. Γενικά, οι φυγοκεντρικές αντλίες είναι κατάλληλες για εφαρμογές άντλησης υγρών με ιξώδες από 0,1 έως 200 cP.Ο όγκος άντλησης στις φυγοκεντρικές αντλίες εξαρτάται από το βάθος αναρρόφησης και την πίεση κατάθλιψης. Σε κανονικές συνθήκες οι φυγοκεντρικές αντλίες περιστρέφονται με ταχύτητες που κυμαίνονται από 1500 rpmέως 3000 rpmενώ υπάρχουν και τύποι φυγοκεντρικών αντλιών οι οποίοι περιστρέφονται με ταχύτητες που κυμαίνονται από 5000 rpmέως 25000 rpm.

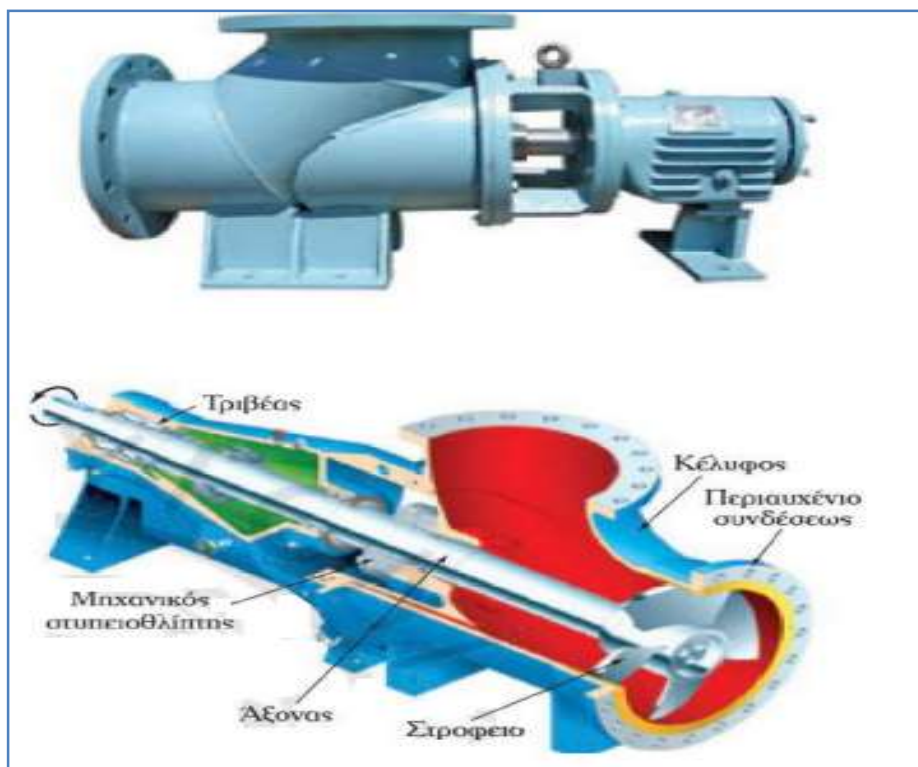
Οι φυγοκεντρικές αντλίες δεν είναι κατάλληλες για εφαρμογές με διακοπόμενη τροφοδοσία. Επιπλέον, αν η πίεση της τροφοδοσίας είναι μεταβλητή, η φυγοκεντρική αντλία

παράγει μεταβλητή ροή ενώ μια αντλία θετικής μετατόπισης είναι ανεπηρέαστη από τις μεταβολές στην πίεση και θα παρέχει σταθερή παροχή.



Εικόνα 1-16: Φυγοκεντρική αντλία.(3)

Στις αντλίες αξονικής ροής (Εικόνα 1-17) το στροφείο που χρησιμοποιείται έχει την μορφή έλικας για αυτό και ονομάζονται και ελικοφόρες. Το υγρό σε αυτήν την κατηγορία αντλιών ωθείται από τα περιστρεφόμενα πτερύγια να κινηθεί παράλληλα προς τον άξονα περιστροφής. Λόγω της μεγάλης περιστροφικής ταχύτητας του στροφείου αναπτύσσονται στροβιλισμοί οι οποίοι προκαλούν μείωση στην απόδοση της αντλίας. Για να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα τοποθετούνται στην αναρρόφηση σταθερά πτερύγια με κλίση αντίθετη από αυτήν που έχουν τα πτερύγια της έλικας. Τα πτερύγια αυτά ονομάζονται πτερύγια διαχύσεως.



Εικόνα 1-17: Αντλία αξονικής ροής.(1)

Οι αντλίες μικτής ροής (Εικόνα 1-18) αποτελούν συνδυασμό των προηγούμενων δύο κατηγοριών (της αξονικής και της ακτινικής). Το υγρό σε αυτές τις αντλίες εισέρχεται αξονικά και εξέρχεται διαγώνια λόγω της ώθησης από τα πτερύγια του στροφέιου.



Εικόνα 1-18: Αντλία μικτής ροής.(1)

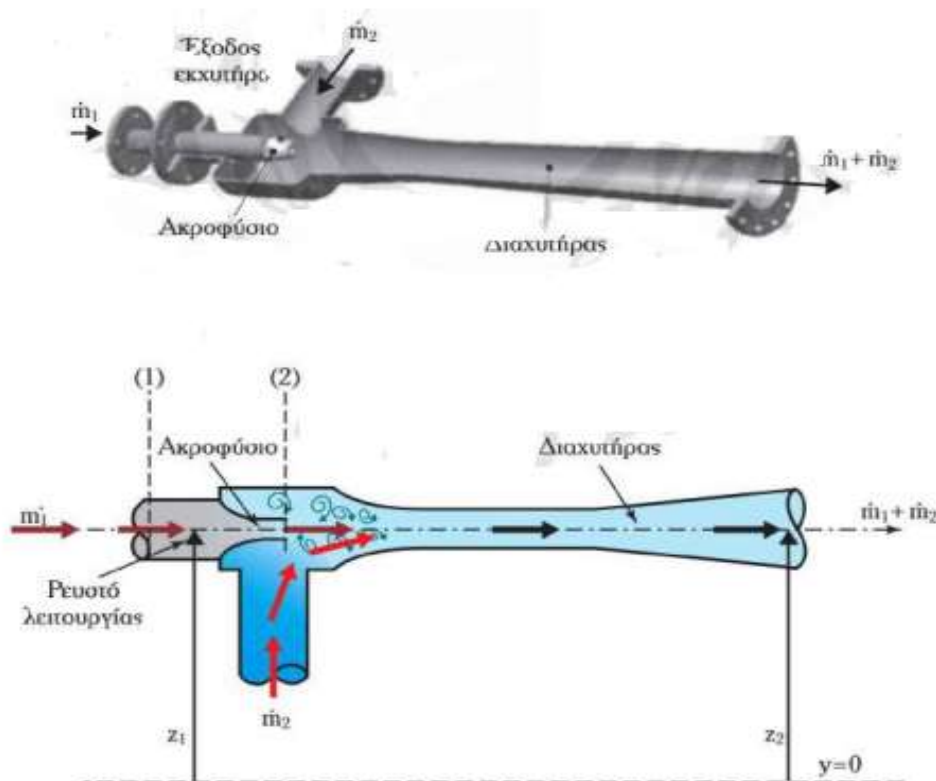
Στις αντλίες περιφερειακής ροής (Εικόνα 1-19) υπάρχει μία διαρκής κίνηση του υγρού από την περιφέρεια τους στο στροφέιο προς το κέλυφος και από το κέλυφος στο στροφέιο. Το υγρό στροβιλίζεται ανάμεσα από τα πτερύγια και περιστρέφεται μαζί με το στροφέιο. Ο στροβιλισμός αυτός προκαλεί αύξηση της κινητικής ενέργειας (μία αύξηση σε μεγαλύτερα επίπεδα σε σχέση με μία φυγόκεντρη αντλία). Στην συνέχεια, όταν το υγρό φτάσει στην κατάθλιψη λόγω της μείωσης της διατομής του κελύφους προκαλείται μείωση στην ταχύτητα με παράλληλη αύξηση στην πίεση του υγρού. Για αυτόν τον λόγο οι αντλίες αυτού του τύπου έχουν την ικανότητα να καταθλίβουν το υγρό σε μεγάλο ύψος. Επίσης, για τον ίδιο λόγο αυτές οι αντλίες παρουσιάζουν καλή απόδοση όταν στο υγρό υπάρχει και παρουσία αερίων έως και 20% κατ' όγκο. Ωστόσο, αυτές οι αντλίες δεν έχουν μεγάλη παροχή σε σχέση με τις άλλες κατηγορίες δυναμικών αντλιών όταν στο υγρό υπάρχουν στερεά σωματίδια και όταν το υγρό έχει μεγάλο ιξώδες.



Εικόνα 1-19: Αντλία περιφερειακής ροής.(4)

Η άλλη μεγάλη κατηγορία δυναμικών αντλιών είναι οι αντλίες ειδικού τύπου. Αυτές διακρίνονται σε αντλίες ακροφυσίου, ανυψωτικές με αέρα, υδραυλικού εμβόλου και ηλεκτρομαγνητικές.

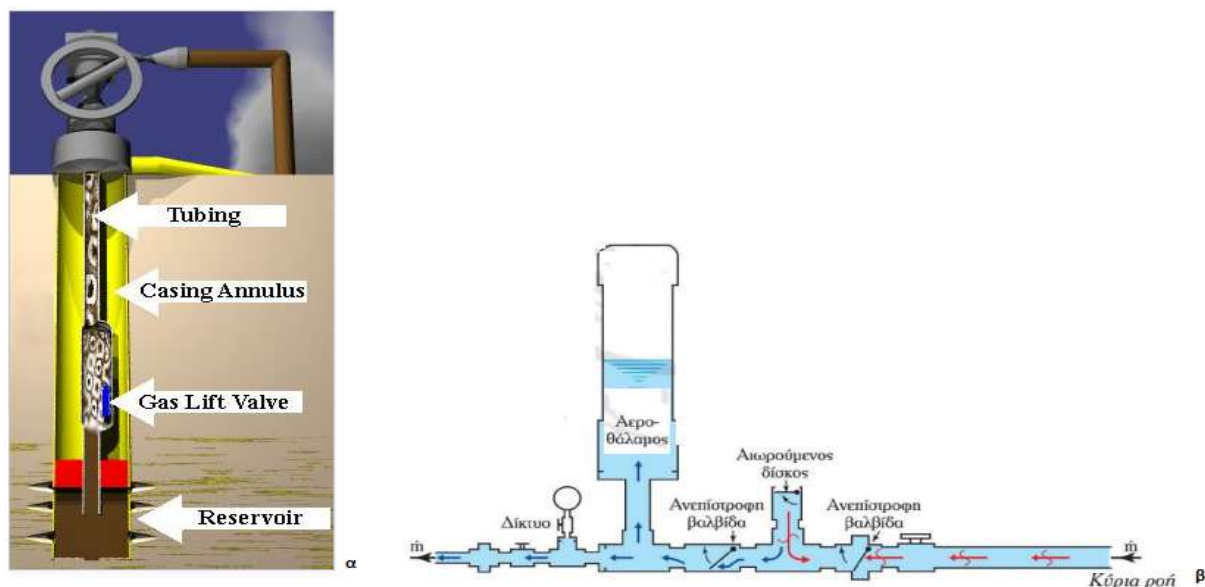
Η λειτουργία των αντλιών ακροφυσίου (Εικόνα 1-20) βασίζεται στην μετάδοση της ενέργειας από ένα ρευστό λειτουργίας στο αντλούμενο ρευστό. Σε αυτού του τύπου τις αντλίες το ρευστό λειτουργίας το οποίο παρέχεται από διαφορετικό αγωγό προκαλεί υποπίεση στον αγωγό με στόχο την αναρρόφηση του ρευστού λειτουργίας. Τέλος, τα δύο ρευστά καταθλίπτονται σε έναν κοινό αγωγό που ονομάζεται διαχυτήρας.



Εικόνα 1-20: Αντλίες ακροφυσίου.(1)

Οι αντλίες υδραυλικού εμβόλου (Εικόνα 1-21β) μπορούν να αντλούν υγρά τα οποία βρίσκονται σε μεγαλύτερο ύψος σε σχέση με αυτό που βρίσκεται η αντλία. Η πίεση που δημιουργείται στο υγρό είναι αποτέλεσμα του υδραυλικού πλήγματος.

Η αρχή λειτουργίας των αντλιών ανυψώσεως με αέρα (Εικόνα 1-21α) βασίζεται στον Νόμο της Υδροστατικής, στην αρχή των συγκοινωνούντων δοχείων και στην διαφορά της πυκνότητας του ρευστού. Είναι σχετικά απλές κατασκευές αλλά έχουν μικρό βαθμό απόδοσης ο οποίος κυμαίνεται από 20% έως 35%.



Εικόνα 1-21: α) Αντλία ανυψώσεως με αέρα, β) Αντλία υδραυλικού εμβόλου.(1), (5)

Οι ηλεκτρομαγνητικές αντλίες (Εικόνα 1-22) χρησιμοποιούνται μόνο για την άντληση υγρών που είναι καλοί αγωγοί στον ηλεκτρισμό. Σε αυτού του τύπου τις αντλίες το μαγνητικό πεδίο ασκείται στο ρευστό. Για την λειτουργία μίας ηλεκτρομαγνητικής αντλίας είναι απαραίτητα τα εξής στοιχεία:

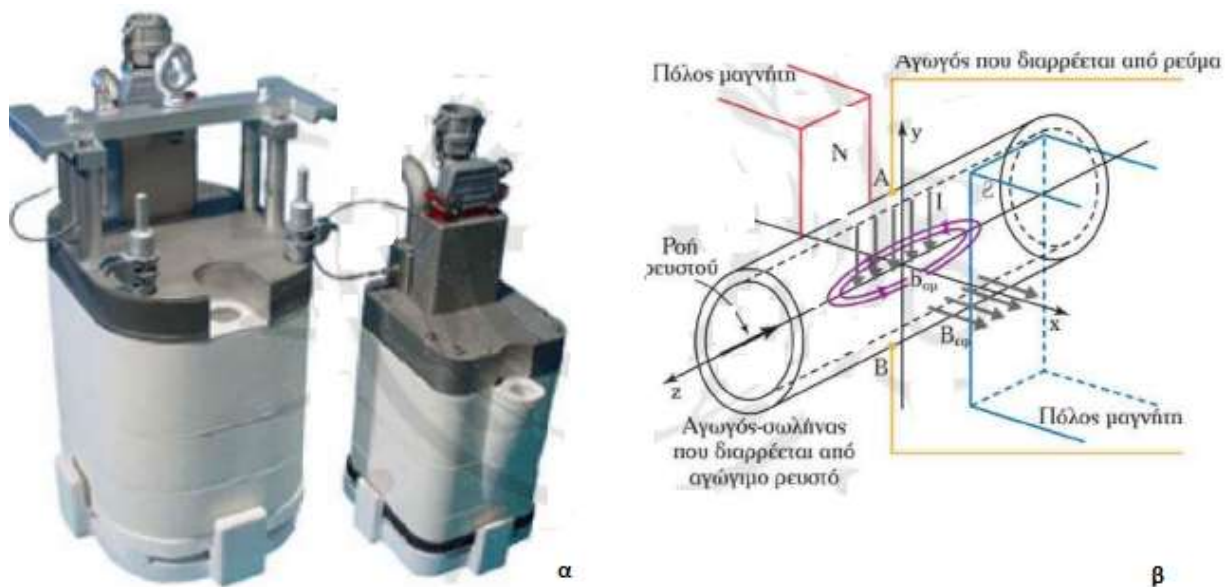
- α) Ο σωλήνας που διαρρέει το ρευστό
- β) Οι μαγνήτες οι οποίοι προκαλούν το μαγνητικό πεδίο
- γ) Μία πηγή ρεύματος

Οι ηλεκτρομαγνητικές αντλίες βρίσκουν χρήση στην άντληση υγρών μετάλλων, στην ψύξη πυρηνικών αντιδραστήρων και στην χύτευση όπου διακινούνται μέταλλα σε τήξη.

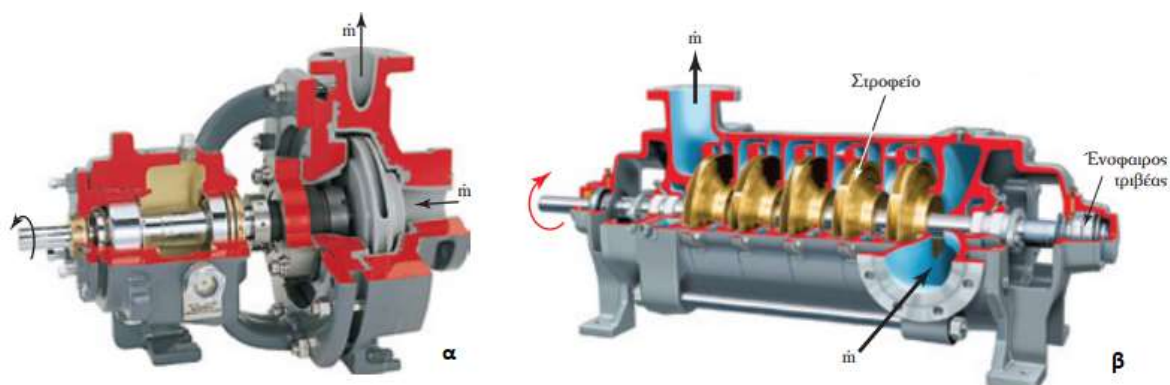
Ανάλογα με τον αριθμό των βαθμίδων οι δυναμικές αντλίες ταξινομούνται σε μονοβάθμιες και σε πολυβάθμιες (Εικόνα 1-23). Στις μονοβάθμιες αντλίες το επιθυμητό ολικό μανομετρικό ύψος αναπτύσσεται από ένα στροφείο μέσα στο κέλυφος. Από την άλλη πλευρά, στις πολυβάθμιες αντλίες το μανομετρικό ύψος αναπτύσσεται με την χρήση δύο ή και παραπάνω στροφείων.

Μία άλλη ταξινόμηση των δυναμικών αντλιών γίνεται σύμφωνα με τον τρόπο με τον οποίο πραγματοποιείται η είσοδος του υγρού στην αντλία. Αυτές οι δύο κατηγορίες είναι οι αντλίες μονής αναρροφήσεως και οι αντλίες διπλής αναρροφήσεως. Στις αντλίες μονής αναρροφήσεως η

αναρρόφηση πραγματοποιείται από την μία πλευρά του κελύφους ενώ στις διπλής αναρροφήσεως η είσοδος του υγρού πραγματοποιείται και στις δυο πλευρές του κελύφους.



Εικόνα 1-22: Ηλεκτρομαγνητικές αντλίες.(1)



Εικόνα 1-23: Μονοβάθμια αντλία, β) Πολυβάθμια αντλία.(1)

2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΑΝΤΛΙΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΝΤΛΗΣΗΣ

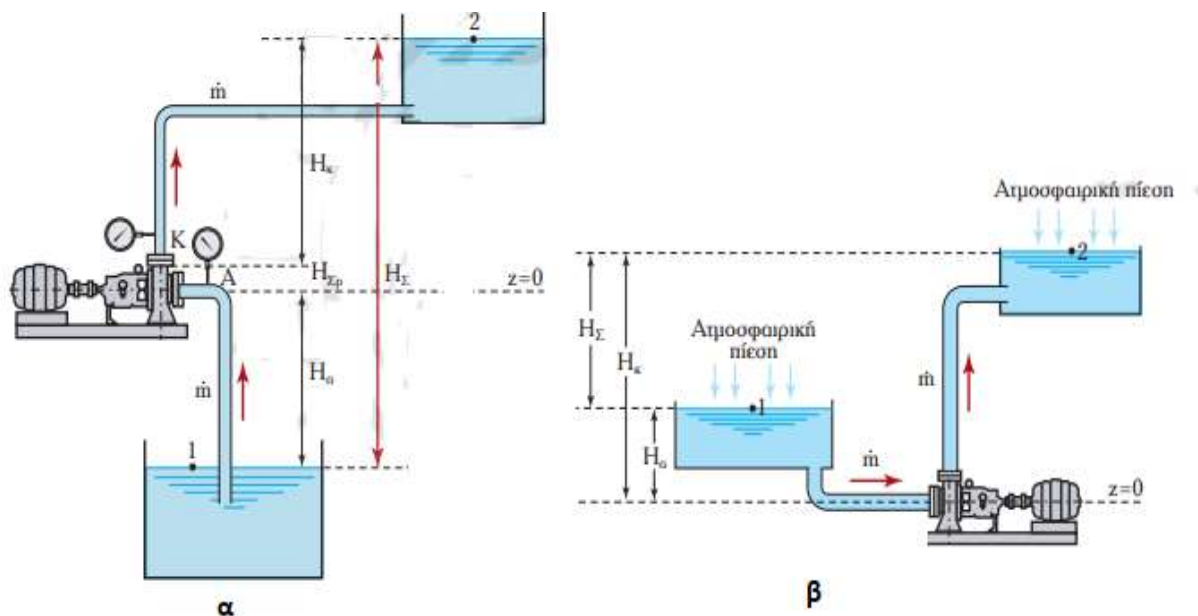
2.1 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΥΨΗ ΑΝΤΛΙΑΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΝΤΛΗΣΗΣ

Στατικό ή γεωμετρικό ύψος συστήματος άντλησης

Τα στατικό ύψος είναι το άθροισμα της κατακόρυφης απόστασης ανάμεσα στις ελεύθερες επιφάνειες του υγρού στις δεξαμενές αναρρόφησης και κατάθλιψης. Υπολογίζεται από την σχέση:

$$H_{\Sigma} = H_{\alpha} + H_{\kappa} + H_{\Sigma p} \quad (1)$$

Όπου H_{α} είναι το ύψος αναρρόφησης, H_{κ} το ύψος κατάθλιψης, και $H_{\Sigma p}$ το στατικό ύψος της αντλίας το οποίο είναι συνήθως αμελητέο. Το στατικό ύψος μπορεί να πάρει τόσο θετικές όσο και αρνητικές τιμές ανάλογα με την θέση που έχει η αντλία (Εικόνα 2-1).



Εικόνα 2-1: Στατικό ύψος σε διάφορες αντλητικές διατάξεις. (1)

Ύψος πίεσεως αντλίας

Το ύψος πίεσεως ισούται με την μεταβολή της πίεσης προς το ειδικό βάρος του υγρού. Υπολογίζεται από την σχέση:

$$H_p = \frac{p_2 - p_1}{\gamma} \quad (2)$$

όπου p_2 είναι η πίεση στην έξοδο της αντλίας ενώ p_1 είναι η πίεση στην είσοδο της αντλίας. Το ύψος πίεσεως που αποδίδει μία αντλία ονομάζεται μανομετρικό ύψος. Επίσης, εκτός από το συνολικό ύψος πίεσεως σε ένα σύστημα άντλησης έχουμε το ύψος πίεσης αναρρόφησης και το ύψος πίεσης κατάθλιψης.

Ύψος ταχύτητας

Το ύψος ταχύτητας σε μία αντλητική διάταξη εκφράζει την μεταβολή της κινητικής ενέργειας και δίνεται από την σχέση:

$$H_v = \left(\frac{v^2}{2 \cdot g} \right)_{out} - \left(\frac{v^2}{2 \cdot g} \right)_{in} \quad (3)$$

Ύψος απωλειών

Το ύψος απωλειών είναι το άθροισμα του ύψους απωλειών του σωλήνα αναρρόφησης και του σωλήνα κατάθλιψης και δίνεται από την εξής σχέση:

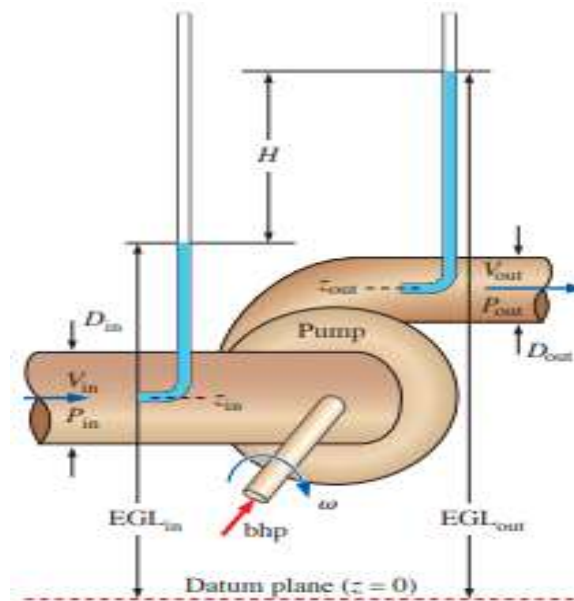
$$\Sigma h_f = h_{fa} + h_{fk} \quad (4)$$

Όπου h_{fa} οι απώλειες στην αναρρόφηση και h_{fk} οι απώλειες στην κατάθλιψη. Οι απώλειες αυτές διακρίνονται σε απώλειες αδράνειας και σε παθητικές απώλειες. Οι απώλειες αδράνειας οφείλονται στην αδράνεια του ρευστού να αποκτήσει μία αρχική ταχύτητα κίνησης ενώ οι παθητικές απώλειες οφείλονται στις τριβές που αναπτύσσονται ανάμεσα στο ρευστό και στις σωληνώσεις, σε στροβιλισμούς, σε αλλαγή καμπυλότητας των σωληνώσεων κ.α.

Αποδιδόμενο ύψος αντλίας ή ολικό ύψος συστήματος αντλήσεως

Το αποδιδόμενο ύψος της αντλίας εκφράζει την συνολική ενέργεια που δίνει η αντλία στο ρευστό και υπολογίζεται από την σχέση:

$$H_o = \left(\frac{P}{\rho * g} + \frac{V^2}{2 * g} + z \right)_{out} - \left(\frac{P}{\rho * g} + \frac{V^2}{2 * g} + z \right)_{in} + \sum h_f(5)$$



Εικόνα 2-2: Αποδιδόμενο συνολικό ύψος αντλίας. (6)

2.2 ΒΑΘΜΟΙ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΑΝΤΛΙΩΝ (1), (2), (6)

Ογκομετρικός βαθμός απόδοσης

Είναι ο λόγος της πραγματικής παροχής προς την εσωτερική παροχή όγκου και υπολογίζεται από την εξής σχέση:

$$n_v = \frac{\dot{V}}{\dot{V}_e} \quad (6)$$

Η εσωτερική παροχή είναι η παροχή στο εσωτερικό της αντλίας. Στις αντλίες στατικού τύπου η εσωτερική παροχή είναι ελαφρώς μεγαλύτερη από την πραγματική. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι παρουσιάζονται εσωτερικές διαρροές κάτι που οδηγεί στην επανακυκλοφορία ενός μικρού μέρους του ρευστού. Από την άλλη πλευρά, στις δυναμικές αντλίες η εσωτερική παροχή

είναι αρκετά μεγαλύτερη από την πραγματική. Ο λόγος για αυτό είναι ότι σε αυτού του τύπου τις αντλίες τα πτερύγια της φτερωτής δεν εφάπτονται επομένως υπάρχει μία μεγαλύτερη ποσότητα υγρού που επανακυκλοφορεί. Επίσης, απώλειες μπορεί να έχουμε και λόγω ατελούς στεγανότητας των βαλβίδων καθώς και για άλλους λόγους οι οποίοι μπορεί να σχετίζονται με φθορά της αντλίας. Ο ογκομετρικός βαθμός απόδοσης κυμαίνεται από 80% έως 98% με τις μεγαλύτερες τιμές να τις παρουσιάζουν οι αντλίες θετικής εκτοπίσεως.

Υδραυλικός βαθμός απόδοσης

Σαν υδραυλικός βαθμός απόδοσης ορίζεται ο λόγος του ολικού ύψους προς το θεωρητικό (εσωτερικό ύψος) και δίνεται από την σχέση:

$$n_h = \frac{H_o}{H_e} \quad (7)$$

Η τιμή του υδραυλικού βαθμού απόδοσης εξαρτάται από τις τριβές που αναπτύσσονται ανάμεσα στο ρευστό και στο τοίχωμα, την επιτάχυνση και την επιβράδυνση του ρευστού καθώς και από τις πιθανές αλλαγές κατεύθυνσης του ρευστού.

Μηχανικός βαθμός απόδοσης

Ορίζεται ως ο λόγος της εσωτερικής ισχύος P_e προς την αξονική ισχύ P_a και δίνεται από την σχέση:

$$n_m = \frac{P_e}{P_a} \quad (8)$$

Η εσωτερική ισχύς είναι η ισχύς η οποία μεταβιβάζεται στο ρευστό ενώ η αξονική ισχύς είναι η ισχύς η οποία καταναλώνεται από την αντλία.

Ολικός βαθμός απόδοσης

Ο ολικός βαθμός απόδοσης είναι ο λόγος της αποδιδόμενης ισχύος προς την ισχύ που καταναλώνεται και υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$\eta = \frac{P_o}{P_a} \quad (9)$$

Επίσης, ο συνολικός βαθμός απόδοσης είναι το γινόμενο του ογκομετρικού, του υδραυλικού και του μηχανικού δηλαδή:

$$\eta = \eta_v * \eta_h * \eta_m \quad (10)$$

Στις εμβολοφόρες αντλίες παραμένει σχεδόν αμετάβλητος για μεγάλες διακυμάνσεις ύψους. Αντιθέτως στις δυναμικές αντλίες η απόδοση μεγιστοποιείται σε ένα συγκεκριμένο ύψος και στην συνέχεια όσο απομακρυνόμαστε από το συγκεκριμένο βέλτιστο ύψος τόσο μειώνεται και η απόδοση της αντλίας.

Στις περιστροφικές αντλίες, επειδή οι απώλειες λόγω τριβών και στροβιλισμών είναι αμελητέες ο υδραυλικός βαθμός απόδοσης προσεγγίζει την μονάδα με αποτέλεσμα ο ολικός βαθμός απόδοσης σε αυτές τις αντλίες να υπολογίζεται μόνο από το γινόμενο του υδραυλικού και του μηχανικού βαθμού απόδοσης. Ο ολικός βαθμός απόδοσης είναι ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά μίας αντλίας και κυμαίνεται από 70% έως 90%. Ωστόσο, ο βαθμός απόδοσης μπορεί να είναι αρκετά μικρότερος ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας.

2.3 ΣΠΗΛΑΙΩΣΗ ΚΑΙ ΚΑΘΑΡΟ ΘΕΤΙΚΟ ΥΨΟΣ ΑΝΑΡΡΟΦΗΣΗΣ (6)

Κατά την άντληση υγρών υπάρχει η πιθανότητα η τοπική πίεση μέσα στην αντλία να πέσει κάτω από την πίεση ατμών του υγρού, P_v . Όταν η P είναι μικρότερη από την P_v , εμφανίζονται φυσαλίδες που ονομάζονται φυσαλίδες σπηλαίωσης. Με άλλα λόγια, το υγρό βράζει τοπικά, συνήθως στην πλευρά αναρρόφησης των πτερυγίων της περωτής, όπου η πίεση είναι χαμηλότερη. Στην συνέχεια αυτές οι φυσαλίδες μεταφέρονται μέσω της αντλίας σε περιοχές όπου η πίεση είναι υψηλότερη, προκαλώντας την γρήγορη κατάρρευση των φυσαλίδων. Αυτή η κατάρρευση των φυσαλίδων είναι ανεπιθύμητη, καθώς προκαλεί θόρυβο, δονήσεις, μειωμένη

απόδοση και, ζημιά στην πετρωτή. Η επανειλημμένη κατάρρευση των φυσαλίδων οδηγεί στην δημιουργία οπών, στην διάβρωση και τελικά στην αστοχία του ρότορα.

Για την αποφυγή της σπηλαιώσης, πρέπει να διασφαλιστεί ότι η τοπική πίεση παντού μέσα στην αντλία παραμένει πάνω από την πίεση ατμών. Δεδομένου ότι η πίεση μετριέται πιο εύκολα στην είσοδο της αντλίας, τα κριτήρια σπηλαιώσης συνήθως καθορίζονται στην είσοδό της. Επομένως, είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθεί μια παράμετρος ροής η οποία θα αποτελεί κριτήριο για τον κίνδυνο εμφάνισης σπηλαιώσης. Αυτό το μέγεθος ονομάζεται καθαρό θετικό ύψος αναρρόφησης (NPSH) και διακρίνεται σε διαθέσιμο (NPSHa) και σε απαιτούμενο. Το καθαρό διαθέσιμο ύψος αναρρόφησης ορίζεται ως η διαφορά μεταξύ του ύψους πίεσεως και ταχύτητας στην αναρρόφηση της αντλίας και του ύψους της πίεσης ατμών της αντλίας και υπολογίζεται από την εξής σχέση:

$$NPSHa = \left(\frac{P}{\rho \cdot g} + \frac{v^2}{2 \cdot g} \right)_{\text{pump inlet}} - \frac{P_v}{2 \cdot g} \quad (11)$$

Οι κατασκευαστές αντλιών δοκιμάζουν τις αντλίες τους για σπηλαιώση σε μια εγκατάσταση δοκιμής αντλιών, μεταβάλλοντας με ελεγχόμενο τρόπο τον όγκο ροής και την πίεση στην είσοδο. Συγκεκριμένα, σε δεδομένο ρυθμό ροής και θερμοκρασίας υγρού, η πίεση στην είσοδο της αντλίας μειώνεται αργά μέχρι να εμφανιστεί σπηλαιώση μέσα στην αντλία. Στην συνέχεια υπολογίζεται τιμή ενός μεγέθους το οποίο ονομάζεται απαιτούμενο θετικό ύψος αναρρόφησης (NPSHr). Το NPSHr ορίζεται ως η διαφορά μεταξύ του ύψους πίεσεως και ταχύτητας στην αναρρόφηση της αντλίας και του ύψους πίεσεως σε ένα σημείο στο εσωτερικό της αντλίας (έστω A') και υπολογίζεται από την σχέση:

$$NPSHr = \left(\frac{P}{\rho \cdot g} + \frac{v^2}{2 \cdot g} \right)_{\text{pump inlet}} - \frac{P_{A'}}{2 \cdot g} \quad (12)$$

Το NPSHr είναι το ελάχιστο NPSH το οποίο είναι απαραίτητο για την αποφυγή της σπηλαιώσης στην αντλία. Για να διασφαλιστεί ότι μια αντλία δεν θα έχει σπηλαιώση, το NPSHa πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το NPSHr. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η τιμή του NPSH ποικίλλει όχι μόνο με τον ρυθμό ροής, αλλά και με τη θερμοκρασία του υγρού, καθώς η P_v είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας. Το NPSH εξαρτάται επίσης από τον τύπο του υγρού που

Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – [όνομα τομέα]

αντλείται, καθώς υπάρχει μια μοναδική καμπύλη P_v συναρτήσει της T για κάθε υγρό. Το σημείο τομής της καμπύλης του πραγματικού $NPSH_a$ και του $NPSH_{rμας}$ δίνει την μέγιστη παροχή της αντλίας χωρίς να υπάρξει σπηλαίωση(6), (7).

3 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΝΤΛΙΩΝ (1), (2), (6)

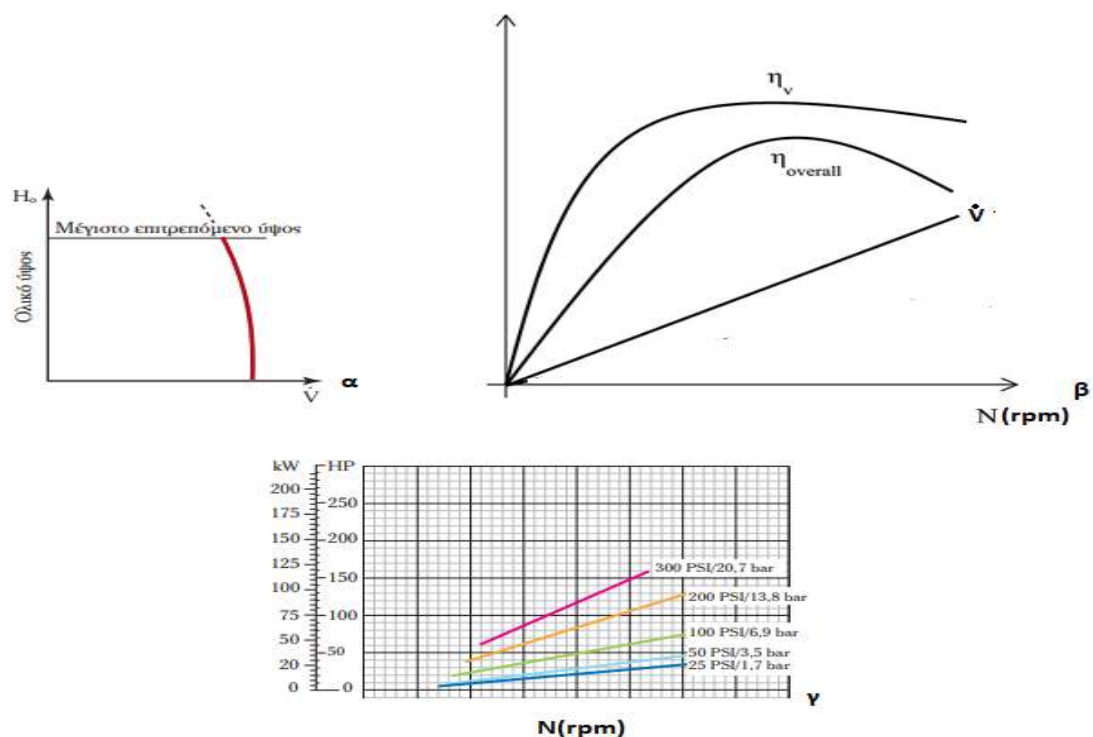
3.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΑΝΤΛΙΩΝ ΣΤΑΤΙΚΟΥ ΤΥΠΟΥ

Η πραγματική παροχή που δίνει μία παλινδρομική αντλία εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά της αντλίας (γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κυλίνδρου και του εμβόλου) καθώς και από την ταχύτητα περιστροφής του στρομφαλοφόρου άξονα και είναι ανεξάρτητη από το ύψος που αντιμετωπίζει η αντλία. Αυτή η παροχή υπολογίζεται από την σχέση:

$$V = n_v \frac{\pi(2D^2 - d^2)}{4} * s * n \quad (13)$$

Όπου Δείναι η εσωτερική διάμετρος του κυλίνδρου, ση διαδρομή του εμβόλου, no αριθμός παλινδρομήσεων του εμβόλου και δη διάμετρος του διωστήρα του εμβόλου.

Ωστόσο, η παραπάνω εξάρτηση της παροχής μόνο από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της αντλίας και όχι από το ύψος ισχύει για μικρά σχετικά ύψη. Από ένα σημείο όμως και μετά αυτό δεν ισχύει καθώς έχουμε αύξηση των εσωτερικών διαρροών κάτι που οδηγεί σε μείωση του ογκομετρικού βαθμού απόδοσης άρα έχουμε και μείωση της παροχής. Παρόμοια συμπεριφορά παρουσιάζουν και οι περιστροφικές αντλίες στατικού τύπου. Χαρακτηριστικά διαγράμματα για τις αντλίες στατικού τύπου παρουσιάζονται στην Εικόνα 3-1.



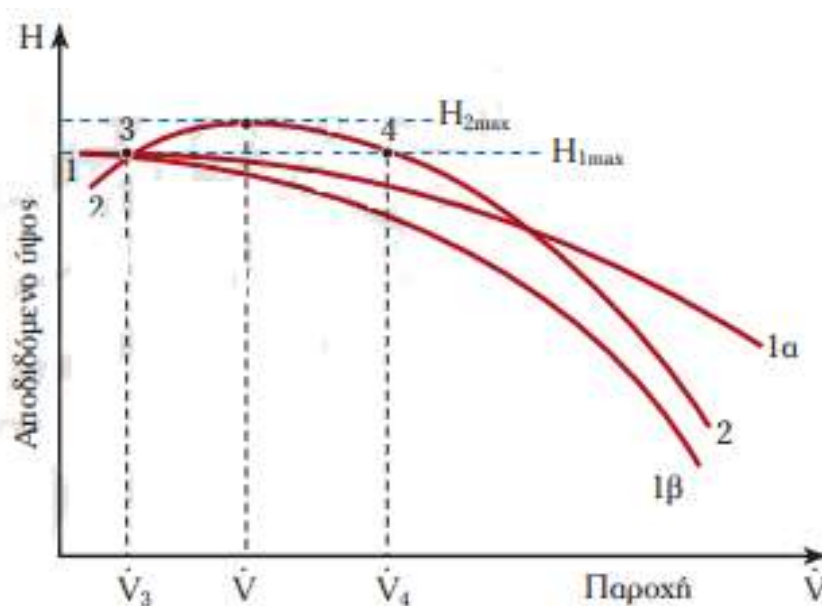
Εικόνα 3-1: α) Διάγραμμα ολικού ύψους αντλίας- παροχής, β) Μεταβολή του ογκομετρικού βαθμού απόδοσης, του συνολικού βαθμού απόδοσης και της ογκομετρικής παροχής για μία αντλία στατικού τύπου, γ) Μεταβολή της ισχύος σε σχέση με τις στροφές για μία γραναζωτή αντλία.(1), (8)

3.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ

Μία δυναμική αντλία κατασκευάζεται για μία ορισμένη περιοχή παροχών και αποδιδόμενου ύψους. Σε εκείνη την περιοχή έχει τον καλύτερο βαθμό απόδοσης. Ωστόσο, δεν είναι λίγες οι φορές που αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τιμές ύψους και παροχής που δεν περιλαμβάνονται στην περιοχή βέλτιστης λειτουργίας.

Για σταθερή ταχύτητα περιστροφής και διαμέτρου περρωτής το αποδιδόμενο ύψος της αντλίας εξαρτάται μόνο από την ογκομετρική παροχή. Αυτή η σχέση παρουσιάζεται σε διαγράμματα αποδιδόμενου ύψους αντλίας- ογκομετρικής παροχής και αυτές οι καμπύλες ονομάζονται καμπύλες στραγγαλισμού. Η μορφή αυτών των διαγραμμάτων εξαρτάται από την ειδική ταχύτητα της αντλίας, των αριθμό των περυγίων του στροφείου και το σχήμα του

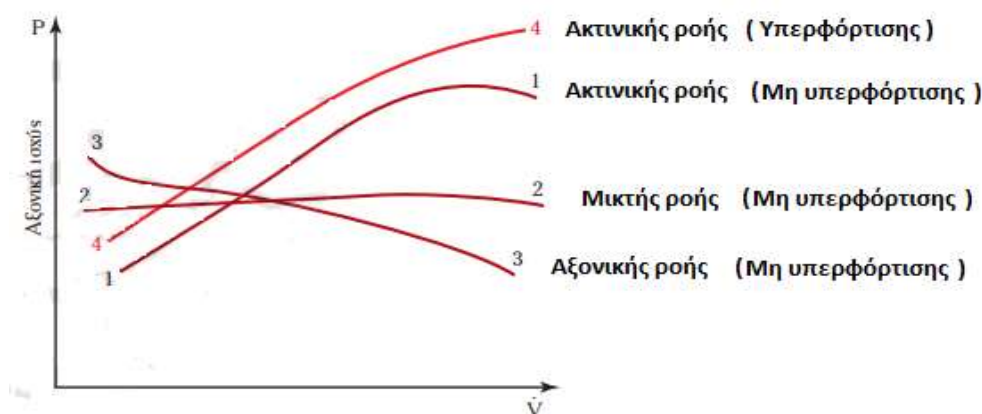
περιβλήματος. Η ειδική ταχύτητα είναι ένας αδιάστατος αριθμός ο οποίος συνδέει την ταχύτητα περιστροφής, το συνολικό αποδιδόμενο ύψος και την ογκομετρική παροχή. Αυτές οι καμπύλες διακρίνονται σε ευσταθείς και ασταθείς (Εικόνα 3-2). Στις ευσταθείς καμπύλες η μέγιστη τιμή του αποδιδόμενου ύψους εμφανίζεται στο σημείο που μηδενίζεται η παροχή επομένως σε κάθε τιμή αποδιδόμενου ύψους αντιστοιχεί μία τιμή ογκομετρικής παροχής. Από την άλλη πλευρά στις ασταθείς καμπύλες το μέγιστο αποδιδόμενο ύψος παρουσιάζεται για παροχή μεγαλύτερη του μηδενός. Σε αυτή την περίπτωση, για μία τιμή παροχής μπορεί να αντιστοιχούν δύο τιμές αποδιδόμενου ύψους. Αυτήν την συμπεριφορά την παρουσιάζουν ορισμένες φυγοκεντρικές αντλίες ωστόσο οι κατασκευαστές των αντλιών την αποφεύγουν λόγω αστάθειας κατά την λειτουργία και προβλημάτων σε περίπτωση παράλληλης σύνδεσης με άλλες αντλίες. Οι αντλίες μεικτής και αξονικής ροής παρουσιάζουν καμπύλες ευσταθής ροής καθώς έχουν μεγάλη ειδική ταχύτητα ενώ στις ακτινικής ροής κάτι τέτοιο είναι πιο δύσκολο.



Εικόνα 3-2: Παραδείγματα ευσταθών και ασταθών καμπυλών στραγγαλισμού. (1)

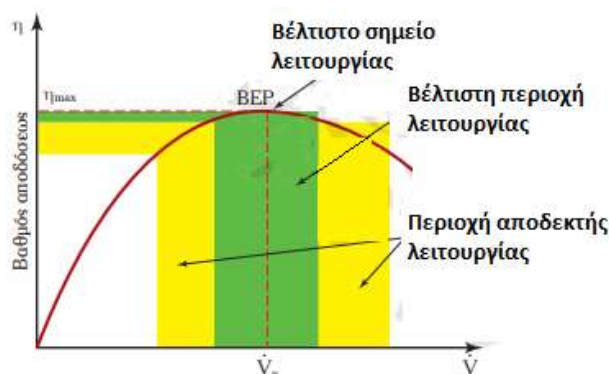
Μία άλλη κατηγορία καμπυλών είναι τα διαγράμματα αξονικής ισχύος- παροχής (Εικόνα 3-3). Ανάλογα με το είδος της αντλίας η αξονική ισχύς μπορεί να αυξάνεται ή να μειώνεται με την αύξηση της παροχής. Αυτές οι καμπύλες χωρίζονται σε δύο άλλες υποκατηγορίες οι οποίες

είναι οι καμπύλες υπερφόρτισης και οι καμπύλες μη υπερφόρτισης. Οι καμπύλες υπερφόρτισης αφορούν τις αντλίες που έχουν ασταθείς καμπύλες αποδιδόμενου ύψους- παροχής όγκου ενώ οι δεύτερες αυτές που παρουσιάζουν ευσταθείς καμπύλες αποδιδόμενου ύψους- παροχής όγκου.



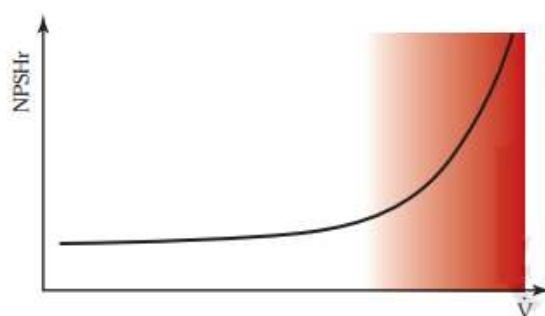
Εικόνα 3-3: Καμπύλες αξονικής ισχύος- ογκομετρικής παροχής. (1)

Μία άλλη σημαντική κατηγορία καμπυλών είναι οι καμπύλες βαθμού απόδοσης – ογκομετρικής παροχής (Εικόνα 3-4). Το σημείο της καμπύλης στο οποίο η ογκομετρική παροχή αντιστοιχεί στον μέγιστο βαθμό απόδοσης ονομάζεται βέλτιστο σημείο λειτουργίας (BestEfficiencyPoint- BEP). Η παροχή που αντιστοιχεί στον μέγιστο βαθμό απόδοσης ονομάζεται βέλτιστη ή κανονική παροχή, η αντίστοιχη ισχύς κανονική και το αντίστοιχο αποδιδόμενο ύψος κανονικό. Η αντλία πρέπει να λειτουργεί σε μία περιοχή παροχών κοντά στην βέλτιστη διαφορετικά η λειτουργία της είναι δαπανηρή και υπάρχει κίνδυνος πρόκλησης βλαβών.



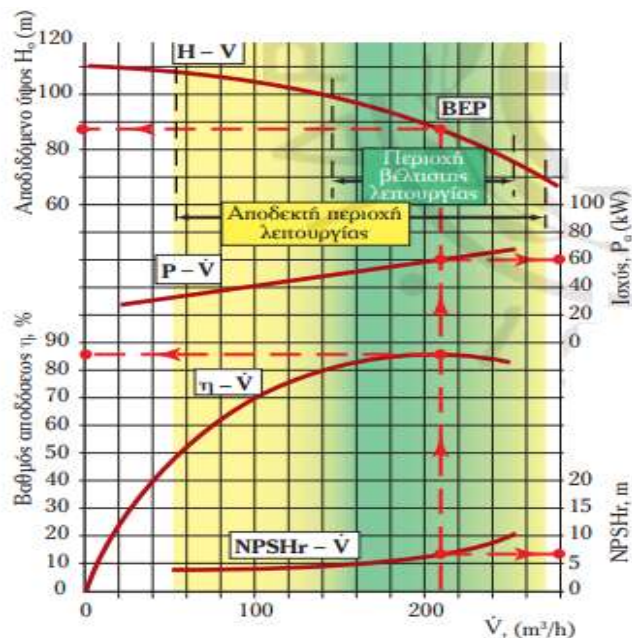
Εικόνα 3-4: Καμπύλη βαθμού απόδοσης- ογκομετρικής παροχής. (1)

Το τελευταίο διάγραμμα είναι το διάγραμμα καθαρού απαιτούμενου θετικού ύψους αναρρόφησης- παροχής όγκου (Εικόνα 3-5). Όσο μεγαλύτερη είναι η παροχή τόσο μεγαλύτερος είναι και ο κίνδυνος σπηλαιώσης. Επομένως, κατά τον σχεδιασμό των αντλιών πρέπει για την περιοχή βέλτιστης λειτουργίας να έχουμε μικρές τιμές καθαρού απαιτούμενου θετικού ύψους αναρρόφησης.



Εικόνα 3-5: Καμπύλη καθαρού απαιτούμενου θετικού ύψους αναρρόφησης- παροχής όγκου.(1)

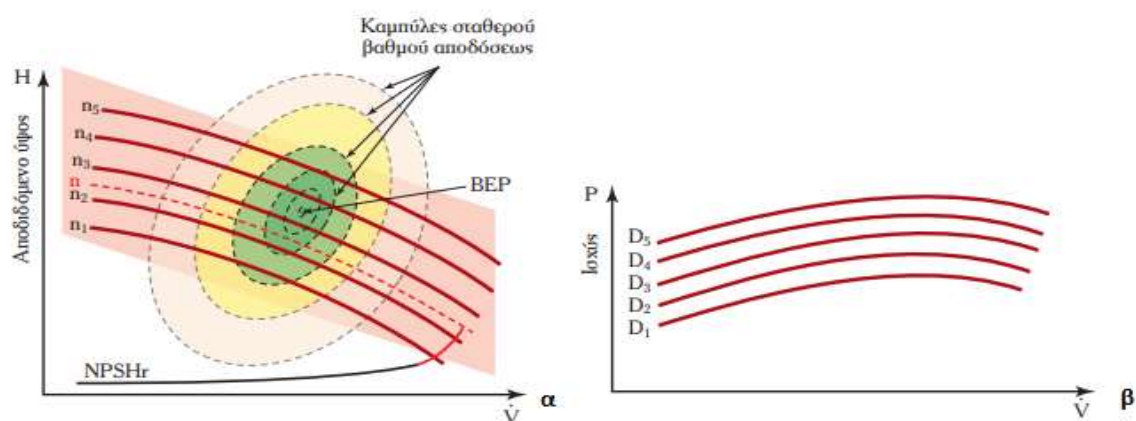
Λόγω του ότι αυτά τα τέσσερα διαγράμματα έχουν κοινή τετμημένη την παροχή όγκου αναπαρίστανται όλα μαζί για πρακτικού λόγους συγκεντρωτικά σε ένα σύνθετο διάγραμμα(Εικόνα 3-6).



Εικόνα 3-6: Χαρακτηριστικές καμπύλες αντλίας συγκεντρωμένες σε ένα ενιαίο διάγραμμα σύμφωνα με ISO.

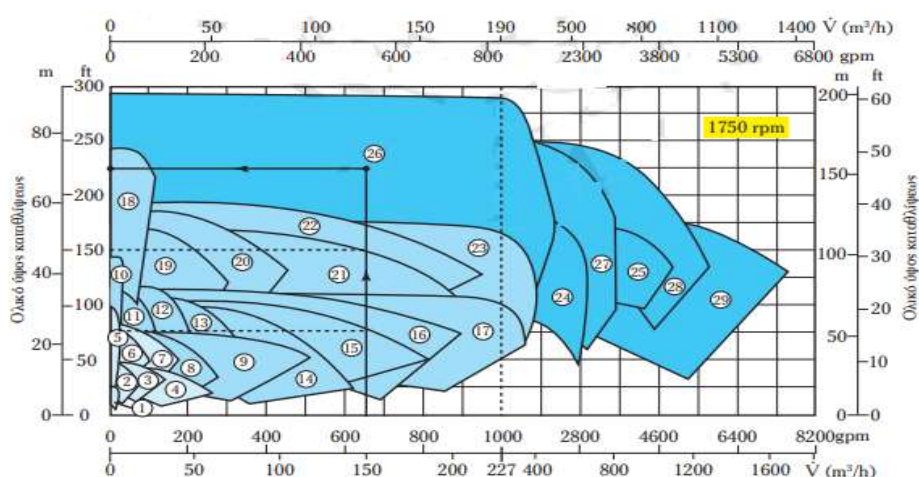
(1)

Στην περίπτωση που μεταβάλλεται η διάμετρος της περωτής ή η ταχύτητα περιστροφής τότε δημιουργούνται παρόμοια διαγράμματα με αυτά που έγινε αναφορά προηγουμένως με την διαφορά ότι τώρα θα προστεθούν και άλλες καμπύλες. Αυτές οι καμπύλες μπορεί να είναι της ταχύτητας περιστροφής εάν θεωρηθεί η διάμετρος της περωτής σταθερή ή της διαμέτρου της περωτής εάν θεωρηθεί η ταχύτητα περιστροφής σταθερή. Αυτά τα διαγράμματα και ονομάζονται πλήρεις χαρακτηριστικές καμπύλες (Εικόνα 3-7).



Εικόνα 3-7: α) Πλήρεις χαρακτηριστικές καμπύλες αντλίας για σταθερή διάμετρο περωτής, β) Πλήρεις χαρακτηριστικές καμπύλες αντλίας για σταθερή ταχύτητα περιστροφής.(1)

Εκτός από τα παραπάνω διαγράμματα, υπάρχουν και διαγράμματα από τους κατασκευαστές αντλιών τα οποία χρησιμεύουν στην επιλογή της κατάλληλης αντλίας. Ωστόσο αυτά τα διαγράμματα δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για υπολογισμούς (Εικόνα 3-8).



Εικόνα 3-8: Χαρακτηριστικό διάγραμμα επιλογής αντλίας.(1)

3.3 ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΤΛΗΣΕΩΣ

Μία αντλία αποτελεί ένα αναπόσπαστο κομμάτι ενός συστήματος αντλήσεως. Το ολικό ύψος που πρέπει να αποδώσει μία αντλία όπως έχει ήδη αναφερθεί είναι:

$$H_o = \left(\frac{P}{\rho * g} + \frac{V^2}{2 * g} + z \right)_{out} - \left(\frac{P}{\rho * g} + \frac{V^2}{2 * g} + z \right)_{in} + \sum h_f$$

Η παραπάνω σχέση μπορεί να γραφτεί και με την παρακάτω μορφή:

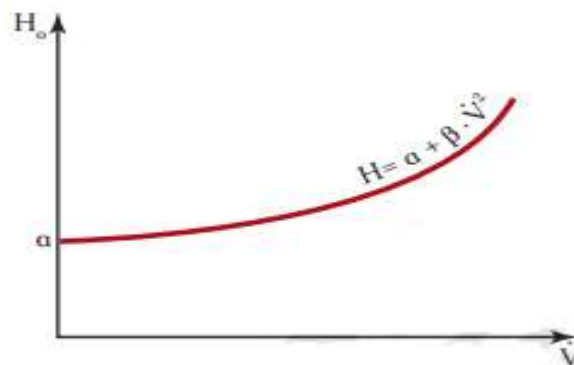
$$H = \alpha + \beta * \dot{V}^2 \quad (14)$$

$$\text{Όπου } \alpha = z_{out} - z_{in} + \frac{P_{out} - P_{in}}{\rho * g} \quad (15)$$

$$\text{και } \beta = \frac{8}{\pi^2 * g} \left[\left(f_a * \frac{L_a}{d_a} + \sum K_a \right) * \frac{1}{d_a^4} + \left(f_k * \frac{L_k}{d_k} + \sum K_k \right) * \frac{1}{d_k^4} \right] \quad (16)$$

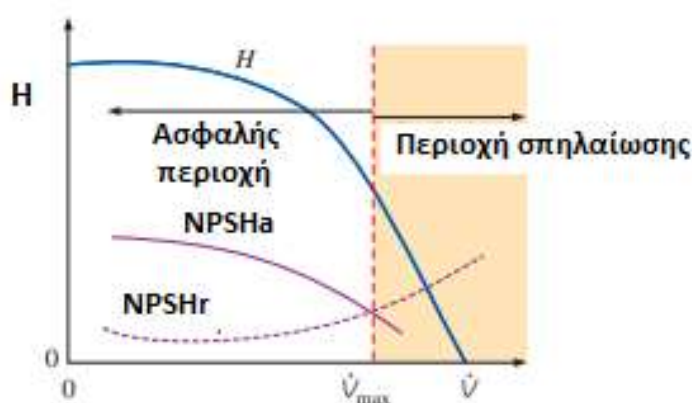
όπου f_a και f_k είναι οι συντελεστές τριβής στην αναρρόφηση και στην κατάθλιψη, $\sum K_a$ και $\sum K_k$ είναι οι τοπικές απώλειες στην αναρρόφηση και στην κατάθλιψη, d_a και d_k οι διάμετροι των σωληνώσεων στην αναρρόφηση και στην κατάθλιψη αντίστοιχα.

Η καμπύλη που προκύπτει από την παραπάνω εξίσωση και αφορά το σύστημα αντλήσεως (και όχι την αντλία) ονομάζεται χαρακτηριστική καμπύλη συστήματος αντλήσεως (Εικόνα 3-9).



Εικόνα 3-9: Χαρακτηριστική καμπύλη συστήματος αντλήσεως.(1)

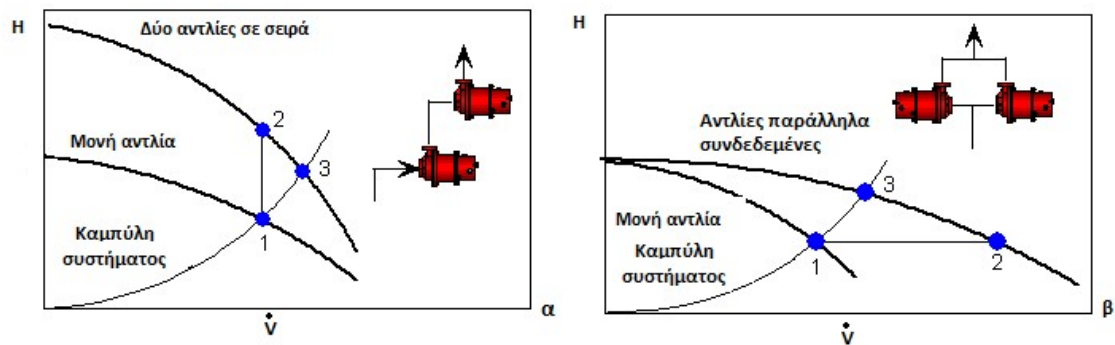
Μία άλλη σημαντική καμπύλη είναι αυτή του διαθέσιμου θετικού καθαρού ύψους αναρρόφησης του συστήματος άντλησης με την παροχή όγκου. Το διαθέσιμο θετικό καθαρό ύψος αναρρόφησης του συστήματος άντλησης πρέπει να συγκριθεί με το απαιτούμενο καθαρό ύψος αναρρόφησης της αντλίας (Εικόνα 3-10). Το σημείο τομής της καμπύλης του διαθέσιμου θετικού καθαρού ύψους αναρρόφησης με την καμπύλη του απαιτούμενου καθαρού ύψους αναρρόφησης της αντλίας μας δίνει την μέγιστη ογκομετρική παροχή του συστήματος.



Εικόνα 3-10: Περιοχές σπηλαίωσης συστήματος άντλησης. (6)

3.4 ΣΥΝΔΕΣΗ ΑΝΤΛΙΩΝ ΣΕ ΣΕΙΡΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΛΛΗΛΗ ΣΥΝΔΕΣΗ ΑΝΤΛΙΩΝ

Σε ένα σύστημα άντλησης όταν υπάρχει η ανάγκη αύξησης της ογκομετρικής παροχής ή του αποδιδόμενου ύψους, τότε ένας τρόπος αντιμετώπισης του προβλήματος είναι η προσθήκη μιας επιπλέον αντλίας σε σειρά ή σε παράλληλη διάταξη με την αρχική αντλία (Εικόνα 3-11). Την παράλληλη σύνδεση αντλιών την χρησιμοποιούμε για την αύξηση της παροχής καθώς η τελική παροχή είναι το άθροισμα των παροχών των δύο επιμέρους αντλιών. Την σύνδεση σε σειρά την χρησιμοποιούμε για την αύξηση του αποδιδόμενου ύψους καθώς το τελικό ύψος είναι το άθροισμα του αποδιδόμενου ύψους των δύο αντλιών.



Εικόνα 3-11: α) Αντλίες συνδεδεμένες σε σειρά, β) Αντλίες συνδεδεμένες παράλληλα. (9)

Ενώ η σύνδεση σε σειρά ή παράλληλα είναι αποδεκτή για ορισμένες εφαρμογές, η σύνδεση ανόμοιων αντλιών (αντλίες που έχουν χαρακτηριστικές καμπύλες που διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό) μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα, όπως το να μην έχουμε την τελική επιθυμητή ογκομετρική παροχή ή την επιθυμητή αύξηση στο αποδιδόμενο ύψος.

4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι αντλίες είναι διατάξεις οι οποίες μετατρέπουν την κίνηση του ρευστού σε μηχανική ενέργεια και έχουν ένα τεράστιο εύρος εφαρμογών. Οι δύο κατηγορίες που χωρίζονται οι αντλίες είναι οι αντλίες στατικού τύπου και οι αντλίες δυναμικού τύπου κάθε μία από τις οποίες παρουσιάζει τα δικά της πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

Τα κυριότερα χαρακτηριστικά μεγέθη τα οποία πρέπει να είναι γνωστά για μία αντλία είναι το μέγιστο αποδιδόμενο ύψος, η ογκομετρική παροχή, ο βαθμός απόδοσης καθώς και το θετικό ύψος αναρρόφησης. Οι αντλίες δεν έχουν την ίδια απόδοση για οποιεσδήποτε συνθήκες λειτουργίας αλλά αυτή είναι συνάρτηση πολλών παραγόντων όπως της ογκομετρικής παροχής, της διαμέτρου της πτερωτής, της ταχύτητας περιστροφής της πτερωτής κ.α. Για αυτό τον λόγο οι κατασκευαστές αντλιών έχουν κατασκευάσει τις χαρακτηριστικές καμπύλες της αντλίας οι οποίες δείχνουν τις βέλτιστες περιοχές λειτουργίας της. Η γνώση αυτών των καμπυλών σε συνδυασμό με την γνώση των καμπυλών του συστήματος άντλησης είναι πολύ σημαντική έτσι ώστε να γίνει η κατάλληλη επιλογή αντλίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Δαγκίνης Κ. Ιωάννης, Γλύκα Ι. Αλέξανδρος, (2016), *Αντλίες, Ίδρυμα Ευγενίδου*.
2. Παπανίκας Γ. Δημήτρης, (2012), *Ρευστοδυναμικές Μηχανές*.
3. Michael Smith Engineers ltd., *Centrifugal pump*, retrieved from <https://www.michael-smith-engineers.co.uk/resources/useful-info/centrifugal-pumps>.
4. Kanemoto, T., Otsubo, T., Inagaki, M., Hitachi, R., Kato, M. (2020), *Performance Evaluation of Unique Vortex Pump*, Springer Nature Singapore.
5. Gas lift, retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Gas_lift.
6. Yunus A. Çengel, John M. Cimbala, *FLUID MECHANICS-FUNDAMENTALS AND APPLICATIONS*.
7. Wartsila, *Rotary Pump*, retrieved from <https://www.wartsila.com/encyclopedia/term/rotary-pump>.
8. Mahmoud M., *Fundamentals of pumps, Types and overview*.
9. The engineering toolbox, <https://www.engineeringtoolbox.com/>.