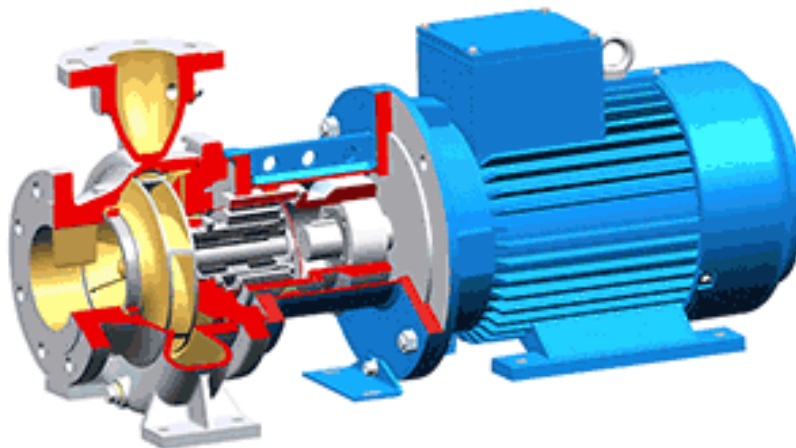




**ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ, ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΚΑΙ
ΨΥΞΗΣ ΑΝΤΛΙΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ
ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ**



**ΦΟΙΤΗΤΗΣ: ΣΕΛΛΗΝΑΣ ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΚΑΤΣΑΠΡΑΚΑΚΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ**

ΑΘΗΝΑ 2021

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η πτυχιακή εργασία αναφέρεται στην τεχνική περιγραφή, συντήρηση και ψύξη φυγοκεντρικών αντλιών που υπάρχουν και στον Όμιλο ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΑ όπως και με υπολογισμούς χαρακτηριστικών μίας φυγοκεντρικής αντλίας. Για την υλοποίηση της πτυχιακής εργασίας συμβουλευτήκα το εγχειρίδιο της Τεχνικής Βιβλιοθήκης του Χειριστή Παραγωγής κυρίου Μιχάλη Φωτιάδη και τον ευχαριστώ πολύ για τη πολύτιμη βοήθεια του, όπως και τη βοήθεια της οικογένειας μου.

Ο όμιλος ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΑ ασχολείται με τη διύλιση, τον εφοδιασμό και την εμπορία Πετρελαιοειδών καθώς και την λιανική εμπορία αυτών. Επίσης παράγει και εμπορεύεται πετροχημικά, κάνει έρευνα και παραγωγή υδρογοναναθράκων, παράγει ενέργεια και φυσικό αέριο και διεξάγει τεχνικές μελέτες.

Οι αντλίες είναι από τα πιο σημαντικά μηχανικά στοιχεία σε ένα διυλιστήριο καθώς προσδίδουν την κατάλληλη ενέργεια στα ρευστά ώστε αυτά να μεταφέρονται στα επιθυμητά σημεία. Ανάλογα με κάποια βασικά χαρακτηριστικά που διέπουν τις αντλίες και γίνεται ανάλυση παρακάτω, χωρίζονται σε κατηγορίες πάντα με βάση την αρχή λειτουργίας τους. Οπότε είναι σημαντική η επιλογή της αντλίας για κάθε αντλητική εγκατάσταση να έχει τα κατάλληλα χαρακτηριστικά.

Τέλος, ένα κομμάτι της πτυχιακής εργασίας αναφέρεται στα συστήματα και διατάξεις Ψύξης-Λίπανσης της Μηχανικής Σαλαμάστρας κάτι που είναι αναγκαίο για την στεγανοποίηση μίας φυγοκεντρικής αντλίας.

Σέλληνας Διονύσιος
Μάρτιος 2021

Υπεύθυνη Δήλωση Φοιτητή: Ο κάτωθι υπογεγραμμένος φοιτητής έχω επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνω υπεύθυνα ότι είμαι συγγραφέας αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, έχω δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μου όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποίησα και έλαβα ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνω επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχω ενσωματώσει στην εργασία μου προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχω πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχω αναφέρει ανελλιπώς το όνομα του και την πηγή προέλευσης.

Ο Φοιτητής
(Ονοματεπώνυμο)

.....
(Υπογραφή)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αναφέρει τις αντλίες που εμφανίζονται σε διάφορες εφαρμογές δίνοντας αναλυτική περιγραφή στις φυγοκεντρικές αντλίες και υπολογίζονται κάποια βασικά στοιχεία μίας αντλητικής εγκατάστασης.

Αρχικά γίνεται μία παρουσίαση του ομίλου ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΑ Α.Ε ξεκινώντας από μία σύντομη αναφορά στην ιστορία του και στη συνέχεια στις δραστηριότητες του.

Έπειτα, στο δεύτερο κεφάλαιο, γίνεται μία εισαγωγή της έννοιας της αντλίας με βάση τα ιστορικά δεδομένα και δίνεται ο ορισμός της. Επίσης, διατυπώνονται τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά στοιχεία των αντλιών και κατατάσσονται σε κατηγορίες βάση ορισμένων κριτηρίων.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύονται βασικές αρχές της δυναμικής των ρευστών όπου συναντώνται στις αντλίες. Οι βασικές έννοιες της ρευστομηχανικής εισάγονται στο παρών κεφάλαιο. Επίσης, γίνεται ανάλυση του μεγέθους της τριβής που δημιουργεί απώλειες σε εύθύγραμμα τμήματα σωληνών και εξαρτήματα της εγκατάστασης.

Στη συνέχεια και στο τέταρτο κεφάλαιο, γίνεται αναφορά στις αντλίες που υπάρχουν κατά κόρον σε διυλιστήρια και συγκεκριμένα στις δυναμικές αντλίες. Η βασικότερη υποκατηγορία δυναμικής αντλίας είναι η φυγοκεντρική, όπου γίνεται αναλυτική περιγραφή.

Κατ'επέκταση από το προηγούμενο κεφάλαιο, γίνεται κατηγοριοποίηση των φυγοκεντρικών αντλιών βάση της μορφολογίας και αναφέρονται οι ανωμαλίες-προβλήματα που προκύπτουν στις κατακόρυφες φυγοκεντρικές αντλίες. Τέλος, γίνεται αναφορά στο τρόπο που γίνεται η αναγνώριση του τύπου μίας φυγοκεντρικής αντλίας.

Ακολουθεί, στο έκτο κεφάλαιο, η αναλυτική περιγραφή των κύριων συστημάτων και διατάξεων για τη ψύξη-λύπανση της μηχανικής σαλαμάστρας καθώς και επεξήγηση για το σκοπό που επιτελούν και πολλά ακόμη.

Έπειτα, στο έβδομο κεφάλαιο αναφέρονται οι προβλεπτικές μέθοδοι αντιμετώπισης βλαβών που γίνονται γενικά σε μηχανολογικό εξοπλισμό και γίνεται επεξήγηση των τεχνικών για διάγνωση βλαβών συγκεκριμένα σε φυγοκεντρικές αντλίες.

Στο όγδοο και τελευταίο κεφάλαιο, πραγματοποιούνται υπολογισμοί χαρακτηριστικών στοιχείων φυγοκεντρικής αντλίας σε μία αντλητική εγκατάσταση και παρουσιάζονται διαγράμματα κάποιων αποτελεσμάτων όπως η χαρακτηριστική καμπύλη μανομετρικού ύψους αντλίας και εγκατάστασης συναρτήσει της παροχής.

Συμπερασματικά είναι πολύ σημαντικό σε μία εγκατάσταση να επιλέγεται η σωστή αντλία βάση το τι απαιτήσεις χρειάζονται να καλυφθούν. Από τη μορφή που παρουσιάζουν μέχρι και τι είδους ρευστό μεταφέρουν είναι κάποια από τα κριτήρια που πρέπει λαμβάνονται υπόψη.

ABSTRACT

This master thesis lists the pumps displayed in various applications giving a detailed description of the centrifugal pumps and calculates some key elements of a pumping installation.

Initially, there is a presentation of the group HELLENIC PETROLEUM S.A starting from a brief reference to its history and then to its activities.

Then, in the second chapter, the concept of pump is introduced on the basis of historical data and its definition is given. The basic technical characteristics of the pumps are also formulated and classified into categories on the basis of certain criteria.

The third chapter analyses basic principles of fluid dynamics found at the pumps. The basic concepts of fluid mechanics are introduced in this chapter. The concept of friction that creates losses is also analyzed in straight sections of pipes and components of the installation.

Then, in the fourth chapter, reference is made to the most widely used pumps in refineries; in particular the dynamic pumps. The main subcategory of dynamic pump is the centrifugal, where a detailed description is made.

By extension from the previous chapter, centrifugal pumps are categorized on the basis of morphology and the anomalies-problems that arise in vertical centrifugal pumps are reported. Finally, reference is made to the way the type of a centrifugal pump is recognized.

It follows, in the sixth chapter, the analytic description of the main systems and layouts for the cooling-lubrication of the mechanical seal as well as the explanation of the purpose they perform and much more.

Next, in the seventh chapter sets out the predictive methods of dealing with faults generally carried out in mechanical equipment and explaining the techniques for diagnosing faults specifically at pumps.

Finally, in the eighth and final chapter, calculations of centrifugal pump characteristics are performed in a pumping installation and diagrams of certain results are presented such as the typical curve of head of pump and installation depending on the supply.

In conclusion it is significant in an installation to choose the right pump based on what requirements it is needed to meet. From their design, i.e. the way the pumps are constructed, to the type of fluid they carry, are some of the criteria to be taken into account.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	i
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	ii
ABSTRACT.....	iii
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	iv
1. ΟΜΙΛΟΣ ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΑ.....	6
1.1. Ιστορία Ομίλου ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΑ.....	6
1.2. Δραστηριότητες ομίλου.....	8
2. ΑΝΤΛΙΕΣ.....	13
2.1. Ιστορικά στοιχεία αντλιών.....	13
2.2. Ορισμός της αντλίας.....	15
2.3. Βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά στοιχεία των αντλιών.....	15
2.3.1. Ογκομετρική Παροχή \dot{V} ή \dot{Q}	15
2.3.2. Στατικό ύψος αναρόφησης (H_a), κατάθληψης (H_k) και Ολικό Στατικό ύψος (H_Σ).....	17
2.3.3. Ισχύς και απόδοση της αντλίας.....	18
2.3.4. Μανομετρικό ύψος αντλίας $H_{αντλ}$, Μανομετρικό ύψος εγκατάστασης $H_{εγκ}$ και σημείο λειτουργίας.....	21
2.3.5. Καθαρό θετικό ύψος Αναρρόφησης NPSH.....	27
2.3.6. Ειδική ταχύτητα-αριθμός στροφών N_s	29
2.4. Βασική κατάταξη αντλιών.....	31
3. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΡΕΥΣΤΟΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ.....	33
3.1. Βασικά μεγέθη της ρευστομηχανικής.....	33
3.1.1. Πυκνότητα και ειδικό βάρος ρευστών.....	33
3.1.2. Ιξώδες.....	34
3.1.3. Θερμοκρασία.....	36
3.1.4. Όγκος.....	36
3.1.5. Ταχύτητα.....	37
3.1.6. Πίεση.....	41
3.2. Ροή πραγματικού υγρού σε κλειστούς αγωγούς.....	47
3.2.1. Αντίσταση στη ροή.....	47
3.2.1.1. Γραμμικές απώλειες ή Απώλειες λόγω τριβών.....	47
3.2.1.2. Τοπικές (ή ελάσσονες) απώλειες.....	50
4. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ.....	52
4.1. Βασικό χαρακτηριστικό των Δυναμικών Αντλιών.....	52
4.2. Αρχές λειτουργίας των Φυγοκεντρικών Αντλιών.....	52
4.3. Βασικά τμήματα της Φυγοκεντρικής Αντλίας.....	55
4.4. Σωληνώσεις και Διάταξη Φυγοκεντρικών Αντλιών.....	60
4.5. Ανωμαλίες Φυγοκεντρικών Αντλιών – Πιθανά αίτια.....	63
5. ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ.....	67
5.1. Τύπος φυγοκεντρικής αντλίας OVERHUNG.....	67
5.2. Τύπος φυγοκεντρικής αντλίας BETWEEN-BEARINGS.....	69
5.3. Τύπος φυγοκεντρικής αντλίας VERTICALLY SUSPENDED.....	71

5.4.Ανωμαλίες Κατακόρυφων Φυγοκεντρικών Αντλιών και Πιθανά Αίτια.....	76
5.5. Τρόπος αναγνώρισης τύπου φυγοκεντρικής αντλίας.....	76
6. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΨΥΞΗΣ-ΛΥΠΑΝΣΗΣ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΑΛΑΜΑΣΤΡΑΣ.....	78
6.1. Μηχανικές Σαλαμάστρες.....	78
6.2. Συστήματα-διατάξεις Flush Plans σύμφωνα με το κωδικό API-682.....	81
7. ΠΡΟΒΛΕΠΤΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΑΝΤΛΙΩΝ.....	100
7.1. Μετρητικές τεχνικές για διάγνωση βλαβών σε μηχανολογικό εξοπλισμό.....	100
7.1.1. Υπέρυθρη θερμογραφία.....	101
7.1.2. Ανάλυση κραδασμών.....	103
7.1.3. Ανάλυση ακουστικών επομπών.....	105
7.1.4. Ανάλυση λιπαντικού ή Τριβολογία.....	107
7.1.5. Ανάλυση ταυτότητας ρεύματος ενός κινητήρα.....	109
8. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ.....	110
8.1. Υπολογισμός παροχής στο σημείο λειτουργίας και μανομετρικού ύψους εγκατάστασης H_A	112
8.2. Υπολογισμός πίεσης αναρρόφησης και κατάθληψης.....	122
8.3. Υπολογισμός εισερχόμενης ισχύς αντλίας \dot{W}_{in} , ηλεκτρικής ισχύος $P_{ηλ}$ και στρεπτικής ροπής κινητήρα T	124
8.4. Υπολογισμός απαιτούμενης ισχύος για υπερνίκηση τριβών, γενικού βαθμού απόδοσης του αντλητικού συγκροτήματος και του ειδικού αριθμού στροφών N_s	126
8.5. Υπολογισμός μέγιστου επιτρεπόμενου ύψους αναρρόφησης Z_{max} και διαθέσιμου καθαρού θετικού ύψους αναρρόφησης $NPSH_a$	127
9. Συμπεράσματα-Επίλογος.....	130
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	131

1. ΟΜΙΛΟΣ ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΑ

Η **ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΑ (ΕΛΠΕ)** ιδρύθηκε το 1998 μετά από συγχώνευση των θυγατρικών ομίλων ΔΕΠ και θεωρείται ένας από τους κορυφαίους Ομίλους στον τομέα της ενέργειας στην **Νοτιοανατολική Ευρώπη** ενώ δραστηριοποιείται σε 6 χώρες της περιοχής. Οι μετοχές της διαπραγματεύονται στο χρηματιστήριο Αθηνών (ATHEX:ELPE) και σε αυτό του Λονδίνου (LSE)..Ιδιοκτήτης του ομίλου είναι η εταιρεία **Paneuropean Oil & Industrial Holdings S.A Όμιλος Λάτση** (45,5 %), το **Ελληνικό Δημόσιο** (35,5 %) και το υπόλοιπο (9%) ανήκει σε άλλους επενδυτές. Θυγατρικές της εταιρείας είναι η **ΕΚΟ** και η **BP Hellas**. Ο Όμιλος απασχολεί περίπου 3.500 υπαλλήλους εντός Ελλάδος και 1.700 εκτός Ελλάδος.



ΕΙΚΟΝΑ 1.1 : Όμιλος Εταιρειών ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΑ
(<https://www.iefimerida.gr/tag/ellinika-petrelaia>)

1.1 ΙΣΤΟΡΙΑ ΟΜΙΛΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΑ

1955-1970

Το 1955 υπογράφεται σύμβαση για κατασκευή του διυλιστηρίου με απόφαση της κυβέρνησης και αποτελεί το πρώτο διυλιστήριο πετρελαίου της Ελλάδας. Την επόμενη χρονιά, το 1956, αρχίζει η κατασκευή και δύο χρόνια αργότερα γίνονται τα εγκαίνια του νέου διυλιστηρίου στον Ασπρόπυργο.

Το 1966 εγκαινιάζεται το διυλιστήριο της **ESSO PAPPAS** στη Δυτική Θεσσαλονίκη από τον ελληνικής καταγωγής Τομ Πάππας.

1971-1980

Ιδρύεται η **ΔΗΜΟΣΙΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ Α.Ε. (Δ.Ε.Π)** και το Ελληνικό Δημόσιο εξαγοράζει την **ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΔΙΥΛΙΣΤΗΡΙΑ ΑΣΠΡΟΠΥΡΓΟΥ Α.Ε.**

(ΕΛ.Δ.Α.).Η διύλιση ελέγχεται πλήρως από το Δημόσιο όπως και η διάθεση και εμπορία των προϊόντων διύλισης.

Εκείνη τη περίοδο εγκαινιάζεται το διυλιστήριο της **ΠΕΤΡΟΛΑ ΕΛΛΑΣ** στην Ελευσίνα από τον Όμιλο Ιωάννης Λάτσης.

1981-1990

Ο όμιλος εταιρειών **ESSO** εξαγοράζεται από το Δημόσιο και μετονομάζεται σε **ΕΚΟ**.Για την άσκηση των δικαιωμάτων του Δημοσίου στο να ερευνά και να εκμεταλλεύεται υδρογονάνθρακες, ιδρύθηκε η **ΔΕΠ-ΕΚΥ**

Έπειτα ιδρύεται η **Δημόσια Επιχείρηση Παροχής Αερίου Α.Ε. (Δ.Ε.Π.Α.)** η οποία αναλαμβάνει τη διύλιση και διάθεση διυλισμένων προϊόντων στην εσωτερική αγορά για τα συμφέροντα του Ελληνικού Δημοσίου και αγοράζει τις μετοχές της ΕΛ.Δ.Α και της Δ.Ε.Π.Α.Στη συνέχεια ιδρύεται η εταιρεία μελετών **ΑΣΠΡΟΦΟΣ** μετά από συνεννόηση της ΕΛ.Δ.Α και της εταιρείας Foster Wheeler Italiana S.r.l αρχικά,ενώ αργότερα συμμετέχει και η εμπορική εταιρεία ΕΛΔΑ-Ε.Η εμπορική ΕΚΟ ιδρύει συμμετοχικά την ΕΚΟΤΑ-ΚΩ.

1991-1997

Η αγορά πετρελαίου απελευθερώνεται και αναλαμβάνει η Δ.Ε.Π. τη διύλιση και διάθεση προϊόντων για λογαριασμό της μέσω των διυλιστηρίων ΕΛ.Δ.Α. και Ε.Κ.Ο.Η Δ.Ε.Π αγοράζει τις μετοχές του ομίλου ΕΚΟ.Η ΕΚΟ αργότερα ιδρύει συμμετοχικά την ΕΚΟ GEORGIA και την ΕΚΟΛΙΝΑ.Η ΕΛΔΑ-Ε αναπτύσσεται στην εσωτερική αγορά.Η Δ.Ε.Π. και η ΕΛ.Δ.Α. ιδρύουν την V.P.I η οποία είναι βιομηχανία παραγωγής ρητίνης πολυαιθυλενίου στο Βόλο.Η ΔΕΠ-ΕΚΥ κάνει εκχωρήσεις στη Δυτική Ελλάδα όπου συμμετέχουν στις κοινοπραξίες έρευνας TRITON και ENTERPRISE.

1998-2008

Συγχωνεύονται οι θυγατρικές του Ομίλου ΔΕΠ και μετονομάζονται σε **ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΑ Α.Ε.**Η εταιρεία εισάγεται στα Χρηματιστήρια Αθηνών και Λονδίνου.

Στα επόμενα χρόνια που ακολουθούν,το Ελληνικό Δημόσιο διαθέτει με δημόσια εγγραφή δεύτερο πακέτο μετοχών της ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΑ Α.Ε.Ιδρύει ή συμμετέχει θυγατρικές εταιρείες όπως η **ΕΛ.ΠΕΤ. ΒΑΛΚΑΝΙΚΗ ΑΕ** και μέσω αυτής αποκτά το διυλιστήριο **ΟΚΤΑ** στα Σκόπια,η **ΕΛ.ΠΕ.-ΠΟΣΕΙΔΩΝ Ν.Ε.**,η **GLOBAL Albania**,η **HELLENIC PETROLEUM CYPRUS**,η **ΕΚΟ Serbia AD**,η **Jugopetrol AD** και η **ΕΚΟ Bulgaria EAD**,ώστε να επεκταθούν οι εμπορικές δραστηριότητες του Ομίλου σε Αλβανία,Κύπρο,Σερβία,Μαυροβούνιο και Βουλγαρία.

Συγχωνεύεται στην ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΑ Α.Ε. η εταιρεία **ΠΕΤΡΟΛΑ ΕΛΛΑΣ Α.Ε.Β.Ε.**

2009-2014

Υλοποιείται στρατηγική εκσυγχρονισμού της παραγωγικής βάσης μέσω της αναβάθμισης του διυλιστηρίου Ελευσίνας και Θεσσαλονίκης.Η **BP HELLAS** μεταβιβάζει τα εμπορικά της δικαιώματα στη ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΑ Α.Ε.Βελτιώνεται σημαντικά η απόδοση όλων των μονάδων και μέσω της βελτίωσης της ανταγωνιστικότητας οι εξαγωγές ξεπερνάνε το 50% των συνολικών πωλήσεων.

2015-2020

Ο Όμιλος συγκαταλέγεται στους μεγαλύτερους εξαγωγείς προϊόντων της ΝΑ Μεσογείου, ενώ η μονάδα καταλυτικής πυρόλυσης (FCC) του διυλιστηρίου Ασπρόπυργου κατατάσσεται στις δύο κορυφαίες παγκοσμίως, σύμφωνα με διεθνή μελέτη της Solomon.

1.2 ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ ΟΜΙΛΟΥ

Ο Όμιλος δραστηριοποιείται στον τομέα της ενέργειας στην Ελλάδα και την Νοτιοανατολική Ευρώπη και διαθέτει ένα ευρύ φάσμα δραστηριοτήτων στις οποίες περιλαμβάνονται:

- ✓ Διύλιση, Εφοδιασμός & Εμπορία Πετρελαιοειδών
- ✓ Λιανική Εμπορία Πετρελαιοειδών
- ✓ Παραγωγή & Εμπορία Πετροχημικών
- ✓ Έρευνα & Παραγωγή Υδρογοναναθράκων
- ✓ Παραγωγή Ενέργειας και Φυσικό Αέριο
- ✓ Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ)
- ✓ Τεχνικές Μελέτες

Διύλιση, Εφοδιασμός & Εμπορία Πετρελαιοειδών

Στην Ελλάδα, ο Όμιλος διαθέτει και λειτουργεί τρία διυλιστήρια, σε Ασπρόπυργο, Ελευσίνα, Θεσσαλονίκη. Αυτά καλύπτουν το 65% της διυλιστικής δυναμικότητας της χώρας και διαθέτουν δεξαμενές αποθήκευσης αργού πετρελαίου και προϊόντων χωρητικότητας 6,65 εκατ. m³. Τα διυλιστήρια του ομίλου να κατεργάζονται ενδιάμεσα προϊόντα (SRAR, VGO) και προσαρμόζουν το μίγμα και τα επίπεδα κατεργασίας αργού, ανάλογα με τα οικονομικά δεδομένα.

Διυλιστήριο (στην Ελλάδα)	Ημερήσια δυναμικότητα διύλισης (Kbpd)	Ετήσια δυναμικότητα διύλισης (M/T εκ.)	Τύπος διυλιστηρίου	Δείκτης Συνθετότητας Nelson
Ασπρόπυργος	148	7,5	Cracking (FCC)	9,7
Ελευσίνα	100	5,0	Hydrocracking	12
Θεσσαλονίκη	93	4,5	Hydroskimming	5,8

ΕΙΚΟΝΑ 1.2 : Βασικά χαρακτηριστικά των τριών διυλιστηρίων
(<https://www.helpe.gr/the-group/what-we-do/refining-supply-trading/>)

Λιανική Εμπορία Πετρελαιοειδών

Ο Όμιλος δραστηριοποιείται στη λιανική εμπορία πετρελαιοειδών και στην Ελλάδα και στο εξωτερικό. Οι θυγατρικές εταιρείες ΕΚΟ ΑΒΕΕ στην Ελλάδα όσο και στο εξωτερικό (Κύπρος, Βουλγαρία, Σερβία, Μαυροβούνιο και Δημοκρατία της Βόρειας Μακεδονίας) αποτελούν αυτά τα δίκτυα διανομής και λιανικής εμπορίας.

Επίσης, ο Όμιλος δραστηριοποιείται στον εφοδιασμό καυσίμων στην Ελλάδα μέσω της θυγατρικής ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΚΑΥΣΙΜΑ ΟΡΥΚΤΕΛΑΙΑ ΜΟΝΟΠΡΟΣΩΠΗ ΑΝΩΝΥΜΟΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΑΙ ΕΜΠΟΡΙΚΗ ΕΤΑΡΕΙΑ ΕΚΟ και ΒΡ.

Το δίκτυο εφοδιασμού καυσίμων περιλαμβάνει περισσότερα από 1700 πρατήρια, 15 εγκαταστάσεις αποθήκευσης και διανομής καυσίμων, 23 σταθμούς ανεφοδιασμού αεροσκαφών, 2 εμφιαλωτήρια υγραερίου και μία μονάδα παραγωγής και συσκευασίας λιπαντικών.

Παραγωγή & Εμπορία Πετροχημικών

Η ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΑ είναι ο μοναδικός παραγωγός πετροχημικών προϊόντων στην Ελλάδα, με μερίδιο αγοράς που υπερβαίνει το 50%. Οι δραστηριότητες επικεντρώνονται σε περαιτέρω επεξεργασία προϊόντωντων διυλιστηρίων όπως προπυλένιο, πολυπροπυλένιο, διαλύτες και ανόργανα, καθώς και η εμπορία στην εσωτερική αγορά.

Το διυλιστήριο του Ασπροπύργου διαθέτει μονάδα splitter όπου παράγει προπυλένιο και καλύπτει περίπου 80-85% των αναγκών σε πρώτη ύλη του εργοστασίου πολυπροπυλενίου στη Θεσσαλονίκη. Στο διυλιστήριο της Θεσσαλονίκης το πετροχημικό συγκρότημα παράγει επίσης διαλύτες και ανόργανα και όλα τα προϊόντα είναι διαθέσιμα προς πώληση στην εσωτερική αγορά και στη Μεσόγειο.

Έρευνα & Παραγωγή Υδρογονανθράκων

Η θυγατρική εταιρεία ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΑ Έρευνα και Παραγωγή Υδρογονανθράκων Α.Ε (ΕΛΠΕ Upstream) έχει σκοπό να αναπτύξει εργασίες και να υλοποιήσει έργα που αφορούν τις φάσεις της βιομηχανίας, έρευνας και εκμετάλλευσης υδρογονανθράκων (upstream) όπως και να παρέχει συμβουλευτικές υπηρεσίες σχετικές με αυτά τα θέματα.

Τα τελευταία χρόνια έπειτα από έρευνες έχουν χαρτογραφηθεί 9 επιλεγμένες περιοχές στον ελλαδικό χώρο με σημαντικά εκμεταλλεύσιμα αποθέματα υδρογονανθράκων.



ΕΙΚΟΝΑ 1.3 : Οι 9 περιοχές δραστηριοτήτων της ΕΛΠΕ Upstream
(<https://www.heple.gr/the-group/what-we-do/research-and-production-of-hdrocarbons/>)

Παραγωγή Ενέργειας και Φυσικό Αέριο

Ηλεκτρική Ενέργεια

Ο Όμιλος παράγει, εμπορεύεται και προμηθεύει ηλεκτρική ενέργεια στην Ελλάδα μέσω της συμμετοχής στην κοινοπραξία Elpedison B.V, με ποσοστό 50%.

Η ELPEDISON A.E. είναι ο δεύτερος σε μέγεθος ανεξάρτητος παραγωγός ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 810 MW τεχνολογίας συνδυασμένου κύκλου με καύσιμο Φυσικό Αέριο στη Θεσσαλονίκη με μονάδα 390 MW και στη Θίσβη Βοιωτίας με μονάδα 420 MW.

Φυσικό Αέριο

Ο Όμιλος συμμετέχει μέσω της ΔΕΠΑ Α.Ε. (35% ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΑ Α.Ε., 65% ΤΑΙΠΕΔ) και δραστηριοποιείται:

- 1) Στην εισαγωγή Φυσικού Αερίου μέσω μακροχρόνιων συμβάσεων αλλά και spot φορτίων
- 2) Στην προμήθεια Φυσικού Αερίου σε μεγάλους καταναλωτές (ηλεκτροπαραγωγοί, βιομηχανίες και εταιρείες παροχής ΦΑ)
- 3) Στην παροχή αερίου της ΕΠΑ Αττικής, σε μικρομεσαίους καταναλωτές και
- 4) Στην διανομή μέσης και χαμηλής πίεσης μέσω των Εταιρειών Διανομής Αερίου (ΕΔΑ), έπειτα από τον διαχωρισμό των δραστηριοτήτων διανομής και προμήθειας.



ΕΙΚΟΝΑ 1.4 : Νέα μονάδα συνδυασμένου κύκλου με Φυσικό Αέριο ισχύος 826 MW έξω από τη Θεσσαλονίκη

(<https://energypress.gr/news/mesa-sto-2020-kleinoy-n-ta-diadikastika-gia-tin-nea-monada-tis-elpedison-stin-thessaloniki>)

Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ)

Η ΕΛΠΕ Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας έχει ως στόχο την ανάπτυξη σημαντικής εγκατεστημένης ισχύος από αιολικά, φωτοβολταϊκά και βιομάζα στα επόμενα χρόνια ούτως ώστε να εξισορροπήσει το ισοζύγιο εκπομπών αερίου του θερμοκηπίου του Ομίλου.

Σε λειτουργία βρίσκονται:

- 7 Φ/Β σταθμοί σε ακίνητα του Ομίλου συνολικής ονομαστικής ισχύος 19 MW εκ των οποίων 4 Φ/Β έργα συνολικής ισχύος 17,6 MW του πιλοτικού διαγωνισμού της ΡΑΕ (2016)

- Αιολικό Πάρκο ισχύος 7 MW στην Πύλο του Ν.Μεσσηνίας
- 11 Φ/Β Συστήματα αυτό-παραγωγής με ενεργειακό συμψηφισμό συνολικής ισχύος περίπου 135 kW, σε ισάριθμα πρατήρια υγρών καυσίμων ΕΚΟ και ΒΡ.

Σε διάφορα στάδια ανάπτυξης βρίσκονται:

- 2 Φ/Β έργα ισχύος 12 MW σε ακίνητα του Ομίλου
- 2 μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας από καύση βιομάζας (προερχόμενης από υπολειματική γεωργία) συνολικής ισχύος 9,7 MW, χαρτοφυλάκιο 94 MW φωτοβολταϊκών και υβριδικό έργο σε συνεργασία με τη ΛΑΡΚΟ
- Αιτήσεις για έκδοση αδειών παραγωγής για έργα συνολικής ισχύος 265 MW
- Αιτήσεις για έκδοση αδειών παραγωγής για έργα ΑΠΕ (φωτοβολταϊκά και αιολικά) συνολικής ισχύος 599 MW
- Η ΕΛΠΕ Ανανεώσιμες συνεχίζει να εξετάζει επενδύσεις σε αυτό-παραγωγή με ιδιοκαταναλώσεις στις εγκαταστάσεις του Ομίλου συνδεδεμένες σε χαμηλή και μέση τάση



ΕΙΚΟΝΑ 1.5 :Το μεγαλύτερο φ/β πάρκο στην Ελλάδα και ένα από τα 5 μεγαλύτερα στην Ευρώπη που βρίσκεται στην Κοζάνη με ισχύ 204 MW εξαγοράστηκε από τα ΕΛΠΕ (<https://www.euractiv.gr/section/energia/news/stin-kozani-to-megalytero-fotovoltaiiko-parko-tis-choras/>)

Τεχνικές Μελέτες

Η ΑΣΠΡΟΦΟΣ, θυγατρική εταιρεία του Ομίλου, είναι η μεγαλύτερη εταιρεία παροχής τεχνικών υπηρεσιών (engineering) και συμβουλευτικών υπηρεσιών στο τομέα ενέργειας στη Ν.Α. Ευρώπη. Υποστηρίζει επενδύσεις κυρίως στο τομέα της Διύλισης και του Φυσικού Αερίου.

Κατά το 2019 η εταιρεία παρείχε τις υπηρεσίες της σε 50 νέα έργα, κάποια από τα σημαντικότερα των οποίων περιγράφονται παρακάτω:

- Επικαιροποίηση της μελέτης ασφάλειας QRA του Διαδριατικού Αγωγού Φυσικού Αερίου (TAP) και έλεγχος της παθητικής προστασίας των σταθμών.
- Βασικός Σχεδιασμός για την υλοποίηση των ευρυμάτων HAZOP στη μονάδα Υδρογόνου (U-33) και μελέτη HAZOP στη μονάδα Υδρογονοδιάσπασης (U-34) του διυλιστηρίου Ελευσίνας.
- Λεπτομερής Μελέτη και Επιδόση Κατσασκευής νέας γραμμής Cast Film, βοηθητικού εξοπλισμού και κτηριακών εγκαταστάσεων για εργοστάσιο της DIAXON στην Κομοτηνή.
- Περιβαλλοντική Μελέτη Βάσης για το πρόγραμμα έρευνας και εκμετάλλευσης υδρογονανθράκων στη χερσαία περιοχή ΒΔ Πελοποννήσου και άλλα πολλά έργα.

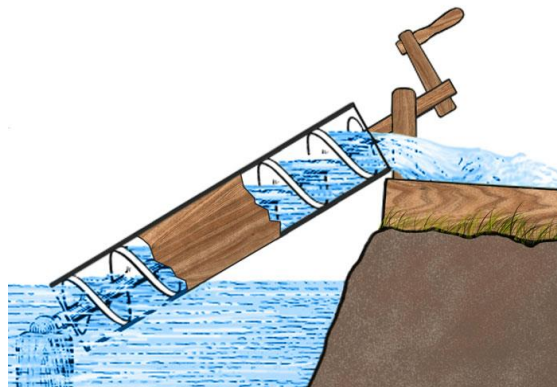
2. ΑΝΤΛΙΕΣ

2.1. ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΝΤΛΙΩΝ

Από τα πολύ παλιά χρόνια, ο άνθρωπος έψαχνε τρόπους για να μπορεί να μεταφέρει το κυριότερο αγαθό της ζωής, το νερό, από ένα σημείο σε ένα άλλο για διάφορες χρήσεις. Αυτές οι πρώτες προσπάθειες και επινοήσεις, αποτελούν την ιστορία της εξέλιξης των αντλιών, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία αλλά και τα διάφορα σωζόμενα γραπτά, οι πρωτοπόροι-σχεδιαστές των πρώτων αντλητικών συστημάτων θεωρούνται οι παρακάτω:

Ατέρμονας κοχλίας του Αρχιμήδη (325 π.Χ.)

Με σχεδιασμό του Αρχιμήδη, είχε κατασκευασθεί ένας «ξύλινος αγωγός» όπου μέσα σε αυτόν υπήρχε ένα σύστημα με πτερύγια όπου μέσω της περιστροφής τους από έναν άξονα, μπορούσαν να οδηγήσουν νερό ποτίσματος από το Νείλο στα χωράφια των αρχαίων Αιγυπτίων.



ΕΙΚΟΝΑ 2.1 : Ο ατέρμων κοχλίας ή κοχλίας του Αρχιμήδη
(https://technewsingreek.blogspot.com/2016/11/blog-post_76.html)

Αντλία του Κτησίβιου (300 π.Χ.)

Ο Κτησίβιος είχε κατασκευάσει ένα σύστημα με δύο έμβολα με τα οποία μέσω παλινδρομικής κίνησης μπορούσαν να μεταφέρουν νερό από μία δεξαμενή σε έναν αγωγό στηριζόμενοι στο φαινόμενο της υποπίεσης.



ΕΙΚΟΝΑ 2.2 : Η καταθλιπτική αντλία του Κτησίβιου
(<http://kotsanas.com/exh.php?exhibit=0601002>)

Πυροσβεστική αντλία του Ήρωνος (100 μ.Χ.)

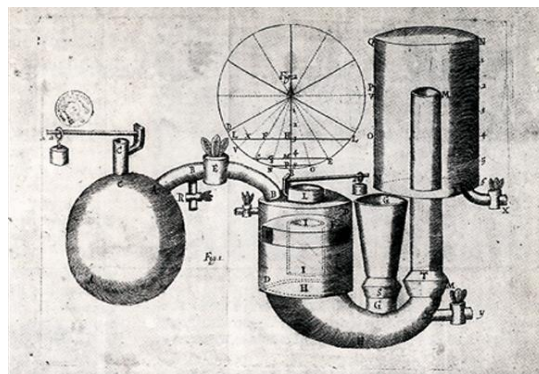
Πάνω στο σχεδιασμό του Κτησίβιου, ο Ήρων κατασκεύασε την «πρώτη πυροσβεστική αντλία». Μπορούσε με την κίνηση ενός εμβόλου και στηριζόμενος στο

φαινόμενο της υποπίεσης, να αναρροφά νερό από ένα δοχείο και να «καταθλίβει» μέσα από ένα αγωγό ανοιχτό



ΕΙΚΟΝΑ 2.3 : Η πυροσβηστική αντλία του Ήρωνος (η πρώτη εμβολοφόρα καταθλιπτική αντλία της ανθρωπότητας)
(<http://kotsanas.com/exh.php?exhibit=1001006>)

Όσο αφορά στα πιο σύγχρονα χρόνια, εφευρέτης των φυγοκεντρικών αντλιών θεωρείται ο Γάλλος Denis Papin, ο οποίος επινόησε τον πρώτο τύπο αντλίας το 1687, ενώ το 1705, κατασκεύασε ο ίδιος μία φυγοκεντρική αντλία, η οποία χρησιμοποιήθηκε για την άντληση νερού.



ΕΙΚΟΝΑ 2.4 : Η πρώτη φυγοκεντρική αντλία που χρησιμοποιήθηκε για άντληση νερού από αλατορυχείο
(<https://museeprotestant.org/en/notice/denis-papin-1647-about-1712/>)

2.2. ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ

Αντλία (pump) είναι το τμήμα εκείνο του μηχανολογικού εξοπλισμού, που χρησιμοποιείται κατά τη μεταφορά μίας ποσότητας υγρού:

- α. απο μία υψομετρική στάθμη σε μία άλλη, που βρίσκεται υψηλότερα από την πρώτη.
- β. από ένα σημείο χαμηλής πίεσης σε ένα άλλο, όπου υπάρχει υψηλότερη από το πρώτο.

Εκτός όμως των παραπάνω, υπάρχουν και περιπτώσεις που χρησιμοποιούνται οι αντλίες όταν πρέπει να μεταφερθούν υγρά από ένα σημείο που βρίσκεται σε μία στάθμη, σε ένα άλλο που βρίσκεται σε στάθμη χαμηλότερη σε σχέση με το πρώτο,

όταν ο σωλήνας που συνδέει αυτές τις στάθμες (δηλαδή ο σωλήνας μεταφοράς) είναι πολύ μεγάλου μήκους και έτσι δημιουργείται μεγάλη υδραυλική αντίσταση μέσα σε αυτόν.

Ένας γενικός λοιπόν ορισμός που θα μπορούσε να δοθεί για την αντλία, είναι ότι πρόκειται για μία μηχανή που χρησιμεύει για να μετακινηθούν υγρά, προσθέτοντας σε αυτά κινητική ενέργεια.

2.3. ΒΑΣΙΚΑ ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ

2.3.1. Ογκομετρική Παροχή \dot{V} ή \dot{Q}

Ογκομετρική παροχή είναι ο όγκος ενός υγρού που μετακινεί η αντλία στη μονάδα του χρόνου. Συμβολίζεται με το γράμμα \dot{V} ή \dot{Q} και έχει μονάδα μέτρησης στο μετρικό σύστημα τα κυβικά μέτρα ανά δευτερόλεπτο (m^3/s). Στην εφαρμογή έχει καθιερωθεί η χρήση των κυβικών μέτρων ανά ώρα (m^3/h) όπως και τα λίτρα ανά λεπτό (l/min).

Εφόσον όλα τα υγρά είναι ουσιαστικά ασυμπίεστα, η παροχή δεν μεταβάλλεται σε κάθε σημείο της εγκατάστασης και συνδέεται άμεσα με την ταχύτητα ροής. Η σχέση που υπολογίζει την παροχή εξαρτάται από το εμβαδόν διατομής του αγωγού και την ταχύτητα ροής και δίνεται παρακάτω:

$$\dot{Q} = u \cdot A \quad (2.1)$$

Όπου: u = Η ταχύτητα ροής σε m^3/s
 A = Το εμβαδόν διατομής του αγωγού σε κάποιο σημείο της εγκατάστασης σε m^2

Υπάρχουν έξι βασικά είδη παροχών που αφορούν τις αντλίες:

- **Κανονική ή Βέλτιστη Παροχή Q_{BEP}**

- είναι η παροχή της αντλίας όταν αυτή λειτουργεί στο μέγιστο του βαθμού απόδοσης της στις ονομαστικές στροφές n_{nom} και για το υγρό προδιαγραφής.

- **Θεωρητική Παροχή**

-είναι η παροχή της αντλίας όταν δεν υπάρχουν κανενός είδους απώλειες (π.χ διαρροές).

- **Πραγματική Παροχή**

-είναι η παροχή αντλίας (δηλαδή ο όγκος του υγρού) που περνάει προς τον αγωγό κατάθλιψης, στη μονάδα του χρόνου.

- **Εσωτερική Παροχή**

-είναι η παροχή της αντλίας (δηλαδή ο όγκος του νερού) που περνάει από την πτερωτή της αντλίας, στη μονάδα του χρόνου.

- **Ελάχιστη παροχή Q_{min}**

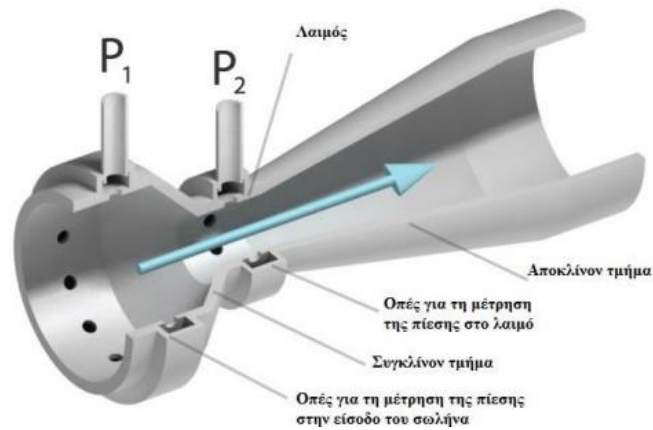
-είναι η ελάχιστη επιτρεπτή παροχή με την οποία η αντλία μπορεί να λειτουργήσει συνεχώς, χωρίς να πάθει βλάβη.

- **Μέγιστη παροχή Q_{max}**

- είναι η μέγιστη επιτρεπτή παροχή με την οποία η αντλία μπορεί να λειτουργήσει συνεχώς, χωρίς να πάθει βλάβη.

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

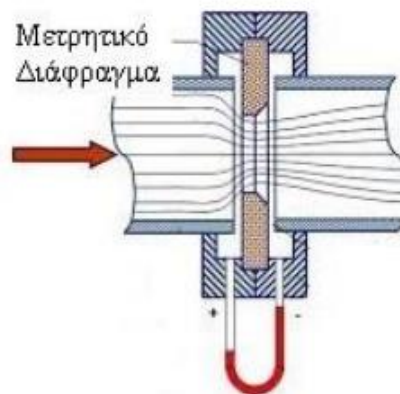
- Μετρητικός σωλήνας Venturi



ΕΙΚΟΝΑ 2.5 : Σωλήνας Venturi

(File:VenturiTubeScheme.png - Wikimedia Commons)

- Μετρητικό διάφραγμα



ΕΙΚΟΝΑ 2.6 : Μετρητικό πλακίδιο (διάφραγμα)

2.3.2. Στατικό ύψος αναρρόφησης (H_a), κατάθλιψης (H_k) και Ολικό Στατικό ύψος (H_Σ)

Στατικό ύψος αναρρόφησης (H_a) ή (z_a)

Στατικό ύψος αναρρόφησης είναι η κατακόρυφη απόσταση από τη στάθμη του υγρού, στο δοχείο / δεξαμενή αναρρόφησης, μέχρι το θάλαμο αναρρόφησης, δηλαδή μέχρι το σημείο εισόδου του υγρού στην αντλία.

Όταν η αντλία είναι θετικής εκτόπησης, για παράδειγμα εμβολοφόρος παλινδρομική αντλία, το στατικό ύψος αναρρόφησης μετρείται από τη στάθμη του υγρού που αναρροφά η αντλία μέχρι το επίπεδο εμβόλων.

Το ύψος αυτό παίρνει και αρνητικές τιμές όταν η αντλία είναι τοποθετημένη χαμηλότερα από τη στάθμη υγρού που αναρροφά. Τότε το υγρό ρέει προς την αντλία με τη βαρύτητα.

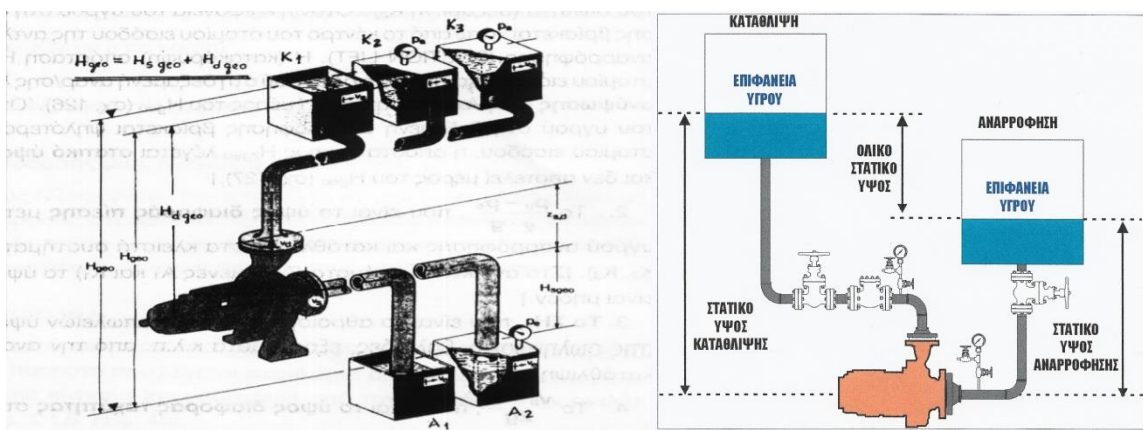
Στατικό ύψος κατάθλιψης (H_k) ή (z_k)

Στατικό ύψος κατάθλιψης είναι η κατακόρυφη απόσταση από το θάλαμο κατάθλιψης της αντλίας (σημείο εξόδου της αντλίας) μέχρι τη στάθμη του υγρού (επιφάνεια) στο δοχείο που καταλήγει το ρευστό.

Ολικό Στατικό ύψος (H_Σ)

Είναι το άθροισμα του στατικού ύψους αναρρόφησης και του στατικού ύψους κατάθλιψης, δηλαδή η υψομετρική διαφορά μεταξύ των επιφανειών του υγρού της δεξαμενής αναρρόφησης και της δεξαμενής κατάθλιψης. Όταν η αντλία είναι πιο χαμηλά από την επιφάνεια του υγρού της δεξαμενής αναρρόφησης τότε υπάρχει θετική αναρρόφηση οπότε το ολικό στατικό ύψος είναι η διαφορά των δύο άλλων υψών:

$$H_\Sigma = H_a \pm H_k \quad (2.2)$$



ΕΙΚΟΝΑ 2.7 : Απεικόνιση ολικού ύψους αντλητικού συγκρήματος H_{geo} (όπου H_{sgeo} το στατικό ύψος αναρρόφησης και H_{dgeo} το στατικό ύψος κατάθλιψης). Αριστερά είναι η περίπτωση της ανύψωσης στην αναρρόφηση και δεξιά είναι αυτήτης θετικής αναρρόφησης (<https://eclass.hmu.gr/modules/document/file.php/TM159/Παρουσιάσεις%20Θεωρίας/04.%20Βασικά%20μεγέθη%20αντλιών.pdf>) (πηγη αριστερής εικόνας)

Επισημάνση: Στην αριστερή εικόνα η απόσταση $z_{s,d}$ ονομάζεται στατικό ύψος της αντλίας. Συγκριτικά με τα άλλα ύψη θεωρείται στις περισσότερες περιπτώσεις αμελητέο και παράλληλα αποτελεί κατασκευαστικό χαρακτηριστικό της αντλίας.

2.3.3. Ισχύς και απόδοση αντλίας

Η **ισχύς του κινητήριου μηχανήματος** P_k , καλείται η ισχύς που παράγει η κινητήρια μηχανή και με την οποία τροφοδοτεί την αντλία. Η κινητήρια μηχανή μπορεί να είναι ηλεκτροκινητήρας ή κάποια θερμική μηχανή. Η μεταβίβαση της ισχύος στην αντλία γίνεται με μηχανικό σύστημα μεταδόσεως. Ανάλογα με το σύστημα αντήσεως και την αντλία που αποστέλλει ο κινητήρας στην αντλία, κυμαίνεται από μερικά kW έως μερικές χιλιάδες kW.

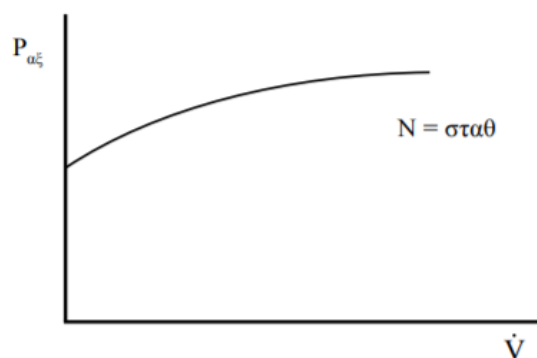
Η ισχύς που μεταβιβάζεται στον άξονα της αντλίας από τον κινητήρα ονομάζεται **εισερχόμενη ισχύς ή ιπποδύναμη πέδης (bhp)** της αντλίας και δίνεται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$\dot{W}_{in} = \frac{\rho \cdot g \cdot H_{αντλ} \cdot Q}{n} \quad (2.4)$$

ή

$$\dot{W}_{in} = \frac{\rho \cdot g \cdot H_{αντλ}}{367 \cdot n} \quad (2.5)$$

Όπου: \dot{W}_{in} = Η ισχύς της αντλίας σε Watt
 Q = Η παροχή όγκου της αντλίας σε m^3/s
 $H_{αντλ}$ = Το ολικό μανομετρικό σε m
 n = Ο ολικός βαθμός απόδοσης της αντλίας
 g = Η επιτάχυνση της βαρύτητας σε m/s^2
 ρ = Η πυκνότητα του υγρού σε kg/m^3



ΕΙΚΟΝΑ 2.8 : Μεταβολή της μηχανικής ισχύος συναρτήσει της ογκομετρικής παροχής

Η ισχύς που προσλαμβάνει το υγρό ονομάζεται **υδραυλική ή αποδιδόμενη ισχύς** $P_{υδρ}$ ή \dot{W}_{out} και εκφράζεται από το βασικό ορισμό της ισχύος (ισχύς=μεταβολή ολικής ενέργειας ανα μονάδα χρόνου) και δίνεται από τη παρακάτω σχέση:

$$P_{υδρ} = \rho \cdot g \cdot H_{αντλ} \cdot \dot{Q} \quad (2.6)$$

Για την υπερνίκηση των τριβών μεταξύ του υγρού και του στροφείου, στροβιλισμούς και απώλειες διακένων καθώς και τις μηχανικές τριβές που εκδηλώνονται υπο μορφή θερμικής ενέργειας απαιτείται ισχύς ίση με τη διαφορά της εισερχόμενης ισχύς απο την αποδιδόμενη ισχύς:

$$\dot{W}_f = \dot{W}_{in} - \dot{W}_{out} \quad (2.7)$$

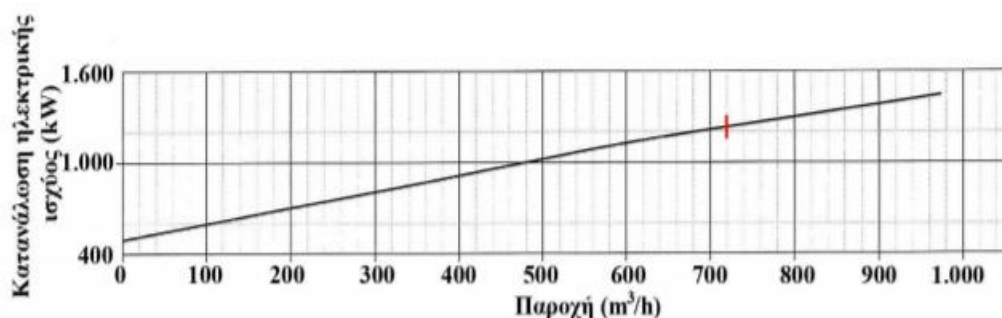
Η μηχανική ισχύς προέρχεται από τον ηλεκτροκινητήρα ο οποίος καταναλώνει ηλεκτρική ισχύς $P_{ηλ}$ και δίνεται από τη παρακάτω σχέση:

$$P_{ηλ} = \frac{\dot{W}_{in}}{\eta_k} \quad (2.8)$$

Όπου: $P_{ηλ}$ = Η ισχύς του ηλεκτροκινητήρα σε Watt

\dot{W}_{in} = Η ισχύς της αντλίας σε W

η_k = απόδοση ηλεκτροκινητήρα



ΕΙΚΟΝΑ 2.9 : Κατανάλωση ηλεκτρικής ισχύος συναρτήσει της παροχής

(<https://eclass.hmu.gr/modules/document/file.php/TM159/Παρουσιάσεις%20Θεωρίας/04.%20Βασικά%20μεγέθη%20αντλιών.pdf>)

Συμπέρασμα των παραπάνω διαγραμμάτων

Όταν η αντλία λειτουργεί υπο σταθερές στροφές, όσο αυξάνεται η ογκομετρική παροχή, τόσο μεγαλύτερη μηχανική ισχύς απαιτείται. Επίσης, το ίδιο συμπέρασμα διαπιστώνεται και στο διάγραμμα της κατανάλωσης ηλεκτρικής ισχύος.

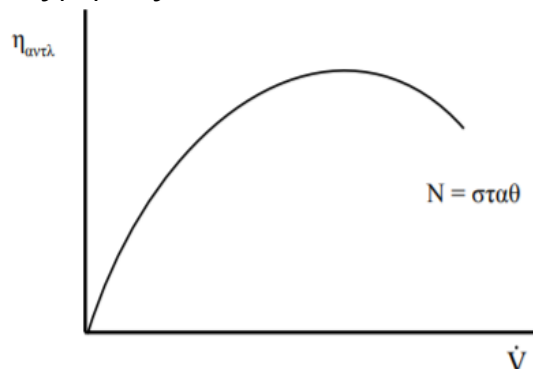
Ένα άλλο σημαντικό στοιχείο είναι το γεγονός ότι ακόμα και όταν η αντλία λειτουργεί με μηδενική παροχή, οπότε αποδίδεται το μανομετρικό ύψος μηδενικής παροχής, τότε χρειάζεται να καταναλωθεί μηχανική και ηλεκτρική ενέργεια. Αυτό μεταφράζεται σε κατανάλωση μηχανικής ισχύος στον άξονα της αντλίας και ηλεκτρικής ισχύος του κινητήρα.

Ο **ολικός βαθμός απόδοσης** της αντλίας δίνεται απο το λόγο της υδραυλικής ή αποδιδόμενης ισχύος της αντλίας προς την μηχανική ισχύ του άξονα της αντλίας. Επίσης δίνεται από το λόγο της υδραυλικής ή αποδιδόμενης ισχύς προς την εισερχόμενη ισχύ ή ιπποδύναμη πέδησης. Η υδραυλική ισχύς είναι πάντα μικρότερη

από την μηχανική, διότι σε αυτήν εμπεριέχονται οι απώλειες που οφείλονται σε διαρροές, τύρβη, τριβές ροής και στροβιλισμούς του υγρού στο στροφέιο και τον σπειροειδή θάλαμο, μηχανικές τριβές στον άξονα κλπ. Οι απώλειες που υπάρχουν στο σύστημα μετάδοσης ισχύος ή στο μειωτήρα δε θεωρούνται σαν απώλειες της αντλίας. Δίνεται από τη παρακάτω σχέση:

$$\eta_{\text{αντλ}} = \frac{\dot{W}_{\text{out}}}{\dot{W}_{\text{in}}} \quad (2.9)$$

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



ΕΙΚΟΝΑ 2.10 : Μεταβολή του ολικού βαθμού απόδοσης συναρτήσει της παροχής με σταθερή ταχύτητα περιστροφής

Οι αντλίες υφίστανται ως ένα ενιαίο σύστημα σε συνδυασμό με τον ηλεκτροκινητήρα οπότε αποτελούν το αντλητικό συγκρότημα της εγκατάστασης. Η ηλεκτρική ισχύς $P_{\eta\lambda}$ του ηλεκτροκινητήρα θα είναι η παρεχόμενη ισχύς και η υδραυλική ισχύς $P_{\text{υδρ}}$ της αντλίας θα είναι η αποδιδόμενη ισχύς. Οπότε προκύπτει ένας γενικός βαθμός απόδοσης του αντλητικού συγκροτήματος από τη παρακάτω σχέση:

$$\eta_{\text{συγκρ}} = \frac{P_{\text{υδρ}}}{P_{\eta\lambda}} \quad (2.10)$$

2.3.4. Μανομετρικό ύψος αντλίας $H_{\text{αντλ}}$, Μανομετρικό ύψος εγκατάστασης $H_{\text{εγκ}}$ και σημείο λειτουργίας

Το **μανομετρικό ύψος αντλίας** $H_{\text{αντλ}}$ δηλώνει την ολική ενέργεια που προσδίδει η αντλία στο διακινούμενο υγρό. Σε μία δυναμική αντλία το μηχανικό έργο που μεταδίδεται στο ρευστό από αυτή αρχικά μετατρέπεται, εντός της αντλίας, σε κινητική ενέργεια και καθώς αυτό εξέρχεται από την αντλία το μηχανικό έργο μετατρέπεται σε ενέργεια πίεσεως. Το ίδιο ισχύει σε αντλίες θετικής εκτοπίσεως μόνο που το μηχανικό έργο μετατρέπεται άμεσα σε ενέργεια πίεσεως.

Οπότε η ενέργεια που κυρίως αυξάνεται από την είσοδο στην έξοδο της αντλίας είναι η ενέργεια πίεσεως. Εξαιρέση αποτελούν οι παλινδρομικές αντλίες αναρροφήσεως, παλιά συστήματα αντήσεως που δεν χρησιμοποιούνται σήμερα και ορισμένοι ειδικοί τύποι αντλιών.

Το μανομετρικό ύψος, που προσδιορίζει την ενέργεια που αποδίδει μία αντλία, βασίζεται στο γεγονός ότι η τιμή του δεν επηρεάζεται από τη πυκνότητα του υγρού που χρησιμοποιείται. Πιο συγκεκριμένα, η ενεργειακή συμπεριφορά της αντλίας εκφρασμένης ως μεταβολή του μανομετρικού ύψους, είναι ίδια για κάθε διακινούμενο υγρό.

Συνεπώς, στο παρακάτω τύπο, εκφράζεται η ολική ενέργεια μίας στοιχειώδους ποδότητας υγρού μάζας m :

$$\text{ολική ενέργεια} = p \cdot V + \frac{1}{2} \cdot m \cdot u^2 + m \cdot g \cdot z \quad (2.11)$$

Όπου: p = Η τοπική στατική πίεση σε Pa

V = Ο όγκος της στοιχειώδους ποσότητας σε m^3/s

u = Η ταχύτητα της ποσότητας του υγρού σε m/s

z = Η κατακόρυφη απόσταση της από ένα επίπεδο αναφοράς σε m

g = Η επιτάχυνση της βαρύτητας σε m/s^2

Ο πρώτος όρος από τα δεξιά της ισότητας δηλώνει την ενέργεια πίεσης που διαθέτει αυτή η στοιχειώδης ποσότητα υγρού, ο δεύτερος όρος την κινητική ενέργεια της και ο τρίτος όρος τη δυναμική ενέργεια της.

Διαιρώντας τη σχέση 2.9 με το βάρος $m \cdot g$ της στοιχειώδους ποσότητας σε όλους τους όρους της προκύπτει η παρακάτω σχέση:

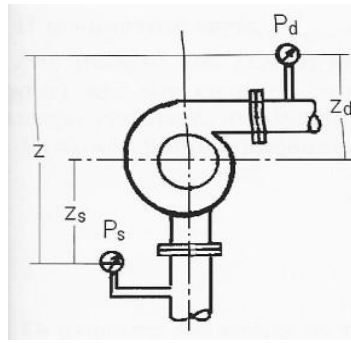
$$\text{ολική ενέργεια ανά μονάδα βάρους} = \frac{p}{\rho \cdot g} + \frac{u^2}{2 \cdot g} + z \quad (2.12)$$

όπου ρ η πυκνότητα του υγρού ($\rho = m/V$).

Το μανομετρικό ύψος της αντλίας $H_{αντλ}$, όπως γίνεται αναφορά παραπάνω, εκφράζει την αύξηση της ενέργειας πίεσεως του υγρού που διέρχεται από την αντλία. Στην πράξη μετριέται εύκολα με χρήση δύο μανομέτρων τοποθετημένα στην είσοδο και την έξοδο της αντλίας.

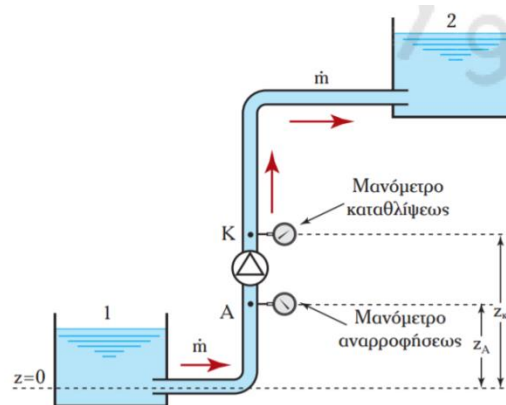
Οι τρόποι ένδειξης της πίεσης είναι τρεις:

- Μανομετρική (gauge). Το μανόμετρο πίεσης (pressure gauge) δείχνει πιέσεις πάνω από την ατμοσφαιρική πίεση. Όταν ένα μανόμετρο πίεσης δείχνει (μανομετρική) πίεση P_m (πάνω από την ατμοσφαιρική) η απόλυτη πίεση είναι: $P_{abs} = P_a + P_m$, όπου P_a η ατμοσφαιρική (βαρομετρική) πίεση.
- Κενό (vacuum). Το κενόμετρο (vacuum gauge) που λέγεται και μανόμετρο αναρρόφησης δείχνει πιέσεις κάτω από την ατμοσφαιρική. Το κενό ξεκινά με μηδέν στην ατμοσφαιρική πίεση. Όταν ένα κενόμετρο δείχνει $-0,1$ bar σημαίνει 10 % κενό, $-0,2$ bar (20 % κενό), $-1,0$ bar (100 % κενό δηλαδή απόλυτο κενό) και η απόλυτη πίεση είναι: $P_{abs} = P_a + P_{vac}$ όπου P_{vac} μπαίνει με αρνητικό πρόσημο.
- Απόλυτη (absolute). Η απόλυτη πίεση ξεκινά με μηδέν στο απόλυτο κενό και μετριέται προς στα πάνω.



ΕΙΚΟΝΑ 2.11 : Μανομετρικές ενδείξεις $z_d > 0$, $z_s < 0$

Ο προσδιορισμός του μανομετρικού αντλίας προκύπτει αφαιρώντας από την ολική ενέργεια ανα μονάδα βάρους του υγρού στην έξοδο της αντλίας, την ολική ενέργεια ανα μονάδα βάρους στην είσοδο.



ΕΙΚΟΝΑ 2.12 : Ενεργειακά ύψη αντλίας

Εφαρμόζοντας τη σχέση 2.12 στις θέσεις που απεικονίζονται στη παραπάνω εικόνα προκύπτει:

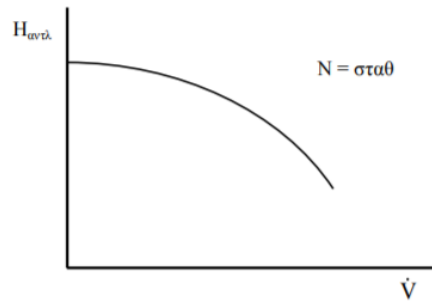
$$H_{αντλ} = \left[\frac{p_{εξ}}{\rho \cdot g} + \frac{u_{εξ}^2}{2 \cdot g} + z_{εξ} \right] - \left[\frac{p_{εισ}}{\rho \cdot g} + \frac{u_{εισ}^2}{2 \cdot g} + z_{εισ} \right] \Rightarrow$$

$$H_{αντλ} = \frac{p_{εξ} - p_{εισ}}{\rho \cdot g} + \frac{u_{εξ}^2 - u_{εισ}^2}{2 \cdot g} + (z_{εξ} - z_{εισ}) \quad (2.13)$$

Σε περίπτωση που τα υγρά έχουν διαφορετική πυκνότητα, οι πιέσεις εξόδου και εισόδου της αντλίας μεταβάλλονται έτσι ώστε τα μεγέθη $\frac{p_{εξ}}{\rho \cdot g}$ και $\frac{p_{εισ}}{\rho \cdot g}$ να παραμένουν σταθερά. Συνεπώς, το μανομετρικό ύψος της αντλίας είναι ανεξάρτητο από το διακινούμενο υγρό.

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η χαρακτηριστική καμπύλη μανομετρικού ύψους αντλίας συναρτήσεως της παροχής σε σταθερή ταχύτητα λειτουργίας. Υπό αυτές τις συνθήκες, το μανομετρικό ελαττώνεται συνεχώς καθώς αυξάνεται η παροχή. Αύξηση της ταχύτητας περιστροφής της αντλίας προκαλεί μετακίνηση της

καμπύλης προς μεγαλύτερες τιμές μανομετρικού ύψους και παροχής, ενώ μείωση των αριθμών στροφών, προκαλεί μετακίνηση της καμπύλης προς χαμηλότερες τιμές.

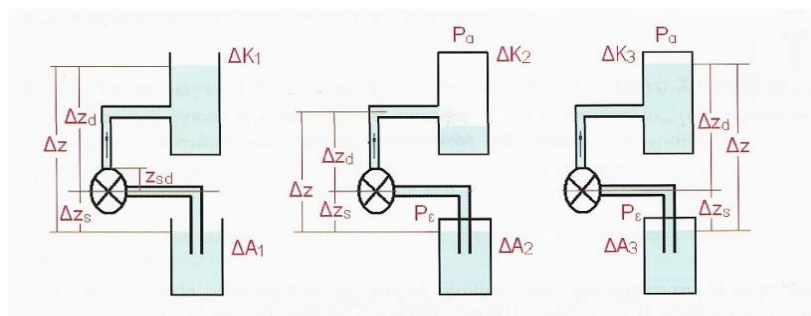


ΕΙΚΟΝΑ 2.13 : Μεταβολή του μανομετρικού ύψους αντλίας συναρτήσει της ογκομετρικής παροχής

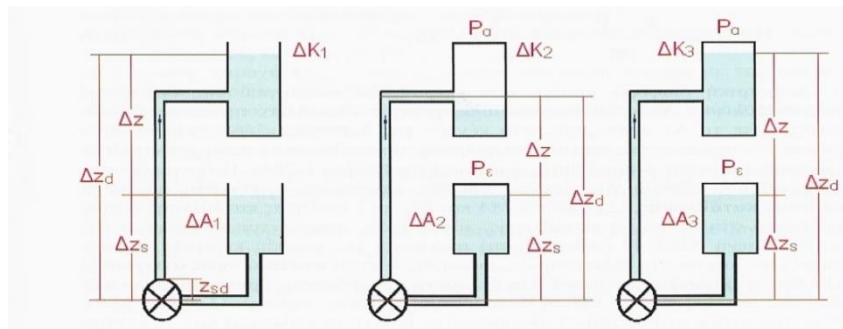
Το **ολικό (μανομετρικό) ύψος H_A συστήματος ή αποδιδόμενο ύψος αντλίας** (περιλαμβάνει δεξαμενές, σωληνώσεις, εξαρτήματα κλπ) που σε λειτουργία είναι ίσο με το ολικό ύψος H της αντλίας δίνεται από τη σχέση:

$$H_A = (z_2 - z_1) + \frac{p_K - p_A}{\gamma} + \frac{v_K^2 - v_A^2}{2 \cdot g} + \Delta H \quad (2.14)$$

- $z_2 - z_1 = \Delta z$ (στατικό ύψος) είναι η υψομετρική διαφορά μεταξύ των επιφανειών του υγρού της δεξαμενής αναρρόφησης και της δεξαμενής κατάθλιψης. Αν ο σωλήνας κατάθλιψης εκχύει επάνω από την επιφάνεια του υγρού στη δεξαμενή κατάθλιψης, τότε το Δz αναφέρεται στο κέντρο της διατομής εξόδου του σωλήνα (δεξαμενή ΔK_2). Όταν η επιφάνεια του υγρού στη δεξαμενή αναρρόφησης βρίσκεται κάτω από το κέντρο του στομίου εισόδου της αντλίας αυτό ονομάζεται ανύψωση αναρρόφησης (suction lift). Όταν η επιφάνεια του υγρού στη δεξαμενή αναρρόφησης βρίσκεται πάνω από το κέντρο του στομίου εισόδου της αντλίας τότε υπάρχει θετική αναρρόφηση (positive suction). Στην περίπτωση που η επιφάνεια του υγρού στη δεξαμενή αναρρόφησης βρίσκεται ψηλότερα από το κέντρο του στομίου εισόδου της αντλίας, η απόσταση Δz_s λέγεται στατικό ύψος θετικής αναρρόφησης και δεν αποτελεί μέρος του Δz .



ΕΙΚΟΝΑ 2.14 : Ανύψωση αναρρόφησης (suction lift) σε αντλητικό σύστημα ($\Delta z = \Delta z_d + \Delta z_s$) όπου Δz το ολικό στατικό ύψος, Δz_d στατικό ύψος κατάθλιψης και Δz_s στατικό ύψος αναρρόφησης



ΕΙΚΟΝΑ 2.15 : Θετική αναρρόφηση (positive suction) σε αντλητικό σύστημα ($\Delta z = \Delta z_d - \Delta z_s$) όπου Δz το ολικό στατικό ύψος, Δz_d στατικό ύψος κατάθλιψης και Δz_s στατικό ύψος θετικής αναρρόφησης

- $\frac{p_K - p_A}{\gamma}$ είναι το ύψος (διαφοράς) πίεσης μεταξύ των επιφανειών υγρού αναρρόφησης και κατάθλιψης στα κλειστά συστήματα (δεξαμενές ΔA_2 , ΔA_3 και ΔK_2 , ΔK_3). Στα ανοικτά συστήματα (δεξαμενές ΔA_1 και ΔK_1) το ύψος διαφοράς πίεση είναι μηδέν
- ΔH είναι το άθροισμα όλων των απωλειών ύψους (πίεσης) που προέρχονται από τριβές στις σωληνώσεις, βαλβίδες, εξαρτήματα κλπ από τη δεξαμενή αναρρόφησης μέχρι τη δεξαμενή κατάθλιψης και είναι ανάλογες του τετραγώνου της ταχύτητας.
- $\frac{v_K^2 - v_A^2}{2 \cdot g}$ είναι το ύψος (διαφοράς) ταχύτητας στις διατομές εισόδου και εξόδου της εγκατάστασης. Όπως προκύπτει από τη σχέση 2.13 εάν η ροή είναι σταθερή στο μέσο, εάν το ρευστό είναι ασυμπίεστο και εάν η διάμετροι εισόδου και εξόδου είναι ίσες, η μέση ταχύτητα ροής στην έξοδο είναι ίδια με αυτή της εισόδου. Επομένως, δεν είναι απαραίτητο πως η ταχύτητα αυξάνεται από την είσοδο στην έξοδο μέσω μίας φυγόκεντρης αντλίας, αλλά η πίεση.

Στην πράξη $V_K - V_A$ δηλαδή το ύψος διαφοράς ταχύτητας θεωρείται αμελητέο, οπότε:

$$H_A = (z_2 - z_1) + \frac{p_K - p_A}{\gamma} + \Delta H \quad (\text{για κλειστό σύστημα}) \quad (2.15)$$

$$H_A = (z_2 - z_1) + \Delta H \quad (\text{για ανοικτό σύστημα}) \quad (2.16)$$

Χαρακτηριστική καμπύλη αντλητικού συγκροτήματος ονομάζουμε τη γραφική παράσταση της μεταβολής του ολικού ύψους H_A ή $H_{εγκ}$ του αντλητικού συστήματος, δηλαδή όλου του δικτύου σωληνώσεων κ.λ.π., συναρτήσει της παροχής Q . Το μανομετρικό ύψος εγκατάστασης δηλώνει την ενέργεια ανά μονάδα βάρους του υγρού που απαιτείται για την διακίνηση του υγρού μέσω μίας συγκεκριμένης υδραυλικής εγκατάστασης. Η τιμή του εξαρτάται από τη μορφή και τη σύνθεση της εγκατάστασης και προκύπτει από το άθροισμα των διαφόρων ειδών ενέργειας που απαιτούνται για τη διακίνηση του υγρού. Τα είδη της απαιτούμενης ενέργειας είναι:

- Δυναμική ενέργεια, αν το υγρό κινείται προς υψηλότερα σημεία.
- Κινητική ενέργεια, αν το υγρό κινείται σε επιμήκεις σωληνώσεις όπου υφίσταται σημαντικές απώλειες κινητικής ενέργειας λόγω τριβών.

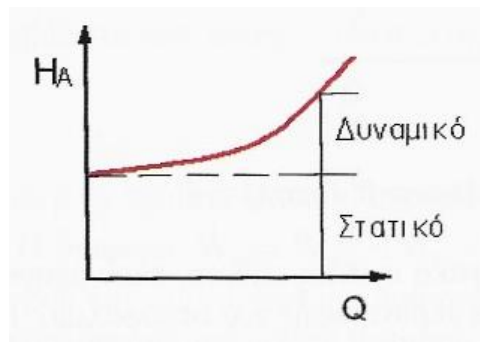
- γ. Ενέργεια πίεσης, αν υπάρχουν εξαρτήματα στη υδραυλική εγκατάσταση που προκαλούν πτώση πίεσης (π.χ. βάνες, σωληνώσεις με πολλές γωνίες και διακλαδώσεις, κ.λ.π.)

Αυτό θα είναι το σύνολο της απαιτούμενης ενέργειας που πρέπει να αποδώσει η αντλία. Συνεπώς, σε μία υδραυλική εγκατάσταση όπου μεταφέρεται υγρό με σταθερές συνθήκες, ισχύει:

$$H_{\text{αντλ}} \equiv H_{\text{εγκ}} \quad (2.17)$$

Όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα η καμπύλη αποτελείται από δύο μέρη:

- Το στατικό μέρος που είναι το άθροισμα στατικού ύψους Δz (που είναι ανεξάρτητο από τη παροχή) και του ύψους $\frac{p_K - p_A}{\gamma}$ (το οποίο για ανοικτό σύστημα είναι μηδέν)
- Το δυναμικό μέρος που είναι το άθροισμα του ύψους απωλειών Σh_f , οι οποίες αυξάνονται με το τετράγωνο της ταχύτητας (παροχής) ή του ύψους της διαφοράς ταχύτητας $\frac{v_K^2 - v_A^2}{2 \cdot g}$.

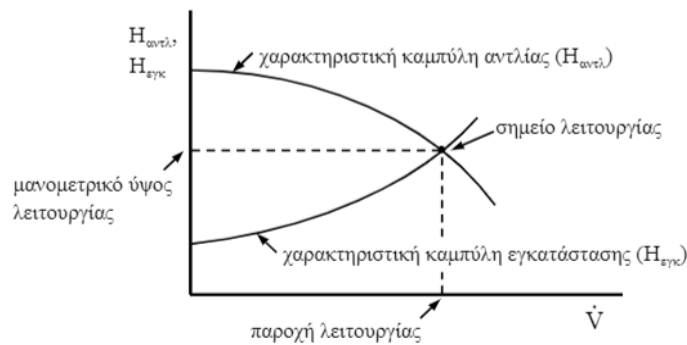


ΕΙΚΟΝΑ 2.16 : Χαρακτηριστική καμπύλη αντλητικού συγκροτήματος

Διάγραμμα λειτουργίας αντλίας σε υδραυλική εγκατάσταση-Σημείο λειτουργίας

Μία αντλία μπορεί να λειτουργεί σε διάφορους συνδυασμούς τιμών μανομετρικού ύψους και ογκομετρικής παροχής, όπως καθορίζεται από τη σχετική χαρακτηριστική καμπύλη στην εικόνα 2.12. Σε μία δεδομένη εφαρμογή, όταν δηλαδή υπάρχει συνδυασμός αντλίας και υδραυλικής εγκατάστασης, η αντλία τότε θα λειτουργεί σε ένα συγκεκριμένο συνδυασμό μανομετρικού ύψους και ογκομετρικής παροχής, δηλαδή σε ένα συγκεκριμένο σημείο της καμπύλης. Το σημείο αυτό λέγεται **σημείο λειτουργίας**.

Το σημείο αυτό προσδιορίζεται από διερεύνηση των ενεργειακών απαιτήσεων της υδραυλικής εγκατάστασης, δηλαδή με τη δημιουργία μίας καμπύλης μεταβολής του μανομετρικού ύψους εγκατάστασης $H_{\text{εγκ}}$ με την ογκομετρική παροχή. Το σημείο λειτουργίας της αντλίας είναι το σημείο τομής αυτής της καμπύλης με τη καμπύλη $H_{\text{αντλ}} - \dot{V}$, δηλαδή εκεί που ικανοποιείται η σχέση 2.17. Στη παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται μία αντιπροσωπευτική απεικόνιση της ανωτέρω διαδικασίας.



ΕΙΚΟΝΑ 2.17 : Χαρακτηριστική καμπύλη λειτουργία αντλίας σε υδραυλική εγκατάσταση

2.3.5. Καθαρό θετικό ύψος Αναρρόφησης NPSH

Το **Καθαρό Θετικό Ύψος** δηλώνει τη διαφορά μεταξύ της απόλυτης πίεσης του υγρού στην εισαγωγή μίας αντλίας και της πίεσης ατμοποίησης του υγρού στην υφιστάμενη θερμοκρασία.

Στην περίπτωση που η πίεση στην εισαγωγή της αντλίας είναι αρκετά χαμηλή, είναι πιθανό το διακινούμενο υγρό να ατμοποιηθεί και να σχηματιστούν φυσαλίδες οι οποίες μεταφέρονται μέσα στην αντλία. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **σπηλαίωση**. Πρώτη επίπτωση αυτού του φαινομένου είναι η σημαντική μείωση της παροχής. Επίσης, όταν οι φυσαλίδες φθάσουν σε περιοχές της αντλίας με υψηλότερη πίεση διασπώνται βίαια και επανα-υγροποιούνται, γεγονός που προκαλεί ισχυρές διακυμάνσεις πίεσης με έντονους κραδασμούς που μπορούν να βλάψουν την αντλία και τις σωληνώσεις που συνδέονται με αυτήν. Για την αποφυγή σπηλαίωσης θα πρέπει η πίεση στην εισαγωγή της αντλίας να είναι πάντα μεγαλύτερη της πίεσης ατμοποίησης του υγρού. Γίνεται αναλυτικότερη περιγραφή του φαινομένου της σπηλαίωσης στο κεφ. 4 παρ. 4.5.

Όταν μία αντλία αναρροφά υγρό από δεξαμενή, η πίεση στην εισαγωγή της αντλίας $p_{\text{εισ}}$ καθορίζεται από τη πίεση στην επιφάνεια του υγρού $p_{\text{επιφ}}$, δηλαδή η ατμοσφαιρική αν πρόκειται για ανοικτή δεξαμενή, την υψομετρική διαφορά $H_{\text{εισ}}$ μεταξύ επιφάνειας του υγρού και της εισαγωγής της αντλίας και τις απώλειες στον αγωγό αναρρόφησης $H_{\text{αντλ}}$.

Στις κανονικές συνθήκες λειτουργίας, δηλαδή χωρίς σπηλαίωση, το Καθαρό Θετικό Ύψος Αναρρόφησης παίρνει το χαρακτηριστικό **διαθέσιμο**, το οποίο υποδηλώνεται με τον δείκτη a : **NPSH_a** (a :available) και υπολογίζεται από τις παρακάτω σχέσεις ανάλογα με τη τοποθέτηση της αντλίας:

1. Ανύψωσης στην αναρρόφηση (suction lift). Εάν η αντλία είναι τοποθετημένη ψηλότερα από την ελεύθερη επιφάνεια του υγρού, τότε το NPSH_a δίνεται από τη σχέση και μονάδα μέτρησης είναι το μέτρο m :

$$\text{NPSH}_a = \frac{p_{\text{επιφ}} - p_{\text{ατμοπ}}}{\rho \cdot g} - \frac{\bar{V}_e^2}{2 \cdot g} - H_{\text{απωλ}} - H_{\text{εισ}} \quad (2.18)$$

- $p_{\text{επιφ}}$, η πίεση στην επιφάνεια του υγρού δηλαδή ολική (απόλυτη) πίεση στην ελεύθερη επιφάνεια δεξαμενής
- ο όρος $H_{\text{απωλ}}$ αντιπροσωπεύει τις απώλειες τριβών (γι' αυτό και το αρνητικό πρόσημο) ύψους στο κλάδο της αναρρόφησης (σωλήνες, βάνες κ.λ.π).

- το μέγεθος z ή $H_{\text{εισ}}$ είναι η υψομετρική διαφορά από την ελεύθερη επιφάνεια της δεξαμενής έως το κέντρο της διατομής εισόδου της αντλίας.
- ο όρος $\frac{\vec{V}_e^2}{2 \cdot g}$ μπορεί να παραληφθεί γιατί η ταχύτητα \vec{V}_e στην επιφάνεια της δεξαμενής είναι αμελητέα.

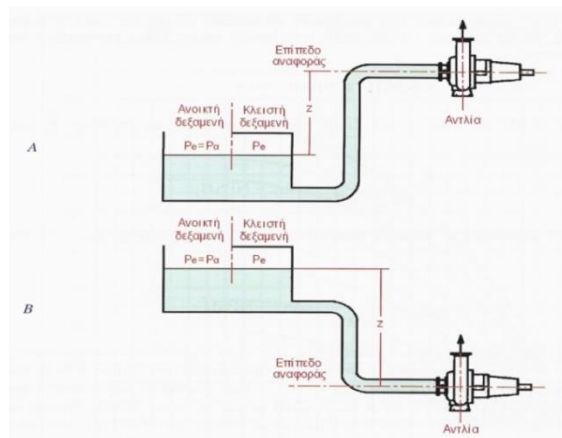
2. Θετικής αναρρόφησης (positive suction). Εάν η αντλία είναι χαμηλότερα από την ελεύθερη επιφάνεια του υγρού, τότε το $NPSH_a$ δίνεται από τη σχέση:

$$NPSH_a = \frac{P_{\text{επιφ}} - P_{\text{ατμοπ}}}{\rho \cdot g} - \frac{\vec{V}_e^2}{2 \cdot g} - H_{\alpha\pi\omega\lambda} + H_{\text{εισ}} \quad (2.19)$$

Παρατήρηση: Εάν το υγρό είναι το νερό ($\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$) και θεωρήσοητικά ισχύει $P_{\text{επιφ}} = P_{\text{ατμ}} = 1 \text{ atm}$, $g \approx 1 \text{ m/s}^2$ και $\vec{V}_e = 0$, τότε οι σχέσεις 2.18 και 2.19 απλοποιούνται στις εξής:

$$(2.18) \Rightarrow NPSH_a = 10 - H_{\alpha\pi\omega\lambda} - H_{\text{εισ}} \quad (2.20)$$

$$(2.19) \Rightarrow NPSH_a = 10 - H_{\alpha\pi\omega\lambda} + H_{\text{εισ}} \quad (2.21)$$

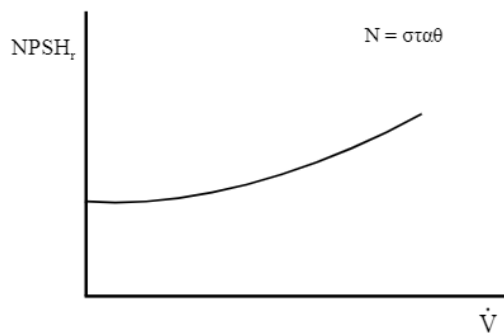


ΕΙΚΟΝΑ 2.18 : $NPSH_a$: Α. με ανυψωση στην αναρρόφηση Β. με θετική αναρρόφηση

Το $NPSH_r$ ή **Απαιτούμενο Καθαρό θετικό Ύψος Αναρρόφησης** (r :required), ορίζεται όπως και το $NPSH_a$, **αναφέρεται στην αντλία** και αποτελεί ελάχιστη αποδεκτή τιμή. Εκφράζεται σε μέτρα και είναι συνάρτηση της παροχής $\dot{V} \equiv Q$ της αντλίας. Συνήθως, αυξάνεται καθώς αυξάνεται η παροχή. Κατά κανόνα η καμπύλη $Q-NPSH_r$ δίνεται από τους κατασκευαστές της αντλίας μαζί με τις άλλες χαρακτηριστικές καμπύλες.

Η παρακάτω σχέση αποτελεί **συνθήκη μη σπηλαίωσης**, δηλαδή ένα σημείο λειτουργίας μιας φυγοκεντρικής αντλίας μπορεί να ληφθεί σημείο απρόσκοπτης λειτουργίας μόνο αν ισχύει η παρακάτω σχέση γ' αυτό το σημείο. Έτσι όπως ορίστηκε το $NPSH_a$ είναι αντιληπτό ότι **αναφέρεται στην εγκατάσταση (σύστημα)**. Συνεπώς, εκφράζεται συναρτήσε των συνθηκών που επικρατούν στην επιφάνεια του υγρού στη δεξαμενή αναρρόφησης.

$$NPSH_a \geq NPSH_r \quad (2.22)$$



ΕΙΚΟΝΑ 2.19 : Τυπική μεταβολή του Απαιτούμενου Καθρού Θετικού Ύψους Αναρρόφησης με την ογκομετρική παροχή υπο σταθερή ταχύτητα

Οι κατασκευαστές καταλήγουν στη τιμή $NPSH_r$ μετά από δοκιμές και βάση της εμπειρίας τους στηριζόμενοι σε ορισμένα κριτήρια «εμφανής σπηλαιώσης», όπως:

- Πτώση του ολικού ύψους H κατά 30 %,
- Αύξηση του επιπέδου θορύβου (λόγος σπηλαιώσης) πάνω από ένα καθορισμένο όριο,
- Εμφάνιση ορατών φυσαλίδων ατμού του υγρού μεγαλύτερο από ένα όριο (π.χ. < 5 mm),
- Απόσπαση υλικού της αντλίας με ρυθμό μεγαλύτερο από κάποιο συγκεκριμένο όριο.

Στις δοκιμές αυτές οι κατασκευαστές αντλιών χρησιμοποιούν ως αντλούμενο υγρό το νερό, ενώ γίνονται συνήθως μία φορά για κάθε τύπο στροφείου και όχι για κάθε ξεχωριστή αντλία. Ο κύριος σκοπός όλων αυτών των δοκιμών είναι να καθοριστούν οι απαιτήσεις σε $NPSH_r$, για διάφορες παροχές για ένα δεδομένο συνδυασμό στροφείου-κελύφους και να σχεδιαστούν καμπύλες $NPSH_r$ ως συνάρτηση της παροχής.

Συχνά, οι κατασκευαστές υποδεικνύουν ένα **περιθώριο ασφαλείας** (cavitation margin) **0,5 m**. Κατά τη μελέτη επιλογής της αντλίας για τις τιμές του $NPSH_r$, οπότε στη πράξη πολλές φορές χρησιμοποιείται αντί της ανισότητας (2.22) την ανισότητα:

$$NPSH_a \geq NPSH_r + 0,5 \quad (2.23)$$

2.3.6. Ειδική ταχύτητα-αριθμός στροφών N_s

Ένα χαρακτηριστικό μέγεθος μίας δυναμικής αντλίας που δεν επηρεάζεται από τη φύση του αντλούμενου υγρού και απο το μέγεθος της αντλίας, αλλά εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της αντλίας, τον τύπο και το σχήμα του στροφείου, είναι η **(κινηματική) ειδική ταχύτητα**, (specific speed) N_s . Επομένως, η ειδική κινηματική ταχύτητα χρησιμεύει ώστε να γίνεται αξιόπιστη σύγκριση μεταξύ των διαφορετικών τύπων δυναμικών αντλιών με σκοπό την επιλογή της καταλληλότερης αντλίας για συγκεκριμένη παροχή. Η N_s αποτελεί κριτήριο της γεωμετρικής μορφής της αντίστοιχης οικογένειας στροφείων, αλλά και μέγεθος που καθορίζει τον ολικό βαθμό απόδοσης. Οι γεωμετρικά όμοιες αντλίες έχουν την ίδια N_s .

Η (κινηματική) ειδική ταχύτητα N_s μιας δυναμικής αντλίας μονοβάθμιας, απλής αναρρόφησης στο σημείο μεγίστου βαθμού απόδοσης Q και με μανομετρικό ύψος της αντλίας στο σημείο μεγίστου βαθμού απόδοσης H που περιστρέφεται με

ονομαστικές στροφές $n_{nom}=n$ είναι η ταχύτητα με την οποία πρέπει να περιστρέφεται μία γεωμετρικώς όμοια (πρότυπη) αντλία για να αποδώσει μοναδιαία παροχή ($Q_s = 1 \text{ m}^3/\text{s}$) σε μοναδιαίο ολικό ύψος $H_s = 1 \text{ m}$, όταν αντλεί πόσιμο νερό θερμοκρασίας 15°C . Η τιμή του ειδικού αριθμού στροφών υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$N_s = N \cdot \frac{\sqrt{Q}}{H_{αντλ}^{3/4}} \quad (2.24)$$

όπου: N = ο αριθμός στροφών της αντλίας ανα λεπτό σε rpm

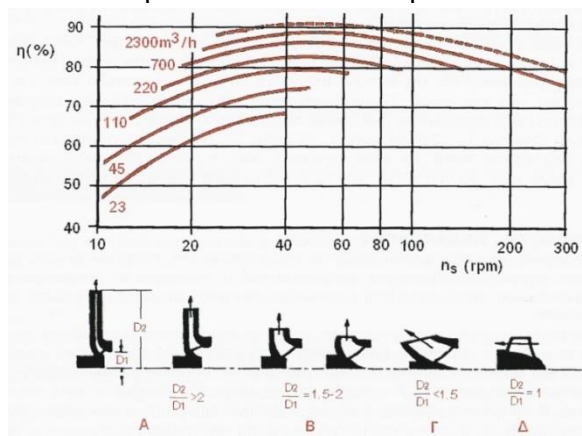
Q = η ογκομετρική παροχή σε m^3/s όπου αντιστοιχεί στο σημείο μέγιστου βαθμού απόδοσης

$H_{αντλ}$ = το μανομετρικό ύψος της αντλίας σε m όπου αντιστοιχεί στο σημείο μέγιστου βαθμού απόδοσης

Από τη σχέση (2.23) προκύπτει ότι όσο μεγαλύτερη είναι η Q μίας αντλίας και τη ταχύτητα N , τόσο μεγαλύτερη είναι η N_s . Αντίστροφα, όσο μεγαλύτερο είναι το H που αναπτύσει ένα στροφέιο τόσο μικρότερη είναι η N_s .

Από τη εικόνα 2.19 προκύπτουν τα εξής:

- Κατά τη μετάβαση από στροφέια ακτινικής ροής (μεγάλα ύψη-μικρές παροχές) προς στροφέια αξονικής ροής (μικρά ύψη-μεγάλες παροχές) έμφανίζεται αύξηση της N_s .
- Για την ίδια N_s όσο μεγαλύτερη είναι η παροχή, δηλαδή όσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος της αντλίας, τόσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός απόδοσης η , (γιατί οι υδραυλικές και οι μηχανικές απώλειες είναι σχετικά μικρότερες).
- Για την περιοχή $N_s < 50$ ο βαθμός απόδοσης ελαττώνεται καθώς μειώνεται η N_s , δηλαδή όχι πολύ μεγάλη τιμή του λόγου D_2/D_1 . Αυτό σημαίνει ότι η οικονομική λειτουργία απαιτεί την αποφυγή πολύ χαμηλών τιμών της N_s . Η συνθήκη αυτή μπορεί να ικανοποιηθεί με τη χρησιμοποίηση πολλών βαθμίδων (όταν επιθυμούνται υψηλές πιέσεις) με μεγαλύτερες τιμές της N_s για κάθε βαθμίδα. Απο το άλλο μέρος βέβαια, οι πολλές βαθμίδες συνεπάγονται συχνή αλλαγή διεύθυνσης της ροής του υγρού με αποτέλεσμα τη πτώση του βαθμού απόδοσης λόγω υδροδυναμικών απωλειών. Επίσης, γενικά το επιτρεπόμενο ύψος αναρρόφησης μειώνεται με την αύξηση της N_s και γι' αυτό η μεγάλη αύξηση της N_s δεν είναι πάντα επιθυμητή. Πρέπει δηλαδή να γίνει ένας συμβιβασμός στις τιμές των διαφόρων μεγεθών έτσι ώστε να επιτυγχάνεται το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα.



EΙΚΟΝΑ 2.20 : Βαθμός απόδοσης συναρτήσεως της κινηματικής ειδικής ταχύτητας με παράμετρο την παροχή όγκου, για διάφορα στροφέια, [Ακριτίδης [72]]

Για τους διάφορους τύπους στροφείων διακρίνονται οι εξής ειδικοί αριθμοί στροφών:

- A. Ακτινικός αργόστροφος, υψηλής πίεσης και μικρής παροχής: $10 \leq N_s \leq 30$.
- B. Ακτινικός μεσόστροφος, μέσης πίεσης και μέσης παροχής: $30 \leq N_s \leq 70$.
- Γ. Μεικτός ταχύστροφος χαμηλής πίεσης και μεγάλης παροχής: $50 \leq N_s \leq 150$
- Δ. Αξονικός υπερταχύστροφος χαμηλής πίεσης και πολύ μεγάλης παροχής: $110 \leq N_s \leq 500+$

2.4. Βασική κατάταξη αντλιών

Όλες οι αντλίες χωρίζονται σε πέντε μεγάλες κατηγορίες, με βάση την αρχή λειτουργίας τους (κύρια) αλλά και με βάση τα παρακάτω επιμέρους κριτήρια / χαρακτηριστικά:

- την κατασκευαστική τους μορφή – τις τεχνικές λεπτομέρειες κατασκευής
- το είδος του ρευστού που διακινούν
- τη χρήση για την οποία προορίζονται
- τον αριθμό των βαθμίδων λειτουργίας τους και απόδοσης
- εάν έχουν ή όχι δυνατότητα αυτόματης αναρρόφησης
- τον τρόπο εγκατάστασης του αντλητικού τους συγκροτήματος
- με ποιόν τρόπο μεταδίδεται σε αυτές η κίνηση

Με βάση αυτά τα κριτήρια, όλες οι αντλίες χωρίζονται στις παρακάτω μεγάλες κατηγορίες (σε κάθε κατηγορία αναφέρονται οι κυριότεροι επιμέρους τύποι αντλιών):

1. Δυναμικές Αντλίες ή Αντλίες Κινητικού Τύπου (DYNAMIC PUMPS)

- ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΕΣ (CENTRIFUGAL)
- ΑΞΟΝΙΚΗΣ ΡΟΗΣ (AXIAL FLOW)
- ΜΙΚΤΗΣ ΡΟΗΣ (MIXED FLOW)
- ΑΝΑΓΕΝΝΗΤΙΚΕΣ (REGENERATIVE)
- ΣΥΝΘΕΤΕΣ (SPECIAL PUMPS)

2. Αντλίες Θετικής Εκτόπισης ή Αντλίες Στατικού Τύπου (POSITIVE DISPLACEMENT PUMPS)

- ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΙΚΕΣ (RECIPROCATING)
- ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΕΣ (ROTARY)

3. Πνευματικές Αντλίες (PNEUMATIC PUMPS)

- ΠΙΕΣΤΙΚΟΥ ΘΑΛΑΜΟΥ (BLOW CASE PUMPS)
- ΑΝΥΨΩΣΗΣ ΜΕ ΑΕΡΑ (AIR LIFT PUMPS)
- ΤΖΙΦΑΡΙΑ ΑΕΡΟΣ (AIR EJECTORS)

4. Αντλίες Ανέλκυσης (LIFT PUMPS)

- ΠΡΟΣΦΥΣΗΣ (SURFACE EFFECT PUMPS)

- ΤΡΟΧΟΣ ΑΝΥΨΩΣΗΣ (BUCKET WHEEL)
- ΑΛΥΣΙΔΑ ΑΤΕΡΜΩΝ (BUCKET CHAIN)
- ΑΝΟΙΚΤΗΣ ΕΛΙΚΑΣ (OPEN SCREW)

5. Εγχυτήρες (EJECTOR)

- ΤΖΙΦΑΡΙΑ (EJECTOR)

Σχόλιο

Στις μονάδες ενός μεγάλου διυλιστηρίου, οι περισσότερες αντλίες που υπάρχουν σε μία μονάδα είναι αντλίες Δυναμικού Τυπού (κυριότερο εκπρόσωπο από τις φυγοκεντρικές αντλίες) και Θετικής Εκτοπίσης (με κυριότερο εκπρόσωπο τις δοσομετρικές – παλινδρομικές αντλίες).

3. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΡΕΥΣΤΟΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ

3.1. Βασικά μεγέθη της ρευστομηχανικής

3.1.1. Πυκνότητα και ειδικό βάρος ρευστών

Η **πυκνότητα μάζας** ρ δίνει το λόγο της μάζας προς τον όγκο σε ένα σημείο. Είναι ένα μονόμετρο μέγεθος, χαρακτηριστικό για κάθε υλικό, που βρίσκεται σε συγκεκριμένη φυσική κατάσταση (στερεό, υγρό, αέριο) και σε συγκεκριμένες συνθήκες (πίεση, θερμοκρασία). Ειδικότερα, ορίζεται σε ένα σημείο (x, y, z) στο χώρο καθώς και σε ένα μικρό όγκο ΔV που να περιβάλλει το σημείο. Η μάζα της ύλης μέσα στον όγκο Δm και η πυκνότητα, είναι:

$$\rho = \left(\frac{\text{μάζα}}{\text{όγκος}} \right)_{\text{σημείο}} = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta m}{\Delta V} = \frac{m}{V} \quad \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \quad (3.1)$$

Το **ειδικό βάρος** συμβολίζεται με το ελληνικό γράμμα γ . Το ειδικό βάρος ορίζεται ως ο λόγος του βάρους προς τον όγκο σε ένα σημείο. Ειδικότερα, ορίζεται σε ένα σημείο (x, y, z) στο χώρο καθώς και σε ένα μικρό όγκο ΔV που περιβάλλει το σημείο. Το βάρος της ύλης μέσα στον όγκο είναι ΔW και το ειδικό βάρος είναι:

$$\gamma = \left(\frac{\text{βάρος}}{\text{όγκος}} \right)_{\text{σημείο}} = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta W}{\Delta V} = \frac{B}{V} \left(\frac{\text{N}}{\text{m}^3} \right) = \frac{m \cdot g}{V} = \rho \cdot g \quad (3.2)$$

όπου: g = επιτάχυνση της βαρύτητας σε m/s^2

ρ = πυκνότητα του υγρού σε kg/m^3

γ = ειδικό βάρος σε N/m^3



ΕΙΚΟΝΑ 3.1 : Ψηφιακός μετρητής πυκνότητας

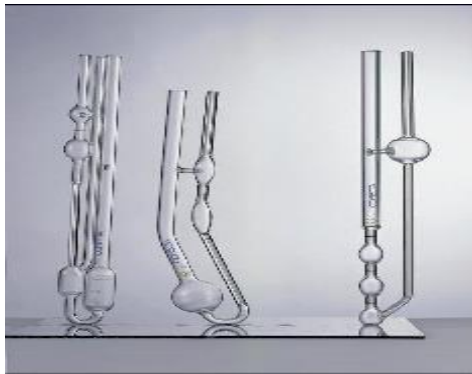
(<http://greek.digitaldensitymeter.com/sale-10788108-astm-standard-solid-density-measurement-instruments-upgrade-multi-function.html>)

3.1.2. Ιξώδες

Ένας πολύς σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει τη ροή ενός ρευστού μέσα από έναν σωλήνα είναι και μία (πιθανόν η πιο σημαντική) φυσική ιδιότητα που το χαρακτηρίζει. Αυτή είναι το **ιξώδες**, όπου δείχνει το μέτρο της εσωτερικής αντίστασης του ρευστού στη ροή και έχει διαφορετική τιμή ανάλογα με το ρευστό.

Η αντίσταση αυτή οφείλεται στις **δυνάμεις συνοχής** μεταξύ των μορίων του ρευστού. Το ιξώδες, το οποίο είναι μέτρο αυτής της τριβής, αποτελεί εντατική ιδιότητα

του ρευστού που χαρακτηρίζει τη ροή. Πρακτικά, όσο μεγαλύτερο το ιξώδες, τόσο μεγαλύτερη αντίσταση στη ροή, ενώ χαμηλότερο ιξώδες σημαίνει μικρότερη αντίσταση στη ροή. Το ιξώδες μετριέται με ειδικά όργανα που λέγονται ιξωδόμετρα.



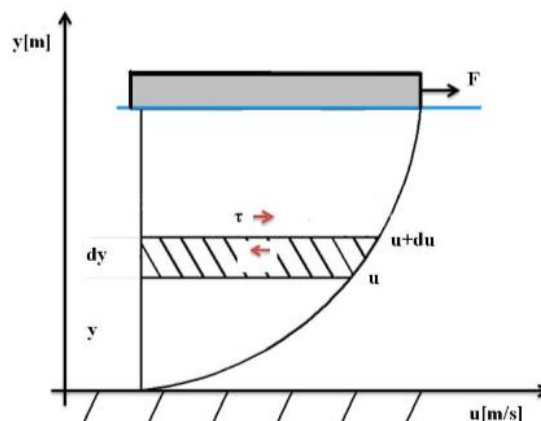
ΕΙΚΟΝΑ 3.2 : Γυάλινο ιξωδόμετρο τύπου U (κινηματικό ιξωδόμετρο)



ΕΙΚΟΝΑ 3.3 : Ηλεκτρονικό περιστροφικό ιξωδόμετρο

Όταν ένα ρευστό ρέει σε επαφή με στερεό τοίχωμα, η ταχύτητά του είναι μικρότερη κοντά στο τοίχωμα και μηδενίζεται ακριβώς επάνω σε αυτό. Για την κατανόηση του ορισμού του ιξώδους χρησιμοποιείται η εικόνα 3.3. Έστω λοιπόν δύο παράλληλα τοιχώματα μεταξύ των οποίων υπάρχει ρευστό. Στο πάνω τοίχωμα, που είναι δυνατόν να κινείται, ασκείται δύναμη F . Όλα τα στοιχεία του ρευστού που βρίσκονται σε επαφή με το κινούμενο τοίχωμα αποκτούν την ταχύτητα του τοιχώματος, ενώ τα στοιχεία που βρίσκονται σε επαφή με το κάτω τοίχωμα παραμένουν ακίνητα.

Μεταξύ των δύο τοιχωμάτων αποκαθίσταται μια κατανομή ταχύτητας, όπως φαίνεται στην εικόνα. Μεταξύ δύο γειτονικών θέσεων που απέχουν απειροστή απόσταση dy υπάρχει διαφορά ταχύτητας κατά du . Ποσοτικά το ιξώδες μ , ορίζεται ως η διατμητική δύναμη ανά μονάδα επιφάνειας που μεταφέρεται μεταξύ δύο επάλληλων στρωμάτων, που βρίσκονται σε σχετική κίνηση και ανά μονάδα μεταβολής της ταχύτητας ως προς την κάθετη προς τα τοιχώματα διάσταση. Η **διατμητική τάση** τ , είναι στην ουσία η τάση που αντιστέκεται στη μεταβολή της κινητικής κατάστασης του ρευστού. Η διατμητική τάση τ έχει μονάδα μέτρησης (N/m^2). Δίνεται από την παρακάτω σχέση.



ΕΙΚΟΝΑ 3.4 : Ροή ρευστού σε επαφή με στερεό τοίχωμα

$$\tau = \mu \cdot \frac{du}{dy} \Rightarrow \mu = \tau \cdot \frac{dy}{du} \quad (3.3)$$

όπου: τ = η διατμητική τάση σε N/m^2
 μ = το ιξώδες σε $kg/m \cdot s$
 $\frac{dy}{du}$ = ο ρυθμός διάτμησης σε second

Χρησιμοποιούνται δύο βασικές παραμέτροι όταν γίνεται αναφορά στο ιξώδες ενός ρευστού:

- Το δυναμικό (ή απόλυτο) ιξώδες (Dynamic Viscosity) και,
- Το κινηματικό ιξώδες (Kinematic Viscosity)

Το **δυναμικό ιξώδες** είναι ένα μέτρο του πόσο αντιστέκεται στη ροή ένα ρευστό σε σχέση με ένα γειτονικό στρώμα σε κίνηση. Η μέτρησή του γίνεται με περιστροφικά ιξωδόμετρα (rotational viscometers), που ουσιαστικά μετρούν τη δύναμη που απαιτείται για τη περιστροφή. Μονάδα μέτρησης του δυναμικού ιξώδους χρησιμοποιείται το **1 cP** (centipoise) και συμβολίζεται με το ελληνικό γράμμα μ .

Το **κινηματικό ιξώδες** είναι ένα μέτρο του πόσο αντιστέκεται στη ροή ένα ρευστό, κάτω από την επίδραση της βαρύτητας. Η μέτρηση του γίνεται με τα κινηματικά ιξωδόμετρα (kinematic viscometers), τα οποία χρησιμοποιούν τη δύναμη της βαρύτητας και μετρείται ο χρόνος καθώς το ρευστό ρέει σε μία βαθμονομημένη περιοχή. Μονάδα μέτρησης του κινηματικού ιξώδους είναι το **1 cSt** (centistoke) και συμβολίζεται με το γράμμα ν .

Ανάμεσα σε κινηματικό και δυναμικό ιξώδες υπάρχει μία πολύ βασική σχέση που τα συνδέει και είναι η παρακάτω:

$$\mu = \nu \cdot \rho \quad (3.4)$$

όπου ρ = η πυκνότητα του ρευστού

Βασική παρατήρηση

Όσο μεγαλύτερη είναι η συνοχή των μορίων σε ένα υγρό, τόσο μεγαλύτερο είναι το ιξώδες του. Αν αυξηθεί η θερμοκρασία σε ένα υγρό τότε μειώνεται η συνοχή μεταξύ των μορίων του. Άρα, με την αύξηση της θερμοκρασίας, το ιξώδες ενός υγρού μειώνεται.

3.1.3. Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία είναι το επίπεδο της θερμικής ισορροπίας των συστημάτων (ως σύστημα ορίζεται συγκεκριμένη ποσότητα ύλης-μάζας). Συνδέεται με τη μέση κινητική ενέργεια των σωματιδίων ενός υλικού συστήματος. Με άλλα λόγια, είναι το μέτρο που καθορίζει το πόσο θερμό ή ψυχρό είναι ένα σύστημα. Μονάδα μέτρησης είναι ο βαθμός Kelvin. Μετρητικά όργανα της θερμοκρασίας είναι τα θερμόμετρα (ηλεκτρονικά θερμόμετρα, θερμοζεύγη, θερμόμετρα υδραγύρου ή οινοπνεύματος).



ΕΙΚΟΝΑ 3.5 : Ηλεκτρικό θερμόμετρο



ΕΙΚΟΝΑ 3.6 : Θερμόμετρο με υποδοχές για θερμοζεύγη τύπου K, J, T & S



ΕΙΚΟΝΑ 3.7 : Πρισματικό θερμόμετρο υδραργύρου



ΕΙΚΟΝΑ 3.8 : Θερμόμετρο οιοπνεύματος

3.1.4. Όγκος

Όγκος ενός υλικού ονομάζεται η ποσότητα του χώρου που καταλαμβάνει το σύστημα αυτό, και μετριέται σε κυβικά μέτρα (m^3). Χρησιμοποιείται, επίσης και το λίτρο ($1\text{ l} = 1000\text{ cm}^3 = 10^{-3}\text{ m}^3$).

Τα κυριότερα όργανα μέτρησης όγκου είναι το σιφώνιο, η προχοΐδα, η ογκομετρική φιάλη και ο ογκομετρικός σωλήνας.



ΕΙΚΟΝΑ 3.9 : Σιφώνιο των 20 ml



ΕΙΚΟΝΑ 3.10 : Προχοΐδα με στρόφιγγα 25 ml



ΕΙΚΟΝΑ 3.11 : Ογκομετρική φιάλη 100 ml



ΕΙΚΟΝΑ 3.12 : Ογκομετρικός σωλήνας 100 ml

3.1.5. Ταχύτητα

Αυτή η ενότητα εισάγει την ταχύτητα και το πεδίο ταχυτήτων. Στη συνέχεια, αυτές οι ιδέες χρησιμοποιούνται για την εισαγωγή δύο εναλλακτικών μεθόδων για την περιγραφή της κίνησης.

- Πρόσέγγιση του Lagrange: Περιγράφει την κίνηση μιας καθορισμένης συλλογής από ύλη
- Πρόσέγγιση του Euler: Περιγράφει την κίνηση σε σημεία του χώρου

Περιγράφοντας την ταχύτητα

Το διάνυσμα της ταχύτητας, που αποτελεί μία ιδιότητα ενός σωματιδίου ρευστού, περιγράφει το μέτρο και τη διεύθυνση της ταχύτητας του σωματιδίου σε κάθε χρονική στιγμή. Διακρίνεται σε μέση και στιγμιαία ταχύτητα.

Ως **μέση ταχύτητα** ενός σώματος ή στοιχείου, κατά τη διάρκεια ενός χρονικού διαστήματος t , ορίζεται το πηλίκο της μετατόπισης του s προς το χρονικό διάστημα t που χρειάστηκε για τη μετατόπιση, ενώ ως διεύθυνση και φορά της ταχύτητας ορίζεται η διεύθυνση και η φορά της μετατόπισης αυτής.

$$V = \frac{s}{t} \quad (\text{m/s}) \quad (3.5)$$

όπου : V = η ταχύτητα του σώματος ή στοιχείου
 s = η μετατόπιση του σώματος ή στοιχείου

Ως **στιγμιαία ταχύτητα** ορίζεται το όριο της μέσης ταχύτητα του σώματος σε χρονικά διαστήματα ολοένα και πιο μικρά γύρω από τη δεδομένη χρονική στιγμή. Καθώς το χρονικό διάστημα τείνει στο μηδέν, η ταχύτητα τείνει σε μία τιμή που ορίζεται ως η στιγμιαία ταχύτητα τη χρονική στιγμή t .

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{s}}{\Delta t} = \frac{d\vec{s}}{dt} \quad (3.6)$$

όπου : \vec{s} = το διάνυσμα θέσης του στοιχείου
 $\Delta \vec{s}$ = το διάνυσμα μετατόπισης του στοιχείου

Πεδίο ταχυτήτων

Η περιγραφή της ταχύτητας του κάθε σωματιδίου ρευστού σε μία ροή είναι γνωστή ως **πεδίο ταχυτήτων**. Στην γενική περίπτωση, κάθε σωματίδιο ρευστού σε μία ροή θα έχει διαφορετική ταχύτητα. Για παράδειγμα, τα σωματίδια A και B της εικόνας 3.9α έχουν διαφορετικές ταχύτητες. Κατά συνέπεια, το πεδίο ταχυτήτων περιγράφει τον τρόπο μεταβολής της ταχύτητας με τη θέση (εικόνα 3.9β).

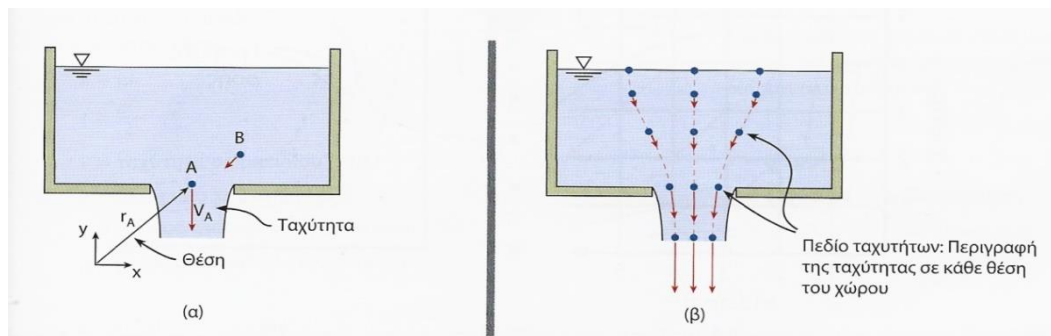
Ένα πεδίο ταχυτήτων μπορεί να περιγραφεί με οπτικό τρόπο (εικόνα 3.9β) ή με μαθηματικό τρόπο, όπως φαίνεται στην επόμενη σχέση.

Ένα μόνιμο δισδιάστατο πεδίο ταχυτήτων σε μία γωνία δίδεται από την εξίσωση:

$$V = (2 \cdot x \cdot s^{-1}) \cdot i - (2 \cdot x \cdot s^{-1}) \cdot j \quad (3.7)$$

όπου: x, y = οι συντεταγμένες της θέσης εκπεφρασμένες σε μέτρα

i, j = τα μοναδιαία διανύσματα κατά τις διευθύνσεις x και y αντίστοιχα

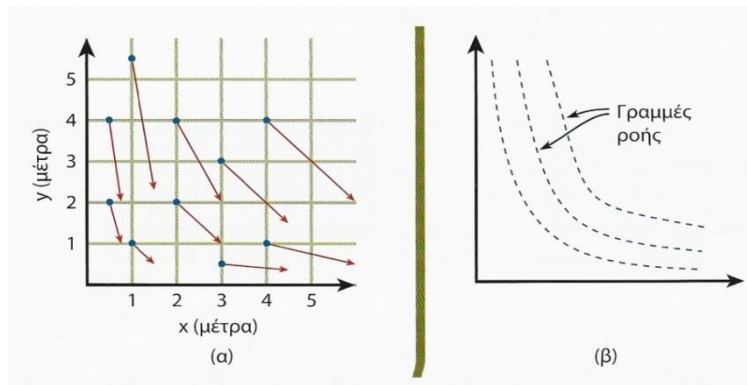


ΕΙΚΟΝΑ 3.13 : Νερό που χύνεται από μία δεξαμενή. (α) Η ταχύτητα του σωματιδίου A είναι η χρονική παράγωγος της θέσης του. (β) Το πεδίο ταχυτήτων αναπαριστά την ταχύτητα του κάθε σωματιδίου ρευστού μέσα στη περιοχή της ροής.

Οι προσεγγίσεις του Euler και του Lagrange

Στη μηχανική στερεού σώματος, η περιγραφή της κίνησης ενός σωματιδίου ή στερεού σώματος είναι απλή και άμεση. Αντίθετα, τα σωματίδια σε ένα ρευστό μπορούν να κινούνται με περίπλοκους τρόπους και δεν είναι πρακτικό να παρακολουθείται η κίνηση του κάθε σωματιδίου. Για το λόγο αυτό, οι ερευνητές επιτόησαν ένα δεύτερο τρόπο για να περιγράψουν τη κίνηση.

Ο πρώτος τρόπος περιγραφής της κίνησης (που είναι γνωστός ως η **προσέγγιση του Lagrange**) περιλαμβάνει την επιλογή ενός σώματος και στη συνέχεια τη περιγραφή της κίνησης αυτού του σώματος. Από την άλλη πλευρά, ο δεύτερος τρόπος που είναι γνωστός ως η **προσέγγιση του Euler**, περιλαμβάνει την επιλογή μίας περιοχής στο χώρο και στη συνέχεια την περιγραφή της κίνησης που παρατηρείται σε σημεία του χώρου. Επιπλέον, η προσέγγιση του Euler, επιτρέπει τον υπολογισμό ιδιοτήτων σε σημεία του χώρου ως συναρτήσε του χρόνου κάτι που οφείλεται στο γεγονός πως αυτή η προσέγγιση στηρίζεται στη χρήση πεδίων.

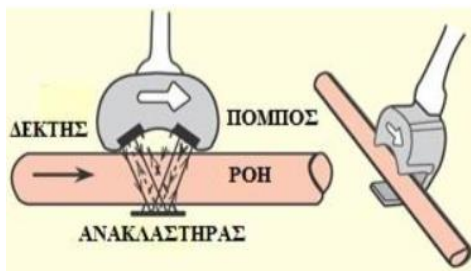


ΕΙΚΟΝΑ 3.14 : Το πεδίο ταχυτήτων που προσδιορίζεται από την σχέση (3.7). (α) διανύσματα ταχύτητας και (β) πρότυπο γραμμής ροής.

Μετρητικές διατάξεις ταχύτητας

Διατάξεις Doppler Velocimetry

Σε ένα γενικό πλαίσιο οι συσκευές **Doppler** μετρούν την ταχύτητα της ροής, μετρώντας τη μεταβολή της συχνότητας φωτεινών, ηχητικών ή και ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Τελικώς, με τον υπολογισμό της μεταβολής της συχνότητας της ακτινοβολίας, υπολογίζεται η ταχύτητα των σωματιδίων και των φυσαλίδων, άρα και του ρευστού. Στις παρακάτω εικόνες φαίνονται οι βασικές συνιστώσες ενός συστήματος μέτρησης ταχύτητα ρευστού με τη μέθοδο Doppler (3.11) και δίπλα ένα φορητό ροόμετρο υπερήχων Doppler (3.12).



ΕΙΚΟΝΑ 3.15 : Ροόμετρο Doppler.

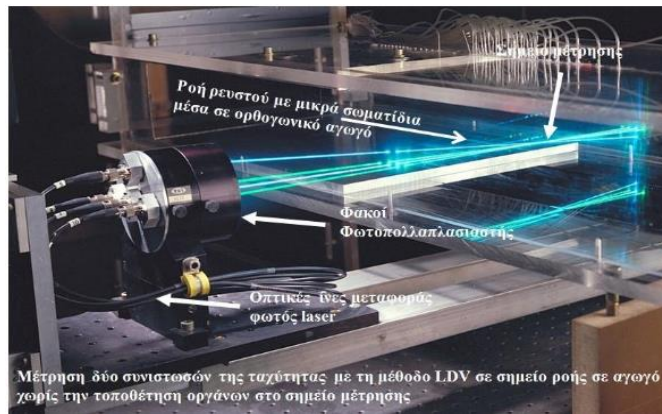


ΕΙΚΟΝΑ 3.16 : Φορητό Ροόμετρο Doppler.

(<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tttechnology.gif>) (<https://www.sigmahellas.gr/el/marine/flow/>)

Laser Doppler Velocimetry (LDV)

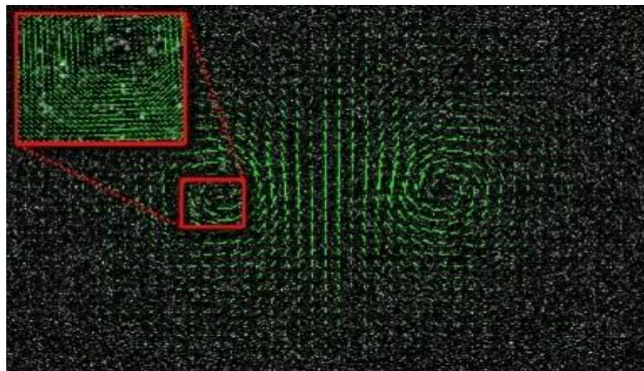
Το σύστημα **Laser Doppler Velocimetry (LDV)** ή **Laser Doppler Anemometry (LDA)** αποτελεί μια οπτική τεχνική βασισμένη στις ιδιότητες μιας μονοχρωματικής ακτινοβολίας (laser) με βάση την οποία είναι δυνατόν να μετρηθεί η ταχύτητα αιωρούμενων σωματιδίων μέσα στο ρευστό, τα οποία ακολουθούν τη ροή.



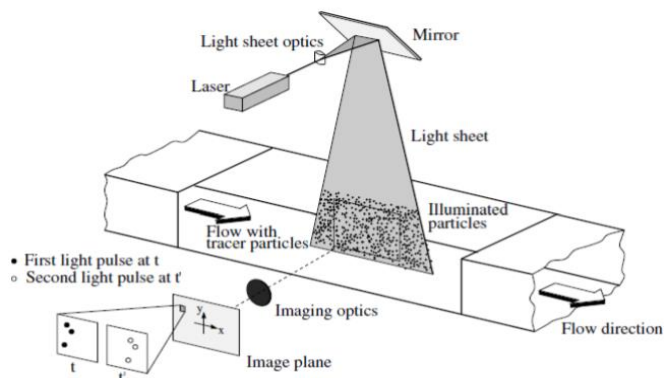
ΕΙΚΟΝΑ 3.17 : Βασική διάταξη της μεθόδου LDV
(File:Laser-Doppler.jpg - Wikimedia Commons)

Partical Image Velocimetry (PIV)

Πρόκειται για μία μέθοδος προσδιορισμού στιγμιαίων διανυσμάτων της ταχύτητας σε ένα ολόκληρο τμήμα ενός πεδίου ροής, με ταχύτατη ηλεκτρονική φωτογράφιση και κατάλληλο φωτισμό laser, χωρίς την είσοδο μετρητικών οργάνων στη ροή του ρευστού. Το εύρος των ταχυτήτων που μπορούν να υπολογισθούν εκτείνεται μέχρι και τις υπερηχητικές ταχύτητες και μέσω της στερεοσκοπίας υπάρχει δυνατότητα καταγραφής και τρισδιάστατου πεδίου ροής.



ΕΙΚΟΝΑ 3.18 : Σχηματική απεικόνιση πεδίου ροής με τη μέθοδο Particle Image Velocimetry
(https://commons.wikimedia.org/wiki/File:PIVlab_multipass.jpg)



ΕΙΚΟΝΑ 3.19 : Σχηματική διάταξη της μεθόδου PIV
(<https://core.ac.uk/download/pdf/46568128.pdf>)

3.1.6. Πίεση

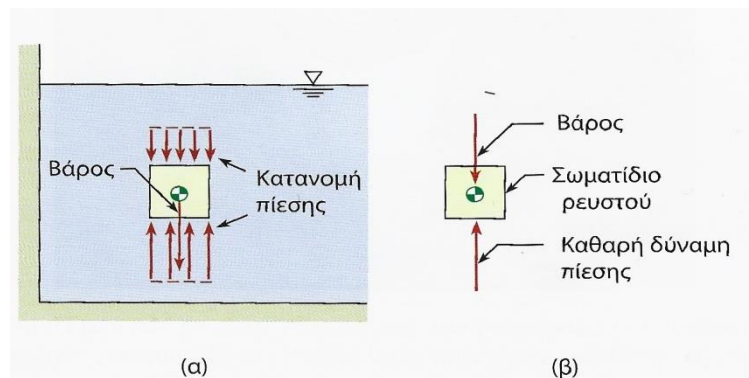
Η πίεση σε ένα σημείο ρευστού ορίζεται ως ο λόγος της κάθετης δύναμης F , που ασκείται σε στοιχειώδη επιφάνεια ΔA , περιβάλλουσα το σημείο με οποιοδήποτε προσανατολισμό, προς το εμβαδόν της επιφάνειας αυτής.

$$p = \left. \frac{\text{μέτρο της κάθετης δύναμης}}{\text{μοναδιαία επιφάνεια}} \right|_{\text{σε σημείο}} = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{|\Delta \vec{F}|}{\Delta A} \quad (\text{Pa}) \quad (3.8)$$

Επίσης χρησιμοποιείται και η μονάδα μέτρησης πίεσης (bar):

$$1 \left(\frac{\text{kp}}{\text{cm}^2} \right) = \frac{9,81 \text{ (N)}}{10^{-4} \text{ (m}^2\text{)}} \approx 10^5 \text{ (Pa)}$$

Η πίεση ορίζεται σε ένα σημείο επειδή αυτή συνήθως μεταβάλλεται ως προς τη θέση (x,y,z) μέσα σε ένα ρέον ρευστό.



ΕΙΚΟΝΑ 3.20 : Η συνθήκη της υδροστατικής ισορροπίας. (α) Ένα σωματίδιο ρευστού μέσα στο σώμα ενός ρευστού. (β) Δυνάμεις που επενεργούν επί του σωματιδίου ρευστού.

Η πίεση είναι ένα βαθμωτό μέγεθος η δράση της οποίας προκαλεί την εμφάνιση μιας δύναμης επί της επιφάνειας. Η δύναμη που προκύπτει είναι κάθετη στην επιφάνεια και ενεργεί σε κατεύθυνση προς την επιφάνεια (δηλαδή συμπιεστικά).

Η πίεση προκαλείται από τα μόρια του ρευστού που αλληλεπιδρούν με την επιφάνεια. Για παράδειγμα, όταν φουσκώνουμε μία μπάλα ποδοσφαίρου η εσωτερική πίεση που ασκείται στο δέρμα της μπάλας προκαλείται από τα μόρια του αέρα που προσπίπτουν στο τοίχωμα.

Απόλυτη πίεση, σχετική πίεση και πίεση κενού

Η απόλυτη πίεση αναφέρεται σε περιοχές όπως το διάστημα, όπου η πίεση είναι ουσιαστικά μηδενική αφού η περιοχή δεν περιέχει καθόλου αέρα. Η πίεση σε ένα τέλειο αέριο ονομάζεται απόλυτο μηδέν και η πίεση που μετράται σε σχέση με αυτή τη μη μηδενική πίεση ονομάζεται **απόλυτη πίεση**.

Όταν η πίεση μετράται σε σχέση με την επικρατούσα τοπική ατμοσφαιρική πίεση, η τιμή της πίεσης χαρακτηρίζεται ως **σχετική πίεση**. Για παράδειγμα, όταν η σχετική πίεση ενός ελαστικού μετράται στα 300 kPa, αυτό σημαίνει πως η απόλυτη πίεση του ελαστικού είναι 300 kPa μεγαλύτερη από την τοπική ατμοσφαιρική

πίεση. Προκειμένου να μετατραπεί η σχετική πίεση σε απόλυτη πίεση, θα πρέπει να προσθέσουμε απλά την τοπική ατμοσφαιρική πίεση. Για παράδειγμα, μία σχετική πίεση 50 kPa που έχει μετρηθεί σε μία περιοχή όπου η ατμοσφαιρική πίεση είναι 100 kPa εκφράζεται ως:

$$p = 50 \text{ kPa σχετική} \quad \text{ή ως} \quad p = 150 \text{ kPa απόλυτη} \quad (3.9)$$

Σε μονάδες του συστήματος SI ο χαρακτηρισμός της πίεσης ως σχετική ή απόλυτη προσδιορίζεται μετά τη μονάδα μέτρησης όπως φαίνεται στην σχέση (3.9).

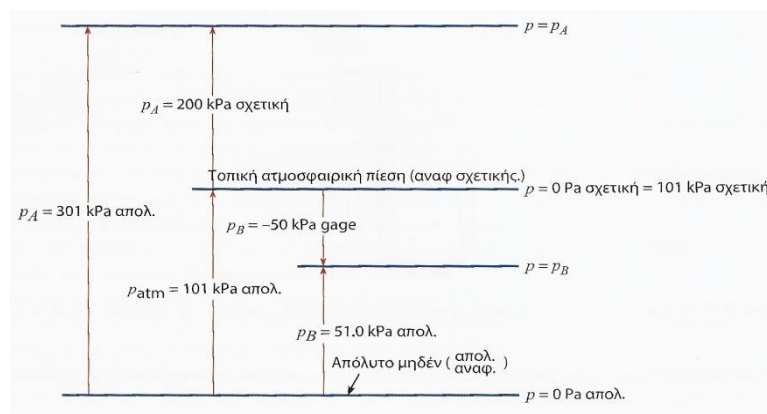
Όταν η πίεση είναι μικρότερη από την ατμοσφαιρική πίεση, η πίεση μπορεί να περιγραφεί χρησιμοποιώντας την πίεση του κενού. Η **πίεση του κενού** ορίζεται ως η διαφορά πίεσης ανάμεσα στη ατμοσφαιρική πίεση και στην πραγματική πίεση. Η πίεση του κενού είναι ένας θετικός αριθμός και ισούται με την απόλυτη τιμή της σχετικής πίεσης (η οποία θα είναι αρνητική). Για παράδειγμα, εάν η σχετική πίεση που μετράται σε μία δεξαμενή είναι 31 kPa, αυτό μπορεί επίσης να περιγραφεί και ως 70 kPa απόλυτη πίεση ή ως -31 kPa σχετική πίεση.

Η εικόνα (3.17) δίδει μία οπτική περιγραφή αυτών των τριών κλιμάκων πίεσης. Μία παρατήρηση είναι ότι η πίεση $p_B = 51 \text{ kPa}$ είναι ισοδύναμη με -50 kPa σχετική πίεση και με 50 kPa πίεση κενού. Επίσης, μία απόλυτη πίεση $P_A = 301 \text{ kPa}$ είναι ισοδύναμη με 200 kPa σχετική πίεση. Η σχετική πίεση, η απόλυτη πίεση και η πίεση κενού μπορούν να συσχετιστούν μεταξύ τους χρησιμοποιώντας τις παρακάτω εξισώσεις πίεσης.

$$p_{\text{σχε}} = p_{\text{απόλ}} - p_{\text{ατμ}} \quad (3.10\alpha)$$

$$p_{\text{κενού}} = p_{\text{ατμ}} - p_{\text{απόλ}} \quad (3.10\beta)$$

$$p_{\text{κενού}} = -p_{\text{σχετ}} \quad (3.10\gamma)$$



ΕΙΚΟΝΑ 3.21 : Παράδειγμα συσχετίσεων πίεσης

Μετρητικά όργανα πίεσης

Η πίεση μετριέται με ειδικά όργανα τα **μανόμετρα** και για την ατμοσφαιρική πίεση χρησιμοποιούνται τα **βαρόμετρα**. Υπάρχουν διαφόρων ειδών μανόμετρα, τα συνηθέστερα εκ των οποίων είναι τα μηχανικά μανόμετρα.

- Μηχανικά μανόμετρα

Τα μηχανικά μανόμετρα χρησιμοποιούνται ευρύτατα στις εφαρμογές των ρευστοδυναμικών μηχανών. Τα περιβλήματα των αντλιών φέρουν πολλές φορές ειδικές κοχλιώσεις στην είσοδο και στην έξοδο της αντλίας για την τοποθέτηση μηχανικών μανομέτρων και την ανάγνωση των πιέσεων στις θέσεις αυτές. Η διαφορά

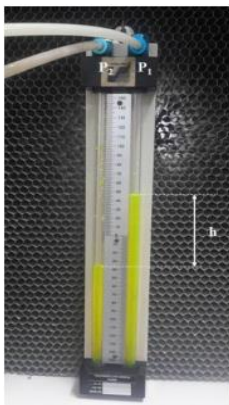
πίεσης μεταξύ εξόδου και εισόδου μίας αντλίας, είναι καθοριστικός λειτουργικός παράγοντας της. Όταν η βελόνα του μηχανικού μανομέτρου δείχνει μηδέν, τη στιγμή που επικοινωνεί με την ατμόσφαιρα, τότε αυτό μετρά σχετική πίεση, δηλαδή πόσο μεγαλύτερη ή μικρότερη είναι η μετρούμενη πίεση σχετικά με την ατμοσφαιρική. Όταν δηλαδή ένα μηχανικό μανόμετρο δείχνει, για παράδειγμα, $-0,3 \text{ bar}$, τότε η απόλυτη πίεση που μετρά είναι $0,7 \text{ bar}$.



ΕΙΚΟΝΑ 3.22 : Μηχανικό μανόμετρο μέτρησης της σχετικής πίεσης
(<https://mpro.gr/catalog/product/view/id/23647/s/800290/>)

- Διαφορικά μανόμετρα

Για την μέτρηση της διαφοράς των πιέσεων μεταξύ δύο χώρων, χρησιμοποιούνται τα διαφορικά μανόμετρα. Αυτά είναι υοειδές (με σχήμα γράμματος “U”) σωλήνες με κατακόρυφα (εικόνα 3.19), ή κεκλιμένα σκέλη (εικόνα 3.20) (για μεγαλύτερη ευαισθησία) διατομής σωλήνα A , που περιέχουν ένα μανομετρικό υγρό, συνήθως χρωματισμένο νερό, γνωστής πυκνότητας ρ και ειδικού βάρους γ . Η διαφορά πίεσης μεταξύ των δύο χώρων, με τους οποίους συνδέονται τα δύο σκέλη, ισούται με την υδροστατική πίεση που ασκεί στη βάση της η στήλη h του μανομετρικού υγρού που υπερέχει της στάθμης του άλλου σκέλους.



ΕΙΚΟΝΑ 3.23 : Διαφορικό μανόμετρο



ΕΙΚΟΝΑ 3.24 : Κεκλιμένο διαφορικό μανόμετρο

- Ο σωλήνας Pitot

Ο σωλήνας Pitot είναι ένα αισθητήριο, που σε συνδυασμό με ένα διαφορετικό μανόμετρο χρησιμοποιείται για τη μέτρηση ταχύτητας ροής. Είναι απλή κατασκευή όπου αποτελείται από δύο ομόκεντρους σωλήνες που είναι έτσι διαμορφωμένοι, ώστε να συνδέουν δύο ανεξάρτητες περιοχές ροής με τα δύο σκέλη ενός διαφορικού

μανομέτρου (εικόνα 3.21). Τοποθετείται, έτσι ώστε η ροή να είναι παράλληλη με το οριζόντιο τμήμα του σωλήνα, προσερχόμενη προς αυτόν. Στο σημείο ανακοπής 1 του σωλήνα, η ταχύτητα του ρευστού μηδενίζεται (μέγιστη πίεση), ενώ στην οπή 2, του εξωτερικού σωλήνα η ταχύτητα του ρευστού στο σημείο αυτό είναι ίση με την ταχύτητα της ροής.

Οι σωλήνες Pitot χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση ταχύτητας ρευστών σε αγωγούς ή γύρω από σώματα αλλά και για τη μέτρηση της ταχύτητας κίνησης σωμάτων μέσα σε ρευστά. Τα πλεονεκτήματα του σωλήνα Pitot είναι τα παρακάτω:

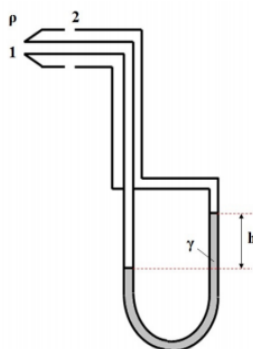
- Απλή κατασκευή
- Αρκετά καλή ακρίβεια μέτρησης
- Αξιόπιστη λειτουργία λόγω απουσίας κινούμενων μερών

Το παρακάτω άθροισμα της στατικής πίεσης και της δυναμικής πίεσης ονομάζεται **πίεση Pitot ή ολική πίεση**.

$$P_{ολ} = P_{στατ} + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \quad (3.11)$$

όπου : v = η ταχύτητα ροής

ρ = η (σταθερή) πυκνότητα του ρευστού



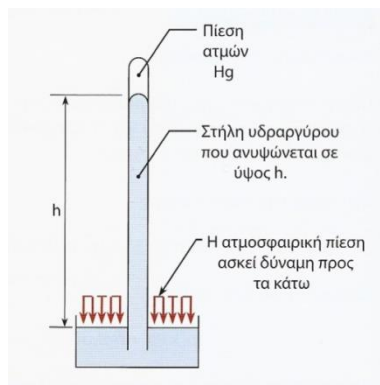
ΕΙΚΟΝΑ 3.25 : Ο σωλήνας Pitot

- Βαρόμετρο

Ένα όργανο που χρησιμοποιείται για την μέτρηση της ατμοσφαιρικής πίεσης ονομάζεται **βαρόμετρο**. Οι πιο κοινοί τύποι βαρομέτρων είναι το βαρόμετρο υδραργύρου και το βαρόμετρο κάψουλας κενού.

Βαρόμετρο υδραργύρου

Ένα βαρόμετρο υδραργύρου κατασκευάζεται αναποδογυρίζοντας ένα σωλήνα γεμάτο με υδράργυρο σε ένα δοχείο που περιέχει υδράργυρο όπως φαίνεται στην εικόνα 3.22. Η πίεση στη κορυφή του σωλήνα του βαρομέτρου θα ταυτίζεται με την πίεση των ατμών του υδραργύρου η οποία είναι πολύ μικρή, μόλις $2,43 \cdot 10^{-4}$ kPa. Κατά συνέπεια η ατμοσφαιρική πίεση θα ωθήσει τον υδράργυρο προς τα πάνω σε ένα ύψος h .



ΕΙΚΟΝΑ 3.26 : Ένα βαρόμετρο υδραργύρου

Βαρόμετρο κάψουλας κενού

Ένα βαρομετρο κάψουλας κενού δουλεύει με μηχανικό τρόπο. Αυτό το όργανο αποτελεί μία ελαστική διάταξη μέτρησης πίεσης που έχει ερμητικά σφραγιστεί αεροσταγώς αφού προηγουμένως απομακρύνθηκε κάποια ποσότητα αέρα. Όταν λαμβάνει χώρα μεταβολή της ατμοσφαιρικής πίεσης γίνεται κάποια μεταβολή μεγέθους και αυτή η μηχανική μεταβολή προκαλεί την απόκλιση κάποιας βελόνας η οποία καταδεικνύει μεταβολή της ατμοσφαιρικής πίεσης σε μία κλίμακα. Ένα βαρόμετρο κάψουλας κενού (ή μεταλλικό βαρόμετρο) έχει αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με ένα βαρόμετρο υδραργύρου αφού είναι μικρό σε διαστάσεις και επιτρέπει καταγραφή δεδομένων για κάποια συγκεκριμένη χρονική περίοδο.

Μέτρηση με σωλήνα Bourdon

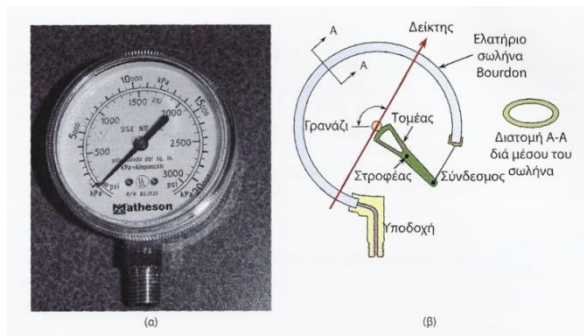
Αυτή η διάταξη που απεικονίζεται στην εικόνα 3.23 μετρά τη πίεση ανιχνεύοντας την απόκλιση ενός σπειροειδούς σωλήνα. Αυτός έχει ελλειπτική διατομή και είναι προσαρμοσμένος πάνω σε ένα κυκλικό τόξο όπως φαίνεται στην εικόνα 3.23. Όταν επικρατεί ατμοσφαιρική πίεση (δηλαδή μηδενική σχετική πίεση) ο σωλήνας δεν παρουσιάζει καμία απόκλιση και ο δείκτης του οργάνου έχει βαθμονομηθεί έτσι ώστε να δείχνει μηδενική ένδειξη. Όταν λαμβάνει χώρα η εφαρμογή κάποιας πίεσης ο καμπύλος σωλήνας τείνει να ισιώσει και αναγκάζοντας το δείκτη με τον τρόπο αυτό να διαβάσει μία θετική ένδειξη για τη σχετική πίεση.

Πλεονεκτήματα:

- Φτηνός
- Αξιόπιστος
- Εύκολος στην εγκατάσταση και
- Διαθέσιμος για πολλές διαφορετικές περιοχές τιμών πίεσης

Μειονεκτήματα:

- Οι δυναμικές πιέσεις είναι δύσκολο να διαβαστούν με ακρίβεια
- Η ακρίβεια του οργάνου μπορεί να είναι μικρότερη
- Σε σχέση με την ακρίβεια άλλων οργάνων, το όργανο είναι πιθανόν να καταστραφεί από έντονες διακυμάνσεις πίεσης



ΕΙΚΟΝΑ 3.27 : Μέτρηση με σωλήνα Bourdon. (α) μία τυπική συσκευής μέτρησης και (β)σχηματικό διάγραμμα του εσωτερικού μηχανισμού

- Ηλεκτρικά μανόμετρα

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



ΕΙΚΟΝΑ 3.28 : Ηλεκτρικά μανόμετρα (4 δρόμων)
(https://giaples.gr/index.php?route=product/product&product_id=7993)

3.2 Ροή πραγματικού υγρού σε κλειστούς αγωγούς

3.2.1 Αντίσταση στη ροή

Κατά τη ροή ενός ρευστού γενικά μέσα σε ένα σωλήνα, υπάρχουν διάφοροι παράγοντες που επηρεάζουν την «ευκολία» με την οποία ρέει ένα ρευστό.

Κάποιοι από τους κύριους παράγοντες που επηρεάζουν τη ροή είναι:

- α. Η κατάσταση της εσωτερικής επιφάνειας του σωλήνα. Πράγματι εάν η εσωτερική επιφάνεια του σωλήνα παρουσιάζει τραχύτητα, τότε θα υπάρχει αντίσταση στη ροή, άρα και απώλειες λόγω τριβών. Αντίθετα όσο πιο λεία και ομαλή είναι η εσωτερική επιφάνεια, τόσο πιο ελάχιστες είναι οι απώλειες λόγω τριβών άρα και η αντίσταση στη ροή.
- β. Ένας σωλήνας μεταφοράς δεν είναι σχεδόν ποτέ όπως συνηθίζεται να λέγεται «γυμνός», δηλαδή να είναι σε όλο το μήκος του (από την παραλαβή του υγρού έως το τελικό σημείο μεταφοράς) σκέτος σωλήνας. Θα έχει σίγουρα βάνες, φλάτζες, ανεπίστροφα, θα κάνει διακλαδώσεις δεν θα είναι σε όλο το

μήκος του ευθύγραμμου, θα σχηματίζει ενδεχομένως βρόγχους και θα ενώνεται με άλλους σωλήνες, θα αλλάζει κατευθύνσεις προς τα πάνω ή προς τα κάτω.

Όλα τα παραπάνω σχηματίζουν πρόσθετες απώλειες λόγω τριβών και επηρεάζουν την αντίσταση στη ροή.

3.2.1.1. Γραμμικές απώλειες ή απώλειες λόγω τριβών

Η ροή ενός πραγματικού ρευστού είναι μία πολυπλοκότερη διαδικασία από τη ροή ενός ιδανικού ρευστού. Λόγω της συνεκτικότητας (ιξώδους) των πραγματικών ρευστών δημιουργούνται διατμητικές δυνάμεις (τάσεις) μεταξύ των διαδοχικών στρώσεων του ρευστού και μεταξύ του ρευστού και των τοιχωμάτων του αγωγού. Για την επίλυση ροϊκών προβλημάτων πρακτικά χρησιμοποιούνται πειραματικά δεδομένα και ημιεμπειρικές μέθοδοι.

Η θεωρία και το πείραμα απέδειξαν ότι για έναν κλειστό αγωγό με σταθερή διατομή, οι απώλειες λόγω τριβών εξαρτώνται:

- από τη φύση του ρευστού (δηλαδή τη πυκνότητα ρ και το ιξώδες μ),
- την ταχύτητα \vec{V} , και
- από τα κατασκευαστικά στοιχεία του αγωγού (δηλαδή το μήκος L , τη διάμετρο D και την απόλυτη τραχύτητα k του αγωγού).

Η εξάρτηση όλων των παραπάνω παραγόντων δίνεται από τη **σχέση Darcy-Weisbach**:

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{\vec{V}_m^2}{2 \cdot g} \quad (3.12)$$

όπου: h_f = είναι οι απώλειες λόγω τριβής σε m
 f = ο αδιάστατος συντελεστής του Darcy
 D = η πραγματική διάμετρος του σωλήνα σε m
 L = το μήκος του αγωγού σε m
 \vec{V}_m = η μέση ταχύτητα της ροής σε m/s
 g = η επιτάχυνση της βαρύτητας σε m/s²

Γενικά, ο συντελεστής τριβής f , είναι συνάρτηση:

- του αριθμού Reynolds:
$$Re = \frac{\rho \cdot \vec{V}_m \cdot D}{\mu} = \frac{\vec{V}_m \cdot D}{\nu} \quad (3.13)$$

όπου: ρ = η πυκνότητα του ρευστού σε kg/m³
 μ = το δυναμικό ιξώδες του ρευστού σε kg/m·s στο SI
 ν = το κινηματικό ιξώδες του ρευστού σε m²/s στο SI
 \vec{V}_m = η μέση ταχύτητα της ροής σε m/s
 D = η εσωτερική διάμετρος του αγωγού σε m

- της σχετικής τραχύτητας (ϵ/D ή k/D) του αγωγού η οποία προκύπτει από την απόλυτη τραχύτητα (absolute roughness, ϵ ή k) που δηλώνει το μέσο βάθος (ή ύψος) των ανωμαλιών της επιφάνειας (εικόνα 3.25) και τη διάμετρο του σωλήνα D .

Είδος και υλικό σωλήνα	Κατάσταση σωλήνα	Απόλυτη τραχύτητα ϵ σε mm, (2)
Τραβηκτοί σωλήνες από γυαλί, χαλκό, κράματα χαλκού, αλουμίνιο, άλλα ελαφρά κράματα, πλαστικά	Καινούργιοι και λείοι	0 (λείοι) έως 0.0015
Χαλκοσωλήνες	Χρησιμοποιημένοι	έως 0.03
Τραβηκτοί χαλυβδοσωλήνες (χωρίς ραφή)	Καινούργιοι	0.01 – 0.05
Χαλυβδοσωλήνες με ραφή (συγκολλητοί)	Καινούργιοι	0.05 – 0.10
	μερικώς σκουριασμένοι, πολύ σκουριασμένοι	0.15 – 0.2 έως 3
Γαλβανισμένοι χυτοσιδηροί σωλήνες	Καινούργιοι	0.12 – 0.15
Χυτοσιδηροί σωλήνες	Καινούργιοι	0.259
Σιδηροσωλήνες	Καινούργιοι	0.05
Σωλήνες αμιαντοτσιμέντου	Καινούργιοι	0 – 0.10
Σωλήνες από μπετόν με φινιρίσμα	Καινούργιοι	έως 0.15
	παλιοί	0.2 – 0.3
Σωλήνες από μπετόν χωρίς φινιρίσμα	καινούργιοι	0.2 – 0.8

ΕΙΚΟΝΑ 3.29 : Απόλυτη τραχύτητα σωληνών [Σκούρας,(86)]

Η συνάρτηση αυτή είναι γενική και ισχύει για κάθε αγωγό, οποιασδήποτε διατομής, τόσο για στρωτή ροή όσο και για τυρβώδη ροή και προσδιορίζεται πειραματικά.

Για να υπολογιστούν λοιπόν οι απώλειες τριβών πρέπει αναγκαστικά να υπολογιστεί ο συντελεστής τριβής f , ο οποίος εξαρτάται από τον αριθμό Re και τη ταχύτητα του αγωγού. Για διαφορετικές περιοχές μίας ροής ο συντελεστής τριβής f υπολογίζεται διαφορετικά:

➤ Για στρωτή ροή ($Re < 2.300$):
$$f = \frac{64}{Re} \quad (3.14)$$

- Για τυρβώδη ροή ($Re > 4000$) δεν υπάρχει μία απλή σχέση που περιγράφει τη μεταβολή του f σε σχέση με τον αριθμό Re . Διατυπώθηκε από τον **Prandtl** όπου κατέληξε σε μία λογαριθμική συσχέτιση μεταξύ του συντελεστή τριβής και του αριθμού Re :

$$\frac{1}{f^{1/2}} = 2,01 \cdot \log (Re \cdot f^{1/2}) - 0,8 \quad (3.15)$$

- Για μεταβατική περιοχή ($2.300 < Re < 4.000$) ισχύει η παρακάτω σχέση του **Colebrook** που συνυάζει σχέσεις για λεία τοιχώματα και για τοιχώματα με μεγάλη τραχύτητα. Αυτή η σχέση είναι έως και σήμερα αποδεκτή για το συντελεστή τριβής για τυρβώδη ροή:

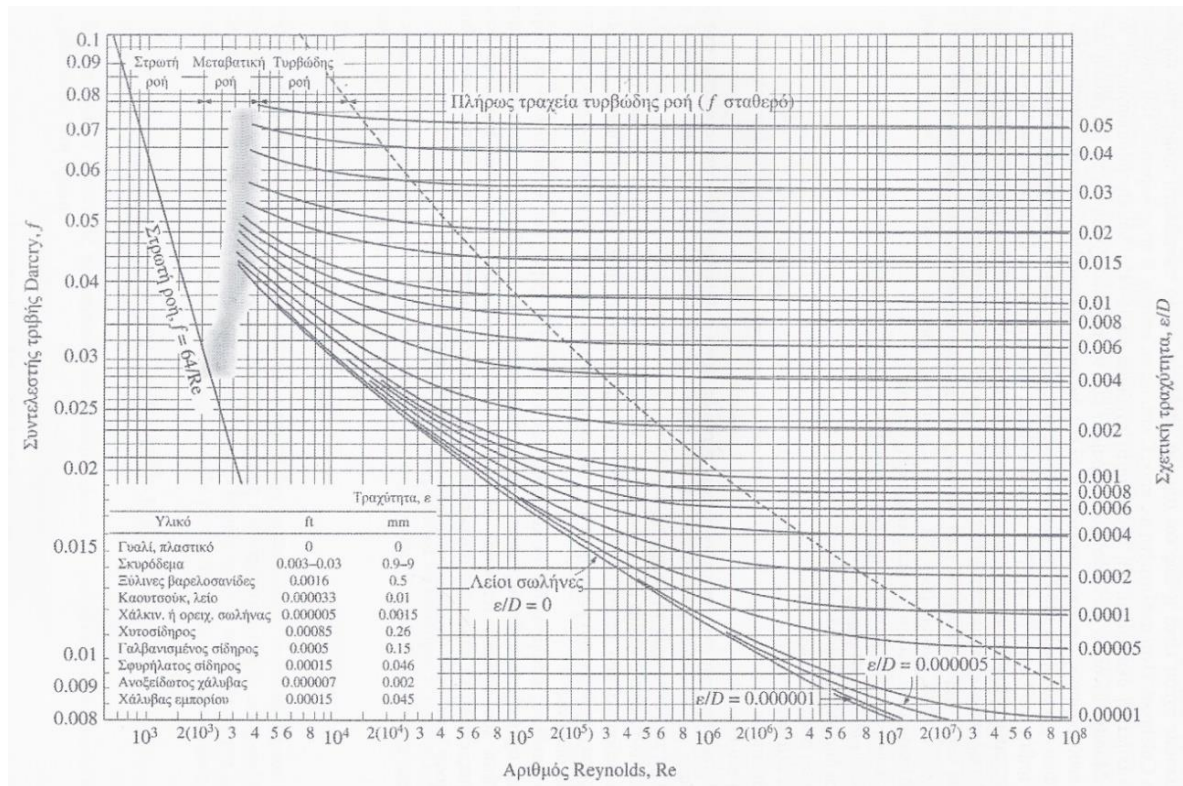
$$\frac{1}{f^{1/2}} = -2,01 \cdot \log \left(\frac{k/D}{3.7} + \frac{2,51}{Re \cdot f^{1/2}} \right) \quad (3.16)$$

Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζεται το διάγραμμα Moody. Από αυτό προκύπτουν οι εξής παρατηρήσεις:

- Στη στρωτή ροή, ο f μειώνεται με αύξηση του αριθμού Re , ενώ είναι ανεξάρτητος της τραχύτητας
- Ο f είναι ελάχιστος για έναν λείο αγωγό (αλλά και πάλι μη-μηδενικός λόγω της συνθήκης μη-ολίσθησης) και αυξάνεται με τη τραχύτητα.
- Η μεταβατική περιοχή από τη στρωτή στην τυρβώδη ροή ($2.300 < Re < 4.000$) απεικονίζεται στο διάγραμμα Moody από μία σκιασμένη επιφάνεια. Η ροή στη περιοχή αυτή μπορεί να είναι στρωτή ή τυρβώδης, ανάλογα με τις διαταραχές

της ροής, ή μπορεί να εναλλάσσεται μεταξύ στρωτής ροής και ως εκ τούτου, ο συντελεστής τριβής μπορεί να εναλλάσσεται μεταξύ των τιμών του για στρωτή και τυρβώδη ροή.

- Σε πολύ μεγάλους αριθμούς Re, οι καμπύλες του συντελεστή τριβής που αντιστοιχούν σε συγκεκριμένες καμπύλες σχετικής τραχύτητας είναι σχεδόν οριζόντιες και επομένως οι συντελεστές τριβής είναι ανεξάρτητοι του αριθμού Reynolds.



ΕΙΚΟΝΑ 3.30 : Διάγραμμα Moody

3.2.1.2. Τοπικές (ή ελάσσονες) απώλειες

Όπως έγινε αναφορά στη παράγραφο 3.2.1.β, κατά τη μεταφορά των ρευστών δεν χρησιμοποιούνται μόνο ευθύγραμμοι κλειστοί αγωγοί (σωλήνες) σταθερής διατομής, αλλά απαιτούνται αλλαγές των διευθύνσεων τους, τοπικές αυξομειώσεις της διαμέτρου (συγκλίσεις – αποκλίσεις) βαλβίδες ή βάννες, παράγοντες που προκαλούν τις επονομαζόμενες **τοπικές (ή ελάσσονες) απώλειες ενέργειας**. Αναλυτικά, οι απώλειες αυτές -που συνήθως είναι μικρότερες από τις απώλειες τριβών- οφείλονται σε τριβές που εμφανίζονται:

- στην είσοδο ή έξοδο του αγωγού,
- σε απότομη (ή προοδευτική) διεύρυνση ή συστολή της διατομής του αγωγού,
- σε καμπύλωση, γωνία, διακλάδωση ή άλλες μετατροπές του αγωγού,
- σε ανοιχτή ή μερικά κλειστή βαλβίδα ή βάνα

Οι τοπικές απώλειες ορίζονται για την κάθε περίπτωση από τη παρακάτω σχέση:

$$h_m = K \cdot \frac{\bar{V}_m^2}{2 \cdot g} \quad (3.17)$$

όπου: \vec{V}_m = η μέση ταχύτητα του ρευστού

K = ο αδιάστατος **Συντελεστής Τοπικών Απωλειών** που προσδιορίζεται πειραματικά για κάθε μία περίπτωση ξεχωριστά

A/A	Περιγραφή	Συντελεστής K
Είσοδος υγρού σε σωλήνα		
1	Επιστόμιο με οξεία γωνία	0.5
2	Επιστόμιο με στρογγυλεμένη γωνία	0.05
3	Σωλήνας αναρροφήσεως με κωδωνοειδές χείλος	0.05-0.1
4	Εισέχον επιστόμιο	0.9-1
5	Σωλήνας αναρροφήσεως με επίπεδο χείλος	0.9
Έξοδος υγρού από σωλήνα		
6,7	Σε δεξαμενή	1
8	Βαθμιαία διεύρυνση, (ο λόγος $D_2/D_1 > 2$)	γωνία θ: $40^\circ \rightarrow 0.9, 20^\circ \rightarrow 0.5, 10^\circ \rightarrow 0.2$
Μεταβολή διαμέτρου		
9	Απότομη στένωση	$d_2/d_1: 0.2 \rightarrow 0.43, 0.4 \rightarrow 0.38, 0.6 \rightarrow 0.3, 0.8 \rightarrow 0.15$
10	Απότομη διεύρυνση	$d_2/d_1: 0.2 \rightarrow 0.93, 0.4 \rightarrow 0.7, 0.6 \rightarrow 0.4, 0.8 \rightarrow 0.15$
11	Βαθμιαία διεύρυνση Γωνία θ = 20° Γωνία θ = 10°	$d_2/d_1: 0.2 \rightarrow 0.35, 0.4 \rightarrow 0.2$ $d_2/d_1: 0.2 \rightarrow 0.15, 0.4 \rightarrow 0.1$
12	Στρογγυλεμένη στένωση	$d_2/d_1: 0.2 \rightarrow 0.1, 0.4 \rightarrow 0.05$
Αλλαγή διεύθυνσης		
13, 14	Γωνία	$90^\circ \rightarrow 1.2, 60^\circ \rightarrow 0.6, 45^\circ \rightarrow 0.4, 22^\circ \rightarrow 0.15$
Συνδέσεις		
15	Κάμψη	Λόγος R/d: $1 \rightarrow 0.7, 2 \rightarrow 0.4, >5 \rightarrow 0.3$
16	Ταυ	0.25
17	Ταυ	1.2
18	Ταυ	1.4
Βαλβίδες - Δικλίδες		
19	Ολισθαίνουσα δικλίδα (εντελώς ανοικτή)	0.1-0.2
20	Ποδοβαλβίδα και φίλτρο	≥ 2.5
21	Βαλβίδα μη επιστροφής	≥ 1

ΕΙΚΟΝΑ 3.31 : Συντελεστές τοπικών απωλειών K [Cengel, (90)]

Γενικά σε ένα απλό σύστημα κλειστών αγωγών είναι δυνατόν να υπάρχουν διαφόρων διατομών ευθύγραμμοι αγωγοί (i) και πολλές αιτίες τοπικών απωλειών ενέργειας (j). Σε αυτή τη γενική περίπτωση το **ολικό ύψος απωλειών ενέργειας** θα δίνεται ως άθροισμα των επιμέρους απωλειών λόγω τριβών και των επιμέρους τοπικών απωλειών:

$$\Delta H = \sum_i \left(f_i \cdot \frac{L_i}{D_i} \cdot \frac{\vec{V}_m^2}{2 \cdot g} \right) + \sum_j \left(K_j \cdot \frac{\vec{V}_m^2}{2 \cdot g} \right) \quad (3.18)$$

4. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ

4.1. Βασικό Χαρακτηριστικό των Δυναμικών Αντλιών

Η κύρια λειτουργία των δυναμικών αντλιών είναι ότι μεταβάλλουν την κινητική κατάσταση του υγρού, με τελικό αποτέλεσμα τη μετατροπή της κινητικής του ενέργειας σε στατική πίεση και αντίστροφα. Στις αντλίες αυτής της κατηγορίας, ισχύουν οι εξής βασικές συνθήκες:

- Η αποδιδόμενη παροχή αυτού του τύπου των αντλιών επηρεάζεται σε πολύ σημαντικό βαθμό από τις απώλειες λόγω τριβών κατά τη ροή του υγρού μέσα από τους σωλήνες μεταφοράς.
- Στις αντλίες δυναμικού τύπου, η ταχύτητα που δίνεται στο ρευστό, μετατρέπεται σε πίεση.

4.2. Αρχές λειτουργίας των Φυγοκεντρικών Αντλιών

Όπως έγινε αναφορά στο σχόλιο της παραγράφου 2.4, οι φυγοκεντρικές αντλίες αποτελούν το μεγαλύτερο αριθμό αντλιών σε μία μονάδα. Οι διάφοροι τύποι φυγοκεντρικών αντλιών θα αναλυθούν στην επόμενη παράγραφο.

Η αρχή λειτουργίας των φυγοκεντρικών αντλιών, όπως λέει και το όνομα τους, στηρίζεται στη **φυγόκεντρο δύναμη** (centrifugal pump). Στη συνέχεια περιγράφεται με ένα παράδειγμα η έννοια της φυγόκεντρης δύναμης.

Αν υποθέσουμε ότι κρατάμε έναν κουβά γεμάτο νερό και αρχίζουμε να το περιστρέφουμε γύρω μας, θα διαπιστώσουμε πολύ εύκολα, ότι καθώς αυξάνουμε τη ταχύτητα με την οποία τη περιστρέφουμε, νιώθουμε μία αντίσταση, μία δύναμη, η οποία «έχει την τάση να μας τραβάει» το χέρι.

Όσο περισσότερο αυξάνουμε την ταχύτητα περιστροφής, τόσο περισσότερο και πιο έντονα νιώθουμε αυτή τη δύναμη. Η δύναμη που νιώθουμε να «μας τραβάει» το χέρι είναι η **φυγόκεντρος δύναμη**.



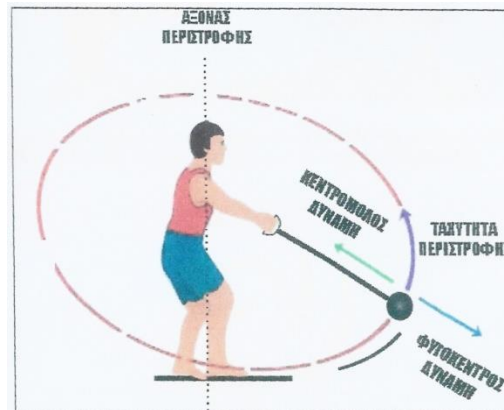
ΕΙΚΟΝΑ 4.1 : Απεικόνιση της φυγόκεντρος δύναμης μέσα από το παράδειγμα 1

Η περιστροφή γύρω μας λέγεται **τροχιά περιστροφής** και δεν έχει καμία σημασία αν αυτή είναι κατακόρυφη (δηλαδή παράλληλη με τον άξονα του σώματος μας) είτε οριζόντια (δηλαδή κάθετη στον άξονα του σώματος μας). Όσο ο κουβάς περιστρέφεται γύρω μας, το νερό (δηλαδή το περιεχόμενο του) παραμένει εκεί μέσα.

Αν τώρα ανοίξουμε μία τρύπα στον πυθμένα του κουβά, θα διαπιστώσουμε ότι το νερό, φεύγει από την τροχιά ακολουθώντας τη διεύθυνση που του καθορίζει η φυγόκεντρος δύναμη.

Για να γίνει κατανοητή ακόμη καλύτερα, η αρχή λειτουργίας, των φυγοκεντρικών αντλιών και κυρίως η έννοια της φυγοκεντρικής δύναμης παρουσιάζεται ακόμη ένα παράδειγμα.

Ένας σφαιροβόλος, κρατάει μέσω ενός νήματος μία σφαίρα και την περιστρέφει γύρω από τον άξονα του.



ΕΙΚΟΝΑ 4.2 : Απεικόνιση της φυγόκεντρος δύναμης μέσα από το παράδειγμα 2

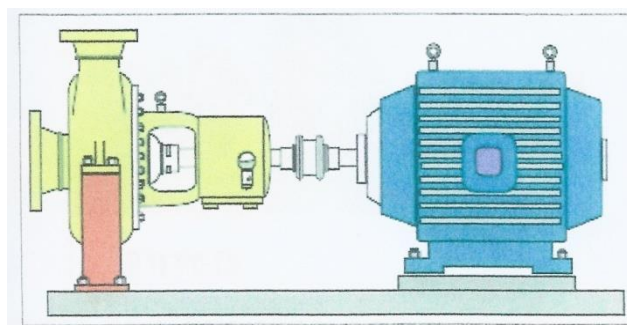
Η ταχύτητα περιστροφής είναι όπως φαίνεται και στη παραπάνω εικόνα, ακολουθώντας την τροχιά περιστροφής. Σε κάθε σημείο της περιστροφής, στη σφαίρα πάνω, ενεργούν δύο αντίρροπες δυνάμεις.

Η μία είναι η κεντρομόλος δύναμη, με διεύθυνση και φορά προς το κέντρο της τροχιάς περιστροφής και η άλλη είναι η φυγόκεντρος δύναμη, με διεύθυνση και φορά, έξω από το επίπεδο περιστροφής. Αυτή τη δύναμη νοιώθουμε να «μας τραβάει» το χέρι καθώς περιστρέφεται η σφαίρα.

Τα παραπάνω συνθέτουν τη βασική αρχή λειτουργίας των φυγοκεντρικών αντλιών με τον εξής τρόπο.

Οι φυγοκεντρικές αντλίες κύρια αποτελούνται από έναν περιστρεφόμενο δίσκο, ο οποίος είναι τοποθετημένος σε έναν άξονα (**SHAFT**). Ο άξονας αυτός που αποτελεί τον άξονα της αντλίας, είναι συνδεδεμένος με τη σειρά του με τον άξονα ενός ηλεκτροκινητήρα από τον οποίο και παίρνει κίνηση.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Να αναφερθεί ότι, οι περισσότερες αντλίες παίρνουν κίνηση από έναν κινητήρα και λέγονται **electrical driven**, ενώ υπάρχουν και αντλίες που παίρνουν κίνηση μέσω ενός στροβίλου ατμού και λέγονται **steam driven**.



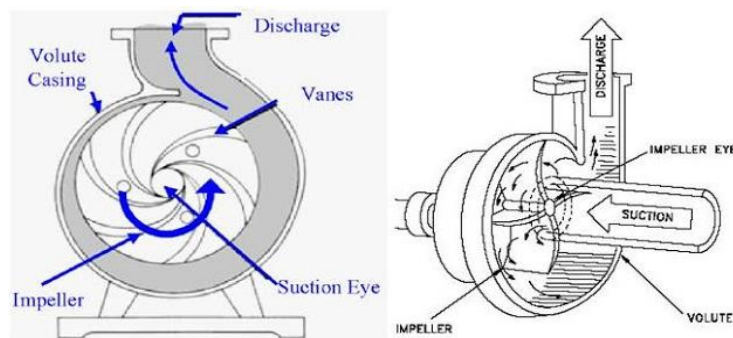
ΕΙΚΟΝΑ 4.3 : Πλάγια όψη μίας φυγοκεντρικής αντλίας (αριστερά) συνδεδεμένη με τον ηλεκτροκινητήρα της (δεξιά).

Πάνω στον περιστρεφόμενο αυτό δίσκο είναι τοποθετημένα ειδικά πτερύγια (**BLADES**). Η διάταξη δίσκος – πτερύγια λέγεται πτερωτή (**IMPELLER**).



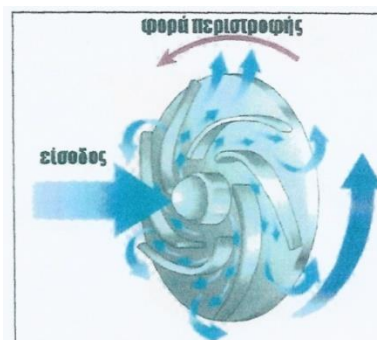
EIKONA 4.4 : Πτερωτή (impeller) φυγοκεντρικής αντλίας
(<https://www.indiamart.com/proddetail/centrifugal-pump-impeller-15721225533.html>)

Η πτερωτή περιστρέφεται μέσα σε ένα ειδικό περίβλημα (**CASING**) το οποίο έχει ανοίγματα για την είσοδο (αναρρόφηση / **SUCTION**) και έξοδο (κατάθλιψη / **DISCHARGE**) του υγρού. Το περίβλημα αυτό λέγεται και χοάνη (**VOLUTE**).



EIKONA 4.5 : Το περίβλημα της αντλίας (**CASING**) στο οποίο ξεχωρίζουν τα στόμια εισόδου (αναρρόφηση / **SUCTION**) και εξόδου (κατάθλιψη / **DISCHARGE**) του υγρού
(<https://www.rasmech.com/blog/centrifugal-pump-maintenance/>)

Καθώς η πτερωτή περιστρέφεται, το διακινούμενο υγρό εκτελεί κυκλική κίνηση, οπότε αποκτά γωνιακή επιτάχυνση και δημιουργείται **φυγοκεντρική δύναμη**, η οποία ωθεί το υγρό προς τα έξω, δηλαδή περιφέρεια του περιβλήματος και με τελικό προορισμό το άνοιγμα εξόδου.



EIKONA 4.6 : Κίνηση του υγρού πάνω στη πτερωτή και δημιουργία φυγόκεντρης δύναμης και περιστροφικής κίνησης.

Επειδή η όλη κίνηση του υγρού είναι από το κέντρο προς τη περιφέρεια, η πίεση στο κέντρο ελαττώνεται με αποτέλεσμα συνεχώς νέα ποσότητα υγρού να κινείται προς το σημείο αυτό της χαμηλής πίεσης. Τελικό αποτέλεσμα, η δημιουργία σταθερής ροής.

Στις περισσότερες φυγοκεντρικές αντλίες η χοάνη κατάθλιψης, είναι σχεδιασμένη έτσι ώστε να μεγαλώνει βαθμιαία μέχρι να συνδεθεί στο σωλήνα κατάθλιψης.

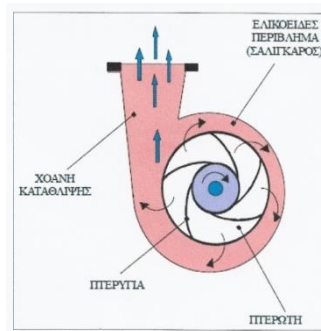
Λόγω αυτού του σχεδιασμού, καθώς το υγρό ρέει μέσα από τη χοάνη διασκορπίζεται και γεμίζει την αυξανόμενη επιφάνεια και μειώνεται η ταχύτητα του. Αυτό προκαλεί αύξηση της πίεσης.

Το σχήμα του κελύφους (σαλίγκαρος) της αντλίας είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε μέρος της κινητικής ενέργειας του ρευστού να μετατρέπεται σε στατική πίεση.

Αυτή η πίεση είναι που τελικά ωθεί το υγρό ώστε να κινηθεί προς τη σωληνογραμμή κατάθλιψης.

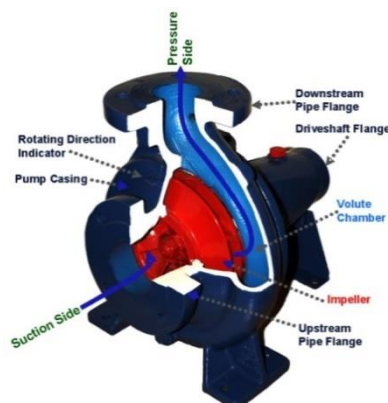
4.3. Βασικά τμήματα της Φυγοκεντρικής Αντλίας

Μία τυπική φυγοκεντρική αντλία, αποτελείται από ένα σπειροειδές περίβλημα (**CASING**), που λέγεται σαλίγκαρος και αποτελεί το χαρακτηριστικό εξωτερικό γνώρισμα φυγοκεντρικής αντλίας.



ΕΙΚΟΝΑ 4.7 : Ελικοειδές-σπειροειδές περίβλημα (σαλίγκαρος), χαρακτηριστικό γνώρισμα της φυγοκεντρικής αντλίας μαζί με τη χοάνη κατάθλιψης

Στο σπειροειδές αυτό περίβλημα, είναι ενωμένο το στόμιο εισόδου του υγρού (στόμιο αναρρόφησης) καθώς και το στόμιο εξόδου του υγρού (στόμιο κατάθλιψης) ή αλλιώς χοάνη κατάθλιψης. Στο άκρο του στομίου κατάθλιψης είναι η φλάτζα όπου συνδέεται η σωληνογραμμή κατάθλιψης. Μέσ στο περίβλημα, βρίσκεται η πτερωτή στην οποία είναι συνδεδεμένος ο άξονας της αντλίας.



ΕΙΚΟΝΑ 4.8 : Βασικά μέρη της φυγοκεντρικής αντλίας
(<https://www.wikihubs24.info/2019/03/working-principle-of-centrifugal-pump.html>)

Υπάρχουν κύρια τρεις (3) τύποι πτερωτών.Οι πτερωτές ανοικτού τύπου, ημίκλειστου τύπου και οι πτερωτές κλειστού τύπου.

Στην παρακάτω εικόνα, απεικονίζονται οι μορφές που έχουν αυτοί οι τρεις κύριοι τύποι φτερωτών.

Από αριστερά της εικόνας ξεκινώντας, είναι η πτερωτή ανοικτού τύπου και ακολουθούν οι υπόλοιποι τύποι αντίστοιχα.

Οι αντλίες που λειτουργούν με πτερωτές ανοικτού τύπου, είναι συνήθως αντλίες με μικρό βαθμό απόδοσης και αυτό γιατί αξιοσημείωτη ποσότητα υγρού διαρρέει από το περίβλημα προς το στόμιο εισόδου.Για αυτό και οι πτερωτές ανοικτού τύπου, χρησιμοποιούνται σε ειδικές περιπτώσεις, ιδιαίτερα για άντληση νερού.



ΕΙΚΟΝΑ 4.9 : Βασικοί τύποι πτερωτών (αριστερά:ανοικτού τύπου, κέντρο:ημίκλειστου τύπου, δεξιά:κλειστού τύπου)

Οι αντλίες που λειτουργούν με πτερωτή ημίκλειστου τύπου, έχουν σίγουρα μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης απο τις αντλίες με πτερωτή ανοικτού τύπου και μάλιστα όσο μικρότερο είναι το διάκενο μεταξύ των πτερυγίων και του τοιχώματος του καλύμματος του περιβλήματος, τόσο περισσότερο αυξάνει κι ο βαθμός απόδοσης.

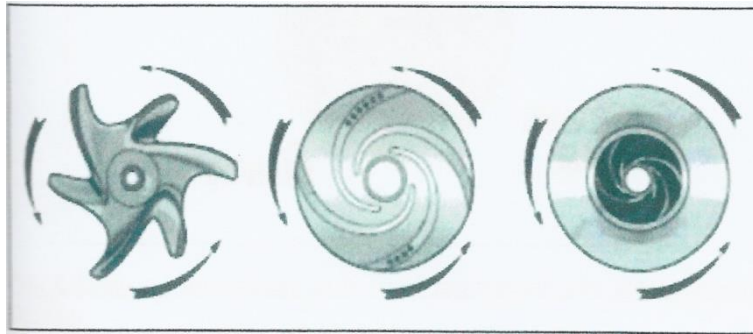


ΕΙΚΟΝΑ 4.10 : Βασικοί τύποι πτερωτών άλλης μορφολογίας (αριστερά:ημίκλειστου τύπου, κέντρο:ανοικτού τύπου, δεξιά:κλειστού τύπου)

Στις πτερωτές κλειστού τύπου, ο ένας δίσκος έχει μία οπή στο κέντρο του, από όπου το υγρό περνά προς τη πτέρυγα.Οι αντλίες με πτερωτή κλειστού τύπου έχουν υψηλό βαθμό απόδοσης και αναπτύσσουν μεγάλη πίεση.

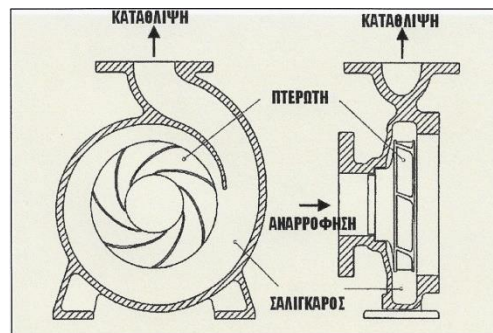
Στη παρακάτω εικόνα, εμφανίζονται ξανά οι τρεις κύριοι τύποι πτερωτών, μαζί με την αντίστοιχη φορά περιστροφής.Η σωστή φορά περιστροφής της αντλίας είναι θεμελιώδης για την ομαλή και κανονική λειτουργία της αντλίας.Σε μία φυγοκεντρική

αντλία, συνδεδεμένη με ηλεκτροκινητήρα, η φορά περιστροφής της αντλίας (δηλαδή της πτερωτής) οφείλεται να είναι ίδια με τη φορά περιστροφής του άξονα του κινητήρα. Αν η φορά δεν είναι σωστή, τότε η αντλία δεν θα αποδώσει.



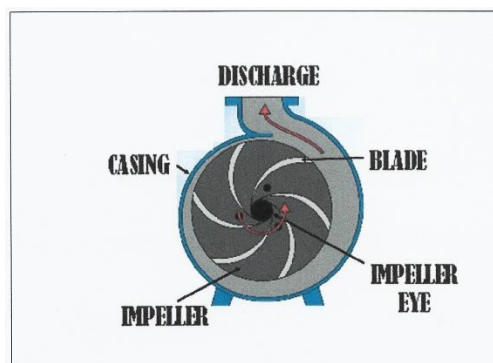
ΕΙΚΟΝΑ 4.11 : Οι τρεις κύριοι τύποι πτερωτών μαζί με την αντίστοιχη φορά τους

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, ο σαλίγκαρος, το σπειροειδές σχήμα του κελύφους είναι το βασικό χαρακτηριστικό γνώριμα στις περισσότερες φυγοκεντρικές αντλίες.



ΕΙΚΟΝΑ 4.12 : Πρόσοψη και τομή του σαλίγκαρου της φυγοκεντρικής αντλίας

Στη παρακάτω εικόνα, μπορεί να βοηθήσει στο να γίνει η αναγνώριση της σωστής περιστροφής που πρέπει να έχει η πτερωτή, ώστε η αντλία να λειτουργεί ομαλά και να αποδίδει. Μία παρατήρηση που μπορεί να γίνει, είναι ότι η φορά αυτής της φυγοκεντρικής αντλίας είναι αριστερόστροφη. Αυτή είναι η σωστή και μοναδιαία φορά περιστροφής της αντλίας. Αν η αντλία στρέφεται δεξιόστροφα, δεν θα αποδώσει.



ΕΙΚΟΝΑ 4.13 : Σωστή ένδειξη περιστροφής της αντλίας με αριστερή φορά

Πως γίνεται η αναγνώριση της φοράς περιστροφής μίας φυγοκεντρικής αντλίας

Για τη σωστή λειτουργία και το μέγιστο βαθμό απόδοσης μιας φυγοκεντρικής αντλίας, υπάρχει μία συγκεκριμένη φορά περιστροφής του συστήματος κινητήρα (ή στρόβιλος) – άξονας – πτερωτή.

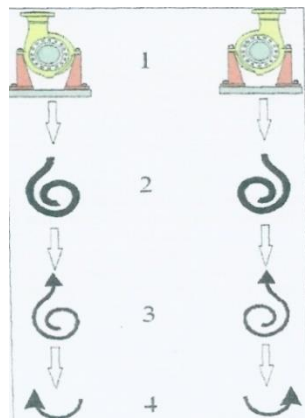
Για να βρεθεί η σωστή φορά περιστροφής σε μία φυγοκεντρική αντλία ακολουθούνται τα παρακάτω βασικά, πρακτικά βήματα.

1. Στεκόμαστε μπροστά στην αντλία έχοντας μπροστά μας τον κινητήρα
2. Βλέπουμε το σχήμα του σαλίγκαρου
3. Ξεκινώντας από το κέντρο προς τα έξω, στο τέλος της νοητής γραμμής του περιβλήματος βάζουμε τη μύτη του βέλους
4. Αυτή τη κατεύθυνση ακολουθεί και η κανονική φορά περιστροφής.

Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται τα 4 αυτά βήματα που ακολουθούνται ώστε πάντα να αναγνωρίζεται η σωστή περιφορά περιστροφής μιας οποιαδήποτε φυγοκεντρικής αντλίας.

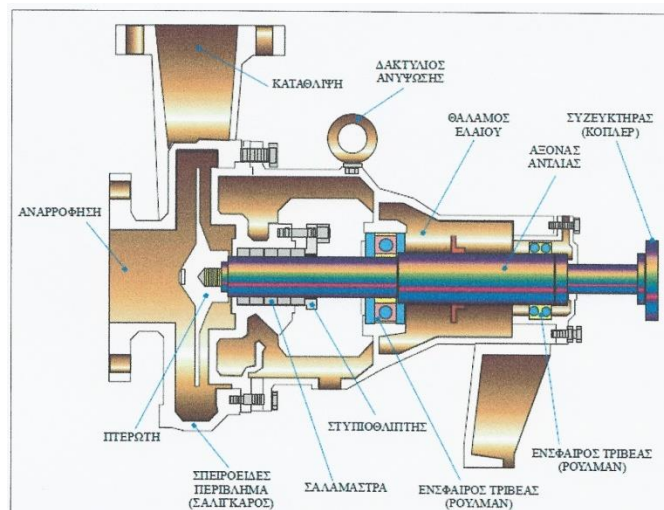
Σημείωση

Στην εικόνα φαίνονται δύο διαφορετικές περιπτώσεις ανάλογα με το πως είναι τοποθετημένος ο σαλίγκαρος στη βάση του.



ΕΙΚΟΝΑ 4.14 : Τα 4 βήματα για την αναγνώριση της φοράς περιστροφής της αντλίας

Ο άξονας της αντλίας στηρίζεται σε ένσφαιρους τριβείς (ρουλεμάν / **BEARINGS**) που βρίσκονται στις άκρες ενός θαλάμου, που λέγεται θάλαμος ελαίου λίπανσης.



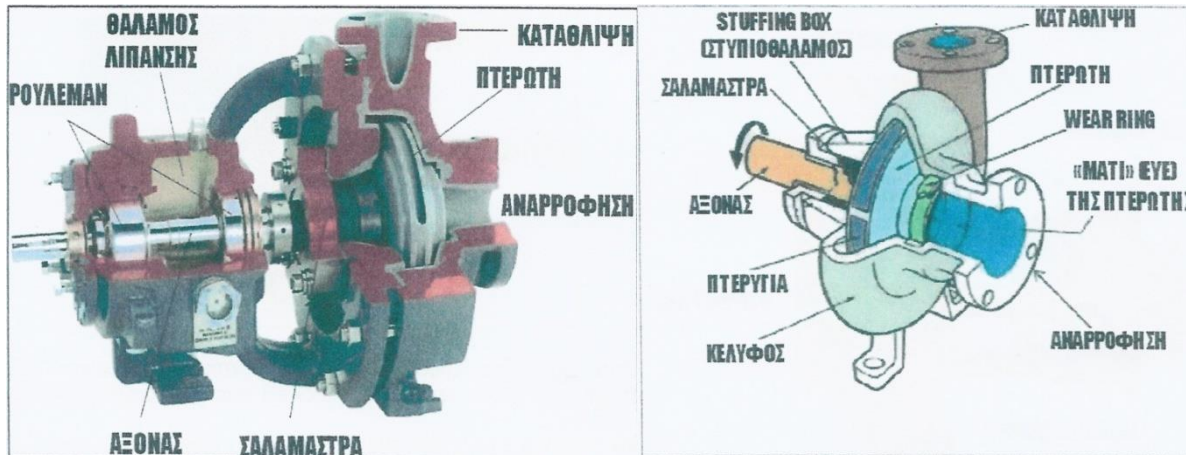
ΕΙΚΟΝΑ 4.15 : Τομή της φυγοκεντρικής αντλίας με όλα τα βασικά τμήματα

Στο ελεύθερο άκρο του άξονα τοποθετείται ένας συζευκτής (κόπλερ / **COUPLING**) ο οποίος συνδέεται με τον άξονα του κινητήρα (ή με τον άξονα του στροβίλου ατμού, αν πρόκειται για αντλία steam driven).

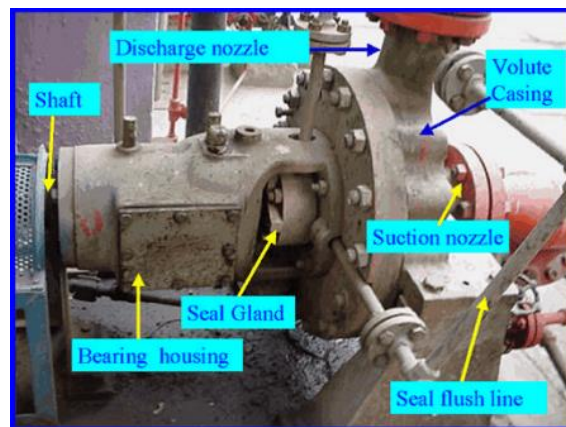
Ο άξονας της αντλίας για να συνδεθεί με την πτερωτή, διαπερνά το πίσω μέρος του περιβλήματος, δηλαδή απέναντι ακριβώς από το στόμιο αναρρόφησης.

Το σημείο από όπου διαπερνά ο άξονας το περίβλημα, στεγανοποιείται ώστε να μην διαρρέει υγρό που βρίσκεται υπό πίεση μέσα στο περίβλημα, οπότε και δεν δημιουργούνται ανωμαλίες στη λειτουργία της αντλίας ούτε μειώνεται και η απόδοση της.

Το βασικό εξάρτημα που χρησιμοποιείται για τη στεγανοποίηση είναι η μηχανική σαλαμάστρα η οποία είναι τοποθετημένη σε έναν ειδικό θάλαμο που λέγεται στυπιοθάλαμος (**STUFFING BOX**) και σφίγγεται με τον στυπιοθλίπτη.



ΕΙΚΟΝΑ 4.16 : Μερική τομή φυγοκεντρικής αντλίας



ΕΙΚΟΝΑ 4.17 : Τυπική φυγοκεντρική αντλία με τα βασικά μέρη της σε πραγματική εγκατάσταση (<https://www.processtechacademy.com/the-exterior-and-amazing-interior-of-centrifugal-pump-casings/>)

Στις παραπάνω εικόνες παρουσιάζεται η τυπική μορφή μίας φυγοκεντρικής αντλίας. Στη δεύτερη εικόνα απεικονίζεται ο άξονας και το βέλος σωστής περιστροφής της αντλίας. Το κέντρο εισόδου του υγρού από την αναρρόφηση, δηλαδή το κέντρο της επιφάνειας της πτερωτής λέγεται «μάτι» της πτερωτής (eye of impeller).

4.4. Σωληνώσεις και Διάταξη Φυγοκεντρικών Αντλιών

Μία απλή διάταξη σωληνώσεων και διαφόρων άλλων εξαρτημάτων, στο σύστημα μίας φυγοκεντρικής αντλίας, περιλαμβάνει:

- Σωλήνας αναρρόφησης: Είναι το τμήμα εκείνο του σωλήνα (αγωγού), από το σημείο παραλαβής του υγρού (δηλαδή από το σημείο που αναρροφά η αντλία) μέχρι την είσοδό του στην αντλία. Σαν σημείο εισόδου της αντλίας, θεωρείται το στόμιο της αναρρόφησης ή καλύτερα το κέντρο του δίσκου του impeller (το οποίο λέγεται και «μάτι»).
- Μανόμετρο αναρρόφησης: Αυτό το όργανο δείχνει τη πίεση αναρρόφησης της αντλίας. Πίεση αναρρόφησης είναι η τιμή της πίεσης που φαίνεται στο μανόμετρο που βρίσκεται στον αγωγό και δείχνει την πίεση που έχει το υγρό πριν μπει στην αντλία. Σαν μονάδα μέτρησης χρησιμοποιείται πιο συχνά στο διυλιστήριο το 1 kg/cm^2 . Άλλες μονάδες που χρησιμοποιούνται για τη πίεση αλλά λιγότερο συχνά είναι η ατμόσφαιρα (1 atm) και το 1 psi.

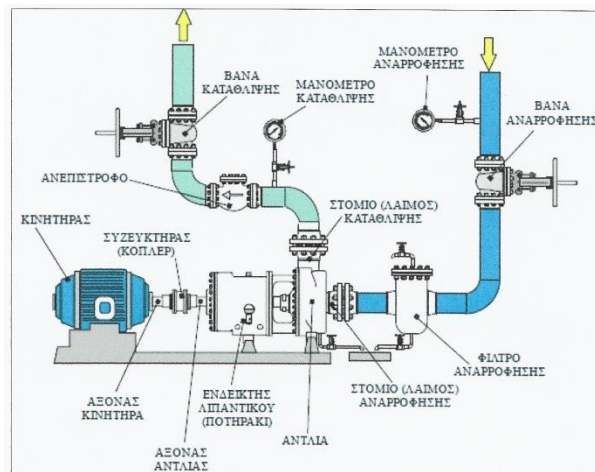
Οι σχέσεις που συνδέουν τις παρακάτω μονάδες πίεσης είναι:

- ✓ $1 \text{ kg/cm}^2 = 14,22 \text{ psi}$
- ✓ $1 \text{ atm} = 14,7 \text{ psi}$
- ✓ $1 \text{ atm} = 1,033 \text{ kg/cm}^2$
- Βάνα αναρρόφησης: Μέσω αυτής γίνεται η απομόνωση της αντλίας από την υπόλοιπη διεργασία. Είναι η βάνα που τοποθετείται στο σωλήνα αναρρόφησης και πάντα μεταξύ του σημείου παραλαβής του υγρού και της αντλίας. Η βάνα αναρρόφησης μπορεί να είναι κολλητή ή φλατζωτή. Οι πιο συνηθισμένοι τύποι βανών αναρρόφησης που χρησιμοποιούνται σε φυγοκεντρικές αντλίες είναι τύπου gate και σε μερικές πολύ ειδικές περιπτώσεις μπορεί να είναι ball valves. Συνήθως υπάρχει μία απομονωτική βάνα αναρρόφησης, υπάρχουν όμως και αντλίες (είτε λόγω πίεσης είτε λόγω κρισιμότητας είτε ακόμη και λόγω του είδους του ρευστού διεργασίας) που έχουν στην αναρρόφηση διπλή βάνα (δηλαδή δύο βάνες σε σειρά).
- Φίλτρο αναρρόφησης: Το φίλτρο αναρρόφησης συγκρατεί τυχόν ξένα υλικά, τα οποία θα μπορούσαν να περάσουν προς τη πτερωτή, προκαλώντας φθορά και μείωση απόδοσης της αντλίας. Είναι ένα κομμάτι που ανήκει στο σύνολο του εξοπλισμού της κάθε αντλίας και τοποθετείται πάντοτε μεταξύ της βάνας αναρρόφησης και της εισόδου του υγρού στην αντλία. Η κύρια λειτουργία του είναι να συλέγει μέσω ειδικού πλέγματος (σίτας), τυχόν φερτά στερεά τα οποία θα προκαλέσουν πρόβλημα στη λειτουργία της αντλίας. Ο καθαρισμός του φίλτρου αναρρόφησης της αντλίας, απαιτεί αυτή να είναι σταματημένη, να είναι απομονωμένη και «πλυμένη» / αποστραγγισμένη.
- Μανόμετρο κατάθλιψης: Επιτελεί την ίδια λειτουργία με αυτό της αναρρόφησης μόνο που αυτό της κατάθλιψης δείχνει τη πίεση της κατάθλιψης της αντλίας.
- Ανεπίστροφο: Το ανεπίστροφο προστατεύει από ανάποδη ροή της διεργασίας σε περίπτωση απώλειας της αντλίας ή εξαιρετικά μειωμένης απόδοσης και πίεσης κατάθλιψης.
- Βάνα κατάθλιψης: Η βάνα αυτή, μπορεί να απομονώνει την αντλία μαζί με τη βάνα αναρρόφησης για συντήρηση ή να παραμένει σε θέση ΚΛΕΙΣΤΗ, ενώ η αντλία είναι εκτός λειτουργίας αλλά σε «ετοιμοπόλεμη» κατάσταση αναμονής (ή αλλιώς σε κατάσταση stand by). Η βάνα κατάθλιψης μπορεί να είναι κολλητή ή φλατζωτή. Οι πιο συνηθισμένοι τύποι βανών κατάθλιψης που

χρησιμοποιούνται σε φυγοκεντρικές αντλίες είναι τύπου gate και σε μερικές πολύ ειδικές περιπτώσεις μπορεί να είναι ball valves. Συνήθως υπάρχει μία απομονωτική βάννα κατάθλιψης, υπάρχουν όμως και αντλίες (είτε λόγω πίεσης είτε λόγω κρισιμότητας είτε ακόμη και λόγω του είδους του ρευστού διεργασίας) που έχουν στην κατάθλιψη διπλή βάννα (δηλαδή δύο βάννες σε σειρά).

- Σωλήνας κατάθλιψης: Είναι το τμήμα του σωλήνα (του αγωγού) που ξεκινάει από το σημείο που βγαίνει το υγρό από την αντλία, μέχρι το σημείο που είναι για να μεταφερθεί (μέχρι το σημείο που καταθλίβει η αντλία ή αλλιώς μέχρι το τελικό σημείο αποστολή).

Αυτά που αναφέρθηκαν παραπάνω και απεικονίζονται στη παρακάτω εικόνα, αποτελούν το βασικό «συνοδευτικό» εξοπλισμό στο σύστημα μιας φυγοκεντρικής αντλίας.



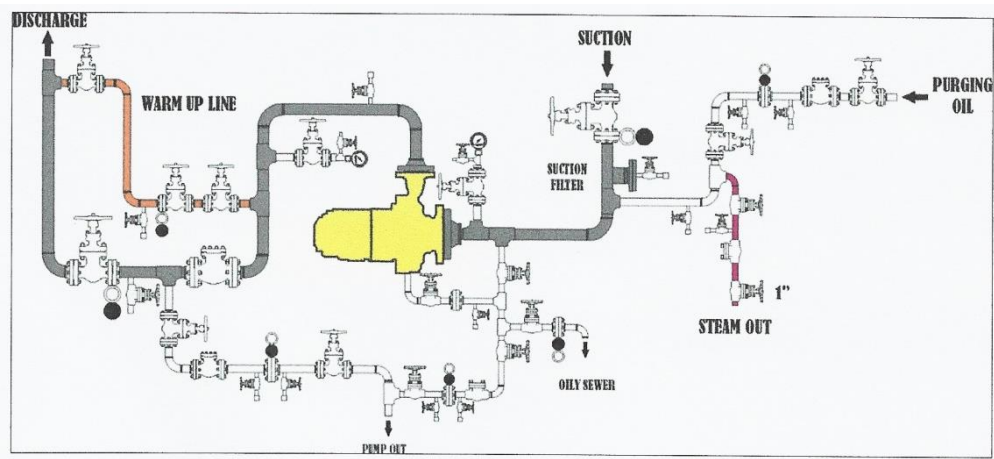
ΕΙΚΟΝΑ 4.18 : Διάταξη φυγοκεντρικής αντλίας

Να αναφερθεί εδώ ότι οι περισσότερες αντλίες είναι ζεύγη. Δηλαδή π.χ υπάρχουν οι αντλίες Α και Β, με μία από αυτές να είναι σε λειτουργία και η άλλη σε κατάσταση αναμονής ή stand by. Υπάρχουν πολύ λιγότερες περιπτώσεις όπου υπάρχει μόνο μία αντλία σε μία διεργασία κι αυτό μπορεί να εξαρτάται από πολλούς παράγοντες με πιο κύριο, ότι η συγκεκριμένη δεν είναι αντλία συνεχούς λειτουργίας αλλά περιοδικής (δηλαδή όποτε χρειασθεί). Σε αυτή τη περίπτωση ο σχεδιαστής «προτείνει» σχήμα με μία αντλία (στην περίπτωση αυτή ο εξοπλισμός της αντλίας, αποτελεί και έχει μοναδιαίο χαρακτήρα).

Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις, όπου έχουμε σχήμα με τρεις αντλίες. Όταν για παράδειγμα απαιτείται από το σχεδιασμό να λειτουργούν δύο από αυτές τις αντλίες σε παράλληλη λειτουργία και η τρίτη να είναι σε κατάσταση αναμονής (στην περίπτωση που κάποια από τις δύο πρώτες τεθεί για κάποιο λόγο εκτός λειτουργίας).

Ένα τέτοιο σχήμα, συνήθως αποτελείται από δύο αντλίες που κινούνται με ηλεκτροκινητήρα και με την τρίτη αντλία να κινείται μέσω στροβίλου ατμού.

Υπάρχουν όμως και συστήματα φυγοκεντρικών αντλιών, με πολύ πιο πολύπλοκες διατάξεις και βοηθητικές γραμμές όπως για παράδειγμα η αντλία απεικονίζεται στη παρακάτω εικόνα.



ΕΙΚΟΝΑ 4.19 : Περίπλοκη διάταξη φυγοκεντρικής αντλίας

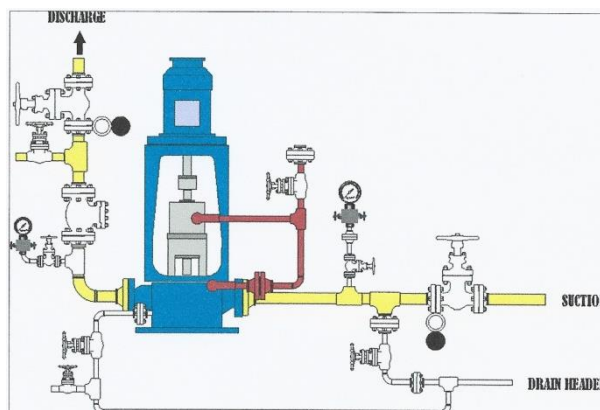
Στην παραπάνω εικόνα, πέρα από συνηθισμένα, υπάρχει και η γραμμή η οποία από την κατάθλιψη και παρακάμπτοντας το ανεπίστροφο, επικοινωνεί με το στόμιο κατάθλιψης της αντλίας. Αυτή η γραμμή ονομάζεται γραμμή προθέρμανσης (WARM UP LINE ή HOT BY PASS). Με αυτή τη γραμμή είναι δυνατό να διατηρηθεί η stand by αντλία ζεστή, ιδιαίτερα όταν το ρευστό που διακινείται είναι υψηλής θερμοκρασίας.

Επίσης διακρίνονται γραμμές αποστράγγισης της αντλίας από διάφορα σημεία της (αναρρόφηση, κέλυφος, κατάθλιψη) τόσο προς ένα κλειστό σύστημα αποστράγγισης (PUMP OUT) όσο και προς ανοικτό σύστημα ελαιωδών (OILY SEWER).

Τέλος διακρίνονται οι γραμμές παροχής στην αντλία ενός ρευστού καθαρισμού (PURGING OIL) καθώς και σύνδεση STEAM OUT, οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν για να βοηθήσουν να εκτοπισθεί το περιεχόμενο και να «πληθεί» η αντλία, μετά την απομόνωσή της και τη παράδοση της προς συντήρηση / επισκευή.

Στη παρακάτω εικόνα, παρουσιάζεται ακόμη μία διάταξη φυγοκεντρικής αντλίας. Η αντλία διαθέτει, γραμμή αποστράγγισης από το κέλυφος και από τη γραμμή αναρρόφησης προς υπόνομο ή ένα κεντρικό κύκλωμα αποστράγγισης.

Η γραμμή που φαίνεται με κόκκινο χρώμα, είναι η γραμμή ψύξης – λίπνασης της σαλαμάστρας της αντλίας, η οποία στη συγκεκριμένη περίπτωση, ψύχεται με το ίδιο το προϊόν.



ΕΙΚΟΝΑ 4.20 : Διάταξη φυγοκεντρικής αντλίας

4.4. Ανωμαλίες Φυγοκεντρικών Αντλιών – Πιθανά Αίτια

Τα κυριότερα και πιο συνηθισμένα προβλήματα που μπορούν να παρουσιάσουν οι φυγοκεντρικές αντλίες έχουν να κάνουν κύρια με εξωτερικές διαρροές, με προβλήματα στο σύστημα αναρρόφησης και με μηχανικά προβλήματα:

Προβλήματα διαρροών παρουσιάζονται κυρίως στις μηχανικές σαλαμάστρες των αντλιών, ενώ πιο σπάνια είναι διαρροές που παρουσιάζονται στα κελύφη ή στις φλάντζες αναρρόφησης και κατάθλιψης της αντλίας.

Προβλήματα στην αναρρόφηση της αντλίας, έχουν να κάνουν κύρια με κακή πλήρωση της αντλίας, κακή εξαέρωση ή ακόμη και με θέματα ασφαλούς στάθμης / πλήρωσης δηλαδή του σωλήνα αναρρόφησης και φυσικά με απότομες μεταβολές στις μεταβλητές του υγρού αναρρόφησης (για παράδειγμα μεγάλη αύξηση της θερμοκρασίας).

Μηχανικά προβλήματα, έχουν να κάνουν κύρια με υψηλά επίπεδα κραδασμών, προβλήματα στα ρουλεμάν κινητήρα ή αντλίας και ανάγκη ευθυγράμμισης συστήματος άξονα – κοπλέρ αντλίας και φυσικά προβλήματα που μπορούν να δημιουργηθούν από ελλιπή ή προβληματική λίπανση.

Στη συνέχεια, δίνονται περιγραφές κάποιων σημαντικών πηγών-αιτιών προβλημάτων που μπορεί να δημιουργηθούν σε φυγοκεντρικές αντλίες

AIR LOCKING (Περιεχόμενοι θύλακες αέρα)

Αυτή η κατάσταση συμβαίνει όταν υπάρχουν παγιδευμένοι θύλακες αέρα, σε διάφορα σημεία της αντλίας (π.χ κέλυφος) και στους αγωγούς αναρρόφησης και κατάθλιψης. Εάν έχει μείνει εγκλωβισμένος αέρας και δεν έχει πραγματοποιηθεί πλήρης εξαέρωση, τότε η απόδοση της αντλίας δεν θα είναι η αναμενόμενη, η αντλία με το που ξεκινάει θα «ξεπιάνει» αμέσως και θα υπάρχουν κραδασμοί και θόρυβος. Χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή πριν από το ξεκίνημα μίας αντλίας, ή όταν πρέπει να γίνει προετοιμασία για πλήρωση μετά από τη συντήρηση, να έχει απομακρυνθεί ο εγκλωβισμένος αέρας από κάθε σημείο του αντλητικού συστήματος που περιλαμβάνεται ανάμεσα στη βάνα αναρρόφησης και τη βάνα κατάθλιψης

PRIMING (Πλήρωση/γέμισμα της αντλίας)

Οι φυγοκεντρικές αντλίες χρειάζονται πολύ καλή πλήρωση για να έχουν τη μέγιστη απόδοσή τους. Η διαδικασία πλήρωσης γίνεται με προσοχή και ακολουθώντας κάθε οδηγία που μπορεί να αφορά μία ιδιαιτερότητα της συγκεκριμένης αντλίας. Μία κακή πλήρωση (ελλιπή πλήρωση) θα οδηγήσει στα αποτελέσματα που ανφέρθηκαν πιο πάνω, όπως η μειωμένη απόδοση, θόρυβος, κραδασμοί και «ξέπιασμα» μετά το ξεκίνημα.

CAVITATION (Σπηλαίωση)

Σπηλαίωση είναι ο σχηματισμός και «κατάρρευση φυσαλίδων ατμού, μέσα στο ρευστό που αντλείται, ο οποίος προκαλείται από πολύ χαμηλή πίεση (κάτω από τη πίεση ατμών) ή σε υψηλή θερμοκρασία του ρευστού στην αναρρόφηση και πιο συγκεκριμένα στο μάτι της πτερωτής. Η «κατάρρευση» αυτών των φυσαλίδων, προκαλεί πολύ μεγάλη ζημιά και φθορά στην αντλία. Για την σπηλαίωση ακολουθεί αναλυτικότερη περιγραφή παρακάτω

DEAD HEADING (Λειτουργία με κλειστή κατάθλιψη/χωρίς φορτίο)

Αυτή η κατάσταση περιγράφει τη λειτουργία για πολύ ώρα μίας φυγοκεντρικής αντλίας με κλειστή κατάθλιψη ή με μία βάνα στο κύκλωμα κατάθλιψης επίσης κλειστή για πολύ ώρα. Αυτό θα δημιουργήσει θέρμανση και βράσιμο του υγρού που διακινείται από την αντλία.

Παρακάτω παρουσιάζεται πίνακας με τις σημαντικότερες ανωμαλίες και τις αντίστοιχες πιθανές αιτίες, που αφορούν στη λειτουργία μίας Φυγοκεντρικής Αντλίας.

ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ	ΑΙΤΙΑ
• Η αντλία δεν καταθλίβει	1-2-3-4-6-9-11-12-17
• Ανεπαρκής παροχή	2-3-4-5-6-7-8-9-12-15-17-22
• Ανεπαρκής πίεση κατάθλιψης	5-9-11-12-15-22
• Η αντλία ξεπιάνει μετά το ξεκίνημα	2-3-5-6-7-8
• Η αντλία απορροφά πολύ ισχύ	10-11-12-13-14-15-17-18-20-21-23
• Μεγάλη διαρροή σαλαμάστρας	18-20-24
• Μικρή διάρκεια ζωής σαλαμάστρας	9-18-20-23-24
• Κραδασμοί ή θόρυβος	2-3-4-16-17-18-19-20-21-22
• Μικρή διάρκεια ζωής εδράνων	18-20-21-25-26-27-28
• Υπερθέρμανση και κόλλημα της αντλίας	1-4-16-18-21

A. ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΑΝΑΡΡΟΦΗΣΗΣ

1. Αντλία ξεπιασμένη (απώλειες πίεσης στην αναρρόφηση).
2. Αντλία ή γραμμή αναρρόφησης όχι τελείως γεμισμένη με νερό.
3. Πολύ μεγάλο ύψος αναρρόφησης.
4. Ανεπαρκής διαφορά μεταξύ πίεσης αναρρόφησης και τάσης ατμών του υγρού.
5. Πολύ μεγάλη ποσότητα αέρα ή αερίων στο υγρό.
6. Θήλακας αέρα στη γραμμή αναρρόφησης.
7. Είσοδος αέρα στη γραμμή αναρρόφησης.
8. Είσοδος αέρα στην αντλία μέσω της σαλαμάστρα.

B. ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

9. Χαμηλές στροφές.
10. Υψηλές στροφές.
11. Αντίθετη φορά περιστροφής.
12. Το ολικό μανομετρικό ύψος του συστήματος είναι πολύ υψηλότερο εκείνου για το οποίο έχει σχεδιαστεί η αντλία.
13. Το ολικό μανομετρικό ύψος του συστήματος είναι πολύ χαμηλότερο εκείνου για το οποίο έχει σχεδιαστεί η αντλία.
14. Ειδικό βάρος του υγρού διαφορετικό του σχεδιασμού.
15. Ιξώδες του υγρού διαφορετικό του σχεδιασμού.
16. Λειτουργία σε πολύ μικρή παροχή

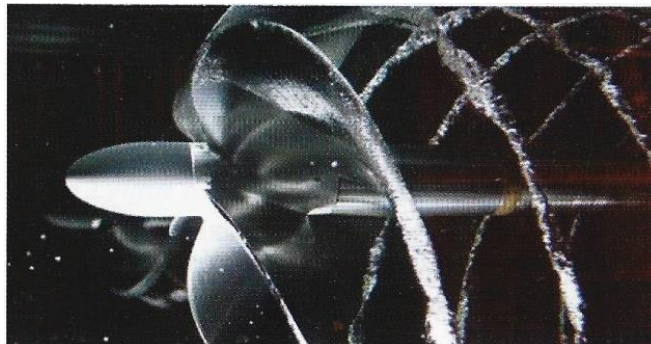
Γ. ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

17. Ξένα σώματα στην πτερωτή.
18. Κακή ευθυγράμμιση.
19. Κακή θεμελίωση-πρόβλημα στη βάση της αντλίας.
20. Στραβός άξονας.
21. Κάποιο περιστρεφόμενο τμήμα βρίσκει σε σταθερό.
22. Ζημιά στη πτερωτή.
23. Στυπιοθλίπτης πολύ σφιγμένος, πράγμα που δεν επιτρέπει ροή δια μέσω της σαλαμάστρας για να την λιπαίνει.
24. Δεν πηγαίνει ψυκτικό υγρό σε σαλαμάστρες που ψύχονται.
25. Υπερβολικό γράσσο ή λάδι στα ρουλεμάν ή μη ψύξη αυτών, με αποτέλεσμα την δημιουργία υψηλών θερμοκρασιών στα έδρανα.
26. Έλλειψη λίπανσης.
27. Κακή τοποθέτηση εδράνων.
28. Ξένα σώματα στα έδρανα.

Σπηλαιώση (CAVITATION)

Ένα από τα πιο σημαντικά προβλήματα που μπορεί να εμφανισθεί σε φυγοκεντρική αντλία είναι το φαινόμενο της σπηλαιώσης.

Η σπηλαιώση (CAVITATION) είναι ο σχηματισμός θυλάκων ή φυσαλίδων (BUBBLES) ατμού του υγρού, που προέρχονται από την εξάτμιση του στις περιοχές όπου η στατική πίεση ελαττώνεται μέχρι τη τιμή της πίεσης κορεσμού των ατμών (του υγρού (για τη θερμοκρασία που επικρατεί σε αυτό το σημείο)).



ΕΙΚΟΝΑ 4.21 : Σχηματισμός φυσαλίδων σπηλαιώσης σε προπέλα

Στις περιοχές αυτές το υγρό βράζει και εξατμίζεται ταχύτατα αλλά καθώς η στατική πίεση στη ροή του υγρού δεν είναι σταθερή, οι φυσαλίδες ατμού μεταφέρονται σε γειτονικές περιοχές όπου η πίεση είναι μεγαλύτερη της πίεσης κορεσμού. Τότε αυτές συμπυκνώνονται -επίσης ταχύτατα- σε υγρό. Ο όγκος κάθε φυσαλίδας ελαττώνεται με τη συμπύκνωση και σημειώνεται μία υδραυλική κρούση. Η κρούση αυτή προκαλεί μία τοπική καταστροφή πάνω στην επιφάνεια κελύφων αντλιών, πτερυγίων πτερωτής κλπ.

Στις αντλίες χαμηλής πίεσης οι περιοχές με σπηλαιώση φαίνονται σπογγώδεις, ενώ σε αντλίες υψηλής πίεσης η σπηλαιώση έχει τη μορφή κοιλοτήτων ή αυλακώσεων.

Η σπηλαιώση εκτός από τις φθορές σε μέταλλα, ελαττώνει και την απόδοση της αντλίας και μάλιστα απότομα. Σαν φαινόμενο συνοδεύεται από αύξηση του επιπέδου κραδασμών, ενώ σε αντλίες υψηλής πίεσης η σπηλαιώση έχει τη μορφή κοιλοτήτων ή αυλακώσεων.

Όσο πιο μεγάλη είναι η αντλία σε μέγεθος, τόσο πιο έντονο είναι το επίπεδο θορύβου και κραδασμών. Η σπηλαιώση συνήθως συμβαίνει στην πλευρά της αναρρόφησης της αντλίας (εσωτερική πλευρά των πτερυγίων της πτερωτής, κοντά στην είσοδο της πτερωτής) και σπανιότερα στη κατάθλιψη.

Γενικά οι **προϋποθέσεις** για την εμφάνιση της σπηλαιώσης είναι οι εξής:

- Η μικρή πίεση σε σύγκριση με τη μέγιστη τάση ατμών (κορεσμού) του υγρού που αντλείται. Έτσι, παρ'όλο ότι οι αντλίες αυξάνουν την πίεση στη κατάθλιψη οπότε δύσκολα εμφανίζεται εκεί σπηλαιώση, στην αναρρόφηση η εξωτερική πίεση (ιδιαίτερα αν η αντλία εργάζεται αντλώντας υγρό από χαμηλότερη στάθμη ή το ύψος αναρρόφησης είναι μεγάλο ή το στόμιο εισόδου στο σωλήνα αναρρόφησης βρίσκεται σε μικρή απόσταση από την επιφάνεια του υγρού) μπορεί εύκολα να πέσει κάτω από την τιμή της πίεσης ατμών του υγρού στη θερμοκρασία λειτουργίας. Το φαινόμενο της σπηλαιώσης είναι δυνατό να αναπτυχθεί σε όλες τις ροές υγρών και ιδιαίτερα στις περιοχές όπου αναπτύσσονται υψηλές τιμές της ταχύτητας της ροής, όπως στις υδροδυναμικές μηχανές (αντλίες, υδροστρόβιλοι και προπέλες), σε βάνες κατά το μερικό κλείσιμο, σε εξαρτήματα όπως διακλαδώσεις κ.λπ. Φυσικά, όσο μικρότερη είναι η μέση στατική πίεση της ροής

λόγο της υδροστατικής πίεσης και μόνον (δηλαδή σε σημεία με υψηλή στάθμη ως προς τη στάθμη αναφοράς) τόσο πιο εύκολη είναι η ανάπτυξη της σπηλαιώσης καθώς μικρή πτώση της στατικής πίεσης, που οφείλεται σε τοπική αύξηση της ταχύτητα ροής, να είναι πιθανώς αρκετή για διαμόρφωση συνθηκών σπηλαιώσης.

- Όταν η παροχή είναι μεγαλύτερη από την κανονική, η σπηλαιώση εμφανίζεται ευκολότερα γιατί αυξάνεται η ταχύτητα ροής με αντίστοιχη πτώση πίεσης.
- Από κινηματική άποψη το σχήμα των γραμμών ροής επηρεάζει την εμφάνιση της σπηλαιώσης. Απότομη αλλαγή διεύθυνση ροής, απότομη διεύρυνση των διόδων ροής μέσα στην αντλία ή κακές συνθήκες εισόδου του υγρού στην πτερωτή είναι δυνατό να προκαλέσουν σπηλαιώση.

Παρακάτω παρουσιάζονται παραδείγματα φθοράς σε πτερωτές φυγοκεντρικών αντλιών που προκλήθηκαν από σπηλαιώση.

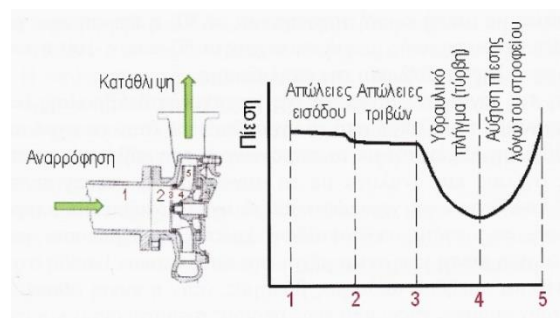


ΕΙΚΟΝΑ 4.22 : Παραδείγματα σπηλαιώσης σε φυγοκεντρική αντλία

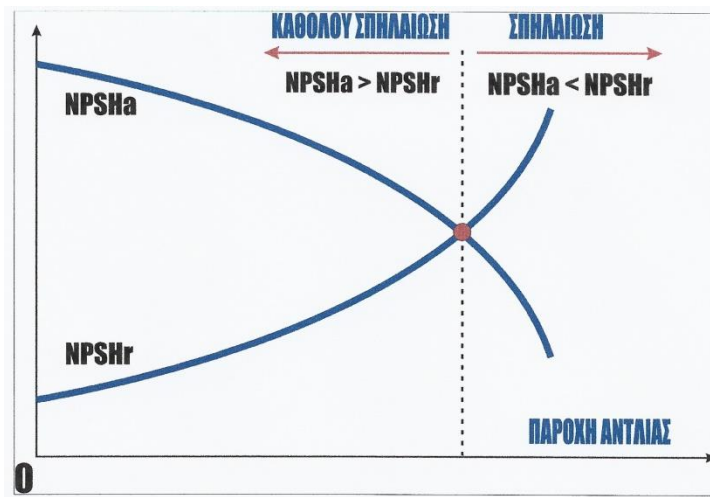
Για να αποφευχθεί η σπηλαιώση, ή τουλάχιστο να κρατηθεί σ' ένα αποδεκτό επίπεδο, πρέπει η πίεση του υγρού μπροστά από το στροφέιο να είναι μεγαλύτερη από την πίεση ατμών ($P_{\text{vapor}} = P_v$) του υγρού κατά ένα συγκεκριμένο ποσό:

$$P_{o,S} - P_v \geq (P_{o,S} - P_v)_{\text{min}} \quad (4.1)$$

όπου: $P_{o,S}$ = η ολική πίεση του υγρού στο σημείο αναφοράς S που θεωρείται το κέντρο του στομίου αναρρόφησης (suction) της αντλίας.



ΕΙΚΟΝΑ 4.23 : Πτώση πίεσης του υγρού κατά την κίνησή του μέσα στην αντλία



ΕΙΚΟΝΑ 4.24 : Διάγραμμα ένδειξης σπηλαίωσης η μη αναφορικά με το $NPSH_a$ και το $NPSH_r$. Το σημείο τομής λέγεται και κρίσιμο σημείο

Συνοπτικά για τη σπηλαίωση ισχύουν τα παρακάτω:

- ✓ Το διαθέσιμο καθαρό θετικό ύψος αναρρόφησης σε μία αντλία, είναι η απόλυτη πίεση στην είσοδο αναρρόφησης της αντλίας.
- ✓ Το απαιτούμενο καθαρό θετικό ύψος αναρρόφησης σε μία αντλία, είναι η ελάχιστη απαιτούμενη πίεση στην αναρρόφηση της αντλίας, ώστε αυτή να μην οδηγηθεί σε συνθήκες σπηλαίωσης.
- ✓ Το διαθέσιμο αφορά και εξαρτάται από παράγοντες λειτουργίας του αντλητικού συστήματος και πρέπει σε κάθε περίπτωση να υπολογίζεται.
- ✓ Το απαιτούμενο εξαρτάται από τεχνικά χαρακτηριστικά της αντλίας και πρέπει να δίνεται από το κατασκευαστή.
- ✓ Το διαθέσιμο θα πρέπει πάντα μεγαλύτερο από το απαιτούμενο, αλλιώς η αντλία θα οδηγείται σε συνθήκες σπηλαίωσης.
- ✓ Η σπηλαίωση σε μία αντλία δημιουργείται όταν η πίεση στο στόμιο αναρρόφησης πέφτει κάτω από τη τάση ατμών του υγρού διεργασίας.
- ✓ Η σπηλαίωση σε μία αντλία συνοδεύεται από πολύ υψηλό επίπεδο θορύβου, κραδασμών και απωλειών παροχής-απόδοσης της αντλίας
- ✓ Η σπηλαίωση προκαλεί πολύ σοβαρή μηχανική καταπόνηση, ζημιά και φθορά στην αντλία, κυρίως στα πτερυγία της πτερωτής.

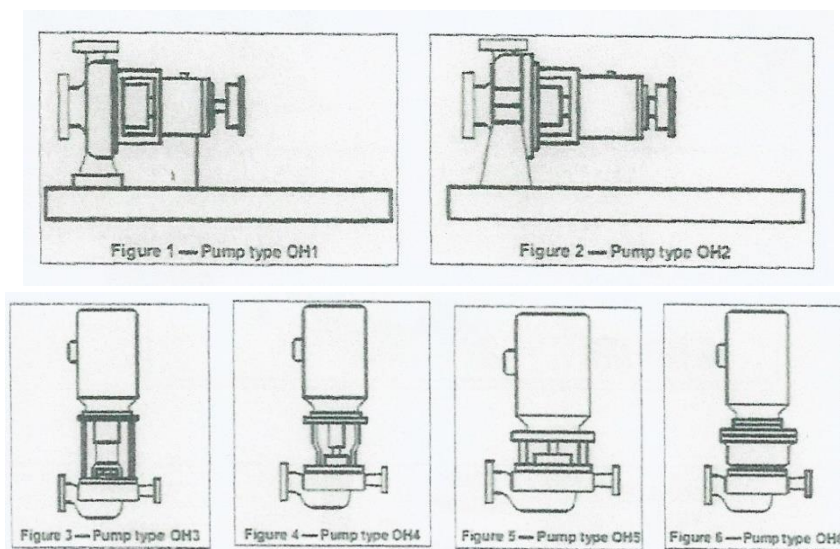
5. ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ

Σύμφωνα με τον κώδικα **AP1-610 Centrifugal Pumps for Petroleum, Petrochemical and Natural Gas Industries** (Φυγοκεντρικές Αντλίες για Πετρελαϊκές Εταιρείες, Πετροχημικών και Φυσικού Αερίου), οι φυγοκεντρικές αντλίες κατατάσσονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες, ανάλογα με τον τύπο τους. Οι κατηγορίες αυτές είναι:

1. Τύπος φυγοκεντρικής αντλίας **OVERHUNG**
2. Τύπος φυγοκεντρικής αντλίας **BETWEEN – BEARINGS**
3. Τύπος φυγοκεντρικής αντλίας **VERTICALLY SUSPENDED**

5.1 Τύπος φυγοκεντρικής αντλίας OVERHUNG

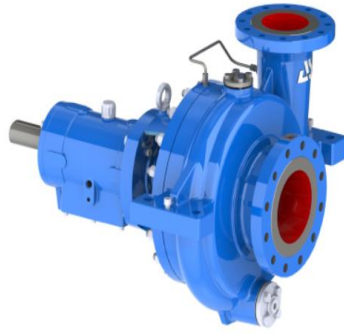
Η λέξη **overhung** σημαίνει προεξοχή, ότι κάτι κρέμεται πάνω από κάτι άλλο. Στην ορολογία των δομικών κατασκευών, το overhung είναι η *μαρκίζα*, δηλαδή το τμήμα της στέγης που προεξέχει από το κατακόρυφο επίπεδο του εξωτερικού τοίχου. Στην κατηγορία αυτή, ανάλογα με τον τρόπο διάταξης / τοποθέτησης της κάθε αντλίας OVERHUNG, υπάρχουν 6 διαφορετικές υποκατηγορίες (**OH1, OH2, OH3, OH4, OH5, OH6**). Για κάθε μία από αυτές τις κατηγορίες υπάρχει και το αντίστοιχο σχέδιο ή εικόνα που τις αντιπροσωπεύει, σύμφωνα πάντα με το κωδικό AP1-610.



ΕΙΚΟΝΑ 5.1 : Οι υποκατηγορίες του τύπου αντλίας OVERHUNG



ΕΙΚΟΝΑ 5.2 : Η φυγοκεντρική αντλία τύπου overhung OH1 για χρήση με πετροχημικά (<http://www.tobeerpump.com/api610-centrifugal-oil-pumps/oh1-petrochemical-process-pump.html>)



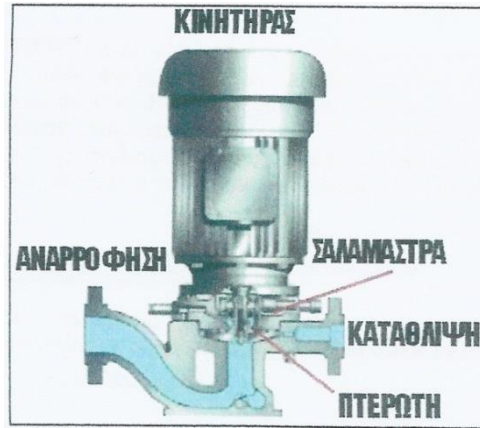
ΕΙΚΟΝΑ 5.3 : Η φυγοκεντρική αντλία τύπου overhung OH2 για χρήση σε διυλιστήριο πετρελαίου σε τομή με όλα τα μέρη της
(<http://www.aryask.com/api-610%2c-oh2-type.html>)



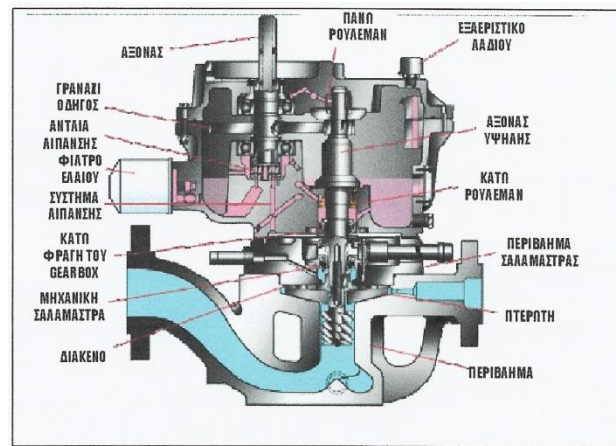
ΕΙΚΟΝΑ 5.4: Η φυγοκεντρική αντλία τύπου overhung OH3 για χρήση σε διυλιστήριο πετρελαίου σε τομή με όλα τα μέρη της
(<http://www.aryask.com/api-610,-oh3-type.html>)



ΕΙΚΟΝΑ 5.5: Η φυγοκεντρική αντλία τύπου overhung OH4 για χρήση σε διυλιστήριο πετρελαίου
(<https://pumpprojects.com/products/api-610-centrifugal-pumps/oh4-vertical-pump/>)



ΕΙΚΟΝΑ 5.6: Η φυγοκεντρική αντλία τύπου overhung OH5 για χρήση σε διυλιστήριο πετρελαίου (<https://www.amarinth.com/products/process-pumps/api-610-pumps/oh5-j-series/>)

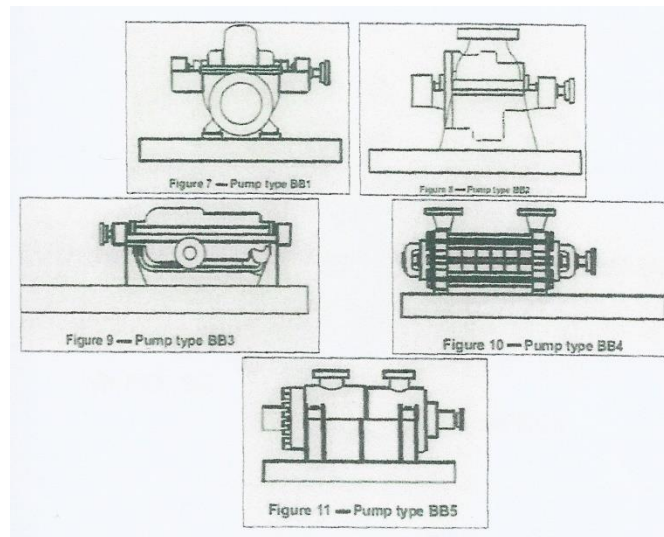


ΕΙΚΟΝΑ 5.7: Η φυγοκεντρική αντλία τύπου overhung OH6 για χρήση σε διυλιστήριο πετρελαίου και σε τομή

(<https://www.sundyne.com/products/integrally-geared-pumps/lmv-341-pump/>)

5.2 Τύπος φυγοκεντρικής αντλίας BETWEEN – BEARINGS

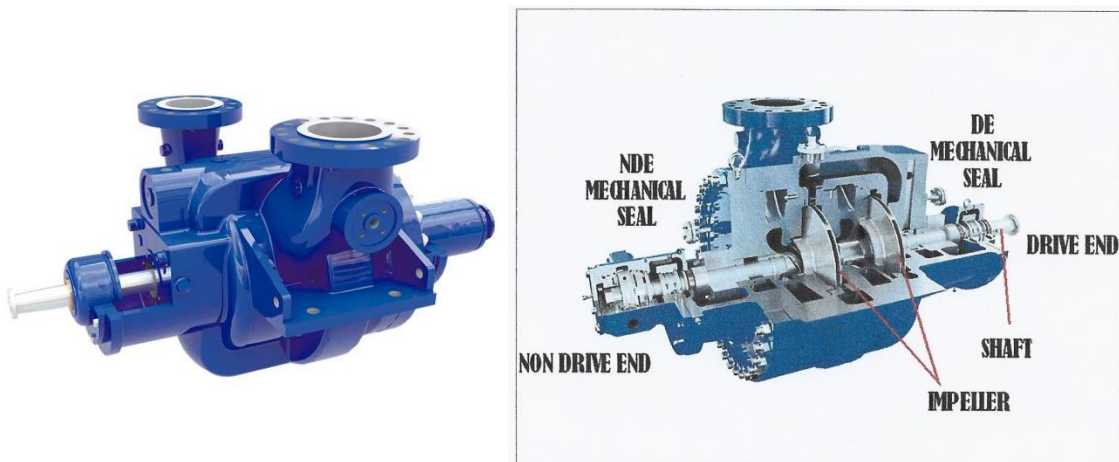
Η έκφραση BETWEEN – BEARINGS, σημαίνει «μεταξύ εδράνων». Αναφέρεται στις φυγοκεντρικές αντλίες όπου ο άξονας τους εδράζεται σε δύο σημεία του, σε δύο του άκρα. Το ένα άκρο αναφέρεται ως **DE** (DRIVE END) και είναι το άκρο προς τον κινητήρα (ή τον στρόβιλο αν πρόκειται για τουρμπίνα ατμού) και το άλλο άκρο αναφέρεται ως **NDE** (NON DRIVE END) δηλαδή το άκρο που είναι από την άλλη πλευρά, όχι δηλαδή προς τον κινητήρα (ή τον στρόβιλο αν η αντλία κινείται μέσω στρόβιλου ατμού). Στην κατηγορία αυτή και ανάλογα το τρόπο διάταξης / τοποθέτησης της κάθε αντλίας BETWEEN – BEARINGS, έχουμε 5 διαφορετικές υποκατηγορίες (**BB1, BB2, BB3, BB4, BB5**). Για κάθε μία από αυτές τις κατηγορίες υπάρχει και το αντίστοιχο σχέδιο ή εικόνα που τις αντιπροσωπεύει, σύμφωνα πάντα με το κωδικό AP1-610.



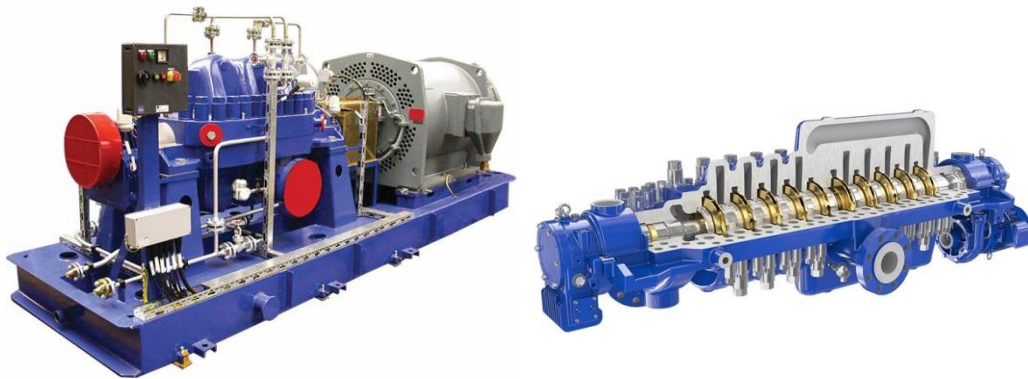
ΕΙΚΟΝΑ 5.8: Οι υποκατηγορίες του τύπου ανλίας BETWEEN-BEARINGS



ΕΙΚΟΝΑ 5.9: Η φυγοκεντρική αντλία τύπου between-bearings BB1 για χρήση σε διυλιστήριο πετρελαίου
 (<http://www.navidsahand.com/en/products/detail/Pump-type-BB1--According-to-API-610/125/view/>)



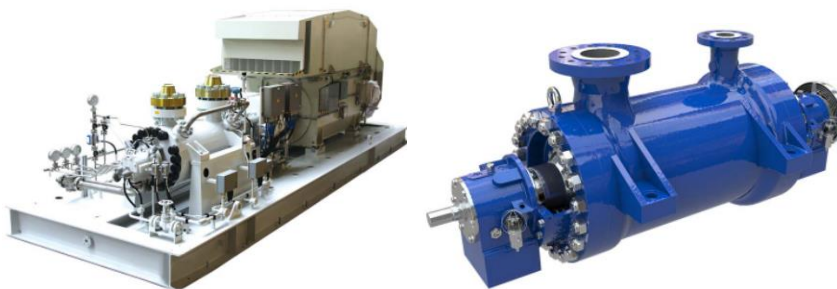
ΕΙΚΟΝΑ 5.10: Η φυγοκεντρική αντλία τύπου between-bearings BB2 για χρήση σε διυλιστήριο πετρελαίου όπου απεικονίζονται το άκρο DE και το άκρο NDE
 (<https://www.ruhrpumpen.com/en/products/between-bearing-pumps/ron-pump/>)



ΕΙΚΟΝΑ 5.11: Η φυγοκεντρική αντλία τύπου between-bearings BB3 για χρήση σε διυλιστήριο πετρελαίου μαζί με μερική τομή της
<https://www.ruhrpumpen.com/en/products/between-bearing-pumps/sm-pump>



ΕΙΚΟΝΑ 5.12: Η φυγοκεντρική αντλία τύπου between-bearings BB4 για χρήση σε διυλιστήριο πετρελαίου μαζί με μερική τομή της
<https://www.ruhrpumpen.com/en/products/between-bearing-pumps/gp-pump>



ΕΙΚΟΝΑ 5.13: Η φυγοκεντρική αντλία τύπου between-bearings BB5 για χρήση σε διυλιστήριο πετρελαίου τοποθετημένη σε εγκατάσταση
<https://www.ruhrpumpen.com/en/products/between-bearing-pumps/a-line-pumps>

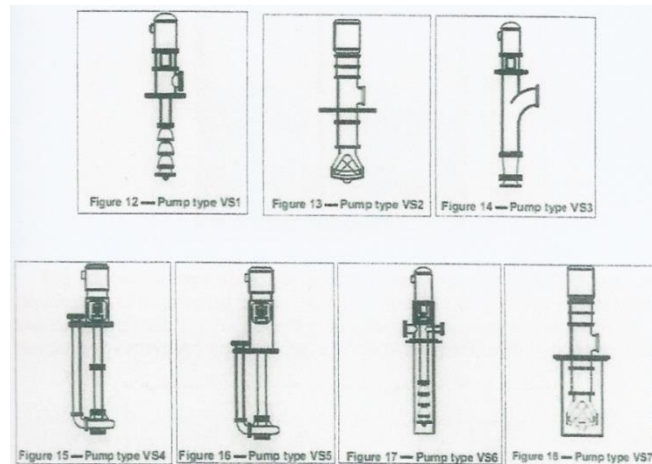
5.3 Τύπος φυγοκεντρικής αντλίας VERTICALLY SUSPENDEED

Η έκφραση «**Vertically Suspended**», αναφέρεται σε κάτι κατακόρυφα αναρτημένο (αιωρούμενο). Αφορά τις αντλίες που είναι βυθισμένες και αναρροφούν από κάποιο pit, όπου συναντούνται και σε κάποιες βιβλιογραφίες με τον όρο «**καταδυτικές**».

Αυτές οι αντλίες είναι φυγοκεντρικές αντλίες που ανήκουν στη μεγάλη κατηγορία των δυναμικών αντλιών. Σε αυτές, ο κινητήρας είναι τοποθετημένος στο επίπεδο του

εδάφους και η μετάδοση τη κίνησης στο κυρίως σώμα της αντλίας που είναι βυθισμένο στο υγρό, γίνεται μέσω κατακόρυφου άξονα μεγάλου μήκους.

Στην κατηγορία τώρα αυτή, ανάλογα με το τρόπο διάταξης / τοποθέτησης της κάθε αντλίας VERTICALLY SUSPENDED (VS), υπάρχουν 7 διαφορετικές υποκατηγορίες (VS1, VS2, VS3, VS4, VS5, VS6, VS7). Για κάθε μία από αυτές τις υποκατηγορίες, παρακάτω υπάρχει και το αντίστοιχο σχέδιο που τις αντιπροσωπεύει, σύμφωνα πάντα με τον κώδικα AP1-610.

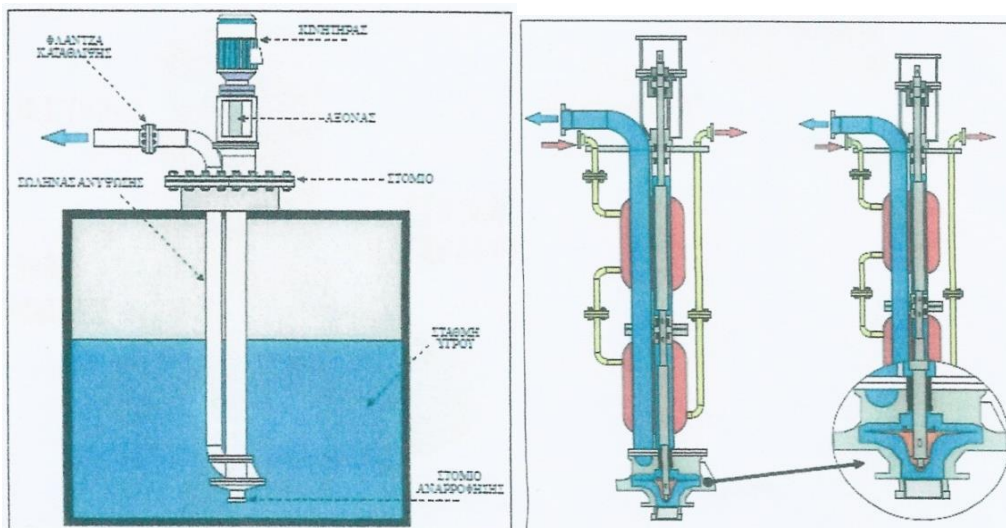


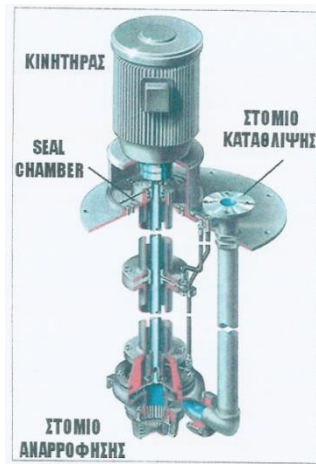
ΕΙΚΟΝΑ 5.14 : Οι υποκατηγορίες του τύπου αντλίας VERTICALLY SUSPENDED

Παρακάτω φαίνονται κάποια παραδείγματα αντλιών αυτού του τύπου καθώς και η διάταξη τους. Τα κυριότερα μέρη από τα οποία αποτελούνται είναι:

- Ο κινητήρας, που όπως αναφέρθηκε είναι στο επίπεδο του εδάφους
- Ο άξονας της αντλίας που περιέχεται μέσα σε έναν σωλήνα
- Ο σωλήνας ανύψωσης του υγρού
- Το στόμιο αναρρόφησης (φλαντζωτή σύνδεση όπου επιτρέπει την εξάρμωση ολόκληρης της αντλίας και μεταφοράς της στο συνεργείο για επισκευή αφού έχει προηγηθεί φυσικά το λύσιμο και αφαίρεση και του κινητήρα)
- Το στόμιο της δεξαμενής όπου είναι τοποθετημένη η αντλία

Στις παρακάτω εικόνες διακρίνονται με μεγάλη λεπτομέρεια και σε μεγέθυνση τα κυριότερα μέρη μίας κατακόρυφης φυγοκεντρικής αντλίας. Εμφανίζεται στο στόμιο αναρρόφησης το φίλτρο αναρρόφησης και στη συνέχεια την πτερωτή της αντλίας. Απο εκεί εισέρχεται το υγρό στην αντλία.





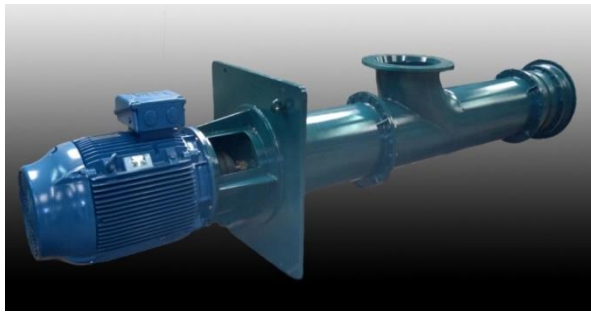
ΕΙΚΟΝΑ 5.15 : Διάταξη της κατακόρυφης φυγοκεντρικής αντλίας



ΕΙΚΟΝΑ 5.16 : Η φυγοκεντρική αντλία τύπου vertically suspended VS1 για χρήση σε διυλιστήριο πετρελαίου με όλα τα μέρη της.
 (<https://www.ruhrpumpen.com/en/products/vertical-pumps/vtp-vertical-turbine-pump>)



ΕΙΚΟΝΑ 5.17 : Η φυγοκεντρική αντλία τύπου vertically suspended VS2.
 (<https://www.delta-p.no/products/api-610-pumps/vs2/>)



ΕΙΚΟΝΑ 5.18 : Η φυγοκεντρική αντλία τύπου vertically suspended VS3
(<https://haishipumps.en.made-in-china.com/product/RyEJNsjOycWX/China-BHA-VS3-Axial-Vertical-Turbine.html>)



ΕΙΚΟΝΑ 5.19 : Η φυγοκεντρική αντλία τύπου vertically suspended VS4 για χρήση σε
διυλιστήριο πετρελαίου σε μερική τομή.
(<https://www.sundyne.com/products/marelli-pumps/marelli-vs4-2/#cutaway>)



ΕΙΚΟΝΑ 5.20 : Η φυγοκεντρική αντλία τύπου vertically suspended VS5 για χρήση σε
διυλιστήριο πετρελαίου.
(<https://www.delta-p.no/products/api-610-pumps/vs5/>)



ΕΙΚΟΝΑ 5.21 : Η φυγοκεντρική αντλία τύπου vertically suspended VS6 διπλής
αναρρόφησης για χρήση σε διυλιστήριο πετρελαίου. (Ο άξονας της αντλίας εισάγεται μέσα
στο μπλέ σωλήνα).
(<https://www.ruhrpumpen.com/en/products/vertical-pumps/vlt-pump>)



ΕΙΚΟΝΑ 5.22 : Η φυγοκεντρική αντλία τύπου vertically suspended VS7 διπλή αναρρόφησης για χρήση σε διυλιστήριο πετρελαίου.

(<https://www.trilliumflow.com/wp-content/uploads/2019/10/API-610-Pumps-for-the-Oil-Gas-Industry-brochure.pdf>)

5.4. Ανωμαλίες Κατακόρυφων Φυγοκεντρικών Αντλιών και Πιθανά Αίτια

ΠΡΟΒΛΗΜΑ	ΠΙΘΑΝΗ ΑΙΤΙΑ
1. Χαμηλή Πίεση	1. Χαμηλή Ταχύτητα
	2. Μη καλή ρύθμιση της πτερωτής
	3. Χαλαρή πτερωτή
	4. Πακτωμένη πτερωτή
	5. Εγκλωβισμένος αέρας στην αντλία
	6. Διαρροές από συνδέσεις
	7. Λάθος φορά περιστροφής
2. Δεν καταθλίβεται υγρό	1. Στάθμη χαμηλότερα από στόμιο αναρρόφησης
	2. Κλειστή η βάνα αναρρόφησης
	3. Πακτωμένη πτερωτή
	4. Βουλωμένο φίλτρο
	5. Χαλαρός άξονας ή σπασμένος
	6. Λάθος φορά περιστροφής
	7. Χαλαρή πτερωτή
3. Κραδασμοί	1. Απευθυγράμμιση κινητήρα
	2. Μη καλή έδραση των ρουλεμάν του κινητήρα
	3. Απευθυγράμμιση μερών της αντλίας
	4. Κυρτωμένος άξονας
	5. Φθαρμένα ρουλεμάν αντλίας
	6. Πακτωμένη πτερωτή ή ξένα υλικά στην αντλία
	7. Κακή ρύθμιση πτερωτής
	8. Φαινόμενα περιδίισης
	9. Συχνότητα συντονισμού κοντά ή ακριβώς στην ταχύτητα της αντλίας
4. Χαμηλή Παροχή	1. Χαμηλή ταχύτητα
	2. Χαλαρή πτερωτή
	3. Μερικώς πακτωμένη πτερωτή
	4. Στραγγαλισμένη βάνα αναρρόφησης
	5. Μερικώ φραγμένο φίλτρο

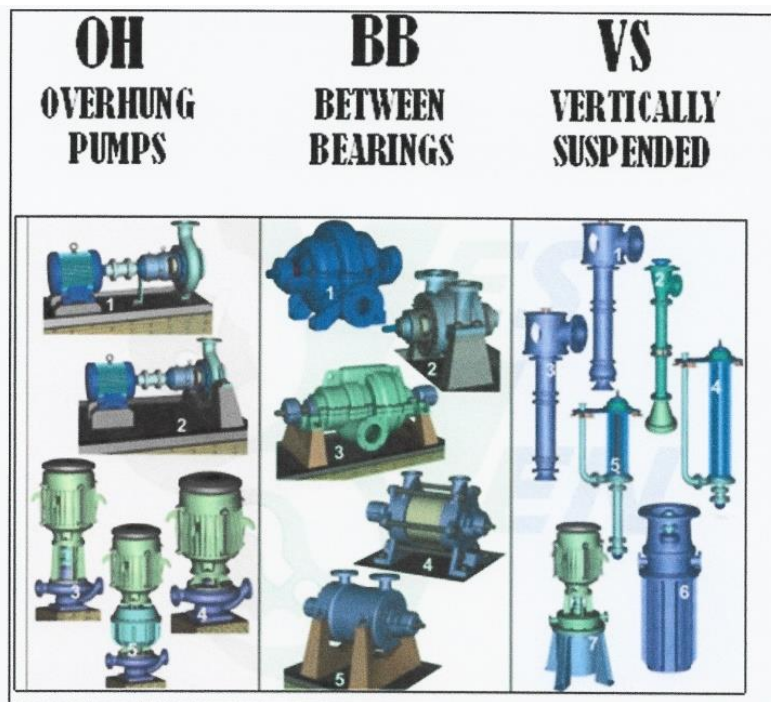
	6. Συνδέσεις που διαρρέουν
	7. Λάθος φορά περιστροφής
5. Ασυνήθιστος θόρυβος	1. Θόρυβος στον κινητήρα
	2. Ξηρά ρουλεμάν
	3. Σπασμένος άξονας
	4. Πτερωτή που «βρίσκει»
	5. Φαινόμενα Σπηλαιώσης
	6. Ξένα φερτά υλικά στην αντλία

5.5. Τρόπος αναγνώρισης τύπου αντλίας

Για να γίνει αντιληπτός ο τύπος της αντλίας απο τις τρεις μεγάλες κατηγορίες πρέπει να ληφθούν υπόψη οι εξής παρατηρήσεις:

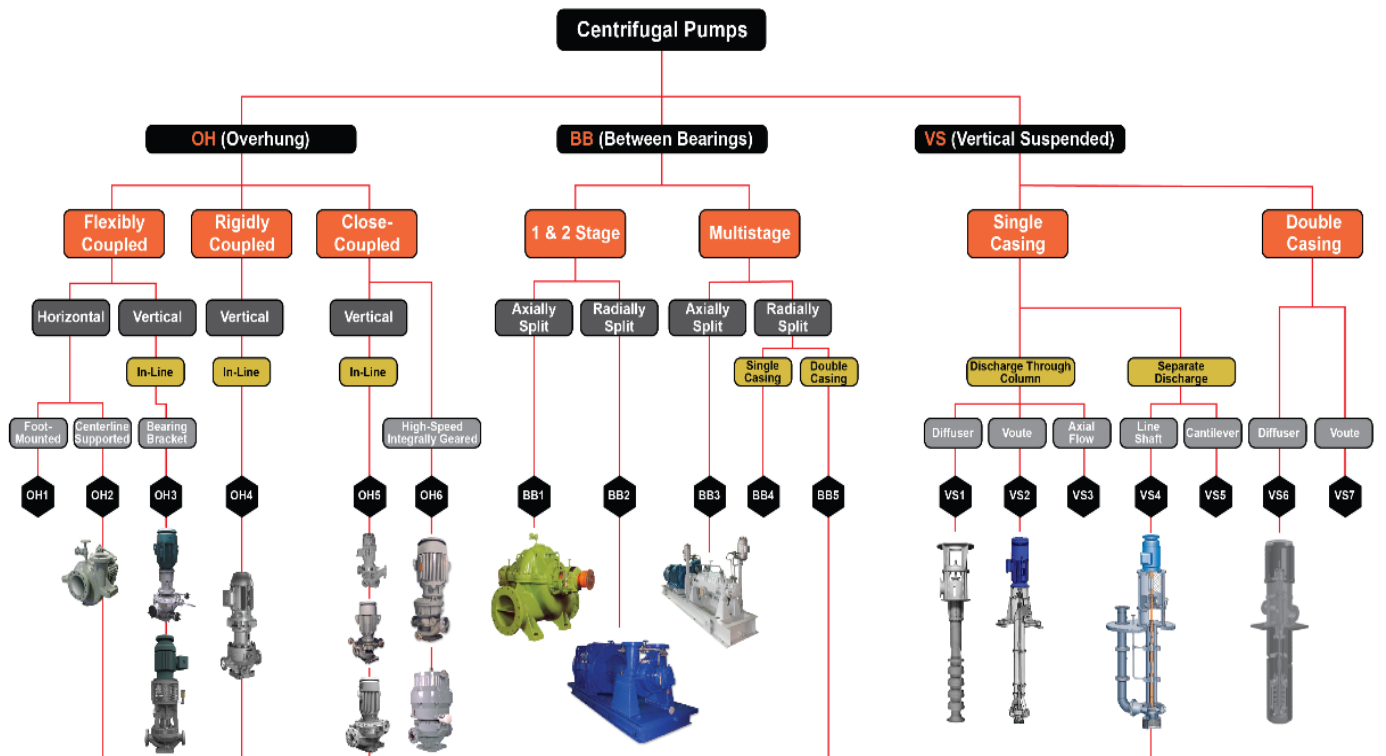
1. Αν η αντλία είναι συνδεδεμένη στον κινητήρα (ή το στρόβιλο) χωρίς άλλο έδρανο (ρουλεμάν) στο άλλο άκρο της και είναι οριζόντια, τότε ανήκει στην κατηγορία **OH (overhung)**.
2. Αν η αντλία εδράζεται σε δύο ρουλεμάν (δηλαδή υπάρχει έδρανο και στο ελεύθερο άκρο της) και είναι οριζόντια, τότε ανήκει στην κατηγορία **BB (between bearings)**.
3. Αν η αντλία είναι κατακόρυφη, αλλά το στόμιο αναρρόφησης είναι βυθισμένο στο υγρό, τότε ανήκει στην κατηγορία **VS (vertically suspended)**.

Παρακάτω παρουσιάζεται ένας συγκεντρωτικός – σχηματικός πίνακας, με όλους τους πιθανούς τύπους φυγοκεντρικών αντλιών.



ΕΙΚΟΝΑ 5.23 :Συγκεντρωτικός-σχηματικός πίνακας με όλους τους τύπους φυγοκεντρικών αντλιών.

API-610

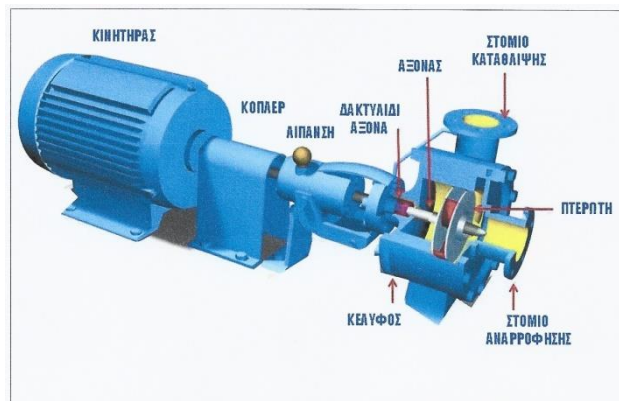


ΕΙΚΟΝΑ 5.24: Συγκεντρωτικός-σχηματικός πίνακας με όλους τους τύπους φυγοκεντρικών αντλιών με τον κωδικό AP1-160 συγκεκριμένης εταιρείας. (<https://www.sundyne.com/applications/api-610/>)

6. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΨΥΞΗΣ-ΛΥΠΑΝΣΗΣ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΑΛΑΜΑΣΤΡΑΣ

6.1 Μηχανικές Σαλαμάστρες

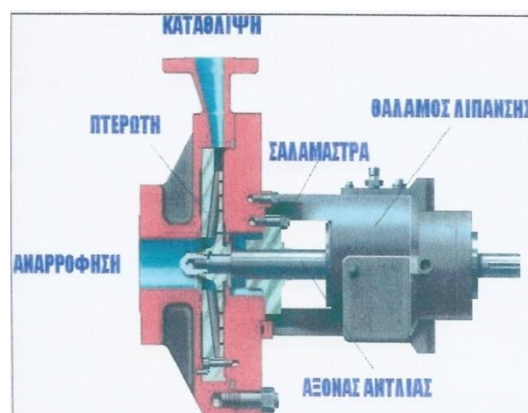
Οι μηχανικές σαλαμάστρες έχουν το σκοπό της αποφυγής της διαρροής ενός ρευστού (υγρού ή αερίου) μέσα από το διάκενο μεταξύ του άξονα και του χώρου όπου βρίσκεται το ρευστό.



ΕΙΚΟΝΑ 6.1 : Η φυγοκεντρική αντλία με όλα τα βασικά της μέρη

Όπως αναφέρθηκε και στις προηγούμενες παραγράφους, η πτερωτή (**IMPELLER**) είναι συνδεδεμένη στο ένα άκρο του άξονα της αντλίας. Η μηχανική σαλαμάστρα (**MECHANICAL SEAL**) είναι εκείνο το εξάρτημα το οποίο στεγανοποιεί το χώρο του ρευστού διεργασίας από το εξωτερικό περιβάλλον. Ο χώρος που βρίσκεται από την πίσω πλευρά της σαλαμάστρας λέγεται **SEAL CHAMBER**.

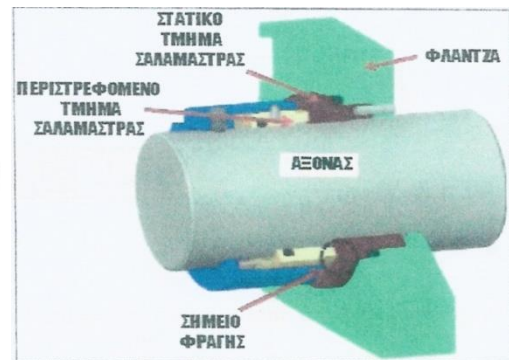
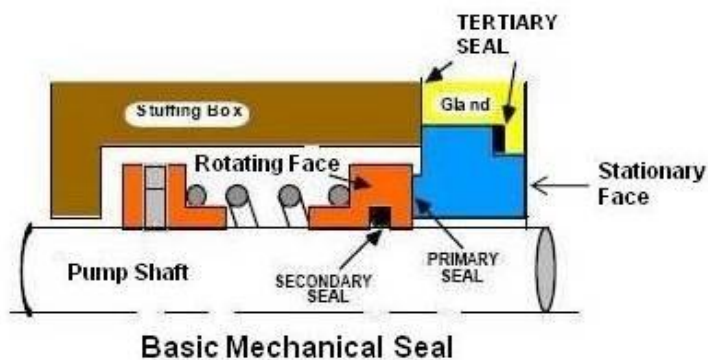
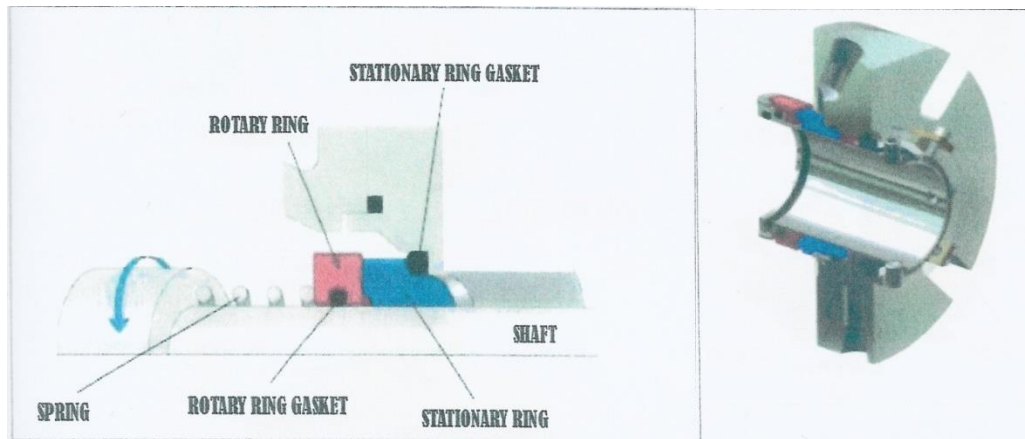
Τα κυριότερα εξαρτήματα μίας μηχανικής σαλαμάστρας είναι οι δακτύλιοι στεγανοποίησης πάνω στους οποίους επιδρά μία δύναμη η οποία οφείλεται στα ελατήρια και μία υδραυλική δύναμη η οποία οφείλεται στην πίεση που βρίσκεται το ρευστό.



ΕΙΚΟΝΑ 6.2 : Η θέση της μηχανικής σαλαμάστρας και του seal chamber (θάλαμος λίπανσης) πάνω στην αντλία μαζί με όλα τα βασικά μέρη της

Ο δακτύλιος στεγανοποίησης, ο οποίος περιστρέφεται μαζί με τον άξονα, λέγεται περιστρεφόμενος δακτύλιος (**ROTARY RING**) ενώ ο δακτύλιος που είναι στερωμένος πάνω στο περίβλημά του εξοπλισμού λέγεται στατικός δακτύλιος (**STATIONARY RING**).

Ο περιστρεφόμενος δακτύλιος (με κόκκινο χρώμα στις παρακάτω εικόνες) είναι προς την πλευρά της πτερωτής, ενώ ο στατικός δακτύλιος (με μπλέ χρώμα) προς τη πλευρά του άξονα.



ΕΙΚΟΝΑ 6.3 : Η μηχανική σαλαμάστρα πάνω στον άξονα της αντλίας (<https://practicalmaintenance.net/?p=259>) (Πηγή εικόνας κάτω αριστερά)

Ένας απλός σχεδιασμός μίας μηχανικής σαλαμάστρας αποτελείται από 7 τμήματα:

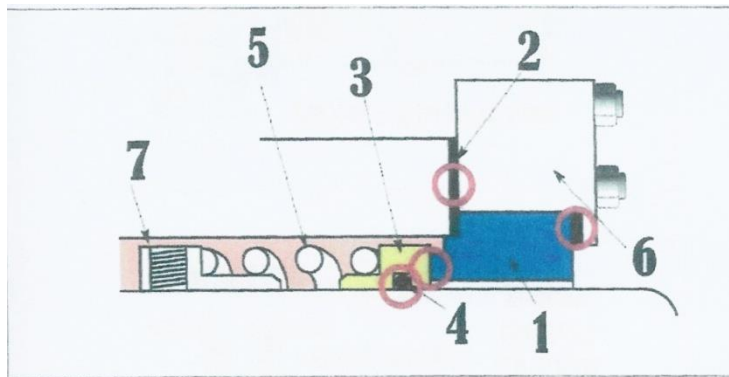
1. Σταθερό τμήμα – εξάρτημα συνήθως αναφέρεται σαν έδρα (seat)
2. Σημείο φραγής (επιφάνεια φραγής) του σταθερού εξαρτήματος
3. Περιστρεφόμενο εξάρτημα
4. Σημείο φραγής (επιφάνεια φραγής) του περιστρεφόμενου εξαρτήματος
5. Ελατήριο (spring)
6. Στυπιοθλίπτης (gland)
7. Δακτύλιος συγκράτησης (clamp ring)

Μία μηχανική σαλαμάστρα έχει 4 κύρια σημεία φραγής (κύκλοι με κόκκινο χρώμα στη παρακάτω εικόνα).

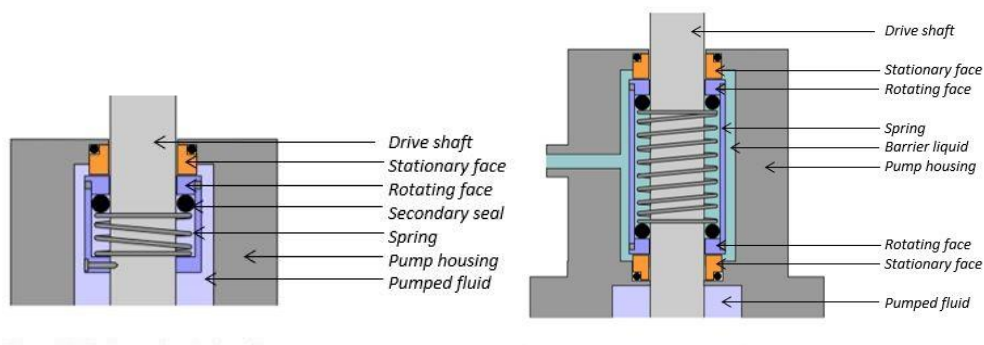
- Η φραγή μεταξύ της στρεφόμενης επιφάνειας (3) και της σταθερής επιφάνειας (1). Αυτό το σημείο λέγεται πρωτεύουσα φραγή (**primary seal**).
- Η φραγή μεταξύ του σταθερού μέλους (1) και της επιφάνειας της τσιμούχας (gasket) του στυπιοθλίπτη.

- Η φραγή μεταξύ του στρεφόμενου μέλους και του άξονα. Αυτό το σημείο λέγεται δευτερεύουσα φραγή (**secondary seal**).
- Η φραγή μεταξύ του στυπιοθλίπτη και του στυπιοθαλάμου.

Η πρωτεύουσα φραγή είναι η βάση στο σχεδιασμό μίας μηχανικής σαλαμάστρας. Το περιστρεφόμενο τμήμα και το στατικό τμήμα πιέζουν το ένα το άλλο, μέσω δύναμης ελατηρίου. Όσο πιο επίπεδες είναι οι επιφάνειες σε αυτά τα δύο τμήματα, τόσο ελαχιστοποιείται ή καλύτερα μηδενίζεται ο βαθμός διαρροής.



ΕΙΚΟΝΑ 6.4 : Τα τμήματα που αποτελείται η μηχανική σαλαμάστρα



ΕΙΚΟΝΑ 6.5 : Μονή (Αριστερά) και Διπλή (Δεξιά) μηχανική σαλαμάστρα
(<https://www.michael-smith-engineers.co.uk/resources/useful-info/pump-shaft-seals>)

ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΚΑΤΑΛΗΛΟΥ ΤΥΠΟΥ ΣΑΛΑΜΑΣΤΡΑΣ

Η κατάλληλη επιλογή μίας μηχανικής σαλαμάστρας μπορεί να γίνει μόνον όταν είναι γνωστές πλήρως οι παρακάτω κύριες και σημαντικές συνθήκες.

ΥΓΡΟ

Η αναγνώριση της ακριβούς ταυτότητας του υγρού που πρόκειται να διακινηθεί είναι το πρώτο βήμα για την επιλογή μίας σαλαμάστρας. Τα μεταλλικά μέρη, πρέπει να είναι ανθεκτικά στη διάβρωση όπου συνήθως είναι ασάλι, χαλκός, ανοξείδωτος χάλυβας ή κράμα νικελίου-μολυβδαινίου (Hastelloy). Τα πρόσωπα που έρχονται σε επαφή και οι επιφάνειες, πρέπει να είναι ανθεκτικά στη διάβρωση και τη φθορά. Σαν τέτοια μπορούν να υπολογισθούν ο άνθρακας, κεραμικά, καρβίδια του πυριτίου. Τα σταθερά μέρη μπορεί να είναι από Buna (ένα ιδιαίτερα ανθεκτικό ελαστομερές υλικό) και Viton (επίσης ελαστομερές πολυμερές υλικό) ή τεφλόν.

ΠΙΕΣΗ

Ο κατάλληλος τύπος σαλαμάστρας βασίζεται στην πίεση που ασκείται πάνω στη σαλαμάστρα και στο μέγεθός της.Επομένως παίζει ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στην επιλογή και στο σχεδιασμό.

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

Καθορίζει τη χρήση και τις ιδιότητες των μερών που χρειάζονται στη φραγή καθώς και τα υλικά κατασκευής αυτών όπου θα πρέπει να μπορούν να διαχειριστούν τη θερμοκρασία του υγρού.

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΥΓΡΟΥ

Τα υγρά που έχουν ιδιότητες λείανσης, δημιουργούν υπερβολική φθορά και μειώνουν το χρόνο ζωής της σαλαμάστρας.Διπλές σαλαμάστρες ή καθαρά υγρά flushing προερχόμενα από μία εξωτερική πηγή, επιτρέπουν τη λειτουργία της σαλαμάστρας όταν πρόκειται να διακινηθούν τόσο δύσκολα υγρά.Όταν πρόκειται για ελαφρείς υδρογονάνθρακες, χρησιμοποιούνται συνήθως balanced σαλαμάστρες, οι οποίες παρουσιάζουν μεγαλύτερο χρόνο ζωής.

ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΚΑΙ ΑΠΟΦΥΓΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ/ΔΙΑΡΡΩΩΝ

Ο τύπος σαλαμάστρας αλλά και η επιλογή του κατάλληλου flushing arrangement, εξαρτώνται και από τις απαιτήσεις αξιοπιστίας της ίδιας της αντλίας αλλά και τις προδιαγραφές εκπομπών / διαρροών του χώρου και της εφαρμογής, δηλαδή στην περίπτωση εκπομπής στην ατμόσφαιρα.

6.2. Συστήματα-διατάξεις Flush Plans σύμφωνα με το κωδικό API-682

Εάν τα πρόσωπα της μηχανικής σαλαμάστρας περιστρέφονται το ένα απέναντι στο άλλο, χωρίς κάποιας μορφής λίπανσης, θα φθαρούν και η φραγή θα αστοχήσει, λόγω της τριβής και της παραγόμενης θερμότητας.

Τα πρόσωπα της φραγής, μπορούν να λιπαίνονται τόσο από το ίδιο το ρευστό διεργασίας όσο και από ένα άλλο κατάλληλο ρευστό.Ένα σταθερό και πλήρες στρώμα λίπανσης, επηρεάζει θετικά την απόδοση και το χρόνο ζωής – καλής λειτουργίας μίας μηχανικής σαλαμάστρας.

Για κάθε μηχανική σαλαμάστρα φυγοκεντρικής αντλίας, επιλέγεται ένα σύστημα – διάταξη ψύξης το οποίο θεωρείται και είναι αναπόσπαστο τμήμα του αντλητικού συστήματος.

Αυτά τα συστήματα ονομάζονται Flush Plans και καθορίζονται από τον κατασκευαστή της μηχανικής σαλαμάστρας με βάση των κώδικα API-682.

Με στόχο να εξασφαλισθεί καλή λίπανση και κατάλληλη ψύξη των δακτυλίων φραγής, η σωστή επιλογή του κάθε συστήματος ψύξης / λίπανσης βασίζεται κύρια στις παρακάτω παραμέτρους.

- Θερμοκρασία του ρευστού διεργασίας
- Πίεση εξάτμισης στη θερμοκρασία λειτουργίας
- Χαρακτηριστικά του ρευστού διεργασίας (χημικές ιδιότητες)
- Ταχύτητα περιστροφής του άξονα

Ο κύριος σκοπός των συστημάτων Flush Plans, είναι:

- Να απομακρύνουν τη θερμότητα που τείνει να δημιουργηθεί στα πρόσωπα και επιφάνειες της σαλαμάστρας
- Να μειώνουν τη θερμοκρασία του ρευστού
- Να μεταβάλλουν την πίεση του seal chamber (θάλαμος λίπανσης)
- Να «καθαρίζουν» τα ρευστά διεργασίας
- Να ελέγχουν την ατμοσφαιρική πλευρά της σαλαμάστρας
- Να περιορίζουν στο ελάχιστο τυχόν διαρροή
- Να ανιχνεύουν διαρροή μέσω των οργάνων που περιλαμβάνουν στις διατάξεις τους
- Να οδηγήσουν τυχόν διαρροή σε κατάλληλο και ασφαλές σημείο (π.χ. προς ένα σύστημα εκτόνωσης Blow Down) και
- Να μπορούν να παρέχουν διαφορετικό ρευστό από το ρευστό διεργασίας για το περιβάλλον της σαλαμάστρας.

Πριν γίνει ανάλυση των κυριότερων Flush Plans θα πρέπει να δωθούν οι εξείς τέσσερις πολύ βασικοί ορισμοί των παρακάτω όρων:

Barrier Fluid

Ένα ρευστό που παρέχεται εξωτερικά (από εξωτερική πηγή) το οποίο είναι σε πίεση μεγαλύτερη από την πίεση του seal chamber με στόχο την πλήρη απομόνωση του ρευστού διεργασίας από το περιβάλλον.

Buffer Fluid

Ένα ρευστό που παρέχεται εξωτερικά (από εξωτερική πηγή) το οποίο είναι σε πίεση χαμηλότερη από την πίεση του seal chamber που χρησιμεύει ως λιπαντικό ή/και αραιωτικό.

Flush Plan

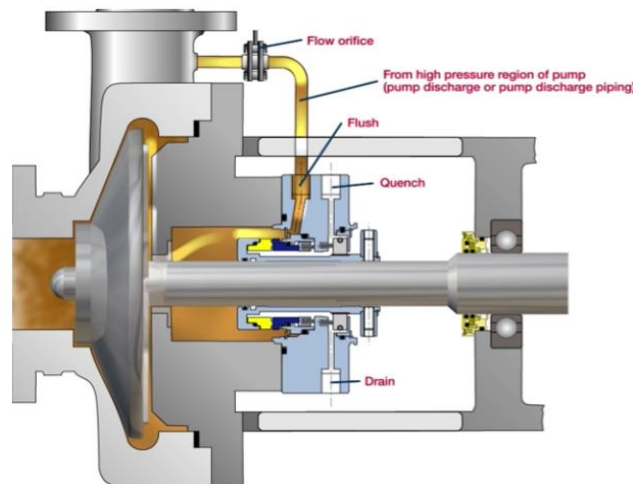
Διάταξη από σωληνώσεις, όργανα και ελέγχους, η οποία είναι σχεδιασμένη για το ρευστό που αφορά το σύστημα φραγής.

Seal Chamber

Περιοχή ανάμεσα στον άξονα και το περίβλημα, μέσα στην οποία βρίσκεται η φραγή του άξονα.

Στις επόμενες παραγράφους, δίνονται αναλυτικές παρουσιάσεις και περιγραφές των κυριότερων συστημάτων – διατάξεων Flush Plans σύμφωνα πάντα με τον κώδικα API-682.

API-11 FLUSH PLAN



EIKONA 6.6 : Η διάταξη API-11 Flush Plan

(<https://www.aesseal.com/en/resources/api-plans/api-plan-11>)

(*quench*: Ορίζεται από τον κώδικα API-682 ως “ένα ουδέτερο υγρό, συνήθως νερό ή ατμός, το οποίο εισάγεται στην ατμοσφαιρική πλευρά της μηχανικής σαλαμάστρας για να καθυστερήσει τον σχηματισμό στερών που μπορεί να επηρεάσουν τη κίνηση της σαλαμάστρας. Το άζωτο είναι ένα άλλο υγρό για αυτή τη διεργασία.

Το API-11 είναι το πιο κοινό και συνηθισμένο Flush Plan. Με αυτή τη διάταξη, ρευστό από την κατάθλιψη της αντλίας, μέσω ενός flow ή restriction orifice περνάει προς το seal chamber έτσι ώστε να παρέχει ψύξη και λίπανση στα πρόσωπα φραγής.

Με αυτό το σύστημα λοιπόν, επιτυγχάνεται λίπανση και ταυτόχρονα απομάκρυνση της παραγόμενης θερμότητας. Επίσης με αυτό το σύστημα είναι δυνατόν να επιτευχθεί αύξηση της πίεσης στο seal chamber, ιδιαίτερα όταν η πίεση αναρρόφησης είναι κοντά στην τάση ατμών του υγρού διακίνησης της αντλίας.

Η οπή του restriction orifice (περιοριστικό στόμιο), είναι συγκεκριμένης διαμέτρου, ώστε να περνά η ποσότητα που έχει ορισθεί προς τη σαλαμάστρα. Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα του συστήματος αυτού, είναι ότι δεν υπάρχει καμία περίπτωση επιμόλυνσης του προϊόντος, καθώς είναι το ίδιο ρευστό διεργασίας και επίσης η όλη διάταξη είναι πολύ απλή. Δηλαδή πέρα από την ύπαρξη του orifice δεν υπάρχουν άλλα fittings ή όργανα.

Εδώ θέλει μία ιδιαίτερη προσοχή ώστε να μην υπάρξει βούλωμα της γραμμής ή πολύ πιο συνηθισμένο να φράξει το orifice. Αυτό γίνεται εύκολα αντιληπτό, πιάνοντας ή μετρώντας με θερμοκάμερα τη θερμοκρασία της γραμμής. Με την αφή μάλιστα, είναι πιο εύκολο και πιο άμεσα αντιληπτό, καθώς τέτοια συστήματα ψύξης δεν τοποθετούνται σε ιδιαίτερα θερμές αντλίες. Πρακτικά λοιπόν, ακουμπώντας με προσοχή ελαφρά το λαιμό κατάθλιψης και το σημείο της γραμμής μετά ακριβώς το orifice, γίνεται αντιληπτή τυχόν διαφορά στη θερμοκρασία.

Σε περίπτωση που είναι κρύα η γραμμή, τότε σημαίνει ότι δεν διέρχεται υγρό από το orifice και πιθανόν να υπάρχει κάποιο φράξιμο σε αυτό. Τότε, θα πρέπει να γίνει αλλαγή στην αντλία και να καθαρισθεί η γραμμή και φυσικά να λυθεί και καθαρισθεί το orifice.

Σε περίπτωση που η αντλία διακινεί ένα σχετικά θερμό υγρό είναι, όπως έγινε αναφορά παραπάνω, σχετικά εύκολο να γίνει αντιληπτή (είτε δια της επαφής είτε μέσω ενός οργάνου) η διαφορά θερμοκρασίας, όταν η γραμμή seal flush βουλώνει ή είναι βουλωμένη.

Πως όμως γίνεται αναγνώριση ενός πιθανού φραξίματος στη γραμμή, όταν η αντλία διακινεί ένα κρύο υγρό;

Σε αυτή τη περίπτωση, η γραμμή seal flush θα είναι ζεστή, όσο πιο κοντά είναι στην είσοδο της στη σαλαμάστρα ενώ όσο πιο μακριά, τόσο πιο κρύα θα είναι η γραμμή. Αυτό γίνεται διότι, αφού η γραμμή seal flush είναι φραγμένη, η σαλαμάστρα θερμαίνεται (δεν υπάρχει απομάκρυνση της παραγόμενης θερμότητας) κι έτσι υπάρχει μετάδοση της θερμότητας από τα πρόσωπα της σαλαμάστρας στη γραμμή seal flush.

ΠΡΟΣΟΧΗ

Σε καμία περίπτωση, όταν υπάρξει φράξιμο στη γραμμή seal flush, δεν επιτρέπεται να «κτυπηθεί» με κάποιο αντικείμενο η γραμμή με στόχο αυτή να ξεβουλώσει. Πρόκειται για πολύ λεπτά σωληνάκια, τα οποία είναι βιδωμένα σε μούφα στο λαιμό κατάθλιψης και αντίστοιχα στο port (είσοδο) της σαλαμάστρας και υπάρχει κίνδυνος να προκληθεί ζημιά. Τα σωληνάκια αυτά είναι συνήθως ½” NPS (SCH-80) και είναι προφανές ότι με το κτύπημα μπορεί να προκληθεί ζημιά.

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Δεν υπάρχει μόλυνση του προϊόντος. Το υγρό της γραμμής seal flush έρχεται από την αντλία και πηγαίνει πίσω στην αντλία
- Δεν υπάρχει επανεπεξεργασία του προϊόντος. Σε αντίθεση με εξωτερικό flush, το προϊόν δεν χρειάζεται να επανεπεξεργαστεί.
- Απλοϊκές σωληνώσεις. Οι σωληνώσεις αποτελούνται μόνο από σωλήνα και ένα στόμιο, εάν απαιτείται.
- Με ένα σωστό μέγεθος στομίου και δακτυλίων στεγανοποίησης οδηγεί σε υψηλότερη πίεση του θαλάμου στεγανοποίησης, ενώ το περιθώριο πίεσης ατμών μπορεί να αυξηθεί.

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

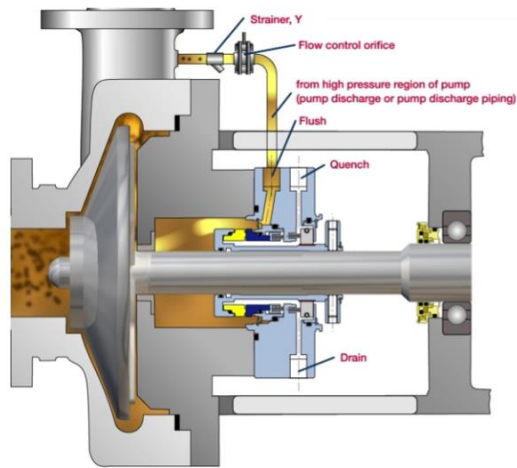
- Εάν το προϊόν μέσα στην αντλία δεν είναι καλό λιπαντικό για τα πρόσωπα φραγής ή είναι βρώμικο, η σαλαμάστρα μπορεί να υποστεί ζημιά ή να φράξει.
- Το flush πρέπει να αντληθεί ξανά. Η κυκλοφορία από την κατάθλιψη πίσω στην αναρρόφηση της αντλίας μειώνει την απόδοση της και αυξάνεται η απαιτούμενη ισχύς για την εγκατάσταση. Συνήθως ο όγκος του flush είναι πολύ μικρός σε σχέση με την ικανότητα της αντλίας και επομένως η επίδραση στην απόδοση είναι πολύ μικρή.

API-12 FLUSH PLAN

Το API-12 είναι κι αυτό ένα κοινό και συνηθισμένο Flush Plan. Με αυτή τη διάταξη, ρευστό από την κατάθλιψη της αντλίας, μέσω ενός restriction orifice περνάει προς το seal chamber έτσι ώστε να παρέχει ψύξη και λίπανση στα πρόσωπα φραγής.

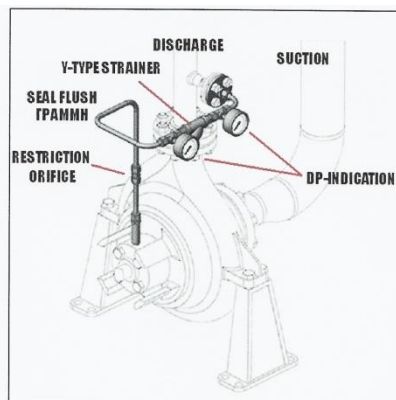
Με αυτό το σύστημα λοιπόν, επιτυγχάνεται λίπανση και ταυτόχρονα απομάκρυνση της παραγόμενης θερμότητας. Επίσης με αυτό το σύστημα, πετυχαίνεται αύξηση της πίεσης στο seal chamber, ιδιαίτερα όταν η πίεση αναρρόφησης είναι κοντά στην τάση ατμών του υγρού διακίνησης της αντλίας.

Η μόνη διαφορά με το API-11, είναι ότι εδώ υπάρχει ένα μικρό φίλτρο στη γραμμή πριν από το restriction orifice.



ΕΙΚΟΝΑ 6.7 : Η διάταξη API-12 Flush Plan
 (<https://www.aesseal.com/en/resources/api-plans/api-plan-12>)

Υπάρχουν διατάξεις με το API-12 Flush Plan, όπου πέρα από την ύπαρξη φίλτρου (Y-type strainer) και του restriction orifice, υπάρχει στη γραμμή πάνω, ενδεικτικό DP, ή ακόμη και διακόπτης alarm, ώστε να ειδοποιεί στην περίπτωση υψηλής διαφοράς πίεσης και άρα σημάδι ανάγκης καθαρισμού του φίλτρου πριν το restriction orifice. Μία τέτοια διάταξη φαίνεται στο παρακάτω σχέδιο.



ΕΙΚΟΝΑ 6.8 : Η διάταξη API-12 Flush Plan με ενδεικτικό DP-Indication

Πάντως να σημειωθεί εδώ, ότι σύμφωνα με τον κώδικα API-682, γενικά τα φίλτρα αυτά δεν συστήνονται, καθώς το βούλωμα του φίλτρου θα προκαλέσει αστοχία στη σαλαμάστρα.

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Δεν υπάρχει επιμόλυνση του προϊόντος από εξωτερικές πηγές
- Σχετικά απλή διάταξη σωληνώσεων
- Δεν υπάρχει επανεπεξεργασία του προϊόντος
- Τα στερά σωματίδια αφαιρούνται από τη ροή του flush κρατώντας το seal chamber καθαρό

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Εάν το προϊόν μέσα στην αντλία δεν είναι καλό λιπαντικό για τα πρόσωπα φραγής, ή έχει πολύ μεγάλο ή μικρό ιξώδες, η σαλαμάστρα μπορεί να υποστεί ζημιά ανάλογα με τον συνδυασμο υλικών των προσώπων φραγής.
- Το flush ρευστό επανακυκλοφορείται
- Το Y-type strainer ή το φίλτρο μπορεί να βουλώσουν με τη πάροδο του χρόνου

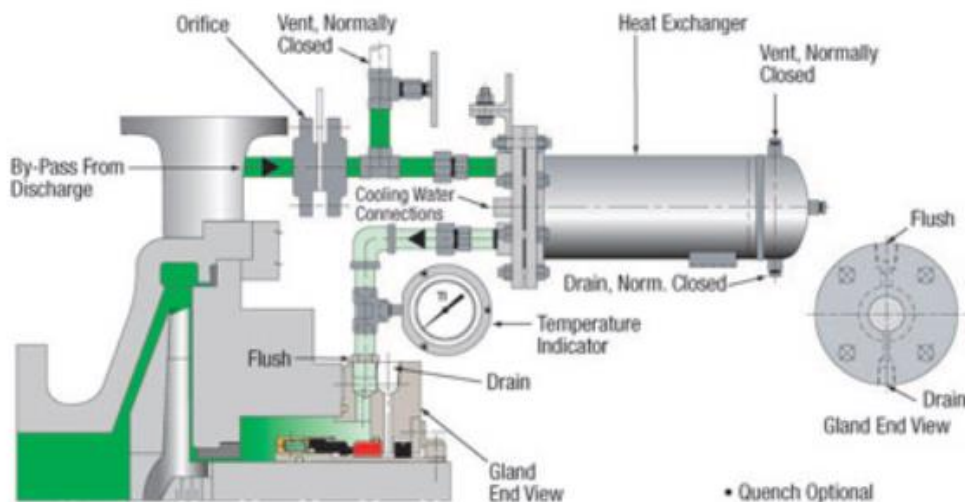
API-21/22 FLUSH PLAN

Τα API-21/22 Flush Plan, είναι δύο πανομοιότυπα συστήματα, τα οποία περιλαμβάνουν ένα ρευστό προς τη σαλαμάστρα, το οποίο προέρχεται από την κατάθλιψη της αντλίας και οδηγείται προς τη μηχανική σαλαμάστρα. Η μόνη διαφορά είναι ότι στο API-22 υπάρχει τοποθετημένο ένα Y-type strainer πριν το restriction orifice.

Η όλη διάταξη περιλαμβάνει ένα restriction orifice, στο σημείο από το οποίο προέρχεται το ρευστό (κατάθλιψη), στη συνέχεια ψύχεται μέσω cooling water σε έναν εναλλάκτη και από την έξοδο του εναλλάκτη οδηγείται προς τη σαλαμάστρα. Στην έξοδο του ρευστού από τον εναλλάκτη ψύξης, υπάρχει ενδεικτικό θερμοκρασίας, ώστε να γίνεται έλεγχος της θερμοκρασίας του ρευστού που οδηγείται στη σαλαμάστρα.

Ο σκοπός αυτού του συστήματος είναι να βοηθήσει στη λίπανση και απομάκρυνση θερμότητας στη μηχανική σαλαμάστρα. Η μείωση της θερμότητας συνήθως απαιτείται όταν οι συνθήκες στο seal chamber είναι κοντά στην τάση ατμών του υγρού που διακινείται. Ο στόχος είναι να μειωθεί η θερμοκρασία μέσω του cooler του ρευστού flush προς τη σαλαμάστρα, ώστε να εξασφαλισθεί ότι η θερμοκρασία στο seal chamber διατηρείται σε τέτοια επίπεδα με αποτέλεσμα η τάση ατμών σε αυτή τη θερμοκρασία να είναι τουλάχιστον 50 psi πιο χαμηλά από την πίεση στο seal chamber.

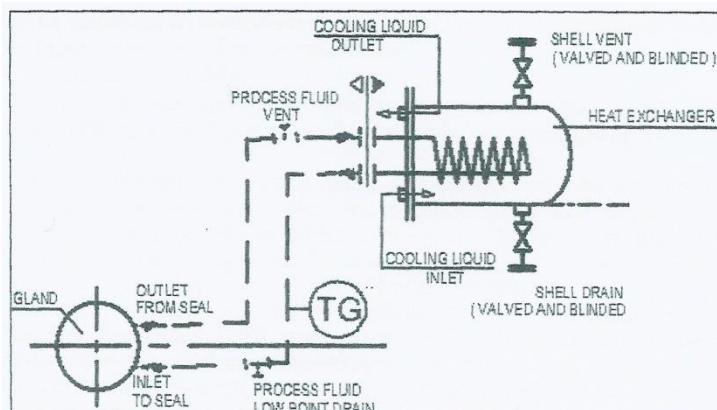
Σε αυτά τα coolers το νερό ψύξης περνά από το κέλυφος ενώ από το εσωτερικό coil (tube side) περνά το seal flush fluid. Στη γραμμή εξόδου του νερού ψύξης συνήθως τοποθετείται ένα sight flow glass (τοπικό όργανο ένδειξης ροής) και αυτό είναι το χαρακτηριστικό από όπου εύκολα ξεχωρίζεται η γραμμή εξόδου.



EΙΚΟΝΑ 6.9 : Η διάταξη API-21 Flush Plan

(<https://www.pumpsandsystems.com/circulation-systems-single-and-multiple-seal-arrangements-part-two>)

Να αναφερθεί ότι τα coolers (heat exchanger) έχουν στο σώμα τους (πλευρά κελύφους από όπου περνά το νερό ψύξης) εξαεριστικό και αποστραγγιστικό. Το vent (εξαεριστικό) χρησιμεύει για εξαέρωση, ενώ το drain (αποστραγγιστικό) βοηθάει στην απομάκρυνση τυχόν συσσωρευμένων στερεών ή άλλων ακαθαρσιών στην πλευρά του ρευστού.



ΕΙΚΟΝΑ 6.10 : Η διάταξη API-21 Flush Plan με το vent και το drain του cooler

Σε αυτό το σύστημα μπορεί να ελεγχθεί η θερμοκρασία εξόδου του seal flush fluid μέσω του τοπικού ενδεικτικού θερμοκρασίας που υπάρχει στο κύκλωμα. Μία άλλη πρακτική οδηγία για τον καλύτερο έλεγχο του συστήματος είναι ότι το κέλυφος του εναλλάκτη στη διάρκεια της λειτουργίας της αντλίας θα είναι θερμότερο από τη γραμμή εισόδου του νερού ψύξης (το νερό περνάει από το κέλυφος). Τα πιο συνηθισμένα προβλήματα που μπορεί να παρουσιαστούν σε αυτά τα συστήματα flush plans, είναι τα παρακάτω:

- Βούλωμα / φράξιμο στο restriction orifice.
- Απώλεια του νερού ψύξης ή μη ικανοποιητική ροή νερού ψύξης.
- Πρόβλημα / φράξιμο στο ενδεικτικό ροής του νερού ψύξης.
- Πρόβλημα / φράξιμο στο strainer.

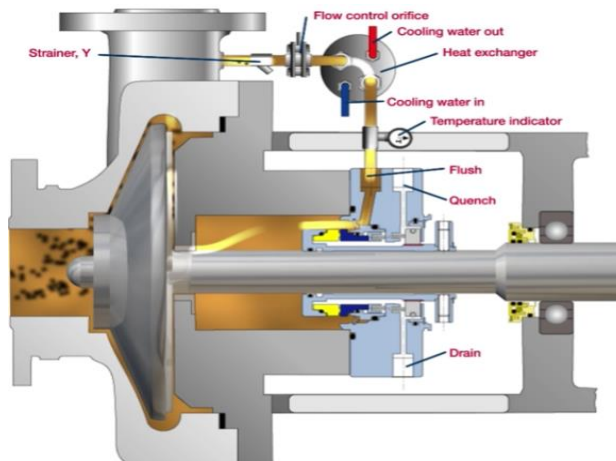
Στην περίπτωση που υπάρχει βούλωμα ή φράξιμο στο restriction orifice, αυτό μπορεί να γίνει αντιληπτό από τη θερμοκρασία των γραμμών flush προς τη σαλαμάστρα. Η γραμμή θα είναι ζεστή πολύ κοντά στο σημείο από όπου ξεκινάει (κατάθλιψη) και θα είναι πιο κρύα μετά ακριβώς από το orifice. Επίσης θα είναι κρύος ο εναλλάκτης ψύξης (το σώμα του).

Σε αυτή τη περίπτωση, δηλαδή στο φράξιμο του orifice, η γραμμή του seal flush θα είναι θερμή πολύ κοντά στην είσοδο της σαλαμάστρας ενώ θα κρυώνει όσο πιο πολύ μακριά από αυτήν. Αυτό συμβαίνει λόγω της μετάδοσης τοπικά της θερμότητας, που προέρχεται από τη λειτουργία της σαλαμάστρας, η οποία δεν ψύχεται / λιπαίνεται σωστά.

Αν παρουσιασθεί πρόβλημα βουλώματος / φραξίματος στο strainer στο API-22 Flush Plan, τα αποτελέσματα θα είναι τα ίδια ακριβώς με όσα αναφέρθηκαν παραπάνω. Να σημειωθεί πάντως εδώ ότι γενικά από τον κώδικα API-682, δεν συνιστάται η χρήση-τοποθέτηση ενός τέτοιου strainer σε αυτά τα συστήματα ψύξης σαλαμάστρας, καθώς ένα πιθανό φράξιμο πολύ γρήγορα μπορεί να οδηγήσει σε αστοχία της σαλαμάστρας.

Στην περίπτωση τώρα του προβλήματος ροής του νερού ψύξης, διαπιστώνεται ότι οι γραμμές εισόδου και εξόδου του seal flush fluid, στον εναλλάκτη έχουν την ίδια θερμοκρασία. Το σώμα του εναλλάκτη θα είναι πολύ ζεστό. Επίσης, οι γραμμές του νερού ψύξης πολύ κοντά στο καπάκι του εναλλάκτη, θα είναι πολύ ζεστές και θα κρυώνουν όσο πιο μακριά από αυτόν.

Τέλος, στη περίπτωση φραξίματος στο ενδεικτικό ροής νερού ψύξης (sight flow glass), τα αποτελέσματα θα είναι τα ίδια όπως περιγράφονται παραπάνω και αφορούν γενικά προβλήματα στη ροή του νερού ψύξης.



ΕΙΚΟΝΑ 6.11 : Η διάταξη API-22 Flush Plan

(<https://www.aesseal.com/en/resources/api-plans/api-plan-22>)

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Καμία αραιώση της ροής διεργασίας.
- Παρέχει διαδικασία ψύξης στο θάλαμο στεγανοποίησης, βελτιώνοντας τη λιπαντικότητα και αυξάνοντας το περιθώριο πίεσης ατμών.
- Μπορεί να εφαρμοστεί σε οποιαδήποτε αντλία στην οποία εφαρμόζεται η διάταξη API-11.

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Υψηλό φορτίο θερμότητας στον εναλλάκτη, με αποτέλεσμα το υψηλό λειτουργικό κόστος με πιθανότητα αστοχίας.
- Ορισμένα υγρά μπορεί να συσσωρευτούν ή να γίνουν εξαιρετικά ιξώδη, κατά τη διάρκεια αδρανών περιόδων, εάν η ροή δεν διατηρείται μέσα στον εναλλάκτη θερμότητας.
- Το flush υγρό επανακυκλοφορείται.

API-23 FLUSH PLAN

Σε αυτό το σύστημα υπάρχει ένα κλειστό κύκλωμα του seal flush fluid, όπου δηλαδή το ρευστό ανακυκλοφορεί μέσω ενός εναλλάκτη ψύξης, με τη βοήθεια ενός δακτυλιδιού το οποίο λέγεται rumping ring.

Ο στόχος αυτού του συστήματος είναι να μειωθεί η θερμοκρασία, μέσω απορρόφησης θερμότητας αλλά και η λίπανση της σαλαμάστρας. Η μείωση της θερμότητας συνήθως απαιτείται όταν οι συνθήκες στο στυπιοθάλαμο είναι κοντά στην τάση ατμών του ρευστού που διακινείται.

Η όλη διάταξη περιλαμβάνει όπως αναφέρθηκε παραπάνω, έναν εναλλάκτη νερού ψύξης, από όπου το νερό περνάει από το κέλυφος. Από το εσωτερικό coil (tube side) περνάει το ρευστό ψύξης της σαλαμάστρας. Στην έξοδο του ρευστού προς τη σαλαμάστρα, υπάρχει τοπικό ενδεικτικό θερμοκρασίας, μέσω το οποίου γίνεται έλεγχος κάθε στιγμή της θερμοκρασίας προς τη σαλαμάστρα αλλά και την απόδοση του εναλλάκτη ψύξης.

Στην περίπτωση προβλήματος ροής του νερού ψύξης, διαπιστώνεται ότι οι γραμμές εισόδου και εξόδου του seal flush fluid στον εναλλάκτη έχουν την ίδια θερμοκρασία. Το σώμα του εναλλάκτη θα είναι πολύ ζεστό. Επίσης, οι γραμμές του

νερού ψύξης πολύ κοντά στο καπάκι του εναλλάκτη θα είναι πολύ ζεστές και θα κρυώνουν, όσο πιο μακριά από αυτόν.

Σε αυτά τα coolers, το νερό ψύξης περνά από κέλυφος ενώ από το εσωτερικό coil (tube side) περνά το seal flush fluid. Στη γραμμή εξόδου του νερού ψύξης συνήθως τοποθετείται ένα sight flow glass (τοπικό όργανο ένδειξης ροής) και αυτό είναι το χαρακτηριστικό από όπου εύκολα ξεχωρίζεται η γραμμή εξόδου.

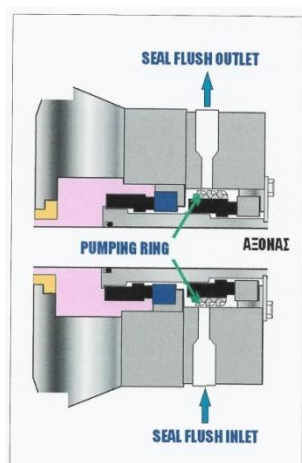
Πέρα από τα θέματα με τη ροή του νερού ψύξης πρόβλημα στο σύστημα μπορεί να παρουσιασθεί όταν δεν έχει γίνει καλή εξαέρωση στις γραμμές seal flush fluid. Όπως φαίνεται σε όλες τις εικόνες, στη γραμμή του ρευστού από τη σαλαμάστρα, στο υψηλότερο σημείο και πριν τον εναλλάκτη, υπάρχει ένα εξαεριστικό. Αυτό χρησιμεύει ώστε να γίνεται καλή εξαέρωση στο σύστημα πριν αυτό τεθεί σε κανονική λειτουργία. Αν αυτό δεν έχει γίνει, τότε οι γραμμές του seal flush fluid θα είναι κρύες αλλά και ο εναλλάκτης θα είναι κρύος. Οι γραμμές θα είναι θερμές πολύ κοντά στη σαλαμάστρα αλλά θα κρυώνουν όσο πιο μακριά από αυτήν.

Τυχόν εγκλωβισμός αέριας φάσης στο σύστημα που οφείλεται σε κακή εξαέρωση ή σε μη εξαέρωση, θα έχει σαν αποτέλεσμα προβληματική ανακυκλόφορα ή καθόλου ανακυκλοφορία.

Τέλος, να αναφερθεί ότι τα coolers (heat exchanger) έχουν στο σώμα τους (πλευρά κελύφους από όπου περνά το νερό ψύξης) εξαεριστικό και αποστραγγιστικό. Το vent (εξαεριστικό) χρησιμεύει για εξαέρωση, ενώ το drain (αποστραγγιστικό) βοηθάει στην απομάκρυνση τυχόν συσσωρευμένων στερεών ή άλλων ακαθαρσιών στην πλευρά του νερού. Στην περίπτωση προβλήματος απόδοσης του εναλλάκτη ψύξης, τότε απαιτείται καθαρισμός αυτού. Ο καθαρισμός μπορεί να γίνει είτε μέσω κάποιου ήπιου χημικού διαλύματος, είτε με μηχανικά μέσα, δηλαδή με εξάρμοση και λύσιμο του εναλλάκτη.

Στην αρχή ανφέρθηκε ότι σε ένα τέτοιο σύστημα υπάρχει ένα κλειστό κύκλωμα seal flush fluid, όπου δηλαδή το ρευστό ανακυκλοφορεί μέσω ενός εναλλάκτη ψύξης, με τη βοήθεια ενός εσωτερικού δακρυλιδιού που λέγεται pumping ring.

Το pumping ring είναι τοποθετημένο στη σαλαμάστρα (εξάρτημα της σαλαμάστρας) και περιστρέφεται μαζί με τον άξονα, ανακυκλοφορώντας το υγρό από τη σαλαμάστρα προς τον εναλλάκτη ψύξης και ξανά πίσω στα σημεία φραγής. Είναι ένα εσωτερικό εξάρτημα που μπορεί να προσδώσει ροή σε κλειστά κυκλώματα ανακυκλοφορίας.

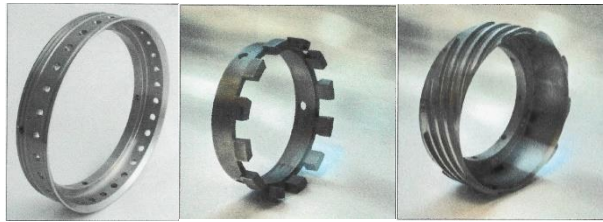


ΕΙΚΟΝΑ 6.12 : Η θέση του pumping ring

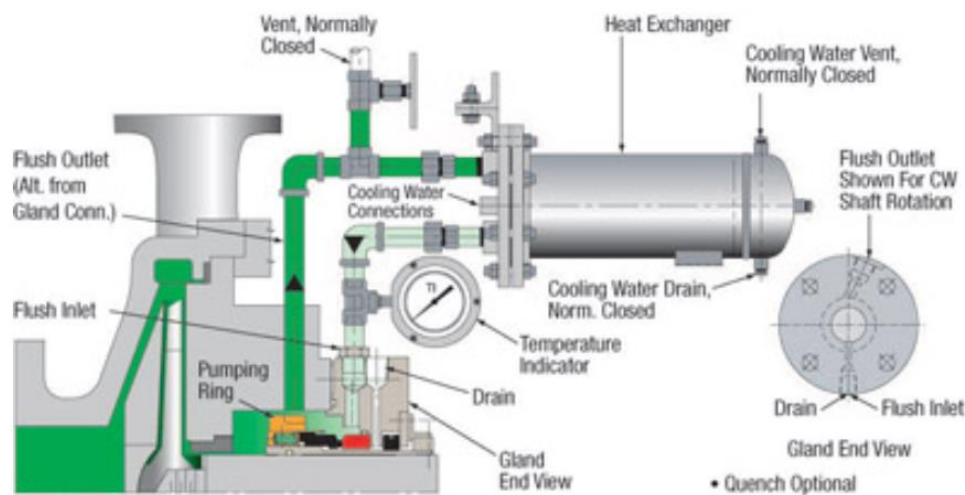
Το πιο συνηθισμένο σύστημα και μέθοδος για υψηλή ψύξη είναι η έγχυση ενός ρευστού με διαφορά θερμοκρασίας σε σχέση με αυτή του seal chamber. Σε ένα κλειστό κύκλωμα ανακυκλοφορίας, είτε μέσω θερμικών καταστάσεων είτε μέσω μηχανικών. Όταν η ροή επιτυγχάνεται μέσω θερμικών καταστάσεων, λέγεται ροή

μέσω του φαινομένου του θερμοσίφωνα, ενώ όταν επιτυγχάνεται μέσω μηχανικού τρόπου γίνεται μία περιστροφική κίνηση κάποιου εξαρτήματος.

Οι πιο συνηθισμένοι τύποι σχεδιασμού ενός pumping ring είναι οι παρακάτω:



ΕΙΚΟΝΑ 6.13 : Pumping rings (Αριστερό:Με σπές πάνω στο δακτυλίδι για ακτινική ροή, Μέσαίο:Με slots (εγκοπές/σχισμές) για ακτινική ροή, Δεξιό:Με πτερύγια πάνω στο δακτύλιο για αξονική ροή



ΕΙΚΟΝΑ 6.14 : Η διάταξη API-23 Flush Plan

(<https://www.pumpsandsystems.com/circulation-systems-single-and-multiple-seal-arrangements-part-two>)

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Το ρευστό διεργασίας χρησιμοποιείται για να ψύξει και να λιπάνει τη σαλαμάστρα.
- Η μειωμένη θερμοκρασία λειτουργίας βελτιώνει τη λιπαντική κατάσταση και μειώνει τη πιθανότητα εξάτμισης στο θάλαμο στεγανοποίησης
- Το API-23 Flush Plan είναι πιο αποτελεσματικό έναντι του API-21 Flush Plan
- Ο εναλλάκτης (cooler) είναι λιγότερο πιθανόν να αστοχήσει
- Μπορεί να παρέχει ένα κρύο θάλαμο στεγανοποίησης μέσα από την αποδοτικότητα των επιδράσεων του φαινομένου του θερμοσίφωνα.

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Το αρχικό κόστος είναι μεγαλύτερο από το API-21 Flush Plan επειδή υπάρχουν βοηθητικές συνιστώσες.
- Το API-23 Flush Plan δεν χρησιμοποιείται για ρευστά με υψηλά σημεία ψύξης ή για ιξώδη υγρά, επειδή ο δακτύλιος άντλησης ενδέχεται να μην είναι σε θέση να επιτρέψει την κυκλοφορία.
- Ο εξαερισμός είναι απαραίτητος για το API-23 Flush Plan.

- Η επιλογή, ο σχεδιασμός/η θέση του δακτυλίου άντλησης, των θυρών εισόδου και εξόδου και των αωληνώσεων, είναι ζωτικής σημασίας για την επιτυχή λειτουργία του API-23 Flush Plan.

API-32 FLUSH PLAN

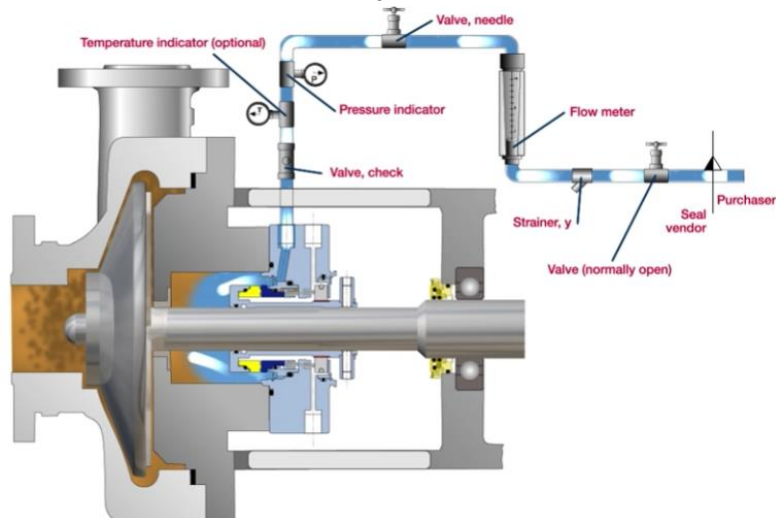
Σε αυτό το API Flush Plan, το ρευστό seal flush προέρχεται από μία εξωτερική πηγή, με πίεση μεγαλύτερη από αυτή του seal chamber και οδηγείται προς τη σαλαμάστρα.

Συνήθως η διάταξη περιλαμβάνει κατά σειρά μία απομονωτική βαλβίδα (τύπου gate), ένα ανεπίστροφο, ένα φίλτρο Y-type strainer, ένα ενδεικτικό ροής (sight flow glass), μία βάνα ελέγχου ροής (globe valve) και ένα μανόμετρο για ένδειξη της πίεσης του ρευστού προς τη σαλαμάστρα.

Ο στόχος αυτού του συστήματος είναι η λίπανση και απομάκρυνση της θερμότητας. Συνήθως, αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούνται όταν οι συνθήκες διεργασίας είναι αρκετά βρώμικες, οπότε και χρησιμοποιείται ένα καθαρό ρευστό για τη ψύξη / λίπανση της σαλαμάστρας.

Σε αυτά τα συστήματα ένας πρώτος και γρήγορος έλεγχος μπορεί να περιλαμβάνει τη θερμοκρασία του ρευστού προς τη σαλαμάστρα. Για την καλή λειτουργία της γραμμής, πρέπει να υπάρχει η ίδια θερμοκρασία τόσο στην αρχή της γραμμής (πριν το gate βανάκι) όσο και πολύ κοντά στην είσοδο του ρευστού στη σαλαμάστρα.

Επίσης, μεγάλη προσοχή στο χειρισμό και το άνοιγμα της βάνας globe που βρίσκεται προς τη σαλαμάστρα, η οποία θα πρέπει να έχει ένα άνοιγμα. Όπως έγινε αναφορά και παραπάνω, στη γραμμή υπάρχει ένα Y-type strainer, το οποίο χρησιμεύει ώστε το ρευστό που οδηγείται προς τη σαλαμάστρα, να είναι πάντα καθαρό και απαλλαγμένο από ακαθαρσίες.



ΕΙΚΟΝΑ 6.15 : Η διάταξη API-32 Flush Plan

(<https://www.aesseal.com/en/resources/api-plans/api-plan-32>)

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Το εξωτερικό flush fluid, όταν επιλέγεται και εφαρμόζεται σωστά, μπορεί να οδηγήσει σε πολύ εκτεταμένη διάρκεια ζωής της σαλαμάστρας, με αποτέλεσμα τη βελτίωση του MTBPM (Mean Time Between Planned Maintenance) για το σύστημα της αντλίας.

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Η αποικοδόμηση ή η αραίωση του προϊόντος θα συμβεί κατά τη χρήση αυτού του Flush Plan.
- Ανάλογα με το συνολικό σχεδιασμό του συστήματος, η εισαγωγή ενός εξωτερικού υγρού στη ροή διεργασίας μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένο κόστος ενέργειας και επανεπεξεργασίας.
- Το κόστος του συστήματος υποστήριξης μπορεί να είναι πολύ υψηλό και προσθέτει πρόσθετο εξοπλισμό στο σύστημα, το οποίο πρέπει να είναι σε λειτουργία κάθε φορά που η εμπλεκόμενη αντλία είναι σε απευθείας σύνδεση.

API-52 FLUSH PLAN

Σε αυτό το σύστημα ο στόχος είναι ο έλεγχος τυχόν διαρροής προς την ατμόσφαιρα, μέσω ενός συστήματος ανακυκλοφορίας και ειδικού δοχείου (reservoir).

Πιο αναλυτικά, σε ένα δοχείο υπάρχει στάθμη του ρευστού που ανακυκλοφορεί από και προς τη σαλαμάστρα.

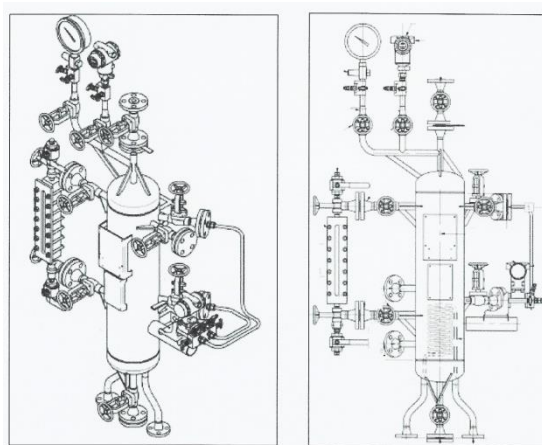
Το δοχείο είναι εφοδιασμένο με τα παρακάτω όργανα:

- Υαλοδείκτης (level glass).
- Level transmitter (το σήμα του οποίου οδηγείται σε ειδική σελίδα του DCS του Control Man της Μονάδας) – μάλιστα θα πρέπει να υπάρχουν και set alarms για HIGH / LOW level.
- Τοπικό μανόμετρο για την πίεση στο άνω μέρος του δοχείου.
- Pressure transmitter (το σήμα του οποίου οδηγείται επίσης στο DCS) – μάλιστα θα πρέπει να υπάρχει και alarm για HIGH pressure.

Τα δοχεία αυτά εσωτερικά έχουν ένα coil από όπου περνάει το νερό ψύξης, κι έτσι ψύχεται το ρευστό που ανακυκλοφορεί από και προς τη σαλαμάστρα. Στη γραμμή εξόδου του νερού ψύξης, βρίσκεται τοποθετημένο ένα ενδεικτικό ροής (sight flow glass) ενώ ακολουθεί ένα globe βανάκι (στη γραμμή εξόδου).

Επομένως, σε αντίθεση με τα coolers που αναφέρθηκαν σε προηγούμενο API-Flush Plan, εδώ το νερό ψύξης κυκλοφορεί μέσω του εσωτερικού coil.

Παρακάτω, φαίνεται το μηχανολογικό σχέδιο ενός τέτοιου δοχείου το οποίο λέγεται seal flush fluid reservoir.



EIKONA 6.16 : Seal flush fluid reservoir

Στο άνω μέρος του δοχείου αυτού υπάρχει η γραμμή η οποία είναι μονίμως επικοινωνημένη με το σύστημα blow down (FLARE). Στη γραμμή υπάρχει βανάκι το

οποίο σε κανονικές συνθήκες, θα πρέπει να είναι ΑΝΟΙΚΤΟ ενώ ακριβώς πριν από αυτό υπάρχει το restriction orifice.

Στο δοχείο επίσης υπάρχει γραμμή αποστράγγισης του περιοεχομένου, σε περίπτωση ανάγκης συντήρησης, αλλά και σημείο για πλήρωση.

Σε περίπτωση διαρροής της πρωτεύουσας σαλαμάστρας, τότε παρατηρείται μία αύξηση της πίεσης του συστήματος Blow Down.

Ένα άλλο σημάδι διαρροής, μπορεί να είναι και το «παιξιμο» της στάθμης στο δοχείο. Δηλαδή η πίεση να προκαλεί στη στάθμη να ανεβοκατεβαίνει.

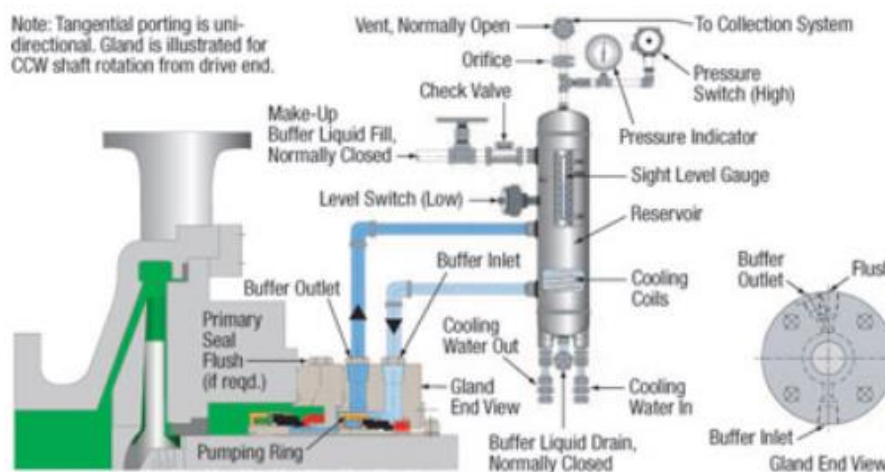
Επίσης, να αναφερθεί ότι σε περίπτωση διαρροής, όπου αυτή εκτονώνεται προς το σύστημα Blow Down, μπορεί η γραμμή στην έξοδο του δοχείου να είναι ζεστή (πολύ μεγάλη διαρροή) ή να είναι «παγωμένη» ακριβώς μετά τη βάνα (μικρή διαρροή η οποία καθώς εκτονώνεται προς το blow down, προκαλεί πτώση της θερμοκρασίας λόγω εκτόνωσης). Η ύπαρξη του restriction orifice στη γραμμή δημιουργεί την απαιτούμενη διαφορά πίεσης για αυτές τις περιπτώσεις.

Μία αύξηση στη στάθμη δοχείου, επίσης μπορεί να προκληθεί από διαρροή της σαλαμάστρας. Εάν η αύξηση είναι απότομη, τότε αυτό είναι ένδειξη διαρροής της σαλαμάστρας. Επίσης, μία μείωση της στάθμης στο δοχείο, εφόσον έχουν αποκλειστεί τυχόν σημεία εξωτερικών διαρροών, μπορεί να είναι ένδειξη διαρροής της σαλαμάστρας (κυρίως της δευτερεύουσας).

Τέλος, μεγάλη σημασία στη σωστή ψύξη / λίπανση της σαλαμάστρας, έχει και η σωστή ροή του νερού ψύξης μέσα από το εσωτερικό coil. Έτσι, τυχόν βουλώματα ή άλλα προβλήματα στη ροή του νερού ψύξης, αντίστοιχα θα προκαλέσει προβλήματα στη λειτουργία της σαλαμάστρας.

Είναι πολύ σημαντικό να τονισθεί εδώ ότι ο βασικό ρόλος των δοχείων αυτών (και ιδιαίτερα του εσωτερικού coil ψύξης) είναι η απομάκρυνση θερμότητας από το buffer fluid ανακυκλοφορίας της σαλαμάστρας.

Κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας, η ανακυκλοφορία του buffer fluid επιτυγχάνεται μέσω ενός εσωτερικού δακτυλίου (pumping ring), ενώ η πίεση στο δοχείο διατηρείται χαμηλότερα της πίεσης στο seal chamber.



ΕΙΚΟΝΑ 6.17 :: Η διάταξη API-52 Flush Plan

(<https://www.pumpsandsystems.com/circulation-systems-single-and-multiple-seal-arrangements-part-three>)

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Το API-52 Flush Plan είναι αναγκαίο για διπλές μη συμπίεσμένες σαλαμάστρες που χρησιμοποιούν υγρό buffer fluid. Συγκριτικά με τις μονές

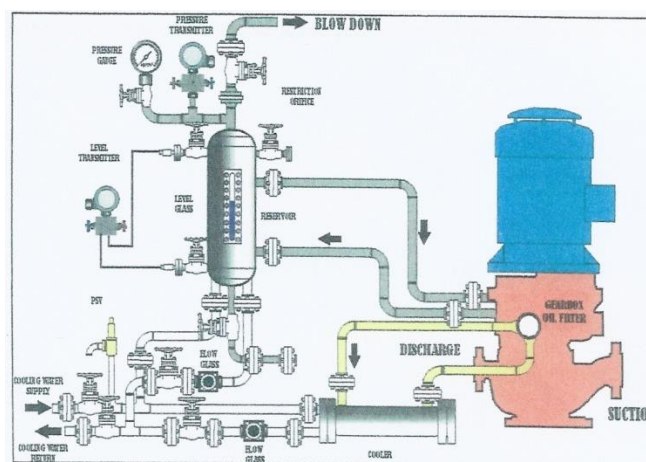
σαλαμάστρες, η διπλή μη συμπιεσμένη σαλαμάστρα μπορεί να παρέχει μειωμένα ποσοστά καθαρής διαρροής καθώς και πλεονασμό σε περίπτωση βλάβης της κύριας σαλαμάστρας.

- Το buffer fluid δεν πρέπει να εισέρχεται στο ρεύμα διεργασίας και να μολύνει το υγρό διεργασίας, επειδή δεν είναι συμπιεσμένο.
- Το buffer fluid μπορεί να χρησιμεύσει ως quencher για τη σαλαμάστρα διεργασίας.
- Η εκτίμηση της πίεσης για μία διπλή μη συμπιεσμένη σαλαμάστρα είναι συνήθως μεγαλύτερη από αυτή μίας μονής σαλαμάστρας.

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Το API-52 Flash Plan είναι πιο πείπλοκο και ακριβό από οποιαδήποτε μονή σαλαμάστρα και το σχετικό σύστημα σωληνώσεων.
- Θα υπάρχει πάντα κάποια διαρροή από τη σαλαμάστρα διεργασίας μέσα στο buffer system όπου το buffer fluid είναι μολυσμένο από το υγρό διεργασίας. Έτσι, τα buffer fluids πρέπει να επιλέγονται με μεγάλη προσοχή. Είναι πιθανό με τη πάροδο του χρόνου, τα υγρά με βαρύτερη επεξεργασία, να μετατοπίσουν το buffer fluid με αποτέλεσμα η εξωτερική στεγανοποίηση να σφραγίζει το υγρό διεργασίας, χάνοντας έτσι ένα buffer μεταξύ του προϊόντος και της ατμόσφαιρας.
- Εάν το υγρό διεργασίας έχει χαμηλό περιθώριο πίεσης ατμού, η θερμότητα από την εξωτερική φραγή μπορεί να μειώσει περαιτέρω το περιθώριο με αποτέλεσμα η εσωτερική φραγή να λειτουργεί με μερικούς έως πλήρεις ατμούς ανάμεσα στα πρόσωπα φραγής οπότε θα συστήνονταν ένα εναλλάκτικό σύστημα με στεγνές φραγές συγκράτησης.
- Ο εξαερισμός είναι απαραίτητος για το API-52 Flash Plan για να αποτρέψει το κλείδωμα ατμών εάν οι φυσαλίδες ατμών συγκεντρώνονται κοντά στο pumping ring.

API-11/52 FLUSH PLAN



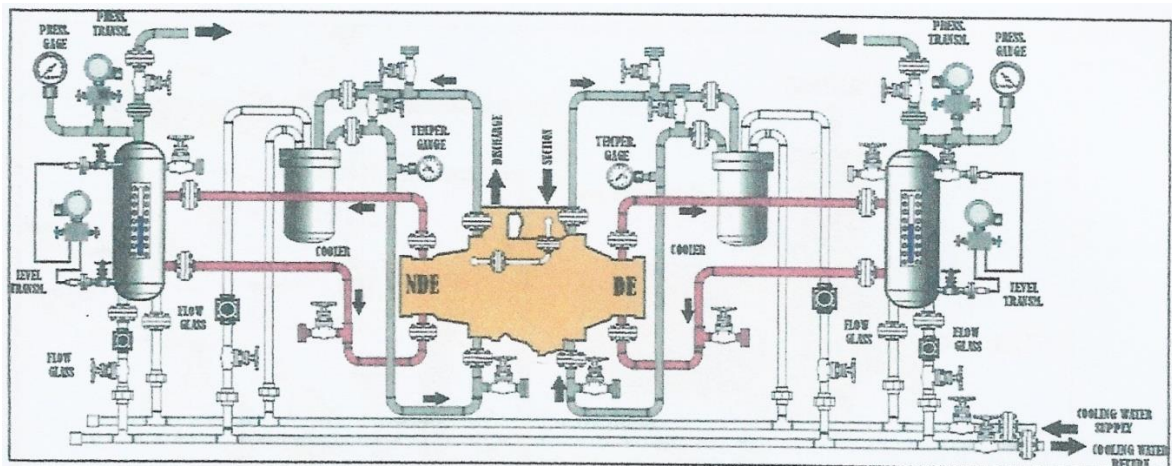
ΕΙΚΟΝΑ 6.18 : Η διάταξη API-11/52 Flush Plan

Σε αυτό το σύστημα API Flush Plan, συνδυάζεται το API-11 και το API-52, που λειτουργεί όπως αναφέρθηκε προηγουμένως (δηλαδή σαν το API-52), μαζί με ένα σύστημα ψύξης του ελαίου προς το gear box μίας overhung κάθετης (oh6)

φυγοκεντρικής αντλίας με τον κινητήρα επάνω (τομή φυγοκεντρικής αντλίας οη6 στο κεφ.5, παρα 5.1 εικ. 5.7).

Το σύστημα ψύξης ανακυκλοφορίας του ελαίου περιλαμβάνει έναν εναλλάκτη νερού ψύξης και ένα φίλτρο το οποίο κρατάει τυχόν φερτά στερεά προς το σύστημα λίπανσης του gear box της φυγοκεντρικής αντλίας.

API-23/52 FLUSH PLAN



ΕΙΚΟΝΑ 6.19 : Η διάταξη API-23/52 Flush Plan

Το σύστημα αυτό είναι ακόμη ένα συνδυαστικό μεταξύ του API-23 και API-52 Flush Plan, σε μία φυγοκεντρική αντλία τύπου Between Bearings (BB). Στην παραπάνω εικόνα φαίνεται ότι κάθε σαλαμάστρα (DE & NDE) έχει το δικό της ανεξάρτητο σύστημα ψύξης / λίπανσης, το οποίο και περιλαμβάνει ανεξάρτητα όργανα, coolers, seal pots κ.λπ.

Πολύ σημαντικό επίσης, είναι ότι και οι γραμμές νερού ψύξης προς τα παραπάνω είναι επίσης ανεξάρτητες και έχουν τη δυνατότητα ανεξάρτητης απομόνωσης.

API-53B FLUSH PLAN

Σε αυτό το flush plan, το ρεύμα του barrier fluid ανακυκλοφορεί υπό πίεση προς τη σαλαμάστρα. Η ανακυκλοφορία επιτυγχάνεται μέσω ενός εσωτερικού δακτυλιδιού (rumping ring) όταν η αντλία είναι σε κανονική λειτουργία, ενώ μέσω του φαινομένου του θερμοσίφωνα όταν η αντλία είναι σε κατάσταση αναμονής.

Η πίεση διατηρείται μέσω ενός συσσωρευτή ενέργειας (bladder accumulator). Η ψύξη του barrier fluid επιτυγχάνεται μέσω ενός εναλλάκτη νερού ψύξης (το νερό περνάει shell side).

Τα κυριότερα χαρακτηριστικά – στόχοι ενός τέτοιου συστήματος είναι τα παρακάτω:

- Διατηρεί το barrier fluid σε μία πίεση χρησιμοποιώντας τον accumulator.
- Απομακρύνεται η θερμότητα από το κύκλωμα ανακυκλοφορίας μέσω ενός υδρόψυκτου εναλλάκτη

Το σύστημα όπως φαίνεται και στα αντίστοιχα σχέδια, περιλαμβάνει τη γραμμή που βρίσκεται ο accumulator και σε αυτή υπάρχουν κατά σειρά ένα filling point με βάνια κλειστή κατά τη κανονική λειτουργία, στη συνέχεια ένα Y-type strainer και ένα ανεπίστροφο, ενώ από όργανα κατά σειρά υπάρχει pressure transmitter και τοπικό μανόμετρο.

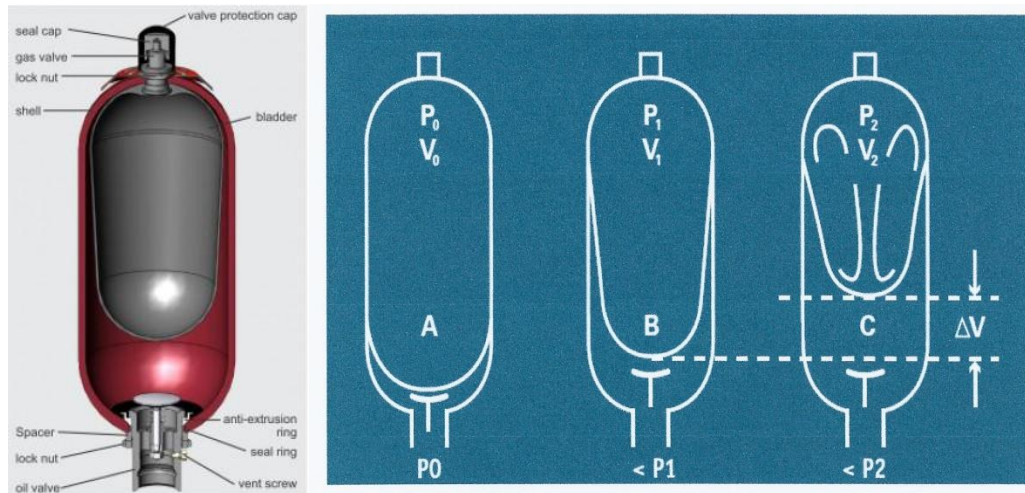
Ο accumulator είναι προφορτισμένος, ενώ alarm χαμηλής πίεσης στο DCS προειδοποιεί για ανάγκη συμπλήρωσης της πίεσης. Αυτή η ένδειξη είναι πολύ

σημαντική, καθώς όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η διατήρηση της πίεσης στο κύκλωμα του ρευστού που ανακυκλοφορεί είναι ζωτικής σημασίας όσο αφορά στη σωστή ψύξη / λίπανση της σαλαμάστρας.

Ιδιαίτερη σημασία επίσης έχει και η σωστή ψύξη του barrier fluid μέσω του υδρόψυκτου εναλλάκτη. Η ροή του νερού ψύξης μέσα από τον εναλλάκτη θα πρέπει να ελέγχεται περιοδικά μέσω μέτρησης θερμοκρασίας εισόδου και εξόδου.

Επίσης, το ενδεικτικό ροής στη γραμμή εξόδου του νερού ψύξης, θα πρέπει να ελέγχεται καθώς τυχόν βουλώματα – φραξίματα σε αυτό το σημείο, επίσης επηρεάζουν την απόδοση του εναλλάκτη.

Τυχόν προβληματική ή μη επαρκής ψύξη, θα έχει σαν αποτέλεσμα να μην μπορεί να απομακρυνθεί η θερμότητα από το κύκλωμα ανακυκλοφορίας του ρευστού προς τη σαλαμάστρα με συνέπεια την πιθανή αστοχίας της.



ΕΙΚΟΝΑ 6.20 : Συσσωρευτής ενέργειας (bladder accumulator)

(<https://rodavigo.net/en/p/bladder-for-accumulator-ref-hydac-235335/130F235335>) (Πηγή αριστερής εικόνας)

Στην δεξιά παραπάνω εικόνα τα σύμβολα που παρουσιάζονται παραπέμπονται στα παρακάτω:

V_0, V_1 =ο όγκος του χώρου που καταλαμβάνει το άζωτο

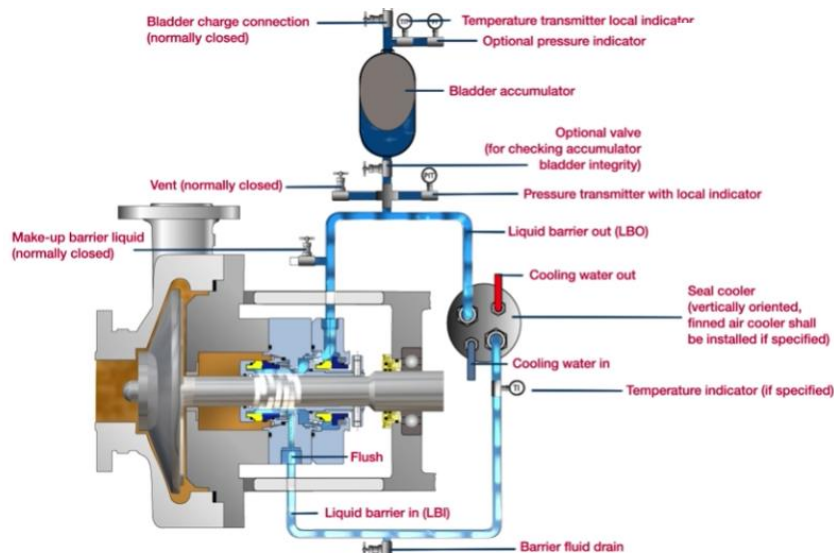
V_2 = ο όγκος του χώρου που καταλαμβάνει το άζωτο στην ελάχιστη υδραυλική πίεση

ΔV =ο διαθέσιμος αποθηκευμένος όγκος

P_0 =η αρχική πίεση φόρτισης του accumulator

P_1 =η πίεση του χώρου με το άζωτο στην ελάχιστη υδραυλική πίεση

P_2 = η πίεση του χώρου με το άζωτο στην ελάχιστη υδραυλική πίεση



ΕΙΚΟΝΑ 6.21 : Η διάταξη API-53B Flush Plan
<https://www.aesseal.com/en/resources/api-plans/api-plan-53B>

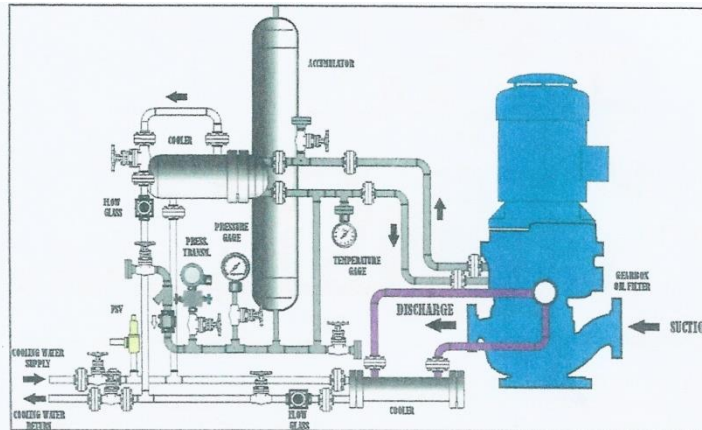
ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Η μόλυνση εντός του βρόχου, εάν υπάρχει, περιορίζεται εντός του κλειστού κυκλώματος.
- Το σύστημα (μπορεί να είναι από μία απλή αντλία χειρός μέχρι ενός περίτεχνου συστήματος άντλησης που τροφοδοτεί πολλαπλές αντλίες/σαλαμάστρες) μπορεί να παρέχει barrier fluid υπο πίεση σε πολλαπλά διπλά συμπιεσμένα συστήματα στεγανοποίησης είτε σε παρόμοιες ή αντίθετες συνθήκες πίεσης.
- Το barrier fluid δεν υπόκειται σε καταπίεση αζώτου ή αέρα όπως στο API-53A Flush Plan.

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Ο όγκος του υγρού μέσα στο κύκλωμα κλειστού βρόχου είναι πολύ περιορισμένος, μόλις μισό με ένα ένα γαλόνι (περίπου 1,89 με 3,78 λίτρα) σε κάποιες περιπτώσεις.
- Με τον περιορισμένο όγκο υγρού το barrier fluid κυκλώνεται θερμικά σε πολύ πιο συχνή βάση από το API-53A, οπότε μειώνεται η διάρκεια ζωής του υγρού.
- Ο πεπερασμένος όγκος του συσσωρευτή απαιτεί ένα σχεδιασμένο εύρος λειτουργίας πίεσης μεταξύ της επαναπλήρωσης (που υπερβαίνει εκείνο που απαιτείται για το API-53A) και αυτό πρέπει να ενσωματωθεί στην εκτίμηση της πίεσης των σαλαμαστρών.
- Μία αλλαγή στη θερμοκρασία του συστήματος επηρεάζει την πίεση του API-53B.
- Ο ξεχωριστός εναλλάκτης θερμότητας εισάγει πρόσθετη αντίσταση ροής στο σύστημα σωληνώσεων και θα έχει χαμηλότερο ρυθμό ροής από ένα κατά τα άλλα πανομοιότυπο API-53A.
- Τα “χαλάσματα” λόγω φθοράς δεν έχουν πουθενά να κατακαθήσουν, όπως σε ένα σύστημα API-53A, οπότε κυκλοφορούν συνεχώς.

API-11/53B FLUSH PLAN



EIKONA 6.22 : Η διάταξη API-11/53B Flush Plan

Σε αυτό το σύστημα API Flush Plan, υπάρχει συνδυασμός του API-11 και του API-53B Flush Plan και λειτουργεί όπως αναφέρθηκε προηγουμένως (ψύξη του seal flush fluid και διατήρηση πίεση μέσω bladder accumulator), μαζί με ένα σύστημα ψύξης του ελαίου προς το gear box μίας κάθετης φυγοκεντρικής αντλίας overhung (oh6), με τον κινήρα από επάνω (τομή φυγοκεντρικής αντλίας oh6 στο κεφ.5, παρα 5.1 εικ. 5.7).

Το σύστημα ψύξης ανακυκλοφορίας του ελαίου περιλαμβάνει έναν εναλλάκτη νερού ψύξης και ένα φίλτρο το οποίο κρατάει τυχόν φερτά στερεά προς το σύστημα λίπανσης του gear box της φυγοκεντρικής αντλίας.

API-54 FLUSH PLAN

Σε αυτό το σύστημα Flush Plan, υπάρχει μία εξωτερική πηγή για την παροχή ενός καθαρού υπο πίεση barrier fluid προς τη σαλαμάστρα. Το barrier fluid, οδηγείται προς τις φραγές, επιστρέφει και στη συνέχεια μέσω κυκλώματος, επιστρέφει στο σημείο από όπου προέρχεται (εξωτερική πηγή / τροφοδοσία). Ένα βασικό χαρακτηριστικό τέτοιων συστημάτων είναι η μεγάλη απομάκρυνση θερμότητας που επιτυγχάνουν.

Το κύκλωμα του barrier fluid ουσιαστικά αποτελείται από δύο κλάδους. Ο ένας είναι η γραμμή παροχής και ο άλλος είναι η γραμμή επιστροφών.

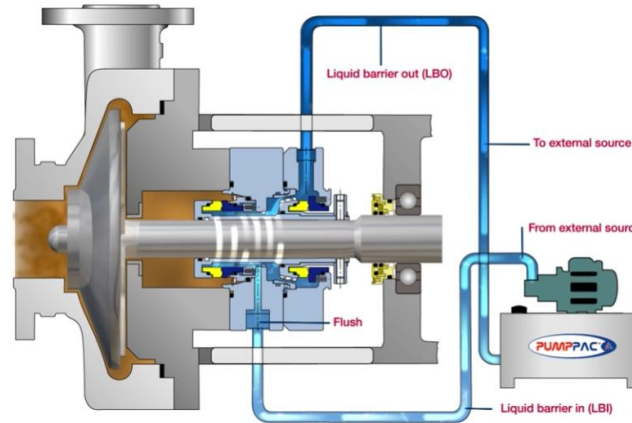
Η γραμμή παροχής τυπικά μπορεί να περιλαμβάνει:

- Βάνα απομόνωσης (isolation gate valve)
- Ανεπίστροφο και Y-type strainer εν σειρά
- Ένα ρυθμιστή πίεσης (downstream pressure regulator) μέσω του οποίου διατηρείται σταθερή πίεση του barrier fluid προς τη σαλαμάστρα
- Ασφαλιστικό το οποίο εκτονώνει προς το σημείο / κύκλωμα επιστροφών
- Φλάντζα με restriction orifice
- Τοπικό όργανο ένδειξης ροής (flow indicator)
- Μανόμετρο για τοπική ένδειξη της πίεσης εισόδου του barrier fluid

Στον κλάδο εξόδου / επιστροφών τυπικά υπάρχουν:

- Ένας pressure transmitter, το σήμα του οποίου οδηγείται στο DCS με alarms χαμηλής πίεσης

- Φλάντζα με restriction orifice και ανεπίστροφο
- Απομονωτική βάνα εξόδου (isolation gate valve)



ΕΙΚΟΝΑ 6.23 : Η διάταξη API-54 Flush Plan με την εξωτερική πηγή
(<https://www.aesseal.com/en/resources/api-plans/api-plan-54>)

Τα προβλήματα που συνήθως, μπορεί να παρουσιασθούν, σε τέτοια συστήματα είναι τα παρακάτω:

- ✓ Να υπάρχει πρόβλημα στη λειτουργία του pressure regulator το οποίο μπορεί να οφείλεται σε πρόβλημα της εσωτερικής μεμβράνης
- ✓ Πρόβλημα στα ανεπίστροφα εισόδου και εξόδου του barrier fluid (κάποιο από αυτά να «κολλήσει» και να μην λειτουργεί)
- ✓ Πρόβλημα με εσωτερική διαρροή του ασφαλιστικού στην είσοδο, η οποία επηρεάζει την πίεση εισόδου (φαίνεται από το μανόμετρο εισόδου και το σήμα του pressure transmitter στην έξοδο του κυκλώματος)

Να σημειωθεί εδώ, ότι η απομάκρυνση της θερμότητας του barrier fluid γίνεται συνήθως με τη χρήση ενός κεντρικού εναλλάκτη ψύξης, μέσα από τον οποίο περνάει μία κεντρική γραμμή στην οποία «πέφτουν» όλες οι επιμέρους γραμμές από αντλίες με αντίστοιχα συστήματα Flush Plans.

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

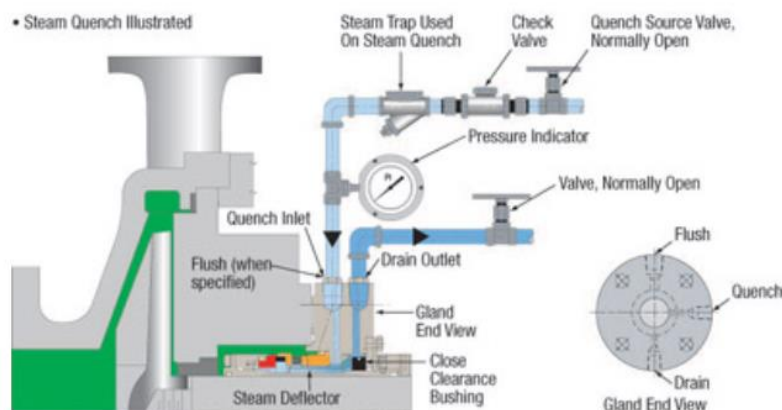
- Το barrier fluid συνήθως έχει καλές έως εξαιρετικές ιδιότητες λίπανσης, που όταν εφαρμόζεται σωστά μπορεί να οδηγήσει σε εκτεταμένη MTBPM (Mean Time Between Planned Maintenance) για τη σαλαμάστρα.
- Όταν οργανώνεται κατάλληλα, το σύστημα μπορεί να προστατέψει τη σαλαμάστρα από διαταραχές στη λειτουργία της αντλίας διεργασίας καθώς επίσης και από τις διακοπές ρεύματος.
- Η μηχανική σαλαμάστρα εκτίθεται σε ουδέτερο υγρό, με εξαίρεση τα μέρη της ενσωματωμένης φραγής, έτσι ώστε να εξαιρεθούν η διάβρωση και άλλα χημικά προβλήματα.
- Εξαλείφει εκθετικά τη διαρροή επιβλαβών και διαφεύγουσων εκπομπών στην ατμόσφαιρα.
- Μπορεί να παρέχει συμπιεσμένη ροή σε πολλαπλές εγκαταστάσεις σαλαμαστρών με ένα σύστημα για να μειώσει το κόστος.
- Δεν περιορίζεται από την είσοδο αζώτου στο barrier fluid όπως στο API-53A Flush Plan

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Τα συστήματα μπορούν να είναι δαπανηρά σε σχέση με άλλα flush plans, ανάλογα με τον αριθμό και τον τύπο των πλεοναζόντων και προστατευτικών συστημάτων.
- Το σύστημα εξαρτάται από ένα ξεχωριστό σύστημα άντλησης (αντλία και κινητήρας) που μπορεί να προκαλέσει βλάβη στη σαλαμάστρα εάν χαθεί η ισχύς στο σύστημα αυτό.
- Η ζημιά στην εσωτερική φραγή μπορεί να οδηγήσει σε μόλυνση της διεργασίας από διαρροή του barrier fluid.
- Εάν χρησιμοποιείται σε πολλαπλές εγκαταστάσεις με αντίστοιχα συστήματα flush plans, η αστοχία του ενός μπορεί να έχει επίδραση σε όλες τις άλλες εγκαταστάσεις, εκτός εάν λαμβάνονται οι κατάλληλες προφυλάξεις για την απομόνωση της αποτυχημένης φραγής.
- Εξαρτημένη από ένα αξιόπιστο σύστημα ηλεκτρικής παροχής.

API-62 FLUSH PLAN

Αυτό το σύστημα Flush Plan, έχει κύριο στόχο, τη βελτίωση της ατμοσφαιρικής πλευράς της σαλαμάστρας (σε μονές σαλαμάστρες) ρίχνοντας προς τη φραγή ένα ρευστό quench το οποίο μπορεί να είναι ατμός, νερό ή άζωτο.



ΕΙΚΟΝΑ 6.24 : Η διάταξη API-62 Flush Plan

(<https://www.pumpsandsystems.com/circulation-systems-single-and-multiple-seal-arrangements-part-three>)

Με αυτό το τρόπο, απομακρύνονται τυχόν στερεά τα οποία μπορεί να συσσωρευθούν στην ατμοσφαιρική πλευρά της σαλαμάστρας.

Το κύκλωμα εισόδου του ρευστού quench περιλαμβάνει κατά σειρά απομονωτική βάνα, ανεπίστροφο και ατμοπαγίδα καθώς και μανόμετρο για την ένδειξη της πίεσης. Από τη σαλαμάστρα το drain του quench ρευστού οδηγείται προς την ατμόσφαιρα.

Το steam quench είναι το πιο σύνηθες που χρησιμοποιείται στα διυλιστήρια. Ο ατμός χρησιμοποιείται για τους περισσότερους ζεστούς και βαρείς υδρογονάνθρακες. Για την εισαγωγή του ατμού προς τη φραγή θα πρέπει να έχει προηγηθεί πλύ καλή ξήρανση της γραμμής. Κατά τη διάρκεια ελέγχου ρουτίνας, ελέγχεται ότι εξέρχεται το quench ρεύμα προς την ατμόσφαιρα και φυσικά το τοπικό μανόμετρο στην είσοδο.

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Εναλλακτική λύση χαμηλού κόστους σε διπλές σαλαμάστρες για τη βελτίωση της κατάστασης στην πλευρά χαμηλή πίεσης της διεργαζόμενης σαλαμάστρας.

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Η διαρροή της διεργασίας μετά την πρωτεύουσα φραγή δεν περιορίζεται παρα μόνο με το throttle bushing. Η διαρροή στη συνέχεια μπορεί να διαρεύσει στην ατμόσφαιρα ή να πάει στο drain (αποχέτευση).
- Ο ακατάλληλος έλεγχος του ατμού μπορεί να επιτρέψει τη διαμόρφωση συμπύκνωσης που μπορεί να βράσει και να προκαλέσει ζημιά στη σαλαμάστρα σε διεργασία με ζεστό υγρό.
- Ο κακός έλεγχος ατμού μπορεί να οδηγήσει σε αντίστροφη πίεση στη σαλαμάστρα ή / και σε μόλυνση του λαδιού των ρουλεμάν.

7. ΠΡΟΒΛΕΠΤΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΑΝΤΛΙΩΝ

Όπως κάθε μηχανολογική διάταξη έτσι και οι αντλίες παρουσιάζουν έτσι και οι αντλίες παρουσιάζουν φυσιολογική φθορά ή έκτακτες βλάβες κατά τη λειτουργία τους. Σε αντίθεση με τις ηλεκτρονικές συσκευές που εμφανίζουν τα τυχόν κατασκευαστικά τους πρόβλήματα μέσα στις πρώτες ώρες λειτουργίας τους, η φθορά των μηχανολογικών συσκευών γενικά αυξάνεται με το τετράγωνο του χρόνου λειτουργίας τους. Αυτός είναι ο λόγος που οι σοβαροί κατασκευαστές των μηχανών δίνουν πολύ μεγαλύτερη χρονικά εγγύηση από τους κατασκευαστές ηλεκτρονικών/ηλεκτρικών συσκευών.

Η περιοδική συντήρηση προλαμβάνει μεγαλύτερες καταστροφές, επομένως μειώνει τα έξοδα και επιμηκύνει τη ζωή της αντλίας. Περιλαμβάνει ελέγχους, εργασίες και αντικατάσταση εξαρτημάτων που κανονικά φθείρονται κατά τη λειτουργία σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή.

Οι βασικές **εργασίες συντήρησης** είναι οι εξής:

- Εξωτερικός καθαρισμός και αντισκωριακή προστασία της αντλίας
- Λίπανση (αντικατάσταση ή συμπλήρωση με τα κατάλληλα λιπαντικά ή γράσο) των εδράνων, των στυπιοθλιπτών, της μετάδοσης κίνησης, του κινητήρα.
- Έλεγχος φθοράς των εσωτερικών τμημάτων και αντικατάσταση εξαρτημάτων σύμφωνα με το πρόγραμμα του κατασκευαστή. Για παράδειγμα αντικατάσταση αν χρειάζεται της σαλαμάστρας, ή του δακτυλίου άνθρακα (ή και περιστρεφόμενο δακτύλιο) στον μηχανικό στυπιοθλίπτη.

Οι έλεγχοι που συνήθως γίνονται, αφορούν:

- την ομαλή και αθόρυβη λειτουργία αντλίας και κινητήρα,
- τα χαρακτηριστικά μεγέθη λειτουργίας της αντλίας (παροχή, πίεση),
- την κατανάλωση ενέργειας π.χ. ηλεκτρικού ρεύματος,
- την ευθυγράμμιση στον ελαστικό σύνδεσμο,
- τα εσωτερικά μέρη για σημάδια σπηλαίωσης, ή διάβρωσης ή μηχανικής φθοράς,
- τη σταθερότητα των πτερωτών στον άξονα και τα διάκενα μεταξύ πτερωτής και δακτυλίου,
- τη λειτουργία των βαλβίδων διακοπής και των βαλβίδων ανεπιστροφής του αντλητικού συγκροτήματος.

7.1. Μετρητικές τεχνικές για διάγνωση βλαβών σε μηχανολογικό εξοπλισμό

Στη σημερινή εποχή υπάρχει μεγάλη ποικιλία τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται για τη διάγνωση βλαβών και τη μέτρηση φθοράς βιομηχανικών διατάξεων. Οι τεχνικές που εφαρμόζονται για τη παρακολούθηση της κατάστασης χρησιμοποιούνται οι περισσότερες μέχρι και σήμερα και είναι οι παρακάτω:

- Ανάλυση κραδασμών (Vibration Analysis)
- Ανάλυση ακουστικών επομπών (Acoustic Emission Analysis)
- Δοκιμές με υπερήχους (Ultrasonic Testing)
- Ανάλυση λιπαντικού (Oil Analysis) ή Τριβολογία (Tribology)
- Μέτρηση παραμόρφωσης (Strain measurement)
- Επιθεωρήσεις ραδιογραφήματος (Radiographic Measurements)
- Υπέρυθηρη θερμογραφία (Infrared Thermography)

- Μέτρηση παραμέτρων λειτουργικής διαδικασίας (Process Parameters)
- Στατική ανάλυση της δοκιμής ακεραιότητας των υλικών
- Ανάλυση ταυτότητας ρεύματος ενός κινητήρα (Motor Current Signature Analysis – MCSA)

Οι πιο συνηθισμένες τεχνικές συντήρησης που χρησιμοποιούνται σε αντλίες είναι οι εξής:

- Υπέρυθρη θερμογραφία (Infrared Thermography),
- Ανάλυση κραδασμών (Vibration Analysis),
- Ανάλυση ακουστικών επομπών (Acoustic Emission Analysis),
- Ανάλυση λιπαντικού (Oil Analysis) ή Τριβολογία (Tribology),
- Ανάλυση ταυτότητας ρεύματος ενός κινητήρα (Motor Current Signature Analysis – MCSA),

7.1.1.Υπέρυθρη θερμογραφία

Η υπέρυθρη θερμογραφία είναι μία εξαιρετική μέθοδος μη καταστροφικού ελέγχου (NDT) όπου αναφέρεται στο σύνολο καταγραφής της επιφανειακής θερμοκρασίας ενός αντικείμενου, ασχέτως του φυσικού φαινομένου όπου βασίζονται.Πιο συγκεκριμένα, ο όρος υπέρυθρη θερμογραφία αφορά την ανίχνευση ακτινοβολίας που εκπέμπεται από ένα αντικείμενο, ανάλογη της θερμοκρασίας του όπου έπειτα αποτυπώνεται σε συστήματα υπέρυθρης απεικόνισης μέσω θερμικής εικόνας.

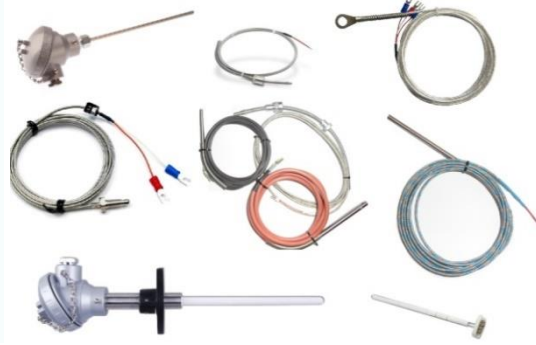
Οι αισθητήρες θερμοκρασίας κυμαίνονται από απλά θερμοστοιχεία που μετρούν τη θερμοκρασία σε ένα σημείο έως υπέρυθρες κάμερες που μπορούν να συλλάβουν ολόκληρο τον χάρτη θερμότητας για ολόκληρη την περιοχή.

Τα θερμοστοιχεία χρησιμοποιούν το φαινόμενο Seebeck: Εάν δύο καλλώδια φτιαγμένα από διαφορετικά υλικά ενωθούν στη μία άκρη, μία αλλαγή της θερμοκρασίας θα παράξει τάση από τις άλλες, μη ενωμένες άκρες, των καλωδίων.Τα θερμοστοιχεία κατασκευάζονται σε συνδυασμό διαφορετικών υλικών, το καθένα με το δικό του εύρος θερμοκρασίας.Επίσης συναντώνται είτε σε επενδυμένες εκδοχές είτε όχι, ανάλογα με το αν εκτίθενται σε διάβρωση, οξείδωση και άλλους κινδύνους.

Οι θερμοκάμερες χρησιμοποιούν το νόμο του Planck:Οποιοδήποτε αντικείμενο με θερμοκρασία μεγαλύτερο από το απόλυτο μηδέν εκπέμπει υπέρυθρη ακτινοβολία και η ποσότητα της, αυξάνεται με τη θερμοκρασία.(Η υπέρυθρη ακτινοβολία είναι το ίδιο φαινόμενο με το συνηθισμένο φως – μόνο σε μήκη κύματος έξω από το ορατό εύρος μας.Τα ραδιοκύματα και οι ακτίνες Χ είναι άλλα τμήματα του ίδιου ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.) Οι θερμοκάμερες μπορούν είτε να κρατηθούν στο χέρι είτε να τοποθετηθούν κάπου σταθερά και μόνιμα.Η ακρίβεια τους μπορεί να επηρεαστεί από την εστίαση της κάμερας και από το πόσο αντανάκλαστικές είναι οι επιφάνειες που καταγράφονται, όπως επίσης και τα ρεύματα αέρα και την θερμοκρασία περιβάλλοντος.Οι θερμοκάμερες χρειάζονται μία πηγή ενέργειας, είτε μέσω καλωδίωσης είτε μέσω μπαταριών.

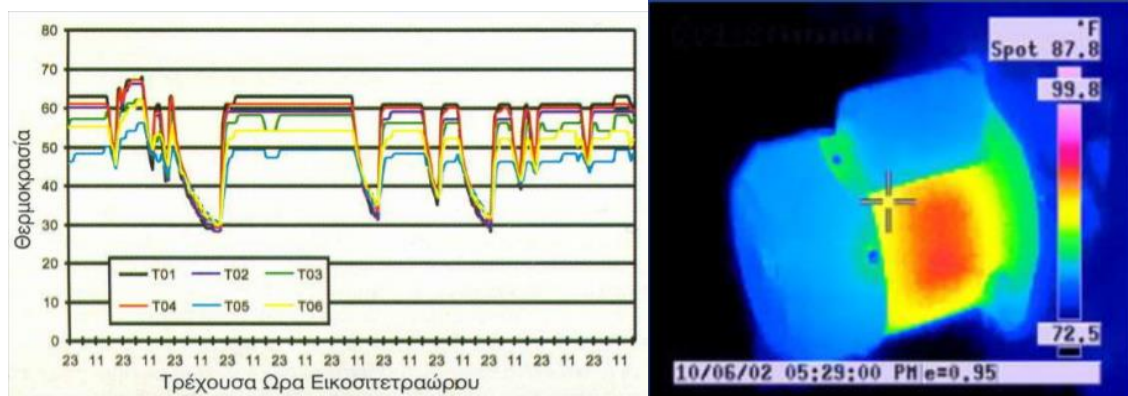


ΕΙΚΟΝΑ 7.1 : Θερμοκάμερα
(<http://www.megael.gr/tis60/>)



ΕΙΚΟΝΑ 7.2 : Θερμοστοιχεία
(<https://www.grigoropoulos.gr/>)

Τα υπέρυθρα κύματα που καταγράφονται από τη θερμοκάμερα, κατ'ευθείαν μετατρέπονται σε ένα χάρτη χρωμάτων μέσα στη κάμερα. Κάθε χρώμα της εικόνας αντιπροσωπεύει μία διαφορετική θερμοκρασία. Για τον εντοπισμό αλλαγών που σχετίζονται με σφάλματα με τη πάροδο του χρόνου, η θερμική ανάλυση χρησιμοποιεί τις τεχνικές της όρασης υπολογιστών, ένα πεδίο μηχανικής μάθησης που επικεντρώνεται στην ερμηνεία εικόνων.



ΕΙΚΟΝΑ 7.3 : Εξέλιξη θερμοκρασιών σε έξι ρουλεμάν ενός μειωτήρα κίνησης. T01 έως T06 είναι οι αριθμοί των θερμοστοιχείων που μετρούν τη θερμοκρασία των ρουλεμάν σε κάθε βαθμίδα

(https://eclass.hmu.gr/modules/document/file.php/MECH201/ΔΙΑΛΕΞΕΙΣ%202021/4η%20Διάλεξη_Προβλεπτική%20Συντ.pdf)

Στην βιομηχανία η υπέρυθρη αποτελεί ένα πολύ σημαντικό εργαλείο προβλεπτικής συντήρησης. Η υπέρυθρη ακτινοβολία δίνει την δυνατότητα ελέγχου της θερμοκρασίας σημείων τα οποία δεν μπορούν να προσεγγιστούν με αισθητήρια θερμοκρασίας και συμβάλει στον έλεγχο της αξιοπιστίας, την ασφάλεια και την αποφυγή ξαφνικών βλαβών. Ενδεικτικά τμήματα εξοπλισμού στα οποία χρησιμοποιείται η υπέρυθρη θερμογραφία είναι:

- Υπο τάση ηλεκτρολογικός εξοπλισμός,
- Άξονες, έδρανα και γενικότερα τμήματα εξοπλισμού που κινούνται, περιστρέφονται ή δονούνται,
- Καυστήρες, εναλλάκτες θερμότητας, τύμπανα ξήρανσης κ.λπ.,
- Λέβητες, φλογοθάλαμοι, καπνοδόχοι, δίκτυο ατμού, δεξαμενές, αεραγωγοί κ.λπ.,

- Υπόγεια δίκτυα, εγκιβωτισμένες σωληνώσεις κ.λπ.

Πλεονεκτήματα χρήσης υπέρυθρης θερμογραφίας στη βιομηχανία:

- Προβλεπτική συντήρηση και αποφυγή μη προγραμματισμένης διακοπής παραγωγικής διαδικασίας και συνεπώς αποφυγή απώλειας εσόδων
- Αποφυγή κινδύνου ατυχήματος σε εργαζομένους και εξοπλισμό
- Πραγματοποίηση ελέγχου κατά τη παραγωγική διαδικασία χωρίς να πρέπει να διακοπεί
- Πραγματοποίηση ελέγχου σε ηλεκτρολογικό εξοπλισμό υπο τάση χωρίς να απαιτείται επαφή
- Σημαντική μείωση του κόστους συντήρησης
- Αύξηση της διαθεσιμότητας και της αξιοπιστίας

7.1.2. Ανάλυση κραδασμών

Η ανάλυση κραδασμών θεωρείται γενικά η πρώτη τεχνολογία που μπορούσε να παρακολουθεί τη κατάσταση μίας μηχανής και να παρέχει έγκαιρη προειδοποίηση μίας αστοχίας. Το πρώτο ερευνητικό άρθρο για διερεύνηση των κραδασμών ως τρόπο παρακολούθησης των βιομηχανικών στοιχείων χρονολογείται από το 1938. Αισθητήρες εγκαθίσταται απευθείας στο προς παρακολούθηση εξάρτημα και μπορούν να προειδοποιήσουν για επερχόμενη βλάβη εάν ανιχνεύσουν σημάδια κραδασμών που βρίσκονται εκτός του επιτρεπόμενου εύρους από ένα σωστά λειτουργούμενο κομμάτι εξοπλισμού.

Στην παρακαλούθηση κατάστασης λειτουργίας, οι δονήσεις είναι οι τακτικές ταλαντευόμενες κινήσεις που εννοούμε στην καθημερινή χρήση της λέξης “δόνηση”. Οι αισθητήρες κραδασμών είναι συνήθως πιεζοηλεκτρικοί μορφοτροπείς (μεταφράζουν την μηχανική δύναμη που παράγεται από μία αλλαγή στη κίνηση σε αναλογικό ηλεκτρικό φορτίο) και υπάρχουν χωρητικές όπως και με ωμικές αντιστάσεις εκδόσεις. Μερικές από αυτές μετράνε μετατοπίσεις, όπως οι ακουστικοί αισθητήρες, ενώ άλλες μετρούν την ταχύτητα ή την επιτάχυνση.

Τα πιεζοηλεκτρικά επιταχυνσιόμετρα είναι η πιο κοινή επιλογή. Οι αισθητήρες που βασίζονται στην τεχνολογία MEMS (Micro-Electrical Mechanical Systems-Μικροηλεκτρικά μηχανικά συστήματα), είναι μικρότεροι, φθηνότεροι και μπορούν να ενσωματώσουν την ανάλυση απευθείας στην συσκευή, αλλά είναι πιο ευαίσθητοι στο θόρυβο.

Για να καταγραφούν γραμμικές δονήσεις (εμπρός και πίσω) και προς τις τρεις κατευθύνσεις, θα χρειαστούν είτε τρεις αισθητήρες (έναν για κατεύθυνση) είτε έναν τριαξονικό αισθητήρα που μπορεί να μετρήσει και τις τρεις κατευθύνσεις. Για να καταγραφούν περιστροφικές κινήσεις, θα πρέπει να εγκατασταθεί ένας γωνιακός αισθητήρας που ονομάζεται κωδικοποιητής. (Μπορούν να εγκατασταθούν και δύο αν πρέπει να καταγραφούν και στρεπτικές δονήσεις). Το εύρος συχνοτήτων του αισθητήρα είναι σημαντικό να λαμβάνεται υπόψη.

Όπως και άλλες μετρητικές τεχνικές, η ανάλυση κραδασμών εκτελεί την επεξεργασία σήματος τόσο στους τομείς χρόνου όσο και συχνότητας χρησιμοποιώντας το FFT (Fast Fourier Algorithm) και άλλους αλγόριθμους.



ΕΙΚΟΝΑ 7.4 : Επιταχυνσιόμετρο με τριαξονικό αισθητήρα τεχνολογία MEMS χωρητικής έκδοσης
(<http://www.china-yec.net/sensors/mems-accelerometer/>)

Επειδή οι αισθητήρες πρέπει να τοποθετούνται πάνω ή δίπλα από το εξάρτημα που παρακολουθείται, η ανάλυση κραδασμών δεν είναι κατάλληλη να παρακολουθεί εξεργήματα που βρίσκονται/λειτουργούν σε:

- δύσβατες περιοχές όπως π.χ. ένας υπόγειος ανεμιστήρας σε ένα βαθύ φρεάτιο ορυχείου,
- απομακρυσμένη περιοχή μέσα σε μία μεγάλης έκτασης περιοχή όπως π.χ. σε αντλίες που βρίσκονται κατά μήκος ενός απομακρυσμένου αγωγού πετρελαίου,
- δύσκολα μέρη να αποκτηθεί πρόσβαση όπως π.χ. ένας κινητήρας που περιβάλλεται μέσα σε ένα μεγαλύτερο μηχάνημα,
- επικίνδυνα περιβάλλοντα όπως π.χ σε ζώνες ATEX (Ζώνες Εκρηκτικής Ατμόσφαιρας),
- αντίξοες συνθήκες, όπως οι ζεστές και υγρές συνθήκες μίας μηχανής παραγωγής χαρτιού, όπου οι αισθητήρες θα μπορούσαν να υποστούν βλάβη ή καταστροφή.

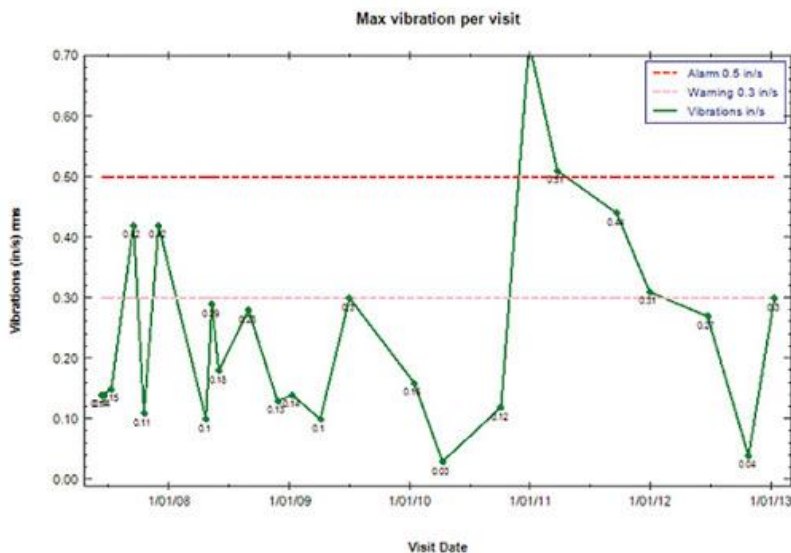
Κάθε παραγωγικό σύστημα είναι διαφορετικό, πράγμα που σημαίνει ότι δεν υπάρχει τεχνολογία παρακολούθησης κατάσταση ενός μεγέθους για όλα τα συστήματα. Ωστόσο, μπορούν να δηλωθούν ορισμένοι γενικοί κανόνες όσον αφορά περιοχές όπου η ανάλυση κραδασμών είναι ισχυρή ή αδύναμη στη παρακολούθηση κατάστασης συστημάτων.

Δυνατοί στη παρακολούθηση:

- Ένας κινητήρας που δίνει ισχύ σε διάφορα συστήματα
- Μηχανικά σφάλματα
- Συνεχές ρεύμα (DC)
- Περιστρεφόμενα μηχανήματα

Αδύναμοι στη παρακολούθηση/ανίκανα στη παρακολούθηση:

- Απομακρυσμένα ή μη προσβάσιμα συστήματα
- Συστήματα που βρίσκονται σε ζώνες ATEX ή άλλες δυσμενείς συνθήκες περιβάλλοντος
- Συστήματα που βρίσκονται σε θορυβώδη ή δονούμενα περιβάλλοντα
- Διαρροές
- Ηλεκτρικά σφάλματα
- Πολύ αργά περιστρεφόμενα μηχανήματα
- Ενεργειακή απόδοση



ΕΙΚΟΝΑ 7.5 : Διάγραμμα παρακολούθησης κραδασμών φυγοκεντρικής αντλίας. Ο άξονας y δείχνει τις δονήσεις (in/s) και ο άξονας x δείχνει την περίοδο καταγραφής μετρήσεων (<https://www.pumpsandsystems.com/do-vibration-measurements-depend-probe-placement-and-probe-type>)

7.1.3. Ανάλυση ακουστικών επομπών

Η ανάλυση ακουστικών εκπομπών (γνωστή και ως ηχητική ανάλυση) προέκυψε το 1970 ως τεχνική παρακολούθησης της κατάστασης. Χρησιμοποιεί αισθητήρες που τοποθετούνται στο σύστημα (που ονομάζεται ανάλυση βάσει δομής) ή πολύ κοντά σε αυτό (αερομεταφερόμενη ανάλυση). Οι αισθητήρες αυτοί ανιχνεύουν παροδικά κύματα που δημιουργούνται από τις διεργασίες που σχετίζονται με τη φθορά, όπως τριβή, σύνθλιψη και ρωγμές. Αν και αυτές οι διαδικασίες μπορεί να παράγουν ηχητικούς ήχους, ή μέθοδος ακουστικής ανάλυσης συνήθως μετρά συχνότητες πάνω από το εύρος της φυσιολογικής ανθρώπινης ακοής (γνωστό και ως υπερηχητικό).

Οι ακουστικοί αερομεταφερόμενοι αισθητήρες είναι ουσιαστικά μικρόφωνα, όπου τα ηχητικά κύματα στον αέρα μετακινούν φυσικά ένα λεπτό διάφραγμα (συνήα κατασκευασμένο από πλαστικό), το οποίο με τη σειρά του μετακινεί ένα μεταλλικό πηνίο εμπρός και πίσω σε ένα μαγνήτη, παράγοντας ένα ηλεκτρικό ρεύμα. Είναι διαβόητα ευαίσθητα στο θόρυβο του περιβάλλοντος και σε οτιδήποτε στέκεται στο μονοπάτι μεταξύ του αισθητήρα και του αντικειμένου που παρακολουθείται.



ΕΙΚΟΝΑ 7.6 : Ακουστικοί αερομεταφερόμενοι αισθητήρες (<https://spectrumscientific.com.ph/product/hvpd-linearplex-airborne-acoustic-sensor/>)

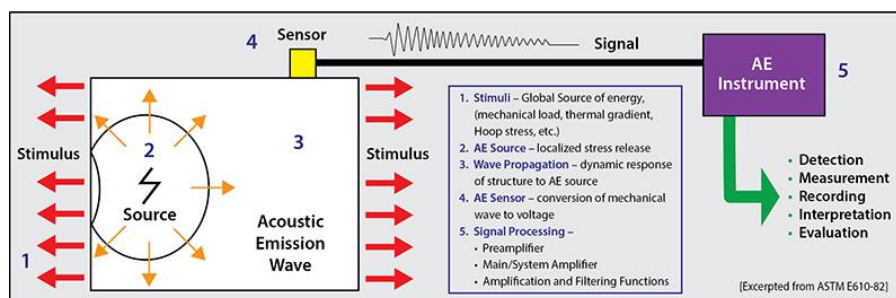
Οι αισθητήρες ακουστικής δομής χρησιμοποιούν συχνά πιεζοηλεκτρικά επιταχυνσιομετρα. Οι πιεζοηλεκτρικές συσκευές είναι πιο ευαίσθητες σε ένα εύρος

συχνοτήτων που καθορίζεται από τις ιδιότητες του χρησιμοποιούμενου υλικού (συνήθως χαλαζία ή συνθετικό κεραμικό) και μετατρέπουν τη μικροσκοπική μετατόπιση της επιφάνειας που προκαλείται από το κύμα πίεση –πρόκειται για μετατόπιση κλίμακας νανομέτρου- σε ηλεκτρικό φορτίο. Η θέση και ο προσανατολισμός τους στο μηχάνημα επηρεάζουν επίσης τι μπορούν να ανιχνεύσουν και πόσο καλά. Υπάρχει επίσης μία εναλλαγή μεταξύ του πλάτους που μπορεί να μετρήσει ένα επιταχυνσιόμετρο και της ευαισθησίας του. Τα επιταχυνσιόμετρα μπορούν να “εξωστρακιστούν” από το θόρυβο του περιβάλλοντος. Οι παραπάνω λόγοι καθιστούν σημαντική την προσεκτική αξιολόγηση των χαρακτηριστικών τόσο του συστήματος που παρακολουθείται όσο και του παραπλήσιου περιβάλλοντος για την επιλογή και εγκατάσταση ακουστικών αισθητήρων.

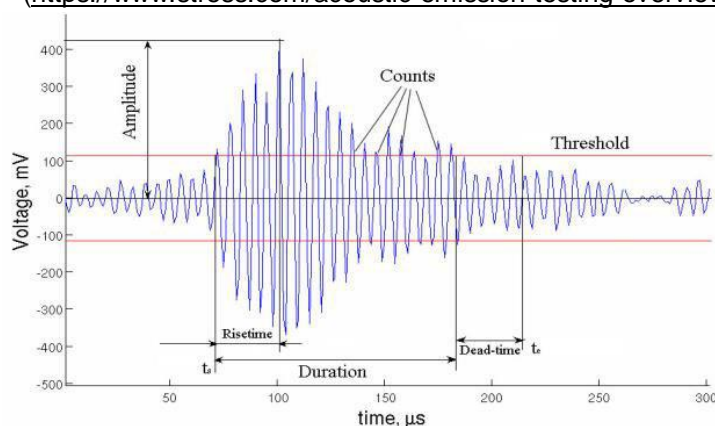


ΕΙΚΟΝΑ 7.7 : Αισθητήρες ακουστικής δομής

Τα ακουστικά κύματα είναι μία ιδιαίτερα καλή πηγή στοιχείων για να ανιχνεύσουν τις ρωγμές επιφάνειας, τη διάβρωση, την αποκόλληση, την διάβρωση λόγω κόπωσης του σκυροδέματος, το μέταλλο και το fiberglass.



ΕΙΚΟΝΑ 7.8 : Αρχή λειτουργίας αισθητήρων ακουστικής δομής
(<https://www.stress.com/acoustic-emission-testing-overview/>)

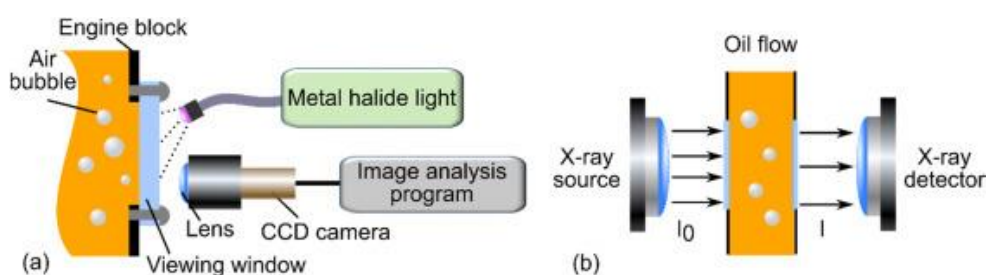


ΕΙΚΟΝΑ 7.9 : Τυπικό διάγραμμα μετρήσεων ακουστικών κυμάτων με τις παραμέτρους του
(https://www.researchgate.net/figure/Figure-1-Acoustic-emission-parameters_fig1_305373287)

7.1.4. Ανάλυση λιπαντικού ή Τριβολογία

Η ανάλυση λιπαντικού χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά το 1946, όταν η αμερικανική βιομηχανία σιδηροδρόμων ανέλυσε το λιπαντικό μηχανών diesel για να ανιχνεύσει τη φθορά εξαρτημάτων. Το χρησιμοποιημένο λιπαντικό στάλθηκε σε ερευνητές που χρησιμοποίησαν φασματογράφο για την ανίχνευση μεμονωμένων χημικών στοιχείων όπως ο σίδηρος και ο χαλκός. Η τεχνική άρχισε να επεκτείνεται σε άλλες βιομηχανίες στα τέλη της δεκαετίας του 1950, καθώς αναπτύχθηκαν φασματόμετρα χειρός που μπορούσαν να αναλύσουν δείγματα επι τόπου.

Για την ανάλυση λιπαντικών χρησιμοποιείται η τεχνολογία των αισθητήρων οι οποίοι είναι πολλών και διαφόρων τύπων. Μερική μετρούν τη διηλεκτρική σταθερά του λιπαντικού, η οποία αλλάζει καθώς αυτό υποβαθμίζεται ή μολύνεται. (Η διηλεκτρική σταθερά μίας ουσίας αντικατοπτρίζει την ικανότητα της να εμποδίζει τη δημιουργία ηλεκτρικού πεδίου σε αυτό.) Άλλοι αισθητήρες λιπαντικού μετρούν τα οπτικά χαρακτηριστικά και τα συγκρίνουν με τις συνθήκες του μοντέλου για να αξιολογήσουν την ποιότητα του λιπαντικού (μία τεχνική που ονομάζεται φασματοκοπία υπερέυθρων μετασχηματισμού Fourier). Ακόμα, άλλοι χρησιμοποιούν μαγνητικά πεδία για να ανιχνεύσουν και να ταξινομήσουν μεταλλικά σωματίδια στο λιπαντικό (ένα σημάδι φθοράς). Και ακόμα άλλοι χρησιμοποιούν εκπομπές ακτίνων X για να ανιχνεύσουν την παρουσία ξένων στοιχείων.



ΕΙΚΟΝΑ 7.10 : Αισθητήρες ανάλυσης λιπαντικού (a) με μέτρηση οπτικών χαρακτηριστικών (b) με χρήση εκπομπών ακτίνων X

(<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301679X17300166>)

Τα λιπαντικά κατά τη χρήση τους αλλοιώνονται ή/και μολύνονται. Επίσης, ο βαθμός της φυσικής ή χημικής μόλυνσης τους επηρεάζει την αποτελεσματικότητα της λίπανσης και επιταχύνει τις φθορές των λιπαινόμενων στοιχείων μηχανών.

Φυσική αλλοίωση (πρόσμιξη με ξένες ουσίες):

- Εξωτερικοί μολυντές: Σκόνη, μεταλλικά σωματίδια, διαλύτες, νερό/υγρασία
- Εσωτερικοί μολυντές: Ρινίσματα φθοράς μετάλλων, προϊόντα οξείδωσης, σκόνη, νερό, υγρασία κ.λπ.

Χημική αλλοίωση:

- Η οξείδωση είναι ο πιο συχνός τύπος αποσύνθεσης και υποβάθμισης των λιπαντικών και της λίπανσης

7.1.5. Ανάλυση ταυτότητας ρεύματος ενός κινητήρα

Η ανάλυση ταυτότητας ρεύματος ενός κινητήρα (MCSA-Motor Current Signature Analysis), είναι μία τεχνολογία που χρησιμοποιείται για τη δυναμική ανάλυση και

εκτίμηση του προς τα που κλείνει η λειτουργία ενός ηλεκτρικά τροφοδοτούμενου συστήματος κίνησης. Βοηθά στην εκτίμηση της κατάστασης των τυλιγμάτων στάτη/ρότορα, της στατικής και δυναμικής εκκεντρότητας του διακένου του κινητήρα, της κατάστασης των συστημάτων μετάδοσης κίνησης (είτε αυτή είναι άμεση είτε γίνεται μέσω ιμάντων ή μέσω κιβωτίου ταχυτήτων), της κατάστασης των εδράνων κ.λπ.

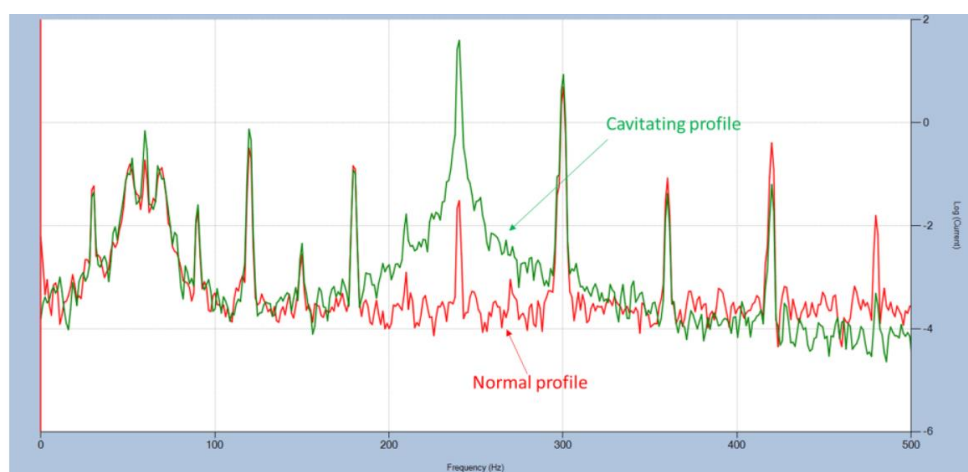
Η έννοια του MCSA δημιουργήθηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1970 όταν προτάθηκε ως εργαλείο για την παρακολούθηση κινητήρων σε επικίνδυνες περιοχές ή περιβάλλοντα εντός πυρηνικών σταθμών. Είναι μία τεχνική παρακολούθησης κατάστασης που μπορεί να διαγνώσει προβλήματα σε επαγωγικούς κινητήρες αναλύοντας δεδομένα ρεύματος και τάσης. Οι αισθητήρες MCSA εγκαθίστανται μέσα στο πίνακα ελέγχου μηχανών (MCC-Motor Control Cabinet) και τα στοιχεία συλλέγονται on-line χωρίς διακοπή της παραγωγής.

Ταξινόμηση Βλαβών

Οι αλγόριθμοι ταξινόμησης MCSA αναγνωρίζουν μοτίβα που σχετίζονται με συγκεκριμένους μηχανισμούς αποτυχίας. Για παράδειγμα, η σπηλαιώση της αντλίας δείχνει ένα σαφώς διαφορετικό μοτίβο από τις βλάβες του ρουλεμάν ή του στάτη. Διαφορετικοί μηχανισμοί αστοχίας αφήνουν ευδιάκριτα σημάδια στο τρέχον ημιτονικό κύμα, το οποίο μπορεί να στρέψει την ομάδα συντήρησης στην πιθανή αιτία του σφάλματος του κινητήρα.

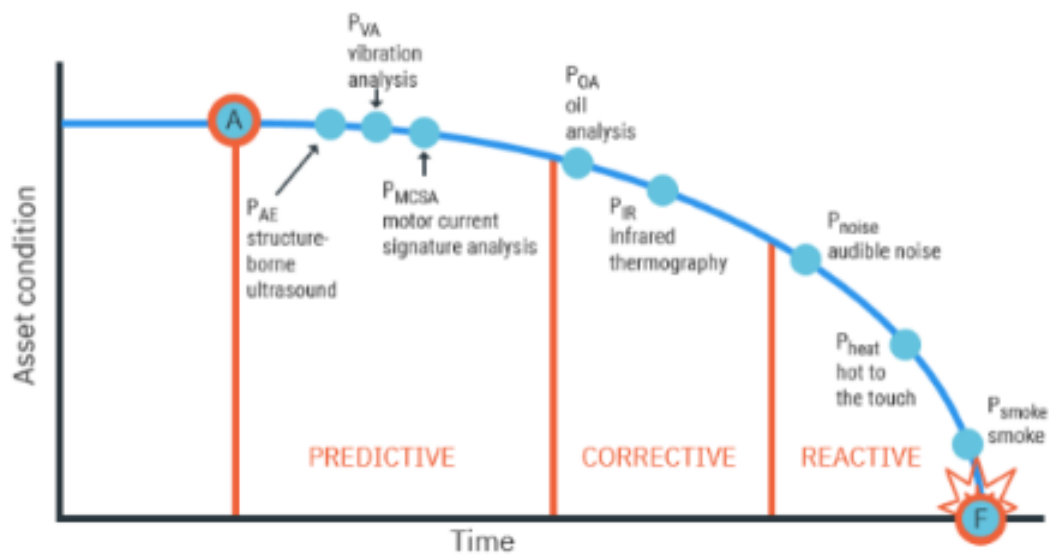
Τα σημαντικότερα ελαττώματα των ηλεκτρικών μηχανών που μπορούν να αναγνωριστούν από τη μέθοδο MCSA περιλαμβάνουν:

- Εκκεντρότητα διακένου αέρα: ένα ανομοιόμορφο διάκενο αέρα μεταξύ του ρότορα και του στάτη
- Σπασμένοι ράβδοι του ρότορα
- Ζημιά στο ρουλεμάν
- Σπηλαιώση
- Βραχυκυκλωμένα τυλίγματα του στάτη
- Επιδράσεις του φορτίου
- Επιδράσεις φθοράς εξοπλισμού



EΙΚΟΝΑ 7.11 : Μέθοδος MCSA που εντοπίζει τη σπηλαιώση με ανάλυση FFT μίας ηλεκτροκίνητης υποβρύχιας αντλίας όπου αναρροφά θαλασσινό νερό.
(<https://www.faradaypredictive.com/technical-education/diagnostic-outputs/diagnostic-example-cavitation/>)

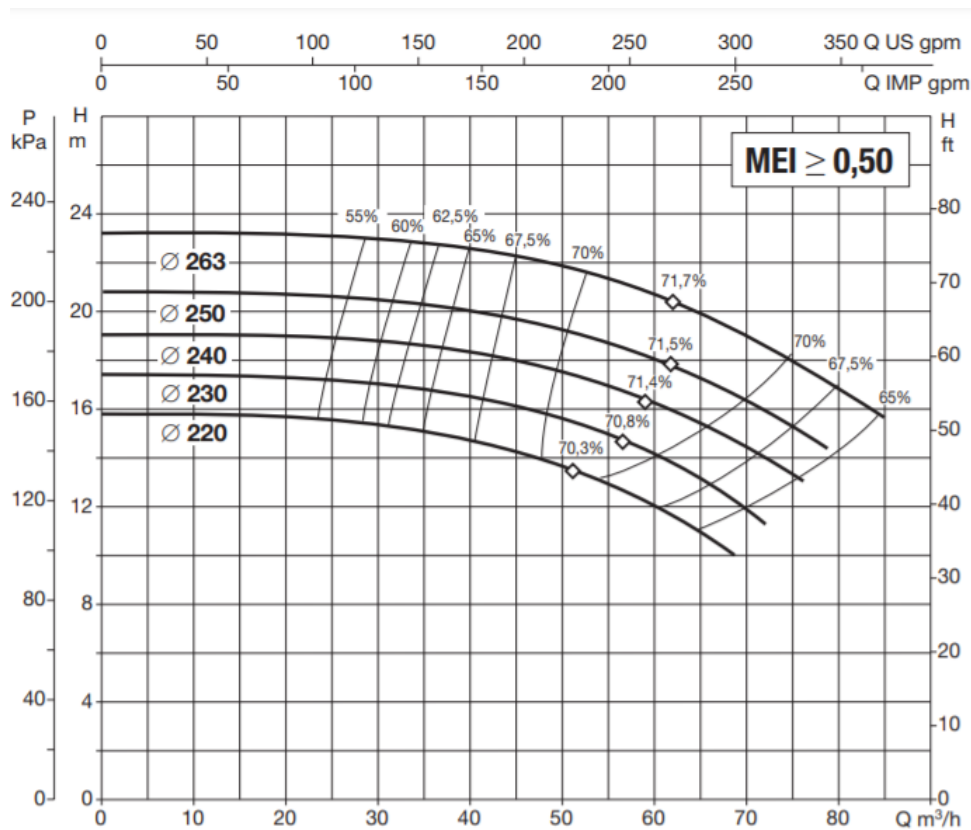
Συνοπτικά στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται σε διάγραμμα κατάστασης του εξοπλισμού οι παραπάνω μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τη συντήρηση μέχρι αυτό να αστοχήσει και να πάθει βλάβη



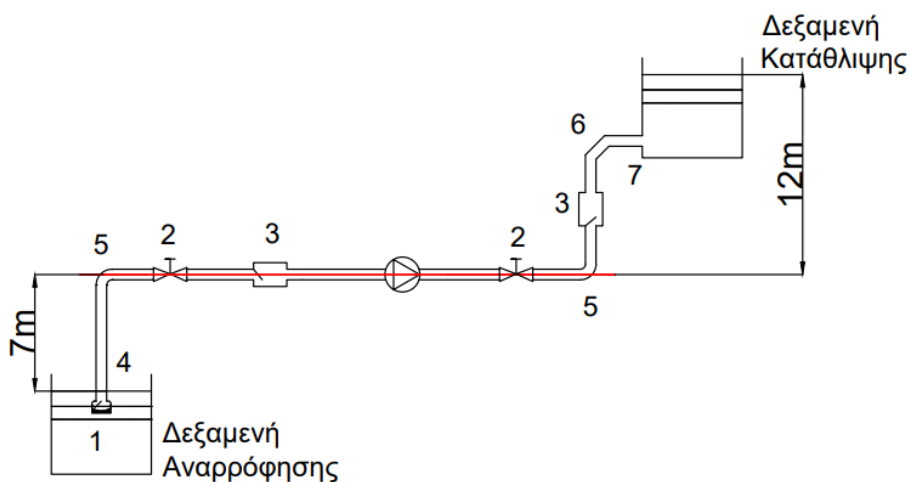
ΕΙΚΟΝΑ 7.12 : Διάγραμμα κατάστασης εξοπλισμού συναρτήση του χρόνου λειτουργίας (<https://www.samotics.com/acoustic-emission-analysis>)

8.ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ

Οι υπολογισμοί που θα γίνουν, αφορούν την παρακάτω εικόνα, στην οποία παρουσιάζεται μία υποθετική αντλητική εγκατάσταση και τα δεδομένα που δίνονται είναι τα παρακάτω. Η αντλία που επιλέγεται είναι τύπου overhung της εταιρείας DAB και συγκεκριμένα το μοντέλο KDN-65-250-4 Poles. Παρακάτω φαίνεται η χαρακτηριστική της καμπύλη για διάφορες διαμέτρους πτερωτών.



ΕΙΚΟΝΑ 8.1: Χαρακτηριστική καμπύλη της αντλίας DAB KDN-65-250-4 POLES για διαφορετικές διαμέτρους πτερωτών



ΕΙΚΟΝΑ 8.2 : Η υποθετική αντλητική εγκατάσταση

Τα δεδομένα της αντλητικής εγκατάστασης είναι τα παρακάτω:

- Διάμετρος σωλήνα αναρρόφησης: $D_{\text{αναρ}} = 6''$
- Διάμετρος σωλήνα κατάθλιψης: $D_{\text{κατ}} = 5''$
- Μήκος σωληνώσεων αναρρόφησης: $L_{\text{αναρ}} = 10 \text{ m}$
- Μήκος σωληνώσεων κατάθλιψης: $L_{\text{κατ}} = 100 \text{ m}$
- Ρευστό διεργασίας, νερό στους 15°C με πυκνότητα: $\rho \approx 999,2 \text{ kg/m}^3$
- Ύψος αναρρόφησης: $h_{\text{αναρ}} = -7 \text{ m}$
- Ύψος κατάθλιψης: $h_{\text{κατ}} = 12 \text{ m}$

Στην παραπάνω εικόνα διακρίνονται κάποιοι αριθμοί. Αυτοί οι αριθμοί αντιπροσωπεύουν τα εξαρτήματα που έχουν χρησιμοποιηθεί στην αντλητική εγκατάσταση και είναι τα παρακάτω:

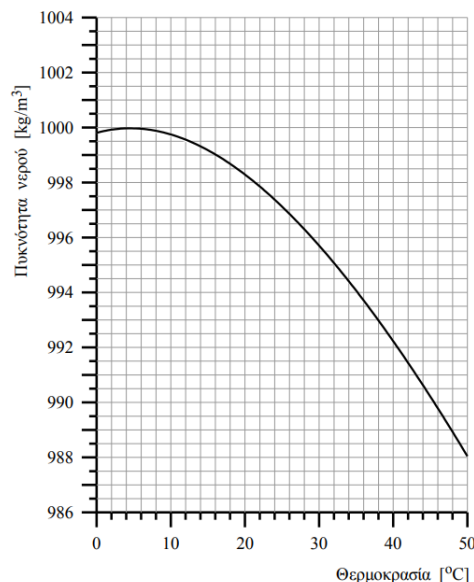
Αναρρόφηση

1. Ποδοβαλβίδα και φίλτρο
2. Βάνα αναρρόφησης συρταρωτού τύπου (gate valve) κατά τα $\frac{1}{2}$ ανοικτή
3. Βαλβίδα μη επιστροφής
4. Σωλήνας αναρρόφησης με επίπεδο χείλος
5. Κάμψη με λόγο $R/D:1$

Κατάθλιψη

2. Βάνα κατάθλιψης συρταρωτού τύπου (gate valve) κατά τα $\frac{1}{2}$ ανοικτή
3. Βαλβίδα μη επιστροφής
5. Κάμψη με λόγο $R/D:1$
6. 2 Γωνίες 45°
7. Έξοδος υγρού από σωλήνα σε δεξαμενή

Η πυκνότητα του νερού στους 15°C επιλέχθηκε από το παρακάτω διάγραμμα.



ΕΙΚΟΝΑ 8.3 : Διάγραμμα φυσικών ιδιοτήτων νερού (Πυκνότητα-Θερμοκρασία)

8.1. Υπολογισμός παροχής στο σημείο λειτουργίας και μανομετρικού ύψους εγκατάστασης ΗΑ

Αρχικά πρέπει να υπολογιστούν οι εσωτερικοί και εξωτερικοί και εξωτερική διαμέτροι των σωλήνων αναρρόφησης και κατάθλιψης σύμφωνα με τεχνικό φυλλάδιο συγκεκριμένης εταιρείας. Οι σωλήνες που επιλέγονται είναι χαλυβδοσωλήνες συγκολλημένοι και άνευ ραφής.

PIPE SIZE	O.D. In mm	A.S.A. PIPE SCHEDULES												DBEL E.H.				
		5	10	20	30	40	STD	60	80	E.H.	100	120	140		160			
1/8"	10.287	0.89	1.34	1.58	1.79	1.93	2.07	2.15	2.21	2.27	2.32	2.37	2.41	2.45	2.47	2.50	2.51	2.52
1/4"	13.716	1.24	1.65	1.92	2.24	2.34	2.42	2.48	2.53	2.57	2.61	2.64	2.67	2.70	2.72	2.74	2.75	2.76
3/8"	17.145	1.54	1.95	2.28	2.61	2.71	2.79	2.84	2.88	2.92	2.95	2.98	3.00	3.02	3.04	3.05	3.06	3.07
1/2"	13.716	1.65	2.11	2.42	2.77	2.87	2.95	3.00	3.04	3.07	3.10	3.12	3.14	3.16	3.17	3.18	3.19	3.20
3/4"	26.670	1.93	2.41	2.75	3.10	3.20	3.27	3.32	3.36	3.39	3.42	3.44	3.46	3.47	3.48	3.49	3.50	3.51
1"	33.401	2.31	2.77	3.13	3.50	3.60	3.67	3.72	3.75	3.78	3.80	3.81	3.82	3.83	3.84	3.85	3.86	3.87
1-1/4"	42.164	2.87	3.36	3.74	4.12	4.22	4.30	4.35	4.39	4.42	4.44	4.45	4.46	4.47	4.48	4.49	4.50	4.51
1-1/2"	48.260	3.31	3.82	4.22	4.62	4.72	4.80	4.85	4.89	4.92	4.94	4.95	4.96	4.97	4.98	4.99	5.00	5.01
2"	60.325	4.00	4.53	4.95	5.38	5.48	5.56	5.61	5.65	5.68	5.70	5.71	5.72	5.73	5.74	5.75	5.76	5.77
2-1/2"	73.025	4.83	5.38	5.82	6.27	6.37	6.45	6.50	6.54	6.57	6.59	6.60	6.61	6.62	6.63	6.64	6.65	6.66
3"	88.900	5.75	6.32	6.78	7.24	7.34	7.42	7.47	7.51	7.54	7.56	7.57	7.58	7.59	7.60	7.61	7.62	7.63
3-1/2"	101.600	6.75	7.34	7.81	8.28	8.38	8.46	8.51	8.55	8.58	8.60	8.61	8.62	8.63	8.64	8.65	8.66	8.67
4"	114.300	7.87	8.47	8.95	9.43	9.53	9.61	9.66	9.70	9.73	9.75	9.76	9.77	9.78	9.79	9.80	9.81	9.82
5"	141.300	9.75	10.37	10.91	11.44	11.54	11.62	11.67	11.71	11.74	11.76	11.77	11.78	11.79	11.80	11.81	11.82	11.83
6"	168.275	11.75	12.39	13.04	13.68	13.78	13.86	13.91	13.95	13.98	14.00	14.01	14.02	14.03	14.04	14.05	14.06	14.07
8"	219.075	14.75	15.41	16.08	16.75	16.85	16.93	16.98	17.02	17.05	17.07	17.08	17.09	17.10	17.11	17.12	17.13	17.14
10"	273.050	17.75	18.43	19.11	19.79	19.89	19.97	20.02	20.06	20.09	20.11	20.12	20.13	20.14	20.15	20.16	20.17	20.18
12"	323.850	20.75	21.45	22.14	22.83	22.93	23.01	23.06	23.10	23.13	23.15	23.16	23.17	23.18	23.19	23.20	23.21	23.22
14"	355.600	23.75	24.46	25.17	25.87	25.97	26.05	26.10	26.14	26.17	26.19	26.20	26.21	26.22	26.23	26.24	26.25	26.26
16"	406.400	26.75	27.47	28.19	28.89	28.99	29.07	29.12	29.16	29.19	29.21	29.22	29.23	29.24	29.25	29.26	29.27	29.28
18"	457.200	29.75	30.48	31.21	31.91	32.01	32.09	32.14	32.18	32.21	32.23	32.24	32.25	32.26	32.27	32.28	32.29	32.30
20"	508.000	32.75	33.49	34.22	34.91	35.01	35.09	35.14	35.18	35.21	35.23	35.24	35.25	35.26	35.27	35.28	35.29	35.30
22"	558.800	35.75	36.50	37.23	37.91	38.01	38.09	38.14	38.18	38.21	38.23	38.24	38.25	38.26	38.27	38.28	38.29	38.30
24"	609.600	38.75	39.50	40.23	40.91	41.01	41.09	41.14	41.18	41.21	41.23	41.24	41.25	41.26	41.27	41.28	41.29	41.30
26"	660.400	41.75	42.50	43.23	43.91	44.01	44.09	44.14	44.18	44.21	44.23	44.24	44.25	44.26	44.27	44.28	44.29	44.30
28"	711.200	44.75	45.50	46.23	46.91	47.01	47.09	47.14	47.18	47.21	47.23	47.24	47.25	47.26	47.27	47.28	47.29	47.30
30"	762.000	47.75	48.50	49.23	49.91	50.01	50.09	50.14	50.18	50.21	50.23	50.24	50.25	50.26	50.27	50.28	50.29	50.30
32"	812.800	50.75	51.50	52.23	52.91	53.01	53.09	53.14	53.18	53.21	53.23	53.24	53.25	53.26	53.27	53.28	53.29	53.30
34"	863.600	53.75	54.50	55.23	55.91	56.01	56.09	56.14	56.18	56.21	56.23	56.24	56.25	56.26	56.27	56.28	56.29	56.30
36"	914.400	56.75	57.50	58.23	58.91	59.01	59.09	59.14	59.18	59.21	59.23	59.24	59.25	59.26	59.27	59.28	59.29	59.30
40"	1016.000	62.75	63.50	64.23	64.91	65.01	65.09	65.14	65.18	65.21	65.23	65.24	65.25	65.26	65.27	65.28	65.29	65.30
42"	1066.800	65.75	66.50	67.23	67.91	68.01	68.09	68.14	68.18	68.21	68.23	68.24	68.25	68.26	68.27	68.28	68.29	68.30
48"	1219.200	75.75	76.50	77.23	77.91	78.01	78.09	78.14	78.18	78.21	78.23	78.24	78.25	78.26	78.27	78.28	78.29	78.30

ΕΙΚΟΝΑ 8.4 : Διαστάσεις και βάρος χαλυβδοσωλήνων συγκολλημένων και άνευ ραφής (<https://www.steelcenter.gr/wp-content/uploads/2019/08/Metric-Dimensions-and-Weights-of-Seamless-and-Welded-Steel-Pipe-3-1.pdf>)

Από το παραπάνω φυλλάδιο, οι ονομαστικές διαστάσεις που δίνει ο κατασκευαστής για σωλήνες 5" και 6" είναι 141,3 mm και 168,275 mm αντίστοιχα. Τα πάχη που επιλέγονται για τους δύο σωλήνες είναι τα εξής:

Πάχος σωλήνα αναρρόφησης: $d_{\text{αναρρ}}=7,11 \text{ mm}$

Πάχος σωλήνα κατάθλιψης: $d_{\text{κατ}}=7,14 \text{ mm}$

Οπότε οι εσωτερικές διαμέτροι των σωληνών θα είναι οι παρακάτω:

Εσωτερική διάμετρος σωλήνα αναρρόφησης: $D_{\text{εστ,αναρρ}}=168,275-2 \cdot 7,11=154,055 \text{ mm}$

Εσωτερική διάμετρος σωλήνα κατάθλιψης: $D_{\text{εστ,κατ}}=141,3-2 \cdot 7,14=127,02 \text{ mm}$

Το μανομετρικό ύψος εγκατάστασης θα εκφραστεί συναρτήσει της παροχής της εγκατάστασης. Το εύρος της παροχής δίνεται από τη χαρακτηριστική καμπύλη της αντλίας η οποία επιλέγεται από κατασκευαστικά φυλλάδια.

Η διαφορά $(z_2-z_1)=\Delta z$ είναι το στατικό ή γεωδαιτικό ύψος το οποίο, όπως αναφέρθηκε σε άλλο κεφάλαιο, εκφράζει την υψομετρική διαφορά μεταξύ των επιφανειών του υγρού της δεξαμενής αναρρόφησης και της δεξαμενής κατάθλιψης.

$$\Delta z = (z_2 - z_1) = 12 - (-7) = 19 \text{ m}$$

Στην εγκατάσταση που θα επιλεγεί η αντλία, οι δεξαμενές αναρρόφησης και κατάθλιψης είναι ανοικτές οπότε υπολογίζεται από την σχέση (2.16) εφόσον το ύψος διαφοράς πίεσης μεταξύ των δύο δεξαμενών είναι μηδέν.

$$H_A = (z_2 - z_1) + \Delta H \quad (8,1)$$

Οι απώλειες θα εκφραστούν συναρτήσει της παροχής. Στις σχέσεις 3.12 και 3.17 θα γίνει αντικατάσταση της ταχύτητας με την ισοδύναμη σχέση της.:

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\pi \left(\frac{D_{\varepsilon\sigma}^2}{4} \right)} \quad (8,2)$$

Με την αντικατάσταση της σχέσης 8.2 στην σχέση 8.1 προκύπτει το εξής. Να σημειωθεί εδώ ότι οι απώλειες ΔH είναι οι συνολικές απώλειες της εγκατάστασης:

$$H_A = (z_2 - z_1) + \Delta H = \Delta z + \Delta H_{\text{αναρρ}} + \Delta H_{\text{κατ}} = \Delta z + (h_{f,\text{αναρρ}} + h_{m,\text{αναρρ}}) + (h_{f,\text{κατ}} + h_{m,\text{κατ}})$$

$$H_A = \Delta z + \left(f_{\text{αναρρ}} \cdot \frac{L_{\text{αναρρ}}}{D_{\varepsilon\sigma,\text{αναρρ}}^5} \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot g} + \sum k_{\text{αναρρ}} \cdot \frac{Q^2}{\pi^2 \cdot g \cdot D_{\varepsilon\sigma,\text{αναρρ}}^4} \right) + \left(f_{\text{κατ}} \cdot \frac{L_{\text{κατ}}}{D_{\varepsilon\sigma,\text{κατ}}^5} \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot g} + \sum k_{\text{κατ}} \cdot \frac{Q^2}{\pi^2 \cdot g \cdot D_{\varepsilon\sigma,\text{κατ}}^4} \right) \quad (8.3)$$

Τώρα πρέπει να υπολογιστούν οι συντελεστές τριβής για τις σωληνώσεις και οι συντελεστές εξαρτημάτων. Πρώτα θα πρέπει να υπολογιστούν οι ταχύτητες στην αναρρόφηση και τη κατάθλιψη.

Η ταχύτητα υπολογίζεται με τη σχέση (2.1):

$$V = \frac{Q}{A}$$

όπου: U = η ταχύτητα του ρευστού σε m/s

Q = η παροχή όγκου του ρευστού σε m³/s

A = η επιφάνεια του αγωγού σε m²

Αναρρόφηση

Η επιφάνεια του αγωγού θα είναι ίση με:

$$A = \pi \cdot \left(\frac{D_{\varepsilon\sigma,\text{αναρρ}}^2}{4} \right) = \pi \cdot \left(\frac{0,154055^2}{4} \right) = 0,0186 \text{ m}^2$$

Κατάθλιψη

Η επιφάνεια του αγωγού θα είναι ίση με:

$$A = \pi \cdot \left(\frac{D_{\varepsilon\sigma,\text{κατ}}^2}{4} \right) = \pi \cdot \left(\frac{0,12702^2}{4} \right) = 0,0127 \text{ m}^2$$

Οπότε οι ταχύτητες στην αναρρόφηση και στην κατάθλιψη είναι:

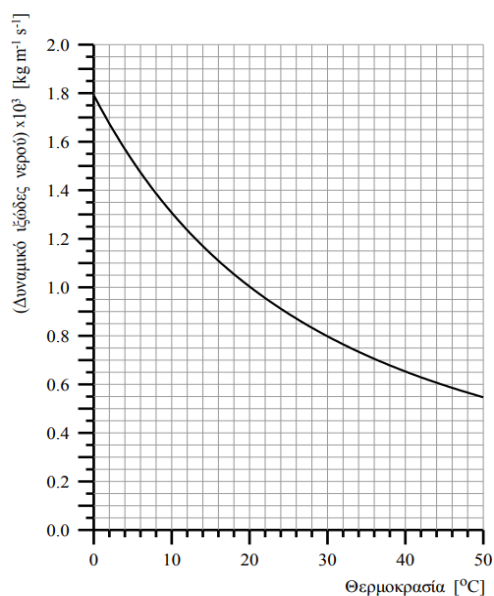
Q (m ³ /h)	Q (m ³ /s)	u _{αναρ} (m/s)	u _{κατ} (m/s)
0	0,0000	0,0000	0,0000
10	0,0028	0,1490	0,2192
20	0,0056	0,2980	0,4384
30	0,0083	0,4471	0,6576
40	0,0111	0,5961	0,8768
50	0,0139	0,7451	1,0961
60	0,0167	0,8941	1,3153
70	0,0194	1,0432	1,5345
78	0,0217	1,1624	1,7098
85	0,0236	1,2667	1,8633

Υπολογισμός συντελεστών τριβής

Στη συνέχεια θα βρεθούν οι αριθμοί Reynolds ούτως ώστε έπειτα να βρεθούν οι συντελεστές τριβής Darcy, f. Ο αριθμός Reynolds δίνεται από τη σχέση (3.13):

$$Re = \frac{\rho \cdot \vec{V}_m \cdot D}{\mu} = \frac{\vec{V}_m \cdot D}{\nu}$$

Το δυναμικό ιξώδες του νερού για συγκεκριμένη θερμοκρασία (15°C) δίνεται από το παρακάτω διάγραμμα:



ΕΙΚΟΝΑ 8.5 : Διάγραμμα φυσικών ιδιοτήτων νερού (Δυναμικό ιξώδες-Θερμοκρασία)

Το δυναμικό ιξώδες που επιλέγεται είναι: $\mu \approx 0,00113 \text{ kg/m}\cdot\text{s}$

Αναρρόφηση

$u_{\text{αναρ}}$ (m/s)	Re
0,0000	0,00E+00
0,1490	2,03E+04
0,2980	4,06E+04
0,4471	6,09E+04
0,5961	8,12E+04
0,7451	1,02E+05
0,8941	1,22E+05
1,0432	1,42E+05
1,1624	1,58E+05
1,2667	1,73E+05

Κατάθλιψη

$u_{\text{κατ}}$ (m/s)	Re
0,0000	0,00E+00
0,2192	2,46E+04
0,4384	4,92E+04
0,6576	7,39E+04
0,8768	9,85E+04
1,0961	1,23E+05
1,3153	1,48E+05
1,5345	1,72E+05
1,7098	1,92E+05
1,8633	2,09E+05

Για να βρεθεί ο συντελεστής τριβής f πρέπει να υπολογιστεί και η σχετική τραχύτητα ε/D . Η τιμή της απόλυτης τραχύτητας επιλέγεται από την εικόνα 3.24. Επιλέγονται τραβηκτοί χαλυβδοσωλήνες άνευ ραφής με απόλυτη τραχύτητα $\varepsilon=0,045$ mm.

Αναρρόφηση

$$\frac{\varepsilon}{D_{\varepsilon\sigma,\text{αναρ}}} = \frac{0,045 \text{ mm}}{154,055 \text{ mm}} = 0,00029$$

Κατάθλιψη

$$\frac{\varepsilon}{D_{\varepsilon\sigma,\text{κατ}}} = \frac{0,045 \text{ mm}}{127,02 \text{ mm}} = 0,00035$$

Με αυτά τα δεδομένα και με χρήση του διαγράμματος Moody υπολογίζεται προσεγγιστικά ο συντελεστής τριβής Darcy, f . Υπάρχει όμως δυνατότητα ο συντελεστής αυτός να υπολογιστεί με ακρίβεια μερικών δεκαδικών χρησιμοποιώντας την εξίσωση του Colerbrook αρκεί πρώτα να προσδιοριστεί ο τύπος της ροής. Η ροή είναι τυρβώδης και στις δύο σωληνώσεις, σύμφωνα με τους αριθμούς Reynolds που προκύπτουν, οπότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί η σχέση του Colerbrook (3.16):

$$\frac{1}{f^{1/2}} = -2,01 \cdot \log \left(\frac{k/D}{3,7} + \frac{2,51}{\text{Re} \cdot f^{1/2}} \right)$$

Η συγκεκριμένη σχέση έχει την ιδιαιτερότητα ότι ο άγνωστος f είναι και στα δύο μέλη της εξίσωσης οπότε η μόνη λύση είναι να γίνει αρχικά μία πρόβλεψη του αριθμού f και αφού σχηματιστούν τα δύο μέλη της εξίσωσης σε ένα λογισμικό τύπου excel, πρέπει η διαφορά των δύο μελών να είναι μηδενική ούτως ώστε να βρεθεί ο σωστός συντελεστής τριβής f και να λυθεί η εξίσωση.

Συνεπώς τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι τα εξής:

Αναρρόφηση

Re	f
0,00E+00	0
2,03E+04	0,02619
4,06E+04	0,02260
6,09E+04	0,02093
8,12E+04	0,01991
1,02E+05	0,01921
1,22E+05	0,01869
1,42E+05	0,01829
1,58E+05	0,01803
1,73E+05	0,01783

Κατάθλιψη

Re	f
0,00E+00	0
2,46E+04	0,02523
4,92E+04	0,02197
7,39E+04	0,02047
9,85E+04	0,01957
1,23E+05	0,01896
1,48E+05	0,01851
1,72E+05	0,01817
1,92E+05	0,01795
2,09E+05	0,01778

Υπολογισμός συντελεστών εξαρτημάτων

Εξαρτήματα αναρρόφησης		Εξαρτήματα κατάθλιψης	
Εξάρτημα	Συντελεστής k	Εξάρτημα	Συντελεστής k
Ποδοβαλβίδα και φίλτρο	2,5	Γωνία 45° (x2)	0,8
Συρταρωτή βάνα (gate valve) κατά 1/2 ανοικτή	4,5	Συρταρωτή βάνα (gate valve) κατά 1/2 ανοικτή	4,5
Βαλβίδα μη επιστροφής	3	Βαλβίδα μη επιστροφής	3,2
Σωλήνας αναρρόφησης με επίπεδο χείλος	0,9	Έξοδος υγρού σε δεξαμενή	1
Κάμψη με λόγο R/D:1 (90°)	0,29	Κάμψη με λόγο R/D:1 (90°)	0,3
Σk	11,19	Σk	9,8

Ποδοβαλβίδα και φίλτρο

Η ποδοβαλβίδα (foot valve) τοποθετείται στην είσοδο του σωλήνα αναρρόφησης και εμποδίζει το άδειασμά του και της αντλίας από το υγρό όταν σταματά η αντλία. Έτσι, η αντλία μπορεί να αναρροφήσει κατά την επόμενη εκκίνηση. Για την πρώτη εκκίνηση βέβαια, χρειάζεται γέμισμα της αντλίας και του σωλήνα αναρρόφησης. Οι ποδοβαλβίδες συνήθως είναι τύπου δίσκου και συνδυάζονται με φίλτρο για προστασία από ακαθαρσίες. Έχουν το μειονέκτημα ότι δημιουργούν πτώση πίεσης και δεν εξασφαλίζουν πάντοτε πλήρη στεγανότητα.

NW	mm	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150
DN	inch	¾	1	1¼	1½	2	2½	3	4		

ζ ≈ 2,2 - 2,5

EIKONA 8.6 : Συντελεστής k ή ζ της ποδοβαλβίδας με φίλτρο

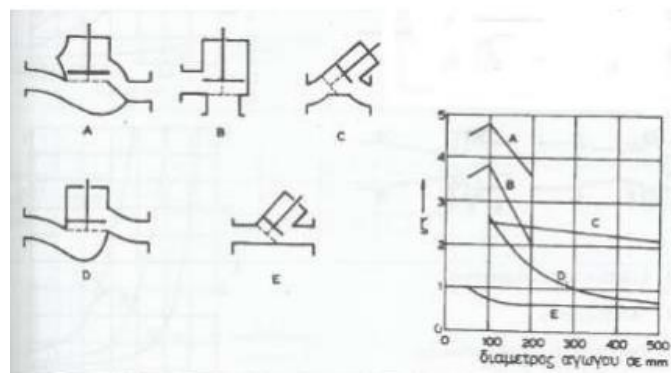
(http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/stef/mhx/2008/KokonakisGeorgios,KoutoulakisPanagiotis/attached-document-1297938466-675506-20475/kokonakis_koutoulakis2008.pdf)

Βάνα συρταρωτή τύπου gate valve κατά τα 1/2 ανοικτή

ΤΥΠΟΣ ΒΑΝΑΣ	Συντελεστής αντίστασης K
Συρταρωτή (gate valve)	
Ανοικτή	0.17
3/4 ανοικτή	0.9
1/2 ανοικτή	4.5
1/4 ανοικτή	24

ΕΙΚΟΝΑ 8.7 : Συντελεστής k για συρταρωτή βάνα (gate valve)
(https://www.eng.auth.gr/~chemtech/foititika/eisxt/ergastirio/04_trives.pdf)

Βαλβίδα μη επιστροφής



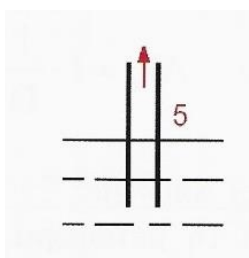
ΕΙΚΟΝΑ 8.8 : Συντελεστής k για συρταρωτή βάνα (gate valve)
(Δημήτρης Παπανίκα, Εφαρμοσμένη Ρευστομηχανική, 2010)

Ο συντελεστής k επιλέγεται για τον τύπο B της ανεπίστροφης βαλβίδας οπότε από το διάγραμμα της εικόνας 8.5 για εσωτερική διάμετρο $D=154,055$ mm στην αναρρόφηση επιλέγεται $k \approx 3$ και για εσωτερική διάμετρο $D=127,02$ mm στην κατάθλιψη επιλέγεται $k \approx 3,2$.

Σωλήνας Αναρρόφησης με επίπεδο χείλος

A/A	Περιγραφή	Συντελεστής K
	Είσοδος υγρού σε σωλήνα	
1	Επιστόμιο με οξεία γωνία	0.5
2	Επιστόμιο με στρογγυλεμένη γωνία	0.05
3	Σωλήνας αναρρόφησης με κωδωνοειδές χείλος	0.05-0.1
4	Εισέχον επιστόμιο	0.9-1
5	Σωλήνας αναρρόφησης με επίπεδο χείλος	0.9

ΕΙΚΟΝΑ 8.9 : Συντελεστής k για επιστόμια σε σωλήνα αναρρόφησης

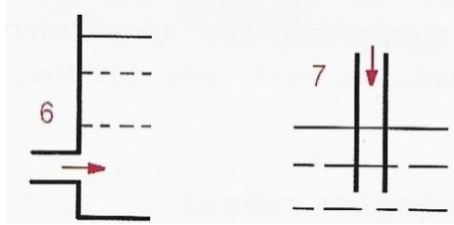


ΕΙΚΟΝΑ 8.10 : Σωλήνας αναρρόφησης με επίπεδο χείλος

Έξοδος υγρού σε δεξαμενή

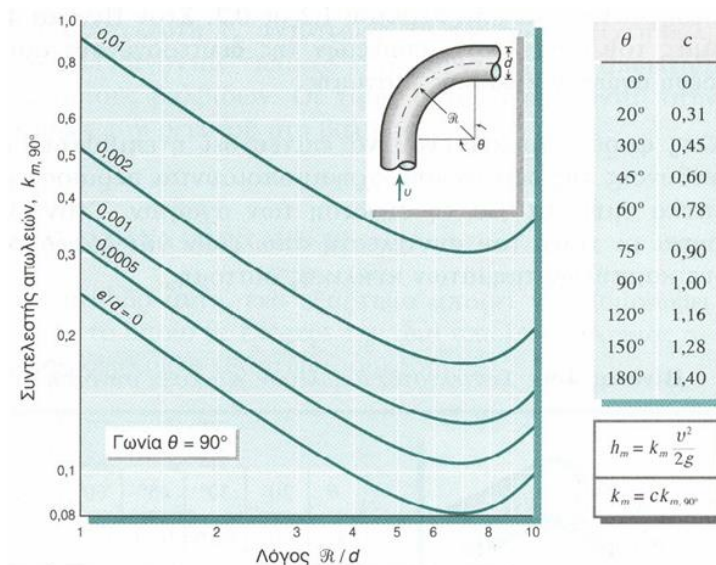
	Έξοδος υγρού από σωλήνα	
6,7	Σε δεξαμενή	1
8	Βαθμιαία διεύρυνση, (ο λόγος $D_2/D_1 > 2$)	γωνία θ : $40^\circ \rightarrow 0.9, 20^\circ \rightarrow 0.5, 10^\circ \rightarrow 0.2$

ΕΙΚΟΝΑ 8.11 : Συντελεστής k για επιστόμια σε σωλήνα κατάθλιψης



ΕΙΚΟΝΑ 8.12 : Σωλήνας κατάθλιψης που καταλήγει σε δεξαμενή

Κάμψη με λόγο R/D:1 (90°)



Συντελεστές απωλειών για καμπύλα τμήματα αγωγών

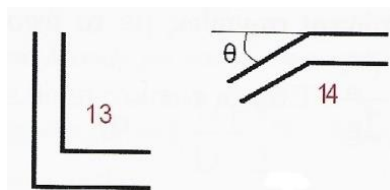
ΕΙΚΟΝΑ 8.13 : Συντελεστής k για συνδέσεις σωληνών

(<https://eclass.hmu.gr/modules/document/index.php?course=TM159&openDir=/5eec7481yvix>)

Γωνία 45°

12	Στρογγυλεμένη στένωση	d_2/d_1 : 0.2 \rightarrow 0.1, 0.4 \rightarrow 0.05
	Αλλαγή διεύθυνσης	
13, 14	Γωνία	$90^\circ \rightarrow 1.2, 60^\circ \rightarrow 0.6, 45^\circ \rightarrow 0.4, 22^\circ \rightarrow 0.15$

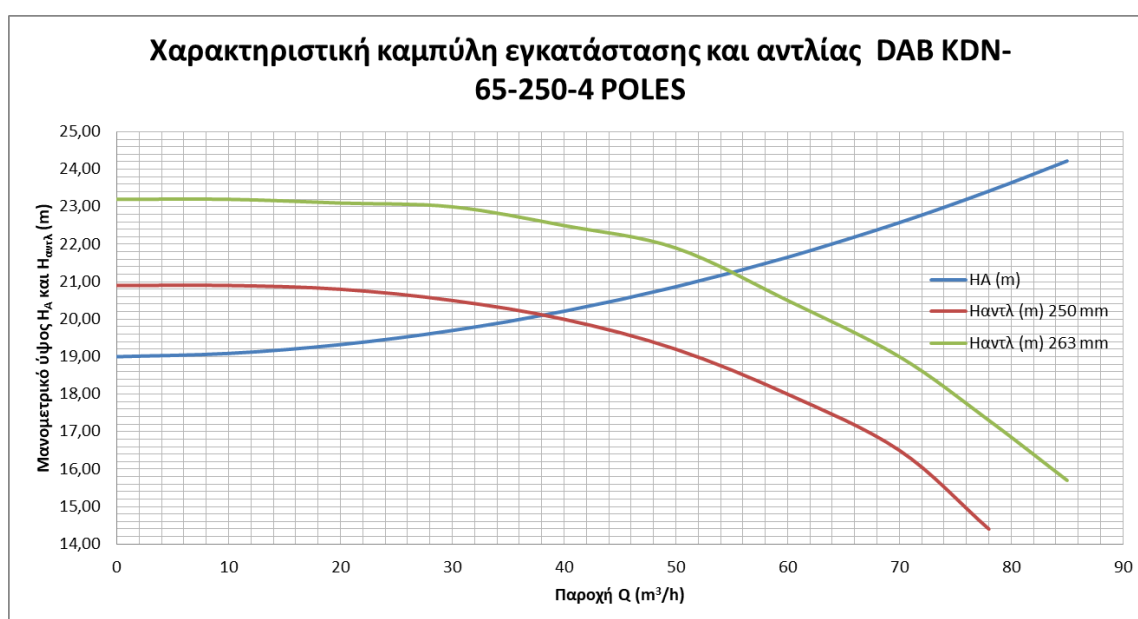
ΕΙΚΟΝΑ 8.14 : Συντελεστής k για αλλαγές διεύθυνσης



ΕΙΚΟΝΑ 8.15 : Αλλαγή διεύθυνσης

Οπότε τώρα αφού είναι γνωστοί οι συντελεστές τριβής και εξαρτημάτων μπορεί να υπολογιστεί το μανομετρικό εγκατάστασης από τη σχέση (8.3) με γνωστό το εύρος της παροχής της αντλίας.

Q (m ³ /h)	H _A (m)	H _{αντλ} (m) 250 mm	H _{αντλ} (m) 263 mm
0	19,00	20,90	23,20
10	19,09	20,90	23,20
20	19,32	20,80	23,10
30	19,70	20,50	23,00
40	20,21	20,00	22,50
50	20,87	19,20	21,90
60	21,66	18,00	20,50
70	22,58	16,50	19,00
78	23,42	14,40	17,30
85	24,22		15,70



ΕΙΚΟΝΑ 8.16 : Χαρακτηριστική καμπύλη αντλίας και σωληνογραμμής

Παρατήρηση

Η αντλία μπορεί να λειτουργήσει με πολλαπλές διαφορετικές διαμέτρους πτερωτής και όσο μεγαλύτερη είναι η διάμετρος της, τόσο πιο αποδοτική είναι για μεγαλύτερες τιμές παροχής. Απο το παραπάνω διάγραμμα, με χρήση της αντλίας DAB KDN-65-250-4 POLES, με διάμετρο φτερωτής 263 mm και με γνώμονα το κατασκευαστικό φυλλάδιο προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα. Να σημειωθεί εδώ ότι οι χαρακτηριστικές καμπύλες της αντλίας στην παραπάνω εικόνα δημιουργήθηκαν για να συμπίπτουν όσο γίνεται δυνατόν με αυτές που δίνει ο κατασκευαστής:

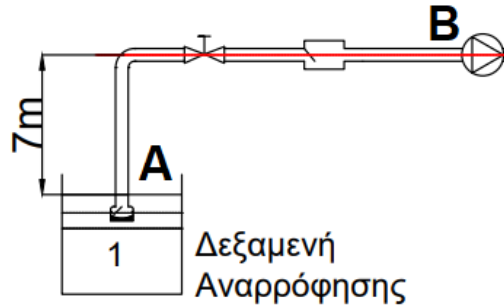
- Το σημείο λειτουργίας της εγκατάστασης έχει βέλτιστη παροχή $Q_{opt}=55 \text{ m}^3/\text{h}$ (Optimal).
- Η απόδοση της αντλίας στο σημείο λειτουργίας (για διάμετρο φτερωτής 263 mm) είναι περίπου ίση με $\eta \approx 70,4 \%$.
- Το σημείο λειτουργίας της εγκατάστασης έχει βέλτιστο μανομετρικό περίπου $H_{opt} \approx 21,2 \text{ m}$ (Optimal)
- Η μανομετρική πίεση από το κατασκευαστικό φυλλάδιο για το σημείο λειτουργίας είναι περίπου $P \approx 210 \text{ kPa}$

Αυτό σημαίνει ότι συγκριτικά με τη πτερωτή με διάμετρο 250 mm, η οποία έχει $Q_{opt}=38 \text{ m}^3/\text{h}$, απόδοση περίπου ίση με $\eta \approx 65,5 \%$ και $H_{opt} \approx 20 \text{ m}$, είναι καλύτερη επιλογή η μεγαλύτερη διάμετρος πτερωτής.

8.2. Υπολογισμός πίεσης αναρρόφησης και κατάθληψης

Υπολογισμός πίεσης αναρρόφησης

Για τον υπολογισμό της πίεσης αναρρόφησης στο σημείο λειτουργίας θα χρησιμοποιηθεί η εξίσωση Bernoulli για τη διαδρομή A-B δηλαδή από την επιφάνεια του υγρού στη δεξαμενή αναρρόφησης μέχρι το σημείο εισόδου του υγρού στο κέντρο της αντλίας.



ΕΙΚΟΝΑ 8.17 : Διαδρομή A-B (αναρρόφησης)

Η πίεση στην επιφάνεια της δεξαμενής P_A , η οποία είναι και ατμοσφαιρική, λαμβάνεται ως μηδενική διότι η πίεση που θα υπολογιστεί θα είναι σχετική πίεση. Αυτό διαπιστώνεται από τη σχέση (3.10α). Επίσης οι ταχύτητες καθ'όλη τη διαδρομή A-B είναι ίσες διότι δεν υπάρχει καμία αλλαγή στη διάμετρο του σωλήνα οπότε απλοποιούνται. Οι συνολικές απώλειες στο σωλήνα αναρρόφησης στο σημείο λειτουργίας υπολογίστηκαν από τη σχέση 3.12 και είναι ίσες με $\Delta H_{αναρ} = 0,41 \text{ m}$:

$$\left(\frac{P_A}{\gamma} + \frac{V_{A,αναρ}^2}{2 \cdot g} + z_A \right) - \Delta H_{αναρ} = \left(\frac{P_B}{\gamma} + \frac{V_{B,αναρ}^2}{2 \cdot g} + z_B \right) \Rightarrow$$

$$\frac{P_B}{\gamma} = z_A - z_B - \Delta H_{αναρ} \Rightarrow$$

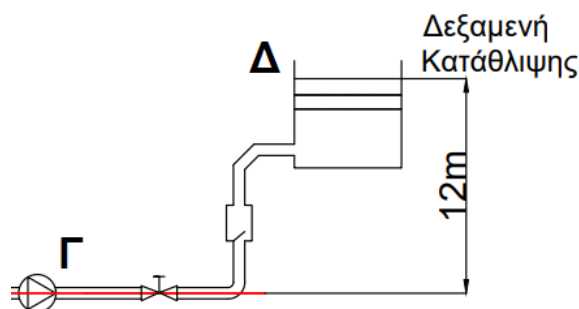
$$\frac{P_B}{\gamma} = 0 \text{ m} - 7 \text{ m} - 0,41 \text{ m} = -7,41 \text{ m} \Rightarrow$$

$$P_B = -7,41 \text{ m} \cdot 999,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,807 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \Rightarrow$$

$$P_B = -72.611,7 \text{ Pa} = \frac{-72.611,7 \text{ Pa}}{10^5} = -0,73 \text{ bar}$$

Υπολογισμός πίεσης κατάθλιψης

Για τον υπολογισμό της πίεσης κατάθλιψης θα χρησιμοποιηθεί η εξίσωση Bernoulli για τη διαδρομή Γ-Δ δηλαδή από το σημείο εξόδου του υγρού στην αντλία μέχρι την επιφάνεια του υγρού στη δεξαμενή κατάθλιψης.



ΕΙΚΟΝΑ 8.18 : Διαδρομή Γ-Δ (κατάθλιψης)

Ισχύουν οι ίδιες παραβολές στον υπολογισμό της πίεσης στη κατάθλιψη όπως και κατά τον υπολογισμό τη πίεσης στην αναρρόφηση. Εδώ η πίεση P_{Δ} είναι η ατμοσφαιρική οπότε λαμβάνεται μηδέν και οι ταχύτητα είναι ίδια καθ'όλη τη διαδρομή Γ-Δ. Οι συνολικές απώλειες στο σωλήνα κατάθλιψης στο σημείο λειτουργίας υπολογίστηκαν από τη σχέση 3.12 και είναι ίσες με $\Delta H_{\text{κατ}} = 1,756 \text{ m}$.

$$\left(\frac{P_{\Gamma}}{\gamma} + \frac{V_{\Gamma, \text{κατ}}^2}{2 \cdot g} + z_{\Gamma} \right) - \Delta H_{\text{κατ}} = \left(\frac{P_{\Delta}}{\gamma} + \frac{V_{\Delta, \text{κατ}}^2}{2 \cdot g} + z_{\Delta} \right) \Rightarrow$$

$$\frac{P_{\Gamma}}{\gamma} = z_{\Delta} - z_{\Gamma} + \Delta H_{\text{κατ}} \Rightarrow$$

$$\frac{P_{\Gamma}}{\gamma} = 19 \text{ m} - 7 \text{ m} + 1,756 \text{ m} = 13,756 \text{ m} \Rightarrow$$

$$P_{\Gamma} = 13,727 \text{ m} \cdot 999,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,807 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \Rightarrow$$

$$P_{\Gamma} = \mathbf{134.797 \text{ Pa}} = \frac{134.797 \text{ Pa}}{10^5} = \mathbf{1,35 \text{ bar}}$$

Η πίεση κατάθλιψης στο σημείο λειτουργίας, η οποία είναι η απαιτούμενη ελάχιστη που χρειάζεται να δωθεί από την αντλία, είναι μικρότερη από την μανομετρική πίεση που δείχνει το φυλλάδιο του κατασκευαστή οπότε η αντλία θα μπορεί να "σπρώξει" το υγρό προς την επιφάνεια της δεξαμενής κατάθλιψης που ορίστηκε (12 m από την έξοδο της αντλίας) χωρίς πρόβλημα.

8.3. Υπολογισμός εισερχόμενης ισχύος αντλίας \dot{W}_{in} , ηλεκτρικής ισχύος $P_{\eta\lambda}$ και στρεπτικής ροπής T

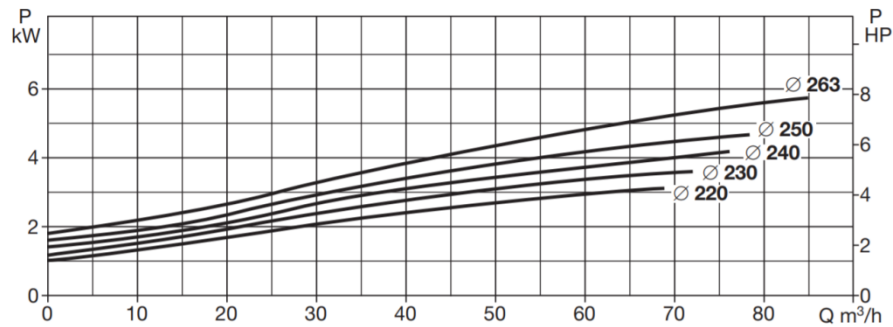
Εισερχόμενη ισχύς αντλίας \dot{W}_{in}

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο η εισερχόμενη ισχύς ή ιπποδύναμη πέδης υπολογίζεται από τη σχέση 2.5 συναρτήσεως του μανομετρικού αντλίας, της

παροχής και του ειδικού βάρους του ρευστού. Γίνονται υπολογισμοί για την ισχύ στο σημείο λειτουργίας. Η παροχή στο σημείο λειτουργίας ισούται με $Q=55 \text{ m}^3/\text{h}=0,015 \text{ m}^3/\text{s}$:

$$\dot{W}_{in} = \frac{\rho \cdot g \cdot H_{αντλ} \cdot Q}{\eta} = \frac{999,2 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,807 \text{ m/s}^2 \cdot 21,4 \text{ m} \cdot 0,015 \text{ m}^3/\text{s}}{0,704}$$

$$\Rightarrow \dot{W}_{in} = 4.474,4 \text{ W} = 4,47 \text{ kW} = \frac{4.474,4 \text{ W}}{745,7} = 6 \text{ hp}$$

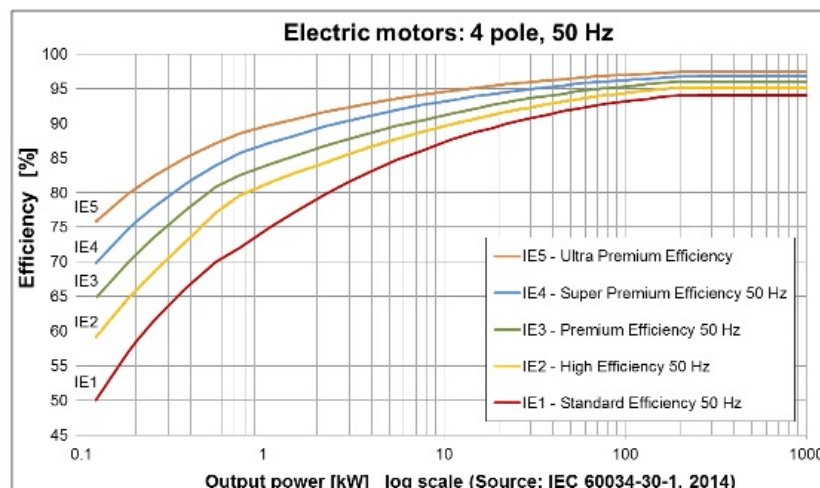


ΕΙΚΟΝΑ 8.19 : Διάγραμμα ισχύος της αντλίας συναρτήσει της παροχής

Συνεπώς, η ισχύς της αντλίας για το σημείο λειτουργίας της εγκατάστασης διαπιστώνεται και από το διάγραμμα ότι θα είναι 6 hp ή 4,47 kW.

Ηλεκτρική ισχύς κινητήρα P_{ηλ}

Οι ηλεκτρικοί κινητήρες μπορεί να είναι πολλών και διαφόρων τύπων. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνονται οι ισχύς που αποδίδουν αυτοί οι κινητήρες συναρτήσει της απόδοσης τους.



ΕΙΚΟΝΑ 8.20 : Διάγραμμα απόδοσης κινητήρα συναρτήσει της εξωτερικής ισχύος (https://www.researchgate.net/figure/IE-efficiency-classes-for-4-pole-motors-at-50-Hz-21_fig4_330081729)

Η συγκεκριμένη αντλία συνδέεται με ηλεκτροκινητήρα τύπου IE2 και IE3 ο οποίος είναι 4-πολικός και τριφασικός. Έστω ότι ο κινητήρας που επιλέγεται χρειάζεται να έχει απόδοση 87%. Οπότε η ηλεκτρική ισχύς που υπολογίζεται είναι:

$$P_{\eta\lambda} = \frac{\dot{W}_{in}}{n_k} = \frac{4,47 \text{ kW}}{0,87} = \mathbf{5,14 \text{ kW}} = \frac{5,14 \text{ kW}}{745,7} = \mathbf{6,9 \text{ hp}}$$

Σύμφωνα με το τεχνικό φυλλάδιο η ισχύς του ηλεκτροκινητήρα που θα επιλεγεί θα είναι 5,5 kW ή 7,37 hp, θα είναι τύπου IE2, θα έχει μέγεθος σύμφωνα με το κωδικό MEC 132S, θα δουλεύει με συχνότητα 50 Hz με 400 V τριφασική τάση σε σύνδεση με τρίγωνο και θα απορροφάει 10,6 A ρεύμα:

MODEL	ELECTRICAL DATA					
	POWER (kW)	MOTOR SIZE	POWER INPUT 50 Hz	In A		MOTOR TYPE
	4 POLES			IE2	IE3	
KDN 65-250	3	MEC 100L	3 x 400 V - Δ	6.25	-	IE2
	4	MEC 112M	3 x 400 V - Δ	7.95	-	IE2
	5.5	MEC 132S	3 x 400 V - Δ	10.6	-	IE2
	7.5	MEC 132M	3 x 400 V - Δ	14.2	14.6	IE2 / IE3
	11	MEC 160M	3 x 400 V - Δ	21.6	20.5	IE2 / IE3

EIKONA 8.21 : Ηλεκτρικά δεδομένα των κινητήρων που συνδέονται με την αντλία

Στρεπτική ροπή κινητήρα T

Η αξονική ισχύς δίνεται από την σχέση 2.3. Αρχικά πρέπει να υπολογιστεί η στρεπτική ροπή M η οποία δίνεται από την παρακάτω σχέση. Να σημειωθεί εδώ ότι η ταχύτητα του ηλεκτροκινητήρα είναι 1450 rpm. Επιλέγεται ο κινητήρας των 5,5 kW ή 7,37 hp :

$$T = 71.620 \cdot \frac{P_{\eta\lambda}}{n} \quad (8.4)$$

όπου: M = η στρεπτική ροπή σε kp*cm

$P_{\eta\lambda}$ = η ηλεκτρική ισχύς του κινητήρα σε hp

n = ο αριθμός στροφών του ηλεκτροκινητήρα σε rpm

$$T = 71.620 \cdot \frac{P_{\eta\lambda}}{n} = 71.620 \cdot \frac{7,37 \text{ hp}}{1450 \text{ rpm}} = 364,03 \text{ kp} \cdot \text{cm} = 364,03 \cdot 9,81 \text{ N} \cdot 10^{-2} \text{ m} = \mathbf{35,71 \text{ N} \cdot \text{m}}$$

8.4. Υπολογισμός απαιτούμενης ισχύος για υπερνίκηση τριβών, γενικού βαθμού απόδοσης του αντλητικού συγκροτήματος και του ειδικού αριθμού στροφών Ns

Για την εύρεση της απαιτούμενης ισχύος για την υπερνίκηση των τριβών και άλλων απωλειών ενέργειας χρησιμοποιείται η σχέση 2.7. Πρέπει πρώτα να υπολογιστεί η αποδιδόμενη ισχύς W_{out} ή $P_{υδρ}$ της αντλίας από τη σχέση 2.4:

$$P_{υδρ} = \rho \cdot g \cdot H_{αντλ} \cdot \dot{Q} = 999,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,807 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 21,4 \text{ m} \cdot 0,015 \text{ m}^3/\text{s} \Rightarrow$$

$$P_{υδρ} = 3.145,5 \text{ W} = \mathbf{3,15 \text{ kW}} = \mathbf{4,22 \text{ hp}}$$

Οπότε η απαιτούμενη ισχύς που υπολογίζεται θα είναι:

$$\dot{W}_f = \dot{W}_{in} - \dot{W}_{out} = 4,74 - 3,15 = 1,59 \text{ kW} = 2,13 \text{ hp}$$

Ο γενικός βαθμός απόδοσης συγκροτήματος δίνεται από το λόγο της αποδιδόμενης ισχύος της αντλίας προς την ηλεκτρική ισχύς του κινητήρα. Υπολογίζεται από τη σχέση

$$\eta_{\text{συγκρ}} = \frac{P_{\text{υδρ}}}{P_{\text{ηλ}}} = \frac{3,15 \text{ kW}}{5,44 \text{ kW}} = 57,9 \%$$

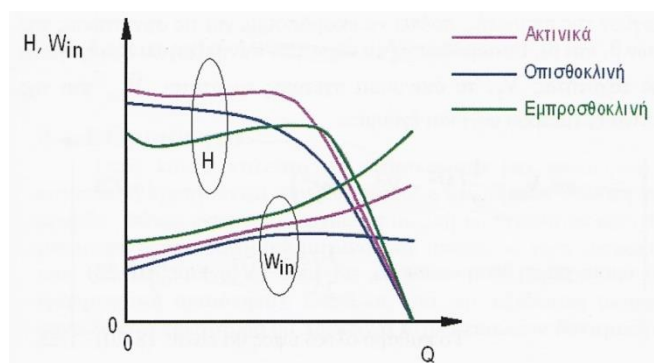
Ο ειδικός αριθμός στροφών ή ειδική ταχύτητα N_s υπολογίζονται από τη σχέση 2.24. Από τη χαρακτηριστική καμπύλη της αντλίας που δίνει ο κατασκευαστής αρχικά προσδιορίζονται προσεγγιστικά η παροχή και το μανομετρικό μέγιστου βαθμού απόδοσης (Best Efficiency Point). Ο ειδικός αριθμός στροφών παρόλο που δεν είναι αδιάστατος, οι μονάδες του συνήθως παραλείπονται:

- $\eta_{\text{BEP}} = 71,7 \%$
- $Q \approx 62 \text{ m}^3/\text{h} = 0,017 \text{ m}^3/\text{s}$
- $H_{\text{αντλ}} \approx 20,7 \text{ m}$

$$N_s = N \cdot \frac{\sqrt{Q}}{H_{\text{αντλ}}^{3/4}} = 1450 \text{ rpm} \cdot \frac{\sqrt{0,017 \text{ m}^3/\text{s}}}{20,7 \text{ m}^{3/4}} = 19,48$$

Από το διάγραμμα στην εικόνα 2.19 διαπιστώνεται ότι με ειδικό αριθμό στροφών $N_s=19,48$ το περύγιο της φυγοκεντρικής αντλίας θα είναι ακτινικό. Τα ακτινικά περύγια έχουν την απλούστερη γεωμετρία και παρέχουν την μεγαλύτερη αύξηση πίεσης για μεγάλο εύρος παροχής όγκου, αλλά η αύξηση πίεσης μειώνεται δραστικά μετά το σημείο μέγιστης απόδοσης.

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζονται τυπικές μορφές χαρακτηριστικών λειτουργίας ολικού ύψους $Q-H$ και υποδοδύναμης πέδη (εισερχόμενης ισχύος) για τα τρία είδη φυγοκεντρικών αντλιών. Οι καμπύλες έχουν προσαρμοστεί να έχει ίδια ελεύθερη παροχή (μέγιστη παροχή όγκου για μηδενικό ύψος). Το διάγραμμα είναι ποιοτικά.



ΕΙΚΟΝΑ 8.22 : Χαρακτηριστικές $Q-H$ και $Q-W_{in}$

Ο τύπος του στροφείου που θα επιλεγεί θα είναι ο ακτινικός αργόστροφος, υψηλής πίεσης και μικρής παροχής βάσει των διαστημάτων των ειδικών στροφών που ορίζονται για κάθε τύπο στροφείου το οποίο κυμαίνεται μεταξύ των $10 \leq N_s \leq 30$. Η επιλογή γίνεται από το διάγραμμα στην εικόνα 2.19

8.5. Υπολογισμός μέγιστου επιτρεπόμενου ύψους αναρρόφησης z_{\max} και διαθέσιμου καθαρού θετικού ύψους αναρρόφησης $NPSH_a$

Ο υπολογισμός του μέγιστου επιτρεπόμενου ύψους αναρρόφησης καθορίζεται από το απαιτούμενο καθαρό θετικό ύψος αναρρόφησης που δίδει ο κατασκευαστής, από τη πίεση ατμοποίησης του υγρού διεργασίας ανάλογα τη θερμοκρασία του, τις απώλειες τριβών στις σωληνώσεις και στα εξαρτήματα της που παρουσιάζονται στο κλάδο της αναρρόφησης καθώς και της ολικής πίεσης που παρουσιάζεται στην ελεύθερη επιφάνεια της δεξαμενής. Υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση όταν πρόκειται για ανύψωση στην αναρρόφηση:

$$z_{\max} = \frac{P_{o,e} - P_v}{\rho \cdot g} - \Delta H_{\text{αναρ}} - NPSH_r \quad (8.5)$$

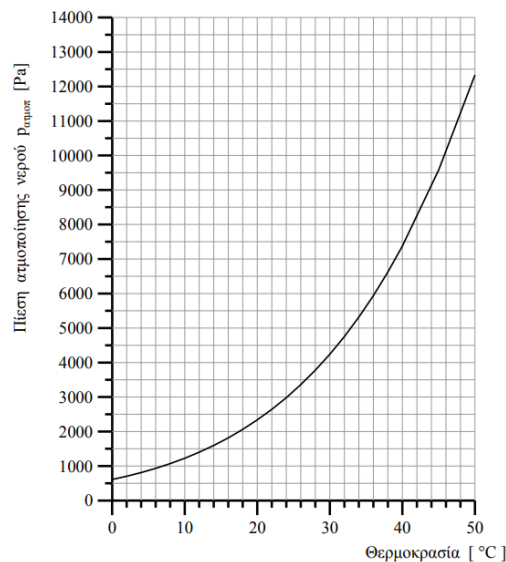
όπου: $P_{o,e}$ = η ολική (απόλυτη) πίεση στην ελεύθερη επιφάνεια της δεξαμενής (η οποία θα ισούται με την ατμοσφαιρική πίεση όταν η δεξαμενή είναι ανοικτή)

$\Delta H_{\text{αναρ}}$ = οι απώλειες τριβών στις σωληνώσεις και στα εξαρτήματα του κλάδου αναρρόφησης

P_v = η πίεση ατμοποίησης του υγρού διεργασίας ανάλογα τη θερμοκρασία του

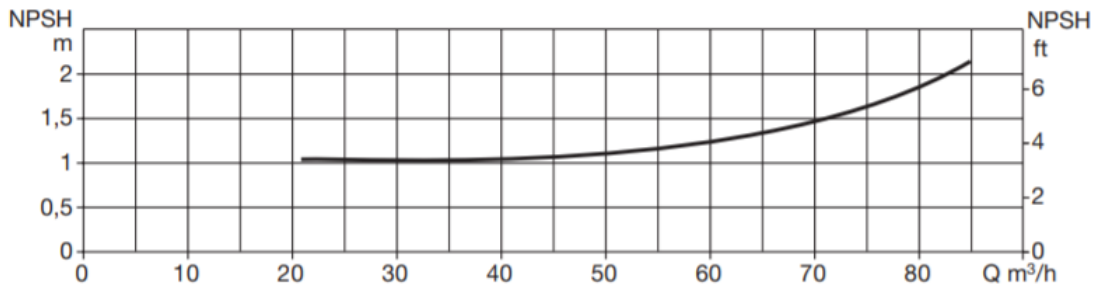
$NPSH_r$ = το απαιτούμενο καθαρό θετικό ύψος αναρρόφησης το οποίο δίνεται από το κατασκευαστή ανάλογα τη παροχή που λειτουργεί η αντλία

Η πίεση ατμοποίησης επιλέγεται από το παρακάτω διάγραμμα. Για θερμοκρασία 15°C η πίεση ατμοποίησης θα είναι $P_v \approx 1750 \text{ Pa}$



ΕΙΚΟΝΑ 8.23 : Πίεση ατμοποίησης νερού συναρτήσει της θερμοκρασίας του

Το απαιτούμενο καθαρό θετικό ύψος αναρρόφησης δίνεται από το παρακάτω διάγραμμα από το τεχνικό φυλλάδιο του κατασκευαστή και επιλέγεται βάσει του σημείου λειτουργίας της εγκατάστασης.



ΕΙΚΟΝΑ 8.24 : Το απαιτούμενο καθαρό θετικό ύψος αναρρόφησης συναρτήσει της παροχής από το φυλλάδιο του κατασκευαστή

Το $NPSH_r$ που επιλέγεται στο σημείο λειτουργίας (παροχή $Q=55 \text{ m}^3/\text{h}$) είναι περίπου ίσο με $NPSH_r \approx 1,2 \text{ m}$

Οπότε με όλα τα απαραίτητα δεδομένα γνωστά, το μέγιστο απαιτούμενο ύψος αναρρόφησης μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση 8.5 ως εξής. Η ατμοσφαιρική πίεση είναι ίση με 101.400 Pa :

$$z_{\max} = \frac{P_{o,e} - P_v}{\rho \cdot g} - \Delta H_{\text{αναρ}} - NPSH_r \Rightarrow$$

$$z_{\max} = \frac{101.400 \text{ Pa} - 1750 \text{ Pa}}{999,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,807 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} - 0,41 \text{ m} - 1,2 \text{ m} \Rightarrow$$

$$z_{\max} = \mathbf{8,56 \text{ m}}$$

Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι το ύψος του σωλήνα αναρρόφησης από την ελεύθερη επιφάνεια του υγρού μέχρι το κέντρο εισόδου της αντλίας δεν μπορεί να είναι πάνω από $8,27 \text{ m}$ διότι οποιαδήποτε αύξηση, συνεπάγεται στην εμφάνιση σπηλαιώσης της αντλίας. Συνεπώς, τα 7 m που επιλέχθηκαν εξ'αρχής για το ύψος της αναρρόφησης δεν αποτελεί πρόβλημα για τη σωστή λειτουργία της αντλίας.

Το διαθέσιμο καθαρό θετικό ύψος αναρρόφησης $NPSH_a$ υπολογίζεται από τη σχέση 2.19. Η ταχύτητα V_e είναι η ταχύτητα στην επιφάνεια της δεξαμενής και μπορεί να παραληφθεί:

$$NPSH_a = \frac{P_{o,e} - P_v}{\rho \cdot g} - \Delta H_{\text{αναρ}} - h_{\text{αναρ}} \Rightarrow$$

$$NPSH_a = \frac{101.400 \text{ Pa} - 1750 \text{ Pa}}{999,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,807 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} - 0,41 \text{ m} - 7 \text{ m} \Rightarrow$$

$$NPSH_a = \mathbf{2,76 \text{ m}}$$

Οπότε η αντλία δεν θα εμφανίσει φαινόμενα σπηλαιώσης και θα λειτουργεί χωρίς προβλήματα.

9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Είναι πλέον κατανοητό ότι οι φυγοκεντρικές αντλίες αποτελούν ένα μεγάλο και κομμάτι πολλών βιομηχανιών και όχι μόνο. Αρχικά, έγινε εκτενέστερη αναφορά στα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά των αντλιών και έπειτα κατανοήθηκαν βασικά ρευστοδυναμικά μεγέθη που συναντώνται σε αντλίες.

Στη συνέχεια παρουσιάστηκαν διάφοροι τύποι φυγοκεντρικών αντλιών και αναλύθηκαν με λεπτομέρεια τα επμέρους βασικά τμήματα που τις διέπουν και δώθηκαν σαφείς περιγραφές των συστημάτων ψύξης και λίπανσης της σαλαμάστρας. Κατ'επέκταση, αναλύθηκαν και οι βλάβες που συναντώνται στις φυγοκεντρικές αντλίες όπως επίσης και οι αιτίες αυτών.

Επίσης, ένα σημαντικό κεφάλαιο είναι η συντήρηση όπου περιγράφηκαν οι βασικότερες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στις αντλίες.

Τέλος, έγιναν οι απαραίτητοι υπολογισμοί ουτως ώστε να επιλεχθεί η κατάλληλη αντλία για μία υποθετική εγκατάσταση με γνώμονα η απόδοση της στο σημείο λειτουργίας να είναι όσο πιο υψηλή γίνεται. Επίσης, πέρα από την απόδοση της αντλίας, σε αυτό που πρέπει να δίνεται μεγάλη σημασία είναι να ικανοποιείται η συνθήκη μη σπηλαιώσης για να μην υπάρξουν βλάβες και φθορές όπου κατά συνέπεια θα επηρεαστεί η ομαλή λειτουργία της αντλίας. Παρακάτω φαίνονται συνοπτικά οι διαδικασίες που ακολουθούνται για την επιλογή μίας αντλίας.

1. Αναζήτηση αντλίας με υψηλό βαθμό απόδοσης στο σημείο λειτουργίας (αν είναι γνωστό), δηλαδή κοντά στο καλύτερο βαθμό απόδοσης.
2. Συμβουλευόμαστε τα πρότυπα φορέων για το καθορισμό της επιθυμητής περιοχής λειτουργίας για τις φυγοκεντρικές αντλίες, η οποία βρίσκεται ανάμεσα στο 70% και στο 120% της παροχής του καλύτερου βαθμού απόδοσης.
3. Για την αντλία που επιλέχθηκε, ρυθμίζουμε την ταχύτητα, τη διάμετρο πτερωτής και τις διαμέτρους εισαγωγής και εξαγωγής.
4. Στο σημείο λειτουργίας διαβάζουμε την απαιτούμενη ισχύ της αντλίας, την ογκομετρική παροχή, το βαθμό απόδοσης, το μανομετρικό ύψος αντλίας και το NPSH_r. Επίσης, ελέγχουμε τον τύπο της αντλίας και τις απαιτήσεις της έδρασης της, καθώς και το μέγεθος (διάμετρος και μήκος) των γραμμών κατάθλιψης και αναρρόφησης για να είμαστε σίγουροι οι η αντλία μπορεί να μονταρισθεί στη υπάρχουσα εγκατάσταση
5. Υπολογίζουμε το NPSH_a και εξασφαλίζουμε ότι συνθήκες λειτουργίας ικανοποιούν τις συνθήκες μη σπηλαιώσης
6. Σε περίπτωση που η εισαγωγή ή εξαγωγή της αντλίας είναι διαφορετικής διαμέτρου από αυτές των σωληνών αναρρόφησης και κατάθλιψης, επιλέγουμε τις κατάλληλες συστολές ή διαστολές (κατά προτίμηση απότομες αντι για βαθμιαίες διότι έχουν συνήθως μεγαλύτερο συντελεστή k) με σκοπό να μειωθούν οι απώλειες ενέργειας λόγω τριβών.

Η πιο συνήθεις περίπτωση επιλογής μίας αντλίας είναι όταν γνωρίζουμε που είναι το σημείο λειτουργίας δηλαδή η ογκομετρική παροχή. Υπάρχουν όμως περιπτώσεις που δεν το γνωρίζουμε και στον αντίποδα είναι γνωστό το μανομετρικό στο σημείο λειτουργίας ή ακόμα η ταχύτητα περιστροφής της αντλίας μαζί με τη διάμετρο της πτερωτής. Τότε πρέπει να κατασκευάσουμε τη χαρακτηριστική καμπύλη εγκατάστασης για να προσδιορίσουμε το σημείο λειτουργίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Φυγοκεντρικές Αντλίες και Συστήματα Ψύξης Σαλαμαστρών, Τεχνική Βιβλιοθήκη του Χειριστή Παραγωγής, Μιχάλης Φωτιάδης
2. ΡΕΥΣΤΟΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ, Στροβιλομηχανές-Υδροδυναμικές Μηχανές, Θεωρία-Λυμένες Ασκήσεις, Απόστολος Λ. Πολυζάκης, Μηχανολόγος Μηχανικός, Φυσικό PhD, MSc, MBA
3. ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΡΕΥΣΤΩΝ για Μηχανικούς, Donald F.Elger, Barbara C.Williams, Clayton T.Crowe, John A.Roberson, Επιστημονική Επιμέλεια, Μιχάλης Γ.Σπηλιώτης, Επίκουρος Καθηγητής, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης
4. Ρευστοδυναμικές Μηχανές, Θεόδωρος Ι.Τσιρίκογλου, Συνταξιούχος Καθηγητής ΤΕΙ Θεσσαλίας, Μιχαήλ Α.Βλαχογιάννης, Καθηγητής ΤΕΙ Θεσσαλίας, Θεωρητική Προσέγγιση-Εφαρμογές, Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και Βοηθήματα, www.kallipos.gr
5. Εργαστηριακές Ασκήσεις Ρευστομηχανικής, Γεώργιος Α.Σιδερίδης, Καθηγητής ΤΕΙ Δυτικής Μακεδονίας, Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και Βοηθήματα, www.kallipos.gr
6. Πρώιμη Ανίχνευση Βλάβης σε Μηχανολογικές Κατασκευές με Χρήση Φασματικής Ανάλυσης, Πολυτεχνείο Κρήτης Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Δάβαρης Γεώργιος
7. <https://www.helpe.gr/>
8. Εκπαιδευτικό Κείμενο Ακαδημιών Εμπορικού Ναυτικού, Αντλίες, Ιωάννης Κ.Δαγκίνης, Αλέξανδρος Ι.Γλύκας, Ίδρυμα Ευγενίδου 1954
9. https://www.dabpumps.com/sites/default/files/2016-03/KDN_TS_ENG.pdf
10. <https://www.pumpsandsystems.com/circulation-systems-single-and-multiple-seal-arrangements>
11. Ανάλυσεις Λιπαντικών, Συμβολή στην Αποτελεσματική Συντήρηση, Χαρ. Αποστολίδης, Διπλ. Μηχ-Ηλεκτρ. Μηχανικός ΕΜΠ
12. Samotics-ComparisonGuideCentrifugalPumps-ebook
13. <https://www.samotics.com/motor-current-signature-analysis>
14. <https://www.kriton-energy.com/ypiresies/energeiaki-epitheorisi/yperythri-thermografia.html>
15. <https://www.samotics.com/should-you-use-vibration-analysis-condition-monitoring>
16. <https://www.samotics.com/acoustic-emission-analysis>
17. <https://www.samotics.com/oil-analysis-condition-monitoring>
18. <http://eclass.teipir.gr/openeclass/modules/document/file.php/MECH104/%CE%A3%CF%84%CF%81%CE%AD%CF%88%CE%B7.pdf>