

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

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

# ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ ΣΤΑ ΕΛΠΕ



**ΕΛΛΗΝΙΚΑ  
ΠΕΤΡΕΛΑΙΑ**

ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ: ΘΕΟΦΙΛΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ  
ΚΑΡΒΟΥΝΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΑΝΔΡΕΑΣ ΒΟΥΡΟΣ  
ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟΣ ΥΠΟΤΡΟΦΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2018



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την Πτυχιακή Εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Δυτικής Ελλάδας και αφορά την μελέτη, συντήρηση και επισκευή του συστήματος αντλιών του ομίλου Ελληνικά Πετρέλαια καθώς και τις βλάβες σε αυτές τα τελευταία έτη λειτουργίας.

Τα ΕΛΠΕ, όπως είναι επίσης γνωστός ο όμιλος, δραστηροποιούνται στην διύλυση πετρελαίου και άλλα παράγωγα αυτού και την διακίνηση του την ενχώρια και όχι μόνο αγορά. Η άντληση καθώς και η διανομή στους διάφορους υποσταθμούς και δεξαμενές γίνεται με την βοήθεια αντλιών.

Οι αντλίες είναι μηχανικά στοιχεία τα οποία έχουν την ικανότητα να δίνουν την απαραίτητη ενέργεια την οποία χρειάζεται ένα ρευστό ώστε να πάει από ένα σημείο σε ένα άλλο. Υπάρχουν όπως θα δούμε πολλά είδη αντλιών τα οποία ανάλογα με τις απαιτήσεις μας τοποθετούμε στα σημεία που κρινεται αναγκαίο. Οι αντλίες καλούνται να υπερνικήσουν τις δυσκολίες που έχουν να αντιμετωπίσουν.

Οι δυσκολίες αυτές μπορεί να οφείλονται είτε σε απώλειες λόγω αρχικής και τελικής θέσης τους ρευστού (πχ υψομετρική διαφορά) είτε σε απώλειες λόγω των εξαρτημάτων και τμημάτων της ίδιας ρης αντλίας. Σε αυτή την πτυχιακή εργασία έγινε μελέτη των διαφόρων βλαβών που μπορεί να υπάρξουν στις αντλίες των ΕΛΠΕ, έγινε η καταγραφή βλαβών από το 2012 μέχρι και σήμερα.

Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστή: Ο κάτωθι υπογεγραμμένος σπουδαστής έχω επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνω υπεύθυνα ότι είμαι συγγραφέας αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, αναλαμβάνοντας την ευθύνη επί ολόκληρου του κειμένου εξ ίσου, 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 όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Ο σπουδαστής

.....

(Υπογραφή)

Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστή: Ο κάτωθι υπογεγραμμένος σπουδαστής έχω επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνω υπεύθυνα ότι είμαι συγγραφέας αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, αναλαμβάνοντας την ευθύνη επί ολόκληρου του κειμένου εξ ίσου, 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 όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Ο σπουδαστής

.....

(Υπογραφή)

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα Πτυχιακή Εργασία έχει θέμα την συντήρηση και επισκευή φυγοκεντρικών αντλιών του ομίλου Ελληνικά Πετρέλαια. Οι αντλίες αποτελούν ένα από τα σημαντικότερα τμήματα του ομίλου αφού χάρις το έργο τους κινείται η ζωή των ΕΠΛΕ δηλαδή το πετρέλαιο.

Στο πρώτο κεφάλαιο περιγράφεται ο όμιλος των Ελληνικών Πετρελαίων, η διοικητική δομή του, η ιστορία του καθώς και η δραστηριότητα του όλα αυτά τα χρόνια.

Στο δεύτερο κεφάλαιο δίνεται ο ορισμός των αντλιών και οι βασικές έννοιες που είναι απαραίτητες γι αυτές. Επίσης γίνεται η καταταξή τους ανάλογα με την χρήση τους.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναπτύχθηκαν οι βασικές αρχές των ρευστών πάνω στις οποίες βασίζεται η αρχή λειτουργίας των αντλιών.

Στο τέταρτο Κεφάλαιο παρουσιάζονται τα βασικότερα μέρη της αντλίας καθώς και τα εξαρτήματα. Ακόμα διάφοροι τύποι και κατηγορίες αυτών.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται δύο αντλίες στις οποίες έγινε μελέτη παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά τους και τα μέρη τους. Επίσης ο τρόπος μελέτης των κραδασμών, τα αίτια και τα μέτρα αντιμετώπισης.

Στο έκτο Κεφάλαιο αναλύεται ο τρόπος για την εκτίμηση του διαθέσιμου χρόνου λειτουργίας, δηλαδή του χρόνου μεταξύ διαδοχικών επισκευών των αντλιών που αναφέρεται στο «μέσο χρόνο μεταξύ βλαβών» για όλο τον «πληθυσμό» του εν λόγω εξοπλισμού. Στο τελαιυταίο Κεφάλαιο γίνεται η μελέτη των βλαβών στα ρουλεμάν και τους άξονες των αντλιών.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ .....	iii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	v
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ .....	vi
ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	10
1 ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΑ .....	12
1.1 Η ιστορία των ΕΛΠΕ. ....	12
1.2 Δραστηριότητες του Ομίλου. ....	14
2 ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΑΝΤΛΙΩΝ .....	17
2.1 Αντλίες.....	17
2.2 Βασικές έννοιες.....	17
2.3 Κατάταξη των αντλιών. ....	18
2.3.1 Σύγκριση των χαρακτηριστικών των δυναμικών αντλιών και των αντλιών μετατοπίσεως. ....	19
2.4 Μανομετρικό Ύψος. ....	19
3 ΟΙ ΝΟΜΟΙ ΤΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΤΛΙΕΣ. ....	23
3.1 Βασικές αρχές της μηχανικής Των ρευστών. ....	23
3.1.1 Πυκνότητα και ειδικό βάρος.....	23
3.1.2 Συμπιεστότητα.....	23
3.1.3 Θερμική διαστολή.....	23
3.1.4 Δυνατότητα διαλύσεως των αερίων.....	23
3.1.5 Πηκτικότητα. ....	24
3.1.6 Ιξώδες.....	24
3.2 Ροή πραγματικού υγρού σε κλειστούς αγωγούς. ....	26
3.3 Τοπικές ή ελάσσονες απώλειες.....	27
4 ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΝΤΛΙΩΝ. ....	29
4.1 Τα βασικότερα μέρη μιας αντλίας.....	29
4.1.1 Το σώμα της αντλίας.....	29
4.1.2 Το τμήμα εισόδου. ....	30
4.1.3 Το τμήμα εξόδου.....	31
4.1.4 Το σπειροειδές κέλυφος. ....	31
4.1.5 Ο Διαχύτης.....	33

4.1.6	Η πτερωτή.....	33
4.1.7	Δακτύλιοι φθοράς (wear rings).....	34
4.1.8	Άτρακτος.....	35
4.1.9	Παρελκόμενα εξαρτήματα.....	36
4.1.10	Έδρανα.....	34
4.2	ΤΥΠΟΙ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ.....	35
4.2.1	Παλινδρομικές (εμβολοφόρες) αντλίες.....	35
4.2.2	Παλινδρομικές (διαφραγματικές) αντλίες.....	36
4.2.3	Περιστροφικές αντλίες-γρاناζωτές.....	37
	<i>Εικόνα 4.14: Περιστροφικές αντλίες-γρاناζωτές.....</i>	<i>39</i>
4.2.4	Περιστροφικές αντλίες-screw.....	39
	<i>Εικόνα 4.15: Περιστροφικές αντλίες-screw.....</i>	<i>40</i>
4.3	Φυγοκεντρικές αντλίες.....	40
4.3.1	Τα εξαρτήματα της αντλίας.....	42
4.3.2	ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΜΟΝΟΒΑΘΜΙΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ.....	46
4.3.3	ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ.....	47
4.3.4	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΜΟΝΟΒΑΘΜΙΕΣ Η ΠΟΛΥΒΑΘΜΙΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ.....	47
4.4	ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ, ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΜΟ ΝΟΒΑΘΜΙΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ.....	47
4.4.1	ΑΝΤΛΙΕΣ LDP.....	48
4.4.2	ΑΝΤΛΙΑ ΜΟΝΟBLOCK.....	50
4.4.3	ΑΝΤΛΙΑ IN-LINE.....	55
5	ΜΕΛΕΤΗ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ WORTHINGTON 2WWFB-811.....	56
5.1	ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ.....	56
5.2	J5622 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΝΤΛΙΑΣ.....	58
5.2.1	ΜΕΡΗ ΤΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ J5622.....	60
5.2.2	ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ.....	65
5.2.3	ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ J5622.....	73
5.3	ΜΕΤΡΗΣΗ ΚΡΑΔΑΣΜΩΝ ΓΙΑ ΔΙΑΓΝΩΣΗ ΒΛΑΒΗΣ ΤΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ J5622.....	75

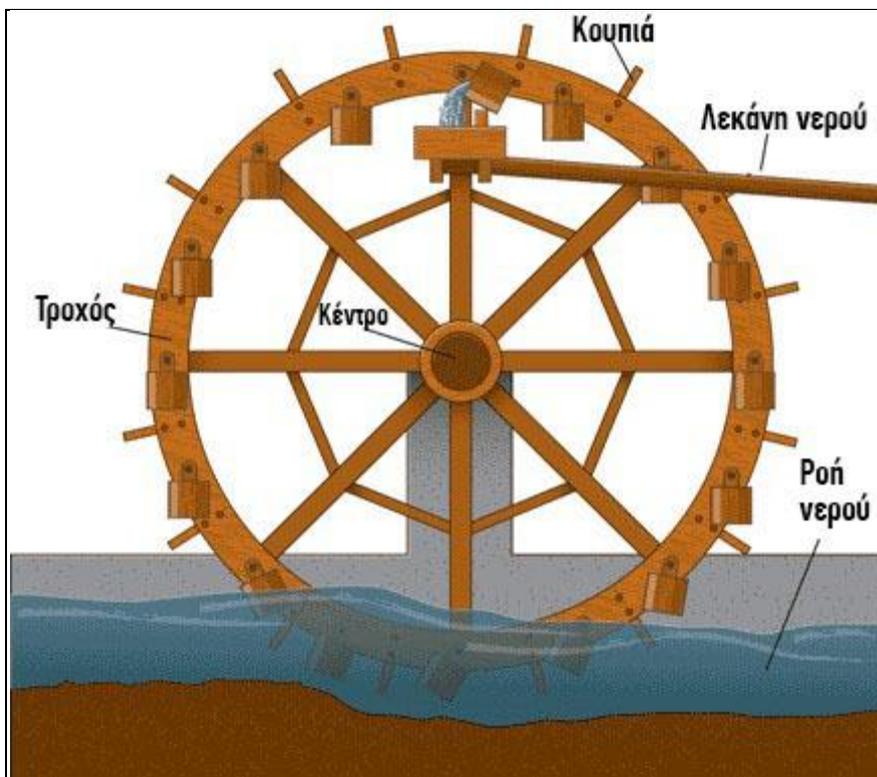
5.3.1	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ .....	75
5.3.2	ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΑ ΜΕΓΕΘΗ .....	75
5.3.3	ΟΡΓΑΝΟ ΜΕΤΡΗΣΗΣ .....	75
5.3.4	ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ .....	77
5.4	ΑΙΤΙΕΣ ΥΨΗΛΩΝ ΚΡΑΔΑΣΜΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥΣ	78
5.4.1	ΜΕΤΡΗΣΗ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΔΙΑΚΕΝΩΝ.....	79
5.5	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ .....	84
6	ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΤΡΟΠΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΜΤΒΦ .....	89
6.1	Αποτέλεσμα υπολογισμού ΜΤΒΦ-Συχνότητας Βλαβών	90
	<i>Σχήμα 6.3 Επισκευές 2012 .....</i>	<i>95</i>
	<i>Σχήμα 6.4 Συχνότητα εμφάνισης βλαβών στο Τμήμα Κοινών Παροχών 2012. ....</i>	<i>96</i>
6.2	Συχνότητα Βλαβών Αντλιών ανά λειτουργική περιοχή τα έτη 2012 έως 2017 .....	101
7	WHY'S REPORT .....	121
	ΘΕΜΑ	121
	Διερεύνηση ζημιάς .....	121
	Εξοπλισμός.....	121
	Αντλία J-1914.....	121
	Αντλία φυγοκεντρική πρόβολος .....	121
	Προϊόν .....	121
	Ρουλεμάν - πλευρά φτερωτής 6305.....	121
	Πλευρά κίνησης 6305 .....	121
	Ταχύτητα 2900 rpm.....	121
	Λίπανση : Λάδι - στάθμη λαδιού.....	121
	Στεγανοποίηση αντλίας - Μ/Σ .....	121
	Στεγανοποίηση ρουλεμάν - Απλή τσιμούχα χωρίς garter spring .....	121
	ΒΕΑ.....	121
7.1	ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΒΛΑΒΩΝ – ΕΠΙΣΚΕΥΩΝ.....	121
7.2	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ – ΕΥΡΗΜΑΤΑ .....	122
7.3	ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ 5 – Why's .....	125
	5 Why	125
	Παρατηρήσεις / Σχόλια:.....	125
7.4	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	127

**ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ..... 129**

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι αντλίες για την άντληση του νερού επινοήθηκαν πριν από τις κινητήριες μηχανές. Τα βασικά εξαρτήματα των αντλιών αυτών ήταν δοχεία, τα οποία βυθίζονταν μέσα στο νερό και μετά ανυψώνονταν με τη βοήθεια απλών μηχανών.

Η επινοήση του ανυψωτικού τροχού πρέπει να θεωρηθεί σαν ένα σημαντικό βήμα προόδου στην άντληση του νερού για άρδευση. Στην περιφέρεια ενός μεγάλου τροχού, ήταν τοποθετημένα δοχεία, που βυθίζονταν στο νερό, γέμιζαν και καθώς ο τροχός περιστρεφόταν, ανερχόταν και άδειαζαν μέσα στο αυλάκι αρδεύσεως (Εικόνα 1). Ως ενέργεια για την περιστροφή του τροχού χρησιμοποιήθηκε η ανθρώπινη δύναμη, η ζωική δύναμη και η δύναμη του ανέμου. Αργότερα ο ανυψωτικός τροχός μετατράπηκε σε «αυτοκινούμενο» με την προσθήκη πτερυγίων στην περιφέρεια του. Καθώς το νερό των ποταμών έρεε, ωθούσε τα πτερύγια και ο τροχός περιστρεφόταν για την ανύψωση των δοχείων. Άλλες διατάξεις για την άντληση του νερού ήταν ο κοχλίας, η αλυσίδα με βύσματα και η χειροκίνητη παλινδρομική αντλία (τουλούμπα).



Εικόνα 1: Νερόμυλος Νορπια. [https://periergaa.blogspot.gr/2016/11/8\\_10.html](https://periergaa.blogspot.gr/2016/11/8_10.html)

Εφευρέτης της φυγόκεντρου αντλίας θεωρείται ο Γάλλος *Denis Papin*, που το 1687 περιέγραψε ένα τύπο αντλίας, της οποίας η αρχή λειτουργίας ήταν η ίδια με τις σημερινές φυγόκεντρους αντλίες. Το 1705 κατασκεύασε ο ίδιος την πρώτη φυγόκεντρο αντλία για άντληση νερού. Αργότερα κατασκευάστηκαν και άλλες φυγόκεντροι αντλίες με μικρές Βελτιώσεις, αλλά ο βαθμός αποδόσεως τους ήταν πολύ μικρός. Το 1875 ο *Osborne Reynolds*, κατασκεύασε την πρώτη στροβιλαντλία που είχε σημαντικά αυξημένη απόδοση, από το 1840 άρχισαν να χρησιμοποιούνται οι ατμομηχανές για την κίνηση των αντλιών, όταν ο *H. Worthington* κατασκεύασε μια παλινδρομική αντλία της οποίας το έμβολο, ήταν συνδεδεμένο απ' ευθείας με το έμβολο της ατμομηχανής. Νέα ώθηση στην εξέλιξη των αντλιών και την επινοήση

νέων τύπων, έδωσε η εμφάνιση των κινητήρων εσωτερικής καύσεως. Επίσης οι αεριοστρόβιλοι και οι ηλεκτροκινητήρες, δίνουν μεγάλο αριθμό στροφών και σταθερή ροπή, συντέλεσαν στην ταχεία εξέλιξη των φυγοκεντρικών αντλιών και την εκτόπιση των παλινδρομικών, εκτός από τις περιπτώσεις που επιζητείται υψηλή πίεση και μικρή παροχή. Παράλληλα αναπτύχθηκαν οι περιστροφικές αντλίες για μικρές παροχές με μέση πίεση, ιδίως στα υγρά με μεγάλο ιξώδες.

# 1 ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΑ

Τα ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΑ (ΕΛΠΕ) ιδρύθηκαν το 1958 και αποτελούν έναν από τους κορυφαίους Ομίλους στον τομέα της ενέργειας στη Νοτιοανατολική Ευρώπη, με δραστηριότητες σε 7 χώρες (Εικόνα 2). Οι μετοχές τους διαπραγματεύονται στο Χρηματιστήριο Αθηνών (ATHEX: ELPE) και στο Χρηματιστήριο του Λονδίνου (LSE: HLPD). Πρόεδρος του Διοικητικού Συμβουλίου είναι ο Ευστάθιος Τσοτσόρος και Διευθύνων Σύμβουλος ο Γρηγόριος Στεργιούλης.



*Εικόνα 2: Διύλιστήρια Ασπροπύργου.*

## 1.1 Η ιστορία των ΕΛΠΕ.

Η ιστορία των ΕΛΠΕ διαχωρίζεται σε μεγάλες χρονικές περιόδους όπως φαίνεται παρακάτω:

Ø **1955-1970:** Το 1955 με απόφαση της τότε κυβέρνησης, υπογράφεται η σύμβαση κατασκευής του διυλιστηρίου Ασπροπύργου, του πρώτου διυλιστηρίου πετρελαίου στην Ελλάδα. Η κατασκευή άρχισε το 1956 και δυο χρόνια αργότερα, το 1958, εγκαινιάζεται το νέο διυλιστήριο στον Ασπρόπυργο. Οκτώ χρόνια αργότερα, το 1966, ο ελληνικής καταγωγής Τομ Πάππας, εγκαινιάζει το διυλιστήριο μιας νέας εταιρίας, της ESSO PAPPAS στη Δυτική Θεσσαλονίκη.

Ø **1971-1980:** Ιδρύεται η ΔΗΜΟΣΙΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ Α.Ε. (Δ.Ε.Π) και εξαγοράζεται από το Ελληνικό Δημόσιο η ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΔΙΥΛΙΣΤΗΡΙΑ ΑΣΠΡΟΠΥΡΓΟΥ Α.Ε. (ΕΛ.Δ.Α.). Το Δημόσιο ελέγχει πλήρως τη διύλιση, διάθεση και εμπορία διυλισμένων προϊόντων. Ο Όμιλος Ιωάννη Λάτση εγκαινιάζει το διυλιστήριο της ΠΕΤΡΟΛΑ ΕΛΛΑΣ στην Ελευσίνα.

Ø **1981-1990:** Το Δημόσιο εξαγοράζει τον όμιλο εταιρειών ESSO που μετονομάζεται σε ΕΚΟ. Ιδρύεται η ΔΕΠ-ΕΚΥ για την άσκηση των δικαιωμάτων του Δημοσίου στην έρευνα και εκμετάλλευση υδρογονανθράκων. Ιδρύεται η Δημόσια

Επιχείρηση Παροχής Αερίου Α.Ε. (Δ.Ε.Π.Α.). Η Δ.Ε.Π. αναλαμβάνει για λογαριασμό του Ελληνικού Δημοσίου τη διύλιση και διάθεση διυλισμένων προϊόντων στην εσωτερική αγορά και αποκτά τις μετοχές της ΕΛ.Δ.Α. και της Δ.Ε.Π.Α. Η ΕΛ.Δ.Α. ιδρύει την εταιρεία μελετώνΑΣΠΡΟΦΩΣ, αρχικά μαζί με τη Foster Wheeler Italiana S.r.l., και την εμπορική Εταιρεία ΕΛΔΑ-Ε.

Ø **1991-1997:** Απελευθερώνεται η αγορά πετρελαίου και η Δ.Ε.Π. αναλαμβάνει τη διύλιση και διάθεση προϊόντων για δικό της λογαριασμό μέσω των διυλιστηρίων ΕΛ.Δ.Α. και ΕΚΟ. Η Δ.Ε.Π. αποκτά τις μετοχές του ομίλου ΕΚΟ. Η εμπορική ΕΚΟ ιδρύει συμμετοχικά την ΕΚΟ GEORGIA και την ΕΚΟΛΙΝΑ. Η ΕΛΔΑ-Ε αναπτύσσεται στην εσωτερική αγορά. Δ.Ε.Π. και ΕΛ.Δ.Α. συμμετέχουν στην ίδρυση της V.P.I., βιομηχανίας παραγωγής ρητίνης πολυαιθυλενίου στο Βόλο. Η ΔΕΠ-ΕΚΥ προχωρά σε εκχωρήσεις στη Δυτική Ελλάδα με συμμετοχή της στις κοινοπραξίες έρευνας TRITON και ENTERPRISE.

Ø **1998-2008:** Συγχώνευση των θυγατρικών του Ομίλου ΔΕΠ και μετονομασία σε ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΑ. Εισαγωγή στα Χρηματιστήρια Αθηνών και Λονδίνου. Κατά τα επόμενα χρόνια ο Όμιλος ΕΛ.ΠΕ. ιδρύει ή συμμετέχει σε θυγατρικές εταιρείες όπως η ΕΛΠΕΤ. ΒΑΛΚΑΝΙΚΗ ΑΕ, μέσω της οποίας 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, για την επέκταση των εμπορικών δραστηριοτήτων του Ομίλου σε Αλβανία, Κύπρο, Σερβία, Μαυροβούνιο και Βουλγαρία αντίστοιχα. Το Ελληνικό Δημόσιο διαθέτει με δημόσια εγγραφή δεύτερο πακέτο μετοχών της ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΑ Α.Ε.

Συγχωνεύεται στην ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΑ Α.Ε. η εταιρεία ΠΕΤΡΟΛΑ ΕΛΛΑΣ Α.Ε.Β.Ε., μέσω της οποίας ο όμιλος αποκτά το διυλιστήριο Ελευσίνας. Στα επόμενα χρόνια ακολουθούν κι άλλες συστάσεις θυγατρικών εταιρειών, όπως η ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ Α.Ε., με σκοπό τη δραστηριοποίηση του ομίλου στον τομέα παραγωγής και εμπορίας ηλεκτρικής ενέργειας. Μέσω της κατασκευής και λειτουργίας εργοστασίου (CCGT) ισχύος 390 MW στη Θεσσαλονίκη, η ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΑ – ΑΠΟΛΛΩΝ Ν.Ε. και η ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΑ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ Α.Ε., συνδέονται με σκοπό την παραγωγή, διάθεση και εμπορία ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Επίσης, αναπτύσσεται κοινοπραξία της ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΑ Α.Ε. (20%) με τις εταιρείες WOODSIDE ENERGY της Αυστραλίας (45%) και REPSOL YPF της Ισπανίας (35%), για έρευνα και παραγωγή υδρογονανθράκων σε περιοχές της Λιβύης. Στοχεύοντας στην περαιτέρω ισχυροποίηση του Ομίλου στον τομέα παραγωγής και εμπορίας ηλεκτρικής ενέργειας, σημαντικό βήμα αποτελεί η συνεργασία με την ιταλική EDISON SpA., με την οποία συστήνεται η κοινοπραξία ELPEDISON. Στον τομέα Έρευνας και Παραγωγής Υδρογονανθράκων υπογράφονται δυο συμβάσεις παραχωρήσεων στις περιοχές West Obayed και Mesaha, στην Αίγυπτο.

Πραγματοποιείται σημαντική εμπορική συμφωνία μεταξύ της ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΑ Α.Ε. και της INEOS CHLORVINYLS, μια από τις μεγαλύτερες εταιρίες παραγωγής χλωρίου-αλκαλικών στην Ευρώπη, για διανομή ρητινών στην Ελλάδα. Επίσης, μεταβιβάζονται τα δικαιώματα έρευνας και παραγωγής υδρογονανθράκων στη Λιβύη στον Γάλλο-Βελγικό ενεργειακό όμιλο GDF Suez. Πραγματοποιείται η εξαγορά του 100% της Opet Aygaz Bulgaria EAD στη Βουλγαρία, ενισχύοντας έτσι το χαρτοφυλάκιο του Ομίλου στη Ν.Α. Ευρώπη.

Ø **2009-2013:** Με στόχο την ενδυνάμωση της θέσης του Ομίλου στην εγχώρια αγορά πετρελαιοειδών και την περαιτέρω ανάπτυξη της λιανικής εμπορίας, η BP HELLAS μεταβιβάζει τα εμπορικά δικαιώματά της στην Ελλάδα στα ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΑ, συμπεριλαμβανομένων του δικτύου πρατηρίων καυσίμων, αποθηκευτικών χώρων, καθώς και εμπορικών και βιομηχανικών πελατών. Ολοκληρώνονται οι εργασίες ανέγερσης νέων μονάδων στο διύλιστήριο της Θεσσαλονίκης. Με στόχο τη διασπορά τεχνικών και επενδυτικών κινδύνων αποφασίζεται η πώληση μέρους των δικαιωμάτων έρευνας και παραγωγής υδρογονανθράκων στην περιοχή West Obayed στη Δυτική Έρημο της Αιγύπτου, στην εταιρεία VEGAS OIL & GAS S.A. Σκοπός της κοινοπραξίας (VEGAS 70% - ΕΛΠΕ 30%) είναι η συνέχιση των ερευνητικών εργασιών στην περιοχή. Τίθεται σε εμπορική λειτουργία και δεύτερη μονάδα ηλεκτροπαραγωγής (CCGT) στη Θίσβη Βοιωτίας, δυναμικότητας 420 MW από την ELPEDISON ENERΓΕΙΑΚΗ. Η υλοποίηση αυτής της επένδυσης, ενισχύει σημαντικά το σύστημα της Νοτίου Ελλάδας με αξιόπιστη και περιβαλλοντικά φιλική ηλεκτρική ενέργεια. Ο Όμιλος, στο πλαίσιο αναδιάρθρωσης της στρατηγικής του, αποχωρεί από την αγορά της Γεωργίας, με την πώληση του συνόλου της συμμετοχής του στην HELLENIC PETROLEUM Georgia Ltd. Ολοκληρώνεται η μεγαλύτερη ιδιωτική βιομηχανική επένδυση στην Ελλάδα, που αφορά στον εκσυγχρονισμό και την αναβάθμιση του διύλιστηρίου Ελευσίνας. Μετά την επιτυχή έναρξη της εμπορικής του λειτουργίας, το νέο διύλιστήριο υποστηρίζει ουσιαστικά την κερδοφορία του Ομίλου, ενώ παράλληλα προσφέρει πολλαπλά οφέλη για το περιβάλλον, την απασχόληση και την εθνική οικονομία. Ολοκληρώνεται με επιτυχία η πρώτη έκδοση Ευρω-ομολόγου στην ιστορία του Ομίλου, ύψους €500 εκ., επιβεβαιώνοντας την εμπιστοσύνη των διεθνών κεφαλαιαγορών στις προοπτικές και τη στρατηγική του.

## 1.2 Δραστηριότητες του Ομίλου.

Ο τομέας διύλισης αποτελεί την κύρια δραστηριότητα του ομίλου, αντιπροσωπεύοντας περίπου 75% του συνολικού ενεργητικού του. Ο Όμιλος διαθέτει τα τρία από τα τέσσερα διύλιστήρια που λειτουργούν στην Ελλάδα (Ασπρόπυργος, Ελευσίνα, Θεσσαλονίκη), με συνολική δυναμικότητα 340 kbrd, κατέχοντας μερίδιο περίπου 65% της ελληνικής αγοράς στον τομέα του χονδρικού εμπορίου πετρελαιοειδών.

Ο Όμιλος, την πενταετία 2007-2012 υλοποίησε ένα επενδυτικό πρόγραμμα ύψους €3 δις περίπου, στο πλαίσιο του οποίου εντάσσεται και η ολοκλήρωση της μεγαλύτερης ιδιωτικής βιομηχανικής επένδυσης στην Ελλάδα, που αφορά τον εκσυγχρονισμό και την αναβάθμιση του διυλιστηρίου Ελευσίνας. Το έτος 2013 ήταν η πρώτη πλήρης χρονιά εμπορικής λειτουργίας του αναβαθμισμένου διυλιστηρίου της Ελευσίνας, το οποίο αφού ολοκλήρωσε επιτυχώς τη διαδικασία αριστοποίησης, είχε σημαντική συνεισφορά στην κερδοφορία του Ομίλου και την αύξηση των εξαγωγών του. Ο Όμιλος κατέχει ηγετική θέση στην εγχώρια εμπορία, μέσω των θυγατρικών της ΕΚΟ και ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΚΑΥΣΙΜΑ (πρώην BP Hellas). Οι δυο εταιρείες δραστηριοποιούνται στην εγχώρια λιανική εμπορία μέσω δικτύου περίπου 1.700 πρατηρίων, καθώς και στις πωλήσεις υγραερίου, βιομηχανικών, αεροπορικών, ναυτιλιακών καυσίμων και λιπαντικών. Επιπλέον, ο Όμιλος δραστηριοποιείται στις αγορές της Νοτιοανατολικής Ευρώπης. Διαθέτει το μοναδικό διυλιστήριο της π.Γ.Δ.Μ. στα Σκόπια και μέσω ενός δικτύου 287 πρατηρίων συνολικά, κατέχει σημαντική θέση στην εμπορία καυσίμων σε Κύπρο, Βουλγαρία, Σερβία και Μαυροβούνιο.

Ο Όμιλος κατέχει δικαιώματα έρευνας υδρογονανθράκων στην Ελλάδα και το Μαυροβούνιο, ενώ οι τρέχουσες δραστηριότητές του επικεντρώνονται σε έρευνες στις περιοχές West Obayed και Mesaha της Αιγύπτου (συμμετοχή 30% ανά περιοχή). Ο Όμιλος συμμετέχει ως διαχειριστής (operator) σε διεθνή κοινοπραξία πετρελαϊκών εταιρειών (συμμετοχή 33%) η οποία έχει επιλεγεί από το ΥΠΕΚΑ ως ο πρώτος προτιμητέος προσφέρων για την απόκτηση δικαιωμάτων έρευνας και παραγωγής στο Δυτικό Πατράϊκό κόλπο, ενώ στις 14 Μαΐου 2014 υπεγράφη η σύμβαση παραχώρησης με το Ελληνικό Δημόσιο. Ήδη έχουν ξεκινήσει οι αρχικές γεωλογικές μελέτες στην περιοχή. Ο Όμιλος διαθέτει το μοναδικό καθετοποιημένο συγκρότημα παραγωγής πετροχημικών στην Ελλάδα, με κύρια προϊόντα το πολυπροπυλένιο και παράγωγά του, η παραγωγή του οποίου γίνεται σύμφωνα με τα πρότυπα Basel. Το μερίδιο της εγχώριας αγοράς υπερβαίνει το 50% ενώ οι εξαγωγές, κυρίως στην Τουρκία, την Ιταλία και την Ιβηρική χερσόνησο, αντιπροσωπεύουν ποσοστό περίπου 50%-60% των πωλήσεων.

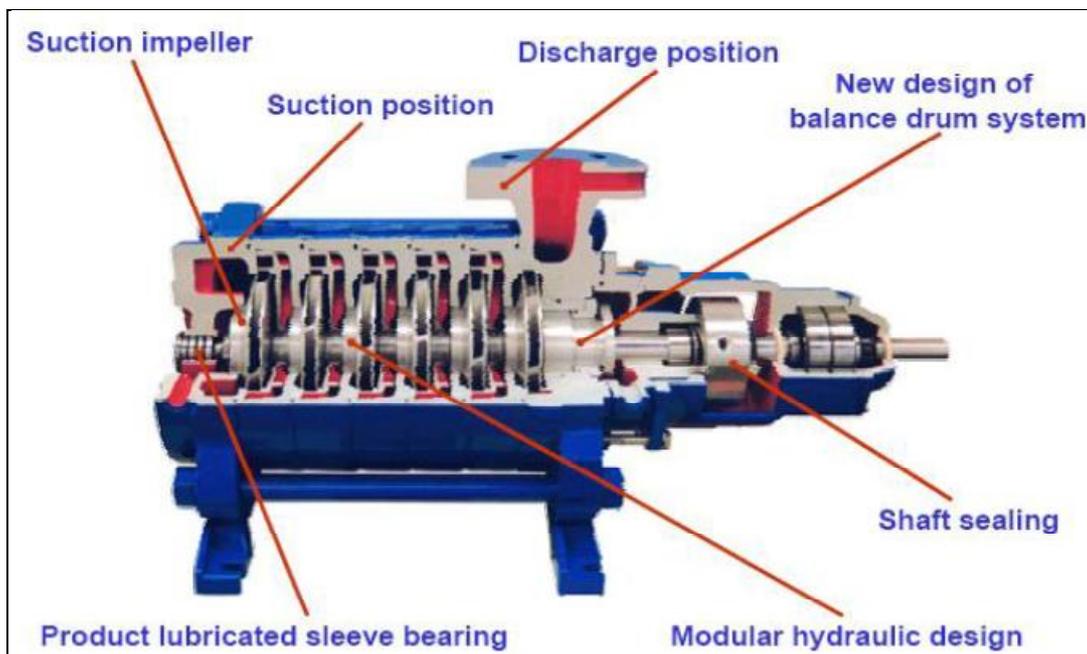
Ο Όμιλος δραστηριοποιείται επίσης στους τομείς ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου. Μέσω της ELPEDISON, κοινοπραξία με την ιταλική EDISON, ήδη λειτουργεί δύο μονάδες συνδυασμένου κύκλου στη Θεσσαλονίκη και τη Θίσβη Βοιωτίας, συνολικής ισχύος 810 MW. Επιπλέον, τα ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΑ δραστηριοποιούνται στον κλάδο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, με χαρτοφυλάκιο άνω των 100 MW σε διάφορα στάδια ανάπτυξης. Ο Όμιλος συμμετέχει κατά 35% στη Δημόσια Επιχείρηση Αερίου Α.Ε. (ΔΕΠΑ)<sup>1</sup>, που αποτελεί τον κύριο εισαγωγέα και πάροχο φυσικού αερίου στην Ελλάδα. Η ΔΕΠΑ κατέχει το 100% του ΔΕΣΦΑ, ιδιοκτήτη και διαχειριστή του ελληνικού δικτύου φυσικού αερίου, καθώς και το 51% των τοπικών εταιρειών διανομής και παροχής αερίου (ΕΠΑ). Ο ΔΕΣΦΑ βρίσκεται σε διαδικασία πώλησης στην εταιρεία SOCAR του Αζερμπαϊτζάν, καθώς στις 21 Δεκεμβρίου 2013 υπεγράφη συμφωνία πώλησης των μετοχών (Share Purchase Agreement) ύψους €400εκ. για το 66% των μετοχών, ενώ η ολοκλήρωση της συναλλαγής υπόκειται στην έγκριση των αρμόδιων ρυθμιστικών αρχών ενέργειας και ανταγωνισμού σε Ελλάδα και Ευρωπαϊκή Ένωση.



## 2 ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΑΝΤΛΙΩΝ

### 2.1 Αντλίες

Αντλίες, ονομάζονται τα μηχανικά μέσα με τα οποία είναι δυνατόν να μεταφερθεί μια ποσότητα υγρού από μία υψομετρική στάθμη, σε άλλη που βρίσκεται υψηλότερα ή από ένα χώρο χαμηλής πίεσης σε άλλο υψηλής πίεσης. Υπάρχουν όμως περιπτώσεις όπου οι αντλίες χρησιμοποιούνται για την μεταφορά υγρών από υψηλότερη στάθμη σε χαμηλότερη, όταν ο σωλήνας μεταφοράς είναι μεγάλου μήκους ή όταν η υδραυλική αντίσταση μέσα στο σωλήνα είναι πολύ μεγάλη. Οι αντλίες τοποθετούνται πάντοτε μεταξύ των σημείων παραλαβής και αποστολής του υγρού και η μεταφορά του οφείλεται στη δημιουργία πιέσεων στις δυο πλευρές του κινούμενου στοιχείου της αντλίας (περιστρεφόμενος δρομέας ή έμβολο) (Εικόνα 2.1).



Εικόνα 2.1: Περιστρεφόμενος δρομέας.

### 2.2 Βασικές έννοιες.

Βασικά τμήματα μιας αντλίας είναι

- ∅ ο σωλήνας αναρρόφησης που είναι το τμήμα του σωλήνα από το σημείο εξόδου του υγρού μέχρι την είσοδο του στην αντλία,
- ∅ ο σωλήνας καταθλίψεως που είναι το τμήμα του σωλήνα από το σημείο εξόδου του υγρού μέχρι το σημείο αποστολής του (Εικόνα 2.2).
- ∅ η σωληνογραμμή που είναι το σύνολο των σωλήνων μέσα από τους οποίους ρέει το υγρό.

Γενικότερα το σύστημα αντλήσεως είναι η διάταξη του σωλήνα αναρρόφησης της αντλίας, του σωλήνα καταθλίψεως και του κινητήρα, ενώ αντλητικό συγκρότημα: είναι το σύνολο των αντλιών (μαζί με τον κινητήρα) που συνεργάζεται για την άντληση του υγρού (Εικόνα 2.3).



Εικόνα 2.2 Αντλία ανοξείδωτη N-40



Εικόνα 2.3: Πιεστικό – Αντλητικό συγκρότημα ARGYRIOU.

### 2.3 Κατάταξη των αντλιών.

Οι αντλίες διακρίνονται σε δυο βασικές κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο μεταφοράς του υγρού από τον σωλήνα αναρροφήσεως στο σωλήνα καταθλίψεως.

- ∅ Αντλίες μετατοπίσεως ή αντλίες στατικού τύπου,
- ∅ Αντλίες δυναμικές ή αντλίες δυναμικού τύπου.

Οι αντλίες μετατοπίσεως ή στατικού τύπου κατά τη λειτουργία τους μετατοπίζουν θετικά το υγρό και η παροχή τους δεν επηρεάζεται σημαντικά από την αντίσταση που παρουσιάζεται κατά την κίνηση του υγρού μέσα στους σωλήνες μεταφοράς. Οι αντλίες αυτές διακρίνονται:

- ∅ Παλινδρομικές αντλίες
- ∅ Περιστροφικές αντλίες

Οι δυναμικές αντλίες ή κινητού τύπου κατά τη λειτουργία τους μεταβάλλουν την κινητική κατάσταση του υγρού, με αποτέλεσμα την μεταβολή της κινητικής του ενέργειας σε στατική πίεση και αντίστροφα. Η παροχή τους επηρεάζεται σημαντικά από την αντίσταση που παρουσιάζεται κατά την κίνηση του υγρού μέσα στους σωλήνες μεταφοράς και από τα άλλα χαρακτηριστικά της ροής του υγρού. Υπάρχουν δυο τύποι δυναμικών αντλιών:

- ∅ Φυγοκεντρικές αντλίες ή κεντρόφυγες,
- ∅ Στροβιλαντλίες.

### 2.3.1 Σύγκριση των χαρακτηριστικών των δυναμικών αντλιών και των αντλιών μετατοπίσεως.

Οι δυναμικές αντλίες παρουσιάζουν τα παρακάτω χαρακτηριστικά συγκριτικά με τα χαρακτηριστικά των αντλιών μετατοπίσεως:

- ∅ Η κίνηση τους είναι συνεχής και ομοιόμορφη. Η παροχή και η πίεση είναι σταθερές ή παρουσιάζουν πολύ μικρή περιοδική μεταβολή.
- ∅ Η λειτουργία τους είναι ασφαλής, γιατί έχουν ένα μικρό αριθμό κινούμενων στοιχείων, ενώ δεν έχουν αυτοκινούμενες βαλβίδες.
- ∅ Τα κινούμενα στοιχεία μέσα στην αντλία, συνήθως αυτολιπαίνονται από το αντλούμενο υγρό, οπότε δεν χρειάζονται εξωτερική λίπανση.
- ∅ Είναι δυνατό να μεταβληθεί η παροχή τους και ακόμη να λειτουργούν με μηδενική παροχή για περιορισμένο χρονικό διάστημα.
- ∅ Το μέγεθος τους είναι μικρό (λόγω του μεγάλου αριθμού των στροφών τους) και επομένως απαιτείται μικρότερος χώρος για την εγκατάστασή τους.
- ∅ Λειτουργούν με μεγάλο αριθμό στροφών, οπότε είναι δυνατόν να συζευχθούν απ' ευθείας με ηλεκτροκινητήρες, ταχύστροφους κινητήρες εσωτερικής καύσεως ή αεριοστρόβιλους.
- ∅ Το αρχικό κόστος καθώς και τα έξοδα συντηρήσεώς τους είναι χαμηλά.

Οι δυναμικές αντλίες μειονεκτούν στα εξής:

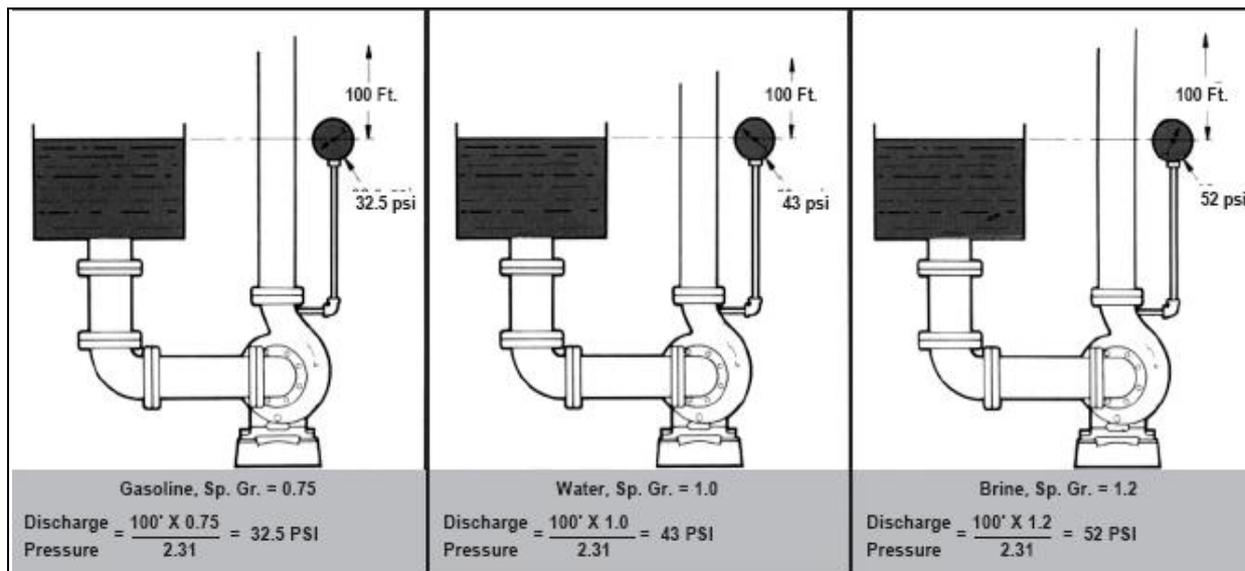
- ∅ Όταν λειτουργούν με μικρή παροχή και υψηλή πίεση, έχουν μικρό βαθμό αποδόσεως,
- ∅ Όταν η παροχή είναι μικρή δεν μπορούν να μεταφερθούν υγρά που περιέχουν στερεά υλικά γιατί μικραίνει η διατομή της διόδου του υγρού,
- ∅ Πριν από την εκκίνηση της αντλίας, πρέπει να απομακρυνθεί ο αέρας από των σωλήνα αναρροφήσεως, εκτός αν υπάρχει διάταξη για την αυτόματη απομάκρυνση του (αυτοαναρρόφηση). Στην περίπτωση που δεν υπάρχει διάταξη για αυτοαναρρόφηση, είναι δυνατό να διακοπεί η άντληση, αν κατά την διάρκεια της λειτουργίας της αντλίας, εισχωρήσει τυχαία αέρας στο σωλήνα αναρροφήσεως.

## 2.4 Μανομετρικό Ύψος.

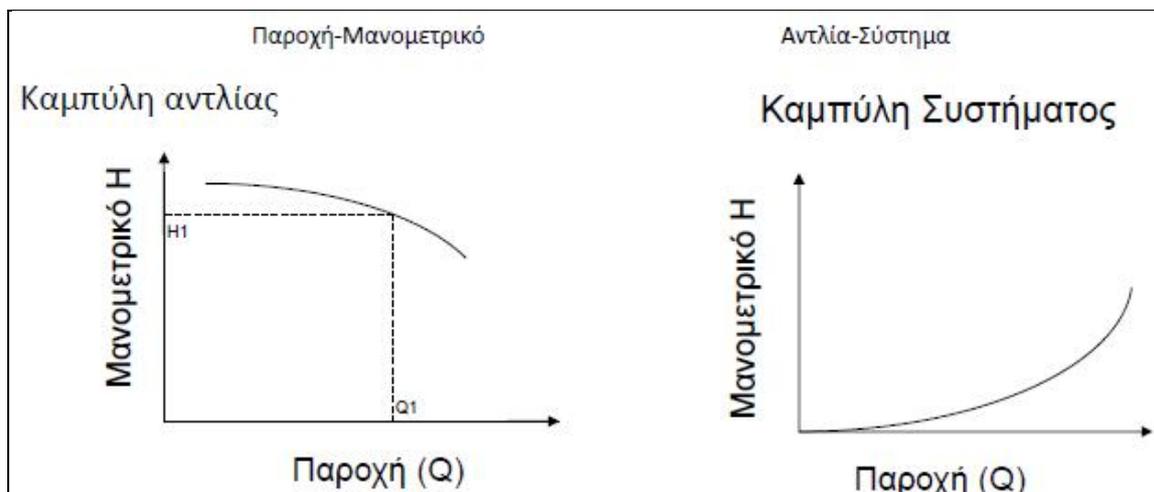
Αν διατίθενται 3 διαφορετικά υγρά όπως για παράδειγμα βενζίνη, νερό, διάλυμα θειικού οξέος και με δεδομένα την ίδια πίεση αναρρόφησης (ατμοσφαιρική) και την ίδια στάθμη δοχείου αναρρόφησης θεωρείται ότι θα ανυψωθούν στο ίδιο ύψος 45 m (Εικ. 2.4). Στην περίπτωση αυτή προκύπτει ότι:

Το  $\Delta p$  της ίδιας αντλίας διαφοροποιείται ανάλογα με το ειδικό βάρος του υγρού, ενώ το Μανομετρικό που εκφέρεται σε μέτρα Στήλης Υγρού παραμένει το ίδιο. Δηλ. το Μανομετρικό είναι κάτι που ανεξαρτητοποιεί την ίδια αντλία (ή οικογένεια αντλιών σε σχέση με το ρευστό.

Γενικότερα κάθε αντλία χαρακτηρίζεται από δυο παραμέτρους, το μανομετρικό και την παροχή. Ειδικότερα όταν μια αντλία τοποθετείται σε μια σωληνογραμμή τότε το σημείο λειτουργίας της προκύπτει ως το σημείο τομής της χαρακτηριστικής της με την εξίσωση σωληνογραμμής (Εικ. 2.5).

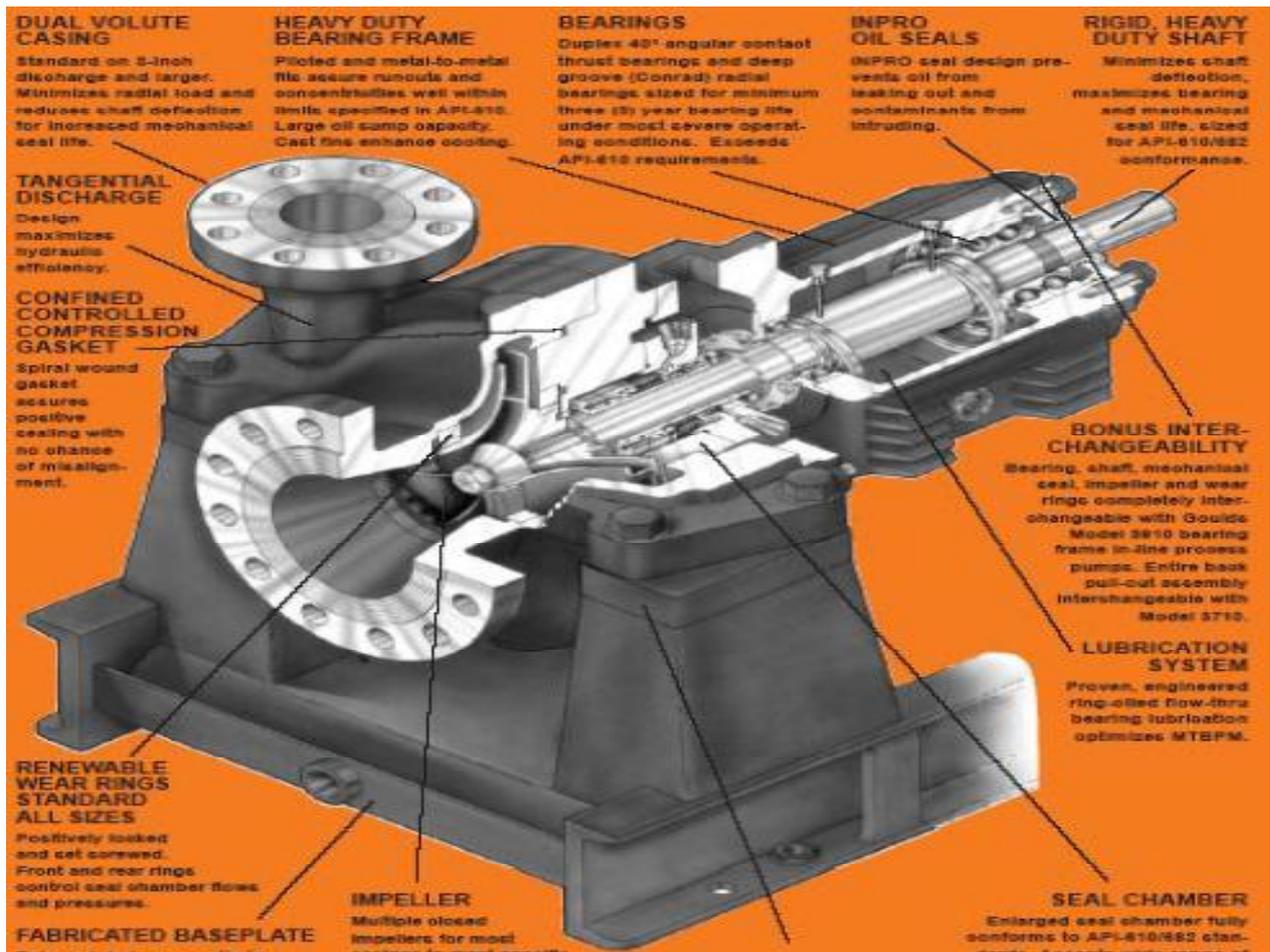


Εικόνα 2.4: Πείραμα μανομετρικού.



Εικόνα 2.5: Χαρακτηριστικές καμπύλες αντλίας, συστήματος.

Σε σχέση με τη λειτουργία της αντλίας προκύπτει ότι με αυξανόμενη την ποσότητα υγρού που πρέπει να διακινηθεί (παροχή), μειώνεται η ικανότητα της αντλίας να δώσει ενέργεια στο σύστημα (μανομετρικό). Ως προς το σύστημα οι απαιτήσεις του σε ενέργεια (μανομετρικό) αυξάνονται με την απαίτηση μεγαλύτερης παροχής υγρού.



Εικόνα 2.6: Αναλυτικά τμήματα μιας αντλίας



### **3 ΟΙ ΝΟΜΟΙ ΤΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΤΛΙΕΣ.**

#### **3.1 Βασικές αρχές της μηχανικής Των ρευστών.**

Η μελέτη των ιδιοτήτων των ρευστών, αποτελεί μέρος της φυσικής και περιλαμβάνεται στα Βιβλία της γενικής φυσικής ή τα ειδικά Βιβλία που ασχολούνται με τις φυσικές ιδιότητες ή τις θερμοδυναμικές ιδιότητες των ρευστών. Επειδή ορισμένες από τις ιδιότητες των ρευστών, έχουν άμεση σχέση με την λειτουργία των αντλιών, στη συνέχεια θα περιγραφθεί, πως οι ιδιότητες αυτές επηρεάζουν τη λειτουργία τους. Επίσης θα δοθούν Βασικές αρχές μηχανικής των ρευστών, οι οποίες είναι χρήσιμες για την επίλυση προβλημάτων σχετικών με αντλίες.

Όπως είναι γνωστό, τα ρευστά διακρίνονται σε υγρά, τα οποία είναι πρακτικώς ασυμπίεστα και σε αέρια, τα οποία συμπίεστα. Οι αντλίες για άντληση υγρών (υδραντλίες), χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα, γι' αυτό και οι ιδιότητες των υγρών παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Σε ορισμένους όμως τύπους υδραντλιών, χρησιμοποιούνται και αέρια για τη ρύθμιση της πίεσεως ή της παροχής του υγρού που αντλείται (αεροθύλακες), ενώ υπάρχουν αντλίες που χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για το χειρισμό αερίων (αεραντλίες), όπως οι αντλίες για τη δημιουργία κενού και οι αεροσυμπιεστές.

##### **3.1.1 Πυκνότητα και ειδικό βάρος**

Η πυκνότητα ή το ειδικό Βάρος του αντλούμενου υγρού, επηρεάζει την απαιτούμενη ισχύ για την κίνηση της αντλίας, αλλά δεν έχει καμία επίδραση στο ύψος πίεσεως που αναπτύσσεται από την αντλία.

##### **3.1.2 Συμπιεστότητα.**

Η ιδιότητα των υγρών να αντιδρούν στις πιεστικές τάσεις, έχει μερική επίδραση στο φαινόμενο της απότομης μεταβολής της κινηματικής κατάστασης του υγρού, όπως το υδραυλικό πλήγμα που προκαλείται από το απότομο σταμάτημα της αντλίας. Στις περιπτώσεις αυτές, τοποθετούνται στη σωληνογραμμή, αεροθύλακες ή ειδικές βαλβίδες, στις οποίες γίνεται απόσβεση του υδραυλικού πλήγματος για την προστασία των σωλήνων μεταφοράς υγρού.

##### **3.1.3 Θερμική διαστολή.**

Η θερμική διαστολή εμφανίζεται στις περιπτώσεις αντλήσεων υγρών με υψηλή θερμοκρασία, αλλά η λειτουργία της αντλίας δεν επηρεάζεται σημαντικά.

##### **3.1.4 Δυνατότητα διαλύσεως των αερίων.**

Τα υγρά έχουν την ιδιότητα να διαλύουν διάφορες ποσότητες αερίων. Ο αέρας ο οποίος μπορεί να διαλυθεί σε ένα υγρό, μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας του υγρού. Επιπλέον, όταν η πίεση μειωθεί, ελευθερώνεται αέρας από τη μάζα του υγρού, ο οποίος σχηματίζει θύλακες στους σωλήνες μεταφοράς. Το φαινόμενο αυτό είναι εμφανές, στο σωλήνα αναρροφήσεως και προκαλεί μείωση του βαθμού αποδόσεως αντλίας ή και διακοπή της ροής.

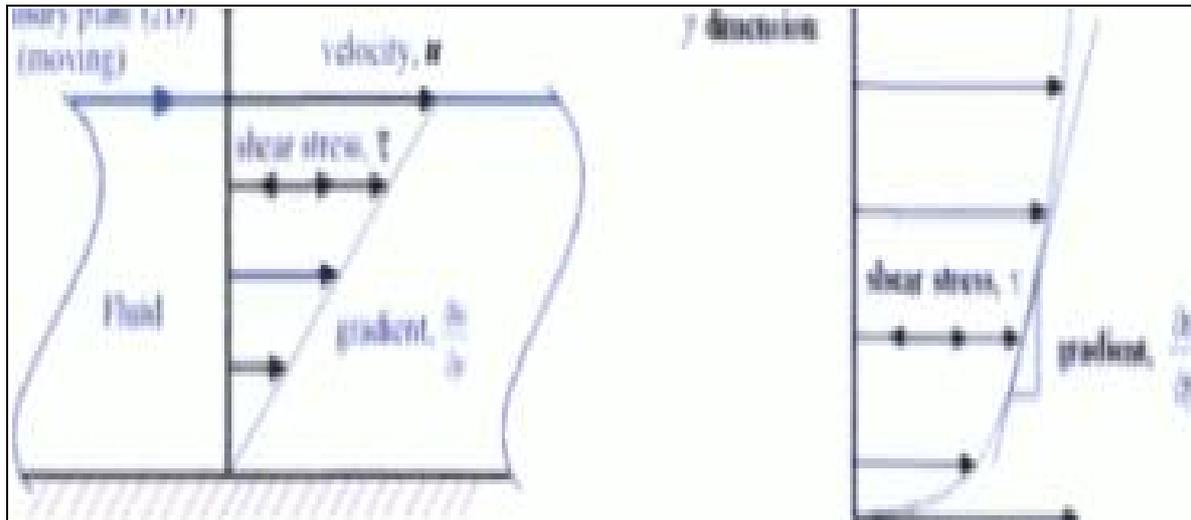
### 3.1.5 Πηκτικότητα.

Όπως είναι γνωστό, τα πραγματικά υγρά εξαερώνονται και η μέγιστη τάση των ατμών, αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Η ιδιότητα αυτή επηρεάζει το συνολικό ύψος αναρροφήσεως του υγρού. Επειδή το θεωρητικό ύψος αναρροφήσεως είναι ίσο με τη διαφορά του ύψους της ατμοσφαιρικής πίεσεως και του ύψους της μέγιστης τάσεως των ατμών, το ύψος αναρροφήσεως, μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας του υγρού.

### 3.1.6 Ιξώδες

Η κυριότερη φυσική ιδιότητα που χαρακτηρίζει τη μηχανική συμπεριφορά των πραγματικών υγρών, είναι το ιξώδες. Το ιξώδες εκφράζει την εσωτερική αντίσταση του υγρού καθώς ένα στρώμα του, κινείται σχετικά με το γειτονικό του στρώμα. Όσο ισχυρότερη είναι η συνοχή των μορίων, τόσο μεγαλύτερο είναι το ιξώδες. Είναι γνωστό, ότι στα υγρά, η αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί μείωση της συνοχής των μορίων. Επομένως, το ιξώδες των υγρών μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας, ενώ το αντίστροφο ισχύει για τα αέρια.

Ο Newton διατύπωσε την παρακάτω εξίσωση 3.1 για ορισμένο υγρό, το οποίο υπόκειται σε διατμηματική τάση μεταξύ δύο επιπέδων. (Εικ. 3.1).



Εικόνα 3.1: Προσδιορισμός του ιξώδους με τη μέθοδο Newton.

$$F = \mu \cdot A \frac{du}{dh} \quad (3.1)$$

Όπου: F= δύναμη,

$\mu$ = συντελεστής απολύτου ή δυναμικού ιξώδους,

A = εμβαδόν του κινούμενου επιπέδου.

du = στοιχειώδης μεταβολή ταχύτητας κινήσεων ως προς το σταθερό επίπεδο,

dh= στοιχειώδης απόσταση μεταξύ των δύο επιπέδων.

Στα ρευστά που ακολουθούν τον νόμο του Newton, όταν η ροή είναι σταθερή ή παράλληλη, το ιξώδες είναι σταθερό, υπό ορισμένη θερμοκρασία και πίεση και η έκφραση του δυναμικού ιξώδους δίνεται από την εξίσωση 3.2:

$$\mu = \frac{F \cdot dh}{A \cdot du} \quad (3.2)$$

Στην πράξη είναι δύσκολο να βρεθεί το ιξώδες ενός υγρού με την μέθοδο Newton, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.1. Για το λόγο αυτό έχουν επινοηθεί διάφορα όργανα μέτρησης του συντελεστή ιξώδους (ιξωδόμετρα) τα οποία στηρίζονται σε διαφορετικές αρχές λειτουργίας τα πιο εύχρηστα όργανα Εικόνα 3.2, τα τριχοειδή ιξωδόμετρα τα οποία μετράται ο απαιτούμενος χρόνος για την διαρροή ορισμένου όγκου μέσα από τριχοειδή σωλήνα ή οπή.



Εικόνα 3.2: Ιξωδόμετρο.

Επειδή το ιξώδες που προσδιορίζεται με τα τριχοειδή ιξωδόμετρα είναι συνάρτηση της πυκνότητας του υγρού, έχει καθοριστεί ο συντελεστής κινηματικού ιξώδους, ο οποίος δίνεται από τη σχέση:  $\nu = \mu/\rho$  [ $m^2/sec$ ] όπου  $\rho$  η πυκνότητα του υγρού. Παρόλο που τα τριχοειδή ιξωδόμετρα είναι εύχρηστα, πιο πολύ χρησιμοποιούνται τα περιστροφικά ιξωδόμετρα, των οποίων η αρχή λειτουργίας στηρίζεται στην μέθοδο Newton. Με τα όργανα αυτά μετράται η αντίσταση που προβάλλεται στην κίνηση ενός σώματος το οποίο περιστρέφεται με ορισμένη ταχύτητα, μέσα στο υπό μέτρηση υγρό (ιξώδης αντίσταση). Το ιξώδες είναι συνάρτηση της ταχύτητας περιστροφής. Τα περιστροφικά ιξωδόμετρα δίνουν μεγαλύτερη ακρίβεια από τα τριχοειδή και η μέτρηση είναι ανεξάρτητη του χρόνου. Επίσης, τα όργανα αυτά είναι κατάλληλα για υγρά, στα οποία ο συντελεστής ιξώδους είναι συνάρτηση της διατμηματικής τάσεως.

### 3.2 Ροή πραγματικού υγρού σε κλειστούς αγωγούς.

Ο τύπος ροής (εξίσωση 3.3) πραγματικών υγρών μέσα σε κλειστούς αγωγούς σταθερής διατομής, χαρακτηρίζεται από την αδιάστατη ποσότητα:

$$Re = U \frac{D}{\nu} \quad (3.3)$$

Όπου

$U$  = η μέση ταχύτητα ροής m/s

$D$  = διάμετρος του αγωγού m

$\nu$  = συντελεστής κινηματικού ιξώδους  $m^2/s$ .

Η ποσότητα  $Re$  = είναι γνωστή ως αριθμός Reynolds.

Όταν η τιμή  $Re$  είναι μικρότερη του 2000 η ροή χαρακτηρίζεται στρωτή ή παράλληλη. Για τιμές του  $Re$  μεγαλύτερες του 3000 και μέχρι 100000 η ροή χαρακτηρίζεται στροβιλώδης ή τυρβώδης. Για τιμές από 2000 μέχρι 3000 η ροή είναι μεταβατική μεταξύ στρωτής και τυρβώδους. Είναι όμως δυνατό η ροή να παραμένει στο μεταβατικό στάδιο και οι τιμές  $Re > 3000$ , όταν τα τοιχώματα του αγωγού είναι μεγάλο.

Στην περίπτωση της στρωτής ροής, οι γραμμές ροής είναι παράλληλες μεταξύ τους και η κατατομή της ταχύτητας μέσα στο σωλήνα είναι παραβολική. Η τιμή της ταχύτητα ροής είναι μέγιστη στο κέντρο του σωλήνα και ελάχιστη στα τοιχώματα. Ως μέση τιμή θεωρείται το μισό της μέγιστης ταχύτητας:

$$U = \frac{1}{2} U_{\max} \quad (3.4)$$

Η απώλεια φορτίου κατά τη στρωτή ροή, εξαρτάται μόνο από την τιμή Reynolds. Η απώλεια φορτίου ή ενέργειας  $hf$  λόγω τριβής (γραμμικές απώλειες) υπολογίζονται από την εξίσωση (3.5) :

$$hf = f \frac{LU^2}{D2g} \quad (3.5)$$

Όπου:

$hf$  = απώλεια φορτίου λόγω τριβής

$f$  = συντελεστής τριβής

$L$  = μήκος του σωλήνα

$D$  = διάμετρος του σωλήνα

$U$  = μέση ταχύτητα ροής.

Για στρωτή ροή, ο συντελεστής τριβής  $f$ , είναι:

$$f = 64/Re \quad (3.6)$$

Στην περίπτωση της τυρβώδους ροής, δηλαδή όταν η ταχύτητα ροής είναι μεγάλη, η απώλεια φορτίου εξαρτάται τόσο από τον αριθμό Reynolds, όσο και από την ταχύτητα των εσωτερικών τοιχωμάτων του σωλήνα.

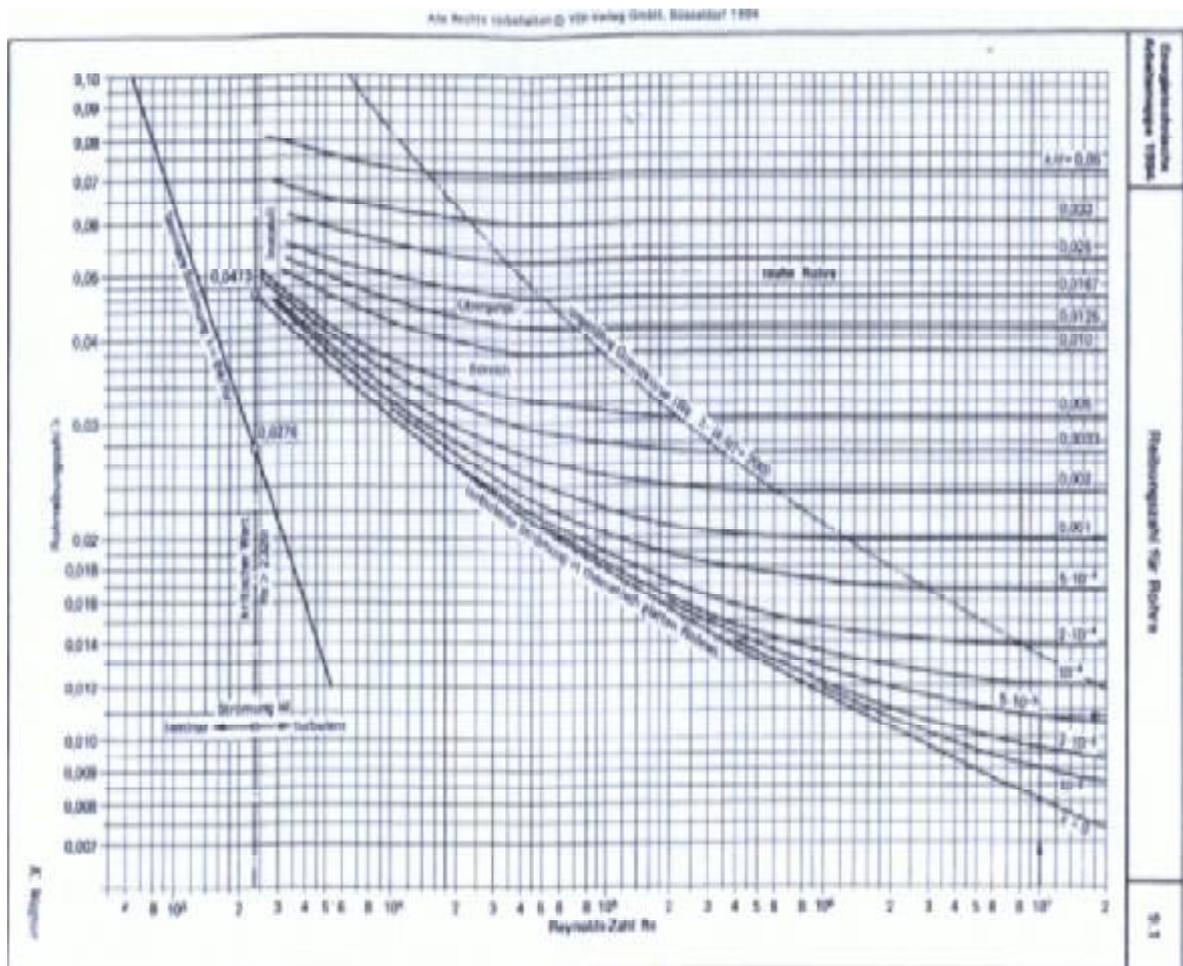
Η επιφάνεια των τοιχωμάτων των σωλήνων, είναι πάντοτε ανώμαλη με μεγαλύτερες ή μικρότερες εξάρσεις, το μέγεθος των οποίων εξαρτάται από το υλικό και τον τρόπο κατασκευής των τοιχωμάτων. Οι εξάρσεις αυτές προκαλούν τοπικές στενώσεις, στις οποίες έχουμε τοπική αύξηση της ταχύτητας ροής και όταν η μέση ταχύτητα είναι αρκετά μεγάλη δημιουργούνται στροβιλισμοί με αποτέλεσμα την απώλεια φορτίου.

Ο Nikuradse προσδιόρισε πειραματικώς τις απώλειες τριβής μεταβάλλοντας τη σχετική ταχύτητα των σωλήνων  $K/D$  (όπου  $K$  = συντελεστής ταχύτητας σε m και  $D$  = διάμετρος σωλήνα σε m για διάφορες τιμές του αριθμού Reynolds.

Ο συντελεστής τριβής  $f$  για τυρβώδη ροή, βρίσκεται από το διάγραμμα Moody (Εικ.3.3).

Στις αντλίες συνήθως παρουσιάζονται δυο τύποι προβλημάτων:

- Υπολογισμός τις απώλειας φορτίου
- Ο υπολογισμός της διαμέτρου του σωλήνα, όταν οι υπόλοιπες μεταβλητές είναι γνωστές.



Εικόνα 3.3:Διάγραμμα Moody

### 3.3 Τοπικές ή ελάχιστονες απώλειες

Η σωληνογραμμή ενός συστήματος αντλήσεων δεν αποτελείται μόνο από ευθύγραμμα τμήματα. Τόσο στο σωλήνα καταθλίψεων, όσο και στο σωλήνα αναρροφήσεως παρεμβάλλονται διάφορα στοιχεία (γωνίες, Βαλβίδες, στενώσεις ή διευρύνσεις, κ.α), που προκαλούν πρόσθετες απώλειες ενέργεια κατ'ονομάζονται τοπικές ή ελάσσονες απώλειες. Το φορτίο μιας τοπικής απώλειας εκφράζεται ως ύψος από την εξίσωση:

$$h = kf \frac{U^2}{2g} \quad (3.7)$$

Όπου

$h$  = ύψος απώλειας ή απώλεια φορτίου σε m,

$U$  = ταχύτητα ροής σε m/sec,

$kf$  = συντελεστής τοπικής απώλειας.

## 4 ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΝΤΛΙΩΝ.

### 4.1 Τα βασικότερα μέρη μιας αντλίας.

Οι φυγοκεντρικές αντλίες αποτελούνται από ένα μεγάλο πλήθος εξαρτημάτων. Τα βασικότερα μέρη τους είναι τα παρακάτω.

- ∅ Το σώμα της αντλίας.
- ∅ Το στροφέιο ή πτερωτή.
- ∅ Τους δακτυλίους φθοράς
- ∅ Την άτρακτο τη αντλίας και τα παρελκόμενα εξαρτήματα.
- ∅ Τα έδρανα.

#### 4.1.1 Το σώμα της αντλίας.

Το σώμα της αντλίας είναι το πλαίσιο πάνω στο οποίο μοντάρονται όλα τα άλλα μέρη της αντλίας. Το σώμα της αντλίας κατασκευάζεται από υλικά ανθεκτικά και στα υγρά που πρόκειται να μεταφερθούν και στις διάφορες θερμοκρασίες λειτουργίας Εικόνα 4.1. Το κέλυφος της αντλίας είναι διαιρούμενο, είτε οριζόντια, είτε κάθετα, είτε διαγώνια σε μια γωνία διαφορετική από 90 μοίρες. Τα κελύφη που διαιρούνται οριζόντια λέγονται και αξονικά διαιρούμενα κελύφη, ενώ τα κάθετα διαιρούμενα λέγονται και ακτινικά διαιρούμενα. Οι λαιμοί (nozzles) για τις φλάντζες εισόδου και εξόδου είναι και οι δύο στο κάτω τμήμα του διαιρούμενου κελύφους. Αναφορικά με το σώμα της αντλίας σημειώνετε πως υπάρχει και ο σχεδιασμός τύπου βαρελιού (barrel type), που χρησιμοποιείτε κυρίως σε αντλίες πολύ υψηλών πιέσεων.

Στο σχεδιασμό αυτό το εξωτερικό του κελύφους προσαρμόζεται στο εσωτερικό του «βαρελιού». Το σώμα έχει ποδαρικά με τα οποία αγκυρώνεται είτε στον εξοπλισμό που βρίσκεται κάτω από αυτό είτε στο έδαφος, πράγμα που αποτελεί και τη συνηθέστερη περίπτωση. Το σώμα της αντλίας με βάση το κριτήριο της λειτουργικότητας μπορεί να χωριστεί σε δύο μέρη το τμήμα εισόδου και το τμήμα.



Εικόνα 4.1:Το σώμα της αντλίας.

#### 4.1.2 Το τμήμα εισόδου.

Η βασική απαίτηση για να επιτυγχάνεται ικανοποιητική λειτουργία στην αναρρόφηση της αντλίας είναι το τμήμα εισόδου να είναι έτσι διαμορφωμένο, ώστε να εξασφαλίζεται ομοιόμορφη διανομή της ταχύτητας στην συμμετρική ή ως προς τον άξονα επιφάνεια εισόδου της πτερωτής. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται όλα τα πτερύγια της πτερωτής να λειτουργούν ομοιόμορφα Εικόνα 4.2.

Ευκολότερος είναι ο σωστός σχεδιασμός του τμήματος εισόδου σε ορισμένους τύπους αντλιών, όπως στις μονοβάθμιες αντλίες με την πτερωτή σε πρόβολο και στις κατακόρυφες αντλίες αξονικής ή μικτής ροής. Σε αυτούς τους τύπους αντλιών το τμήμα εισόδου έχει μορφή, είτε κωνική συγκλίνουσα προς την είσοδο της πτερωτής, είτε κυλινδρική με κυκλική διατομή. Ωστόσο το τμήμα εισόδου δεν μπορεί να έχει κωνική ή κυλινδρική μορφή στις πολυβάθμιες αντλίες και στις αντλίες διπλής αναρρόφησης γιατί σε αυτούς τους τύπους αντλιών η διεύθυνση του ρευστού στη διατομή εισόδου είναι κάθετη προς τον άξονα περιστροφής της πτερωτής. Για να εξαλειφθεί λοιπόν η συστροφή του ρευστού στη διατομή εισόδου, αλλά παράλληλα και για να αλλάξει η διεύθυνση του ρευστού μετά την είσοδό του στην αντλία σχεδιάστηκε το τμήμα εισόδου με τη μορφή ημισπειροειδούς κελύφους. Σχεδιάζοντας τη διατομή του ημισπειροειδούς αυτού κελύφους υποπολλαπλάσια της διατομής εισόδου επιτυγχάνεται η επιθυμητή επιταχυνόμενη ροή στο τμήμα εισόδου.

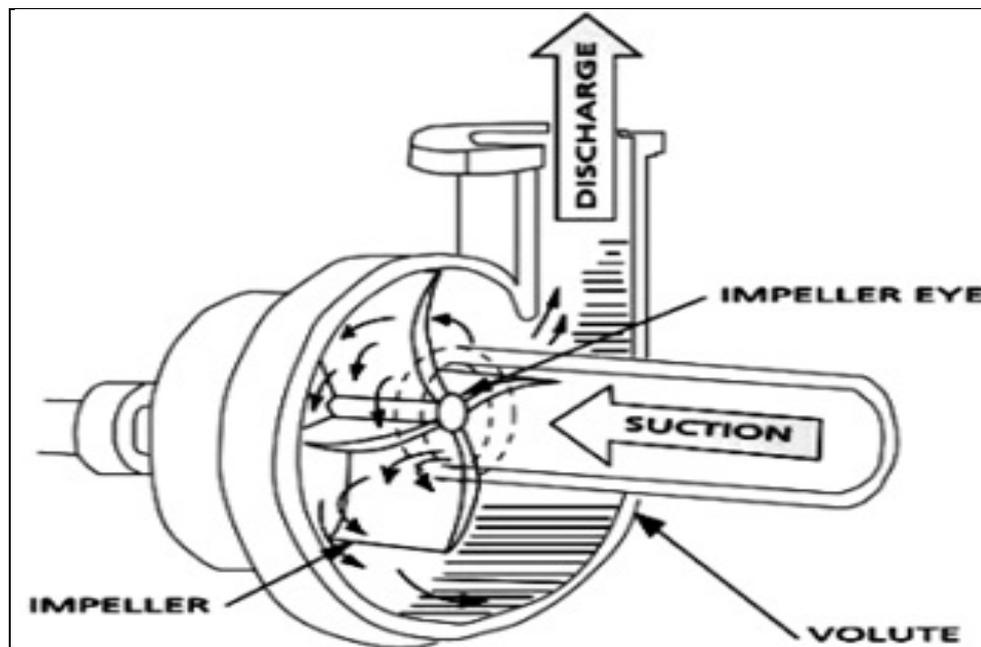
Στις αντλίες που έχουν πτερωτή διπλής αναρρόφησης το τμήμα εισόδου είναι συμμετρικό και διαμοιράζει τη ροή σε δύο ίσα μέρη με συνέπεια η τροφοδοσία κάθε μιας εισόδου της πτερωτής να γίνεται από ένα ημισπειροειδές κέλυφος όπως και στις πολυβάθμιες αντλίες.



Εικόνα 4.2: Τμήμα εισόδου

#### 4.1.3 Το τμήμα εξόδου.

Το τμήμα εξόδου μιας φυγοκεντρικής αντλίας φαίνεται να καταλαμβάνει το μεγαλύτερο όγκο του συνολικού σώματος (κελύφους) της αντλίας και είναι αυτό που συλλέγει το αντληθέν ρευστό και το καθοδηγεί στη διατομή εξόδου της αντλίας (Εικ. 4.3). Στην έξοδο της πτερωτής (που εντάσσεται στο τμήμα εισόδου) το ρευστό έχει μια αρκετά μεγάλη ταχύτητα που είναι συνάρτηση μιας σειράς παραμέτρων (τύπος πτερωτής, μορφή τμήματος εισόδου, πίεση ρευστού στην αναρρόφηση κ.λ.π), η οποία όμως πρέπει να μειωθεί όταν το ρευστό θα φτάσει στην κυκλική διατομή εξόδου μέχρι μια ταχύτητα της τάξεως 4-6 μέτρων το δευτερόλεπτο. Η πτώση της ταχύτητας πρέπει να συνοδεύεται από μια μετατροπή της κινητικής ενέργειας σε στατική πίεση. Στα κελύφη των φυγοκεντρικών αντλιών συναντώνται δύο βασικοί τύποι τμημάτων εξόδου, το σπειροειδές κέλυφος και ο διαχύτης (diffuser).



Εικόνα 4.3:Τμήμα εξόδου

#### 4.1.4 Το σπειροειδές κέλυφος.

Είναι ο συχνότερα συναντώμενος τύπος κελύφους εξόδου μιας φυγοκεντρικής αντλίας (Εικ.4.4). Για να σχεδιαστεί το σπειροειδές κέλυφος χρησιμοποιούνται σήμερα δύο μέθοδοι που κάθε μια έχει τα δικά της πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Η πρώτη μέθοδος που είναι και η πιο παραδοσιακή και συνήθως χρησιμοποιούμενη βασίζεται σε δύο βασικές αρχές της μηχανικής των ρευστών, την αρχή της διατήρησης της συστροφής και την αρχή της συνέχειας και υπολογίζει την κλίση της γραμμής ροής του αντληθέντος ρευστού στη διαδρομή εξόδου συναρτήσει της απόστασης του όγκου ελέγχου (μονάδα αναφοράς του ρευστού που χρησιμοποιείται για θεωρητικούς υπολογισμούς στη μηχανική των ρευστών) του προωθούμενου ρευστού από το κέντρο της κυκλικής διατομής εισόδου. Από τη εξίσωση που προκύπτει διαπιστώνεται ότι η γραμμή ροής - στον αξονοισομετρικό χώρο που αποτελεί νοητή προέκταση των αξονοισομετρικών επιφανειών των δίσκων της πτερωτής - είναι σπειροειδής καμπύλη. Αν οι προεκτάσεις των αξονοισομετρικών

επιφανειών είναι επίπεδα κάθετα προς τον άξονα συμμετρίας τότε οι γραμμές ροής είναι λογαριθμικές σπείρες.

Η γεωμετρία λοιπόν του κελύφους καλείται να ακολουθήσει τη γραμμή ροής που προέκυψε με βάση τους υπολογισμούς αυτούς, ωστόσο είναι προσεγγιστική για δύο βασικούς λόγους. Κατά πρώτον γιατί οι υπολογισμοί της γραμμής ροής γίνονται με την παραδοχή ιδανικής και όχι συνεκτικής ροής και κατά δεύτερο γιατί για πρακτικούς κατασκευαστικούς λόγους το σπειροειδές κέλυφος ακολουθεί την υπολογισθείσα γεωμετρία της σπειροειδούς καμπύλης μόνο για μια περιστροφή και μετά διαμορφώνεται έτσι ώστε να προσαρμοστεί σταδιακά στην κυκλική διατομή εξόδου. Η δεύτερη μέθοδος που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της γεωμετρίας του σπειροειδούς κελύφους είναι η μέθοδος της σταθερής μέσης ταχύτητας. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην αρχή της σταθερής μέσης ταχύτητας της ροής στις διάφορες διατομές και υπολογίζει τη διατομή του σπειροειδούς κελύφους συναρτήσει της γωνίας περιστροφής του μονάδας αναφοράς του προωθούμενου ρευστού (όγκος ελέγχου όπως αναφέρθηκε παραπάνω). Η αφορμή για τη χρησιμοποίηση αυτή της μεθόδου δόθηκε από τη διαπίστωση ότι υπήρξαν σημαντικές αποκλίσεις στη διανομή της ταχύτητας στο τμήμα εξόδου σε σπειροειδή κέλυφη που υπολογίζονταν με τη μέθοδο της διατήρησης της συστροφής. Ολοκληρώνοντας την αναφορά στο σπειροειδές κέλυφος σημειώνουμε ότι μέθοδος της διατήρησης της συστροφής δίνει αντλίες με λίγο μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης, ενώ η μέθοδος της σταθερής μέσης ταχύτητας δίνει περισσότερο ομοιόμορφη διανομή της στατικής πίεσης στο σπειροειδές κέλυφος.



*Εικόνα 4.4: Σπειροειδές κέλυφος.*

#### 4.1.5 Ο Διαχύτης.

Το τμήμα εξόδου μπορεί να έχει τη μορφή διαχύτη, ο οποίος μπορεί να είναι κατασκευασμένος με ή χωρίς πτερύγια. Ο διαχύτης χωρίς πτερύγια δεν είναι παρά ένα αξονοσυμμετρικό κέλυφος οδήγησης της ροής, εντός του οποίου η περιφερειακή ταχύτητα μεταβάλλεται αντίστροφα ανάλογα προς την ακτίνα ενώ η ακτινική ταχύτητα ικανοποιεί την αρχή της συνέχειας (Εικ. 4.5). Δεν αποτελεί καλή λύση γιατί η διαδρομή του ρευστού μέχρι τη φλάντζα εξόδου είναι μεγάλη όπως επίσης και οι αντίστοιχες απώλειες τριβής. Ο διαχύτης με πτερύγια δεν είναι παρά μια ακίνητη ακτινική στεφάνη πτερυγίων διατεταγμένη γύρω από την πτερωτή. Τα πτερύγια της στεφάνης επιτυγχάνουν σε μικρή σχετικά ακτινική απόσταση την επιθυμητή επιβράδυνση της ταχύτητας που έχει το ρευστό στην έξοδο της πτερωτής.



Εικόνα 4.5: διαχύτης.

Όταν χρησιμοποιείται σχεδιασμός τύπου διαχύτη με πτερύγια σε μικρού μεγέθους αντλίες προκύπτουν ιδιαίτερα μεγάλες απώλειες τριβής. Από την άλλη πλευρά σε αντλίες με μικρό ειδικό αριθμό στροφών συχνά μια στεφάνη διαχύτη με πτερύγια παρεμβάλλεται μεταξύ πτερωτής και σπειροειδούς κελύφους. Ο διαχύτης στην περίπτωση αυτή επιτυγχάνει μια καταρχήν επιβράδυνση της ροής πριν το ρευστό προχωρήσει στο σπειροειδές κέλυφος και παρ'άλληλα μια μείωση των υδραυλικών απωλειών.

#### 4.1.6 Η πτερωτή.

Για το σχεδιασμό της πτερωτής δύο είναι τα καθοριστικά σημεία. Το πρώτο είναι ο υπολογισμός της γωνίας κλίσης των πτερυγίων στη διατομή εξόδου της πτερωτής και το δεύτερο είναι ο καθορισμός του αριθμού των πτερυγίων της πτερωτής. Αναφορικά με τη γωνία κλίσης των πτερυγίων είναι γνωστό από τη μηχανική των ρευστών ότι αυτή συνδέεται άμεσα με την κλίση της ιδεατής αλλά και πραγματικής χαρακτηριστικής H-V μιας φυγοκεντρικής αντλίας (Εικ. 4.6). Σημειώνεται πως όσο μειώνεται η γωνία κλίσης των πτερυγίων, τόσο αυξάνεται η απόλυτη τιμή της κλίσης της πραγματικής χαρακτηριστικής καμπύλης λειτουργίας H-V. Αυτό ευνοεί την

ευστάθεια της λειτουργίας μιας αντλητικής εγκατάστασης με θετικό μανομετρικό. Στις περιπτώσεις αυτές που αποτελούν και τη μεγάλη πλειοψηφία, η γωνία κλίσης κυμαίνεται μέσα σε ένα εύρος 17-35 μοιρών και συνήθως επιλέγεται να είναι 20–25 μοίρες. Στις ειδικές περιπτώσεις που δεν είναι απαιτητό ένα θετικό μανομετρικό, όπως στους κυκλοφορητές των κτιριακών δικτύων, δεν τίθεται πρόβλημα ευστάθειας λειτουργίας της συνολικής αντλητικής εγκατάστασης, οπότε η γωνία κλίσης παίρνει μεγαλύτερη τιμή (μέχρι τις 90 μοίρες), δεδομένου άλλωστε ότι με μεγαλύτερη γωνία κλίσης επιτυγχάνεται το επιθυμητό σημείο λειτουργίας με μικρότερες διαστάσεις πτερωτής αλλά και της αντλίας συνολικά. Το πλήθος των πτερυγίων της πτερωτής με βάση τη θεωρία των φυγοκεντρικών αντλιών συνδέεται άμεσα με το βαθμό απόδοσης της πτερωτής και κατ' επέκταση και της αντλίας καθώς όσο περισσότερα είναι τα πτερύγια τόσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός απόδοσης.

Ωστόσο ο ιδεατός βαθμός απόδοσης της πτερωτής είναι αντίστροφα ανάλογος με τη γωνία κλίσης των πτερυγίων και από αυτόν επίσης εξαρτάται το μέσο πραγματικό τρίγωνο των ταχυτήτων εξόδου.

Από την άλλη πλευρά η αύξηση του πλήθους των πτερυγίων επιφέρει αύξηση των απωλειών τριβής και κατά συνέπεια μείωση του υδραυλικού βαθμού απόδοσης της αντλίας. Έτσι τελικά έχουμε για κάθε περιοχή τιμών της γωνίας κλίσης των πτερυγίων να υπολογίζεται ένας βέλτιστος αριθμός πτερυγίων, ώστε να βελτιστοποιείται το γινόμενο  $\eta_1 * \eta_2$ , όπου  $\eta_1$  είναι ο ιδεατός βαθμός απόδοσης της πτερωτής και  $\eta_2$  ο υδραυλικός βαθμός απόδοσης της αντλίας.



Εικόνα 4.6: Πτερωτή

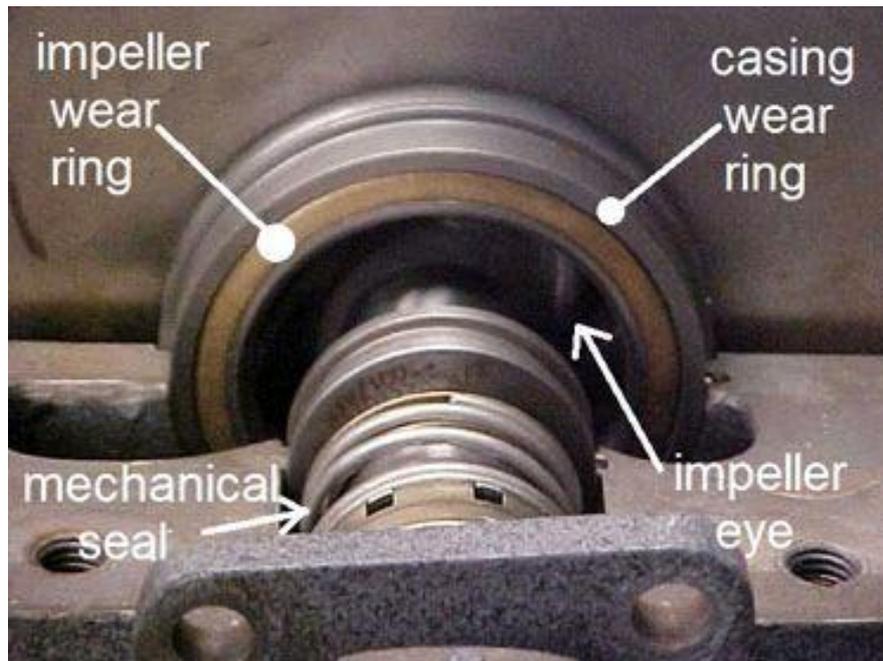
#### 4.1.7 Δακτύλιοι φθοράς (wear rings).

Ένα άλλο δομικό στοιχείο των φυγοκεντρικών αντλιών είναι οι δακτύλιοι φθοράς. Αυτοί έχουν συγκεκριμένη διαμόρφωση ώστε να επιτυγχάνουν μια δακτυλιοειδή σχισμή μεταξύ του ακίνητου κελύφους και της πτερωτής. Η σχισμή αφήνει ένα συγκεκριμένο κατά περίπτωση ακτινικό διάκενο και έχει ένα επίσης συγκεκριμένο μήκος (Εικ. 4.7).

Σκοπός της διαμόρφωσης λαβυρίνθων με τη χρήση των δακτυλίων φθοράς είναι η διατήρηση των ογκομετρικών απωλειών στην επιθυμητή χαμηλή τιμή οπότε η αντίστοιχη τιμή του ογκομετρικού βαθμού απόδοσης να έχει την τιμή που προδιαγράφεται.

Οι δακτύλιοι φθοράς είναι στις περιπτώσεις αφαιρετοί και μπορούν να αντικατασταθούν όταν έχουν φθαρεί αρκετά με χαμηλό κόστος, πολύ χαμηλότερο

φυσικά από αυτό που θα απαιτείτο για την αντικατάσταση, είτε του κελύφους, είτε της πτερωτής.



Εικόνα 4.7: Δακτύλιοι φθοράς, wear rings.

#### 4.1.8 Άτρακτος.

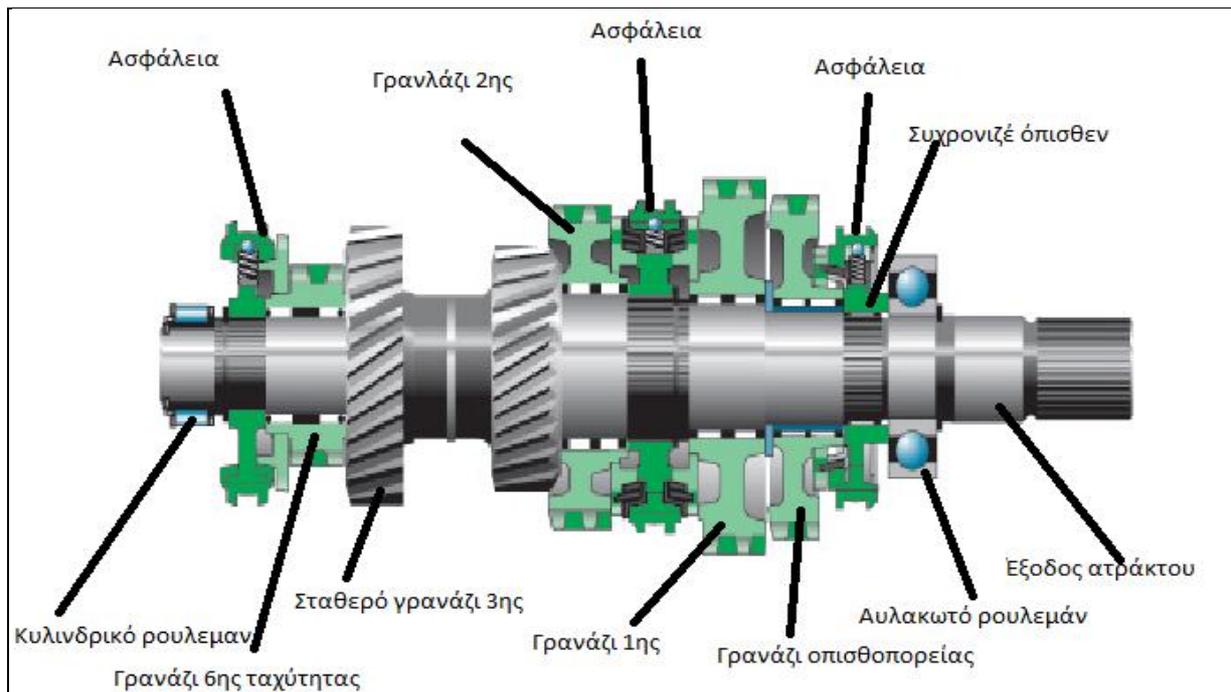
Η άτρακτος μεταφέρει τη ροπή στρέψης από τον κινητήρα προς την πτερωτή ή τις πτερωτές (Εικ. 4.8). Σε μια μόνιμη λειτουργία μιας φυγοκεντρικής αντλίας με σταθερή ταχύτητα περιστροφής η ροπή αυτή ισούται με τη ροπή αντιστάθμισης που προκύπτει από τις μηχανικές απώλειες κατά τη λειτουργία.

Πάντως καθώς η άτρακτος είναι προσδεδμενη στην πτερωτή παραλαμβάνει επίσης εκτός από τη μηχανική ροπή αντίστασης και αντιστάσεις «υδραυλικής προέλευσης» που προέρχονται από τις αξονικές και ακτινικές δυνάμεις που αναπτύσσονται στην/στις πτερωτές καθώς αυτή/αυτές μετακινούν το ρευστό.

Το σύνολο των προβλεπόμενων να εφαρμοστούν στην άτρακτο δυνάμεων και ροπών επιβάλλει καταρχήν ένα στατικό υπολογισμό στη φάση του σχεδιασμού της. Δεδομένου του μεγάλου κατά κανόνα μήκους της ατράκτου πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η ελαστικότητά της.

Στόχος πάντα είναι να διατηρείται κατά τη λειτουργία μικρή κλίση και βέλος κάμψης της ατράκτου για να μην επηρεάζεται η λειτουργία του πλήθους των συνδεδεμένων με αυτήν εξαρτημάτων.

Παράλληλα πρέπει να μελετηθεί η ιδιοσυχνότητα του μηχανικού υποσυστήματος άτρακτος - πτερωτή ώστε να μην συμπέσει με την ιδιοσυχνότητα του συνολικού στρεφόμενου συστήματος και προκληθούν έτσι αυξημένες καταπονήσεις και συνεπώς ανεπιθύμητα μεγάλες παραμορφώσεις στην άτρακτο κατά τη λειτουργία.



Εικόνα 4.8: Ατράκτος

Εδώ συνεχίζουμε τη διόρθωση

#### 4.1.9 Παρελκόμενα εξαρτήματα

Από κατασκευαστική σκοπιά η άτρακτος πρέπει να διαθέτει τις κατάλληλες ανοχές για να λειτουργεί σωστά ένα πλήθος καθοριστικών για τη λειτουργία της αντλίας παρελκομένων εξαρτημάτων τα κυριότερα των οποίων είναι οι σαλαμάστρες και τα έδρανα στήριξης.

Γύρω από τον άξονα των αντλιών τοποθετούμε σαλαμάστρες για να επιτύχουμε στεγανότητα. Το πρόβλημα της στεγανότητας είναι από τα σημαντικότερα για το σχεδιασμό και τη λειτουργία μιας αντλίας. Αντιμετωπίζεται με τη χρήση στυπιοθλιπτών των οποίων σκοπός είναι η εξασφάλιση της στεγανότητας της αντλίας με το εξωτερικό περιβάλλον στο σημείο όπου η άτρακτος διαπερνά το σταθερό κέλυφος της αντλίας. Στην περίπτωση όπου το ύψος της αντλίας είναι σημαντικό οπότε κατά την εκκίνησή της, η στατική πίεση στο σημείο εξόδου της ατράκτου πέσει κάτω από την ατμοσφαιρική, σκοπός του στυπιοθλίπτη είναι να εμποδίσει την είσοδο του αέρα από το περιβάλλον. Σε αντίθετη περίπτωση η κίνηση της αντλίας γίνεται προβληματική.

Ο τροχός με τα πτερύγια λέγεται πτερωτή και είναι τοποθετημένος πάνω σε έναν άξονα από τον οποίο παίρνεται και η κίνηση. Υπάρχουν διάφορων ειδών φυγοκεντρικές αντλίες:

- α) Αντλίες με κλειστά πτερύγια
- β) Αντλίες με ημίκλειστη πτερωτή
- γ) Αντλίες με ανοικτή πτερωτή

Για να έχουμε λειτουργία φυγοκεντρικής αντλίας πρέπει όλος ο σωλήνας αναρρόφησης, καθώς και ολόκληρη η αντλία να γεμίσουν με υγρού. Για να γίνει αυτό πρέπει οπωσδήποτε ο σωλήνας αναρρόφησης να έχει στο κάτω άκρο του μια ποδοβαλβίδα και η αντλία να έχει χοάνη πλήρωσης και εξαερισμού.

Στο σύστημα αναρρόφησης πρέπει να υπάρξει καλή στεγανοποίηση, διαφορετικά δε μπορεί να γίνει άντληση λόγω αναρρόφησης αέρα. Το ύψος της αναρρόφησης στις φυγοκεντρικές αντλίες είναι περιορισμένο. Κατά την έναρξη της άντλησης, καλό θα ήταν η στάθμη του αντλούμενου υγρού να μην είναι χαμηλότερη των τριών (3) μέτρων από τον άξονα της αντλίας.

Στις φυγοκεντρικές αντλίες η άντληση δεν επιτρέπεται να συνεχιστεί όταν το ύψος της αναρρόφησης φθάσει και υπερβεί τα 6.5 μέτρα διότι παρατηρείται το φαινόμενο της σπηλαίωσης.

Σε μανομετρικά ύψη αναρρόφησης μεγαλύτερα των 6.5 μέτρων ακούγονται κρότοι στην αναρρόφηση που οφείλονται στην μικρή πίεση του υγρού και την εμφάνιση φαινόμενων εξατμίσεως του υγρού. Αυτό προκαλεί σοβαρές φθορές στην πτερωτή της αντλίας και σχηματίζει σπήλαια στο σώμα του μετάλλου.

#### **4.1.9.1 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΝΤΛΙΩΝ**



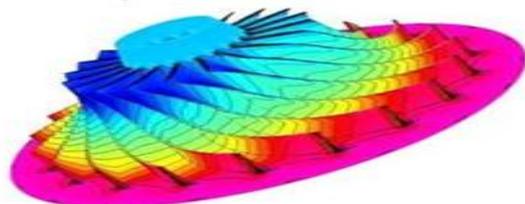
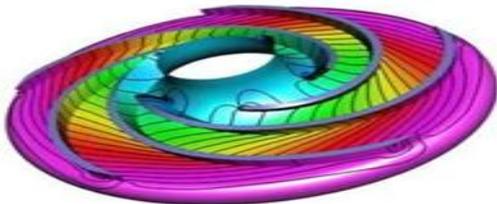
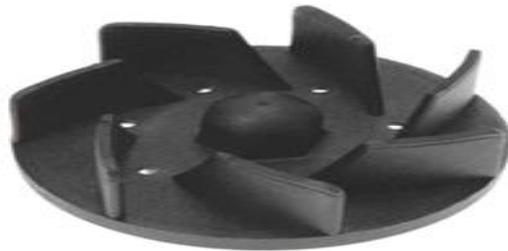
Εικόνα 4.9: Δυο φυγοκεντρικές αντλίες της εταιρίας «Ποσειδών»

#### 4.1.9.2 ΤΥΠΟΙ ΦΤΕΡΩΤΩΝ

- Ανοιχτές Φτερωτές.



- Ημίκλειστες Φτερωτές.



- Κλειστές Φτερωτές.



#### 4.1.10 Έδρανα

Μια άλλη σημαντική παράμετρος στο σχεδιασμό των αντλιών είναι η στήριξη της ατράκτου, η οποία επιτυγχάνεται με τη βοήθεια εδράνων (Εικόνα 4.10). Σκοπός των εδράνων είναι η στήριξη της ατράκτου τόσο κατά την αξονική όσο και κατά την ακτινική διεύθυνση ώστε να εξασφαλίζεται η λειτουργία της περρωτής. Για να επιτευχθεί αυτό θα πρέπει τα έδρανα να μπορούν να παραλάβουν και να μεταφέρουν στο στερεό σώμα της αντλίας τις αξονικές και ακτινικές δυνάμεις που αναπτύσσονται στην περρωτή, στο σημείο μετάδοσης της κίνησης, καθώς και το ίδιο βάρος της ατράκτου.

Στη γενική περίπτωση η άτρακτος των αντλιών έχει δύο έδρανα, οπότε οι δυνάμεις που αναπτύσσονται σ' αυτά προκύπτουν από την ισορροπία των εξωτερικών δυνάμεων, σύμφωνα με τη μηχανική του στερεού σώματος. Στις τυποποιημένες αντλίες ή αντλίες γενικής χρήσης χρησιμοποιούνται έδρανα κύλισης (ρουλεμάν), παρά το γεγονός ότι είναι ακριβότερα από τα έδρανα ολίσθησης, διότι έχουν μια σειρά άλλων πλεονεκτημάτων. Βρίσκονται εύκολα στο εμπόριο σε όλα τα μεγέθη και τους τύπους, έχουν 25-50% μικρότερες απώλειες, απαιτούν μικρότερες διαστάσεις και εξασφαλίζουν λειτουργία με μικρότερες ανοχές.



Εικόνα 4.10: Έδρανα

## 4.2 ΤΥΠΟΙ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

### 4.2.1 Παλινδρομικές (εμβολοφόρες) αντλίες

Το ρευστό προωθείται με κινήσεις του εμβόλου που κινείται σε ένα κύλινδρο.

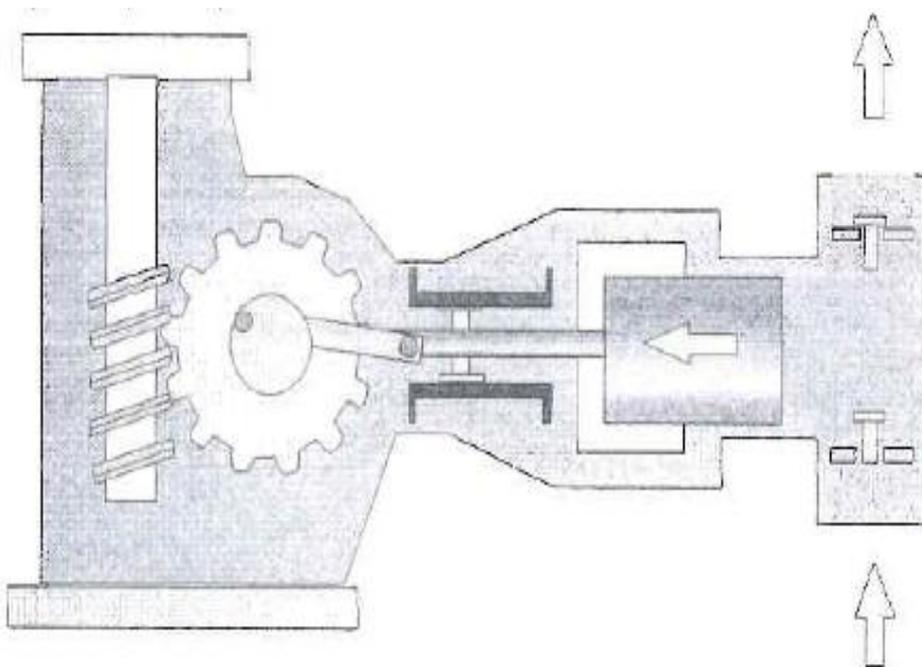
- Στη σύνδεση της γραμμής αναρόφησης με την εισαγωγή του κυλίνδρου δουλεύει η βαλβίδα αναρόφησης και
- Στη σύνδεση της εξαγωγής του κυλίνδρου με τη γραμμή κατάθλιψης δουλεύει η βαλβίδα κατάθλιψης.

Ø 1<sup>ος</sup> χρόνος :

- με κλειστές βαλβίδες κατάθλιψης και αναρόφησης το έμβολο κινείται προς τα αριστερά
- Δημιουργείται υποπίεση στον κύλινδρο
- Ανοίγει η βαλβίδα αναρόφησης και γεμίζει ο κύλινδρος με υγρό

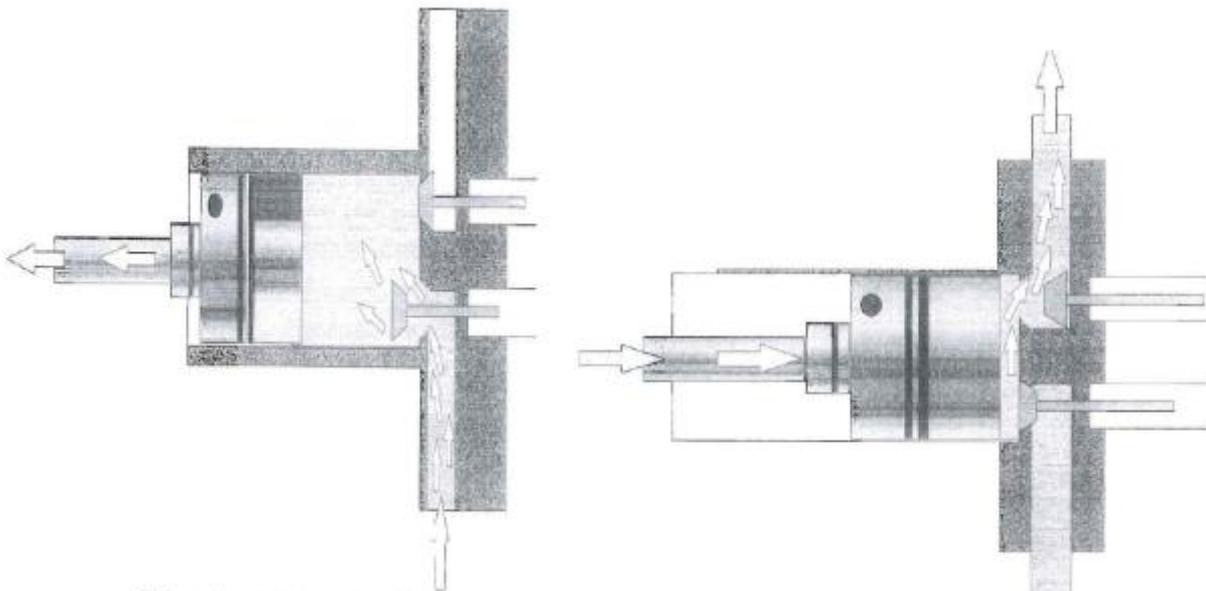
Ø 2<sup>ος</sup> χρόνος :

- Το έμβολο κινείται προς τα δεξιά,
- αυξάνει η πίεση στον κύλινδρο
- Το υγρό καταθλίβεται μέσω της βαλβίδας κατάθλιψης που ανοίγει



Εικόνα 4.11: εμβολοφόρα αντλία

- ΠΑΡΑΛΛΑΓΗ ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΑΣ αντλίας με τις βαλβίδες αναρόφησης και κατάθλιψης σε οριζόντια θέση κίνησης, όπου το άνοιγμα /κλείσιμο καθεμιάς εκτός από τα δεδομένα πίεσης στον κύλινδρο επηρεάζεται και από τη φορά κίνησης του εμβόλου.
- Καθεμιά από αυτές, στη μία από τις 2 κατευθύνσεις δεν μπορεί να κινηθεί πέραν ενός ορίου όπου «βρίσκει» η κεφαλή της στο σώμα (τερματίζει στο εσωτερικό τοίχωμα)
- Υπάρχει ρυθμιστής stroke που μεταβάλλει το εύρος μήκους διαδρομής του εμβόλου
  - ü Άρα μεταβάλλει την ποσότητα που θα μπει στον κύλινδρο μέσω της βαλβίδας αναρόφησης
  - Άρα μεταβάλλουμε την παροχή του ρευστού



Εικόνα 4.12:εμβολοφόρας αντλία με βαλβίδες

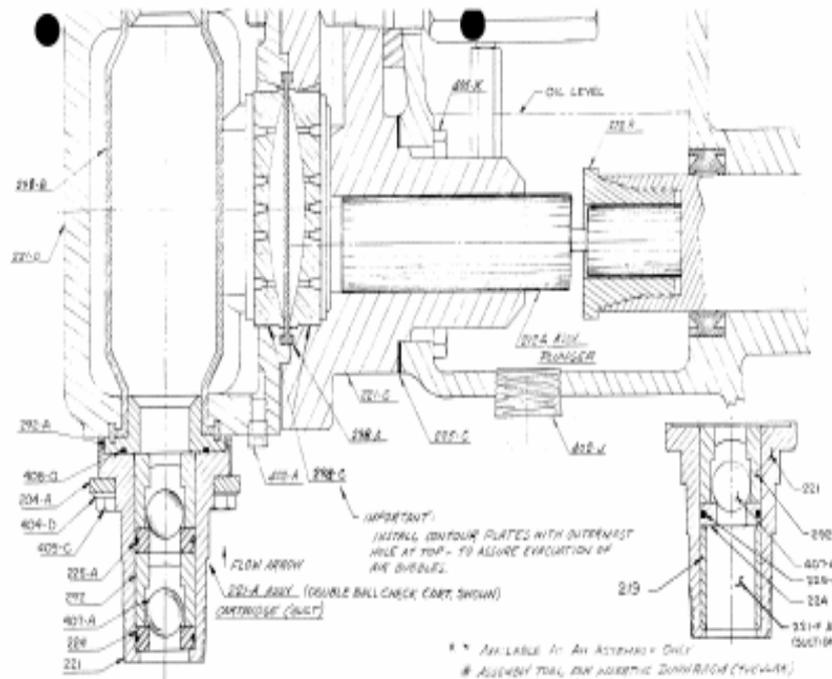
#### 4.2.2 Παλινδρομικές (διαφραγματικές) αντλίες

- Αυτές λειτουργούν με την ίδια λογική, αλλά το μέσο συμπίεσης-υποπίεσης στο θάλαμο είναι μια διαφραγματική μεμβράνη επενδεδυμένη με ειδικό πλαστικό
- Αυτή η μεμβράνη κατ'αντιστοιχία με την αριστερή κίνηση του εμβόλου στον προηγούμενο τύπο, συστέλλεται και δημιουργείται υποπίεση, ανοίγει η βαλβίδα αναρόφησης
- Όταν η μεμβράνη διαστέλεται εκτοπίζεται το υγρό και καταθλίβεται ανοίγοντας τη βαλβίδα κατάθλιψης

ü Τι προκαλεί τη διαστολή-συστολή του διαφράγματος ;

- α) Η συμπίεση-εκτόνωση ενός υδραυλικού λαδιού από ένα σύστημα εμβόλου – κυλίνδρου. Το έμβολο παίρνει κίνηση από τον κινητήρα μέσω ενός γραναζωτού μηχανισμού

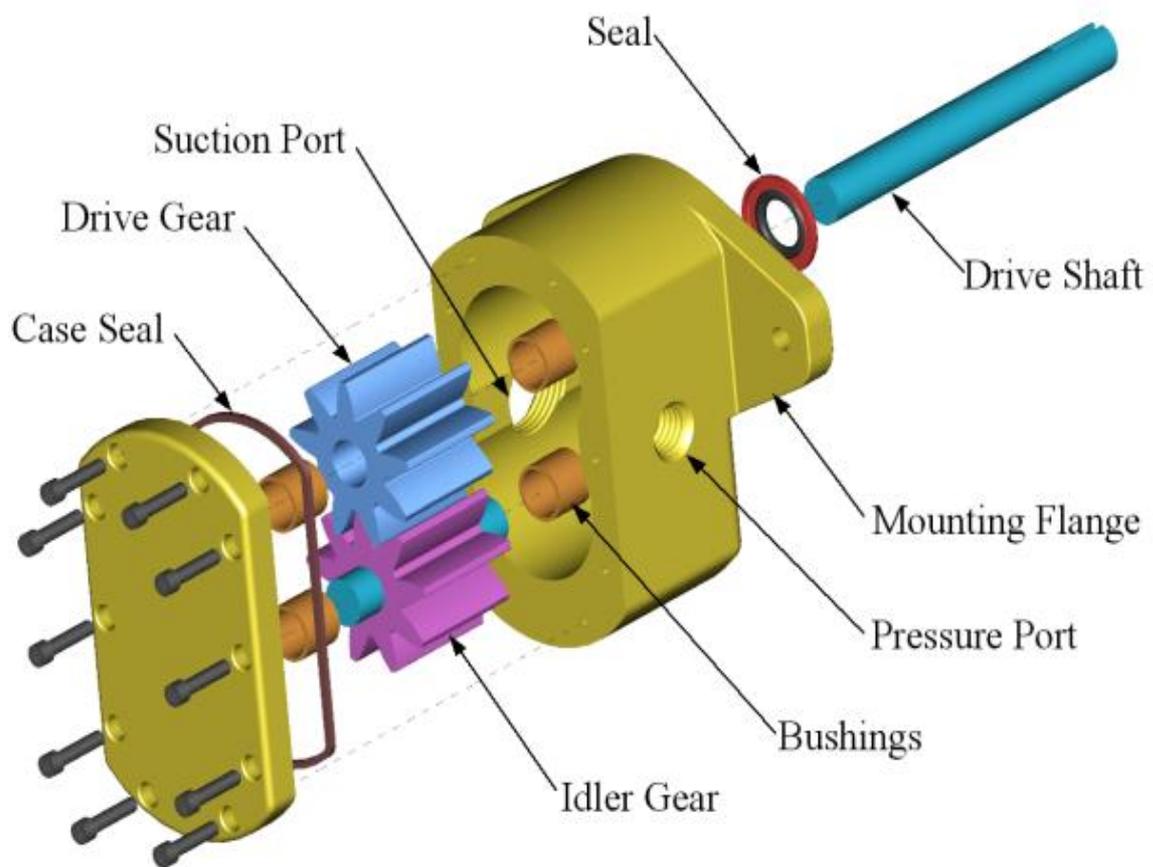
Η διαδρομή του εμβόλου καθορίζεται μέσω ρυθμιστή stroke, ρυθμιστικού κοχλίου που συμπιέζει τόσο ένα ελατήριο ώστε αυτό να επιτρέπει μια καθορισμένη διαδρομή εμβόλου

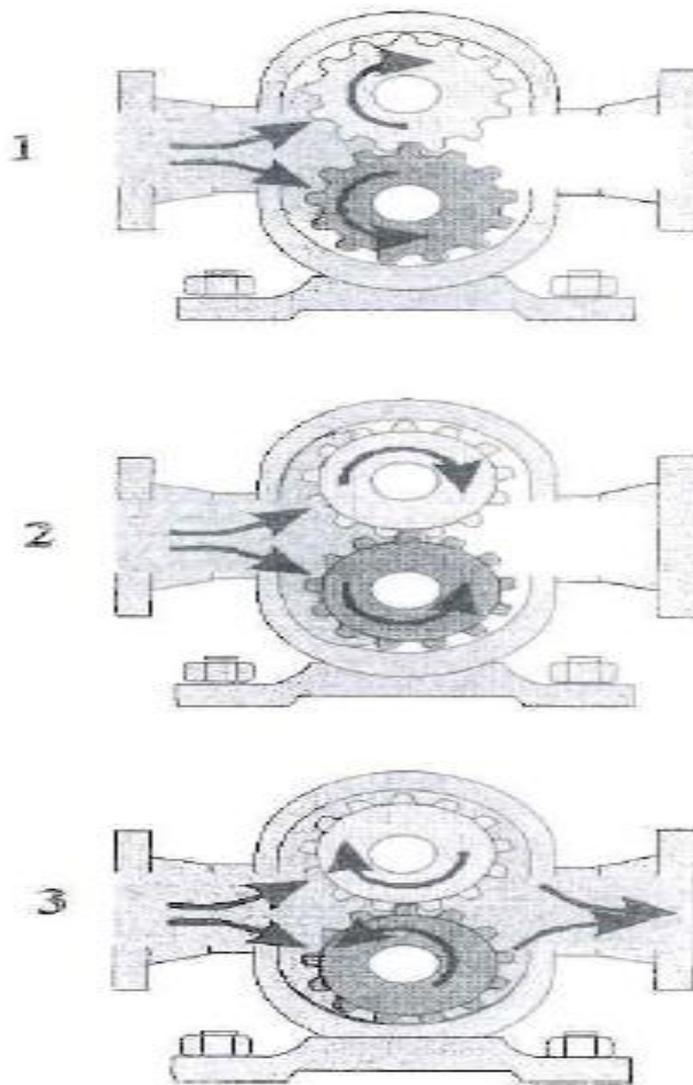


Εικόνα 4.13: διαφραγματική αντλία

#### 4.2.3 Περιστροφικές αντλίες-γραναζωτές

- Οι περιστροφικές γενικά διακινούν ρευστά με μεγάλο ιξώδες που έχουν μεγάλη αντίσταση στη ροή, εξασφαλίζουν συνεχή ροή του ρευστού, για αυτό και δεν υπάρχουν βαλβίδες
- Οι γραναζωτές
  - Ένα ζευγάρι γραναζιών μέσα από το οποίο συμπιέζεται το υγρό (ανάμεσα στις οδοντώσεις των 2 γραναζιών) και ωθείται στην κατάθλιψη
  - Το οδηγό γρανάτζι παίρνει κίνηση από τον κινητήρα μέσω του κόμπλερ
  - Το 2 ο γρανάτζι (idler) παίρνει κίνηση από το οδηγό





Εικόνα 4.14: Περιστροφικές αντλίες-γρανάζωτες

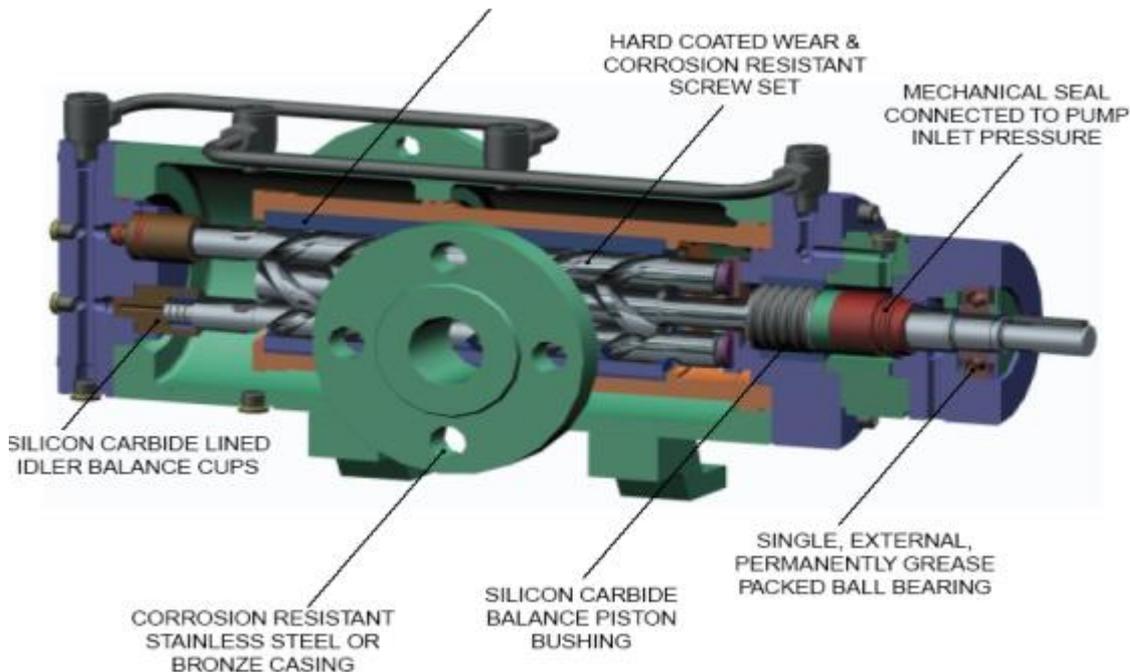
#### 4.2.4 Περιστροφικές αντλίες-screw

- Κοχλιωτές (screw)
  - Το ρευστό κάνει ευθύγραμμη κίνηση κατά μήκος των κοχλιών οι οποίοι περιστρέφονται.
  - Οι κοχλίες μεταξύ τους μεταδίδουν την περιστροφική κίνηση με γρανάζια χρονισμού
  - Απλής διαδρομής
    - Το ρευστό μπαίνει από τη μια πλευρά των κοχλιών και βγαίνει από την άλλη

ü Επιτυγχάνονται ψηλότερες πιέσεις, αλλά και μεγαλύτερες αξονικές δυνάμεις. Φέρονται με διατάξεις αντιστάθμισης

Ø Διπλής διαδρομής

ü Είναι κατ' ουσία 2 αντλίες αντίθετης διαδρομής



Εικόνα 4.15: Περιστροφικές αντλίες-screw

### 4.3 Φυγοκεντρικές αντλίες

Οι φυγοκεντρικές αντλίες διακρίνονται σε οριζόντιες και κάθετες με βάση το κριτήριο της διεύθυνσης της γραμμής αναρρόφησης, σε ακτινικής και αξονικής ροής με βάση το κριτήριο της κατεύθυνσης της ροής του καταθλιβόμενου ρευστού, σε απλής και διπλής αναρρόφησης με βάση το κριτήριο της μορφής της χρησιμοποιούμενης πτερωτής και σε μονοβάθμιες και πολυβάθμιες με βάση το κριτήριο του αριθμού των στροφείων ή πτερωτών που χρησιμοποιούν.

Μολονότι όπως καταδεικνύεται παραπάνω υπάρχει μια μεγάλη γκάμα φυγοκεντρικών αντλιών υπάρχουν κοινά συγκριτικά πλεονεκτήματά όλων των τύπων των φυγοκεντρικών αντλιών σε σχέση με τους άλλους τύπους αντλιών. Αυτά είναι η στρωτή και ομαλή λειτουργία τους (αν τις συγκρίνουμε π.χ με τις παλινδρομικές) αλλά κυρίως η ευκαμψία λειτουργίας τους με την έννοια της δυνατότητας επιλογής του επιθυμητού εύρους λειτουργίας κατά το διάγραμμα  $H-V$ , (η επιλογή αυτή γίνεται με βάση κατασκευαστικές και λειτουργικές παραμέτρους, π.χ διάμετρο στροφείου, ταχύτητα

περιστροφής, κ.λ.π). Παράλληλα οι φυγοκεντρικές αντλίες απαιτούν κατά κανόνα μικρό χώρο συγκριτικά με άλλους τύπους αντλιών για το ίδιο μανομετρικό ή παροχή.

Οι φυγοκεντρικές αντλίες πάντως έχουν τη δυνατότητα να προσφέρουν τύπους αντλιών με πολύ μεγάλες παροχές που οι άλλοι τύποι αντλιών αδυνατούν να επιτύχουν (με μια εύλογη τεchnοοικονομικά κατασκευή) και για το λόγο αυτό συνήθως προτιμώνται σε γραμμές μεγάλων παροχών. Παρακάτω παρουσιάζονται τα κύρια κατασκευαστικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά ορισμένων βασικών τύπων αντλιών

**Μονοβάθμιες αντλίες απλής αναρόφησης:** Οι μονοβάθμιες αντλίες απλής αναρρόφησης έχουν μεγάλη χρήση γιατί καλύπτουν εκτεταμένες τεχνικές εφαρμογές (ύδρευση, άρδευση, κυκλοφορία υγρών σε βιομηχανίες κ.λ.π).

Όλοι σχεδόν οι κατασκευαστές αντλιών κατασκευάζουν πλήρεις σειρές τυποποιημένων αντλιών αυτού του τύπου για ταχύτητα περιστροφής 1450 και 2900 RPM, που καλύπτουν την περιοχή παροχών από  $V = 6,0-500,0 \text{ m}^3/\text{h}$  και ολικών υψών  $H = 15-80 \text{ mΣΥ}$ .

Μια πολύ πρακτική διαμόρφωση των μονοβάθμιων φυγοκεντρικών αντλιών που συνηθίζεται στη χημική βιομηχανία και είναι οι λεγόμενες in-line αντλίες, οι οποίες τοποθετούνται συνήθως με κατακόρυφο τον άξονα. Σ' αυτές η διατομή εισόδου βρίσκεται στην ίδια ευθεία με τη διατομή εξόδου με αποτέλεσμα η αντλία να παρεμβάλλεται στη σωληνογραμμή χωρίς την παρέμβαση καμπυλών.

Μια άλλη συνηθισμένη διαμόρφωση των μονοβάθμιων αντλιών που εφαρμόζεται συνήθως για τη διακίνηση υγρών ή σε δίκτυα θέρμανσης – ψύξης (κυκλοφορητές), είναι αυτή στην οποία ο ηλεκτροκινητήρας προσαρμόζεται με φλάντζα πάνω στο σώμα της αντλίας και έχει κοινή άτρακτο με αυτήν. Αυτές οι αντλίες ονομάζονται monoblock και κατασκευάζονται για παροχές από 10-80  $\text{m}^3/\text{h}$  και μανομετρικά ύψη 8-50  $\text{mΣΥ}$ .

**Αντλίες διπλής αναρρόφησης:** Αναφορικά με το σχεδιασμό των πτερωτών έχουμε τις απλές και τις διπλές πτερωτές καθώς επίσης τις ανοικτές και τις κλειστές πτερωτές.

Οι αντλίες απλού στροφείου ή απλής πτερωτής έχουν δύο ανοίγματα, ένα από κάθε πλευρά. Το πρώτο είναι για την εισαγωγή του υγρού, ενώ το δεύτερο χρησιμεύει για την είσοδο του άξονα από τον κινητήρα ή τη μηχανή που μας προσδίδει την κίνηση. Ένα τρίτο ακτινικό άνοιγμα αποτελεί τον αγωγό εξόδου. Εκτός όμως από τις «μονές» πτερωτές υπάρχουν και οι διπλές πτερωτές που είναι συμμετρικές ως προς επίπεδο κάθετο στον άξονά τους. Χρησιμοποιούμε αντλίες διπλής αναρρόφησης όταν θέλουμε να αυξήσουμε τη ροή.

Στις αντλίες διπλής αναρρόφησης κάθε μια πτερωτή διακινεί το μισό της συνολικής παροχής δηλαδή  $V' = V/2$ , οπότε ο ειδικός αριθμός στροφών της πτερωτής χαρακτηρίζεται από την παροχή  $V'$ . Οι αντλίες διπλής αναρρόφησης κατασκευάζονται με σκοπό τη μείωση του ειδικού αριθμού στροφών (ο οποίος είναι πλέον συνάρτηση του  $V'$  αντί του  $V$ ) ώστε αυτός να έχει τιμές μεταξύ 2.000 και 4.000 ( $V$  σε  $\text{m}^3/\text{h}$ ), οπότε η πτερωτή έχει έξοδο ακτινικής ροής και ο βαθμός απόδοσης της αντλίας είναι υψηλός. Λόγω της ιδιομορφίας όλων των τμημάτων της αντλίας διπλής αναρρόφησης (διαμπερής άτρακτος, τμήμα εισόδου κ.λ.π), οι αντλίες διπλής αναρρόφησης κατασκευάζονται μόνο για μεγάλα μεγέθη και συγκεκριμένα για παροχές  $V = 500-8.000 \text{ m}^3/\text{h}$  και ολικά μανομετρικά ύψη 42-128  $\text{mΣΥ}$ . Οι αντλίες διπλής αναρρόφησης είναι συνήθως αντλίες οριζώντιου άξονα.

**Πολυβάθμιες αντλίες:** Οι αντλίες που κατασκευάζονται με πολλά στροφεία σε σειρά συνιστούν τις πολυβάθμιες αντλίες. Σε αυτούς τους τύπους των φυγοκεντρικών

αντλιών η ποσότητα του υγρού που μεταφέρεται από τα στροφεία είναι πάντοτε η ίδια. Η κάθε πτερωτή χρησιμεύει μόνο για να αυξάνει την πίεση.

Στην έξοδο της αντλίας το υγρό αποκτά ταχύτητα ίση προς την ταχύτητα που θα είχε αν είχαμε μόνο μια πτερωτή, ενώ η τελική πίεση δίνεται από τη διαφορά πίεσης που επιτυγχάνεται από τη μεμονωμένη λειτουργία της μιας πτερωτής, αν αυτή η τιμή πολλαπλασιαστεί επί τον αριθμό των πτερωτών.

Οι πολυβάθμιες αντλίες χρησιμοποιούνται για να καλύψουν ανάγκες όπου απαιτείται μεγάλο μανομετρικό με σχετικά μικρές παροχές. Ο αριθμός των βαθμίδων για δεδομένη πίεση και παροχή λειτουργίας υπολογίζεται έτσι ώστε ο ειδικός αριθμός στροφών κάθε πτερωτής να είναι της τάξης του 2.500 (V σε m<sup>3</sup>/h) και με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται υψηλός ολικός βαθμός απόδοσης

**Ειδικές φυγοκεντρικές αντλίες:** Ο συνηθέστερος τύπος ειδικών αντλιών είναι οι αντλίες λυμάτων και οι αντλίες υγρών – στερεών μιγμάτων (π.χ μίγματα νερού με πέτρες, χώματα ή άλλα στερεά για την υγρή μεταφορά υλικών).

Η συγκέντρωση και το είδος των μεταφερόμενων στερεών λαμβάνεται υπόψη στην επιλογή των υλικών των διαφόρων τμημάτων της αντλίας ώστε να αντέχουν ικανοποιητικά στη μηχανική διάβρωση, ενώ για τη σχεδίαση της αντλίας λαμβάνεται υπόψη η μέγιστη διάμετρος του στερεού σώματος που μπορεί να περάσει από την αντλία. Οι αντλίες λυμάτων ή στερεών είναι πάντοτε μονοβάθμιες. Στην περίπτωση οριζόντιου άξονα έχουν την πτερωτή σε πρόβολο, ενώ στην περίπτωση κατακόρυφου άξονα είναι τύπου monoblock με στεγανό υποβρύχιο κινητήρα. Οι αντλίες λυμάτων σχεδιάζονται με αρκετά μεγάλο πλάτος πτερωτής και σπειροειδούς κελύφους, έτσι ώστε αυτά να επιτρέπουν τη διέλευση στερεών σωμάτων μέχρι ενός ορισμένου μεγέθους.

**Αντλίες αξονικής ροής:** Οι αντλίες αξονικής ροής χρησιμοποιούνται συνήθως στην άντληση νερού. Οι αντλίες αυτές διακινούν υγρά σε κατεύθυνση παράλληλη, προς τον άξονά τους. Το διακινούμενο υγρό στις αντλίες αξονικής ροής κινείται από ένα στροφείο όμοιο με την προπέλα ενός πλοίου. Τέτοιες αντλίες χρησιμοποιούμε σε συστήματα που έχουν μεγάλη ροή και χαμηλή κατάθλιψη.

#### 4.3.1 Τα εξαρτήματα της αντλίας

Ο αριθμός των εξαρτημάτων, η διάταξή τους και η εξωτερική εμφάνιση μιας αντλίας, εξαρτώνται από την προτίμηση του κατασκευαστή και από τις ειδικές συνθήκες εργασίες για τις οποίες έχει κατασκευαστεί. Κάθε αντλία πρέπει να συνοδεύεται από το βιβλίο οδηγιών για την τοποθέτηση, το χειρισμό και τη συντήρησή της. Στο βιβλίο πρέπει να υπάρχει σχέδιο της αντλίας και κατάλογος των εξαρτημάτων.

Τα βασικά εξαρτήματα μιας τυπικής φυγόκεντρου αντλίας είναι το σπειροειδές περίβλημα (θάλαμος, σαλίγκαρος), το κάλυμμα με το στόμιο εισόδου του υγρού και την φλάντζα για τη σύνδεση του σωλήνα αναρροφήσεως, η χοάνη καταθλίψεως (έξοδος υγρού) με την φλάντζα για τη σύνδεση του σωλήνα καταθλίψεως και ο άξονας της αντλίας που δίνει κίνηση στην πτερωτή με την οποία είναι στέρα συνδεδεμένος. Ο άξονας της αντλίας στηρίζεται συνήθως σε δυο τριβείς (ρουλεμάν ή κουζινέτα) που βρίσκονται στις δυο άκρες του ελαίου ενώ στο ελεύθερο άκρο του, τοποθετείται ένας συνδετήρας για τη σύνδεση της αντλίας με τον κινητήρα ή μια τροχαλία, όταν η κίνηση δίνεται με ιμάντα. Ο άξονας διαπερνά το πίσω μέρος του σπειροειδούς περιβλήματος

όπου στεγανοποιείται για να μην διαρρεύσει το υγρό που βρίσκεται υπό πίεση μέσα στο περίβλημα ή να μην εισχωρήσει αέρας, οπότε δημιουργούνται ανωμαλίες στην λειτουργία της αντλίας και ο Βαθμός αποδόσεως μειώνεται κατά πολύ. Το Βασικό εξάρτημα της στεγανοποίησης είναι η σαλαμάστρα, που τοποθετείται υπό μορφή δακτυλίων μέσα στο στυπιοθαλάμιο. Στις αντλίες που η σαλαμάστρα υδρολιπαίνεται από εξωτερική παροχή, ανάμεσα στους δακτυλίους της παρεμβάλλεται ένας ορειχάλκινος δακτύλιος (φανάρι) με περιφερειακή αυλάκωση και διάτρηση όπου καταλήγει ένας αγωγός, ο οποίος μεταφέρει νερό υπό πίεση από το περίβλημα ή από το εξωτερικό δοχείο υδρολιπάνσεως. Για τη στεγανοποίηση η σαλαμάστρα σφίγγεται με το στυπιολίπτη. Όπως θα δούμε στην περιγραφή της πτερωτής, υπάρχει πάντοτε διαφορά πίεσεως μεταξύ του στομίου εισόδου και του εσωτερικού της πτερωτής. Η διαφορά πίεσεως προκαλεί διαρροή του υγρού από το διάκενο μεταξύ της περιστρεφόμενης και του καλύμματος. Για τη μείωση της διαρροής αυτής τοποθετούνται δακτύλιοι στεγανώσεως στα χείλη επαφής της πτερωτής και του καλύμματος.

#### **4.3.1.1 Το περίβλημα**

Το περίβλημα των φυγόκεντρων αντλιών αποτελείται από δυο τμήματα τα οποία είναι δυνατό να διαχωρίζονται οριζοντίως, καθέτως ή και διαγωνίως. Στην πρώτη περίπτωση τόσο το στόμιο εισόδου όσο και η χοάνη καταθλίψεως βρίσκονται στο κατώτερο τμήμα του περιβλήματος έτσι ώστε να απομακρύνεται εύκολα όταν χρειαστεί κάποια επισκευή. Η δεύτερη περίπτωση χρησιμοποιείται στις αντλίες που συνδέονται απ' ευθείας με τον κινητήρα ή στις αντλίες απλής αναρροφήσεως. Υπάρχουν και περιπτώσεις όπου το διαχωριζόμενο περίβλημα περιβάλλεται από ένα «ενιαίο» κέλυφος. Η κατασκευή αυτή χρησιμοποιείται στις αντλίες υψηλής πίεσεως. Το σχήμα του περιβλήματος είναι σπειροειδές και η πτερωτή τοποθετείται έτσι ώστε το υγρό, το οποίο φεύγει από την πτερωτή υπό την επίδραση της φυγόκεντρου ουνάμεως και ωθείται προς την χοάνη καταθλίψεως, να κινείται σε αγωγό συνεχώς αυξανόμενη. Η προοδευτική αύξηση της διατομής του αγωγού του περιβλήματος είναι τέτοια ώστε η παροχή ανά μονάδα επιφάνειας να είναι περίπου σταθερή σε όλη τη διαδρομή του υγρού μέσα στο περίβλημα. Κατ' αυτόν τον τρόπο η ταχύτητα κινήσεως του υγρού ελαττώνεται προοδευτικά και η κινητική του ενέργεια μετατρέπεται σε στατική πίεση με όσο το δυνατό λιγότερες απώλειες.

Ένας άλλος τύπος φυγόκεντρου αντλίας είναι η φυγόκεντρος αντλία με πτερύγια διαχύσεως στον τύπο αυτό γύρω από τη πτερωτή σχηματίζονται δίοδοι με προοδευτικά αυξανόμενη διατομή προστατεύοντας μια σειρά μη κινούμενων πτερυγίων. Καθώς το υγρό διέρχεται μέσα από τους δίοδους που σχηματίζουν τα πτερύγια διαχύσεως αλλάζει η διεύθυνση κινήσεως του με παράλληλη μείωση της ταχύτητας ενώ η πίεση αυξάνεται προτού ακόμη τι υγρό εισέλθει στον αγωγό του περιβλήματος. Επομένως οι απώλειες μέσα στο περίβλημα μειώνονται και κατά την έξοδο του υγρού η κινητική του ενέργεια μετατρέπεται πλησιέστερα σε στατική πίεση ενώ ο βαθμός αποδόσεως της αντλίας Βελτιώνεται. Η βελτίωση όμως του Βαθμού αποδόσεως είναι μικρή σε σύγκριση με την επιπλέον δαπάνη που απαιτείται για την κατασκευή και τοποθέτηση των πτερυγίων διαχύσεως. Για το λόγω αυτό οι αντλίες με πτερύγια διαχύσεως δεν θεωρούνται πλεονεκτικές εκτός από ειδικές περιπτώσεις που επιζητείται υψηλή πίεση. Η αντλία αυτού του τύπου αναφέρεται και ως στροβιλαντλία γιατί η κατασκευή του μοιάζει με τον υδροστρόβιλο τύπου Francis αλλά με αντίστροφη λειτουργία.

## **ΜΟΝΟΒΑΘΜΙΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ**

Αντλίες υψηλής αναρροφήσεως. Στην αντλία του σχήματος 2.III η πτερωτή είναι τοποθετημένη στο άκρο του άξονα και το υγρό οδηγείται από το σωλήνα αναρροφήσεως κατευθείαν στο κέντρο της πτερωτής, η πτερωτή μπορεί επίσης να είναι τοποθετημένη στο κέντρο του άξονα οπότε υπάρχουν δυο στυπιοθάλαμοι για τη στεγανοποίηση και στις δυο πλευρές του σπειροειδούς περιβλήματος.

Στις αντλίες απλής αναρροφήσεως λόγω της διαφοράς πίεσεως που υπάρχει πάντοτε μεταξύ του στομίου εισόδου του υγρού (πίεση αναρροφήσεως) και του εσωτερικού του περιβλήματος (πίεση καταθλίψεως) δημιουργείται δύναμη, η οποία τείνει να μετατοπίσει την πτερωτή προς την πλευρά της χαμηλότερης πίεσεως - αξονική ώθηση - με αποτέλεσμα την καταπόνηση και καταστροφή των τριβών. Σε ορισμένες αντλίες δεν λαμβάνεται ιδιαίτερη φροντίδα για την εξισορρόπηση της αξονικής ώθησεως, υπάρχουν διάφοροι μέθοδοι για την εξουδετέρωση της αξονικής ώθησεως ή την αποκατάσταση υδραυλικής εξισορρόπησης της πίεσεως από τις δυο πλευρές της πτερωτής.

Αντλίες διπλής αναρροφήσεως. Το περίβλημα της αντλίας αυτού του τύπου έχει δυο στόμια για την είσοδο του υγρού και από τις δυο πλευρές της πτερωτής, η αντλία του σχήματος αποτελείται από δυο αντλίες απλής αναρροφήσεως τοποθετημένες συμμετρικά ως προς επίπεδο κάθετο στον άξονα της αντλίας. Λόγω της συμμετρίας η πίεση στα στόμια εισόδου από τις δυο πλευρές της πτερωτής είναι ίση. Οπότε οι αντλίες έχουν θεωρητικά υδραυλική εξισορρόπηση. Μικρές όμως ατέλειες στην κατασκευή των εξαρτημάτων και άνισες φθορές μεταβάλλουν τα χαρακτηριστικά ροής του υγρού στις δυο πλευρές και η πτερωτή υπόκειται σε μικρή αξονική ώθηση.

Το περίβλημα στις αντλίες είναι συνήθως οριζοντίως διαχωρισμένο και τα δυο στόμια εισόδου του υγρού ενώνονται σε κοινό σωλήνα αναρροφήσεως που βρίσκεται στο κατώτερο τμήμα του περιβλήματος όπως και ο σωλήνας καταθλίψεως.

Οι αντλίες διπλής αναρροφήσεως πλεονεκτούν στο ότι μειώνεται κατά πολύ ο κίνδυνος αξονικής ώθησεως, ενώ λόγω της μικρής ταχύτητας κινήσεως του υγρού στην είσοδο (διπλός σωλήνας αναρροφήσεως) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μεγάλες παροχές.

## **ΠΟΛΥΒΑΘΜΙΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ**

Οι πολυβάθμιες αντλίες χρησιμοποιούνται στις περιπτώσεις όπου επιζητείται χαμηλή πίεση, την οποία δεν μπορεί να αναπτύξει μια μονοβάθμια αντλία (μανομετρικό ύψος μεγαλύτερο των 120 μέτρων). Οι αντλίες αυτές έχουν δυο ή περισσότερες πτερωτές που λειτουργούν "εν σειρά", δηλαδή η χοάνη καταθλίψεως της μιας βαθμίδας είναι συνδεδεμένη στο στόμιο εισόδου της επόμενης βαθμίδας. Το συνολικό ύψος πίεσεως είναι το ύψος πίεσεως της μιας βαθμίδας πολλαπλασιαζόμενο επί των αριθμών των βαθμιδών. Ο αριθμός των βαθμιδών εξαρτάται από το απαιτούμενο μανομετρικό ύψος, τη διάμετρο της πτερωτής, την παροχή της αντλίας και την ταχύτητα περιστροφής.

Το περίβλημα έχει περίπου κυλινδρική μορφή και το κέλυφος μπορεί να είναι διαγωνίως διαχωριζόμενο ή να είναι μονοκόμματο. Η δεύτερη διάταξη προτιμάται στην περίπτωση που οι βαθμίδες είναι τέσσερις ή περισσότερες οπότε εργάζονται με υψηλές πιέσεις.

Η αξονική ώθηση στις πολυβάθμιες αντλίες είναι μεγάλη, γιατί όλες οι πτερωτές είναι τοποθετημένες στον ίδιο άξονα. Για την υδραυλική εξισορρόπηση οι πτερωτές είναι τοποθετημένες ανά ζεύγη αντίθετα, όπως φαίνεται στην αντλία δυο βαθμιδών του σχήματος 2.VII. Στο σχήμα 2.VIII φαίνεται μια αντλία πέντε βαθμιδών για μεγάλο

μανομετρικό ύψος. Επίσης, η αξονική ώθηση εξουδετερώνεται αν η πτερωτή κάθε βαθμίδας είναι διπλής αναρροφήσεως.

Αντλία δυο Βαθμιδών με τις πτερωτές τοποθετημένες αντίθετα Το περίβλημα των φυγόκεντρων αντλιών κατασκευάζεται από χυτοσίδηρο για τις αντλίες γενικής χρήσεως. Επίσης, χρησιμοποιείται ο χυτοχάλυβας με προσθήκη άνθρακα ή άλλες προσμίξεις για την αύξηση της ανθεκτικότητας του ανάλογα με την πίεση που εργάζεται η αντλία, τις διαστάσεις της και το είδος του υγρού που αντλεί. Αν η πίεση και η θερμοκρασία του υγρού είναι υψηλές σε πολλές περιπτώσεις το περίβλημα κατασκευάζεται με σφυρηλάτηση, οπότε οι σωλήνες αναρροφήσεως και καταθλίψεως συγκολλούνται στο περίβλημα.

Στο στόμιο εισόδου του υγρού και στη χοάνη καταθλίψεως συνήθως υπάρχουν υποδοχές για την τοποθέτηση κατάλληλων μανομέτρων για την μέτρηση της υποπίεσεως αναρροφήσεως και της πίεσεως καταθλίψεως. Στο κάτω μέρος του περιβλήματος υπάρχει πάντοτε μια οπή με "τάπα" για το άδειασμα του υγρού όταν δεν εργάζεται η αντλία για αρκετό διάστημα, ιδίως τον χειμώνα. Επίσης, στο επάνω μέρος του περιβλήματος πρέπει να υπάρχει άνοιγμα με "τάπα" για το γέμισμα του περιβλήματος και την εκκίνηση της αντλίας. Η φορά περιστροφής της αντλίας επισημαίνεται με ένα Βέλος χαραγμένο πάνω στο περίβλημα.

#### **4.3.1.2 Η πτερωτή**

Η πτερωτή αποτελείται από α) τον περιστρεφόμενο δρομέα, που κατασκευάζεται σαν ένα σώμα με τον άξονα και β) από τα πτερύγια, έχουν πάντοτε κλίση αντίθετη προς τη φορά περιστροφής της πτερωτής.

Υπάρχουν τρία είδη πτερωτών: πτερωτή ανοιχτού τύπου, πτερωτή ημίκλειστου τύπου και πτερωτή κλειστού τύπου.

Α) Πτερωτή ανοιχτού τύπου. Ο περιστρεφόμενος δρομέας αποτελείται από ένα "όμφαλο" γύρω από τον οποίο είναι τοποθετημένα τα πτερύγια. Ο Βαθμός αποδόσεως των αντλιών με πτερύγια ανοιχτού τύπου είναι μικρός, γιατί αξιόλογη ποσότητα υγρού διαρρέεται από το περίβλημα στο στόμιο εισόδου. Επίσης μπορούν να δημιουργήσουν αρκετά μεγάλο μανομετρικό ύψος. Για το λόγο αυτό οι αντλίες με πτερύγια ανοιχτού τύπου χρησιμοποιούνται σε ειδικές περιπτώσεις και ιδιαίτερα για άντληση νερού που περιέχει φερτές ύλες επειδή δεν μπουκώνουν εύκολα.

Β) Πτερωτή ημίκλειστου τύπου. Ο περιστρεφόμενος δρομέας αποτελείται από ένα δίσκο στη μία πλευρά του οποίου είναι τοποθετημένα τα πτερύγια. Τα πτερύγια βρίσκονται προς την πλευρά του στομίου εισόδου του υγρού. Ο Βαθμός αποδόσεως των αντλιών με πτερωτή ανοιχτού τύπου είναι μικρότερος από τις αντλίες με πτερωτή κλειστού τύπου. Είναι δυνατόν όμως στις αντλίες αυτές να επιτευχθεί πολύ ικανοποιητικός Βαθμός αποδόσεως αν το διάκενο μεταξύ των πτερυγίων και της εσωτερικής επιφάνειας του τοιχώματος του καλύμματος του περιβλήματος είναι πολύ μικρό. Οι αντλίες με πτερωτή ημίκλειστου τύπου δεν είναι κατάλληλες για την άντληση ακάθαρτων υγρών, μπορούν όμως να χρησιμοποιηθούν για την άντληση νερού που περιέχει άμμο.

Γ) Πτερωτή κλειστού τύπου. Ο περιστρεφόμενος δρομέας αποτελείται από δύο δίσκους μεταξύ των οποίων βρίσκονται τα πτερύγια. Ο ένας δίσκος έχει στο κέντρο την οπή (μάτι) για την είσοδο του υγρού στα πτερύγια που έχει ως αποτέλεσμα την είσοδο του υγρού στο περίβλημα. Στις αντλίες διπλής αναρροφήσεως υπάρχουν οπές και στους

δύο δίσκους για την είσοδο του υγρού και στις δύο πλευρές της πτερωτής. Οι αντλίες με πτερωτή κλειστού τύπου έχουν πολύ μεγάλο Βαθμό αποδόσεως και αναπτύσσουν υψηλή πίεση, αλλά χρησιμοποιούνται για άντληση καθαρών μόνο υγρών γιατί “μπουκώνουν” εύκολα.

#### 4.3.1.3 Στυπιοθάλαμος

Ο στυπιοθάλαμος αποτελεί μέρος του σώματος της αντλίας και συμβάλλει στην στεγανοποίηση του διάκενου μεταξύ του περιβλήματος και του άξονα της πτερωτής. Προορισμός του στυπιοθαλάμου είναι α) να εμποδίζει την είσοδο του αέρα στο περίβλημα και β) να εμποδίζει τη διαρροή του υγρού κατά μήκος του άξονα, όταν η πίεση στο στυπιοθλίπτη είναι μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική. Η στεγανοποίηση πραγματοποιείται με σαλαμάστρα ή με μηχανικά μέσα.

#### 4.3.1.4 Κατάταξη των φυγόκεντρων αντλιών

Οι φυγόκεντροι αντλίες (ακτινικής ροής) είναι οι πιο διαδεδομένες γιατί έχουν μεγάλο εύρος παροχής ((i) - αποδιδόμενο ύψος (H) και προσαρμόζονται σε ποικιλία συνθηκών αντλήσεως.

Υπάρχουν διάφορα κριτήρια κατάταξεως των φυγόκεντρων αντλιών όπως α) η τοποθέτηση του άξονα της πτερωτής που μπορεί να είναι οριζόντια ή κατακόρυφη, οπότε έχουμε τις οριζόντιες ή κατακόρυφες αντλίες, β) το είδος της πτερωτής, οπότε οι αντλίες διακρίνονται σε απλής αναρροφήσεως ή διπλής αναρροφήσεως, γ) ο αριθμός των πτερωτών. Στην περίπτωση αυτή έχουμε τις μονοβάθμιες αντλίες ή πολυβάθμιες αντλίες.

Στις πολυβάθμιες αντλίες οι πτερωτές μπορεί να συνδεθούν “εν σειρά” ή “εν παραλλήλω”. Στην “εν σειρά” σύνδεση το υγρό περνάει διαδοχικά από όλες τις πτερωτές και η παροχή της αντλίας είναι ίδια με την παροχή μιας Βαθμίδας ενώ το ολικό ύψος είναι το άθροισμα των υψών όλων των Βαθμιδών. Στην εν “παραλλήλω” σύνδεση το υγρό περνάει συγχρόνως από όλες τις πτερωτές (συνήθως 2 ή 3) και η παροχή της αντλίας είναι το άθροισμα των παροχών όλων των Βαθμιδών ενώ το ολικό ύψος είναι ίσο με το ύψος μιας Βαθμίδας. Σε σπάνιες περιπτώσεις μπορεί να έχουμε μικτή σύνδεση.

Έχοντας υπόψη τα παραπάνω, τα χαρακτηριστικά μεγέθη μιας αντλίας επηρεάζονται και από την ύπαρξη ή μη πτερυγίων διαχύσεως, ο συνδυασμός των παραπάνω κριτηρίων αποτελεί μια Βάση για την κατάταξη των φυγόκεντρων αντλιών.

#### 4.3.2 ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΜΟΝΟΒΑΘΜΙΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ

A) Απλής αναρροφήσεως με σπειροειδές περίβλημα. Είναι ο πιο διαδεδομένος τύπος. Τα πτερύγια είναι απλής καμπυλότητας για μικρές παροχές ενώ για μεγάλες παροχές κάμπτονται στο χώρο.

Οι παροχές των αντλιών αυτού του τύπου είναι 0 - 1000 l/ε και το ολικό ύψος H μέχρι 80πι. Χρησιμοποιούνται για την άντληση ψυχρών ή θερμών (μέχρι 80 °C) υγρών χωρίς ξένες ύλες.

B) Απλής αναρροφήσεως με σπειροειδές περίβλημα και πτερύγια διαχύσεως. Η κατασκευή τους είναι ίδια με τις προηγούμενες με τη μόνη διαφορά ότι γύρω από την πτερωτή έχουν σταθερά πτερύγια διαχύσεως για τη μερική μετατροπή της κινητικής ενέργειας σε ενέργεια πίεσεως.

Η παροχή τους είναι 0 - 800 l/ε και το ολικό ύψος H 45-160 πι.

Γ) Διπλής αναρροφήσεως με σπειροειδές περίβλημα. Επειδή έχουν υδραυλική εξισορρόπηση χρησιμοποιούνται για μεγαλύτερες παροχές από τις προηγούμενες. 0. 80 - 3000 l/ξ, με ολικό ύψος H 15-80 πι.

Περισσότερο χρησιμοποιείται ο τύπος οριζοντίου διαχωριζόμενου περιβλήματος όπου οι σωλήνες αναρροφήσεως και καταθλίψεως είναι τοποθετημένοι στο κάτω τμήμα. Έτσι δε χρειάζεται να αποσυνδεθούν οι σωλήνες αυτοί όταν χρειαστεί να ανοιχτεί η αντλία.

Για αύξηση του ολικού ύψους μπορούν να τοποθετηθούν πτερύγια διαχύσεως γύρω από την πτερωτή.

#### **4.3.3 ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ**

A) Με οδηγούς ροής για μικρές παροχές και μικρό ολικό ύψος. Η είσοδος του υγρού είναι αξονική. Έχουν δυο έως έξι βαθμίδες και δίνουν παροχή 0 0.5 - 10 1/5 με ολικό ύψος H 10 - 80 πι.

Επειδή η αξονική ώθηση είναι μικρή ο άξονας στηρίζεται σε απλούς ή διπλούς σφαιροτριβείς και ανοίγονται οπές στους δίσκους των πτερυγίων

Σχ.2.IX: Πολυβάθμια αντλία για μικρές παροχές και μικρό ολικό ύψος

B) Με οδηγούς ροής για μεγάλες παροχές και μεγάλο ολικό ύψος. Επειδή εργάζονται με υψηλές πιέσεις το περίβλημα είναι “ μονοκόμματο” ή υπό μορφή δακτυλίων. Χρησιμοποιούνται στη Βιομηχανία ή στα ορυχεία για την άντληση καθαρών ή ελαφρώς ακάθαρτων υγρών με θερμοκρασία μέχρι 110 °C. Δίνουν παροχή μέχρι 450 l/ε και ολικό ύψος μέχρι 750 γπ.

Πολυβάθμια φυγοκεντρική αντλία με το περίβλημα υπό μορφή δακτυλίων και πτερωτές απλής αναρροφήσεως

Γ) Με σπειροειδή περιβλήματα και πτερωτές υδραυλικώς εξισορροπημένες. Κάθε πτερωτή περιστρέφεται μέσα σε σπειροειδές περίβλημα. Η υδραυλική εξισορρόπηση γίνεται με αντίθετα τοποθετημένες πτερωτές γιατί οι άλλες μέθοδοι προκαλούν μείωση του βαθμού αποδόσεως της αντλίας. Οι πολυβάθμιες αντλίες δεν κατασκευάζονται με περισσότερες από οχτώ Βαθμίδα γιατί το μήκος του άξονα δεν μπορεί να υπερβεί ένα ορισμένο μήκος.

Οι αντλίες αυτού του τύπου μπορούν να δώσουν παροχή 0 50 - 80 1/5 και ολικό ύψος H 45- 160 πί.

#### **4.3.4 ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΜΟΝΟΒΑΘΜΙΕΣ Η ΠΟΛΥΒΑΘΜΙΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ**

Σε πολλές περιπτώσεις , είναι προτιμότερο να τοποθετηθεί η αντλία κατακόρυφα αντί οριζόντια. Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν οι κατακόρυφες αντλίες είναι:

1. Καταλαμβάνουν μικρότερη επιφάνεια του δαπέδου, γιατί ο κινητήρας τοποθετείται πάνω από την αντλία, όποτε χρειαζόμαστε μικρότερο χώρο στεγάσεως και

2. Αν η στάθμη του αντλούμενου υγρού είναι χαμηλά ή κυμαίνεται κατά τη διάρκεια της αντλήσεως, η αντλία μπορεί να τοποθετηθεί πιο κοντά στη στάθμη ώστε το ύψος αναρροφήσεως να μην υπερβεί το επιτρεπόμενο όριο.

Τα μειονεκτήματα τους είναι η πολύπλοκη κατασκευή τους και το μεγάλο κόστος τους.

#### **4.4 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ, ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΜΟΝΟΒΑΘΜΙΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ**

#### 4.4.1 ΑΝΤΛΙΕΣ LDP



##### Εφαρμογές

- Καθαρά ή ελαφρώς ακάθαρτα υγρά δίχως ογκώδη στερεά.
- Άντληση νερού, πετρελαίου, βενζίνης, λαδιού, άλμης, αλκαλικών και ελαφρών οξέων. Κυκλοφορία, άρδευση και αποχέτευση. Υδροδότηση και σταθμό προώθησης.
- Βιομηχανική και αγροτική χρήση και για οικισμούς.

##### Υδραυλικά Χαρακτηριστικά

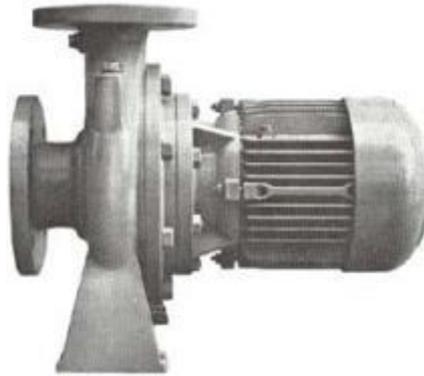
- Παροχή μέχρι 450m<sup>3</sup>/h.
- Ολικό ύψος μέχρι 100 m.
- Θερμοκρασία μέχρι 105 °C για διάταξη 0 και 140°C για διάταξη 1&2.
- Πίεση λειτουργίας ως 16 bar.

##### Κατασκευαστικά Στοιχεία

- Ο κοχλίας είναι ενιαίος με το στόμιο αναρρόφησης και φέρει τα πέλματα για την έδραση ολόκληρης της αντλίας.

- Στόμιο κατάθλιψης κατακόρυφα.
- Είναι δυνατή η αποσυναρμολόγηση του στρεφόμενου μέρους της αντλίας προς το μέρος του ηλεκτροκινητήρα, χωρίς αποσύνδεση και μετατόπιση των σωληνώσεων αναρρόφησης και κατάθλιψης.
- Όταν, μάλιστα, χρησιμοποιείται ειδικός σύνδεσμος με ενδιάμεσο τμήμα που αφαιρείται, η αποσυναρμολόγηση είναι δυνατή χωρίς τη μετατόπιση και του ηλεκτροκινητήρα.
- Πτερωτή κλειστή.
- Τριβείς κύλισης για την έδραση του άξονα με λίπανση διαρκείας.
- Οι αντλίες LDP κατασκευάζονται με τυποποιημένα στοιχεία, που χρησιμοποιούνται σε πολλά μεγέθη αντλιών. Έτσι, περιορίζεται σημαντικά η έκταση της αποθήκης ετοιμών εξαρτημάτων.

#### 4.4.2 ΑΝΤΛΙΑ MONOBLOCK



Εφαρμογές της αντλίας monobloc

- Καθαρά ή ελαφρώς ακάθαρτα υγρά δίχως ογκώδη στερεά.

- Άντληση , πετρελαίου, βενζίνης, λαδιού, άλμης, αλκαλικών και ελαφρών άρδευση και οξέων. αποχέτευση.

- Υδροδότηση και σταθμοί προώθησης.
- Βιομηχανική και αγροτική χρήση και για οικισμούς.

#### Υδραυλικά Χαρακτηριστικά

- Παροχή μέχρι 300 m<sup>3</sup>/h
- Ολικό ύψος μέχρι 90 m
- Θερμοκρασία μέχρι 140°C
- Πίεση μέχρι 10 bar
- 

#### Κατασκευαστικά Στοιχεία

- Εξοικονόμηση ανταλλακτικών. Η αντλία NORMABLOC έχει τα ίδια εξαρτήματα του υδραυλικού μέρους
- Έτσι περιορίζεται ο αριθμός των ανταλλακτικών εκεί όπου χρησιμοποιούνται και οι δύο τύποι.
- Εύκολη εγκατάσταση. Ασφαλής λειτουργία.
- Η σύνδεση αντλίας και κινητήρα, γίνεται δια μέσου γουβωτού άκρου άξονος.
- Δεν χρειάζεται ευθυγράμμιση του συγκροτήματος.



- Λειτουργία δίχως επίβλεψη και δίχως διαρροές.
- Μηχανικός στυπιοθλίπτης υψηλής ποιότητας εξασφαλίζει αυτόματα τη λειτουργία της αντλίας δίχως επίβλεψη και δίχως διαρροές.
- Ηλεκτροκινητήρας κανονικός με φλάντζα μορφής A κατά DIN 42948.
- Φορά περιστροφής:
- Σύμφωνα με την περιστροφή των δεικτών του ρολογιού όταν βλέπουμε την αντλία από τον ηλεκτροκινητήρα.

#### 4.4.3 ANTLIA IN-LINE



##### Εφαρμογές αντλίας in-line

- Για κυκλοφορία ψυχρού και θερμού νερού σε κλιματιστικές εγκαταστάσεις μεγάλων κοινόχρηστων χώρων: Σχολεία, Νοσοκομεία, Εμπορικά Καταστήματα.
- Για κυκλοφορία καθαρών υγρών σε βιομηχανίες.

##### Υδραυλικά χαρακτηριστικά

- Παροχή μέχρι 300 m<sup>3</sup>/h
- Ολικό ύψος μέχρι 90 m
- Θερμοκρασία μέχρι 140°C
- Πίεση μέχρι 10 bar

##### Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά

- Μονοβάθμια φυγοκεντρική αντλία μορφής IN LINE.
- Αντλία και ηλεκτροκινητήρας μονομπλόκ.
- Τύπος IL, κινητήρας με ειδικό άκρο άξονα και φλάντζα για την υποδοχή της αντλίας, έδραση V1.
- Τύπος IL-N, κινητήρας κανονικός με έδραση V1.
- Στόμια αναρρόφησης και κατάθλιψης ίδιου μεγέθους και ομοαξονικά.
- Φλάντζες σύμφωνα με DIN 2532.
- Αποσυναρμολόγηση του περιστρεφόμενου μέρους της αντλίας προς το μέρος του ηλεκτροκινητήρα δίχως αποσύνδεση και μετατόπιση των σωληνώσεων αναρρόφησης και κατάθλιψης.

##### Απ' ευθείας στερέωση στην σωλήνωση δίχως ιδιαίτερη βάση.

- Πρόβλεψη ειδικού πέλματος στις περιπτώσεις που δεν είναι επιθυμητή η στερέωση στις σωληνώσεις.
- Διάταξη οριζόντια ή κατακόρυφη με εξαίρεση την τοποθέτηση του ηλεκτροκινητήρα προς τα κάτω.
- Λειτουργία δίχως επίβλεψη χάρις στην χρησιμοποίηση μηχανικού συτυπιοθλίπτη υψηλής ποιότητας.

## 5 ΜΕΛΕΤΗ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ WORTHINGTON 2WWFB-811

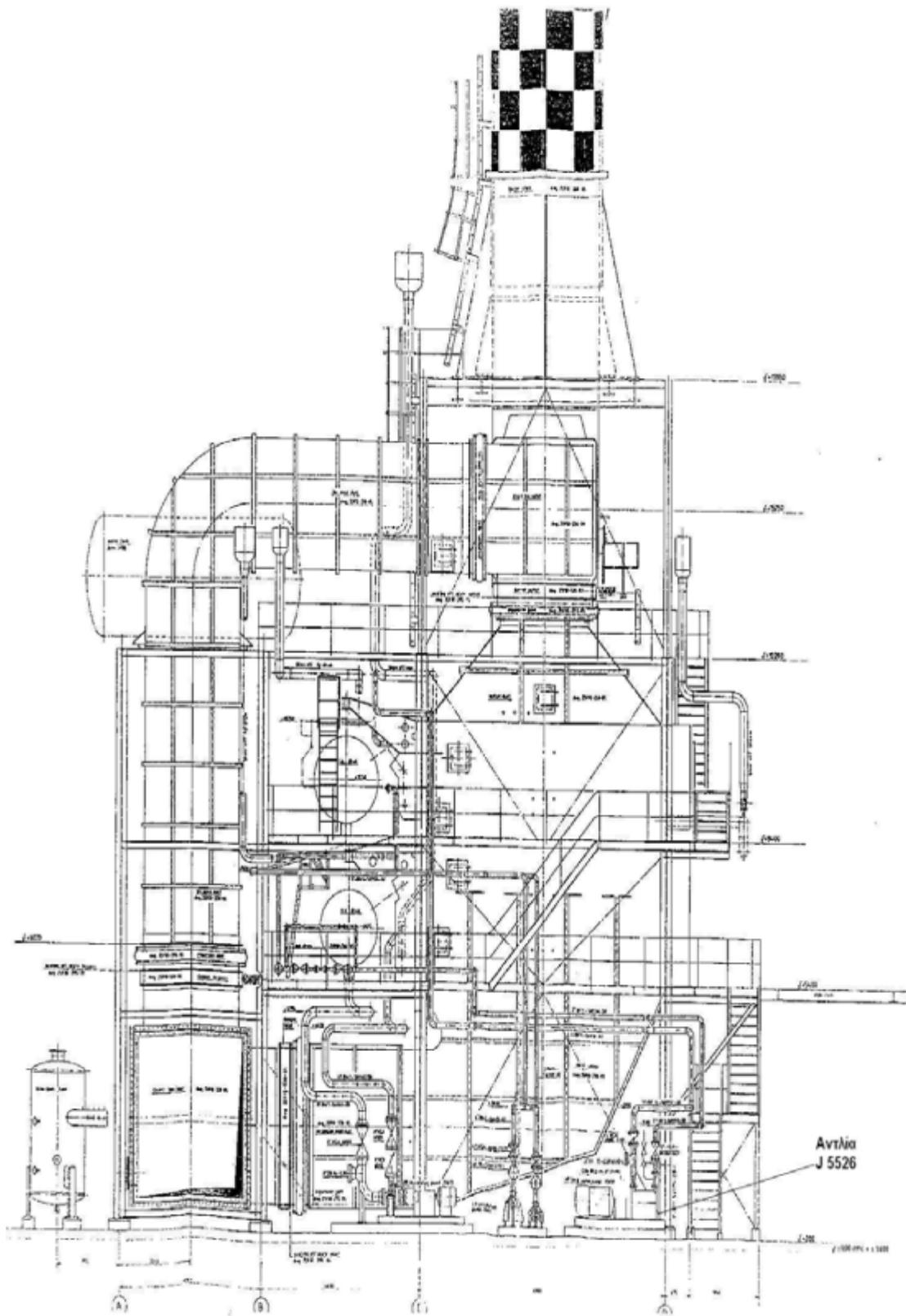
Σε αυτό το τελευταίο γίνεται η μελέτη της αντλίας, παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά της, η χρήση της καθώς και η περιγραφή της επισκευής της.

### 5.1 ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ

Η αντλία WORTHINGTON 2WWFB-811 χρησιμοποιείται από την εταιρία ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΑ σε μια από τις μονάδες του διυλιστηρίου της στον Ασπρόπυργο και συγκεκριμένα στην μονάδα με τον κωδικό αριθμό 5600. Η μονάδα 5600 είναι μια γκαζοτουρμπίνα. Όλα τα μηχανήματα και τα εξαρτήματα της μονάδας φέρουν κωδικό αριθμό σχετικό με τον αριθμό της μονάδας (5600). Υπάρχουν 4 ίδια μοντέλα της αντλίας WORTHINGTON 2WWFB-811 στην μονάδα και αναφέρονται με τους κωδικούς αριθμούς J5612, J5612-S, J5622, J5622-S. Οι αντλίες που χρησιμοποιεί βασικά η μονάδα είναι η J5612 και η J5622, οι άλλες δυο αντλίες με την κατάληξη S είναι οι spare αντλίες, δηλαδή αναπληρωματικές που μπαίνουν σε λειτουργία σε περίπτωση βλάβης των βασικών.

Η αντλία που μελετάμε είναι η **J5622**. Η αντλία χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία ενός λέβητα με νερό. Η αντλία παραλαμβάνει **νερό** από έναν προθερμαντήρα, σε μια θερμοκρασία, το οποίο στέλνει στον λέβητα για **ατμοποίηση**. Η ατμοποίηση γίνεται μέσα στο λέβητα όπου αναμιγνύονται τα καυσαέρια της γκαζοτουρμπίνας και το νερό που στέλνει η αντλία μέσω δικτύου σωληνώσεων. Ο ατμός που παράγεται διοχετεύεται μέσω δικτύου σωληνώσεων στις μονάδες του διυλιστηρίου που είναι απαραίτητος για την λειτουργία τους.

Στο σχέδιο της επόμενης σελίδας φαίνεται μια γενική εικόνα ολόκληρης της μονάδας όπου φαίνεται και η αντλία J5622.



EIKONA 5.1 Ηαντλία WORTHINGTON2WWFB-811

## 5.2 J5622 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΝΤΛΙΑΣ

Η συγκεκριμένη αντλία, όπως όλες οι αντλίες, συνοδεύεται από ένα εγχειρίδιο(manual) από τον κατασκευαστή το οποίο περιέχει όλα τα στοιχεία της αντλίας, τον τρόπο εγκατάστασης της, χαρακτηριστικά λειτουργίας της, τα μέρη από τα οποία αποτελείται, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά αυτών και πολλά άλλα στοιχεία.

Η αντλία J5622 είναι μια πολυβάθμια, συγκεκριμένα εντεκαβάθμια αντλία, τα εξής χαρακτηριστικά:

ΤΥΠΟΣ ΑΝΤΛΙΑΣ : 2WWFB-811

SERIAL No (αριθμός) : W313427/28/29/30

ΑΝΤΛΟΥΜΕΝΟ ΥΓΡΟ : ΠΡΟΘΕΡΜΑΣΜΕΝΟ ΝΕΡΟ

ΜΕΓΙΣΤΗ ΠΑΡΟΧΗ : 37 m<sup>3</sup>/h

ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΠΑΡΟΧΗ : 11,25 m<sup>3</sup>/h

ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΗΣ : 2950 rpm

ΑΡΙΘΜΟΣ ΒΑΘΜΙΔΩΝ : 11

ΜΕΓΙΣΤΟ ΜΑΝΟΜΕΤΡΙΚΟ ΥΨΟΣ : 555m

Την περιστροφική κίνηση την δίνει στην αντλία ένας ηλεκτροκινητήρας.

CLIENT: <b>H.A.R.</b> SITE: <b>ASPROMYRGOS</b> CONTRACT: <b>SC407/AF-14-020</b>	REQUISITION NO: <b>0006-1382/B</b>	DATE: <b>21-2-86</b>
MATERIAL: <b>CENTRIFUGAL PUMP</b>	SUPERSEDED BY CHANGE NO:	
SERVICE: <b>HP BOILER FEED WATER PUMP</b>	1   <b>30.4.88</b>   3	5
ITEM: <b>J-5612/S</b> No REQ: <b>TWO EACH</b> UNIT: <b>SGS 5010/5620</b>	2	4   6
VEHICOR: _____ P.O. No: _____		
PUMP MFR: <b>WORTHINGTON</b> SIZE & MODEL: <b>2WWB-F 811</b> STAGES: <b>11</b> SERIAL NO.:		
<b>OPERATING CONDITIONS, EACH PUMP:</b>		
LIQUID: <b>water</b> m <sup>3</sup> /h at P.T. MIN: _____ NORM: <b>33.8</b> RTD: <b>37</b>	DISCH PRESS. kg/cm <sup>2</sup> : _____ RTD: <b>58.63</b>	
P.T. °C: <b>148</b> MAX: <b>152</b> SUCT PRESS. kg/cm <sup>2</sup> (MAX): _____ RTD: <b>7.12</b>	SP GR at P.T.: <b>919</b> kg/m <sup>3</sup> DIFF. PRESS. kg/cm <sup>2</sup> : _____	
VAP PRESS at P.T. kg/cm <sup>2</sup> abs: _____ TOTAL DIFF. HEAD. m: <b>555</b>	VIS at P.T.: _____ NPSH AVAIL. m: <b>1.0</b>	
CORR./EROS. caused by: _____ HYD LW: <b>51.4</b>	CORR./EROS. caused by: _____	
LOCATION: <input type="checkbox"/> INDOOR <input checked="" type="checkbox"/> OUTDOOR <input type="checkbox"/> UNDER ROOF		
<b>CONSTRUCTION</b>		
NOZZLES: _____ SIZE: _____ ANSI RATING: _____ FACING: _____ LOCATION: _____		
SUCTION: _____ SIZE: <b>3"</b> ANSI RATING: <b>600#</b> FACING: <b>RF</b> LOCATION: <b>TOP</b>		
DISCHARGE: _____ SIZE: <b>2"</b> ANSI RATING: <b>600#</b> FACING: <b>RF</b> LOCATION: <b>TOP</b>		
CASE MOUNT: <input checked="" type="checkbox"/> CENTERLINE <input type="checkbox"/> FOOT <input type="checkbox"/> BRACKET <input type="checkbox"/> IN-LINE <input type="checkbox"/> VERTICAL	-SPLIT: <input type="checkbox"/> AXIAL <input checked="" type="checkbox"/> RADIAL	
-VOLUTE: <input type="checkbox"/> SINGLE <input type="checkbox"/> DOUBLE <input checked="" type="checkbox"/> DIFFUSER	-AUX. CONNECTS: <input type="checkbox"/> VENTS <input checked="" type="checkbox"/> DRAINS <input checked="" type="checkbox"/> GAGES <input checked="" type="checkbox"/> drains gages	
IMPELLER: DIA. RATED: <b>195</b> MAX: <b>204</b> MIN: <b>180</b> SUCT SPEC. SPEED: <b>7470</b>	TYPE: <input type="checkbox"/> CLOSED <input type="checkbox"/> OPEN <input checked="" type="checkbox"/> SINGLE SUCTION <input type="checkbox"/> DOUBLE SUCTION	
MOUNTING: <input checked="" type="checkbox"/> BETWEEN BEARINGS <input type="checkbox"/> OVERHUNG <input type="checkbox"/>	WEAR RINGS: <input checked="" type="checkbox"/> INLET <input type="checkbox"/> BACK <input type="checkbox"/> BOTH SIDE <input type="checkbox"/> CASE ONLY <input checked="" type="checkbox"/> CASE & IMPELL.	
BEARINGS: TYPE: <b>radial</b> BALL THRUST: <b>ball</b>	-LUBE: <input type="checkbox"/> RING <input checked="" type="checkbox"/> FLOOD <input type="checkbox"/> FLINGER <input type="checkbox"/> MIST <input type="checkbox"/> PRESSURE <input type="checkbox"/> GREASE	
COUPLING: MFR: <b>Melastream</b> MODEL: <b>TskS</b> GUARD TYPE: <b>non-sparking</b>	-DRIVER 1/2 MTD BY: _____ MACHINED BY: _____	
<input type="checkbox"/> PACKING: MFR & TYPE _____ SIZE _____ NO. RINGS _____	<input checked="" type="checkbox"/> MECH. SEAL: MFR & MODEL: <b>Flexibox</b> API CODE: <b>BSTGM</b>	
-MFR CODE _____ SEALING PRESSURE _____ kg/cm <sup>2</sup>		
<b>AUXILIARY PIPING:</b>		
C.W. PIPE PLAN: <b>J</b> <input checked="" type="checkbox"/> CS <input type="checkbox"/> S.S. <input type="checkbox"/> COPPER <input type="checkbox"/> TUBING <input checked="" type="checkbox"/> PIPE	INCLUDING: <input checked="" type="checkbox"/> FLOW INDICATORS <input checked="" type="checkbox"/> INLET VALVE <input checked="" type="checkbox"/> DISCH. VALVE <input checked="" type="checkbox"/> cooler	
-PIPE & FITTING SIZE: <b>1/2"</b> TOTAL C.W. REQ'D: _____ m/h	-TYPE: _____ DES. TEMP: _____ °C DES. PRESS: <b>8</b> kg/cm <sup>2</sup>	
IN _____ kg/cm <sup>2</sup> OUT _____ kg/cm <sup>2</sup> IN _____ °C OUT _____ °C (MAX)	PACKING INJECTION: FLUID _____ IN _____ °C REQ'D m/h _____ kg/cm <sup>2</sup>	
SEAL FLUSHING PLAN: <b>23</b> <input checked="" type="checkbox"/> CS <input type="checkbox"/> S.S. <input type="checkbox"/> TUBING <input checked="" type="checkbox"/> PIPE	EXT. FLUSHING FLUID _____ IN _____ °C REQ'D m/h _____ kg/cm <sup>2</sup>	
AUX. SEAL PLAN: <b>61</b> <input checked="" type="checkbox"/> CS <input type="checkbox"/> S.S. <input type="checkbox"/> TUBING <input checked="" type="checkbox"/> PIPE	QUENCH FLUID _____	
STEAM JACKETS: <input type="checkbox"/> SUCTION <input type="checkbox"/> STUFFING BOX <input type="checkbox"/> COMPLETE PUMP	STEAM CONDITIONS: _____ °C _____ kg/cm <sup>2</sup>	
<b>MOTOR DRIVERS BY: VENDOR</b>		
ITEM NO: <b>J-5612/S</b> MTD. BY: <b>11</b>	ITEM NO: <b>J-5612/S</b> MTD. BY: _____	
kw _____ rpm _____ SHAPE _____	kw _____ rpm _____ MATL _____	
MFR _____ ENCL _____	MFR and TYPE _____ INLET STEAM kg/cm <sup>2</sup> _____ TEMP °C _____	
VOLT/PHASES/Hz _____	EXHAUST kg/cm <sup>2</sup> _____	
BEARINGS: <b>BALL</b> LUBE: <b>GREASE</b>	STEAM RATE _____ kg/hw hr _____	
VERT. UNITS: <input type="checkbox"/> VSB <input type="checkbox"/> VMS	BEARINGS _____	
THRUST kg _____ UP _____ DOWN _____	LUBE _____ CW REQ'D m/h _____	
<b>TURBINE DRIVERS BY:</b>		
APPLICABLE DOCUMENTS: API STD 610 LATEST EDITION. GENERAL NOTES REQ'D: <b>AF SPECS 1311/1 REV 1, 1830/1 REV 1, 1922 REV 1</b>		
<b>SAME MR DATA ARE VALID AS FOR J-5611</b>		
Automatic recirculation valves Yarway to be supplied by pump vendor. ISSUED BY: FOROPOLLOS		

### EIKONA 5.2

Στο παραπάνω πίνακα από το εγχειρίδιο της αντλίας φαίνονται συνοπτικά όλα τα στοιχεία της. Αναφέρεται ο κατασκευαστής, το μοντέλο της αντλίας και όλα τα στοιχεία της, από την αντλητική της ικανότητα, τα υλικά κατασκευής, τα γεωμετρικά στοιχεία της, τις σωληνώσεις μέχρι και τον τύπο ρουλεμάν που φέρει η αντλία.

### 5.2.1 ΜΕΡΗ ΤΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ J5622

Επειδή στην εργασία αυτή είναι δύσκολο να αναφερθούμε αναλυτικά σε όλα όσα αναφέρει το εγχειρίδιο θα αναλύσουμε τα βασικά μέρη της αντλίας με τη βοήθεια του.

- ΚΕΛΥΦΟΣ (ΣΩΜΑ ΤΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ)

Το σώμα της αντλίας είναι κυλινδρικό. Στην παρακάτω φωτογραφία διακρίνεται το σώμα της αντλίας.



Εικόνα 5.3.

Αριστερά, όπως φαίνεται στη φωτογραφία, πάνω στο σώμα της αντλίας είναι ο αγωγός αναρρόφησης και δεξιά ο αγωγός της κατάθλιψης. Επίσης διακρίνονται και οι δύο από τις τέσσερις βάσεις της αντλίας.

- ΑΞΟΝΑΣ (SHAFT)

Ο άξονας της αντλίας είναι ένα από τα βασικότερα μέρη της. Πάνω στο άξονα τοποθετούνται τα πτερύγια (impellers), οι διαχύτες (diffusers), τα δακτυλίδια (o-rings) και άλλα εξαρτήματα της αντλίας. Με την περιστροφή του άξονα αρχίζει και η λειτουργία της αντλίας. Στην επόμενη φωτογραφία φαίνεται ο άξονας της J5622, ο οποίος φέρει πάνω του τα πτερύγια.



*Εικόνα 5.4.*

- ΠΤΕΡΥΓΙΑ (IMPELLERS)



*Εικόνα 5.5*

Η αντλία φέρει 11 πτερύγια. Στη παραπάνω φωτογραφία είναι το δέκατο, όπως έχει αριθμηθεί, πτερύγιο της αντλίας. Και τα έντεκα πτερύγια είναι ίδια άλλα συνηθίζεται μετά την επισκευή να τοποθετούνται ξανά στην ίδια βαθμίδα που ήταν για λόγους καλής λειτουργίας. Το πτερύγιο τοποθετείται στον άξονα και για την σταθεροποίησή του χρησιμοποιούνται σφήνες, οι οποίες προσαρμόζονται σε αύλακα του άξονα και στην εγκοπή του πτερύγιου που φαίνεται στην φωτογραφία.

- ΔΑΚΤΥΛΙΟΙ (ORINGS)



*Εικόνα 5.6*

Οι δακτύλιοι χρησιμοποιούνται μεταξύ των πτερυγίων και των διαχυτών. Και αυτοί τοποθετούνται πάνω στον άξονα της αντλίας και σταθεροποιούνται με σφήνες.

- ΔΙΑΧΥΤΕΣ (DIFFUSERS)



*Εικόνα 5.7*

Οι διαχύτες τοποθετούνται στον άξονα της αντλίας και μέσα σε αυτούς τοποθετούνται τα πτερύγια και τα δακτυλίδια.

- ΕΔΡΑΝΑ ΑΝΤΛΙΑΣ

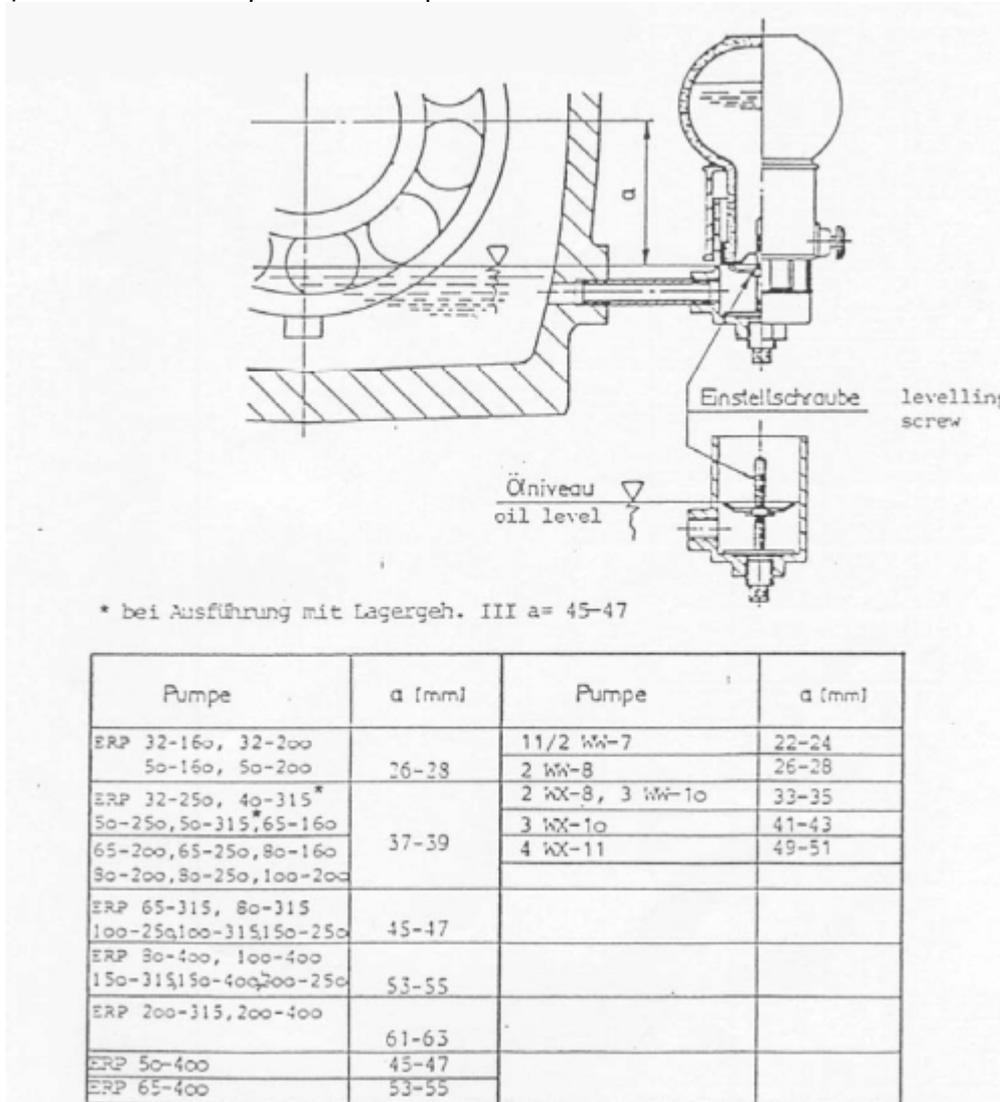
Η αντλία χρησιμοποιεί έδρανα κύλισης. Τοποθετούνται δυο έδρανα στην πλευρά της κατάθλιψης και ένα έδρανο στην πλευρά της αναρρόφησης. Στην εικόνα βλέπουμε το ρουλεμάν που είναι τοποθετημένο στην πλευρά της αναρρόφησης. Στην πλευρά της κατάθλιψης χρησιμοποιούνται δυο γωνιακής επαφής σφαιρικά ρουλεμάν.



*Εικόνα 5.8*

Τα έδρανα όπως προαναφέραμε τοποθετούνται πάνω στο άξονα και πάνω τους εφαρμόζεται η ελαιολεκάνη η αλλιώς «φωλιά των ρουλεμάν». Τα ρουλεμάν λιπαίνονται με συγκεκριμένο, ανάλογα με τον τύπο τους λάδι.

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται το φύλλο από το εγχειρίδιο της αντλίας που αναφέρεται στην λίπανση, τον τύπο λαδιού και την ενδεικνυόμενη στάθμη του λαδιού. Στο σχήμα φαίνεται το εξωτερικό δοχείο λαδιού που βιδώνεται πάνω στην ελαιολεκάνη.



ΣΧΕΔΙΟ 5.1 Δεδομένα της λίπανσης στα έδρανα της αντλίας

## 5.2.2 ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ

Τα προηγούμενα εξαρτήματα ουσιαστικά μεταφέρουν το νερό από την αναρρόφηση στην κατάθλιψη. Θα παρουσιάσουμε στην συνέχεια κάποιες εικόνες που δείχνουν ακριβώς τον τρόπο συνεργασίας τους και θα δείξουμε πως μεταφέρεται το νερό από την αναρρόφηση στην κατάθλιψη.



Εικόνα 5.9

Στη προηγούμενη φωτογραφία φαίνεται το περίβλημα της αναρρόφησης. Αυτό τοποθετείται πρώτο κατά την συναρμολόγηση του άξονα. Στις παρακάτω φωτογραφίες φαίνεται με βήμα βήμα η θέση και η τοποθέτηση των εξαρτημάτων.



*ΕΙΚΟΝΑ 5.10*

Στην εικόνα 3.10 τοποθετούμε το περίβλημα της αναρρόφησης σε ειδική βάση.



*ΕΙΚΟΝΑ 5.11*

Στη συνέχεια εφαρμόζουμε τον άξονα της αντλίας (εικόνα 5.11).



*EIKONA 5.12*

Στην εικόνα 5.12 έχει τοποθετηθεί το πρώτο πτερύγιο, το δακτυλίδι και η σφήνα.



*EIKONA 5.13*

Στην εικόνα 5.13, έχει τοποθετηθεί ο πρώτος διαχύτης και μέσα του εφαρμόζεται το επόμενο πτερύγιο.



*ΕΙΚΟΝΑ 5.14*

Στην εικόνα 5.14 η διαδικασία συνεχίζεται κατά τον ίδιο τρόπο.



*ΕΙΚΟΝΑ 5.15.*

Στην εικόνα 5.15 φαίνεται ολοκληρωμένο το εσωτερικό της αντλίας. Ο άξονας που φέρει τα πτερύγια, τους διαχύτες και τις σφηνές.



*ΕΙΚΟΝΑ 5.16.*

Στην εικόνα 5.16 ο άξονας φαίνεται τοποθετημένος στο σώμα της αντλίας (κέλυφος)



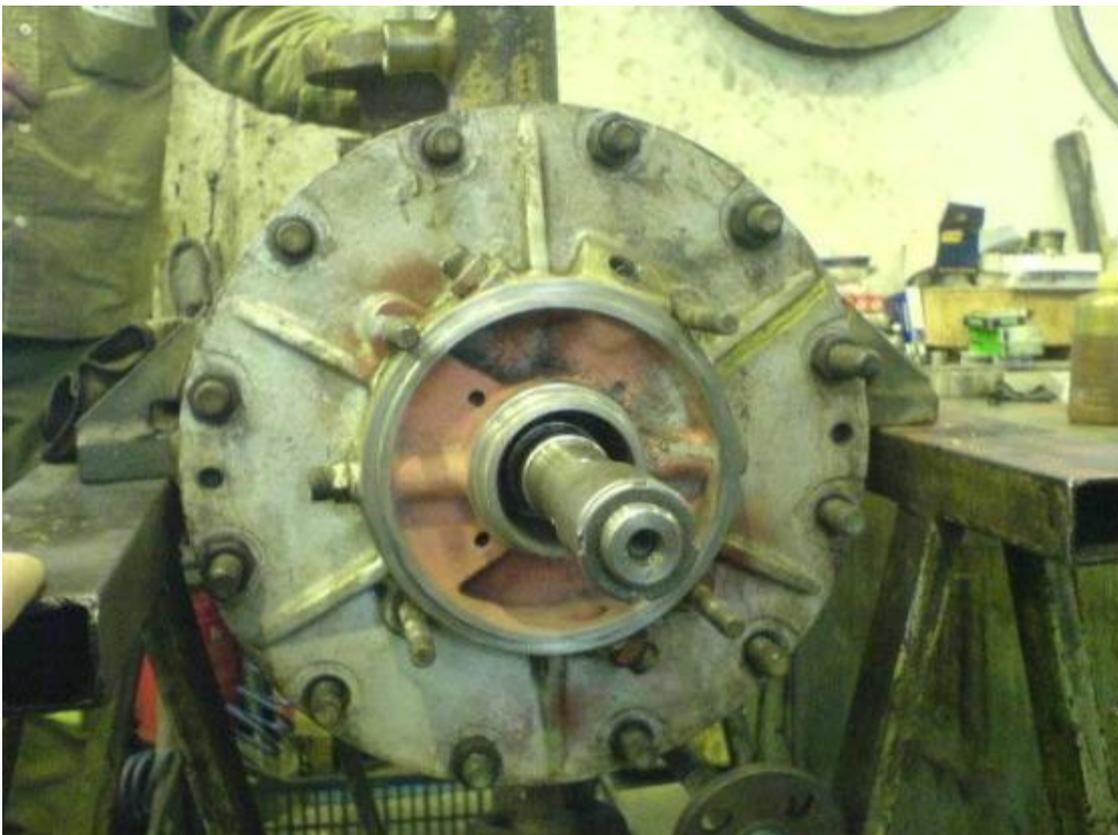
*ΕΙΚΟΝΑ 5.17*

Στην εικόνα 5.17 βλέπουμε την εφαρμογή το άξονα στην πλευρά της κατάθλιψης και το περίβλημα της κατάθλιψης.



*ΕΙΚΟΝΑ 5.18*

Στην εικόνα 5.18 βλέπουμε το καπάκι της κατάθλιψης.



*ΕΙΚΟΝΑ 5.19*

Στην εικόνα 5.19 βλέπουμε το καπάκι της κατάθλιψης, τον ελεύθερο χώρο μεταξύ του άξονα και καπακιού όπου θα τοποθετηθεί η μηχανική σαλαμάστρα και το τμήμα του άξονα που τοποθετούνται τα ρουλεμάν.



*ΕΙΚΟΝΑ 5.20*

Στην εικόνα 5.20η ελαιολεκάνη έχει τοποθετηθεί στην πλευρά της αναρρόφησης. Εντός της ελαιολεκάνης βρίσκονται τα ρουλεμάν όπου εδράζεται ο άξονας, κομμάτι του οποίου προεξέχει για τοποθετηθεί ο σύνδεσμος που θα συνδέει την αντλία με τον ηλεκτροκινητήρα.



*ΕΙΚΟΝΑ 5.21*

Στην εικόνα 5.21 φαίνονται τα δυο ρουλεμάν τοποθετημένα και το περικόχλιο που βιδώνει πάνω στον άξονα και κρατεί σταθερά τα ρουλεμάν.



*ΕΙΚΟΝΑ 5.22.*

Στην εικόνα 5.22 φαίνεται η ελαιολεκάνη η οποία βρίσκεται στην μεριά της κατάθλιψης.

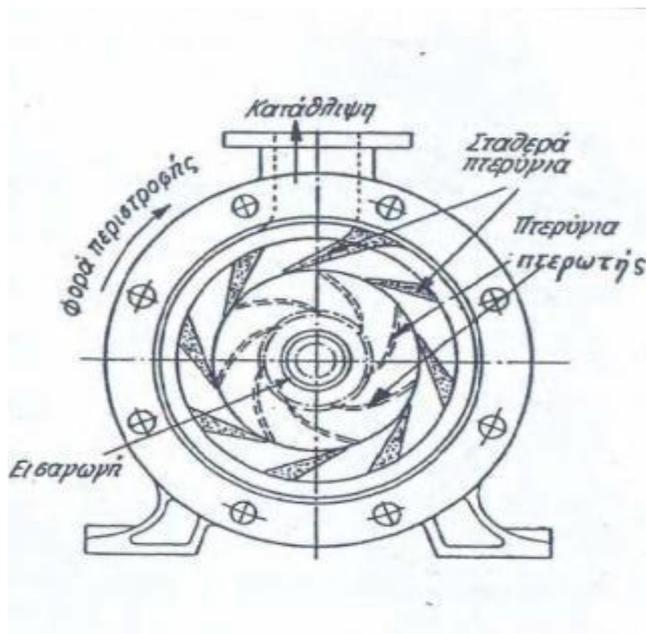


*ΕΙΚΟΝΑ 5.23*

Στην εικόνα 5.23 βλέπουμε την ελαιολεκάνη στην μεριά της αναρρόφησης και αριστερά τον σύνδεσμο(κόμπλερ) μέσω του οποίου ο άξονας της αντλίας συνδέεται με τον άξονα του ηλεκτροκινητήρα, μέσω του οποίου κινείται περιστροφικά η αντλία.

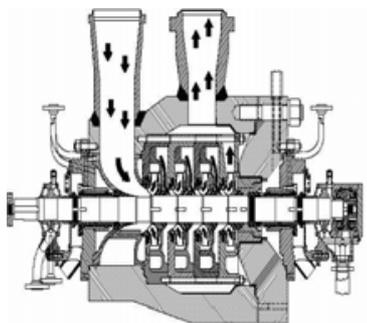
### 5.2.3 ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ J5622

Η αντλία J5622 όπως έχουμε αναφέρει είναι μια φυγόκεντρική πολυβάθμια αντλία. Το νερό που εισέρχεται από την αναρρόφηση, αναρροφάται από το πτερύγιο της πρώτης βαθμίδας. Στο πτερύγιο το οποίο περιστρέφεται, λόγω της φυγόκεντρου δύναμης το νερό που αναρροφά το ωθεί προς την περίμετρό του, η οποία είναι ανοικτή και έτσι το νερό βγαίνει εκτός του πτερυγίου.



Σχήμα 5.2

Τα πτερύγια τοποθετούνται μέσα στους διαχύτες. Οι διαχύτες ουσιαστικά χρησιμοποιούνται ως περίβλημα των πτερυγίων. Το νερό που καταθλίβει το πτερύγιο εγκλωβίζεται μέσα στον διαχύτη και οδηγείται στην αναρρόφηση του επόμενου πτερυγίου (σχήμα 5.2)



Σχήμα 5.3

Κατά την περιστροφή του άξονα το νερό κινείται από κάθε στάδιο στο επόμενο με τον τρόπο που αναφέρουμε παραπάνω. Έτσι το νερό οδηγείται σταδιακά από την αναρρόφηση στην κατάθλιψη. Στο τελευταίο στάδιο, ο τελευταίος διαχύτης, έχει ένα άνοιγμα το οποίο εφαρμόζεται στον αγωγό της κατάθλιψης). Για λεπτομερέστατη απεικόνιση παραθέτουμε το σχέδιο Γ της αντλίας σε τομή από το εγχειρίδιο της.



## 5.3 ΜΕΤΡΗΣΗ ΚΡΑΔΑΣΜΩΝ ΓΙΑ ΔΙΑΓΝΩΣΗ ΒΛΑΒΗΣ ΤΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ J5622

### 5.3.1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Το πιο σύνηθες πρόβλημα των αντλιών αυτού του τύπου είναι η φθορά των εδράνων, του άξονα, των πτερυγίων, της μηχανικής σαλαμάστρας και των δακτυλιδιών των πτερυγίων.

Η φθορά αυτών των στοιχείων της αντλίας μπορεί να διαγνωστεί με την μέτρηση των κραδασμών της αντλίας. Η αντλία έχει ορισμένα σταθερά μεγέθη κραδασμών, διακένων και άλλων αριθμητικών στοιχείων που αναφέρονται στο εγχειρίδιό της. Κάθε απόκλιση από τις τιμές που αναφέρονται στο εγχειρίδιο, σημαίνει ότι η αντλία δεν λειτουργεί σωστά και πρέπει να διορθωθούν οι τυχόν αποκλίσεις.

### 5.3.2 ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΑ ΜΕΓΕΘΗ

Οι κραδασμοί στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων Μέτρησης, μετριούνται σε μήκος ανά χρόνο, δηλαδή σε mm/sec. Επίσης υπάρχει το μέγεθος CPM, το οποίο είναι η συχνότητα των κραδασμών που μετρείται σε κύκλους(στροφές) ανά λεπτό.

### 5.3.3 ΟΡΓΑΝΟ ΜΕΤΡΗΣΗΣ



*Εικόνα 3.24. Για την μέτρηση των κραδασμών της αντλίας χρησιμοποιούμε τον φορητό μετρητή ENPAC 2500 της εταιρίας ALLEN-BRADLEY*

Ο μετρητής που χρησιμοποιούμε είναι ένας φορητός συλλέκτης στοιχείων, για τη συλλογή και ανάλυση δεδομένων, για τον έλεγχο των κραδασμών σε περιστρεφόμενες μηχανές. Ο φορητός συλλέκτης στοιχείων ENPAC 2500 έχει τα εξής χαρακτηριστικά :

A) υψηλή ακρίβεια μετρήσεων

- B) ελαφριά κατασκευή
- Γ) ταχύτητα λήψης μετρήσεων
- Δ) μεγάλη μνήμη αποθήκευσης μετρήσεων.

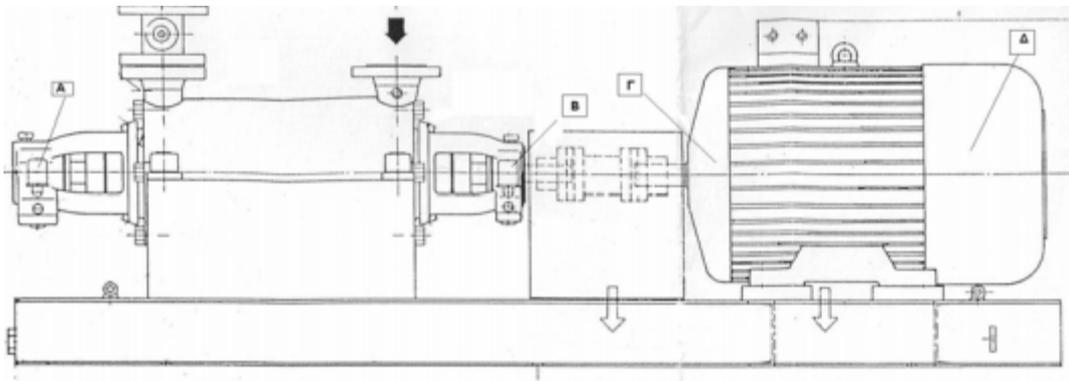
### 5.3.4 ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Υπάρχουν έξι βασικά βήματα για την πραγματοποίηση της μέτρησης:

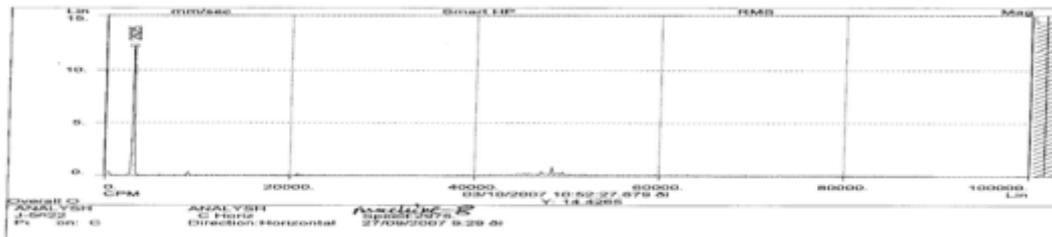
- Δημιουργία λίστας των μηχανών που πρόκειται να ελεγχθούν
- Καθορισμός τιμών κραδασμών κάθε μηχανής
- Καθορισμός των σημείων μέτρησης
- Καθορισμός του χρονικού διαστήματος μέτρησης
- Εκκίνηση ενός απλού καταγραφικού συστήματος
- Αλλαγή και καθορισμός των παραμέτρων

Αυτά τα βήματα είναι απλά. Το αντικείμενο μας είναι να βρούμε και να καταγράψουμε τις πιθανές βλάβες στο αρχικό τους στάδιο πριν η μηχανή καταστραφεί εντελώς.

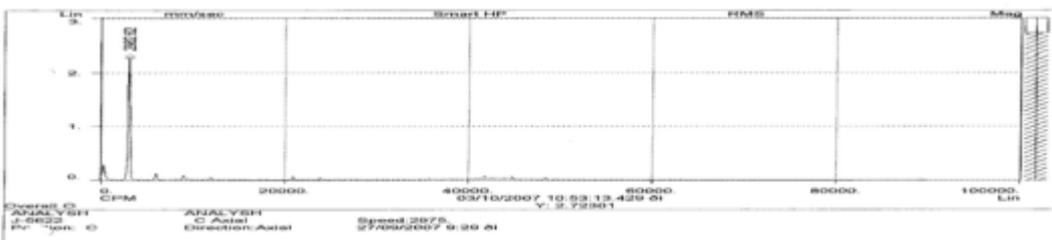
Για κάθε αντλία υπάρχουν ορισμένα σημεία από τα οποία λαμβάνουμε τις μετρήσεις. Στην αντλία που μελετάμε τα σημεία μέτρησης είναι 4, τα οποία φαίνονται στο παρακάτω σκαρίφημα.



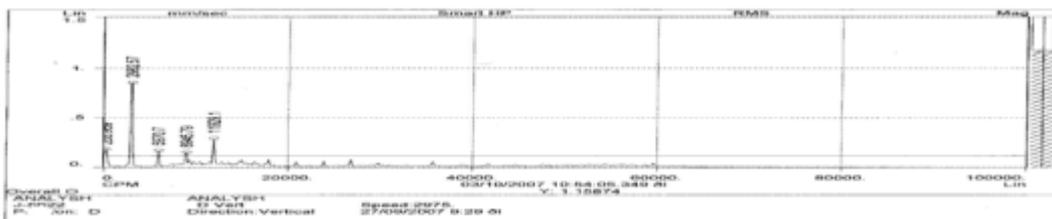
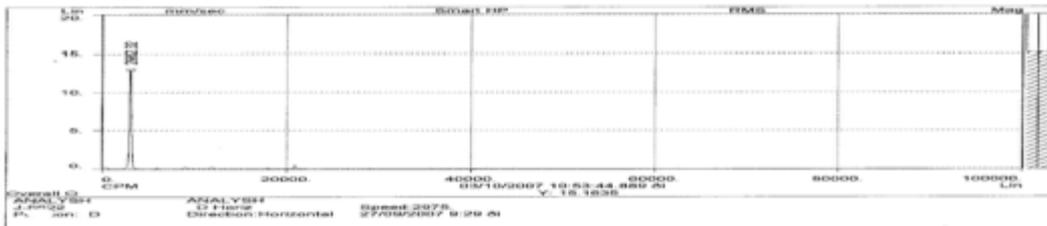
Στο σχέδιο βλέπουμε τα σημεία Α, Β, Γ, Δ. Τα σημεία Α και Β βρίσκονται στην αντλία ενώ τα σημεία Γ και Δ βρίσκονται στον ηλεκτροκινητήρα. Τα σημεία που παίρνουμε τις μετρήσεις είναι τα σημεία όπου βρίσκονται τα ρουλεμάν. Σε καθένα από τα παραπάνω σημεία μετράμε τους κραδασμούς αξονικά, οριζόντια και κάθετα.



Οριζόντια μέτρηση κραδασμών



Αξονική μέτρηση κραδασμών



Οριζόντια μέτρηση κραδασμών

#### 5.4 ΑΙΤΙΕΣ ΥΨΗΛΩΝ ΚΡΑΔΑΣΜΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥΣ

Οι κραδασμοί μπορούν να προκληθούν από διάφορες αιτίες. Η καταγραφή όλων των πιθανών αιτιών των κραδασμών είναι σχεδόν αδύνατη, γιατί είναι πάρα πολλές. Θα αναφέρουμε όμως τις κυριότερες αιτίες οι οποίες μπορεί να είναι :

- Αζυγοσταθμία των στρεφόμενων εξαρτημάτων
- Φθορά των εδράνων
- Κακή συντήρηση της αντλίας
- Ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις
- Λανθασμένη τοποθέτηση αντλίας ή ηλεκτροκινητήρα.
- Φθορά των εξαρτημάτων της αντλίας (άξονας, δακτυλίδια πτερυγίων)

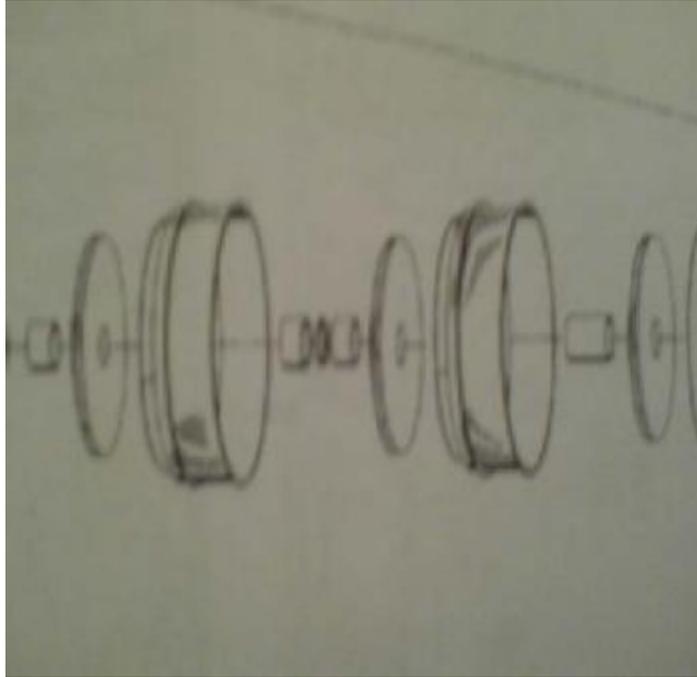
Στην περίπτωση της αντλίας που μελετούμε διαπιστώθηκε φθορά των εδράνων, του άξονα και των δακτυλιδιών των πτερυγίων.

Τα έδρανα(ρουλεμάν) της αντλίας ήταν κατεστραμμένα ενώ ο άξονας και τα δακτυλίδια της αντλίας είχαν υποστεί μεγάλη φθορά.

Η αποκατάσταση αυτών βλαβών γίνεται μόνο με την αποσυναρμολόγηση της αντλίας. Τα έδρανα αντικαθίστανται από καινούργια, όπως και τα δακτυλίδια των πτερυγίων. Ο άξονας στις περισσότερες περιπτώσεις επισκευάζεται αλλά υπάρχουν και περιπτώσεις που απαιτείται η αλλαγή του. Στη συγκεκριμένη περίπτωση ο άξονας πάρα την μεγάλη φθορά που είχε υποστεί επισκευάστηκε.

#### **5.4.1 ΜΕΤΡΗΣΗ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΔΙΑΚΕΝΩΝ**

Όπως αναφέραμε στην αρχή του κεφαλαίου η λειτουργία της αντλίας βασίζεται στην μεταφορά του νερού από τα στάδια της μέσω των πτερυγίων. Για κάθε πτερύγιο(impeller) αντιστοιχεί ένας διαχύτης(diffuser). Τα πτερύγια εφαρμόζουν στο κέντρο των διαχυτών. Ένα σχέδιο της συναρμογής του πτερυγίου με τον διαχύτη φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 5.4



*Σχήμα 5.4 Σχέδιο συναρμογής πτερυγίων με διαχύτες.*

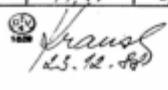
Το πτερύγιο και ο διαχύτης πρέπει κατά την συναρμογή τους να έχουν ένα διάκενο σταθερό που ορίζει ο κατασκευαστής. Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα, η αντλία δοκιμάζεται σε πραγματικές συνθήκες για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Μετά την δοκιμή αποσυναρμολογείται και γίνονται μετρήσεις στις αποστάσεις και στα διάκενα που πρέπει να έχει. Τα διάκενα είναι ουσιαστικά η χάρη που υπάρχει μεταξύ του πτερυγίου και του διαχύτη κατά τη συναρμογή τους.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ο πίνακας των εργοστασιακών τιμών των διακένων μεταξύ πτερυγίου και διαχύτη.



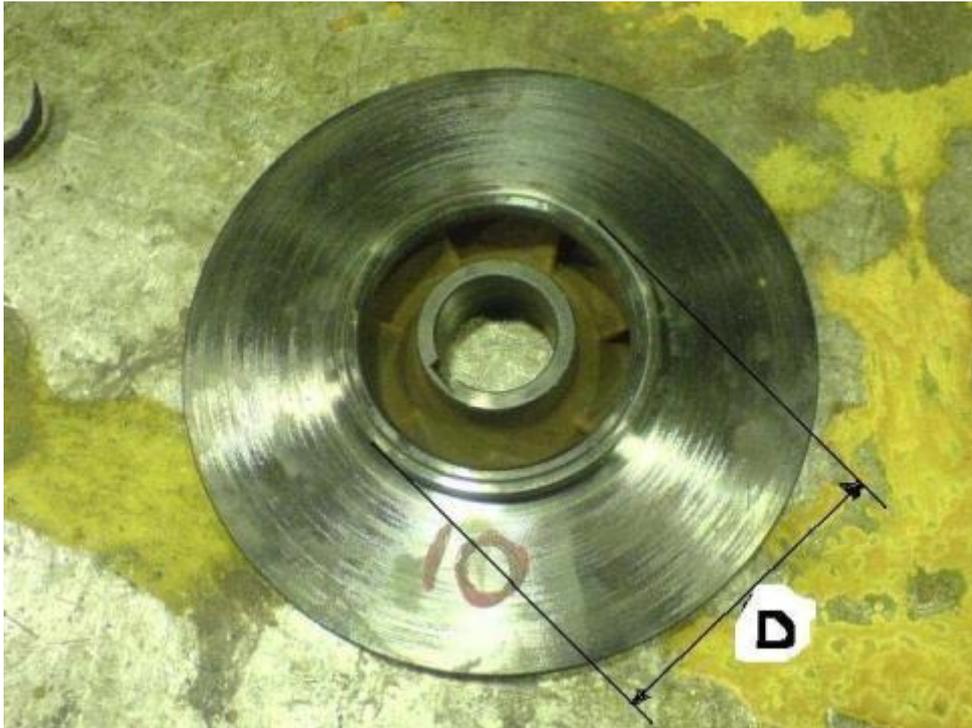
WORTHINGTON Gesellschaft m.B.H.  
Austria - A-2345 Brunn/Geb. - Industriestraße 8 Nr. 8 - Tel. (02236) 88630 - Telex 78284

11

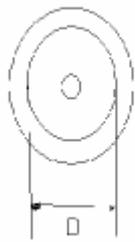
STRIP DOWN CERTIFICATE				SD 2			
STRIP DOWN-ZERTIFIKAT							
Type of Pump: Pumpentype:	2 WWFB - 811			Cust. Ord. No.:	25910/076		
Serial No.:	W 313.428			Item No.:	J 5622		
No. of pcs.:	1			Worth. Ref. No.:	G 88099		
Stückzahl:				Worth. Ref. Nr.:			
<p>After performance test, pumps have been dismantled and no traces of wear or damage have been detected. We certify herewith that listed clearances are complying with API 610 requirements.</p> <p>Die Pumpen wurden nach dem Probelauf zerlegt und konnten keine Spuren von Abnutzung oder Beschädigungen festgestellt werden. Wir bestätigen hiermit, daß die nachstehend angegebenen Durchmesser-spiele den Forderungen gemäß API 610 entsprechen.</p>							
Item/Pos.	stage Stufe	Front Wear Ring/Spaltring (Saug.)			Back Wear Ring/Spaltring (Drucks.)		
		Casing Gehäuse	Impeller Laufrad	Dis. Clear. d-Spiel	Casing Gehäuse	Impeller Laufrad	Dis. Clear. d-Spiel
J 5622	1	100,46	99,95	0,51			
--	2	100,45	99,96	0,49			
--	3	100,45	99,96	0,49			
--	4	100,48	99,96	0,52			
--	5	100,47	99,95	0,52			
--	6	100,47	99,97	0,50			
--	7	100,47	99,95	0,52			
--	8	100,48	99,95	0,53			
--	9	100,46	99,96	0,50			
--	10	100,45	99,96	0,49			
--	11	100,47	99,97	0,50			
Comments: Anmerkungen:				 WORTHINGTON G.M.B.H. AUSTRIA Quality Department Signature/Unterschrift Qual. Assur. Dep./Qualitätssicherung Date/Datum: 28/12/23			

Στον παρακάτω πίνακα βλέπουμε τις τιμές που μετρήθηκαν κατά την αποσυναρμολόγηση της αντλίας για την επισκευή της.

ΣΤΑΔΙΟ	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΔΙΑΧΥΤΗ(mm)	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΠΤΕΡΥΓΙΟΥ(mm)	ΔΙΑΚΕΝΟ(mm)
1	100,60	99,95	0,65
2	100,56	99,96	0,60
3	100,59	99,95	0,64
4	100,58	99,95	0,63
5	100,60	99,90	0,70
6	100,59	99,98	0,61
7	100,55	99,95	0,60
8	100,58	99,96	0,62
9	100,60	99,92	0,68
10	100,59	99,93	0,66
11	100,58	99,93	0,65



ΕΙΚΟΝΑ 5.29. η διάμετρος του πτερυγίου την οποία μετράμε.



Στο παραπάνω σκαρίφημα φαίνεται η διάμετρος του διαχύτη σε πρόσοψη που μετράμε. Σε αυτή τη διάμετρο εφαρμόζεται το πτερύγιο.

Όπως παρατηρούμε οι τιμές των διακένων που μετρήσαμε έχουν μεγάλη απόκλιση από τις τιμές του κατασκευαστή. Το πτερύγιο, στη διάμετρο του που εφαρμόζει στον διαχύτη, έχει μια σταθερή διάμετρο μικρότερη από αυτή που πρέπει να έχει ώστε η συναρμογή τους να είναι η ενδεδειγμένη. Για να επιτευχθεί η συναρμογή τους, τοποθετείται στη διάμετρο του πτερυγίου ένα δακτυλίδι, από μαλακό υλικό, με τέτοιο πάχος ώστε να έχουμε την εξωτερική διάμετρο που επιθυμούμε. Αυτά τα δακτυλίδια είναι που έχουν υποστεί φθορά τα οποία αντικαθιστούμε. Στην επόμενη εικόνα βλέπουμε ένα πτερύγιο, στο οποίο φαίνεται καθαρά το δακτυλίδι το οποίο είναι καινούργιο.



*Εικόνα 3.26.*

## 5.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

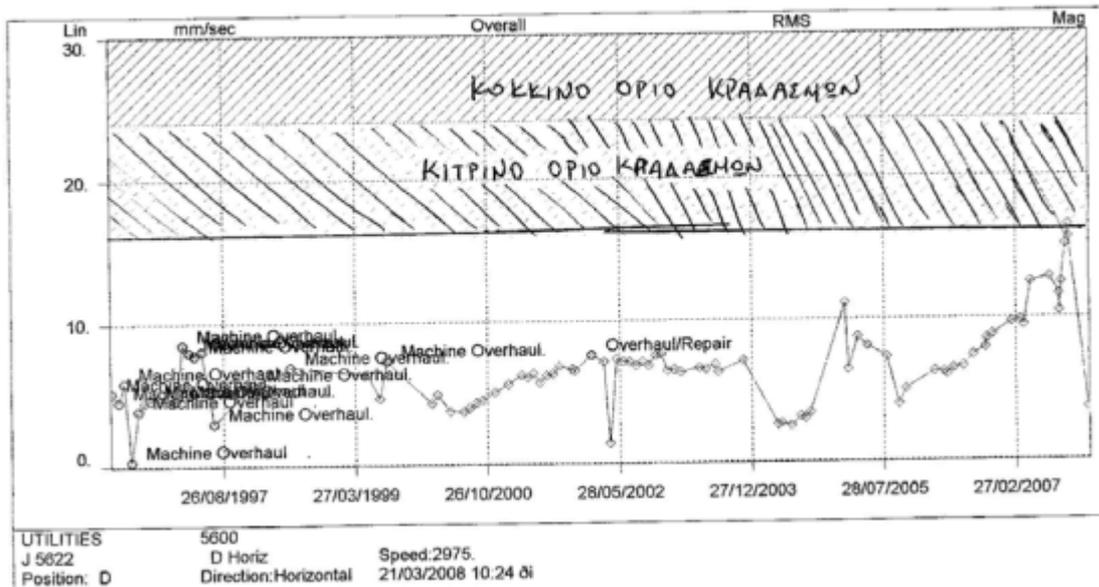
Κατά την διάρκεια της μελέτης της λειτουργίας της αντλίας, οι μετρήσεις έγιναν σε δύο στάδια. Το πρώτο στάδιο ήταν οι μετρήσεις των κραδασμών της αντλίας. Από την στιγμή που παρατηρούνται υψηλοί κραδασμοί,θα υπάρχει και μεγάλη διαφορά στα διάκενα της αντλίας.

Όπως αναφέραμε οι υψηλοί κραδασμοί οφείλονται σε πολλούς παράγοντες. Για την συγκεκριμένη αντλία ο βασικότερος λόγος των κραδασμών ήταν η μεγάλη φθορά των εδράνων. Η φθορά των εδράνων επήλθε από την μεγάλη διάρκεια χρήσης τους. Ένα άλλο σημαντικό στοιχείο που έχει μεγάλη σημασία για την καλή λειτουργία της αντλίας είναι η σωστή επισκευή της αντλίας όταν αυτή γίνεται. Η συναρομολόγηση της αντλίας είναι μια «λεπτή» διαδικασία. Από την πρώτη κιόλας επισκευή της αντλίας και έπειτα, η συμπεριφορά της και η διάρκεια ζωής της μεταβάλλονται.

Η αντλία J5622 ελέγχεται προγραμματισμένα από το τμήμα προληπτικής συντήρησης κατά τακτά χρονικά διαστήματα.Με την πάροδο του χρόνου οι μετρούμενοι κραδασμοί αυξάνονται. Όταν οι κραδασμοί φτάσουν κοντά στα όρια που ορίζονται από την κατασκευάστρια εταιρία, η αντλία σταματά τη λειτουργία της και επισκευάζεται.

Στο δεύτερο στάδιο των μετρήσεων των διακένων γίνεται,ουσιαστικά, η επιβεβαίωση των δεδομένων που πήραμε κατά τη μέτρηση των κραδασμών. Από την στιγμή που υπάρχουν υψηλοί κραδασμοί αυτομάτως θα υπάρχει και φθορά των δακτυλιδιών των πτερυγίων.

Κλείνοντας την ενότητα αυτή και το κεφάλαιο των μετρήσεων, παρουσιάζουμε γραφικά την διαχρονική λειτουργία της αντλίας. Στον άξονα Χ είναι τοποθετημένες ημερομηνίες, δηλαδή ο χρόνος, και στο άξονα Ψ οι κραδασμοί. Παρατηρούμε ότι κατά την πάροδο του χρόνου οι κραδασμοί αυξάνονται. Τα σημεία που οι κραδασμοί επανέρχονται σε φυσιολογικά επίπεδα, είναι οι περίοδοι μετά την επισκευή της αντλίας. Βλέπουμε ότι οι κραδασμοί μειώνονται κατακόρυφα.



*Χρονοδιάγραμμα μετρήσεων κραδασμών*

α) Η μέτρηση κραδασμών είναι μία εύκολη μέθοδος διάγνωσης για το αν μία φυγοκεντρική αντλία χρειάζεται συντήρηση. Ιδιαίτερο πλεονέκτημά της είναι ότι η διάγνωση εκτελείται χωρίς να απαιτηθεί διακοπή λειτουργίας της αντλίας.

β) Στην αντλία που εξετάσθηκε, για την επισκευή απαιτήθηκε να διακοπεί η λειτουργία της αντλίας, να αποσυναρμολογηθεί η αντλία, να επισκευασθούν ή να αντικατασταθούν τα φθαρμένα εξαρτήματα και τέλος να επανασυναρμολογηθεί.

## 6 ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΤΡΟΠΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ MTBF

Για την εκτίμηση του διαθέσιμου χρόνου λειτουργίας, δηλαδή του χρόνου μεταξύ διαδοχικών επισκευών των αντλιών του Διυλιστήριου Ασπροπύργου τα οποία ανέρχονται στα 1433, χρησιμοποιείται το μέγεθος MTBF (Mean Time Between Failure), που αναφέρεται στο «μέσο χρόνο μεταξύ βλαβών» για όλο τον «πληθυσμό» του εν λόγω εξοπλισμού.

Ο δείκτης αυτός υπολογίζεται μέσω του παρακάτω τύπου :

$$MTBF = \frac{\text{Πλήθος Μηχανημάτων (συμπεριλαμβανομένων των εφεδρικών) πολλαπλασιαζόμενο επί 12 (δωδεκάμηνη περίοδος)}}{\text{Αριθμός Εργασιών Συντήρησης στο pl ήθος των μηχανημάτων για την προηγούμενη δωδεκάμηνη περίοδο}}$$

ή

$$MTBF = \frac{N}{F} \cdot T$$

Όπου:

- N=Πλήθος ομάδας εξοπλισμού υπό παρακολούθηση
- F=Συνολικός αριθμός Εργασιών Συντήρησης του συγκεκριμένου εξοπλισμού (όπως αυτές έχουν καθορισθεί ανωτέρω), αναγόμενη σε δωδεκάμηνη περίοδο (ομαλοποίηση).
- T = 12 (δωδεκάμηνη χρονική περίοδος)

Το MTBF εκφράζεται σε μήνες

Παραδείγματα Εργασιών Υπολογισμού/Αποκλεισμού για τον υπολογισμό του δείκτη MTBR:

ΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΟΝΤΑΙ	ΑΠΟΚΛΕΙΟΝΤΑΙ
Μηχανική ή άλλη αστοχία στυπιοθλίπτη (σαλαμάστρας)	Σφίξιμο Στυπιοθαλάμου
Αστοχία Ρουλεμάν-Κουζινέτου	Λίπανση
Αστοχία συνδέσμων (κόμπλερ)	Αστοχία κινητήρα
Αδυναμία άντλησης/συμπίεσης (μείωση απόδοσης)	Αστοχία Βοηθητικών συστημάτων
Φθαρμένα δακτυλίδια τριβής	Βούλωμα Φίλτρου ή “σίτας” αναρρόφησης
Διαβρωμένο στροφέιο	Μετρήσεις κραδασμών
Αστοχία άξονα	Διερεύνηση απόδοσης μηχανήματος
Κολλημένο μηχανήμα	Έλεγχος ευθυγράμμισης

*Πίνακας 1.1: Παραδείγματα Εργασιών/Επισκευών*

Σημείωση: Μερικές φορές κατά την διάρκεια σταματημάτων μονάδων (Shut Down), ή κατά το σταμάτημα ή ξεκίνημα της μονάδας μερικές εργασίες επισκευής εξοπλισμού δεν καταγράφονται στο σύστημα SAP ενώ εκτελούνται και καταχωρούνται σαν εργασίες σταματήματος (Shut Down). Για λόγους υπολογισμού του δείκτη MTBF οι επισκευές στα μηχανήματα που ικανοποιούν τα ανωτέρω κριτήρια και χρεώνονται σαν εργασίες σταματήματος (Shut Down), συμπεριλαμβάνονται στον υπολογισμό

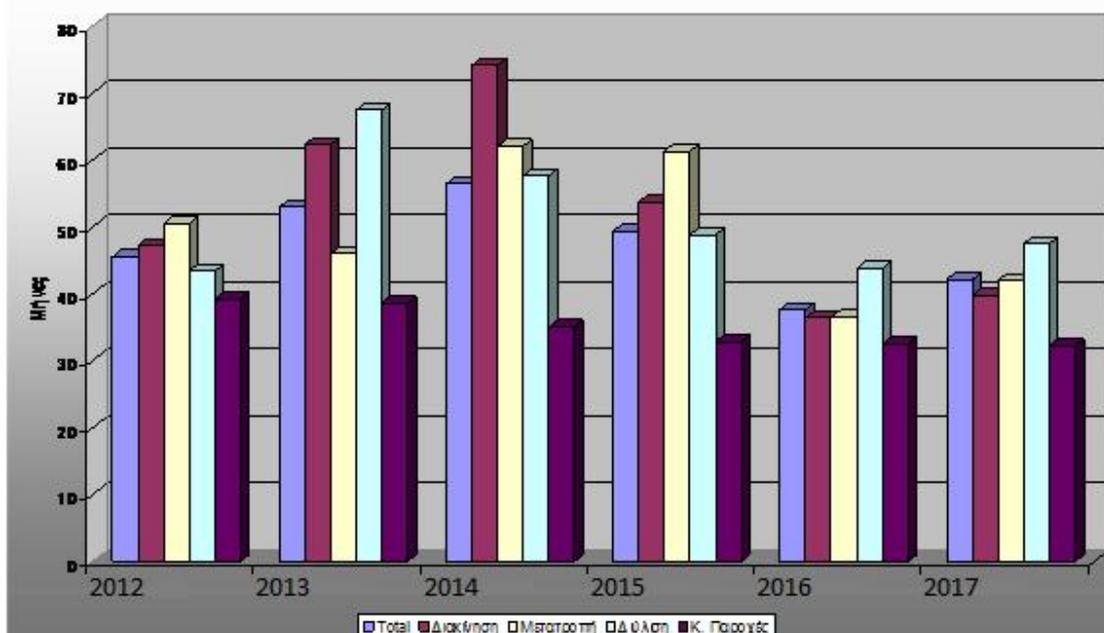
## 6.1 Αποτέλεσμα υπολογισμού MTBF-Συχνότητας Βλαβών

Στο σχήμα 6.1 παρουσιάζεται το συνολικό MTBF για όλες τις αντλίες από το 2012 μέχρι και το 2017. Το MTBF κυμαίνεται από 36 σε 74 μήνες περίπου, τιμή η οποία κρίνεται ικανοποιητική. Αύξηση παρουσιάζεται από το 2013 μέχρι το 2014 και επίσης από το 2016 μέχρι σήμερα. Παρατηρείται μία πτώση από το 2014 στο 2016. τα ίδια στοιχεία παρουσιάζονται και στον πίνακα 2.2 διαχρονικά και για κάθε λειτουργική περιοχή.

Στα σχήματα 6.2, 6.3 και 6.4 παρουσιάζονται οι αιτίες βλαβών, τα ευρήματα κατά την διάρκεια των επισκευών καθώς και ο τρόπος αντιμετώπισης των βλαβών αντίστοιχα όσον αφορά το τρέχων έτος.

Η συχνότητα βλαβών ανα εξοπλισμό και λειτουργική περιοχή για το έτος 2012 αποτυπώνεται στα σχήματα 6.4, 6.5, 6.6 και 6.7.

Από τα διαγράμματα συμπεραίνουμε ότι κάποιοι εξοπλισμοί μας απασχολούν περισσότερο (κανόνας που υπαγορεύει ότι το 20% του εξοπλισμού ευθύνεται για το 80% των βλαβών). Για παράδειγμα η J-2012 ST μας έχει απασχολήσει για αρκετές φορές φέτος.



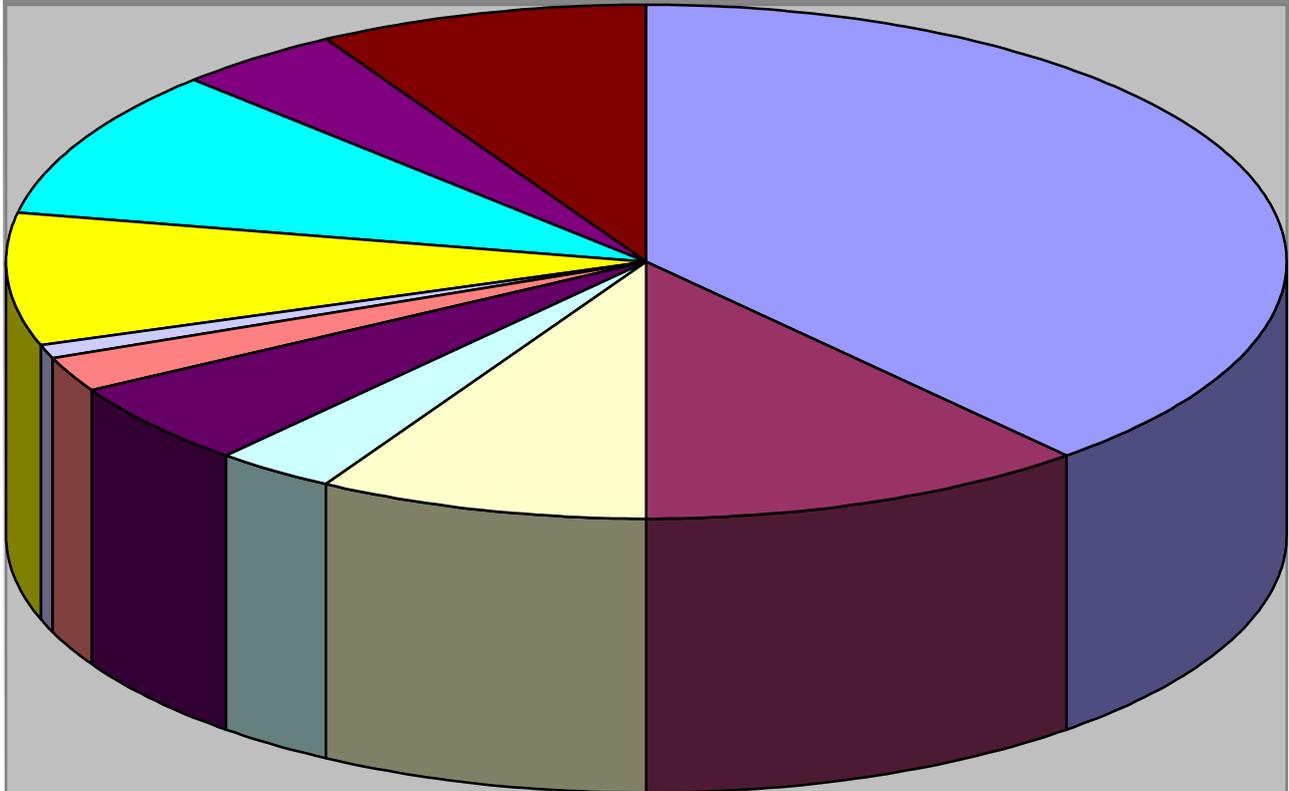
Σχήμα 2.1 MTBF Συνολικό για κάθε έτος ανά λειτουργική περιοχή.

MTBF(TOTAL)	$1433 \cdot 12 / 378$	$1433 \cdot 12 / 325$	$1433 \cdot 12 / 305$	$1433 \cdot 12 / 349$	$1433 \cdot 12 / 457$	$1433 \cdot 12 / (146 \cdot 12 / 4,5)$
-------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	--

Μήνες	45,49	52,91	56,38	49,27	37,63	42,15
MTBF(ΔΙΑΚ)	358*12/91	358*12/69	358*12/58	358*12/80	358*12/118	358*12/(36*12/4,5)
Μήνες	47,21	62,26	74,07	53,70	36,41	39,78
MTBF(ΜΕΤ)	429*12/102	429*12/112	429*12/83	429*12/84	429*12/141	429*12/(39*12/4,5)
Μήνες	50,47	45,96	62,02	61,29	36,51	41,97
MTBF(ΔΙΥΛ)	427*12/118	427*12/76	427*12/89	427*12/105	427*12/117	427*12/(41*12/4,5)
Μήνες	43,42	67,42	57,57	48,80	43,79	47,44
MTBF(Κ.ΠΑΡ.)	219*12/67	219*12/68	219*12/75	219*12/80	219*12/81	219*12/(30*12/4,5)
Μήνες	39,22	38,65	35,04	32,85	32,44	32,21
Έτος	2012	2013	2014	2015	2016	2017

Πίνακας 2.1 MTBF Συνολικό για κάθε έτος ανά λειτουργική περιοχή.

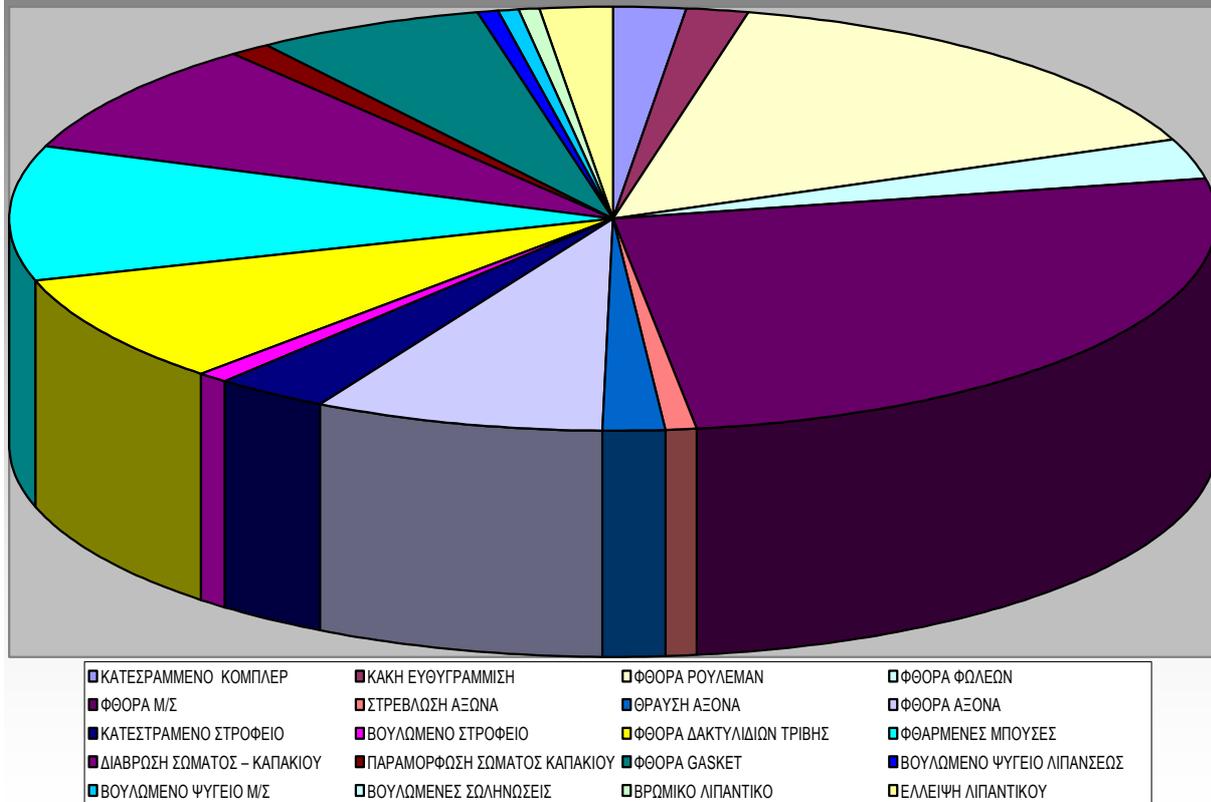
## Ποσοστά Συμβάντων-Αιτίες Βλαβών



■ ΔΙΑΡΟΗ Μ/Σ	■ ΚΡΑΔΑΣΜΟΙ - ΘΟΡΥΒΟΣ ΡΟΥΛΕΜΑΝ	■ ΥΨΗΛΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΡΟΥΛΕΜΑΝ
■ ΑΝΕΠΑΡΚΗΣ ΛΙΠΑΝΣΗ	■ ΚΡΑΔΑΣΜΟΙ - ΘΟΡΥΒΟΣ ΚΟΜΠΛΕΡ	■ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΙΣΗΣ
■ ΚΟΛΛΗΜΑ ΑΝΤΛΙΑΣ	■ ΔΙΑΡΟΗ ΑΠΟ ΣΩΜΑ	■ ΒΛΑΒΗ ΠΕΡΙΦΕΡΙΑΚΩΝ
■ ΔΙΑΚΟΠΤΟΜΕΝΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΞΕΠΙΑΣΜΑ	■ ΑΝΕΠΑΡΚΗΣ ΠΑΡΟΧΗ	■ ΧΑΜΗΛΗ ΠΙΕΣΗ ΚΑΤΑΘΛΙΨΗΣ
■ ΥΨΗΛΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	■ ΑΛΛΗ ΑΙΤΙΑ	

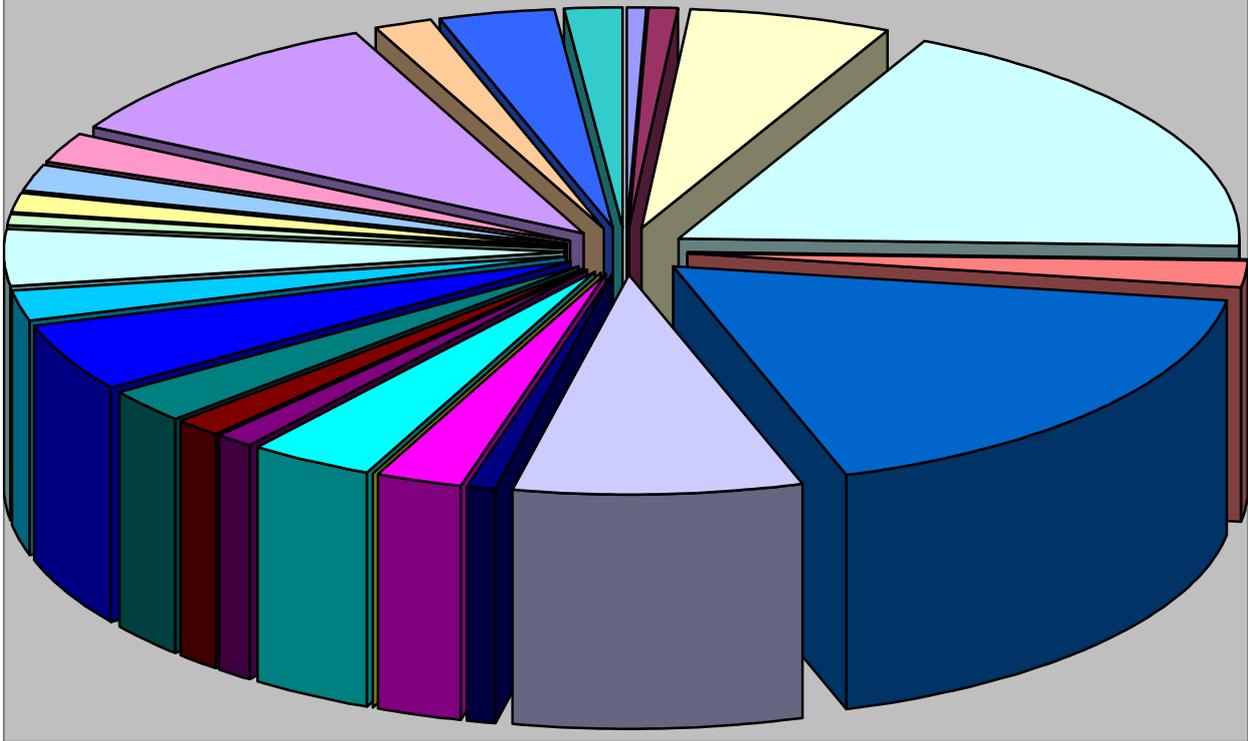
Σχήμα 6.2 Αιτίες Βλαβών 2012

## Ποσοστά Συμβάντων-Ευρήματα



Σχήμα 6.3 Ευρήματα επισκευών 2012

## Ποσοστά Συμβάντων-Επισκευές

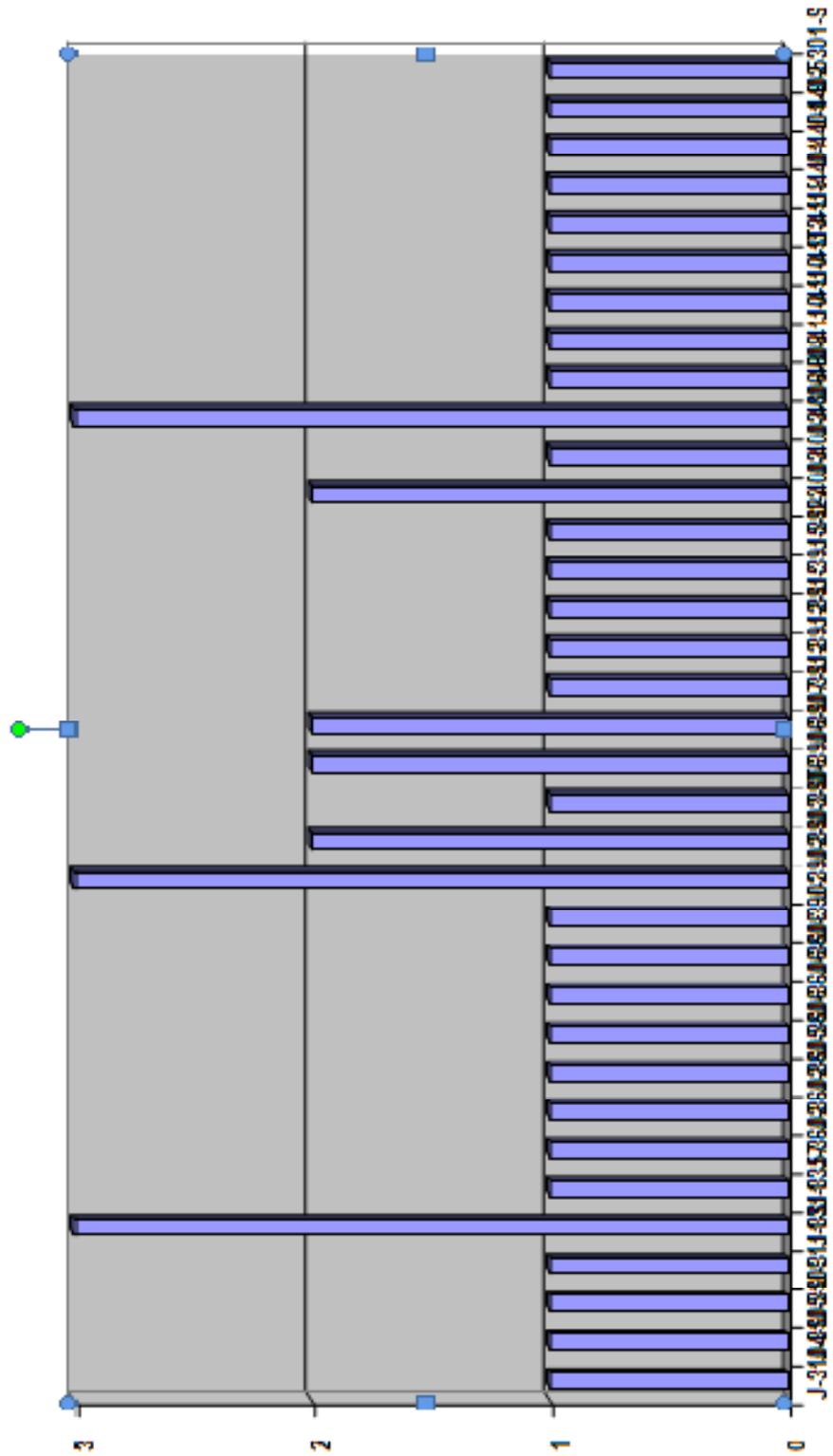


■ ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΚΟΜΠΛΕΡ	■ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΟΜΠΛΕΡ	■ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΙΣΗ	■ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΡΟΥΛΕΜΑΝ
■ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΡΟΥΛΕΜΑΝ	■ ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΦΩΛΕΩΝ	■ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ Μ/Σ	■ ΕΠΙΣΚΕΥΗ Μ/Σ
■ ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΑΞΟΝΑ	■ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΑΞΟΝΑ	■ ΕΠΙΧΡΩΜΙΩΣΗ ΑΞΟΝΑ	■ ΝΕΟΣ ΑΞΟΝΑΣ ΑΠΟ ΑΠΟΘΗΚΗ
■ ΝΕΟ ΣΤΡΟΦΕΙΟ ΑΠΟ ΑΠΟΘΗΚΗ	■ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΣΤΡΟΦΕΙΟΥ	■ ΝΕΑ ΔΑΧΤΥΛΙΔΙΑ ΤΡΙΒΗΣ ΑΠΟ ΑΠΟΘΗΚΗ	■ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΔΑΧΤΥΛΙΔΙΩΝ ΤΡΙΒΗΣ
■ ΝΕΕΣ ΜΠΟΥΣΕΣ ΑΠΟ ΑΠΟΘΗΚΗ	■ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΠΟΥΣΩΝ	■ ΝΕΟ ΣΩΜΑ ΑΠΟ ΑΠΟΘΗΚΗ	■ ΝΕΑ ΚΑΠΑΚΙΑ ΑΠΟ ΑΠΟΘΗΚΗ
■ ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΣΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ	■ ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΣΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΠΛΑΣΤΙΚ STEEL	■ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ GASKET	■ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ
■ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ Μ/Σ	■ ΖΥΓΟΣΤΑΘΜΙΣΗ		

Σχήμα 6.3 Επισκευές 2012







Σχήμα 6.6 Συχνότητα εμφάνισης βλαβών στο Τμήμα Μετατροπής 2012



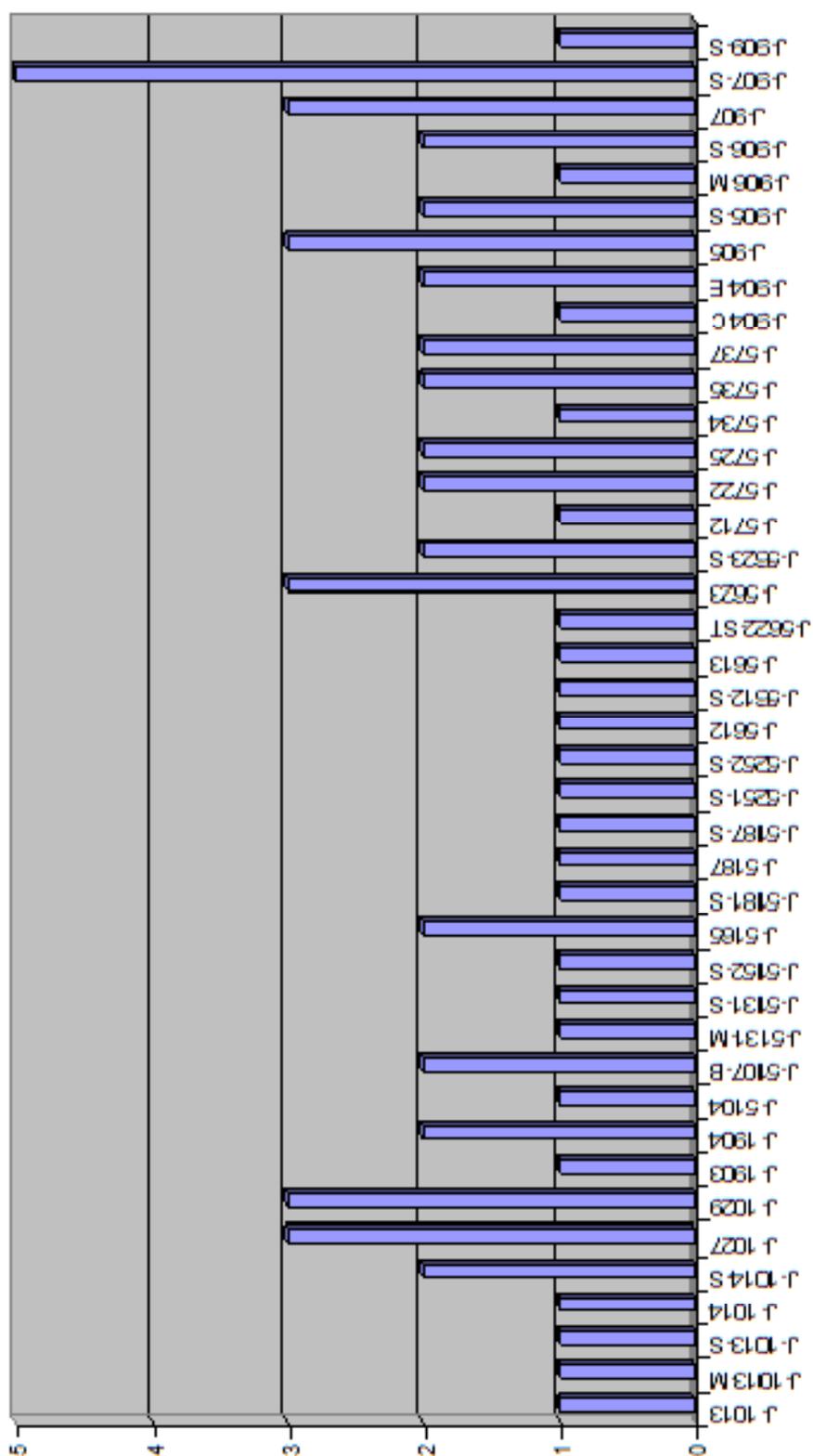




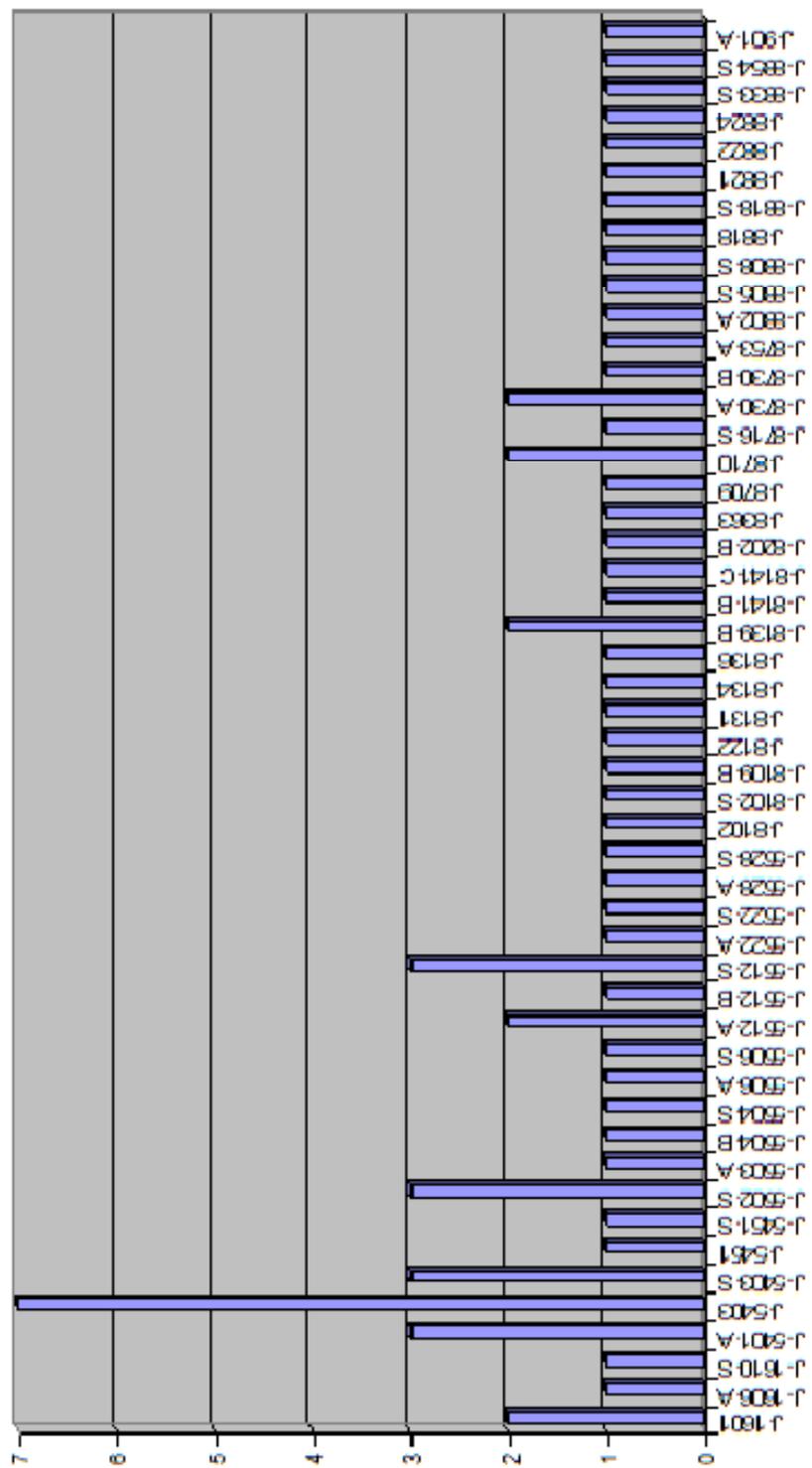






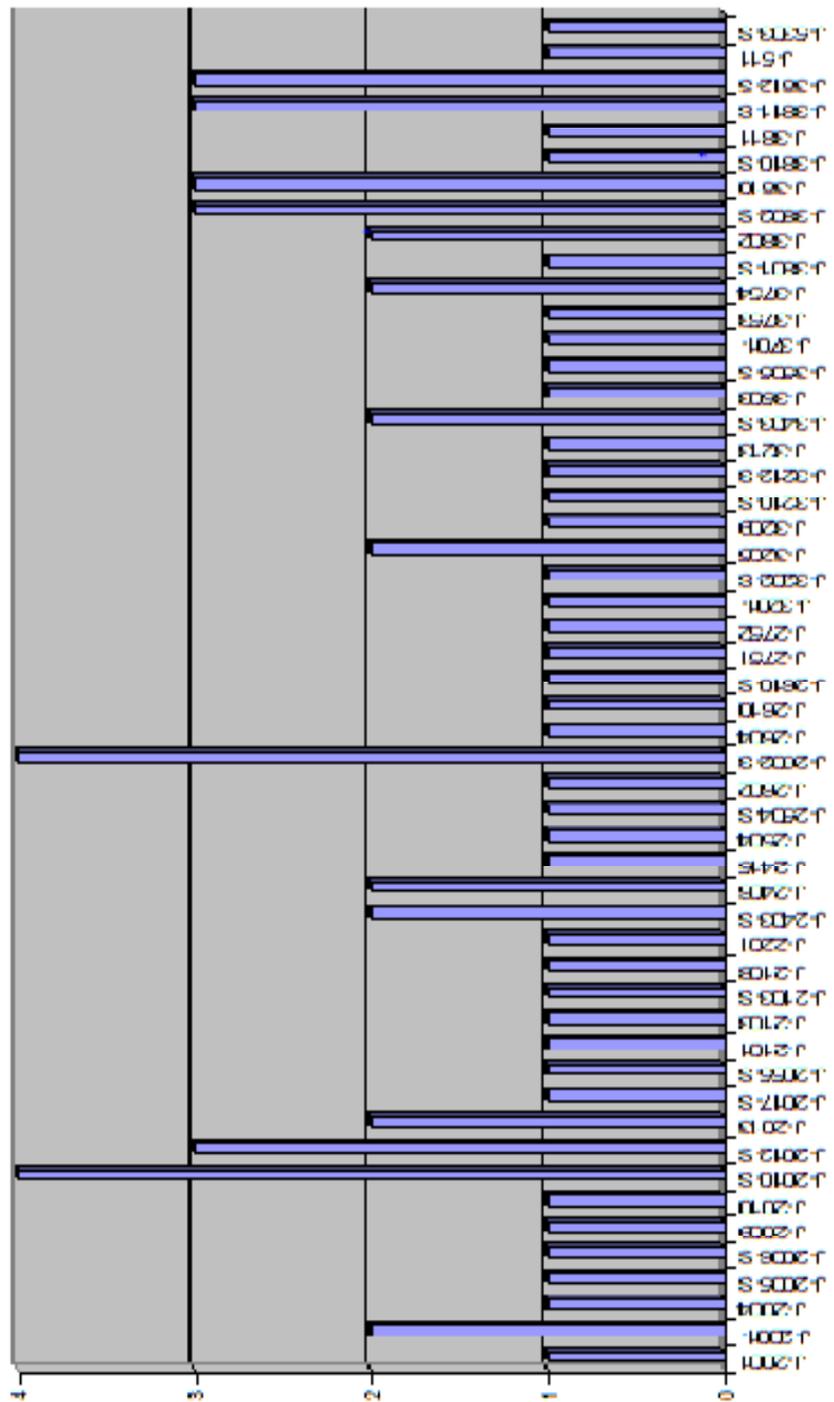


Σχήμα Α.5 Συχνότητα εμφάνισης βλαβών στο Τμήμα Κοινών Παροχών 2013.

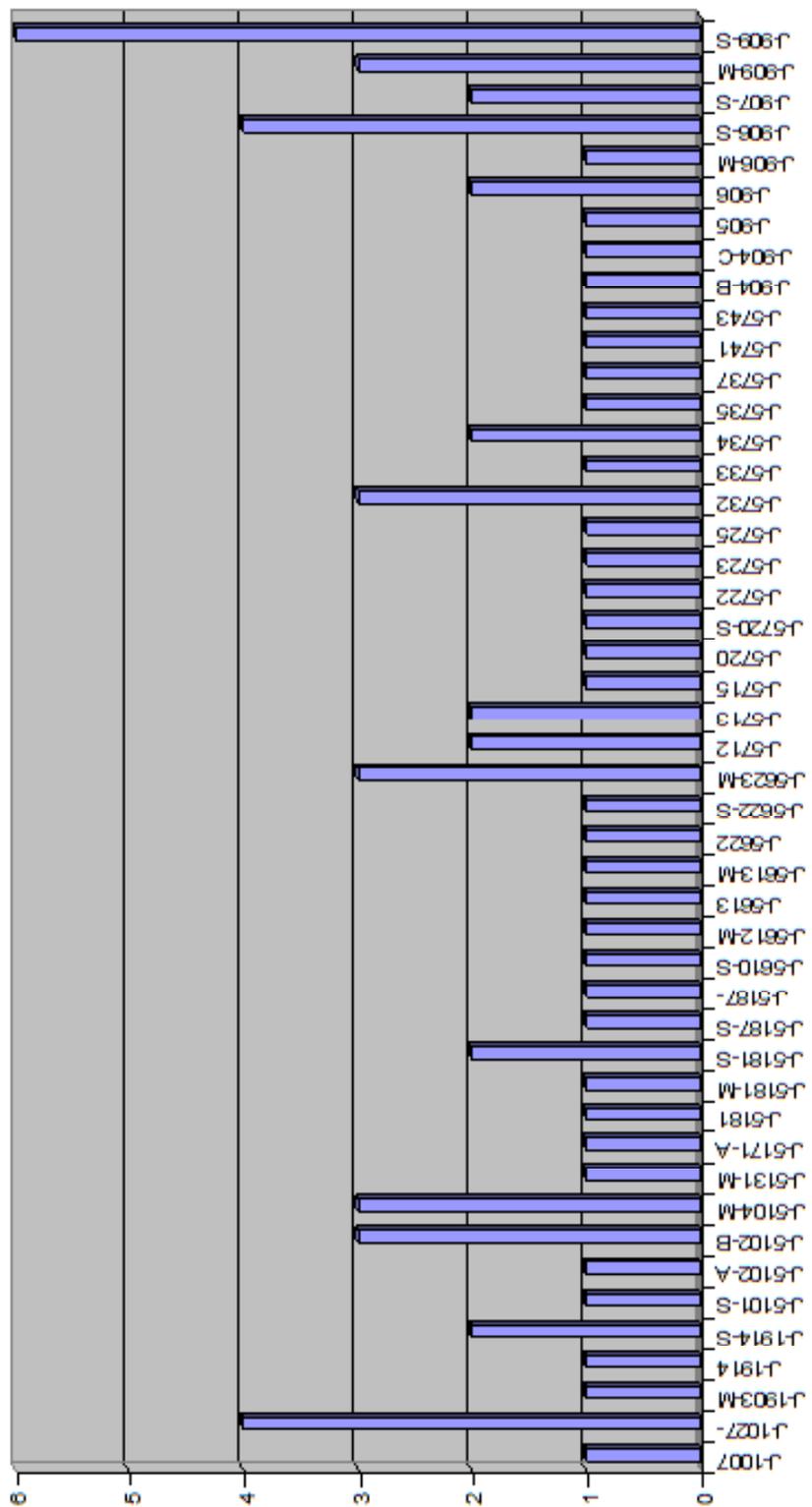


Σχήμα Α.6 Συχνότητα εμφάνισης βλαβών στο Τμήμα Διακίνησης 2013

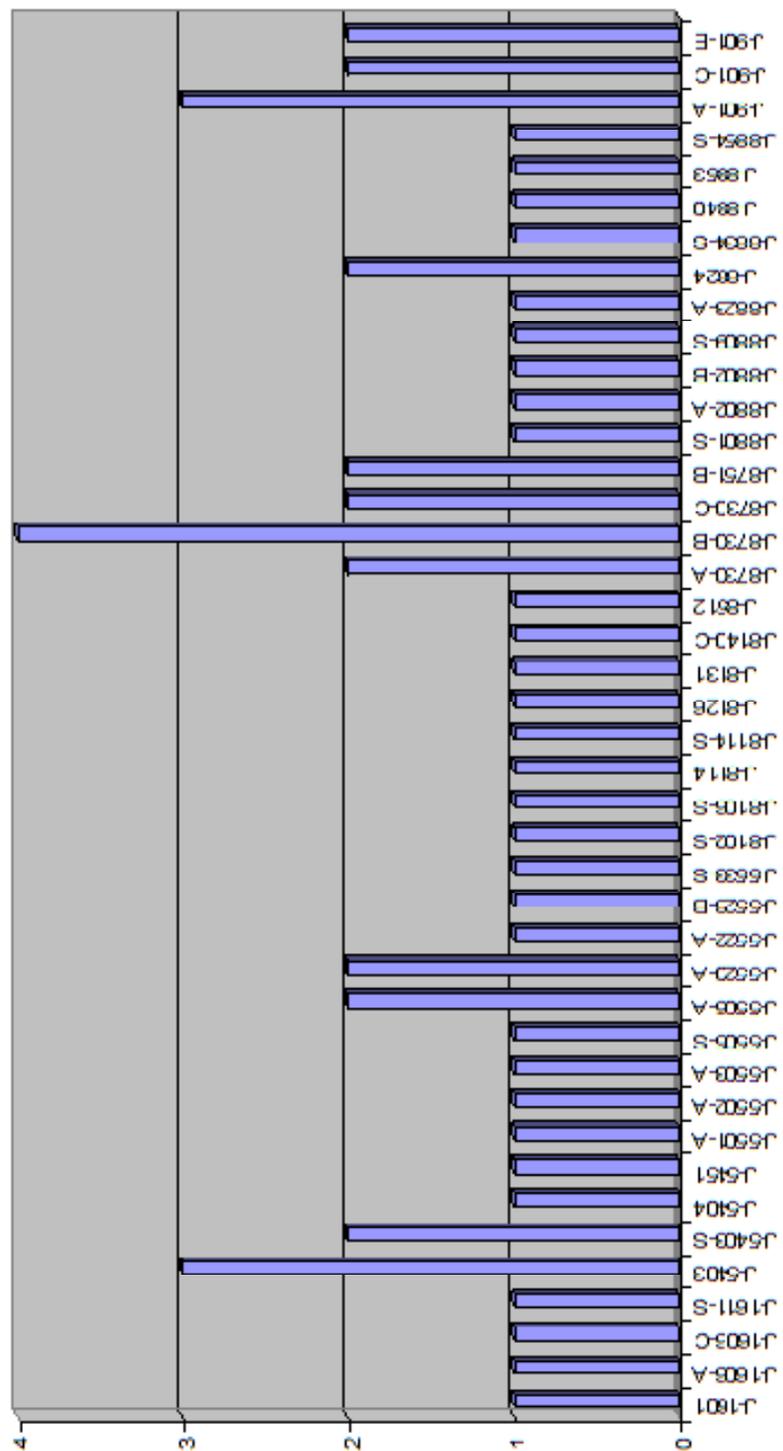




Σχήμα Α.8 Συχνότητα εμφάνισης βλαβών στο Τμήμα Διύλισης 2013.

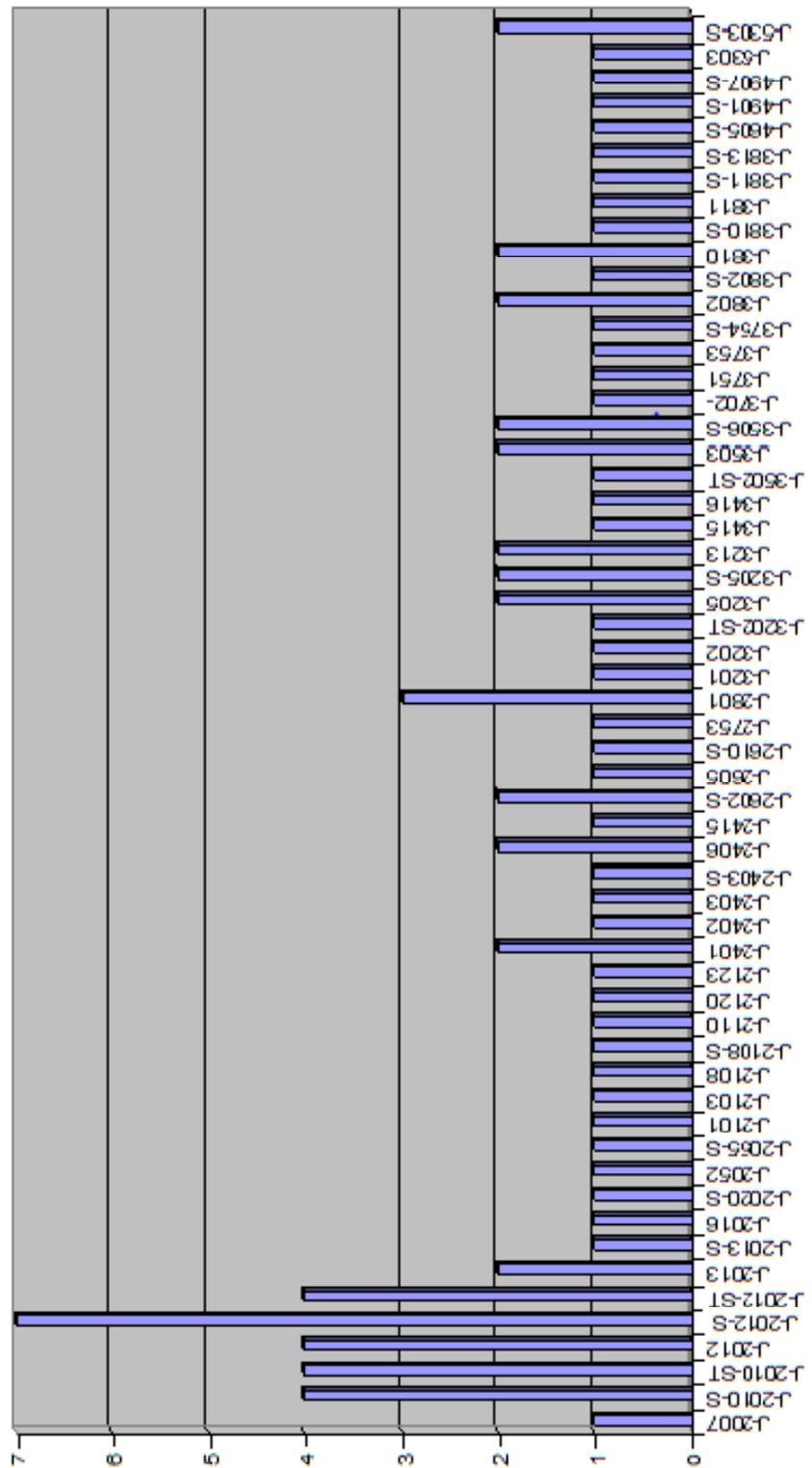


Σχήμα Α.9 Συχνότητα εμφάνισης βλαβών στο Τμήμα Κοινών Παροχών 2014.

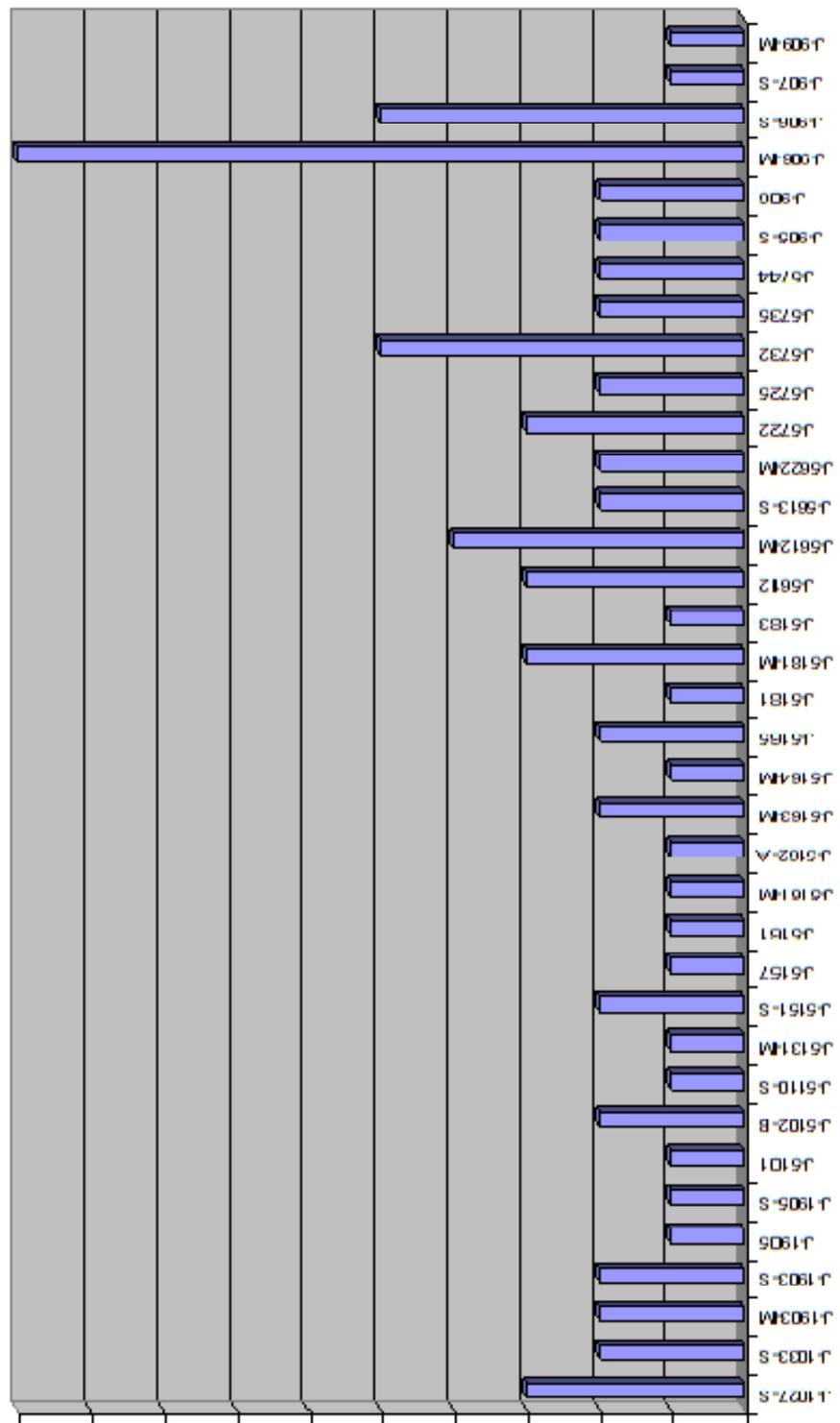


Σχήμα Α.10 Συχνότητα εμφάνισης βλαβών στο Τμήμα Διακίνησης 2014.



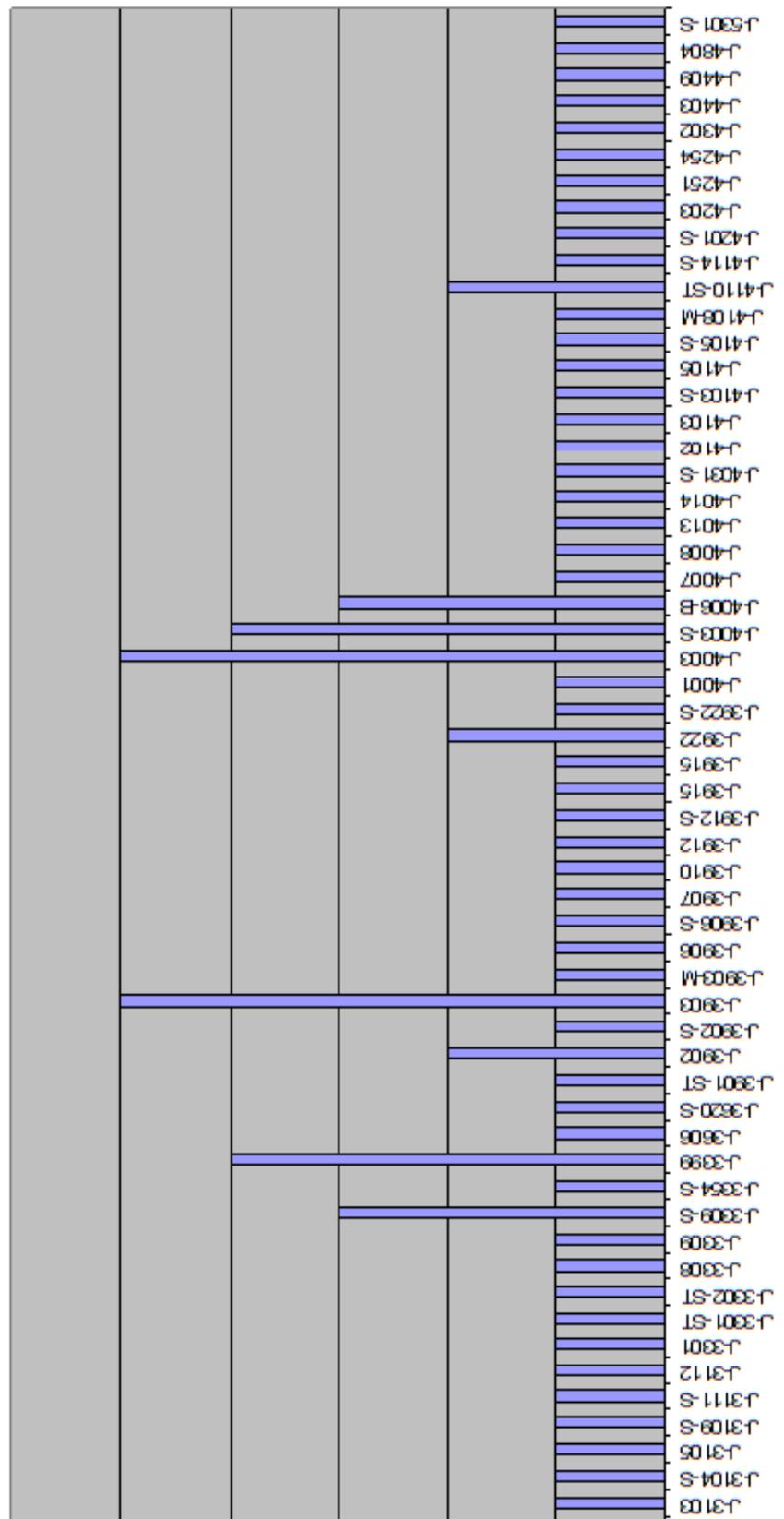


Σχήμα Α.12 Συχνότητα εμφάνισης βλαβών στο Τμήμα Διύλισης 2014.

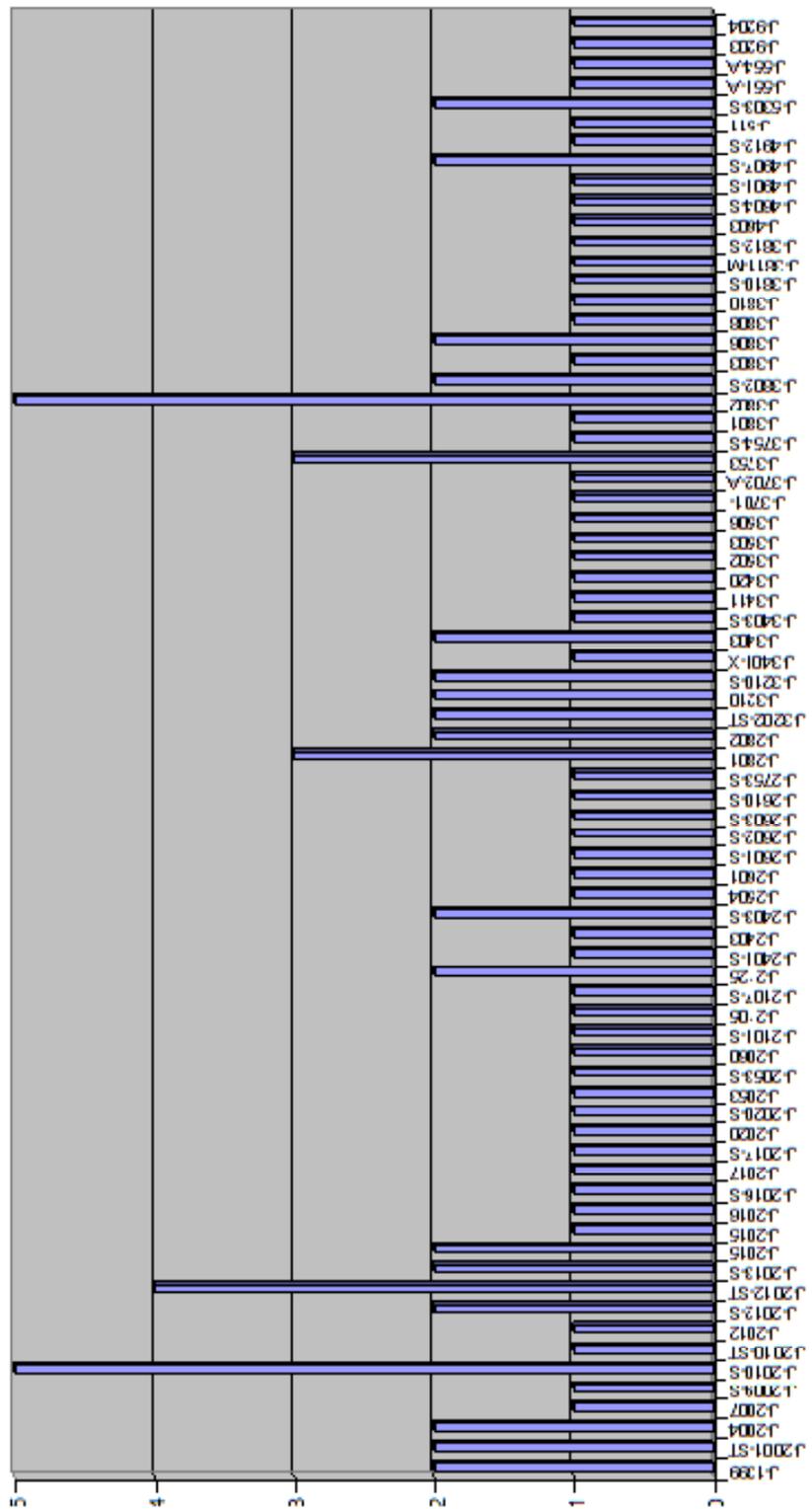


Σχήμα Α.13 Συχνότητα εμφάνισης βλαβών στο Τμήμα Κοινών Παροχών 2015.

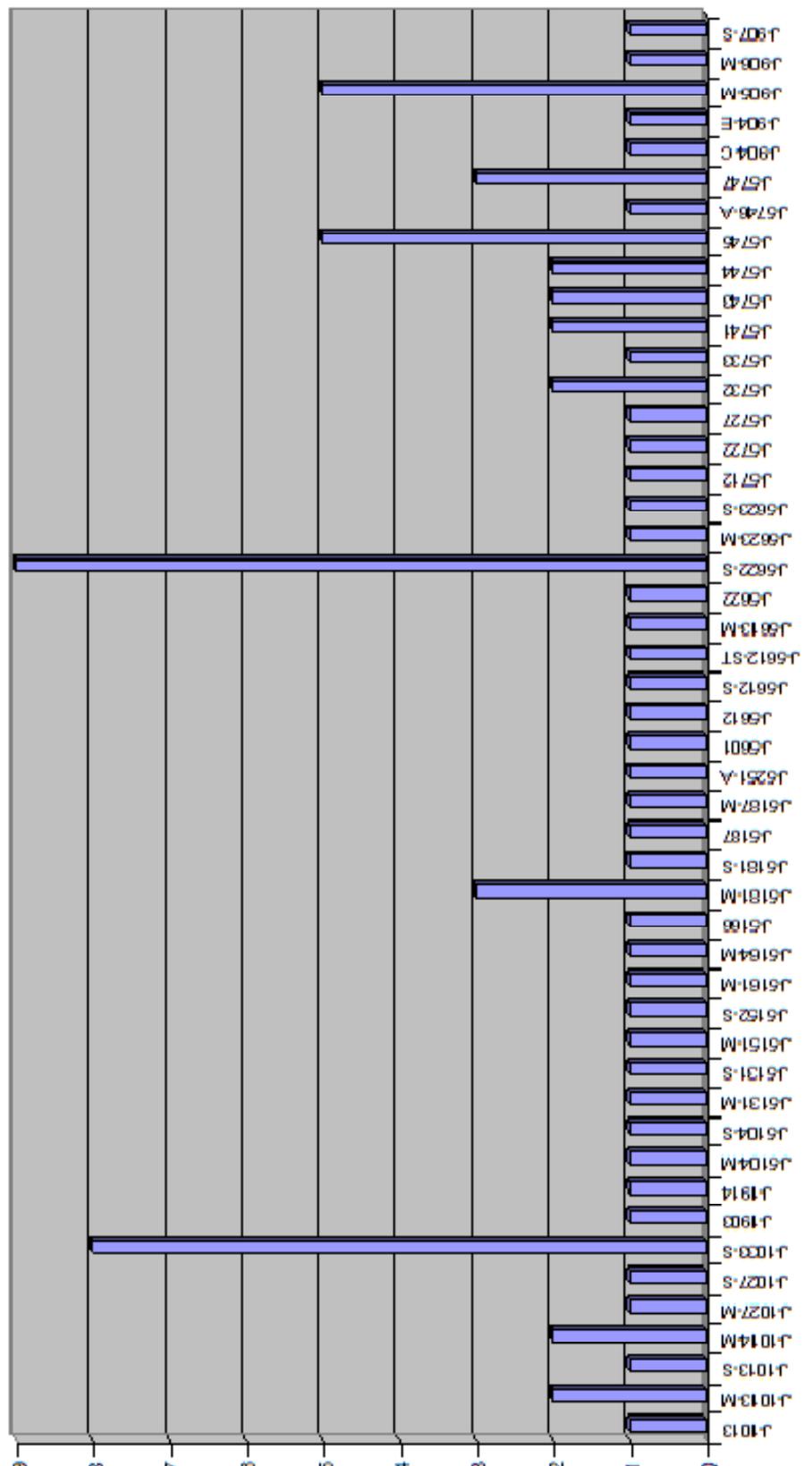




Σχήμα Α.15 Συχνότητα εμφάνισης βλαβών στο Τμήμα Μετατροπής 2015.



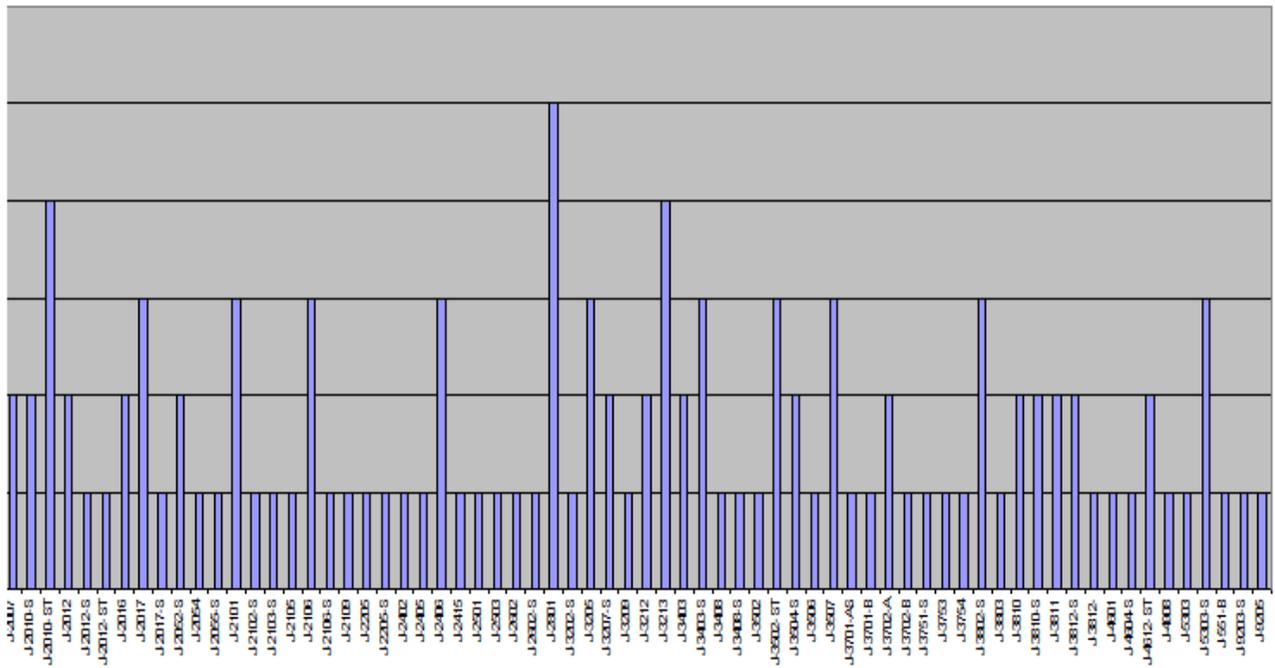
Σχήμα Α.16 Συχνότητα εμφάνισης βλαβών στο Τμήμα Διύλισης 2015.



Σχήμα Α.17 Συχνότητα εμφάνισης βλαβών στο Τμήμα Κοινών Παροχών 2016.







Σχήμα Α.20 Συχνότητα εμφάνισης βλαβών στο Τμήμα Διύλισης 2016.

## 7 WHY'S REPORT

<b>ΘΕΜΑ</b>	Διερεύνηση ζημιάς		
<b>Εξοπλισμός</b>	<p><b><u>Αντλία J-1914</u></b></p> <p>Αντλία φυγοκεντρική πρόβολου</p> <p>Προϊόν</p> <p>Ρουλεμάν - πλευρά φτερωτής 6305</p> <p>Πλευρά κίνησης 6305</p> <p>Ταχύτητα 2900 rpm</p> <p>Λίπανση : Λάδι - στάθμη λαδιού</p> <p>Στεγανοποίηση αντλίας - Μ/Σ</p> <p>Στεγανοποίηση ρουλεμάν - Απλή τσιμούχα χωρίς garter spring</p>		
<b>Εγκατάσταση</b>	BEA		

### 7.1 ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΒΛΑΒΩΝ – ΕΠΙΣΚΕΥΩΝ

J-1914-S	10135186	CENTRIFUGAL HORIZONTAL	HALBERG MASCHINENBAU	FLEXIBOX	10/4/2014		
----------	----------	---------------------------	-------------------------	----------	-----------	--	--

			GMBH				
J-1914	50179607	CENTRIFUGAL HORIZONTAL	HALBERG MASCHINENBAU GMBH	FLEXIBOX	2/2/2015	3/2/2015	BALL BEARING REPLACEMENT
J-1914-S	50179623	CENTRIFUGAL HORIZONTAL	HALBERG MASCHINENBAU GMBH	FLEXIBOX	3/2/2015	5/2/2015	BALL BEARING REPLACEMENT
J-1914	50184917	CENTRIFUGAL HORIZONTAL	HALBERG MASCHINENBAU GMBH	FLEXIBOX	23/7/2015	27/7/2015	BALL BEARING REPLACEMENT
J-1914	50197584	CENTRIFUGAL HORIZONTAL	HALBERG MASCHINENBAU GMBH	FLEXIBOX	10/5/16		BALL BEARING REPLACEMENT

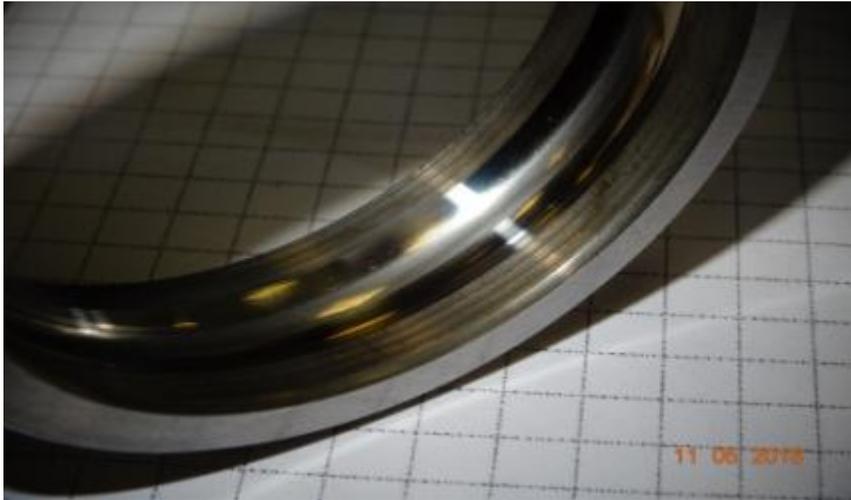
## 7.2 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ – ΕΥΡΗΜΑΤΑ

Η αντλία βγήκε από παρατήρηση της προληπτικής για αντικατάσταση ρουλεμάν . Κατά την αποσυναρμολόγηση της αντλίας βρέθηκαν τα παρακάτω :

1. Το λάδι που είχε απομείνει πάνω στα ρουλεμάν ήταν μαυρισμένο - ( "black oil effect " )
2. Στρέβλωση του άξονα στα άκρα από 0.09 έως 0.06 mm .



3. Από έλεγχο στο εσωτερικό των ρουλεμάν βρέθηκαν τα εξής  
 Ø Ίχνος κύλισης στο εξωτερικό δακτυλίδι και στα δυο ρουλεμάν μετατοπισμένο αξονικά προς την εξωτερική πλευρά του κουζινέτου ( bearing bracket ) ,



- ∅ Ίχνος κύλισης στο εσωτερικό δακτυλίδι και στα δυο ρουλεμάν μετατοπισμένο αξονικά προς την εσωτερική πλευρά .



- ∅ Φθορά τύπου scoring στα στοιχεία κύλισης και στα δυο ρουλεμάν



4. Από μετρήσεις στη διάμετρο της φωλιάς και στα δυο ρουλεμάν βρέθηκε αρνητική ανοχή περίπου  $-0.01$  mm
5. Από έλεγχο ( υπολογισμό ) των λειτουργικών διακένων των ρουλεμάν προκύπτει σύμφωνα με τις μετρημένες ανοχές αρνητικό διάκενο λειτουργίας .
6. Από συνολικές μετρήσεις αξονικά προκύπτει πάκτωση των ρουλεμάν αξονικά.
7. Ο ελαιοδείκτης δεν έχει ορατότητα για έλεγχο στάθμης



### 7.3 ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ 5 – Why's

	<b>5 Why</b>	<b>Παρατηρήσεις / Σχόλια:</b>
<b>Why 1</b>	<b>1.1 Ταυτόχρονη φθορά τύπου adhesive και στα δυο ρουλεμάν - γιατί ?</b>	<b>1.1 Λόγω συνεχούς μεταλλικής επαφής των στοιχείων κύλισης με τα δακτυλίδια και μετατοπισμένη αξονικά</b>
<b>Why 2</b>	<b>2.1 Συνεχής μεταλλική επαφή των στοιχείων κύλισης – γιατί ?</b>	<b>2.1 Λόγω θραύσης του λιπαντικού φιλμ</b>

<p><b>Why 3</b></p>	<p><b>3.1 Θραύση του λιπαντικού φιλμ – γιατί ?</b></p>	<p><b>3.1 Πιθανά σενάρια :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Αστοχία λίπανσης</li> <li>○ Αυξημένο αξονικό φορτίο</li> <li>○ Αρνητικό εσωτερικό διάκενο</li> </ul> <p>Συμπερασματικά από την παρατήρηση ότι τα ίχνη κύλισης είναι μετατοπισμένα αξονικά προς τα έξω , προκύπτει λόγω αυξημένου αξονικού φορτίου . Επίσης από την παρατήρηση ότι τα ίχνη κύλισης είναι ισοπαχή συμπεραίνεται και αρνητικό διάκενο.</p> <p>Η αστοχία λίπανσης επιβεβαιώνεται και από το μαυρισμένο λάδι</p>
<p><b>Why 4</b></p>	<p><b>4.1 Αυξημένο αξονικό φορτίο - γιατί ?</b></p> <p><b>4.2 Αρνητικό διάκενο – γιατί ?</b></p>	<p><b>4.1 Αδυναμία παραλαβής της διαστολής του άξονα που προκύπτει από λειτουργική θερμοκρασία , η οποία επιτείνεται λόγω της συνεχούς μεταλλικής επαφής .</b></p> <p><b>4.2 Υπήρξε αρνητικό διάκενο λόγω μειωμένου αρχικά ( CN ) και λόγω σφικτής συναρμογής στη φωλιά</b></p>
<p><b>Why 5</b></p>	<p><b>5.1 Αδυναμία παραλαβής της αξονικής διαστολής - γιατί ?</b></p>	<p><b>5.1 Από μετρήσεις συνολικών διαστάσεων αξονικά και ανοχών σε άξονα και φωλιές προκύπτουν δυο λόγοι :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Σφικτή συναρμογή του εξωτερικού δακτυλιδιού στη φωλιά και</li> <li>○ Από μετρήσεις στα καπάκια και στο σώμα του bracket δεν υπάρχει χώρος μετακίνησης του ενός από τα δυο ρουλεμάν αξονικά .</li> </ul>

## 7.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σύμφωνα με τα παραπάνω προκύπτει ότι :

1. Ο δείκτης MTBF απεικονίζει με επιτυχία την συνολική κατάσταση αξιοπιστίας του εν λόγω εξοπλισμού
2. Ο δείκτης MTBF για τις αντλίες του Διυλιστηρίου κυμαίνεται σε υψηλά επίπεδα τα οποία κρίνονται πολύ ικανοποιητικά
3. Η κυριότερη αιτία βλάβης που παρουσιάζεται είναι οι μηχανικές σαλαμάστρες και ακολουθούν τα ρουλεμάν. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει το Τμήμα Διαχείρισης Υλικού να διατηρεί ικανά αποθέματα προκειμένου ο εξοπλισμός να επισκευάζεται άμεσα.
4. Αναλύοντας τους δείκτες MTBF και όπως προκύπτει από τα διαγράμματα συχνότητας βλαβών για το 2012 παρατηρούμε πως κάποιοι συγκεκριμένοι εξοπλισμοί μας απασχολούν περισσότερο.

Το γεγονός αυτό εξηγείται από τα εξής στοιχεία:

### J-5187

Η κωδικοποιημένη σαλαμάστρα λόγω του ότι ερχεται σε επαφή με καταλύτη φθείρετε πολύ πιο γρήγορα. Οι μηχανικές σαλαμάστρες που αγοράζονται από το εμπόριο είναι πολύ πιο αποτελεσματικές. Αντικαταστάθηκε με τετοιου τύπου mechanical seal.

### J-5735, J-5741, J-5744, J-5745

Οι επισκευές έγιναν κατά την διάρκεια του σταματήματος της μονάδας.

### J-2012-M

Αλλάχθηκε ο τύπος μηχανικής σαλαμάστρας. Ο νέος τύπος είναι ανθεκτικότερης κατασκευής σε διακυνόμενη πίεση και φορτίο. Το παρελκόμενο κύκλωμα υγρής φραγής εξασφαλίζει σταθερή πίεση λαδιού κυκλώματος Μ/Σ ανεξάρτητα από ανθρώπινους

χειρισμούς (Αυτόματη πλήρωση πίεσης). Αν υπάρξει πτώση πίεσης λειτουργούν αεραντλίες που πρεσσάρουν στο set point και δεν χρειάζεται επέμβαση του χειριστή.

#### J-2012-ST

Η αντλία εμφάνιζε διαρροές από τους λαβυρίνθους. Κατα την διάρκεια της τελευταίας επισκευής αντικαταστάθηκαν κουζινέτα, ball bearings, αξονας-στροφείο, λαβύρινθοι λαδιού, λαβύρινθοι ατμού, ανθρακούχα δαχτυλίδια καθώς και το gear box της αντλίας λαδιού. Απο τότε και μετά δεν παρουσιάστηκε κάποια ανωμαλία στην λειτουργία της.

#### J-4006-B

Η αντλία είχε διαρροή από τον καθρέπτη. Το αυθεντικό υλικό δεν υπήρχε διαθέσιμο στην αποθήκη. Έτσι η 2η επισκευή έγινε με χρήση μεταλλοπλαστικής τσόντας, από την εγχώρια αγορά. Παρουσιάστηκε διαροή και μετά την επισκευή.

Δεν τηρούσε τις απαιτούμενες προδιαγραφές κατασκευής. Έπειτα από επισήμανσή μας κατασκευάστηκε εκ νέου μεταλλοπλαστική τσόντα με τις απαιτούμενες προδιαγραφές.

#### J-3311 & J-4115

Κατα τη διάρκεια του shut down τον Οκτώβρη του 2012 χρησιμοποιήθηκαν πυροσβεστικές μάνικες και κομμάτια τους (πιθανών viton) εισχώρησαν στο εσωτερικό του εξοπλισμού.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. “ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΔΙΥΛΙΣΤΗΡΙΩΝ ΚΑΙ ΚΥΡΙΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ”. 1987  
ΕΚΔΟΣΗ ΕΛΔΑ
2. “ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΧΑΡΑΞΗ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ” ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΔΗΜ.  
ΠΑΠΑΝΤΩΝΗ ΑΝΑΠΛ. ΚΑΘΗΓΗΤΗ ΕΜΠ.
3. “ΑΝΤΛΙΕΣ”. KITTL WALTER-SCHONER WOLFGANG, ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ ΧΡΗΣΤΟΣ ΠΟΥΛΟΣ,  
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΤΟΥ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΟΥ ΕΤΕ.
4. “ΑΝΤΛΙΑΙ”. Ι. ΣΙΝΗ ΟΜΟΤΙΜΟΥ ΚΑΘΗΓΗΤΗ Α.Γ.Σ.Α.

5. "ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΡΕΥΣΤΩΝ ΙΙ", ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ Τ.Ε.Ι. ΔΥΤ. ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ ΔΡ Γ. ΣΙΔΕΡΙΔΗΣ ΑΝΑΠΛ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
6. "INSTRUCTION FOR INTALLATION, OPERATION AND MAINTENANCE FOR PUMP 2 WWFB-811" WORTHINGTON GES.M.B.H AUSTRIA
7. "ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ" ΤΜΗΜΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΕΙΔΙΚΟΥ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΕΛ.ΠΕ

