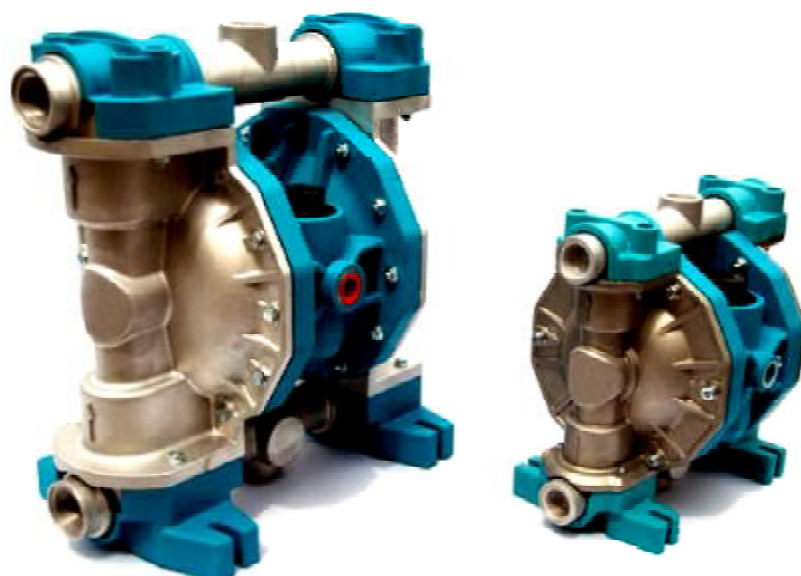


ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΛΕΤΗ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ ΜΕ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΑΕΡΟΣ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΤΥΠΟΥ



ΓΕΩΡΓΑΝΤΟΠΟΥΛΟΣ ΛΕΩΝΙΔΑΣ
ΨΙΛΟΔΗΜΗΤΡΑΚΟΠΟΥΛΟΣ ΗΛΙΑΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Δρ. ΣΚΟΥΡΑΣ ΕΥΓΕΝΙΟΣ

ΜΑΪΟΣ 2019
ΠΑΤΡΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Δυτικής Ελλάδας (Πάτρα) και πραγματεύει μελέτη αντικατάστασης φυγοκεντρικών αντλιών με πνευματικές αντλίες αέρος διαφραγματικού τύπου.

Η επιλογή του συγκεκριμένου θέματος πραγματοποιήθηκε με γνώμονα τη θέληση μας να ασχοληθούμε στον τομέα της βιομηχανίας όπου χρησιμοποιούν πλήθος αντλιών με στόχο την εξυπηρέτηση των αναγκών τους. Ωστόσο, θεωρούμε σημαντικό ότι με αυτό το θέμα οι φοιτητές του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε θα μπορούν να ασχοληθούν με το τι απαιτείται για να αλλάξει ένα υπάρχον αντλητικό σύστημα σε ένα σύστημα καλύτερης τεχνολογίας.

Επιπλέον, από αυτή τη θέση θα θέλαμε να εκφράσουμε τις ευχαριστίες μας στον κ. Ευγένιο Σκούρα, που με την βοήθεια του καταφέραμε να φέρουμε εις πέρας την παρούσα πτυχιακή εργασία. Επιπλέον, να εκφράσουμε τις ευχαριστίες μας στις οικογένειες μας που στάθηκαν δίπλα μας τόσα χρόνια, εμπυχώνοντας μας με κάθε τρόπο με στόχο να ολοκληρώσουμε τις σπουδές μας.

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

Οι σπουδαστές

ΛΕΩΝΙΔΑΣ ΓΕΩΡΓΑΝΤΟΠΟΥΛΟΣ

ΗΛΙΑΣ ΨΙΛΟΔΗΜΗΤΡΑΚΟΠΟΥΛΟΣ

.....

.....

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματοποιήθηκε με στόχο την εκπόνηση μελέτης αντικατάστασης φυγοκεντρικών αντλιών με πνευματικές αντλίες αέρος διαφραγματικού τύπου. Συγκεκριμένα η μελέτη θα βασιστεί στο σύστημα για την άντληση υδατικό μίγμα ακετονιτρίλιου - νερού το οποίο χρησιμοποιείται σε μεγάλους όγκους και το οποίο ανακυκλώνεται μέσω απόσταξης σε ειδικό αποστακτήρα κατερχόμενης στιβάδας (falling film evaporator) της εταιρίας CBL (Chemical and Biopharmaceutical Laboratories).

Αρχικά δίνεται ένα θεωρητικό υπόβαθρο όπου αναλύονται οι ρευστοδυναμικές μηχανές και οι κατηγορίες αυτών που είναι οι αντλίες και οι στρόβιλοι. Δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στις αντλίες όπου διαχωρίζονται σύμφωνα με την αρχή λειτουργίας τους στις ακόλουθες κατηγορίες που είναι οι δυναμικές αντλίες, αντλίες θετικής μετατόπισης, πνευματικές αντλίες, αντλίες ανέλκυσης και εγχυτήρες. Στην συνέχεια δίνονται τα βασικά χαρακτηριστικά των αντλιών καθώς και οι χαρακτηριστικές καμπύλες.

Στη συνέχεια δίνονται πληροφορίες για τις φυγοκεντρικές αντλίες όπου περιγράφεται η αρχή λειτουργίας τους, γίνεται διαχωρισμός σε κατηγορίες, αναλύεται η δομή τους και αναφέρονται βασικές εφαρμογές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Η ίδια διαδικασία ακολουθείται και για τις αντλίες διαφραγματικού τύπου δηλαδή περιγράφεται η αρχή λειτουργίας τους, γίνεται διαχωρισμός σε κατηγορίες, αναλύεται η δομή τους και αναφέρονται οι βασικές εφαρμογές που θεωρούνται κατάλληλες.

Ακολουθεί η μελέτη για την αντικατάσταση φυγοκεντρικών αντλιών με πνευματικές αντλίες αέρος διαφραγματικού τύπου. Αρχικά αναλύεται το υφιστάμενο σύστημα της εταιρίας CBL, δίνονται πληροφορίες για τις φυγοκεντρικές αντλίες καθώς επίσης και για το βέλτιστο σημείο λειτουργία τους. Στη συνέχεια επιλέγονται αεροκίνητες αντλίες διαφραγματικού τύπου όπου αναλύονται τα χαρακτηριστικά τους και οι δυνατότητες τους. Ακολουθεί η οικονομοτεχνική μελέτη του υφιστάμενου αντλητικού συστήματος και της πρότασης με στόχο την σύγκριση με συνέπεια να αποδειχθεί αν η πρόταση θα είναι βιώσιμη λύση αλλά και τον υπολογισμό του χρόνου απόσβεσης.

Τέλος δίνονται τα συμπεράσματα της παρούσας εργασίας βασιζόμενα στα πλεονεκτήματα που δονούνται από την αντικατάσταση των φυγοκεντρικών αντλιών με πνευματικές αντλίες αέρος διαφραγματικού τύπου.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	i
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	ii
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΝΤΛΙΩΝ.....	4
1.1. ΟΡΙΣΜΟΣ ΑΝΤΛΙΑΣ.....	4
1.2. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΝΤΛΙΩΝ.....	4
1.2.1. ΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ.....	6
1.2.1.1. Φυγοκεντρική αντλία.....	7
1.2.1.2. Αντλία αξονικής ροής.....	7
1.2.1.3. Αντλία μικτής ροής.....	8
1.2.1.4. Αντλία αναγεννητικής.....	9
1.2.1.5. Αντλίες σύνθετες και ειδικές.....	9
1.2.2. ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΤΙΚΗΣ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗΣ.....	10
1.2.2.1. Παλινδρομική αντλία.....	10
1.2.2.2. Περιστροφική αντλία μετατόπισης.....	11
1.2.3. ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ.....	12
1.2.3.1. Αντλία πιεστικού θαλάμου.....	13
1.2.3.2. Αντλία ανύψωσης με αέρα.....	13
1.2.3.3. Εγχυτήρας αερίου.....	14
1.2.4. ΑΝΤΛΙΕΣ ΑΝΕΛΚΥΣΗΣ.....	14
1.2.5. ΈΓΧΥΤΗΡΕΣ.....	16
1.3. ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΑΝΤΛΙΩΝ.....	16
1.3.1. ΠΑΡΟΧΗ.....	17
1.3.2. ΣΤΑΤΙΚΟ ΥΨΟΣ, ΠΙΕΣΗ ΚΑΙ ΤΑΧΥΤΗΤΑ.....	17
1.3.3. ΟΛΙΚΟ ΥΨΟΣ ΑΝΤΛΙΑΣ.....	18
1.3.4. ΙΣΧΥΣ ΑΝΤΛΙΑΣ ΚΑΙ ΟΛΙΚΟΣ ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ.....	19
1.4. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΝΤΛΙΩΝ.....	20
1.5. ΑΝΤΛΗΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ.....	22
1.5.1. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ ΑΝΤΛΗΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΣΗΜΕΙΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.....	23

2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ.....	25
2.1. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ.....	25
2.2. ΤΥΠΟΙ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ.....	26
2.3. ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ.....	28
2.4. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ	32
3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΑΝΤΛΙΕΣ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΤΥΠΟΥ	35
3.1. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΑΝΤΛΙΩΝ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΤΥΠΟΥ.....	35
3.2. ΤΥΠΟΙ ΑΝΤΛΙΩΝ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΤΥΠΟΥ	36
3.3. ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΕΡΟΚΙΝΗΤΩΝ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ	41
3.4. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΝΤΛΙΩΝ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΤΥΠΟΥ	43
4. ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟΥ ΚΑΙ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΥΤΩΝ ΜΕ ΑΕΡΟΚΙΝΗΤΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΤΥΠΟΥ.....	46
4.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	46
4.2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	47
4.3. ΠΡΟΤΑΣΗ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ: ΑΕΡΟΚΙΝΗΤΕΣ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΤΥΠΟΥ.....	55
4.4. ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	60
4.4.1. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ	60
4.4.2. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΕΡΟΚΙΝΗΤΩΝ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΤΥΠΟΥ	62
4.4.3. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....	65
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	67
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	70

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Παλαιά φυγοκεντρική αντλία [6]	2
Εικόνα 2: Μονοβάθμιες φυγοκεντρικές αντλίες [20]	33
Εικόνα 3: Πολυβάθμιες φυγοκεντρικές αντλίες [20].....	34
Εικόνα 4: Αεροκίνητες αντλίες διαφραγματικού τύπου.....	35
Εικόνα 5: Διάφοροι τύποι αεροκίνητων πνευματικών αντλιών [25]	44
Εικόνα 6: Διάφοροι τύποι μεταλλικών αεροκίνητων πνευματικών αντλιών [25].....	44
Εικόνα 7: Διάφοροι τύποι πλαστικών αεροκίνητων πνευματικών αντλιών [25]	45
Εικόνα 8: Λογότυπο εταιρίας Chemical and Biopharmaceutical Laboratories [28].....	46
Εικόνα 9: Κτιριακές εγκαταστάσεις Chemical and Biopharmaceutical Laboratories [28]	46
Εικόνα 10: Συμπυκνωτής κατερχόμενης στοιβάδας (falling film evaporator) της εταιρίας CBL	47
Εικόνα 11: Συμπυκνωτής κατερχόμενης στοιβάδας (falling film evaporator) της εταιρίας CBL	48
Εικόνα 12: Φυγοκεντρικές αντλίες συστήματος.....	49
Εικόνα 13: Αντλία αυτόματης αναρρόφησης SPECK τύπου ASKM 3201 [30]	50
Εικόνα 14: Αντλίες πνευματικές διαφραγματικού τύπου Ruby 040 [31]	55
Εικόνα 15: Βαλβίδα αέρα για αντλία πνευματικού διαφραγματικού τύπου της εταιρίας Ruby σειράς 040 [31].....	56
Εικόνα 16: Διαφράγματος αεροκίνητης αντλίας διαφραγματικού τύπου της εταιρίας Ruby σειράς 040 [31].....	56
Εικόνα 17: Τομή διαφράγματος αεροκίνητης αντλίας διαφραγματικού τύπου της εταιρίας Ruby σειράς 040 [31]	57

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: Παλαιά εμβολοφόρος αντλία [3].....	1
Σχήμα 2: Φυγοκεντρική αντλία του Denis Papin (1687) [5].....	2
Σχήμα 3: Υδροστρόβιλοι (α) Pelton, (β) Francis, (γ) Kaplan [6]	3
Σχήμα 4: Κατάταξη αντλιών σύμφωνα με τον τρόπο εκκίνησης τους [24].....	5
Σχήμα 5: Κατάταξη αντλιών σύμφωνα με την αρχή λειτουργίας τους [9].....	6
Σχήμα 6: Φυγοκεντρική αντλία [10]	7
Σχήμα 7: Αντλία αξονικής ροής [11].....	8
Σχήμα 8: Αντλία μικτής ροής (α) ελικοειδής (β) διαγώνια [9].....	8
Σχήμα 9: (α)Στροβιλαντλία σε τομή, (β) Κίνηση υγρού σε συμμετρική στροβιλαντλία [8]	9
Σχήμα 10: (α) Διβάθμια φυγοκεντρική αντλία με επαγωγέα και (β) Σύνθετη Φυγοκεντρική – αναγεννητική αντλία [9]	10
Σχήμα 11: Παλινδρομική αντλία [10].....	11
Σχήμα 12: Περιστροφική αντλία με σύρτες [8]	12
Σχήμα 13: Γραναζωτή αντλία [8].....	12
Σχήμα 14: Αρχή λειτουργίας αντλίας πιεστικού θαλάμου [9].....	13
Σχήμα 15: Διάταξη άντλησης με ανύψωση αέρα [9].....	14
Σχήμα 16: Ανυψωτικός τροχός με κάδους [13]	15
Σχήμα 17: Άντληση με πρόσφυση σε ατέρμονη αλυσίδα [13].....	15
Σχήμα 18: Άντληση με ανοικτή έλικα [13]	16
Σχήμα 19:Εγχυτηρας [9].....	16
Σχήμα 20: Χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας αντλίας [17].....	20
Σχήμα 21: Μεταβολή του μανομετρικού ύψους (H) δυναμικής αντλίας με την ογκομετρική παροχή (Q)[13]	21
Σχήμα 22: Μεταβολή του μανομετρικού ύψους (H) αντλίας θετικής μετατόπισης με την ογκομετρική παροχή (Q) [13]	21
Σχήμα 23: Διάταξη με τη δεξαμενή αναρρόφησης χαμηλότερα από το στόμιο της αντλίας [18]	22
Σχήμα 24: Διάταξη με τη δεξαμενή αναρρόφησης ψηλότερα από το στόμιο της αντλίας [18].....	22
Σχήμα 25: Προσδιορισμός του σημείου λειτουργίας μιας αντλίας σε δεδομένο αντλητικό σύστημα [13].....	24
Σχήμα 26: Φυγοκεντρική αντλία σε τομή [13].....	25
Σχήμα 27: Διαχωρισμός φυγοκεντρικών αντλιών σύμφωνα με των αριθμό των βαθμίδων [22]	26
Σχήμα 28: Αντλία απλής αναρρόφησης με την πτερωτή τοποθετημένη στο κέντρο του άξονα. Όπου Ι. πτερωτή, V. Σπειροειδές περίβλημα, L. Δακτύλιος υδρολιπάνσεως, Ρ. Σαλαμάστρα, R. Στεγανοποίηση δρομέα-περιβλήματος S. Αναρρόφηση, T. σωλήνας επιστροφής του υγρού που διαρρέει [19].....	27
Σχήμα 29: Αντλία διπλής αναρρόφησης Ι. πτερωτή, V. Σπειροειδές περίβλημα, L. Δακτύλιος υδρολιπάνσεως, Ρ. Σαλαμάστρα, R. Στεγανοποίηση δρομέα-περιβλήματος S. Αναρρόφηση, T. σωλήνας επιστροφής του υγρού που διαρρέει [19]	27
Σχήμα 30: Αντλία δύο βαθμίδων με τις πτερωτές τοποθετημένες αντίθετα [19]	28
Σχήμα 31: Σχηματικό διάγραμμα μονοβάθμιας φυγοκέντρου αντλίας [19].....	29

Σχήμα 32: Διαχωρισμός φυγοκεντρικών αντλιών σύμφωνα με τη μορφή τους [22].....	32
Σχήμα 33: Τύποι αντλιών διαφραγματικού τύπου [22].	36
Σχήμα 34: Αντλία με μηχανική κίνηση διαφράγματος [27].....	37
Σχήμα 35: Αντλία με υδραυλική κίνηση διαφράγματος [27].....	37
Σχήμα 36: Αεροκίνητη αντλία διαφραγματικού τύπου [24]	38
Σχήμα 37: Αντλία διπλού διαφράγματος [27].....	39
Σχήμα 38: Βαλβίδα διανομής αέρα [27].....	39
Σχήμα 39: Βασική αρχή λειτουργίας αντλία διπλού διαφράγματος [6].....	40
Σχήμα 40: Μέρη αεροκίνητης πνευματικής αντλίας διαφραγματικού τύπου	41
Σχήμα 41: Σχηματική απεικόνιση βασικών μερών αντλίας διαφραγματικού τύπου [26]	42
Σχήμα 42: Διάγραμμα μανομετρικού ύψους (H) συνάρτηση της παροχής του ρευστού (Q) [30].....	51
Σχήμα 43: Διάγραμμα απορροφώμενη ισχύς (P_r) συνάρτηση της παροχής του ρευστού (Q) [30].....	51
Σχήμα 44: Διάγραμμα βαθμού απόδοσης συνάρτηση της παροχής του ρευστού (Q) [30]	52
Σχήμα 45: Διάγραμμα ορίου σπηλαίωσης συνάρτηση της παροχής του ρευστού (Q) [30]....	52
Σχήμα 46: Διάγραμμα N_{sm}/m συνάρτηση της παροχής του ρευστού (Q) [30]	52
Σχήμα 47: Διαστασιολόγηση αντλίας SPECK τύπου ASKM 320 [30].....	53
Σχήμα 48: Διαστασιολόγηση αντλίας SPECK τύπου ASKM 320 [30].....	54
Σχήμα 49: Χαρακτηριστικές καμπύλες αεροκίνητης αντλίας διαφραγματικού τύπου της εταιρίας Ruby σειράς 040 [31].....	58
Σχήμα 50: Διαστασιολόγηση αντλίας τύπου Ruby 040 [31]	59
Σχήμα 51: Χαρακτηριστικές καμπύλες αεροκίνητης αντλίας διαφραγματικού τύπου της εταιρίας Ruby 040 σειράς και σημείο λειτουργίας [31]	68

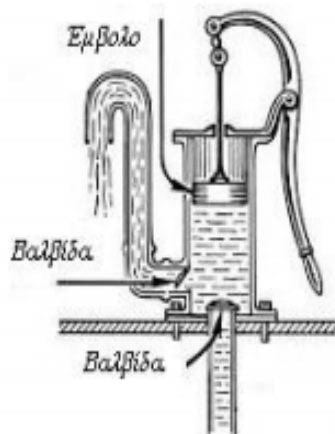
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Εφαρμογές χρήσης φυγοκεντρικών αντλιών [13]	33
Πίνακας 2: Εφαρμογές που γίνεται χρήση αεροκίνητων πνευματικών αντλιών διαφραγματικού τύπου	43
Πίνακας 3: Τεχνικά χαρακτηριστικά αντλία αυτόματης αναρρόφησης SPECK τύπου ASKM 3201[30].....	50
Πίνακας 4: Κατασκευάστηκα χαρακτηριστικά αντλία αυτόματης αναρρόφησης SPECK τύπου ASKM 3201[30].....	50
Πίνακας 5: Τεχνικά χαρακτηριστικά αεροκίνητης αντλίας διαφραγματικού τύπου της εταιρίας Ruby σειράς 040 [31]	57
Πίνακας 6: Κατασκευάστηκα χαρακτηριστικά αεροκίνητης αντλίας διαφραγματικού τύπου της εταιρίας Ruby σειράς 040 [31].....	57
Πίνακας 7: Οικονομική ανάλυση απαιτούμενων εξαρτημάτων ετήσιας συντήρησης φυγοκεντρικής αντλίας SPECK τύπου ASKM 3201	61
Πίνακας 8: Συγκεντρωτικός Πίνακας οικονομικών στοιχείων λειτουργίας υφιστάμενου συστήματος.....	62
Πίνακας 9: Οικονομική ανάλυση απαιτούμενων εξαρτημάτων ετήσιας συντήρησης αεροκίνητης αντλίας διαφραγματικού τύπου της εταιρίας Ruby σειράς 040	64
Πίνακας 10: Οικονομικά στοιχεία νέας πρότασης συστήματος με τη χρήση αεροκίνητων αντλιών διαφραγματικού τύπου της εταιρίας Ruby σειράς	65
Πίνακας 11: Συγκεντρωτικός πίνακας σύγκρισης οικονομικών στοιχείων συστήματος φυγοκεντρικών αντλιών και συστήματος αεροκίνητων αντλιών διαφραγματικού τύπου	66

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ρευστοδυναμικές μηχανές καλούνται οι αντλίες και οι στρόβιλοι. Συγκεκριμένα στις αντλίες κατατάσσονται οι υδραντλίες, ανεμιστήρες, συμπιεστές, παλινδρομικές και περιστροφικές αντλίες θετικής εκτόπισης, ενώ στους στρόβιλους κατατάσσονται υδροστρόβιλοι, αμμοστρόβιλοι, αεριοστρόβιλοι. Οι ρευστοδυναμικές μηχανές για να φτάσουν στη σημερινή τους μορφή πέρασαν από πολύχρονες προσπάθειες ερευνητών και επιστημόνων με στόχο την βελτίωση τους σε ότι αφορά την απόδοση τους αλλά και τον σχεδιασμό τους. Ωστόσο με την εξέλιξη της τεχνολογίας και οι βελτιωμένες δυνατότητες σχεδιασμού οδηγούν καθημερινά σε βελτιωμένες ρευστοδυναμικές μηχανές. Επιπλέον, οι προαναφερόμενες βελτιώσεις συμβαδίζουν με τις κοινωνικές ανάγκες των ανθρώπων, την εξέλιξη της τεχνολογίας των υλικών καθώς και την εξέλιξη των μεθόδων κατεργασίας και προτυποποίησης [1].

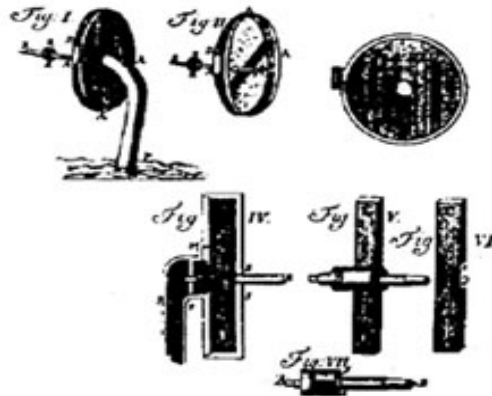
Οι αντλητικές μέθοδοι χρονολογούνται πριν την ανάπτυξη των στρόβιλων, κάτι που γίνεται εύκολα αντιληπτό αφού η άντληση του νερού θεωρείται βασική προϋπόθεση για την κάλυψη των βασικών αναγκών σε ύδρευση και άρδευση με στόχο την επιβίωση του ανθρώπου. Σύμφωνα με την βιβλιογραφική ανασκόπηση η προσπάθεια της άντλησης του νερού από υπόγεια και επιφανειακά ύδατα χρονολογείται από την αρχαιότητα. Αρχικά για την άντληση του νερού χρησιμοποιήθηκαν, από τους Αιγύπτιους και τους Έλληνες, εμβολοφόρες αντλίες (Σχήμα 1), όπου και η χρήση τους ήταν αρκετά διαδεδομένη μέχρι και την ανάπτυξη των περιστροφικών ρευστοδυναμικών μηχανών [1], [2], [3].



Σχήμα 1: Παλαιά εμβολοφόρος αντλία [3]

Ωστόσο, με την ανάπτυξη των αστικών κέντρων, δηλαδή την αύξηση του πληθυσμού σε συγκεκριμένες περιοχές, διακρίθηκε και η ταυτόχρονη αύξηση των ανθρωπίνων αναγκών για παραγόμενο έργο. Σε αυτό το σημείο δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στην έννοια της ενέργειας η οποία συνδέεται και σχετίζεται άμεσα με το παραγόμενο έργο. Στη περίπτωση που ένα σύστημα αποτελείται από συγκεκριμένη ποσότητα ύλης, τότε αυτό το σύστημα έχει ενέργεια, η οποία μπορεί να αποδοθεί ως έργο μέσω της μετατόπισης δυνάμεων [3].

Πραγματοποιώντας μια σύντομη χρονολογική ανασκόπηση και ξεκινώντας από τον 17^ο αιώνα διακρίνεται η εμφάνιση των περιστροφικών ρευστιδυναμικών μηχανών. Συγκεκριμένα ο «πατέρας» των φυγοκεντρικών αντλιών και ανεμιστήρων είναι ο Γάλλος φυσικό Papin D. (1674-1714), ο οποίος το 1687 κατασκεύασε την πρότυπη φυγοκεντρική αντλία με περίβλημα και πτερωτές (στροφέια) με δύο ακτινικά πτερύγια. Με το πέρασμα των χρόνων εξέλιξε την φυγοκεντρική αντλία αφού αύξησε τα πτερύγια. Ωστόσο, οι συγκεκριμένες φυγοκεντρικές αντλίες παρουσίαζαν προβλήματα κατά την λειτουργικά τους που οφείλονταν στη μη στεγάνωση του εσωτερικού περιβλήματος με συνέπεια ο ατμοσφαιρικός αέρας που εισερχόταν στο σύστημα να εμποδίζει την ανάπτυξη της υπερπίεσης στην έξοδο του νερού από το στροφέιο [1], [2], [3].



Σχήμα 2: Φυγοκεντρική αντλία του Denis Papin (1687) [5]

Το 1705 δημιουργήθηκε το πρώτο μοντέλο φυγοκεντρικής αντλίας για την άντληση του νερού, όπου αποτελείτο από περισσότερο πτερύγια και κέλυφος. Ωστόσο το βασικό πρόβλημα παρέμενε, η είσοδος του ατμοσφαιρικού αέρα στο εσωτερικό της αντλίας διέκοπτε διαρκώς τη λειτουργία της [5]. Αξιοσημείωτο είναι ότι οι μηχανές αυτές δεν είχαν την δυνατότητα να περιστρέφονται με μεγάλες ταχύτητες περιστροφής αφού η εξέλιξη των κινητήριων μηχανών (ηλεκτροκινητήρες, μηχανές εσωτερικής καύσης) έγινε μεταγενέστερα. Όμως οι προσπάθειες για την βελτίωση των μηχανών αυτών συνεχιζόταν και παράλληλα αναπτυσσότουσαν και οι κινητήριες μηχανές [3].

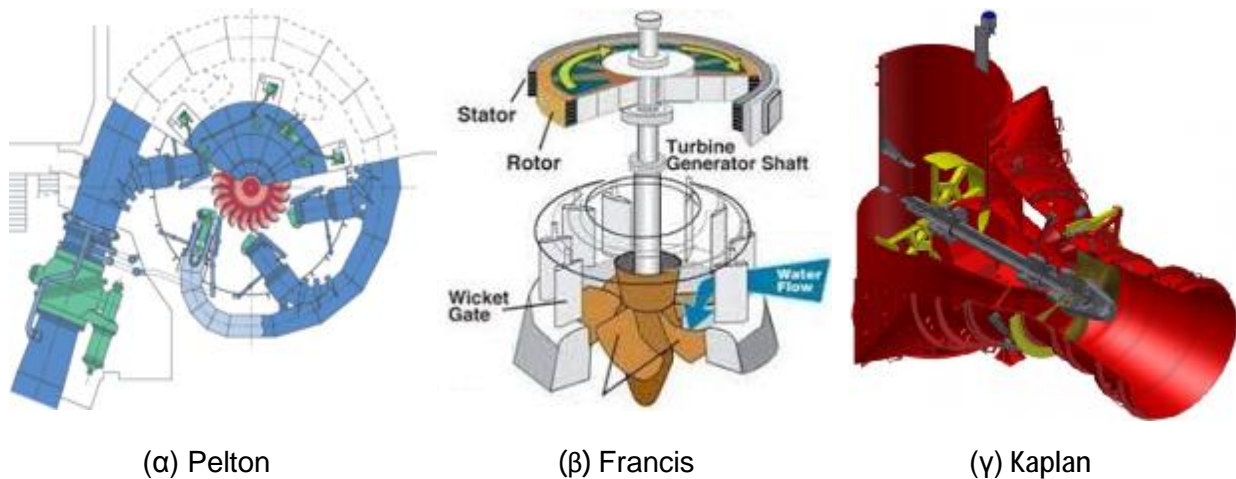
Το επόμενο βήμα χρονολογείται το 1839 από τον Andrews W.D. όπου κατασκευάστηκε σπειροειδές κέλυφος γύρω από τη φυγοκεντρική πτερωτή. Το 1875 ο Skeys J. παρουσίασε την πρώτη αξονική ροή με πτερωτή έλικα. Στα τέλη του 19^{ου} αιώνα γίνεται η έναρξη της βιομηχανικής παραγωγής φυγοκεντρικών αντλιών με την ίδρυση μονάδων κατασκευής ρευστοδυναμικών μηχανών. Κάποιες από αυτές τις μονάδες έχουν παρουσία ακόμα και στις μέρες μας, οι πιο δημοφιλείς είναι Sulzer, Parsons, de Laval [1].



Εικόνα 1: Παλαιά φυγοκεντρική αντλία [6]

Όσο αφορά τους στροβίλους, η ανάπτυξη τους ξεκίνησε όταν οι επιστήμονες με την πάροδο των χρόνων συνειδητοποίησαν το μέγεθος της μηχανικής ενέργειας που βρίσκεται αποθηκευμένη σε ρεύματα υδάτων και αέρα. Η υδραυλική ενέργεια είναι εκμεταλλεύσιμη από την Αρχαιότητα (υδρόμυλοι) καθώς και από τη Ρωμαϊκή εποχή. Η υδραυλική ενέργεια κατατάσσεται σε μια ανανεώσιμη πηγή όπου είναι φθηνή και περιβαλλοντικά φιλική. Ακόμα και σήμερα δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στο σχεδιασμό αποδοτικών υδροτροχών με στόχο την μέγιστη εκμετάλλευση του υδροδυναμικού ενεργειακού πλούτου (υδατοπτώσεις).

Τον 19^ο αιώνα κατασκευάζονται οι πρώτοι σύγχρονοι υδροστροβίλοι με δυνατότητες παραγωγής σημαντικής μηχανικής ισχύς, μεγάλη γωνιακή ταχύτητα καθώς και δυνατότητες ανάπτυξης μεγάλων ροπών, σύμφωνα με το μέγεθός τους. Το 1880 ο Αμερικανός Pelton L. (1829-1908), κατασκεύασε έναν υδροστροβίλο με δυνατότητες σχετικά μικρής παροχής αλλά μεγάλων υψών (υδατοπτώσεων). Ο υδροστροβίλος αυτός χρησιμοποιείται μέχρι και σήμερα και καλείται όπως ο εφευρέτης του, δηλαδή Pelton [1],[3]. Ωστόσο, για την αξιοποίηση υδατοπτώσεων μεσαίου και μικρού ύψους καθώς και μεσαίας παροχής χρησιμοποιείται ο υδροστροβίλος Francis ενώ για μικρές υδατοπτώσεις και σχετικά μεγάλες παροχές χρησιμοποιείται ο υδροστροβίλος Kaplan. [3], [7]. Αξιοσημείωτη είναι η απόδοση των σύγχρονων υδροστροβίλων που αγγίζει το 94% [1].



Σχήμα 3: Υδροστροβίλοι (α) Pelton, (β) Francis, (γ) Kaplan [6]

Σύμφωνα με όσα προαναφέρθηκαν ο σχεδιασμός και η κατασκευή μιας ρευστοδυναμικής μηχανής θεωρείται πολύπλοκη διαδικασία. Τα φαινόμενα ροής που αναπτύσσονται στο εσωτερικών αυτών των μηχανών είναι σύνθετα με συνέπεια να μην δίνεται πάντα η δυνατότητα να αποτυπωθούν με ακρίβεια κάθε χρονική στιγμή με μαθηματικές εξισώσεις. Η επιλογή ενός συστήματος ρευστοδυναμικών μηχανών εξαρτάται από πολλούς παράγοντες που σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να εξετάζονται ενδελεχώς με στόχο την δημιουργία ενός συστήματος που θα μπορεί να κάλυψη τις ανάγκες κατασκευής μιας εγκατάστασης καθώς επίσης και η λειτουργία του συστήματος να γίνεται με τη μέγιστη δυνατή απόδοση έχοντας την αντίστοιχη ασφάλεια της.

1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΝΤΛΙΩΝ

1.1. ΟΡΙΣΜΟΣ ΑΝΤΛΙΑΣ

Αντλία καλείται μια ρευστοδυναμική μηχανή με την οποία δίνεται η δυνατότητα να προσφέρεται ενέργεια ανά μονάδα βάρους προσερχομένου σε αυτή ρευστού. Η ενέργεια που προσφέρεται χρησιμοποιείται με σκοπό είτε την ανύψωση μιας ποσότητας ρευστού είτε τη μεταφορά του ρευστού από ένα χώρο χαμηλής πίεσης σε ένα άλλο χώρο υψηλότερης πίεσης, είτε την αντιστάθμιση των υδραυλικών αντιστάσεων των δικτύων μεταφοράς. Οι αντλίες δημιουργούν πάντα θετική διαφορά πίεσης μεταξύ εξόδου και εισόδου του ρευστού. Η θετική αυτή διαφορά προέρχεται από την έξοδο του ρευστού όπου ωθείται από το κινούμενο στέλεχος που είναι το στροφείο ή το έμβολο και την είσοδο του ρευστού που προέρχεται από το στέλεχος. Μια αντλία λοιπόν έχει λειτουργική συμπεριφορά πανομοιότυπη με τη σχέση του ρευστού το οποίο αλληλεπιδρά [3] [6].

Η χρήση του όρου αντλία αναφέρεται σε μηχανές που αλληλεπιδρούν με ρευστά τα οποία είναι σε υγρή κατάσταση. Μια αντλία μπορεί να κατασκευαστεί από πλήθος υλικών όπως είναι χυτοσίδηρος, χυτοχάλυβας, χάλυβας, μπρούντζος και κράματα του χαλκού καθώς και σύνθετα υλικά, θερμοπλαστικά, ειδικά πλαστικά και κεραμικά. Η επιλογή του υλικού που θα κατασκευαστεί εξαρτάται άμεσα από το πεδίο εφαρμογής που θα απαιτηθεί να έχει [1], [3].

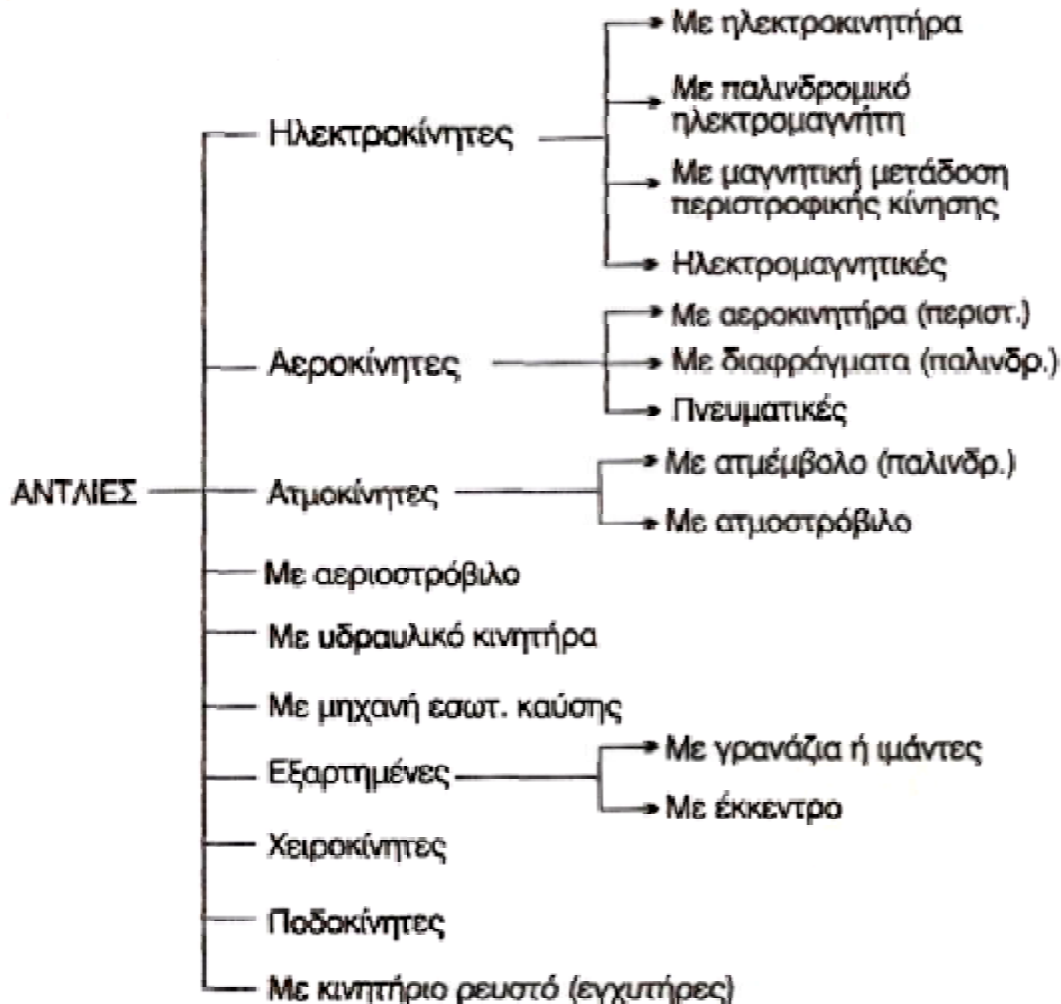
1.2. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΝΤΛΙΩΝ

Η μεγάλη ποικιλία των αντλιών οφείλεται στο γεγονός ότι απαιτείται η κάλυψη διαφορετικών αναγκών με διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας με συνέπεια κάθε αντλία να σχεδιάζεται για συγκεκριμένες εφαρμογές και έχοντας συγκεκριμένες προδιαγραφές. Οι συνθήκες που βασίζεται ο σχεδιασμός μιας αντλίας είναι ο τύπος του υγρού, οι θερμοκρασία, η πίεση, η παροχή, το μανομετρικό ύψος, η θέση λειτουργίας, η διαθέσιμη ενέργεια κ.ά.. Από τα προαναφερόμενα γίνεται άμεσα κατανοητό ότι υπάρχει έντονος ανταγωνισμός στις κατασκευάστριες εταιρίες με στόχο την παραγωγή αντλιών κατάλληλων τύπων για συγκεκριμένες εφαρμογές έχοντας όμως το ελάχιστο κόστος.

Οι «νέες» απαιτήσεις για κάθε εφαρμογή οδηγεί σε με μεγάλη ποικιλία αντλιών, νέων τύπων, με νέα χαρακτηριστικά και νέες δυνατότητες. Όλο αυτό προωθείται από την εξέλιξη της τεχνολογίας των υλικών δίνοντας υλικά με βελτιωμένα χαρακτηριστικά και ιδιότητες. Ωστόσο, σύμφωνα με τη βιβλιογραφική ανασκόπηση η αντλίες μπορούν να διαχωριστούν στις ακόλουθες κατηγορίες [8]:

- Αρχή λειτουργίας
- Μορφή τ (κατασκευαστικές λεπτομέρειες)
- Αριθμό βαθμιδών
- Δυνατότητα αυτόματης αναρρόφησης
- Τρόπο εγκατάστασης
- Τρόπο κίνησης
- Είδος του αντλούμενου υγρού
- Συγκεκριμένη χρήση τους

Κάθε μια από τις παραπάνω κατηγορίες διαχωρίζεται σε υποκατηγορίες. Όμως μια αντλία μπορεί να κατατάσσεται και να ανήκει σε πάνω από μια κατηγορία. Αυτό δίνει τη δυνατότητα κάθε αντλία να μπορεί να χαρακτηριστεί όλο ένα και με περισσότερες λεπτομέρειες.



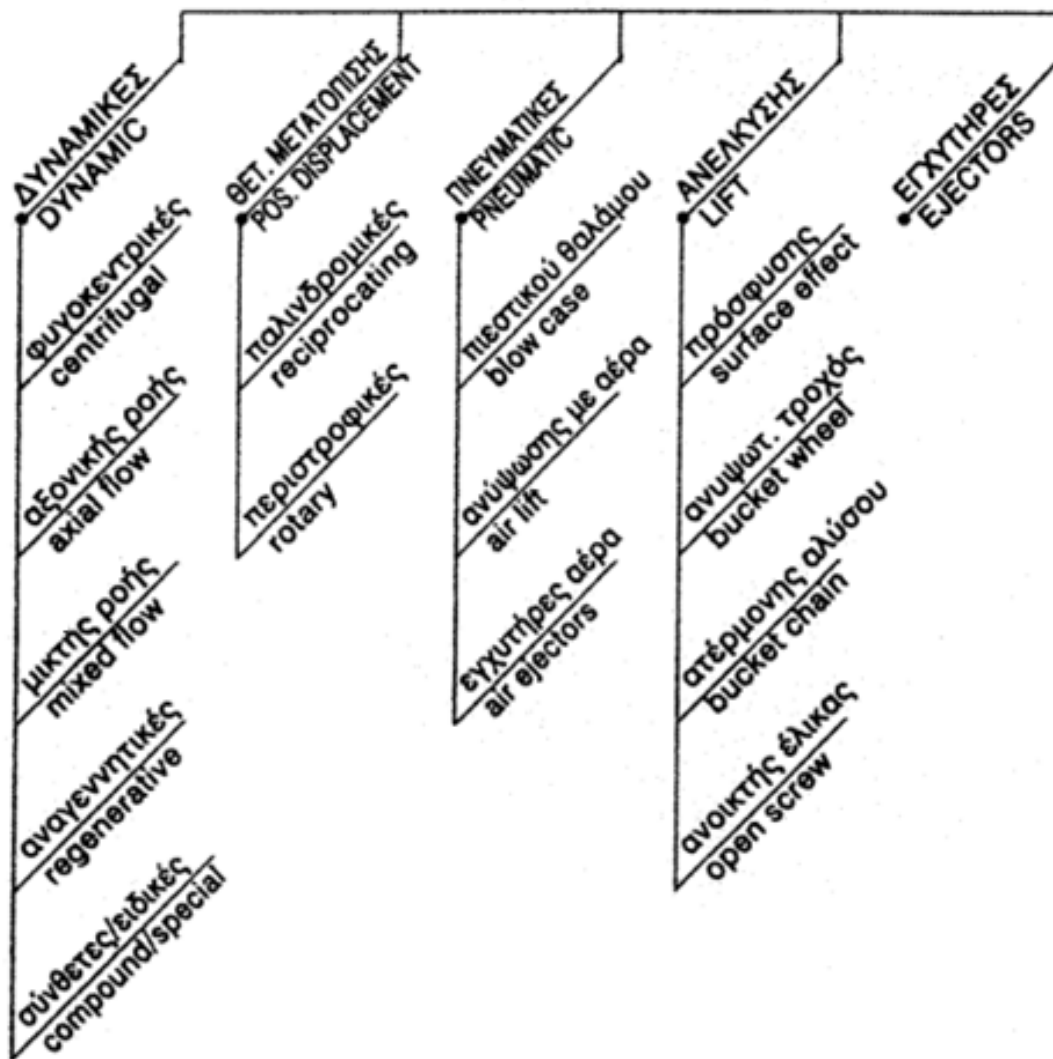
Σχήμα 4: Κατάταξη αντλιών σύμφωνα με τον τρόπο εκκίνησης τους [24]

Ωστόσο, ο θεμελιώδης τρόπος διαχωρισμού των αντλιών είναι η αρχή λειτουργίας τους και με αυτό τον τρόπο θα γίνει και ο διαχωρισμός τους στη παρούσα πτυχιακή εργασία [8]. Η κατάταξη των αντλιών σύμφωνα με την αρχή λειτουργίας τους είναι η ακόλουθη [8], [9]:

- Δυναμικές αντλίες
- Αντλίες θετικής μετατόπισης
- Πνευματικές αντλίες
- Ανέλκυσης
- Εγχυτήρες

Ωστόσο στο Σχήμα 5 διακρίνονται και οι υποκατηγορίες των προαναφερόμενων βασικών κατηγοριών.

ΑΝΤΛΙΕΣ - PUMPS



Σχήμα 5: Κατάταξη αντλιών σύμφωνα με την αρχή λειτουργίας τους [9]

1.2.1. ΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ

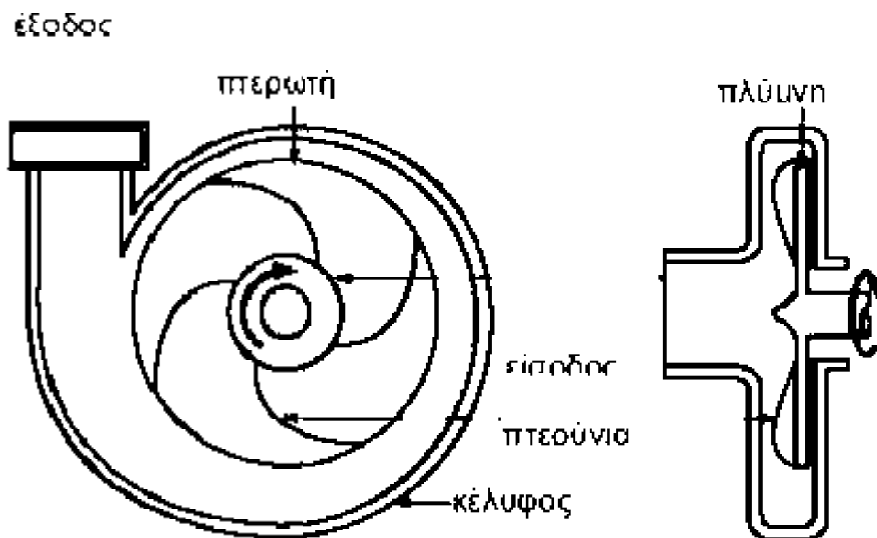
Οι δυναμικές αντλίες έχουν ως θεμέλιο της λειτουργίας τη μεταβολή της κινητικής ενέργειας που δίνεται από το ρευστό σε στατική πίεση. Οι βασικοί παράγοντες που θεωρούνται οι δημοφιλέστερες αντλίες είναι [9]

- Υψηλή απόδοση
- Μικρό όγκο και βάρος
- Συνδέονται με μεγάλη ποικιλία κινητήρων
- Συνεχή και ομοιόμορφη κίνηση (περιστροφική)
- Δυνατότητα ρύθμισης παροχής
- Στη πίεση και παροχή τους δεν υπάρχει περιοδική διακύμανση.
- Ασφαλή λειτουργία αφού αποτελούνται από ελάχιστα κινούμενα μέρη.
- Χαμηλό σχετικά κόστος συντήρησης και λειτουργίας
- Χαμηλό κόστος αγοράς

Στη συνέχεια θα αναλυθούν και θα περιγραφούν οι υποκατηγορίες των δυναμικών αντλιών.

1.2.1.1. Φυγοκεντρική αντλία

Η φυγοκεντρική αντλία αποτελείται από τη πτερωτή όπου φέρει τα πτερύγια τα οποία περικλείονται μέσα σε ένα κέλυφος. Με την περιστροφή της πτερωτής το ρευστό (υγρό) μετακινείται από τη φυγοκεντρική δύναμη από το κέντρο και κατευθύνεται προς την περιφέρεια όπου εν συνεχεία εκτινάσσεται στο σπειροειδές περίβλημα με στόχο να φτάσει στο σωλήνα καταθλίψεως. Αξιοσημείωτη είναι η πτώση πίεσης στο κέντρο λόγω της μετακίνησης του ρευστού από το κέντρο της πτερωτής στη περιφέρεια αυτής. Ωστόσο, νέα ποσότητα ρευστού μετακινείται στο σωλήνα αναρρόφησης κατευθυνόμενο προς το σημείο χαμηλής πίεσης (κέντρο πτερωτής) [8], [9].



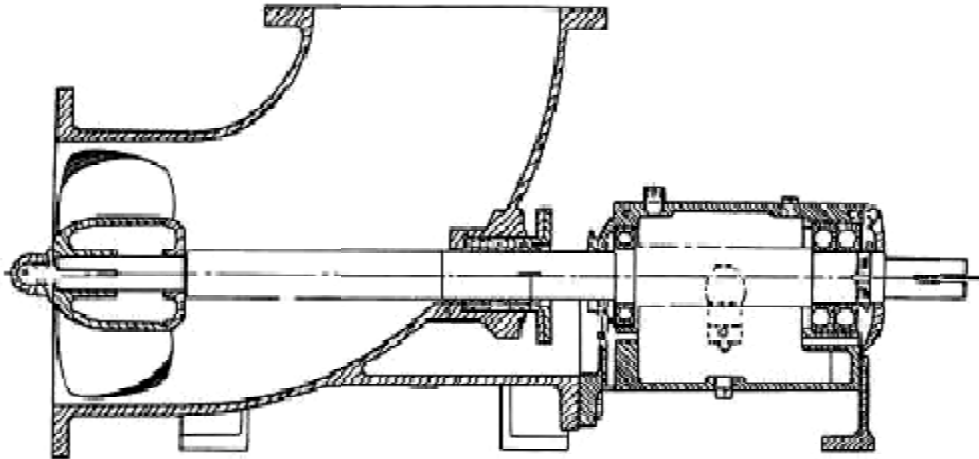
Σχήμα 6: Φυγοκεντρική αντλία [10]

Με την παραπάνω διαδικασία δημιουργείται μια σταθερή ροή από την αναρρόφηση προς την κατάθλιψη της αντλίας. Επιπλέον, λόγω της σταθεράς αυξανόμενης διατομής του σπειροειδούς κελύφους η ταχύτητα του ρευστού που κινείται κατά μήκος του σπειροειδούς αγωγού μειώνεται. Αυτό εξηγείται με την επιστήμη της φυσικής όπου με την αρχή διατήρησης της ενέργειας, η ενέργεια του ρευστού δεν χάνεται αλλά μετατρέπεται. Συγκεκριμένα η μείωση της ταχύτητα, δηλαδή της κινητικής ενέργειας, συνεπάγεται την ταυτόχρονη αύξηση της πίεσης, δηλαδή την αύξηση της δυναμικής ενέργειας [8], [9].

1.2.1.2. Αντλία αξονικής ροής

Μια αντλία αξονικής ροής αποτελείται από μια πτερωτή, η οποία με τη σειρά της αποτελείται από πτερύγια που είναι στερεωμένα στη πλήμνη σχηματίζοντας γωνία με επίπεδο που περνά από το κεντρικό άξονα. Τα πτερύγια περιστρέφονται με συνέπεια να ασκούν ώθηση στο ρευστό (υγρό) που κινείται κατά μήκος του άξονα της αντλίας.

Σημειώνεται ότι λόγω του σχήματος της πτερωτής που είναι σαν έλικας, οι αντλίες αυτού του τύπου καλούνται ελικοφόρες [8], [9].

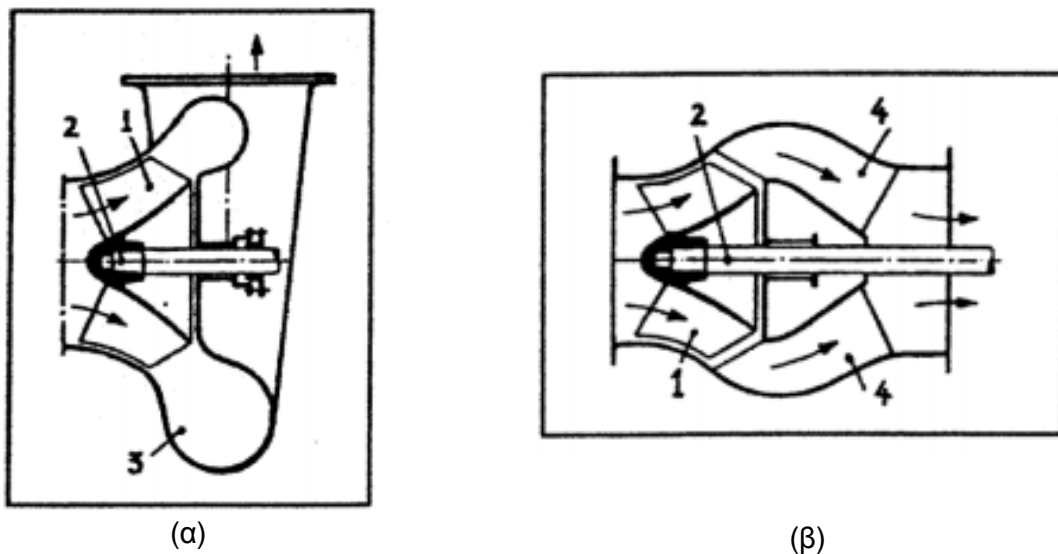


Σχήμα 7: Αντλία αξονικής ροής [11]

1.2.1.3. Αντλία μικτής ροής

Η αρχή λειτουργίας μιας αντλίας μικτής ροής είναι ένας συνδυασμός των αρχών λειτουργίας των προαναφερόμενων αντλιών δηλαδή της φυγοκεντρικής αντλίας και της αντλίας αξονικής ροής. Στην περίπτωση της αντλίας της μικτής ροής η αύξηση της πίεσης του ρευστού πραγματοποιείται κατά ένα ποσοστό από τη φυγοκεντρική δύναμη και κατά ένα ακόμα ποσοστό από την ώθηση των πτερυγίων. Η κατασκευή των πτερυγίων γίνεται υπό γωνία του άξονα περιστροφής. Το ρευστό μπαίνει αξονικά και βγαίνει από την πτερωτή και με αξονική και με ακτινική κατεύθυνση [8], [9].

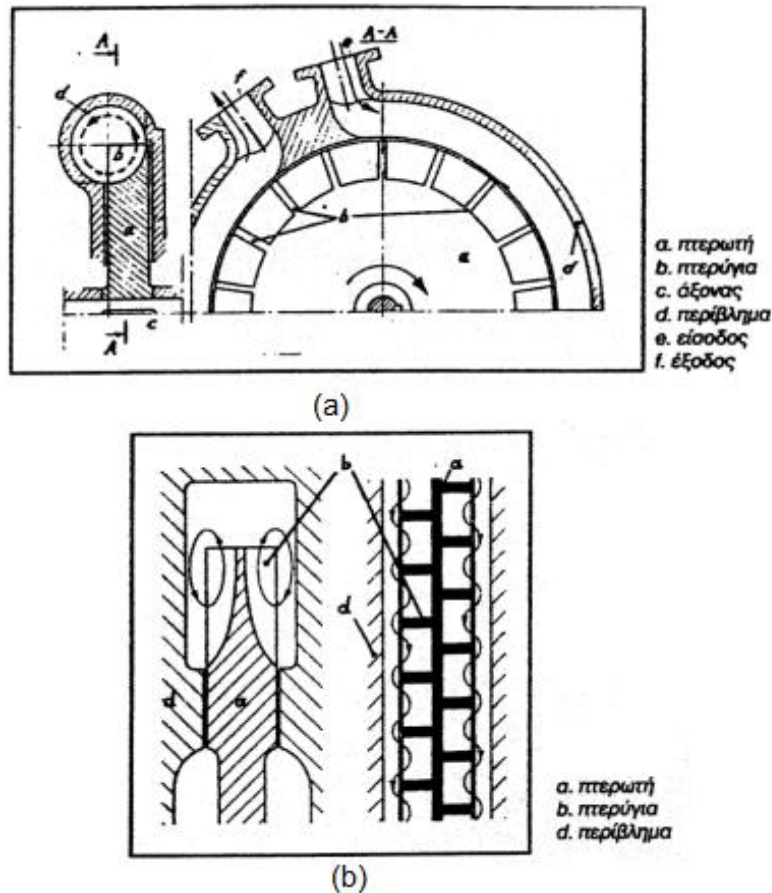
Στη περίπτωση που το ρευστό εξέρχεται αξονικά από την αντλία μέσω των κατάλληλων πτερυγίων η αντλία καλείται διαγώνια. Στη περίπτωση που υπάρχει σπειροειδές κέλυφος το ρευστό εξέρχεται ακτινικά από την αντλία και η αντλία καλείται ελικοειδής [8], [9].



Σχήμα 8: Αντλία μικτής ροής (α) ελικοειδής (β) διαγώνια [9]

1.2.1.4. Αντλία αναγεννητικής

Οι αντλίες αναγεννητικές καλούνται και στροβιλαντλίες ή περιφερικές ή δανοαντλίες. Στην περίπτωση αυτή της αντλίας το υγρό μπαίνει από το στόμιο και βγαίνει στην περιφέρεια μιας πτερωτής, η οποία απαρτίζεται από ειδικά πτερύγια. Κατά τη περιστροφή της πτερωτής δίνεται επιπλέον ενέργεια στο ρευστό, το οποίο κινείται στο εσωτερικό του δακτυλιοειδούς περιβλήματος με κατεύθυνση προς το στόμιο εξόδου [8], [9].

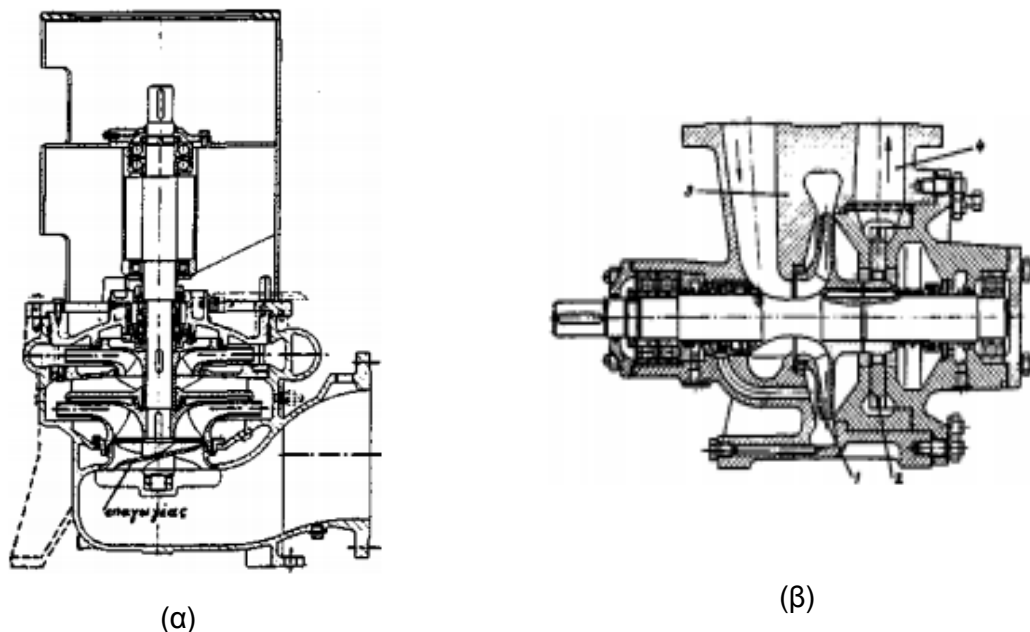


Σχήμα 9: (α) Στροβιλαντλία σε τομή, (β) Κίνηση υγρού σε συμμετρική στροβιλαντλία [8]

Οι αναγεννητικές αντλίες έχουν ως βασικό χαρακτηριστικό ότι το ρευστό κινείται διαρκώς από τη περιφέρεια της πτερωτής προς το περίβλημα και ανάποδα, δηλαδή από το περίβλημα προς την περιφέρεια της πτερωτής. Στην ουσία το ρευστό διαγράφει δύο περιστροφικές κινήσεις όπου η μια είναι από και προς τα πτερύγια της πτερωτής και η άλλη κατά μήκος του δακτυλιοειδούς κελύφους από την είσοδο προς την έξοδο της αντλίας. [8], [9], [10].

1.2.1.5. Αντλίες σύνθετες και ειδικές

Οι καλούμενες σύνθετες ή ειδικές αντλίες αναφέρονται σε αντλίες που συνδυάζουν δύο τύπους δυναμικών αντλιών με στόχο την εκμετάλλευση των πλεονεκτημάτων κάθε τύπου. Στην συνέχεια παρουσιάζονται δυο σύνθετες ή ειδικές αντλίες η πρώτη είναι διβάθμια φυγοκεντρική αντλία με επαγωγέα και σύνθετη φυγοκεντρική αναγεννητική αντλία.



Σχήμα 10: (α) Διβάθμια φυγοκεντρική αντλία με επαγωγέα και (β) Σύνηθετη Φυγοκεντρική – αναγεννητική αντλία [9]

Στην περίπτωση της σύνθετης φυγοκεντρικής αναγεννητικής αντλία το ρευστό ρέει από την είσοδο της εισόδου του κελύφους και κατευθύνεται προς την φυγοκεντρική πτερωτή. Στη συνέχεια το ρευστό εξέρχεται από τη φυγοκεντρική πτερωτή και καθοδηγείται μέσα από τον αγωγό αναρρόφησης, ο οποίος είναι κοχλιοειδής και στη συνέχεια καταθλίβεται μέσα από το στόμιο της εξόδου.

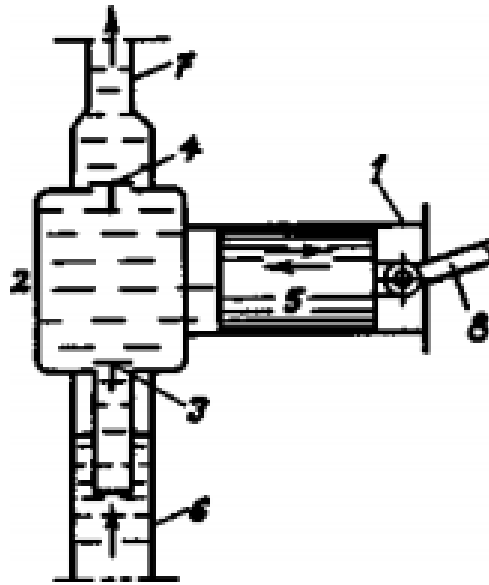
1.2.2. ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΤΙΚΗΣ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗΣ

Μια ακόμα μεγάλη κατηγορία των αντλιών είναι οι αντλίες θετικής μετατόπισης, οι οποίες έχουν τη δυνατότητα να δέχονται το ρευστό (υγρό) από τον σωλήνα αναρρόφησης και το εκτοπίζουν στο σωλήνα καταθλίψεως με τη βοήθεια ενός κινούμενου στερεού σώματος που πραγματοποιεί επαναλαμβανομένη κίνηση μέσα σε ειδικό περίβλημα. Το ρευστό εξαναγκάζεται να μετακινηθεί χωρίς να εξαρτάται από την υδραυλική αντίσταση των σωλήνων που μεταφέρουν το ρευστό. Για τους προαναφερόμενες λόγους οι αντλίες αυτές καλούνται θετικής μετατόπισης και διαχωρίζονται σε δύο βασικούς τύπους που είναι οι παλινδρομικές και οι περιστροφικές αντλίες. Ο διαχωρισμός αυτός πραγματοποιείται σύμφωνα με την κίνηση του ρευστού [9], [10].

1.2.2.1. Παλινδρομική αντλία

Η παλινδρομική αντλία αποτελείται από ένα κύλινδρο που συνδέεται με τον βαλβιδοθάλαμο ο οποίος με την σειρά του αποτελείται από δύο βαλβίδες, μια εισαγωγής και μια εξαγωγής. Με τη κίνηση του εμβόλου (δεξιά) στο εσωτερικό του κυλίνδρου κλείνει η βαλβίδα κατάθλιψης με συνέπεια ο θάλαμος να γεμίζει ρευστό μέσω της ανοιχτής βαλβίδας αναρρόφησης. Όμως με την ανάποδη κίνηση του εμβόλου, δηλαδή αριστερά, κλείνει η αναρρόφηση και ανοίγει η βαλβίδα κατάθλιψης με συνέπεια να ρευστό να εκτοπίζεται προς

την έξοδο κατάθλιψης. Η κίνηση του εμβόλου είναι παλινδρομική και οφείλεται στην κίνηση που δίνεται από την κίνηση του στροφάλου [8],[9],[10].



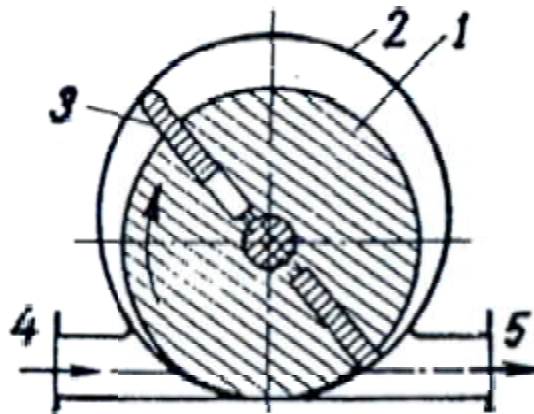
Σχήμα 11: Παλινδρομική αντλία [10]

Αξιοσημείωτη είναι η μειωμένη ταχύτητα του εμβόλου που οφείλεται στην αδράνεια με συνέπεια να μην δίνεται η δυνατότητα άμεσης σύνδεσης με ταχύστροφους ηλεκτροκινητήρες. Επιπλέον, λόγω της κίνησης του εμβόλου παρατηρείται διακύμανση της παροχής. [8]

1.2.2.2. Περιστροφική αντλία μετατόπισης

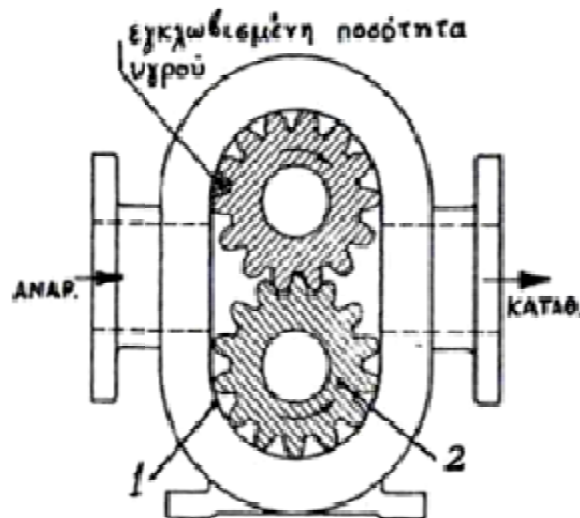
Οι περιστροφικές αντλίες μετατόπισης θεωρούνται από τις πιο διαδεδομένες στη βιομηχανία, αφού μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μεγάλο πλήθος εφαρμογών έχοντας βασικό πλεονέκτημα τη μεγάλη ποικιλία των τύπων τους. Ωστόσο, θεωρούνται κατάλληλες για εφαρμογές που γίνεται χρήση καθαρών ρευστών που έχουν κάποια λιπαντική ικανότητα και επαρκές ιξώδες με στόχο την αποφυγή διαρροής μέσα από τα διάκενα στην απαιτούμενη πίεση. Επιπλέον, οι περιστροφικές αντλίες μετατόπισης είναι κατάλληλες για χρήση σε εφαρμογές με απαιτήσεις μικρών παροχών και μεσαίες πιέσεις [9].

Ένας από τους βασικούς τύπους περιστροφικής αντλίας μετατόπισης είναι η αντλία με ολισθαίνοντες σύρτες (Σχήμα 12). Ο συγκεκριμένος τύπος αντλίας αποτελείται από ένα συμπαγή ρότορα, ο οποίος έχει ακτινικές εγκοπές με σταθερό πλάτος. Ο ρότορας έχει έναν άξονα ο οποίος βγαίνει λίγο έξω από κέλυφος και συγκεκριμένα ενδιάμεσα από το στυπιοθλίπτη ο οποίος με τη σειρά του συνδέεται με τον άξονα του κινητήρα. Σύμφωνα με τον Ρανούτσο (2010) οι εγκοπές του ρότορα αποτελούνται από ορθογωνικούς σύρτες που ωθούνται από το κέντρο προς την περιφέρεια με τη βοήθεια της φυγόκεντρης δύναμης. Κατά τη διάρκεια που ο ρότορας περιστρέφεται, οι σύρτες αναρροφούν το ρευστό από το στόμιο εισόδου και το καταθλίβουν μέσα από το στόμιο εξόδου. Η αναρρόφηση πραγματοποιείται με επιτυχία διότι ο όγκος του θαλάμου που βρίσκεται προς την πλευρά της αναρρόφησης αυξάνεται και γεμίζει με το ρευστό. Όμως ο όγκος αυτός μικραίνει όσο ο σύρτης προχωρεί προς την πλευρά της κατάθλιψης αυξάνοντας την πίεση του ρευστού [8].



Σχήμα 12: Περιτροφική αντλία με σύρτες [8]

Ένας επιπλέον τύπος περιστροφικής αντλίας μετατόπισης είναι η γραναζωτή αντλία (Σχήμα 13). Σε αυτή τη περίπτωση τα γρανάζια έχουν πολύ μικρή απόσταση (διάκενο) από το ωειδές περίβλημα. Η κίνηση πραγματοποιείται με τη βοήθεια ενός γραναζιού όπου παρασύρεται και το πρώτο. Το ρευστό εγκλωβίζεται ενδιάμεσα στο περίβλημα και στα κενά των δοντιών και στη συνέχεια μετατοπίζεται προς τη κατάθλιψη. Αυτό που πρέπει να τονισθεί είναι ότι τα δόντια θα πρέπει να εξασφαλίζουν τη στεγανότητα ανάμεσα στη αναρρόφηση και τη κατάθλιψη [8].



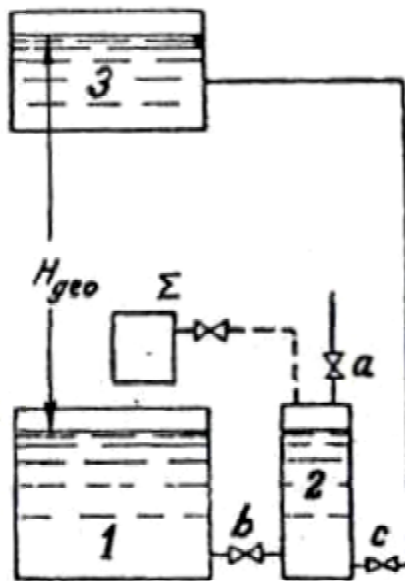
Σχήμα 13: Γραναζωτή αντλία [8]

1.2.3. ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ

Μια ακόμα κατηγορίας στις δυναμικές αντλίες είναι οι πνευματικές αντλίες. Σε αυτή τη κατηγορία η ενέργεια μπορεί να μεταδοθεί στο ρευστό (υγρό) είτε από αέρα (ατμοσφαιρικό) είτε από κάποιο αέριο, το οποίο έρχεται σε άμεση επαφή με το ρευστό (υγρό). Οι αντλίες αυτές διαχωρίζονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες που είναι οι αντλίες πιεστικού θαλάμου, οι αντλίες ανύψωσης αέρα και οι εγχυτήρες αέρα [8], [9].

1.2.3.1. Αντλία πιεστικού θαλάμου

Ένα σύστημα αντλίας πιεστικού θαλάμου αποτελείται από μία δεξαμενή όπου πραγματοποιείται ανύψωση του ρευστού (υγρό) σε ένα γεωδαιτικό ύψος (H_{geo}) που την βοήθεια ενός αεροσυμπιεστή (Σ) και ενός πιεστικού θαλάμου (υψηλότερη δεξαμενή). Όταν ο αεροσυμπιεστής είναι κλειστός και οι βαλβίδες ανοιχτές (α,β) τότε ο πιεστικός θάλαμος γεμίζει με το ρευστό από την δεξαμενή. Όταν όμως οι βαλβίδες (α,β) κλείνουν ξεκινά η λειτουργία του αεροσυμπιεστή με συνέπεια η πίεση του αέρα η οποία «κτυπά» πάνω στην επιφάνεια του ρευστού εντός του πιεστικού θαλάμου και καταθλίβεται από την ανοικτή βαλβίδα (c) στην υψηλότερη δεξαμενή. Η προαναφερόμενη διαδικασία μπορεί να γίνεται με επανάληψιμότητα και μπορεί ακόμα να αυτοματοποιηθεί.



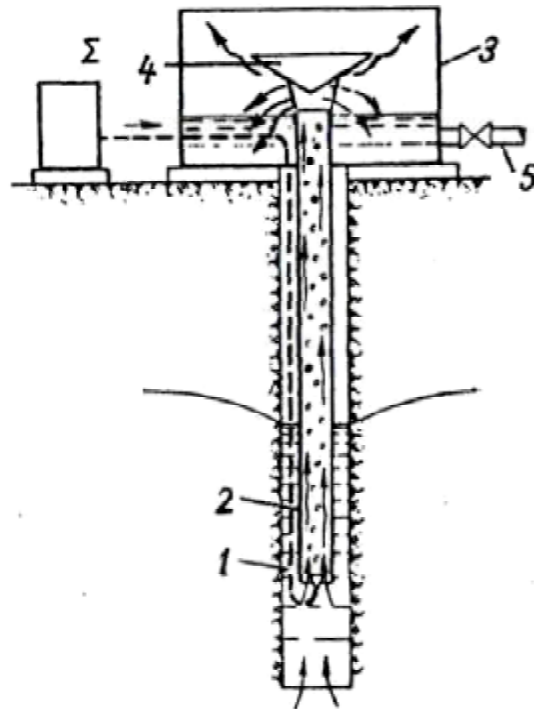
Σχήμα 14: Αρχή λειτουργίας αντλίας πιεστικού θαλάμου [9]

1.2.3.2. Αντλία ανύψωσης με αέρα

Η αντλία ανύψωσης με αέρα θεωρείται κατάλληλη για εφαρμογές όπως άντληση ρευστού (νερό ή πετρέλαιο) από γεωτρήσεις μικρού βάθους, άντληση θερμών υπόγειων υδάτων, ανύψωση διαβρωτικών υγρών ή υγρών που περιέχουν άμμο κ.ά.. Ένα από τα βασικά μειονεκτήματα αυτού του τύπου αντλίας είναι ο μικρός βαθμός απόδοσης που κυμαίνεται από 0,26 έως 0,35.

Όσο αφορά την αρχή λειτουργίας σε περίπτωση μιας γεώτρησης, υπάρχει ένας σωλήνας ανύψωσης του ρευστού ο οποίος είναι κατεβασμένος στο εσωτερικό του εξωτερικού σωλήνα. Ο απαιτούμενος αέρας για τη λειτουργία του συστήματος δίνεται από ένα αεροσυμπιεστή προσφέροντας του την κατάλληλη πίεση για να φτάσει στο κάτω μέρος του σωλήνα εντός ενός σωλήνα αέρα. Στο ειδικό διαμορφωμένο στόμιο πραγματοποιείται η μίξη νερού και αέρα εντός του σωλήνα ανύψωσης (εσωτερικός σωλήνας). Το ειδικό βάρος του μίγματος είναι μικρότερο συγκρινόμενο με το ρευστό (νερό) που βρίσκεται εξωτερικά του σωλήνα ανύψωσης [8],[9]. Σε αυτό το σύστημα ισχύει αρχή των συγκοινωνούντων δοχείων όπου ισορροπεί το ρευστό και σε όλα τα σημεία αυτού διακρίνεται η ίδια πίεση και η ελεύθερη επιφάνεια σε όλα τα δοχεία βρίσκεται στο ίδιο ύψος [12]. Για τον προαναφερόμενο λόγω η στήλη του μίγματος ανυψώνεται. Ο εσωτερικός σωλήνας βυθίζεται σε κατάλληλο βάθος με στόχο να καλύπτεται από το ρευστό και με αυτό τον τρόπο η στήλη του μίγματος ανυψώνεται για πολύ λίγο από το άνω άκρο του εξωτερικού σωλήνα. εν συνεχεία το μίγμα

χτυπά πάνω στον κώνο με αποτέλεσμα να διαχωρίζεται ο αέρας από το ρευστό και το ρευστό να συγκεντρώνεται στο συλλέκτη. Το ρευστό ρέει προς έναν σωλήνα με στόχο την απομάκρυνση του από το σύστημα [8],[9].



Σχήμα 15: Διάταξη άντλησης με ανύψωση αέρα [9]

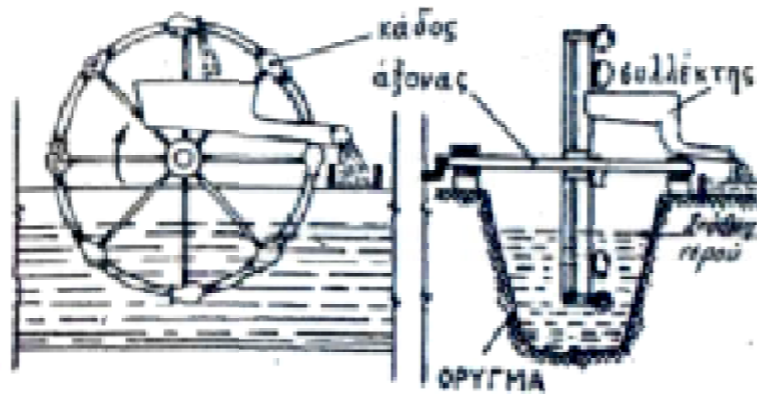
1.2.3.3. Εγχυτήρας αερίου

Οι εγχυτήρες αέρα είναι εγχυτήρες όπου το κινητήριο μέσο είναι αέριο. Στις περισσότερες περιπτώσεις χρησιμοποιείται ατμοσφαιρικός αέρας ή υδρατμός. Περισσότερες πληροφορίες για τον συγκεκριμένο τύπο αντλίας θα δοθούν στη συνέχεια του κεφαλαίου.

1.2.4. ΑΝΤΛΙΕΣ ΑΝΕΛΚΥΣΗΣ

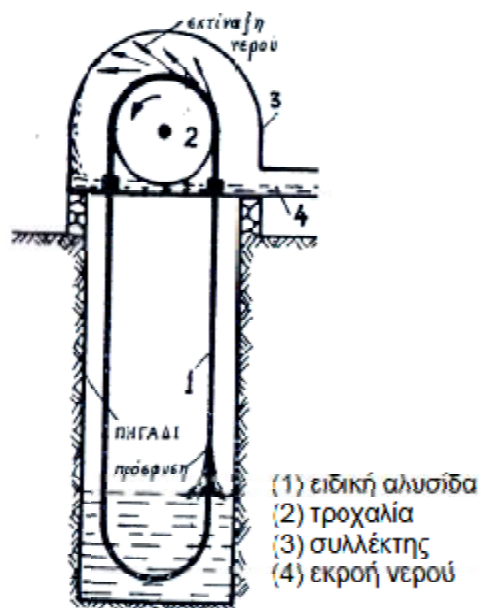
Οι αντλίες ανέλκυσης θεωρούνται ως μια ιστορική κατηγορία αφού έχουν χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν ως βασικά συστήματα άρδευσης. Ο συγκεκριμένος τύπος αντλίας δεν αναπτύσσουν πίεση στο ρευστό (υγρό), απλά έχουν την δυνατότητα ανύψωσης του ρευστούς, ως ένας ανελκυστήρας, από μια χαμηλή στάθμη σε μία υψηλότερη. Οι βασικοί τύποι των αντλιών ανέλκυσης είναι οι ακόλουθοι [8],[9],[13]:

- Ø Ανυψωτικός τροχός με κάδους: είναι ένας τροχός που στη περιφέρεια του είναι τοποθετημένα δοχεία. Χαρακτηριστικό του είναι η μεγάλη του διάμετρο αλλά και ότι η άντληση πραγματοποιείται σε μικρό σχετικά βάθος.
- Ø Ατέρμονη αλυσίδα με κάδους: τα δοχεία του ανυψωτικού τροχού μπορούν να προσαρμοστούν σε ατέρμονη αλυσίδα που κινείται με τη βοήθεια του τροχού τότε η άντληση μπορεί να πραγματοποιηθεί σε μεγαλύτερο βάθος.



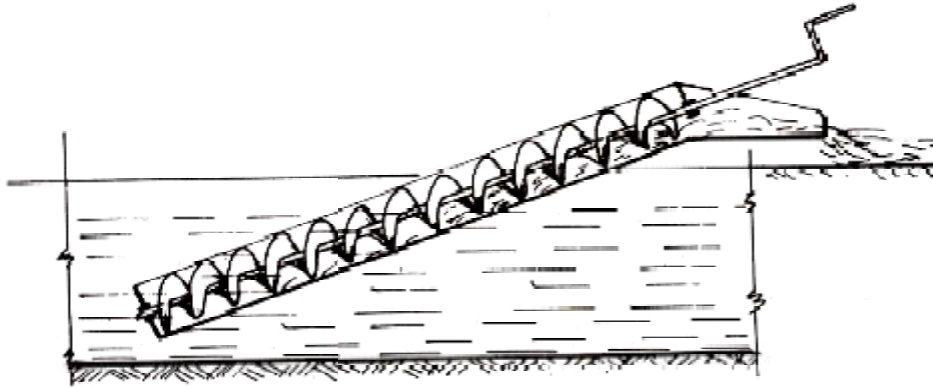
Σχήμα 16: Ανυψωτικός τροχός με κάδους [13]

- Ø Ατέρμονη αλυσίδα πρόσφυσης: η ατέρμονη αλυσίδα είναι κατασκευασμένη με στόχο να υπάρχει μεγάλη επιφάνεια επαφής με το ρευστό (υγρό) αλλά και μικρές αποστάσεις ανάμεσα στα στοιχεία της. Τοποθετείται μέσα στο ρευστό, στην ουσία κρεμιέται, μέσα σε μια γεώτρηση ή πηγάδι και κινείται με σχετικά μεγάλη ταχύτητα, η οποία δίνεται από την τροχαλία. Το ρευστό που προσκολλάται στην επιφάνεια της αλυσίδας οφείλεται στις δυνάμεις συνάφειας. Σε αυτή τη περίπτωση το ρευστό ανεβαίνει μέχρι τη τροχαλία και εκκινάσσεται με τη βοήθεια της φυγόκεντρος δύναμης εντός του συλλέκτη από όπου και απομακρύνεται



Σχήμα 17: Αντληση με πρόσφυση σε ατέρμονη αλυσίδα [13]

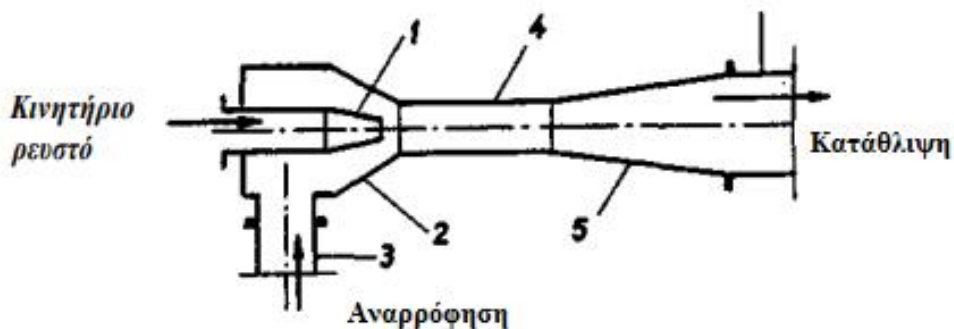
- Ø Ανοικτή έλικα: το σύστημα αυτό αποτελείται από μια έλικα η οποία είναι τοποθετημένη στο εσωτερικό μέρος ενός ημικυλίου αγωγού που περιστρέφεται γύρω από τον άξονά της σε θέση με γωνία 45° το μέγιστο. Το ένα άκρο του συστήματος είναι βυθισμένο στο ρευστό. Καθώς η έλικας περιστρέφεται το ρευστό ανεβαίνει και εκρέει από το άλλο άκρο της. είναι κατάλληλο να χρησιμοποιείται σε εφαρμογές που έχουν μικρές διαφορές ύψους.



Σχήμα 18: Αντληση με ανοικτή έλικα [13]

1.2.5. ΕΓΧΥΤΗΡΕΣ

Η τελευταία κατηγορία αντλιών είναι οι εγχυτήρες ή αλλιώς τζιφάρια. Σε αυτή τη κατηγορία αντλιών η ενέργεια μεταδίδεται από ένα ρευστό το οποίο μπορεί να είναι είτε υγρό είτε αέριο σε ένα άλλο ρευστό. Το πρώτο ρευστό είναι το κινητήριο και το δεύτερο ρευστό είναι το αντλούμενο που κατά την διαδικασία λειτουργίας του εγχυτήρα αναμιγνύεται με το κινητήριο ρευστό.



Σχήμα 19: Εγχυτηρας [9]

Στην περίπτωση που το κινητήριο ρευστό είναι αέριο δηλαδή αέρας ή ατμός ο εγχυτήρας καλείται εγχυτήρας αερίου. Γενικά οι αντλίες είναι διακινητές ρευστών αλλά υγρών συνήθως για να καλείται ένας εγχυτήρας αντλία απαιτείται το αντλούμενο ρευστό να είναι υγρό. Όταν ένας εγχυτήρας είναι υγρού – υγρού τότε απαιτεί να μην δημιουργεί πρόβλημα η ανάμιξη των ρευστών. Αυτή η περίπτωση συνήθως είναι όταν το αντλούμενο ρευστό με το κινητήριο είναι το ίδιο [13].

1.3. ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΑΝΤΛΙΩΝ

Στη συνέχεια του εδαφίου θα αναλυθούν τα βασικά μεγέθη των αντλιών που χαρακτηρίζουν τη λειτουργία μιας αντλίας. Επιπλέον θα αναλυθεί και η σχέση που υπάρχει ανάμεσα σε αυτά τα μεγέθη. Τα βασικά μεγέθη των αντλιών είναι τα ακόλουθα είναι η

παροχή, το στατικό ύψος, πίεσης και ταχύτητας, το ολικό ύψος, η ισχύς αντλίας καθώς και ο ολικός βαθμός απόδοσης

1.3.1. ΠΑΡΟΧΗ

Σε αυτό το σημείο θα αναλυθεί τι είναι παροχή αντλίας αλλά και οι ειδικές παροχές που είναι απαραίτητες για την μελέτη ενός συστήματος με τη χρήση αντλιών.

- ∅ Παροχή (Q) αντλία καλείται ο χρήσιμος όγκος του ρευστού που αποδίδεται στο στόμιο κατάθλιψης της αντλίας ανά μονάδα χρόνου (m^3/s). Σημειώνεται το οι διαρροές – απώλειες και ο συνολικός όγκος του ρευστού που γίνεται χρήση με στόχο την εξισορρόπηση δεν αποτελούν μέρος της παροχής (Q) αντλίας.
- ∅ Ονομαστική παροχή Q_N καλείται η παροχή για την οποία η αντλία κατασκευάζεται και ισχύει για την ονομαστική ταχύτητα n_N , το ονομαστικό ολικό ύψος H_N και για αντλούμενο ρευστό - συμβατικό υγρό.
- ∅ Ελάχιστη παροχή Q_{min} καλείται η μικρότερη παροχή που μπορεί να λειτουργήσει η αντλία χωρίς να υποστεί κάποια βλάβη
- ∅ Μέγιστη παροχή Q_{max} καλείται η μεγαλύτερη παροχή που μπορεί να λειτουργήσει η αντλία χωρίς να υποστεί κάποια βλάβη
- ∅ Βέλτιστη παροχή Q_{opt} καλείται η παροχή στο σημείο που μπορεί να δοθεί η μέγιστη απόδοσης στις ονομαστικές στροφές n_N της αντλίας για το συμβατικό ρευστό.

Ωστόσο σε αυτό το σημείο χρήσιμο είναι να ορισθεί και η παροχή μάζας (\dot{m}) όπου δίνεται από το γινόμενο της πυκνότητας του συμβατικού ρευστού με την παροχή αυτού και δίνεται από τη σχέση:

$$\dot{m} = \rho \cdot Q \quad [1.1]$$

Όπου:

ρ = πυκνότητα του συμβατικού ρευστού (kg/m^3).
 Q = παροχή (m^3/ses)

Η παροχή της αντλίας καθορίζεται από πλήθος παραγόντων όπως το μέγεθος της, την ταχύτητα του περιστρεφόμενου ή παλινδρομούντος στοιχείου της καθώς επίσης και το δίκτυο που είναι συνδεδεμένη [8].

1.3.2. ΣΤΑΤΙΚΟ ΥΨΟΣ, ΠΙΕΣΗ ΚΑΙ ΤΑΧΥΤΗΤΑ

Ένα από τα βασικά μεγέθη της υδροδυναμικής είναι το ύψος το οποίο στην ουσία δηλώνει την ενέργεια η οποία και έχει μονάδα βάρους του ρευστού σε κάθε σημείο. Η μονάδα μέτρησης της ενέργειας είναι το μέτρο (m) διότι το ύψος της στήλης του ίδιου ρευστού περιέχει ενέργεια η οποία είναι ίση με την ενέργεια του ύψους. Η ενέργεια εμφανίζεται σε τρεις μορφές και είναι [8], [13], [14]:

- ∅ Στατικό ύψος: οφείλεται στην ανύψωση του υγρού πάνω από ένα επίπεδο αναφοράς, που επιλέγεται από τον μελετητή αυθαίρετα. Συμβολίζεται με το σύμβολο z
- ∅ Ύψος πίεσης: οφείλεται στη στατική πίεση του υγρού που ισούται με:

$$\frac{P}{\rho \cdot g} \quad [1.2]$$

Όπου:

P = πίεση του ρευστού (N/m^2)
 ρ = πυκνότητα του ρευστού (kg/m^3).
 g = παγκόσμια σταθερά ($9,81\text{m/sec}^2$)

Στη περίπτωση ενός ανοικτού μανομετρικού σωλήνα ο οποίος είναι τοποθετημένος κάθετος στη ροή, το ρευστό μέσα στο σωλήνα αυτό θα αναβαίνει σε ύψος που θα ισούται με τη σχέση (2). Σημειώνεται ότι το γινόμενο της πυκνότητας του ρευστού και της παγκόσμιας σταθεράς δίνουν το ειδικό βάρος του ρευστού ($\epsilon = \rho \cdot g$)

∅ Κινηματικό ύψος – ύψος ταχύτητας: οφείλεται στη ταχύτητα του ρευστού που ισούται με:

$$\frac{v^2}{2 \cdot g} \quad [1.3]$$

Όπου:

v = ταχύτητα του ρευστού (m/sec).
 g = παγκόσμια σταθερά ($9,81\text{m/sec}^2$)

Ολική ενέργεια της μονάδας του βάρους του ρευστού: καλείται το ολικό ύψος και δίνεται από το άθροισμα των τριών προαναφερόμενων υψών δηλαδή στατικό ύψος, ύψος πίεσης και κινηματικό ύψος. Η ολική ενέργεια της μονάδας του βάρους του ρευστού δίνεται από την σχέση:

$$h = \frac{P}{\rho \cdot g} + \frac{v^2}{2 \cdot g} + z \quad [1.4]$$

Στην περίπτωση που το ρευστό ανήκει στην κατηγορία των ιδανικών τότε δεν παρουσιάζονται απώλειες και για κάθε σταθερή ροή το h είναι σταθερό σε κάθε σημείο της ροής. Δηλαδή ισχύει η αρχή διατήρησης της ενέργειας (ΑΔΕ) – θεώρημα Bernoulli. Στη περίπτωση των πραγματικών ρευστών (υγρών) μεταξύ δύο σημείο (1→2) της ροής ισχύει:

$$h_1 = h_2 + H_{V1 \rightarrow 2} \quad [1.5]$$

Όπου:

$H_{V1 \rightarrow 2}$ = απώλειες ύψους

1.3.3. ΟΛΙΚΟ ΥΨΟΣ ΑΝΤΛΙΑΣ

Ολικό ύψος αντλίας (H): καλείται η χρήσιμη μηχανική ενέργεια που μπορεί να μεταδοθεί από την αντλία στη μονάδα βάρους του ρευστού και δίνεται από τη σχέση:

$$H = h_D - h_S \quad [1.6]$$

Όπου:

h_D = ολικό ύψος κατάθλιψης
 h_S = ολικό ύψος αναρρόφησης.

Επιπλέον, αυτό που σημειώνεται είναι το επίπεδο αναφοράς, που επί των πλυστών στη περίπτωση των οριζοντίων αντλιών λαμβάνεται το διερχόμενο σημείο από τον άξονα της αντλίας και στη περίπτωση των κατακόρυφων αντλιών λαμβάνεται το διερχόμενο σημείο από το κέντρο της περρωτής.

Ο καθορισμός του ολικού ύψους της αντλίας από τις μανομετρικές ενδείξεις σε κάθε επίπεδο (αναρρόφηση και κατάθλιψη) δίνεται από τη σχέση [16]:

$$H = \frac{P_D - P_S}{\rho \cdot g} + \frac{V_D^2 - V_S^2}{2 \cdot g} + Z_D - Z_S \quad [1.7]$$

Όπου:

$$Z_D - Z_S = \eta \text{ κατακόρυφη απόσταση των μανομέτρων}$$

Η πίεση μπορεί να εκφραστεί με τρεις τρόπους σε μια αντλία και αυτοί είναι α) μανομετρική πίεση, β) απόλυτη πίεση και γ) εν κενό. Ένα μανόμετρο έχει την δυνατότητα να δείξει πιέσεις πάνω από την ατμοσφαιρική πίεση ενώ ένα μανόμετρο αναρρόφησης (κενόμετρο) έχει την δυνατότητα να δείχνει πιέσεις κάτω από την ατμοσφαιρική πίεση. Στην περίπτωση που το μανόμετρο δείξει πίεση πάνω από την ατμοσφαιρική τότε η απόλυτη πίεση δίνεται από την σχέση [8]:

$$P = P_D - P_\mu \quad [1.8]$$

Όπου:

P= απόλυτη πίεση

P_D= ατμοσφαιρική (βαρομετρική) πίεση

P_μ= πίεση ένδειξης μανομέτρου

Επιπλέον, στη περίπτωση που η πίεση είναι κάτω από την ατμοσφαιρική δίνεται είτε ως κενό είτε ως απόλυτη πίεση.

Αυτό που σημειώνεται είναι ότι το ύψος (H) είναι ανεξάρτητο από την πυκνότητα (ρ) του ρευστού. Άρα σύμφωνα με το προαναφερόμενο μια αντλία δημιουργεί το ίδιο ύψος (H) για όλα τα ρευστά ανεξάρτητα από την πυκνότητα που τα χαρακτηρίζει. Όμως η πυκνότητα είναι υπεύθυνη για την πίεση στο εσωτερικό της αντλίας καθώς επίσης και την ισχύ εισόδου [8], [16].

1.3.4. ΙΣΧΥΣ ΑΝΤΛΙΑΣ ΚΑΙ ΟΛΙΚΟΣ ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

Η εισερχόμενη ισχύ (N) καλείται η ισχύ που μεταδίδεται από τον κινητήρα του συστήματος στον άξονα της αντλίας και δίνεται από τη σχέση [16]:

$$N = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{n} \quad [1.9]$$

Όπου:

N= εισερχόμενη ισχύ (kW)

ρ= πυκνότητα ρευστού (kg/m³).

Q=παροχή λειτουργίας της αντλίας (m³/sec)

H= ύψος λειτουργίας της αντλίας (m)

n=ολικός βαθμός απόδοσης της αντλίας

Η αποδιδόμενη ισχύ της αντλίας δίνεται από τη σχέση [8]:

$$N_D = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \quad [1.10]$$

Επιπλέον, ο ολικός βαθμός απόδοσης μιας αντλίας δίνεται από την αναλογία της εισερχόμενης ισχύς προς την αποδιδόμενη ισχύ και εκφράζεται με την ακόλουθη σχέση:

$$n = \frac{N}{N_D} \quad [1.11]$$

Όπου:

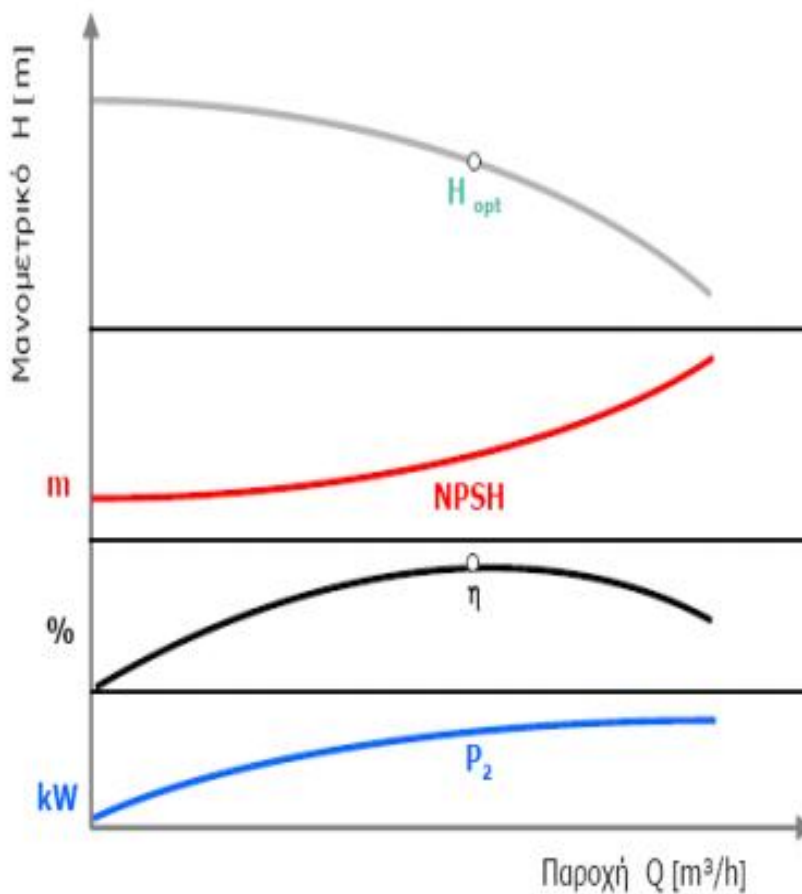
N= εισερχόμενη ισχύ (kW)

N_D= αποδιδόμενη ισχύ (kW)

Σημειώνεται ότι η εισερχόμενη ισχύς (N) είναι μεγαλύτερη από την αποδιδόμενη ισχύς (N_D) και τις απώλειες που δημιουργούνται από διαρροές, στροβιλισμούς, τριβές ρευστού, μηχανικές τριβές κ.ά.. Τονίζεται ότι οι απώλειες που υπάρχουν είτε στο σήμα μετάδοσης ισχύς είτε στο μειωτήρα δεν συγκαταλέγονται στις απώλειες της αντλίας [16].

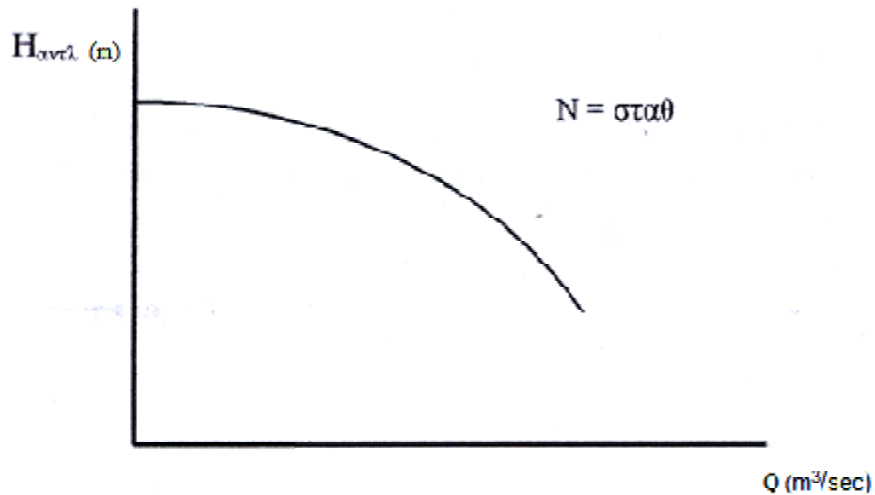
1.4. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΝΤΛΙΩΝ

Οι χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας μιας αντλίας μπορούν να απεικονίσουν γραφικά τη μεταβολή των χαρακτηριστικών μεγεθών όπως είναι το ολικό ύψος, τη ισχύς καθώς και τον βαθμό απόδοσης συνάντηση της παροχής (Σχήμα 20).



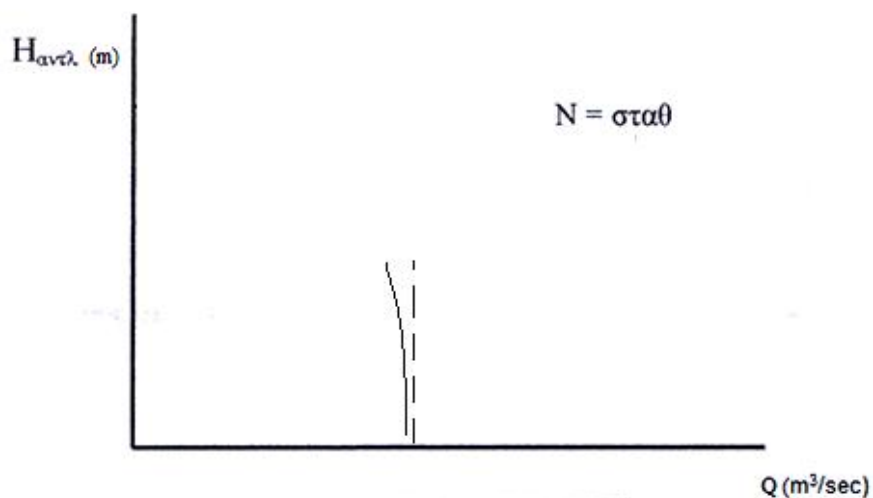
Σχήμα 20: Χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας αντλίας [17]

Ωστόσο η πιο βασική καμπύλη είναι το ολικό ύψος συνάρτηση της παροχής. Οι δυναμικές αντλίες χρησιμοποιούνται συνήθως για σταθερές στροφές (σταθερή ταχύτητα) και παρουσιάζουν την αύξηση της παροχής (Q) και την ταυτόχρονη μείωση του ύψους (H) και αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί και αντίστροφα δηλαδή αύξηση του ύψους (H) και ταυτόχρονη μείωση της παροχής (Q) (Σχήμα 21).



Σχήμα 21: Μεταβολή του μανομετρικού ύψους (H) δυναμικής αντλίας με την ογκομετρική παροχή (Q) [13]

Θα πρέπει να διευκρινιστεί ότι στις αντλίες θετικής μετατόπισης οι χαρακτηριστικές καμπύλες δεν έχουν την ίδια μορφή όπως οι χαρακτηριστικές καμπύλες των δυναμικών αντλιών αλλά είναι θεωρητικά ευθείες κάθετες στον άξονα της παροχής (Q). Επιπλέον, κάθε ευθεία αντιστοιχεί σε ένα συγκεκριμένο αριθμό στροφών. Ακόμα, λόγω το ότι υπάρχουν διαρροές από την πλευρά της υψηλής πίεσης προς την πλευρά της χαμηλότερης πίεσης κατά την αύξηση του ύψους (H) διακρίνεται μια απόκλιση της ευθείας προς τα αριστερά (Σχήμα 22).



Σχήμα 22: Μεταβολή του μανομετρικού ύψους (H) αντλίας θετικής μετατόπισης με την ογκομετρική παροχή (Q) [13]

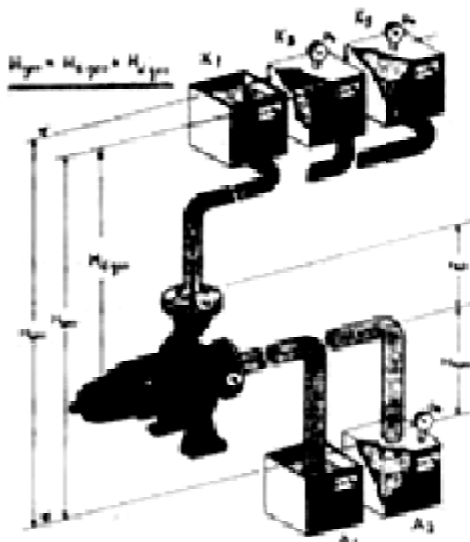
1.5. ΑΝΤΛΗΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Το ολικό ύψος ενός αντλητικού συστήματος H_A βασίζεται στο θεώρημα Bernoulli και δίνεται από τη σχέση [7], [16]:

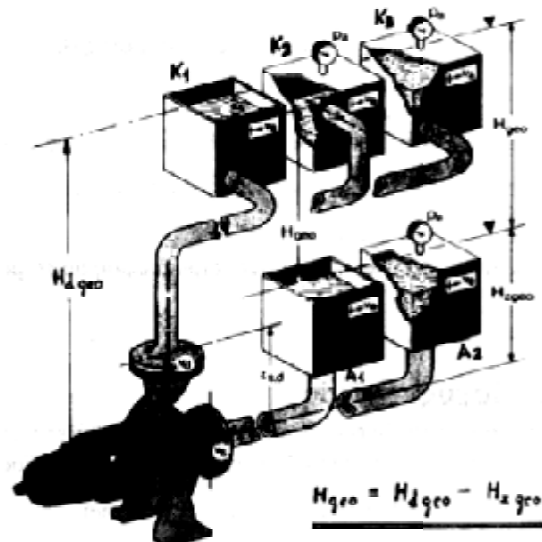
$$H_A = H_{geo} + \frac{P_D - P_S}{\rho \cdot g} + \frac{V_D^2 - V_S^2}{2 \cdot g} + \Sigma H_v \quad [1.12]$$

Στη συνέχεια θα αναλυθούν οι όροι που απαρτίζουν τη εξίσωση του ολικού ύψους ενός αντλητικού συστήματος [7], [8], [16].

- ∅ Στατικό ύψος (H_{geo}): καλείται η υψηλότερη υψομετρική διαφορά μεταξύ των επιφανειών των ρευστών των δεξαμενών αναρρόφησης και κατάθλιψης αντίστοιχα. Στη περίπτωση που ο σωλήνας κατάθλιψης περνά πάνω από την επιφάνεια του ρευστού στη δεξαμενή κατάθλιψης τότε το στατικό ύψος αναφέρεται στο κέντρο της διατομής εξόδου του σωλήνα. Στη περίπτωση που η επιφάνεια του ρευστού στη δεξαμενή αναρρόφησης είναι κάτω από το κέντρο του στομίου εισόδου της αντλίας τότε διακρίνεται η ανύψωση αναρρόφησης. Η απόσταση του στατικού ύψους που είναι κατακόρυφη μεταξύ των κεντρικών σημείων των στομίων εισόδου και της επιφάνειας του ρευστού της δεξαμενής αναρρόφησης καλείται στατικό ύψος ανύψωσης αναρρόφησης και συμπεριλαμβάνεται στο στατικό ύψος του αντλητικού συστήματος (Σχήμα 23). Στην περίπτωση όμως που η επιφάνεια του ρευστού στη δεξαμενή αναρρόφησης βρίσκεται σε πιο υψηλό σημείο από το κεντρικό σημείο του στομίου εισόδου τότε η απόσταση καλείται στατικό ύψος θετικής αναρρόφησης και δεν συμπεριλαμβάνεται στο στατικό ύψος του αντλητικού συστήματος (Σχήμα 24) [8] [17],[18]



Σχήμα 23: Διάταξη με τη δεξαμενή αναρρόφησης χαμηλότερα από το στόμιο της αντλίας [18]



Σχήμα 24: Διάταξη με τη δεξαμενή αναρρόφησης ψηλότερα από το στόμιο της αντλίας [18]

- ∅ Ύψος διαφοράς πίεσης: καλείται η διαφορά πίεσης μεταξύ των επιφανειών των ρευστών αναρρόφησης και κατάθλιψης. Σημειώνεται ότι στην περίπτωση των κλειστών συστημάτων υπάρχει διαφορά πίεσης ενώ στα ανοικτά συστήματα η

διαφορά πίεσης ισούται με το μηδέν. Το ύψος της διαφοράς πίεση δίνεται από τη σχέση:

$$\frac{P_a - P_e}{\rho \cdot g} \quad [1.13]$$

Όπου:

P_a = πίεση του ρευστού στη δεξαμενή αναρρόφησης (N/ m²)
 P_e = πίεση του ρευστού στη δεξαμενή κατάθλιψης (N/ m²)
 ρ = πυκνότητα του ρευστού (kg/m³).
 g = παγκόσμια σταθερά (9,81m/sec²)

- Ø Ύψος διαφοράς ταχύτητας: καλείται το ύψος διαφοράς της ταχύτητας στις διατομές εισόδου και εξόδου της αντλητικής εγκατάστασης και δίνεται από τη σχέση:

$$\frac{V_a^2 - V_e^2}{2 \cdot g} \quad [1.14]$$

Όπου:

V_a = ταχύτητα του ρευστού στη δεξαμενή αναρρόφησης (N/ m²)
 V_e = ταχύτητα του ρευστού στη δεξαμενή κατάθλιψης (N/ m²)
 g = παγκόσμια σταθερά (9,81m/sec²)

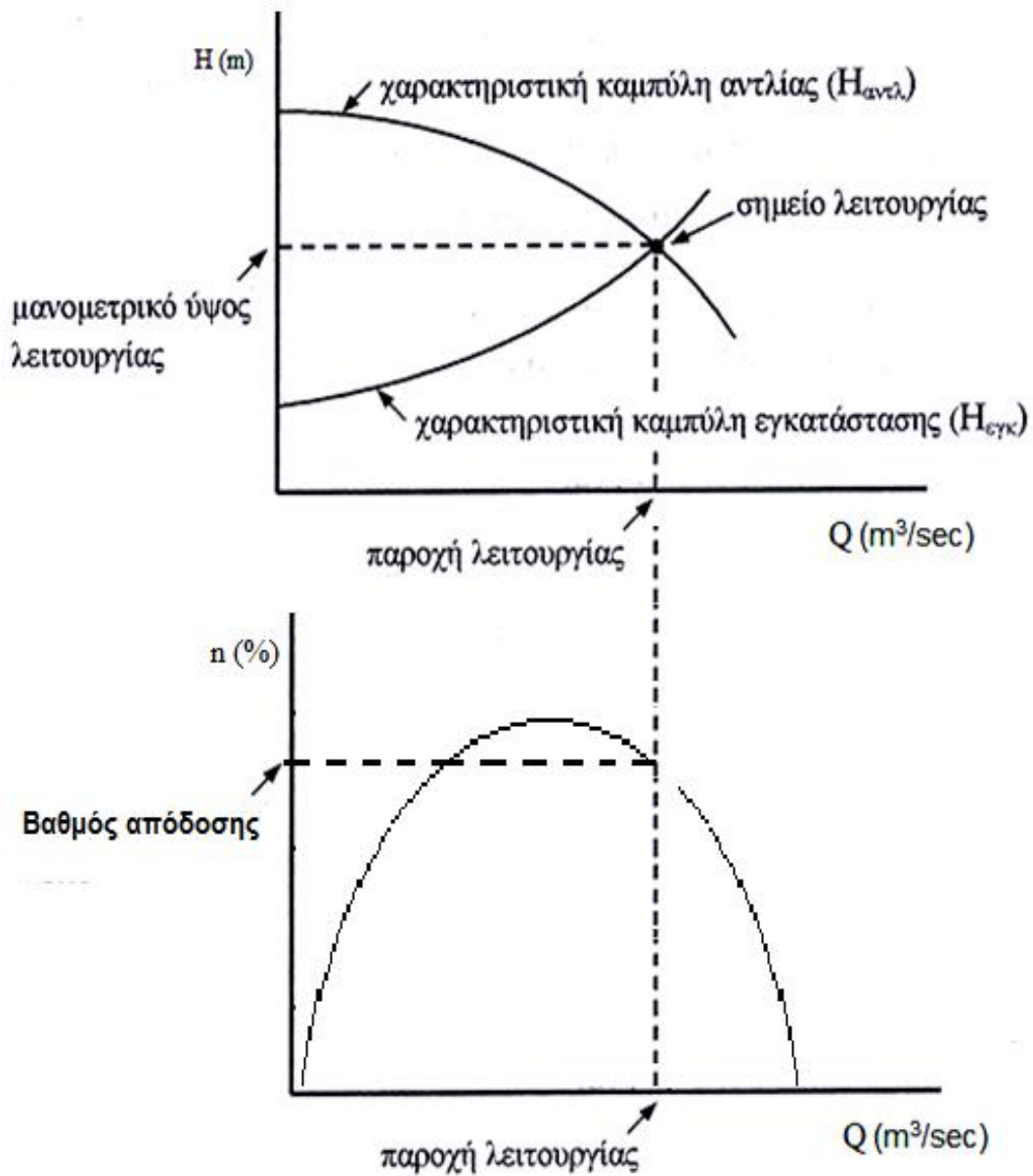
- Ø Συνολικές απώλειες αντλητικού συστήματος (ΣH_v): καλείται το άθροισμα όλων των απωλειών ύψους. Στις απώλειες αυτές συμπεριλαμβάνονται οι απώλειες τριβών που οφείλονται στις απώλειες που δημιουργούνται στις σωληνώσεις της εγκατάστασης και του ρευστού καθώς επίσης και τις τοπικές απώλειες που οφείλονται σε βαλβίδες εξαρτήματα κ.ά.. Σημειώνεται ότι οι απώλειες αναφέρονται σε όλα τα τμήμα της εγκατάστασης από την αναρρόφηση έως και την κατάθλιψη.

1.5.1. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ ΑΝΤΛΗΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΣΗΜΕΙΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Κάθε αντλία έχει την δυνατότητα να λειτουργεί με ένα πλήθος συνδυασμών μανομετρικού ύψους (H) και ογκομετρικής παροχής (Q) και αυτό καθορίζεται από την χαρακτηριστική καμπύλη της (Σχήμα 20). Ωστόσο με την επίλυση της Σχέσης (1.12) δημιουργείται ένα ακόμα πλήθος ζευγών, μανομετρικού ύψους (H) και ογκομετρικής παροχής (Q), που δημιουργούν την χαρακτηριστική καμπύλη της εγκατάστασης δηλαδή του αντλητικού συστήματος. Σημειώνεται ότι για κάθε εφαρμογή η εξίσωση της σωληνογραμμής είναι μοναδική.

Δηλαδή σύμφωνα με τα ανωτέρω, ο υπολογισμός του σημείου λειτουργίας μπορεί να πραγματοποιηθεί μετά από τη διερεύνηση των ενεργειακών απαιτήσεων του αντλητικού συστήματος, δηλαδή την δημιουργία της καμπύλης της μεταβολής του μανομετρικού ύψους του αντλητικού συστήματος – εγκατάστασης ($H_{ΕΓΚ}$) με την ογκομετρική παροχή. Το σημείο λειτουργίας της εγκατάστασης είναι το σημείο τομής αυτής της καμπύλης με την χαρακτηριστική καμπύλη της αντλίας (H_A).

Στο Σχήμα 25 διακρίνεται η διαδικασία μέσω διαγραμμάτων η διαδικασία υπολογισμού του σημείου λειτουργίας που αφορά το μανομέτρικό ύψος του σημείου λειτουργίας της αντλίας, την παροχή του σημείου λειτουργίας καθώς επίσης και την αντίστοιχη απόδοση του αντλητικού συστήματος στο συγκεκριμένο σημείο λειτουργίας [13].



Σχήμα 25: Προσδιορισμός του σημείου λειτουργίας μιας αντλίας σε δεδομένο αντλητικό σύστημα [13]

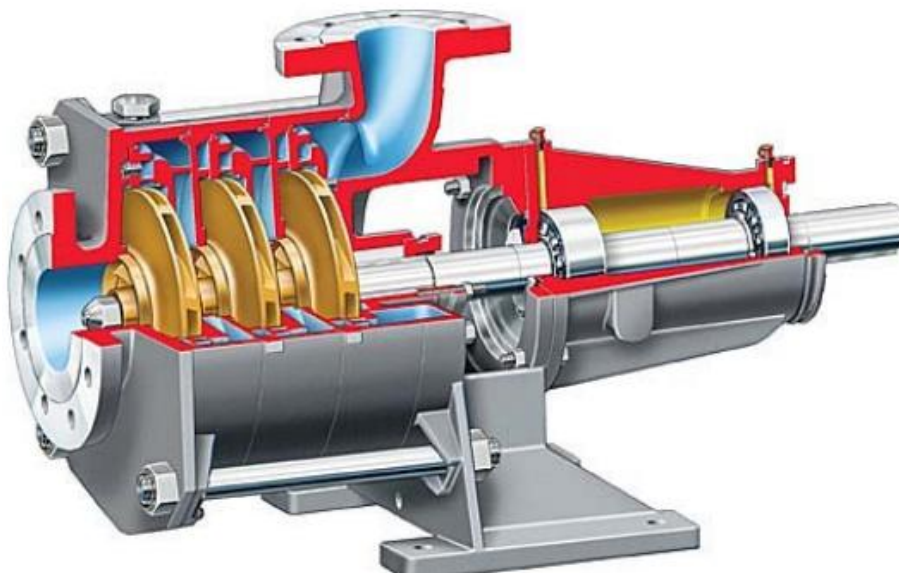
2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ

2.1. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ

Οι φυγοκεντρικές αντλίες όπως προαναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 1 ανήκουν στις δυναμικές αντλίες και κάνουν χρήση της φυγόκεντρης δύναμης, η οποία δημιουργείται από την πτερωτή μέσω της περιστροφής της. Οι φυγοκεντρικές αντλίες χαρακτηρίζονται για την μεγάλη δυναμικότητα τους καθώς επίσης και τις περιστροφικές μονάδες υψηλής ταχύτητας, οι οποίες προέρχονται από μηχανές εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ) ή από ηλεκτρικούς κινητήρες ή από ατμοστρόβιλους [13].

Όσο αφορά τη ροή του ρευστού, το οποίο είναι υγρό, η δημιουργία της οφείλεται από τη φυγοκεντρική κινητική ενέργεια, η οποία με τη σειρά της δημιουργεί τη περιστροφική κίνηση του στροφείου. Το αναρροφούμενο ρευστό φθάνει στη είσοδο της αναρρόφησης και στη συνέχεια παρασύρεται στη περιστροφική κίνηση των πτερυγίων που είναι υπεύθυνα για τον ρυθμό και την κατεύθυνση. Ακόμα, η περιστροφική κίνηση της πτερωτής είναι υπεύθυνη για τη περιστροφή της μάζας του ρευστού η οποία έχει την ίδια κατεύθυνση των πτερυγίων μεταδίδοντας τη φυγοκεντρική δύναμη στο ρευστό. Με την υλοποίηση της προαναφερόμενης διαδικασίας το ρευστό αναγκάζεται να περνά κατά μήκος των πτερυγίων και να πετάγεται εκτός της πτερωτής. Όταν το ρευστό περάσει και διαφύγει τη πτερωτή πραγματοποιείται η συλλογή του σε ένα εσωτερικό χώρο της φυγοκεντρικής αντλίας. Ο χώρος αυτός συλλογής είναι σε σπειροειδή μορφή και με διαρκώς αυξανόμενη διατομή με στόχο να δίνεται η δυνατότητα στο ρευστό να διαφεύγει από την έξοδο της αντλίας [13].

Στη συνέχεια ακολουθεί το Σχήμα 26 όπου απεικονίζεται μια φυγοκεντρική αντλία σε τομή με στόχο να διακρίνονται τα διάφορα τμήματα που την αποτελούν και τα οποία θα αναλυθούν στο επόμενο εδάφιο.

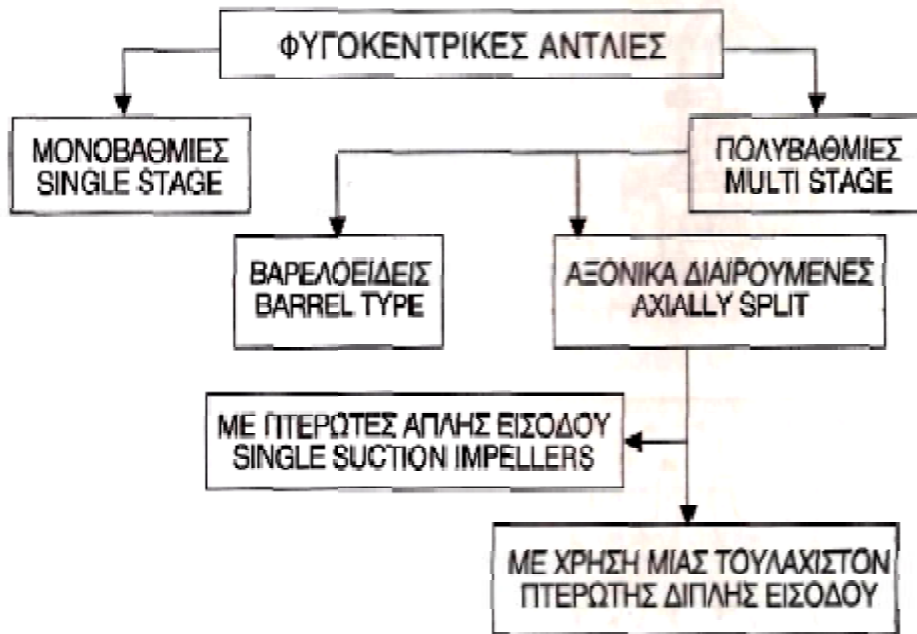


Σχήμα 26: Φυγοκεντρική αντλία σε τομή [13]

2.2. ΤΥΠΟΙ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ

Σε αυτό το εδάφιο θα αναλυθούν και θα περιγραφούν οι τύποι των φυγοκεντρικών αντλιών που είναι οι ακόλουθοί [13], [19]:

- Μονοβάθμιες αντλίες
- Πολυβάθμιες αντλίες.



Σχήμα 27: Διαχωρισμός φυγοκεντρικών αντλιών σύμφωνα με τον αριθμό των βαθμίδων [22]

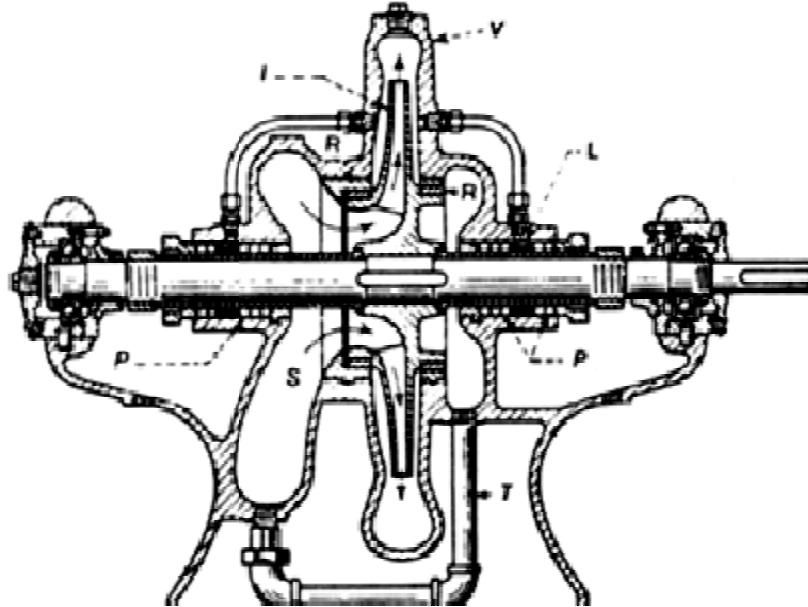
Οι μονοβάθμιες φυγοκεντρικές αντλίες διαχωρίζονται στις αντλίες απλής αναρρόφησης και τις αντλίες διπλής αναρρόφησης.

Οι αντλίες απλής αναρρόφησης η πτερωτή είναι τοποθετημένη στο ένα άκρο του άξονα και με την χρήση ενός σωλήνα αναρρόφησης το ρευστό κατευθύνεται άμεσα στο κέντρο της πτερωτής. Η πτερωτή με την σειρά της τοποθετείται στο κέντρο του άξονα με συνέπεια να δημιουργούνται δύο στυπιοθάλαμοι και από τις δύο πλευρές του κελύφους (Σχήμα 30).

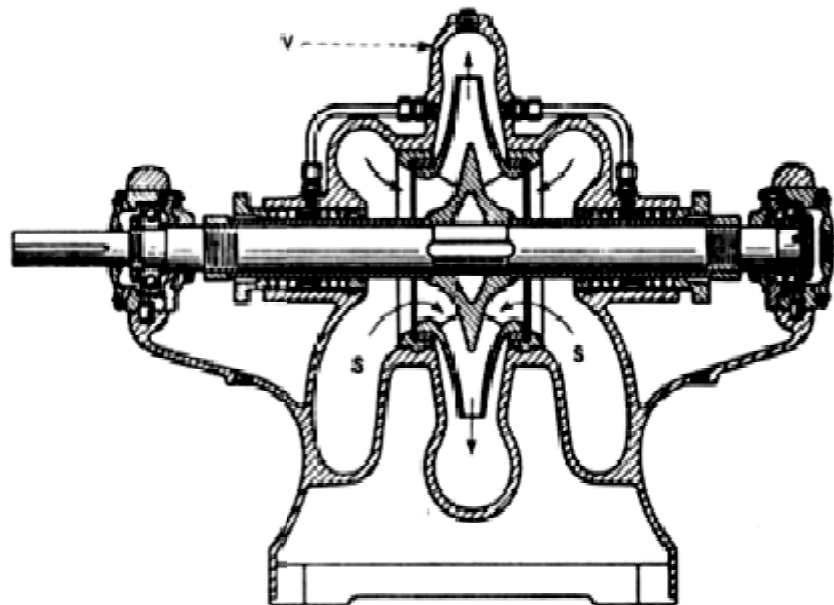
Ένα βασικό χαρακτηριστικό στις αντλίες απλής αναρρόφησης είναι ότι υπάρχει μεγάλη διαφορά πίεσης μεταξύ της πίεσης αναρρόφησης και της πίεσης κατάθλιψης. Η πίεση αναρρόφησης παρουσιάζεται στο στόμιο της εισόδου του ρευστού ενώ η πίεση κατάθλιψης στο εσωτερικό του κελύφους. Η διαφορά αυτή της πίεσης δημιουργεί δύναμη η οποία έχει τη δυνατότητα να μετατοπίσει τη πτερωτή προς την μικρότερη πίεση με συνέπεια την καταπόνηση και την καταστροφή των τριβών [20].

Ωστόσο όπως αναφέρθηκε οι μονοβάθμιες αντλίες διαχωρίζονται και στα αντλίες διπλής αναρρόφησης όπου το κέλυφος σε αυτές τις αντλίες έχουν δύο στόμια εισόδου του ρευστού και από τις δύο πλευρές της πτερωτής. Στο Σχήμα 31 διακρίνονται δύο φυγοκεντρικές αντλίες απλής αναρρόφησης τοποθετημένες συμμετρικά στον άξονα με στόχο την επίτευξη της συμμετρικής πίεσης στα στόμια εισόδου από τις δύο πλευρές της πτερωτής. Αρά σύμφωνα με τα ανωτέρω οι αντλίες σε θεωρητικό επίπεδο θα έχουν υδραυλική εξισορρόπηση. Όμως σημειώνεται οι ατέλειες της κατασκευής καθώς και των εξαρτημάτων μεταβάλλουν τα χαρακτηριστικά της ροής του ρευστού στις δύο πλευρές. Στη πτερωτή ασκείται μικρή αξονική ώθηση.

Βασικό πλεονέκτημα των αντλιών διπλής αναρρόφησης είναι ότι εκμηδενίζεται ο κίνδυνος της αξονικής ώθησης και αυτό οφείλεται στη μικρή ταχύτητα κίνηση του ρευστού στην είσοδο και στο διπλό σωλήνα αναρρόφησης. Επιπλέον, δίνεται η δυνατότητα αυτού του τύπου τις αντλίες να χρησιμοποιούν μεγάλες παροχές [20]



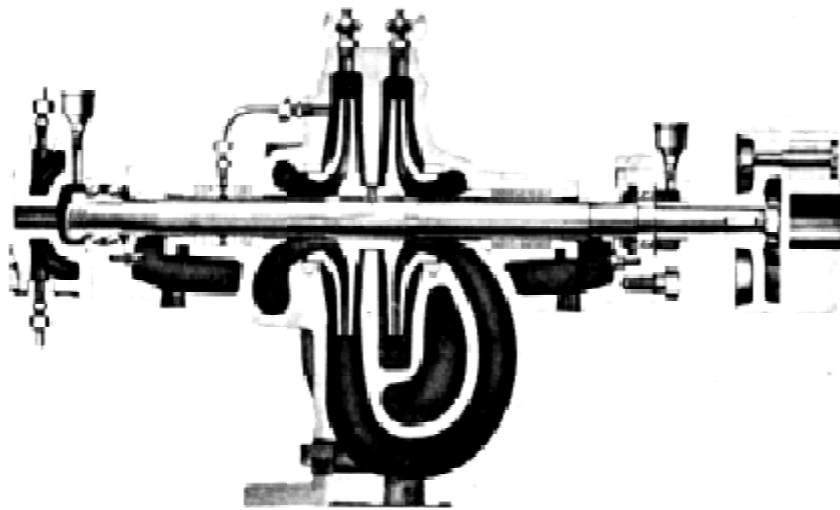
Σχήμα 28: Αντλία απλής αναρρόφησης με την πτερωτή τοποθετημένη στο κέντρο του άξονα. Όπου I. πτερωτή, V. Σπειροειδές περίβλημα, L. Δακτύλιος υδρολιπάνσεως, P. Σαλαμάστρα, R. Στεγανοποίηση δρομέα-περιβλήματος S. Αναρρόφηση, T. σωλήνας επιστροφής του υγρού που διαρρέει [19]



Σχήμα 29: Αντλία διπλής αναρρόφησης I. πτερωτή, V. Σπειροειδές περίβλημα, L. Δακτύλιος υδρολιπάνσεως, P. Σαλαμάστρα, R. Στεγανοποίηση δρομέα-περιβλήματος S. Αναρρόφηση, T. σωλήνας επιστροφής του υγρού που διαρρέει [19]

Οι δεύτερη κατηγορία των φυγοκεντρικών αντλιών είναι οι πολυβάθμιες αντλίες οι οποίες θεωρούνται ακατάλληλες για εφαρμογές υψηλής πίεσης. Αυτή τη περίπτωση των αντλιών αποτελούνται από δύο ή και περισσότερες πτερωτές που μπορούν να λειτουργούν σε σειρά. Συγκεκριμένα αποτελούνται από μια χοάνη καταθλίψεως τις μία βαθμίδα, η οποία συνδέεται με το στόμιο εισόδου της επόμενης βαθμίδας. Σύμφωνα με τον Κότσο Π., (2008) το συνολικό ύψος πίεσεως καλείται το ύψος πίεσεως της μιας βαθμίδας πολλαπλασιαζόμενο επί τον αριθμό των βαθμίδων. Ο απαιτούμενος αριθμός των βαθμίδων εξαρτάται από το επιθυμητό μανομετρικό ύψος, τη διάμετρο της πτερωτής, την παροχή της αντλίας καθώς και την ταχύτητα περιστροφής [19].

Όσο αφορά την αξονική ώθηση που δημιουργείται στις πολυβάθμιες αντλίες είναι μεγάλη και αυτό οφείλεται στην τοποθέτηση των πτερωτών στον ίδιο άξονα. Με στόχο την υδραυλική εξισορρόπηση οι πτερωτές απαιτείται να τοποθετηθούν ανά ζεύγη και αντίθετα. Επιπλέον, η αξονική ώθηση εξουδετερώνεται αν η πτερωτή κάθε βαθμίδας είναι διπλής αναροφήσεως [19].



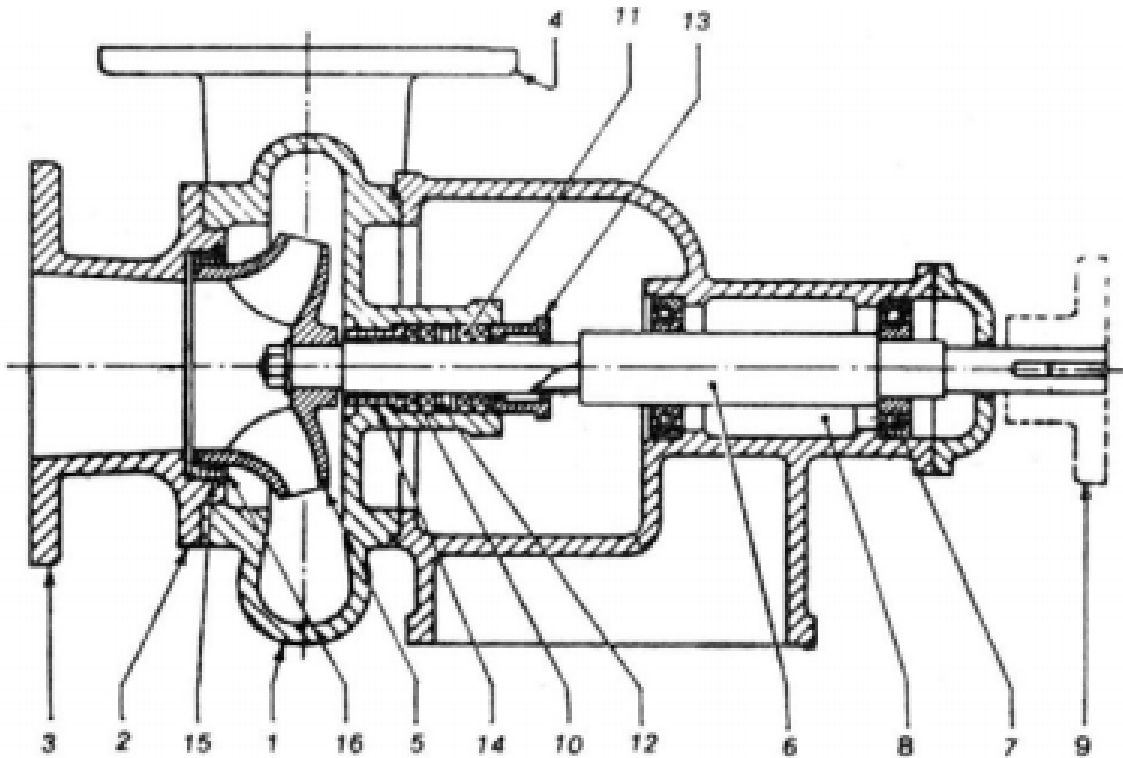
Σχήμα 30: Αντλία δύο βαθμίδων με τις πτερωτές τοποθετημένες αντίθετα [19]

2.3. ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ

Η δομή και ο σχεδιασμός μιας φυγοκεντρικής αντλίας βασίζεται στα βασικά εξαρτήματα της που διακρίνονται στο Σχήμα 27. Η αρίθμηση των τμημάτων της φυγοκεντρικής αντλίας είναι η ακόλουθη [19]:

1. Σπειροειδές περίβλημα (σαλίγκαρος)
2. Κάλυμμα του σπειροειδούς περιβλήματος
3. Φλάντζα στομίου εισόδου
4. Χοάνη καταθλίψεως (έξοδος του υγρού)
5. Πτερωτή
6. Άξονας της αντλίας
- 7 Τριβέας (ένσφαιρος ή κουζινέτο)
- 8 Θάλαμος λαδιού
9. Συνδετήρας της αντλίας με τον κινητήρα
10. Σαλαμάστρα (εσωτερικό τμήμα)
11. Σαλαμάστρα (εξωτερικό τμήμα)
12. Δακτύλιος υδρολιπάνσεως της σαλαμάστρας
13. Στυπιοθλίπτης

14. Δακτυλιοειδής τριβέας
15. Δακτύλιος στεγανώσεως του σπειροειδούς περιβλήματος
16. Δακτύλιος στεγανώσεως της πτερωτής



Σχήμα 31: Σχηματικό διάγραμμα μονοβάθμιας φυγοκέντρου αντλίας [19].

Ωστόσο, σημαντικό είναι στη συνέχεια της παρούσας εργασίας να αναλυθούν και να περιγραφούν τα βασικότερα μέρη μιας φυγοκεντρικής αντλίας είναι τα εξής [13]:

- Σώμα φυγοκεντρικής αντλίας
- Στροφείο ή πτερωτή φυγοκεντρικής αντλίας
- Δακτύλιος φθοράς φυγοκεντρικής αντλίας
- Άτρακτο φυγοκεντρικής αντλίας και τα παρελκόμενα εξαρτήματα της.

Ø ΣΩΜΑ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ

Το σώμα της φυγοκεντρικής αντλίας είναι το πλαίσιο στο οποίο τοποθετούνται όλα τα εξαρτήματα της. Η κατασκευή του σώματος πραγματοποιείται με υλικά τα οποία παρουσιάζουν σχετική ανθεκτικότητα στα ρευστά που μεταφέρουν καθώς επίσης και στις θερμοκρασίες που επικρατούν κατά την λειτουργία της αντλίας. Το εσωτερικό του κελύφους είναι διαχωρισμένο σε τμήματα κάθετα ή οριζόντια ή διαγώνια. Στην περίπτωση των κελυφών που είναι διαχωρισμένα κάθετα καλούνται ακτινικά διαιρούμενα ενώ στην περίπτωση των κελυφών που είναι διαχωρισμένα οριζόντια καλούνται αξονικά διαιρούμενα. Φλάντζες τοποθετούνται στους λαιμούς της εισόδου και εξόδου καθώς επίσης και στο κάτω τμήμα του κελύφους. Επιπλέον, στο σώμα της αντλίας απαρτίζεται και από ποδαράκια με τα οποία είτε αγκιστρώνεται στον εξοπλισμό που βρίσκεται στο κάτω μέρος της αντλίας είτε αγκιστρώνεται στο έδαφος, όπου είναι και συνηθίζεται.

Βασικό παράγοντας για τη δομή της αντλίας είναι το κριτήριο της λειτουργικότητας της όπου και κρίνει τον τρόπο διαχωρισμού της σε τμήματα.

Η ικανοποιητική λειτουργία μια φυγοκεντρικής αντλίας στην αναρρόφηση επιτυγχάνεται με τη άρτια διαμόρφωση του τμήματος της εισόδου με σκοπό την εξασφάλιση της ομοιόμορφης διανομής της ταχύτητας στην είσοδο της πτερωτής και κατ' επέκταση την ομοιόμορφη λειτουργία των πτερυγίων. Η είσοδο των μονοβάθμιων αντλιών σε πρόβολο και κατακόρυφες αντλίες είτε αξονικής είτε μικρής ροής μπορεί να ερμηνευθεί ως κωνική συγκλίνουσα προς την είσοδο της πτερωτής ή κυλινδρική με κυκλική διατομή σε αντίθεση με την είσοδο των πουλυβάθμιων αντλιών και των αντλιών διπλής αναρρόφησης που δεν μπορούν να έχουν ούτε κωνική ούτε κυλινδρική διότι η διεύθυνση του ρευστού είναι κάθετη προς τον άξονα περιστροφής της πτερωτής.

Ένα από τα μεγαλύτερα τμήματα του κελύφους μιας φυγοκεντρικής αντλίας είναι η έξοδος της. Βασικό λόγος για αυτό είναι ότι σε αυτό το σημείο συλλέγεται το ρευστό που αντλείται και στη συνέχεια καθοδηγείται στη διατομή της εξόδου της αντλίας. Στην έξοδο της πτερωτής που συγκαταλέγεται στο τμήμα της εισόδου, η ταχύτητα του ρευστού είναι μεγάλη και εξαρτάται από ένα πλήθος παραγόντων όπως είναι ο τύπος της πτερωτής, η πίεση του ρευστού αναρρόφησης, το διαμορφωμένο τμήμα της εισόδου κ.ά.. Ωστόσο, δεν επιθυμείται η διατήρηση της ταχύτητας αλλά η μείωση αυτής μέχρις ότου φτάσει στη διατομή της εξόδου. Η ταχύτητα στην έξοδο θα πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ των 4 έως 6 m/sec. Σημειώνεται ότι η πτώση της ταχύτητας πρέπει να πραγματοποιείται με τη ταυτόχρονη μετατροπή της κινητικής ενέργειας σε στατική πίεση.

Το κέλυφος μιας φυγοκεντρικής αντλίας συνήθως είναι είτε σπειροειδές είτε διάχυτης. Όσο αφορά το σπειροειδές κέλυφος απαιτείται να ληφθούν υπόψη οι βασικές αρχές των ρευστών, η αρχή της συνέχειας, η αρχή διατήρησης της συστροφής καθώς και βασικές γεωμετρικές (κλίση) της γραμμής ροής του ρευστού καθ' όλη τη διαδρομή του από την είσοδο έως την έξοδο. Όσο αφορά την έξοδο με μορφή διαχύτη μπορεί να είναι κατασκευασμένος με ή χωρίς πτερύγια. Στη περίπτωση του διαχύτη χωρίς πτερύγια το κέλυφος οδήγησης της ροής είναι αξονοσυμμετρικό όπου η περιφερειακή ταχύτητα μεταβάλλεται αντίστροφα ανάλογα προς την ακτινική ταχύτητα ικανοποιώντας της αρχή της συνέχειας. Στη περίπτωση του διαχύτη με πτερύγια είναι ένα ακτινικό στεφάνι με πτερύγια διατεταγμένα γύρω από τη πτερωτή. Σε κάθε περίπτωση του διαχύτη διακρίνονται οι αυξημένες απώλειες [13].

Ø ΠΤΕΡΩΤΗ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ

Βασικά στοιχεία της πτερωτής είναι η γωνία κλίσης των πτερυγίων στη διατομή της εξόδου καθώς επίσης και ο αριθμός των πτερυγίων της. Όσο ελαττώνεται η γωνία κλίσης των πτερυγίων τόσο αυξάνεται η απόλυτη τιμή κλίσης της πραγματικής καμπύλης λειτουργίας H-Q. Αυτό δίνει ως βασικό πλεονέκτημα, ότι σε ένα αντλητικό σύστημα, την ευστάθεια της λειτουργίας έχοντας θετικό μονομετρικό, με γωνία κλίσης των πτερυγίων από 17 έως 35° (συνηθέστερες γωνίες 20-25°). Όμως όταν υπάρχουν ειδικές περιπτώσεις και δεν υπάρχει το πρόβλημα της ευστάθειας η κλίση των πτερυγίων μπορεί να είναι έως και 90°. Σημειώνεται ότι όσο μεγαλύτερη γωνία κλίσης, η επίτευξη του σημείου λειτουργίας απαιτεί και μικρότερες διαστάσεις στη πτερωτή και κατ' επέκταση στην αντλία. Επιπλέον, το πλήθος των πτερυγίων επηρεάζει τον βαθμό απόδοσης της πτερωτής άρα και της αντλίας. Ωστόσο, ο ιδεατός βαθμός απόδοσης της πτερωτής είναι αντίστροφος αναλόγως με τη γωνία κλίσης της πτερωτής. Επιπλέον, όσο περισσότερα είναι τα πτερύγια τόσο περισσότερες είναι οι απώλειες τριβής, μειώνοντας αισθητά τον υδραυλικό βαθμό απόδοσης της αντλίας.

Συμφώνα με τα ανωτέρω γίνεται κατανοητό ότι για κάθε γωνία κλίσης της πτερωτής υπολογίζεται ο βέλτιστος αριθμός των πτερυγίων με στόχο να επιτευχθεί ο βέλτιστος βαθμός απόδοσης της πτερωτής και κατ' επέκταση της αντλίας.

Ø ΔΑΚΤΥΛΙΟΙ ΦΘΟΡΑΣ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ

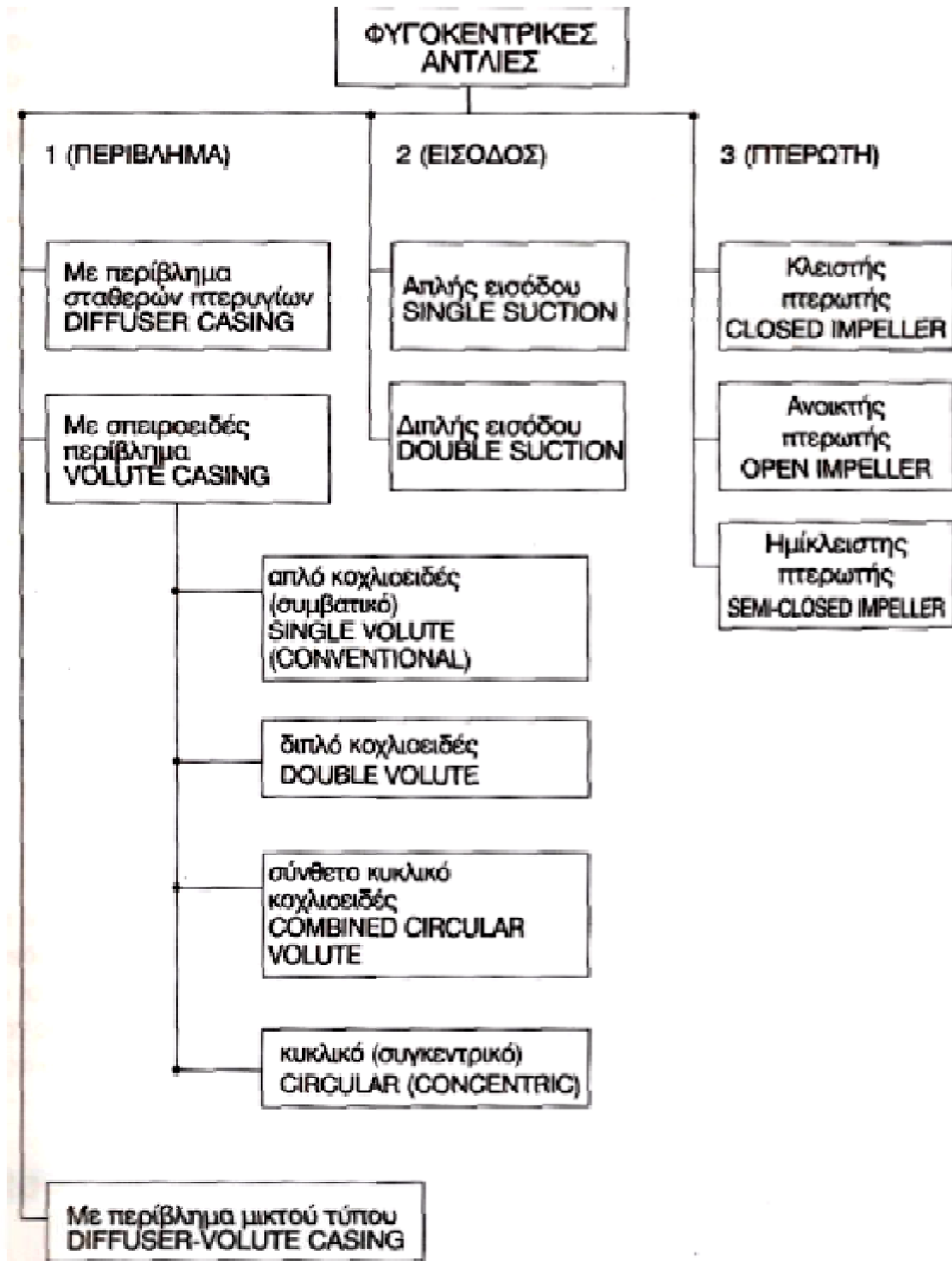
Βασικό στοιχείο μιας φυγοκεντρικής αντλίας είναι και οι δακτύλιοι φθοράς, όπου είναι υπεύθυνοι για τη δακτυλιοειδή σχισμή ανάμεσα στη πτερωτή και στο κέλυφος. Η δακτυλιοειδή σχισμή είναι ένα ακτινικό διάκενο με συγκεκριμένο μήκος. Η χρήση των δακτυλίων φθοράς στοχεύουν στη διαμόρφωση λαβύρινθων και στη διατήρηση της μειωμένης τιμής των ογκομετρικών απωλειών. Τονίζεται ότι οι δακτύλιοι φθοράς μπορούν να απομακρυνθούν από την φυγοκεντρική αντλία αλλά και να αντικατασταθούν σε περίπτωση που φθαρούν ή καταστραφούν. Το κόστος των δακτυλίων φθοράς είναι πολύ μικρό ειδικά συγκρινόμενα με τα υπόλοιπα δομικά στοιχεία της αντλίας.

Ø ΑΤΡΑΚΤΟ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ

Η άτρακτος είναι υπεύθυνη για τη μεταφορά της ροπής στρέψης από τον κινητήρα στη πτερωτή. Στη περίπτωση που μια φυγοκεντρική αντλία λειτουργεί μόνιμα έχοντας σταθερή ταχύτητα περιστροφής τότε η ροπή είναι ίση με τη ροπή αντιστάθμισης που δημιουργείται από τις μηχανικές απώλειες κατά τη λειτουργίας της. Αξιοσημείωτες είναι οι αξονικές και οι ακτινικές δυνάμεις που αναπτύσσονται κατά τη κίνηση του ρευστού και προσδίδονται στην άτρακτο η οποία είναι κατάλληλα στερεωμένη στη φυγοκεντρική αντλία.

Επιπλέον, λόγω του μεγάλου μήκους της απαιτείται ο υπολογισμός της ελαστικότητας της, αφού πρέπει να υπάρχει μικρό βέλος κάμψης και μικρή κλίση της ατράκτου. Σε περιπτώσεις που τα δυο προαναφερόμενα μεγέθη αυξάνονται τότε επηρεάζεται η λειτουργία των παρελκόμενων εξαρτημάτων που συνδέονται με την άτρακτο. Ακόμα, απαραίτητο είναι να υπολογισθεί η ιδιοσυχνότητα του μηχανικού υποσυστήματος της ατράκτου και της πτερωτής με στόχο να μην ισούται με την ιδιοσυχνότητα του συνολικού στρεφόμενου συστήματος και δημιουργούνται καταπονήσεις και παραμορφώσεις στη άτρακτο κατά την λειτουργία της φυγοκεντρικής αντλίας [13].

Σημαντικό σε αυτό το σημείο είναι να τονισθεί ότι οι φυγοκεντρικές αντλίες μπορούν να διαχωριστούν κατά κάποιον τρόπο και σύμφωνα με τον χαρακτηρισμό κάποιον τμημάτων του όπως διακρίνεται στο Σχήμα 28.



Σχήμα 32: Διαχωρισμός φυγοκεντρικών αντλιών σύμφωνα με τη μορφή τους [22]

2.4. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ

Στον Πίνακα 1 αναγράφονται οι εφαρμογές που μπορεί να χρησιμοποιηθούν οι φυγοκεντρικές αντλίες σύμφωνα με τον τύπο τους.

Τύπος αντλίας	Εφαρμογές
Μονοβάθμιες αντλίες	Βιομηχανική, αγροτική, οικιακή χρήση
	Άντληση νερού, πετρελαίου, βενζίνης, λαδιού, άλμης, αλκαλικών και ελαφρών οξέων. Κυκλοφορία, άρδευση και αποχέτευση. Υδροδότηση και σταθμό προώθησης
	Καθαρά ή ελαφρώς ακάθαρτα υγρά δίχως ογκώδη στερεά.
	Για κυκλοφορία ψυχρού και θερμού νερού σε κλιματιστικές εγκαταστάσεις μεγάλων κοινόχρηστων χώρων: σχολεία, νοσοκομεία, εμπορικά καταστήματα.
Πολυβάθμιες αντλίες οριζόντιες	Υδραυλικά έργα και εγκαταστάσεις ύδρευσης και καταιονισμού.
	Κυκλοφορία ψυχρού και θερμού νερού.
	Αντλίες πυροσβεστικές, τροφοδοσίας λεβήτων, ανύψωσης νερού.
	Χρησιμοποιούνται για καθαρά ή για ελαφρώς ακάθαρτα υγρά, για έλαια μ έχρι 150 mm ² /sec (cst) και για μη διαβρωτικά υγρά
Πολυβάθμιες αντλίες κατακόρυφες	Υδραυλικά έργα και εγκαταστάσεις ύδρευσης και καταιονισμού.
	Κυκλοφορία ψυχρού και θερμού νερού.
	Αντλίες πυροσβεστικές, τροφοδοσίας λεβήτων, ανύψωσης νερού.
	Χρησιμοποιούνται για καθαρά ή για ελαφρώς ακάθαρτα υγρά, για έλαια μ έχρι 150 mm ² /sec (cst) και για μη διαβρωτικά υγρά
Πολυβάθμιες αντλίες οριζόντιες ανοξείδωτες	Πιεστικά συγκροτήματα, συστήματα κλιματισμού.
	Συστήματα πυρόσβεσης, εφαρμογές στην ναυτιλία.
	Άρδευση, ανακυκλοφορία νερού ψύξης
	Επεξεργασία νερού, πλυντήρια αυτοκινήτων
Υποβρύχιες ηλεκτρικές αντλίες - γεωτρήσεων	Άρδευση, γεωργικές εφαρμογές
	Πιεστικά συστήματα σε βιομηχανικά και αστικά δίκτυα
	Οικιακές χρήσεις
	Πλήρωση δοχείων, πισινών

Πίνακας 1: Εφαρμογές χρήσης φυγοκεντρικών αντλιών [13]

Στη συνέχεια ακολουθεί η Εικόνα 2 και 3 όπου απεικονίζονται διάφοροι τύποι φυγοκεντρικών αντλιών που χρησιμοποιούνται σε πλήθος εφαρμογών.

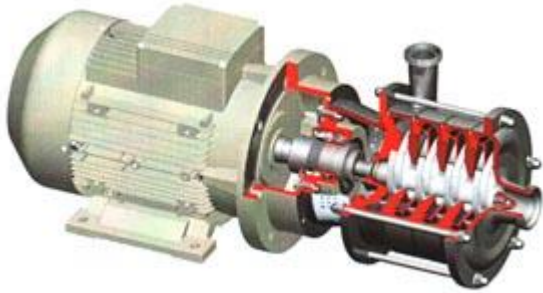


SPERONI CM 32 M
Αντλία μονοβάθμια φυγοκεντρική



EBARA CDX 70/05M
Ανοξείδωτη φυγοκεντρική αντλία

Εικόνα 2: Μονοβάθμιες φυγοκεντρικές αντλίες [20]



CSM

Πολυβάθμιες αντλίες φυγοκεντρική αντλία



RVM ΚΑΘΕΤΗ ΑΝΤΛΙΑ SPERONI

Πολυβάθμιες αντλίες φυγοκεντρική αντλία

Εικόνα 3: Πολυβάθμιες φυγοκεντρικές αντλίες [20]

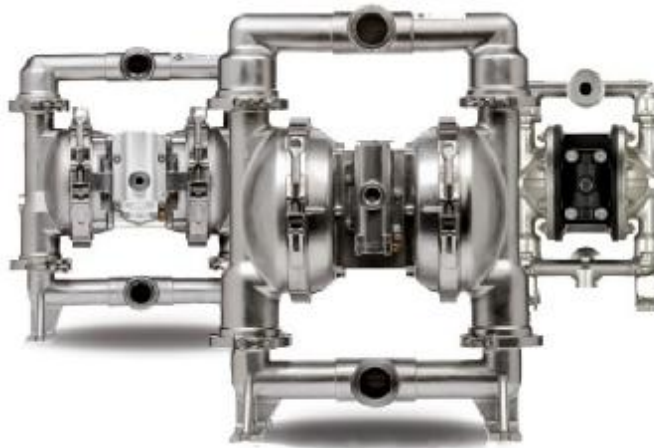
3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΑΝΤΛΙΕΣ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΤΥΠΟΥ

3.1. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΑΝΤΛΙΩΝ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΤΥΠΟΥ

Οι διαφραγματικές αντλίες διαχωρίζονται σύμφωνα με το μέσο που ενεργοποιεί το διάφραγμα και κατατάσσονται σε αντλίες μηχανικές, αεροκίνητες και υδραυλικές. Οι διαφραγματικές αντλίες λειτουργούν με πανομοιότυπο τρόπο όπως οι εμβολοφόρες και είναι ογκώδεις και αυτοεκκινούμενες αντλίες. Στην ουσία στη θέση του εμβόλου υπάρχει ένα διάφραγμα το οποίο είναι κατασκευάζεται από πλαστικό ή θερμοπλαστικό ή τεφλόν ή εύκαμπτα μέταλλα και τοποθετείται περιφερειακά έχοντας τη δυνατότητα να πάλλεται με αποτέλεσμα την αντίστοιχη αύξηση και μείωση του όγκου και της πίεσης. Το διάφραγμα έχει την δυνατότητα να πάλλεται με ρυθμό που κυμαίνεται από 60 έως και 80 παλμούς ανά λεπτό [21].

Στην περίπτωση της διέγερσης του διαφράγματος διακρίνεται ώθηση του ρευστού στο εσωτερικό του θαλάμου με συνέπεια την αύξηση της πίεσής και τη δημιουργία κατάθλιψης έχοντας ανοικτή η βαλβίδα εξαγωγής. Στην περίπτωση που το διάφραγμα έρχεται στην αρχική του κατάσταση παρατηρείται αύξηση του όγκου στο εσωτερικό του θαλάμου και μείωση της πίεσης. Επιπλέον, ανοίγει η βαλβίδα εισαγωγής με συνέπεια το ρευστό να αναρροφώνται και να κλείνει η βαλβίδα εξαγωγής. [22].

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να τονισθεί ότι στην περίπτωση ενός ελαστομερούς διαφράγματος δίνεται η δυνατότητα σε μια ευέλικτη δυναμική σφράγιση που εκμηδενίζει πολλούς περιορισμούς που δίνονται σε άλλες μεθόδους. Η χρήση ελαστομερών διαφραγμάτων ή μεμβρανών προσφέρουν μικρή τριβή καθώς επίσης η επιλογή της κατάλληλης αντλίας (σύμφωνα με τα υλικά κατασκευής του διαφράγματος) δίνει τη δυνατότητα σφραγίσεις μεγάλου εύρους θερμοκρασιών και πιέσεων χωρίς να δημιουργούνται προβλήματα κατά την λειτουργία των συστημάτων [6].



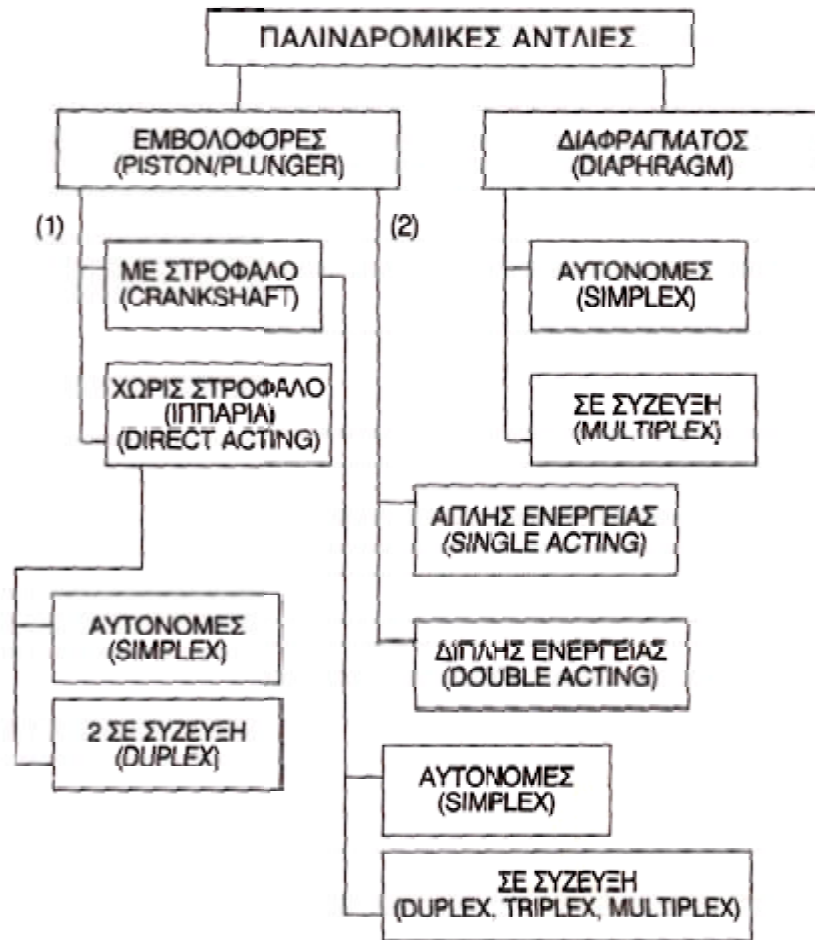
Εικόνα 4: Αεροκίνητες αντλίες διαφραγματικού τύπου

Στη κατηγορία των αντλιών διαφράγματος υπάρχουν αντλίες απλής και διπλής ενέργειας καθώς επίσης οι σύγχρονες διαφραγματικές αντλίες κάνουν χρήση πεπιεσμένου αέρα με στόχο να πραγματοποιείται η κίνηση του διαφράγματος χωρίς την χρήση μηχανισμών [21]. Στη παρούσα εργασία θα δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στις αεροκίνητες

πνευματικές αντλίες ή αεροκίνητες πνευματικές αντλίες διαφραγματικού τύπου ή αεροκίνητες αντλίες μεμβράνης.

3.2. ΤΥΠΟΙ ΑΝΤΛΙΩΝ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΤΥΠΟΥ

Οι αεροκίνητες αντλίες διαφραγματικού τύπου ανήκουν όπως προαναφέρθηκε στις παλινδρομικές αντλίες.



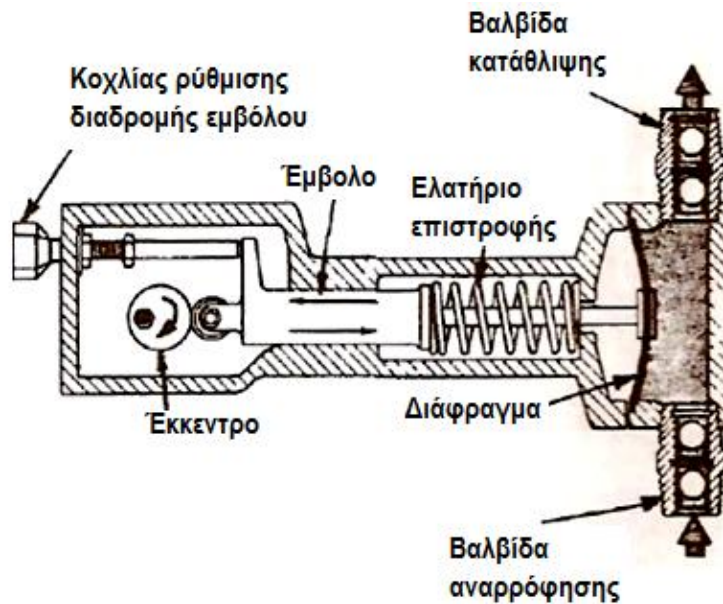
Σχήμα 33: Τύποι αντλιών διαφραγματικού τύπου [22].

ΑΝΤΛΙΑ ΜΕ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΑΙ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΚΙΝΗΣΗ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

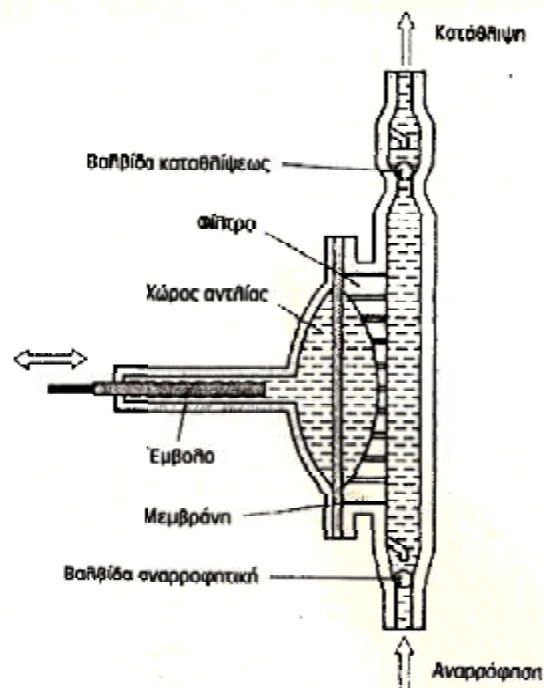
Στην αντλία με μηχανική κίνηση του διαφράγματος διακρίνεται ότι στο τμήμα της αναρρόφησης κάμπτεται η μεμβράνη από το έμβολο με αποτέλεσμα να αυξάνεται ο χώρος κάτω από αυτό και να δημιουργείται υποπίεση. Η διαδικασία αυτή δημιουργεί την αναρρόφηση της αντλίας. Το ρευστό εισέρχεται στο κάτω μέρος της αντλίας αφού αναστηλώνει με τη δυναμικότητα του την σφαιρική βαλβίδα. Με την επαναφορά της μεμβράνης η βαλβίδα αναρρόφησης κλείνει. Ωστόσο, το ρευστό εισχωρεί στο ανώτερο τμήμα της αντλίας από μια βαλβίδα της μεμβράνης και απομακρύνεται από την επόμενη διαδρομή (άνοιγμα εκροής). Οι αντλίες αυτού του τύπου σχεδιάζονται και κατασκευάζονται ως αντλίες είτε αναρρόφησης είτε καταθλίψεως.

Οι δυνατότητες των μηχανικών αντλιών διαφράγματος είναι ότι η μεμβράνη στεγανοποιεί πλήρως το σύστημα με συνέπεια να μην μειώνονται οι δυνατότητες της, δηλαδή να μην ελαττώνεται το ύψος αναρρόφησης. Γίνεται άμεσα κατανοητό ότι στην περίπτωση των εμβολοφόρων αντλιών ελαττώνεται το ύψος αναρρόφησης λόγω των ατελειών στη στεγανότητα ενδιάμεσα στο έμβολο και τον κύλινδρο.

Οι αντλίες αυτού του τύπου θεωρούνται κατάλληλες για ρευστά μεγάλης πυκνότητας καθώς επίσης και για ρευστά που μπορεί να περιέχουν μεγάλα σωματίδια. Επιπλέον, η δομή και η στεγανότητα τους βοηθά να μην φθείρονται τόσο εύκολα όσο οι εμβολοφόρες αντλίες. Επιπλέον, θεωρούνται κατάλληλες για εφαρμογές της βιομηχανίας όπου τα ρευστά μπορούν να παρουσιάζουν διαβρωτικές ικανότητες [27].



Σχήμα 34: Αντλία με μηχανική κίνηση διαφράγματος [27]

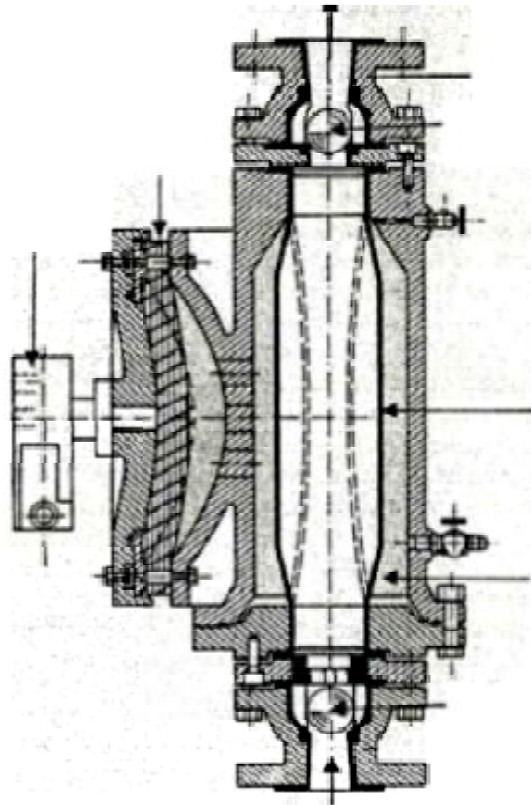


Σχήμα 35: Αντλία με υδραυλική κίνηση διαφράγματος [27]

Τα βασικά πλεονεκτήματα των μηχανικών και υδραυλικών αντλιών διαφραγματικού τύπου είναι τα ακόλουθα:

- Η ποσότητα που μπορούν να μετατοπίσουν είναι προϋπολογισμένη για κάθε ολοκληρωμένη κίνηση του εμβόλου
- Το ρευστό δεν έρχεται σε επαφή με τα μηχανικά μέρη της αντλίας και με τους μηχανισμούς της παρά μόνο με το διάφραγμα – μεμβράνη και τις βαλβίδες.

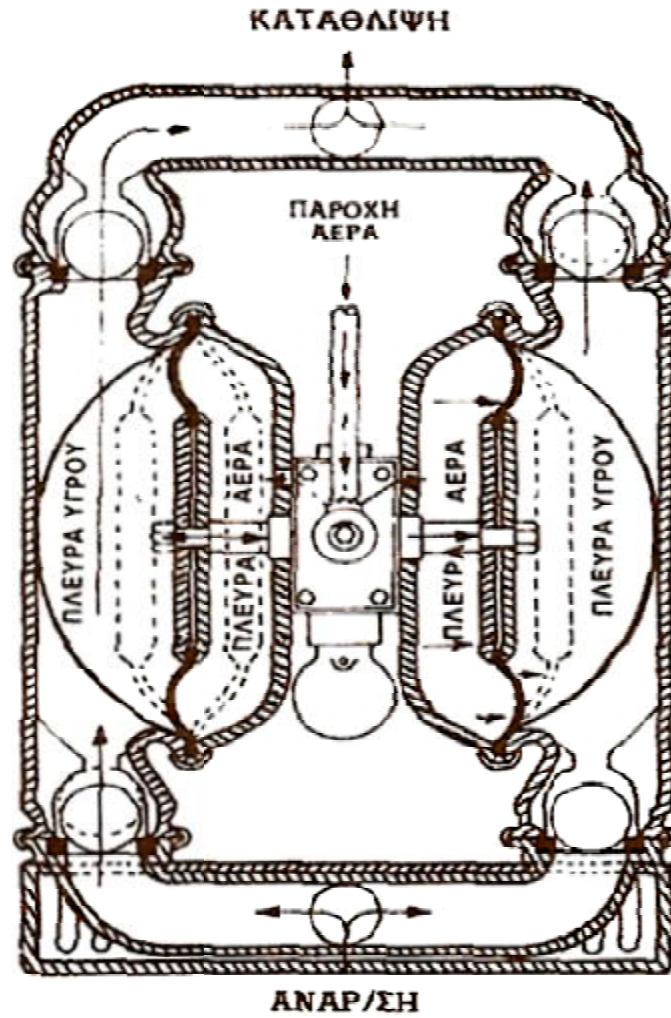
Αποτέλεσμα των προαναφερόμενων είναι να ότι με τις μηχανικές αντλίες διαφράγματος τον να υπολογίζεται σχεδόν με ακρίβεια η ποσότητα μεταφοράς. Η διάρκεια ζωής της αντλίας να είναι μεγάλη αφού το αντλούμενο ρευστό δεν έρχεται σε επαφή με τα μηχανικά μέρη της αντλίας και δεν προκύπτουν φθορές και διάβρωση. Ο παράγοντας αυτός τις κάνει ιδανικές για την χρήση τους με μεγάλος εύρος ρευστών (καθαρά χημικά, τοξικά υγρά, διαλύτες κ.ά.). Τέλος το βασικότερο στοιχείο είναι ότι ο διαχωρισμός αυτός του ρευστού από τα μηχανικά μέρη της αντλίας εκμηδενίζει την δυνατότητα μόλυνσης του αντλούμενου ρευστού.



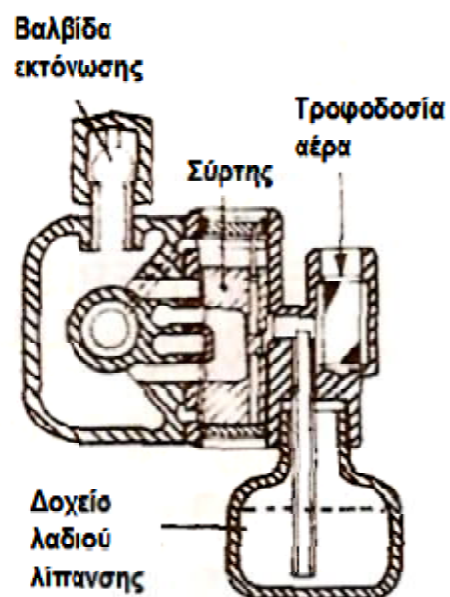
Σχήμα 36: Αεροκίνητη αντλία διαφραγματικού τύπου [24]

Οι αντλίες διαφράγματος μπορούν να διαχωρίζονται και σε αντλίες τύπου Simplex (αυτόνομες) και αντλίες τύπου Multiplex με σύζευξη δηλαδή σε αντλίες με ταυτόχρονη λειτουργία με ετεροχρονισμό δύο ή περισσότερων διαφραγμάτων.

Από το Σχήμα 37 διακρίνεται ότι ο συμπιεσμένος αέρας διοχετεύεται από την βαλβίδα αέρα στην εσωτερική πλευρά του διαφράγματος που είναι συνδεδεμένα με τέτοιο τρόπο έχοντας κοινό βάκτρο και παράλληλη παλινδρόμηση. Επιπλέον, ο αέρας περνά στα διαφράγματα εναλλάξ. Με την ανωτέρω διαδικασία δημιουργείται η αναρρόφηση και η κατάθλιψη αντίστοιχα, στις εξωτερικές πλευρές των διαφραγμάτων [27].

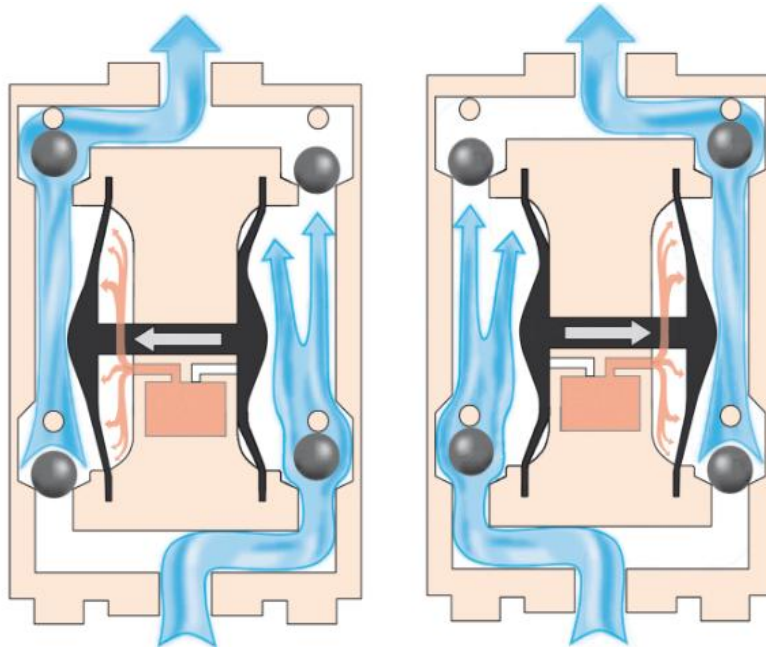


Σχήμα 37: Αντλία διπλού διαφράγματος [27]



Σχήμα 38: Βαλβίδα διανομής αέρα [27]

Οι αντλίες διπλού διαφράγματος θεωρούνται κατάλληλες για αντλητικά συστήματα που στο αντλούμενο ρευστό μπορεί να περιέχονται στερεά σωματίδια με μέγεθος που δεν ξεπερνά την εσωτερική διάμετρο του σωλήνα αναρρόφησης. Στη περίπτωση που γίνει χρήση σφαιρικών βαλβίδων αντί για τη χρήση βαλβίδων κλαπέ τότε η άντληση του ρευστού περιορίζεται έχοντας όμως ως βασικά πλεονεκτήματα την καλύτερη στεγανότητα της αντλίας, καλύτερες δυνατότητες αναρρόφησης και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Από τα προαναφερόμενα πλεονεκτήματα γίνεται άμεσα κατανοητό ότι μεταξύ τους είναι αλληλένδετα αφού η καλή στεγανότητα προσφέρει λιγότερες απώλειες στο ύψος της αναρρόφησης καθώς και μειωμένες βλάβες και φθορές στην αντλία [27].



Σχήμα 39: Βασική αρχή λειτουργίας αντλία διπλού διαφράγματος [6]

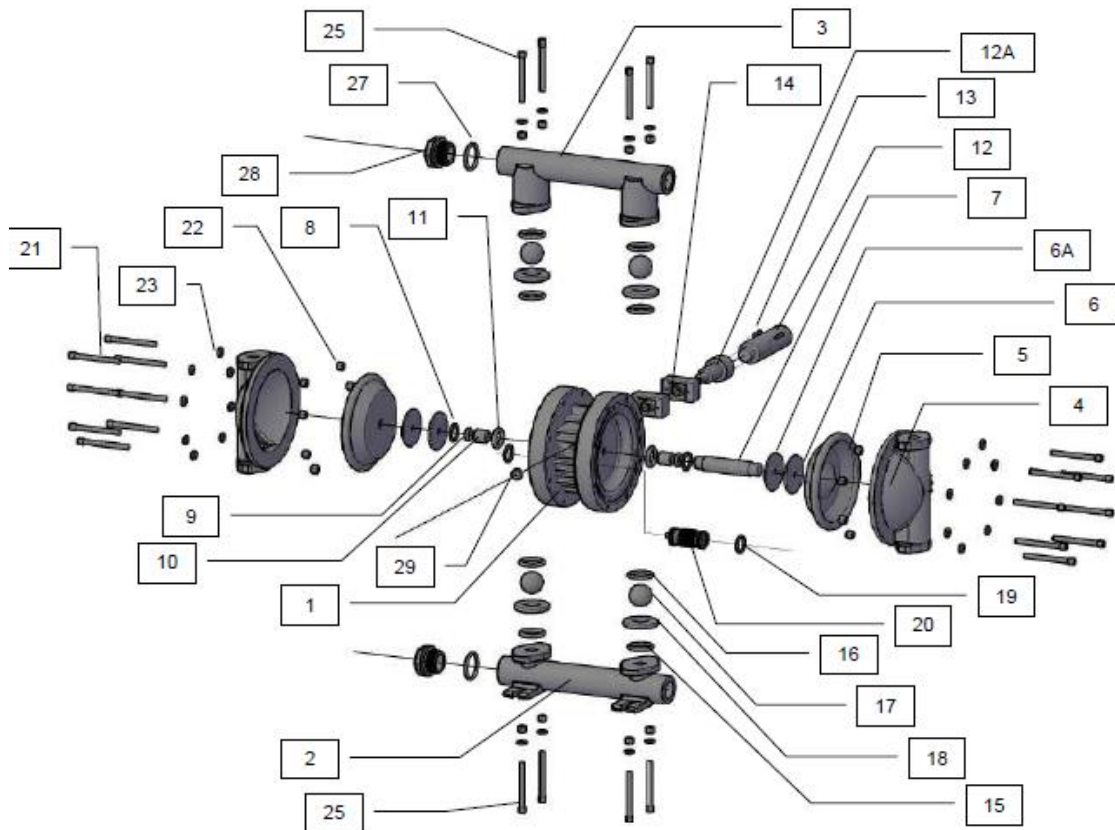
Οι αεροκίνητες αντλίες διπλού διαφράγματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν με παχύρευστα υγρά απαιτώντας την ελάχιστη δυνατή συντήρηση. Επιπλέον, δίνεται η δυνατότητα ρύθμισης της παροχής του με την αντίστοιχη ρύθμιση του πεπιεσμένου αέρα ή ανοίγοντας και κλείνοντας το επιστόμιο καταθλίψεως σύμφωνα με την επιθυμητή παροχή.

Οι αεροκίνητες αντλίες διπλού διαφράγματος παρουσιάζουν επιπλέον πλεονεκτήματα όπως είναι και οι αντλίες θετικής μετατόπισης. Αφού και αυτές έχουν την δυνατότητα της αυτόματης αναρρόφησης, δεν απαιτείται ανακουφιστικές βαλβίδες με στόχο την αποφυγή υπερπίεσης αφού η αντλία παύει να λειτουργεί όταν η πίεση κατάθλιψης γίνει ίση με την πίεση της εισόδου του αέρα. Ωστόσο, αξιοσημείωτο είναι η λειτουργία τους γίνεται και σε στεγνό περιβάλλον, δηλαδή χωρίς να υπάρχει κάποιο αντλούμενο ρευστό, χωρίς να δημιουργηθούν προβλήματα, βλάβες, φθορές με αποτέλεσμα την καταστροφή της αντλίας. Επιπλέον, μπορούν να αντλήσουν ρευστά σε υψηλές θερμοκρασίες (100-120°C) αφού δεν υπερθερμαίνονται καθώς επίσης είναι και απαλλαγμένες από διαρροές και αυτά οφείλονται στο γεγονός ότι δεν έχουν στυπιοθλίπτη.

Στη περίπτωση που υπάρχει διαθέσιμος συμπιεσμένο αέρας, οι αεροκίνητες αντλίες διαφραγματικού τύπου θεωρείται μια από τις βέλτιστες επιλογές ιδιαίτερα σε περιπτώσεις με δύσκολες αντλήσεις είτε λόγω πυκνότητας ρευστού, είτε λόγω ύπαρξης πολλών ξένων σωματιδίων είτε λόγω ιδιαιτερότητας του ρευστού. Αξιοσημείωτο είναι ότι τα υλικά κατασκευής των αντλιών διαφραγματικού τύπου δηλαδή οι μεμβράνες – διαφράγματα και βαλβίδες κατασκευάζονται σύμφωνα με τις προδιαγραφές που απαιτούνται από το αντλούμενο ρευστό. Αυτό έχει σαν συνέπεια να κατατάσσονται σε αντλίες με μεγάλη διάρκεια ζωής και μικρά κόστος συντήρησης [27].

3.3. ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΕΡΟΚΙΝΗΤΩΝ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ

Ακολουθεί το Σχήμα 35 όπου απεικονίζονται με λεπτομέρεια όλα τα μέρη μιας αεροκίνητης πνευματικής αντλίας διαφραγματικού τύπου



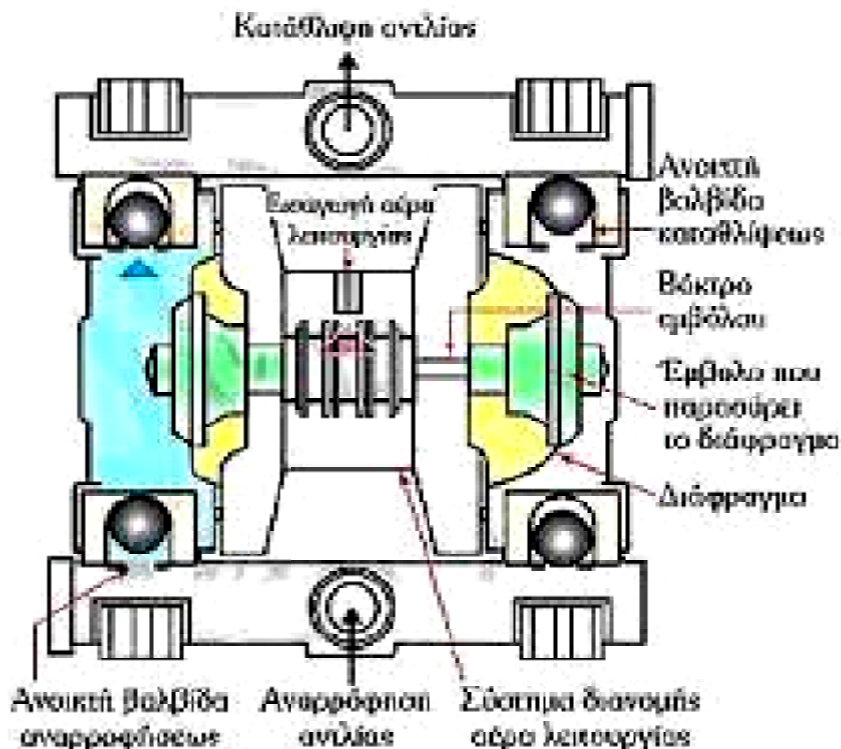
POS	DESCRIPTION	QTY	POS	DESCRIPTION	QTY
01	CENTRAL BLOCK	1	16	VALVE SEAT ORING UP (PTFE ONLY)	4
02	SUCTION MANIFOLD	1	17	VALVE BALL	4
03	DISCHARGE MANIFOLD	1	18	BALL SEAT	4
04	PUMP HOUSING	2	19	RETAINING RING AIR VALVE	2
05	DIAPHRAGMS	2	20	AIR CONTROL VALVE	1
06	PISTON INNER	2	21	HOUSING PUMP SCREW	16
06A	PISTON INNER SUPPORT	2	22	BOLT	24
07	SHAFT	1	23	WASHER	24
08	RETAINING RING SHAFT	2	25	SUCTION - DISCHARGE MANIFOLD SCREW	8
09	O-RING BEARING	2	27	MANIFOLD CAP ORING	2
10	SHAFT BEARING	2	28	MANIFOLD CAP	2
11	O-RING BEARING	2	29	DRIVE AIR INLET	1
12	SILENCER	1	30	PROTECTION CAP	2
12A	SUPPORT SILENCER	1			
13	AIR EXHAUST SCREW	2			
14	AIR EXHAUST COVER	2			
15	VALVE SEAT ORING DOWN (PTFE ONLY)	4			

Σχήμα 40: Μέρη αεροκίνητης πνευματικής αντλίας διαφραγματικού τύπου

Οι αεροκίνητες πνευματικές αντλίες διαφραγματικού τύπου έχουν σχεδιαστεί και δομηθεί με στόχο να μπορούν να εξυπηρετούν συγκεκριμένες ανάγκες σε πλήθος εφαρμογών. Οι αντλίες αυτού του τύπου χαρακτηρίζονται για την δυνατότητα του σε μεγάλο εύρος ταχυτήτων ροή τους ρευστού που εξαρτάται άμεσα από την διάμετρο του διαφράγματος καθώς και το μήκος της διαδρομής του ρευστού. Βασικό χαρακτηριστικό αυτών των αντλιών είναι η δυνατότητα να διαχωρίζονται τα δυνητικά ευαίσθητα μέρη της αντλίας από τα ρευστά που μπορεί να διακινήσει. Επιπλέον, τα εσωτερικά μέρη της αντλίας μπορεί να βρίσκονται εντός πετρελαίου αναρτημένα και απομονωμένα με στόχο την μακροζωίας της αντλίας. Οι αεροκίνητες πνευματικές αντλίες διαφραγματικού τύπου έχουν χαρακτηριστικά ξηρής λειτουργίας, καλές δυνατότητες αυτόματης κίνησης και μπορούν να είναι έως και 97% αποτελεσματικές κατά την λειτουργία τους.

Ωστόσο τα βασικά μέρη μια αντλίας διαφραγματικού τύπου είναι τα ακόλουθα:

- Κεντρικό κορμό
- Πολλαπλή αναρρόφησης
- Πολλαπλή κατάθλιψη
- Περίβλημα αντλίας
- Μembrάνες διαφράγματος
- Άξονας μετακίνησης των μεμβρανών
- O-ring στεγανοποίησης
- Σιγαστήρα
- Βίδα εξαγωγής αέρα
- Παρεμβύσματα στεγανοποίησης άνω και κάτω πολλαπλής (PTFE)
- Σφαιρική βαλβίδα αντεπιστροφής
- Βαλβίδα ελέγχου αέρα
- Βίδες συγκράτησης κορμού με περίβλημα



Σχήμα 41: Σχηματική απεικόνιση βασικών μερών αντλίας διαφραγματικού τύπου [26]

Η δομή και η κατασκευής μιας αεροκίνητης αντλίας διαφραγματικού τύπου την κάνει κατάλληλη για να αντλεί διαβρωτικά διαλύματα, ιξώδη υγρά, λειαντικά υγρά, τοξικά υγρά και εύφλεκτα υγρά.

ΜΕΜΒΡΑΝΗ – ΔΙΑΦΡΑΓΜΑ

Ένα από τα βασικά μέρη των αεροκίνητων αντλιών διαφραγματικού τύπου είναι η μεμβράνη ή το διάφραγμα τους, όπου με την κίνηση τους δίνεται η δυνατότητα της ώθησης του ρευστού το οποίο απομακρύνεται από την πολλαπλή εξαγωγή με τη μέγιστη κινητική ενέργεια. Σημειώνεται ότι το ρευστό έχει εισαχθεί από την πολλαπλή αναρρόφηση. Επιπλέον, η μεμβράνη ή το διάφραγμα είναι τοποθετημένα στο εσωτερικό του περιβλήματος που μπορεί να είναι κατασκευασμένο από πλήθος υλικών όπως ανοξείδωτο, πλαστικό κ.ά.. Το διάφραγμα – μεμβράνες είναι στερεωμένες με κατάλληλους μηχανισμούς επάνω στον άξονα μετακίνησης ο οποίος δημιουργεί και την εγκάρσια κίνηση.

Σημαντικό στοιχείο για την αντλία είναι η διάρκεια ζωής της μεμβράνης ή του διαφράγματος, κάτι που δεν μπορεί να προσδιοριστεί με μεγάλη ακρίβεια αφού επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες. Κάθε κατασκευαστής ορίζει περίπου τις δυνατότητες και τη διάρκεια ζωής αλλά σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να υπολογίζεται η περίπτωση της θραύσης και κατ' επέκταση η έξοδος του ρευστού. Σε κάθε περίπτωση θραύσης της μεμβράνης ή του διαφράγματος, υπάρχει δυνατότητα το αντλούμενο ρευστό να εισχωρήσει στο σύστημα του αέρα της αντλίας με συνέπεια να απαιτείται κατάλληλη έξοδος για ασφαλή διάθεση του χωρίς να επηρεάσει τα μέρη της λειτουργίας [23].

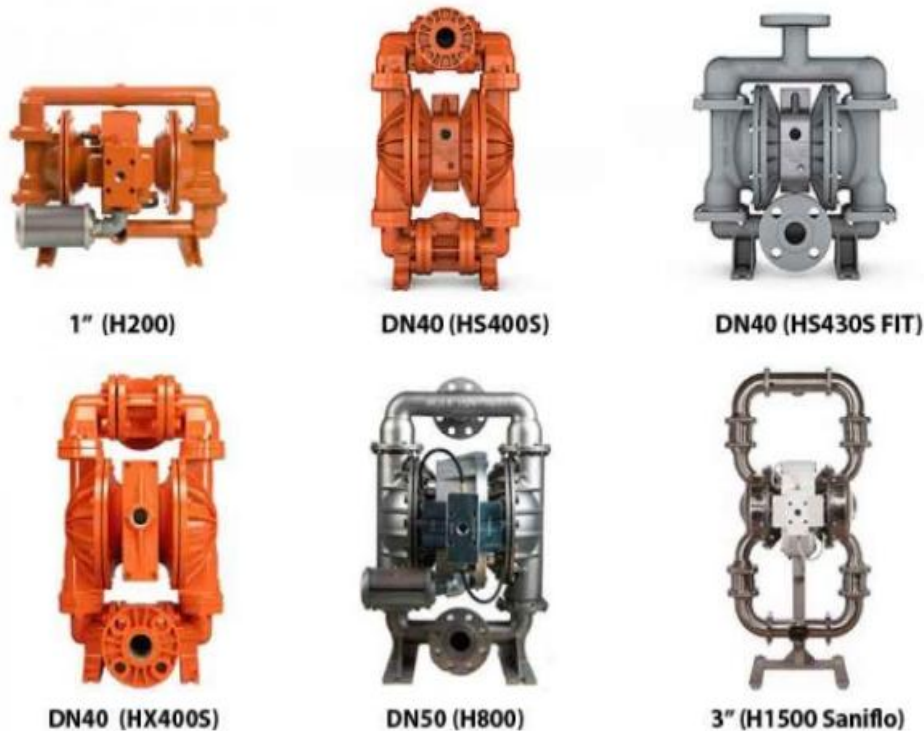
3.4. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΝΤΛΙΩΝ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΤΥΠΟΥ

Οι εφαρμογές τους είναι κατάλληλες αεροκίνητες πνευματικές αντλίες διαφραγματικού τύπου είναι για τη διακίνηση πολλών ρευστών, όπως το νερό, το πετρέλαιο, η βενζίνη, υγρά που περιέχουν αέρα, στερεά σωματίδια, οξέα και κολλώδη ρευστά κτλ [21]. Στην συνέχεια ακολουθεί ο Πίνακας 2 με τις εφαρμογές αυτού του τύπου των αντλιών.

Τύπος αντλίας	Εφαρμογές
Αεροκίνητες αντλίες διαφραγματικού τύπου	Βιομηχανική, αγροτική, οικιακή χρήση
	Άντληση νερού, πετρελαίου, βενζίνης, λαδιού, άλμης, αλκαλικών ελαφρών οξέων, διαβρωτικά διαλύματα, ιξώδη υγρά, λειαντικά υγρά, τοξικά υγρά και εύφλεκτα υγρά
	Κυκλοφορία, άρδευση και αποχέτευση.
	Καθαρά ή ελαφρώς ακάθαρτα υγρά δίχως ογκώδη στερεά.
	Για κυκλοφορία ψυχρού και θερμού νερού σε κλιματιστικές εγκαταστάσεις μεγάλων κοινόχρηστων χώρων: σχολεία, νοσοκομεία, εμπορικά καταστήματα
	Υδραυλικά έργα και εγκαταστάσεις ύδρευσης και καταιονισμού.
	Κυκλοφορία ψυχρού και θερμού νερού.
	Χρησιμοποιούνται για καθαρά ή για ελαφρώς ακάθαρτα υγρά, για έλαια και διαβρωτικά υγρά
	Πιεστικά συγκροτήματα
	Άρδευση, ανακυκλοφορία νερού ψύξης
	Άρδευση, γεωργικές εφαρμογές
	Πιεστικά συστήματα σε βιομηχανικά και αστικά δίκτυα
	Πλήρωση δοχείων, πισινών

Πίνακας 2: Εφαρμογές που γίνεται χρήση αεροκίνητων πνευματικών αντλιών διαφραγματικού τύπου

Διακρίνεται λοιπόν ότι οι αεροκίνητες πνευματικές αντλίες διαφραγματικού τύπου μπορούν να χρησιμοποιηθούν σχεδόν σε όλες τις εφαρμογές που χρησιμοποιούνται και οι φυγοκεντρικές αντλίες. Ωστόσο, οι ποικιλία τους δεν είναι τόσο ευρεία όπως των πρώτων με συνέπεια σε μερικές εφαρμογές να μη προτιμούνται. Στη συνέχεια ακολουθεί η Εικόνα 3,4 και 5 όπου απεικονίζονται διάφοροι τύποι αεροκίνητων αντλιών διαφραγματικού τύπου που χρησιμοποιούνται σε πλήθος εφαρμογών ανάλογα των απαιτήσεων.



Εικόνα 5: Διάφοροι τύποι αεροκίνητων πνευματικών αντλιών [25]



Εικόνα 6: Διάφοροι τύποι μεταλλικών αεροκίνητων πνευματικών αντλιών [25]



1/2" (100)



DN25 (200)



DN40 (400), DN50 (800)



DN80 (1500)

Εικόνα 7: Διάφοροι τύποι πλαστικών αεροκίνητων πνευματικών αντλιών [25]

4. ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟΥ ΚΑΙ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΥΤΩΝ ΜΕ ΑΕΡΟΚΙΝΗΤΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΤΥΠΟΥ

4.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η CBL (Chemical and Biopharmaceutical Laboratories) ιδρύθηκε το 1990 από τον Καθηγητή Οργανικής Χημείας του Πανεπιστημίου Πατρών κ. Κλεομένη Μπάρλο. Η CBL είναι μια εταιρεία τεχνολογίας κατασκευής πεπτιδίων. Η ίδρυση της είχε σκοπό να προσφέρει στη φαρμακευτική βιομηχανία καινοτόμες τεχνικές στο πεδίο της σύνθεσης των πεπτιδίων και γενικότερα της οργανικής χημείας.



Εικόνα 8: Λογότυπο εταιρίας Chemical and Biopharmaceutical Laboratories [28]

Η εταιρία δραστηριοποιείται στην παραγωγή χημικών ουσιών υψηλής τεχνολογίας και έχει ως βάση τη συνδυαστική χημεία κάνοντας εφαρμογή σε τεχνολογίες που έχουν δημιουργηθεί με βάση το γονιδίωμα (DNA) των έμβιων όντων. Η CBL κατατάσσεται σε έναν από τους μεγαλύτερους προμηθευτές πεπτιδίων στο κόσμο. Τα προϊόντα της εξάγονται σε φαρμακοβιομηχανίες στην Ευρώπη και τη Βόρεια Αμερική καθώς επίσης και σε Πανεπιστημιακά Ιδρύματα της χώρας μας (Ελλάδα) αλλά και το εξωτερικού. Η μονάδα της εταιρίας εδράζεται στην Βιομηχανική Περιοχή (ΒΙ.ΠΕ) Πατρών σε 10.000 m² και αποτελείται από πέντε (5) εργαστηριακά και κατασκευαστικά κτίρια.



Εικόνα 9: Κτιριακές εγκαταστάσεις Chemical and Biopharmaceutical Laboratories [28]

Ο προηγμένος εξοπλισμός της εταιρίας CBL, δίνει τη δυνατότητα στη δημιουργία καινοτόμων προϊόντων με αποτέλεσμα η εταιρία να είναι να θεωρείται από τις πιο διακεκριμένες στο χώρο εντός και εκτός της χώρας. Αυτό που θα πρέπει να σημειωθεί είναι ότι κατά την παραγωγική διαδικασία γίνεται χρήση σημαντικών ποσοτήτων διαλυτών δηλαδή υγρών χημικών ενώσεων ή μιγμάτων αυτών. Οι διαλύτες χρησιμοποιούνται σε μεγάλο εύρος εφαρμογών έχοντας όμως οικονομικά και περιβαλλοντικά θέματα καθώς επίσης δημιουργούνται θέματα και στους εργαζομένους αφού απαιτείται να τηρούνται όλα τα Μέτρα Ατομικής Προστασίας αφού οι διαλύτες αποτελούν σημαντικό μέρος του προβλήματος της εκπομπής πτητικών οργανικών ενώσεων στην ατμόσφαιρα. Οι οργανικοί διαλύτες έχουν τη δυνατότητα να ανακυκλωθούν και να επαναχρησιμοποιηθούν σε συνθέσεις. Η CBL εφαρμόζει τέτοιες διεργασίες με σκοπό την διαρκή βελτίωση της περιβαλλοντικής επίδοσης και τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος.

Το βασικό απόβλητο της εταιρίας CBL είναι το υδατικό μίγμα ακετονιτρίλιου - νερού το οποίο χρησιμοποιείται σε μεγάλους όγκους και το οποίο ανακυκλώνεται μέσω απόσταξης σε ειδικό αποστακτήρα κατερχόμενης στοιβάδας (falling film evaporator) [28].

4.2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Με στόχο την παραγωγή των προϊόντων της η εταιρία CBL γίνεται χρήση ενός συμπυκνωτής κατερχόμενης στοιβάδας (falling film evaporator). Ο συμπυκνωτής κατερχόμενης στοιβάδας (falling film evaporator) χρησιμοποιείται για την θέρμανση και ενδεχομένως τον βρασμό ενός προϊόντος, το οποίο περιέχει υγρό. Βασικός στόχος είναι η απομάκρυνση του υγρού από το προϊόν μέσω της εξάτμισης.



Εικόνα 10: Συμπυκνωτής κατερχόμενης στοιβάδας (falling film evaporator) της εταιρίας CBL



Εικόνα 11: Συμπυκνωτής κατερχόμενης στοιβάδας (falling film evaporator) της εταιρίας CBL

Η κατάλληλη διαδικασία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την απομάκρυνση είτε νερού είτε άλλων υγρών από μείγματα με βάση υγρό. Ο βασικός στόχος της διαδικασίας συμπύκνωσης είναι η απόσταξη με συνέπεια την εξάτμιση του μεγαλύτερου ποσοστού νερού που υπάρχει σε ένα διάλυμα, το οποίο περιέχει και το επιθυμητό προϊόν.

Στη Παρούσα Πτυχιακή Εργασία όπου αναλύεται το σύστημα της εταιρίας CBL στόχος είναι η απομάκρυνση νερού από μείγμα ακετονιτριλίου/νερού ώστε να απομονωθεί ο καθαρός οργανικός διαλύτης (ακετονιτρίλιο). Σε έναν αποστακτήρα (συμπυκνωτής κατερχόμενης στοιβάδας) με χωριστό σώμα ατμού και εναλλάκτη θερμότητας, το ρευστό τροφοδοτείται στον πάνω θαλάμο του ρευστού του εναλλάκτη θερμότητας. Στη συνέχεια «μοιράζεται» στους σωλήνες του εναλλάκτη όπου και η ταχύτητα του αυξάνεται όσο κατεβαίνει στους σωλήνες. Αυτό συμβαίνει διότι το ρευστό έχει την βαρύτητα του καθώς επίσης έλκεται λόγω του ατμού που παράγεται από το βρασμό.

Έπειτα, πραγματοποιείται ο διαχωρισμός του υγρού από τον ατμό στο θάλαμο υγρού και στον πυθμένα του κώνου του ατμού. Επιπλέον, το σώμα του ατμού μπορεί να παρέχεται ως βασικό συστατικό του εναλλάκτη θερμότητας, εκτός φασικά από τη θερμότητα που προσφέρει ο του εναλλάκτη τοποθετείται στο άνω τμήμα του σώματος του ατμού στον αποστακτήρα. Τα μεγέθη και τα μήκη του σωλήνα είναι συγκρίσιμα με εκείνα για τον αποστακτήρα ανερχόμενης στοιβάδας, ο οποίος θεωρείται ιδιαίτερα χρήσιμος σε εφαρμογές όπου η κινητήρια δύναμη είναι στη θερμοκρασία, καθώς η διαφορά μεταξύ του μέσου μεταφοράς θερμότητας και του υγρού είναι μικρή. Ο χρόνος κατακράτησης για το υγρό σε αυτόν τον αποστακτήρα είναι μικρότερος από εκείνον για έναν αυξανόμενο αποστακτήρα πλήρωσης.

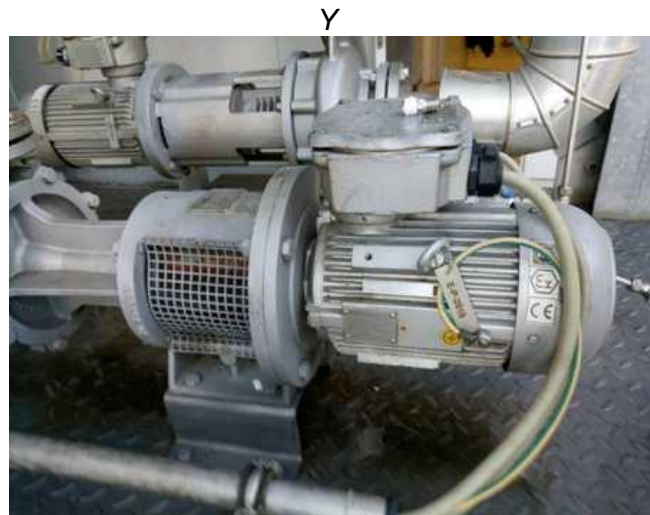
Στο υφιστάμενο σύστημα χρησιμοποιούνται δύο φυγοκεντρικές αντλίες με στόχο να ωθούν το υγρό στους σωλήνες. Όσο αφορά τους σωλήνες υπάρχει επαρκές υδροστατικό

ύψος με σκοπό την αποφυγή του βρασμού του υγρού στο εσωτερικό των σωλήνων. Στην ουσία το υγρό γίνεται υπέρθερμο στη περίπτωση που το υδροστατικό ύψος μειώνεται κατά την διάρκεια της ανοδικής ροής εντός του εναλλάκτη. Στην έξοδο του εναλλάκτη και ταυτόχρονα στην είσοδο του θαλάμου διαχωρισμού το υγρό εξατμίζεται σχεδόν σε μηδενικό χρόνο και αυτό οφείλεται στην εκτόνωση και τη μετατροπή του μίγματος σε ατμό και υγρό.

Κατά την είσοδο του υγρού μίγματος στο διαχωριστή, προσκρούει σε μια πλάκα που καλείται ανακλαστήρας με συνέπεια το υγρό να πέφτει στο πυθμένα του θαλάμου του διαχωριστή. Στη συνέχεια το υγρό αυτό παραλαμβάνεται από τις φυγοκεντρικές αντλίες με στόχο την ώθηση του στους σωλήνες του εναλλάκτη. Αφού φτάσει στους σωλήνες του εναλλάκτη το υγρό επαναλαμβάνει τη διαδικασία που προαναφέρθηκε. Ο ατμός που παράγεται απομακρύνεται από τη κορυφή του διαχωριστή και καθοδηγείται στον ψυκτήρα για να συμπυκνωθεί. Κάποιο ποσοστό του υγρού απομακρύνεται από το τμήμα της βάσης του διαχωριστή ως συμπυκνωμένο προϊόν.



(α)

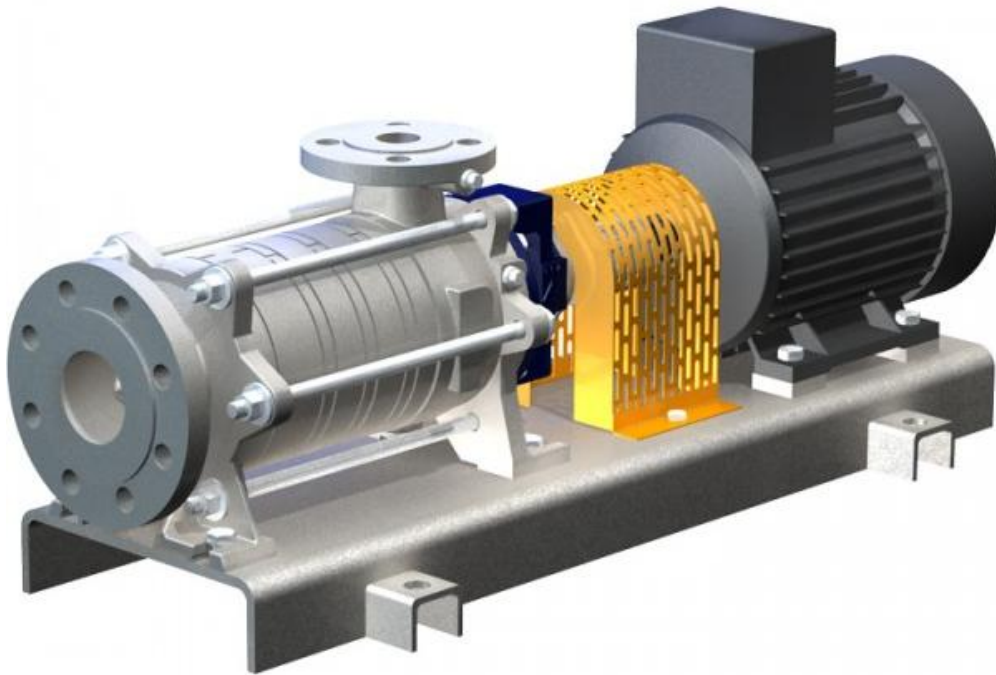


(β)

Εικόνα 12: Φυγοκεντρικές αντλίες συστήματος

Ωστόσο οι υψηλές ταχύτητας ροής του ρευστού προς συμπύκνωση έχουν ως συνέπεια το μικρό χρόνο παραμονής του ρευστού στους θερμαινόμενους σωλήνες. Ο χρόνος αυτός κυμαίνεται σε μερικά δευτερόλεπτα. Ο τύπος αυτός χρησιμοποιείται για μετρίως ευαίσθητα ρευστά καθώς και ρευστών που έχουν την τάση να προκαλούν αφρισμό.

Όπως προαναφέρθηκε το σύστημα των αντλιών που χρησιμοποιείται είναι δύο όμοιες φυγοκεντρικές αντλίες. Οι αντλίες είναι αυτόματης αναρρόφησης SPECK (Γερμανίας) τύπου ASKM 3201-524-60-C συνδεδεμένη μέσω μαγνητικού συνδέσμου με τριφασικό ηλεκτροκινητήρα αντεκρηκτικό E Exell, IE 1, έδρασης B 35, 400 V, 50 Hz, προστασίας IP 55, κλάσης μόνωσης F, πάνω σε κοινή μεταλλική βάση, κατά ATEX II 2G C TX.



Εικόνα 13: Αντλία αυτόματης αναρρόφησης SPECK τύπου ASKM 3201 [30]

Στη συνέχεια ακολουθεί ο πίνακας 3 με τα τεχνικά χαρακτηριστικά σύμφωνα με το τεχνικό φυλλάδιο της αντλίας.

Τεχνικά Χαρακτηριστικά	Μονάδα Μέτρησης	Τιμές
Παροχή	m ³ /h	2,489
Μανομετρικό ύψος	m	29,75
Απορροφώμενη ισχύς	kW	0,94
Αριθμός στροφών	1/min	1450
Ισχύς ηλεκτροκινητήρα	kW	1,35

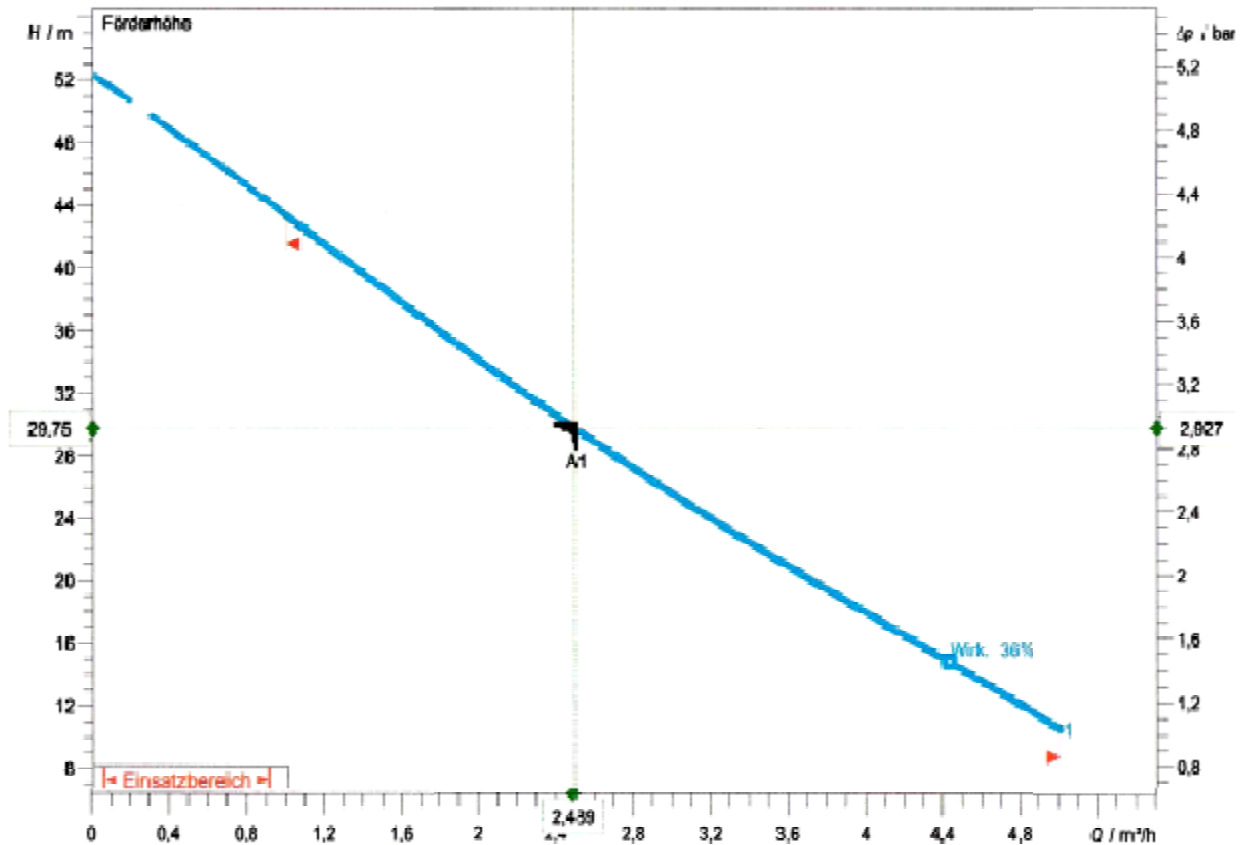
Πίνακας 3: Τεχνικά χαρακτηριστικά αντλία αυτόματης αναρρόφησης SPECK τύπου ASKM 3201[30]

Στη συνέχεια ακολουθεί ο πίνακας 4 με τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά σύμφωνα με το τεχνικό φυλλάδιο της αντλίας

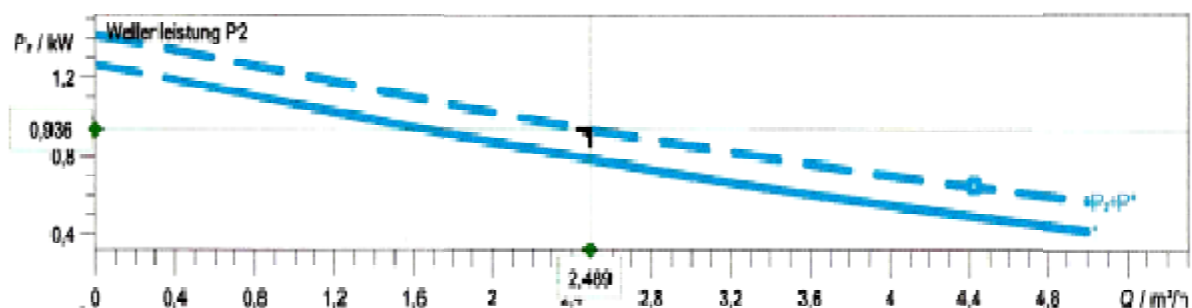
Κατασκευάστηκα Χαρακτηριστικά	Υλικό
Περίβλημα	ανοξειδωτο
Φτερωτές	ανοξειδωτο
Φυγοκεντρική φτερωτή	ανοξειδωτο
Άξονας	ανοξειδωτο

Πίνακας 4: Κατασκευάστηκα χαρακτηριστικά αντλία αυτόματης αναρρόφησης SPECK τύπου ASKM 3201[30]

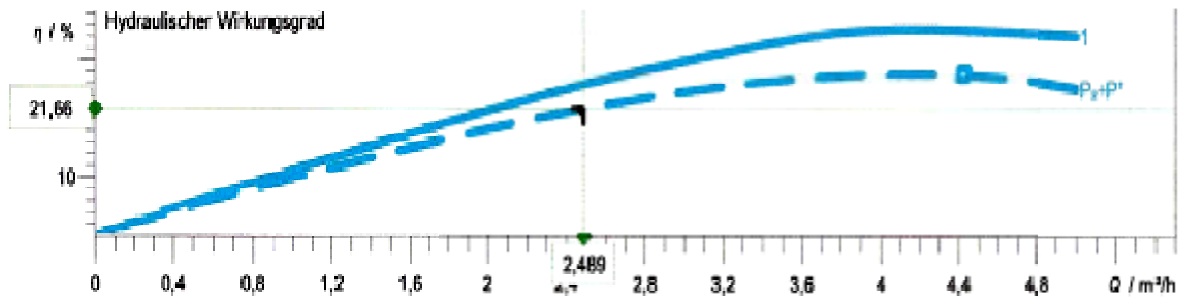
Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η αντλία SPECK τύπου ASKM 3201 είναι απόλυτα στεγανή με μαγνητική μετάδοσης κίνησης και με ονομαστική ροπή ίση με 26 Nm. Στη συνέχεια ακολουθούν τα διαγράμματα των τεχνικών χαρακτηριστικών της αντλίας συνάρτησης της παροχής.



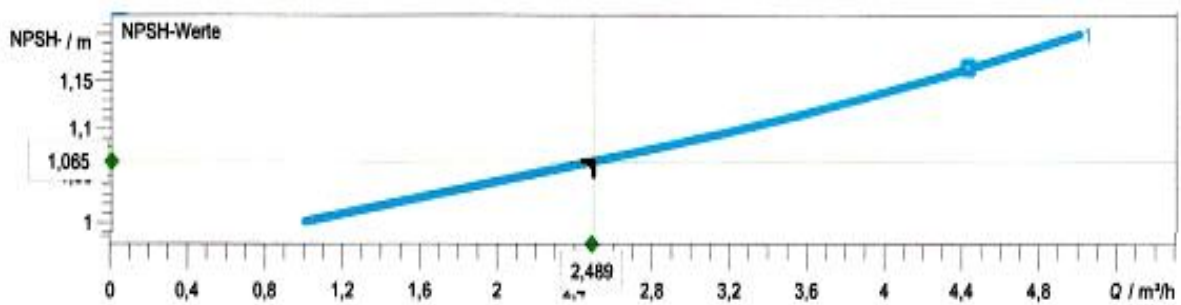
Σχήμα 42: Διάγραμμα μανομετρικού ύψους (H) συνάρτηση της παροχής του ρευστού (Q) [30]



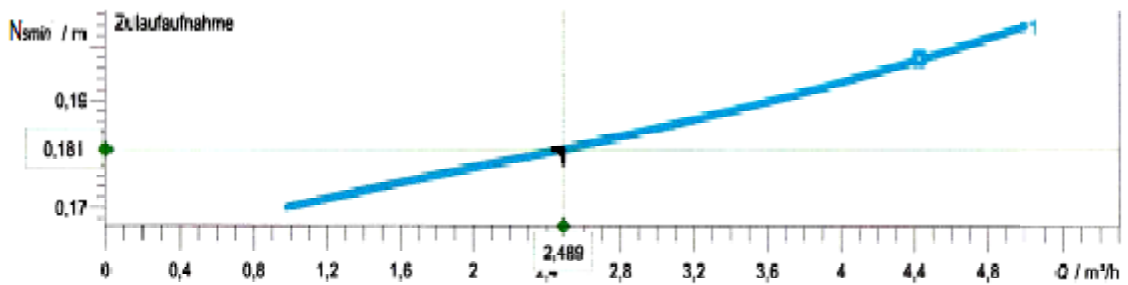
Σχήμα 43: Διάγραμμα απορροφώμενη ισχύς (P_2) συνάρτηση της παροχής του ρευστού (Q) [30]



Σχήμα 44: Διάγραμμα βαθμού απόδοσης συνάρτηση της παροχής του ρευστού (Q) [30]

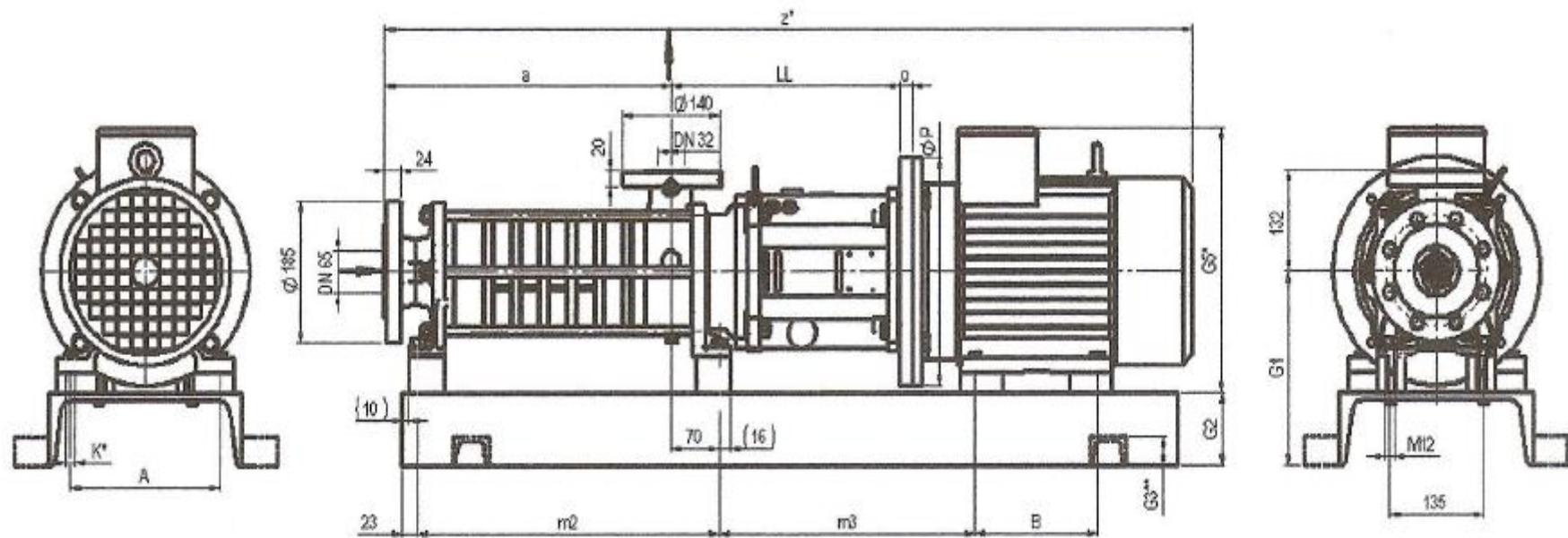


Σχήμα 45: Διάγραμμα ορίου σπηλαίωσης συνάρτηση της παροχής του ρευστού (Q) [30]

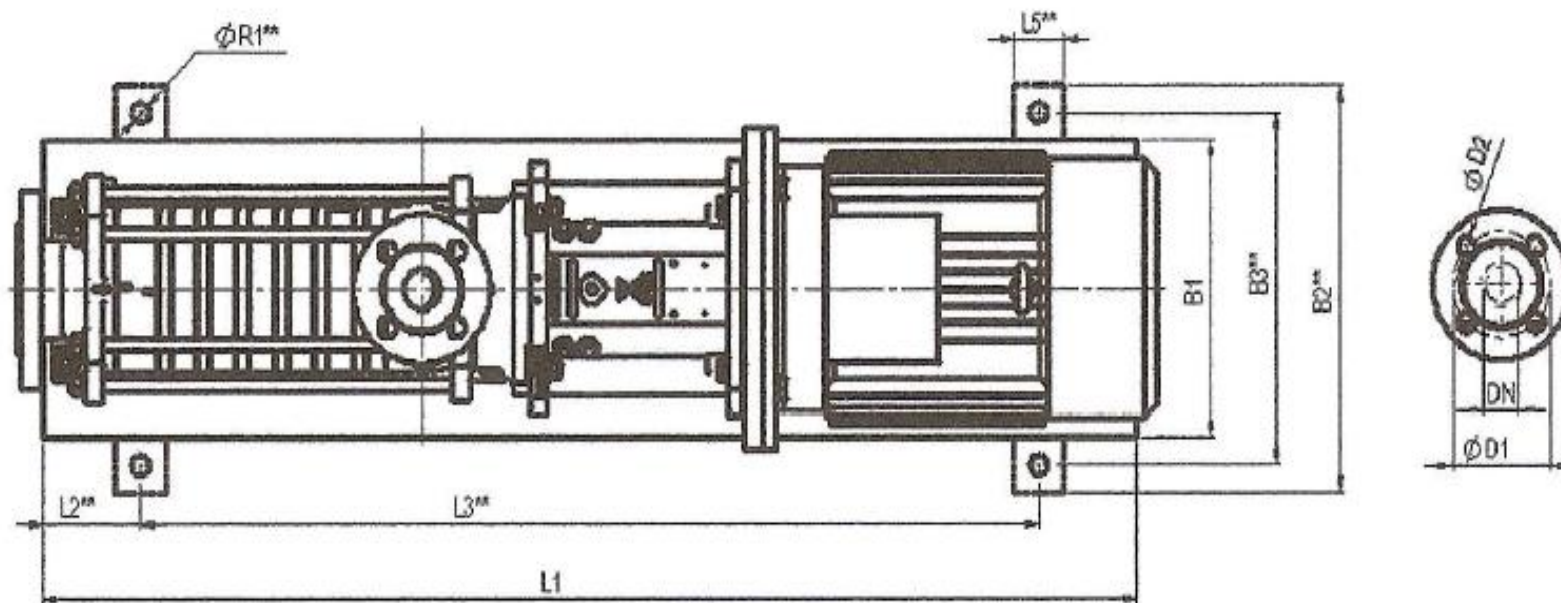


Σχήμα 46: Διάγραμμα Nsm/m συνάρτηση της παροχής του ρευστού (Q) [30]

Στην συνέχεια ακολουθεί το σχέδιο με την διαστασιολόγηση της αντλίας SPECK τύπου ASKM 320.



Σχήμα 47: Διαστασιολόγηση αντλίας SPECK τύπου ASKM 320 [30]



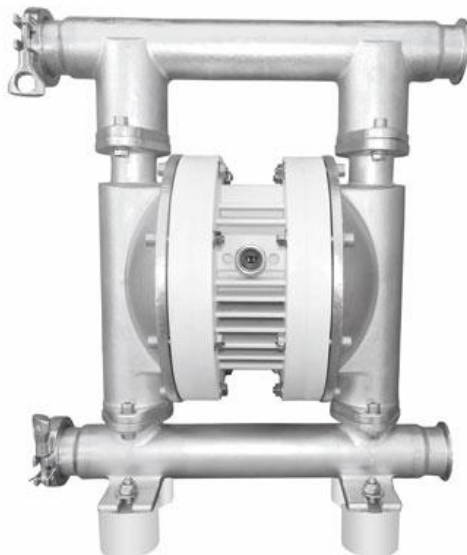
Σχήμα 48: Διαστασιολόγηση αντλίας SPECK τύπου ASKM 320 [30]

4.3. ΠΡΟΤΑΣΗ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ: ΑΕΡΟΚΙΝΗΤΕΣ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΤΥΠΟΥ

Με στόχο την καλύτερη δυνατή λειτουργία του συστήματος καθώς επίσης και την μείωση του λειτουργικού κόστους του συστήματος, επιλέγεται η αντικατάσταση των φυγοκεντρικών αντλιών της εταιρίας SPECK τύπου ASKM 3201 με αντλίες αεροκίνητες διαφραγματικού τύπου. Οι αεροκίνητες πνευματικές αντλίες διαφραγματικού τύπου που επιλέγονται είναι της εταιρίας Ruby και συγκεκριμένα της σειρά 040.

Τα οφέλη που προσφέρονται από αυτές τις αντλίες είναι [31]:

- Δεν χρειάζονται λίπανση (χωρίς επαφή των ρευστών υψηλής καθαρότητας με λιπαντικά).
- Ξηρή λειτουργία χωρίς κανένα πρόβλημα.
- Διαχειρίζονται καθαρά, διαβρωτικά ή υψηλού ιξώδους υγρά (για ρευστά υψηλής καθαρότητας του εργοστασίου)
- Βέλτιστη απόδοση
- Οικονομική κατανάλωση αέρα, οικολογικός σχεδιασμός
- Υψηλή απόδοση για πίεση / χωρητικότητα
- Δεν υπάρχει πάγωμα
- Νέο σχεδιασμό βαλβίδας αέρα, πλήρως ελεγχόμενη διέλευση αέρα
- Διαφράγματα EPDM νέας γενιάς με ενσωμάτωση
- Το εσωτερικό-εξωτερικό έμβολο είναι εγκεκριμένο από την FDA
- Εύκολη αποσυναρμολόγηση και επανασυναρμολόγηση
- Διάφραγμα PTFE νέας γενιάς ενσωματωμένου τύπου για λειτουργία μακράς διάρκειας (σύνθετο) FDA Εγκρίθηκε
- Προηγμένη ποιότητα PTFE-A πλήρους χωρητικότητας
- Διαφράγματα FDA Εγκρίθηκε
- Εύκολη αντίστροφη πολλαπλή
- Αυτόματη αναρρόφηση



Εικόνα 14: Αντλίες πνευματικές διαφραγματικού τύπου Ruby 040 [31]

Αξιοσημείωτο είναι να αναφερθεί ότι η «καρδιά» της αντλίας είναι καινοτόμος αφού είναι μια νέα βαλβίδα αέρα που ανταποκρίνεται στις νέες απαιτήσεις της εποχής έχοντας

άριστη ποιότητα. Η βαλβίδα αέρα των αντλιών διαφραγματικού τύπου Ruby έχει δημιουργηθεί για να προσφέρει τα ακόλουθα [31]:

- Λειτουργία χωρίς πετρέλαιο
- Μικρή ανάγκη για συντήρηση
- Δεν επηρεάζεται από ελάσσονα ρύπανση του πεπιεσμένου αέρα
- Σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας
- Λειτουργία μη ψύξης
- Εξωτερική λειτουργία περιβάλλοντος
- Νεκρό κέντρο
- Μεγάλη διάρκεια ζωής
- Αξιοπιστία



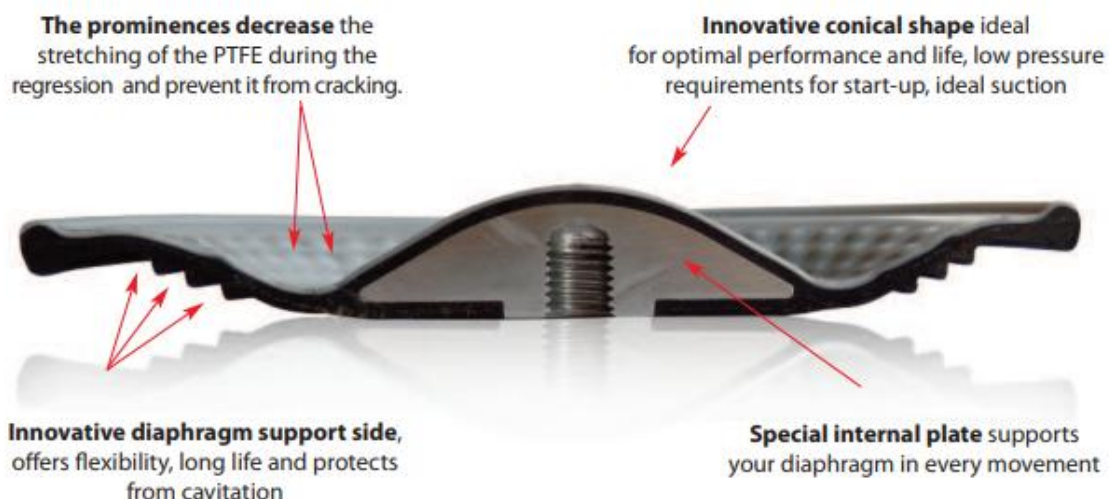
Εικόνα 15: Βαλβίδα αέρα για αντλία πνευματικού διαφραγματικού τύπου της εταιρίας Ruby σειράς 040 [31]

Ωστόσο, οι αεροκίνητες πνευματικές αντλίες διαφραγματικού τύπου Ruby 040 χαρακτηρίζονται για τα διαφράγματα τους και οι λόγοι είναι οι ακόλουθοι [31]:

- Προηγμένα ενοποιημένα διαφράγματα με:
- εύκολη εγκατάσταση και συντήρηση
- άριστη διάρκεια ζωής
- μείωση του κόστους αποθέματος
- βελτιωμένη απόδοση
- μεγαλύτερη μετατόπιση ανά κύκλο
- Καμία κεντρική τρύπα, εξάλειψη πιθανών διαδρομών διαρροής.
- Δεν χρειάζεται να ασφαλιστεί ο κύριος άξονας
- Μπορούν να βιδωθούν και να ξεβιδωθούν χωρίς τη χρήση εργαλείων



Εικόνα 16: Διαφράγματος αεροκίνητης αντλίας διαφραγματικού τύπου της εταιρίας Ruby σειράς 040 [31]



Εικόνα 17: Τομή διαφράγματος αεροκίνητης αντλίας διαφραγματικού τύπου της εταιρίας Ruby σειράς 040 [31]

Στη συνέχεια ακολουθεί ο πίνακας 5 με τα τεχνικά χαρακτηριστικά σύμφωνα με το τεχνικό φυλλάδιο της αντλίας.

Τεχνικά Χαρακτηριστικά	Μονάδα Μέτρησης	Τιμές
Παροχή	Lit/min	0-360
Μανομετρικό ύψος	m	70
Πίεση αέρα εισαγωγής	bar	2-7

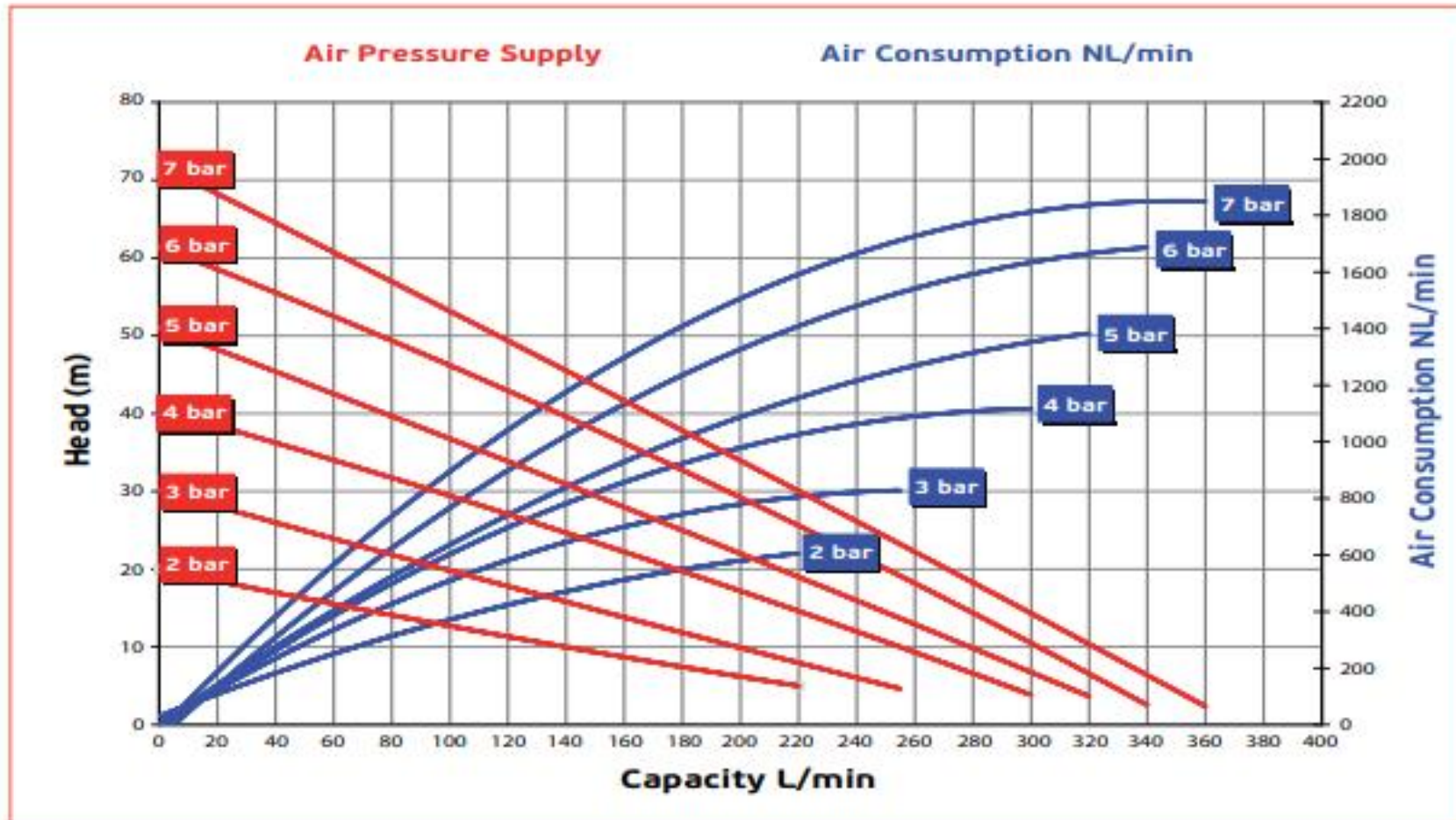
Πίνακας 5: Τεχνικά χαρακτηριστικά αεροκίνητης αντλίας διαφραγματικού τύπου της εταιρίας Ruby σειράς 040 [31]

Στη συνέχεια ακολουθεί ο πίνακας 6 με τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά σύμφωνα με το τεχνικό φυλλάδιο της αντλίας

Κατασκευάστηκα Χαρακτηριστικά	Θερμοκρασία (°C)	Βάρος (kg)
PP	60	14
PVDF	95	22
Alu	95	14
AISI316	95	30

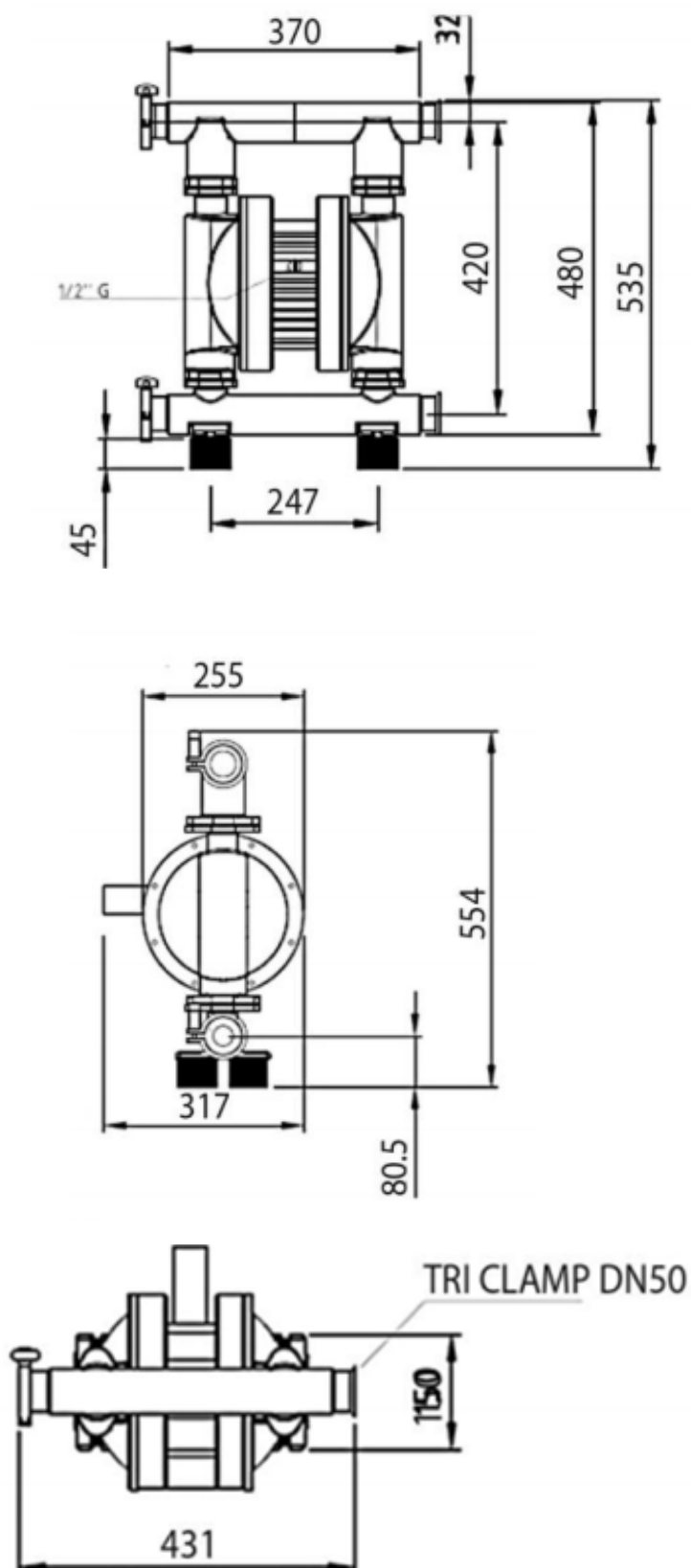
Πίνακας 6: Κατασκευάστηκα χαρακτηριστικά αεροκίνητης αντλίας διαφραγματικού τύπου της εταιρίας Ruby σειράς 040 [31]

Στην συνέχεια ακολουθεί το διάγραμμα με της χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας των αεροκίνητων αντλιών διαφραγματικού τύπου Ruby 040.



Σχήμα 49: Χαρακτηριστικές καμπύλες αεροκίνητης αντλίας διαφραγματικού τύπου της εταιρίας Ruby σειράς 040 [31]

Στην συνέχεια ακολουθεί το σχέδιο με την διαστασιολόγηση της αντλίας Ruby 040.



Σχήμα 50: Διαστασιολόγηση αντλίας τύπου Ruby 040 [31]

Τέλος, αυτό που θα πρέπει να ξανά τονισθεί είναι ότι η επιλογή των αεροκίνητων αντλιών διαφραγματικού τύπου έγινε για το ότι η διάρκεια ζωής του συγκεκριμένου τύπου αντλιών είναι μεγάλη αφού το αντλούμενο ρευστό δεν έρχεται σε επαφή με τα μηχανικά μέρη της αντλίας και δεν προκύπτουν φθορές και διάβρωση. Ο παράγοντας αυτός τις κάνει ιδανικές για την χρήση τους με μεγάλος εύρος ρευστών (καθαρά, χημικά, τοξικά υγρά, διαλύτες κ.ά.). Επιπλέον, το βασικότερο στοιχείο είναι ότι ο διαχωρισμός αυτός του ρευστού από τα μηχανικά μέρη της αντλίας εκμηδενίζει την δυνατότητα μόλυνσης του αντλούμενου ρευστού. Από τα ανώτερο γίνεται άμεσα κατανοητό ότι αεροκίνητες αντλίες διαφραγματικού τύπου είναι ο καταλληλότερος τύπος για την κάλυψη των αναγκών του συστήματος που μελετάται στη παρούσα πτυχιακή εργασία.

4.4. ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Σε αυτό το σημείο της παρούσας εργασίας θα πραγματοποιηθεί η οικονομική ανάλυση του υφιστάμενου συστήματος των φυγοκεντρικών αντλιών καθώς επίσης και τις πρότασης βελτίωσης αυτής, τοποθετώντας αεροδίνητες πνευματικές αντλίες διαφραγματικού τύπου. Στόχος αυτής της οικονομικής ανάλυσης είναι ο χρόνος απόσβεσης που θα απαιτηθεί για να διακριθεί αν η πρόταση βελτίωση του συστήματος είναι βιώσιμη.

Η οικονομική ανάλυση θα γίνει τμηματικά σε κατηγορίες και είδος δαπάνης. Συγκεκριμένα θα αναλυθούν τα λειτουργικά κόστη που είναι η απαιτούμενη ενέργεια που είναι απαραίτητη για την λειτουργία του συστήματος καθώς και ένα ποσοστό αποβλέπων και βλαβών που υπολογίζεται ότι μέσα στο έτος δεν ξεπερνά το 10% της αρχικού κόστους της εγκατάστασης. Στην συνέχεια θα αναλυθεί το κόστος της συντήρησης ετήσιος διαχωρισμένο ως ανθρώπινη εργασία και εξοπλισμός - εξαρτήματα.

Τονίζεται ότι για να υπολογισθεί αν υπάρχει βιωσιμότητα στο σύστημα που προτείνεται θα θεωρηθεί η δυσχερέστερη περίπτωση λειτουργίας του συστήματος με συνέπεια τα αποτελέσματα μας να είναι πιο ακριβή.

4.4.1. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ

Το υφιστάμενο σύστημα της εταιρίας CBL όπως έχει προαναφερθεί αποτελείται από δύο φυγοκεντρικές αντλίες SPECK τύπου ASKM 3201. Με στόχο να υπάρχει ένα μέτρο συγκρίσεις των συστημάτων αναφέρεται ότι κάθε αντλία κοστολογείται περίπου στις 9000 €. Κόστος το οποίο δεν θα συνυπολογιστεί στο τελικό σύνολο των δαπανών γιατί είναι το υφιστάμενο σύστημα.

Όπως αναλύθηκε στο θεωρητικό υπόβαθρό της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας η λειτουργία των φυγοκεντρικών αντλιών απαιτεί ηλεκτρική ενέργεια. Το υφιστάμενο σύστημα των φυγοκεντρικών αντλιών λειτουργεί είκοσι - πέντε (25) μέρες μηνιαίως, δηλαδή από Δευτέρα έως Παρασκευή εβδομαδιαίως. Οι ώρες λειτουργίας τους είναι σε μια βάρδια δηλαδή οκτώ (8) ώρες ημερήσιος, δηλαδή 200 ώρες μηνιαίως. Σύμφωνα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά το μέγεθος κάθε αντλίας είναι 1,35 kW. Επιπλέον, η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας από κάποιο πάροχο είναι περίπου 0.69 €/kwh (η τιμή είναι ενδεικτική, και είναι η μέση τιμή της αγοράς της kWh που υπάρχει στην αγορά από πλήθος παρόχων έως και σήμερα).

Σύμφωνα με τα προαναφερόμενα η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για την λειτουργία του υφιστάμενου συστήματος είναι:

$$\text{Ηλεκτρική ενέργεια} = \text{Μέγεθος αντλιών (kW)} * \text{ημερήσιες ώρες λειτουργίας (h)} * \text{μέρες λειτουργίας (d)} * \text{τιμή ηλεκτρικής ενέργειας (€/kwh)} \quad [4.1]$$

Άρα η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτεί κάθε φυγοκεντρική αντλία είναι:

$$\text{Ηλεκτρική Ενέργεια} = 1.35(\text{kW}) * 25 (\text{d}) * 8 (\text{h/d}) * 0.69 (\text{€/kWh}) = 186,3\text{€}$$

Το υφιστάμενο σύστημα αποτελείται από δύο όμοιες φυγοκεντρικές αντλίες με συνέπεια τα απρόβλεπτα να είναι:

$$\text{Ηλεκτρική Ενέργεια Συστήματος} = 186,3\text{€} * 2 \text{ τεμ} = 372,6 \text{ €}$$

Άρα σύμφωνα με τα ανωτέρω η ετήσια ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται είναι:

$$\text{Ετήσια Ηλεκτρική Ενέργεια Συστήματος} = 372,6 (\text{€}) * 12 (\text{month}) = \mathbf{4471.20 \text{ €/έτος}}$$

Είναι χρήσιμο να αναφερθεί ότι ο Μηχανολόγος Μηχανικός των συντηρήσεων υπολογίζει πάντα κάποια απρόβλεπτα εντός του έτους που αναφέρονται σε πιθανές βλάβες. Το κόστος αυτό κυμαίνεται περίπου στο 10% της αξίας του συστήματος. Συγκεκριμένα στις φυγοκεντρικές αντλίες τους υφιστάμενου συστήματος ισχύει:

$$\text{Απρόβλεπτα} = \text{Αρχική αξία αντλίας} * 10\% \quad [4.2]$$

Άρα:

$$\text{Απρόβλεπτα} = 9000 \text{ €} * 10\% = 900\text{€}$$

Το υφιστάμενο σύστημα αποτελείται από δύο όμοιες φυγοκεντρικές αντλίες με συνέπεια τα απρόβλεπτα να είναι:

$$\text{Απρόβλεπτα υφιστάμενου συστήματος} = 900 \text{ €} * 2 \text{ τεμ} = \mathbf{1800\text{€}}$$

Ωστόσο, ένα από τα βασικότερα έξοδα ενός αντλητικού συστήματος είναι η συντήρηση αυτού και ο απαιτούμενος μηχανολογικός εξοπλισμός για την υλοποίησή του. Κάθε αντλία SPECK τύπου ASKM 3201 απαιτεί μια ετήσια συντήρηση και την αλλαγή κάποιων εξαρτημάτων της με στόχο την άρτια λειτουργία της, την μείωση των απωλειών της καθώς επίσης και την ασφαλή λειτουργία όλου του αντλητικού συστήματος.

Στον Πίνακα 7 δίνονται ενδεικτικές τιμές των απαιτούμενων εξαρτημάτων για την ετήσια συντήρηση της φυγοκεντρικής αντλίας SPECK τύπου ASKM 3201.

α/α	Εξάρτημα	Τεμάχια	Τιμή μονάδας (€)	Σύνολο (€)
1	Άξονας	1	235,26	235,26
2	Έδρανο ολίσθησης	2	235,58	471,16
3	Έδρανο ολίσθησης	2	91,24	182,48
4	Έδρανο ολίσθησης	2	125,42	250,84
5	Φλάντζα στεγανοποίησης	1	31,92	31,92
6	Φλάντζα στεγανοποίησης	1	3,98	3,98
7	Δακτύλιος συναρμολόγησης	2	7,44	14,88
8	Ροδέλα τάσης	1	2,86	2,86
9	Παξιμάδι φτερωτής	1	1,44	1,44
10	Ασφάλεια φτερωτής	1	32,32	32,32
11	Σφήνα	1	1,34	1,34
12	Ρουλεμάν κινητήρα	2	10,30	20,60
13	Τσιμούχα κινητήρα	2	3,50	7,00
	Σύνολο			1.256,0

Πίνακας 7: Οικονομική ανάλυση απαιτούμενων εξαρτημάτων ετήσιας συντήρησης φυγοκεντρικής αντλίας SPECK τύπου ASKM 3201

Ωστόσο, όπως έχει προαναφερθεί το σύστημα αποτελείται από δύο φυγοκεντρικές αντλίες τύπου SPECK τύπου ASKM 3201. Άρα η ετήσια συντήρηση τους σε ότι αφορά την αγορά εξαρτημάτων είναι:

$$\text{Εξαρτήματα Ετήσιας Συντήρησης} = 1.256,0 \text{ €} * 2 \text{ τεμ} = \mathbf{2,512 \text{ €}}$$

Σημειώνεται ότι έχει υπολογισθεί η δυσμενέστερη περίπτωση συντήρησης. Η αντικατάσταση των εξαρτημάτων γίνεται σύμφωνα με τον έλεγχο του Υπευθύνου Μηχανολόγου Μηχανικού με συνέπεια πολλές φορές κάποιο εξάρτημα να μην χρίζει αλλαγή και αντικατάσταση.

Επιπλέον, η εργασία της ετήσιας συντήρησης κάθε φυγοκεντρικής αντλίας κυμαίνεται περίπου στα 700 € με 900 €. Η ετήσια συντήρηση περιλαμβάνει την προληπτική συντήρηση που απαιτεί το αντλητικό σύστημα καθώς και κάποιους ελέγχους που πραγματοποιούνται ανά τακτά χρονικά διαστήματα, με στόχο την αποφυγή προβλημάτων αλλά και την άρτια λειτουργία του. Άρα σύμφωνα με τα ανωτέρω αφού το σύστημα αποτελείται από δύο φυγοκεντρικές αντλίες SPECK τύπου ASKM 3201 η ετήσια εργασία συντήρησης κοστολογείται ως εξής:

$$\text{Εργασία Ετήσιας Συντήρησης} = 900 \text{ €} * 2 \text{ τεμ} = \mathbf{1800 \text{ €}}$$

Στην συνέχεια δίνεται ο Πίνακας 8, όπου συγκεντρώνονται όλα τα οικονομικά στοιχεία λειτουργίας του αντλητικού συστήματος.

ΕΙΔΟΣ ΔΑΠΑΝΗΣ	ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΑΠΑΝΩΝ	ΚΟΣΤΟΣ ΔΑΠΑΝΩΝ (€)	ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ ΔΑΠΑΝΩΝ (€)
Λειτουργικά κόστη	Ηλεκτρική ενέργεια	4.471,2	
	Απρόβλεπτα (βλάβες)	1.800	
Σύνολο λειτουργικού κόστους			6.271,2
Συντήρηση συστήματος	Ετήσια συντήρηση (Εργασία)	1.800	
	Εξοπλισμός – Εξαρτήματα	2.512	
Σύνολο κόστους συντήρησης			4.312,0
Συνολικό κόστος			10583

Πίνακας 8: Συγκεντρωτικός Πίνακας οικονομικών στοιχείων λειτουργίας υφιστάμενου συστήματος

Άρα από τον Πίνακα 8 η ετήσια λειτουργία των φυγοκεντρικών αντλιών SPECK τύπου ASKM 3201 ανέρχεται στο ποσό των 10583 €.

Η ίδια διαδικασία θα ακολουθηθεί και για την πρόταση βελτίωσης του συστήματος με αεροκίνητες αντλίες διαφραγματικού τύπου.

4.4.2. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΕΡΟΚΙΝΗΤΩΝ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΤΥΠΟΥ

Η ίδια διαδικασία θα ακολουθηθεί για την πρόταση βελτίωσης του συστήματος και αντικατάστασης των φυγοκεντρικών αντλιών SPECK τύπου ASKM 3201 με αεροκίνητης αντλίας διαφραγματικού τύπου της εταιρίας Ruby σειράς 040. Ωστόσο, η αντικατάσταση των αντλιών απαιτεί και τον υπολογισμό των οικονομικών στοιχείων της εγκατάστασης του νέου συστήματος όπου αποτελείται από το κόστος της αγοράς των αντλιών, από το κόστος διαμόρφωσης της εγκατάστασης τους, από το κόστος τοποθέτησης των αντλιών καθώς επίσης και το κόστος σύνδεσης και εκκίνησης του συστήματος.

Αναλυτικότερα τα κόστη αυτά αντικατάστασης των φυγοκεντρικών αντλιών SPECK τύπου ASKM 3201 με αεροκίνητες αντλίες διαφραγματικού τύπου της εταιρίας Ruby σειράς 040 είναι τα ακόλουθα:

Αρχικά απαιτείται Μηχανολογική Μελέτη με στόχο να επιλεγεί το κατάλληλο αντλητικό σύστημα για την κάλυψη των αναγκών. Στη μελέτη αυτή καταγράφονται οι τύποι των αντλιών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν καθώς και ποια θεωρείται ως βέλτιστη λύση με στόχο το σύστημα να λειτουργεί άρτια έχοντας το μικρότερο λειτουργικό κόστος και μικρότερο κόστος συντήρησης. Επιπλέον, στην μελέτη θα πρέπει να αναγράφεται το βέλτιστο σημείο λειτουργίας των αντλιών καθώς και κάποια απαραίτητα χαρακτηριστικά της λειτουργίας. Το κόστος της μελέτης ανέρχεται:

Μελέτη βελτίωσης αντλητικού συστήματος: 3000€

Στην συνέχεια, με τη βοήθεια της μελέτης πραγματοποιούνται οικονομικές ζητήσεις με στόχο την αγορά των αντλιών από τον πιο οικονομικό προμηθευτή. Η αγορά μιας αεροκίνητης αντλίας της εταιρίας Ruby σειράς 040 ανέρχεται:

Αγορά αεροκίνητης αντλίας διαφραγματικού τύπου της εταιρίας Ruby σειράς 040: 4000 €

Αφού το σύστημα θα αποτελείται από δύο αντλίες αεροκίνητες διαφραγματικού τύπου το συνολικό κόστος θα ανέρχεται:

Συνολικό κόστος αγοράς αντλιών: 8000 €

Ακολουθεί το κόστος διαμόρφωσης χώρου με στόχο την νέα εγκατάσταση αντλιών. Σε αυτό το κόστος συμπεριλαμβάνονται οι εργασίες που απαιτούνται με στόχο την προσεκτική αποξήλωση και απομάκρυνση του παλαιού αντλητικού συστήματος και συγκεκριμένα των φυγοκεντρικών αντλιών. Όπως έχει αναφερθεί το αντλητικό σύστημα συνδέεται με το σύστημα του συμπυκνωτή κατερχόμενη στοιβάδας. Το κόστος της διαμόρφωσης του χώρου εγκατάστασης του νέου συστήματος ανέρχεται:

Διαμόρφωση χώρου για εγκατάσταση αεροκίνητων αντλιών διαφραγματικού τύπου: 1500 €

Στην συνέχεια ακολουθεί το κόστος τοποθέτησης των νέων αντλιών διαφραγματικού τύπου της εταιρίας Ruby σειράς 040. Αυτό το κόστος αναφέρεται στην εργασία του συνεργείου που θα αναλάβει την τοποθέτηση τους και την σύνδεση της νέας εγκατάστασης του αντλητικού συστήματος με το σύστημα του συμπυκνωτή κατερχόμενη στοιβάδας.

Τοποθέτηση αεροκίνητων αντλιών διαφραγματικού τύπου: 2000 €

Σημειώνεται ότι το κόστος αυτό αναφέρεται στη σύνδεση των μηχανολογικών εξαρτημάτων και εξοπλισμού και μόνο, δηλαδή σωληνώσεων και ότι σχετίζεται με την ένωση των αντλιών, του αεροσυμπιεστή καθώς και του συμπυκνωτή κατερχόμενη στοιβάδας.

Ακολουθεί το κόστος σύνδεσης και εκκίνησης του συστήματος. Το κόστος αυτό αφορά τον έλεγχο των συνδέσμων καθώς και τον προγραμματισμό του συστήματος από ειδικευμένο προσωπικό και συγκεκριμένα της εταιρίας Ruby. Συγκεκριμένα θα πρέπει το νέο σύστημα να μπορεί να λειτουργεί άρτια και να παράγει στη δυσμενέστερη περίπτωση την ποσότητα προϊόντος του υφιστάμενου συστήματος. Αυτό απαιτεί πλήθος δοκιμών με στόχο να επιλεγεί η κατάλληλη πίεση και να βρεθεί το βέλτιστο σημείο λειτουργίας των αντλιών. Το κόστος σύνδεσης και εκκίνησης του συστήματος ανέρχεται:

Σύνδεση και εκκίνησης συστήματος με αεροκίνητες αντλίες διαφραγματικού τύπου: 3500 €

Στη συνέχεια υπολογίζονται οι δαπάνες για τα λειτουργικά κόστη. Αρχικά υπολογίζεται η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για την λειτουργία του συστήματος με την χρήση αεροκίνητων αντλιών διαφραγματικού τύπου, όπου γίνεται χρήση του ήδη υπάρχον αεροσυμπιεστή της εταιρίας με συνέπεια να μην υπάρχει επιβάρυνση σε ηλεκτρική ενέργεια για την λειτουργία τους. Άρα η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για την λειτουργία των αεροκίνητων αντλιών διαφραγματικού τύπου είναι:

Ετήσια Ηλεκτρική Ενέργεια Συστήματος = 0 €/έτος

Επιπλέον, και σε αυτή την περίπτωση απαιτείται να αναφερθεί ότι ο Μηχανολόγος Μηχανικός των συντηρήσεων υπολογίζει πάντα κάποια απρόβλεπτα εντός του έτους που αναφέρονται σε πιθανές βλάβες. Το κόστος αυτό κυμαίνεται περίπου στο 10% της αξίας του συστήματος. Συγκεκριμένα στις αεροκίνητες αντλίες διαφραγματικού τύπου, με την βοήθεια της σχέσης [4.2] ισχύει:

Απρόβλεπτα = 4000 €* 10% = 400€

Το νέο αντλητικό σύστημα αποτελείται από δύο όμοιες αεροκίνητες αντλίες διαφραγματικού τύπου με συνέπεια τα απρόβλεπτα να είναι:

Απρόβλεπτα νέου αντλητικού συστήματος= 400 €* 2 τεμ = 800€

Ωστόσο, ένα από τα βασικότερα έξοδα ενός αντλητικού συστήματος είναι η συντήρηση αυτού και ο απαιτούμενος μηχανολογικός εξοπλισμός για την υλοποίηση του. Κάθε αεροκίνητη αντλία διαφραγματικού τύπου απαιτεί μια ετήσια συντήρηση και την αλλαγή κάποιων εξαρτημάτων της με στόχο την άρτια λειτουργία της, την μείωση των απωλειών της καθώς επίσης και την ασφαλή λειτουργία όλου του αντλητικού συστήματος.

Στον Πίνακα 9 δίνονται ενδεικτικές τιμές των απαιτούμενων εξαρτημάτων για την ετήσια συντήρηση της αεροκίνητης αντλίας διαφραγματικού τύπου της εταιρίας Ruby σειράς 040 .

α/α	Εξάρτημα	Τεμάχια	Τιμή μονάδας (€)	Σύνολο (€)
1	R025-0134 PISTON INNER 025	4	3,00	12,00
2	R040-0133 PISTON INNER (POS 25.06A)	4	3,00	12,00
3	R025-0210 RETAINING RING 1.4122 SHAFT	4	3,00	12,00
4	R025-0181 O-RING BEARING 025 (POS.09)	4	0,20	0,80
5	R025-0131 SHAFT BEARING 025 (POS.10)	4	6,00	24,00
6	R025-0182 O-RING BEARING 025 (POS.11)	4	0,2	0,80
7	R025-0211 RETAINING RING 1.4122 AIR VALVE (POS 19)	4	6,00	24,00
8	R025-0139 AIR CONTROL UNIT 015/025/040	4	79,00	316,00
9	354-0001 PG MOLYCOTE 21	1	70,00	70,00
	Σύνολο			471,60

Πίνακας 9: Οικονομική ανάλυση απαιτούμενων εξαρτημάτων ετήσιας συντήρησης αεροκίνητης αντλίας διαφραγματικού τύπου της εταιρίας Ruby σειράς 040

Ωστόσο, όπως έχει προαναφερθεί το σύστημα αποτελείται από δύο όμοιες αεροκίνητες αντλίες διαφραγματικού τύπου της εταιρίας Ruby σειράς 040. Άρα η ετήσια συντήρηση τους σε ότι αφορά την αγορά εξαρτημάτων είναι:

$$\text{Εξαρτήματα Ετήσιας Συντήρησης} = 471,60 \text{ €} * 2 \text{ τεμ} = \mathbf{943,20\text{€}}$$

Σημειώνεται ότι έχει υπολογισθεί η δυσμενέστερη περίπτωση συντήρησης. Η αντικατάσταση των εξαρτημάτων γίνεται σύμφωνα με τον έλεγχο του Υπευθύνου Μηχανολόγου Μηχανικού με συνέπεια πολλές φορές κάποιο εξάρτημα να μην χρίζει αλλαγή και αντικατάσταση.

Επιπλέον, η εργασία της ετήσιας συντήρησης κάθε αεροκίνητη αντλία διαφραγματικού τύπου κυμαίνεται περίπου στα 300 € με 400 €. Η ετήσια συντήρηση περιλαμβάνει την προληπτική συντήρηση που απαιτεί το αντλητικό σύστημα καθώς και κάποιους ελέγχους που πραγματοποιούνται ανά τακτά χρονικά διαστήματα, με στόχο την αποφυγή προβλημάτων αλλά και την άρτια λειτουργία του. Άρα σύμφωνα με τα ανωτέρω αφού το σύστημα αποτελείται από δύο όμοιες αεροκίνητες αντλίες διαφραγματικού τύπου της εταιρίας Ruby σειράς 040 η ετήσια εργασία συντήρησης κοστολογείται ως εξής:

$$\text{Εργασία Ετήσιας Συντήρησης} = 350 \text{ €} * 2 \text{ τεμ} = \mathbf{700 \text{ €}}$$

Στην συνέχεια δίνεται ο Πίνακας 10, όπου συγκεντρώνονται όλα τα οικονομικά στοιχεία λειτουργίας του νέου αντλητικού συστήματος καθώς επίσης και την εγκατάσταση του.

ΕΙΔΟΣ ΔΑΠΑΝΗΣ	ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΑΠΑΝΩΝ	ΚΟΣΤΟΣ ΔΑΠΑΝΩΝ (€)	ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ ΔΑΠΑΝΩΝ (€)
Εγκατάσταση συστήματος	Μελέτη βελτίωσης αντλητικού συστήματος	3000	
	Αγορά αντλιών	8.000	
	Διαμόρφωση χώρου για εγκατάσταση αντλιών	1.500	
	Τοποθέτηση αντλιών	2.000	
	Σύνδεση συστήματος και εκκίνηση αυτού	3.500	
Συνολικό κόστος νέας εγκατάστασης			18.000
Λειτουργικά κόστη	Ηλεκτρική ενέργεια	0,00	
	Απρόβλεπτα (βλάβες)	800	
Σύνολο λειτουργικού κόστους		800	800
Συντήρηση συστήματος	Ετήσια συντήρηση (Εργασία)	700	
	Εξοπλισμός – Εξαρτήματα	943,20	
Σύνολο κόστους συντήρησης			1.643,20
Συνολικό κόστος			20443,20

Πίνακας 10: Οικονομικά στοιχεία νέας πρότασης συστήματος με τη χρήση αεροκίνητων αντλιών διαφραγματικού τύπου της εταιρίας Ruby σειράς

4.4.3. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Αρχικά δίνεται ο Πίνακας 11 με στόχο να πραγματοποιηθεί η οικονομική σύγκριση των αντλητικών συστημάτων του υφιστάμενου συστήματος όπου γίνεται χρήση

φυγοκεντρικών αντλιών καθώς και της πρότασης βελτίωσης του συστήματος όπου γίνεται χρήση αεροκίνητων αντλιών διαφραγματικού τύπου.

ΕΙΔΟΣ ΔΑΠΑΝΗΣ	ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ ΑΝΤΛΗΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ (€)	ΝΕΟ ΑΝΤΛΗΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ (€)
Εγκατάσταση συστήματος	0,00	18.000
Λειτουργικά κόστη	6.271,2	800
Συντήρηση συστήματος	4.312,0	1.643,20

Πίνακας 11: Συγκεντρωτικός πίνακας σύγκρισης οικονομικών στοιχείων συστήματος φυγοκεντρικών αντλιών και συστήματος αεροκίνητων αντλιών διαφραγματικού τύπου

Από τον Πίνακα 11 διακρίνεται ότι το υφιστάμενο σύστημα των φυγοκεντρικών αντλιών παρουσιάζει πολύ υψηλά λειτουργικά κόστη τα οποία αγγίζουν τις 6.271,2€/έτος. Το βασικό κόστος είναι η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτεί με στόχο την λειτουργία του. Σε αντίθεση με την βελτιωμένη πρόταση των αεροκίνητων αντλιών διαφραγματικού τύπου όπου τα λειτουργικά κόστη δεν ξεπερνούν τα 800 €/έτος. Από τα ανωτέρω προκύπτει ότι το κέρδος της εταιρίας για κάθε έτος από τα λειτουργικά έξοδα είναι 5.471,20 €

Επιπλέον, ένα βασικό κόστος είναι το κόστος της συντήρησης του συστήματος όπου το υφιστάμενο σύστημα των φυγοκεντρικών αντλιών φτάνουν στα 4.312,0 €/έτος ενώ βελτιωμένη πρόταση των αεροκίνητων αντλιών διαφραγματικού τύπου έχει έξοδα συντήρησης 1.643,20 €/έτος. Από τα προαναφερόμενα προκύπτει ότι το κέρδος της εταιρίας για τη συντήρηση συστήματος θα είναι 2.688.80 €/έτος.

Σύμφωνα με την οικονομική σύγκριση η εγκατάσταση του αντλητικού συστήματος με αεροκίνητες αντλίες διαφραγματικού τύπου θα έχει οικονομικό όφελος στην εταιρία 8.140,00 €/έτος. Όμως το όφελος αυτό δεν μπορεί να προκύψει από το πρώτο έτος αφού αρχικά θα πρέπει να γίνει η απόσβεση του νέου αντλητικού συστήματος. Από την οικονομοτεχνική μελέτη η εγκατάσταση του νέου συστήματος που απαρτίζεται από το κόστος της μελέτης, την αγορά των αντλιών, την διαμόρφωση του χώρου εγκατάστασης, την τοποθέτηση των αντλιών καθώς και την σύνδεση και εκκίνησης του συστήματος ανέρχεται στα 18.000 €. Άρα η απόσβεση της νέας εγκατάστασης θα υπολογισθεί από τον λόγο του κόστους του συστήματος εγκατάσταση με το οικονομικό κέρδος του της εταιρίας ανά έτος δηλαδή:

$$\text{Απόσβεση} = \frac{18.000(\text{€})}{8.140,00 \left(\frac{\text{€}}{\text{έτος}}\right)} \Rightarrow \text{Απόσβεση} = 2,2 \text{ έτη}$$

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

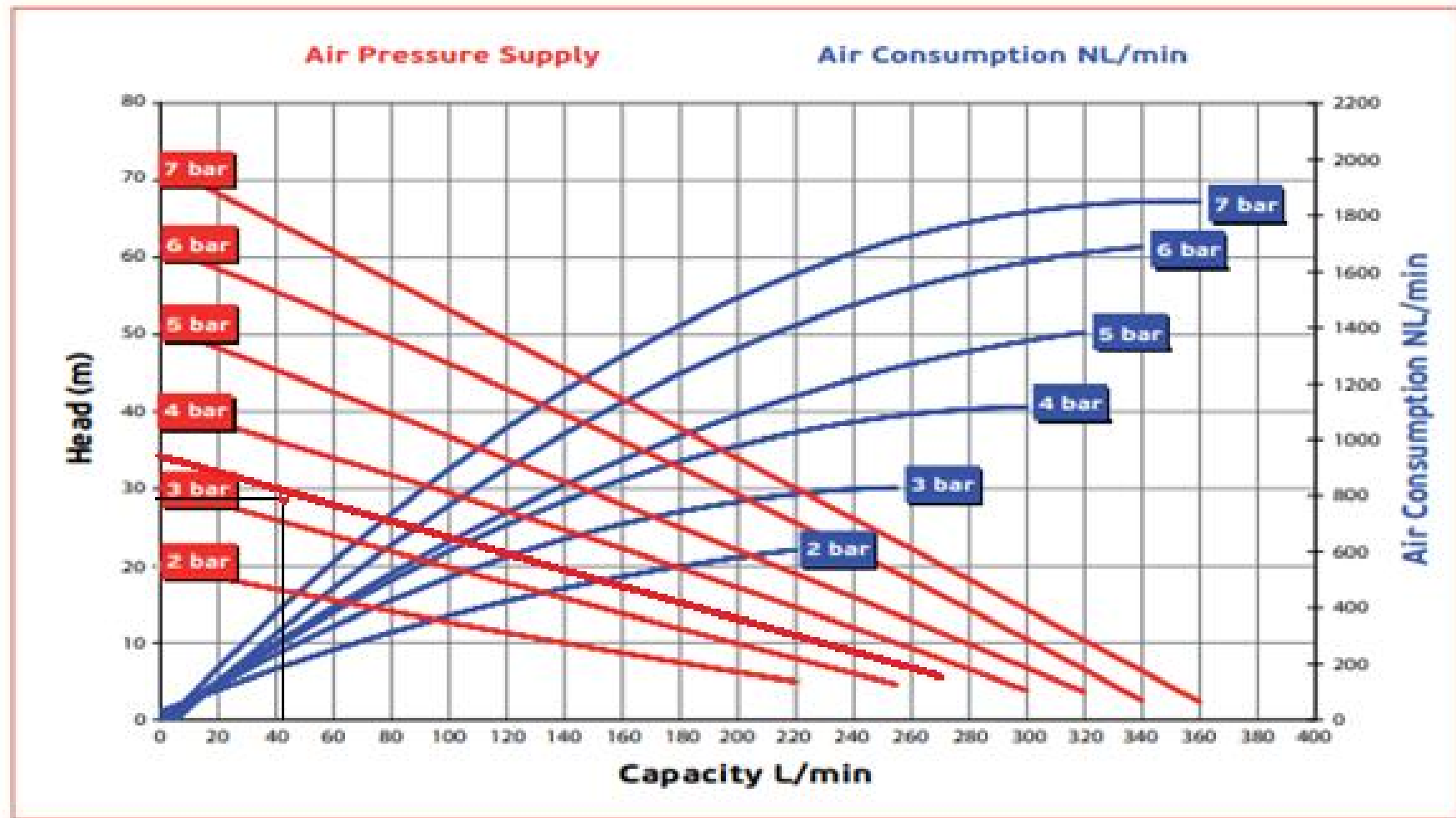
Η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματοποιήθηκε με στόχο την εκπόνηση μελέτης αντικατάστασης φυγοκεντρικών αντλιών με πνευματικές αντλίες διαφραγματικού τύπου. Συγκεκριμένα η μελέτη βασίστηκε στο σύστημα για την άντληση υδατικού μίγματος ακετονιτρίλιου - νερού το οποίο χρησιμοποιείται σε μεγάλους όγκους και το οποίο ανακυκλώνεται μέσω απόσταξης σε ειδικό αποστακτήρα κατερχόμενης στιβάδας (falling film evaporator) της εταιρίας CBL (Chemical and Biopharmaceutical Laboratories).

Αρχικά δόθηκε ένα θεωρητικό υπόβαθρό με στόχο τον διαχωρισμό των αντλιών σύμφωνα με την αρχή λειτουργίας. Ιδιαίτερα έμφαση δόθηκε στην ανάλυση και την περιγραφή των φυγοκεντρικών αντλιών και των αεροκίνητων αντλιών διαφραγματικού τύπου στοχεύοντας στην πλήρη κατανόηση της λειτουργίας του αντλητικού συστήματος που χρησιμοποιείται και του αντλητικού συστήματος που προτείνεται με στόχο την βελτίωση του υφιστάμενου όχι μόνο για οικονομικούς λόγους αλλά και για περιβαλλοντικούς σκοπούς.

Η αντικατάσταση των φυγοκεντρικών αντλιών μελετάται με γνώμονα την οικονομική μείωση λειτουργίας των φυγοκεντρικών αντλιών που χρησιμοποιούνται στο σύστημα του ειδικού αποστακτήρα κατερχόμενης στιβάδας (falling film evaporator). Στην ουσία η χρήση των φυγοκεντρικών αντλιών γίνεται σε μια πολύ απλή διάταξη αφού δουλεύουν μεμονωμένα και σε συγκεκριμένα σημεία λειτουργίας χωρίς να υπάρχουν μεταβολές σε αυτά. Οι φυγοκεντρικές αντλίες που χρησιμοποιούνται είναι της εταιρίας SPECK τύπου ASKM 3201 και λειτουργούν στα βέλτιστα σημεία που προτείνει ο κατασκευαστής. Η βασική πρόταση είναι να πραγματοποιηθεί η αντικατάστασή τους με αεροκίνητες αντλίες διαφραγματικού τύπου διότι έχουν πλήθος πλεονεκτημάτων όπως είναι δεν απαιτούν λίπανση (χωρίς επαφή των ρευστών υψηλής καθαρότητας με λιπαντικά), έχουν ξηρή λειτουργία χωρίς κανένα πρόβλημα, διαχειρίζονται καθαρά, διαβρωτικά ή υψηλού ιξώδους υγρά (για ρευστά υψηλής καθαρότητας του εργοστασίου), η λειτουργία τους γίνεται χωρίς πετρέλαιο, μικρή ανάγκη συντήρησης, σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας, μεγάλη αξιοπιστία κ.ά..

Ωστόσο οι αεροκίνητες αντλίες διαφραγματικού τύπου θεωρούνται κατάλληλες για την κάλυψη των αναγκών του συστήματος που μελετήθηκε στη παρούσα πτυχιακή εργασία διότι εξασφαλίζεται η μεγάλη διάρκεια ζωής τους αφού το αντλούμενο ρευστό δεν έρχεται σε επαφή με τα μηχανικά μέρη της αντλίας και δεν προκύπτουν φθορές και διάβρωση. Ο παράγοντας αυτός τις κάνει επίσης ιδανικές για την χρήση τους με μεγάλους εύρος ρευστών (καθαρά, χημικά, τοξικά υγρά, διαλύτες κ.ά.). Επιπλέον, το βασικότερο στοιχείο είναι ότι ο διαχωρισμός αυτός του ρευστού από τα μηχανικά μέρη της αντλίας εκμηδενίζει την δυνατότητα μόλυνσης του αντλούμενου ρευστού.

Σύμφωνα λοιπόν με την μελέτη που πραγματοποιήθηκε αρχικά επιλέχθηκε ο τύπος των αντλιών με στόχο να μπορεί το ήδη υπάρχον σύστημα να δουλέψει. Οι αντλίες που επιλέχθηκαν όπως έχει προαναφερθεί είναι διαφραγματικού τύπου και συγκεκριμένα κατατάσσονται στην κατηγορία των πνευματικών αντλιών. Βασικός λόγος της επιλογής των αεροκίνητων αντλιών είναι γιατί το εργοστάσιο διαθέτει μηχανισμό πεπιεσμένου αέρα με συνέπεια να μην υπάρχει επιπλέον οικονομική επιβάρυνση στο σύστημα. Στην συνέχεια επιλέχθηκε ο κατασκευαστής και ο τύπος των αντλιών και είναι της εταιρίας Ruby σειράς 040. Η επιλογή της συγκεκριμένης σειράς έγινε με βάση των βέλτιστων σημείων λειτουργίας των φυγοκεντρικών αντλιών και την δυνατότητα των νέων αντλιών να μπορούν να καλύψουν τις ανάγκες του συστήματος.



Σχήμα 51: Χαρακτηριστικές καμπύλες αεροκίνητης αντλίας διαφραγματικού τύπου της εταιρίας Ruby 040 σειράς και σημείο λειτουργίας [31]

Οι αεροκίνητες αντλίες διαφραγματικού τύπου έχουν την δυνατότητα να δουλεύουν σε ένα πλήθος σημείων έχοντας καλή απόδοση και πολύ μικρή κατανάλωση ενέργειας. Από το Σχήμα 51 διακρίνεται ότι οι αντλίες της εταιρίας Ruby σειράς 040 μπορούν να λειτουργούν με πίεση αέρα από 2 έως και 7 bar φτάνοντας σε μέγιστο μανομετρικό ύψος 70 m και μέγιστη παροχή 360lit/min. Επιπλέον στο Σχήμα 51 έχει δοθεί το σημείο που απαιτείται να λειτουργούν οι αντλίες με στόχο την άρτια λειτουργία του ειδικού αποστακτήρα κατερχόμενης στιβάδας (falling film evaporator), το σημείο αυτό είναι $H=29,75$ m και $Q=2,489$ m³/h.

Ωστόσο, θα πρέπει να σημειωθεί ότι το συγκεκριμένο σημείο που προτείνεται δεν είναι το βέλτιστο σημείο λειτουργία της συγκεκριμένης αντλίας αλλά των φυγοκεντρικών αντλιών. Στόχο της μελέτης είναι να επιλέγει τύπος αντλίας για να καλύψει τις ανάγκες του συστήματος. Γίνεται άμεσα κατανοητό ότι επιλογή του τύπου και μεγέθους αντλίας γίνεται έχοντας μεγαλύτερες δυνατότητες από αυτές που απαιτούνται με σκοπό την ασφαλή λειτουργία του συστήματος. Κατά την ρύθμιση και εκκίνηση του συστήματος το σημείο αυτό θα αλλάξει και θα προσαρμοστεί στα νέα δεδομένα.

Όσο αφορά τα οικονομικά πλεονεκτήματα της αντικατάστασης του υφιστάμενου συστήματος με αεροκίνητες αντλίες διαφραγματικού τύπου αναφέρεται ότι από τη μελέτη προέκυψε ότι το κέρδος της εταιρίας για κάθε έτος από τα λειτουργικά έξοδα είναι 5.471,20 € αφού το υπάρχον σύστημα σε ότι σχετίζεται με αυτά κόστη είναι 6.271,2€/έτος ενώ της πρότασης 800 €/έτος. Διακρίνεται λοιπόν ότι όντως οι αεροκίνητες αντλίες διαφραγματικού τύπου έχουν μηδενικό κόστος ηλεκτρικής ενέργειας διότι θα χρησιμοποιηθεί το σύστημα του εργοστασίου για την παραγωγή πεπιεσμένου αέρα. Επιπλέον, τα απρόβλεπτα (βλάβες κ.ά.) είναι μόνο το 10% του αρχικού κόστους κάθε αντλίας, όπου οι αντλίες διαφραγματικού τύπου κατατάσσονται στις οικονομικότερες αντλίες.

Επιπλέον, ένα ακόμα οικονομικό πλεονέκτημα είναι κόστος της συντήρησης όπου η εταιρία θα έχει κέρδος εντός του έτους το ποσό των 2.688,80 €/έτος. Αυτό υπολογίστηκε από το ότι το υφιστάμενο σύστημα των φυγοκεντρικών αντλιών απαιτεί 4.312,0 €/έτος με στόχο την ετήσια συντήρηση (εξαρτήματα, εξοπλισμός και εργασία). Ενώ η πρόταση των αεροκίνητων αντλιών διαφραγματικού τύπου απαιτεί μόνο 1.643,20 €/έτος. Διακρίνεται λοιπόν ότι όντως οι αεροκίνητες αντλίες διαφραγματικού τύπου απαιτούν μικρό κόστος συντήρησης αλλά και τα εξαρτήματα- εξοπλισμός έχουν χαμηλό κόστος.

Σε αυτό το σημείο αναφέρεται ότι το οικονομικό όφελος της εταιρίας με την αντικατάσταση των φυγοκεντρικών αντλιών σε αεροκίνητες αντλίες διαφραγματικού τύπου για την λειτουργία του συστήματος του ειδικού αποστακτήρα κατερχόμενης στιβάδας (falling film evaporator) είναι 8.140,00 €/έτος. Ωστόσο, συνυπολογίστηκε το κόστος της εγκατάστασης που απαρτίζεται από το κόστος της μελέτης, την αγορά των αντλιών, την διαμόρφωση του χώρου εγκατάστασης, την τοποθέτηση των αντλιών καθώς και την σύνδεση και εκκίνησης του συστήματος όπου ανέρχεται στα 18.000 €. Από τα ανωτέρω προέκυψε ότι η απόσβεση του συστήματος μπορεί να πραγματοποιηθεί σε μικρότερο χρονικό διάστημα από τα 2,5 έτη. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η λύση να θεωρείται οικονομικά βιώσιμη και αποτελεσματική.

Όσο αφορά τα περιβαλλοντικά οφέλη η μείωση της απαίτησης ηλεκτρικής ενέργειας έχει την ταυτόχρονη μείωση των εκπομπών CO₂ καθώς και άλλων ρύπων (αέρια θερμοκηπίου). Επιπλέον, δίνεται δυνατότητα διατήρησης των φυσικών πόρων.

Εκ κατά κλειδί της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι να δοθεί βήμα στους Μηχανολόγους Μηχανικούς Τ.Ε. να ασχοληθούν ιδιαίτερα με την αναβάθμιση υφιστάμενων συστημάτων στις βιομηχανίες και τα εργοστάσια, προτείνοντας λύσεις που θα χαρακτηρίζονται από οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Παπαντωνης Δ., 1994, Υδροδυναμικές Μηχανές , Αντλίες – Υδροστρόβιλοι, Εκδόσεις ΣΥΜΕΩΝ, Αθήνα
2. Πολέμη Κ., 2013, Σχεδιασμός και αριθμητική προσομοίωση Βοηθητικής πτερωτής αντλίας, Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα
3. https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/1113/1/02_chapter_1.pdf
4. Ακριτίδης Κ., 1985, Αντλίες, Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη, Αθήνα.
5. Πείδης Π., 2008, Φυγοκεντρικές αντλίες σε πλοίο, Ακαδημία Εμπορικού Ναυτικού Κρήτης, Χανιά.
6. Ηλεκτρονική εγκυκλοπαίδεια <https://www.wikipedia.org/>
7. Σκούρας Ε, Βούρος Α. και Πολυζάκης Α., 2017, Ρευστοδυναμικές Μηχανές, Εργαστηριακές Ασκήσεις, Σημειώσεις Τ.Ε.Ι Δυτικές Ελλάδας, Εκδόσεις Heat cool power, Πάτρα.
8. Ρανούτσος Π., 2010, Μελέτη αντλητικού συγκροτήματος, Πτυχιακή Εργασία, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, Χανιά
9. Μαστροπαύλος Γ., 2002, Κατασκευή, μελέτη και αρχές λειτουργίας γραναζωτής αντλίας, Πτυχιακή εργασία, Ακαδημία Εμπορικού Ναυτικού, Χανιά
10. Αλιφραγκής Ι., 2015, <https://www.slideshare.net/GiannisAlifragis/h-55198482>
11. <http://www.oilngasprocess.com/oil-handling-surfacefacilities/pumps/centrifugal-pumps.html>
12. http://physiclessons.blogspot.com/2012/05/blog-post_2417.html
13. Μοσχίδης Ν., Καρβουνιάρης Χ. και Χαϊκάλης Ν., 2011, Φυγοκεντρικές αντλίες: θεωρία και παράδειγμα συναρμολόγησης προληπτικής συντήρησης επισκευής, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κεντρικής Μακεδονίας, Σέρρες
14. Σκούρας Ε. και Βούρος Α., 2018, Σημειώσεις εργαστηρίου Ρευστά Ι, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Δυτικής Ελλάδας, Πάτρα.

15. Μαυρίδης Κ., Σκούρας Ε. και Βούρος Α., 2018, Σημειώσεις εργαστηρίου Ρευστά II, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Δυτικής Ελλάδας, Πάτρα.
16. Γιανναδάκης Α., 2010, Ρευστοδυναμικές Μηχανές, Σημειώσεις Μαθήματος, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Δυτικής Ελλάδας, Πάτρα.
17. Γουναρίδης Ι., 2008, Αντλίες μεταβλητών στροφών θεωρία – τεχνολογία - τύποι και εφαρμογές, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Διπλωματική Εργασία, Αθήνα
18. Καραγιοβανίδης Μ., 2015, Ανίχνευση του φαινομένου σπηλαιώσης σε φυγοκεντρικές αντλίες, μέσω αισθητήρων ήχου και δονήσεων και χρήση υπολογιστικής νοημοσύνης, Μεταπτυχιακή Εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.
19. Κότσος Π., 2008, Αντλίες, τύποι, λειτουργίας εγκατάστασης, συντηρηση, επισκευή γραναζωτή αντλία polytex, Πτυχιακής Εργασία, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κεντρικής Μακεδονίας, Σέρρες
20. Διάφοροι τύποι φυγοκεντρικών αντλιών <https://www.lamas.gr/antlies/antlies-monovathmies-divathmies-fygokentrikes.html>
21. Πιλάτος Κ., 2016, Σχεδιασμός χαρακτηριστικών καμπύλων αντλιών και υπολογισμός απωλειών σε αγωγούς με την χρήση του EXCEL, Ακαδημία Εμπορικού Ναυτικού Μακεδονίας, Νέα Μηχανιώνα
22. https://maredu.gunet.gr/modules/document/file.php/AENKP213/2007/IDIKES%20KAI%20EMVOLOFORES%20ANTLIES%20STA%20PLOIA_PLOMARITIS_THEOXARIS%282007%29.pdf
23. <https://www.prominent.com/resources/OperatingInstructions/Greek/11492/985354-BA-DUO-002-02-16-EL-DUODOS-10-EL.pdf>
24. Αναγνώστου Χ. και Παρασκευά Α., 2015, Βελτιστοποίηση δικτύου ύδρευσης δημοτικής ενότητας Λύδιας Δήμου Καβαλάς, Πτυχιακής Εργασία, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης, Καβάλα.
25. Διάφοροι τύποι αεροκίνητων πνευματικών αντλιών <https://www.marcopumps.gr/wilden-high-pressure.html>
26. Ράπτης Κ., 2018, Συνοπτική περιγραφή αντλιών, ΒΜΠ Ευγενίδου Ίδρυμα Αθήνας, Ασπρόπυργος
27. Τσάφαρης Σ., 2007, Ειδικές εμβολοφόρες αντλίες πλοίων, Ακαδημία Εμπορικού Ναυτικού Κρήτης, Χανιά
28. CBL (Chemical and Biopharmaceutical Laboratories) <https://www.cblbiopharma.com/>
29. <https://www.eng.auth.gr/~chemtech/foititika/fd/evap/evap02.pdf>

30. Φυγοκεντρικές αντλίες <file:///C:/Users/user/Downloads/speck-pumps.pdf>

31. Αεροκίνητες αντλίες διαφραγματικού τύπου https://alphadynamic.eu/wp-content/uploads/2018/10/%CE%A4%CE%95%CE%A7%CE%9D%CE%99%CE%9A%CE%9F-%CE%A6%CE%A5%CE%9B%CE%9B%CE%91%CE%94%CE%99%CE%9F-RUBY-040-FDA.pdf?fbclid=IwAR0Z9u59BZjvu3srpLpZ5P1kBY0a0crjnM9_4I7QOYSZF7FQE2kbq8U78kw