



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΤΗΣ ΣΠΗΛΛΙΩΣΗΣ ΣΕ
ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΕΙΔΩΝ
ΔΙΥΛΙΣΤΗΡΙΟΥ»**

**«CAVITATION EFFECT STUDY IN CENTRIFUGAL PUMPS
FOR OIL REFINERY APPLICATIONS»**



ΟΝΟΜΑ ΦΟΙΤΗΤΗ: ΠΕΤΡΟΣ ΜΑΤΣΙΚΑΣ

Α.Μ. : 03837

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΣΑΡΡΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΑΘΗΝΑ 2020

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η εμφάνιση του φαινομένου της σπηλαίωσης στις φυγοκεντρικές αντλίες αποτελεί μείζον ζήτημα για τις εγκαταστάσεις ενός διυλιστηρίου, διότι επιφέρει πολύ σοβαρά προβλήματα στο συγκεκριμένο είδος αντλιών. Τα προβλήματα προξενούν, πέρα από παύση των δραστηριοτήτων του συστήματος, πολλές και οικονομικές επιβαρύνσεις. Το φαινόμενο της σπηλαίωσης είναι αποτέλεσμα της απότομης αύξησης των τιμών της τοπικής ταχύτητας, η οποία έχει το υγρό στοιχείο του συστήματος, έχοντας ως αποτέλεσμα τη πτώση των τιμών της τοπικής πίεσης με τη συμμετοχή της απαιτούμενης πίεσης η οποία απευθύνεται στην ατμοποίηση του υγρού. Ο λόγος που το φαινόμενο αποτελεί σημαντικό ζήτημα είναι η δυσκολία εντόπιση του, αφού δεν εμφανίζει δραστικά και σαφή συμπτώματα.

PROLOGOS

The emergence of the phenomenon of cavitation in centrifugal pumps is a major issue for the installations of a refinery, because it causes very serious problems for this type of pump. The problems cause, in addition to the closure of the system, many financial burdens. The phenomenon of cavitation is the result of the sharp increase in the prices of local speed, which has the liquid element of the system, resulting in the drop in the values of local pressure with the participation of the required pressure which is aimed at vapping the liquid. The reason the phenomenon is an important issue is the difficulty of locating it, since it does not show drastic and clear symptoms.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	2
PROLOGOS	3
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΑΝΤΛΙΕΣ	14
2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΤΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ.....	14
2.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΑΝΤΛΙΩΝ.....	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΦΥΤΟΚΕΝΤΡΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ	18
3.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΦΥΤΟΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ	18
3.2 ΤΥΠΟΙ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΦΥΤΟΚΕΝΤΡΙΚΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ	19
3.2.1 ΑΝΤΛΙΕΣ ΑΞΟΝΙΚΗΣ ΡΟΗΣ	19
3.2.2 ΜΟΝΟΒΑΘΜΙΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΑΠΛΗΣ ΑΝΑΡΡΟΦΗΣΗΣ	20
3.2.3 ΑΝΤΛΙΕΣ ΔΙΠΛΗΣ ΑΝΑΡΡΟΦΗΣΗΣ	21
3.2.4 ΠΟΛΥΒΑΘΜΙΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ	21
3.2.5 ΕΙΔΙΚΕΣ ΦΥΤΟΚΕΝΤΡΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ.....	22
3.3 ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΦΥΤΟΚΕΝΤΡΙΚΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥΣ	23
3.4 ΔΟΜΗ ΦΥΤΟΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ.....	24
3.4.1 ΤΟ ΣΩΜΑ ΤΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ.....	24
3.4.1.1 ΤΜΗΜΑ ΕΙΣΟΔΟΥ.....	25
3.4.1.2 ΤΜΗΜΑ ΕΞΟΔΟΥ.....	26
3.4.2 ΠΤΕΡΩΤΗ - ΣΤΡΟΦΕΙΟ (IMPELLER).....	28
3.4.3 ΔΑΚΤΥΛΙΟΙ ΦΘΟΡΑΣ (WEAR RINGS)	31
3.4.4 ΑΤΡΑΚΤΟΣ (ΑΞΟΝΑΣ).....	32
3.4.5 ΠΑΡΕΛΚΟΜΕΝΑ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ.....	33
3.5 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΤΟΥ ΥΓΡΟΥ ΣΤΗΝ ΑΝΤΛΙΑ	35
3.6 ΡΟΗ ΣΕ ΦΥΤΟΚΕΝΤΡΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ.....	36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΣΠΗΛΛΑΙΩΣΗΣ ΣΤΙΣ ΑΝΤΛΙΕΣ	39
4.1 ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΣΠΗΛΛΑΙΩΣΗΣ.....	39
4.2 ΚΑΘΑΡΟ ΘΕΤΙΚΟ ΥΨΟΣ ΑΝΑΡΡΟΦΗΣΗΣ	40
4.2.1 ΤΟ NPSH _a ΩΣ ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΗ ΤΗΣ ΣΠΗΛΛΑΙΩΣΗΣ.....	45
4.2.2 ΑΠΟΦΥΓΗ ΣΠΗΛΛΑΙΩΣΗΣ.....	46
4.3 ΤΑ ΕΙΔΗ ΤΗΣ ΣΠΗΛΛΑΙΩΣΗΣ	47

4.4 ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΣΠΗΛΛΑΙΩΣΗΣ ΒΑΣΕΙ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ	49
4.5 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΩΝ ΦΥΣΑΛΙΔΩΝ	51
4.5.1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΗ ΤΩΝ ΦΥΣΑΛΙΔΩΝ	52
4.5.2 ΤΑ ΣΤΑΔΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΩΝ ΦΥΣΑΛΙΔΩΝ	54
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΣΠΗΛΛΑΙΩΣΗΣ ΣΕ ΦΥΤΟΚΕΝΤΡΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΕΙΔΩΝ	58
5.1 ΠΕΡΙΦΡΑΦΗ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ	58
5.2 ΟΙ ΕΥΝΟΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ	59
5.3 ΣΗΜΕΙΑ ΤΟΥ ΠΤΕΡΥΓΙΟΥ ΠΟΥ ΕΜΦΑΝΙΖΕΤΑΙ ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΣΠΗΛΛΑΙΩΣΗΣ	60
5.4 ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΤΩΜΑΤΑ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΤΗΣ ΣΠΗΛΛΑΙΩΣΗΣ	62
5.5 ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΛΗΨΗΣ ΚΑΤΑ ΤΗΣ ΣΠΗΛΛΑΙΩΣΗΣ	64
5.6 ΕΛΕΓΧΟΙ ΚΑΙ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗΣ ΣΠΗΛΛΑΙΩΣΗΣ ΜΕΣΑ ΣΤΟ ΔΙΥΛΙΣΤΗΡΙΟ	65
5.6.1 ΕΛΕΓΧΟΙ ΣΤΙΣ ΦΥΤΟΚΕΝΤΡΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΤΟΥ ΔΙΥΛΙΣΤΗΡΙΟΥ	65
5.6.2 ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΤΩΝ ΦΥΤΟΚΕΝΤΡΙΚΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ	66
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	68
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	70

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σπηλαίωση ή δημιουργία κοίλων χώρων ονομάζεται το φαινόμενο ανάπτυξης φυσαλίδων ατμού όταν σε κάποιο σημείο της αντλίας μειωθεί η στατική πίεση του υγρού που περιέχεται, μέχρι ή και κάτω από την εκάστοτε τιμή πίεσης ατμοποίησης λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας στο σημείο αυτό. Το υγρό στη συνέχεια εξατμίζεται απότομα και παράγει φυσαλίδες ατμού, οι οποίες εξαπλώνονται μέσα στο περιβάλλον της αντλίας. Ωστόσο, η πίεση αποδεικνύεται μη σταθερή στο εσωτερικό του υγρού, έτσι οι φυσαλίδες που παράχθηκαν οδηγούνται σε ακραία συμπύκνωση, στα σημεία που η πίεση βρίσκεται σε τιμές μεγαλύτερες της ατμοποίησης. Έτσι, η κάθε φυσαλίδα καταλαμβάνεται από το υγρό που την περιέβαλε, δημιουργώντας ξαφνική υδραυλική κρούση. Όταν μάλιστα η φυσαλίδα δημιουργηθεί πάνω σε στερεή επιφάνεια επιφέρει καταστροφή του σημείου εκείνου, γεγονός που προκύπτει από την υδραυλική κρούση και τη μεγάλη πίεση που έχει προκληθεί.

Η ξαφνική μείωση της παροχής έρχεται να μαρτυρήσει την παρουσία της σπηλαίωσης, καθώς η διατομή μικραίνει από τις φυσαλίδες ατμού. Έτσι μειώνεται και ο βαθμός απόδοσης. Η καταστροφή αυτή επιφέρει επιπλέον έναν έντονο θόρυβο αλλά και πάρα πολύ γρήγορη καταστροφή του υλικού. Ωστόσο, λόγω του περιβάλλοντος που δημιουργούνται, οι φυσαλίδες μετακινούνται από το μέρος που δημιουργήθηκαν και εξαπλώνονται στο εσωτερικό της περωτής, δηλαδή σε περιβάλλον με πιο αυξημένη πίεση, όπου και συμπυκνώνονται. Μάλιστα σε κάποιες περιπτώσεις, οι φυσαλίδες εισχωρούν έως και τη στεφάνη της περωτής προκαλώντας ακόμα πιο έντονες καταστροφές.

Η παρούσα εργασία απαρτίζεται από πέντε κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο παραθέτει μια ιστορική αναδρομή των αντλιών. Στη συνέχεια στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στις αντλίες και στα χαρακτηριστικά μεγέθη τους. Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύεται η φυγοκεντρική αντλία. Πιο συγκεκριμένα, γίνεται λόγος για τους τύπους και τις εφαρμογές των φυγοκεντρικών αντλιών, την κατάταξη τους με βάση τη κατασκευή, τη δομή τους αλλά και την ροή τους. Επιπλέον στο κεφάλαιο αυτό αναφέρεται και η επίδραση των φυσικών ιδιοτήτων που έχει το υγρό στην

αντλία. Στο επόμενο κεφάλαιο, δηλαδή το κεφάλαιο τέσσερα αναπτύσσει την έννοια του φαινομένου της σπηλαίωσης. Πιο αναλυτικά, το κεφάλαιο αναφέρεται στο καθαρό θετικό ύψος αναρρόφησης, στα είδη της σπηλαίωσης, την εμφάνιση της κατά περιοχή αλλά και στο μηχανισμό παραγωγής των φυσαλίδων. Τέλος, στο κεφάλαιο πέντε αναλύεται η εμφάνιση του φαινομένου της σπηλαίωσης και οι καταστροφές που επιφέρει σε ένα διυλιστήριο, όπως και τα μέτρα πρόληψης του, οι έλεγχοι αλλά και οι μέθοδοι αντιμετώπισης του.

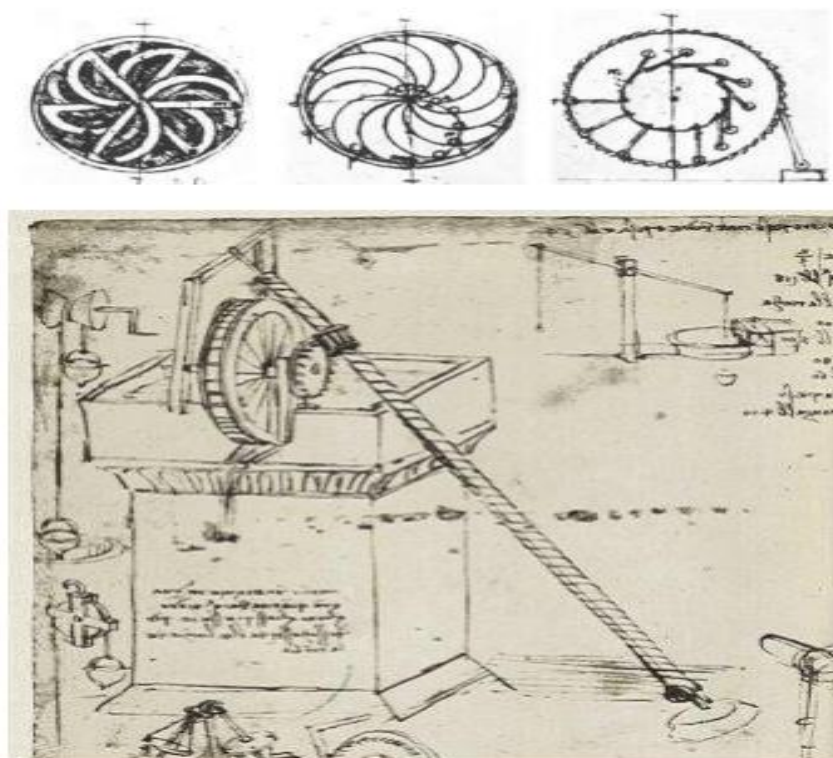
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Καθώς ο ανθρώπινος νους και η τεχνολογία αναπτύσσεται, πάντα θα βρίσκεται υπό τη σκιά του δημιουργού του. Αυτό συμβαίνει διότι δεν θα υπήρχε η ανθρώπινη ζωή αλλά και ούτε οποιαδήποτε άλλη ζωική αν δεν υπήρχε η πρώτη και βασικότερη «αντλία» η οποία ονομάζεται καρδιά. Είναι η αντλία που δε σταματάει να δουλεύει για δεκάδες χρόνια μέσα μας αθόρυβη, ρυθμισμένη ανάλογα με τις καθημερινές ανάγκες του σώματος του ανθρώπου.

Λόγω αυτής, ο άνθρωπος μέσα από την εξέλιξη του πνεύματος του και της τεχνολογίας δημιούργησε ένα σκεύος το οποίο θα κάνει πιο βιώσιμη την ανθρωπότητα, καλύπτοντας τις ανάγκες του για το απαραίτητο αγαθό, το νερό. Αυτή η κατασκευή ήταν η αντλία. Εφευρέθηκε και κατασκευάστηκε χιλιάδες χρόνια πριν και λειτουργούσε με την κινητική βοήθεια του ανθρώπου, των ζώων ή του ανέμου.

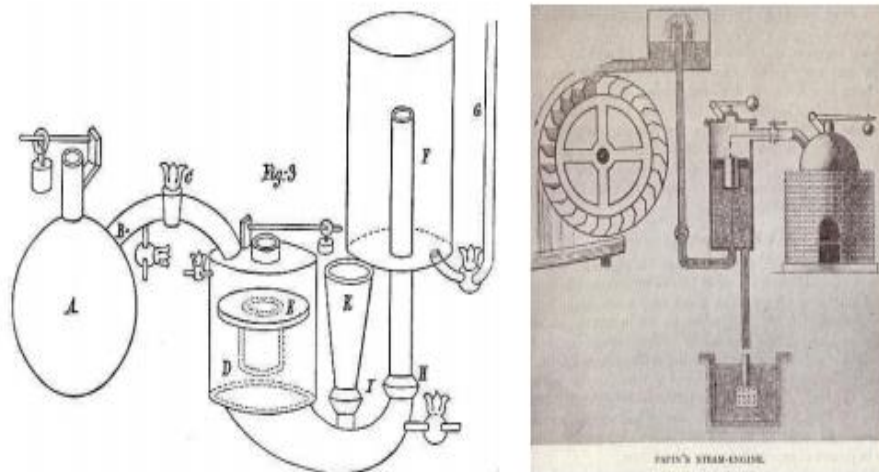
Στα πρώτα βήματα του ο άνθρωπος έπρεπε να βρει τρόπο να ανυψώσει το νερό από χαμηλό ύψος π.χ. μια λίμνη, ενός ποταμού για την κάλυψη των αναγκών του. Αυτή η ανύψωση έγινε στην αρχή με την χρήση δοχείου. Με την πάροδο των χρόνων ο άνθρωπος άρχισε να κατασκευάζει ιδιαίτερα συστήματα που θα εξυπηρετεί αυτόν το σκοπό. Υπάρχουν μαρτυρίες που κάνουν λόγο ότι υπάρχουν τέτοια μηχανήματα περίπου το 300π.Χ στην αρχαία Κόρινθο, για την άντληση νερού που ανεβάζει νερό σε δεξαμενή.

Ένα από τα τεχνολογικά επιτεύγματα του Αρχιμήδη το 287π.Χ – 212π.Χ ήταν η ατέρμονη κοχλία, γνωστή και ως κοχλία του Αρχιμήδη (εικ.1.1). Αυτός ο κοχλίας εξαπλώθηκε και εφαρμόστηκε σε μεγάλες περιοχές του αρχαίου κόσμου. Η τεχνολογία αυτή διατηρήθηκε με την πάροδο του χρόνου και εφαρμόζεται ακόμα και σήμερα.



Εικ1.1 Κοχλίας του Αρχιμήδη

Από την βιομηχανική επανάσταση και μετέπειτα, τέτοιου είδους μηχανές είχαν ραγδαία ζήτηση για την εξυπηρέτηση διακινήσεως ρευστών και όχι μόνο του νερού. Παράλληλα, υπήρχε τεχνολογική πρόοδος αναπτύσσοντας όλο ένα και περισσότερο πιο σύνθετα μηχανήματα για την εξυπηρέτηση αυτού του σκοπού. Επακόλουθο αυτού, στις αρχές του 18^{ου} αιώνα ήταν να κατασκευαστεί η πρώτη φυγοκεντρική αντλία και η αεραντλία Papin από το γάλλο επιστήμονα Papin Denis.

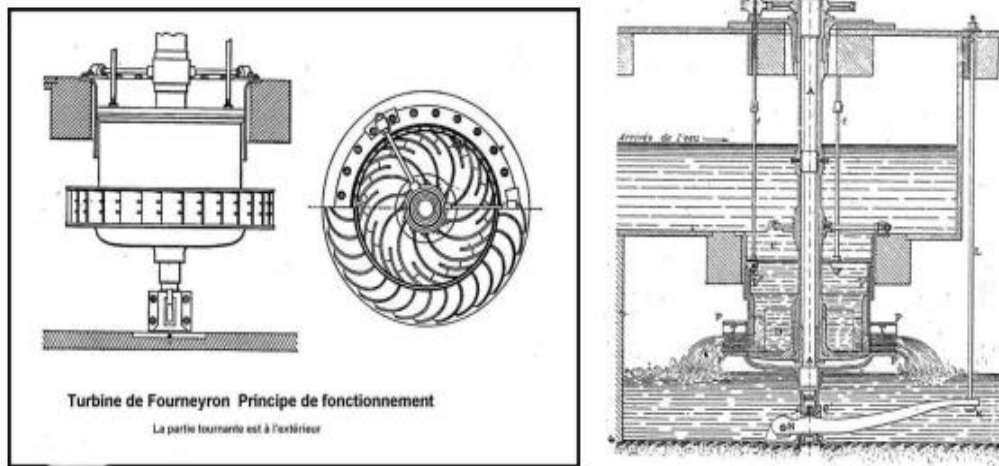


Εικ. 1.2 Αεραντλία Papin

Στην συνέχεια το έτος 1839, ο επιστήμονες Andrews Daniel κατασκεύασε φυγοκεντρική αντλία με σπειροειδές κέλυφος στα περιφερειακά της σημεία. Ενώ το έτος 1875, ο αμερικανικής καταγωγής επιστήμονας Skeys James ανακάλυψε την αντλία αξονικής ροής και στη συνέχεια την διοχέτευσε στην αγορά.

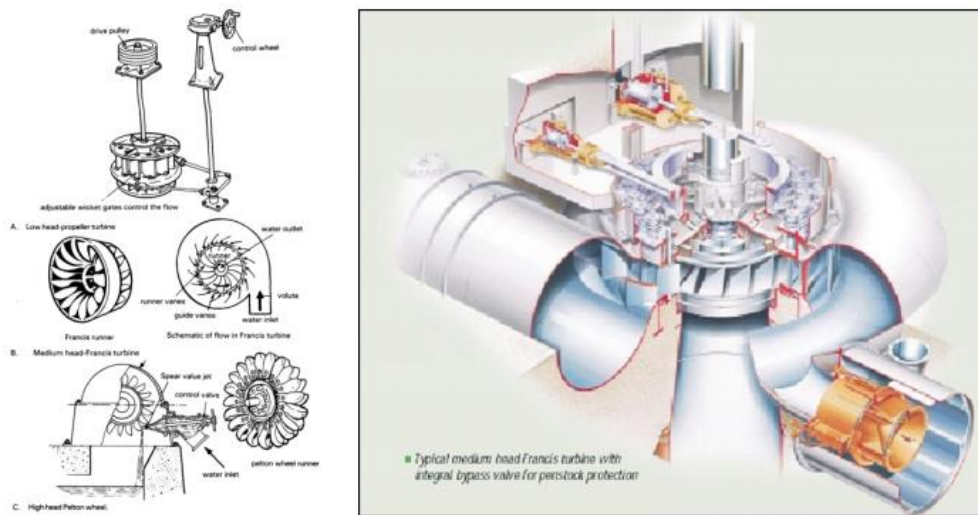
Όλα τα παραπάνω συντέλεσαν το 1887 να αρχίσει η βιομηχανική παραγωγή φυγοκεντρικών αντλιών από την αγγλικής προέλευσης εταιρία Mather & Platt. Ωστόσο με την πάροδο των δεκαετιών ιδρύονται και άλλες εταιρίες κατασκευής αντλιών οι οποίες συνεχίζουν να υπάρχουν στην αγορά μέχρι και σήμερα. Κάποιες από αυτές είναι οι Sulzer, de Laval, Worthington, John Crane, Parsons καλύπτοντας τις ανάγκες του χώρου της βαριάς βιομηχανίας και των πετρελαιοχημικών.

Στη Γαλλία και πιο συγκεκριμένα στο Παρίσι, το 1827 σχεδιάστηκε από τον Benoit Fourneyron ο πρώτος σύγχρονος υδροστρόβιλος. Πρόκειται για έναν υδροστρόβιλο με κατακόρυφο άξονα, φυγόκεντρης ροής και ολικής προσβολής. Οι υδροστρόβιλοι αυτή είχαν σημαντική επιτυχία και για αυτό το λόγο είχαν τρομερή διάδοση.



Εικ 1.3 Υδροστρόβιλος Fourneyron

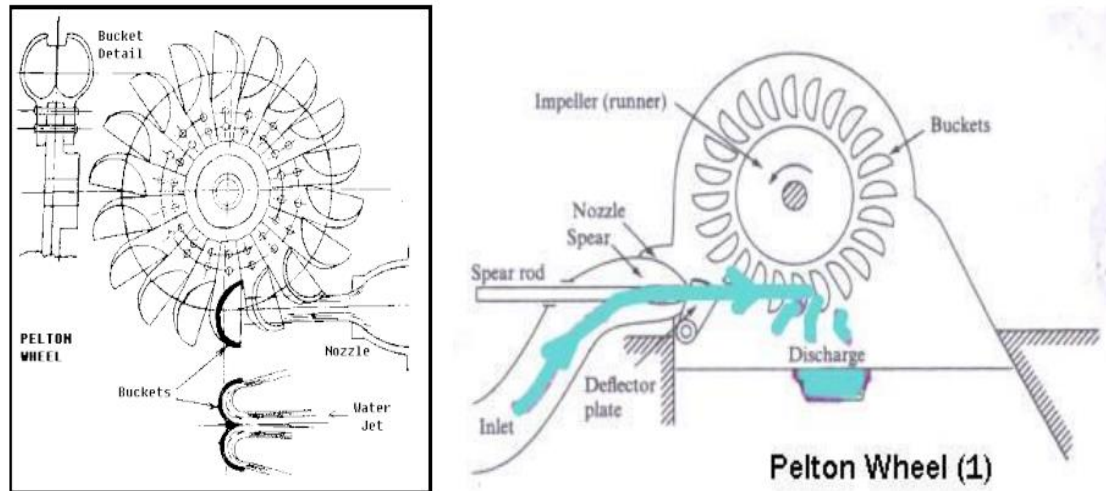
Το 1850 ο μηχανικός James B. Francis βελτίωσε τον υδροστρόβιλο φυγόκεντρης ροής του Fourneyron, χρησιμοποιώντας στεφάνη ρυθμιστικών πτερυγίων, από το οποίο επιτυγχάνεται η ρύθμιση της παροχής για μεσαίες τιμές της υδραυλικής πτώσης ($H=50-500$ mΣΥ).



Εικ. 1.4 Υδροστρόβιλος Francis

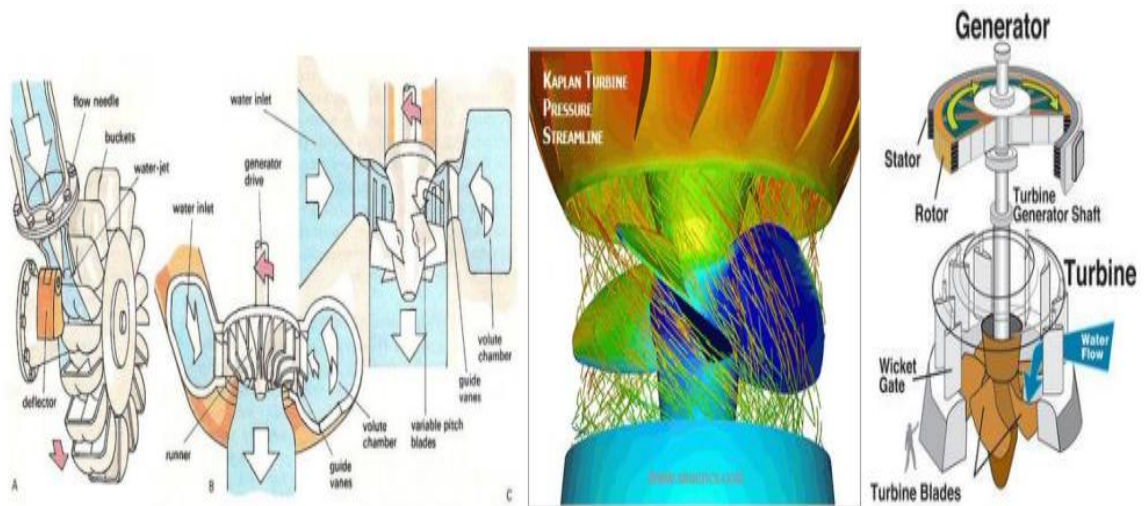
Ο αμερικάνος μηχανικός Lester Pelton σχεδίασε το 1880 τον υδροστρόβιλο που είναι κατάλληλος για μεγάλες τιμές υδραυλικής πτώσης σε σχετικά μικρές παροχές.

Αυτό το επιτύγχανε με τη χρήση του διπλού σκαφιδιού, το οποίο δημιουργεί μεταβολή της διεύθυνσης της ροής κατά 180° , αλλά και το αρκοφύσιο τροφοδοσίας με ρυθμιστική βελόνη.



Εικ. 1.5 Υδροστρόβιλος Pelton

Το 1913, ο τσέχικος καταγωγής Victor Kaplan έκανε τη παρουσίαση του πρώτου μοντέλου υδροστρόβιλου αξονικής ροής με δρομέας τύπου έλικα, δίνοντας τη δυνατότητα μεταβολής της κλίσης στα πτερύγια του δρομέα. Με αυτό τον τρόπο επιτύγχανε τη βελτίωση του εύρους λειτουργίας και του βαθμού απόδοσης για λειτουργία σε μερικά φορτία. Ο υδροστρόβιλος αυτός πήρε το όνομα του κατασκευαστή και προτείνεται για την αξιοποίηση μικρών υδραυλικών πτώσεων.



Εικ. 1.6 Υδροστρόβιλος Kaplan

Στις μέρες μας οι υδροστρόβιλοι μεγάλου μεγέθους έχουν φτάσει σε μεγάλα επίπεδα βαθμού απόδοσης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο ολικός βαθμός απόδοσης να είναι τις τάξεις του 94-95%. Οπότε, οι προσπάθειες των κατασκευαστών και των ερευνητών στοχεύουν στη μείωση του όγκου και του κόστους μιας υδροδυναμικής μηχανής, εξελίσσοντας τη ροή μέσω διαφόρων τμημάτων, εξασφαλίζοντας ομαλές συμπεριφορές, αποφεύγοντας τη **σπηλαιώση** σε υψηλές τιμές του ολικού βαθμού απόδοσης και βελτίωσης της λειτουργίας σε ορισμένα φορτία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΑΝΤΛΙΕΣ

2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΤΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ

Ως αντλίες ορίζονται τα μηχανήματα, τα οποία εξασφαλίζουν την επιτάχυνση της κίνησης που χρειάζεται για τη μετακίνηση των υγρών. Πιο συγκεκριμένα, η αντλία αναρροφά το υγρό στοιχείο από ένα συγκεκριμένο χώρο και δίνοντας του ενέργεια, δηλαδή μηχανικό έργο, το μεταφέρει μέσω αγωγών σε έναν άλλο χώρο, ο οποίος έχει πιο μεγάλο υψόμετρο ή μεγαλύτερη πίεση. Χωρίς την ύπαρξη της αντλίας, η παροχή του υγρού στοιχείου δεν είναι δυνατή, ακόμα και όταν ο χώρος προέλευσης και ο χώρος μεταφοράς έχουν ίδιο υψόμετρο και πίεση. Οι αντλίες διαχωρίζονται σε αντλίες θετικής εκτοπίσεως ή στατικού τύπου και σε δυναμικές ή κινητικού τύπου. Επιπροσθέτως οι αντλίες θετικής εκτοπίσεως διαμορφώνονται σε παλινδρομικές και σε περιστροφικές. Οι βασικές έννοιες των αντλιών είναι οι εξής:

- Σωλήνας αναρροφήσεως: είναι το σημείο όπου εισέρχεται το υγρό μέχρι την είσοδο της αντλίας.
- Σωλήνας καταθλίψεως: είναι το σημείο όπου εξέρχεται το υγρό από την αντλία μέχρι το σημείο αποστολής του.
- Σωληνογραμμή: το σύνολο των σωλήνων από όπου ρέει το υγρό.
- Σύστημα αντλήσεως: είναι το σύνολο του σωλήνα αναρροφήσεως-καταθλίψεως και του κινητήρα.
- Αντλητικό συγκρότημα: είναι η διάταξη αντλιών- κινητήρα που συμμετέχει για την άντληση του υγρού.

2.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΑΝΤΛΙΩΝ

Η αντλία αποτελεί την καρδιά του συστήματος αντλήσεως αντιμετωπίζοντας τις ενεργειακές του ανάγκες και διακινώντας το υγρό, με τη βοήθεια του μηχανικού έργου. Ο υπολογισμός του συστήματος έχει μια σειρά ενεργειακών μεγεθών και μεγεθών ροής, τα οποία αφορούν την αντλία και χαρακτηρίζουν τη δράση και τις δυνατότητες της. Τα χαρακτηριστικά μεγέθη των αντλιών διακρίνονται σε:

1. Παροχή Q: είναι η ογκομετρική παροχή που δίνει στο σύστημα αντλήσεως στο στόμιο κατάθλιψης αντλίας ανά μονάδα χρόνου. Εκφράζεται σε m^3/h στο σύστημα S.I .

- Θεωρητική παροχή Q_{Θ} καλείται η παροχή που δίνει η αντλία αν δεν υπάρχουν εσωτερικές διαρροές και διαρροές προς το περιβάλλον.
- Πραγματική παροχή (Q) ονομάζεται ο όγκος του υγρού που αποδίδεται στο σωλήνα καταθλίψεως στη μονάδα του χρόνου υπό ορισμένο μανομετρικό ύψος H.
- Εσωτερική παροχή Q_E είναι η παροχή στο εσωτερικό της αντλίας. Στις αντλίες κινητικού τύπου (δυναμικές) η παροχή αυτή είναι αρκετά μεγαλύτερη από την πραγματική. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα πτερύγια της περωτής δεν εφάπτονται, επομένως μια ποσότητα από το υγρό επανακυκλοφορεί. Άρα, η εσωτερική παροχή ισούται με το άθροισμα της πραγματικής και των εσωτερικών διαρροών.

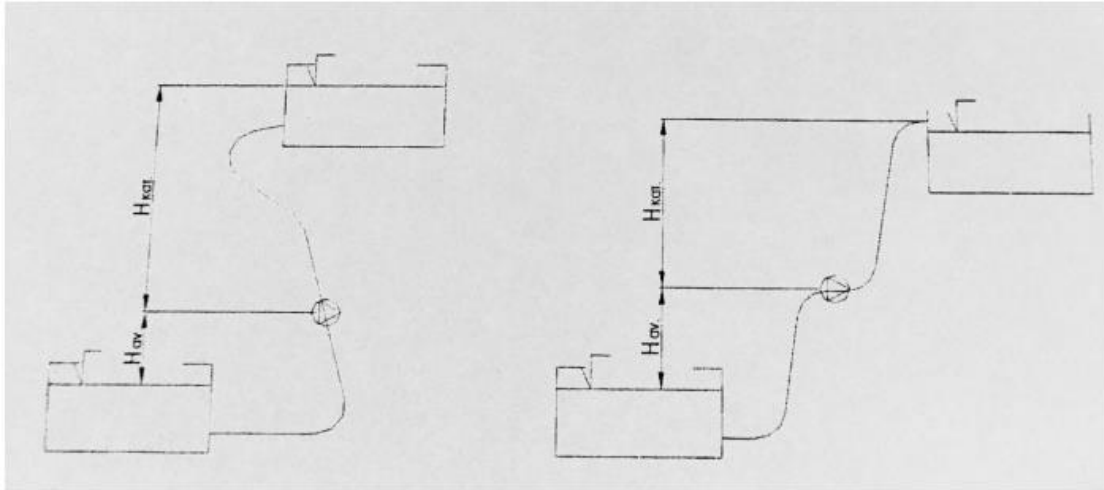
$$Q_E = Q + Q_{\delta}$$

Το Q_{δ} είναι πολύ μικρό με σχέση με το Q.

- Κανονική παροχή Q_N είναι η πραγματική παροχή που δίνει η αντλία όταν λειτουργεί σε μέγιστο βαθμό απόδοσης.
2. Ολικό ύψος αντλίας H: είναι η διαφορά τις ολικής πίεσης του υγρού από το στόμιο αναρρόφησης της αντλίας στο στόμιο καταθλίψεως. Ως στατικό ύψος αναρρόφησης H_{av} ορίζεται η κατακόρυφη απόσταση από την επιφάνεια ρευστού αναρρόφησης μέχρι το υψηλότερο σημείο ανόδου του ρευστού ή τον άξονα της αντλίας. Από την άλλη, ως στατικό ύψος κατάθλιψης $H_{κατ}$ ορίζεται η κατακόρυφη απόσταση από τον άξονα της αντλίας μέχρι το πιο υψηλό σημείο ανόδου του ρευστού.

$$H = H_{κατ} - H_{av} = \text{Μανομετρικό ύψος αντλίας}$$

$$H_{av} = f(P_{βαρομ}, T, \gamma, H_f, \text{στεγαν. σωλήνας}, N, \text{αριθμός βαλβίδων})$$



Εικόνα ύψος αναρρόφησης – ύψος κατάθλιψης

Ολικό μανομετρικό H σε m.

$$H = \frac{P_{\kappa} + P_{\alpha}}{g \cdot \rho} + h$$

P_{κ} : Πίεση κατάθλιψης (Nt/m^2)

P_{α} : Πίεση αναρρόφησης (Nt/m^2)

ρ : πυκνότητα ($\rho_{\text{H}_2\text{O}}=1000\text{kg}/\text{m}^3$)

g : επιτάχυνση βαρύτητας ($9.806 \text{ m}/\text{sec}^2$)

h : διαφορά ύψους μεταξύ των μανομέτρων αναρρόφησης και κατάθλιψης

3. Ταχύτητα περιστροφής N : είναι η ταχύτητα με την οποία περιστρέφεται ο άξονας της αντλίας, δηλαδή η περωτή. Μονάδα μέτρησης είναι RPM (στροφές/λεπτό).
4. Απορροφούμενη ισχύς P_M : είναι η ισχύς που προέρχεται από τον άξονα της αντλίας από τον κινητήρα μέσω της στρεπτικής ροής (ισχύς εισόδου). Η μονάδα μέτρησης σε αυτή είναι τα Watt.

$$P_M = \frac{2 \cdot \pi \cdot N}{60} \cdot F \cdot L$$

F : Δύναμη μετρημένη από δυναμόμετρο ($1\text{Kp}= 9,806 \text{ Nt}$)

L : Μοχλοβραχίονας = $0,15\text{m}$

N : Περιστροφική ταχύτητα RPM (Rounds Per Minute)

5. Ωφέλιμη ισχύς P_W : είναι η ισχύς η οποία μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια και μεταφέρεται στο εργαζόμενο μέσο (ισχύς εξόδου). Μονάδα μέτρησης είναι τα Watt.

$$P_W = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H$$

Q: Ογκομετρική παροχή (m^3/sec)

H: Ολικό μανόμετρο (m)

6. Ολικός βαθμός απόδοσης n : αποτελεί το πηλίκο της ωφέλιμης ως προς την απορροφούμενη ισχύς. Εκφράζεται σε ποσοστό %.

$$n = \frac{P_W}{P_M} = \frac{P_{εξ}}{P_{εισ}} = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{P_M}$$

7. Κρίσιμο ύψος σπηλαίωσης $NPSH_r$: είναι τιμή πίεσης η οποία απεικονίζει τη δυνατότητα της αντλίας να λειτουργεί χωρίς σπηλαίωση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ

3.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ

Οι φυγοκεντρικές αντλίες ανήκουν στην κατηγορία των δυναμικών αντλιών. Η λειτουργία τους στηρίζεται στη μεταβολή της κινητικής καταστάσεως του υγρού με τη μετατροπή της κινητικής του ενέργειας. Έτσι, η μεγάλη ταχύτητα ροής, που αρχικά προσδίδεται στο υγρό, μετατρέπεται σε στατική πίεση, δηλαδή αναπτύσσεται δυναμική δράση. Οι διαστάσεις, ο χώρος από όπου διέρχεται το ρευστό και η ταχύτητα λειτουργίας της πτερωτής (στροφείου) καθορίζουν το μέγεθος αυτής της αλλαγής.

Οι φυγοκεντρικές αντλίες έγιναν ευρέως γνωστές με μεγάλη ταχύτητα ανάπτυξης και ζήτησης για τους λόγους που θα αναφέρουμε:

- Είχαν μεγάλη απόδοση με σχετικά μικρό βάρος και όγκο.
- Είχαν σχετικά χαμηλό κόστος κατασκευής.
- Η σχετική και ομοιόμορφη περιστροφική τους κίνηση δεν παρουσίαζε διακυμάνσεις στην πίεση και την παροχή όπως γίνεται με τις εμβολοφόρες και παλινδρομικές αντλίες.
- Ο σχεδιασμός τους ήταν απλοϊκός και εύκολος.
- Είχαν τη δυνατότητα εύκολης σύνδεσης με διάφορα είδη κινητήρων.
- Είχαν την ικανότητα να χειριστούν μεγάλης ποσότητας υγρά.

Αυτό το είδος αντλιών εξυπηρετεί το 80-90% των εγκατεστημένων αντλιών στην πετρελαϊκή βιομηχανία, ενώ παράλληλα η ευρεία χρήση των φυγοκεντρικών αντλιών μπορεί να δίνει λύσεις στην εξέλιξη των τομέων των μηχανών εσωτερικής καύσεως, των ατμοστρόβιλων και των ηλεκτροκινητήρων.

Μια φυγοκεντρική αντλία απαρτίζεται από τα παρακάτω επιμέρους τμήματα:

- Κινητά Μέρη
 - ◆ Άξονας περιστροφής: αυτό το τμήμα της φυγοκεντρικής αντλίας λαμβάνει περιστροφική κίνηση από την κινητήριο δύναμη μιας

μηχανής, η οποία δίνει κίνηση στο σύνολο του συστήματος της αντλίας.

- ◆ Πτερωτή ή στροφέιο: το συγκεκριμένο τμήμα της φυγοκεντρικής αντλίας καλύπτεται από το κέλυφος της, ενώ βρίσκεται τοποθετημένο στον άξονα της και περιστρέφονται μαζί.

- Σταθερά Μέρη
 - ◆ Περιβλήμα ή casing: είναι τμήμα της φυγοκεντρικής αντλίας το οποίο καλύπτει με την επιφάνεια του το κινητό μέρος του στροφείου.
 - ◆ Σύστημα στεγανοποίησης: αυτό το τμήμα της φυγοκεντρικής αντλίας έχει υψηλή σημασία αφού χάρη σε αυτό πραγματοποιείται η αποφυγή τυχόν εξωτερικών διαρροών. Τα τμήματα από τα οποία απαρτίζεται είναι: στυπιοθάλαμος, σαλαμάστρα, στυπιοθλίπτης.

3.2 ΤΥΠΟΙ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ

Οι τύποι των φυγοκεντρικών αντλιών διακρίνονται σε ακτινικής και αξονικής ροής ανάλογα με τον τρόπο κίνησης του καταθλιβόμενου ρευστού, σε οριζόντια και κάθετη με βάση το κριτήριο της διεύθυνσης της γραμμής αναρρόφησης, σε απλής και διπλής αναρρόφησης με βάση τη μορφή της χρησιμοποιούμενης πτερωτής, και σε μονοβάθμιες ή πολυβάθμιες με βάση τον αριθμό των στροφείων ή πτερωτών που χρησιμοποιούνται.

3.2.1 ΑΝΤΛΙΕΣ ΑΞΟΝΙΚΗΣ ΡΟΗΣ

Οι φυγοκεντρικές αντλίες αξονικής ροής αποτελούνται από στροφέια με πτερωτή ανοιχτού τύπου. Η ροή θα εισέλθει στο δακτύλιο που προκαλεί η πτερωτή ενώ περιστρέφεται και θα εξέλθει από το δακτύλιο με σταθερή ταχύτητα. Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι η παροχή του όγκου διατηρείται, αλλά και οι επιφάνειες εισόδου

και εξόδου είναι ίσες. Οι αντλίες αυτές διαπερνούνται από υγρά με παράλληλη κατεύθυνση ως προς τον άξονα τους. Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι η βασική τους χρήση είναι η άντληση ρευστών με χαμηλή πυκνότητα.

3.2.2 ΜΟΝΟΒΑΘΜΙΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΑΠΛΗΣ ΑΝΑΡΡΟΦΗΣΗΣ

Οι συγκεκριμένες φυγοκεντρικές αντλίες καλύπτουν ευρύ φάσμα χρήσης τεχνικών εφαρμογών σε ένα διωλιστήριο ή σε μια βιομηχανία γενικότερα. Αυτές οι χρήσεις μπορεί να είναι η άρδευση, η ύδρευση καθώς και η κυκλοφορία των υγρών. Υπάρχουν δυο κατασκευαστικές διατάξεις οι οποίες έχουν οριζόντιο ή κάθετο άξονα με εύρος παροχών από 100 m³/h έως 7000 m³/h. Έχουν υψηλό μανομετρικό ύψος καταθλίψεως και η ταχύτητα περιστροφής κυμαίνεται από 1450- 2947 rpm, ανάλογα με τις απαιτήσεις της παροχής και του ύψους καταθλίψεως. Η πιο συχνή μορφή μονοβάθμιας αντλίας απλής αναρρόφησης που συναντάται στη βιομηχανία πετρελαιοειδών είναι η inline αντλίες, στις οποίες ο άξονας τους τοποθετείται κατακόρυφα. Η διατομή εισόδου τους βρίσκεται στην ίδια ευθεία με την διατομή εξόδου, έχοντας ως αποτέλεσμα στη σωληνογραμμή της αντλίας να μην παρατηρούνται καμπύλες. (Εικ 3.1)

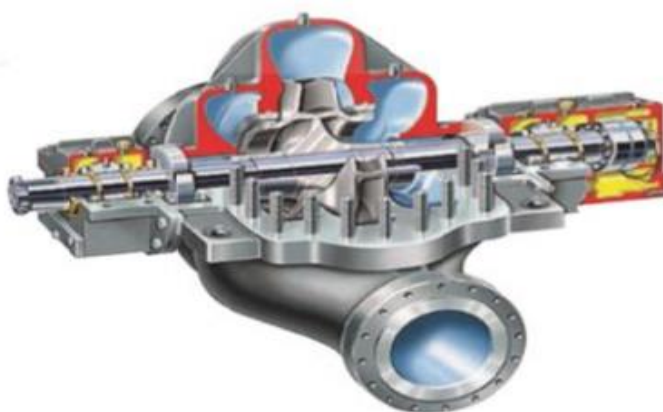


Εικ3.1 Φυγοκεντρική μονοβάθμια αντλία απλής αναρρόφησης

3.2.3 ΑΝΤΛΙΕΣ ΔΙΠΛΗΣ ΑΝΑΡΡΟΦΗΣΗΣ

Ο σχεδιασμός των περωτών μπορεί να διακριθεί σε δύο επίπεδα, τις απλές ή διπλές περωτές, αλλά και στις ανοιχτές ή κλειστές περωτές. Η κατασκευή των απλής περωτής αντλίες ή αντλίες απλού στροφείου παρουσιάζουν δύο ανοίγματα, ένα από την κάθε πλευρά. Το ένα άνοιγμα χρησιμοποιείται για να εισχωρεί το υγρό και το άλλο αφορά την είσοδο του άξονα από τον κινητήρα ή τη μηχανή τροφοδοσίας κίνησης. Ωστόσο υπάρχει και ένα τρίτο άνοιγμα το οποίο είναι υπεύθυνο για την έξοδο του υγρού (αγωγός εξόδου).

Εκτός από τις «μονές» περωτές υπάρχουν και οι διπλές περωτές. Εκείνες παρουσιάζουν συμμετρία ως προς το επίπεδο που είναι κάθετο στον άξονα τους. Μια τέτοια τύπου αντλία συναντάται όταν αναζητείται η αύξηση της ροής.

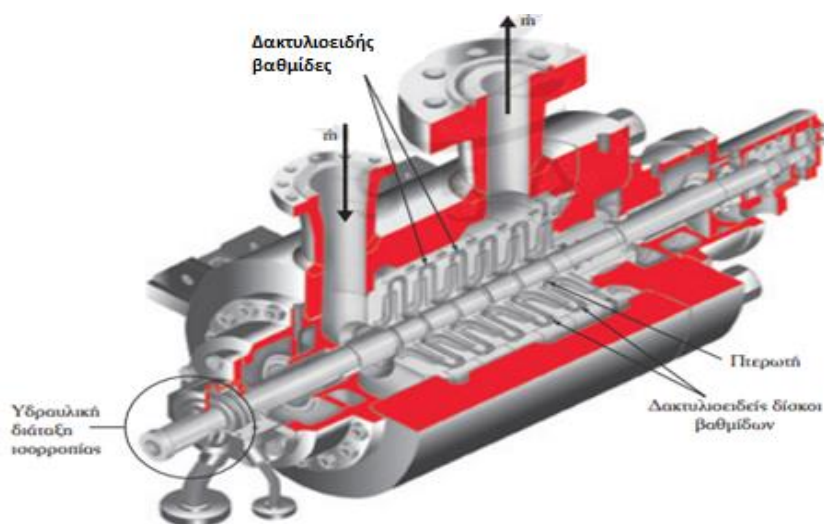


Εικ 3.2 Φυγοκεντρική μονοβάθμια αντλία διπλής αναρροφήσεως

3.2.4 ΠΟΛΥΒΑΘΜΙΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ

Οι πολυβάθμιες αντλίες είναι οι αντλίες που κατασκευάζονται με περισσότερα από δύο στροφεία σε σειρά. Η ποσότητα του υγρού που περνάει από στροφείο σε στροφείο είναι πάντοτε η ίδια. Η χρήση των πολλών περωτών χρησιμεύει μόνο για την αύξηση της πίεσης. Επιπλέον, στο σημείο της κατάθλιψης της αντλίας το υγρό αποκτά ταχύτητα ίση με τη ταχύτητα που θα είχε αν είχαμε μόνο μία περωτή, ενώ η

τελική πίεση παρέχεται από τη διαφορά πίεσης, η οποία φτάνει στο επιθυμητό αποτέλεσμα με τη λειτουργία της μίας πτερωτής. Αυτή η τιμή πολλαπλασιάζεται επί το πλήθος του αριθμού των πτερωτών. Τέτοιες αντλίες χρησιμοποιούνται στο δυλιστήριο για να καλύψουν ανάγκες που χρειάζονται μεγάλο μανομετρικό ύψος σε σχετικά μικρές παροχές όπως οι αντλίες τροφοδοσίας δεξαμενών. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι οι αντλίες αυτές παρουσιάζουν μεγάλο βαθμό απόδοσης.



Εικ 3.3 Πολυβάθμια φυγοκεντρική αντλία

3.2.5 ΕΙΔΙΚΕΣ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ

Οι παρούσες αντλίες είναι ο πιο συνήθεις τύπος για την άντληση λυμάτων ή άντληση στερεών μειγμάτων. Το είδος και η συγκέντρωση των μεταφερόμενων στερεών παίρνεται υπόψη στην επιλογή των υλικών από τα οποία θα κατασκευαστεί, έτσι ώστε να αντέχουν, σε αρκετά μεγάλο βαθμό, τη μηχανική διάβρωση. Παράλληλα λαμβάνεται υπόψη η μέγιστη διάμετρος του στερεού σώματος για τη σχεδίαση της αντλίας έτσι ώστε να περνάει. Οι αντλίες αυτές είναι πάντοτε μονοβάθμιες. Τέλος, οι αντλίες λυμάτων κατασκευάζονται με μεγάλη ακτίνα πτερωτής και μεγάλη διάμετρο σπειροειδούς κελύφους, ώστε να μπορούν να εισέρχονται στερεά σωματίδια σε ορισμένη ποσότητα και σε προκαθορισμένο μέγεθος.

3.3 ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥΣ

Η κατάταξη των φυγοκεντρικών αντλιών με βάση την κατασκευή τους αποτελεί μια ιδιαίτερα περίπλοκη διαδικασία, αφού περιλαμβάνει πολλά επιμέρους κριτήρια. Τα κριτήρια αυτά τα οποία διαχωρίζονται σε επιμέρους κατηγορίες για το συγκεκριμένο είδος αντλιών, έχοντας ως κεντρικό άξονα την κατασκευή τους, είναι τα εξής:

- Με βάση τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διαδικασία κατασκευής
 - Φυγοκεντρικές αντλίες με χρήση σιδήρου
 - Φυγοκεντρικές αντλίες με χρήση χάλυβα
 - Φυγοκεντρικές αντλίες με χρήση ορείχαλκου
 - Ανοξείδωτες φυγοκεντρικές αντλίες
- Με βάση την βαθμίδα όπου ανήκουν:
 - Φυγοκεντρικές αντλίες μόνο μιας βαθμίδας (μονοβάθμιες)
 - Φυγοκεντρικές αντλίες με δυο βαθμίδες (δυβάθμιες)
 - Φυγοκεντρικές αντλίες με πολλές βαθμίδες (πολυβάθμιες)
- Με βάση τον τύπο του κινητήρα μηχανής που συνδέονται:
 - Ατμοκίνητες φυγοκεντρικές αντλίες
 - Υδραυλικής ενέργειας φυγοκεντρικές αντλίες
 - Ηλεκτροκίνητες φυγοκεντρικές αντλίες
 - Πετρελαιοκίνητες φυγοκεντρικές αντλίες
- Με βάση τις δραστηριότητες τις δραστηριότητες που πραγματοποιούν στο διυλιστήριο:
 - Φυγοκεντρικές αντλίες διακίνησης
 - Φυγοκεντρικές αντλίες καυσίμων
 - Φυγοκεντρικές αντλίες συμπυκνωμάτων
 - Φυγοκεντρικές αντλίες νερού (καυστική σόδα, θειικό χλώριο κλπ)
 - Φυγοκεντρικές αντλίες τροφοδοσίας λεβήτων διυλιστηρίου
 - Φυγοκεντρικές αντλίες αέριων καυσίμων
 - Φυγοκεντρικές αντλίες πυρασφάλειας
- Με βάση την διάταξη του άξονα κατασκευής:
 - Φυγοκεντρικές αντλίες οριζόντιας διάταξης

- Φυγοκεντρικές αντλίες κάθετης διάταξης
- Φυγοκεντρικές αντλίες κεκλιμένης διάταξης

3.4 ΔΟΜΗ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ

Ο σχεδιασμός μιας φυγοκεντρικής αντλίας αποτελείται από ένα πλήθος εξαρτημάτων. Τα κυριότερα μέρη τους είναι ονομαστικά τα επακόλουθα:

- Το σώμα της αντλίας
- Η πτερωτή ή στροφείο
- Οι δακτύλιοι φθοράς
- Η άτρακτος της αντλίας
- Τα παρελκόμενα εξαρτήματα

3.4.1 ΤΟ ΣΩΜΑ ΤΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ

Το σώμα της αντλίας είναι το πλαίσιο πάνω στο οποίο τοποθετούνται όλα τα υπόλοιπα μέρη της. Τα υλικά από τα οποία κατασκευάζεται είναι πολύ ανθεκτικά ώστε να ανταπεξέλθει σε όλες τις δύσκολες συνθήκες. Το κέλυφος της αντλίας διαφέρει από τη διάταξη του σε διαιρούμενο, σε οριζόντιο, σε κάθετο και σε διαγώνιο με γωνία διαφορετική από 90°. Αυτά που διαιρούνται με οριζόντια διάταξη λέγονται και αξονικά διαιρούμενα κελύφη, ενώ αν η διάταξη είναι κάθετη λέγονται και ακτινικά διαιρούμενα. Στο κάτω τμήμα του διαιρούμενου κελύφους παρατηρούνται οι λαιμοί για τις φλάντζες εισόδου και εξόδου. Για τις αντλίες πολύ υψηλών πιέσεων προτείνεται ο σχεδιασμός τύπου βαρελιού ως σώμα της αντλίας. Ο τρόπος κατασκευής του εσωτερικού του κελύφους τροποποιείται έτσι ώστε να εφάπτεται στο εξωτερικό του βαρελιού. Οι βάσεις του σώματος μοντάρεται είτε στον εξοπλισμό που βρίσκεται κάτω από αυτό είτε στο έδαφος. Το σώμα της αντλίας μπορεί να χωριστεί σε δύο μέρη με βάση το κριτήριο της λειτουργικότητας του, με τα μέρη αυτά να είναι το τμήμα εισόδου και το τμήμα εξόδου.



Εικ 3.4 Σώμα αντλίας

3.4.1.1 ΤΜΗΜΑ ΕΙΣΟΔΟΥ

Ο βασικός ρόλος για να επιτυγχάνεται ικανοποιητικά η λειτουργία στο κομμάτι αναρρόφησης της αντλίας είναι η διαμόρφωση του τμήματος εισόδου, ώστε να διασφαλίζει ομοιόμορφα την διανομή της ταχύτητας ως προς την συμμετρική επιφάνεια εισόδου της περωτής. Με αυτόν τον τρόπο έχουμε την ομαλή και ομοιόμορφη λειτουργία όλων των περυγίων της περωτής. Σε ορισμένους τύπους αντλιών όπως στις μονοβάθμιες αντλίες, αλλά και όπως στις κατακόρυφες αντλίες αξονικής ή μικτής ροής, ο ευκολότερος σχεδιασμός του τμήματος εισόδου είναι η περωτή σε πρόβολο. Πιο αναλυτικά, σε αυτούς τους τύπους αντλιών παρουσιάζεται κωνική μορφή η οποία συγκλίνει προς την είσοδο της περωτής, καθώς και κυλινδρική η οποία έχει κυκλική διατομή στο τμήμα εισόδου. Βέβαια αυτό είναι κάτι που δεν μπορεί να εφαρμοστεί στις πολυβάθμιες αντλίες και στις αντλίες διπλής αναρρόφησης. Αυτό συμβαίνει διότι η πορεία που ακολουθεί το ρευστό στη διατομή εισόδου είναι κάθετη προς τον άξονα περιστροφής της περωτής για αυτές τις αντλίες. Με σκοπό λοιπόν την αποφυγή επιστροφής του ρευστού στη διατομή της αναρρόφησης, αλλά ταυτόχρονα και την αλλαγή της πορείας του υγρού στοιχείου μετά την εισροή του στην αντλία, σχεδιάστηκε το τμήμα εισόδου σε μορφή ημισπειροειδούς κελύφους. Η διατομή του κελύφους πρέπει να είναι υποπολλαπλάσια της διατομής εισόδου ώστε να επιτυγχάνεται η επιθυμητή επιταχυνόμενη ροή στο τμήμα αναρρόφησης. Παράλληλα αξίζει να σημειωθεί ότι το τμήμα εισόδου των

αντλιών οι οποίες έχουν πτερωτή διπλής αναρρόφησης είναι συμμετρικό και μοιράζει ισόποσα τη ροή σε δύο μέρη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η τροφοδοσία που προκύπτει σε κάθε κομμάτι εισόδου της πτερωτής να πραγματοποιείται από ένα ημισπειροειδές κέλυφος.

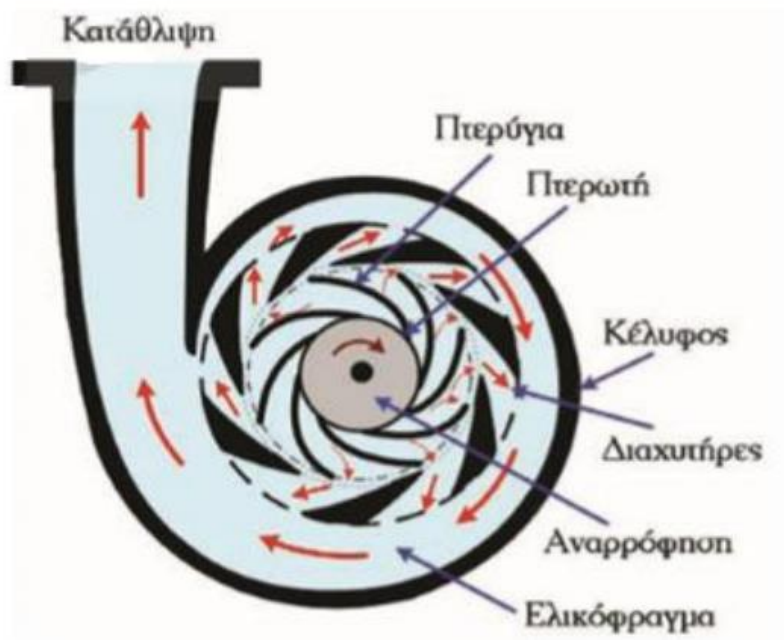
3.4.1.2 ΤΜΗΜΑ ΕΞΟΔΟΥ

Το τμήμα εξόδου μιας φυγοκεντρικής αντλίας κατέχει το μεγαλύτερο όγκο του κελύφους της αντλίας και είναι εκείνο που συγκεντρώνει το αντληθέν ρευστό και το διοχετεύει στη διατομή εξόδου της αντλίας. Όταν το ρευστό φτάνει στην έξοδο της πτερωτής έχει αναπτύξει μεγάλη ταχύτητα, η οποία οφείλεται σε διάφορες παραμέτρους (π.χ. τύπος φτερωτής, πίεση ρευστού στην αναρρόφηση). Η ταχύτητα αυτή πρέπει να μειωθεί όταν φτάσει το ρευστό στην κυκλική διατομή εξόδου. Επομένως είναι αναγκαίο να μετατραπεί η πτώση αυτής της ταχύτητας από κινητική ενέργεια σε στατική πίεση. Οι τύποι των βασικών τμημάτων εξόδου στα κελύφη είναι το σπειροειδές κέλυφος και ο διαχύτης (diffuser).

1. Σπειροειδές κέλυφος

Είναι ο πιο συνηθισμένος τύπος κελύφους εξόδου μιας φυγοκεντρικής αντλίας. Στο εσωτερικό του σπειροειδούς κελύφους βρίσκεται τοποθετημένη έκκεντρα η πτερωτή, στερεωμένη στην άκρη του άξονα περιστροφής. Λόγω υποπίεσεως το υγρό αναρροφάται στο κέντρο της πτερωτής. Καθώς η πτερωτή περιστρέφεται εμφανίζεται υποπίεση και το υγρό που έχει ήδη εισχωρήσει ολισθαίνει επί των πτερυγίων κινούμενο λόγω της επίδρασης της φυγοκεντρικής δυνάμεως ακτινικά προς την περιφέρεια του κελύφους. Μεταξύ πτερυγίων και κελύφους υπάρχει οχετός, στον οποίο αναπτύσσει υψηλή ταχύτητα το υγρό. Η διατομή του σπειροειδούς οχετού αυξάνεται σταδιακά προς την έξοδο. Έτσι σύμφωνα με την εξίσωση του Bernoulli αυξάνεται η πίεση και από την εξίσωση της συνέχειας η περιστροφική κίνηση του υγρού μειώνεται σταδιακά. Στην κατάθλιψη της αντλίας, λοιπόν, το μεγαλύτερο μέρος της κινητικής ενέργειας που έχει το υγρό έχει μετατραπεί σε ενέργεια πίεσεως. Για μεγαλύτερες πιέσεις καταθλίψεως εμφανίζονται πολυβάθμιες φυγοκεντρικές αντλίες, στις οποίες η κατάθλιψη της μίας

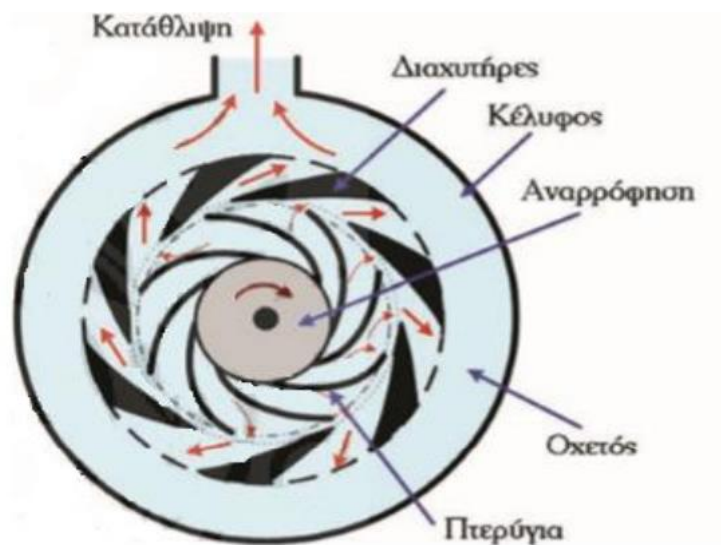
αποτελεί αναρρόφηση της επόμενης. Επομένως επιτυγχάνονται πολλαπλάσιες πιέσεις, άρα και πολλαπλάσιο ύψος ενέργειας στην αντλία.



Εικ3.5 Φυγοκεντρική αντλία με σπειροειδές κέλυφος

2. Διαχύτης (diffuser)

Αυτός ο τύπος αντλιών έχει την περωτή τοποθετημένη στο κέντρο του κελύφους της. Γύρω από τα πτερύγια της περωτής βρίσκονται τοποθετημένα άλλα σταθερά πτερύγια τα οποία είναι διαμορφωμένα έτσι ώστε οι αγωγοί που σχηματίζονται να είναι με αυξανόμενο εμβαδό διατομής. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το υγρό που φεύγει από την περωτή με πολύ μεγάλη ταχύτητα, περνώντας από τους διαχυτήρες επιβραδύνεται και το μεγαλύτερο μέρος της ταχύτητας (κινητικής ενέργειας) να μετατρέπεται σε ενέργεια πίεσεως. Επιπλέον παρατηρούμε ότι γύρω από τους διαχυτήρες υπάρχει οχετός σταθερής διατομής, ο οποίος οδηγεί το υγρό στην κατάθλιψη. Η φυγοκεντρική αντλία με διαχυτήρες παρέχει βαθμό απόδοσης έως και 90%.



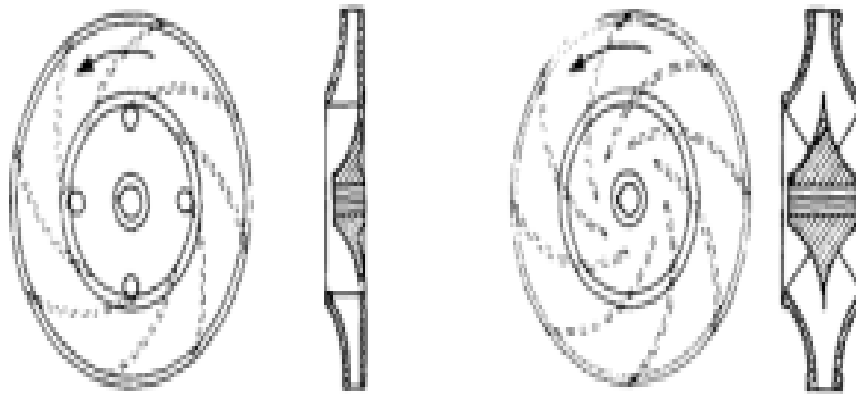
Εικ3.6 Φυγοκεντρική αντλία με διαχυτήρες.

3.4.2 ΠΤΕΡΩΤΗ - ΣΤΡΟΦΕΙΟ (IMPELLER)

Το είδος του στροφείου – πτερωτής χαρακτηρίζεται από τον τρόπο κατασκευής του. Ειδικότερα, υπάρχουν τρία είδη στροφείου – πτερωτής τα οποία είναι: κλειστού τύπου, ημίκλειστα και τα ανοικτού τύπου.

1. Στροφεία- πτερωτές κλειστού τύπου(closed impellers)

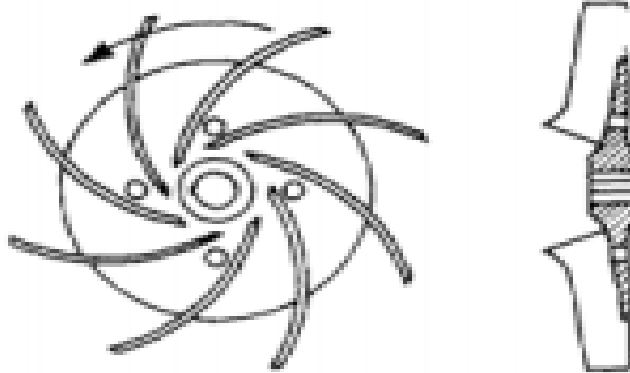
Τα στροφεία – πτερωτές κλειστού τύπου αποτελούνται από δύο δίσκους όπου ενδιάμεσα τους υπάρχουν 3 - 7 πτερύγια. Για αντλίες απλής εισόδου έχουμε ένα κυκλικό άνοιγμα στο κέντρο της πτερωτής από τη μια πλευρά, ώστε να εισέρχεται το υγρό στα πτερύγια. Ωστόσο για τις αντλίες διπλής αναρρόφησης υπάρχει κυκλικό άνοιγμα και στις δύο πλευρές του δίσκου. Η διάμετρος του ανοίγματος είναι ανάλογη με την εσωτερική διάμετρο αναρρόφησης της αντλίας, εξασφαλίζοντας την ομαλή είσοδο του υγρού στα πτερύγια. Παράλληλα η στεγανοποίηση σε αυτό το σημείο επιτυγχάνεται με έναν δακτύλιο τριβής, μεταξύ κελύφους της αντλίας και στροφείου. Οι πτερωτές κλειστού τύπου έχουν υψηλή πίεση και μεγάλο βαθμό απόδοσης, χωρίς να εμφανίζεται μεγάλη αξονική ώθηση.



Εικ3.6 Πτερωτή κλειστού τύπου

2. Ημίκλειστα στροφεία – πτερωτές (*semi-open impellers*)

Τα στροφεία αυτά έχουν δίσκο μόνο στη κάτω πλευρά, το οποίο είναι η συνέχεια της πλήμνης. Οι πτερωτές αυτές παρουσιάζουν μεγαλύτερη απόδοση από τις προαναφερμένες καθώς δεν παρουσιάζονται τριβές στον δίσκο στην εισαγωγή του υγρού. Ακόμα αξίζει να αναφερθεί ότι αυτά τα στροφεία είναι κατάλληλα όταν το υγρό κατέχει ίνες ή αιωρούμενα σωματίδια. Η ελεύθερη πλευρά των πτερυγίων εξυπηρετεί στη μείωση των εκροών του υγρού μεταξύ των πτερυγίων, αφού η απόστασή τους από το κέλυφος στην ανοιχτή πλευρά των πτερωτών είναι η ελάχιστη. Βέβαια ένα σοβαρό μειονέκτημα είναι η παρουσία μεγαλύτερης αξονικής ώθησης σε σχέση με τα στροφεία κλειστού τύπου.



Εικ3.7 Ημίκλειστο στροφέιο-περωτή

3. Ανοικτά στροφεία – περωτές (*open impellers*)

Στα στροφεία αυτά δεν υπάρχουν δίσκοι, ενώ τα πτερύγια είναι τοποθετημένα πάνω στην πλήμνη. Ξεχωρίζουν για τη δυνατότητα που προσφέρουν να μεταφέρεται μεγάλη ποσότητα υγρού σε αντλίες αξονικής ροής, με μικρό μανομετρικό ύψος καταθλίψεως. Συγχρόνως, τα ανοικτά στροφεία εφαρμόζονται για αντλίες με μεγάλη ταχύτητα περιστροφής ή για αντλίες που μεταφέρουν υγρά με μεγάλα αιωρούμενα σωματίδια.



Εικ3.8 Ανοιχτού τύπου πτερωτή

3.4.3 ΔΑΚΤΥΛΙΟΙ ΦΘΟΡΑΣ (WEAR RINGS)

Οι δακτύλιοι φθοράς αποτελούν ένα από τα δομικά στοιχεία μιας φυγοκεντρικής αντλίας. Η διαμόρφωση τους είναι συγκεκριμένη με σκοπό να εξυπηρετούν μια δακτυλιοειδή σχισμή, η οποία αφήνει ορισμένο ακτινικό διάκενο μεταξύ του ακίνητου κελύφους και της πτερωτής. Η διαμόρφωση των λαβυρίνθων είναι δομημένη έτσι ώστε να διατηρεί τις ογκομετρικές απώλειες σε χαμηλές τιμές, επιθυμητές για τις αντίστοιχες τιμές του ογκομετρικού βαθμού απόδοσης του κατασκευαστή. Το δομικό αυτό στοιχείο των φυγοκεντρικών αντλιών θεωρείται αναλώσιμο, αφού η αντικατάστασή τους είναι συχνή λόγω της φθοράς που υφίστανται. Ευτυχώς το κόστος τους είναι χαμηλότερο συγκριτικά με τυχόν αντικατάσταση, λόγω φθοράς, ενός κελύφους ή ενός στροφείου.



Εικ3.9 Wear Rings

3.4.4 ΑΤΡΑΚΤΟΣ (ΑΞΟΝΑΣ)

Η άτρακτος είναι από τα πιο σημαντικά κομμάτια μιας φυγοκεντρικής αντλίας διότι είναι υπεύθυνη για τη μεταφορά της ροπής στρέψης από τον κινητήρα προς την πτερωτή. Από μια μόνιμη λειτουργία με σταθερή ταχύτητα περιστροφής, η ροπή αυτή ισοδυναμεί με τη ροπή αντιστάθμισης που δημιουργούνται από τις μηχανικές απώλειες κατά τη λειτουργία. Πέρα από αυτές τις δυνάμεις που δέχεται η άτρακτος, δημιουργούνται και υδραυλικής προελεύσεως, οι οποίες δημιουργούνται από τις αξονικές και ακτινικές δυνάμεις που αναπτύσσονται στην πτερωτή καθώς μεταφέρουν το ρευστό. Το σύνολο των ροπών και των δυνάμεων που ασκούνται στην άτρακτο έχουν ως αποτέλεσμα το στατικό υπολογισμό κατά το σχεδιασμό της. Με δεδομένο ότι το μήκος της ατράκτου είναι μεγάλο πρέπει να συνυπολογιστεί και η ελαστικότητα της, με στόχο να έχουμε μικρή κλίση και βέλος κάμψης της ατράκτου κατά τη λειτουργίας της, έτσι ώστε να μην επηρεάζεται η λειτουργία των εξαρτημάτων που είναι συνδεδεμένα πάνω σε αυτή. Επιπλέον, πρέπει να μελετηθεί η ιδιοσυχνότητα του μηχανικού υποσυστήματος, ώστε να μην ισούται με την ιδιοσυχνότητα του συνολικού στρεφόμενου συστήματος, γεγονός που αποτρέπει να επιφέρουν αυξημένες καταπονήσεις αλλά και να προκληθούν μεγάλες παραμορφώσεις κατά τη λειτουργία στην άτρακτο.



Εικ 3.10 Άτρακτοι

3.4.5 ΠΑΡΕΛΚΟΜΕΝΑ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ

Από κατασκευαστικής σκοπιάς, η άτρακτος πρέπει να έχει τις κατάλληλες ανοχές για να λειτουργεί σωστά ένα πλήθος εξαρτημάτων εκ των οποίων τα κυριότερα είναι οι σαλαμάστρες και τα έδρανα στήριξης (ρουλεμάν). Οι σαλαμάστρες τοποθετούνται γύρω από τον άξονα των αντλιών για να επιφέρουν στεγανότητα, η οποία είναι ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα για το σχεδιασμό και την λειτουργία μιας αντλίας. Λύση σε αυτό το πρόβλημα προσφέρει η χρήση στυπιοθλιπτών. Οι στυπιοθλίπτες καταφέρνουν να διασφαλίσουν τη στεγανότητα της αντλίας ως προς εξωτερικό περιβάλλον, στο σημείο όπου ο άξονας διαπερνά το σταθερό κέλυφος. Αν το ύψος το οποίο βρίσκεται η αντλία είναι υψηλό κατά την εκκίνηση της και η στατική πίεση στο σημείο κατάθλιψης του άξονα πέσει χαμηλότερα από την ατμοσφαιρική πίεση, τότε ο στυπιοθλίπτης εξασφαλίζει την μη έλευση του αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον. Σε οποιαδήποτε άλλη περίπτωση η κίνηση της αντλίας γίνεται προβληματική. Οι στυπιοθλίπτες μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες:

1. Μηχανικοί στυπιοθλίπτες: η στεγανότητα σε αυτούς τους στυπιοθλίπτες επιτυγχάνεται μέσω δύο λείων δίσκων, σχεδόν εφαπτόμενων μεταξύ τους οι

οποίοι ενδιάμεσα τους περιέχουν λιπαντική ουσία (λάδι). Ο ένας από τους δύο είναι στρεφόμενος με την άτρακτος, ενώ ο άλλος είναι σταθερός.

2. Συμβατικοί στυπιοθλίπτες: η στεγανότητα σε αυτούς πραγματοποιείται από την συμπίεση των στυπείων μέσω των στυπιοθλιπτών.



Εικ 3.11 Μηχανικός στυπιοθλίπτης



Εικ3.12 Συμβατικός στυπιοθλίπτης από τεφλόν

3.5 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΤΟΥ ΥΓΡΟΥ ΣΤΗΝ ΑΝΤΛΙΑ

Οι πιο σημαντικές ιδιότητες των υγρών που επηρεάζουν ενεργειακά και λειτουργικά το σύστημα της αντλίας είναι οι εξής:

- **ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ($\gamma=\rho \cdot g$)**

Το ειδικό βάρος εξαρτάται από το ύψος πίεσεως (ρ/γ). Επίσης, σημαντική επίδραση του είναι η αποδιδόμενη ισχύς P_0 της αντλίας, λόγω της αναλογίας τους

- **ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑ**

Γνωρίζουμε ότι όλα τα υγρά είναι ασυμπίεστα, για αυτό και αυτή η ιδιότητα δεν επηρεάζει ενεργειακά το σύστημα της αντλίας. Όμως, η απότομη μεταβολή της κινητικής τους καταστάσεως μέσα στους σωλήνες μπορεί να δημιουργήσει σοβαρά προβλήματα. Οπότε πρέπει με διάφορους τρόπους ή τεχνικές να φροντίζουμε να έχουμε ομαλές μεταβατικές καταστάσεις (π.χ. αεροκώδωνας).

- **ΤΑΣΗ ΑΤΜΩΝ- ΠΗΤΗΚΟΤΗΤΑ**

Όσο μεγαλύτερη πτητικότητα έχει ένα υγρό, δηλαδή η τάση των ατμών του να είναι μεγάλη σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία, τόσο μικρότερο το ύψος αναρροφήσεως που μπορούμε να επιτύχουμε και τόσο μεγαλύτερη πιθανότητα παρουσίασης του κινδύνου της σπηλαίωσης.

- **ΔΙΑΛΥΤΟΤΗΤΑ ΑΕΡΙΩΝ**

Η διαλυτότητα των αερίων στα υγρά επηρεάζει άμεσα το σύστημα αντλήσεως, τόσο στην πτώση του βαθμού απόδοσης της αντλίας, όσο και στο φαινόμενο της σπηλαίωσης. Αυτή η ιδιότητα, όσο ελαχιστοποιείται είναι παράγοντας δημιουργίας και έκλυσης φυσαλίδων, κυρίως στην εισαγωγή του υγρού στον σωλήνα αναρροφήσεως της αντλίας. Αυτό συμβαίνει διότι στο συγκεκριμένο σημείο έχουμε μέγιστη πτώση πίεσεως. Από τον νόμο του Henry έχουμε ότι η διαλυτότητα των αερίων στα υγρά μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας και με την πτώση πίεσης.

- **ΔΙΑΒΡΩΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΓΡΩΝ**

Τα υγρά που αντλούνται έρχονται σε συνεχή επαφή με τις εσωτερικές επιφάνειες των σωληνώσεων και των αντλιών. Κάποιες φορές αυτά τα υγρά διαμορφώνουν ένα διαβρωτικό περιβάλλον που απειλεί με σοβαρές φθορές την αντλία, οδηγώντας αρχικά με μείωση της απόδοσης της, μέχρι την πλήρη καταστροφή των εξαρτημάτων της ή και την ίδια την αντλία. Για να αντιμετωπιστεί αυτό, πρέπει τα εξαρτήματα που έρχονται σε επαφή με το διαβρωτικό υγρό να είναι κατασκευασμένα από ανθεκτικά υλικά. Για όξινα διαλύματα με PH 0-4 κάνουμε χρήση ανθεκτικών μετάλλων, όπως ανοξείδωτο χάλυβα, χρωμιονικελιούχος χάλυβας, τιτάνιο, χρωμιούχος χυτοσίδηρος, μόλυβδος. Για υγρά με PH 4-6 χρησιμοποιούμε κράματα ορείχαλκου, για υγρά με PH 6-9 χυτοσίδηρο και τέλος για PH 9-14 κράμα χυτοσίδηρου.

- **ΙΞΩΔΕΣ**

Το ιξώδες του αντλούμενου υγρού επηρεάζει τον συντελεστή τριβής, άρα και το ύψος απωλειών. Όταν το ιξώδες του υγρού είναι μεγάλο, δηλαδή το υγρό είναι παχύρευστο, κάνουμε χρήση παραμέτρων για την αύξηση θερμοκρασίας, έχοντας ως αποτέλεσμα την μείωση ιξώδους, άρα και ευκολότερη άντληση.

3.6 ΡΟΗ ΣΕ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ

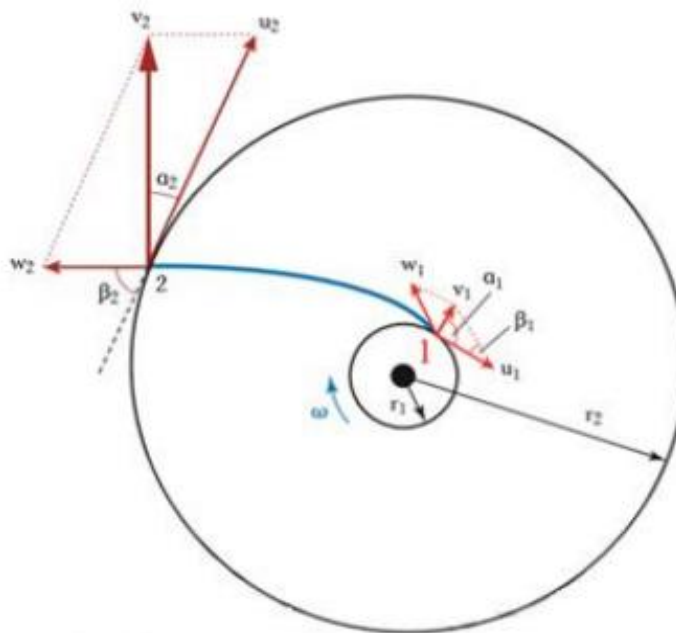
Η ροή του ρευστού στοιχείου το οποίο διαγράφεται εντός μιας φυγοκεντρικής αντλίας, είναι ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία σχεδιασμού και υλοποίησης της. Η διερεύνηση της πορείας στην οποία έχει τη δυνατότητα να πραγματοποιήσει η ροή του υγρού στοιχείου, είναι απαραίτητη ώστε να οριοθετηθεί η ροή του ρευστού εντός του συστήματος της φυγοκεντρικής αντλίας. Το ρευστό το οποίο έχει εισέλθει εντός της φυγοκεντρικής αντλίας, μπορεί να χωριστεί σε τρεις επιμέρους διαδρομές:

- 1^ο στάδιο κίνησης του ρευστού: το ρευστό διέρχεται στο σύστημα της αντλίας από το σύστημα αναρρόφησης, το οποίο επικοινωνεί με το κεντρικό σημείο της περωτής και στη συνέχεια μοιράζεται με ακτινικές κινήσεις, ώστε να

οδηγηθεί στη περιφέρεια της αντλίας. Πιο αναλυτικά, αυτή η πορεία του υγρού έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των τιμών της πίεσης στην είσοδο της αντλίας, καθώς και την εμφάνιση του φαινομένου της σπηλαιώσης.

- 2^ο στάδιο κίνησης ρευστού: η συνέχεια της πορείας του ρευστού είναι εντός του συστήματος μέσα από το δίκτυο και καταλήγει στο στάδιο της εξωτερικής περιοχής της περωτής. Σε αυτή τη πορεία, λόγω της κίνησης του υγρού, υπάρχουν αυξημένες οι τιμές της πίεσης και της κινητικής ενέργειας.
- 3^ο στάδιο κίνησης ρευστού: σε αυτή τη φάση της πορείας του ρευστού, αυτό εγκαταλείπει την περιοχή της περωτής, αποκτώντας αυξημένες τιμές ταχύτητας και στη συνέχεια μεταφέρεται στο δακτυλιοειδή στον οποίο διαγράφεται περιστροφική κίνηση με κατάληξη προς την κατάθλιψη. Στο χρονικό αυτό σημείο της πορείας παράγεται και η ενέργεια της πίεσης.

Τέλος, άξιο αναφοράς αποτελεί η ροή του ρευστού στο σημείο της περωτής της φυγοκεντρικής αντλίας, διότι σε εκείνο σχηματίζονται τα τρίγωνα ταχυτήτων.



Εικ 3.13 Η ροή του ρευστού στη περιοχή της περωτής

$$V_1 = u_1 + w_1 \text{ (Διανυσματικά)}$$

V_1 : συνισταμένη γραμμική ταχύτητα του ρευστού.

u_1 : συνιστώσα επιτόχιας ταχύτητας.

w_1 : εφαπτομένη στο περύγιο ταχύτητα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΣΠΗΛΑΙΩΣΗΣ ΣΤΙΣ ΑΝΤΛΙΕΣ

4.1 ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΣΠΗΛΑΙΩΣΗΣ

Το φαινόμενο της σπηλαίωσης αποτελεί μείζον πρόβλημα όταν εμφανίζεται στις βιομηχανίες μονάδων παραγωγής ενέργειας ή πετρελαιοχημικών μονάδων (διυλιστήρια). Αυτό συμβαίνει επειδή έχει κυρώσεις σε ένα από τα βασικότερα εργαλεία της βιομηχανίας, την φυγοκεντρική αντλία.

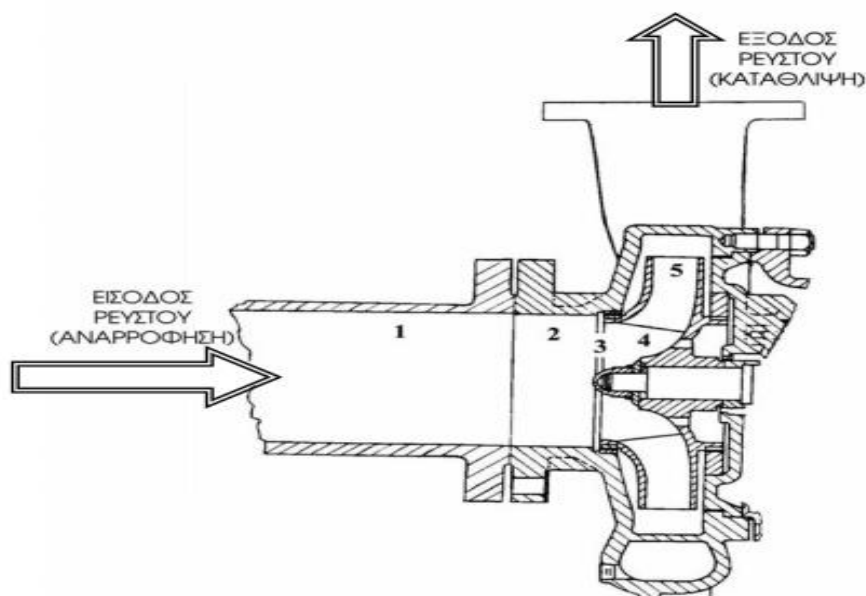
Μια απότομη αύξηση της τοπικής ταχύτητας του αντλούμενου υγρού προκαλεί πτώση της τοπικής πίεσης και μερικές φορές προσδίδει τιμές κατώτερες από την πίεση ατμοποίησης του υγρού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να ατμοποιείται το υγρό και να αναπτύσσεται ένας θύλακας ατμού, δηλαδή συνδυασμός ατμοποιημένου υγρού με φυσαλίδες. Ωστόσο, η πίεση ατμοποίησης κάθε υγρού είναι ξεχωριστό χαρακτηριστικό θερμοδυναμικού μεγέθους του κάθε υγρού και εξαρτάται από τη θερμοκρασία του. Οπότε, ακόμη και μία τοπική αύξηση της θερμοκρασίας έχει τη δυνατότητα να προκαλέσει τα παραπάνω αποτελέσματα. Η θερμοκρασία και η πίεση στην οποία αρχίζει να βράζει το υγρό, είναι διαφορετική για κάθε υγρό. Για παράδειγμα το υγρό υπό ατμοσφαιρικής πίεσης (1 atm) βράζει στους 100°C. Αντίθετα, υπό απόλυτη πίεση 10 atm, βράζει στους 179° C. Αντί αυτού, υπό πίεση 0,024 atm βράζει στους 21°C.

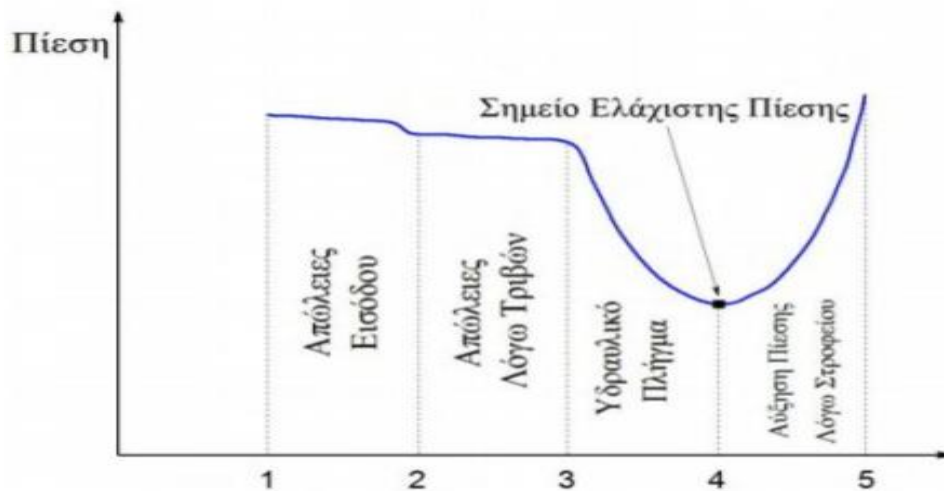
Η ύπαρξη αερίων υπό μορφή φυσαλίδων στο εσωτερικό του αντλούμενου υγρού μπορεί να αποτελέσει ένα άλλο είδος δημιουργίας σπηλαίωσης. Σε τέτοιου είδους σπηλαίωση θα αναφερθούμε στις παρακάτω παραγράφους.

Η έγκυρη και σωστή διάγνωση των συμπτωμάτων της σπηλαίωσης μπορεί να καθορίσει τον τύπο της με αποτέλεσμα να αποτραπούν σοβαρές ζημίες με τους κατάλληλους χειρισμούς.

4.2 ΚΑΘΑΡΟ ΘΕΤΙΚΟ ΥΨΟΣ ΑΝΑΡΡΟΦΗΣΗΣ

Σε ένα υγρό, από την είσοδο του ρευστού που γίνεται στην φλάντζα αναρρόφησης, και ενώ παράλληλα ρέει μέσα σε αυτή και συναντά τη περωτή, εμφανίζεται πτώση πίεσης του υγρού. Το ποσοστό πτώσης πίεσης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως τη γεωμετρία της αντλίας, την ταχύτητα περιστροφής της, τις απώλειες λόγω τριβών και τις υδραυλικές απώλειες. Ωστόσο, αν στο εσωτερικό της αντλίας η πίεση πέσει χαμηλότερα από την πίεση των ατμών του υγρού στοιχείου σε μία ορισμένη θερμοκρασία, τότε θα παρουσιαστεί το φαινόμενο της σπηλαιώσης.





Εικ. 4.1 Πτώση πίεσης του ρευστού κατά την κίνηση του εντός της αντλίας

«Το ελάχιστο μανομετρικό που απαιτείται για την αποφυγή της σπηλαιώσης σε ένα δεδομένο υγρό και σε μια δεδομένη περιοχή ονομάζεται απαιτούμενο καθαρό θετικό ύψος αναρρόφησης ή *Net Positive Suction Head required (NPSHr)*».¹ Σε ένα αντλητικό σύστημα η διαφορά μεταξύ πραγματικής πίεσης και της πίεσης ατμών στο συγκεκριμένο υγρό ονομάζεται διαθέσιμο καθαρό θετικό ύψος αναρρόφησης ή «*Net Positive Suction Head available*» (NPSHa).

Το απαιτούμενο καθαρό ύψος αναρρόφησης υπολογίζεται πειραματικά και δίνεται από τον κατασκευαστή μαζί με την αντλία. Για τον πειραματικό υπολογισμό του NPSHr μιας αντλίας, η αντλία βρίσκεται σε κλειστό σύστημα αντλήσεως. Μια αντλία κενού μειώνει τη πίεση στην ελεύθερη επιφάνεια της δεξαμενής, επομένως και το NPSH του συστήματος. Όταν αρχίζουν να εμφανίζονται οι πρώτες φυσαλίδες ατμού δημιουργείται πτώση του αποδιδόμενου ύψους. Μόλις η πτώση του αποδιδόμενου ύψους φτάσει το 3% του ολικού, η πειραματική διαδικασία παύει και υπολογίζεται το αποδιδόμενο NPSH. Αν αυτό είναι ίσο με το απαιτούμενο NPSH της αντλίας, τότε ο κατασκευαστής δεσμεύεται για τη λειτουργία της αντλίας χωρίς σπηλαιώση.

Ειδικότερα για τις περιστροφικές δυναμικές αντλίες, για να αποφευχθεί το φαινόμενο της σπηλαιώσης είναι απαραίτητη προϋπόθεση το διαθέσιμο καθαρό

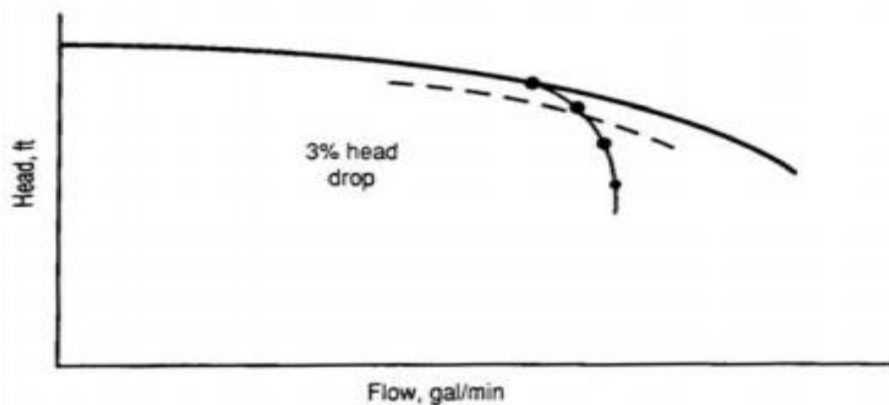
¹ Σέμψης Λάμπρος, 2007

θετικό ύψος αναρροφήσεως $NPSH_a$, να είναι μεγαλύτερο από το απαιτούμενο $NPSH_r$.

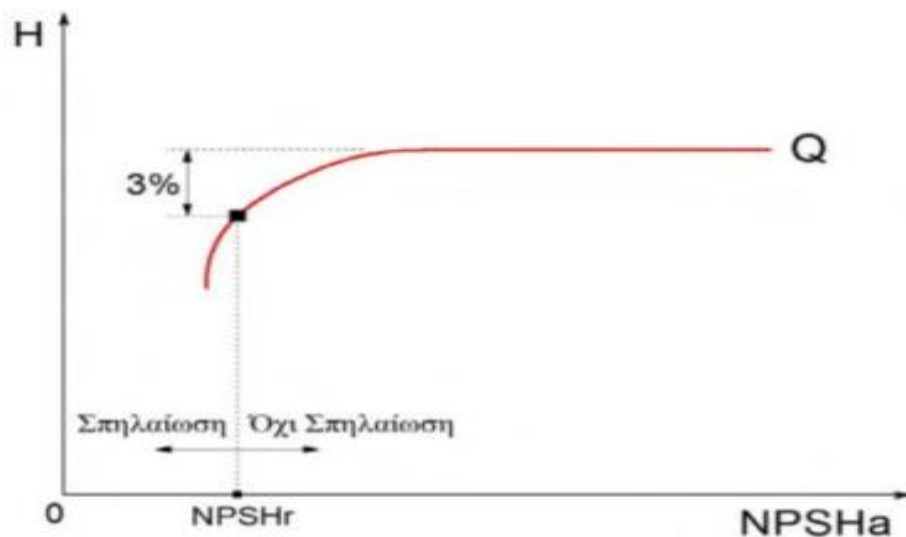
$$NPSH_a > NPSH_r$$

Ωστόσο η πτώση του αποδιδόμενου ύψους κατά 3% θεωρείται υπερβολική, καθώς έχει εμφανιστεί ήδη το φαινόμενο της σπηλαιώσης. Παράλληλα και το Hydraulic Institute έχει αποδεχτεί αυτό το όριο, αφού προτρέπει τους χρήστες να διατηρήσουν ένα περιθώριο καθαρού θετικού ύψους αναρροφήσεως (M), δηλαδή να εξασφαλίσουν μια σεβαστή «απόσταση» ανάμεσα στο $NPSH_a$ και στο $NPSH_r$.

$$M = NPSH_a - NPSH_r$$



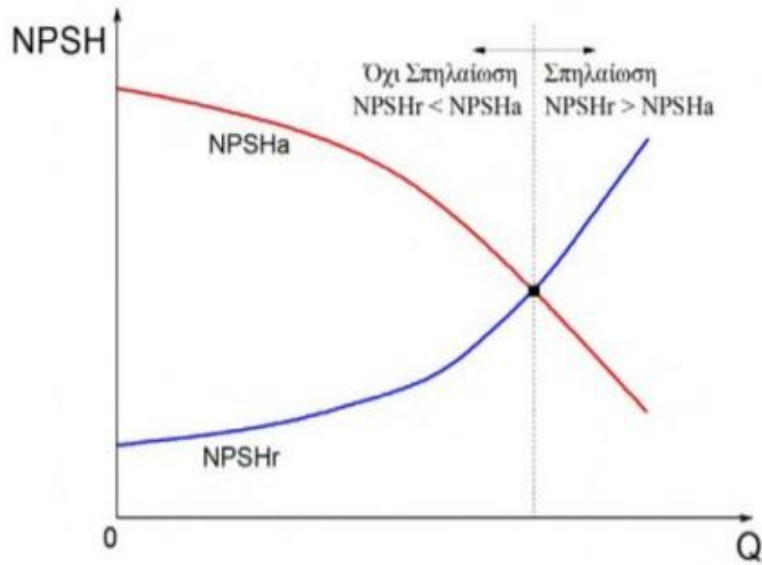
Εικ. 4.2 Χαρακτηριστική καμπύλη λειτουργίας αντλίας και καμπύλη $NPSH_a$ συνάρτηση της παροχής λειτουργίας



Εικ. 4.3 Καμπύλη πτώσης μανομετρικού σε συνάρτηση διαθέσιμου καθαρού θετικού ύψους αναρρόφησης

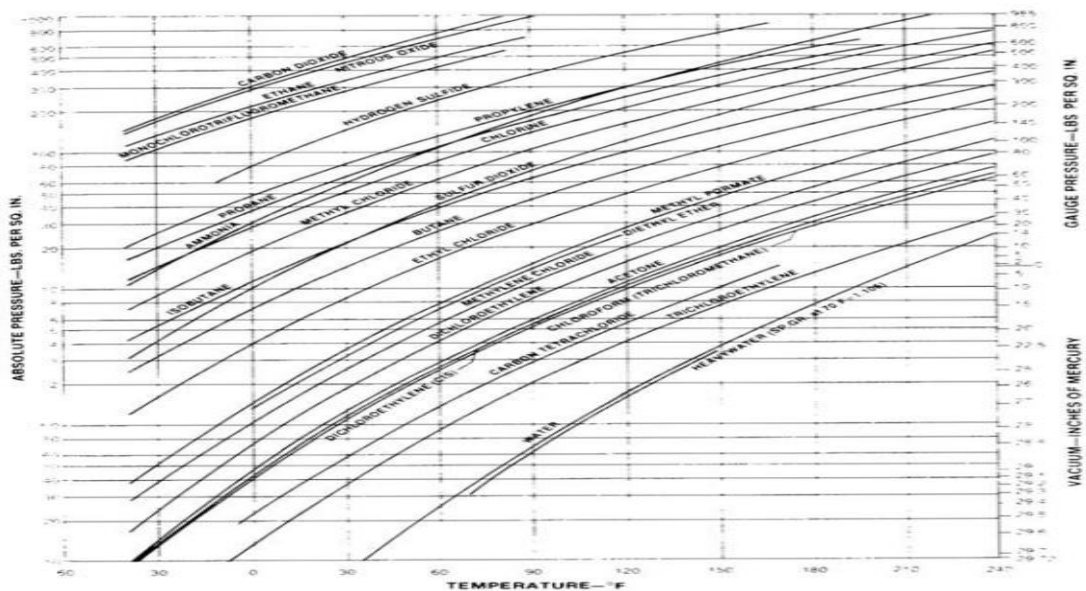
Ο μηχανικός που είναι υπεύθυνος για τη κατασκευή του συστήματος αντλήσεως, πρέπει να τηρεί αυστηρά την εξίσωση που προαναφέρθηκε. Όταν λοιπόν σχεδιάζει το σύστημα, πρέπει να έχει φροντίσει, σε περίπτωση που χρειαστεί, να υπάρξει επαρκές διαθέσιμο καθαρό θετικό ύψος αναρροφήσεως, ώστε η αντλία να τοποθετηθεί χαμηλότερα από τη δεξαμενή αναρροφήσεως. Επίσης, όταν επιλέγει αντλία να έχει εξασφαλίσει το απαιτούμενο καθαρό θετικό ύψος αναρροφήσεως να είναι μικρότερο από το διαθέσιμο του συστήματος αντλήσεως. Σε περίπτωση που αυτή η προϋπόθεση δεν ισχύει, η σπηλαιώση είναι αναπόφευκτη.

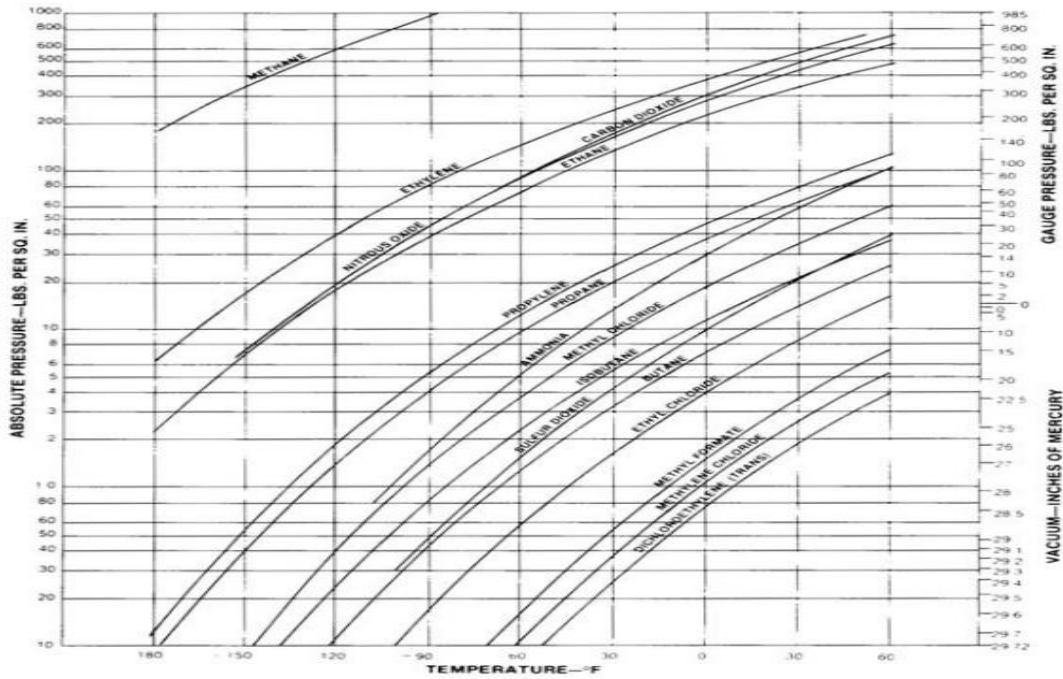
$$\mathbf{NPSHa \leq NPSHr \Rightarrow \Sigma\PΗ\Lambda\Lambda\text{Ι}\Omega\text{Σ}\text{Η}}$$



Εικ. 4.4 Μεταβολή των $NPSH_a$ και $NPSH_r$ με την παροχή

Φυσικά είναι πολύ λίγες οι εφαρμογές στις οποίες η αντλία καλείται για την άντληση νερού. Η κυρίως χρήση της είναι για τη μεταφορά διαφόρων συστατικών ουσιών όπως αργό πετρέλαιο, βενζίνη και άλλα είδη πετρελαιοχημικών ουσιών. Προκύπτει λοιπόν εύκολα το συμπέρασμα ότι πρέπει να εξασφαλιστεί η αντιμετώπιση ενός μεγάλου εύρους τάσεων ατμών ή σημεία βρασμού με βάση τη κατ' όγκο σύσταση του μείγματος από κάθε αντλούμενο συστατικό.





Εικ. 4.5 Πιέσεις ατμών για διάφορα ρευστά σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία τους

4.2.1 ΤΟ NPSH_a ΩΣ ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΗ ΤΗΣ ΣΠΗΛΑΙΩΣΗΣ

Οι πιο πιθανές περιοχές ανάπτυξης της σπηλαιώσης σε μια φυγοκεντρική αντλία είναι σε αυτές όπου η στατική πίεση βρίσκεται ήδη σε χαμηλά επίπεδα, οπότε αν μειωθεί περαιτέρω, λόγω των υδροδυναμικών φαινομένων από την επιτάχυνση της ροής, υπάρχει πιθανότητα αυτή να μειωθεί σε τιμή χαμηλότερη από την πίεση ατμοποίησης P_S . Συνεπώς, η διατομή εισόδου της περωτής είναι η περιοχή στην οποία υπάρχει μεγάλο ενδεχόμενο να αναπτυχθεί το φαινόμενο της σπηλαιώσης. Σε αυτό το σημείο έχουμε τη χαμηλότερη στατική πίεση P_A . Άρα για να υπάρξει αυτό το αποτέλεσμα πρέπει η $P_A > P_S$. Με αυτό τον τρόπο ορίζεται το καθαρό ύψος αναρρόφησης H_H ή NPSH_a, το οποίο είναι μια ελάχιστη τιμή του ύψους αναρρόφησης.

$$NPSH_a = H_H = \left(\frac{P_A - P_S}{\rho \cdot g} + \frac{C_A^2}{2 \cdot g} \right)$$

Το μέγιστο ύψος αναρρόφησης $h_{A \max}$ μπορούμε να το βρούμε με τη χρήση του καθαρού θετικού ύψους αναρρόφησης. Η αντλία που χρησιμοποιείται σε μια εγκατάσταση έχει διαφορετικό μέγιστο ύψος αναρρόφησης, το οποίο συνδέεται με τις υδραυλικές απώλειες της εγκατάστασης στην αναρρόφηση Δh_{fA} .

$$h_{Amax} = \left(\frac{P_1 - P_s}{\rho \cdot g} + \frac{C_1^2}{g} - \Delta h_{fA} - H_H \right)$$

4.2.2 ΑΠΟΦΥΓΗ ΣΠΗΛΑΙΩΣΗΣ

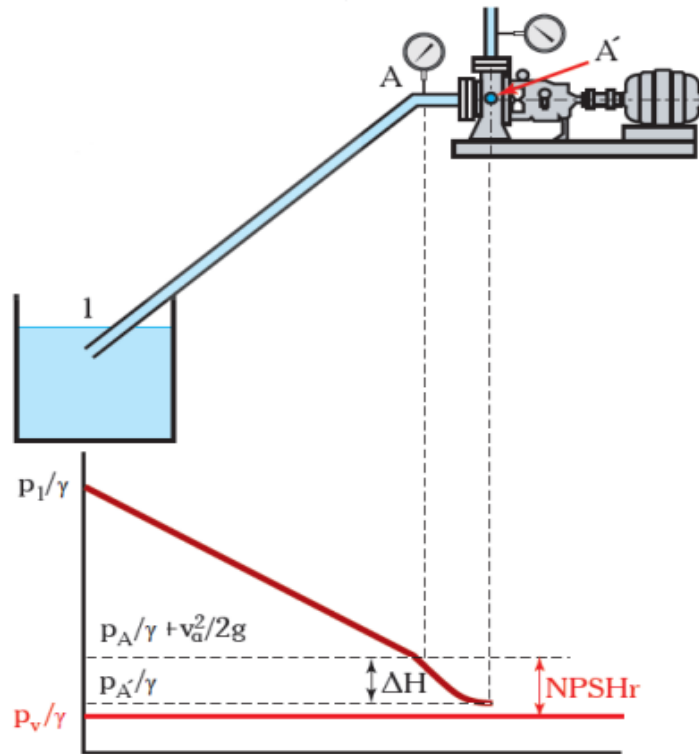
Η συνθήκη για να μην εμφανιστεί η σπηλαιώση, απαιτεί κάποιες προϋποθέσεις οι οποίες βασίζονται στις παρακάτω μαθηματικές εξισώσεις:

$$\begin{aligned} \left[\frac{(p_A - p_v)}{\gamma} \right] + \left(\frac{v_a^2}{2g} \right) &\geq \left[\left(\frac{p_A - p_{A'}}{\gamma} \right) \right] + \left(\frac{v_a^2}{2g} \right) = \\ &= NPSHa \geq NPSHr \end{aligned}$$

Η παραπάνω εξίσωση παρατηρείτε ότι διαμορφώνεται από δυο επιμέρους τμήματα. Το πρώτο τμήμα αφορά το καθαρό διαθέσιμο θετικό ύψος αναρρόφησης $NPSHa$ το οποίο ισούται με $\left[\frac{(p_A - p_v)}{\gamma} \right] + \left(\frac{v_a^2}{2g} \right)$. Το δεύτερο τμήμα αφορά το καθαρό απαιτούμενο θετικό ύψος αναρρόφησης $NPSHr$, το οποίο ισούται $\left[\left(\frac{p_A - p_{A'}}{\gamma} \right) \right] + \left(\frac{v_a^2}{2g} \right)$.

Σύμφωνα με τα παραπάνω προκύπτει μία πιο απλή μορφή της βασικής συνθήκης αποφυγής για το φαινόμενο της σπηλαιώσης στην αντλία.

$$NPSHa \geq NPSHr$$



Εικ.4.6 Μεταβολή του ύψους πίεσεως

4.3 ΤΑ ΕΙΔΗ ΤΗΣ ΣΠΗΛΑΙΩΣΗΣ

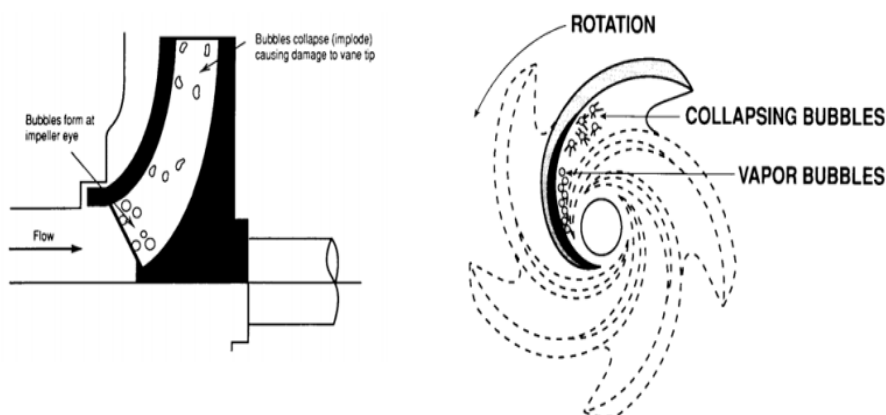
Η σπηλαιώση είναι αποτέλεσμα διαφόρων παραμέτρων, οι οποίες διαχωρίζονται είτε ανάλογα με την προέλευση των φυσαλίδων είτε από τους διάφορους μηχανισμούς που μπορεί να τις επιφέρουν. Όσο αφορά τις φυσαλίδες μέσα στο εκάστοτε υγρό, μπορούν να διαχωριστούν σε δύο είδη, τις φυσαλίδες ατμού και τις φυσαλίδες αερίου.

- Φυσαλίδες ατμού: προκύπτουν από την εξάτμιση του αντλούμενου υγρού. Αυτό το είδος σπηλαιώσης που προκύπτει από τον παραπάνω σχηματισμό, ονομάζεται και ως «Vaporous Cavitation».
- Φυσαλίδες αερίου: προκύπτουν λόγω των διαλυμένων αερίων στο εκάστοτε αντλούμενο υγρό. Αυτό το είδος ονομάζεται και ως «Gaseous Cavitation».

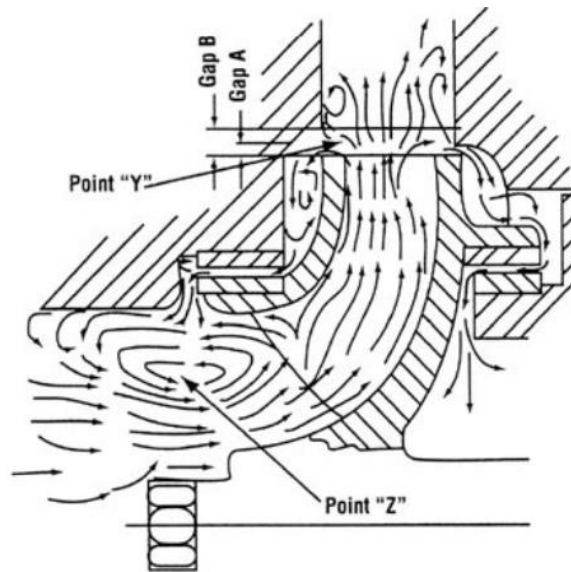
Ειδικότερα, τα δύο αυτά είδη φυσαλίδων που αναπτύσσονται σε ένα σημείο εντός της αντλίας, όπου η τοπική στατική πίεση είναι μικρότερη της πίεσης ατμοποίησης

του υγρού (Vaporous Cavitation) ή της πίεσης κορεσμού του αερίου (Gaseous Cavitation).

Σπηλαίωση τύπου Vaporous: το συγκεκριμένο είδος σπηλαίωσης εμφανίζεται συνήθως σε μηχανολογικές εγκαταστάσεις διαδικασίας άρδευσης υγρού στοιχείου από ένα σύστημα. Γενικά οφείλει την εμφάνιση του στα μη πλήρες αποθέματα, τα οποία υπάρχουν διαθέσιμα σε σχέση με το διαθέσιμο καθαρό θετικό ύψος αναρρόφησης (NPSHa) ή εξαιτίας της περίπτωσης του φαινομένου της εσωτερικής επανακυκλοφορίας. Αυτός ο τύπος σπηλαίωσης, εντοπίζεται από την εκδήλωση μειωμένης απόδοσης της αντλίας, έντονο θόρυβο, δονήσεις και φθορά των επιμέρους εξαρτημάτων της αντλίας. Η ζημία που μπορεί να προκαλέσει αυτό το είδος σπηλαίωσης, μπορεί να είναι από ένα μικρό ποσοστό διάβρωσης της αντλίας μέχρι και την πλήρη ακρήστευση της σε μικρό χρονικό διάστημα, κάτι το οποίο θα ήταν ζημιογόνο για την επιχείρηση.



Εικ. 4.7 Κλασσική σπηλαίωση τύπου Vaporous



Εικ. 4.8 Σπηλαιώση τύπου Varogous λόγω επανακυκλοφορίας

Σπηλαιώση τύπου Gaseous: αυτό το είδος σπηλαιώσης εμφανίζεται στην περίπτωση που κάποιο αέριο εισχωρεί εντός του τμήματος μιας φυγοκεντρικής αντλίας υγρού στοιχείου. Ο συγκεκριμένος τύπος αντλίας έχει τη δυνατότητα να χειριστεί 0,5% του αέρα μετρημένο σε όγκο. Επομένως, όταν το ποσοστό αέρα αυξηθεί άνω του 6% , τότε παρουσιάζεται το φαινόμενο της σπηλαιώσης. Η σπηλαιώση Gaseous προκαλεί ζημιές, επιφέροντας πολύ μειωμένα επίπεδα στην παροχή του συστήματος.

4.4 ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΣΠΗΛΑΙΩΣΗΣ ΒΑΣΕΙ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ

Η εμφάνιση των φυσαλίδων που είναι υπεύθυνες για το φαινόμενο της σπηλαιώσης έχουν τη δυνατότητα να εμφανίζονται τόσο στην κατάθλιψη της αντλίας, όσο και στην αναρρόφηση της. Οι κατηγορίες της σπηλαιώσης με βάση την περιοχή εμφάνισης της είναι οι εξής:

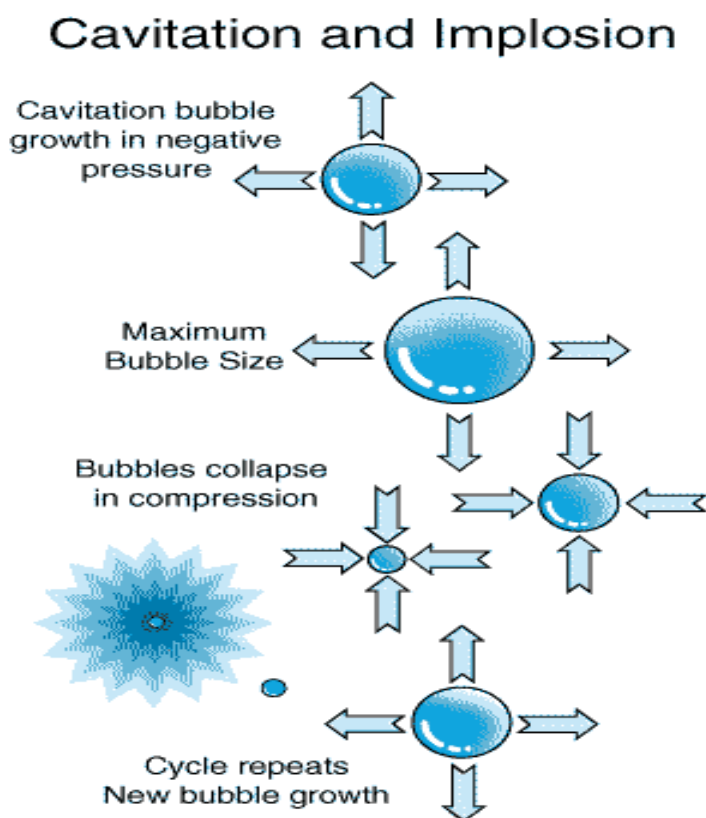
1. Σπηλαιώση κατάθλιψης: το συγκεκριμένο είδος σπηλαιώσης παρουσιάζεται σε αντλίες που έχουν υψηλή πίεση κατάθλιψης και εμφανίζεται όταν η αντλία

λειτουργεί σε χαμηλότερο από 10% της απόδοσης της. Η υψηλή πίεση κατάθλιψης της αντλίας δε βοηθά στην ώθηση του υγρού προς την κατάθλιψη, αντιθέτως εντείνει την επανακυκλοφορία του υγρού μέσα στην αντλία. Ενώ το υγρό ρέει στη περιφέρεια της πτερωτής με πολύ μεγάλη ταχύτητα αναπόφευκτα περνάει από το χώρο μεταξύ πτερωτής και οδηγών. Σε εκείνο το σημείο, το κέλυφος της αντλίας έχει πολύ μικρά διάκενα. Το αποτέλεσμα αυτής της ταχύτητας είναι η δημιουργία κενού και παράλληλα η εξάτμιση του υγρού. Αποτέλεσμα της συγκεκριμένης λειτουργίας και των συνθηκών είναι η εμφάνιση φθοράς στην περιφέρεια των πτερυγίων του στροφείου, αλλά και του κελύφους. Επιπλέον, οι συνθήκες των μεγάλων πιέσεων λειτουργίας θα έχει ως αποτέλεσμα την πρόωρη φθορά του στεγανοποιητικού δακτυλίου και των ρουλεμάν, τα οποία συνδράμουν στην ομαλή λειτουργία της αντλίας. Ωστόσο, κάτω από δυσμενείς συνθήκες λειτουργίας μπορεί να προκύψει και το σπάσιμο του άξονα της, αλλά και το σπάσιμο του συνδέσμου της αντλίας.

2. Σπηλαιώση αναρρόφησης: αυτό το είδος σπηλαιώσης παρουσιάζεται σε συνθήκες μεγάλου κενού και ενώ η θερμοκρασία του υγρού έχει φτάσει στη θερμοκρασία εξάτμισης του, οπότε δημιουργούνται φυσαλίδες στην αναρρόφηση της αντλίας και φτάνουν μέχρι το σημείο εισαγωγής τους στη πτερωτή. Αυτές οι φυσαλίδες, λόγω της εξάτμισης, μεταφέρονται από το στροφείο στη πλευρά της κατάθλιψης. Όταν φτάσουν στο χώρο της κατάθλιψης, οι φυσαλίδες αυτές βρίσκονται σε συνθήκες πίεσης με αποτέλεσμα να υγροποιούνται ξανά. Το γεγονός αυτό επιφέρεται με ακαριαίο τρόπο, επιδρώντας αρνητικά πάνω στην επιφάνεια του στροφείου. Επομένως, η σπηλαιώση είναι αναπόφευκτη στο τμήμα εισόδου του στροφείου, επιφέροντας την αποκόλληση σημαντικών ή μικρών τμημάτων του υλικού. Η επιφάνεια των τμημάτων αυτών ονομάζεται σπογγώδες, αφού έχει τη μορφή σφουγγαριού. Επιπλέον, σε αυτές τις περιπτώσεις παρουσιάζονται προβλήματα στη λειτουργία και στην απόδοση της αντλίας, επειδή επηρεάζεται σε αρκετά μεγάλο βαθμό η δυναμική ζυγοστάθμιση του στροφείου σε συνδυασμό με τη μεγάλη ταχύτητα περιστροφής. Τέλος, η σπηλαιώση στην αναρρόφηση εντοπίζεται από ένα χαρακτηριστικό ήχο που μοιάζει να περνάνε μικρά «πετραδάκια» μέσα στην αντλία.

4.5 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΩΝ ΦΥΣΑΛΙΔΩΝ

Οι φυσαλίδες που σχηματίζονται στις περιοχές ενός ρευστού, όπου η πίεση στα σημεία αυτά φτάνει κοντά στα επίπεδα ατμοποίησης του υγρού, είναι υπεύθυνες για την εμφάνιση του φαινομένου της σπηλαιώσης. Ο χρόνος που χρειάζεται για να σχηματιστούν οι φυσαλίδες, αλλά και η επανυγροποίηση τους είναι πολύ μικρός της τάξεως microseconds. Κατά τη διάρκεια που αυτές δημιουργούνται και εξελίσσονται, πραγματοποιείται αστάθεια στη ροή αλλά και τοπικές παροδικές πιέσεις. Η διαδικασία αυτή έχει ως αποτέλεσμα να οδηγήσει σε αύξηση των επιπέδων θορύβου, δονήσεις και βλάβες στην εσωτερική επιφάνεια της αντλίας.



Εικ.4.9 Κύκλος ζωής φυσαλίδας

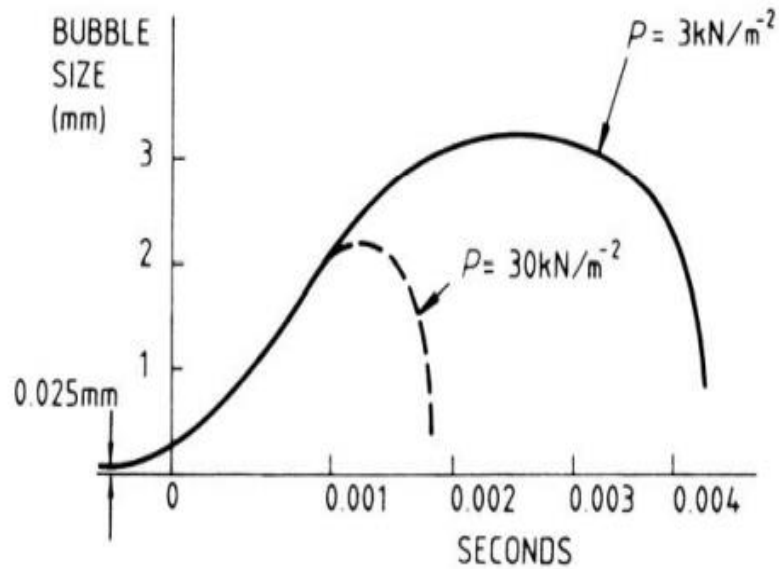
4.5.1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΗ ΤΩΝ ΦΥΣΑΛΙΔΩΝ

Από θεωρητική σκοπιά, η δημιουργία των κοιλοτήτων εξαρτάται από το επίπεδο της τοπικής πίεσης του υγρού όταν αυτό είναι ίσο με τη τάση ατμού σε εκείνες τις τοπικές συνθήκες. Ωστόσο στην πράξη, ο σχηματισμός των φυσαλίδων δημιουργείται από τα υψηλότερα επίπεδα πίεσης, γεγονός που προκύπτει από τη παρουσία ορισμένων πολύ μικρών φυσαλίδων ή σωματιδίων, κατάλοιπα τριβών που δρουν σαν μια αφετηρία για τη πραγματοποίηση του φαινομένου.

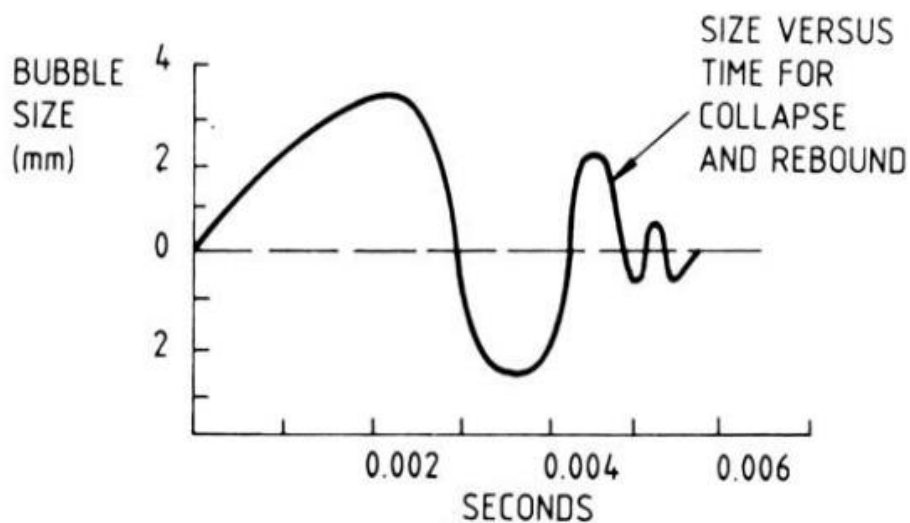
Η πρώτη αναγνώριση του φαινομένου της σπηλαιώσης πραγματοποιήθηκε το 1917 από τον Rayleigh, καθώς αναζητούσε μια ερμηνεία για τη διάβρωση που προέκυπτε στις προπέλες πλοίων.

Οι κατάλληλες θερμοκρασίες και πιέσεις ευνοούν τη διαμόρφωση μιας φυσαλίδας ατμού. Στην αρχή το μέγεθος της φυσαλίδας είναι πολύ μικρό με διάμετρο να μη ξεπερνά το 1 mm. Καθώς εξελίσσεται το φαινόμενο όμως το μέγεθος αυξάνεται, αφού και άλλες ποσότητες υγρού ατμοποιούνται. Ενώ ρέει μαζί με το υπόλοιπο αντλούμενο υγρό, προς τις περιοχές υψηλότερης πίεσης, αρχίζει η συστολή του και στη συνέχεια καταρρέει.

Με βάση τις θεωρητικές εξισώσεις του Rayleigh το 1917, προέκυψε η χρονική εξέλιξη μια υπάρχουσας μικρής φυσαλίδας, απεικονιζόμενη από τον Worster (1956). Το 1970 ο Knapp έκανε μια παρατεταμένη επεξεργασία της διαδικασίας, στην οποία ανέδειξε συνοπτικά τη κατάρρευση και τον επανασχηματισμό των φυσαλίδων που καταγράφηκαν σε μελέτη της συμπεριφοράς του φαινομένου.



Εικ.4.10 Το διάγραμμα του ιστορικού εξέλιξης μιας φυσαλίδας για δύο διαφορετικές πιέσεις κατάρρευσης, κατά τον Worster (1956)

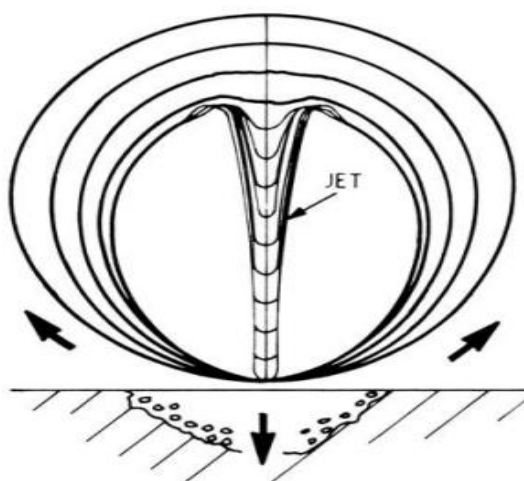


Εικ.4.11 Διάγραμμα της τάσης προς κατάρρευση και επανασηματισμού μιας φυσαλίδας, Knapp (1970)

Το 1986 ο Durrer και το 1987 ο Lush ανέλυσαν μια άλλη μελέτη του φαινομένου της διάβρωσης από σπηλαιώση, με τη χρήση του μοντέλου «micro-jet». Στην ουσία το «micro-jet» ή μικροσκοπικό ρεύμα υγρού επιφέρεται τη στιγμή που η φυσαλίδα

εκρήγνυται προς τα μέσα με βίαιη συμπεριφορά κάθετα στο τοίχωμα, με ταχύτητα ως και 400 m/sec.

Στο φαινόμενο αυτό έχει παρατηρηθεί ότι η στιγμιαία αύξηση των πιέσεων μπορεί να φτάσει μέχρι και 6.000 atm κατά την πρόσκρουση των φυσαλίδων, και οι τοπικές θερμοκρασίες των μετάλλων να αυξηθούν μέχρι 10.000 °C. Με τη χρήση των τιμών αυτών μπορεί να αιτιολογηθεί η χαρακτηριστική οξείδωση και διάβρωση στη περιοχή που έχουμε πρόσκρουση φυσαλίδας, κάνοντας την επιφάνεια του υλικού που προσκρούει σπογγώδες ή με μικρούς κρατήρες. Η φθορά διαφέρει σε κάθε επιφάνεια ανάλογα με τη σκληρότητα του υλικού που είναι κατασκευασμένο.



Εικ. 4.12 Σχηματική αναπαράσταση κατάρρευσης μιας φυσαλίδας μοντέλου «micro-jet» του Lush(1987)

4.5.2 ΤΑ ΣΤΑΔΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΩΝ ΦΥΣΑΛΙΔΩΝ

Οι φυσαλίδες είναι υπεύθυνες για την πραγματοποίηση του φαινομένου της σπηλαιώσης, κυρίως στις φυγοκεντρικές αντλίες. Ο μηχανισμός ανάπτυξης του φαινομένου χωρίζεται σε τρία βασικά στάδια.

Πιο αναλυτικά τα στάδια είναι:

- *1^ο Στάδιο:* Σχηματισμός φυσαλίδων στο εσωτερικό του υγρού.

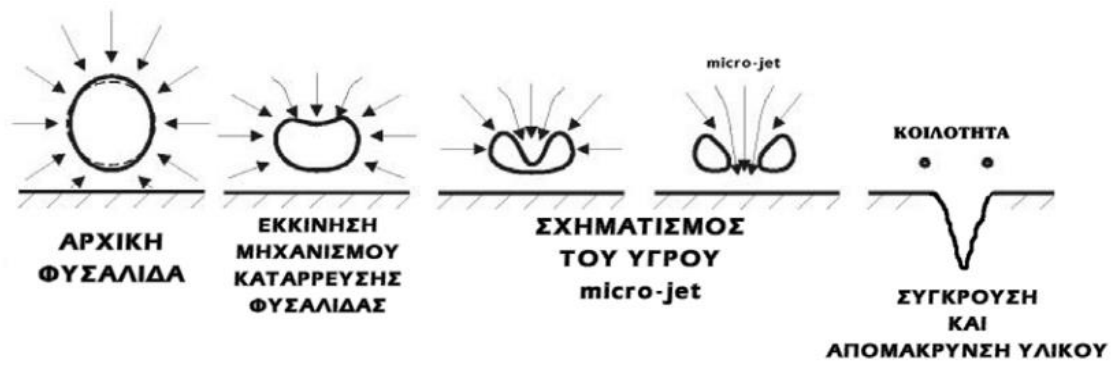
Σε αυτό το στάδιο του κύκλου ζωής της φυσαλίδας πραγματοποιείται ο σχηματισμός της μέσα στο υγρό κατά την αλλαγή φάσης του υγρού σε ατμό, δηλαδή κατά την ατμοποίηση του υγρού.

- *2^ο Στάδιο:* Ανάπτυξη – μεγέθυνση φυσαλίδων

Από το τέλος του πρώτου σταδίου που αφορά τη δημιουργία της φυσαλίδας, αν δεν αλλάξουν οι συνθήκες λειτουργίας, οι νέες φυσαλίδες συνεχίζουν να παράγονται και οι παλιές συνεχίζουν να μεγαλώνουν. Οι φυσαλίδες ρέουν μαζί με το υγρό από τη κεντρική οπή του στροφείου προς το άκρο εξόδου κατά μήκος της πτερωτής, έως το χείλος εκφυγής. Στη συνέχεια, αποκτούν μεγάλες ταχύτητες λόγω της περιστροφικής κίνησης του στροφείου, φτάνοντας τελικά σε περιοχές υψηλής πίεσης μέσα στο στροφείο, όπου ξεκινούν να καταρρέουν. Ο υπολογισμός του κύκλου ζωής μιας φυσαλίδας είναι της τάξεως των 0,003-0,004 seconds.

- *3^ο Στάδιο:* Κατάρρευση φυσαλίδων

Λόγω της περιστροφικής κίνησης που πραγματοποιεί το στροφείο της αντλίας, οι φυσαλίδες ατμού ως φυσικό επακόλουθο, κινούνται κατά μήκος του περιγείου αυξάνοντας τις τιμές που αφορούν τη ταχύτητα ροής τους. Συνεπώς, στο σημείο αυτό όπου αυτές πραγματοποιούν κινητική δραστηριότητα παράλληλα με τα πτερύγια του στροφείου, η πίεση της φυσαλίδας μεγιστοποιείται έως το σημείο ενδιαφέροντος. Το σημείο αυτό βρίσκεται όταν η τιμή πίεσης εξωτερικά από της φυσαλίδας είναι μεγαλύτερη από τη πίεση που έχει στο εσωτερικό της τμήμα. Επομένως στο σημείο αυτό, εξαιτίας της στατικής πίεσης που τείνει να αυξηθεί περισσότερο από την πίεση ατμοποίησης, πραγματοποιείται η επανυγροποίηση της μάζας του ατμού. Αυτή η μετάβαση δε γίνεται ακαριαία και για αυτό το λόγο παρατηρείται ένας μεταβατικός χρόνος όπου συνυπάρχουν και οι δύο φάσεις. Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι η κατάρρευση – έκρηξη της φυσαλίδας προς το εσωτερικό της.



Εικ4.13 Κατάρρευση φυσαλίδας



Εικ4.14 Δημιουργία φυσαλίδων ατμού σε περιοχές χαμηλής πίεσεως

Στη συνέχεια θα παρουσιαστεί ένας συνοπτικός πίνακας που παραθέτει το κύκλο ζωής της φυσαλίδας.

Κύκλος Ζωής Φυσαλίδας	
<i>Αριθμός σταδίου</i>	<i>Ονομασία</i>
1 ^ο στάδιο κύκλου ζωής	Η γέννηση της φυσαλίδας στο εσωτερικό της σύστασης του υγρού στοιχείου
2 ^ο στάδιο κύκλου ζωής	Η αυξητική τάση του όγκου της φυσαλίδας
3 ^ο στάδιο κύκλου ζωής	Η επανυγροποίηση της φυσαλίδας

Πίνακας: Κύκλος ζωής φυσαλίδας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΣΠΗΛΑΙΩΣΗΣ ΣΕ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΕΙΔΩΝ

5.1 ΠΕΡΙΦΡΑΦΗ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ

Το φαινόμενο της σπηλαίωσης αποτελεί μείζον πρόβλημα και απαιτεί προσοχή σε πολλές μηχανικές εγκαταστάσεις, ιδιαίτερος εντός των διωλιστηρίων. Πιο συγκεκριμένα, στη παρούσα πτυχιακή εργασία, οι φυγοκεντρικές αντλίες αποτελούν το κύριο αντικείμενο μελέτης της. Ωστόσο το φαινόμενο της σπηλαίωσης εμφανίζεται ως μεγάλο μειονέκτημα, για το λόγο ότι δεν είναι εύκολη η διαδικασία αναγνώρισης του σε πραγματικό χρόνο λειτουργίας του συνολικού συστήματος για τις φυγοκεντρικές αντλίες.

Ο κύριος λόγος εμφάνισης της σπηλαίωσης είναι η απότομη αύξηση των τιμών της τοπικής ταχύτητας, η οποία κατέχει το υγρό στοιχείο του συστήματος. Αυτή η ταχύτητα, είναι εκείνη η οποία στη συνέχεια οδηγεί στη μείωση των τιμών της τοπικής πίεσης, υποβοηθούμενη της απαιτούμενης πίεσης η οποία είναι υπεύθυνη για την ατμοποίηση του υγρού στοιχείου.

Σύμφωνα με τα παραπάνω συνάγεται, ως άμεση συνέπεια, η ατμοποίηση του υγρού. Επιπλέον πρέπει να αναφερθεί ότι η τιμή της πίεσης, την οποία κατέχει το σύστημα στη φάση της ατμοποίησης, αλληλεπιδρά με τη θερμοκρασία που έχει το συγκεκριμένο στάδιο του ολικού συστήματος. Με αυτό τον τρόπο προκύπτει το συμπέρασμα ότι μια μικρή αύξηση των τιμών της θερμοκρασίας που επικρατεί, μπορεί να γίνει η αιτία της εμφάνισης του φαινομένου της σπηλαίωσης. Ακόμη, η παρουσία διαφόρων αερίων, με σχήμα φυσαλίδας, στην εσωτερική συγκρότηση του υγρού στοιχείου μπορεί να δώσει τη δυνατότητα της επίτευξης του συγκεκριμένου φαινομένου. Τέλος, η έγκυρη εντόπιση του και η πλήρη διάγνωση του αποτελεί σημαντικό κομμάτι για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που θα προκαλέσει αυτό το φαινόμενο.

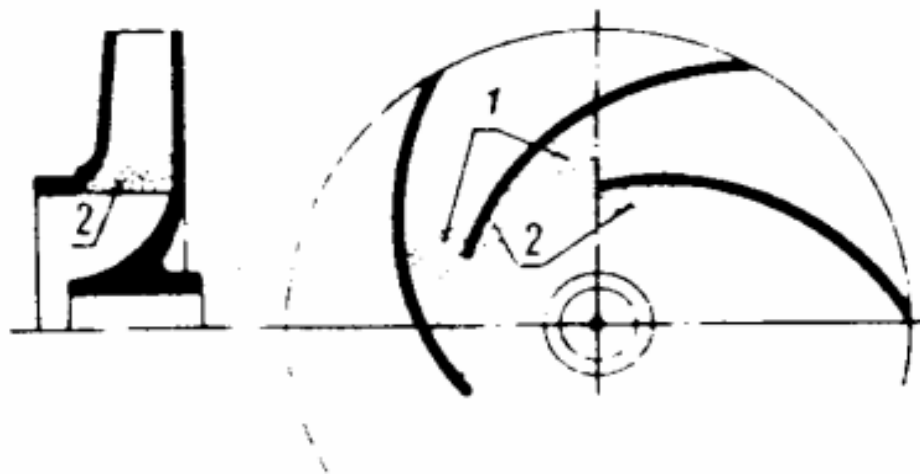
5.2 ΟΙ ΕΥΝΟΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ

Η σπηλαίωση είναι ένα φαινόμενο, το οποίο παρουσιάζεται σε φυγοκεντρικές αντλίες όταν κάποιες συνθήκες λειτουργίας το ευνοούν. Στη συνέχεια θα παρατεθούν οι συνθήκες αυτές.

- *Εισαγωγή μεγαλύτερης ποσότητας παροχής από αυτή που θα μπορούσε να δεχτεί η αντλία.* Πιο αναλυτικά, όταν η παροχή της φυγοκεντρικής αντλίας λαμβάνει τιμές μεγαλύτερες από αυτές που συνιστά ο κατασκευαστής της, υπάρχει μεγάλο ποσοστό εμφάνισης του φαινομένου της σπηλαίωσης, επειδή θα υπάρξουν αυξητικές τάσεις στη ταχύτητα της ροής του υγρού στοιχείου.
- *Η ύπαρξη υψηλότερου στατικού ύψους της αναρρόφησης.* Η συγκεκριμένη συνθήκη είναι ιδιαίτερα σημαντική για μια φυγοκεντρική αντλία επειδή αν το ύψος αναρρόφησης έχει μεγαλύτερη τιμή από αυτή που συνιστά ο κατασκευαστής της, ταρασσεται η ισορροπία με τη τιμή της τοπικής στατικής πίεσης του συστήματος. Το γεγονός αυτό την καθιστά πόλο έλξης του φαινομένου της σπηλαίωσης.
- *Εναλλαγή των δικτύων ροής του υγρού.* Σε αυτή τη διαδικασία εμφανίζονται απότομες αλλαγές στα δίκτυα των ροών. Αυτές οι αλλαγές επιφέρουν την αύξηση των απωλειών πίεσης, με αποτέλεσμα η εμφάνιση της σπηλαίωσης να είναι αναπόφευκτη.
- *Μείωση της πίεσης στη δεξαμενή αναρρόφησης.* Αυτή η συνθήκη ευνοεί ιδιαίτερα την εμφάνιση της σπηλαίωσης σε φυγοκεντρικές αντλίες, αφού οδηγεί σε μείωση του διαθέσιμου καθαρού θετικού ύψους αναρρόφησης NPSHa.
- *Αύξηση της θερμοκρασίας του υγρού.* Σε αυτή τη περίπτωση έχουμε παράλληλη αύξηση του επιπέδου τάσης του ατμού, το οποίο αποτελεί συνθήκη που εντείνει το φαινόμενο της σπηλαίωσης.

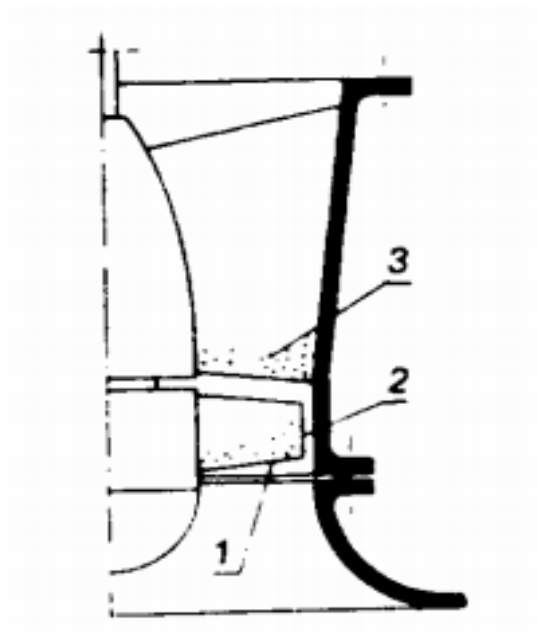
5.3 ΣΗΜΕΙΑ ΤΟΥ ΠΤΕΡΥΓΙΟΥ ΠΟΥ ΕΜΦΑΝΙΖΕΤΑΙ ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΣΠΗΛΑΙΩΣΗΣ

Η περιοχή που παρουσιάζει αυξημένες πιθανότητες και έντονη επικινδυνότητα, ώστε να εμφανίσει το φαινόμενο της σπηλαιώσης στις φυγοκεντρικές αντλίες, είναι η περιοχή των πτερυγίων. Τα πτερύγια των στροφείων αποτελούν βασικό τμήμα του συστήματος της φυγοκεντρικής αντλίας. Το φαινόμενο μπορεί να εμφανίζεται επιπλέον στο πίσω αφανές τμήμα και περισσότερο στην οπή εισόδου του ρευστού. Ωστόσο στις περιοχές που έχουν αυξημένη επικινδυνότητα εμφάνισης του φαινομένου, η τιμή που λαμβάνει η πίεση είναι χαμηλή, σε σχέση με τις υπόλοιπες περιοχές του αντλητικού συστήματος. Αυτό συμβαίνει λόγω της ξαφνικής αυξητικής τάσης της ταχύτητας, η οποία προσδίδεται στο υγρό στοιχείο. Πέρα από το σημείο των πτερυγίων που αναφέρθηκαν, το φαινόμενο της σπηλαιώσης εντοπίζεται και ανάμεσα από τα πτερύγια μιας αντλίας. Στη περίπτωση που το φαινόμενο έχει πάρει διαστάσεις, υπάρχει μεγάλη πιθανότητα φθοράς των άκρων των πτερυγίων κατά την έξοδο του υγρού, καθώς και στον αγωγό του κελύφους και τα πτερύγια διάχυσης. Παρακάτω θα παρουσιαστούν εικόνες με περιοχές αυξημένου κινδύνου σπηλαιώσης.



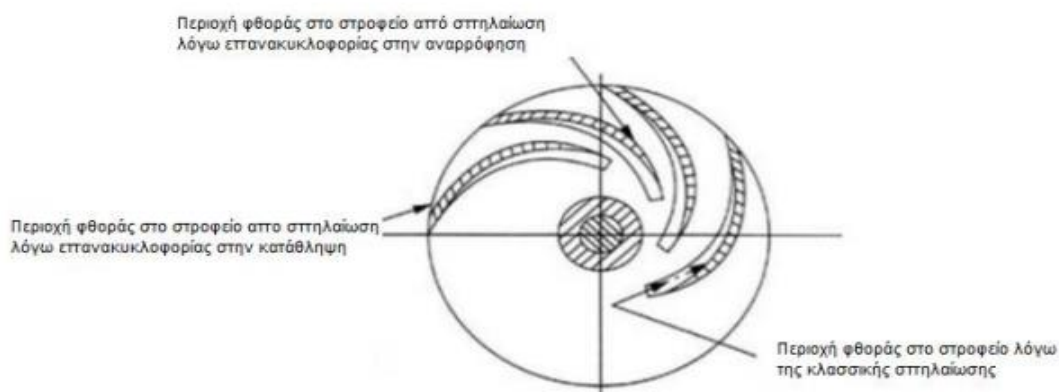
Εικ. 5.1 Περιοχή εμφάνισης σπηλαιώσης σε φυγοκεντρική αντλία

Όσο αφορά τις φυγοκεντρικές αντλίες αξονικής όπως και τις μικτής ροής, το φαινόμενο της σπηλαιώσης διαδραματίζεται πιο έντονα στην οπή εισόδου του υγρού, στα άκρα καθώς και στα τοιχώματα. Αυτό συμβαίνει επειδή στις παραπάνω περιπτώσεις τοποθετούνται πτερύγια ανοικτού τύπου.



Εικ. 5.2 Παρουσία σπηλαιώσης σε αντλία αξονικής ροής

Ας σημειωθεί ακόμη ότι όταν η σπηλαιώση πραγματοποιείται λόγω επανακυκλοφορίας του υγρού, οι φθορές που θα επιφέρει το φαινόμενο παρουσιάζονται στην αντίθετη πλευρά των πτερυγίων από αυτή που θα εμφανιστεί σε οποιαδήποτε άλλη περίπτωση κλασσικής σπηλαιώσης. Οπότε όταν παρουσιάζει επανακυκλοφορία στο μέρος του κάτω άκρου του πτερυγίου η φθορά θα έχει εμφανιστεί στο ορατό άκρο του σημείου εισόδου της πτερωτής, κοντά στο τμήμα του κελύφους. Αυτή η συνεχής ανατροφοδότηση του υγρού στοιχείου θα επιφέρει δημιουργία θορύβου, κραδασμούς και αυξομειώσεις των τιμών της πίεσης του συστήματος.



Εικ. 5.3 Απεικόνιση των φθορών το φαινομένου της σπηλαιώσης ανά περιοχή

5.4 ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΤΩΜΑΤΑ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΤΗΣ ΣΠΗΛΑΙΩΣΗΣ

Η διερεύνηση για τον εντοπισμό του φαινομένου της σπηλαιώσης αποτελεί μια δύσκολη διαδικασία, καθώς δε παρουσιάζονται έντονα συμπτώματα κατά την εμφάνιση της. Αυτός ο λόγος καθιστά την διάγνωση για την επίλυση του προβλήματος χρονοβόρα. Παρόλα αυτά παρουσιάζει κάποια συμπτώματα ήπιας μορφής, τα οποία είναι τα εξής:

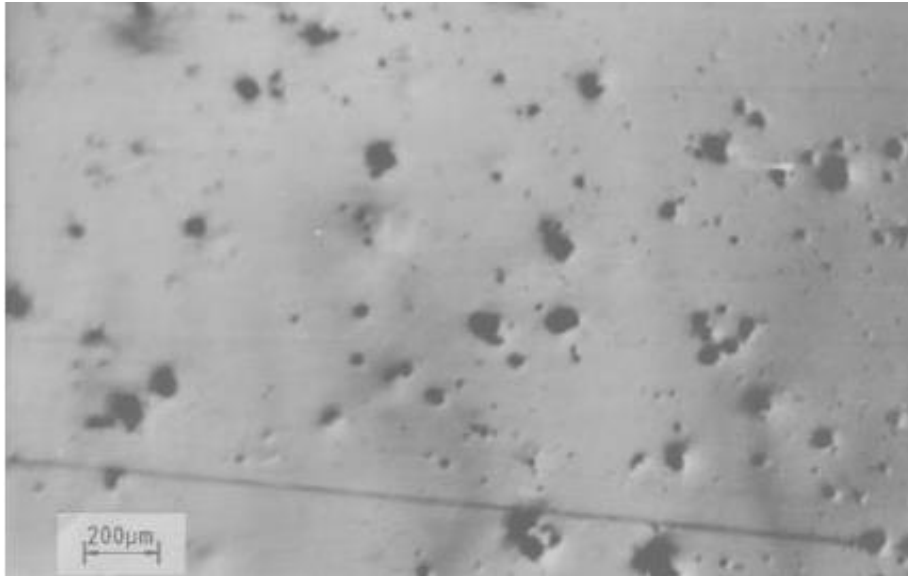
- *Έντονος θόρυβος κατά τη λειτουργία της φυγοκεντρικής αντλίας:* Ο θόρυβος αποτελεί σύμπτωμα ανίχνευσης της σπηλαιώσης που οφείλεται στη διαδικασία επανυγροποίησης των φυσαλίδων.
- *Κραδασμοί και δονήσεις από το εσωτερικό τμήμα της φυγοκεντρικής αντλίας:* Οι κραδασμοί προκύπτουν εξαιτίας της τάσης των τιμών της πίεσης να αυξομειώνονται, έχοντας ως αποτέλεσμα να επιβαρύνουν το σύνολο του συστήματος μιας φυγοκεντρικής αντλίας και να κατευθύνονται προς το εξωτερικό περιβάλλον της. Στην ουσία οι κραδασμοί αποτελούν αδικαιολόγητες ταλαντώσεις του συστήματος.
- *Πρόκληση φθορών στις μεταλλικές επιφάνειες οι οποίες οφείλονται στην πρόσκρουση του υγρού πάνω τους:* Το συγκεκριμένο σύμπτωμα σπηλαιώσης εμφανίζει τοπικές παραμορφώσεις στην μεταλλική επιφάνεια. Το μέγεθος της

ζημίας που μπορεί να προκαλέσει εξαρτάται από τη χημική σύσταση της επιφάνειας που επιλέχθηκε για την κατασκευή, αλλά και την προηγούμενη κατάσταση της επιφάνειας. Η παρακάτω κατάταξη παρουσιάζει με σειρά ανθεκτικότητας, από το λιγότερο ανθεκτικό στο περισσότερο.

- Μόλυβδος
- Χυτοσίδηρος
- Ορείχαλκος
- Αλουμίνιο με άνθρακα
- Ανοξείδωτο ατσάλι



Εικ. 5.4 Απεικόνιση φθοράς μεταλλικής επιφάνειας στροφείου, λόγω σπηλαίωσης



Εικ. 5.5 Μικροσκοπική απεικόνιση στα 200μm της φθοράς από σπηλαιώση σε μεταλλική επιφάνεια

5.5 ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΛΗΨΗΣ ΚΑΤΑ ΤΗΣ ΣΠΗΛΑΙΩΣΗΣ

Το φαινόμενο της σπηλαιώσης στις φυγοκεντρικές αντλίες αποτελεί μεγάλο πρόβλημα για της βιομηχανίες. Για αυτό το λόγο τα μέτρα πρόληψης τα οποία πρέπει να παρθούν ζητείται να τηρούνται στο ακέραιο από τους μηχανικούς, κατά την τέλεση των διαδικασιών. Αν υπάρξει αυτή η τήρηση, υπάρχει μεγάλο ποσοστό αποφυγής της παρουσίας της σπηλαιώσης.

Τα πιο συνηθισμένα μέτρα είναι:

- *Διασφάλιση χαμηλών ταχυτήτων κατά την περιστροφική κίνηση της φυγοκεντρικής αντλίας:* Με το μέτρο αυτό μπορεί να αποφευχθεί, ως ένα βαθμό, η εμφάνιση της σπηλαιώσης αφού η παροχή της αντλίας διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα. Επομένως, προτείνεται η αυξητική τάση των τιμών της στατικής πίεσης.
- *Η διάταξη του χώρου συνδέσεων και των σωληνώσεων της αναρρόφησης του συνολικού συστήματος:* Η κατάλληλη τροποποίηση του χώρου επιτυγχάνεται

με τη μείωση της απόστασης από το σημείο το οποίο το υγρό εισέρχεται στην αντλία και χωρίς τη χρήση βανών που δεν είναι απαραίτητες στη λειτουργία.

- *Η διατήρηση χαμηλών τιμών θερμοκρασίας του συστήματος:* Με την επίτευξη αυτού του μέτρου αποφεύγεται η εμφάνιση του φαινομένου της σπηλαιώσης.
- *Καλός και ουσιαστικός έλεγχος ανά τακτά χρονικά διαστήματα στο σύστημα:* Με αυτό το μέτρο διασφαλίζεται η άμεση αντικατάσταση φθαρμένων μεταλλικών επιφανειών με στόχο να μη συνεχιστεί η σπηλαιώση στο υπόλοιπο σώμα της αντλίας.
- *Ελαχιστοποίηση του διαλυμένου αέρα:* η μειωμένη ποσότητα διαλυμένου αέρα εντός του αντλητικού υγρού επιφέρει και τη μειωμένη πιθανότητα της εμφάνισης του φαινομένου.

5.6 ΕΛΕΓΧΟΙ ΚΑΙ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗΣ ΣΠΗΛΑΙΩΣΗΣ ΜΕΣΑ ΣΤΟ ΔΙΥΛΙΣΤΗΡΙΟ

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναφερθεί σε περιστατικά στα οποία κλήθηκα να αντιμετωπίσω μέσα στο διυλιστήριο, καθώς και στις ενέργειες οι οποίες πραγματοποιήθηκαν με στόχο να αποτραπεί η εμφάνιση του φαινομένου της σπηλαιώσης.

5.6.1 ΕΛΕΓΧΟΙ ΣΤΙΣ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΤΟΥ ΔΙΥΛΙΣΤΗΡΙΟΥ

Με στόχο την ομαλή λειτουργία των μονάδων του διυλιστηρίου, πραγματοποιούνται οι κατάλληλοι έλεγχοι των αντλιών κατά τη λειτουργία τους, καθώς και κατά την επισκευή τους. Οι έλεγχοι που πραγματοποιεί το τμήμα ελέγχου και πρόληψης, για την ομαλή λειτουργία, είναι οι εξής:

- *Απόδοση αντλίας:* Ο έλεγχος αυτός πραγματοποιείται συνήθως όταν υπάρξει πρόβλημα λόγω χαμηλότερης παροχής από την κανονική ή υπερφόρτωση του

κινητήρα της αντλίας. Τα όργανα παροχής, μανομετρικού και έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος είναι απαραίτητα για τον εκάστοτε έλεγχο. Η χαμηλή απόδοση της αντλίας ευθύνεται, συνήθως, στην εσωτερική φθορά της αντλίας (περωτή, κέλυφος, σαλαμάστρα, δακτυλίων φθοράς).

- *Δονήσεις:* Αυτός ο έλεγχος πραγματοποιείται από την ομάδα πρόληψης. Με έναν παλμογράφο δονήσεων τοποθετείται στα σημεία που εδράζεται ο άξονας, αλλά και στα κελύφη των αντλιών και των κινητήρων, και λαμβάνει μετρήσεις. Στη συνέχεια αυτές οι μετρήσεις μεταφέρονται σε υπολογιστικό πρόγραμμα το οποίο τις επεξεργάζεται και τις αξιολογεί.
- *Θόρυβος λειτουργίας:* Αυτός ο έλεγχος είναι καθημερινός και πραγματοποιείται από την ομάδα ελέγχου. Οι αλλαγές των θορύβων λειτουργίας των αντλιών προμηνύουν την αρχή βλάβης στα ρουλεμάν και σπηλαίωσης τις αντλίες. Αυτός οφείλεται στη χαμηλή λειτουργία αναρρόφησης.

5.6.2 ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΤΩΝ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ

Από τη στιγμή που θα διαγνωστεί σε μια φυγοκεντρική αντλία το φαινόμενο της σπηλαίωσης είναι απαραίτητο να γίνουν οι κατάλληλες διεργασίες – επισκευές. Αυτές είναι οι εξής:

- *Αντικατάσταση χιτωνίου του άξονα:* Η αντικατάσταση αυτή πραγματοποιείται όταν υπάρχει εσωτερική διαρροή από το σύστημα στεγανοποίησης ή από φθορά των δακτυλίων φθοράς στο σημείο που εδράζεται ο άξονας ή επιβεβαιωμένη εσωτερική διαρροή μεταξύ άξονα και χιτωνίου.
- *Αντικατάσταση ρουλεμάν:* Για να απομακρυνθεί το ρουλεμάν από τον άξονα είναι απαραίτητη η ύπαρξη εξολκέα, και μόνο. Αυτό συμβαίνει γιατί υπάρχει

σοβαρή πιθανότητα να προκληθεί βλάβη αν γίνει χρήση εργαλείων όπως σφυρί ή βαριοπούλα. Ωστόσο όταν θα πραγματοποιηθεί η εγκατάσταση του νέου ρουλεμάν συνήθως επιλέγεται να πραγματοποιηθεί με τη μέθοδο της «συναρμογής με ολίσθηση». Σε αυτή τη μέθοδο το ρουλεμάν τοποθετείται σταδιακά με το χέρι μέχρι τη στιγμή που αυτό είναι δυνατό και στη συνέχεια υποβοηθείται με τη χρήση ψιλού λαδιού. Μια επιπλέον μέθοδος που μπορεί να επιλεγεί είναι η «συναρμογή με σύσφιξη». Για τη τοποθέτηση του ρουλεμάν στον άξονα με αυτή τη μέθοδο, απαιτείται η χρήση επαγωγικού θερμαντήρα. Το ποια μέθοδος θα ακολουθήσει η ομάδα συντήρησης, συστήνεται από τον ίδιο το κατασκευαστή.

- *Αντικατάσταση – Καθαρισμός περωτών:* Η φθορά μιας περωτής, προκύπτει από μηχανική ή χημική φθορά, και αποτελεί το βασικό λόγο της μη ορθής λειτουργίας της αντλίας. Ο δευτερεύον παράγοντας είναι η εναπόθεση στερεών στα περύγια. Η βλάβη αυτή αρχίζει να φανερώνεται όταν παρουσιαστεί μείωση της απόδοσης της αντλίας και αύξηση ταλαντεύσεων – κραδασμών. Για να γίνει εγκατάσταση νέας περωτής τοποθετούνται νέοι δακτύλιοι φθοράς στην περωτής στις διαστάσεις της αντλία, στη συνέχεια τοποθετείται και ασφαρίζεται η περωτή στον άξονα και τέλος πραγματοποιείται ζυγοστάθμιση. Μόλις ολοκληρωθεί η αντικατάσταση ακολουθεί ο καθαρισμός των περυγίων. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται με μηχανικά μέσα και στη συνέχεια πραγματοποιείται έλεγχος με «γράφη». Ο γράφτης λαμβάνει μετρήσεις οι οποίες είναι οι αξονικές, οι ακτινικές και το runout της περωτής. Σε περίπτωση που οι τιμές των μετρήσεων που θα ληφθούν είναι διαφορετικές από τις μετρήσεις που προτείνει ο κατασκευαστής, τότε απαιτείται αντικατάσταση των δακτυλίων καθώς και ζυγοστάθμιση περωτής εκ νέου.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στη παρούσα πτυχιακή εργασία αναφερθήκαμε στο φαινόμενο της σπηλαίωσης σε φυγοκεντρικές αντλίες πετρελαιοειδών δυλιστηρίου. Το φαινόμενο αυτό παρουσιάζεται συχνά και αποτελεί ένα από τα βασικότερα προβλήματα, αφού δεν είναι ορατός ο κίνδυνος, κάτι που το καθιστά ιδιαίτερο. Παρακάτω θα αναφερθούν τα συμπεράσματα που εξήχθησαν στην συγκεκριμένη βιογραφική εργασία.

Αρχικά πρέπει να ειπωθεί ο κύριος λόγος για την εμφάνιση της σπηλαίωσης, ο οποίος πραγματοποιείται όταν έχουμε απότομες αυξήσεις στις τιμές της τοπικής ταχύτητας του ρευστού του συστήματος. Αυτό το γεγονός οδηγεί στην μείωση της τοπικής πίεσης, υποβοηθούμενο από την απαιτούμενη πίεση η οποία συμβάλει στην ατμοποίηση του ρευστού.

Ένα ακόμα σημαντικό γεγονός που εντείνει την σπηλαίωση στις φυγοκεντρικές αντλίες είναι η ατμοποίηση του υγρού και ο σχηματισμός φυσαλίδων λόγω της παρουσίας αέριων στοιχείων μέσα στο αντλούμενο υγρό του συστήματος. Οι φυσαλίδες πραγματοποιούνται μέσω της ατμοποίησης του υγρού και εισρέουν στο εσωτερικό της αντλίας, οπότε για αυτό το λόγο μπορεί να παρουσιαστεί το φαινόμενο της σπηλαίωσης, τόσο στο κομμάτι της αναρρόφησης όσο και στο κομμάτι της κατάθλιψης.

Οι τρόποι με τους οποίους μπορεί να περιοριστεί το φαινόμενο της σπηλαίωσης ποικίλουν. Πιο αναλυτικά, τα μέτρα που μπορούν να συμβάλουν για τη μη ύπαρξη της σπηλαίωσης είναι ο κατάλληλος σχηματισμός των γραμμών κυκλοφορίας του υγρού, η χρήση κατάλληλων πτερυγίων με τη σταθεροποίηση των ταχυτήτων που έχει το αντλούμενο υγρό, η δυνατότητα ύπαρξης μικρής τιμής της πίεσης στο τμήμα αναρρόφησης της αντλίας, καθώς και η ορθή στεγανοποίηση αερίων στο εσωτερικό τμήμα του ρευστού.

Επιπλέον, όσο αφορά το καθαρό θετικό ύψος αναρρόφησης, υπάρχει περίπτωση να εμφανιστεί το φαινόμενο της σπηλαίωσης μόνο όταν οι τιμές του διαθέσιμου καθαρού θετικού ύψους της αναρρόφησης λάβουν μικρότερες τιμές από το απαιτούμενο καθαρό ύψος της αναρρόφησης, σε ορισμένο χρονικό σημείο.

Μια συνθήκη ακόμη που μπορεί να θεωρηθεί υπεύθυνη και ευνοϊκή για την παρουσία της σπηλαίωσης είναι η ανάγκη για επίτευξη μεγαλύτερων παροχών από την προκαθορισμένη λειτουργία της φυγοκεντρικής αντλίας. Από αυτό θα προκύψουν κραδασμοί, δονήσεις, χαρακτηριστικός θόρυβος και καταστροφή μεταλλικών επιφανειών.

Τέλος, υπάρχουν αρκετά μέτρα πρόληψης κατά του φαινομένου της σπηλαίωσης. Κάποια από αυτά που λαμβάνονται στα διυλιστήρια είναι η κατάλυση χωροταξία των γραμμών σύνδεσης και των σωληνώσεων αναρρόφησης του συστήματος, η εξασφάλιση χαμηλών τιμών ταχύτητας κατά την λειτουργία της φυγοκεντρικής αντλίας, η διατήρηση χαμηλών τιμών της θερμοκρασίας στο σύστημα και ο καλός και σχολαστικός έλεγχος καθημερινά ανά τακτά χρονικά διαστήματα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΑΚΡΙΤΙΔΗΣ, Β. Κ. (1985). *Αντλίες (τύποι, επιλογή, λειτουργία, εγκατάσταση)*. ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ. Εκδόσεις Γιαχούδη – Γιαπούλη.

ΑΠΟΣΤΟΛΟΠΟΥΛΟΣ, Δ. (2017). *ΜΕΛΕΤΗ ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΙΚΟΥ ΑΝΤΛΗΤΙΚΟΥ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑΤΟΣ ΠΙΕΣΕΩΣ 5 bar ΚΑΙ ΠΑΡΟΧΗΣ 50 m³/h*. ΠΑΤΡΑ. ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΠΑΤΡΩΝ.

ΚΟΥΝΤΟΥΠΗ, Ε. (2012). *ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΤΗΣ ΣΠΗΛΑΙΩΣΗΣ ΣΕ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΗ ΑΝΤΛΙΑ*. ΚΡΗΤΗ. ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΚΡΗΤΗΣ.

ΜΑΛΙΩΤΗΣ, Γ. ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΙΣΧΥΟΣ. Ανάκτηση 4 Μαΐου, 2020, από <http://www.metadosi-ischios.gr/article.php?ID=76>

ΠΑΝΤΖΑΛΗΣ., Ν. (2008). *Μηχανική των ρευστών*, ΕΚΔΟΣΕΙΣ: ΊΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ.,

ΠΑΠΑΝΙΚΑΣ., Γ. Δ. (1998). *ΡΕΥΣΤΟΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ ΚΑΙ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ*. ΠΑΤΡΑ. ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΠΑΤΡΩΝ.

ΠΑΠΑΝΤΩΝΗΣ., Δ. (1994). *Υδροδυναμικές Μηχανές (Αντλίες – Υδροστροβίλοι)*. ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΣΥΜΕΩΝ

ΣΕΜΨΗΣ., Λ. (2007). *Μελέτη του φαινομένου της σπηλαίωσης σε φυγοκεντρική αντλία "Cavitation"*. ΑΘΗΝΑ.ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΕΘΝΙΚΟΥ ΜΕΤΣΟΒΙΟΥ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥ.

ΣΟΥΛΗΣ., Ι. Β. (1995). *Υδραυλικές Στροβιλομηχανές 2ος Τόμος – Αντλίες*. ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΑΙΒΑΖΗΣ – ΖΟΥΜΠΟΥΛΗΣ

Σπηλαίωση. (2020, 8 Απριλίου). Ανάκτηση Μαΐου 2, 2020, από Wikipedia: <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A3%CF%80%CE%B7%CE%BB%CE%B1%CE%AF%CF%89%CF%83%CE%B7>

ΦΕΛΩΝΗΣ ΓΙΩΡΓΟΣ, *Αντλία*, Εκδόσεις: Παπασωτηρίου, 2009.

AUSTIN H. CHURCH, JAGDISH LAL, (1973). *Centrifugal pumps and blowers*.
New Delhi.ΕΚΔΟΣΕΙΣ: METROPOLITAN BOOK COMPANY PRIVATE
LIMITED

YEDIDIAH., SAM. (1999). *Φυγοκεντρικές Αντλίες - Οδηγίες για το χρηστή*
ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΛΥΣΕΙΣ. ΑΘΗΝΑ. ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΙΩΝ.

Nelson E. W. P.E. *Understanding Pump Cavitation*, Published in: Chemical
Processing, Date published:1/2/1999