



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΙΤΛΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ
ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΙΚΩΝ
ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ

Επιβλέπων Καθηγητής: Ιωάννης Σαρρής
Υπεύθυνος Σπουδαστής: Γιαβάς Στέργιος-Μιχαήλ
A.M. 04171

Εξεταστική Επιτροπή

Ιωάννης Σαρρής
Καθηγητής

Εμμανουήλ Προεστάκης
Λέκτορας Εφαρμογών

Ζωή Κανετάκη
Λέκτορας Εφαρμογών

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος **Γιαβός Στέργιος-Μιχαήλ** του **Αναστάση**, με αριθμό μητρώου **04171** φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών

Γιαβός

Περίληψη – λέξεις κλειδιά

Η παρούσα εργασία αφορά τις ρευστοδυναμικές μηχανές και ειδικότερα τις παλινδρομικές αντλίες. Η επιλογή του συγκεκριμένου θέματος έγινε καθώς η σημαντικότητα των αντλιών στην αγορά εργασίας είναι τεράστια, ενώ αποτελούν και ένα αξιοσημείωτο πεδίο συνεχούς έρευνας.

Η διπλωματική εργασία, που έγινε μετά από ενδελεχή βιβλιογραφική ανασκόπηση, με μελέτη ορισμένων ελληνικών και ξένων συγγραμμάτων υψηλού επιπέδου στο συγκεκριμένο θέμα, παρουσιάζει την κάτωθι διάρθρωση:

Στο **1^ο Κεφάλαιο**, επιχειρείται μια εισαγωγική αναφορά σε όλα τα είδη των ρευστοδυναμικών μηχανών (αεριοστρόβιλοι, ατμοστρόβιλοι), ενώ το τελευταίο μέρος του αφιερώνεται στις αντλίες, τα βασικά τους μεγέθη και τα είδη αντλιών που υπάρχουν σήμερα

Στο **2^ο Κεφάλαιο**, η εργασία εστιάζει ακόμα περισσότερο στις αντλίες, κυρίως στις παλινδρομικές, καθώς η αναφορά εκεί είναι πιο ενδελεχής και εμπειριστατωμένη. Αναφέρονται με σαφήνεια όλα τα κατασκευαστικά στοιχεία των αντλιών (ιδίως των εμβολοφόρων) και γίνεται κατηγοριοποίηση των παλινδρομικών αντλιών που χρησιμοποιούνται συχνά στη βιομηχανία. Τέλος παρουσιάζουμε τις χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας των παλινδρομικών αντλιών και τη διάδρασή τους με το σύστημα.

Στο **3^ο Κεφάλαιο**, δίνεται μεγαλύτερη προσοχή σε μια κατηγορία αντλιών δυναμικού τύπου, τις φυγοκεντρικές. Εκ νέου γίνεται ενδελεχής αναφορά σε όλες τις κατηγορίες αυτών των αντλιών, ενώ στο τέλος γίνεται σύγκριση ανάμεσα στις παλινδρομικές και τις φυγοκεντρικές αντλίες.

Στο **4^ο Κεφάλαιο**, μελετάμε τα βασικά μέρη τα οποία αποτελούν μια παλινδρομική αντλία και αναλύουμε με μαθηματικούς τύπους τα χαρακτηριστικά μεγέθη των παλινδρομικών αντλιών τα οποία είναι απαραίτητα για τη λύση των εφαρμογών τους.

Στο **5^ο Κεφάλαιο**, μετά την αναλυτική επεξήγηση και μελέτη μεγάλου μέρους της παρούσας τεχνολογίας στις παλινδρομικές αντλίες, θα επιχειρηθεί να κατανοηθεί η λειτουργία τους και πρακτικά, μέσα από ορισμένες πρακτικές ασκήσεις-προβλήματα,

η επίλυση των οποίων θα καταστήσει πολύ πιο σαφή τη λειτουργία τους, καθώς και τα μεγέθη που εμπλέκονται στον υπολογισμό των αντλιών.

Στο **6^ο Κεφάλαιο**, θα γίνει προσπάθεια να εξαχθούν ορισμένα χρήσιμα συμπεράσματα από όλη τη μελέτη που έγινε πάνω στις αντλίες, ενώ θα δοθούν, ως είθισται, και κάποιες προτάσεις για μελλοντική έρευνα πάνω στο συγκεκριμένο θέμα, σε επίπεδο διπλωματικής εργασίας.

Τέλος, παρατίθεται η **Βιβλιογραφία**.

Λέξεις – κλειδιά:

Ρευστοδυναμικές μηχανές, υδροδυναμικές αντλίες, παλινδρομικές αντλίες, φυγοκεντρικές αντλίες, χαρακτηριστικά μεγέθη αντλιών, παραδείγματα παλινδρομικών αντλιών

Περιεχόμενα

Περίληψη – λέξεις κλειδιά.....	iii
Περιεχόμενα.....	v
Κατάλογος εικόνων.....	vii
Κατάλογος Πινάκων	viii
Εισαγωγή	1
Κεφάλαιο 1 ^ο : Γενικά για τις ρευστοδυναμικές μηχανές.....	2
1.1 Βασικές αρχές στροβιλομηχανών	3
1.2 Υδροδυναμικές μηχανές	9
1.3 Βασικά μεγέθη αντλιών	15
Κεφάλαιο 2 ^ο : Ανάλυση παλινδρομικών – εμβολοφόρων αντλιών	21
2.1 Κατηγοριοποίηση παλινδρομικών αντλιών	26
2.2 Χαρακτηριστικές καμπύλες αντλιών και αντλητικών συστημάτων	34
2.3 Διάδραση αντλίας και συστήματος.....	42
Κεφάλαιο 3 ^ο : Σύγκριση παλινδρομικών και φυγοκεντρικών αντλιών	49
3.1 Σημεία προσοχής στις φυγοκεντρικές αντλίες.....	55
3.2 Πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα των φυγοκεντρικών αντλιών	58
Κεφάλαιο 4 ^ο : Χαρακτηριστικά μεγέθη παλινδρομικών αντλιών	61
Κεφάλαιο 5 ^ο : Χαρακτηριστικοί υπολογισμοί παλινδρομικών αντλιών.....	78
Κεφάλαιο 6 ^ο : Συμπεράσματα.....	108
Βιβλιογραφία	111

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 2.1: Εμβολοφόρα μηχανή απλής δράσης (πηγή: διαδίκτυο)	26
Εικόνα 2.2: Αρχή λειτουργίας αντλίας απλής δράσης (πηγή: διαδίκτυο)	27
Εικόνα 2.3: Αρχή λειτουργίας αντλίας διπλής δράσης (πηγή: διαδίκτυο)	27
Εικόνα 2.4: (a) Αντλία απλής δράσης, (b) Αντλία διπλής δράσης (πηγή G.K. Sahu, 2000)	28
Εικόνα 2.5: (a) Δικύλινδρη παλινδρομική αντλία, (b) Τρικύλινδρη παλινδρομική αντλία (πηγή K. Subramayia, 2013)	29
Εικόνα 2.6: (a) Αντλία με piston κατά τη διαδρομή της αναρρόφησης και της συμπίεσης, (b) Αντλία με plunger κατά τη διαδρομή της αναρρόφησης και της συμπίεσης, (c) Αντλία με διάφραγμα κατά τη διαδρομή της αναρρόφησης και της συμπίεσης (πηγή: διαδίκτυο)	32
Εικόνα 2.7: Διάγραμμα καμπυλών H-Q (πηγή: Mavs Open Press)	35
Εικόνα 2.8: Μηχανική απόδοση εν συγκρίσει με το φορτίο πλαισίου (πηγή: Tackett, 2008)	41
Εικόνα 2.9: Μέγιστη ταχύτητα γραμμής στην αναρρόφηση για διάφορα είδη αντλίας (πηγή: Tackett, 2008).....	44
Εικόνα 2.10: Ταχύτητας ροής στην πλευρά της αναρρόφησης για τυπικά φορτία, αφορά χαλύβδινους αγωγούς (πηγή: Tackett, 2008)	45
Εικόνα 2.11: Τυπική καμπύλη NPSH _R (πηγή: Tackett, 2008)	47
Εικόνα 3.1: Σχηματική απεικόνιση φυγοκεντρικής αντλίας (πηγή: διαδίκτυο)	50
Εικόνα 3.2: Συνέπειες της σπηλαιώσης σε στροφέιο (πηγή: διαδίκτυο).....	57
Εικόνα 4.1: Χαρακτηριστικά τμήματα παλινδρομικής αντλίας (πηγή: Dr. R.K. Bansal, 2010)	61
Εικόνα 4.2: Αντλία διπλής δράσης (πηγή: Dr. R.K. Bansal, 2010).....	64
Εικόνα 4.3: Ταχύτητα και επιτάχυνση του Έμβολου (πηγή: Dr. R.K. Bansal, 2010)	67
Εικόνα 4.4: Επίδραση της επιτάχυνσης και της τριβής στο διάγραμμα δεικτών (πηγή: Dr. R.K. Bansal, 2010)	69
Εικόνα 4.5: Αεροκώδωνες παλινδρομικής αντλίας (πηγή: Dr. R.K. Bansal, 2010)....	72
Εικόνα 5.1: Διάγραμμα επίδρασης της επιτάχυνσης στην αναρρόφηση και στη παροχή (πηγή: Dr. R.K. Bansal, 2010)	81
Εικόνα 5.2: Διάγραμμα διαδρομής παροχής (πηγή: Dr. R.K. Bansal, 2010)	86

Εικόνα 5.3 (α): 1 ^η περίπτωση (πηγή: Dr. R.K. Bansal, 2010)	88
Εικόνα 5.3 (β): 2 ^η περίπτωση (πηγή: Dr. R.K. Bansal, 2010)	89

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Ταξινόμηση των αντλιών με βάση την αρχή λειτουργίας τους.....	14
Πίνακας 2: Ταξινόμηση των αντλιών με βάση τα χαρακτηριστικά κατασκευής τους	15

Εισαγωγή

Οι αντλίες, αποτελούν μια μηχανολογική κατασκευή ευρέως διαδεδομένη σε μια πληθώρα εφαρμογών στην καθημερινότητα. Από την άντληση νερού, μέχρι και τη μεταφορά χύδην υλικών στα δεξαμενόπλοια, οι αντλίες είναι αυτές που καταφέρνουν κάθε μέρα να υπερνικούν τις υψομετρικές διαφορές που θα καθιστούσαν αδύνατη τη μετακίνηση πολλών πρώτων υλών και υλικών. Η συνεισφορά τους στην παγκόσμια οικονομία είναι αξιοσημείωτη, γι' αυτό και μεγάλο μέρος της έρευνας σε συναφή πεδία εστιάζει στην εύρεση μεθόδων ώστε να γίνουν οι σύγχρονες αντλίες όλο και πιο αποδοτικές, πιο ισχυρές και πιο οικονομικές.

Ο αντίκτυπος των αντλιών στην παγκόσμια οικονομία και ειδικά στον κλάδο των μεταφορών και των logistics, αλλά και στον ενεργειακό κλάδο, σημαίνει πως οποιεσδήποτε βελτιώσεις σε αυτές, ή νέες προόδοι θα έχουν ένα πολύ σημαντικό όφελος προς όλο τον κόσμο. Δεν είναι άλλωστε τυχαίο, όπως θα φανεί και στην παρούσα διπλωματική, το πόσα είδη ρευστοδυναμικών μηχανών και ειδικά αντλιών υπάρχουν, τα οποία με διαφορετικό κάθε φορά τρόπο επιτελούν κατά βάση το ίδιο έργο.

Στις επόμενες σελίδες θα αναλυθούν στοιχεία για τις ρευστοδυναμικές μηχανές και θα γίνει επεξήγηση σε λεπτομερές επίπεδο για τις αντλίες, συγκεκριμένα για ένα είδος αντλιών θετικής μετατόπισης, τις παλινδρομικές – εμβολοφόρες αντλίες. Μέσω της ανάλυσης, σκοπός είναι ο αναγνώστης να κατανοήσει την αξία τους, να αντιληφθεί τον τρόπο λειτουργίας τους και να εντυπωσιαστεί πως από κάποια εξαρτήματα, είναι εφικτό να κατασκευάζεται κάτι που να έχει έναν τεράστιο αντίκτυπο στη σημερινή καθημερινότητα και να βρίσκεται παντού γύρω μας.

Κεφάλαιο 1^ο: Γενικά για τις ρευστοδυναμικές μηχανές

Ως **ρευστοδυναμικές**, θεωρούνται οι μηχανές με τις οποίες επιτυγχάνεται ανταλλαγή ενέργειας μεταξύ ενός ρευστού (αερίου ή υγρού) και ενός μηχανικού μέρους της μηχανής (στροφέιο ή έμβολο) (Πολυζάκης, 2016).

Οι ρευστοδυναμικές μηχανές βρίσκουν χρήση σχεδόν σε κάθε ανθρώπινη δραστηριότητα, ακόμα και μέσα στο ίδιο το ανθρώπινο σώμα. Η καρδιά είναι ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα ρευστοδυναμικής μηχανής, μιας βιολογικής αντλίας. Λόγω των πολλών εφαρμογών τους, οι ρευστοδυναμικές μηχανές πρέπει να ταξινομούνται σε κατηγορίες, ανάλογα με τα βασικά χαρακτηριστικά τους.

Αυτές είναι:

1. **Κινητήριες:** είναι οι ρευστοδυναμικές μηχανές στις οποίες η ροή της ενέργειας γίνεται από το ρευστό σε κάποιο μηχανικό μέρος της μηχανής και από εκεί τελικά στον άξονα της μηχανής. Οι κινητήριες διακρίνονται στις εξής υποκατηγορίες:
 - a. **Στροβιλομηχανές**
 - b. **Υδραυλικές στροβιλομηχανές**
 - c. **Εμβολοφόρες ή παλινδρομικές μηχανές**
2. **Εργομηχανές:** είναι ρευστοδυναμικές μηχανές που έχουν την ικανότητα να προσφέρουν ενέργεια στο ρευστό που ρέει μέσα απ' αυτές. Οι μηχανές αυτές παίρνουν ενέργεια από έναν κινητήρα και την προσδίδουν στο ρευστό καταναλώνοντας έργο. Οι εργομηχανές διακρίνονται στις εξής υποκατηγορίες:
 - a. **Συμπιεστής**
 - b. **Φυσητήρας**
 - c. **Έλικα**
 - d. **Ανεμιστήρας**
 - e. **Υδραυλικές εργομηχανές (αντλία, προπέλα, υδροπροωθητής)**
3. **Διατάξεις μεταβολής πίεσης-ταχύτητας:** είναι διατάξεις που δημιουργούν μεταβολή στην πίεση και την ταχύτητα εξόδου του ρευστού σε σχέση με την είσοδο, όταν διέρχεται απ' αυτές. Διακρίνονται σε:
 - a. **Ακροφύσια**
 - b. **Διαχύτες**

Επειδή συνήθως οι αντλίες και οι υδροστρόβιλοι χρησιμοποιούν αποκλειστικά ως ρευστό το νερό, θεωρείται πως αποτελούν μια ειδική κατηγορία ρευστοδυναμικών μηχανών, υπό την ονομασία **υδροδυναμικές μηχανές**.

Στις παρακάτω παραγράφους θα περιγραφούν οι βασικές αρχές για τις στροβιλομηχανές, στη συνέχεια θα εστιάσουμε σε αυτές των υδροδυναμικών μηχανών, ενώ τέλος θα δοθεί μεγαλύτερη προσοχή στις αντλίες και τα βασικά τους μεγέθη.

1.1 Βασικές αρχές στροβιλομηχανών

Οι στροβιλομηχανές διακρίνονται σε 5 μεγάλες κατηγορίες:

- αεριοστρόβιλος
- αθόδυλος και παλμικός αθόδυλος
- ατμοστρόβιλος
- πύραυλος
- αιολική μηχανή (ανεμογεννήτρια)

Για τους σκοπούς της παρούσας εργασίας, πιο σημαντική και χρήσιμη είναι η μελέτη των αεριοστροβίλων και των ατμοστροβίλων και εκεί θα εστιαστεί και η παρακάτω ανάλυση.

Αρχικά, έχουμε τους **αεριοστρόβιλους**. Πρόκειται για μια κατηγορία θερμικών μηχανών με μεγάλο τεχνολογικό ενδιαφέρον. Έχουν τεράστια εξάπλωση σε εφαρμογές όπου σημαντικότερη στην επιλογή μονάδας ισχύος είναι η ικανότητα παραγωγής μεγάλης ισχύος σε συνδυασμό με μικρό βάρος, υψηλή αξιοπιστία/διαθεσιμότητα και ικανοποιητική θερμική απόδοση. Τέτοιες εφαρμογές είναι η πρόωση ή αλλιώς προώθηση αεροπλάνων, ελικοπτέρων, πλοίων, η παραγωγή ισχύος σε αντλίες αγωγών πετρελαίου/φυσικού αερίου και φυσικά η παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος.

Οι αεριοστρόβιλοι χαρακτηρίζονται από τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

- Είναι μηχανές εσωτερικής καύσης **συνεχόμενης ροής** που συνεπάγεται μεγάλη παραγωγή ισχύος σε σχέση με το μέγεθος ή το βάρος της.

- Οι ΜΕΚ συνεχόμενης ροής χαρακτηρίζονται επίσης από την **απουσία παλινδρομικών κινήσεων**, δηλαδή απουσία αλλαγής της φοράς κίνησης των κινούμενων μερών (μειωμένη εμφάνιση δυνάμεων αδράνειας) και **ελαχιστοποίηση τριβόμενων τμημάτων** (μειωμένη κατανάλωση λιπαντικού).
- Ο βαθμός θερμικής απόδοσης του απλού θερμοδυναμικού κύκλου είναι της τάξης του 32-45%. Ανάλογα όμως και με τη διαμόρφωση, μπορεί να φτάσει σε ιδιαίτερα υψηλές τιμές, ειδικά εάν χρησιμοποιηθούν συνδυαστικά συστήματα.
- Τα καύσιμα στους αεριοστροβίλους μπορεί να είναι είτε **υγρά** όπως τα προϊόντα διύλισης του πετρελαίου και τέτοια είναι τα αεροπορικά καύσιμα και τα **αέρια** όπως είναι το φυσικό αέριο, ο αεριοποιημένος άνθρακας και το βιοαέριο.

Από την άλλη, οι αεριοστροβίλοι συνοδεύονται με συγκεκριμένα μειονεκτήματα:

- **Χαμηλή απόδοση** σε συνθήκες λειτουργίας **μερικού φορτίου/ισχύος**.
- Λειτουργία που επηρεάζεται σημαντικά από τις περιβαλλοντικές συνθήκες (θερμοκρασία, πίεση, υγρασία, ταχύτητα αέρα εισόδου), ενώ η επιρροή αυτή γίνεται πιο σημαντική όταν χρησιμοποιούνται σε αεροσκάφη.
- Σχετικά **μεγαλύτερη ειδική κατανάλωση καυσίμου** στη βασική του έκδοση, σε σχέση με προηγμένες εμβολοφόρες μηχανές εσωτερικής καύσης.
- **Μεγάλο κόστος** και **χρόνος** ανάπτυξης/κατασκευής.
- Κίνδυνος πρόκλησης σοβαρής ζημιάς, στους αεροπορικούς κυρίως, λόγω αναρρόφησης ξένων σωμάτων από την εισαγωγή του κινητήρα.

Η αρχή λειτουργίας των αεριοστροβίλων είναι η παρακάτω:

Αέρας εισέρχεται από την εισαγωγή (intake) και συμπιέζεται στον συμπιεστή (compressor) σε υψηλή πίεση. Στο θάλαμο καύσης (combustion chamber), όπου οδηγείται ο συμπιεσμένος αέρας, προστίθεται καύσιμο, το οποίο αναφλέγεται ή εκρήγνυται. Μέρος του έργου της εκτόνωσης που ακολουθεί κινεί τον στρόβιλο (compressor turbine) που με τη σειρά του περιστρέφει το συμπιεστή μέσω ενός άξονα-ατράκτου (shaft) που υλοποιεί τη μηχανική σύνδεση. Το υπόλοιπο μέρος της εκτόνωσης αποτελεί το ωφέλιμο έργο στην έξοδο του κινητήρα. Το έργο αυτό, στους αεροπορικούς κινητήρες, παίρνει τη μορφή προωθητικής ενέργειας με τη βοήθεια του

προωθητικού ακροφυσίου εξαγωγής, ενώ στους βιομηχανικούς αεριοστροβίλους μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια μέσω περιστροφικής κίνησης σε έναν στρόβιλο ισχύος.

Για να έχει νόημα η λειτουργία ενός αεριοστροβίλου, θα πρέπει η ενέργεια εκτόνωσης των καυσαερίων να υπερκαλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες του συμπιεστή και να περισσεύει ένα ικανό ποσό ενέργειας που να μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατά περίπτωση.

Μια ακόμα κατηγοριοποίηση των αεριοστροβίλων γίνεται με βάση το εάν μπορούν να ανακυκλώνουν ή όχι το εργαζόμενο μέσο (αέρας ή αέριο) κατά τη λειτουργία τους. Έτσι διακρίνονται σε **ανοιχτού** και **κλειστού** κύκλου.

Στους πρώτους, ο ατμοσφαιρικός αέρας εισέρχεται από την εισαγωγή, οδηγείται στον συμπιεστή όπου συμπιέζεται ενώ ενέργεια προστίθεται με την καύση κάποιου καυσίμου και του αέρα στον θάλαμο καύσης. Στη συνέχεια, τα καυσαέρια που δημιουργούνται εκτονώνονται στον ή στους στροβίλους ή/και στο προωθητικό ακροφύσιο και τελικά εξέρχονται στην ατμόσφαιρα. Η λειτουργία συνεχίζεται με την εισαγωγή νέας, «φρέσκιας» μάζας αέρα. Οι αεριοστροβίλοι στη συντριπτική τους πλειοψηφία είναι αυτού του τύπου.

Στη δεύτερη κατηγορία, αυτή του κλειστού κύκλου, υπάρχει μια συγκεκριμένη ποσότητα ενός αερίου που συνεχώς ανακυκλώνεται στον κινητήρα, αυξομειώνοντας τη θερμοκρασία, τον όγκο και την πίεσή του. Συνεπώς, το αέριο που βγαίνει από την εξαγωγή, και όχι τα καυσαέρια, οδηγείται και πάλι στην είσοδο του κινητήρα. Η απαιτούμενη θερμική ενέργεια παρέχεται από έναν θερμαντήρα (εναλλάκτη θερμότητας), ενώ η καύση λαμβάνει χώρα σ' ένα χωριστό, εξωτερικό καυστήρα.

Τα βασικά εξαρτήματα-συνιστώσες των αεριοστροβίλων είναι τα παρακάτω:

- τμήμα εισαγωγής (intake, IN)
- συμπιεστής (compressor, C)
- θάλαμος καύσης (combustion chamber CC)
- στρόβιλος (turbine, T)
- τμήμα εξαγωγής (exhaust nozzle, EN)
- περίβλημα (casing)
- θερμικοί εναλλάκτες (heat exchangers, HX, ή intercooler, IC)

Αφότου, εξετάσαμε περιληπτικά τους αεριοστροβίλους, κρίνεται σκόπιμο να αναφερθούμε και τους ατμοστροβίλους, την άλλη μεγάλη κατηγορία στροβιλομηχανών. Οι ατμοστρόβιλοι είναι θερμικές στροβιλομηχανές στις οποίες εκτονώνεται ατμός, παράγοντας μηχανική ενέργεια περιστροφής. Ο ατμοστρόβιλος (steam turbine, ST) παράγει ισχύ εκμεταλλευόμενος την εκτόνωση της υψηλής πίεσης υπέρθερμου ατμού έως την πίεση του συμπυκνωτή.

Γενικά, η αρχή λειτουργίας του ατμοστροβίλου είναι η παρακάτω: Ατμός εισέρχεται στα ακροφύσια εισόδου, όπου η ενέργεια πίεσης του ατμού μετατρέπεται (με ταυτόχρονη μείωση της πίεσης του ατμού) σε κινητική ενέργεια. Η ταχύτητα του ατμού αυξάνεται από 30-50 m/s σε 100-400 m/s. Στη συνέχεια, στα πτερύγια του δρομέα, η κινητική ενέργεια του ατμού, με αλλαγή κατεύθυνσης, μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια. Το φαινόμενο αυτό επαναλαμβάνεται σε κάθε πτερύγιο του δρομέα μέχρι τελικής πίεσης. Η τελική πίεση μπορεί να είναι υπερπίεση ή υποπίεση (ανάλογα αν οι ατμοστρόβιλοι είναι αντίθλιψης ή με συμπυκνωτή). Η μέση ταχύτητα του ατμού είναι 100 m/s και το τυπικό μήκος του ατμοστροβίλου είναι 10 m. Έτσι, ένα μέσο μόριο ατμού διασχίζει τη συγκεκριμένη απόσταση σε 0,1 sec. Στο συμπυκνωτή, ο εξερχόμενος από τον ατμοστρόβιλο ατμός ψύχεται και αφαιρούμενης της θερμότητας ατμοποίησης γίνεται πάλι νερό το οποίο επιστρέφει μέσω κλειστού κυκλώματος στον ατμοπαραγωγό.

Συνήθως, οι ατμοηλεκτρικοί σταθμοί βάσης χρησιμοποιούν ατμοστροβίλους πολλών επιπέδων πίεσης. Ο ατμός από τον ατμοπαραγωγό εκχύεται στον υψηλής πίεσης ατμοστρόβιλο (High Pressure, HP) και στη συνέχεια οδηγείται πάλι πίσω στον αναθερμαντήρα για να αποκτήσει την προβλεπόμενη θερμοκρασία αναθέρμανσης με μικρότερη όμως πίεση. Από τον αναθερμαντήρα, ο ατμός οδηγείται στη βαθμίδα μέσης πίεσης (Intermediate Pressure, IP), και από εκεί στον συμμετρικό ατμοστρόβιλο χαμηλής πίεσης (Low Pressure, LP) όπου και ολοκληρώνεται η εκτόνωσή του. Ο λόγος που γίνεται αυτή η διαδικασία είναι η βελτιστοποίηση της ολικής απόδοσης του ατμοστροβίλου, λαμβάνοντας υπόψη το κόστος αλλά και τις ιδιαιτερότητες κάθε εφαρμογής.

Οι ατμοστρόβιλοι κατασκευάζονται στα εργοστάσια κατασκευής τους σε τμηματική μορφή (modular) και στη συνέχεια μεταφέρονται στα εργοστάσια όπου θα

λειτουργήσουν και συναρμολογούνται. Έτσι διευκολύνεται η διατήρηση υψηλής και σταθερής ποιότητας κατασκευής, αλλά και η συντήρησή τους γίνεται ευκολότερα. Εκτέλεση εργασιών γενικής συντήρησης, τυπικά πραγματοποιείται κάθε 25.000 ώρες λειτουργίας.

Οι ατμοστρόβιλοι αποτελούνται από περιστρεφόμενες σειρές πτερυγίων, στις οποίες η διαθέσιμη πτώση ενθαλπίας, του συνεχώς παροχτευμένου ατμού μετατρέπεται σε μηχανικό έργο περιστροφής. Κάθε κινητή σειρά πτερυγίων συνοδεύεται είτε από μία σειρά από οδηγιά (ακίνητα) πτερύγια που είναι προσκολλημένα στο περίβλημα (κέλυφος) ή από ακροφύσια που έχουν σκοπό να προσάγουν τον ατμό με την επιθυμητή κατεύθυνση και ταχύτητα στην επόμενη κινητή σειρά πτερυγίων. Η κινητή σειρά μαζί με την ακίνητη (ή εναλλακτικά τα ακροφύσια) αποτελούν μια βαθμίδα (stage). Μια ή περισσότερες βαθμίδες που είναι συνδεδεμένες στον ίδιο άξονα και περιστρέφονται με την ίδια γωνιακή ταχύτητα, αποτελούν μια βαθμιδομάδα ή τύμπανο (spool). Ο ατμοστρόβιλος αποτελείται συνήθως από διάφορα τύμπανα, ανάλογα το λόγο πίεσής του. Οι κινητές σειρές πτερυγίων (κάθε τυμπάνου) είναι όλες τοποθετημένες στον ίδιο άξονα με τη στροβιλογεννήτρια, που περιστρέφεται στις 3000 ή 3600 rpm ανάλογα με την προκαθορισμένη συχνότητα του δικτύου.

Οι κύριες **παράμετροι** του ατμοστρόβιλου είναι:

- Πίεση εισόδου (λειτουργίας) και η πίεση εξόδου (back pressure). Ο λόγος πίεσης του ατμοστρόβιλου είναι πολύ υψηλός.
- Μέγιστη θερμοκρασία εισόδου.
- Παροχή μάζας ατμού εισόδου.
- Ποιότητα του ατμού εξόδου. Εάν ο ατμός που βγαίνει έχει ποσοστό υγρασίας μεγαλύτερο από 12-13% τότε εμφανίζεται διάβρωση κυρίως στις τελευταίες βαθμίδες.
- Εγκάρσια διατομή της εξαγωγής και αριθμός των τυμπάνων χαμηλής πίεσης.

Οι θερμικές στροβιλομηχανές, όπως είναι και οι ατμοστρόβιλοι, εργάζονται σε υψηλές περιφερειακές ταχύτητες, απαιτούν συνεπώς στεγανώσεις ειδικής μορφής για να επιτευχθεί στεγανότητα μεταξύ άξονα και κελύφους. Η καλύτερη λύση είναι η στεγάνωση με λαβυρίνθους, δηλαδή μια διαμόρφωση από μεγάλο αριθμό διαδοχικών διάκενων που περιορίζουν τη ροή μέσα από αυτά, ώστε να διαφεύγει μόνο ελάχιστο μέρος αυτής.

Οι ατμοστροβίλοι είναι οι στροβιλομηχανές που μπορούν να μετατρέψουν τις μεγαλύτερες ποσότητες ενέργειας. Η ισχύς τους ξεκινά από τα 50 MW και μπορεί σε πυρηνικούς σταθμούς να φτάσει μέχρι και τα 1200-1800 MW. Ακόμα, σημαντικότερος παράγοντας είναι και η διάρκεια ζωής των ατμοστροβίλων, η οποία συνήθως υπερβαίνει την 20ετία.

Οι ατμοστροβίλοι χωρίζονται σε κατηγορίες, με βάση συγκεκριμένα κριτήρια. Αυτά είναι:

1. Με βάση το εάν παρατηρείται πτώση πίεσης στην κινητή σειρά πτερυγίων της βαθμίδας, οι ατμοστροβίλοι διακρίνονται σε:
 - a. **Ισοθλιπτικοί**, όπου η παραγωγή ισχύος γίνεται με εκτόνωση του ατμού η οποία ολοκληρώνεται στο μεγαλύτερο μέρος της στην κινητή σειρά πτερυγίων σε σχεδόν ισοβαρές περιβάλλον.
 - b. **Υπερθλιπτικοί**, όπου η εκτόνωση επιμερίζεται σχεδόν ισομερώς σε ακίνητη και κινητή σειρά πτερυγίων.
2. Με βάση τη δύναμη που δίνει ώθηση στο στροφέιο:
 - a. **Ατμοστροβίλοι δράσης**, όπου ο ατμός περνά πρώτα από τα ακροφύσια όπου εκτονώνεται και ένα μέρος της δυναμικής του ενέργειας μετατρέπεται σε κινητική, οπότε και η θερμοκρασία και η πίεσή του ελαττώνεται ενώ αυξάνει αντίστοιχα η ταχύτητά του. Με την μεγάλη ταχύτητα που αποκτά έτσι, ο ατμός «δρα» με ορμή πάνω στα πτερύγια του τροχού και προκαλεί την περιστροφή του κατά την έννοια του βέλους. Έτσι, παράγεται το έργο της δράσης. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι ατμοστροβίλοι Laval, Curtis και Rateau
 - b. **Ατμοστροβίλοι αντίδρασης**, όπου ο ατμός διέρχεται πρώτα από τα σταθερά πτερύγια. Εκεί εκτονώνεται, όπως περίπου και στα ακροφύσια, με αποτέλεσμα να ελαττωθούν πάλι η θερμοκρασία και η πίεσή του και να αυξηθεί η ταχύτητά του. Στη συνέχεια, εισέρχεται στα αυλάκια των κινητών πτερυγίων ενός τυμπάνου, όπου και παράγει ένα ποσό έργου δράσης περιστρέφοντας το στροφέιο κατά την έννοια του βέλους. Λόγω όμως του ειδικού σχήματος των κινητών πτερυγίων αντίδρασης εκτονώνεται πάλι μέσα στα συγκλίνοντα αυλάκια τους, οπότε ελαττώνεται πάλι η θερμοκρασία και η πίεσή του, ενώ η ταχύτητα αυξάνει. Ταυτόχρονα, λόγω της εκτόνωσης αυτής, παράγεται

μια δύναμη που έχει κατεύθυνση αντίθετη από αυτή με την οποία εξέρχεται από τα κινητά πτερύγια. Αυτή είναι η δύναμη αντίδρασης που περιστρέφει και αυτή το στροφέιο κατά την ίδια έννοια του βέλους. Έτσι, παράγεται το έργο αντίδρασης.

- c. **Στους ατμοστρόβιλους καθαρής αντίδρασης**, ατμοστρόβιλοι έχουν καθαρά θεωρητικό υπόβαθρο μόνο. Ατμοστρόβιλος αυτής της κατηγορίας είναι ο Parsons.

1.2 Υδροδυναμικές μηχανές

Στις υδροδυναμικές μηχανές εντάσσονται οι υδροστρόβιλοι και οι αντλίες, καθώς είναι μηχανές που έχουν ως βασικό εργαζόμενο ρευστό το νερό.

Για να μπορέσουμε να εντρυφήσουμε πλήρως στις υδροδυναμικές μηχανές, θα πρέπει πρώτα να καταπιαστούμε και με το υδατικό δυναμικό, αυτό δηλαδή που κάνει τις συγκεκριμένες μηχανές χρήσιμες για τον άνθρωπο.

Είτε πρόκειται για υδρομηχανικές ή υδροηλεκτρικές εφαρμογές μικρής/μεγάλης κλίμακας, η μελέτη του υδατικού δυναμικού αποτελεί το πρώτο και βασικό στάδιο για την εκμετάλλευσή του. Το υδατικό δυναμικό κατηγοριοποιείται σε θεωρητικό, διαθέσιμο, τεχνολογικό και οικονομικά εκμεταλλεύσιμο.

Η εκμετάλλευση του υδατικού δυναμικού, για την παραγωγή ισχύος, μπορεί να γίνει στα σημεία όπου υπάρχει ικανή παροχή νερού με σημαντική μηχανική ενέργεια, δηλαδή κινητική ενέργεια κατά μήκος ενός ποταμού ή δυναμική ενέργεια σε έναν ταμιευτήρα.

Ο **υδρολογικός κύκλος** και το ανάγλυφο μιας περιοχής μπορεί να δημιουργούν κατάλληλες συνθήκες για την εκμετάλλευση της κινητικής και δυναμικής ενέργειας του ύδατος. Το νερό της ατμόσφαιρας φτάνει στην επιφάνεια της Γης ως βροχόπτωση ή χιονόπτωση. Ένα μέρος του νερού εξατμίζεται, ενώ το μεγαλύτερο μέρος απορροφάται από το έδαφος ή συσσωρεύεται επιφανειακά σε θάλασσες, λίμνες, ποτάμια. Η εξάτμιση από τη θάλασσα αλλά και από την υγρασία της ξηράς δημιουργεί τα σύννεφα και έτσι κλείνει ο κύκλος του νερού. Είναι φανερό άρα ότι ο ρόλος του ήλιου είναι καθοριστικός στη δημιουργία του υδρολογικού κύκλου.

Τα υδρολογικά δεδομένα είναι πολύ σημαντικά για την κατασκευή υδροηλεκτρικών συστημάτων, σημαντικό μέρος των οποίων είναι οι υδροστρόβιλοι. Είναι εδώ και αιώνες φανερή η αξία της μετατροπής της δυναμικής ενέργειας του νερού σε κινητική ενέργεια μέσω υδροστροβίλων και από εκεί σε ηλεκτρική ενέργεια με τη βοήθεια γεννήτριας.

Τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια θεωρούνται γενικά μέρος των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ), λόγω της μη έκλυσης ρύπων κατά τη λειτουργία τους. Όμως, έχει επικρατήσει τα μεγάλα υδροηλεκτρικά εργοστάσια να μη θεωρούνται ανανεώσιμες πηγές ενέργειας παρά μόνο τα μικρής ονομαστικής ισχύος (< 15 MW). Αυτό γίνεται γιατί σε μεγάλα υδροηλεκτρικά γίνονται εκτεταμένες παρεμβάσεις για τη δημιουργία ταμιευτήρων με αποτέλεσμα την αλλοίωση του φυσικού περιβάλλοντος. Όμως, ακόμα και αυτή η εκτεταμένη αλλοίωση, μπορεί να μελετηθεί, σχεδιαστεί και κατασκευαστεί προσεκτικά και με σεβασμό στο περιβάλλον. Έτσι, μπορεί να υπάρχουν θετικές συνέπειες στην ευρύτερη περιοχή του εργοστασίου (π.χ. δημιουργία τεχνικού υδροβιότοπου, χώροι υδάτινων αθλητικών και ψυχαγωγικών δραστηριοτήτων κ.λπ.).

Τα υδροηλεκτρικά συστήματα είναι επί της ουσίας υδροδυναμικά συστήματα που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια εκμεταλλευόμενα τη μηχανική (κινητική και δυναμική) ενέργεια του νερού.

Ας εστιάσουμε τώρα στο μέρος των ΥΗΣ που είναι πιο σημαντικό, δηλαδή τους **υδροστρόβιλους**.

Ο υδροστρόβιλος αποτελεί τη βασικότερη μονάδα κάθε υδροηλεκτρικού συστήματος καθώς αναλαμβάνει να μετατρέψει τη μηχανική ενέργεια του νερού σε περιστροφική άξονα. Η ενέργεια μεταφέρεται από το ρεύμα του νερού με το οποίο έρχεται σε επαφή σε κατάλληλα διαμορφωμένες υδροδυναμικές επιφάνειες (σκαφίδια ή πτερύγια).

Η επιλογή του τύπου και του μεγέθους του υδροστροβίλου γίνεται με σκοπό την επίτευξη του βέλτιστου βαθμού απόδοσης, γεγονός που οδηγεί στη μέγιστη παραγωγή ισχύος και στην εκμετάλλευση όσο μεγαλύτερης παροχής είναι οικονομικά συμφέρουσα σε σχέση με την καμπύλη διάρκειας παροχής. Η κύρια παράμετρος σχεδιασμού ενός υδροστροβίλου είναι η **ονομαστική παροχή** του. Για τη βελτιστοποίηση του συνολικού βαθμού απόδοσης του έργου χρησιμοποιούνται

πολλές φορές πάνω από ένας υδροστροβίλοι ώστε κάθε φορά να επιλέγεται η λειτουργία που παρέχει συνδυαστικά τον καλύτερο βαθμό απόδοσης.

Οι υδροστροβίλοι, ανάλογα με τον **τρόπο παραλαβής** της ενέργειας του νερού, διακρίνονται σε:

- **Υδροστροβίλους δράσης (τύπου Pelton)**
- **Υδροστροβίλους αντίδρασης (τύπου Kaplan, Francis)**

Στους υδροστροβίλους αντίδρασης η παραγωγή ισχύος οφείλεται κυρίως στη δυναμική ενέργεια και λιγότερο στην κινητική που διαθέτει το νερό σε αντίθεση με τους υδροστροβίλους δράσης που εκμεταλλεύονται τη μοναδική ενέργεια που διαθέτει το νερό λίγο πριν την πρόσπτωσή του στον υδροστροβίλο και αυτή είναι η κινητική.

Οι υδροστροβίλοι, ανάλογα με το **διαθέσιμο ύψος πτώσης** χρησιμοποιούνται:

1. Για μεγάλες τιμές της υδραυλικής πτώσης ($H > 500\text{m}\Sigma\text{Y}$) χρησιμοποιείται συνήθως ο υδροστροβίλος δράσης τύπου Pelton.
2. Για μεσαίες τιμές της υδραυλικής πτώσης ($50\text{m}\Sigma\text{Y} < H < 500\text{m}\Sigma\text{Y}$) έχει επικρατήσει ο υδροστροβίλος αντίδρασης τύπου Francis.
3. Για μικρές τιμές της υδραυλικής πίεσης ($H < 50\text{m}\Sigma\text{Y}$) χρησιμοποιείται κυρίως ο υδροστροβίλος αντίδρασης τύπου Kaplan.

Οι υδροστροβίλοι, ανάλογα με τον **βαθμό αντιδράσεως** διακρίνονται σε:

- **Αντίδρασης ή ολικής προσβολής**, όπου ολόκληρο το στροφέιο λειτουργεί αξονοσυμμετρικά. Οι υδροστροβίλοι αυτοί έχουν βαθμό αντιδράσεως διαφορετικό του μηδενός, δηλαδή η ροής δια μέσου του στροφείου γίνεται με ταυτόχρονη μεταβολή της στατικής πίεσης και γι' αυτό τα στροφεία τους είναι ολικής προσβολής, δηλαδή λειτουργούν ομοιόμορφα κατά την περιφερειακή διεύθυνση.
- **Δράσεως**, οι οποίοι είναι μερικής προσβολής και σε κάθε χρονική στιγμή τμήμα μόνο του στροφείου συμμετέχει στην ενεργειακή μετατροπή.

Ανάλογα με τον προσανατολισμό του άξονα περιστροφής του υδροστροβίλου, διακρίνονται σε **οριζοντίου** και **κατακόρυφου** άξονα περιστροφής.

Και τέλος, ανάλογα με τη **διεύθυνση ροής του νερού στον υδροστροβίλο**, διακρίνονται σε εφαπτομενικής ροής (Pelton), αξονικής ροής (Kaplan), ακτινικής ροής (Francis) και μικτής ροής (Francis).

Έχοντας αναφέρει κάποια σημαντικά στοιχεία για τους υδροστροβίλους, το ενδιαφέρον πλέον θα εστιάσει σχεδόν κατ' αποκλειστικότητα στις αντλίες, οι οποίες θα αποτελέσουν και αντικείμενο μελέτης των παρακάτω κεφαλαίων.

Αντλίες, ονομάζονται οι ρευστοδυναμικές μηχανές που χρησιμοποιούνται για να μεταφέρουν, να ανυψώσουν ή να συμπιέσουν υγρά προσθέτοντας ταυτόχρονα σε αυτά ενέργεια. Όταν μια αντλία λειτουργεί, μετατρέπει τη διαθέσιμη σε αυτή μηχανική ενέργεια, σε δυναμική ή κινητική ενέργεια στο υγρό που μεταφέρει.

Η ισχύς που καταναλώνει μια αντλία για τη μεταφορά του υγρού εξαρτάται από τους εξής παράγοντες:

- ύψος που πρέπει να ανυψωθεί το υγρό
- μήκος και διάμετρος αγωγού
- επιθυμητή παροχή
- πίεση με την οποία απαιτείται να παραδοθεί το υγρό
- φυσικές ιδιότητες του υγρού, κυρίως πυκνότητα και ιξώδες

Τα υγρά που μεταφέρονται με μια αντλία παρουσιάζουν μια μεγάλη ποικιλία ως προς τις φυσικές ιδιότητές τους. Μπορεί να έχουμε ρευστά χαμηλού ή υψηλού ιξώδους, μη-νευτώνεια ρευστά ή ρευστά δύο ή περισσότερων φάσεων.

Οι αντλίες βρίσκουν πολλές εφαρμογές στη βιομηχανία:

- πετροχημική βιομηχανία (εξόρυξη, διύλιση, μεταφορά υδρογονανθράκων)
- ηλεκτροπαραγωγή (ατμοηλεκτρικά εργοστάσια)
- χημική βιομηχανία

Στα μέσα μεταφοράς:

- τροφοδοσία καυσίμου
- ψύξη με ψυκτικό υγρό
- λίπανση με ορυκτέλαια των μηχανών εσωτερικής καύσης

Στην πυρόσβεση:

- πυροσβεστικά οχήματα
- πυροσβεστικά πλοίαρια
- πυροσβεστικά ελικόπτερα

Στον αγροτικό τομέα:

- γεωτρήσεις
- αρδεύσεις

Οικιστική και οικιακή χρήση:

- αντλιοστάσια για προμήθεια και επεξεργασία πόσιμου νερού
- δίκτυα τηλεθέρμανσης/τηλεψύξης
- σιντριβάνια
- διακίνηση νερού από πηγάδια, δεξαμενές ή δοχεία
- ανύψωση της πίεσης για παροχή νερού στα κτίρια
- εγκαταστάσεις πυρόσβεσης
- εγκαταστάσεις θέρμανσης (για παράδειγμα μεταφορά θερμού νερού από το λέβητα στα θερμαντικά σώματα και τροφοδοσία λεβήτων με πετρέλαιο)

Εξαιτίας της ευρείας χρήσης τους έχουν αναπτυχθεί διάφορα είδη αντλιών, το κάθε είδος των οποίων έχει καλύτερη εφαρμογή για συγκεκριμένη χρήση και υγρό.

Κάθε κατασκευαστής αντιμετωπίζει μια δεδομένη απαίτηση με λίγο διαφορετικό τρόπο από κάποιον ανταγωνιστή του και προβάλλει την υπεροχή, του δικού του προϊόντος. Έτσι, δημιουργείται μια ατελείωτη σειρά από νέα είδη αντλιών. Σε αυτό προφανώς συμβάλλει και η εξέλιξη της τεχνολογίας των υλικών που δίνει συνεχώς βελτιωμένα υλικά και εξαρτήματα.

Γενικά, οι αντλίες ταξινομούνται σε κατηγορίες με βάση ορισμένα κριτήρια. Κάθε αντλία μπορεί να ανήκει σε διαφορετικές κατηγορίες που προκύπτουν από συνδυασμό δύο ή περισσότερων κριτηρίων ταξινόμησης. Έτσι, μια αντλία χαρακτηρίζεται με όλο και μεγαλύτερη λεπτομέρεια. Παρ' όλα αυτά, το θεμελιώδες κριτήριο ταξινόμησης είναι η αρχή λειτουργίας.

Με βάση την αρχή λειτουργίας τους, οι αντλίες ταξινομούνται ως εξής:

Δυναμικές	Θετικής Μετατόπισης	Πνευματικές	Ανέλκυσης
Φυγόκεντρες (ακτινικής, μικτής ροής)	Παλινδρομικές	Θαλάμου πίεσης	Πρόσφυσης
Αξονικής ροής	Περιστροφικές	Ανύψωσης με αέρα	Με ανυψωτικό τροχό
Στροβιλαντλίες		Εγγυτήρες αερίου (τζιφάρια)	Με ατέρμονη αλυσίδα
			Με ανοιχτή έλικα

Πίνακας 1: Ταξινόμηση των αντλιών με βάση την αρχή λειτουργίας τους

Δυναμικές αντλίες: Η αρχή λειτουργίας αυτής της κατηγορίας αντλιών βασίζεται στην αλλαγή της κινητικής κατάστασης του υγρού και τη μετατροπή της κινητικής του ενέργειας σε στατική πίεση. Τα χαρακτηριστικά τους είναι τα ακόλουθα:

- Καλή απόδοση, μικρός όγκος και βάρος
- Εύκολη σύνδεση με διάφορους τύπους κινητήρων
- Συνεχή και ομοιόμορφη περιστροφική κίνηση με μικρό αριθμό κινούμενων μερών
- Σταθερή πίεση και παροχή στην έξοδο
- Ρυθμιζόμενη παροχή
- Μικρό κόστος κτήσης και λειτουργίας

Αντλίες θετικής μετατόπισης: Η αρχή λειτουργίας αυτής της κατηγορίας αντλιών βασίζεται στην παραλαβή του υγρού από το σωλήνα αναρροφήσεως και τη μετατόπιση του προς το σωλήνα καταθλίψεως με κάποιο είδος κινούμενου εμβόλου ή διαφράγματος ή οδόντωσης που κινείται μέσα σε κύλινδρο ή ειδικό περίβλημα. Η μετατόπιση του υγρού είναι εξαναγκασμένη ανεξάρτητα από την υδραυλική αντίσταση των σωλήνων μεταφοράς του.

Πνευματικές αντλίες: Η αρχή λειτουργίας αυτής της κατηγορίας αντλιών βασίζεται στη μετάδοση ενέργειας του υγρό από τον αέρα (ή κάποιο άλλο αέριο όπως ο ατμός) που έρχεται σε άμεση επαφή με το υγρό που απαιτείται να μεταφερθεί.

Αντλίες ανέλκυσης: Η αρχή λειτουργίας αυτής της κατηγορίας αντλιών βασίζεται στο ότι δεν αναπτύσσουν πίεση στο υγρό, απλώς το ανυψώνουν σαν ανελκυστήρας από μια χαμηλότερη σε μια υψηλότερη στάθμη. Χρησιμοποιήθηκαν στο παρελθόν, κυρίως για αρδεύσεις.

Άλλη μια σημαντική ταξινόμηση των δυναμικών αντλιών και αυτών της θετικής μετατόπισης έχει να κάνει με τα χαρακτηριστικά κατασκευής τους. Ειδικά για τις δυναμικές αντλίες, το ενδιαφέρον από την πλευρά της περαιτέρω κατάταξης – υποδιαίρεσης θα μονοπωλήσουν οι φυγοκεντρικές αντλίες και οι ελικοειδείς αντλίες μικτής ροής που συγκεντρώνουν και το πλείστο της ποικιλομορφίας.

ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΤΗ ΜΟΡΦΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΛΗΜΑΤΟΣ	ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΤΟ ΕΙΔΟΣ ΤΗΣ ΕΙΣΟΔΟΥ	ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΤΟ ΕΙΔΟΣ ΤΗΣ ΠΤΕΡΩΤΗΣ
Με περίβλημα σταθερών πτερυγίων	Απλής εισόδου	Κλειστής πτερωτής
Με σπειροειδές περίβλημα	Διπλής εισόδου	Ανοιχτής πτερωτής
Με περίβλημα μικτού τύπου		Ημίκλειστης πτερωτής

Πίνακας 2: Ταξινόμηση των αντλιών με βάση τα χαρακτηριστικά κατασκευής τους

1.3 Βασικά μεγέθη αντλιών

Έχοντας δώσει τα βασικά, πρώτα, χαρακτηριστικά και ονομασίες για τις αντλίες, κρίνεται πλέον σκόπιμο να προβούμε σε παράθεση των βασικών μεγεθών για τις αντλίες και των υγρών που τις εγχέουν.

Ας δοθούν εξ’ αρχής κάποιες βασικές έννοιες για τη συνέχεια. Ως προς το **ασυμπίεστο** των υγρών παρατηρούμε ότι χρειάζεται να ασκηθεί πολύ μεγάλη δύναμη

για να επιτευχθεί αντίστοιχη πολύ μικρή μείωση του όγκου των υγρών, ενώ μόλις παύσει να ενεργεί η πιέζουσα δύναμη, το υγρό επανέρχεται στον αρχικό του όγκο. Άρα, τα υγρά από άποψη όγκου, είναι τελείως ελαστικά. Σε παχύρρευστα υγρά όπως π.χ. το λάδι, αλλά και σε πολύ μικρές ποσότητες των υγρών γενικά, εμφανίζεται αντίσταση στη μεταβολή του σχήματός τους, ώστε να τείνουν να λάβουν σφαιρικό σχήμα (σταγόνες). Αυτό γίνεται γιατί εμφανίζονται δράσεις και άλλων δυνάμεων, όπως των δυνάμεων συνοχής (μεταξύ των μορίων του υγρού) και συνάφειας (μεταξύ των μορίων του υγρού και του δοχείου). Η ιδιότητα των υγρών να αντιδρούν στις πιεστικές τάσεις έχει μερική επίδραση στο φαινόμενο της απότομης μεταβολής της κινητικής κατάστασης του υγρού, όπως το **υδραυλικό πλήγμα** που προκαλείται για παράδειγμα 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 του υγρού.

Με τον όρο **πίεση** εννοούμε το πηλίκο της δύναμης που ενεργεί κάθετα και ομοιόμορφα πάνω σε μια επιφάνεια δια του εμβαδού αυτής της επιφάνειας, δηλαδή:

$$P = \frac{F}{A} \text{ (Pa)}$$

Το μίγμα των αερίων που αποτελούν την ατμόσφαιρα της Γης, ως υλικό σώμα που είναι, έχει βάρος. Το βάρος αυτό της ατμόσφαιρας συνιστά δύναμη, η οποία ενεργεί πάνω στις επιφάνειες των πραγμάτων που βρίσκονται εντός της Γης. Έχουμε, επομένως, μια πίεση που οφείλεται στην ατμόσφαιρα, την **ατμοσφαιρική πίεση P_{atm}** . Η τιμή της ατμοσφαιρικής πίεσης σε έναν τόπο εξαρτάται από το υψόμετρο του τόπου και από τις καιρικές συνθήκες.

Μανομετρική πίεση είναι η διαφορά πίεσης από την αντίστοιχη ατμοσφαιρική σε μια θέση. Η μανομετρική πίεση μπορεί να είναι είτε θετική είτε αρνητική, αν στην υπόψη θέση είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη από την ατμοσφαιρική πίεση αντίστοιχα. Λέγεται μανομετρική, γιατί είναι η πίεση την οποία μετρά ένα ειδικό όργανο μέτρησης πιέσεων, το μανόμετρο.

Απόλυτη πίεση είναι το άθροισμα της μανομετρικής και της ατμοσφαιρικής πίεσης.

Αποδεικνύεται θεωρητικά και επαληθεύεται πειραματικά ότι μέσα στη μάζα μιας ποσότητας υγρού, γενικότερα ενός ρευστού, που είναι σε κατάσταση ισορροπίας,

ασκούνται δυνάμεις. Αυτό μπορούμε να το διαπιστώσουμε εύκολα αν αφαιρέσουμε οτιδήποτε εμποδίζει τη δύναμη να δράσει. Ανοίγοντας π.χ. μια τρύπα σε δοχείο με υγρό, το υγρό εκρέει, έχουμε δηλαδή κίνηση και άρα υπάρχει δύναμη. Παρατηρούμε επίσης ότι στο σημείο εκροής, η διεύθυνση κίνησης του υγρού είναι κάθετη στην επιφάνεια του δοχείου. Αφού λοιπόν υπάρχει δύναμη F μέσα στη μάζα του υγρού, τότε, σε κάθε νοητή επιφάνεια με ένα εμβαδόν A , θα έχουμε και μία πίεση που υπολογίζεται από την παραπάνω σχέση πίεσης. Αυτή η πίεση, θα λέγεται **υδροστατική πίεση**.

Έστω τώρα μια ποσότητα υγρού, που είναι μέσα σε ένα δοχείο και βρίσκεται σε ηρεμία. Αφού το υγρό ισορροπεί, τότε η ελεύθερη επιφάνειά του θα είναι οριζόντια. Μπορούμε, επομένως να φανταστούμε ότι η μάζα, του υγρού είναι διατεταγμένη κατά λεπτά στρώματα και όλα τα υπερκείμενα πιέζουν τα υποκείμενα, λόγω του βάρους τους. Άρα, η πίεση αυξάνει, όσο αυξάνει το βάρος. Τότε, εάν ανοίξουμε μερικές τρύπες στο δοχείο, ίσου μεγέθους, θα διαπιστώσουμε ότι από τις χαμηλότερες τρύπες εκτινάσσεται μακρύτερα το υγρό. Αυτό σημαίνει πως όσο χαμηλότερα βρίσκεται η τρύπα τόσο μεγαλύτερη είναι η αρχική ταχύτητα εκροής του υγρού, γεγονός που συνεπάγεται και μεγαλύτερη πίεση. Η **θεμελιώδης πρόταση της υδροστατικής** εκφράζει τη μεταβολή της πίεσης με το βάθος: Η διαφορά πιέσεων μεταξύ δύο σημείων μέσα στη μάζα υγρού σε ηρεμία, ισούται αριθμητικά, με το βάρος στήλης υγρού που έχει βάση τη μονάδα επιφανείας και ύψος την κατακόρυφη απόσταση μεταξύ αυτών των σημείων.

$$P_A - P_B = h * \rho$$

Η κυριότερη φυσική ιδιότητα που χαρακτηρίζεται ως μηχανική συμπεριφορά των πραγματικών υγρών είναι το ιξώδες. Το ιξώδες εκφράζει την εσωτερική αντίσταση (τριβή) του υγρού καθώς ένα στρώμα του υγρού κινείται σχετικά με το γειτονικό του στρώμα. Όσο ισχυρότερη είναι η συνοχή των μορίων (παχύρευστο υγρό), τόσο μεγαλύτερο είναι το **ιξώδες**. Είναι γνωστό ότι στα υγρά η αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί μείωση της συνοχής των μορίων. Επομένως το ιξώδες μειώνεται με αύξηση της θερμοκρασίας. Το αντίθετο γίνεται για τα αέρια. Ο Newton διατύπωσε την παρακάτω εξίσωση για ορισμένο υγρό, το οποίο υπόκειται σε διατμητική τάση μεταξύ δύο επιπέδων:

$$F = \mu * A * \frac{V}{h}$$

όπου μ είναι το **δυναμικό ιξώδες**. Επειδή όμως το ιξώδες μετράται με τα τριχοειδή ιξωδόμετρα, είναι συνάρτηση της πυκνότητας του υγρού, άρα έχει καθοριστεί και το μέγεθος του **κινηματικού ιξώδους ν** . Αυτό είναι:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

Η ροή μέσα σε μια αντλία μπορεί να είναι **στρωτή** (laminar) για χαμηλές ταχύτητες, ενώ όσο αυξάνει η ταχύτητα, η ροή γίνεται **τυρβώδης** (turbulent). Εμπειρική σχέση για τον καθορισμό του είδους της ροής δίνεται από τον Reynolds, ο οποίος έβγαλε τον αδιάστατο αριθμό Reynolds, ο οποίος υπολογίζεται από τη σχέση:

$$Re = \frac{\rho * d * u}{\mu} = \frac{d * u}{\nu}$$

Όταν ο αριθμός Re είναι μικρότερος του 2300, τότε έχουμε στρωτή ροή. Όταν ξεπεράσει σε τιμή το 2800 τότε έχουμε ξεκάθαρα τυρβώδη ροή, ενώ στις ενδιάμεσες τιμές βρισκόμαστε σε μεταβατική περιοχή.

Στα υγρά, είτε αυτά είναι κινούμενα είτε σε ηρεμία, υπάρχει αποθηκευμένη ενέργεια. Η ενέργεια αυτή είναι τριών ειδών:

- **Δυναμική ενέργεια**, που οφείλεται στη θέση του υγρού. Έστω μάζα υγρού m που βρίσκεται σε ύψος z από μια στάθμη αναφοράς, τότε η δυναμική ενέργεια της m θα είναι $U = m * g * z$
- **Κινητική ενέργεια**, που οφείλεται στην κίνηση μάζας m του υγρού και είναι $K = 1/2 * m * u^2$
- **Πιεζομετρική ενέργεια**, που οφείλεται στην ένδειξη του μανομέτρου h σε ένα σωλήνα που τον διαρρέει υγρό. Για μάζα m του υγρού, η πιεζομετρική ενέργεια είναι $E_{\text{πιεζ}} = m * g * h$

Το άθροισμα αυτών των ενεργειών δίνει την **ολική ενέργεια** δοσμένης ποσότητας m του υγρού.

Εάν οι παραπάνω ενέργεια διαιρεθούν με το βάρος του υγρού μάζας m ($B = m * g$), τότε προκύπτει η ολική ενέργεια ανά μονάδα βάρους, η οποία ονομάζεται και ολικό ύψος (έχει μονάδες m).

Αυτό θα είναι: $h = \frac{P}{\rho g} + \frac{u^2}{2g} + z$.

Η συγκεκριμένη ποσότητα θα πρέπει να παραμένει σταθερή για ένα ιδανικό υγρό που δεν παρουσιάζει απώλειες τριβών. Αυτό μας δίνει έτσι τον **Νόμο του Bernoulli**.

Αφού παρουσιάστηκαν κάποια θεωρητικά μεγέθη, είναι δόκιμο πλέον να αναλυθούν και τα λειτουργικά μεγέθη των αντλιών. Αυτά είναι τα παρακάτω:

Παροχή όγκου ή ογκομετρική παροχή Q της αντλίας ονομάζεται ο χρήσιμος όγκος υγρού που αποδίδεται στο στόμιο κατάθλιψης της αντλίας στη μονάδα του χρόνου. Οι διαρροές και ο όγκος υγρού που χρησιμοποιείται για εξισορρόπηση δεν αποτελούν μέρος της παροχής.

Ονομαστική παροχή Q_{nom} : είναι η παροχή για την οποία η αντλία ζητείται και ισχύει για λειτουργία με την ονομαστική ταχύτητα n_{nom} , στο ονομαστικό ολικό ύψος H_{nom} και για αντλούμενο υγρό των προδιαγραφών του κατασκευαστή.

Ελάχιστη παροχή Q_{min} : είναι η ελάχιστη επιτρεπτή παροχή με την οποία η αντλία μπορεί να λειτουργεί συνεχώς, χωρίς κίνδυνο βλάβης.

Μέγιστη παροχή Q_{max} : είναι η μέγιστη επιτρεπτή παροχή με την οποία η αντλία μπορεί να λειτουργεί συνεχώς, χωρίς κίνδυνο βλάβης.

Βέλτιστη παροχή Q_{opt} : είναι η παροχή στο σημείο μέγιστης απόδοσης στις ονομαστικές στροφές και για το υγρό της προδιαγραφής.

Παροχή μάζας μιας αντλίας δίνεται από τη σχέση: $\dot{m} = \rho * Q$. Καθορίζεται από το μέγεθος της αντλίας, την ταχύτητα του περιστρεφόμενου ή παλινδρομούντος στοιχείου της και από το δίκτυο.

Ολικό μανομετρικό ύψος αντλίας H: ονομάζεται η χρήσιμη μηχανική ενέργεια που μεταδίδεται από την αντλία στη μονάδα βάρους του υγρού και είναι:

$$H = \frac{P_d - P_s}{\rho g} + \frac{u_d^2 - u_s^2}{2g} + z_d - z_s$$

όπου με d συμβολίζονται τα μεγέθη στην κατάθλιψη και με s τα μεγέθη στην αναρρόφηση.

Η ισχύς που μεταβιβάζει ο κινητήρας στον άξονα της αντλίας ονομάζεται **εισερχόμενη ισχύς $\dot{W}_{in} = (\rho * g * Q * H) / \eta$**

Αποδιδόμενη ισχύς \dot{W}_{out} της αντλίας είναι η ισχύς που μεταβιβάζεται από το στροφείο στο υγρό παροχής Q και δίνεται από τη σχέση: $W_{out} = \rho * g * H * Q$

Η διαφορά των \dot{W}_{out} και \dot{W}_{in} είναι ίση με \dot{W}_f και είναι η απαιτούμενη ισχύς για την υπερνίκηση τριβών μεταξύ του νερού και του στροφείου, διαρροές, στροβιλισμούς και απώλειες διάκενων καθώς και τις μηχανικές τριβές, που εκδηλώνεται υπό μορφή θερμικής ενέργειας.

Η ονομαστική ισχύς του κινητήρα \dot{W}_{nom} είναι μεγαλύτερη από την εισερχόμενη ισχύ της αντλίας κατά ένα ποσοστό που λέγεται περιθώριο ασφαλείας και κατά τις απώλειες της μετάδοσης κίνησης (εάν αυτές υπάρχουν) από τον κινητήρα στην αντλία. Το περιθώριο ασφαλείας κυμαίνεται μεταξύ 10-30% και είναι μεγαλύτερο στις μικρές αντλίες και μικρότερο στις μεγάλες.

Ο **ολικός βαθμός απόδοσης αντλίας η** είναι ο λόγος της αποδιδόμενης ισχύος προς την εισερχόμενη ισχύ και δίνεται από τη σχέση: $\eta = \frac{W_{out}}{W_{in}}$. Οι απώλειες που υπάρχουν στο σύστημα μετάδοσης ισχύος ή στο μειωτήρα δε θεωρούνται σαν απώλειες της αντλίας.

Κεφάλαιο 2^ο: Ανάλυση παλινδρομικών – εμβολοφόρων αντλιών

Παλινδρομικές ή αλλιώς εμβολοφόρες, ονομάζονται οι αντλίες οι οποίες μετατρέπουν τη μηχανική ενέργεια σε υδραυλική (ή ενέργεια πίεσης) αναρροφώντας υγρό μέσα σε έναν ή περισσότερους κυλίνδρους, μέσα στον καθένα από τους οποίους ένα έμβολο εκτελεί παλινδρομική κίνηση (κινείται προς τα πίσω και προς τα εμπρός). Η κίνηση του εμβόλου άλλοτε δημιουργεί την εισροή ή την αναρρόφηση του υγρού μέσα στο κύλινδρο, ενώ σε άλλες περιπτώσεις έχουμε εξώθηση ή κατάθλιψη έξω απ' αυτόν. Οι παλινδρομικές αντλίες είναι απλές, ισχυρές, έχουν μεγάλη ικανότητα αναρρόφησης, δηλαδή μπορούν να δημιουργήσουν μεγάλο κενό και μπορούν να αναπτύξουν μεγάλες πιέσεις στην κατάθλιψη. Ωστόσο, ένα μειονέκτημα τους είναι η ταχύτητα εκφόρτωσης, διότι έχουν την ικανότητα για μικρή παροχή και γι' αυτό το λόγο, τη σημερινή εποχή χρησιμοποιούνται μόνο σε ειδικά παχύρευστα φορτία ή σαν βοηθητικές για την αποστράγγιση δεξαμενών, δηλαδή σε εργασίες που δεν μπορούν να πραγματοποιήσουν οι κύριες αντλίες (που είναι συνήθως οι φυγοκεντρικές). Ακόμα, σε μια εγκατάσταση ανάλογα με το σύστημα που έχει, οι παλινδρομικές αντλίες μπορούν να βοηθήσουν τις φυγοκεντρικές στα τελευταία στάδια της εκφόρτωσης, δηλαδή όταν σε μια δεξαμενή η στάθμη του φορτίου είναι σε πολύ χαμηλό επίπεδο και οι φυγοκεντρικές δεν έχουν την ικανότητα να το αναρροφήσουν.

Οι εμβολοφόρες αντλίες περιλαμβάνουν το **σώμα των κυλίνδρων** (cylinder body), ενώ κάθε κύλινδρος περιλαμβάνει το **χιτώνιο** (cylinder liner), το **καπάκι** (cylinder head), το **έμβολο** (piston) και τις **βαλβίδες** (valves), μέσω των οποίων επιτυγχάνεται η μετακίνηση του ρευστού. Συνήθως σε μικρού μεγέθους αντλίες μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι το σώμα μιας αντλίας μπορεί να αποτελεί το χώρο όπου παλινδρομεί το έμβολο χωρίς να είναι απαραίτητη η ύπαρξη ιδιαίτερου χιτωνίου. Ο κινητήριος μηχανισμός δίνει την ενέργεια για να λειτουργήσει η αντλία. Αναλόγως με το τρόπο της μετάδοσης της κίνησης, διαθέτουν και **βάκτρο**, το οποίο συνδέεται άμεσα με τον κινητήριο μηχανισμό, για παράδειγμα ένα κύλινδρο ατμού ή διωστήρα με τριβείς (κουζινέτα) και στρόφαλο όταν ο στρόφαλος κινεί το έμβολο. Οι εμβολοφόρες αντλίες τις περισσότερες φορές δεν κατασκευάζονται για συγκεκριμένες εφαρμογές αλλά χρησιμοποιούνται σε ευρύ φάσμα εφαρμογών υπό ορισμένες λειτουργικές συνθήκες.

Παρακάτω παρουσιάζουμε κάποια βασικά μέρη των εμβολοφόρων αντλιών.

Στο κύλινδρο με το χιτώνιο, έχουμε συνεχή λειτουργία σε συνθήκες κόπωσης διότι πραγματοποιείται αύξηση της πίεσης της κατάθλιψης. Στις οριζόντιας διάταξης αντλίες συνήθως το σώμα των κυλίνδρων, έχει βαλβίδες αναρρόφησης και κατάθλιψης, ενώ στις κάθετης διάταξης αντλίες οι βαλβίδες αναρρόφησης και κατάθλιψης τοποθετούνται στο καπάκι του κυλίνδρου.

Όταν οι αντλίες χρησιμοποιούνται σε υψηλές πιέσεις, το υλικό κατασκευής του σώματος των κυλίνδρων συνήθως είναι χυτοσίδηρος ή ορείχαλκος ή χυτοχάλυβας. Στις αντλίες με περισσότερα από ένα έμβολα, το σώμα των κυλίνδρων έχει ίσες εισόδους, με τον αριθμό των εμβόλων. Για τα χιτώνια, το υλικό κατασκευής τους είναι ο ορείχαλκος ή αλλά αντιδιαβρωτικά υλικά και όταν υπάρχουν, τοποθετούνται εσωτερικά στο σώμα των κυλίνδρων με το μήκος τους να είναι ελαφρώς μεγαλύτερο από τη διαδρομή του εμβόλου, για να έχουμε έτσι την ομαλή λειτουργία της αντλίας.

Τα έμβολα, ανάλογα με το σχεδιασμό ή τον τρόπο λειτουργίας τους, διακρίνονται σε:

- **έμβολα βύθισης**, το μήκος αυτών των εμβολών είναι πολύ μεγαλύτερο απ' τη διάμετρό τους και κατασκευάζονται συμπαγή ή κοίλα. Επειδή έχουν μεγάλο μήκος η στεγανότητα τους γίνεται με την εφαρμογή κατάλληλου στυπιοθλίπτη που βρίσκεται πάνω στον κύλινδρο στην πλευρά εισόδου του εμβόλου. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για τη κατασκευή τους είναι ο ορείχαλκος ή ο ανοξείδωτος χάλυβας.
- **δισκοειδή έμβολα**, το μήκος αυτών των εμβολών είναι μικρότερο από τη διάμετρό τους και το όνομά τους έχει παρθεί από το σχήμα τους. Οι πιο συνηθισμένοι τύποι σχεδίασης είναι τα έμβολα με δακτυλίους σε σειρά, τα στερεού εμβόλου, και τα κυπελλοειδούς εμβόλου.

Οι **βαλβίδες**, ταξινομούνται σε βαλβίδες αναρρόφησης και κατάθλιψης και έχουν ως σκοπό τον έλεγχο της ροής του υγρού που διακινείται από την αντλία. Οι βαλβίδες επιτρέπουν τη ροή του υγρού προς μια διεύθυνση, δηλαδή κλείνουν όταν το ρευστό κινείται προς την αντίθετη διεύθυνση. Οι βαλβίδες παραμένουν κλειστές λόγω της πίεσης του υγρού στο δίκτυο ή λόγω της έντασης του ελατηρίου στην επιφάνεια της βαλβίδας και παραμένει σταθερή μέσω κατάλληλης διάταξης. Όταν δρα η πίεση του υγρού οι βαλβίδες ανοιγοκλείνουν:

- Η βαλβίδα αναρρόφησης ανοίγει όταν δημιουργείται κενό
- Η βαλβίδα κατάθλιψης ανοίγει όταν η πίεση του υγρού αυξάνεται, με τη συμπίεση του έμβολου
- Και οι δυο βαλβίδες είναι κλειστές όταν δεν υπάρχει πίεση

Περιοχή διαρροής ονομάζεται η παράπλευρή επιφάνεια του κυλίνδρου που σχηματίζεται με την ανύψωση της βαλβίδας και μέσω αυτής της επιφάνειας διέρχεται το υγρό. Εξαρτάται από την ανύψωση (h) της βαλβίδας και την ορίζει ο κατασκευαστής.

Ο τύπος των βαλβίδων στις εμβολοφόρες αντλίες εξαρτάται από την εφαρμογή και το είδος του ρευστού. Αναλυτικότερα, οι τύποι των βαλβίδων αυτών είναι:

- **Δισκοειδείς βαλβίδες (plate)**, είναι οι βαλβίδες που χρησιμοποιούνται για τη διακίνηση καθαρών υγρών. Λειτουργούν σε χαμηλή καθαρή θετική πίεση εισαγωγής και είναι κατάλληλες για ταχύτητες περιστροφής του άξονα κίνησης των εμβόλων άνω των 300 rpm. Η πίεση λειτουργίας τους καθορίζεται στα 350 barg (bar gage) και η διάθεσή τους μπορεί να γίνεται από μαζική παραγωγή. Συνήθως δισκοειδή βαλβίδες διαθέτουν οι οριζόντιες αντλίες, με ενιαίο πώμα.
- **Βαλβίδες με οδηγητικά πτερύγια (wing guide)**, είναι βαλβίδες ελαφρού ή βαρέος τύπου και έχουν αντίστοιχες εφαρμογές. Λειτουργούν σε χαμηλές καθαρές θετικές πιέσεις εισαγωγής και είναι κατάλληλες για όλες τις ταχύτητες περιστροφής των αξόνων των αντλιών. Η πίεση λειτουργίας τους μπορεί φτάνει τα 550 barg και συνήθως για να πέτυχουν καλύτερη στεγανοποίηση κατασκευάζονται από ελαστομερές υλικό στα σημεία επαφής, όταν διακινούν ρευστά με ποσοστό 5% κατ' όγκο αιωρούμενων σωματιδίων.
- **Σφαιρικού τύπου βαλβίδες (ball)**, αυτές οι βαλβίδες χρησιμοποιούνται για καθαρά υγρά και πιέσεις που φτάνουν τα 2000 barg. Η λειτουργία τους πρέπει να είναι κάτω από 300 rpm στροφές περιστροφής του άξονα.
- **Βαλβίδες τύπου εμβόλου (plug)**, αυτές οι βαλβίδες είναι βαρέος τύπου για καθαρά υγρά. Χρησιμοποιούνται για αντλίες κάτω από 350 rpm (στροφές περιστροφής του άξονα) και σε εφαρμογές πίεσεως ως τα 550 barg.
- **Βαλβίδες για τη διακίνηση παχύρευστων υγρών και υδαρών κονιαμάτων**, αυτές οι βαλβίδες χρησιμοποιούνται σε αντλίες για τη μεταφορά λάσπης,

λυμάτων και πετρελαίου. Τοποθετούνται σε αντλίες κάτω από 200 rpm (στροφές περιστροφής του άξονα) και πιέσεις ως 150 barg.

Ο αναστολέας είναι μια σταθερή προεξοχή που υπάρχει σε μερικούς τύπους βαλβίδων, στην επάνω επιφάνειά τους. Ο αναστολέας έχει ως σκοπό τη ρύθμιση του μέγιστου, επιθυμητού, οριακού ανοίγματος της βαλβίδας μέσω προσθήκης και κοχλίας που εγκαθίστανται εξωτερικά στο καπάκι των κυλίνδρων. Ακόμα μπορεί να υπάρχει οδηγός στην κάτω πλευρά των βαλβίδων, με τη μορφή κεντρικού άξονα - του οποίου η κίνηση γίνεται μέσα σε υποδοχή που έχει κυλινδρικό σχήμα, ή με τη μορφή πτερυγίων που η τοποθέτησή τους είναι περιφερική, ή η επιφάνειά τους είναι κυρτή, για να σταθεροποιείται η βαλβίδα στην επιθυμητή θέση και να έχει στεγανότητα όταν θα είναι κλειστή.

Αυτές οι βαλβίδων κατασκευάζονται από ορείχαλκο, ενώ το υλικό κατασκευής των δισκοειδών βαλβίδων μπορεί να είναι κάποιο ελαστικό υλικό ή διάφορες μορφές δέρματος.

Επόμενο συνθετικό μέρος των εμβολοφόρων αντλιών είναι οι **αεροκώδωνες (air chambers)**. Οι αεροκώδωνες είναι μεταλλικά δοχεία με αέρα ελεγχόμενης πίεσης. Είναι ειδικές συσκευές που εγκαθίστανται στις εμβολοφόρες αντλίες ώστε να εξομαλύνονται οι διακυμάνσεις στη ροή που δημιουργούνται στο δίκτυο από τη μεταφορά του ρευστού. Σε ένα δίκτυο υδραυλικού συστήματος οι αεροκώδωνες επιτρέπουν στο υγρό να ρέει, όταν σταματήσει η δύναμη της αντλίας να το μετακινεί. Αν πάρουμε για παράδειγμα μια εμβολοφόρα αντλία κατάθλιψης - απλής ενέργειας, όταν η κίνηση του εμβόλου γίνεται από το άνω νεκρό σημείο προς το κάτω νεκρό σημείο θα έχουμε τη διακοπή της ροής του υγρού προς το δίκτυο. Αν το δίκτυο έχει εγκατεστημένο αεροκώδωνα τότε η ξαφνική διακοπή της ροής δε θα προκαλέσει απότομη πτώση της πίεσης, ενώ ταυτόχρονα θα αποφευχθούν οι απώλειες ενέργειας που αφιερώνονται στο υγρό στις αποδοτικές διαδρομές του εμβόλου. Αποδοτικές διαδρομές του εμβόλου είναι οι διαδρομές στις οποίες το υγρό καταθλίβεται προς το δίκτυο. Στους μεγάλους αεροκώδωνες συναντάμε συνήθως υδροδείκτη που δείχνει τη στάθμη του υγρού μέσα σε αυτούς, ενώ φέρουν και μανόμετρο και ένα μικρό εξαερίστηκα κρουνό.

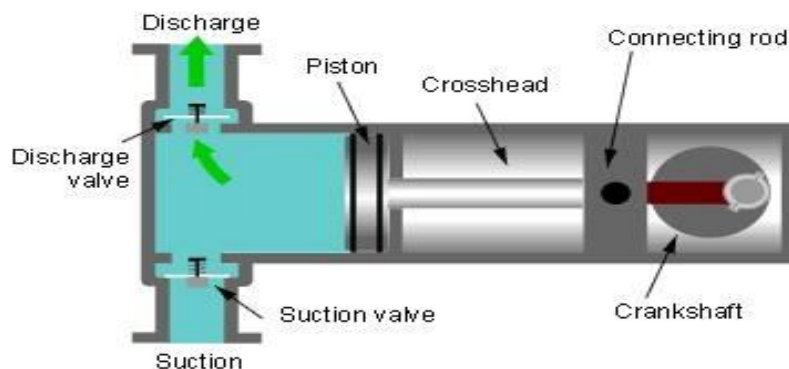
Γενικά, στις εμβολοφόρες αντλίες, η ταχύτητα του εμβόλου περιορίζεται από την αδράνειά του και γι' αυτό δεν μπορούν να συνδεθούν άμεσα με ταχύ-στρόφους κινητήρες. Επίσης, η παροχή τους παρουσιάζει διακυμάνσεις λόγω της παλινδρομικής κίνησης του εμβόλου. Οι εμβολοφόρες αντλίες κατασκευάζονται είτε σαν αντλίες αναρρόφησης είτε σαν αντλίες αναρρόφησης και κατάθλιψης. Μια αναρροφητική αντλία ανυψώνει μόνο το υγρό, το οποίο στη συνέχεια ρέει μόνο του, γι' αυτό λέγεται και ανυψωτική. Η καταθλιπτική αντλία είναι επέκταση της αναρροφητικής αντλίας, γιατί και ανυψώνει/αναρροφά το υγρό και το καταθλίβει υπερνικώντας μια εξωτερική αντίσταση, δηλαδή μια πίεση. Με την ανύψωση του εμβόλου αυξάνεται ο χώρος του κυλίνδρου, πράγμα που προκαλεί πτώση πίεσης. Η ατμοσφαιρική πίεση ωθεί το νερό μέσα από την ανοιχτή βαλβίδα αναρρόφησης και γεμίζει έτσι ο χώρος του κυλίνδρου, πράγμα που προκαλεί πτώση πίεσης. Η ατμοσφαιρική πίεση ωθεί το νερό μέσα από την ανοιχτή βαλβίδα αναρρόφησης και γεμίζει έτσι ο χώρος του κυλίνδρου. Στην αντλία αναρρόφησης, με την ανύψωση του εμβόλου εκτοπίζεται το νερό πάνω από το έμβολο και εκρέει από το σωλήνα εκροής. Κατά την κάθοδο του εμβόλου, στις αντλίες αναρρόφησης – κατάθλιψης, η βαλβίδα αναρρόφησης είναι κλειστή και η βαλβίδα κατάθλιψης ανοιχτή, ώστε το νερό να μπορεί να διαφύγει προς το σωλήνα κατάθλιψης και από εκεί προς το στόμιο εκροής.

Για να διασφαλιστεί ομαλότερη εκροή, συχνά κατασκευάζονται οι αντλίες ως αντλίες διπλής ενέργειας, Έτσι, σε κάθε απλή διαδρομή του εμβόλου πραγματοποιείται μια αναρρόφηση και μια κατάθλιψη.

Οι εμβολοφόρες αντλίες έχουν αυτόματη αναρρόφηση, πράγμα που σημαίνει ότι αυτές αφαιρούν τον αέρα από το σωλήνα αναρρόφησης. Η ανομοιόμορφη ταχύτητα του εμβόλου, που προέρχεται από το σύστημα διωστήρα – στροφάλου, προκαλεί πιεστικές ωθήσεις μέσα σ' ολόκληρο το δίκτυο των σωλήνων, αν δεν υπάρχει ελαστική απορρόφηση αυτών των ωθήσεων. Αυτή την αποστολή εκπληρούν οι αεροκώδωνες αναρρόφησης και κατάθλιψης των αντλιών. Σαν ελαστικό στοιχείο ενεργεί ένα μαξιλάρι αέρα του αεροκώδωνα. Το μαξιλάρι διαστέλλεται κατά την αναρρόφηση λόγω της πτώσης πίεσης. Κατά τη συμπίεση, αυτό συμπιέζεται και προκαλεί έτσι μια σχεδόν ομαλή εισροή και εκροή του νερού στους αγωγούς. Λόγω της κίνησης του νερού, ένα μέρος του αέρα συμπαρασύρεται συνεχώς. Αυτό γίνεται με κάθε αναρρόφηση από τη βαλβίδα αναρρόφησης. Σε κάθε διαδρομή αναρρόφησης, ένα μέρος αέρα αναρροφάται μέσα από τα ελαστικά χείλη της

βαλβίδας. Ο αέρας αυτός φθάνει, από την κατάθλιψη, στον αεροκώδωνα. Αν έλθει πολύ αέρας στον αεροκώδωνα, τότε με μια βαλβίδα πλωτήρα, απάγεται προς την ατμόσφαιρα.

Θεωρητικά, το ύψος αναρρόφησης αυτού του τύπου αντλίας είναι ίσο περίπου με 10 m, πλην όμως, λόγω των υδραυλικών απωλειών της ροής, των επιστροφών μέσα από τα διάκενα μεταξύ κυλίνδρου και εμβόλου, αλλά κυρίως λόγω του λεγόμενου επιζήμιου χώρου, δηλαδή του κενού χώρου μεταξύ εμβόλου – σώματος αντλίας, το πραγματικό ύψος αναρρόφησης περιορίζεται στα 6-8 m. Ο βαθμός απόδοσης για τις εμβολοφόρες αντλίες θεωρείται ικανοποιητικός, κυμαινόμενος ανάμεσα στο 70-95 %, ανάλογα με το μέγεθος και τον τρόπο λειτουργίας.



Εικόνα 2.1: Εμβολοφόρα μηχανής απλής δράσης (πηγή: διαδίκτυο)

2.1 Κατηγοριοποίηση παλινδρομικών αντλιών

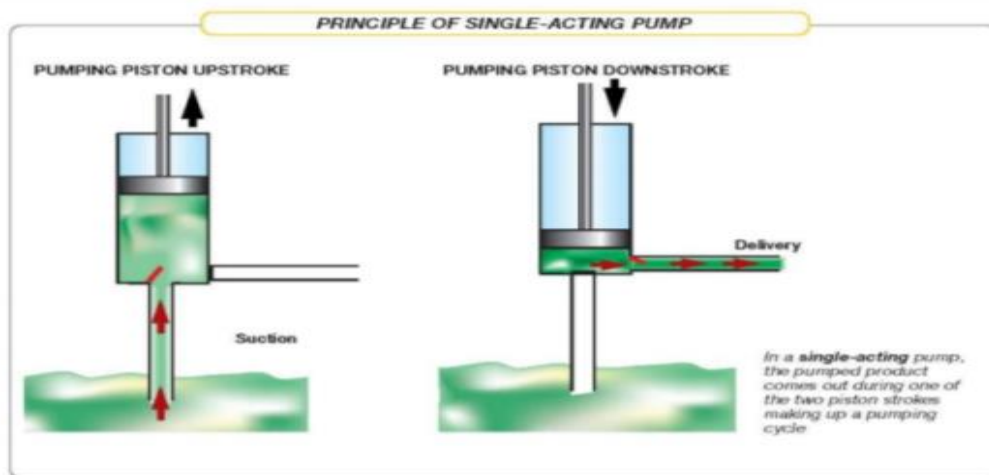
Αυτές οι αντλίες ταξινομούνται γενικά ως:

- 1. Απλής ενέργειας (ή δράσης):** Η αντλία είναι απλής δράσης όταν αναρροφά με τον ένα εμβολισμό και καταθλίβει με τον άλλο. Στις αντλίες απλής ενέργειας υπάρχει μια αναρροφητική βαλβίδα (ή μια σειρά βαλβίδων αναρρόφησης) και μία κατάθλιψη. Στην εικόνα 2.2 παρατηρείται ο τρόπος λειτουργίας της αντλίας απλής ενέργειας. Κατά τη διαδικασία της κατάθλιψης το έμβολο της αντλίας βρίσκεται στο ΑΝΣ (άνω νεκρό σημείο) και ο κύλινδρος είναι γεμάτος από υγρό με τη βαλβίδα αναρρόφησης ανοιχτή και της κατάθλιψης κλειστή. Με την έναρξη της καθόδου του εμβόλου προς το

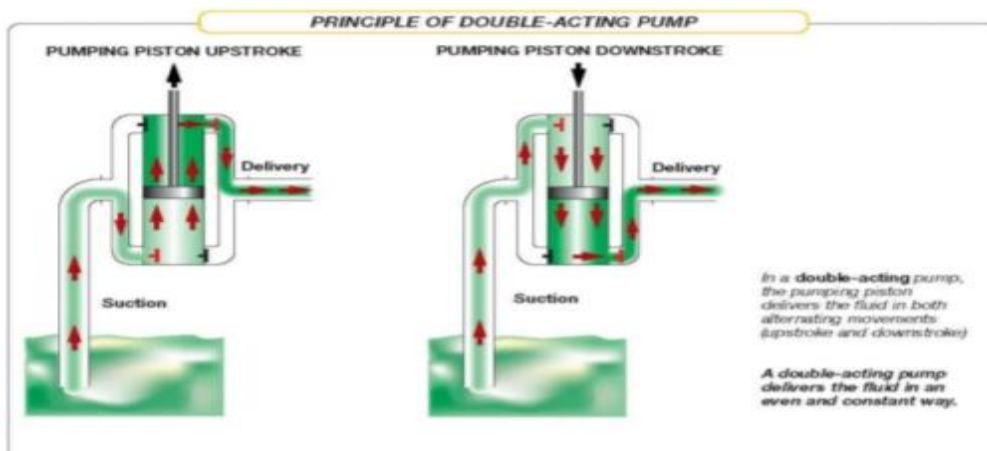
ΚΝΣ (κάτω νεκρό σημείο), το υγρό συμπιέζεται κι έτσι η βαλβίδα αναρρόφησης κλείνει ενώ η βαλβίδα κατάθλιψης ανοίγει. Κατά τη διαδικασία της αναρρόφησης το έμβολο βρίσκεται στο ΚΝΣ και όταν αρχίσει να κινείται προς τα πάνω δημιουργείται κενό κι έτσι κλείνει η βαλβίδα κατάθλιψης ενώ η βαλβίδα αναρρόφησης ανοίγει και το υγρό εισέρχεται στον κύλινδρο.

- 2. Διπλής ενέργειας (ή δράσης):** Η αντλία αυτή σε κάθε εμβολισμό αναρροφά και καταθλίβει υγρό ταυτόχρονα. Η μία όψη του εμβόλου αναρροφά ενώ συγχρόνως η άλλη καταθλίβει. Οι αντλίες διπλής ενέργειας έχουν δύο βαλβίδες αναρρόφησης και δύο κατάθλιψης.

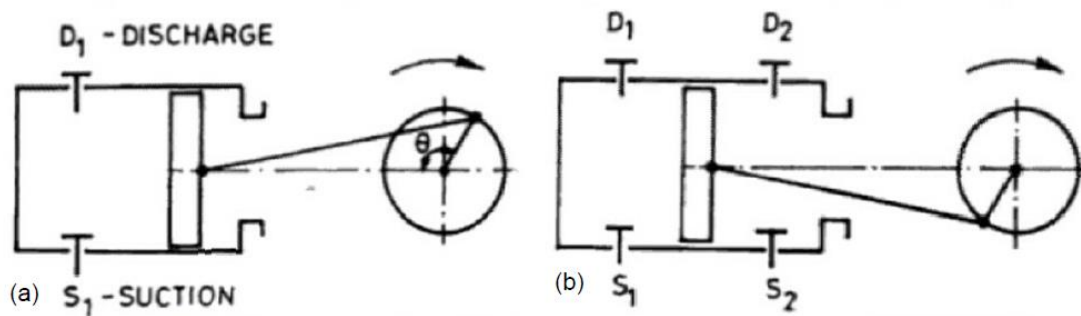
Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζονται σχηματικά οι τρόποι με τους οποίους λειτουργούν οι αντλίες απλής και διπλής δράσης.



Εικόνα 2.2: Αρχή λειτουργίας αντλίας απλής δράσης (πηγή: διαδίκτυο)



Εικόνα 2.3: Αρχή λειτουργίας αντλίας διπλής δράσης (πηγή: διαδίκτυο)



Εικόνα 2.4: (a) Αντλία απλής δράσης, (b) Αντλία διπλής δράσης (πηγή G.K. Sahu, 2000)

3. Άμεσης (Steam Driven) και έμμεσης δράσης (Power Driven): Ορισμένες παλινδρομικές αντλίες κινούνται απευθείας από ένα κύριο κινητήρα (όπως μια ατμομηχανή) η οποία από μόνη της έχει παλινδρομική κίνηση. Σε μια τέτοια περίπτωση, το βάκτρο του εμβόλου της ατμομηχανής συνδέεται απευθείας με το έμβολο. Τέτοια συστήματα αντλίας ονομάζονται αντλίες άμεσης δράσης.

Όπως συμβαίνει συχνά, πολλοί κύριοι κινητήρες (όπως κινητήρες IC και ηλεκτρικοί κινητήρες) έχουν περιστρεφόμενους άξονες στο άκρο εξόδου και αυτοί πρέπει να συνδέονται με την παλινδρομική αντλία μέσω διωστήρων, εγκάρσιας κεφαλής και στροφαλοφόρου άξονα. Τέτοιες αντλίες ονομάζονται αντλίες έμμεσης δράσης ή ισχύος.

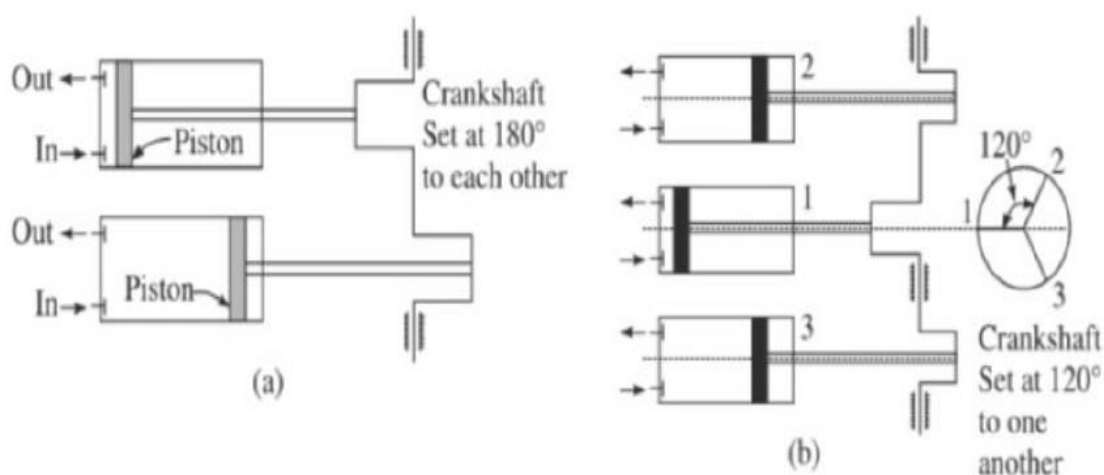
4. Μονοκύλινδρες (Simplex), δικύλινδρες (Duplex) ή Πολυκύλινδρες (Multiplex) Αντλίες: Ανάλογα με τον αριθμό των κυλίνδρων, η παλινδρομική αντλία ταξινομείται ως μονοκύλινδρη (**Simplex**), δικύλινδρη (**Duplex**) ή πολυκύλινδρη (**Multiplex**) αντλία. Σε μια μονοκύλινδρη αντλία, θα υπάρχει μόνο ένας κύλινδρος. Αυτές μπορεί να είναι απλής ή διπλής δράσης. Οι μονοκύλινδρες αντλίες ονομάζονται απλές αντλίες.

Σε δικύλινδρες αντλίες, τα έμβολα είναι τοποθετημένα σε στροφαλοφόρο άξονα κοινής κίνησης με μετατόπιση φάσης 180° (Εικόνα 2.5). Οι οπές αναρρόφησης των δύο κυλίνδρων θα συνδεθούν με έναν κοινό σωλήνα αναρρόφησης και οι έξοδοι των δύο κυλίνδρων θα συνδεθούν με έναν κοινό σωλήνα παροχής. Αυτός ο τύπος αντλίας είναι επίσης γνωστός ως αντλία δύο ρίψεων. Σημειώνουμε ότι μια δικύλινδρη αντλία

απλής δράσης είναι ισοδύναμη με μια απλή αντλία διπλής δράσης. Μια δικύλινδρη αντλία μπορεί επίσης να είναι διπλής δράσης.

Οι Πολυκύλινδρες αντλίες χρησιμοποιούνται για μεγαλύτερη σταθερή ροή στο σωλήνα παροχής. Σε αυτές, οι στρόφαλοι σε ένα κοινό σύστημα μετάδοσης κίνησης παρέχουν την απαραίτητη μετατόπιση φάσης και οι έξοδοι στις πολυκύλινδρες αντλίες συνδέονται με έναν κοινό σωλήνα παροχής. Η εικόνα 2.5(b) δείχνει σχηματικά μια πολυκύλινδρη αντλία (τριπλή).

Οι αντλίες με δυο ή περισσότερους κυλίνδρους χρησιμοποιούνται με κοινές κεφαλές αναρρόφησης και παροχής για ελαχιστοποίηση των διακυμάνσεων στην εκροή. Εκτός από τις τρικύλινδρες και τις πολυκύλινδρες οι αντλίες κυλίνδρων χρησιμοποιούν 5, 7 και 9 κυλίνδρους. Συνήθως ο αριθμός των κυλίνδρων διατηρείται σε έναν μονό - περιττό αριθμό για την ελαχιστοποίηση της πίεσης των δονήσεων στο σύστημα λόγω της δράσης των εμβόλων.



Εικόνα 2.5: (α) Δικύλινδρη παλινδρομική αντλία, (β) Τρικύλινδρη παλινδρομική αντλία

(πηγή: K. Subramaya, 2013)

- 5. Κάθετη ή οριζόντια:** Αυτή η ταξινόμηση εξαρτάται από την τοποθέτηση της αντλίας. Η παλινδρομική αντλία μπορεί να τοποθετηθεί είτε κάθετα (κάθετος άξονας) είτε οριζόντια ανάλογα με το χώρο και άλλα λειτουργικά χαρακτηριστικά.

6. Χαμηλής πίεσης ή υψηλής πίεσης: Οι παλινδρομικές αντλίες χρησιμοποιούνται για πιέσεις που κυμαίνονται έως και 150 atm. Ως εκ τούτου, οι όροι χαμηλός και υψηλός είναι σχετικοί όροι. Γενικά, πιέσεις έως 50 atm αντιμετωπίζονται ως χαμηλή πίεση για μια παλινδρομική αντλία και πιέσεις πέραν αυτής ως υψηλές πιέσεις. Είναι συνηθισμένο να χρησιμοποιούνται έμβολα (pistons) για αντλίες χαμηλής πίεσης και βυθιζόμενα έμβολα (plungers) για αντλίες υψηλής πίεσης.

Έμβολο (piston) και βυθιζόμενο έμβολο (plunger): Στις παλινδρομικές αντλίες, οι όροι piston και plunger χρησιμοποιούνται εναλλακτικά. Λειτουργικά, τόσο το piston όσο και το plunger εκτελούν την ίδια δουλειά να μετατοπίσουν το υγρό υπό τη δράση ενός κινητήριου μηχανισμού. Ωστόσο, δομικά, υπάρχει μια διαφορά μεταξύ ενός piston και ενός plunger.

Ένα **plunger** είναι μια λεία, κυλινδρική ράβδος προσκολλημένη σε έναν ολισθητή ή στη ράβδο μηχανισμού. Μια σταθερή σφράγιση χρησιμοποιείται γύρω από το plunger και το plunger κινείται μέσω του δακτυλίου σταθερής στεγανοποίησης. Επιπλέον, λόγω αυτής της κατασκευής, τα plunger είναι απλής δράσης. Για έναν μηχανισμό διπλής δράσης με plungers, απαιτούνται δύο κύλινδροι. Τα plungers χρησιμοποιούνται για υψηλές εκροές, συνήθως μεγαλύτερες από 50 atm.

Ένα **piston** αποτελείται από έναν κυλινδρικό δίσκο εφοδιασμένο με στεγανοποίηση στην εξωτερική διάμετρο. Το piston (δίσκος) συνδέεται σε μια λεία ράβδο που ονομάζεται βάκτρο εμβόλου που μεταδίδει την παλινδρομική κίνηση στο υγρό άκρο του piston. Η στεγανοποίηση στην κορυφή του piston κινείται με το piston. Τα pistons χρησιμοποιούνται για χαμηλές πιέσεις (έως περίπου 50 atm) και σχετικά υψηλές ροές. Επιπλέον, τα pistons χρησιμοποιούνται σε αντλίες απλής και διπλής δράσης.

7. Αντλίες διαφράγματος: Η αντλία διαφράγματος είναι μια παλινδρομική αντλία όπου η άντληση γίνεται από ένα εύκαμπτο διάφραγμα στη θέση ενός κυλινδρικού εμβόλου. Το κύριο πλεονέκτημά του είναι ότι δεν υπάρχει πιθανότητα διαρροής εκτός εάν το διάφραγμα καταστραφεί. Επίσης, τα διπλά διαφράγματα ενσωματώνονται μερικές φορές σε περίπτωση ανάγκης για την αποφυγή οποιασδήποτε διαρροής σε περίπτωση αστοχίας του ενός

διαφράγματος. Σύμφωνα με την απαίτηση της ροής, η κίνηση του διαφράγματος (διαδρομή) μπορεί να είναι με σταθερή ταχύτητα ή μεταβλητή ταχύτητα. Η χωρητικότητα της αντλίας είναι ευθέως ανάλογη με τη διάμετρο του διαφράγματος και τη διαδρομή και τον ρυθμό παλινδρόμησης. Η μέγιστη χωρητικότητα για οποιοδήποτε μέγεθος διαφράγματος καθορίζεται από τη μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα παλινδρόμησης, η οποία είναι γενικά χαμηλή.

Ο σχεδιασμός είναι πολύ απλός και το σχέδιο ροής είναι ξεκάθαρο. Οι βαλβίδες που χρησιμοποιούνται είναι απλές σφαιρικές βαλβίδες ή κωνικές βαλβίδες. Οι αντλίες διαφράγματος είναι κατάλληλες για παχύρρευστους πολτούς, υγρά απόβλητα, λάσπη, όξινα ή αλκαλικά διαλύματα, λάδια και μείγματα νερού και κοκκώδη στερεά. Προτιμάται περισσότερο ένα διάφραγμα εύκαμπτο μη μεταλλικού υλικού, καθώς μπορεί να αντέξει καλύτερα στη διάβρωση από ότι τα μεταλλικά μέρη.

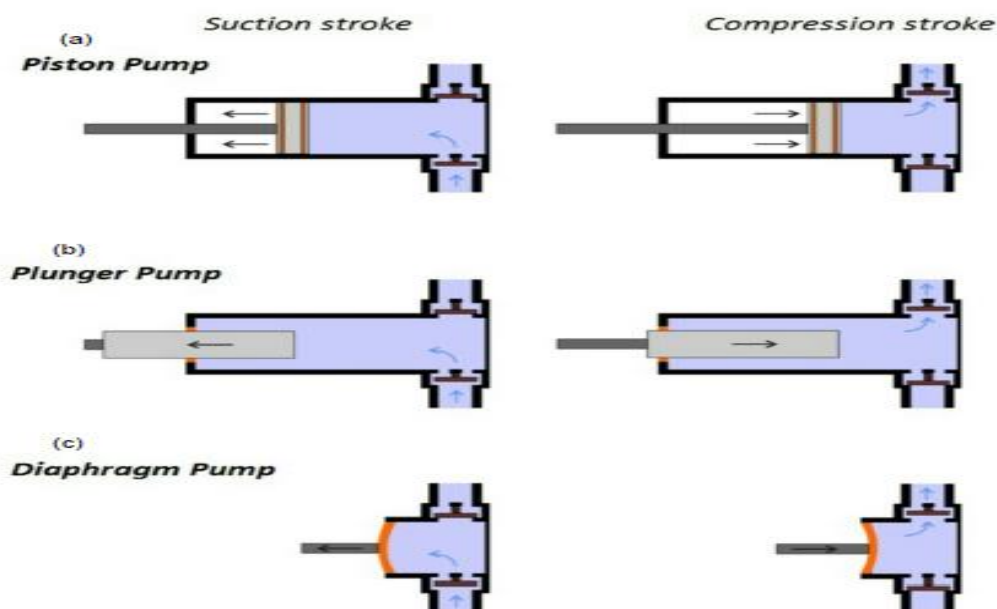
Οι αντλίες διαφράγματος μπορούν να ταξινομηθούν βάσει των διατάξεων κίνησης τους ως εξής:

α. Αντλίες διαφράγματος με μηχανική κίνηση: Είναι μηχανικά κινούμενες αντλίες όπου το διάφραγμα συνδέεται με μια περιστροφική κίνηση ή ταλαντωτική κίνηση. Αυτά είναι απλά στο σχεδιασμό και την κατασκευή, ιδιαίτερα σε μεγάλα μεγέθη. Με το μη μεταλλικό διάφραγμα, η πίεση περιορίζεται σε 3 έως 3,5 ατμόσφαιρες ανάλογα με το μέγεθος του διαφράγματος. Υψηλότερες πιέσεις επιτυγχάνονται μόνο με μεταλλικά διαφράγματα. Η απόδοση αυτών των αντλιών είναι πολύ χαμηλή και της τάξης μόνο 10 έως 25%.

β. Αντλίες διαφράγματος με υδραυλική κίνηση: Αυτές οι αντλίες λειτουργούν με την κίνηση του διαφράγματος που προέρχεται από διακυμάνσεις πίεσης που δημιουργούνται σε ένα θάλαμο ρευστού. Αυτοί οι παλμοί πίεσης παράγονται συνήθως από ένα παλινδρομικό έμβολο και ως εκ τούτου ο τύπος ονομάζεται συνήθως αντλία εμβόλου-διαφράγματος. Μια αντλία εμβόλου-διαφράγματος είναι η πιο κατάλληλη για διεργασίες με ρυθμό ροής έως 70 m / hr και πιέσεις έως 3000 ατμόσφαιρες.

γ. **Αντλίες διαφράγματος με κίνηση αέρα:** Αυτές οι αντλίες λειτουργούν με την παλινδρομική κίνηση του διαφράγματος που προκαλείται από πεπιεσμένο αέρα που εφαρμόζεται εναλλακτικά στα αντίθετα άκρα του διαφράγματος μέσω μιας ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας.

δ. **Αντλίες διαφράγματος με ηλεκτρομαγνητική κίνηση:** Αυτές οι αντλίες λειτουργούν με την κίνηση του διαφράγματος που δημιουργείται από το συμπαγές έμβολο ενός ηλεκτρομαγνήτη. Αυτές οι αντλίες είναι μικρής ισχύος και ως εκ τούτου χρησιμοποιούνται ως δοσομετρικές αντλίες, αντλίες μέτρησης κ.λπ.



Εικόνα 2.6: (a) Αντλία με piston κατά τη διαδρομή της αναρρόφησης και της συμπίεσης, (b) Αντλία με plunger κατά τη διαδρομή της αναρρόφησης και της συμπίεσης, (c) Αντλία με διάφραγμα κατά τη διαδρομή της αναρρόφησης και της συμπίεσης (πηγή: διαδίκτυο)

Χρήσεις παλινδρομικών αντλιών στη βιομηχανία: Οι παλινδρομικές αντλίες ικανοποιούν μια μεγάλη ποικιλία υπηρεσιών, από τη μικρή μονάδα που παρέχει παλλόμενους πίδακες νερού για καθαρισμό περιορισμένων χώρων έως ώθηση λάσπης - σκόνης άνθρακα κατά μήκος ενός αγωγού. Κατά τις γεωτρήσεις πηγών πετρελαίου και φυσικού αερίου η λάσπη γεώτρησης αντλείται τόσο από αντλίες με piston όσο και με plunger σε πιέσεις έως 5.000 psi. Για να σφηνώσει το καπάκι της πηγής μέσα στη τρυπά γεώτρησης, ένα μείγμα τσιμέντου και νερού αντλείται από τον πυθμένα της πηγής μέσα στο δακτυλιοειδές χώρο μεταξύ του καπακιού και της τρυπής της γεώτρησης. Οι αντλίες ισχύος με κινητήρα χρησιμοποιούνται για την άντληση της λάσπης της πηγής. Κατά τη διάρκεια της γεώτρησης βαριά υδραυλικά κινούμενα έμβολα είναι έτοιμα να χτυπήσουν το σωλήνα γεώτρησης και να σφραγίσουν τη πηγή εάν η υπερβολική πίεση απειλεί να εκραγεί η πηγή. Αυτά τα έμβολα οδηγούνται από υδραυλικό λάδι σε πιέσεις 1.000 έως 3.000 psi που λαμβάνονται από παλινδρομική αντλία ισχύος με κινητήρα. Όταν η πίεση σχηματισμού υδρογονανθράκων είναι ανεπαρκής για να ωθήσει το πετρέλαιο στην επιφάνεια, χρησιμοποιούνται παλινδρομικές αντλίες για να το φέρουν στην επιφάνεια. Αυτό αποδεικνύεται από τα ταλαντευόμενα τμήματα της αντλίας που συναντάμε συχνά στην παραγωγή πετρελαιοπηγών. Οι αντλίες ισχύος διπλού εμβόλου χρησιμοποιούνται για τη συλλογή και μεταφορά αργού πετρελαίου και συμπυκνώματος υδρογονανθράκων. Οι αντλίες ισχύος χρησιμοποιούνται για να εισάγουν θαλασσινό νερό σε περιφερειακές πηγές για τη διατήρηση ή την αύξηση της πίεσης σχηματισμού, η διαδικασία αναφέρεται μερικές φορές ως «πλημμύρα νερού». Μια λάσπη γυαλιστερών φουσκαλών στο νερό αντλείται μέσα σε πηγές με πίεση 15.000 psi για να σπάσει τους σχηματισμένους βράχους, για να φτάσει σε πολλαπλές, στενές τρύπες που κρατούν το πετρέλαιο, αυτή η δουλειά εκτελείται από παλινδρομικές αντλίες ισχύος. Οι παλινδρομικές αντλίες χρησιμοποιούνται για την προσφορά των υπηρεσιών τους σε διωλιστήρια πετρελαίου που απαιτούν υψηλή πίεση σε χαμηλές ροές, όπως η κυκλοφορία της γλυκόλης, της αμίνης και του καθαρού πετρελαίου.

Στη χημική βιομηχανία οι παλινδρομικές αντλίες χρησιμοποιούνται σε λιπάσματα φυτών, παραγωγή απορρυπαντικών και μεταφορά εύπλαστης λάσπης σε υψηλή πίεση. Παρόμοιες, άλλες υπηρεσίες των παλινδρομικών αντλιών μπορούν να περιληφθούν στη βιομηχανία μετάλλων, πυρηνικών σταθμών και υπηρεσιών μεταφοράς. Εκτελούν εργασίες που κυμαίνονται από τον καθαρισμό με πίδακες

νερού, την κοπή με πίδακες νερού, την αντίστροφη ώσμωση, τις κρυογονικές υπηρεσίες και τις υπηρεσίες τροφίμων. Οι εργασίες που εκτελούνται από τις παλινδρομικές αντλίες είναι τόσο ποικίλες και πολυάριθμες που αρκεί να πούμε ότι ο κόσμος δεν μπορούσε να λειτουργήσει χωρίς αυτές.

2.2 Χαρακτηριστικές καμπύλες αντλιών και αντλητικών συστημάτων

Γενικά, κάθε αντλία χαρακτηρίζεται από τις **καμπύλες λειτουργίας** των αντλιών. Αυτές δίνονται από τον κατασκευαστή του μηχανήματος και είναι οι παρακάτω τέσσερις:

1. Το ολικό ύψος H συναρτήσει της παροχής Q ($H-Q$)
2. Η εισερχόμενη ισχύς $W_{in}=N$ συναρτήσει της παροχής Q ($N-Q$)
3. Ο ολικός βαθμός απόδοσης η συναρτήσει της παροχής Q ($\eta-Q$)
4. Το $NPSH_R$, επίσης συναρτήσει της παροχής Q ($NPSH_R-Q$)

Σημαντικότερη είναι η καμπύλη $H-Q$ κάθε αντλίας, το σχήμα της οποίας εξαρτάται κυρίως από το είδος και τον τύπο της αντλίας.

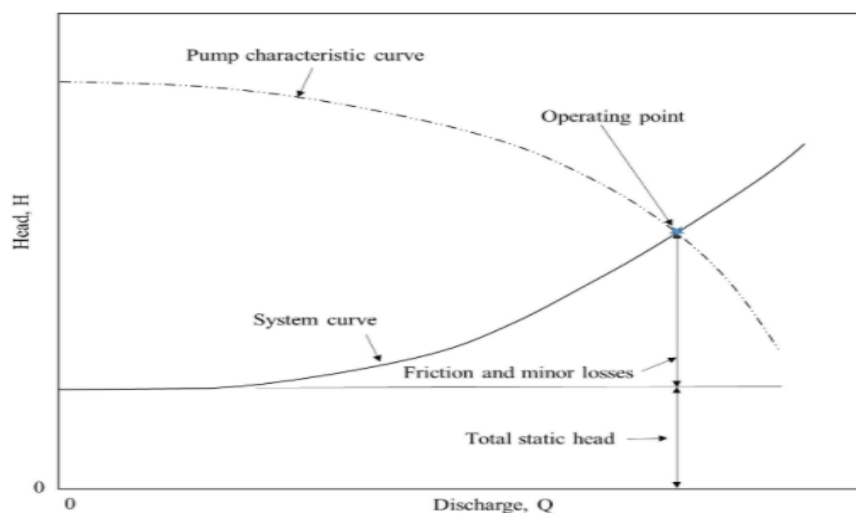
- Οι **δυναμικές αντλίες** κατασκευάζονται για μια ορισμένη τιμή της παροχής και μια τιμή για την πίεση. Η πίεση εξαρτάται από την παροχή. Η χαρακτηριστική καμπύλη είναι μια παραβολή. Στις δυναμικές αντλίες, για σταθερή ταχύτητα περιστροφής, όταν η παροχή Q αυξάνεται τότε το ύψος H μειώνεται και το αντίστροφο. Παρουσιάζουν δηλαδή μια αυτορρύθμιση της παροχής. Επειδή η πίεση είναι περιορισμένη ακόμη και αν δεν παρέχεται νερό, απαιτείται μια βαλβίδα ασφαλείας μόνο, αν η τελική πίεση είναι τουλάχιστον 10% υψηλότερη από τη μέγιστη επιτρεπτή πίεση λειτουργίας.
- Στις **αντλίες θετικής μετατόπισης** οι χαρακτηριστικές $H-Q$ είναι θεωρητικά ευθείες κάθετες στον άξονα της περιοχής. Κάθε ευθεία αντιστοιχεί σε ορισμένο αριθμό στροφών. Όμως, επειδή υπάρχουν διαρροές από την πλευρά της υψηλής πίεσης προς την πλευρά της χαμηλής, οι οποίες αυξάνονται με την αύξηση του ύψους H , στην πράξη είναι καμπύλες.
- Στις **εμβολοφόρες αντλίες** η παροχή είναι ανεξάρτητη από το ύψος πίεσης, γιατί ο όγκος της παροχής ανά εμβολισμό είναι πάντοτε ο ίδιος. Γι' αυτό το λόγο, η χαρακτηριστική καμπύλη αυτής της αντλίας είναι μια κατακόρυφη

ευθεία γραμμή. Έτσι, μια εμβολοφόρα αντλία μπορεί να δώσει κάθε πίεση στην περιοχή της, αρκεί να υπάρχει και η ανάλογη ισχύς κίνησης της αντλίας. Συνεπώς, τα ενδιαφέροντα μεγέθη μιας εμβολοφόρου αντλίας είναι η παροχή και η ισχύς κίνησης. Για να εμποδιστεί μια υπερβολική καταπόνηση της αντλίας και της σωλήνωσης, πρέπει να υπάρξει ένας περιορισμός της πίεσης. Αυτό, γίνεται με την τοποθέτηση π.χ. μιας βαλβίδας ασφάλειας.

Η **χαρακτηριστική καμπύλη αντλητικού συστήματος (H_A-Q)** είναι η γραφική παράσταση της μεταβολής του ολικού ύψους H_A του αντλητικού συστήματος, δηλαδή όλου του δικτύου σωληνώσεων κ.λπ. συναρτήσει της παροχής Q. Η καμπύλη αυτή, αποτελείται από δύο μέρη:

- Το στατικό μέρος, που είναι το άθροισμα στατικού ύψους Δz , το οποίο είναι ανεξάρτητο από την παροχή και το ύψος πίεσης $(P_d - P_s)/\rho g$ (το οποίο είναι μηδέν για ανοιχτό σύστημα)
- Το δυναμικό μέρος, που είναι το άθροισμα του ύψους απωλειών Δh_f , οι οποίες αυξάνονται με το τετράγωνο της ταχύτητας (παροχής) ή το ύψος της διαφοράς της ταχύτητας $(V_d^2 - V_s^2)/2g$

Η αντλία επιλέγεται να λειτουργεί στο σημείο στο οποίο τέμνεται η καμπύλη της εγκατάστασης και η καμπύλη της αντλίας, το οποίο ονομάζεται σημείο λειτουργίας. Μπορεί να φανεί ένα τέτοιο παράδειγμα στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 2.7: Διάγραμμα καμπυλών H-Q (πηγή: Mavs Open Press)

Το να βρεθεί η λειτουργία που είναι καταλληλότερη για μια εμβολοφόρα αντλία δεν είναι πάντα κάτι εύκολο. Πολλές μεταβλητές θα πρέπει να αξιολογηθούν και να εκτιμηθούν. Για να γίνει η σωστή επιλογή ανάμεσα στις αντλίες είναι σημαντικό να γίνει αντιληπτό το πώς συμπεριφέρονται οι διαφορετικοί τύποι αντλιών. Οι παλινδρομικές αντλίες γενικά χρησιμοποιούνται στις ακόλουθες περιπτώσεις:

Για υδραυλικά ζητήματα:

- Οι υδραυλικές απαιτήσεις, σε ορισμένες περιπτώσεις, καθιστούν τις κινητικές ή περιστροφικές αντλίες ακατάλληλες για τη δουλειά. Τυπικά, σε τέτοιες εφαρμογές υπάρχουν μικρές παροχές και μεγαλύτερες πιέσεις.
- Οι παλινδρομικές αντλίες είναι κατάλληλες για εφαρμογές χαμηλών παροχών. Συγκεκριμένοι συνδυασμοί παροχής και πίεσης κάνουν τις φυγοκεντρικές αντλίες σημαντικά λιγότερο αποδοτικές. Αυτές οι εφαρμογές κυμαίνονται στο εύρος 100 gpm και χαμηλότερα, αλλά ιδιαίτερα στο εύρος κάτω από 50 gpm. Αντίθετα, στις μεγάλες παροχές, οι φυγοκεντρικές, αποδίδουν καλά.
- Οι παλινδρομικές αντλίες θετικής μετατόπισης έχουν μεγάλη εξάρτηση του $NPSH_R$ από τη ροή, κάτι που καθορίζεται από την ταχύτητα. Όσο πιο μικρή είναι η ταχύτητα, τόσο μικρότερο και το $NPSH_R$.
- Μια παλινδρομική αντλία μπορεί να θεωρηθεί ως εναλλακτική λύση σε φυγοκεντρική αντλία η οποία λειτουργεί σε ένα σημείο μακριά από τις βέλτιστες συνθήκες. Όσο πιο μακριά λειτουργεί η φυγοκεντρική από το σημείο αυτό (BEP), τόσο πιο βιώσιμη είναι η παλινδρομική αντλία ως λύση. Αυτό συμβαίνει τυπικά σε καταστάσεις χαμηλών παροχών, μέσων έως μεγάλων πιέσεων ή όταν επικρατούν υψηλές τιμές ιξώδους

Για έλεγχο παροχής και πίεσης:

- Λόγω του δεδομένου όγκου της μετατόπισης του υγρού σε δεδομένη ταχύτητα, μπορεί να επιτευχθεί μια πιο ακριβής παροχή. Μια αντλία θετικής μετατόπισης έχει σταθερή ροή ανεξαρτήτως πίεσης. Η πίεση και η παροχή είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους. Μια φυγοκεντρική αντλία έχει μεταβλητή ροή, η οποία εξαρτάται από την πίεση ή το μανομετρικό.
- Χρησιμοποιώντας παλινδρομική αντλία, η μεταβλητή παροχή μπορεί να επιτευχθεί με αλλαγή της ταχύτητας της αντλίας.

- Μια παλινδρομική αντλία μπορεί να χρησιμοποιηθεί εάν η εφαρμογή έχει συνθήκες μεταβλητής πίεσης. Μια φυγοκεντρική αντλία θα πιεστεί να κινηθεί πάνω-κάτω στη καμπύλη απόδοσης, μεταβάλλοντας έτσι τη ροή της. Αυτό ενδέχεται να προκαλέσει προβλήματα. Μια παλινδρομική αντλία θετικής μετατόπισης δίνει σχεδόν σταθερή παροχή, καθιστώντας εφικτή την ταύτιση του ρυθμού ροής στην αντλία και των απαιτήσεων της διαδικασίας.
- Όταν απαιτείται σταθερή ροή, η παλινδρομική αντλία είναι αυτή που πρέπει να επιλεγεί, ειδικά σε μετρητικές εφαρμογές.
- Οι παλινδρομικές αντλίες μπορούν να λειτουργήσουν και ως αντλίες αυτόματης αναρρόφησης με τις σωστές συνθήκες στην αναρρόφηση.

Ειδικές απαιτήσεις ρευστού

- Εξαιτίας των μικρότερων λειτουργικών τους ταχυτήτων, οι παλινδρομικές αντλίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για συγκεκριμένα είδη ρευστών που περιέχουν στερεά ύλη, η οποία θα προκαλούσε άμεση διαρροή σε μια κινητική ή περιστροφική αντλία υψηλής ταχύτητας.
- Άλλη μια μεγάλη διαφορά ανάμεσα στα είδη των αντλιών είναι η επιρροή του ιξώδους στην ικανότητα της αντλίας. Η ροή σε μια φυγοκεντρική αντλία μειώνεται όσο αυξάνεται το ιξώδες. Οι παλινδρομικές αντλίες αυξάνουν την παροχή τους λόγω της αυξανόμενης ογκομετρικής αποδοτικότητας που προκαλείται από τα ρευστά μεγάλου ιξώδους που γεμίζουν τα κενά εντός της αντλίας.
- Οι αντλίες έχουν τη τάση να προκαλούν διάτμηση των ρευστών καθώς αυξάνεται η ταχύτητα και οι φυγοκεντρικές αντλίες είναι υψηλής ταχύτητας. Οι παλινδρομικές αντλίες, που είναι χαμηλότερης ταχύτητας, είναι καλύτερες ως προς τον χειρισμό ρευστών που υφίστανται εύκολα διάτμηση. Οι λόγοι διάτμησης στις παλινδρομικές αντλίες θετικής μετατόπισης ποικίλουν ανά τον σχεδιασμό, αλλά όλες έχουν ως κοινό χαρακτηριστικό τη μικρή διάτμηση.

Όπως όλα τα σχέδια αντλίας, οι παλινδρομικές αντλίες έχουν και τα δικά τους μειονεκτήματα, με το πιο κοινό να είναι οι παλινδρομήσεις. Η παλινδρομούσα ροή και η πίεση έχουν συγκεκριμένες απαιτήσεις για την αναρρόφηση και την κατάθλιψη ώστε να εξασφαλίζουν τη σωστή απόδοση της αντλίας καθώς και την προστασία των σωληνώσεων και των εξαρτημάτων του συστήματος.

Το να υπάρχουν οι σωστές πληροφορίες για την εφαρμογή που καλείται να συμμετέχει μια αντλία, είναι σημαντικό στο να επιλεγεί ο κατάλληλος τύπος και μέγεθος μιας παλινδρομικής αντλίας. Οι ακόλουθες πληροφορίες θα πρέπει να δίνονται σε έναν πάροχο αντλιών ώστε να γίνει η κατάλληλη επιλογή αντλίας:

- Ποιο είναι το ρευστό που θα αντληθεί (π.χ. νερό, βενζίνη, αμμωνία); Αυτό γνωστοποιεί στον πάροχο το τύπο του ρευστού (νευτώνειο, κολλώδες κ.α.). Τα περισσότερα ρευστά που συνήθως αντλούνται με αντλίες είναι νευτώνεια, κάτι που έχει κάνει τους κατασκευαστές αντλιών να βασίζονται σε αυτή την κατηγορία το σχεδιασμό των αντλιών τους. Ωστόσο, άλλα είδη ρευστών έχουν διαφορετικές ανάγκες που επηρεάζουν την επιλογή του μεγέθους της αντλίας. Το προϊόν που αντλείται καλείται να δώσει μια γενική ένδειξη του ρευστού με το οποίο λειτουργεί η αντλία και του σχεδιασμού και των υλικών που απαιτούνται.
- Το ρευστό που θα αντληθεί είναι τοξικό, εύφλεκτο ή με άλλο τρόπο επικίνδυνο για το προσωπικό ή/και το περιβάλλον; Αυτό δίνει μια ένδειξη για το τί σχέδιο πρέπει να έχει η αντλία που θα επιλεγεί, από τί υλικά θα είναι κατασκευασμένη και πώς θα έχει κατασκευαστεί το κάλυμμα του στυπιοθλίπτη.
- Ποια είναι η ζητούμενη δυναμικότητα της αντλίας; Μια παλινδρομική αντλία είναι αντλία θετικής μετατόπισης κι έτσι δεν έχει μια σταθερή παροχή, αλλά μια παροχή για μια δεδομένη ταχύτητα. Έτσι, ένα εύρος ροών μπορεί να δοθεί απλά με την εναλλαγή της ταχύτητας λειτουργίας της αντλίας.
- Ποια είναι η πίεση στην αναρρόφηση; Αυτό δείχνει εάν ένας τυπικός σχεδιασμός αντλίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί ή εάν πρέπει να τροποποιηθεί το μέγεθος της αντλίας ώστε να διαχειρίζεται ανορθωμένη ή ψηλή πίεση αναρρόφησης (ίση με ή μεγαλύτερη από το 5% της πίεσης κατάθλιψης). Επίσης, δηλώνει στον πάροχο της αντλίας σε ποια κατηγορία πίεσης στην αναρρόφηση θα πρέπει να ψάξει ώστε να βρει την ιδανική αντλία.
- Ποια είναι η πίεση στην κατάθλιψη; Χρησιμοποιείται για να επιλεγεί το σωστό μέγεθος του εμβόλου και άλλων σχεδιαστικών προδιαγραφών ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη μηχανική αποτελεσματικότητα καθώς και για το ποια θα είναι η τελική πίεση σχεδιασμού που απαιτείται.

- Ποιο καθαρό ύψος αναρρόφησης είναι διαθέσιμο ($NPSH_A$); Βοηθά στον καθορισμό του μεγέθους του εμβόλου, της ταχύτητας της αντλίας, του τύπου και του μεγέθους της βαλβίδας αναρρόφησης και στο ποιες άλλες αλλαγές απαιτούνται ώστε να δοθεί ένα αρκετά μικρό $NPSH_R$.
- Οι θερμοκρασίες του ρευστού που αντλείται: κανονική, ελάχιστη και μέγιστη. Αυτό δίνει πληροφορίες σχετικά με το σχεδιασμό της αντλίας, τα υλικά κατασκευής της και το κέλυφός της. Επίσης είναι ένδειξη εάν απαιτείται οποιαδήποτε μείωση της ταχύτητας λειτουργίας της αντλίας. Για θερμοκρασίες άντλησης ανάμεσα στους 177 °C και 455 °C, η ταχύτητα άντλησης θα πρέπει να μειωθεί και απαιτείται ειδικός σχεδιασμός της αντλίας ώστε να επιτρέπει στη μετάδοση της θερμότητας να διατηρεί ένα καλό επίπεδο ανάμερα στο ρευστό και τα εξαρτήματα της αντλίας.
- Εάν υπάρχουν οποιοδήποτε περιορισμοί στην ταχύτητα που θέτονται από τον χρήστη. Αυτό χρειάζεται ώστε να καθοριστεί το μέγεθος του εμβόλου και η πραγματική ταχύτητα της αντλίας ώστε να συμμορφώνεται στις απαιτήσεις της εφαρμογής.
- Το ειδικό βάρος του ρευστού. Αυτό χρειάζεται για τον καθορισμό του μεγέθους του εμβόλου, τη ταχύτητα της αντλίας και τις τροποποιήσεις που ίσως απαιτούνται για να διατηρείται αρκετά χαμηλό το $NPSH_R$.
- Η πίεση υδρατμών στις θερμοκρασίες άντλησης. Απαιτείται για τον σχεδιασμό της αντλίας και την τροποποίησή της ώστε να επιτυγχάνεται ένα αρκετά χαμηλό $NPSH_R$.
- Το ιξώδες του υγρού στις θερμοκρασίες άντλησης. Επιτρέπει τον καθορισμό του μεγέθους του εμβόλου, και τη ταχύτητα άντλησης.
- Περιέχονται ουσίες ή χημικά εντός του ρευστού που ενδέχεται να προκαλέσουν διάβρωση ή οξείδωση στην αντλία που επιλέγεται; Αυτό βοηθά τόσο στον κατάλληλο σχεδιασμό της αντλίας, όσο και στην προστασία των εργαζομένων ή/και του περιβάλλοντος

Όπως μπορεί να γίνει αντιληπτό, το να είναι διαθέσιμες όλες αυτές οι χρήσιμες πληροφορίες που διατυπώθηκαν ευθύς παραπάνω, βοηθά στο να καθοριστούν τα σημαντικά χαρακτηριστικά της αντλίας.

Σε αυτό το σημείο, αξίζει να αναφερθούμε ιδιαίτερα στην απόδοση των εμβολοφόρων αντλιών. Ενώ, η αποδοτικότητα των φυγοκεντρικών αντλιών γίνεται αντιληπτή με βάση τη διαρροή, τις μηχανικές και υδραυλικές απώλειες, η αποδοτικότητα των εμβολοφόρων αντλιών ορίζεται και γίνεται αντιληπτή με ένα διαφορετικό τρόπο. Τα βασικά συνθετικά μέρη της απόδοσης μια τέτοιας αντλίας είναι:

- **Ογκομετρική απόδοση:** Όπως μπορεί να φανεί και στην παρακάτω εξίσωση, η ογκομετρική αποδοτικότητα της εμβολοφόρας αντλίας μπορεί να καθοριστεί με καλή ακρίβεια (μέχρι 1% σφάλμα), εάν όλοι οι παράγοντες είναι γνωστοί. Επίσης είναι εμφανές πως η ογκομετρική απόδοση εξαρτάται από το πόσο συμπιεστό είναι το ρευστό, την εφαρμοζόμενη πίεση, τον λόγο C/D της αντλίας (ο κενός χώρος του θαλάμου προς τη μετατόπιση), και η ολίσθηση της βαλβίδας της αντλίας. Έτσι, αφού η συμπιεστότητα, ο λόγος C/D και η ολίσθηση της βαλβίδας είναι γνωστά από τις ιδιότητες του ρευστού και τις διαστάσεις και τα χαρακτηριστικά της αντλίας, ο πραγματικός μετατοπισμένος όγκος ανά πλήρη κύκλο (rpm) εξαρτάται από την πίεση και όχι την ταχύτητα της αντλίας.

$$VE = 1 - [(P_{\Delta} * \beta * \rho) + V_L]$$

όπου:

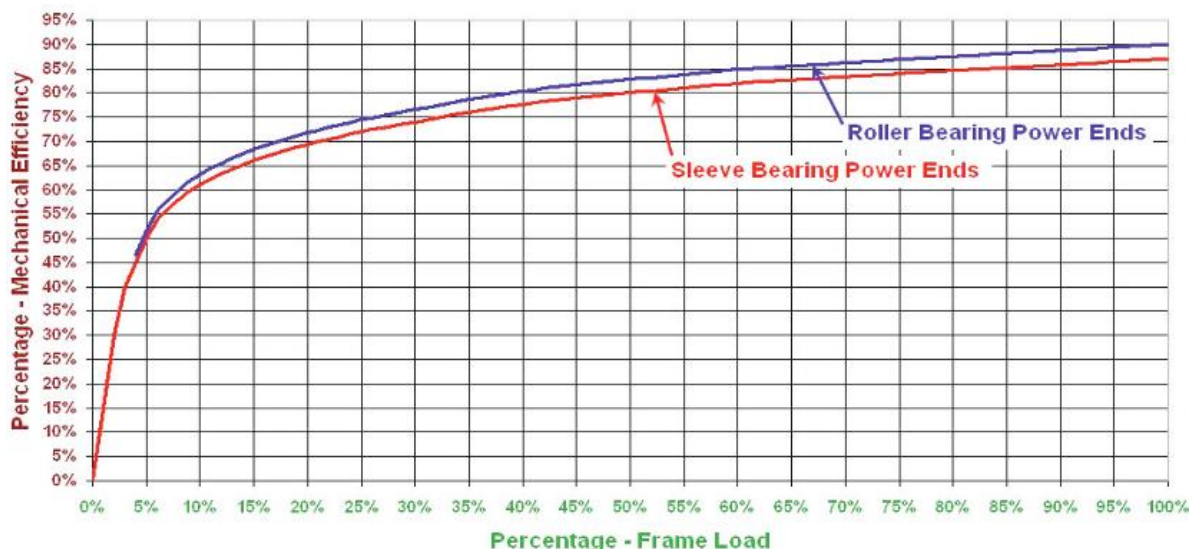
P_{Δ} = η διαφορική πίεση = $P_D - P_S$

β = ο συντελεστής συμπιεστότητας του ρευστού που θα αντληθεί σε θερμοκρασία άντλησης κάτι που είναι αντιστρόφως ανάλογο με το μέτρο ελαστικότητας όγκου στη θερμοκρασία άντλησης

ρ = είναι ο λόγος του συνολικού όγκου ανάμεσα στις βαλβίδες αναρρόφησης και κατάθλιψης στον θάλαμο άντλησης όταν το πιστόνι βρίσκεται σε εμπρόσθια διαδρομή. Είναι γνωστό επίσης ως λόγος C/D.

V_L = η απώλεια της βαλβίδας από ολίσθηση του ρευστού πέρα από τις βαλβίδες της αντλίας πριν αυτές κλείσουν και σφραγίσουν. Η τιμή του μεγέθους αυτού ποικίλει ανάμεσα στο 1 και το 5 % με βάση τη ταχύτητα της αντλίας και το σχεδιασμό της βαλβίδας. Γενικά, τα περισσότερα σχέδια αντλιών έχουν μια τυπική τιμή απωλειών στο 3%.

- Μηχανική απόδοση:** Η μηχανική απόδοση (mechanical efficiency, ME) μιας παλινδρομικής μηχανής είναι σημαντικός παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη. Ευθύς αμέσως γίνεται μια αναφορά σε όλα όσα πρέπει να προσεχθούν γύρω από το κομμάτι της μηχανικής απόδοσης
 - Αντλίες ισχύος:** Όπως μπορεί να φανεί και στην παρακάτω εικόνα, η μηχανική απόδοση ποικίλει ως συνάρτηση του φορτίου στο πλαίσιο, δηλαδή της εφαρμοζόμενης πίεσης επί τη διατομή του εμβόλου. Μέρος του φορτίου πλαισίου είναι το πραγματικό φορτίο πλαισίου από την εφαρμογή, διαιρεμένο από το αξιολογημένο φορτίο πλαισίου που δίνει ο κατασκευαστής. Υψηλότερες φορτίσεις πλαισίου δίνουν μεγαλύτερη μηχανική απόδοση. Έτσι, το έμβολο θα πρέπει να διαστασιολογείται ώστε να δίνει όσο το δυνατόν μεγαλύτερο φορτίο πλαισίου εντός του εύρους του αξιολογημένου φορτίου της αντλίας, ώστε να επιτυγχάνεται το μέγιστο δυνατό ME.



Εικόνα 2.8: Μηχανική απόδοση εν συγκρίσει με το φορτίο πλαισίου (πηγή: Tackett, 2008)

Οι αντλίες ισχύος έχουν μηχανικές αποδόσεις έως και 87%, με το ποσοστό να φτάνει και το 90% σε ειδικές κατηγορίες τέτοιων αντλιών. Στις απώλειες των αντλιών συνεισφέρουν τα έδρανα, οι βαλβίδες και το κέλυφος. Επιπρόσθετες απώλειες έρχονται από κινούμενα μέρη (οδηγοί, μάντες, γρανάζια, συζεύξεις κ.λπ.) και θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στη συνολική απόδοση όλης της αντλητικής μονάδας.

- *Αντλίες άμεσης δράσης:* Η μηχανική απόδοση είναι ουσιαστικά ένας λόγος, η εφαρμοζόμενη δύναμη στο ρευστό που αντλείται από το έμβολο από τη δύναμη που μεταφέρεται από το πιστόνι από το εργαζόμενο μέσο (ατμός, αέριο ή αέρας), πλην των απωλειών λόγω τριβής από την αντίσταση του πιστονιού και των βαλβίδων. Αυτός ο λόγος βασίζεται στις διαφορικές πιέσεις τόσο στην αντλία όσο και στο ρευστό, και καθορίζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$ME = (A_L) (\Delta p_L) / [(A_{DR}) (\Delta p_{DR})]$$

όπου:

A_L = η επιφάνεια του εμβόλου

Δp_L = η διαφορική πίεση στο ρευστό

A_{DR} = επιφάνεια του εμβόλου

Δp_{DR} = η διαφορική πίεση στην αντλία

2.3 Διάδραση αντλίας και συστήματος

Ένας σημαντικός παράγοντας για την επιτυχή λειτουργία οποιασδήποτε αντλίας είναι ένα σωστά σχεδιασμένο αντλητικό σύστημα. Ένα σύστημα που δεν σχεδιάζεται κατάλληλα, μπορεί να προκαλέσει προβλήματα, όπως:

- Fluid flashing, το φαινόμενο δηλαδή κατά το οποίο παγιδευμένα αέρια στο ρευστό επιστρέφουν πίσω όταν η πίεση στις σωληνώσεις ή την αντλία πέσει κάτω από την πίεση ατμών του ρευστού.
- Σπηλαιώση, όπου τα ελεύθερα αέρια σε ένα ρευστό πιέζονται προς αυτό, κάτι που ανεβάζει τοπικά πολύ την πίεση, δημιουργώντας μικρές εκρήξεις οι οποίες κάνουν ζημιά στα εσωτερικά εξαρτήματα της αντλίας.
- Δονήσεις των αγωγών, που μπορούν να προκύψουν από αναποτελεσματική στήριξη των σωλήνων, σπηλαιώση ή τις συνήθεις παλινδρομήσεις των παλινδρομικών υδραυλικών αντλιών.

- Θορυβώδης λειτουργία, που είναι πιο έντονη όταν υπάρχει η σπηλαιώση.
- Μειωμένη αντλητική ικανότητα, η οποία προκύπτει από το φαινόμενο fluid flashing. Αποτελεί ένδειξη πως ο αντλητικός θάλαμος γεμίζει με αέρια και υδρατμό.

Αυτοί οι παράγοντες συμβάλλουν στη μειωμένη διάρκεια ζωής της αντλίας και είναι εν δυνάμει επικίνδυνοι για το προσωπικό και τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται. Είναι πιθανό να υπάρξει έμφραξη σε έναν αγωγό ή στο κύλινδρο και να καταστραφούν τα εσωτερικά κινούμενα μέρη της αντλίας, καθώς προκύπτουν αυξήσεις στη πίεση όταν το ρευστό υφίσταται flashing ή σπηλαιώση.

Υπάρχουν ωστόσο μερικές γενικές οδηγίες, οι οποίες είναι ένας συνδυασμός συστάσεως από το Υδραυλικό Ινστιτούτο και κριτήρια που έχουν τεθεί από έμπειρους σχεδιαστές τέτοιων συστημάτων με παλινδρομικές αντλίες. Αν και οι κατασκευαστές των αντλιών δεν μπορούν να πάρουν την ευθύνη για το σύστημα στο οποίο εντάσσεται μια αντλία, μπορούν ωστόσο να δώσουν πολύτιμες οδηγίες ώστε να βοηθήσουν στη σχεδίαση των συστημάτων αυτών.

Σύστημα αγωγών στην πλευρά της αναρρόφησης

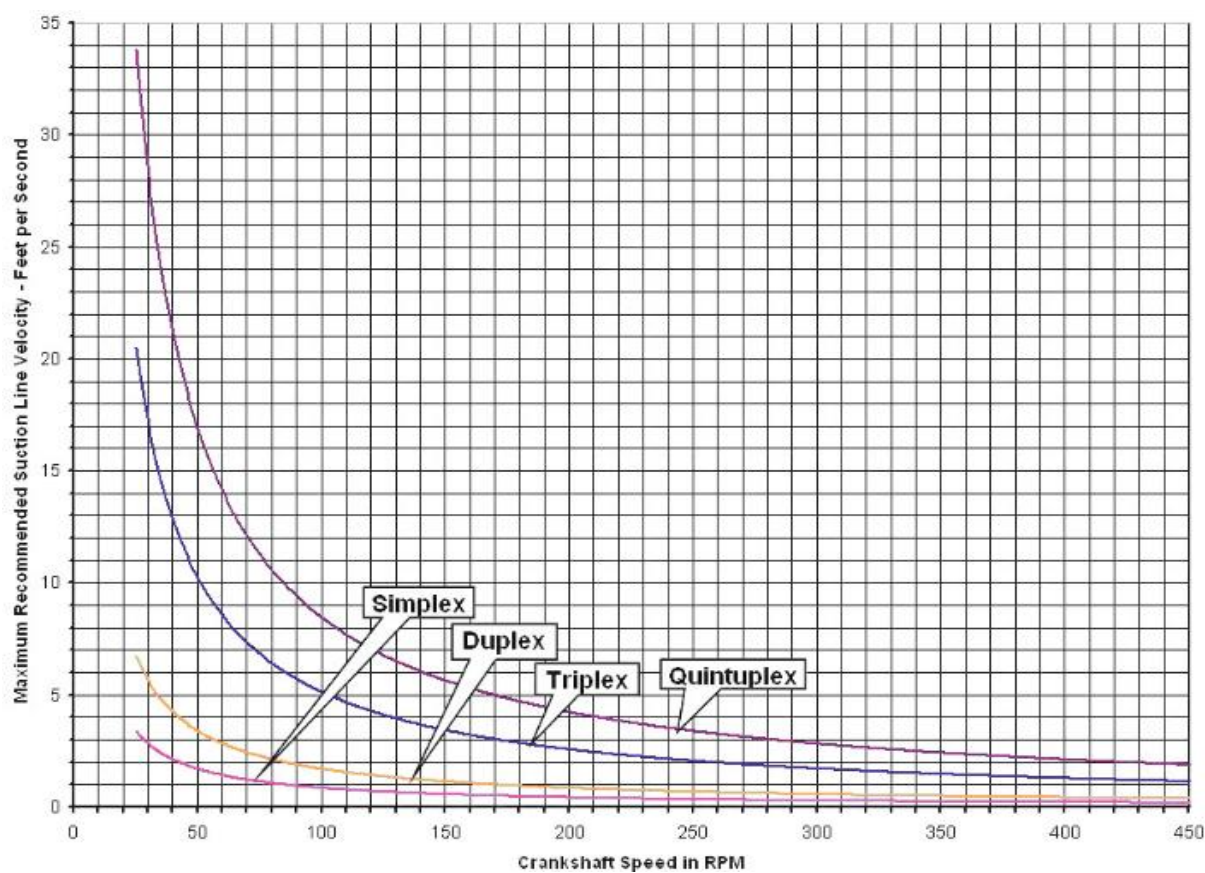
Οι σωληνώσεις θα πρέπει να τοποθετηθούν ώστε να μη προκύπτουν σημεία όπου ίσως σχηματίζονται υδρατμοί και ατμοί. Οι κοιλότητες αυτές υδρατμών μειώνουν την εν δυνάμει περιοχή ροής του ρευστού μέσα στον αγωγό και συνεπώς κάνουν τη λειτουργία και τη εκκίνηση της αντλίας πιο δύσκολες. Θα πρέπει τέτοια σημεία να εξαλείφονται από το σχεδιασμό και να παρέχονται μετρητές και συνδέσεις στραγγιστηριών κοντά στην αντλία.

Μέγεθος διαδρομής

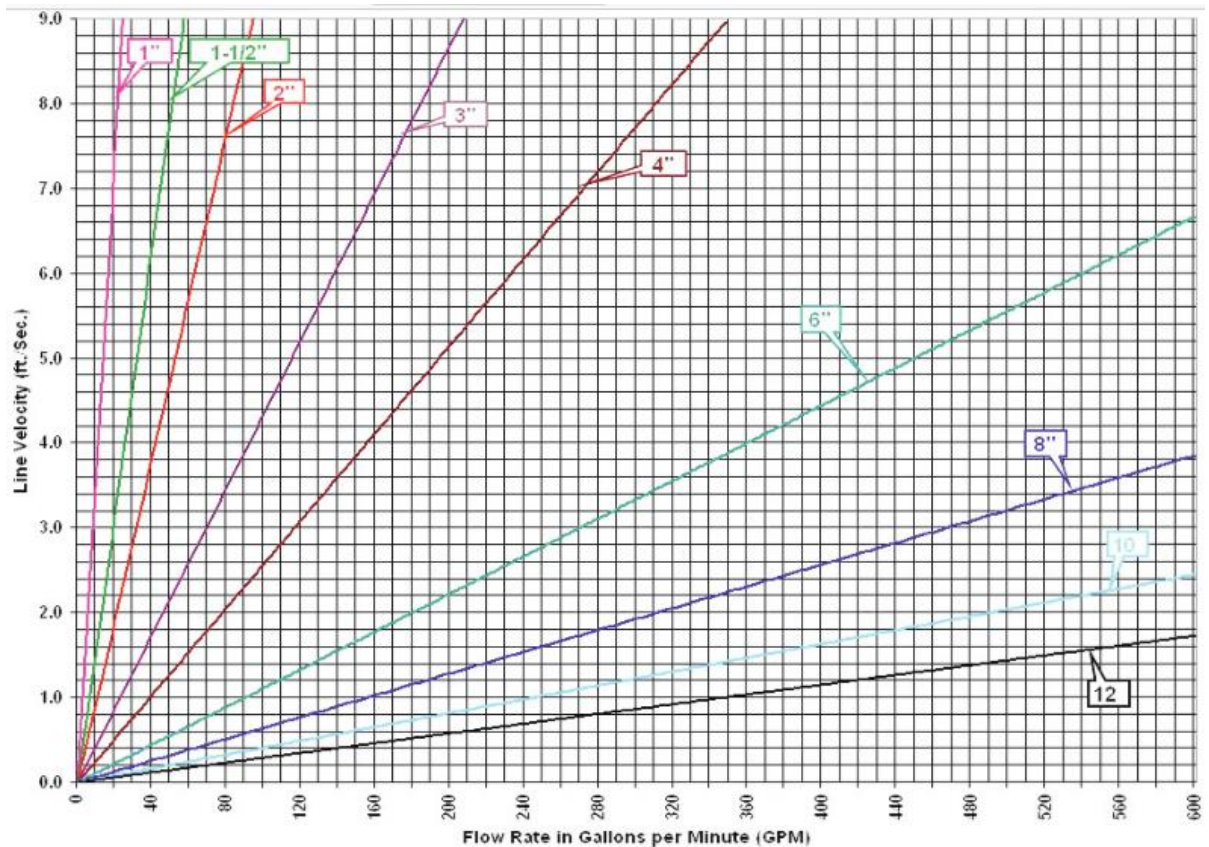
Πολλά προβλήματα σε αντλίες προκύπτουν από μια γραμμή αναρρόφησης η οποία είναι πολύ μικρή σε διάμετρο ή πολύ μεγάλη σε μήκος. Οι αγωγοί της αναρρόφησης θα πρέπει να είναι κοντοί και άμεσοι ώστε να δίνουν μια ομαλή μετάβαση για τη ροή του ρευστού και να οδηγούν σε ελαχιστοποιημένες απώλειες τριβής. Πιο συγκεκριμένα, θα πρέπει ο αγωγός να είναι ένα με δύο μεγέθη μεγαλύτερος από τη σύνδεση αναρρόφησης της αντλίας. Επίσης, θα πρέπει να υπάρχουν όσο λιγότερες

καμπές γίνεται στις σωληνώσεις και στις περιπτώσεις που αυτές είναι αναγκαίες θα πρέπει να κατασκευάζονται με μεγάλα τόξα.

Η παρακάτω εικόνα (2.9) περιέχει ένα γράφημα που μπορεί να βοηθήσει στον σχεδιασμό των σωληνώσεων στην αναρρόφηση. Από τις καμπύλες αυτές μπορεί να καθοριστεί η βέλτιστη ταχύτητα αναρρόφησης για το σωστό μηχάνημα. Το δεδομένο αυτό μπορεί να αξιοποιηθεί σε ένα άλλο διάγραμμα (εικόνα 2.10) ώστε να βρεθεί και το σωστό μέγεθος του αγωγού. Αυτό το γράφημα διαστασιολόγησης αγωγού θα πρέπει, για πιο έντονα δρομολόγια, να προσαρμόζεται αναλόγως.



Εικόνα 2.9: Μέγιστη ταχύτητα γραμμής στην αναρρόφηση για διάφορα είδη αντλίας (πηγή: Tackett, 2008)



Εικόνα 2.10: Ταχύτητας ροής στην πλευρά της αναρρόφησης για τυπικά φορτία, αφορά χαλύβδινους αγωγούς (πηγή: Tackett, 2008)

Ας εξηγήσουμε λίγο τί συμβαίνει με το NPSH (net positive suction head). Το NPSH για τις παλινδρομικές αντλίες εκφράζεται κανονικά σε μονάδες πίεσης (bar, kPa, psi) μιας και μεγάλο μέρος του $NPSH_R$ της αντλίας είναι η απαιτούμενη πίεση για να σηκωθεί η βαλβίδα αναρρόφησης από τη θέση της και να υπερνικηθούν οι απώλειες τριβής αντί για την απαιτούμενη ενέργεια ανά μονάδα μάζας (ή μέτρου ανύψωσης). Εκφραζόμενο σε μονάδες πίεσης, το NPSH γίνεται ανεξάρτητο από την πυκνότητα του ρευστού. Ακόμα, το NPSH διακρίνεται ανάμεσα σε $NPSH_A$ και $NPSH_R$.

Αναφορικά με το πρώτο ($NPSH_A$), είναι η πίεση που δίνεται πάνω από την πίεση υδρατμών του ρευστού ώστε να εξασφαλιστεί πως η αντλία έχει το απαιτούμενο NPSH συν μια επαρκή ποσότητα πίεσης για να υπερνικηθούν οι απώλειες τριβής από την αντλία. Για να καθοριστεί το απαραίτητο ελάχιστο, το συνολικό $NPSH_A$ θα πρέπει να είναι ίσο με το $NPSH_R$ συν τις απώλειες τριβής συν τη κεφαλή επιτάχυνσης. Εάν ο σχεδιασμός του συστήματος αναρρόφησης δεν μπορεί να πετύχει αυτή την απαίτηση, τότε το $NPSH_A$ μπορεί να αυξηθεί με έναν ή περισσότερους από τους ακόλουθους τρόπους:

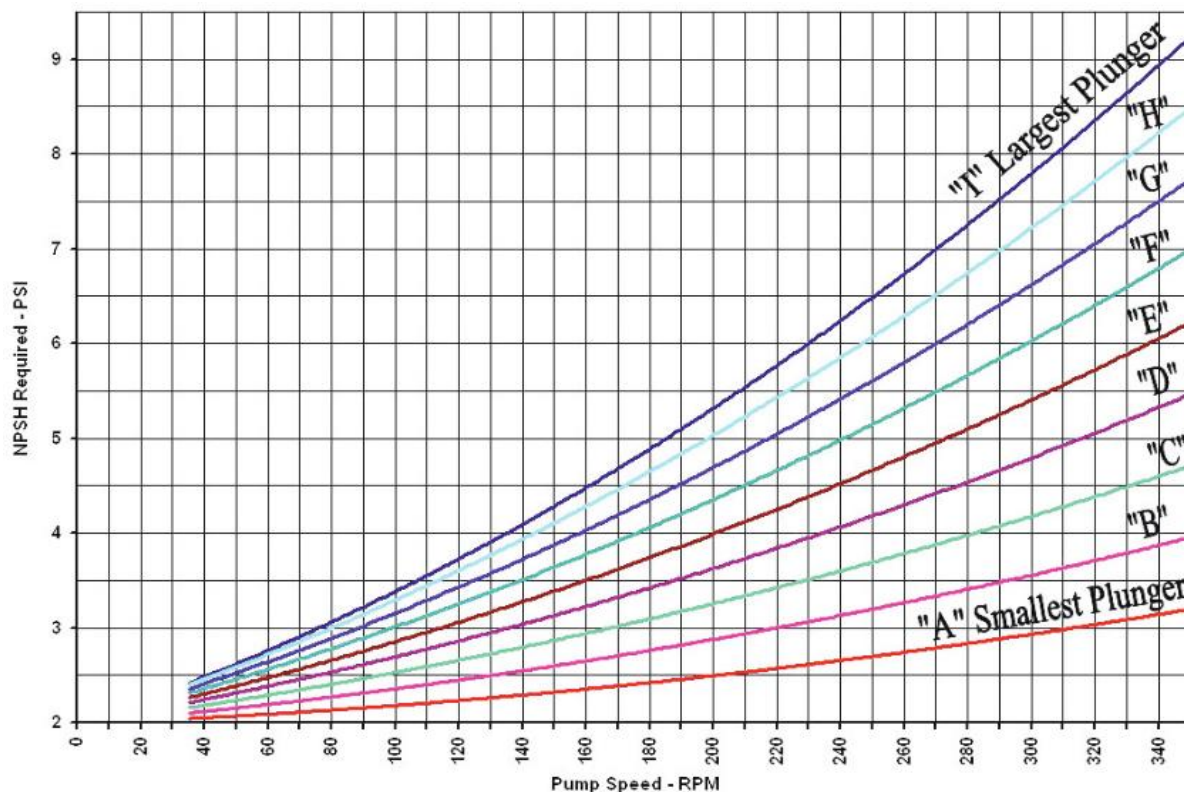
1. Αύξηση της διαμέτρου της αναρρόφησης ώστε να περνά περισσότερος όγκος του ρευστού από την εισαγωγή της αναρρόφησης και να μειώνεται η ταχύτητα της ροής εκεί, κάτι που θα μειώσει την επιτάχυνση της κεφαλής και τις απώλειες από τους αγωγούς
2. Μείωση του μήκους του αγωγού της αναρρόφησης, παρέχοντας μια πιο άμεση διαδρομή ανάμεσα στην αντλία και το δοχείο αναρρόφησης, επανατοποθετώντας την αντλία πιο κοντά στο δοχείο αναρρόφησης ή έναν συνδυασμό αυτών των δύο. Και πάλι, μειώνοντας τη κεφαλής επιτάχυνσης και τις απώλειες τριβής στους αγωγούς.
3. Εγκατάσταση ενός αποσβεστήρα ή σταθεροποιητή για τις παλινδρομήσεις στην αναρρόφηση, κοντά στη σύνδεση της αναρρόφησης της αντλίας.
4. Αύξηση του διαθέσιμου μανομετρικού με την ανύψωση του δοχείου αναρρόφησης, αυξάνοντας το επίπεδο της επιφάνειας του ρευστού στο δοχείο αυτό ή πιθανώς μειώνοντας το υψόμετρο στο οποίο βρίσκεται η αντλία.
5. Ψύξη του ρευστού προς αναρρόφηση αφότου αυτό αποχωρήσει από το δοχείο αναρρόφησης ώστε να μειωθεί η πίεση ατμών. Η μείωση αυτή της πίεσης γίνεται μέρος του NPSH_A.

Ας δούμε σε αυτό το σημείο και μερικά πράγματα για το NPSH_R. Στις εμβολοφόρες αντλίες, το NPSH_R δεν είναι ανάλογο με αυτό στις φυγοκεντρικές μηχανές. Η κατανόηση ανάμεσα στις διαφορές του NPSH_R στις δύο αυτές περιπτώσεις είναι ουσιώδες στο να διασφαλιστεί πως η αντλία λειτουργεί εντός του σωστού εύρους NPSH.

Το NPSH_R για μια παλινδρομική μηχανή ορίζεται ως η πίεση στην οποία η αντλία έχει απώλειες μέχρι 3% στην ικανότητά της να πετυχαίνει την επιθυμητή ογκομετρική αποδοτικότητα για δεδομένη πίεση και ταχύτητα. Σχετίζεται με τις απώλειες της βαλβίδας στην αναρρόφηση, την επιτάχυνση της ροής στην αναρρόφηση, συν τις απώλειες τριβής εντός του θαλάμου άντλησης.

Το NPSH_R για μια παλινδρομική αντλία καθορίζεται γενικά από δοκιμές με δροσερό νερό και μια απώλεια του 3% στην ικανότητα της αντλίας είναι ένδειξη πως αυτή ξεκινά να μπαίνει ή έχει ήδη μπει στην κατάσταση σπηλαίωσης, προκαλώντας μείωση στην δυναμική της.

Η παρακάτω εικόνα αφορά μια τυπική καμπύλη NPSH_R η οποία έχει διάφορα έμβολα διαθέσιμα, με δεδομένο μέγεθος κυλίνδρου. Οι βασικοί παράγοντες που παίζουν ρόλο εδώ είναι η ταχύτητα λειτουργίας της αντλίας, το μέγεθος του εμβόλου, το φορτίο στο ελατήριο της βαλβίδας και η σταθερά του, η ανύψωση της βαλβίδας, το πέρασμα που αφήνει ανοιχτό η αντλία, η διαμόρφωση του συστήματος αναρρόφησης κ.ά.



Εικόνα 1.11: Τυπική καμπύλη NPSH_R (πηγή: Tackett, 2008)

Έχει προταθεί πως θα πρέπει να χρησιμοποιείται μια τιμή λίγο μεγαλύτερη από το NPSH_R που δίνουν οι κατασκευαστές από τους σχεδιαστές αντλητικών συστημάτων, ώστε να αποφευχθεί η πιθανότητα να μπει η αντλία σε κατάσταση σπηλαίωσης. Προτεινόμενες τιμές για τα όρια είναι από το 103 ως το 125 τοις εκατό του NPSH_R που δίνει ο κατασκευαστής. Όσο πιο μικρό είναι το ειδικό βάρος του ρευστού, τόσο μεγαλύτερος θα πρέπει να είναι και αυτός ο συντελεστής προσαύξησης στο NPSH_R.

Οι σχεδιαστικοί περιορισμοί που καλείται να ξεπεράσει ο σχεδιαστής θα πρέπει να αντιμετωπίζονται με τη τροποποίηση του σχεδιασμού της παλινδρομικής αντλίας. Οι ακόλουθοι παράγοντες μπορούν να προσαρμοστούν ώστε να δοθούν κάποιες καλύτερες τιμές του NPSH_R:

1. Μείωση της ταχύτητας λειτουργίας της αντλίας
 - a. Αύξηση του μεγέθους του εμβόλου σε ένα δεδομένο μοντέλο και του μήκους διαδρομής.
 - b. Για δεδομένο μήκος διαδρομής, αύξηση του πλήθους των εμβόλων με τη χρήση τρικύλινδρης αντί για δικύλινδρης αντλίας.
 - c. Αλλαγή σε αντλία μεγαλύτερου μήκους διαδρομής
2. Αλλαγή του τύπου της βαλβίδας αναρρόφησης που χρησιμοποιείται. Ελαφρές βαλβίδες γενικά απαιτούν λιγότερο $NPSH_R$ λόγω της μικρότερης πίεσης ραγίσματός τους.
3. Εάν είναι εφικτό να μειωθεί η ταχύτητα της αντλίας αλλά όχι η αλλαγή στο τύπο της βαλβίδας, το $NPSH_R$ θα μπορούσε θεωρητικά να μειωθεί με τη χρήση ενός μαλακότερου ελατηρίου στη βαλβίδα αναρρόφησης (με μικρότερη δύναμη στο ελατήριο) ή εάν η λειτουργία της αντλίας είναι αρκετά αργή, να μην μπει καν ελατήριο στη βαλβίδα.

Συνολικά, το να χρησιμοποιηθεί μια αντλία ενίσχυσης ώστε να αυξήσει το μέγεθος του $NPSH$ θα πρέπει να εξετάζεται εάν το απαιτούν οι περιορισμοί του όλου συστήματος. Μια τέτοια αντλία θα πρέπει να εγκαθίσταται κοντά στο δοχείο αναρρόφησης, να έχει ένα $NPSH_R$ μικρότερο από το συνολικό $NPSH_A$ της αναρρόφησης και να έχει μανομετρικό τουλάχιστον 20% μεγαλύτερο από το $NPSH_R$ της παλινδρομικής αντλίας θετικής μετατόπισης συν τις απώλειες τριβής συν το μανομετρικό. Ένας αποσβεστήρας ταλαντώσεων στην αναρρόφηση ή ένας σταθεροποιητής, κοντά στην σύνδεση της αναρρόφησης της αντλίας είναι μια εκτιμώμενη πρακτική ώστε να προστατευθεί η αντλία ενίσχυσης από την παλινδρομούσα αδράνεια της μάζας του ρευστού της παλινδρομικής αντλίας.

Κεφάλαιο 3^ο: Σύγκριση παλινδρομικών και φυγοκεντρικών αντλιών

Στο προηγούμενο κεφάλαιο η αναφορά εστίασε στις παλινδρομικές αντλίες. Για να επιχειρηθεί να γίνει στο παρόν κεφάλαιο σύγκριση ανάμεσα στις παλινδρομικές και τις φυγοκεντρικές αντλίες, θα πρέπει πρώτα να παρατεθούν και χρήσιμα στοιχεία για τις φυγοκεντρικές αντλίες.

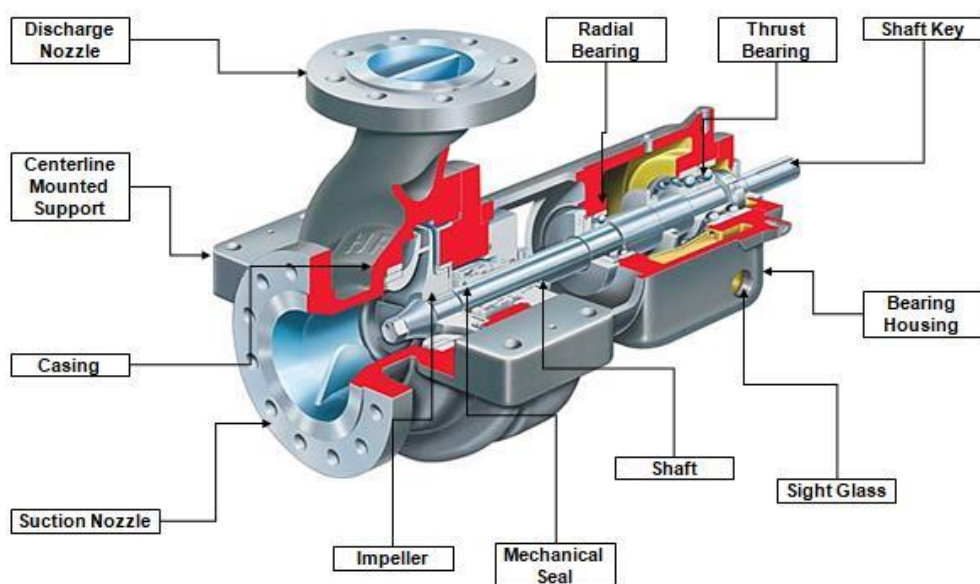
Στις φυγοκεντρικές αντλίες, καθώς το στροφείο ή πτερωτή (impeller) περιστρέφεται από το κινητήρα, το υγρό μετακινείται εξαιτίας της φυγοκεντρικής δύναμης από το κέντρο προς την περιφέρεια και εκτινάσσεται στο σπειροειδές περίβλημα για να οδηγηθεί στη συνέχεια στο σωλήνα κατάθλιψης. Επειδή το υγρό μετακινείται από το κέντρο του στροφείου προς την περιφέρεια, η πίεση στο κέντρο ελαττώνεται. Λόγω ατμοσφαιρικής πίεσης, νέα ποσότητα υγρού κινείται μέσα από τον σωλήνα αναρρόφησης προς το σημείο χαμηλής πίεσης, δηλαδή το κέντρο του στροφείου. Έτσι, δημιουργείται μια σταθερή ροή από την αναρρόφηση προς την κατάθλιψη της αντλίας. Το σπειροειδές περίβλημα ή κέλυφος (casing) έχει μια σταθερά αυξανόμενη διατομή, έτσι ώστε καθώς το υγρό προχωρεί κατά μήκος αυτού η ταχύτητά του να ελαττώνεται. Η αρχή διατήρησης της ενέργειας (εξίσωση Bernoulli) γράφεται:

$$t_{te} = \text{σταθ.} \Rightarrow H = z + \frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2g} = \text{σταθ.}$$

όπου z το γεωστατικό ή γεωδαιτικό ύψος, P η στατική πίεση και V η ταχύτητα του υγρού, από την οποία συμπεραίνουμε ότι ελάττωση της κινητικής του ενέργειας συνεπάγεται με αύξηση της δυναμικής του ενέργειας (ενέργεια πίεσης), δηλαδή έχουμε αύξηση της πίεσης του υγρού. Η θερμοκρασία του νερού θεωρείται σταθερή.

Οι φυγοκεντρικές αντλίες κατασκευάζονται γενικά ως κανονικής αναρρόφησης ή αυτόματης αναρρόφησης, μονοβάθμιες ή πολυβάθμιες και είναι κατάλληλες για μεγάλες παροχές και μικρές πιέσεις. Οι φυγοκεντρικές αντλίες είναι αντλίες που εργάζονται βασικά σε υψηλές στροφές πράγμα που ευνοεί την απευθείας ζεύξη με τις κινητήριες μηχανές, σε αντίθεση με τις παλινδρομικές και άλλες περιστροφικές αντλίες που απαιτούν συνήθως μειωτήρα, με αποτέλεσμα να παρουσιάζουν περισσότερες απώλειες. Επίσης, λόγω του υψηλού αριθμού στροφών, οι φυγοκεντρικές αντλίες είναι μικρές σε μέγεθος, απλές στην κατασκευή με μόνο

κινούμενο μέρος το στροφέιο, άρα είναι και χαμηλού κόστους. Μπορούν να αντλούν υγρά που περιέχουν μικρού μεγέθους στερεά σωματίδια, όπως άμμο, λάσπη ή και μεγαλύτερα με μια κατάλληλη περωτή, με τη φθορά σε αυτή την περίπτωση να είναι μικρότερη από τις παλινδρομικές, όπου τα μικρά διάκενα των βαλβίδων φθείρουν τις βαλβίδες γρήγορα. Καθώς δε η κίνηση του στροφείου και του άξονα είναι περιστροφική δεν αναπτύσσονται δονήσεις, ούτε η ροή είναι παλμική, όπως συμβαίνει στις παλινδρομικές αντλίες. Έτσι, χωρίς τις προβληματικές βαλβίδες των παλινδρομικών, οι φυγοκεντρικές αντλίες δίνουν την ευχέρεια ελέγχου της ροής ή της πίεσης αναρρόφησης ή της πίεσης κατάθλιψης χωρίς το αντλούμενο υγρό να έρχεται σε επαφή με το λιπαντικό μέσο και να ρυπαίνεται, αφού το λιπαντικό βρίσκεται έξω από το θάλαμο του στροφείου, συγκεκριμένα στους τριβείς των εδράνων του άξονα. Οι φυγοκεντρικές αντλίες μειονεκτούν έναντι των εμβολοφόρων από άποψη ύψους αναρρόφησης, το οποίο δεν ξεπερνά τα 4-6 m, αλλά και του βαθμού απόδοσής τους, που κυμαίνεται στο 60-70%.



Εικόνα 2.1: Σχηματική απεικόνιση φυγοκεντρικής αντλίας (πηγή: διαδίκτυο)

Βασικά εξαρτήματα μιας απλής φυγόκεντρου αντλίας είναι το σπειροειδές περίβλημα (σαλίγκαρος), το κάλυμμα με το στόμιο εισόδου του υγρού και τη φλάντζα για τη σύνδεση του σωλήνα αναρρόφησης, η χοάνη κατάθλιψης με τη φλάντζα για τη

σύνδεση του σωλήνα κατάθλιψης, η περωτή, ο στυπιοθλίπτης και ο άξονας της αντλίας ο οποίος μεταδίδει την κίνηση στην αντλία.

Το **περιβλήμα** των φυγοκεντρικών αντλιών έχει τις περισσότερες φορές δύο τμήματα, τα οποία διαχωρίζονται οριζόντια, κάθετα ή και διαγώνια. Κάποιες φυγόκεντρες αντλίες έχουν σπειροειδές το σχήμα του περιβλήματός τους και η τοποθέτηση της περωτής γίνεται έτσι ώστε το υγρό (το οποίο κάνει μια κίνηση από το κέντρο προς την περιφέρεια εξαιτίας της φυγοκεντρικής δύναμης) να κάνει κίνηση σε αγωγό με συνεχώς αυξανόμενη διάμετρο, δηλαδή τη χοάνη κατάθλιψης. Με αυτό το τρόπο, έχουμε προοδευτική ελάττωση της ταχύτητα της κίνησης του υγρού και μετατροπή της κινητικής του ενέργειας σε στατική πίεση με όσο το δυνατό λιγότερες απώλειες. Από την άλλη, υπάρχουν φυγόκεντρες αντλίες με περύγια διάχυσης. Σε αυτό το τύπο, γύρω από την περωτή έχουμε το σχηματισμό διόδων με σταδιακά αυξανόμενη διατομή προσθέτοντας μια σειρά μη κινούμενων περυγίων. Καθώς το υγρό περνάει μέσα από τις διόδους που σχηματίζουν αυτά τα περύγια, η κίνησή του αλλάζει, ενώ παρατηρείται ελάττωση της ταχύτητάς του. Αντίθετα, η πίεσή του αυξάνει πριν εισέλθει στον αγωγό του περιβλήματος. Αυτού του τύπου η αντλία ονομάζεται και ως στροβιλαντλία (turbine pump).

Η **περωτή** αποτελείται από τον περιστρεφόμενο δρομέα, που κατασκευάζεται σαν ένα σώμα με τον άξονα, και από τα περύγια, τοποθετούνται πάνω στον δρομέα. Η κλίση των περυγίων είναι πάντα αντίθετη προς τη φορά περιστροφής της περωτής. Υπάρχουν τρία είδη περωτών:

1. Περωτή ημίκλειστου τύπου: Ο περιστρεφόμενος δρομέας αποτελείται από έναν δίσκο ο οποίος έχει στη μια πλευρά του τα περύγια, τα οποία βρίσκονται από την πλευρά του στομίου εισόδου του υγρού. Ο βαθμός απόδοσης των αντλιών με αυτού του είδους την περωτή είναι πάντα μεγαλύτερος από τις αντλίες με περωτή ανοικτού τύπου και μικρότερος από τις αντλίες με περωτή κλειστού τύπου (που θα δούμε παρακάτω). Ο βαθμός απόδοσης μπορεί να είναι αρκετά ικανοποιητικός, αν έχουμε πολύ μικρό διάκενο μεταξύ των περυγίων και της εσωτερικής επιφάνειας του τοιχώματος του καλύμματος του περιβλήματος. Οι αντλίες με περωτή ημίκλειστου τύπου κρίνονται ακατάλληλες για την άντληση υγρών που δεν έχουν καθαριστεί, όμως χρησιμοποιούνται για την άντληση νερού που περιέχει άμμο.

2. Πτερωτή ανοικτού τύπου: Ο δρομέας που περιστρέφεται αποτελείται από έναν "αφαλό" στον οποίο, τοποθετούνται γύρω του τα πτερύγια. Οι αντλίες με αυτού του τύπου τη πτερωτή έχουν μικρό βαθμό απόδοσης, διότι αρκετά μεγάλη ποσότητα υγρού διαρρέει από το περίβλημα στο στόμιο εισόδου. Ακόμα δεν μπορούν να δημιουργήσουν μεγάλο μανομετρικό ύψος. Έτσι η χρήση των αντλιών με πτερύγια ανοικτού τύπου γίνεται σε ειδικές περιπτώσεις.
3. Πτερωτή κλειστού τύπου: Ο δρομέας που περιστρέφεται αποτελείται από δύο δίσκους, οι οποίοι έχουν μεταξύ τους τοποθετημένα τα πτερύγια. Στο κέντρο του ενός δίσκου υπάρχει μια οπή εισόδου για το υγρό στα πτερύγια σαν συνέχεια του στομίου εισόδου του υγρού στο περίβλημα. Οι αντλίες διπλής αναρρόφησης με αυτού του τύπου τη πτερωτή έχουν και στους δύο δίσκους οπές εισόδου του υγρού. Ο βαθμός απόδοσης τους είναι μεγάλος και η πίεση τους υψηλή, ωστόσο η χρήση τους γίνεται για την άντληση καθαρών νερών διότι φράσουν εύκολα.

Ο **στυπιοθάλαμος** είναι μέρος του σώματος της αντλίας και βοηθάει στη στεγανοποίηση του διακένου μεταξύ του περιβλήματος και του άξονα της πτερωτής. Έτσι, ο στυπιοθάλαμος χρησιμοποιείται για να εμποδίζει την είσοδο του αέρα στο περίβλημα και τη διαρροή του υγρού κατά μήκος του άξονα, όταν η πίεση στο στυπιοθλίπτη είναι μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική. Η στεγανοποίηση μπορεί να γίνει είτε στις σαλαμάστρες είτε με μηχανικά μέσα.

- Στεγανοποίηση με σαλαμάστρα: Η σαλαμάστρα είναι τοποθετημένη μέσα στο στυπιοθάλαμο έχοντας μορφή δακτυλίων και συμπιέζεται με το στυπιοθλίπτη. Προκειμένου να αποφευχθεί η φθορά, λόγω τριβών, στον άξονα και στη σαλαμάστρα, γίνεται ελεγχόμενο σφίξιμο του στυπιοθλίπτη ώστε το νερό που αντλείται να διαρρέει κατά σταγόνες και να έχει τη δράση λιπαντικού. Όταν το υγρό είναι εύφλεκτο ή διαβρωτικό αυτό δεν επιτρέπεται. Η χρησιμοποίηση της σαλαμάστρας, ως μέσο στεγανοποίησης, παρουσιάζει και ορισμένα μειονεκτήματα όπως α) όταν ο άξονας δεν είναι λείος, επιτρέπει τη διαρροή αρκετά μεγάλης ποσότητας υγρού, β) όταν το σφίξιμο του στυπιοθλίπτη είναι πάνω από το όριο, τότε έχουμε θέρμανση του άξονα και τη γρήγορη καταστροφή του και γ) χρειάζεται συχνή συντήρηση.

- Στεγανοποίηση με μηχανικά μέσα: Η στεγανοποίηση με μηχανικά μέσα χρησιμοποιείται περισσότερο ως μέσο στεγανοποίησης τα τελευταία χρονιά διότι δεν παρουσιάζει τα μειονεκτήματα της στεγανοποίησης με σαλαμάστρα. Τα βασικά εξαρτήματα μιας τέτοιας διάταξης είναι: α) ένας σταθερός δακτύλιος, β) ένας δακτύλιος που περιστρέφεται μαζί με τον άξονα αλλά μετακινείται «τηλεσκοπικά» κατά μήκος του άξονα και γ) ένα ελατήριο που κρατάει συνεχώς σε επαφή τους δύο δακτυλίους.

Οι αντλίες δυναμικού τύπου διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

1. **Ακτινικής ροής (φυγόκεντρες):** Είναι οι πιο διαδεδομένες φυγόκεντρικές αντλίες και διακρίνονται σε οριζόντιες ή κατακόρυφες ανάλογα με τη τοποθέτηση του άξονα της περωτής. Το υγρό κινείται αξονικά, εισέρχεται στο κέντρο της περωτής, κινείται στο χώρο μεταξύ των πτερυγίων της περωτής και εξέρχεται ακτινικά. Σε πολλές περιπτώσεις είναι προτιμότερο να τοποθετείται η αντλία κατακόρυφα απ' ότι οριζόντια διότι:

- a. καταλαμβάνουν λιγότερο χώρο, διότι η τοποθέτηση του κινητήρα γίνεται πάνω από την αντλία, κι έτσι έχουμε οικονομία επιφάνειας.
- b. αν το αντλούμενο υγρό βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα στάθμης κατά την άντληση, τότε η τοποθέτηση της αντλίας μπορεί να γίνει πιο κοντά στη στάθμη ώστε το ύψος της αναρρόφησης να είναι το επιτρεπτό και να μην υπερβαίνει τα όρια.

Από την άλλη όμως οι οριζόντιες αντλίες δεν είναι τόσο περίπλοκες στην κατασκευή τους και το κόστος κατασκευής τους είναι αρκετά μικρότερο από αυτό των κατακόρυφων

2. **Μικτής ροής (φυγόκεντρες):** Οι αντλίες μικτής ροής είναι ενδιάμεσος τύπος μεταξύ των αντλιών ακτινικής και αξονικής ροής. Το υγρό εισέρχεται αξονικά, ενώ η κίνησή του μέσα στην αντλία είναι και αξονική και ακτινική. Η έξοδος του μπορεί να είναι είτε ακτινική (ελικοειδείς αντλίες) είτε αξονική (διαγώνιες αντλίες).

- a. Οι ελικοειδείς αντλίες προσφέρουν μεγάλο εύρος παροχών με σχετικά μικρό ολικό ύψος (έως 20 m), δηλαδή η ειδική ταχύτητα τους είναι μεγάλη. Οι ελικοειδείς αντλίες διαφοροποιούνται από τις φυγόκεντρικές στο ότι έχουν περωτή ανοικτού τύπου.

- b. Οι διαγώνιες αντλίες προσφέρουν μεγάλες παροχές και το μανομετρικό τους ύψος είναι μεγαλύτερο από τις ελικοειδείς και φτάνει μέχρι 40 m ή και περισσότερο. Η ειδική ταχύτητα τους είναι μεγάλη όπως και στις προηγούμενες αντλίες. Η κατασκευή του περιβλήματος τους είναι τέτοια ώστε το υγρό να εισέρχεται κατά τη φορά και τη διεύθυνση του άξονα, να κινείται διαγώνια και να εξέρχεται πάλι κατά τη φορά και διεύθυνση του άξονα με τη βοήθεια πτερυγίων διάχυσης. Ακόμα, η έξοδος του υγρού τις περισσότερες φορές είναι υπό γωνία ως προς τον περιστροφικό άξονα της πτερωτής, όμως κάποιες φορές, όπως όταν έχουμε μικρή ειδική ταχύτητα η έξοδος του υγρού είναι κάθετη προς τον περιστροφικό άξονα. Τέλος, η πτερωτή που μπορούμε να συναντήσουμε σε αυτές τις αντλίες είναι κλειστού ή ανοιχτού τύπου.
3. **Αξονικής ροής:** Οι αντλίες αξονικής ροής έχουν διάμετρο εισόδου ίση με τη διάμετρο εξόδου και η κίνηση του υγρού γίνεται κατά μήκος του περιστροφικού άξονα της πτερωτής. Μια δεύτερη ονομασία αυτών των αντλιών είναι και ως «ελικοφόρες αντλίες» διότι το στροφείο τους έχει μορφή έλικας. Η χρήση τους γίνεται σε μεγάλο εύρος παροχών και οι ειδικές ταχύτητές τους είναι πολύ μεγάλες. Τέλος στις αντλίες αξονικής ροής, η ικανότητα αναρρόφησης τους είναι πολύ περιορισμένη και παρατηρούμε μεγάλη αλλαγή στο μανομετρικό ύψος όταν έχουμε μεταβολές στη παροχή.
4. **Στροβιλαντλίες:** Στις στροβιλαντλίες τα πτερύγια της πτερωτής είναι τοποθετημένα και στις δυο πλευρές του δίσκου. Είναι εφοδιασμένες με ακίνητα πτερύγια διάχυσης με τα οποία επιτυγχάνεται η μετατροπή της κινητικής ενέργειας, που προστίθεται στο υγρό από τη πτερωτή, σε ενέργεια πίεσης. Χρησιμοποιούνται για διακίνηση υγρών που περιέχουν ατμό ή αέρια, ενώ είναι ακατάλληλες για υγρά που περιέχουν σχετικά μεγάλα στερεά σώματα λόγω των μικρών διάκενων που έχουν. Τέλος, έχουν μικρή παροχή, αλλά δίνουν μεγάλο ολικό ύψος, μέχρι και 170 m.

3.1 Σημεία προσοχής στις φυγοκεντρικές αντλίες

Σχετικά με τις φυγοκεντρικές αντλίες, θα πρέπει να γίνουν δύο επισημάνσεις για τη λειτουργία τους, οι οποίες οφείλονται στη λίπανσή τους και τα φαινόμενα σπηλαίωσης που μπορούν να παρατηρηθούν σε αυτού του είδους τις αντλίες.

Για τη λίπανση αρχικά, οι τριβόμενες επιφάνειες των φυγοκεντρικών αντλιών, λιπαίνονται με μια από τις παρακάτω μεθόδους:

- με περιστρεφόμενο δακτύλιο
- με σφαιροτριβείς που λιπαίνονται με λίπος
- με σφαιροτριβείς που λιπαίνονται με λάδι
- με σύστημα βεβιασμένης κυκλοφορίας λαδιού

Η σωστή λίπανση της αντλίας έχει ιδιαίτερη σημασία γιατί εξαιτίας κακής ή ελαττωματικής λίπανσης μπορεί να υπάρξουν σοβαρές ανωμαλίες και προβλήματα στην αντλία. Γι' αυτό πρέπει να γίνεται έλεγχος για το αν ο δακτύλιος λίπανσης περιστρέφεται ελεύθερα και αν μεταφέρει επαρκή ποσότητα λαδιού σε κάθε περιστροφή του. Επίσης, θα πρέπει να καθίσταται βέβαιο ότι τα λιπαντήρια των σφαιροτριβών (γρασαδόροι) είναι γεμάτα με λιπαντικό και ότι η στάθμη του λαδιού στη δεξαμενή βρίσκεται σε κανονικό ύψος. Τέλος, σε όλες τις περιπτώσεις θα πρέπει να παρακολουθείται περιοδικά η κανονική θερμοκρασία των τριβέων και των άλλων εξαρτημάτων που λιπαίνονται.

Η **σπηλαίωση (cavitation)** περιγράφεται ως εξής: Όταν ένα υγρό διέρχεται με μεγάλες ταχύτητες (σύμφωνα με την εξίσωση Bernoulli αν για οποιοδήποτε λόγο αυξηθεί η ταχύτητα ροής του υγρού, θα έχουμε αντίστοιχη πτώση της πίεσης), από μια υδροδυναμική μηχανή, είναι δυνατόν (υπό ορισμένες συνθήκες) να σχηματιστούν φυσαλίδες ατμών μέσα στην κινούμενη μάζα με δυσμενή επίδραση στη λειτουργία της μηχανής. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό ως σπηλαίωση. Η σπηλαίωση ειδικότερα σε μια υδραντλία αρχίζει να εμφανίζεται όταν «η απόλυτη στατική πίεση στην αναρρόφησή της γίνει (περίπου) ίση ή μικρότερη από τη μέγιστη τάση των υδρατμών (πίεση του κορεσμένου ατμού)» (Πολυζάκης Α., 2016). Με μια άλλη ανάγνωση, η σπηλαίωση μπορεί να αποφευχθεί όσο ισχύει το παρακάτω:

$$NPSH_r \leq NPSH_a$$

όπου $NPSH_r$ είναι το απαιτούμενο καθαρό θετικό ύψος αναρρόφησης (Net Positive Suction Head Required) και $NPSH_a$ το διαθέσιμο καθαρό θετικό ύψος αναρρόφησης (Net Positive Suction Head Available).

Γενικά, προϋποθέσεις για εμφάνιση σπηλαιώσης είναι:

- Η μικρή πίεση σε σύγκριση με τη μέγιστη τάση των ατμών (κορεσμού) του υγρού που αντλείται. Έτσι, παρ' όλο που οι αντλίες αυξάνουν την πίεση στη κατάθλιψη, δύσκολα εμφανίζεται εκεί σπηλαιώση, στην αναρρόφηση η εξωτερική πίεση μπορεί εύκολα να πέσει κάτω από τη τιμή της πίεσης ατμών του υγρού στη θερμοκρασία λειτουργίας. Το φαινόμενο της σπηλαιώσης είναι δυνατόν να αναπτυχθεί σε όλες τις ροές υγρών και ιδιαίτερα στις περιοχές όπου αναπτύσσονται υψηλές τιμές της ταχύτητας της ροής, όπως στις υδροδυναμικές μηχανές (αντλίες και υδροστρόβιλοι), σε βάνες κατά το μερικό κλείσιμο, σε εξαρτήματα όπως διακλαδώσεις κ.λπ. Φυσικά, όσο μικρότερη είναι η μέση στατική πίεση της ροής λόγω της υδροστατικής πίεσης και μόνον (δηλαδή σε σημεία με υψηλή στάθμη ως προς τη στάθμη αναφοράς) τόσο πιο εύκολη είναι η ανάπτυξη σπηλαιώσης καθώς μικρή πτώση της στατικής πίεσης, που οφείλεται σε τοπική αύξηση της ταχύτητας της ροής (σε μετατροπή μέρους της ολικής ενέργειας του υγρού σε κινητική ενέργεια σύμφωνα με την εξίσωση Bernoulli) να είναι πιθανώς αρκετή για τη διαμόρφωση συνθηκών σπηλαιώσης.
- Όταν η παροχή είναι μεγαλύτερη από την κανονική, η σπηλαιώση εμφανίζεται ευκολότερα γιατί αυξάνεται η ταχύτητα ροής με αντίστοιχη πτώση πίεσης.
- Από κινηματική άποψη, το σχήμα των γραμμών ροής επηρεάζει την εμφάνιση της σπηλαιώσης. Απότομη αλλαγή της διεύθυνσης ροής, απότομη διεύρυνση των διόδων ροής μέσα στην αντλία ή κακές συνθήκες εισόδου του υγρού στην περρωτή είναι δυνατό να προκαλέσουν σπηλαιώση.

Οι τοπικές πιέσεις λόγω σπηλαιώσης μπορούν να φθάσουν μέχρι και εκατοντάδες ατμόσφαιρες. Έχουν αναφερθεί πιέσεις κατάρρευσης φυσαλίδων μεγαλύτερες από 1 GPa, ενώ η συχνότητα είναι αρκετά ψηλή, της τάξης αρκετών kHz. Αυτό το τοπικά πολύ έντονο φαινόμενο της σφυρηλάτησης, μπορεί να δημιουργήσει κοιλότητες στο στροφέιο και αλλού.

Η σπηλαίωση συμβαίνει συνήθως στην πλευρά της αναρρόφησης της αντλίας. Σπανιότερα βέβαια μπορεί να παρατηρηθεί και στην κατάθλιψη, σε σημεία «αποκόλλησης» της ροής. Στις φυγοκεντρικές αντλίες η σπηλαίωση δημιουργείται συχνότατα στην εσωτερική πλευρά των πτερυγίων, κοντά στην είσοδο της περωτής, στα σημεία όπου το υγρό ρέει δια μέσου διακένων στεγανότητας, ή όταν κάνει απότομες στροφές με αποτέλεσμα να αποκολλάται η ροή από τις επιφάνειες του μετάλλου. Όταν η σπηλαίωση είναι μεγάλης έκτασης, μπορεί να φθαρούν και τα άκρα των πτερυγίων στην έξοδο, τα πτερύγια διάχυσης και ο αγωγός του σπειροειδούς περιβλήματος. Στις αντλίες μικτής και αξονικής ροής όπου τα πτερύγια είναι πάντα ανοιχτού τύπου, η σπηλαίωση εκδηλώνεται στο χείλος εισόδου του υγρού στα πτερύγια, στα άκρα των πτερυγίων προς τα τοιχώματα του περιβλήματος και στο χείλος εισόδου του υγρού στα πτερύγια διάχυσης.



Εικόνα 3.2: Συνέπειες της σπηλαίωσης σε στροφείο (πηγή: διαδίκτυο)

Συνέπειες του φαινομένου της σπηλαίωσης είναι οι παρακάτω:

1. Υλική καταστροφή της επιφάνειας των πτερυγίων (λόγω γένεσης κρουστικών κυμάτων υψηλής πίεσης).
2. Υποβιβασμός του μανομετρικού ύψους, της παροχής όγκου και επομένως του βαθμού απόδοσης της αντλίας (λόγω ανωμαλίας στη ροή).

3. Θόρυβος. Προκαλείται από την πρόσκρουση του υγρού στις μεταλλικές επιφάνειες κατά την απότομη συμπίκνωση των φυσαλίδων.
4. Κραδασμοί της αντλίας. Προκαλούνται από τις ταλαντώσεις των τμημάτων στα οποία προσκρούει το υγρό.
5. Αύξηση της θερμοκρασίας λειτουργίας της αντλίας (από την επανύγροποίηση των φυσαλίδων)

3.2 Πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα των φυγοκεντρικών αντλιών

Οι φυγοκεντρικές αντλίες χρησιμοποιούνται σε μεγαλύτερη έκταση για τη διακίνηση όλων των ιξωδών ρευστών λόγω των πλεονεκτημάτων τους. Αυτά είναι:

1. **Απλότητα κατασκευής.** Δεν απαιτούν βαλβίδες, αεροκώδωνες, μηχανισμό εμβόλου, βάκτρο κ.λπ.
2. **Συμπαγής κατασκευή.** Κατασκευάζονται σε ενιαία συγκροτήματα μαζί με το κινητήριο μηχάνημα σε κοινή βάση.
3. **Είναι ταχύστροφες.** Προσαρμόζονται με ευχέρεια στις μεγάλες ταχύτητες του κινητήριου μηχανήματός τους, ως ανεξάρτητες ή της κύριας μηχανής ως εξαρτημένες.
4. **Οικονομία σε όγκο και βάρος και χαμηλό κόστος.** Πλεονέκτημα που συνδέεται απευθείας με τον υψηλό αριθμό περιστροφής τους, λόγω του οποίου είναι εφικτή η συγκέντρωση ισχύος, δηλαδή η εκτέλεση ορισμένου αντλητικού έργου με αντλία μικρότερων διαστάσεων, βάρους και συνεπώς μικρότερου κόστους.
5. **Υψηλή και συνεχής παροχή.**
6. **Ομαλή λειτουργία.** Εργάζονται χωρίς κτύπους ή κραδασμούς.

Ωστόσο, μειονεκτούν οι συγκεκριμένες αντλίες σε συγκεκριμένα σημεία. Δεν αναρροφούν ευχερώς, όπως οι παλινδρομικές, με αποτέλεσμα να είναι αναγκαία η πλήρωση του αγωγού της αναρρόφησης με υγρό ή η χρησιμοποίηση αντλίας προπλήρωσης, εκτός αν είναι τύπου αυτοπληρούμενης. Επιπλέον, δεν παρέχουν μεγάλα ύψη κατάθλιψης, όπως οι παλινδρομικές. Παρ' όλα αυτά, το τελευταίο αντιμετωπίζεται σε περίπτωση πολυβάθμιων φυγόκεντρων αντλιών.

Σε αυτό το σημείο, έχοντας δει αρκετά στοιχεία για τις φυγοκεντρικές αντλίες (σε αυτό το κεφάλαιο) και έχοντας αναφερθεί αναλυτικά στις παλινδρομικές αντλίες (στο προηγούμενο κεφάλαιο), παρακάτω μπορούμε να αριθμήσουμε τις σημαντικότερες διαφορές που έχουν αυτά τα δυο είδη αντλιών.

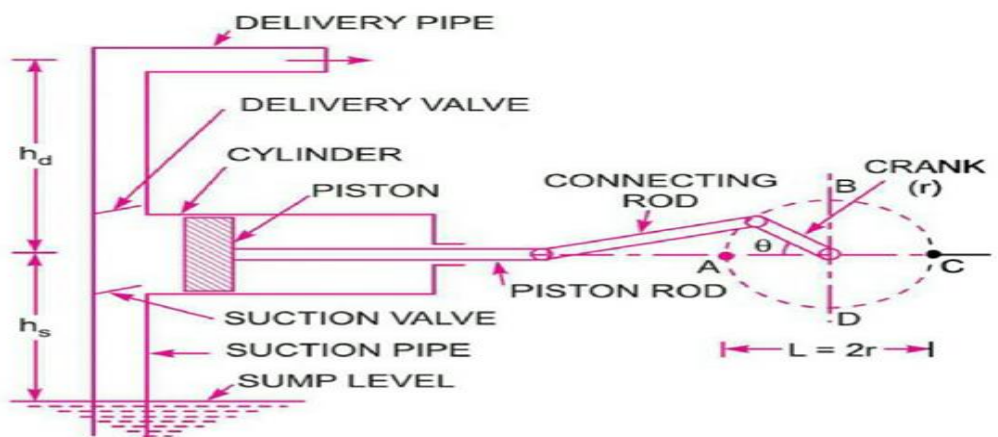
- 1) Οι φυγοκεντρικές αντλίες είναι δυναμικού τύπου και χρησιμοποιούν τη κινητική ενέργεια της πτερωτής για να μετακινήσουν το υγρό από τη μια θέση σε μια άλλη, ενώ οι παλινδρομικές είναι αντλίες θετικής μετατόπισης και χρησιμοποιούν έμβολο για τη μετακίνηση του υγρού.
- 2) Οι φυγοκεντρικές αντλίες είναι απλές στη κατασκευή, ενώ οι παλινδρομικές είναι πολύπλοκες στη κατασκευή.
- 3) Οι φυγοκεντρικές αντλίες λειτουργούν σε χαμηλή ή μεσαία πίεση κεφάλης, ενώ οι παλινδρομικές λειτουργούν σε υψηλή πίεση κεφάλης.
- 4) Οι φυγοκεντρικές αντλίες έχουν υψηλή παροχή, ενώ οι παλινδρομικές έχουν χαμηλή παροχή.
- 5) Οι φυγοκεντρικές αντλίες δεν έχουν υποχρεωτική βαλβίδα εκτόνωσης, ενώ οι παλινδρομικές έχουν υποχρεωτική βαλβίδα εκτόνωσης.
- 6) Οι φυγοκεντρικές αντλίες παρέχουν υγρό κατά τη κατάθλιψη με ομοιόμορφη - ομαλή ροή, ενώ οι παλινδρομικές έχουν κυμαινομένη και διακοπτόμενη ροή.
- 7) Οι φυγοκεντρικές αντλίες δεν προκαλούν θόρυβο, ενώ οι παλινδρομικές προκαλούν θόρυβο.
- 8) Οι φυγοκεντρικές αντλίες αντιμετωπίζουν πρόβλημα με την αυτόματη αναρρόφηση, δηλαδή δεν έχουν τη δυνατότητα άντλησης νερού με αέρα και συνήθως διαθέτουν εσωτερικό ή εξωτερικό τζιφάρι, ενώ οι παλινδρομικές έχουν αυτόματη αναρρόφηση.
- 9) Οι φυγοκεντρικές αντλίες απαιτούν περιορισμένο χώρο εγκατάστασης, ενώ οι παλινδρομικές απαιτούν μεγάλο χώρο εγκατάστασης.

- 10) Οι φυγοκεντρικές αντλίες έχουν μικρό αρχικό κόστος, ενώ οι παλινδρομικές έχουν μεγάλο αρχικό κόστος.
- 11) Οι φυγοκεντρικές αντλίες έχουν μεγάλη κατανάλωση ισχύος, ενώ οι παλινδρομικές έχουν μικρότερη κατανάλωση ισχύος.
- 12) Οι φυγοκεντρικές αντλίες απαιτούν λιγότερη συντήρηση και έχουν χαμηλό κόστος συντήρησης, ενώ οι παλινδρομικές απαιτούν συχνότερη συντήρηση και έχουν υψηλό κόστος συντήρησης.
- 13) Οι φυγοκεντρικές αντλίες έχουν χαμηλότερη απόδοση, ενώ οι παλινδρομικές έχουν υψηλότερη απόδοση.
- 14) Οι φυγοκεντρικές αντλίες λειτουργούν σε υψηλές στροφές, και μπορούν να συνδεθούν απευθείας με τον ηλεκτρικό κινητήρα χωρίς τη χρήση γραναζιών ή μιάντων ενώ οι παλινδρομικές λειτουργούν σε χαμηλές στροφές.
- 15) Οι φυγοκεντρικές αντλίες έχουν μεγάλη ροπή στρέψης εκκίνησης, ενώ οι παλινδρομικές έχουν χαμηλή ροπή στρέψης εκκίνησης.
- 16) Οι φυγοκεντρικές αντλίες διακινούν καθαρά υγρά μικρού ιξώδους, ενώ οι παλινδρομικές διακινούν παχύρευστα υγρά και διαφορετικά υλικά (ύλη, μαζούτ).

Κεφάλαιο 4^ο: Χαρακτηριστικά μεγέθη παλινδρομικών αντλιών

Τα κύρια τμήματα μιας παλινδρομικής αντλίας

Τα ακόλουθα είναι τα κύρια μέρη μιας παλινδρομικής αντλίας όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.1:



Εικόνα 4.1: Χαρακτηριστικά τμήματα παλινδρομικής αντλίας (πηγή: Dr. R.K. Bansal, 2010)

1. Ένας κύλινδρος (cylinder) με έμβολο (piston), βάκτρο εμβόλου (piston rod), διωστήρας (connecting rod) και στρόφαλος (crank),
2. Σωλήνας αναρρόφησης (suction pipe)
3. Σωλήνας παροχής (delivery pipe)
4. Βαλβίδα αναρρόφησης (suction valve)
5. Βαλβίδα παροχής (delivery valve)

Λειτουργία παλινδρομικής αντλίας

Η εικόνα 4.1 δείχνει μια παλινδρομική αντλία μονής δράσης, η οποία αποτελείται από ένα έμβολο που κινείται προς τα εμπρός και προς τα πίσω σε ένα στενό κύλινδρο. Η κίνηση του εμβόλου επιτυγχάνεται συνδέοντας το βάκτρο του εμβόλου στο στρόφαλο μέσω ενός διωστήρα. Ο στρόφαλος περιστρέφεται μέσω ενός ηλεκτροκινητήρα. Οι σωλήνες αναρρόφησης και παροχής με τη βαλβίδα αναρρόφησης και τη βαλβίδα

παροχής συνδέονται στον κύλινδρο. Οι βαλβίδες αναρρόφησης και παροχής είναι βαλβίδες μονής κατεύθυνσης ή βαλβίδες χωρίς επιστροφή, οι οποίες επιτρέπουν στο νερό να ρέει μόνο προς μία κατεύθυνση. Η βαλβίδα αναρρόφησης αφήνει το νερό από το σωλήνα αναρρόφησης στο κύλινδρο, η οποία, η βαλβίδα αναρρόφησης αφήνει το νερό από το κύλινδρο στο σωλήνα παροχής μόνο.

Όταν ο στρόφαλος αρχίζει να περιστρέφεται, το έμβολο κινείται προς τα μέσα στο κύλινδρο. Όταν ο στρόφαλος είναι στο σημείο A, το έμβολο βρίσκεται στην ακραία αριστερή θέση του κυλίνδρου. Καθώς ο στρόφαλος περιστρέφεται από το A στο C, (δηλαδή, από $\theta = 0^\circ$ έως $\theta = 180^\circ$), το έμβολο κινείται προς τα δεξιά στο κύλινδρο. Η κίνηση του εμβόλου προς τα δεξιά δημιουργεί ένα μερικό κενό στο κύλινδρο. Αλλά στην επιφάνεια του υγρού στην εκκένωση παρουσιάζεται ατμοσφαιρική πίεση, η οποία είναι περισσότερη από την πίεση μέσα στον κύλινδρο. Έτσι, το υγρό ωθείται στο σωλήνα αναρρόφησης από την εκκένωση. Αυτό το υγρό ανοίγει τη βαλβίδα αναρρόφησης και εισέρχεται στον κύλινδρο. Όταν ο στρόφαλος περιστρέφεται από το C στο A (δηλαδή, από $\theta = 180^\circ$ έως $\theta = 360^\circ$), το έμβολο από την ακραία δεξιά του θέση αρχίζει να κινείται προς τα αριστερά στο κύλινδρο. Η κίνηση του εμβόλου προς τα αριστερά αυξάνει την πίεση του υγρού μέσα στο κύλινδρο περισσότερο από την ατμοσφαιρική πίεση. Έτσι κλείνει η βαλβίδα αναρρόφησης και ανοίγει η βαλβίδα παροχής. Το υγρό ωθείται στο σωλήνα παροχής και ανυψώνεται στο απαιτούμενο ύψος.

Εκροή μέσω μιας παλινδρομικής αντλίας. Εξετάζουμε μια παλινδρομική αντλία μονής δράσης όπως φαίνεται στην εικόνα 4.1.

Έστω D = Διάμετρος του κυλίνδρου

$$A = \text{Εμβαδόν διατομής του εμβόλου ή του κυλίνδρου} = (\pi \times D^2) / 4$$

r = Ακτίνα στροφάλου

N = rpm του στρόφαλου

$$L = \text{Μήκος της διαδρομής} = 2 \times r$$

h_s = Ύψος του άξονα του κυλίνδρου από την επιφάνεια του νερού στην αναρρόφηση (κεφαλή αναρρόφησης).

h_d = Ύψος εξόδου παροχής πάνω από τον άξονα του κυλίνδρου (ονομάζεται επίσης κεφαλή παροχής)

Όγκος νερού παροχής σε μία περιστροφή ή η εκροή νερού σε μία περιστροφή=

$$\text{Περιοχή διατομής} \times \text{Μήκος διαδρομής} = A \times L$$

$$\text{Αριθμός περιστροφών ανά δευτερόλεπτο} = N / 60$$

Εκροή της αντλίας ανά δευτερόλεπτο,

$$Q = \text{Εκροή σε μία περιστροφή} \times \text{Αριθμός περιστροφών ανά δευτερόλεπτο} \\ = A \times L \times N / 60$$

Βάρος νερού παροχής ανά δευτερόλεπτο

$$\text{Ειδικό βάρος ρευστού: } \gamma = \rho \times g \quad W = \rho \times g \times Q = \rho g \times ALN / 60$$

Έργο που πραγματοποιείται από παλινδρομική αντλία.

Το έργο που γίνεται από την παλινδρομική αντλία ανά δευτερόλεπτο δίνεται από την αντίδραση ως

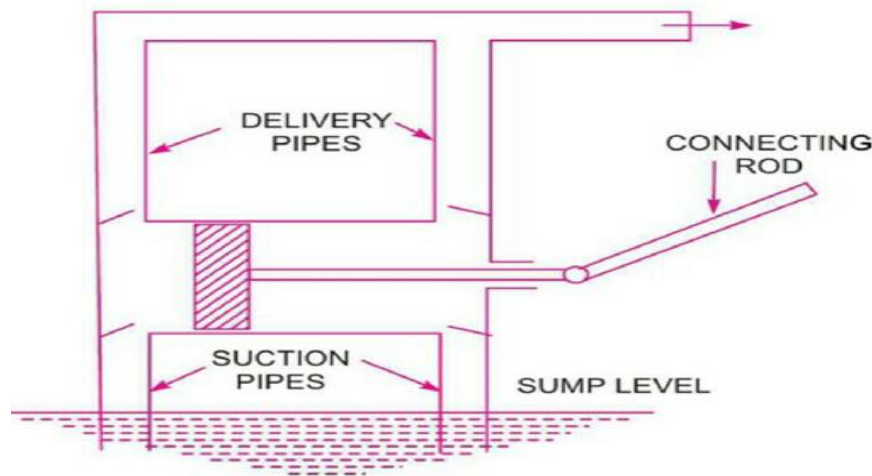
$$\text{Έργο ανά δευτερόλεπτο} = \text{Βάρος νερού που ανυψώνεται ανά δευτερόλεπτο} \times \\ \text{Συνολικό ύψος μέσω του οποίου ανυψώνεται το νερό} \\ = W \times (h_s + h_d) = (\rho g \times ALN / 60) \times (h_s + h_d)$$

Όπου $(h_s + h_d)$ = Συνολικό ύψος μέσω του οποίου ανυψώνεται το νερό

Ισχύς που απαιτείται για την κίνηση της αντλίας, σε kW

$$P = \text{έργο ανά δευτερόλεπτο} / 1000 = (\rho g \times ALN \times (h_s + h_d)) / 60 \times 1000 \\ = (\rho g \times ALN \times (h_s + h_d)) / 60000 \text{ kW}$$

Εκροή, έργο και ενέργεια που απαιτείται για τη κίνηση μιας αντλίας διπλής δράσης.



Εικόνα 4.2: Αντλία διπλής δράσης (πηγή: Dr. R.K. Bansal, 2010)

Στη περίπτωση αντλίας διπλής δράσης, το νερό δρα και στις δύο πλευρές του εμβόλου όπως φαίνεται στην εικόνα 4.2. Έτσι, απαιτούνται δύο σωλήνες αναρρόφησης και δύο σωλήνες παροχής για την αντλία διπλής δράσης. Όταν υπάρχει διαδρομή αναρρόφησης στη μία πλευρά του εμβόλου, υπάρχει ταυτόχρονα διαδρομή παροχής στην άλλη πλευρά του εμβόλου. Έτσι, για μια πλήρη περιστροφή του στροφάλου, υπάρχουν δύο διαδρομές παροχής και το νερό παρέχεται στους σωλήνες από την αντλία κατά τη διάρκεια αυτών των δύο διαδρομών παροχής.

Έστω

D = Διάμετρος του εμβόλου

d = Διάμετρος του βάκτρου του εμβόλου

Εμβαδόν στη μία πλευρά του εμβόλου

$$A = (\pi \times D^2) / 4$$

Εμβαδόν στην άλλη πλευρά του εμβόλου, όπου το βάκτρο του εμβόλου είναι συνδεδεμένο με το έμβολο

$$A_1 = (\pi \times D^2) / 4 - (\pi \times d^2) / 4 = \pi / 4 \times (D^2 - d^2)$$

Ο όγκος του νερού παροχής σε μια περιστροφή του στροφάλου

$$= A \times \text{Μήκος διαδρομής} + A1 \times \text{Μήκος διαδρομής}$$

$$= A \times L + A1 \times L = [(\pi \times D^2) / 4 + \pi / 4 \times (D^2 - d^2)] \times L$$

Εκροή αντλίας ανά δευτερόλεπτο

Q= Όγκος νερού παροχής σε μία περιστροφή x Αριθμός περιστροφών ανά δευτερόλεπτο

$$= [(\pi \times D^2) / 4 + \pi / 4 \times (D^2 - d^2)] \times L \times N / 60$$

Εάν «d» η διάμετρος του βάρικου του εμβόλου είναι πολύ μικρή σε σύγκριση με τη διάμετρο του εμβόλου, τότε μπορεί να παραμεληθεί και **η εκροή της αντλίας ανά δευτερόλεπτο είναι**

$$Q = [(\pi \times D^2) / 4 + (\pi \times D^2) / 4] \times L \times N / 60 = 2 \times (\pi \times D^2) / 4 \times L \times N / 60 = 2ALN / 60$$

Έργο που πραγματοποιείται από παλινδρομική αντλία διπλής δράσης.

Έργο ανά δευτερόλεπτο = Βάρος νερού παροχής x Συνολικό ύψος

$$= \rho g \times \text{εκροή ανά δευτερόλεπτο} \times \text{συνολικό ύψος}$$

$$= (\rho g \times 2ALN / 60) \times (h_s + h_d)$$

Ισχύς που απαιτείται για τη κίνηση αντλίας διπλής δράσης, σε kW

$$P = \text{έργο ανά δευτερόλεπτο} / 1000$$

$$= \rho g \times 2ALN / 60 \times (h_s + h_d) / 1000$$

$$= (\rho g \times 2ALN \times (h_s + h_d)) / 60000 \text{ kW}$$

Ολίσθηση παλινδρομικής αντλίας

Η ολίσθηση μιας αντλίας ορίζεται ως η διαφορά μεταξύ της θεωρητικής εκροής (παροχής) και της πραγματικής εκροής της αντλίας. Παραπάνω αναγράφουμε την εξίσωση της θεωρητικής εκροής μιας αντλίας μονής δράσης και μιας αντλίας διπλής δράσης. Η πραγματική εκροή μιας αντλίας είναι μικρότερη από τη θεωρητική εκροή λόγω διαρροής. Η διαφορά της θεωρητικής εκροής και της πραγματικής εκροής είναι γνωστή ως ολίσθηση της αντλίας. Αρά έχουμε τα παρακάτω

$$\text{Slip} = Q_{\text{th}} - Q_{\text{act}}$$

$$\text{Ποσοστό ολίσθησης} = (Q_{\text{th}} - Q_{\text{act}}) / Q_{\text{th}} \times 100$$

$$= (1 - Q_{\text{act}} / Q_{\text{th}}) \times 100$$

$$= (1 - C_d) \times 100$$

$$\text{όπου } C_d = \text{Συντελεστής εκροής} = Q_{\text{act}} / Q_{\text{th}}$$

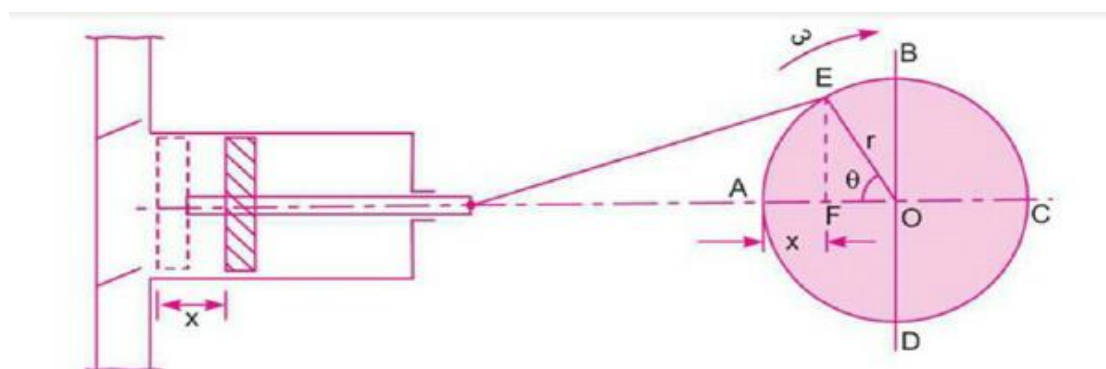
Αρνητική ολίσθηση της παλινδρομικής αντλίας

Η ολίσθηση ισούται με τη διαφορά της θεωρητικής εκροής και της πραγματικής εκροής. Εάν η πραγματική εκροή είναι μεγαλύτερη από τη θεωρητική εκροή, η ολίσθηση της αντλίας θα γίνει αρνητική. Σε αυτή την περίπτωση, η ολίσθηση της αντλίας είναι γνωστή ως αρνητική ολίσθηση. Η αρνητική ολίσθηση εμφανίζεται όταν ο σωλήνας παροχής είναι βραχύς, ο σωλήνας αναρρόφησης είναι μακρύς και η αντλία λειτουργεί με υψηλή ταχύτητα.

Διακύμανση της ταχύτητας και της επιτάχυνσης στους σωλήνες αναρρόφησης και παροχής λόγω της επιτάχυνσης του εμβόλου

Στην παρακάτω εικόνα 4.3 όταν ο στρόφαλος αρχίζει να περιστρέφεται, το έμβολο κινείται προς τα εμπρός και προς τα πίσω στον κύλινδρο. Στην ακραία αριστερή και δεξιά θέση του εμβόλου στον κύλινδρο, η ταχύτητα του εμβόλου είναι μηδενική. Η ταχύτητα του εμβόλου είναι μέγιστη στο κέντρο του κυλίνδρου. Αυτό σημαίνει ότι στην αρχή μιας διαδρομής (μπορεί να είναι διαδρομή αναρρόφησης ή παροχής), η ταχύτητα του εμβόλου είναι μηδενική και αυτή η ταχύτητα γίνεται μέγιστη στο κέντρο κάθε διαδρομής και πάλι μηδενίζεται στο τέλος κάθε διαδρομής. Έτσι στην αρχή κάθε διαδρομής, το έμβολο θα έχει επιτάχυνση και στο τέλος κάθε διαδρομής, το έμβολο θα έχει επιβράδυνση. Το νερό στο κύλινδρο έρχεται σε επαφή με το έμβολο και ως εκ τούτου το νερό, που ρέει από το σωλήνα αναρρόφησης ή το σωλήνα παροχής θα έχει επιτάχυνση στην αρχή κάθε διαδρομής και επιβράδυνση στο τέλος κάθε διαδρομής. Αυτό σημαίνει ότι η ταχύτητα ροής του νερού στο σωλήνα αναρρόφησης και παροχής δεν θα είναι ομοιόμορφη. Επομένως, μια επιταχυντική ή επιβραδυντική κεφαλή ενεργεί στο νερό που ρέει μέσω του σωλήνα αναρρόφησης ή παροχής. Αυτή η επιταχυνόμενη ή επιβραδυντική κεφαλή θα αλλάξει την πίεση μέσα στο κύλινδρο.

Εάν ο λόγος του μήκους του διωστήρα προς την ακτίνα του στροφαλοφόρου (L/r) είναι πολύ μεγάλος, τότε η κίνηση του εμβόλου μπορεί να θεωρηθεί ως απλή αρμονική στη φύση. Το Σχήμα 4.3 δείχνει το κύλινδρο μιας παλινδρομικής αντλίας μονής δράσης, εφοδιασμένη με ένα έμβολο το οποίο συνδέεται με το στρόφαλο. Ο στρόφαλος περιστρέφεται με σταθερή γωνιακή ταχύτητα.



Εικόνα 4.3: Ταχύτητα και επιτάχυνση του Έμβολου (πηγή: Dr. R.K. Bansal, 2010)

Έστω ω = Γωνιακή ταχύτητα του στροφάλου σε rad/s,
 A = Εμβαδόν του κυλίνδρου,
 a = Εμβαδόν του σωλήνα (αναρρόφηση ή παροχής),
 l = Μήκος του σωλήνα (αναρρόφησης ή παροχής),
 r = Ακτίνα του στροφάλου
 $x = r - r \cos(\omega t)$ μετατόπιση εμβόλου σε χρόνο t
 $\omega t = \theta$ η γωνία περιστροφής από το στρόφαλο

Ταχύτητα εμβόλου

$$V = (\omega r) \times (\sin \omega t)$$

Ταχύτητα του νερού στο σωλήνα

$$v = (V \times A) / a = (A / a) \times (\omega r) \times (\sin \omega t)$$

Επιτάχυνση του νερού στο σωλήνα

$$= (A / a) \times (\omega^2 r) \times (\cos \omega t)$$

Πίεση κεφαλής λόγω επιτάχυνσης

$$h_a = (\rho l \times A / a \times \omega^2 r \times \cos \theta) / \rho g = (l / g) \times (A / a) \times (\omega^2 r) \times (\cos \theta)$$

Η πίεση κεφαλής λόγω επιτάχυνσης στους σωλήνες αναρρόφησης και παροχής λαμβάνεται χρησιμοποιώντας τους δείκτες «s» και «d»

$$h_{as} = (l_s / g) \times (A / a_s) \times (\omega^2 r) \times (\cos \theta) \text{ και}$$

$$h_{ad} = (l_d / g) \times (A / a_d) \times (\omega^2 r) \times (\cos \theta)$$

Μέγιστη πίεση κεφαλής λόγω επιτάχυνσης

$$h_{a(\max)} = (l / g) \times (A / a) \times (\omega^2 r)$$

Επίδραση της διακύμανσης της ταχύτητας στους σωλήνες αναρρόφησης και παροχής με παρουσία τριβής

Έστω f = συντελεστής τριβής
 l = μήκος σωλήνα
 d = διάμετρος σωλήνα
 v = ταχύτητα του νερού στο σωλήνα

Απώλειες στη κεφαλή λόγω τριβής στους σωλήνες

$$h_f = 4 \times f \times l \times v^2 / (d \times 2g) = (4 \times f \times l) / (d \times 2g) \times (A / a \times \omega r \times \sin\theta)^2$$

Η διακύμανση του h_f με το θ είναι παραβολική. Οι απώλειες στη κεφαλή λόγω τριβής στους σωλήνες αναρρόφησης και παροχής λαμβάνεται χρησιμοποιώντας τους δείκτες «s» και «d»

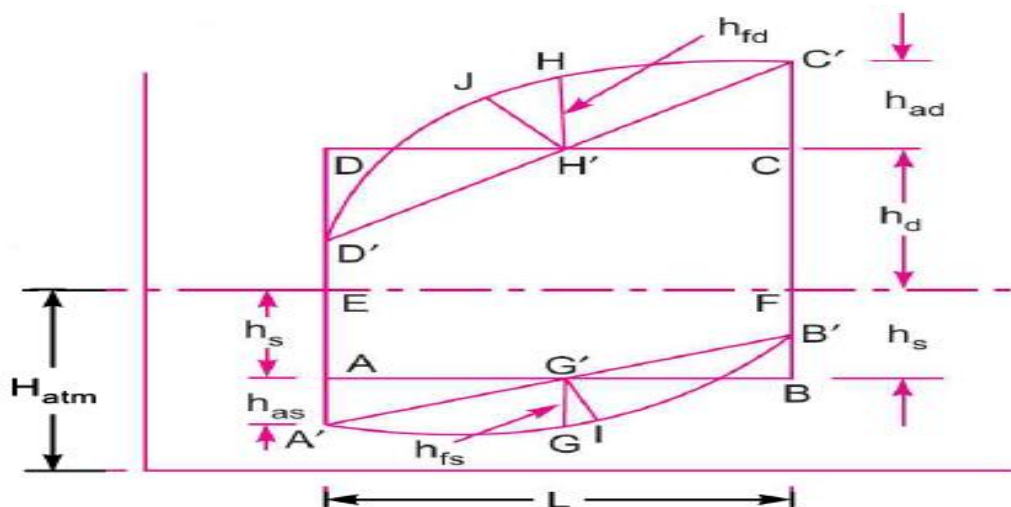
$$h_{fs} = (4 \times f \times l_s) / (d_s \times 2g) \times (A / a_s \times \omega r \times \sin\theta)^2 \text{ και}$$

$$h_{fd} = (4 \times f \times l_d) / (d_d \times 2g) \times (A / a_d \times \omega r \times \sin\theta)^2$$

Οι μέγιστες απώλειες στην κεφαλή λόγω τριβής

$$h_{f(\max)} = (4 \times f \times l) / (d \times 2g) \times (A / a \times \omega r)^2$$

Επίδραση της επιτάχυνσης και της τριβής στους σωλήνες αναρρόφησης και παροχής στο διάγραμμα δεικτών.



Εικόνα 4.4: Επίδραση της επιτάχυνσης και της τριβής στο διάγραμμα δεικτών (πηγή: Dr. R.K. Bansal, 2010)

$$\begin{aligned} & \text{Έργο αντλίας μονής δράσης ανά δευτερόλεπτο} \\ & = (\rho \times g \times A \times L \times N / 60) \times (h_s + h_d + 2hf_s/3 + 2hf_d/3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Έργο αντλίας διπλής δράσης ανά δευτερόλεπτο} \\ & = (2 \times \rho \times g \times A \times L \times N / 60) \times (h_s + h_d + 2hf_s/3 + 2hf_d/3) \end{aligned}$$

Μέγιστη ταχύτητα παλινδρομικής αντλίας

Σε μια παλινδρομική αντλία εάν η πίεση στο κύλινδρο είναι κάτω από τη πίεση των ατμών του υγρού κατά τη διάρκεια της διαδρομής της αναρρόφησης και της παροχής, θα απελευθερωθούν διαλυμένα αέρια, τότε δεν θα υπάρχει συνεχής ροή του υγρού, που σημαίνει ότι θα γίνει διαχωρισμός (separation) του υγρού

Μέγιστη ταχύτητα κατά την αναρρόφηση

$$h_{sep} = H_{atm} - (h_s + h_{as}) \text{ όπου}$$

h_{sep} = διαχωριστική πίεση κεφαλής και

H_{atm} = ατμοσφαιρική πίεση κεφαλής

$$h_{as} = H_{atm} - h_s - h_{sep}$$

$$\text{Για } h_{as} = (l_s / g) \times (A / a_s) \times (\omega^2 r)$$

$$H_{atm} - h_s - h_{sep} = (l_s / g) \times (A / a_s) \times (\omega^2 r)$$

Βρίσκοντας τη τιμή του ω έχουμε $\omega = 2 \times \pi \times N / 60$

$$\text{Αρά } N = 60 \times \omega / 2 \times \pi$$

Μέγιστη ταχύτητα κατά την παροχή

$$h_{sep} = (H_{atm} + h_d) - h_{ad}$$

$$h_{ad} = (H_{atm} + h_d) - h_{sep}$$

$$\text{Για } h_{ad} = (l_d / g) \times (A / a_d) \times (\omega^2 r)$$

$$(H_{atm} + h_d) - h_{sep} = h_{ad} = (l_d / g) \times (A / a_d) \times (\omega^2 r)$$

Βρίσκοντας τη τιμή του ω έχουμε $\omega = 2 \times \pi \times N / 60$

$$\text{Αρά } N = 60 \times \omega / 2 \times \pi$$

Αεροκώδωνες παλινδρομικής αντλίας

Ένας αεροκώδωνας είναι ένας κλειστός θάλαμος που περιέχει πεπιεσμένο αέρα στο άνω μέρος και υγρό (ή νερό) στο κάτω μέρος του θαλάμου. Στη βάση του θαλάμου υπάρχει ένα άνοιγμα μέσω του οποίου το υγρό (ή νερό) μπορεί να ρέει μέσα στο δοχείο ή έξω από το δοχείο. Όταν το υγρό εισέρχεται στον αεροκώδωνα, ο αέρας συμπιέζεται περαιτέρω και όταν το υγρό ρέει έξω από το δοχείο, ο αέρας θα διογκωθεί στο θάλαμο.

Ένας αεροκώδωνας είναι τοποθετημένος στο σωλήνα αναρρόφησης και στο σωλήνα παροχής σε ένα σημείο κοντά στο κύλινδρο μιας παλινδρομικής αντλίας μονής δράσης:

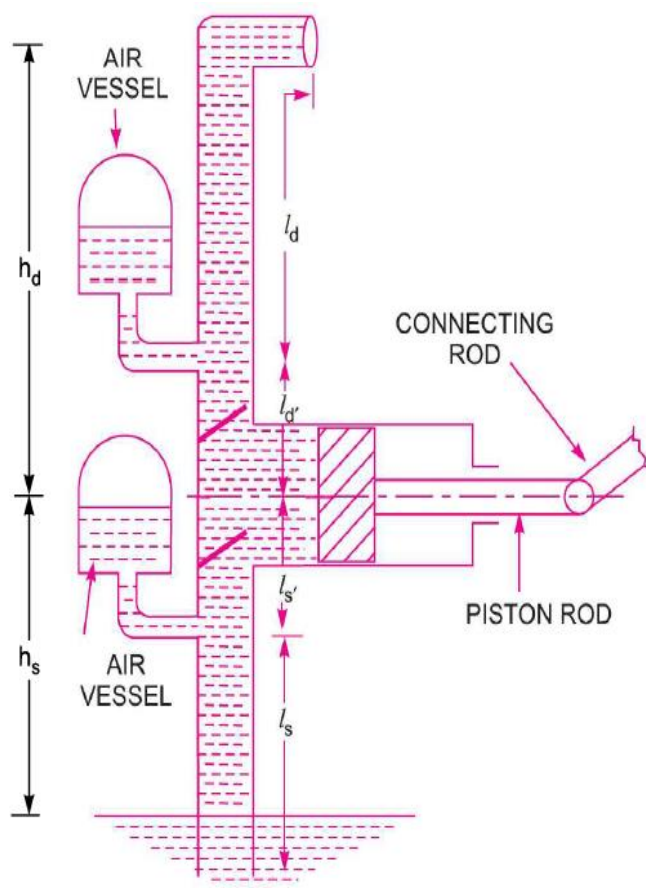
- A. Για τη συνεχή παροχή υγρού με ομοιόμορφο ρυθμό,
- B. Να εξοικονομήσει σημαντικό έργο, για να ξεπεραστεί η αντίσταση τριβής στους σωλήνες αναρρόφησης και παροχής,
- Γ. Για να λειτουργεί η αντλία με υψηλή ταχύτητα χωρίς διαχωρισμό.

Η εικόνα 4.5 δείχνει την παλινδρομική αντλία μονής δράσης στην οποία οι αεροκώδωνες είναι τοποθετημένοι στους σωλήνες αναρρόφησης και παροχής. Οι αεροκώδωνες λειτουργούν σαν ενδιάμεση δεξαμενή.

Κατά το πρώτο μισό της διαδρομής αναρρόφησης, το έμβολο κινείται με επιτάχυνση, πράγμα που σημαίνει ότι η ταχύτητα του νερού στο σωλήνα αναρρόφησης είναι μεγαλύτερη από τη μέση ταχύτητα και συνεπώς η έκκριση νερού που εισέρχεται στο κύλινδρο θα είναι μεγαλύτερη από τη μέση έκκριση. Αυτή η περίσσεια ποσότητα νερού θα τροφοδοτείται από τον αεροκώδωνα στο κύλινδρο με τέτοιο τρόπο ώστε η ταχύτητα στο σωλήνα αναρρόφησης κάτω από τον αεροκώδωνα να είναι ίση με τη μέση ταχύτητα ροής. Κατά το δεύτερο μισό της διαδρομής της αναρρόφησης, το έμβολο κινείται με καθυστέρηση και συνεπώς η ταχύτητα ροής στο σωλήνα αναρρόφησης είναι μικρότερη από τη μέση ταχύτητα ροής. Έτσι, η έκκριση που εισέρχεται στο κύλινδρο θα είναι μικρότερη από τη μέση έκκριση. Η ταχύτητα του νερού στο σωλήνα αναρρόφησης λόγω του αεροκώδωνα είναι ίση με τη μέση ταχύτητα ροής και η απαιτούμενη εκροή που γίνεται στο κύλινδρο είναι μικρότερη από τη μέση εκροή. Έτσι, η περίσσεια νερού που ρέει στο σωλήνα αναρρόφησης θα

αποθηκεύεται στον αεροκώδωνα, το οποίο θα παρέχεται κατά το πρώτο μισό της επόμενης διαδρομής αναρρόφησης.

Όταν ο αεροκώδωνας είναι τοποθετημένος στο σωλήνα παροχής, κατά τη διάρκεια του πρώτου μισού της διαδρομής της παροχής, το έμβολο κινείται με επιτάχυνση και ωθεί το νερό στον αγωγό παροχής με ταχύτητα μεγαλύτερη από τη μέση ταχύτητα. Η ποσότητα νερού που υπερβαίνει τη μέση έκκριση (απόρριψη) θα ρέει στον αεροκώδωνα. Αυτή θα συμπιέσει τον αέρα μέσα στο δοχείο. Κατά το δεύτερο μισό της διαδρομής της παροχής, το έμβολο κινείται με καθυστέρηση και η ταχύτητα του νερού στο σωλήνα παροχής θα είναι μικρότερη από τη μέση ταχύτητα. Το νερό που έχει ήδη αποθηκευτεί στον αεροκώδωνα θα αρχίσει να ρέει μέσα στο σωλήνα παροχής και η ταχύτητα ροής στο σωλήνα παροχής πάνω από το σημείο στο οποίο είναι τοποθετημένος ο αεροκώδωνας θα είναι ίση με τη μέση ταχύτητα. Άρα, ο ρυθμός ροής νερού στο σωλήνα παροχής θα είναι ομοιόμορφος.



Εικόνα 4.5: Αεροκώδωνες παλινδρομικής αντλίας (πηγή: Dr. R.K. Bansal, 2010)

Έστω

A = Εμβαδόν διατομής του κυλίνδρου,

a = Εμβαδόν διατομής του σωλήνα αναρρόφησης ή παροχής,

l_d = Μήκος σωλήνα παροχής πέρα από τον αεροκώδωνα,

l_d' = Μήκος σωλήνα παροχής μεταξύ κυλίνδρου και αεροκώδωνα

l_s' = Μήκος σωλήνα αναρρόφησης μεταξύ κυλίνδρου και αεροκώδωνα,

l_s = Μήκος σωλήνα αναρρόφησης κάτω από τον αεροκώδωνα,

h_{ad} = πίεση κεφαλής λόγω επιτάχυνσης στο σωλήνα παροχής,

h_{as} = πίεση κεφαλής λόγω επιτάχυνσης στο σωλήνα αναρρόφησης

h_{fd} = Απώλειες κεφαλής λόγω τριβής στο σωλήνα παροχής πάνω από τον αεροκώδωνα,

h_{fd}' = Απώλειες κεφαλής λόγω τριβής στο σωλήνα παροχής μεταξύ κυλίνδρου και αεροκώδωνα,

h_{fs} = Απώλειες κεφαλής λόγω τριβής στο σωλήνα αναρρόφησης κάτω από τον αεροκώδωνα ,

h_{fs}' = Απώλειες κεφαλής λόγω τριβής στο σωλήνα αναρρόφησης μεταξύ κυλίνδρου και αεροκώδωνα.

Για παλινδρομική αντλία μονής δράσης η μέση ταχύτητα

$$\bar{V} = Q/a = A \times L \times N / (60 \times a)$$

$$\Xi\acute{\epsilon}\rho\omicron\upsilon\mu\epsilon \acute{\omicron}\tau\iota \quad N = 60 \times \omega / 2\pi \quad \text{και} \quad L = 2r$$

$$\text{\AA}\rho\alpha \quad \bar{V} = (A / a) \times (\omega r / \pi)$$

Για παλινδρομική αντλία διπλής δράσης η μέση ταχύτητα

$$\bar{V} = Q / a = 2A \times L \times N / (60 \times a)$$

$$\Xi\acute{\epsilon}\rho\omicron\upsilon\mu\epsilon \acute{\omicron}\tau\iota \quad N = 60 \times \omega / 2\pi \quad \text{και} \quad L = 2r$$

$$\text{\AA}\rho\alpha \quad \bar{V} = (2A / a) \times (\omega r / \pi)$$

A. Πίεση κεφαλής στο κύλινδρο κατά τη διαδρομή της παροχής

1. Στην αρχή της διαδρομής της παροχής, $\theta=0^\circ$, $\sin \theta=0$, $\cos \theta=1$

$$\begin{aligned} &= h_d + h_{ad} + h_{fd}' + h_{fd} + \bar{V}_d^2 / 2g \\ = [h_d] + [(l_d' / g) \times (A / a_d) \times (\omega^2 r)] + 0 + [(4 \times f \times l_d) / (d_d \times 2g) \times (A / a_d \times \omega r / \pi)^2] + \\ & \quad [(A / a_d) \times (\omega r / \pi)]^2 / 2g \end{aligned}$$

2. Στη μέση της διαδρομής $\theta=90^\circ$, $\sin \theta=1$, $\cos \theta=0$

$$\begin{aligned} &= h_d + h_{ad} + h_{fd}' + h_{fd} + \bar{V}_d^2 / 2g \\ = [h_d] + 0 + [(4 \times f \times l_d') / (d_d \times 2g) \times (A / a_d \times \omega r)^2] + [(4 \times f \times l_d) / (d_d \times 2g) \times \\ & \quad (A / a_d \times \omega r / \pi)^2] + [(A / a_d) \times (\omega r / \pi)]^2 / 2g \end{aligned}$$

3. Στο τέλος της διαδρομής της παροχής, $\theta=180^\circ$, $\sin \theta=0$, $\cos \theta=-1$

$$\begin{aligned} &= h_d + h_{ad} + h_{fd}' + h_{fd} + \bar{V}_d^2 / 2g \\ = [h_d] - [(l_d' / g) \times (A / a_d) \times (\omega^2 r)] + 0 + [(4 \times f \times l_d) / (d_d \times 2g) \times (A / a_d \times \omega r / \pi)^2] + \\ & \quad [(A / a_d) \times (\omega r / \pi)]^2 / 2g \end{aligned}$$

B. Πίεση κεφαλής στο κύλινδρο κατά τη διαδρομή της αναρρόφησης

1. Στην αρχή της διαδρομής της αναρρόφησης, $\theta=0^\circ$, $\sin \theta=0$, $\cos \theta=1$

$$\begin{aligned} &= h_s + h_{as}' + h_{fs}' + h_{fs} + \bar{V}_s^2 / 2g \\ = [h_s] + [(l_s' / g) \times (A / a_s) \times (\omega^2 r)] + 0 + [(4 \times f \times l_s) / (d_s \times 2g) \times (A / a_s \times \omega r / \pi)^2] + \\ & \quad [(A / a_s) \times (\omega r / \pi)]^2 / 2g \end{aligned}$$

2. Στη μέση της διαδρομής $\theta=90^\circ$, $\sin \theta=1$, $\cos \theta=0$

$$\begin{aligned} &= h_s + h_{as}' + h_{fs}' + h_{fs} + \bar{V}_s^2 / 2g \\ = [h_s] + 0 + [(4 \times f \times l_s') / (d_s \times 2g) \times (A / a_s \times \omega r)^2] + [(4 \times f \times l_s) / (d_s \times 2g) \times \\ & \quad (A / a_s \times \omega r / \pi)^2] + [(A / a_s) \times (\omega r / \pi)]^2 / 2g \end{aligned}$$

3. Στο τέλος της διαδρομής της αναρρόφησης, $\theta=180^\circ$, $\sin \theta=0$, $\cos \theta=-1$

$$\begin{aligned} &= h_s + h_{as}' + h_{fs}' + h_{fs} + \bar{V}_s^2 / 2g \\ = [h_s] - [(l_s' / g) \times (A / a_s) \times (\omega^2 r)] + 0 + [(4 \times f \times l_s) / (d_s \times 2g) \times (A / a_s \times \omega r / \pi)^2] + \\ & \quad [(A / a_s) \times (\omega r / \pi)]^2 / 2g \end{aligned}$$

Έργο παλινδρομικής αντλίας με αεροκώδωνα ανά δευτερόλεπτο

$$= (p \times g \times A \times L \times N / 60) \times (h_s + h_d + h_{fs} + h_{fd})$$

Έργο αντλίας που έγινε ενάντια στη τριβή χωρίς αεροκώδωνα

$$W1 = 2/3 \times \text{βάση} \times \text{ύψος} \quad (\text{για } \text{ύψος} = h_f \text{ στις } \theta = 90^\circ)$$
$$= (2/3) \times (L) \times (4 \times f \times l / d \times 2g) \times (A/a \times \omega r)^2$$

Έργο αντλίας που έγινε ενάντια στη τριβή με αεροκώδωνα

$$W2 = \text{βάση} \times \text{ύψος}$$
$$= (L) \times (4 \times f \times l / d \times 2g) \times (A/a \times \omega r / \pi)^2$$

Εξοικονόμηση έργου παλινδρομικής αντλίας μονής δράσης

$$= W1 - W2$$
$$= [(2/3) \times (L) \times (4 \times f \times l / d \times 2g) \times (A/a \times \omega r)^2] - [(L) \times (4 \times f \times l / d \times 2g) \times (A/a \times \omega r / \pi)^2]$$
$$= (L) \times (4 \times f \times l / d \times 2g) \times (A/a \times \omega r)^2 \times (3/2 - 1/\pi^2)$$

$$\text{Ποσοστό} = [(W1 - W2) / W1] \times 100$$

$$= [(L) \times (4 \times f \times l / d \times 2g) \times (A/a \times \omega r)^2 \times (3/2 - 1/\pi^2)] / [(2/3) \times (L) \times (4 \times f \times l / d \times 2g) \times (A/a \times \omega r)^2] \times 100$$
$$= [(2/3) - (1/\pi^2)] / (2/3)$$
$$= 84.8\%$$

Εξοικονόμηση έργου παλινδρομικής αντλίας διπλής δράσης

$$W1 = (2/3) \times (L) \times (4 \times f \times l / d \times 2g) \times (A/a \times \omega r)^2$$
$$W2 = (L) \times (4 \times f \times l / d \times 2g) \times (2A/a \times \omega r / \pi)^2$$

$$\text{Ποσοστό} = [(W1 - W2) / W1] \times 100$$

$$= [(2/3) - (4/\pi^2)] / (2/3)$$
$$= 39.2\%$$

Εκροή υγρού προς και από τον αεροκώδωνα για παλινδρομική αντλία μονής δράσης

Η μέση εκροή (\bar{Q}) στους σωλήνες αναρρόφησης και παροχής θα είναι

$$\begin{aligned}\bar{Q} &= \bar{V} \times a \\ &= (A \times \omega \times r) / \pi\end{aligned}$$

Στιγμιαία εκροή προς ή από τον κύλινδρο της αντλίας

$$\begin{aligned}Q_i &= \text{ταχύτητα εμβόλου} \times \text{εμβαδόν εμβόλου} \\ &= (\omega r \times \sin \theta) \times A\end{aligned}$$

Ρυθμός ροής υγρού μέσα στον αεροκώδωνα

$$Q_i - \bar{Q} = (A \times \omega r \times \sin \theta) - [(A \times \omega r) / \pi]$$

- a. Για αεροκώδωνα τοποθετημένο στο σωλήνα παροχής:** Το υγρό θα ρέει προς τον αεροκώδωνα εάν η παραπάνω εξίσωση είναι θετική. Αν είναι αρνητική, τότε το υγρό θα ρέει από τον αεροκώδωνα. Εάν η έξωση είναι μηδέν, τότε δεν πραγματοποιείται ροή προς ή από τον αεροκώδωνα.
- b. Για αεροκώδωνα τοποθετημένο στο σωλήνα αναρρόφησης:** Το υγρό θα ρέει προς τον αεροκώδωνα εάν η παραπάνω εξίσωση είναι αρνητική. Αν είναι θετική, τότε το υγρό θα ρέει από τον αεροκώδωνα. Για μη ροή υγρού προς ή από τον αεροκώδωνα η παραπάνω εξίσωση ισούται με το μηδέν.

Εκροή υγρού προς και από τον αεροκώδωνα για παλινδρομική αντλία διπλής δράσης

Η μέση εκροή \bar{Q} είναι ίση με την εκροή Q

$$Q = 2ALN/60 = 2A\omega r / \pi \quad (\text{για } N = 60\omega / 2\pi)$$

Στιγμιαία εκροή προς ή από τον κύλινδρο της αντλίας

$$\begin{aligned} Q_i &= \text{ταχύτητα εμβόλου} \times \text{εμβαδόν εμβόλου} \\ &= (\omega r \times \sin \theta) \times A \end{aligned}$$

Ρυθμός ροής υγρού μέσα στον αεροκώδωνα

$$Q_i - Q = (A \times \omega r \times \sin \theta) - [(2 \times A \times \omega r) / \pi]$$

- a. Για αεροκώδωνα τοποθετημένο στο σωλήνα παροχής:** Το υγρό θα ρέει προς τον αεροκώδωνα εάν η παραπάνω εξίσωση είναι θετική. Αν είναι αρνητική, τότε το υγρό θα ρέει από τον αεροκώδωνα. Εάν η εξίσωση είναι μηδέν, τότε δεν πραγματοποιείται ροή προς ή από τον αεροκώδωνα.
- b. Για αεροκώδωνα τοποθετημένο στο σωλήνα αναρρόφησης:** Το υγρό θα ρέει προς τον αεροκώδωνα εάν η παραπάνω εξίσωση είναι αρνητική. Αν είναι θετική, τότε το υγρό θα ρέει από τον αεροκώδωνα. Για μη ροή υγρού προς ή από τον αεροκώδωνα η παραπάνω εξίσωση ισούται με το μηδέν.

Κεφάλαιο 5^ο: Χαρακτηριστικοί υπολογισμοί παλινδρομικών αντλιών

Στο κεφάλαιο αυτό, θα επιχειρηθεί να κατανοηθούν οι παλινδρομικές αντλίες από μια πιο πρακτική σκοπιά. Στη συγκεκριμένη εργασία δόθηκαν αρκετά στοιχεία, κυρίως θεωρητικά, τόσο για τις ρευστοδυναμικές μηχανές, όσο και για τις αντλίες, συγκεκριμένα στο προηγούμενο κεφάλαιο αναλύσαμε όλα τα χαρακτηριστικά μεγέθη των παλινδρομικών αντλιών. Πλέον, θεωρείται σκόπιμο να γίνει και παράθεση ορισμένων πρακτικών εφαρμογών – ασκήσεων, έτσι ώστε η παρούσα εργασία να μελετά πιο διεξοδικά τις παλινδρομικές αντλίες.

Εφαρμογή 1

Μια παλινδρομική αντλία απλής δράσης, που λειτουργεί στις 50 r.p.m., παρέχει 0.01 m³/s νερό. Η διάμετρος του εμβόλου είναι 200 mm και το μήκος της διαδρομής 400 mm. Ζητείται :

- (i) Η θεωρητική παροχή (εκροή) της αντλίας,
- (ii) Ο συντελεστής παροχής,
- (iii) Η Ολίσθηση και η ποσοστιαία ολίσθηση της αντλίας.

$$N = 50 \text{ rpm}$$

$$Q_{\text{act}} = 0.01 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$D = 200 \text{ mm} = 0.2 \text{ m}$$

$$A = (\pi \times D^2) / 4 = 0.031416 \text{ m}^2$$

$$L = 400 \text{ mm} = 0.4 \text{ m}$$

- i. $Q_{\text{th}} = (A \times L \times N) / 60 = (0.031416 \times 0.4 \times 50) / 60 = \mathbf{0.01047 \text{ m}^3/\text{s}}$
- ii. $C_d = Q_{\text{act}} / Q_{\text{th}} = 0.01 / 0.01047 = \mathbf{0.955}$
- iii. $\text{Slip} = Q_{\text{th}} - Q_{\text{act}} = 0.01047 - 0.01 = \mathbf{0.00047 \text{ m}^3/\text{s}}$
 $\text{ποσοστιαία ολίσθηση} = [(Q_{\text{th}} - Q_{\text{act}}) / Q_{\text{th}}] \times 100 = [(0.01047 - 0.01) / 0.01047] \times 100 = \mathbf{4.489 \%}$

Εφαρμογή 2

Μια παλινδρομική αντλία διπλής δράσης, που λειτουργεί στις 40 r.p.m., παρέχει 1 m³/min. Η αντλία έχει διαδρομή 400 mm. Η διάμετρος του εμβόλου είναι 200 mm. Η κεφαλή παροχής και αναρρόφησης είναι 20 m και 5 m αντίστοιχα. Βρείτε την ολίσθηση της αντλίας και την απαιτούμενη ισχύ για τη κίνηση της αντλίας.

$$N = 40 \text{ rpm}$$

$$Q_{\text{act}} = 1.0 \text{ m}^3/\text{min} = 1.0 / 60 \text{ m}^3/\text{s} = 0.01666 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$L = 400 \text{ mm} = 0.4 \text{ m}$$

$$D = 200 \text{ mm} = 0.2 \text{ m}$$

$$A = (\pi \times D^2) / 4 = 0.031416 \text{ m}^2$$

$$h_s = 5 \text{ m}$$

$$h_d = 20 \text{ m}$$

$$Q_{\text{th}} = (2 \times A \times L \times N) / 60 = (2 \times 0.031416 \times 0.4 \times 40) / 60 = 0.01675 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Slip} = (Q_{\text{th}} - Q_{\text{act}}) = 0.01675 - 0.01666 = \mathbf{0.00009 \text{ m}^3/\text{s}}$$

$$P = [2 \times \rho g \times A \times L \times N \times (h_s + h_d)] / 60000 = [2 \times 1000 \times 9.81 \times 0.031416 \times 0.4 \times 40 \times (5+20)] / 60000 = \mathbf{4.109 \text{ KW}}$$

Εφαρμογή 3

Η διάμετρος του κυλίνδρου μιας παλινδρομικής αντλίας μονής δράσης είναι 150 mm και η διαδρομή της είναι 300 mm. Η αντλία λειτουργεί στις 50 r.p.m. και ανυψώνει νερό σε συνολικό ύψος 25 m. Ο σωλήνας παροχής έχει μήκος 22 m και διάμετρο 100 mm. Βρείτε (i) τη θεωρητική παροχή και τη θεωρητική ισχύ που απαιτείται για τη λειτουργία της αντλίας. Εάν η πραγματική παροχή είναι 4.2 lt /s, βρείτε (ii) το ποσοστό ολίσθησης. Προσδιορίστε επίσης (iii) την πίεση κεφαλής επιτάχυνσης στην αρχή και στη μέση στη διαδρομή της παροχής.

$$D = 150 \text{ mm} = 0.15 \text{ m}$$

$$A = (\pi \times D^2) / 4 = 0.01767 \text{ m}^2$$

$$L = 300 \text{ mm} = 0.3 \text{ m}$$

$$N = 50 \text{ rpm}$$

$$H = 25 \text{ m}$$

$$l_d = 22 \text{ m}$$

$$d_d = 100 \text{ mm} = 0.1 \text{ m}$$

$$Q_{act} = 4.2 \text{ lt/s} = 4.2 / 1000 \text{ m}^3/\text{s} = 0.0042 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$(i) \quad Q_{th} = (A \times L \times N) / 60 = (0.01767 \times 0.3 \times 50) / 60 = \mathbf{0.0044175 \text{ m}^3/\text{s}}$$

$$P_t = (\rho \times g \times Q_{th} \times H) / 1000 = (1000 \times 9.81 \times 0.0044175 \times 25) / 1000 = \mathbf{1.0833 \text{ KW}}$$

$$(ii) \quad \% \text{ Slip} = [(Q_{th} - Q_{act}) / Q_{th}] \times 100 = [(0.0044175 - 0.0042) / 0.0044175] \times 100 = \mathbf{4.92 \%}$$

$$(iii) \quad h_{ad} = (l_d/g) \times (A/a_d) \times (\omega^2 r) \times (\cos \theta)$$

$$a_d = (\pi \times d_d^2) / 4 = (\pi \times 0.1^2) / 4 = 0.007854 \text{ m}^2$$

$$\omega = (2\pi \times N) / 60 = (2\pi \times 50) / 60 = 5.236 \text{ rad/s}$$

$$r = L / 2 = 0.3 / 2 = 0.15 \text{ m}$$

$$\text{Άρα } h_{ad} = (22 / 9.81) \times (0.01767 / 0.007854) \times (5.236^2 \times 0.15) \times (\cos \theta) \\ = 20.75 \times \cos \theta$$

Στην αρχή της διαδρομής της παροχής $\theta = 0^\circ$, $\cos \theta = 1$

$$h_{ad} = 20.75 \times \cos \theta = 20.75 \times 1 = \mathbf{20.75 \text{ m}}$$

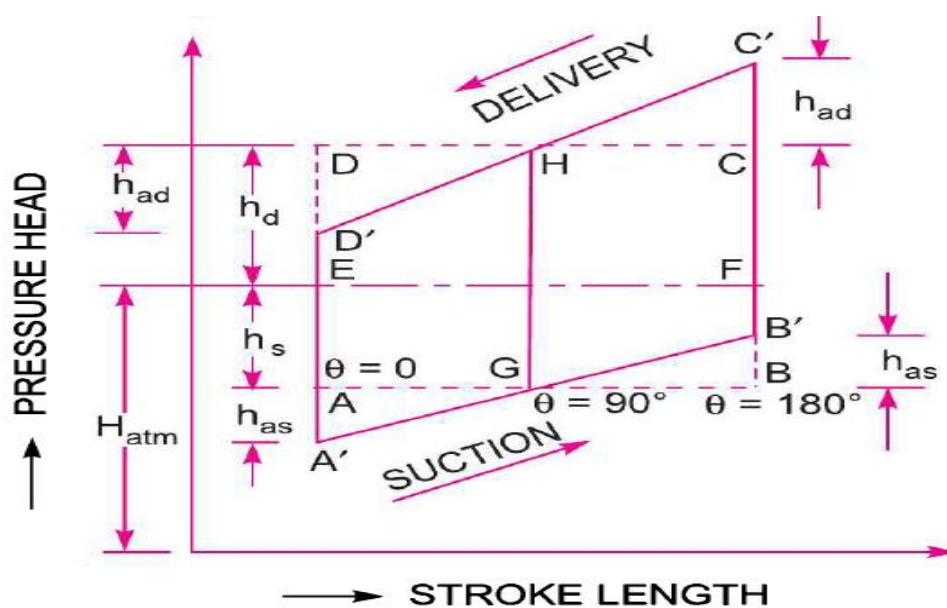
Στη μέση της διαδρομής της παροχής $\theta = 90^\circ$, $\cos \theta = 0$

$$h_{ad} = 20.75 \times \cos \theta = 20.75 \times 0 = \mathbf{0 \text{ m}}$$

Εφαρμογή 4

Το μήκος και η διάμετρος ενός σωλήνα αναρρόφησης μιας παλινδρομικής αντλίας μονής δράσης είναι 5 m και 10 cm αντίστοιχα. Η αντλία έχει έμβολο διαμέτρου 15 cm και μήκος διαδρομής 35 cm. Το κέντρο της αντλίας είναι 3 m πάνω από την επιφάνεια του νερού στην αντλία. Η κεφαλή ατμοσφαιρικής πίεσης είναι 10.3 m νερού και η αντλία λειτουργεί στις 35 r.p.m. Ζητείται:

- (i) Η πίεση κεφαλής λόγω επιτάχυνσης στην αρχή της διαδρομής της αναρρόφησης,
- (ii) Η μέγιστη πίεση κεφαλής λόγω επιτάχυνσης,
- (iii) Η πίεση κεφαλής στο κύλινδρο στην αρχή και στο τέλος της διαδρομής.



Εικόνα 5.1: Διάγραμμα επίδρασης της επιτάχυνσης στην αναρρόφηση και στη παροχή (πηγή: Dr. R.K. Bansal, 2010)

$$l_s = 5 \text{ m}$$

$$d_s = 10 \text{ cm} = 0.1 \text{ m}$$

$$a_s = (\pi \times d_s^2) / 4 = (\pi \times 0.1^2) / 4 = 0.007854 \text{ m}^2$$

$$D = 15 \text{ cm} = 0.15 \text{ m}$$

$$A = (\pi \times D^2) / 4 = 0.01767 \text{ m}^2$$

$$L = 35 \text{ cm} = 0.35 \text{ m}$$

$$r = L/2 = 0.175 \text{ m}$$

$$h_s = 3 \text{ m}$$

$$H_{\text{atm}} = 10.3 \text{ m}$$

$$N = 35 \text{ rpm}$$

$$\omega = (2\pi \times N) / 60 = (2\pi \times 35) / 60 = 3.665 \text{ rad/s}$$

$$(i) \quad h_{\text{as}} = (l_s/g) \times (A/a_s) \times (\omega^2 r) \times (\cos \theta)$$

Στην αρχή της διαδρομής της αναρρόφησης $\theta = 0^\circ$, $\cos \theta = 1$

$$\begin{aligned} h_{\text{as}} &= (l_s/g) \times (A/a_s) \times (\omega^2 r) = (5 / 9.81) \times (0.01767 / 0.007854) \times 3.665^2 \times 0.175 \\ &= \mathbf{2.695 \text{ m}} \end{aligned}$$

(ii) Η μέγιστη πίεση κεφαλής λόγω επιτάχυνσης στο σωλήνα αναρρόφησης

$$\begin{aligned} h_{\text{as(max)}} &= (l_s/g) \times (A/a_s) \times (\omega^2 r) = (5 / 9.81) \times (0.01767 / 0.007854) \times 3.665^2 \times 0.175 \\ &= \mathbf{2.695 \text{ m}} \end{aligned}$$

(iii) Η πίεση κεφαλής στο κύλινδρο στην αρχή της διαδρομής της αναρρόφησης
(από το διάγραμμα 5.1)

$$= h_s + h_{\text{as}} = 3 + 2.695 = 5.695 \text{ m κάτω από την ατμοσφαιρική πίεση κεφαλής}$$

$$\text{Αρά } H_{\text{atm}} - 5.695 = 10.3 - 5.695 = \mathbf{4.605 \text{ m νερού}}$$

Η πίεση κεφαλής στο κύλινδρο στο τέλος της διαδρομής της αναρρόφησης

$$= h_s - h_{\text{as}} = 3 - 2.695 = 0.305 \text{ m κάτω από την ατμοσφαιρική πίεση κεφαλής}$$

$$\text{Αρά } H_{\text{atm}} - 0.305 = 10.3 - 0.305 = \mathbf{9.995 \text{ m νερού}}$$

Εφαρμογή 5

Εάν στην εφαρμογή 4, το μήκος και η διάμετρος του σωλήνα παροχής είναι 30 m και 10 cm αντίστοιχα και το νερό παρέχεται από την αντλία σε μια δεξαμενή που είναι 20 m πάνω από το κέντρο της αντλίας, ζητείται:

- (i) Η πίεση κεφαλής λόγω επιτάχυνσης στην αρχή της διαδρομής της παροχής,
- (ii) Η πίεση κεφαλής στον κύλινδρο στην αρχή της διαδρομής της παροχής
- (iii) Η πίεση κεφαλής στον κύλινδρο στο τέλος της διαδρομής της παροχής.

$$l_d = 30 \text{ m}$$

$$d_d = 10 \text{ cm} = 0.1 \text{ m}$$

$$a_d = (\pi \times d_d^2) / 4 = (\pi \times 0.1^2) / 4 = 0.007854 \text{ m}^2$$

$$D = 15 \text{ cm} = 0.15 \text{ m}$$

$$A = (\pi \times D^2) / 4 = 0.01767 \text{ m}^2$$

$$L = 35 \text{ cm} = 0.35 \text{ m}$$

$$r = L/2 = 0.175 \text{ m}$$

$$h_d = 20 \text{ m}$$

$$H_{\text{atm}} = 10.3 \text{ m}$$

$$N = 35 \text{ rpm}$$

$$\omega = (2\pi \times N) / 60 = (2\pi \times 35) / 60 = 3.665 \text{ rad/s}$$

$$(i) \quad h_{ad} = (l_d/g) \times (A/a_d) \times (\omega^2 r) \times (\cos \theta)$$

Στην αρχή της διαδρομής της παροχής $\theta = 0^\circ$, $\cos \theta = 1$

$$\begin{aligned} h_{ad} &= (l_d/g) \times (A/a_d) \times (\omega^2 r) = (30 / 9.81) \times (0.01767 / 0.007854) \times 3.665^2 \times 0.175 \\ &= \mathbf{16.17 \text{ m}} \end{aligned}$$

- (ii) Η πίεση κεφαλής στο κύλινδρο στην αρχή της διαδρομής της παροχής (από το διάγραμμα 5.1)

$$= h_d + h_{ad} = 20 + 16.17 = 36.17 \text{ m πάνω από την ατμοσφαιρική πίεση κεφαλής}$$

$$\text{Αρά } H_{\text{atm}} + 36.17 = 10.3 + 46.47 = \mathbf{4.605 \text{ m νερού}}$$

(iii) Η πίεση κεφαλής στο κύλινδρο στο τέλος της διαδρομής της παροχής
 $= h_d - h_{ad} = 20 - 16.17 = 3.83$ m πάνω από την ατμοσφαιρική πίεση κεφαλής

Αρά $H_{atm} + 3.83 = 10.3 + 3.83 = \mathbf{14.13}$ m νερού

Εφαρμογή 6

Μια παλινδρομική αντλία μονής δράσης έχει διάμετρο εμβόλου 12.5 cm και μήκος διαδρομής 30 cm. Το κέντρο της αντλίας βρίσκεται 4 m πάνω από τη στάθμη του νερού στη δεξαμενή. Η διάμετρος και το μήκος του σωλήνα αναρρόφησης είναι 7.5 cm και 7 m αντίστοιχα. Ο διαχωρισμός γίνεται όταν η κεφαλή απόλυτης πίεσης στον κύλινδρο κατά τη διάρκεια της διαδρομής αναρρόφησης πέσει κάτω από 2.5 m νερού. Υπολογίστε τη μέγιστη ταχύτητα (στροφές) με την οποία μπορεί να λειτουργεί η αντλία χωρίς διαχωρισμό. Λάβετε τη κεφαλή ατμοσφαιρικής πίεσης = 10.3 m νερού.

$$D = 12.5 \text{ cm} = 0.125 \text{ m}$$

$$A = (\pi \times D^2) / 4 = 0.01227 \text{ m}^2$$

$$L = 30 \text{ cm} = 0.30 \text{ m}$$

$$r = L/2 = 0.15 \text{ m}$$

$$h_s = 4 \text{ m}$$

$$d_s = 7.5 \text{ cm} = 0.075 \text{ m}$$

$$a_s = (\pi \times d_s^2) / 4 = 0.004418 \text{ m}^2$$

$$l_s = 7 \text{ m}$$

$$h_{sep} = 2.5 \text{ m}$$

$$H_{atm} = 10.3 \text{ m}$$

Από το διάγραμμα 5.1, είναι σαφές ότι η απόλυτη πίεση κεφαλής κατά τη διάρκεια της διαδρομής της αναρρόφησης είναι ελάχιστη (min) στην αρχή της διαδρομής. Έτσι, ο διαχωρισμός μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο στην αρχή της διαδρομής. Σε αυτήν την περίπτωση η πίεση κεφαλής στον κύλινδρο στην αρχή της διαδρομής γίνεται $= h_{sep}$

Η πίεση κεφαλής στον κύλινδρο στην αρχή της αναρρόφησης
 $= h_s + h_{as}$ κάτω από την ατμοσφαιρική πίεση κεφαλής
 $= H_{atm} - (h_s + h_{as})$

άρα $h_{sep} = H_{atm} - (h_s + h_{as})$

$2.5 = 10.3 - (4 + h_{as})$

$h_{as} = 10.3 - 4 - 2.5 = 3.80 \text{ m}$

$h_{as} = (l_s / g) \times (A / a_s) \times (\omega^2 r) \times (\cos \theta)$

Στην αρχή της διαδρομής της αναρρόφησης $\theta = 0^\circ$, $\cos \theta = 1$

$h_{as} = (l_s / g) \times (A / a_s) \times (\omega^2 r)$

$3.8 = (7 / 9.81) \times (0.01227 / 0.004418) \times \omega^2 \times 0.15$

$\omega^2 = 12.783$

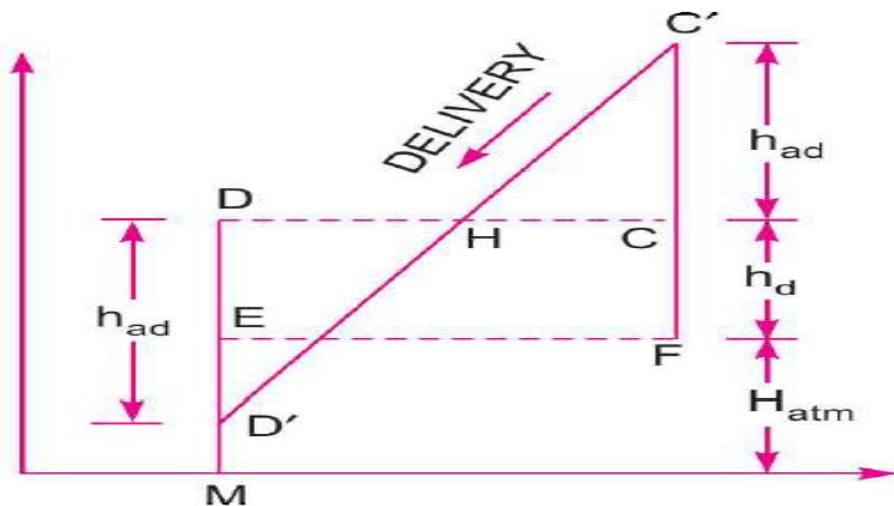
$\omega = \sqrt{12.783} = 3.575 \text{ rad/s}$

$\omega = (2\pi \times N) / 60$

$N = (60 \times \omega) / 2\pi = (60 \times 3.575) / 2\pi = \mathbf{34.14 \text{ rpm}}$

Εφαρμογή 7

Η διάμετρος και το μήκος διαδρομής μιας παλινδρομικής αντλίας μονής δράσης είναι 100 mm και 300 mm αντίστοιχα. Το νερό ανυψώνεται σε ύψος 20 m πάνω από το κέντρο της αντλίας. Βρείτε τη μέγιστη ταχύτητα (στροφές) με την οποία μπορεί να λειτουργεί η αντλία, ώστε να μην υπάρχει διαχωρισμός κατά τη διάρκεια της διαδρομής της παροχής, εάν η διάμετρος και το μήκος του σωλήνα παροχής είναι 50 mm και 25 m αντίστοιχα. Ο διαχωρισμός συμβαίνει εάν η κεφαλή απόλυτης πίεσης στο κύλινδρο κατά τη διάρκεια της διαδρομής της παροχής πέσει κάτω από τα 2.50 m νερού. Λάβετε κεφαλή ατμοσφαιρικής πίεσης = 10.3 m νερού.



Εικόνα 5.2: Διάγραμμα διαδρομής παροχής (πηγή: Dr. R.K. Bansal, 2010)

$$D = 100 \text{ mm} = 0.1 \text{ m}$$

$$A = (\pi \times D^2) / 4 = 0.007854 \text{ m}^2$$

$$L = 300 \text{ mm} = 0.30 \text{ m}$$

$$r = L/2 = 0.15 \text{ m}$$

$$h_d = 20 \text{ m}$$

$$d_d = 50 \text{ mm} = 0.05 \text{ m}$$

$$a_d = (\pi \times d_d^2) / 4 = 0.001963 \text{ m}^2$$

$$l_d = 25 \text{ m}$$

$$h_{sep} = 2.5 \text{ m}$$

$$H_{atm} = 10.3 \text{ m}$$

Από το διάγραμμα 5.2, η απόλυτη πίεση κεφαλής κατά τη διάρκεια της διαδρομής της παροχής είναι ελάχιστη (min) στο τέλος της διαδρομής. Έτσι, ο διαχωρισμός μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο στο τέλος της διαδρομής. Σε αυτήν την περίπτωση η πίεση κεφαλής στον κύλινδρο στο τέλος της διαδρομής γίνεται = h_{sep}

Η απόλυτη πίεση κεφαλής στον κύλινδρο στο τέλος της διαδρομής της παροχής

$$= (H_{atm} + h_d) - h_{ad}$$

$$\text{άρα } h_{sep} = (H_{atm} + h_d) - h_{ad}$$

$$2.5 = (10.3 + 20) - h_{ad}$$

$$h_{ad} = (10.3 + 20) - 2.5 = 27.8 \text{ m}$$

Στο τέλος της διαδρομής της παροχής έχουμε

$$h_{ad} = (l_d / g) \times (A / a_d) \times (\omega^2 r)$$

$$27.8 = (25 / 9.81) \times (0.007854 / 0.001963) \times \omega^2 \times 0.15$$

$$\omega^2 = 18.177$$

$$\omega = 4.264 \text{ rad/s}$$

$$\omega = (2\pi \times N) / 60$$

$$N = (60 \times \omega) / 2\pi = (60 \times 4.264) / 2\pi = \mathbf{40.72 \text{ rpm}}$$

Εφαρμογή 8

Μια παλινδρομική αντλία απλής δράσης αυξάνει το νερό σε ύψος 20 m μέσω ενός σωλήνα παροχής μήκους 35 m και διαμέτρου 140 mm. Η διάμετρος και η διαδρομή του εμβόλου είναι 250 mm και 400 mm αντίστοιχα. Ο διαχωρισμός συμβαίνει στα 2.5 m απόλυτου νερού. Βρείτε τη ταχύτητα (στροφές) με την οποία η αντλία μπορεί να λειτουργεί χωρίς διαχωρισμό από την πλευρά της παροχής εάν ο σωλήνας ανεβαίνει πρώτα κάθετα και μετά λειτουργεί οριζόντια. Θα υπάρξει οποιαδήποτε αλλαγή στη μέγιστη ταχύτητα εάν ο σωλήνας αρχίσει οριζόντια και μετά ανυψωθεί κάθετα;

$$h_d = 20 \text{ m}$$

$$l_d = 35 \text{ m}$$

$$d_d = 140 \text{ mm} = 0.14 \text{ m}$$

$$D = 250 \text{ mm} = 0.25 \text{ m}$$

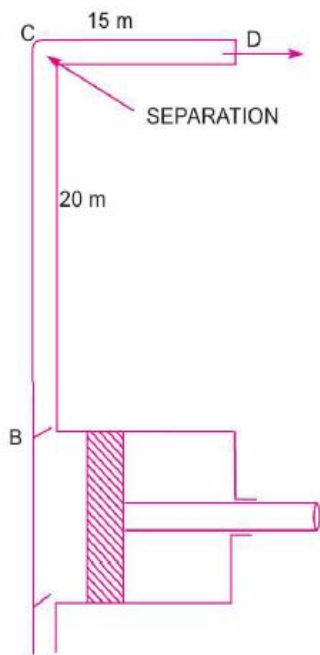
$$L = 400 \text{ mm} = 0.40 \text{ m}$$

$$r = L/2 = 0.40 / 2 = 0.20 \text{ m}$$

$$h_{sep} = 2.5 \text{ m}$$

$$H_{atm} = 10.3 \text{ m}$$

Ο διαχωρισμός από την πλευρά της παροχής μπορεί να συμβεί μόνο στο τέλος της διαδρομής της παροχής καθώς η πίεση κεφαλής κατά τη διάρκεια της διαδρομής της παροχής είναι ελάχιστη μόνο στο τέλος της διαδρομής της παροχής. Η κεφαλή επιτάχυνσης (h_{ad}) στο τέλος της διαδρομής της παροχής δίνεται από:



$$h_{ad} = (l_d / g) \times (A / a_d) \times (\omega^2 r) = (35 / 9.81) \times [(\pi \times D^2 / 4) / (\pi \times d_d^2 / 4)] \times \omega^2 \times 0.20$$

$$= (35 / 9.81) \times (0.25^2 / 0.14^2) \times \omega^2 \times 0.20$$

1η περίπτωση. Ο σωλήνας ανεβαίνει πρώτα κάθετα και μετά οριζόντια όπως φαίνεται στο Σχ. 5.3 (α). Στην περίπτωση αυτή, η πιθανότητα κενού βρίσκεται στο σημείο C στο τέλος της διαδρομής της παροχής. Η πίεση κεφαλής στο τέλος της διαδρομής της παροχής στο B θα είναι ίση με την κεφαλή ατμοσφαιρικής πίεσης συν την κεφαλή παροχής μείον την κεφαλή επιτάχυνσης.

Εικόνα 5.3 (α): 1η περίπτωση
(πηγή: Dr. R.K. Bansal, 2010)

$$\text{Πίεση κεφαλής στο B} = H_{atm} + h_d - h_{ad}$$

$$\text{Πίεση κεφαλής στο C} = \text{Πίεση κεφαλής στο B} - h_d$$

$$= (H_{atm} + h_d - h_{ad}) - h_d = H_{atm} - h_{ad}$$

Τώρα αν πρόκειται να γίνει ο διαχωρισμός στο C, τότε η πίεση κεφαλής στο C είναι 2,5 m.

$$\text{Άρα } h_{sep} = H_{atm} - h_{ad}$$

$$2.5 = 10.3 - h_{ad}$$

$$h_{ad} = 10.3 - 2.5 = 7.8 \text{ m}$$

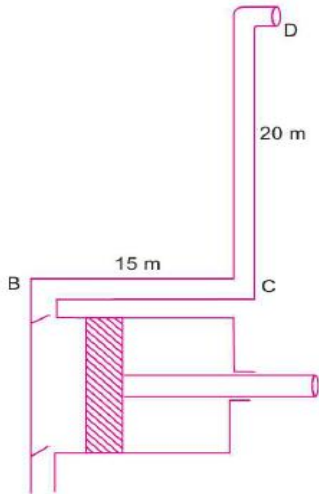
Άρα πηγαίνοντας στην αρχική εξίσωση του h_{ad} έχουμε:

$$h_{ad} = (35 / 9.81) \times (0.25^2 / 0.14^2) \times \omega^2 \times 0.20$$

$$7.8 = (35 / 9.81) \times (0.25^2 / 0.14^2) \times \omega^2 \times 0.20$$

$$\omega = \sqrt{3.43} = 1.85 \text{ rad/s}$$

$$N = (60 \times \omega) / 2\pi = (60 \times 1.85) / 2\pi = \mathbf{17.68 \text{ rpm}}$$



2η περίπτωση. Ο σωλήνας αρχικά λειτουργεί οριζόντια και μετά ανεβαίνει κάθετα όπως φαίνεται στο Σχ. 5.3 (β).

Σε αυτήν την περίπτωση, η πιθανότητα διαχωρισμού βρίσκεται στο σημείο C στο τέλος της διαδρομής της παροχής. Αλλά η πίεση κεφαλής στο C είναι ίδια με την πίεση κεφαλής στα B και με το C στο οριζόντιο επίπεδο.

Ως εκ τούτου, στο τέλος της διαδρομής της παροχής, η πίεση κεφαλής στο B = $H_{atm} + h_d - h_{ad}$

Εικόνα 5.3 (β): 2η περίπτωση
(πηγή: Dr. R.K. Bansal, 2010)

$$\text{Άρα } h_{sep} = H_{atm} + h_d - h_{ad}$$

$$2.5 = 10.3 + 20 - h_{ad}$$

$$h_{ad} = 27.8 \text{ m}$$

Άρα πηγαίνοντας στην αρχική εξίσωση του h_{ad} έχουμε:

$$h_{ad} = (35 / 9.81) \times (0.25^2 / 0.14^2) \times \omega^2 \times 0.20$$

$$27.8 = (35 / 9.81) \times (0.25^2 / 0.14^2) \times \omega^2 \times 0.20$$

$$\omega = \sqrt{12.22} = 3.495 \text{ rad/s}$$

$$N = (60 \times \omega) / 2\pi = (60 \times 3.495) / 2\pi = \mathbf{33.37 \text{ rpm}}$$

Άρα η αλλαγή στη μέγιστη ταχύτητα (στροφές) θα είναι:

$$\text{Αλλαγή στη μέγιστη ταχύτητα} = 33.37 - 17.68 = \mathbf{15.69 \text{ rpm}}$$

Εφαρμογή 9

Μια παλινδρομική αντλία μονής δράσης έχει έμβολο διαμέτρου 10 cm και διαδρομή μήκους 200 mm. Το κέντρο της αντλίας είναι 4 m πάνω από τη στάθμη του νερού στη δεξαμενή και 14 m κάτω από την στάθμη του νερού σε μια δεξαμενή στην οποία παρέχεται νερό από την αντλία. Η διάμετρος και το μήκος του σωλήνα αναρρόφησης είναι 40 mm και 6 m ενώ ο σωλήνας παροχής είναι 30 mm και 18 m αντίστοιχα. Προσδιορίστε τη μέγιστη ταχύτητα με την οποία η αντλία μπορεί να λειτουργεί χωρίς διαχωρισμό, εάν ο διαχωρισμός συμβαίνει στα 7.848 N / cm^2 κάτω από την ατμοσφαιρική πίεση. Πάρτε την κεφαλή ατμοσφαιρικής πίεσης = 10.3 m νερού.

$$D = 100 \text{ mm} = 0.10 \text{ m}$$

$$L = 200 \text{ mm} = 0.20 \text{ m}$$

$$r = L/2 = 0.10 \text{ m}$$

$$h_s = 4 \text{ m}$$

$$h_d = 14 \text{ m}$$

$$d_s = 40 \text{ mm} = 0.04 \text{ m}$$

$$l_s = 6 \text{ m}$$

$$d_d = 30 \text{ mm} = 0.03 \text{ m}$$

$$l_d = 18 \text{ m}$$

$$\text{Πίεση διαχωρισμού} = p_{\text{sep}} = 7.848 \text{ N / cm}^2 = 7.848 \times 10^4 \text{ N / m}^2$$

$$h_{\text{sep}} = p_{\text{sep}} / \rho g = 7.848 \times 10^4 \times (1000 \times 9.81) = 8 \text{ m} \text{ κάτω από την ατμοσφαιρική πίεση κεφαλής}$$

$$h_{\text{sep}} = H_{\text{atm}} - 8 = 10.3 - 8 = 2.3 \text{ m}$$

$$H_{\text{atm}} = 10.3 \text{ m}$$

(i) **Ταχύτητα αντλίας χωρίς διαχωρισμό κατά τη διάρκεια της διαδρομής της αναρρόφησης.** Κατά τη διάρκεια της διαδρομής της αναρρόφησης, η πιθανότητα διαχωρισμού είναι μόνο στην αρχή της διαδρομής. Η πίεση κεφαλής στον κύλινδρο στην αρχή της διαδρομής της αναρρόφησης

$$= (h_s + h_{\text{as}}) \text{ κάτω από την ατμοσφαιρική πίεση κεφαλής}$$

$$= 10.3 - (h_s + h_{as})$$

$$h_{sep} = 10.3 - (h_s + h_{as})$$

$$2.3 = 10.3 - (4 + h_{as})$$

$$h_{as} = 10.3 - 4 - 2.3 = 4 \text{ m}$$

Στην αρχή της διαδρομής της αναρρόφησης έχουμε:

$$h_{as} = (l_s / g) \times (A / a_s) \times (\omega^2 r) = (6 / 9.81) \times [(\pi \times D^2/4) / (\pi \times d_s^2/4)] \times \omega^2 \times 0.10$$

$$= (6 / 9.81) \times (0.1^2 / 0.04^2) \times \omega^2 \times 0.10 = 0.3822 \times \omega^2$$

$$4 = 0.3822 \times \omega^2$$

$$\omega = 3.235 \text{ rad/s}$$

$$N = (60 \times \omega) / 2\pi = (60 \times 3.235) / 2\pi = 30.89 \text{ rpm}$$

Η μέγιστη ταχύτητα της αντλίας χωρίς διαχωρισμό μόνο κατά τη διαδρομή της αναρρόφησης είναι 30.89 rpm

(ii) Ταχύτητα αντλίας χωρίς διαχωρισμό κατά τη διάρκεια της διαδρομής της παροχής. Κατά τη διάρκεια της διαδρομής της παροχής, η πιθανότητα διαχωρισμού είναι μόνο στο τέλος της διαδρομής της παροχής. Η πίεση κεφαλής στο κύλινδρο στο τέλος της διαδρομής της παροχής

$$= (H_{atm} + h_d) - h_{ad} = (10.3 + 14) - h_{ad}$$

Για να αποφευχθεί ο διαχωρισμός, αυτή η πίεση πρέπει να είναι ίση με την πίεση κεφαλής διαχωρισμού

$$h_{sep} = (10.3 + 14) - h_{ad}$$

$$2.3 = (10.3 + 14) - h_{ad}$$

$$h_{ad} = 10.3 + 14 - 2.3 = 22 \text{ m}$$

$$h_{ad} = (l_d / g) \times (A / a_d) \times (\omega^2 r) = (18 / 9.81) \times [(\pi \times D^2/4) / (\pi \times d_d^2/4)] \times \omega^2 \times 0.10$$

$$= (18 / 9.81) \times (0.1^2 / 0.03^2) \times \omega^2 \times 0.10 = 2.04 \times \omega^2$$

$$22 = 2.04 \times \omega^2$$

$$\omega = 3.284 \text{ rad/s}$$

$$N = (60 \times \omega) / 2\pi = (60 \times 3.284) / 2\pi = 31.36 \text{ rpm}$$

Η μέγιστη ταχύτητα της αντλίας χωρίς διαχωρισμό κατά τη διάρκεια της διαδρομής της παροχής είναι 31.36 rpm.

Έτσι, η μέγιστη ταχύτητα της αντλίας χωρίς διαχωρισμό κατά τη διάρκεια της αναρρόφησης και της διαδρομής της παροχής είναι η ελάχιστη από αυτές τις δύο ταχύτητες, δηλαδή η ελάχιστη από 30.89 και 31.36 rpm.

Μέγιστη ταχύτητα = 30.89 rpm.

Εφαρμογή 10

Μια παλινδρομική αντλία μονής δράσης έχει μήκος διαδρομής 15 cm. Ο σωλήνας αναρρόφησης έχει μήκος 7 m και ο λόγος της διαμέτρου της αναρρόφησης προς τη διάμετρο του εμβόλου είναι 3/4. Η στάθμη του νερού στη δεξαμενή είναι 2,5 m κάτω από τον άξονα του κυλίνδρου της αντλίας και ο σωλήνας που συνδέει τη δεξαμενή και το κύλινδρο της αντλίας έχει διάμετρο 7.5 cm. Εάν ο στρόφαλος λειτουργεί στις 75 r.p.m., προσδιορίστε την πίεση κεφαλής στο έμβολο: **(i)** στην αρχή της διαδρομής της αναρρόφησης, **(ii)** στο τέλος της διαδρομής της αναρρόφησης, και **(iii)** στη μέση της διαδρομής της αναρρόφησης. Λάβετε συντελεστή τριβής ως 0.01.

$$L = 15 \text{ cm} = 0.15 \text{ m}$$

$$r = L / 2 = 0.075 \text{ m}$$

$$l_s = 7 \text{ m}$$

$$d_s / D = 3 / 4$$

$$a_s / A = (3 / 4)^2 = 9 / 16$$

$$h_s = 2.5 \text{ m}$$

$$d_s = 7.5 \text{ cm} = 0.075 \text{ m}$$

$$N = 75 \text{ rpm}$$

$$\omega = (2 \times \pi \times N) / 60 = (2 \times \pi \times 75) / 60 = 2.5 \times \pi \text{ rad /s}$$

$$f = 0.01$$

Η πίεση κεφαλής λόγω επιτάχυνσης στο σωλήνα αναρρόφησης δίνεται από την εξίσωση, ως:

$$h_{as} = (l_s / g) \times (A / a_s) \times (\omega^2) \times r \times (\cos \theta) = (7 / 9.81) \times (16 / 9) \times (2.5 \times \pi)^2 \times 0.075 \times (\cos \theta) = 5.87 \times (\cos \theta)$$

Η απώλεια κεφαλής λόγω τριβής στο σωλήνα αναρρόφησης δίνεται από την εξίσωση ως:

$$h_{fs} = (4 \times f \times l_s) / (d_s \times 2g) \times (A/a_s \times \omega \times r \times \sin\theta)^2 = (4 \times 0.01 \times 7) / (0.075 \times 2 \times 9.81) \times (16 / 9 \times 2.5\pi \times 0.075 \times \sin\theta)^2 = 0.208 \times \sin^2 \theta$$

(i) Η πίεση κεφαλής στο έμβολο στην αρχή της διαδρομής της αναρρόφησης:

Στην αρχή της διαδρομής της αναρρόφησης, $\theta = 0^\circ$, $\cos\theta = 1$, $\sin \theta = 0$

$$\begin{aligned} \text{Πίεση κεφαλής} &= h_s + h_{as} \text{ κάτω από την ατμοσφαιρική πίεση κεφαλής} \\ &= 2.5 + 5.87 = \mathbf{8.37 \text{ m κενού}} \end{aligned}$$

(ii) Η πίεση κεφαλής στο έμβολο στο τέλος της διαδρομής αναρρόφησης:

Στο τέλος της αναρρόφησης, $\theta = 180^\circ$ $\cos\theta = -1$, $\sin \theta = 0$

$$\begin{aligned} \text{Η πίεση κεφαλής} &= (h_s - h_{as}) \text{ κάτω από την ατμοσφαιρική πίεση κεφαλής} \\ &= H_{atm} - (h_s - h_{as}) \\ &= H_{atm} - (2.5 - 5.87) \\ &= H_{atm} + 3.37 = \mathbf{3.37 \text{ m πλάτους}} \end{aligned}$$

(iii) Η πίεση κεφαλής στο έμβολο στη μέση της διαδρομής της αναρρόφησης:

Στη μέση της διαδρομής αναρρόφησης, $\theta = 90^\circ$ και ως εκ τούτου $\cos \theta = 0$ και $\sin \theta = 1$.

$$\begin{aligned} \text{Η κεφαλή πίεσης} &= (h_s + h_{fs}) \text{ κάτω από την ατμοσφαιρική πίεση κεφαλής} \\ &= (2.5 + 0.208) = \mathbf{2.708 \text{ m κενού}} \end{aligned}$$

Εφαρμογή 11

Η διάμετρος και το μήκος διαδρομής μιας παλινδρομικής αντλίας μονής δράσης είναι 12 cm και 20 cm αντίστοιχα. Τα μήκη των σωλήνων αναρρόφησης και παροχής είναι 8 m και 25 m αντίστοιχα και οι διάμετροι τους είναι 7.5 cm. Εάν η αντλία λειτουργεί στις 40 r.p.m. και οι κεφαλές αναρρόφησης και παροχής είναι 4 m και 14 m αντίστοιχα, βρείτε την πίεση κεφαλής στον κύλινδρο: **(i)** στην αρχή της διαδρομής της αναρρόφησης και της παροχής, **(ii)** στη μέση της διαδρομής της αναρρόφησης και της παροχής και **(iii)** στο τέλος της διαδρομής της αναρρόφησης και της παροχής. Πάρτε τη κεφαλή ατμοσφαιρικής πίεσης = 10.30 μέτρα νερού και $f = 0.009$ και για τους δύο σωλήνες.

$$D = 12 \text{ cm} = 0.12 \text{ m}$$

$$L = 20 \text{ cm} = 0.20 \text{ m}$$

$$r = L / 2 = 0.10 \text{ m}$$

$$l_s = 8 \text{ m}$$

$$l_d = 25 \text{ m}$$

$$d_s = 7.5 \text{ cm} = 0.075 \text{ m}$$

$$d_d = 7.5 \text{ cm} = 0.075 \text{ m}$$

$$N = 40 \text{ rpm}$$

$$h_s = 4 \text{ m}$$

$$h_d = 14 \text{ m}$$

$$H_{\text{atm}} = 10.3 \text{ m νερού}$$

$$f = 0.009$$

$$\omega = (2 \times \pi \times N) / 60 = (2 \times \pi \times 40) / 60 = 4.188 \times \pi \text{ rad / s}$$

Η κεφαλή πίεσης λόγω επιτάχυνσης στο σωλήνα αναρρόφησης λαμβάνεται ως:

$$h_{\text{as}} = (l_s / g) \times (A / a_s) \times (\omega^2) \times r \times (\cos \theta) = (8 / 9.81) \times [(\pi \times D^2 / 4) / (\pi \times d_s^2 / 4)] \times 4.188^2 \times 0.1 \times (\cos \theta)$$

$$= (8 / 9.81) \times (0.12^2 / 0.075^2) \times 4.188^2 \times 0.1 \times (\cos \theta) = 3.66 \times (\cos \theta) \text{ m}$$

Παρομοίως, η κεφαλή πίεσης που οφείλεται στην επιτάχυνση του σωλήνα παροχής λαμβάνεται ως:

$$h_{ad} = (l_d / g) \times (A / a_d) \times (\omega^2) \times r \times (\cos \theta) = (25 / 9.81) \times [(\pi \times D^2/4) / (\pi \times d_d^2/4)] \times 4.188^2 \times 0.1 \times (\cos \theta)$$

$$= (25 / 9.81) \times (0.12^2 / 0.075^2) \times 4.188^2 \times 0.1 \times (\cos \theta) = 11.44 \times (\cos \theta) \text{ m}$$

Για τις απώλειες κεφαλής λόγω τριβής στον σωλήνα αναρρόφησης έχουμε:

$$h_{fs} = [(4 \times f \times l_s) / (d_s \times 2g)] \times (A/a_s \times \omega r \times \sin\theta)^2$$

$$= [(4 \times 0.009 \times 8) / (0.075 \times 2 \times 9.81)] \times [(\pi \times D^2/4) / (\pi \times d_s^2/4) \times 4.188 \times 0.1 \times \sin\theta]^2$$

$$= [(4 \times 0.009 \times 8) / (0.075 \times 2 \times 9.81)] \times [(0.12^2 / 0.075^2) \times 4.188 \times 0.1]^2 \times \sin^2 \theta$$

$$= 0.225 \times \sin^2 \theta$$

Για τις απώλειες κεφαλής λόγω τριβής στον σωλήνα παροχής έχουμε:

$$h_{fd} = [(4 \times f \times l_d) / (d_d \times 2g)] \times (A/a_d \times \omega r \times \sin\theta)^2$$

$$= [(4 \times 0.009 \times 25) / (0.075 \times 2 \times 9.81)] \times [(\pi \times D^2/4) / (\pi \times d_d^2/4) \times 4.188 \times 0.1 \times \sin\theta]^2$$

$$= [(4 \times 0.009 \times 25) / (0.075 \times 2 \times 9.81)] \times [(0.12^2 / 0.075^2) \times 4.188 \times 0.1]^2 \times \sin^2 \theta$$

$$= 0.703 \times \sin^2 \theta$$

- (i) Η πίεση κεφαλής στον κύλινδρο στην αρχή των διαδρομών της αναρρόφησης και της παροχής.

Στην αρχή της διαδρομής της αναρρόφησης και της παροχής, $\theta = 0^\circ$.

$$h_{as} = 3.66 \times \cos 0^\circ = 3.66 \text{ m}$$

$$h_{ad} = 11.44 \times \cos 0^\circ = 11.44 \text{ m}$$

Η πίεση κεφαλής στον κύλινδρο στην αρχή της διαδρομής της αναρρόφησης

$$= (h_s + h_{as}) \text{ κάτω από την ατμοσφαιρική πίεση κεφαλής}$$

$$= H_{atm} - (h_s + h_{as})$$

$$= 10.3 - 4 - 3.66 = \mathbf{2.64 \text{ m}}$$

Η πίεση κεφαλής στον κύλινδρο στην αρχή της διαδρομής της παροχής

$$= (h_d + h_{ad}) \text{ πάνω από την ατμοσφαιρική πίεση κεφαλής}$$

$$= H_{atm} + (h_d + h_{ad})$$

$$= 10.3 + 14 + 11.44 = \mathbf{35.74 \text{ m}}$$

- (ii) Η πίεση κεφαλής στο κύλινδρο στη μέση των διαδρομών της αναρρόφησης και της παροχής.

Στη μέση της διαδρομής της αναρρόφησης και της παροχής, $\theta = 90^\circ$.

$$h_{as} = 0$$

$$h_{ad} = 0$$

$$h_{fs} = 0.225 \times \sin^2 90 = 0.225 \text{ m}$$

$$h_{fd} = 0.703 \times \sin^2 90 = 0.703 \text{ m}$$

Η πίεση κεφαλής στον κύλινδρο στη μέση της διαδρομής της αναρρόφησης

= $(h_s + h_{fs})$ κάτω από την ατμοσφαιρική πίεση κεφαλής

$$= H_{atm} - (h_s + h_{fs})$$

$$= 10.3 - 4 - 0.224 = \mathbf{6.075 \text{ m}}$$

Η πίεση κεφαλής στον κύλινδρο στη μέση της διαδρομής της παροχής

= $(h_d + h_{fd})$ πάνω από την ατμοσφαιρική πίεση κεφαλής

$$= H_{atm} + (h_d + h_{fd})$$

$$= 10.3 + 14 + 0.703 = \mathbf{25.003 \text{ m}}$$

- (iii) Η πίεση κεφαλής στο κύλινδρο στο τέλος των διαδρομών της αναρρόφησης και της παροχής.

Στο τέλος της διαδρομής της αναρρόφησης και της παροχής, $\theta = 180^\circ$.

$$\cos \theta = -1 \text{ και } \sin \theta = 0$$

$$h_{as} = 3.66 \times \cos \theta = -3.66 \text{ m}$$

$$h_{ad} = 11.44 \times \cos \theta = -11.44 \text{ m}$$

Η πίεση κεφαλής στο κύλινδρο στο τέλος της διαδρομής της αναρρόφησης

= $(h_s + h_{as})$ κάτω από την ατμοσφαιρική πίεση κεφαλής

$$= H_{atm} - (h_s + h_{as})$$

$$= 10.3 - 4 + 3.66 = \mathbf{9.96 \text{ m}}$$

Η πίεση κεφαλής στο κύλινδρο στο τέλος της διαδρομής της παροχής

= $(h_d + h_{ad})$ πάνω από την ατμοσφαιρική πίεση κεφαλής

= $H_{atm} + (h_d + h_{ad})$

= $10.3 + 14 - 11.44 = \mathbf{12.86\ m}$

Εφαρμογή 12

Για την παλινδρομική αντλία μονής δράσης, που δίνεται στην εφαρμογή 11, βρείτε την απαιτούμενη ισχύ για την κίνηση της αντλίας, εάν το νερό ρέει μέσω της αντλίας.

$A = (\pi \times D^2) / 4 = (\pi \times 0.12^2) / 4 = 0.01131\ m^2$

$L = 0.20\ m$

$N = 40\ rpm$

$\rho = 1000\ kg / m^3$

$h_s = 4\ m$

$h_d = 14\ m$

$h_{fs} = 0.225\ m$

$h_{fd} = 0.703\ m$

Για το έργο που πραγματοποιείται από την αντλία ανά δευτερόλεπτο, έχουμε

Έργο ανά δευτερόλεπτο

= $(\rho \times g \times A \times L \times N / 60) \times (h_s + h_d + 2h_{fs}/3 + 2h_{fd}/3)$

= $(1000 \times 9.81 \times 0.01131 \times 0.20 \times 40 / 60) \times (4 + 14 + 2/3 \times 0.225 + 2/3 \times 0.703)$

= $14.793 \times (4 + 14 + 0.15 + 0.468) = 275.42\ Nm / s$

Απαιτούμενη ισχύ για την κίνηση της αντλίας σε kW

= έργο που πραγματοποιείται ανά δευτερόλεπτο / 1000

= $275.42 / 1000 = \mathbf{0.2754\ kW}$

Εφαρμογή 13

Βρείτε τη μέγιστη ταχύτητα μιας παλινδρομικής αντλίας μονής δράσης για να αποφύγετε το διαχωρισμό, ο οποίος συμβαίνει στα 3.0 m νερού. Η αντλία έχει κύλινδρο διαμέτρου 10 cm και μήκος διαδρομής 20 cm. Η αντλία αντλεί νερό από μια δεξαμενή (1) και το παρέχει μια δεξαμενή (2). Η στάθμη του νερού στη δεξαμενή (1) είναι 3.5 m κάτω από τον άξονα της αντλίας και στη δεξαμενή (2) η στάθμη του νερού είναι 13 m πάνω από τον άξονα της αντλίας. Η διάμετρος και το μήκος του σωλήνα αναρρόφησης είναι 4 cm και 5 m, ενώ του σωλήνα παροχής, η διάμετρος και το μήκος είναι 3 cm, 20 m αντίστοιχα. Λάβετε τη κεφαλή ατμοσφαιρικής πίεσης = 10.3 m νερού.

$$h_{\text{sep}} = 3.0 \text{ m}$$

$$D = 10 \text{ cm} = 0.10 \text{ m}$$

$$L = 20 \text{ cm} = 0.20 \text{ m}$$

$$r = L / 2 = 0.10 \text{ m}$$

$$h_s = 3.5 \text{ m}$$

$$h_d = 13 \text{ m}$$

$$d_s = 4 \text{ cm} = 0.04 \text{ m}$$

$$l_s = 5 \text{ m}$$

$$d_d = 3 \text{ cm} = 0.03 \text{ m}$$

$$l_d = 20 \text{ m}$$

$$H_{\text{atm}} = 10.3 \text{ m}$$

Η μέγιστη ταχύτητα κατά τη διαδρομή της αναρρόφησης χωρίς διαχωρισμό επιτυγχάνεται από τη σχέση:

$$H_{\text{atm}} - h_s - h_{\text{sep}} = (l_s/g) \times (A/a_s) \times (\omega^2 r)$$

$$10.3 - 3.5 - 3.0 = (5 / 9.81) \times [(\pi \times D^2/4) / (\pi \times d_s^2/4)] \times \omega^2 \times 0.1$$

$$3.8 = (5 / 9.81) \times (0.1^2 / 0.04^2) \times \omega^2 \times 0.1$$

$$3.8 = 0.3185 \times \omega^2$$

$$\omega = 3.454 \text{ rad / s}$$

$$N = (60 \times \omega) / 2\pi = (60 \times 3.454) / 2\pi = \mathbf{32.98 \text{ rpm}}$$

Η μέγιστη ταχύτητα κατά τη διαδρομή της παροχής χωρίς διαχωρισμό επιτυγχάνεται από τη σχέση:

$$(H_{\text{atm}} + h_d) - h_{\text{sep}} = (l_d/g) \times (A/a_d) \times (\omega^2 r)$$

$$(10.3 + 13) - 3.0 = (20 / 9.81) \times [(\pi \times D^2/4) / (\pi \times d_d^2/4)] \times \omega^2 \times 0.1$$

$$20.3 = (20 / 9.81) \times (0.1^2 / 0.03^2) \times \omega^2 \times 0.1$$

$$20.3 = 2.265 \times \omega^2$$

$$\omega = 2.994 \text{ rad / s}$$

$$N = (60 \times \omega) / 2\pi = (60 \times 2.994) / 2\pi = \mathbf{28.59 \text{ rpm}}$$

Η ελάχιστη από τις δύο ταχύτητες που βρήκαμε είναι η μέγιστη ταχύτητα της αντλίας, χωρίς διαχωρισμό.

Μέγιστη ταχύτητα χωρίς διαχωρισμό = 28.59 rpm.

Εφαρμογή 14

Ο κύλινδρος μιας παλινδρομικής αντλίας μονής δράσης έχει διάμετρο 15 cm και 30 cm μήκος διαδρομής. Η αντλία λειτουργεί στις 30 r.p.m και παρέχει νερό σε ύψος 12 m. Η διάμετρος και το μήκος του σωλήνα παροχής είναι 10 cm και 30 m αντίστοιχα. Εάν ένας αεροκώδωνας είναι τοποθετημένος στο σωλήνα παροχής σε απόσταση 2 m από το κέντρο της αντλίας, βρείτε την πίεση κεφαλής στον κύλινδρο. **(i)** Στην αρχή της διαδρομής της παροχής, και **(ii)** Στη μέση της διαδρομής της παροχής. Πάρτε $f = 0.01$

$$D = 15 \text{ cm} = 0.15 \text{ m}$$

$$A = (\pi \times D^2) / 4 = 0.01767 \text{ m}^2$$

$$L = 30 \text{ cm} = 0.30 \text{ m}$$

$$r = L / 2 = 0.15 \text{ m}$$

$$N = 30 \text{ rpm}$$

$$\omega = (2 \times \pi \times N) / 60 = \pi \text{ rad / s}$$

$$h_d = 12 \text{ cm} = 0.10 \text{ m}$$

$$d_d = 10 \text{ cm} = 0.10 \text{ m}$$

$$a_d = (\pi \times d_d^2) / 4 = 0.007854 \text{ m}^2$$

$$l = 30 \text{ m}$$

$$l_d' = 2 \text{ m}$$

$$l_d = l - l_d' = 30 - 2 = 28 \text{ m}$$

$$f = 0.01$$

(i) Η πίεση κεφαλής στην αρχή της διαδρομής της παροχής

$$\begin{aligned} &= [h_d] + [(l_d' / g) \times (A / a_d) \times (\omega^2 r)] + [(4 \times f \times l_d) / (d_d \times 2g) \times (A / a_d \times \omega r / \pi)^2] + \\ &[(A / a_d) \times (\omega r / \pi)]^2 / 2g \\ &= [12] + [(2 / 9.81) \times (0.01767 / 0.007854) \times (\pi^2 \times 0.15)] + [(4 \times 0.01 \times 28) / \\ &(0.1 \times 2 \times 9.81) \times (0.01767 / 0.007854 \times \pi \times 0.15 / \pi)^2] + [(0.01767 / 0.007854) \times \\ &(\pi \times 0.15 / \pi)]^2 / 2 \times 9.81 \\ &= 12 + 0.6709 + 0.065 + 0.0058 = \mathbf{12.75 \text{ m}} \end{aligned}$$

(ii) Η πίεση κεφαλής στη μέση της διαδρομής της παροχής

$$\begin{aligned} &= [h_d] + [(4 \times f \times l_d') / (d_d \times 2g) \times (A / a_d \times \omega r)^2] + [(4 \times f \times l_d) / (d_d \times 2g) \times \\ &(A / a_d \times \omega r / \pi)^2] + [(A / a_d) \times (\omega r / \pi)]^2 / 2g \\ &= 12 + (4 \times 0.01 \times 2 / 0.1 \times 2 \times 9.81) \times (0.01767 / 0.007854 \times \pi \times 0.15)^2 + 0.065 + \\ &0.0058 \\ &= 12 + 0.0458 + 0.065 + 0.0058 = \mathbf{12.116 \text{ m}} \end{aligned}$$

Εφαρμογή 15

Μια παλινδρομική αντλία μονής δράσης είναι για να ανυψώνει υγρό πυκνότητας 1200 kg / m^3 μέσω κατακόρυφου ύψους 11.5 m , από 2.5 m κάτω από τον άξονα της αντλίας σε 9 m πάνω από αυτό. Το έμβολο, το οποίο κινείται με S.H.M. (απλή αρμονική κίνηση), έχει διάμετρο 125 mm και διαδρομή 225 mm . Οι σωλήνες αναρρόφησης και παροχής έχουν διάμετρο 75 mm και μήκος 3.5 m και 13.5 m αντίστοιχα. Υπάρχει ένα μεγάλος αεροκώδωνας τοποθετημένος στο σωλήνα παροχής κοντά στον άξονα της αντλίας. Αλλά δεν υπάρχει αεροκώδωνας στο σωλήνα αναρρόφησης. Εάν ο διαχωρισμός γίνεται στα 8.829 N / cm^2 κάτω από την ατμοσφαιρική πίεση, βρείτε:

- (i) τη μέγιστη ταχύτητα, με την οποία η αντλία μπορεί να λειτουργεί χωρίς διαχωρισμό, και
- (ii) την απαιτούμενη ισχύ για τη κίνηση της αντλίας, εάν $f = 0.02$.

Παραβλέψτε την ολίσθηση για την αντλία.

$$\rho = 1000 \text{ kg / m}^3$$

$$h_{\text{tot}} = 11.5 \text{ m}$$

$$h_s = 2.5 \text{ m}$$

$$h_d = 9 \text{ m}$$

$$D = 125 \text{ mm} = 0.125 \text{ m}$$

$$A = (\pi \times D^2) / 4 = 0.0123 \text{ m}^2$$

$$L = 225 \text{ mm} = 0.225 \text{ m}$$

$$r = L / 2 = 0.1125$$

$$d_s = 75 \text{ mm} = 0.075 \text{ m}$$

$$d_d = 75 \text{ mm} = 0.075 \text{ m}$$

$$a_s = (\pi \times d_s^2) / 4 = 0.00442 \text{ m}^2$$

$$a_d = (\pi \times d_d^2) / 4 = 0.00442 \text{ m}^2$$

$$l_s = 3.5 \text{ m}$$

$$l_d = 13.5 \text{ m}$$

πίεση διαχωρισμού= $p_{\text{sep}} = 8.829 \text{ N / cm}^2 = 8.829 \times 10^4 \text{ N / m}^2$ κάτω από την ατμοσφαιρική πίεση

$$h_{\text{sep}} = p_{\text{sep}} / \rho g = 8.829 \times 10^4 / (1200 \times 9.81) = 7.5 \text{ m} \text{ κάτω από την ατμοσφαιρική πίεση}$$

- (i) μέγιστη ταχύτητα, με την οποία η αντλία μπορεί να λειτουργεί χωρίς διαχωρισμό

Έστω N = Μέγιστη ταχύτητα με την οποία μπορεί να λειτουργεί η αντλία χωρίς να γίνεται διαχωρισμός.

Ο διαχωρισμός μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο στην αρχή της αναρρόφησης. Δεδομένου ότι ο αεροκώδωνας δεν είναι τοποθετημένος στον σωλήνα αναρρόφησης, θα υπάρχει κεφαλή επιτάχυνσης που λειτουργεί στην πλευρά της αναρρόφησης.

Πίεση κεφαλής στην αρχή της διαδρομής της αναρρόφησης

$$= h_s + h_{\text{as}} \text{ κάτω από την ατμοσφαιρική πίεση}$$

Αυτή η πίεση πρέπει να είναι ίση με την h_{sep} σε περιοριστική περίπτωση

$$7.5 = h_s + h_{as} = 2.5 + h_{as}$$

$$h_{as} = 5 \text{ m}$$

$$h_{as} = (l_s / g) \times (A / a_s) \times (\omega^2 r) = (3.5 / 9.81) \times [(\pi \times D^2 / 4) / (\pi \times d_s^2 / 4)] \times \omega^2 \times 0.1125$$

$$= (3.5 / 9.81) \times (0.0123 / 0.00442) \times \omega^2 \times 0.1125 = 0.1117 \times \omega^2$$

$$5 = 0.1117 \times \omega^2$$

$$\omega = 6.69 \text{ rad/s}$$

$$N = (60 \times \omega) / 2\pi = (60 \times 6.69) / 2\pi = \mathbf{63.88 \text{ rpm}}$$

Η μέγιστη ταχύτητα με την οποία μπορεί να λειτουργεί η αντλία χωρίς διαχωρισμό είναι 63,88 r.p.m.

(ii) Ισχύς που απαιτείται για τη κίνηση της αντλίας.

$$Q = (A \times L \times N) / 60 = (0.0123 \times 0.225 \times 63.88) / 60 = 0.00294 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Η ταχύτητα του υγρού στο σωλήνα παροχής θα είναι ομοιόμορφη

$$v = Q / a_d = 0.00294 / 0.00442 = 0.665 \text{ m / s}$$

Κατά τη διαδρομή της παροχής

$$h_{fd} = [(4 \times f \times l_d) / (d_d \times 2g)] \times v^2$$

$$= [(4 \times 0.02 \times 13.5) / (0.075 \times 2 \times 9.81)] \times (0.665)^2 = 0.324 \text{ m}$$

Κατά τη διαδρομή της αναρρόφησης η τιμή της μέγιστης h_{fs} θα είναι

$$h_{fs} = (4 \times f \times l_s) / (d_s \times 2g) \times (A/a_s \times \omega r)^2$$

$$= (4 \times 0.02 \times 3.5) / (0.075 \times 2 \times 9.81) \times (0.0123 / 0.00442 \times 6.69 \times 0.1125)^2 = 0.834 \text{ m}$$

Ισχύς που απαιτείται για τη κίνηση της αντλίας σε kW

$$= (p \times g \times Q / 1000) \times (h_s + h_d + 2h_{fs}/3 + h_{fd})$$

$$= (1200 \times 9.81 \times 0.00294 / 1000) \times (2.5 + 9 + 2/3 \times 0.834 + 0.324)$$

$$= \mathbf{0.428 \text{ kW}}$$

Εφαρμογή 16

Μια παλινδρομική αντλία διπλής δράσης με έμβολο αντλεί νερό με διάμετρο εμβόλου 250 mm, διάμετρο βάρκρου του εμβόλου, η οποία βρίσκεται στη μία πλευρά του εμβόλου 50 mm και διαδρομή εμβόλου 380 mm. Οι κεφαλές αναρρόφησης και παροχής είναι 4.5 m και 18.6 m αντίστοιχα. Βρείτε το έργο του έμβολου κατά τη διάρκεια της εξωτερικής διαδρομής. Θα αλλάξει το έργο για το εσωτερική διαδρομή;

$$D = 250 \text{ mm} = 0.25 \text{ m}$$

$$A = (\pi \times D^2) / 4 = 0.0491 \text{ m}^2$$

$$D_{\text{βάρκρου}} = 50 \text{ mm} = 0.05 \text{ m}$$

$$a = (\pi \times d_{\text{βάρκρου}}^2) / 4 = 0.001963 \text{ m}^2$$

$$L = 380 \text{ mm} = 0.38 \text{ m}$$

$$h_s = 4.5 \text{ m}$$

$$h_d = 18.6 \text{ m}$$

Σε μια αντλία διπλής δράσης για την εξωτερική διαδρομή, η πλευρά αναρρόφησης θα είναι προς το έμβολο και η πλευρά παροχής θα είναι προς το βάρκρο του εμβόλου.

Ως εκ τούτου, το συνολικό έργο της εξωτερικής διαδρομής

= βάρος του νερού που ανυψώθηκε x ύψος μέσω του οποίου ανυψώνεται το νερό

+ Βάρος νερού παροχής x ύψος νερού παροχής

$$= \rho \times g \times Q_1 \times h_s + \rho \times g \times Q_2 \times h_d$$

Όπου κατά την εξωτερική διαδρομή

$$Q_1 = A \times L = 0.0491 \times 0.38 = 0.01865 \text{ m}^3$$

$$Q_2 = (A - a) \times L = (0.0491 - 0.001963) \times 0.38 = 0.01791 \text{ m}^3$$

Συνολικό έργο εξωτερικής διαδρομής

$$= \rho \times g \times Q_1 \times h_s + \rho \times g \times Q_2 \times h_d$$

$$= (1000 \times 9.81 \times 0.01865 \times 4.5) + (1000 \times 9.81 \times 0.01791 \times 18.6)$$

$$= 4091.3 \text{ Nm} = 4091.3 \text{ J}$$

$$= \mathbf{4.0913 \text{ kJ}}$$

Για την εσωτερική διαδρομή, η πλευρά της αναρρόφησης θα είναι προς το βάκτρο εμβόλου, ενώ η πλευρά παροχής θα είναι προς το έμβολο.

Συνολικό έργο εσωτερικής διαδρομής

$$\begin{aligned} &= p \times g \times Q_2 \times h_s + p \times g \times Q_1 \times h_d \\ &= (1000 \times 9.81 \times 0.01791 \times 4.5) + (1000 \times 9.81 \times 0.01865 \times 18.6) \\ &= 4193.6 \text{ Nm} = 4193.6 \text{ J} \\ &= \mathbf{4.1936 \text{ kJ}} \end{aligned}$$

Αρά το έργο της εσωτερικής διαδρομής αλλάζει σε σχέση με έργο της εξωτερικής διαδρομής.

Εφαρμογή 17

Μια παλινδρομική αντλία μονής δράσης έχει διάμετρο εμβόλου 250 mm και διαδρομή 450 mm και κινείται με S.H.M. στις 60 r.p.m. Το μήκος και η διάμετρος του σωλήνα παροχής είναι 60 m και 100 mm αντίστοιχα. Προσδιορίστε την εξοικονόμηση ενέργειας ξεπερνώντας τη τριβή στο σωλήνα παροχής τοποθετώντας έναν αεροκώδωνα στην πλευρά παροχής της αντλίας. Υποθέστε ότι ο συντελεστής τριβής = 0.01.

$$D = 250 \text{ mm} = 0.25 \text{ m}$$

$$A = (\pi \times 0.25^2) / 4$$

$$L = 450 \text{ mm} = 0.45 \text{ m}$$

$$r = L / 2 = 0.225 \text{ m}$$

$$N = 60 \text{ rpm}$$

$$\omega = (2 \times \pi \times N) / 60 = 2\pi \text{ rad / s}$$

$$l_d = 60 \text{ m}$$

$$d_d = 100 \text{ mm} = 0.1 \text{ m}$$

$$a_d = (\pi \times 0.1^2) / 4$$

$$f^* = 0.01$$

εξοικονόμηση ενέργειας = $p \times g \times Q \times [2/3 \times (hf)_{\text{χωρίς αεροκώδωνα}} - (hf)_{\text{με αεροκώδωνα}}$

$$Q = (A \times L \times N) / 60 = \pi / 4 \times [(0.25^2 \times 0.45 \times 60) / 60] = 0.02209 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Χωρίς αεροκώδωνα:

$$\begin{aligned} h_{fd} &= f^* \times l_d \times v^2 / (d_d \times 2g) = (f^* \times l_d) / (d_d \times 2g) \times (A/a_d \times \omega r)^2 \\ &= (0.01 \times 60) / (0.1 \times 2 \times 9.81) \times (0.25^2 / 0.1^2 \times 2\pi \times 0.225)^2 \\ &= 23.87 \text{ m} \end{aligned}$$

Με αεροκώδωνα

$$\begin{aligned} h_{fd} &= f^* \times l_d \times \bar{V}^2 / (d_d \times 2g) = (f^* \times l_d) / (d_d \times 2g) \times (A/a_d \times \omega r / \pi)^2 \\ &= (0.01 \times 60) / (0.1 \times 2 \times 9.81) \times (0.25^2 / 0.1^2 \times 2\pi \times 0.225 / \pi)^2 \\ &= 2.419 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{εξοικονόμηση ενέργειας} &= \rho \times g \times Q \times [2/3 \times (h_f)_{\text{χωρίς αεροκώδωνα}} - (h_f)_{\text{με αεροκώδωνα}}] \\ &= 1000 \times 9.81 \times 0.02209 \times [2/3 \times 23.87 - 2.419] \\ &= 2924 \text{ W} \\ &= \mathbf{2.924 \text{ kW}} \end{aligned}$$

Εφαρμογή 18

Μια παλινδρομική αντλία διπλής δράσης λειτουργεί στις 120 r.p.m. Ο σωλήνας αναρρόφησης διαμέτρου 100 mm είναι εφοδιασμένος με έναν αεροκώδωνα στη πλευρά αναρρόφησής του. Η διάμετρος του κυλίνδρου και η διαδρομή είναι 150 mm και 450 mm αντίστοιχα. Εάν το έμβολο πρέπει να οδηγηθεί με S.H.M., βρείτε τον ρυθμό ροής από ή προς τον αεροκώδωνα όταν ο στρόφαλος κάνει γωνίες 30 °, 90 ° και 120 ° με το εσωτερικό νεκρό κέντρο. Βρείτε επίσης τις γωνίες του στροφάλου στις οποίες δεν υπάρχει ροή προς ή από τον αεροκώδωνα.

$$N = 120 \text{ rpm}$$

$$\omega = (2 \times \pi \times N) / 60 = 4\pi \text{ rad / s}$$

$$d_s = 100 \text{ mm} = 0.1 \text{ m}$$

$$a_d = (\pi \times 0.1^2) / 4 = 0.007854 \text{ m}^2$$

$$D = 150 \text{ mm} = 0.15 \text{ m}$$

$$A = (\pi \times 0.15^2) / 4 = 0.01767 \text{ m}^2$$

$$L = 450 \text{ mm} = 0.45 \text{ m}$$

$$r = L / 2 = 0.225 \text{ m}$$

Ο ρυθμός ροής υγρού μιας παλινδρομικής αντλίας διπλής δράσης μέσα στον αεροκώδωνα

$$\begin{aligned} &= (A \times \omega r \times \sin \theta) - [(2 \times A \times \omega r) / \pi] \\ &= A \times \omega r \times (\sin \theta - 2 / \pi) \\ &= 0.01767 \times 4\pi \times 0.225 \times (\sin \theta - 2 / \pi) \\ &= 0.04996 \times (\sin \theta - 2 / \pi) \end{aligned}$$

Σε αυτή την εφαρμογή, ο αεροκώδωνας τοποθετείται στο σωλήνα αναρρόφησης. Ως εκ τούτου, εάν ο παραπάνω ρυθμός ροής είναι θετικός, το υγρό θα ρέει από τον αεροκώδωνα. Και εάν ο παραπάνω ρυθμός ροής είναι αρνητικός, το υγρό θα ρέει στον αεροκώδωνα.

(i) Για $\theta = 30^\circ$

$$\begin{aligned} \text{Ρυθμός ροής υγρού} &= 0.04996 \times (\sin 30^\circ - 2 / \pi) = 0.04996 \times (0.5 - 0.6366) \\ &= - \mathbf{0.00682 \text{ m}^3 / \text{s}} \end{aligned}$$

Άρα, αφού ο ρυθμός ροής του υγρού είναι αρνητικός το υγρό θα ρέει στον αεροκώδωνα

(ii) Για $\theta = 90^\circ$

$$\begin{aligned} \text{Ρυθμός ροής υγρού} &= 0.04996 \times (\sin 90^\circ - 2 / \pi) = 0.04996 \times (1 - 0.6366) \\ &= \mathbf{0.0181 \text{ m}^3 / \text{s}} \end{aligned}$$

Άρα, αφού ο ρυθμός ροής του υγρού είναι θετικός το υγρό θα ρέει από τον αεροκώδωνα

(iii) Για $\theta = 120^\circ$

$$\begin{aligned} \text{Ρυθμός ροής υγρού} &= 0.04996 \times (\sin 120^\circ - 2 / \pi) = 0.04996 \times (0.866 - 0.6366) \\ &= \mathbf{0.01146 \text{ m}^3 / \text{s}} \end{aligned}$$

Άρα, αφού ο ρυθμός ροής του υγρού είναι θετός το υγρό θα ρέει από τον αεροκώδωνα

(iv) γωνίες του στροφάλου στις οποίες δεν υπάρχει ροή προς ή από τον αεροκώδωνα.

Έστω θ = γωνία στην οποία δεν υπάρχει ροή

Ρυθμός ροής υγρού= $0.04996 \times (\sin \theta - 2 / \pi)$

Για καθόλου ροή προς ή από τον αεροκώδωνα

$$0.04996 \times (\sin \theta - 2 / \pi) = 0$$

$$\sin \theta = 2 / \pi = 0.6366$$

$$\theta = \sin^{-1} 0.6366 = \mathbf{39^\circ 32' \text{ και } 140^\circ 28'}$$

Κεφάλαιο 6^ο: Συμπεράσματα

Στο σημείο αυτό, καθώς η μελέτη της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας οδεύει στο τέλος της, είναι σκόπιμο και χρήσιμο να εξαχθούν κάποια συμπεράσματα από την παραπάνω ανάλυση, η οποία έγινε άλλωστε και για αυτό το σκοπό.

Το πιο βασικό συμπέρασμα που μπορεί να βγει από τη μελέτη που έγινε, κατά τη βιβλιογραφική ανασκόπηση, είναι πως οι ρευστοδυναμικές μηχανές είναι πανταχού παρούσες στη σημερινή βιομηχανικά και τεχνολογικά προηγμένη κοινωνία. Μια πληθώρα δραστηριοτήτων που γίνονται σήμερα υποβοηθούνται ή οφείλουν την ύπαρξή τους στη δράση μηχανών όπως οι στρόβιλοι και οι αντλίες. Από την αυτοκίνηση μέχρι και την παραγωγή ενέργειας, ένα τεράστιο φάσμα της κοινωνίας βασίζεται σε αυτά τα μηχανήματα ώστε να λειτουργεί σε ρυθμούς που σήμερα είναι συνηθισμένοι, ωστόσο πριν από έναν αιώνα ήταν αδιανόητοι.

Ακόμα ένα συμπέρασμα που βγήκε από την εργασία και όλη τη διαδικασία εκπόνησής της είναι η απλότητα που διέπει τους συγκεκριμένους μηχανισμούς, η οποία ωστόσο είναι επαρκής για να κατασκευάζονται μηχανήματα πολύ σημαντικά για τον άνθρωπο. Τα επιμέρους εξαρτήματά τους δεν αποτελούν τη τελευταία λέξη της τεχνολογίας, πλην ελαχίστων εξειδικευμένων και απαιτητικών περιπτώσεων. Αυτό ωστόσο δε σταματά αυτές τις μηχανές από το να συμμετέχουν και να καθορίζουν μια σειρά εργασιών οι οποίες αγγίζουν όλη την παγκόσμια οικονομία, από την παραγωγή τροφίμων μέχρι και την ενέργεια και το περιβάλλον.

Στη συνέχεια, δε θα μπορούσαμε να παραλείψουμε τις παρατηρήσεις μας για μια συγκεκριμένη κατηγορία υδροδυναμικών αντλιών που κυριάρχησε στη παρούσα εργασία. Αφού αναλύσαμε τη λειτουργία τους, τους τύπους τους, τη κατασκευή τους και αλλά πολλά βασικά τους στοιχεία, τα τελευταία μας συμπεράσματα αφορούν φυσικά τις παλινδρομικές αντλίες, οι οποίες μελετήθηκαν διεξοδικά και μας απέδειξαν τη σημαντικότητά τους. Όσο περνάνε τα χρόνια, οι απαιτήσεις πολλών τεχνικών εφαρμογών για υψηλές έως εξαιρετικά υψηλές πιέσεις κατάθλιψης αυξάνονται, αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι παλινδρομικές αντλίες να είναι ένα πολύ σημαντικό θέμα μελέτης για εξέλιξη. Οι παλινδρομικές αντλίες είναι ισχυρές, έχουν μεγάλη αναρροφητική ικανότητα, μπορούν να σχηματίσουν πολύ μεγάλες πιέσεις στη κατάθλιψη και ο βαθμός απόδοσής τους είναι υψηλός. Στη σημερινή εποχή κατέχουν

ένα μεγάλο κομμάτι στη βιομηχανία, διότι έχουν υψηλές πιέσεις κεφάλης και μπορούν να διακινούν ρευστά με μεγάλο ιξώδες. Οι υπηρεσίες τους προσφέρονται σε γεωτρήσεις για την εύρεση πετρελαίου και φυσικού αερίου, σε μονάδες καθαρισμού περιορισμένων χωρών, σε διυλιστήρια πετρελαίου, για λιπάσματα φυτών, για την παραγωγή απορρυπαντικών, σε βιομηχανίες μετάλλων, σε πυρηνικούς σταθμούς, για τη κοπή με πίδακες νερού, την αντίστροφη ώσμωση, για κρυογονικές υπηρεσίες και τις υπηρεσίες τροφίμων. Αρά μπορούμε να συμπεράνουμε ότι, οι εργασίες που εκτελούν οι παλινδρομικές αντλίες είναι τόσο ποικίλες που αυτό τις καθιστά ως ένα απαραίτητο εργαλείο της βιομηχανίας και ο κόσμος δεν θα μπορούσε να λειτουργήσει χωρίς αυτές.

Τέλος, ένα ακόμα συμπέρασμα αφορά το πρακτικό κομμάτι των παλινδρομικών αντλιών αλλά και όλων των ρευστοδυναμικών μηχανών. Απαιτούν ένα πολύ καλό υπόβαθρο κατανόησης βασικών αρχών των ρευστών και κατ' επέκταση της φυσικής. Η πλήρης αντίληψη του τρόπου με τον οποίο λειτουργούν οι συγκεκριμένες διατάξεις δεν μπορεί να γίνει μονάχα με βιβλιογραφική ανασκόπηση και οπτική επιθεώρηση των εξαρτημάτων τους. Είναι ιδιαίτερα σημαντική η κατανόηση βασικών σχέσεων και εξισώσεων, οι οποίες διέπουν τέτοιες μηχανές και επεξηγούν σε θεωρητικό έστω επίπεδο το έργο το οποίο επιτελούν.

Για να ολοκληρώσουμε την παρούσα εργασία, ως είθισται, είναι χρήσιμο και δόκιμο να γίνουν κάποιες προτάσεις για μελλοντική έρευνα και διατριβή. Καθώς στα πλαίσια της συγκεκριμένης διπλωματικής κάτι τέτοιο δεν κατέστη εφικτό, θα ήταν πολύ χρήσιμο εάν γινόταν μια πειραματική εργασία η οποία να έθετε επί τάπητος τη σύγκριση διαφορετικών τύπων αντλιών. Παρ' όλο που για τις ομοιότητες και τις διαφορές τους υπάρχει πολύ μεγάλο βιβλιογραφικό υλικό, μια απευθείας σύγκρισή τους, σε ίδιες χρονικές στιγμές, από το ίδιο άτομο και με κοινό σκοπό θα μπορούσε να «ρίξει» φως σε πολλά ζητήματα που αφορούν την επιλογή της κατάλληλης αντλίας για συγκεκριμένη και ιδιαίτερη εργασία.

Επίσης, θα μπορούσε μια μελλοντική εργασία να εστιάσει στις αντλίες μονάχα ενός συγκεκριμένου τύπου ή κλάδου παραγωγής, δίνοντας πέρα από τα θεωρητικά χαρακτηριστικά της, στοιχεία μέσα από την πραγματική παραγωγή, ώστε να καταστεί ξεκάθαρο το κατά πόσο η θεωρία μπορεί να συμβαδίζει με την πράξη, μακριά από ένα πειραματικό και πιο εύκολα ελεγχόμενο περιβάλλον.

Τέλος, μια ακόμα πρόταση θα μπορούσε να είναι η εστίαση στις μελλοντικές τάσεις για εξέλιξη των αντλιών. Ένα τέτοιο αντικείμενο θα μπορούσε να έχει διττή σημασία, καθώς θα μπορούσαν να μελετηθούν κλάδοι που απαιτούν πλέον χρήση τέτοιων μηχανών, αλλά και το πώς οι μηχανές αυτές εξελίσσονται για να καλύψουν νέες ανερχόμενες ανάγκες με αποτελεσματικότητα, αποδοτικότητα και ασφάλεια.

Βιβλιογραφία

1. Δαγκίνης Ι., Γλύκας Α., (2016). *Αντλίες, Εκπαιδευτικό Κείμενο Ακαδημιών Εμπορικού Ναυτικού, Ίδρυμα Ευγενίδου, Αθήνα*
2. Παπανίκα Δ., (2012). *Ρευστοδυναμικές Μηχανές, Εκδόσεις Φ. Παπανίκα & ΣΙΑ Ο.Ε. Mediaguru: Αθήνα*
3. Πολυζάκης Α., (2016). *Λειτουργία Αεριοστροβίλων και Παραγωγή Ενέργειας – Προώθηση, Εκδόσεις Power Heat Cool: Πτολεμαΐδα*
4. Πολυζάκης Α., (2016). *Ρευστοδυναμικές Μηχανές, Στροβιλομηχανές – Υδροδυναμικές Μηχανές, Εκδόσεις Power Heat Cool: Πτολεμαΐδα*
5. Πολυζάκης Α., (2017). *Σταθμοί Παραγωγής Ηλεκτρικής Ισχύος, Εκδόσεις Power Heat Cool: Πτολεμαΐδα*
6. Δεσπότης Δ., (2016). *Τύποι και Μελέτη Αντλιών Φορτίου Δεξαμενοπλοίων, Πτυχιακή Εργασία, ΑΕΝ Μακεδονίας, Σχολή Πλοιάρχων*
7. Shieh J., *Fundamentals of Fluid Mechanics, Chapter 12: Pumps and Turbines, National Taiwan University, Department of Bio-Industrial Mechatronics Engineering*
8. Tackett, Herbert H.; Cripe, James A.; Dyson, Gary (2008). *Positive Displacement Reciprocating Pump Fundamentals - Power And Direct Acting Types. Texas A&M University. Turbomachinery Laboratories. Available electronically from <http://hdl.handle.net/1969.1/163923>.*
9. Dr. R.K. Bansal, (2010). *A Textbook Of Fluid Mechanics And Hydraulic Machines, Revised Ninth Edition, Laxmi Publications (P) Ltd, New Delhi*
10. G.K. Sahu, (2000). *Pumps, First Edition, New Age International (P) Ltd, New Delhi*
11. K. Subramaya, (2013). *Hydraulic Machines, Tata McGraw Hill Education, New Delhi*
12. A.S Rangwala, (2006). *Reciprocating Machinery Dynamics, First Edition, New Age International (P) Ltd, New Delhi*

